

VI-2-9 原子炉格納施設の耐震性に関する説明書

VI-2-9-1 原子炉格納施設の耐震計算結果

目 次

1. 概要	1
2. 耐震評価条件整理	1

1. 概要

本資料は、原子炉格納施設の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

原子炉格納施設に対して、設計基準対象施設の耐震重要度分類、重大事故等対処設備の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については、耐震評価における手法及び条件について、既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また、重大事故等対処設備のうち、設計基準対象施設であるものについては、重大事故等対処設備の評価条件と設計基準対象施設の評価条件の差異の有無を整理した。結果を表 2-1 に示す。

原子炉格納施設の耐震計算は表 2-1 に示す計算書に記載する。

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (1/30)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	原子炉格納容器	原子炉格納容器	S	有	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4
		機器搬入口	S	無	VI-2-9-2-5	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-5
		逃がし安全弁搬出ハッチ	S	無	VI-2-9-2-6	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-6
		制御棒駆動機構搬出ハッチ	S	無	VI-2-9-2-7	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-7
		サプレッションチェンバアクセスハッチ	S	—*2	VI-2-9-2-8	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-8
		所員用エアロック	S	有	VI-2-9-2-9	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-9
		原子炉格納容器配管貫通部	S	有	VI-2-9-2-10	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-10
		原子炉格納容器電気配線貫通部	S	有	VI-2-9-2-11	常設耐震/防止 常設/緩和	有	VI-2-9-2-11

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (2/30)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	原子炉建屋	原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）	S	有	VI-2-9-3-1	常設／緩和	無	VI-2-9-3-1
		原子炉建物機器搬出入口	S	—*2	VI-2-9-3-2	常設／緩和	無	VI-2-9-3-2
		原子炉建物エアロック	S	—*2	VI-2-9-3-3	常設／緩和	無	VI-2-9-3-3
		原子炉建物基礎スラブ	—	有	VI-2-9-3-4	—	—	—
	圧力低減設備その他の安全設備	真空破壊装置	S	—*2	VI-2-9-4-1	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-9-4-1
		ダウンカマ	S	有	VI-2-9-4-2-1	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-9-4-2-1
		ベント管	S	有	VI-2-9-4-3	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-9-4-3
		ベントヘッド	S	有	VI-2-9-4-2-2	常設耐震／防止 常設／緩和	有	VI-2-9-4-2-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (3/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	(残留熱除去系(格納容器冷却モード)) 原子炉格納容器スプレイ設備	残留熱除去系熱交換器 (原子炉冷却系統施設に 記載)	—	—	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-1
				残留熱除去ポンプ*3 (原子炉冷却系統施設に 記載)	—	—	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-2
				残留熱除去系ストレーナ*4 (原子炉冷却系統施設に 記載)	—	—	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7
				主配管 (A-ドライウェルス スプレイ管)	S	—*2	VI-2-9-4-4-1-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-9-4-4-1-1
				主配管 (B-ドライウェルス スプレイ管)	S	—*2	VI-2-9-4-4-1-1	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-9-4-4-1-1
				主配管 (サブプレッションチ ェンバスプレイ管)	S	有	VI-2-9-4-4-1-2	常設/防止 (DB 拡張)	有	VI-2-9-4-4-1-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (4/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	原子炉格納容器スプレイ設備 (残留熱除去系(格納容器冷却モード))	主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設/防止 (DB拡張)	—	VI-2-5-4-1-4
				原子炉格納容器 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/防止 (DB拡張)	—	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4
				原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/防止 (DB拡張)	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (5/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	原子炉格納容器スプレイ設備 (残留熱除去系(サブプレッションプール水冷却モード))	残留熱除去系熱交換器 (原子炉冷却系統施設に 記載)	—	—	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-1
				残留熱除去ポンプ*3 (原子炉冷却系統施設に 記載)	—	—	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-2
				残留熱除去系ストレーナ*4 (原子炉冷却系統施設に 記載)	—	—	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7
				主配管 (原子炉冷却系統施設に 記載)	—	—	—	常設/防止 (DB 拡張)	—	VI-2-5-4-1-4

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (6/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	(残留熱除去系(サブプレッションプール水冷却モード)) 原子炉格納容器スプレイ設備	原子炉格納容器 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/防止 (DB拡張)	—	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4
				原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/防止 (DB拡張)	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (7/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	格納容器代替スプレイ系	低圧原子炉代替注水ポンプ (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-5-5-1
				低圧原子炉代替注水槽 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-2-33
				主配管	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-2-1
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-5-5-5-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (8/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	格納容器代替スプレイ系	主配管 (A-ドライウェルス スプレイ管) (原子炉格納容器スプレイ 設備 (残留熱除去系 (格納 容器冷却モード)) に記載)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-1-1
				主配管 (B-ドライウェルス スプレイ管) (原子炉格納容器スプレイ 設備 (残留熱除去系 (格納 容器冷却モード)) に記載)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-1-1
				原子炉格納容器 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4
				原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設耐震/防止 常設/緩和	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (9/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	ペDESTAL代替注水系	低压原子炉代替注水ポンプ (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-5-5-5-1
				低压原子炉代替注水槽 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-2-33
				主配管	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-3-1
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-5-5-5-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (10/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	ヘデスタル代替注水系	主配管(A-ドライウェルス プレイ管) (原子炉格納容器スプレイ 設備(残留熱除去系(格納 容器冷却モード))に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-1-1
				原子炉格納容器 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4
				原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (11/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	残留熱代替除去系	炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
				原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-1-2
				低圧注水系配管 (原子炉圧 力容器内部) (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-3-8
				残留熱除去系熱交換器*5 (原子炉冷却系統施設に 記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-4-1-1
				残留熱代替除去ポンプ	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-4-4-4-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (12/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	残留熱代替除去系	残留熱除去系ストレーナ*6 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7
				主配管	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-4-2
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-5-4-1-4
				主配管 (格納容器代替スプレイ系 に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-2-1
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-5-5-5-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (13/30)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所		
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	残留熱代替除去系	主配管 (B-ドライウェルス プレイ管) (原子炉格納容器スプレイ 設備 (残留熱除去系 (格納 容器冷却モード)) に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-4-1-1
				原子炉格納容器 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4
				原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (14/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
				原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-1-2
				給水スパーージャ (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-3-6
				高圧原子炉代替注水ポンプ (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-5-3-1
				残留熱除去系ストレーナ*7 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-4-1-3 VI-2-5-4-1-5 VI-2-5-4-1-6 VI-2-5-4-1-7

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (15/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-3-1-2
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-3-2-1
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-4-1-4
				主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-5-3-2

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (16/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	高圧原子炉代替注水系	主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-6-1-3
				原子炉格納容器 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3
				原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (17/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	低圧原子炉代替注水系	炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
				原子炉圧力容器 (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-1-2
				低圧注水系配管 (原子炉圧 力容器内部) (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-3-3-3-8
				低圧原子炉代替注水ポンプ (原子炉冷却系統施設に記 載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-5-5-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (18/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	低圧原子炉代替注水槽 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-2-33
			主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-4-1-4
			主配管 (原子炉冷却系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-5-5-5-2
			原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (19/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	ほう酸水注入系	炉心支持構造物 (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-3-2-2-2 VI-2-3-2-2-3 VI-2-3-2-2-4 VI-2-3-2-2-5 VI-2-3-2-2-6 VI-2-3-2-2-7
				原子炉压力容器 (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-3-3-1-2
				差圧検出・ほう酸水注入系 配管 (ティーより N11 ノズ ルまでの外管) (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-3-3-2-5
				差圧検出・ほう酸水注入系 配管 (原子炉压力容器内部) (原子炉本体に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-3-3-3-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (20/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	原子炉格納容器安全設備	ほう酸水注入ポンプ (計測制御系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-6-4-1-1
			ほう酸水貯蔵タンク (計測制御系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-6-4-1-2
			主配管 (計測制御系統施設に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-6-4-1-3
			原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (21/30)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所		
原子炉格納施設	可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備 圧力低減設備その他の安全設備 放射性物質濃度制御設備及び	非常用ガス処理系	主要弁	S	有	VI-2-9-4-5-1-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-9-4-5-1-1	常設／緩和	有	VI-2-9-4-5-1-1
			非常用ガス処理系排風機	S	無	VI-2-9-4-5-1-2	常設／緩和	有	VI-2-9-4-5-1-2
			非常用ガス処理系前置ガス 処理装置フィルタ	S	有	VI-2-9-4-5-1-3	常設／緩和	有	VI-2-9-4-5-1-3
			非常用ガス処理系後置ガス 処理装置フィルタ	S	有	VI-2-9-4-5-1-3	常設／緩和	有	VI-2-9-4-5-1-3

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (22/30)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所		
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備 可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備 放射性物質濃度制御設備及び	非常用ガス処理系	原子炉建物原子炉棟（二次格納施設） （原子炉建屋に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-3-1
			原子炉建物機器搬出入口 （原子炉建屋に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-3-2
			原子炉建物エアロック （原子炉建屋に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-3-3
			排気筒 （放射性廃棄物の廃棄施設 に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-7-4

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (23/30)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備 可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備 放射性物質濃度制御設備及び	可燃性ガス濃度制御系	主要弁	S	有	VI-2-9-4-5-2-1	—	—	—
		可燃性ガス濃度制御系	主配管	S	有	VI-2-9-4-5-2-1	—	—	—
		可燃性ガス濃度制御系	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロワ	S	無	VI-2-9-4-5-2-2	—	—	—
		可燃性ガス濃度制御系	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置	S	無	VI-2-9-4-5-2-2	—	—	—

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (24/30)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所		
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備 可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備 放射性物質濃度制御設備及び	原子炉建物水素濃度抑制設備	静的触媒式水素処理装置	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-4-5-3-1
		原子炉建物原子炉棟（二次格納施設） （原子炉建屋に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-3-1	
		原子炉建物機器搬出入口 （原子炉建屋に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-3-2	
		原子炉建物エアロック （原子炉建屋に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-3-3	
	室素ガス代替注入系	主配管	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-4-5-4-1	
	原子炉格納容器 （原子炉格納容器に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4		
	原子炉格納容器配管貫通部 （原子炉格納容器に記載）	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-2-10		

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (25/30)

評価対象設備		設計基準対象施設			重大事故等対処設備				
		耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所		
原子炉格納施設	可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備 圧力低減設備その他の安全設備 放射性物質濃度制御設備及び	格納容器フィルタベント系	第1ベントフィルタスクラバ 容器 (圧力逃がし装置 格納容 器フィルタベント系に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-2
		第1ベントフィルタ銀ゼオラ イト容器 (圧力逃がし装置 格納容 器フィルタベント系に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-3	
		主要弁 (原子炉格納容器調気設備 窒素ガス制御系に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-1	
		主要弁 (圧力逃がし装置 格納容 器フィルタベント系に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-1	
		主配管 (原子炉格納容器調気設備 窒素ガス制御系に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-1	
		主配管 (圧力逃がし装置 格納容 器フィルタベント系に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-1	

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (26/30)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備 圧力低減設備その他の安全設備 放射性物質濃度制御設備及び	格納容器フィルタベント系	原子炉格納容器 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4
			原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-10
			圧力開放板 (圧力逃がし装置 格納容 器フィルタベント系に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-1
			遠隔手動弁操作設備 (圧力逃がし装置 格納容 器フィルタベント系に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-4

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (27/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備 原子炉格納容器調気設備 その他の安全設備	窒素ガス制御系	主要弁	S	有	VI-2-9-4-6-1-1	—	—	—
			主配管	S	有	VI-2-9-4-6-1-1	—	—	—
	圧力低減設備 圧力逃がし装置 その他の安全設備	格納容器フィルタベント系	原子炉格納容器 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-1 VI-2-9-2-2 VI-2-9-2-3 VI-2-9-2-4
			原子炉格納容器配管貫通部 (原子炉格納容器に記載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-2-10

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (28/30)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備			
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備 圧力逃がし装置	格納容器 フィルタベント系	第1ベントフィルタスクラ バ容器	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-2
			第1ベントフィルタ銀ゼオ ライト容器	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-3
			主要弁 (原子炉格納容器調気設 備 窒素ガス制御系に記 載)	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-6-1-1
			主要弁	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-1
			圧力開放板	—	—	—	常設/緩和	—	VI-2-9-4-7-1-1

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (29/30)

評価対象設備				設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
				耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備 圧力逃がし装置	格納容器 フィルタベント系	主配管	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-4-7-1-1
			主配管 (放射性物質濃度制御設備 及び可燃性ガス濃度制御設 備並びに格納容器再循環設 備 非常用ガス処理系に記 載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-4-5-1-1
			主配管 (原子炉格納容器調気設備 窒素ガス制御系に記載)	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-4-6-1-1
			遠隔手動弁操作設備	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-4-7-1-4

表 2-1 耐震評価条件整理一覧表 (30/30)

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処設備		
			耐震重要度 分類	新規制基準 施行前に認 可された実 績との差異	耐震計算の 記載箇所	設備分類*1	設計基準対象 施設との評価 条件の差異	耐震計算の 記載箇所
原子 炉 格 納 施 設	そ の 他	原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル	—	—	—	常設／防止	—	VI-2-9-3-1-1
		原子炉建物主蒸気管トンネル室ブローアウトパネル	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-3-1-2
		ブローアウトパネル閉止装置	—	—	—	常設／緩和	—	VI-2-9-4-5-1-4

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，

「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：本工事計画で新規に申請する設備であることから，差異比較の対象外

*3：A，B-残留熱除去ポンプが対象

*4：A，B-残留熱除去系ストレーナが対象

*5：B-残留熱除去系熱交換器が対象

*6：B-残留熱除去系ストレーナが対象

*7：C-残留熱除去系ストレーナが対象

VI-2-9-2 原子炉格納容器の耐震性についての計算書

VI-2-9-2-1 ドライウェルの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 構造強度評価	7
4.1 構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
4.2.2 許容応力	7
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	7
4.2.4 設計荷重	12
4.3 設計用地震力	12
4.4 計算方法	15
4.4.1 応力評価方法	15
4.4.2 座屈評価	17
4.5 計算条件	19
4.6 応力の評価	19
5. 評価結果	20
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	20
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	24
6. 参照図書	27

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ドライウエルが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ドライウエルは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるドライウエルの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウエルの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ドライウエルは EL 10.1m 以下においてコンクリートに埋設されており、原子炉建物及び原子炉建物基礎スラブと一体となっている。</p> <p>ドライウエルの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>上下部半球胴部円筒形の鋼製容器（胴部内径 22.8m、全高 <input type="text" value=""/> m）であり、板厚は <input type="text" value=""/> mm である。</p>	<p style="text-align: right;">(単位：m)</p>

2

2.2 評価方針

ドライウエルの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ドライウエルの耐震評価フローを図2-1に示す。

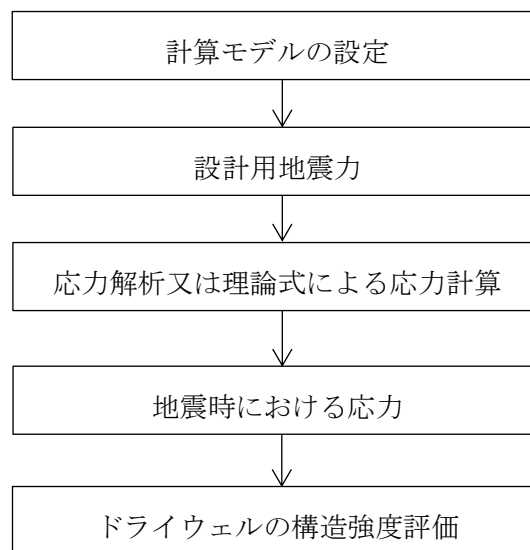


図2-1 ドライウエルの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
D _i	内径 (i = 1, 2)	mm
E	縦弾性係数	MPa
f _b	曲げモーメントに対する座屈応力	MPa
f _c	軸圧縮荷重に対する座屈応力	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 にて定める F の値	MPa
g	重力加速度	m/s ²
l _i	長さ (i = 1, 2, 3…)	mm
R	円筒の平均半径	mm
R _i	半径 (i = 1, 2, 3…)	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 3 に定める値	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
t	円筒の板厚	mm
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3…)	mm
Z	断面係数	mm ³
α	安全率	—
η	係数 (= R / t)	—
η _i	係数 (i = 2, 3)	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁* ²
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁* ²
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

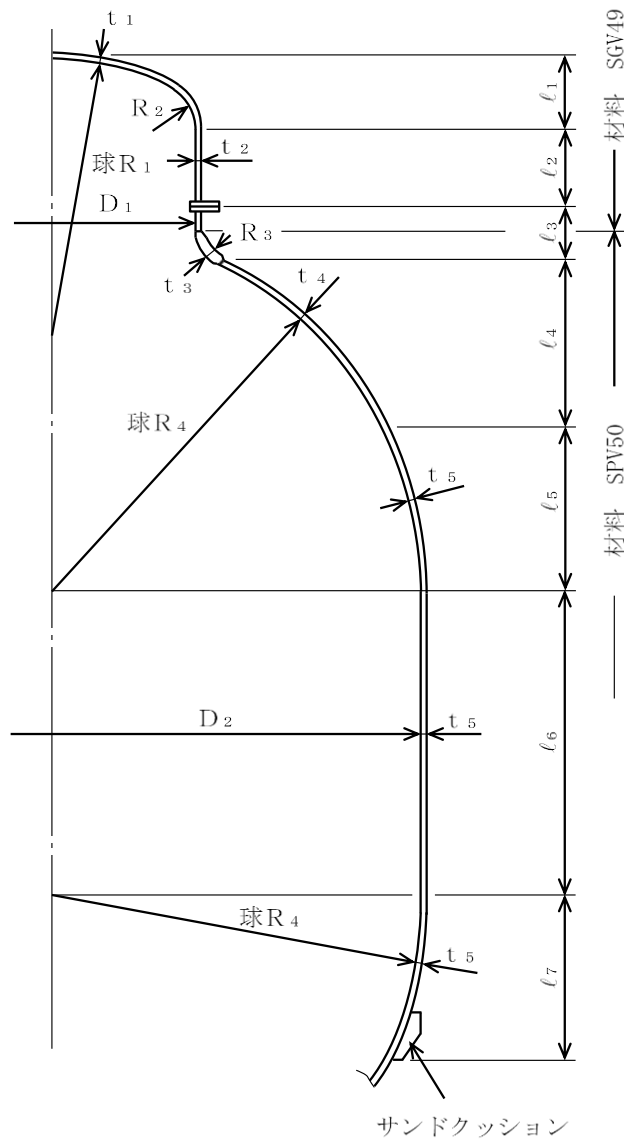
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ドライウエルの形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



$D_1 = 9220$	$D_2 = 22800$	$R_1 = 8673$	$R_2 = 1656$	$R_3 = 790$
$R_4 = 11400$	$l_1 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$l_2 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$l_3 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$l_4 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>
$l_5 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$l_6 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$l_7 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$t_1 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$t_2 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>
$t_3 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$t_4 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>	$t_5 =$ <input style="width: 30px; height: 20px;" type="text"/>		

(単位：mm)

図3-1 ドライウエルの形状及び主要寸法

表3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ドライウエル	SGV49	SGV480 相当
	SPV50	SPV490 相当

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) ドライウエルの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。
ドライウエルの耐震評価として、VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。
- (2) 地震力は，ドライウエルに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは，座屈評価では組合せ係数法を，座屈評価以外では絶対値和を適用する。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウエルの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

ドライウエルの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドライウエルの使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ* ¹		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	ドライウエル	S	クラスMC容器	D + P + M + S d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)	(16)	
					D + P + M + S s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S d ** ²	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*4
原子炉格納施設	原子炉格納容器	ドライウエル	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *3	(V (L) -1)	V _{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _{AS}

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

*4：V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

表4-3 クラスMC容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*8					
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力	特別な応力限界*7	
					純せん 断応力	支圧応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*4	3・S*1	*2, *3 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。	0.6・S	S _y *6 (1.5・S _y)
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*4	S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。		0.4・S _u	S _u *6 (1.5・S _u)
V _A S*5						

注記*1：3・Sを超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*2：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*3：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*4：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

*6：()内は、支圧荷重の作用端から自由端までの距離が支圧荷重の作用幅より大きい場合の値

*7：座屈に対する評価は、J E A G 4 6 0 1-1984の第2種容器の軸圧縮荷重及び曲げモーメントによる座屈に対する評価式を用いる。

*8：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ドライウエル	SGV49* ¹	周囲環境温度	171	131	229	423	—
	SPV50* ²	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ドライウエル	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ³	131	226	422	—
		周囲環境温度	70* ⁴	131	248	453	—
	SPV50* ²	周囲環境温度	200* ³	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ⁴	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当







*3：S A後長期温度

*4：S A後長々期温度

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C
死荷重（自重）	
通常運転時	 N
燃料交換時	 N
死荷重（ウェルディングパッド支持荷重）	
通常運転時及び燃料交換時	 N
活荷重（ハッチ類における活荷重）	
通常運転時	 N
燃料交換時	 N
活荷重（水荷重）	
燃料交換時のみ	 N

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660kPa（S A後長期）
内圧 P_{SALL}	380kPa（S A後長々期）
温度 T_{SAL}	200°C（S A後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（S A後長々期）

4.3 設計用地震力

ドライウエルの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 及び表 4-7 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-8 及び表 4-9 に示す。

ドライウエルに加わる地震荷重について，VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る設計荷重を設定する。また，燃料交換時の鉛直地震荷重については，死荷重及び活荷重にVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた鉛直震度を乗じて算出した鉛直地震荷重を上回る設計荷重を設定する。

表 4-6 鉛直方向荷重 (設計基準対象施設)

(単位 : N)

応力評価点*	通常運転時			燃料交換時		
	死荷重及び 活荷重	地震荷重		死荷重及び 活荷重	地震荷重	
		S d*	S s		S d*	S s
P 1						
P 2						
P 3						
P 4						
P 5						
P 6						
P 7						
P 8						

注記* : 応力評価点の位置は図 4-1 参照

表 4-7 水平方向地震荷重 (設計基準対象施設)

応力評価点* ¹	弾性設計用地震動 S d* による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
P 1	3.180×10^5	7.450×10^8	8.680×10^5	2.030×10^9
P 2	5.070×10^6	1.020×10^{10}	1.240×10^7	2.350×10^{10}
P 3	5.910×10^6	1.020×10^{10}	1.360×10^7	2.350×10^{10}
P 4	2.470×10^7	6.570×10^{10}	5.650×10^7	1.420×10^{11}
P 5	2.580×10^7	1.880×10^{11}	5.810×10^7	4.080×10^{11}
P 6	2.630×10^7	3.460×10^{11}	5.920×10^7	7.580×10^{11}
P 7	2.700×10^7	4.300×10^{11}	6.160×10^7	9.460×10^{11}
P 8	2.740×10^7	5.270×10^{11}	6.270×10^7	1.170×10^{12}
				$9.990 \times 10^{11}*2$

注記*1 : 応力評価点の位置は図 4-1 参照

*2 : 座屈評価に用いる荷重

表 4-8 鉛直方向荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

応力評価点*	重大事故等時		
	死荷重及び 活荷重	地震荷重	
		S d	S s
P 1			
P 2			
P 3			
P 4			
P 5			
P 6			
P 7			
P 8			

注記*：応力評価点の位置は図 4-1 参照

表 4-9 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

応力評価点* ¹	弾性設計用地震動 S d * による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
P 1	3.180×10^5	7.450×10^8	8.680×10^5	2.030×10^9
P 2	5.070×10^6	1.020×10^{10}	1.240×10^7	2.350×10^{10}
P 3	5.910×10^6	1.020×10^{10}	1.360×10^7	2.350×10^{10}
P 4	2.470×10^7	6.570×10^{10}	5.650×10^7	1.420×10^{11}
P 5	2.580×10^7	1.880×10^{11}	5.810×10^7	4.080×10^{11}
P 6	2.630×10^7	3.460×10^{11}	5.920×10^7	7.580×10^{11}
P 7	2.700×10^7	4.300×10^{11}	6.160×10^7	9.460×10^{11}
P 8	2.740×10^7	5.270×10^{11}	6.270×10^7	1.170×10^{12}
				$9.990 \times 10^{11} *2$

注記*1：応力評価点の位置は図 4-1 参照

*2：座屈評価に用いる荷重

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価方法

ドライウエルの応力評価点は、ドライウエルを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-10 及び図 4-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点 P 1 ~ P 8 は既工認の各荷重による応力に圧力比又は荷重比を乗じて評価する。

表 4-10 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ドライウエル上ふた球形部とナックル部の接合部
P 2	円筒部とナックル部の接合部
P 3	ナックル部と球形部の接合部
P 4	球形部の板厚変化部
P 5	球形部と円筒部の接合部
P 6	円筒部
P 7	円筒部と球形部の接合部
P 8	基部

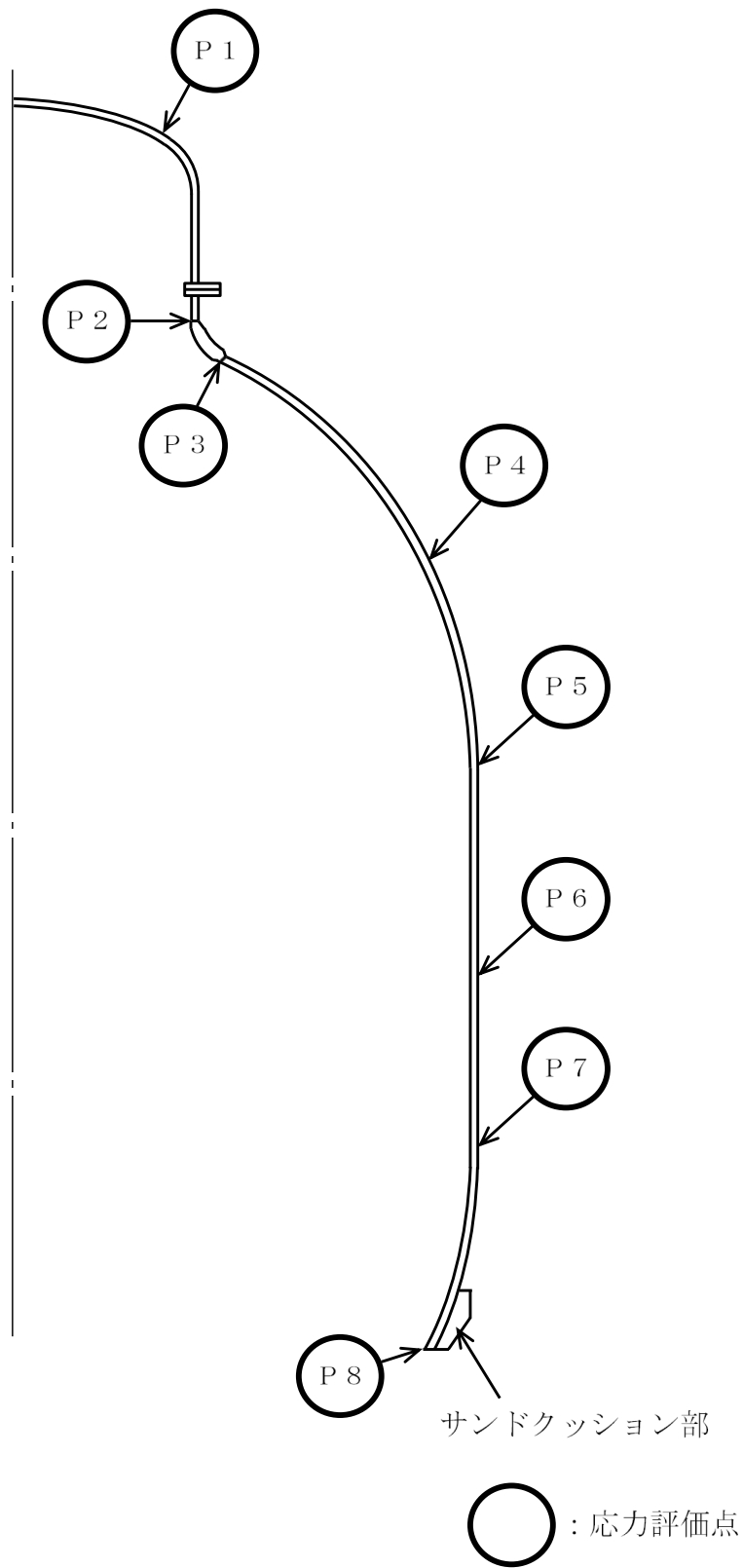


図 4-1 ドライウェルの応力評価点

(2) 評価式

応力評価点 P 8 に対する地震時における評価は、以下の評価式を用いて行う。

$$\frac{\alpha \cdot (P/A)}{f_c} + \frac{\alpha \cdot (M/Z)}{f_b} \leq 1.0$$

ここで、

A : 断面積 = $2.14 \times 10^6 \text{mm}^2$

Z : 断面係数 = $1.07 \times 10^{10} \text{mm}^3$

f c : 軸圧縮荷重に対する座屈応力で、次の計算式により計算した値

$$f_c = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[1 - 0.901 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \quad (\eta_2 \leq \eta \leq 800 \text{ より})$$

f b : 曲げモーメントに対する座屈応力で、次の計算式により計算した値

$$f_b = 0.6 \cdot \frac{E}{\eta} \cdot \left[1 - 0.731 \cdot \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{1}{16} \cdot \sqrt{\eta}\right) \right\} \right] \quad (\eta_3 \leq \eta \leq 800 \text{ より})$$

α : 安全率 = 1.5 ($\eta_2 \leq \eta$ より)

E : 縦弾性係数 = $1.93 \times 10^5 \text{MPa}$ 設計基準対象施設 (171°C)

$1.91 \times 10^5 \text{MPa}$ 重大事故等対処設備 (200°C)

t : 円筒の板厚 = mm

R : 円筒の平均半径 = 10002.5mm

η : R/t

η_2 : $8000 \cdot g/F$

η_3 : $9600 \cdot g/F$

F : 設計・建設規格 SSB-3121.1 にて定める F の値

385MPa 設計基準対象施設 (171°C)

381MPa 重大事故等対処設備 (200°C)

4.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.3 設計用地震力」に示す。

4.6 応力の評価

「4.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次+二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ドライウエルの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部と ナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	12	344	○	(10)	
			一次+二次応力	10	393	○	(10)	
	P 2	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	34	344	○	(11)	
			一次+二次応力	61	393	○	(11)	
	P 3	ナックル部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	38	495	○	(11)	
			一次+二次応力	95	501	○	(11)	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	32	495	○	(11)	
			一次+二次応力	55	501	○	(10), (11)	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	34	495	○	(11)	
			一次+二次応力	61	501	○	(10), (11)	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	34	330	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	34	495	○	(11)	
			一次+二次応力	63	501	○	(10), (11)	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	47	495	○	(11)	
			一次+二次応力	81	501	○	(11)	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	87	495	○	(10), (11)	
			一次+二次応力	183	501	○	(11)	
			座屈	0.95*	1.0	○	(13)	単位なし

注記* : 保守的に S_s での評価結果を記載し, 荷重の組合せ番号は (D + P + M + S_s) に対応する番号を示す。

表 5-2(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部と ナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	17	380	○	(12)	
			一次+二次応力	22	393	○	(12)	
	P 2	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	59	380	○	(13)	
			一次+二次応力	134	393	○	(13)	
	P 3	ナックル部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	55	495	○	(13)	
			一次+二次応力	197	501	○	(13)	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	65	495	○	(13)	
			一次+二次応力	120	501	○	(12), (13)	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	68	495	○	(13)	
			一次+二次応力	128	501	○	(12), (13)	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	72	330	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	72	495	○	(13)	
			一次+二次応力	140	501	○	(12), (13)	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	89	495	○	(13)	
			一次+二次応力	163	501	○	(13)	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	190	495	○	(12), (13)	
			一次+二次応力	402	501	○	(13)	
			座屈	0.95	1.0	○	(13)	単位なし

表 5-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部と ナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	88	380	○	(17)	
			一次+二次応力	10	393	○	(17)	
	P 2	円筒部とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	88	380	○	(17)	
			一次+二次応力	47	393	○	(17)	
	P 3	ナックル部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	154	495	○	(17)	
			一次+二次応力	51	501	○	(17)	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	69	495	○	(17)	
			一次+二次応力	55	501	○	(17)	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	96	495	○	(17)	
			一次+二次応力	61	501	○	(17)	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	116	330	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	116	495	○	(17)	
			一次+二次応力	63	501	○	(17)	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	98	495	○	(17)	
			一次+二次応力	77	501	○	(17)	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	104	495	○	(17)	
			一次+二次応力	181	501	○	(17)	
			座屈	0.95*	1.0	○	(13)	単位なし

注記* : 保守的にS_sでの評価結果を記載し、荷重の組合せ番号は(D + P + M + S_s)に対応する番号を示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウエルの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 5-3(1) 許容応力状態 V_AS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部 とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	177	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	10	393	○	V (L) -1	
	P 2	円筒部とナックル部の 接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	168	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	47	393	○	V (L) -1	
	P 3	ナックル部と球形部の 接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	301	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	51	501	○	V (L) -1	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	124	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	55	501	○	V (L) -1	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	180	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	61	501	○	V (L) -1	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	228	327	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	228	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	63	501	○	V (L) -1	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	184	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	77	501	○	V (L) -1	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	181	501	○	V (L) -1	
			座屈	0.92*	1.0	○	V (LL) -1	単位なし

注記* : 保守的に S_s での評価結果を記載し、荷重の組合せ番号は (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) に対応する番号を示す。

表 5-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ドライウエル	P 1	ドライウエル上ふた球形部 とナックル部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	108	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	22	393	○	V (L L) -1	
	P 2	円筒部とナックル部の 接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	115	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	108	393	○	V (L L) -1	
	P 3	ナックル部と球形部の 接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	189	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	110	501	○	V (L L) -1	
	P 4	球形部の板厚変化部	一次膜応力+一次曲げ応力	95	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	120	501	○	V (L L) -1	
	P 5	球形部と円筒部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	120	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	128	501	○	V (L L) -1	
	P 6	円筒部	一次一般膜応力	150	349	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	150	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	140	501	○	V (L L) -1	
	P 7	円筒部と球形部の接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	123	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	153	501	○	V (L L) -1	
	P 8	基部	一次膜応力+一次曲げ応力	202	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	399	501	○	V (L L) -1	
			座屈	0.92	1.0	○	V (L L) -1	単位なし

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-1 「ドライウエルの強度計算書」

VI-2-9-2-2 サプレッションチェンバの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	9
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4 設計荷重	14
4.3 地震応答解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	20
4.5 設計用地震力	29
4.6 計算方法	34
4.6.1 応力評価点	34
4.6.2 応力解析モデル及び諸元	36
4.6.3 応力計算方法	39
4.7 計算条件	39
4.8 応力の評価	39
5. 評価結果	40
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	40
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	47
6. 参照図書	52

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、サブプレッションチェンバが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

サブプレッションチェンバは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、地震荷重及び重大事故等時の荷重を除く荷重によるサブプレッションチェンバの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サブプレッションチェンバの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

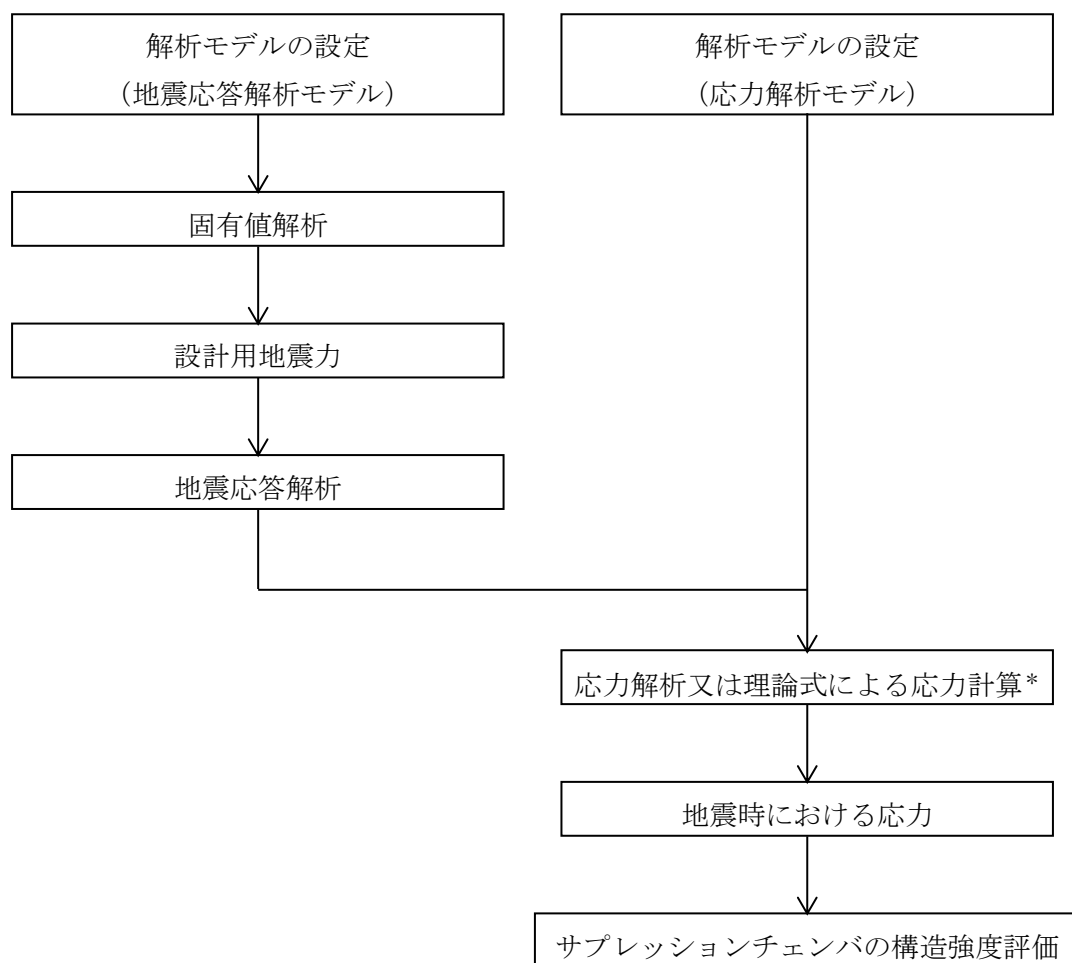
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サプレッションチェンバは、補強板を介してサプレッションチェンバサポートに接合され、支持される。</p> <p>サプレッションチェンバの水平方向地震荷重及び鉛直方向地震荷重はサプレッションチェンバサポートを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p> <p>サプレッションチェンバは、ベント管を介してドライウエルと接続されているが、ベント管ベローズにより振動が伝達しない構造であり、地震による振動は原子炉建物基礎スラブからサプレッションチェンバサポートを介してサプレッションチェンバに入力される。</p>	<p>サプレッションチェンバは、内部水を有した 16 セグメントの内径 <input type="text"/> mm, 厚さ <input type="text"/> mm の円筒胴で構成される中心径 <input type="text"/> mm の円環状の鋼製構造物である。円筒胴内部に補強リングを備える。</p>	<p>(単位 : mm)</p>

2

2.2 評価方針

サブプレッションチェンバの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することを実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

サブプレッションチェンバの耐震評価フローを図2-1に示す。



注記*：スロッシング荷重を考慮

図2-1 サブプレッションチェンバの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版
((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
l	長さ	mm
m_0	機器質量	kg
m_1	水質量	kg
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表3に定める値	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T	温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
t_i	厚さ ($i=1, 2, 3$)	mm
θ	角度	°
ν	ポアソン比	—
ρ	密度	kg/mm ³

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁
密度	kg/m ³	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
角度	°	—	—	小数点以下第 1 位
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

サプレッションチェンバの形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。

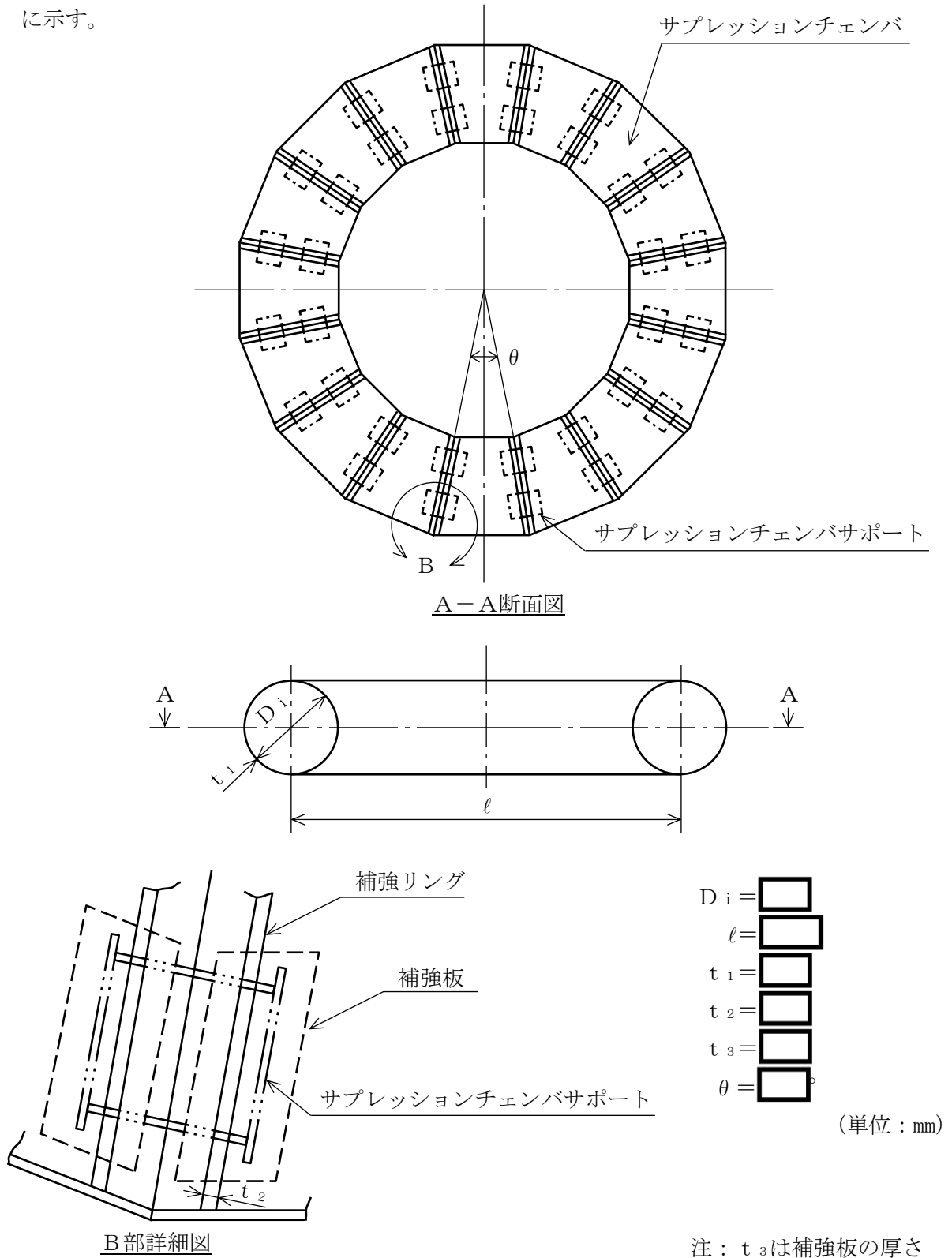


図3-1 サプレッションチェンバの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
サプレッションチェンバ	SPV50	SPV490 相当

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) サプレッションチェンバの水平方向地震荷重及び鉛直方向地震荷重はサプレッションチェンバサポートを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。なお、サプレッションチェンバサポートは、サプレッションチェンバの半径方向の熱膨張を吸収する目的でシアキー構造により可動する構造である。サプレッションチェンバは、ベント管を介してドライウェルと接続されているが、ベント管ベローズにより振動が伝達しない構造であり、地震による振動は原子炉建物基礎スラブからサプレッションチェンバサポートを介してサプレッションチェンバに入力される。

サプレッションチェンバに作用する地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた、固有周期に応じた応答加速度に基づき、スペクトルモーダル解析を用いて算出する。サプレッションチェンバの耐震評価として、上記の応答解析に基づき算出した地震力を用いて、既工認の手法に従い構造強度評価を行う。サプレッションチェンバサポートの耐震評価は、VI-2-9-2-3「サプレッションチェンバサポートの耐震性についての計算書」に示す。

- (2) 水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、「4.6.3 応力計算方法」に示す。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッションチェンバの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

サプレッションチェンバの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態		
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッションチェンバ	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S		
						(11)*2			
					(14)	(16)			
					D + P + M + S _s	(12)	(13)*2	(15)	Ⅳ _A S
					D + P _L + M _L + S _d **3	(17)		Ⅳ _A S	

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は、サプレッションチェンバに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*3：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッションチェンバ	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *4	(V (L) -1)	V_{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V_{AS}

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値 ^{*1}	$3 \cdot S$ ^{*2}	^{*3, *4} S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値 ^{*1}	S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S ^{*5}				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に準じる場合は、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	104				
サプレッションチェンバ	SPV50*	周囲環境温度	104	167	459	562	—

注記*：SPV490 相当

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	200* ²				
サプレッションチェンバ	SPV50* ¹	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—

注記*1：SPV490 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び水力学
的動荷重は，以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

設計基準対象施設の評価における圧力及び温度は，参照図書(1)からの変更は無く，
以下のとおりとする。

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	209kPa
外圧	14kPa
温度（最高使用温度）	104℃

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバサポート及びサプレッションチ
ェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重 N

設計基準対象施設の評価における水位は，H. W. L. (EL 5660mm)に対して水位が高く，
内部水質量が大きい保守的な条件として，重大事故等対処設備の評価と同じ水位を適
用し，以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

なお，設計用床応答スペクトルと固有周期の関係においても，重大事故等対処設備
の評価における水位は耐震評価上，H. W. L. より保守的な条件となる。

c. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体がクエンチャからサプレッションプール水中
に放出される際，サプレッションチェンバに対して，参照図書(1)に示す圧力振動荷重
が作用する。荷重の大きさは下記のとおりである。

最大正圧	 kPa
最大負圧	 kPa

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度，死荷重及び水力学の動荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	380kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	200°C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	70°C (SA後長々期)

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重 N

重大事故等対処設備の評価における水位は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

c. チャギング荷重

サプレッションチェンバに対して，低流量蒸気凝縮時には，参照図書(1)に示すチャギング荷重が作用する。荷重の大きさは下記のとおりである。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

4.3 地震応答解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての地震応答解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、サブプレッションチェンバ全体の地震時の荷重及び変位を算出するための地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）及び「4.6.2 応力解析モデル及び諸元」に示すサブプレッションチェンバ各部の応力を算出するための応力解析モデル（サブプレッションチェンバ部分シェルモデル）を用いて構造強度評価を実施する。動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。

サブプレッションチェンバの地震応答解析モデル（サブプレッションチェンバ全体はりモデル）の概要を以下に示す。

- a. サプレッションチェンバ全体の解析モデルは、3次元はりモデルによる有限要素解析手法を適用する。解析モデルは、構造及び荷重の伝達経路を考慮し、サブプレッションチェンバ胴、補強リング、サブプレッションチェンバサポート及びサブプレッションチェンバ内部水をモデル化する。補強リングについては、補強リングの質量分布を考慮するためにモデル化し、剛体として扱う。また、ストレーナ部の耐震評価用として、残留熱除去系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ及び低圧炉心スプレイ系ストレーナを解析モデルに含める。なお、ストレーナ部の解析モデルの概要については、VI-2-5-4-1-3「残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計算書」に示す。解析モデルを図4-1に、解析モデルの諸元について表4-6に示す。

b.

c.

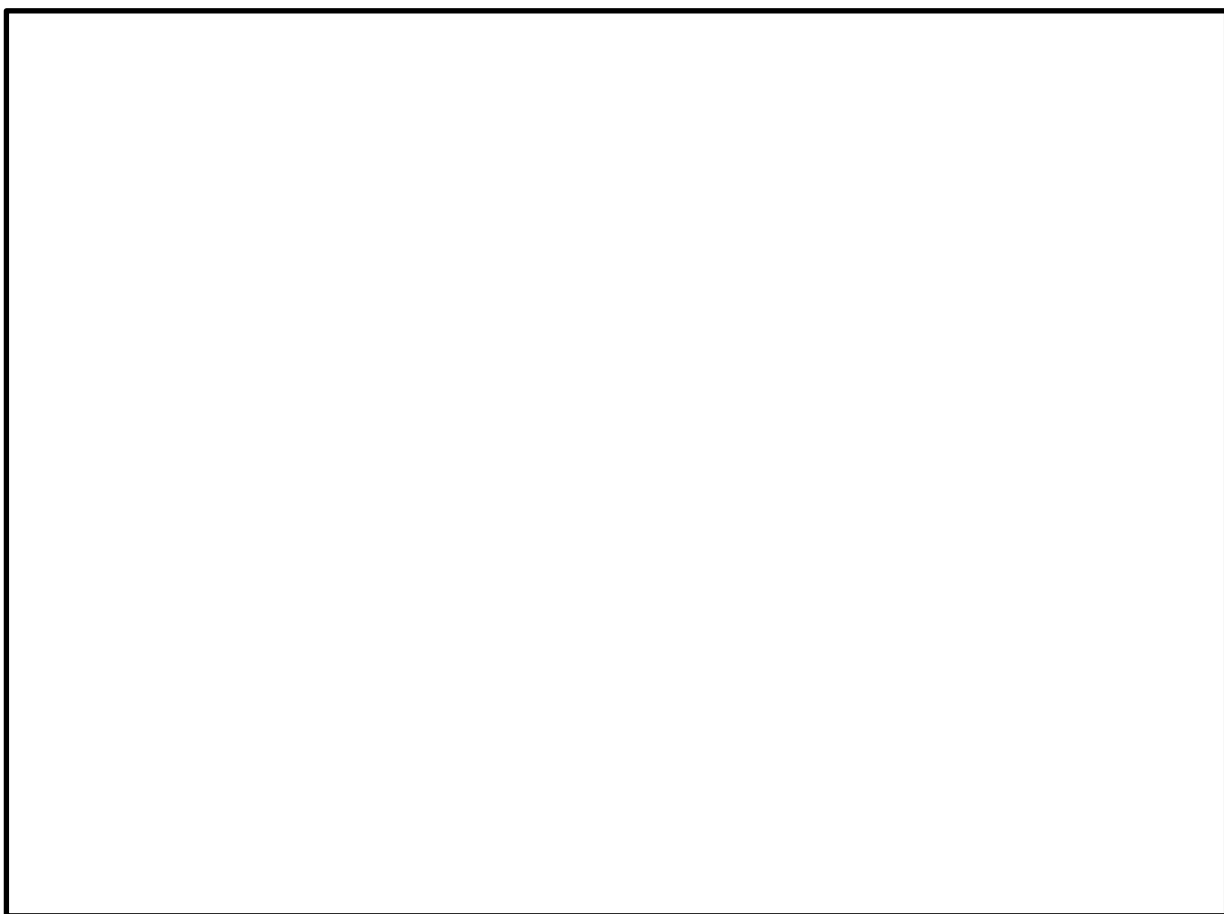
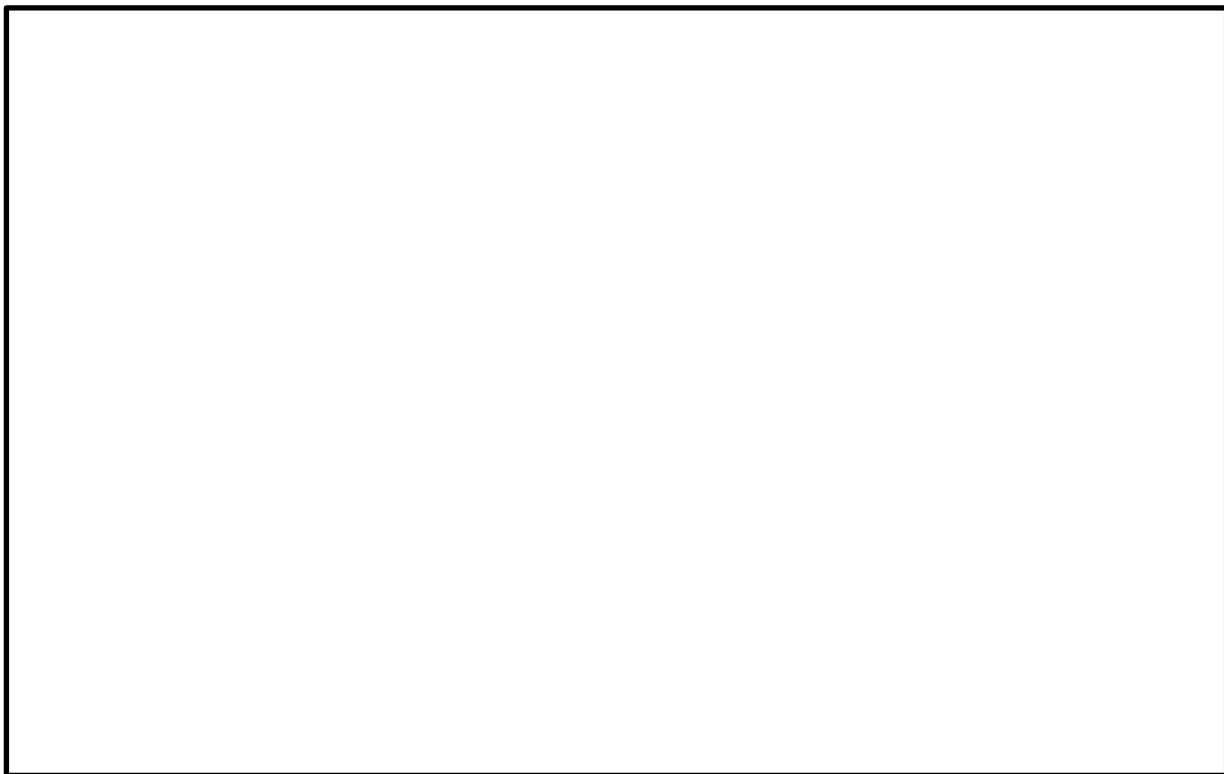




- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、荷重及び変位を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての地震応答解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としての地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。



(b) 鉛直方向

図 4-1 地震応答解析モデル (サプレッションチェンバ全体はりモデル)

表 4-6(1) 地震応答解析モデルの諸元 (水平方向)

項目		記号	単位	入力値
材質	サプレッションチェンバ 胴	—	—	SPV50 ^{*1}
	サプレッションチェンバ サポート, 補強リング	—	—	SGV49 ^{*2}
	ストレーナ	—	—	SUS304L, SUS304, STS42 ^{*3} , SGV480
質量	機器質量	m ₀	kg	<input type="text"/>
	水質量 (有効質量)	m ₁	kg	<input type="text"/>
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000 (SPV50 ^{*1} , SGV480, STS42 ^{*3}) 190000 (SUS304L, SUS304)
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

注記*1 : SPV490 相当

*2 : SGV480 相当

*3 : STS410 相当

表 4-6(2) 地震応答解析モデルの諸元 (鉛直方向)

項目		記号	単位	入力値
材質	サプレッションチェンバ 胴	—	—	SPV50 ^{*1}
	サプレッションチェンバ サポート, 補強リング	—	—	SGV49 ^{*2}
	ストレーナ	—	—	SUS304L, SUS304, STS42 ^{*3} , SGV480
質量	機器質量	m ₀	kg	<input type="text"/>
	水質量	m ₁	kg	<input type="text"/>
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000 (SPV50 ^{*1} , SGV480, STS42 ^{*3}) 190000 (SUS304L, SUS304)
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

注記*1 : SPV490 相当

*2 : SGV480 相当

*3 : STS410 相当

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期を表 4-7 に、振動モード図を代表して図 4-2 に示す。固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。なお、4.2.4 のとおり、設計基準対象施設の評価における水位は、耐震評価上 H. W. L. (EL 5660mm) より保守的な条件として重大事故等対処設備の評価と同じ水位 (EL 7049mm) を適用する。水位 H. W. L. における固有周期は (3) に示す。

表 4-7(1) 固有周期 (設計基準対象施設) (地震応答解析モデル：水平方向)

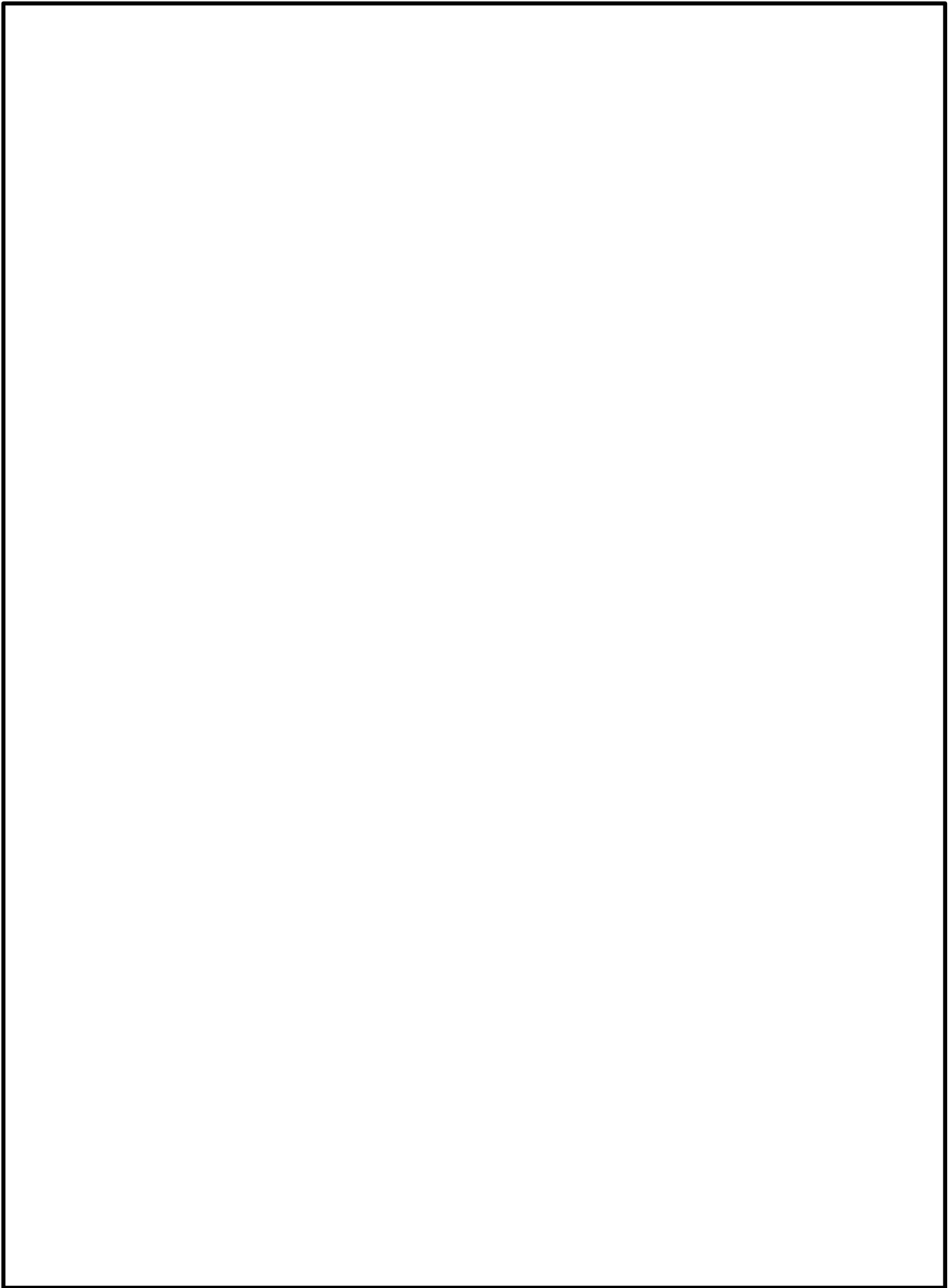
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				
13次				
14次				
15次				
16次				
17次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-7(2) 固有周期 (設計基準対象施設) (地震応答解析モデル:鉛直方向)

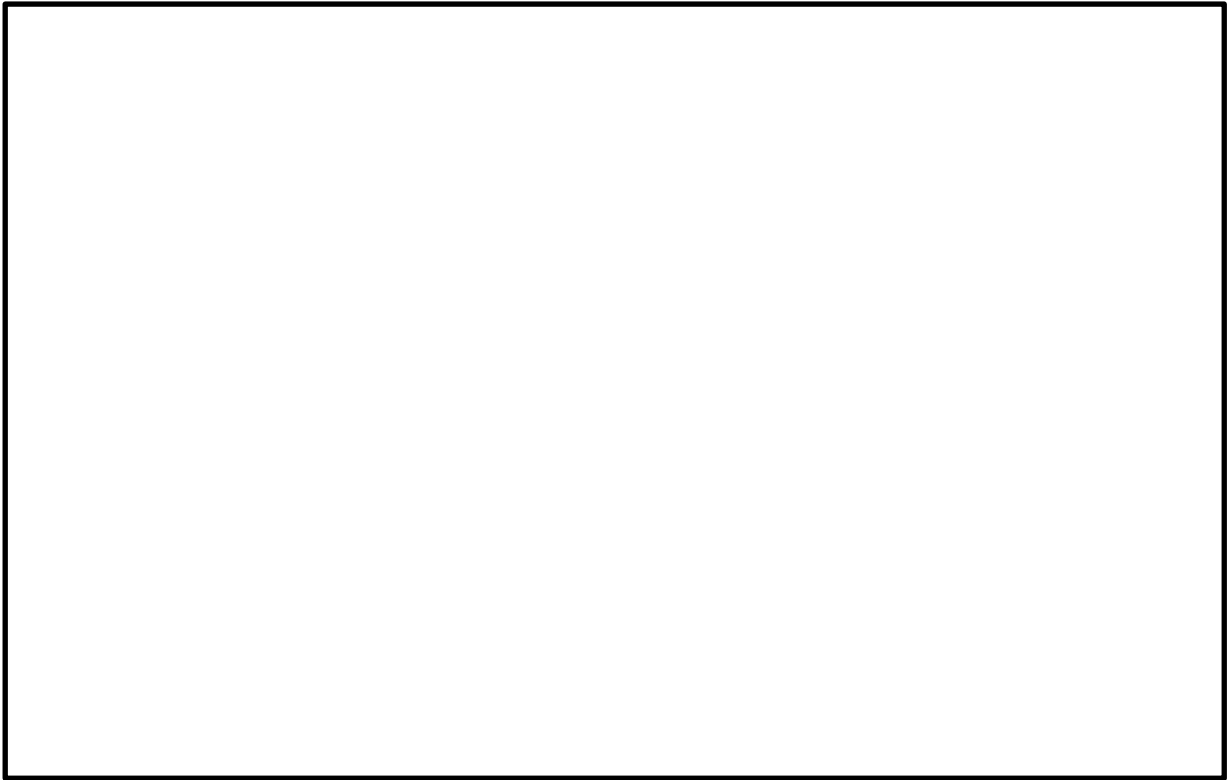
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				
13次				
14次				
15次				
16次				
17次				
18次				
19次				
20次				

注記*: モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



(a) 地震応答解析モデル：水平方向

図 4-2 振動モード図（設計基準対象施設）（1/2）



(b) 地震応答解析モデル：鉛直方向

図 4-2 振動モード図（設計基準対象施設）(2/2)

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 4-8 に、振動モード図を代表して図 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-8(1) 固有周期 (重大事故等対処設備) (地震応答解析モデル：水平方向)

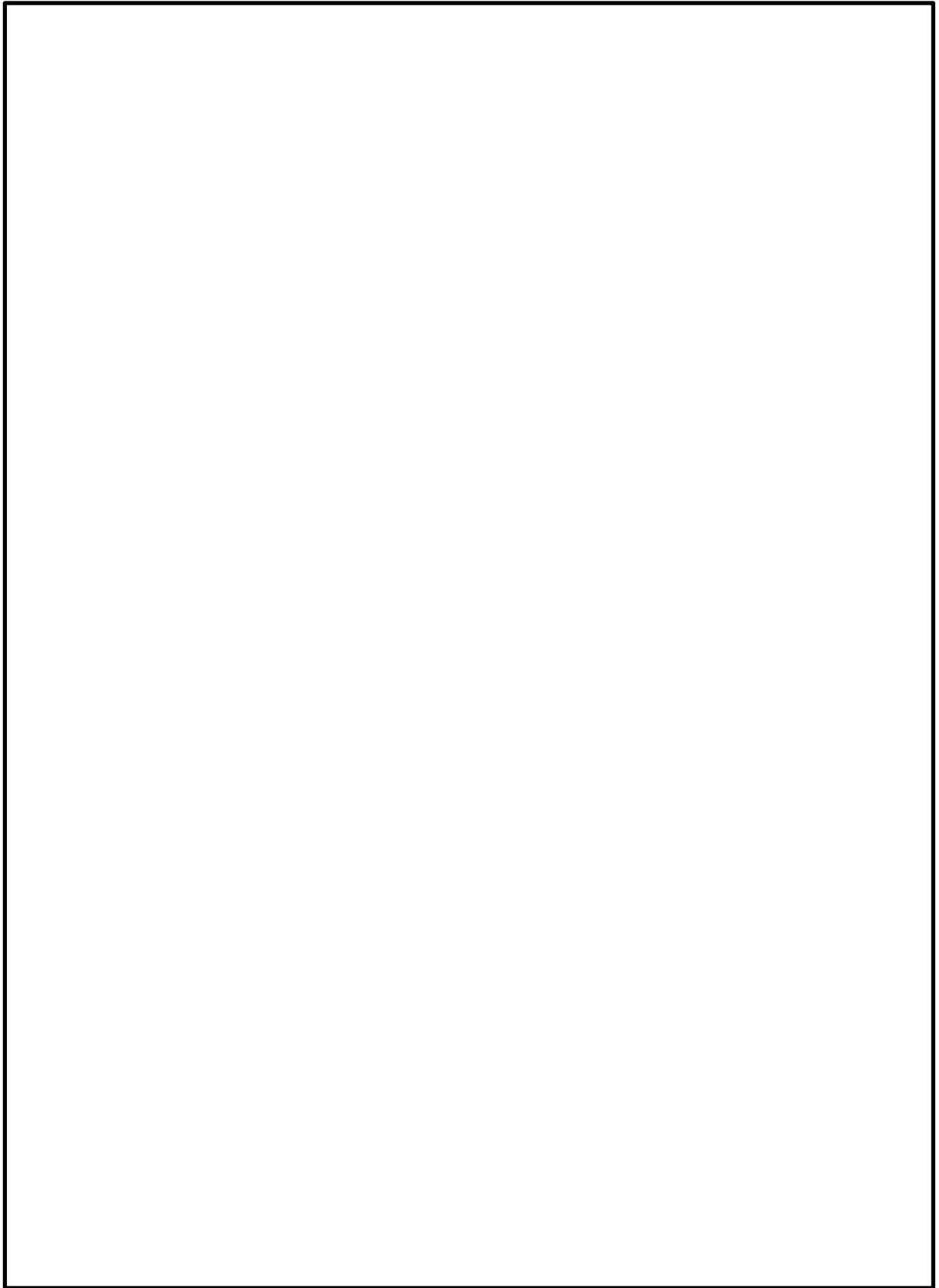
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				
13次				
14次				
15次				
16次				
17次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-8(2) 固有周期 (重大事故等対処設備) (地震応答解析モデル:鉛直方向)

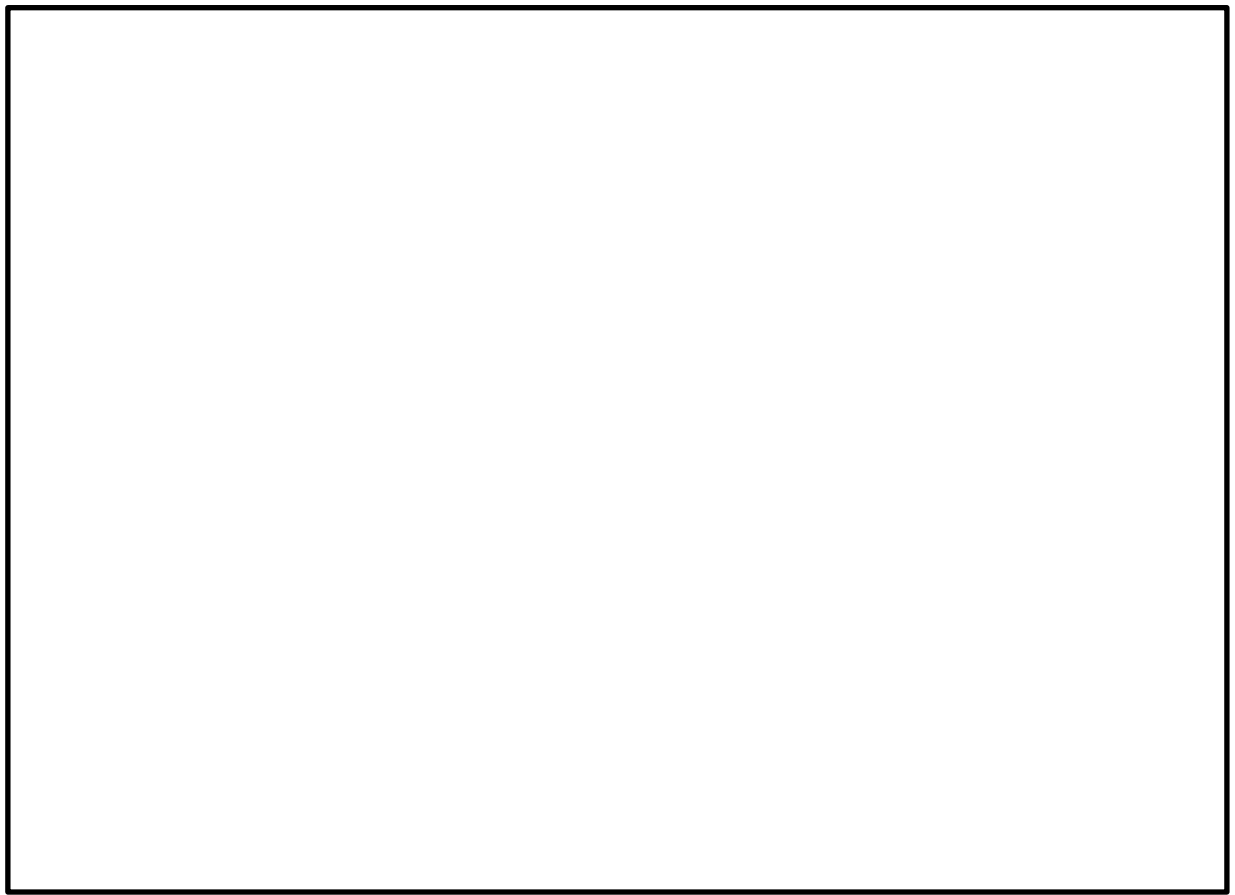
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				
13次				
14次				
15次				
16次				
17次				
18次				
19次				
20次				

注記*: モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



(a) 地震応答解析モデル：水平方向

図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）（1/2）



(b) 地震応答解析モデル：鉛直方向

図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）（2/2）

(3) 水位 H. W. L. における固有周期

水位 H. W. L. (EL 5660mm) における固有周期を表 4-9 に示す。

表 4-9(1) 固有周期 (水位 H. W. L.) (地震応答解析モデル：水平方向)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-9(2) 固有周期 (水位 H. W. L.) (地震応答解析モデル：鉛直方向)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				
13次				
14次				
15次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

4.5 設計用地震力

サブプレッションチェンバの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-10(1) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (地震応答解析モデル：水平方向)

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL 1.300* ¹					
固有周期 (s)		水平：0.091* ² 鉛直：－					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直 震度	応答水平震度* ⁵		応答鉛直 震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次				－			－
2次				－			－
3次				－			－
4次				－			－
5次				－			－
6次				－			－
7次				－			－
8次				－			－
9次				－			－
10次				－			－
11次				－			－
12次				－			－
13次				－			－
14次				－			－
15次				－			－
16次				－			－
17次				－			－
動的震度* ⁶				－			－
静的震度* ^{7, *8}				－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) により得られる震度

*6：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

*7： $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ より定めた震度

*8：水平方向の静的地震力は、サプレッションチェンバ内部水の全質量を考慮した鉛直方向用地震応答解析モデルに静的震度を負荷することで算出する。

表 4-10(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (地震応答解析モデル:鉛直方向)

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL 1.300* ¹					
固有周期(s)		水平:— 鉛直:0.119* ²					
減衰定数(%)		水平:— 鉛直:1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁴	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁵
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次		—	—		—	—	
2次		—	—		—	—	
3次		—	—		—	—	
4次		—	—		—	—	
5次		—	—		—	—	
6次		—	—		—	—	
7次		—	—		—	—	
8次		—	—		—	—	
9次		—	—		—	—	
10次		—	—		—	—	
11次		—	—		—	—	
12次		—	—		—	—	
13次		—	—		—	—	
14次		—	—		—	—	
15次		—	—		—	—	
16次		—	—		—	—	
17次		—	—		—	—	
18次		—	—		—	—	
19次		—	—		—	—	
20次		—	—		—	—	
動的震度* ⁶		—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	<input type="checkbox"/>
静的震度* ⁷		—	—	<input type="checkbox"/>	—	—	—

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 1次固有周期について記載

*3: 固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) により得られる震度

*5: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) により得られる震度

*6: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) 及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

*7: $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ より定めた震度

表 4-11(1) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（地震応答解析モデル：水平方向）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL 1.300* ¹					
固有周期 (s)		水平：0.091* ² 鉛直：－					
減衰定数 (%)		水平：1.0 鉛直：－					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度* ⁴		応答鉛直 震度	応答水平震度* ⁵		応答鉛直 震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次				－			－
2次				－			－
3次				－			－
4次				－			－
5次				－			－
6次				－			－
7次				－			－
8次				－			－
9次				－			－
10次				－			－
11次				－			－
12次				－			－
13次				－			－
14次				－			－
15次				－			－
16次				－			－
17次				－			－
動的震度* ⁶				－			－
静的震度		－	－	－	－	－	－

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び設計用震度 I（基準地震動 S s）

表 4-11(2) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（地震応答解析モデル：鉛直方向）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉建物 EL 1.300* ¹					
固有周期(s)		水平：－ 鉛直：0.119* ²					
減衰定数(%)		水平：－ 鉛直：1.0					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード* ³	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁴	応答水平震度		応答鉛直 震度* ⁵
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次		—	—		—	—	
2次		—	—		—	—	
3次		—	—		—	—	
4次		—	—		—	—	
5次		—	—		—	—	
6次		—	—		—	—	
7次		—	—		—	—	
8次		—	—		—	—	
9次		—	—		—	—	
10次		—	—		—	—	
11次		—	—		—	—	
12次		—	—		—	—	
13次		—	—		—	—	
14次		—	—		—	—	
15次		—	—		—	—	
16次		—	—		—	—	
17次		—	—		—	—	
18次		—	—		—	—	
19次		—	—		—	—	
20次		—	—		—	—	
動的震度* ⁶		—	—		—	—	
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお、0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）により得られる震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）により得られる震度

*6：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び設計用震度 I（基準地震動 S s）

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

サプレッションチェンバの応力評価点は、サプレッションチェンバを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-12 及び図 4-4 に示す。

表 4-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	サプレッションチェンバ胴中央部上部
P 2	サプレッションチェンバ胴中央部下部
P 3	サプレッションチェンバ胴中央部内側
P 4	サプレッションチェンバ胴中央部外側
P 5	サプレッションチェンバ胴エビ継部上部
P 6	サプレッションチェンバ胴エビ継部下部
P 7	サプレッションチェンバ胴エビ継部内側
P 8	サプレッションチェンバ胴エビ継部外側
P 9	サプレッションチェンバ胴と内側サポート補強板との接合部
P 1 0	サプレッションチェンバ胴と外側サポート補強板との接合部

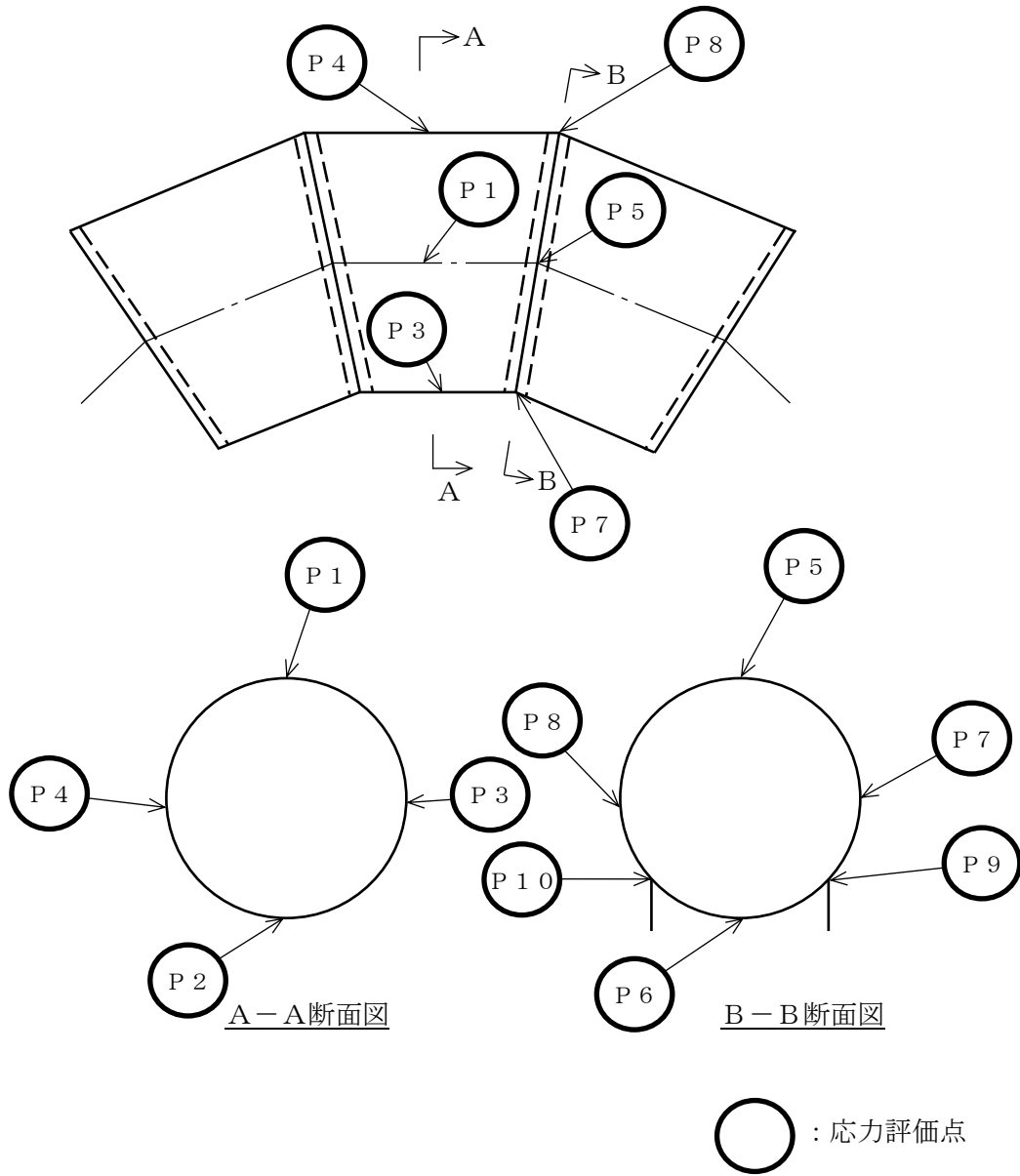


図 4-4 サプレッションチェンバの応力評価点

4.6.2 応力解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての応力解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価における，サプレッションチェンバの応力解析モデル（サプレッションチェンバ部分シェルモデル）の概要を以下に示す。

- a. サプレッションチェンバの部分解析モデルは，3次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。解析モデルは，構造の対称性を考慮し，サプレッションチェンバを構成する16セグメントの円筒胴のうち隣り合う2セグメントの1/2の範囲についてモデル化する。また，サプレッションチェンバサポートは，内側及び外側各1個についてサプレッションチェンバサポート下部のフランジまでをモデル化する。解析モデルを図4-5に，解析モデルの諸元について表4-13に示す。



- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し，応力を求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての応力解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としての応力解析モデル（サプレッションチェンバ部分シェルモデル）及び諸元は，設計基準対象施設と同じとする。

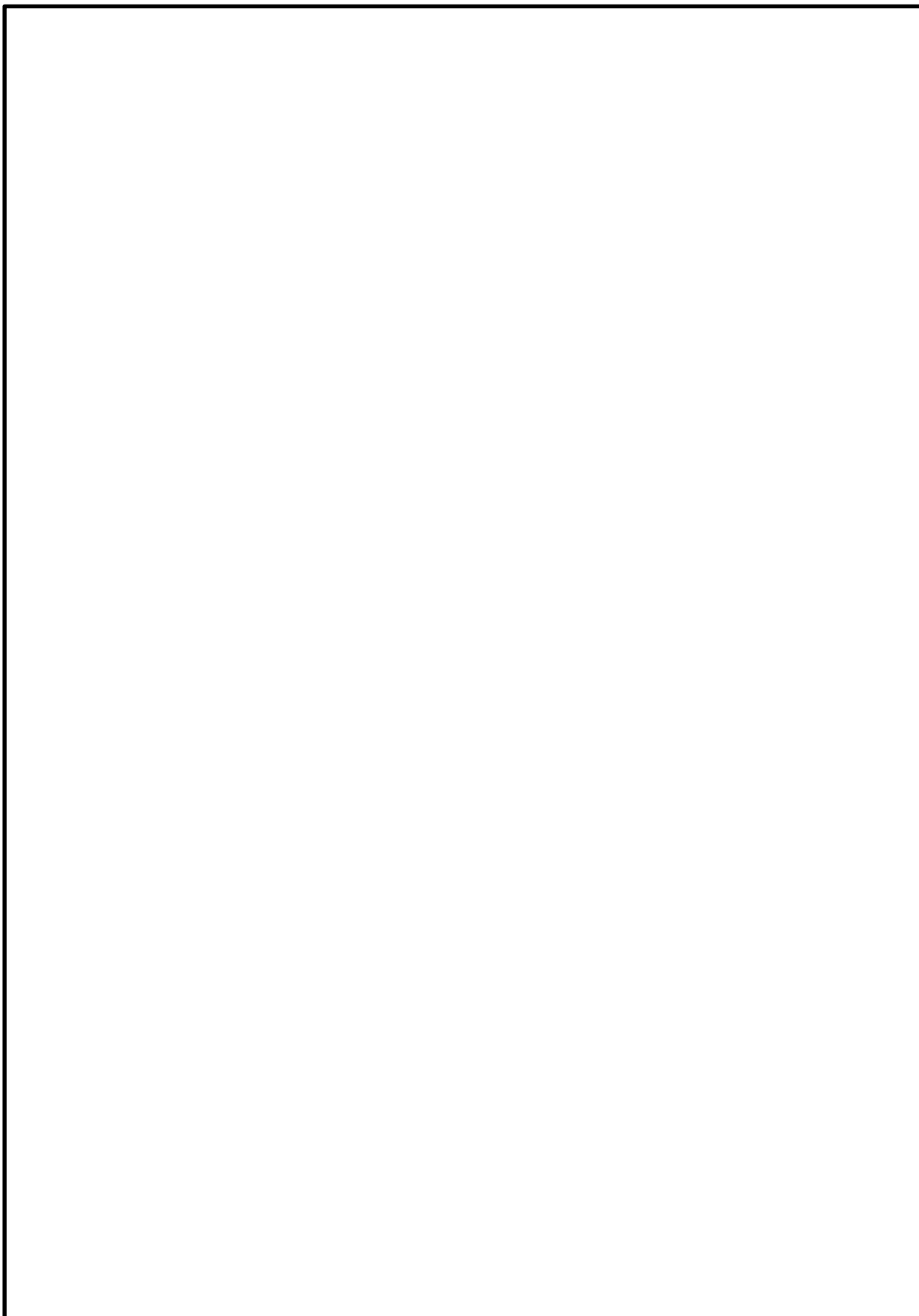


図 4-5 応力解析モデル (サプレッションチェンバ部分シェルモデル)

表 4-13 応力解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SPV50 (SPV490相当) SGV49 (SGV480相当)
機器質量	m_0	kg	—*
温度条件	T	°C	104
縦弾性係数	E	MPa	198000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

注記*：圧力荷重又は強制変位荷重による解析のため，質量は定義不要

4.6.3 応力計算方法

サプレッションチェンバの応力計算方法について、以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

a. 応力評価点P 1～P 4に生じる応力

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

水平 2 方向の設計用地震力による応力は、S R S S法により組み合わせる。また、水平方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

b. 応力評価点P 5～P 10に生じる応力

(a) サプレッションチェンバに作用する圧力荷重による応力は、「4.6.2 応力解析モデル及び諸元」に示す応力解析モデル（サプレッションチェンバ部分シェルモデル）により算出する。

(b) サプレッションチェンバに作用する死荷重及び地震荷重による応力は、「4.3 地震応答解析モデル及び諸元」に示す地震応答解析モデル（サプレッションチェンバ全体はりモデル）により変位（並進 3 方向及び回転 3 方向）を算出し、その変位を強制変位として「4.6.2 応力解析モデル及び諸元」に示す応力解析モデル（サプレッションチェンバ部分シェルモデル）に与えることで応力を算出する。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、S R S S法により組み合わせる。

(c) 水力学的動荷重による応力は、参照図書(1)に示す応力を用いる。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

4.7 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-3 で定めた許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。）に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

サブレーションチェンバの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-1～表 5-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ	P 1	サプレッションチェンバ胴 中央部上部	一次一般膜応力	36	337	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	36	505	○	(14)	
			一次+二次応力	62	501	○	(14)	
	P 2	サプレッションチェンバ胴 中央部下側	一次一般膜応力	54	337	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	54	505	○	(14)	
			一次+二次応力	62	501	○	(14)	
	P 3	サプレッションチェンバ胴 中央部内側	一次一般膜応力	43	337	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	43	505	○	(14)	
			一次+二次応力	58	501	○	(14)	
	P 4	サプレッションチェンバ胴 中央部外側	一次一般膜応力	41	337	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	41	505	○	(14)	
			一次+二次応力	58	501	○	(14)	

表 5-1 許容応力状態ⅢA S に対する評価結果 (D + P + M + S d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション ンチェンバ	P 5	サプレッションチェンバ胴 エビ継部上部	一次膜応力+一次曲げ応力	58	505	○	(14)	
			一次+二次応力	166	501	○	(14)	
	P 6	サプレッションチェンバ胴 エビ継部下部	一次膜応力+一次曲げ応力	69	505	○	(14)	
			一次+二次応力	106	501	○	(14)	
	P 7	サプレッションチェンバ胴 エビ継部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	76	505	○	(14)	
			一次+二次応力	142	501	○	(14)	
	P 8	サプレッションチェンバ胴 エビ継部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	89	505	○	(14)	
			一次+二次応力	222	501	○	(14)	
	P 9	サプレッションチェンバ胴と 内側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	105	505	○	(14)	
			一次+二次応力	156	501	○	(14)	
	P 1 0	サプレッションチェンバ胴と 外側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	93	505	○	(14)	
			一次+二次応力	176	501	○	(14)	

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ	P 1	サプレッションチェンバ胴 中央部上部	一次一般膜応力	68	337	○	(15)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	68	505	○	(15)	
			一次+二次応力	128	501	○	(15)	
	P 2	サプレッションチェンバ胴 中央部下部	一次一般膜応力	86	337	○	(15)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	86	505	○	(15)	
			一次+二次応力	128	501	○	(15)	
	P 3	サプレッションチェンバ胴 中央部内側	一次一般膜応力	75	337	○	(15)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	75	505	○	(15)	
			一次+二次応力	122	501	○	(15)	
	P 4	サプレッションチェンバ胴 中央部外側	一次一般膜応力	73	337	○	(15)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	73	505	○	(15)	
			一次+二次応力	122	501	○	(15)	

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション ンチェンバ	P 5	サプレッションチェンバ胴 エビ継部上部	一次膜応力+一次曲げ応力	118	505	○	(15)	
			一次+二次応力	360	501	○	(15)	
	P 6	サプレッションチェンバ胴 エビ継部下部	一次膜応力+一次曲げ応力	105	505	○	(15)	
			一次+二次応力	228	501	○	(15)	
	P 7	サプレッションチェンバ胴 エビ継部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	122	505	○	(15)	
			一次+二次応力	302	501	○	(15)	
	P 8	サプレッションチェンバ胴 エビ継部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	161	505	○	(15)	
			一次+二次応力	478	501	○	(15)	
	P 9	サプレッションチェンバ胴と 内側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	173	505	○	(15)	
			一次+二次応力	334	501	○	(15)	
	P 1 0	サプレッションチェンバ胴と 外側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	151	505	○	(15)	
			一次+二次応力	342	501	○	(15)	

表 5-3 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P_L+M_L+S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ	P 1	サプレッションチェンバ胴 中央部上部	一次一般膜応力	74	337	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	74	505	○	(17)	
			一次+二次応力	62	501	○	(17)	
	P 2	サプレッションチェンバ胴 中央部下部	一次一般膜応力	73	337	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	73	505	○	(17)	
			一次+二次応力	62	501	○	(17)	
	P 3	サプレッションチェンバ胴 中央部内側	一次一般膜応力	71	337	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	71	505	○	(17)	
			一次+二次応力	58	501	○	(17)	
	P 4	サプレッションチェンバ胴 中央部外側	一次一般膜応力	66	337	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	66	505	○	(17)	
			一次+二次応力	58	501	○	(17)	

表 5-3 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P_L+M_L+S d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション ンチェンバ	P 5	サプレッションチェンバ胴 エビ継部上部	一次膜応力+一次曲げ応力	163	505	○	(17)	
			一次+二次応力	166	501	○	(17)	
	P 6	サプレッションチェンバ胴 エビ継部下部	一次膜応力+一次曲げ応力	100	505	○	(17)	
			一次+二次応力	106	501	○	(17)	
	P 7	サプレッションチェンバ胴 エビ継部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	164	505	○	(17)	
			一次+二次応力	142	501	○	(17)	
	P 8	サプレッションチェンバ胴 エビ継部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	147	505	○	(17)	
			一次+二次応力	222	501	○	(17)	
	P 9	サプレッションチェンバ胴と 内側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	124	505	○	(17)	
			一次+二次応力	156	501	○	(17)	
	P 1 0	サプレッションチェンバ胴と 外側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	109	505	○	(17)	
			一次+二次応力	176	501	○	(17)	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サブプレッションチェンバの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 5-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ	P 1	サプレッションチェンバ胴 中央部上部	一次一般膜応力	196	327	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	196	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	62	501	○	V (L) -1	
	P 2	サプレッションチェンバ胴 中央部下部	一次一般膜応力	198	327	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	198	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	62	501	○	V (L) -1	
	P 3	サプレッションチェンバ胴 中央部内側	一次一般膜応力	197	327	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	197	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	58	501	○	V (L) -1	
	P 4	サプレッションチェンバ胴 中央部外側	一次一般膜応力	196	327	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	196	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	58	501	○	V (L) -1	

表 5-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション ンチェンバ	P 5	サプレッションチェンバ胴 エビ継部上部	一次膜応力+一次曲げ応力	422	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	166	501	○	V (L) -1	
	P 6	サプレッションチェンバ胴 エビ継部下部	一次膜応力+一次曲げ応力	253	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	106	501	○	V (L) -1	
	P 7	サプレッションチェンバ胴 エビ継部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	424	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	142	501	○	V (L) -1	
	P 8	サプレッションチェンバ胴 エビ継部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	292	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	222	501	○	V (L) -1	
	P 9	サプレッションチェンバ胴と 内側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	327	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	156	501	○	V (L) -1	
	P 1 0	サプレッションチェンバ胴と 外側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	225	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	176	501	○	V (L) -1	

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ	P 1	サプレッションチェンバ胴 中央部上部	一次一般膜応力	144	349	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	144	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	128	501	○	V (L L) -1	
	P 2	サプレッションチェンバ胴 中央部下部	一次一般膜応力	136	349	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	136	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	128	501	○	V (L L) -1	
	P 3	サプレッションチェンバ胴 中央部内側	一次一般膜応力	137	349	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	137	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	122	501	○	V (L L) -1	
	P 4	サプレッションチェンバ胴 中央部外側	一次一般膜応力	125	349	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	125	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	122	501	○	V (L L) -1	

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ	P 5	サプレッションチェンバ胴 エビ継部上部	一次膜応力+一次曲げ応力	312	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	360	501	○	V (L L) -1	
	P 6	サプレッションチェンバ胴 エビ継部下部	一次膜応力+一次曲げ応力	194	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	228	501	○	V (L L) -1	
	P 7	サプレッションチェンバ胴 エビ継部内側	一次膜応力+一次曲げ応力	316	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	302	501	○	V (L L) -1	
	P 8	サプレッションチェンバ胴 エビ継部外側	一次膜応力+一次曲げ応力	272	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	478	501	○	V (L L) -1	
	P 9	サプレッションチェンバ胴と 内側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	250	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	334	501	○	V (L L) -1	
	P 1 0	サプレッションチェンバ胴と 外側サポート補強板との接合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	204	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	342	501	○	V (L L) -1	

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-13 「サプレッションチェンバの強度計算書」

VI-2-9-2-3 サプレッションチェンバサポートの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 構造強度評価	9
4.1 構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4 設計荷重	16
4.3 固有周期	19
4.4 設計用地震力	19
4.5 計算方法	21
4.5.1 応力評価方法	21
4.5.2 サポート（応力評価点P 1）	23
4.5.3 シアキー（応力評価点P 2）	24
4.5.4 ボルト（応力評価点P 3）	24
4.5.5 ベースとベースプレートの接合部（応力評価点P 4）	25
4.5.6 基礎ボルト（応力評価点P 5）	25
4.5.7 ベースプレート（応力評価点P 6）	26
4.5.8 シアプレート（応力評価点P 7）	28
4.5.9 コンクリート（応力評価点P 8）	28
4.6 計算条件	29
4.7 応力の評価	29
5. 評価結果	30
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	30
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	35
6. 参照図書	40

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、サブプレッションチェンバサポートが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

サブプレッションチェンバサポートは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、地震荷重及び重大事故等時の荷重を除く荷重によるサブプレッションチェンバサポートの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サブプレッションチェンバサポートの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サプレッションチェンバサポートは、原子炉建物基礎スラブに基礎ボルトで固定される。サプレッションチェンバサポートは、サプレッションチェンバの半径方向の熱膨張を吸収する目的でシアキー構造により可動する構造である。サプレッションチェンバの周方向及び鉛直方向の地震荷重は、サプレッションチェンバサポートを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>サプレッションチェンバサポートは、たて1700mm、横1044mm、高さ mm、板厚28mmのサポート、及びベース、ベースプレート、シアプレート、シアキー、ボルト、基礎ボルトからなる鋼製構造物である。</p>	

2.2 評価方針

サブプレッションチェンバサポートの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

サブプレッションチェンバサポートの耐震評価フローを図2-1に示す。

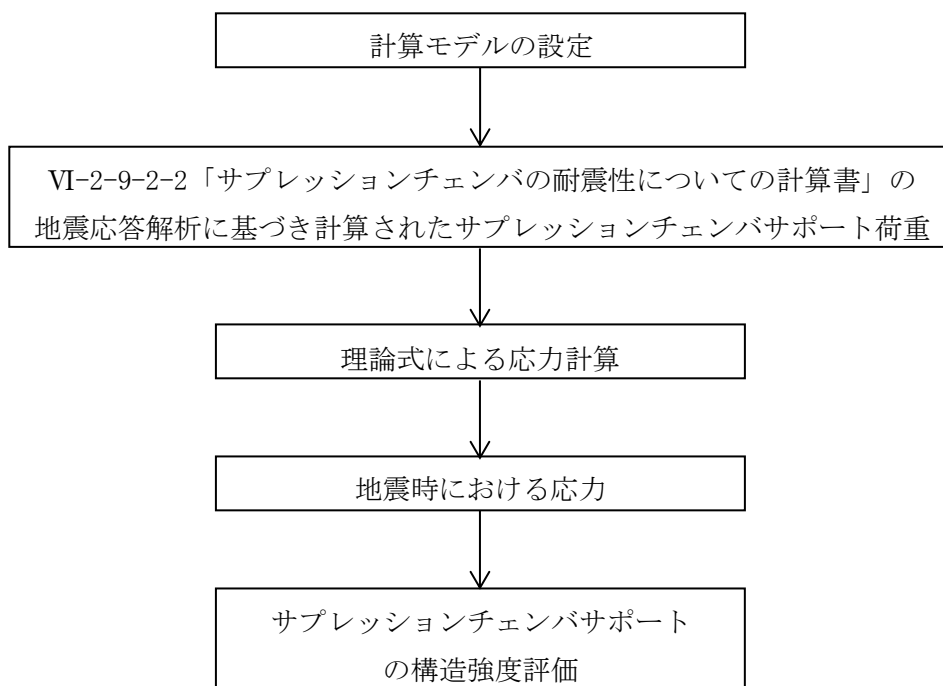


図2-1 サブプレッションチェンバサポートの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	評価部位の断面積	mm ²
A _b	ボルト1本の断面積	mm ²
b _i	長さ (i = 1, 2, 3, …)	mm
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
e	ベースプレート端から基礎ボルト中心までの長さ	mm
L ₁	長さ	mm
F	荷重	N
F _c	コンクリートの設計基準強度	kg/cm ² , N/mm ²
h	シアキー幅	mm
l _i	長さ (i = 1, 2, 3, …)	mm
n	基礎ボルトとコンクリートの縦弾性係数比	—
n ₁	引張荷重を受ける基礎ボルトの本数	—
n ₂	シアプレートのリブ間の数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料 の40°Cにおける値	MPa
T _{SAL}	温度 (S A後長期温度)	°C
T _{SALL}	温度 (S A後長々期温度)	°C
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3, …)	mm
V	シアプレートに作用する単位長さ当たりのせん断力	N/mm
W _M	軸力	N
W ₁	引張荷重	N
W ₂	圧縮荷重	N
X _n	ベースプレート端から中立軸までの位置	mm
Z	断面係数	mm ³
σ	組合せ応力	MPa
σ _b	曲げ応力	MPa
σ _c	圧縮応力	MPa
σ _p	支圧応力	MPa
σ _s	ボルトの引張応力	MPa
σ _t	引張応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

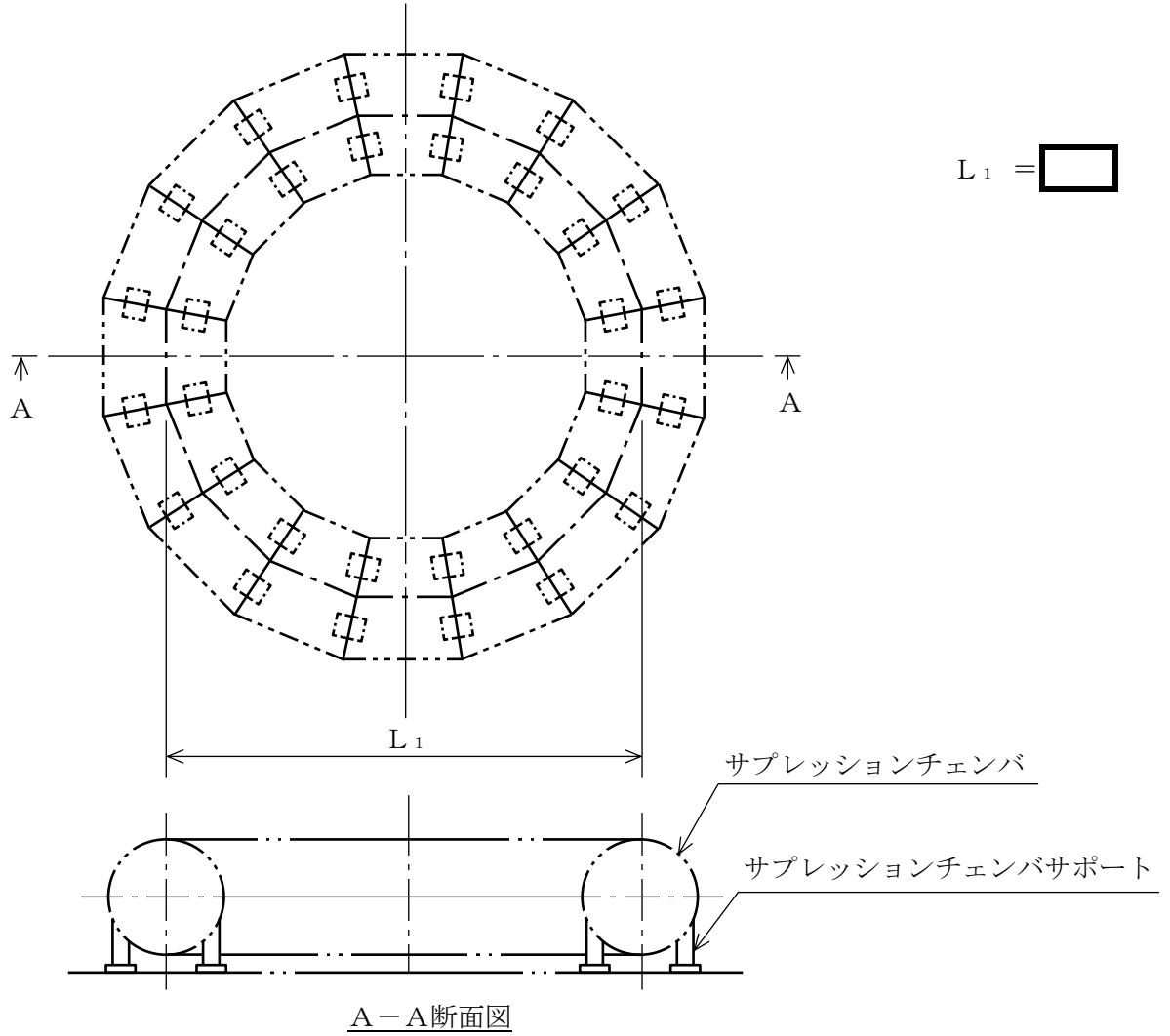
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

サプレッションチェンバサポートの形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



(単位：mm)

図3-1 サプレッションチェンバサポートの形状及び主要寸法(1/2)

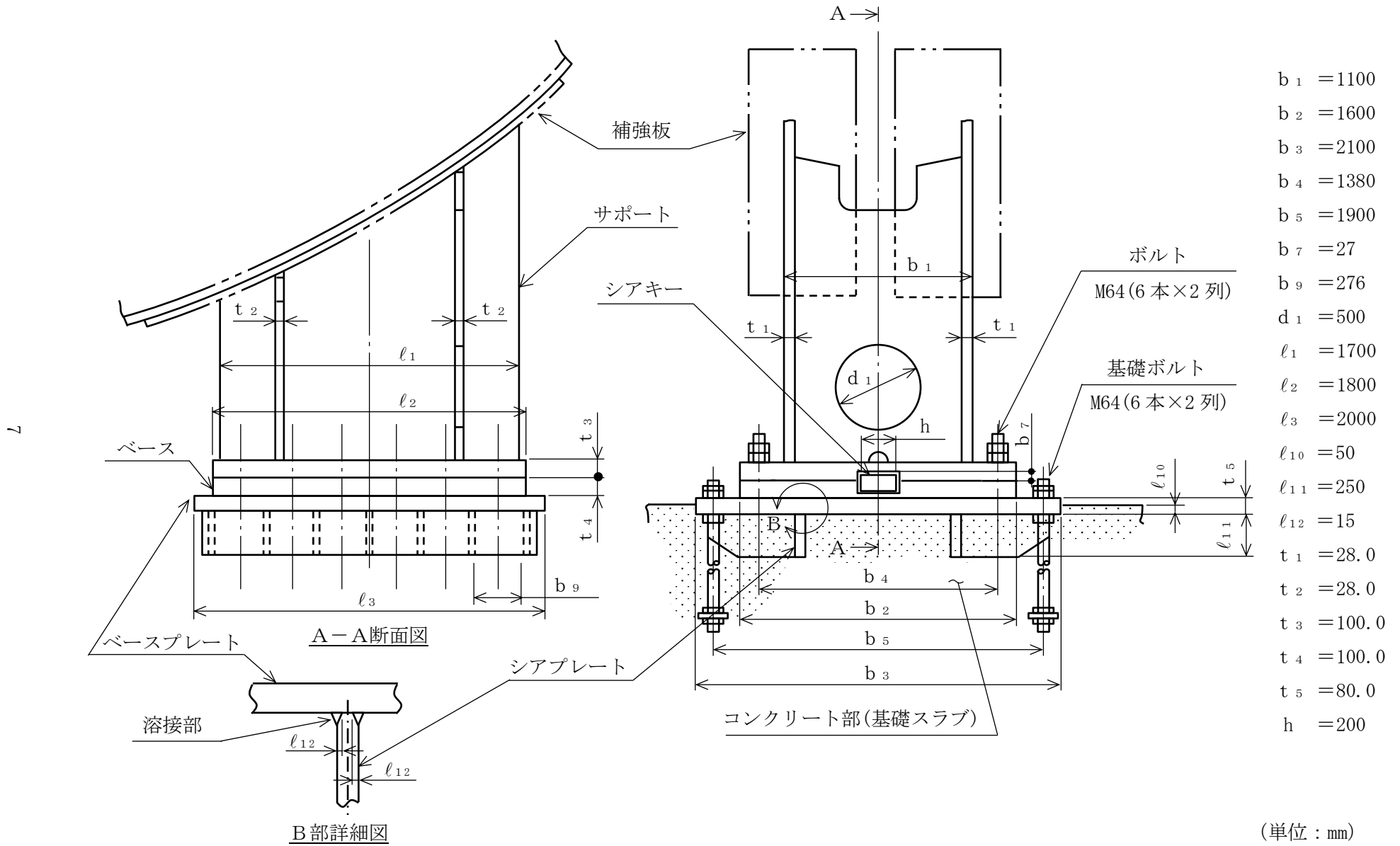


図 3-1 サプレッションチェンバサポートの形状及び主要寸法 (2/2)

表 3-1 使用材料表

評価部材	使用材料	備考
サポート	SGV49	SGV480 相当
ベース	SGV49	SGV480 相当
ベースプレート	SGV49	SGV480 相当
シアプレート	SGV49	SGV480 相当
シアキー	SGV49	SGV480 相当
基礎ボルト	SNCM439	
ボルト	SNCM439	
コンクリート部	コンクリート ($F_c = 240\text{kg/cm}^2$)	$F_c = 23.5\text{N/mm}^2$

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) サプレッションチェンバサポートは、サプレッションチェンバの半径方向の熱膨張を吸収する目的でシアキー構造により可動する構造である。サプレッションチェンバの水平方向地震荷重は、サプレッションチェンバの周方向に対しサポート、シアキー、ベース、ベースプレート及びシアプレートを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。また、サプレッションチェンバの鉛直方向地震荷重は、サポート、ボルト、ベース、ベースプレート及び基礎ボルトを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

サプレッションチェンバサポートの耐震評価として、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びサプレッションチェンバサポートの地震応答解析で計算された、サプレッションチェンバサポートに作用する荷重を用いて、「4.5 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力は個別に作用させる。水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッションチェンバサポートの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

サプレッションチェンバサポートの許容応力及び許容応力度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバサポートの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッションチェンバサポート	S	クラスMC支持構造物	D + P + M + S d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)*2	
					(14)	(16)	
					D + P + M + S s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)*2	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S d **3	(17)*4	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は、サプレッションチェンバに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*3：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

*4：サプレッションチェンバサポートに対しては、荷重の組合せD + P + M + S d *に包絡されるため、評価しない。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	サプレッション チェンバ サポート	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2 支持構造物	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備、「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 クラスMC支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物の許容応力

許容応力 状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)										許容限界*3, *4 (ボルト等)
	一次応力					一次+二次応力					一次応力
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張	せん断	曲げ	支圧	座屈	引張
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s^{*6}$	$3 \cdot f_b^{*7}$	$3 \cdot f_p^{*8}$	$1.5 \cdot f_b^{*7, *8}$ $1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	〔S _d 又はS _s 地震動のみによる〕 応力振幅について評価する。〕			$1.5 \cdot f_p^{*8}$	又は	$1.5 \cdot f_t^*$
V _A S ^{*5}										$1.5 \cdot f_c$	

注記*1：鋼構造設計規準（日本建築学会2005改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*4：コンクリートに埋め込まれるアンカボルトで地震応力の占める割合が支配的なものであって、トルク管理、材料の照合等を行わないものについては、材料の品質、据付状態等のゆらぎ等を考慮して、Ⅲ_ASの許容応力を一次引張応力に対しては f_t 、一次せん断応力に対しては f_s として、またⅣ_AS→Ⅲ_ASとして応力評価を行う。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

*6：すみ肉溶接部にあつては最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*7：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*8：自重、熱膨張等により常時作用する荷重に、地震動による荷重を重ね合わせて得られる応力の圧縮最大値について評価する。

表 4-4 コンクリートの許容応力度

許容応力状態	許容圧縮応力度
Ⅲ _A S	$2/3 \cdot F_c$
Ⅳ _A S	$0.75 \cdot F_c$
V _A S*	

注記*：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
サポート, ベース, ベースプレート, シアプレート, シアキー	SGV49*	周囲環境温度	104	—	237	430	—
基礎ボルト, ボルト	SNCM439	周囲環境温度	104	—	824	902	—

注記* : SGV480 相当

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		サポート, ベース, ベースプレート, シアプレート, シアキー	SGV49*1	周囲環境温度	200*2	—	226
周囲環境温度	70*3			—	248	453	—
基礎ボルト, ボルト	SNCM439	周囲環境温度	200*2	—	754	865	—
		周囲環境温度	70*3	—	850	930	—

注記*1 : SGV480 相当

*2 : S A後長期温度

*3 : S A後長々期温度

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用温度，死荷重及び水力的動荷重は，以下のとおりとする。

a. 最高使用温度

設計基準対象施設の評価における温度は，参照図書(1)より以下のとおりとする。

温度（最高使用温度） 104℃

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重 N

設計基準対象施設の評価における水位は，H. W. L. (EL 5660mm)に対して水位が高く，内部水質量が大きい保守的な条件として，重大事故等対処設備の評価と同じ水位を適用し，以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

なお，設計用床応答スペクトルと固有周期の関係においても，重大事故等対処設備の評価における水位は耐震評価上，H. W. L. より保守的な条件となる。

c. 水力的動荷重（逃がし安全弁作動時の荷重）

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体がクエンチャからサプレッションプール水中に放出される際，サプレッションチェンバに対して，参照図書(1)に示す圧力振動荷重が作用する。荷重の大きさは以下のとおりとする。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

d. サプレッションチェンバサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重

サプレッションチェンバサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重を表 4-7 に示す。

表 4-7 サプレッションチェンバサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重
(設計基準対象施設)

応力評価点*1	荷重		死荷重及び動荷重*2(N)	
P 1 ~ P 8	死荷重*3			
	逃がし安全弁 作動時の荷重	最大上向		
		最大下向		

注記*1：応力評価点の位置は、図 4-1 参照のこと。

*2：+は上向き（引張），-は下向き（圧縮）荷重であることを示す。

*3：上段はサプレッションチェンバ大円の内側及び外側に設置されたサプレッションチェンバサポートの中で最大値を抽出した荷重，下段は耐震評価で最も厳しい結果となるサプレッションチェンバサポートに加わる荷重を示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価温度，死荷重及び水力的動荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価温度

重大事故等対処設備の評価における温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

温度 T_{SAL} 200°C (SA後長期)

温度 T_{SALL} 70°C (SA後長々期)

b. 死荷重

サプレッションチェンバ，サプレッションチェンバサポート及びサプレッションチェンバ内部水の自重を死荷重とする。

死荷重 N

重大事故等対処設備の評価における水位は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

c. 水力的動荷重 (チャギング荷重)

サプレッションチェンバに対して，低流量蒸気凝縮時には，参照図書(1)に示すチャギング荷重が作用する。荷重の大きさは以下のとおりとする。

最大正圧 kPa

最大負圧 kPa

d. サプレッションチェンバサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重

サプレッションチェンバサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重を表 4-8 に示す。

表 4-8 サプレッションチェンバサポート 1 個あたりに作用する鉛直方向荷重
(重大事故等対処設備)

応力評価点*1	荷重		死荷重及び動荷重*2 (N)
P 1 ~ P 8	死荷重*3		
			
	チャギング荷重	最大上向	
		最大下向	

注記*1：応力評価点の位置は，図 4-1 参照のこと。

*2：+は上向き（引張），-は下向き（圧縮）荷重であることを示す。

*3：上段はサプレッションチェンバ大円の内側及び外側に設置されたサプレッションチェンバサポートの中で最大値を抽出した荷重，下段は耐震評価で最も厳しい結果となるサプレッションチェンバサポートに加わる荷重を示す。

4.3 固有周期

サプレッションチェンバサポートは、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びサプレッションチェンバサポートの固有周期に基づく地震応答解析で計算した荷重を用いて評価をするため、本計算書ではサプレッションチェンバサポートの固有周期の計算は実施しない。

4.4 設計用地震力

サプレッションチェンバサポートの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-9に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-10に示す。

「4.2.4 設計荷重」の条件に基づき、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバ及びサプレッションチェンバサポートの地震応答解析で計算された設計用地震力を設定する。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

応力評価点* ¹	地震荷重	水平方向荷重 (N)	鉛直方向荷重 (N)	モーメント* ² (N・mm)
P 1～P 3	地震荷重 S _d * 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S _s 作用時* ³	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P 4～P 8	地震荷重 S _d * 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S _s 作用時* ³	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：応力評価点の位置は、図 4-1 参照のこと。

*2：モーメントの作用方向及び各応力評価点の算出位置は図 4-1 に示すとおりとする。

*3：上段はサプレッションチェンバ大円の内側及び外側に設置されたサプレッションチェンバサポートの中で、荷重成分毎に最大値を抽出し、それらを包絡した荷重、下段は耐震評価で最も厳しい結果となるサプレッションチェンバサポートに加わる荷重を示す。

表 4-10 設計用地震力（重大事故等対処設備）

応力評価点* ¹	地震荷重	水平方向荷重 (N)	鉛直方向荷重 (N)	モーメント* ² (N・mm)
P 1～P 3	地震荷重 S _d * ³ 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S _s 作用時* ⁴	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
P 4～P 8	地震荷重 S _d * ³ 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S _s 作用時* ⁴	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
		<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：応力評価点の位置は、図 4-1 参照のこと。

*2：モーメントの作用方向及び各応力評価点の算出位置は図 4-1 に示すとおりとする。

*3：重大事故等対処設備の評価に対し、弾性設計用地震動 S_dに加えて静的震度を考慮する。

*4：上段はサプレッションチェンバ大円の内側及び外側に設置されたサプレッションチェンバサポートの中で、荷重成分毎に最大値を抽出し、それらを包絡した荷重、下段は耐震評価で最も厳しい結果となるサプレッションチェンバサポートに加わる荷重を示す。

4.5 計算方法

4.5.1 応力評価方法

サブプレッションチェンバサポートの応力評価点は、サブプレッションチェンバサポートを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-11 及び図 4-1 に示す。

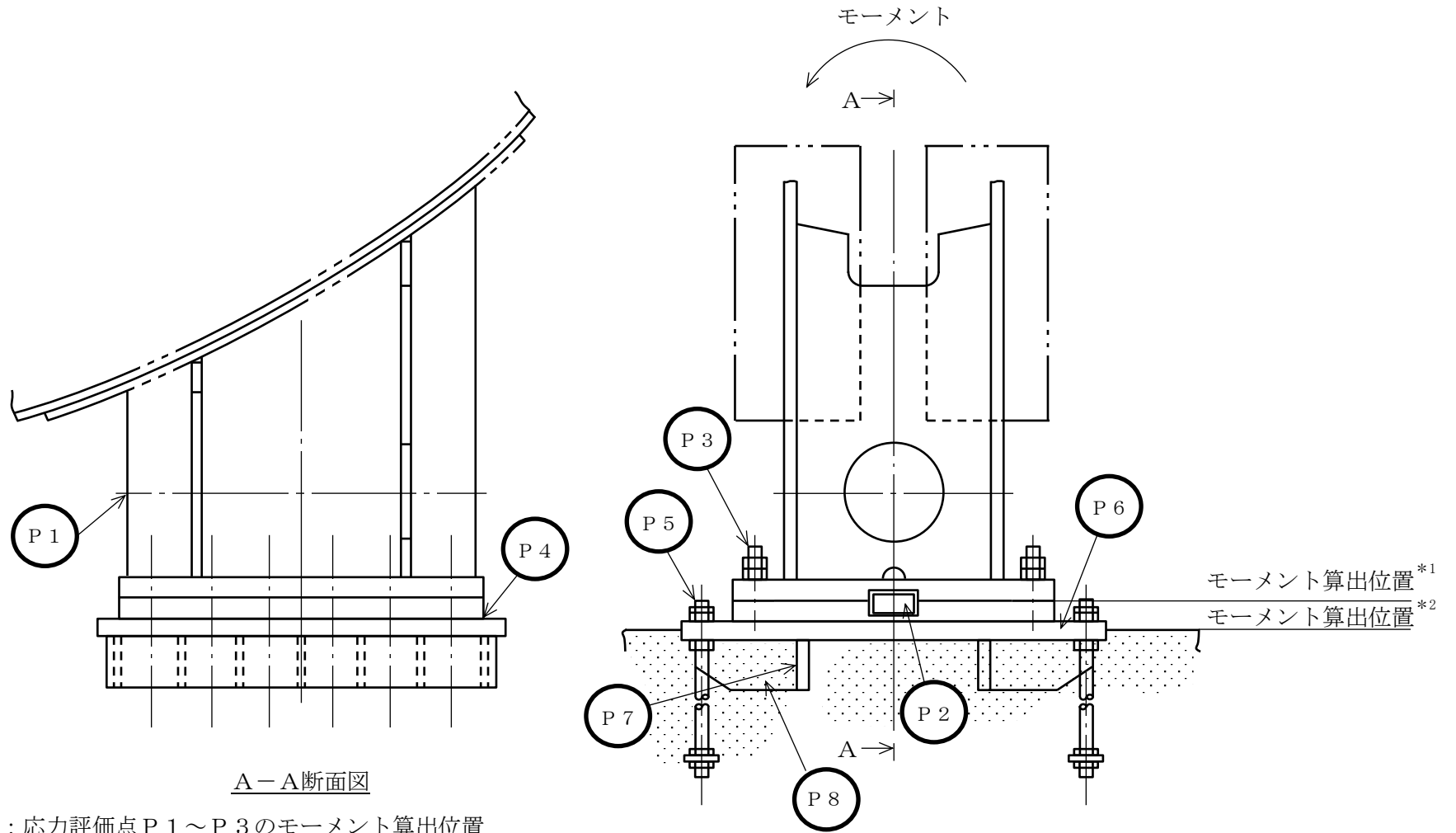
ベースプレート（応力評価点 P 6）のボルト反力側評価での評価断面の変更を除き、応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサブプレッションチェンバ及びサブプレッションチェンバサポートの地震応答解析で計算された設計用地震力を用いて、参照図書(1)にて示す方法に基づき評価する。ベースプレート（応力評価点 P 6）のボルト反力側評価での評価断面は既工認から変更しており、「4.5.7 ベースプレート（応力評価点 P 6）」の(1)に示すとおりである。

表 4-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	サポート
P 2	シアキー
P 3	ボルト
P 4	ベースとベースプレートの接合部
P 5	基礎ボルト
P 6	ベースプレート
P 7	シアプレート
P 8	コンクリート



注記*1：応力評価点P 1～P 3のモーメント算出位置

*2：応力評価点P 4～P 8のモーメント算出位置

図 4-1 サプレッションチェンバサポートの応力評価点

4.5.2 サポート（応力評価点 P 1）

(1) 応力計算

a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{W_1}{A}$$

ここで、

W_1 : 引張荷重

A : 評価部位の断面積 = $1.40 \times 10^5 \text{ mm}^2$

b. 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{W_2}{A}$$

ここで、

W_2 : 圧縮荷重

A : 評価部位の断面積 = $1.40 \times 10^5 \text{ mm}^2$

c. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ここで、

F : せん断力

A : 評価部位の断面積 = $1.40 \times 10^5 \text{ mm}^2$

d. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、

M : 曲げモーメント

Z : 評価部位の断面係数 = $5.89 \times 10^7 \text{ mm}^3$

e. 組合せ応力

$$\text{引張側 : } \sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}, \quad \text{圧縮側 : } \sigma = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$$

4.5.3 シアキー（応力評価点 P 2）

(1) 応力計算

a. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{\ell_2 h}$$

ここで,

F : せん断力

ℓ_2 : シアキー長さ = 1800 mm (図 3-1(2) 参照)

h : シアキー幅 = 200 mm (図 3-1(2) 参照)

b. 支圧応力

$$\sigma_p = \frac{F}{\ell_2 b_7}$$

ここで,

F : 支圧荷重

ℓ_2 : シアキー長さ = 1800 mm (図 3-1(2) 参照)

b_7 : 支圧荷重を受けるシアキー高さ = 27 mm (図 3-1(2) 参照)

4.5.4 ボルト（応力評価点 P 3）

(1) 応力計算

a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{W_M}{A}$$

ここで,

W_M : 曲げモーメントによりボルト 1 本当たりに加わる軸力

A : ボルトの断面積 = $3.22 \times 10^3 \text{ mm}^2$

4.5.5 ベースとベースプレートの接合部（応力評価点 P 4）

(1) 応力計算

a. 引張応力

$$\sigma_t = \frac{W_1}{A}$$

ここで,

W_1 : 引張荷重

A : 評価部位の断面積 = $1.34 \times 10^5 \text{ mm}^2$

b. 圧縮応力

$$\sigma_c = \frac{W_2}{A}$$

ここで,

W_2 : 圧縮荷重

A : 評価部位の断面積 = $1.34 \times 10^5 \text{ mm}^2$

c. せん断応力

$$\tau = \frac{F}{A}$$

ここで,

F : せん断力

A : 評価部位の断面積 = $1.34 \times 10^5 \text{ mm}^2$

d. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで,

M : 曲げモーメント

Z : 評価部位の断面係数 = $7.20 \times 10^7 \text{ mm}^3$

e. 組合せ応力

$$\text{引張側 : } \sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}, \quad \text{圧縮側 : } \sigma = \sqrt{(\sigma_c + \sigma_b)^2 + 3\tau^2}$$

4.5.6 基礎ボルト（応力評価点 P 5）

(1) 応力計算

a. 基礎ボルトの引張応力

$$\sigma_s = \frac{F}{n_1 A}$$

ここで,

F : 基礎ボルトに作用する引張荷重

n_1 : 引張荷重を受ける基礎ボルトの本数

A : ボルトの断面積 = $3.22 \times 10^3 \text{ mm}^2$

4.5.7 ベースプレート（応力評価点P6）

(1) 基礎ボルトの引張応力に対する反力による応力

ベースプレートはベース及びリブにより固定されているものとして、基礎ボルトの引張応力に対する反力により生じる応力を計算する。

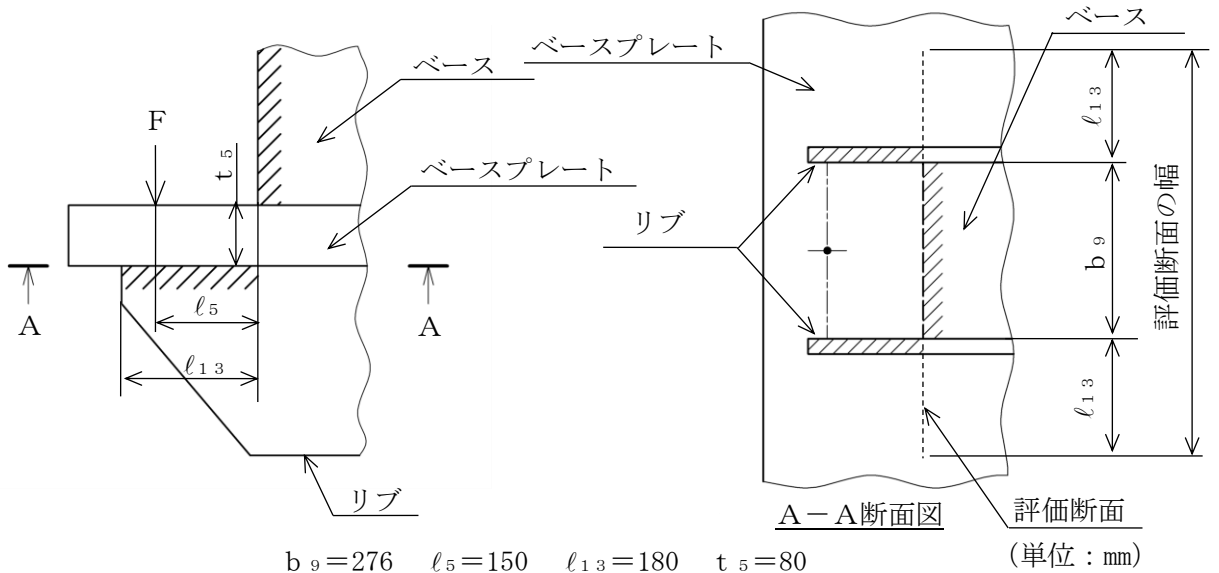


図 4-2 計算モデル

a. 反力

反力 F は次式から求める。

$$F = \sigma_s A_b$$

ここで、

σ_s : 基礎ボルトの引張応力

A_b : ボルト 1 本の断面積 = $3.22 \times 10^3 \text{ mm}^2$

b. 曲げモーメント

$$M = F l_5$$

c. 断面係数

断面係数は、図 4-2 の評価断面に示すとおり、リブとベースで囲まれる長さを評価断面の幅としてモデル化して、次式から求める。

$$Z = \frac{1}{6} (b_9 + 2l_{13}) t_5^2$$

d. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

e. せん断応力

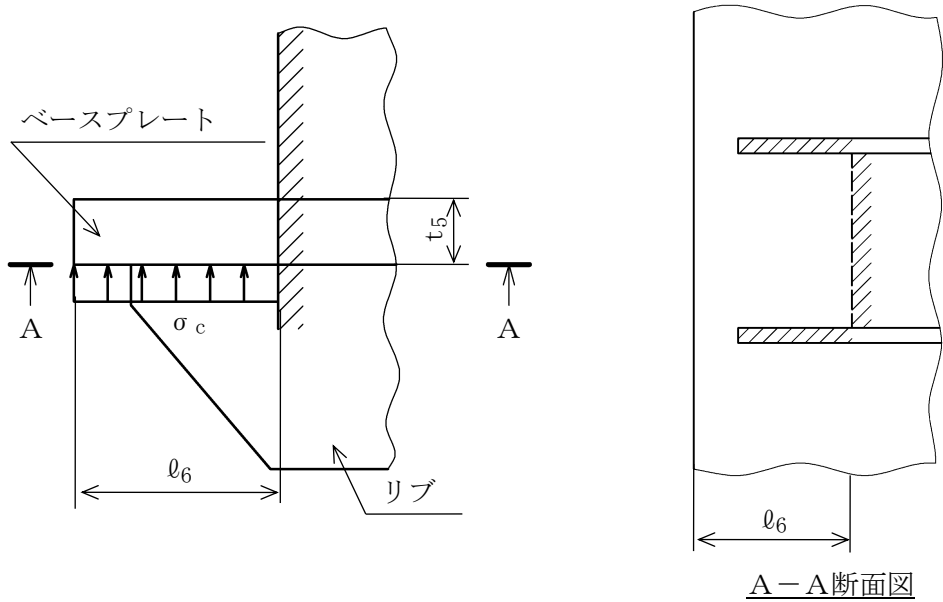
$$\tau = \frac{F}{(b_9 + 2l_5) t_5}$$

f. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

(2) コンクリートからの反力による応力

コンクリートからの反力により，ベースプレートに生じる応力は，図4-3に示す計算モデルにおいて，コンクリート反力 σ_c の等分布荷重が作用するものとして計算する。



$$l_6 = 250 \quad t_5 = 80.0$$

(単位：mm)

図4-3 計算モデル

a. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{\sigma_c l_6^2}{2(t_5^2/6)}$$

ここで、

 σ_c : コンクリートのベースプレート部の圧縮応力度

b. せん断応力

$$\tau = \frac{\sigma_c l_6}{t_5}$$

ここで、

 σ_c : コンクリートのベースプレート部の圧縮応力度

c. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

4.5.8 シアプレート（応力評価点 P 7）

(1) 応力計算

a. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで

M : 単位長さ当たりの曲げモーメント

Z : 単位長さ当たりの断面係数 = $5.27 \times 10^2 \text{ mm}^3/\text{mm}$

b. せん断応力

$$\tau = \frac{V}{2\ell_{12}}$$

ここで

V : シアプレートに作用する単位長さあたりのせん断力

ℓ_{12} : リブとシアプレートの溶接の幅 = 15 mm (図 3-1(2) 参照)

c. 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3\tau^2}$$

4.5.9 コンクリート（応力評価点 P 8）

(1) 応力計算

a. ベースプレート部の圧縮応力度

$$\sigma_c = \sigma_s \frac{X_n}{n(b_3 - e - X_n)}$$

ここで

σ_s : 基礎ボルトの引張応力

X_n : ベースプレート端から中立軸までの位置

n : 基礎ボルトとコンクリートの縦弾性係数比 = 15

b_3 : ベースプレート長さ = 2100 mm (図 3-1(2) 参照)

e : ベースプレート端から基礎ボルト中心までの長さ
 $= (b_3 - b_5)/2 = (2100 - 1900)/2 = 100 \text{ mm}$

b. シアプレート部の圧縮応力度

$$\sigma_c = \frac{F}{\ell_3 \ell_{10} + n_2 b_9 \ell_{11}}$$

ここで

F : せん断力

n_2 : シアプレートのリブ間の数 = 6

b_9 : リブ間の距離 = 276 mm (図 3-1(2) 参照)

ℓ_3 : ベースプレート長さ = 2000 mm (図 3-1(2) 参照)

ℓ_{10} : ベースプレートのコンクリート埋め込み深さ = 50 mm (図 3-1(2) 参照)

ℓ_{11} : リブ高さ = 250 mm (図 3-1(2) 参照)

4.6 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4 設計用地震力」に示す。

4.7 応力の評価

「4.5 計算方法」で求めた応力が表 4-3 及び表 4-4 で定める許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は許容引張応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

サブレーションチェンバサポートの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

表 5-1 許容応力状態ⅢA S に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ サポート	P 1	サポート	引張応力	26	237	○	(14)	
			圧縮応力	52	237	○	(14)	
			せん断応力	21	137	○	(14)	
			曲げ応力	60	237	○	(14)	
			組合せ応力*	94	237	○	(14)	
				118		○	(14)	
	P 2	シアキー	せん断応力	8	137	○	(14)	
			支圧応力	59	323	○	(14)	
	P 3	ボルト	引張応力	223	473	○	(14)	
	P 4	ベースとベースプレートの 接合部	引張応力	27	237	○	(14)	
			圧縮応力	55	237	○	(14)	
			せん断応力	21	137	○	(14)	
			曲げ応力	55	237	○	(14)	
			組合せ応力*	90	237	○	(14)	
				116		○	(14)	
P 5	基礎ボルト	引張応力	199	473	○	(14)		

注記*：上段は引張側荷重による応力を示し，下段は圧縮側荷重による応力を示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
サプレッション チェンバ サポート	P 6	ベース プレート	ボルト反力側	曲げ応力	142	273	○	(14)	
			コンクリート 反力側	せん断応力	14	137	○	(14)	
				組合せ応力	144	237	○	(14)	
		曲げ応力		132	273	○	(14)		
		P 7	シアプレート	せん断応力	14	137	○	(14)	
				組合せ応力	135	237	○	(14)	
	曲げ応力			67	273	○	(14)		
	P 8	コンクリート	ベースプレート部	圧縮応力度	4.5*	15.6*	○	(14)	
			シアプレート部	圧縮応力度	5.5*	15.6*	○	(14)	

注記*：単位はN/mm²とする。

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ サポート	P 1	サポート	引張応力	52	285	○	(15)	
			圧縮応力	79	284	○	(15)	
			せん断応力	41	164	○	(15)	
			曲げ応力	125	285	○	(15)	
			組合せ応力*	191	285	○	(15)	
		216	○	(15)				
	P 2	シアキー	せん断応力	16	164	○	(15)	
			支圧応力	118	388	○	(15)	
	P 3	ボルト	引張応力	419	473	○	(15)	
	P 4	ベースとベースプレートの 接合部	引張応力	55	285	○	(15)	
			圧縮応力	82	285	○	(15)	
			せん断応力	43	164	○	(15)	
			曲げ応力	113	285	○	(15)	
			組合せ応力*	184	285	○	(15)	
		209	○	(15)				
P 5	基礎ボルト	引張応力	371	473	○	(15)		

注記*：上段は引張側荷重による応力を示し，下段は圧縮側荷重による応力を示す。

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
サプレッション チェンバ サポート	P 6	ベース プレート	ボルト反力側	曲げ応力	265	328	○	(15)	
			コンクリート 反力側	せん断応力	26	164	○	(15)	
				組合せ応力	269	285	○	(15)	
		曲げ応力		252	328	○	(15)		
		P 7	シアプレート	せん断応力	27	164	○	(15)	
				組合せ応力	257	285	○	(15)	
	曲げ応力			136	328	○	(15)		
	P 8	コンクリート	ベースプレート部	圧縮応力度	8.6*	17.6*	○	(15)	
			シアプレート部	圧縮応力度	11.2*	17.6*	○	(15)	

注記*：単位はN/mm²とする。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サブプレッションチェンバサポートの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

表 5-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ サポート	P 1	サポート	引張応力	15	271	○	V (L) -1	
			圧縮応力	41	270	○	V (L) -1	
			せん断応力	21	156	○	V (L) -1	
			曲げ応力	60	271	○	V (L) -1	
			組合せ応力*	84	271	○	V (L) -1	
				108		○	V (L) -1	
	P 2	シアキー	せん断応力	8	156	○	V (L) -1	
			支圧応力	59	369	○	V (L) -1	
	P 3	ボルト	引張応力	181	454	○	V (L) -1	
	P 4	ベースとベースプレートの 接合部	引張応力	15	271	○	V (L) -1	
			圧縮応力	43	271	○	V (L) -1	
			せん断応力	21	156	○	V (L) -1	
			曲げ応力	55	271	○	V (L) -1	
			組合せ応力*	79	271	○	V (L) -1	
				105		○	V (L) -1	
P 5	基礎ボルト	引張応力	160	454	○	V (L) -1		

注記*：上段は引張側荷重による応力を示し，下段は圧縮側荷重による応力を示す。

表 5-3 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _{AS}		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
サプレッション チェンバ サポート	P 6	ベース プレート	ボルト反力側	曲げ応力	114	312	○	V (L) -1	
			コンクリート 反力側	せん断応力	12	156	○	V (L) -1	
				組合せ応力	116	271	○	V (L) -1	
		曲げ応力		126	312	○	V (L) -1		
		P 7	シアプレート	せん断応力	14	156	○	V (L) -1	
				組合せ応力	129	271	○	V (L) -1	
	曲げ応力			67	312	○	V (L) -1		
	P 8	コンクリート	ベースプレート部	圧縮応力度	4.3*	17.6*	○	V (L) -1	
			シアプレート部	圧縮応力度	5.5*	17.6*	○	V (L) -1	

注記* : 単位は N/mm² とする。

表 5-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッション チェンバ サポート	P 1	サポート	引張応力	40	298	○	V (L L) -1	
			圧縮応力	66	297	○	V (L L) -1	
			せん断応力	41	172	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	125	298	○	V (L L) -1	
			組合せ応力*	180	298	○	V (L L) -1	
	204	○		V (L L) -1				
	P 2	シアキー	せん断応力	16	172	○	V (L L) -1	
			支圧応力	118	406	○	V (L L) -1	
	P 3	ボルト	引張応力	385	488	○	V (L L) -1	
	P 4	ベースとベースプレートの 接合部	引張応力	41	298	○	V (L L) -1	
			圧縮応力	69	298	○	V (L L) -1	
			せん断応力	43	172	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	113	298	○	V (L L) -1	
			組合せ応力*	171	298	○	V (L L) -1	
	197	○		V (L L) -1				
P 5	基礎ボルト	引張応力	339	488	○	V (L L) -1		

注記*：上段は引張側荷重による応力を示し，下段は圧縮側荷重による応力を示す。

表 5-4 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _{AS}		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
サプレッション チェンバ サポート	P 6	ベース プレート	ボルト反力側	曲げ応力	242	344	○	V (LL) -1	
				せん断応力	24	172	○	V (LL) -1	
				組合せ応力	246	298	○	V (LL) -1	
		コンクリート 反力側	曲げ応力	246	344	○	V (LL) -1		
			せん断応力	27	172	○	V (LL) -1		
			組合せ応力	251	298	○	V (LL) -1		
	P 7	シアプレート	曲げ応力	136	344	○	V (LL) -1		
			せん断応力	68	172	○	V (LL) -1		
			組合せ応力	180	298	○	V (LL) -1		
	P 8	コンクリート	ベースプレート部	圧縮応力度	8.4*	17.6*	○	V (LL) -1	
シアプレート部			圧縮応力度	11.2*	17.6*	○	V (LL) -1		

注記* : 単位は N/mm² とする。

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-14 「サプレッションチェンバサポートの強度計算書」

VI-2-9-2-4 シヤラグの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 構造強度評価	9
4.1 構造強度評価方法	9
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	9
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
4.2.2 許容応力	9
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	9
4.2.4 設計荷重	17
4.3 設計用地震力	17
4.4 計算方法	21
4.4.1 応力評価点	21
4.4.2 メールシヤラグ（応力評価点P 1～P 4）	23
4.4.3 フィメールシヤラグ（応力評価点P 5～P 9）	26
4.4.4 ベースプレート及び基礎ボルト（応力評価点P 10～P 13）	30
4.4.5 内側シヤラグサポート部（応力評価点P 14）	35
4.4.6 ドライウエル	37
4.5 計算条件	38
4.6 応力の評価	38
5. 評価結果	39
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	39
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	46
6. 参照図書	51

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、シヤラグが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

シヤラグは設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。また、シヤラグ取付部は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるシヤラグの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

シヤラグの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>シヤラグは、地震時の原子炉圧力容器及びガンマ線遮蔽壁に生じる水平方向の荷重及び変位を小さくするためにドライウェル上部に設置される。</p> <p>内側メイルシヤラグは、原子炉格納容器スタビライザにフランジで接続され、内側フィメイルシヤラグは上部スプレイ管サポートに固定される。外側メイルシヤラグはドライウェルに溶接され、外側フィメイルシヤラグは原子炉建物に基礎ボルトで固定される。</p> <p>前記地震荷重は、原子炉格納容器スタビライザよりシヤラグを介して原子炉建物に伝達させる。</p>	<p>シヤラグは、内側メイルシヤラグ、内側フィメイルシヤラグ、外側メイルシヤラグ、外側フィメイルシヤラグで構成される鋼製構造物である。</p>	<p>内側シヤラグ 内側フィメイルシヤラグ 内側メイルシヤラグ 原子炉格納容器スタビライザ ドライウェル 原子炉圧力容器 フランジ ガンマ線遮蔽壁 シヤラグ 原子炉建物</p> <p>外側シヤラグ 外側フィメイルシヤラグ 外側メイルシヤラグ 原子炉建物 基礎ボルト ドライウェル 上部スプレイ管サポート</p> <p>シヤラグ 拡大図</p> <p>内側シヤラグ 上部スプレイ管サポート</p> <p>A-A断面図</p>

2.2 評価方針

シヤラグの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界に収まることを、「4. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

シヤラグの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

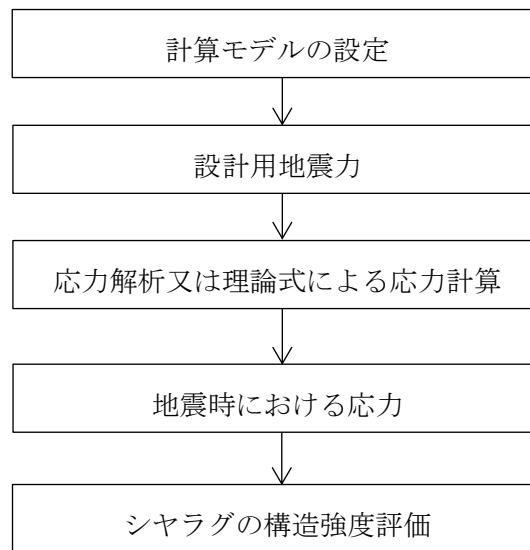


図 2-1 シヤラグの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
A ₁	支圧面積	mm ²
A _b	ボルト1本の断面積	mm ²
A _c	支承面積, 圧縮側ベースプレート面積	mm ²
A _{Pi}	支圧面積 (i = 1, 2)	mm ²
A _w	溶接部の断面積	mm ²
D	死荷重	—
d	直径	mm
d ₀	直径	mm
F	荷重	N
F _A	A点でのせん断力	N
F _B	B点でのせん断力	N
F _c	コンクリートの設計基準強度	kg/cm ² , N/mm ²
F _{CB}	ベースプレートが基礎ボルトから受ける圧縮力	N
F _{CC}	ベースプレートがコンクリートから受ける圧縮力	N
F _i	荷重 (i = 1, 2)	N
F _L	せん断力	N
F _P	支圧力	N
F _S	せん断力	N
F _t	ベースプレートが基礎ボルトから受ける引張力	N
f _b	許容曲げ応力	MPa
f _c	許容圧縮応力, 許容圧縮応力度	MPa, N/mm ²
f _p	許容支圧応力	MPa
f _s	許容せん断応力	MPa
f _t	許容引張応力	MPa
k	係数	—
l _{Ai}	長さ (i = 1, 2)	mm
l _{B1}	長さ	mm
l _G	長さ	mm
l _i	長さ (i = 1, 2, 3, …)	mm
M	機械的荷重, 曲げモーメント	—, N・mm, N・mm/mm
M _A	A点での曲げモーメント	N・mm
M _B	B点での曲げモーメント	N・mm
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重, 曲げモーメント	—, N・mm
M _S	曲げモーメント	N・mm

記号	記号の説明	単位
M_{SAL}	機械的荷重 (S A後長期機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (S A後長々期機械的荷重)	—
n	ボルトとコンクリートの縦弾性係数比	—
n_b	引張側及び圧縮側の各々のボルト本数	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (S A後長期圧力)	—, kPa
P_{SALL}	圧力 (S A後長々期圧力)	—, kPa
R_s	半径	mm
S	許容引張応力	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_m	設計応力強さ	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y(RT)$	40℃における設計降伏点	MPa
t_i	板厚 ($i=1, 2, 3, \dots$)	mm
T_{SAL}	温度 (S A後長期温度)	℃
T_{SALL}	温度 (S A後長々期温度)	℃
W_i	荷重 ($i=1, 2$)	N
W_{Hi}	シヤラグに加わる水平方向地震荷重 ($i=1, 2$)	N
W_{Li}	外側シヤラグに加わる水平方向地震荷重 ($i=1, 2$)	N
W_{Si}	内側シヤラグに加わる水平方向地震荷重 ($i=1, 2$)	N
Z	断面係数	$mm^3, mm^3/mm$
α	角度	°
θ	角度	°
σ	応力	MPa
σ_A	組合せ応力	MPa
σ_B	組合せ応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
σ_{bA}	曲げ応力	MPa
σ_{bB}	曲げ応力	MPa
σ_c	ボルトの下のコンクリートの圧縮応力度, コンクリート部反力	N/mm^2
σ_{cmax}	コンクリートの最大圧縮応力度	N/mm^2

記号	記号の説明	単位
σ_l	軸方向応力	MPa
σ_P	支圧応力	MPa
σ_s	ボルトの引張応力	MPa
σ_t	円周方向応力	MPa
τ	せん断応力	MPa
τ_A	せん断応力	MPa
τ_B	せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	kPa	—	四捨五入	整数位
温度	℃	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
面積	mm ²	—	—	有効数字 3 桁* ²
断面係数	mm ³ mm ³ /mm	—	—	有効数字 3 桁
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁* ²
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ³	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記 *1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力，設計降伏点及び設計引張強さは，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

ドライウエルのシヤラグ取付位置を図3-1に示し、シヤラグの形状及び主要寸法を図3-2に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。

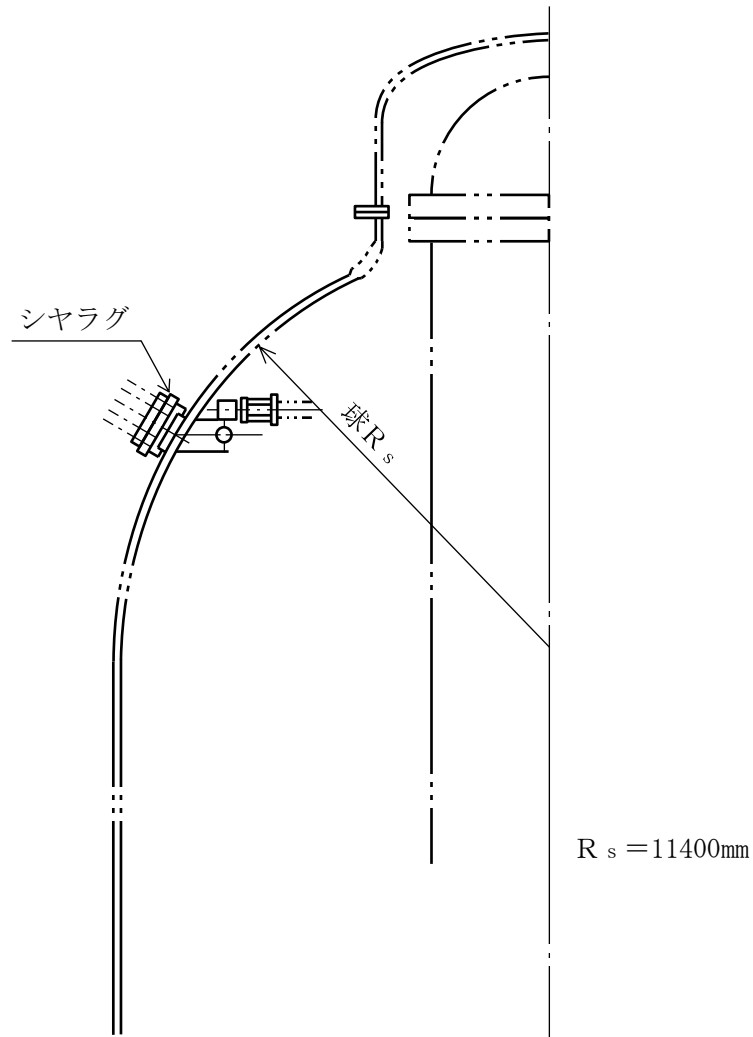
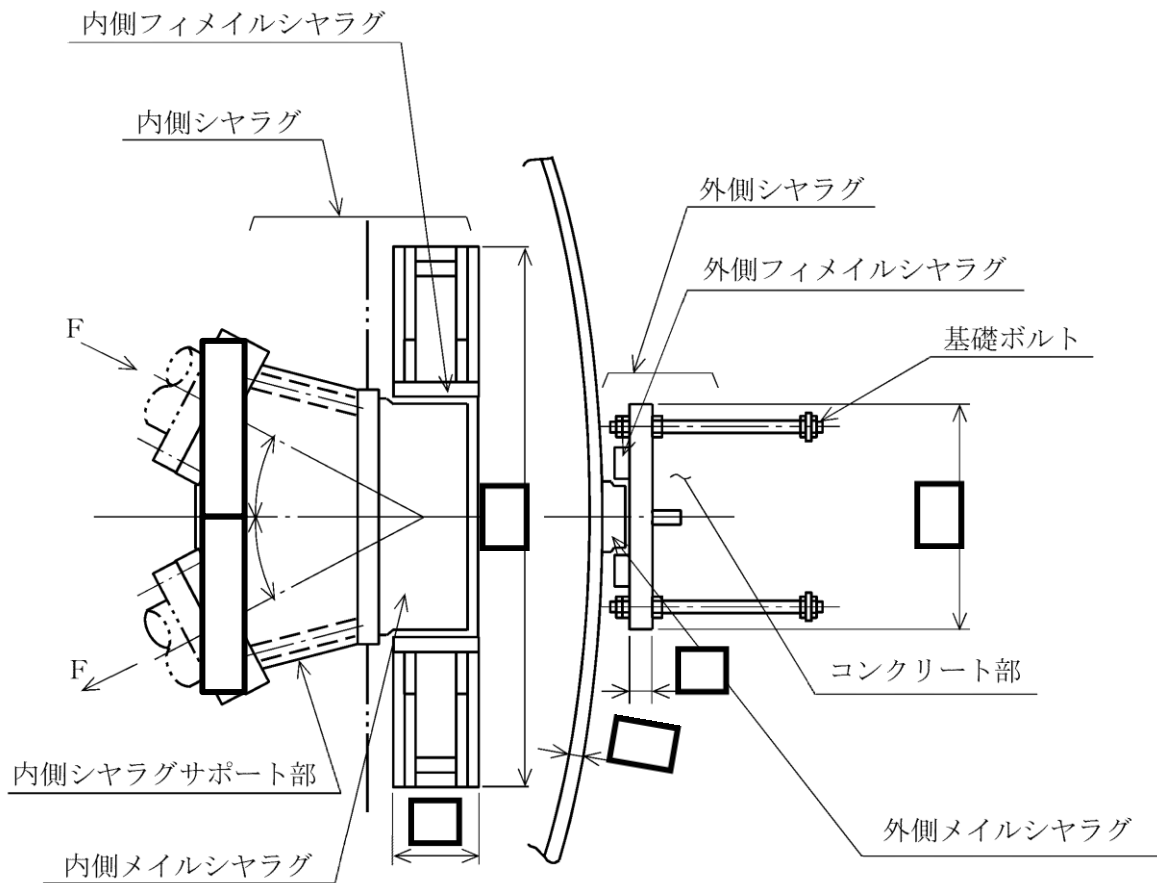


図3-1 シヤラグ取付位置



(単位：mm)

図 3-2 シヤラグの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ドライウェル	SPV50	SPV490 相当
内側メイルシヤラグ	SGV49	SGV480 相当
外側メイルシヤラグ	SGV49	SGV480 相当
内側フィメイルシヤラグ	SGV49	SGV480 相当
外側フィメイルシヤラグ	SGV49	SGV480 相当
内側シヤラグサポート部	SGV49	SGV480 相当
基礎ボルト	SNCM439	
コンクリート部	コンクリート ($F_c = 240\text{kg/cm}^2$)	$F_c = 23.5\text{N/mm}^2$

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

- (1) 地震時の原子炉圧力容器及びガンマ線遮蔽壁に生じる水平方向地震荷重は、原子炉格納容器スタビライザよりシヤラグを介して原子炉建物に伝達される。

シヤラグの耐震評価として、VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて、「4.4 計算方法」に示す手法により構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。
- (4) 地震力は、シヤラグに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平方向及び鉛直方向の地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

シヤラグの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

シヤラグの許容応力及び許容応力度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3～表 4-5 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

シヤラグの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-7 に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
—		シヤラグ	S	—*2	$D + P + M + S_d^*$	—	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	—	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^*$	—	Ⅳ _A S
原子炉格納施設	原子炉格納容器	シヤラグ取付部	S	クラスMC容器	$D + P + M + S_d^*$	(10) (11) (14) (16)	Ⅲ _A S
					$D + P + M + S_s$	(12) (13) (15)	Ⅳ _A S
					$D + P_L + M_L + S_d^{**3}$	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：耐震重要度Sクラス施設の支持構造物として、クラス1支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

*3：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
—		シヤラグ	—	—*4	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *5	—	V_{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	—	V_{AS}
原子炉格納施設	原子炉格納容器	シヤラグ取付部	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *5	(V(L)-1)	V_{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V(LL)-1)	V_{AS}

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

*4：耐震重要度Sクラス施設の支持構造物として，クラス1支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

*5：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 クラス1 支持構造物の許容応力*1

許容応力状態	許容限界*2, *3, *4 (ボルト等以外)					許容限界*4 (ボルト等)
	一次応力					一次応力
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_t$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_t^*$
V _A S*5						

注記*1：本表の対象部としては、内側マイルシヤラグ、外側マイルシヤラグ、内側フィメールシヤラグ、外側フィメールシヤラグ及び内側シヤラグサポート部が該当する。

*2：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：耐圧部に溶接等により直接取り付けられる支持構造物であって耐圧部と一体の応力解析を行うものについては、耐圧部と同じ許容応力とする。

*4：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-4 クラスMC容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*2	3・S*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*4, *5 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*2		
V _A S*6				

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：設計・建設規格 PVB-3111に基づき，純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*3：3・Sを超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合，設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また，S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし，PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ，Ⅱにおいて，疲労解析を要しない場合は，地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*6：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表 4-5 コンクリートの許容応力度

許容応力状態	許容支圧応力度*1
Ⅲ _A S	$f'_c = f_c \cdot \sqrt{A_c/A_1}$ かつ
Ⅳ _A S	$f'_c \leq 2 \cdot f_c$ 及び
V _A S*2	$f'_c \leq F_c$

注記*1： f_c = コンクリートの許容圧縮応力度

A_1 = 局部圧縮を受ける面積（支圧面積）

A_c = 支圧端から離れて応力が一様分布となったところの面積（支承面積）

F_c = コンクリートの設計基準強度

コンクリートが十分厚く A_c/A_1 は大きい値となること及び、

$F_c \leq 2 \cdot f_c$ となることから、コンクリート許容支圧応力度 f'_c は F_c とする。

*2： V_AS としてⅣ_AS の許容限界を用いる。

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	171				
ドライウェル	SPV50* ¹	周囲環境温度	171	167	429	550	—
内側メイルシヤラグ	SGV49* ²	周囲環境温度	171	—	229	423	—
外側メイルシヤラグ	SGV49* ²	周囲環境温度	171	—	229	423	—
内側フィメイルシヤラグ	SGV49* ²	周囲環境温度	171	—	229	423	—
外側フィメイルシヤラグ	SGV49* ²	周囲環境温度	171	—	229	423	—
内側シヤラグサポート部	SGV49* ²	周囲環境温度	171	—	229	423	—
基礎ボルト	SNCM439	周囲環境温度	171	—	774	873	—

注記*1：SPV490相当

*2：SGV480相当

表 4-7 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
ドライウエル	SPV50*1	周囲環境温度	200*2	167	417	545	—
		周囲環境温度	70*3	167	478	581	—
内側メイルシヤラグ	SGV49*4	周囲環境温度	200*2	—	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	—	248	453	—
外側メイルシヤラグ	SGV49*4	周囲環境温度	200*2	—	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	—	248	453	—
内側フィメイルシヤラグ	SGV49*4	周囲環境温度	200*2	—	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	—	248	453	—
外側フィメイルシヤラグ	SGV49*4	周囲環境温度	200*2	—	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	—	248	453	—
内側シヤラグサポート部	SGV49*4	周囲環境温度	200*2	—	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	—	248	453	—
基礎ボルト	SNCM439	周囲環境温度	200*2	—	754	865	—
		周囲環境温度	70*3	—	850	930	—

注記*1：SPV490相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SGV480相当

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である、圧力、最高使用温度、死荷重及び活荷重は、既工認からの変更はなく、次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

設計基準対象施設の評価における圧力及び温度は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

シヤラグ取付部より上部のドライウエル及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

シヤラグ取付部より上部のドライウエルの活荷重（原子炉ウエル水張時の荷重）を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

4.3 設計用地震力

シヤラグ及びドライウエルに加わる地震荷重について、VI-2-2-1「炉心、原子炉压力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた荷重を設定する。また、燃料交換時の鉛直地震荷重については、死荷重及び活荷重にVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた鉛直震度を乗じて算出した鉛直地震荷重を設定する。

シヤラグにおける荷重の分配を図4-1に示し、図4-1により求めたシヤラグ1個の最大荷重の算出方法を表4-8に示す。

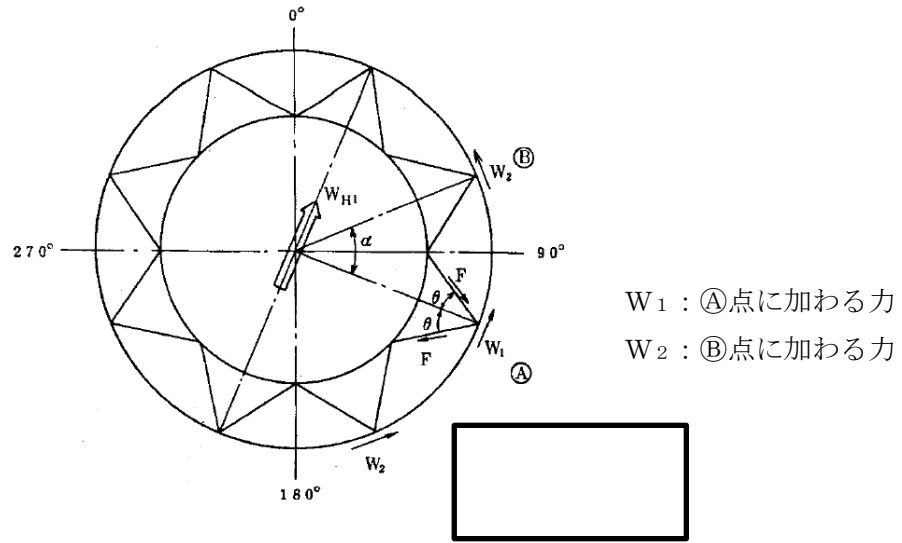


図 4-1 シヤラグにおける荷重の分配

表 4-8 シヤラグ 1 個の最大荷重の算出方法

部材	$S d^*$	$S s$
内側シヤラグ	$W_{S1} = 1/4 \cdot W_{H1}$	$W_{S2} = 1/4 \cdot W_{H1}$
	$F_1 = W_{S1} / (2 \cdot \sin \theta)$	$F_2 = W_{S2} / (2 \cdot \sin \theta)$
外側シヤラグ	$W_{L1} = 1/4 \cdot W_{H2}$	$W_{L2} = 1/4 \cdot W_{H2}$

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

設計基準対象施設としてシヤラグの応力計算に用いる、シヤラグに加わる水平方向地震荷重を表 4-9 に示す。

また、ドライウェルに加わる鉛直方向荷重を表 4-10 に、水平方向地震荷重を表 4-11 に示す。

表 4-9 シヤラグに加わる水平方向地震荷重 (設計基準対象施設)

(単位: N)

部材 \ 荷重条件		S d *	S s
		内側シヤラグ	W _{H1}
外側シヤラグ	W _{H2}		

表 4-10 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重 (設計基準対象施設)

(単位: N)

通常運転時			燃料交換時		
死荷重及び 活荷重	地震荷重		死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s

表 4-11 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重 (設計基準対象施設)

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
1.410×10 ⁷	2.390×10 ¹⁰	2.340×10 ⁷	2.940×10 ¹⁰

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

重大事故等対処設備としてシヤラグの応力計算に用いる，シヤラグに加わる水平方向地震荷重を表 4-12 に示す。

また，ドライウェルに加わる鉛直方向荷重を表 4-13 に，水平方向地震荷重を表 4-14 に示す。

表 4-12 シヤラグに加わる水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

部材 \ 荷重条件		地震荷重	
		S d *	S s
内側シヤラグ	W _{H1}		
外側シヤラグ	W _{H2}		

表 4-13 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（重大事故等対処設備）

(単位：N)

死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s

表 4-14 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
1.410×10 ⁷	2.390×10 ¹⁰	2.340×10 ⁷	2.940×10 ¹⁰

4.4 計算方法

4.4.1 応力評価点

シヤラグの応力評価点は、シヤラグを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-15 及び図 4-2 に示す。

表 4-15 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	内側メイルシヤラグ
P 2	外側メイルシヤラグ
P 3	内側メイルシヤラグ接触部
P 4	外側メイルシヤラグ接触部
P 5	内側フィメイルシヤラグ
P 6	内側フィメイルシヤラグリブ付根部
P 7	外側フィメイルシヤラグ
P 8	内側フィメイルシヤラグ接触部
P 9	外側フィメイルシヤラグ接触部
P 1 0	基礎ボルト
P 1 1	ベースプレート
P 1 2	シヤプレート
P 1 3	コンクリート
P 1 4	内側シヤラグサポート
P 1 5	シヤラグ取付部

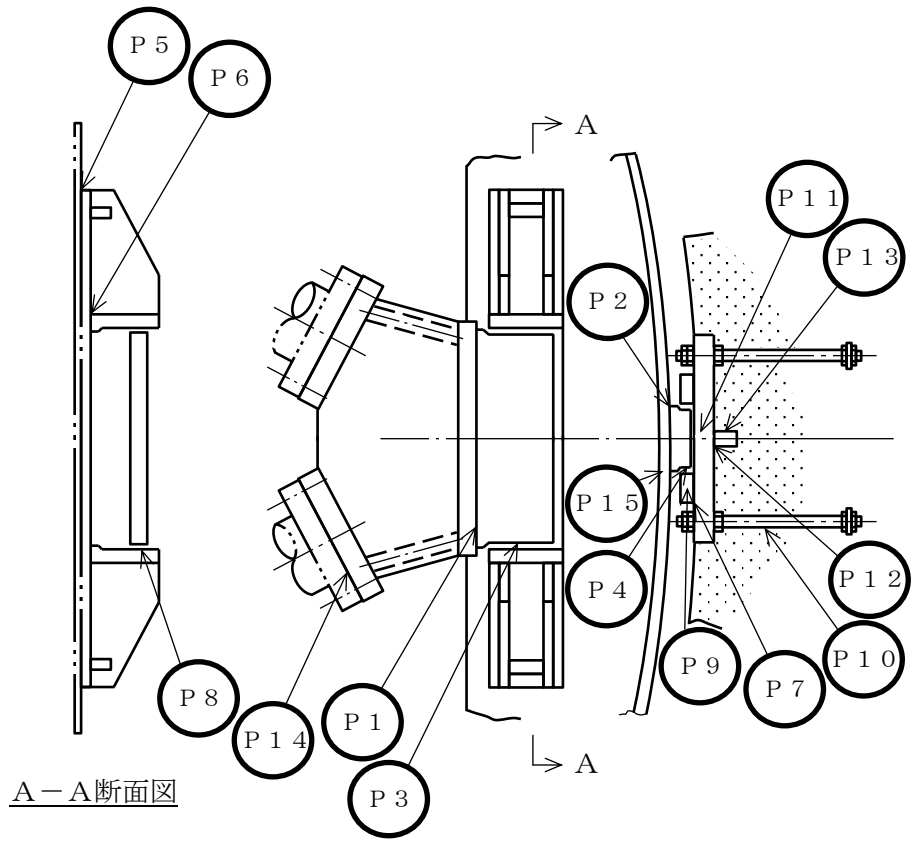
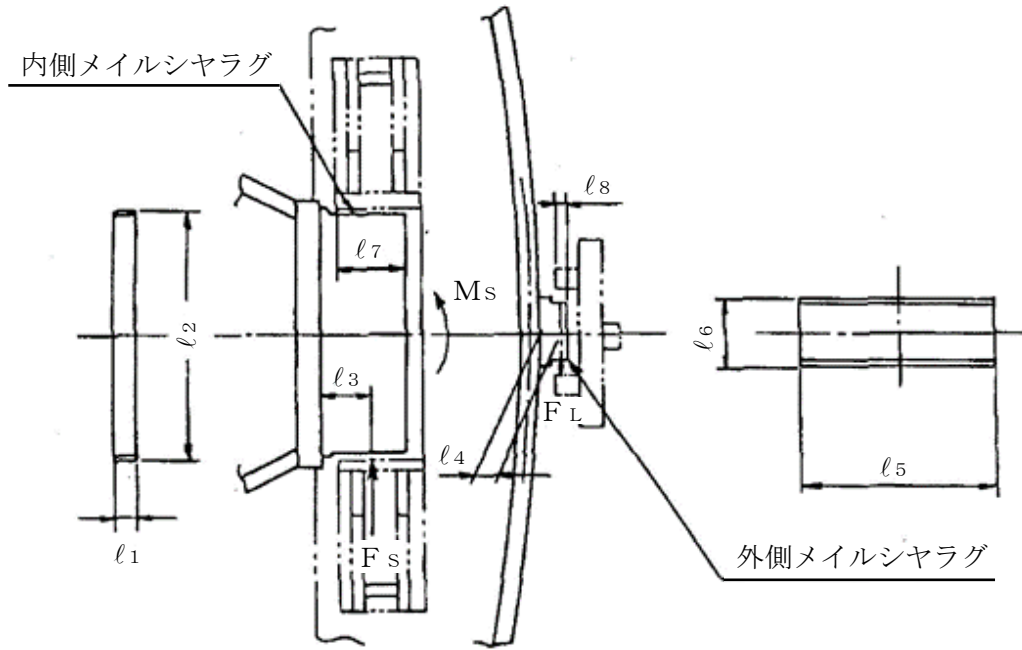


図4-2 シヤラグの応力評価点

4.4.2 メールシヤラグ (応力評価点 P 1 ~ P 4)

(1) 寸法

メールシヤラグの寸法を図 4-3 に示す。



$l_1 = \square$ $l_2 = \square$ $l_5 = \square$ $l_6 = \square$

荷重の組合せに対する l_3 , l_4 , l_7 , l_8 の値を以下に示す。

$l_3 = \square$, $l_4 = \square$, $l_7 = \square$, $l_8 = \square$: $D + P + M + S d^*$, $D + P + M + S s$
 $l_3 = \square$, $l_4 = \square$, $l_7 = \square$, $l_8 = \square$: $D + P_L + M_L + S d^*$
 $l_3 = \square$, $l_4 = \square$, $l_7 = \square$, $l_8 = \square$: $D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$
 $l_3 = \square$, $l_4 = \square$, $l_7 = \square$, $l_8 = \square$: $D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$

注：荷重の組合せは表 4-1 及び表 4-2 参照

(単位：mm)

図 4-3 メールシヤラグの寸法

(2) せん断力及び曲げモーメント

a. 内側マイルシヤラグ

内側マイルシヤラグのせん断力, 曲げモーメント及び支圧力の算出方法を表 4-16 に示す。

表 4-16 内側マイルシヤラグの荷重の算出方法

地震荷重	P 1 部せん断力 F_s	P 1 部曲げモーメント M_s	P 3 部支圧力 F_p
S_d^*	W_{s1}	$W_{s1} \cdot l_3$	W_{s1}
S_s	W_{s2}	$W_{s2} \cdot l_3$	W_{s2}

b. 外側マイルシヤラグ

外側マイルシヤラグのせん断力, 曲げモーメント及び支圧力の算出方法を表 4-17 に示す。

表 4-17 外側マイルシヤラグの荷重の算出方法

地震荷重	P 2 部せん断力 F_L	P 2 部曲げモーメント M_L	P 4 部支圧力 F_p
S_d^*	W_{L1}	$W_{L1} \cdot l_4$	W_{L1}
S_s	W_{L2}	$W_{L2} \cdot l_4$	W_{L2}

(3) 応力計算

a. P 1 部の応力

せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A_w}$$

ここで, $A_w = 5.20 \times 10^4 \text{ mm}^2$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_s}{Z}$$

ここで, $Z = 9.24 \times 10^6 \text{ mm}^3$

組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

b. P 2 部の応力

せん断応力

$$\tau = \frac{F_L}{A_w}$$

ここで, $A_w = 7.69 \times 10^4 \text{ mm}^2$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z}$$

ここで, $Z = 8.44 \times 10^6 \text{ mm}^3$

組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

c. P 3 部の応力

支圧応力

$$\sigma_P = \frac{F_P}{A_{P1}}$$

ここで, $A_{P1} = l_1 \cdot l_7$

d. P 4 部の応力

支圧応力

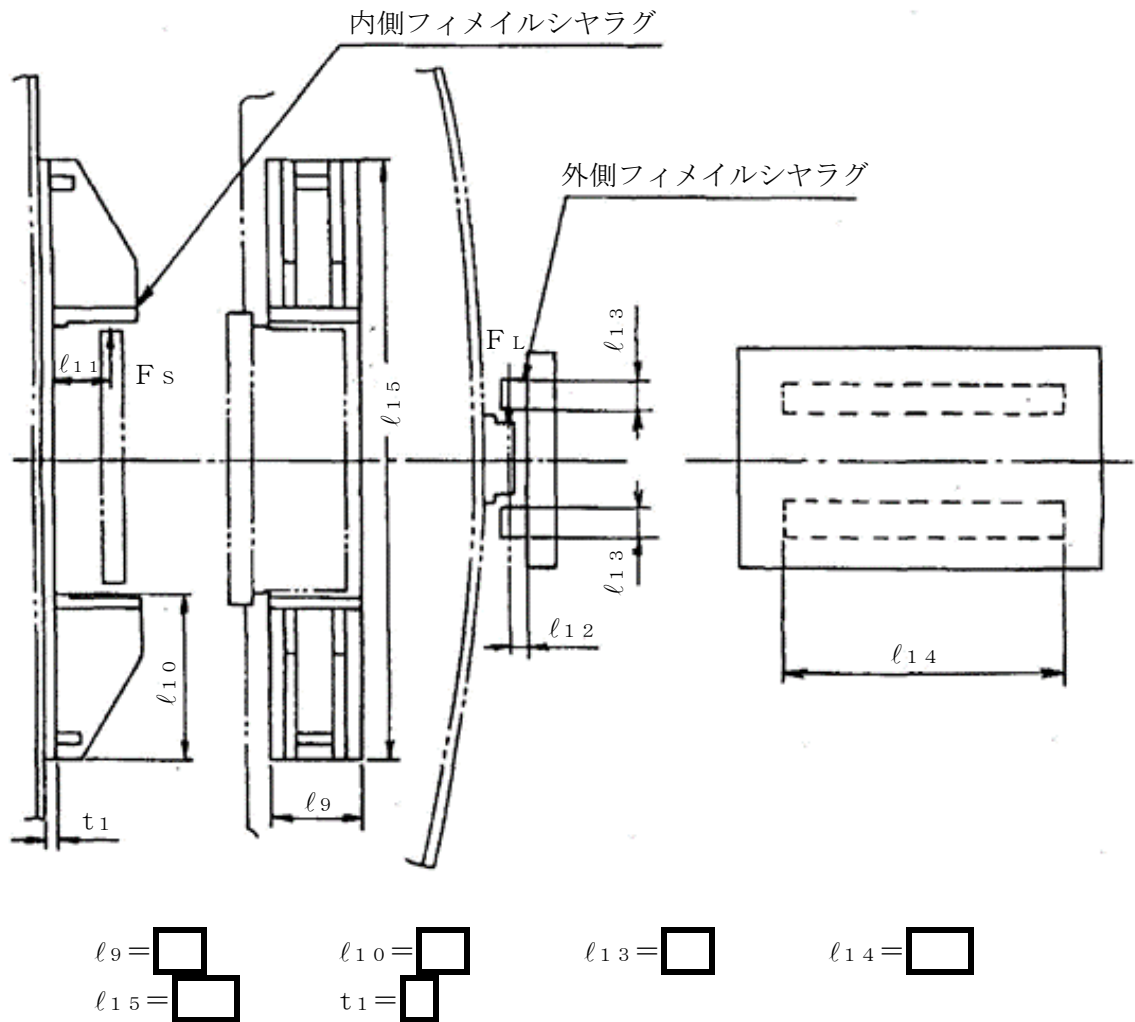
$$\sigma_P = \frac{F_P}{A_{P2}}$$

ここで, $A_{P2} = l_5 \cdot l_8$

4.4.3 フィメイルシヤラグ (応力評価点 P 5 ~ P 9)

(1) 寸法

フィメイルシヤラグの寸法を図 4-4 に示す。



荷重の組合せに対する l_{11} , l_{12} の値を以下に示す。

- $l_{11} = \square$, $l_{12} = \square$: D + P + M + S d*, D + P + M + S s
- $l_{11} = \square$, $l_{12} = \square$: D + P_L + M_L + S d*
- $l_{11} = \square$, $l_{12} = \square$: D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d
- $l_{11} = \square$, $l_{12} = \square$: D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s

注：荷重の組合せは表 4-1 及び表 4-2 参照

(単位：mm)

図 4-4 フィメイルシヤラグの寸法

(2) せん断力及び曲げモーメント

a. 内側フィメールシヤラグ

内側フィメールシヤラグのせん断力，曲げモーメント及び支圧力の算出方法を表 4-18 に示す。

表 4-18 内側フィメールシヤラグの荷重の算出方法

地震荷重	P 5, P 6 部 せん断力 F_s	P 5 部 曲げモーメント M_s	P 6 部 曲げモーメント M_s	P 8 部 支圧力 F_P
S_d^*	W_{S1}	$W_{S1} \cdot (t_1 + l_{11})$	$W_{S1} \cdot l_{11}$	W_{S1}
S_s	W_{S2}	$W_{S2} \cdot (t_1 + l_{11})$	$W_{S2} \cdot l_{11}$	W_{S2}

b. 外側フィメールシヤラグ

外側フィメールシヤラグのせん断力，曲げモーメント及び支圧力の算出方法を表 4-19 に示す。

表 4-19 外側フィメールシヤラグの荷重の算出方法

地震荷重	P 7 部せん断力 F_L	P 7 部曲げモーメント M_L	P 9 部支圧力 F_P
S_d^*	W_{L1}	$W_{L1} \cdot l_{12}$	W_{L1}
S_s	W_{L2}	$W_{L2} \cdot l_{12}$	W_{L2}

(3) 応力計算

a. P 5 部の応力

せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A_w}$$

ここで, $A_w = 6.00 \times 10^4 \text{ mm}^2$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_s}{Z}$$

ここで, $Z = 2.40 \times 10^7 \text{ mm}^3$

組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

b. P 6 部の応力

せん断応力

$$\tau = \frac{F_s}{A_w}$$

ここで, $A_w = 8.31 \times 10^4 \text{ mm}^2$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_s}{Z}$$

ここで, $Z = 1.01 \times 10^7 \text{ mm}^3$

組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

c. P 7 部の応力

せん断応力

$$\tau = \frac{F_L}{A_w}$$

ここで, $A_w = 8.15 \times 10^4 \text{ mm}^2$

曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M_L}{Z}$$

ここで, $Z = 4.60 \times 10^6 \text{ mm}^3$

組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

d. P 8 部の応力

支圧応力

$$\sigma_{P1} = \frac{F_P}{A_{P1}}$$

ここで, $A_{P1} = l_1 \cdot l_7$

- e. P 9 部の応力
支圧応力

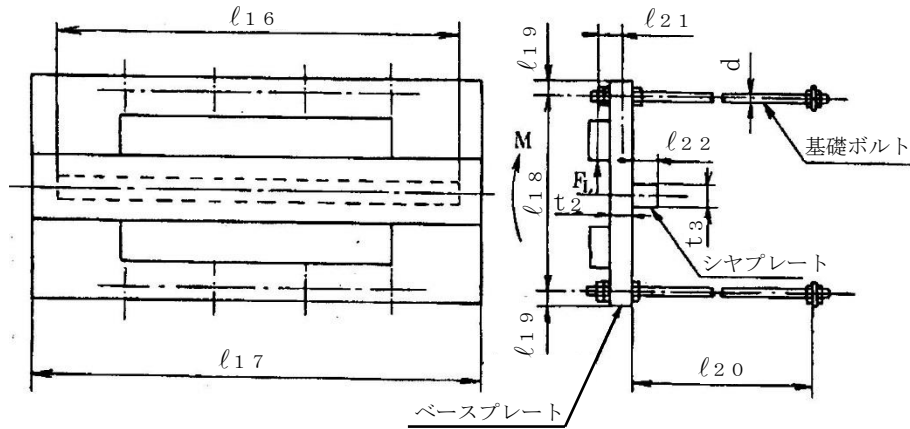
$$\sigma_{P2} = \frac{F_P}{A_{P2}}$$

ここで, $A_{P2} = l_5 \cdot l_8$

4.4.4 ベースプレート及び基礎ボルト（応力評価点P10～P13）

(1) 寸法

ベースプレート及び基礎ボルトの形状及び寸法を図4-5に示す。



$l_{16} = 1700$	$l_{17} = 1800$	$l_{18} = 860$	$l_{19} = 70$
$l_{20} = 1000$	$l_{22} = 125$	$t_2 = 100$	$t_3 = 90$
$d = 38$ (M36 ボルト)			

荷重の組合せに対する l_{21} の値を以下に示す。

$$l_{21} = 120 : D + P + M + S d^*, D + P + M + S s$$

$$l_{21} = 104 : D + P_L + M_L + S d^*$$

$$l_{21} = 96 : D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$$

$$l_{21} = 113 : D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$$

注：荷重の組合せは表4-1及び表4-2参照

(単位：mm)

図4-5 ベースプレート及び基礎ボルトの形状及び寸法

(2) 基礎ボルトの応力 (応力評価点 P 1 0)

図 4-6 に示す計算モデルより力のつり合いとモーメントのつり合いから σ_s と σ_c の関係を求める。

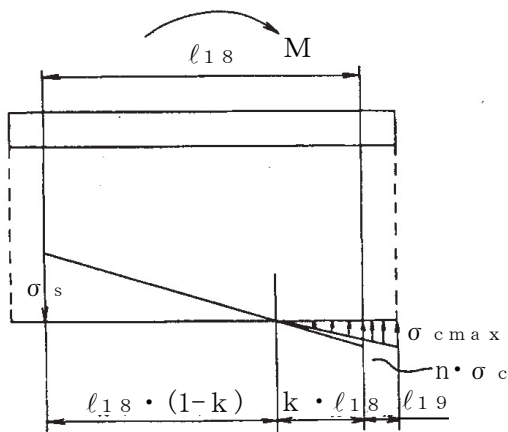


図 4-6 コンクリート圧縮応力計算モデル

a. 力のつり合い

$$n_b \cdot A_b \cdot \sigma_s - n_b \cdot A_b \cdot (n \cdot \sigma_c) - \frac{1}{2} \cdot A_c \cdot \sigma_{cmax} = 0 \dots \dots \dots (4. 1)$$

b. モーメントのつり合い

$$M - n_b \cdot A_b \cdot \sigma_s \cdot (1 - k) \cdot l_{18} - n_b \cdot A_b \cdot n \cdot \sigma_c \cdot k \cdot l_{18} - \frac{1}{2} \cdot \sigma_{cmax} \cdot A_c \cdot \frac{2}{3} \cdot (k \cdot l_{18} + l_{19}) = 0 \dots \dots \dots (4. 2)$$

ここで,

M : 曲げモーメント = $F_L \cdot l_{21}$

n_b : 引張側及び圧縮側のボルト数 = 各 4 本

n : ボルトとコンクリートの縦弾性係数比 = 15

A_b : ボルト 1 本の断面積 = 1017.9 mm^2

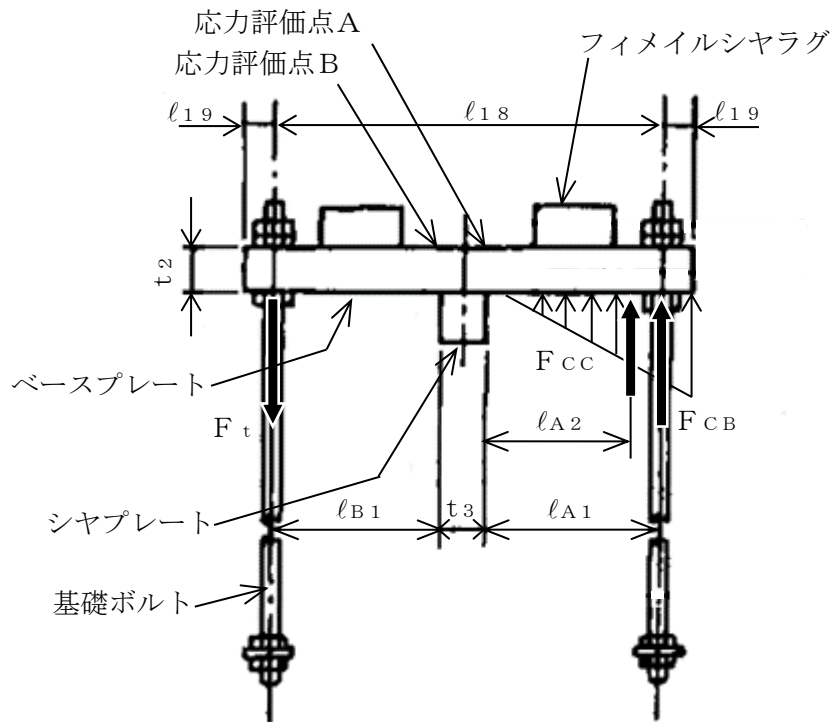
k : 係数 = $\frac{1}{1 + \frac{\sigma_s}{n \cdot \sigma_c}} = 0.153$

A_c : 圧縮側ベースプレート面積 = $(k \cdot l_{18} + l_{19}) \cdot l_{17} = 3.63 \times 10^5 \text{ mm}^2$

σ_{cmax} : コンクリートの最大圧縮応力度 = $\frac{(k \cdot l_{18} + l_{19}) \cdot \sigma_c}{k \cdot l_{18}} = 1.532 \cdot \sigma_c$

これらの値を (4. 1), (4. 2) 式に代入して σ_c , σ_s 及び σ_{cmax} の値を求める。

- (3) ベースプレートの応力 (応力評価点 P 1 1)
 ベースプレートの形状及び寸法を図 4-7 に示す。



$$\begin{aligned}
 l_{18} &= 860 & l_{19} &= 70 & t_2 &= 100 & t_3 &= 90 \\
 l_{A1} &= l_{B1} = \frac{l_{18} - t_3}{2} = \frac{860 - 90}{2} = 385 \\
 l_{A2} &= \frac{l_{18} - t_3}{2} + l_{19} - \frac{k \cdot l_{18} + l_{19}}{3} = \frac{860 - 90}{2} + 70 - \frac{0.153 \times 860 + 70}{3} = 387.8
 \end{aligned}$$

(単位 : mm)

図 4-7 ベースプレートの形状及び寸法

a. せん断力

ベースプレートが基礎ボルトから受ける引張力

$$F_t = n_b \cdot A_b \cdot \sigma_s$$

ベースプレートが基礎ボルトから受ける圧縮力

$$F_{CB} = n_b \cdot A_b \cdot n \cdot \sigma_c$$

ベースプレートがコンクリートから受ける圧縮力

$$F_{CC} = \frac{A_c \cdot \sigma_{cmax}}{2}$$

A点でのせん断力

$$F_A = F_{CB} + F_{CC}$$

B点でのせん断力

$$F_B = F_t$$

b. 曲げモーメント

A点での曲げモーメント

$$M_A = F_{CB} \cdot \ell_{A1} + F_{CC} \cdot \ell_{A2}$$

B点での曲げモーメント

$$M_B = F_t \cdot \ell_{B1}$$

c. 応力計算

(a) せん断応力

$$\tau_A = \frac{F_A}{\ell_{17} \cdot t_2}$$

$$\tau_B = \frac{F_B}{\ell_{17} \cdot t_2}$$

(b) 曲げ応力

$$\sigma_{bA} = \frac{M_A}{Z}$$

$$\sigma_{bB} = \frac{M_B}{Z}$$

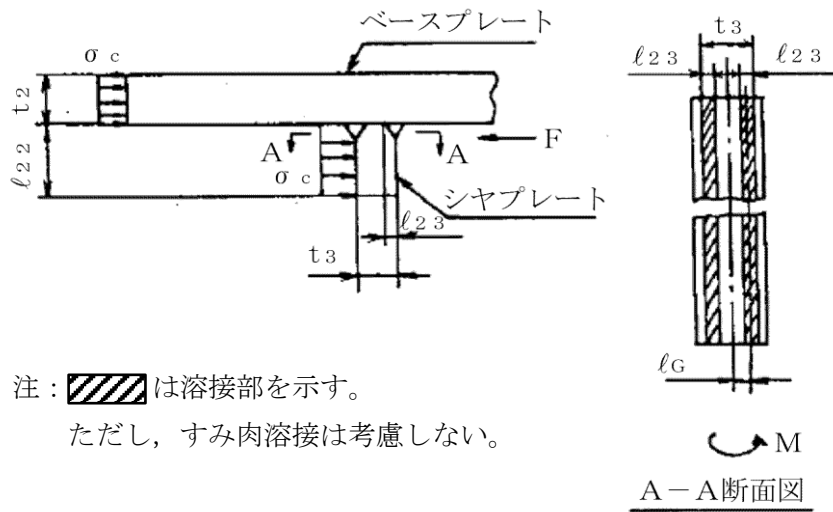
ここで、 $Z = 3.00 \times 10^6 \text{ mm}^3$

(c) 組合せ応力

$$\sigma_A = \sqrt{\sigma_{bA}^2 + 3 \cdot \tau_A^2}$$

$$\sigma_B = \sqrt{\sigma_{bB}^2 + 3 \cdot \tau_B^2}$$

- (4) シャプレートの応力 (応力評価点 P 1 2)
 シャプレートの形状及び寸法を図 4-8 に示す。



注： は溶接部を示す。
 ただし、すみ肉溶接は考慮しない。

$$l_{22} = 125 \quad l_{23} = 30 \quad t_2 = 100 \quad t_3 = 90 \quad l_G = 30$$

(単位 : mm)

図 4-8 シャプレートの形状及び寸法

- a. せん断力

$$F = F_L$$

- b. コンクリート部反力

$$\sigma_c = \frac{F}{t_2 \cdot l_{17} + l_{22} \cdot l_{16}}$$

- c. 曲げモーメント

$$M = \frac{1}{2} \cdot \sigma_c \cdot l_{22}^2$$

- d. 応力計算

- (a) せん断応力

$$\tau = \frac{l_{22} \cdot \sigma_c}{2 \cdot l_{23}}$$

- (b) 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{M}{Z}$$

ここで、 $Z = 1.30 \times 10^3 \text{ mm}^3/\text{mm}$

- (c) 組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

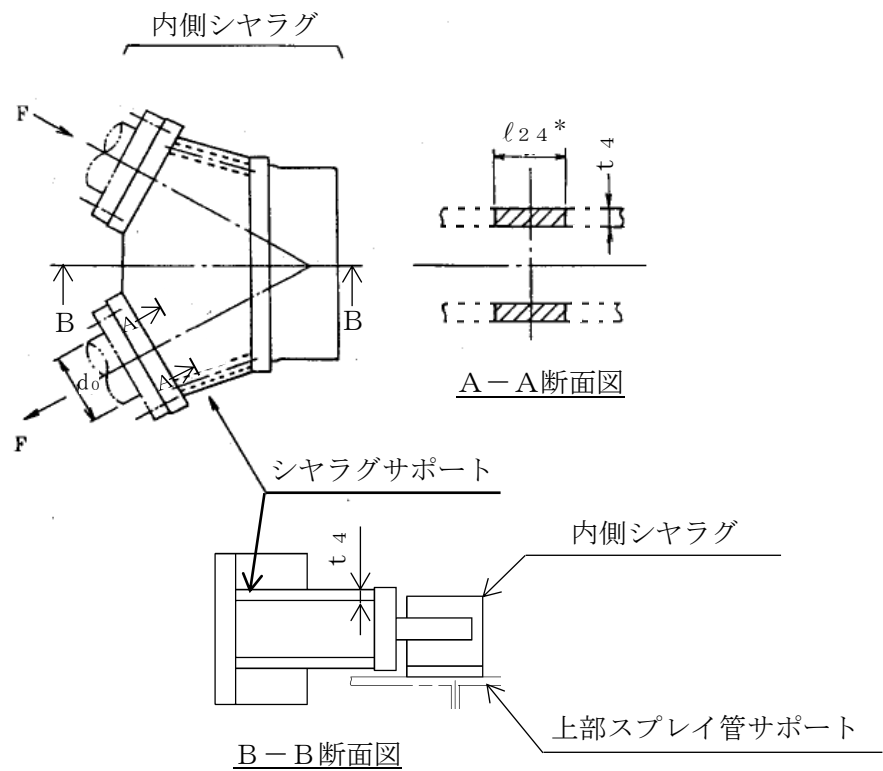
(5) コンクリート部の応力度 (応力評価点 P 1 3)

- a. ベースプレートによるコンクリートの支圧応力度は、4.4.4(2)項で算出した σ_{cmax} である。
- b. シャプレートによるコンクリートの支圧応力度は、4.4.4(4)b.項で算出した σ_c である。

4.4.5 内側シャラグサポート部 (応力評価点 P 1 4)

(1) 寸法

内側シャラグの寸法を図 4-9 に示す。



注記* : 原子炉格納容器スタビライザのパイプ径 d_o でモデル化

$d_o = l_{24} =$

$t_4 =$

(単位 : mm)

図 4-9 内側シャラグの寸法

(2) 引張力（圧縮力）

4.3項の表4-8により求めた内側シヤラグに加わる荷重の算出方法を表4-20に示す。

表4-20 内側シヤラグに加わる荷重の算出方法

地震荷重	P 1 4 部引張力（圧縮力） F
S d *	F ₁
S s	F ₂

(3) 応力計算

P 1 4 部の引張応力（圧縮応力）

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

ここで、 $A = 4.06 \times 10^4 \text{ mm}^2$

4.4.6 ドライウェル

(1) 寸法

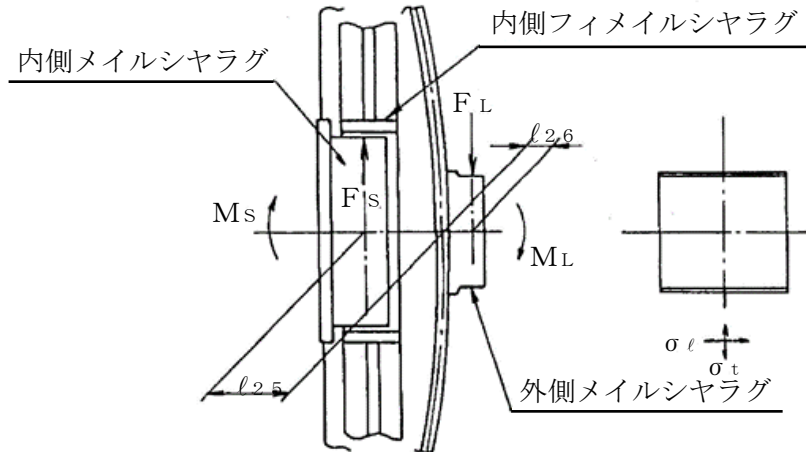
シヤラグのドライウェルへの取付位置と詳細寸法は図 3-1, 図 3-2 及び図 4-3 に示すとおりである。

(2) ドライウェルに加わる荷重

地震時に内側シヤラグ及び外側シヤラグを介してドライウェルに加わる荷重は表 4-16 及び表 4-17 より表 4-21 のように得られる。それぞれの荷重方向については図 4-10 に示す。

表 4-21 ドライウェルに加わる曲げモーメントの算出方法

内側シヤラグによる 曲げモーメント M_s	外側シヤラグによる 曲げモーメント M_L	応力評価点 P 1 5 の 曲げモーメント M
$F_s \cdot l_{25}$	$F_L \cdot l_{26}$	$M_s + M_L$



荷重の組合せに対する l_{25} , l_{26} の値を以下に示す。

- $l_{25} = \square, l_{26} = \square : D + P + M + S d^*, D + P + M + S s$
- $l_{25} = \square, l_{26} = \square : D + P_L + M_L + S d^*$
- $l_{25} = \square, l_{26} = \square : D + P_{SAL} + M_{SAL} + S d$
- $l_{25} = \square, l_{26} = \square : D + P_{SALL} + M_{SALL} + S s$

注：荷重の組合せは表 4-1 及び表 4-2 参照

(単位：mm)

図 4-10 荷重方向

(3) ドライウェルの応力（応力評価点 P 1 5）

応力評価点 P 1 5 は既工認の各荷重による応力に圧力比又は荷重比を乗じて評価する。

4.5 計算条件

応力解析に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.3 設計用地震力」に示す。

4.6 応力の評価

「4.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、応力評価点 P 1 5 の一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m は S と読み替える。) に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

シヤラグの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1～表 5-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、応力評価点 P 1 5 の一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表5-1 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D+P+M+S d^{*}) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
シヤラグ	P 1	内側メイルシヤラグ	せん断応力	62	132	○	(10)	
			曲げ応力	69	229	○	(10)	
			組合せ応力	128	229	○	(10)	
	P 2	外側メイルシヤラグ	せん断応力	50	132	○	(10)	
			曲げ応力	43	229	○	(10)	
			組合せ応力	97	229	○	(10)	
	P 3	内側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	106	312	○	(10)	
	P 4	外側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	95	312	○	(10)	
	P 5	内側フィメイルシヤラグ	せん断応力	53	132	○	(10)	
			曲げ応力	30	229	○	(10)	
			組合せ応力	97	229	○	(10)	
	P 6	内側フィメイルシヤラグ リブ付根部	せん断応力	39	132	○	(10)	
			曲げ応力	54	229	○	(10)	
			組合せ応力	87	229	○	(10)	
	P 7	外側フィメイルシヤラグ	せん断応力	47	132	○	(10)	
			曲げ応力	58	229	○	(10)	
			組合せ応力	100	229	○	(10)	
	P 8	内側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	106	312	○	(10)	
P 9	外側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	95	312	○	(10)		

表5-1 許容応力状態Ⅲ_ASに対する評価結果 (D+P+M+S d^{*}) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
シヤラグ	P 1 0	基礎ボルト	引張応力	130	458	○	(10)		
	P 1 1	ベースプレート	せん断応力	3	132	○	(10)		
			曲げ応力	69	264	○	(10)		
			組合せ応力	70	229	○	(10)		
	P 1 2	シヤプレート	せん断応力	21	132	○	(10)		
			曲げ応力	59	229	○	(10)		
			組合せ応力	70	229	○	(10)		
	P 1 3	コンクリート	ベースプレート部	支圧応力度	2.4	23.5	○	(10)	*
			シヤプレート部	支圧応力度	9.7	23.5	○	(10)	*
	P 1 4	内側シヤラグサポート		引張圧縮応力	82	229	○	(10)	
	P 1 5	シヤラグ取付部		一次膜応力 +一次曲げ応力	38	495	○	(10)	
一次+二次応力				222	501	○	(10), (11)		

注記* : 単位 : N/mm²

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
シヤラグ	P 1	内側メイルシヤラグ	せん断応力	109	158	○	(12)	
			曲げ応力	123	275	○	(12)	
			組合せ応力	226	275	○	(12)	
	P 2	外側メイルシヤラグ	せん断応力	112	158	○	(12)	
			曲げ応力	97	275	○	(12)	
			組合せ応力	217	275	○	(12)	
	P 3	内側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	189	375	○	(12)	
	P 4	外側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	214	375	○	(12)	
	P 5	内側フィメイルシヤラグ	せん断応力	95	158	○	(12)	
			曲げ応力	52	275	○	(12)	
			組合せ応力	173	275	○	(12)	
	P 6	内側フィメイルシヤラグ リブ付根部	せん断応力	68	158	○	(12)	
			曲げ応力	96	275	○	(12)	
			組合せ応力	152	275	○	(12)	
	P 7	外側フィメイルシヤラグ	せん断応力	105	158	○	(12)	
			曲げ応力	131	275	○	(12)	
			組合せ応力	225	275	○	(12)	
	P 8	内側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	189	375	○	(12)	
P 9	外側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	214	375	○	(12)		

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P + M + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
シヤラグ	P 1 0	基礎ボルト	引張応力	294	458	○	(12)		
	P 1 1	ベースプレート	せん断応力	7	158	○	(12)		
			曲げ応力	155	317	○	(12)		
			組合せ応力	156	275	○	(12)		
	P 1 2	シヤプレート	せん断応力	46	158	○	(12)		
			曲げ応力	132	275	○	(12)		
			組合せ応力	155	275	○	(12)		
	P 1 3	コンクリート	ベースプレート部	支圧応力度	5.4	23.5	○	(12)	*
			シヤプレート部	支圧応力度	21.8	23.5	○	(12)	*
	P 1 4	内側シヤラグサポート		引張圧縮応力	146	275	○	(12)	
	P 1 5	シヤラグ取付部		一次膜応力 +一次曲げ応力	59	495	○	(12)	
一次+二次応力				401	501	○	(12), (13)		

注記* : 単位 : N/mm²

表 5-3 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P_L+M_L+S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
シヤラグ	P 1	内側メイルシヤラグ	せん断応力	62	158	○	(17)	
			曲げ応力	70	275	○	(17)	
			組合せ応力	129	275	○	(17)	
	P 2	外側メイルシヤラグ	せん断応力	50	158	○	(17)	
			曲げ応力	36	275	○	(17)	
			組合せ応力	94	275	○	(17)	
	P 3	内側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	108	375	○	(17)	
	P 4	外側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	53	375	○	(17)	
	P 5	内側フィメイルシヤラグ	せん断応力	53	158	○	(17)	
			曲げ応力	29	275	○	(17)	
			組合せ応力	97	275	○	(17)	
	P 6	内側フィメイルシヤラグ リブ付根部	せん断応力	39	158	○	(17)	
			曲げ応力	53	275	○	(17)	
			組合せ応力	86	275	○	(17)	
	P 7	外側フィメイルシヤラグ	せん断応力	47	158	○	(17)	
			曲げ応力	45	275	○	(17)	
			組合せ応力	93	275	○	(17)	
	P 8	内側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	108	375	○	(17)	
P 9	外側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	53	375	○	(17)		

表 5-3 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P_L+M_L+S d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
シヤラグ	P 1 0	基礎ボルト	引張応力	113	458	○	(17)		
	P 1 1	ベースプレート	せん断応力	3	158	○	(17)		
			曲げ応力	60	317	○	(17)		
			組合せ応力	61	275	○	(17)		
	P 1 2	シヤプレート	せん断応力	21	158	○	(17)		
			曲げ応力	59	275	○	(17)		
			組合せ応力	70	275	○	(17)		
	P 1 3	コンクリート	ベースプレート部	支圧応力度	2.1	23.5	○	(17)	*
			シヤプレート部	支圧応力度	9.7	23.5	○	(17)	*
	P 1 4	内側シヤラグサポート		引張圧縮応力	82	275	○	(17)	
	P 1 5	シヤラグ取付部		一次膜応力 +一次曲げ応力	95	495	○	(17)	
一次+二次応力				218	501	○	(17)		

注記* : 単位 : N/mm²

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

シヤラグの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、応力評価点 P 1 5 の一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 5-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
シヤラグ	P 1	内側メイルシヤラグ	せん断応力	62	156	○	V (L) -1	
			曲げ応力	70	271	○	V (L) -1	
			組合せ応力	129	271	○	V (L) -1	
	P 2	外側メイルシヤラグ	せん断応力	50	156	○	V (L) -1	
			曲げ応力	32	271	○	V (L) -1	
			組合せ応力	93	271	○	V (L) -1	
	P 3	内側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	109	369	○	V (L) -1	
	P 4	外側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	44	369	○	V (L) -1	
	P 5	内側フィメイルシヤラグ	せん断応力	53	156	○	V (L) -1	
			曲げ応力	29	271	○	V (L) -1	
			組合せ応力	97	271	○	V (L) -1	
	P 6	内側フィメイルシヤラグ リブ付根部	せん断応力	39	156	○	V (L) -1	
			曲げ応力	52	271	○	V (L) -1	
			組合せ応力	86	271	○	V (L) -1	
	P 7	外側フィメイルシヤラグ	せん断応力	47	156	○	V (L) -1	
			曲げ応力	38	271	○	V (L) -1	
			組合せ応力	90	271	○	V (L) -1	
	P 8	内側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	109	369	○	V (L) -1	
P 9	外側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	44	369	○	V (L) -1		

表 5-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
シヤラグ	P 1 0	基礎ボルト	引張応力	104	454	○	V (L) -1		
	P 1 1	ベースプレート	せん断応力	3	156	○	V (L) -1		
			曲げ応力	57	312	○	V (L) -1		
			組合せ応力	58	271	○	V (L) -1		
	P 1 2	シヤプレート	せん断応力	21	156	○	V (L) -1		
			曲げ応力	59	271	○	V (L) -1		
			組合せ応力	70	271	○	V (L) -1		
	P 1 3	コンクリート	ベースプレート部	支圧応力度	2.0	23.5	○	V (L) -1	*
			シヤプレート部	支圧応力度	9.7	23.5	○	V (L) -1	*
	P 1 4	内側シヤラグサポート		引張圧縮応力	82	271	○	V (L) -1	
	P 1 5	シヤラグ取付部	一次膜応力 +一次曲げ応力	161	490	○	V (L) -1		
			一次+二次応力	218	501	○	V (L) -1		

注記* : 単位 : N/mm²

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
シヤラグ	P 1	内側メイルシヤラグ	せん断応力	109	172	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	124	298	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	226	298	○	V (L L) -1	
	P 2	外側メイルシヤラグ	せん断応力	112	172	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	89	298	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	214	298	○	V (L L) -1	
	P 3	内側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	191	406	○	V (L L) -1	
	P 4	外側メイルシヤラグ接触部	支圧応力	159	406	○	V (L L) -1	
	P 5	内側フィメイルシヤラグ	せん断応力	95	172	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	52	298	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	173	298	○	V (L L) -1	
	P 6	内側フィメイルシヤラグ リブ付根部	せん断応力	68	172	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	94	298	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	151	298	○	V (L L) -1	
	P 7	外側フィメイルシヤラグ	せん断応力	105	172	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	118	298	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	217	298	○	V (L L) -1	
	P 8	内側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	191	406	○	V (L L) -1	
P 9	外側フィメイルシヤラグ接触部	支圧応力	159	406	○	V (L L) -1		

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考	
				算出応力	許容応力				
				MPa	MPa				
シヤラグ	P 1 0	基礎ボルト	引張応力	276	488	○	V (L L) -1		
	P 1 1	ベースプレート	せん断応力	7	172	○	V (L L) -1		
			曲げ応力	146	344	○	V (L L) -1		
			組合せ応力	147	298	○	V (L L) -1		
	P 1 2	シヤプレート	せん断応力	46	172	○	V (L L) -1		
			曲げ応力	132	298	○	V (L L) -1		
			組合せ応力	155	298	○	V (L L) -1		
	P 1 3	コンクリート	ベースプレート部	支圧応力度	5.1	23.5	○	V (L L) -1	*
			シヤプレート部	支圧応力度	21.8	23.5	○	V (L L) -1	*
	P 1 4	内側シヤラグサポート		引張圧縮応力	146	298	○	V (L L) -1	
	P 1 5	シヤラグ取付部		一次膜応力 +一次曲げ応力	128	523	○	V (L L) -1	
				一次+二次応力	399	501	○	V (L L) -1	

注記* : 単位 : N/mm²

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-3 「シヤラグの強度計算書」

VI-2-9-2-5 機器搬入口の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	15
5. 構造強度評価	16
5.1 構造強度評価方法	16
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
5.2.2 許容応力	16
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	16
5.2.4 設計荷重	21
5.3 設計用地震力	22
5.4 計算方法	26
5.4.1 応力評価方法	26
5.5 計算条件	28
5.6 応力の評価	28
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	34
7. 参照図書	37
8. 引用文献	37

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、機器搬入口が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

機器搬入口は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による機器搬入口の評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

機器搬入口の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>機器搬入口はドライウエルに支持される。</p> <p>機器搬入口の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴, 板厚 <input type="text"/> mm の鏡板及びフランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p style="text-align: right;">(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

機器搬入口の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

機器搬入口の耐震評価フローを図2-1に示す。

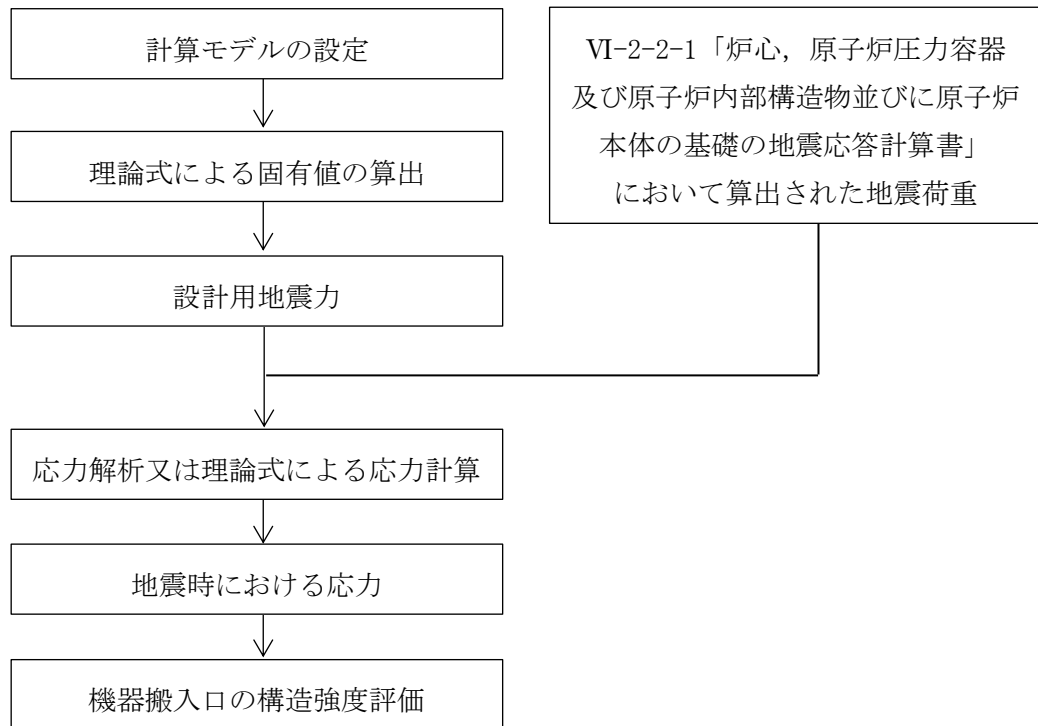


図2-1 機器搬入口の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
A _s	せん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _i	地震層せん断力係数	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
f	引用文献(1) Fig. 3 より読み取る値	%
G	せん断弾性係数	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _{A1}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{A2}	片持はりを仮定した軸直角方向（せん断方向）ばね定数	N/mm
K _{A3}	片持はりを仮定した軸直角方向（曲げ方向）ばね定数	N/mm
K _e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
K _{PSC}	引用文献(1) Fig. 3 及び Table 1 で規定する応力係数* $= \theta / \frac{M}{a^3 \cdot \beta^2 \cdot E}$	—
K _{PSR}	引用文献(1) Table 9 で規定する応力係数* $= \omega / \frac{P}{E \cdot a}$	—
K _{PSL}	引用文献(1) Fig. 7 及び Table 4 で規定する応力係数* $= \theta / \frac{M}{a^3 \cdot \beta^2 \cdot E}$	—
K _{SC}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _{SL}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（鉛直方向）のばね定数	N/mm
K _{SR}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _C	軸直角方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
K _L	軸直角方向（鉛直方向）の合成ばね定数	N/mm
K _R	軸方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
l _g	機器搬入口重心位置から取付部までの長さ	mm
l _i	長さ（i = 1, 2, 3…）	mm
m	機器質量	kg

注記*：ここで使用している記号は引用文献(1)を参照

記号	記号の説明	単位
M	機械的荷重	—
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
N _a	地震時の許容繰返し回数	—
N _c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P _{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
R _h	ハッチ鏡板内半径	mm
R _i	ドライウエル内半径	mm
R _m	ドライウエル平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S _d	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力	—
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ '	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S _n	地震動による応力振幅	MPa
S _p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S _y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3)	mm
T _C	軸直角方向の固有周期 (水平方向)	s
T _L	軸直角方向の固有周期 (鉛直方向)	s
T _R	軸方向の固有周期 (水平方向)	s
T _{SAL}	温度 (SA後長期温度)	℃
T _{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	℃
W	荷重	—
α	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—
β	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
ばね定数	N/mm	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

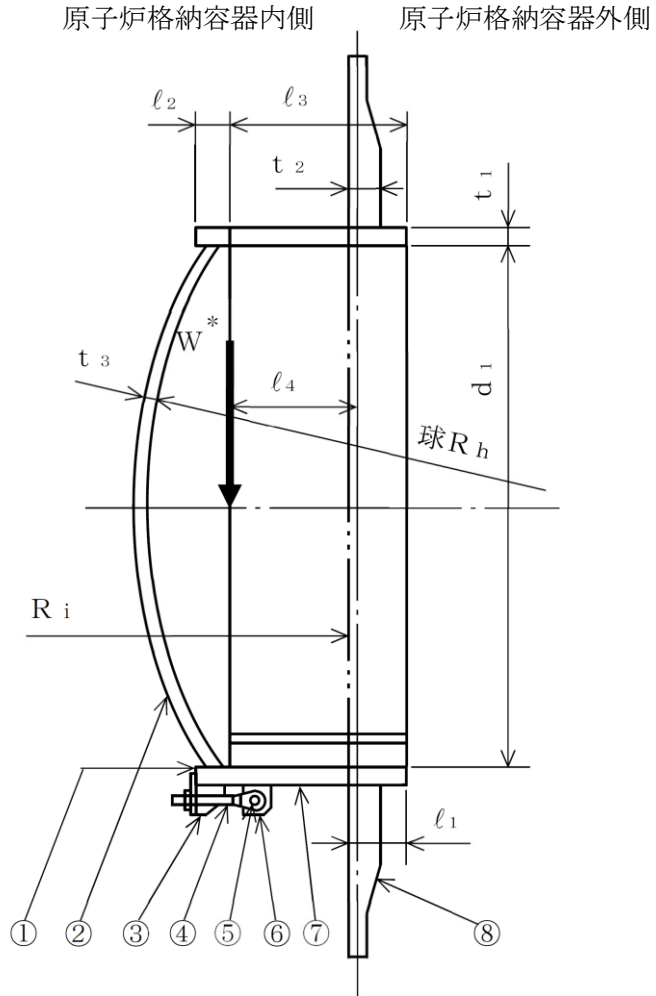
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

機器搬入口の形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



注記* : W (死荷重又は活荷重) の作用点を示す。

- | | | | |
|-------|--------|--------|----------|
| ①フランジ | ②鏡板 | ③ブラケット | ④スイングボルト |
| ⑤ピン | ⑥ブラケット | ⑦円筒胴 | ⑧補強板 |

$d_1 =$ <input type="text"/>	$t_1 =$ <input type="text"/>	$t_2 =$ <input type="text"/>	$t_3 =$ <input type="text"/>	$l_1 =$ <input type="text"/>
$l_2 =$ <input type="text"/>	$l_3 =$ <input type="text"/>	$l_4 =$ <input type="text"/>	$R_i = 11400$	$R_h = 3600$

(単位 : mm)

図3-1 機器搬入口の形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
フランジ	SGV49	SGV480 相当
鏡板	SGV49	SGV480 相当
円筒胴	SGV49	SGV480 相当
補強板	SPV50	SPV490 相当
ブラケット	SGV49	SGV480 相当
スイングボルト	SNCM439	—
ピン	SNCM439	—

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

機器搬入口の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 機器搬入口の質量は、重心に集中するものとする。
- 機器搬入口は、ドライウエルに固定されており、一端固定、他端自由とする。また、機器搬入口は片持はりと考え、変形モードはせん断、曲げ又は圧縮・引張を考慮する。
- 機器搬入口より加わる荷重（以下「外荷重」という。）によって機器搬入口とドライウエルとの取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形、又は圧縮・引張による取付部変形を考慮する。
- b 及び c による変形の両者を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

機器搬入口は、図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと、図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの、両者の合成として考える。機器搬入口の固有周期の計算に用いる寸法を図 4-3 に示す。

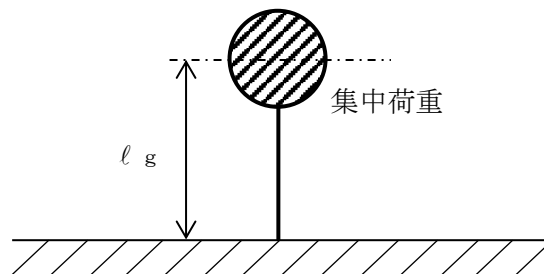


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

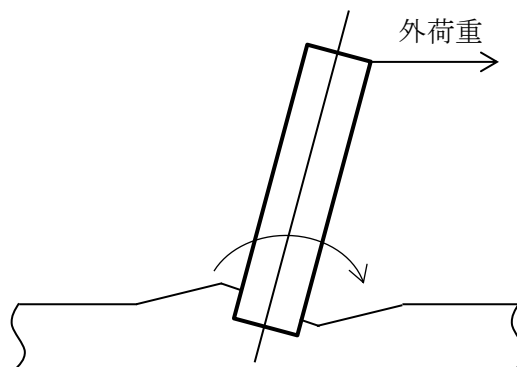


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）

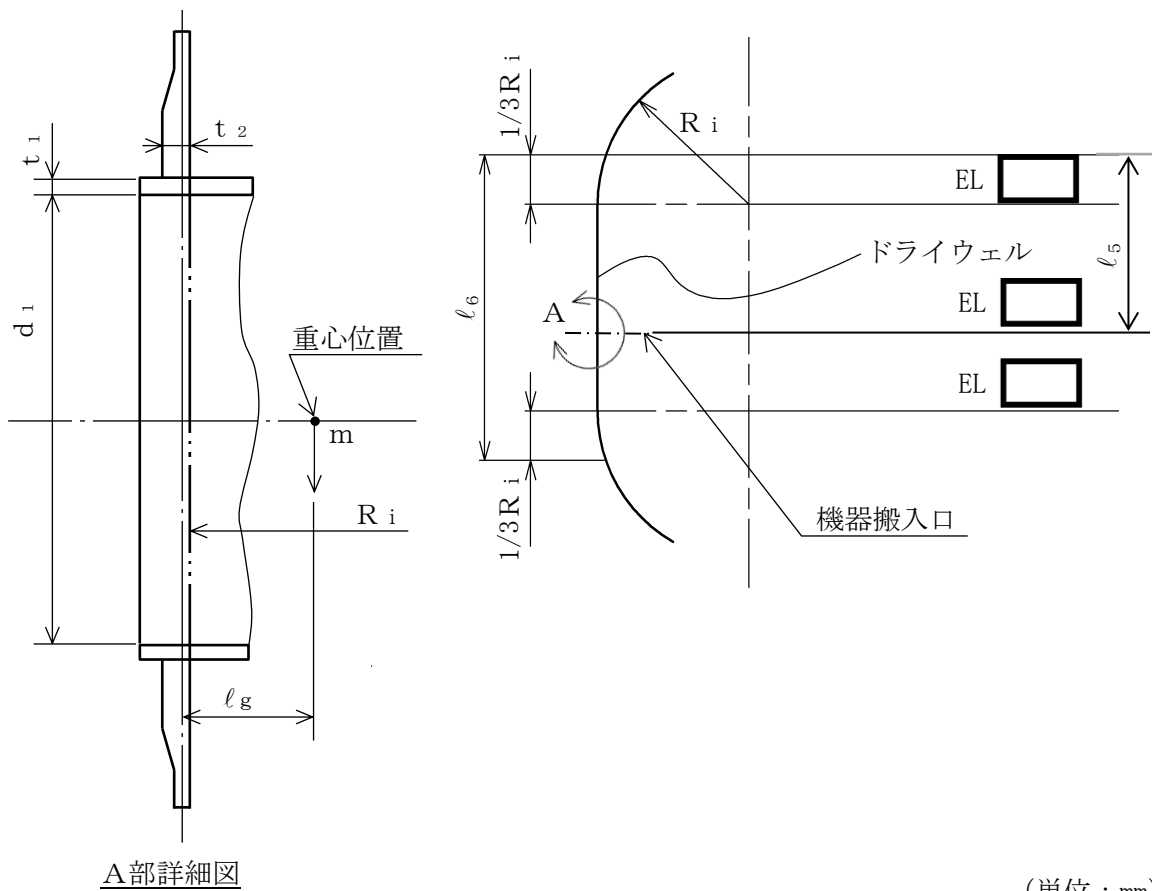


図 4-3 機器搬入口の固有周期の計算に用いる寸法

(2) ドライウエルとの取付部の変形によるばね定数

ドライウエルとの取付部の変形によるばね定数は、引用文献(1)に基づき計算するものとし、以下に計算方法を示す。

a. 計算データ

$$R_m = R_i + \frac{t_2}{2} \dots \dots \dots (4.1.1)$$

$$\alpha = \frac{4 \cdot l_5 \cdot (l_6 - l_5)}{l_6 \cdot R_m} \dots \dots \dots (4.1.2)$$

$$\beta = 0.875 \cdot \frac{\frac{d_1}{2} + t_1}{R_m} \dots \dots \dots (4.1.3)$$

$$\gamma = \frac{R_m}{t_2} \dots \dots \dots (4.1.4)$$

- b. ドライウエル半径方向荷重に対する軸方向（水平方向）ばね定数

$$K_{SR} = \frac{E \cdot R_m}{K_{PSR}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ここで、 K_{PSR} は 4.1(2)a. 項にて算出した β 及び γ より、引用文献(1)の Table 9 より得られた値を使用する。

- c. ドライウエル周方向曲げモーメントに対する軸直角方向（水平方向）ばね定数

$$K_{SC} = \frac{R_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E}{K_{PSC} \cdot \frac{f}{100} \cdot \ell_g^2} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

ここで、 K_{PSC} 及び f は 4.1(2)a. 項にて算出した α 、 β 及び γ より、引用文献(1)の Fig.3 及び Table 1 より得られた値を使用する。

- d. ドライウエル長手方向曲げモーメントに対する軸直角方向（鉛直方向）ばね定数

$$K_{SL} = \frac{R_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E}{K_{PSL} \cdot \ell_g^2} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ここで、 K_{PSL} は 4.1(2)a. 項にて算出した β 及び γ より、引用文献(1)の Fig.7 及び Table 4 より得られた値を使用する。

- (3) 機器搬入口の円筒胴部のばね定数

- a. 軸方向（水平方向(ドライウエル半径方向))ばね定数

片持はりを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{A1} = \frac{A \cdot E}{\ell_g} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

- b. 軸直角方向（水平方向及び鉛直方向(ドライウエル周方向及び長手方向))ばね定数

片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

(せん断方向)

$$K_{A2} = \frac{A_S \cdot G}{\ell_g} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

(曲げ方向)

$$K_{A3} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{\ell_g^3} \dots\dots\dots (4.1.10)$$

(4) 合成ばね定数

外荷重によってドライウェルとの取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数と，片持はりを仮定したばね定数の，両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{K_{SR}} + \frac{1}{K_{A1}}} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$K_C = \frac{1}{\frac{1}{K_{SC}} + \frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{A3}}} \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{A3}}} \dots\dots\dots (4.1.13)$$

(5) 水平方向の固有周期

水平方向の固有周期は次式で求める。

軸方向

$$T_R = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_R}} \dots\dots\dots (4.1.14)$$

軸直角方向

$$T_C = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_C}} \dots\dots\dots (4.1.15)$$

(6) 鉛直方向の固有周期

鉛直方向の固有周期は次式で求める。

$$T_L = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_L}} \dots\dots\dots (4.1.16)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件(1/2)

記号	単位	値
R_i	mm	11400
t_1	mm	
t_2	mm	
d_1	mm	
l_5	mm	
l_6	mm	
l_g	mm	
R_m	mm	
\square	—	
β	—	
γ	—	
E	MPa	
K_{PSR}	—	
K_{PSC}	—	
K_{PSL}	—	
f	%	
G	MPa	
I	mm ⁴	
A	mm ²	
A _S	mm ²	
K_{SR}	N/mm	
K_{SC}	N/mm	
K_{SL}	N/mm	
K_{A1}	N/mm	
K_{A2}	N/mm	
K_{A3}	N/mm	
K_R	N/mm	
K_C	N/mm	

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件(2/2)

記号	単位	値
K _L	N/mm	
m	kg	

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-2 に示す。水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-3 に示す。水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 機器搬入口の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

機器搬入口の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は，機器搬入口に対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは，絶対値和を適用する。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

機器搬入口の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

機器搬入口の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

機器搬入口の使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	機器搬入口	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)		
					D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S _d **2	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	機器搬入口	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *4	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*6			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*1	3・S*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*3, *4 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*1		
V _A S*5				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2：3・Sを超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

*6：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		機器搬入口	SGV49* ¹	周囲環境温度	171	131	229
SPV50* ²	周囲環境温度		171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		機器搬入口	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ²	131	226
周囲環境温度	70* ³			131	248	453	—
SPV50* ⁴	周囲環境温度		200* ²	167	417	545	—
	周囲環境温度		70* ³	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) 機器搬入口の自重 N

(b) ドライウエルの自重

機器搬入口より上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

(a) 床に加わる荷重 N

(b) ドライウエルの荷重

機器搬入口より上部の活荷重を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

5.3 設計用地震力

機器搬入口の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 及び表 5-8, 表 5-9 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 及び表 5-10, 表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は, VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数は VI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また, ドライウエルの機器搬入口設置位置に作用する地震荷重は, VI-2-2-1 「炉心, 原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る設計荷重を設定する。また, 燃料交換時の鉛直地震荷重については, 死荷重及び活荷重に VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた鉛直震度を乗じて算出した鉛直地震荷重を上回る設計荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 機器搬入口

設計基準対象施設として機器搬入口の応力計算に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として機器搬入口の応力計算に用いる, ドライウエルの鉛直方向荷重を表 5-8 に, 水平方向地震荷重を表 5-9 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

a. 機器搬入口

重大事故等対処設備として機器搬入口の応力計算に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として機器搬入口の応力計算に用いる, ドライウエルの鉛直方向荷重を表 5-10 に, 水平方向地震荷重を表 5-11 に示す。

表 5-6 機器搬入口の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=2.57^{*2,*3}$	$C_V=0.45^{*4}$	$C_H=4.85^{*2,*5}$	$C_V=0.84^{*6}$	1.0^{*7}	—

注記*1：機器搬入口に対し、X方向は軸方向、Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：溶接構造物に適用される減衰定数

表 5-7 機器搬入口の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=2.57^{*2,*3}$	$C_V=0.45^{*4}$	$C_H=4.85^{*2,*5}$	$C_V=0.84^{*6}$	1.0^{*7}	—

注記*1：機器搬入口に対し、X方向は軸方向、Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：溶接構造物に適用される減衰定数

表 5-8 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
死荷重及び 活荷重	地震荷重		死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s

表 5-9 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10^7	3.460×10^{11}	6.100×10^7	7.580×10^{11}

表 5-10 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s

表 5-11 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10^7	3.460×10^{11}	6.100×10^7	7.580×10^{11}

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価方法

機器搬入口の応力評価点は、機器搬入口を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-12 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点 P 8 及び P 9 は既工認の各荷重による応力に圧力比又は荷重比を乗じて評価する。

表 5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	鏡板中央部
P 2 *	フランジ
P 3 *	ブラケットとフランジとの結合部
P 4 *	ブラケットと円筒胴との結合部
P 5 *	ピン取付部
P 6 *	スイングボルト
P 7 *	ピン
P 8	機器搬入口円筒胴 (P 8-A~P 8-C)
P 9	機器搬入口本体と補強板との結合部 (P 9-A~P 9-C)

注記* : P 1 ~ P 7 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるため、評価を行わない。

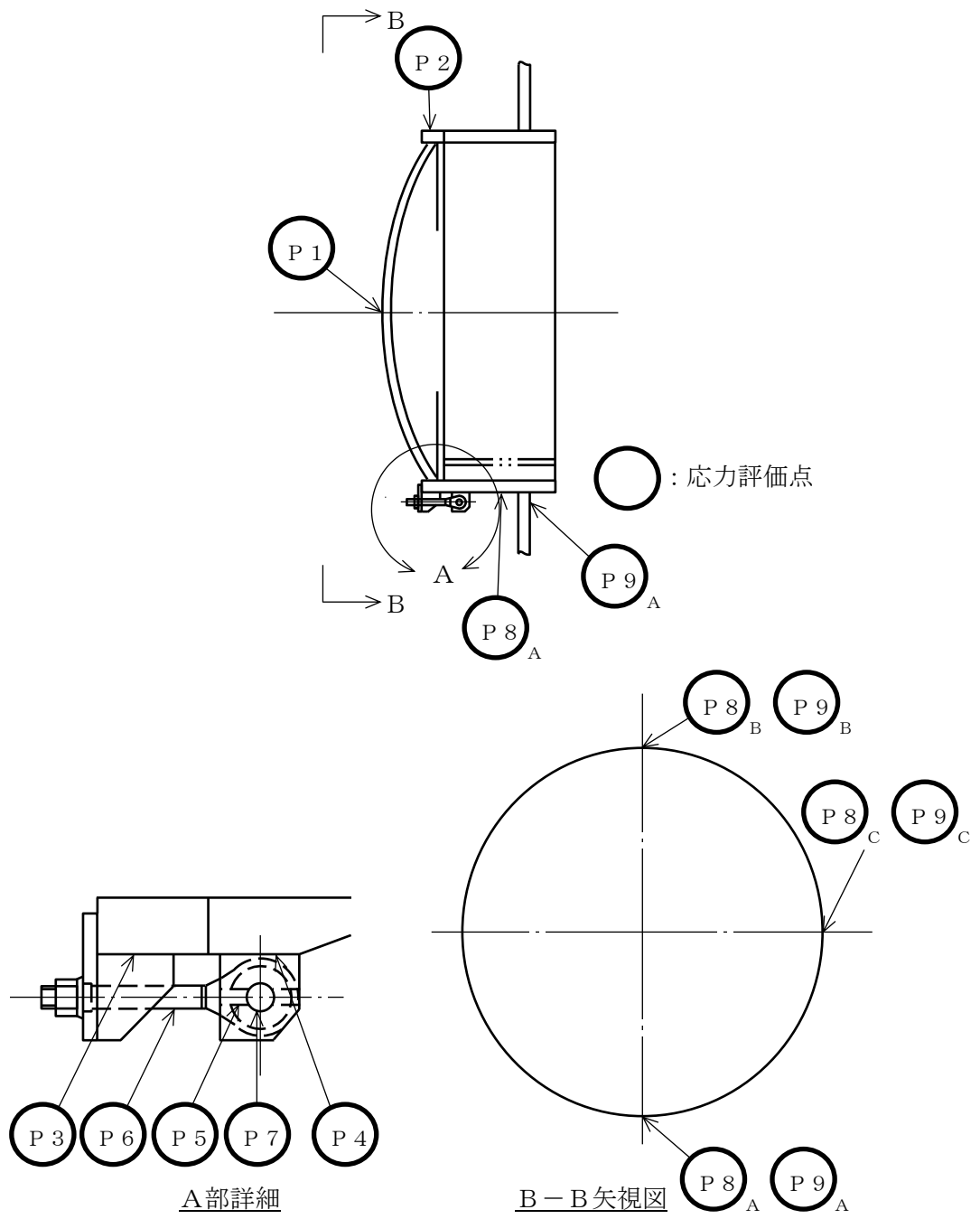


図5-1 機器搬入口の応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次+二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

機器搬入口の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-3 に示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	5	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	5	344	○	(11)	
			一次+二次応力	8	393	○	(11)	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	5	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	5	344	○	(11)	
			一次+二次応力	8	393	○	(11)	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	8	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	344	○	(11)	
			一次+二次応力	16	393	○	(11)	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	61	495	○	(11)	
			一次+二次応力	244	501	○	(11)	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	52	495	○	(11)	
			一次+二次応力	216	501	○	(11)	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	72	495	○	(11)	
			一次+二次応力	350	501	○	(11)	

表 6-2(1) 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P+M+Ss)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P8-A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	7	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	(13)	
			一次+二次応力	12	393	○	(13)	
	P8-B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	7	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	(13)	
			一次+二次応力	12	393	○	(13)	
	P8-C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	12	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	380	○	(13)	
			一次+二次応力	24	393	○	(13)	
	P9-A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	118	495	○	(13)	
			一次+二次応力	463	501	○	(13)	
	P9-B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	101	495	○	(13)	
			一次+二次応力	418	501	○	(13)	
	P9-C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	495	○	(13)	
			一次+二次応力	671	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.838	1.0	○		単位なし

注記* : P9-Cの一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2(2) 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	7	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	(17)	
			一次+二次応力	4	393	○	(17)	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	7	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	380	○	(17)	
			一次+二次応力	4	393	○	(17)	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	8	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	380	○	(17)	
			一次+二次応力	8	393	○	(17)	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	131	495	○	(17)	
			一次+二次応力	118	501	○	(17)	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	495	○	(17)	
			一次+二次応力	102	501	○	(17)	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	126	495	○	(17)	
			一次+二次応力	146	501	○	(17)	

表 6-3 許容応力状態IVASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 9 - C	671							0.838

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

機器搬入口の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	17	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L) -1	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	17	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L) -1	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	17	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	8	393	○	V (L) -1	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	242	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	118	501	○	V (L) -1	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	239	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	102	501	○	V (L) -1	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	236	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	146	501	○	V (L) -1	

表 6-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
機器搬入口	P 8 - A	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	10	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L L) -1	
	P 8 - B	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	10	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L L) -1	
	P 8 - C	機器搬入口円筒胴	一次一般膜応力	10	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	8	393	○	V (L L) -1	
	P 9 - A	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	174	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	230	501	○	V (L L) -1	
	P 9 - B	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	198	501	○	V (L L) -1	
	P 9 - C	機器搬入口本体と補強板との 結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	167	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	277	501	○	V (L L) -1	

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-5 「機器搬入口の強度計算書」

8. 引用文献

- (1) P.P. Bijlaard: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, Welding Journal Research Supplement, 1955

VI-2-9-2-6 逃がし安全弁搬出ハッチの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	15
5. 構造強度評価	16
5.1 構造強度評価方法	16
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
5.2.2 許容応力	16
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	16
5.2.4 設計荷重	21
5.3 設計用地震力	22
5.4 計算方法	26
5.4.1 応力評価方法	26
5.5 計算条件	28
5.6 応力の評価	28
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	33
7. 参照図書	36
8. 引用文献	36

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、逃がし安全弁搬出ハッチが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

逃がし安全弁搬出ハッチは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による逃がし安全弁搬出ハッチの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

逃がし安全弁搬出ハッチの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>逃がし安全弁搬出ハッチはドライウエルに支持される。</p> <p>逃がし安全弁搬出ハッチの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p> <p>逃がし安全弁搬出ハッチの鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴, 板厚 <input type="text"/> mm の鏡板及びフランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p>逃がし安全弁搬出ハッチ 拡大図</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

逃がし安全弁搬出ハッチの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

逃がし安全弁搬出ハッチの耐震評価フローを図2-1に示す。

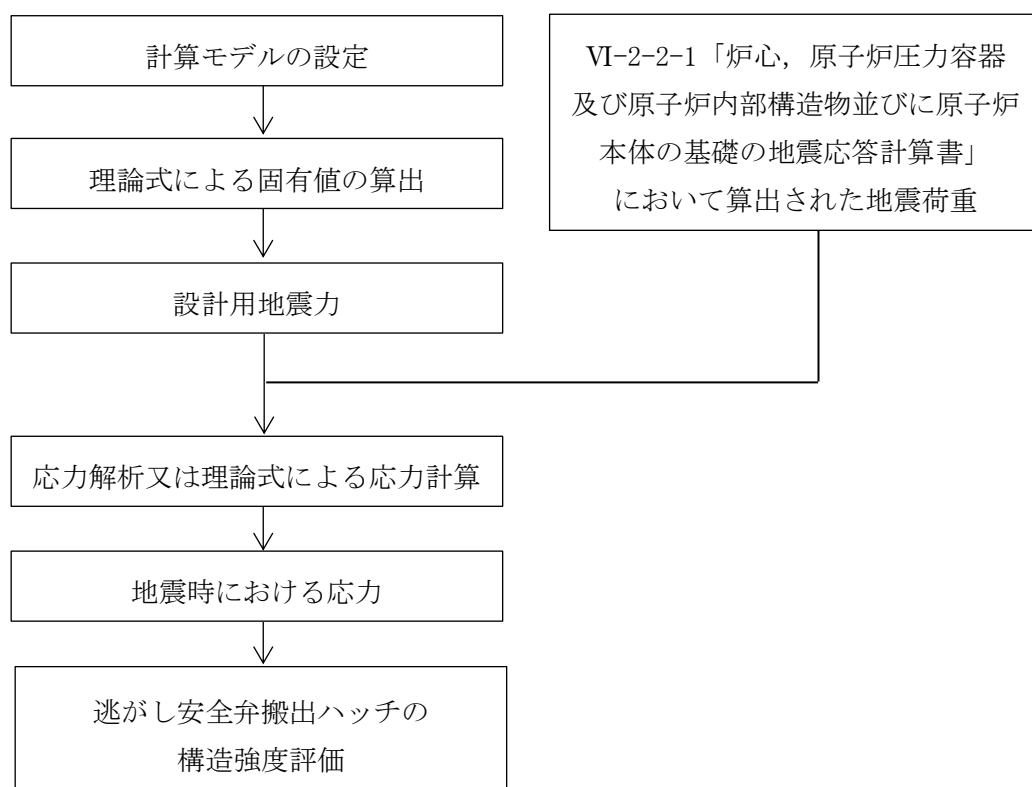


図2-1 逃がし安全弁搬出ハッチの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
A _s	せん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _i	地震層せん断力係数	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
f	引用文献(1) Fig. 3 より読み取る値	%
G	せん断弾性係数	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _{A1}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{A2}	片持はりを仮定した軸直角方向（せん断方向）ばね定数	N/mm
K _{A3}	片持はりを仮定した軸直角方向（曲げ方向）ばね定数	N/mm
K _{PSC}	引用文献(1) Fig. 3 及び Table 1 で規定する応力係数* $= \theta / \frac{M}{a^3 \cdot \beta^2 \cdot E}$	—
K _{PSR}	引用文献(1) Table 9 で規定する応力係数* $= \omega / \frac{P}{E \cdot a}$	—
K _{PSL}	引用文献(1) Fig. 7 及び Table 4 で規定する応力係数* $= \theta / \frac{M}{a^3 \cdot \beta^2 \cdot E}$	—
K _{SC}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _{SL}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（鉛直方向）のばね定数	N/mm
K _{SR}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _C	軸直角方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
K _L	軸直角方向（鉛直方向）の合成ばね定数	N/mm
K _R	軸方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
l _g	逃がし安全弁搬出ハッチ重心位置から取付部までの長さ	mm
l _i	長さ（i = 1, 2, 3…）	mm
m	機器質量	kg
M	機械的荷重	—

注記*：ここで使用している記号は引用文献(1)を参照

記号	記号の説明	単位
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P _{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
R _h	ハッチ鏡板内半径	mm
R _i	ドライウエル球殻部内半径	mm
R _i '	ハッチ取付高さでのドライウエル水平断面半径	mm
R _m	ドライウエル球殻部平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S _d	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力	—
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S _y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3)	mm
T _C	軸直角方向の固有周期 (水平方向)	s
T _L	軸直角方向の固有周期 (鉛直方向)	s
T _R	軸方向の固有周期 (水平方向)	s
T _{SAL}	温度 (SA後長期温度)	℃
T _{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	℃
W	荷重	—
α	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—
β	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
ばね定数	N/mm	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

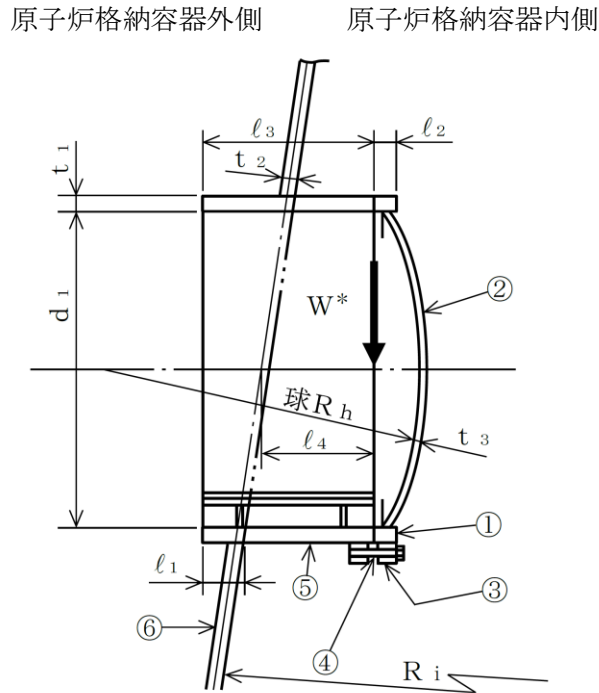
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

逃がし安全弁搬出ハッチの形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



注記* : W (死荷重又は活荷重) の作用点を示す。

- ① フランジ ② 鏡板 ③ ブラケット ④ ボルト ⑤ 円筒胴 ⑥ 補強板

$d_1 =$ <input type="text"/>	$t_1 =$ <input type="text"/>	$t_2 =$ <input type="text"/>	$t_3 =$ <input type="text"/>
$l_1 =$ <input type="text"/>	$l_2 =$ <input type="text"/>	$l_3 =$ <input type="text"/>	$l_4 =$ <input type="text"/>
$R_h = 1900$	$R_i = 11400$		

(単位 : mm)

図3-1 逃がし安全弁搬出ハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
フランジ	SGV49	SGV480 相当
鏡板	SGV49	SGV480 相当
円筒胴	SGV49	SGV480 相当
補強板	SPV50	SPV490 相当
ブラケット	SGV49	SGV480 相当
ボルト	SNCM439	—

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

逃がし安全弁搬出ハッチの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 逃がし安全弁搬出ハッチの質量は、重心に集中するものとする。
- 逃がし安全弁搬出ハッチは、ドライウェルに固定されており、一端固定、他端自由とする。また、逃がし安全弁搬出ハッチは片持はりと考え、変形モードはせん断、曲げ又は圧縮・引張を考慮する。
- 逃がし安全弁搬出ハッチより加わる荷重（以下「外荷重」という。）によって逃がし安全弁搬出ハッチとドライウェルとの取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形、又は圧縮・引張による取付部変形を考慮する。
- b 及び c による変形の両者を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

逃がし安全弁搬出ハッチは、図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと、図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの、両者の合成として考える。逃がし安全弁搬出ハッチの固有周期の計算に用いる寸法を図 4-3 に示す。

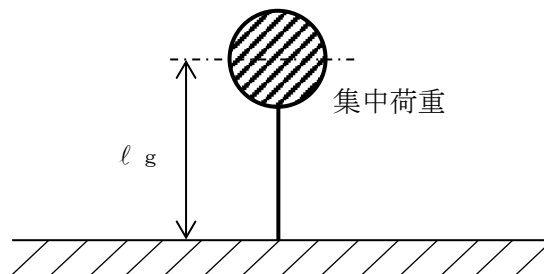


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

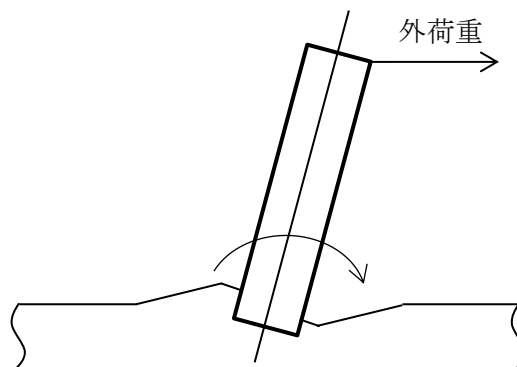
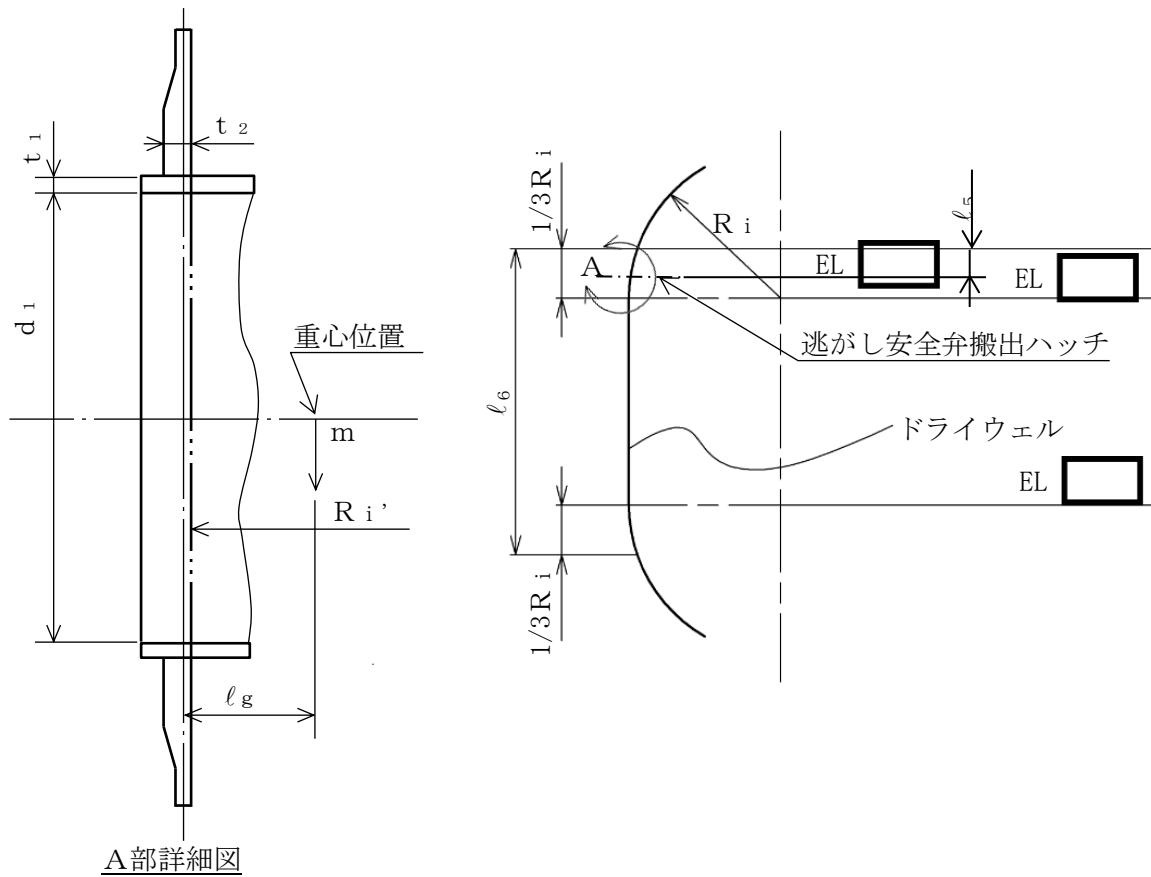


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）



(単位：mm)

図 4-3 逃げし安全弁搬出ハッチの固有周期の計算に用いる寸法

(2) ドライウエルとの取付部の変形によるばね定数

ドライウエルとの取付部の変形によるばね定数は、引用文献(1)に基づき計算するものとし、以下に計算方法を示す。

a. 計算データ

$$R_m = R_i' + \frac{t_2}{2} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

$$\alpha = \frac{4 \cdot l_5 \cdot (l_6 - l_5)}{l_6 \cdot R_m} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$\beta = 0.875 \cdot \frac{\frac{d_1}{2} + t_1}{R_m} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\gamma = \frac{R_m}{t_2} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

- b. ドライウエル半径方向荷重に対する軸方向（水平方向）ばね定数

$$K_{SR} = \frac{E \cdot R_m}{K_{PSR}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ここで、 K_{PSR} は 4.1(2)a. 項にて算出した β 及び γ より、引用文献(1)の Table 9 より得られた値を使用する。

- c. ドライウエル周方向曲げモーメントに対する軸直角方向（水平方向）ばね定数

$$K_{SC} = \frac{R_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E}{K_{PSC} \cdot \frac{f}{100} \cdot \ell_g^2} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

ここで、 K_{PSC} 及び f は 4.1(2)a. 項にて算出した α 、 β 及び γ より、引用文献(1)の Fig.3 及び Table 1 より得られた値を使用する。

- d. ドライウエル長手方向曲げモーメントに対する軸直角方向（鉛直方向）ばね定数

$$K_{SL} = \frac{R_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E}{K_{PSL} \cdot \ell_g^2} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ここで、 K_{PSL} は 4.1(2)a. 項にて算出した β 及び γ より、引用文献(1)の Fig.7 及び Table 4 より得られた値を使用する。

- (3) 逃がし安全弁搬出ハッチの円筒胴部のばね定数

- a. 軸方向（水平方向(ドライウエル半径方向))ばね定数

片持りを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{A1} = \frac{A \cdot E}{\ell_g} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

- b. 軸直角方向（水平方向及び鉛直方向(ドライウエル周方向及び長手方向))ばね定数

片持りを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

(せん断方向)

$$K_{A2} = \frac{A_s \cdot G}{\ell_g} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

(曲げ方向)

$$K_{A3} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{\ell_g^3} \dots\dots\dots (4.1.10)$$

(4) 合成ばね定数

片持りを仮定したばね定数と，外荷重によってドライウェルとの取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の，両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{K_{SR}} + \frac{1}{K_{A1}}} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$K_C = \frac{1}{\frac{1}{K_{SC}} + \frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{A3}}} \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{A3}}} \dots\dots\dots (4.1.13)$$

(5) 水平方向の固有周期

水平方向の固有周期は次式で求める。

軸方向

$$T_R = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_R}} \dots\dots\dots (4.1.14)$$

軸直角方向

$$T_C = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_C}} \dots\dots\dots (4.1.15)$$

(6) 鉛直方向の固有周期

鉛直方向の固有周期は次式で求める。

$$T_L = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_L}} \dots\dots\dots (4.1.16)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件(1/2)

記号	単位	値	
		水平方向	鉛直方向
$R_{i'}$	mm		
t_1	mm		
t_2	mm		
d_1	mm		
l_5	mm		
l_6	mm		
l_g	mm		
R_m	mm		
α	—		
β	—		
γ	—		
E	MPa		
K_{PSR}	—		
K_{PSC}	—		
K_{PSL}	—		
f	%		
G	MPa		
I	mm ⁴		
A	mm ²		
A _S	mm ²		
K_{SR}	N/mm		
K_{SC}	N/mm		
K_{SL}	N/mm		
K_{A1}	N/mm		
K_{A2}	N/mm		
K_{A3}	N/mm		
K_R	N/mm		
K_C	N/mm		

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件(2/2)

記号	単位	値	
		水平方向	鉛直方向
K _L	N/mm		
m	kg		

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-2 に示す。水平方向（軸）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-3 に示す。水平方向（軸）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 逃がし安全弁搬出ハッチの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

逃がし安全弁搬出ハッチの耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は，逃がし安全弁搬出ハッチに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは，絶対値和を適用する。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

逃がし安全弁搬出ハッチの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

逃がし安全弁搬出ハッチの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

逃がし安全弁搬出ハッチの使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態		
原子炉格納施設	原子炉格納容器	逃がし安全弁搬出ハッチ	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S		
						(11)			
					(14)	(16)			
					D + P + M + S _s	(12)	(13)	(15)	Ⅳ _A S
					D + P _L + M _L + S _d **2	(17)	Ⅳ _A S		

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	逃がし安全弁搬出ハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *4	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*6			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*1	3・S*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*3, *4 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*1		
V _A S*5				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2：3・Sを超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

*6：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		逃がし安全弁搬出ハッチ	SGV49*1	周囲環境温度	171	131	229
SPV50*2	周囲環境温度		171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		逃がし安全弁搬出ハッチ	SGV49*1	周囲環境温度	200*2	131	226
周囲環境温度	70*3			131	248	453	—
SPV50*4	周囲環境温度		200*2	167	417	545	—
	周囲環境温度		70*3	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) 逃がし安全弁搬出ハッチの自重 N

(b) ドライウエルの自重

逃がし安全弁搬出ハッチより上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

(a) 床に加わる荷重 N

(b) ドライウエルの荷重

逃がし安全弁搬出ハッチより上部の活荷重を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

5.3 設計用地震力

逃がし安全弁搬出ハッチの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 及び表 5-8, 表 5-9 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 及び表 5-10, 表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は, VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数は VI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また, ドライウエルの逃がし安全弁搬出ハッチ設置位置に作用する地震荷重は, VI-2-2-1 「炉心, 原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る設計荷重を設定する。また, 燃料交換時の鉛直地震荷重については, 死荷重及び活荷重に VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた鉛直震度を乗じて算出した鉛直地震荷重を上回る設計荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 逃がし安全弁搬出ハッチ

設計基準対象施設として逃がし安全弁搬出ハッチの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として逃がし安全弁搬出ハッチの応力計算に用いる, ドライウエルの鉛直方向荷重を表 5-8 に, 水平方向地震荷重を表 5-9 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

a. 逃がし安全弁搬出ハッチ

重大事故等対処設備として逃がし安全弁搬出ハッチの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として逃がし安全弁搬出ハッチの応力計算に用いる, ドライウエルの鉛直方向荷重を表 5-10 に, 水平方向地震荷重を表 5-11 に示す。

表 5-6 逃がし安全弁搬出ハッチの設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平	鉛直
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1	設計震度	設計震度	設計震度	設計震度	方向	方向
原子炉 格納容器 EL <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$C_H=2.45^{*2,*3}$	$C_V=0.63^{*4}$	$C_H=6.85^{*2,*5}$	$C_V=1.21^{*6}$	1.0^{*7}	—

注記*1：逃がし安全弁搬出ハッチに対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：溶接構造物に適用される減衰定数

表 5-7 逃がし安全弁搬出ハッチの設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d		基準地震動 S s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	$C_H=2.45^{*2,*3}$	$C_V=0.63^{*4}$	$C_H=6.85^{*2,*5}$	$C_V=1.21^{*6}$	1.0^{*7}	—

注記*1：逃がし安全弁搬出ハッチに対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：溶接構造物に適用される減衰定数

表 5-8 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
死荷重及び 活荷重	地震荷重		死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s

表 5-9 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.470×10^7	1.880×10^{11}	5.650×10^7	4.080×10^{11}

表 5-10 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s

表 5-11 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.470×10^7	1.880×10^{11}	5.650×10^7	4.080×10^{11}

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価方法

逃がし安全弁搬出ハッチの応力評価点は、逃がし安全弁搬出ハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-12 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点 P 6 及び P 7 は既工認の各荷重による応力に圧力比又は荷重比を乗じて評価する。

表 5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	鏡板中央部
P 2 *	フランジ
P 3 *	ブラケットとフランジとの結合部
P 4 *	ブラケットと円筒胴との結合部
P 5 *	ボルトのねじ部
P 6	逃がし安全弁搬出ハッチ円筒胴 (P 6-A~P 6-C)
P 7	逃がし安全弁搬出ハッチ本体と補強板との結合部 (P 7-A~P 7-C)

注記* : P 1 ~ P 5 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価を行わない。

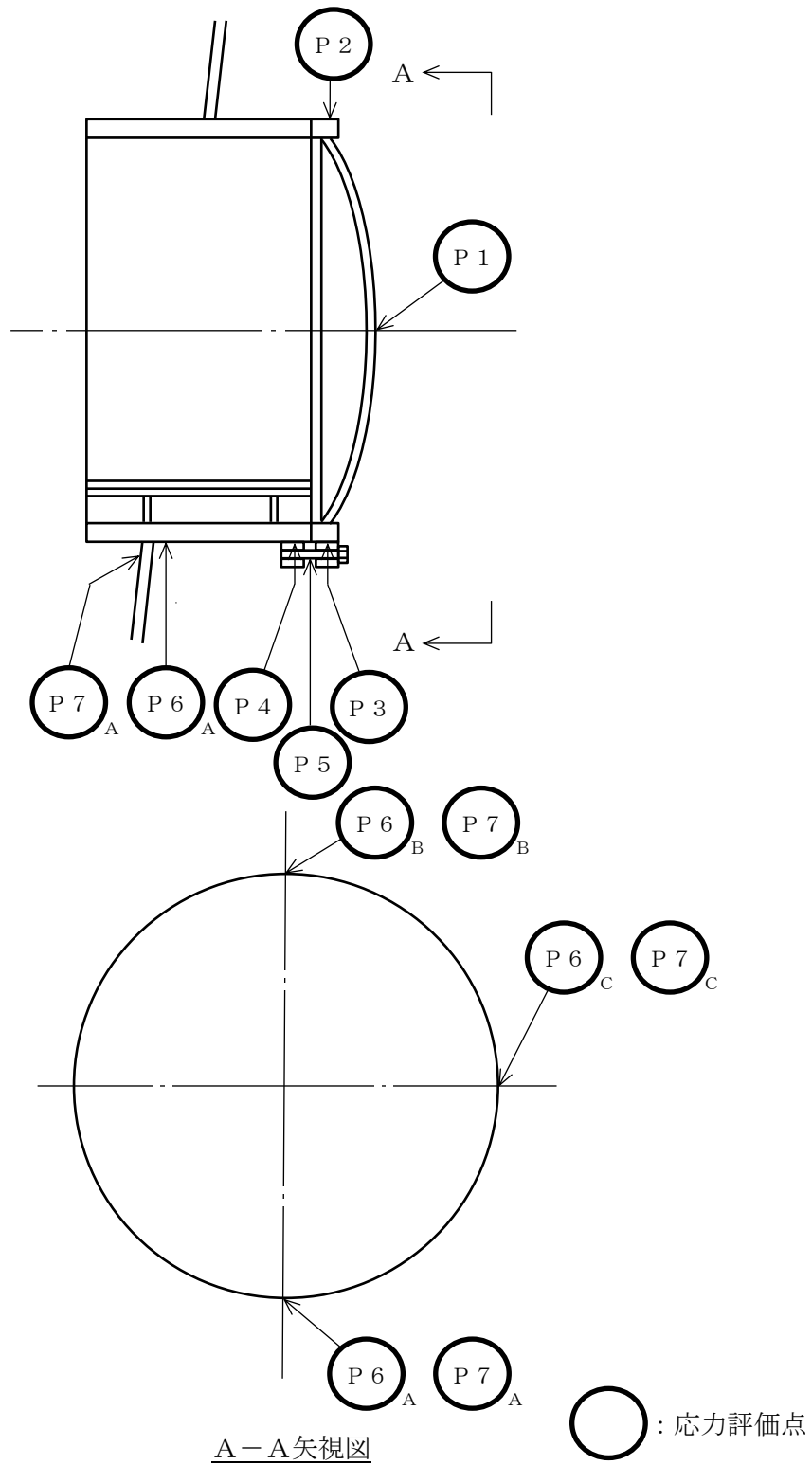


図 5-1 逃がし安全弁搬出ハッチの応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次+二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

逃がし安全弁搬出ハッチの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	344	○	(11)	
			一次+二次応力	4	393	○	(11)	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	344	○	(11)	
			一次+二次応力	4	393	○	(11)	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	344	○	(11)	
			一次+二次応力	8	393	○	(11)	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	47	495	○	(11)	
			一次+二次応力	130	501	○	(11)	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	52	495	○	(11)	
			一次+二次応力	128	501	○	(11)	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	54	495	○	(11)	
			一次+二次応力	163	501	○	(11)	

表 6-2(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	6	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	380	○	(13)	
			一次+二次応力	8	393	○	(13)	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	6	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	380	○	(13)	
			一次+二次応力	8	393	○	(13)	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	8	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	380	○	(13)	
			一次+二次応力	16	393	○	(13)	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	105	495	○	(13)	
			一次+二次応力	304	501	○	(13)	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	111	495	○	(13)	
			一次+二次応力	306	501	○	(13)	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	116	495	○	(13)	
			一次+二次応力	422	501	○	(13)	

表 6-2(2) 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	3	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	3	380	○	(17)	
			一次+二次応力	2	393	○	(17)	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	380	○	(17)	
			一次+二次応力	2	393	○	(17)	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	4	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	4	380	○	(17)	
			一次+二次応力	4	393	○	(17)	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	83	495	○	(17)	
			一次+二次応力	100	501	○	(17)	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	87	495	○	(17)	
			一次+二次応力	104	501	○	(17)	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	87	495	○	(17)	
			一次+二次応力	126	501	○	(17)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

逃がし安全弁搬出ハッチの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-3(1) 許容応力状態 V_AS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	10	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	2	393	○	V (L) -1	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	10	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	2	393	○	V (L) -1	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	10	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L) -1	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	140	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	100	501	○	V (L) -1	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	145	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	104	501	○	V (L) -1	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	143	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	126	501	○	V (L) -1	

表 6-3(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
逃がし安全弁 搬出ハッチ	P 6 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	6	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L L) -1	
	P 6 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	6	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	6	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	4	393	○	V (L L) -1	
	P 6 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	7	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	7	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	8	393	○	V (L L) -1	
	P 7 - A	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	127	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	230	501	○	V (L L) -1	
	P 7 - B	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	131	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	246	501	○	V (L L) -1	
	P 7 - C	逃がし安全弁搬出ハッチ本体 と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	304	501	○	V (L L) -1	

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-6「逃がし安全弁搬出ハッチの強度計算書」

8. 引用文献

- (1) P.P. Bijlaard: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, Welding Journal Research Supplement, 1955

VI-2-9-2-7 制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	15
5. 構造強度評価	16
5.1 構造強度評価方法	16
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
5.2.2 許容応力	16
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	16
5.2.4 設計荷重	21
5.3 設計用地震力	22
5.4 計算方法	26
5.4.1 応力評価方法	26
5.5 計算条件	28
5.6 応力の評価	28
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	35
7. 参照図書	40
8. 引用文献	40

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、制御棒駆動機構搬出ハッチが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

制御棒駆動機構搬出ハッチは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による制御棒駆動機構搬出ハッチの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

制御棒駆動機構搬出ハッチの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>制御棒駆動機構搬出ハッチはドライウエルに支持される。</p> <p>制御棒駆動機構搬出ハッチの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴, 板厚 <input type="text"/> mm の鏡板及びフランジで構成される鋼製構造物である。</p>	<p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

制御棒駆動機構搬出ハッチの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震評価フローを図2-1に示す。

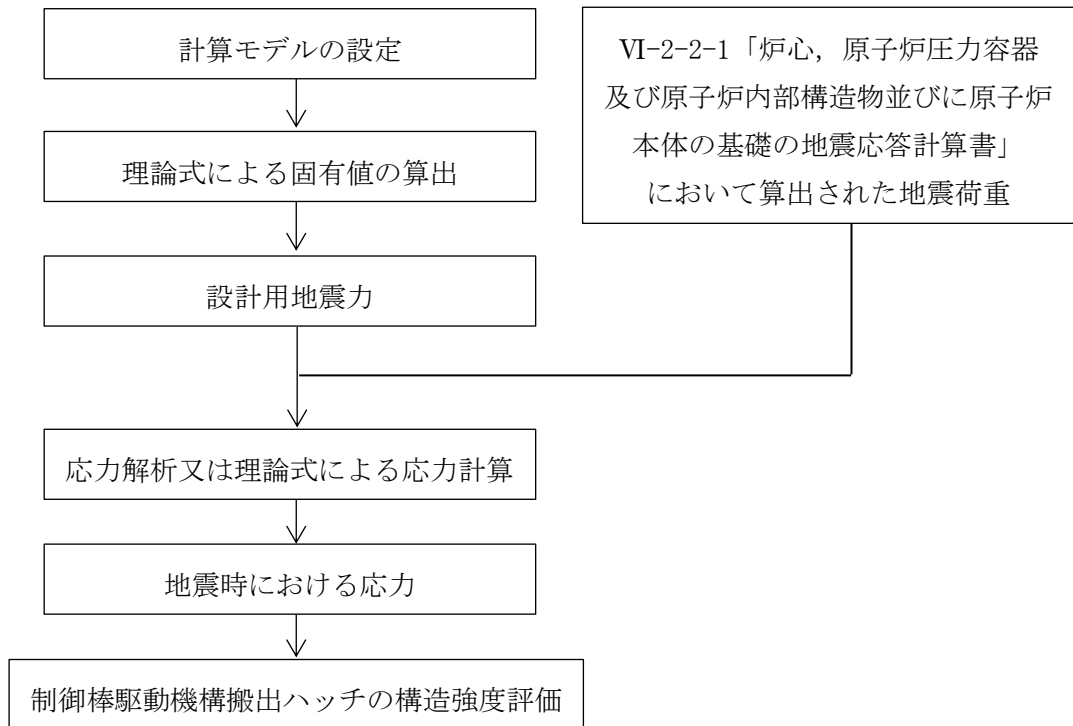


図2-1 制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
A _s	せん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _i	地震層せん断力係数	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
f	引用文献(1) Fig. 3 より読み取る値	%
G	せん断弾性係数	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _{A1}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{A2}	片持はりを仮定した軸直角方向（せん断方向）ばね定数	N/mm
K _{A3}	片持はりを仮定した軸直角方向（曲げ方向）ばね定数	N/mm
K _e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
K _{PSC}	引用文献(1) Fig. 3 及び Table 1 で規定する応力係数*	—
	$= \theta / \frac{M}{a^3 \cdot \beta^2 \cdot E}$	
K _{PSR}	引用文献(1) Table 9 で規定する応力係数*	—
	$= \omega / \frac{P}{E \cdot a}$	
K _{PSL}	引用文献(1) Fig. 7 及び Table 4 で規定する応力係数*	—
	$= \theta / \frac{M}{a^3 \cdot \beta^2 \cdot E}$	
K _{SC}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _{SL}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（鉛直方向）のばね定数	N/mm
K _{SR}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _C	軸直角方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
K _L	軸直角方向（鉛直方向）の合成ばね定数	N/mm
K _R	軸方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
l _g	制御棒駆動機構搬出ハッチ重心位置から取付部までの長さ	mm
l _i	長さ（i = 1, 2, 3…）	mm
m	機器質量	kg

注記*：ここで使用している記号は引用文献(1)を参照

記号	記号の説明	単位
M	機械的荷重	—
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
N _a	地震時の許容繰返し回数	—
N _c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P _{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
R _h	ハッチ鏡板内半径	mm
R _i	ドライウエル内半径	mm
R _m	ドライウエル平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _d	弾性設計用地震動S _d により定まる地震力	—
S _d *	弾性設計用地震動S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ '	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S _n	地震動による応力振幅	MPa
S _p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _s	基準地震動S _s により定まる地震力	—
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
t _i	厚さ (i=1, 2, 3)	mm
T _C	軸直角方向の固有周期 (水平方向)	s
T _L	軸直角方向の固有周期 (鉛直方向)	s
T _R	軸方向の固有周期 (水平方向)	s
T _{SAL}	温度 (SA後長期温度)	℃
T _{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	℃
W	荷重	—
α	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—
β	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
ばね定数	N/mm	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

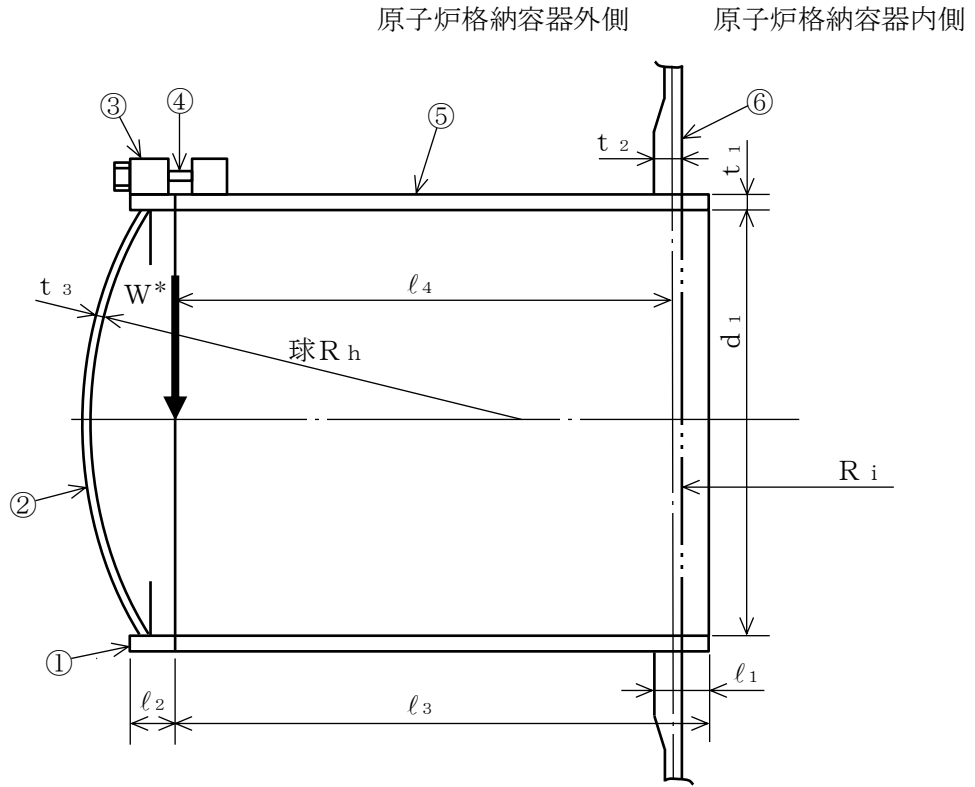
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

制御棒駆動機構搬出ハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び評価部位を表 3-1 に示す。



注記* : W (死荷重又は活荷重) の作用点を示す。

- ①フランジ ②鏡板 ③ブラケット ④ボルト
 ⑤円筒胴 ⑥補強板

$d_1 = \square$ $t_1 = \square$ $t_2 = \square$ $t_3 = \square$ $l_1 = \square$
 $l_2 = \square$ $l_3 = \square$ $l_4 = \square$ $R_i = 11400$ $R_h = 1400$

(単位 : mm)

図 3-1 制御棒駆動機構搬出ハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
フランジ	SGV49	SGV480 相当
鏡板	SGV49	SGV480 相当
円筒胴	SGV49	SGV480 相当
補強板	SPV50	SPV490 相当
ブラケット	SGV49	SGV480 相当
ボルト	SNCM439	—

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

制御棒駆動機構搬出ハッチの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 制御棒駆動機構搬出ハッチの質量は、重心に集中するものとする。
- 制御棒駆動機構搬出ハッチは、ドライウェルに固定されており、一端固定、他端自由とする。また、制御棒駆動機構搬出ハッチは片持はりと考え、変形モードはせん断、曲げ又は圧縮・引張を考慮する。
- 制御棒駆動機構搬出ハッチより加わる荷重（以下「外荷重」という。）によって制御棒駆動機構搬出ハッチとドライウェルとの取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形、又は圧縮・引張による取付部変形を考慮する。
- b 及び c による変形の両者を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

制御棒駆動機構搬出ハッチは、図4-1に示す集中荷重が作用する片持はりと、図4-2に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの、両者の合成として考える。制御棒駆動機構搬出ハッチの固有周期の計算に用いる寸法を図4-3に示す。

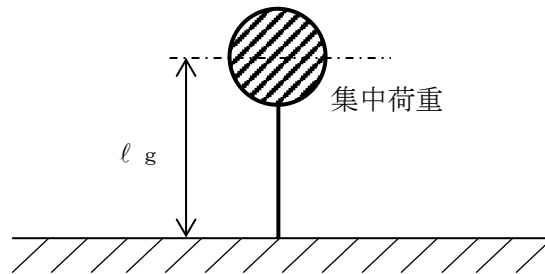


図4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

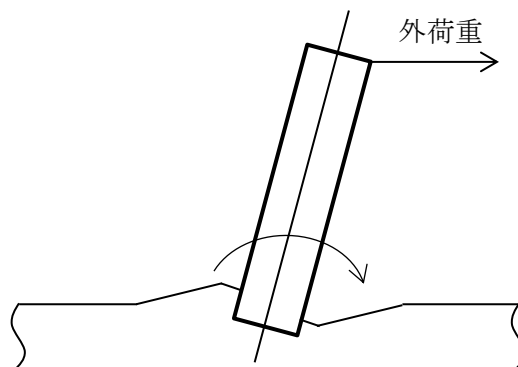
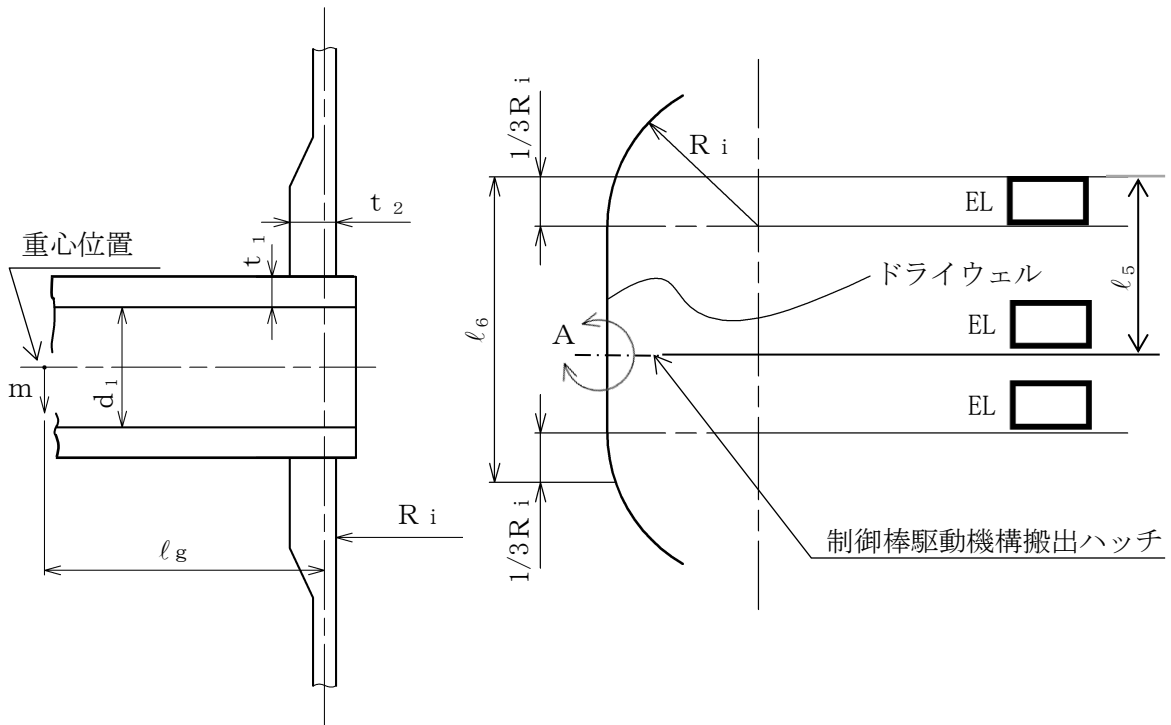


図4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）



A部詳細図

(単位：mm)

図 4-3 制御棒駆動機構搬出ハッチの固有周期の計算に用いる寸法

(2) ドライウェルとの取付部の変形によるばね定数

ドライウェルとの取付部の変形によるばね定数は、引用文献(1)に基づき計算するものとし、以下に計算方法を示す。

a. 計算データ

$$R_m = R_i + \frac{t_2}{2} \quad \dots \dots \dots (4.1.1)$$

$$\alpha = \frac{4 \cdot l_5 \cdot (l_6 - l_5)}{l_6 \cdot R_m} \quad \dots \dots \dots (4.1.2)$$

$$\beta = 0.875 \cdot \frac{\frac{d_1}{2} + t_1}{R_m} \quad \dots \dots \dots (4.1.3)$$

$$\gamma = \frac{R_m}{t_2} \quad \dots \dots \dots (4.1.4)$$

- b. ドライウエル半径方向荷重に対する軸方向（水平方向）ばね定数

$$K_{SR} = \frac{E \cdot R_m}{K_{PSR}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ここで、 K_{PSR} は 4.1(2)a. 項にて算出した β 及び γ より、引用文献(1)の Table 9 より得られた値を使用する。

- c. ドライウエル周方向曲げモーメントに対する軸直角方向（水平方向）ばね定数

$$K_{SC} = \frac{R_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E}{K_{PSC} \cdot \frac{f}{100} \cdot \ell_g^2} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

ここで、 K_{PSC} 及び f は 4.1(2)a. 項にて算出した α 、 β 及び γ より、引用文献(1)の Fig.3 及び Table 1 より得られた値を使用する。

- d. ドライウエル長手方向曲げモーメントに対する軸直角方向（鉛直方向）ばね定数

$$K_{SL} = \frac{R_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E}{K_{PSL} \cdot \ell_g^2} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ここで、 K_{PSL} は 4.1(2)a. 項にて算出した β 及び γ より、引用文献(1)の Fig.7 及び Table 4 より得られた値を使用する。

- (3) 制御棒駆動機構搬出ハッチの円筒胴部のばね定数

- a. 軸方向（水平方向(ドライウエル半径方向))ばね定数

片持りを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{A1} = \frac{A \cdot E}{\ell_g} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

- b. 軸直角方向（水平方向及び鉛直方向(ドライウエル周方向及び長手方向))ばね定数

片持りを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

(せん断方向)

$$K_{A2} = \frac{A_s \cdot G}{\ell_g} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

(曲げ方向)

$$K_{A3} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{\ell_g^3} \dots\dots\dots (4.1.10)$$

(4) 合成ばね定数

片持りを仮定したばね定数と、外荷重によってドライウェルとの取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の、両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{K_{SR}} + \frac{1}{K_{A1}}} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$K_C = \frac{1}{\frac{1}{K_{SC}} + \frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{A3}}} \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{A3}}} \dots\dots\dots (4.1.13)$$

(5) 水平方向の固有周期

水平方向の固有周期は次式で求める。

軸方向

$$T_R = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_R}} \dots\dots\dots (4.1.14)$$

軸直角方向

$$T_C = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_C}} \dots\dots\dots (4.1.15)$$

(6) 鉛直方向の固有周期

鉛直方向の固有周期は次式で求める。

$$T_L = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_L}} \dots\dots\dots (4.1.16)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件(1/2)

記号	単位	値	
		水平方向	鉛直方向
R_i	mm	11400	
t_1	mm		
t_2	mm		
d_1	mm		
ℓ_5	mm		
ℓ_6	mm		
ℓ_g	mm		
R_m	mm		
\square	—		
β	—		
γ	—		
E	MPa		
K_{PSR}	—		
K_{PSC}	—		
K_{PSL}	—		
f	%		
G	MPa		
I	mm ⁴		
A	mm ²		
A _S	mm ²		
K_{SR}	N/mm		
K_{SC}	N/mm		
K_{SL}	N/mm		
K_{A1}	N/mm		
K_{A2}	N/mm		
K_{A3}	N/mm		
K_R	N/mm		
K_C	N/mm		

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件(2/2)

記号	単位	値	
		水平方向	鉛直方向
K_L	N/mm		
m	kg		

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-2 に示す。水平方向（軸）、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-3 に示す。水平方向（軸）、水平方向（軸直角）及び鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向（軸）	
水平方向（軸直角）	
鉛直方向（軸直角）	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 制御棒駆動機構搬出ハッチの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

制御棒駆動機構搬出ハッチの耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は，制御棒駆動機構搬出ハッチに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは，絶対値和を適用する。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

制御棒駆動機構搬出ハッチの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

制御棒駆動機構搬出ハッチの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

制御棒駆動機構搬出ハッチの使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	S	クラスMC 容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)		
					D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S _d **2	(17)	Ⅳ _A S

注記*1 : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2 : 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *4	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*6			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*1	3・S*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*3, *4 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*1		
V _A S*5				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2：3・Sを超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

*6：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		制御棒駆動機構搬出ハッチ	SGV49*1	周囲環境温度	171	131	229
SPV50*2	周囲環境温度		171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		制御棒駆動機構搬出ハッチ	SGV49*1	周囲環境温度	200*2	131	226
周囲環境温度	70*3			131	248	453	—
SPV50*4	周囲環境温度		200*2	167	417	545	—
	周囲環境温度		70*3	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) 制御棒駆動機構搬出ハッチの自重 N

(b) ドライウエルの自重

制御棒駆動機構搬出ハッチより上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

(a) 床に加わる荷重 N

(b) ドライウエルの荷重

制御棒駆動機構搬出ハッチより上部の活荷重を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

5.3 設計用地震力

制御棒駆動機構搬出ハッチの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 及び表 5-8, 表 5-9 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 及び表 5-10, 表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は, VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数は VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また, ドライウエルの制御棒駆動機構搬出ハッチ設置位置に作用する地震荷重は, VI-2-2-1「炉心, 原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る設計荷重を設定する。また, 燃料交換時の鉛直地震荷重については, 死荷重及び活荷重に VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた鉛直震度を乗じて算出した鉛直地震荷重を上回る設計荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 制御棒駆動機構搬出ハッチ

設計基準対象施設として制御棒駆動機構搬出ハッチの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として制御棒駆動機構搬出ハッチの応力計算に用いる, ドライウエルの鉛直方向荷重を表 5-8 に, 水平方向地震荷重を表 5-9 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

a. 制御棒駆動機構搬出ハッチ

重大事故等対処設備として制御棒駆動機構搬出ハッチの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として制御棒駆動機構搬出ハッチの応力計算に用いる, ドライウエルの鉛直方向荷重を表 5-10 に, 水平方向地震荷重を表 5-11 に示す。

表 5-6 制御棒駆動機構搬出ハッチの設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平方向	鉛直方向	水平	鉛直
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1	設計震度	設計震度	設計震度	設計震度	方向	方向
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=3.67^{*2,*3}$	$C_V=2.62^{*3}$	$C_H=6.97^{*2,*4}$	$C_V=5.25^{*4}$	1.0 ^{*5}	1.0 ^{*5}

注記*1：制御棒駆動機構搬出ハッチに対し、X方向は軸方向、Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：溶接構造物に適用される減衰定数

表 5-7 制御棒駆動機構搬出ハッチの設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d		基準地震動 S s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=3.67^{*2,*3}$	$C_V=2.62^{*3}$	$C_H=6.97^{*2,*4}$	$C_V=5.25^{*4}$	1.0^{*5}	1.0^{*5}

注記*1：制御棒駆動機構搬出ハッチに対し、X方向は軸方向、Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：溶接構造物に適用される減衰定数

表 5-8 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
死荷重及び 活荷重	地震荷重		死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d*	S s		S d*	S s

表 5-9 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S d* による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10^7	4.300×10^{11}	6.100×10^7	9.460×10^{11}

表 5-10 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d*	S s

表 5-11 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d* による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10^7	4.300×10^{11}	6.100×10^7	9.460×10^{11}

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価方法

制御棒駆動機構搬出ハッチの応力評価点は、制御棒駆動機構搬出ハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-12 及び図 5-1 に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点 P 6 及び P 7 は既工認の各荷重による応力に圧力比又は荷重比を乗じて評価する。

表 5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	鏡板中央部
P 2 *	フランジ
P 3 *	ブラケットとフランジとの結合部
P 4 *	ブラケットと円筒胴との結合部
P 5 *	ボルト
P 6	制御棒駆動機構搬出ハッチ円筒胴 (P 6 - A ~ P 6 - C)
P 7	制御棒駆動機構搬出ハッチ本体と補強板 との結合部 (P 7 - A ~ P 7 - C)

注記* : P 1 ~ P 5 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるため、評価を行わない。

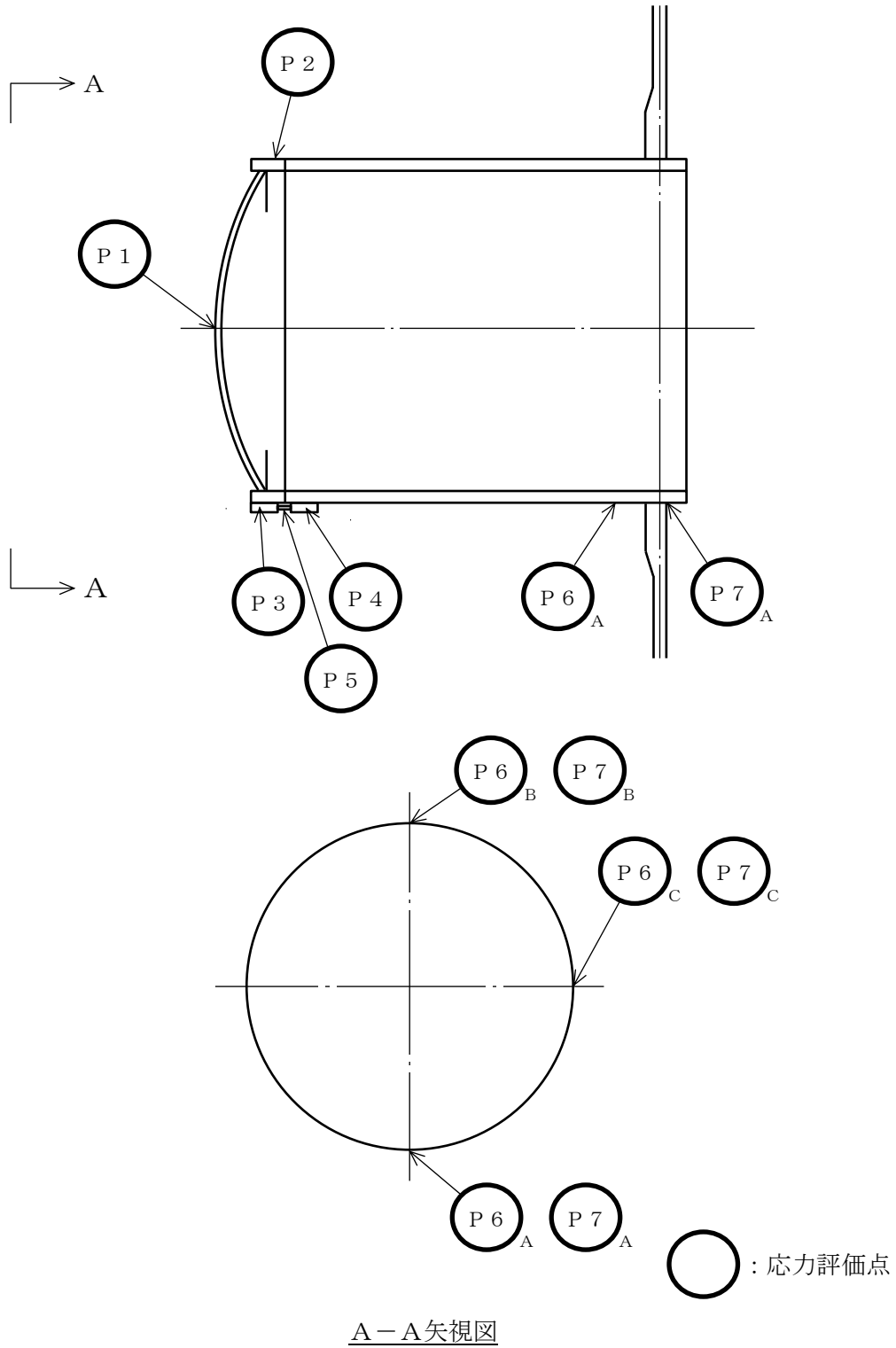


図 5-1 制御棒駆動機構搬出ハッチの応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次+二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

制御棒駆動機構搬出ハッチの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1～表 6-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-4 に示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	16	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	344	○	(11)	
			一次+二次応力	26	393	○	(10), (11)	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	16	229	○	(10), (11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	344	○	(10), (11)	
			一次+二次応力	26	393	○	(10), (11)	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	11	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	344	○	(11)	
			一次+二次応力	22	393	○	(11)	
	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	63	495	○	(11)	
			一次+二次応力	340	501	○	(11)	
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	56	495	○	(11)	
			一次+二次応力	265	501	○	(11)	
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	55	495	○	(11)	
			一次+二次応力	367	501	○	(11)	

表 6-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	31	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	31	380	○	(13)	
			一次+二次応力	55	393	○	(13)	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	31	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	31	380	○	(13)	
			一次+二次応力	55	393	○	(13)	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	19	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	19	380	○	(13)	
			一次+二次応力	38	393	○	(13)	

表 6-2 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P+M+Ss) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P7-A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	119	495	○	(13)	
			一次+二次応力	663	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.798	1.0	○		単位なし
	P7-B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	102	495	○	(13)	
			一次+二次応力	510	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.290	1.0	○		単位なし
	P7-C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	99	495	○	(13)	
			一次+二次応力	673	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.843	1.0	○		単位なし

注記* : P7-A, P7-B及びP7-Cの一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-3 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	16	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	380	○	(17)	
			一次+二次応力	26	393	○	(17)	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	17	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	380	○	(17)	
			一次+二次応力	26	393	○	(17)	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	11	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	380	○	(17)	
			一次+二次応力	18	393	○	(17)	
	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	145	495	○	(17)	
			一次+二次応力	295	501	○	(17)	
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	147	495	○	(17)	
			一次+二次応力	222	501	○	(17)	
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	130	495	○	(17)	
			一次+二次応力	322	501	○	(17)	

表 6-4 許容応力状態IVASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 7 - A	663							0.798
P 7 - B	510							0.290
P 7 - C	673							0.843

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

制御棒駆動機構搬出ハッチの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-5 及び表 6-6 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて，設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため，一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-7 に示す。

表 6-5 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	19	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	19	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	26	393	○	V (L) -1	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	18	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	18	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	26	393	○	V (L) -1	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	13	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	18	393	○	V (L) -1	
	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	257	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	295	501	○	V (L) -1	
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	259	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	222	501	○	V (L) -1	
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	241	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	322	501	○	V (L) -1	

表 6-6 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 6 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	30	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	30	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	51	393	○	V (L L) -1	
	P 6 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	30	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	30	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	51	393	○	V (L L) -1	
	P 6 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 円筒胴	一次一般膜応力	17	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	30	393	○	V (L L) -1	

表 6-6 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
制御棒 駆動機構 搬出ハッチ	P 7 - A	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	198	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	581	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.434	1.0	○		単位なし
	P 7 - B	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	196	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	426	501	○	V (L L) -1	
	P 7 - C	制御棒駆動機構搬出ハッチ 本体と補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	170	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	606	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.518	1.0	○		単位なし

注記* : P 7 - A 及び P 7 - C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-7 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 7 - A	581							0.434
P 7 - C	606							0.518

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$$

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-7 「制御棒駆動機構搬出ハッチの強度計算書」

8. 引用文献

- (1) P.P. Bijlaard: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, Welding Journal Research Supplement, 1955

VI-2-9-2-8 サプレッションチェンバアクセスハッチの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	10
4.1 固有周期の計算方法	10
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	14
5. 構造強度評価	15
5.1 構造強度評価方法	15
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	15
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	15
5.2.2 許容応力	15
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	15
5.2.4 設計荷重	21
5.3 設計用地震力	23
5.4 計算方法	25
5.5 計算条件	31
5.6 応力の評価	31
6. 評価結果	32
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	32
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	39
7. 参照図書	44

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、サプレッションチェンバアクセスハッチ（以下「アクセスハッチ」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

アクセスハッチは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

アクセスハッチの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>アクセスハッチは、サプレッションチェンバ胴に支持される。 アクセスハッチに作用する水平及び鉛直方向荷重は、サプレッションチェンバ及びサプレッションチェンバサポートを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>アクセスハッチは、内径 \square mm、板厚 \square mm のスリーブ、板厚 \square mm のふた板、フランジ及び板厚 \square mm の補強リブにより構成される鋼製構造物である。</p>	<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

アクセスハッチの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すアクセスハッチの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

アクセスハッチの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

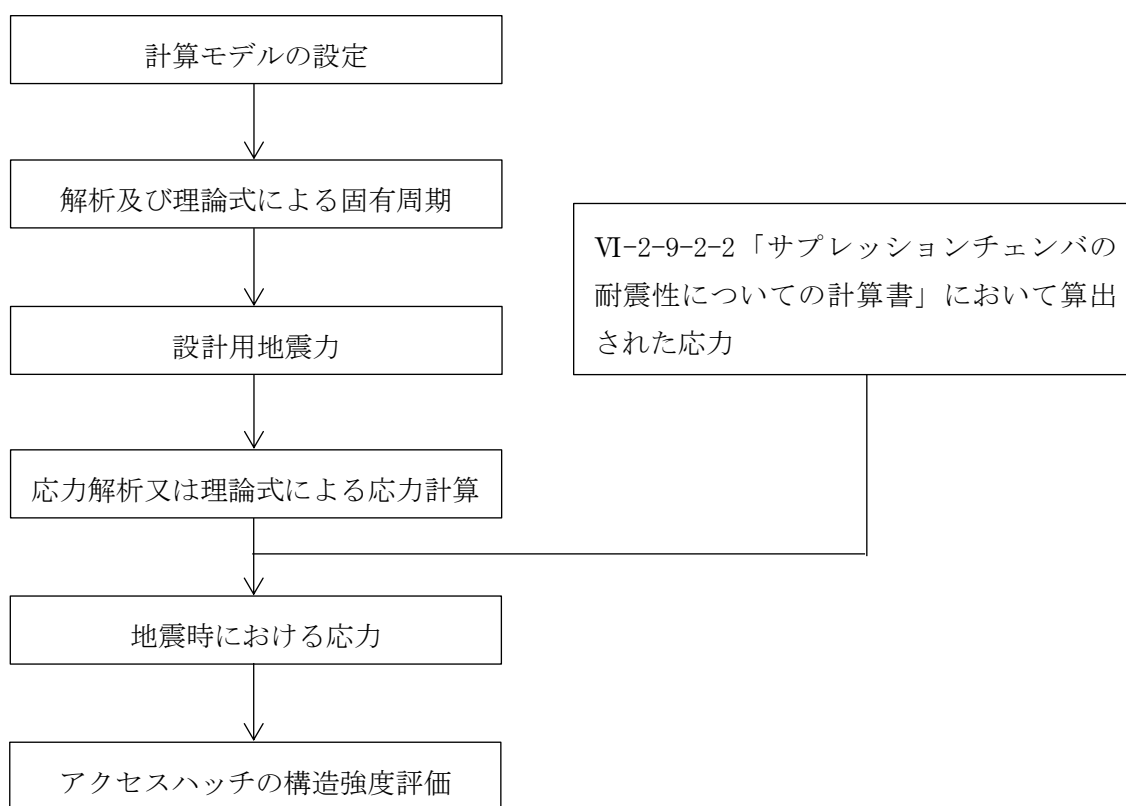


図 2-1 アクセスハッチの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D ₁	アクセスハッチの内径	mm
D ₂	ボルト円の直径	mm
D ₃	フランジの直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F _X	荷重 (スリーブ軸方向)	N
F _Y	荷重 (サプレッションチェンバ胴軸方向)	N
F _Z	荷重 (サプレッションチェンバ胴周方向)	N
K _C	ばね定数 (サプレッションチェンバ胴周方向)	N/mm
K _L	ばね定数 (サプレッションチェンバ胴軸方向)	N/mm
K _R	ばね定数 (スリーブ軸方向)	N/mm
l ₁	アクセスハッチの長さ	mm
l ₂	補強リブの長さ	mm
l ₃	補強リブの長さ	mm
m	質量	kg
P _{D i}	内圧	kPa
P _{D i 1}	内圧 (最高使用圧力)	kPa
P _{D i 2}	内圧 (冷却材喪失事故後の最大内圧)	kPa
P _{D o}	外圧	kPa
R	半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表3に定める値	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
t ₁	スリーブの厚さ	mm
t ₂	サプレッションチェンバ胴の厚さ	mm
t ₃	ふた板の厚さ	mm
t ₄	補強リブの厚さ	mm
T	温度	°C
T _C	固有周期 (サプレッションチェンバ胴周方向)	s
T _L	固有周期 (サプレッションチェンバ胴軸方向)	s
T _R	固有周期 (スリーブ軸方向)	s
T _{S A L}	温度 (S A後長期温度)	°C

記号	記号の説明	単位
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
W	死荷重	N
Z	断面係数	mm ³
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_l	スリーブの軸方向応力	MPa
σ_t	スリーブの周方向応力	MPa
τ	スリーブのせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
ばね定数	N/mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*1}
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

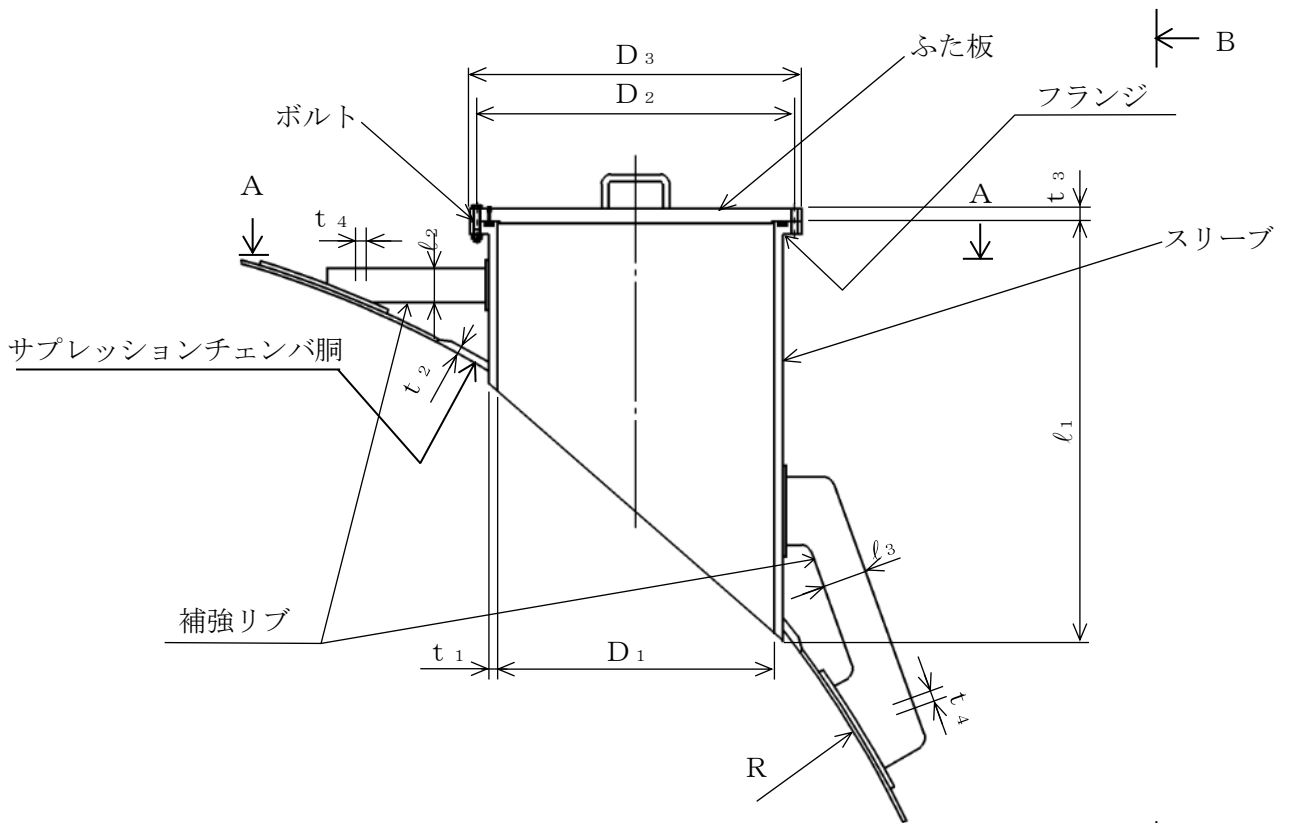
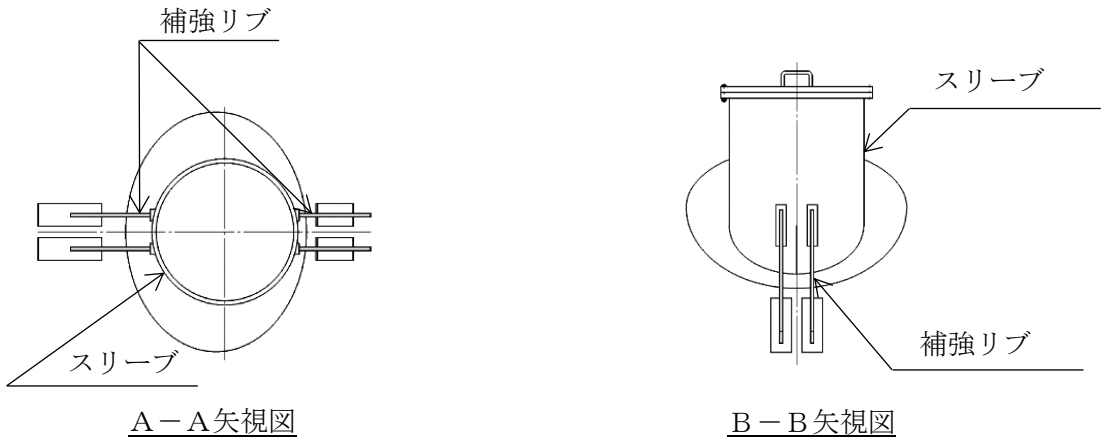
注記*1：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力，引張強さ及び降伏点は，比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て，整数位までの値とする。

3. 評価部位

アクセスハッチの形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び評価部位を表 3-1 に示す。



$D_1 =$	<input type="text"/>	$D_2 =$	<input type="text"/>	$D_3 =$	<input type="text"/>	$R =$	<input type="text"/>
$l_1 =$	<input type="text"/>	$l_2 =$	<input type="text"/>	$l_3 =$	<input type="text"/>		
$t_1 =$	<input type="text"/>	$t_2 =$	<input type="text"/>	$t_3 =$	<input type="text"/>	$t_4 =$	<input type="text"/>

(単位 : mm)

図 3-1 アクセスハッチの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ふた板	SGV49	SGV480 相当
フランジ	SGV49	SGV480 相当
ボルト	SNCM439	
スリーブ	SGV49	SGV480 相当
サプレッションチェンバ胴	SPV50	SPV490 相当
補強リブ	SPV490	

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

アクセスハッチの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 固有周期の計算モデル

- a. 図 4-1 のようなアクセスハッチ先端の荷重－変位関係からばね定数を算出し、ハッチ全体（スリーブ、フランジ、ふた板、補強リブ）を集中質量として扱う場合の固有周期を算出する。
- b. アクセスハッチは、サプレッションチェンバ胴に取り付けられており、地震時の振れ止めとしてスリーブ－サプレッションチェンバ胴間に補強リブを設置している。アクセスハッチより加わる荷重（以下「外荷重」という。）によってアクセスハッチ、補強リブ及びアクセスハッチ取付部の各々に生じる変形を考える。変形モードは外荷重がスリーブ先端に作用した場合の軸方向荷重又は曲げモーメントによる変形を考慮する。
- c. 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

アクセスハッチは、図 4-1 に示すように、外荷重によってアクセスハッチ、補強リブ及びアクセスハッチ取付部の各々に生じる変形及び集中質量を考慮する。変位算出点は荷重作用点と同様にアクセスハッチ先端としており、スリーブの剛性及びアクセスハッチ取付部の局部剛性の影響を考慮した変位が得られる。

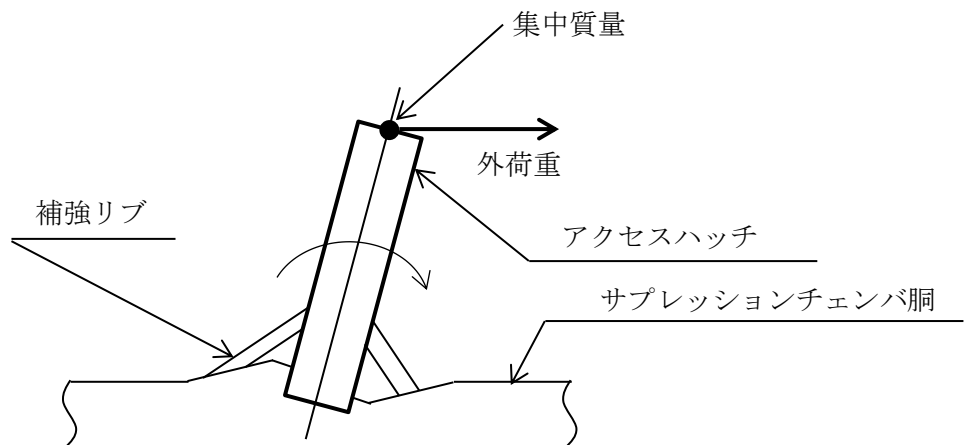


図 4-1 固有周期の計算モデル（外荷重による変形モデル）

(2) 外荷重による変形を求める解析モデル

外荷重によってアクセスハッチ、補強リブ及びアクセスハッチ取付部に生じる変形を精緻に評価するため、以下に示す有限要素解析手法を適用する。

- a. サプレッションチェンバ及びアクセスハッチの解析モデルは、3次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルは、構造及び荷重の伝達経路を考慮し、サプレッションチェンバを構成する16セグメントの円筒胴のうち、アクセスハッチが設置されるサプレッションチェンバ胴の1セグメントの範囲についてモデル化する。解析モデルを図4-2に、機器の諸元を表4-1示す。
- b. アクセスハッチの外荷重として、スリーブ軸方向の並進荷重及びスリーブ軸直角方向の並進荷重（サプレッションチェンバ胴軸方向、サプレッションチェンバ胴周方向）をアクセスハッチ先端に単位荷重として負荷する。
- c. 拘束条件は、解析モデルのサプレッションチェンバ胴両端部を固定条件（並進3方向及び3軸回り回転を拘束）とする。
- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、各方向のばね定数を求める。
なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

表 4-1 機器諸元

項目		記号	単位	入力値
材質	アクセスハッチ	—	—	SGV49* ¹
	サプレッションチェンバ胴	—	—	SPV50* ²
	補強リブ	—	—	SPV490
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	
節点数		—	—	

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

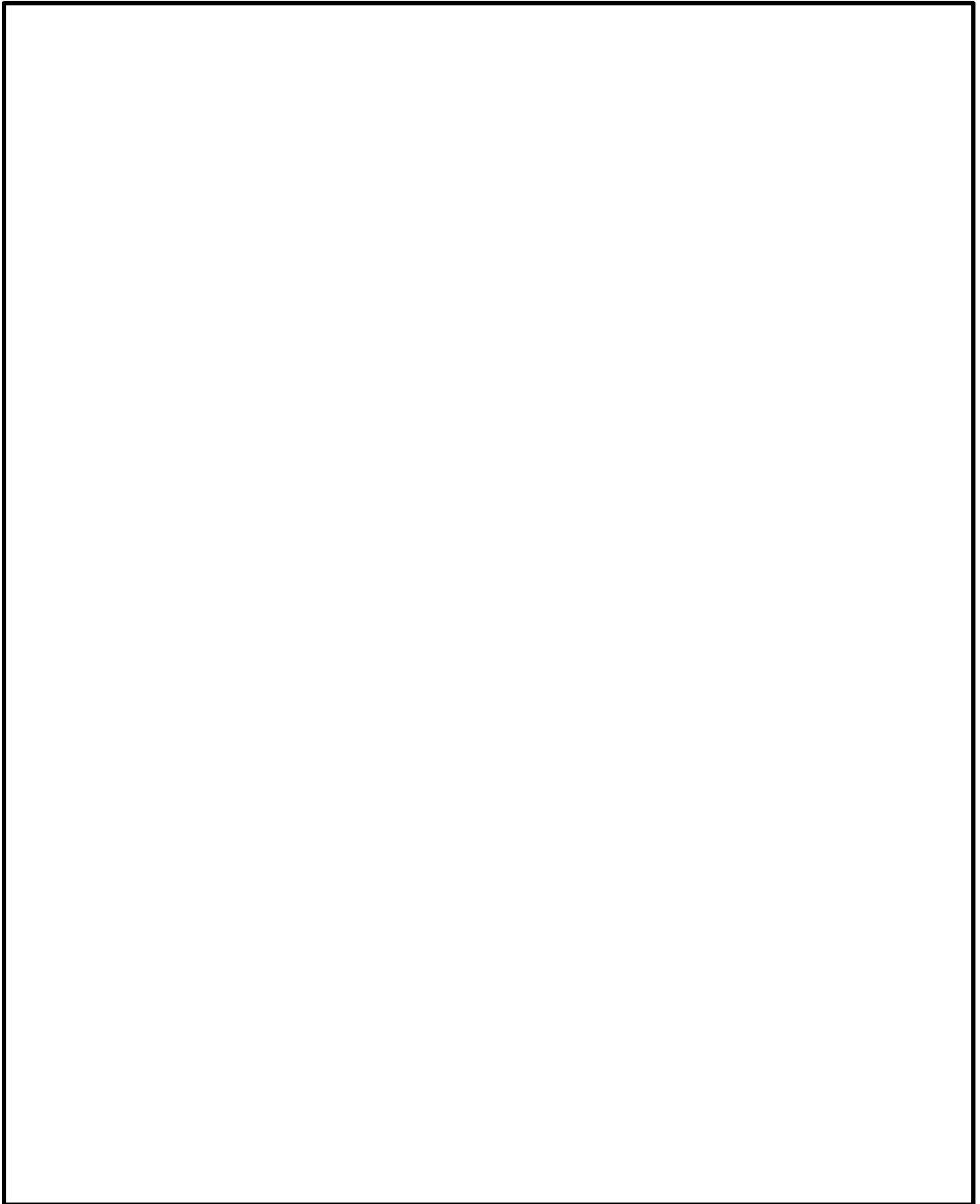


図 4-2 解析モデル (外荷重による変形を求めるモデル)

(3) 軸方向ばね定数

外荷重によってアクセスハッチ，補強リブ及びアクセスハッチ取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は，図 4-2 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係により求める。スリーブ軸方向（鉛直方向）ばね定数を K_R とし，その値を表 4-2 に示す。

(4) 軸直角方向ばね定数

外荷重によってアクセスハッチ，補強リブ及びアクセスハッチ取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は，図 4-2 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係により求める。スリーブ軸直角方向（水平方向：サブプレッションチェンバ胴周方向）ばね定数を K_C ，スリーブ軸直角方向（水平方向：サブプレッションチェンバ胴軸方向）ばね定数を K_L とし，その値を表 4-2 に示す。

(5) 軸方向の固有周期

スリーブ軸方向（鉛直方向）の固有周期は次式で求める。

$$T_R = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_R}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

(6) 軸直角方向の固有周期

軸直角方向の固有周期は次式で求める。

スリーブ軸直角方向（水平方向：サブプレッションチェンバ胴周方向）

$$T_C = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_C}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

スリーブ軸直角方向（水平方向：サブプレッションチェンバ胴軸方向）

$$T_L = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_L}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有周期の計算に用いる計算条件

記号	単位	値
K_R	N/mm	
K_C	N/mm	
K_L	N/mm	
m	kg	

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期を表 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直*1	
水平*2	
水平*3	

注記*1：スリーブ軸方向（鉛直方向）を示す。

*2：スリーブ軸直角方向（サブプレッションチェンバ胴周方向）を示す。

*3：スリーブ軸直角方向（サブプレッションチェンバ胴軸方向）を示す。

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 4-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-4 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直*1	
水平*2	
水平*3	

注記*1：スリーブ軸方向（鉛直方向）を示す。

*2：スリーブ軸直角方向（サブプレッションチェンバ胴周方向）を示す。

*3：スリーブ軸直角方向（サブプレッションチェンバ胴軸方向）を示す。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) アクセスハッチはサブプレッションチェンバ胴に支持され、また地震時の振れ止めとしてスリーブサブプレッションチェンバ胴間に補強リブが設置された構造であり、アクセスハッチの鉛直方向荷重及び水平方向荷重はサブプレッションチェンバ及びサブプレッションチェンバサポートを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

アクセスハッチの耐震評価として、VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサブプレッションチェンバの地震応答解析で求めた加速度を用いて、構造強度評価を行う。応力の算出には、理論式及び3次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を用いる。

- (2) 地震力は、アクセスハッチに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、「5.4 計算方法」に示す。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

アクセスハッチの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

アクセスハッチの許容応力はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3及び表5-4に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

アクセスハッチの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-6に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分*1	荷重の組合せ*2		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	アクセスハッチ	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)*3	
						(14)	
					D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)*3	
					D + P _L + M _L + S _d **4	(15)	Ⅳ _A S
						(17)	

注記*1：補強リブに対しては、クラスMC支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は、アクセスハッチに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*4：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分*2	荷重の組合せ*3		許容応力状態*4
原子炉格納施設	原子炉格納容器	アクセスハッチ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *5	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：補強リブに対しては，重大事故等クラス2支持構造物（クラスMC支持構造物）の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

*3：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*4：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*5：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 許容応力*1 (クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器)

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値*2	$3 \cdot S$ *3	*4, *5 S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ, Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値*2	S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S*6				

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*3： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ, Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*6：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 許容応力（クラスMC支持構造物及び重大事故等クラス2支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)				
	一次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$
V _A S*4					

注記*1：鋼構造設計規準（日本建築学会2005改定）等の幅厚比の制限を満足させる。

*2：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*4：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
アクセスハッチ	SGV49*1	周囲環境温度	104	131	237	430	—
サプレッションチェンバ胴	SPV50*2	周囲環境温度	104	167	459	562	—
補強リブ	SPV490						

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
アクセスハッチ	SGV49*1	周囲環境温度	200*2	131	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	131	248	453	—
サプレッションチェンバ胴	SPV50*4	周囲環境温度	200*2	167	417	545	—
		周囲環境温度	70*3	167	478	581	—
補強リブ	SPV490	周囲環境温度	200*2	167	417	545	—
		周囲環境温度	70*3	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び水力学
的動荷重は，以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（最高使用圧力） P_{Di1}	427 kPa
内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧） P_{Di2}	209 kPa
外圧 P_{Do}	14 kPa
温度（最高使用温度） T	104 °C

b. 死荷重

アクセスハッチの自重を死荷重とする。

死荷重 W N

設計基準対象施設の評価におけるサプレッションチェンバの水位は，H.W.L.（EL
5660mm）に対して保守的な条件として以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

c. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時，排気管内の気体がクエンチャからサプレッションプール水中
に放出される際，サプレッションチェンバに対して，参照図書(1)に示す圧力振動荷重
が作用する。荷重の大きさは下記のとおりである。

最大正圧 kPa
最大負圧 kPa

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度，死荷重及び水力学の動荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	380 kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	200 °C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	70 °C (SA後長々期)

b. 死荷重

アクセスハッチの自重を死荷重とする。

死荷重 W N

重大事故等対処設備の評価におけるサプレッションチェンバの水位は，以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

c. チャギング荷重

サプレッションチェンバに対して，低流量蒸気凝縮時には，参照図書(1)に示すチャギング荷重が作用する。荷重の大きさは以下のとおりである。

最大正圧	 kPa
最大負圧	 kPa

5.3 設計用地震力

アクセスハッチの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-7 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-8 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、以下のよう設定する。

(1) 水平方向設計震度

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力と、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバの解析モデルによる地震応答解析により求めた応答加速度を上回る加速度に基づく地震力の大きい方の地震力を設定する。

(2) 鉛直方向設計震度

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力と、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すサプレッションチェンバの解析モデルによる地震応答解析により求めた応答加速度を上回る加速度に基づく地震力の大きい方の地震力を設定する。

表 5-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
サプレッション チェンバ EL <input type="text"/> (EL 11.400 ~ 1.300)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H = \text{} *1$	$C_V = \text{} *1$	$C_H = \text{} *2$	$C_V = \text{} *2$

注記*1：設計用震度（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度を上回る震度

*2：設計用震度（基準地震動 S s）を上回る震度

表 5-8 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
サプレッション チェンバ EL <input type="text"/> (EL 11.400 ~ 1.300)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H = \text{} *1$	$C_V = \text{} *1$	$C_H = \text{} *2$	$C_V = \text{} *2$

注記*1：設計用震度（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度を上回る震度

*2：設計用震度（基準地震動 S s）を上回る震度

5.4 計算方法

アクセスハッチの応力評価点は、アクセスハッチを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-9 及び図 5-1 に示し、応力の計算方法を以下に示す。

表 5-9 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1 *	ふた板中央部
P 2 *	フランジ
P 3 *	ボルト
P 4	アクセスハッチスリーブ (P 4-A, P 4-B)
P 5	アクセスハッチ本体とサプレッションチェンバ胴との 結合部 (P 5-A~P 5-C)
P 6	アクセスハッチスリーブと補強リブとの結合部
P 7	補強リブとサプレッションチェンバ胴との結合部
P 8	補強リブ

注記* : 応力評価点 P 1 ~ P 3 については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるので評価は行わない。

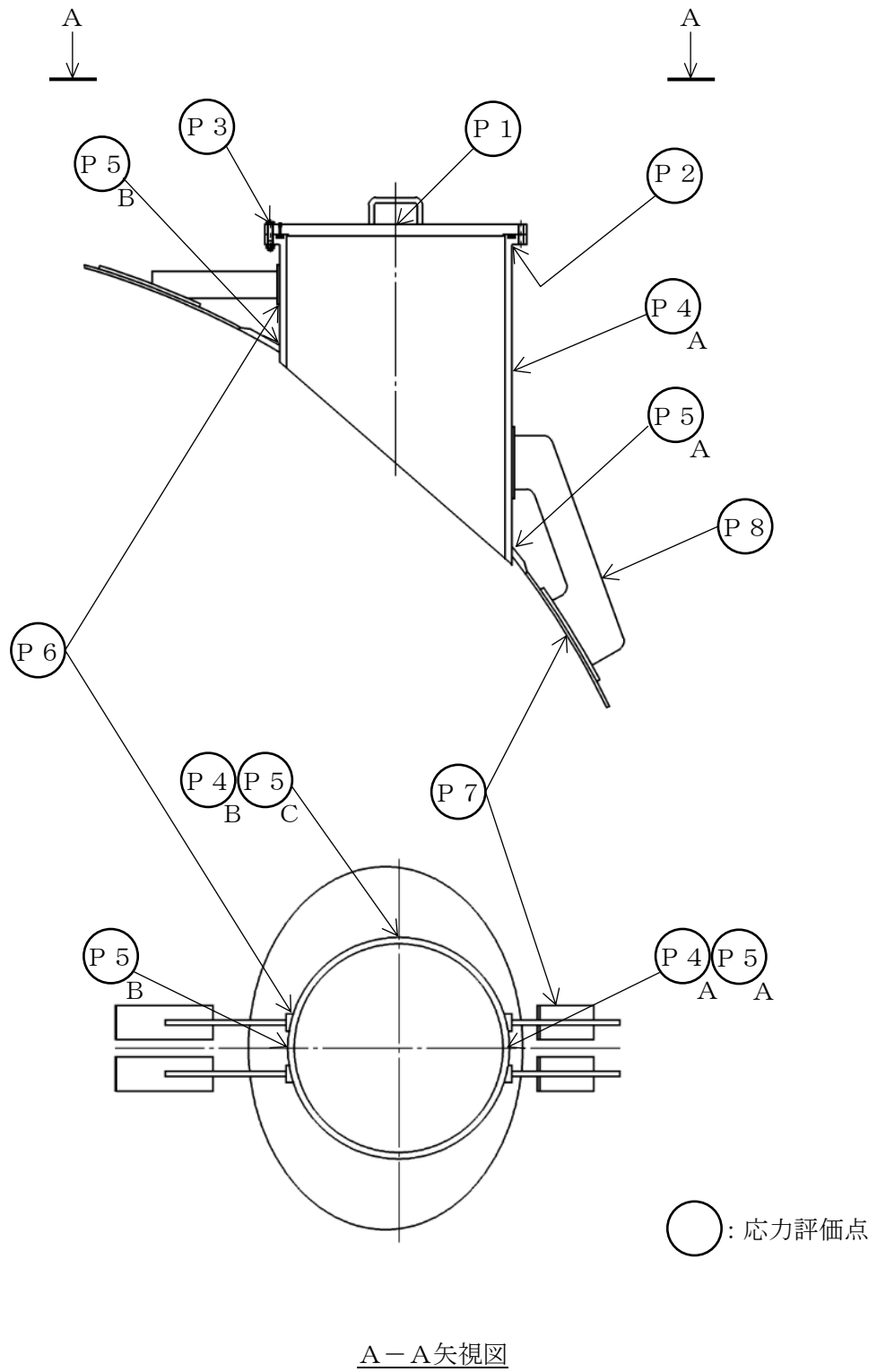


図 5-1 アクセスハッチの応力評価点

(1) 設計基準対象施設としての応力計算方法

a. アクセスハッチスリーブ (応力評価点 P 4)

応力評価点 P 4 の応力は、圧力による応力及びアクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。

(a) 圧力による応力

「5.2.4 設計荷重」に示す評価圧力による応力の計算式を以下に示す。

内圧による周方向応力

$$\sigma_t = \frac{(P_{Di}/1000) \cdot D_1}{2 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.1)$$

内圧による軸方向応力

$$\sigma_\ell = \frac{(P_{Di}/1000) \cdot D_1}{4 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.2)$$

外圧による周方向応力

$$\sigma_t = -\frac{(P_{Do}/1000) \cdot (D_1 + 2 \cdot t_1)}{2 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.3)$$

外圧による軸方向応力

$$\sigma_\ell = -\frac{(P_{Do}/1000) \cdot (D_1 + 2 \cdot t_1)}{4 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.4)$$

(b) アクセスハッチに作用する荷重による応力

アクセスハッチに作用する荷重による応力は、「5.2.4 設計荷重」に示す死荷重 W 及び「5.3 設計用地震力」に示す設計震度 (C_H , C_V) を用いて、以下の計算式で計算する。

なお、水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

イ. 死荷重による応力

軸方向応力

$$\sigma_\ell = \frac{W}{A} \dots\dots\dots (5.4.5)$$

ここで、

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \{(D_1 + 2 \cdot t_1)^2 - D_1^2\} \dots\dots\dots (5.4.6)$$

ロ. 水平地震荷重による応力

せん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot C_H}{A} \dots\dots\dots (5.4.7)$$

曲げ応力

$$\sigma_\ell = \pm \frac{W \cdot \ell_1 \cdot C_H}{Z} \dots\dots\dots (5.4.8)$$

ここで,

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\{(D_{1+2} \cdot t_1)^4 - D_1^4\}}{D_{1+2} \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.9)$$

ハ. 鉛直地震荷重による応力

軸方向応力

$$\sigma_\ell = \pm \frac{W \cdot C_V}{A} \dots\dots\dots (5.4.10)$$

b. アクセスハッチ本体とサプレッションチェンバ胴との結合部（応力評価点 P 5）

応力評価点 P 5 は，サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力及びアクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。

(a) サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力

応力計算方法は，VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すとおりである。なお，水平 2 方向及び鉛直方向の設計震度による応力は，SRSS法により組み合わせる。

(b) アクセスハッチに作用する荷重による応力

応力計算方法は，「5.2.4 設計荷重」に示す死荷重 W 及び「5.3 設計用地震力」に示す設計震度（ C_H ， C_V ）を考慮し，図 4-2 に示す解析モデルにて応力を算出する。

応力評価点 P 5 に作用する荷重を表 5-10 に示す。なお，水平 2 方向及び鉛直方向の設計震度による応力は，SRSS法により組み合わせる。

表 5-10 応力評価点 P 5 に作用する荷重

荷重の種類*	死荷重	地震荷重
F_x	W	$W \cdot C_V$
F_y	—	$W \cdot C_H$
F_z	—	$W \cdot C_H$

注記*：図 4-2 に示す荷重の記号による。

アクセスハッチに作用する荷重による応力は，図 4-2 に示す解析モデルから得られる，単位荷重によりアクセスハッチ本体とサプレッションチェンバ胴との結合部に生じる応力に，表 5-10 に示す荷重による荷重比を乗じて計算する。

- c. アクセスハッチスリーブと補強リブとの結合部（応力評価点P 6）
応力評価点P 6の応力は、圧力による応力及びアクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。
- (a) 圧力による応力
「5.2.4 設計荷重」に示す評価圧力による応力は、(5.4.1)式～(5.4.4)式により算出する。
- (b) アクセスハッチに作用する荷重による応力
アクセスハッチに作用する荷重による応力は、応力評価点P 5と同様の方法で算出する。
- d. 補強リブとサプレッションチェンバ胴との結合部（応力評価点P 7）
応力評価点P 7は、サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力及びアクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。
- (a) サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力
サプレッションチェンバ胴に作用する荷重による応力は、応力評価点P 5と同様の方法で算出する。
- (b) アクセスハッチに作用する荷重による応力
アクセスハッチに作用する荷重による応力は、応力評価点P 5と同様の方法で算出する。
- e. 補強リブ（応力評価点P 8）
応力評価点P 8は、アクセスハッチに作用する荷重による応力を考慮する。
- (a) アクセスハッチに作用する荷重による応力
アクセスハッチに作用する荷重による応力は、応力評価点P 5と同様の方法で算出する。
- (2) 重大事故等対処設備としての応力計算方法
重大事故等対処設備としての応力計算方法は設計基準対象施設と同じとする。

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が表 5-3 及び表 5-4 に示す許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は許容引張応力以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

アクセスハッチの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1～表 6-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D+P+M+S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4-A	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	8	237	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	356	○	(14)	
			一次+二次応力	14	393	○	(14)	
	P 4-B	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	8	237	○	(14)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	8	356	○	(14)	
			一次+二次応力	14	393	○	(14)	
	P 5-A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	86	505	○	(14)	
			一次+二次応力	149	501	○	(14)	
	P 5-B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	78	505	○	(14)	
			一次+二次応力	143	501	○	(14)	
	P 5-C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	75	505	○	(14)	
			一次+二次応力	143	501	○	(14)	

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	13	356	○	(14)	
			一次+二次応力	36	393	○	(14)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	86	505	○	(14)	
			一次+二次応力	227	501	○	(14)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	39	393	○	(14)	

表 6-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4 - A	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	14	258	○	(15)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	387	○	(15)	
			一次+二次応力	26	393	○	(15)	
	P 4 - B	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	14	258	○	(15)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	387	○	(15)	
			一次+二次応力	26	393	○	(15)	
	P 5 - A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	505	○	(15)	
			一次+二次応力	308	501	○	(15)	
	P 5 - B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	139	505	○	(15)	
			一次+二次応力	298	501	○	(15)	
	P 5 - C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	132	505	○	(15)	
			一次+二次応力	296	501	○	(15)	

表 6-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	21	387	○	(15)	
			一次+二次応力	74	393	○	(15)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	505	○	(15)	
			一次+二次応力	480	501	○	(15)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	81	393	○	(15)	

表 6-3 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P_L+M_L+S_d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4-A	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	9	258	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	9	387	○	(17)	
			一次+二次応力	14	393	○	(17)	
	P 4-B	アクセスハッチスリーブ	一次一般膜応力	9	258	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	9	387	○	(17)	
			一次+二次応力	14	393	○	(17)	
	P 5-A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	505	○	(17)	
			一次+二次応力	149	501	○	(17)	
	P 5-B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	127	505	○	(17)	
			一次+二次応力	143	501	○	(17)	
	P 5-C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	124	505	○	(17)	
			一次+二次応力	143	501	○	(17)	

表 6-3 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P_L+M_L+S_d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	16	387	○	(17)	
			一次+二次応力	36	393	○	(17)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	505	○	(17)	
			一次+二次応力	227	501	○	(17)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	39	393	○	(17)	

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

アクセスハッチの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-4 及び表 6-5 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4 - A	アクセスハッチ スリーブ	一次一般膜応力	13	253	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	14	393	○	(V (L) -1)	
	P 4 - B	アクセスハッチ スリーブ	一次一般膜応力	13	253	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	14	393	○	(V (L) -1)	
	P 5 - A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	318	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	149	501	○	(V (L) -1)	
	P 5 - B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	310	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	143	501	○	(V (L) -1)	
	P 5 - C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	307	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	143	501	○	(V (L) -1)	

表 6-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	23	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	36	393	○	(V (L) -1)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	318	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	227	501	○	(V (L) -1)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	39	381	○	(V (L) -1)	

表 6-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 4 - A	アクセスハッチ スリーブ	一次一般膜応力	17	272	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	408	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	26	393	○	(V (L L) -1)	
	P 4 - B	アクセスハッチ スリーブ	一次一般膜応力	17	272	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	408	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	26	393	○	(V (L L) -1)	
	P 5 - A	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	262	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	308	501	○	(V (L L) -1)	
	P 5 - B	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	245	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	298	501	○	(V (L L) -1)	
	P 5 - C	アクセスハッチ本体と サプレッションチェンバ 胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	238	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	296	501	○	(V (L L) -1)	

表 6-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
アクセスハッチ	P 6	アクセスハッチスリーブ と補強リブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	27	408	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	74	393	○	(V (L L) -1)	
	P 7	補強リブとサプレッション チェーンバ胴との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	262	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	480	501	○	(V (L L) -1)	
	P 8	補強リブ	組合せ応力	81	407	○	(V (L L) -1)	

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-13 「サプレッションチェンバの強度計算書」

VI-2-9-2-9 所員用エアロックの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	13
4.3 固有周期の計算結果	15
5. 構造強度評価	16
5.1 構造強度評価方法	16
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	16
5.2.2 許容応力	16
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	16
5.2.4 設計荷重	21
5.3 設計用地震力	22
5.4 計算方法	26
5.4.1 応力評価方法	26
5.5 計算条件	28
5.6 応力の評価	28
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	34
7. 参照図書	38
8. 引用文献	38

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、所員用エアロックが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

所員用エアロックは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による所員用エアロックの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

所員用エアロックの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>所員用エアロックはドライウエルに支持される。</p> <p>所員用エアロックの水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> ~ <input type="text"/> mm, 長さ <input type="text"/> mm の円筒胴及び板厚 <input type="text"/> mm の扉等で構成される鋼製構造物である。</p>	<p>所員用エアロック 拡大図 (単位：mm)</p>

2.2 評価方針

所員用エアロックの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

所員用エアロックの耐震評価フローを図 2-1 に示す。

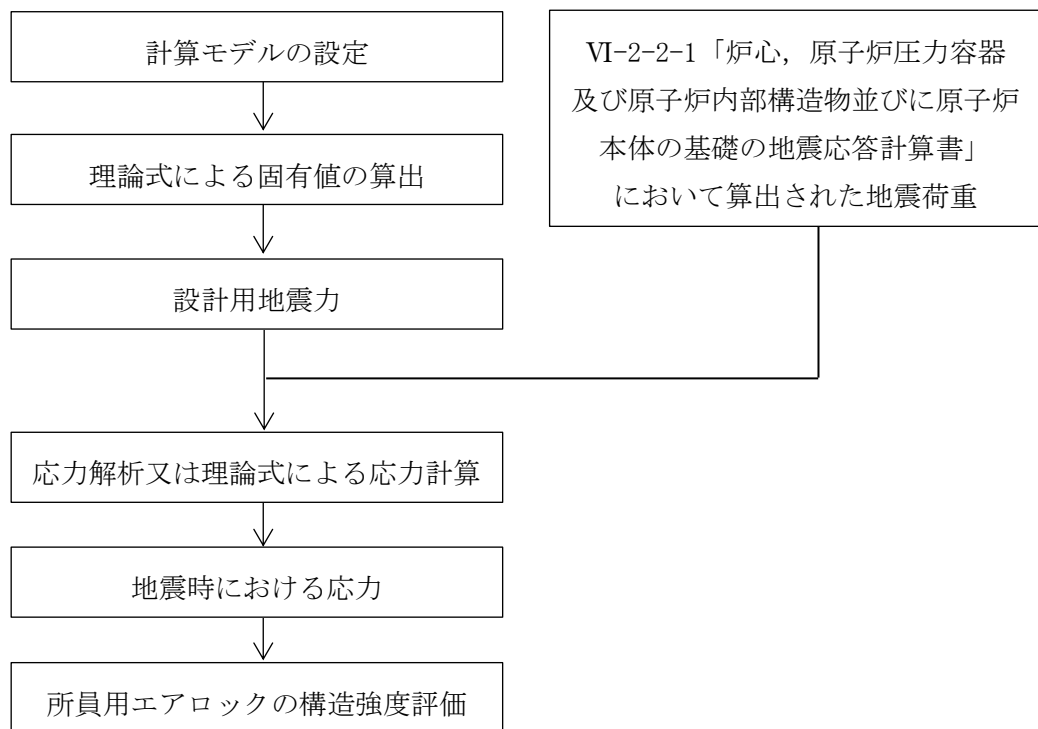


図 2-1 所員用エアロックの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
A _s	せん断断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _i	地震層せん断力係数	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d ₁	直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
f	引用文献(1) Fig. 3 より読み取る値	%
G	せん断弾性係数	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _{A1}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{A2}	片持はりを仮定した軸直角方向（せん断方向）ばね定数	N/mm
K _{A3}	片持はりを仮定した軸直角方向（曲げ方向）ばね定数	N/mm
K _e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
K _{PSC}	引用文献(1) Fig. 3 及び Table 1 で規定する応力係数*	—
	$= \theta / \frac{M}{a^3 \cdot \beta^2 \cdot E}$	
K _{PSR}	引用文献(1) Table 9 で規定する応力係数*	—
	$= \omega / \frac{P}{E \cdot a}$	
K _{PSL}	引用文献(1) Fig. 7 及び Table 4 で規定する応力係数*	—
	$= \theta / \frac{M}{a^3 \cdot \beta^2 \cdot E}$	
K _{SC}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _{SL}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（鉛直方向）のばね定数	N/mm
K _{SR}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _C	軸直角方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
K _L	軸直角方向（鉛直方向）の合成ばね定数	N/mm
K _R	軸方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
l _g	所員用エアロック重心位置から取付部までの長さ	mm
l _i	長さ（i = 1, 2, 3…）	mm
m	機器質量	kg

注記*：ここで使用している記号は引用文献(1)を参照

記号	記号の説明	単位
M	機械的荷重	—
M _L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M _{SAL}	機械的荷重 (S A後長期機械的荷重)	—
M _{SALL}	機械的荷重 (S A後長々期機械的荷重)	—
N _a	地震時の許容繰返し回数	—
N _c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力	—
P _L	地震と組み合わせる圧力	—
P _{SAL}	圧力 (S A後長期圧力)	—, kPa
P _{SALL}	圧力 (S A後長々期圧力)	—, kPa
R _i	ドライウエル内半径	mm
R _m	ドライウエル平均半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S _d	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力	—
S _d *	弾性設計用地震動 S _d により定まる地震力又は静的地震力	—
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _ℓ '	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S _n	地震動による応力振幅	MPa
S _p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _s	基準地震動 S _s により定まる地震力	—
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
t _i	厚さ (i = 1, 2, 3···)	mm
T _C	軸直角方向の固有周期 (水平方向)	s
T _L	軸直角方向の固有周期 (鉛直方向)	s
T _R	軸方向の固有周期 (水平方向)	s
T _{SAL}	温度 (S A後長期温度)	℃
T _{SALL}	温度 (S A後長々期温度)	℃
W	荷重	—
α	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—
β	引用文献(1)によるアタッチメントパラメータ	—
γ	引用文献(1)によるシェルパラメータ	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
ばね定数	N/mm	有効数字 3 桁	四捨五入	有効数字 2 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

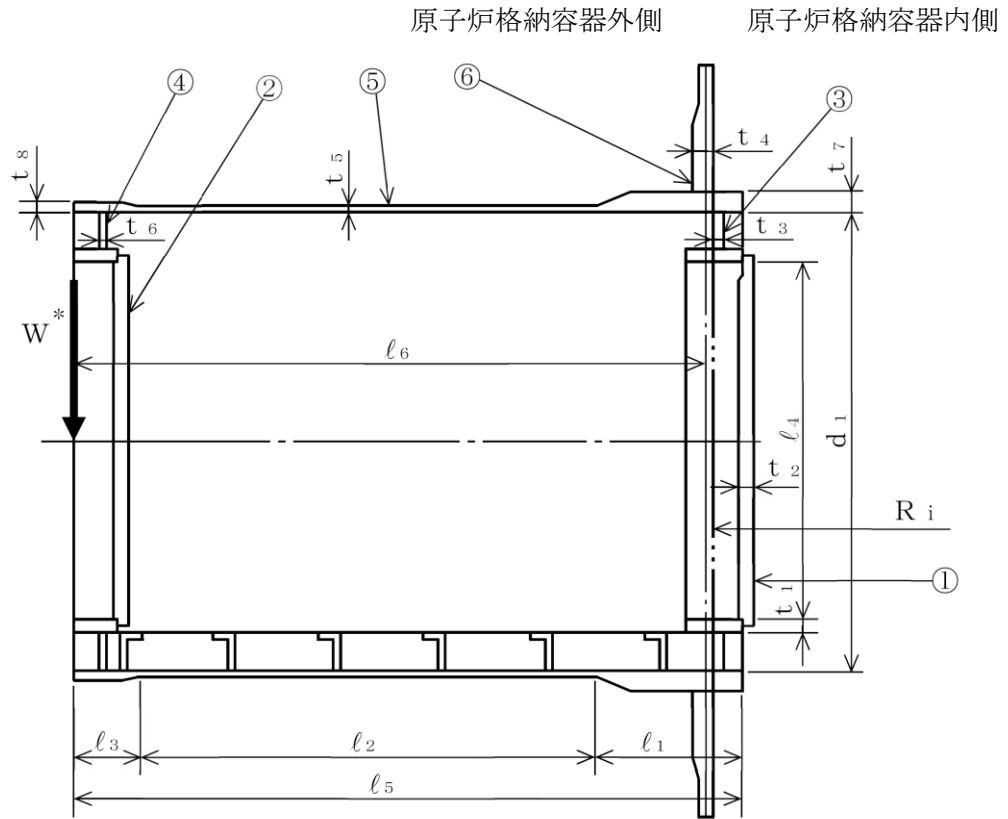
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

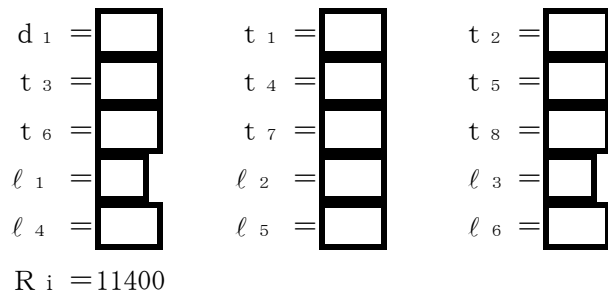
3. 評価部位

所員用エアロックの形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び評価部位を表 3-1 に示す。



注記* : W (死荷重又は活荷重) の作用点を示す。

- ① 内側扉 ② 外側扉 ③ 内側隔壁 ④ 外側隔壁 ⑤ 円筒胴 ⑥ 補強板



(単位 : mm)

図 3-1 所員用エアロックの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
内側扉	SGV49	SGV480 相当
外側扉	SGV49	SGV480 相当
内側隔壁	SGV49	SGV480 相当
外側隔壁	SGV49	SGV480 相当
垂直, 水平ビーム	SGV49	SGV480 相当
円筒胴	SGV49	SGV480 相当
補強板	SPV50	SPV490 相当

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

所員用エアロックの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- 所員用エアロックの質量は、重心に集中するものとする。
- 所員用エアロックは、ドライウェルに固定されており、一端固定、他端自由とする。
また、所員用エアロックは片持はりと考え、変形モードはせん断、曲げ又は圧縮・引張を考慮する。
- 所員用エアロックより加わる荷重（以下「外荷重」という。）によって所員用エアロックとドライウェルとの取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形、又は圧縮・引張による取付部変形を考慮する。
- b 及び c による変形の両者を考慮する。
- 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

所員用エアロックは、図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと、図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの、両者の合成として考える。所員用エアロックの固有周期の計算に用いる寸法を図 4-3 に示す。

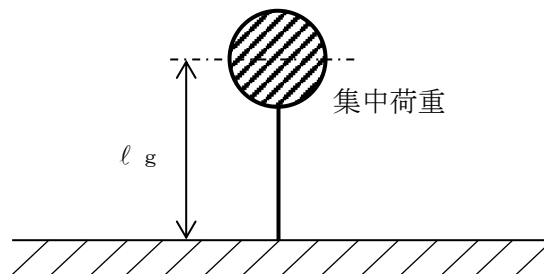


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

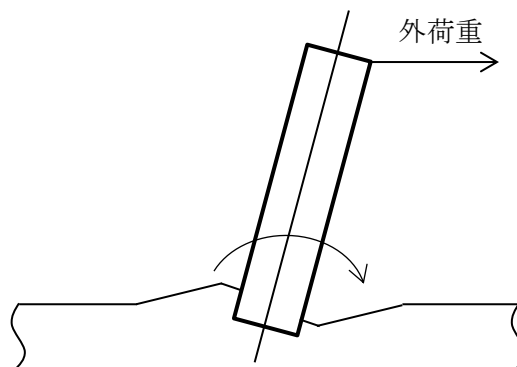
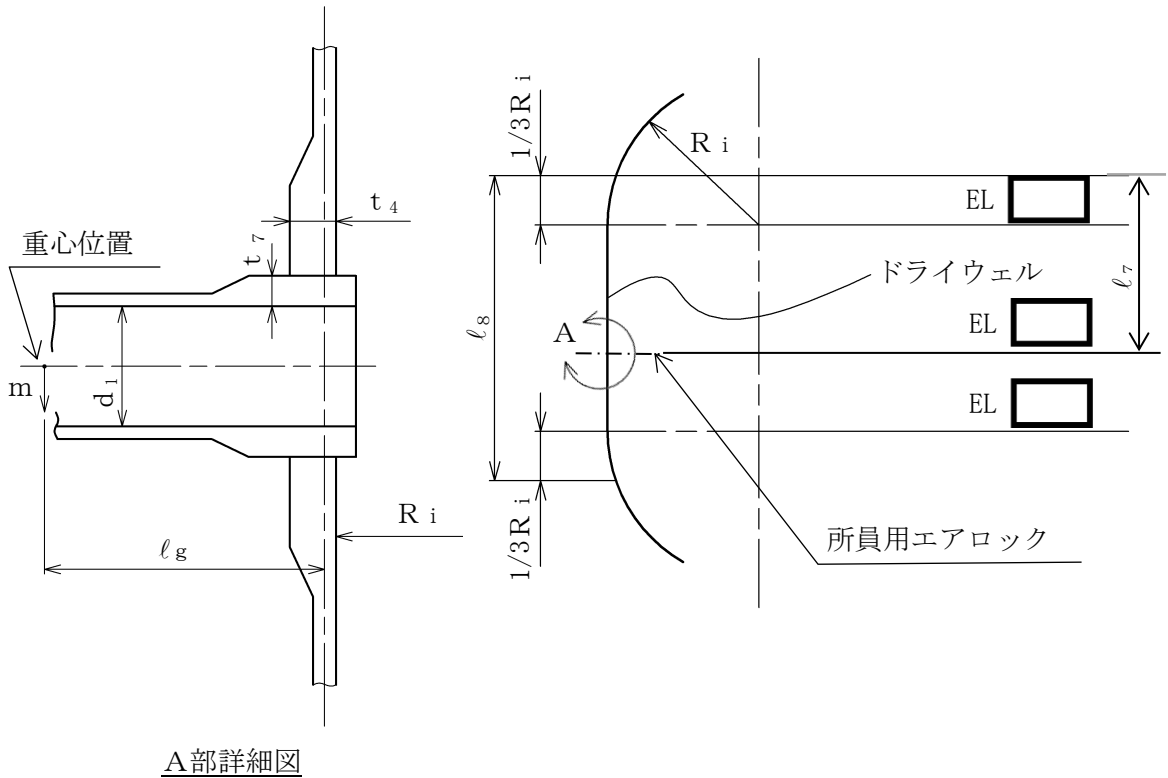


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）



(単位：mm)

図4-3 所員用エアロックの固有周期の計算に用いる寸法

(2) ドライウエルとの取付部の変形によるばね定数

ドライウエルとの取付部の変形によるばね定数は、引用文献(1)に基づき計算するものとし、以下に計算方法を示す。

a. 計算データ

$$R_m = R_i + \frac{t_4}{2} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

$$\alpha = \frac{4 \cdot l_7 \cdot (l_8 - l_7)}{l_8 \cdot R_m} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

$$\beta = 0.875 \cdot \frac{\frac{d_1}{2} + t_7}{R_m} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$\gamma = \frac{R_m}{t_4} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

- b. ドライウエル半径方向荷重に対する軸方向（水平方向）ばね定数

$$K_{SR} = \frac{E \cdot R_m}{K_{PSR}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

ここで、 K_{PSR} は 4.1(2)a. 項にて算出した β 及び γ より、引用文献(1)の Table 9 より得られた値を使用する。

- c. ドライウエル周方向曲げモーメントに対する軸直角方向（水平方向）ばね定数

$$K_{SC} = \frac{R_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E}{K_{PSC} \cdot \frac{f}{100} \cdot \ell_g^2} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

ここで、 K_{PSC} 及び f は 4.1(2)a. 項にて算出した α 、 β 及び γ より、引用文献(1)の Fig.3 及び Table 1 より得られた値を使用する。

- d. ドライウエル長手方向曲げモーメントに対する軸直角方向（鉛直方向）ばね定数

$$K_{SL} = \frac{R_m^3 \cdot \beta^2 \cdot E}{K_{PSL} \cdot \ell_g^2} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

ここで、 K_{PSL} は 4.1(2)a. 項にて算出した β 及び γ より、引用文献(1)の Fig.7 及び Table 4 より得られた値を使用する。

- (3) 所員用エアロックの円筒胴部のばね定数

- a. 軸方向（水平方向(ドライウエル半径方向))ばね定数

片持はりを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{A1} = \frac{A \cdot E}{\ell_g} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

- b. 軸直角方向（水平方向及び鉛直方向(ドライウエル周方向及び長手方向))ばね定数

片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

(せん断方向)

$$K_{A2} = \frac{A_s \cdot G}{\ell_g} \dots\dots\dots (4.1.9)$$

(曲げ方向)

$$K_{A3} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{\ell_g^3} \dots\dots\dots (4.1.10)$$

(4) 合成ばね定数

片持りを仮定したばね定数と、外荷重によってドライウェルとの取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の、両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{K_{SR}} + \frac{1}{K_{A1}}} \dots\dots\dots (4.1.11)$$

$$K_C = \frac{1}{\frac{1}{K_{SC}} + \frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{A3}}} \dots\dots\dots (4.1.12)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_{SL}} + \frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{A3}}} \dots\dots\dots (4.1.13)$$

(5) 水平方向の固有周期

水平方向の固有周期は次式で求める。

軸方向

$$T_R = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_R}} \dots\dots\dots (4.1.14)$$

軸直角方向

$$T_C = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_C}} \dots\dots\dots (4.1.15)$$

(6) 鉛直方向の固有周期

鉛直方向の固有周期は次式で求める。

$$T_L = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{1000 \cdot K_L}} \dots\dots\dots (4.1.16)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件を表 4-1 に示す。

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件(1/2)

記号	単位	値
R_i	mm	11400
t_4	mm	
t_7	mm	
d_1	mm	
l_7	mm	
l_8	mm	
l_g	mm	
R_m	mm	
\square	—	
β	—	
γ	—	
E	MPa	
K_{PSR}	—	
K_{PSC}	—	
K_{PSL}	—	
f	%	
G	MPa	
I	mm ⁴	
A	mm ²	
A_S	mm ²	
K_{SR}	N/mm	
K_{SC}	N/mm	
K_{SL}	N/mm	
K_{A1}	N/mm	
K_{A2}	N/mm	
K_{A3}	N/mm	
K_R	N/mm	
K_C	N/mm	

表 4-1 固有周期の計算に用いる計算条件 (2/2)

記号	単位	値
K _L	N/mm	
m	kg	

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-2 に示す。水平方向(軸), 水平方向(軸直角)及び鉛直方向(軸直角)に対し, 固有周期は 0.05 秒を超えており, 柔構造であることを確認した。

表 4-2 固有周期 (設計基準対象施設)

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向(軸)	
水平方向(軸直角)	
鉛直方向(軸直角)	

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-3 に示す。水平方向(軸), 水平方向(軸直角)及び鉛直方向(軸直角)に対し, 固有周期は 0.05 秒を超えており, 柔構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期 (重大事故等対処設備)

卓越方向	固有周期 (s)
水平方向(軸)	
水平方向(軸直角)	
鉛直方向(軸直角)	

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 所員用エアロックの水平方向地震荷重はシャラグ及びドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

所員用エアロックの耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて，既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は，所員用エアロックに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは，組合せ係数法を適用する。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

所員用エアロックの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-2に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

所員用エアロックの許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-3に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

所員用エアロックの使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表5-4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-5に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態 (設計基準対象施設)

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ ^{*1}		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	所員用エアロック	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d [*]	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)		
					D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
					D + P _L + M _L + S _d ^{**2}	(15)	Ⅳ _A S
						(17)	

注記*1: () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2: 原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	所員用エアロック	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *4	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*6			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*1	3・S*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*3, *4 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*1		
V _A S*5				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2：3・Sを超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

*6：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
所員用エアロック	SGV49*1	周囲環境温度	171	131	229	423	—
	SPV50*2	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
所員用エアロック	SGV49*1	周囲環境温度	200*2	131	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	131	248	453	—
	SPV50*4	周囲環境温度	200*2	167	417	545	—
		周囲環境温度	70*3	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重及び活荷重は，既工認からの変更はなく，次のとおりである。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) 所員用エアロックの自重 N

(b) ドライウエルの自重

所員用エアロックより上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 活荷重

(a) 床に加わる荷重 N

(b) ドライウエルの荷重

所員用エアロックより上部の活荷重を考慮する。

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

5.3 設計用地震力

所員用エアロックの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 及び表 5-8, 表 5-9 に, 重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 及び表 5-10, 表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は, VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数は VI-2-1-6 「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また, ドライウエルの所員用エアロック設置位置に作用する地震荷重は, VI-2-2-1 「炉心, 原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る設計荷重を設定する。また, 燃料交換時の鉛直地震荷重については, 死荷重及び活荷重に VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた鉛直震度を乗じて算出した鉛直地震荷重を上回る設計荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 所員用エアロック

設計基準対象施設として所員用エアロックの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-6 に示す。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として所員用エアロックの応力計算に用いる, ドライウエルの鉛直方向荷重を表 5-8 に, 水平方向地震荷重を表 5-9 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

a. 所員用エアロック

重大事故等対処設備として所員用エアロックの応力計算に用いる設計用地震力を表 5-7 に示す。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として所員用エアロックの応力計算に用いる, ドライウエルの鉛直方向荷重を表 5-10 に, 水平方向地震荷重を表 5-11 に示す。

表 5-6 所員用エアロックの設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=2.67^{*2,*3}$	$C_V=2.32^{*3}$	$C_H=4.50^{*2,*4}$	$C_V=4.81^{*4}$	1.0^{*5}	1.0^{*5}

注記*1: 所員用エアロックに対し, X方向は軸方向, Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2: X方向とY方向の最大震度を示す。

*3: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5: 溶接構造物に適用される減衰定数

表 5-7 所員用エアロックの設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S _d		基準地震動 S _s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=2.67^{*2,*3}$	$C_V=2.32^{*3}$	$C_H=4.50^{*2,*4}$	$C_V=4.81^{*4}$	1.0^{*5}	1.0^{*5}

注記*1：所員用エアロックに対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：溶接構造物に適用される減衰定数

表 5-8 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（設計基準対象施設）

（単位：N）

通常運転時			燃料交換時		
死荷重及び 活荷重	地震荷重		死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s

表 5-9 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10^7	4.300×10^{11}	6.100×10^7	9.460×10^{11}

表 5-10 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s

表 5-11 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d *		基準地震動 S s	
による地震荷重		による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.690×10^7	4.300×10^{11}	6.100×10^7	9.460×10^{11}

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価方法

所員用エアロックの応力評価点は、所員用エアロックを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表5-12及び図5-1に示す。

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。

評価の概要を以下に示す。

応力評価点P11及びP12は既工認の各荷重による応力に圧力比又は荷重比を乗じて評価する。

表5-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1*	内側扉
P2*	外側扉
P3*	内側隔壁板
P4*	内側隔壁垂直ビーム
P5*	内側隔壁上部水平ビーム
P6*	内側隔壁下部水平ビーム
P7*	外側隔壁板
P8*	外側隔壁垂直ビーム
P9*	外側隔壁上部水平ビーム
P10*	外側隔壁下部水平ビーム
P11	所員用エアロック円筒胴 (P11-A~P11-C)
P12	所員用エアロック本体と補強板との結合部 (P12-A~P12-C)

注記*：P1~P10については、地震荷重は荷重値が小さく無視できるため、評価を行わない。

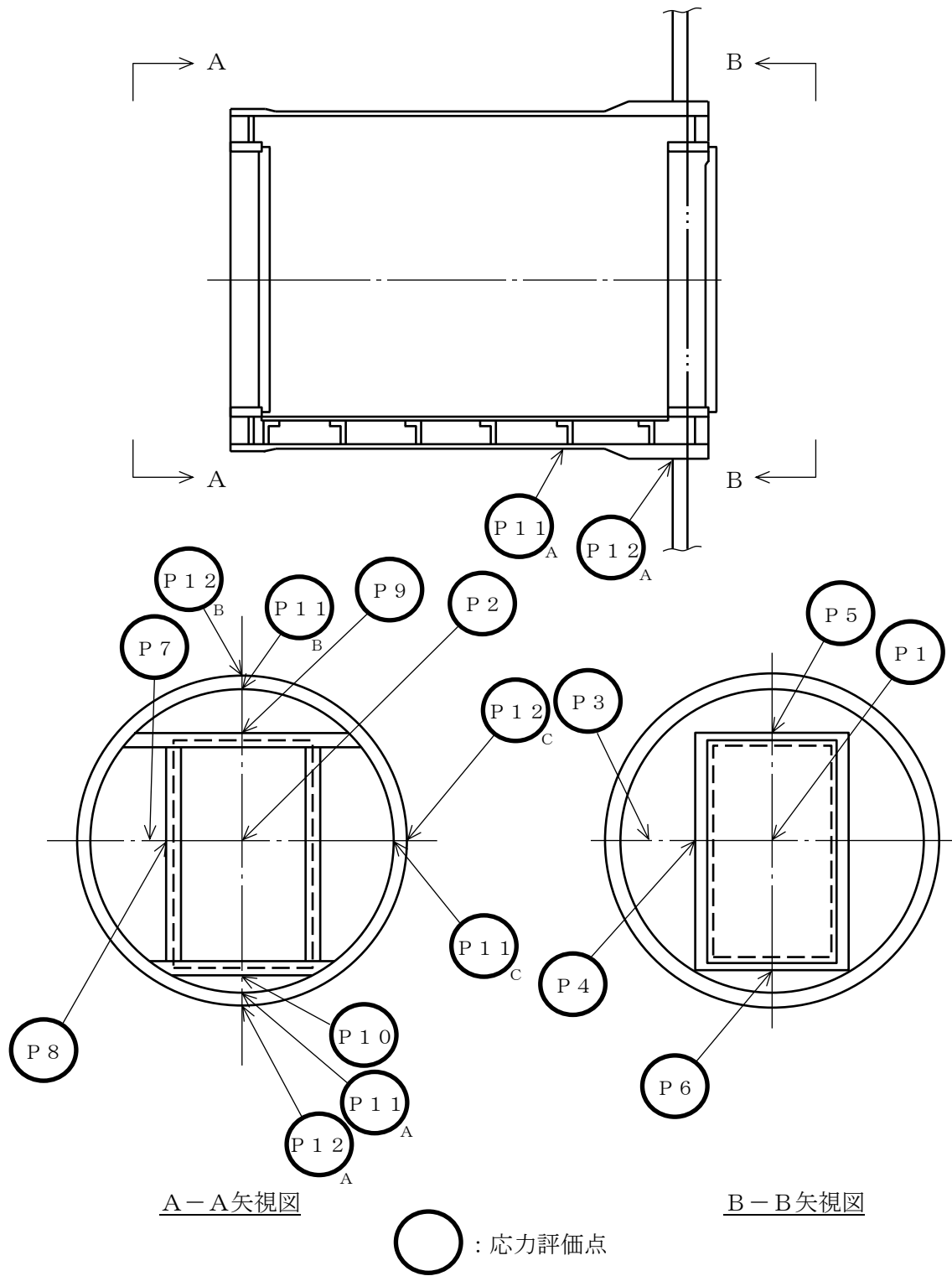


図 5-1 所員用エアロックの応力評価点

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

所員用エアロックの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 6-1 及び表 6-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-3 に示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	43	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	43	344	○	(11)	
			一次+二次応力	65	393	○	(11)	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	43	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	43	344	○	(11)	
			一次+二次応力	65	393	○	(11)	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	27	229	○	(11)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	27	344	○	(11)	
			一次+二次応力	53	393	○	(11)	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	80	495	○	(11)	
			一次+二次応力	289	501	○	(11)	
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	64	495	○	(11)	
			一次+二次応力	228	501	○	(11)	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	69	495	○	(11)	
			一次+二次応力	399	501	○	(11)	

表 6-2(1) 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	73	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	73	380	○	(13)	
			一次+二次応力	126	393	○	(13)	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	73	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	73	380	○	(13)	
			一次+二次応力	126	393	○	(13)	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	44	253	○	(13)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	44	380	○	(13)	
			一次+二次応力	87	393	○	(13)	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	147	495	○	(13)	
			一次+二次応力	581	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.475	1.0	○		単位なし
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	123	495	○	(13)	
			一次+二次応力	455	501	○	(13)	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	495	○	(13)	
			一次+二次応力	685	501	×*	(13)	
			疲労評価	0.909	1.0	○		単位なし

注記* : P 1 2 - A及びP 1 2 - Cの一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2(2) 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	42	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	42	380	○	(17)	
			一次+二次応力	44	393	○	(17)	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	43	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	43	380	○	(17)	
			一次+二次応力	44	393	○	(17)	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	35	253	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	35	380	○	(17)	
			一次+二次応力	44	393	○	(17)	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	142	495	○	(17)	
			一次+二次応力	238	501	○	(17)	
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	495	○	(17)	
			一次+二次応力	185	501	○	(17)	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	138	495	○	(17)	
			一次+二次応力	344	501	○	(17)	

表 6-3 許容応力状態IV_ASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1 2 - A	581							0.475
P 1 2 - C	685							0.909

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

所員用エアロックの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-5 に示す。

表 6-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象 設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	53	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	53	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	44	393	○	V (L) -1	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	56	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	56	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	44	393	○	V (L) -1	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	50	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	50	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	44	393	○	V (L) -1	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	252	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	238	501	○	V (L) -1	
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	269	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	185	501	○	V (L) -1	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	248	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	344	501	○	V (L) -1	

表 6-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象 設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の 組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
所員用 エアロック	P 1 1 - A	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	64	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	64	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	85	393	○	V (L L) -1	
	P 1 1 - B	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	66	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	66	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	85	393	○	V (L L) -1	
	P 1 1 - C	所員用エアロック円筒胴	一次一般膜応力	51	272	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	51	408	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	71	393	○	V (L L) -1	
	P 1 2 - A	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	208	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	479	501	○	V (L L) -1	
	P 1 2 - B	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	213	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	369	501	○	V (L L) -1	
	P 1 2 - C	所員用エアロック本体と 補強板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	196	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	595	501	×*	V (L L) -1	
疲労評価			0.477	1.0	○	単位なし		

注記* : P 1 2 - C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-5 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1 2 - C	595							0.477

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$$

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-4「所員用エアロックの強度計算書」

8. 引用文献

- (1) P.P. Bijlaard: Stresses from Radial Loads and External Moments in Cylindrical Pressure Vessels, Welding Journal Research Supplement, 1955

VI-2-9-2-10 配管貫通部の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
5.2.2 許容応力	11
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	11
5.2.4 設計荷重	17
5.3 設計用地震力	20
5.4 計算方法	21
5.4.1 応力評価点	21
5.4.2 応力計算方法	23
5.5 計算条件	28
5.6 応力の評価	28
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	36
7. 参照図書	41
8. 引用文献	41

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、配管貫通部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

表 2-1 に示す貫通部形式のうち、形式 1 は管口径が大きく反力の大きい配管類の貫通部に用いている。この形式の貫通部は、原子炉格納容器外側で原子炉建物にアンカされ、ベローズによって原子炉建物と原子炉格納容器の相対変位を吸収する構造となっている。このため、貫通部への反力は極めて小さい。したがって、貫通部の構造強度評価は省略する。

形式 2 及び形式 3 の貫通部は配管の反力が直接作用する。したがって、貫通部の構造強度評価を実施する。本計算書では、ドライウェル及びサブプレッションチェンバそれぞれにおいて、外径が最大の貫通部のうち、設置位置が最高の貫通部である X-81 及び X-241 を代表貫通部として構造強度評価を実施する。

小口径の配管は、貫通部に加わる反力は小さいため、貫通部の構造強度評価は省略する。

配管貫通部は、設計基準対象施設においては S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力による荷重及び重大事故等時の荷重に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重による配管貫通部の評価は、昭和 59 年 9 月 17 日付け 59 資庁第 8283 号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）（以下「既工認」という。）による。

2. 一般事項

2.1 構造計画

配管貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

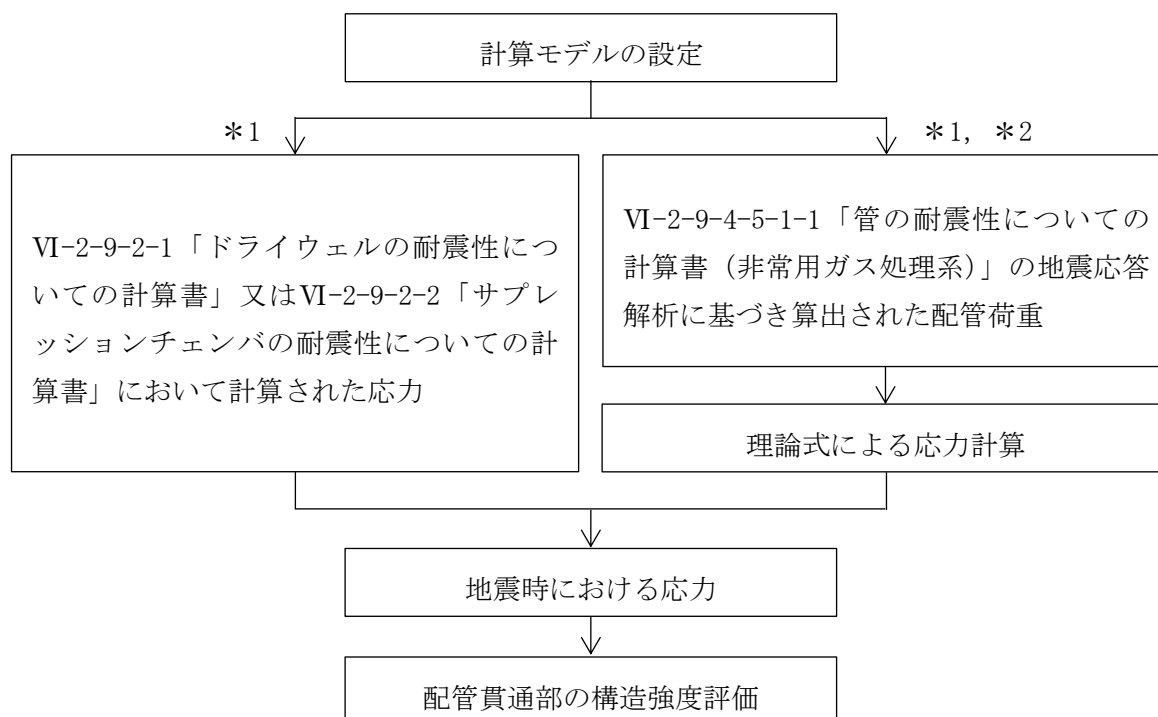
表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>配管貫通部は、原子炉格納容器（ドライウエル又はサプレッションチェンバ）に支持される。</p> <p>配管貫通部は、原子炉格納容器と一体構造となっており、ドライウエルの配管貫通部に加わる地震荷重はドライウエルより原子炉建物を介して、サプレッションチェンバの配管貫通部に加わる地震荷重はサプレッションチェンバを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>配管貫通部は、鋼製のスリーブが原子炉格納容器に溶接支持される構造である。</p> <p>形式 1 にベローズ、形式 1 と形式 2 に端板を備える。</p>	<p>The diagram illustrates the structural design of pipe penetrations through the reactor containment vessel. It includes a main cross-sectional view of the reactor building and three detailed views of different penetration types (Form 1, Form 2, and Form 3). Labels identify components such as the pipe penetration (X-241, X-81), the containment vessel (drywell or suppression chamber), the reactor building foundation slab, bellows, sleeves, and end plates.</p>

2.2 評価方針

配管貫通部の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す配管貫通部の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

配管貫通部の耐震評価フローを図2-1に示す。



注記*1：スリーブ取付部の耐震評価フローを示す。

*2：スリーブの耐震評価フローを示す。

図2-1 配管貫通部の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
d ₁	配管貫通部 X-81 のスリーブ外径	mm
d ₂	配管貫通部 X-241 のスリーブ外径	mm
M _c	モーメント (周方向)	N・mm
M _L	モーメント (軸方向)	N・mm
P	軸力	N
R ₁	ドライウェル胴の内半径	mm
R ₂	サプレッションチェンバの内半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 3 に定める値	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
t ₁	配管貫通部 X-81 のスリーブ厚さ	mm
t ₂	配管貫通部 X-241 のスリーブ厚さ	mm
T ₁	ドライウェル胴の板厚	mm
T ₂	サプレッションチェンバの板厚	mm
T _{SAL}	温度 (S A後長期温度)	℃
T _{SALL}	温度 (S A後長々期温度)	℃

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

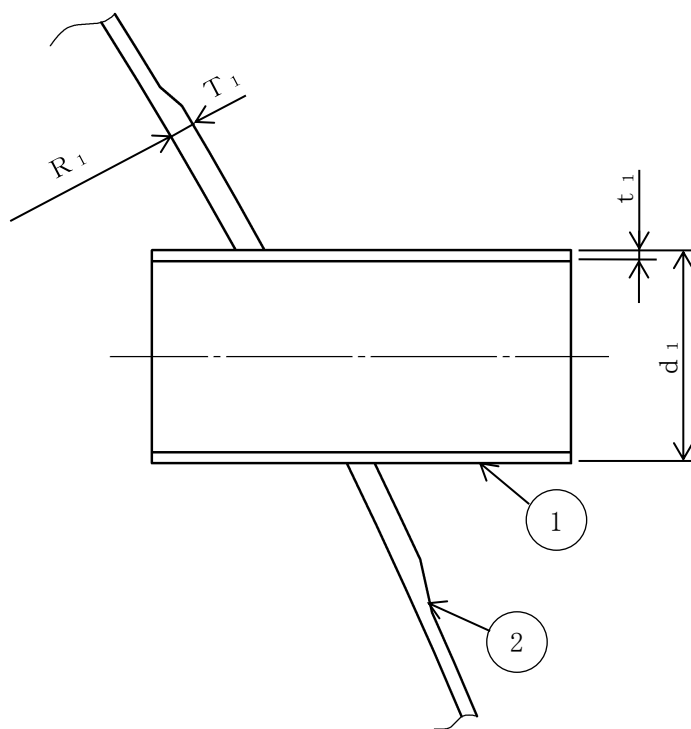
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

代表とした配管貫通部 X-81 及び X-241 の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-2 に示す。

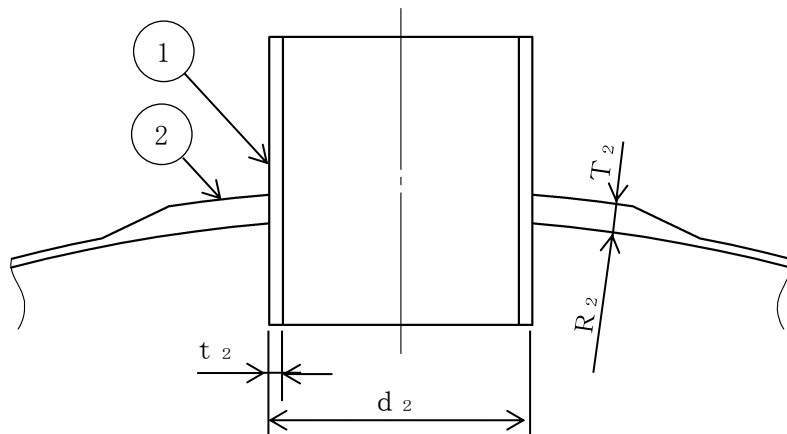


① スリーブ ② 原子炉格納容器

図 3-1(1) 配管貫通部 X-81 の形状及び主要寸法

表 3-1(1) 配管貫通部 X-81 の主要寸法 (単位: mm)

貫通部 番号	形式	d_1	t_1	T_1	R_1
X-81	3				



① スリーブ ② 原子炉格納容器

図 3-1(2) 配管貫通部 X-241 の形状及び主要寸法

表 3-1(2) 配管貫通部 X-241 の主要寸法 (単位: mm)

貫通部 番号	形式	d_2	t_2	T_2	R_2
X-241	3				

表 3-2 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
原子炉格納容器	SPV50	SPV490 相当
スリーブ	STS42	STS410 相当

4. 固有周期

配管貫通部の耐震評価は、ドライウエル又はサブプレッションチェンバに作用する荷重と配管荷重を用いて実施する。

ドライウエルに作用する荷重は、VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」にて原子炉格納容器の固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いることから，本計算書では固有周期の計算は実施しない。

サブプレッションチェンバに作用する荷重は，VI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」にてサブプレッションチェンバ及びサブプレッションチェンバサポートの固有周期を踏まえて計算した設計用地震力を用いることから，本計算書では固有周期の計算は実施しない。

配管荷重は，VI-2-9-4-5-1-1「管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」に示す管の固有周期に基づく地震応答解析で計算した荷重を用いて評価をするため，本計算書では配管貫通部の固有周期の計算は実施しない。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 配管貫通部は、スリーブが原子炉格納容器に支持された構造であり、ドライウエルの配管貫通部に加わる地震荷重はドライウエルより原子炉建物を介して、サブプレッションチェンバの配管貫通部に加わる地震荷重はサブプレッションチェンバを介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

配管貫通部の耐震評価として、配管貫通部に作用する自重、圧力荷重、水力学的動荷重、VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」又はVI-2-9-2-2「サブプレッションチェンバの耐震性についての計算書」において計算された応力及びVI-2-9-4-5-1-1「管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」において計算された配管荷重を用いて、参照図書(1)に示す既工認の手法に従い構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は、貫通部に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、「5.4.2 応力計算方法」に示す。
- (3) 構造強度評価に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

配管貫通部の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

配管貫通部の許容応力はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表 5-3 に示すとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

配管貫通部の使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	S	クラスMC容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
						(14)	
					D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
					D + P _L + M _L + S _d **2	(15)	Ⅳ _A S
						(17)	

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	配管貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和 常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V _A S
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表5-3 クラスMC容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力*1

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*2	3・S*3	*4, *5 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*2	S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S*6				

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*3：3・Sを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下とする。

*6：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	貫通部番号	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
			周囲環境温度					
原子炉格納容器	X-81	SPV50* ¹	周囲環境温度	171	167	429	550	—
原子炉格納容器	X-241	SPV50* ¹	周囲環境温度	104	167	459	562	—
スリーブ	X-81	STS42* ²	周囲環境温度	171	114	211	404	—
スリーブ	X-241	STS42* ²	周囲環境温度	104	114	219	404	—

注記*1 : SPV490 相当

*2 : STS410 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	貫通部番号	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
			周囲環境温度					
原子炉格納容器	X-81	SPV50* ¹	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
			周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—
原子炉格納容器	X-241	SPV50* ¹	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
			周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—
スリーブ	X-81	STS42* ⁴	周囲環境温度	200* ²	114	207	404	—
			周囲環境温度	70* ³	114	229	407	—
スリーブ	X-241	STS42* ⁴	周囲環境温度	200* ²	114	207	404	—
			周囲環境温度	70* ³	114	229	407	—

注記*1：SPV490 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：STS410 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度，死荷重，活荷重及び水力学的動荷重は，以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧	ドライウエル（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327kPa
内圧	サプレッションチェンバ（冷却材喪失事故後の最大内圧）	209kPa
外圧	ドライウエル	14kPa
外圧	サプレッションチェンバ	14kPa
温度	ドライウエル（最高使用温度）	171℃
温度	サプレッションチェンバ（最高使用温度）	104℃

b. 死荷重

(a) ドライウエル

ドライウエルの自重による鉛直荷重は，VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(b) サプレッションチェンバ

サプレッションチェンバの自重による鉛直荷重は，VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

なお，設計基準対象施設の評価におけるサプレッションチェンバの水位は，H. W. L. (EL 5660mm)に対する保守的な条件として，重大事故等対処設備の評価における水位を用い，以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

c. 活荷重

活荷重は，VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

d. 逃がし安全弁作動時の荷重

逃がし安全弁作動時の荷重は，VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度，死荷重及び水力学の動荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	380kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	200°C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	70°C (SA後長々期)

b. 死荷重

重大事故等対処設備としてのドライウェル又はサプレッションチェンバの死荷重は，設計基準対象施設としての荷重と同じであるため，「5.2.4 設計荷重」の(1)に示すとおりである。

c. チャギング荷重

チャギング荷重は，VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(3) 配管荷重

図 3-1 の配管貫通部に作用する配管荷重による設計荷重のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 に示す。配管貫通部の荷重作用方向を図 5-1 に示す。

なお，表 5-6 及び表 5-7 の設計荷重は，VI-2-9-4-5-1-1「管の耐震性についての計算書（非常用ガス処理系）」に示す地震応答解析で計算した配管貫通部に生じる荷重を上回る荷重である。

表 5-6 配管貫通部の設計荷重（設計基準対象施設）

貫通部番号	評価圧力 (kPa)		地震荷重	死荷重			地震荷重		
	内圧	外圧		軸力(N)	モーメント(N・mm)		軸力(N)	モーメント(N・mm)	
				P	M _c	M _L	P	M _c	M _L
X-81	327	14	地震荷重 S _d *作用時						
			地震荷重 S _s 作用時						
X-241	209	14	地震荷重 S _d *作用時						
			地震荷重 S _s 作用時						

表 5-7 配管貫通部の設計荷重（重大事故等対処設備）

貫通部番号	評価圧力 (kPa)		地震荷重	死荷重			地震荷重		
	内圧	外圧		軸力(N)	モーメント(N・mm)		軸力(N)	モーメント(N・mm)	
				P	M _c	M _L	P	M _c	M _L
X-81	660	-	地震荷重 S _d 作用時						
	380		地震荷重 S _s 作用時						
X-241	660	-	地震荷重 S _d 作用時						
	380		地震荷重 S _s 作用時						

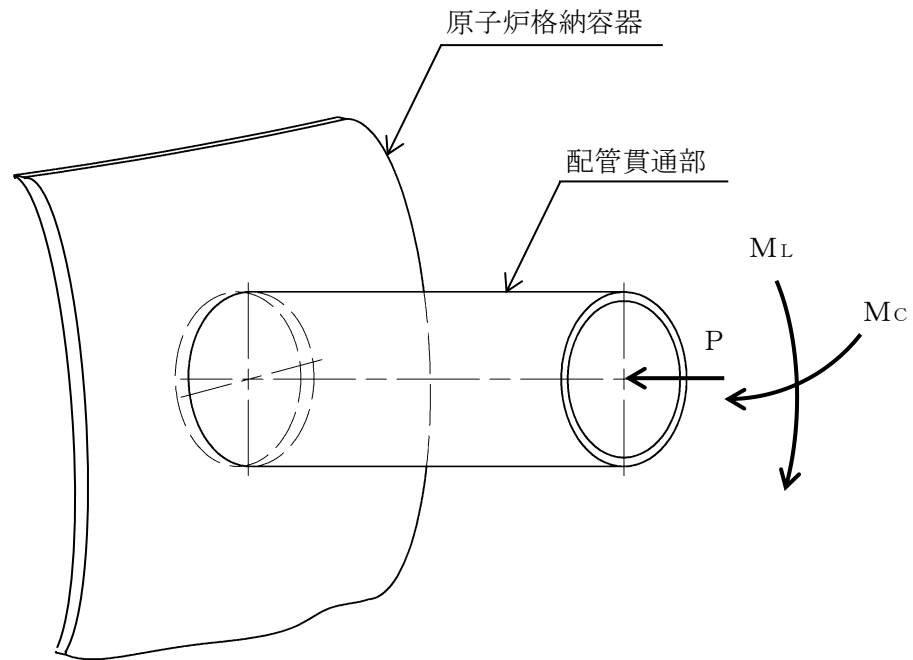


図 5-1 配管貫通部の荷重作用方向

5.3 設計用地震力

(1) ドライウエル

ドライウエルに作用する設計用地震力は、VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(2) サプレッションチェンバ

サプレッションチェンバに作用する設計用地震力は、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(3) 配管荷重

評価に用いる設計用地震力は、「5.2.4 設計荷重」の(3)に示す配管の地震応答解析で計算された荷重を上回る荷重を用いる。

5.4 計算方法

5.4.1 応力評価点

配管貫通部の応力評価点は、配管貫通部を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-8 及び図 5-2 に示す。

表 5-8 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	X-81 原子炉格納容器とスリーブとの結合部 (P 1 - A , P 1 - B)
P 2	X-241 原子炉格納容器とスリーブとの結合部 (P 2 - A , P 2 - B)
P 3	X-81 スリーブ (P 3 - A , P 3 - B)
P 4	X-241 スリーブ (P 4 - A , P 4 - B)

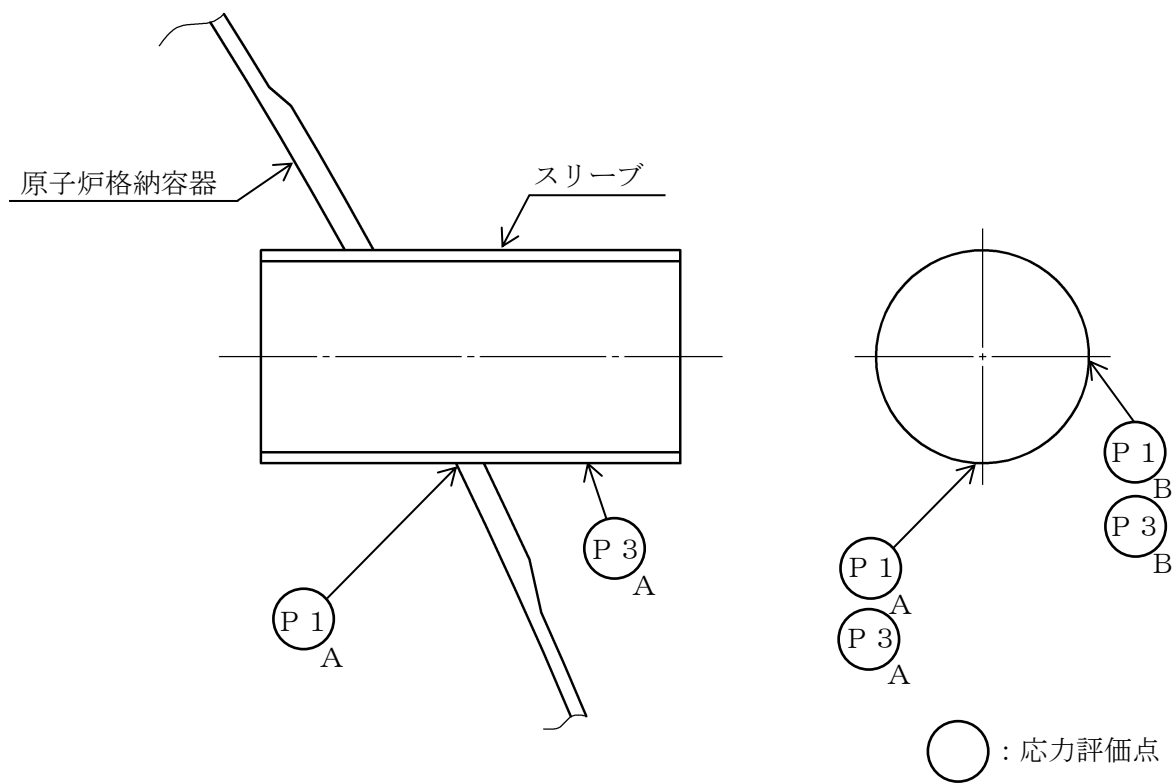


図 5-2(1) 配管貫通部 X-81 の応力評価点

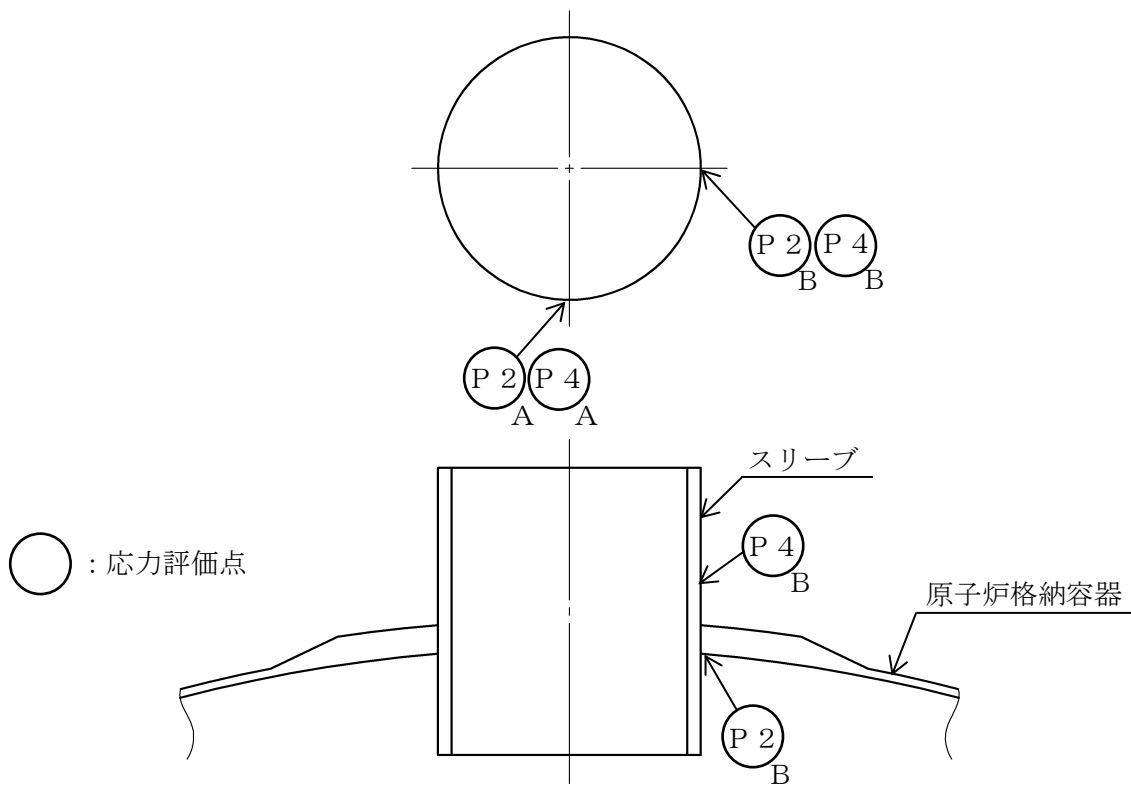


図 5-2(2) 配管貫通部 X-241 の応力評価点

5.4.2 応力計算方法

配管貫通部の応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

応力計算方法は既工認から変更は無く，参照図書(1)に示すとおりである。

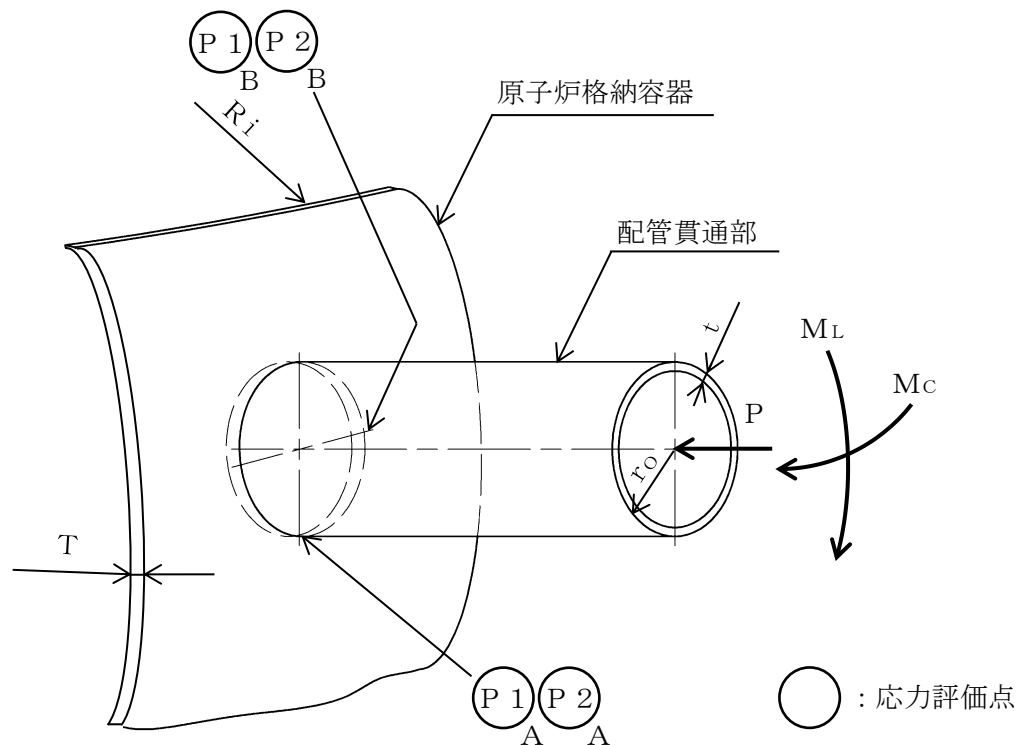
a. 応力評価点 P 1，P 2 に生じる応力

応力評価点 P 1，P 2 の応力は，配管貫通部に作用する荷重（表 5-6）による応力と，VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」又はVI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」において算出された応力を組み合わせることで算出する。なお，配管貫通部に作用する荷重による応力については，引用文献(1)に示す方法により計算するものとし，水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による応力は，絶対値和により組み合わせる。

以下に配管貫通部に作用する荷重による応力の計算方法を示す。ここで使用する記号は全て引用文献(1)に従う。

(a) 計算モデル

応力計算に用いる計算モデルを，図 5-3 に示す。



R_i : 貫通部中心までの原子炉格納容器内半径 = (X-81), (X-241)

r_o : スリーブ外半径 = (X-81), (X-241)

T : 原子炉格納容器厚さ（補強板含む） = (X-81), (X-241)

t : スリーブ厚さ = (X-81), (X-241)

(単位 : mm)

図 5-3 計算モデル

(b) パラメータ

応力計算に用いるパラメータを、以下に示す。

イ. X-81 のパラメータ

X-81 のシェルパラメータは以下のとおりとする。

$$R_m = R_i + \frac{T}{2} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$U = \frac{r_o}{\sqrt{R_m \cdot T}} = \boxed{}$$

X-81 のアタッチメントパラメータは以下のとおりとする。

$$r_m = r_o - \frac{t}{2} = \boxed{}$$

$$\gamma = \frac{r_m}{t} = \boxed{}$$

$$\rho = \frac{T}{t} = \boxed{}$$

ロ. X-241 のパラメータ

X-241 のシェルパラメータは以下のとおりとする。

$$R_m = R_i + \frac{T}{2} = \boxed{} \text{ mm}$$

$$\gamma = \frac{R_m}{T} = \boxed{}$$

X-241 のアタッチメントパラメータは以下のとおりとする。

$$\beta = \frac{0.875 \cdot r_o}{R_m} = \boxed{}$$

(c) 応力計算

単位荷重による応力を以下に示す。

応力評価点 P 1, P 2 に生じる応力は、以下に示す単位荷重による応力と配管貫通部に作用する荷重 (表 5-6) により算出する。

イ. 応力評価点 P 1 に生じる応力 (X-81)

単位軸方向荷重 P による応力を表 5-9 に示す。

$$P = 1.000 \times 10^3 \text{N}$$

表 5-9 単位軸方向荷重 P による応力 (X-81)

方向	応力評価点	図の番号*	図からの読取値	応力計算 (MPa)

注記* : 引用文献(1)の図の番号を示す。

単位モーメント荷重 M_c による応力を表 5-10 に示す。

$$M_c = 1.000 \times 10^6 \text{N} \cdot \text{mm}$$

表 5-10 単位モーメント荷重 M_c による応力 (X-81)

方向	応力評価点	図の番号*	図からの読取値	応力計算 (MPa)

注記* : 引用文献(1)の図の番号を示す。

単位モーメント荷重 M_L による応力を表 5-11 に示す。

$$M_L = 1.000 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-11 単位モーメント荷重 M_L による応力(X-81)

方向	応力評価点	図の番号*	図からの読取値	応力計算 (MPa)

注記* : 引用文献(1)の図の番号を示す。

ロ. 応力評価点 P 2 に生じる応力(X-241)

単位軸方向荷重 P による応力を表 5-12 に示す。

$$P = 1.000 \times 10^3 \text{ N}$$

表 5-12 単位軸方向荷重 P による応力(X-241)

方向	応力評価点	図の番号*	図からの読取値	応力計算 (MPa)

注記* : 引用文献(1)の図の番号を示す。

単位モーメント荷重 M_c による応力を表 5-13 に示す。

$$M_c = 1.000 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-13 単位モーメント荷重 M_c による応力(X-241)

方向	応力 評価点	図の番号*	図からの読取値	応力計算 (MPa)

注記* : 引用文献(1)の図の番号を示す。

単位モーメント荷重 M_L による応力を表 5-14 に示す。

$$M_L = 1.000 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-14 単位モーメント荷重 M_L による応力(X-241)

方向	応力 評価点	図の番号*	図からの読取値	応力計算 (MPa)

注記* : 引用文献(1)の図の番号を示す。

b. 応力評価点 P 3, P 4 に生じる応力

応力評価点 P 3, P 4 の応力は、配管貫通部に作用する荷重 (表 5-6) とスリーブの断面性能により、参照図書(1)に示すとおり算出する。なお、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

a. 応力評価点 P 1, P 2 に生じる応力

応力評価点 P 1, P 2 の応力は、配管貫通部に作用する荷重（表 5-7）による応力と、VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」又はVI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」において算出された応力を組み合わせることで算出する。なお、配管貫通部に作用する荷重による応力の計算モデル、パラメータ及び単位荷重による応力は、「5.4.2 応力計算方法」の(1)に示す設計基準対象施設と同じとし、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

b. 応力評価点 P 3, P 4 に生じる応力

応力評価点 P 3, P 4 の応力は、配管貫通部に作用する荷重（表 5-7）とスリーブの断面性能により、参照図書(1)に示すとおり算出する。なお、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が表 5-3 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。）に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

配管貫通部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-1～表 6-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	101	495	○	(11)	
			一次+二次応力	260	501	○	(11)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	103	495	○	(11)	
			一次+二次応力	284	501	○	(11)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	58	505	○	(14)	
			一次+二次応力	178	501	○	(14)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	56	505	○	(14)	
			一次+二次応力	148	501	○	(14)	

注記* : () 内はVI-1-8-1 「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	11	211	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	316	○	(10)	
			一次+二次応力	18	342	○	(10)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	15	211	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	15	316	○	(10)	
			一次+二次応力	26	342	○	(10)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	11	219	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	329	○	(10)	
			一次+二次応力	16	342	○	(10)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	10	219	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	329	○	(10)	
			一次+二次応力	14	342	○	(10)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	131	495	○	(13)	
			一次+二次応力	382	501	○	(13)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	132	495	○	(13)	
			一次+二次応力	402	501	○	(13)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	92	505	○	(15)	
			一次+二次応力	298	501	○	(15)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	89	505	○	(15)	
			一次+二次応力	250	501	○	(15)	

注記* : () 内はVI-1-8-1 「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	13	242	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	(12)	
			一次+二次応力	22	342	○	(12)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	17	242	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	363	○	(12)	
			一次+二次応力	30	342	○	(12)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	17	242	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	364	○	(12)	
			一次+二次応力	28	342	○	(12)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	15	242	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	15	364	○	(12)	
			一次+二次応力	24	342	○	(12)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-3 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P_L+M_L+S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1-A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	216	495	○	(17)	
			一次+二次応力	228	501	○	(17)	
	P 1-B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	216	495	○	(17)	
			一次+二次応力	252	501	○	(17)	
	P 2-A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	81	505	○	(17)	
			一次+二次応力	178	501	○	(17)	
	P 2-B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	80	505	○	(17)	
			一次+二次応力	148	501	○	(17)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せのNo.を示す。

表 6-3 許容応力状態IVAS に対する評価結果 (D + P_L + M_L + S d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	12	242	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	363	○	(17)	
			一次+二次応力	18	342	○	(17)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	16	242	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	363	○	(17)	
			一次+二次応力	26	342	○	(17)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	11	242	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	364	○	(17)	
			一次+二次応力	16	342	○	(17)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	10	242	○	(17)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	10	364	○	(17)	
			一次+二次応力	14	342	○	(17)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

配管貫通部の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-4 及び表 6-5 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

表 6-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	363	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	228	501	○	(V (L) -1)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	363	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	252	501	○	(V (L) -1)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	205	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	178	501	○	(V (L) -1)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	201	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	148	501	○	(V (L) -1)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	13	242	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	18	342	○	(V (L) -1)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	17	242	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	17	363	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	26	342	○	(V (L) -1)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	13	242	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	13	363	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	16	342	○	(V (L) -1)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	12	242	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	363	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	14	342	○	(V (L) -1)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 1 - A	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	263	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	314	501	○	(V (L L) -1)	
	P 1 - B	X-81 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	262	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	336	501	○	(V (L L) -1)	
	P 2 - A	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	153	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	298	501	○	(V (L L) -1)	
	P 2 - B	X-241 原子炉格納容器 とスリーブとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	152	523	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	250	501	○	(V (L L) -1)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

表 6-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_S) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ*	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
配管貫通部	P 3 - A	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	14	244	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	14	366	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	22	342	○	(V (L L) -1)	
	P 3 - B	X-81 スリーブ	一次一般膜応力	18	244	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	18	366	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	30	342	○	(V (L L) -1)	
	P 4 - A	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	18	244	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	18	366	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	28	342	○	(V (L L) -1)	
	P 4 - B	X-241 スリーブ	一次一般膜応力	16	244	○	(V (L L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	16	366	○	(V (L L) -1)	
			一次+二次応力	24	342	○	(V (L L) -1)	

注記* : () 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を示す。

7. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-8 「原子炉格納容器貫通部の強度計算書」

8. 引用文献

- (1) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

VI-2-9-2-11 電気配線貫通部の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
4.2.2 許容応力	7
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	7
4.2.4 設計荷重	12
4.3 地震応答解析モデル及び諸元	13
4.4 固有周期	15
4.5 設計用地震力	17
4.6 計算方法	22
4.6.1 応力評価点	22
4.6.2 応力解析モデル及び諸元	23
4.6.3 応力計算方法	26
4.7 計算条件	26
4.8 応力の評価	26
5. 評価結果	27
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	27
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、電気配線貫通部が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

本計算書では、地震による荷重が大きくなる X-100A～D を代表貫通部として構造強度評価を実施する。

電気配線貫通部は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

電気配線貫通部の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>電気配線貫通部はドライウェルに支持される。</p> <p>電気配線貫通部の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウェル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。</p>	<p>電気配線貫通部は円筒形スリーブ、アダプタ及びフランジで構成され、両端部に内側接続箱と外側接続箱を有する鋼製構造物である。水平方向の振れ止めのため、サポートを設置している。なお、ドライウェルの熱伸びによる鉛直方向変位を考慮し、サポートは水平方向のみ拘束する。</p>	

2.2 評価方針

電気配線貫通部の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3. 評価部位」にて設定する箇所作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

電気配線貫通部の耐震評価フローを図2-1に示す。

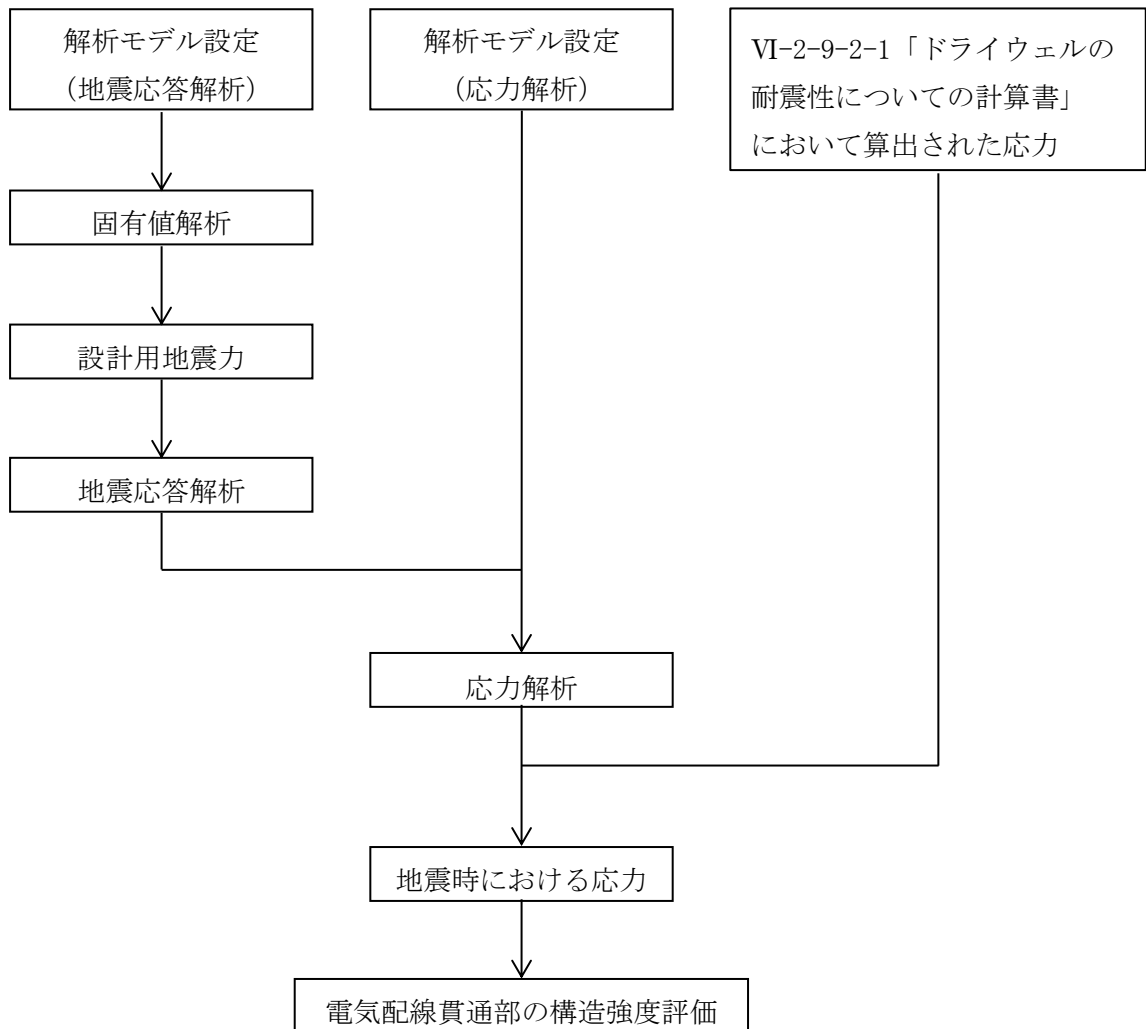


図2-1 電気配線貫通部の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_H	水平方向設計震度	—
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D	死荷重	—
d_o	外径	mm
d_i	内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
L_i	長さ ($i = 1, 2$)	mm
m_o	質量	kg
M	機械的荷重	—
M_L	地震と組み合わせる機械的荷重	—
M_{SAL}	機械的荷重 (SA後長期機械的荷重)	—
M_{SALL}	機械的荷重 (SA後長々期機械的荷重)	—
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	圧力	—
P_L	地震と組み合わせる圧力	—
P_{SAL}	圧力 (SA後長期圧力)	—, kPa
P_{SALL}	圧力 (SA後長々期圧力)	—, kPa
S	許容引張応力	MPa
S_d	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力	—
S_d^*	弾性設計用地震動 S_d により定まる地震力又は静的地震力	—
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計応力強さ	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_s	基準地震動 S_s により定まる地震力	—
S_u	設計引張強さ	MPa
S_y	設計降伏点	MPa
$S_y (RT)$	40°Cにおける設計降伏点	MPa
T	温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
ν	ポアソン比	—

3. 評価部位

代表とした電気配線貫通部 X-100A～D の形状及び主要寸法を図 3-1 及び表 3-1 に、使用材料及び使用部位を表 3-2 に示す。

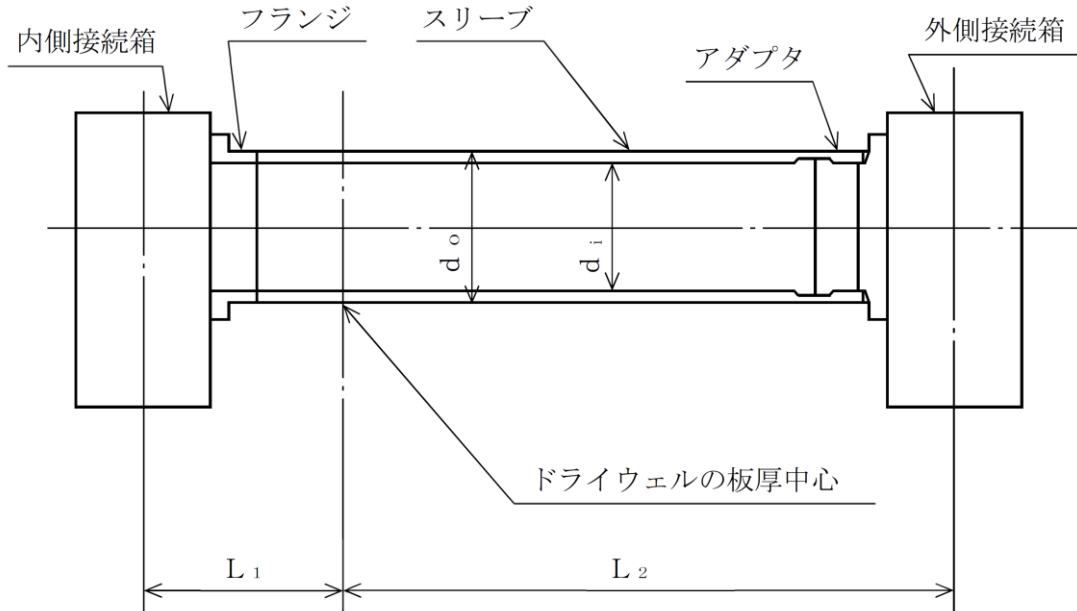


図 3-1 電気配線貫通部の形状及び主要寸法

表 3-1 電気配線貫通部の主要寸法

(単位：mm)

貫通部 番号	d_o	d_i	L_1	L_2
X-100A～D				

表 3-2 使用材料表

使用部位	使用材料	備考
ドライウェル	SPV50	SPV490 相当
アダプタ	STS42	STS410 相当
フランジ	SGV49	SGV480 相当
スリーブ	STS42	STS410 相当

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 電気配線貫通部の水平方向地震荷重はシヤラグ及びドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達され、鉛直方向地震荷重はドライウエル下部より原子炉建物を介して原子炉建物基礎スラブに伝達される。

電気配線貫通部の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力及びVI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重及び相対変位を用いて構造強度評価を行う。

- (2) 構造強度評価に用いる寸法は，公称値を用いる。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

電気配線貫通部の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い，対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお，考慮する荷重の組合せは，組み合わせる荷重の大きさを踏まえ，評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

電気配線貫通部の許容応力は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

電気配線貫通部の使用材料の許容応力評価条件のうち，設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-5 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	S	クラスMC容器	D + P + M + S d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
					(14)		
					D + P + M + S s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
						(15)	
					D + P _L + M _L + S d **2	(17)	Ⅳ _A S

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	原子炉格納容器	電気配線貫通部	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V_{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V_{AS}

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 クラスMC容器の許容応力

応力分類 許容 応力状態	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値 ^{*1}	$3 \cdot S$ ^{*2}	^{*3, *4} S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は $0.6 \cdot S_u$ 、不連続な部分は S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は $2 \cdot S$ と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方、不連続な部分は $1.2 \cdot S$ とする。	左欄の α 倍の値 ^{*1}	S_d 又は S_s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	
V _A S ^{*5}				

注記*1：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*2： $3 \cdot S$ を超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、 S_m は S と読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*3：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「 S_d 又は S_s 地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*4：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*5：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
電気配線貫通部	SPV50*	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*：SPV490 相当

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
電気配線貫通部	SPV50* ¹	周囲環境温度	200* ²	167	417	545	—
		周囲環境温度	70* ³	167	478	581	—

注記*1：SPV490 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である、圧力、最高使用温度及び死荷重は、以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. ドライウエルの自重

電気配線貫通部より上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

c. 電気配線貫通部の自重

「4.6.1 応力評価点」の応力評価点に作用する電気配線貫通部の自重による鉛直荷重は、以下のとおりとする。

鉛直荷重 N・mm

(2) 重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備としての評価圧力及び評価温度は、以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa（SA後長期）
内圧 P_{SALL}	380 kPa（SA後長々期）
温度 T_{SAL}	200 °C（SA後長期）
温度 T_{SALL}	70 °C（SA後長々期）

4.3 地震応答解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての地震応答解析モデル及び諸元

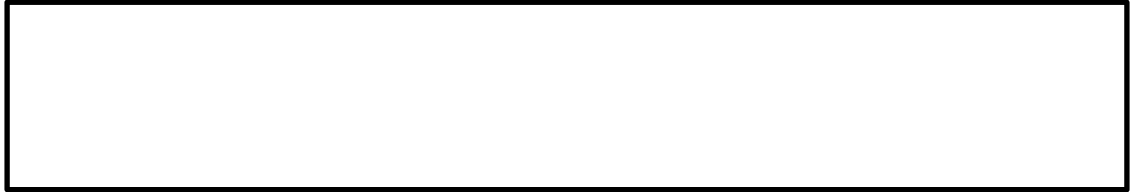
設計基準対象施設としての評価は、スリーブ（内部ケーブル含む）及び接続箱の質量を考慮して固有値解析及び構造強度評価を実施する。動的解析手法としては、スペクトルモード解析法を用いる。

地震応答解析モデルの概要を以下に示す。

a. 電気配線貫通部は、3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。地震応答解析モデルを図4-1に、機器の諸元について表4-6に示す。

b. 質量は、接続箱中心位置に接続箱質量を設定し、スリーブは等分布質量を設定する。

c.



d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての地震応答解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としての地震応答解析モデル及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。

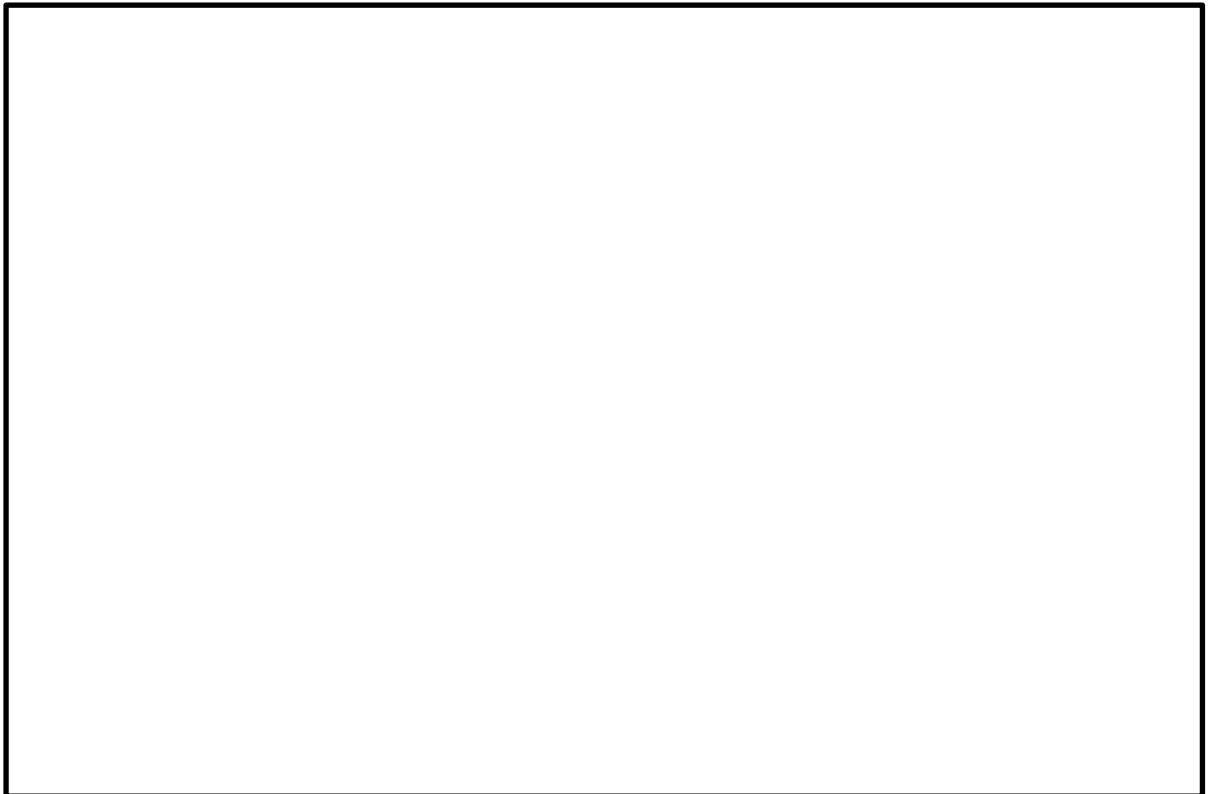


図4-1 電気配線貫通部の地震応答解析モデル (X-100A～D)

表 4-6 地震応答解析モデルの機器諸元

項目	記号	単位	入力値
質量	m_0	kg	
温度条件	T	°C	57
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	
節点数	—	—	

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設としての固有周期を表 4-7 に、振動モード図を図 4-2 に示す。鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-7 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
水平方向（軸）	□	—	—	—
水平方向（軸直角）	□	—	—	—
鉛直方向（軸直角）	□	□	□	□

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

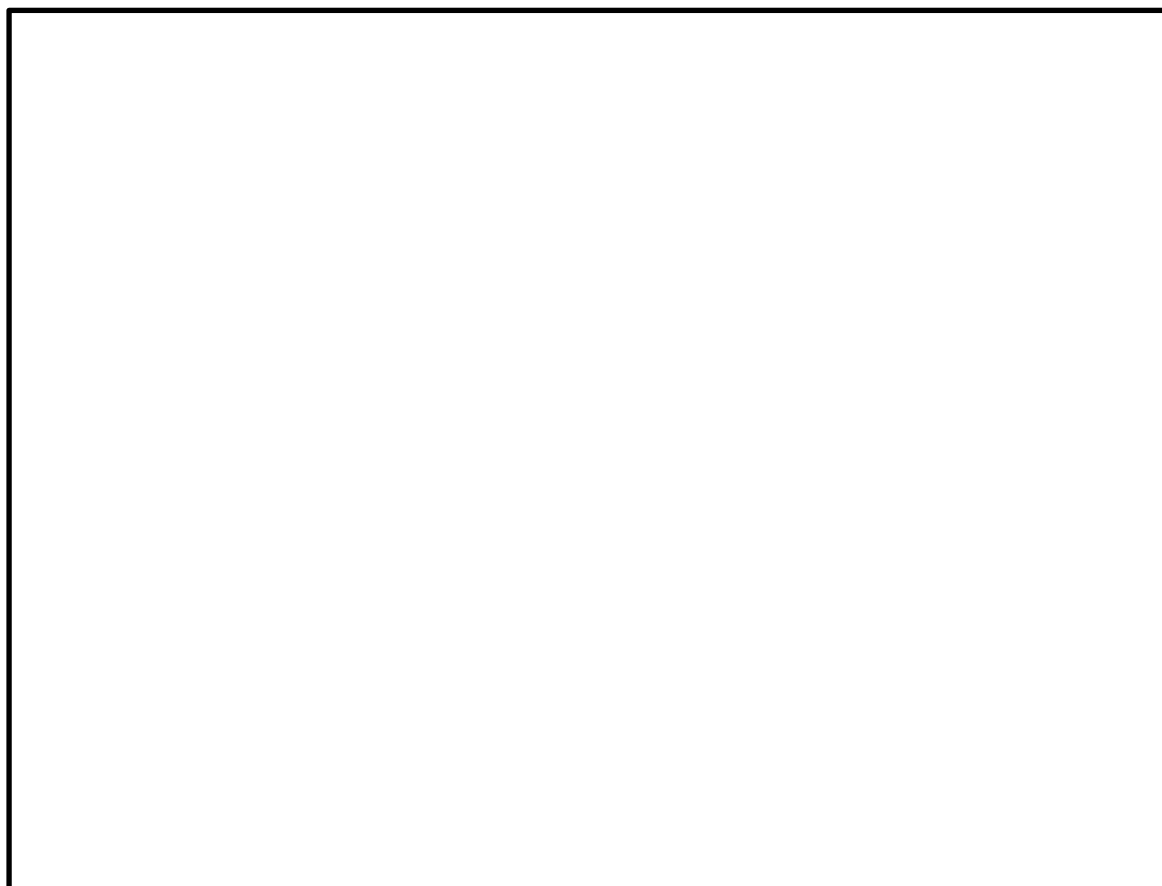


図 4-2 振動モード図（設計基準対象施設）

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備としての固有周期を表 4-8 に、振動モード図を図 4-3 に示す。鉛直方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、水平方向（軸）及び水平方向（軸直角）に対し、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-8 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
水平方向（軸）	□	—	—	—
水平方向（軸直角）	□	—	—	—
鉛直方向（軸直角）	□	□	□	□

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



図 4-3 振動モード図（重大事故等対処設備）

4.5 設計用地震力

電気配線貫通部の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-9～表 4-12 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-13～表 4-16 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設定する。減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また、ドライウエルの電気配線貫通部設置位置に作用する地震荷重は、VI-2-2-1「炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. 電気配線貫通部

設計基準対象施設として電気配線貫通部の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-9 に、地震による相対変位を表 4-10 に示す。なお、水平方向はサポートによる振れ止めがあるため、地震による相対変位を考慮するが、鉛直方向については拘束がないため、地震による相対変位を考慮しない。

b. ドライウエル

設計基準対象施設として電気配線貫通部の応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 4-11 に、水平方向地震荷重を表 4-12 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

a. 電気配線貫通部

重大事故等対処設備として電気配線貫通部の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-13 に、地震による相対変位を表 4-14 に示す。なお、水平方向はサポートによる振れ止めがあるため、地震による相対変位を考慮するが、鉛直方向については拘束がないため、地震による相対変位を考慮しない。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備として電気配線貫通部の応力計算に用いる、ドライウエルの鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重を表 4-15 に、水平方向地震荷重を表 4-16 に示す。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=0.86^{*2,*3}$	$C_V=1.90^{*4}$	$C_H=1.53^{*2,*5}$	$C_V=3.69^{*6}$	—	1.0 ^{*7}

注記*1：機器搬入口に対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*6：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7：溶接構造物に適用される減衰定数

表 4-10 原子炉建物と原子炉格納容器間の相対変位（設計基準対象施設）
（単位：mm）

弾性設計用地震動 S_d^* による 水平方向相対変位 ^{*1, *2, *3}	基準地震動 S_s による 水平方向相対変位 ^{*1, *2, *4}
2.3	4.0

注記*1：相対変位量の絶対値を示す。

*2：相対変位による設計荷重を上回る荷重を用いて評価を実施する。

*3：VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に記載の解析モデルにおいて，電気配線貫通部の設置高さEL mmを考慮し，相対変位が最も大きくなる，原子炉建物のEL mm，原子炉格納容器のEL mmの質点間の相対変位を用いる。

*4：VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」に記載の解析モデルにおいて，電気配線貫通部の設置高さEL mmを考慮し，相対変位が最も大きくなる，原子炉建物のEL mm，原子炉格納容器のEL mmの質点間の相対変位を用いる。

表 4-11 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（設計基準対象施設）
（単位：N）

通常運転時		燃料交換時			
鉛直荷重	地震荷重		鉛直荷重	地震荷重	
	S_d^*	S_s		S_d^*	S_s

表 4-12 水平方向地震荷重（設計基準対象施設）

弾性設計用地震動 S_d^* による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
3.562×10^7	6.214×10^{11}	8.151×10^7	1.378×10^{12}

表 4-13 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)			弾性設計用地震動 S d		基準地震動 S s		減衰定数 (%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平 方向	鉛直 方向
	X方向*1	Y方向*1	Z方向*1						
原子炉 格納容器 EL <input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	$C_H=0.86^{*2,*3}$	$C_V=1.90^{*4}$	$C_H=1.53^{*2,*5}$	$C_V=3.69^{*6}$	—	1.0 ^{*7}

注記*1：機器搬入口に対し，X方向は軸方向，Y方向及びZ方向は軸直角方向を示す。

*2：X方向とY方向の最大震度を示す。

*3：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*4：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*5：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*6：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7：溶接構造物に適用される減衰定数

表 4-14 原子炉建物と原子炉格納容器間の相対変位（重大事故等対処設備）

（単位：mm）

弾性設計用地震動 S_d^* による 水平方向相対変位*	基準地震動 S_s による 水平方向相対変位*
2.3	4.0

注記*：相対変位量の絶対値を示す。

表 4-15 鉛直荷重及び鉛直方向地震荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

鉛直荷重	地震荷重	
	S_d^*	S_s

表 4-16 水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S_d^* による地震荷重		基準地震動 S_s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
3.562×10^7	6.214×10^{11}	8.151×10^7	1.378×10^{12}

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

電気配線貫通部の応力評価点は、電気配線貫通部を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-17 及び図 4-4 に示す。

表 4-17 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ドライウェルとスリーブとの結合部 (P 1-A~P 1-C)

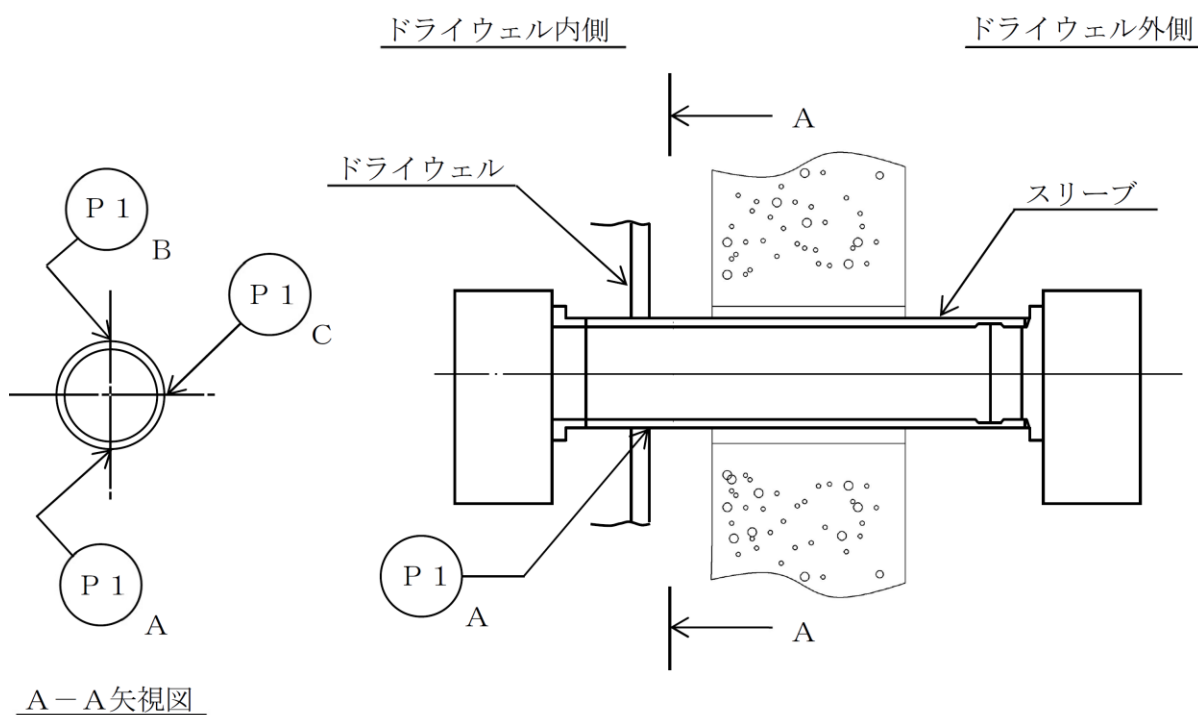


図 4-4 電気配線貫通部の応力評価点

4.6.2 応力解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての応力解析モデル

設計基準対象施設としての評価における、電気配線貫通部の応力解析モデルの概要を以下に示す。

a. 電気配線貫通部の応力解析モデルは、3次元シェルモデルによる有限要素解析手法を適用する。

応力解析モデルを図4-5に、機器の諸元について表4-18に示す。

b. 電気配線貫通部の自重及び地震荷重に対し、電気配線貫通部先端に単位荷重（電気配線貫通部管軸方向並進及び電気配線貫通部管軸直角2軸回り回転）を負荷する。

c.



d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、応力を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての応力解析モデル

重大事故等対処設備としての応力解析モデル及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。

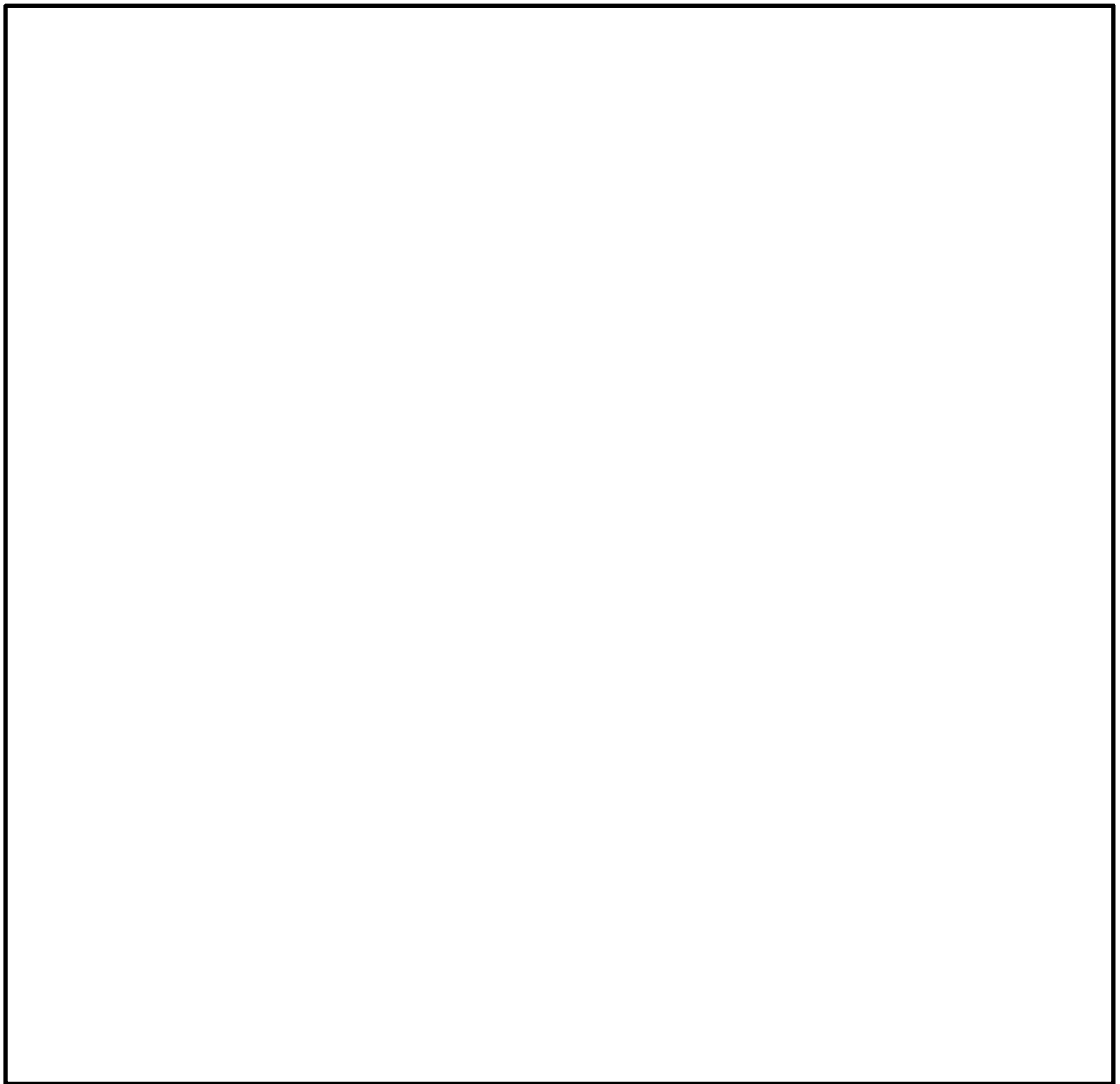


図 4-5 電気配線貫通部の応力解析モデル (X-100A~D)

表 4-18 応力解析モデルの機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SPV50 (SPV490相当) STS42 (STS410相当)
質量	m _o	kg	—*
温度条件	T	°C	57
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	
節点数	—	—	

注記*：単位荷重による解析のため，質量は定義不要

4.6.3 応力計算方法

電気配線貫通部の応力計算方法について以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

a. 電気配線貫通部に作用する荷重による応力

電気配線貫通部に作用する自重及び地震荷重による応力を 4.6.2 項の応力解析モデルにて算出した単位荷重による応力の荷重比倍により求める。

b. ドライウエルに作用する荷重による応力

ドライウエルに作用する圧力，自重及び地震荷重による応力は，VI-2-9-2-1「ドライウエルの耐震性についての計算書」において算出された応力を用いる。

c. 応力の組合せ

応力評価点 P 1 の応力は，a. 項で求めた電気配線貫通部に作用する荷重による応力と，b. 項で求めたドライウエルに作用する荷重による応力を組み合わせることで算出する。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は，設計基準対象施設と同じとする。

4.7 計算条件

応力計算に用いる荷重を，「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が許容応力以下であること。ただし，一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313 を除く。また， S_m はSと読み替える。）に基づいて疲労評価を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

電気配線貫通部の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-3 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	82	495	○	(11)	
			一次+二次応力	350	501	○	(10), (11)	
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	91	495	○	(11)	
			一次+二次応力	346	501	○	(10), (11)	
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	85	495	○	(11)	
			一次+二次応力	222	501	○	(11)	

表 5-2(1) 許容応力状態Ⅳ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅳ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	161	495	○	(13)	
			一次+二次応力	684	501	×*	(12), (13)	
			疲労評価	0.708	1.0	○		単位なし
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	171	495	○	(13)	
			一次+二次応力	682	501	×*	(12), (13)	
			疲労評価	0.705	1.0	○		単位なし
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	163	495	○	(13)	
			一次+二次応力	446	501	○	(13)	

注記* : P 1 - A 及び P 1 - B の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-2(2) 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_L + M_L + S_d*)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	112	495	○	(17)	
			一次+二次応力	350	501	○	(17)	
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	128	495	○	(17)	
			一次+二次応力	346	501	○	(17)	
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	108	495	○	(17)	
			一次+二次応力	216	501	○	(17)	

表 5-3 許容応力状態IVASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1 - A	684							0.708
P 1 - B	682							0.705

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

電気配線貫通部の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-4 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-5 に示す。

表 5-4(1) 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	196	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	350	501	○	V (L) -1	
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	212	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	346	501	○	V (L) -1	
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	191	490	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	216	501	○	V (L) -1	

表 5-4(2) 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
電気配線 貫通部 (X-100A~D)	P 1 - A	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	156	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	684	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.647	1.0	○		単位なし
	P 1 - B	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	171	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	682	501	×*	V (L L) -1	
			疲労評価	0.644	1.0	○		単位なし
	P 1 - C	ドライウエルとスリーブと の結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	159	523	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	436	501	○	V (L L) -1	

注記* : P 1 - A 及び P 1 - B の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1 - A	684							0.647
P 1 - B	682							0.644

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$$

VI-2-9-3 原子炉建物の耐震性についての計算書

VI-2-9-3-1 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の
耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	16
2.4	適用規格・基準等	19
3.	地震応答解析による評価方法	20
4.	応力解析による評価方法	22
4.1	評価対象部位及び評価方針	22
4.1.1	屋根スラブ及び床スラブ	22
4.1.2	屋根トラス	26
4.1.3	耐震壁	31
4.2	荷重及び荷重の組合せ	33
4.2.1	屋根スラブ	33
4.2.2	床スラブ	34
4.2.3	屋根トラス	35
4.2.4	耐震壁	93
4.3	許容限界	102
4.3.1	屋根スラブ, 床スラブ及び耐震壁	102
4.3.2	屋根トラス	104
4.4	解析モデル及び諸元	106
4.4.1	屋根スラブ	106
4.4.2	床スラブ	106
4.4.3	屋根トラス	107
4.4.4	耐震壁	112
4.5	応力評価方法	113
4.5.1	屋根スラブ	113
4.5.2	床スラブ	115
4.5.3	屋根トラス	118
4.5.4	耐震壁	119
4.6	断面の評価方法	124
4.6.1	屋根スラブ	124
4.6.2	床スラブ	126
4.6.3	屋根トラス	128
4.6.4	耐震壁	129

5.	地震応答解析による評価結果	131
5.1	耐震壁のせん断ひずみの評価結果	131
6.	応力解析による評価結果	135
6.1	屋根スラブの評価結果	135
6.2	床スラブの評価結果	137
6.3	屋根トラスの評価結果	139
6.3.1	固有値解析結果	139
6.3.2	断面の評価結果	146
6.4	耐震壁の評価結果	153
7.	引用文献	155

別紙 1 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の気密性に関する計算書

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建物のうち、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）、原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、原子炉建物を構成する壁及びスラブの一部は、原子炉建物の原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）に該当し、その原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）は、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

以下、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の「Sクラスの施設」及び「常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価並びに原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」としての分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）は原子炉建物の一部を構成している。原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）を含む原子炉建物の設置位置を図 2-1 に示す。

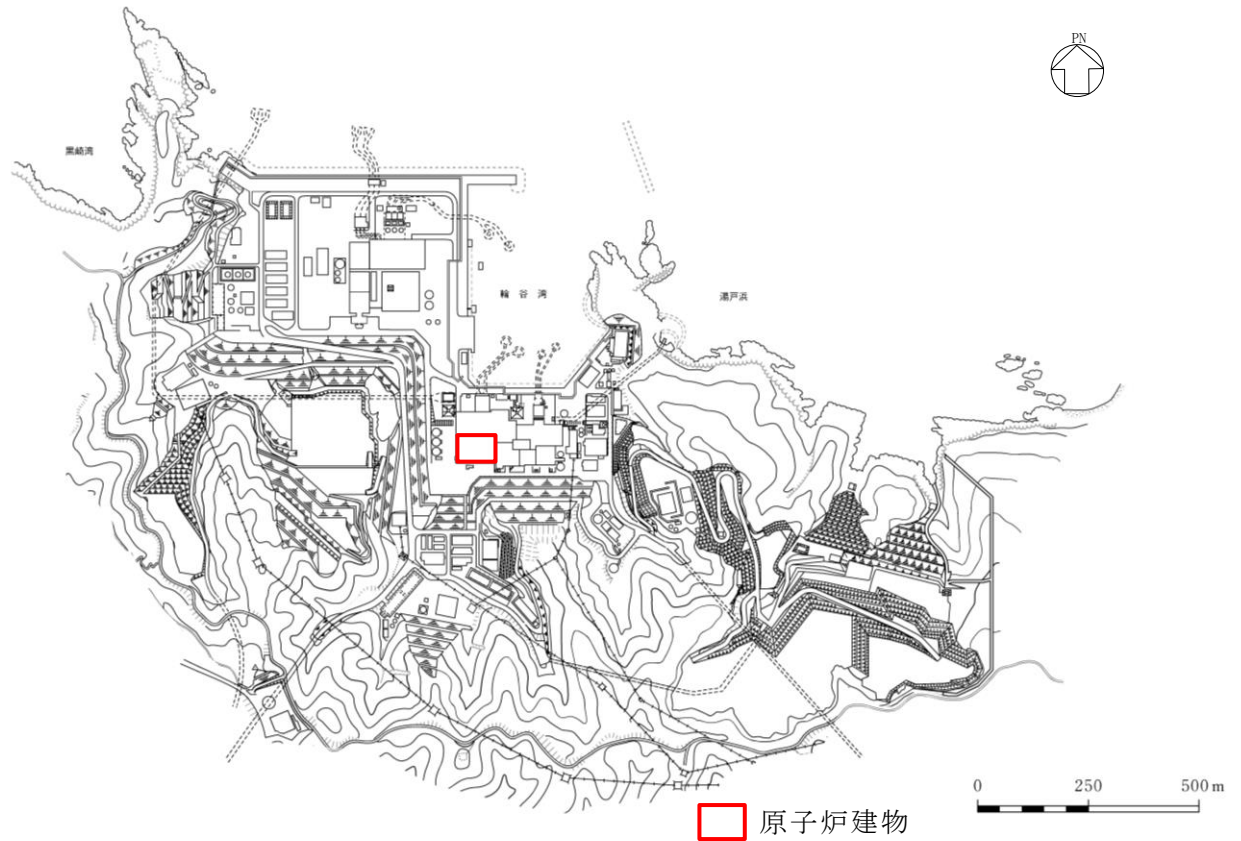


図 2-1 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）を含む原子炉建物の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建物は、中央部に地上4階、地下2階建で平面寸法が53.3m*（NS）×53.8m*（EW）の原子炉棟があり、その周囲に地上2階（一部3階）、地下2階建の原子炉建物付属棟（以下「付属棟」という。）を配置した鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

原子炉棟と付属棟は、一体構造で同一基礎スラブ上に設置され、本建物の平面寸法は、70.0m*（NS）×89.4m*（EW）の矩形を成している。基礎スラブ底面からの高さは68.2mである。

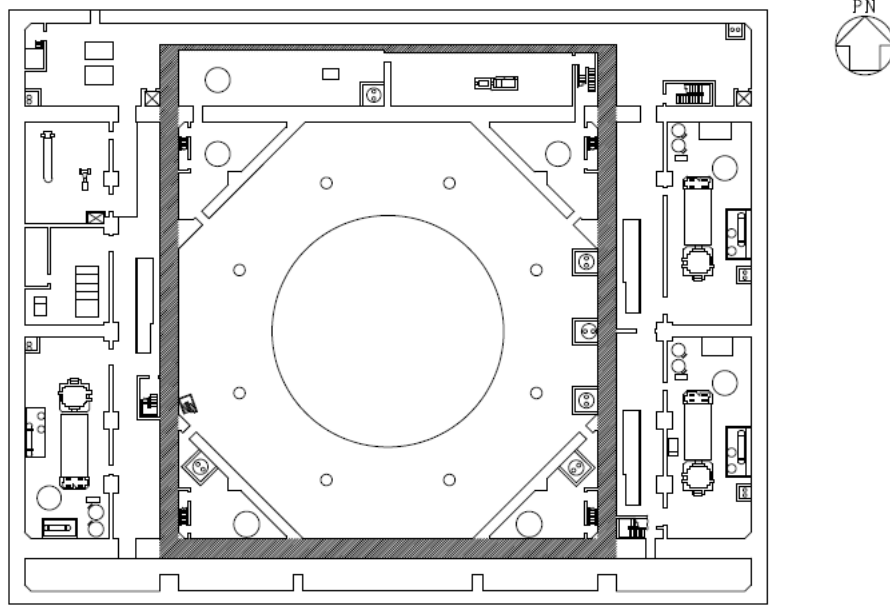
原子炉建物最上部に位置する鉄骨フレーム（以下「屋根トラス」という。）の平面は、39.9m*（NS）×53.8m*（EW）の長方形を成しており、燃料取替階からの高さは20.7mである。

原子炉建物の基礎は厚さ6.0mのべた基礎で、岩盤に直接設置している。

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）は、基礎スラブから屋根面まで連続した壁、床スラブ及び屋根トラスに支持される屋根スラブから構成されている。

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の範囲の平面図及び断面図を図2-2及び図2-3に示す。また、原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図及び断面図を図2-4及び図2-5に示す。

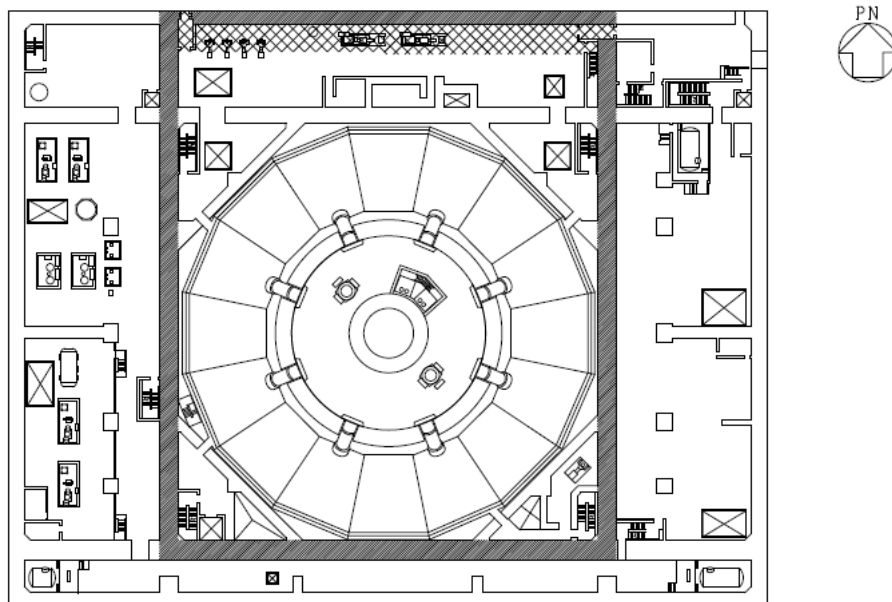
注記*：建物寸法は壁外面寸法とする。



- : 二次格納施設バウンダリ (壁) を示す。
- ▨ : 二次格納施設バウンダリ (床) を示す。

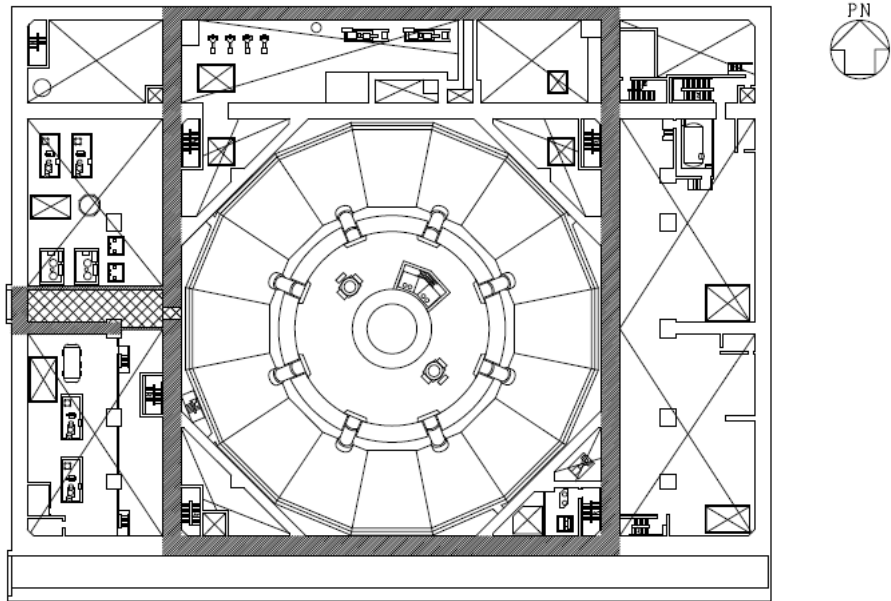
図 2-2(1) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
(B2F, EL 1.3m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。



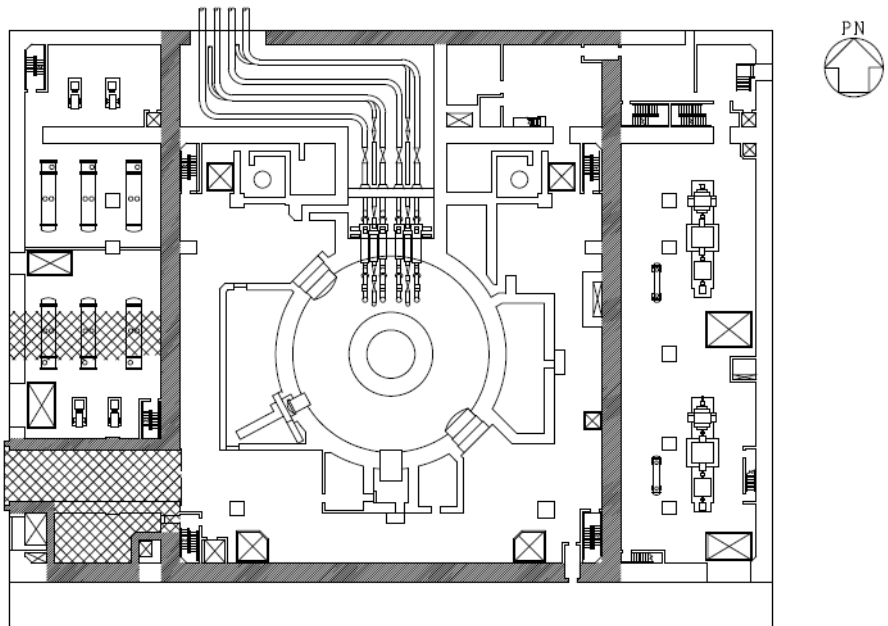
- : 二次格納施設バウンダリ (壁) を示す。
- ▨ : 二次格納施設バウンダリ (床) を示す。

図 2-2(2) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
(B1F, EL 8.8m)



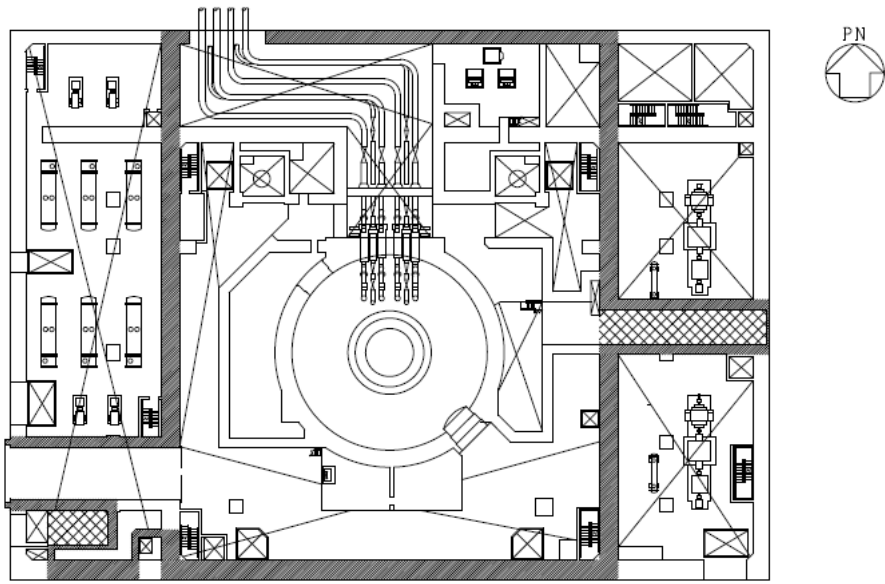
- : 二次格納施設バウンダリ (壁) を示す。
- ▨ : 二次格納施設バウンダリ (床) を示す。

図 2-2(3) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
(MB1F, EL 12.5m)



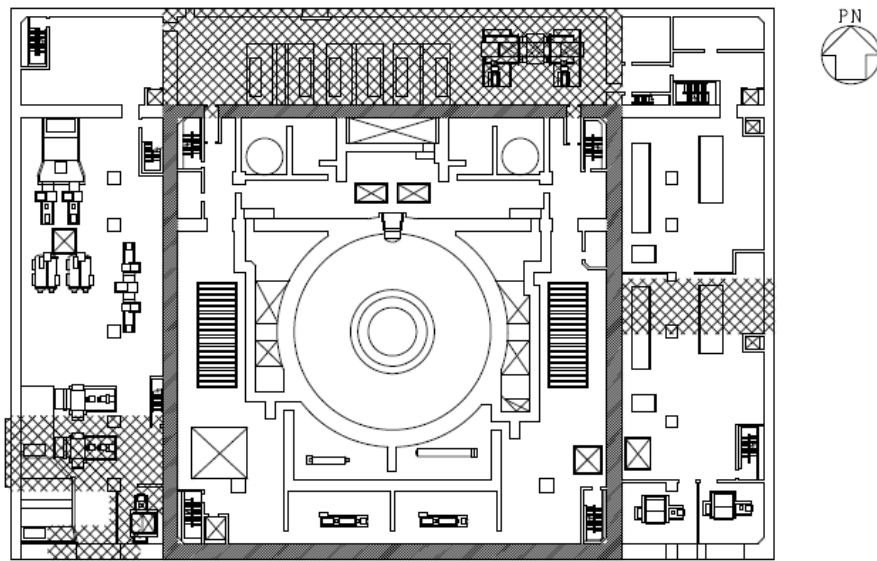
- : 二次格納施設バウンダリ (壁) を示す。
- ▨ : 二次格納施設バウンダリ (床) を示す。

図 2-2(4) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
(1F, EL 15.3m)



■ : 二次格納施設バウンダリ (壁) を示す。
 ⊠ : 二次格納施設バウンダリ (床) を示す。

図 2-2(5) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
(M2F, EL 19.5m)



■ : 二次格納施設バウンダリ (壁) を示す。
 ⊠ : 二次格納施設バウンダリ (床) を示す。

図 2-2(6) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
(2F, EL 23.8m)

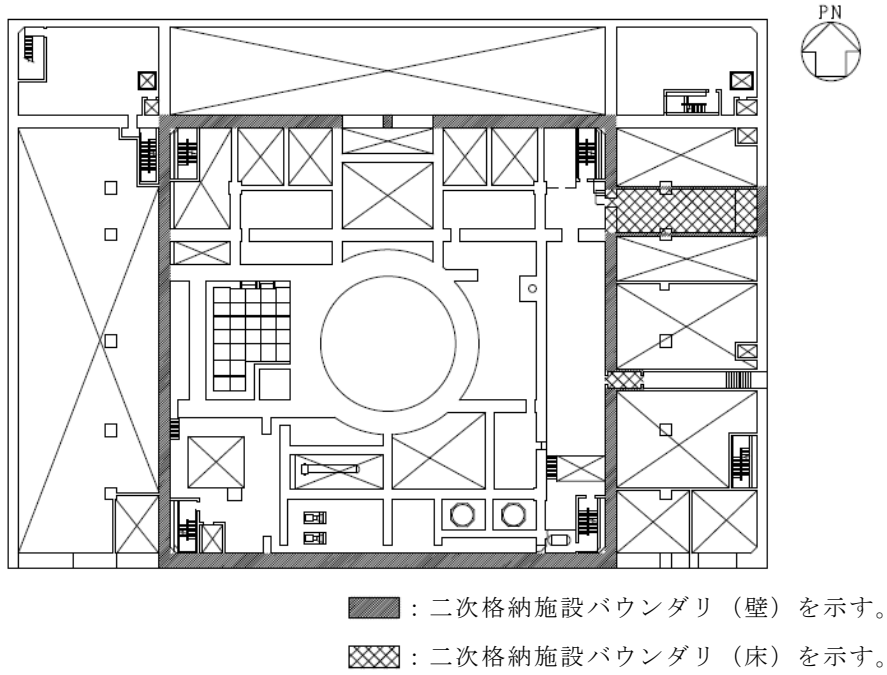


図 2-2(7) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
 (M3F, EL 30.5m)

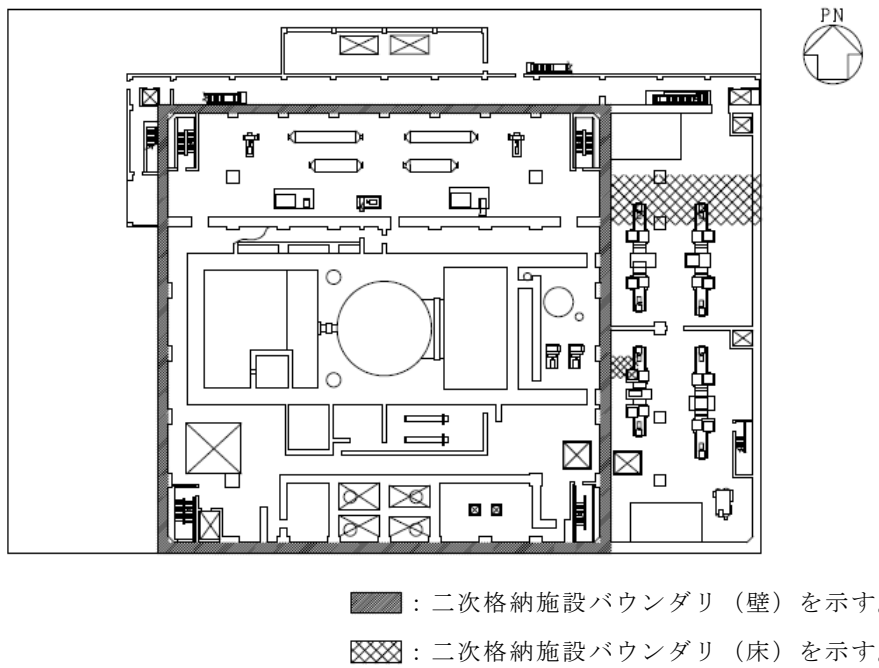
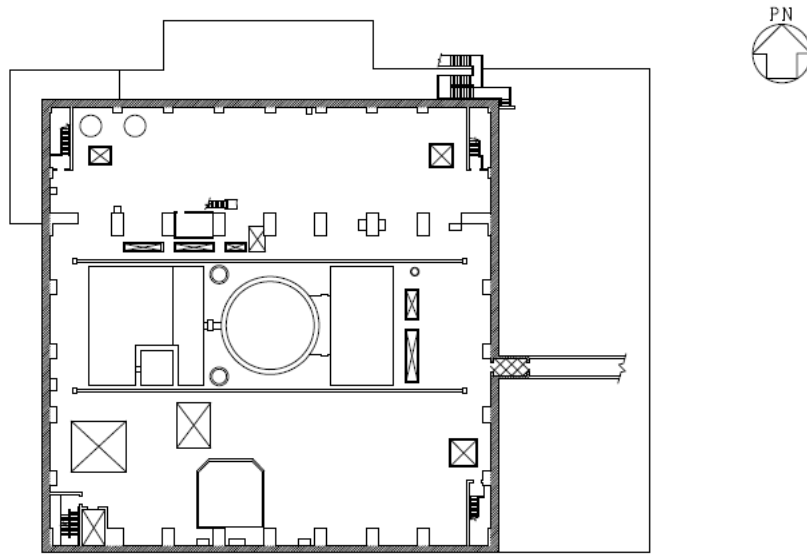
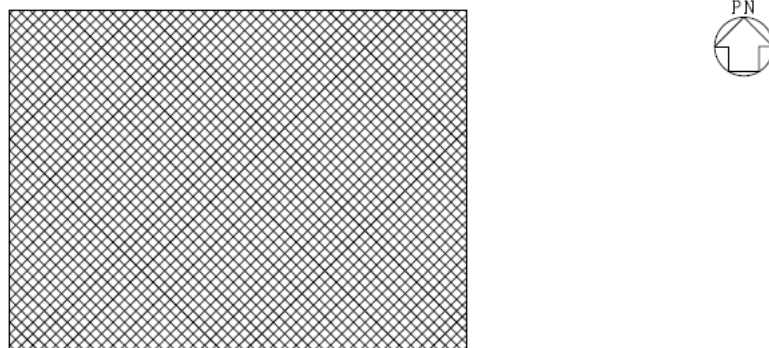


図 2-2(8) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
 (3F, EL 34.8m)



■ : 二次格納施設バウンダリ (壁) を示す。
 ⊠ : 二次格納施設バウンダリ (床) を示す。

図 2-2(9) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
 (4F, EL 42.8m)



■ : 二次格納施設バウンダリ (壁) を示す。
 ⊠ : 二次格納施設バウンダリ (床) を示す。

図 2-2(10) 原子炉建物原子炉棟 (二次格納施設) の範囲の平面図
 (RF, EL 63.5m)

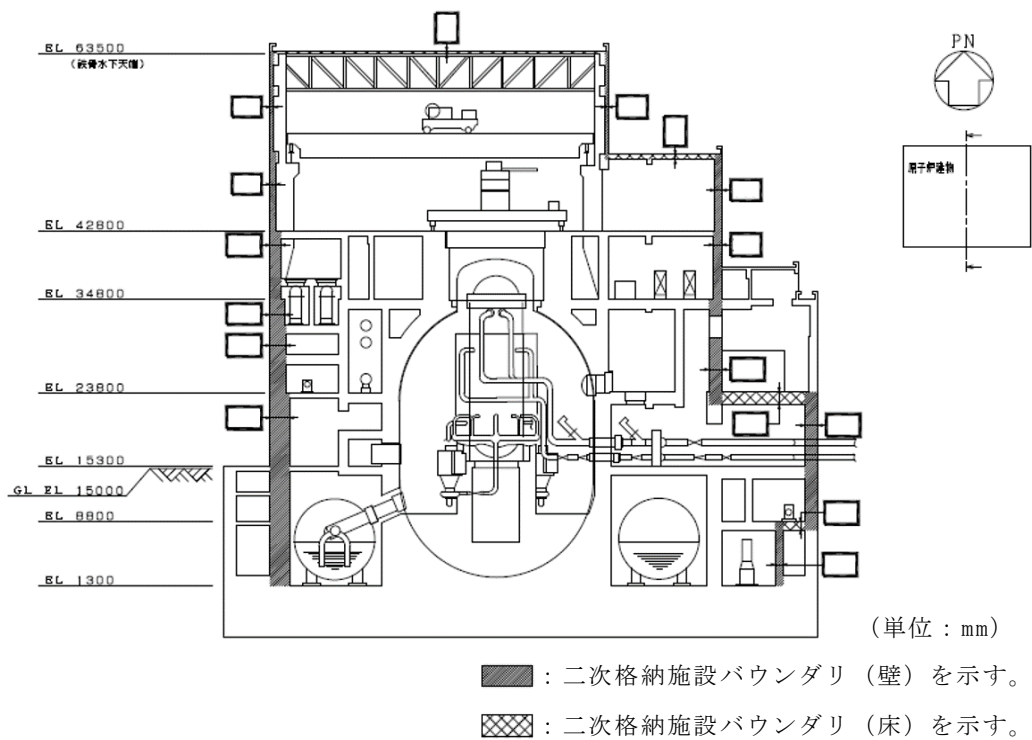


図 2-3(1) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の範囲の断面図（N S方向）

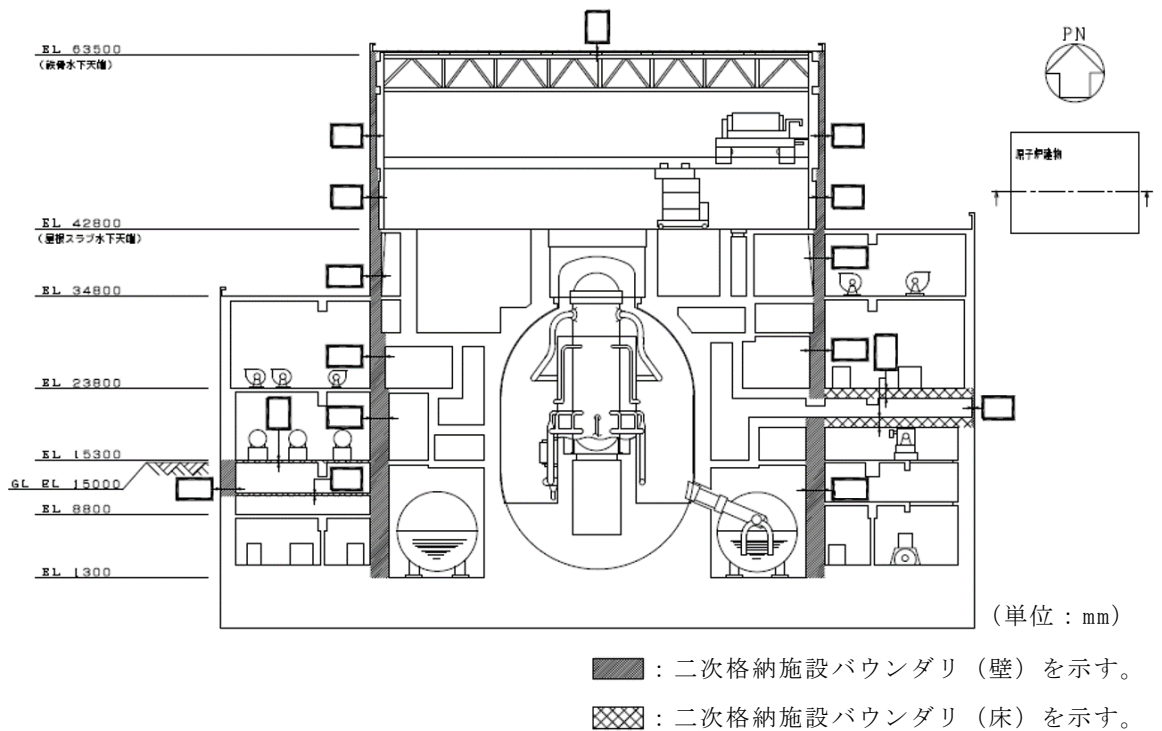


図 2-3(2) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の範囲の断面図（E W方向）

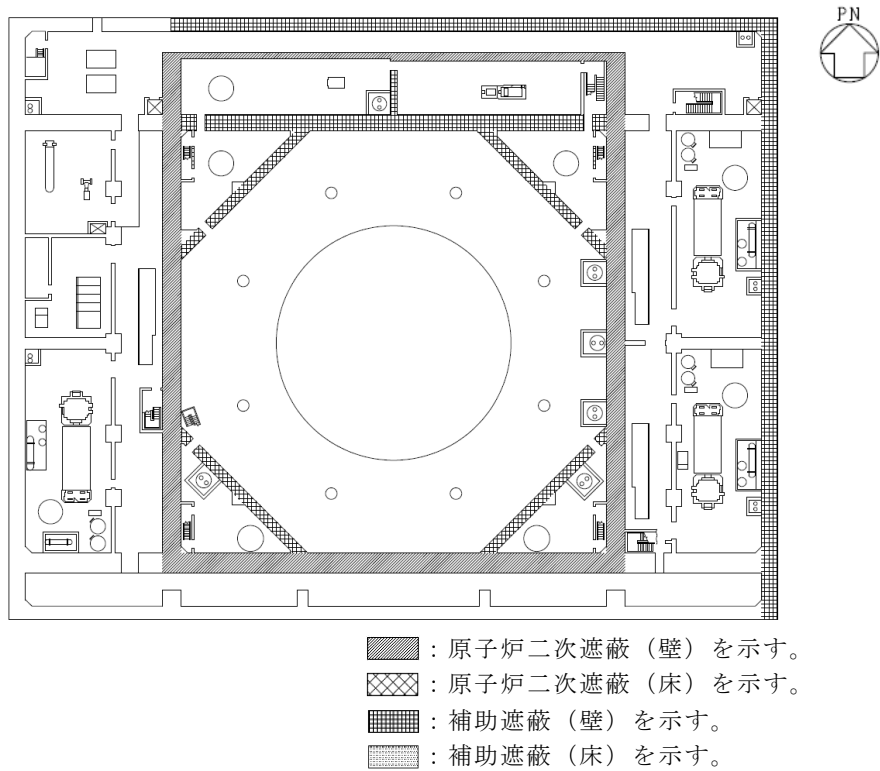


図 2-4(1) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
(B2F, EL 1.3m)

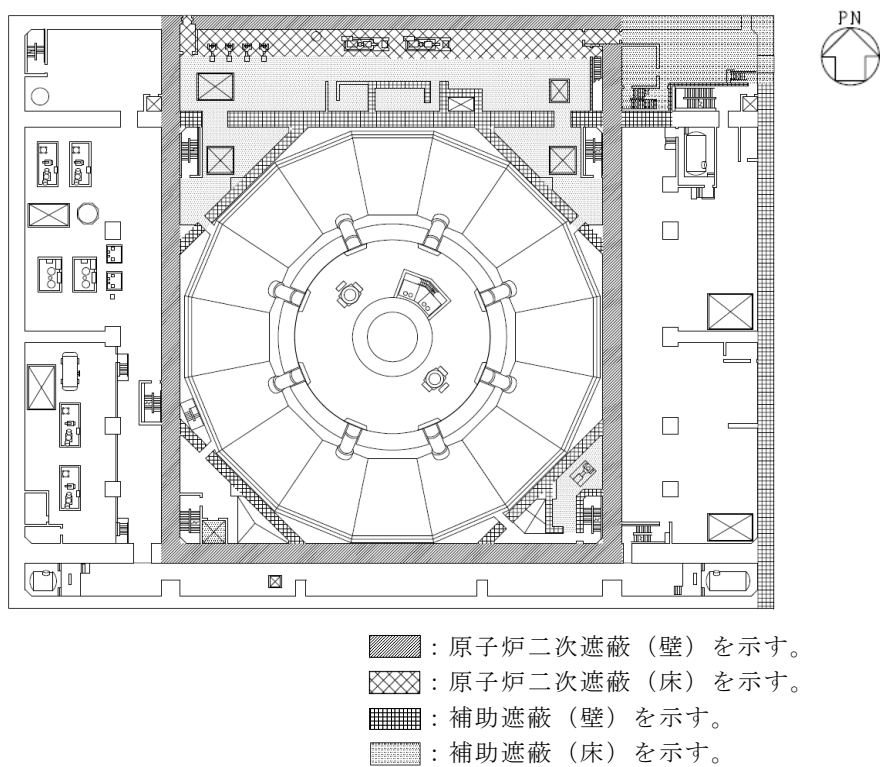


図 2-4(2) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
(B1F, EL 8.8m)

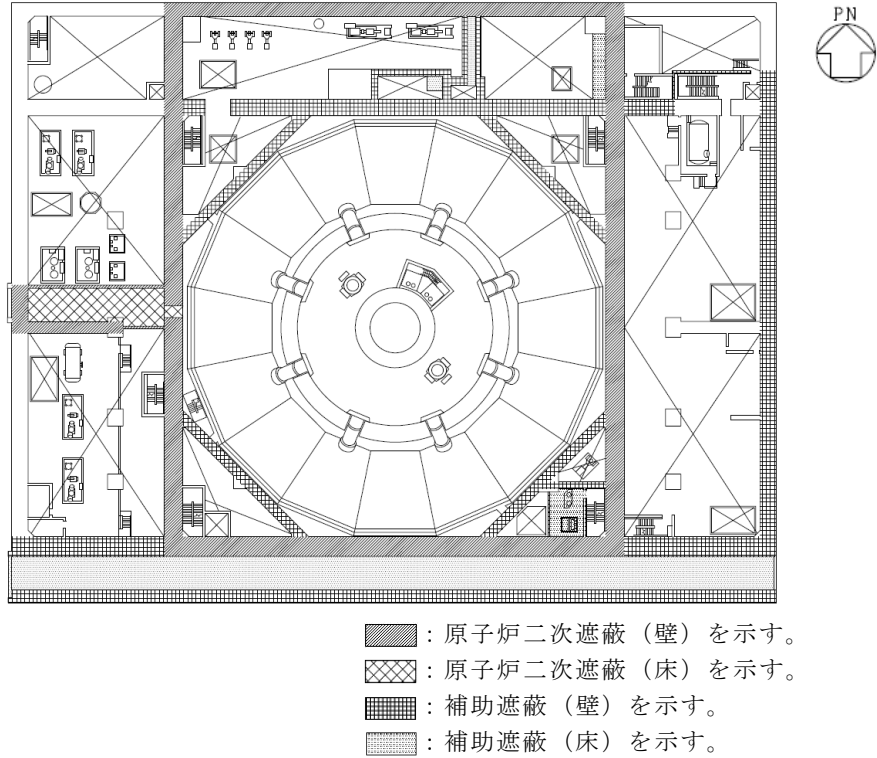


図 2-4(3) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
(MB1F, EL 12.5m)

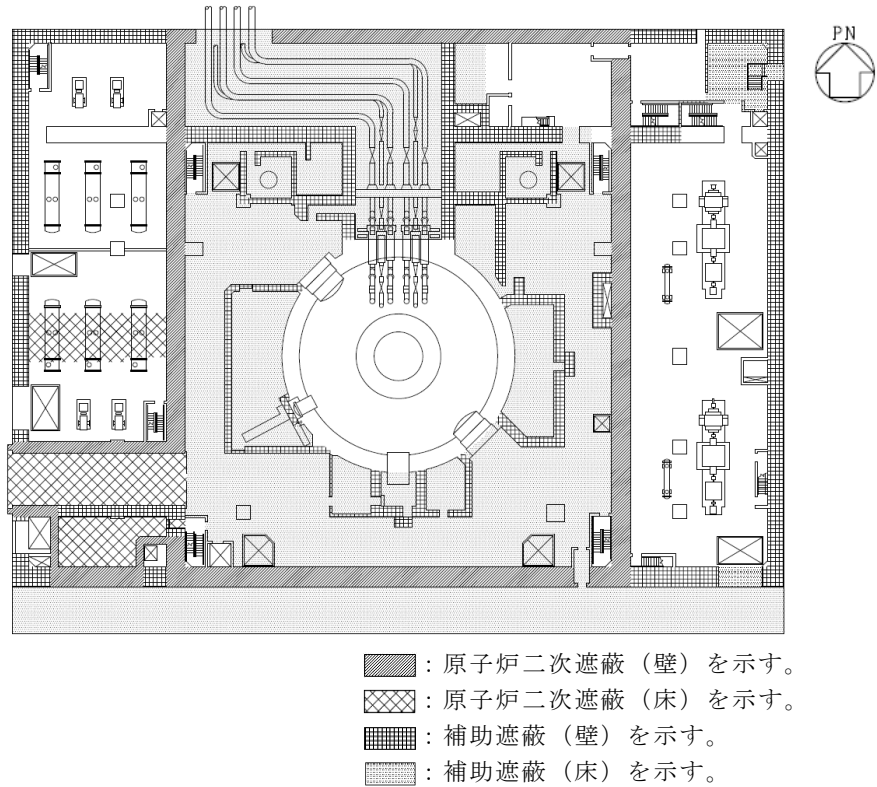


図 2-4(4) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
(1F, EL 15.3m)

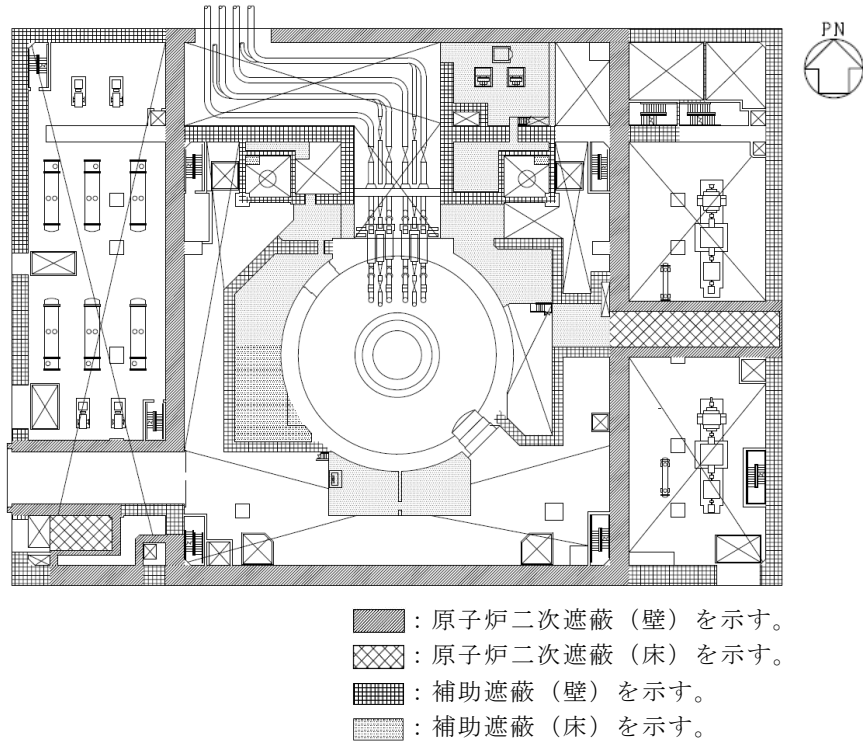


図 2-4(5) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
 (M2F, EL 19.5m)

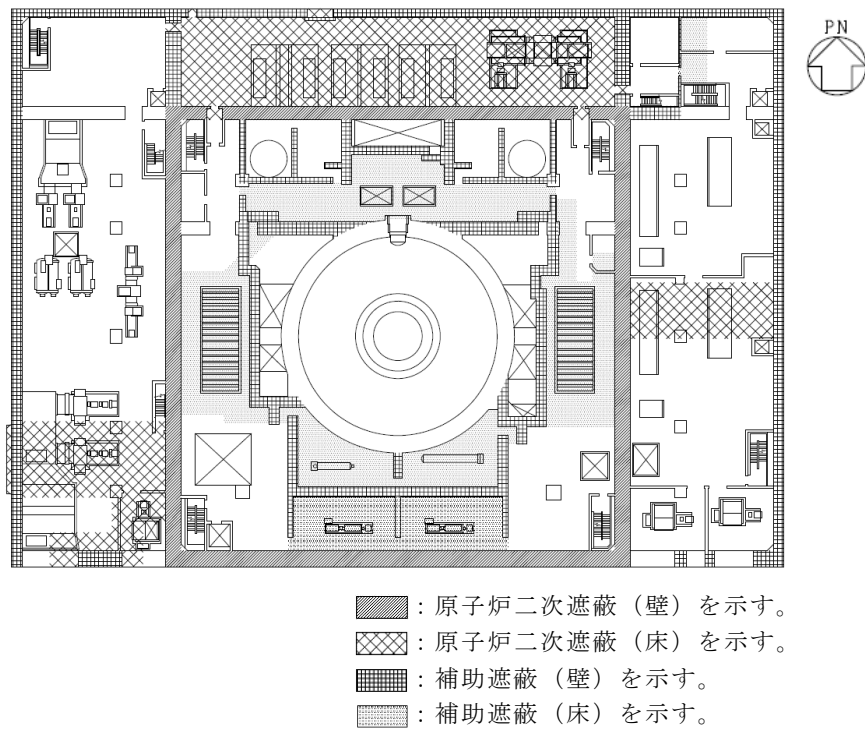


図 2-4(6) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
 (2F, EL 23.8m)

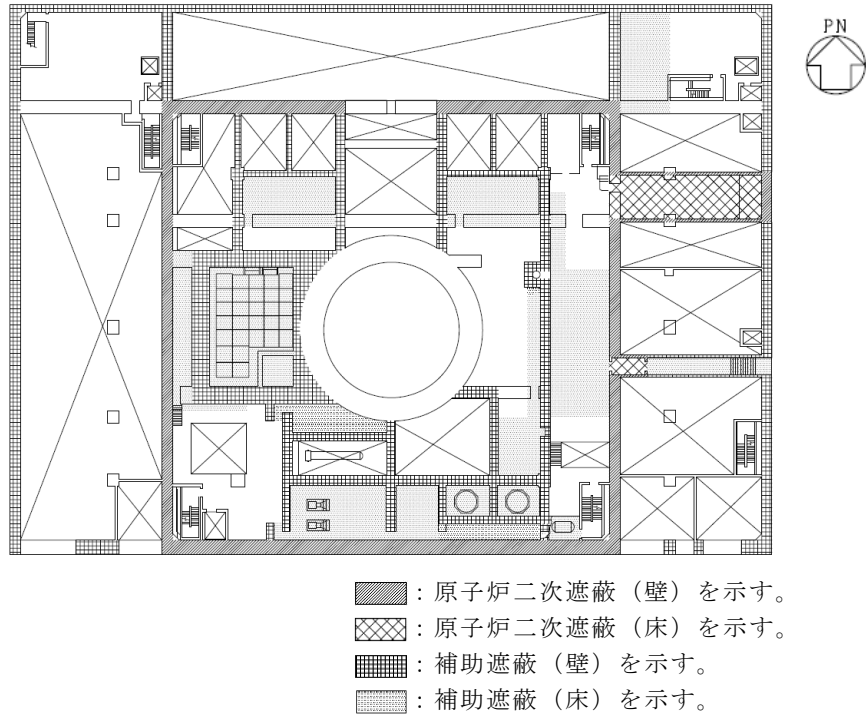


図 2-4(7) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
(M3F, EL 30.5m)

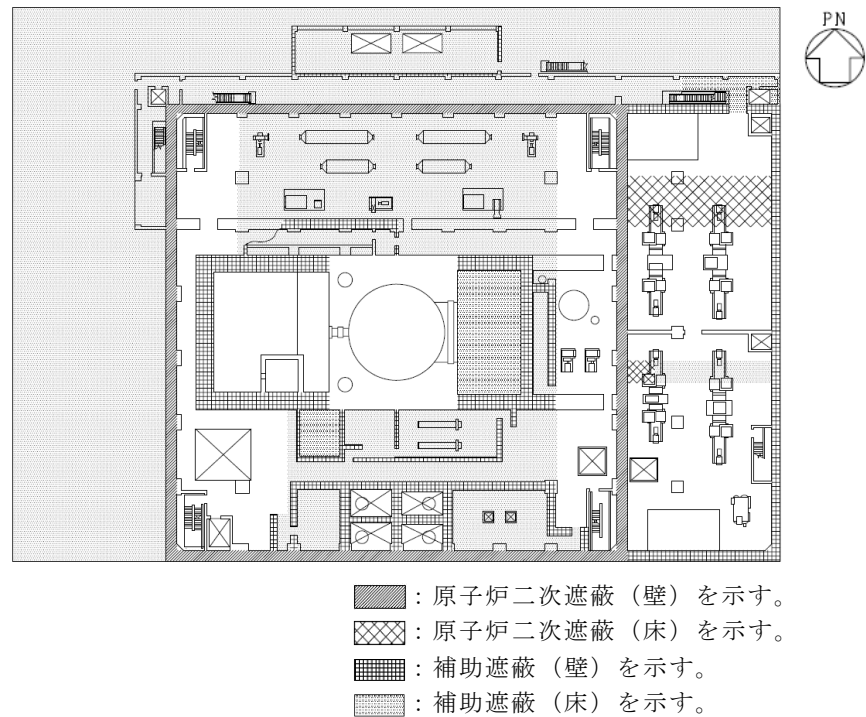


図 2-4(8) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
(3F, EL 34.8m)

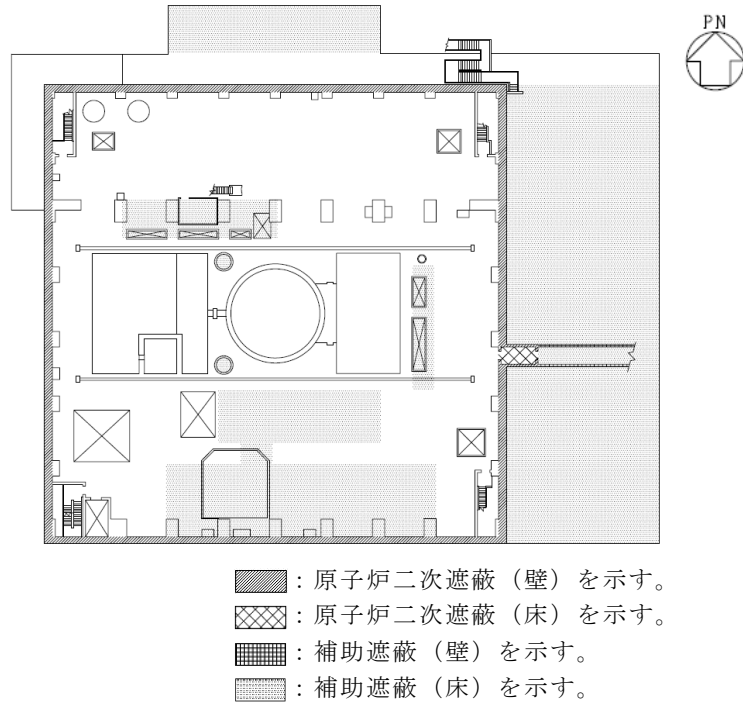


図 2-4(9) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
(4F, EL 42.8m)

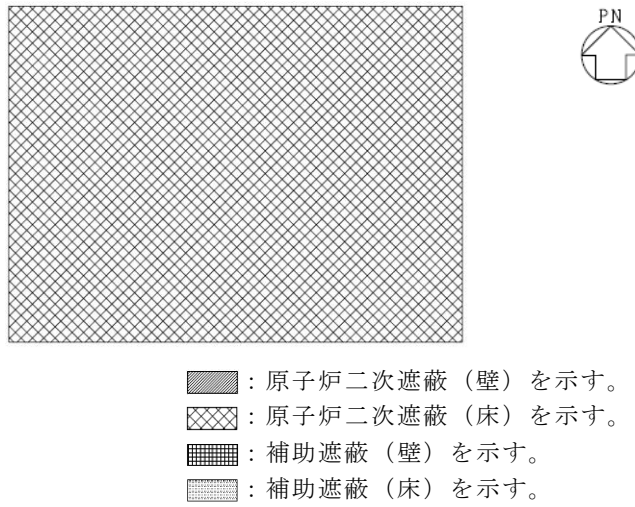


図 2-4(10) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の平面図
(RF, EL 63.5m)

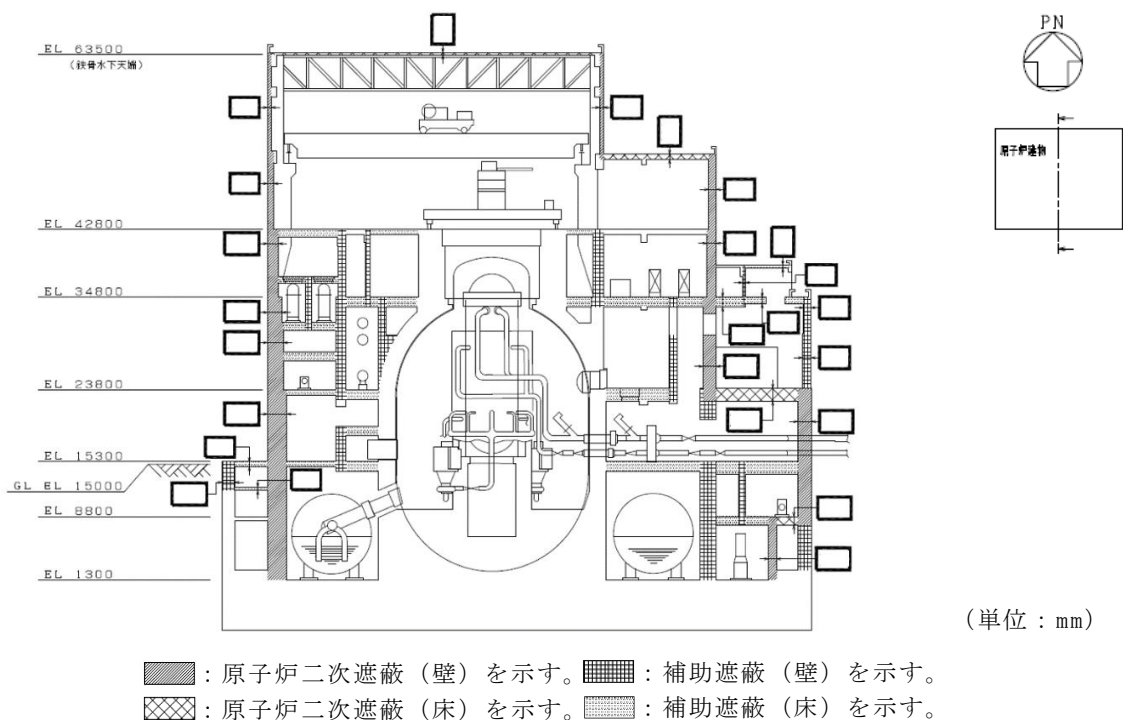


図 2-5(1) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の断面図（NS方向）

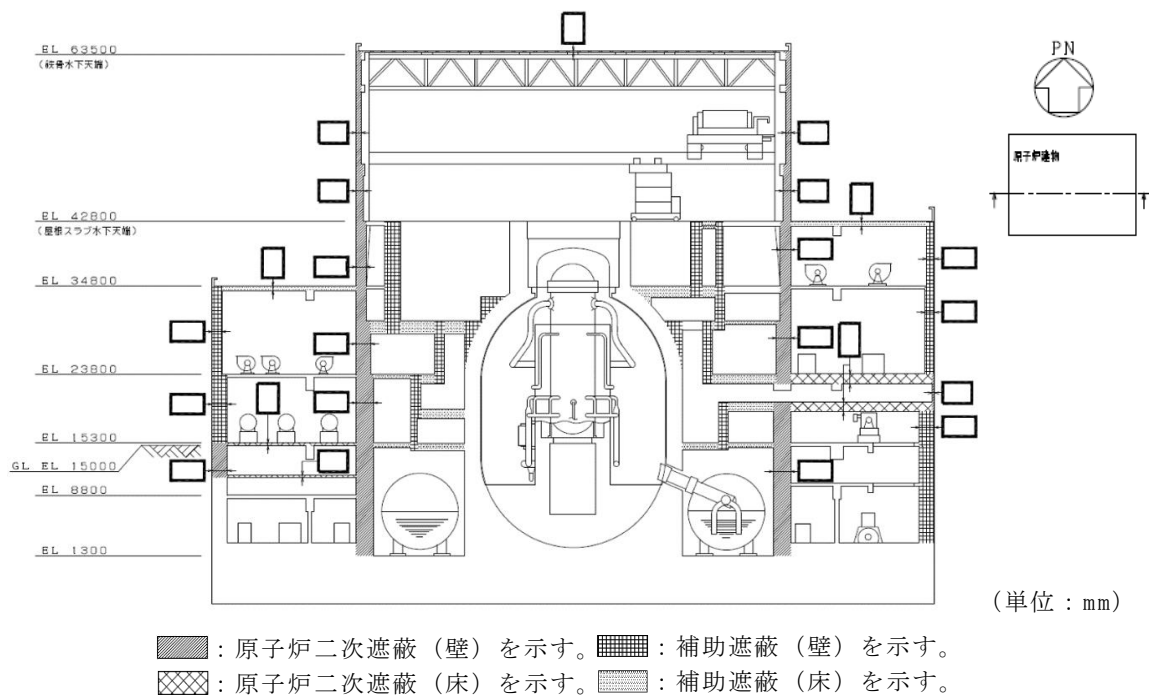


図 2-5(2) 原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の断面図（EW方向）

2.3 評価方針

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）は、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設」に、重大事故等対処施設においては「常設重大事故緩和設備」に分類される。また、原子炉建物を構成する壁及びスラブの一部は、原子炉建物の原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）に該当し、その原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）は、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備」に分類される。

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の設計基準対象施設としての評価においては、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下「 S_d 地震時に対する評価」という。）、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）及び保有水平耐力の評価を行うこととし、それぞれの評価は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては、耐震壁のせん断ひずみ及び保有水平耐力の評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の地震時の構造強度及び機能維持の確認を行う。評価にあたっては、材料物性の不確かさを考慮する。表2-1に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

なお、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の地震時の構造強度及び機能維持の確認には、地震応答解析による評価において保有水平耐力の評価及び支持機能の確認が必要であるが、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）が原子炉建物の一部であることを踏まえ、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）を含む原子炉建物全体としての評価結果をVI-2-2-3「原子炉建物の耐震性についての計算書」に示す。

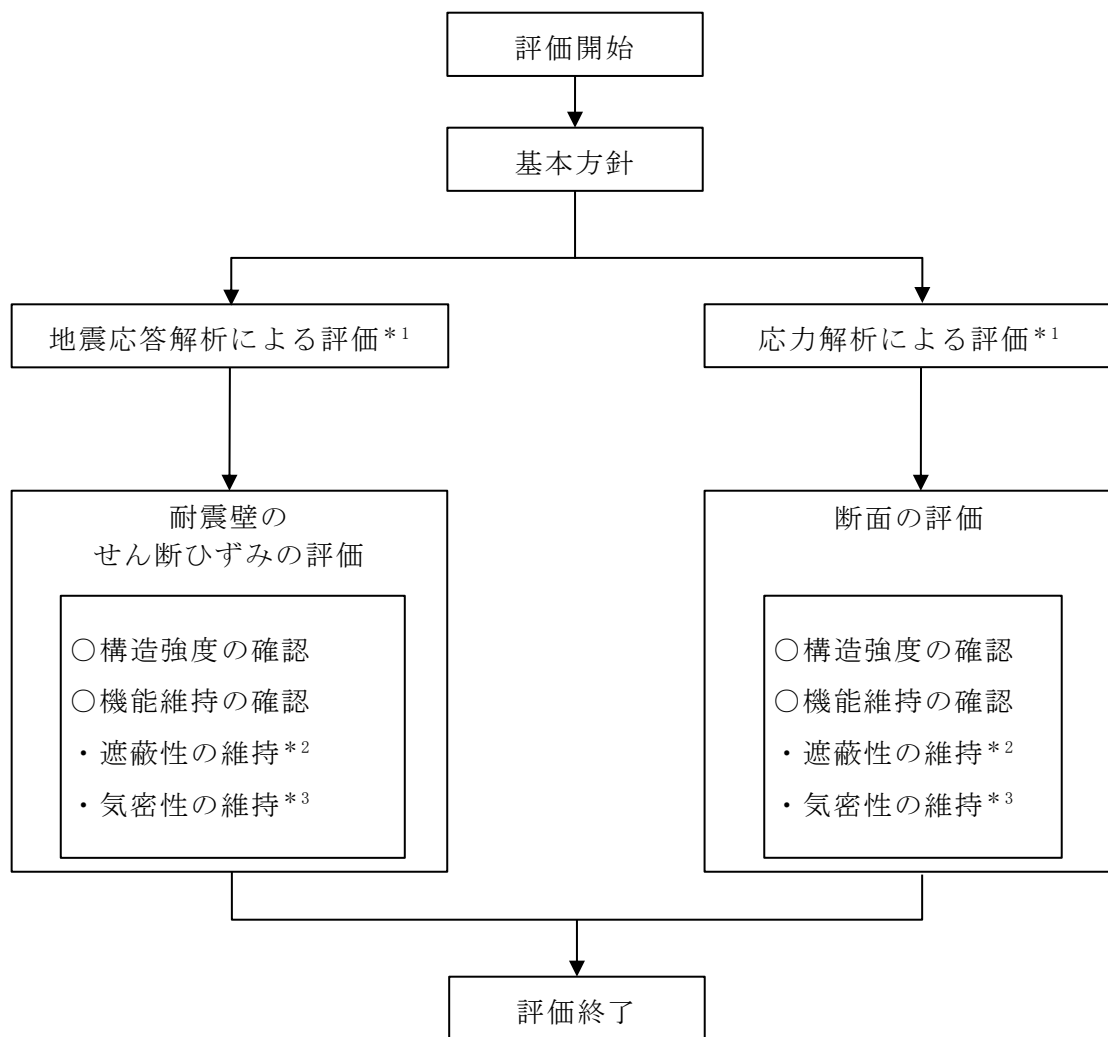
また、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）、原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価及び保有水平耐力の評価を行う。ここで、原子炉建物は燃料プールにおいて、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態で、温度の条件が異なるが、コンクリートの温度が上昇した場合においても、コンクリートの圧縮強度の低下は認められず、剛性低下は認められるが、その影響は小さいと考えられること、また、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会、2003）」では要素内の温度差及び拘束力により発生する熱応力は自己拘束的な応力であり、十分な塑性変形能力がある場合は終局耐力に影響しないとされていることから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設としての評価と同一となる。

図2-6に原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）、原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の評価フローを示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース 2 (地盤物性 + σ)	設計基準強度	標準地盤 + σ (+10%, +20%) *	
ケース 3 (地盤物性 - σ)	設計基準強度	標準地盤 - σ (-10%, -20%) *	
ケース 4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

注記* : VI-2-1-3 「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地盤の S 波速度 V_s 及び P 波速度 V_p の不確かさを設定する。



注記*1：VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

*2：原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）について実施する。

*3：原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）について実施する。

図2-6 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設），原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 2005 改定)
- ・2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)
- ・鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計と保有水平耐力ー ((社) 日本建築学会, 2001 改定)

3. 地震応答解析による評価方法

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設），原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の構造強度については，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき，材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

また，遮蔽性及び気密性の維持については，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき，材料物性の不確かさを考慮した耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における原子炉建物原子炉棟（二次格納施設），原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の許容限界は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持方針に基づき，表 3-1 及び表 3-2 のとおり設定する。

表 3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S _s	耐震壁*1 (原子炉建物原子炉棟(二次格納施設))	最大応答せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³ *2

注記*1：建物全体としては，耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており，剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱，はり，間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと，また，全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから，各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば，建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：事故時においては，PCV から漏えいした空気を非常用ガス処理設備で処理できるように気密性を有する設計とし，地震時においてもその機能を維持できる設計とする。気密性に対する許容限界の適用性は，「別紙 1 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の気密性に関する計算書」に示す。

表 3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	耐震壁*1	最大応答せん断ひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S _s	耐震壁*1 (原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽(原子炉建物))	最大応答せん断ひずみが遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S _s	耐震壁*1(原子炉建物原子炉棟(二次格納施設))	最大応答せん断ひずみが気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	せん断ひずみ 2.0×10 ⁻³ *2

注記*1：建物全体としては、耐震壁で地震力を全て負担する構造となっており、剛性の高い耐震壁の変形に追従する柱、はり、間仕切壁等の部材の層間変形は十分小さいこと、また、全体に剛性の高い構造となっており複数の耐震壁間の相対変形が小さく床スラブの変形が抑えられることから、各層の耐震壁の最大応答せん断ひずみが許容限界を満足していれば、建物・構築物に要求される機能は維持される。

*2：事故時においては、PCV から漏えいした空気を非常用ガス処理設備で処理できるように気密性を有する設計とし、地震時においてもその機能を維持できる設計とする。気密性に対する許容限界の適用性は、「別紙 1 原子炉建物原子炉棟(二次格納施設)の気密性に関する計算書」に示す。

4. 応力解析による評価方法

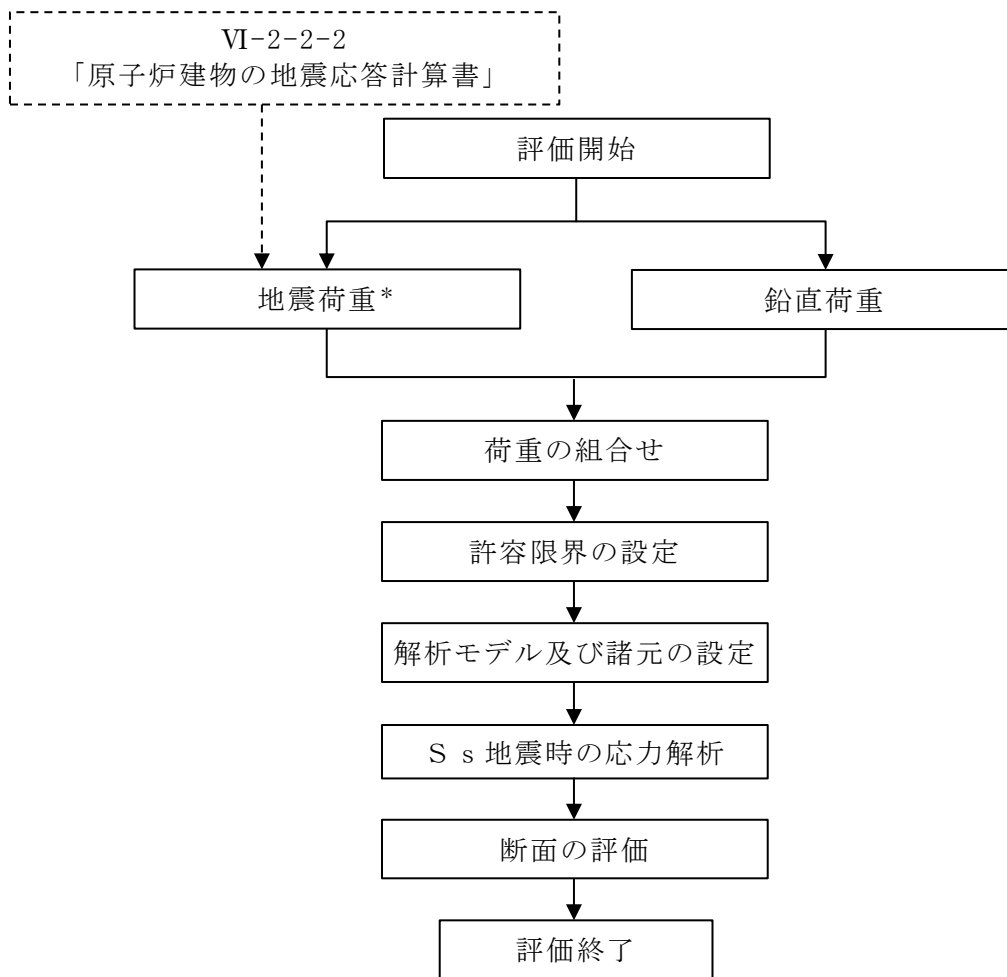
4.1 評価対象部位及び評価方針

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設），原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の応力解析による評価対象部位は，屋根スラブ，床スラブ，屋根トラス及び耐震壁とする。

4.1.1 屋根スラブ及び床スラブ

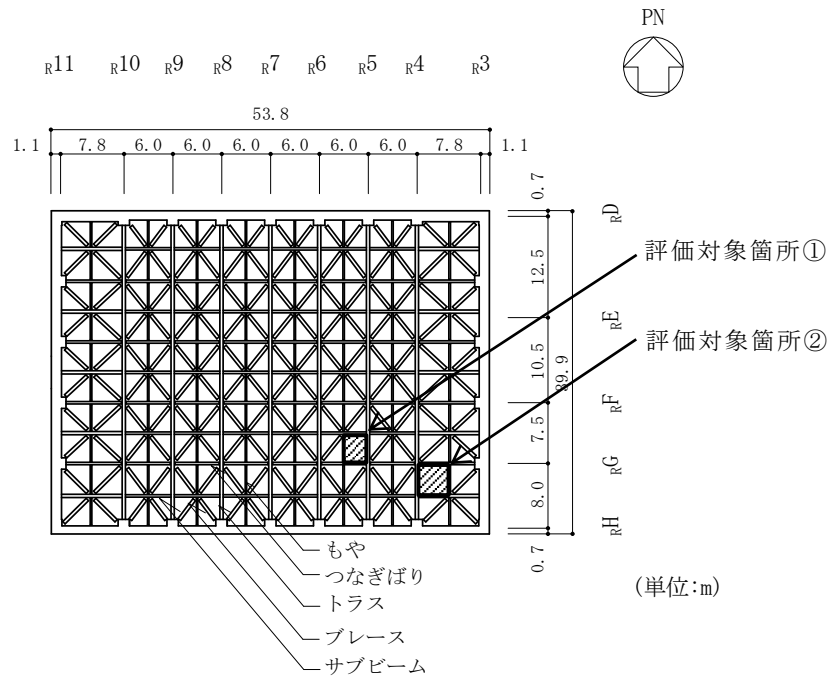
屋根スラブ及び床スラブについては，鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられる。したがって， S_s 地震時に対する評価は，基準地震動 S_s による鉛直震度を考慮した応力解析モデルを用いて，各部材の断面評価を行う。鉛直震度については，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」により得られた基準地震動 S_s による結果を用いる。許容限界については，屋根スラブ及び床スラブは，「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定する。 S_d 地震時に対する評価については，上記のとおり基準地震動 S_s で評価するため新たな検討は行わない。評価については，各断面の検定値が最も大きい部材を選定して示す。

応力解析による評価フローを図4-1に，選定した部材を図4-2に示す。

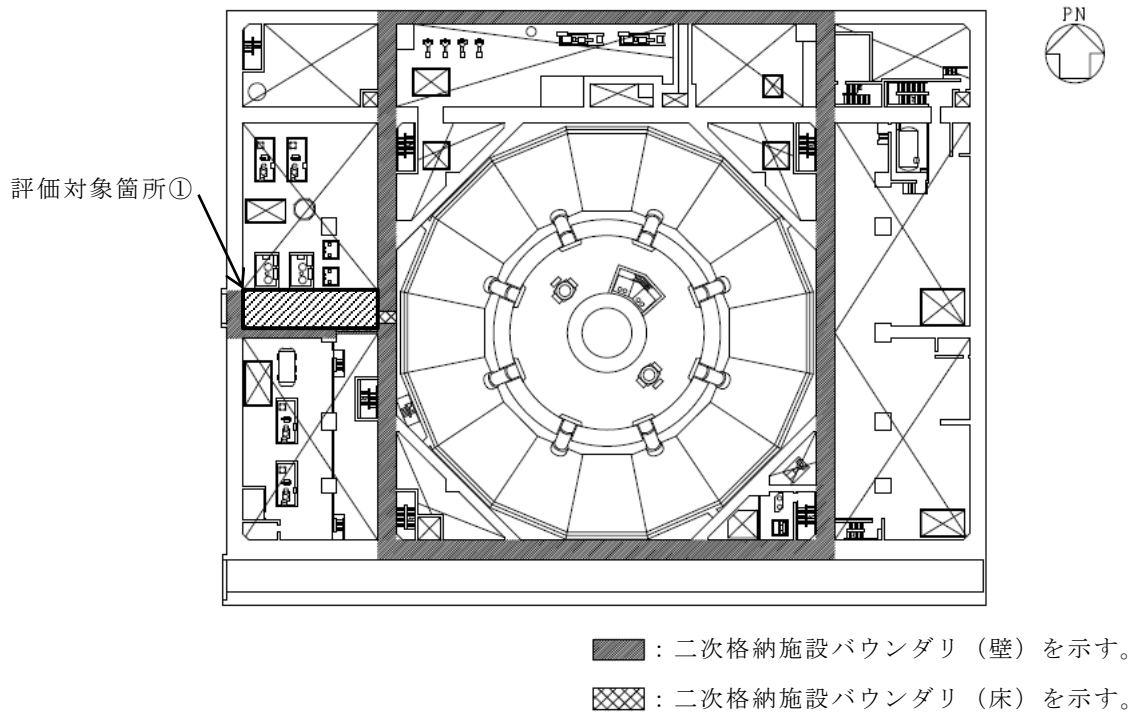


注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 屋根スラブ及び床スラブの応力解析による評価フロー

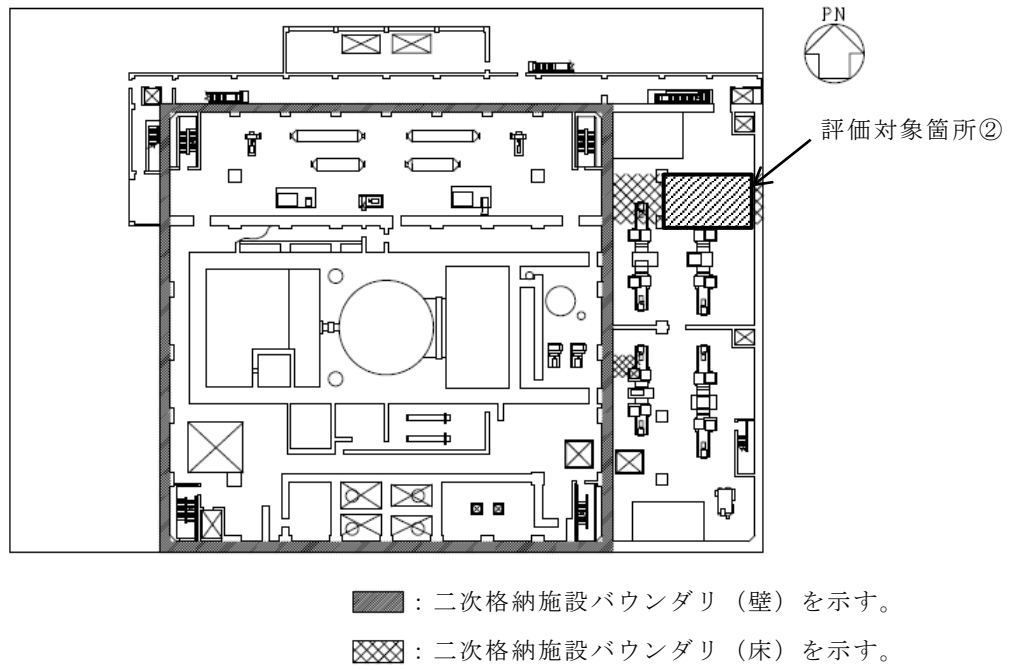


(a) 屋根スラブ (RF, EL 63.5m)



(b) 床スラブ (MB1F, EL 12.5m)

図 4-2(1) 評価を記載する部材の位置



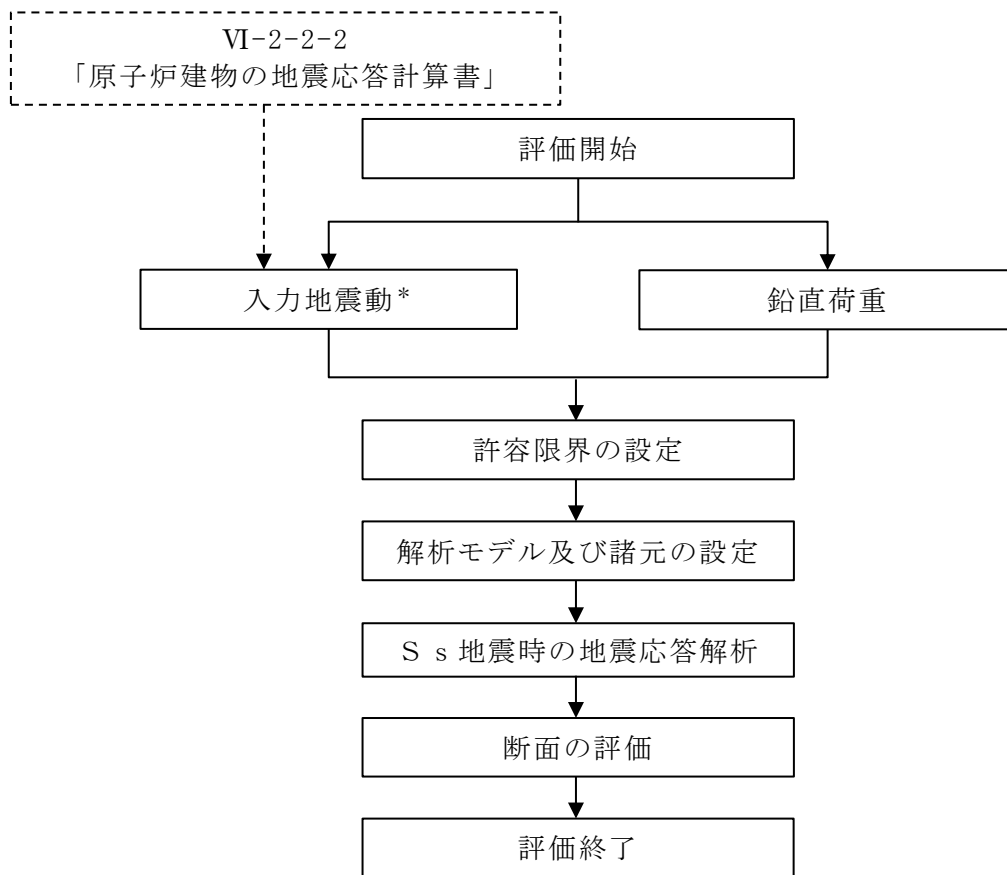
(c) 床スラブ (3F, EL 34.8m)

図 4-2(2) 評価を記載する部材の位置

4.1.2 屋根トラス

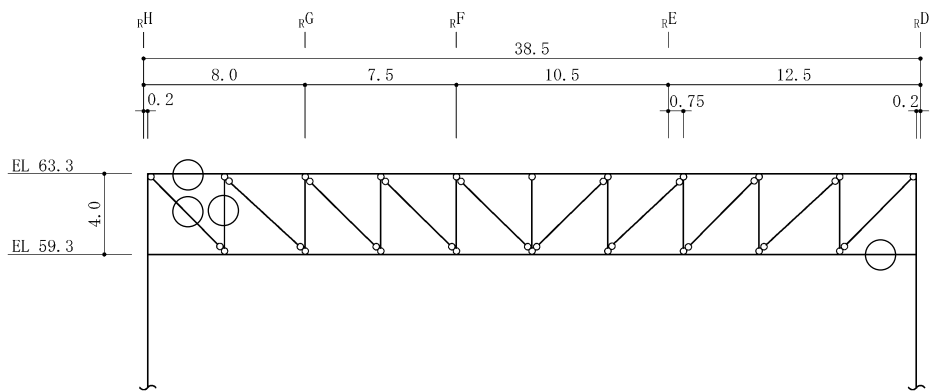
屋根トラスについては、水平方向の地震動に加え、鉛直方向の地震動の影響を受けやすいと考えられる。したがって、水平方向と鉛直方向地震力の同時入力による評価を行うために、3次元FEMモデルを用いた地震応答解析により生じた応力を用いて、各部材の断面の評価を行う。S_s地震時に対する評価については、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」により得られた基準地震動S_sによる結果を用いる。許容限界については、「平12建告第2464号」に基づきF値に1.1倍の割増しを考慮した弾性限強度とする。評価については、各部材の検定値が最も大きい部材を選定して示す。

応力解析による評価フローを図4-3に、選定した部材を図4-4～図4-9に示す。



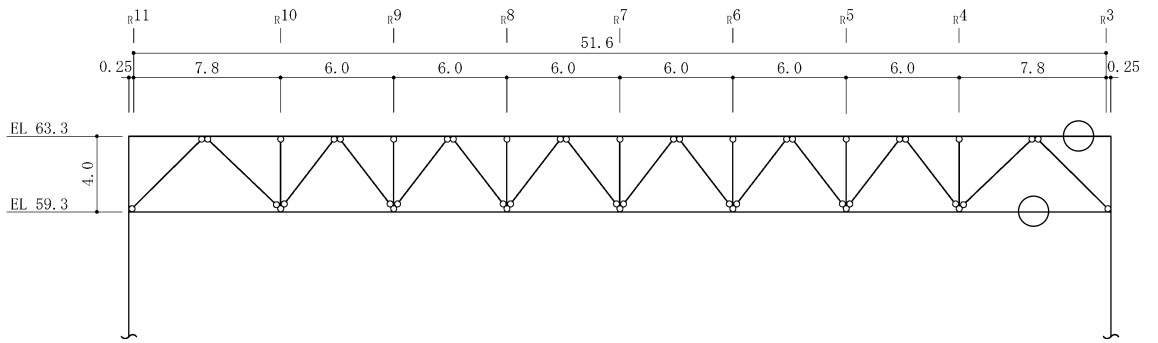
注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-3 屋根トラスの応力解析による評価フロー



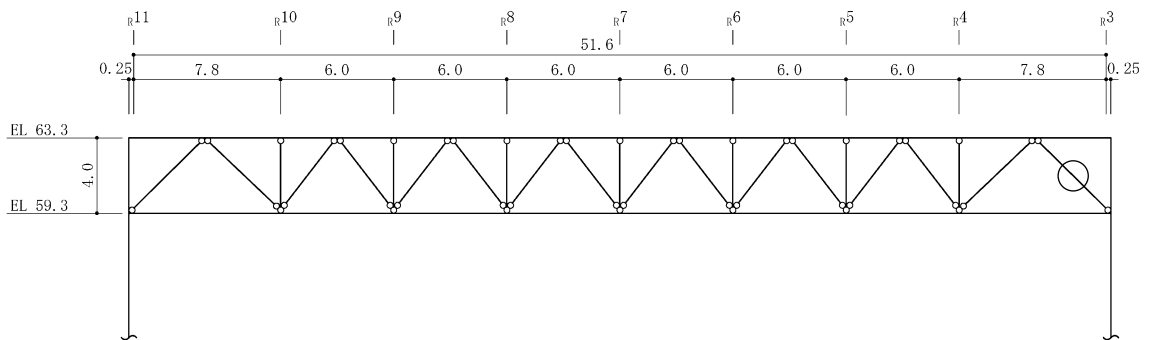
○：最大応力発生箇所を示す。
(単位：m)

図 4-4 評価を記載する部材の位置 (主トラス：R7 通り)



○：最大応力発生箇所を示す。
(単位：m)

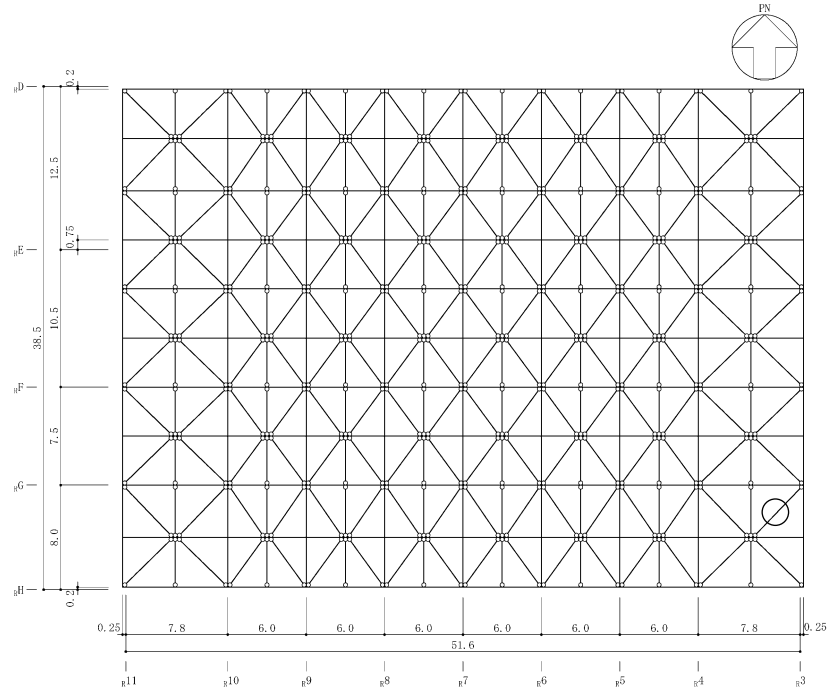
(a) サブトラス：RF 通り



○：累積塑性変形倍率が最も大きい箇所を示す。
(単位：m)

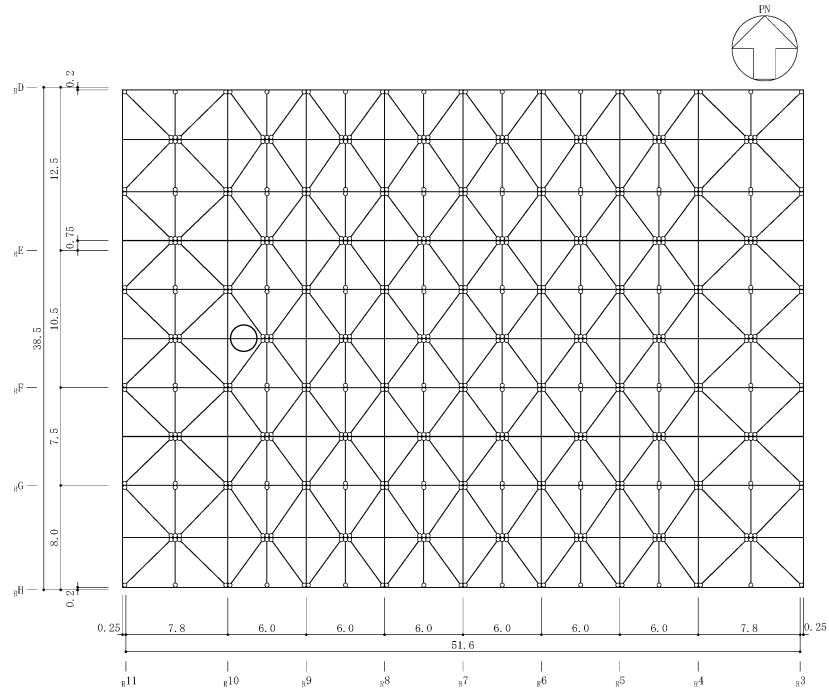
(b) サブトラス：RE 通り+3.0m

図 4-5 評価を記載する部材の位置 (サブトラス)



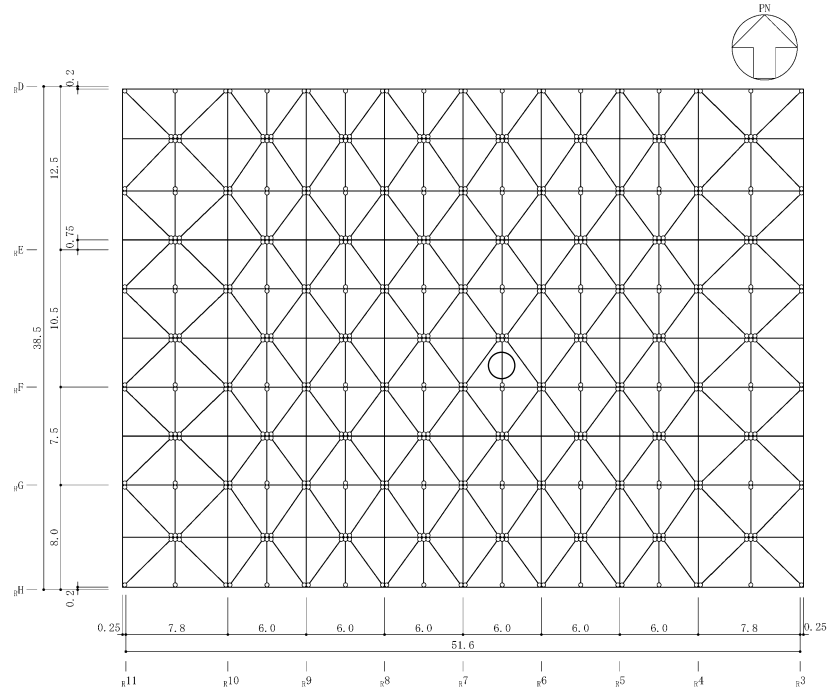
○：最大応力発生箇所を示す。
(単位：m)

図 4-6 評価を記載する部材の位置 (水平ブレース : EL 63.3m)



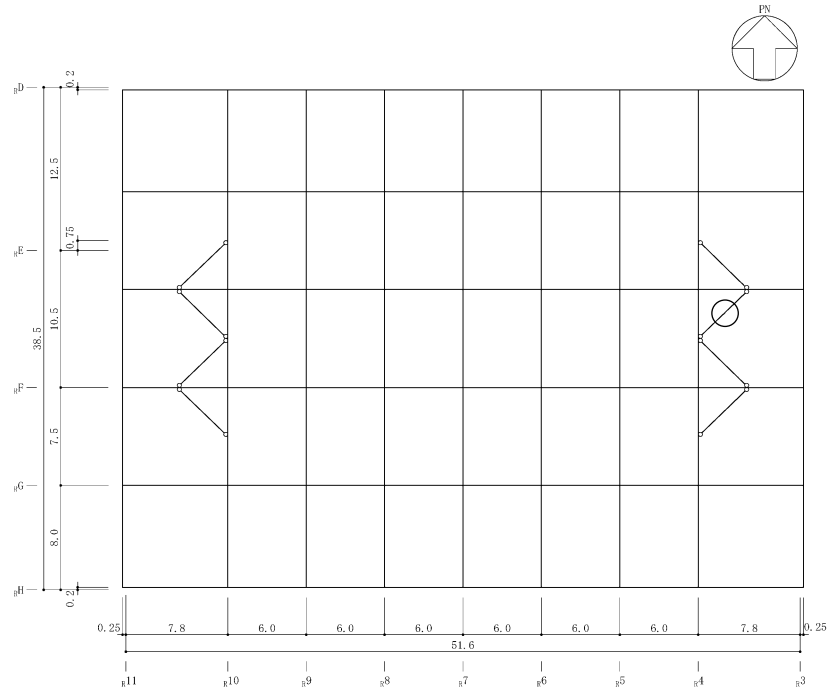
○：最大応力発生箇所を示す。
(単位：m)

図 4-7 評価を記載する部材の位置 (サブビーム : EL 63.3m)



○ : 最大応力発生箇所を示す。
(単位 : m)

図 4-8 評価を記載する部材の位置 (母屋 : EL 63.3m)



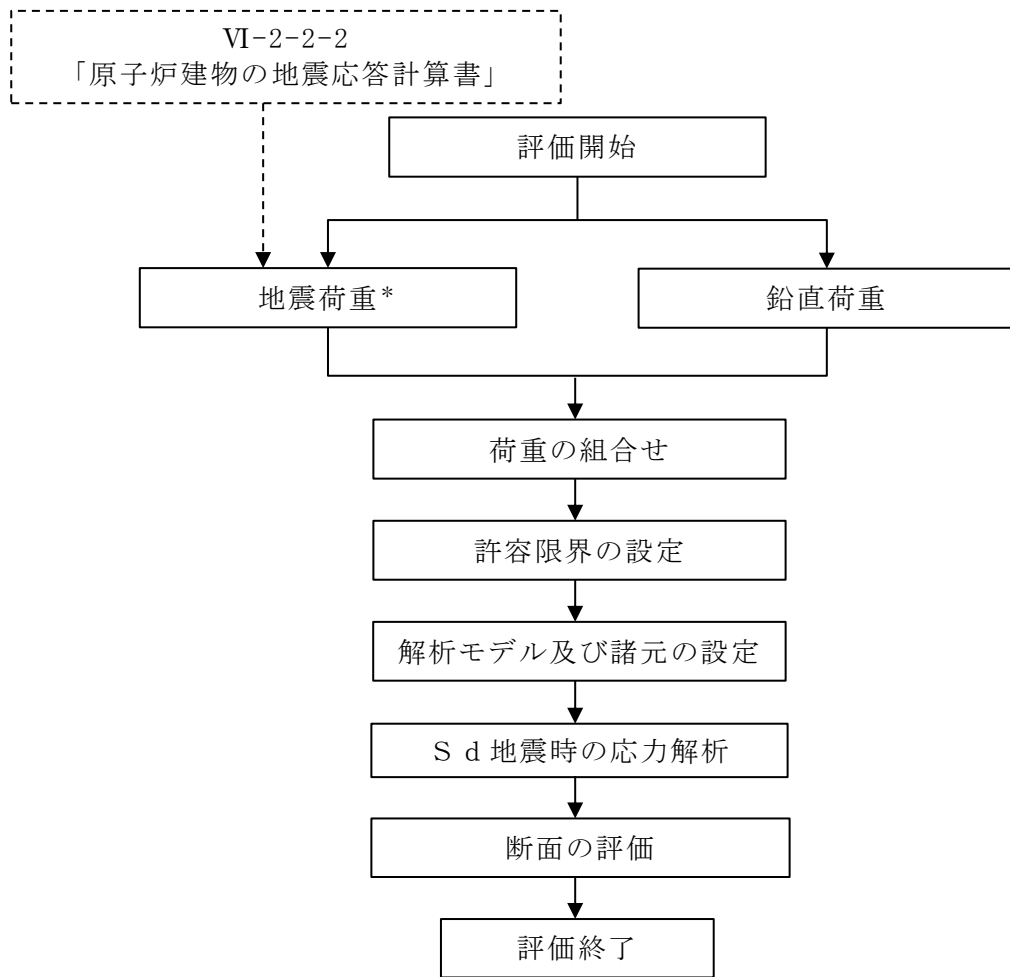
○ : 最大応力発生箇所を示す。
(単位 : m)

図 4-9 評価を記載する部材の位置 (サブトラス下弦材座屈止め : EL 59.3m)

4.1.3 耐震壁

S d 地震時に対する評価は，材料物性の不確かさを考慮した地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果により発生する応力が，「RC-N規準」に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。評価については，耐震壁の検定値が最も大きい部材を選定して示す。

応力解析による評価フローを図4-10に，選定した部材を図4-11に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-10 耐震壁の応力解析による評価フロー

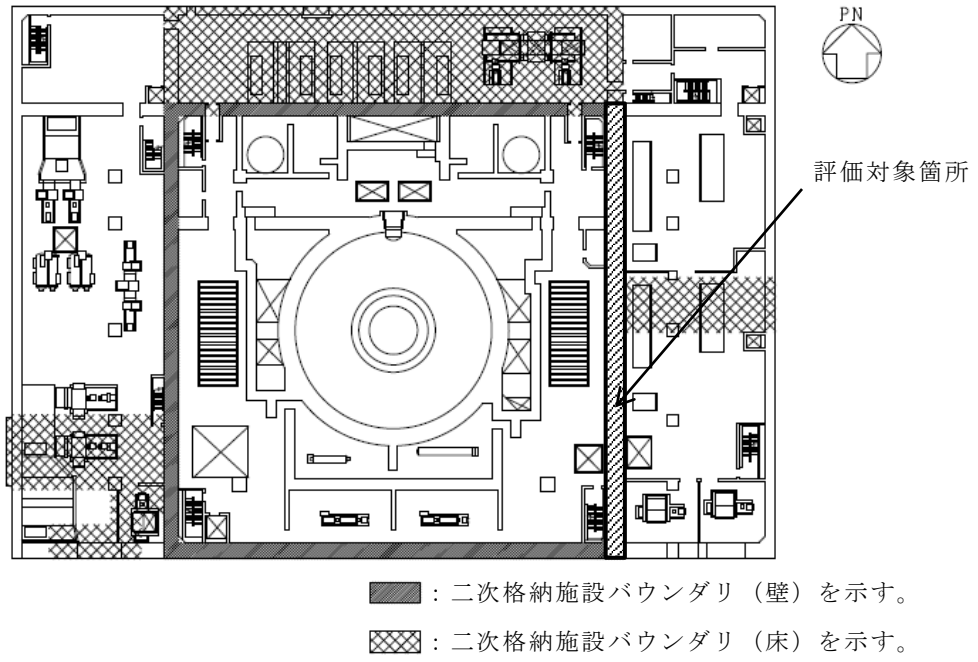


図 4-11 耐震壁の評価を記載する部材の位置
 (2F, EL 23.8m)

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.2.1 屋根スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

固定荷重（G），積載荷重（P）は昭和59年2月24日付け58資庁第15180号にて認可された工事計画の添付資料IV-2-4-2「原子炉建物の耐震性についての計算書」（以下「既工認」という。）に基づき設定する。積雪荷重（SNL）は，発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとし，積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

b. 地震荷重

地震荷重（S_s）は，基準地震動S_sに対する質点系モデルの屋根トラス部の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。なお，鉛直震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表4-1に示す。

表4-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + SNL + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

SNL : 積雪荷重

S_s : 地震荷重

4.2.2 床スラブ

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

固定荷重 (G) , 積載荷重 (P) は「既工認」に基づき設定する。積雪荷重 (SNL) は, 発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とし, 積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

b. 地震荷重

地震荷重 (S_s) は, 基準地震動 S_s に対する質点系モデルの各層の鉛直方向最大応答加速度より鉛直震度を算定する。なお, 鉛直震度は材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果を包絡したものとする。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$G + P + SNL^* + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

SNL : 積雪荷重

S_s : 地震荷重

注記* : 積雪荷重 (SNL) は, 積雪荷重が作用する屋外に面する床スラブに対して考慮する。

4.2.3 屋根トラス

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

荷重の一覧を表 4-3 に示す。固定荷重 (G) 及び積載荷重 (P) は「既工認」に基づき設定する。積雪荷重 (SNL) は、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上 1 位の月最深積雪 100cm に平均的な積雪荷重を与えるための係数 0.35 を考慮し 35.0cm とし、積雪量 1cm ごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。なお、原子炉建物内は負圧となっており、屋根スラブに鉛直下向きの圧力荷重が作用しているが、鉛直荷重と比較して $6.28 \times 10^{-2}\text{kN/m}^2$ と非常に軽微なため考慮しない。

表 4-3 荷重一覧

固定荷重 (G)	屋根スラブ	6.10kN/m^2
	トラス鋼材	77.0kN/m^3
	クレーン荷重	3432kN
積載荷重 (P)		0.30kN/m^2
積雪荷重 (SNL)		0.70kN/m^2

b. 地震荷重

地震荷重 (S_s) は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」から得られる燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の S_s 地震時の水平及び鉛直方向の時刻歴応答加速度とし、「2.3 評価方針」に示したとおり、材料物性の不確かさを考慮する。 S_s-D 、 S_s-F1 、 S_s-F2 、 S_s-N1 及び S_s-N2 の水平 2 成分、鉛直成分及び回転 2 成分の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図 4-12~図 4-67 に示す。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-4 に示す。

表 4-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _{NL} * + S _s

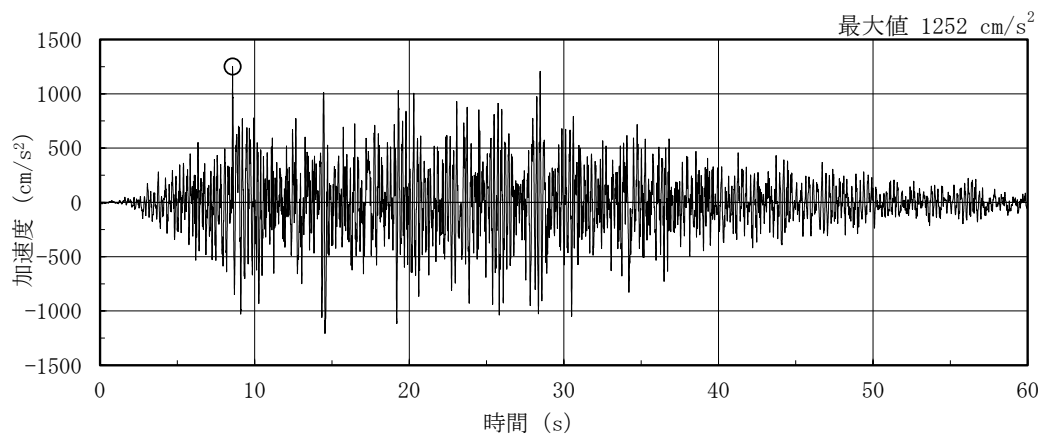
G : 固定荷重

P : 積載荷重

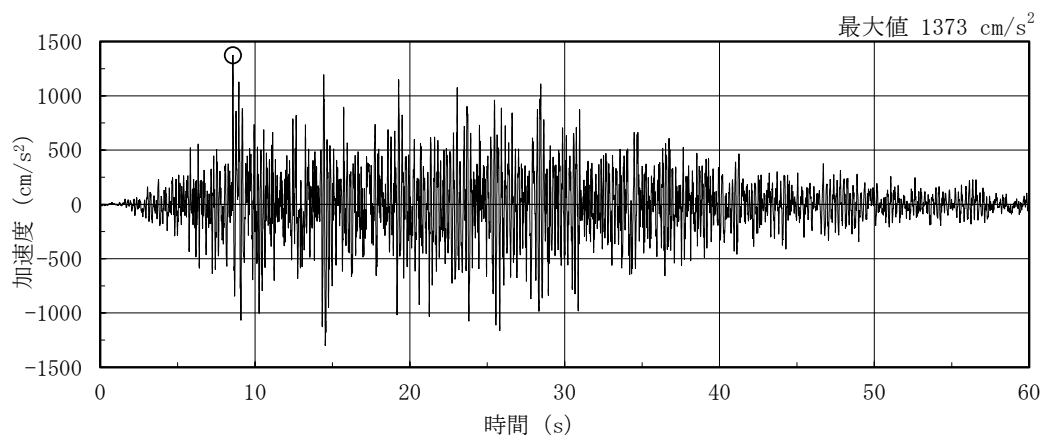
S_{NL} : 積雪荷重

S_s : 地震荷重

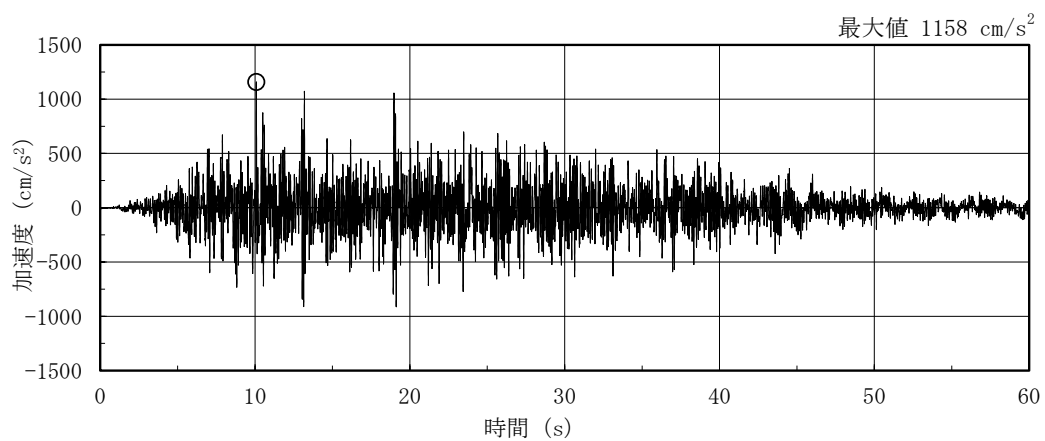
注記* : 材料物性の不確かさ等を考慮する解析ケースのうち、積雪荷重との組合せを考慮するケース 4 において、積雪荷重 (S_{NL}) を考慮する。



(a) NS方向

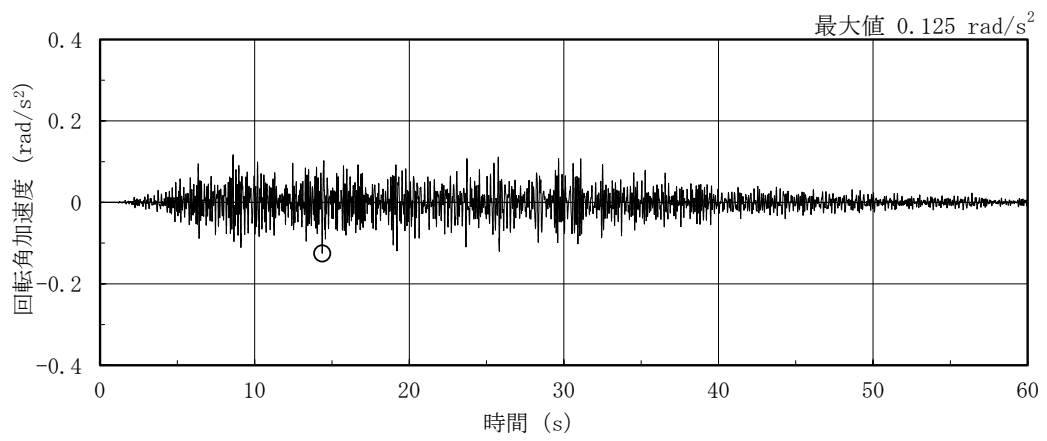


(b) EW方向

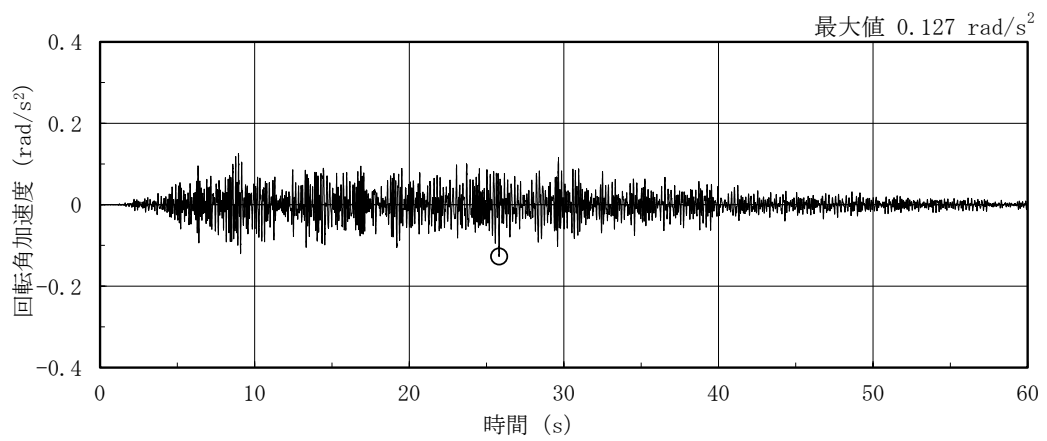


(c) 鉛直方向

図 4-12 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - D, ケース 1, 水平, 鉛直成分)

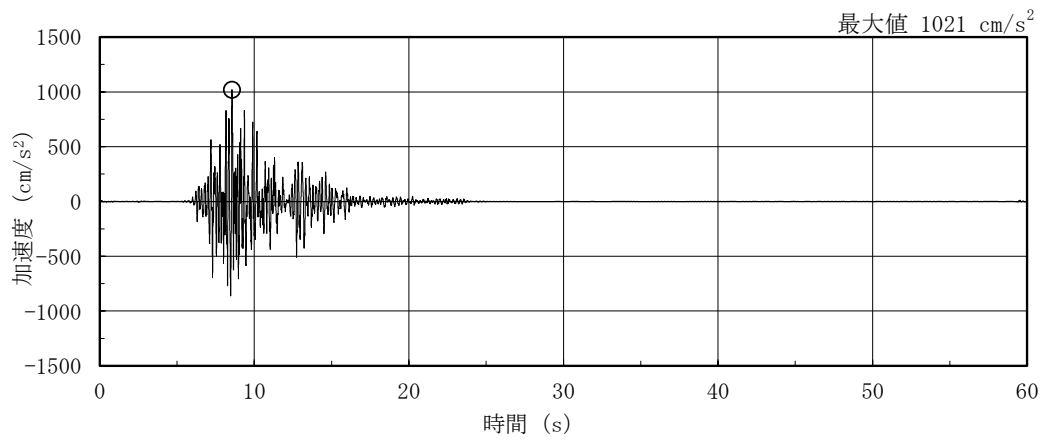


(a) NS方向

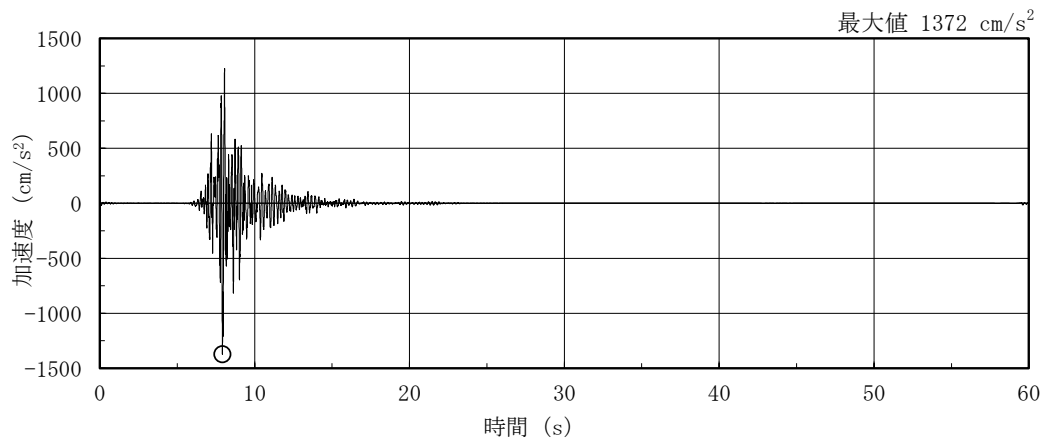


(b) EW方向

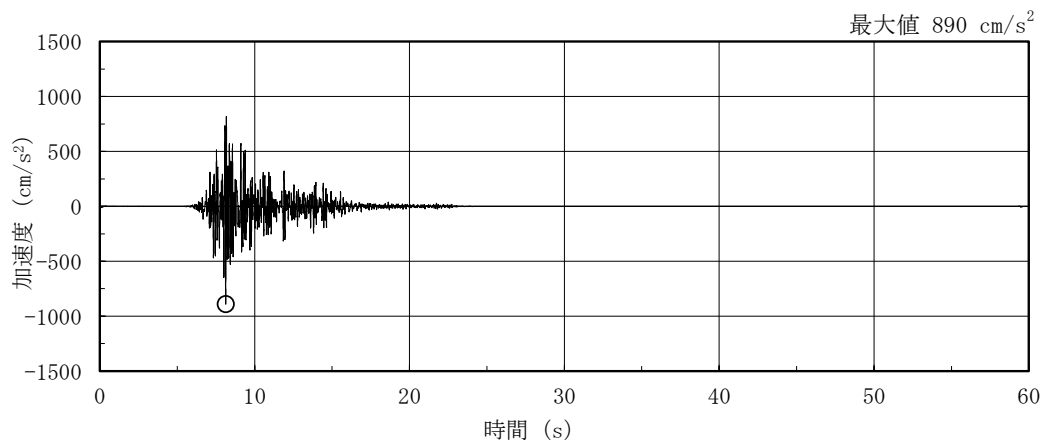
図 4-13 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s-D, ケース 1, 回転成分)



(a) NS 方向

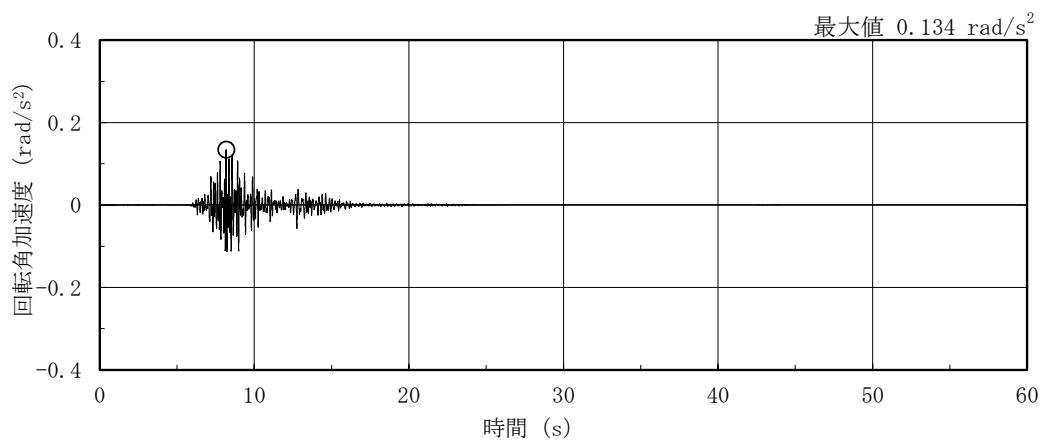


(b) EW 方向

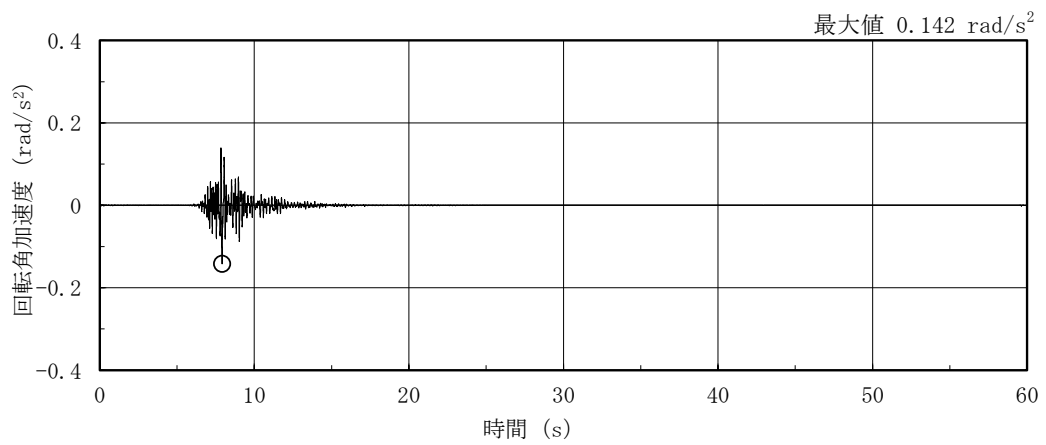


(c) 鉛直方向

図 4-14 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 1, ケース 1, 水平, 鉛直成分)

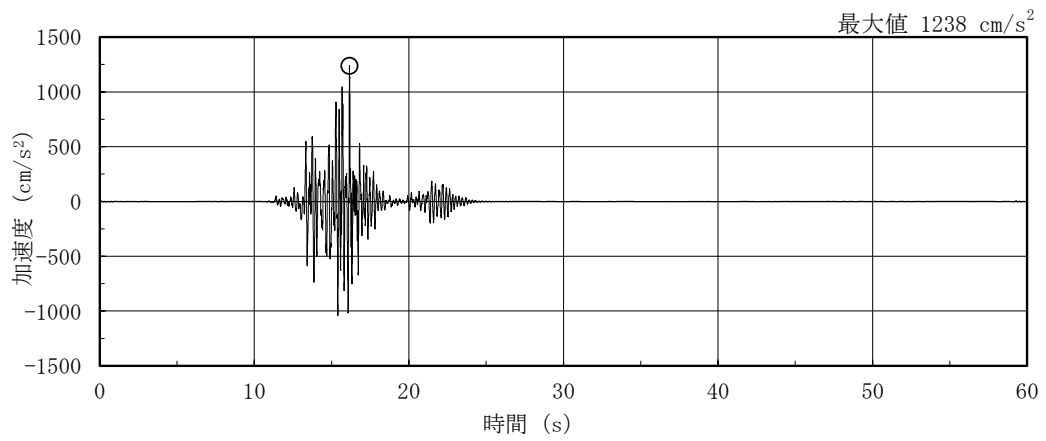


(a) NS方向

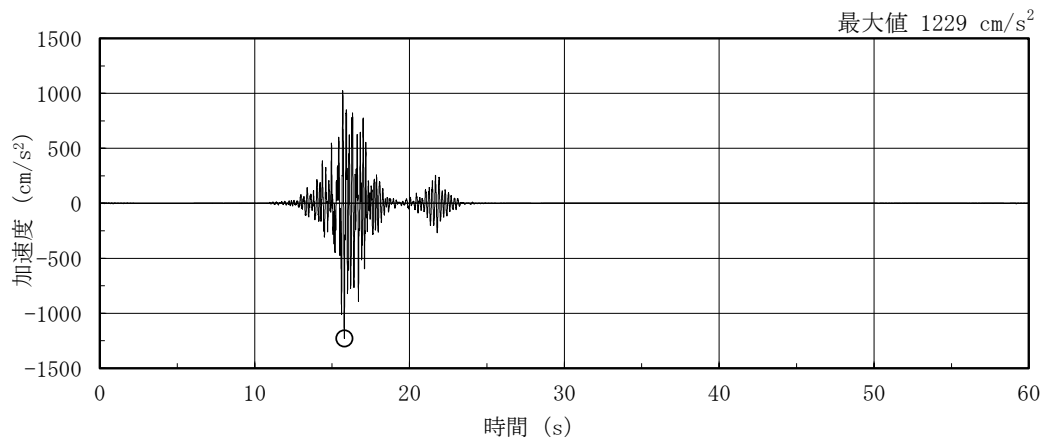


(b) EW方向

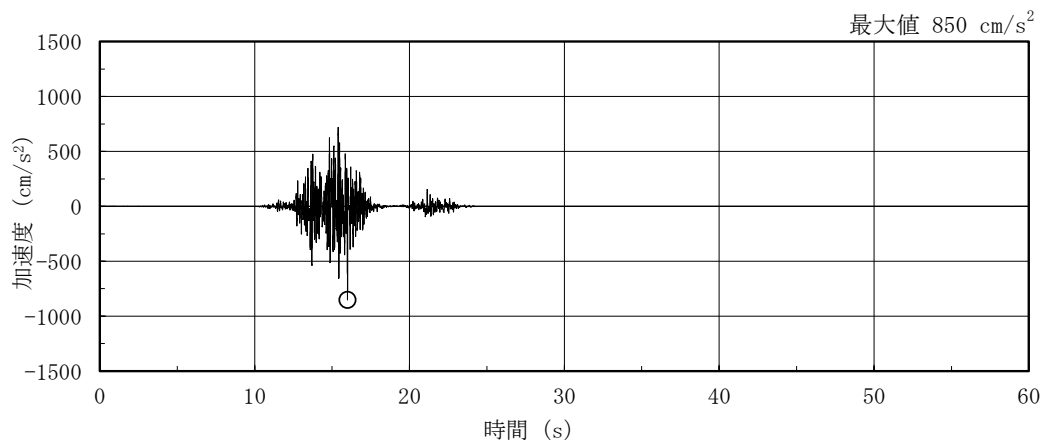
図 4-15 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 1, ケース 1, 回転成分)



(a) NS 方向

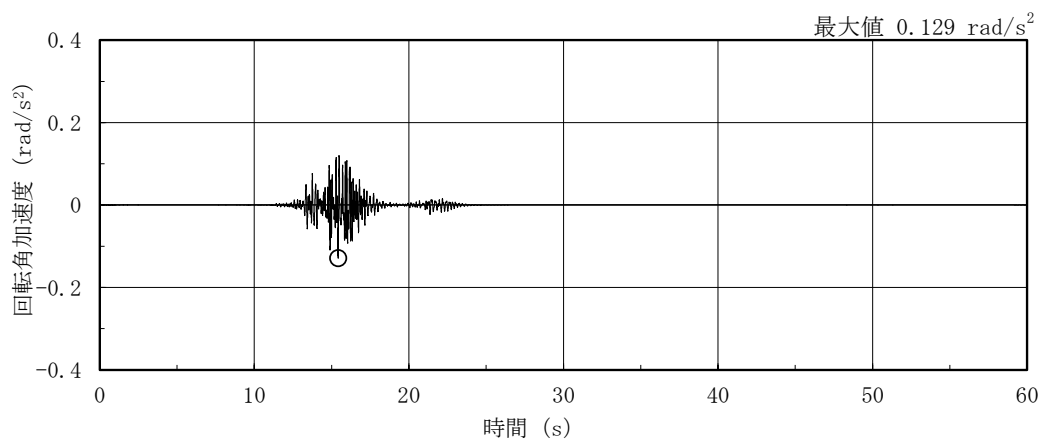


(b) EW 方向

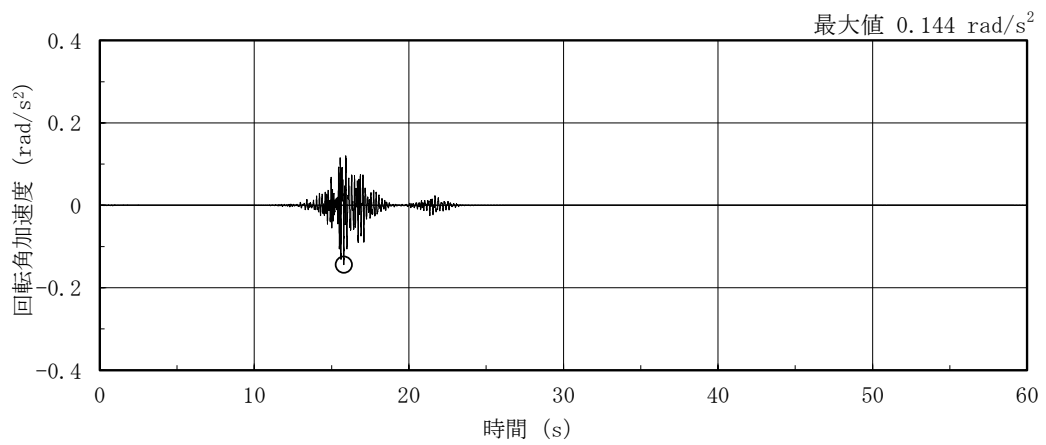


(c) 鉛直方向

図 4-16 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 2, ケース 1, 水平, 鉛直成分)

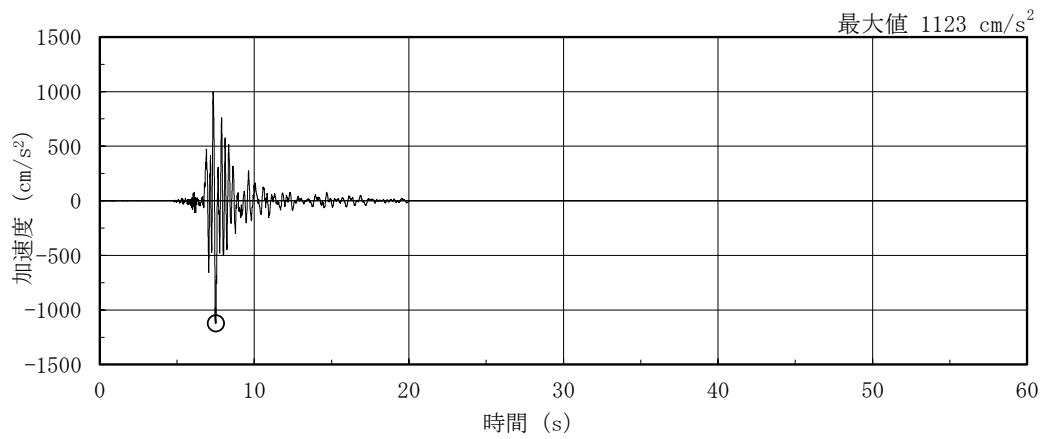


(a) NS方向

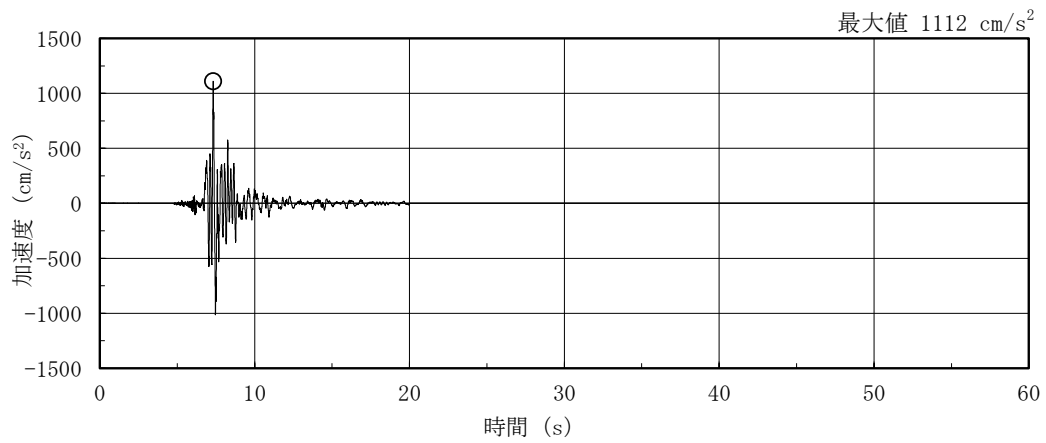


(b) EW方向

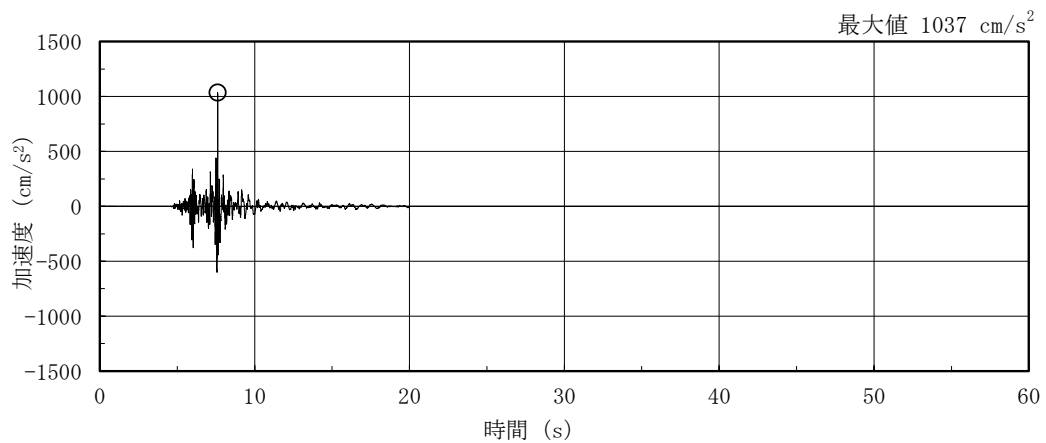
図 4-17 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 2, ケース 1, 回転成分)



(a) NS方向

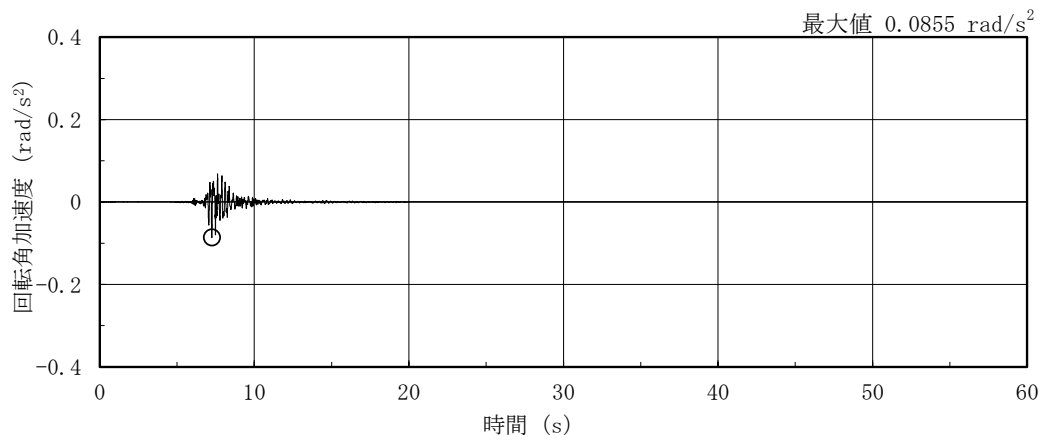


(b) EW方向

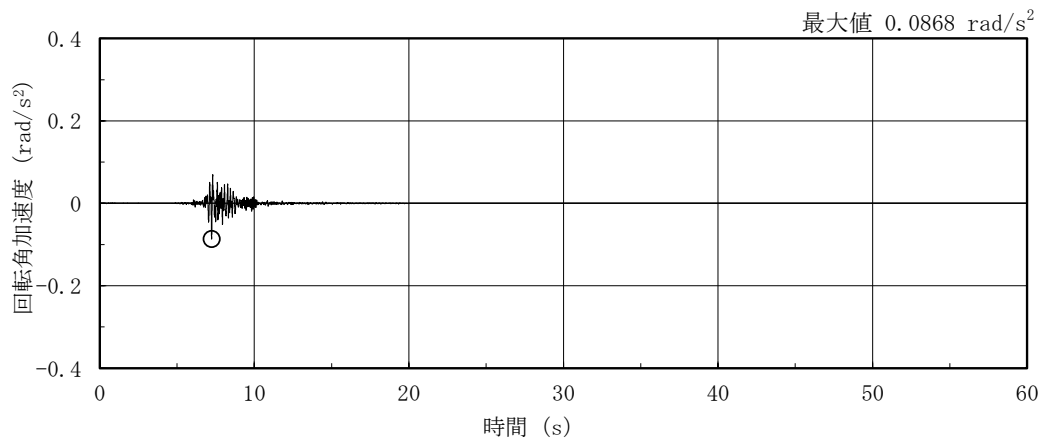


(c) 鉛直方向

図 4-18 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 1, ケース 1, 水平, 鉛直成分)

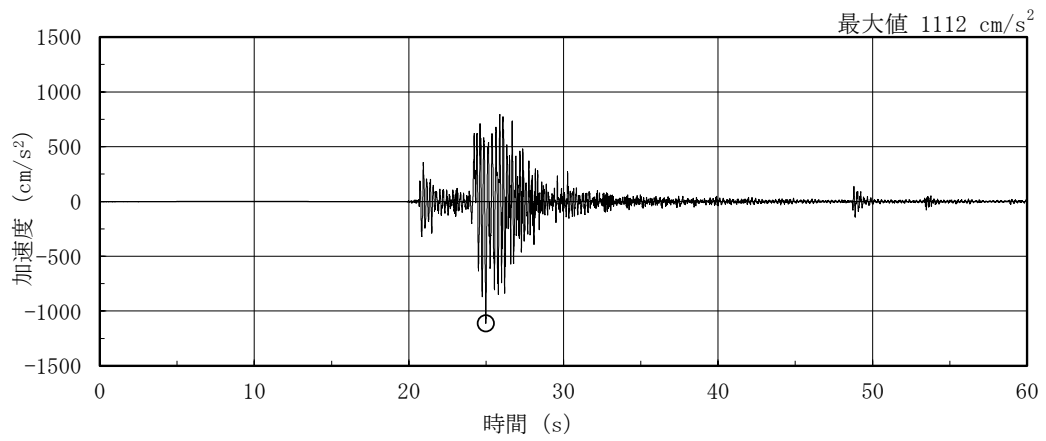


(a) NS方向

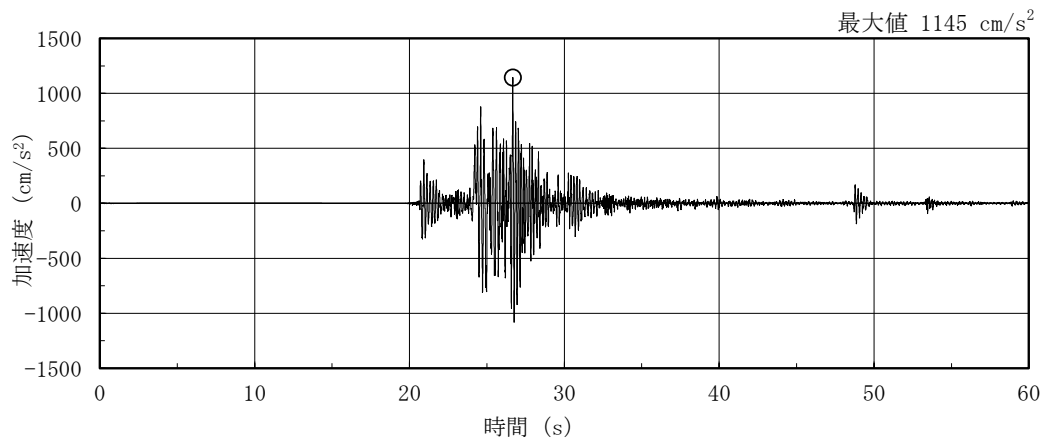


(b) EW方向

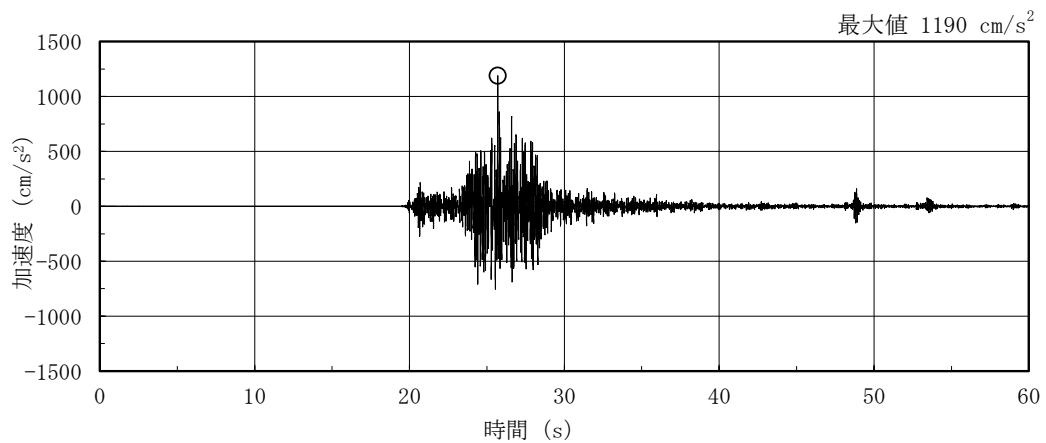
図 4-19 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 1, ケース 1, 回転成分)



(a) NS方向 (S s - N 2 N S)

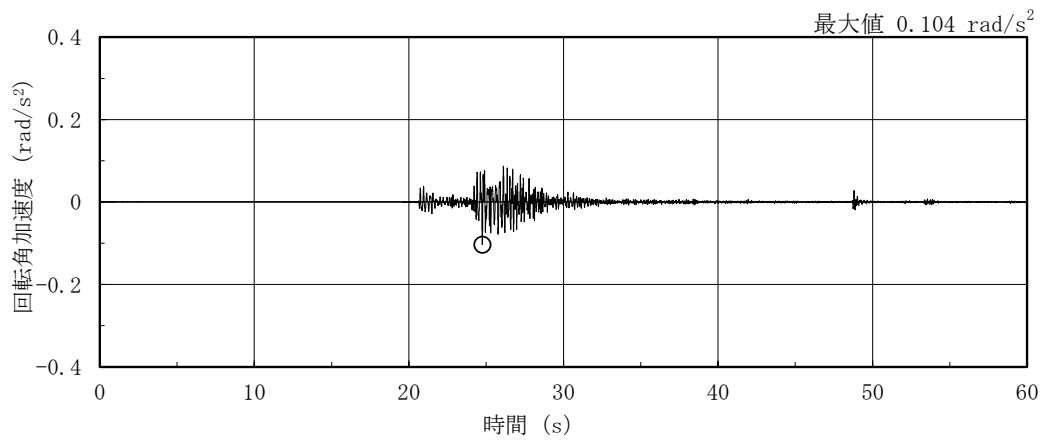


(b) EW方向 (S s - N 2 N S)

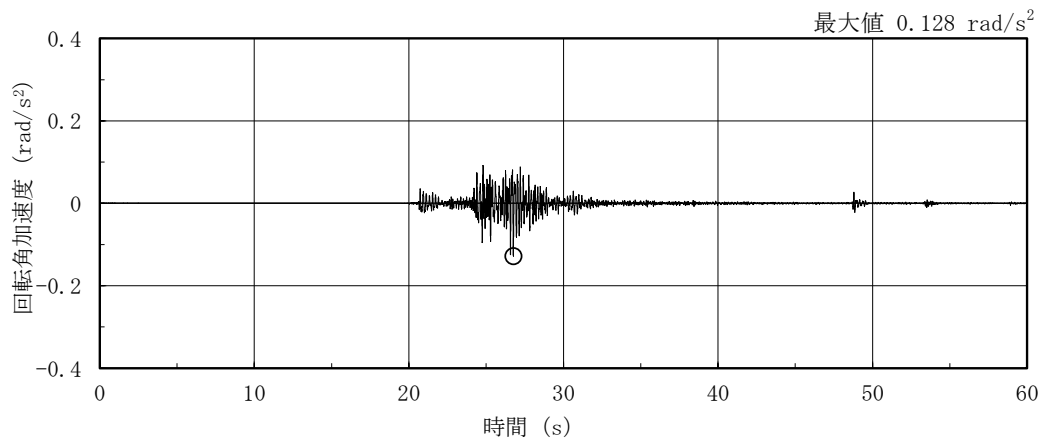


(c) 鉛直方向

図 4-20 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 1, 水平, 鉛直成分)

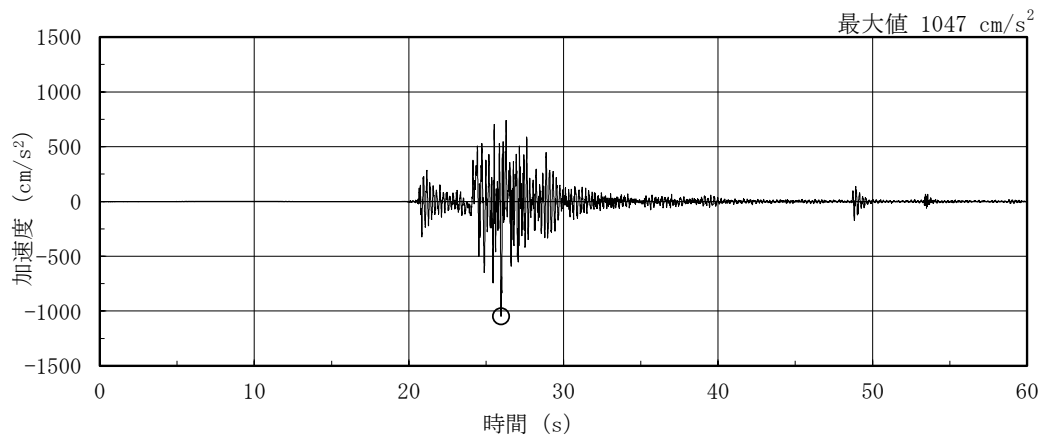


(a) NS方向 (S_s - N₂NS)

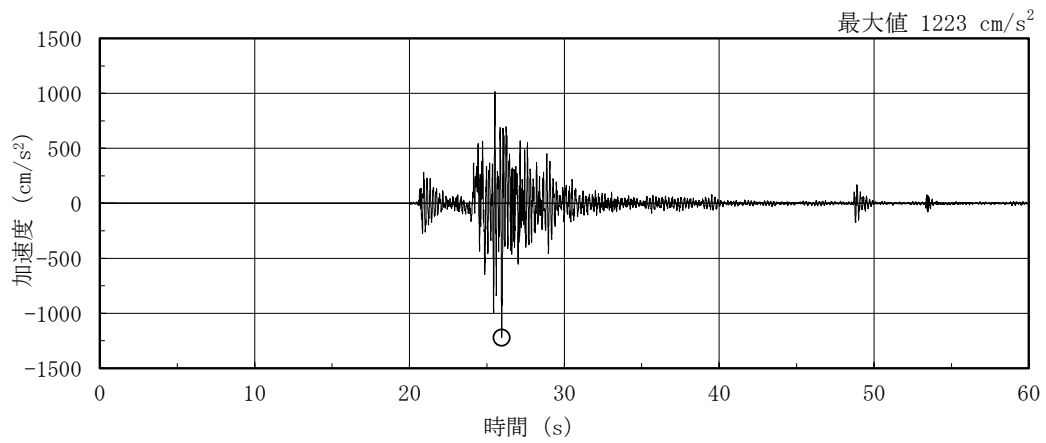


(b) EW方向 (S_s - N₂NS)

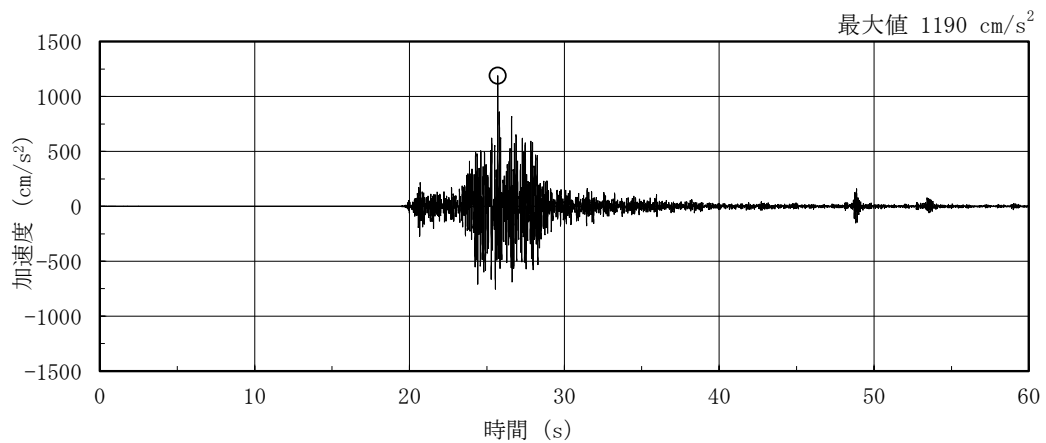
図 4-21 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S_s - N₂, ケース 1, 回転成分)



(a) NS方向 (S s - N 2 EW)

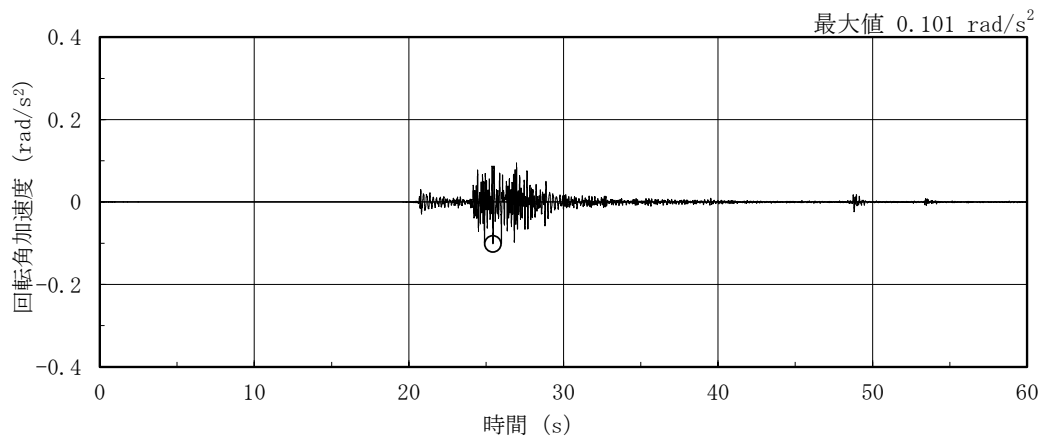


(b) EW方向 (S s - N 2 EW)

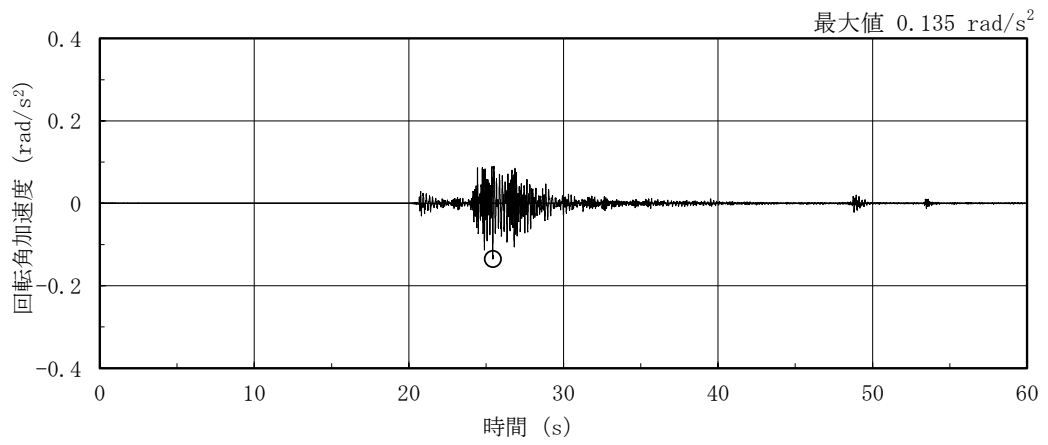


(c) 鉛直方向

図 4-22 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 1, 水平, 鉛直成分)

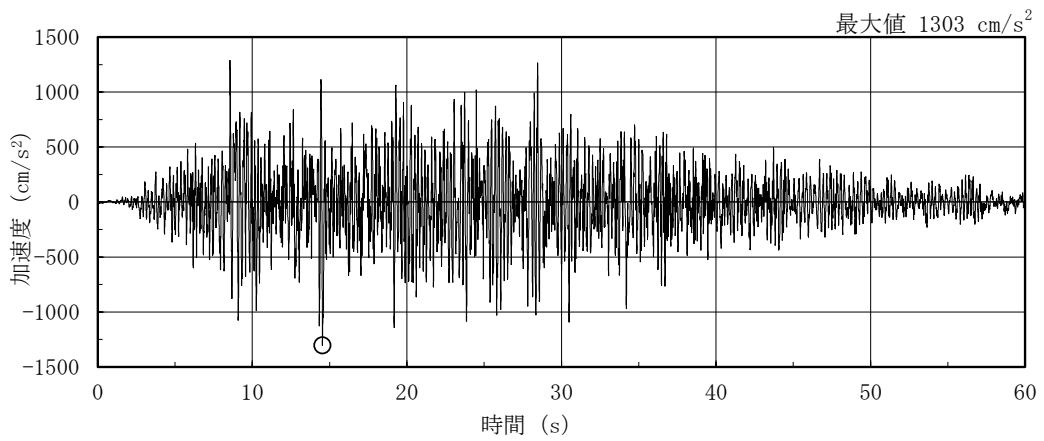


(a) NS方向 (S s - N 2 EW)

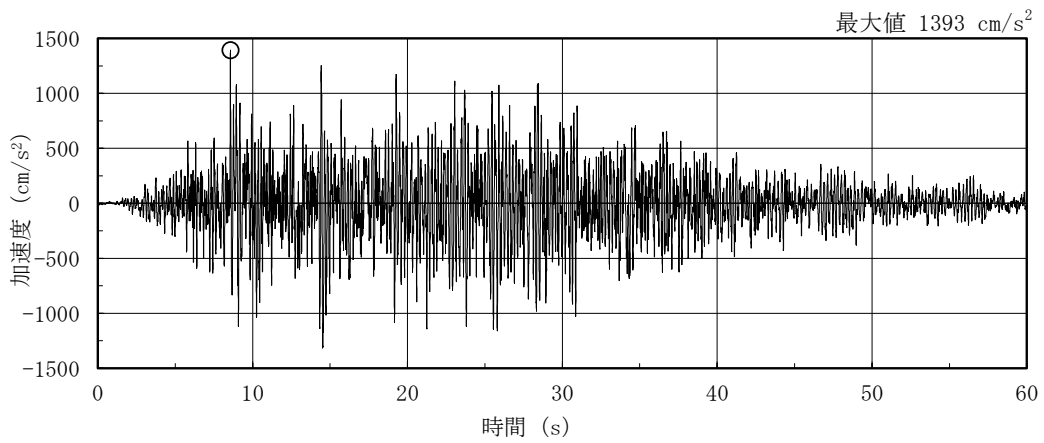


(b) EW方向 (S s - N 2 EW)

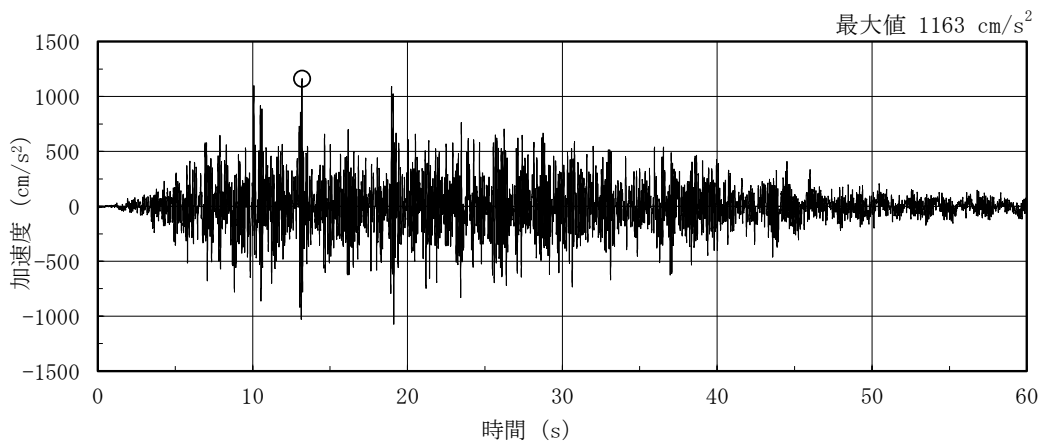
図 4-23 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 1, 回転成分)



(a) NS方向

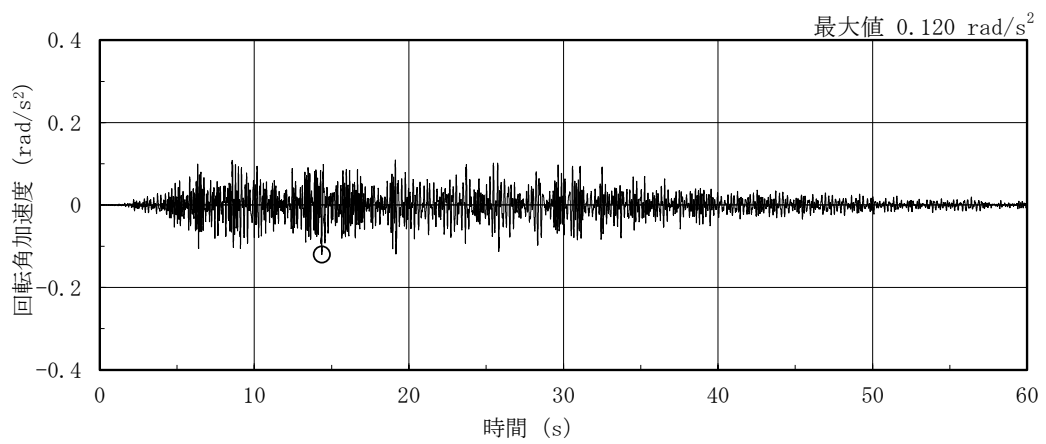


(b) EW方向

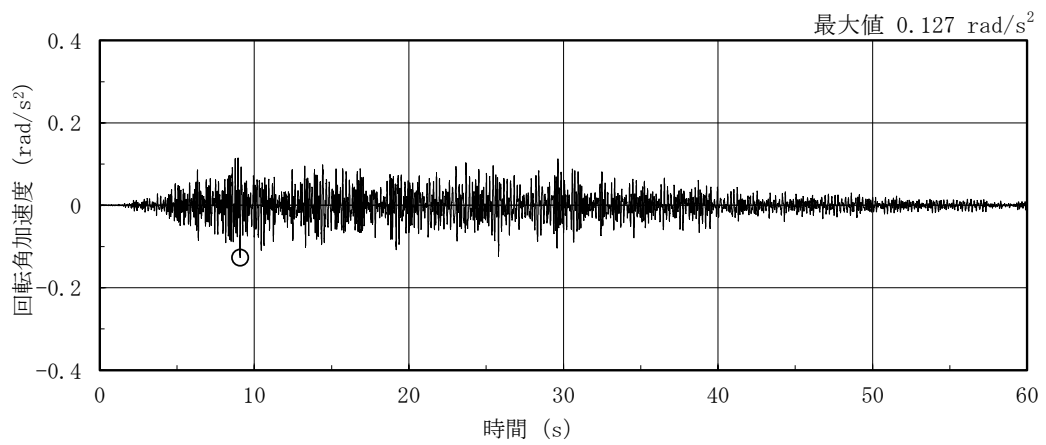


(c) 鉛直方向

図 4-24 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - D, ケース 2, 水平, 鉛直成分)

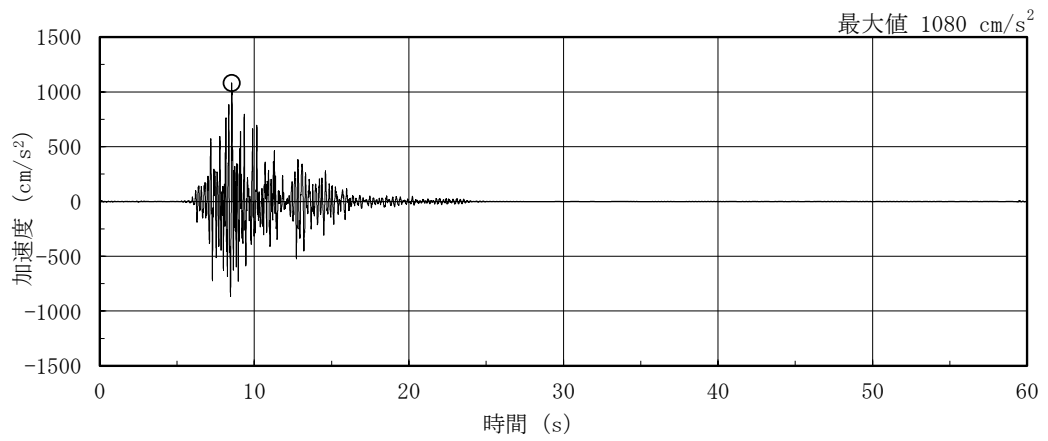


(a) NS方向

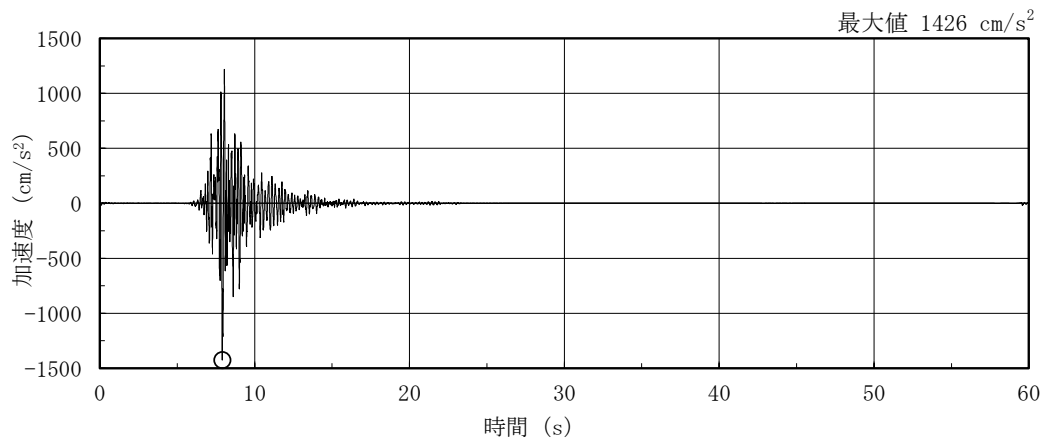


(b) EW方向

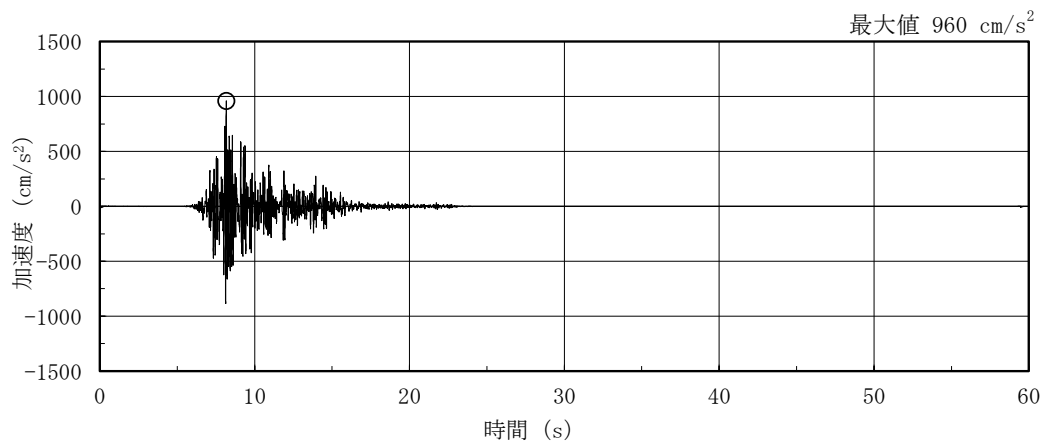
図 4-25 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s-D, ケース 2, 回転成分)



(a) NS 方向

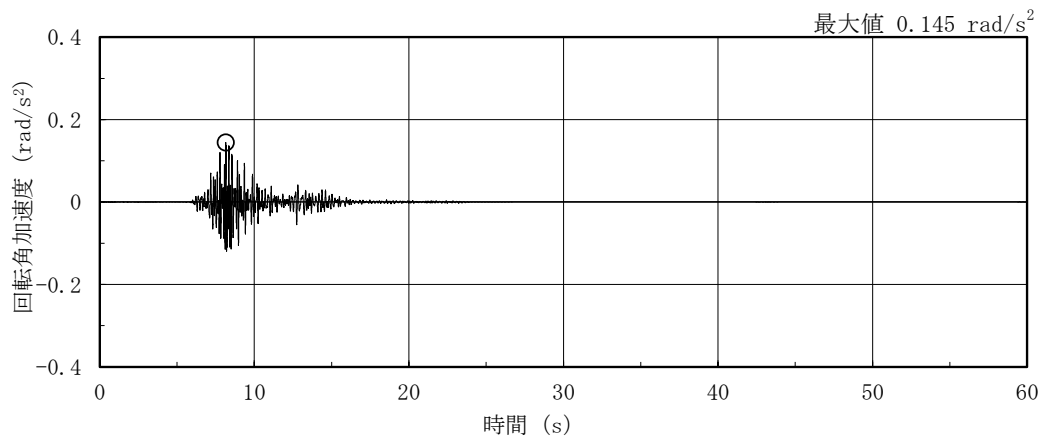


(b) EW 方向

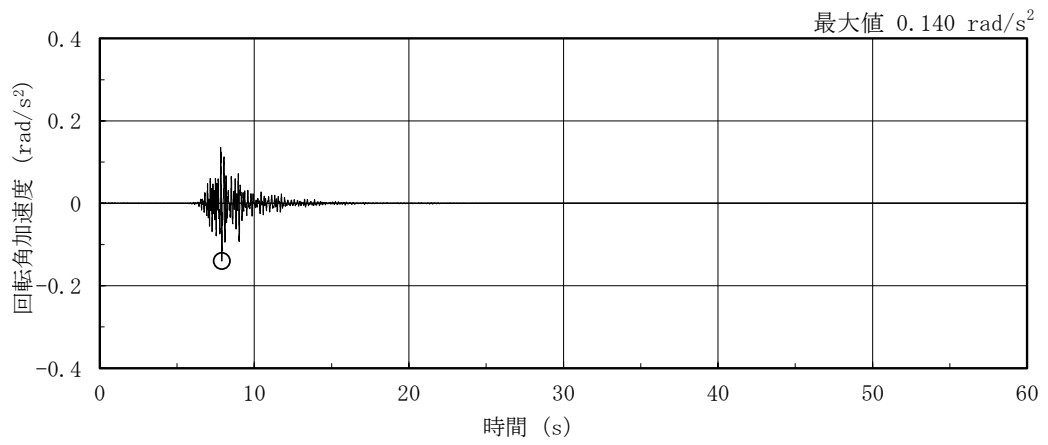


(c) 鉛直方向

図 4-26 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 1, ケース 2, 水平, 鉛直成分)

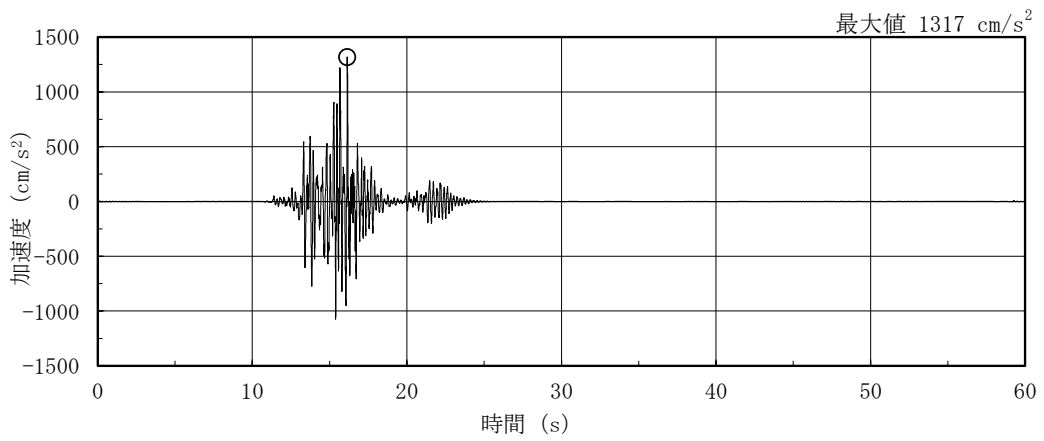


(a) NS方向

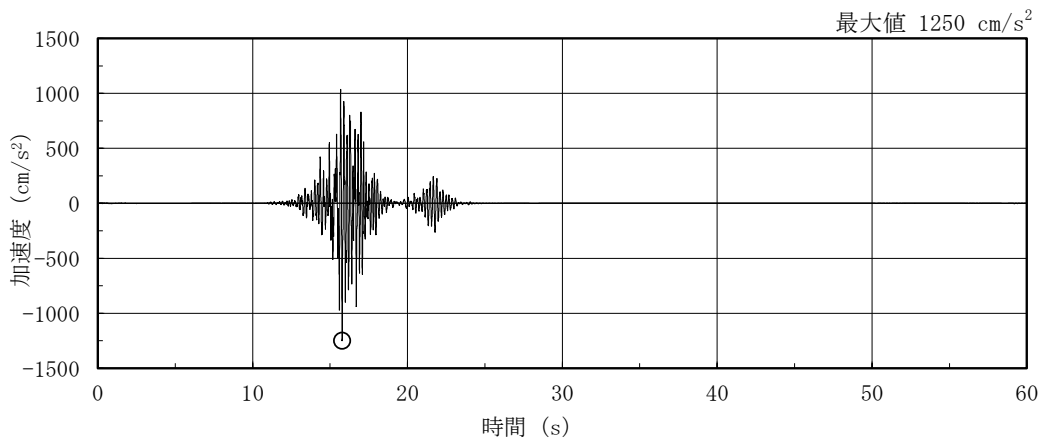


(b) EW方向

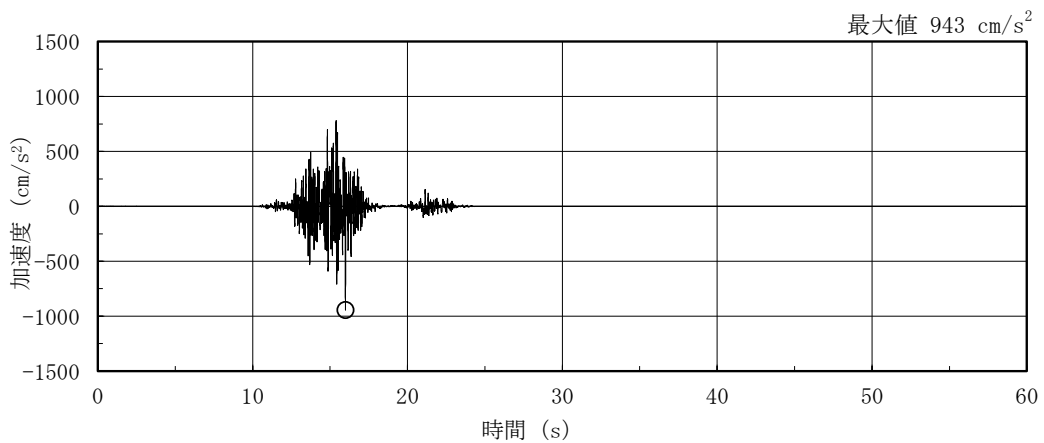
図 4-27 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 1, ケース 2, 回転成分)



(a) NS方向

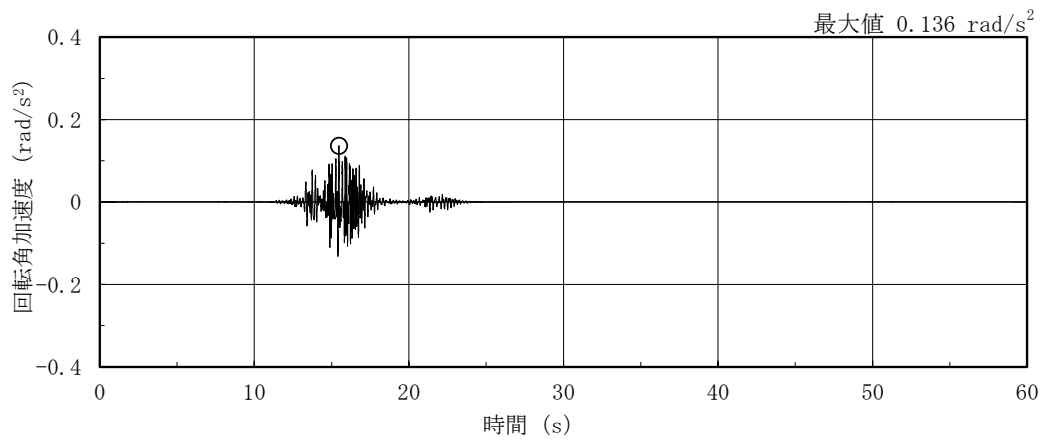


(b) EW方向

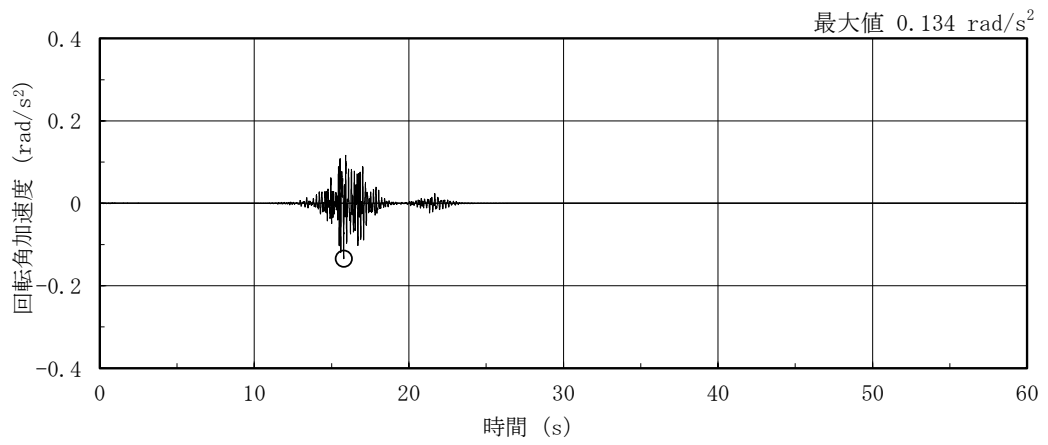


(c) 鉛直方向

図 4-28 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 2, ケース 2, 水平, 鉛直成分)

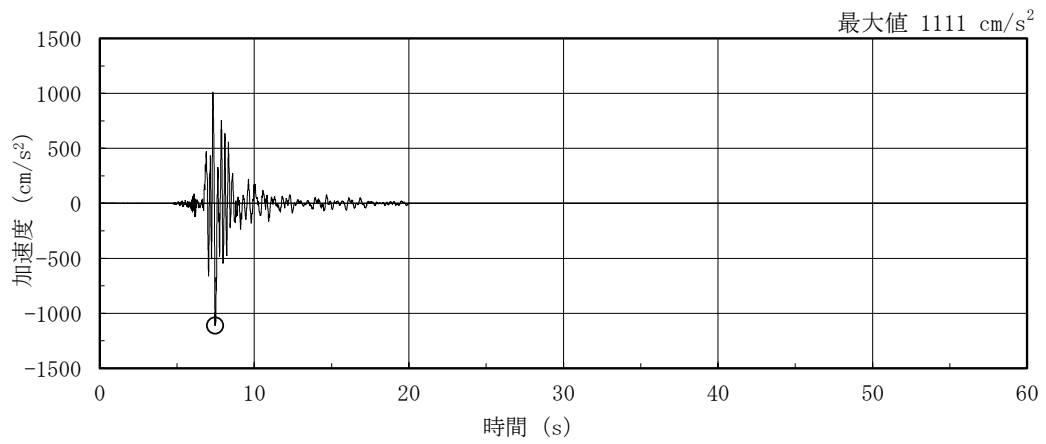


(a) NS方向

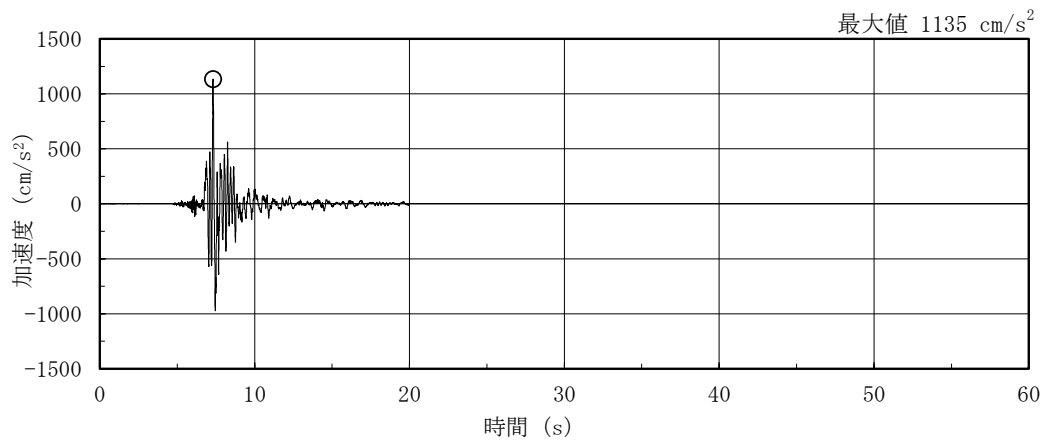


(b) EW方向

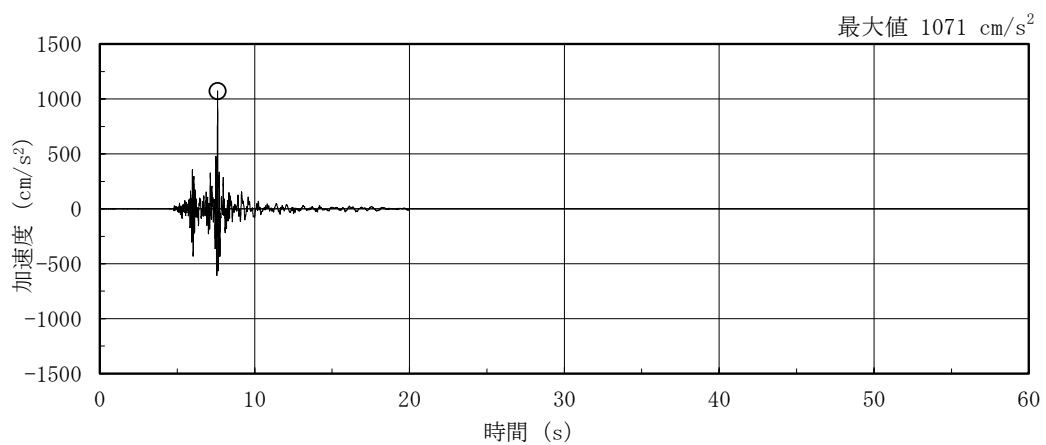
図 4-29 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 2, ケース 2, 回転成分)



(a) NS方向

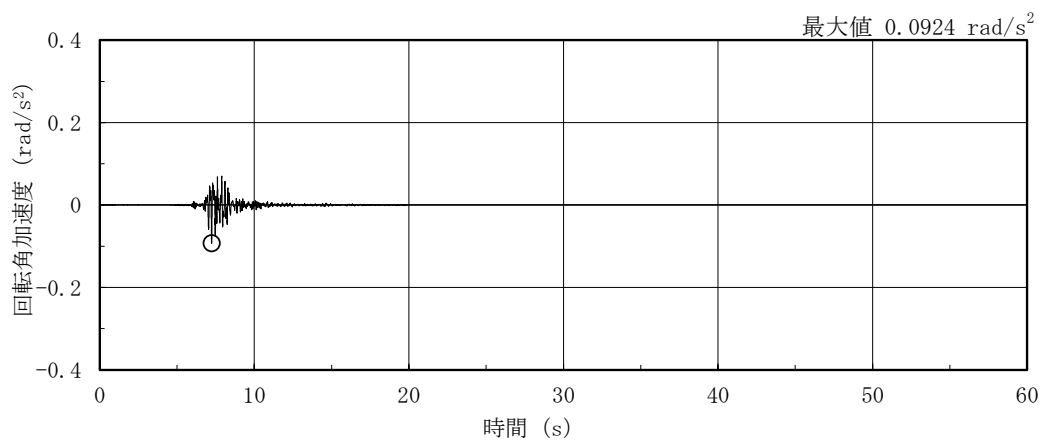


(b) EW方向

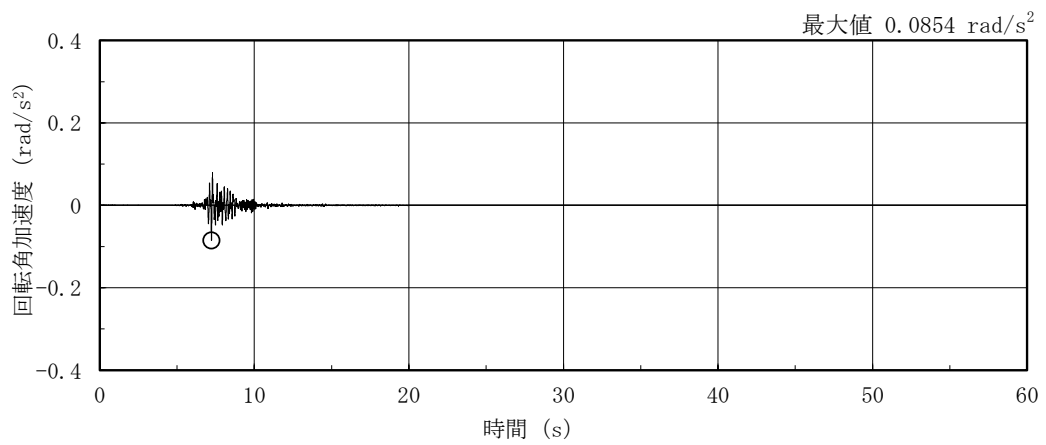


(c) 鉛直方向

図 4-30 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 1, ケース 2, 水平, 鉛直成分)

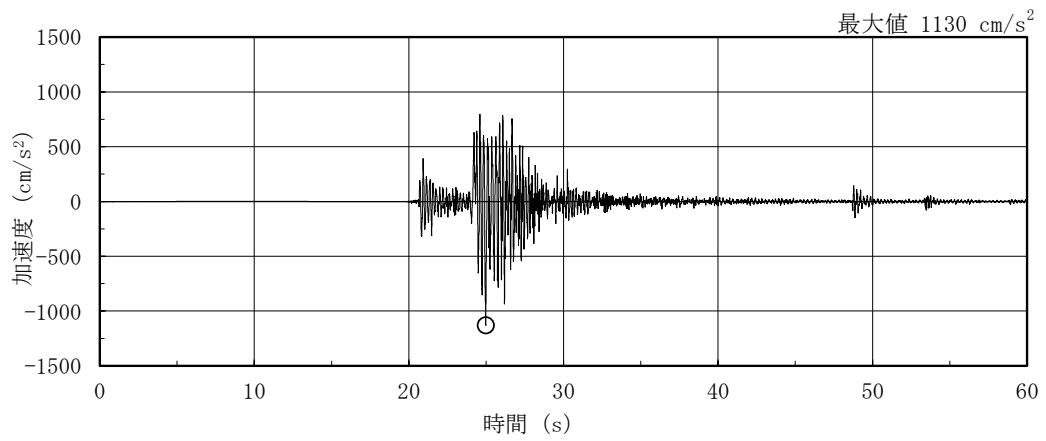


(a) NS方向

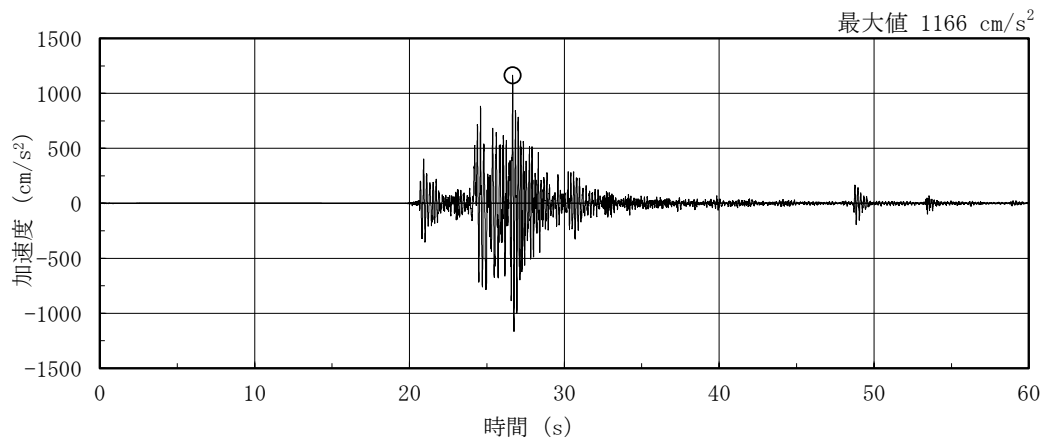


(b) EW方向

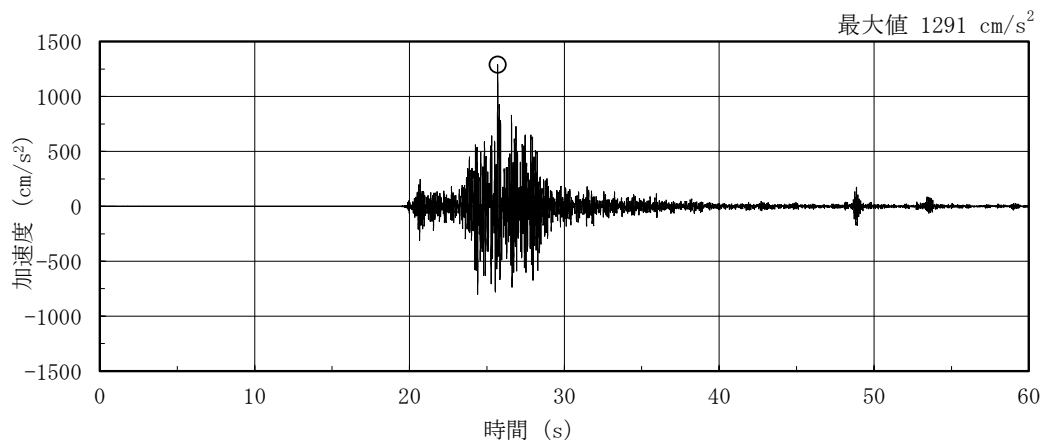
図 4-31 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 1, ケース 2, 回転成分)



(a) NS方向 (S_s - N₂NS)

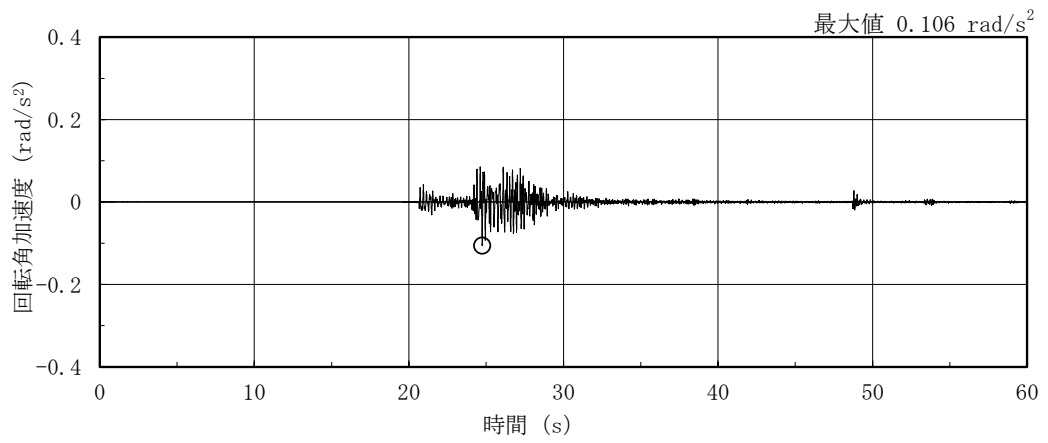


(b) EW方向 (S_s - N₂NS)

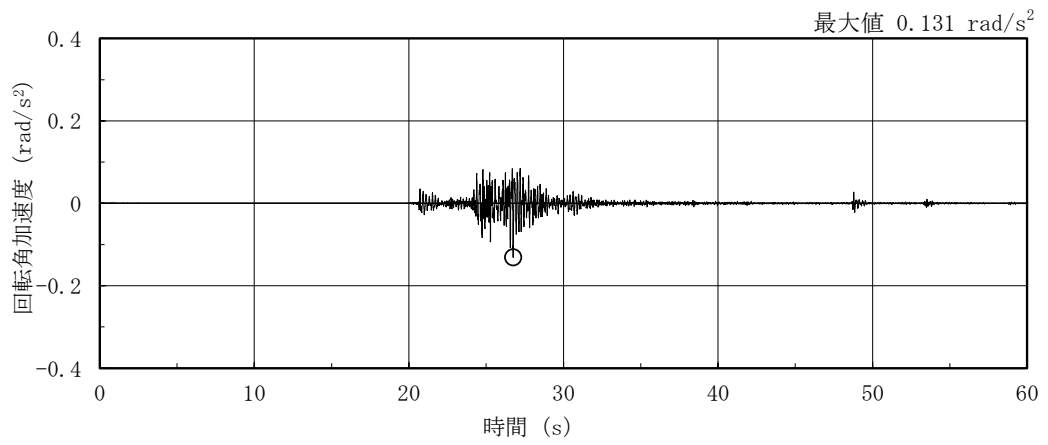


(c) 鉛直方向

図 4-32 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S_s - N₂, ケース 2, 水平, 鉛直成分)

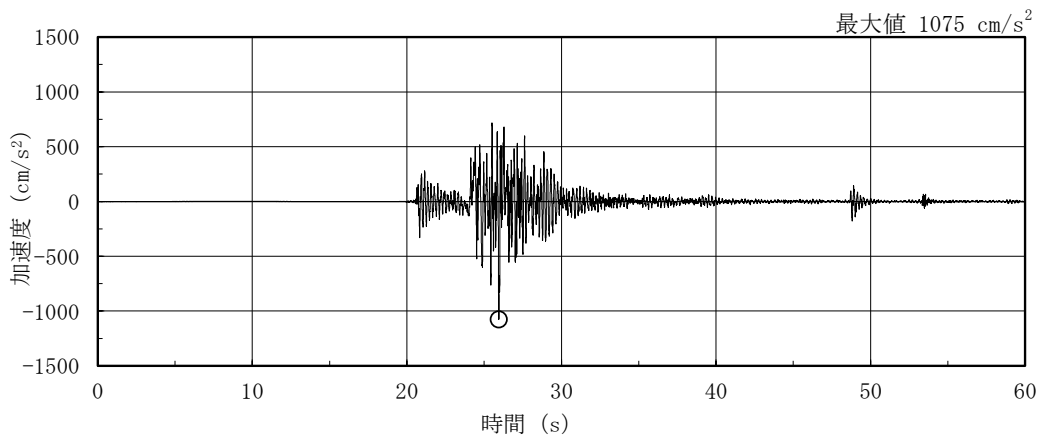


(a) NS方向 (S_s - N₂NS)

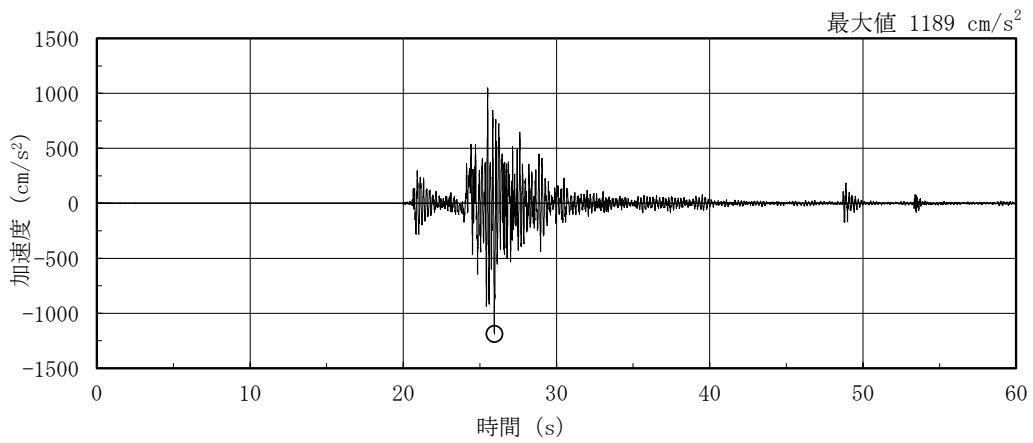


(b) EW方向 (S_s - N₂NS)

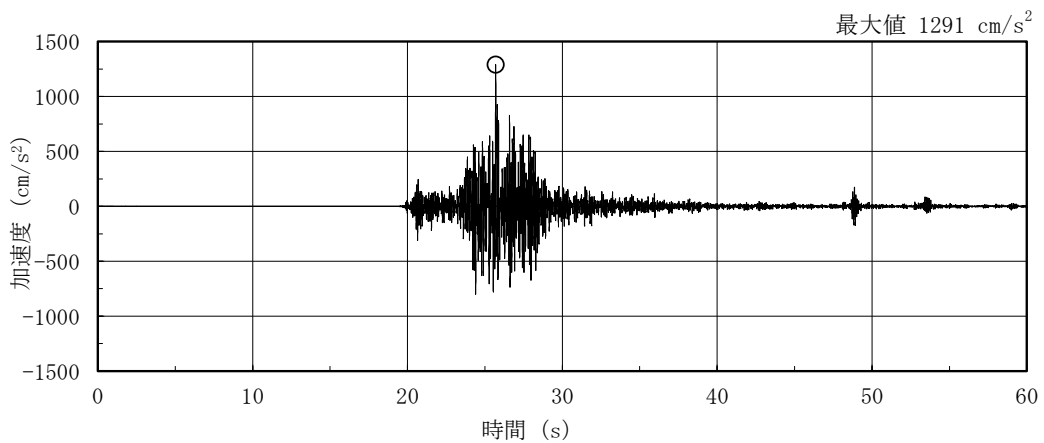
図 4-33 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S_s - N₂, ケース 2, 回転成分)



(a) NS方向 (S s - N 2 EW)

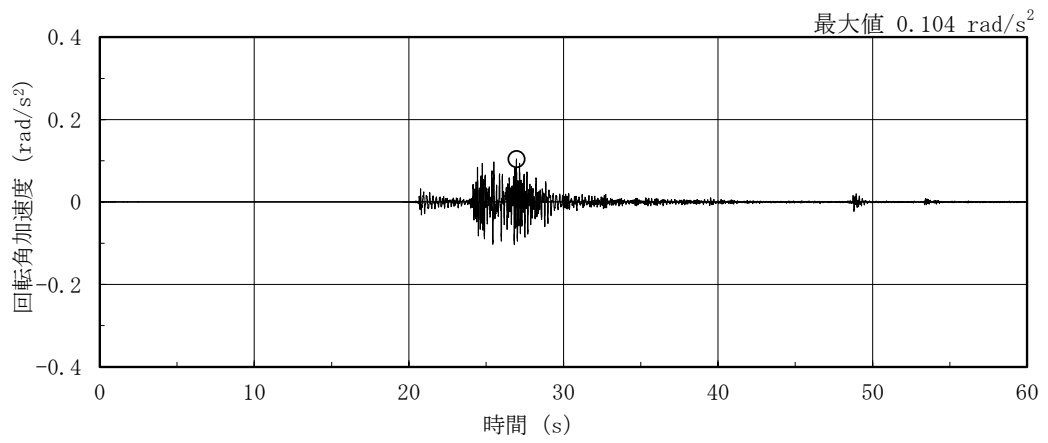


(b) EW方向 (S s - N 2 EW)

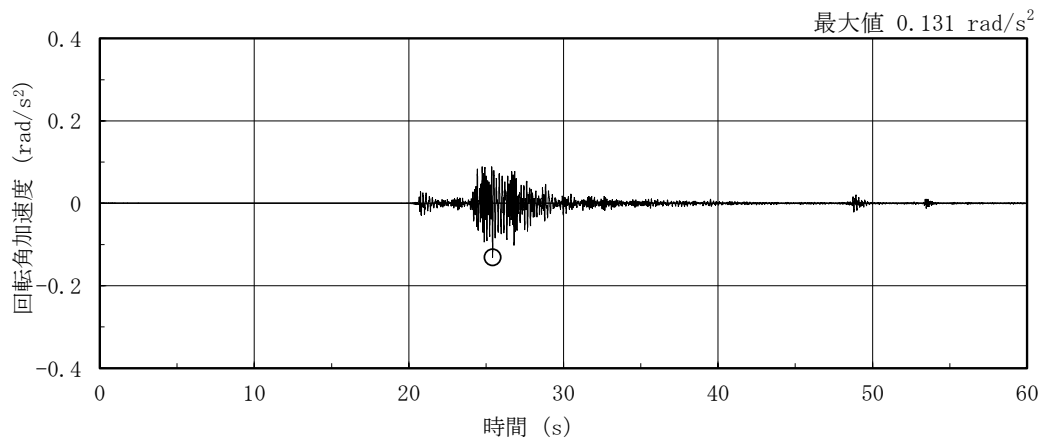


(c) 鉛直方向

図 4-34 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 2, 水平, 鉛直成分)

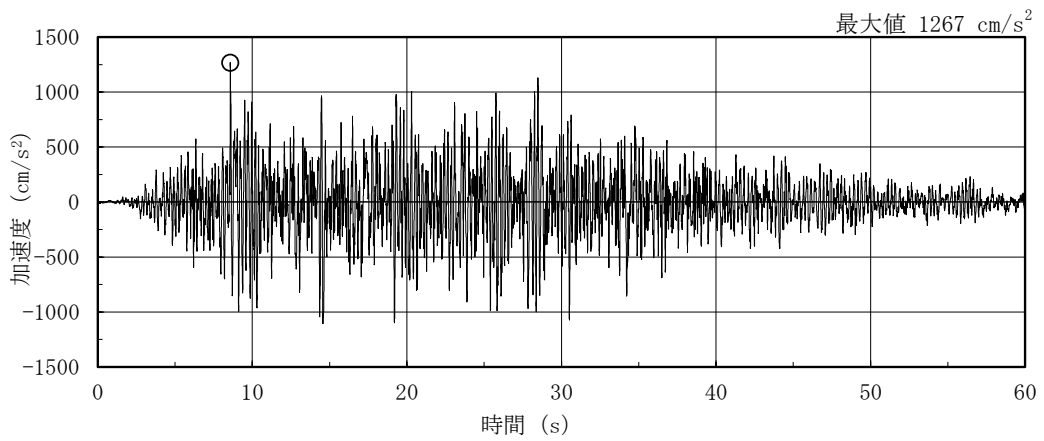


(a) NS方向 (S s - N 2 EW)

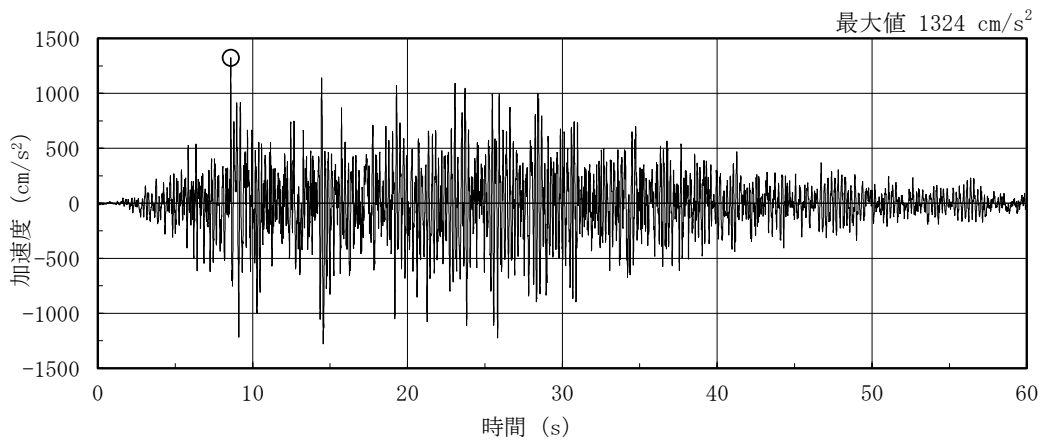


(b) EW方向 (S s - N 2 EW)

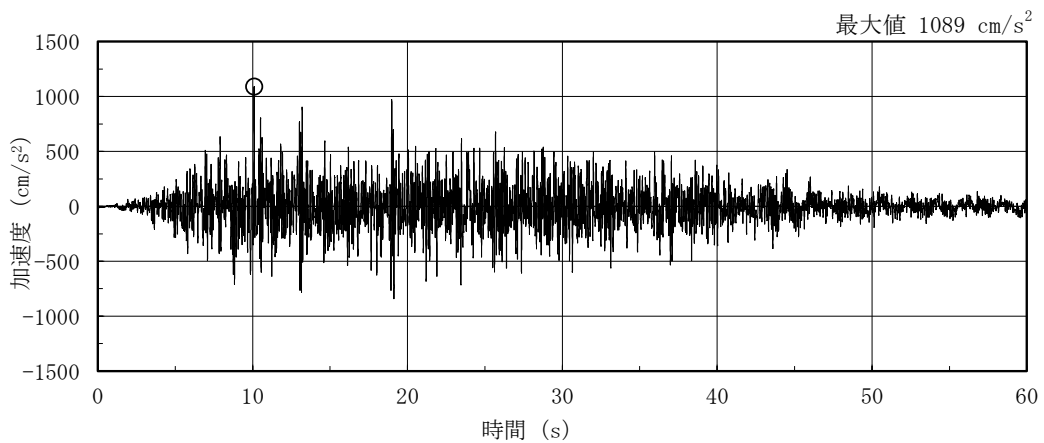
図 4-35 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 2, 回転成分)



(a) NS方向

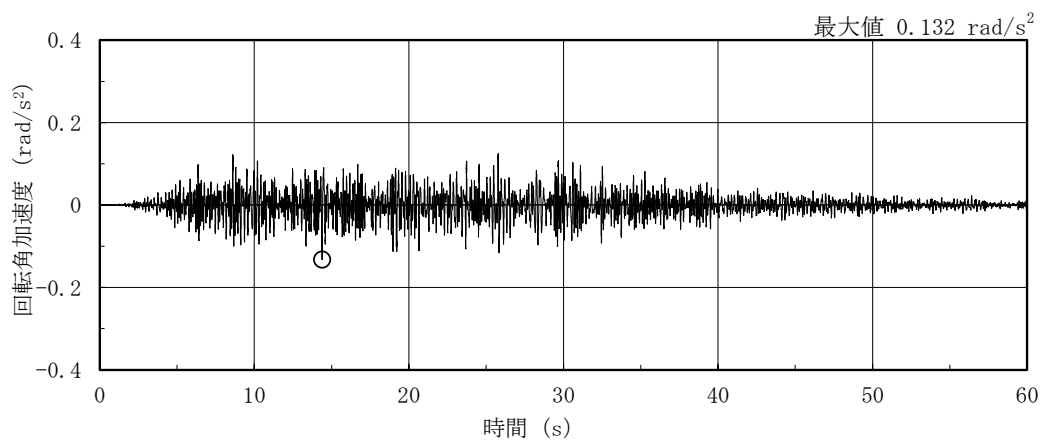


(b) EW方向

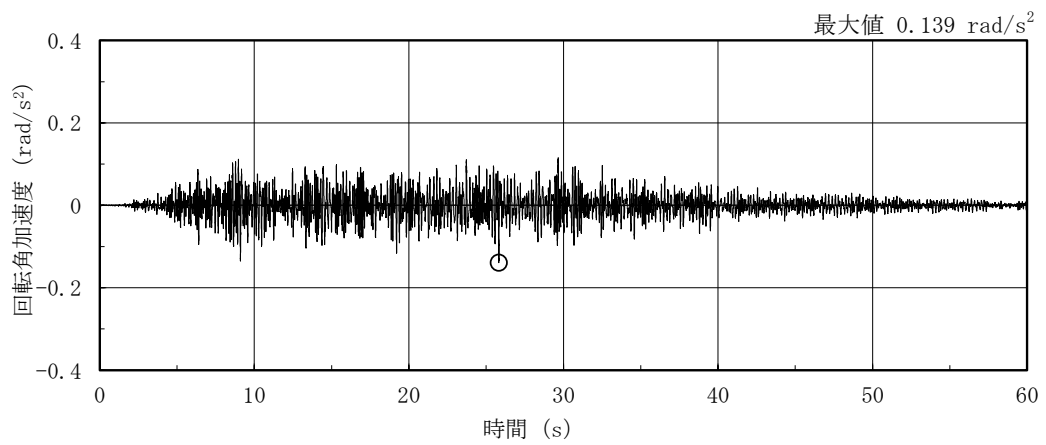


(c) 鉛直方向

図 4-36 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - D, ケース 3, 水平, 鉛直成分)

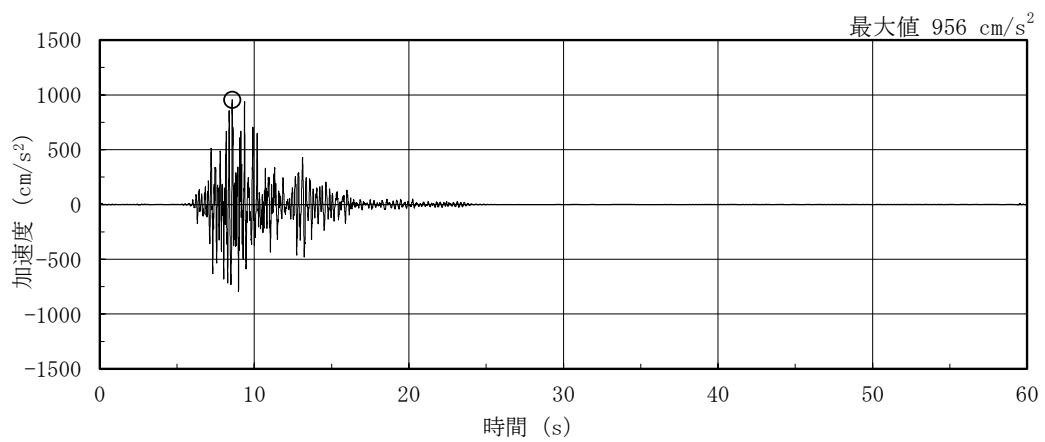


(a) NS方向

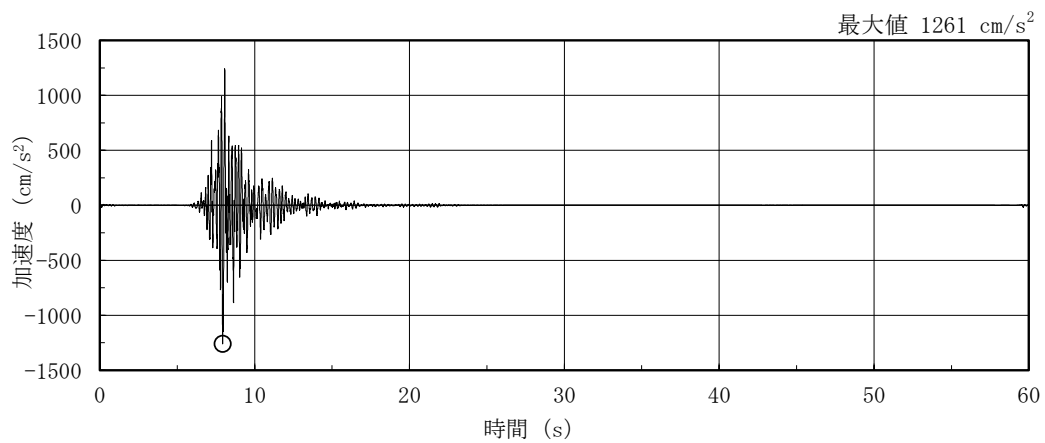


(b) EW方向

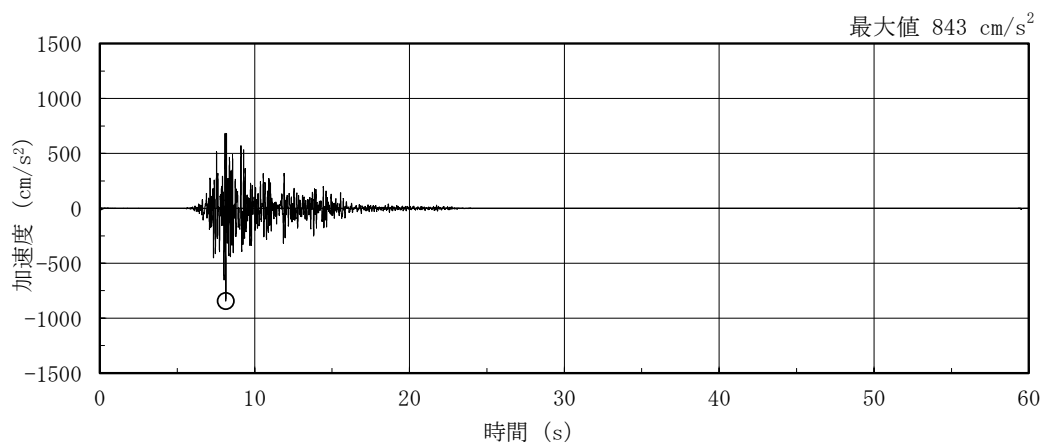
図 4-37 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s-D, ケース 3, 回転成分)



(a) NS方向

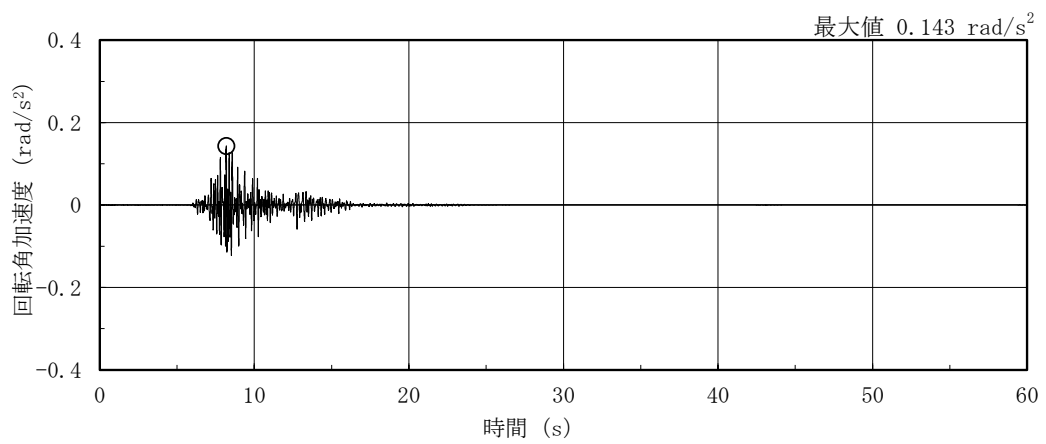


(b) EW方向

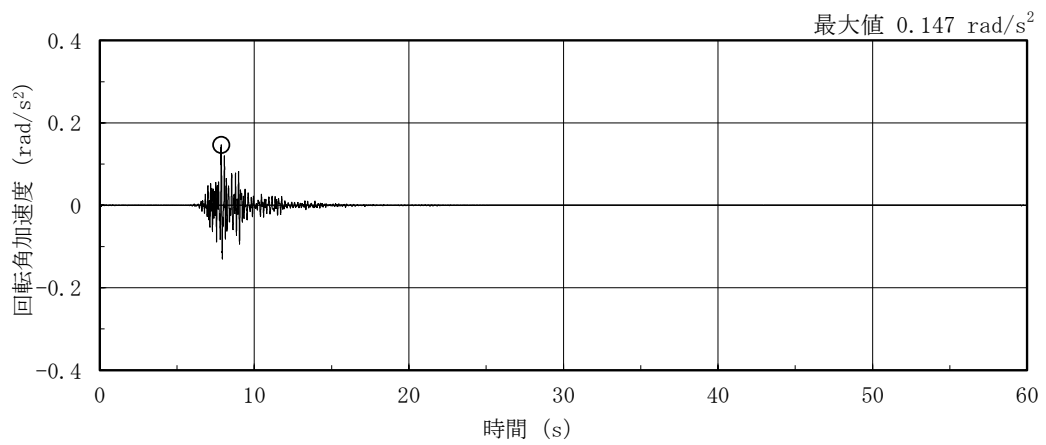


(c) 鉛直方向

図 4-38 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 1, ケース 3, 水平, 鉛直成分)

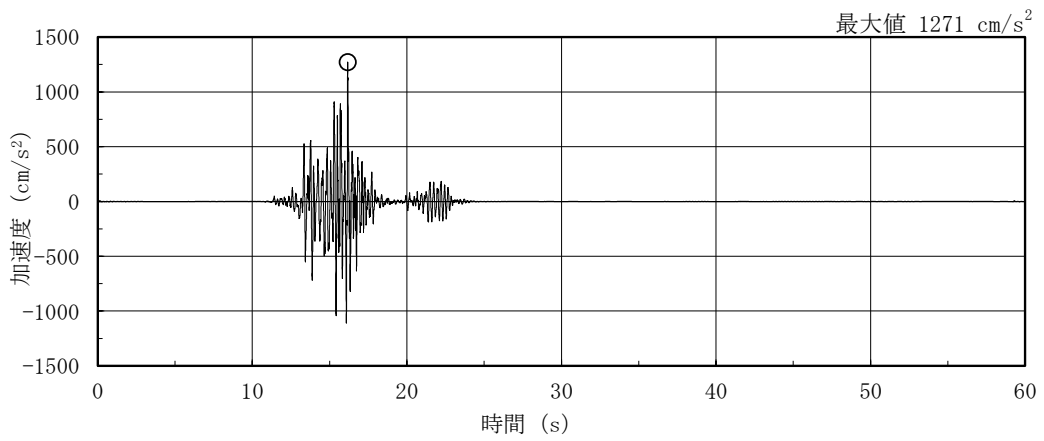


(a) NS方向

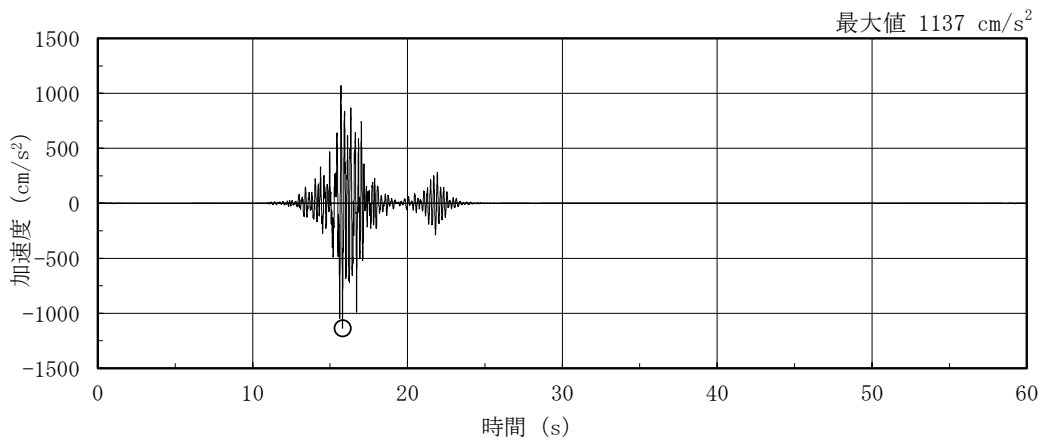


(b) EW方向

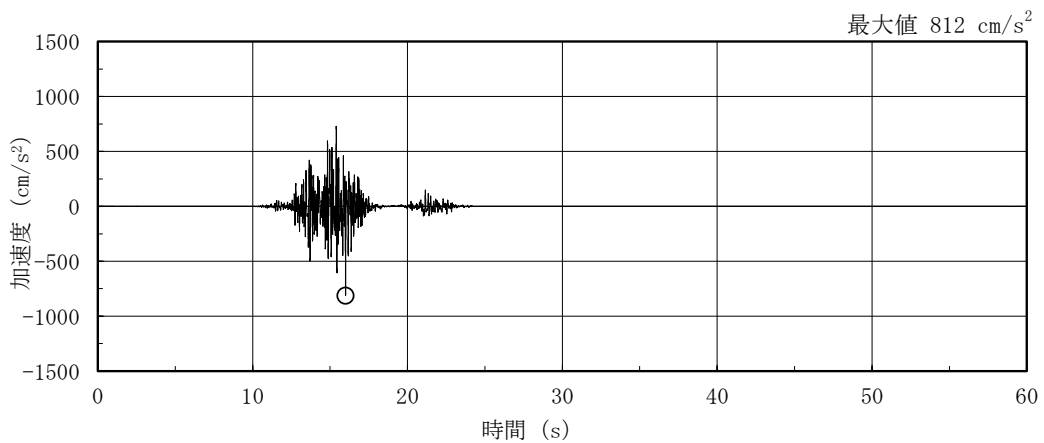
図 4-39 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 1, ケース 3, 回転成分)



(a) NS方向

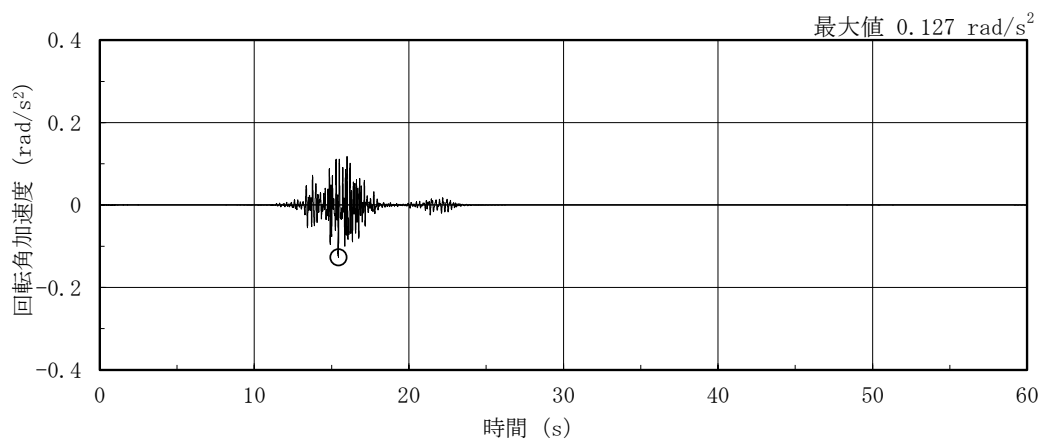


(b) EW方向

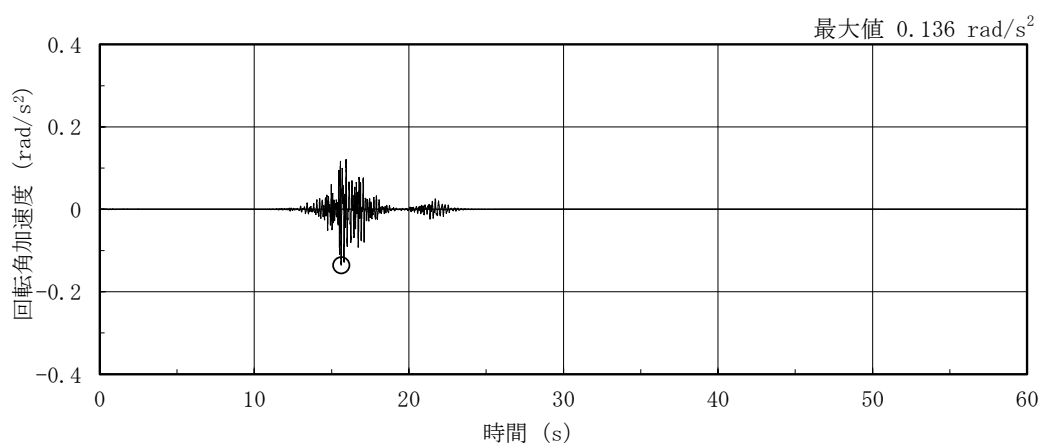


(c) 鉛直方向

図 4-40 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 2, ケース 3, 水平, 鉛直成分)

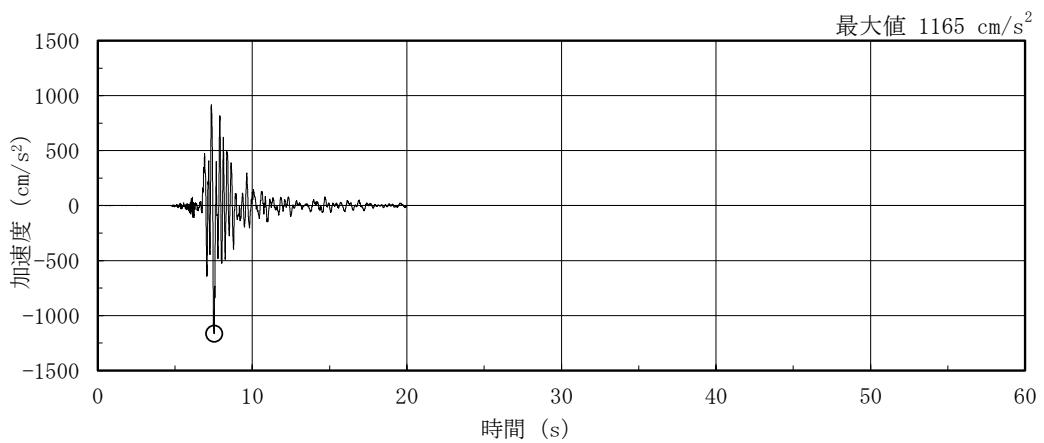


(a) NS方向

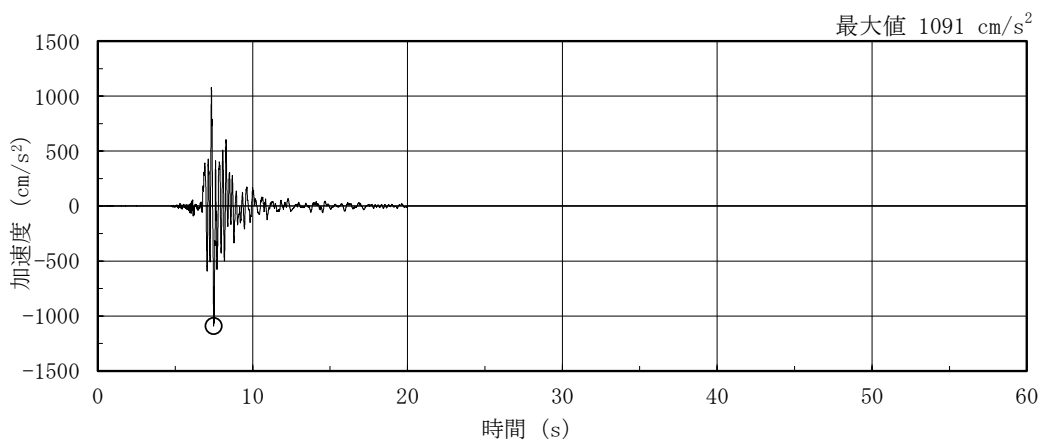


(b) EW方向

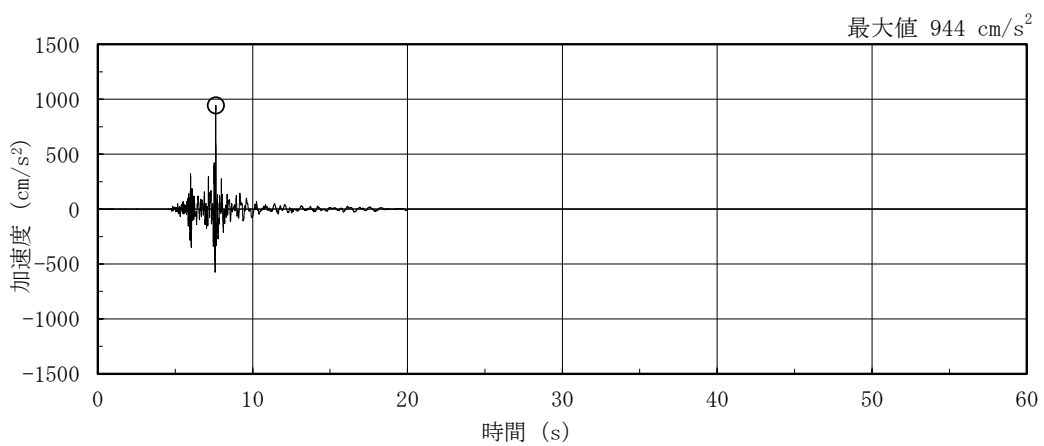
図 4-41 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 2, ケース 3, 回転成分)



(a) NS方向

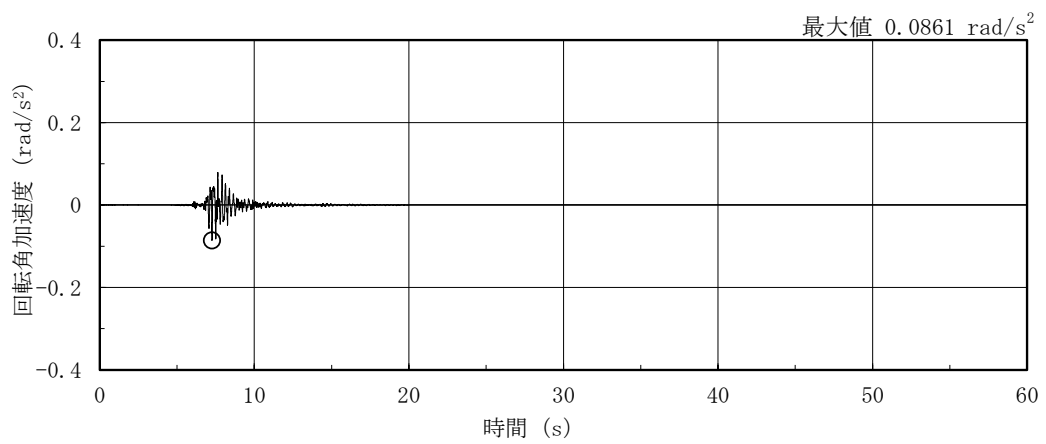


(b) EW方向

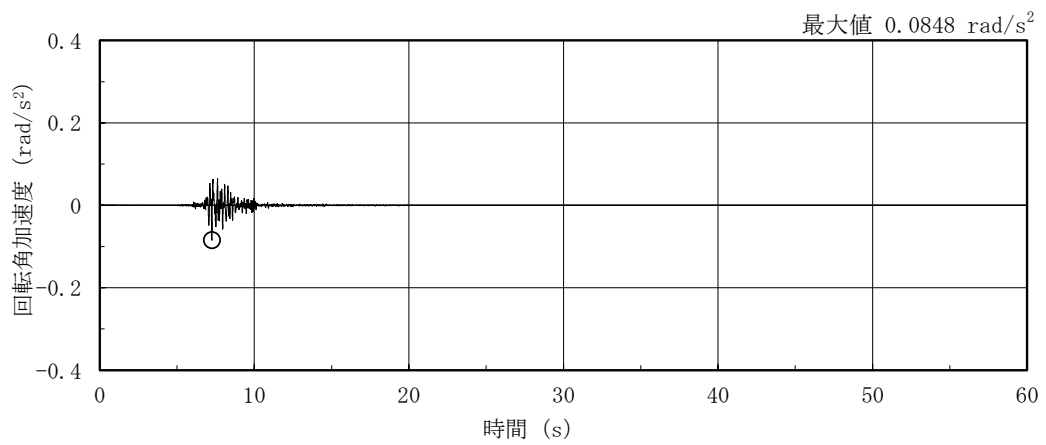


(c) 鉛直方向

図 4-42 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 1, ケース 3, 水平, 鉛直成分)

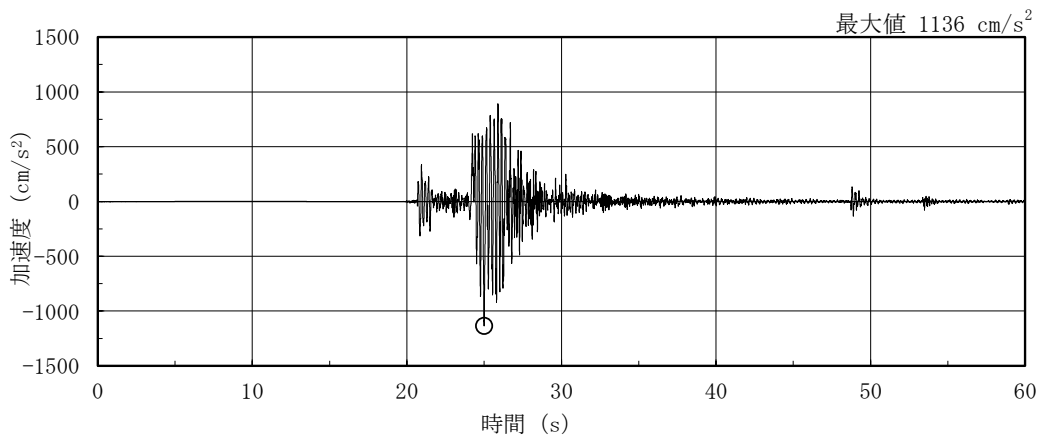


(a) NS方向

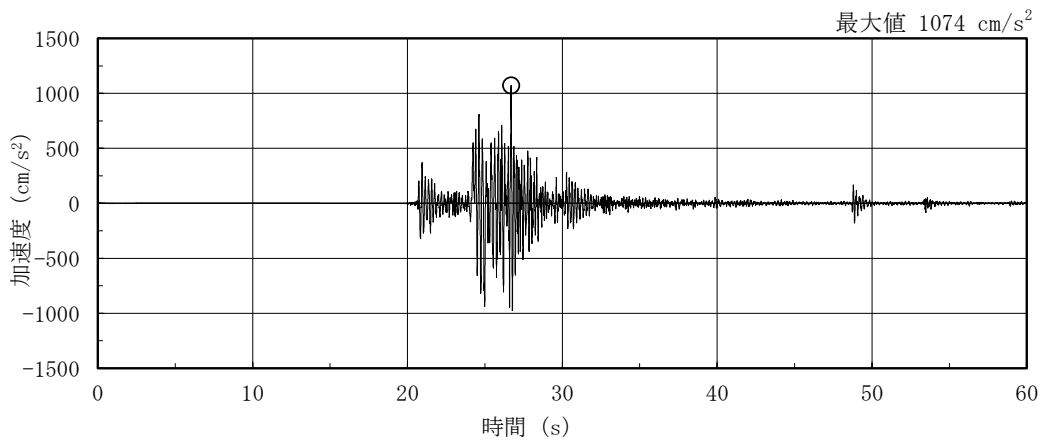


(b) EW方向

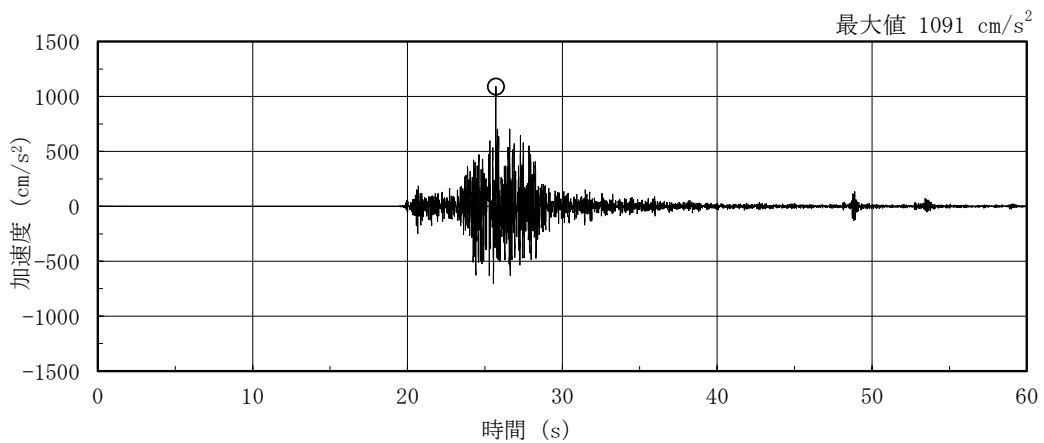
図 4-43 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 1, ケース 3, 回転成分)



(a) NS方向 (S s - N 2 N S)

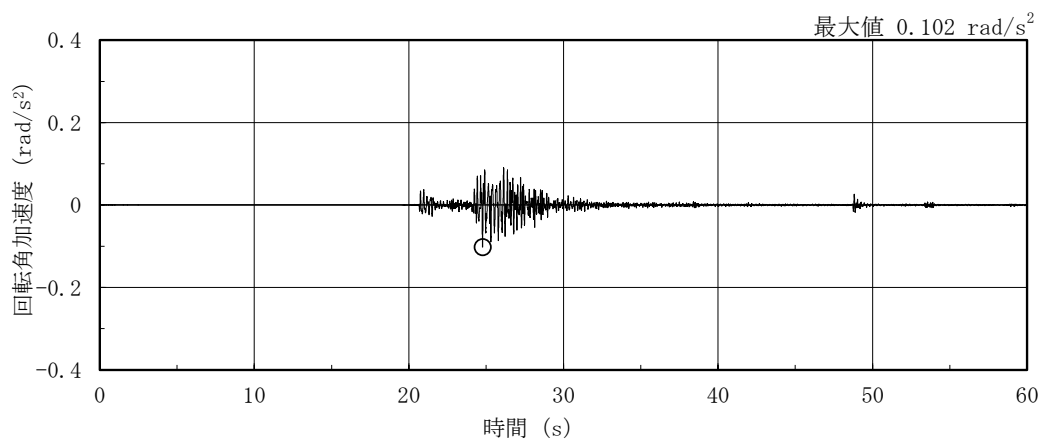


(b) EW方向 (S s - N 2 N S)

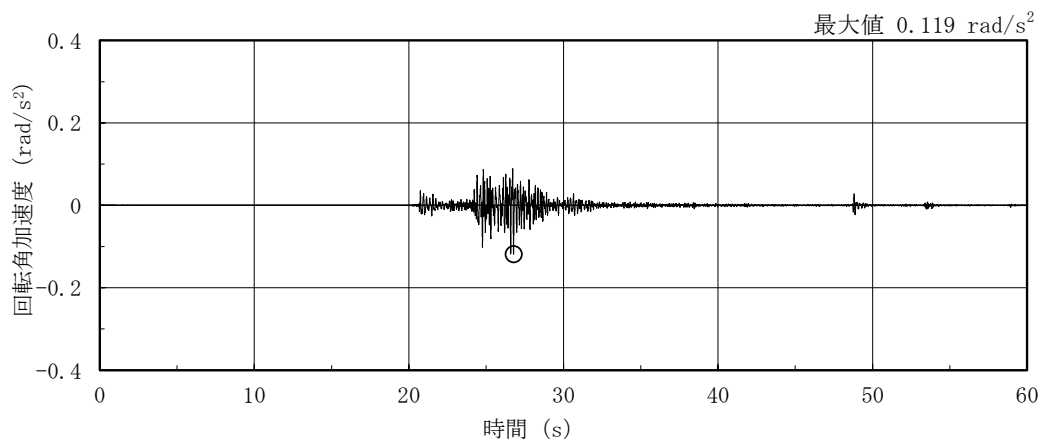


(c) 鉛直方向

図 4-44 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 3, 水平, 鉛直成分)

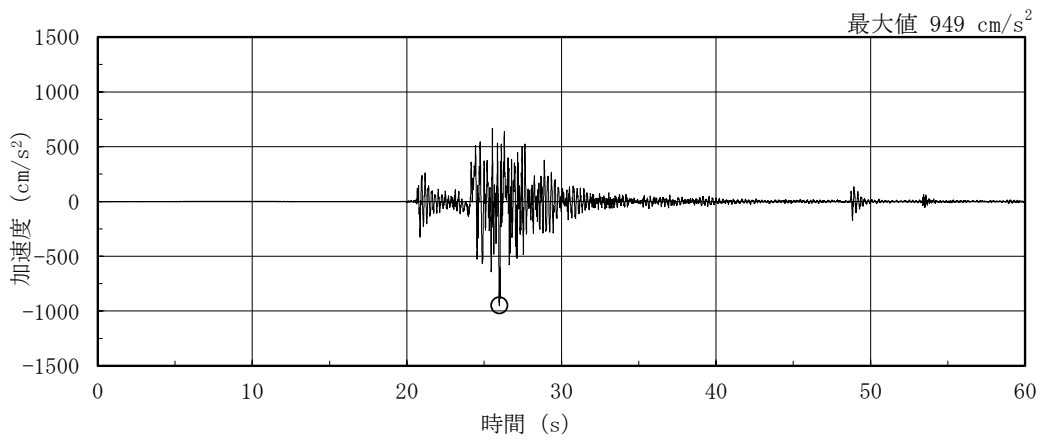


(a) NS方向 (S_s - N₂NS)

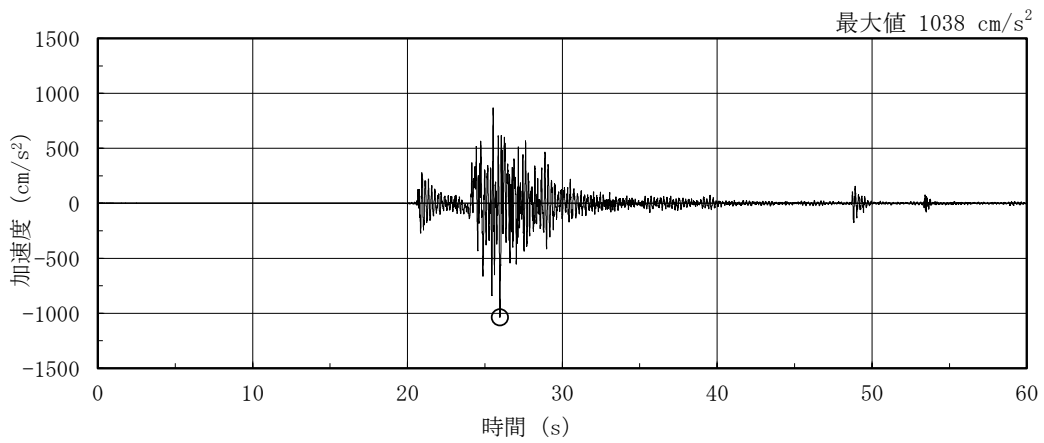


(b) EW方向 (S_s - N₂NS)

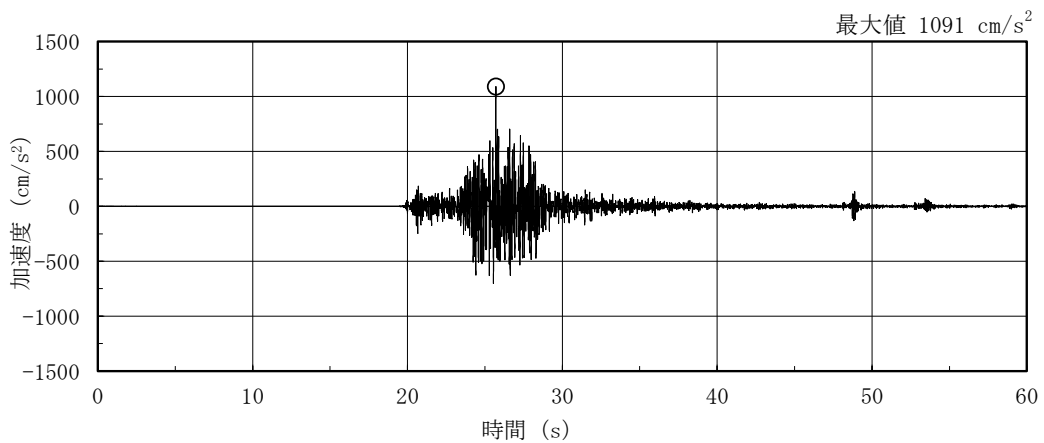
図 4-45 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S_s - N₂, ケース 3, 回転成分)



(a) NS方向 (S s - N 2 EW)

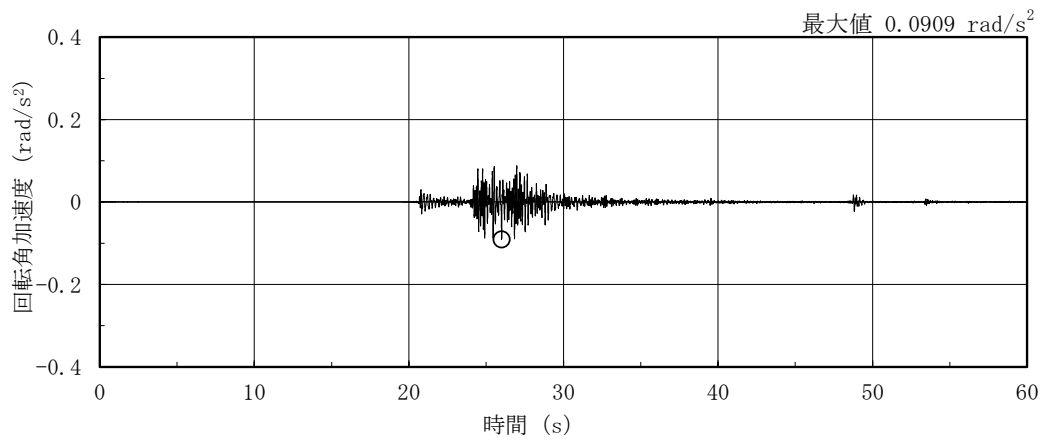


(b) EW方向 (S s - N 2 EW)

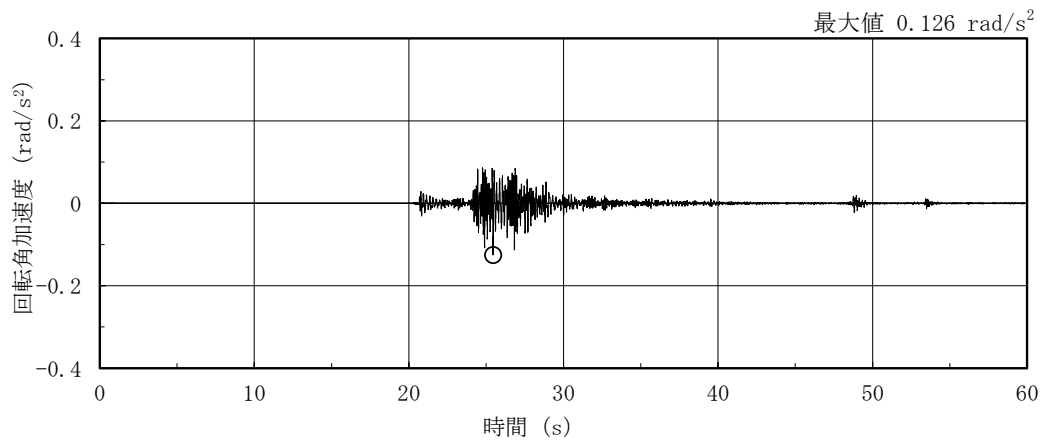


(c) 鉛直方向

図 4-46 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 3, 水平, 鉛直成分)

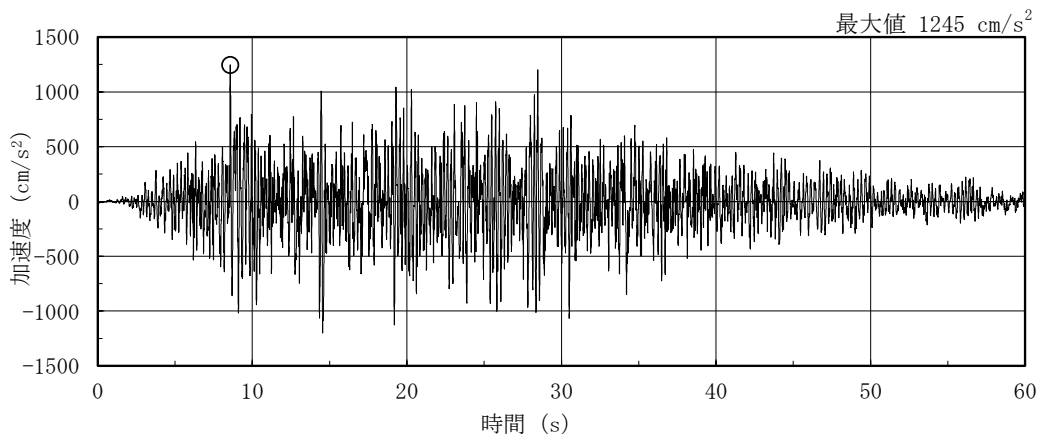


(a) NS方向 (S s - N 2 EW)

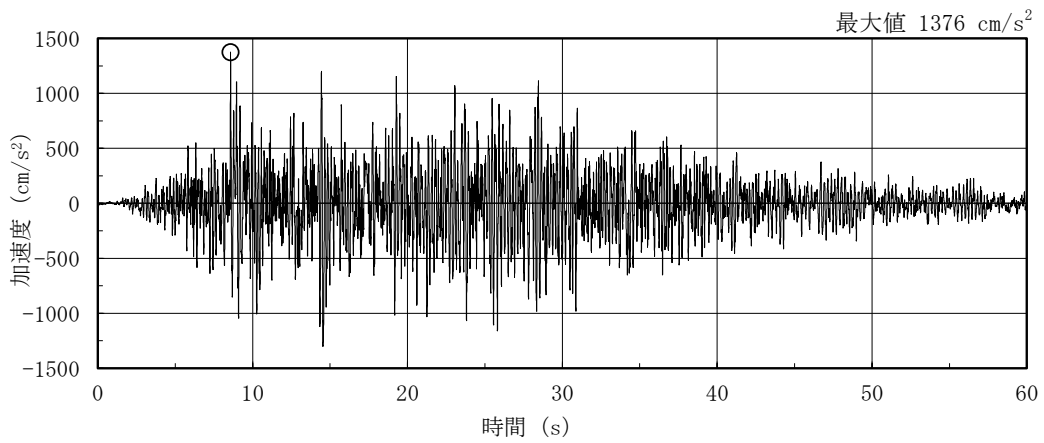


(b) EW方向 (S s - N 2 EW)

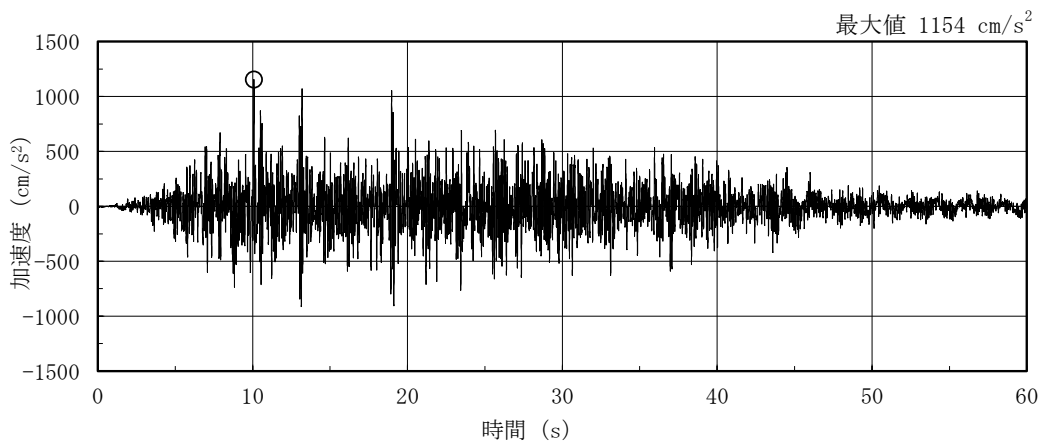
図 4-47 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 3, 回転成分)



(a) NS方向

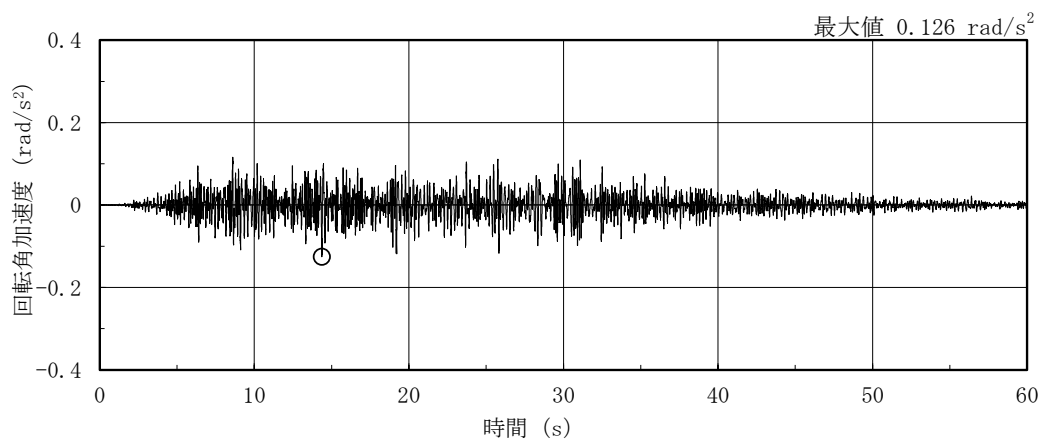


(b) EW方向

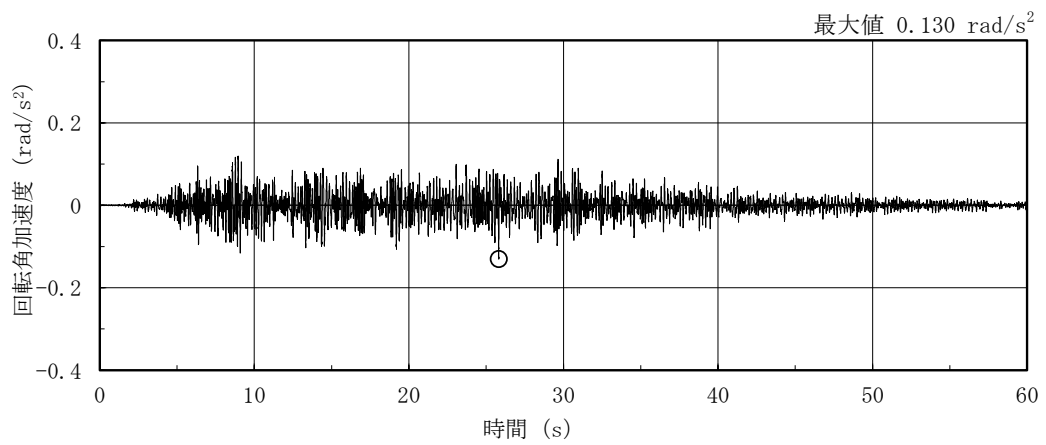


(c) 鉛直方向

図 4-48 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - D, ケース 4, 水平, 鉛直成分)

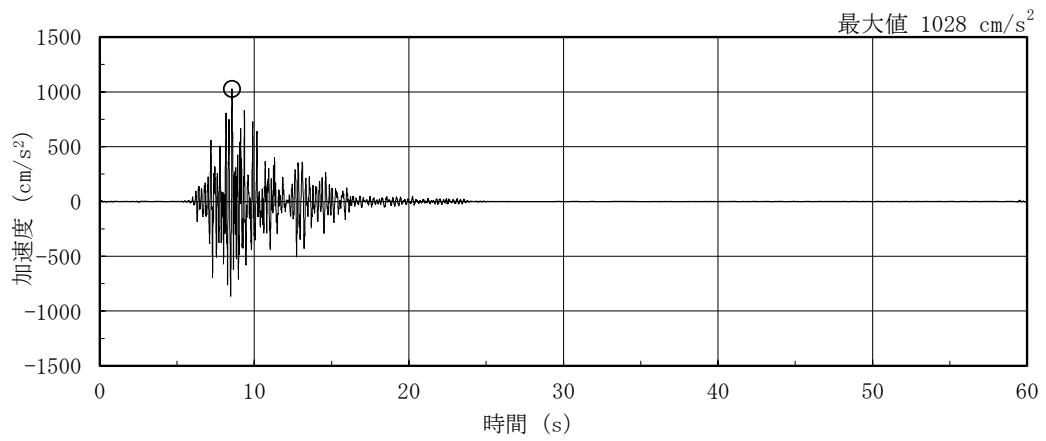


(a) NS方向

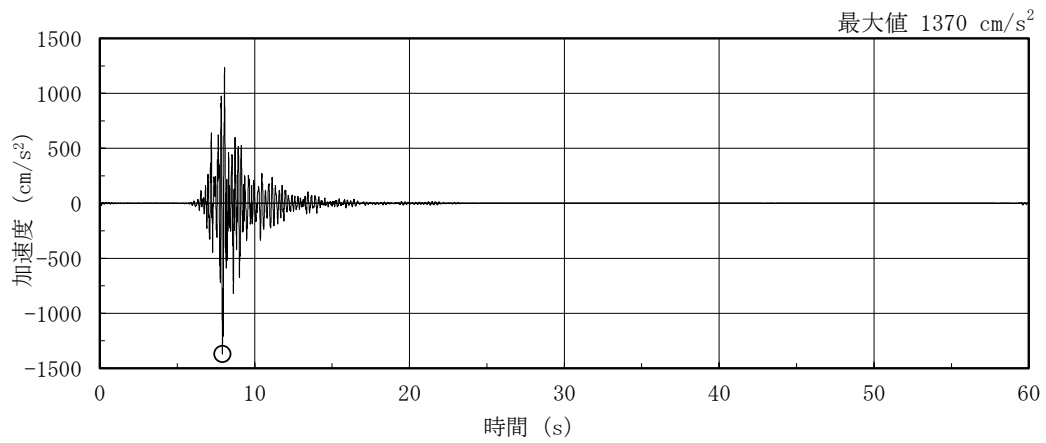


(b) EW方向

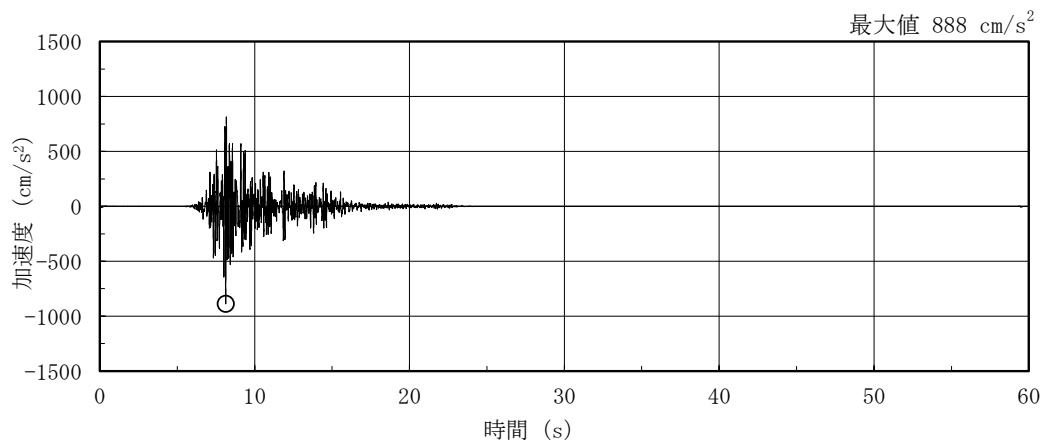
図 4-49 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s-D, ケース 4, 回転成分)



(a) NS方向

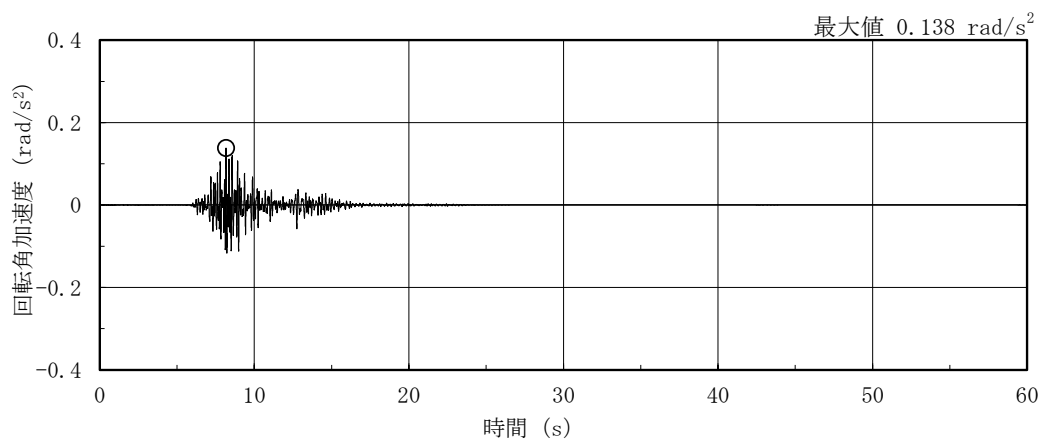


(b) EW方向

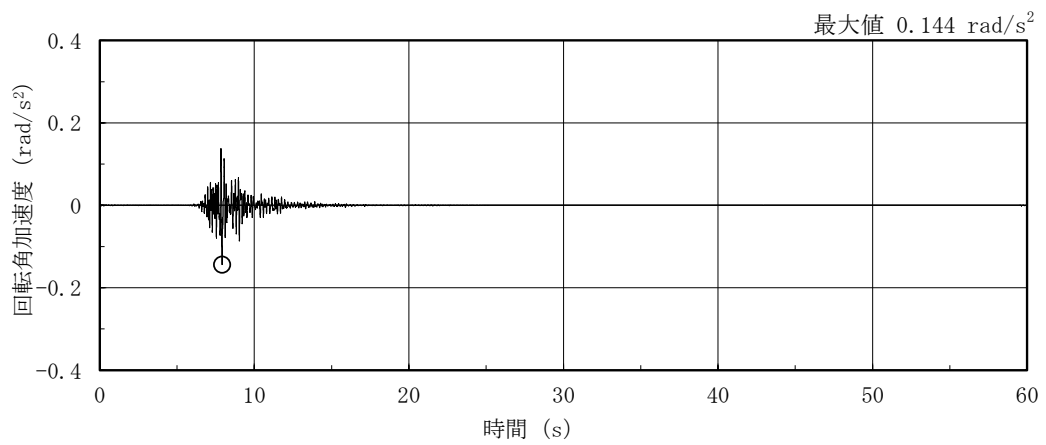


(c) 鉛直方向

図 4-50 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 1, ケース 4, 水平, 鉛直成分)

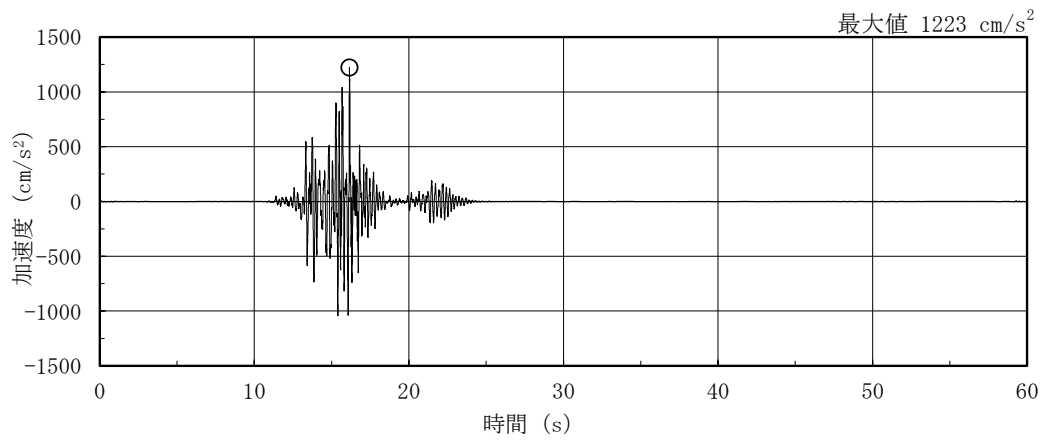


(a) NS方向

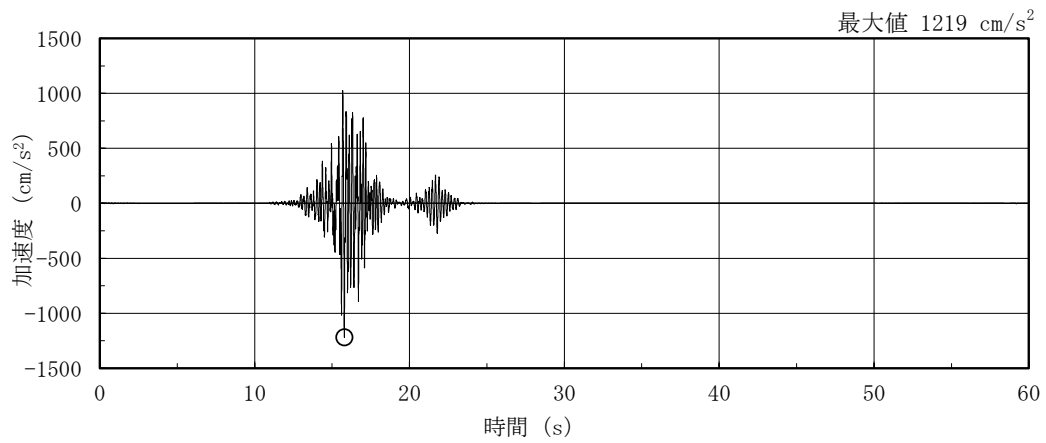


(b) EW方向

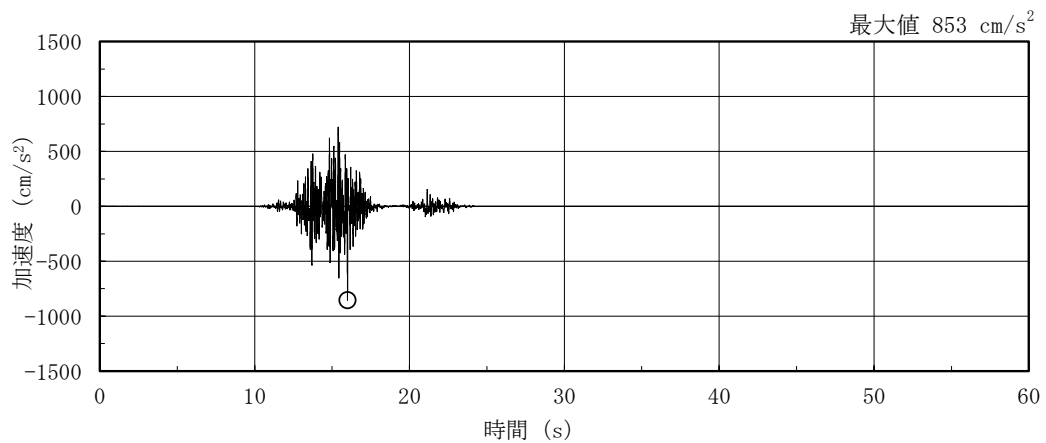
図 4-51 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 1, ケース 4, 回転成分)



(a) NS方向

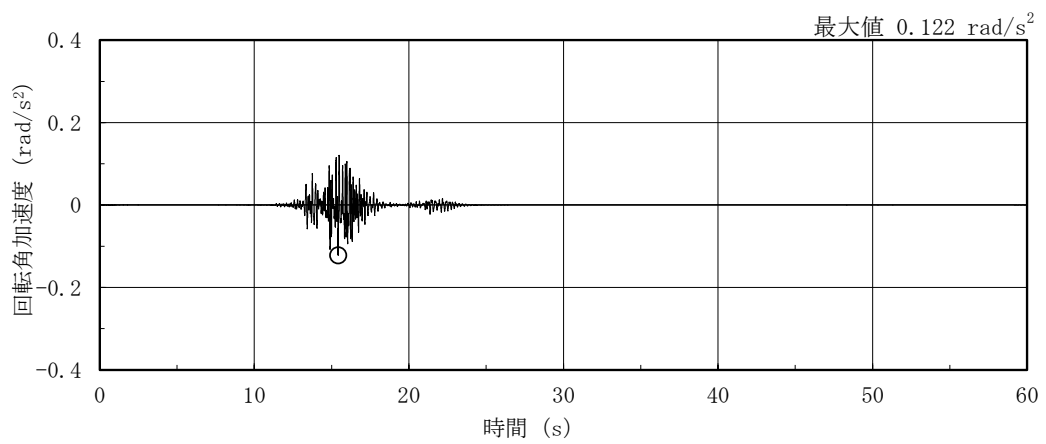


(b) EW方向

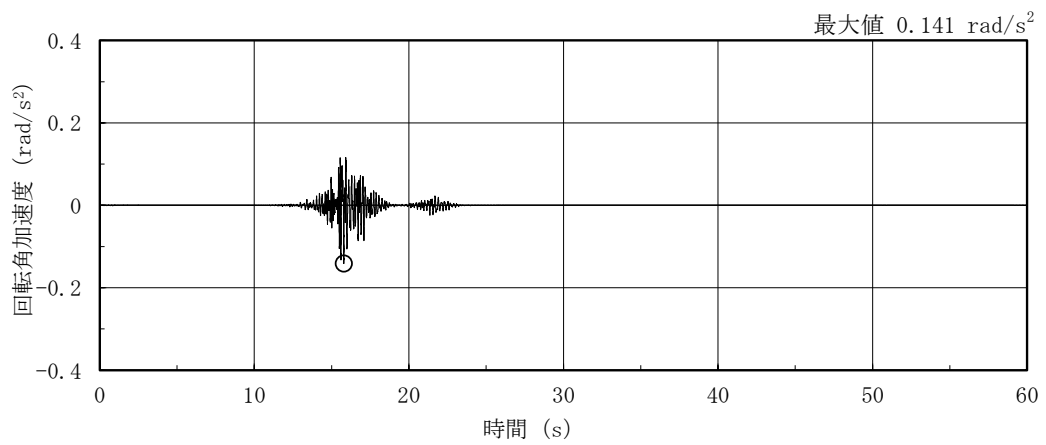


(c) 鉛直方向

図 4-52 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 2, ケース 4, 水平, 鉛直成分)

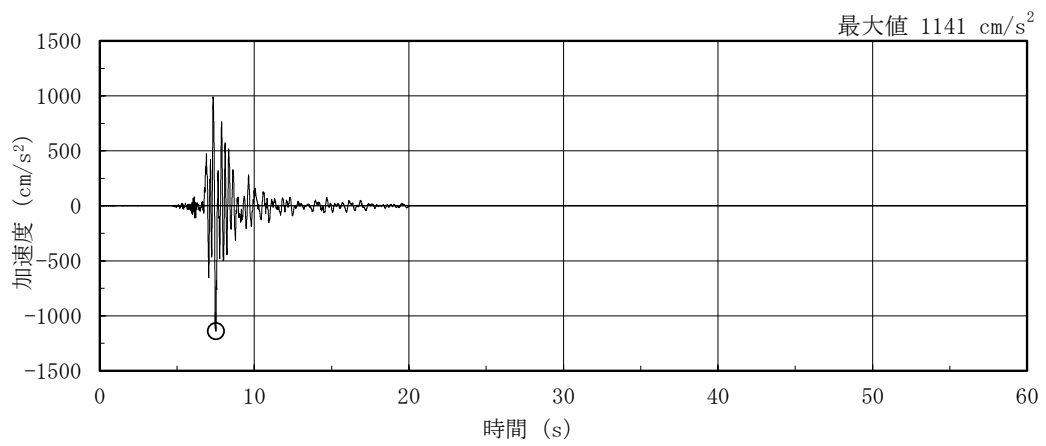


(a) NS方向

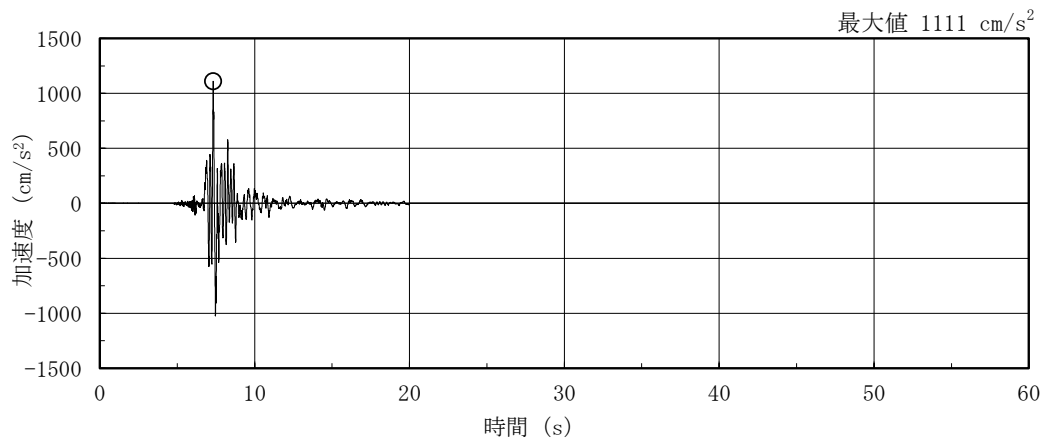


(b) EW方向

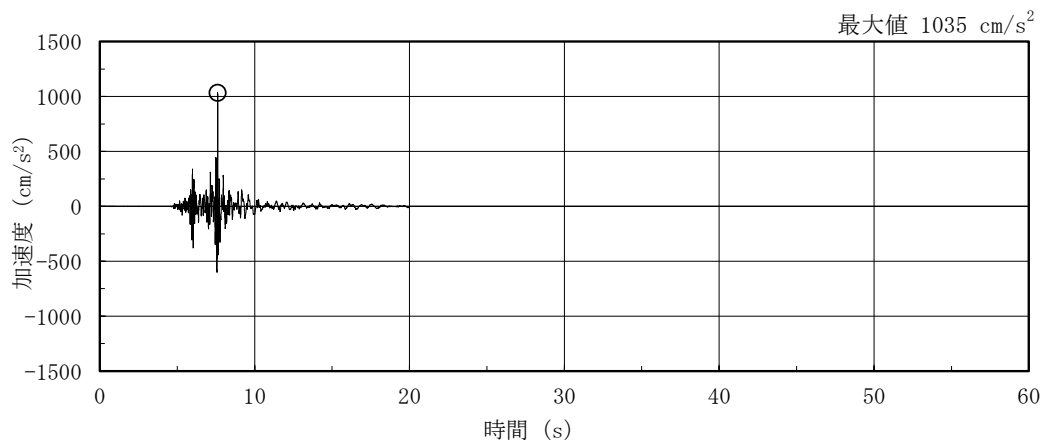
図 4-53 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - F 2, ケース 4, 回転成分)



(a) NS方向

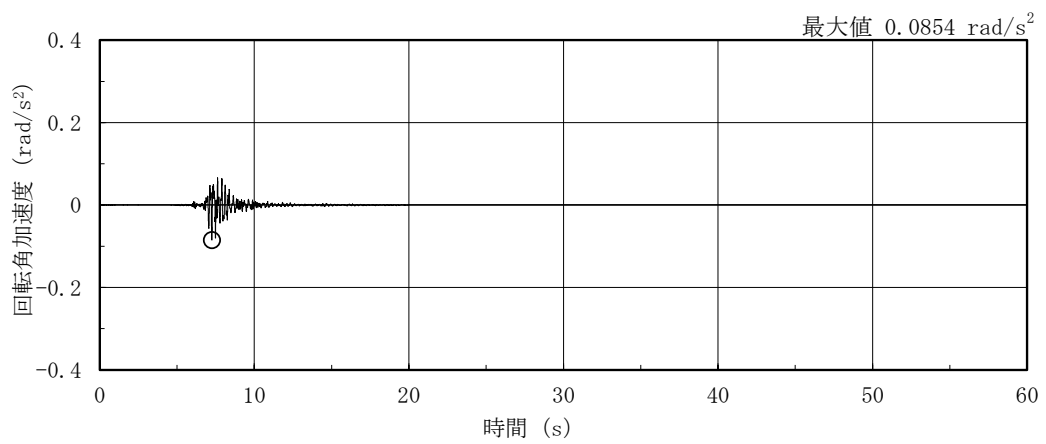


(b) EW方向

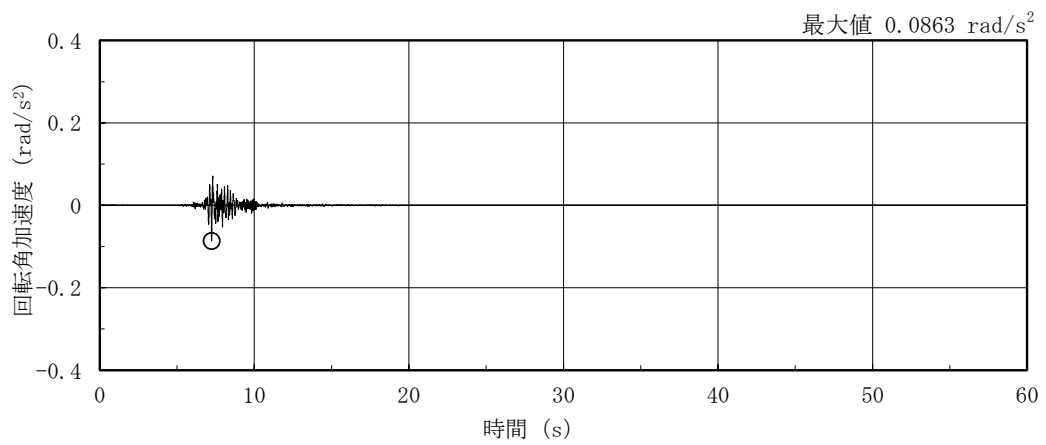


(c) 鉛直方向

図 4-54 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 1, ケース 4, 水平, 鉛直成分)

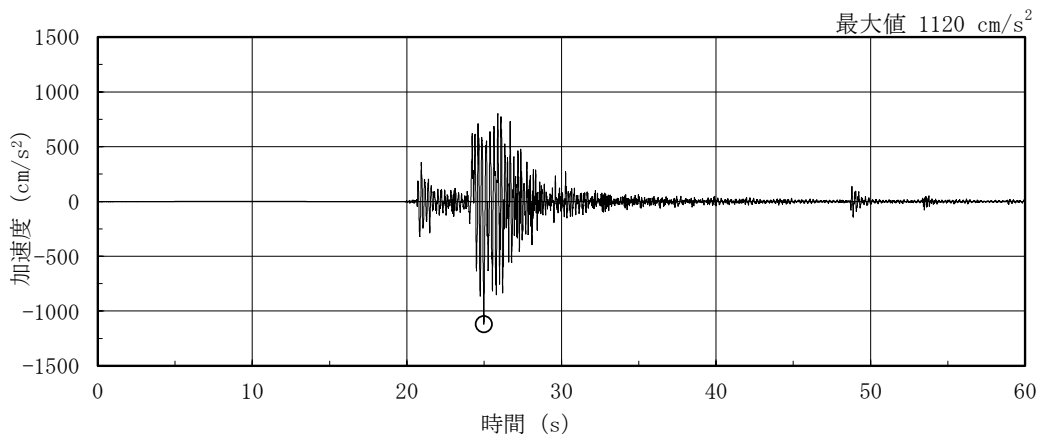


(a) NS方向

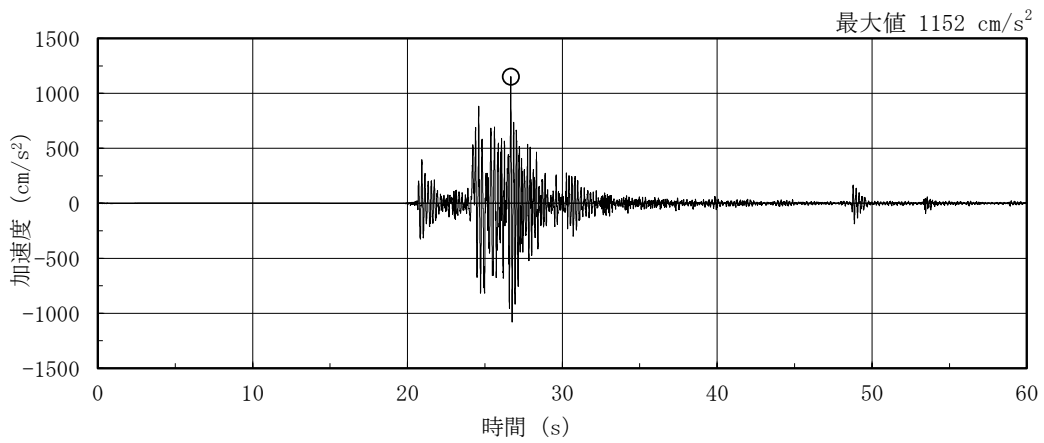


(b) EW方向

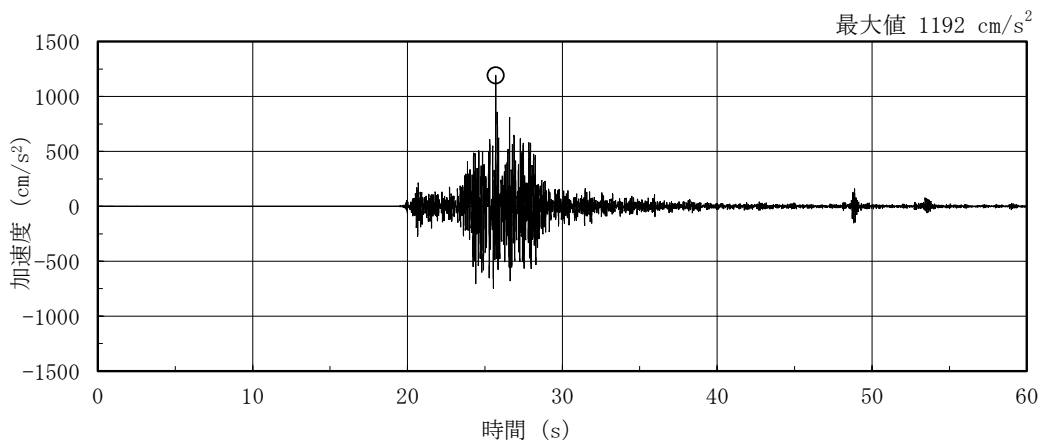
図 4-55 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 1, ケース 4, 回転成分)



(a) NS方向 (S_s - N₂NS)

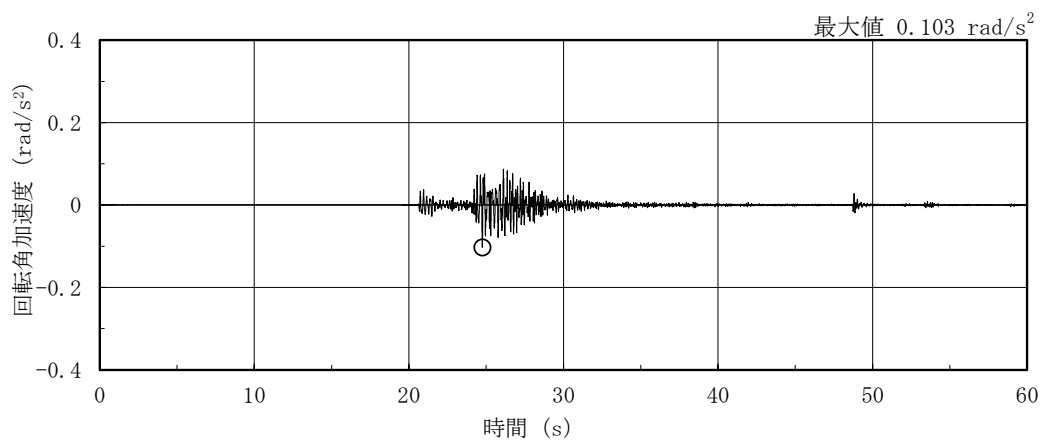


(b) EW方向 (S_s - N₂NS)

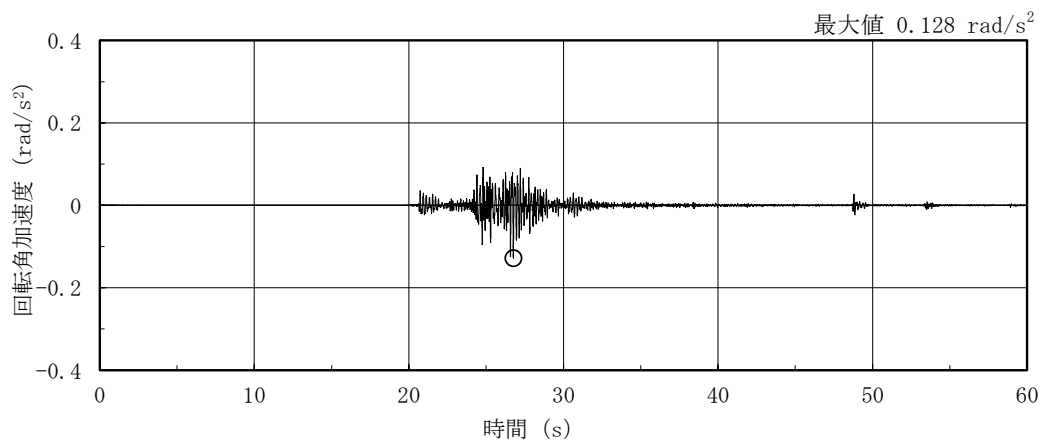


(c) 鉛直方向

図 4-56 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S_s - N₂, ケース 4, 水平, 鉛直成分)

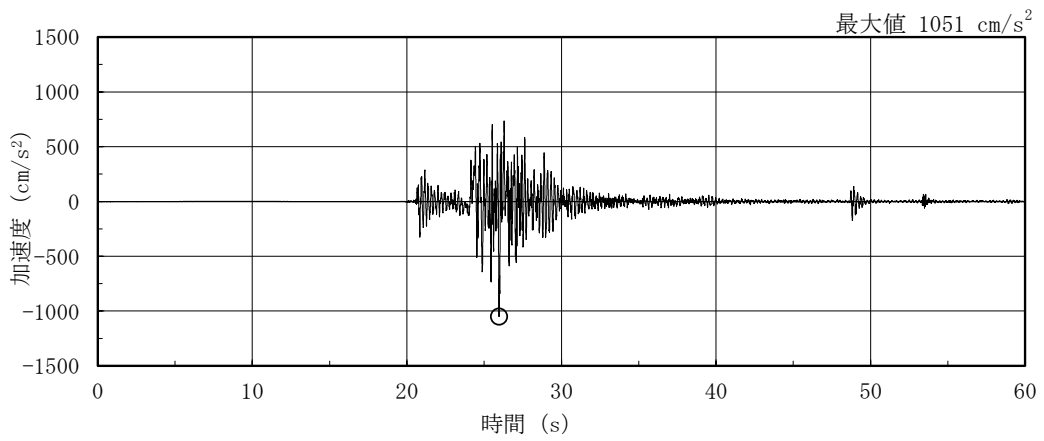


(a) NS方向 (S_s - N₂NS)

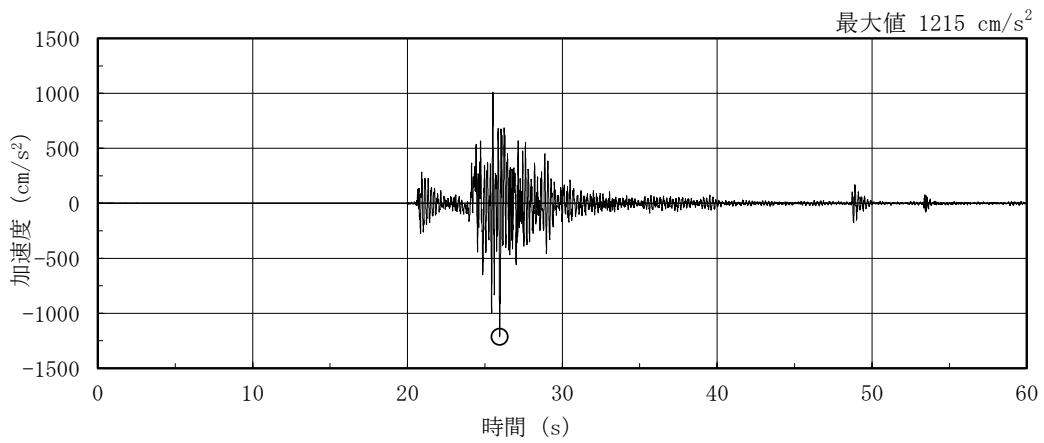


(b) EW方向 (S_s - N₂NS)

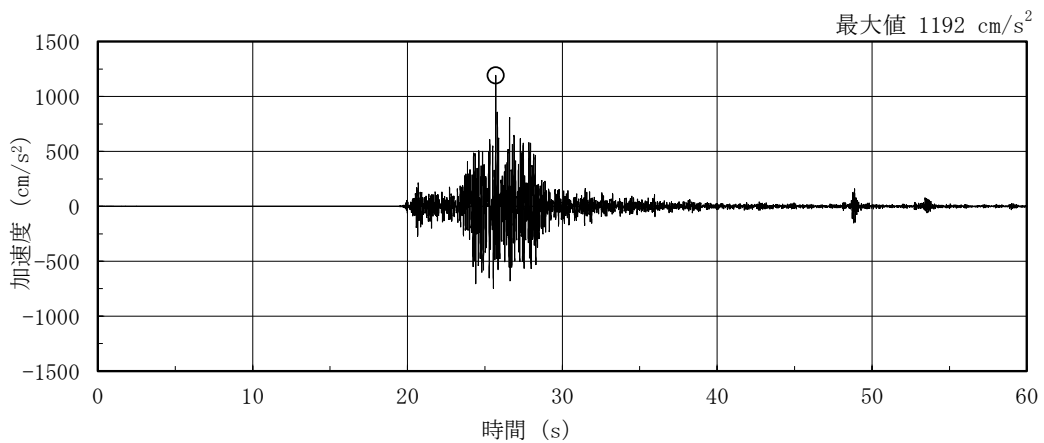
図 4-57 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S_s - N₂, ケース 4, 回転成分)



(a) NS方向 (S s - N 2 EW)

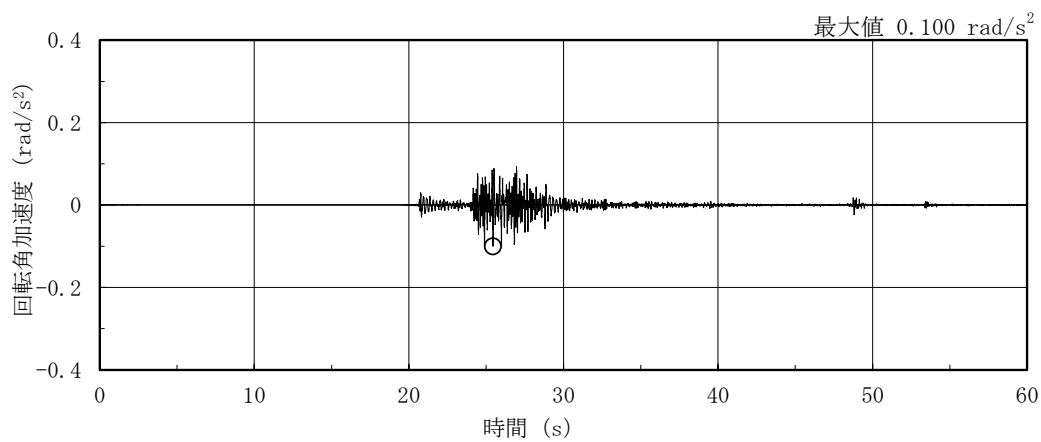


(b) EW方向 (S s - N 2 EW)

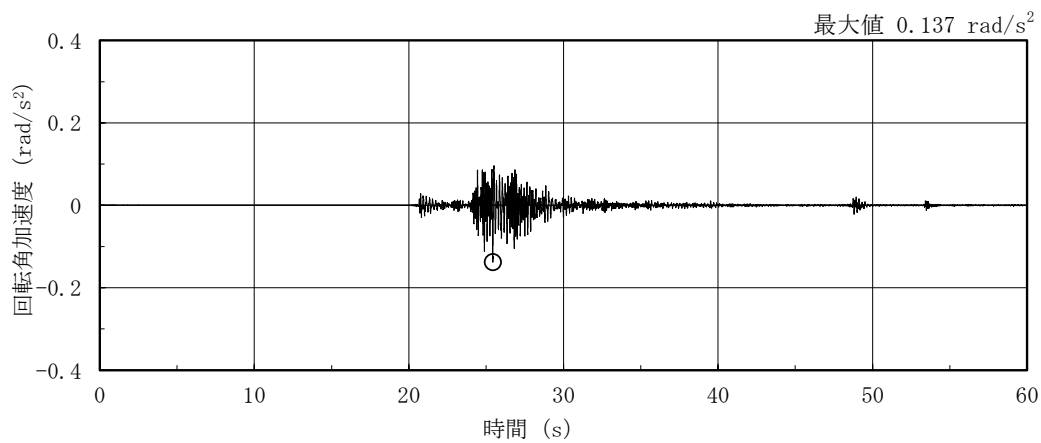


(c) 鉛直方向

図 4-58 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 4, 水平, 鉛直成分)



(a) NS方向 (S s - N 2 EW)



(b) EW方向 (S s - N 2 EW)

図 4-59 燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m) の加速度時刻歴波形
(S s - N 2, ケース 4, 回転成分)

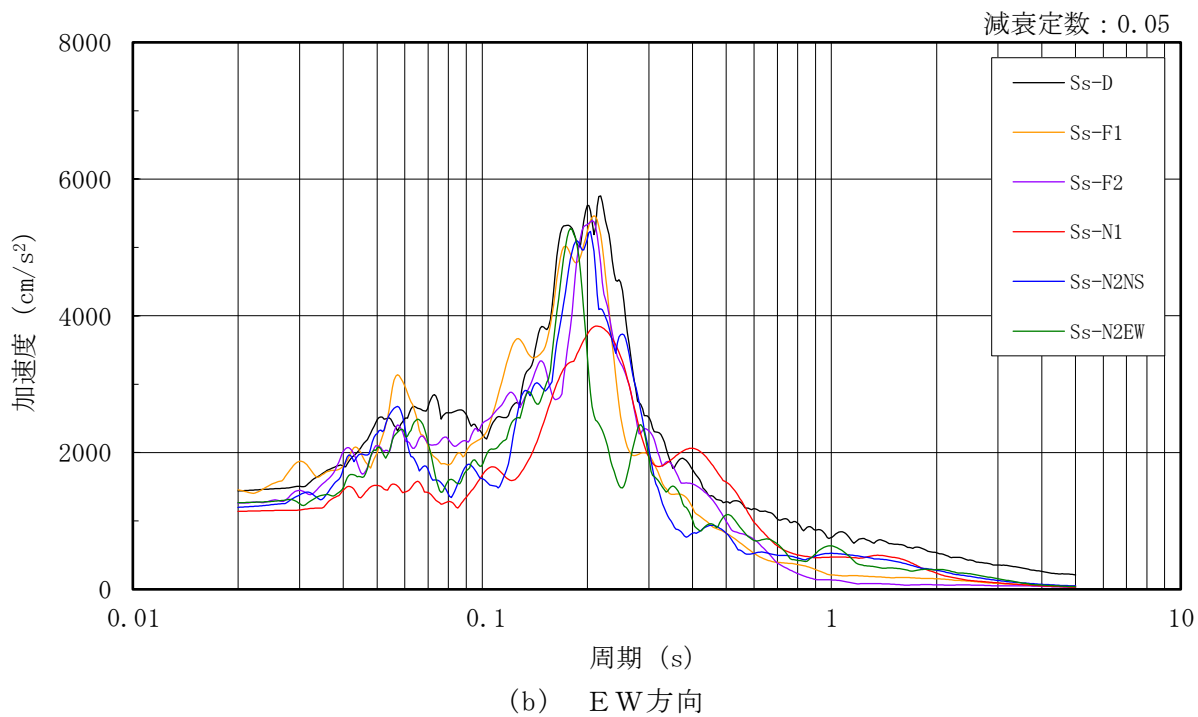
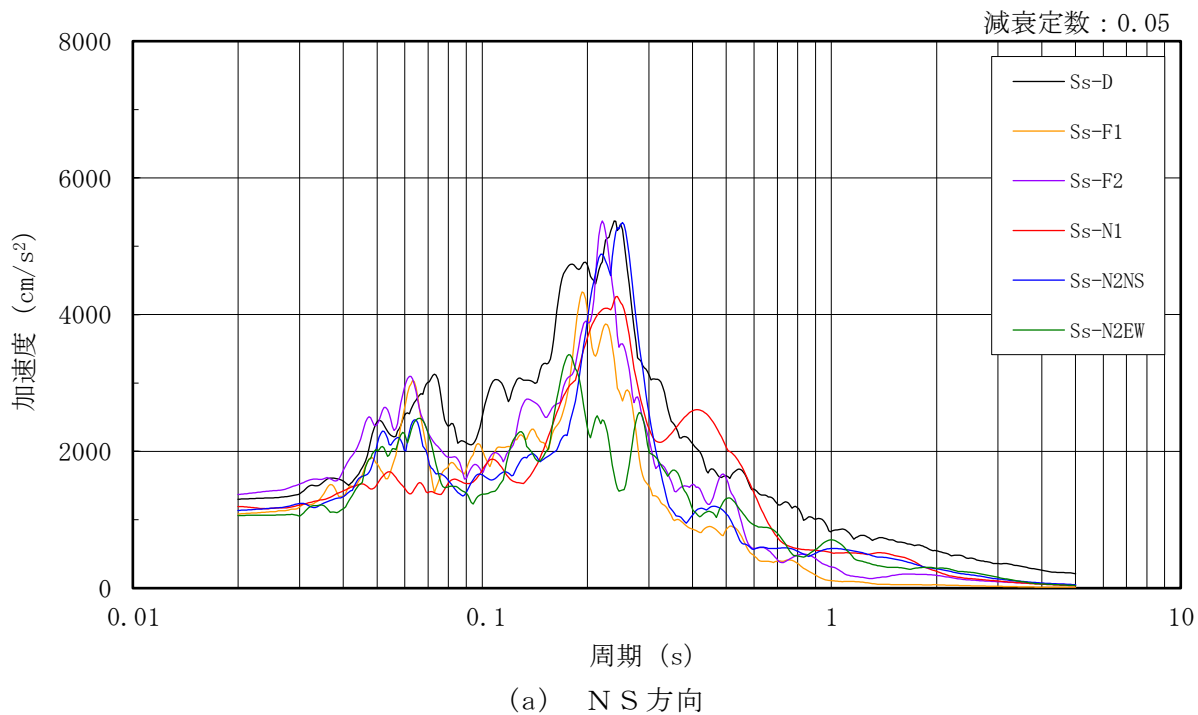


図 4-60 水平成分の加速度応答スペクトル
(燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m), ケース 1)

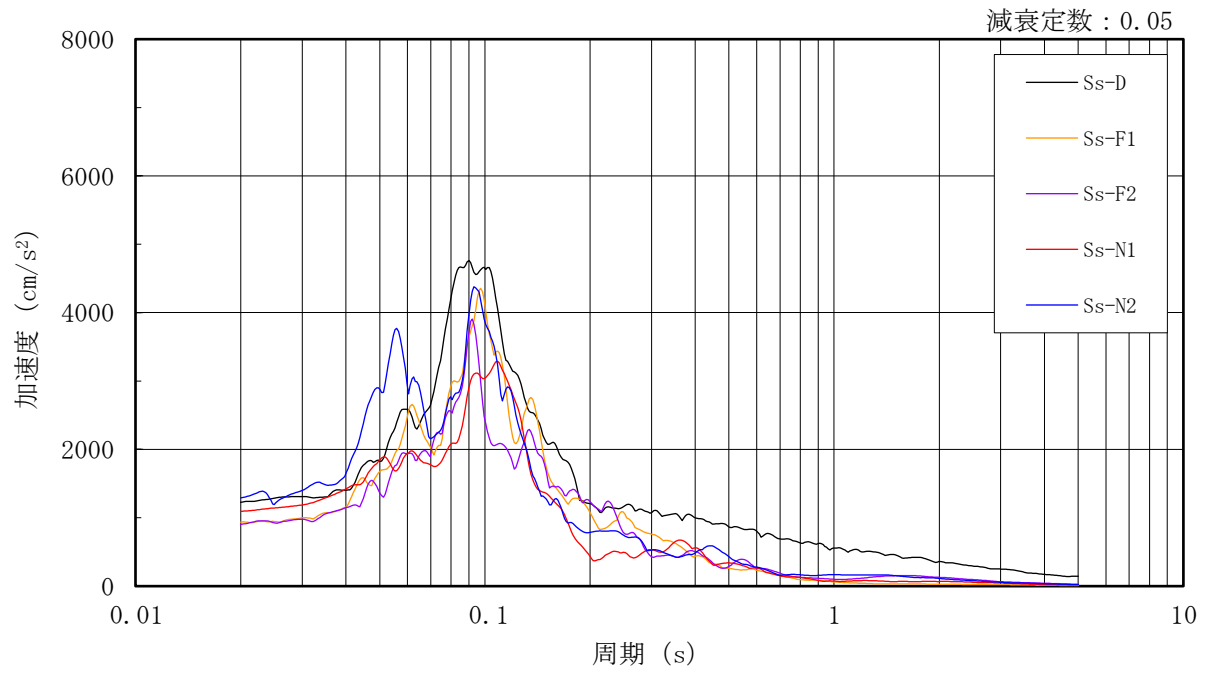


図 4-61 鉛直成分の加速度応答スペクトル
 (燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m), ケース 1)

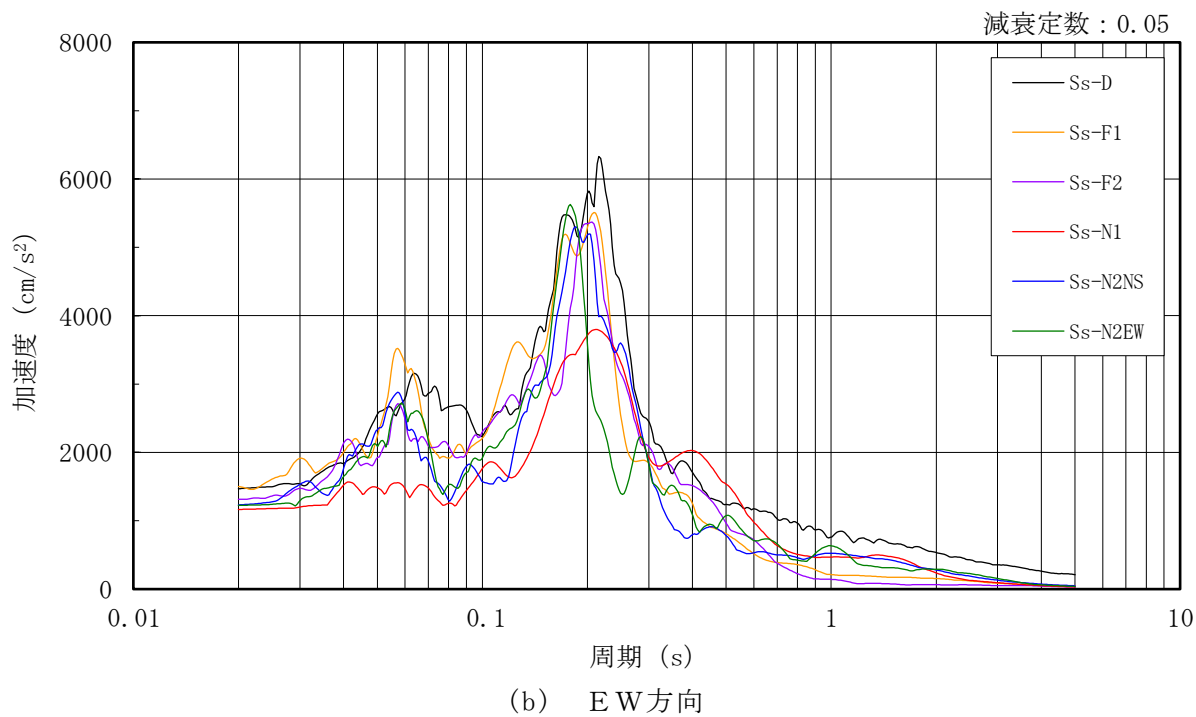
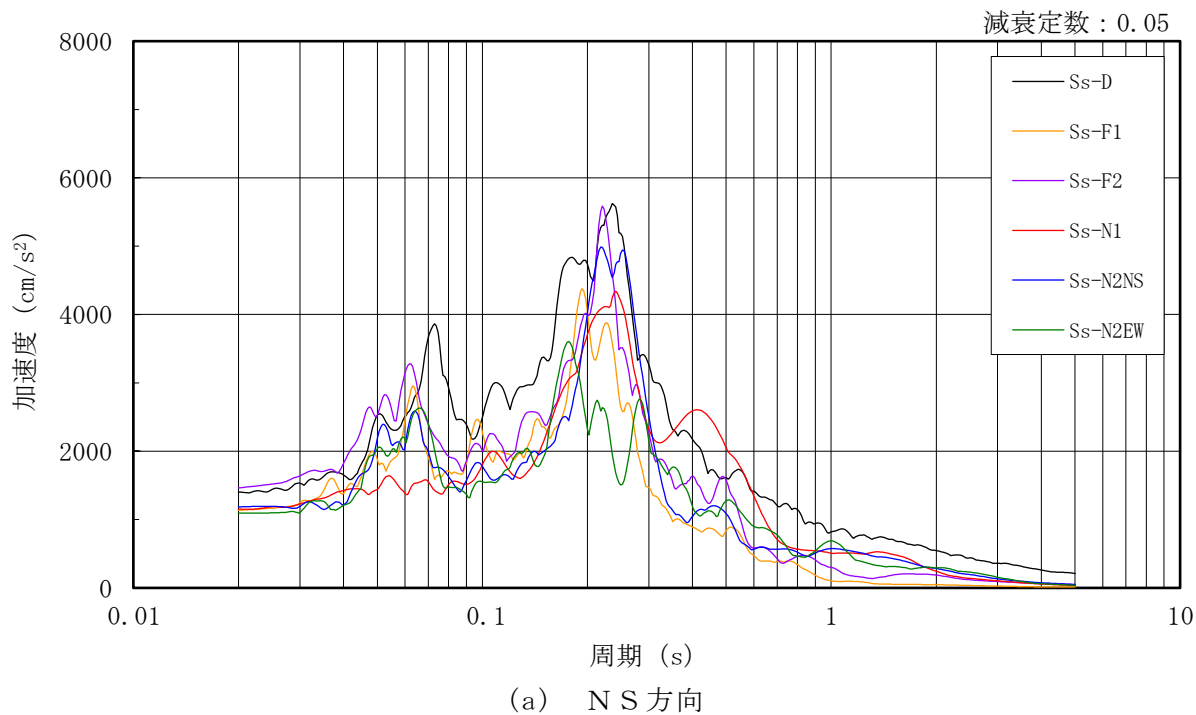


図 4-62 水平成分の加速度応答スペクトル
(燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m), ケース 2)

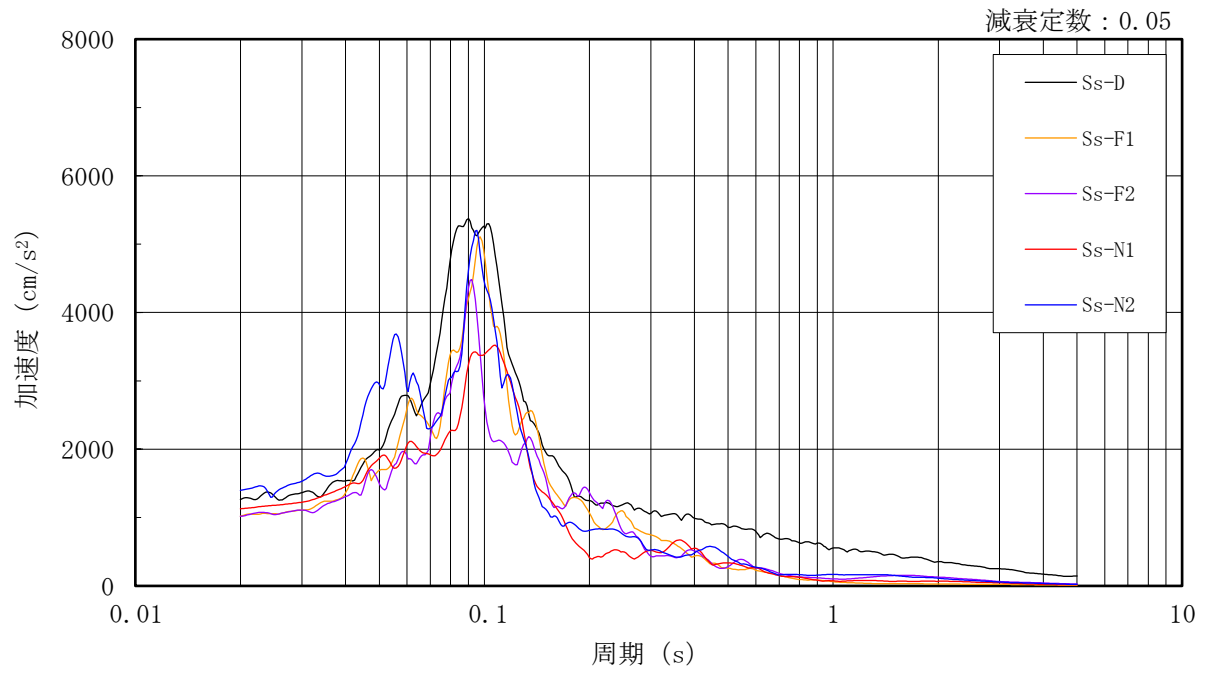


図 4-63 鉛直成分の加速度応答スペクトル
 (燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m), ケース 2)

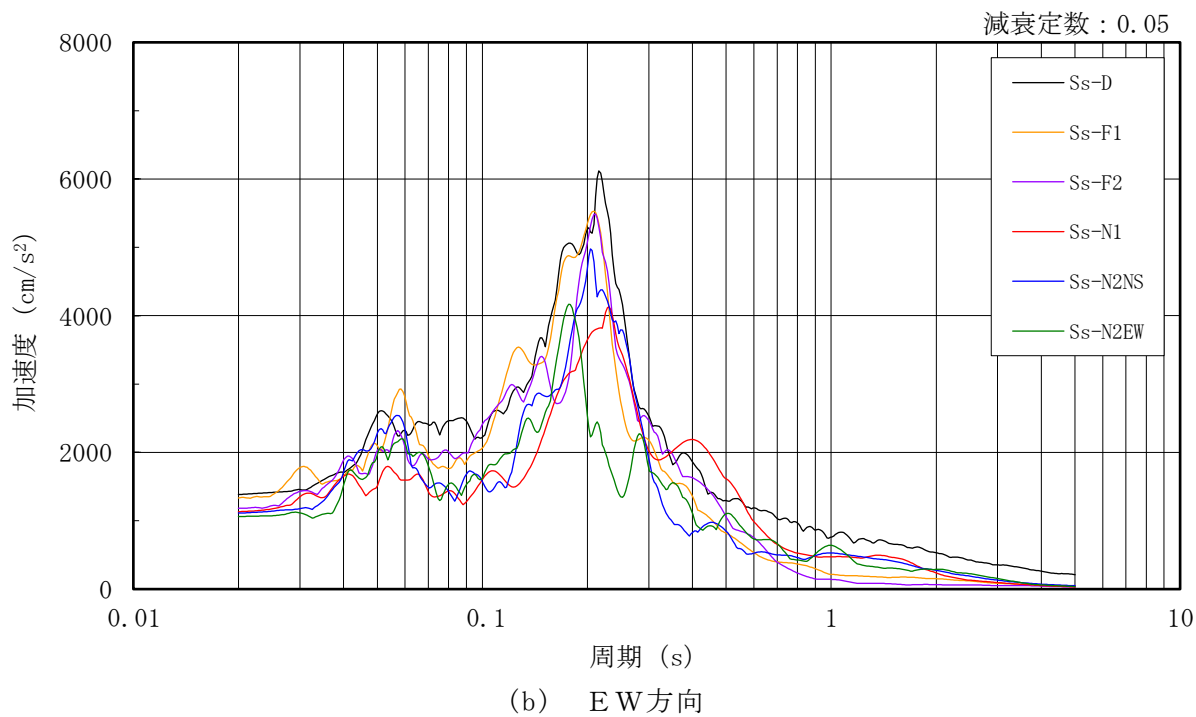
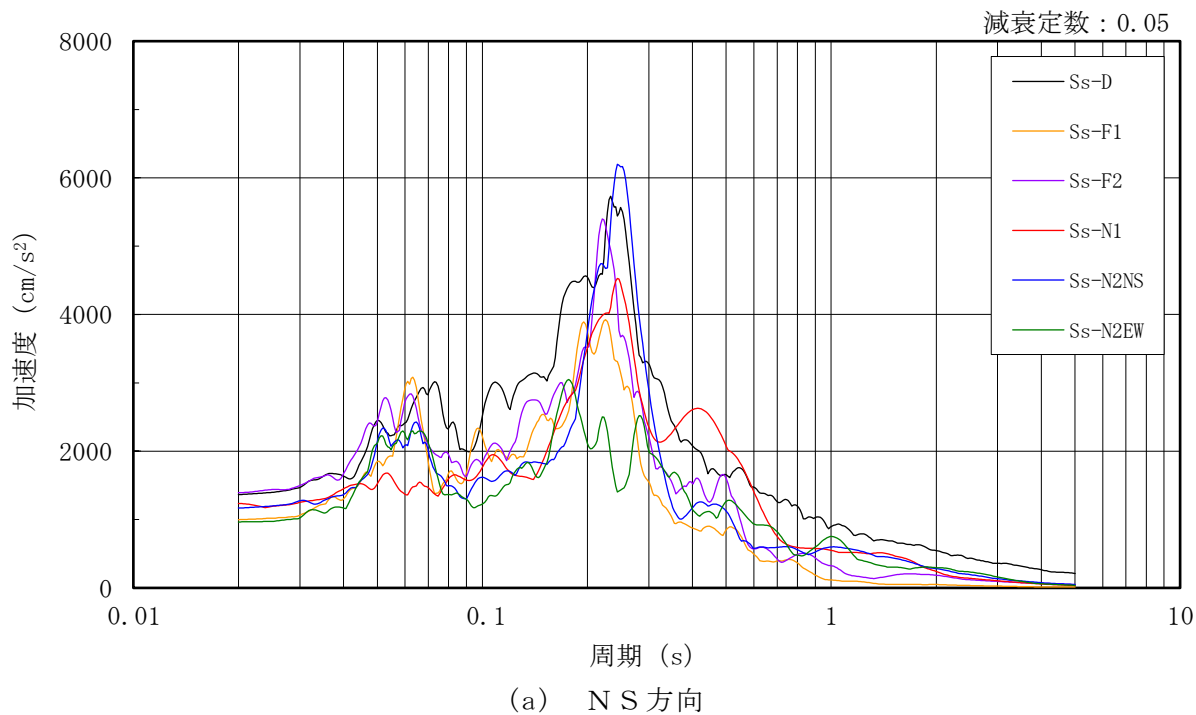


図 4-64 水平成分の加速度応答スペクトル
(燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m), ケース 3)

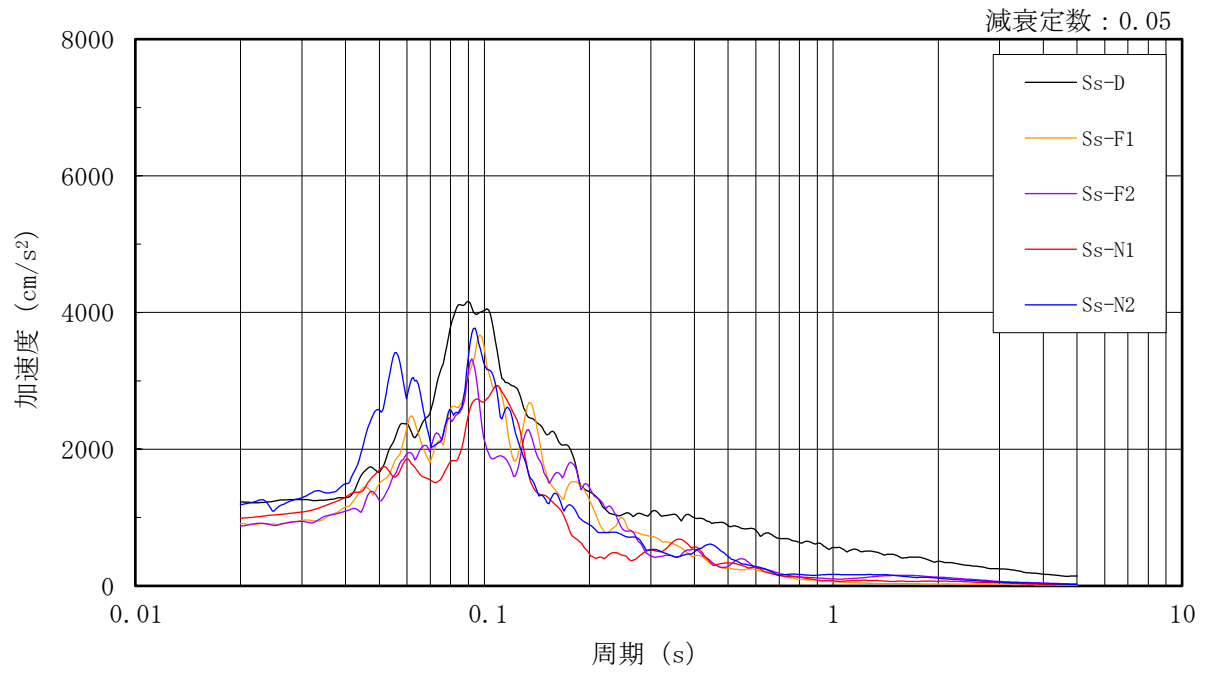


図 4-65 鉛直成分の加速度応答スペクトル
 (燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m), ケース 3)

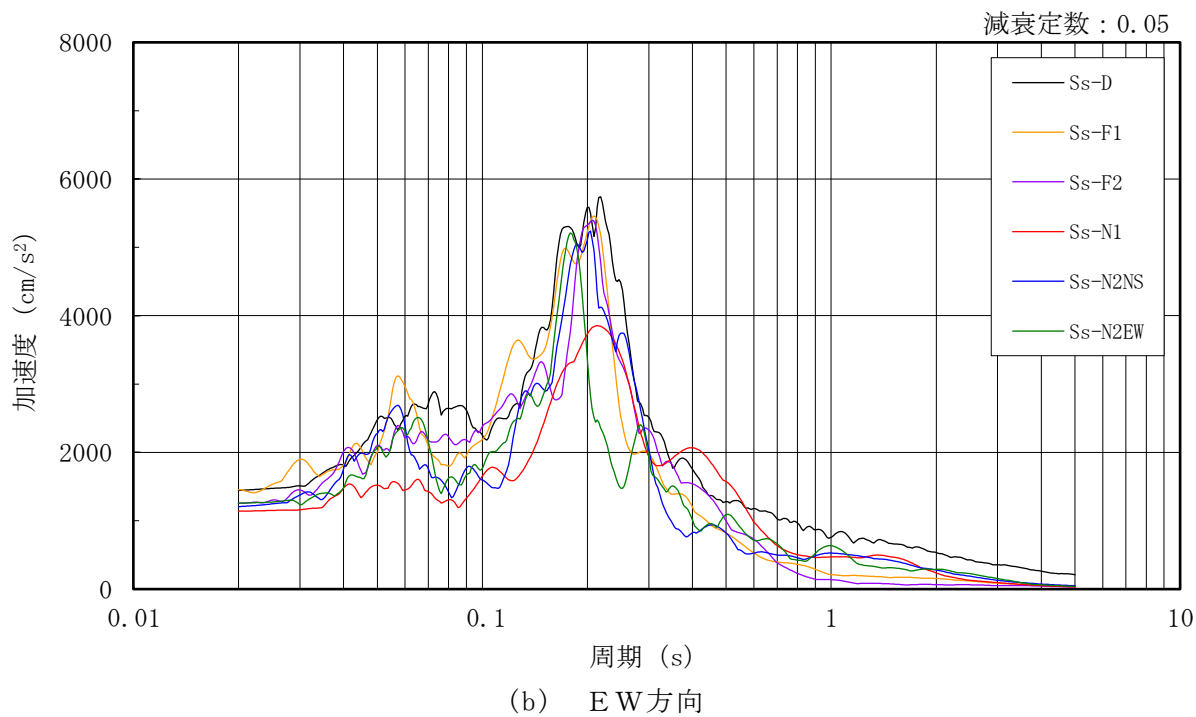
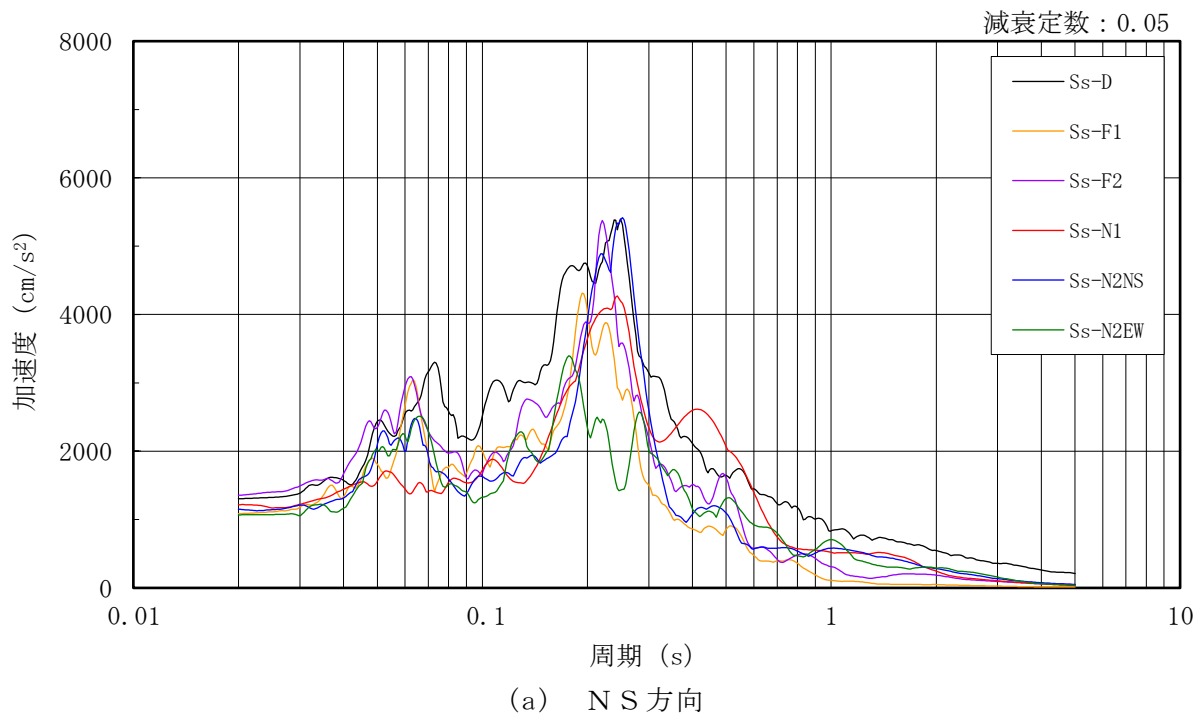


図 4-66 水平成分の加速度応答スペクトル
(燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m), ケース 4)

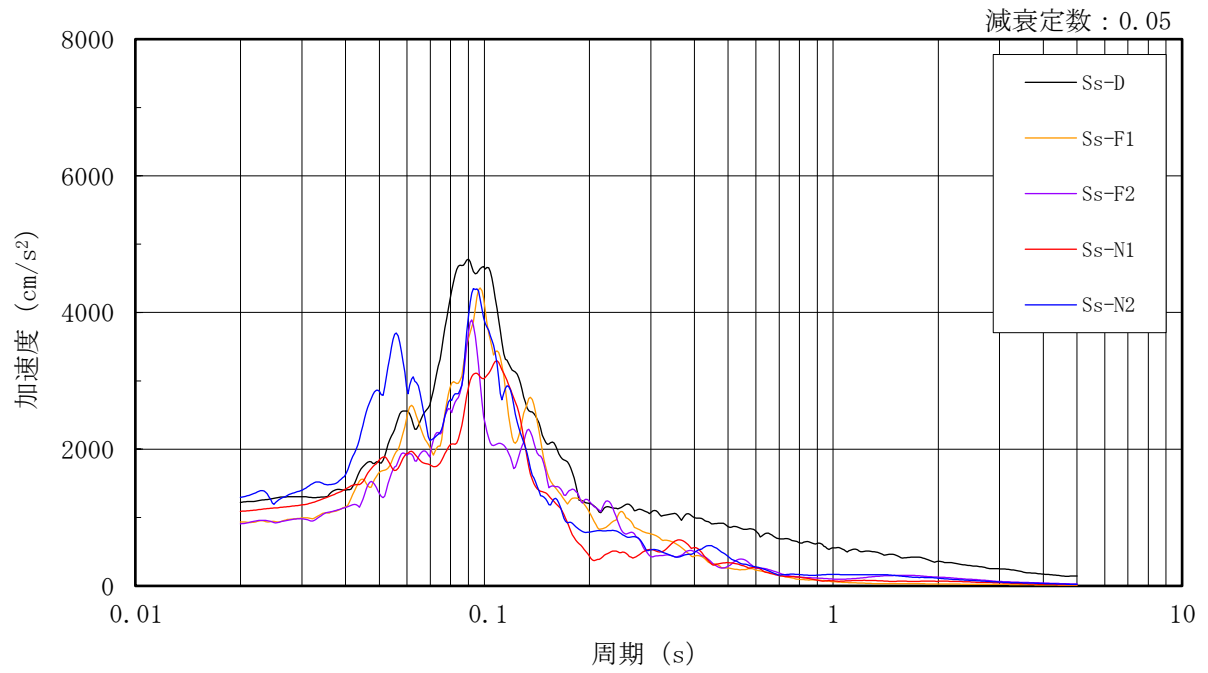


図 4-67 鉛直成分の加速度応答スペクトル
 (燃料取替階レベル (4F, EL 42.8m), ケース 4)

4.2.4 耐震壁

(1) 荷重

a. 鉛直荷重

固定荷重 (G) , 積載荷重 (P) は「既工認」に基づき設定する。

b. 地震荷重

(a) 地震荷重

地震荷重 (S_d) は, 静的地震力と弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析により算定される動的地震力を包絡した荷重とする。このとき, 弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析より算定される動的地震力は, VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき, 材料物性の不確かさを考慮して設定する。

地震荷重を表 4-5~表 4-9 に示す。

表 4-5 地震荷重

(弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力によるせん断力, N S 方向)

部位	EL (m)	要素 番号	せん断力 ($\times 10^4$ kN)		
			Sd	静的	最大値
OW-13	34.8~30.5	1	13.2	11.2	13.2
	30.5~23.8	2	14.5	12.2	14.5
	23.8~15.3	3	18.6	15.0	18.6
	15.3~8.8	4	22.5	16.9	22.5
	8.8~1.3	5	25.3	19.1	25.3
IW-11	63.5~51.7	6	3.86	4.22	4.22
	51.7~42.8	7	8.16	7.48	8.16
	42.8~34.8	8	12.5	9.87	12.5
	34.8~30.5	9	16.0	12.1	16.0
	30.5~23.8	10	23.4	17.2	23.4
	23.8~15.3	11	26.9	19.6	26.9
	15.3~8.8	12	31.6	22.6	31.6
	8.8~1.3	13	33.0	23.5	33.0
DW	42.8~34.8	14	3.68	3.02	3.68
	34.8~30.5	15	5.66	3.12	5.66
	30.5~23.8	16	8.04	5.33	8.04
	23.8~15.3	17	10.6	6.57	10.6
	15.3~10.1	18	16.2	11.5	16.2
	10.1~1.3	19	18.6	13.6	18.6
IW-3	63.5~51.7	20	3.89	4.32	4.32
	51.7~42.8	21	8.76	7.94	8.76
	42.8~34.8	22	12.5	9.97	12.5
	34.8~30.5	23	16.5	11.9	16.5
	30.5~23.8	24	23.4	17.2	23.4
	23.8~15.3	25	28.8	20.7	28.8
	15.3~8.8	26	31.8	22.8	31.8
	8.8~1.3	27	33.0	23.5	33.0
OW-1	42.8~34.8	28	9.09	7.69	9.09
	34.8~30.5	29	13.4	10.4	13.4
	30.5~23.8	30	14.8	11.4	14.8
	23.8~15.3	31	22.7	17.0	22.7
	15.3~8.8	32	22.7	16.6	22.7
	8.8~1.3	33	25.8	19.0	25.8

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

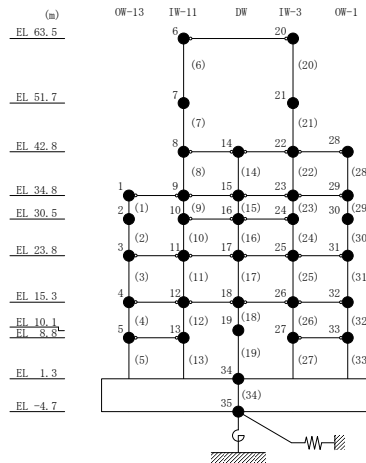


表 4-6 地震荷重

(弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力によるせん断力, E W 方向)

部位	EL (m)	要素 番号	せん断力 ($\times 10^4$ kN)		
			Sd	静的	最大値
OW-I	15.3~8.8	1	21.7	17.1	21.7
	8.8~1.3	2	20.8	15.6	20.8
IW-H	63.5~51.7	3	4.84	4.26	4.84
	51.7~42.8	4	8.50	6.66	8.50
	42.8~34.8	5	13.7	9.68	13.7
	34.8~30.5	6	20.6	14.6	20.6
	30.5~23.8	7	23.5	17.0	23.5
	23.8~15.3	8	38.6	28.8	38.6
	15.3~8.8	9	37.3	27.2	37.3
	8.8~1.3	10	42.1	31.6	42.1
DW	42.8~34.8	11	6.98	4.92	6.98
	34.8~30.5	12	1.92	1.13	1.92
	30.5~23.8	13	8.89	6.63	8.89
	23.8~15.3	14	11.1	6.97	11.1
	15.3~10.1	15	12.4	9.22	12.4
	10.1~1.3	16	15.3	11.3	15.3
IW-D	63.5~51.7	17	4.18	3.92	4.18
	51.7~42.8	18	1.27	0.785	1.27
	42.8~34.8	19	8.51	5.93	8.51
	34.8~30.5	20	8.53	5.62	8.53
	30.5~23.8	21	13.0	9.55	13.0
IW-B	51.7~42.8	22	9.16	7.77	9.16
	42.8~34.8	23	12.4	8.78	12.4
	34.8~30.5	24	22.6	16.1	22.6
	30.5~23.8	25	25.1	18.4	25.1
	23.8~15.3	26	30.6	23.0	30.6
	15.3~8.8	27	28.3	21.0	28.3
	8.8~1.3	28	31.1	23.1	31.1
OW-A	34.8~30.5	29	13.7	10.4	13.7
	30.5~23.8	30	15.0	11.5	15.0
	23.8~15.3	31	25.4	20.4	25.4
	15.3~8.8	32	21.4	15.9	21.4
	8.8~1.3	33	23.2	17.2	23.2

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

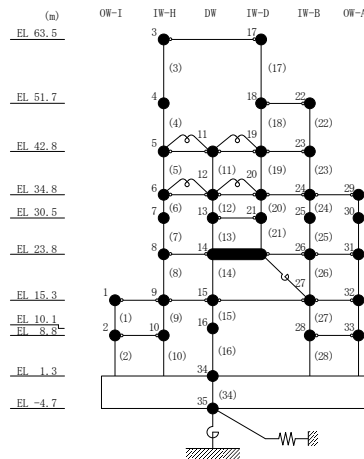


表 4-7(1) 地震荷重

(弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力による曲げモーメント, N S 方向)

部位	EL (m)	要素番号	曲げモーメント ($\times 10^5$ kN・m)		
			Sd	静的	最大値
OW-13	34.8~30.5	1	0.00 5.66	0.00 4.84	— 5.66
	30.5~23.8	2	5.66 15.4	4.84 13.0	5.66 15.4
	23.8~15.3	3	15.4 31.1	13.0 25.8	15.4 31.1
	15.3~8.8	4	31.1 45.5	25.8 36.8	31.1 45.5
	8.8~1.3	5	45.5 64.4	36.8 51.1	45.5 64.4
IW-11	63.5~51.7	6	0.00 4.55	0.00 4.98	— 4.98
	51.7~42.8	7	4.55 11.8	4.98 11.6	4.98 11.8
	42.8~34.8	8	11.8 21.6	11.6 19.5	11.8 21.6
	34.8~30.5	9	21.6 28.4	19.5 24.8	21.6 28.4
	30.5~23.8	10	28.4 44.0	24.8 36.3	28.4 44.0
	23.8~15.3	11	44.0 66.8	36.3 52.9	44.0 66.8
	15.3~8.8	12	66.8 87.2	52.9 67.6	66.8 87.2
	8.8~1.3	13	87.2 112	67.6 85.3	87.2 112
DW	42.8~34.8	14	0.00 2.94	0.00 2.42	— 2.94
	34.8~30.5	15	2.94 5.37	2.42 3.76	2.94 5.37
	30.5~23.8	16	5.37 10.5	3.76 7.33	5.37 10.5
	23.8~15.3	17	10.5 19.4	7.33 12.9	10.5 19.4
	15.3~10.1	18	19.4 27.3	12.9 18.9	19.4 27.3
	10.1~1.3	19	27.3 43.4	18.9 30.9	27.3 43.4

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

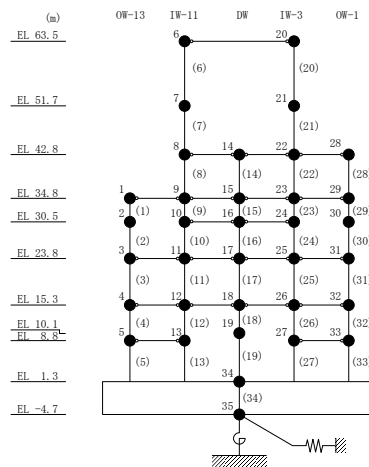


表 4-7(2) 地震荷重

(弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力による曲げモーメント, N S 方向)

部位	EL (m)	要素 番号	曲げモーメント ($\times 10^5$ kN・m)		
			Sd	静的	最大値
IW-3	63.5~51.7	20	0.00	0.00	—
			4.59	5.09	5.09
	51.7~42.8	21	4.59	5.09	5.09
			12.4	12.2	12.4
	42.8~34.8	22	12.4	12.2	12.4
			22.1	20.1	22.1
	34.8~30.5	23	22.1	20.1	22.1
			29.1	25.3	29.1
30.5~23.8	24	29.1	25.3	29.1	
		44.7	36.8	44.7	
23.8~15.3	25	44.7	36.8	44.7	
		69.1	54.4	69.1	
15.3~8.8	26	69.1	54.4	69.1	
		89.6	69.2	89.6	
8.8~1.3	27	89.6	69.2	89.6	
		114	86.8	114	
OW-1	42.8~34.8	28	0.00	0.00	—
			7.27	6.16	7.27
	34.8~30.5	29	7.27	6.16	7.27
			13.0	10.6	13.0
	30.5~23.8	30	13.0	10.6	13.0
			22.9	18.3	22.9
	23.8~15.3	31	22.9	18.3	22.9
42.2			32.7	42.2	
15.3~8.8	32	42.2	32.7	42.2	
		56.5	43.5	56.5	
8.8~1.3	33	56.5	43.5	56.5	
		75.8	57.7	75.8	

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

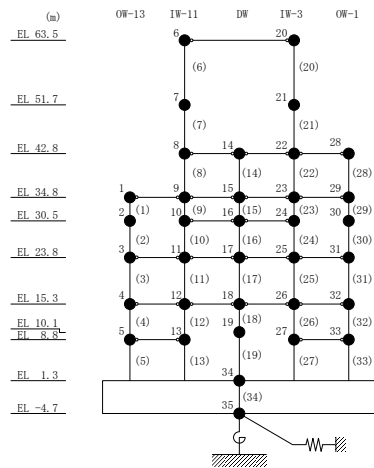


表 4-8(1) 地震荷重

(弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力による曲げモーメント, E W 方向)

部位	EL (m)	要素 番号	曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)		
			Sd	静的	最大値
OW-I	15.3~8.8	1	0.00 14.1	0.00 11.1	— 14.1
	8.8~1.3	2	14.1 29.6	11.1 22.8	14.1 29.6
IW-H	63.5~51.7	3	0.00 5.71	0.00 5.02	— 5.71
	51.7~42.8	4	5.71 13.3	5.02 10.9	5.71 13.3
	42.8~34.8	5	14.9 25.8	12.1 19.8	14.9 25.8
	34.8~30.5	6	27.7 36.5	21.1 27.4	27.7 36.5
	30.5~23.8	7	36.5 52.2	27.4 38.8	36.5 52.2
	23.8~15.3	8	52.2 84.8	38.8 63.3	52.2 84.8
	15.3~8.8	9	84.8 109	63.3 81.0	84.8 109
	8.8~1.3	10	109 139	81.0 105	109 139
DW	42.8~34.8	11	2.87 2.72	1.98 1.95	2.87 2.72
	34.8~30.5	12	1.63 1.89	0.373 0.114	1.63 1.89
	30.5~23.8	13	1.89 6.23	0.114 4.56	1.89 6.23
	23.8~15.3	14	6.23 15.2	4.56 10.5	6.23 15.2
	15.3~10.1	15	15.2 21.4	10.5 15.3	15.2 21.4
	10.1~1.3	16	21.4 33.9	15.3 25.2	21.4 33.9

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

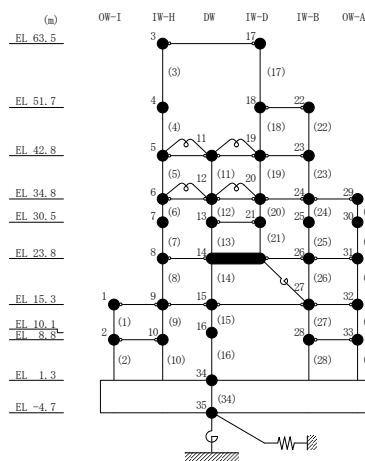


表 4-8(2) 地震荷重

(弾性設計用地震動 S d 及び静的地震力による曲げモーメント, E W 方向)

部位	EL (m)	要素番号	曲げモーメント ($\times 10^5$ kN·m)		
			Sd	静的	最大値
IW-D	63.5~51.7	17	0.00	0.00	—
			4.93	4.63	4.93
	51.7~42.8	18	4.93	4.63	4.93
			5.82	5.33	5.82
	42.8~34.8	19	7.06	6.20	7.06
			13.8	10.9	13.8
34.8~30.5	20	15.3	12.0	15.3	
		18.9	14.4	18.9	
30.5~23.8	21	18.9	14.4	18.9	
		27.6	20.8	27.6	
IW-B	51.7~42.8	22	0.00	0.00	—
			8.15	6.91	8.15
	42.8~34.8	23	8.15	6.91	8.15
			18.0	13.9	18.0
	34.8~30.5	24	18.0	13.9	18.0
			27.7	20.9	27.7
	30.5~23.8	25	27.7	20.9	27.7
			44.5	33.2	44.5
23.8~15.3	26	44.5	33.2	44.5	
		70.3	52.8	70.3	
15.3~8.8	27	97.9	73.6	97.9	
		116	87.2	116	
8.8~1.3	28	116	87.2	116	
		139	105	139	
OW-A	34.8~30.5	29	0.00	0.00	—
			5.89	4.47	5.89
	30.5~23.8	30	5.89	4.47	5.89
			15.8	12.2	15.8
	23.8~15.3	31	15.8	12.2	15.8
			37.2	29.5	37.2
15.3~8.8	32	37.2	29.5	37.2	
		51.0	39.8	51.0	
8.8~1.3	33	51.0	39.8	51.0	
		68.2	52.7	68.2	

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。

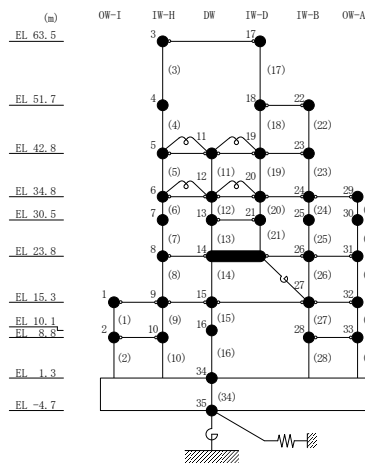
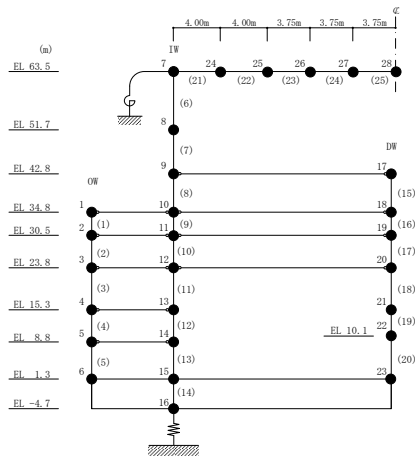


表 4-9 地震荷重

(弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力による鉛直震度)

EL (m)	鉛直震度			
	S _d	0.4×S _d	静的	包絡値
63.5~51.7	0.81	0.32	0.24	0.32
51.7~42.8	0.74	0.30	0.24	0.30
42.8~34.8	0.66	0.26	0.24	0.26
34.8~30.5	0.57	0.23	0.24	0.24
30.5~23.8	0.52	0.21	0.24	0.24
23.8~15.3	0.45	0.18	0.24	0.24
15.3~8.8	0.36	0.14	0.24	0.24
8.8~1.3	0.32	0.13	0.24	0.24

注：ハッチングは弾性設計用地震動 S_d による動的地震力と静的地震力のうち大きい値を表示。



(b) 地震時土圧

地震時土圧荷重は、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版（（社）日本電気協会）」に基づき算出し、常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を設定する。なお、北側はタービン建物、東側は廃棄物処理建物及びタービン建物が隣接しており、南側及び西側の地下外壁は原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）に該当しないことから、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）に地震時土圧荷重は作用しない。

(2) 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-10 に示す。

表 4-10 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S d 地震時	G + P + S d

G : 固定荷重

P : 積載荷重（常時土圧を含む）

S d : 地震荷重（地震時土圧荷重を含む）

4.3 許容限界

4.3.1 屋根スラブ，床スラブ及び耐震壁

応力解析による評価における屋根スラブ，床スラブ及び耐震壁の許容限界は，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，表4-11及び表4-12のとおり設定する。また，表4-13及び表4-14にコンクリート及び鉄筋の短期許容応力度を示す。

表4-11 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	原子炉建物原子炉棟(二次格納施設)の屋根スラブ及び床スラブ	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*1
		弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	原子炉建物原子炉棟(二次格納施設)の耐震壁	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S_s	原子炉建物原子炉棟(二次格納施設)の屋根スラブ及び床スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度*2
		弾性設計用地震動 S_d 及び静的地震力	原子炉建物原子炉棟(二次格納施設)の耐震壁	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度

注記*1：許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものとして設定することとし，さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

*2：地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし，地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-12 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	原子炉建物原子炉棟(二次格納施設)の屋根スラブ及び床スラブ, 原子炉二次遮蔽(床)及び補助遮蔽(原子炉建物)(床)	部材に生じる応力が構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* ¹
遮蔽性	遮蔽体の損傷により遮蔽性を損なわないこと	基準地震動 S _s	原子炉二次遮蔽(床)及び補助遮蔽(原子炉建物)(床)	部材に生じる応力が遮蔽性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* ¹
気密性	換気性能とあいまって気密機能を維持すること	基準地震動 S _s	原子炉建物原子炉棟(二次格納施設)の屋根スラブ及び床スラブ	部材に生じる応力が気密性を維持するための許容限界を超えないことを確認	「RC-N規準」に基づく短期許容応力度* ²

注記*1: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したものと設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容応力度とする。

*2: 地震時に生じる応力に対して許容応力度設計とし、地震時及び地震後においても気密性を維持できる設計とする。

表 4-13 コンクリートの短期許容応力度(屋根スラブ及び床スラブ)
(単位: N/mm²)

設計基準強度 F _c	圧縮	せん断
23.5	15.6	1.08

表 4-14 鉄筋の短期許容応力度(屋根スラブ, 床スラブ及び耐震壁)
(単位: N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

4.3.2 屋根トラス

応力解析による評価における屋根トラスの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表4-15及び表4-16のとおり設定する。また、表4-17に鉄骨の弾性限強度を示す。

表4-15 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	主トラス サブトラス 水平ブレース サブビーム 母屋 サブトラス下弦材 座屈止め	部位に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	弾性限強度*
支持機能	屋根スラブを支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S_s	主トラス サブトラス 水平ブレース サブビーム 母屋 サブトラス下弦材 座屈止め	部位に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	弾性限強度*

注記*：弾性限強度を上回る場合は、応答による繰返し回数が最大ひずみ度に対する破断寿命（繰返し回数）に対して十分な裕度を有することを確認する。

表 4-16 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	主トラス サブトラス 水平ブレース サブビーム 母屋 サブトラス下弦材 座屈止め	部位に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	弾性限強度*
支持機能	屋根スラブを支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	主トラス サブトラス 水平ブレース サブビーム 母屋 サブトラス下弦材 座屈止め	部位に生じる応力が許容限界を超えないことを確認	弾性限強度*

注記*：弾性限強度を上回る場合は、応答による繰返し回数が最大ひずみ度に対する破断寿命（繰返し回数）に対して十分な裕度を有することを確認する。

表 4-17 鉄骨の弾性限強度

(単位：N/mm²)

材料	板厚	F 値	弾性限強度		
			圧縮及び引張*	曲げ*	せん断
SS41 (SS400 相当) SS400	t ≤ 40mm	235	258	258	135
SM50A (SM490A 相当) SN490B	t ≤ 40mm	325	357	357	187

注記*：「平 12 建告第 2464 号」に基づき F 値に 1.1 倍の割増しを考慮する。ただし、圧縮及び曲げの弾性限強度に対しては上限値であり、座屈長さ等を勘案して設定する。

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 屋根スラブ

(1) モデル化の基本方針

屋根スラブは、屋根トラスで支持され、厚さが同じでスパンがほぼ均等なスラブが連続しており、その外周がスラブに比べて十分剛性の大きい鉄筋コンクリート造の耐震壁に接合されていることから、屋根スラブの辺長比を考慮して四辺固定版として評価する。

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-18 に示す。

表 4-18 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 F _c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
23.5	2.25 × 10 ⁴	0.2

4.4.2 床スラブ

(1) モデル化の基本方針

床スラブは、床スラブの辺長比及び周囲の境界条件を考慮して、片持ちはり、両端固定はり、三辺固定・一辺自由版又は四辺固定版として評価する。

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-19 に示す。

表 4-19 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 F _c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
23.5	2.25 × 10 ⁴	0.2

4.4.3 屋根トラス

(1) モデル化の基本方針

屋根トラスの評価に用いる応力は、地震応答解析により評価する。屋根トラスの地震応答解析モデルは、燃料取替階（4F, EL 42.8m）より上部の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造）の柱、はり、耐震壁及び屋根スラブ並びに鉄骨造の屋根トラスを線材及び面材により立体的にモデル化した 3 次元 FEM モデルとする。

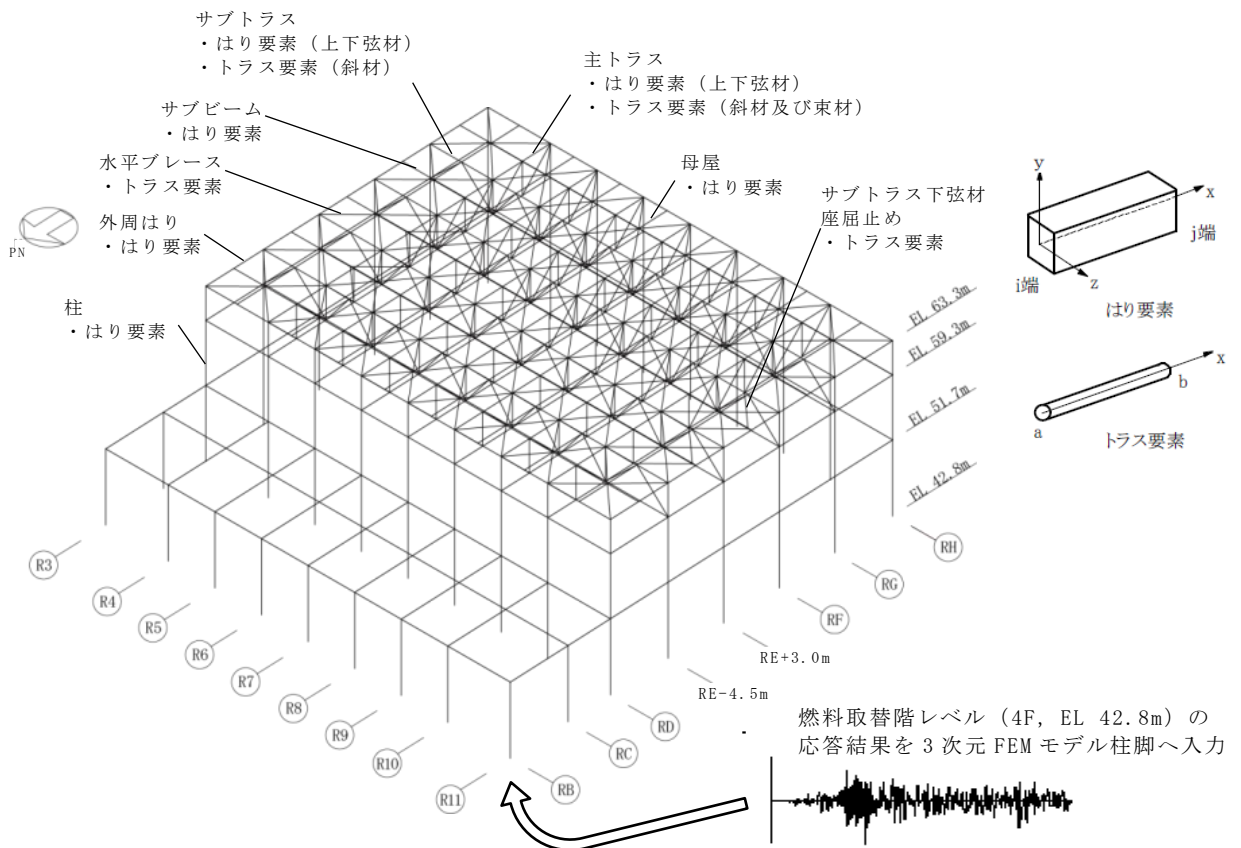
屋根トラスは、主トラス、サブトラス、水平ブレース、サブビーム、母屋及びサブトラス下弦材座屈止めをモデル化する。各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮したはり要素（トラスの上下弦材、サブビーム及び母屋）と軸変形のみを考慮したトラス要素（トラスの斜材、束材、水平ブレース及びサブトラス下弦材座屈止め）としてモデル化し、減衰を剛性比例型減衰として設定する。屋根スラブはシェル要素でモデル化し、面内剛性のみ考慮することとし、屋根トラスの応力評価に対する保守性の観点から、面外剛性については考慮しない。耐震壁及び外周はりは各々シェル要素並びに軸、曲げ変形を考慮したはり要素としてモデル化し、耐震壁の開口部についても考慮する。柱脚の条件は固定とする。また、屋根トラスについては、主トラス及びサブトラスの補強工事の内容を解析モデルに反映している。解析モデルの節点数は 524、要素数は 1440 である。

解析モデルの概要を図 4-68 に、部材リストを表 4-20 に示す。

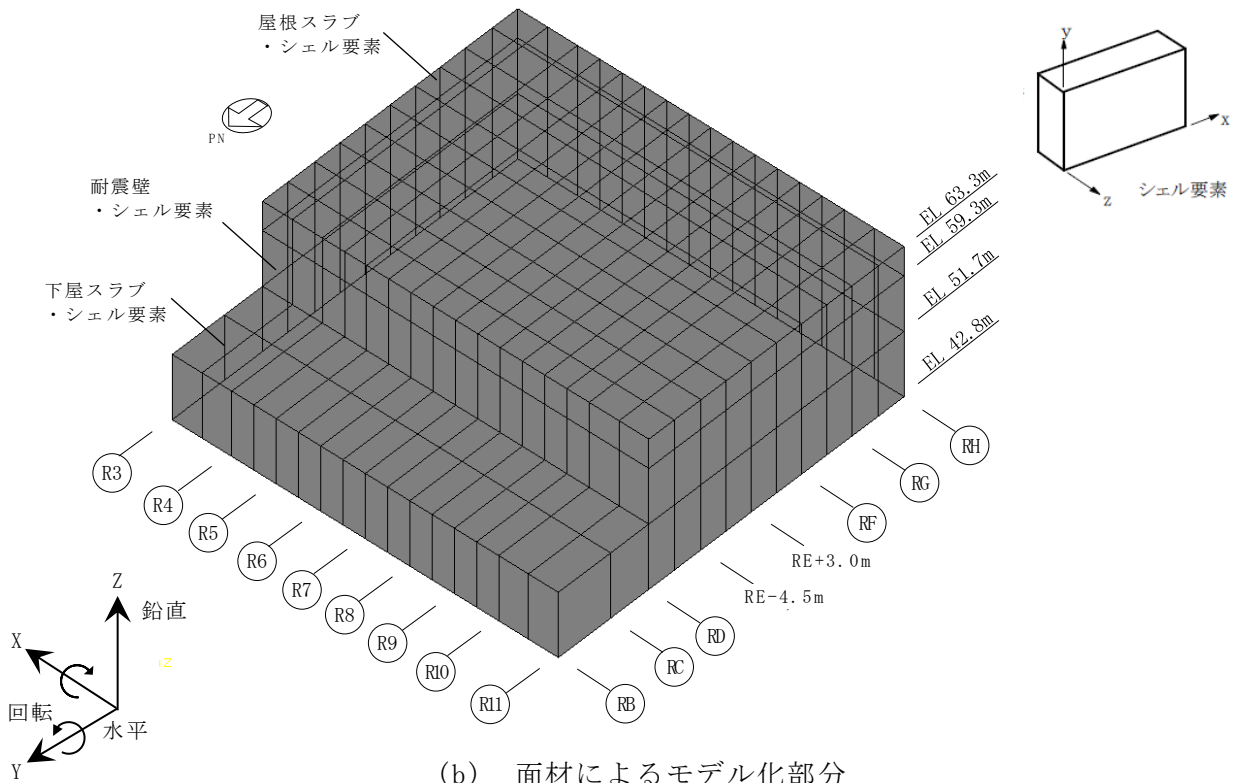
基準地震動 S_s に対する評価を実施する際、屋根トラスを構成する部材の一部が弾性範囲を超えることが確認されたため、屋根トラスを構成する部材の一部に対して弾塑性特性として修正若林モデル（引用文献(1)参照）を適用する。修正若林モデルの弾塑性特性を図 4-69 に示す。修正若林モデルは、繰返し载荷による初期座屈以降の耐力低下を累積塑性ひずみの関数で表現し、実験との対応度を向上させた手法である。屋根トラス部材の弾塑性特性について表 4-21 に示す。

解析モデルへの入力は、原子炉建物全体の地震応答解析から得られる燃料取替階レベル（4F, EL 42.8m）の応答結果を用いることとし、燃料取替階位置を固定として水平方向と鉛直方向の同時入力とする。なお、応答スペクトルに基づく地震動である $S_s - D$ 及び震源を特定せず策定する地震動である $S_s - N1$ については、2 方向（3 成分）（水平 1 方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。一方で、断層モデルに基づく地震動である $S_s - F1$ 及び $S_s - F2$ 並びに震源を特定せず策定する地震動である $S_s - N2$ については、3 方向（5 成分）（水平 2 方向（並進・回転）及び鉛直方向）の同時入力とする。

解析には、解析コード「f a p p a s e」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



(a) 線材によるモデル化部分



(b) 面材によるモデル化部分

図 4-68(1) 屋根トラス (燃料取替階上部フレーム) の解析モデル図と入力概要

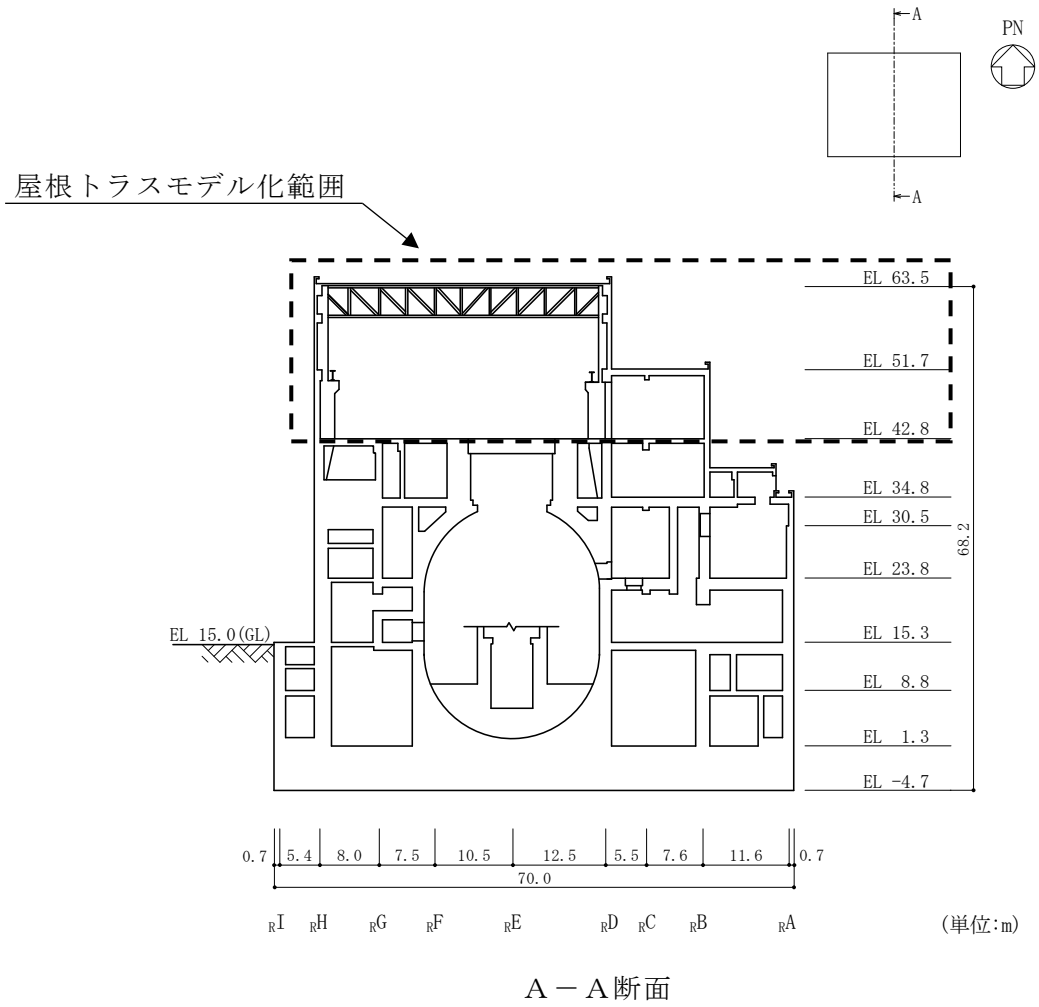


図 4-68(2) 屋根トラス (燃料取替階上部フレーム) の解析モデル図と入力概要

表 4-20 部材リスト

部位		使用部材	材質	断面積 ($\times 10^2 \text{mm}^2$)	断面二次 モーメント ($\times 10^4 \text{mm}^4$)
主トラス	上弦材	H-400 \times 400 \times 13 \times 21	SM50A (SM490A 相当)	218.7	66600
	下弦材	H-400 \times 400 \times 13 \times 21	SM50A (SM490A 相当) SN490B	218.7	66600
		BH-400 \times 400 \times 19 \times 35		342.7	99230
		BH-400 \times 400 \times 19 \times 35 +2PLs-16 \times 330*		448.3	108800
	斜材	2CTs-175 \times 350 \times 12 \times 19	SS41 (SS400 相当) SS400	173.9	—
		2CTs-150 \times 300 \times 10 \times 15		119.8	
		2CTs-150 \times 300 \times 10 \times 15 +4Ls-90 \times 90 \times 10*		187.8	
		2CTs-125 \times 250 \times 9 \times 14 +4Ls-90 \times 90 \times 10*		160.2	
	束材	2CTs-175 \times 350 \times 12 \times 19	SS41 (SS400 相当)	173.9	—
		2CTs-150 \times 300 \times 10 \times 15		119.8	
		2CTs-125 \times 250 \times 9 \times 14		92.20	
サブ トラス	上弦材 下弦材	H-390 \times 300 \times 10 \times 16	SS41 (SS400 相当)	136.0	38700
	斜材	2CTs-125 \times 250 \times 9 \times 14	SS41	92.20	—
		2CTs-125 \times 250 \times 9 \times 14 +4Ls-65 \times 65 \times 6*	(SS400 相当) SS400	122.3	
水平ブレース	H-400 \times 408 \times 21 \times 21	SS41 (SS400 相当)	250.7	—	
	H-400 \times 400 \times 13 \times 21		218.7		
	H-394 \times 398 \times 11 \times 18		186.8		
サブビーム	H-400 \times 400 \times 13 \times 21	SS41	218.7	66600	
	H-390 \times 300 \times 10 \times 16	(SS400 相当)	136.0	38700	
母屋	H-244 \times 175 \times 7 \times 11	SS41	56.24	6120	
	H-294 \times 200 \times 8 \times 12	(SS400 相当)	72.38	11300	
サブトラス下弦材 座屈止め	2[s-150 \times 75 \times 9 \times 12.5*	SS400	61.20	—	

注記*：補強工事で追加した部材

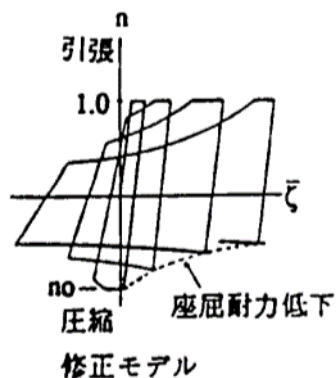


図 4-69 修正若林モデルの弾塑性特性

表 4-21 屋根トラス部材の弾塑性特性について

部位		モデル要素	弾塑性特性
主トラス	上弦材	はり要素	考慮しない (弾性)
	下弦材		
	斜材	トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル)
	束材		
サブトラス	上弦材	はり要素	考慮しない (弾性)
	下弦材		
	斜材	トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル)
水平ブレース		トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル)
サブビーム		はり要素	考慮しない (弾性)
母屋		はり要素	考慮しない (弾性)
サブトラス下弦材 座屈止め		トラス要素	弾塑性 (修正若林モデル)

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-22 に示す。

表 4-22 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
鉄筋 コンクリート	2.25 × 10 ⁴	9.38 × 10 ³	5
鉄骨	2.05 × 10 ⁵	7.90 × 10 ⁴	2

4.4.4 耐震壁

(1) モデル化の基本方針

耐震壁の応力は，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき評価する。
地震時土圧に対する地下外壁の応力解析は，図 4-70 に示すように，基礎スラブ上端で固定，各床位置をピン支承とする一方向版として行う。

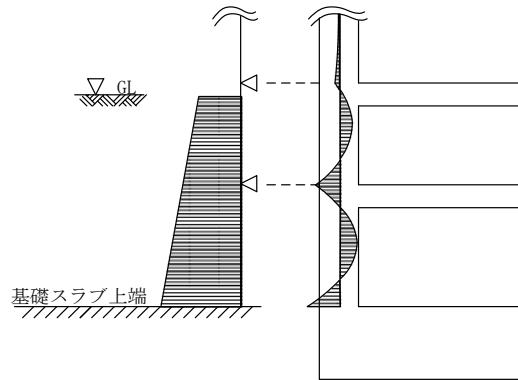


図 4-70 地下外壁の応力解析モデル

(2) 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-23 に示す。

表 4-23 使用材料の物性値

コンクリートの 設計基準強度 F_c (N/mm^2)	ヤング係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν
23.5	2.25×10^4	0.2

4.5 応力評価方法

4.5.1 屋根スラブ

(1) 荷重ケース

S_s地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。鉛直震度算定のための最大応答鉛直加速度は、質点系モデルにより得られた屋根面の加速度のうち、最大の加速度を採用する。なお、対象とするスラブは十分な剛性（固有振動数 20Hz 以上）を有していることから、共振は考慮しない。最大応答鉛直加速度及び鉛直震度を表 4-24 に示す。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S_{NL} : 積雪荷重
- S_{UD} : S_s地震荷重（鉛直方向）

表 4-24 最大応答鉛直加速度及び鉛直震度

EL (m)	階	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s ²)	鉛直震度
63.5	RF	S _s -D (ケース 2)	4287	4.38

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-25 に示す。

鉛直地震力は、固定荷重及び積雪荷重と同じ載荷方向となる下向き方向に作用させるものとする。

表 4-25 荷重の組合せケース（屋根スラブ）

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _{NL} + 1.0 S _{UD}

(3) 応力算出方法

等分布荷重を受ける四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は下式により求める。

- ・短辺方向の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_X \cdot l_X^2$$

- ・短辺方向の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_X \cdot l_X^2$$

- ・短辺方向のせん断力 (Q_X)

$$Q_X = 0.52 \cdot w \cdot l_X$$

- ・長辺方向の端部曲げモーメント (M_{Y1})

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_X^2$$

- ・長辺方向の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_X^2$$

- ・長辺方向のせん断力 (Q_Y)

$$Q_Y = 0.46 \cdot w \cdot l_X$$

ここで、

l_X : 短辺有効スパン (m)

l_Y : 長辺有効スパン (m)

w : 等分布荷重 (kN/m²)

$$w_X = \frac{l_Y^4}{l_X^4 + l_Y^4} \cdot w$$

4.5.2 床スラブ

(1) 荷重ケース

S s 地震時の応力は、単独荷重による応力を組み合わせて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。鉛直震度算定のための最大応答鉛直加速度は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」による。なお、対象とするスラブは十分な剛性（固有振動数 20Hz 以上）を有していることから、共振は考慮しない。最大応答鉛直加速度及び鉛直震度を表 4-26 に示す。

- G : 固定荷重
- P : 積載荷重
- S N L : 積雪荷重
- S s U D : S s 地震荷重（鉛直方向）

表 4-26 最大応答鉛直加速度及び鉛直震度

EL (m)	階	ケース	最大応答 鉛直加速度 (cm/s ²)	鉛直震度
51.7	CRF	S s - N 2 (ケース 2)	1444	1.48
42.8	4F	S s - N 2 (ケース 2)	1291	1.32
34.8	3F	S s - N 2 (ケース 2)	1075	1.10
30.5	M3F	S s - N 2 (ケース 2)	959	0.98
23.8	2F	S s - N 2 (ケース 2)	826	0.85
15.3	1F	S s - D (ケース 1)	695	0.71
8.8	B1F	S s - D (ケース 1)	627	0.64

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-27 に示す。

鉛直地震力は、固定荷重及び積雪荷重と同じ載荷方向となる下向き方向に作用させるものとする。

表 4-27 荷重の組合せケース (床スラブ)

外力の状態	荷重の組合せ
S s 地震時	G + P + S N L * + 1.0 S s U D

注記*：積雪荷重 (S N L) は、積雪荷重が作用する屋外に面する床スラブに対して考慮する。

(3) 応力算出方法

等分布荷重を受ける片持ちはり，両端固定はり及び四辺固定版の曲げモーメント及びせん断力は下式により求める。また，等分布荷重を受ける三辺固定・一辺自由版の曲げモーメント及びせん断力は，計算図表 (引用文献(2)参照) を用いて求める。

(片持ちはり)

- ・ 端部曲げモーメント (M_E)

$$M_E = -\frac{1}{2} \cdot w \cdot l^2$$

- ・ 端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = w \cdot l$$

(両端固定はり)

- ・ 端部曲げモーメント (M_E)

$$M_E = -\frac{1}{12} \cdot w \cdot l^2$$

- ・ 中央部曲げモーメント (M_C)

$$M_C = \frac{1}{24} \cdot w \cdot l^2$$

- ・ 端部せん断力 (Q_E)

$$Q_E = 0.5 \cdot w \cdot l$$

ここで，

l : 有効スパン (m)

w : 等分布荷重 (kN/m)

(四辺固定版)

- 短辺方向の端部曲げモーメント (M_{X1})

$$M_{X1} = -\frac{1}{12} \cdot w_X \cdot l_X^2$$

- 短辺方向の中央部曲げモーメント (M_{X2})

$$M_{X2} = \frac{1}{18} \cdot w_X \cdot l_X^2$$

- 短辺方向のせん断力 (Q_X)

$$Q_X = 0.52 \cdot w \cdot l_X$$

- 長辺方向の端部曲げモーメント (M_{Y1})

$$M_{Y1} = -\frac{1}{24} \cdot w \cdot l_X^2$$

- 長辺方向の中央部曲げモーメント (M_{Y2})

$$M_{Y2} = \frac{1}{36} \cdot w \cdot l_X^2$$

- 長辺方向のせん断力 (Q_Y)

$$Q_Y = 0.46 \cdot w \cdot l_X$$

ここで,

l_X : 短辺有効スパン (m)

l_Y : 長辺有効スパン (m)

w : 等分布荷重 (kN/m²)

$$w_X = \frac{l_Y^4}{l_X^4 + l_Y^4} \cdot w$$

4.5.3 屋根トラス

屋根トラスについては，3次元FEMモデルを用いた地震応答解析により得られた各部材の応力を評価する。

(1) 荷重ケース

S_s地震時の応力は，次の荷重を3次元FEMモデルに入力して求める。
荷重の記号を以下に示す。

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_{NL} : 積雪荷重*

S_s : S_s地震荷重（燃料取替階レベルのS_s地震時の水平及び鉛直方向の時刻歴応答加速度）

注記*：材料物性の不確かさ等を考慮する解析ケースのうち，積雪荷重との組合せを考慮するケース4において，積雪荷重（S_{NL}）を考慮する。

(2) 荷重の組合せケース

水平地震荷重と鉛直地震荷重は，加速度時刻歴波形を同時に入力して組み合わせる。

(3) 荷重の入力方法

屋根面の固定荷重及び積雪荷重は節点に集中荷重として，天井クレーンは待機位置（_{R3}～_{R4} 通り間）にあるものとし，その重量は対応する節点に集中荷重として入力する。

地震荷重は，図4-12～図4-59に示した加速度時刻歴波形を3次元FEMモデルの脚部に入力する。

4.5.4 耐震壁

(1) 地震時面内せん断応力度

地震荷重に対する耐震壁の面内せん断力に対して、耐震壁の有効せん断断面積により面内せん断応力度を評価する。

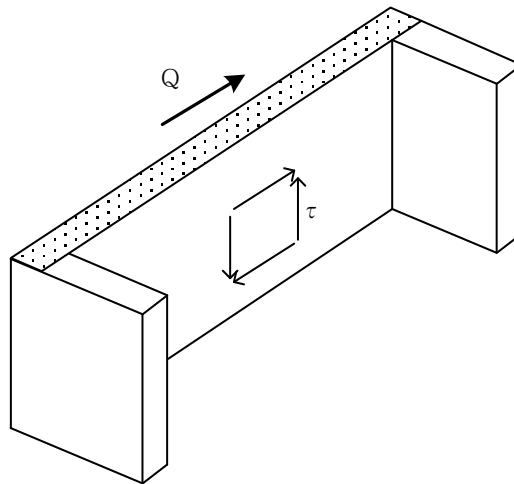
$$\tau = \frac{Q}{A_s}$$

ここで、

τ : 面内せん断応力度 (N/mm²)

Q : 面内せん断力 (N)

A_s : 有効せん断断面積 (mm²)



また、面内せん断応力度に対して、鉄筋のせん断補強用許容引張応力度により面内せん断力による必要鉄筋比を評価する。

$$P_Q = \frac{\tau}{s f_t}$$

ここで、

P_Q : 面内せん断力による必要鉄筋比

$s f_t$: 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度 (N/mm²)

(2) 地震時曲げモーメント及び軸力

a. 鉄筋比により評価する場合

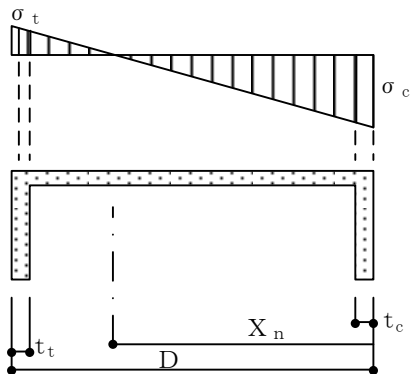
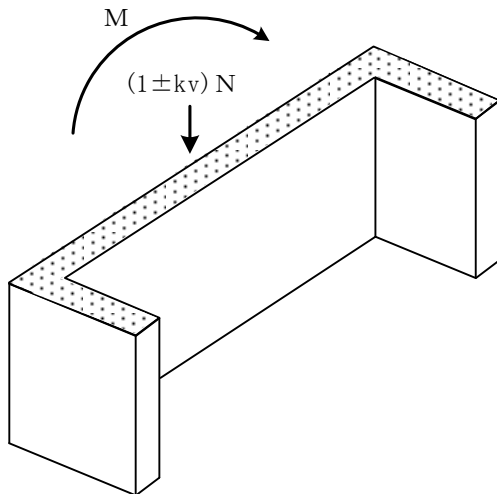
地震時曲げモーメント及び軸力に対して，耐震壁の有効断面二次モーメントにより軸方向応力度を評価する。なお，鉛直荷重に対しては，鉛直震度を考慮する。

$$\sigma_c = (1 + k_v) \sigma_o + \frac{M}{I} (X_n - t_c) \times 10^{-3} \quad (\text{ウェブ})$$

$$= (1 + k_v) \sigma_o + \frac{M}{I} X_n \times 10^{-3} \quad (\text{フランジ})$$

$$\sigma_t = (1 - k_v) \sigma_o - \frac{M}{I} (D - X_n - t_t) \times 10^{-3} \quad (\text{ウェブ})$$

$$= (1 - k_v) \sigma_o - \frac{M}{I} (D - X_n - \frac{t_t}{2}) \times 10^{-3} \quad (\text{フランジ})$$



ここで，

σ_c : 軸方向最大圧縮応力度 (N/mm²)

σ_t : 軸方向最大引張応力度 (N/mm²)

σ_o : 鉛直荷重による平均軸圧縮応力度

(N/mm²)

M : 地震時曲げモーメント (kN・m)

N : 長期軸力 (kN)

k_v : 鉛直震度

I : 耐震壁の断面二次モーメント (m⁴)

X_n : 曲げ材の圧縮縁から中立軸までの距離

(m)

D : 曲げ材のせい (m)

t_c : 圧縮側フランジ部分の厚さ (m)

t_t : 引張側フランジ部分の厚さ (m)

また、軸方向最大引張応力度に対して、鉄筋の許容引張応力度により曲げモーメント及び軸力による必要鉄筋比を評価する。

$$P_M = \frac{\sigma_t}{f_t}$$

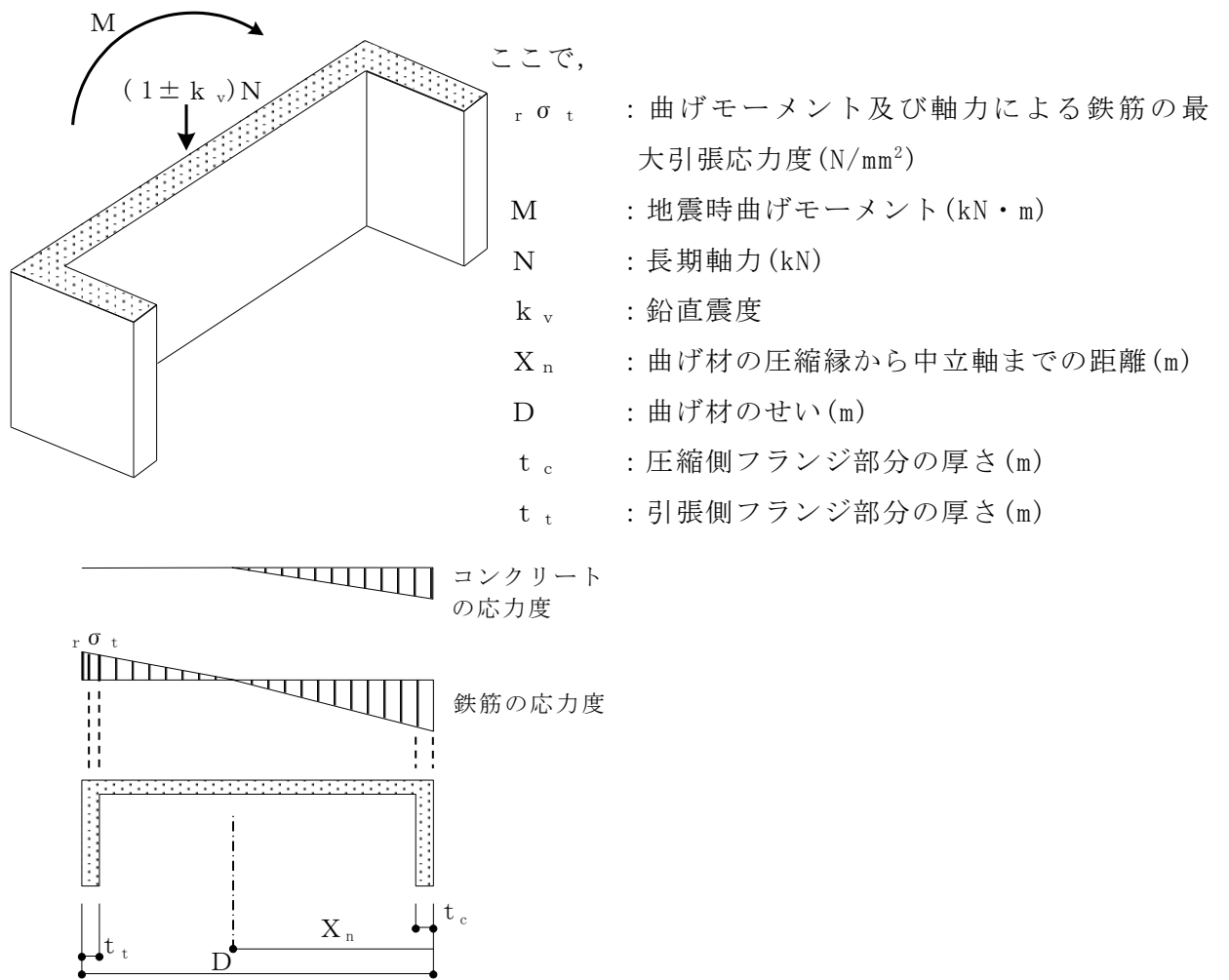
ここで、

P_M : 曲げモーメント及び軸力による必要鉄筋比

f_t : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

b. 応力度により評価する場合

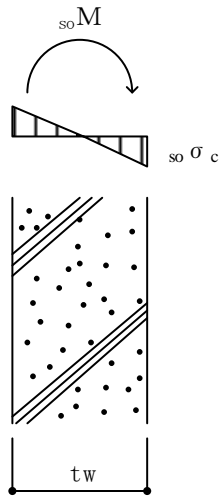
鉄筋比により健全性が確認できなかった場合、「RC-N規準 14 条 柱の軸方向力と曲げに対する断面算定」に準じて地震時曲げモーメント及び軸力に対する耐震壁の鉄筋の応力度を評価する。なお、鉛直荷重に対しては、鉛直震度を考慮する。



(3) 土圧による面外応力度

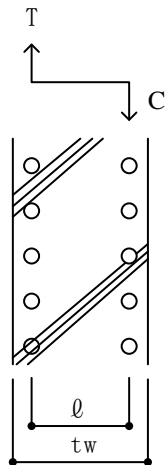
耐震壁で土圧による面外曲げモーメントの生じる部分については，下式によりそれぞれコンクリートの最大圧縮応力度及び鉄筋の最大引張応力度を評価する。

$${}_{so}\sigma_c = \frac{{}_{so}M}{Z}$$



$$a_t = \frac{{}_{so}M}{f_t \cdot \ell}$$

$$P_{so} = \frac{2}{b} \cdot \frac{a_t}{t_w}$$



ここで，

${}_{so}\sigma_c$: コンクリートの最大圧縮応力度 (N/mm²)

${}_{so}M$: 土圧による面外曲げモーメント (kN・m)

Z : 単位幅あたりの壁の面外断面係数 (m³)

$$\left(= \frac{b \cdot t_w^2}{6} \right)$$

b : 単位幅 (m)

t_w : 壁の厚さ (m)

ここで，

a_t : 片側必要鉄筋断面積 (m²)

ℓ : 鉄筋の重心間距離 (m)

f_t : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

b : 耐震壁の幅 (m)

P_{so} : 土圧による面外曲げモーメントによる必要鉄筋比

4.6 断面の評価方法

4.6.1 屋根スラブ

断面の評価は以下の方法で行う。

屋根スラブについては、曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断力を算定し、各許容限界を超えないことを確認する。

(1) 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が、許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで、

σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき、評価対象部位に生じる面外せん断力が、次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2, 1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-13 に示す値

(N/mm²)

f_t : せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-14 に示す値
(N/mm²)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm²)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

(なお、屋根スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

4.6.2 床スラブ

床スラブの評価対象箇所は，原子炉建物原子炉棟（二次格納施設），原子炉二次遮蔽及び補助遮蔽（原子炉建物）の範囲の床スラブとし，断面の評価は以下の方法で行う。

曲げモーメントによる鉄筋応力度及び面外せん断力を算定し，各許容限界を超えないことを確認する。

(1) 曲げモーメントに対する断面の評価方法

断面の評価は，「RC-N規準」に基づき，次式をもとに計算した評価対象部位に生じる曲げモーメントによる鉄筋応力度が，許容限界を超えないことを確認する。

$$\sigma_t = \frac{M}{a_t \cdot j}$$

ここで，

σ_t : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

M : 曲げモーメント (N・mm)

a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)

j : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は，「RC-N規準」に基づき，評価対象部位に生じる面外せん断力が，次式をもとに計算した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w_f \cdot f_t \cdot (p_w - 0.002) \}$$

ここで，

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で，断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割り増し係数

(2 を超える場合は 2，1 未満の場合は 1 とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表 4-13 に示す値
(N/mm^2)

$w f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表 4-14 に示す値
(N/mm^2)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002 以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm^2)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第 2 項を 0 とする。

(なお、床スラブには、面外せん断補強筋は入っていない。)

4.6.3 屋根トラス

断面の評価は以下の方法で行う。

3次元FEMモデルの時刻歴地震応答解析により各部材に生じる応力が許容限界を超えないこと及び塑性化部材では破断しないことを確認する。

(1) 主トラス，サブトラス（上下弦材），水平ブレース，サブビーム，母屋及びサブトラス下弦材座屈止め

地震時に生じる軸力及び曲げモーメントに対する断面検定について，下式を用いて行う。ただし，主トラスの斜材，束材，水平ブレース及びサブトラス下弦材座屈止めは軸応力度のみ評価する。なお，主トラス上下弦材の弱軸周りの曲げモーメントはサブトラスが直交方向の変形を拘束しているため考慮しない。

(圧縮)

$$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ここで， σ_c : 地震時における部材の軸応力度
 σ_b : 地震時における部材の曲げ応力度
 f_c : 圧縮応力度に対する許容値*
 f_b : 曲げ応力度に対する許容値*

(引張)

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} \leq 1.0$$

ここで， σ_t : 地震時における部材の軸応力度
 σ_b : 地震時における部材の曲げ応力度
 f_t : 引張応力度に対する許容値*
 f_b : 曲げ応力度に対する許容値*

注記*：「平12建告第2464号」に基づく鋼材の材料強度（F値の1.1倍）による。

(2) サブトラス（斜材）

各部材の累積塑性変形倍率を整理した上で，累積塑性変形倍率が最も大きい部材について評価する。当該部材の軸ひずみの時刻歴を参照し，座屈及び降伏の繰返し回数が，当該部材の最大ひずみ度に対する破断寿命（繰返し回数）と比較し，十分な裕度を有していることを確認する。

4.6.4 耐震壁

耐震壁の断面評価の評価フローを図 4-71 に示す。

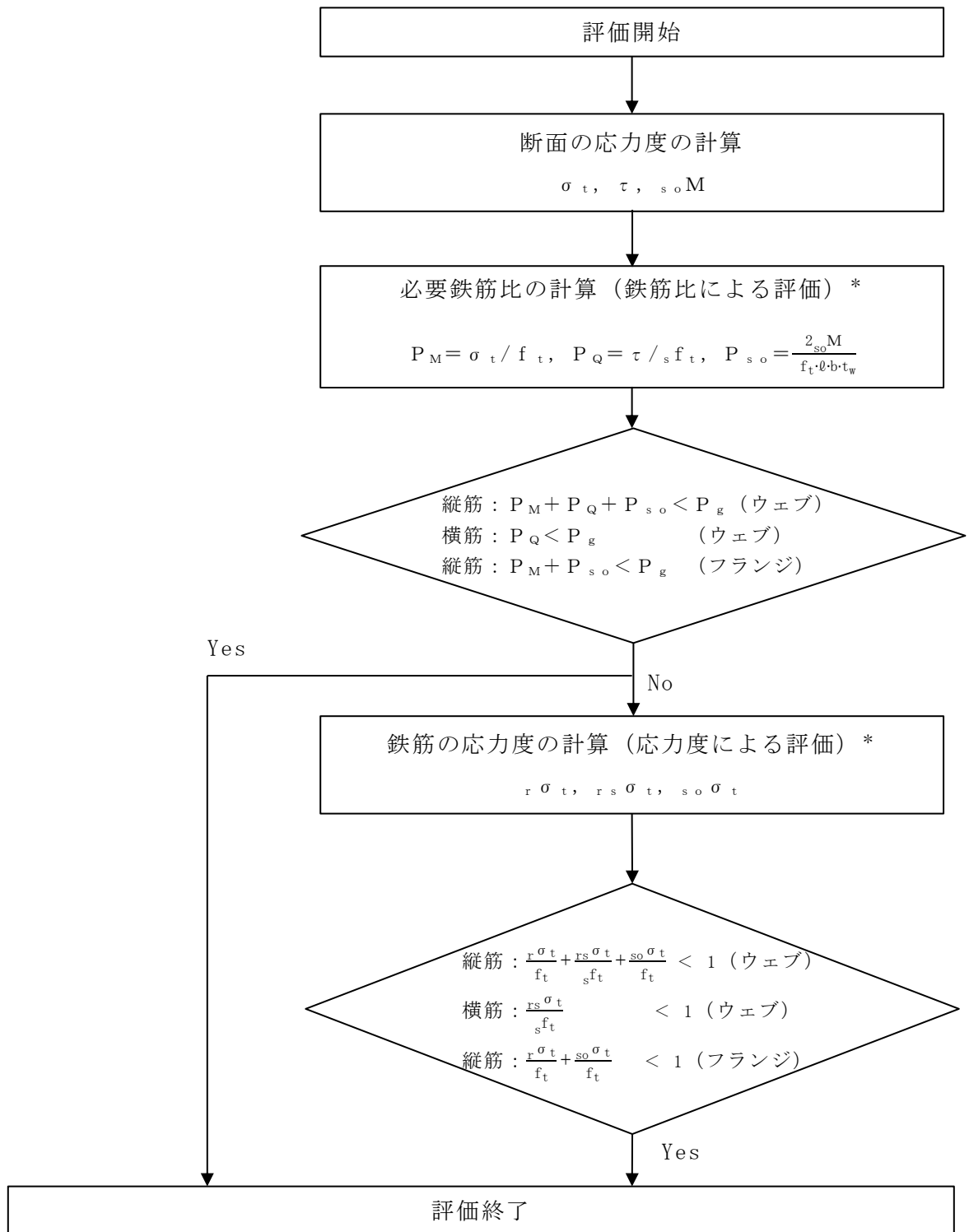
ここで、図中の記号は以下による。

σ_t	: 軸方向最大引張応力度
τ	: 面内せん断応力度
$s_o \sigma_t$: 土圧による鉄筋の最大引張応力度
f_t	: 鉄筋の許容引張応力度
$s f_t$: 鉄筋のせん断補強用許容引張応力度
P_g	: 設計鉄筋比
P_Q	: 面内せん断力による必要鉄筋比
P_{s_o}	: 土圧による面外曲げモーメントによる必要鉄筋比
P_M	: 曲げモーメント及び軸力による必要鉄筋比
$s_o M$: 土圧による面外曲げモーメント
$r \sigma_t$: 曲げモーメント及び軸力による鉄筋の最大引張応力度
$r_s \sigma_t$: 面内せん断力による鉄筋の最大引張応力度
b	: 耐震壁の幅
t_w	: 耐震壁の厚さ
ℓ	: 鉄筋の重心間距離

耐震壁の断面評価は、「4.5 応力評価方法」に示す方法により地震時面内せん断応力度、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに土圧による面外応力度によってそれぞれ計算される必要鉄筋比の和が設計鉄筋比を超えないことを確認する。

必要鉄筋比の和が設計鉄筋比を上回る場合には、地震時曲げモーメント及び軸力に対して、「RC-N規準 14 条 柱の軸方向力と曲げに対する断面算定」に準じて鉄筋の応力度を算定し、地震時面内せん断応力度及び地震時土圧による面外応力度を組み合わせた応力度が鉄筋の許容応力度を超えないことを確認する。

各部の評価において考慮する応力度は次のとおりとする。ウェブの評価においては、地震時面内せん断応力度、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに常時土圧による面外応力度を考慮するものとする。フランジにおいては、地震時曲げモーメント及び軸力による軸方向応力度並びに地震時土圧による面外応力度を考慮するものとする。なお、フランジのうちウェブと交差する箇所は、地震時面内せん断応力度も考慮するものとする。



注記* : 「4.5.4 耐震壁」による。

図 4-71 耐震壁の評価フロー

5. 地震応答解析による評価結果

5.1 耐震壁のせん断ひずみの評価結果

鉄筋コンクリート造耐震壁について、 S_s 地震時の各層の最大応答せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した最大応答せん断ひずみは 0.77×10^{-3} (NS方向, $S_s - N1$, ケース 3, 要素番号 18) であり, 許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。各要素の耐震壁の最大応答せん断ひずみ一覧を表 5-1 に示す。各表において, 各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値について, せん断スケルトン曲線上にプロットした図を図 5-1 に示す。

表 5-1(1) 最大応答せん断ひずみ一覧 (N S 方向)

部位	EL (m)	要素 番号	最大応答 せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
OW-13	34.8~30.5	1	0.30	2.0
	30.5~23.8	2	0.37	
	23.8~15.3	3	0.38	
	15.3~8.8	4	0.43	
	8.8~1.3	5	0.52	
IW-11	63.5~51.7	6	0.39	
	51.7~42.8	7	0.41	
	42.8~34.8	8	0.35	
	34.8~30.5	9	0.33	
	30.5~23.8	10	0.33	
	23.8~15.3	11	0.38	
	15.3~8.8	12	0.43	
	8.8~1.3	13	0.52	
DW	42.8~34.8	14	0.12	
	34.8~30.5	15	0.16	
	30.5~23.8	16	0.16	
	23.8~15.3	17	0.24	
	15.3~10.1	18	0.77	
	10.1~1.3	19	0.22	
IW-3	63.5~51.7	20	0.33	
	51.7~42.8	21	0.48	
	42.8~34.8	22	0.35	
	34.8~30.5	23	0.33	
	30.5~23.8	24	0.33	
	23.8~15.3	25	0.38	
	15.3~8.8	26	0.42	
	8.8~1.3	27	0.53	
OW-1	42.8~34.8	28	0.35	
	34.8~30.5	29	0.28	
	30.5~23.8	30	0.35	
	23.8~15.3	31	0.37	
	15.3~8.8	32	0.42	
	8.8~1.3	33	0.52	

注：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

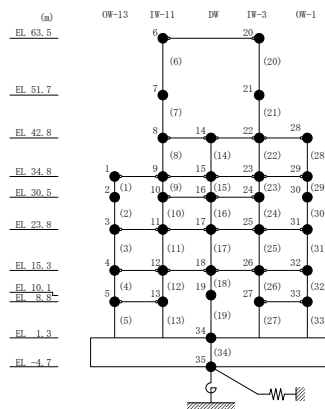
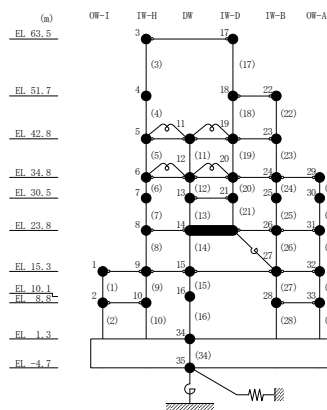


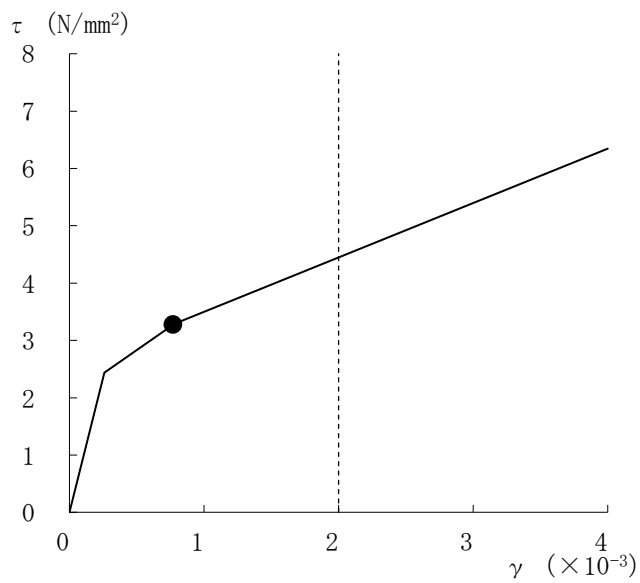
表 5-1(2) 最大応答せん断ひずみ一覧 (EW方向)

部位	EL (m)	要素番号	最大応答せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	許容限界 ($\times 10^{-3}$)
OW-I	15.3~8.8	1	0.32	2.0
	8.8~1.3	2	0.23	
IW-H	63.5~51.7	3	0.31	
	51.7~42.8	4	0.37	
	42.8~34.8	5	0.19	
	34.8~30.5	6	0.18	
	30.5~23.8	7	0.40	
	23.8~15.3	8	0.50	
	15.3~8.8	9	0.31	
	8.8~1.3	10	0.22	
DW	42.8~34.8	11	0.09	
	34.8~30.5	12	0.07	
	30.5~23.8	13	0.27	
	23.8~15.3	14	0.37	
	15.3~10.1	15	0.29	
	10.1~1.3	16	0.16	
IW-D	63.5~51.7	17	0.24	
	42.8~34.8	19	0.17	
	34.8~30.5	20	0.18	
	30.5~23.8	21	0.40	
IW-B	51.7~42.8	22	0.48	
	42.8~34.8	23	0.21	
	34.8~30.5	24	0.26	
	30.5~23.8	25	0.37	
	23.8~15.3	26	0.50	
	15.3~8.8	27	0.22	
	8.8~1.3	28	0.30	
OW-A	34.8~30.5	29	0.32	
	30.5~23.8	30	0.33	
	23.8~15.3	31	0.50	
	15.3~8.8	32	0.22	
	8.8~1.3	33	0.30	

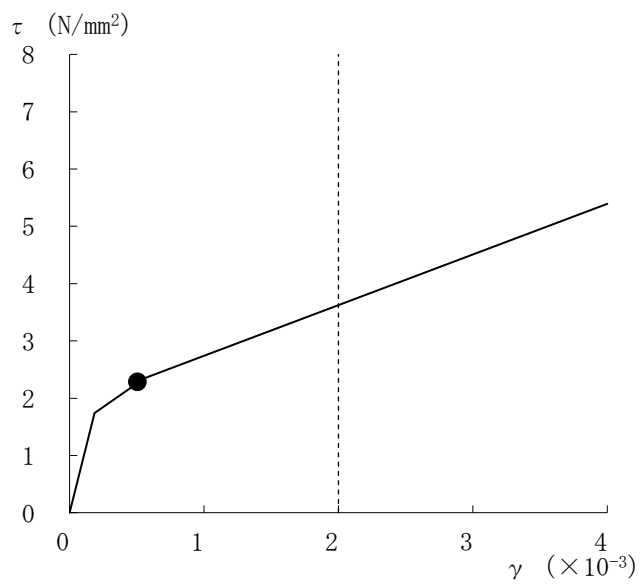
注1：ハッチングは各要素の最大応答せん断ひずみのうち最も大きい値を表示。

注2：要素番号18は線形部材。





(a) NS方向 (S_s-N1, ケース3, 要素番号18)



(b) EW方向 (S_s-D, ケース2, 要素番号31)

図5-1 せん断スケルトン曲線上の最大応答せん断ひずみ

6. 応力解析による評価結果

6.1 屋根スラブの評価結果

屋根スラブの評価結果を表 6-1 に示す。

屋根スラブについては，S s 地震時において，曲げモーメントに対する鉄筋応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-1(1) 評価結果（屋根スラブ）（評価対象箇所①）

方向		短辺（EW）方向	長辺（NS）方向
EL (m)		63.5	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		□	□
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D13@200 (635 mm ² /m)	D13@200 (635 mm ² /m)
	下ば筋	D13@200 (635 mm ² /m)	D13@200 (635 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	19.5	13.7
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	292	274
	許容限界 (N/mm ²)	345	345
	検定値	0.85	0.80
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	57.2	50.6
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.04	1.00
	許容限界 (kN/m)	117.9	85.1
	検定値	0.49	0.60
判定		可	可

表 6-1(2) 評価結果 (屋根スラブ) (評価対象箇所②)

方向		短辺 (N S) 方向	長辺 (E W) 方向
EL (m)		63.5	
厚さ t (mm)		□	
有効せい d (mm)		□	□
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D13@100 (1270 mm ² /m)	D13@100 (1270 mm ² /m)
	下ば筋	D13@100 (1270 mm ² /m)	D13@100 (1270 mm ² /m)
曲げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	24.7	24.4
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	247	183
	許容限界 (N/mm ²)	345	345
	検定値	0.72	0.54
面外 せん 断力	発生せん断力 Q (kN/m)	76.3	67.5
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.00	1.00
	許容限界 (kN/m)	85.1	113.4
	検定値	0.90	0.60
判定		可	可

6.2 床スラブの評価結果

床スラブの評価結果を表 6-2 に示す。

床スラブについては、S s 地震時において、曲げモーメントに対する鉄筋応力度が許容限界を超えないこと及び発生する面外せん断力が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-2(1) 評価結果 (床スラブ) (評価対象箇所①)



方向		短辺 (N S) 方向
EL (m)		12.5
厚さ t (mm)		
有効せい d (mm)		
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)
	下ば筋	D16@200 (995 mm ² /m)
曲げモーメント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	40.0
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	219
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.64
面外せん断力	発生せん断力 Q (kN/m)	54.6
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.00
	許容限界 (kN/m)	198.5
	検定値	0.28
判定		可

表 6-2(2) 評価結果 (床スラブ) (評価対象箇所②)

方向		短辺 (N S) 方向
EL (m)		34.8
厚さ t (mm)		<input type="text"/>
有効せい d (mm)		<input type="text"/>
配筋 (鉄筋断面積)	上ば筋	D22@200 (1935 mm ² /m)
	下ば筋	D22@200 (1935 mm ² /m)
曲げ モー メント	発生曲げモーメント M (kN・m/m)	84.0
	鉄筋応力度 σ_t (N/mm ²)	160
	許容限界 (N/mm ²)	345
	検定値	0.47
面外 せん 断力	発生せん断力 Q (kN/m)	112.1
	せん断スパン比による 割増し係数 α	1.17
	許容限界 (kN/m)	342.8
	検定値	0.33
判定		可

6.3 屋根トラスの評価結果

6.3.1 固有値解析結果

屋根トラスの評価は、積雪荷重との組合せを考慮したケース（ケース 4 の燃料取替階レベルの時刻歴応答加速度を用いる場合）に対しては、積雪荷重を考慮した 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行うため、積雪荷重を考慮しない 3 次元 FEM モデル（以下「基本モデル」という。）及び積雪荷重を考慮した 3 次元 FEM モデル（以下「積雪モデル」という。）のそれぞれのモデルに対する屋根トラスの固有値解析結果を示す。

(1) 基本モデル

屋根トラス（基本モデル）の固有値解析結果を表 6-3 及び図 6-1 に示す。

1 次固有振動数は鉛直方向で 4.60Hz、水平方向で 7.87Hz（NS 方向）、8.12Hz（EW 方向）となる。

表 6-3 固有値解析結果（基本モデル）

次数	振動数 (Hz)	周期 (s)	刺激係数			備考
			水平方向 (NS)	水平方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	
1	4.60	0.217	0.085	-0.003	1.748	鉛直方向 1 次
2	6.23	0.160	-0.004	-0.040	-0.001	
3	7.87	0.127	-1.717	0.016	-0.002	NS 方向 1 次
4	8.12	0.123	-0.014	-1.988	0.006	EW 方向 1 次

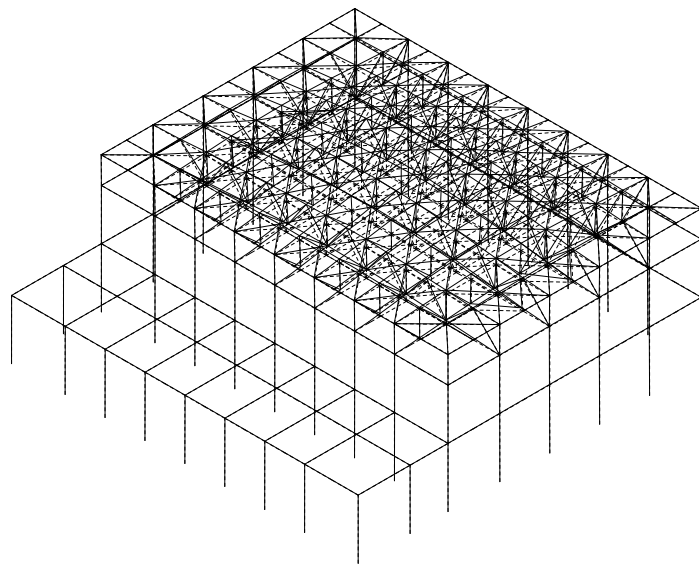
(2) 積雪モデル

屋根トラス（積雪モデル）の固有値解析結果を表 6-4 及び図 6-2 に示す。

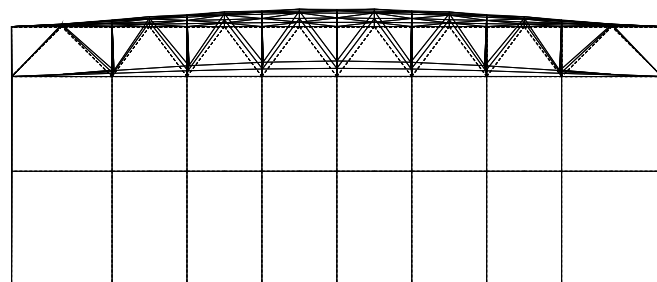
1 次固有振動数は鉛直方向で 4.50Hz、水平方向で 7.79Hz（NS 方向）、8.06Hz（EW 方向）となる。

表 6-4 固有値解析結果（積雪モデル）

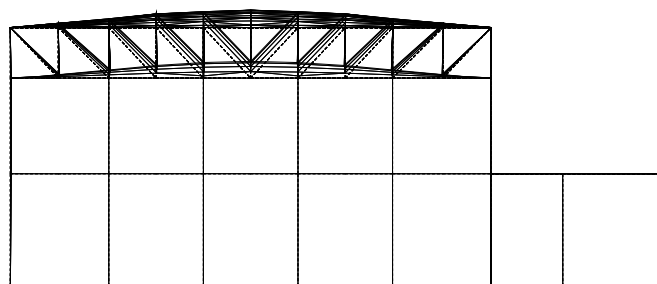
次数	振動数 (Hz)	周期 (s)	刺激係数			備考
			水平方向 (NS)	水平方向 (EW)	鉛直方向 (UD)	
1	4.50	0.222	0.081	-0.003	1.744	鉛直方向 1 次
2	6.10	0.164	-0.004	-0.043	-0.001	
3	7.79	0.128	-1.713	0.015	-0.005	NS 方向 1 次
4	8.06	0.124	-0.013	-1.986	0.008	EW 方向 1 次



(a) 鳥瞰図

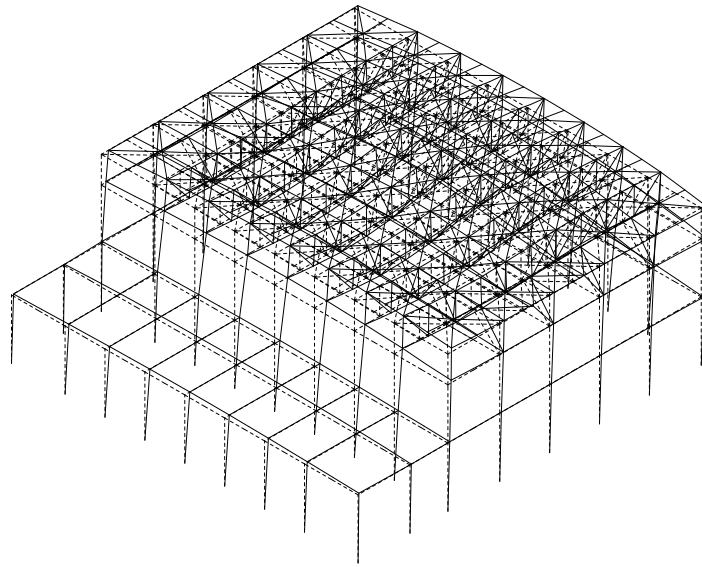


(b) XZ 面

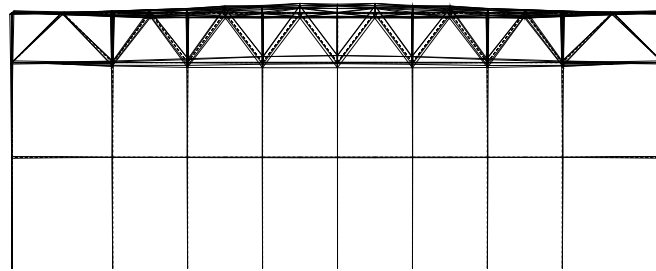


(c) YZ 面

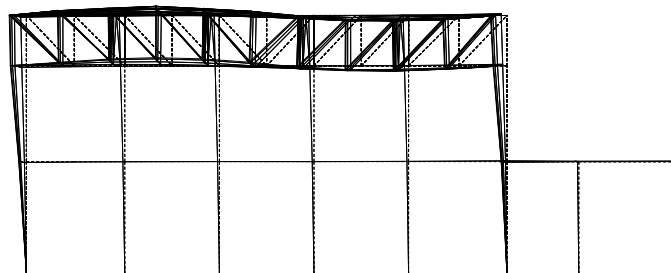
図 6-1(1) 固有モード図
(基本モデル, 鉛直方向 1 次)



(a) 鳥瞰図

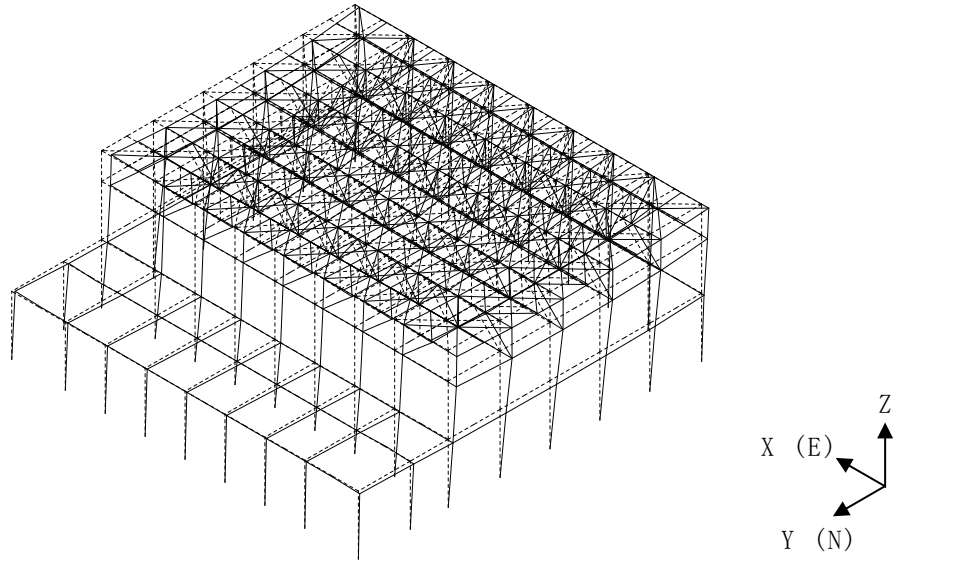


(b) XZ 面

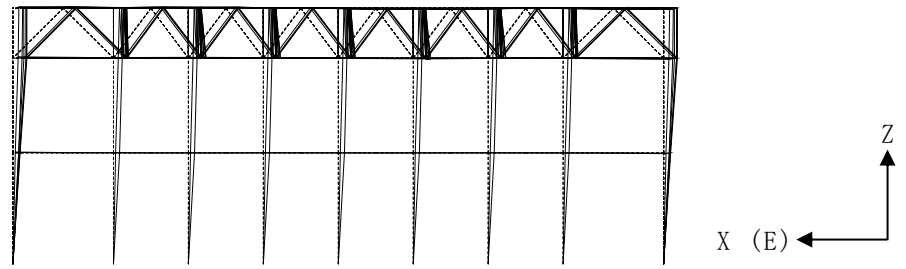


(c) YZ 面

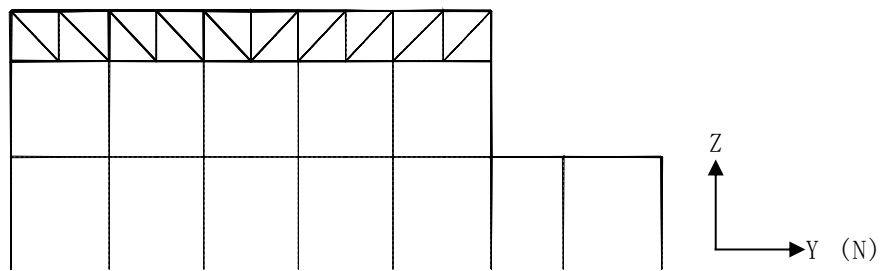
図 6-1(2) 固有モード図
(基本モデル, NS 方向 1 次)



(a) 鳥瞰図

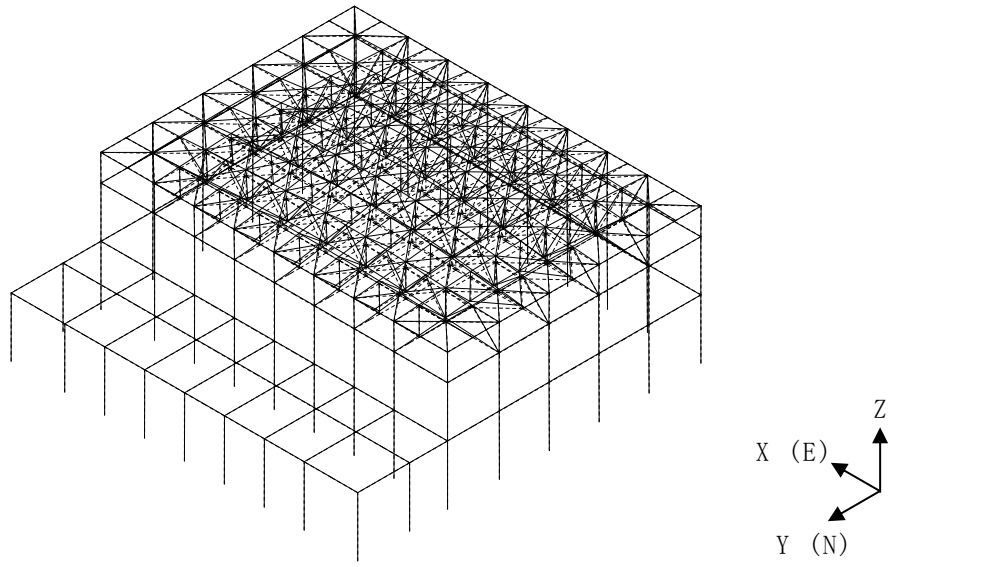


(b) XZ 面

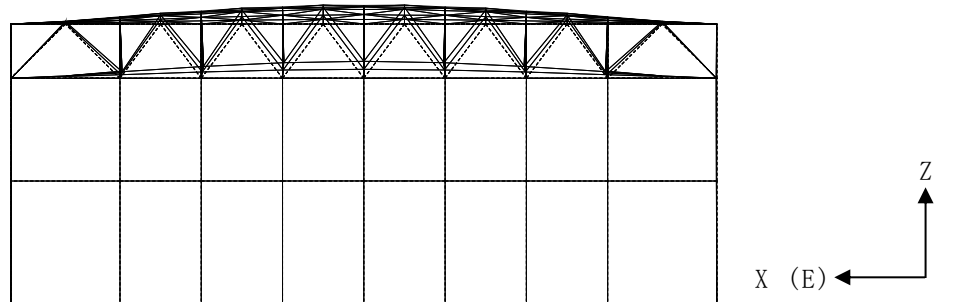


(c) YZ 面

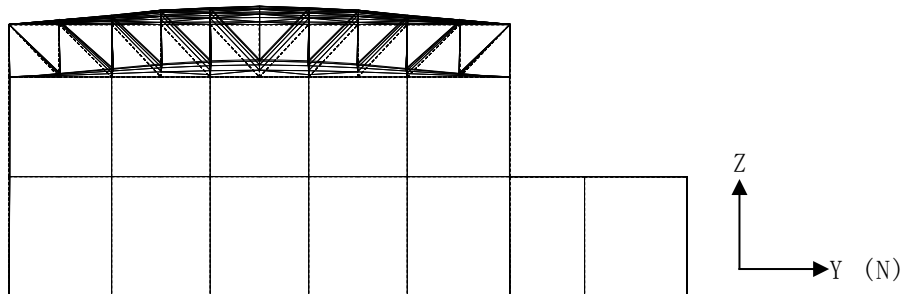
図 6-1(3) 固有モード図
(基本モデル, EW方向 1次)



(a) 鳥瞰図

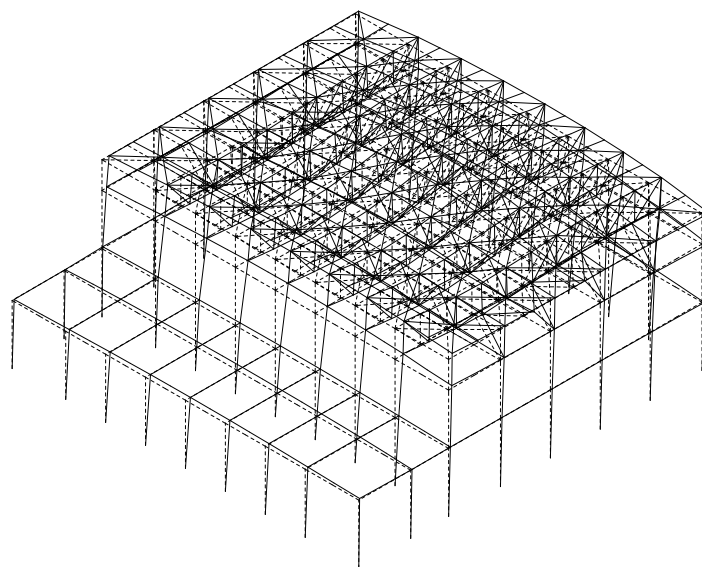


(b) XZ 面

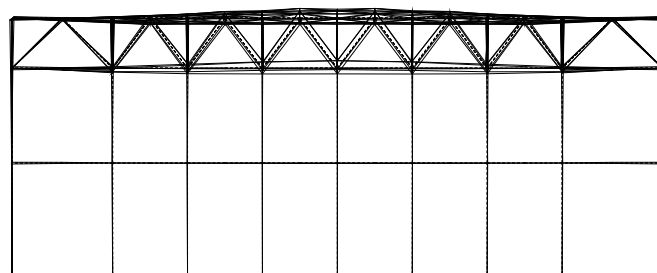


(c) YZ 面

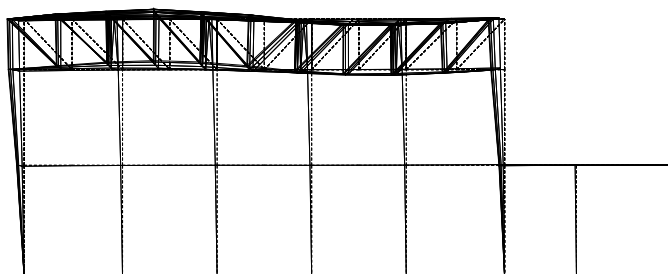
図6-2(1) 固有モード図
(積雪モデル, 鉛直方向1次)



(a) 鳥瞰図

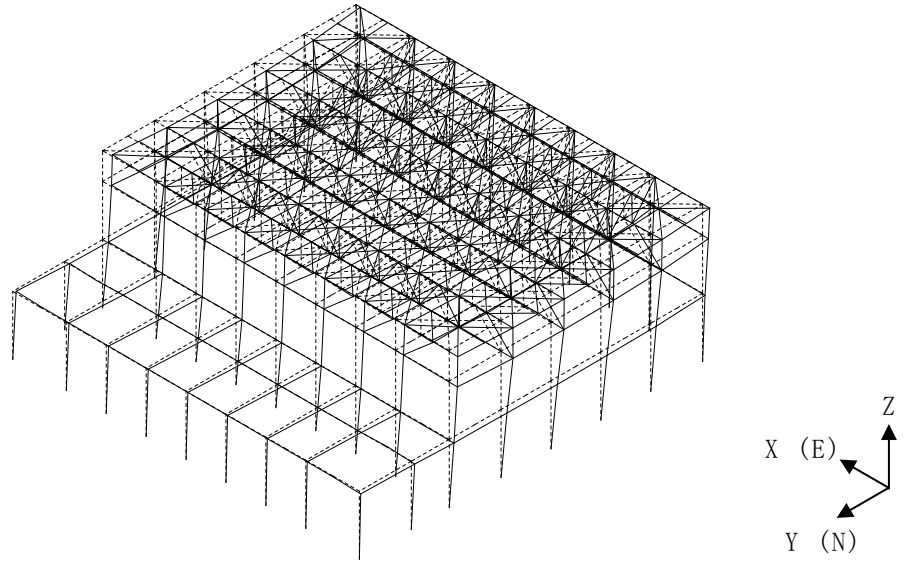


(b) XZ 面

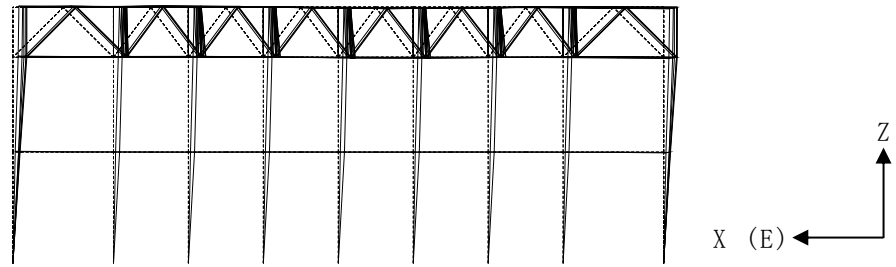


(c) YZ 面

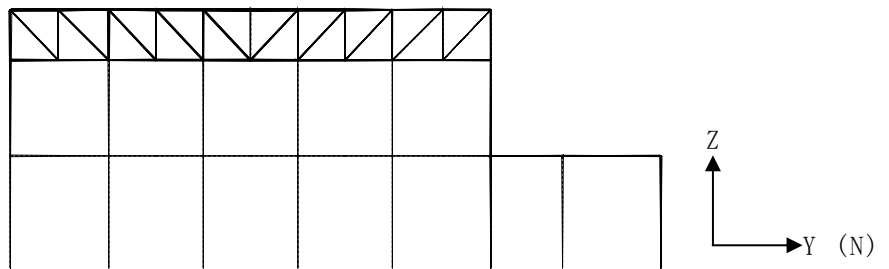
図 6-2(2) 固有モード図
(積雪モデル, NS 方向 1 次)



(a) 鳥瞰図



(b) XZ 面



(c) YZ 面

図 6-2(3) 固有モード図
(積雪モデル, EW方向 1次)

6.3.2 断面の評価結果

- (1) 主トラス，サブトラス（上下弦材），水平ブレース，サブビーム，母屋及びサブトラス下弦材座屈止め

屋根トラスの主トラス，サブトラス（上下弦材），水平ブレース，サブビーム，母屋及びサブトラス下弦材座屈止めの断面算定結果を表 6-5～表 6-10 に示す。

各部材における発生応力度が許容限界を超えないことを確認した。

表 6-5(1) 断面算定結果 (主トラス : $R7$ 通り)

部材 (種類)		上弦材	
位置		R_G 通り R_H 通り間	
ケース		S _s -D, ケース 4	
鉄骨断面	部材	H-400×400×13×21	
	種別	SM50A (SM490A 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		392	343
M (kN・m)		435	435
断面算定	σ_t (N/mm ²)	17.9	—
	σ_c (N/mm ²)	—	15.7
	σ_b (N/mm ²)	131	131
	f_t (N/mm ²)	357	—
	f_c (N/mm ²)	—	357
	f_b (N/mm ²)	357	357
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.42 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.42 (<1.0)
判定		可	可

表 6-5(2) 断面算定結果 (主トラス : $R7$ 通り)

部材 (種類)		下弦材	
位置		R_D 通り R_E 通り間	
ケース		S _s -D, ケース 4	
鉄骨断面	部材	BH-400×400×19×35 +2PL _s -16×330	
	種別	SM50A (SM490A 相当), SN490B	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		1150	5390
M (kN・m)		482	482
断面算定	σ_t (N/mm ²)	33.6	—
	σ_c (N/mm ²)	—	157
	σ_b (N/mm ²)	97.1	97.1
	f_t (N/mm ²)	357	—
	f_c (N/mm ²)	—	301
	f_b (N/mm ²)	357	357
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.38 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.81 (<1.0)
判定		可	可

表 6-5(3) 断面算定結果 (主トラス : $R7$ 通り)

部材 (種類)		斜材	
位置		R_G 通り R_H 通り間	
ケース		$S_S - D$, ケース 4	
鉄骨断面	部材	2CTs-175×350×12×19	
	種別	SS41(SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		4260	1510
断面算定	σ_t (N/mm ²)	245	—
	σ_c (N/mm ²)	—	86.8
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	181
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.95 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.48 (<1.0)
判定		可	可

表 6-5(4) 断面算定結果 (主トラス : $R7$ 通り)

部材 (種類)		束材	
位置		R_G 通り R_H 通り間	
ケース		$S_S - D$, ケース 4	
鉄骨断面	部材	2CTs-175×350×12×19	
	種別	SS41(SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		1120	3170
断面算定	σ_t (N/mm ²)	64.4	—
	σ_c (N/mm ²)	—	182
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	216
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.25 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.85 (<1.0)
判定		可	可

表6-6(1) 断面算定結果 (サブトラス: R F通り)

部材 (種類)		上弦材	
位置		$R3$ 通り $R4$ 通り間	
ケース		S _s -D, ケース 4	
鉄骨断面	部材	H-390×300×10×16	
	種別	SS41(SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		557	308
M (kN・m)		261	261
断面算定	σ_t (N/mm ²)	41.0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	22.6
	σ_b (N/mm ²)	131	131
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	258
	f_b (N/mm ²)	258	258
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.67 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.60 (<1.0)
判定		可	可

表6-6(2) 断面算定結果 (サブトラス: R F通り)

部材 (種類)		下弦材	
位置		$R3$ 通り $R4$ 通り間	
ケース		S _s -D, ケース 4	
鉄骨断面	部材	H-390×300×10×16	
	種別	SS41(SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		677	1630
M (kN・m)		131	131
断面算定	σ_t (N/mm ²)	49.8	—
	σ_c (N/mm ²)	—	120
	σ_b (N/mm ²)	66.0	66.0
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	243
	f_b (N/mm ²)	258	258
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.46 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.76 (<1.0)
判定		可	可

表 6-7 断面算定結果（水平ブレース：_R3 通り _R4 通り間）

部材（種類）		水平ブレース	
位置		_R G 通り _R H 通り間	
ケース		S _s -F 2, ケース 4	
鉄骨断面	部材	H-400×408×21×21	
	種別	SS41(SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		2770	3260
断面算定	σ_t (N/mm ²)	110	—
	σ_c (N/mm ²)	—	130
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	246
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.43 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.53 (<1.0)
判定		可	可

表 6-8 断面算定結果（サブビーム：_RE 通り _RF 通り間）

部材（種類）		サブビーム	
位置		_R 9 通り _R 10 通り間	
ケース		S _s -D, ケース 2	
鉄骨断面	部材	H-390×300×10×16	
	種別	SS41(SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		327	325
M (kN・m)		194	194
断面算定	σ_t (N/mm ²)	24.0	—
	σ_c (N/mm ²)	—	23.9
	σ_b (N/mm ²)	97.7	97.7
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	244
	f_b (N/mm ²)	258	258
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.48 (<1.0)	—
	$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.48 (<1.0)
判定		可	可

表 6-9 断面算定結果 (母屋 : _R6 通り _R7 通り間)

部材 (種類)		母屋	
位置		_R E 通り _R F 通り間	
ケース		S _s -D, ケース 4	
鉄骨断面	部材	H-244×175×7×11	
	種別	SS41 (SS400 相当)	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		79.1	209
M (kN・m)		0	0
断面算定	σ_t (N/mm ²)	14.1	—
	σ_c (N/mm ²)	—	37.2
	σ_b (N/mm ²)	0	0
	f_t (N/mm ²)	258	—
	f_c (N/mm ²)	—	194
	f_b (N/mm ²)	258	258
	$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	0.06 (<1.0)	—
$\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}$	—	0.20 (<1.0)	
判定		可	可

表 6-10 断面算定結果 (サブトラス下弦材座屈止め : _R3 通り _R4 通り間)

部材 (種類)		サブトラス下弦材座屈止め	
位置		_R E 通り _R F 通り間	
ケース		S _s -F1, ケース 2	
鉄骨断面	部材	2[s-150×75×9×12.5	
	種別	SS400	
応力状態		引張	圧縮
N (kN)		248	275
断面算定	σ_t (N/mm ²)	64.4	—
	σ_c (N/mm ²)	—	44.9
	f_t (N/mm ²)	235	—
	f_c (N/mm ²)	—	61.3
	$\frac{\sigma_t}{f_t}$	0.28 (<1.0)	—
$\frac{\sigma_c}{f_c}$	—	0.74 (<1.0)	
判定		可	可

(2) サブトラス (斜材)

サブトラス (斜材) の破断評価結果を表 6-11 に示す。

サブトラス (斜材) は、累積塑性変形倍率が最も大きい部材であっても、中込ほか (引用文献(3)参照) による破断寿命と比較し、十分な裕度を有していることを確認した。

表 6-11 破断評価結果 (RE 通り+3.0m, S s -D, ケース 4)

使用部材	位置	最大等価 軸ひずみ $\epsilon_{\max} (\times 10^{-3})$	累積塑性 変形倍率 η	応答による 繰返し回数*1 n_i	評価基準*2 (破断寿命) N_p	$\frac{n_i}{N_p}$	判定
2CTs-125×250×9×14 +4Ls-65×65×6 SS41 (SS400 相当), SS400	R3 通り R4 通り間	1.006	0.9656	901	1190000	0.001	可

注記*1: ピークカウント法を用い、対象部材の軸ひずみの時刻歴波形の最大及び最小を全てカウントする。

*2: 最大等価軸ひずみ (設定ひずみ振幅) に対応する鋼材の破断寿命を引用文献(3)より算定し、これを評価基準とする。

6.4 耐震壁の評価結果

耐震壁の評価結果を表 6-12 に示す。対象部位において、鉄筋比による評価を実施した結果、S d 地震時に曲げモーメント及び軸力並びに面内せん断力による必要鉄筋比が設計鉄筋比を超えないことを確認した。

表 6-12 評価結果 (耐震壁) (評価対象箇所)

EL (m)		23.8~30.5
壁位置 (通り)		R3
壁厚 (mm)		<input type="text"/>
せん断断面積 (m ²)		116.2
配筋	縦筋配筋	2-D38@200 2-D35@400
	縦筋設計鉄筋比 P _g (%)	0.899
	横筋配筋	2-D35@200 2-D35@400
	横筋設計鉄筋比 P _g (%)	0.798
せん断に対する検討	せん断力 Q (×10 ⁴ kN)	23.4
	せん断応力度 τ (N/mm ²)	2.02
	面内せん断力による 必要鉄筋比 P _Q (%)	0.584
曲げモーメントに対する検討	曲げモーメント M (×10 ⁵ kN・m)	44.7
	軸力 N (×10 ³ kN)	185.4
	曲げモーメント及び軸力 による必要鉄筋比 P _M (%)	0.246
(P _Q + P _M) / P _g		0.93
判定		可

7. 引用文献

- (1) 谷口ほか「鉄骨 X 型ブレース架構の復元力特性に関する研究」(日本建築学会構造工学論文集, Vol. 37B 号, 1991 年 3 月, pp. 303-316)
- (2) 「鉄筋コンクリート構造計算用資料集」((社)日本建築学会, 2002 年)
- (3) 中込ほか「繰返し力を受ける SM490 鋼の疲労性に関する研究」(日本建築学会構造系論文集, 第 469 号, pp. 127-136, 1995 年 3 月)

別紙1 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の気密性に関する
計算書

目 次

1. 概要	1
2. 既往の知見等の整理	1
3. 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）における空気漏えい量に対する影響検討.....	3
3.1 検討方針	3
3.2 空気漏えい量の算定結果	10
3.2.1 壁面からの漏えい量	10
3.3 総漏えい量と非常用ガス処理設備放出流量の比較	12
3.4 検討結果	12
4. まとめ	12

1. 概要

「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針（昭和 53 年 9 月制定）」における A クラスの施設の気密性について、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987（（社）日本電気協会）」（以下「J E A G 4 6 0 1 - 1987」という。）では、S₁地震動に対し弾性範囲であることを確認することで、機能が維持されるとしている。

VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の機能維持の設計方針では、耐震壁のせん断ひずみがおおむね弾性状態にとどまることを基本としたうえで、おおむね弾性状態を超える場合は、地震応答解析による耐震壁のせん断ひずみから算定した空気漏えい量が、設置する換気設備の性能を下回ることによって必要な気密性を維持する設計としている。その場合、気密性を要求される施設に対し、基準地震動 S_s による鉄筋コンクリート造耐震壁の許容限界をせん断ひずみ 2.0×10^{-3} としている。

二次格納施設の気密バウンダリを構成する原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の地震応答解析による評価において、耐震壁の許容限界として設定したせん断ひずみ 2.0×10^{-3} の適用性について確認するために、耐震壁のせん断ひび割れと空気漏えい量の関係に係る既往の知見を整理するとともに、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）における空気漏えい量に対する影響を評価する。

2. 既往の知見等の整理

（財）原子力発電技術機構は、「原子力発電施設耐震信頼性実証試験に関する報告書^{*1}」において、「J E A G 4 6 0 1 - 1987」による許容限界の目安値（S₂地震動に対してせん断変形角 2/1000rad、静的地震力に対して $\tau = \tau_u / 1.5$ ）において想定されるひび割れを残留ひび割れと仮定した場合の外気侵入量を算出し、気圧差維持のためのファン容量と比較することで、空気漏えい量に対する評価を実施している。その結果「残留ひび割れからの外気侵入量は、ファン容量に比較すると無視できるほど小さいことが明らかになった」としている。

また、（財）原子力発電技術機構は、「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書^{*2}」において、耐震壁の残留ひび割れからの通気量の評価式が、十分に実機への適用性があることを確認している。さらに、開口部の存在による通気量割増率の評価式も示されており、「開口部の残留ひび割れ幅の割増率がおおよそ推定できる」としている。

したがって、二次格納施設の気密バウンダリとなる原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の壁が鉄筋コンクリート造であり、壁厚も「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に示される壁厚と同程度であることから、同文献にて提案されている各評価式を用い、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）における空気漏えい量の算出を行う。以下に評価式を示す。

$$Q = C \cdot \gamma^{2.57} \cdot \Delta P / T \dots\dots\dots (2. 1)$$

ここで、

Q : 単位面積あたりの流量 (L/min/m²)

C : 定数

(中央値は 2.24×10⁶, 95%非超過値は 1.18×10⁷, 5%非超過値は 4.21×10⁵)

γ : 最大応答せん断ひずみ

ΔP : 差圧 (mmAq)

T : 壁厚 (cm)

$$\Delta Q = \left\{ (\alpha^2 - 1) \cdot \left(\frac{Q'}{Q_0} - 1 \right) - 1 \right\} \cdot \beta + 1 \dots\dots\dots (2. 2)$$

ここで、

ΔQ : 通気量割増率

α : 通気量割増範囲 (=3)

$\frac{Q'}{Q_0}$: 定数

(中央値とみなされる評価法では 1.81, 安全側とみなされる評価法では 7.41)

β : 壁の見付け面積に対する開口の総面積の比

注記*1 : 財団法人 原子力発電技術機構 「原子力発電施設耐震信頼性実証試験 原子炉建屋
総合評価 建屋基礎地盤系評価に関する報告書 (その2) 平成8年度」

*2 : 財団法人 原子力発電技術機構 「耐震安全解析コード改良試験 原子炉建屋の弾塑性試験 試験結果の評価に関する報告書 平成5年度」

3. 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）における空気漏えい量に対する影響検討

3.1 検討方針

「原子炉建屋の弾塑性試験に関する報告書」に基づき、式(2. 1)及び式(2. 2)により気密バウンダリを構成する壁の最大応答せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) に達したときの空気漏えい量を算定し、非常用ガス処理設備放出流量以下となっていることを確認する。

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略図を図 3-1 及び図 3-2 に示す。原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）（EL 1.3m～EL 63.5m）*を構成する壁の壁厚は約

□ cm から約 □ cm である。

注記*：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。

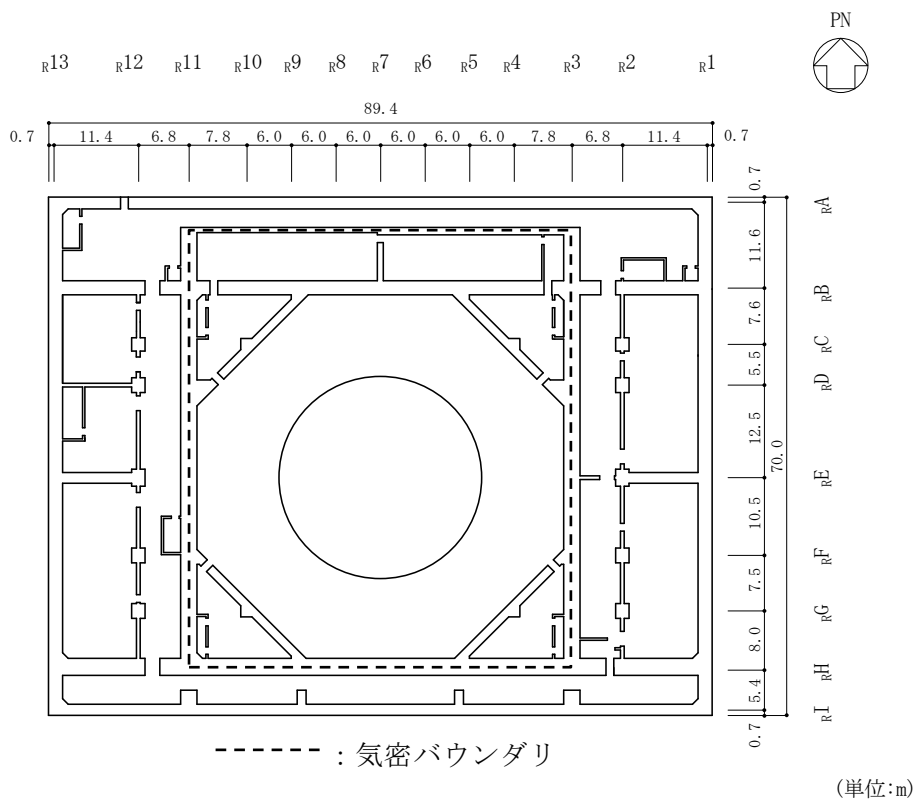


図 3-1(1) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略平面図（EL 1.3m）

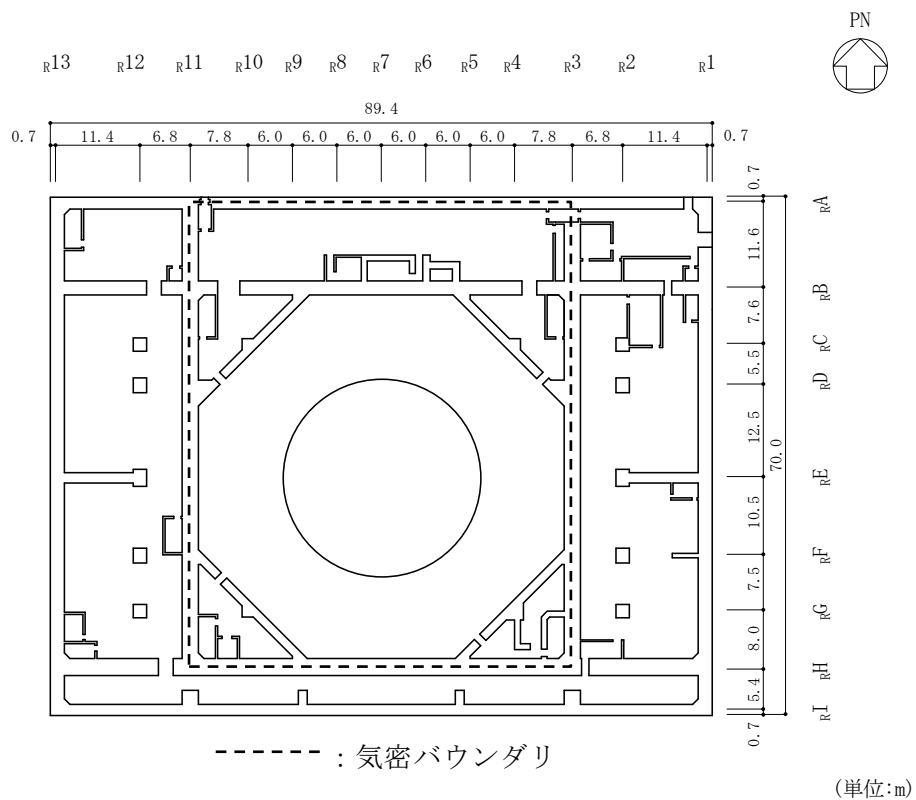


図 3-1(2) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略平面図（EL 8.8m）

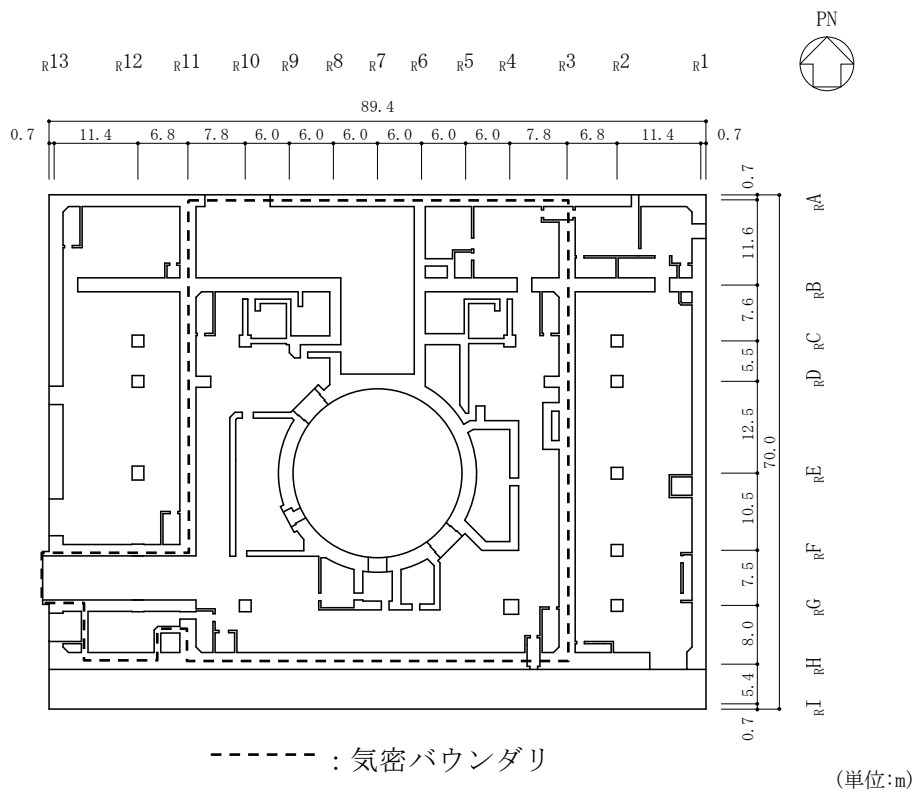


図 3-1(3) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略平面図（EL 15.3m）

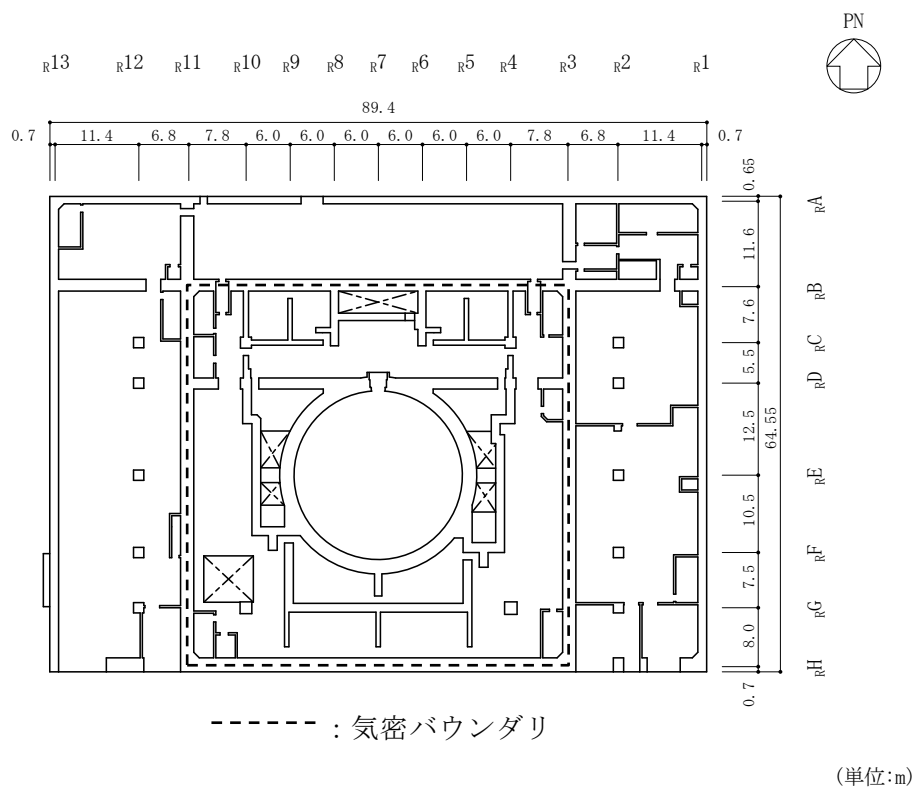


図 3-1(4) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略平面図（EL 23.8m）

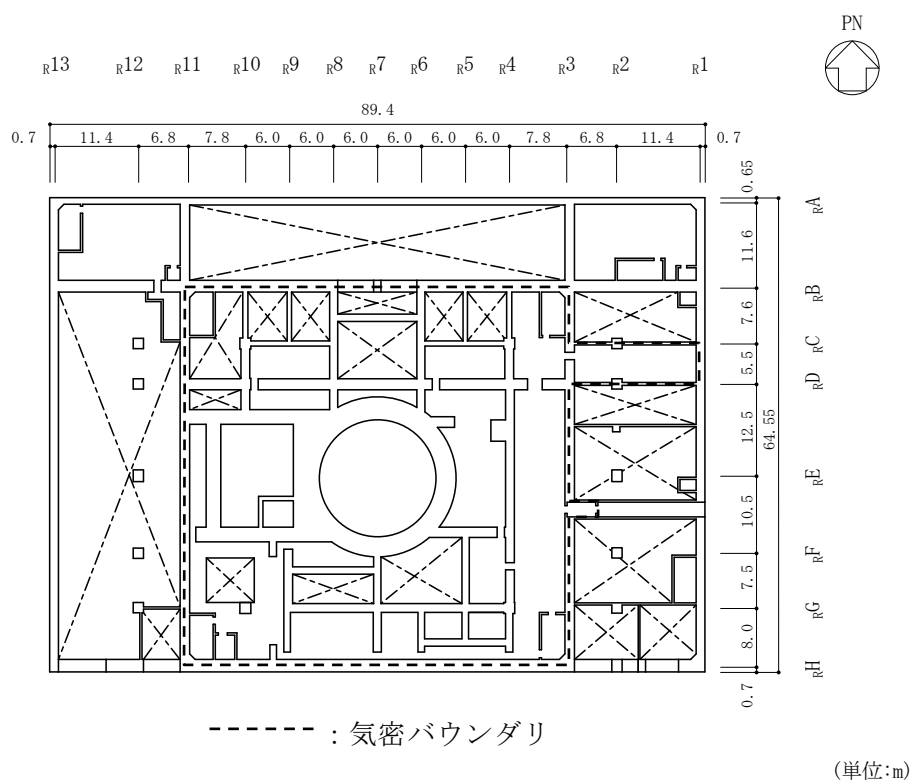


図 3-1(5) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略平面図（EL 30.5m）

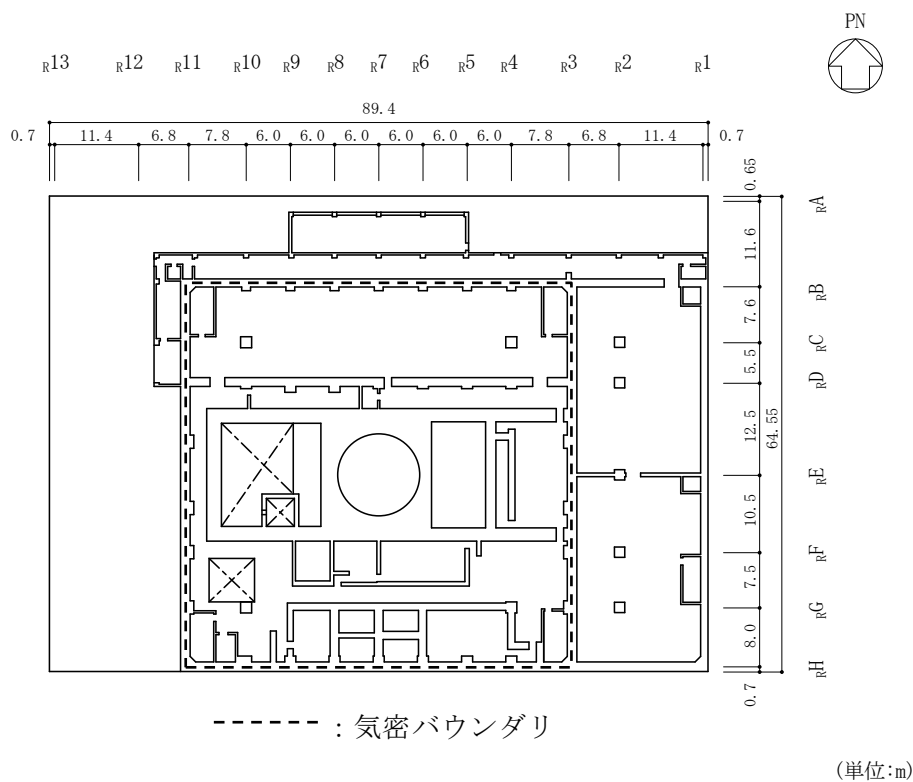


図 3-1(6) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略平面図（EL 34.8m）

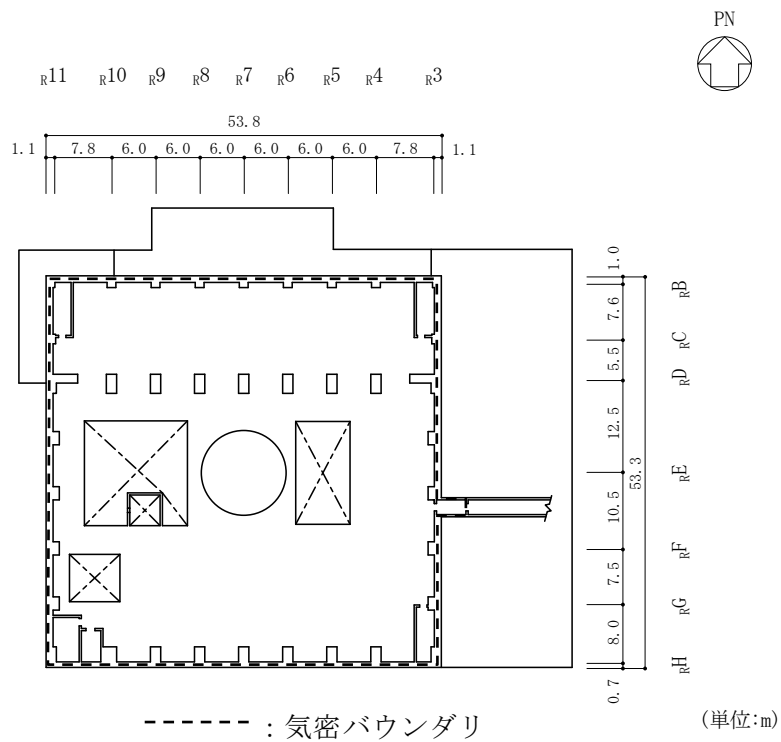


図 3-1(7) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略平面図（EL 42.8m）

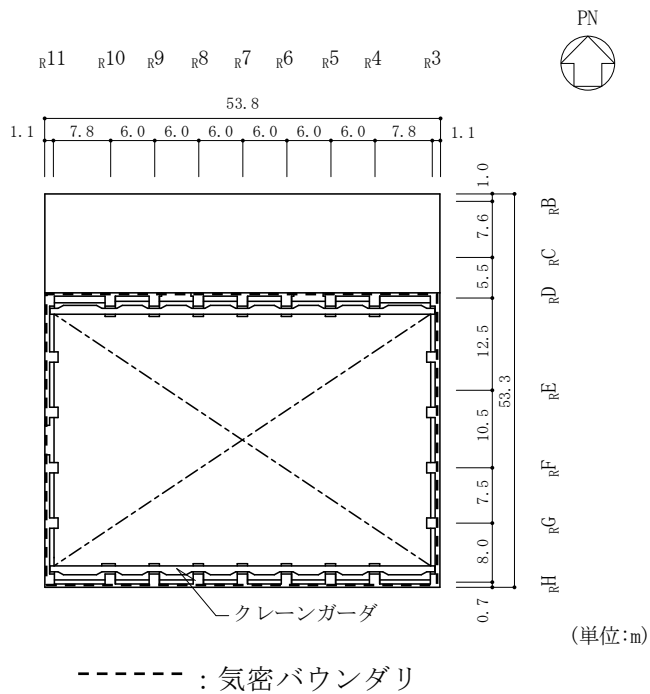


図 3-1(8) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略平面図（EL 51.7m）

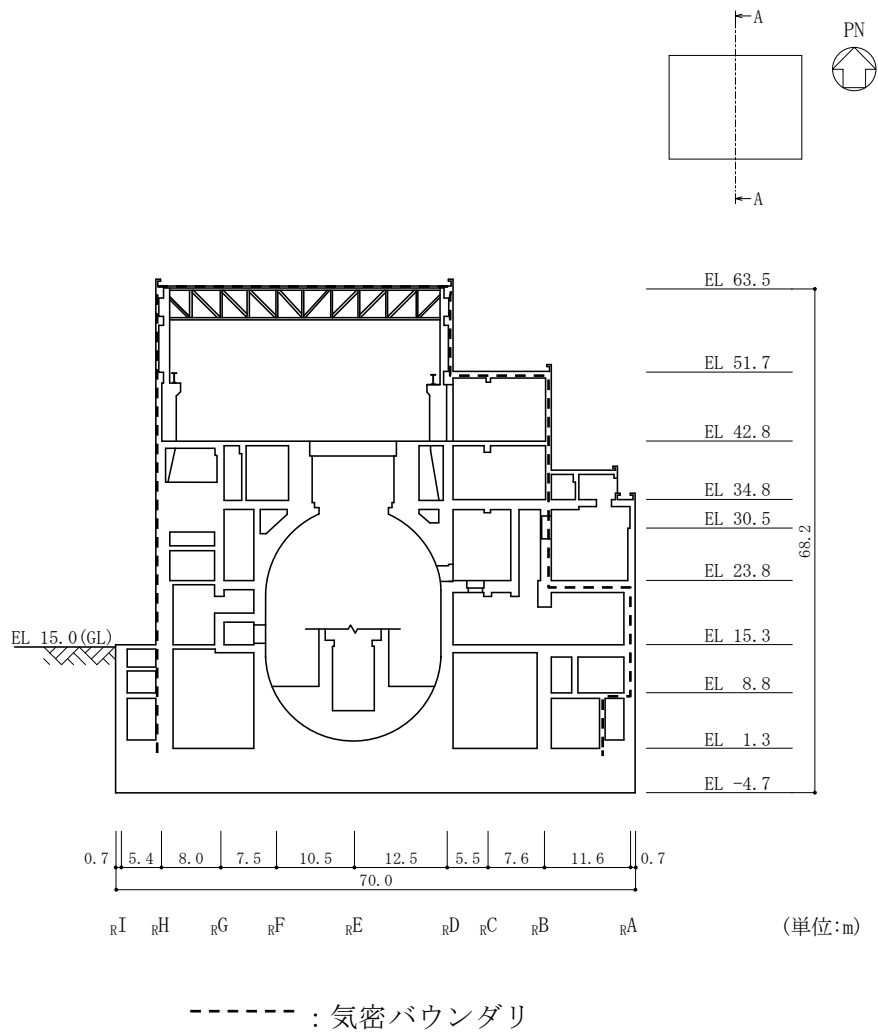


図 3-2(1) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略断面図（A-A断面，NS方向）

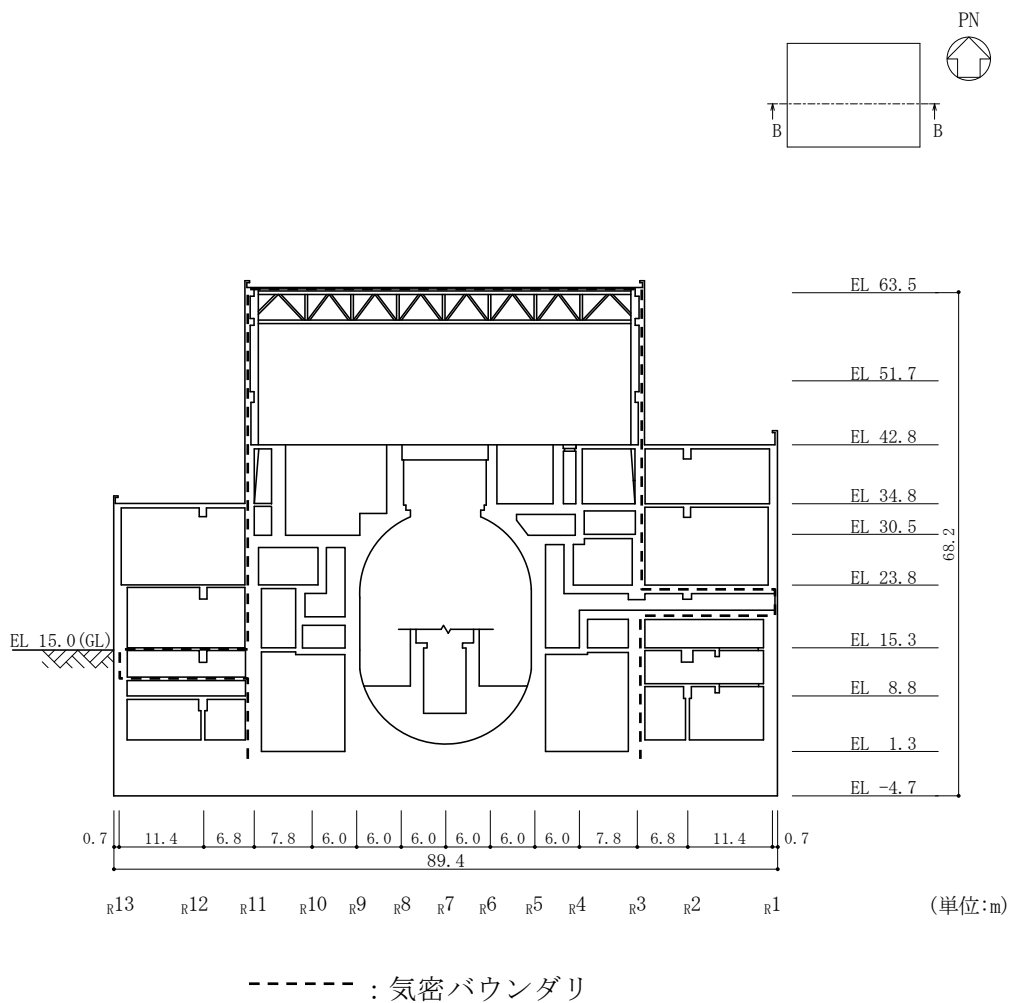


図 3-2(2) 原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の概略断面図（B-B 断面，EW 方向）

3.2 空気漏えい量の算定結果

3.2.1 壁面からの漏えい量

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の壁厚ごとに空気漏えい量を算定した。本検討は、地震応答解析における耐震壁の許容限界としてせん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認することが目的であることから、評価式における定数について、安全側の値を用いた。算定結果を表3-1 に示す。

表3-1 算定結果（原子炉建物原子炉棟（二次格納施設））

EL (m)	壁厚 T (cm)	定数		*1 最大応答 せん断 ひずみ γ	*2 差圧 ΔP (mmAq)	*3 壁の 見付面積 A (㎡)	漏えい量 Q (L/min/㎡)	壁の見付 面積に対 する開口 の総面積 の比 β	通気量 割増率 ΔQ	総漏えい量 $Q \times A \times \Delta Q$ (L/min)
		C	$\frac{Q'}{Q_0}$							
1.3		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	191	0.12	0.001	1.05	25
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	197	0.09	0.001	1.05	19
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	892	0.04	0.002	1.10	40
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	387	0.04	0.002	1.10	18
8.8		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	77	0.05	0.065	4.27	17
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	190	0.04	0.032	2.61	20
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	77	0.04	0.000	1.00	4
10.3		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	34	0.29	0.000	1.00	10
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	91	0.22	0.003	1.15	24
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	57	0.06	0.011	1.55	6
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	258	0.05	0.004	1.20	16
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	24	0.05	0.089	5.47	7
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	608	0.04	0.016	1.80	44
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	258	0.04	0.008	1.40	15
15.3		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	13	0.15	0.000	1.00	2
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	71	0.10	0.000	1.00	8
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	94	0.06	0.000	1.00	6
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	217	0.05	0.168	9.45	103
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	32	0.05	0.778	40.12	65
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	486	0.04	0.015	1.75	35
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	258	0.04	0.020	2.01	21
19.5		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	31	0.17	0.002	1.10	6
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	11	0.15	0.000	1.00	2
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	51	0.10	0.000	1.00	6
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	21	0.09	0.001	1.05	2
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	157	0.07	0.000	1.00	11
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	127	0.06	0.002	1.10	9
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	222	0.05	0.000	1.00	12
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	56	0.05	0.346	18.40	52
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	473	0.04	0.026	2.31	44
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	264	0.04	0.001	1.05	12
23.8		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	346	0.05	0.054	3.72	65
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	691	0.05	0.015	1.75	61
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	346	0.05	0.000	1.00	18
30.5		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	46	0.29	0.046	3.31	45
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	157	0.22	0.001	1.05	37
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	24	0.07	0.204	11.26	19
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	410	0.07	0.025	2.26	65
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	222	0.05	0.119	6.98	78
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	222	0.05	0.000	1.00	12
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	124	0.08	0.001	1.05	11
34.8		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	372	0.07	0.001	1.05	28
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	289	0.08	0.000	1.00	24
37.2		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	867	0.07	0.007	1.35	82
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	31	0.29	0.068	4.42	40
42.8		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	470	0.12	0.001	1.05	60
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	470	0.10	0.001	1.05	50
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	922	0.09	0.001	1.05	88
		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	1254	0.19	0.026	2.31	551
51.7		1.18×10^7	7.41	2.0×10^{-3}	6.4	931	0.13	0.017	1.85	224
									合計	2219

注記*1：保守的に各壁の最大応答せん断ひずみが同時に許容限界となることを想定し、評価する。

*2：設計気密度の差圧条件とする。

*3：気密バウンダリを構成する壁の総面積を用いる。

3.3 総漏えい量と非常用ガス処理設備放出流量の比較

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の総漏えい量と空気流入率を表3-2に示す。

表3-2 総漏えい量と空気流入率の比較

総漏えい量 (m ³ /min)	非常用ガス処理設備放出流量 (m ³ /min)
2.3	73.3*

注記*：非常用ガス処理系排風機流量とする。

3.4 検討結果

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）について総漏えい量は非常用ガス処理設備放出流量以下となっていることを確認した。

よって、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）は、耐震壁の許容限界をせん断ひずみ 2.0×10^{-3} とした場合において、換気設備とあいまって機能を維持できる気密性を有している。

4. まとめ

原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）は、耐震壁の許容限界としてせん断ひずみ 2.0×10^{-3} を適用した場合において、原子炉格納容器から漏えいした空気を非常用ガス処理設備で処理できる気密性を有していることを確認した。

以上より、原子炉建物の地震応答解析による評価において、換気設備とあいまって気密性を維持するために設定する許容限界として、せん断ひずみ 2.0×10^{-3} を用いることの適用性を確認した。

VI-2-9-3-1-1 原子炉建物燃料取替階
ブローアウトパネルの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	2
2.1	配置概要	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	5
2.3.1	S d 閉機能維持	5
2.3.2	S s 開機能維持	5
2.4	適用規格・基準等	6
3.	S d 閉機能維持評価	7
3.1	固有周期の確認方法	7
3.1.1	水平方向	7
3.1.2	鉛直方向	7
3.2	固有周期の確認結果	7
3.3	設計用地震力	9
3.4	評価方法	10
3.4.1	地震荷重	10
3.4.2	開放荷重	10
3.5	評価結果	10
4.	S s 開機能維持評価	11
4.1	取付け状況	11
4.2	層間変位の算定	12
4.3	評価結果	12

1. 概要

本計算書は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）に設置されている燃料取替階ブローアウトパネル（以下「オペフロBOP」という。）が、弾性設計用地震動 S_d による地震力に対し開放しないこと、基準地震動 S_s による地震力に対し開放機能が維持できる構造強度を有していることを説明するものである。

オペフロBOPは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備に分類される。

2. 一般事項

2.1 配置概要

オペフロ BOP の設置位置図を図 2-1 に示す。

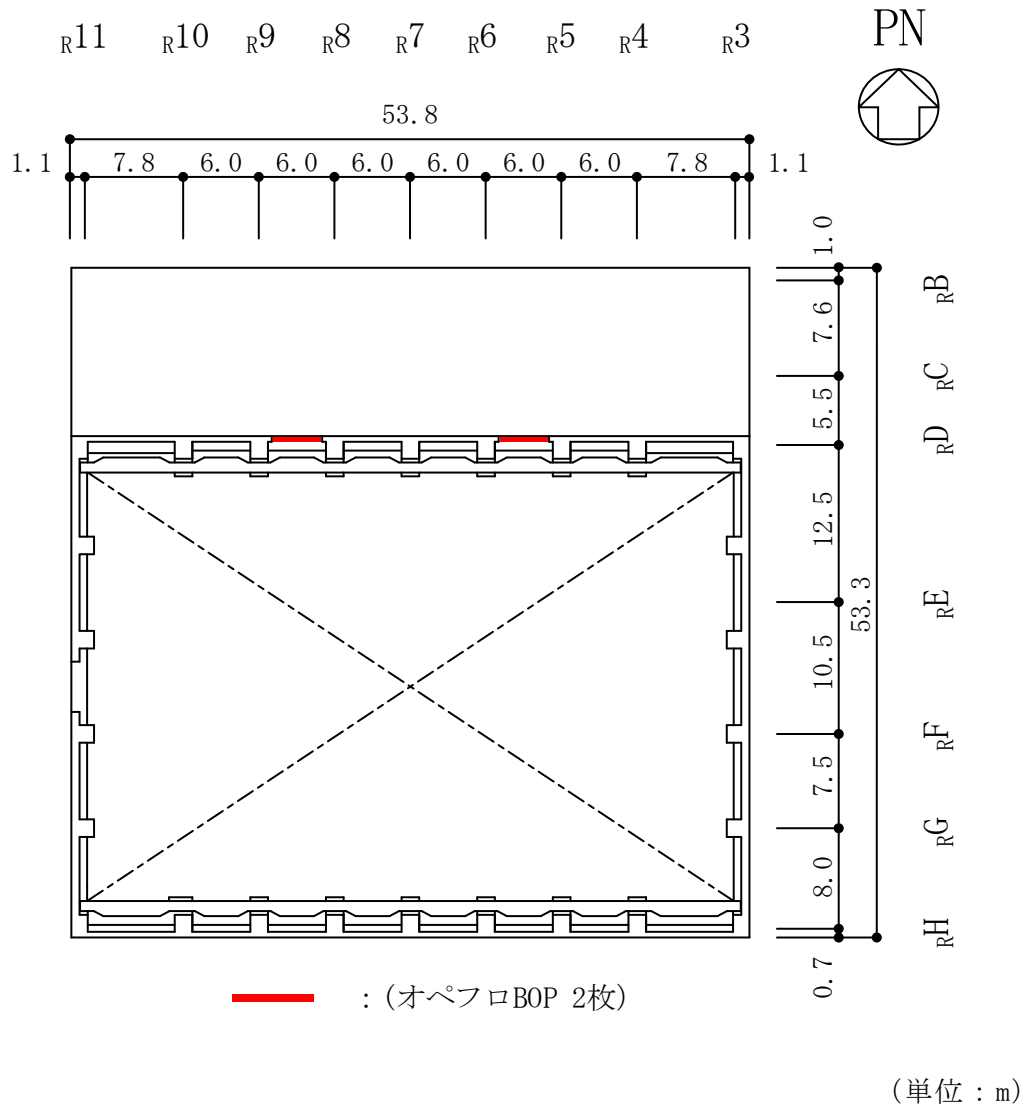


図 2-1 オペフロ BOP の設置位置図 (EL 51.7m)

2.2 構造概要

オペフロBOPは、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の一部（地上4階中間床）に配置され、差圧により開放するパネル本体部、パネルを建物外壁内に設置する枠部及び差圧により破損するクリップ部より構成される設備である。

オペフロBOPの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 オペフロ BOP 構造計画

計画の概要	
支持構造	主体構造
<p>オペフロ BOP は、十分な強度を有する構造とし、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の壁に枠部とクリップにより据付けられる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・パネル本体部 ・枠部 <p>オペフロ BOP は、パネル本体部、パネルを原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の壁に設置する枠部より構成される設備である。</p>
材料	SS400 及び SUS304
作動方式	クリップ式（16 個）
クリップ仕様	材質 SUS304
概略構造図（単位：m）	
<p>The diagram illustrates the structure of the Operflo BOP. It consists of a main panel body (パネル本体部) supported by a frame (枠部) and clips (クリップ). The structure is shown in a vertical orientation. Key dimensions and levels are indicated:</p> <ul style="list-style-type: none"> Top level: EL 56.9 Bottom level: EL 52.9 Total height: 4.00 m Height of the lower section: 3.92 m Width of the main panel body: 3.94 m (B-B section) Width of the frame: 4.00 m (A-A section) 	

2.3 評価方針

オペフロBOPの地震時の構造強度及び機能維持評価は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、以下の評価方針とする。

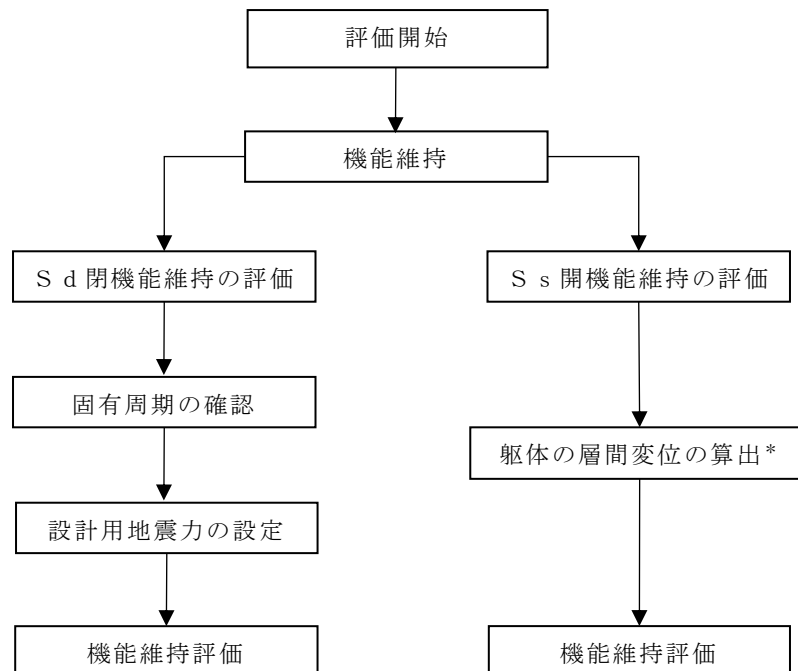
オペフロBOPの評価フローを図2-2に示す。

2.3.1 S d 閉機能維持

弾性設計用地震動 S d による地震力に相当する荷重でオペフロ BOP が開放しないこと（以下「S d 閉機能維持」という。）を確認する。具体的には、モックアップ試験体の振動試験により固有振動数を計測し、弾性設計用地震動 S d による地震荷重が、オペフロ BOP の開放荷重を下回ることを確認する。

2.3.2 S s 開機能維持

基準地震動 S s による地震力に対し開放機能が維持できる構造強度を有していること（以下「S s 開機能維持」という。）を確認する。具体的には、基準地震動 S s による地震力に対し、設置箇所の原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）躯体の層間変位が、パネル本体と枠部の間隙より小さいことを確認することにより、パネル本体には支持躯体の変形に伴う地震時応力が生じず、パネル本体が開放機能を維持できることを確認する。



注記*：VI-2-2-3「原子炉建物の耐震性についての計算書」に示す耐震壁のせん断ひずみの許容限界により算出

図 2-2 オペフロ BOP の評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会 1999年改定)
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会 2005年制定)
- ・ 鋼構造設計規準 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会 2005年改定)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)

3. S d 閉機能維持評価

3.1 固有周期の確認方法

3.1.1 水平方向

オペフロ BOP の閉機能維持評価に係る面外方向（NS 方向）について固有周期を確認する。固有周期は、モックアップ試験体の振動試験にて、ゴムハンマーにより当該試験体に振動を与え、加速度を測定し、測定したパネル本体中央の加速度波形から、高速フーリエ変換により算定したフーリエスペクトルより確認する。

なお、面内方向（EW 方向）については十分な剛性を有しており閉機能維持評価に影響しないことから、固有周期の確認を省略する。

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向は十分な剛性を有しており閉機能維持評価に影響しないことから、固有周期の確認を省略する。

3.2 固有周期の確認結果

固有周期の確認結果を表 3-1、固有振動数の測定結果を図 3-1 に、1 次、2 次振動モード図を図 3-2 に示す。面外方向（NS 方向）の 1 次固有周期は 秒（ Hz）であり、20Hz を上回ることを確認した。

表 3-1 固有周期

方向	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
NS 方向	<input type="text"/>	<input type="text"/>



図 3-1 オペフロ BOP の固有振動数測定結果

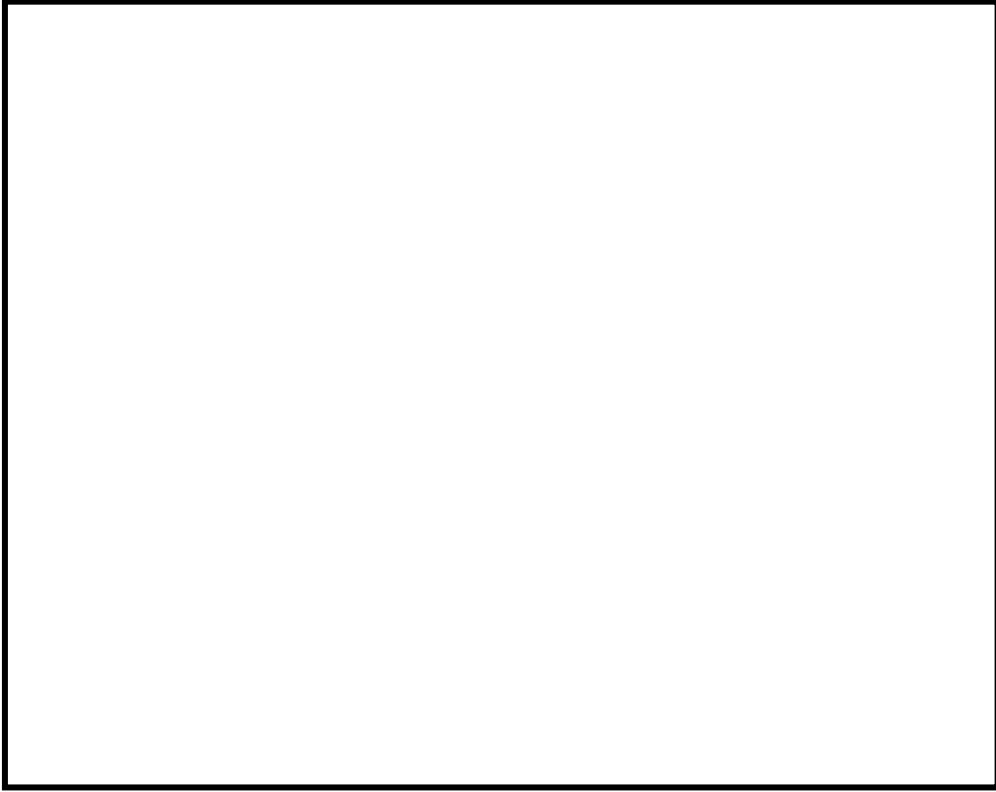


図 3-2 オペフロ BOP の振動モード図

3.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-2 に示す。

設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。評価に用いる震度は、保守的な評価とするためオペフロ BOP 設置階の上階 (EL 63.5 m) での値とする。

なお、オペフロ BOP を閉止するクリップは、枠部に作用する鉛直震度により応力が発生しない機構であるため、鉛直震度に対する S d 閉機能維持評価は行わない。

表 3-2 設計用地震力 (設計基準対象施設)

据付場所及び床面高さ(m)	原子炉建物 EL 63.5					
固有周期(s)	NS 方向 : * ¹ EW 方向 : 0.05 以下 鉛直 : 0.05 以下					
地震力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	水平震度		鉛直震度	水平震度		鉛直震度
	NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
動的地震力* ²	2.51	—	0.81	—	—	—
静的地震力* ³	1.88	—	0.24	—	—	—

注記*1 : 1 次固有周期について記載

*2 : 設計用震度 I (1.0ZPA) 又はこれを上回る設計震度

*3 : 静的震度 (3.0・C i 及び 1.0・C v) を示す。

3.4 評価方法

3.4.1 地震荷重

弾性設計用地震動 S d による地震荷重は、「3.3 設計用地震力」で示した水平震度を用いて、次式により算定する。

$$F_H = W \cdot C_H \cdot g$$

F_H : 地震荷重 (N)

W : オペフロ BOP の質量 (=2000kg)

C_H : 水平震度 (=2.51)

g : 重力加速度 (=9.80665m/s²)

3.4.2 開放荷重

オペフロ BOP の開放荷重は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添 4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に示す実機大モックアップ試験にて得られた開放荷重とする。

3.5 評価結果

オペフロ BOP の地震荷重と開放荷重を比較した評価結果を表 3-3 に示す。

オペフロ BOP は、弾性設計用地震動 S d による地震力に対し、開放しないことを確認した。

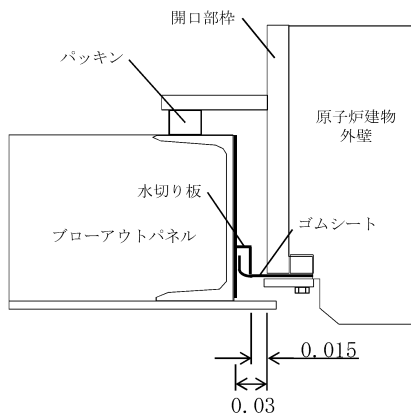
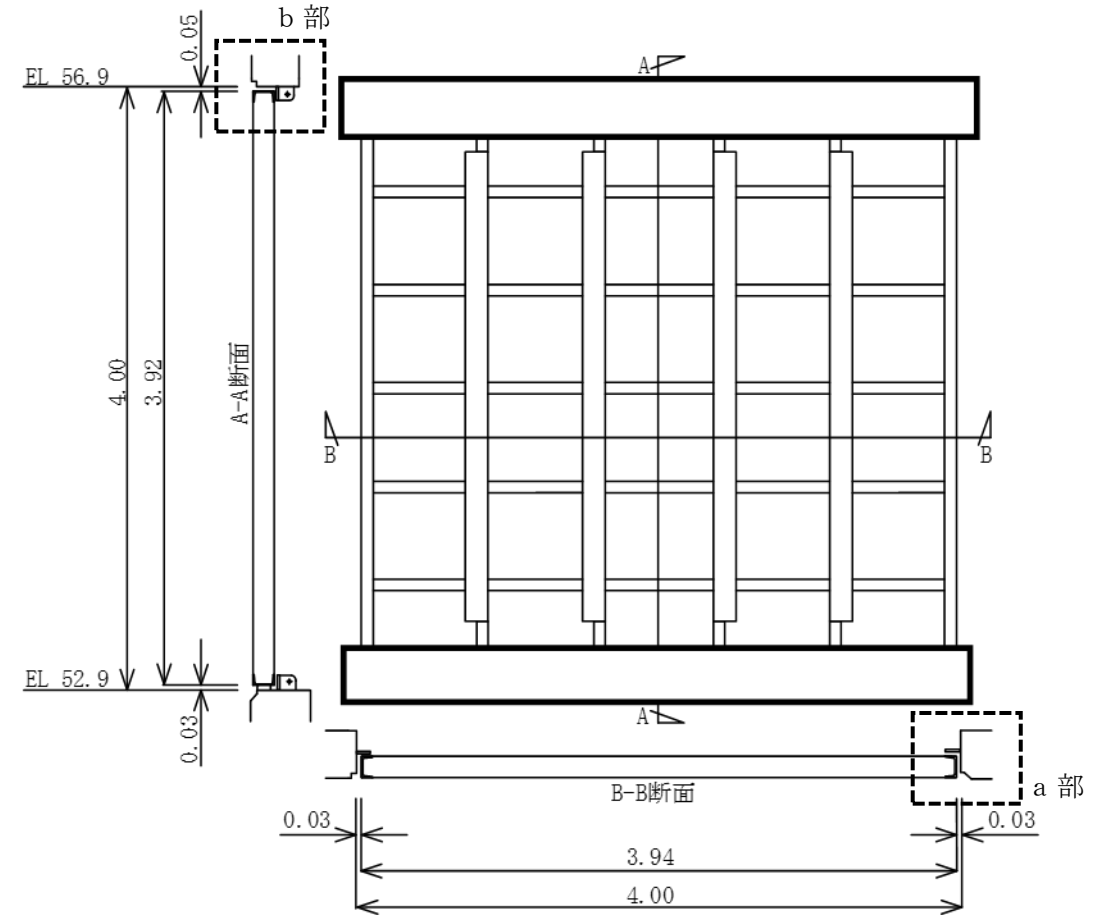
表 3-3 評価結果

試験体	地震荷重 (Sd) (kN)	開放荷重 (kN)	判定
試験体 1	49.3	<input type="checkbox"/>	○
試験体 2		<input type="checkbox"/>	○
試験体 3		<input type="checkbox"/>	○

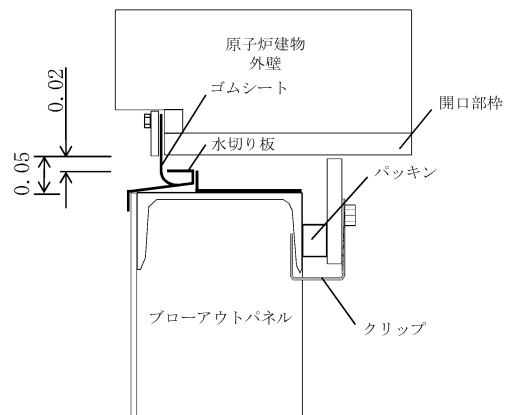
4. S s 開機能維持評価

4.1 取付け状況

オペフロ BOP は、クリップにより枠部に取付けられている。パネル本体と枠部の取付け状況を図 4-1 に示す。パネル本体と枠部とは上部に 20mm、左右に 15 mm の間隙がある。



a 部詳細図



b 部詳細図

図 4-1 パネル本体と枠部の取付け状況 (単位 : m)

4.2 層間変位の算定

地震時の躯体の層間変位について図 4-2 示す。層間変位は，VI-2-2-3「原子炉建物の耐震性についての計算書」にて設定している耐震壁のせん断ひずみの許容限界を層間変形角として，以下の式により算定する。

$$\delta = h \cdot \theta$$

h : パネル本体の高さ (=3.92m)

θ : 層間変形角 (=2.0×10⁻³rad)

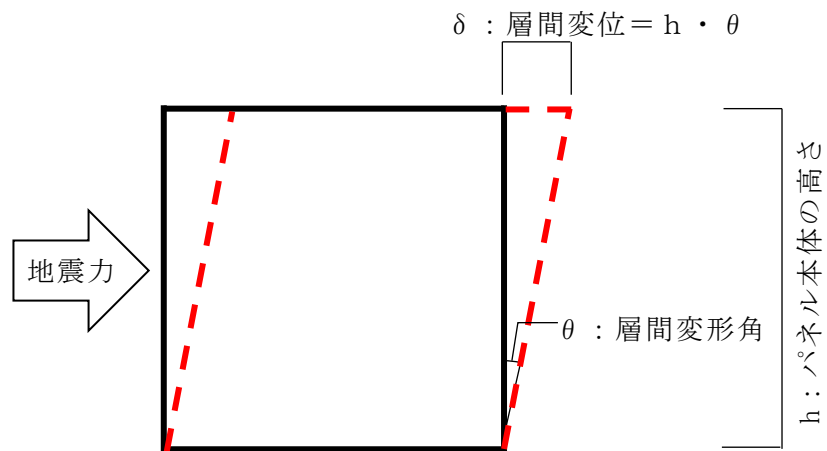


図 4-2 層間変位

4.3 評価結果

評価結果を表 4-1 に示す。躯体の層間変位は 7.84mm であり，パネル本体側面と枠部とは 15mm の間隙があることから変形に対し追従できる。以上のことから，オペフロ BOP は，基準地震動 S_s を受けたとしても開放機能に影響はないことを確認した。

表 4-1 評価結果

層間変位 (S_s) (mm)	間隙 (mm)	判定
7.84	15	○

VI-2-9-3-1-2 原子炉建物主蒸気管トンネル室

ブローアウトパネルの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	2
2.1 配置概要	2
2.2 構造概要	5
2.3 評価方針	8
2.3.1 閉機能維持	9
2.3.2 開機能維持	9
2.4 適用規格・基準等	10
3. 閉機能維持評価	11
3.1 モックアップ試験による確認	11
3.2 地震応答解析による確認	12
3.2.1 固有周期の算定	12
3.2.2 設計用地震力	20
3.2.3 評価方法	21
3.2.4 評価結果	21
4. 開機能維持評価	22
4.1 取付け状況	22
4.2 層間変位の算定	23
4.3 評価結果	24

1. 概要

本計算書は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）主蒸気管トンネル室（以下「MS トンネル室」という。）のタービン建物側等、二次格納施設境界壁に設置されている主蒸気管トンネル室ブローアウトパネル（以下「MS トンネル室 BOP」という。）が弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震力に対し開放しないこと、基準地震動 S_s による地震力に対し開放機能が維持できる構造強度を有していることを説明するものである。

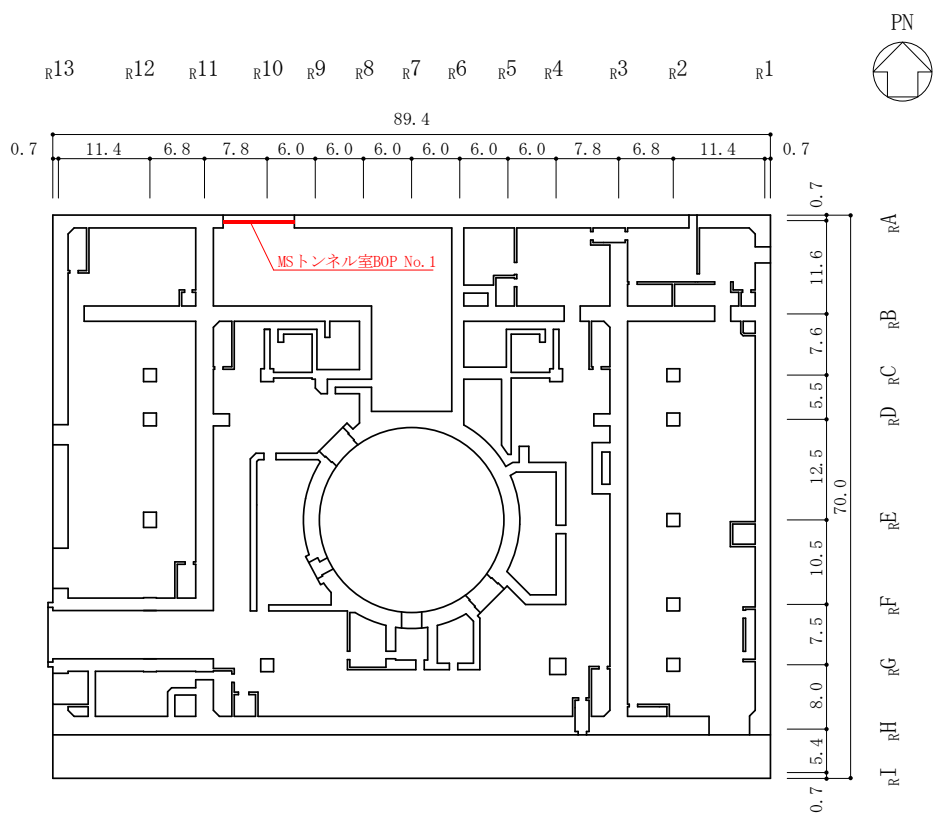
MS トンネル室 BOP は、設計基準対象施設において S クラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。

2. 一般事項

2.1 配置概要

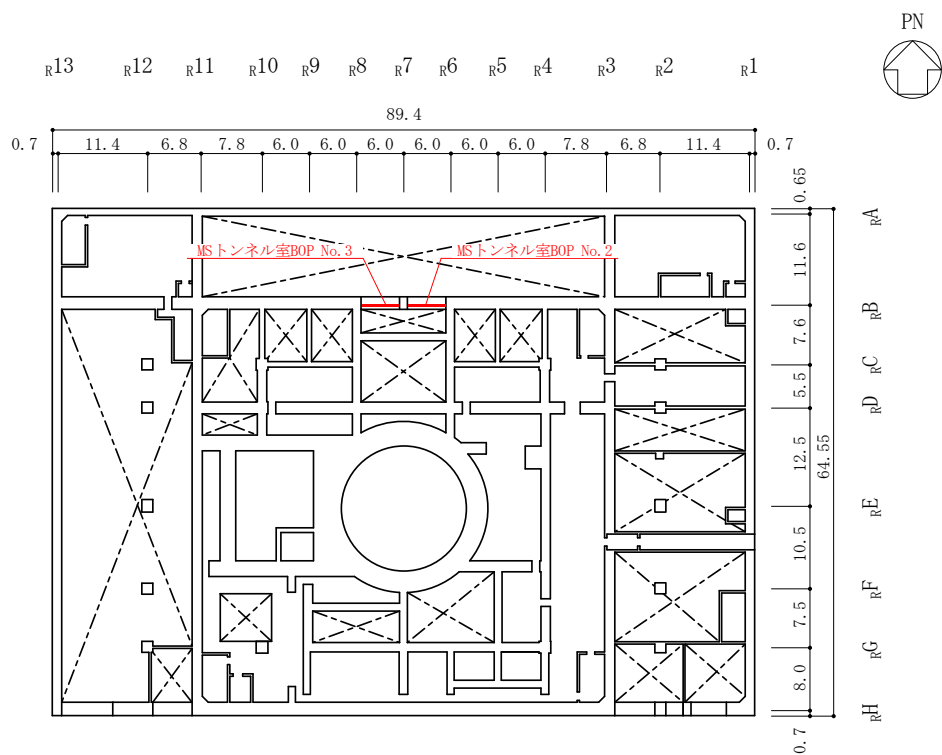
MS トンネル室 BOP は、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の MS トンネル室タービン建物側開口部 (EL 15.3m～23.8m) の 1 箇所及び原子炉建物二次格納施設境界 (EL 23.8m～34.8m) の 2 箇所に計 3 箇所に配置されている。

MS トンネル室 BOP の設置位置平面図及び断面図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。



(単位:m)

図 2-1(1) MS トンネル室 BOP の設置位置平面図 (EL 15.3m)



(単位:m)

図 2-1(2) MS トンネル室 BOP の設置位置平面図 (EL 30.5m)

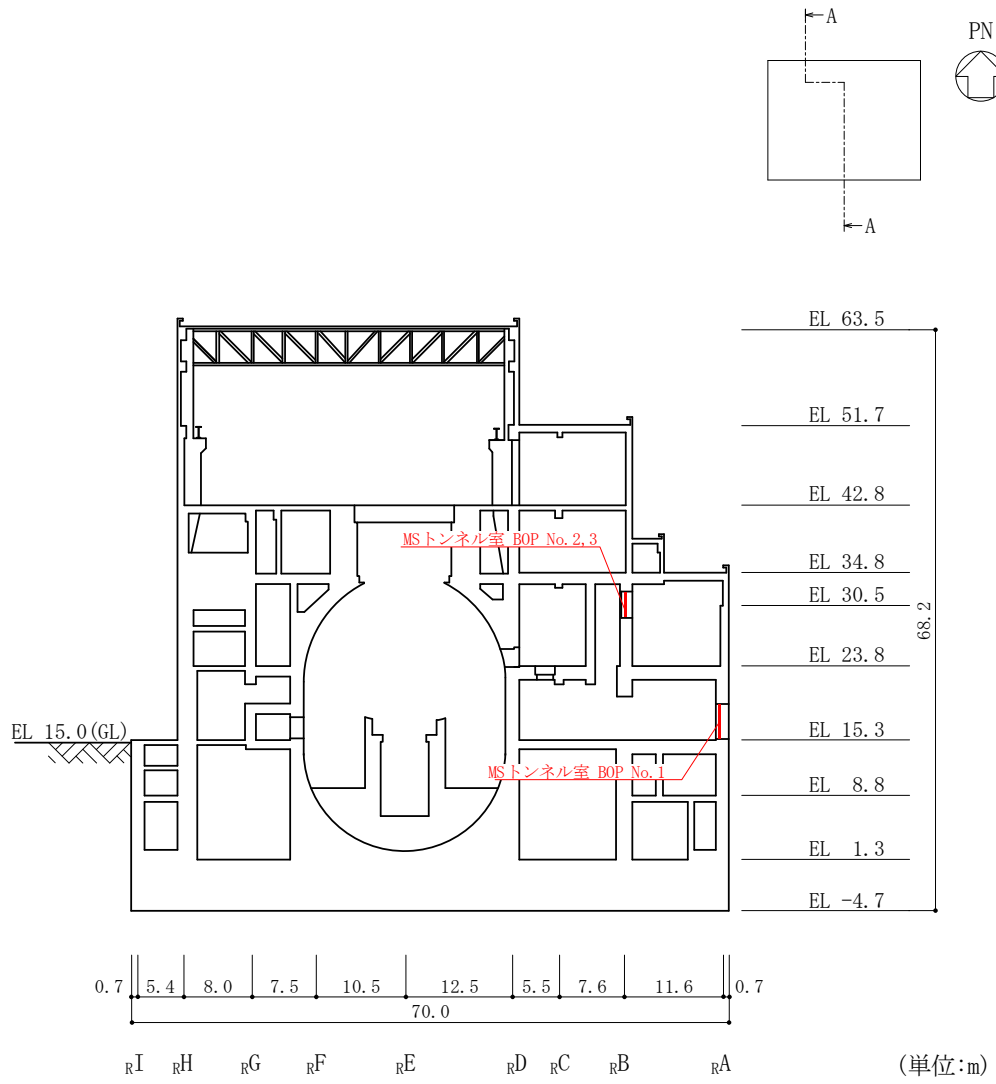


図 2-2 MS トンネル室 BOP の設置位置断面図 (A-A 断面)

2.2 構造概要

MS トンネル室 BOP は、差圧により開放するラブチャーパネル及びラブチャーパネルを MS トンネル室壁面内に設置するための枠部より構成される設備である。

MS トンネル室 BOP の構造計画を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

表 2-1 MS トンネル室 BOP の構造計画 (ラプチャーパネル)

計画の概要	
支持構造	主体構造
MSトンネル室BOPのうちラプチャーパネルは、十分な強度を有する構造とし、取付け枠を介して枠部にボルトにより据付けられている。	<ul style="list-style-type: none"> ラプチャーパネル ラプチャーパネル及びラプチャーパネルをMSトンネル室壁面内に設置するための取付け枠より構成される設備である。
材料	A1050P
作動方式	ラプチャーパネル式
概略構造図 (単位 : m)	

表 2-2 MS トンネル室 BOP の構造計画 (枠部)

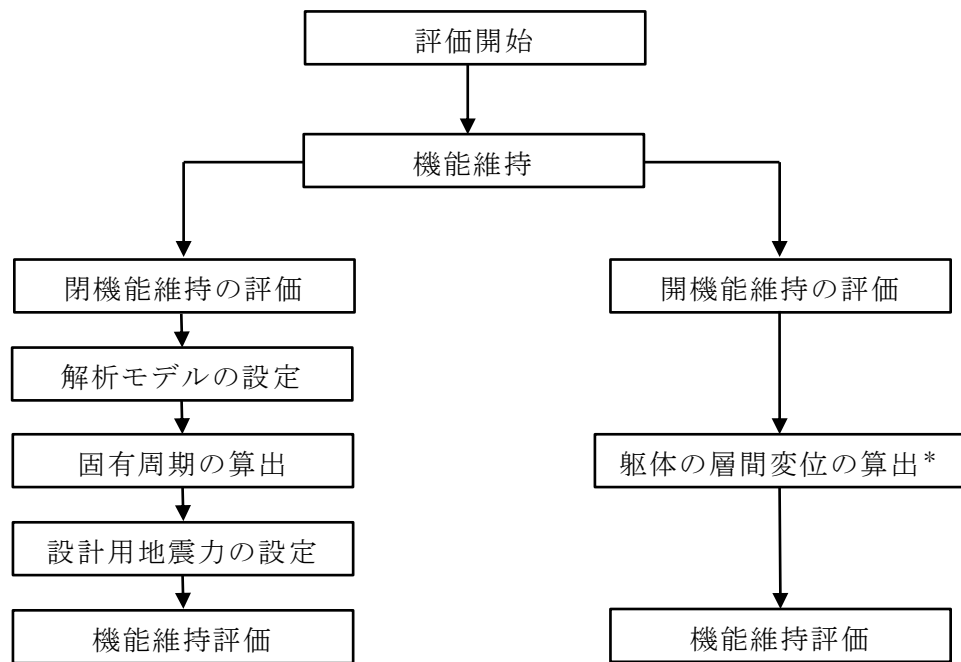
計画の概要	
支持構造	主体構造
MS トンネル室 BOP のうち枠部は、十分な強度を有する構造とし、MS トンネル室壁面に支持される。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 枠部 ラプチャーパネルを MS トンネル室壁面内に設置するための枠部より構成される。
材料	SS400
概略構造図 (単位 : m)	
<p>特記なき部材は以下のとおり 水平材 : b1 鉛直材 : P1 斜材 : L1 鋼板 : PL</p> <p>(a) MS トンネル室 BOP No. 1</p>	
<p>特記なき部材は以下のとおり 水平材 : B1 鉛直材 : P1</p> <p>(b) MS トンネル室 BOP No. 2</p>	
<p>特記なき部材は以下のとおり 水平材 : B3 鉛直材 : P1</p> <p>(c) MS トンネル室 BOP No. 3</p>	
<p>注 : ハッチング はラプチャーパネル取付範囲を示す。 ハッチング は鋼板取付範囲を示す。</p>	

S2 補 VI-2-9-3-1-2 R1

2.3 評価方針

MS トンネル室 BOP の地震時の構造強度及び機能維持評価は、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうちVI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき以下の評価方針とする。

MS トンネル室 BOP の評価フローを図 2-3 に示す。



注記*：VI-2-2-3「原子炉建物の耐震性についての計算書」に示す耐震壁のせん断ひずみの最大値により算出

図 2-3 MS トンネル室 BOP の評価フロー

2.3.1 閉機能維持

弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震力に対して MS トンネル室 BOP が開放しないこと（以下「閉機能維持」という。）を確認する。具体的には、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s による地震荷重が、MS トンネル室 BOP の開放荷重（ 7.36kN/m^2 ）を下回ることを確認する。

2.3.2 開機能維持

基準地震動 S_s による地震力に対し開放機能が維持できる構造強度を有していること（以下「開機能維持」という。）を確認する。具体的には、基準地震動 S_s による地震力に対して、設置箇所における原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）躯体の層間変位が、取付けボルトと枠部の取付け孔の間隙より小さいことを確認することにより、ラプチャーパネルには支持躯体の変形に伴う地震時応力が生じず、ラプチャーパネルが開放機能を維持できていることを確認する。

2.4 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・ 建築基準法・同施行令
- ・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ―許容応力度設計法― （（社）日本建築学会 1999年改定）
- ・ 原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 （（社）日本建築学会 2005年制定）
- ・ 鋼構造設計規準 ―許容応力度設計法― （（社）日本建築学会 2005年改定）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 （（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・ 原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 （（社）日本電気協会）

3. 閉機能維持評価

MS トンネル室 BOP のラプチャーパネルに作用する弾性設計用地震動 S d 及び基準地震動 S s による地震力が、設計開放荷重 (7.36kN/m²) を下回ることを確認する。

3.1 モックアップ試験による確認

MS トンネル室 BOP が弾性設計用地震動 S d 及び基準地震動 S s に対して開放しないことを確認するため、VI-1-1-7「安全設備及び重大事故等対処設備が使用される条件の下における健全性に関する説明書」のうち、VI-1-1-7-別添 4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に示すように加振試験を実施している。加振試験結果を表 3-1 に示す。加振試験結果の最大値は kN/m² であり、設計開放荷重 (7.36kN/m²) を下回ることから、弾性設計用地震動 S d 及び基準地震動 S s では開放しない。

表 3-1 加振試験結果

試験体	測定値 (kN/m ²)	設計用開放荷重 (kN/m ²)	判定
試験体1	<input type="text"/>	7.36	○
試験体2	<input type="text"/>		○
試験体3	<input type="text"/>		○

3.2 地震応答解析による確認

3.2.1 固有周期の算定

MS トンネル室 BOP の固有値解析方法を以下に示す。固有周期は、枠部をモデル化した有限要素法（以下「FEM」という。）による固有値解析にて求める。

固有値解析に用いる FEM 解析モデルの概要を図 3-1 に、材料及び部材の諸元を表 3-2 及び表 3-3 に、部材の配置を図 3-2 に示す。

MS トンネル室 BOP 枠部は、ラプチャーパネルを支持する鉄骨部材とラプチャーパネル以外の鋼板をモデル化する。各鉄骨部材は軸、曲げ変形を考慮したはり要素としてモデル化し、鋼板はシェル要素でモデル化する。なお、ラプチャーパネルについては、重量及び剛性は軽微であるため、一部の斜材及び水平材については、枠部全体の振動性状に与える影響は軽微であるためモデル化していない。

MS トンネル室壁面に支持されている外周部接点は、並進成分（水平並びに鉛直）を固定とする。また、各部材の接合部はフランジを接合していないことから、部材端部はピン接合とする。柱・はり部材は、原子炉建物側のフランジ外面が同一平面上にあり、鋼板は原子炉建物側のフランジ面に設置されているため、モデル化にあたっては、柱・はり部材及び鋼板の偏心をオフセットとして考慮する。

解析には、解析コード「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

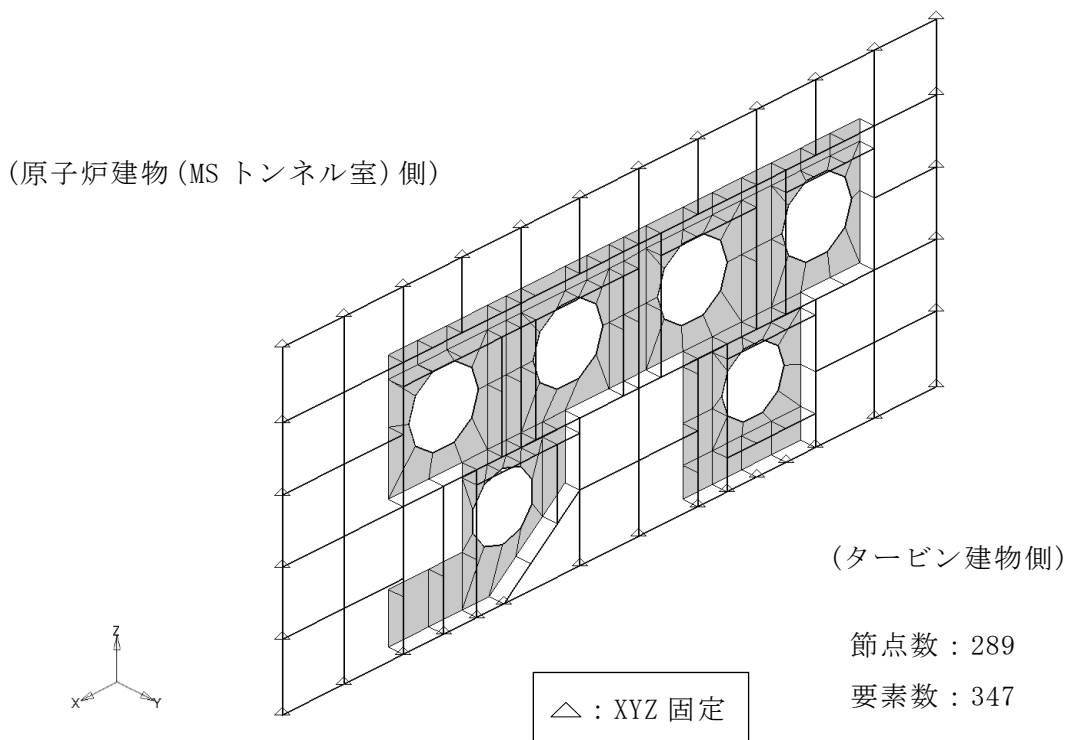


図 3-1(1) FEM 解析モデル (MS トンネル室 BOP No. 1)

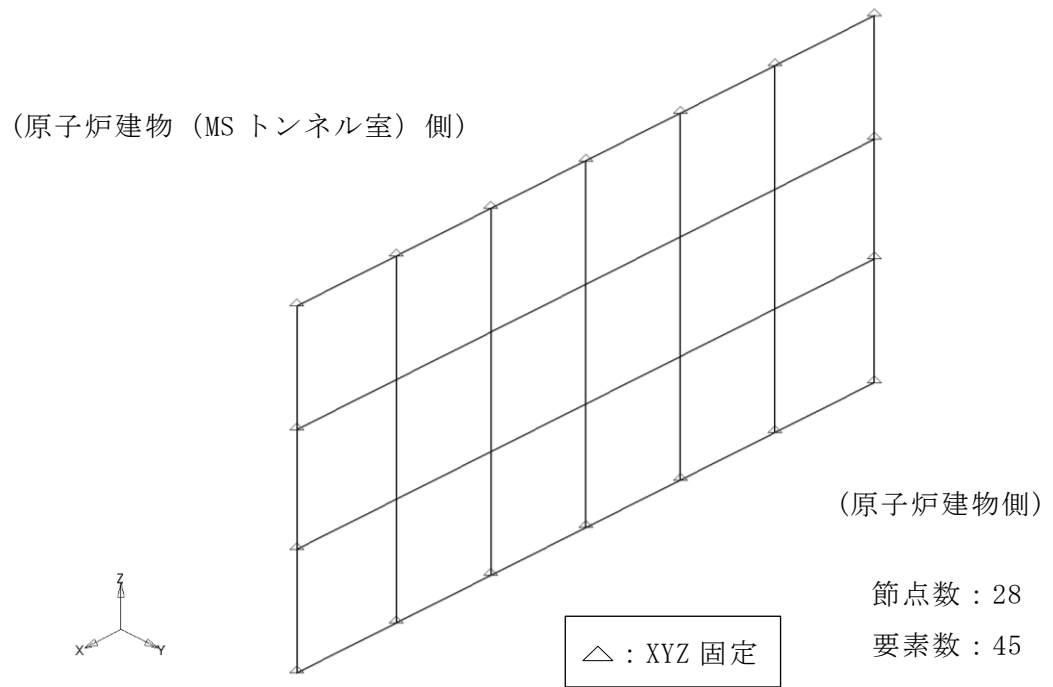


図 3-1 (2) FEM 解析モデル (MS トンネル室 BOP No. 2)

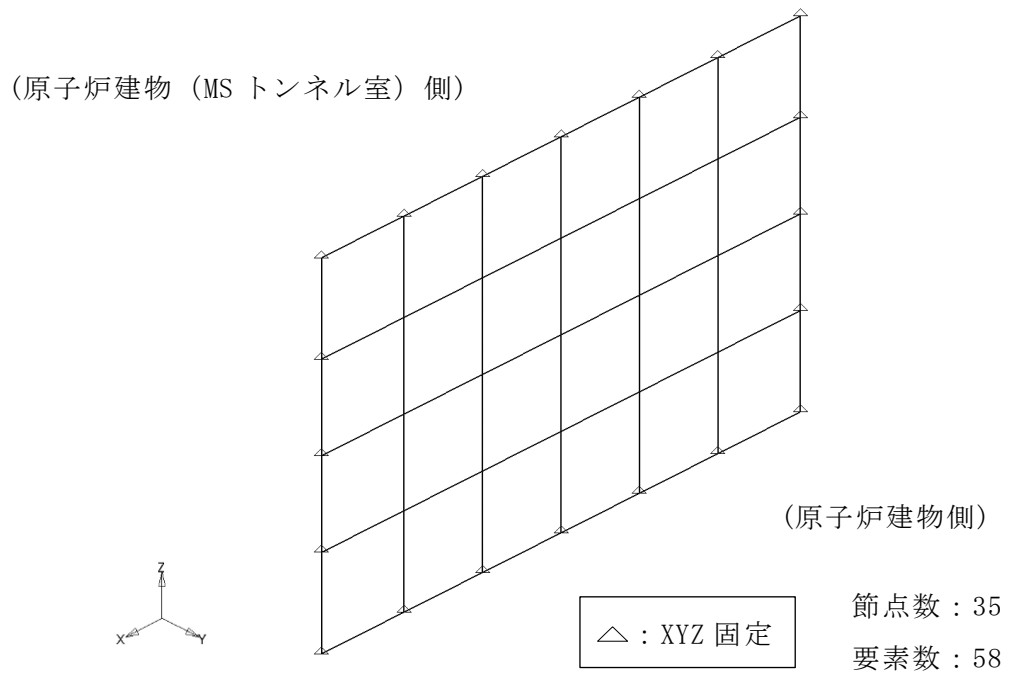


図 3-1 (3) FEM 解析モデル (MS トンネル室 BOP No. 3)

表 3-2 材料定数

項目	値
ヤング係数	205000 N/mm ²
せん断弾性係数	79000 N/mm ²

表 3-3(1) 使用部材 (MS トンネル室 BOP No. 1)

部材	使用部材
C1	BH-400×100×9×19
B1/C2	BH-300×100×6×9
B2/C3	L-300×90×11×16
b1/P1	CT-100×100×5.5×8
B3/P2	H-200×100×5.5×8
PL	PL-9

表 3-3(2) 使用部材 (MS トンネル室 BOP No. 2)

部材	使用部材
C1/B2	L-250×90×10×15
B1	H-250×125×6×9
P1	CT-100×100×5.5×8

表 3-3(3) 使用部材 (MS トンネル室 BOP No. 3)

部材	使用部材
C1/B2	L-250×90×10×15
B3	BH-300×100×6×9
P1	CT-100×100×5.5×8

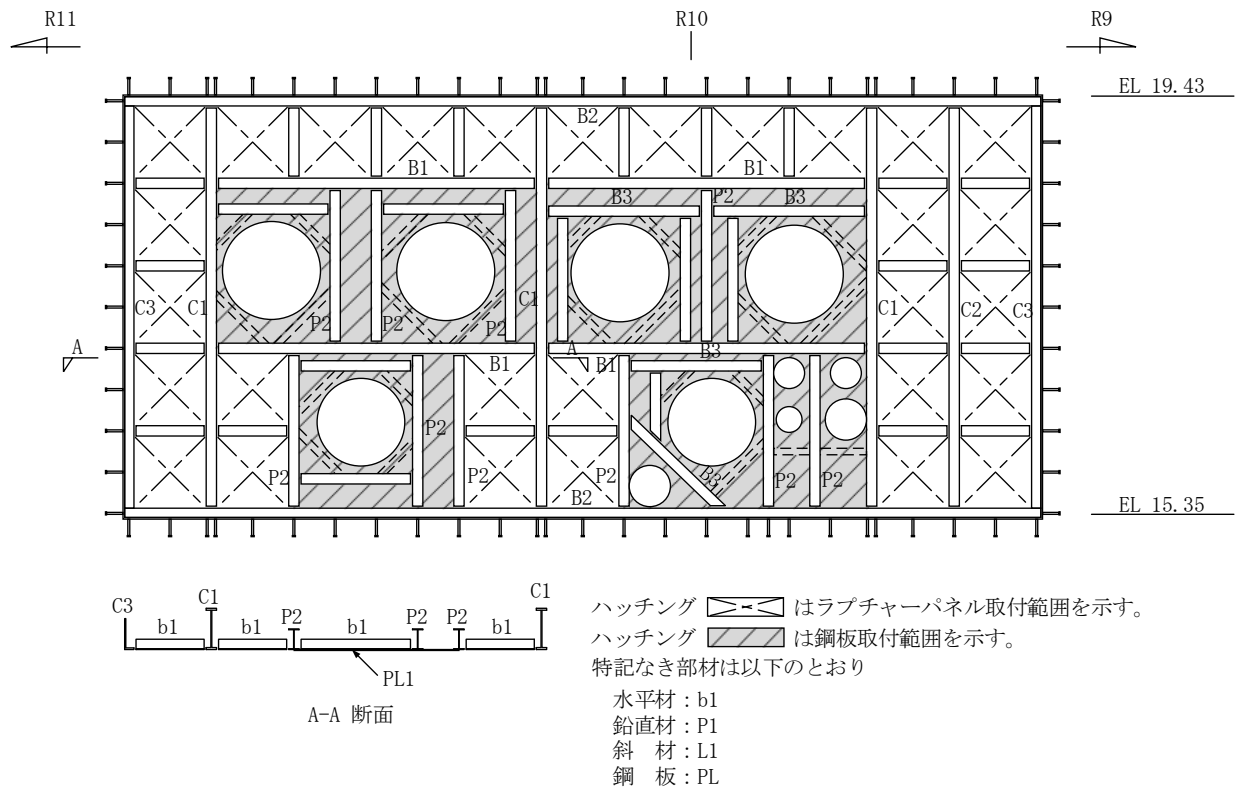


図 3-2(1) 部材の配置 (MS トンネル室 BOP No. 1) (単位 : m)

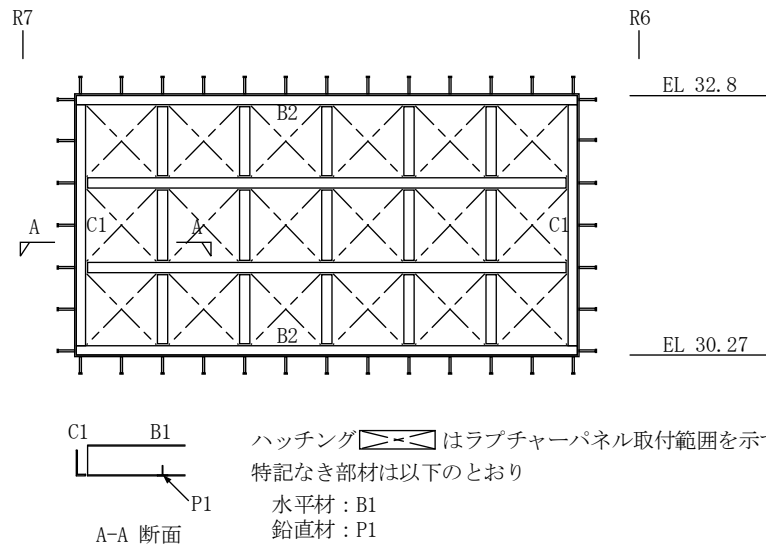


図 3-2(2) 部材の配置 (MS トンネル室 BOP No. 2) (単位 : m)

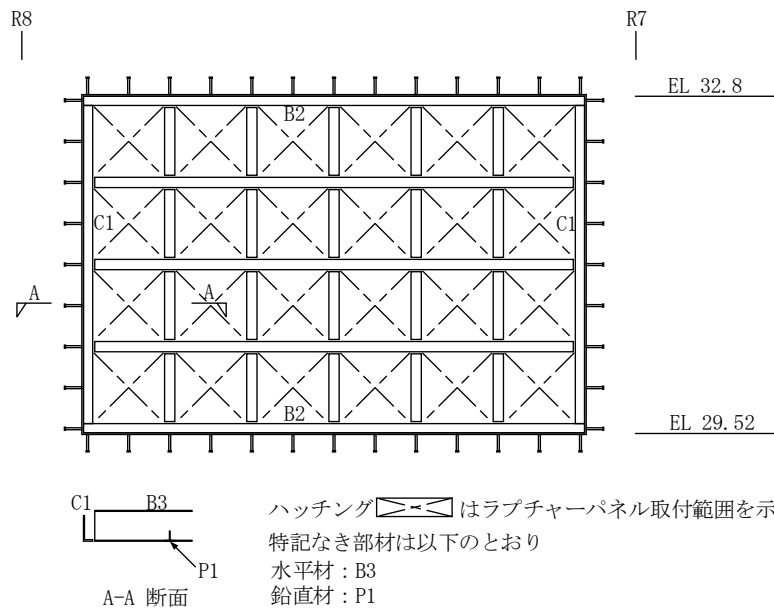


図 3-2(3) 部材の配置 (MS トンネル室 BOP No. 3) (単位：m)

固有値の解析結果を表 3-4 に、固有モードを図 3-3 に示す。MS トンネル室 BOP の閉機能維持評価に係る面外方向 (NS 方向) の 1 次固有周期は No.1 [] 秒 ([] Hz) , No.2 [] 秒 ([] Hz) , No.3 [] 秒 ([] Hz) であり、20Hz を上回ることを確認した。また、ラプチャーパネルは加振試験においてラプチャーパネル中央で計測した面外方向 (NS 方向) の 1 次固有周期は 3 体の試験体についてそれぞれ試験体 1 [] 秒 ([] Hz) , 試験体 2 [] 秒 ([] Hz) , 試験体 3 [] 秒 ([] Hz) であり、20Hz を下回ることを確認している。

なお、面内方向 (EW 方向) 及び鉛直方向については、20Hz 以上であり、十分な剛性を有していることを確認した。

表 3-4 固有値解析結果

(a) MS トンネル室 BOP No. 1

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X 方向 (EW 方向)	Y 方向 (NS 方向)	Z 方向 (鉛直)
1 次	水平	[]	—	1.630	—
2 次	水平	[]	—	0.270	—

(b) MS トンネル室 BOP No. 2

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X 方向 (EW 方向)	Y 方向 (NS 方向)	Z 方向 (鉛直)
1 次	水平	[]	—	1.479	—
2 次	水平	[]	—	0.791	—

(c) MS トンネル室 BOP No. 3

モード	卓越方向	固有周期 (s)	刺激係数*		
			X 方向 (EW 方向)	Y 方向 (NS 方向)	Z 方向 (鉛直)
1 次	水平	[]	—	1.447	—
2 次	水平	[]	—	0.333	—

注記* : モードごとに固有ベクトルの最大値を 1 に規準化して得られる刺激係数を示す。

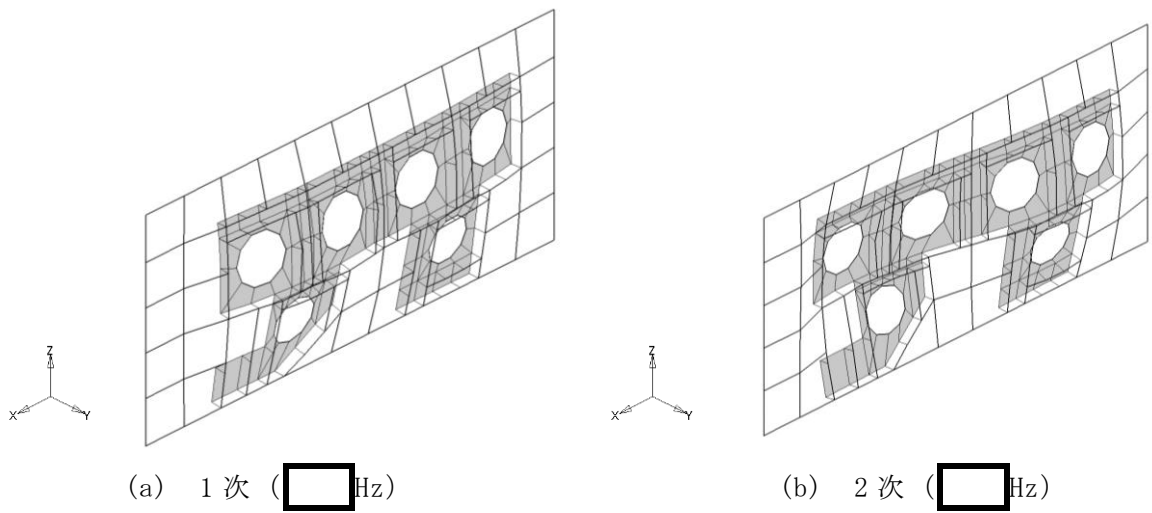


図 3-3(1) 固有モード (MS トンネル室 BOP No. 1)

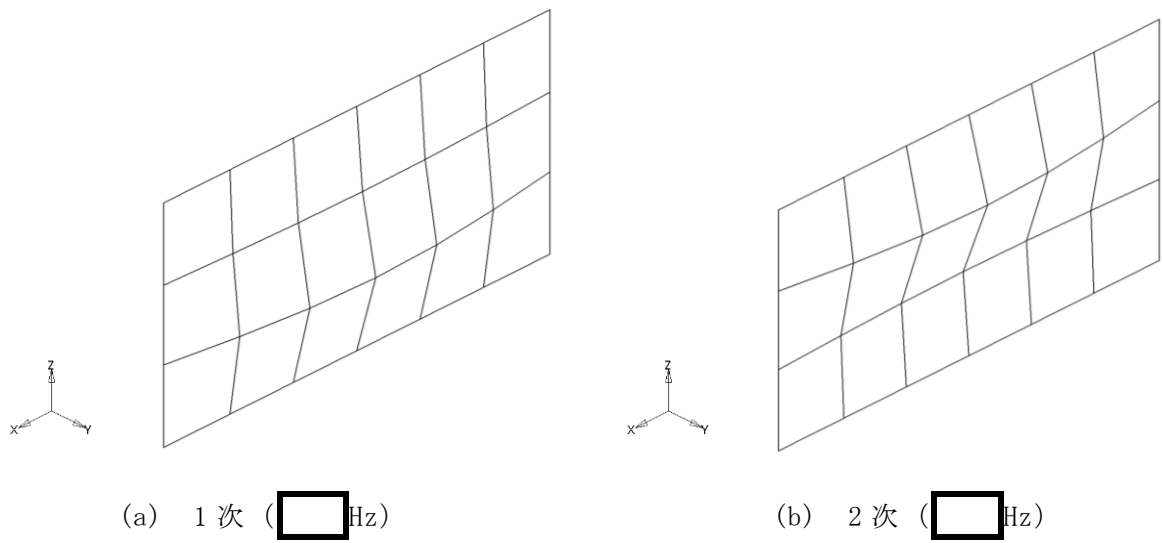


図 3-3(2) 固有モード (MS トンネル室 BOP No. 2)

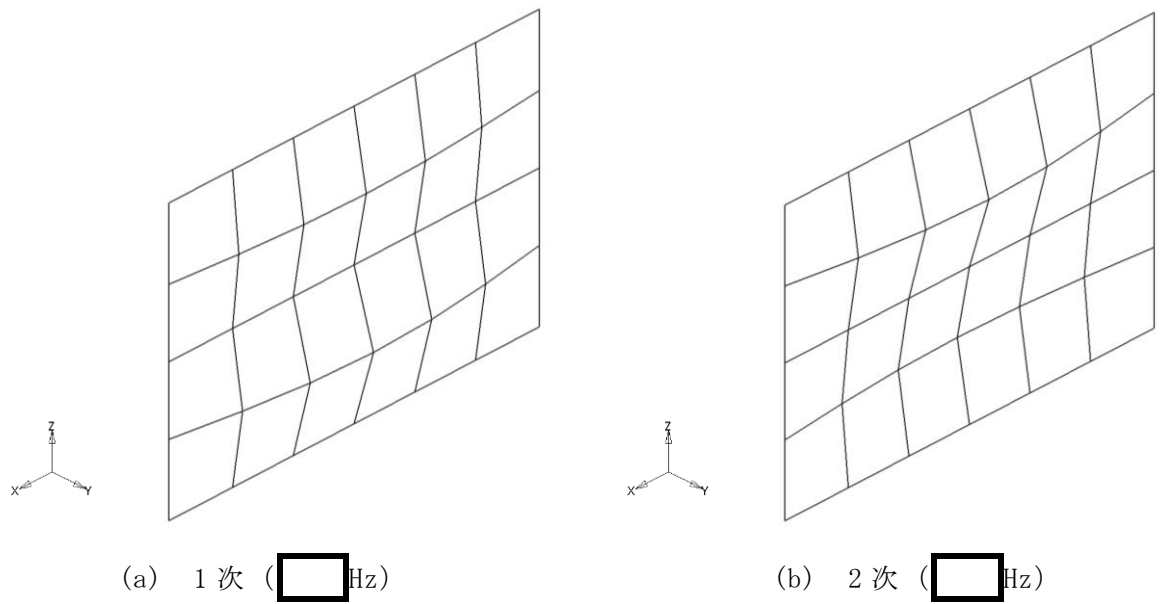


図 3-3(3) 固有モード (MS トンネル室 BOP No. 3)

3.2.2 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 3-5 に示す。

設計用地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。評価に用いる震度は、保守的な評価とするためそれぞれの MS トンネル室 BOP 設置上下階 (No.1 EL 15.3m~EL 23.8m, No.2 及び No.3 EL 23.8m~EL 34.8m) のうち最大となる値とする。また、ラブチャーパネルは枠部にボルト接合されるが、ラブチャーパネル自体が薄いアルミニウム板の単一材料であることから、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数 1% (溶接構造物) を用いる。

なお、ラブチャーパネルは、枠部に作用する鉛直震度により応力が発生しない機構であるため、鉛直震度に対する閉機能維持評価は行わない。

表 3-5 設計用地震力 (設計基準対象施設, 重大事故対処設備)

据付場所及び 床面高さ (m)		原子炉建物 EL 15.3~EL 34.8					
固有周期 (s)		NS方向: <input type="text"/> * ¹ EW方向: 0.05以下 鉛直: 0.05以下					
減衰定数 (%)		NS方向: 1.0 EW方向: — UD方向: —					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード	固有周期 (s)	水平震度		鉛直 震度	水平震度		鉛直 震度
		NS方向	EW方向		NS方向	EW方向	
1次	<input type="text"/> * ¹	—* ²	—	—	25.0* ³	—	—
動的地震力* ⁴		1.06	—	—	1.17	—	—
静的地震力* ⁵		0.78	—	—	—	—	—

注記*1: ラブチャーパネル試験体 2 の 1 次固有周期について記載

*2: 基準地震動 S_s に基づく水平震度で代表する。

*3: 設計用床応答スペクトル (S_s) より得られる水平震度に保守性を考慮して設定した震度

*4: 設計用震度 I (1.0ZPA) を示す。

*5: 静的震度 (3.0・C_i) を示す。

3.2.3 評価方法

(1) 地震荷重

基準地震動 S_s に基づく設計用最大応答加速度より定めた水平震度を用いて次式より算定する。

$$F_H = W \cdot C_H \cdot g$$

F_H : 地震荷重 (N/m^2)

W : ラプチャーパネルの質量 ($=0.54 \text{ kg}/m^2$)

C_H : 水平震度 ($=25.0$)

g : 重力加速度 ($=9.80665m/s^2$)

3.2.4 評価結果

MS トンネル室 BOP の地震荷重と開放荷重を比較した評価結果を表 3-6 に示す。

MS トンネル室 BOP は、基準地震動 S_s による地震力に対して開放せず、閉機能を維持できることを確認した。

表 3-6 評価結果

設備名称	地震荷重(S_s) (kN/m^2)	設計開放荷重 (kN/m^2)	判定
MS トンネル室 BOP	0.133	7.36	○

4. 開機能維持評価

4.1 取付け状況

ラプチャーパネルは、取付け枠を介して枠部にボルトで取付けられている。各部の孔径とボルト径の関係を図4-1に示す。取付けボルトはM12、枠部の孔は $\phi 12.5\text{mm}$ 、取付け枠の孔は $\phi 15\text{mm}$ であり、ボルトが孔の中心に取付けられている場合は、取付け枠孔と枠部孔とは 1.75mm の層間変位に追従可能な間隙がある。

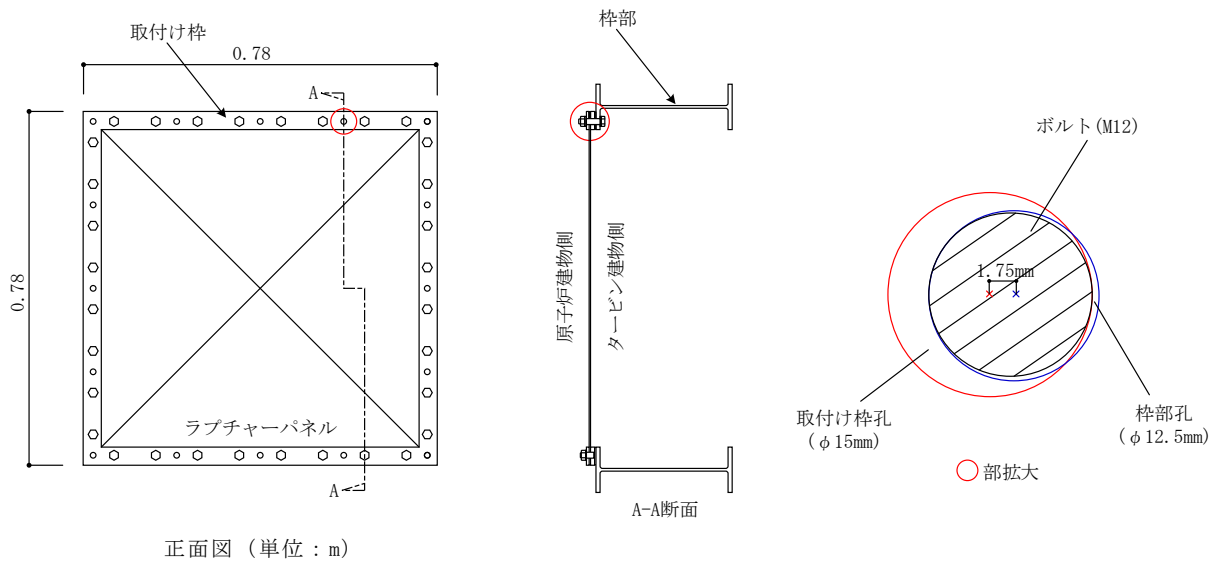


図4-1 孔径とボルト径の関係

4.2 層間変位の算定

地震時の層間変位について図 4-2 に示す。層間変位は，VI-2-2-3「原子炉建物の耐震性についての計算書」にて算出している耐震壁のせん断ひずみの最大値を層間変形角として，以下の式により算定する。

$$\delta = h \cdot \theta$$

h : パネル本体の高さ (=780mm)

θ : 最大せん断ひずみ * (0.50×10^{-3} rad)

注記* : 材料物性の不確かさを考慮した設置階 (EL 15.3m~EL 34.8m) の EW 方向の最大値

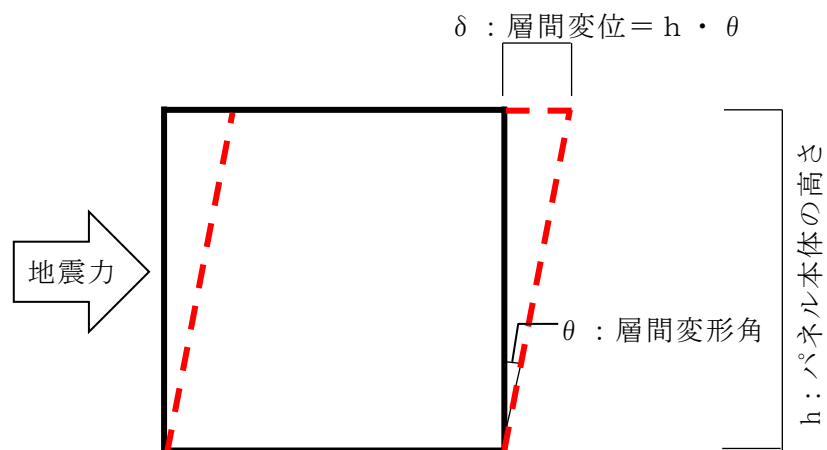


図 4-2 層間変位

4.3 評価結果

評価結果を表 4-1 に示す。躯体の層間変位は最大で 0.39mm であり，取付け枠孔と枠部孔とは 1.75mm の間隙があることから変形に対し追従できる。以上のことから，MS トンネル室 BOP は，基準地震動 S_s を受けたとしても開放機能に影響はないことを確認した。

表 4-1 評価結果

設備名称	層間変位 (S_s) (mm)	間隙 (mm)	判定
MS トンネル室 BOP	0.39	1.75	○

VI-2-9-3-2 原子炉建物機器搬出入口の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	配置概要	1
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	4
2.4	適用規格・基準等	5
2.5	記号の説明	6
3.	固有周期	8
3.1	固有周期の計算方法	8
3.1.1	水平方向	8
3.1.2	鉛直方向	9
3.2	固有周期の計算条件	10
3.3	固有周期の計算結果	11
4.	構造強度評価	12
4.1	評価対象部位	12
4.2	荷重及び荷重の組合せ	15
4.2.1	耐震評価上考慮する荷重	15
4.2.2	荷重の設定	16
4.3	許容限界	18
4.3.1	使用材料	18
4.3.2	許容限界	19
4.4	計算方法	20
4.4.1	荷重計算方法	20
4.4.2	応力評価	27
4.5	計算条件	29
5.	評価結果	31

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建物機器搬出入口の扉（以下「機器搬出入扉」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

機器搬出入扉は、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の一部施設として扱うため、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備として構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

機器搬出入扉の設置位置を図2-1に示す。

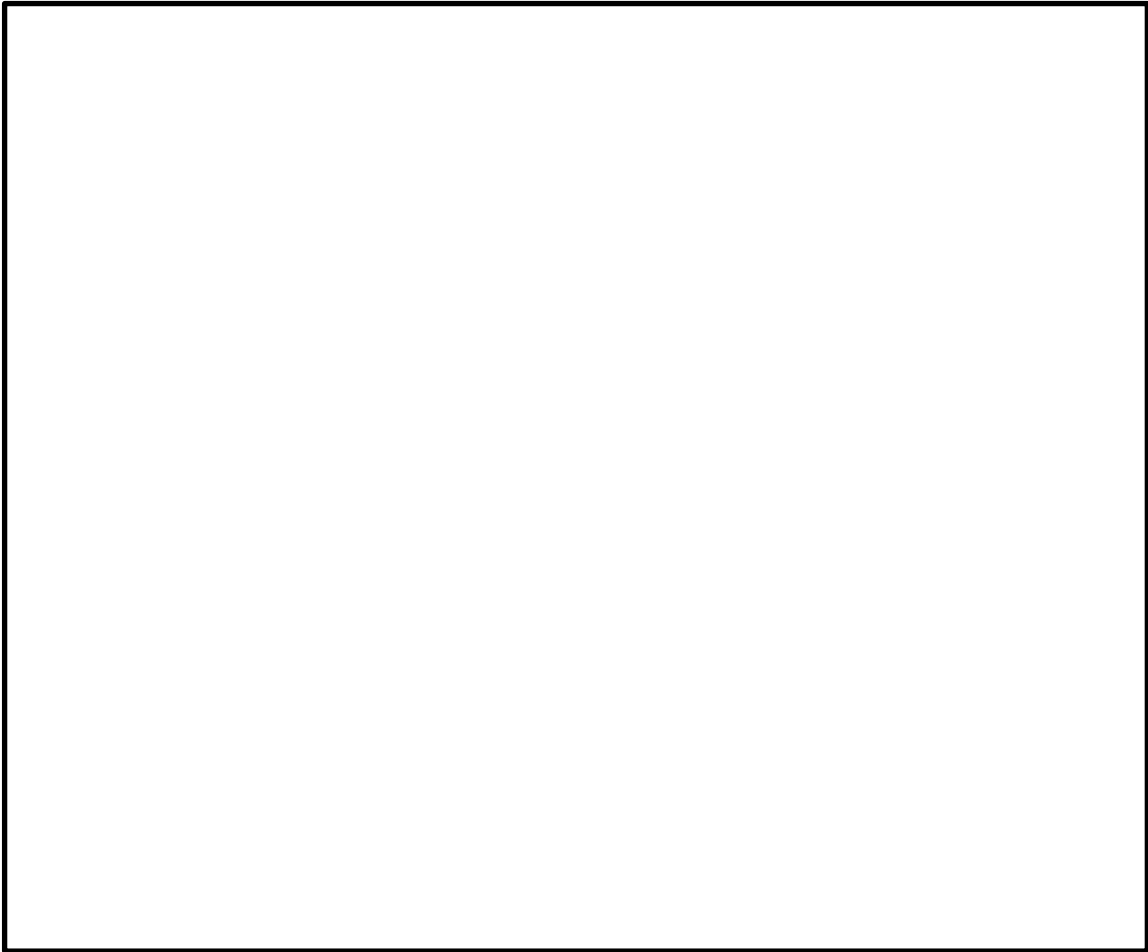


図 2-1 設置位置図 (EL 15.3m)

2.2 構造概要

機器搬出入扉の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画構造	
支持構造	主体構造
<p>大扉の扉開放時は、ヒンジにより大扉が扉枠に固定され、扉閉止時においては、大扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、大扉と扉枠を一体化する構造とする。また、扉枠を周辺躯体にアンカーボルトで固定する構造とする。くぐり戸の扉開放時は、ヒンジによりくぐり戸が大扉に固定され、扉閉止時においては、くぐり戸に配したカンヌキを大扉内のカンヌキ受けに差し込むことにより、大扉に一体化する構造とする。</p>	<p>大扉は片開型の鋼製扉とし、扉板に芯材を取り付け、大扉に配したカンヌキを扉枠内のカンヌキ受けに差し込み、大扉と扉枠を一体化させる構造とする。くぐり戸は片開型の鋼製扉とし、くぐり戸に設置されたくぐり戸用カンヌキを大扉に設置されたカンヌキ受けに差し込み、くぐり戸と大扉を一体化させる構造とする。また、大扉と建物躯体及びくぐり戸と大扉の接続はヒンジを介する構造とする。</p>
概略構造図	
	

2.3 評価方針

機器搬出入扉の耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき「2.2 構造概要」にて示す機器搬出入扉の部位を踏まえ、「4.1 評価対象部位」にて設定する部位において、設計用地震力により生じる応力度が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

機器搬出入扉の耐震評価は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価に当たっては、材料物性の不確かさを考慮する。

機器搬出入扉の耐震評価フローを図2-2に示す。

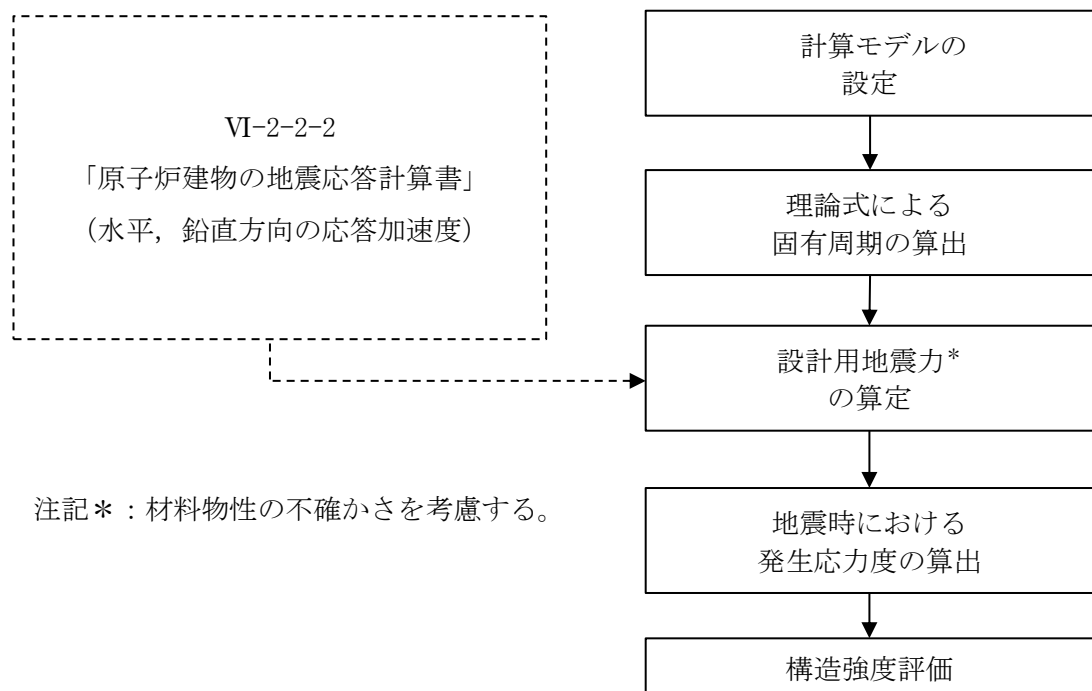


図2-2 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010 年改定)
- (3) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005 年改定)
- (4) J I S G 4 3 0 3 - 2 0 1 2 ステンレス鋼棒
- (5) J I S G 4 0 5 1 - 2 0 1 6 機械構造用炭素鋼鋼材
- (6) J I S G 4 0 5 3 - 2 0 1 6 機械構造用合金鋼鋼材
- (7) J I S B 1 0 5 4 - 1 - 2 0 1 3 耐食ステンレス鋼製締結用部品の機械的性質
- (8) 構造力学公式集 ((社) 土木学会)

2.5 記号の説明

機器搬出入扉の耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2(1) 耐震評価に用いる記号

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング係数	N/m ²	
	F _H	水平地震力	N	
	F _V	鉛直地震力	N	
	f	機器搬出入扉の 1 次固有振動数	Hz	
	I	断面二次モーメント	mm ⁴	
	ℓ	モデル化に用いる芯材の長さ	mm	
	m	質量分布	kg/m	
	C _H	水平震度	—	
	C _V	鉛直震度	—	
	W _X	扉体自重	kN	
	W ₁	扉体幅	mm	
	H ₁	扉体高	mm	
	P _{N1}	圧力荷重 (内圧)	kN/m ²	
	P _{N2}	圧力荷重 (外圧)	kN/m ²	
ヒンジ部	共通	L _j	ヒンジ間距離	mm
		L _r	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	mm
		L _t	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	mm
		R _r	扉体幅方向自重反力	N
		R _t	扉体厚方向自重反力	N
	ヒンジ アーム	A ₁	ヒンジアームの断面積	mm ²
		T ₁	ヒンジアームの引張力	N
		L ₁	ヒンジアームの作用点間距離	mm
		M ₁	ヒンジアームの曲げモーメント	N・mm
		Q ₁	ヒンジアームのせん断力	N
		Z ₁	ヒンジアームの断面係数	mm ³
		σ _{t1}	ヒンジアームの引張応力度	N/mm ²
		σ _{b1}	ヒンジアームの曲げ応力度	N/mm ²
		σ _{x1}	ヒンジアームの組合せ応力度	N/mm ²
		τ ₁	ヒンジアームのせん断応力度	N/mm ²

表 2-2(2) 耐震評価に用いる記号

項目		記号	定義	単位
ヒンジ部	ヒンジ ピン	A_2	ヒンジピンの断面積	mm^2
		A_2'	ヒンジピンの受圧面積	mm^2
		L_2	ヒンジピンの軸支持間距離	mm
		N_2	ヒンジピンの圧縮力	N
		M_2	ヒンジピンの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		Q_2	ヒンジピンのせん断力	N
		Z_2	ヒンジピンの断面係数	mm^3
		σ_{c2}	ヒンジピンの圧縮応力度	N/mm^2
		σ_{b2}	ヒンジピンの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x2}	ヒンジピンの組合せ応力度	N/mm^2
	τ_2	ヒンジピンのせん断応力度	N/mm^2	
	ヒンジ ボルト	A_{b3}	ヒンジボルトの断面積	mm^2
		n_{b3}	ヒンジボルトの本数	本
		T_3	ヒンジボルトの引張力	N
		Q_3	ヒンジボルトのせん断力	N
		σ_{t3}	ヒンジボルトの引張応力度	N/mm^2
	τ_3	ヒンジボルトのせん断応力度	N/mm^2	
カンヌキ部	共通	F_H'	水平面外方向の慣性力	N
	カンヌキ	A_4	カンヌキの断面積	mm^2
		L_4	カンヌキの作用点間距離	mm
		M_4	カンヌキの曲げモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
		n	カンヌキの本数	本
		Q_4	カンヌキのせん断力	N
		Z_4	カンヌキの断面係数	mm^3
		σ_{b4}	カンヌキの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x4}	カンヌキの組合せ応力度	N/mm^2
	τ_4	カンヌキのせん断応力度	N/mm^2	

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

固有周期は、扉閉止時及び扉開放時について、「構造力学公式集（（社）土木学会）」に基づき以下の式により計算する。機器搬出入扉は、ヒンジ及びカンヌキにより扉と扉枠を固定する構造であることから扉閉止時の大扉については両端固定ばり、くぐり戸は四辺支持の長方形板に、扉開放時については、ヒンジ、自由端ばりに単純化したモデルとし、モデル化に用いる芯材又は扉板の長さは扉高さとする。

ここで、固有振動数は水平方向（扉体面外方向）について算出するものとし、鉛直方向（扉体面内方向）については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、面外方向の剛性に比べて十分に大きいので、固有振動数の算出を省略する。

モデル化の対象は、扉板及び芯材の組合せによる断面を有する機器搬出入扉（大扉）については芯材を、芯材がなく扉板そのものにより断面を構成する機器搬出入扉（くぐり戸）については扉板とする。なお、扉開放時は芯材の有無に関わらず同一の評価式を用いる。扉閉止時及び扉開放時の固有値計算モデルを図3-1及び図3-2に示す。

3.1.1 水平方向

(1) 扉閉止時

a. 両端固定ばりモデル（大扉：芯材をモデル化）

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi\ell^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

b. 四辺固定の長方形板モデル（くぐり戸：扉板をモデル化）

$$f = \frac{\lambda\pi h}{4b^2} \sqrt{\frac{E}{3(1-\nu^2)\rho}}$$

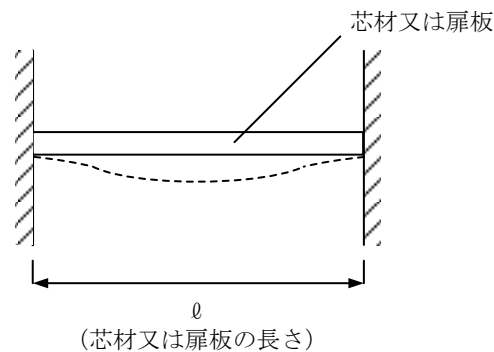


図3-1 固有値計算モデル（扉閉止時）

(2) 扉開放時（大扉及びくぐり戸：芯材又は扉板をモデル化）

扉開放時において機器搬出入扉は、面外方向については剛体モード（固有振動数がほぼゼロ）となり、これに伴う荷重の増幅は生じないが、本評価においては保守的に芯材又は扉板が自由振動するものとして、下記の評価式にて固有振動数を算出することとした。

ヒンジ，自由端ばりモデル

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

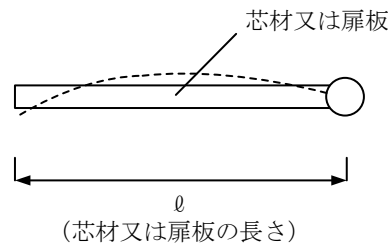


図 3-2 固有値計算モデル（扉開放時）

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が「3.1.1 水平方向」で検討した面外方向の剛性に比べて十分に大きいことから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1(1) 固有周期の計算条件 (大扉)

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	ℓ	mm	
ヤング係数	E	N/m ²	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
質量分布	m	kg/m	

表 3-1(2) 固有周期の計算条件 (くぐり戸)

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	ℓ	mm	
ヤング係数	E	N/m ²	
断面二次モーメント	I	mm ⁴	
質量分布	m	kg/m	
定数	λ	—	
モデル化に用いる扉板の長さ	b	m	
モデル化に用いる扉板の厚さ	h	m	
ポアソン比	ν	—	
材料の密度	ρ	kg/m ³	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。計算結果より、剛構造であることを確認した。

表 3-2 固有周期

扉名称	扉の開閉状況	固有振動数(Hz)	固有周期(s)
機器搬出入扉 (大扉)	閉止時		
	開放時		
機器搬出入扉 (くぐり戸)	閉止時		
	開放時		

4. 構造強度評価

4.1 評価対象部位

機器搬出入扉の評価対象部位は、「2.2 構造概要」に示す機器搬出入扉の構造を踏まえ、機器搬出入扉に作用する荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し設定する。

機器搬出入扉の大扉に生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部（ヒンジアーム、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ）から扉枠に伝達しているため、評価部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。また、大扉の重量にはくぐり戸の重量を含めて評価する。

機器搬出入扉のくぐり戸に生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部（ヒンジアーム、ヒンジピン、ヒンジボルト）及びカンヌキ部（カンヌキ）に伝わり、十分な裕度を有する溶接にて支持する。くぐり戸は扉開放時には、ヒンジにより扉が大扉に固定され、扉閉止時には、くぐり戸用カンヌキにより、大扉に一体化する構造としていることから、評価対象部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

なお、扉枠についてはボルト、アンカーボルトの大半が損傷しない限り転倒・脱落は生じないことから評価対象としないこととする。

機器搬出入扉の地震荷重の作用イメージと評価部位を図4-1に示す。

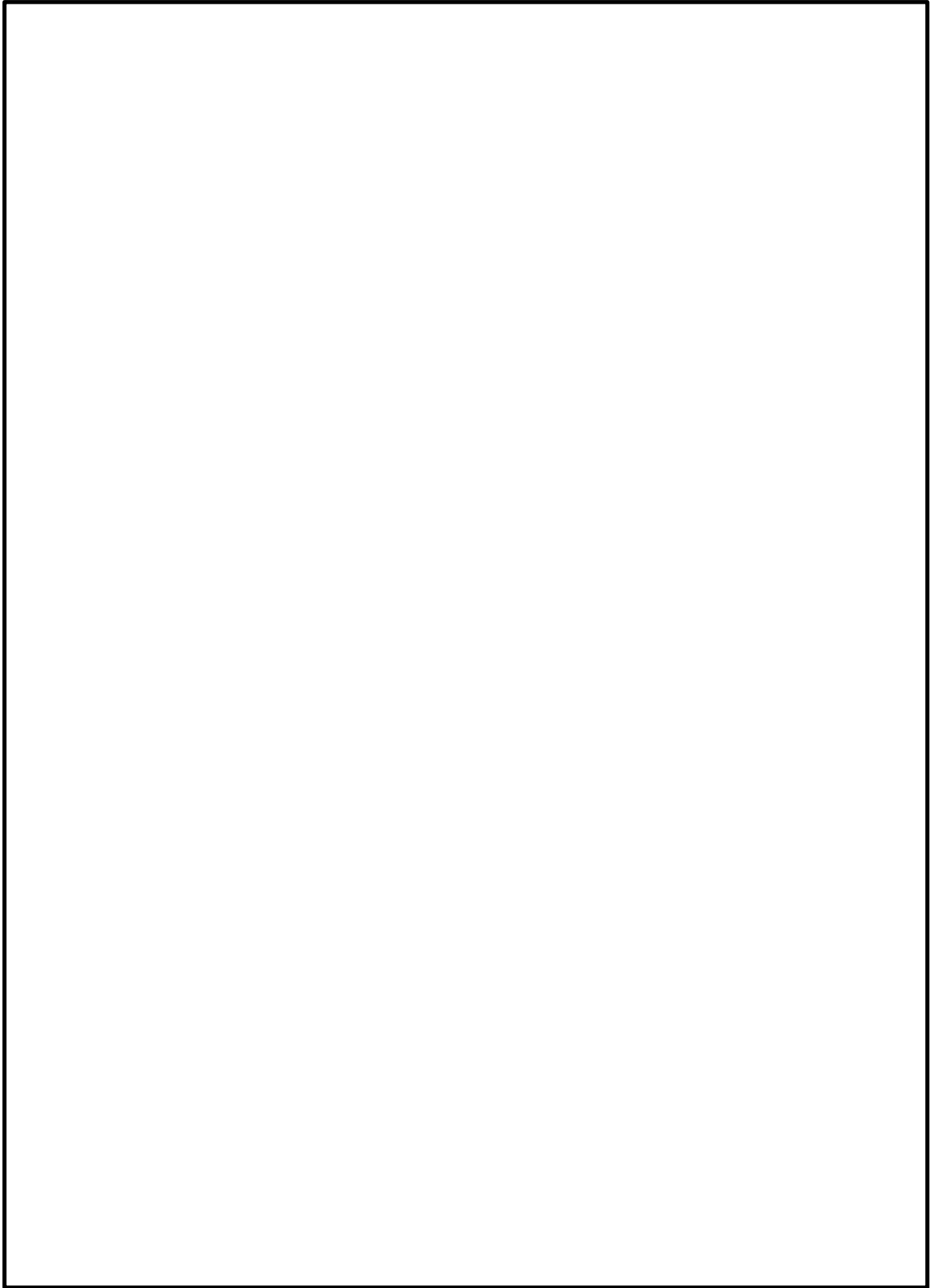


図 4-1(1) 扉閉止時の地震荷重の作用イメージと評価部位

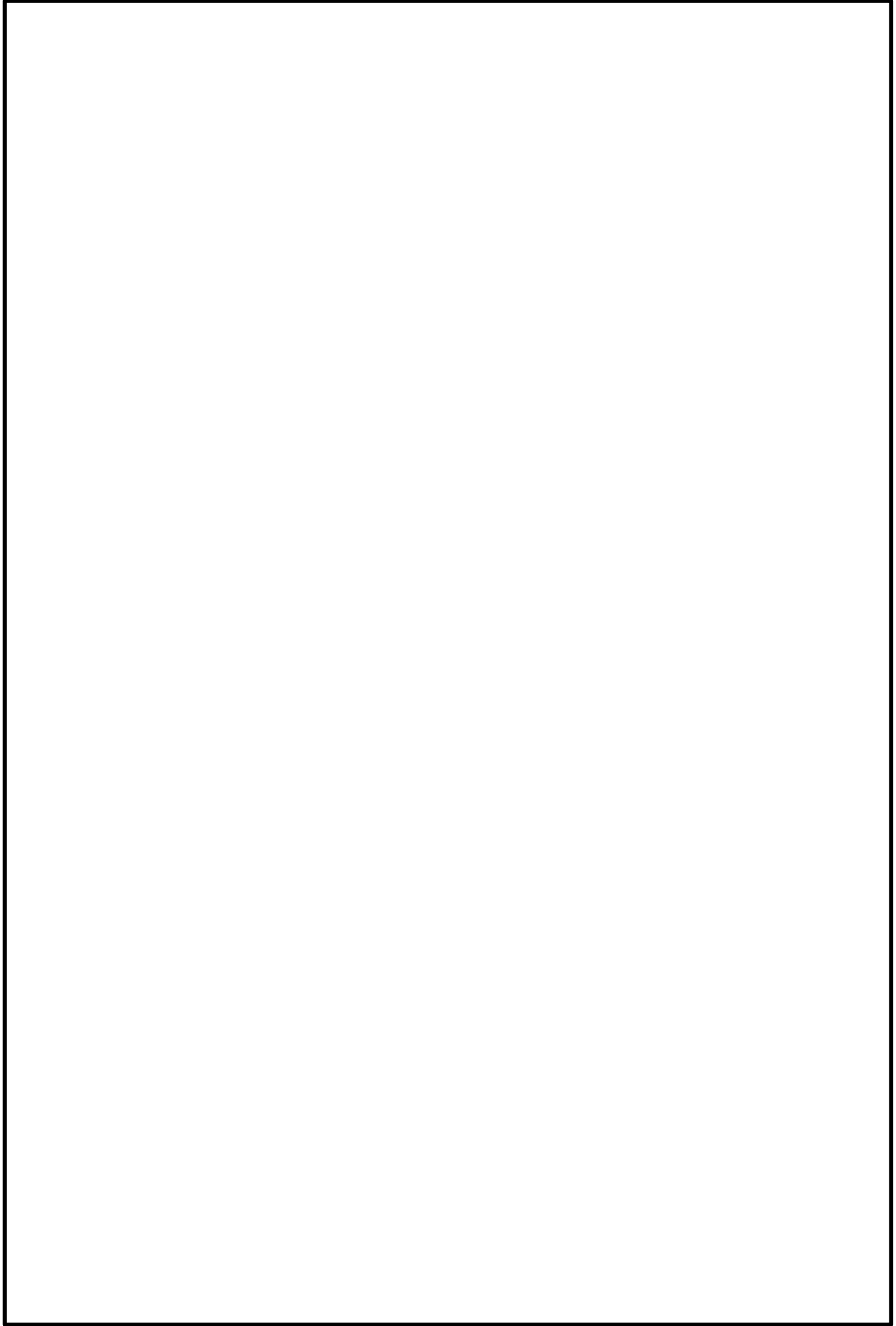


図 4-1(2) 扉開放時の地震荷重の作用イメージと評価部位

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せに基づき設定する。

VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せを以下に示す。なお、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に従い、設計基準対象施設と重大事故等対処設備の評価に用いる荷重の組合せは同一とする。

なお、本資料において基準地震動 S_s による評価として短期許容応力度を超えないことを確認するため、弾性設計用地震動 S_d による評価は行わないこととする。

$$G + P + S_s$$

4.2.1 耐震評価上考慮する荷重

機器搬出入扉の耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

- G : 扉の固定荷重
- P : 通常時の圧力荷重
- S_s : 基準地震動 S_s による地震力

4.2.2 荷重の設定

(1) 固定荷重 (G)

機器搬出入扉の固定荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 固定荷重

(単位：kN)

扉名称	固定荷重
機器搬出入扉 (大扉)	
機器搬出入扉 (くぐり戸)	

注：大扉の固定荷重 kN はくぐり戸の固定荷重 kN を含む。

(2) 圧力荷重 (P)

機器搬出入扉に作用する圧力荷重を表 4-2 に示す。ここで、圧力荷重は機器搬出入扉の建設時に設定した設計条件を基に設定するものであり、外圧 (負圧) は機器搬出入扉に対し外側から内側へ作用するものとする。

表 4-2 圧力荷重

(単位：kN/m²)

種類	圧力荷重
内圧 (正圧)	0.000
外圧 (負圧)	0.981

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重は、表 4-3 で示した設計震度を用いて、次式により算定する。ただし、耐震評価に用いる震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして VI-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」によることとし、設置床面と上階床面のうち、最大の値とする。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、S_s : 基準地震動 S_s による地震力 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

表 4-3 設計震度

扉名称	設置場所 (抽出位置)	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
機器搬出入扉	EL 15.3m (EL 23.8m)	1.02	1.28

4.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

機器搬出入扉を構成するヒンジ部、カンヌキ部の使用材料を表4-4に示す。

表4-4(1) 使用材料（大扉）

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ部	カンヌキ		

表4-4(2) 使用材料（くぐり戸）

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ部	カンヌキ		

4.3.2 許容限界

(1) ヒンジ部及びカンヌキ部

ヒンジ部及びカンヌキ部を構成する部材の許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，2005年改定）」に基づき設定する。各部材の許容限界を表4-5に示す。

表4-5 ヒンジ部及びカンヌキ部の許容限界

材質		許容限界(N/mm ²)			
		圧縮	曲げ	引張	せん断
		235	235	235	135
		215	215	215	124
		205	205	205	118
		700	700	700	404
		651	651	651	375
		345	345	345	199

4.4 計算方法

機器搬出入扉の耐震評価は、地震により生じる応力度が、「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

4.4.1 荷重計算方法

(1) ヒンジ部

ヒンジ部は、ヒンジアーム、ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）から、各部材に発生する応力度を算定する。なお、圧力荷重はヒンジ部に作用しない構造である。ヒンジ部に生じる荷重を図4-2に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

$$R_r = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$

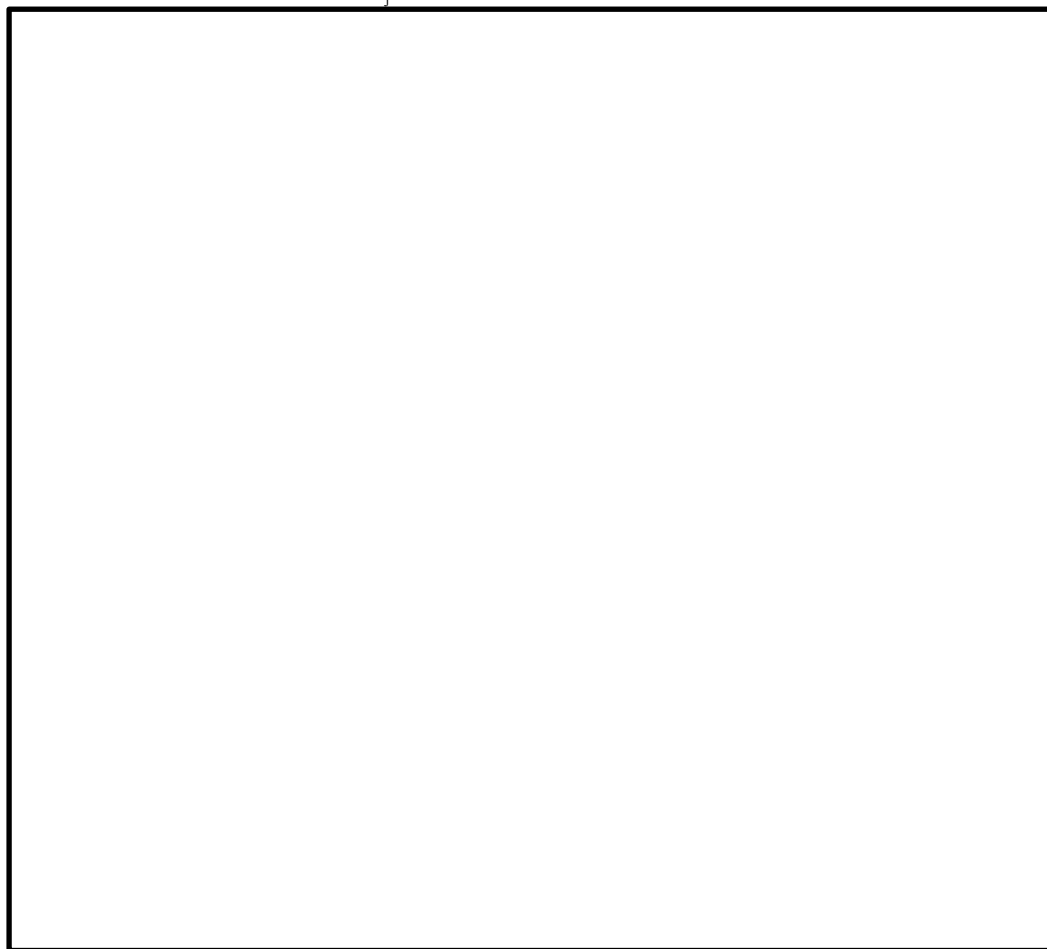


図4-2 ヒンジ部に生じる荷重

a. ヒンジアーム

ヒンジアームは、引張応力度及び曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図4-3にヒンジアームに生じる荷重を示す。

(a) 引張力

ヒンジアームに生じる引張力及び引張応力度を次式により算定する。

$$T_1 = R_r + \frac{F_H}{2}$$

$$\sigma_{t1} = \frac{T_1}{A_1}$$

(b) 曲げモーメント

ヒンジアームに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_1 = (W_x + F_v) \cdot L_1$$

$$\sigma_{b1} = \frac{M_1}{Z_1}$$

(c) せん断力

ヒンジアームに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_1 = W_x + F_v$$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$

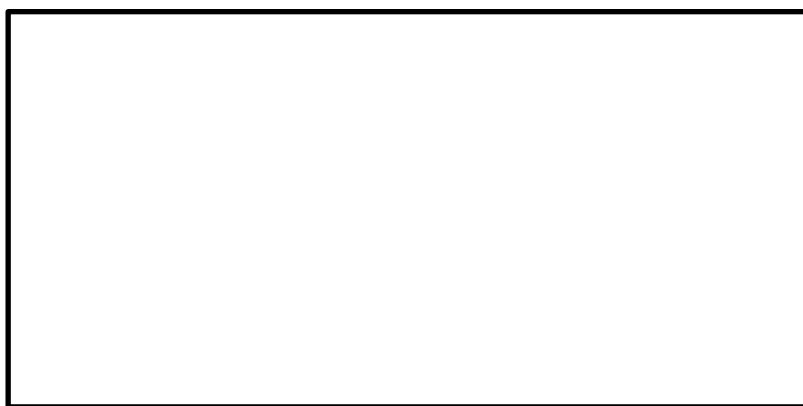


図4-3 ヒンジアームに生じる荷重

b. ヒンジピン

ヒンジピンは、圧縮応力度及び曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。

図 4-4 にヒンジピンに生じる荷重を示す。

(a) 圧縮力

ヒンジピンに生じる圧縮力及び圧縮応力度を次式により算定する。

$$N_2 = W_x + F_v$$

$$\sigma_{c2} = \frac{N_2}{A_2}$$

(b) 曲げモーメント

ヒンジピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L_2$$

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z_2}$$

(c) せん断力

ヒンジピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

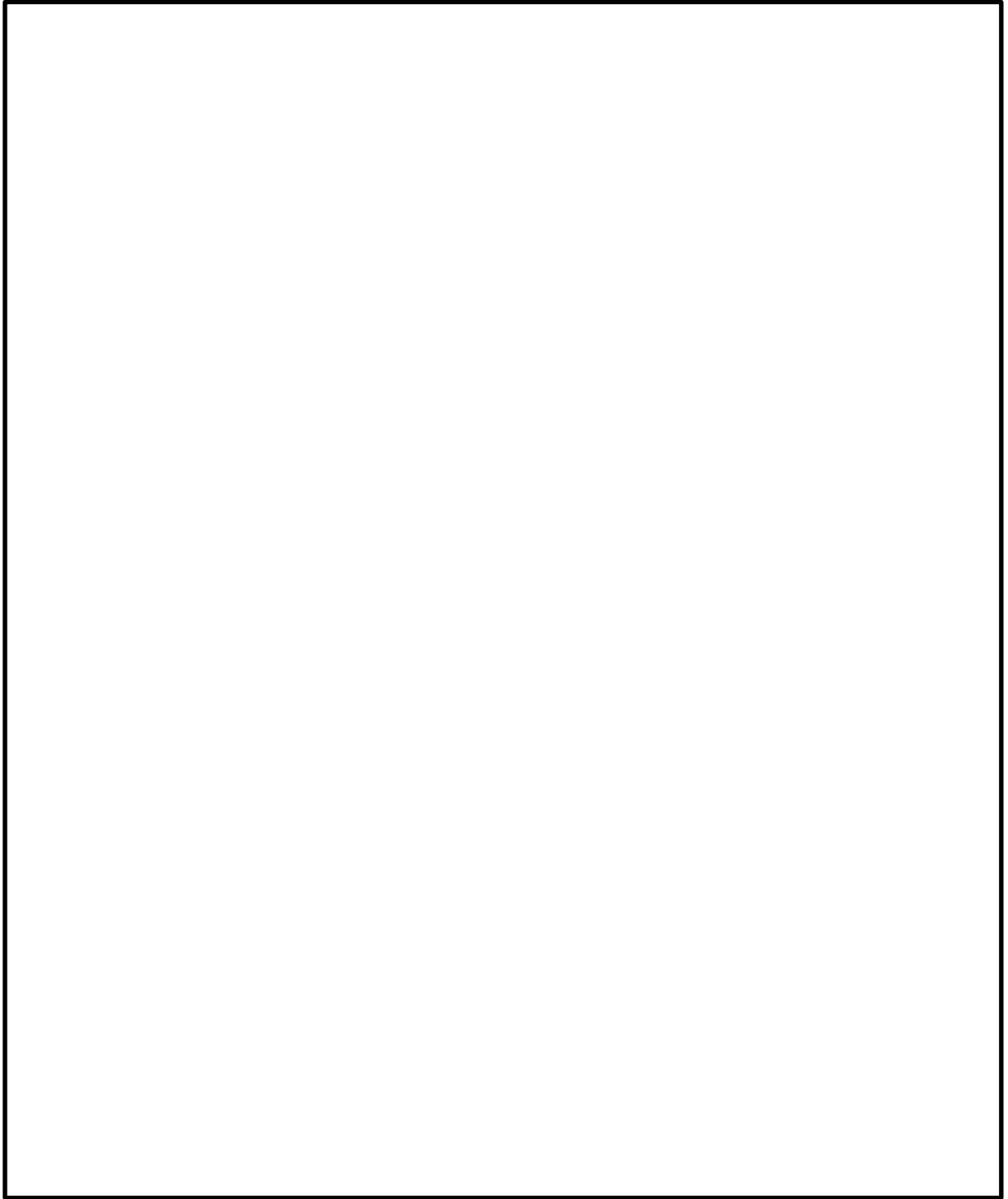


図 4-4 ヒンジピンに生じる荷重

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトは、引張応力度及びせん断応力度について評価する。ヒンジボルトに生じる荷重は、扉の開放角度が90°の時には引張力として作用し、扉の開放角度が0°の時には、せん断力として作用することから次式により算定する。なお、45°や135°等の上記以外の開放状況下においては、ヒンジボルトに生じる引張力とせん断力はそれぞれ90°開放時の引張力、0°開放時のせん断力に包絡されるため、開放状況は90°と0°を想定するものとする。また、2か所設置しているヒンジ部のうち、上部のヒンジ部は水平方向の荷重のみ負担するのに対して、下部のヒンジ部は鉛直方向の荷重と水平方向の荷重を負担することから、下部のヒンジボルトを対象に評価する。図4-5に下部のヒンジボルトに生じる荷重を示す。

$$T_3 = Q_3 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

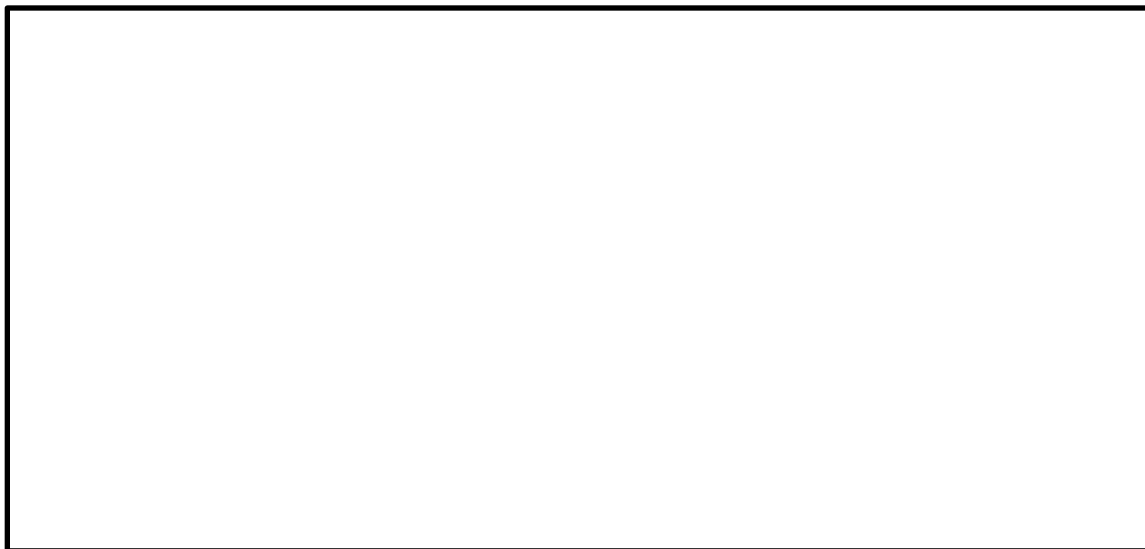


図4-5 下部のヒンジボルトに生じる荷重

(2) カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキで構成されており、次式により算定する水平地震力及び圧力荷重（内圧）から、各部材に発生する荷重を算定する。扉体に生じる荷重を図 4-6 に、カンヌキ部に生じる荷重を図 4-7 に示す。なお、圧力荷重（外圧）は扉体から扉枠に直接伝達され、カンヌキ部には作用しない構造である。

$$F_H' = W_X \cdot C_H + P_{N1} \cdot W_1 \cdot H_1$$

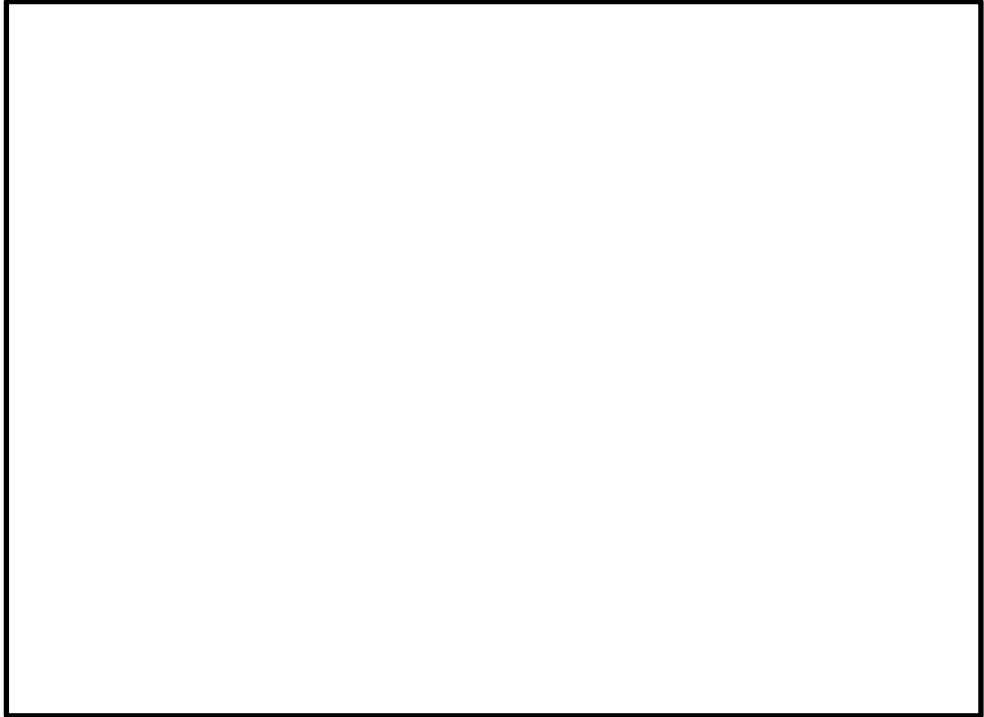


図 4-6 扉体に生じる荷重



図 4-7 カンヌキ部に生じる荷重

a. カンヌキ

カンヌキは、曲げ応力度及びせん断応力度の組合せについて評価する。

(a) 曲げモーメント

カンヌキに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_4 = \frac{F_H'}{n} \cdot L_4$$

$$\sigma_{b4} = \frac{M_4}{Z_4}$$

(b) せん断力

カンヌキに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_4 = \frac{F_H'}{n}$$

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$

4.4.2 応力評価

各部材に生じる応力度等が、許容限界以下であることを確認する。

なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、荷重の組合せを考慮する。

(1) ヒンジ部

a. ヒンジアーム

ヒンジアームに生じる引張応力度、曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を次式により算定し、ヒンジアームに生じる引張応力度及び組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t1} = \frac{T_1}{A_1}$$
$$\sigma_{x1} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2}$$

b. ヒンジピン

ヒンジピンに生じる圧縮応力度、曲げ応力度及びせん断応力度から組合せ応力度を次式により算定し、ヒンジピンに生じる圧縮応力度及び組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{c2} = \frac{N_2}{A_2}$$
$$\sigma_{x2} = \sqrt{\left(\frac{M_2}{Z_2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}$$

c. ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し、ヒンジボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$
$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

(2) カンヌキ部

a. カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を次式により算定し，カンヌキに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{X4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表4-6に示す。

表4-6(1) 耐震評価に用いる計算条件(大扉)

評価部位		記号	単位	定義	数値
共通		C_H	—	水平震度	1.02
		C_V	—	鉛直震度	1.28
		W_X	kN	扉体自重	
		W_1	mm	扉体幅	
		H_1	mm	扉体高	
		P_{N1}	kN/m ²	圧力荷重(内圧)	0.000
		P_{N2}	kN/m ²	圧力荷重(外圧)	0.981
ヒンジ部	共通	L_j	mm	ヒンジ中心間距離	
		L_r	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	
		L_t	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	
	ヒンジ アーム	A_1	mm ²	断面積	
		L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
	ヒンジ ピン	A_2	mm ²	断面積	
		$A_{2'}$	mm ²	受圧面積	
		L_2	mm	軸支持間距離	
	ヒンジ ボルト	A_{b3}	mm ²	断面積	
		n_{b3}	本	本数	
	カンヌキ部	カンヌキ	A_4	mm ²	断面積
L_4			mm	作用点間距離	
n			本	本数	
Z_4			mm ³	断面係数	

表 4-6(2) 耐震評価に用いる計算条件 (くぐり戸)

評価部位		記号	単位	定義	数値
共通		C_H	—	水平震度	1.02
		C_V	—	鉛直震度	1.28
		W_X	kN	扉体自重	
		W_1	mm	扉体幅	
		H_1	mm	扉体高	
		P_{N1}	kN/m ²	圧力荷重 (内圧)	0.000
		P_{N2}	kN/m ²	圧力荷重 (外圧)	0.981
ヒンジ部	共通	L_j	mm	ヒンジ中心間距離	
		L_r	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	
		L_t	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	
	ヒンジ アーム	A_1	mm ²	断面積	
		L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
	ヒンジ ピン	A_2	mm ²	断面積	
		A_2'	mm ²	受圧面積	
		L_2	mm	軸支持間距離	
		Z_2	mm ³	断面係数	
	ヒンジ ボルト	A_{b3}	mm ²	断面積	
		n_{b3}	本	本数	
カンヌキ部	カンヌキ	A_4	mm ²	断面積	
		L_4	mm	作用点間距離	
		n	本	本数	
		Z_4	mm ³	断面係数	

5. 評価結果

機器搬出入扉の評価結果を表 5-1 に示す。発生値は許容限界を下回っており、設計用地震力に対して十分な耐震性を有していることを確認した。

表 5-1(1) 耐震評価結果 (大扉)

評価部位		分類	発生値 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	判定
ヒンジ部	ヒンジ アーム	引張	5	205	OK
		曲げ	35	205	OK
		せん断	6	118	OK
		組合せ	37	205	OK
	ヒンジ ピン	圧縮	32	345	OK
		曲げ	127	345	OK
		せん断	29	199	OK
		組合せ	137	345	OK
	ヒンジ ボルト	引張	93	651	OK
		せん断	93	375	OK
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ	34	345	OK
		せん断	3	199	OK
		組合せ	35	345	OK

表 5-1(2) 耐震評価結果 (くぐり戸)

評価部位		分類	発生値 (N/mm ²)	許容限界 (N/mm ²)	判定
ヒンジ部	ヒンジ アーム	引張	2	215	OK
		曲げ	42	215	OK
		せん断	4	124	OK
		組合せ	43	215	OK
	ヒンジ ピン	圧縮	12	345	OK
		曲げ	39	345	OK
		せん断	7	199	OK
		組合せ	41	345	OK
	ヒンジ ボルト	引張	26	651	OK
		せん断	26	375	OK
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ	41	700	OK
		せん断	2	404	OK
		組合せ	42	700	OK

VI-2-9-3-3 原子炉建物エアロックの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 配置概要	1
2.2 構造計画	7
2.3 評価方針	8
2.4 適用規格・基準等	9
2.5 記号の説明	10
3. 固有周期	12
3.1 固有周期の計算方法	12
3.1.1 水平方向	12
3.1.2 鉛直方向	13
3.2 固有周期の計算条件	14
3.3 固有周期の計算結果	15
4. 構造強度評価	16
4.1 評価部位	16
4.2 荷重及び荷重の組合せ	18
4.2.1 耐震評価上考慮する荷重	18
4.2.2 荷重の設定	19
4.3 許容限界	21
4.3.1 使用材料	21
4.3.2 許容限界	22
4.4 計算方法	23
4.5 計算条件	32
5. 評価結果	34

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建物エアロックが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

原子炉建物エアロックは、原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）の一部施設として扱うため、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。

以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備として構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 配置概要

原子炉建物エアロックの設置位置を図2-1に示す。

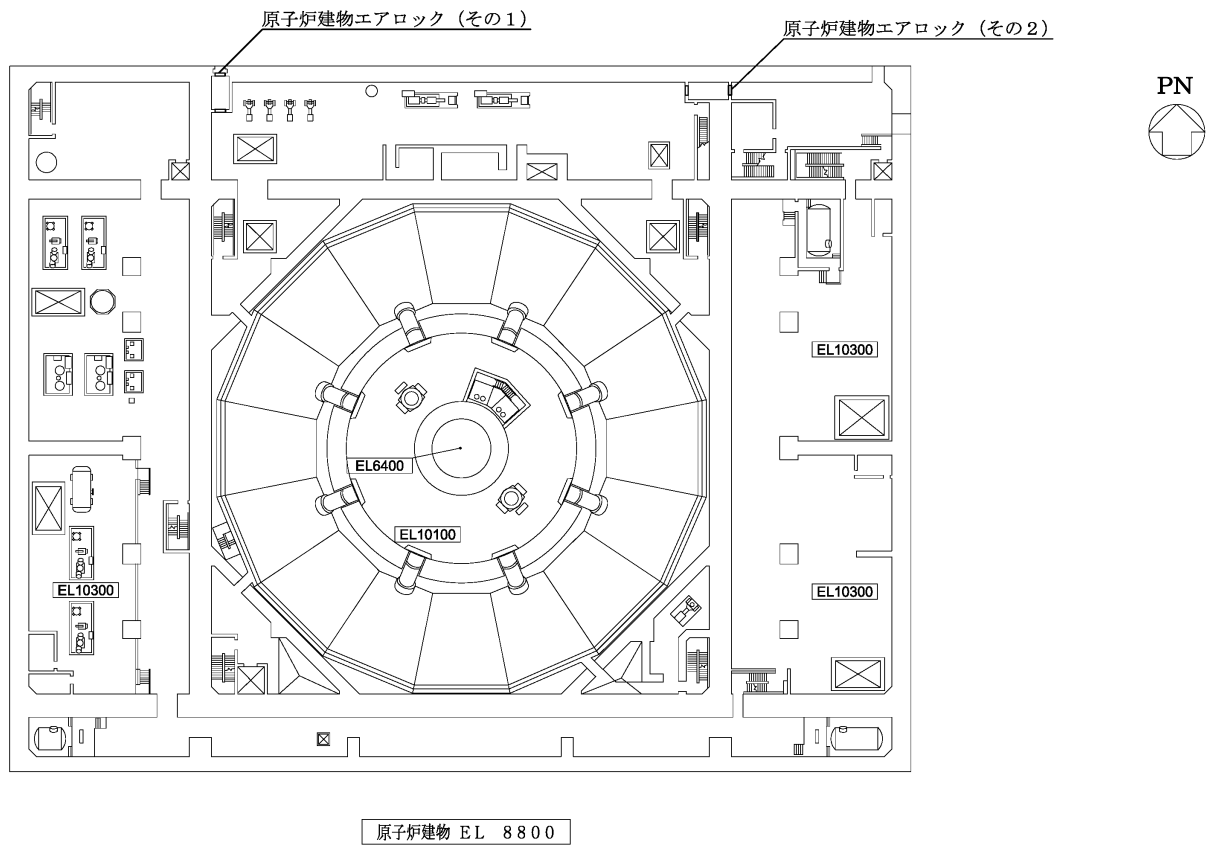


図 2-1(1) 設置位置図

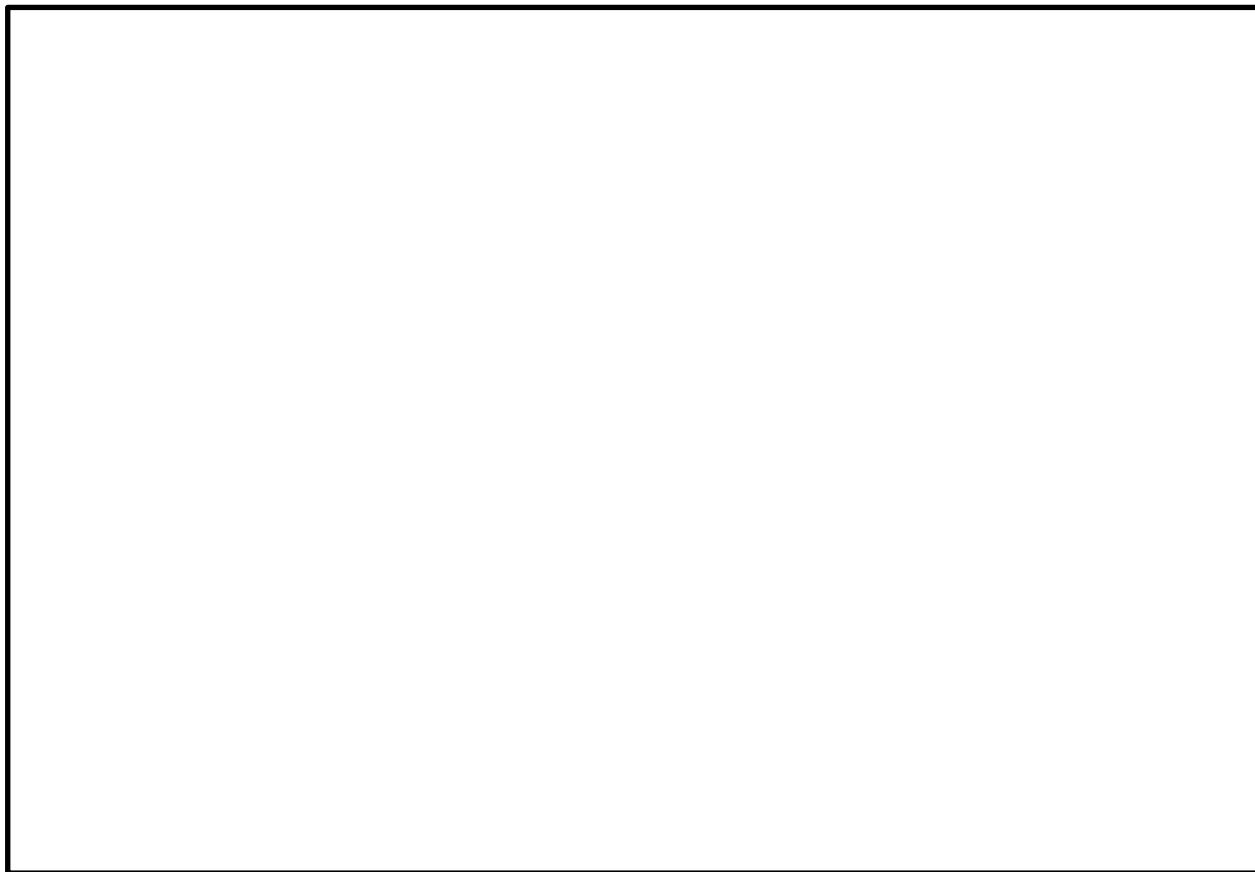
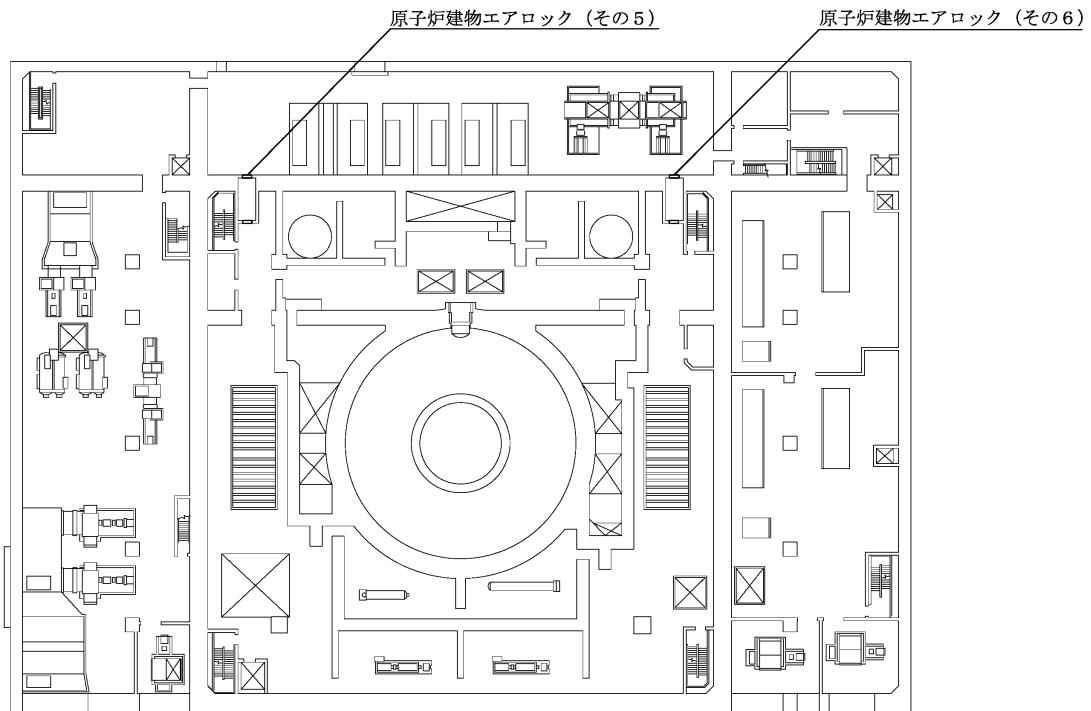


図 2-1(2) 設置位置図



原子炉建物 EL 23800

図 2-1(3) 設置位置図

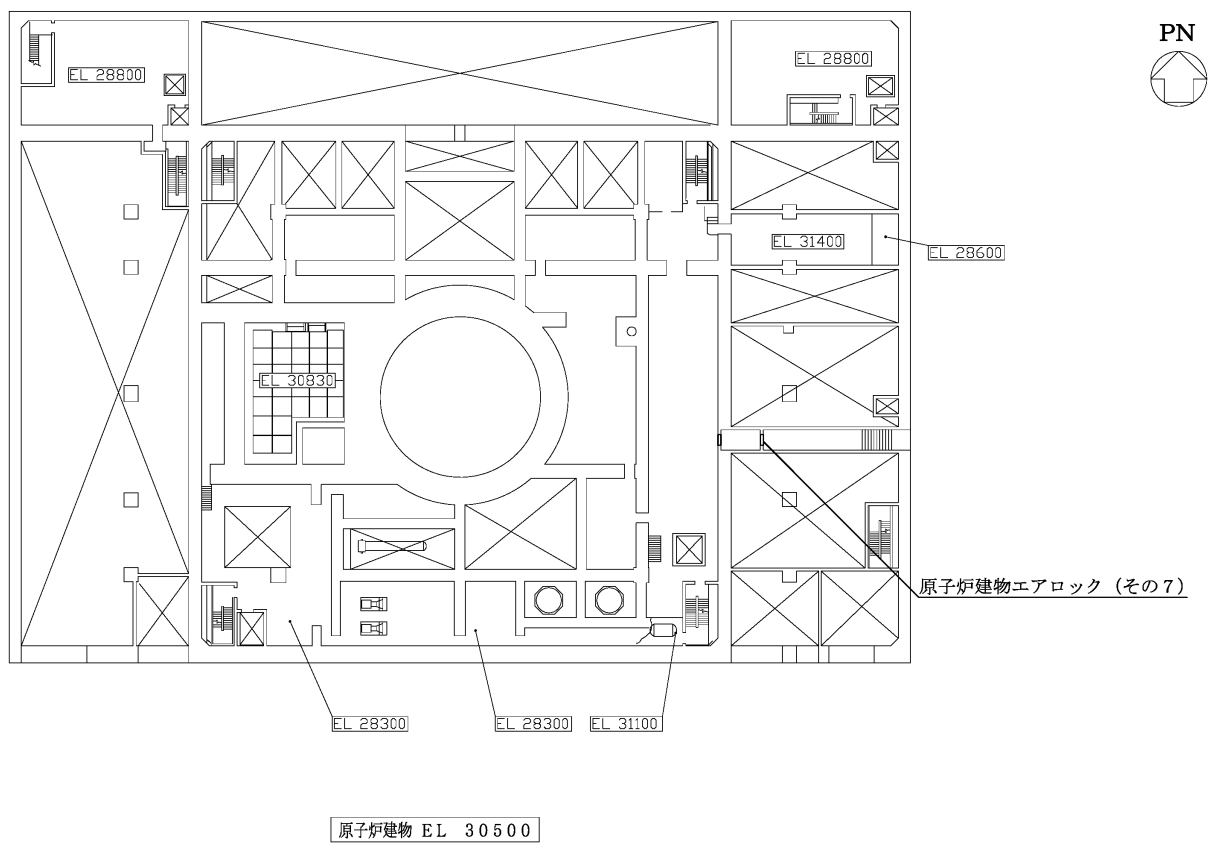


図 2-1(4) 設置位置図

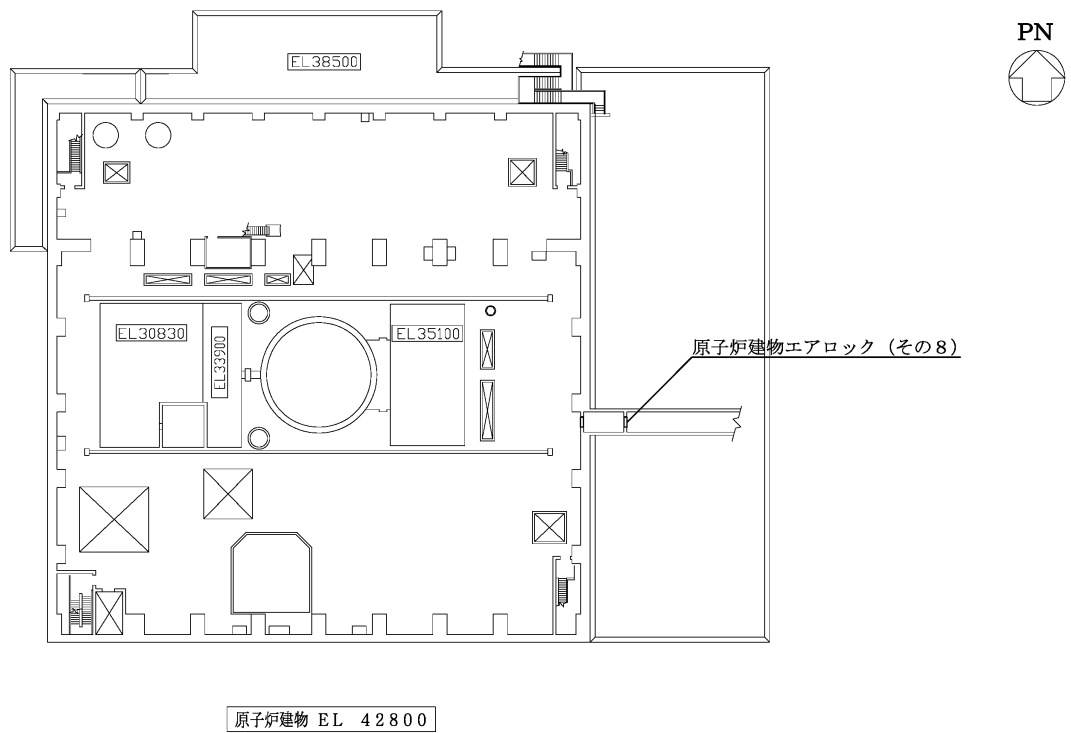


図 2-1(5) 設置位置図

2.2 構造計画

原子炉建物エアロックの構造計画を表 2-1、概略構造図を図 2-2 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要	
支持構造	主体構造
エアロックを閉止する際に、カンヌキにより扉が扉枠に固定される構造とする。また、扉枠を躯体の開口部周辺に、スタッドにより固定する構造とする。	開き戸形式の鋼製扉とし、鋼製の芯材に表側鋼板を取付け、扉に設置されたカンヌキを鋼製の扉枠に差し込み、扉を扉枠と一体化させる構造とする。また、扉と扉枠の接続はヒンジを介する構造とする。

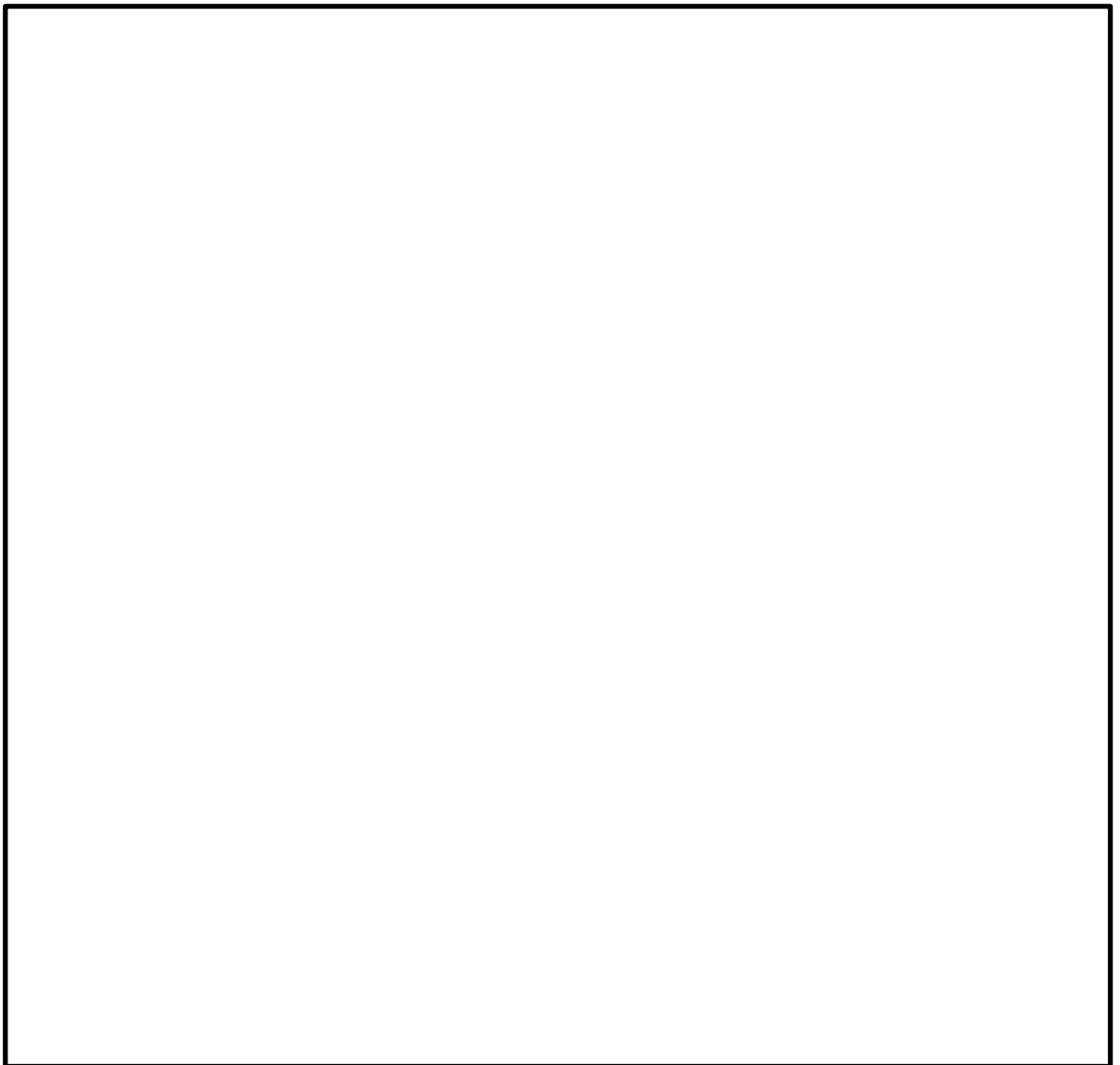


図 2-2 概略構造図

2.3 評価方針

原子炉建物エアロックの耐震評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき「2.2 構造計画」にて示す原子炉建物エアロックの部位を踏まえ、「4.1 評価部位」にて設定する部位において、設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを「4. 構造強度評価」に示す方法にて確認することで実施する。

原子炉建物エアロックの耐震評価は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。評価にあたっては材料物性の不確かさを考慮する。

なお、図 2-1 で示すように、原子炉建物内にはエアロック扉が 8 箇所あるが、いずれも同一構造の扉であることから、最も設計用地震が大きいエアロック扉 1 箇所（原子炉建物エアロック（その 8）を代表）について評価を実施する。

原子炉建物エアロックの耐震評価フローを図 2-3 に示す。

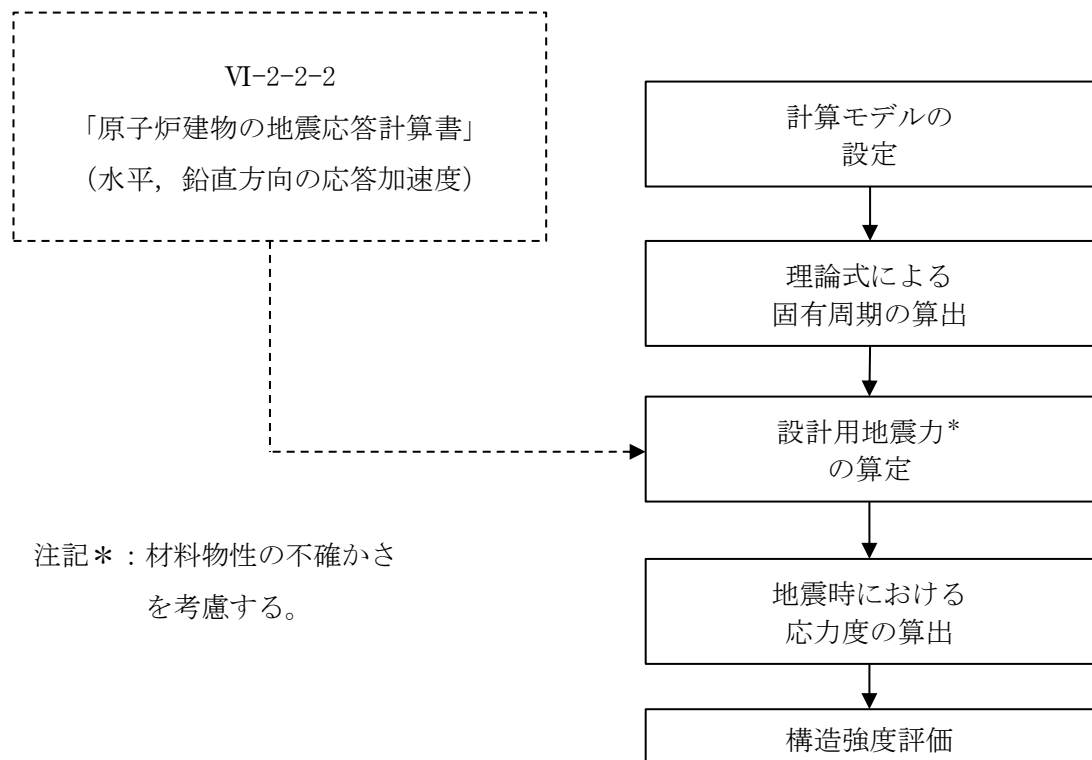


図 2-3 耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用規格・基準等を以下に示す。

- (1) 建築基準法・同施行令
- (2) 各種合成構造設計指針・同解説 ((社) 日本建築学会, 2010年改定)
- (3) 鋼構造設計規準—許容応力度設計法— ((社) 日本建築学会, 2005年改定)
- (4) J I S G 4 3 0 3 - 2012 ステンレス鋼棒
- (5) J I S G 4 0 5 1 - 2016 機械構造用炭素鋼鋼材
- (6) J I S G 4 0 5 3 - 2016 機械構造用合金鋼鋼材
- (7) 構造力学公式集 ((社) 土木学会)

2.5 記号の説明

原子炉建物エアロックの耐震評価に用いる記号を表 2-2 に示す。

表 2-2(1) 耐震評価に用いる記号

項目	記号	定義	単位	
共通	E	ヤング係数	N/m ²	
	F _H	水平地震力	N	
	F _V	鉛直地震力	N	
	T	固有周期	s	
	f	原子炉建物エアロックの 1 次固有振動数	Hz	
	I	断面二次モーメント	m ⁴	
	ℓ	はり長さ	mm	
	m	質量分布	kg/m	
	C _H	水平震度	—	
	C _V	鉛直震度	—	
	W _x	扉体自重	kN	
	W ₁	扉体幅	mm	
	H ₁	扉体高	mm	
	P _{E1}	圧力荷重 (内圧)	kN/m ²	
P _{E2}	圧力荷重 (外圧)	kN/m ²		
ヒンジ部	共通	L _j	ヒンジ中心間距離	mm
		L _r	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	mm
		L _t	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	mm
		R _r	扉体幅方向自重反力	N
		R _t	扉体厚方向自重反力	N
	ヒンジ アーム	A ₁	ヒンジアームの断面積	mm ²
		L ₁	ヒンジアームの作用点間距離	mm
		M ₁	ヒンジアームの曲げモーメント	N・mm
		Q ₁	ヒンジアームのせん断力	N
		Z ₁	ヒンジアームの断面係数	mm ³
		σ _{b1}	ヒンジアームの曲げ応力度	N/mm ²
		σ _{x1}	ヒンジアームの組合せ応力度	N/mm ²
	τ ₁	ヒンジアームのせん断応力度	N/mm ²	
	ヒンジ ピン	A ₂	ヒンジピンの断面積	mm ²
L ₂		ヒンジピンの軸支持間距離	mm	

表 2-2(2) 耐震評価に用いる記号

項目		記号	定義	単位
ヒンジ部	ヒンジピン	M_2	ヒンジピンの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		Q_2	ヒンジピンのせん断力	N
		Z_2	ヒンジピンの断面係数	mm^3
		σ_{b2}	ヒンジピンの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x2}	ヒンジピンの組合せ応力度	N/mm^2
		τ_2	ヒンジピンのせん断応力度	N/mm^2
	ヒンジボルト	A_{b3}	ヒンジボルトの断面積	mm^2
		n_{b3}	ヒンジボルトの本数	本
		Q_3	ヒンジボルトのせん断力	N
		T_3	ヒンジボルトの引張力	N
		σ_{t3}	ヒンジボルトの引張応力度	N/mm^2
		τ_3	ヒンジボルトのせん断応力度	N/mm^2
カンヌキ部	共通	F_H'	水平面外方向の慣性力	N
	カンヌキ	A_4	カンヌキの断面積	mm^2
		L_4	カンヌキの作用点間距離	mm
		M_4	カンヌキの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		n	カンヌキの本数	本
		Q_4	カンヌキのせん断力	N
		Z_4	カンヌキの断面係数	mm^3
		σ_{b4}	カンヌキの曲げ応力度	N/mm^2
		σ_{x4}	カンヌキの組合せ応力度	N/mm^2
		τ_4	カンヌキのせん断応力度	N/mm^2
	カンヌキ受けピン	A_5	カンヌキ受けピンの断面積	mm^2
		L_5	カンヌキ受けピンの作用点間距離	mm
		M_5	カンヌキ受けピンの曲げモーメント	$N \cdot mm$
		Q_5	カンヌキ受けピンのせん断力	N
		Z_5	カンヌキ受けピンの断面係数	mm^3
		σ_{b5}	カンヌキ受けピンの曲げ応力度	N/mm^2
		τ_5	カンヌキ受けピンのせん断応力度	N/mm^2
	カンヌキ受けボルト	A_{b6}	カンヌキ受けボルトの断面積	mm^2
		n_{b6}	カンヌキ受けボルトの本数	本
		T_6	カンヌキ受けボルトの引張力	N
		σ_{t6}	カンヌキ受けボルトの引張応力度	N/mm^2

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算方法

固有周期は、扉閉止時及び扉開放時について、図 3-1 及び図 3-2 に示すはりモデルとして、「構造力学公式集（（社）土木学会）」に基づき計算する。

ここで、扉閉止時は、カンヌキにより扉枠に固定される構造であることから端部の境界条件を固定とする。

扉開放時は、片側ヒンジ、片側自由端のはりとしてモデル化する。

また、モデル化に用いる芯材の長さは扉幅とする。

3.1.1 水平方向

(1) 扉閉止時

扉閉止時の水平方向の固有周期は、図 3-1 に示す固有値計算モデルにより、扉体面外方向について算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$
$$f = \frac{4.7300^2}{2\pi \ell^2} \sqrt{\frac{E I}{m}}$$

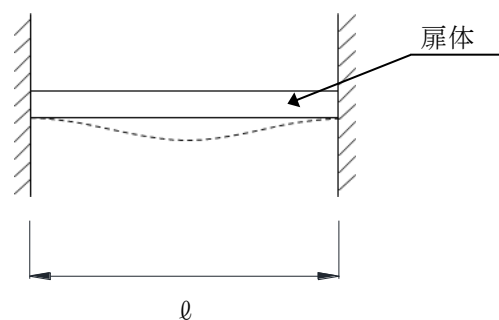


図 3-1 固有値計算モデル（扉閉止時）

(2) 扉開放時

扉開放時の水平方向の固有周期は、図 3-2 に示す固有値計算モデルにより、扉体面外方向について算出する。

$$T = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{3.9266^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

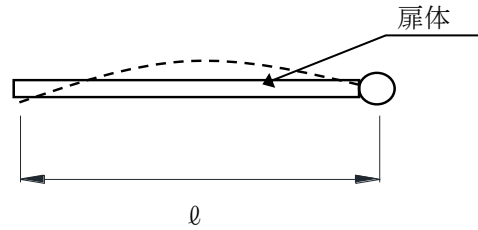


図 3-2 固有値計算モデル (扉開放時)

3.1.2 鉛直方向

鉛直方向については、扉に配された鉛直方向の芯材等の軸剛性が、「3.1.1 水平方向」で検討した面外方向の剛性に比べて十分に大きいことから、固有周期の計算を省略する。

3.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる数値を表 3-1 に示す。

表 3-1 固有周期の計算条件

項目	記号	単位	数値
モデル化に用いる芯材の長さ	ℓ	mm	
ヤング係数	E	N/m ²	
断面二次モーメント	I	m ⁴	
質量分布	m	kg/m	

3.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 3-2 に示す。計算結果より、剛構造であることを確認した。

表 3-2 固有周期

扉の開閉状況	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)
閉止時		
開放時		

4. 構造強度評価

4.1 評価部位

原子炉建物エアロックの評価対象部位は、「2.2 構造計画」に示すエアロックの構造を踏まえ、エアロックに作用する荷重の作用方向及び伝達経路を考慮し設定する。

エアロックに生じる地震力及び圧力荷重は、ヒンジ部及びカンヌキ部から扉枠に伝達しているため、評価部位をヒンジ部及びカンヌキ部とする。

なお、扉枠からは直接躯体に荷重の伝達をしているため、扉枠と躯体を接合しているスタッドについては、評価対象としないこととする。

原子炉建物エアロックの地震荷重の作用イメージと評価部位を図4-1に示す。

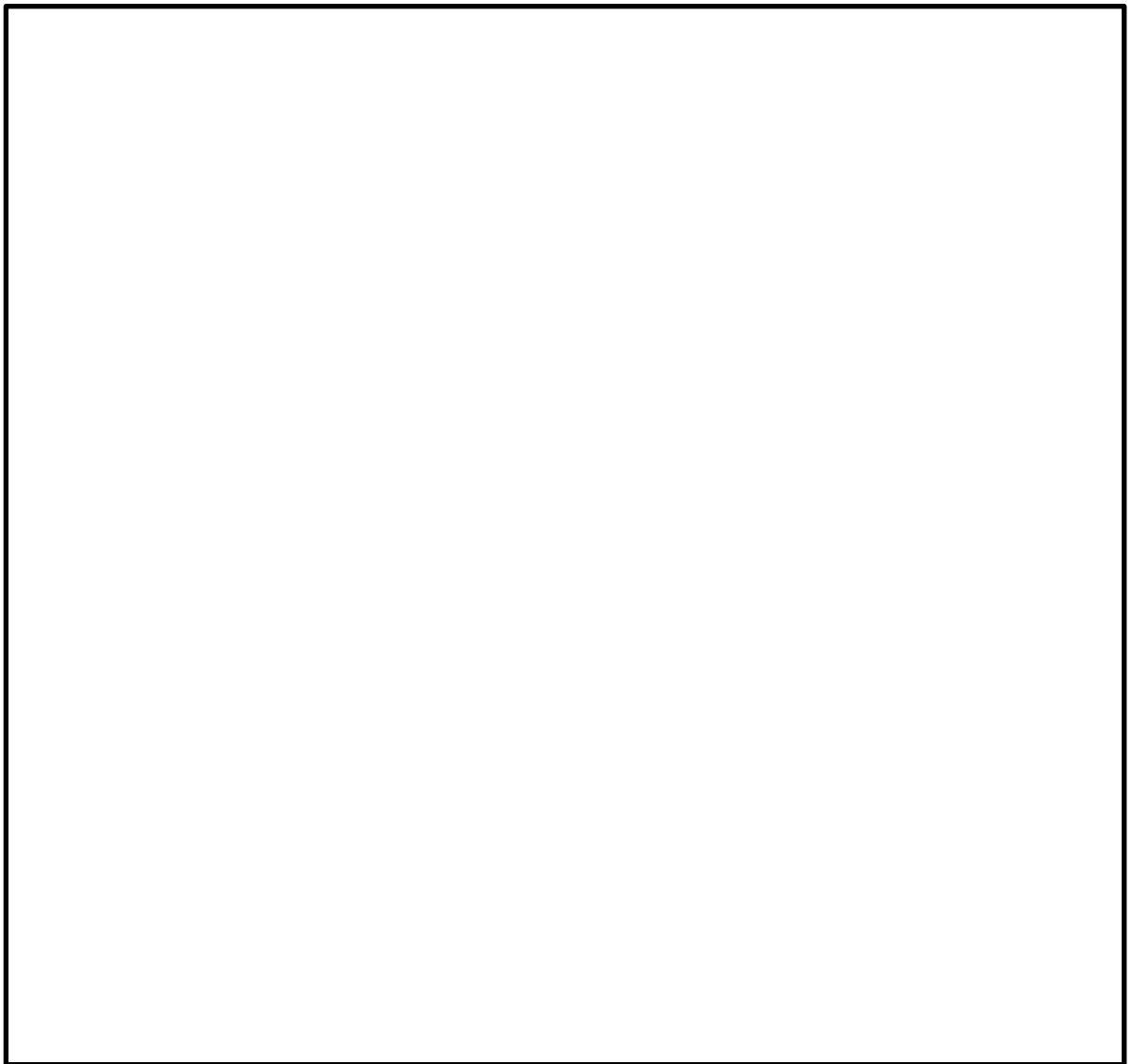


図 4-1 地震荷重の作用イメージと評価部位

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せに準じて設定する。

VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」にて設定している荷重の組合せを以下に示す。なお、VI-2-9-1「機能維持の基本方針」の「3.1 構造強度上の制限」に従い、設計基準対象施設と重大事故等対処施設の評価に用いる荷重の組合せは同一とする。

なお、本資料において基準地震動 S_s による評価として短期許容応力度を超えないことを確認するため、弾性設計用地震動 S_d による評価は行わないこととする。

$$G + P + S_s$$

4.2.1 耐震評価上考慮する荷重

原子炉建物エアロックの耐震評価に用いる荷重を以下に示す。

G	: 固定荷重(kN)
P	: 圧力荷重(kN/m ²)
S_s	: 基準地震動 S_s による地震力(kN)

4.2.2 荷重の設定

(1) 固定荷重 (G)

原子炉建物エアロックの固定荷重を表 4-1 に示す。

表 4-1 固定荷重

固定荷重 (kN)	

(2) 圧力荷重 (P)

原子炉建物エアロックにかかる圧力荷重を表 4-2 に示す。ここで、圧力荷重は原子炉建物エアロックの建設時に設定した設計条件を基に設定するものであり、外圧 (負圧) はエアロックに対し外側から内側へ作用するものとする。

表 4-2 圧力荷重

種類	圧力荷重 (kN/m ²)
内圧 (正圧)	0.000
外圧 (負圧)	0.981

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_sによる荷重は、表 4-3 で示した設計震度を用いて、次式により算定する。ただし、耐震評価に用いる震度は、材料物性の不確かさを考慮したものとして VI-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」によることとし、設置階及びその上階の値のうち大きい方とする。

$$S_s = G \cdot K$$

ここで、S_s : 基準地震動 S_sによる地震力 (kN)

G : 固定荷重 (kN)

K : 設計震度

表 4-3 設計震度

エアロック名称	設置場所	設計震度	
		水平方向	鉛直方向
原子炉建物エアロック (その 1)	EL 8800	0.92	0.97
原子炉建物エアロック (その 2)	EL 8800	0.92	0.97
原子炉建物エアロック (その 3)	EL 15300	1.02	1.28
原子炉建物エアロック (その 4)	EL 15300	1.02	1.28
原子炉建物エアロック (その 5)	EL 23800	1.46	1.44
原子炉建物エアロック (その 6)	EL 23800	1.46	1.44
原子炉建物エアロック (その 7)	EL 30500	1.46	1.49
原子炉建物エアロック (その 8)	EL 42800	2.00	1.51

4.3 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している許容限界を踏まえて設定する。

4.3.1 使用材料

原子炉建物エアロックを構成するヒンジ部及びカンヌキ部の使用材料を表 4-4 に示す。

表 4-4 使用材料

部位		材質	仕様
ヒンジ部	ヒンジアーム		
	ヒンジピン		
	ヒンジボルト		
カンヌキ部	カンヌキ		
	カンヌキ受けピン		
	カンヌキ受けボルト		

4.3.2 許容限界

ヒンジ部及びカンヌキ部を構成する部材の許容限界は、「鋼構造設計規準—許容応力度設計法—（社）日本建築学会，2005年改定）」に準じて設定する。各部材の許容限界を表4-5に示す。

表4-5 ヒンジ部及びカンヌキ部の許容限界

材質	許容限界 (N/mm ²)		
	曲げ	引張	せん断
	235	235	135
	205	205	118
	345	345	199
	651	651	375

4.4 計算方法

原子炉建物エアロックの耐震評価は，地震により生じる応力度または荷重が，「4.3 許容限界」で設定した許容限界を超えないことを確認する。

(1) 荷重計算方法

a. ヒンジ部

ヒンジ部は，ヒンジアーム，ヒンジピン及びヒンジボルトで構成されており，次式により算定する水平地震力及び扉体自重反力（鉛直地震力を含む）から，各部材に発生する応力度を算定する。ヒンジ部に生じる荷重を図4-2に示す。

$$F_H = W_X \cdot C_H$$

$$F_V = W_X \cdot C_V$$

$$R_r = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_r}{L_j}$$

$$R_t = (W_X + F_V) \cdot \frac{L_t}{L_j}$$

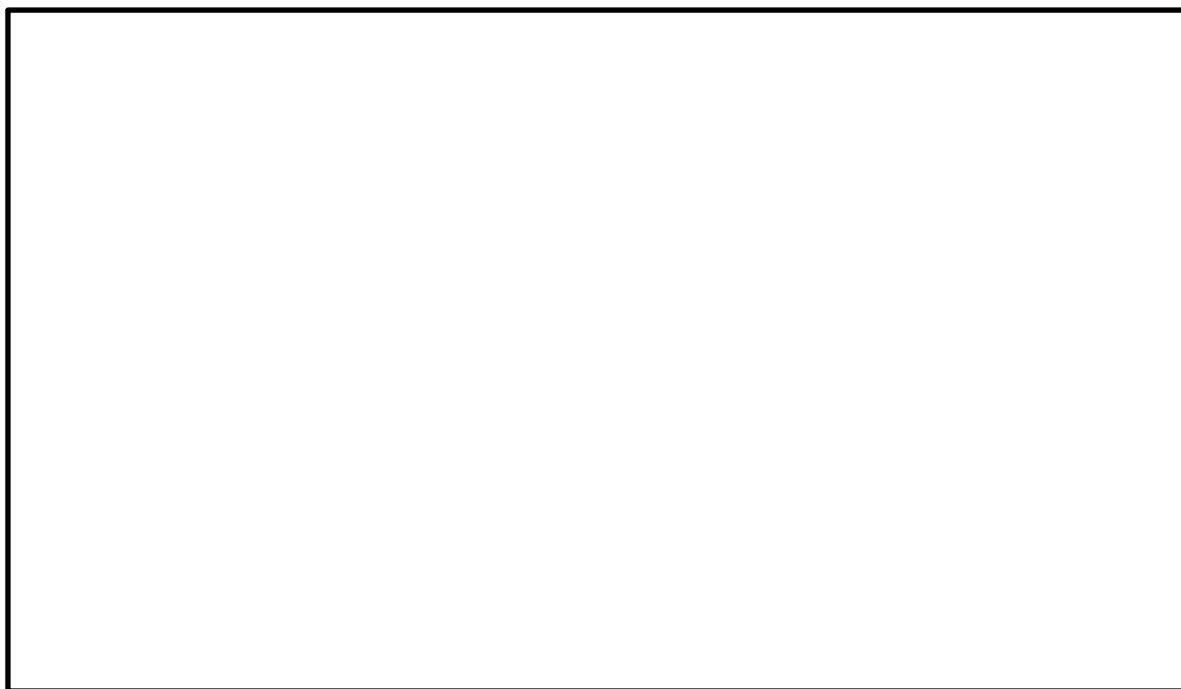


図4-2 ヒンジ部に生じる荷重

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームは、曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図 4-3 にヒンジアームに生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ヒンジアームに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_1 = (W_x + F_v) \cdot L_1$$

$$\sigma_{bl} = \frac{M_1}{Z_1}$$

ロ. せん断力

ヒンジアームに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_1 = W_x + F_v$$

$$\tau_1 = \frac{Q_1}{A_1}$$



図 4-3 ヒンジアームに生じる荷重

(b) ヒンジピン

ヒンジピンは、曲げ応力度とせん断応力度の組合せについて評価する。図 4-4 にヒンジピンに生じる荷重を示す。

イ. 曲げモーメント

ヒンジピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2} \cdot L_2$$

$$\sigma_{b2} = \frac{M_2}{Z_2}$$

ロ. せん断力

ヒンジピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_2 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + R_t^2}$$

$$\tau_2 = \frac{Q_2}{A_2}$$

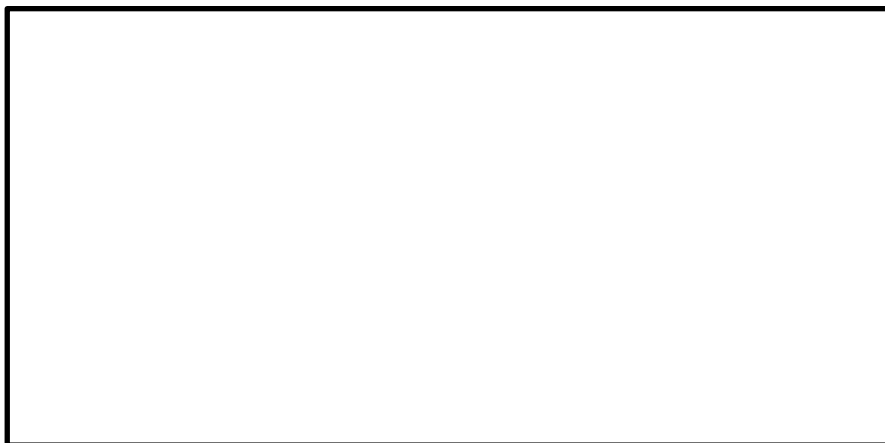


図 4-4 ヒンジピンに生じる荷重

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトは、引張応力度及びせん断応力度について評価する。ヒンジボルトに生じる荷重は、扉の開放角度が90°の時には引張力として作用し、扉の開放角度が180°の時には、せん断力として作用することから次式により算定する。なお、45°や135°等の上記以外の開放状況下においては、ヒンジボルトに生じる引張力とせん断力はそれぞれ90°開放時の引張力、180°開放時のせん断力に包絡されるため開放状況は90°と180°を想定するものとする。また、2か所設置しているヒンジ部のうち、上部のヒンジ部は水平方向の荷重のみ負担するのに対して、下部のヒンジ部は鉛直方向の荷重と水平方向の荷重を負担することから、下部のヒンジボルトを対象に評価する。図4-5にヒンジボルトに生じる荷重を示す。

$$T_3 = Q_3 = \sqrt{\left(R_r + \frac{F_H}{2}\right)^2 + (W_x + F_v)^2}$$

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$



図4-5 ヒンジボルトに生じる荷重

b. カンヌキ部

カンヌキ部は、カンヌキ、カンヌキ受けピン及びカンヌキ受けボルトで構成されており、次式により算定する水平地震力及び圧力荷重（外圧）から、各部材に発生する荷重を算定する。扉体に生じる荷重を図4-6に、カンヌキ部に生じる荷重を図4-7に示す。

$$F_H' = W_X \cdot C_H + P_{E2} \cdot W_1 \cdot H_1$$



図4-6 扉体に生じる荷重

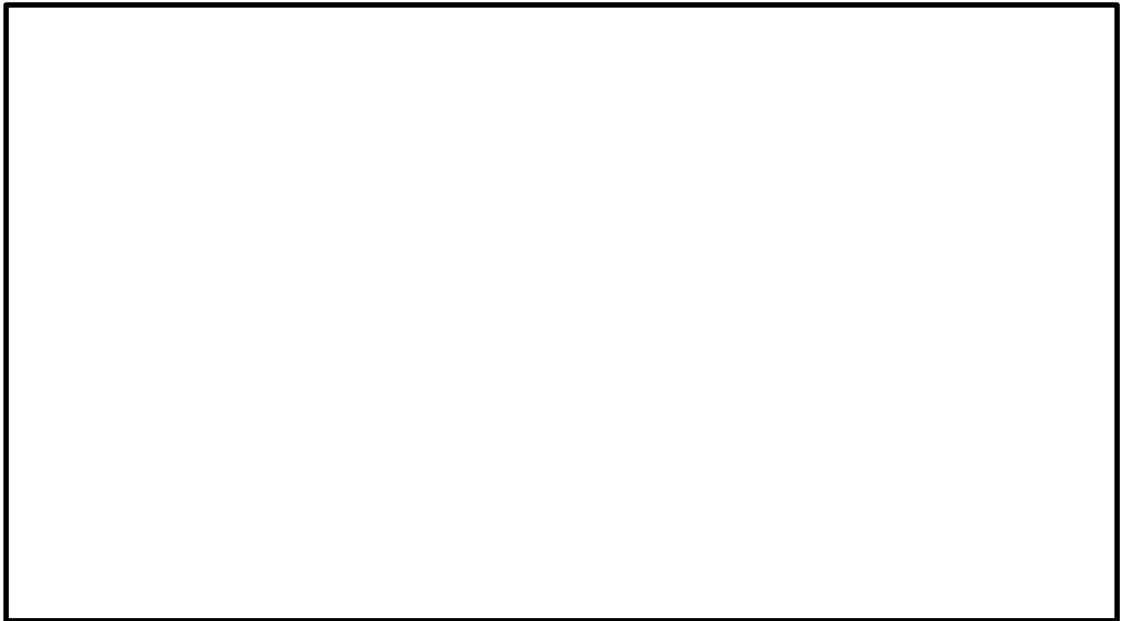


図4-7 カンヌキ部に生じる荷重

(a) カンヌキ

カンヌキは、曲げ応力度及びせん断応力度の組合せについて評価する。

イ. 曲げモーメント

カンヌキに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_4 = \frac{F_H'}{2 \cdot n} \cdot L_4$$

$$\sigma_{b4} = \frac{M_4}{Z_4}$$

ロ. せん断力

カンヌキに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_4 = \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\tau_4 = \frac{Q_4}{A_4}$$

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンは、曲げ応力度及びせん断応力度について評価する。なお、端部を単純支持として評価するため、曲げとせん断の組合せについては評価を行わないものとする。

イ. 曲げモーメント

カンヌキ受けピンに生じる曲げモーメント及び曲げ応力度を次式により算定する。

$$M_5 = \frac{1}{4} \cdot \frac{F_H'}{2 \cdot n} \cdot L_5$$

$$\sigma_{b5} = \frac{M_5}{Z_5}$$

ロ. せん断力

カンヌキ受けピンに生じるせん断力及びせん断応力度を次式により算定する。

$$Q_5 = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトは、引張応力度について評価する。カンヌキ受けボルトに生じる引張力及び引張応力度を次式により算定する。

$$T_6 = \frac{F_H'}{2 \cdot n}$$

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

(2) 応力の評価

各部材に生じる応力度等が、許容限界以下であることを確認する。なお、異なる荷重が同時に作用する部材については、荷重の組合せを考慮する。

a. ヒンジ部

(a) ヒンジアーム

ヒンジアームに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を次式により算定し、ヒンジアームに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{x1} = \sqrt{\left(\frac{M_1}{Z_1}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_1}{A_1}\right)^2}$$

(b) ヒンジピン

ヒンジピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から、組合せ応力度を次式により算定し、ヒンジピンに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{x2} = \sqrt{\left(\frac{M_2}{Z_2}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_2}{A_2}\right)^2}$$

(c) ヒンジボルト

ヒンジボルトに生じる引張応力度及びせん断応力度を次式により算定し、ボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t3} = \frac{T_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$
$$\tau_3 = \frac{Q_3}{n_{b3} \cdot A_{b3}}$$

b. カンヌキ部

(a) カンヌキ

カンヌキに生じる曲げ応力度及びせん断応力度から，組合せ応力度を次式により算定し，カンヌキに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{x4} = \sqrt{\left(\frac{M_4}{Z_4}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{Q_4}{A_4}\right)^2}$$

(b) カンヌキ受けピン

カンヌキ受けピンに生じる曲げ応力度及びせん断応力度を次式により算定し，カンヌキ受けピンに生じる組合せ応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{b5} = \frac{M_5}{Z_5}$$

$$\tau_5 = \frac{Q_5}{A_5}$$

(c) カンヌキ受けボルト

カンヌキ受けボルトに生じる引張応力度を次式により算定し，ボルトの許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{t6} = \frac{T_6}{n_{b6} \cdot A_{b6}}$$

4.5 計算条件

「4.4 計算方法」に用いる計算条件を表4-6に示す。

表4-6(1) 耐震評価に用いる計算条件

対称部位		記号	単位	定義	数値
共通		C_H	—	水平震度	2.00
		C_V	—	鉛直震度	1.51
		W_X	kN	扉体自重	
		W_1	mm	扉体幅	
		H_1	mm	扉体高	
		P_{E1}	kN/m ²	圧力荷重 (内圧)	0.000
		P_{E2}	kN/m ²	圧力荷重 (外圧)	0.981
ヒンジ部	共通	L_j	mm	ヒンジ中心間距離	
		L_r	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体幅方向)	
		L_t	mm	扉体重心～ヒンジ芯間距離 (扉体厚方向)	
	ヒンジアーム	A_1	mm ²	断面積	
		L_1	mm	作用点間距離	
		Z_1	mm ³	断面係数	
	ヒンジピン	A_2	mm ²	断面積	
		L_2	mm	軸支持間距離	
		Z_2	mm ³	断面係数	
	ヒンジボルト	A_{b3}	mm ²	断面積	
n_{b3}		本	本数		

表 4-6(2) 耐震評価に用いる計算条件

対称部位		記号	単位	定義	数値
カ ン ヌ キ 部	カンヌキ	A_4	mm^2	断面積	
		L_4	mm	作用点間距離	
		n	本	本数	
		Z_4	mm^3	断面係数	
	カンヌキ受け ピン	A_5	mm^2	断面積	
		L_5	mm	作用点間距離	
		Z_5	mm^3	断面係数	
	カンヌキ受け ボルト	A_{b6}	mm^2	断面積	
n_{b6}		本	本数		

5. 評価結果

エアロックの評価結果を表 5-1 に示す。発生値は許容限界を下回っており、設計用地震力に対して十分な耐震性を有していることを確認した。

表 5-1 耐震評価結果
原子炉建物エアロック (その 8)

評価部位		分類	発生値	許容限界	判定
ヒンジ部	ヒンジ アーム	曲げ(N/mm ²)	44	235	OK
		せん断(N/mm ²)	5	135	OK
		組合せ(N/mm ²)	45	235	OK
	ヒンジ ピン	曲げ(N/mm ²)	28	345	OK
		せん断(N/mm ²)	18	199	OK
		組合せ(N/mm ²)	41	345	OK
ヒンジ ボルト	引張(N/mm ²)	83	651	OK	
	せん断(N/mm ²)	83	375	OK	
カンヌキ部	カンヌキ	曲げ(N/mm ²)	44	205	OK
		せん断(N/mm ²)	5	118	OK
		組合せ(N/mm ²)	45	205	OK
	カンヌキ受け ピン	曲げ(N/mm ²)	162	345	OK
		せん断(N/mm ²)	10	199	OK
	カンヌキ受け ボルト	引張(N/mm ²)	33	651	OK

VI-2-9-3-4 原子炉建物基礎スラブの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	7
2.4 適用規格・基準等	9
3. 地震応答解析による評価方法	10
4. 応力解析による評価方法	11
4.1 評価方針	11
4.2 荷重及び荷重の組合せ	13
4.2.1 荷重	13
4.2.2 荷重の組合せ	17
4.3 許容限界	18
4.4 解析モデル及び諸元	21
4.4.1 モデル化の基本方針	21
4.4.2 解析諸元	24
4.4.3 材料構成則	25
4.5 評価方法	27
4.5.1 応力解析方法	27
4.5.2 断面の評価方法	30
5. 地震応答解析による評価結果	32
6. 応力解析による評価結果	33
7. 引用文献	41

1. 概要

原子炉建物基礎スラブは、二次格納施設にあたる原子炉建物原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の基礎及び原子炉建物付属棟（以下「付属棟」という。）の基礎で構成される。

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、原子炉建物基礎スラブの地震時の構造強度及び機能維持の確認について説明するものであり、地震応答解析による評価及び応力解析による評価により行う。

原子炉建物基礎スラブは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該施設が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）の間接支持構造物」に分類される。

以下、それぞれの分類に応じた耐震評価を示す。

2. 基本方針

2.1 位置

原子炉建物基礎スラブを含む原子炉建物の設置位置を図 2-1 に示す。

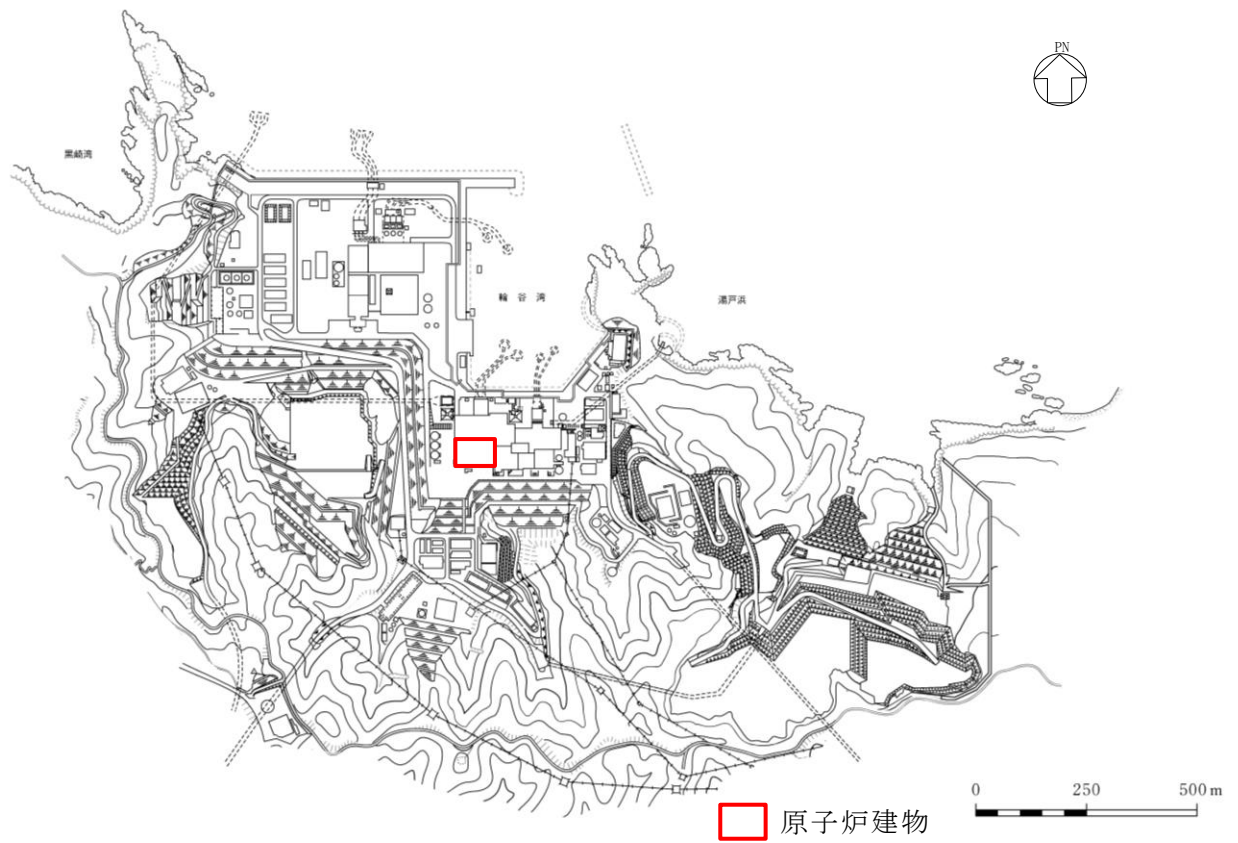


図 2-1 原子炉建物基礎スラブを含む原子炉建物の設置位置

2.2 構造概要

原子炉建物基礎スラブは、その上部構造である原子炉本体の基礎、原子炉格納容器、その周囲の壁（以下「ドライウエル外側壁」という。）、原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁」という。）及び付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁」という。）を支持する鉄筋コンクリート造の基礎スラブである。

原子炉建物基礎スラブの平面寸法は、70.0m (N S) × 89.4m (E W)、厚さは6.0mで、岩盤に直接設置している。

原子炉建物基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図2-2及び図2-3に示す。

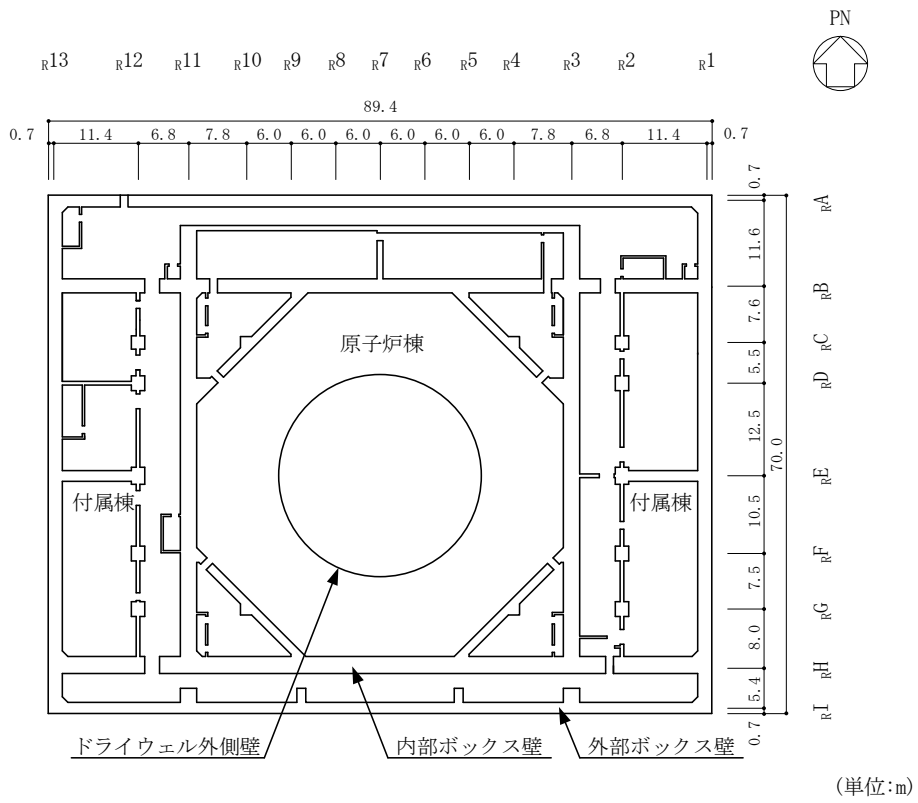


図 2-2 原子炉建物基礎スラブの概略平面図 (EL 1.3m*)

注記* : 「EL」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。

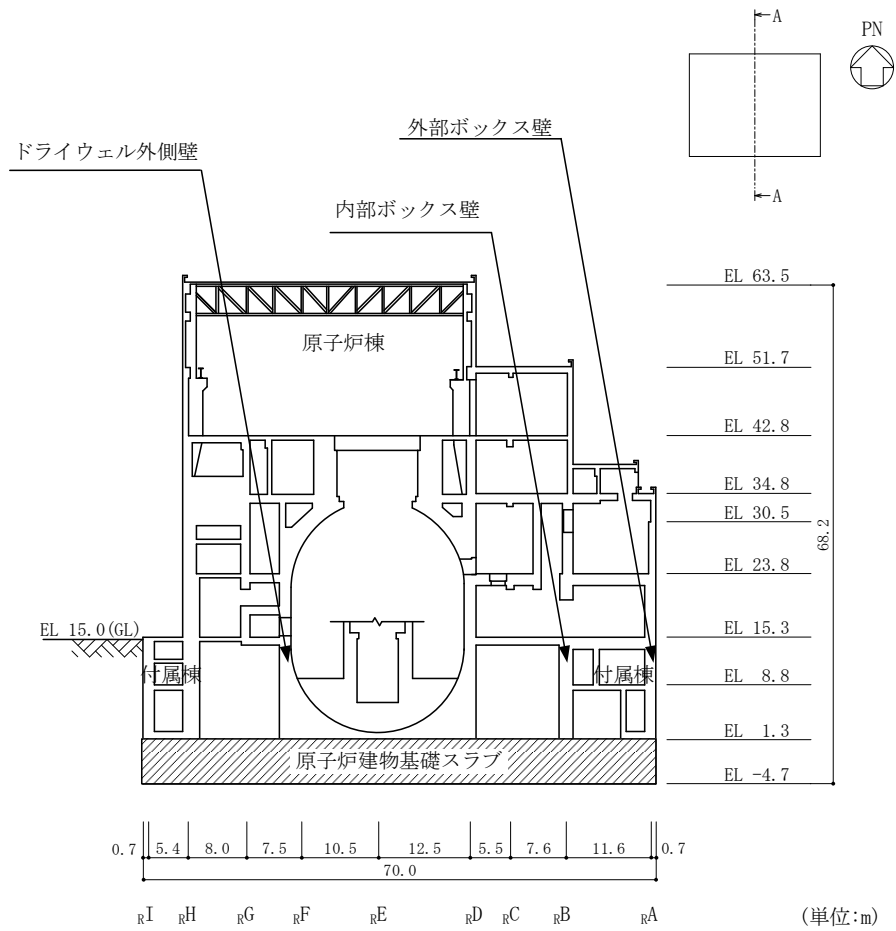


図 2-3(1) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図 (A-A断面, NS方向)

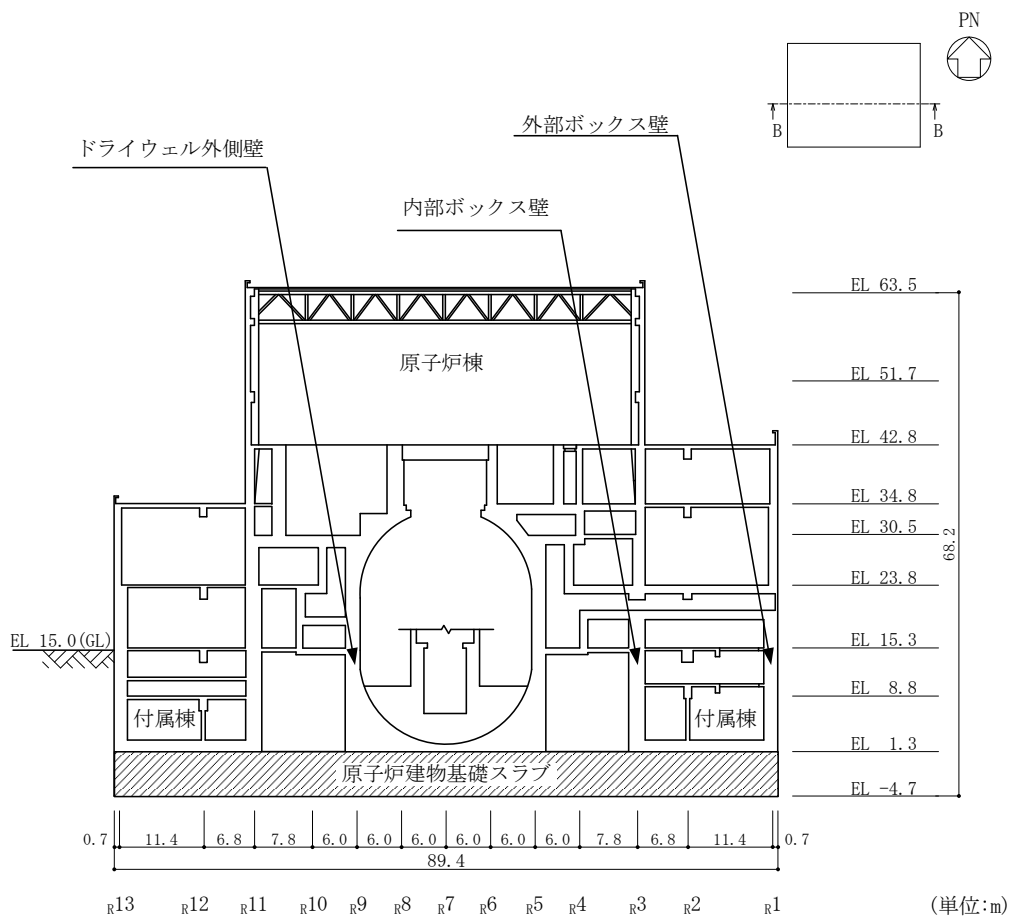


図 2-3(2) 原子炉建物基礎スラブの概略断面図 (B-B 断面, EW 方向)

2.3 評価方針

原子炉建物基礎スラブは、設計基準対象施設においては「Sクラスの施設の間接支持構造物」に、重大事故等対処施設においては「常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該施設が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）の間接支持構造物」に分類される。

原子炉建物基礎スラブの設計基準対象施設としての評価においては、基準地震動 S_s による地震力に対する評価（以下「 S_s 地震時に対する評価」という。）を行うこととし、評価は、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえたものとする。原子炉建物基礎スラブの評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、地震応答解析による評価においては接地圧の評価を、応力解析による評価においては断面の評価を行うことで、原子炉建物基礎スラブの地震時の構造強度及び支持機能の確認を行う。評価にあたっては、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」による材料物性の不確かさを考慮する。表 2-1 に材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを示す。

また、重大事故等対処施設としての評価においては、 S_s 地震時に対する評価を行うこととする。ここで、原子炉建物基礎スラブでは、運転時、設計基準事故時及び重大事故等時の状態において、圧力、温度等の条件について有意な差異がないことから、重大事故等対処施設としての評価は、設計基準対象施設と同一となる。

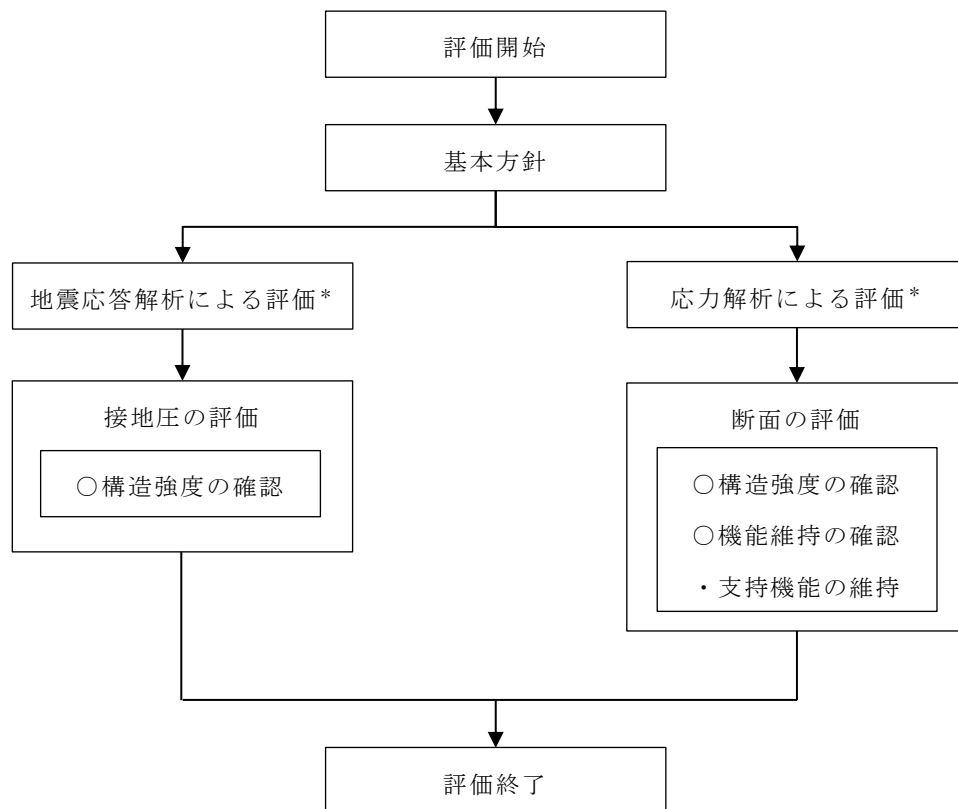
原子炉建物基礎スラブの評価フローを図 2-4 に示す。

表 2-1 材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート 剛性	地盤物性	備考
ケース 1 (工認モデル)	設計基準強度	標準地盤	基本ケース
ケース 2 (地盤物性 + σ)	設計基準強度	標準地盤 + σ (+10%, +20%) *	
ケース 3 (地盤物性 - σ)	設計基準強度	標準地盤 - σ (-10%, -20%) *	
ケース 4 (積雪)	設計基準強度	標準地盤	積雪荷重との 組合せを考慮

注記* : VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、地盤のS波速度 V_s 及びP波速度 V_p の不確かさを設定する。

S2 補 VI-2-9-3-4 RI



注記* : VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」の結果を踏まえた評価を行う。

図 2-4 原子炉建物基礎スラブの評価フロー

2.4 適用規格・基準等

本評価において、適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・建築基準法・同施行令
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ー許容応力度設計法ー ((社) 日本建築学会, 1999 改定)
- ・原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 ((社) 日本建築学会, 2005 制定)
- ・発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格 ((社) 日本機械学会, 2003)

3. 地震応答解析による評価方法

地震応答解析による評価において、原子炉建物基礎スラブの構造強度については、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき、材料物性の不確かさを考慮した最大接地圧が許容限界を超えないことを確認する。

地震応答解析による評価における原子炉建物基礎スラブの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表3-1及び表3-2のとおり設定する。

表3-1 地震応答解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度* ($9.8 \times 10^3 \text{kN/m}^2$)

注記*：支持地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

表3-2 地震応答解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S_s	基礎地盤	最大接地圧が地盤の支持力度を超えないことを確認	極限支持力度* ($9.8 \times 10^3 \text{kN/m}^2$)

注記*：支持地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

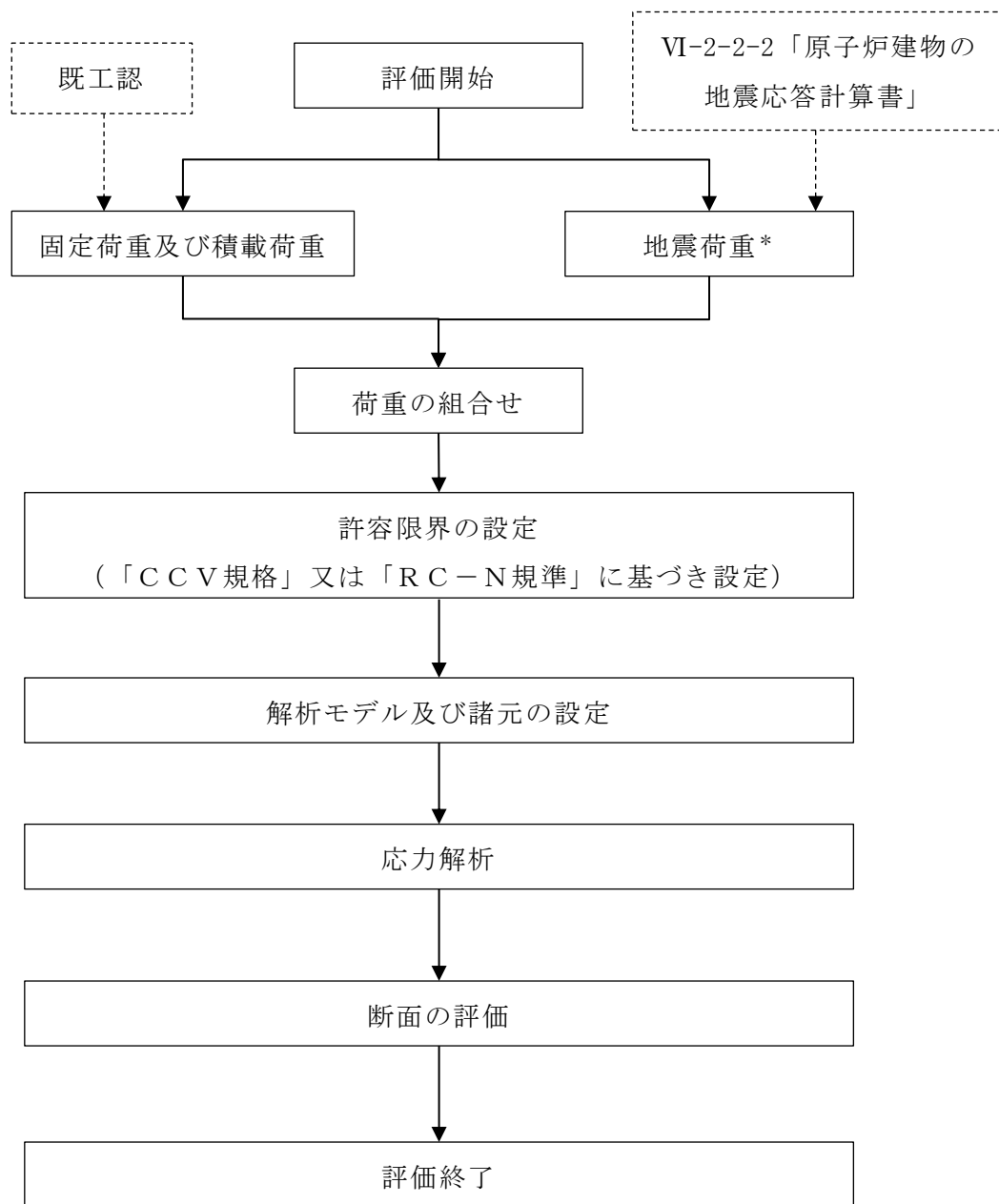
4. 応力解析による評価方法

4.1 評価方針

原子炉建物基礎スラブの応力解析による評価は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析により評価を行う。

Ss地震時に対する評価は、地震力と地震力以外の荷重の組合せの結果、発生する応力又はひずみが、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格（（社）日本機械学会，2003）」（以下「CCV規格」という。）又は「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」（以下「RC-N規準」という。）に基づき設定した許容限界を超えないことを確認する。

3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析にあたっては、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」及び昭和59年2月24日付け58資庁第15180号にて認可された工事計画のIV-1-3「原子炉格納施設の基礎に関する説明書」（以下「既工認」という。）による荷重を用いて、荷重の組合せを行う。応力解析による評価フローを図4-1に示す。



注記*：材料物性の不確かさを考慮する。

図 4-1 応力解析による評価フロー

4.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。

4.2.1 荷重

(1) 固定荷重及び積載荷重

固定荷重及び積載荷重は，既工認に基づき，次のものを考慮する。

- ・鉄筋コンクリート構造体の自重・・・ 24kN/m^3
- ・ドライウエル外側壁，内部ボックス壁，外部ボックス壁，柱等から作用する上部構造物の自重並びに機器及び配管の重量
- ・基礎スラブ上の機器，配管等の重量
- ・逃がし安全弁作動時にサプレッションチェンバを支持するトラスサポートから基礎スラブに伝わる荷重
- ・浮力・・・ 7.8kN/m^2

(2) 地震荷重

a. 地震荷重

水平地震力及び鉛直地震力は，基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数より設定する。このとき，基準地震動 S_s に対する地震応答解析より算定される動的地震力及び軸力係数は，VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に基づき，材料物性の不確かさを考慮して設定する。

地震荷重を表 4-1～表 4-3 に示す。

表 4-1 地震荷重 (せん断力)

(a) N S 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
外部ボックス壁 (r_1 通り)	325
外部ボックス壁 (r_{13} 通り)	319
内部ボックス壁 (r_3 通り)	432
内部ボックス壁 (r_{11} 通り)	431
ドライウエル外側壁	308

(b) E W 方向

部 位	せん断力 ($\times 10^3 \text{kN}$)
	S s
外部ボックス壁 (r_A 通り)	304
外部ボックス壁 (r_I 通り)	236
内部ボックス壁 (r_B 通り)	426
内部ボックス壁 (r_H 通り)	573
ドライウエル外側壁	231

表 4-2 地震荷重 (曲げモーメント)

(a) N S 方向

部 位	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$)
	S s
外部ボックス壁 (R1 通り)	861
外部ボックス壁 (R13 通り)	742
内部ボックス壁 (R3 通り)	1290
内部ボックス壁 (R11 通り)	1270
ドライウエル外側壁	628

(b) E W 方向

部 位	曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$)
	S s
外部ボックス壁 (RA 通り)	842
外部ボックス壁 (RI 通り)	337
内部ボックス壁 (RB 通り)	1710
内部ボックス壁 (RH 通り)	1740
ドライウエル外側壁	519

表 4-3 地震荷重 (軸力係数)

部 位		軸力係数
		S s
上部 構造物	外部ボックス壁	0.96
	内部ボックス壁	0.80
	ドライウエル外側壁	0.91
基礎スラブ		0.16

b. 地震時土圧荷重

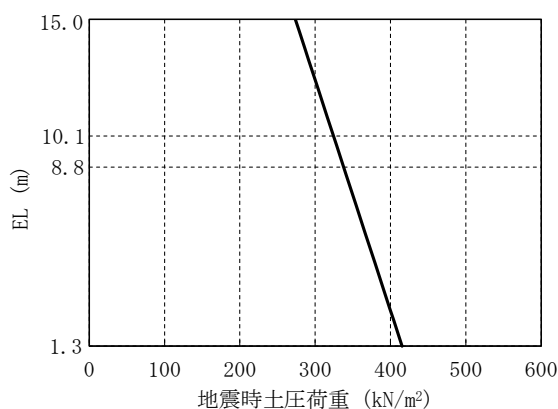
地震時土圧荷重は，地震時土圧により地下外壁を介して作用する荷重として，「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）」に基づき算出し，常時土圧に地震時増分土圧を加えて算定した地震時土圧を設定する。地震時土圧荷重を表 4-4 に，地震時土圧による荷重分布を図 4-2 に示す。なお，北側はタービン建物，東側は廃棄物処理建物及びタービン建物が隣接しているため，地震時土圧荷重を考慮しない。

表 4-4 地震時土圧荷重

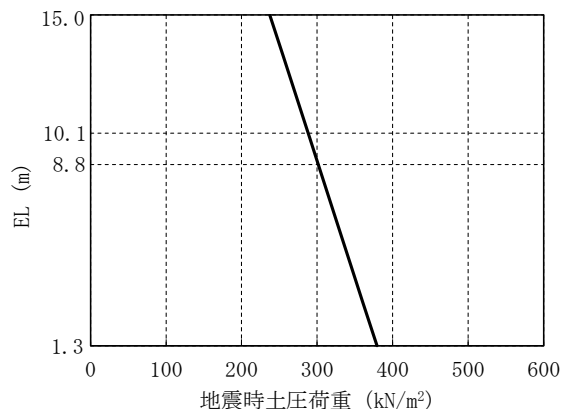
EL (m)	地震時土圧荷重 (kN/m ²)	
	南側	西側
15.0~1.3	$273.6 + 0.5 \cdot \gamma \cdot h$	$237.4 + 0.5 \cdot \gamma \cdot h$

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

h : 地表面からの深さ (m)



(a) 南側



(b) 西側

図 4-2 地震時土圧による荷重分布

4.2.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 4-5 に示す。

表 4-5 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S _s 地震時	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重 (地震時土圧荷重を含む)

4.3 許容限界

応力解析による評価における原子炉建物基礎スラブの許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の構造強度上の制限及び機能維持の方針に基づき、表 4-6 及び表 4-7 のとおり設定する。

また、コンクリート及び鉄筋の許容応力度を表 4-8 及び表 4-9 に、コンクリート及び鉄筋の許容ひずみを表 4-10 に示す。

表 4-6 応力解析による評価における許容限界
(設計基準対象施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界(評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S _s	原子炉建物 基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*¹ コンクリート 3.0×10⁻³ (圧縮) 鉄筋 5.0×10⁻³ (圧縮及び引張) ・面外せん断力*² 短期許容せん断力*³
支持機能* ⁴	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S _s	原子炉建物 基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ひずみ*¹ コンクリート 3.0×10⁻³ (圧縮) 鉄筋 5.0×10⁻³ (圧縮及び引張) ・面外せん断力*² 短期許容せん断力*³

注記*1: 「CCV規格」に基づく。

*2: 「RC-N規準」に基づく。

*3: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したのものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容せん断力とする。

*4: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-7 応力解析による評価における許容限界
(重大事故等対処施設としての評価)

要求機能	機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界 (評価基準値)
—	構造強度を有すること	基準地震動 S s	原子炉建物 基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが構造強度を確保するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> • ひずみ*¹ コンクリート 3.0×10⁻³ (圧縮) 鉄筋 5.0×10⁻³ (圧縮及び引張) • 面外せん断力*² 短期許容せん断力*³
支持機能* ⁴	機器・配管系等の設備を支持する機能を損なわないこと	基準地震動 S s	原子炉建物 基礎スラブ	部材に生じる応力及びひずみが支持機能を維持するための許容限界を超えないことを確認	<ul style="list-style-type: none"> • ひずみ*¹ コンクリート 3.0×10⁻³ (圧縮) 鉄筋 5.0×10⁻³ (圧縮及び引張) • 面外せん断力*² 短期許容せん断力*³

注記*1: 「CCV規格」に基づく。

*2: 「RC-N規準」に基づく。

*3: 許容限界は終局耐力に対し妥当な安全余裕を有したのものとして設定することとし、さらなる安全余裕を考慮して短期許容せん断力とする。

*4: 「支持機能」の確認には、「内包する設備に対する波及的影響の確認」が含まれる。

表 4-8 コンクリートの短期許容応力度
(単位：N/mm²)

設計基準強度 F_c	せん断
23.5	1.08

表 4-9 鉄筋の短期許容応力度
(単位：N/mm²)

種別	引張及び圧縮	せん断
SD35 (SD345 相当)	345	345

表 4-10 コンクリート及び鉄筋の許容ひずみ

コンクリート (圧縮ひずみ)	鉄筋 (圧縮ひずみ及び引張ひずみ)
0.003	0.005

4.4 解析モデル及び諸元

4.4.1 モデル化の基本方針

(1) 基本方針

応力解析は、3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析とする。解析には、解析コード「ABAQUS」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

基礎スラブについては、EL-4.7m～EL 1.3mをモデル化する。上部構造については、EL 1.3m～EL 42.8mの耐震壁、一部間仕切壁及び床スラブをモデル化し、剛性を考慮する。なお、間仕切壁については、基礎スラブの厚さに対して十分な厚さを有する壁の剛性を考慮する。応力解析における評価対象部位は、基礎スラブであるが、各部の荷重伝達を考慮するために周辺部を含むモデルを用いることとした。解析モデルを図4-3に示す。

(2) 使用要素

解析モデルに使用するFEM要素は、基礎スラブについては積層シェル要素とする。基礎スラブより立ち上がっている壁については、EL 1.3m～EL 15.3mを積層シェル要素、EL 15.3m～EL 42.8mをはり要素として剛性を考慮する。また、EL 8.8m、EL 10.3m、EL 12.5m及びEL 15.3mの床スラブについては、積層シェル要素として剛性を考慮する。基礎スラブの積層シェル要素は、鉄筋層をモデル化した異方性材料による要素である。

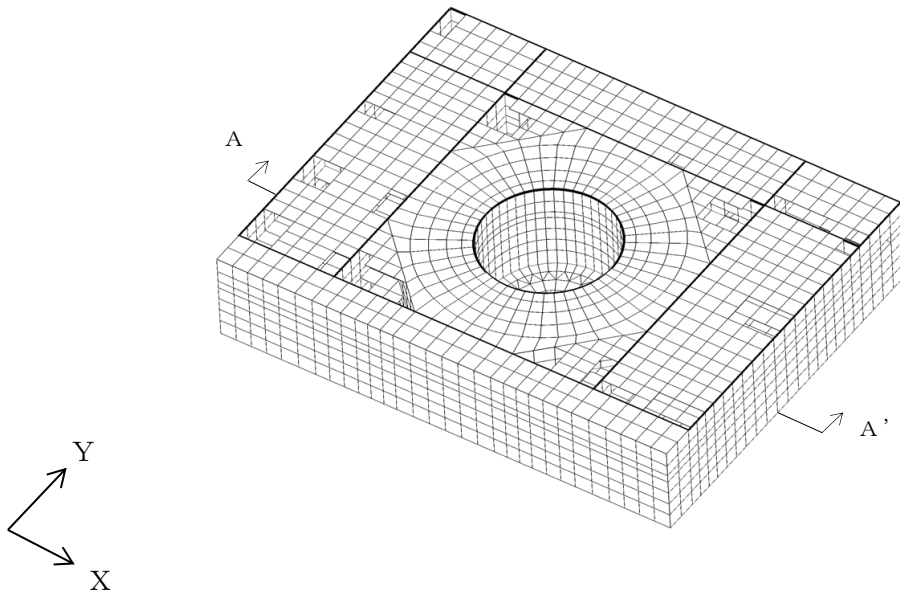
各要素には、板の曲げと軸力を同時に考えるが、板の曲げには面外せん断変形の影響も考慮する。

解析モデルの節点数は5538、要素数は7931である。

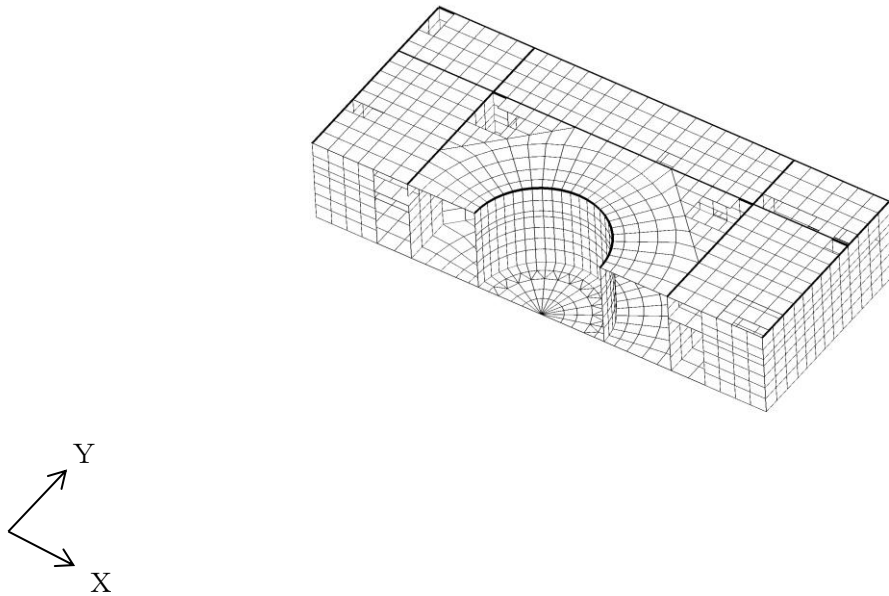
(3) 境界条件

3次元FEMモデルの基礎スラブ底面に、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に示す地盤ばねを離散化して、水平方向及び鉛直方向のばねを設ける。3次元FEMモデルの水平方向のばねについては、地震応答解析モデルのスウェイばねを、鉛直方向のばねについては、地震応答解析モデルのロッキングばねを基に設定を行う。

なお、基礎スラブ底面の地盤ばねについては、引張力が発生したときに浮上りを考慮する。

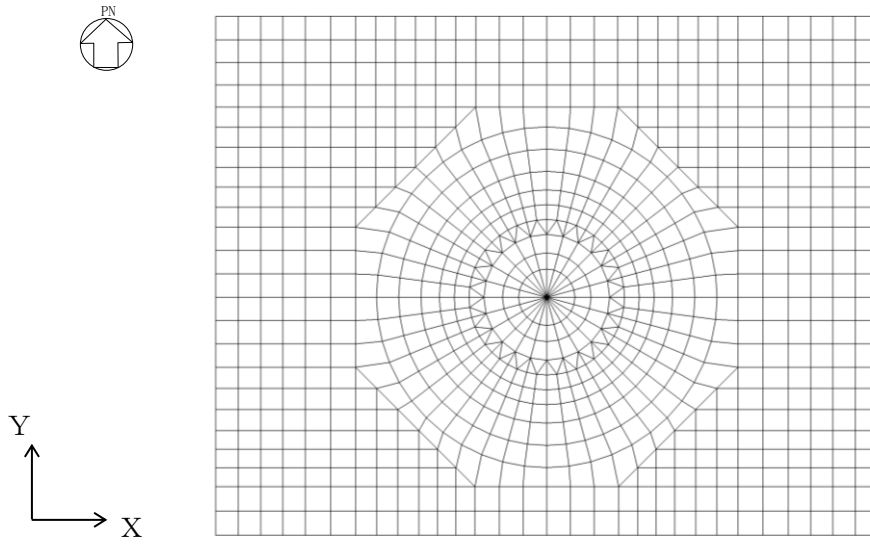


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体鳥瞰断面図 (A-A' 断面)

図 4-3(1) 解析モデル



(c) 基礎スラブ要素分割図

図 4-3(2) 解析モデル

4.4.2 解析諸元

使用材料の物性値を表 4-11 及び表 4-12 に示す。

表 4-11 コンクリートの物性値

部 位	設計基準強度 F_c (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
基礎スラブ・壁・ 床スラブ	23.5	2.25×10^4	0.2

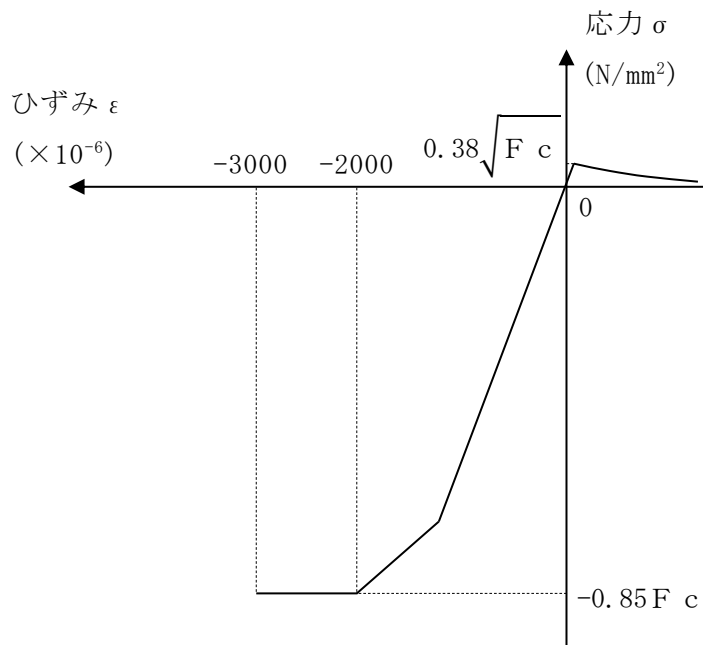
表 4-12 鉄筋の物性値

部 位	鉄筋の種類	降伏応力 σ_y (N/mm ²)	ヤング係数 E (N/mm ²)
基礎スラブ	SD35 (SD345 相当)	345	2.05×10^5

4.4.3 材料構成則

材料構成則を図 4-4 に示す。

コンクリートのヤング係数及び圧縮強度については，設計基準強度に基づき算定した値とする。



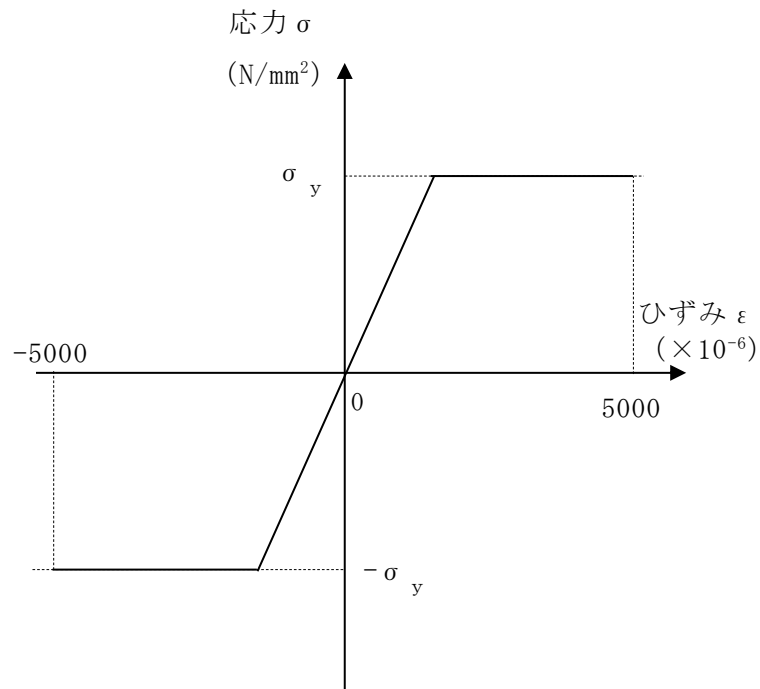
F_c : コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	$\sigma_c = -0.85 F_c$ (「CCV規格」)
終局圧縮ひずみ	-3000×10^{-6} (「CCV規格」)
圧縮側のコンクリート構成則	CEB-FIP Model code に基づき設定 (引用文献(1)参照)
ひび割れ発生後の引張軟化曲線	出雲ほか (1987) による式 ($c = 0.4$) (引用文献(2)参照)
引張強度	$\sigma_t = 0.38 \sqrt{F_c}$ (鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 一許容応 力度設計法一 ((社) 日本建築学会, 1999 改定))

注：引張方向の符号を正とする。

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 4-4(1) 材料構成則



σ_y : 鉄筋の降伏応力

項目	設定
鉄筋の構成則	バイリニア型 (「CCV規格」)
終局ひずみ	$\pm 5000 \times 10^{-6}$ (「CCV規格」)

注：引張方向の符号を正とする。

(b) 鉄筋の応力-ひずみ関係

図 4-4(2) 材料構成則

4.5 評価方法

4.5.1 応力解析方法

原子炉建物基礎スラブについて、 S_s 地震時に対して3次元FEMモデルを用いた弾塑性応力解析を実施する。

(1) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、次の荷重を組み合わせる。

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
S_{SSN}	: S→N方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S_{SNS}	: N→S方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S_{SEW}	: E→W方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S_{SWE}	: W→E方向 S_s 地震荷重 (地震時土圧を含む)
S_{SUD}	: 鉛直方向 (下向き) S_s 地震荷重
S_{SDU}	: 鉛直方向 (上向き) S_s 地震荷重

(2) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 4-13 に示す。

水平地震力と鉛直地震力の組合せは、「原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008 ((社) 日本電気協会)」を参考に、組合せ係数法 (組合せ係数は 1.0 と 0.4) を用いるものとする。

表 4-13 荷重の組合せケース

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _s 地震時	1-1	$G + P + 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sUD}$
	1-2	$G + P + 1.0 S_{sN} + 0.4 S_{sDU}$
	1-3	$G + P + 1.0 S_{sNS} + 0.4 S_{sUD}$
	1-4	$G + P + 1.0 S_{sNS} + 0.4 S_{sDU}$
	1-5	$G + P + 1.0 S_{sEW} + 0.4 S_{sUD}$
	1-6	$G + P + 1.0 S_{sEW} + 0.4 S_{sDU}$
	1-7	$G + P + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sUD}$
	1-8	$G + P + 1.0 S_{sWE} + 0.4 S_{sDU}$
	1-9	$G + P + 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sUD}$
	1-10	$G + P + 0.4 S_{sN} + 1.0 S_{sDU}$
	1-11	$G + P + 0.4 S_{sNS} + 1.0 S_{sUD}$
	1-12	$G + P + 0.4 S_{sNS} + 1.0 S_{sDU}$
	1-13	$G + P + 0.4 S_{sEW} + 1.0 S_{sUD}$
	1-14	$G + P + 0.4 S_{sEW} + 1.0 S_{sDU}$
	1-15	$G + P + 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sUD}$
	1-16	$G + P + 0.4 S_{sWE} + 1.0 S_{sDU}$

(3) 荷重の入力方法

a. 地震荷重

基礎スラブに上部構造物から作用する水平地震力については、上部構造物からのせん断力及び曲げモーメントを基礎スラブの当該位置の節点に離散化して節点荷重として入力する。

基礎スラブに上部構造物から作用する鉛直地震力については、上部構造物からの軸力とし、鉛直力に置換し、モデル上の各節点における支配面積に応じた節点荷重として入力する。

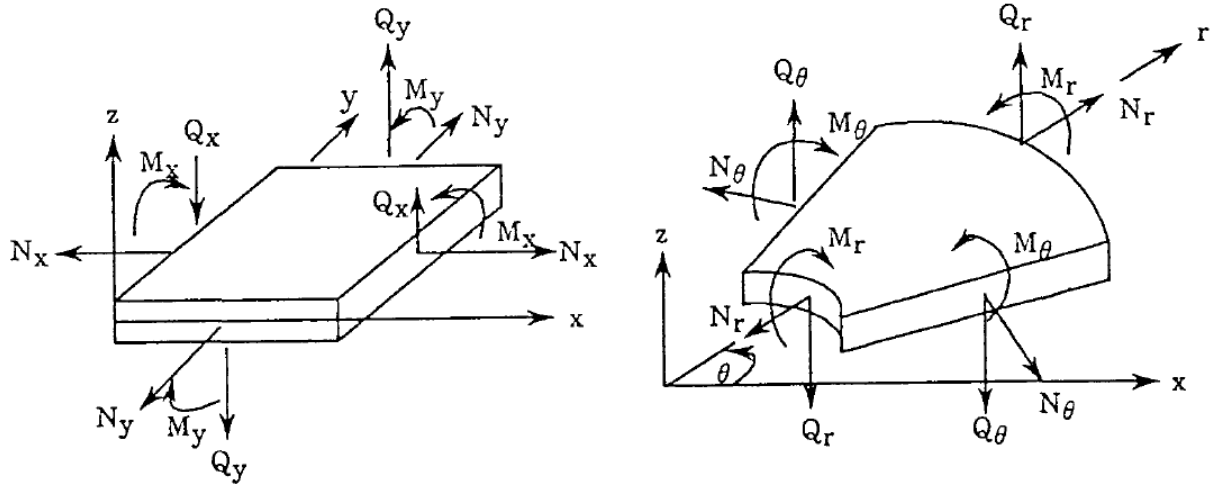
基礎スラブ内に作用する荷重については、地震時の上部構造物からの入力荷重と基礎スラブ底面に発生する荷重の差をFEMモデルの各要素の大きさに応じて分配し、節点荷重として入力する。

b. 地震荷重以外の荷重

地震荷重以外の荷重については、FEMモデルの各節点又は各要素に、集中荷重又は分布荷重として入力する。

4.5.2 断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認する。断面力成分を図4-5に示す。



M_x, M_y : 曲げモーメント $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$

Q_x, Q_y : せん断力 kN/m

N_x, N_y : 軸力 kN/m

M_r, M_θ : 曲げモーメント $\text{kN} \cdot \text{m}/\text{m}$

Q_r, Q_θ : せん断力 kN/m

N_r, N_θ : 軸力 kN/m

応力の符号 (矢印の方向を正とする。)

図4-5 断面力成分

(1) 軸力及び曲げモーメントに対する断面の評価方法

軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみが、「CCV規格」に基づき、表4-10に示す許容ひずみを超えないことを確認する。

(2) 面外せん断力に対する断面の評価方法

断面の評価は、「RC-N規準」に基づき行う。

面外せん断力が、次式を基に算定した許容面外せん断力を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \{ \alpha \cdot f_s + 0.5 \cdot w \cdot f_t (p_w - 0.002) \}$$

ここで、

Q_A : 許容面外せん断力 (N)

b : 断面の幅 (mm)

j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8倍の値 (mm)

α : 許容せん断力の割増し係数

(2を超える場合は2, 1未満の場合は1とする。また、引張軸応力度が 2N/mm^2 を超える場合は1とする。)

$$\alpha = \frac{4}{M / (Q \cdot d) + 1}$$

M : 曲げモーメント (N・mm)

Q : せん断力 (N)

d : 断面の有効せい (mm)

f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度で、表4-8に示す値 (N/mm^2)

$w \cdot f_t$: せん断補強筋の短期許容引張応力度で、表4-9に示す値 (N/mm^2)

p_w : せん断補強筋比で、次式による。(0.002以上とする。*)

$$p_w = \frac{a_w}{b \cdot x}$$

a_w : せん断補強筋の断面積 (mm^2)

x : せん断補強筋の間隔 (mm)

注記* : せん断補強筋がない領域については、第2項を0とする。

5. 地震応答解析による評価結果

S s 地震時の最大接地圧が、地盤の許容限界を超えないことを確認する。

材料物性の不確かさを考慮した地震時の最大接地圧が $2.01 \times 10^3 \text{kN/m}^2$ (S s - D, NS 方向, ケース 1) であることから、岩盤の極限支持力度 ($9.8 \times 10^3 \text{kN/m}^2$) を超えないことを確認した。

S s 地震時の最大接地圧を表 5-1 に示す。

表 5-1 S s 地震時の最大接地圧

検討ケース	NS 方向	EW 方向
	S s - D, ケース 1	S s - D, ケース 4
鉛直力 N ($\times 10^5 \text{kN}$)	22.8	22.8
転倒モーメント M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)	62.1	66.4
最大接地圧 ($\times 10^3 \text{kN/m}^2$)	2.01	1.38

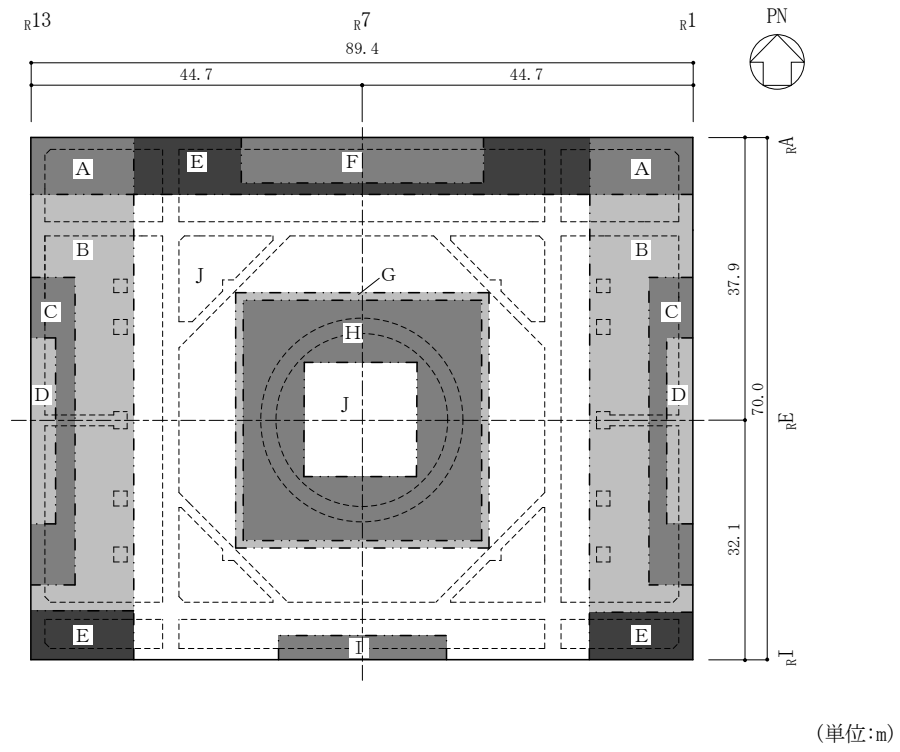
6. 応力解析による評価結果

「4.5.2 断面の評価方法」に基づいた断面の評価結果を以下に示す。また、3次元FEMモデルの配筋領域図を図6-1に、配筋一覧を表6-1に示す。

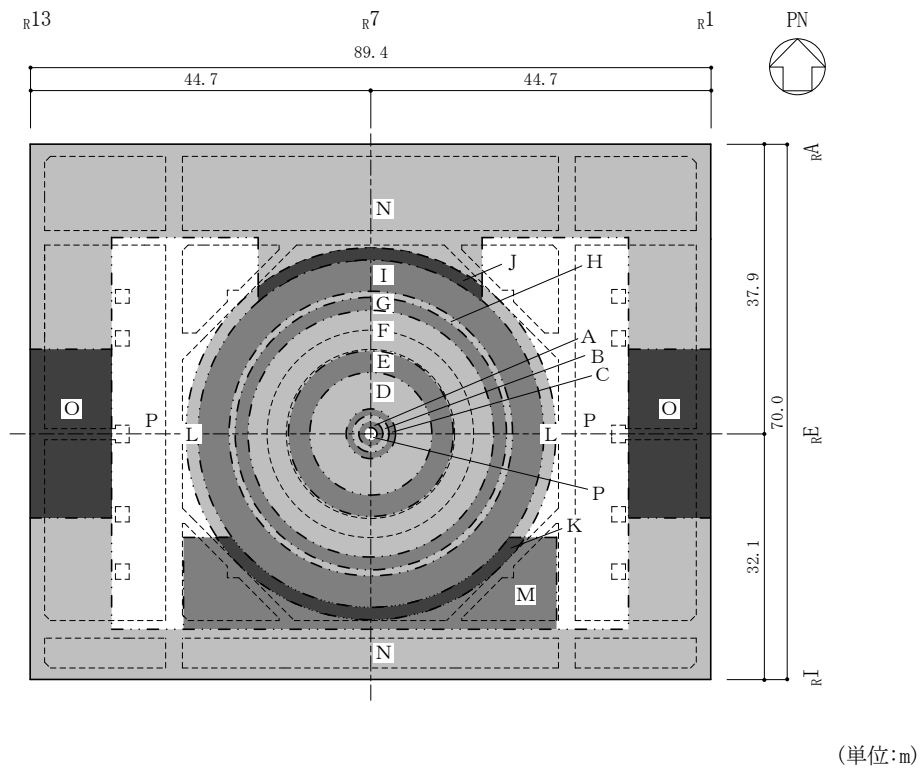
断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図6-2に、評価結果を表6-2に示す。

Ss地震時において、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

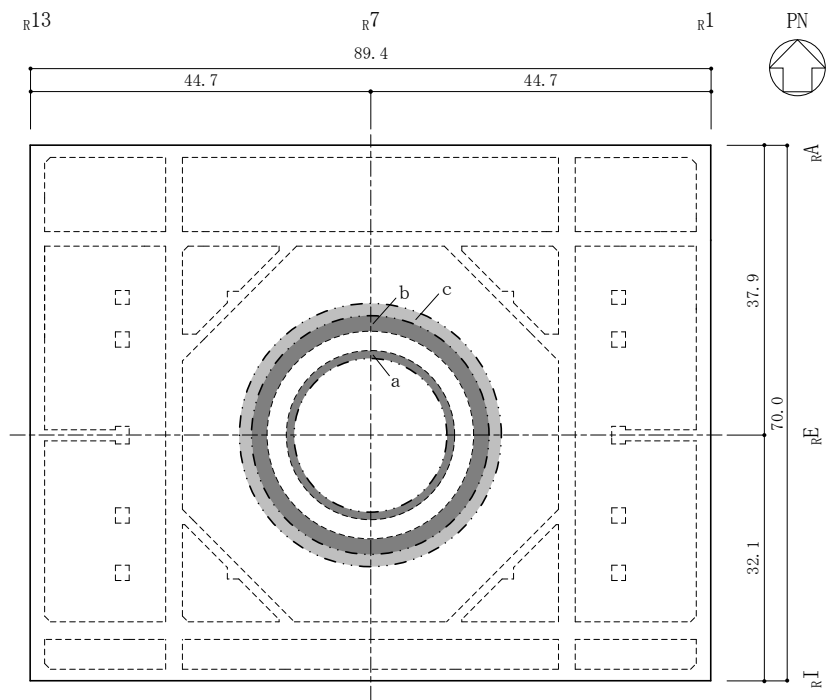


(a) 主筋 (下ば筋)



(b) 主筋 (上ば筋)

図 6-1(1) 配筋領域図



(c) せん断補強筋

図 6-1(2) 配筋領域図

(単位:m)

表 6-1(1) 配筋一覧

(a) 主筋 (下ば筋)

領域	方向	配筋
A	N S	D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400
B	N S	2-D38@200
	E W	D38@200 + D38@400
C	N S	2-D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400 + D32@400
D	N S	3-D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D38@400 + 2-D32@400
E	N S	D38@200 + D38@400
	E W	2-D38@200
F	N S	D38@200 + D38@400 + D32@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
G	N S	2-D38@200 + D38@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
H	N S	3-D38@200 + D32@400
	E W	3-D38@200 + D32@400
I	N S	2-D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200 + D38@400
J	N S	2-D38@200
	E W	2-D38@200

表 6-1(2) 配筋一覧

(b) 主筋（上ば筋）(1/2)

領域	方向	配筋
A	放射	48-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
	N S	D38@200
	E W	D38@200
B	放射	96-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
	N S	D38@200
	E W	D38@200
C	放射	96-D38 + 48-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
D	放射	192-D38 + 96-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
E	放射	384-D38 + 192-D35 / 周
	円周	D38@200 + D32@400
F	放射	384-D38 + 2 × 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
G	放射	384-D38 + 384-D35 + 192-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
H	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 + 192-D35 / 周
	円周	2-D38@200 + D32@400
I	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
J	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200 + D32@400
	E W	D38@200 + D32@400

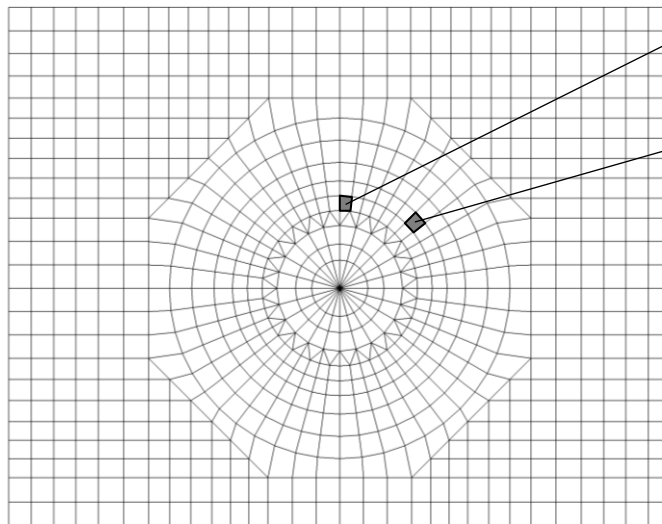
表 6-1(3) 配筋一覧

(c) 主筋（上ば筋）(2/2)

領域	方向	配筋
K	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200
L	放射	384-D38, 384-D35 交互 + 384-D35 / 周
	円周	2-D38@200
	N S	D38@200
	E W	D38@200
M	N S	D38@200 + D32@400
	E W	2-D38@200
N	N S	D38@200 + D32@400
	E W	D38@200 + D32@400
O	N S	D38@200 + D38@400
	E W	D38@200 + D32@400
P	N S	D38@200
	E W	D38@200

(d) せん断補強筋

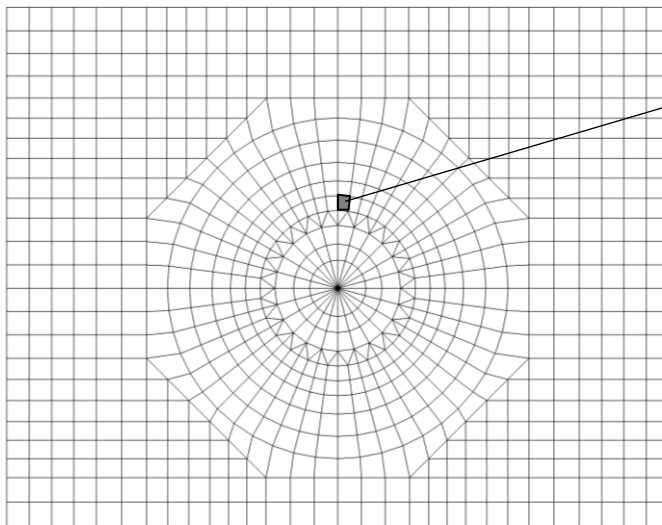
領域	配筋
a	D29@400 × 96 / 周
b	D35@200 × 192 / 周
c	D29@400 × 192 / 周



要素番号 : 491
放射方向

要素番号 : 640
N S 方向

(a) 軸力+曲げモーメント



要素番号 : 491
N S 方向

(b) 面外せん断力

図 6-2 選定した要素の位置

表 6-2 評価結果

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	N S	640	1-2	0.297	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	放射	491	1-2	0.221	5.00
面外せん断力	面外せん断力 ($\times 10^3 \text{kN/m}$)	N S	491	1-1	7.79	10.4

7. 引用文献

- (1) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE) ,
1993
- (2) 出雲淳一, 島弘, 岡村甫 : 面内力を受ける鉄筋コンクリート板要素の解析モデル,
コンクリート工学, Vol.25, No.9, 1987.9

VI-2-9-4 圧力低減設備その他安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-1 真空破壊装置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 固有周期	8
4.1 固有周期の計算方法	8
4.2 固有周期の計算条件	11
4.3 固有周期の計算結果	11
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	13
5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
5.2.2 許容応力	13
5.2.3 使用材料の許容応力評価条件	13
5.2.4 設計荷重	18
5.3 設計用地震力	20
5.4 計算方法	22
5.4.1 応力の計算方法	22
5.5 計算条件	28
5.6 応力の評価	28
6. 評価結果	29
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32
7. 引用文献	35

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、真空破壊装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

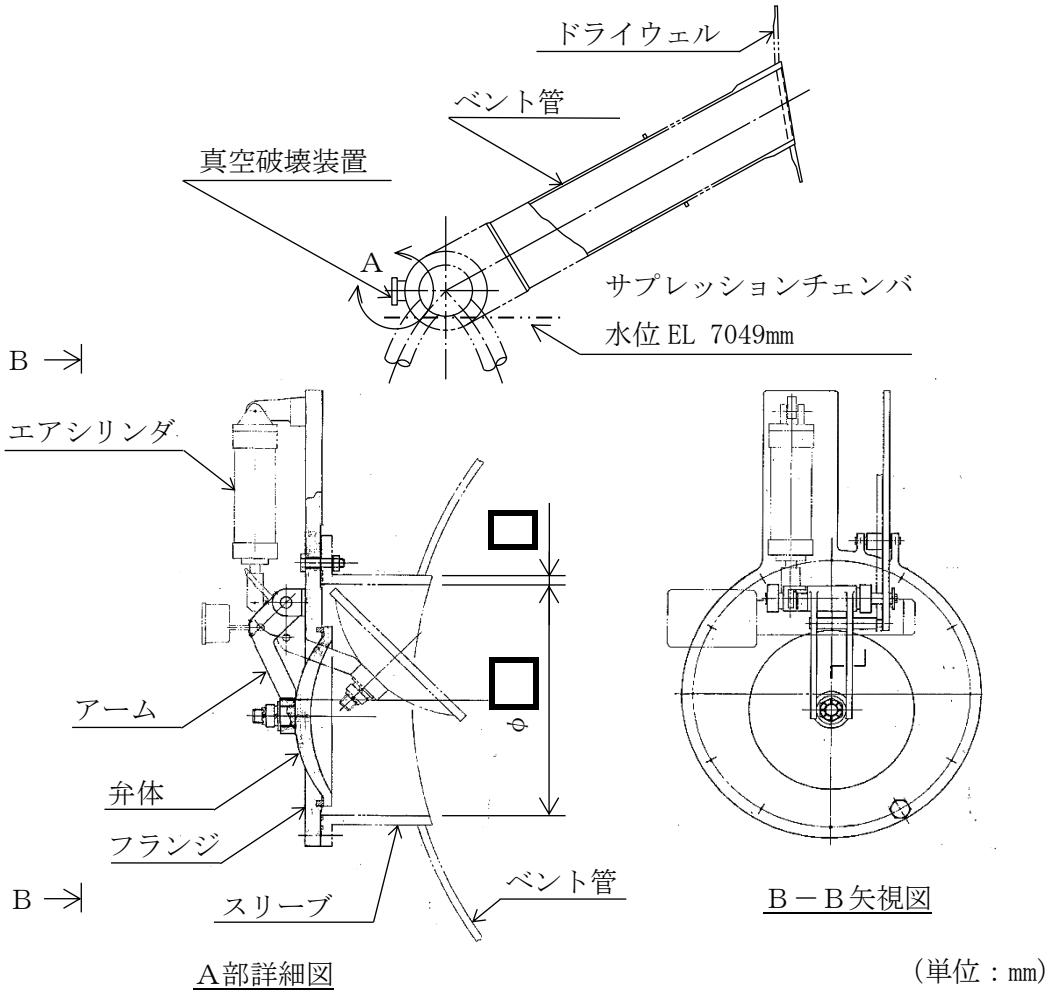
真空破壊装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

真空破壊装置の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>真空破壊装置は、ベント管に支持される。</p> <p>真空破壊装置の鉛直方向荷重及び水平方向荷重は、ベント管を介して、ドライウエルに伝達される。</p>	<p>真空破壊装置は、エアシリンダ、アーム、弁体、フランジ、及び内径 \square mm、板厚 \square mm のスリーブで構成される、逆止め弁である。</p>	 <p>概略構造図</p> <p>ドライウエル</p> <p>ベント管</p> <p>真空破壊装置</p> <p>サプレッションチェンバ 水位 EL 7049mm</p> <p>B →</p> <p>エアシリンダ</p> <p>アーム</p> <p>弁体</p> <p>フランジ</p> <p>スリーブ</p> <p>ベント管</p> <p>A部詳細図</p> <p>B-B 矢視図</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

真空破壊装置の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す真空破壊装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

真空破壊装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

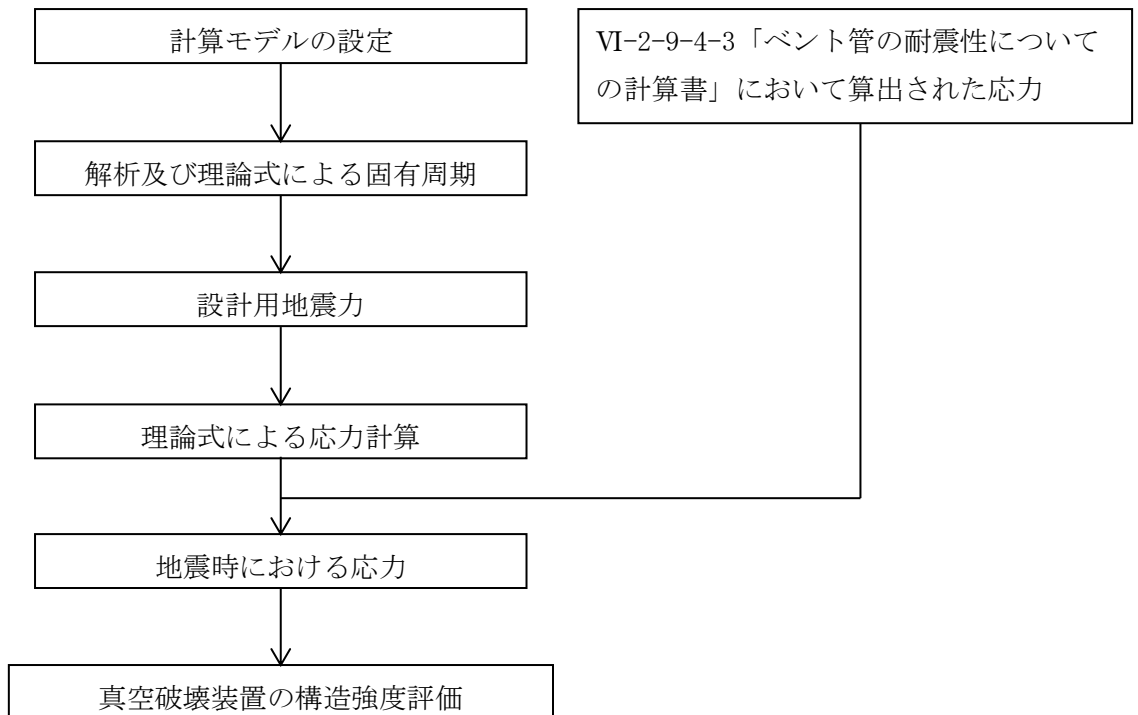


図2-1 真空破壊装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D ₁	スリーブの内径	mm
D ₂	ベント管の内径	mm
E	縦弾性係数	MPa
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K _{A1}	片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数	N/mm
K _{A2}	片持はりを仮定した軸方向ばね定数	N/mm
K _{MC}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（鉛直方向）のばね定数	N/mm
K _{ML}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _{MR}	外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向（水平方向）のばね定数	N/mm
K _C	軸直角方向（鉛直方向）の合成ばね定数	N/mm
K _L	軸直角方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
K _R	軸方向（水平方向）の合成ばね定数	N/mm
L	真空破壊装置の付け根からエアシリンダ中心軸までの距離	mm
ℓ	モーメントアーム	mm
M _C	軸直角方向（鉛直方向）のモーメント	N・mm
M _L	軸直角方向（水平方向）のモーメント	N・mm
m	機器質量	kg
P	軸力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
T	温度	℃
T _C	軸直角方向の固有周期（鉛直方向）	s
T _L	軸直角方向の固有周期（水平方向）	s
T _R	軸方向の固有周期（水平方向）	s
T _{SAD}	温度（SA後温度）	℃
t ₁	スリーブの厚さ	mm
t ₂	ベント管の厚さ	mm

記号	記号の説明	単位
W	荷重	N
ν	ポアソン比	—
σ_l	軸方向応力	MPa
σ_t	周方向応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字5桁	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字5桁	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁	四捨五入	有効数字3桁
ばね定数	N/mm	有効数字3桁	四捨五入	有効数字2桁 ^{*2}
力	N	有効数字5桁	四捨五入	有効数字4桁 ^{*2}
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第1位
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

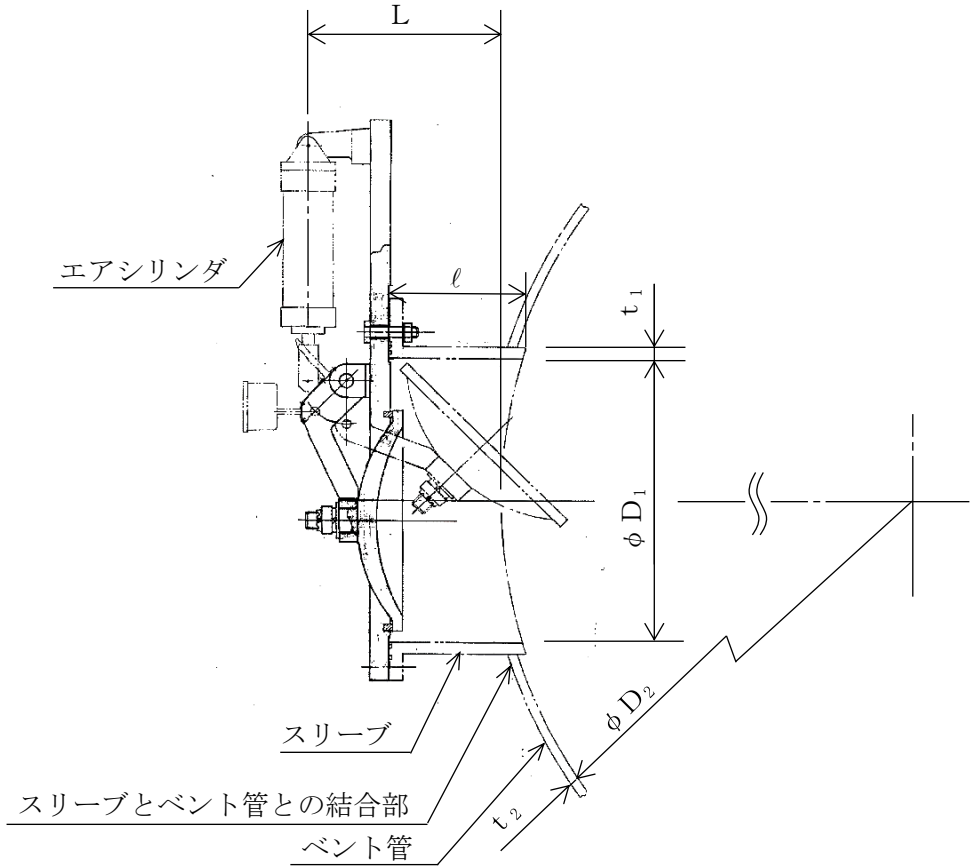
注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

真空破壊装置の形状及び主要寸法を図3-1に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



$L = \square$
 $l = \square$
 $D_1 = \square$
 $D_2 = \square$
 $t_1 = \square$
 $t_2 = \square$

(単位：mm)

図3-1 真空破壊装置の形状及び主要寸法

表3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
スリーブ	SGV49	SGV480 相当
スリーブとベント管との結合部	SGV49	SGV480 相当

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

真空破壊装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 真空破壊装置の質量は，図 3-1 に示すエアシリンダ中心軸に集中するものとする。
- b. 真空破壊装置は，ベント管に固定されており，一端固定，他端自由とする。また，真空破壊装置は片持はりと考え，変形モードは曲げ又は圧縮・引張を考慮する。
- c. 真空破壊装置より加わる荷重（以下「外荷重」という。）によってスリーブ取付部に生じる変形を考える。変形モードは曲げモーメントによる取付部変形，又は圧縮・引張による取付部変形を考慮する。
- d. b 及び c による変形の両者を考慮する。
- e. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

真空破壊装置は，図 4-1 に示す集中荷重が作用する片持はりと，図 4-2 に示す外荷重によって取付部に生じる変形モデルの，両者の合成として考える。

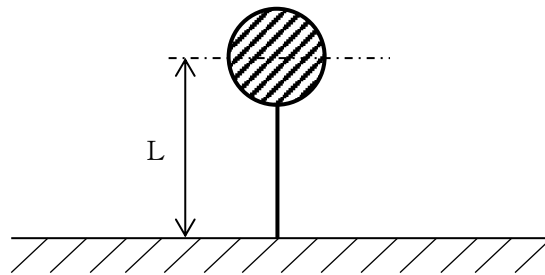


図 4-1 固有周期の計算モデル（片持はり）

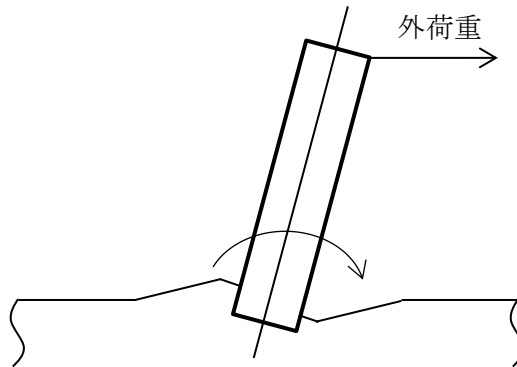


図 4-2 固有周期の計算モデル（外荷重によって取付部に生じる変形モデル）

外荷重によってスリーブ取付部に生じる変形を精緻に評価するため、3次元シェル要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図4-3に、機器の諸元を表4-1に示す。



なお、解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。

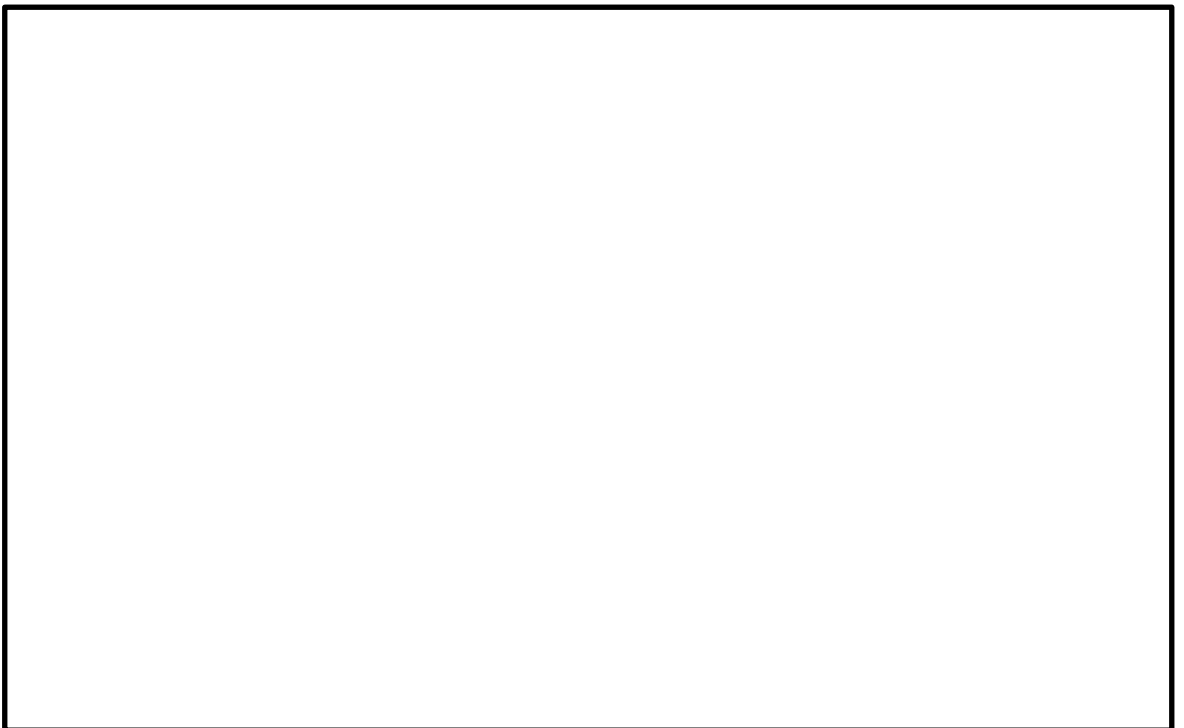


図4-3 解析モデル（外荷重によって取付部に生じる変形を求めるモデル）

表4-1 機器諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV49*
温度条件	T	℃	57
縦弾性係数	E	MPa	<input type="text"/>
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

注記*：SGV480相当

(2) 軸直角方向ばね定数

片持はりを仮定した軸直角方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{A1} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{L^3} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸直角方向ばね定数は、図 4-3 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係により求める。スリーブ軸直角方向（鉛直方向）ばね定数を K_{MC} 、スリーブ軸直角方向（水平方向）ばね定数を K_{ML} とし、その値を表 4-2 に示す。

(3) 軸方向ばね定数

片持はりを仮定した軸方向ばね定数は次式で求める。

$$K_{A2} = \frac{A \cdot E}{L} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定した軸方向ばね定数は、図 4-3 に示す解析モデルを用いて荷重と変位の関係により求める。スリーブ軸方向（水平方向）ばね定数を K_{MR} とし、その値を表 4-2 に示す。

(4) 合成ばね定数

片持はりを仮定したばね定数と、外荷重によって取付部に生じる変形モデルを仮定したばね定数の、両者の合成ばね定数は次式で求める。

$$K_C = \frac{1}{\frac{1}{K_{A1}} + \frac{1}{K_{MC}}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

$$K_L = \frac{1}{\frac{1}{K_{A1}} + \frac{1}{K_{ML}}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{K_{A2}} + \frac{1}{K_{MR}}} \dots\dots\dots (4.1.5)$$

(5) 軸直角方向の固有周期

軸直角方向の固有周期は次式で求める。

スリーブ軸直角方向（鉛直方向）

$$T_C = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_C}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.6)$$

スリーブ軸直角方向（水平方向）

$$T_L = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_L}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.7)$$

(6) 軸方向の固有周期

スリーブ軸方向（水平方向）の固有周期は次式で求める。

$$T_R = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{\frac{1000 \cdot K_R}{m}}} \dots\dots\dots (4.1.8)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件を表 4-2 に示す。

表 4-2 固有周期の計算に用いる計算条件

記号	単位	値
L	mm	
E	MPa	
I	mm ⁴	
A	mm ²	
K _{A1}	N/mm	
K _{MC}	N/mm	
K _{ML}	N/mm	
K _{A2}	N/mm	
K _{MR}	N/mm	
K _C	N/mm	
K _L	N/mm	
K _R	N/mm	
m	kg	

4.3 固有周期の計算結果

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における固有周期を表 4-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表 4-3 固有周期（設計基準対象施設）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直方向*1	
水平方向*2	
水平方向*3	

注記*1：スリーブ軸直角方向（鉛直方向）を示す。

*2：スリーブ軸直角方向（水平方向）を示す。

*3：スリーブ軸方向（水平方向）を示す。

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 4-4 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-4 固有周期（重大事故等対処設備）

卓越方向	固有周期 (s)
鉛直方向*1	
水平方向*2	
水平方向*3	

注記*1：スリーブ軸直角方向（鉛直方向）を示す。

*2：スリーブ軸直角方向（水平方向）を示す。

*3：スリーブ軸方向（水平方向）を示す。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 真空破壊装置は、円筒形状のスリーブがベント管に支持された構造であり、鉛直方向荷重及び水平方向荷重はベント管を介してドライウェルに伝達される。

真空破壊装置の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」及びVI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」において計算された応答加速度を用いて、「5.4 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (3) 概略構造図を表 2-1 に示す。
- (4) 地震力は、真空破壊装置に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。

また、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、スリーブに作用する荷重による応力に対しては絶対値和を、スリーブとベント管との結合部のうちベント管に作用する荷重による応力に対しては S R S S 法を適用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

真空破壊装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

5.2.2 許容応力

真空破壊装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

真空破壊装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	真空破壊装置	S	—*1	D + P _D + M _D + S _d * [*]	(10)	Ⅲ _A S
						(11)* ³	
						(14)	
						(16)	
						(17)	
					D + P _D + M _D + S _s * ⁴	(12)	Ⅳ _A S
						(13)* ³	
						(15)	

注記*1：クラス2容器として評価を行う。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は、真空破壊装置に作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*4：真空破壊装置に対しては、表5-2に記載の荷重の組合せD + P_{SAD} + M_{SAD} + S_sに包絡されるため、評価しない。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	真空破壊装置	常設耐震／防止 常設／緩和	—*3	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ *4	(V (L L) -1)	V_{AS} *5

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：重大事故等クラス2容器として評価を行う。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

*5： V_{AS} として IV_{AS} の許容限界を用いる。

表5-3 クラス2容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼 及び高ニッケル合金については上記の値 と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。	左欄の 1.5倍の値	*2 S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、 疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動 値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5倍の値		
V _A S*3				

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2： $2 \cdot S_y$ を超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表5-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
スリーブ	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—
ベント管	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—

注記* : SGV480 相当

表5-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
スリーブ	SGV49*	周囲環境温度	200	—	226	422	—
ベント管	SGV49*	周囲環境温度	200	—	226	422	—

注記* : SGV480 相当

5.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

設計基準対象施設の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

圧力 P_D 427 kPa*

温度 T 171 °C

注記*：保守的に重大事故等対処設備としての評価圧力である 660kPa を用いる。

b. 死荷重

(a) 真空破壊装置

真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重 W N

(b) ベント系

ベント管，ベントヘッド，ダウンカメラ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重 N

設計基準対象施設の評価におけるサプレッションチェンバ水位は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における H. W. L. (EL 5660mm) に対して保守的な条件として以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

圧力 P_{SAD} 660 kPa (SA後長期)

温度 T_{SAD} 200 °C (SA後長期)

b. 死荷重

(a) 真空破壊装置

真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重 W N

(b) ベント系

ベント管，ベントヘッド，ダウンカメラ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重 N

重大事故等対処設備の評価におけるサプレッションチェンバ水位は、VI-1-8-1
「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

水位

EL 7049mm

5.3 設計用地震力

真空破壊装置の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、以下のよう
に設定する。

(1) 水平方向設計震度

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力と、VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント系の解析モデルによる地震
応答解析により求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を上回る加速度に基づく地震力の
大きい方の地震力を設定する。

(2) 鉛直方向設計震度

VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を上回る地震力を設
定する。

表 5-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器内 EL *1 (EL 11.900*2)	0.009	0.014	$C_H = 3.12^{*3}$	$C_V = 1.12^{*4}$	$C_H = 3.12^{*5}$	$C_V = 1.12^{*6}$

注記*1：VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント系の解析モデルによる
地震応答解析により求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を基に設計震度を設定す
る。

*2：ドライウエルのベント管据付レベルを示し、動的震度及び静的震度を求める際の基準レベ
ルとする。

*3：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）に対するベント系の地震応答解析に
より求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を上回る加速度に基づく震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）に対するベント系の地震応答解析により
求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を上回る加速度に基づく震度

*6：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 5-7 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器内 EL *1 (EL 11.900 *2)	0.009	0.014	—	—	C _H =3.12*3	C _V =1.12*4

注記*1：VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント系の解析モデルによる地震応答解析により求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を基に設計震度を設定する。

*2：ドライウエルのベント管据付レベルを示し、動的震度及び静的震度を求める際の基準レベルとする。

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）に対するベント系の地震応答解析により求めた真空破壊装置取付部での応答加速度を上回る加速度に基づく震度

*4：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

真空破壊装置の応力評価点は、真空破壊装置を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 5-8 及び図 5-1 に示し、応力の計算方法を以下に示す。

表 5-8 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	スリーブ (P1-A, P1-B, P1-C)
P2	スリーブとベント管との結合部 (P2-A, P2-B, P2-C)

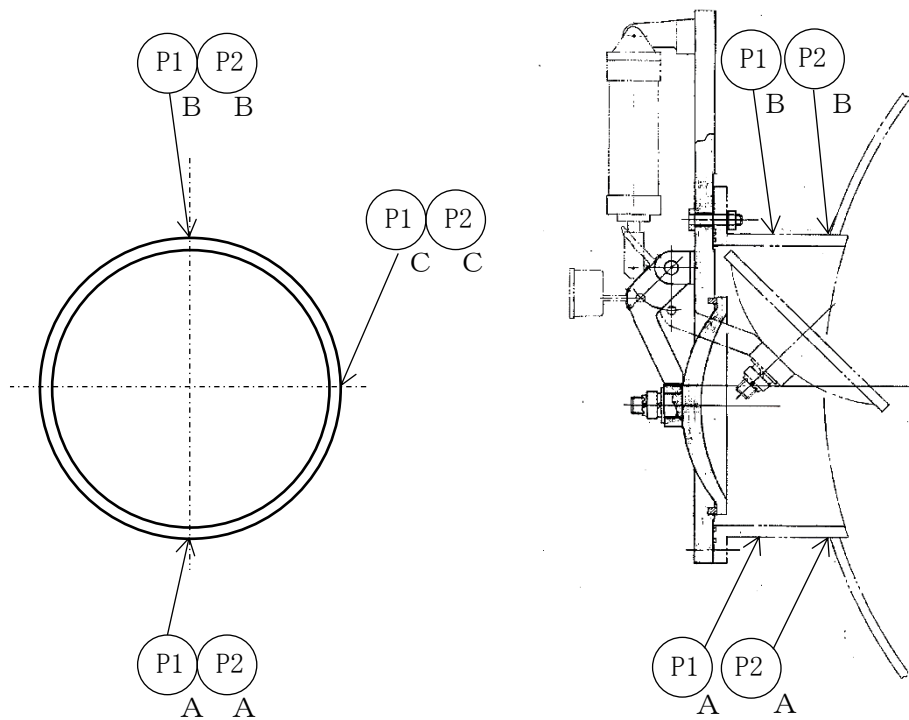


図 5-1 真空破壊装置の応力評価点

5.4.1.1 スリーブ（応力評価点 P1）の計算方法

スリーブの応力は、圧力による応力、及び真空破壊装置に作用する荷重による応力を考慮する。

(1) 圧力による応力

「5.2.4 設計荷重」に示す評価圧力による応力の計算式を以下に示す。

周方向応力

$$\sigma_t = \frac{P_{SAD} \cdot D_1}{2 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.1)$$

軸方向応力

$$\sigma_{\ell} = \frac{P_{SAD} \cdot D_1}{4 \cdot t_1} \dots\dots\dots (5.4.1.1.2)$$

(2) 真空破壊装置に作用する荷重による応力

真空破壊装置に作用する荷重による応力は、「5.2.4 設計荷重」に示す死荷重W及び「5.3 設計用地震力」に示す設計震度（ C_H 、 C_V ）を用いて、以下の計算式で計算する。なお、水平2方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

a. 死荷重による応力

せん断応力

$$\tau = \frac{W}{A} \dots\dots\dots (5.4.1.1.3)$$

ここで、

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot \{(D_1 + 2 \cdot t_1)^2 - D_1^2\} \dots\dots\dots (5.4.1.1.4)$$

曲げ応力

$$\sigma_{\ell} = \frac{W \cdot \ell}{Z} \dots\dots\dots (5.4.1.1.5)$$

ここで、

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{\{(D_1 + 2 \cdot t_1)^4 - D_1^4\}}{(D_1 + 2 \cdot t_1)} \dots\dots\dots (5.4.1.1.6)$$

b. 水平地震荷重による応力

せん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot C_H}{A} \dots\dots\dots (5.4.1.1.7)$$

軸方向応力

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{W \cdot C_H}{A} \dots\dots\dots (5.4.1.1.8)$$

曲げ応力

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{W \cdot \ell \cdot C_H}{Z} \dots\dots\dots (5.4.1.1.9)$$

c. 鉛直地震荷重による応力

せん断応力

$$\tau = \frac{W \cdot C_V}{A} \dots\dots\dots (5.4.1.1.10)$$

曲げ応力

$$\sigma_{\ell} = \pm \frac{W \cdot \ell \cdot C_V}{Z} \dots\dots\dots (5.4.1.1.11)$$

5.4.1.2 スリーブとベント管との結合部（応力評価点 P2）の計算方法

応力評価点 P2 の応力は，評価圧力による応力，ベント管に作用する荷重による応力及び真空破壊装置に作用する荷重による応力を考慮する。

(1) 圧力による応力

「5.2.4 設計荷重」に示す評価圧力による応力の計算方法は，VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(2) ベント管に作用する荷重による応力

応力計算方法は，VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

(3) 真空破壊装置に作用する荷重による応力

応力計算方法は，「5.2.4 設計荷重」に示す死荷重 W ，真空破壊装置の寸法及び「5.3 設計用地震力」に示す設計震度（ C_H ， C_V ）を考慮する。応力評価点 P2 に作用する荷重を表 5-9 に示し，真空破壊装置に作用する荷重による応力の計算モデルを図 5-2 に示す。

表 5-9 応力評価点 P2 に作用する荷重

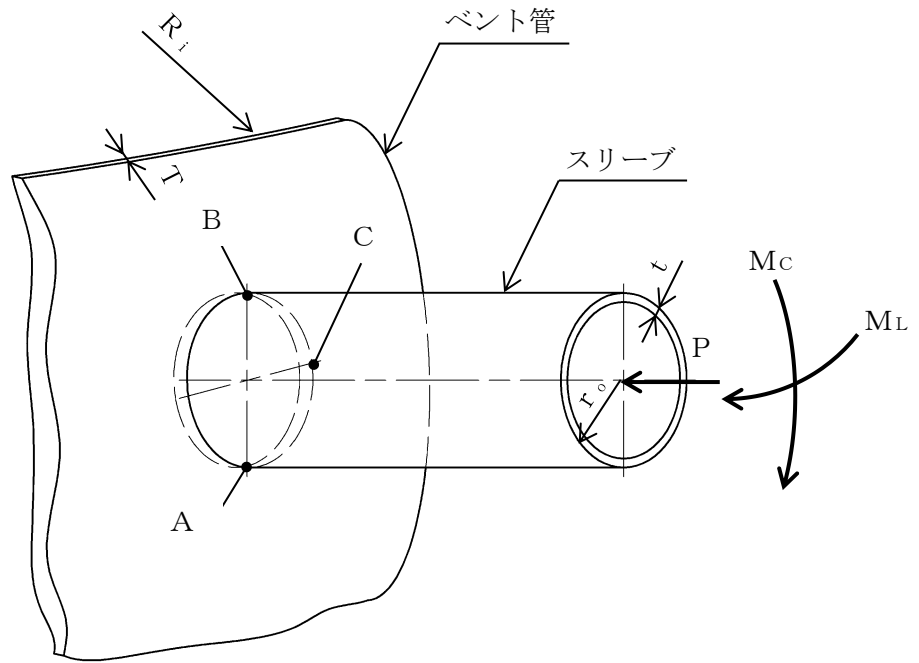
荷重の種類*	死荷重	地震荷重
P	—	$W \cdot C_H$
M_L	—	$W \cdot \ell \cdot C_H$
M_C	$W \cdot \ell$	$W \cdot \ell \cdot C_V$

注記*：図 5-2 に示す荷重の記号による。

単位荷重により真空破壊装置のスリーブとベント管との結合部に生じる応力を，引用文献(1)に基づき計算するものとし，以下に計算方法を示す。

真空破壊装置に作用する荷重による応力は，表 5-9 に示す荷重と，以下に示す単位荷重による応力により算出する。

なお，ここで使用する記号はすべて引用文献(1)に従う。



項目	記号	単位	値, 計算式
ベント管内半径	T	mm	
スリーブ外半径	r_o	mm	
ベント管厚さ	T	mm	
スリーブ厚さ	t	mm	
シェルパラメータ	R_m	mm	$R_m = R_i + \frac{T}{2} = \square$
	γ	—	$\gamma = \frac{R_m}{T} = \square$
アタッチメントパラメータ	β	—	$\beta = \frac{0.875 \cdot r_o}{R_m} = \square$

図5-2 真空破壊装置に作用する荷重による応力の計算モデル

単位軸方向荷重Pによりに生じる応力を表5-10に示す。

$$P = 1.000 \times 10^4 \text{ N}$$

表5-10 単位軸方向荷重Pにより生じる応力

方向	応力評価点	引用文献(1)による計算		
		図の番号	図からの読取值	応力計算 (MPa)

注記*1：一次応力を示す。

*2：二次応力を示す。

単位モーメント M_C により生じる応力を表 5-11 に示す。

$$M_C = 1.000 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-11 単位モーメント M_C により生じる応力

方向	応力 評価点	引用文献(1)による計算		
		図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

注記*1：一次応力を示す。

*2：二次応力を示す。

単位モーメント M_L により生じる応力を表 5-12 に示す。

$$M_L = 1.000 \times 10^7 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

表 5-12 単位モーメント M_L により生じる応力

方向	応力 評価点	引用文献(1)による計算		
		図の番号	図からの読取値	応力計算 (MPa)

注記*1：一次応力を示す。

*2：二次応力を示す。

5.5 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「5.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「5.3 設計用地震力」に示す。

5.6 応力の評価

「5.4 計算方法」で求めた応力が表 5-3 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

真空破壊装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-1 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-2 に示す。

表 6-1 許容応力状態ⅢA Sに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
真空破壊装置	P1-A	スリーブ	一次一般膜応力	11	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	344	○	(10)	
			一次+二次応力	10	458	○	(10)	
	P1-B	スリーブ	一次一般膜応力	12	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	344	○	(10)	
			一次+二次応力	10	458	○	(10)	
	P1-C	スリーブ	一次一般膜応力	11	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	344	○	(10)	
			一次+二次応力	10	458	○	(10)	

表 6-1 許容応力状態ⅢA S に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢA S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
真空破壊装置	P2-A	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	310	344	○	(10)	
			一次+二次応力	600	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.776	1.0	○	(10)	単位なし
	P2-B	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	312	344	○	(10)	
			一次+二次応力	600	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.776	1.0	○	(10)	単位なし
	P2-C	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	315	344	○	(10)	
			一次+二次応力	584	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.673	1.0	○	(10)	単位なし

注記* : P2-A, P2-B, 及び P2-C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-2 許容応力状態ⅢA S に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ' * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P2-A	600							0.776
P2-B	600							0.776
P2-C	584							0.673

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵ / E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

真空破壊装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 6-3 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 6-4 に示す。

表 6-3 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
真空破壊装置	P1-A	スリーブ	一次一般膜応力	11	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	10	452	○	V (L L) -1	
	P1-B	スリーブ	一次一般膜応力	12	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	12	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	10	452	○	V (L L) -1	
	P1-C	スリーブ	一次一般膜応力	11	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	11	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	10	452	○	V (L L) -1	

表 6-3 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
真空破壊装置	P2-A	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	310	379	○	V (LL) -1	
			一次+二次応力	600	452	×*	V (LL) -1	
			疲労評価	0.410	1.0	○	V (LL) -1	単位なし
	P2-B	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	312	379	○	V (LL) -1	
			一次+二次応力	600	452	×*	V (LL) -1	
			疲労評価	0.410	1.0	○	V (LL) -1	単位なし
	P2-C	スリーブとベント管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	315	379	○	V (LL) -1	
			一次+二次応力	584	452	×*	V (LL) -1	
			疲労評価	0.358	1.0	○	V (LL) -1	単位なし

注記* : P2-A, P2-B, 及び P2-C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6-4 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _ℓ ' * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P2-A	600							0.410
P2-B	600							0.410
P2-C	584							0.358

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$$

7. 引用文献

- (1) Wichman, K.R. et al.: Local Stresses in Spherical and Cylindrical Shells due to External Loadings, Welding Research Council bulletin, March 1979 revision of WRC bulletin 107 / August 1965.

VI-2-9-4-2-1 ダウンカマの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	7
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	7
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	7
4.2.2 許容応力	7
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	7
4.2.4 設計荷重	13
4.3 固有周期	15
4.4 設計用地震力	15
4.5 計算方法	22
4.5.1 応力評価点	22
4.5.2 応力の計算方法	23
4.6 計算条件	23
4.7 応力の評価	23
5. 評価結果	24
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	24
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	30
6. 参照図書	34

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ダウンカマが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ダウンカマは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

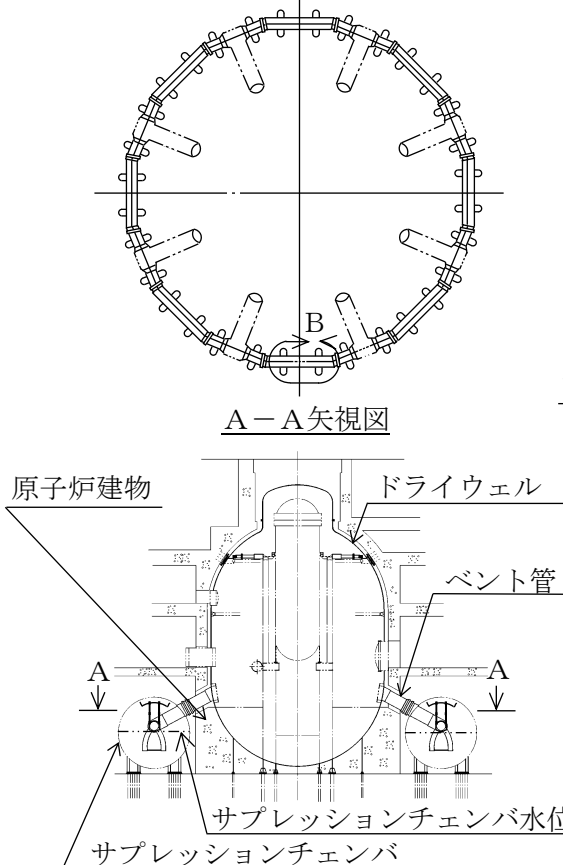
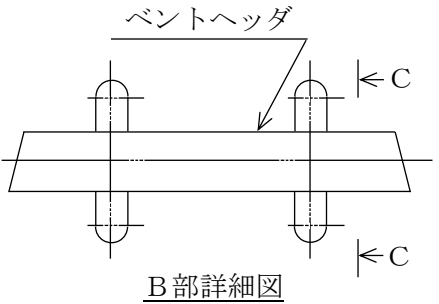
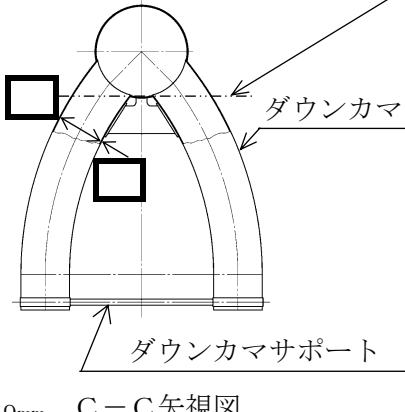
なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるダウンカマの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ダウンカマの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>ダウンカマは、サプレッションチェンバ内に設置され、ベントヘッダ及びベント管を介してドライウエルに支持される。</p> <p>ダウンカマの水平方向荷重及び鉛直方向荷重は、ベントヘッダ、ベント管及びドライウエルを介して原子炉建物に伝達される。</p>	<p>ダウンカマは内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm の管形の鋼製構造物であり、ベントヘッダに接続する。ダウンカマの下部はダウンカマサポートにより固定されている。</p>	 <p>A-A 矢視図</p>	 <p>B部詳細図</p> <p>サプレッションチェンバ水位 EL 7049mm</p>  <p>C-C 矢視図</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

ダウンカマの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すダウンカマの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ダウンカマの耐震評価フローを図2-1に示す。

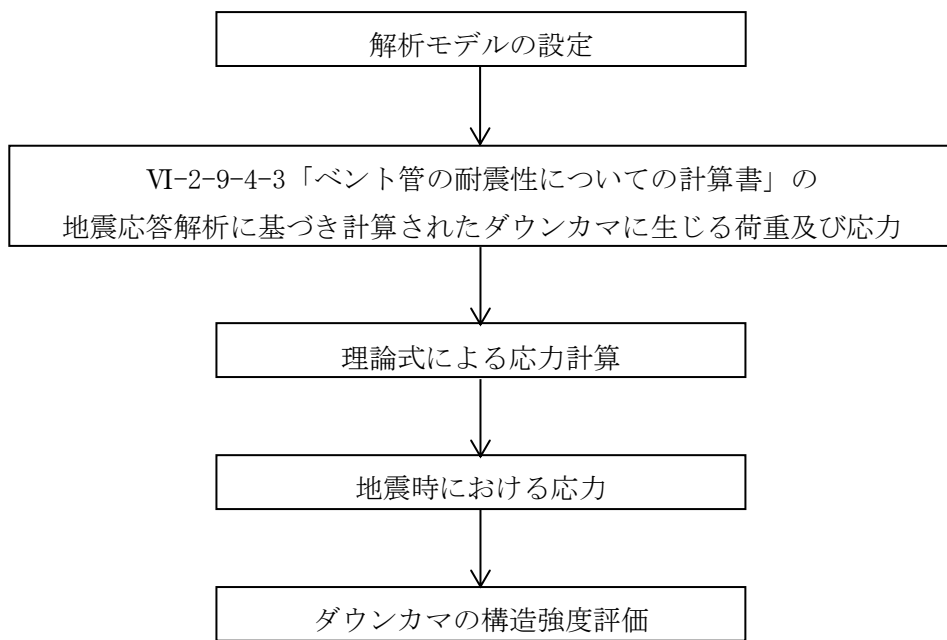


図2-1 ダウンカマの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_i	ダウンカマの内径	mm
D_o	ダウンカマの外径	mm
d_i	ベントヘッドの内径	mm
d_o	ダウンカマサポートの外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
M	モーメント	N・mm
M_c	モーメント (ベントヘッド周方向)	—
M_L	モーメント (ベントヘッド軸方向)	—
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
P	軸方向荷重	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
t_1	ダウンカマの厚さ	mm
t_2	ベントヘッドの厚さ	mm

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位
疲労累積係数	—	小数点以下第 4 位	切上げ	小数点以下第 3 位

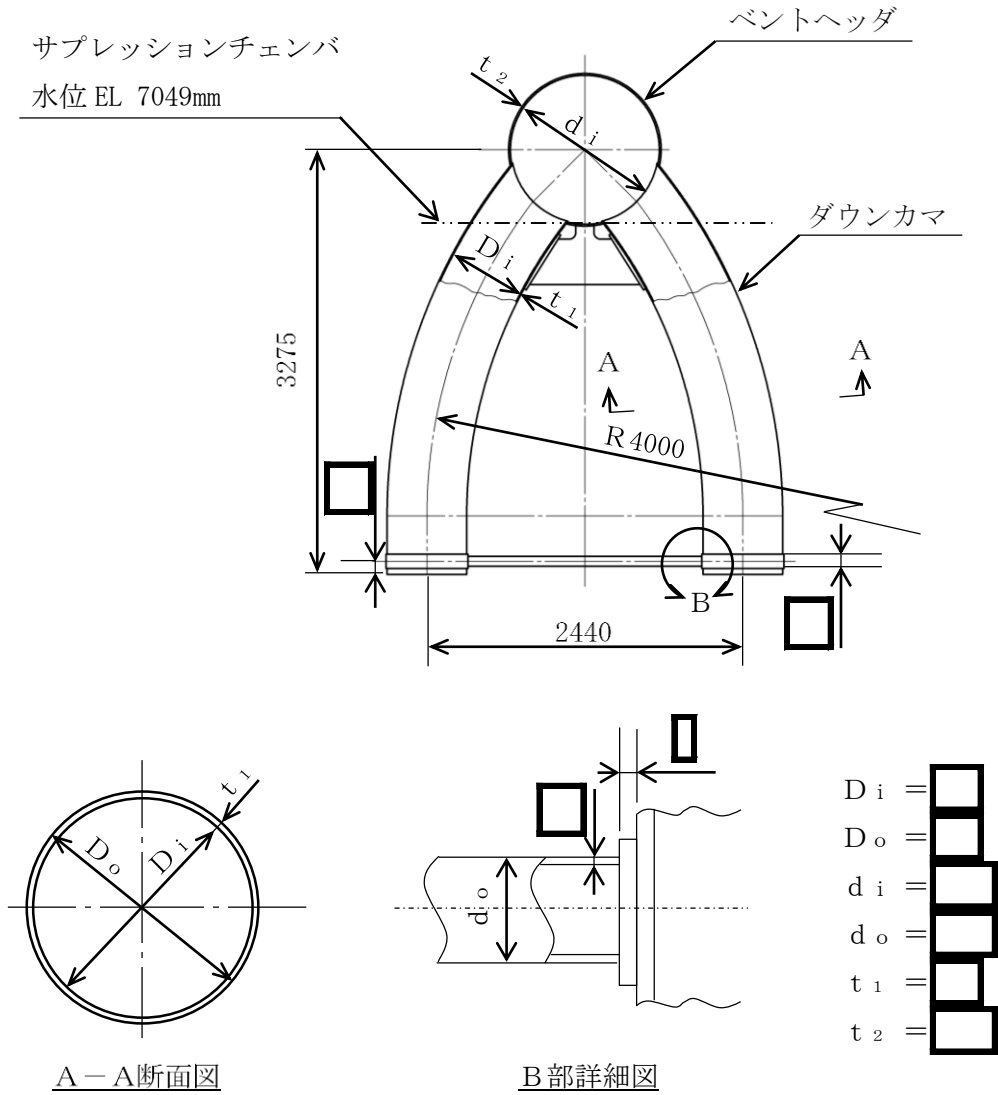
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ダウンカマの形状及び主要寸法を図3-1に、評価部位及び使用材料を表3-1に示す。



(単位：mm)

図3-1 ダウンカマの形状及び主要寸法

表3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ダウンカマ	SGV49	SGV480 相当
ベントヘッダ	SGV49	SGV480 相当

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ダウンカマは、ベントヘッド及びベント管を介してドライウェルに支持された構造であり、ダウンカマの水平方向荷重及び鉛直方向荷重は、ベントヘッド、ベント管及びドライウェルを介して原子炉建物に伝達される。

ダウンカマの耐震評価として、VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの地震応答解析で計算された、ダウンカマに作用する荷重及び応力を用いて、「4.5 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は、ダウンカマに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、「4.5.2 応力の計算方法」に示す。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

ダウンカマの耐震評価は、「4.5.1 応力評価点」に示すように、ダウンカマ（応力評価点P1）及びベントヘッドとダウンカマの結合部（応力評価点P2）を評価部位とすることから、ダウンカマ及びベントヘッドの荷重の組合せ及び許容応力について以下に示す。

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ダウンカマ及びベントヘッドの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

ダウンカマ及びベントヘッドの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3及び表4-4のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ダウンカマ及びベントヘッドの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ダウンカマ*2	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	(10)	Ⅲ _A S
						(11) *3	
						(14)	
						(16)	
						(17)	
					$D + P_D + M_D + S_s$	(12)	Ⅳ _A S
						(13) *3	
						(15)	
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベントヘッド*4	S	クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_d^*$	(10)	Ⅲ _A S
						(11) *3	
						(14)	
						(16)	
						(17)	
					$D + P_D + M_D + S_s$	(12)	Ⅳ _A S
						(13) *3	
						(15)	

注記*1：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：「4.5.1 応力評価点」に示す応力評価点P1の荷重の組合せ及び許容応力状態を示す。

*3：運転状態Iによる燃料交換時の活荷重は、ダウンカマに作用しないことから、荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*4：「4.5.1 応力評価点」に示す応力評価点P2の荷重の組合せ及び許容応力状態を示す。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2, *3		許容応力状態*4
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ダウンコマ*5	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *6	(V (L) -1)	V _{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ *7	(V (LL) -1)	V _{AS}
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベントヘッダ*8	常設耐震/防止 常設/緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$ *6	(V (L) -1)	V _{AS}
					$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$ *7	(V (LL) -1)	V _{AS}

6 注記*1：「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：() 内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：ダウンコマは重大事故等クラス2管（クラス2管）及びベントヘッダは重大事故等クラス2容器（クラス2容器）であるが，重大事故等時の原子炉格納容器に生じる水力的動荷重を考慮した原子炉格納容器の機能維持を確認する目的で，重大事故等クラス2容器（クラスMC容器）に準じた荷重の組合せを適用する。

*4：V_{AS}としてIV_{AS}の許容限界を用いる。

*5：「4.5.1 応力評価点」に示す応力評価点P1の荷重の組合せ及び許容応力状態を示す。

*6：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

*7：ダウンコマ及びベントヘッダに対しては，表4-1に記載の荷重の組合せ $D + P_D + M_D + S_s$ に包絡されるため，評価しない。

*8：「4.5.1 応力評価点」に示す応力評価点P2の荷重の組合せ及び許容応力状態を示す。

表4-3 クラス2管及び重大事故等クラス2管の許容応力

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	*2 S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2・Sのうち大きい方とする。	S _y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2・Sのうち大きい方とする。	*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
V _A S*4				

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：軸力による全断面平均応力については、許容応力状態Ⅲ_ASの一次一般膜応力の許容値の0.8倍の値とする。

*3：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし、S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*4：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-4 クラス2容器及び重大事故等クラス2容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記の値と1.2・Sのうち大きい方とする。	左欄の1.5倍の値	*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S	0.6・S _u	左欄の1.5倍の値		
V _A S*3				

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ダウンコマ	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—
ベントヘッダ	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—

注記* : SGV480 相当

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ダウンコマ	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ²	—	226	422	—
		周囲環境温度	70* ³	—	248	453	—
ベントヘッダ	SGV49* ¹	周囲環境温度	200* ²	—	226	422	—
		周囲環境温度	70* ³	—	248	453	—

注記*1 : SGV480 相当

*2 : S A後長期温度

*3 : S A後長々期温度

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である、圧力、最高使用温度及び死荷重は、以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

設計基準対象施設の評価における圧力及び温度は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」により、以下のとおりとする。

内圧	427kPa
温度（最高使用温度）	171℃

b. 死荷重

ダウンカメラ及びベントヘッダの自重を死荷重とする。ダウンカメラに加わる死荷重を表4-7に示す。

表4-7 ダウンカメラに加わる死荷重（設計基準対象施設）

軸方向荷重 P* (N)	モーメント M* (N・mm)
□	□

注記*：作用方向は、図4-1参照のこと。なお、モーメントMについては、Mc方向及びML方向を二乗和平方根としている。

c. サプレッションチェンバ水位

設計基準対象施設の評価における水位は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」におけるH.W.L.(EL 5660mm)に対して保守的な条件として以下のとおりとする。

水位	EL 7049mm
----	-----------

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度，死荷重及び水力学の動荷重は，以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」により，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	380kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	200°C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	70°C (SA後長々期)

b. 死荷重

ダウンカメラ及びベントヘッダの自重を死荷重とする。ダウンカメラに加わる死荷重を表4-8に示す。

表4-8 ダウンカメラに加わる死荷重 (重大事故等対処設備)

軸方向荷重 P^* (N)	モーメント M^* (N・mm)
□	□

注記*：作用方向は，図4-1参照のこと。なお，モーメント M については， M_C 方向及び M_L 方向を二乗和平方根としている。

c. サプレッションチェンバ水位

重大事故等対処設備の評価における水位は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」により，以下のとおりとする。

水位	EL 7049mm
----	-----------

d. 水力学的動荷重 (チャギング荷重)

ダウンカメラに対して，低流量蒸気が凝縮する際には，参照図書(1)に示すチャギング荷重 (横方向荷重) が作用する。荷重は下記のとおりとする。

最大値 □ N

4.3 固有周期

ダウンカマは、VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの固有周期に基づく地震応答解析で計算した荷重及び応力を用いて評価をするため、本計算書ではダウンカマの固有周期の計算は実施しない。

4.4 設計用地震力

ダウンカマの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-9及び表4-10に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-11及び表4-12に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

設計基準対象施設としてダウンカマの応力計算に用いる設計用地震力を表4-9に示す。また、ダウンカマに作用する地震荷重を表4-10に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

重大事故等対処設備としてダウンカマの応力計算に用いる設計用地震力を表4-11に示す。また、ダウンカマに作用する地震荷重を表4-12に示す。

表 4-9(1) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部対称条件)

据付場所及び設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
8次			—	—		—	—
12次			—	—		—	—
14次			—	—		—	—
20次			—	—		—	—
23次			—	—		—	—
26次			—	—		—	—
27次			—	—		—	—
29次			—	—		—	—
35次			—	—		—	—
36次			—	—		—	—
37次			—	—		—	—
43次			—	—		—	—
47次			—	—		—	—
52次			—	—		—	—
動的震度*7, *8		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
静的震度*9		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*8 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*9 : $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 4-9(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部反対称条件)

据付場所及び設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
6次		—		—	—		
12次		—		—	—		
13次		—		—	—		
19次		—		—	—		
20次		—		—	—		
22次		—		—	—		
24次		—		—	—		
25次		—		—	—		
33次		—		—	—		
35次		—		—	—		
38次		—		—	—		
44次		—		—	—		
47次		—		—	—		
51次	—	—	—				
動的震度*7, *8		—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
静的震度*9		—	<input type="text"/>	—	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*8 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*9 : $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 4-10 ダウンカムに作用する地震荷重（設計基準対象施設）

方向	地震荷重	軸方向荷重P* (N)	モーメントM* (N・mm)
水平方向	地震荷重 S _d * 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S _s 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
鉛直方向	地震荷重 S _d * 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	地震荷重 S _s 作用時	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：作用方向は、図 4-1 参照のこと。なお、モーメントMについては、M_c方向及びM_L方向を二乗和平方根としている。

表 4-11(1) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部対称条件）

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> *2		鉛直：0.05 以下			
減衰定数(%)		水平：1.0*3		鉛直：-			
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直 震度	応答水平震度*6		応答鉛直 震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
8次			—	—		—	—
12次			—	—		—	—
14次			—	—		—	—
20次			—	—		—	—
23次			—	—		—	—
26次			—	—		—	—
27次			—	—		—	—
29次			—	—		—	—
35次			—	—		—	—
36次			—	—		—	—
37次			—	—		—	—
43次			—	—		—	—
47次			—	—		—	—
52次			—	—		—	—
動的震度*7, *8		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお，0.020s以上0.050s未満のモードに対しては，最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5：設計用床応答スペクトルI（弾性設計用地震動S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用床応答スペクトルI（基準地震動S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7：設計用震度I（弾性設計用地震動S d）を上回る設計震度及び設計用震度I（基準地震動S s）を上回る設計震度

*8：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-11(2) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部反対称条件）

据付場所及び設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> *2 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0*3 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期(s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
6次		—		—	—		
12次		—		—	—		
13次		—		—	—		
19次		—		—	—		
20次		—		—	—		
22次		—		—	—		
24次		—		—	—		
25次		—		—	—		
33次		—		—	—		
35次		—		—	—		
38次		—		—	—		
44次		—		—	—		
47次		—		—	—		
51次		—		—	—		
動的震度*7, *8		—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお，0.020s以上0.050s未満のモードに対しては，最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*8：最大応答加速度を1.2倍した震度

表 4-12 ダウンカメラに作用する地震荷重（重大事故等対処設備）

方向	地震荷重	軸方向荷重 P* (N)	モーメント M* (N・mm)
水平方向	地震荷重 S _d 作用時	□	□
	地震荷重 S _s 作用時	□	□
鉛直方向	地震荷重 S _d 作用時	□	□
	地震荷重 S _s 作用時	□	□

注記*：作用方向は、図 4-1 参照のこと。なお、モーメント M については、M_c 方向及び M_L 方向を二乗和平方根としている。

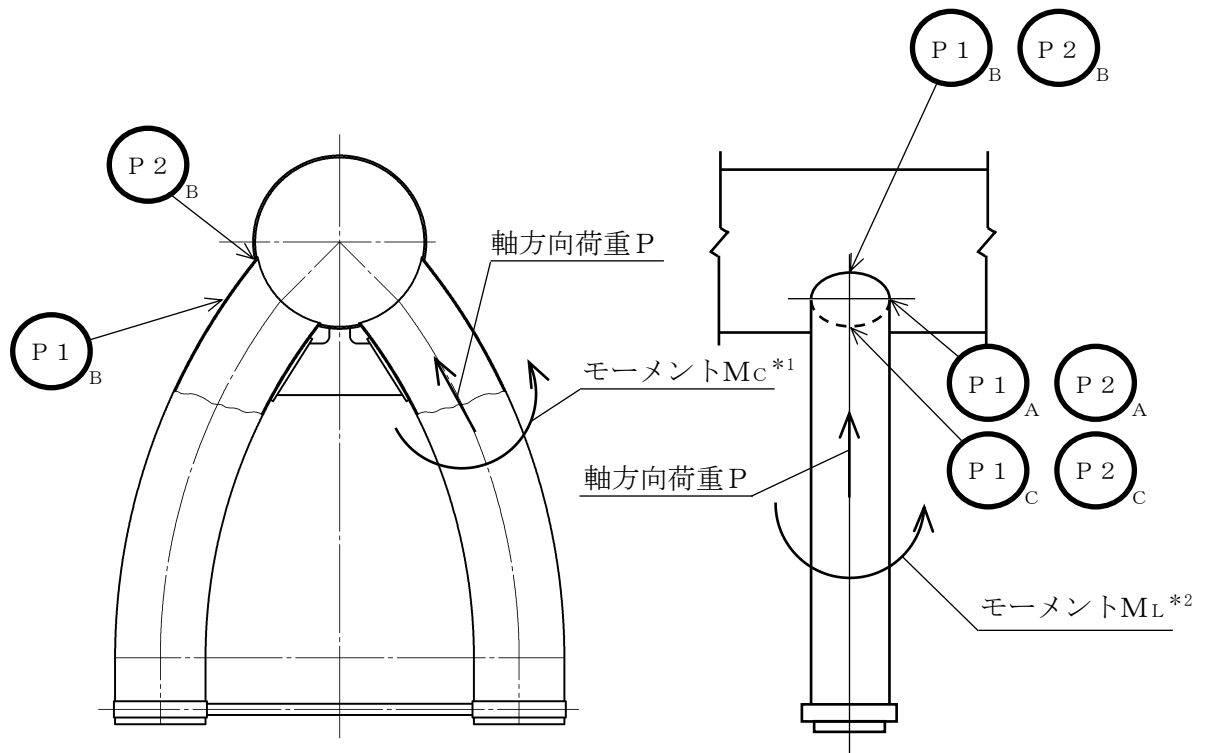
4.5 計算方法

4.5.1 応力評価点

ダウンカマの応力評価点は、ダウンカマを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-13 及び図 4-1 に示す。

表 4-13 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ダウンカマ (P 1-A~P 1-C)
P 2	ベントヘッダとダウンカマの結合部 (P 2-A~P 2-C)



P 2 は、ベントヘッダ側を示す。

注記*1：モーメント M_c はダウンカマ軸直角方向回り（ベントヘッダ断面周方向）のモーメントを示す。

*2：モーメント M_L はダウンカマ軸直角方向回り（ベントヘッダ軸方向）ベントヘッダ軸方向のモーメントを示す。

図 4-1 ダウンカマの応力評価点

4.5.2 応力の計算方法

ダウンカマの応力計算方法について、以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

a. ダウンカマ（応力評価点P1）に生じる応力

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。水平2方向の設計用地震力による応力は、SRSS法により組み合わせる。また、水平方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

b. ベントヘッドとダウンカマの結合部（応力評価点P2）に生じる応力

各荷重による応力は、VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルにてベントヘッドとダウンカマの結合部に生じる応力を算出する。水平2方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、SRSS法により組み合わせる。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。水学的動荷重による応力は、既工認（参照図書(1)）の応力を用いる。

4.6 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.4 設計用地震力」に示す。

4.7 応力の評価

「4.5 計算方法」で求めた応力が表4-3及び表4-4で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5)（ただし、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）、又はPVB-3300（PVB-3313を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ダウンカマの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

(2) 疲労評価結果

疲労評価の結果を表 5-3 及び表 5-4 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*) (1/2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 1 - A	ダウンカマ	一次一般膜応力	94	229	○	(10)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	94	229	○	(10)	
			一次+二次応力	168	458	○	(10)	
	P 1 - B	ダウンカマ	一次一般膜応力	94	229	○	(10)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	94	229	○	(10)	
			一次+二次応力	168	458	○	(10)	
	P 1 - C	ダウンカマ	一次一般膜応力	91	229	○	(10)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	91	229	○	(10)	
			一次+二次応力	164	458	○	(10)	

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d*) (2/2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 2 - A	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	254	344	○	(10)	
			一次+二次応力	626	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.364	1.0	○		単位なし
	P 2 - B	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	285	344	○	(10)	
			一次+二次応力	790	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.993	1.0	○		単位なし
	P 2 - C	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	267	344	○	(10)	
			一次+二次応力	728	458	×*	(10)	
			疲労評価	0.709	1.0	○		単位なし

注記* : P 2 - A, P 2 - B 及び P 2 - C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-2 許容応力状態IV_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s) (1/2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 1 - A	ダウンカマ	一次一般膜応力	101	253	○	(12)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	101	380	○	(12)	
			一次+二次応力	182	458	○	(12)	
	P 1 - B	ダウンカマ	一次一般膜応力	101	253	○	(12)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	101	380	○	(12)	
			一次+二次応力	182	458	○	(12)	
	P 1 - C	ダウンカマ	一次一般膜応力	98	253	○	(12)	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	98	380	○	(12)	
			一次+二次応力	178	458	○	(12)	

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s) (2/2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 2 - A	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	255	380	○	(12)	
			一次+二次応力	748	458	×*	(12)	
			疲労評価	0.397	1.0	○		単位なし
	P 2 - B	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	291	380	○	(12)	
			一次+二次応力	884	458	×*	(12)	
			疲労評価	0.771	1.0	○		単位なし
	P 2 - C	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	268	380	○	(12)	
			一次+二次応力	742	458	×*	(12)	
			疲労評価	0.383	1.0	○		単位なし

注記* : P 2 - A, P 2 - B及びP 2 - Cの一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-3 許容応力状態ⅢA S に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 2 - A	626	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.364
P 2 - B	790							0.993
P 2 - C	728							0.709

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 5-4 許容応力状態ⅣA S に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 2 - A	748	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]	0.397
P 2 - B	884							0.771
P 2 - C	742							0.383

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ダウンカマの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-5 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

(2) 疲労評価結果

疲労評価の結果を表 5-6 に示す。

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (1/2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 1 - A	ダウンカマ	一次一般膜応力	117	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	117	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	168	452	○	V (L) -1	
	P 1 - B	ダウンカマ	一次一般膜応力	105	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	105	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	168	452	○	V (L) -1	
	P 1 - C	ダウンカマ	一次一般膜応力	103	253	○	V (L) -1	
			一次膜応力 (曲げ応力を含む)	103	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	164	452	○	V (L) -1	

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (2/2)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ダウンカマ	P 2 - A	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	356	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	626	452	×*	V (L) -1	
			疲労評価	0.192	1.0	○		単位なし
	P 2 - B	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	372	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	790	452	×*	V (L) -1	
			疲労評価	0.524	1.0	○		単位なし
	P 2 - C	ベントヘッドとダウンカマの結合部	一次膜応力+ 一次曲げ応力	369	379	○	V (L) -1	
			一次+二次応力	728	452	×*	V (L) -1	
			疲労評価	0.375	1.0	○		単位なし

注記* : P 2 - A, P 2 - B 及び P 2 - C の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-6 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 2 - A	626	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	0.192
P 2 - B	790							0.524
P 2 - C	728							0.375

注記* : S_ℓに $(2.07 \times 10^5 / E)$ を乗じた値である。

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-17 「ダウンカマの強度計算書」

VI-2-9-4-2-2 ベントヘッドの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2 許容応力	10
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
4.2.4 設計荷重	17
4.3 解析モデル及び諸元	20
4.4 固有周期	20
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	26
4.6.1 応力評価点	26
4.6.2 応力計算方法	28
4.7 計算条件	28
4.8 応力の評価	28
5. 評価結果	29
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	29
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	32
6. 参照図書	35

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ベントヘッドが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ベントヘッドは設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

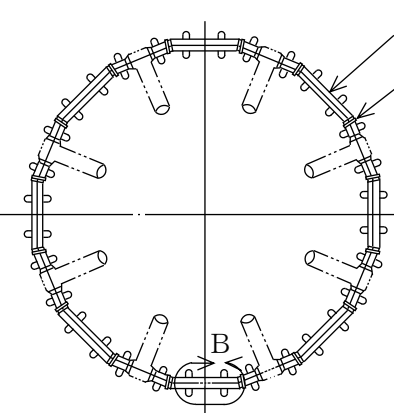
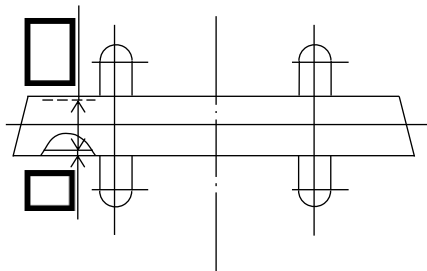
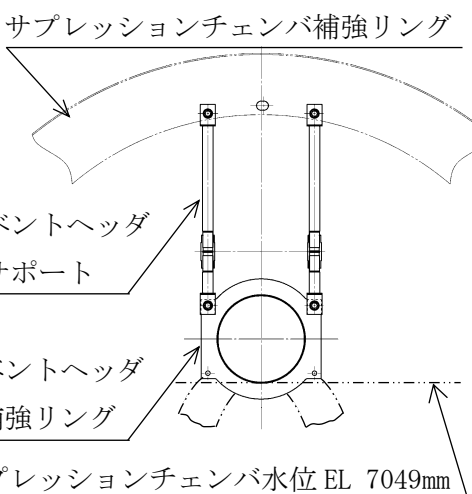
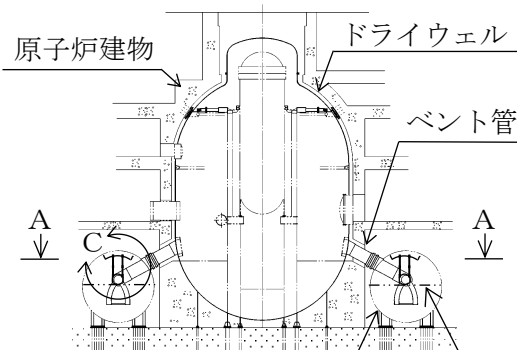
なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるベントヘッドの評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ベントヘッドの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図	
基礎・支持構造	主体構造		
<p>ベントヘッダは、サブプレッションチェンバ内に設置され、ベント管を介してドライウエルに支持される。ベントヘッダはベントヘッダ補強リングを介して、ピン結合によりベントヘッダサポートに支持される。ベントヘッダサポートは、ピン結合によりサブプレッションチェンバ補強リングに支持される。</p> <p>ベントヘッダの水平方向及び鉛直方向地震荷重はベント管及びドライウエルを介して原子炉建物に伝達される。</p>	<p>ベントヘッダは、内径 mm, 板厚 mm の鋼製円筒構造物を円環形に 16 本接合した構造物である。各接合部近傍にベントヘッダサポートを備える。</p>	 <p style="text-align: center;">A-A 矢視図</p>  <p style="text-align: center;">B 部詳細図</p>  <p style="text-align: center;">C 部詳細図 (単位: mm)</p>	 <p style="text-align: center;">原子炉建物</p> <p style="text-align: center;">サブプレッションチェンバ水位 EL 7049mm</p>

2.2 評価方針

ベントヘッダの応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すベントヘッダの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ベントヘッダの耐震評価フローを図2-1に示す。

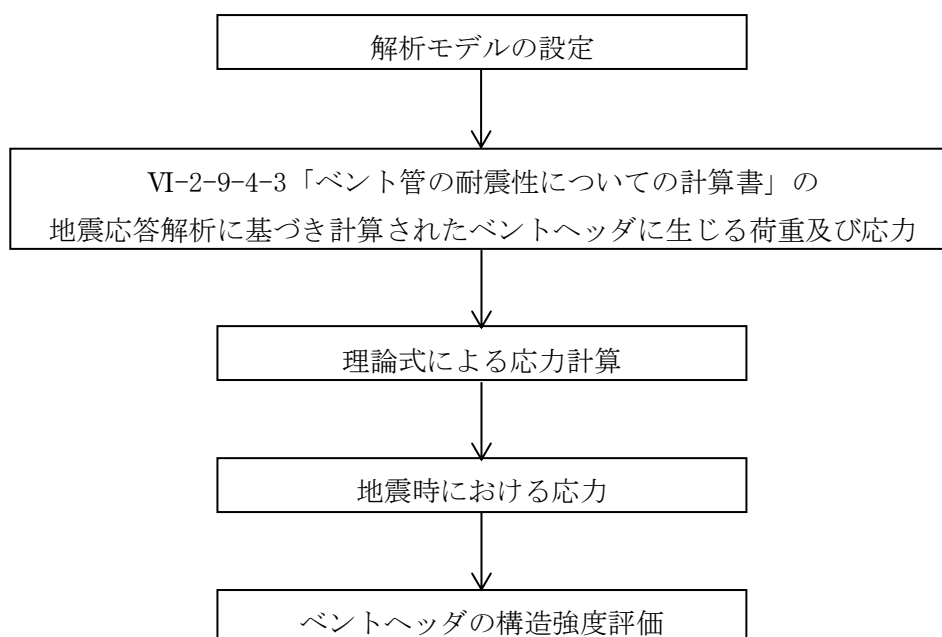


図2-1 ベントヘッダの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
b_1	ベントヘッドサポート上部取り合い部の長さ	mm
b_2	ベントヘッドサポートの幅	mm
b_3	ボルト中心からベントヘッドサポート上端までの長さ	mm
b_4	ボルト中心からサプレッションチェンバ補強リング下端までの長さ	mm
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
d_1	ベントヘッドサポート管部の外径	mm
d_2	ボルトの直径	mm
d_3	ボルト穴の直径	mm
D_i	ベントヘッドの内径	mm
D_o	ベントヘッドの外径	mm
l	ベントヘッドサポートの長さ	mm
L	ベントヘッド円環形の直径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
t_1	ベントヘッドの厚さ	mm
t_2	ベントヘッドサポートの厚さ	mm
t_3	ベントヘッドサポート管部の厚さ	mm
t_4	サプレッションチェンバ補強リングの厚さ	mm
t_5	サプレッションチェンバ補強リングに取り付く補強パッドの厚さ	mm
T_{SAD}	温度 (SA後温度)	°C

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

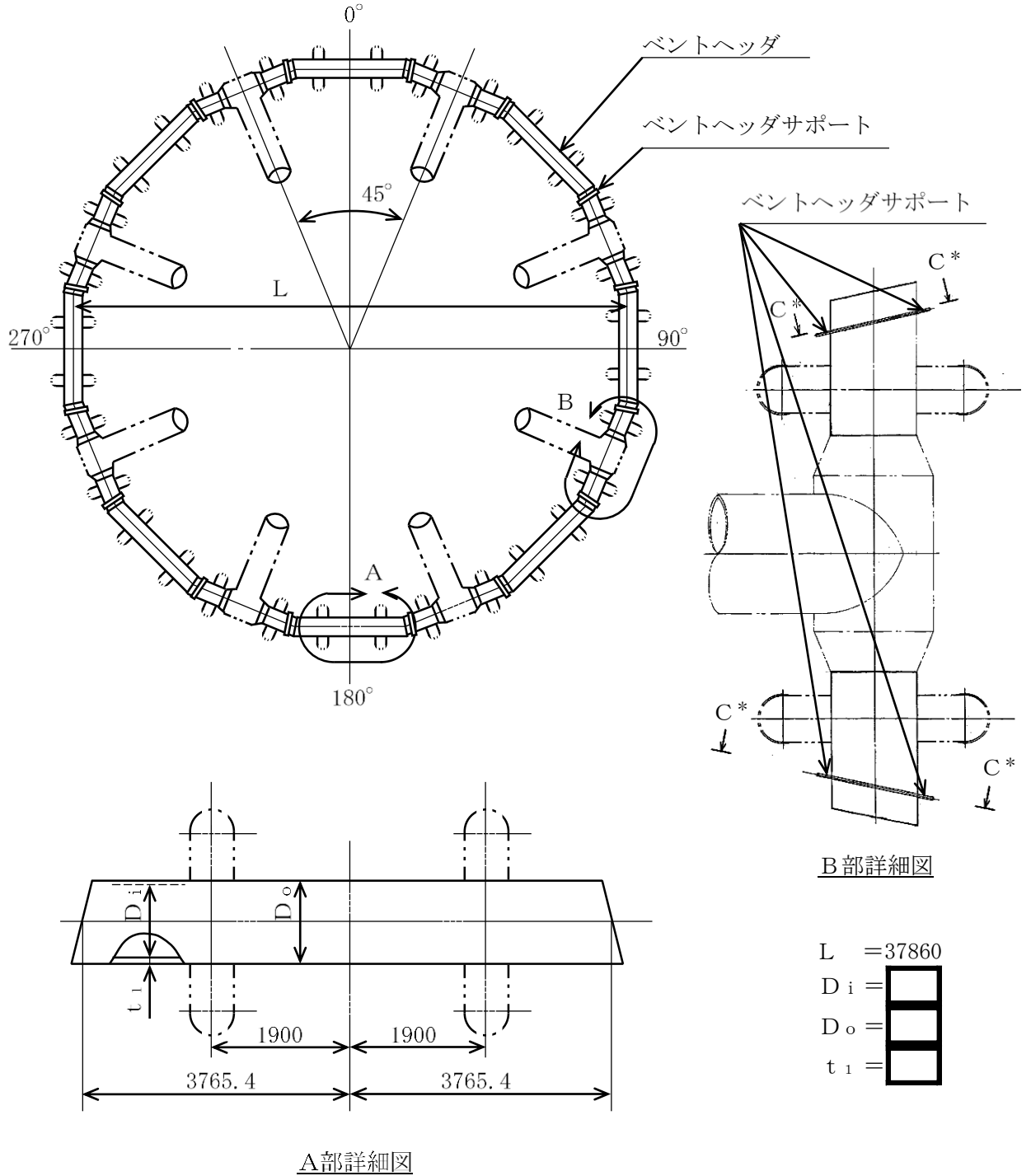
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	°C	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位* ¹
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力* ²	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

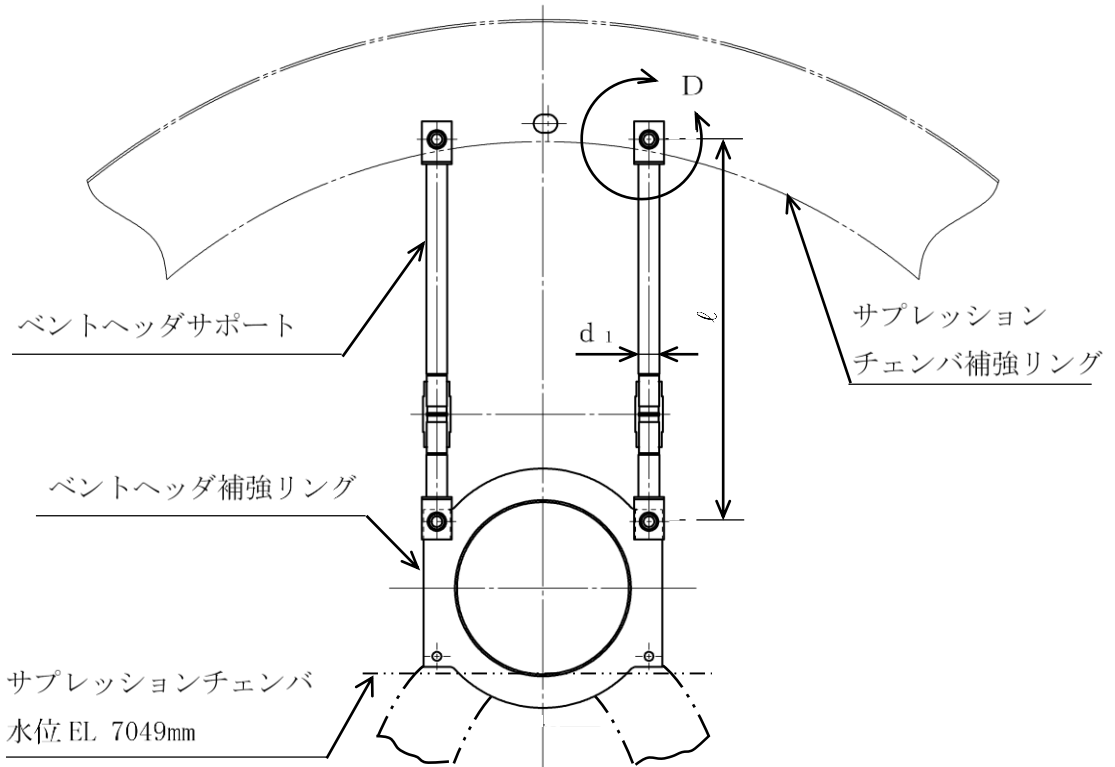
ベントヘッダ及びベントヘッダサポートの形状及び主要寸法を図3-1及び図3-2に、使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



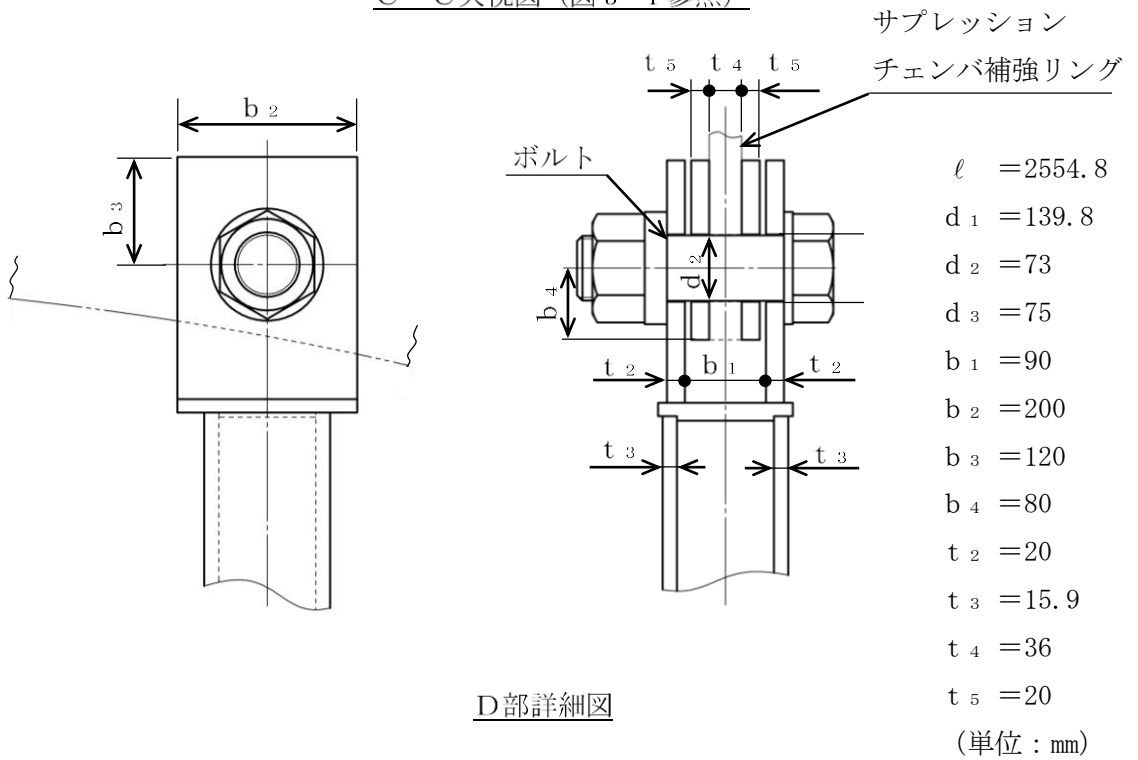
(単位：mm)

注記*：C-C矢視を図3-2に示す。

図3-1 ベントヘッダの形状及び主要寸法



C-C 矢視図 (図 3-1 参照)



D部詳細図

図 3-2 ベントヘッドサポートの形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ベントヘッダ	SGV49	SGV480 相当
ベントヘッダサポート	STS480	
ボルト	SNCM439	
サプレッションチェンバ補強リング	SGV49	SGV480 相当

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ベントヘッダは、サブプレッションチェンバ内に設置され、ベント管を介してドライウェルに支持される構造である。ベントヘッダの水平方向及び鉛直方向地震荷重はドライウェルを介して原子炉建物に伝達される。

ベントヘッダの耐震評価として、VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッダ及びダウンカマの地震応答解析で計算された、ベントヘッダに作用する荷重及び応力を用いて、「4.6 計算方法」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は、ベントヘッダに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、S R S S法を適用する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ベントヘッダの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

ベントヘッダの許容応力はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3及び表4-4に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ベントヘッダの使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分 ^{*1}	荷重の組合せ ^{*2}		許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベントヘッダ	S	クラス2 容器	D + P _D + M _D + S _d [*]	(10)	Ⅲ _A S
						(11) ^{*3}	
						(14)	
						(16)	
						(17)	
					D + P _D + M _D + S _s ^{*4}	(12)	Ⅳ _A S
						(13) ^{*3}	
						(15)	

注記*1：ベントヘッダサポート，ボルト及びサプレッションチェンバ補強リングに対しては，クラス1支持構造物の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：運転状態Ⅰによる燃料交換時の活荷重は，ベントヘッダに作用しないことから，荷重の組合せとして考慮せず評価しない。

*4：ベントヘッダに対しては，表4-2に記載の荷重の組合せD + P_{SAD} + M_{SAD} + S_sに包絡されるため，評価しない。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分*2	荷重の組合せ*3		許容応力状態*4
原子炉格納施設	圧力低減設備その他の安全設備	ベントヘッダ	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ *5	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：ベントヘッダサポート，ボルト及びサプレッションチェンバ補強リングに対しては，重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物）の荷重の組合せ及び許容限界を準用する。

*3：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*4：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*5：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 許容応力（クラス2容器及び重大事故等クラス2容器）

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	0.6・S _u	左欄の 1.5倍の値	*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の 変動値が2・S _y 以下であれば疲労解析は不要。	
Ⅳ _A S		左欄の 1.5倍の値		
V _A S*3				

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-4 許容応力 (ベントヘッドサポート, ボルト及びサプレッションチェンバ補強リング)

許容応力状態	許容限界*1, *2, *3 (ボルト等以外)					許容限界*2 (ボルト等)
	一次応力					一次応力
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S*4						

注記*1: 鋼構造設計規準 (日本建築学会2005改定) 等の幅厚比の制限を満足させる。

*2: 応力の組合せが考えられる場合には, 組合せ応力に対しても評価を行う。

*3: 当該の応力が生じない場合, 規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*4: V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
ベントヘッド	SGV49*	周囲環境温度	171	—	229	423	—
ベントヘッドサポート	STS480	周囲環境温度	104	—	250	448	—
ボルト	SNCM439	周囲環境温度	104	—	824	902	—
サプレッションチェンバ 補強リング	SGV49*	周囲環境温度	104	—	237	430	—

注記* : SGV480 相当

表4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ベントヘッド	SGV49*	周囲環境温度	200	—	226	422	—
ベントヘッドサポート	STS480	周囲環境温度	200	—	237	423	—
ボルト	SNCM439	周囲環境温度	200	—	754	865	—
サプレッションチェンバ 補強リング	SGV49*	周囲環境温度	200	—	226	422	—

注記* : SGV480 相当

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，圧力，最高使用温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

また，設計基準対象施設としてのベントヘッダサポート反力を表 4-7 に示す。

a. 圧力及び最高使用温度

設計基準対象施設の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧	427 kPa
温度（最高使用温度）	
ベント系	171 °C
サプレッションチェンバ	104 °C

b. 死荷重

ベント管，ベントヘッダ，ダウンカマ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重 N

c. サプレッションチェンバ水位

設計基準対象施設の評価におけるサプレッションチェンバ水位は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における H. W. L. (EL 5660mm) に対して保守的な条件として以下のとおりとする。

水位	EL 7049mm
----	-----------

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度及び死荷重は，以下のとおりとする。

また，重大事故等対処設備としてのベントヘッダサポート反力を表 4-8 に示す。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より，以下のとおりとする。

内圧 P_{SAD}	660 kPa
温度 T_{SAD}	200 °C

b. 死荷重

ベント管，ベントヘッダ，ダウンカマ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重 N

c. サプレッションチェンバ水位

重大事故等対処設備の評価におけるサプレッションチェンバ水位は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

水位

EL 7049mm

表 4-7 ベントヘッドサポート反力*¹ (設計基準対象施設)

応力 * ² 評価点	荷重名称	軸力 (N)	曲げモーメント (N・mm)
P 3	死荷重		
	S d* 地震荷重		
P 4	死荷重		
	S d* 地震荷重		
P 5	死荷重		
	S d* 地震荷重		

注記*1：各ベントヘッドサポートに生じる反力のうち、組合せ応力が最大となるベントヘッドサポートの反力を示す。

*2：「4.6.1 応力評価点」に示す表 4-11 及び図 4-1 参照

*3：ベントヘッドサポート軸力により、ベントヘッドサポートとサプレッションチェンバ補強リングとの間に生じる曲げモーメント

表 4-8 ベントヘッドサポート反力*¹ (重大事故等対処設備)

応力 * ² 評価点	荷重名称	軸力 (N)	曲げモーメント (N・mm)
P 3	死荷重		
	S s 地震荷重		
P 4	死荷重		
	S s 地震荷重		
P 5	死荷重		
	S s 地震荷重		

注記*1：各ベントヘッドサポートに生じる反力のうち、組合せ応力が最大となるベントヘッドサポートの反力を示す。

*2：「4.6.1 応力評価点」に示す表 4-11 及び図 4-1 参照

*3：ベントヘッドサポート軸力により、ベントヘッドサポートとサプレッションチェンバ補強リングとの間に生じる曲げモーメント

4.3 解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価及び重大事故等対処設備としての評価は、VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すベント管、ベントヘッド及びダウンカマの解析モデルにより応力解析を行う。

4.4 固有周期

固有周期は、VI-2-9-4-3「ベント管の耐震性についての計算書」に示すとおりである。

4.5 設計用地震力

ベントヘッダの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-9 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-10 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-9(1) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部対称条件)

据付場所及び設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
8次			—	—		—	—
12次			—	—		—	—
14次			—	—		—	—
20次			—	—		—	—
23次			—	—		—	—
26次			—	—		—	—
27次			—	—		—	—
29次			—	—		—	—
35次			—	—		—	—
36次			—	—		—	—
37次			—	—		—	—
43次			—	—		—	—
47次			—	—		—	—
52次			—	—		—	—
動的震度*7, *8		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
静的震度*9		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*8 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*9 : $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 4-9(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部反対称条件)

据付場所及び設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
6次		—		—	—		
12次		—		—	—		
13次		—		—	—		
19次		—		—	—		
20次		—		—	—		
22次		—		—	—		
24次		—		—	—		
25次		—		—	—		
33次		—		—	—		
35次		—		—	—		
38次		—		—	—		
44次		—		—	—		
47次		—		—	—		
51次	—	—	—				
動的震度*7, *8		—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
静的震度*9		—	<input type="text"/>	—	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*8 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*9 : $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

表 4-10(1) 設計用地震力 (重大事故等対処設備) (ベントヘッド端部対称条件)

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2		鉛直 : 0.05 以下			
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3		鉛直 : -			
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直 震度	応答水平震度*6		応答鉛直 震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—	—
8次			—	—		—	—
12次			—	—		—	—
14次			—	—		—	—
20次			—	—		—	—
23次			—	—		—	—
26次			—	—		—	—
27次			—	—		—	—
29次			—	—		—	—
35次			—	—		—	—
36次			—	—		—	—
37次			—	—		—	—
43次			—	—		—	—
47次			—	—		—	—
52次			—	—		—	—
動的震度*7, *8		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6
「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対
しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクト
ルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルによ
り得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地
震動 S s) を上回る設計震度

*8 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 4-10(2) 設計用地震力 (重大事故等対処設備) (ベントヘッド端部反対称条件)

据付場所及び設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
6次		—		—	—		
12次		—		—	—		
13次		—		—	—		
19次		—		—	—		
20次		—		—	—		
22次		—		—	—		
24次		—		—	—		
25次		—		—	—		
33次		—		—	—		
35次		—		—	—		
38次		—		—	—		
44次		—		—	—		
47次		—		—	—		
51次		—		—	—		
動的震度*7, *8		—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*8 : 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ベントヘッドの応力評価点は、ベントヘッドを構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-11 及び図 4-1 に示す。

表 4-11 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ベントヘッド
P 2	ベントヘッド補強リング取付部
P 3	ベントヘッドサポート
P 4	ボルト
P 5	サプレッションチェンバ補強リング

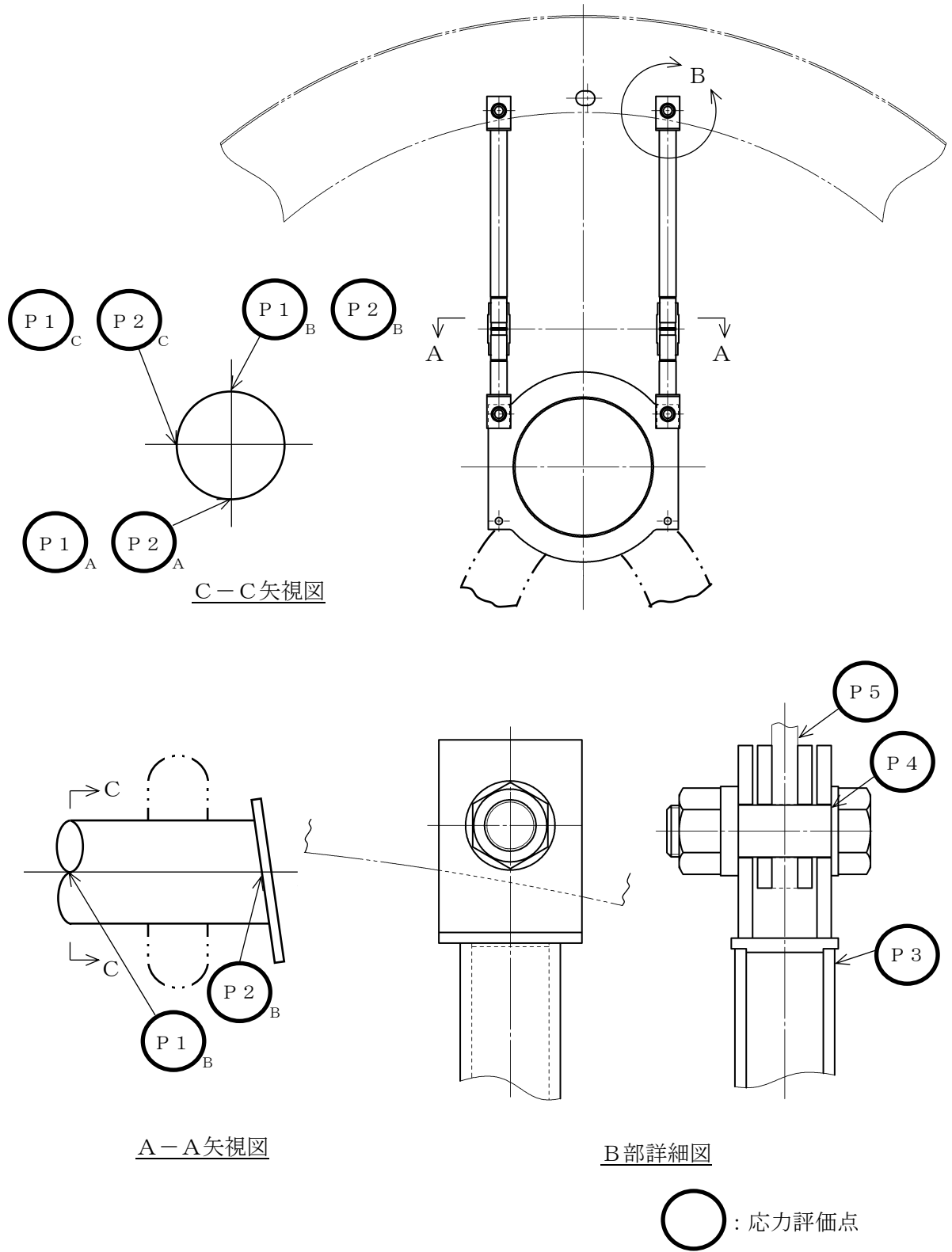


図 4-1 ベントヘッダの応力評価点

4.6.2 応力計算方法

ベントヘッダの応力計算方法について、以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

a. 応力評価点 P 1, P 2

応力評価点 P 1, P 2 の応力は、VI-2-9-4-3 「ベント管の耐震性についての計算書」に示す解析モデルにより算出する。

b. 応力評価点 P 3～P 5

応力評価点 P 3～P 5 の応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。各荷重による応力はベントヘッダサポート、ボルト、サプレッションチェンバ補強リングの断面性能により評価する。ただし、応力計算に用いる寸法は、図 3-1 及び図 3-2 に示す寸法とする。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

4.7 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-3 及び表 4-4 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。また、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。また、組合せ応力は許容引張応力以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ベントヘッドの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

表 5-1 許容応力状態ⅢA S に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベントヘッド	P 1 - A	ベントヘッド	一次一般膜応力	51	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	51	344	○	(10)	
			一次+二次応力	166	458	○	(10)	
	P 1 - B	ベントヘッド	一次一般膜応力	152	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	152	344	○	(10)	
			一次+二次応力	354	458	○	(10)	
	P 1 - C	ベントヘッド	一次一般膜応力	154	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	154	344	○	(10)	
			一次+二次応力	362	458	○	(10)	
	P 2 - A	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	135	344	○	(10)	
			一次+二次応力	272	458	○	(10)	
	P 2 - B	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	105	344	○	(10)	
			一次+二次応力	248	458	○	(10)	
	P 2 - C	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	126	344	○	(10)	
			一次+二次応力	274	458	○	(10)	

表 5-1 許容応力状態ⅢAS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	ⅢAS		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベントヘッド	P 3	ベントヘッドサポート	引張応力	100	250	○	(10)	
			圧縮応力	87	201	○	(10)	
			曲げ応力	133	250	○	(10)	
			組合せ応力	192	250	○	(10)	
	P 4	ボルト	曲げ応力	444	861	○	(10)	
			せん断応力	74	364	○	(10)	
			支圧応力	212	323	○	(10)	
			組合せ応力	463	631	○	(10)	
	P 5	サプレッションチェンバ補強リング	引張応力	66	237	○	(10)	
			圧縮応力	56	237	○	(10)	
			曲げ応力	192	273	○	(10)	
			せん断応力	97	137	○	(10)	
			組合せ応力	227	237	○	(10)	

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ベントヘッダの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-3 の荷重の組合せの No. を記載する。

表 5-2 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベントヘッド	P 1 - A	ベントヘッド	一次一般膜応力	72	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	72	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	188	452	○	V (L L) -1	
	P 1 - B	ベントヘッド	一次一般膜応力	179	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	179	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	394	452	○	V (L L) -1	
	P 1 - C	ベントヘッド	一次一般膜応力	180	253	○	V (L L) -1	
			一次膜応力+一次曲げ応力	180	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	400	452	○	V (L L) -1	
	P 2 - A	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	160	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	292	452	○	V (L L) -1	
	P 2 - B	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	122	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	268	452	○	V (L L) -1	
	P 2 - C	ベントヘッド補強リング取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	151	379	○	V (L L) -1	
			一次+二次応力	294	452	○	V (L L) -1	

表 5-2 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベントヘッド	P 3	ベントヘッドサポート	引張応力	108	284	○	V (L L) -1	
			圧縮応力	95	219	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	144	284	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	215	284	○	V (L L) -1	
	P 4	ボルト	曲げ応力	477	825	○	V (L L) -1	
			せん断応力	80	349	○	V (L L) -1	
			支圧応力	227	369	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	497	605	○	V (L L) -1	
	P 5	サプレッションチェンバ補強リング	引張応力	71	271	○	V (L L) -1	
			圧縮応力	61	271	○	V (L L) -1	
			曲げ応力	207	312	○	V (L L) -1	
			せん断応力	104	156	○	V (L L) -1	
			組合せ応力	250	271	○	V (L L) -1	

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-16 「ベントヘッドの強度計算書」

VI-2-9-4-3 ベント管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	7
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	13
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.3.1 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元	14
4.3.2 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	25
4.6 計算方法	32
4.6.1 応力評価点	32
4.6.2 応力計算方法	34
4.7 計算条件	34
4.8 応力の評価	34
5. 評価結果	35
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	35
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	41
6. 参照図書	47

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ベント管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ベント管は設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、本計算書においては、新規制対応工認対象となる設計用地震力及び重大事故等時に対する評価について記載するものとし、前述の荷重を除く荷重によるベント管の評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ベント管の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ベント管は、ドライウェルに支持され、ベントヘッド及びダウンカマを支持する。</p> <p>ベント管の水平方向及び鉛直方向地震荷重はドライウェルを介して原子炉建物に伝達される。</p> <p>ベント管は、サブプレッションチェンバとベント管ベローズを介して接続されているが、ベント管ベローズにより振動が伝達しない構造であり、地震による振動は、ドライウェルからベント管に入力される。</p>	<p>ベント管は、内径 <input type="text"/> mm, 板厚 <input type="text"/> mm 及び <input type="text"/> mm の鋼製円筒構造物である。</p>	<p>ドライウェル</p> <p>原子炉建物</p> <p>ベント管</p> <p>ダウンカマ</p> <p>サブプレッションチェンバ 水位 EL 7049mm</p> <p>A部詳細図</p> <p>ベント管ベローズ</p> <p>サブプレッションチェンバ 水位 EL 7049mm</p> <p>サブプレッションチェンバ</p> <p>B-B矢視図</p> <p>ベントヘッド</p>

(単位：mm)

2.2 評価方針

ベント管の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すベント管の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ベント管の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

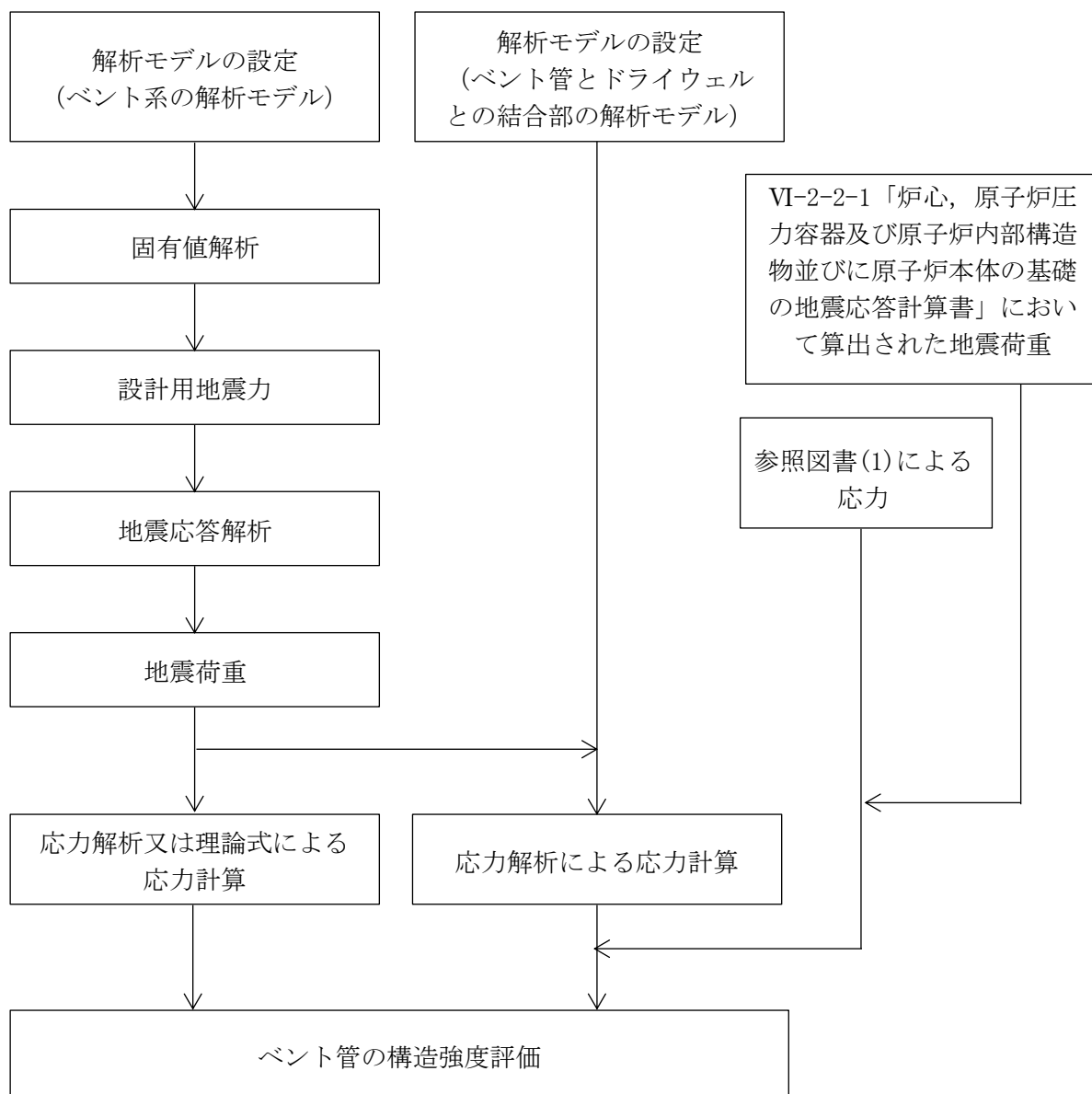


図 2-1 ベント管の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_1	ベント管円筒胴ドライウエル結合部近傍の外径	mm
D_i	ベント管の内径	mm
D_o	ベント管円筒胴の外径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K_e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
l	ベント管の長さ	mm
m_o	機器質量	kg
m_1	水質量	kg
N_a	地震時の許容繰返し回数	—
N_c	地震時の実際の繰返し回数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表3に定める値	MPa
S_ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S_ℓ'	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S_n	地震動による応力振幅	MPa
S_p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
t_1	ベント管円筒胴の厚さ	mm
t_2	ベント管円筒胴ドライウエル結合部近傍の厚さ	mm
t_3	ドライウエルの厚さ	mm
T	温度	°C
T_{SAL}	温度 (SA後長期温度)	°C
T_{SALL}	温度 (SA後長々期温度)	°C
ν	ポアソン比	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
刺激係数	—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	kPa	—	—	整数位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
力	N	有効数字 5 桁	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における許容引張応力、設計降伏点及び設計引張強さは、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ベント管の形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び評価部位を表 3-1 に示す。

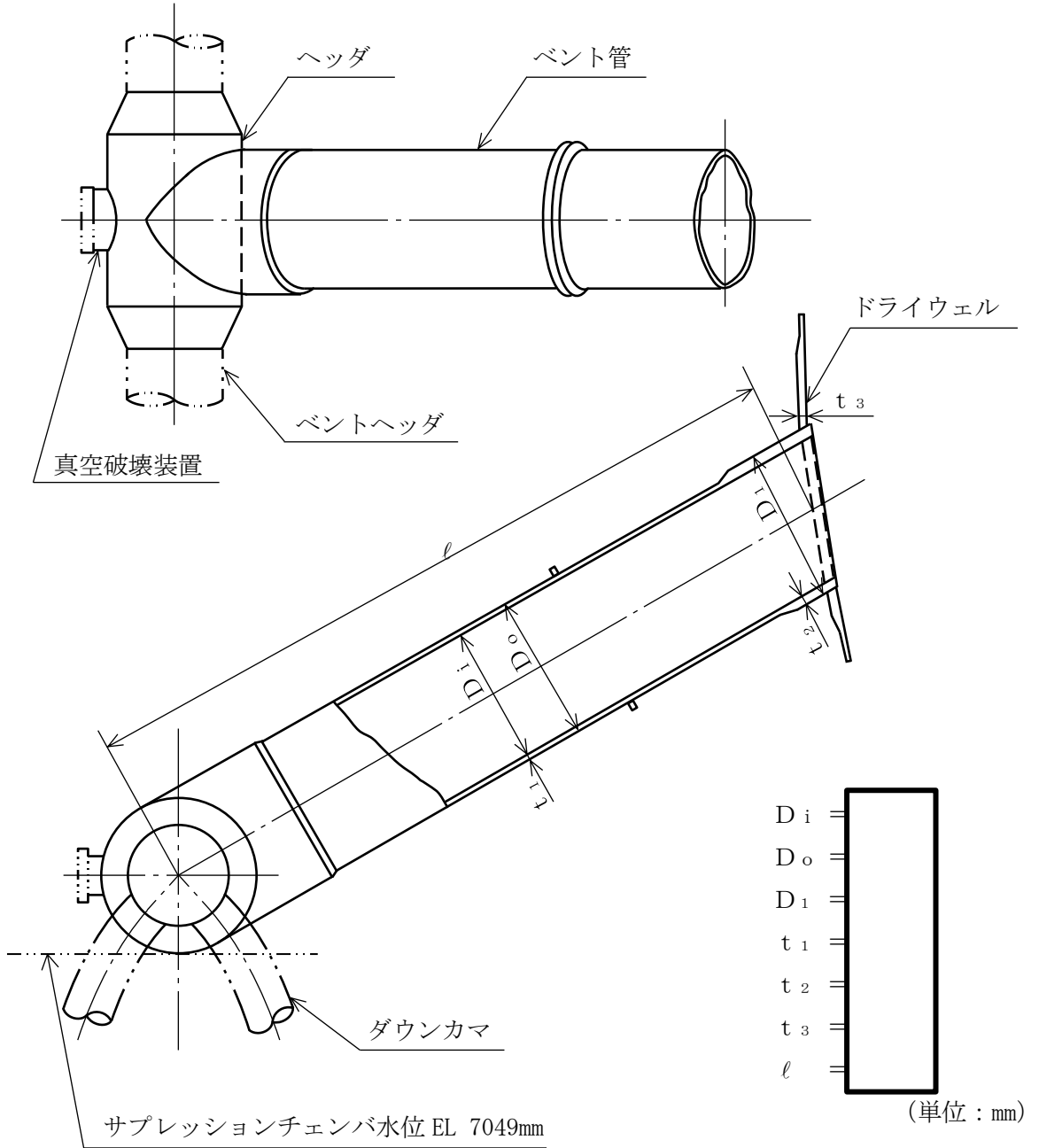


図 3-1 ベント管の形状及び主要寸法

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ベント管	SGV49	SGV480 相当
ヘッダ	SGV49	SGV480 相当
ドライウェル	SPV50	SPV490 相当

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ベント管は、ドライウェルに支持された構造であり、ベント管の水平方向及び鉛直方向地震荷重はドライウェルを介して原子炉建物に伝達される。

ベント管は、サプレッションチェンバとベント管ベローズを介して接続されているが、ベント管ベローズにより振動が伝達しない構造であり、地震による振動は、ドライウェルからベント管に入力される。

ベント管の耐震評価として、ベント管に作用する荷重による応力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」から求められる、固有周期に応じた応答加速度に基づき、スペクトルモーダル解析を用いて算出する。

ベント管とドライウェルの結合部の評価では、ベント管に作用する荷重による応力と、ドライウェルに作用する荷重による応力を組み合わせる。ドライウェルに作用する荷重による応力は、VI-2-2-1「炉心、原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」において計算された荷重を用いて算出し、構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は、ベント管に対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せは、「4.6.2 応力計算方法」に示す。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表2-1に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ベント管の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-2に示す。

詳細な荷重の組合せは、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」に従い、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

ベント管の許容応力はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-3に示すとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ベント管の使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ*1		許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ベント管	S	クラスMC 容器	D + P + M + S _d *	(10)	Ⅲ _A S
						(11)	
						(14)	
					D + P + M + S _s	(12)	Ⅳ _A S
						(13)	
					D + P _L + M _L + S _d **2	(15)	Ⅳ _A S
						(17)*3	

注記*1：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-2の荷重の組合せのNo.を示す。

*2：原子炉格納容器は冷却材喪失事故後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、冷却材喪失事故後の最大内圧との組合せを考慮する。

*3：ベント管に対しては、表4-2に記載の荷重の組合せD + P_{SAL} + M_{SAL} + S_dに包絡されるため、評価しない。

表 4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ*2		許容応力状態*3
原子炉格納施設	圧力低減設備	ベント管	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2容器	$D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d^{*4}$	(V (L) -1)	V _A S
	その他の安全設備				$D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$	(V (LL) -1)	V _A S

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：（ ）内はVI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表5-3の荷重の組合せのNo.を示す。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

*4：重大事故等後の最高内圧と最高温度との組合せを考慮する。

表4-3 クラスMC容器の許容応力

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
Ⅲ _A S	S _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*2	3・S*3 S _d 又はS _s 地震動のみによる応力振幅について評価する。	*4, *5 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、運転状態Ⅰ、Ⅱにおける疲労累積係数との和が1.0以下であること。
Ⅳ _A S	構造上の連続な部分は0.6・S _u 、不連続な部分はS _y と0.6・S _u の小さい方。ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、構造上の連続な部分は2・Sと0.6・S _u の小さい方、不連続な部分は1.2・Sとする。	左欄の α倍の値*2		
V _A S*6				

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：設計・建設規格 PVB-3111に基づき、純曲げによる全断面降伏荷重と初期降伏荷重の比又は1.5のいずれか小さい方の値(α)を用いる。

*3：3・Sを超えるときは弾塑性解析を行うこと。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313を除く。また、S_mはSと読み替える。)の簡易弾塑性解析を用いることができる。

*4：設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすときは疲労解析不要

ただし、PVB-3140(6)の「応力の全振幅」は「S_d又はS_s地震動による応力の全振幅」と読み替える。

*5：運転状態Ⅰ、Ⅱにおいて、疲労解析を要しない場合は、地震動のみによる疲労累積係数が1.0以下であること。

*6：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ベント管及びヘッド	SGV49*1	周囲環境温度	171	131	229	423	—
ドライウエル	SPV50*2	周囲環境温度	171	167	429	550	—

注記*1：SGV480 相当

*2：SPV490 相当

表4-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
ベント管及びヘッド	SGV49*1	周囲環境温度	200*2	131	226	422	—
		周囲環境温度	70*3	131	248	453	—
ドライウエル	SPV50*4	周囲環境温度	200*2	167	417	545	—
		周囲環境温度	70*3	167	478	581	—

注記*1：SGV480 相当

*2：S A後長期温度

*3：S A後長々期温度

*4：SPV490 相当

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である、圧力、最高使用温度、死荷重及び水力的動荷重は、以下のとおりとする。

a. 圧力及び最高使用温度

設計基準対象施設の評価における圧力及び温度は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

内圧（冷却材喪失事故後の最大内圧）	327 kPa
外圧	14 kPa
温度（最高使用温度）	171 °C

b. 死荷重

(a) ベント系

ベント管、ベントヘッド、ダウンカマ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重 N

設計基準対象施設の評価におけるサプレッションチェンバ水位は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における H. W. L. (EL 5660mm) に対して保守的な条件として以下のとおりとする。

水位 EL 7049mm

(b) ドライウエルの自重

ベント管開口部より上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である、評価圧力、評価温度、死荷重及び水力的動荷重は、以下のとおりとする。

a. 評価圧力及び評価温度

重大事故等対処設備の評価における圧力及び温度は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

内圧 P_{SAL}	660 kPa (SA後長期)
内圧 P_{SALL}	380 kPa (SA後長々期)
温度 T_{SAL}	200 °C (SA後長期)
温度 T_{SALL}	70 °C (SA後長々期)

b. 死荷重

(a) ベント系

ベント管、ベントヘッド、ダウンカマ及び真空破壊装置の自重を死荷重とする。

死荷重 N

重大事故等対処設備の評価におけるサプレッションチェンバ水位は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」より、以下のとおりとする。

水位

EL 7049mm

(b) ドライウエルの自重

ベント管開口部より上部のドライウエルの自重及び付加物の重量を死荷重とする。

4.3 解析モデル及び諸元

4.3.1 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、ベント管、ベントヘッド、ダウンカム及び真空破壊装置の質量並びにサブプレッションチェンバ内部水の影響を考慮して固有値解析及び地震応答解析（スペクトルモーダル解析）を実施する。

(1) ベント系の解析モデル

- a. ベント系の解析モデルは、以下の図書に対して共通の解析モデルを適用する。なお、各部材における構造の詳細は、各図書において示す。
 - ・VI-2-9-4-1「真空破壊装置の耐震性についての計算書」
 - ・VI-2-9-4-2-1「ダウンカマの耐震性についての計算書」
 - ・VI-2-9-4-2-2「ベントヘッドの耐震性についての計算書」
- b. ベント管、ベントヘッド及びダウンカマは、各機器の挙動が相互に影響しあうことを考慮し、構造及び荷重の対称性を踏まえ、ベント系全体の1/2モデルとする。
- c. ベント系の解析モデルは、3次元シェル要素及び3次元はり要素によりモデル化した有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図4-1に、解析モデルの諸元について表4-6(1)に示す。
- d. ベント系の死荷重は、シェル要素及びはり要素に等分布質量を設定する。
- e. 拘束条件は以下のとおりとする。



- f. サプレッションチェンバ内部水の影響を考慮するため、ダウンカマの内包する水の質量及び水中振動に伴い各部に作用する付加質量を没水部範囲に付加する。水中振動に伴い各部に作用する付加質量は、没水する各部の形状を考慮して算出する。なお、ベント系に蒸気が流入した際、ダウンカマ水位は低下するものの、水位低下を考慮せず、保守的にサプレッションチェンバの水位をダウンカマ内水位として設定する。
- g. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、荷重及び応力を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) ベント管とドライウェルとの結合部の解析モデル

- a. ベント管とドライウェルとの結合部は、3次元シェル要素による有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図4-2に、解析モデルの諸元について表4-7に示す。
- b. ベント系の死荷重及び地震荷重に対する応力の算出のため、ベント管先端に単位荷重を負荷し、単位荷重に対する応力を求め、4.6.2に示す方法により応力を算出する。
- c. 拘束条件は以下のとおりとする。



- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用し、応力を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.3.2 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。

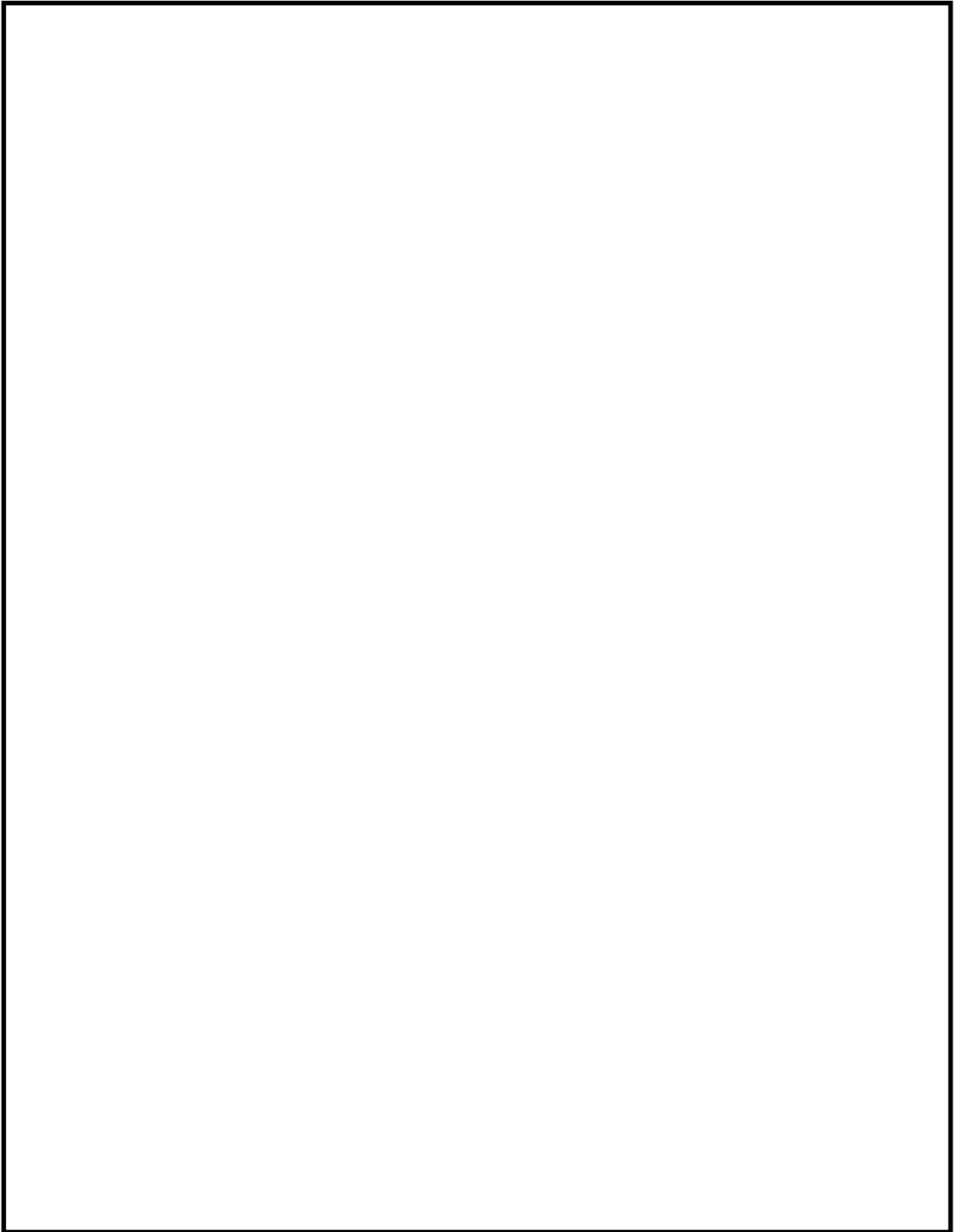


図 4-1 ベント系の解析モデル

表 4-6(1) ベント系の解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SGV49* ¹ (SGV480相当) STS42* ² (STS410相当) STS480* ³
機器質量	m ₀	kg	<input type="text"/>
水質量 (内部水)	m ₁	kg	<input type="text"/>
温度条件	T	°C	57
縦弾性係数	E	MPa	201000 (SGV49, STS42) 199000 (STS480)
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

注記*1：ベント管，ベントヘッド，ダウンカマの部材

*2：ダウンカマサポートの部材

*3：ベントヘッドサポートの部材

表 4-6(2) ベント系の解析モデルのベント管とドライウェルとの結合部に設定するばね定数

	ベント管軸方向 並進ばね定数 (N/mm)	ベント管軸直方向 回り回転ばね定数 (水平) (N・mm/rad)	ベント管軸直方向 回り回転ばね定数 (鉛直) (N・mm/rad)
設計基準対象施設	4.188×10 ⁵	2.424×10 ¹¹	2.224×10 ¹¹
重大事故等対処設備			

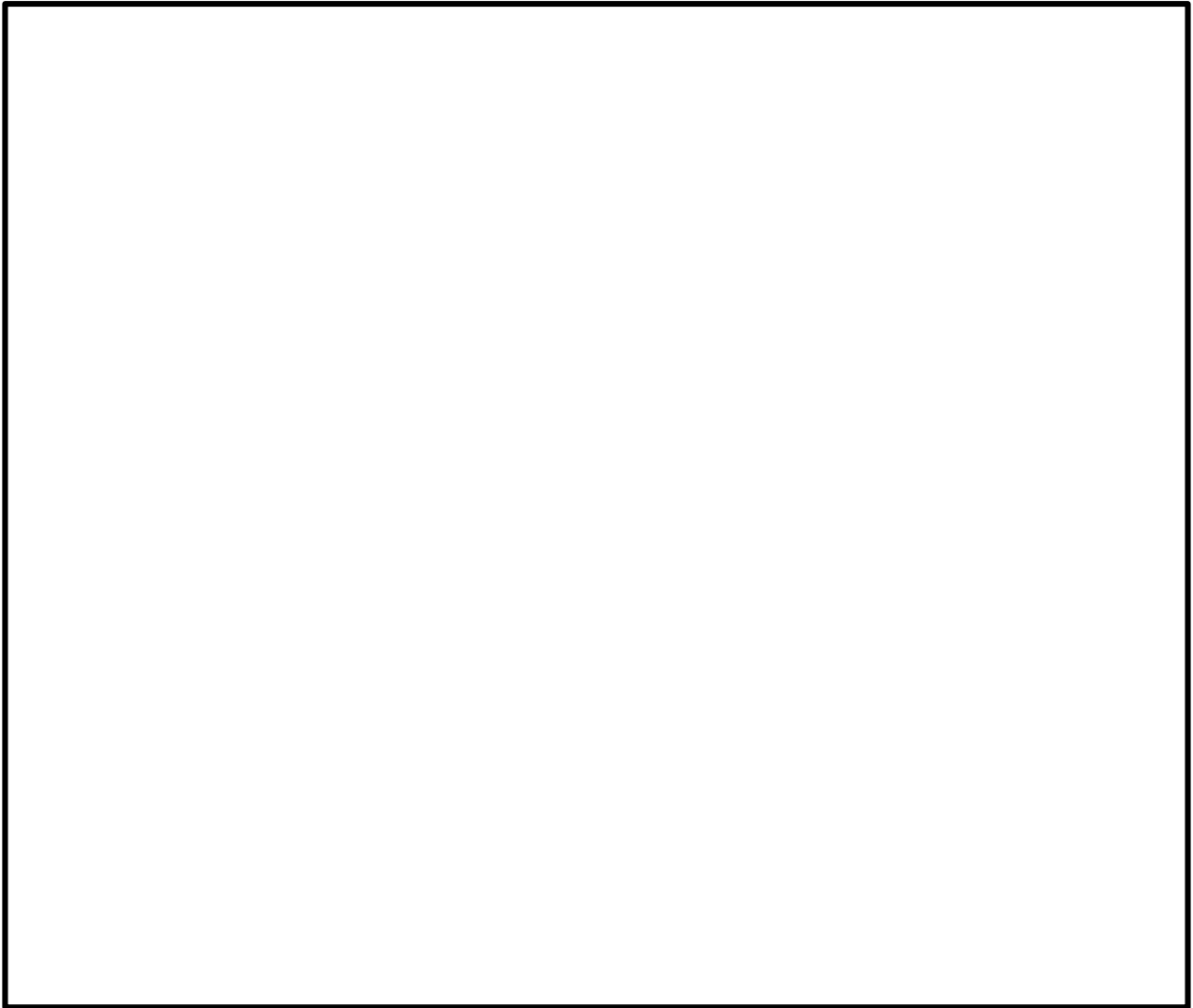


図 4-2 ベント管とドライウェルとの結合部の解析モデル

表 4-7 ベント管とドライウェルとの結合部の解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
材質	—	—	SPV50 ^{*1} (SPV490相当) SGV49 ^{*2} (SGV480相当)
機器質量	m _o	kg	— ^{*3}
温度条件	T	℃	57
縦弾性係数	E	MPa	201000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

注記*1：ベント管及びドライウェルの部材

*2：ベント管及びドライウェルの部材

*3：単位荷重による解析のため、質量は定義不要

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設の固有周期は、サプレッションチェンバ内部水の影響を考慮し、図 4-1 に示す解析モデルにより算出する。固有周期を表 4-8 に、振動モード図を代表して図 4-3 に示す。水平方向（X 方向及び Y 方向）に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向（Z 方向）に対し、固有周期は 0.05 秒以下（ 秒）であり、剛構造であることを確認した。

表 4-8(1) 固有周期（設計基準対象施設）（ベントヘッド端部対称条件）

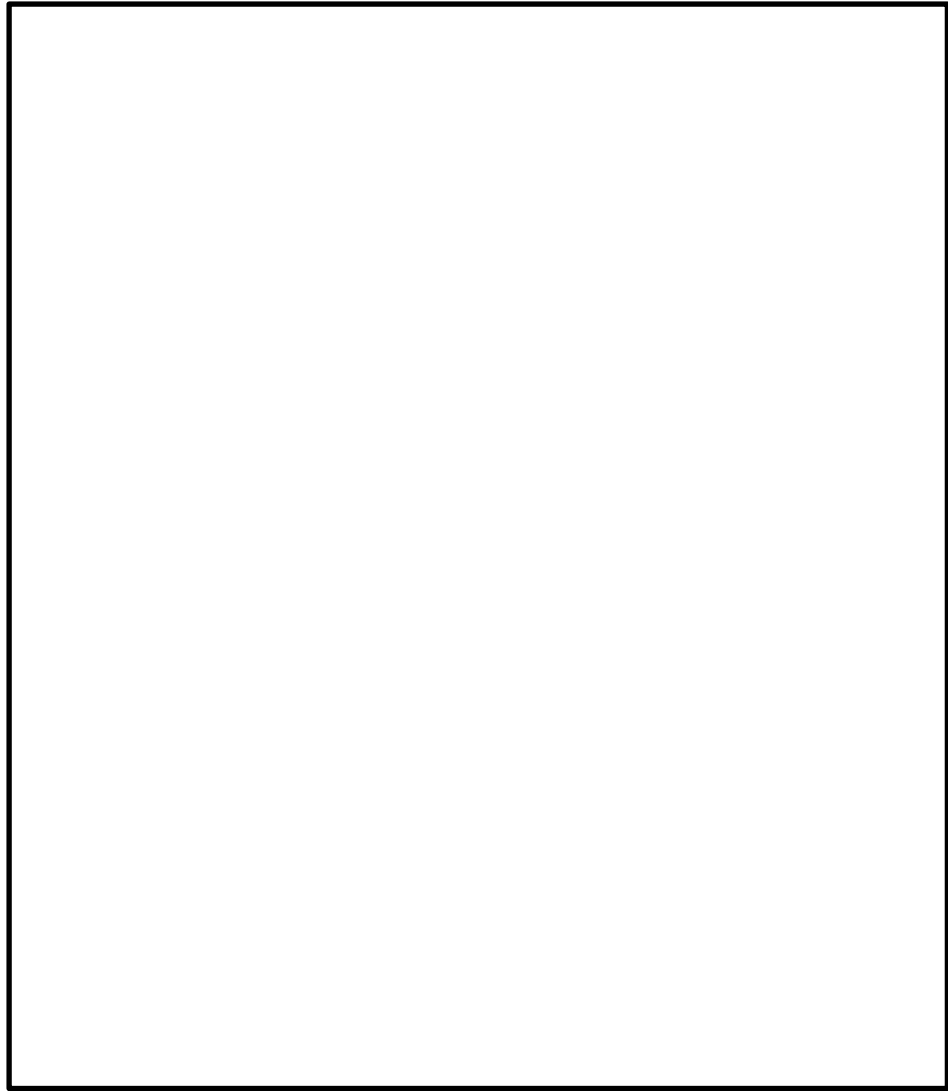
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
8次				
12次				
14次				
20次				
23次				
26次				
27次				
29次				
35次				
36次				
37次				
43次				
47次				
52次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-8(2) 固有周期 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部反対称条件)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
2次				
6次				
12次				
13次				
19次				
20次				
22次				
24次				
25次				
33次				
35次				
38次				
44次				
47次				
51次				

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



(a) ベントヘッド端部対称条件



(b) ベントヘッド端部反対称条件

図 4-3 振動モード図 (設計基準対象施設)

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における固有周期を表 4-9 に、振動モード図を代表して図 4-4 に示す。水平方向 (X 方向及び Y 方向) に対し、固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向 (Z 方向) に対し、固有周期は 0.05 秒以下 (秒) であり、剛構造であることを確認した。

表 4-9(1) 固有周期 (重大事故等対処設備) (ベントヘッド端部対称条件)

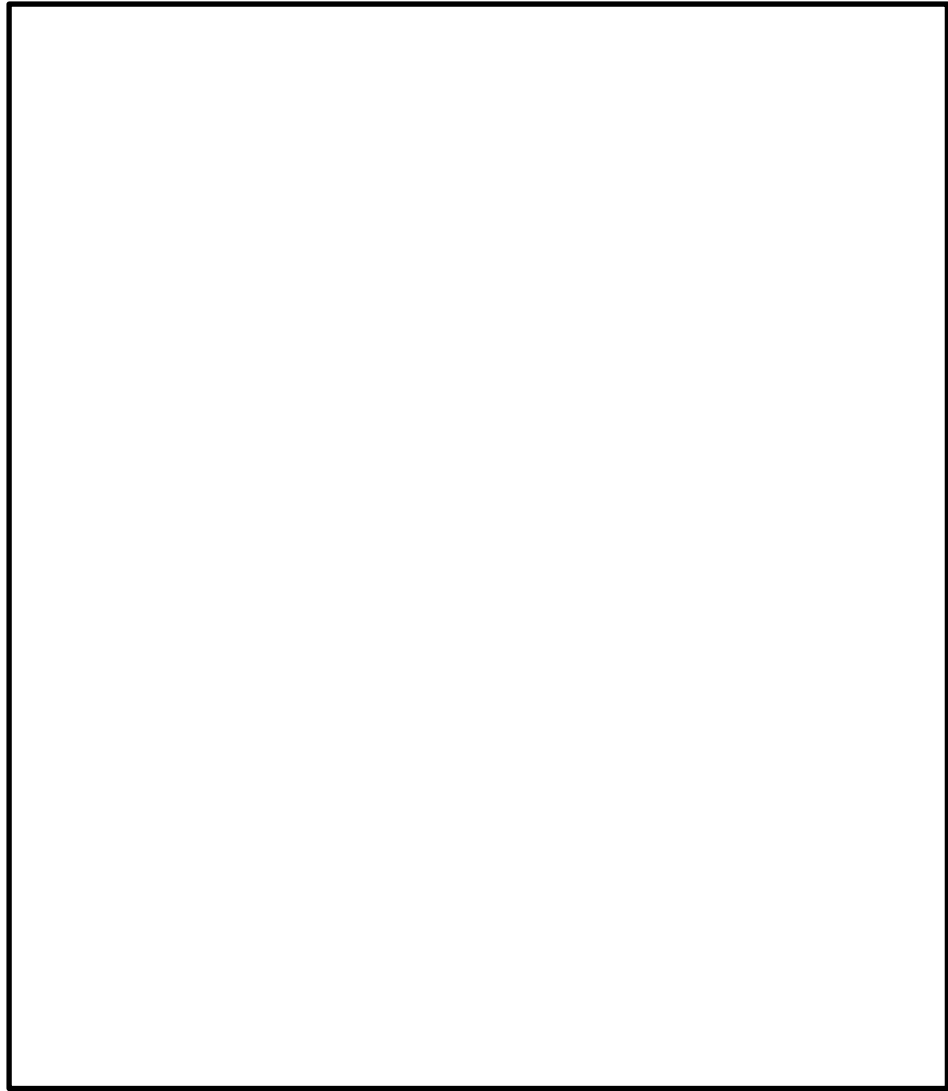
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
8次				
12次				
14次				
20次				
23次				
26次				
27次				
29次				
35次				
36次				
37次				
43次				
47次				
52次				

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

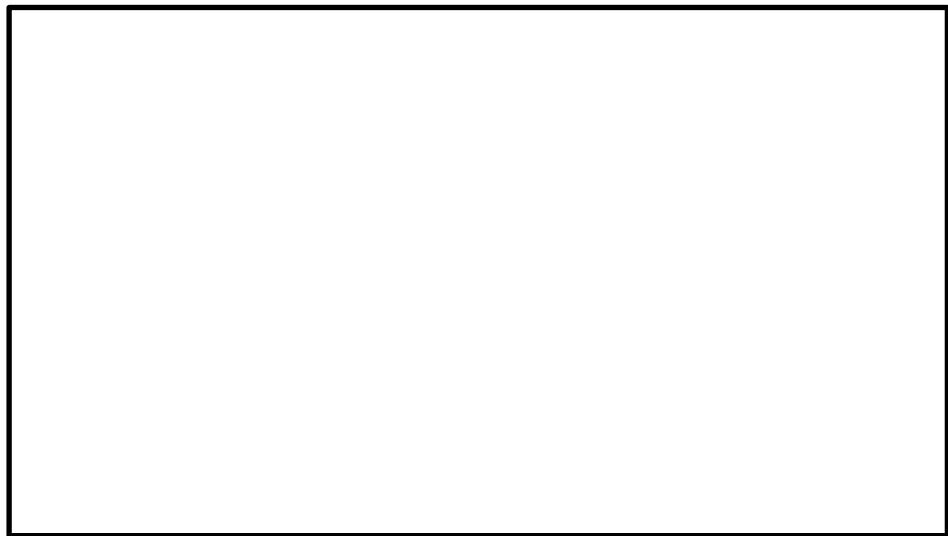
表 4-9(2) 固有周期 (重大事故等対処設備) (ベントヘッダ端部反対称条件)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
2次				
6次				
12次				
13次				
19次				
20次				
22次				
24次				
25次				
33次				
35次				
38次				
44次				
47次				
51次				

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



(a) ベントヘッド端部対称条件



(b) ベントヘッド端部反対称条件

図 4-4 振動モード図 (重大事故等対処設備)

4.5 設計用地震力

ベント管の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10～表 4-12 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-13～表 4-15 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を設定する。また、減衰定数はVI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

また、ドライウエルのベント管との結合部に作用する地震荷重は、VI-2-2-1「炉心，原子炉圧力容器及び原子炉内部構造物並びに原子炉本体の基礎の地震応答計算書」により求めた地震荷重を上回る設計荷重を設定する。また，燃料交換時の鉛直地震荷重については，VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた鉛直震度を用いて算出した鉛直地震荷重を上回る設計荷重を設定する。

(1) 設計基準対象施設としての設計用地震力

a. ベント管

設計基準対象施設としてベント管の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-10 に示す。

b. ドライウエル

設計基準対象施設としてベント管の応力計算に用いる，ドライウエルに加わる鉛直方向荷重を表 4-11 に，水平方向地震荷重を表 4-12 に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての設計用地震力

a. ベント管

重大事故等対処設備としてベント管の応力計算に用いる設計用地震力を表 4-13 に示す。

b. ドライウエル

重大事故等対処設備としてベント管の応力計算に用いる，ドライウエルに加わる鉛直方向荷重を表 4-14 に，水平方向地震荷重を表 4-15 に示す。

表 4-10(1) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部対称条件)

据付場所及び設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次			—	—		—	—
8次			—	—		—	—
12次			—	—		—	—
14次			—	—		—	—
20次			—	—		—	—
23次			—	—		—	—
26次			—	—		—	—
27次			—	—		—	—
29次			—	—		—	—
35次			—	—		—	—
36次			—	—		—	—
37次			—	—		—	—
43次			—	—		—	—
47次			—	—		—	—
52次			—	—		—	—
動的震度*7		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
静的震度*8		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*8 : 3.0・C_i及び1.0・C_vより定めた震度

表 4-10(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (ベントヘッド端部反対称条件)

据付場所及び設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次		—		—	—		—
6次		—		—	—		
12次		—		—	—		
13次		—		—	—		
19次		—		—	—		
20次		—		—	—		
22次		—		—	—		
24次		—		—	—		
25次		—		—	—		
33次		—		—	—		
35次		—		—	—		
38次		—		—	—		
44次		—		—	—		
47次		—		—	—		
51次		—		—	—		
動的震度*7		—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
静的震度*8		—	<input type="text"/>	—	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*8 : $3.0 \cdot C_i$ 及び $1.0 \cdot C_v$ より定めた震度

表 4-11 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重 (設計基準対象施設)

(単位 : N)

通常運転時		燃料交換時			
死荷重	地震荷重		死荷重及び 活荷重	地震荷重	
	S d *	S s		S d *	S s

表 4-12 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重 (設計基準対象施設)

弾性設計用地震動 S d * による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.740×10^7	4.780×10^{11}	6.270×10^7	1.060×10^{12}

表 4-13(1) 設計用地震力 (重大事故等対処設備) (ベントヘッド端部対称条件)

据付場所及び設置高さ (m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期 (s)		水平 : <input type="text"/> *2 鉛直 : 0.05 以下					
減衰定数 (%)		水平 : 1.0*3 鉛直 : -					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期 (s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次			—	—		—	—
8次			—	—		—	—
12次			—	—		—	—
14次			—	—		—	—
20次			—	—		—	—
23次			—	—		—	—
26次			—	—		—	—
27次			—	—		—	—
29次			—	—		—	—
35次			—	—		—	—
36次			—	—		—	—
37次			—	—		—	—
43次			—	—		—	—
47次			—	—		—	—
52次			—	—		—	—
動的震度*7		<input type="text"/>	—	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	<input type="text"/>
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1 : 基準床レベルを示す。

*2 : 1次固有周期について記載

*3 : ベント管, ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4 : 固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。なお, 0.020s 以上 0.050s 未満のモードに対しては, 最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5 : 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6 : 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7 : 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

表 4-13(2) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（ベントヘッド端部反対称条件）

据付場所及び設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL <input type="text"/> *1					
固有周期(s)		水平： <input type="text"/> *2 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0*3 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード*4	固有周期(s)	応答水平震度*5		応答鉛直震度	応答水平震度*6		応答鉛直震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
2次		—		—	—		—
6次		—		—	—		
12次		—		—	—		
13次		—		—	—		
19次		—		—	—		
20次		—		—	—		
22次		—		—	—		
24次		—		—	—		
25次		—		—	—		
33次		—		—	—		
35次		—		—	—		
38次		—		—	—		
44次		—		—	—		
47次		—		—	—		
51次	—	—	—				
動的震度*7		—	<input type="text"/>	—	—	<input type="text"/>	—
静的震度		—	—	—	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1次固有周期について記載

*3：ベント管，ベントヘッド及びダウンカマは溶接構造物に区分されるため，VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の溶接構造物の減衰定数を用いる。

*4：固有周期が0.050s以上のモードを示す。なお，0.020s以上0.050s未満のモードに対しては，最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。

*5：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*6：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*7：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 4-14 ドライウェルに加わる鉛直方向荷重（重大事故等対処設備）

（単位：N）

死荷重	地震荷重	
	S d	S s

表 4-15 ドライウェルに加わる水平方向地震荷重（重大事故等対処設備）

弾性設計用地震動 S d による地震荷重		基準地震動 S s による地震荷重	
せん断力 (N)	モーメント (N・mm)	せん断力 (N)	モーメント (N・mm)
2.740×10^7	4.780×10^{11}	6.270×10^7	1.060×10^{12}

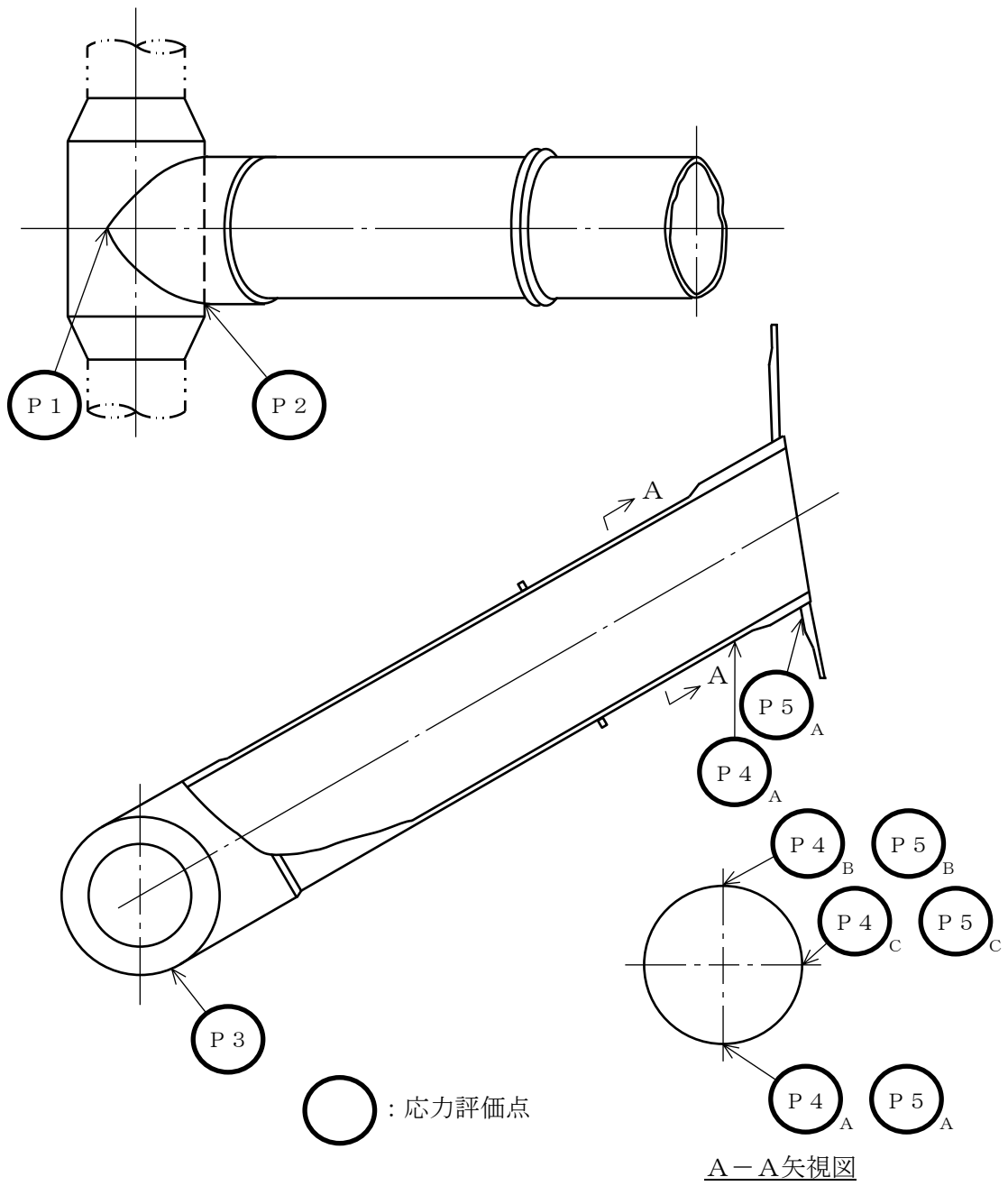
4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ベント管の応力評価点は、ベント管を構成する部材の形状及び荷重伝達経路を考慮し、発生応力が大きくなる部位を選定する。選定した応力評価点を表 4-16 及び図 4-5 に示す。

表 4-16 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	ヘッド接続部
P 2	ヘッド接続部
P 3	ヘッド接続部
P 4	ベント管円筒胴 (P 4-A~P 4-C)
P 5	ベント管とドライウエルとの結合部 (P 5-A~P 5-C)



P 5 は、ドライウェル側を示す。

図 4-5 ベント管の応力評価点

4.6.2 応力計算方法

ベント管の応力計算方法について、以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

a. ヘッダ接続部（応力評価点 P 1～P 3）に生じる応力

各荷重による応力は、4.3 項のベント系の解析モデルにて算出する。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、S R S S 法により組み合わせる。

b. ベント管円筒胴（応力評価点 P 4）に生じる応力

応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。水平 2 方向の設計用地震力による応力は、S R S S 法により組み合わせる。また、水平方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

c. ベント管とドライウエルとの結合部（応力評価点 P 5）に生じる応力

(a) ベント管に作用する荷重による応力

ベント管に作用する死荷重及び地震荷重によりベント管とドライウエルの結合部に作用する応力は、4.3 項のベント管とドライウエルとの結合部の解析モデルに単位荷重を負荷して算出された応力に、荷重比を乗じて算出する。

(b) ドライウエルに作用する荷重による応力

ドライウエルに作用する圧力、死荷重及び地震荷重によりベント管とドライウエルの結合部に作用する応力は、参照図書(1)において算出された応力に荷重比を乗じて算出する。

(c) 応力の組合せ

応力評価点 P 5 の応力は、(a) 項で求めたベント管に作用する荷重による応力と、(b) 項で求めたドライウエルに作用する荷重による応力を組み合わせることで算出する。水平 2 方向の設計用地震力による応力は、S R S S 法により組み合わせる。また、水平方向及び鉛直方向の設計用地震力による応力は、絶対値和により組み合わせる。

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

4.7 計算条件

応力計算に用いる荷重を、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-3 で定める許容応力以下であること。ただし、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313 を除く。また、 S_m はSと読み替える。）に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ベント管の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-2 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

また、真空破壊装置取付位置の応答加速度を表 5-3 に示す。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-4 及び表 5-5 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P 1	ヘッド接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	133	344	○	(10)	
			一次+二次応力	662	393	×*	(10)	
			疲労評価	0.843	1.0	○		単位なし
	P 2	ヘッド接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	58	344	○	(10)	
			一次+二次応力	480	393	×*	(10)	
			疲労評価	0.206	1.0	○		単位なし
	P 3	ヘッド接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	140	344	○	(10)	
			一次+二次応力	678	393	×*	(10)	
			疲労評価	0.931	1.0	○		単位なし
	P 4-A	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	45	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	45	344	○	(10)	
			一次+二次応力	88	393	○	(10)	
	P 4-B	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	49	229	○	(10)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	49	344	○	(10)	
			一次+二次応力	92	393	○	(10)	
P 4-C	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	61	229	○	(10)		
		一次膜応力+一次曲げ応力	61	344	○	(10)		
		一次+二次応力	118	393	○	(10)		

注記* : P 1, P 2 及び P 3 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P + M + S d*) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	Ⅲ _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P 5 - A	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	114	495	○	(11)	
			一次+二次応力	306	501	○	(10), (11)	
	P 5 - B	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	102	495	○	(11)	
			一次+二次応力	274	501	○	(11)	
	P 5 - C	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	114	495	○	(11)	
			一次+二次応力	332	501	○	(11)	

表 5-2 許容応力状態IV_ASに対する評価結果 (D+P+M+S_s) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IV _A S		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P 1	ヘッド接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	164	380	○	(12)	
			一次+二次応力	784	393	×*	(12)	
			疲労評価	0.817	1.0	○		単位なし
	P 2	ヘッド接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	67	380	○	(12)	
			一次+二次応力	564	393	×*	(12)	
			疲労評価	0.215	1.0	○		単位なし
	P 3	ヘッド接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	171	380	○	(12)	
			一次+二次応力	798	393	×*	(12)	
			疲労評価	0.871	1.0	○		単位なし
	P 4-A	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	55	253	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	55	380	○	(12)	
			一次+二次応力	108	393	○	(12)	
	P 4-B	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	59	253	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	59	380	○	(12)	
			一次+二次応力	112	393	○	(12)	
	P 4-C	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	75	253	○	(12)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	75	380	○	(12)	
			一次+二次応力	146	393	○	(12)	

注記* : P 1, P 2 及び P 3 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-2 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D+P+M+Ss) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	IVAS		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P5-A	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	186	495	○	(13)	
			一次+二次応力	472	501	○	(12), (13)	
	P5-B	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	166	495	○	(13)	
			一次+二次応力	430	501	○	(13)	
	P5-C	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	182	495	○	(13)	
			一次+二次応力	492	501	○	(13)	

表 5-3 真空破壊装置取付位置の応答加速度

(×9.8m/s²)

方向	弾性設計用地震動 S d	基準地震動 S s
水平方向	2.30*1,*2	2.40*1,*3
鉛直方向	□*4	□*5

注記*1：水平1方向加振時の最大応答加速度を示す。

*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）に対するベント系の地震応答解析により求めた真空破壊装置取付位置の応答加速度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）に対するベント系の地震応答解析により求めた真空破壊装置取付位置の応答加速度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度

*5：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S s）を上回る設計震度

表 5-4 許容応力状態ⅢA S に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1	662							0.843
P 2	480							0.206
P 3	678							0.931

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 5-5 許容応力状態ⅣA S に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1	784							0.817
P 2	564							0.215
P 3	798							0.871

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.93 \times 10^5 \text{ MPa}$$

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ベント管の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価結果を表 5-6 及び表 5-7 に示す。

表中の「荷重の組合せ」欄には、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」における表 5-4 の荷重の組合せの No. を記載する。

なお、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」の 5.3 項にて、設計・建設規格 PVB-3140(6)を満たすことを確認しているため、一次+二次+ピーク応力強さの評価は不要である。

また、真空破壊装置取付位置の応答加速度を表 5-8 に示す。

(2) 疲労評価結果

疲労評価結果を表 5-9 及び表 5-10 に示す。

表 5-6 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P 1	ヘッダ接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	186	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	662	393	×*	(V (L) -1)	単位なし
			疲労評価	0.433	1.0	○		
	P 2	ヘッダ接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	187	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	480	393	×*	(V (L) -1)	単位なし
			疲労評価	0.106	1.0	○		
	P 3	ヘッダ接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	187	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	678	393	×*	(V (L) -1)	単位なし
			疲労評価	0.479	1.0	○		
	P 4-A	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	74	253	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	74	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	88	393	○	(V (L) -1)	
	P 4-B	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	78	253	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	78	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	92	393	○	(V (L) -1)	
	P 4-C	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	90	253	○	(V (L) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	90	379	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	118	393	○	(V (L) -1)	

注記* : P 1, P 2 及び P 3 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-6 許容応力状態 $V_A S$ に対する評価結果 ($D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d$) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	$V_A S$		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P 5 - A	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	202	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	306	501	○	(V (L) -1)	
	P 5 - B	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	195	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	268	501	○	(V (L) -1)	
	P 5 - C	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	215	490	○	(V (L) -1)	
			一次+二次応力	324	501	○	(V (L) -1)	

表 5-7 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (1/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P 1	ヘッダ接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	192	408	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	784	393	×*	(V (LL) -1)	
			疲労評価	0.753	1.0	○		単位なし
	P 2	ヘッダ接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	141	408	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	564	393	×*	(V (LL) -1)	
			疲労評価	0.197	1.0	○		単位なし
	P 3	ヘッダ接続部	一次膜応力+一次曲げ応力	197	408	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	798	393	×*	(V (LL) -1)	
			疲労評価	0.808	1.0	○		単位なし
	P 4-A	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	71	272	○	(V (LL) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	71	408	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	108	393	○	(V (LL) -1)	
	P 4-B	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	75	272	○	(V (LL) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	75	408	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	112	393	○	(V (LL) -1)	
	P 4-C	ベント管円筒胴	一次一般膜応力	91	272	○	(V (LL) -1)	
			一次膜応力+一次曲げ応力	91	408	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	146	393	○	(V (LL) -1)	

注記* : P 1, P 2 及び P 3 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが, 設計・建設規格 PVB-3300 に基づいて疲労評価を行い, 十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-7 許容応力状態 V_{AS} に対する評価結果 ($D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s$) (2/2)

評価対象設備	評価部位		応力分類	V_{AS}		判定	荷重の組合せ	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
ベント管	P 5-A	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	193	523	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	472	501	○	(V (LL) -1)	
	P 5-B	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	187	523	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	418	501	○	(V (LL) -1)	
	P 5-C	ベント管とドライウエルとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	217	523	○	(V (LL) -1)	
			一次+二次応力	478	501	○	(V (LL) -1)	

表 5-8 真空破壊装置取付位置の応答加速度

 $(\times 9.8m/s^2)$

方向	弾性設計用地震動 S_d	基準地震動 S_s
水平方向	—	2.40 ^{*1, *2}

注記*1：水平1方向加振時の最大応答加速度を示す。

*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s ）に対するベント系の地震応答解析により求めた真空破壊装置取付位置の応答加速度

表 5-9 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果 (D + P_{SAL} + M_{SAL} + S_d)

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1	662							0.433
P 2	480							0.106
P 3	678							0.479

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 5-10 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果 (D + P_{SALL} + M_{SALL} + S_s)

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P 1	784							0.753
P 2	564							0.197
P 3	798							0.808

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 2.00 \times 10^5 \text{ MPa}$$

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-11 「ベント管の強度計算書」

VI-2-9-4-4 原子炉格納容器安全設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-1 原子炉格納容器スプレイ設備の耐震性についての
計算書

VI-2-9-4-4-1-1 ドライウェルスプレイ管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	10
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
4.2.2 許容応力	10
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	10
4.2.4 設計荷重	15
4.3 解析モデル及び諸元	16
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	23
4.6 計算方法	27
4.6.1 応力評価点	27
4.6.2 応力の計算方法	28
4.7 計算条件	29
4.8 応力の評価	29
5. 評価結果	30
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	30
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	34
6. 参照図書	37

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、ドライウェルスプレイ管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

ドライウェルスプレイ管は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、ジェット力によるドライウェルスプレイ管の評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ドライウェルスプレイ管の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>上部スプレイ管は、上部スプレイ管サポートと一体構造であり、ドライウェル全周で支持される。上部スプレイ管案内管は、ドライウェルに支持された案内管サポート及び原子炉格納容器貫通部（以下「貫通部」という。）に支持される。下部スプレイ管は、ドライウェル周方向に設置された下部スプレイ管サポートに支持される。下部スプレイ管案内管は、貫通部に支持される。上部スプレイ管案内管に作用する水平及び鉛直方向地震荷重は案内管サポート及び貫通部を介してドライウェルに伝達される。下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管に作用する水平及び鉛直方向地震荷重は、下部スプレイ管サポート及び貫通部を介してドライウェルに伝達される。</p>	<p>スプレイ管は、外径 267.4mm 及び厚さ 15.1mm のパイプで作られ、上部スプレイ管は直径約 16.9m、下部スプレイ管は直径 22.2m の円環構造である。スプレイ管案内管は、外径 355.6mm 及び厚さ 19.0mm のパイプで作られ、スプレイ管と貫通部をつなぐ構造である。</p>	

2.2 評価方針

ドライウェルスプレイ管の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すドライウェルスプレイ管の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

ドライウェルスプレイ管の耐震評価フローを図2-1に示す。

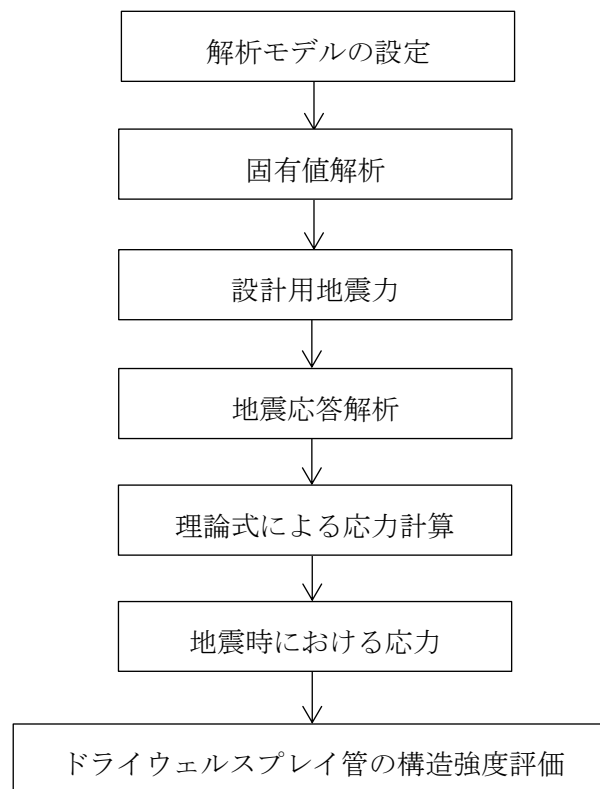


図2-1 ドライウェルスプレイ管の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_1	案内管サポートの評価部位の断面積	mm^2
A_2	下部スプレイ管サポートの評価部位の断面積	mm^2
C_i	地震層せん断力係数	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
D_1	下部スプレイ管の直径	mm
D_2	スプレイ管案内管の直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_x	ドライウエル周方向（管軸方向）の反力	kN
F_y	管軸直角方向の反力	kN
F_z	鉛直方向の反力	kN
L	下部スプレイ管サポートに作用するモーメントアーム	mm
m_1	下部スプレイ管の単位長さ当たりの質量	kg/m
m_2	スプレイ管案内管の単位長さ当たりの質量	kg/m
M_x	管軸回りのモーメント	$\text{kN} \cdot \text{m}$
M_y	管軸直角回りのモーメント	$\text{kN} \cdot \text{m}$
M_z	鉛直軸回りのモーメント	$\text{kN} \cdot \text{m}$
R	ドライウエル上部半球胴部の半径	mm
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
t_1	下部スプレイ管の厚さ	mm
t_2	スプレイ管案内管の厚さ	mm
T	温度	$^{\circ}\text{C}$
T_{SAD}	温度（SA後温度）	$^{\circ}\text{C}$
Z	下部スプレイ管サポートの断面係数	mm^3
ν	ポアソン比	—
σ	組合せ応力	MPa
σ_b	曲げ応力	MPa
τ	せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

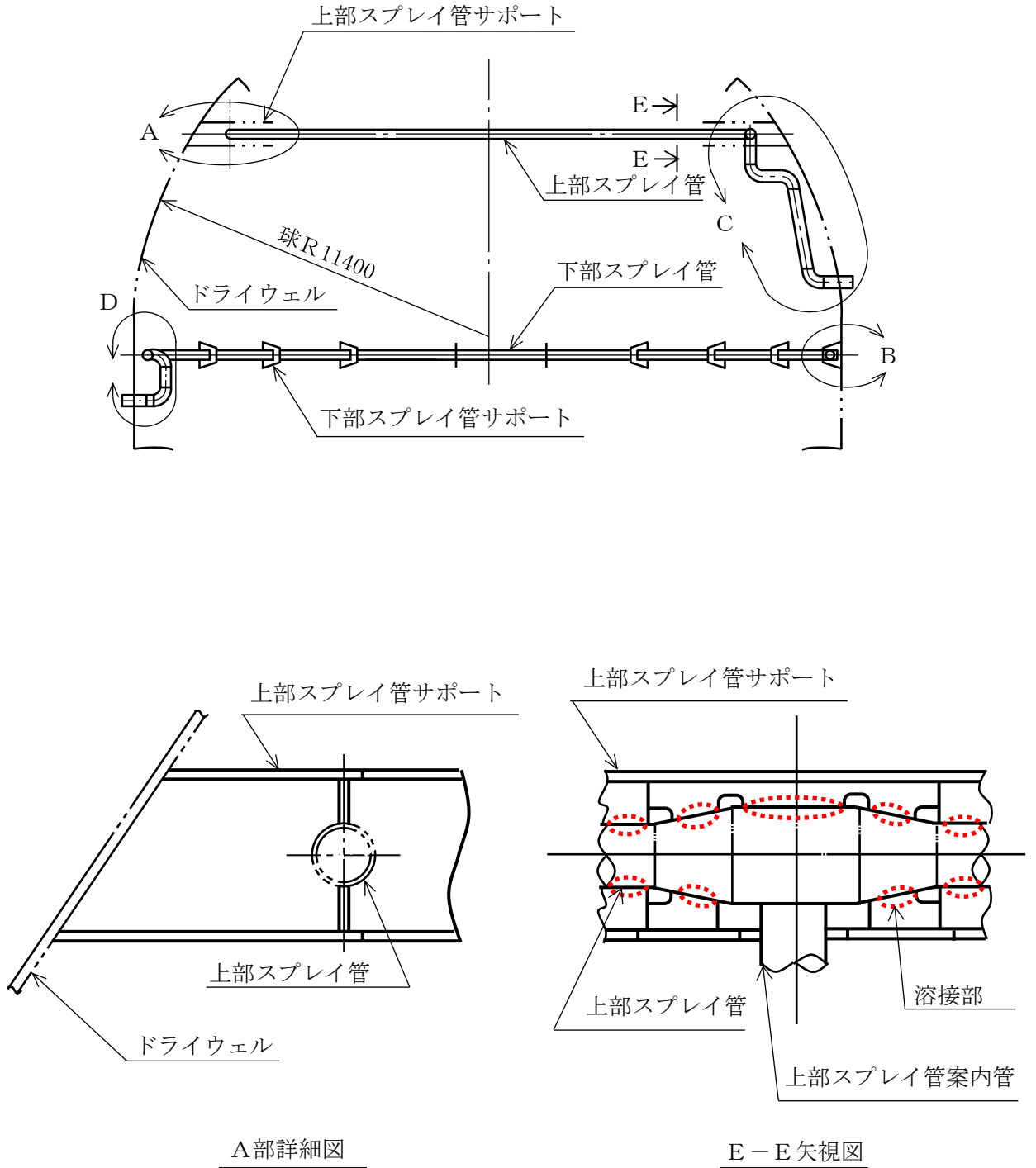
数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
刺激係数	—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
温度	℃	—	—	整数位
単位長さ当たりの質量	kg/m	—	—	整数位 ^{*1}
単位長さ当たりの荷重	N/m	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*2}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

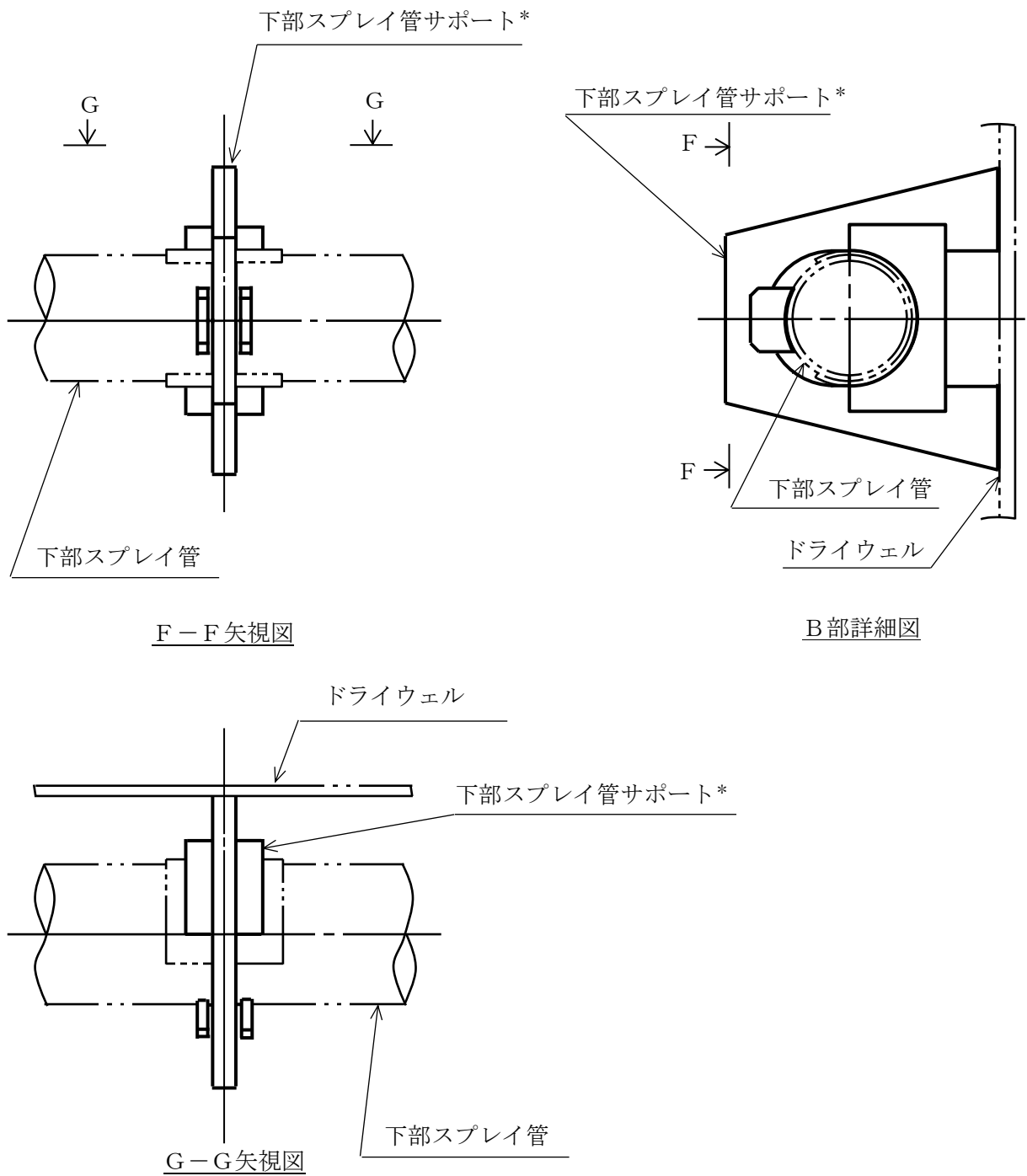
3. 評価部位

ドライウェルスプレイ管の形状及び主要寸法を図3-1に，使用材料及び評価部位を表3-1に示す。



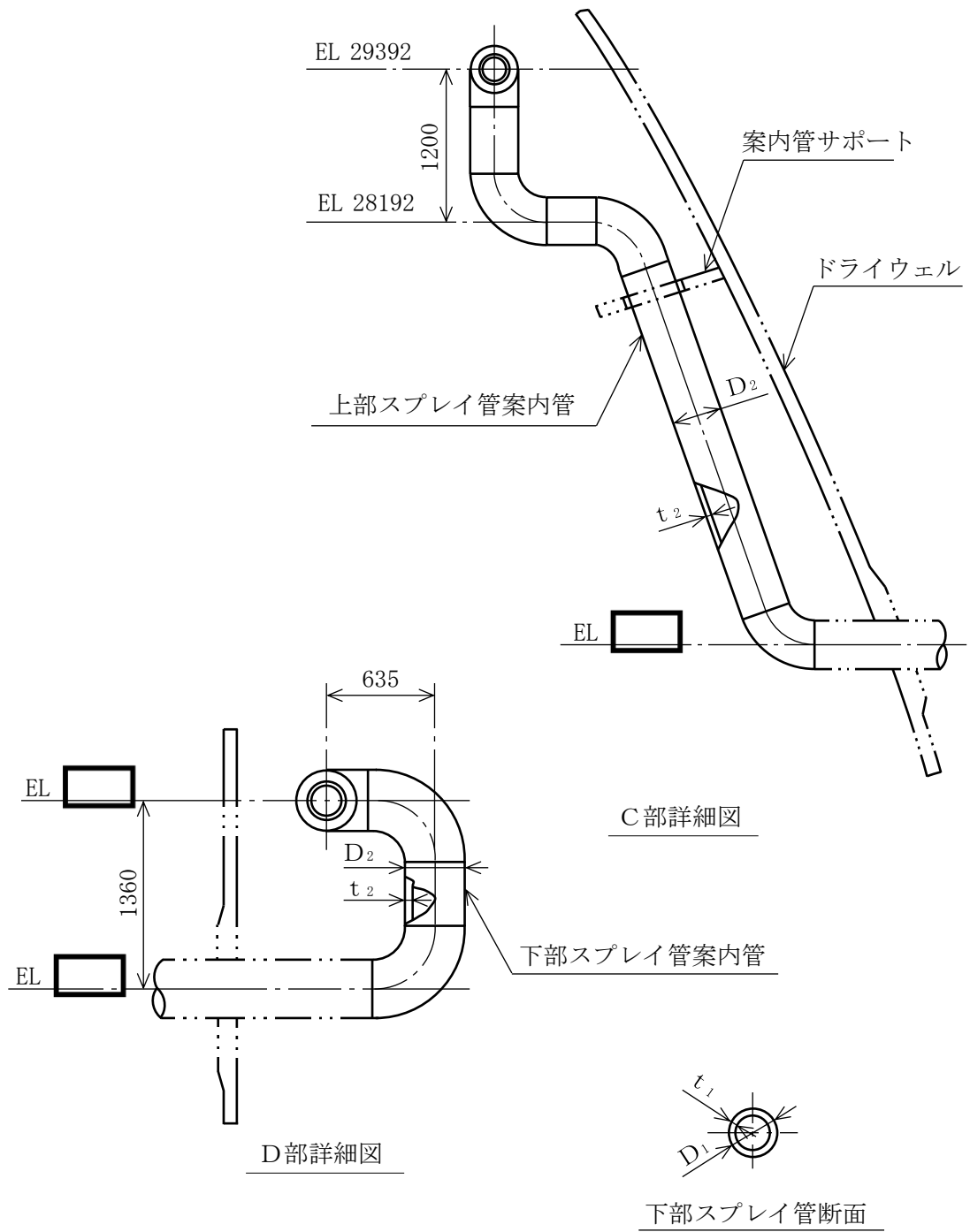
(単位：mm)

図3-1 ドライウェルスプレイ管の形状及び主要寸法(1/3)



注記* :

図 3-1 ドライウェルスプレイ管の形状及び主要寸法(2/3)



$$D_1 = 267.4$$

$$D_2 = 355.6$$

$$t_1 = 15.1$$

$$t_2 = 19.0$$

(単位：mm)

図 3-1 ドライウエルスプレイ管の形状及び主要寸法(3/3)

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
ドライウェルスプレイ管 及びプレイ管案内管	STS42	STS410 相当
案内管サポート 下部プレイ管サポート	SGV49	SGV480 相当

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) ドライウェルスプレイ管に作用する地震力は、水平及び鉛直の固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。ドライウェルスプレイ管の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を用いて、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」及びVI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。
- (2) 地震力は、ドライウェルスプレイ管に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。
また、水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。ただし、下部スプレイ管サポートの水平 2 方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ドライウェルスプレイ管の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

ドライウェルスプレイ管の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ドライウェルスプレイ管の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備	ドライウエル スプレイ管	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
	その他の安全設備				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	ドライウエル スプレイ管	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S*2
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	ドライウエル スプレイ管	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S*2

注記*1:「常設／防止 (DB拡張)」は常設重大事故防止設備 (設計基準拡張) を示す。

*2: V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-3 許容応力*1 (クラス2管及び重大事故等クラス2管)

応力分類 許容 応力状態	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
Ⅲ _A S	S_y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高 ニッケル合金については上記の値と $1.2 \cdot S$ のう ち大きい方とする。	*2 S_d 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下である こと。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば疲労 解析は不要	
Ⅳ _A S	$0.9 \cdot S_u$		
V _A S*3			

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2： $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし、 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*3：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表 4-4 許容応力 (クラス 2 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力 状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)									
	一次応力					一次+二次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 /圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈
Ⅲ _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_b$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$
Ⅳ _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	$\left[\begin{array}{l} S_d \text{ 又は } S_s \text{ 地震動のみによる} \\ \text{応力振幅について評価する。} \end{array} \right]$			$1.5 \cdot f_p^*$	
V _{AS} *5	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$				$1.5 \cdot f_p^*$	

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：すみ肉溶接部にあつては、最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*4：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*5：V_{AS}としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)
		周囲環境 温度					
ドライウェルスプレイ管 及びスプレイ管案内管	STS42* ¹	周囲環境 温度	171	—	211	404	—
案内管サポート 下部スプレイ管サポート	SGV49* ²	周囲環境 温度	171	—	229	423	—

注記*1 : STS410 相当

*2 : SGV480 相当

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)
		周囲環境 温度					
ドライウェルスプレイ管 及びスプレイ管案内管	STS42* ¹	周囲環境 温度	200	—	207	404	—
案内管サポート 下部スプレイ管サポート	SGV49* ²	周囲環境 温度	200	—	226	422	—

注記*1 : STS410 相当

*2 : SGV480 相当

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び死荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，次のとおりである。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

圧力	3.92MPa
温度	171℃

b. 死荷重

ドライウェルスプレイ管*1	<input type="text"/>	N/m
プレイ管案内管*2	<input type="text"/>	N/m

注記*1：管内保有水及びノズルの重量を含めた自重を死荷重とする。

*2：管内保有水の重量を含めた自重を死荷重とする。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度及び死荷重は，以下のとおりとする。なお，評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」を参照する。

a. 評価圧力及び評価温度

圧力 P_{SAD}	3.92MPa
温度 T_{SAD}	200℃

b. 死荷重

ドライウェルスプレイ管*1	<input type="text"/>	N/m
プレイ管案内管*2	<input type="text"/>	N/m

注記*1：管内保有水及びノズルの重量を含めた自重を死荷重とする。

*2：管内保有水の重量を含めた自重を死荷重とする。

4.3 解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元

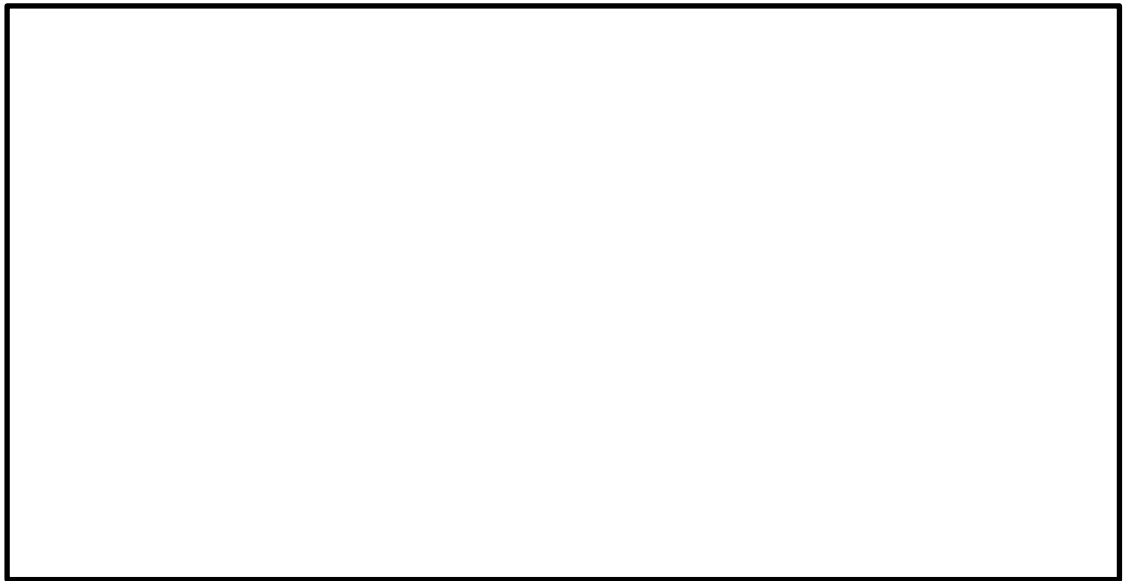
設計基準対象施設としての評価は、ドライウェルスプレイ管質量及び内部水質量を考慮して固有値解析及び構造強度評価を実施する。動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. ドライウェルスプレイ管は、3次元はり要素による有限要素解析手法を適用する。解析モデルを図 4-1 及び図 4-2 に、解析モデルの諸元について表 4-7 及び表 4-8 に示す。

b.

c.



- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元

重大事故等対処設備としてのドライウェルスプレイ管の解析モデル及び諸元は、設計基準対象施設と同じとする。



図 4-1 上部スプレイ管案内管の解析モデル

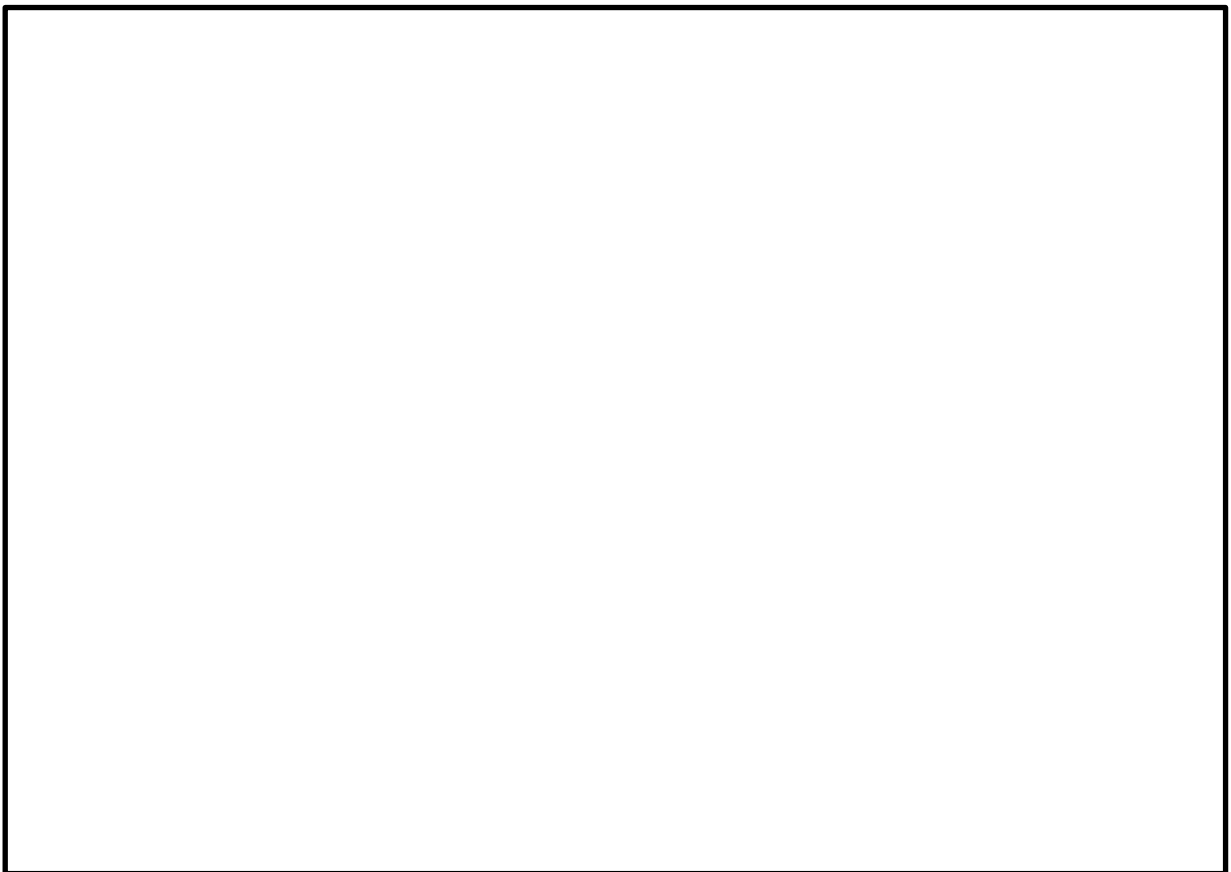


図 4-2 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の解析モデル

表 4-7 上部スプレイ管案内管の解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
質量	m_2	kg/m	<input type="text"/>
温度条件	T	°C	171
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	—	<input type="text"/>
節点数	—	—	<input type="text"/>

表 4-8 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の解析モデルの諸元

項目		記号	単位	入力値
質量	下部スプレイ管	m_1	kg/m	<input type="text"/>
	下部スプレイ管案内管	m_2	kg/m	<input type="text"/>
温度条件		T	°C	171
縦弾性係数		E	MPa	193000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設における上部スプレイ管案内管の固有周期を表 4-9 に、振動モード図を図 4-3 に示す。上部スプレイ管案内管の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

設計基準対象施設における下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期を表 4-10 に、振動モード図を代表して図 4-4 に示す。下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-9 上部スプレイ管案内管の固有周期 (設計基準対象施設)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平/鉛直		—	—	—

表 4-10 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期
(設計基準対象施設)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

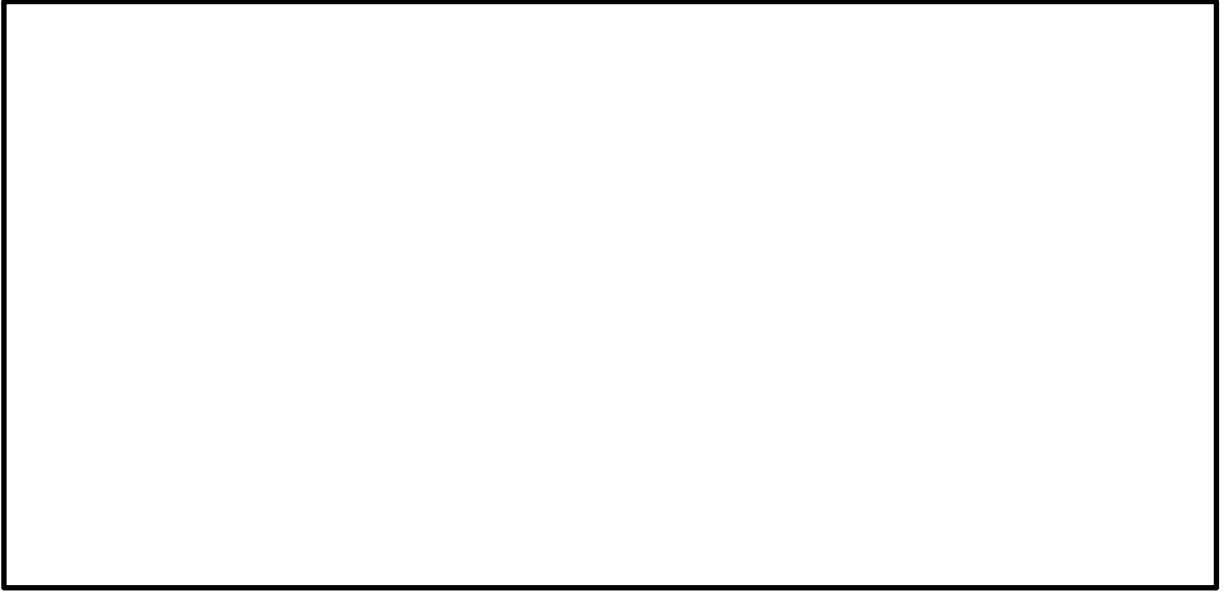


図 4-3 上部スプレイ管案内管の振動モード図（設計基準対象施設）

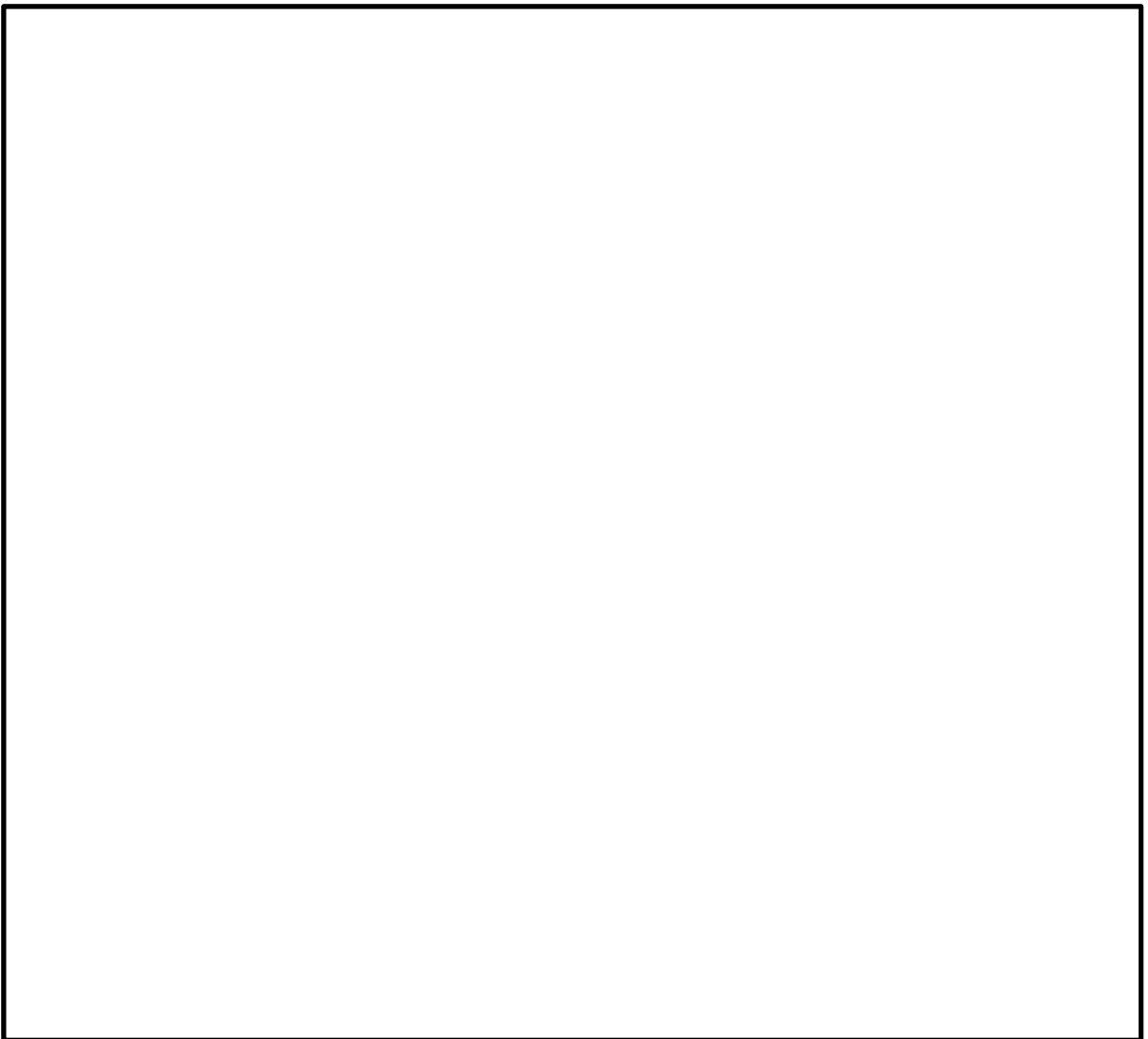


図 4-4 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の振動モード図（設計基準対象施設）

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備における上部スプレイ管案内管の固有周期を表 4-11 に、振動モード図を図 4-5 に示す。上部スプレイ管案内管の固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

重大事故等対処設備における下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期を表 4-12 に、振動モード図を代表して図 4-6 に示す。下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-11 上部スプレイ管案内管の固有周期 (重大事故等対処設備)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Y方向	
1次	水平/鉛直		—	—	—

表 4-12 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の固有周期
(重大事故等対処設備)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
10次				
11次				
12次				

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



図 4-5 上部スプレイ管案内管の振動モード図（重大事故等対処設備）

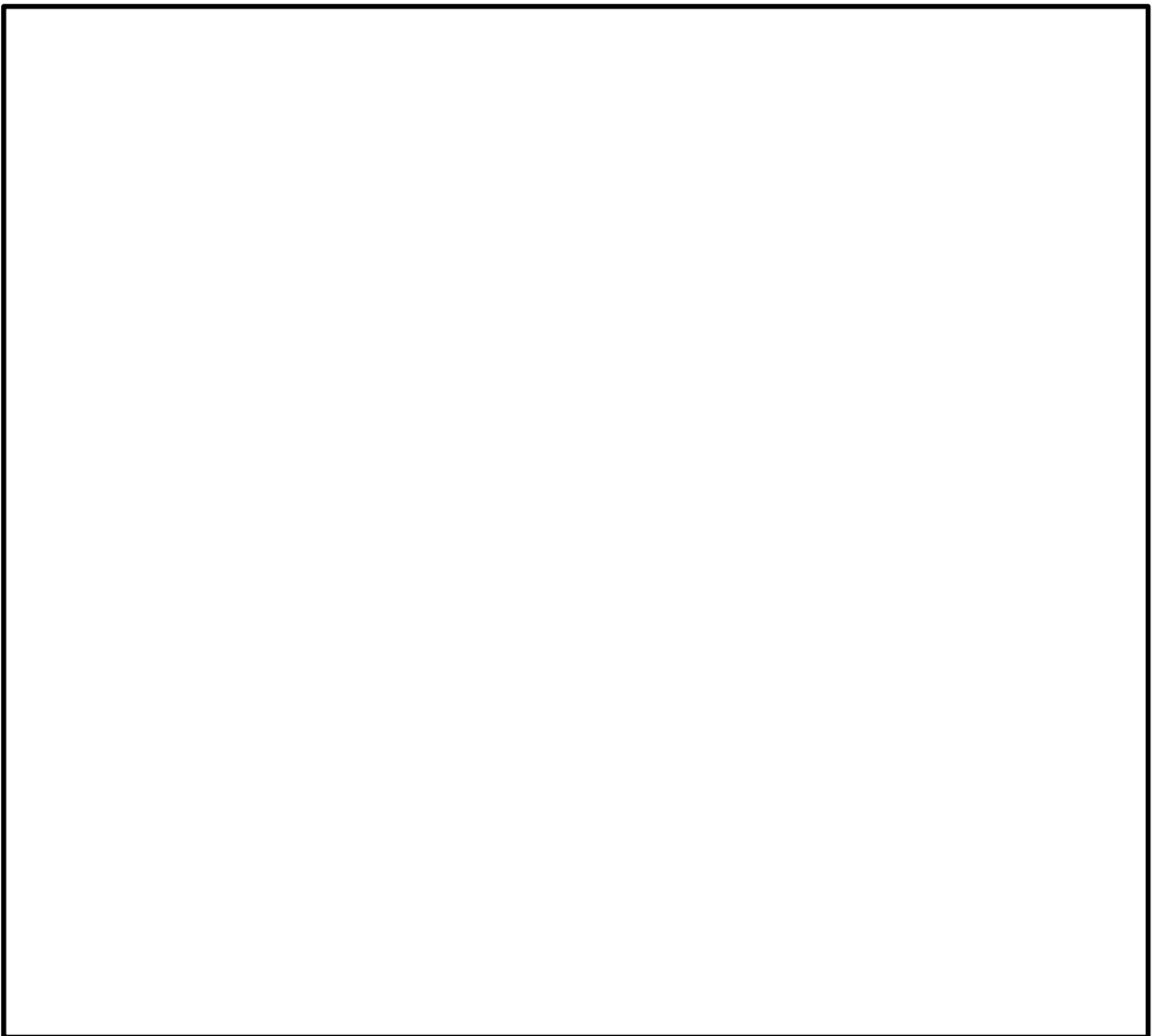


図 4-6 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の振動モード図（重大事故等対処設備）

4.5 設計用地震力

ドライウェルスプレイ管の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-13 及び表 4-14 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-15 及び表 4-16 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-13 設計用地震力（設計基準対象施設）：上部スプレイ管案内管

据付場所及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器 EL <input type="text"/>	0.05 以下	0.05 以下	<input type="text"/> *1	<input type="text"/> *1	<input type="text"/> *2	<input type="text"/> *2

注記*1：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

表 4-14 設計用地震力（設計基準対象施設）：下部スプレイ管

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL 					
減衰定数(%)		水平：2.0* ¹ 鉛直：2.0* ¹					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ²		応答鉛直 震度* ²	応答水平震度* ³		応答鉛直 震度* ³
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
9次							
10次							
11次							
12次							
動的地震力* ⁴ , * ⁵							
静的地震力* ⁶					—		

注記*1：ドライウェルスプレイ管は配管に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2：設計用床応答スペクトル I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*5：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ を上回る設計震度

表 4-15 設計用地震力（重大事故等対処設備）：上部スプレイ管案内管

据付場所及び 設置高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉格納容器 EL 	0.05 以下	0.05 以下	—	—	 *	 *

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

表 4-16 設計用地震力（重大事故等対処設備）：下部スプレイ管

据付場所及び 設置高さ(m)		原子炉格納容器 EL 					
減衰定数(%)		水平：2.0* ¹ 鉛直：2.0* ¹					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度* ²		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次		—	—	—			
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
9次							
10次							
11次							
12次							
動的地震力* ³ , * ⁴		—	—	—			
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1：ドライウェルスプレイ管は配管に区分されるため、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の配管の減衰定数を用いる。

*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*4：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価点

ドライウェルスプレイ管の応力評価点は、ドライウェルスプレイ管を構成する各部材において、発生応力が最も大きくなる箇所とする。選定した応力評価点を表 4-17、図 4-7 及び図 4-8 に示す。なお、上部プレイ管案内管のエルボ部は応力評価点 P 1、下部プレイ管案内管のエルボ部は応力評価点 P 5 の評価に含まれており、応力評価点以外の部位の評価は、選定した応力評価点での応力評価に包絡される。

各評価点は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析から得られた荷重を用いて評価する。

表 4-17 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P 1	上部プレイ管案内管
P 2	上部プレイ管ティー部
P 3	案内管サポート
P 4	下部プレイ管
P 5	下部プレイ管案内管
P 6	下部プレイ管ティー部
P 7	下部プレイ管サポート

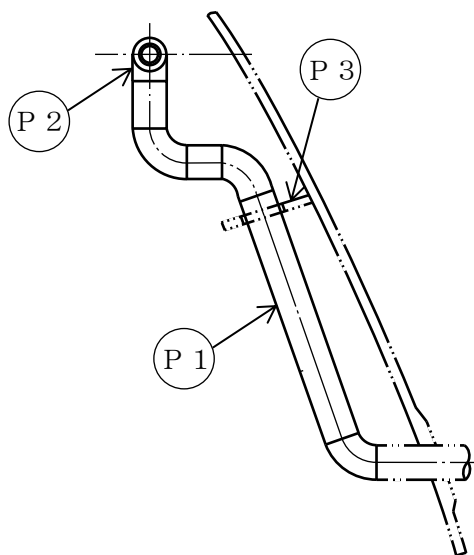


図 4-7 上部プレイ管案内管の応力評価点

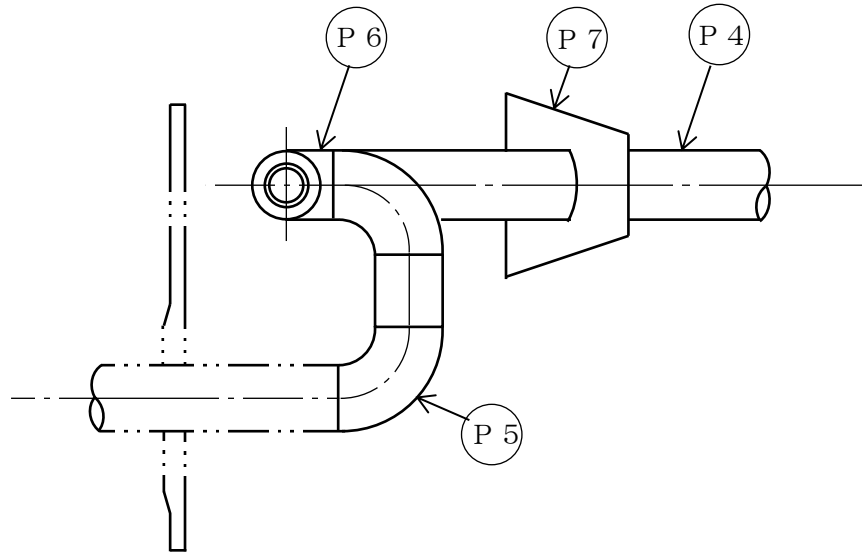


図 4-8 下部スプレイ管及び下部スプレイ管案内管の応力評価点

4.6.2 応力の計算方法

ドライウェルスプレイ管の応力計算方法について、以下に示す。

(1) 設計基準対象施設としての応力計算

a. 応力評価点 P 1, P 2, P 4, P 5 及び P 6

応力評価点 P 1, P 2, P 4, P 5 及び P 6 に発生する応力は、「2.3 適用規格・基準等」に従い算出する。

b. 応力評価点 P 3 及び P 7

応力評価点 P 3 及び P 7 に発生する応力は、「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析から得られたドライウェル周方向（管軸方向）の反力 F_x 及び鉛直方向の反力 F_z を用いて、以下の計算式に従い算出する。

応力評価点 P 3（案内管サポート）

$$\tau = \frac{F_x \times 1000}{A_1} \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

応力評価点 P 7（下部スプレイ管サポート）

$$\tau = \frac{(F_x + F_z) \times 1000}{A_2} \dots\dots\dots (4.6.2.2)$$

$$\sigma_b = \frac{(F_x \times L) \times 1000}{Z} \dots\dots\dots (4.6.2.3)$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \times \tau^2} \dots\dots\dots (4.6.2.4)$$

(2) 重大事故等対処設備としての応力計算

重大事故等対処設備としての応力計算方法は、設計基準対象施設と同じとする。

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重は、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-3 及び表 4-4 で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は許容引張応力以下であること。また、一次＋二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (S_mは 2/3・S_yと読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

ドライウェルスプレイ管の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

(2) 支持構造物評価結果（ドライウェルスプレイ管支持構造物）

支持構造物評価の結果を表 5-3 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S d*)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウエル スプレイ管	P 1	上部スプレイ管案内管	一次応力	37	211	○	
			一次+二次応力	26	422	○	
	P 2	上部スプレイ管ティー部	一次応力	57	211	○	
			一次+二次応力	68	422	○	
	P 4	下部スプレイ管	一次応力	42	211	○	
			一次+二次応力	42	422	○	
	P 5	下部スプレイ管案内管	一次応力	78	211	○	
			一次+二次応力	112	422	○	
	P 6	下部スプレイ管ティー部	一次応力	50	211	○	
			一次+二次応力	54	422	○	

表 5-2 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IVAS		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウエル スプレイ管	P 1	上部スプレイ管案内管	一次応力	37	363	○	
			一次+二次応力	26	422	○	
	P 2	上部スプレイ管ティー部	一次応力	57	363	○	
			一次+二次応力	68	422	○	
	P 4	下部スプレイ管	一次応力	42	363	○	
			一次+二次応力	42	422	○	
	P 5	下部スプレイ管案内管	一次応力	78	363	○	
			一次+二次応力	112	422	○	
	P 6	下部スプレイ管ティー部	一次応力	50	363	○	
			一次+二次応力	54	422	○	

表 5-3 支持構造物評価結果

応力評価点		型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x * ¹	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
P 3	案内管サポート	プレート	SGV49* ²	171	39	—	—	—	—	—	せん断	6	132
P 7	下部スプレイ管サポート	プレート	SGV49* ²	171	34	—	25	—	—	—	組合せ	206	229

注記*1：ドライウェル周方向（管軸方向）反力を示す。

*2：SGV480 相当

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

ドライウェルスプレイ管の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-4 に示す。

(2) 支持構造物評価結果（ドライウェルスプレイ管支持構造物）

支持構造物評価の結果を表 5-5 に示す。

表 5-4 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V A S		判定	備考
				算出応力	許容応力		
				MPa	MPa		
ドライウエル スプレイ管	P 1	上部スプレイ管案内管	一次応力	37	363	○	
			一次+二次応力	26	414	○	
	P 2	上部スプレイ管ティー部	一次応力	57	363	○	
			一次+二次応力	68	414	○	
	P 4	下部スプレイ管	一次応力	42	363	○	
			一次+二次応力	42	414	○	
	P 5	下部スプレイ管案内管	一次応力	78	363	○	
			一次+二次応力	112	414	○	
	P 6	下部スプレイ管ティー部	一次応力	50	363	○	
			一次+二次応力	54	414	○	

表 5-5 支持構造物評価結果

応力評価点		型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x * ¹	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
P 3	案内管サポート	プレート	SGV49* ²	200	78	—	—	—	—	—	せん断	11	260
P 7	下部スプレイ管サポート	プレート	SGV49* ²	200	67	—	33	—	—	—	組合せ	405	452

注記*1：ドライウェル周方向（管軸方向）反力を示す。

*2：SGV480 相当

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-18 「ドライウェルスプレイ管の強度計算書」

VI-2-9-4-4-1-2 サプレッションチェンバースプレイ管の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	3
2.4 記号の説明	4
2.5 計算精度と数値の丸め方	5
3. 評価部位	6
4. 地震応答解析及び構造強度評価	8
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	8
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	8
4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態	8
4.2.2 許容応力	8
4.2.3 使用材料の許容応力評価条件	8
4.2.4 設計荷重	13
4.3 解析モデル及び諸元	14
4.4 固有周期	20
4.5 設計用地震力	24
4.6 計算方法	29
4.6.1 応力評価方法	29
4.6.2 スプレイ管サポート（応力評価点 P5）	30
4.7 計算条件	31
4.8 応力の評価	31
5. 評価結果	32
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	32
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	36
6. 参照図書	39

1. 概要

本計算書は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、サプレッションチェンバスプレイ管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

サプレッションチェンバスプレイ管は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故防止設備（設計基準拡張）に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、地震荷重及び重大事故等時の荷重を除く荷重によるサプレッションチェンバスプレイ管の評価は、昭和59年9月17日付け59資庁第8283号にて認可された工事計画の添付書類（参照図書(1)）による（以下「既工認」という。）。

2. 一般事項

2.1 構造計画

サプレッションチェンバスプレイ管の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>サプレッションチェンバスプレイ管は、スプレイ管及びスプレイ管案内管で構成され、スプレイ管はサプレッションチェンバの補強リングに、スプレイ管案内管はサプレッションチェンバ貫通部に支持される。</p> <p>サプレッションチェンバスプレイ管に作用する水平及び鉛直方向地震荷重は、スプレイ管サポート及びサプレッションチェンバ貫通部を介してサプレッションチェンバに伝達される。</p>	<p>スプレイ管は、外径 114.3mm 及び厚さ 6.0mm のパイプで作られ、直径約 37.9m の円環構造である。</p> <p>スプレイ管案内管は、外径 114.3mm 及び厚さ 6.0mm のパイプで作られ、スプレイ管とサプレッションチェンバ貫通部をつなぐ構造である。</p>	

2.2 評価方針

サブプレッションチェンバスプレイ管の応力評価は、VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」及びVI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すサブプレッションチェンバスプレイ管の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所に作用する設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

サブプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

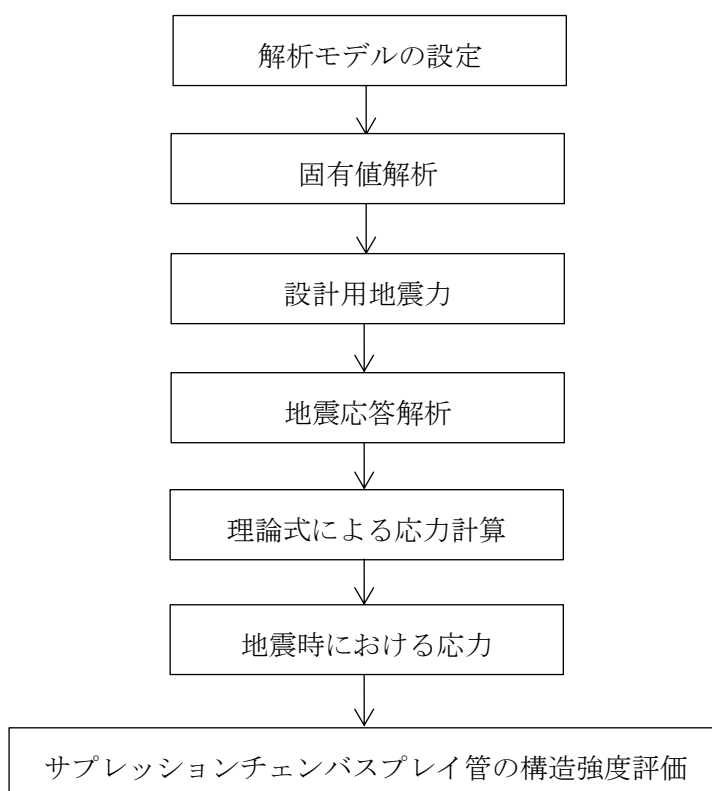


図 2-1 サブプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG 4601・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版
((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	スプレイ管サポートの取付溶接部の断面積	mm ²
C _i	地震層せん断力係数	—
C _v	鉛直方向設計震度	—
D	スプレイ管の直径	mm
E	縦弾性係数	MPa
K _e	弾塑性解析に用いる繰返しピーク応力強さの補正係数	—
F _x	管軸方向の反力	kN
F _y	管軸直角方向の反力	kN
F _z	鉛直方向の反力	kN
m	サプレッションチェンバスプレイ管の単位長さ当たりの質量	kg/m
m ₀	機器質量	kg
m ₁	水質量	kg
M _x	管軸回りのモーメント	kN・m
M _y	管軸直角回りのモーメント	kN・m
M _z	鉛直軸回りのモーメント	kN・m
N _a	地震時の許容繰返し回数	—
N _c	地震時の実際の繰返し回数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S _ℓ	繰返しピーク応力強さ	MPa
S _{ℓ'}	補正繰返しピーク応力強さ	MPa
S _m	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値	MPa
S _n	地震動による応力振幅	MPa
S _p	地震荷重のみにおける一次+二次+ピーク応力の応力差範囲	MPa
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
t	スプレイ管の厚さ	mm
T	温度	℃
T _{SAD}	温度 (S A後温度)	℃
ν	ポアソン比	—
ρ	水密度	kg/mm ³
τ	せん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
刺激係数	—	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
圧力	MPa	小数点以下第 3 位	四捨五入	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
単位長さ当たりの質量	kg/m	—	—	整数位 ^{*1}
質量	kg	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
密度	kg/mm ³	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁 ^{*2}
単位長さ当たりの荷重	N/m	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
ポアソン比	—	—	—	小数点以下第 1 位
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

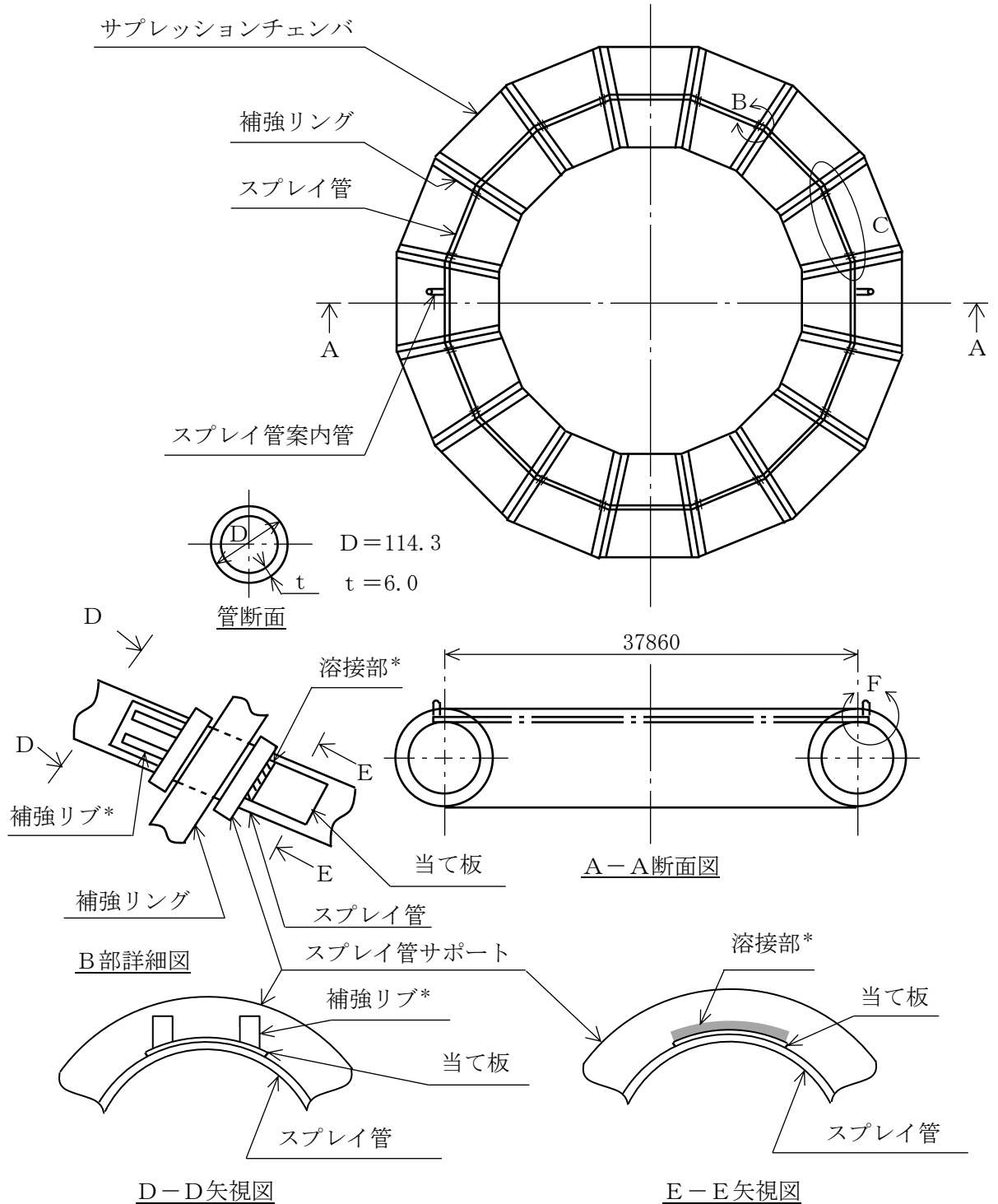
注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

サプレッションチェンバースプレイ管の形状及び主要寸法を図 3-1 に、使用材料及び評価部位を表 3-1 に示す。



(単位：mm)

注記*：当て板の取付け状況により補強リブの設置が困難な箇所については、溶接部に追加溶接を行うことで溶接部面積を確保する。

図 3-1 サプレッションチェンバースプレイ管の形状及び主要寸法 (1/2)

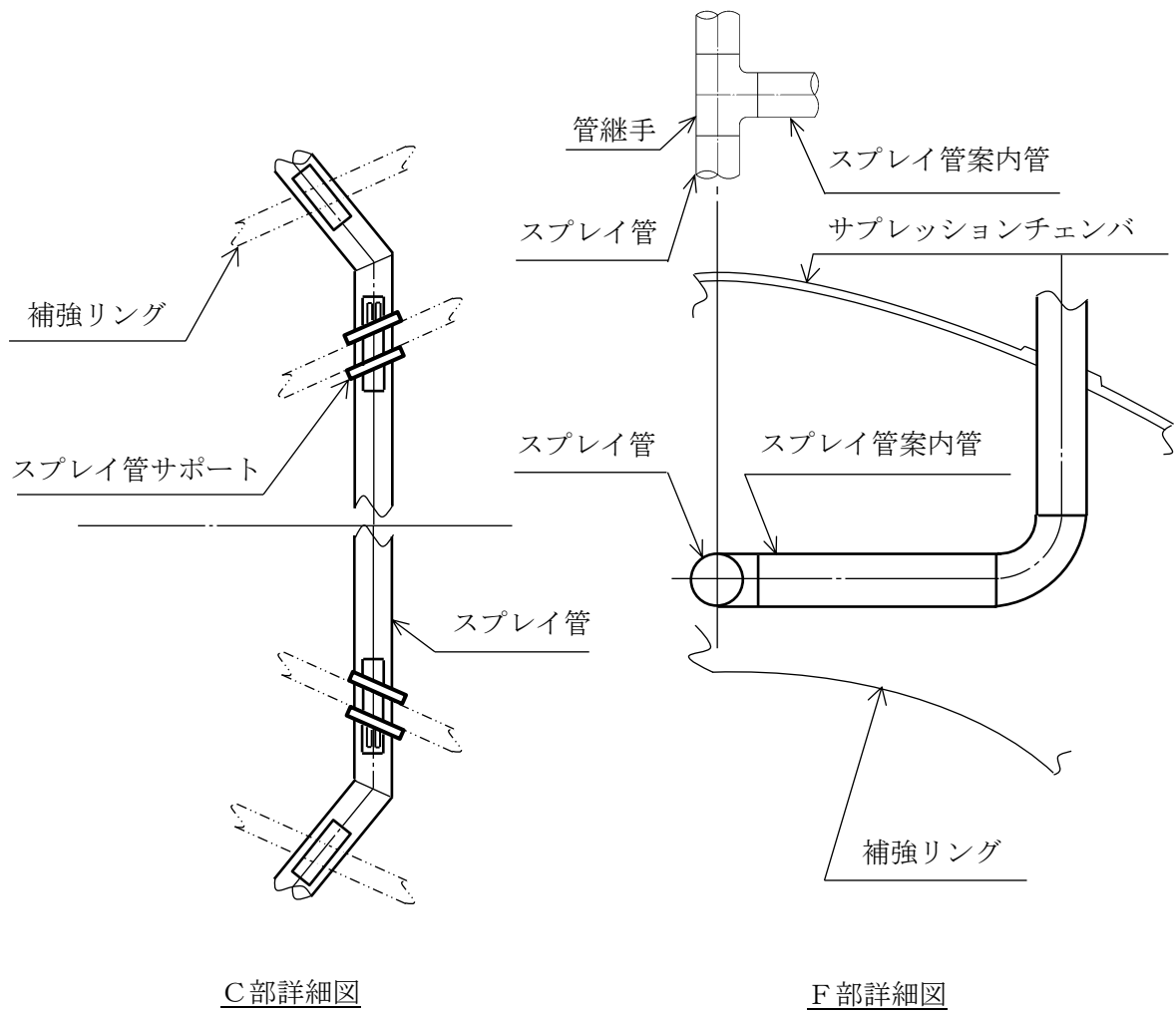


図 3-1 サプレッションチェンバースプレイ管の形状及び主要寸法 (2/2)

表 3-1 使用材料表

評価部位	使用材料	備考
スプレイ管及びスプレイ管案内管	STS42	STS410 相当
スプレイ管サポート	SGV49 SUS304	SGV480 相当 —

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) サプレッションチェンバスプレイ管に作用する地震力は、水平及び鉛直方向の固有周期に応じた応答加速度に基づき算出する。

サプレッションチェンバスプレイ管の耐震評価として、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」により求めた地震力を用いて、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」及びVI-2-1-12「配管及び支持構造物の耐震計算について」にて示す方法に従い、構造強度評価を行う。

- (2) 地震力は、サプレッションチェンバスプレイ管に対して水平 2 方向及び鉛直方向から個別に作用させる。水平 2 方向及び鉛直方向の設計用地震力による荷重の組合せには、SRSS法を適用する。
- (3) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (4) 概略構造図を表 2-1 に示す。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

サプレッションチェンバスプレイ管の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-2 に示す。

詳細な荷重の組合せは、対象機器の設置位置等を考慮し決定する。なお、考慮する荷重の組合せは、組み合わせる荷重の大きさを踏まえ、評価上厳しくなる組合せを選定する。

4.2.2 許容応力

サプレッションチェンバスプレイ管の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4-3 及び表 4-4 に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

サプレッションチェンバスプレイ管の使用材料の許容応力評価条件のうち、設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-5 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-6 に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	サプレッション チェンバスプレイ管	S	クラス2管	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

表4-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	圧力低減設備 その他の安全設備	サプレッション チェンバスプレイ管	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S*2
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去設備	サプレッション チェンバスプレイ管	常設／防止 (DB拡張)	重大事故等 クラス2管	$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V _A S*2

注記*1：「常設／防止（DB拡張）」は常設重大事故防止設備（設計基準拡張）を示す。

*2：V_ASとしてⅣ_ASの許容限界を用いる。

表4-3 許容応力*1 (クラス2管及び重大事故等クラス2管)

応力分類 許容 応力状態	一次応力 (曲げ応力を含む)	一次+二次応力	一次+二次+ピーク応力
III _A S	S _y ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高 ニッケル合金については上記の値と1.2・Sのう ち大きい方とする。	*2 S _d 又はS _s 地震動のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が1.0以下である こと。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が2・S _y 以下であれば疲労 解析は不要	
IV _A S	0.9・S _u		
V _A S*3			

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_yを超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)（ただし、S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

*3：V_ASとしてIV_ASの許容限界を用いる。

表 4-4 許容応力 (クラス 2 支持構造物及び重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力 状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)									
	一次応力					一次+二次応力				
	引張	せん断	圧縮	曲げ	支圧	引張 /圧縮	せん断	曲げ	支圧	座屈
Ⅲ _{AS}	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$3 \cdot f_t$	$3 \cdot f_s$	$3 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_p$	$1.5 \cdot f_b$ $1.5 \cdot f_s$ 又は $1.5 \cdot f_c$
Ⅳ _{AS}	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$	S_d 又は S_s 地震動のみによる 応力振幅について評価する。			$1.5 \cdot f_p^*$	
V _{AS} *5	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$	$1.5 \cdot f_p^*$					

注： f_t^* , f_s^* , f_c^* , f_b^* , f_p^* は、 f_t , f_s , f_c , f_b , f_p の値を算出する際に設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に規定する値とあるのを設計・建設規格 付録材料図表Part5表8に規定する値の1.2倍の値と読み替えて計算した値

注記*1：当該の応力が生じない場合、規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

*3：すみ肉溶接部にあつては、最大応力に対して $1.5 \cdot f_s$ とする。

*4：設計・建設規格 SSB-3121.1(4)により求めた f_b とする。

*5：V_{AS}としてⅣ_{AS}の許容限界を用いる。

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)	S _y (R T) (MPa)
スプレイ管及びスプレイ管案内管	STS42* ¹	周囲環境温度	104	—	219	404	—	—
スプレイ管サポート	SUS304* ²	周囲環境温度	104	—	169	439	—	205

注記*1：STS410 相当

*2：許容応力が低く算出される SUS304 を評価に用いる。

表 4-6 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _m (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S (MPa)	S _y (R T) (MPa)
スプレイ管及びスプレイ管案内管	STS42* ¹	周囲環境温度	200	—	207	404	—	—
スプレイ管サポート	SUS304* ²	周囲環境温度	200	—	144	402	—	205

注記*1：STS410 相当

*2：許容応力が低く算出される SUS304 を評価に用いる。

4.2.4 設計荷重

(1) 設計基準対象施設としての設計荷重

設計基準対象施設としての設計荷重である，最高使用圧力，最高使用温度及び死荷重は，既工認（参照図書(1)）からの変更はなく，次のとおりである。

a. 最高使用圧力及び最高使用温度

圧力 P_D	3.92MPa
温度 T	104°C

b. 死荷重

死荷重* N/m

注記*：管内保有水及びノズルの重量を含めた自重を死荷重とする。

(2) 重大事故等対処設備としての設計荷重

重大事故等対処設備としての設計荷重である，評価圧力，評価温度及び死荷重は，以下のとおりとする。なお，評価温度は，VI-1-8-1「原子炉格納施設の設計条件に関する説明書」を参照する。

a. 評価圧力及び評価温度

圧力 P_{SAD}	3.92MPa
温度 T_{SAD}	200°C

b. 死荷重

死荷重* N/m

注記*：管内保有水及びノズルの重量を含めた自重を死荷重とする。

4.3 解析モデル及び諸元

(1) 設計基準対象施設としての解析モデル及び諸元

設計基準対象施設としての評価は、3次元はり要素による有限要素解析手法を適用し、固有値解析及び構造強度評価を実施する。動的解析手法としては、スペクトルモーダル解析法を用いる。

解析モデルの概要を以下に示す。

- a. サプレッションチェンバスプレイ管は、サプレッションチェンバに支持されていることから、サプレッションチェンバの応答を考慮した解析モデルとする。解析モデルは、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」の4.3項に示すサプレッションチェンバ全体の地震応答解析モデルからストレーナ部を除いた解析モデルに、サプレッションチェンバスプレイ管の解析モデルを結合したものである。解析モデルを図4-1及び図4-2に、解析モデルの諸元を表4-7に示す。

- b. サプレッションチェンバ全体の地震応答解析モデルの概要については、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」の4.3項に示す。

サプレッションチェンバスプレイ管の地震応答解析モデルにおけるサプレッションチェンバ部分は、VI-2-9-2-2「サプレッションチェンバの耐震性についての計算書」と同様に、サプレッションチェンバ内部水の質量が、水平方向と鉛直方向で地震時の有効質量が異なることを考慮し、水平方向動的地震荷重を考慮するための地震応答解析モデル（内部水有効質量モデル）並びにそれ以外の地震荷重（水平及び鉛直方向静的地震荷重、鉛直方向動的地震荷重）を考慮するための地震応答解析モデル（内部水全質量モデル）の2種類を用いる。内部水有効質量モデルでは、仮想質量法により算定した内部水の有効質量を、Guyan縮約を用いて縮約し、サプレッションチェンバの各質点に付加する。モデル設定のフローを図4-3に示す。また、内部水全質量モデルでは、内部水的全質量を内部水重心位置に設置したはり要素に等分布質量で設定する。

- c. サプレッションチェンバスプレイ管とサプレッションチェンバの固定条件は、以下とする。



- d. 解析コードは「MSC NASTRAN」を使用する。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

- (2) 重大事故等対処設備としての解析モデル及び諸元
重大事故等対処設備としてのサプレッションチェンバースプレイ管の解析モデル及び諸元
は、設計基準対象施設と同じとする。

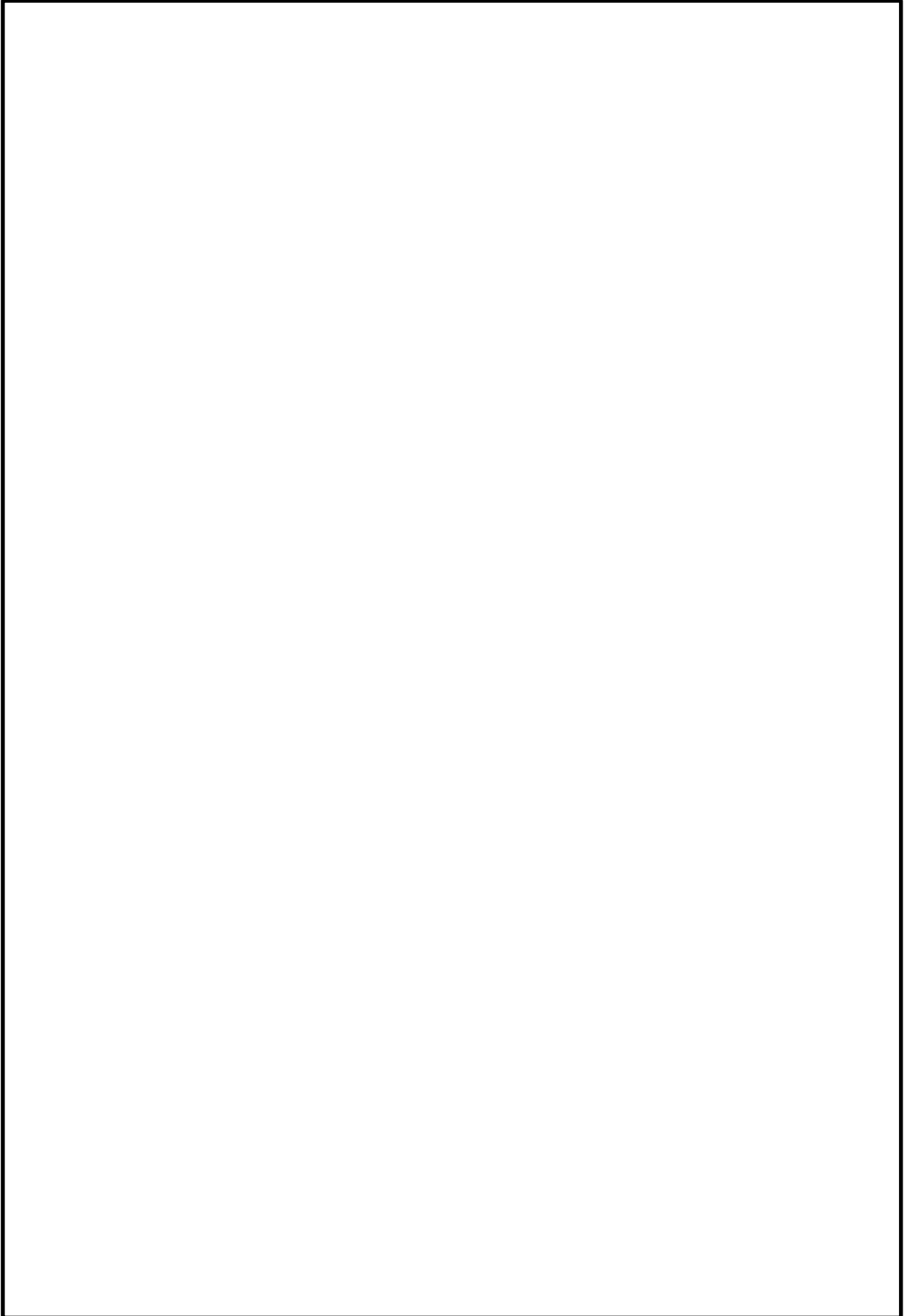


図 4-1 解析モデル (その 1: 全体図)

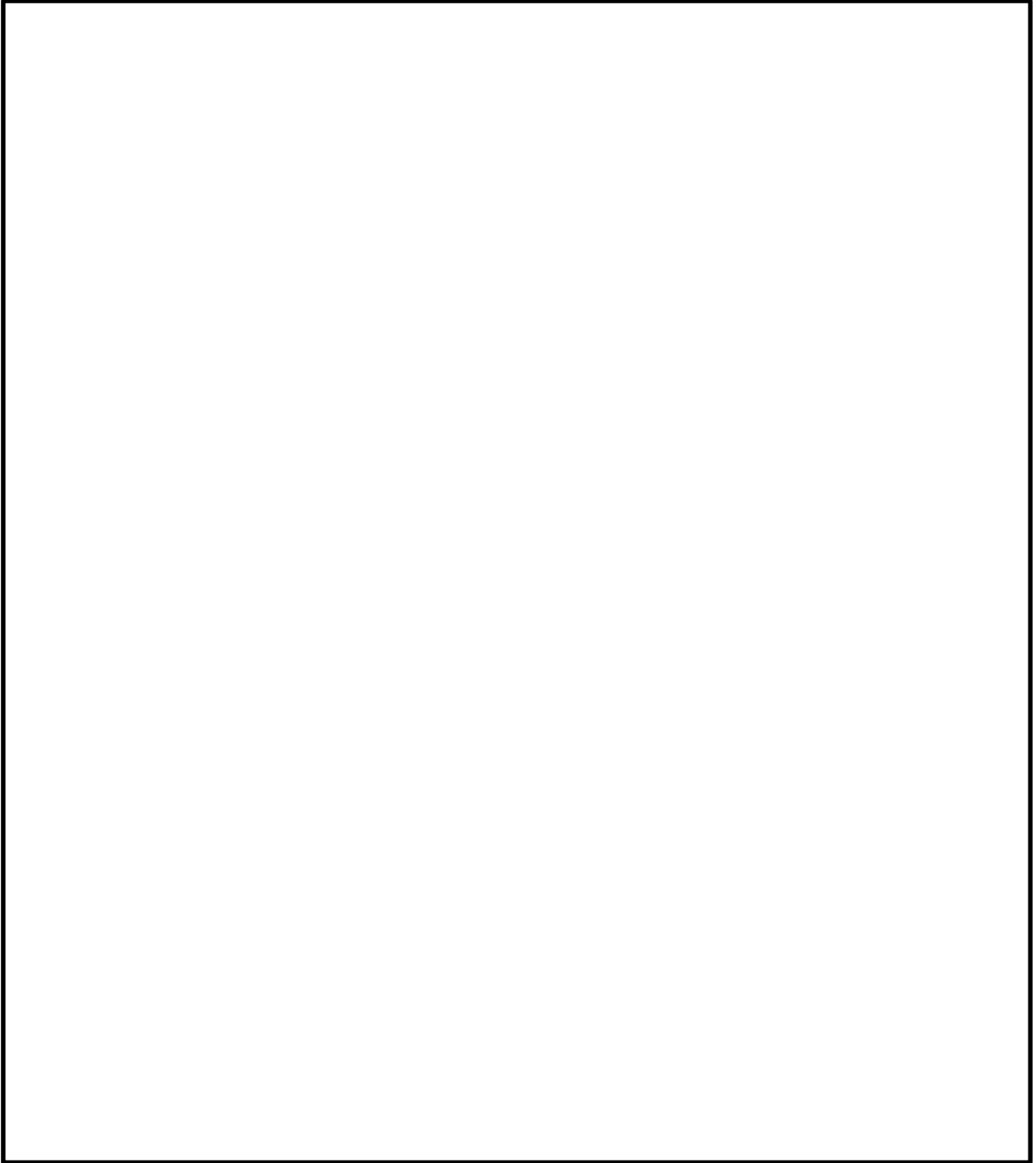


図 4-2 解析モデル (その 2 : サプレッションチェンバスプレイ管部)

表 4-7(1) 解析モデルの諸元 (内部水有効質量モデル)

項目		記号	単位	入力値
材質	サプレッションチェンバ胴	—	—	SPV50* ¹
	サプレッションチェンバサポート, 補強リング	—	—	SGV49* ²
	スプレイ管及びスプレイ管案内管	—	—	STS42* ³
質量	機器質量	m ₀	kg	<input type="text"/>
	水質量 (有効質量)	m ₁	kg	<input type="text"/>
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

注記*1 : SPV490 相当

*2 : SGV480 相当

*3 : STS410 相当

表 4-7(2) 解析モデルの諸元 (内部水全質量モデル)

項目		記号	単位	入力値
材質	サプレッションチェンバ胴	—	—	SPV50* ¹
	サプレッションチェンバサポート, 補強リング	—	—	SGV49* ²
	スプレイ管及びスプレイ管案内管	—	—	STS42* ³
質量	機器質量	m ₀	kg	<input type="text"/>
	水質量	m ₁	kg	<input type="text"/>
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

注記*1 : SPV490 相当

*2 : SGV480 相当

*3 : STS410 相当

表 4-7(3) 解析モデルの諸元 (サプレッションチェンバスプレイ管部)

項目		記号	単位	入力値
材質	プレイ管及びプレイ管案内管	—	—	STS42*
サプレッションチェンバスプレイ管の単位長さ当たりの質量		m	kg/m	<input type="text"/>
温度条件		T	℃	104
縦弾性係数		E	MPa	198000
ポアソン比		ν	—	0.3
要素数		—	—	<input type="text"/>
節点数		—	—	<input type="text"/>

注記* : STS410 相当

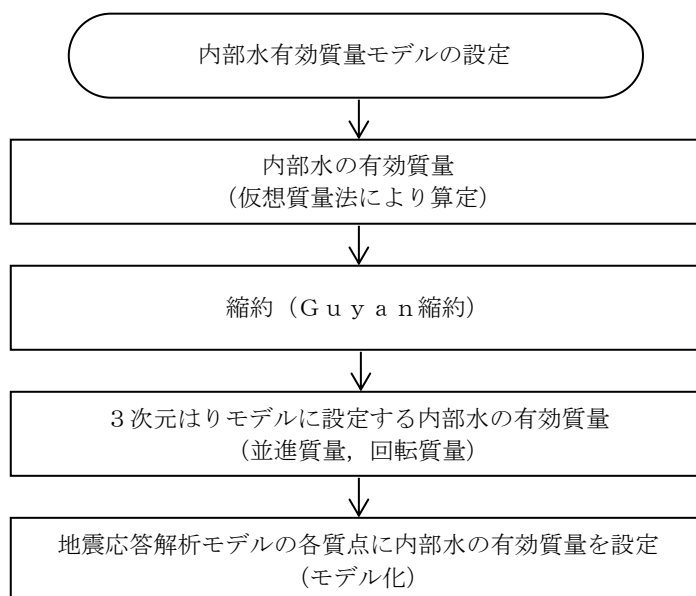


図 4-3 内部水の有効質量の地震応答解析モデルへの設定フロー

4.4 固有周期

(1) 設計基準対象施設としての固有周期

設計基準対象施設におけるサプレッションチェンバスプレイ管の固有周期を表 4-8 に、振動モード図を代表して図 4-4 に示す。なお、全ての方向の刺激係数が「0.000」となる振動モードは記載を省略する。固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-8(1) 固有周期 (設計基準対象施設) (解析モデル：内部水有効質量モデル)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
23次				
24次				
58次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-8(2) 固有周期 (設計基準対象施設) (解析モデル：内部水全質量モデル)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



(a) 解析モデル：内部水有効質量モデル（黒線：変形後，赤線：変形前）



(b) 解析モデル：内部水全質量モデル（黒線：変形後，赤線：変形前）

図 4-4 振動モード図（設計基準対象施設）

(2) 重大事故等対処設備としての固有周期

重大事故等対処設備におけるサプレッションチェンバースプレイ管の固有周期を表 4-9 に、振動モード図を代表して図 4-5 に示す。なお、全ての方向の刺激係数が「0.000」となる振動モードは記載を省略する。固有周期は 0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。

表 4-9(1) 固有周期 (重大事故等対処設備) (解析モデル: 内部水有効質量モデル)

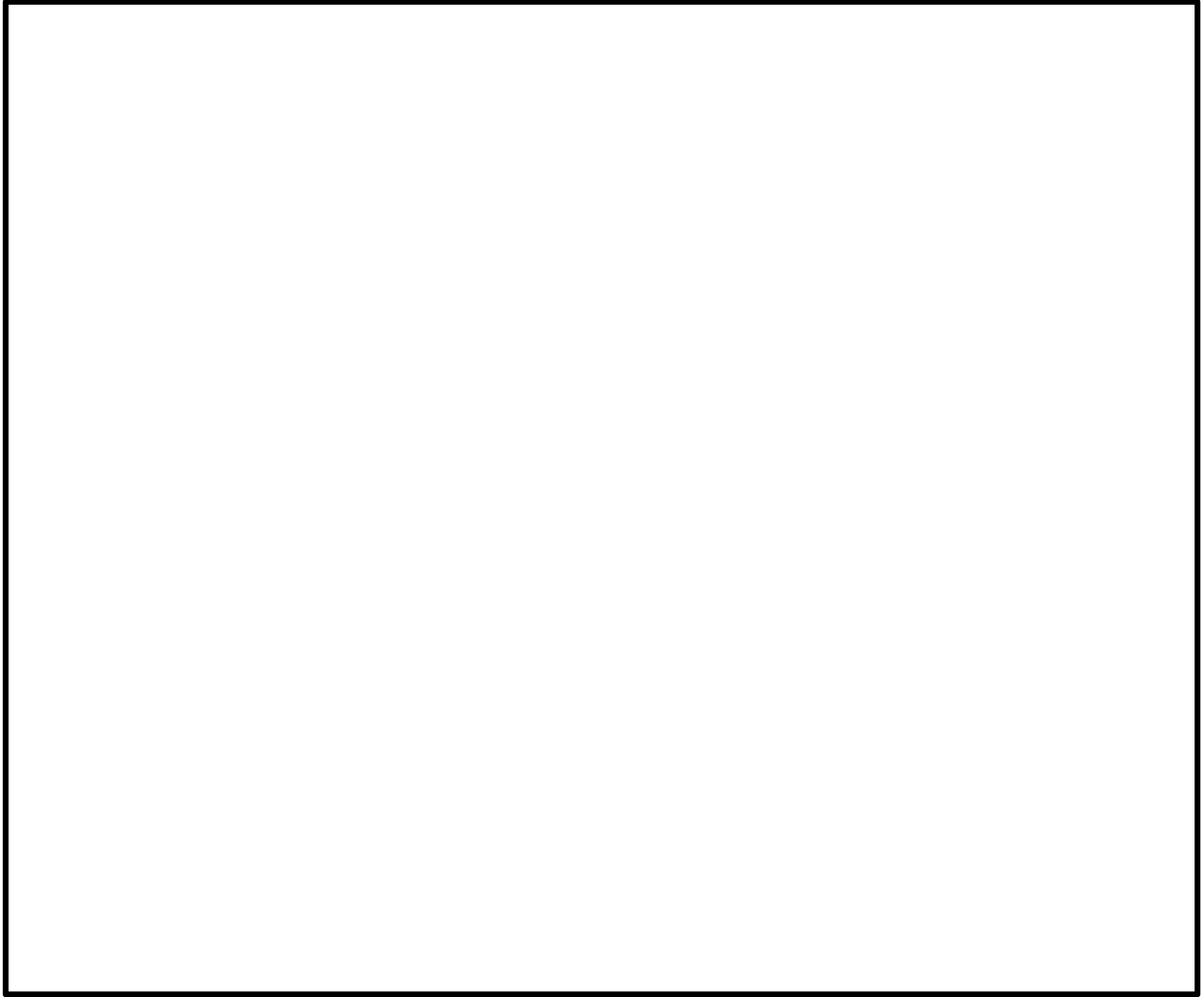
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
23次				
24次				
58次				

注記*: モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

表 4-9(2) 固有周期 (重大事故等対処設備) (解析モデル: 内部水全質量モデル)

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				

注記*: モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



(a) 解析モデル：内部水有効質量モデル（黒線：変形後，赤線：変形前）



(b) 解析モデル：内部水全質量モデル（黒線：変形後，赤線：変形前）

図 4-5 振動モード図（重大事故等対処設備）

4.5 設計用地震力

サブプレッションチェンバスプレイ管の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4-10 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。また、減衰定数は VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。

表 4-10(1) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (解析モデル: 内部水有効質量モデル)

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL 					
減衰定数 (%)		水平: 1.0* ¹ 鉛直: —					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度* ²		応答鉛直 震度	応答水平震度* ³		応答鉛直 震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次				—			—
2次				—			—
3次				—			—
4次				—			—
5次				—			—
6次				—			—
7次				—			—
8次				—			—
23次				—			—
24次				—			—
58次				—			—
動的地震力* ⁴ , * ⁵				—			—
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1: サプレッションチェンバスペイ管は, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す配管の減衰定数 2.0%を用いる配管区分に該当するが, サプレッションチェンバと連成させた解析モデルで評価を実施するため, サプレッションチェンバの減衰定数を用いる。

*2: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*5: 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 4-10(2) 設計用地震力 (設計基準対象施設) (解析モデル: 内部水全質量モデル)

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL 					
減衰定数 (%)		水平: — 鉛直: 1.0* ¹					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度* ²	応答水平震度		応答鉛直 震度* ³
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次		—	—		—	—	
2次		—	—		—	—	
3次		—	—		—	—	
4次		—	—		—	—	
5次		—	—		—	—	
6次		—	—		—	—	
7次		—	—		—	—	
8次		—	—		—	—	
61次		—	—		—	—	
動的地震力* ⁴ , * ⁵		—	—		—	—	
静的地震力* ⁶					—	—	—

注記*1: サプレッションチェンバースプレイ管は, VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す配管の減衰定数 2.0%を用いる配管区分に該当するが, サプレッションチェンバと連成させた解析モデルで評価を実施するため, サプレッションチェンバの減衰定数を用いる。

*2: 設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3: 設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4: 設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*5: 最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*6: 静的震度 ($3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$) を上回る設計震度を示す。

表 4-11(1) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（解析モデル：内部水有効質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL 					
減衰定数 (%)		水平：1.0* ¹ 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度* ²		応答鉛直 震度
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次		—	—	—			—
2次		—	—	—			—
3次		—	—	—			—
4次		—	—	—			—
5次		—	—	—			—
6次		—	—	—			—
7次		—	—	—			—
8次		—	—	—			—
23次		—	—	—			—
24次		—	—	—			—
58次		—	—	—			—
動的地震力* ³ , * ⁴		—	—	—			—
静的地震力		—	—	—	—	—	—

注記*1：サプレッションチェンバスペイ管は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す配管の減衰定数 2.0%を用いる配管区分に該当するが、サプレッションチェンバと連成させた解析モデルで評価を実施するため、サプレッションチェンバの減衰定数を用いる。

*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*4：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

表 4-11(2) 設計用地震力（重大事故等対処設備）（解析モデル：内部水全質量モデル）

据付場所及び 設置高さ (m)		原子炉建物 EL 					
減衰定数 (%)		水平：— 鉛直：1.0* ¹					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直 震度	応答水平震度		応答鉛直 震度* ²
		X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1次		—	—	—	—	—	
2次		—	—	—	—	—	
3次		—	—	—	—	—	
4次		—	—	—	—	—	
5次		—	—	—	—	—	
6次		—	—	—	—	—	
7次		—	—	—	—	—	
8次		—	—	—	—	—	
61次		—	—	—	—	—	
動的地震力* ³ , * ⁴		—	—	—	—	—	
静的地震力		—	—	—	—	—	

注記*1：サプレッションチェンバースプレイ管は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す配管の減衰定数 2.0%を用いる配管区分に該当するが、サプレッションチェンバと連成させた解析モデルで評価を実施するため、サプレッションチェンバの減衰定数を用いる。

*2：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S s）を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*4：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

4.6 計算方法

4.6.1 応力評価方法

サプレッションチェンバスプレイ管の応力評価点は、サプレッションチェンバスプレイ管を構成する各部材において、発生応力が最も大きくなる箇所とする。選定した応力評価点を表4-12及び図4-6に示す。なお、エルボ部は応力評価点P4の評価に含まれており、応力評価点以外の部位の評価は、選定した応力評価点での応力評価に包絡される。各評価点は「4.3 解析モデル及び諸元」に示す解析から得られた荷重を用いて評価する。

応力評価点 P1～P4 の応力計算方法は既工認から変更はなく、参照図書(1)に示すとおりである。既工認から新たに追加した応力評価点 P5 の応力計算方法は、「4.6.2 スプレイ管サポート (応力評価点 P5)」に示すとおりである。

表4-12 応力評価点

応力評価点番号	応力評価点
P1	スプレイ管
P2	スプレイ管えび状の管部
P3	スプレイ管ティー部
P4	スプレイ管案内管
P5	スプレイ管サポート

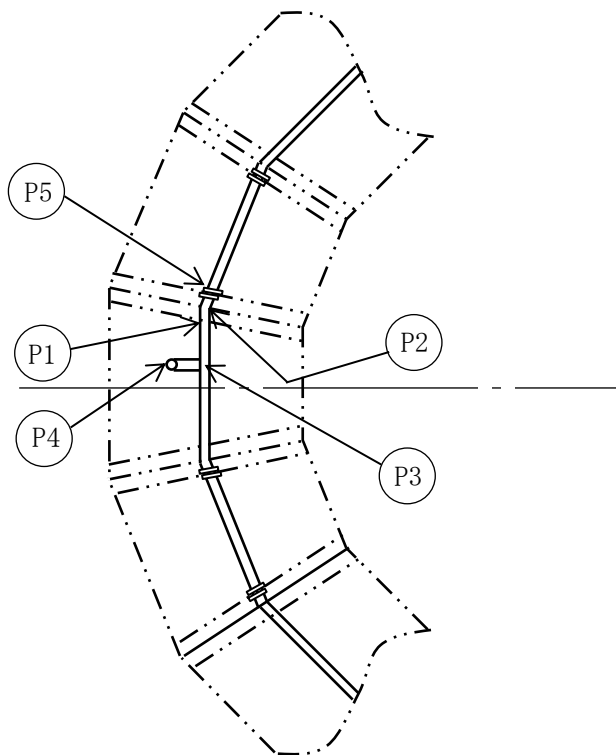


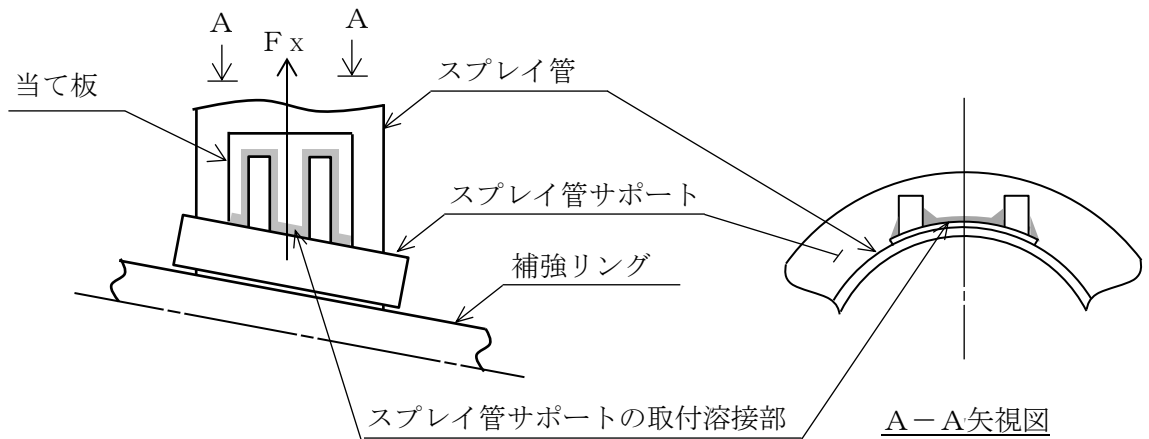
図4-6 サプレッションチェンバスプレイ管の応力評価点

4.6.2 スプレイ管サポート（応力評価点 P5）

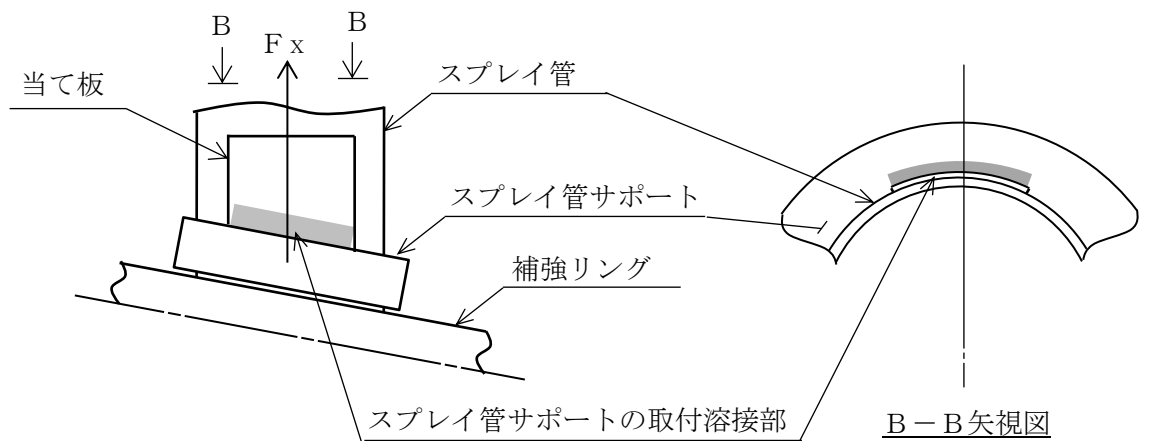
スプレイ管サポート（応力評価点 P5）は，図 4-7 に示すスプレイ管サポートの取付溶接部に対し，図 4-1 に示す解析モデルから算出されたスプレイ管軸方向の反力 F_x により生じる応力を計算する。応力の計算式を以下に示す。

$$\tau = \frac{F_x}{A} \dots\dots\dots (4.6.2.1)$$

ここに，補強リブありの箇所，補強リブなしの箇所 $A = \square \text{ mm}^2$



(a) 補強リブありの箇所



(b) 補強リブなしの箇所

図 4-7 スプレイ管サポートの取付溶接部

4.7 計算条件

応力解析に用いる荷重は、「4.2 荷重の組合せ及び許容応力」及び「4.5 設計用地震力」に示す。

4.8 応力の評価

「4.6 計算方法」で求めた応力が表 4-3 及び表 4-4 で定めた許容応力以下であること。ただし、組合せ応力は許容引張応力以下であること。また、一次+二次応力が許容値を満足しない場合は、設計・建設規格 PPB-3536(1), (2), (4)及び(5) (S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。)に基づいて疲労評価を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

サブプレッションチェンバスプレイ管の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-1 及び表 5-2 に示す。

(2) 疲労評価結果

疲労評価の結果を表 5-3 に示す。

(3) 支持構造物評価結果（サブプレッションチェンバスプレイ管支持構造物）

支持構造物評価の結果を表 5-4 に示す。

表 5-1 許容応力状態Ⅲ_AS に対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_d*)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	Ⅲ _A S		判定	* 節点番号	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ スプレイ管	P1	スプレイ管	一次応力	199	219	○	N1067 N1080	
			一次+二次応力	330	439	○	N1067 N1080	
	P2	スプレイ管えび状の管部	一次応力	157	219	○	N1036 N1046	
			一次+二次応力	250	439	○	N1036 N1046	
	P3	スプレイ管ティー部	一次応力	154	219	○	N1001 N1014	
			一次+二次応力	212	439	○	N1001 N1014	
	P4	スプレイ管案内管	一次応力	158	219	○	N1004 N1008	
			一次+二次応力	224	439	○	N1004 N1008	

注記* : 最大応力値算出節点となる解析モデル上の節点番号を示す (図 4-2 を参照)。

表 5-2 許容応力状態IVASに対する評価結果 (D + P_D + M_D + S_s)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	IVAS		判定	*1 節点番号	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ スプレイ管	P1	スプレイ管	一次応力	291	364	○	N1067 N1080	
			一次+二次応力	514	439	×*2	N1067 N1080	
			疲労評価	0.040	1.0	○	N1067 N1080	
	P2	スプレイ管えび状の管部	一次応力	234	364	○	N1036 N1046	
			一次+二次応力	404	439	○	N1036 N1046	
	P3	スプレイ管ティー部	一次応力	221	364	○	N1001 N1014	
			一次+二次応力	346	439	○	N1001 N1014	
	P4	スプレイ管案内管	一次応力	239	364	○	N1004 N1008	
			一次+二次応力	386	439	○	N1004 N1008	

注記*1：最大応力値算出節点となる解析モデル上の節点番号を示す（図 4-2 を参照）。

*2：P1 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-3 許容応力状態IV_ASに対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P1	514							0.040

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.98 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 5-4 支持構造物評価結果

応力評価点	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果			
				反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	
				F _x *	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z				
P5	スプレイ管サポート	プレート	SUS304	104	150	—	—	—	—	—	せん断	96	118

注記* : サプレッションチェンバ周方向 (配管軸方向) 反力を示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

サブプレッションチェンバスプレイ管の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を表 5-5 に示す。

(2) 疲労評価結果

疲労評価の結果を表 5-6 に示す。

(3) 支持構造物評価結果（サブプレッションチェンバスプレイ管支持構造物）

支持構造物評価の結果を表 5-7 に示す。

表 5-5 許容応力状態 VAS に対する評価結果 (D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S)

評価対象設備	応力評価点		応力分類	V A S		判定	*1 節点番号	備考
				算出応力	許容応力			
				MPa	MPa			
サプレッションチェンバ スプレイ管	P1	スプレイ管	一次応力	291	363	○	N1067 N1080	
			一次+二次応力	514	414	×*2	N1067 N1080	
			疲労評価	0.056	1.0	○	N1067 N1080	
	P2	スプレイ管えび状の管部	一次応力	234	363	○	N1036 N1046	
			一次+二次応力	404	414	○	N1036 N1046	
	P3	スプレイ管ティー部	一次応力	221	363	○	N1001 N1014	
			一次+二次応力	346	414	○	N1001 N1014	
	P4	スプレイ管案内管	一次応力	239	363	○	N1004 N1008	
			一次+二次応力	386	414	○	N1004 N1008	

注記*1：最大応力値算出節点となる解析モデル上の節点番号を示す（図 4-2 を参照）。

*2：P1 の一次+二次応力評価は許容値を満足しないが、設計・建設規格 PPB-3536(1)，(2)，(4)及び(5)に基づいて疲労評価を行い、十分な構造強度を有していることを確認した。

表 5-6 許容応力状態 VAS に対する疲労評価結果

評価部位	S _n (MPa)	K _e	S _p (MPa)	S _ℓ (MPa)	S _{ℓ'} * (MPa)	N _a (回)	N _c (回)	疲労累積係数 N _c /N _a
P1	514							0.056

注記* : S_ℓに (2.07×10⁵/E) を乗じた値である。

$$E = 1.91 \times 10^5 \text{ MPa}$$

表 5-7 支持構造物評価結果

応力評価点	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果			
				反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)	
				F _x *	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z				
P5	スプレイ管サポート	プレート	SUS304	200	150	—	—	—	—	—	せん断	96	112

注記* : サプレッションチェンバ周方向 (配管軸方向) 反力を示す。

6. 参照図書

- (1) 島根原子力発電所第2号機 第2回工事計画認可申請書
IV-3-5-19 「サプレッションチェンバスプレイ管の強度計算書」

VI-2-9-4-4-2 格納容器代替スプレイ系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-2-1 管の耐震性についての計算書
(格納容器代替スプレイ系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	17
3.5 設計用地震力	18
4. 解析結果及び評価	19
4.1 固有周期及び設計震度	19
4.2 評価結果	25
4.2.1 管の応力評価結果	25
4.2.2 支持構造物評価結果	26
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	27
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、格納容器代替スプレイ系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全6モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

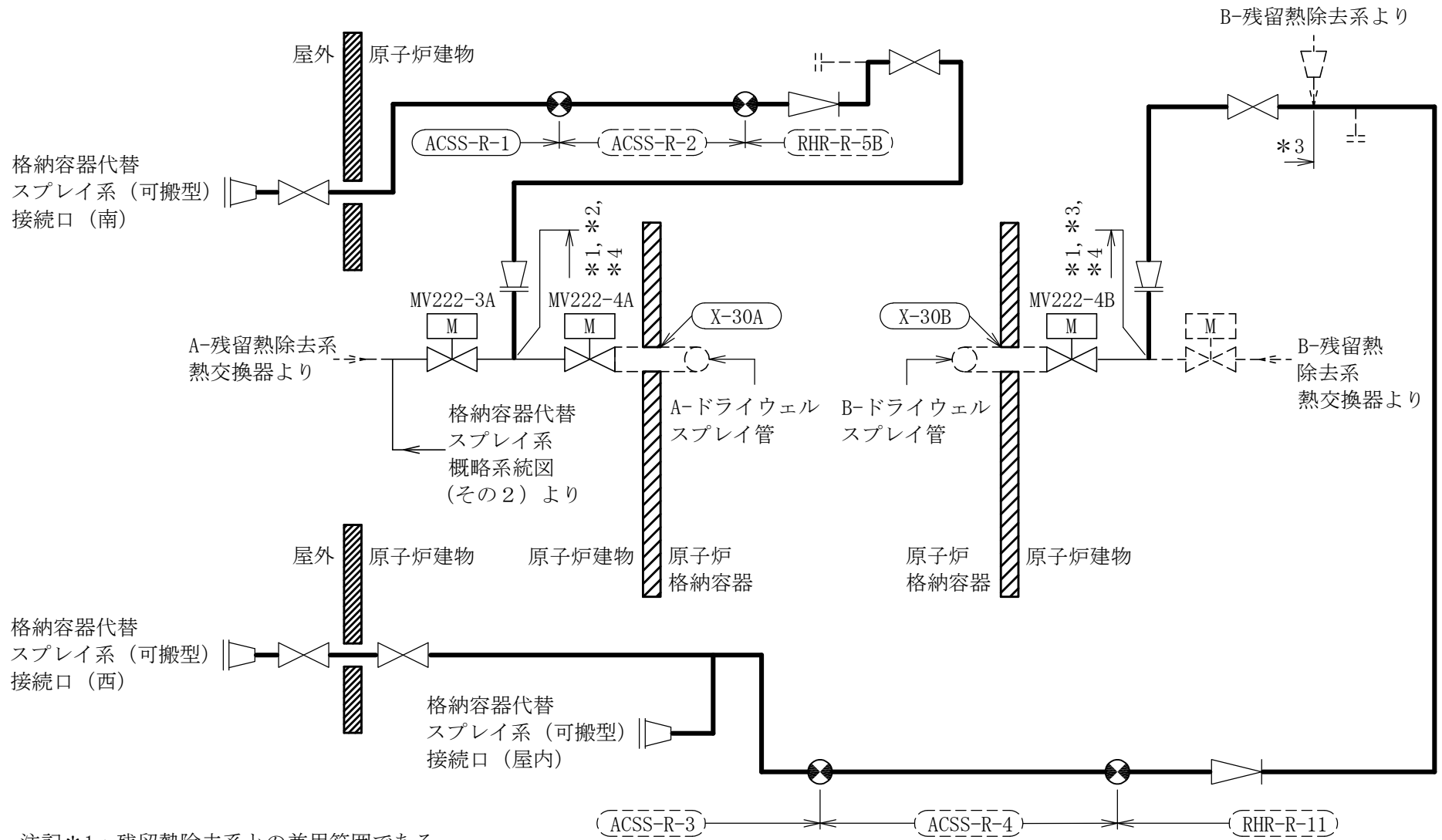
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

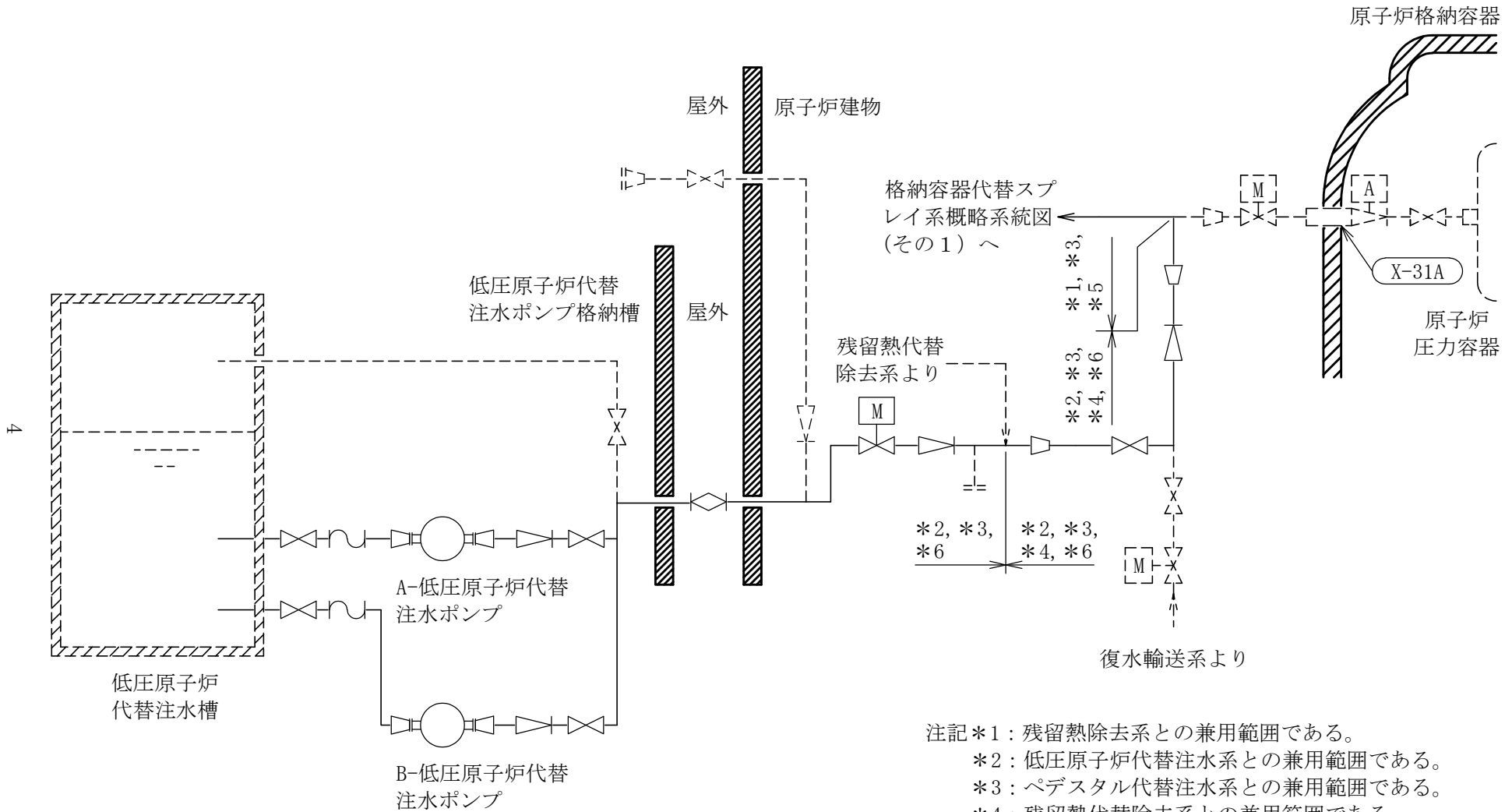
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



3

- 注記*1: 残留熱除去系との兼用範囲である。
- *2: ペDESTAL代替注水系との兼用範囲である。
- *3: 残留熱代替除去系との兼用範囲である。
- *4: 計算結果は残留熱除去系に含めて示す。


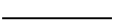
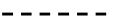


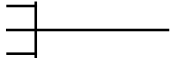
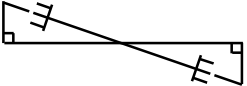
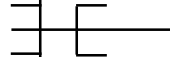
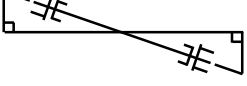

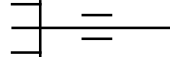
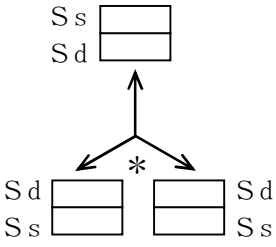
[注] 太線範囲の管クラス: SA2
格納容器代替スプレイ系概略系統図 (その1)



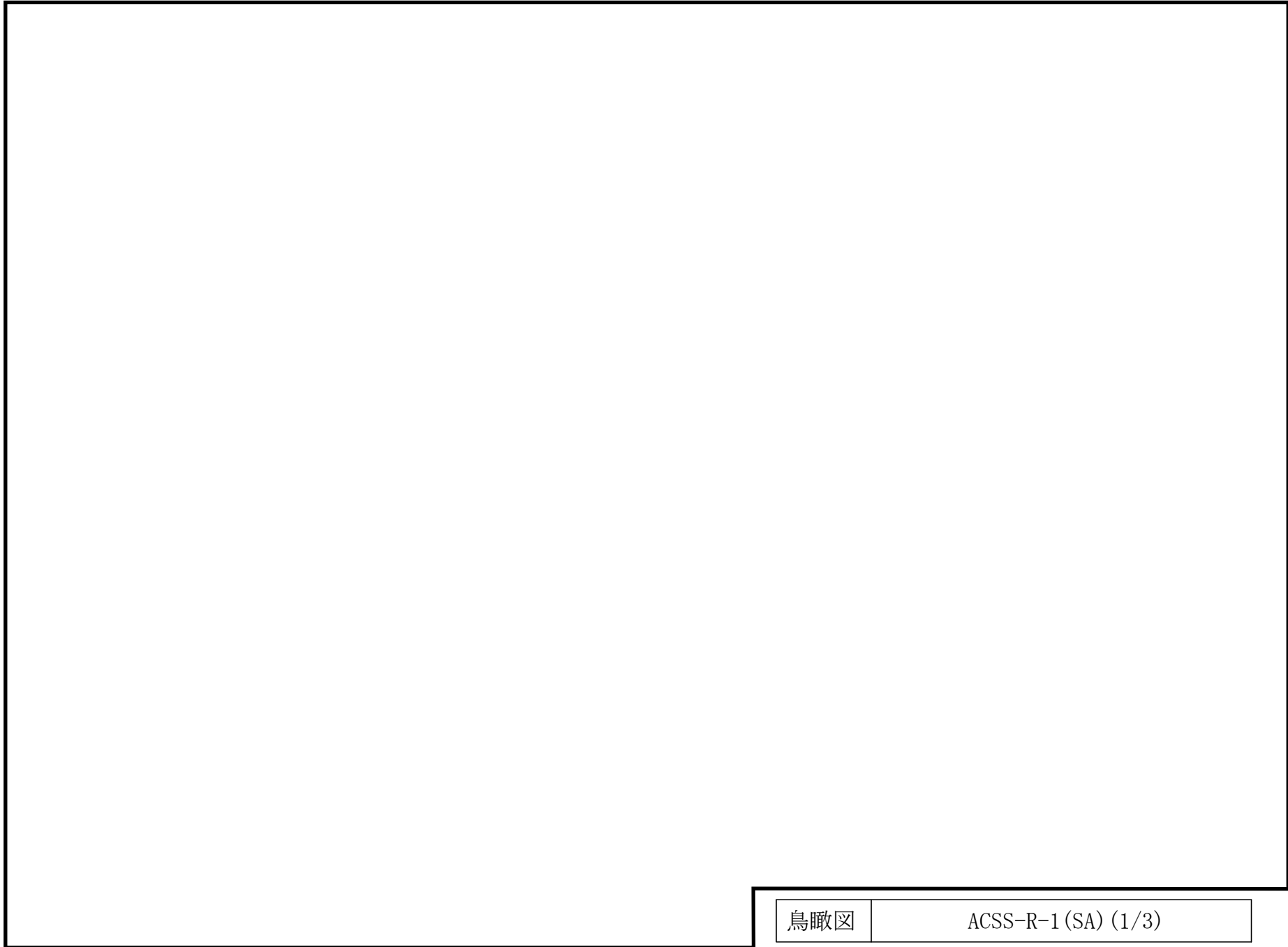
格納容器代替スプレイ系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

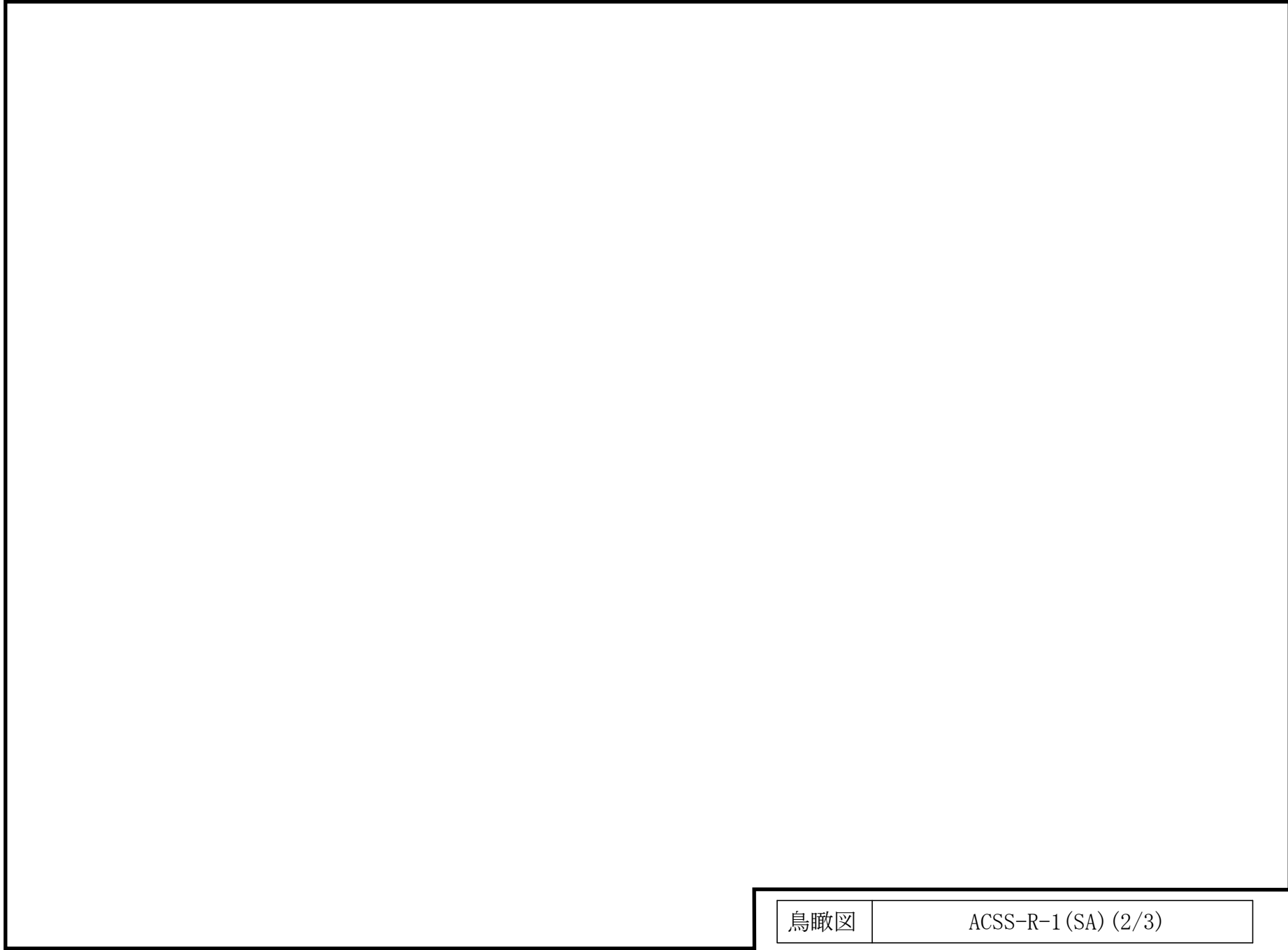
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

S2 補 VI-2-9-4-4-2-1 R1

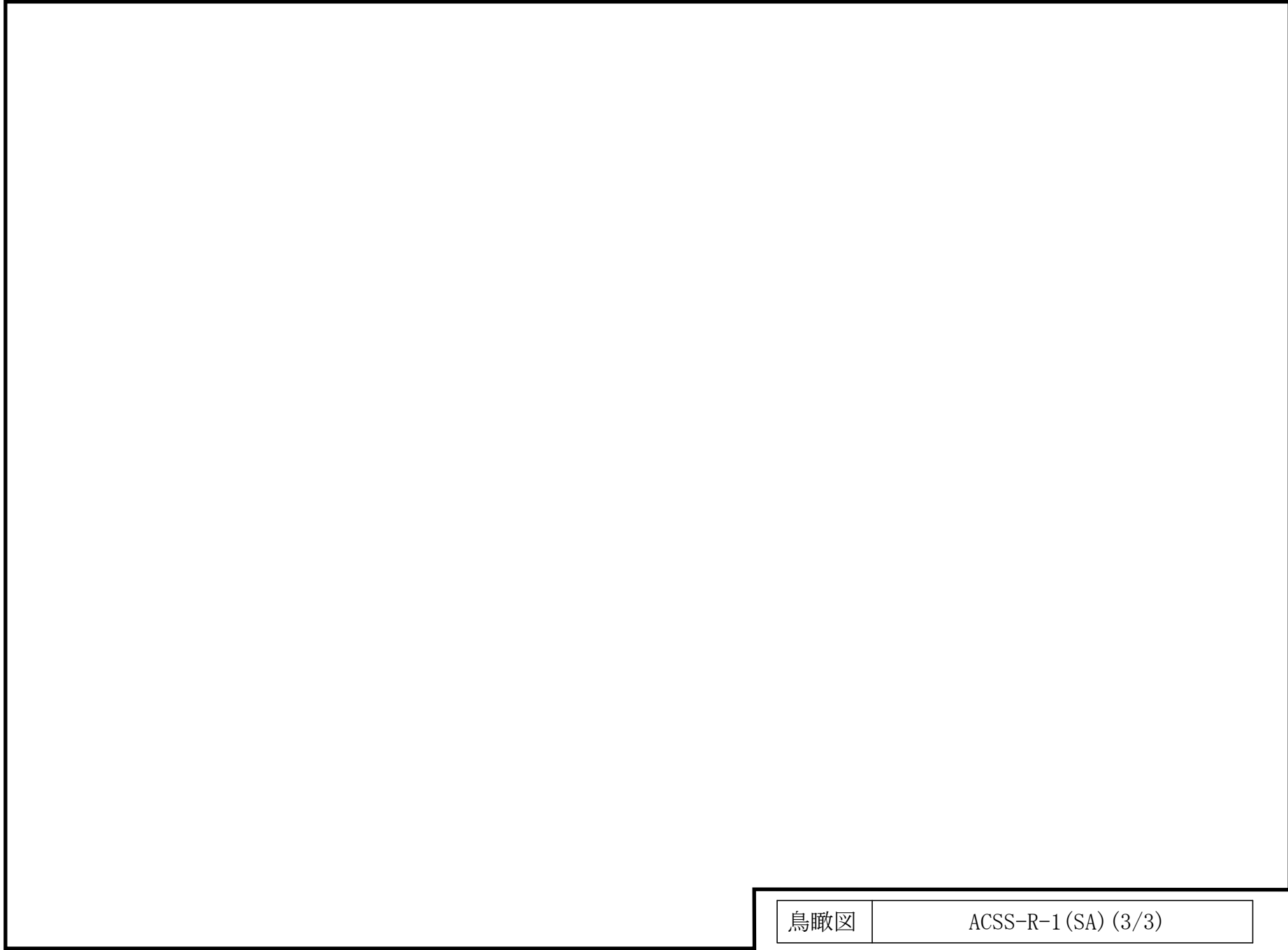


鳥瞰図

ACSS-R-1 (SA) (1/3)



∞



鳥瞰図

ACSS-R-1 (SA) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	格納容器代替スプレイ系	S A	常設耐震／防止 常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S
		残留熱代替除去系	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S

注記*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し，許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1F~2	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66
2	3~6, 7~14S	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66
3	14S~98A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66

設計条件


鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1F~2	165.2	7.1	SUS304TP	—	193867
2	3~6, 7~14S	114.3	6.0	SUS304TP	—	193867
3	14S~98A	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

質量	対応する評価点
	1F
	651F

弁部の質量

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

質量	対応する評価点
	6~7

弁部の寸法

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
6~7			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
5						
13						
21						
25						
31						
40						
44						
47						
50						
53						
63						
68						
72						
79						
83						
89						
91						
95						
98A						

S2 補 VI-2-9-4-4-2-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	66	—	188	479	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
ACSS-R-1	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 ACSS-R-1

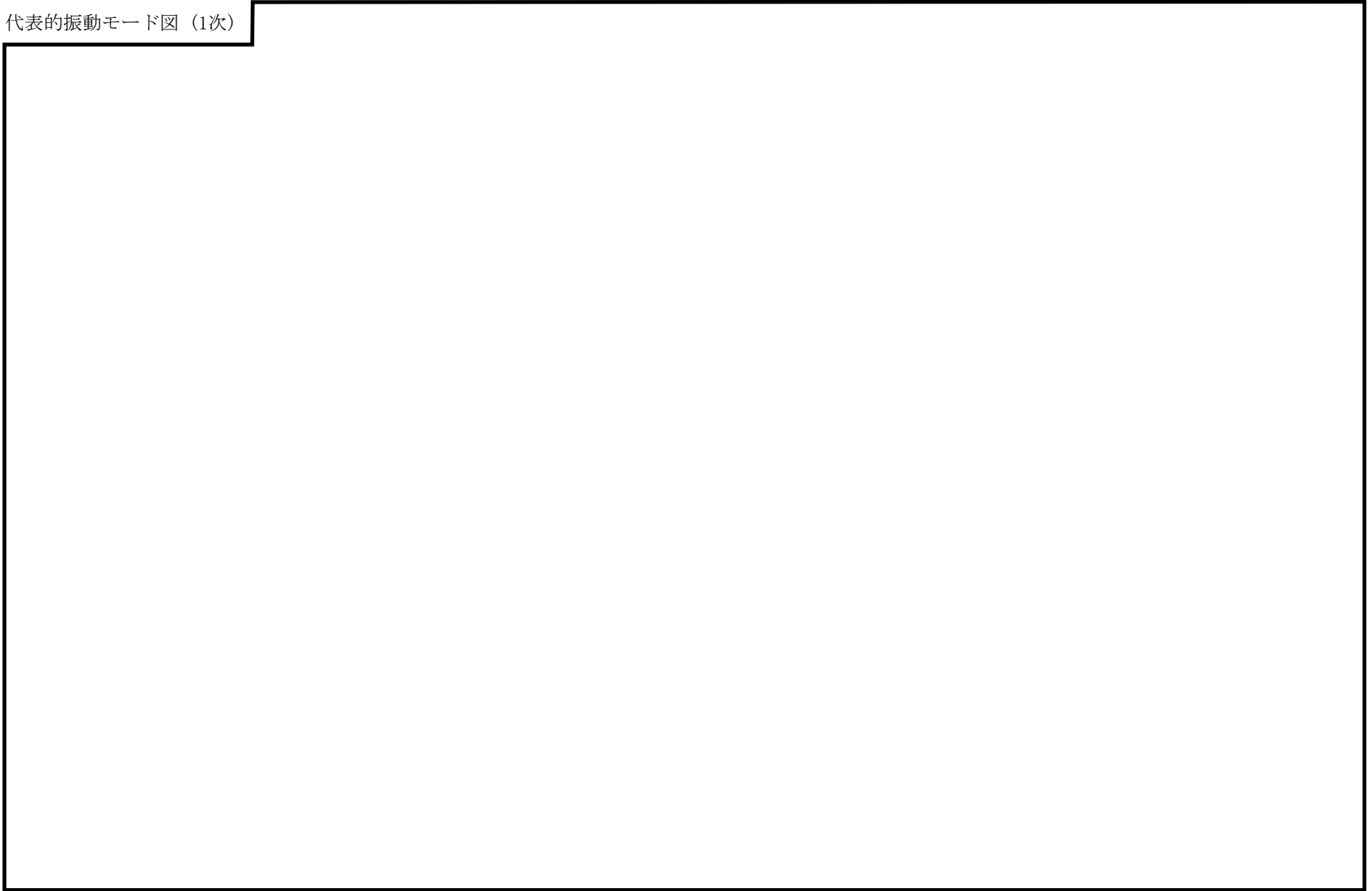
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

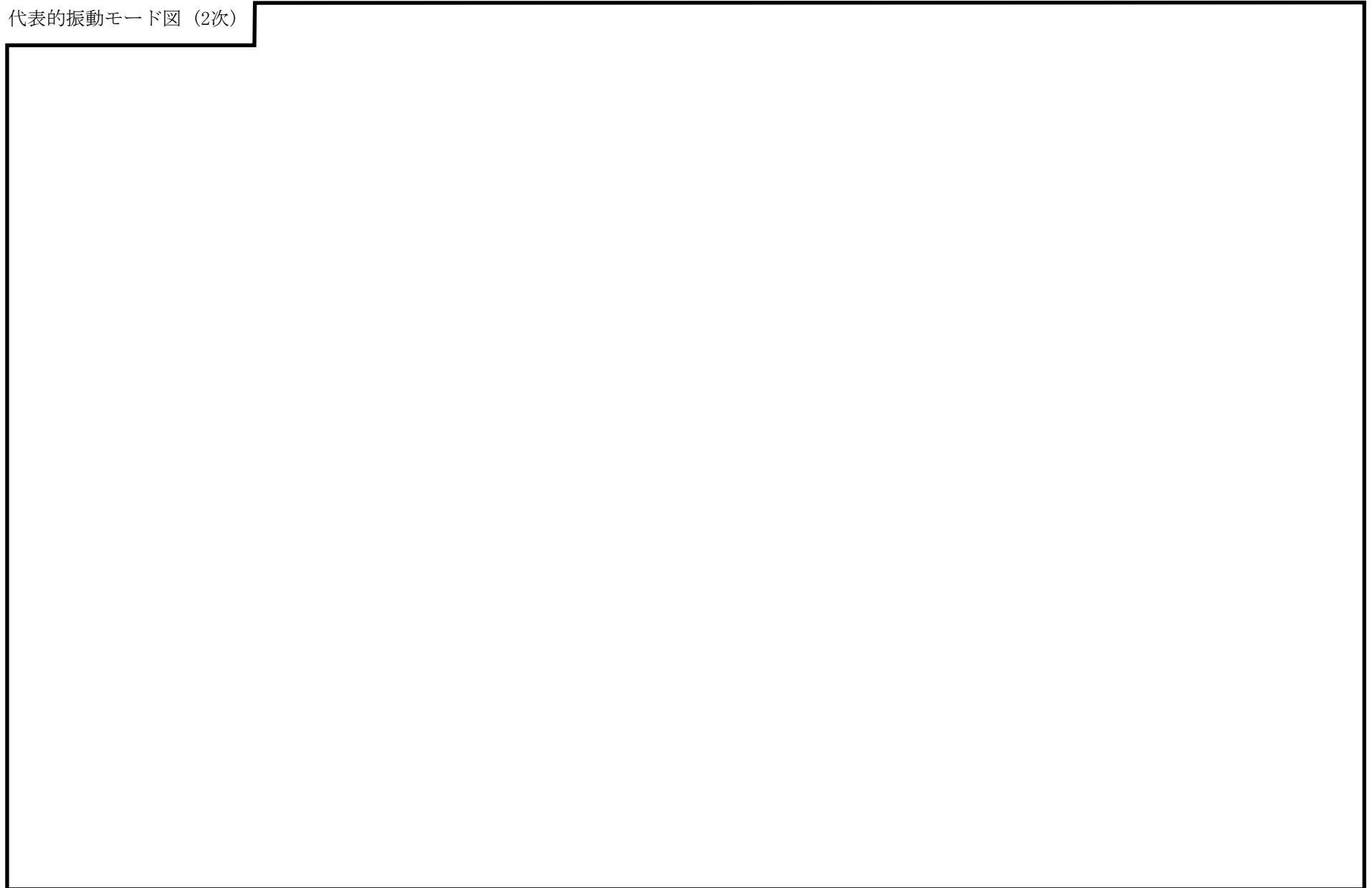
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

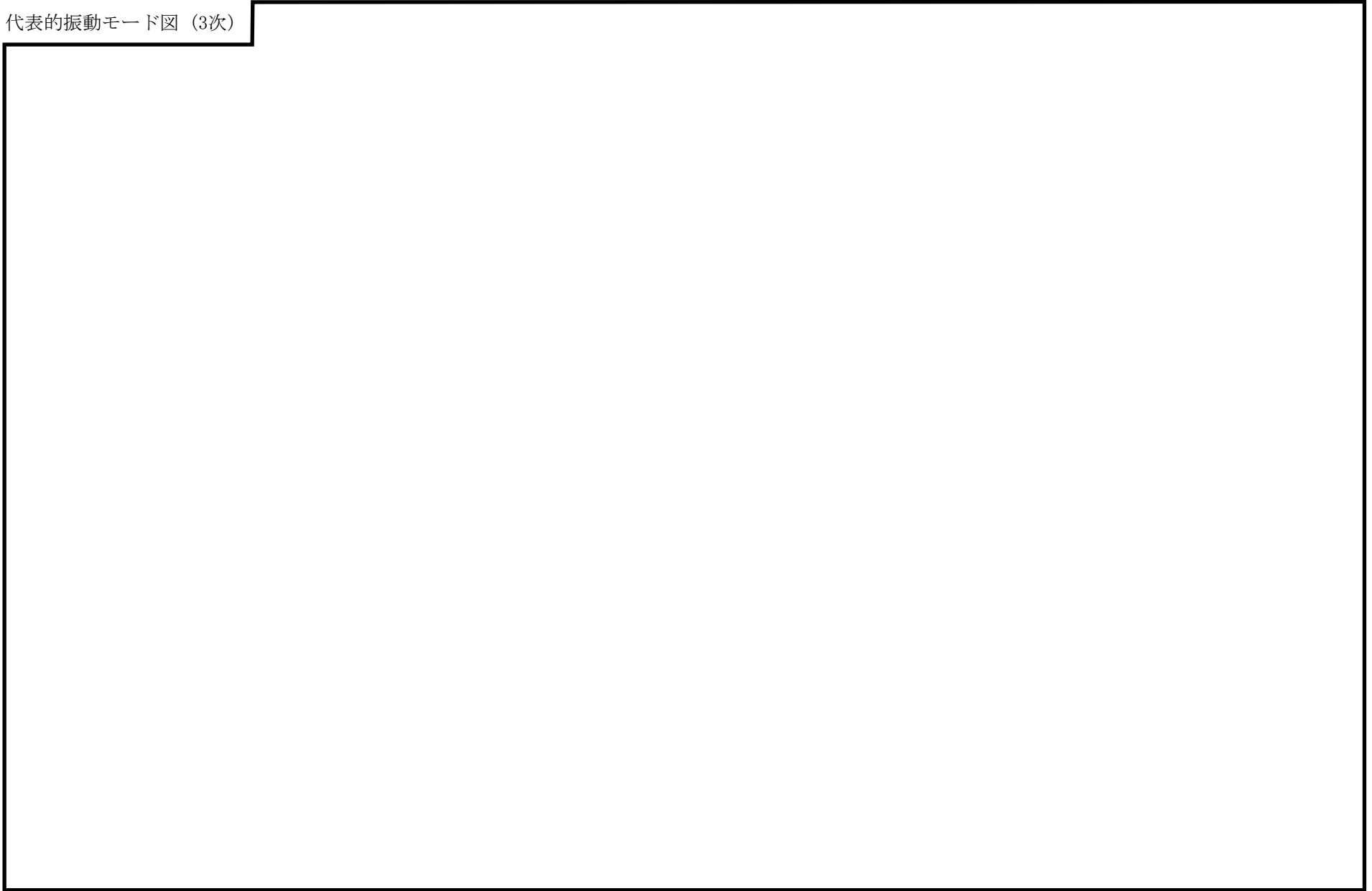
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	ACSS-R-1	9	155	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	ACSS-R-1	9	251	376	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	ACSS-R-1	9	155	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	ACSS-R-1	9	251	376	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
SNO-RHR-532	オイルスナッパ	SN-3			16	45	—
—	ロッドレストレイント	—			—	—	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-ACSS-2	レストレイント	Uボルト	SUS304	66	0	16	3	—	—	—	引張	65	153
AN-ACSS-54	アンカ	ラグ	SUS304	100	8	3	7	3	2	3	引張	35	132

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	ACSS-R-1	9	155	431	2.78	○	9	251	376	1.49	—	○
2	ACSS-R-2	44	131	431	3.29	—	44	231	376	1.62	—	—
3	ACSS-R-3	34	117	431	3.68	—	34	201	376	1.87	—	—
4	ACSS-R-4	65	149	431	2.89	—	65	246	376	1.52	—	—
5	RHR-R-5B	114	60	367	6.11	—	107	195	294	1.50	—	—
6	RHR-R-11	700	118	365	3.09	—	700	261	442	1.69	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	ACSS-R-1	9	155	431	2.78	○	9	251	376	1.49	—	○
2	ACSS-R-2	44	131	431	3.29	—	44	231	376	1.62	—	—
3	ACSS-R-3	34	117	431	3.68	—	34	201	376	1.87	—	—
4	ACSS-R-4	65	149	431	2.89	—	65	246	376	1.52	—	—
5	RHR-R-5B	114	60	367	6.11	—	107	195	294	1.50	—	—
6	RHR-R-11	700	118	365	3.09	—	700	261	442	1.69	—	—

VI-2-9-4-4-3 ペデスタル代替注水系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-3-1 管の耐震性についての計算書
(ペDESTAL代替注水系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	6
3. 計算条件	13
3.1 計算方法	13
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	14
3.3 設計条件	15
3.4 材料及び許容応力	27
3.5 設計用地震力	28
4. 解析結果及び評価	29
4.1 固有周期及び設計震度	29
4.2 評価結果	41
4.2.1 管の応力評価結果	41
4.2.2 支持構造物評価結果	42
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	43
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	44

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、ペDESTAL代替注水系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全6モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。








(3) 弁

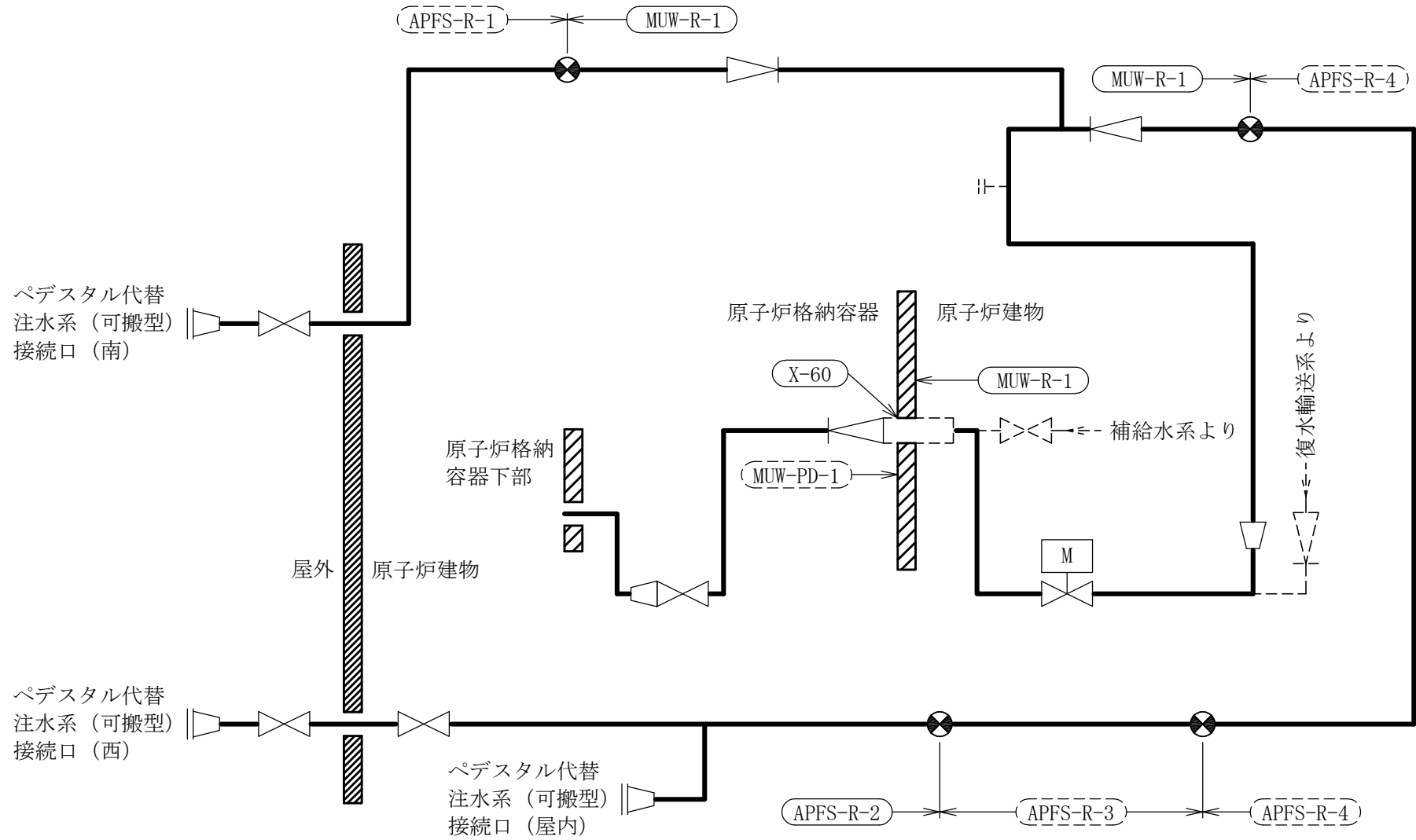
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

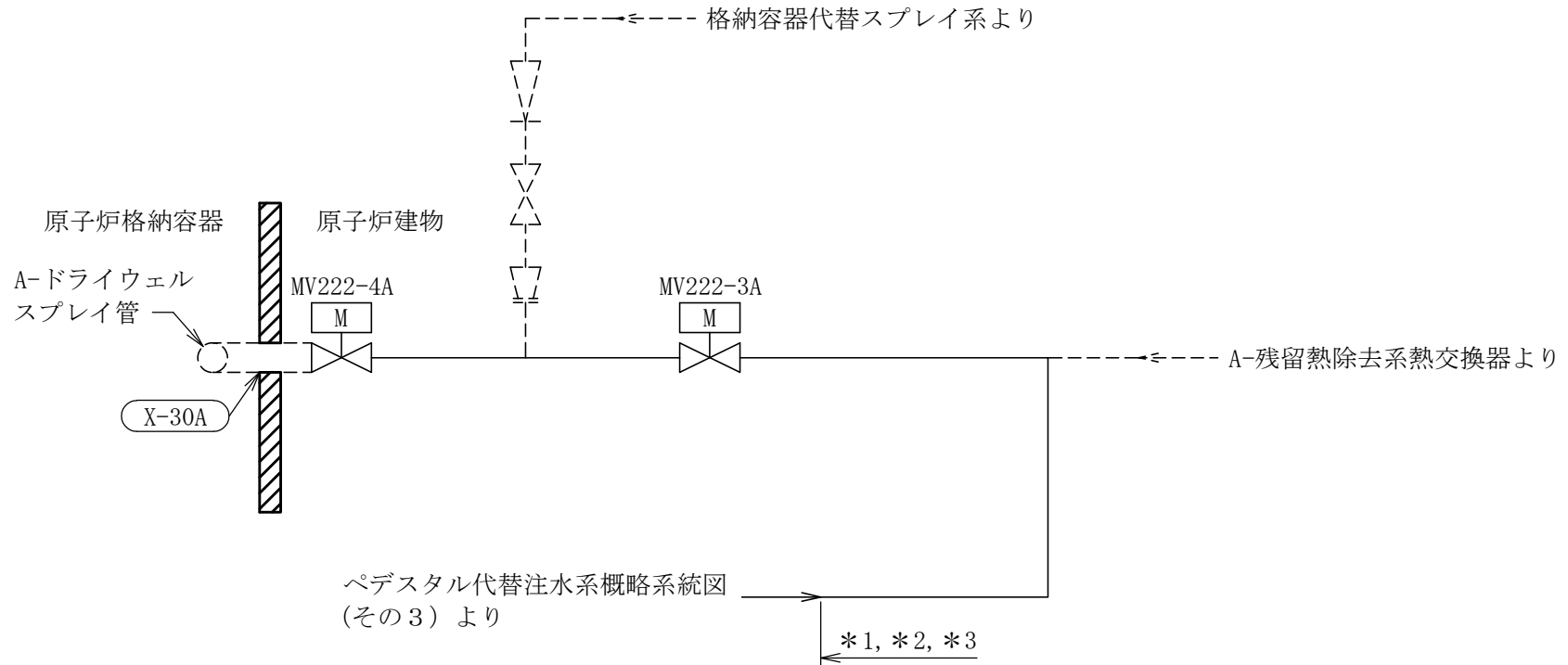
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



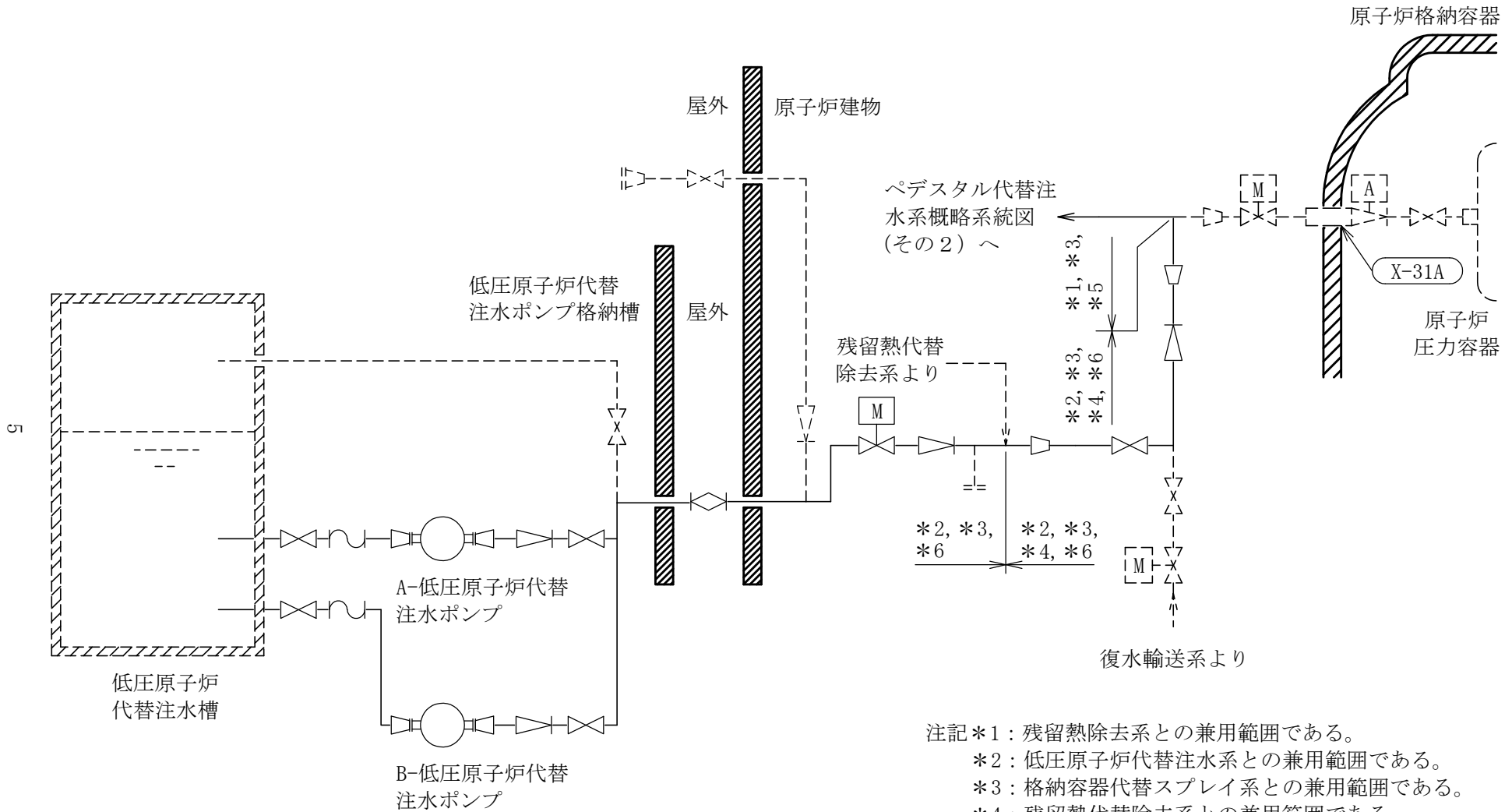
3

[注] 太線範囲の管クラス : SA2
 ペDESTアル代替注水系概略系統図 (その1)



- 注記 *1 : 残留熱除去系との兼用範囲である。
- *2 : 格納容器代替スプレイ系との兼用範囲である。
- *3 : 計算結果は残留熱除去系に含めて示す。



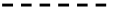


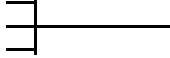
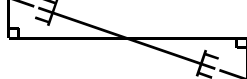
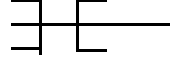
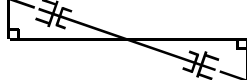

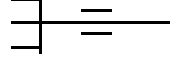
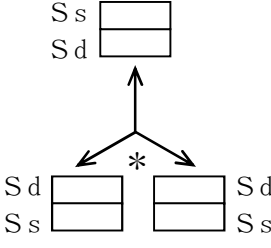
ペDESTAL代替注水系概略系統図 (その2)

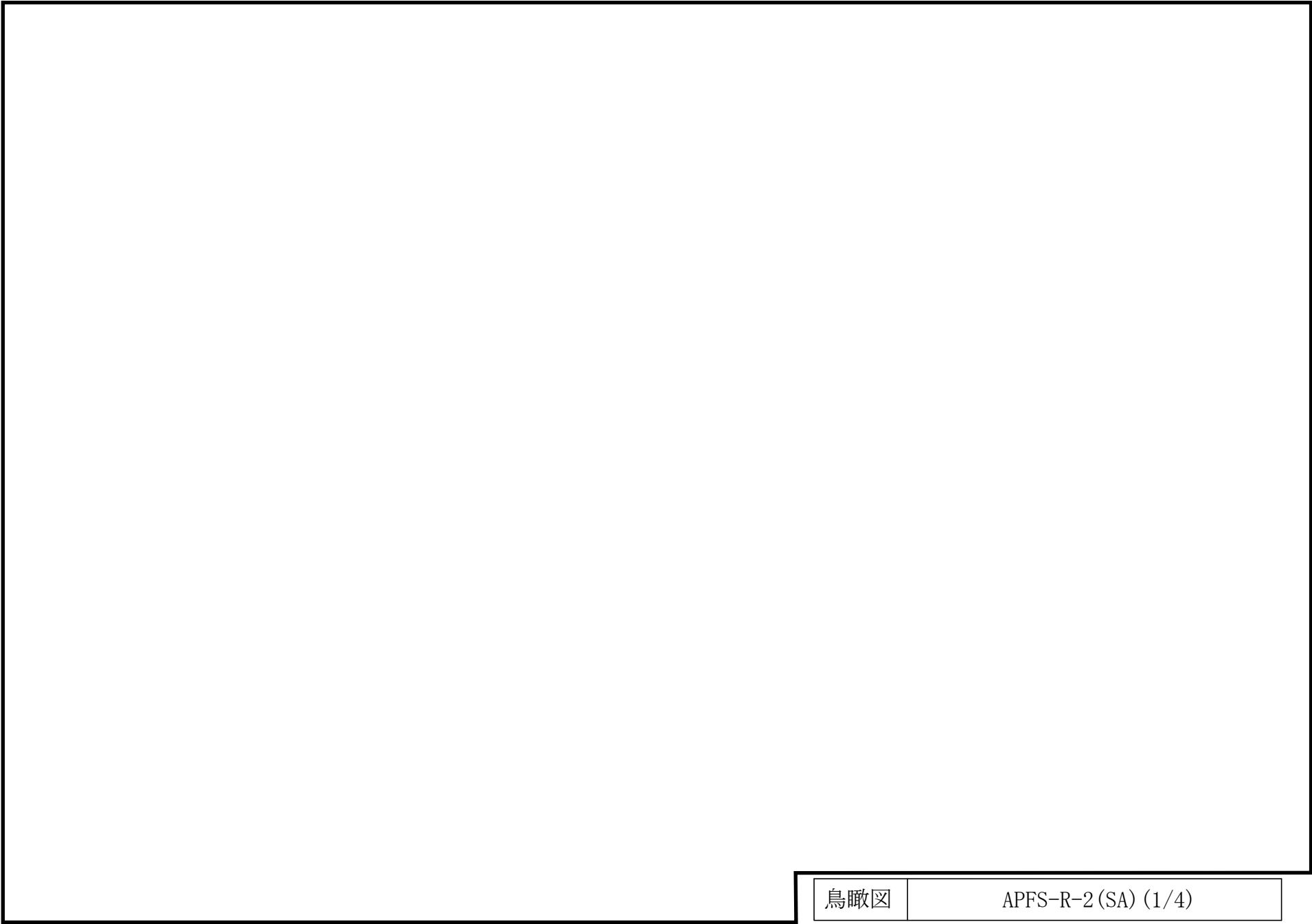


ペDESTAL代替注水系概略系統図 (その3)

2.2 鳥瞰図

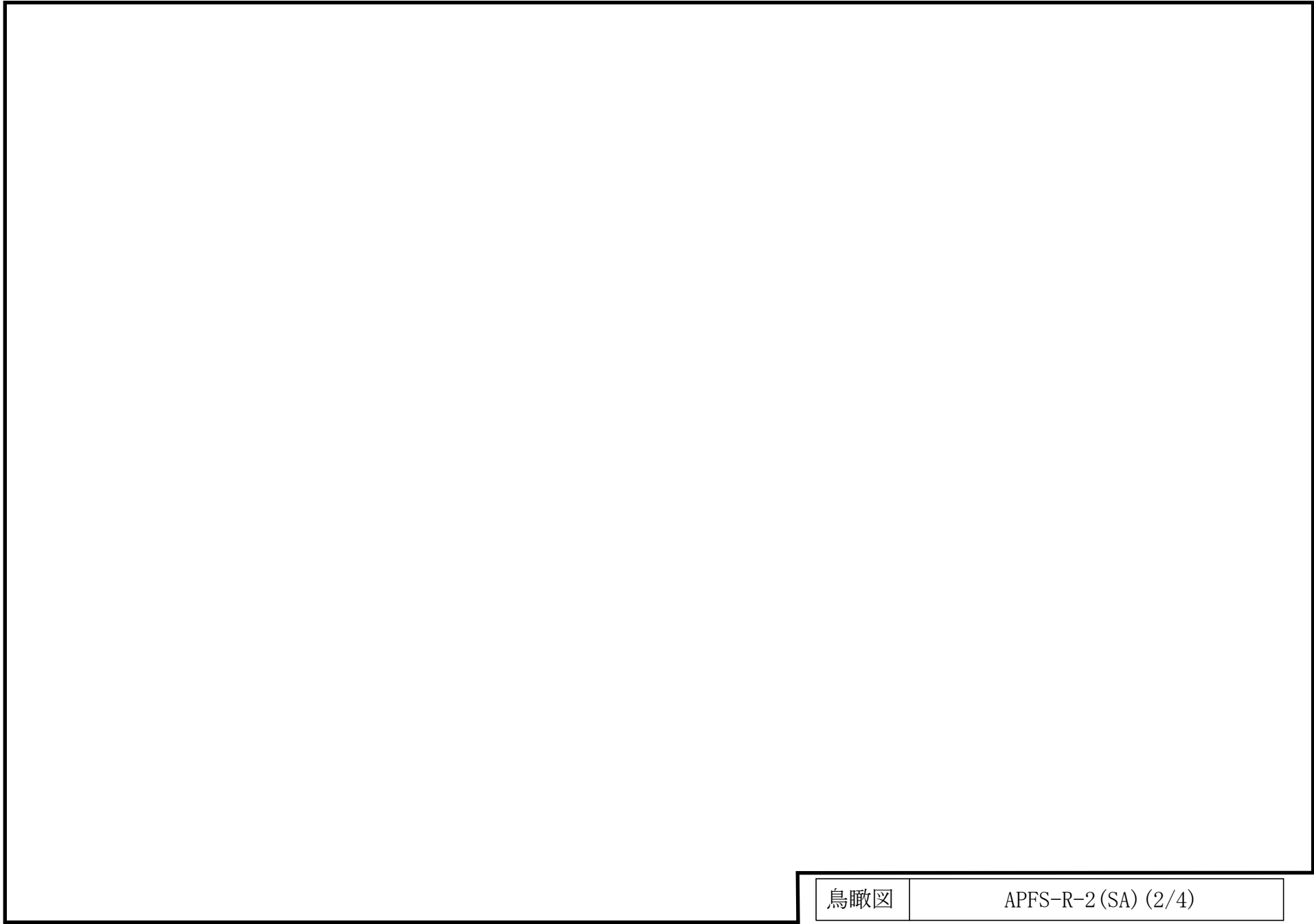
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



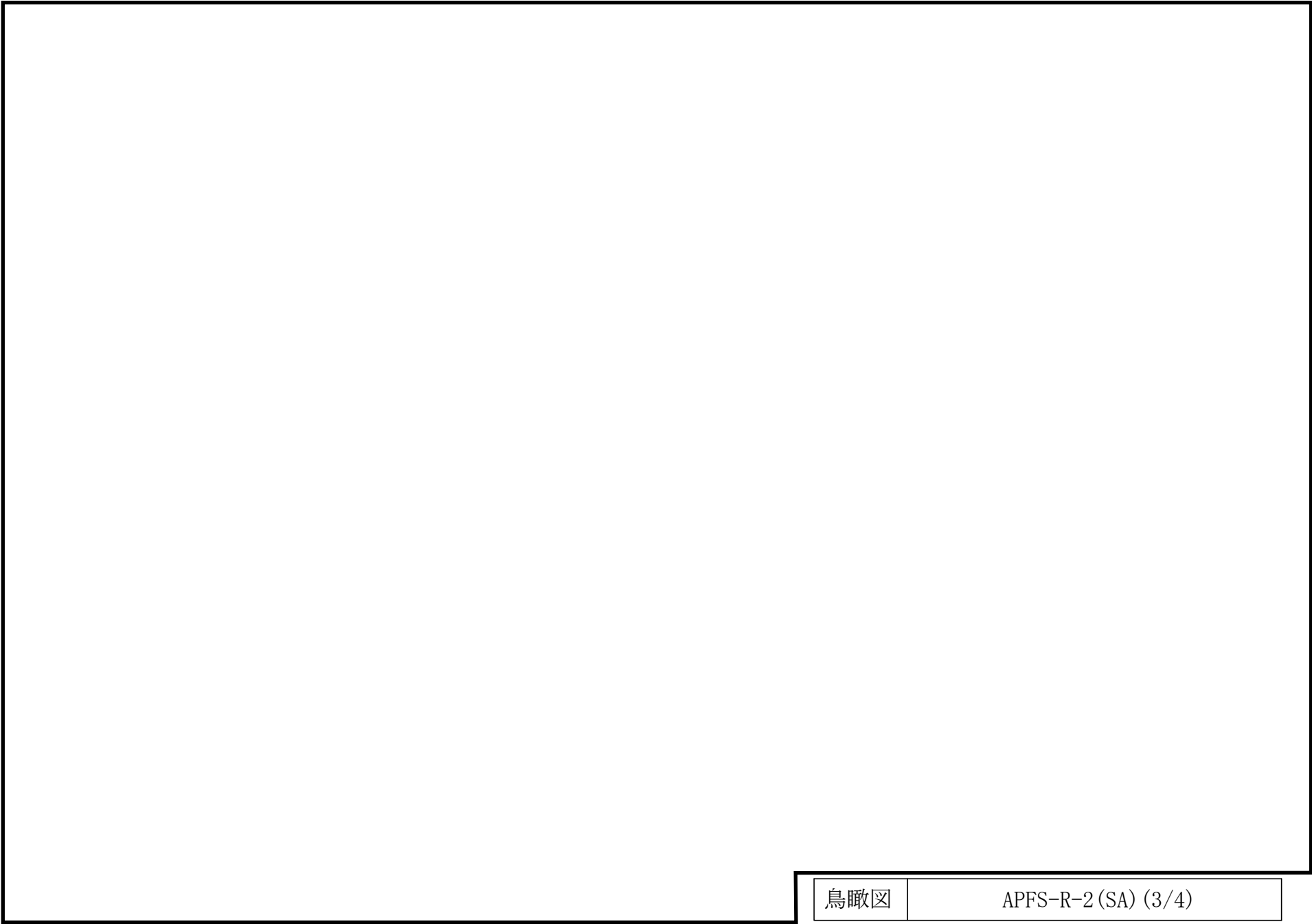
鳥瞰図	APFS-R-2(SA) (1/4)
-----	--------------------

∞

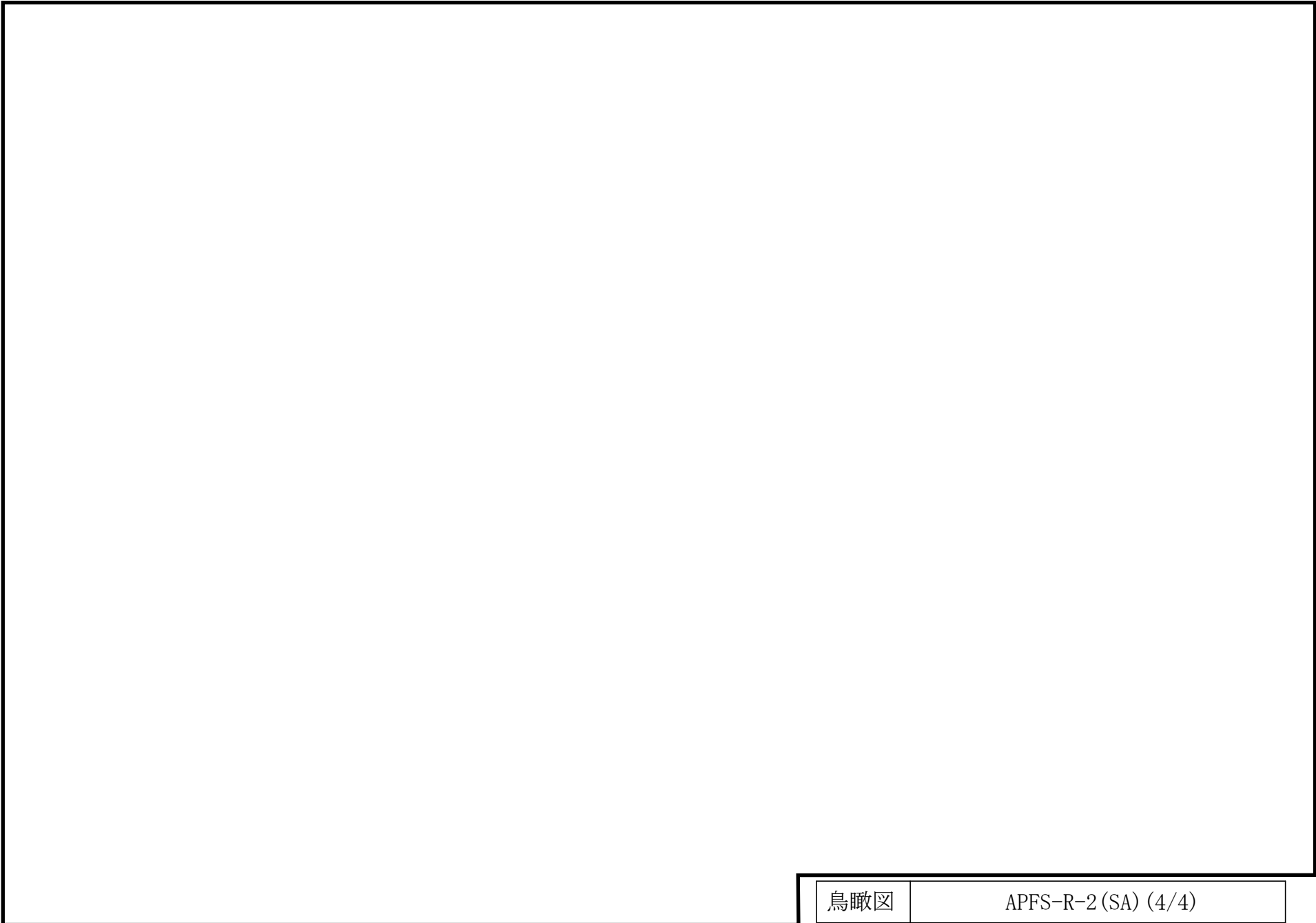


鳥瞰図

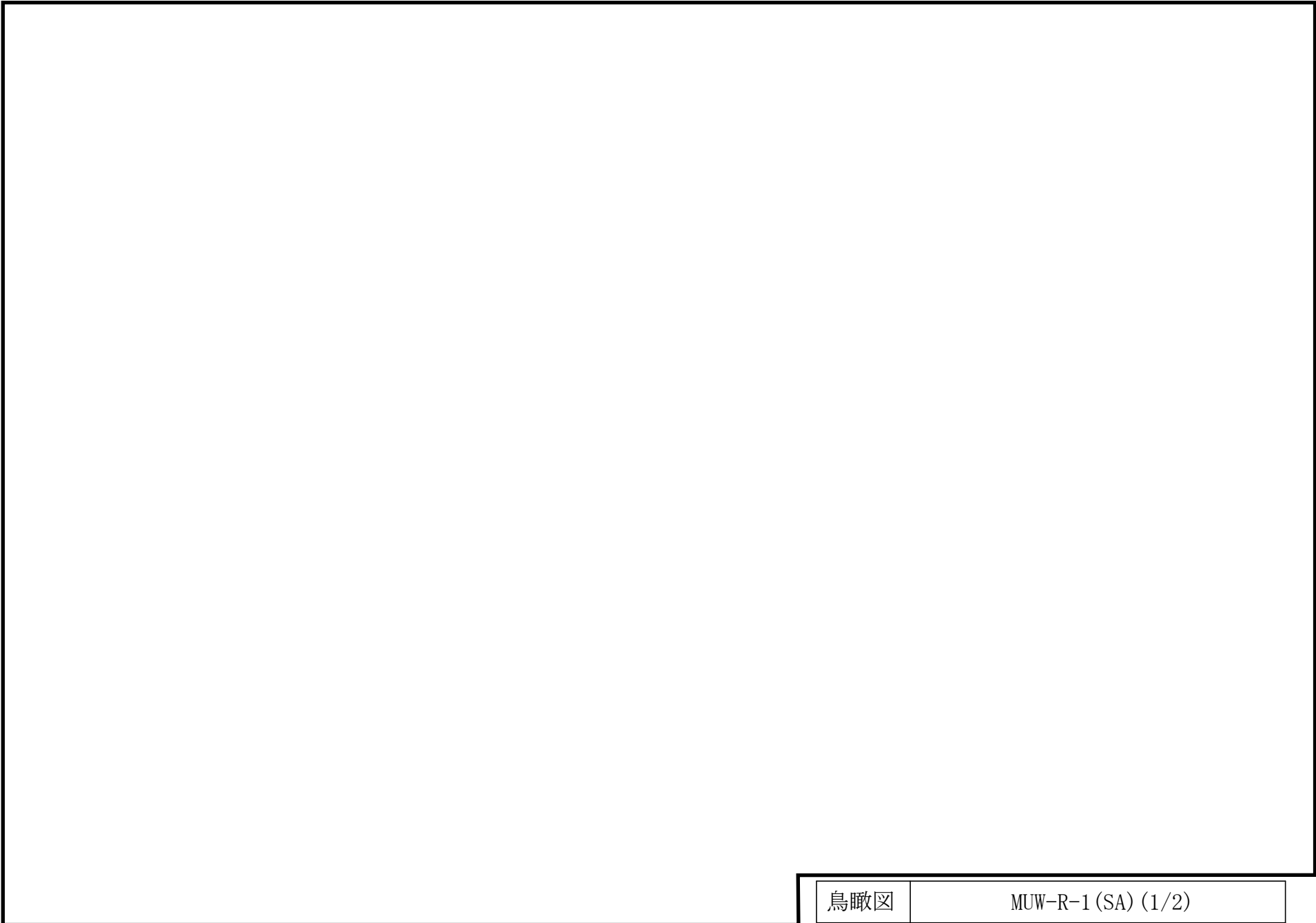
APFS-R-2(SA) (2/4)



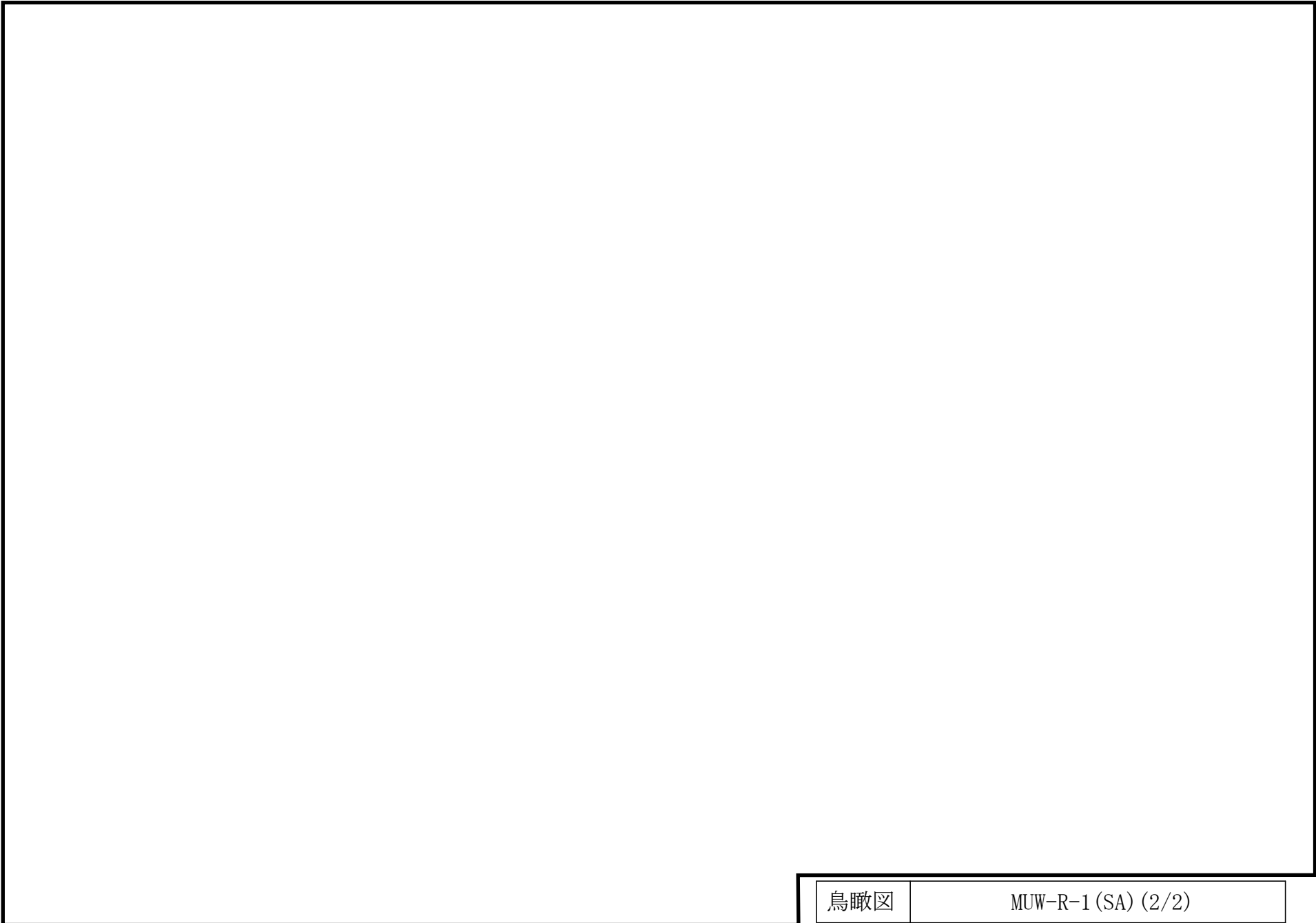
鳥瞰図	APFS-R-2(SA) (3/4)
-----	--------------------



鳥瞰図	APFS-R-2(SA) (4/4)
-----	--------------------



鳥瞰図	MUW-R-1 (SA) (1/2)
-----	--------------------



鳥瞰図	MUW-R-1 (SA) (2/2)
-----	--------------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	ペDESTAL代替注水系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d$ ^{*6, *7, *8}	V _A S
							$V_L(LL) + S_s$ ^{*6, *9}	
							$V_L + S_s$ ^{*10}	

注記*1 : S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*8 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用しない場合)における荷重条件を適用する。

*9 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用する場合)における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 APFS-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1F~2	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66
2	3~7, 8~17S	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66
3	17S~827, 828~112A 829~144	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66
4	145~146F	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 APFS-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1F~2	165.2	7.1	SUS304TP	—	193867
2	3~7, 8~17S	114.3	6.0	SUS304TP	—	193867
3	17S~827, 828~112A 829~144	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667
4	145~146F	165.2	7.1	SUS304TP	—	193667

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 APFS-R-2

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1F, 146F

弁部の質量

鳥 瞰 図 APFS-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	7~8	<input type="text"/>	827~828

弁部の寸法

鳥 瞰 図 APFS-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
7~8				827~828			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 APFS-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
4						
6001						
11						
16						
26						
39						
43						
46						
54						
62						
69						
74						
822						
8261						
93						
102						
112A						
1130						
120						
127						
138						
142						

S2 補 VI-2-9-4-4-3-1 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MUW-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~20, 103~123A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	2.45	66
		Ⅴ _A S	2.45	66
2	21~36, 26~102	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
3	36~37	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
4	38~44	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
5	44~45	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
6	46~57	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.93	171
		Ⅴ _A S	0.93	200
7	57~59	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.93	171
		Ⅴ _A S	0.93	200

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 MUW-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～20, 103～123A	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667
2	21～36, 26～102	114.3	6.0	SUS304TP	—	193667
3	36～37	114.3	6.0	STPT410	—	201667
4	38～44	89.1	5.5	STPT410	—	201667
5	44～45	89.1	5.5	STPG370	—	201667
6	46～57	89.1	5.5	SUS304TP	—	191800
7	57～59	114.3	6.0	SUS304TP	—	191800

配管の付加質量

鳥 瞰 図 MUW-R-1

質量	対応する評価点
□	21～36, 57～59, 26～102
□	36～37, 38～45
□	46～57

弁部の質量

鳥 瞰 図 MUW-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
□	20~21, 102~103	□	45, 46
	4501		4502
	4504		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 MUW-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
20~21				45~4501			
4501~4502				4502~4503			
4503~4504				4501~46			
102~103							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 MUW-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
11						
19						
24						
4503						
47						
64N						
** 64N **						
** 64N **						
104						
113						
123A						

S2 補 VI-2-9-4-4-3-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	66	—	188	479	—
STPT410	66	—	231	407	—
STPG370	66	—	189	357	—
SUS304TP	171	—	150	413	—
SUS304TP	200	—	144	402	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
APFS-R-2	原子炉建物	EL			
MUW-R-1	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 APFS-R-2

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
11次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 APFS-R-2

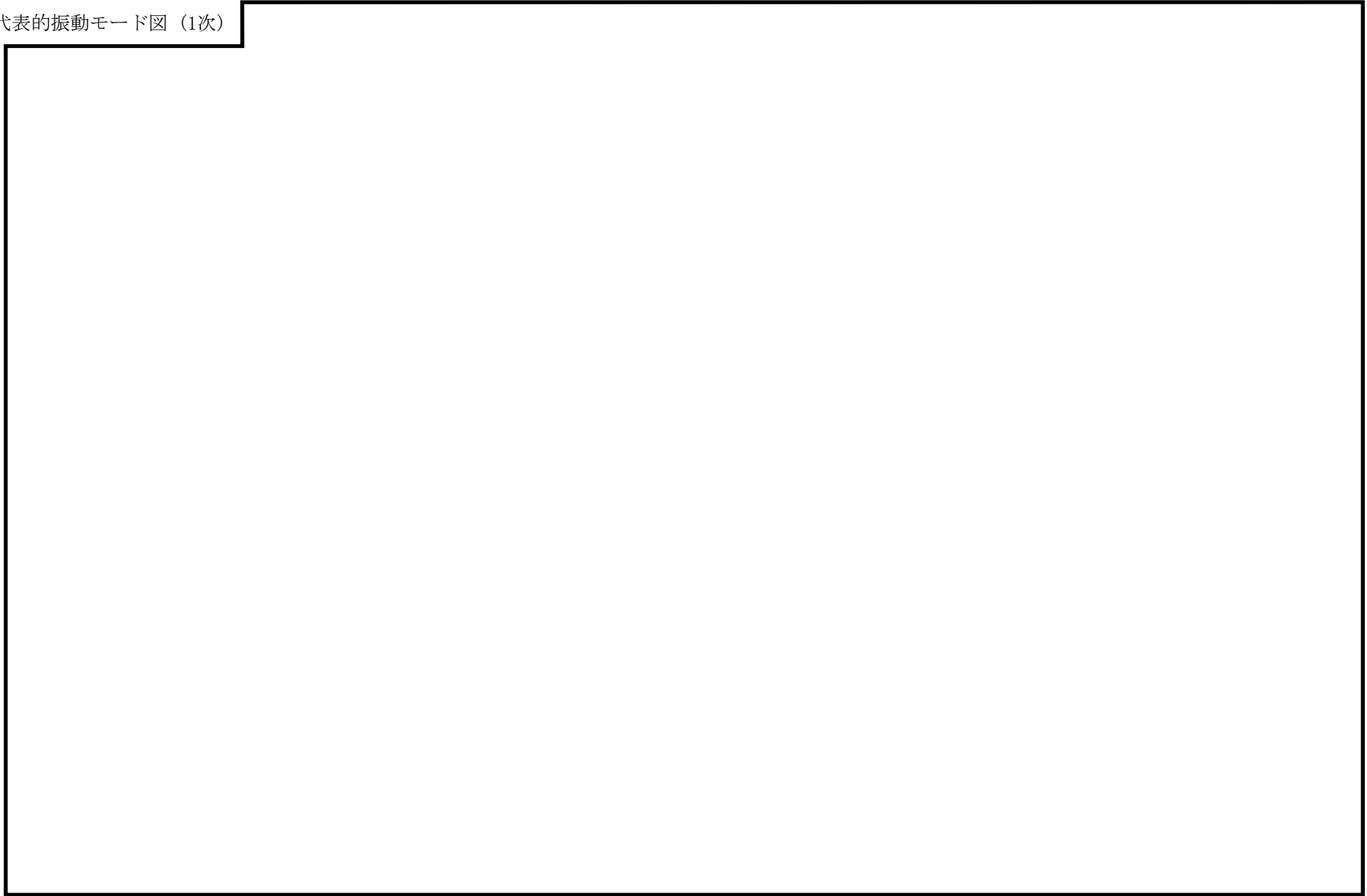
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
11次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

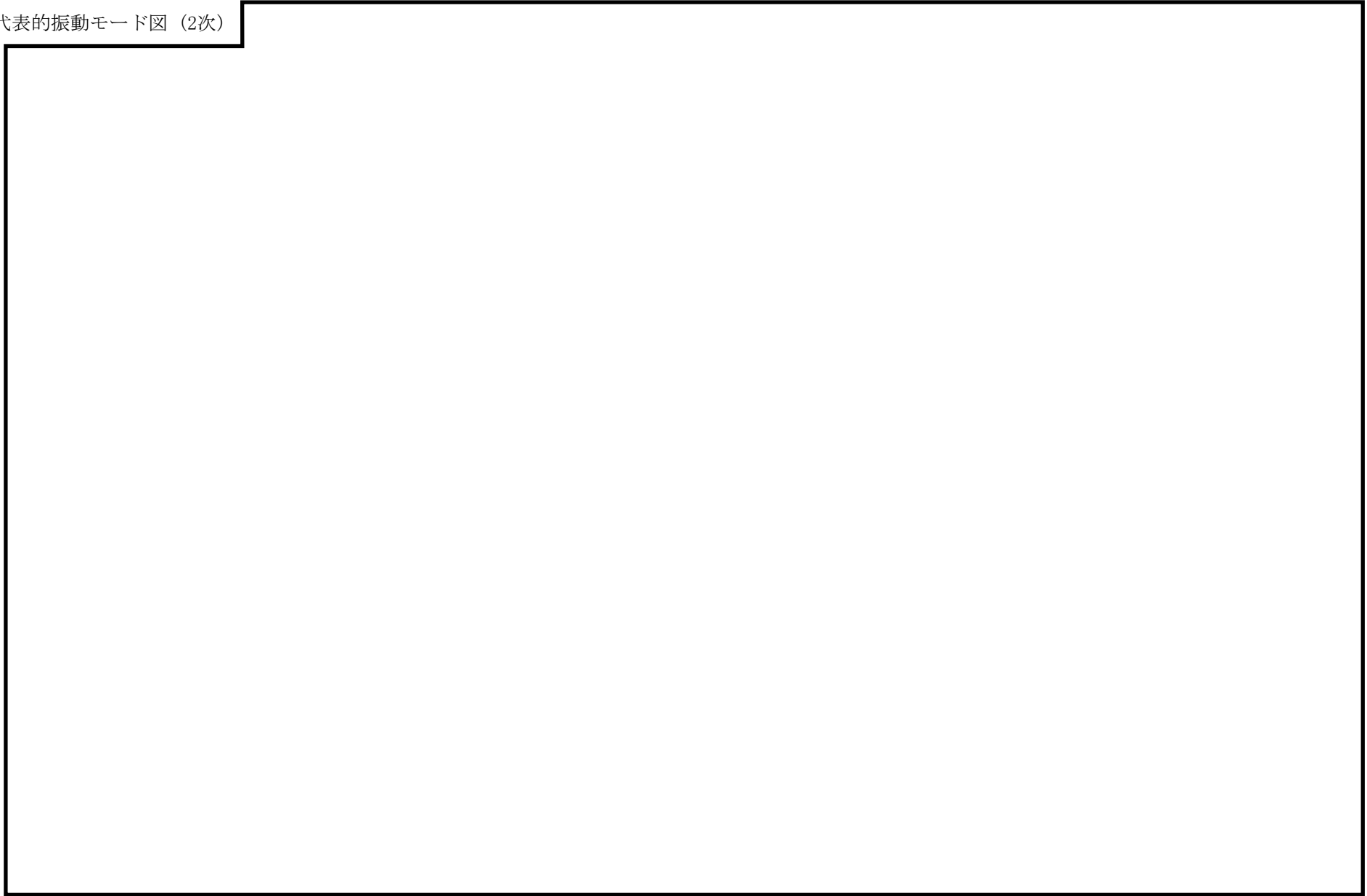
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

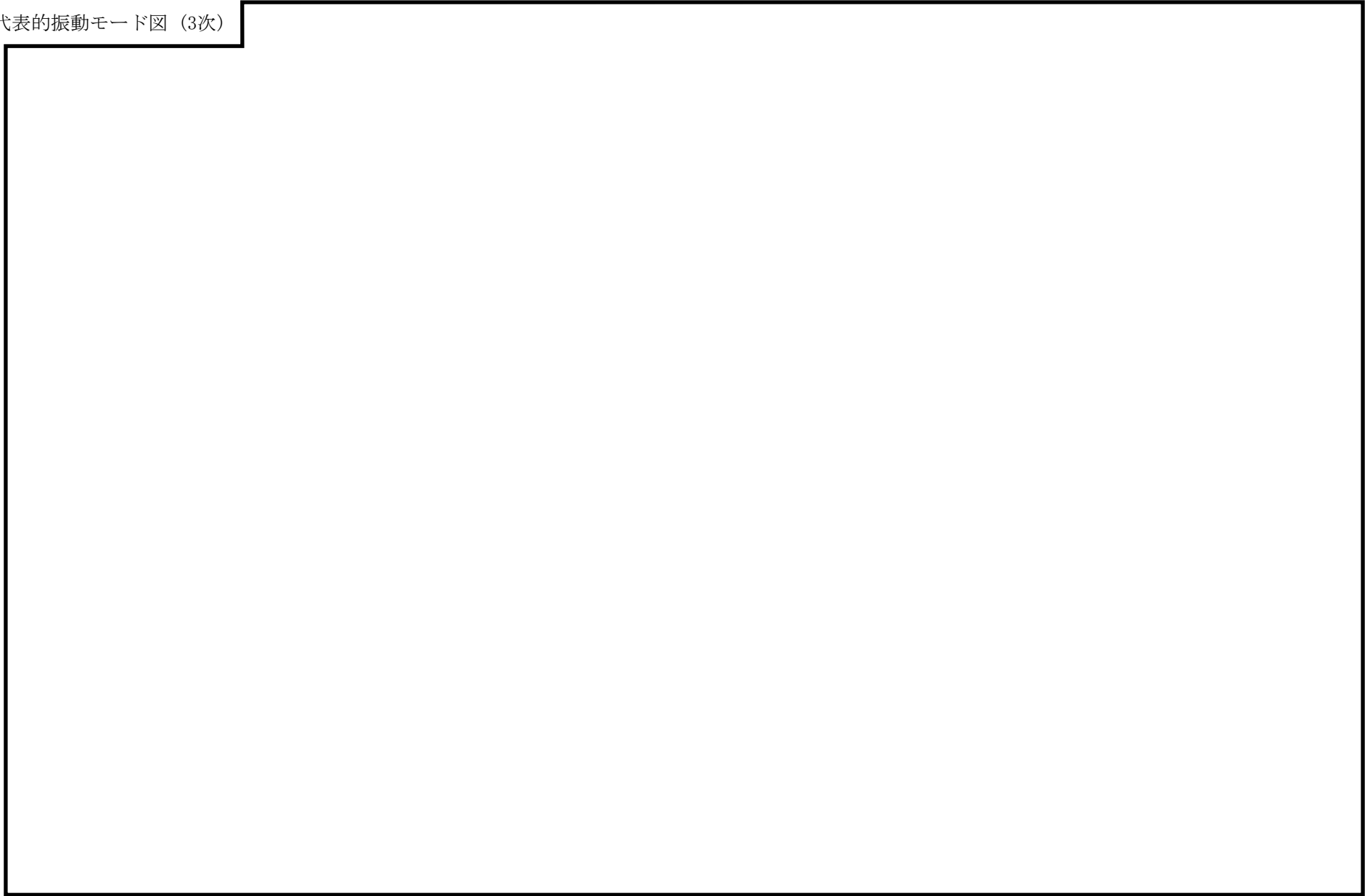
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 MUW-R-1

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 MUW-R-1

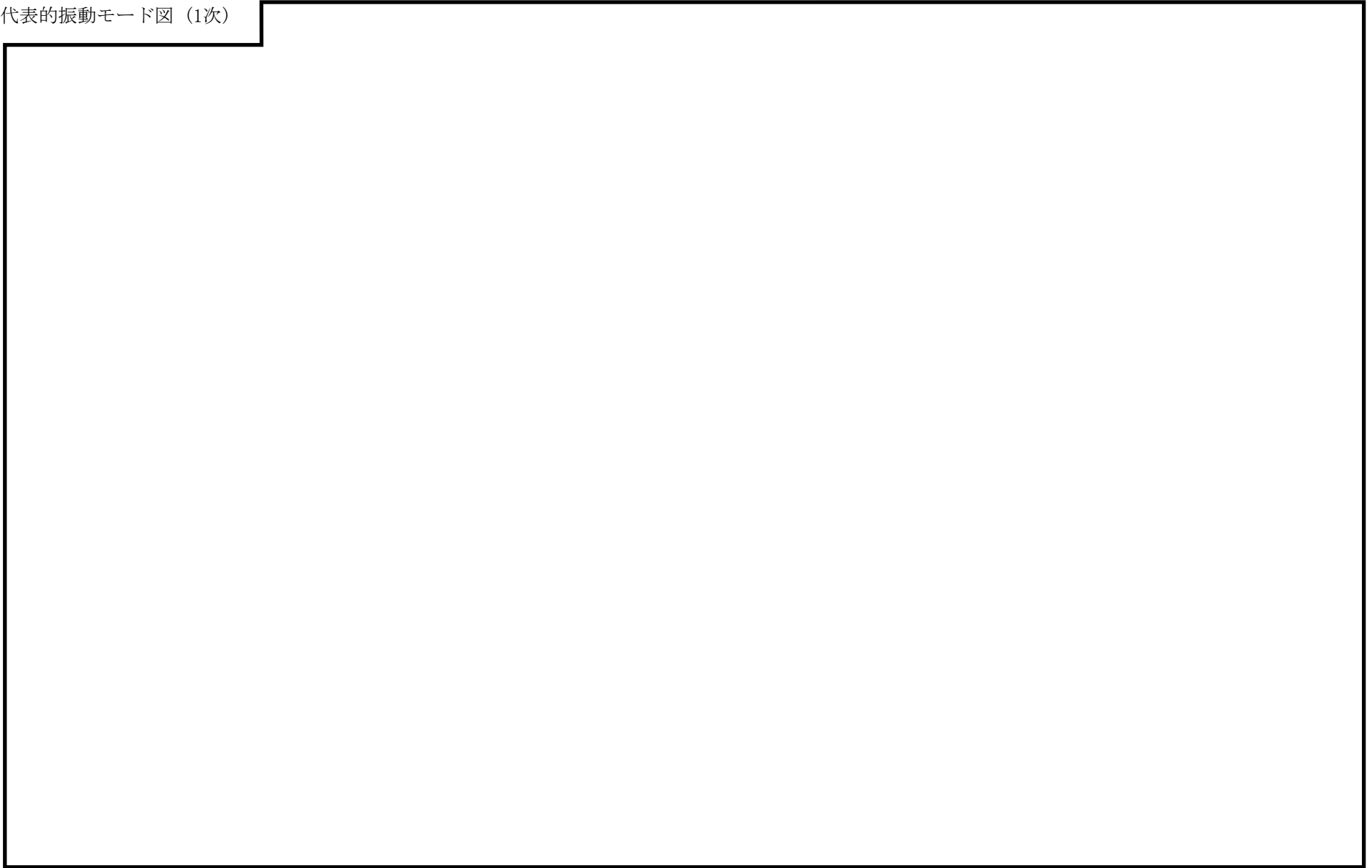
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

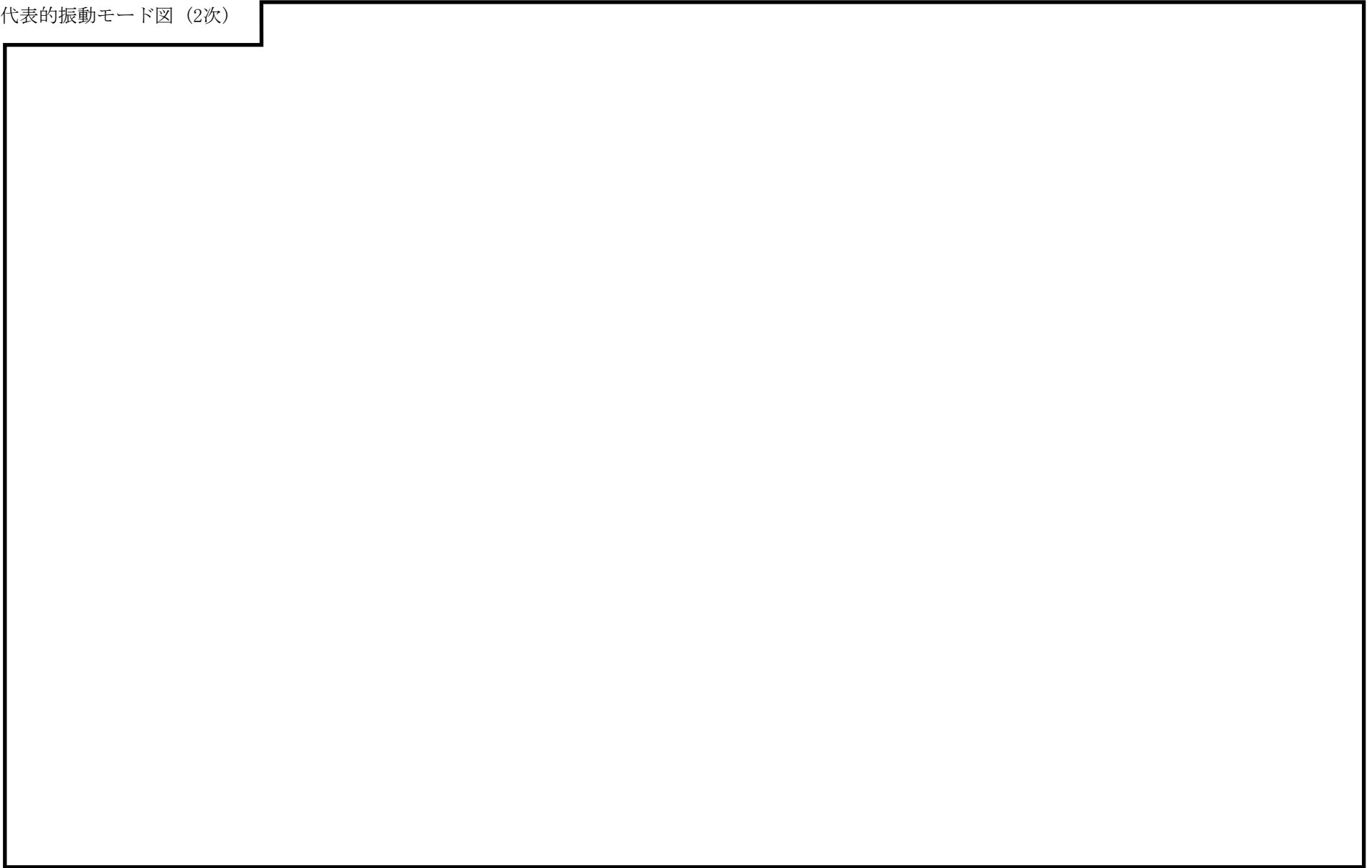
振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

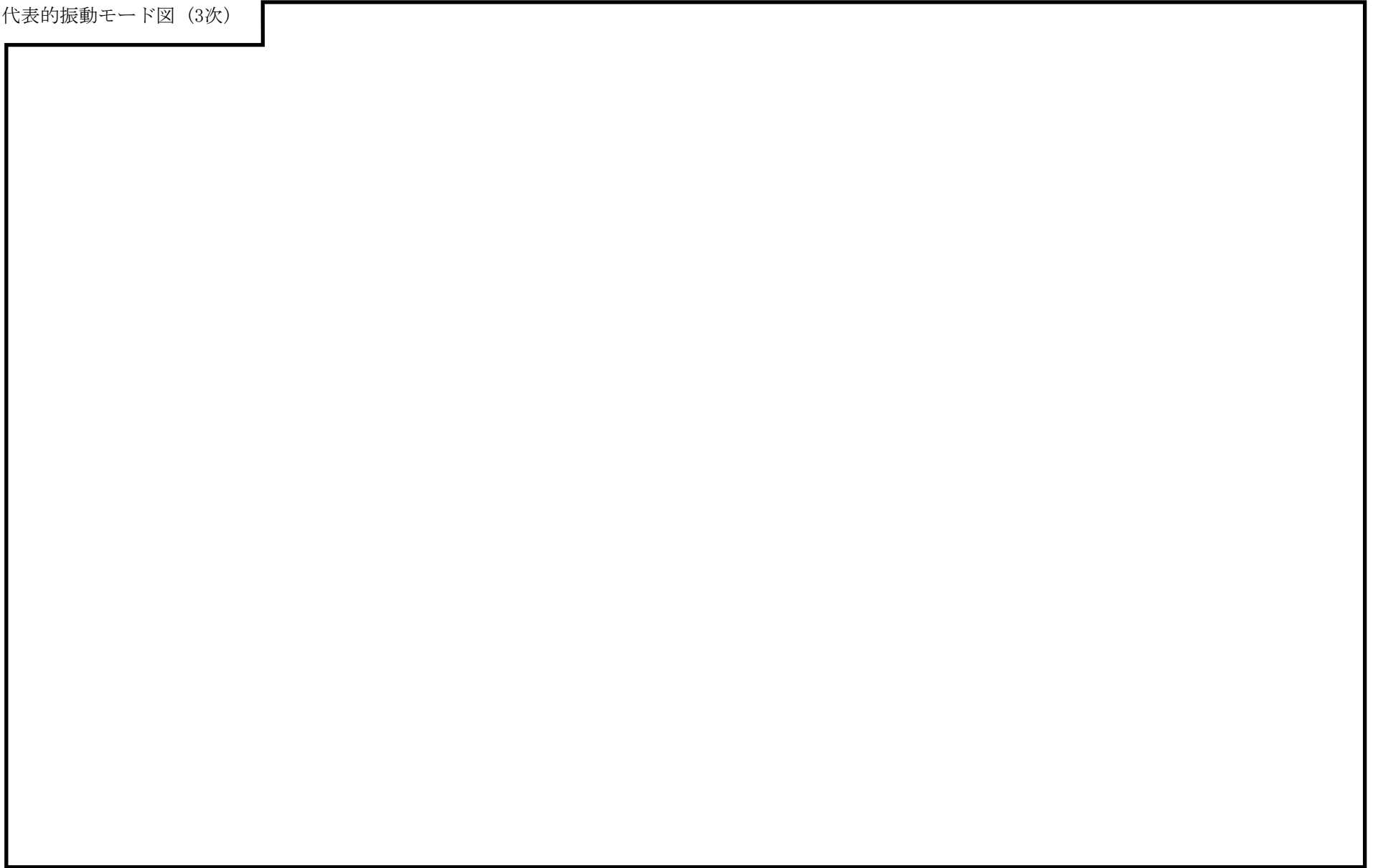


38

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



40

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	APFS-R-2	139	156	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	APFS-R-2	139	262	376	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	APFS-R-2	139	156	431	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	MUW-R-1	57	206	288	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナップ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
—	オイルスナップ	—		—	—	—	
RE-MUW-6-1	ロッドレストレイント	RSA-06		3	10.8	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		
—	—	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-APFS-27	レストレイント	Uボルト	SM400B	66	15	4	0	—	—	—	組合せ	101	155
AN-APFS-65	アンカ	ラグ	SUS304	100	6	6	4	3	6	6	引張	65	132

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
								動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	MUW-PD-1	32	59	468	7.93	—	28	113	410	3.62	—	—
2	APFS-R-1	40	146	431	2.95	—	40	232	376	1.62	—	—
3	APFS-R-2	139	156	431	2.76	○	139	262	376	1.43	—	○
4	APFS-R-3	90	111	431	3.88	—	90	185	376	2.03	—	—
5	APFS-R-4	96	141	431	3.05	—	96	238	376	1.57	—	—
6	MUW-R-1	2	107	431	4.02	—	57	206	300	1.45	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	MUW-PD-1	32	59	361	6.11	—	28	113	288	2.54	—	—
2	APFS-R-1	40	146	431	2.95	—	40	232	376	1.62	—	—
3	APFS-R-2	139	156	431	2.76	○	139	262	376	1.43	—	—
4	APFS-R-3	90	111	431	3.88	—	90	185	376	2.03	—	—
5	APFS-R-4	96	141	431	3.05	—	96	238	376	1.57	—	—
6	MUW-R-1	2	107	431	4.02	—	57	206	288	1.39	—	○

VI-2-9-4-4-4 残留熱代替除去系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-4-4-1 残留熱代替除去ポンプの耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	3
3.1 構造強度評価方法	3
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	3
3.3 計算条件	3
4. 機能維持評価	7
4.1 動的機能維持評価方法	7
5. 評価結果	8
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	8

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、残留熱代替除去ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

残留熱代替除去ポンプは、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、残留熱代替除去ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

残留熱代替除去ポンプの構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプ等はポンプベースにポンプ取付ボルト及び原動機取付ボルトで固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形横形ポンプ)</p>	<p>(単位: mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

残留熱代替除去ポンプの構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

残留熱代替除去ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-1に示す。

3.2.2 許容応力

残留熱代替除去ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、表3-2のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

残留熱代替除去ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-3に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【残留熱代替除去ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備 原子炉格納容 器安全設備	残留熱代替除去ポンプ	常設／緩和	重大事故等 クラス2ポンプ*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2ポンプの支持構造物を含む。

4 *3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 3-2 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 3-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
基礎ボルト		周囲環境温度	□	699	803	—
ポンプ取付ボルト		最高使用温度	185	637	759	—
原動機取付ボルト		周囲環境温度	□	225	385	—

4. 機能維持評価

4.1 動的機能維持評価方法

残留熱代替除去ポンプの動的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

残留熱代替除去ポンプは地震時動的機能維持が確認された機種と類似の構造及び振動特性であるため、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の機能確認済加速度を適用する。機能確認済加速度を表 4-1 に示す。

表 4-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能確認済加速度
ポンプ	横形単段遠心式 ポンプ	水平	1.4
		鉛直	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	4.7
		鉛直	1.0

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

残留熱代替除去ポンプの重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。
発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【残留熱代替除去ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ポンプ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
残留熱代替除去ポンプ	常設/緩和	原子炉建物 EL 1.3*1	—*2	—*2	—	—	C _H =2.13*3	C _V =0.99*3	C _P =0.11	185	□

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							8	4
								2
ポンプ取付ボルト (i=2)							4	2
								2
原動機取付ボルト (i=3)							4	2
								2

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _p (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	699*2 (径≤63mm)	803*2 (径≤63mm)	—	562	—	軸	—
ポンプ取付ボルト (i=2)	637*3 (径≤63mm)	759*3 (径≤63mm)	—	531	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	225*2 (16mm<径≤40mm)	385*2 (16mm<径≤40mm)	—	270	—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

*3：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ポンプ取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は 静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)		引張	—	—	$\sigma_{b1}=19$	$f_{ts1}=421^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=21$	$f_{sb1}=324$
ポンプ取付ボルト (i=2)		引張	—	—	$\sigma_{b2}=24$	$f_{ts2}=398^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=10$	$f_{sb2}=306$
原動機取付ボルト (i=3)		引張	—	—	$\sigma_{b3}=12$	$f_{ts3}=202^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=10$	$f_{sb3}=155$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能維持の評価結果

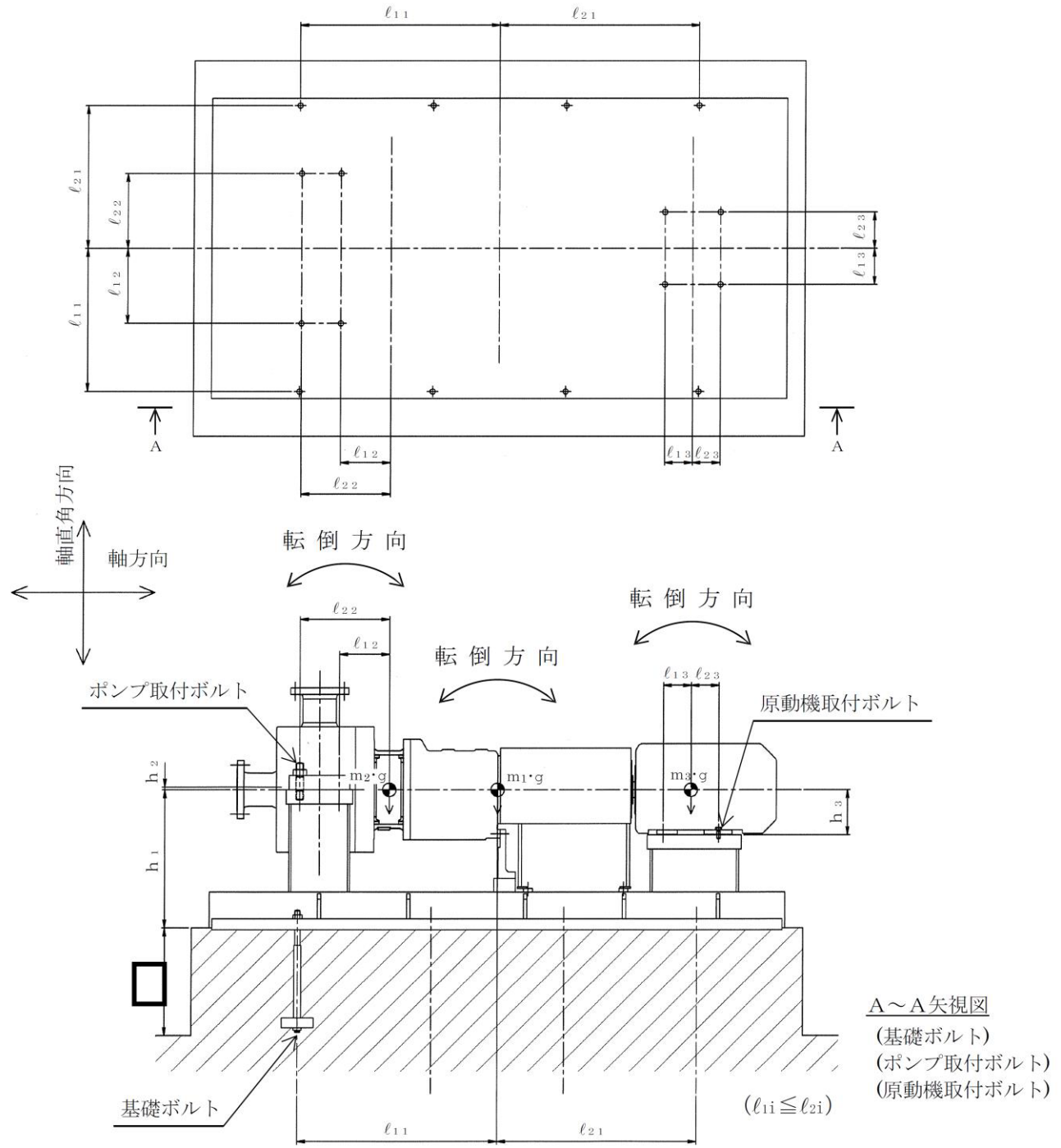
($\times 9.8\text{m/s}^2$)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ポンプ	水平方向	1.17	1.4
	鉛直方向	0.87	1.0
原動機	水平方向	1.17	4.7
	鉛直方向	0.87	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

S2 補 VI-2-9-4-4-4-1 R1E



VI-2-9-4-4-4-2 管の耐震性についての計算書
(残留熱代替除去系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	6
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	11
3.4 材料及び許容応力	15
3.5 設計用地震力	16
4. 解析結果及び評価	17
4.1 固有周期及び設計震度	17
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、残留熱代替除去系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全8モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






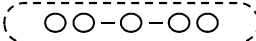

(3) 弁

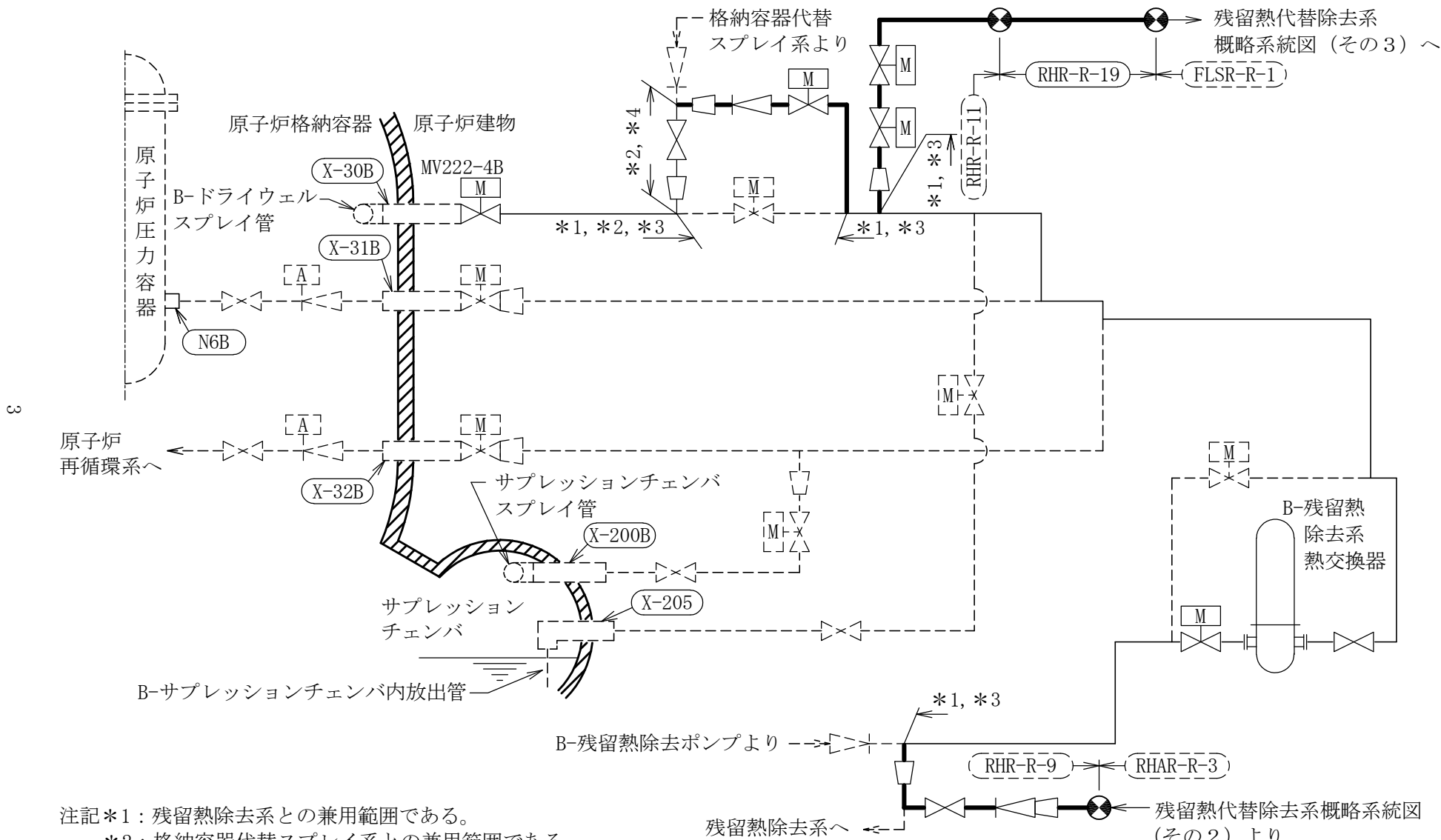
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

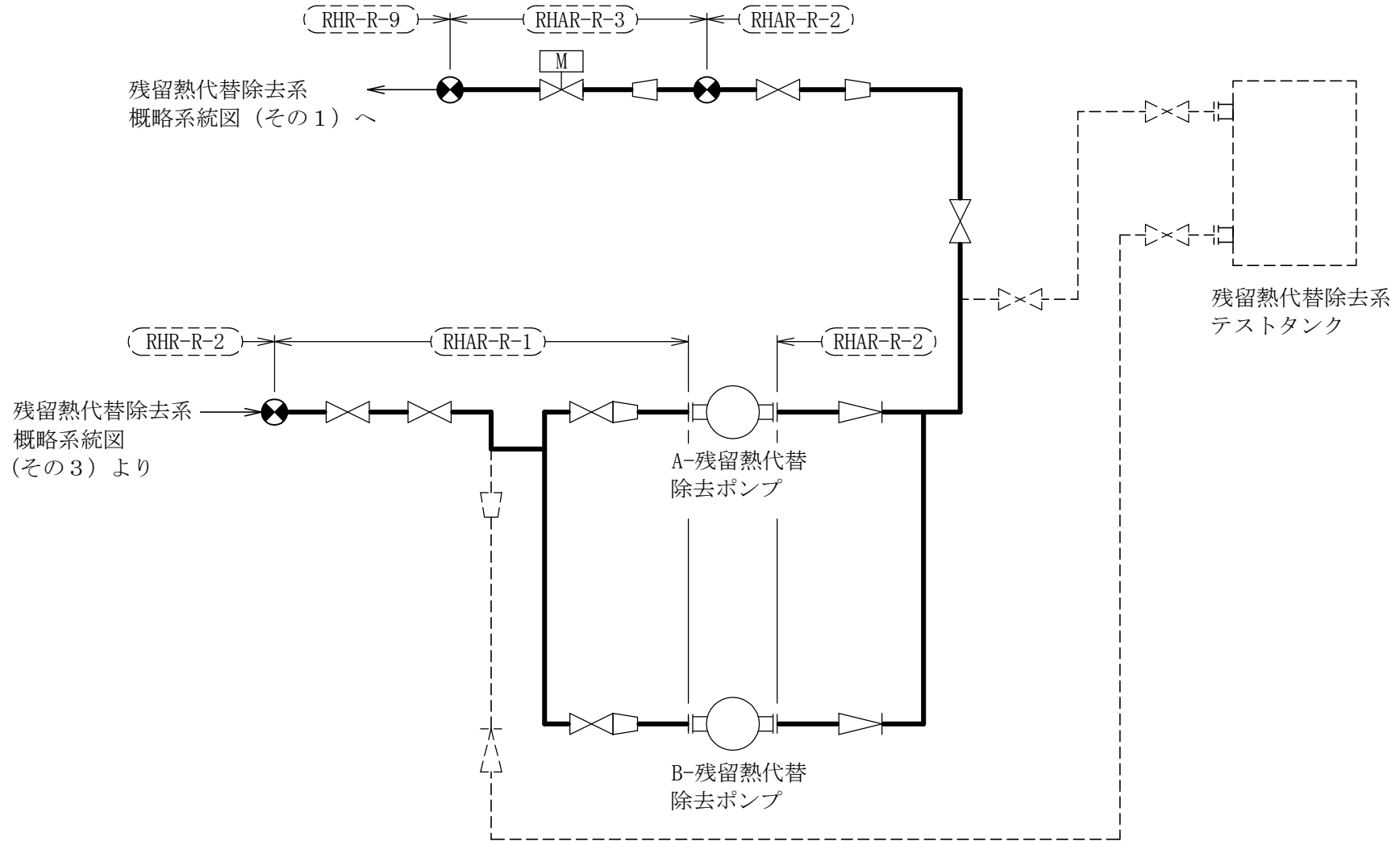
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



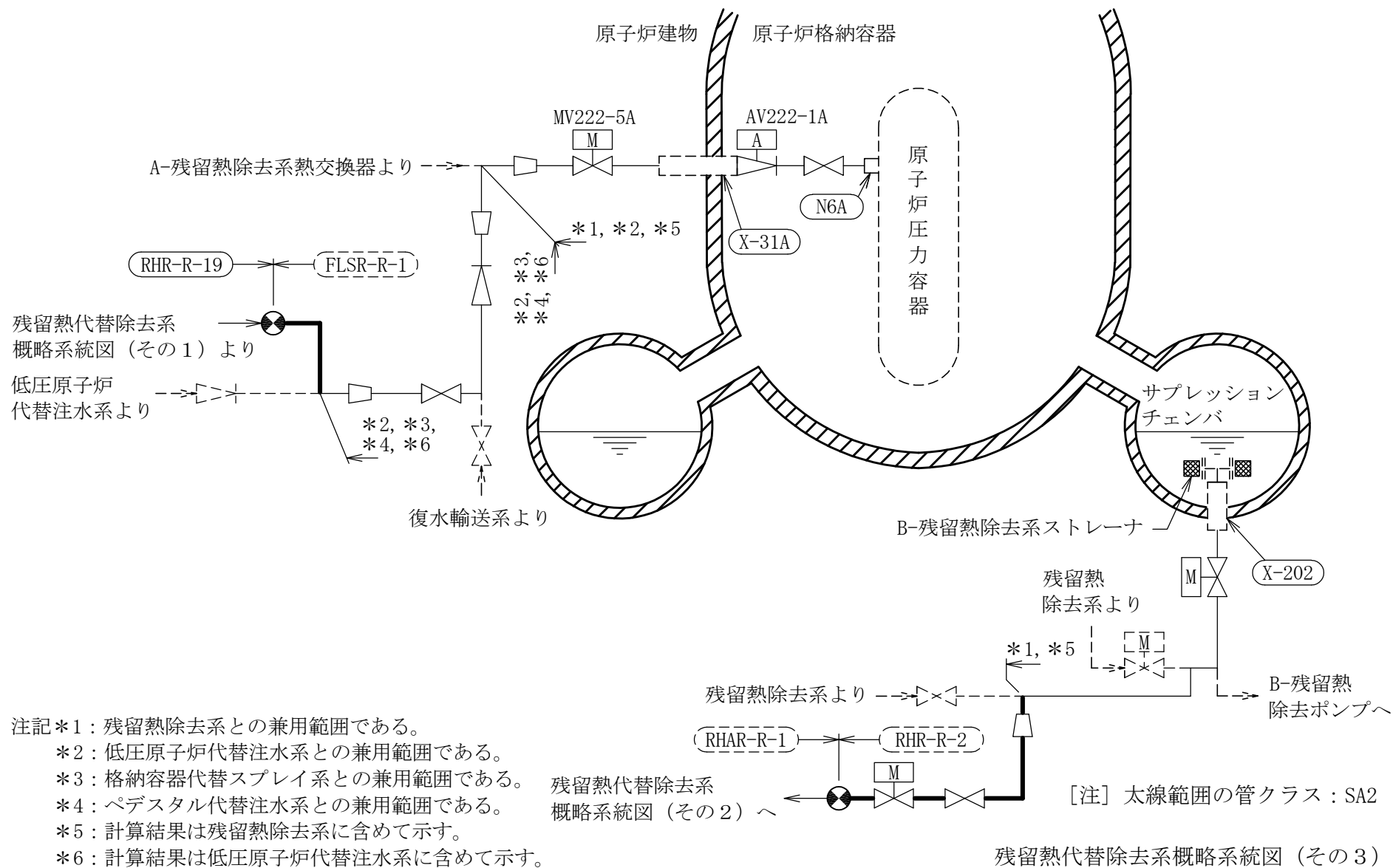
- 注記*1：残留熱除去系との兼用範囲である。
 *2：格納容器代替スプレイ系との兼用範囲である。
 *3：計算結果は残留熱除去系に含めて示す。
 *4：計算結果は格納容器代替スプレイ系に含めて示す。

[注] 太線範囲の管クラス：SA2 残留熱代替除去系概略系統図 (その1)



[注] 太線範囲の管クラス : SA2



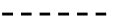


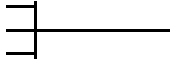
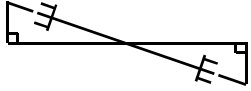
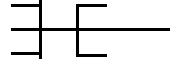
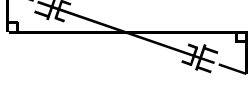

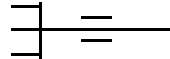
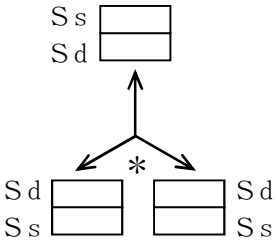
残留熱代替除去系概略系統図 (その2)

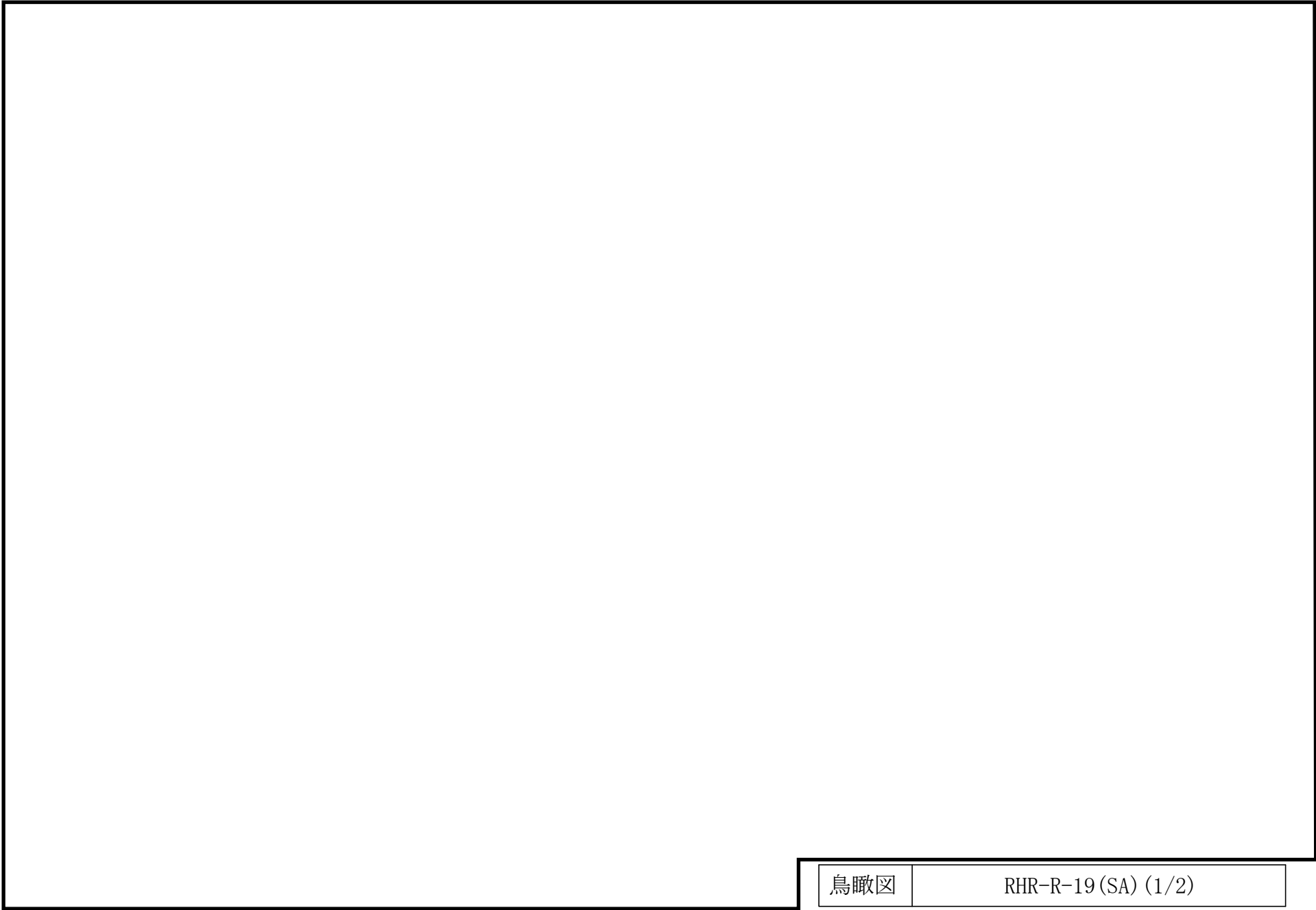


- 注記*1: 残留熱除去系との兼用範囲である。
 *2: 低压原子炉代替注水系との兼用範囲である。
 *3: 格納容器代替スプレイ系との兼用範囲である。
 *4: ペDESTAL代替注水系との兼用範囲である。
 *5: 計算結果は残留熱除去系に含めて示す。
 *6: 計算結果は低压原子炉代替注水系に含めて示す。

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	RHR-R-19(SA) (1/2)
-----	--------------------

∞

鳥瞰図

RHR-R-19(SA) (2/2)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器安全設備	残留熱代替除去系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _L + S _s ^{*6}	V _A S

注記*1：S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*4：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5：許容応力状態V_A Sは許容応力状態IV_A Sの許容限界を使用し、許容応力状態IV_A Sとして評価を実施する。

*6：原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから、重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-19

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~135A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	3.92	185
		Ⅴ _A S	3.92	185

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RHR-R-19

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～135A	114.3	8.6	STS410	—	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RHR-R-19

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1A~135A

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RHR-R-19

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
7						
15						
18						
32						
36						
44						
52						
64						
78						
80						
83						
95						
103						
110						
123						
126						
131						
135A						

S2 補 VI-2-9-4-4-4-2 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STS410	185	—	209	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RHR-R-19	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RHR-R-19

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RHR-R-19

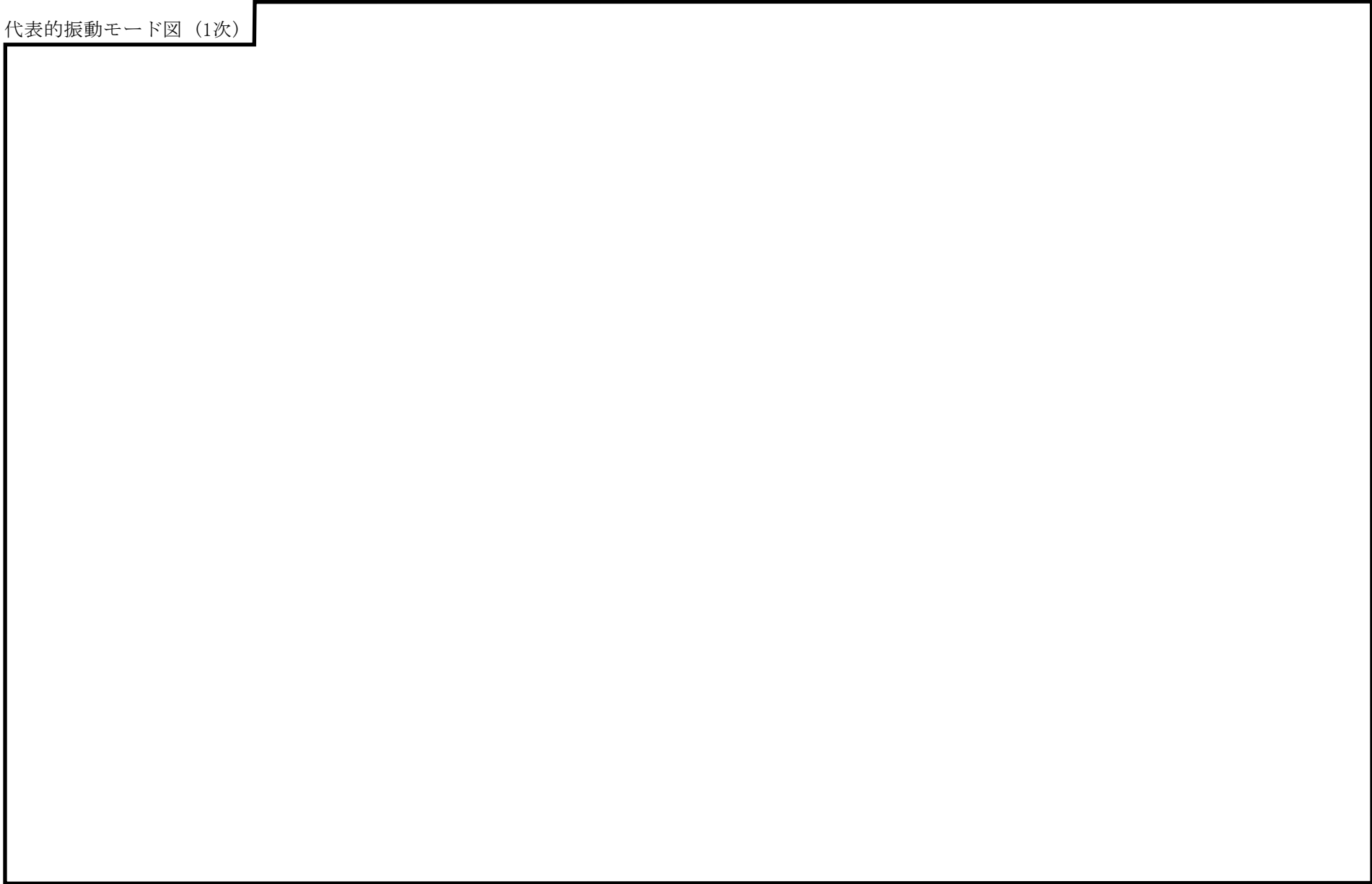
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
9次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

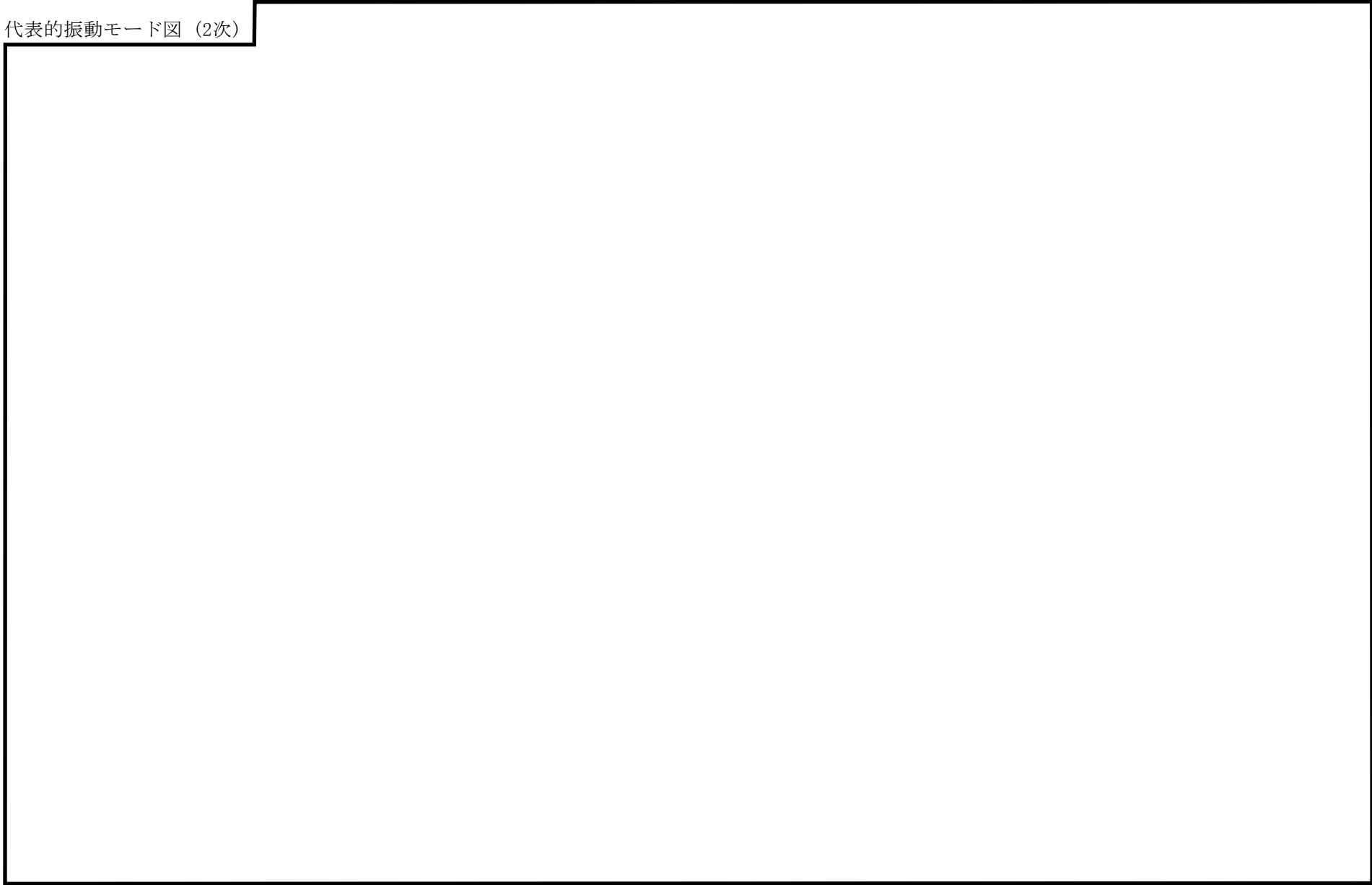
振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)

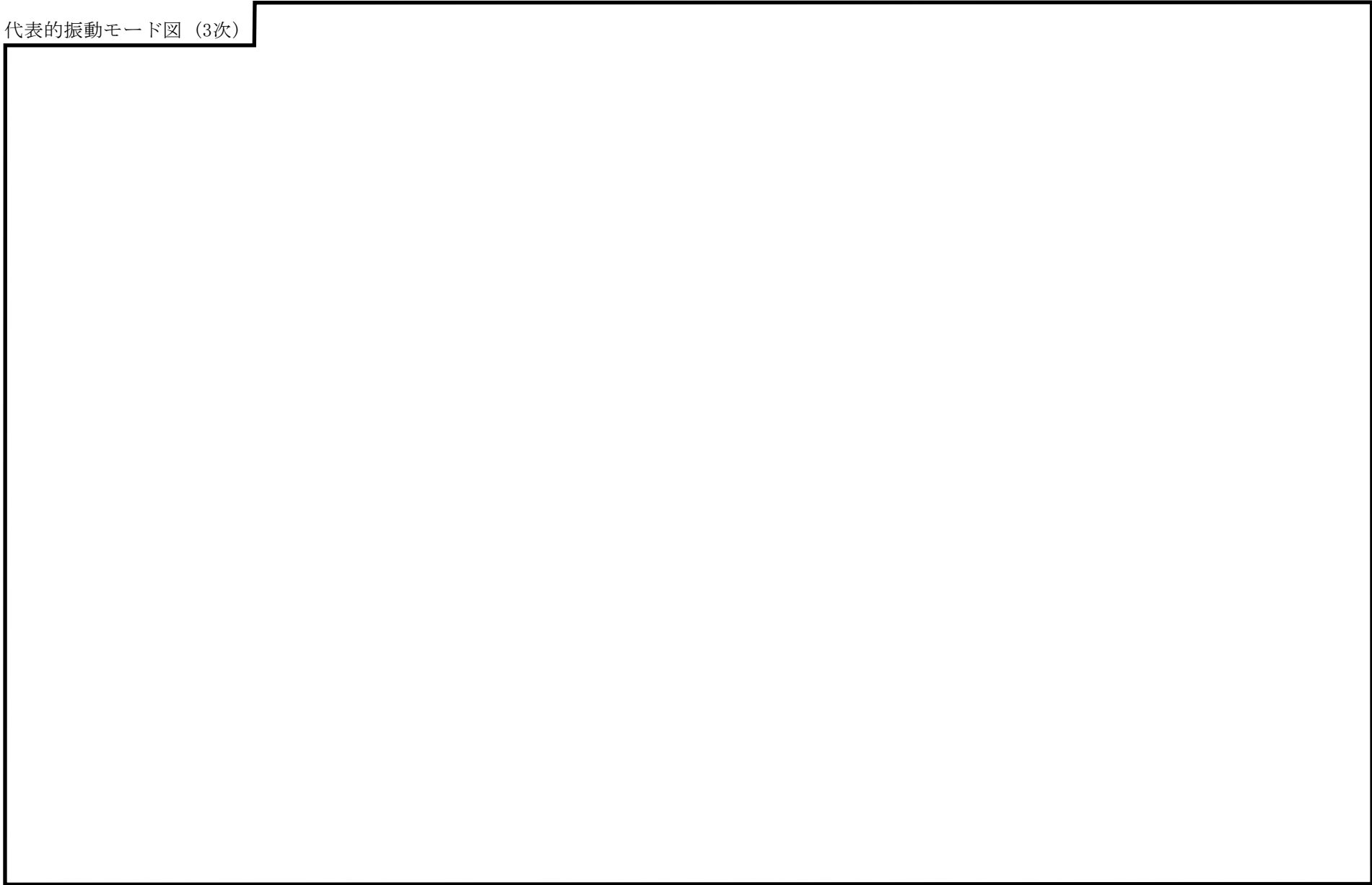


20

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-19	123	128	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-19	116	208	418	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	RHR-R-19	123	128	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	RHR-R-19	116	208	418	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構 造物の耐震計 算について」参 照	—	—	—	
SNO-RHR-691	オイルスナッパ	SN-6		49	90	—	
RE-RHAR-4	ロッドレストレイント	RTS-6		18	108	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—	/	
—	コンスタントハンガ	—		—	—	/	
—	リジットハンガ	—		—	—	/	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-RHAR-10	レストレイント	ラグ	SM400B	185	12	20	39	—	—	—	せん断	37	119
AN-RHAR-6	アンカ	ラグ	SGV410	185	26	13	17	9	19	14	組合せ	61	131

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	RHAR-R-1	26	123	363	2.95	—	26	198	418	2.11	—	—
2	RHAR-R-2	41	104	363	3.49	—	41	165	418	2.53	—	—
3	RHAR-R-3	34	70	363	5.18	—	34	78	418	5.35	—	—
4	FLSR-R-1	409	52	363	6.98	—	409	69	418	6.05	—	—
5	RHR-R-2	721	69	363	5.26	—	707	113	418	3.69	—	—
6	RHR-R-9	102	75	363	4.84	—	102	88	418	4.75	—	—
7	RHR-R-11	921	93	363	3.90	—	800	147	418	2.84	—	—
8	RHR-R-19	123	128	363	2.83	○	116	208	418	2.00	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RHAR-R-1	26	123	363	2.95	—	26	198	418	2.11	—	—
2	RHAR-R-2	41	104	363	3.49	—	41	165	418	2.53	—	—
3	RHAR-R-3	34	70	363	5.18	—	34	78	418	5.35	—	—
4	FLSR-R-1	409	52	363	6.98	—	409	69	418	6.05	—	—
5	RHR-R-2	721	69	363	5.26	—	707	113	418	3.69	—	—
6	RHR-R-9	102	75	363	4.84	—	102	88	418	4.75	—	—
7	RHR-R-11	921	93	363	3.90	—	800	147	418	2.84	—	—
8	RHR-R-19	123	128	363	2.83	○	116	208	418	2.00	—	○

VI-2-9-4-5 放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備
並びに格納容器再循環設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1 非常用ガス処理系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-1-1 管の耐震性についての計算書
(非常用ガス処理系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	5
3. 計算条件	36
3.1 計算方法	36
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	37
3.3 設計条件	40
3.4 材料及び許容応力	57
3.5 設計用地震力	58
4. 解析結果及び評価	59
4.1 固有周期及び設計震度	59
4.2 評価結果	77
4.2.1 管の応力評価結果	77
4.2.2 支持構造物評価結果	79
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	80
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	81

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、非常用ガス処理系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全9モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






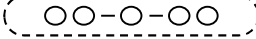

(3) 弁

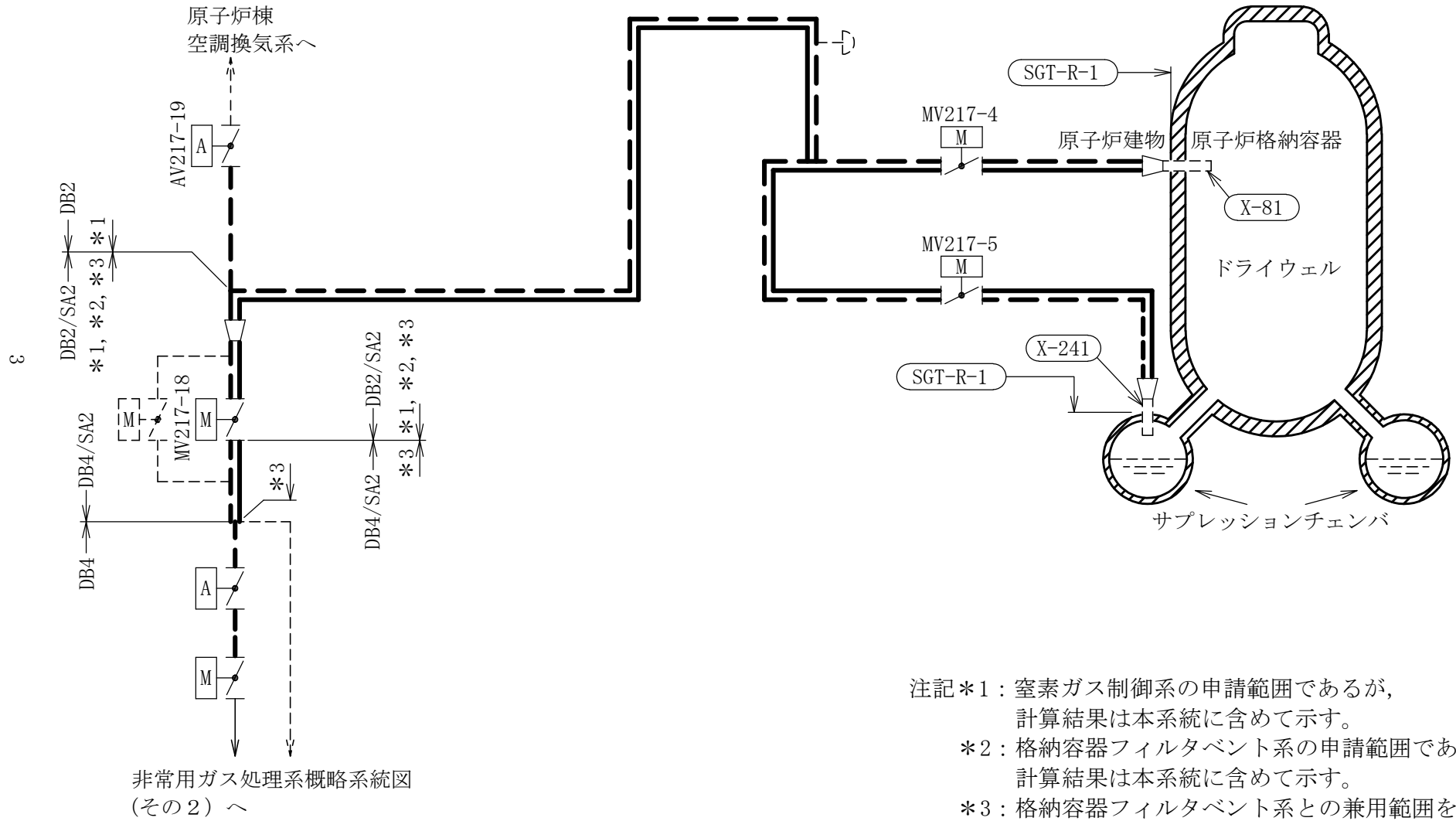
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

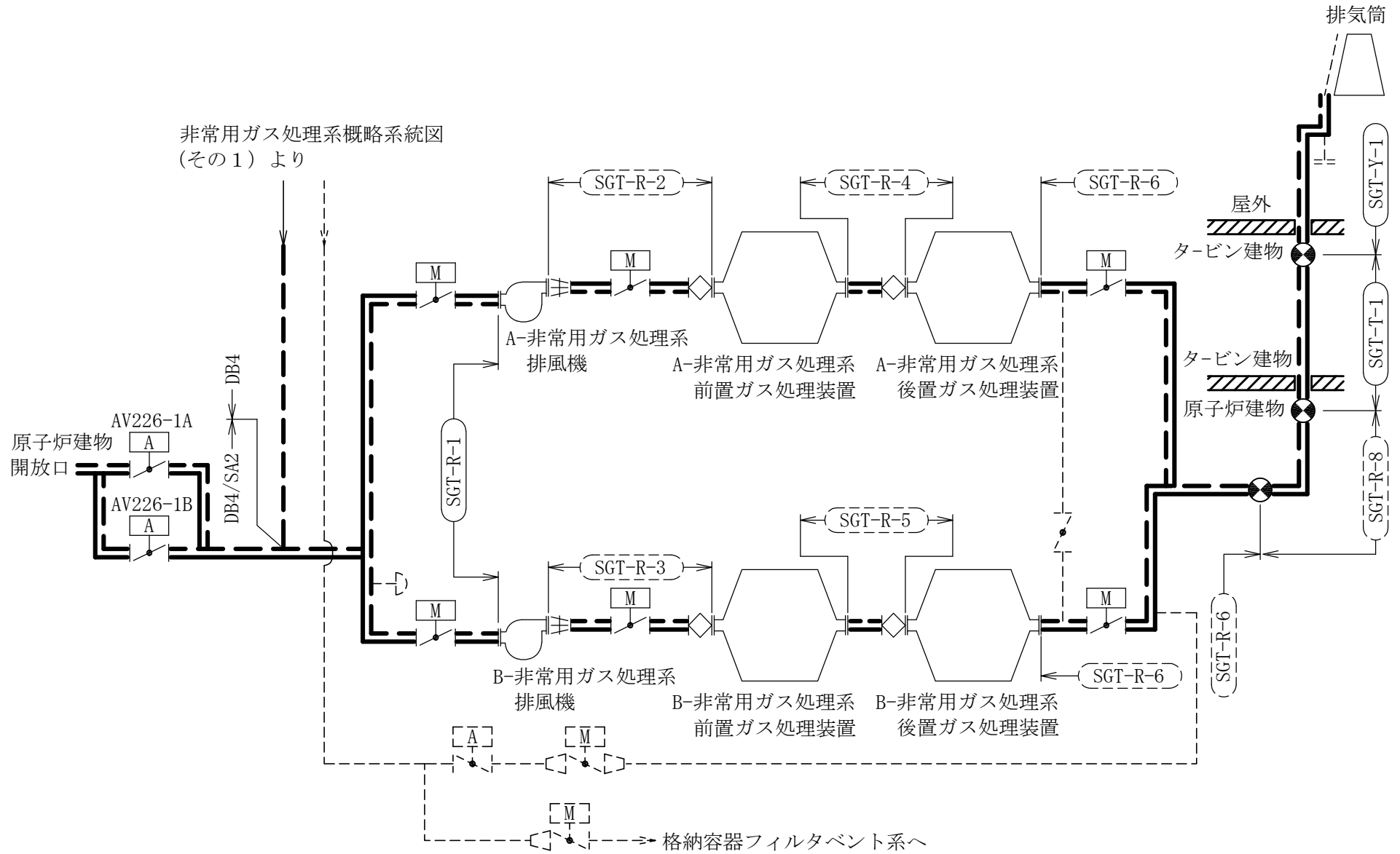
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



非常用ガス処理系概略系統図 (その1)


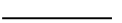
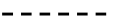


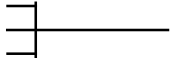
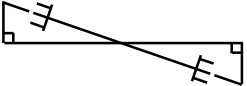
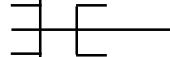
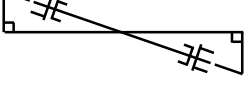

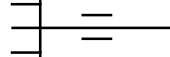
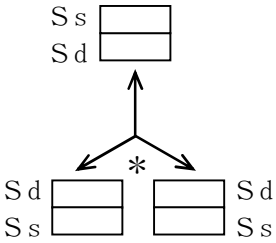
非常用ガス処理系概略系統図
(その1) より



非常用ガス処理系概略系統図 (その2)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

9

鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (1/12)

7

鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (2/12)

∞

鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (3/12)

6

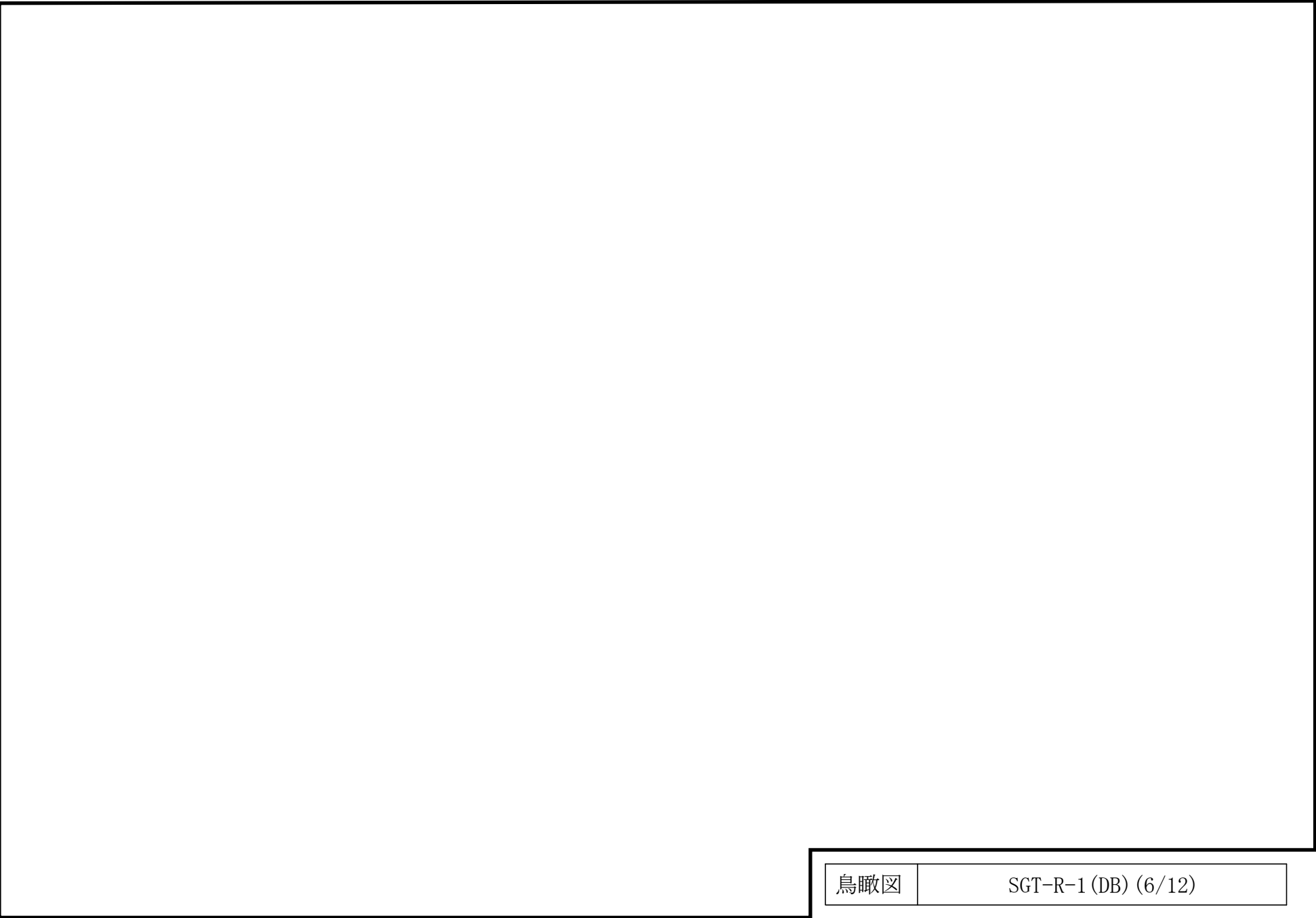
鳥瞰図

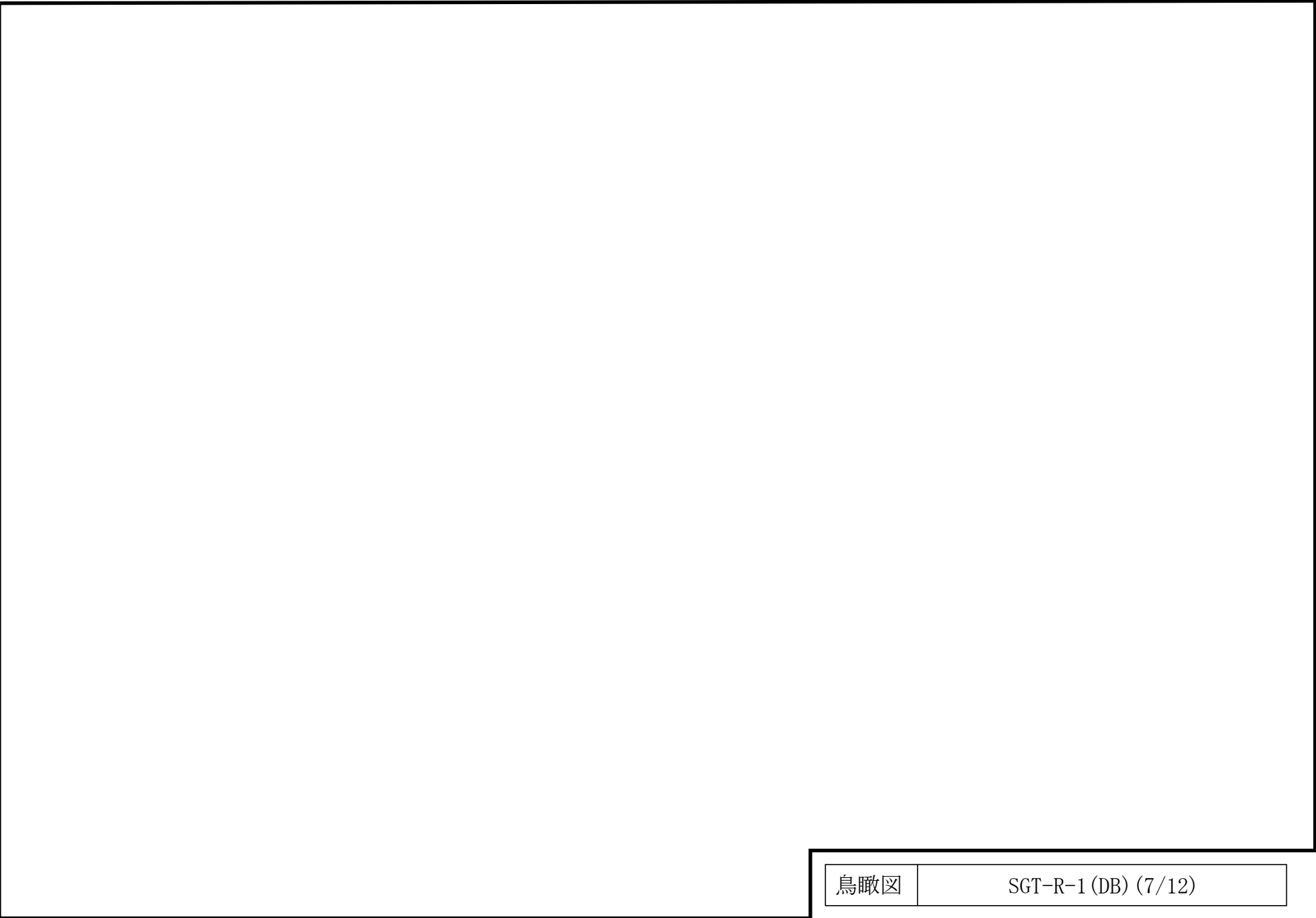
SGT-R-1 (DB) (4/12)

10

鳥瞰図

SGT-R-1 (DB) (5/12)

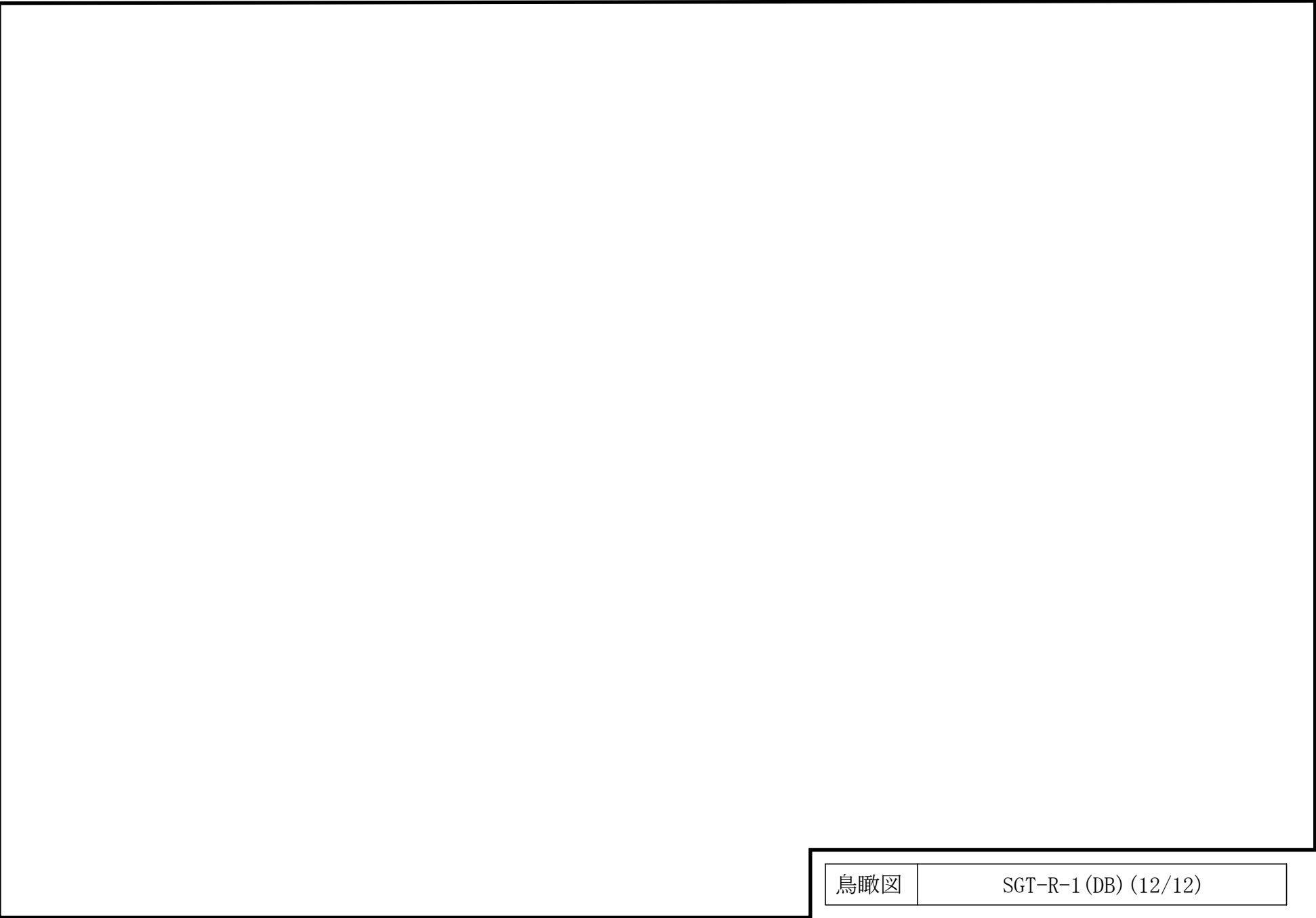




15

鳥瞰図

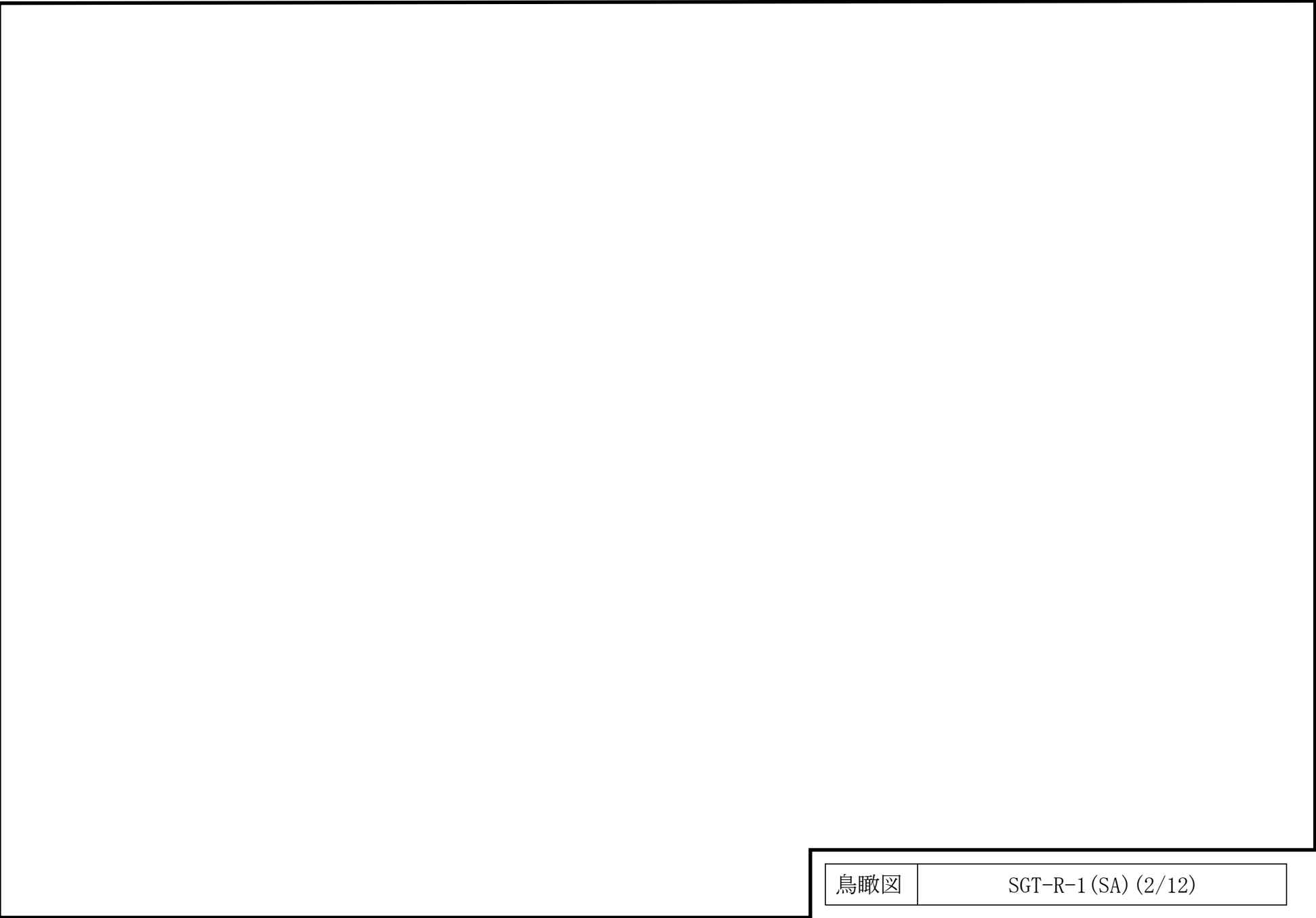
SGT-R-1 (DB) (10/12)



18

鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (1/12)



20

鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (3/12)

23

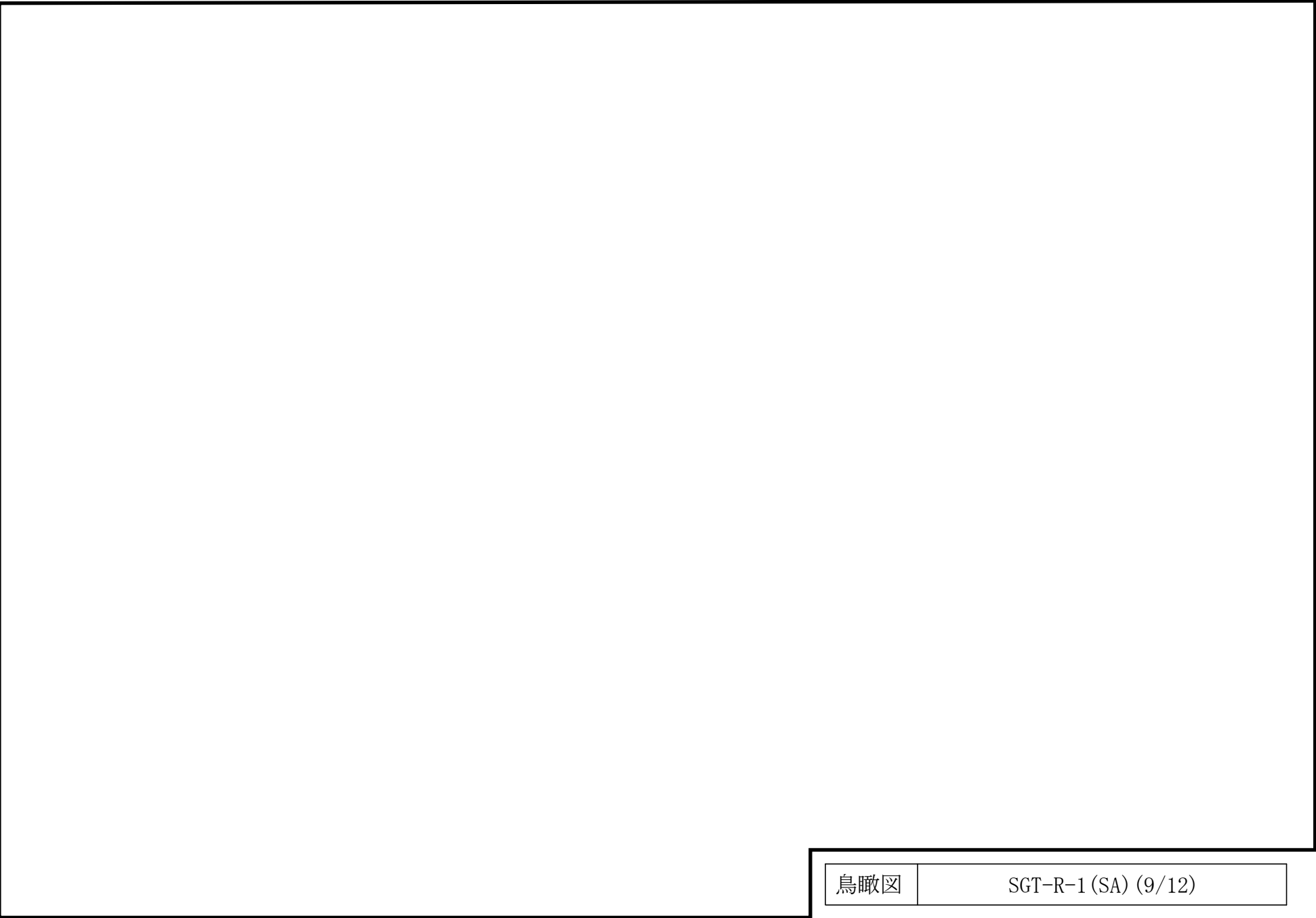
鳥瞰図

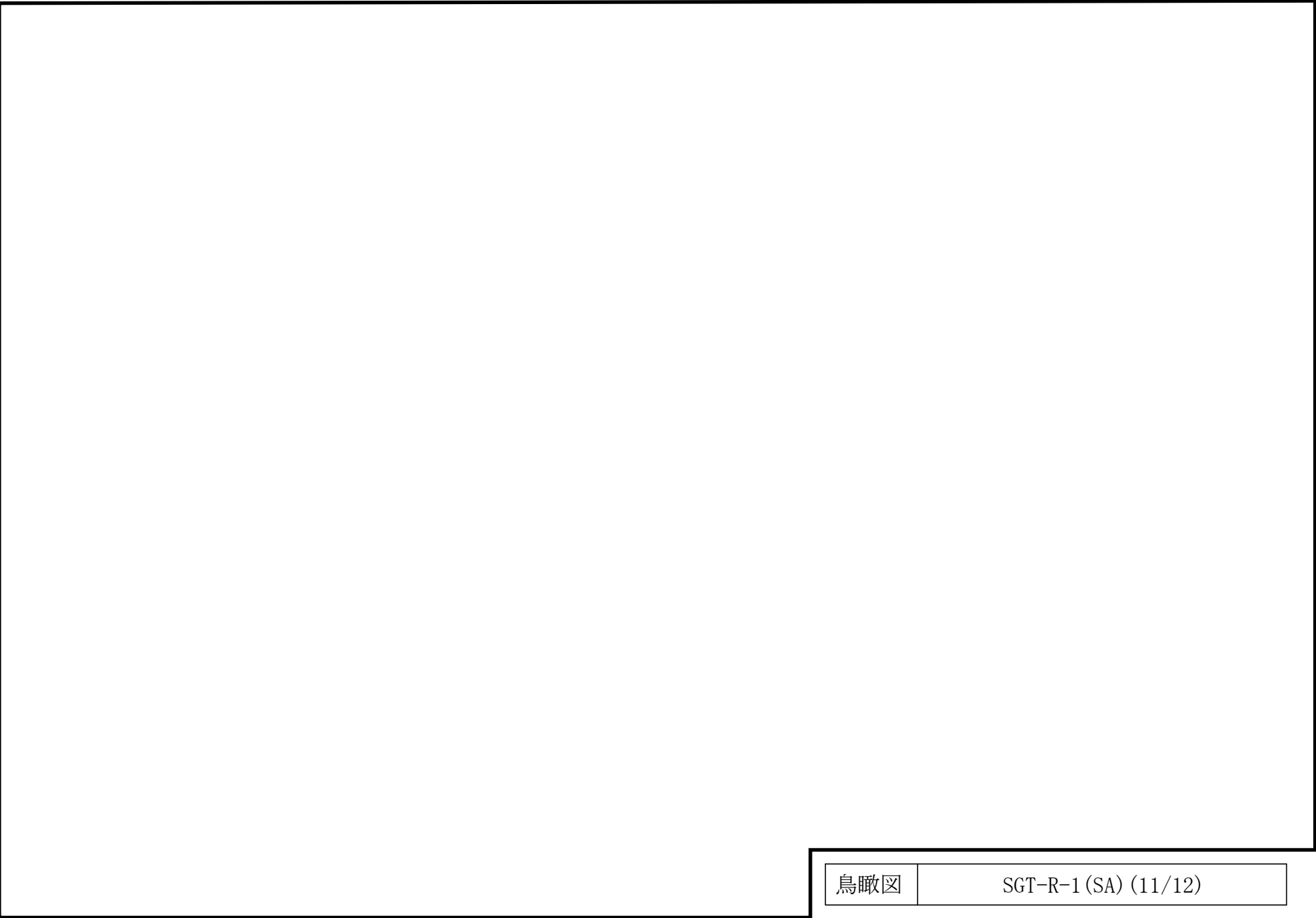
SGT-R-1 (SA) (6/12)

25

鳥瞰図

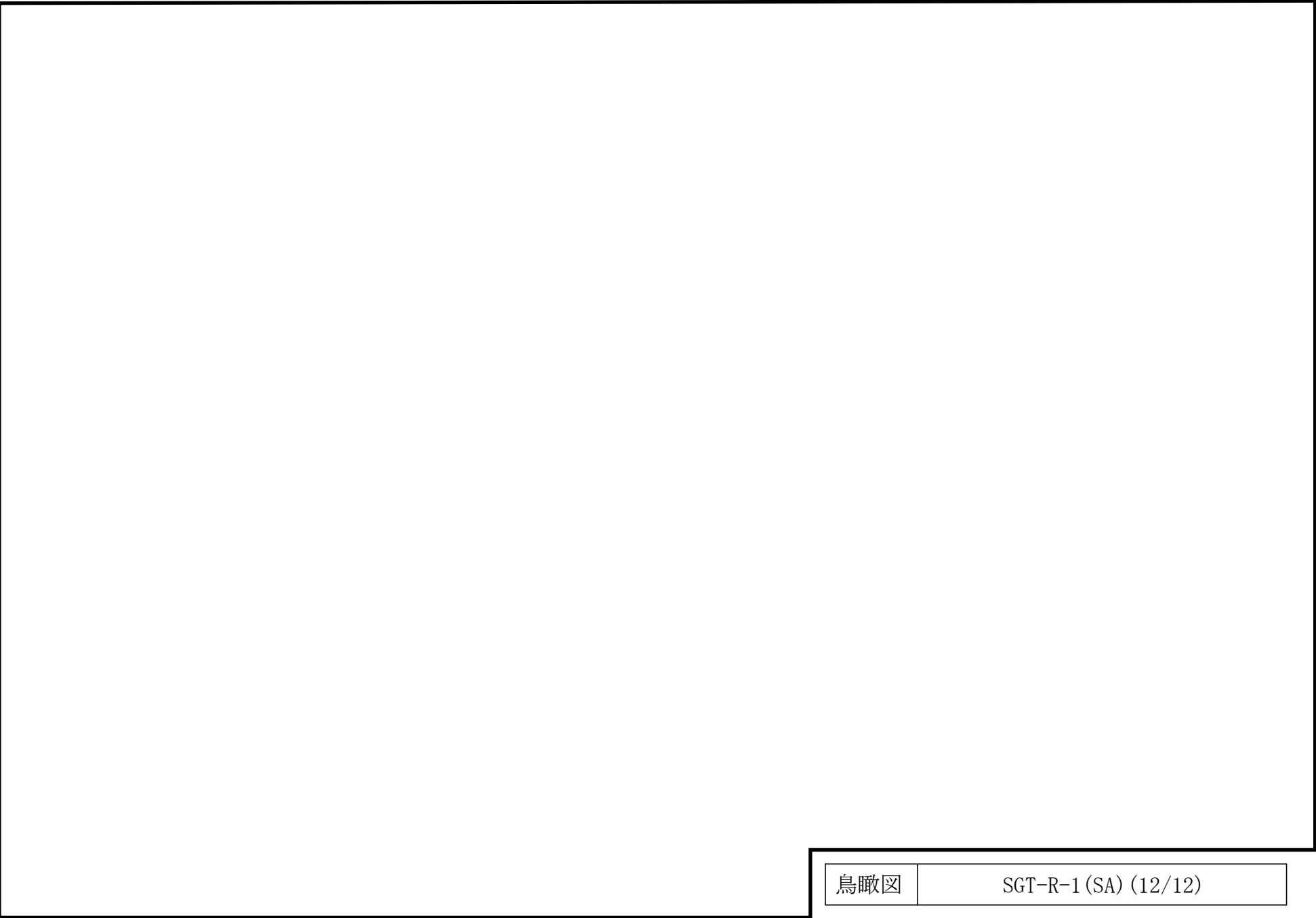
SGT-R-1 (SA) (8/12)





鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (11/12)



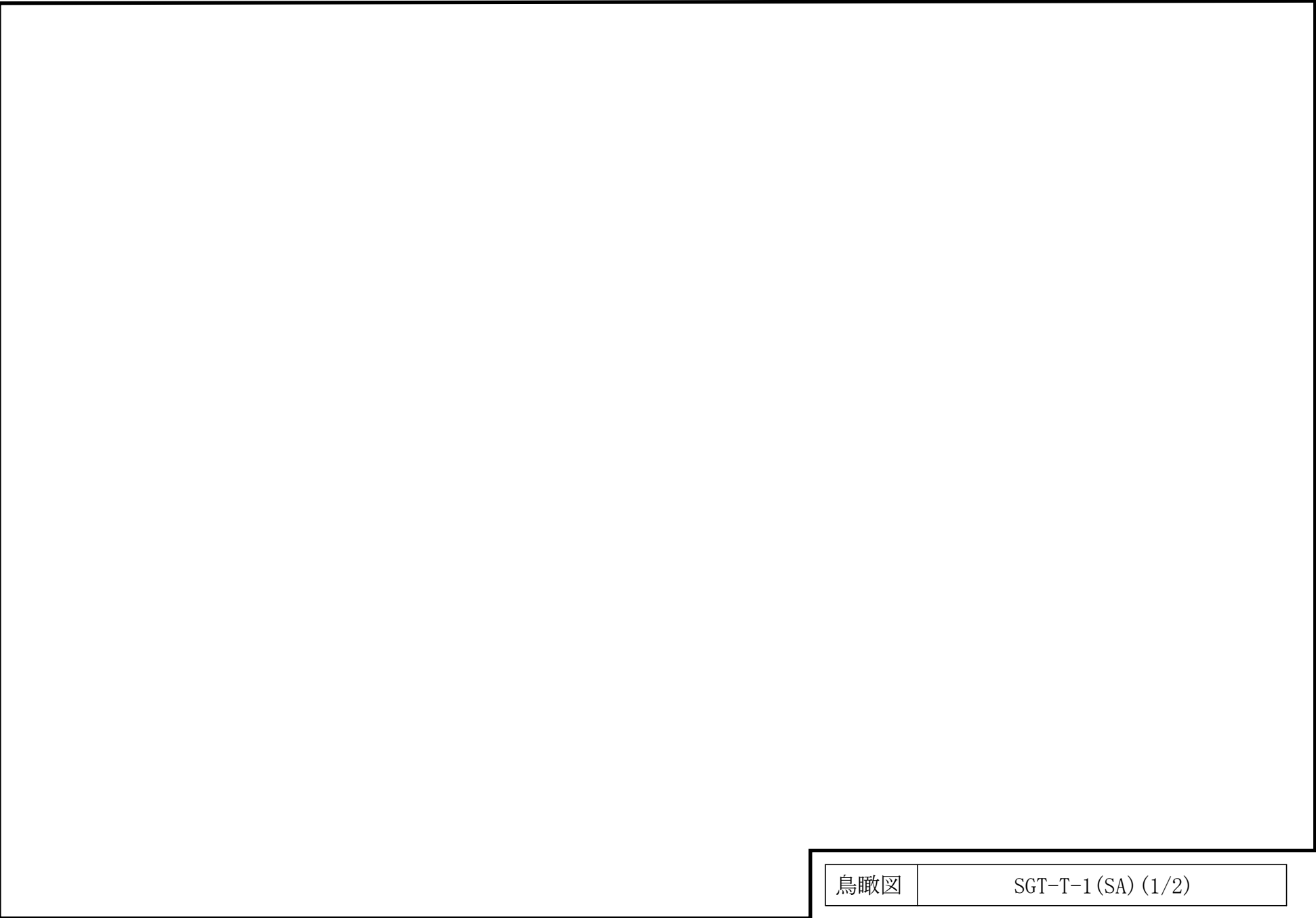
鳥瞰図

SGT-R-1 (SA) (12/12)

30

鳥瞰図

SGT-T-1 (DB) (1/2)



鳥瞰図

SGT-T-1 (SA) (1/2)



鳥瞰図

SGT-Y-1 (DB)

35

鳥瞰図

SGT-Y-1 (SA)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	非常用ガス処理系	DB	—	クラス4管	S	$I_L + S_d$	ⅢA S
							$II_L + S_d$	
			SA	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	ⅣA S
							$II_L + S_s$	
		格納容器フィルタベント系	SA	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$V_L + S_s$ ^{*6}	ⅣA S
							$I_L + S_s$	
							$II_L + S_s$	VA S
							$V_L(L) + S_d$ ^{*7, *8, *9}	
		$V_L(LL) + S_s$ ^{*7, *10}						
		$V_L + S_s$ ^{*6}						

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	原子炉格納容器調気設備	窒素ガス制御系	DB	—	クラス2管	S	$I_L + S_d$	III _A S
							$II_L + S_d$	
							$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
	圧力逃がし装置	格納容器フィルタベント系	SA	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*7, *8, *9}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*7, *10}$	
$V_L + S_s^{*6}$								

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器 フィルタ ベント系	S A	常設耐震／防止	重大事故等 クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d$ ^{*7, *8, *9}	V _A S
							$V_L(LL) + S_s$ ^{*7, *10}	
							$V_L + S_s$ ^{*6}	

注記*1 : D Bは設計基準対象施設, S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*8 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*9 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用しない場合)における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用する場合)における荷重条件を適用する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SGT-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	3~4F	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	0.853	200
2	6F~57, 59~63F 70~97, 107~1071	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	0.853	200
3	57~59, 58~70 97~98, 98~107	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	0.853	200
4	65F~66	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	0.853	200
5	98~9801	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—
6	9801~100F	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—
7	108~109F	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	0.853	200

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SGT-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
8	111F~117	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	0.853	200
9	117~118, 128~133F 135F~136F, 138F~1381	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	—	—
10	1731~177F, 251~253	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	0.0137	66
11	118~128, 1381~138	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	—	—
12	138~164F, 166F~1731 157~179F, 181F~169 138~235F, 237F~240N 205~251, 253~270F 272F~275N	Ⅲ _A S	0.0137	66
		Ⅳ _A S	0.0137	66
		Ⅴ _A S	0.0137	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SGT-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～4F	609.6	9.5	SM400C	S	201667
2	6F～57, 59～63F 70～97, 107～1071	609.6	9.5	SM41C	S	201667
3	57～59, 58～70 97～98, 98～107	619.2	14.3	SM41C	S	201667
4	65F～66	609.6	9.5	SM41C	S	200400
5	98～9801	619.2	14.3	SM41C	S	201667
6	9801～100F	609.6	9.5	SM41C	S	201667
7	108～109F	406.4	9.5	STPT410	S	201667
8	111F～117	406.4	9.5	STPT410	S	201667
9	117～118, 128～133F 135F～136F, 138F～1381	406.4	9.5	STPT410	S	201667
10	1731～177F, 251～253	406.4	9.5	STPT410	S	201667
11	118～128, 1381～138	406.4	9.5	STPT42	S	201667
12	138～164F, 166F～1731 157～179F, 181F～169 138～235F, 237F～240N 205～251, 253～270F 272F～275N	406.4	9.5	STPT42	S	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 SGT-R-1

質量	対応する評価点
	3～4F, 6F～63F, 65F～66, 58～100F 98～1071
	108～109F, 111F～133F, 135F～136F

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 SGT-R-1

質量	対応する評価点
	4F, 6F, 63F, 65F
	100F
	102F
	109F, 111F, 133F, 135F, 136F, 138F
	164F, 166F, 179F, 181F, 235F, 237F, 270F, 272F
	177F
	240N, 275N

弁部の質量

鳥 瞰 図 SGT-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	5, 64		5001, 6401
	5002, 6402		5004
	6404		100F, 102F
	101		1001
	110, 137		1101, 1371
	1102, 1372		1104
	133F, 135F		134
	1341		1373
	164F, 166F, 179F, 181F		165, 180
	1653, 1803		235F, 237F, 270F, 272F
	236, 271		2361, 2711

弁部の寸法

鳥 瞰 図 SGT-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
4F~5				5~5001			
5001~5002				5002~5003			
5003~5004				5~6F			
63F~64				64~6401			
6401~6402				6402~6403			
6403~6404				64~65F			
100F~101				101~1001			
101~102F				109F~110			
110~1101				1101~1102			
1102~1103				1103~1104			
110~111F				133F~134			
134~1341				134~135F			
136F~137				137~1371			
1371~1372				1372~1373			
137~138F				164F~165			
165~1651				1651~1652			
1652~1653				165~166F			
179F~180				180~1801			
1801~1802				1802~1803			
180~181F				235F~236			
236~2361	236~237F						
270F~271	271~2711						
271~272F							

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 1N **						
** 1N **						
** 1N **						
** 5003 **						
** 5003 **						
80Z						
801						
9						
18						
** 18 **						
25						
31						
3101						
3102						
37						
38						
43						
50						
50						
56						
5601						
60						
** 6403 **						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 6403 **						
69N						
** 69N **						
** 69N **						
71						
72						
76						
7601						
83						
91						
** 1103 **						
1103						
113						
1221						
125						
** 1271 **						
1352						
141						
144						
145						
148						
159						
162						
1651						
1652						
1671						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
174						
1801						
1802						
183						
202						
207						
213						
219						
225						
231						
240N						
256						
260						
266						
275N						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SGT-T-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~59A	III _A S	0.02	120
		IV _A S	0.02	120
		V _A S	0.02	120

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SGT-T-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～59A	406.4	9.5	STPT42	S	201667

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-T-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
12						
17						
1901						
24						
2601						
30						
34						
3401						
38						
4201						
47						
51						
59A						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SGT-Y-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A～3S	Ⅲ _A S	0.02	120
		Ⅳ _A S	0.02	120
		Ⅴ _A S	0.02	120
2	3S～20, 20～31A	Ⅲ _A S	0.02	120
		Ⅳ _A S	0.02	120
		Ⅴ _A S	0.02	120

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 SGT-Y-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～3S	406.4	9.5	STPT42	S	201667
2	3S～20, 20～31A	406.4	9.5	STPT42	S	201867

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 SGT-Y-1

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	19, 23

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 SGT-Y-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
8						
10						
11						
12						
1401						
18						
31A						

S2 補 VI-2-9-4-5-1-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM400C	104	—	219	373	—
SM400C	200	—	193	373	—
SM41C	200	—	193	373	—
SM41C	171	—	201	373	—
STPT410	171	—	211	404	—
STPT410	200	—	207	404	—
STPT410	66	—	231	407	—
STPT42	66	—	231	407	—
STPT42	120	—	217	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
SGT-R-1	原子炉建物	EL <input type="text"/>	[Blank Box]		
SGT-T-1	原子炉建物	EL <input type="text"/>			
	タービン建物	EL <input type="text"/>			
SGT-Y-1	タービン建物	EL <input type="text"/>			
	排気筒	EL <input type="text"/> ~ EL <input type="text"/>			
		屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SGT-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
10次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SGT-R-1

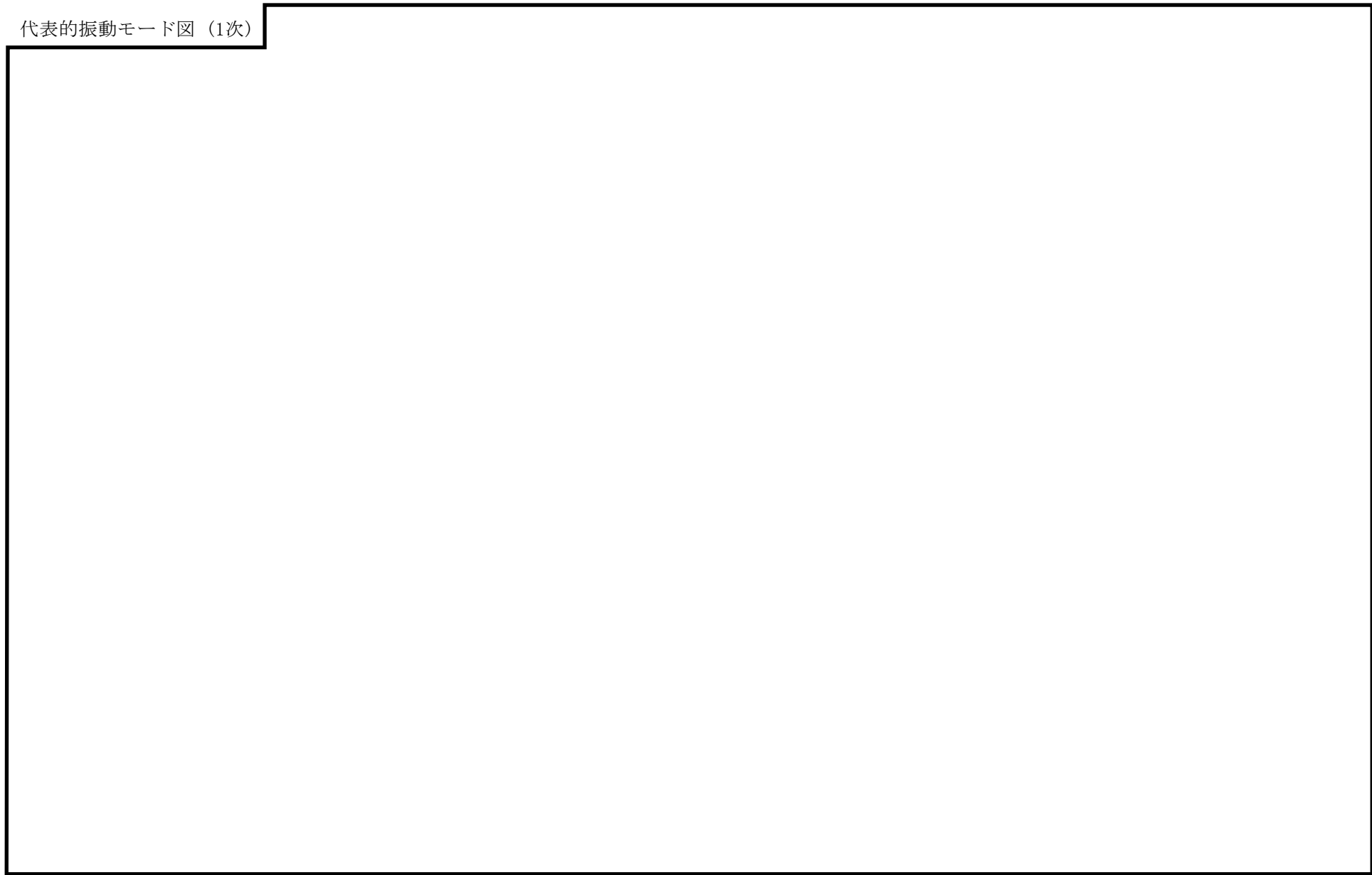
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
10次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

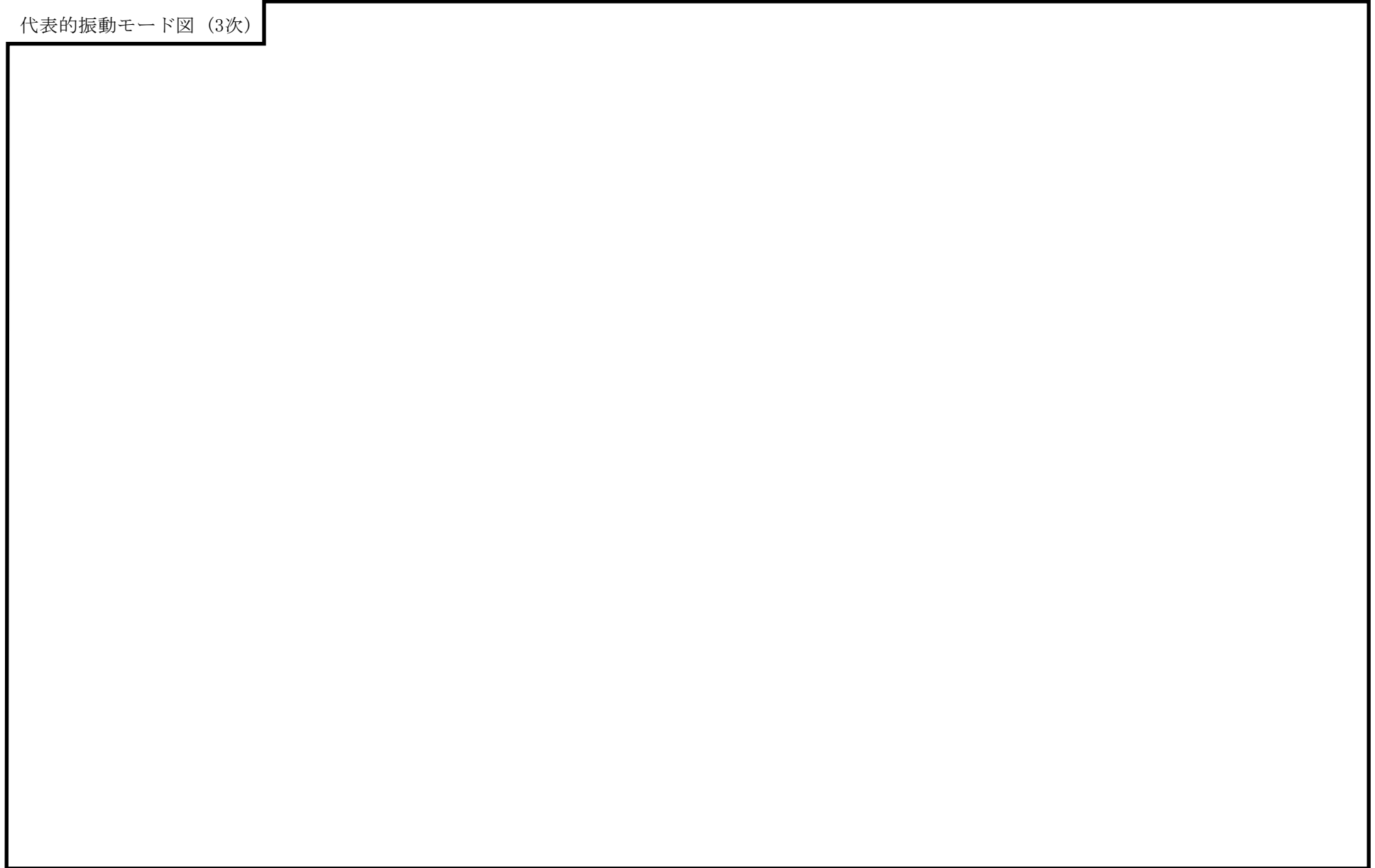
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)

63

代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SGT-T-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SGT-T-1

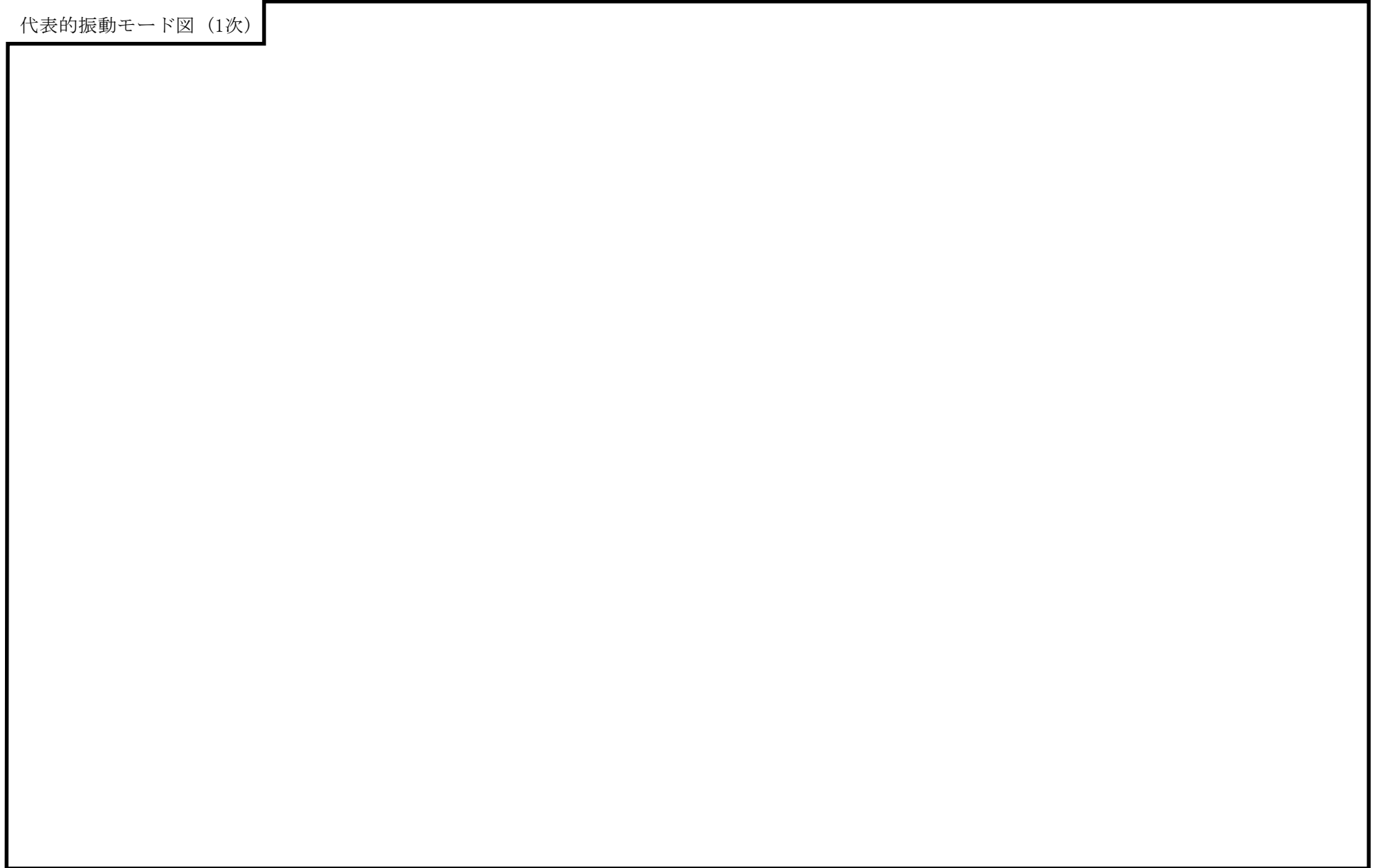
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次	<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div>			
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

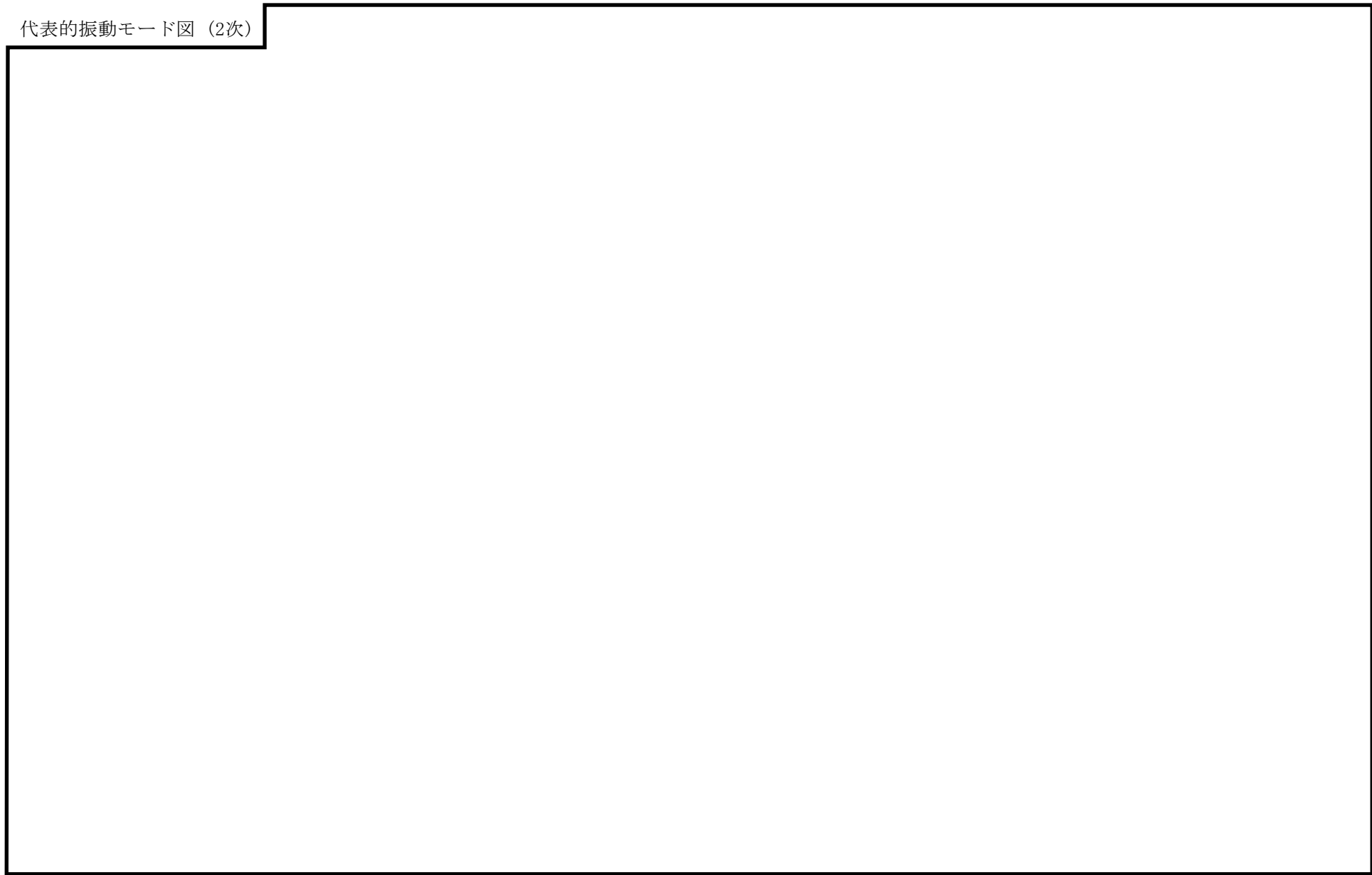
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)

70

固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 SGT-Y-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有 周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s) を上回る設計用床応答スペクトルにより得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d) を上回る設計震度及び設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 SGT-Y-1

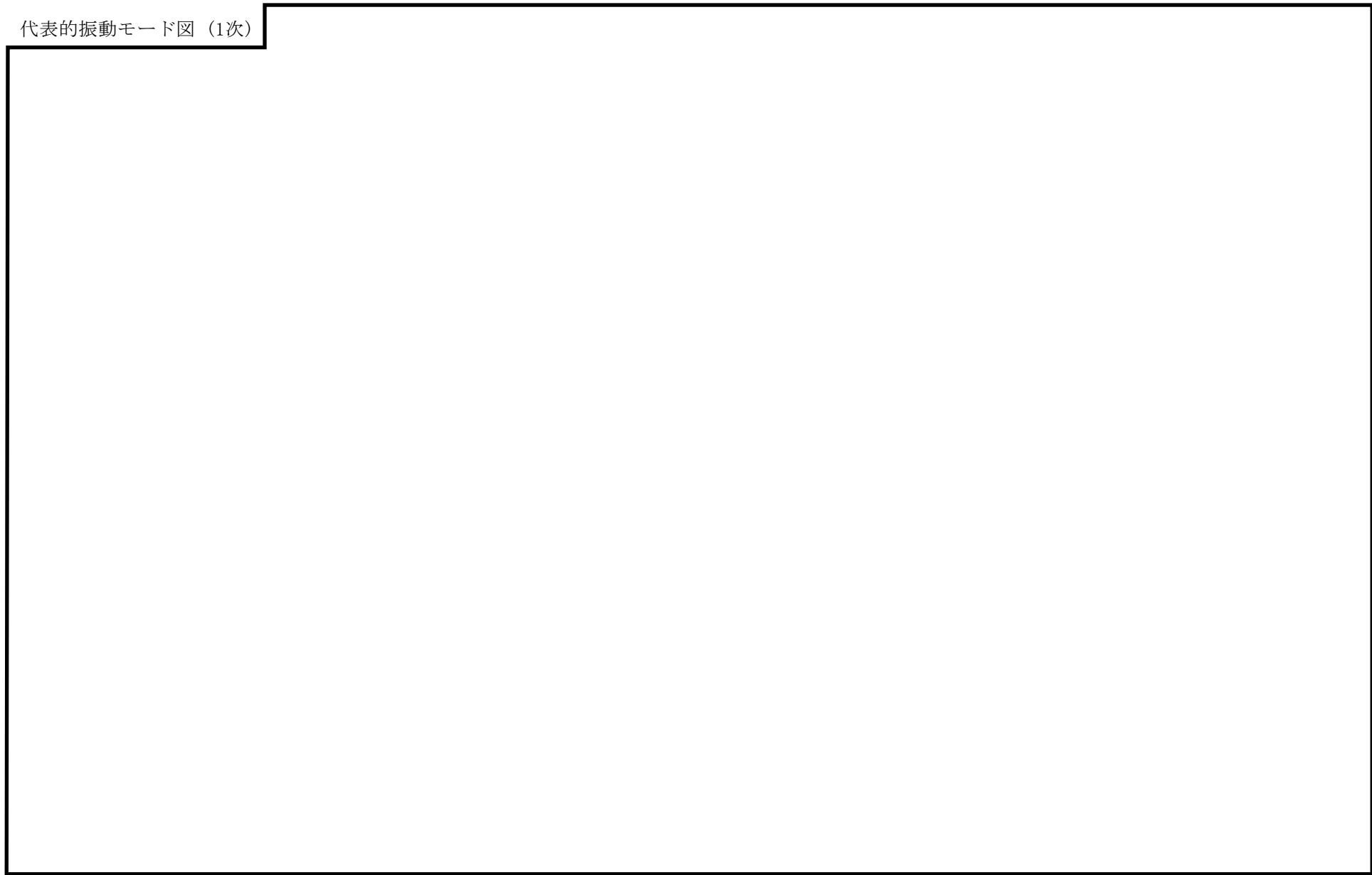
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

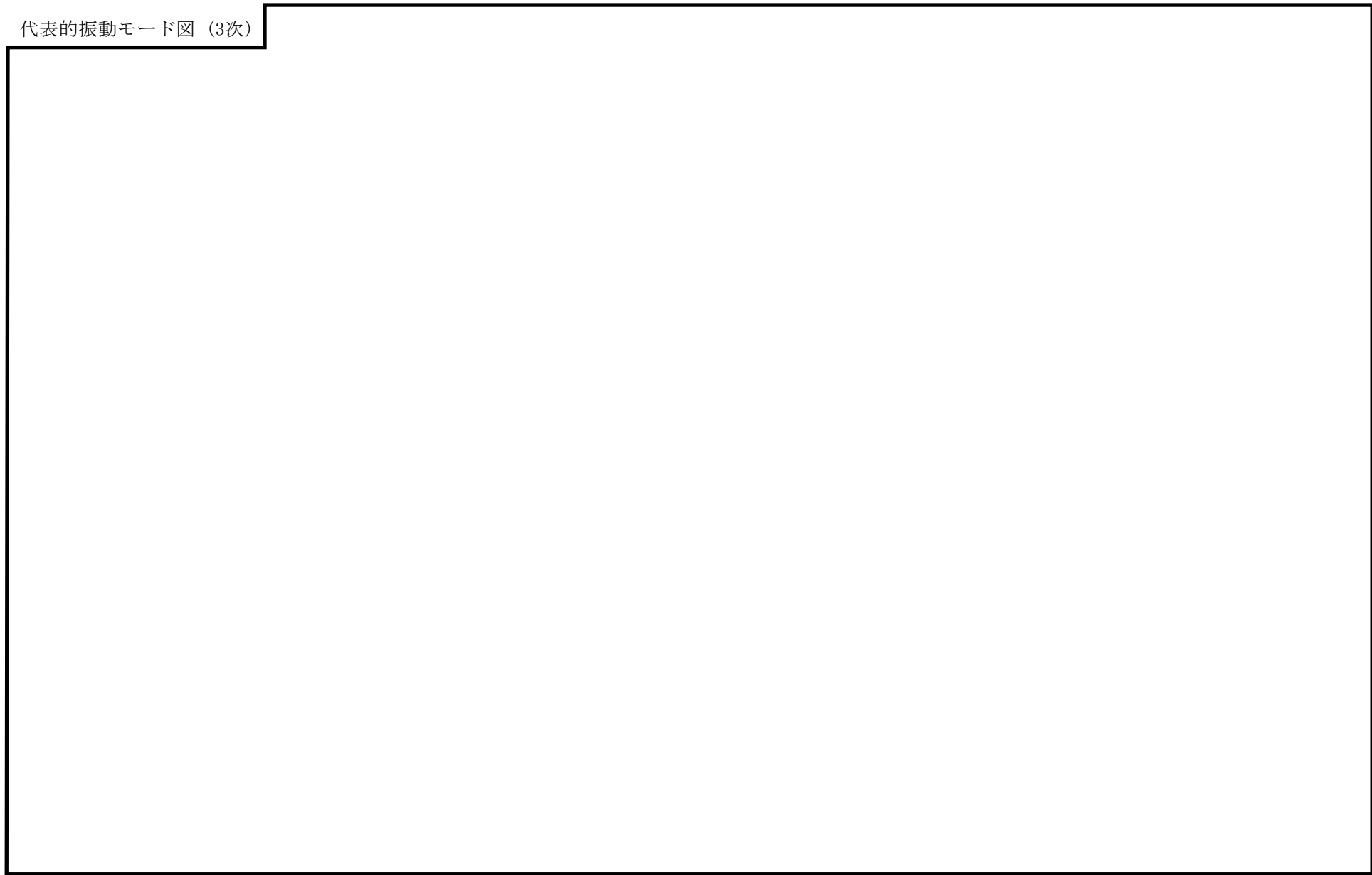
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)

75

代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	SGT-R-1	1081	77	211	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SGT-Y-1	20	196	434	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	SGT-T-1	8	124	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SGT-R-1	7	312	402	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

評価結果

管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	SGT-T-1	8	124	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SGT-R-1	7	312	402	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	SGT-T-1	8	124	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	SGT-R-1	7	312	386	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	60	—	—	—
SNO-SGT-1707	オイルスナッパ	SN-16×2*3			149	480	—
RE-SGT-278	ロッドレストレイント	RSA-6			78	108	—
SH-SGT-220	スプリングハンガ	VS1F-15			21	23	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

*3：2台の支持装置を用いて同一支持点，同一方向を支持（2本引き）

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-SGT-710	レストレイント	ビーム	STKR400	60	0	24	116	—	—	—	組合せ	12	154
AN-SGT-237	アンカ	ラグ	SM400A	120	26	53	38	120	66	41	組合せ	59	130

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
AV226-1A	空気作動バタフライ弁	β (S s)	1.9	1.8	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
AV226-1B	空気作動バタフライ弁	β (S s)	1.9	1.8	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	SGT-R-1	1081	77	211	2.74	○	7	177	402	2.27	—	—
2	SGT-R-2	3	9	231	25.66	—	3	12	462	38.50	—	—
3	SGT-R-3	3	9	231	25.66	—	3	12	462	38.50	—	—
4	SGT-R-4	12	59	217	3.67	—	12	99	434	4.38	—	—
5	SGT-R-5	12	59	217	3.67	—	12	99	434	4.38	—	—
6	SGT-R-6	31	70	217	3.10	—	31	117	434	3.70	—	—
7	SGT-R-8	43	70	217	3.10	—	43	123	434	3.52	—	—
8	SGT-T-1	8	69	217	3.14	—	8	166	434	2.61	—	—
9	SGT-Y-1	20	47	217	4.61	—	20	196	434	2.21	—	○

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	SGT-R-1	1081	118	363	3.07	—	7	312	402	1.28	—	○
2	SGT-R-2	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
3	SGT-R-3	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
4	SGT-R-4	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
5	SGT-R-5	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
6	SGT-R-6	31	122	363	2.97	—	31	191	434	2.27	—	—
7	SGT-R-8	43	105	363	3.45	—	43	234	434	1.85	—	—
8	SGT-T-1	8	124	363	2.92	○	8	305	434	1.42	—	—
9	SGT-Y-1	20	86	363	4.22	—	20	323	434	1.34	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	SGT-R-1	1081	118	363	3.07	—	7	312	402	1.28	—	○
2	SGT-R-2	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
3	SGT-R-3	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
4	SGT-R-4	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
5	SGT-R-5	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
6	SGT-R-6	31	122	363	2.97	—	31	191	434	2.27	—	—
7	SGT-R-8	43	105	363	3.45	—	43	234	434	1.85	—	—
8	SGT-T-1	8	124	363	2.92	○	8	305	434	1.42	—	—
9	SGT-Y-1	20	86	363	4.22	—	20	323	434	1.34	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	SGT-R-1	1081	123	363	2.95	—	7	312	386	1.23	—	○
2	SGT-R-2	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
3	SGT-R-3	3	11	366	33.27	—	3	17	462	27.17	—	—
4	SGT-R-4	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
5	SGT-R-5	12	102	363	3.55	—	12	186	434	2.33	—	—
6	SGT-R-6	31	122	363	2.97	—	31	191	434	2.27	—	—
7	SGT-R-8	43	105	363	3.45	—	43	234	434	1.85	—	—
8	SGT-T-1	8	124	363	2.92	○	8	305	434	1.42	—	—
9	SGT-Y-1	20	86	363	4.22	—	20	323	434	1.34	—	—

VI-2-9-4-5-1-2 非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 構造強度評価	5
3.1 構造強度評価方法	5
3.2 荷重の組合せ及び許容応力	5
3.3 計算条件	5
4. 機能維持評価	10
4.1 基本方針	10
4.2 ファンの動的機能維持評価	11
4.3 原動機の動的機能維持評価	19
5. 評価結果	28
5.1 設計基準対象施設としての評価結果	28
5.2 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、非常用ガス処理系排風機が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

非常用ガス処理系排風機は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、非常用ガス処理系排風機は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の横形ポンプと類似の構造であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき剛構造として評価を行う。また、非常用ガス処理系排風機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の遠心直結型ファンであり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版（（社）日本電気協会）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ガス処理系排風機の構造計画を表2-1から表2-3に示す。

表2-1 構造計画 (その1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ファン等はベースにケーシング取付ボルト及び原動機取付ボルトで固定され、ベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>遠心式 (遠心直結型ファン)</p>	<p>(背面図) (全体図)</p>
		<p>(単位：mm)</p>

表2-2 構造計画 (その2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ファンのケーシング内のインペラは軸に支持され、軸は軸受に支持される。</p>	<p>遠心式 (遠心直結型ファン)</p>	<p>(平面図)</p> <p>(A-A断面図)</p> <p>(ファン構造図)</p>

表2-3 構造計画 (その3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機の軸（回転子）は軸受に支持され、軸受及び固定子はモータフレームに支持される。端子箱は端子箱取付ボルトでモータフレームに固定する。</p>	<p>誘導電動機（横形ころがり軸受電動機）</p>	<p>(原動機構造図)</p> <p>(単位：mm)</p>

3. 構造強度評価

3.1 構造強度評価方法

非常用ガス処理系排風機の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-1 横形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ガス処理系排風機の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-1に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-2に示す。

3.2.2 許容応力

非常用ガス処理系排風機の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-3のとおりとする。

3.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ガス処理系排風機の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-4に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表3-5に示す。

3.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 排風機	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表3-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 排風機	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表3-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表3-4 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—
ケーシング取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—
原動機取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

注記*：SS400相当

表3-5 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度				
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—
ケーシング取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—
原動機取付ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—

注記*：SS400相当

4. 機能維持評価

4.1 基本方針

非常用ガス処理系排風機及び原動機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の遠心直結型ファン及び横形ころがり軸受電動機であり、表4-1に示すとおり機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

詳細評価に用いる応答加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

表 4-1 機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	形式	方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	遠心直結型 ファン	水平	2.26	2.3
		鉛直	2.51	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	2.26	4.7
		鉛直	2.51	1.0

4.2 ファンの動的機能維持評価

非常用ガス処理系排風機は、地震後機能維持が要求される設備であるが、ファンの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.2.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載のファンの動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 軸受
- c. インペラとファンケーシング間のクリアランス
- d. 電動機との軸継手
- e. ファンケーシング
- f. メカニカルシール
- g. 軸系架台
- h. ファンケーシング固定ボルト
- i. 電動機固定ボルト
- j. 基礎ボルト

このうち「h. ファンケーシング固定ボルト」、「i. 電動機固定ボルト」及び「j. 基礎ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。

「e. ファンケーシング」は、共通架台上にケーシング取付ボルトを用いて固定されており、地震時にケーシング取付ボルトに最も荷重が生じることから、ファンケーシングの評価は対象外とする。

「g. 軸系架台」は、軸受の耐力を超えるように設計されており、軸受の評価を代表とし、軸受固定ボルトの評価は対象外とする。「f. メカニカルシール」は、構造上存在しないことから、評価項目から除外する。「d. 電動機との軸継手」については、駆動側・被駆動側ともに水平地震力及び運転時により発生するスラスト荷重は軸受で負担するため、軸継手部では有意な変位は生じない設計としていることから評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、軸、軸受及びインペラとファンケーシング間のクリアランスを評価対象部位とする。

4.2.2 評価基準値

軸の許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態ⅢASに準拠し設定する。また、軸受についてはメーカー規定の許容値を、インペラとファンケーシング間のクリアランスについては、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-2に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

表4-2 評価基準値（設計基準対象施設）

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
軸			MPa	
軸受	負荷側	—	N	
	反負荷側	—	N	
インペラとファンケーシング間のクリアランス		—	mm	

表4-3 評価基準値（重大事故等対処設備）

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
軸			MPa	
軸受	負荷側	—	N	
	反負荷側	—	N	
インペラとファンケーシング間のクリアランス		—	mm	

4.2.3 記号の説明

非常用ガス処理系排風機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-4に示す。

表 4-4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{Sf}	軸の断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ファン振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_{Sf}	軸の直径	mm
E_{Sf}	軸の縦弾性係数	MPa
F_{Sf}	軸に生じるラジアル荷重	N
F_{BA}	負荷側軸受に生じる静等価荷重	N
F_{BB}	反負荷側軸受に生じる静等価荷重	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h_1	インペラ中心からインペラでケーシングに最も近い位置までの距離	mm
h_2	ケーシング重心からケーシングでインペラに最も近い位置までの距離	mm
h_3	ケーシング取付面からのケーシング重心までの高さ	mm
I_{Sf}	軸の断面二次モーメント	mm^4
$k_{\theta r}$	軸直角方向回転バネ剛性	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$
$k_{\theta t}$	軸方向回転バネ剛性	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$
ℓ_{Sf}	インペラ重心から負荷側軸受までの距離	mm
M_P	ファンの回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
Q_{Sf}	軸に生じるスラスト荷重	N
Q_1	インペラ回転によるスラスト荷重	N
W_{11}	インペラの質量	kg
W_{12}	軸の質量	kg
W_{13}	軸継手の片側の質量	kg
W_{14}	ケーシングの質量	kg
X_{0A}	負荷側軸受の静ラジアル荷重係数	—
X_{0B}	反負荷側軸受の静ラジアル荷重係数	—
Y_{0A}	負荷側軸受の静アキシアル荷重係数	—
Y_{0B}	反負荷側軸受の静アキシアル荷重係数	—

記号	記号の説明	単位
Z_{Pf}	軸の極断面係数	mm^3
Z_{Sf}	軸の断面係数	mm^3
π	円周率	—
σ_{bf}	軸に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
σ_{Sf}	軸に生じる組合せ応力	MPa
τ_{Sf}	軸に生じるねじり応力	MPa
β_1	軸のたわみ角	rad
β_2	ケーシングの軸方向の傾き角	rad
β_3	ケーシングの軸直角方向の傾き角	rad
δ	インペラとケーシングの合計変位量	mm
δ_1	軸のたわみ量	mm
δ_2	軸のたわみによるインペラの変位量	mm
δ_3	ケーシングの傾きによる軸方向の変位量	mm
δ_4	ケーシングの傾きによる軸直角方向の変位量	mm

4.2.4 評価方法

(1) 軸

図 4-1 に示す計算モデルにて、軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し、軸に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

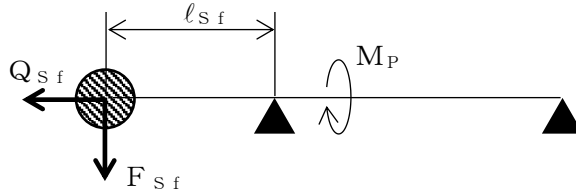


図 4-1 軸の計算モデル

軸に生じる組合せ応力 σ_{Sf} は次式で求める。

$$\sigma_{Sf} = \sqrt{\sigma_{bf}^2 + 3 \cdot \tau_{Sf}^2} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.1)$$

ここで、軸に生じる引張応力及び曲げ応力 σ_{bf} は

$$\sigma_{bf} = \frac{F_{Sf} \cdot l_{Sf}}{Z_{Sf}} + \frac{Q_{Sf}}{A_{Sf}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.2)$$

軸に生じるねじり応力 τ_{Sf} は

$$\tau_{Sf} = \frac{M_P}{Z_{Pf}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.3)$$

軸の断面係数 Z_{Sf} は

$$Z_{Sf} = \frac{\pi \cdot D_{Sf}^3}{32} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.4)$$

軸の極断面係数 Z_{Pf} は

$$Z_{Pf} = \frac{\pi \cdot D_{Sf}^3}{16} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.5)$$

軸に生じる荷重は、

ラジアル荷重

$$F_{Sf} = (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot (W_{11} + W_{12} + W_{13}) \cdot g \quad \dots (4.2.4.6)$$

スラスト荷重

$$Q_{Sf} = (C_H + C_P) \cdot (W_{11} + W_{12} + W_{13}) \cdot g + Q_1 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.7)$$

(2) 軸受

図 4-2 に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重について保守的にそれぞれの軸受が受けるものとし、軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

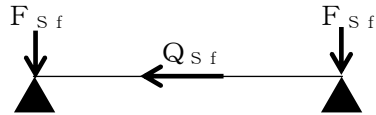


図 4-2 軸受の計算モデル

軸受に生じる静等価荷重は次式で求める。

負荷側軸受に生じる静等価荷重 F_{BA}

$$F_{BA} = \text{MAX} (X_{0A} \cdot F_{Sf} + Y_{0A} \cdot Q_{Sf}, F_{Sf}) \quad \dots \quad (4.2.4.8)$$

反負荷側軸受に生じる静等価荷重 F_{BB}

$$F_{BB} = \text{MAX} (X_{0B} \cdot F_{Sf} + Y_{0B} \cdot Q_{Sf}, F_{Sf}) \quad \dots \quad (4.2.4.9)$$

(3) インペラとファンケーシング間のクリアランス

図 4-3 に示す計算モデルにて、軸及びケーシングに地震力が作用することにより生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

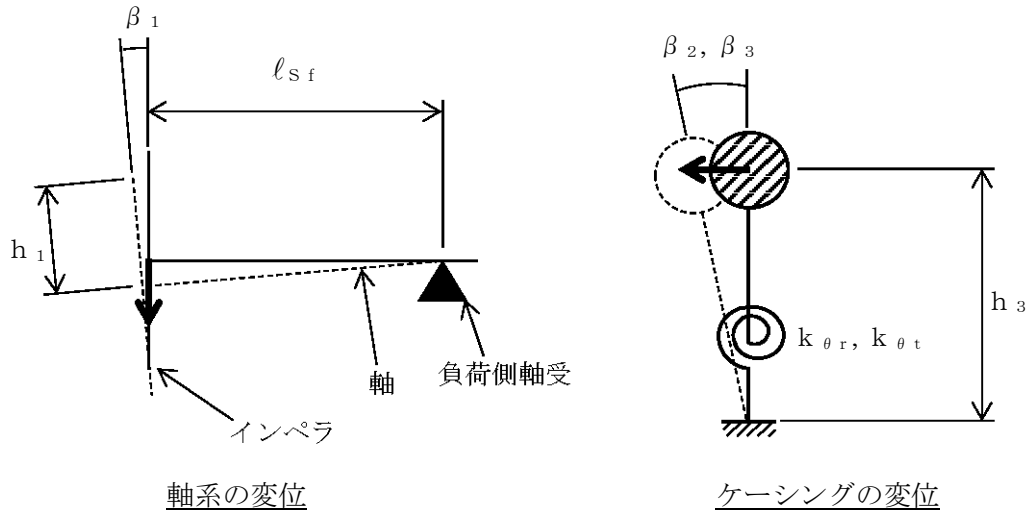


図 4-3 インペラとファンケーシング間のクリアランスの計算モデル

インペラとケーシングの合計変位量 δ は次式で求める。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \sqrt{\delta_3^2 + \delta_4^2} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.10)$$

ここで、軸のたわみ量 δ_1 は

$$\delta_1 = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{13}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot l_{sf}^3}{3 \cdot E_{sf} \cdot I_{sf}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.11)$$

軸の断面二次モーメント I_{sf} は

$$I_{sf} = \frac{\pi \cdot D_{sf}^4}{64} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.12)$$

軸のたわみによるインペラの変位量 δ_2 は

$$\delta_2 = h_1 \cdot \beta_1 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.13)$$

軸のたわみ角 β_1 は

$$\beta_1 = \frac{l_{sf}^2}{2 \cdot E_{sf} \cdot I_{sf}} \cdot (W_{11} + W_{12} + W_{13}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.2.4.14)$$

ケーシングの傾きによる変位量は

軸方向の変位量 δ_3

$$\delta_3 = h_2 \cdot \beta_2 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.15)$$

軸直角方向の変位量 δ_4

$$\delta_4 = h_2 \cdot \beta_3 \quad \dots\dots\dots (4.2.4.16)$$

ケーシングの傾き角は

軸方向の傾き角 β_2

$$\beta_2 = \frac{W_{14} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_3}{k_{\theta t}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.17)$$

軸直角方向の傾き角 β_3

$$\beta_3 = \frac{W_{14} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_3}{k_{\theta r}} \quad \dots\dots\dots (4.2.4.18)$$

4.3 原動機の動的機能維持評価

非常用ガス処理系排風機は、地震後機能維持が要求される設備であるが、原動機の動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

4.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 に記載の原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 冷却ファン，クーラユニット

このうち「a. 取付ボルト」については、「3. 構造強度評価」に従い評価を行った「5. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。

「h. 冷却ファン，クーラユニット」については、冷却ファンは遠心直動式ファンであり、インペラ・ケーシング間の接触が回転機能の喪失に関わるが、原動機においては、同じ軸上に取り付けられている固定子と回転子のクリアランスの方が許容可能変位の観点より厳しいことから、当該クリアランスで回転機能維持の評価を代表するため、冷却ファンの評価を省略する。

以上より、本計算書においては、固定子，軸（回転子），端子箱，軸受，固定子と回転子間のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。

4.3.2 評価基準値

固定子及び軸（回転子）の許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定し、端子箱及びモータフレームの許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅳ_ASに準拠し設定する。また、軸受についてはメーカー規定の許容値を、固定子と回転子間のクリアランスについては、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-6に示す。

表4-5 評価基準値（設計基準対象施設）

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子		SS41*	MPa	
軸（回転子）			MPa	
端子箱	引張	SS41*	MPa	
	せん断	SS41*	MPa	
軸受	軸継手側	—	N	
	反軸継手側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム		SS41*	MPa	

注記*：SS400相当

表4-6 評価基準値（重大事故等対処設備）

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子		SS41*	MPa	
軸（回転子）			MPa	
端子箱	引張	SS41*	MPa	
	せん断	SS41*	MPa	
軸受	軸継手側	—	N	
	反軸継手側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム		SS41*	MPa	

注記*：SS400相当

4.3.3 記号の説明

非常用ガス処理系排風機用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表4-7に示す。

表 4-7 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bt}	端子箱取付ボルトの断面積	mm^2
A_F	モータフレーム（脚部）の断面積	mm^2
A_S	軸（回転子）の断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ファン振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_S	軸（回転子）の直径	mm
E	軸（回転子）の縦弾性係数	MPa
F_{B1}	軸継手側軸受に生じる静等価荷重	N
F_{B2}	反軸継手側軸受に生じる静等価荷重	N
F_{bt}	端子箱取付ボルトに生じる引張力（1本当たり）	N
F_H	水平方向（軸直角方向）地震力によりキーに生じるせん断力	N
F_K	キーに生じるせん断力	N
F_M	原動機の回転によりキーに生じるせん断力	N
F_R	軸（回転子）に生じるラジアル荷重	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_F	原動機取付面から原動機重心までの高さ	mm
h_t	端子箱取付面から端子箱重心までの高さ	mm
I	軸（回転子）の断面二次モーメント	mm^4
l_b	モータフレームの脚部の長さ	mm
$l_{b,L}$	軸受間の距離	mm
l_{h1}	モータフレームの脚部間の距離（内側）	mm
l_{h2}	モータフレームの脚部間の距離（外側）	mm
l_K	キーと固定子の接触長さ	mm
$l_{r,C}$	軸受間の距離の1/2	mm
l_{t1}	端子箱重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
l_{t2}	端子箱重心と端子箱取付ボルト間の水平方向距離	mm
M_P	原動機の回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$

記号	記号の説明	単位
n_{bt}	端子箱取付ボルトの本数	—
n_{ft}	評価上引張力を受けるとして期待する端子箱取付ボルトの本数	—
Q_B	軸（回転子）に生じるスラスト荷重	N
Q_{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断力	N
r	固定子の半径	mm
t_K	キーの厚さ	mm
W_{21}	固定子の質量	kg
W_{22}	軸（回転子）の質量	kg
W_{23}	軸継手の片側の質量	kg
W_{24}	端子箱の質量	kg
W_{25}	原動機の質量	kg
X_{01}	軸継手側軸受の静ラジアル荷重係数	—
X_{02}	反軸継手側軸受の静ラジアル荷重係数	—
y	軸（回転子）の変位量	mm
Y_{01}	軸継手側軸受の静アキシアル荷重係数	—
Y_{02}	反軸継手側軸受の静アキシアル荷重係数	—
Z_F	モータフレーム（脚部）の断面係数	mm ³
Z_P	軸（回転子）の極断面係数	mm ³
Z_S	軸（回転子）の断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ_b	軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
σ_{bt}	端子箱取付ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_F	モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力	MPa
σ_{F1}	モータフレーム（脚部）に生じる曲げ応力	MPa
σ_{F2}	モータフレーム（脚部）に生じる圧縮応力	MPa
σ_{F3}	原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力	MPa
σ_S	軸（回転子）に生じる組合せ応力	MPa
τ_{bt}	端子箱取付ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_K	キーに生じるせん断応力	MPa
τ_F	モータフレーム（脚部）に生じるせん断応力	MPa
τ_t	軸（回転子）に生じるねじり応力	MPa

4.3.4 評価方法

(1) 固定子

図 4-4 に示す計算モデルにて、キーに生じるせん断力を算出し、キーに生じるせん断応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

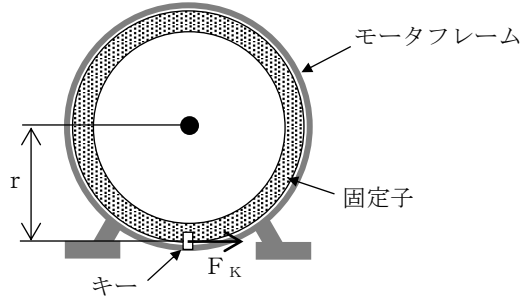


図 4-4 固定子の計算モデル

キーに生じるせん断応力 τ_K は次式で求める。

$$\tau_K = F_K / (t_K \cdot l_K) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.1)$$

ここで、キーに生じるせん断力 F_K は

$$F_K = F_H + F_M \quad \dots\dots\dots (4.3.4.2)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりキーに生じるせん断力 F_H は

$$F_H = W_{21} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.3)$$

原動機の回転によりキーに生じるせん断力 F_M は

$$F_M = M_P / r \quad \dots\dots\dots (4.3.4.4)$$

(2) 軸（回転子）

図 4-5 に示す計算モデルにて，軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し，軸に生じる組合せ応力を求め，許容応力以下であることを確認する。

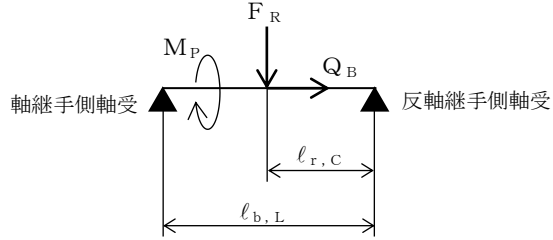


図 4-5 軸（回転子）の計算モデル

軸（回転子）に生じる組合せ応力 σ_s は次式で求める。

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.5)$$

ここで，軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{(\ell_{b,L} - \ell_{r,C}) \cdot \ell_{r,C}}{Z_s \cdot \ell_{b,L}} \cdot F_R + \frac{Q_B}{A_s} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.6)$$

軸（回転子）に生じるねじり応力 τ_t は

$$\tau_t = \frac{M_P}{Z_P} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.7)$$

軸（回転子）の断面係数 Z_s は

$$Z_s = \frac{\pi \cdot D_s^3}{32} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.8)$$

軸（回転子）の極断面係数 Z_P は

$$Z_P = \frac{\pi \cdot D_s^3}{16} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.9)$$

軸（回転子）に生じる荷重は

ラジアル荷重 F_R

$$F_R = (W_{22} + W_{23}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.10)$$

スラスト荷重 Q_B

$$Q_B = (W_{22} + W_{23}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.11)$$

(3) 端子箱

図 4-6 に示す計算モデルにて，端子箱取付ボルトに生じる荷重を算出し，端子箱取付ボルトに生じる応力を求め，許容応力以下であることを確認する。

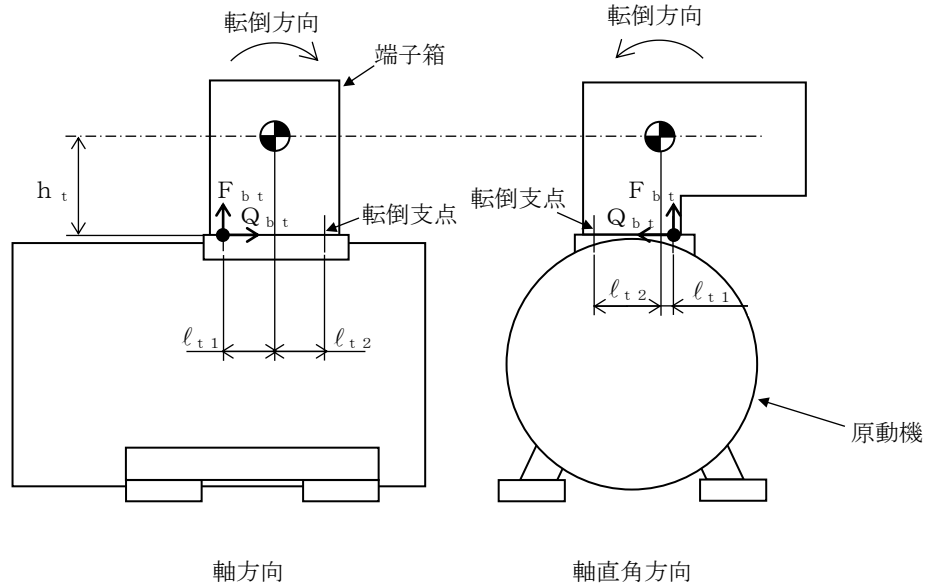


図 4-6 端子箱の計算モデル

端子箱取付ボルトに生じる引張応力 σ_{bt} は次式で求める。

$$\sigma_{bt} = F_{bt} / A_{bt} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.12)$$

ここで，端子箱取付ボルト 1 本あたりに生じる引張力 F_{bt} は

軸方向

$$F_{bt} = \frac{W_{24} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t + W_{24} \cdot g \cdot (C_V + C_P - 1) \cdot l_{t2}}{n_{ft} \cdot (l_{t1} + l_{t2})} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.13)$$

軸直角方向

$$F_{bt} = \frac{W_{24} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_t - W_{24} \cdot g \cdot (1 - C_V - C_P) \cdot l_{t2}}{n_{ft} \cdot (l_{t1} + l_{t2})} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.14)$$

端子箱取付ボルトに生じるせん断応力 τ_{bt} は次式で求める。

$$\tau_{bt} = Q_{bt} / (n_{bt} \cdot A_{bt}) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.15)$$

ここで，端子箱取付ボルトに生じるせん断力 Q_{bt} は

$$Q_{bt} = W_{24} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (4.3.4.16)$$

(4) 軸受

図 4-7 に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重について保守的にそれぞれの軸受が受けるものとし、軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

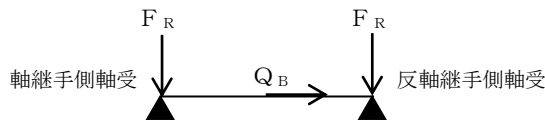


図 4-7 軸受の計算モデル

軸受に生じる静等価荷重は次式で求める。

軸継手側軸受に生じる静等価荷重 F_{B1}

$$F_{B1} = \text{Max} (X_{01} \cdot F_R + Y_{01} \cdot Q_B, F_R) \dots\dots\dots (4.3.4.17)$$

反軸継手側軸受に生じる静等価荷重 F_{B2}

$$F_{B2} = \text{Max} (X_{02} \cdot F_R + Y_{02} \cdot Q_B, F_R) \dots\dots\dots (4.3.4.18)$$

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

図 4-8 に示す計算モデルにて、軸（回転子）に生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

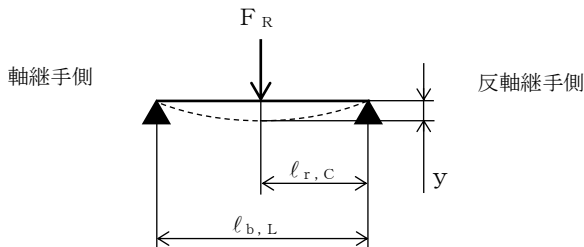


図 4-8 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

軸（回転子）の変位量 y は次式で求める。

$$y = \frac{F_R \cdot l_{r,C} \cdot (l_{b,L}^2 - l_{r,C}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E \cdot I \cdot l_{b,L}} \dots\dots\dots (4.3.4.19)$$

ここで、軸（回転子）の断面二次モーメント I は

$$I = \frac{\pi \cdot D_s^4}{64} \dots\dots\dots (4.3.4.20)$$

(6) モータフレーム

図4-9に示す計算モデルにて、モータフレーム（脚部）に生じる応力を算出し、モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。なお、モータフレーム（脚部）の評価は、構造上厳しくなる軸直角方向について評価を実施する。

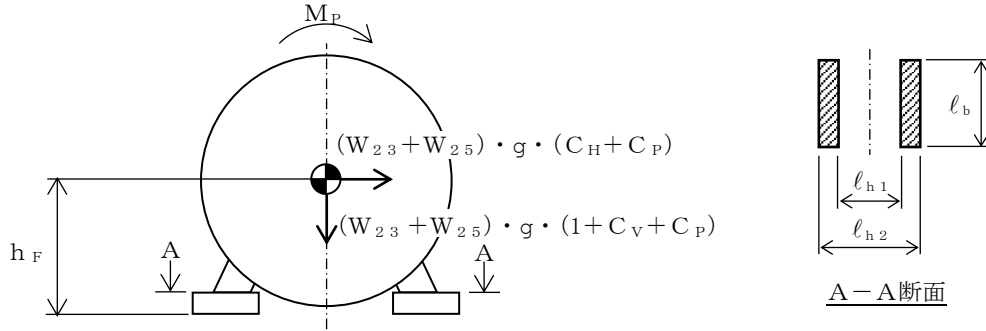


図 4-9 モータフレームの計算モデル

モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力 σ_F は次式で求める。

$$\sigma_F = \sqrt{(\sigma_{F1} + \sigma_{F2} + \sigma_{F3})^2 + 3 \cdot \tau_F^2} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.21)$$

ここで、水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレーム（脚部）に生じる

曲げ応力 σ_{F1} は

$$\sigma_{F1} = (W_{23} + W_{25}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_F / Z_F \quad \dots\dots\dots (4.3.4.22)$$

鉛直方向地震力によりモータフレーム（脚部）に生じる圧縮応力 σ_{F2} は

$$\sigma_{F2} = (W_{23} + W_{25}) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) / A_F \quad \dots\dots\dots (4.3.4.23)$$

原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力 σ_{F3} は

$$\sigma_{F3} = M_P / Z_F \quad \dots\dots\dots (4.3.4.24)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレーム（脚部）に生じるせん断

応力 τ_F は

$$\tau_F = (W_{23} + W_{25}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) / A_F \quad \dots\dots\dots (4.3.4.25)$$

フレームの断面係数 Z_F は

$$Z_F = \frac{1}{6} \cdot \frac{\ell_b \cdot (\ell_{h2}^3 - \ell_{h1}^3)}{\ell_{h2}} \quad \dots\dots\dots (4.3.4.26)$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ガス処理系排風機の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ガス処理系排風機の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ガス処理系排風機の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 構造強度評価

1.1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		排風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理 系排風機	S	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C _H =1.56*3	C _V =1.31*3	C _H =3.73*4	C _V =2.32*4	C _P = <input type="text"/>	—	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*4：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							10	5
								2
ケーシング取付ボルト (i=2)							4	1
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	
基礎ボルト (i=1)	206*2 (40mm<径≤100mm)	385*2 (40mm<径≤100mm)	206	247	軸	軸	—
ケーシング取付ボルト (i=2)	206*2 (40mm<径≤100mm)	385*2 (40mm<径≤100mm)	206	247	軸	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	206*2 (40mm<径≤100mm)	385*2 (40mm<径≤100mm)	206	247	軸直角	軸	<input type="text"/>

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

H _P (μm)	N (rpm)

1.1.3 計算数値

1.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)				
ケーシング取付ボルト (i=2)				
原動機取付ボルト (i=3)				

1.1.4 結論

1.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS41	引張	$\sigma_{b1}=48$	$f_{ts1}=154^*$	$\sigma_{b1}=112$	$f_{ts1}=185^*$
		せん断	$\tau_{b1}=18$	$f_{sb1}=118$	$\tau_{b1}=40$	$f_{sb1}=142$
ケーシング取付ボルト (i=2)	SS41	引張	$\sigma_{b2}=58$	$f_{ts2}=154^*$	$\sigma_{b2}=128$	$f_{ts2}=185^*$
		せん断	$\tau_{b2}=11$	$f_{sb2}=118$	$\tau_{b2}=24$	$f_{sb2}=142$
原動機取付ボルト (i=3)	SS41	引張	$\sigma_{b3}=9$	$f_{ts3}=154^*$	$\sigma_{b3}=21$	$f_{ts3}=185^*$
		せん断	$\tau_{b3}=6$	$f_{sb3}=118$	$\tau_{b3}=12$	$f_{sb3}=142$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.2 動的機能維持評価

1.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機	遠心直結型 ファン	4400	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C _H =2.26*3	C _V =2.51*3	C _P = <input type="text"/>	66	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		排風機振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機用原動機	横形ころがり 軸受電動機	22	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C _H =2.26*3	C _V =2.51*3	C _P = <input type="text"/>	<input type="text"/>	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2.2 機器要目

1.2.2.1 ファン

(1) 軸

評価部位	A _{Sf} (mm ²)	D _{Sf} (mm)	ℓ _{Sf} (mm)	M _P (N・mm)	Q ₁ (N)	W ₁₁ (kg)	W ₁₂ (kg)	W ₁₃ (kg)
軸								

(2) 軸受

評価部位	X _{0A}	X _{0B}	Y _{0A}	Y _{0B}
軸受				

(3) インペラとファンケーシング間のクリアランス

評価部位	E _{Sf} (MPa)	D _{Sf} (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	k _{θr} (N・mm/rad)	k _{θt} (N・mm/rad)	ℓ _{Sf} (mm)	W ₁₁ (kg)	W ₁₂ (kg)
インペラとファンケーシング間 のクリアランス										

評価部位	W_{13} (kg)	W_{14} (kg)
インペラとファンケーシング間のクリアランス		

1.2.2.2 原動機

(1) 固定子

評価部位	ℓ_K (mm)	M_P (N·mm)	r (mm)	t_K (mm)	W_{21} (kg)
固定子					

(2) 軸 (回転子)

評価部位	A_S (mm ²)	D_S (mm)	$\ell_{b,L}$ (mm)	$\ell_{r,C}$ (mm)	M_P (N·mm)	W_{22} (kg)	W_{23} (kg)
軸 (回転子)							

(3) 端子箱

評価部位	A_{bt} (mm ²)	h_t (mm)	ℓ_{t1}^* (mm)	ℓ_{t2}^* (mm)	n_{bt}	n_{ft}	W_{24} (kg)
端子箱							

注記* : 機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

(4) 軸受

評価部位	X_{01}	X_{02}	Y_{01}	Y_{02}
軸受				

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

評価部位	D_S (mm)	E (MPa)	$\ell_{b,L}$ (mm)	$\ell_{r,C}$ (mm)
固定子と回転子間のクリアランス				

(6) モータフレーム

評価部位	A_F (mm ²)	h_F (mm)	ℓ_b (mm)	ℓ_{h1} (mm)	ℓ_{h2} (mm)	M_P (N·mm)	W_{23} (kg)	W_{25} (kg)
モータフレーム								

1.2.3 結論

1.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	2.26	2.3
	鉛直方向	2.51	1.0
原動機	水平方向	2.26	4.7
	鉛直方向	2.51	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度により定まる加速度

ファンは、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.2 ファンの動的機能維持評価で評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価で評価する。

1.2.3.2 ファンの動的機能維持評価

1.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト及びケーシング取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.2.2.1 軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸	67	

すべて許容応力以下である。

1.2.3.2.2.2 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
負荷側軸受	5.082×10 ³	
反負荷側軸受	5.082×10 ³	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.2.2.3 インペラとファンケーシング間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
インペラとファンケーシング間のクリアランス	1.32	

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

1.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

1.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	2	

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸（回転子）	18	

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.3 端子箱の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
	端子箱		
	せん断	1	

すべて許容応力以下である。

1.2.3.3.2.4 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
軸継手側軸受	2.851×10^3	
反軸継手側軸受	2.851×10^3	

すべて許容荷重以下である。

1.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.06	

すべて許容変位量以下である。

1.2.3.3.2.6 モータフレームの評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
モータフレーム	6	

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 構造強度評価

2.1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理 系排風機	常設/緩和	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	—	—	C _H =3.73*3	C _V =2.32*3	C _P = <input type="text"/>	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1
基礎ボルト (i=1)							10	5
								2
ケーシング取付ボルト (i=2)							4	1
	2							
原動機取付ボルト (i=3)	4	2						
		2						

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向		M _P (N・mm)
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	
基礎ボルト (i=1)	194*2 (40mm<径≤100mm)	373*2 (40mm<径≤100mm)	—	232	—	軸	—
ケーシング取付ボルト (i=2)	194*2 (40mm<径≤100mm)	373*2 (40mm<径≤100mm)	—	232	—	軸	—
原動機取付ボルト (i=3)	194*2 (40mm<径≤100mm)	373*2 (40mm<径≤100mm)	—	232	—	軸	—

注記*1：各ボルトの機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：周囲環境温度で算出

HP (μm)	N (rpm)

2.1.3 計算数値

2.1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i=1)	—		—	
ケーシング取付ボルト (i=2)	—		—	
原動機取付ボルト (i=3)	—		—	

2.1.4 結論

2.1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS41	引張	—	—	σ _{b1} =112	f _{ts1} =174*
		せん断	—	—	τ _{b1} =40	f _{sb1} =134
ケーシング取付ボルト (i=2)	SS41	引張	—	—	σ _{b2} =128	f _{ts2} =174*
		せん断	—	—	τ _{b2} =24	f _{sb2} =134
原動機取付ボルト (i=3)	SS41	引張	—	—	σ _{b3} =21	f _{ts3} =174*
		せん断	—	—	τ _{b3} =12	f _{sb3} =134

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2.2 動的機能維持評価

2.2.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機	遠心直結型 ファン	4400	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C _H =2.26*3	C _V =2.51*3	C _P = <input type="text"/>	66	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		ファン振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
非常用ガス処理系 排風機用原動機	横形ころがり 軸受電動機	22	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C _H =2.26*3	C _V =2.51*3	C _P = <input type="text"/>	<input type="text"/>	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく，計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

2.2.2 機器要目

2.2.2.1 ファン

(1) 軸

評価部位	A _{Sf} (mm ²)	D _{Sf} (mm)	ℓ _{Sf} (mm)	M _P (N・mm)	Q ₁ (N)	W ₁₁ (kg)	W ₁₂ (kg)	W ₁₃ (kg)
軸								

(2) 軸受

評価部位	X _{0A}	X _{0B}	Y _{0A}	Y _{0B}
軸受				

(3) インペラとファンケーシング間のクリアランス

評価部位	E _{Sf} (MPa)	D _{Sf} (mm)	h ₁ (mm)	h ₂ (mm)	h ₃ (mm)	k _{θr} (N・mm/rad)	k _{θt} (N・mm/rad)	ℓ _{Sf} (mm)	W ₁₁ (kg)	W ₁₂ (kg)
インペラとファンケーシング間 のクリアランス										

評価部位	W_{13} (kg)	W_{14} (kg)
インペラとファンケーシング間のクリアランス		

1.2.2.2 原動機

(1) 固定子

評価部位	ℓ_K (mm)	M_P (N·mm)	r (mm)	t_K (mm)	W_{21} (kg)
固定子					

(2) 軸 (回転子)

評価部位	A_S (mm ²)	D_S (mm)	$\ell_{b,L}$ (mm)	$\ell_{r,C}$ (mm)	M_P (N·mm)	W_{22} (kg)	W_{23} (kg)
軸 (回転子)							

(3) 端子箱

評価部位	A_{bt} (mm ²)	h_t (mm)	ℓ_{t1}^* (mm)	ℓ_{t2}^* (mm)	n_{bt}	n_{ft}	W_{24} (kg)
端子箱							

注記* : 機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

(4) 軸受

評価部位	X_{01}	X_{02}	Y_{01}	Y_{02}
軸受				

(5) 固定子と回転子間のクリアランス

評価部位	D_S (mm)	E (MPa)	$\ell_{b,L}$ (mm)	$\ell_{r,C}$ (mm)
固定子と回転子間のクリアランス				

(6) モータフレーム

評価部位	A_F (mm ²)	h_F (mm)	ℓ_b (mm)	ℓ_{h1} (mm)	ℓ_{h2} (mm)	M_P (N·mm)	W_{23} (kg)	W_{25} (kg)
モータフレーム								

2.2.3 結論

2.2.3.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ファン	水平方向	2.26	2.3
	鉛直方向	2.51	1.0
原動機	水平方向	2.26	4.7
	鉛直方向	2.51	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度により定まる加速度

ファンは、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、2.2.3.2 ファンの動的機能維持評価で評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、2.2.3.3 原動機の動的機能維持評価で評価する。

2.2.3.2 ファンの動的機能維持評価

2.2.3.2.1 代表評価項目の評価

基礎ボルト及びびケーシング取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.2.2.1 軸の評価 (単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸	67	

すべて許容応力以下である。

2.2.3.2.2.2 軸受の評価 (単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
負荷側軸受	5.082×10 ³	
反負荷側軸受	5.082×10 ³	

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.2.2.3 インペラとファンケーシング間のクリアランスの評価 (単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
インペラとファンケーシング間のクリアランス	1.32	

すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3 原動機の動的機能維持評価

2.2.3.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、構造強度評価にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有しているため、計算は省略する。

2.2.3.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

2.2.3.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	2	

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸（回転子）	18	

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.3 端子箱の評価

(単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
	端子箱		
	せん断	1	

すべて許容応力以下である。

2.2.3.3.2.4 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
軸継手側軸受	2.851×10^3	
反軸継手側軸受	2.851×10^3	

すべて許容荷重以下である。

2.2.3.3.2.5 固定子と回転子間のクリアランスの評価

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.06	

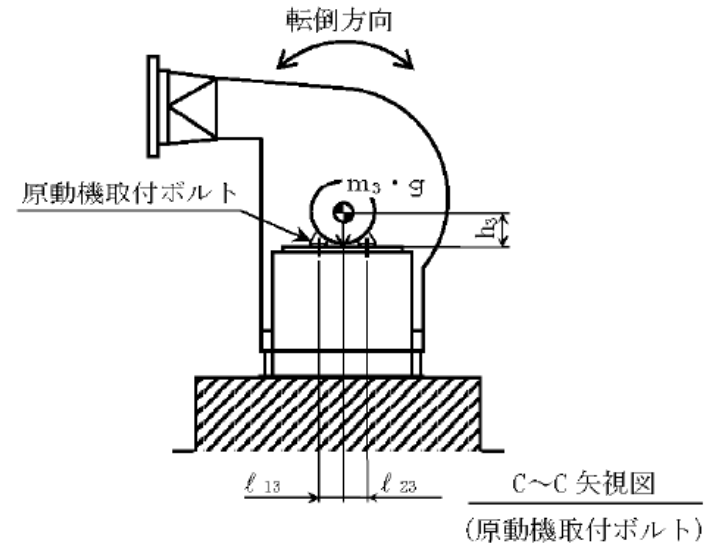
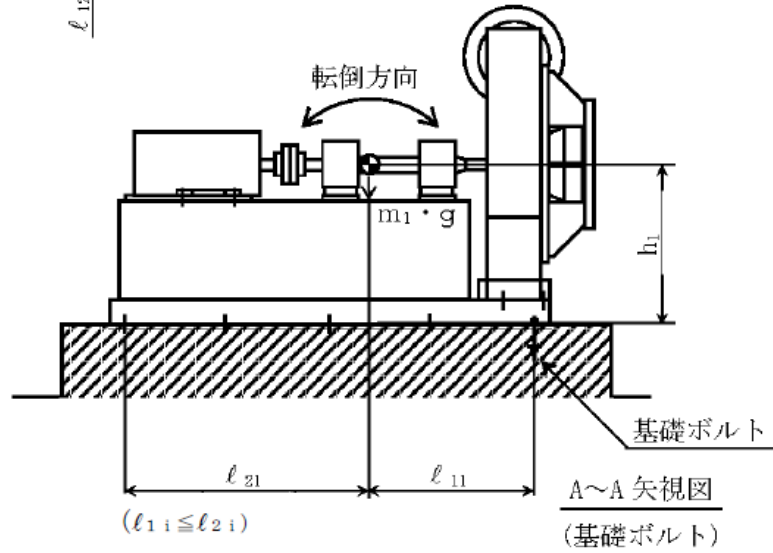
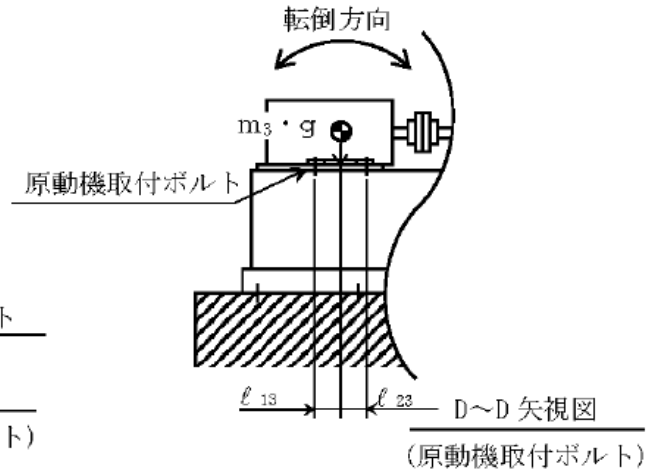
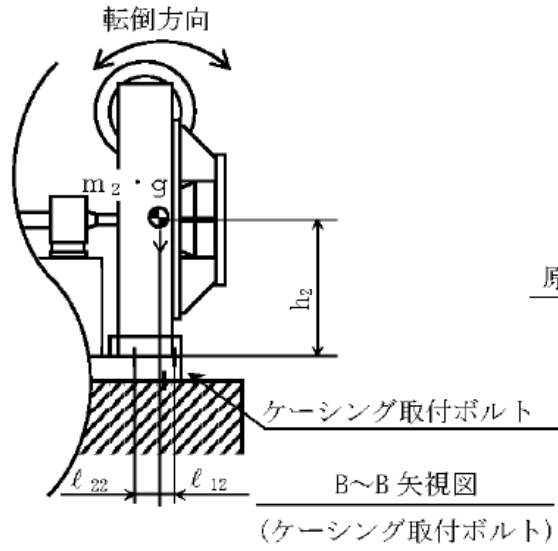
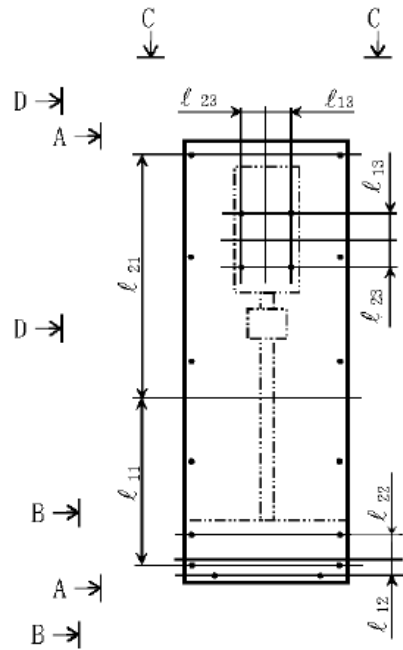
すべて許容変位量以下である。

2.2.3.3.2.6 モータフレームの評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
モータフレーム	6	

すべて許容応力以下である。



VI-2-9-4-5-1-3 非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び
後置ガス処理装置の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	7
3. 評価部位	8
4. 固有周期	9
4.1 固有周期の計算方法	9
4.2 固有周期の計算条件	10
4.3 固有周期の計算結果	10
5. 構造強度評価	11
5.1 構造強度評価方法	11
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
5.3 設計用地震力	17
5.4 計算方法	19
5.5 計算条件	22
5.6 応力の評価	22
6. 評価結果	23
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	23
6.2 重大事故等対処設備としての評価結果	23

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、設計基準対象施設及び重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>非常用ガス処理系 前置ガス処理装置 及び後置ガス処理 装置は据付ボルト で架台に固定さ れ、架台は基礎ボ ルトで基礎に据え 付ける。</p>	<p>粒子用高効率フィ ルタ及びよう素用 チャコールフィル タ（角形ダクト 式）</p>	
		<p>(単位：mm)</p>

2.2 評価方針

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

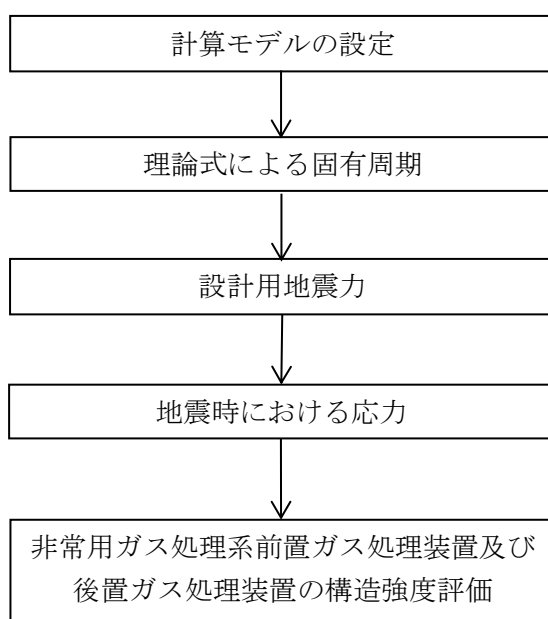


図 2-1 非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 （（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの軸断面積* ¹	mm ²
A_e	有効せん断断面積	mm ²
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径* ¹	mm
E	縦弾性係数	MPa
F_i	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値* ¹	MPa
F_i^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値* ¹	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1 本当たり) * ¹	N
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力* ¹	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力* ¹	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力(許容 組合せ応力)* ¹	MPa
G	せん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
h_i	据付面又は基礎面から重心までの距離* ²	mm
I	断面二次モーメント	mm ⁴
K_H	水平方向ばね定数	N/m
K_V	鉛直方向ばね定数	N/m
l_{1i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
l_{2i}	重心とボルト間の水平方向距離* ¹ , * ³	mm
m_i	運転時質量* ²	kg
n_i	ボルトの本数* ¹	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数* ¹	—
n_{qi}	せん断力を受けるボルトの本数* ¹	—
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力* ¹	N
S_{ui}	設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 9 に定める値* ¹	MPa
S_{yi}	設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に定める値* ¹	MPa
$S_{yi}(RT)$	設計・建設規格付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40°Cにおける値* ¹	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力* ¹	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力* ¹	MPa

注記*1: A_{bi} , d_i , F_i , F_i^* , F_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , l_{1i} , l_{2i} , n_i , n_{fi} , n_{qi} , Q_{bi} , S_{ui} , S_{yi} , $S_{yi}(RT)$, σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付ボルト

$i = 2$: 基礎ボルト

*2: h_i 及び m_i の添字 i の意味は, 以下のとおりとする。

$i = 1$: 据付面

$i = 2$: 基礎面

*3: $l_{1i} \leq l_{2i}$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときはべき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト及び据付ボルトについて実施する。非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- a. 非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の質量は重心に集中するものとする。
- b. 非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置は架台上にあり，架台は基礎ボルトで基礎に固定されており，固定端とする。
- c. 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- d. 非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置は，図 4-1 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

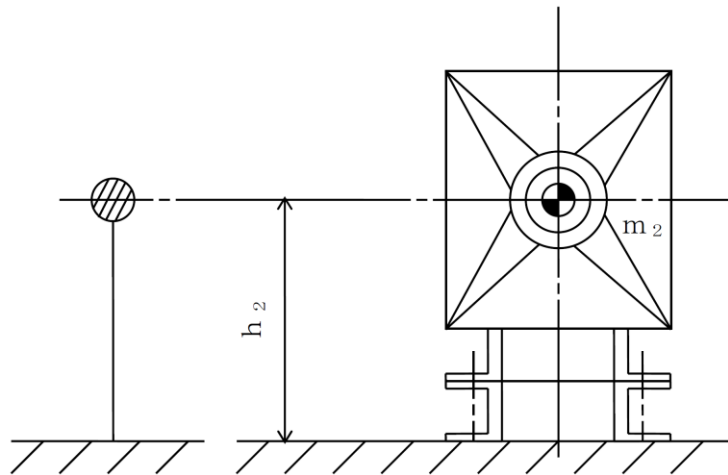


図 4-1 固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

曲げ及びせん断変形によるばね定数Kは次式で表される。

$$K_H = \frac{1000}{\frac{h_2^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{h_2}{G \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

したがって，水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m_2}{K_H}} \dots\dots\dots (4.1.2)$$

(3) 鉛直方向固有周期

軸方向変形によるばね定数Kは次式で表される。

$$K_v = \frac{1000}{\frac{h^2}{E \cdot A_e}} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

したがって、鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m^2}{K_v}} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

非常用ガス処理系前置ガス処理装置の固有周期の計算結果を表4-1に、非常用ガス処理系後置ガス処理装置の固有周期の計算結果を表4-2に示す。計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-1 非常用ガス処理系前置ガス処理装置の固有周期 (単位: s)

水平方向			
鉛直方向			

表4-2 非常用ガス処理系後置ガス処理装置の固有周期 (単位: s)

水平方向			
鉛直方向			

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- 4.1(1)項 a.～d.のほか、次の条件で計算する。
- (1) 地震力は非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置に対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRS法を適用する。
 - (2) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における短辺方向及び長辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
 - (3) 基礎ボルトに対するせん断力はボルト全本数で受けるものとする。
また、据付ボルトに対するせん断力は、ケーシングが長辺方向にスライドできるものとし、固定部（2本）のボルト本数のみで受けるものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-2 に示す。

5.2.2 許容応力

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-3 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

非常用ガス処理系前置ガス処理装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-5 に、非常用ガス処理系後置ガス処理装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-6 に、重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 5-7 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備	非常用ガス処理系 前置ガス処理装置	S	クラス4管*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S
	並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 後置ガス処理装置	S	クラス4管*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：クラス4管の支持構造物を含む。

表 5-2 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉 格納施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	非常用ガス処理系 前置ガス処理装置	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)
		非常用ガス処理系 後置ガス処理装置	常設／緩和	重大事故等 クラス 2 管*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容限界 を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス 2 管の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 5-3 許容応力（その他の支持構造物及び重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$
V _A S (V _A SとしてⅣ _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-4 非常用ガス処理系前置ガス処理装置の使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
据付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	最高使用温度	120	672	847	—
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

注記*：SS400 相当

表 5-5 非常用ガス処理系前置ガス処理装置の使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
据付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	最高使用温度	120	672	847	—
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—

注記*：SS400 相当

表 5-6 非常用ガス処理系後置ガス処理装置の使用材料の許容応力（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
据付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	最高使用温度	120	672	847	—
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	66	206	385	—

注記*：SS400 相当

表 5-7 非常用ガス処理系後置ガス処理装置の使用材料の許容応力（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度				
据付ボルト	SCM435 (径≤60mm)	最高使用温度	120	672	847	—
基礎ボルト	SS41* (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100	194	373	—

注記*：SS400 相当

5.3 設計用地震力

非常用ガス処理系前置ガス処理装置の評価に用いる設計用地震力を表 5-8 及び表 5-9 に、非常用ガス処理系後置ガス処理装置の評価に用いる設計用地震力を表 5-10 及び表 5-11 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-8 非常用ガス処理系前置ガス処理装置の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			C _H =1.89 ^{*2}	C _V =1.16 ^{*2}	C _H =2.87 ^{*3}	C _V =1.87 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

表 5-9 非常用ガス処理系前置ガス処理装置の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			—	—	C _H =2.87 ^{*2}	C _V =1.87 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

表 5-10 非常用ガス処理系後置ガス処理装置の設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			$C_H=1.89^{*2}$	$C_V=1.16^{*2}$	$C_H=2.87^{*3}$	$C_V=1.87^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

表 5-11 非常用ガス処理系後置ガス処理装置の設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			—	—	$C_H=2.87^{*2}$	$C_V=1.87^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

基礎ボルト及び据付ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

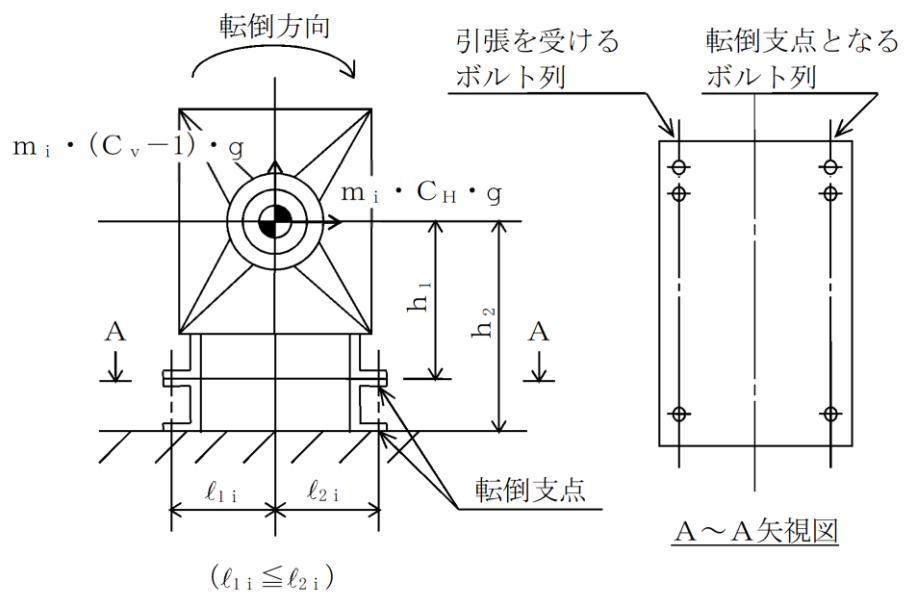


図 5-1 計算モデル (短辺方向転倒)

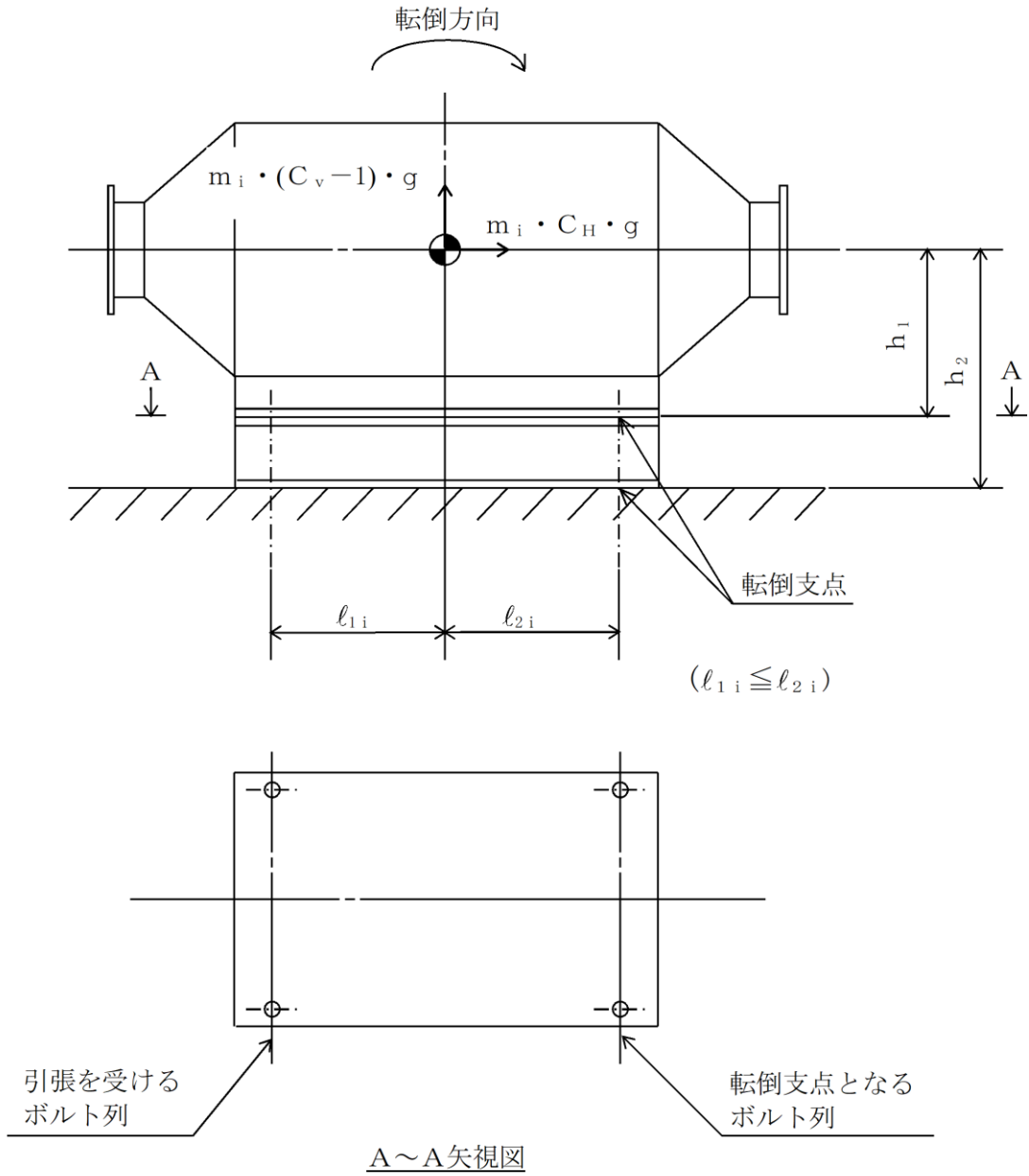


図 5-2 計算モデル (長辺方向転倒)

(1) 引張応力

ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 でボルトを支点とする転倒を考え、これを片側の最外列のボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{bi} = \frac{m_i \cdot g \cdot \sqrt{(C_H \cdot h_i)^2 + (C_V \cdot l_{2i})^2} - m_i \cdot g \cdot l_{2i}}{n_{bi} \cdot (l_{1i} + l_{2i})} \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{bi} = \frac{F_{bi}}{A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{bi} は次式により求める。

$$A_{bi} = \frac{\pi}{4} \cdot d_i^2 \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

ただし、据付ボルトに対するせん断力は固定部 (2 本) のボルト本数のみで受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bi} = m_i \cdot C_H \cdot g \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{bi} = \frac{Q_{bi}}{n_{qi} \cdot A_{bi}} \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ボルトの応力計算条件

基礎ボルト及び据付ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【非常用ガス処理系前置ガス処理装置の耐震性についての計算結果】及び【非常用ガス処理系後置ガス処理装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ボルトの応力の評価

5.4項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsi} 以下あること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \cdots \cdots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F_i}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F_i}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F_i^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

6.2 重大事故等対処設備としての評価結果

非常用ガス処理系前置ガス処理装置及び後置ガス処理装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【非常用ガス処理系前置ガス処理装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
非常用ガス処理系前置ガス処理装置	S	原子炉建物 EL 34.8*1			C _H =1.89*2	C _V =1.16*2	C _H =2.87*3	C _V =1.87*3	120	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} *1	n _{q i}
据付ボルト (i=1)							18	9 2	2
基礎ボルト (i=2)							18	9 2	18

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
据付ボルト (i=1)	672*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	592	592	短辺方向	長辺方向
基礎ボルト (i=2)	206*3 (40mm<径≤100mm)	385*3 (40mm<径≤100mm)	206	247	短辺方向	長辺方向

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
据付ボルト (i=1)				
基礎ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	T _H = <input type="text"/>
鉛直方向	T _V = <input type="text"/>

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
据付ボルト (i=1)	SCM435	引張	$\sigma_{b1} = 31$	$f_{ts1} = 278^*$	$\sigma_{b1} = 64$	$f_{ts1} = 99^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 215$	$f_{sb1} = 342$	$\tau_{b1} = 327$	$f_{sb1} = 342$
基礎ボルト (i=2)	SS41	引張	$\sigma_{b2} = 38$	$f_{ts2} = 154^*$	$\sigma_{b2} = 68$	$f_{ts2} = 185^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 24$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b1} = 37$	$f_{sb2} = 142$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
非常用ガス処理系前置ガス処理装置	常設/緩和	原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			—	—	C _H =2.87 ^{*2}	C _V =1.87 ^{*2}	120	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i} ^{*1}	n _{q i}
据付ボルト (i=1)							18	9	2
								2	
基礎ボルト (i=2)							18	9	18
								2	

部材	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
据付ボルト (i=1)	672 ^{*2} (径≤60mm)	847 ^{*2} (径≤60mm)	—	592	—	長辺方向
基礎ボルト (i=2)	194 ^{*3} (40mm<径≤100mm)	373 ^{*3} (40mm<径≤100mm)	—	232	—	長辺方向

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
据付ボルト (i=1)				
基礎ボルト (i=2)				

2.4 結論

2.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	T _H =
鉛直方向	T _V =

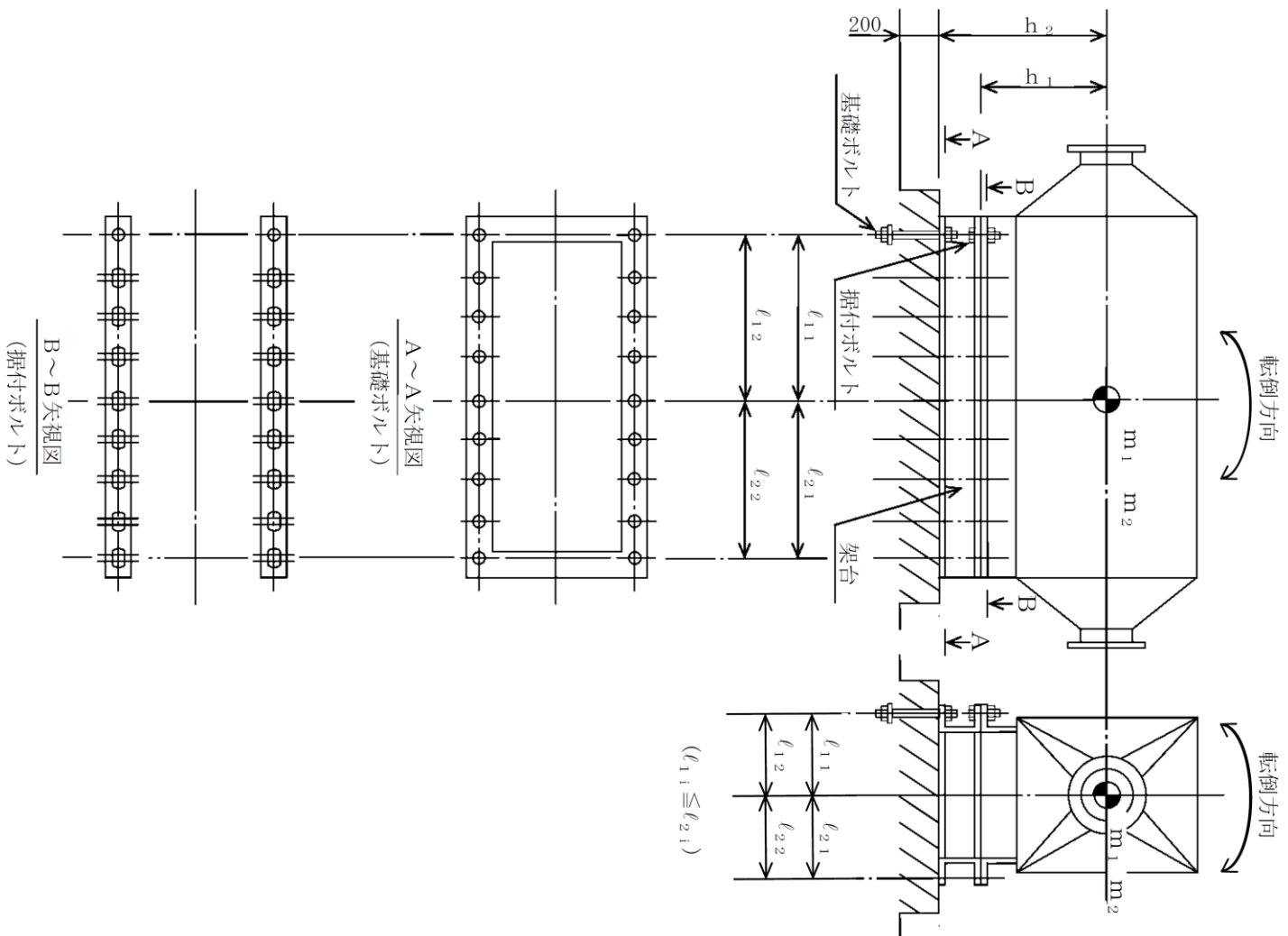
2.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
据付ボルト (i=1)	SCM435	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 64$	$f_{ts1} = 99^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 327$	$f_{sb1} = 342$
基礎ボルト (i=2)	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b2} = 68$	$f_{ts2} = 174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 37$	$f_{sb2} = 134$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。



【非常用ガス処理系後置ガス処理装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
非常用ガス処理系後置ガス処理装置	S	原子炉建物 EL 34.8*1			C _H =1.89*2	C _V =1.16*2	C _H =2.87*3	C _V =1.87*3	120	66

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} *1 (mm)	ℓ _{2i} *1 (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} *1	n _{qi}
据付ボルト (i=1)							12	6	2
基礎ボルト (i=2)								6	
							12	2	12
								2	

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
据付ボルト (i=1)	672*2 (径≤60mm)	847*2 (径≤60mm)	592	592	短辺方向	長辺方向
基礎ボルト (i=2)	206*3 (40mm<径≤100mm)	385*3 (40mm<径≤100mm)	206	247	短辺方向	短辺方向

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
据付ボルト (i=1)				
基礎ボルト (i=2)				

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

方向	固有周期
水平方向	T _H =
鉛直方向	T _V =

1.4.2 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
据付ボルト (i=1)	SCM435	引張	$\sigma_{b1} = 37$	$f_{ts1} = 350^*$	$\sigma_{b1} = 65$	$f_{ts1} = 209^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 170$	$f_{sb1} = 342$	$\tau_{b1} = 259$	$f_{sb1} = 342$
基礎ボルト (i=2)	SS41	引張	$\sigma_{b2} = 45$	$f_{ts2} = 154^*$	$\sigma_{b2} = 76$	$f_{ts2} = 185^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 29$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b2} = 43$	$f_{sb2} = 142$

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度		
非常用ガス処理系後置ガス処理装置	常設/緩和	原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			—	—	C _H =2.87 ^{*2}	C _V =1.87 ^{*2}	120	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

2.2 機器要目

部材	m _i (kg)	h _i (mm)	ℓ _{1i} ^{*1} (mm)	ℓ _{2i} ^{*1} (mm)	d _i (mm)	A _{bi} (mm ²)	n _i	n _{fi} ^{*1}	n _{qi}
据付ボルト (i=1)							12	6	2
基礎ボルト (i=2)								2	
基礎ボルト (i=2)							12	6	12
								2	

部材	S _{yi} (MPa)	S _{ui} (MPa)	F _i (MPa)	F _i [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
据付ボルト (i=1)	672 ^{*2} (径≤60mm)	847 ^{*2} (径≤60mm)	—	592	—	長辺方向
基礎ボルト (i=2)	194 ^{*3} (40mm<径≤100mm)	373 ^{*3} (40mm<径≤100mm)	—	232	—	短辺方向

E (MPa)	G (MPa)	I (mm ⁴)	A _e (mm ²)

注記*1：ボルトにおける上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

*2：最高使用温度で算出

*3：周囲環境温度で算出

2.3 計算数値

2.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
据付ボルト (i=1)				
基礎ボルト (i=2)				

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

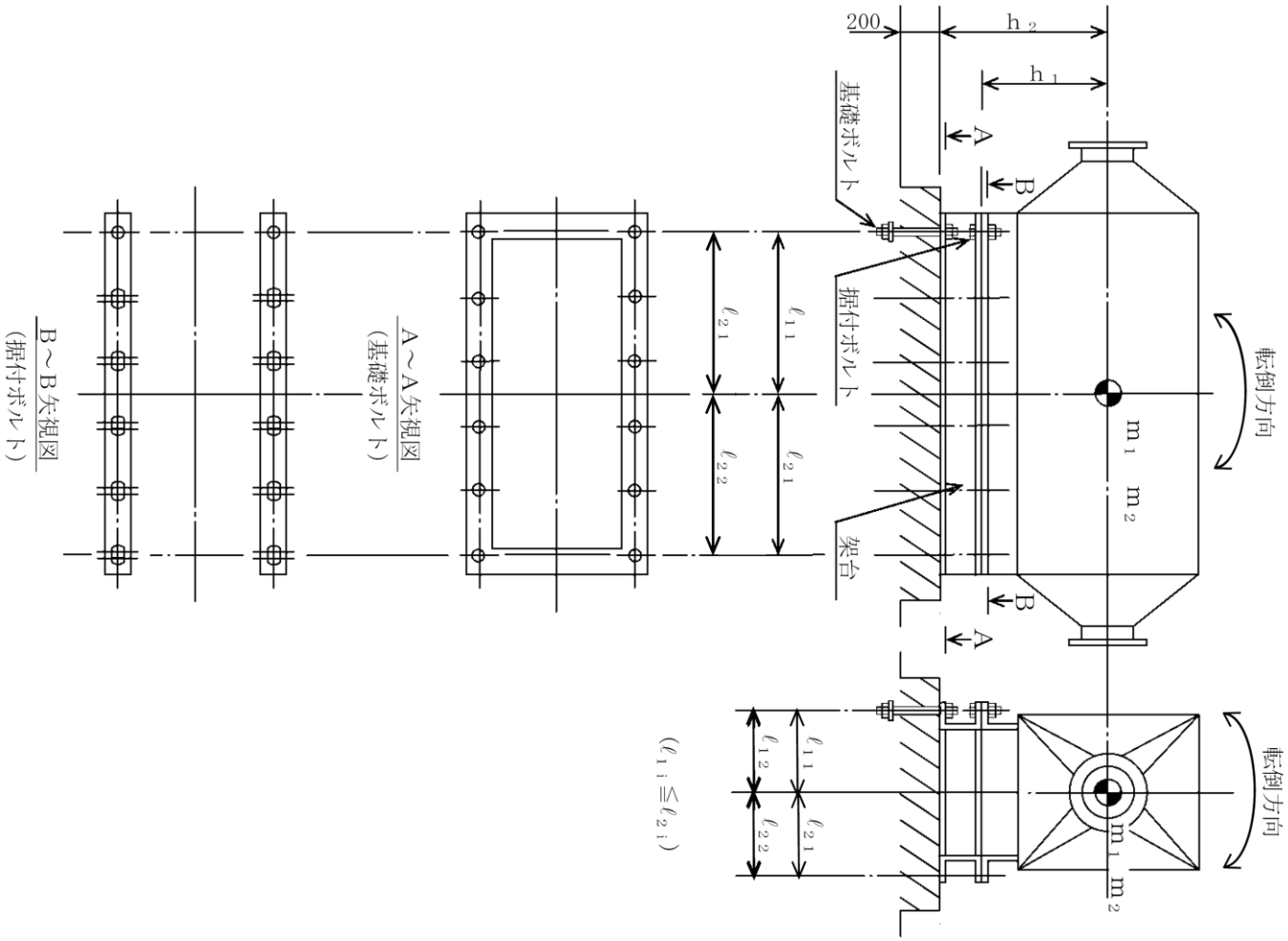
方向	固有周期
水平方向	T _H =
鉛直方向	T _V =

2.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
据付ボルト (i=1)	SCM435	引張	—	—	$\sigma_{b1} = 65$	$f_{ts1} = 209^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1} = 259$	$f_{sb1} = 342$
基礎ボルト (i=2)	SS41	引張	—	—	$\sigma_{b2} = 76$	$f_{ts2} = 174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2} = 43$	$f_{sb2} = 134$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。



VI-2-9-4-5-1-4 ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	4
2.3	適用規格・基準等	5
2.4	記号の説明	6
2.5	計算精度と数値の丸め方	8
3.	評価部位	9
4.	固有周期	10
4.1	固有値解析方法	10
4.2	解析モデル及び諸元	10
4.3	固有値解析結果	12
5.	構造強度評価	13
5.1	構造強度評価方法	13
5.2	荷重の組合せ及び許容応力	14
5.3	設計用地震力	18
5.4	計算方法	19
5.5	計算条件	35
5.6	応力の評価	35
6.	機能維持評価	37
6.1	動的機能維持評価方法	37
7.	評価結果	38
7.1	重大事故等対処設備としての評価結果	38

1. 概要

本計算書は、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、原子炉建物燃料取替階ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP閉止装置」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

BOP閉止装置は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

BOP閉止装置の全体構造を図2-1に、構造計画を表2-1に示す。

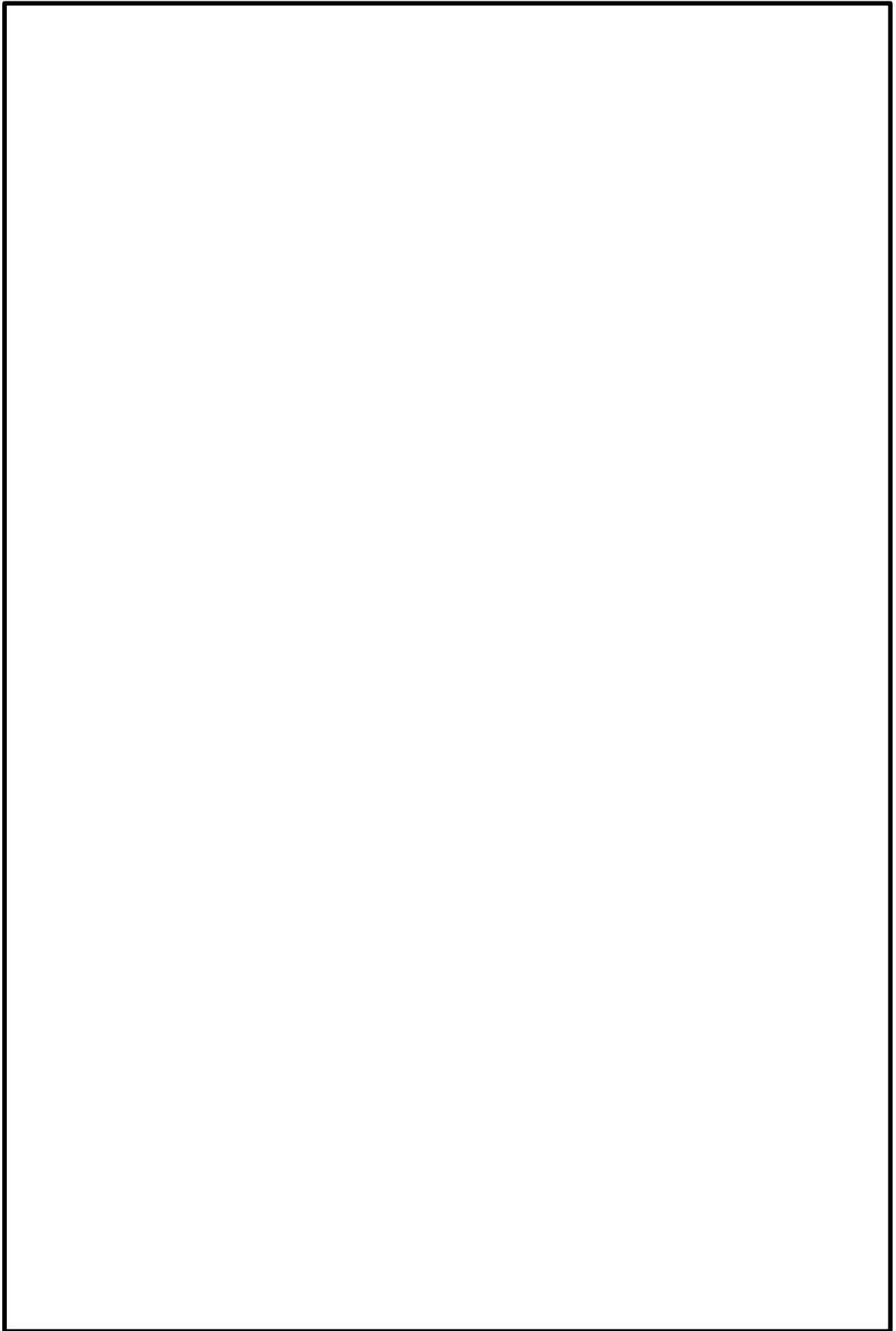


図2-1 BOP閉止装置の全体構造

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図 (2連ユニットを示す)
基礎・支持構造	主体構造	
<p>BOP閉止装置は、同一形状のものを、原子炉建物原子炉棟4階内壁面に2連ユニット（ダンパ12個）、3連ユニット（ダンパ12個）、計24個設置しており、ケーシングは、取付ボルトにより取付架台に取り付けられ、取付架台は基礎ボルトにより壁面（原子炉建物）に設置する。</p>	<p>BOP閉止装置は、羽根、ケーシング、羽根を駆動する駆動部、シャフト、コネクタ等から構成される。駆動部1つに対して羽根、シャフト及びケーシングで構成されるダンパをコネクタによって2つ連結している2連ユニット、3つ連結している3連ユニットがある。取付架台は躯体から支持を取るサポート、BOP閉止装置又は鉄板等を設置し気密性を確保するフレームで構成される。</p>	

2.2 評価方針

BOP閉止装置の応力評価は、VI-1-1-7-別添4「ブローアウトパネル関連設備の設計方針」に基づき、「2.1 構造計画」にて示すBOP閉止装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、BOP閉止装置の動的機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 動的機能維持評価」にて示す方法により確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

BOP閉止装置の耐震評価フローを図2-2に示す。

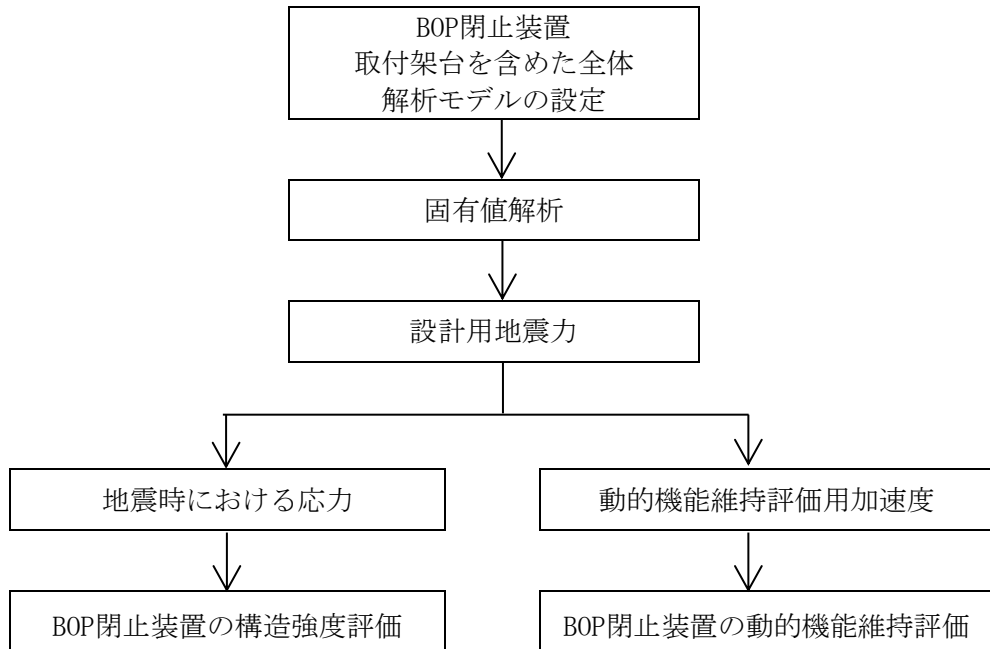


図2-2 BOP閉止装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補－1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 －1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 －1991追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの断面積	mm^2
A_{co}	コネクタの断面積	mm^2
A_s	シャフトの断面積	mm^2
A_{SP}	取付架台の受圧面積	mm^2
B_b	羽根の幅	mm
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_{co}	コネクタの内径	mm
D_{co}	コネクタの外径	mm
d_i	ボルトの呼び径	mm
D_s	シャフトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F^*, F_i^*	設計・建設規格 SSB-3121.3 又はSSB-3133 に定める値	MPa
F_{bBOS}	差圧によってBOP閉止装置に生じる荷重	N
F_{bSP}	差圧によって取付架台に生じる荷重	N
F_{WBOS}	風によってBOP閉止装置に生じる荷重	N
F_{WSP}	風によって取付架台に生じる荷重	N
F_{bi}	ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
F_{b4-k}	k 段目の基礎ボルトに作用する引張力（1本当たり）	N
f_{sm}	許容せん断応力（ f_s を1.5倍した値又は f_s^* を1.5倍した値）	MPa
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	許容引張応力（ f_t を1.5倍した値又は f_t^* を1.5倍した値）	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{tsi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
H_b	羽根の高さ	mm
L_s	シャフトの長さ	mm
$\ell_{Hi-1}, \ell_{Hi-2}, \ell_{Hi-3}$	重心とボルトの水平方向距離	mm
ℓ_{Vi-1}, ℓ_{Vi-2}	重心とボルトの鉛直方向距離	mm
ℓ_{Vi}	転倒軸とボルトの鉛直方向距離	mm
ℓ_{H4}	重心と基礎ボルトの水平方向距離	mm
ℓ_{V4}	重心と基礎ボルトの鉛直方向距離	mm
ℓ_{V4-k}	転倒支点から k 段目の基礎ボルトの鉛直方向距離	mm
ℓ_{VSP}	取付架台の鉛直方向距離	mm
M_s	シャフトに作用する曲げモーメント	$\text{N} \cdot \text{mm}$
m_{BOS}	BOP閉止装置の質量	kg
m_{BOS2}	BOP閉止装置（2連ユニット）の質量	kg
m_{BOS3}	BOP閉止装置（3連ユニット）の質量	kg
m_{act}	駆動部の質量	kg
m_i	ボルトに加わる質量	kg
m_s	シャフト及び羽根の質量	kg
m_4	取付架台の質量	kg

記号	記号の説明	単位
n_{Hi}	水平方向の引張力を受けるボルトの本数	—
n_i	ボルトの本数	—
n_{ti}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数	—
n_{Vi}	鉛直方向の引張力を受けるボルトの本数	—
n_{bti}	取付架台に平行な壁面に接続するボルトの本数	—
n_{bsi}	取付架台に垂直な壁面に接続するボルトの本数	—
n_{bt4-k}	取付架台正面のk段目の基礎ボルトの本数	—
n_{bs4-k}	取付架台側面のk段目の基礎ボルトの本数	—
P	差圧による圧力	Pa
P_w	風圧力	Pa
PCD	軸受取付ボルトのピッチ直径	mm
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力	N
Q_{b4-k}	k段目の基礎ボルトに作用するせん断力（1本当たり）	N
Q_{CO}	コネクタに作用するせん断力	N
Q_s	シャフトに作用するせん断力	N
S_u, S_{ui}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9定める値	MPa
S_y, S_{yi}	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y (RT), S_{yi} (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa
W_s	シャフト及び羽根の単位質量	kg/m
W_b	差圧による単位荷重	N/m
W_w	風による単位荷重	N/m
π	円周率	—
ν	ポアソン比	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力	MPa
σ_s	シャフトに生じる曲げ応力	MPa
σ_{SC}	シャフトに生じる組合せ応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力	MPa
τ_s	シャフトに生じるせん断応力	MPa
τ_{CO}	コネクタに生じるせん断応力	MPa
T	温度条件	℃
Z_s	シャフトの断面係数	mm ³

注： $A_{bi}, d_i, F_i^*, F_{bi}, f_{sbi}, f_{toi}, f_{tsi}, l_{Hi-1}, l_{Hi-2}, l_{Hi-3}, l_{Vi-1}, l_{Vi-2}, l_{Vi}, m_i, n_{Hi}, n_i, n_{ti}, n_{Vi}, n_{bti}, n_{bsi}, Q_{bi}, S_{ui}, S_{yi}, S_{yi} (RT), \sigma_{bi}$ 及び τ_{bi} の添字*i*の意味は、以下のとおりとする。

- $i = 1$: 軸受取付ボルト
- $i = 2$: 駆動部取付ボルト
- $i = 3$: 取付ボルト
- $i = 4$: 基礎ボルト

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-2に示すとおりである。

表2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位*1
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
断面係数	mm ³	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*2
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力*3	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の間における引張強さ及び降伏点は比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

BOP閉止装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる部位について実施する。評価部位は、BOP閉止装置の構造が空調ダンパと同様であることからJ E A C 4 6 0 1の空調ダンパの評価部位のうちBOP閉止装置において相当する部位を評価部位とする。加えて耐震評価上厳しくなるボルト類についても評価部位とする。

以上より評価部位はシャフト、コネクタ、軸受取付ボルト、駆動部取付ボルト、取付ボルト及び基礎ボルトとし表2-1の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有値解析方法

取付架台を含めたBOP閉止装置全体の固有値解析方法を以下に示す。

- (1) BOP閉止装置は、「4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルにより固有周期を算出する。

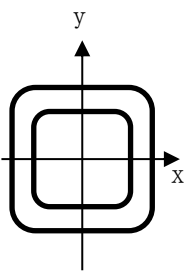
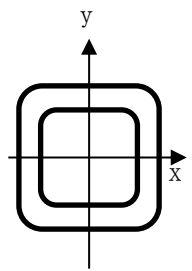
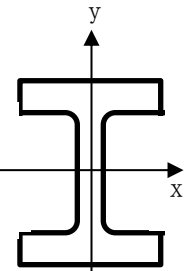
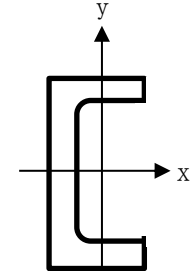
4.2 解析モデル及び諸元

BOP閉止装置の解析モデルを図4-1、取付架台の部材要素を表4-1に示し、解析モデルの概要は以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【BOP閉止装置の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 2連及び3連ユニットの質量は、それぞれの重心に集中する。また、取付架台の質量は、はり要素の密度として設定する。
- (2) 2連及び3連ユニットの重心位置は、公称位置とする。
- (3) 拘束条件は、BOP閉止装置取付ボルト部をピン拘束とする。なお、基礎ボルト部は完全固定として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

表4-1 解析モデル図 部材要素

部材	サポート 1	サポート 2	フレーム 1	フレーム 2
部材名	B200×200×12	B175×175×6	H200×200×8	C200×90×8
材料	SS400/ STKR400	SS400/ STKR400	SS400	SS400
断面積 (cm ²)	86.53	39.63	63.53	38.65
断面二次モーメント x軸 (cm ⁴)	4980	1860	4720	2490
断面二次モーメント y軸 (cm ⁴)	4980	1860	1600	277
断面係数 x軸 (cm ³)	498	213	472	249
断面係数 y軸 (cm ³)	498	213	160	44.2
断面形状	 200×200×12	 175×175×6	 200×200×8	 200×90×8

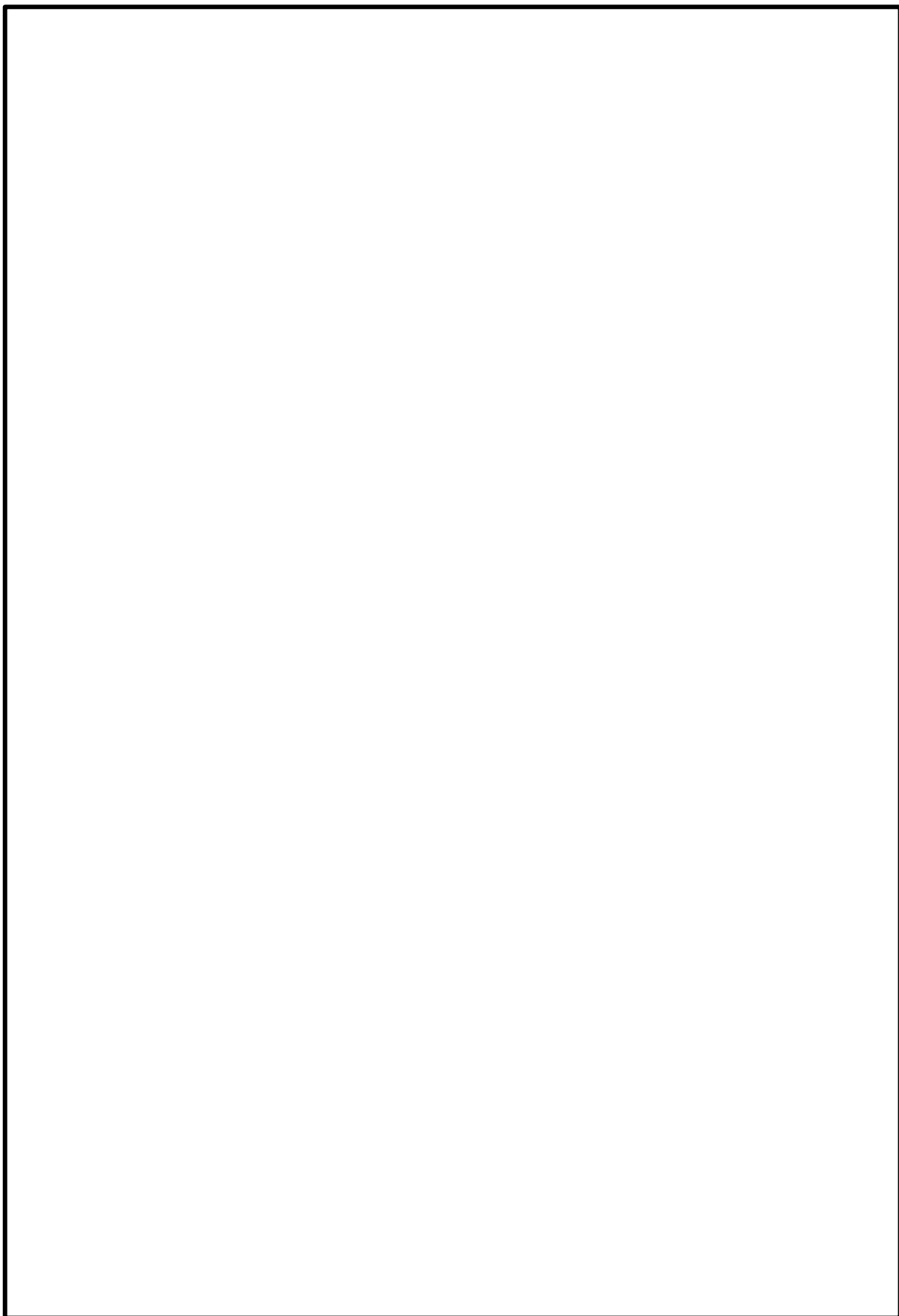


図4-1 解析モデル

4.3 固有値解析結果

固有値解析の結果を表4-2，振動モード図を図4-2に示す。固有周期は，0.05秒以下であり，剛構造であることを確認した。

表4-2 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1次	水平	0.019	—	—	—



図4-2 振動モード図 (1次)

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

「3. 評価部位」にて設定した各評価部材の構造強度評価方法を以下に示す。なお、耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRS法を適用する。

5.1.1 シャフトの構造強度評価方法

- (1) シャフトは羽根と一体となって軸受により支持される構造である。
- (2) 地震力はシャフトに対して水平方向及び鉛直方向から作用し、強度評価において地震力を組み合わせる。
- (3) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、羽根に対して等分布に作用するものとする。また、強度評価において地震力と組み合わせる。

5.1.2 コネクタの構造強度評価方法

- (1) コネクタは隣接するシャフト同士を結合する構造である。
- (2) 地震力はコネクタに対して水平及び鉛直方向から作用するが、シャフト軸方向の荷重はキー結合で軸方向を拘束しないため作用しない。
- (3) コネクタには地震力によりせん断力のみが作用する。

5.1.3 軸受取付ボルト

- (1) シャフトからの地震荷重は、両端の軸受を介して軸受取付ボルトに対して水平及び鉛直方向に作用する。
- (2) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、軸受取付ボルト全数に対して作用するものとする。

5.1.4 駆動部取付ボルト

- (1) 駆動部からの地震荷重は、駆動部取付ボルトに対して水平及び鉛直方向に作用する。

5.1.5 取付ボルト

- (1) BOP閉止装置からの地震荷重は、取付ボルトに対して水平及び鉛直方向から作用する。
- (2) 地震荷重による転倒方向は水平及び鉛直方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう）を記載する。
- (3) 羽根閉状態において内外差圧及び風圧力は、取付ボルト全数に対して作用するものとする。

5.1.6 基礎ボルト

- (1) BOP閉止装置取付架台からの地震荷重は、基礎ボルトに対して水平及び鉛直方向から作用する。
- (2) 地震荷重による側面方向転倒について検討する。
- (3) 基礎ボルトに対する荷重は、転倒軸からの距離に比例して作用するものとする。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

BOP閉止装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-1に示す。

5.2.2 許容応力

BOP閉止装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表5-2のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

BOP閉止装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表5-3に示す。

表5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	—	BOP閉止装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_S$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD}$ *4 + $M_{SAD} + S_S$	VAS (VASとして、IVAS の許容限界を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_S$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

*4：内外差圧及び風圧力を含む。

表5-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力		一次応力	
	引張	せん断	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]	1.5・f _t * [*]	1.5・f _s * [*]
V _A S (V _A Sとして, IV _A Sの許容限界を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表5-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
シャフト	<input type="text"/> *1	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
コネクタ	<input type="text"/> *1	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—
軸受取付ボルト	<input type="text"/> *2	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
駆動部取付ボルト	<input type="text"/> *3	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
取付ボルト	<input type="text"/> *3	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
基礎ボルト	<input type="text"/>	周囲環境温度	100	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	—

注記*1：DIN規格材料。JSME規格材料では相当

*2：DIN規格材料。JSME規格材料では相当

*3：DIN規格材料。JSME規格材料では相当

5.3 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表5-4に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表5-4 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 42.800 (EL 63.500 ^{*1})	0.019	0.05以下	—	—	$C_H=4.97^{*2}$	$C_V=2.66^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s ）

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 シャフトの計算方法

シャフトに作用する荷重によるせん断力及び曲げモーメントを算出し、シャフトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-1 に示すとおり、等分布荷重がシャフト全体に作用する両端支持はりモデルとする。差圧及び風による荷重も考慮する。

(1) せん断応力

せん断力

$$Q_s = \frac{m_s \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2 \cdot g + F_{bBOS} + F_{WBOS}}}{2} \dots (5.4.1.1.1)$$

ここで、差圧による荷重 F_{bBOS} は次式により求める。

$$F_{bBOS} = B_b \cdot H_b \cdot P \dots (5.4.1.1.2)$$

ここで、風による荷重 F_{WBOS} は次式により求める。

$$F_{WBOS} = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots (5.4.1.1.3)$$

せん断応力

$$\tau_s = \frac{Q_s}{A_s} \dots (5.4.1.1.4)$$

ここで、シャフトの断面積 A_s は次式により求める。

$$A_s = D_s^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots (5.4.1.1.5)$$

(2) 曲げ応力

曲げモーメント

$$M_s = \frac{W_s \cdot L_s^2 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2 \cdot g + W_b \cdot L_s^2 + W_w \cdot L_s^2}}{8} \dots (5.4.1.1.6)$$

ここで、単位質量 W_s は次式により求める。

$$W_s = \frac{m_s}{L_s} \dots (5.4.1.1.7)$$

ここで、差圧による単位荷重 W_b は次式により求める。

$$W_b = \frac{B_b \cdot H_b \cdot P}{L_s} \dots (5.4.1.1.8)$$

ここで、風による単位荷重 W_w は次式により求める。

$$W_w = \frac{B_b \cdot H_b \cdot P_w}{L_s} \dots \dots \dots (5.4.1.1.9)$$

曲げ応力

$$\sigma_s = \frac{M_s}{Z_s} \dots \dots \dots (5.4.1.1.10)$$

ここで、シャフトの断面係数 Z_s は次式により求める。

$$Z_s = D_s^3 \cdot \frac{\pi}{32} \dots \dots \dots (5.4.1.1.11)$$

(3) 組合せ応力

$$\sigma_{sc} = \sqrt{(\sigma_s^2 + 3 \cdot \tau_s^2)} \dots \dots \dots (5.4.1.1.12)$$

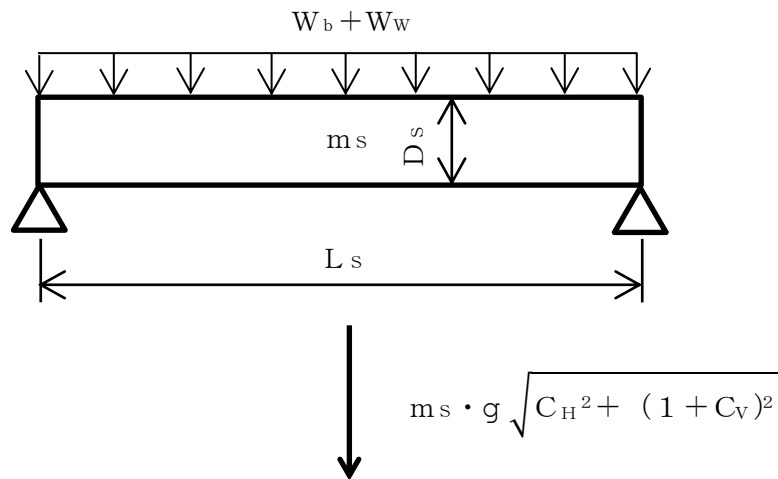


図5-1 シャフトの計算モデル

5.4.1.2 コネクタの計算方法

コネクタに作用する荷重によるせん断力を算出し、コネクタに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-2に示すとおりとする。

コネクタには、水平及び鉛直方向地震力による応力が生じる。

なお、軸方向荷重はコネクタの軸方向拘束がないため作用しない。

BOP閉止装置に作用する地震力により発生する荷重がコネクタに作用するものとして評価を行う。

(1) せん断応力

せん断力

$$Q_{CO} = m_{BOS} \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g \dots \dots \dots (5.4.1.2.1)$$

せん断応力

$$\tau_{CO} = \frac{Q_{CO}}{A_{CO}} \dots \dots \dots (5.4.1.2.2)$$

ここでコネクタの断面積 A_{CO} は次式により求める。

$$A_{CO} = (D_{CO}^2 - d_{CO}^2) \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.2.3)$$

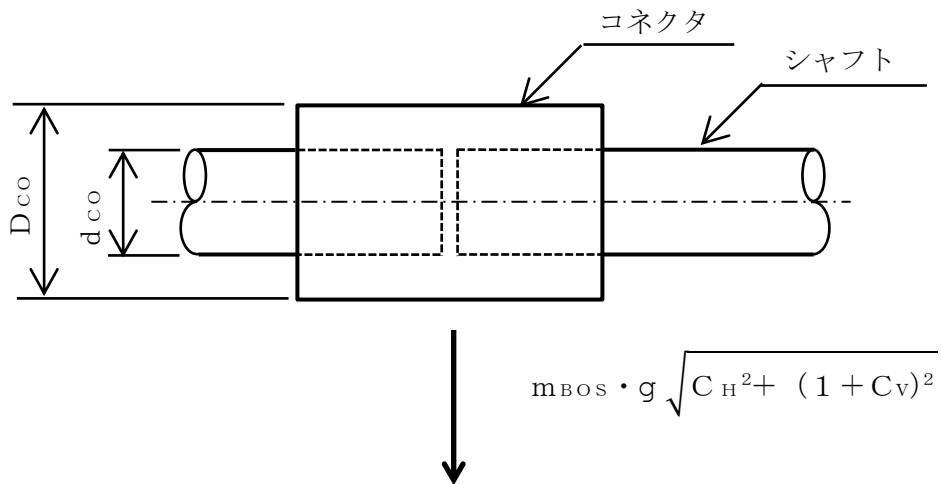


図5-2 コネクタの計算モデル

5.4.1.3 軸受取付ボルトの計算方法

軸受取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、軸受取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-3 に示すとおりとする。

(1) 引張応力

軸受取付ボルト（1本あたり）に対する引張力は、シャフト片端の軸受取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

引張力

$$F_{b1} = \frac{m_1 \cdot C_H \cdot g}{n_1} \dots \dots \dots (5.4.1.3.1)$$

引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.1.3.2)$$

ここで、軸受取付ボルトの断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = d_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.3.3)$$

(2) せん断応力

軸受取付ボルト（1本あたり）に対するせん断力は、シャフト両端の軸受取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

せん断力

$$Q_{b1} = \frac{m_1 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g + F_{bBOS} + F_{WBOS}}{2 \cdot n_1} \dots \dots \dots (5.4.1.3.4)$$

ここで、差圧による荷重 F_{bBOS} は次式により求める。

$$F_{bBOS} = B_b \cdot H_b \cdot P \dots \dots \dots (5.4.1.3.5)$$

ここで、風による荷重 F_{WBOS} は次式により求める。

$$F_{WBOS} = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots \dots \dots (5.4.1.3.6)$$

せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (5.4.6.3.7)$$

ここで、軸受取付ボルトの断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = d_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.6.3.8)$$

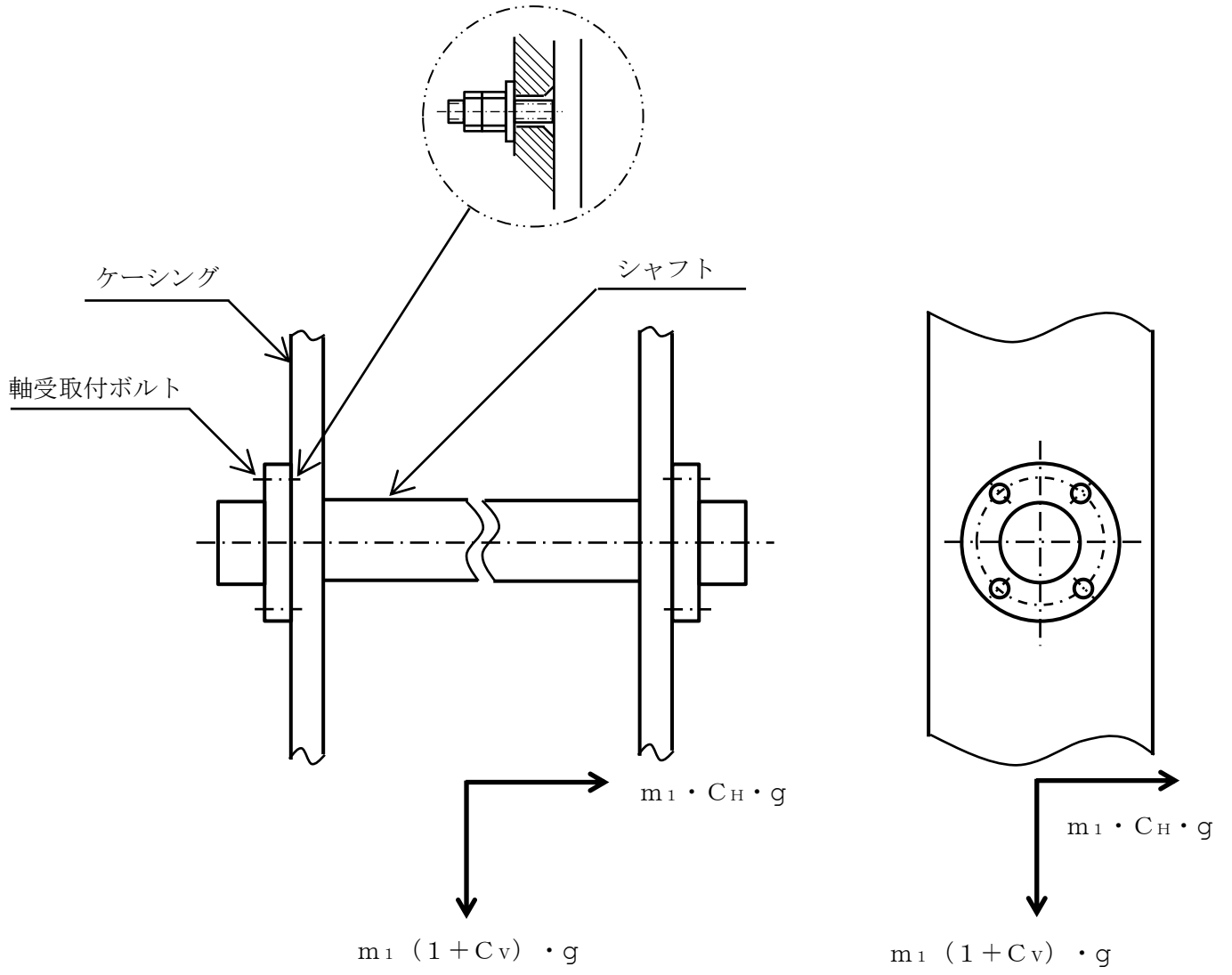


図5-3 軸受取付ボルトの計算モデル

5.4.1.4 駆動部取付ボルトの計算方法

駆動部取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、駆動部取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-4及び図5-5に示すとおりとする。

(1) 引張応力

駆動部取付ボルト（1本当たり）に対する引張力は転倒支点から正比例した力が作用するものとし、最も厳しい条件として転倒支点から最も離れたボルトについて下式により計算する。

引張力

$$F_{b2-1} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V2-2}} \cdot \left(C_H \cdot \left(\frac{\ell_{V2-2}}{2} - \ell_{H2-2} \right) + C_H \cdot \ell_{H2-1} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.1)$$

$$F_{b2-2} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V2-2}} \cdot \left(C_H \cdot \left(\frac{\ell_{V2-2}}{2} + \ell_{H2-2} \right) + C_H \cdot \ell_{H2-1} \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.2)$$

$$F_{b2-3} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V2-2}} \cdot \left((1 + C_V) \cdot \ell_{H2-1} + C_H \cdot \left(\ell_{V2-1} - \frac{\ell_{V2-2}}{2} \right) \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.3)$$

$$F_{b2-4} = \frac{8 \cdot m_2 \cdot g}{3 \cdot n_{t2} \cdot \ell_{V2-2}} \cdot \left((C_V - 1) \cdot \ell_{H2-1} + C_H \cdot \left(\ell_{V2-1} + \frac{\ell_{V2-2}}{2} \right) \right) \dots \dots \dots (5.4.1.4.4)$$

$$F_{b2} = \text{Max} (F_{b2-1}, F_{b2-2}, F_{b2-3}, F_{b2-4}) \dots \dots \dots (5.4.1.4.5)$$

ここで、ボルトピッチ l_{V2-2} は次式により求める。

$$l_{V2-2} = PCD \cdot \cos \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.4.6)$$

引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.7)$$

ここで、駆動部取付ボルトの断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = d_2^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.4.8)$$

ただし、 F_{b2} が負の時、取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

駆動部取付ボルト（1本当たり）に対するせん断力は駆動部取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

せん断力

$$Q_{b2} = \frac{m_2 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g}{n_2} \dots \dots \dots (5.4.1.4.9)$$

せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}} \dots \dots \dots (5.4.1.4.10)$$

ここで、駆動部取付ボルトの断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = d_2^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.4.11)$$

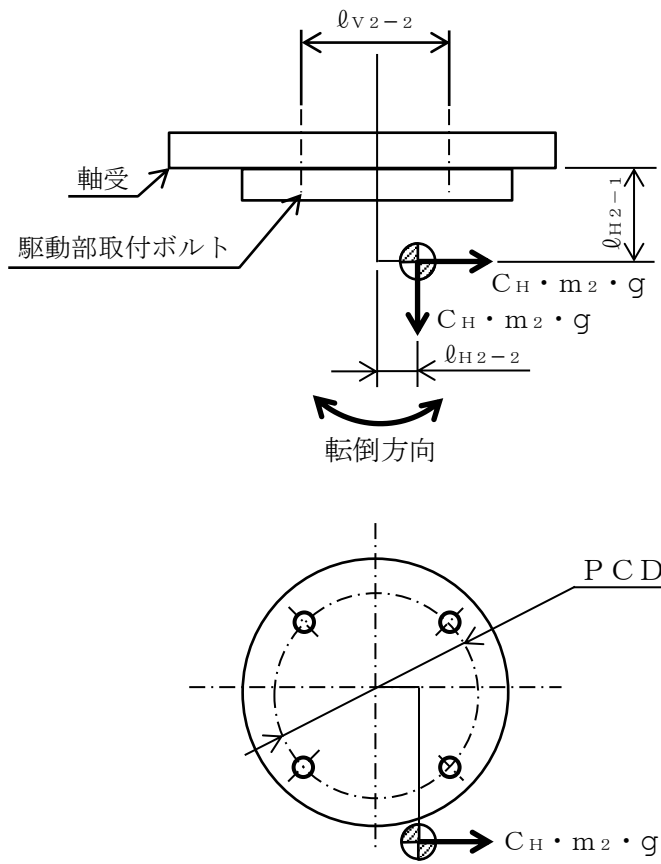


図5-4 駆動部取付ボルトの計算モデル（正面方向転倒）

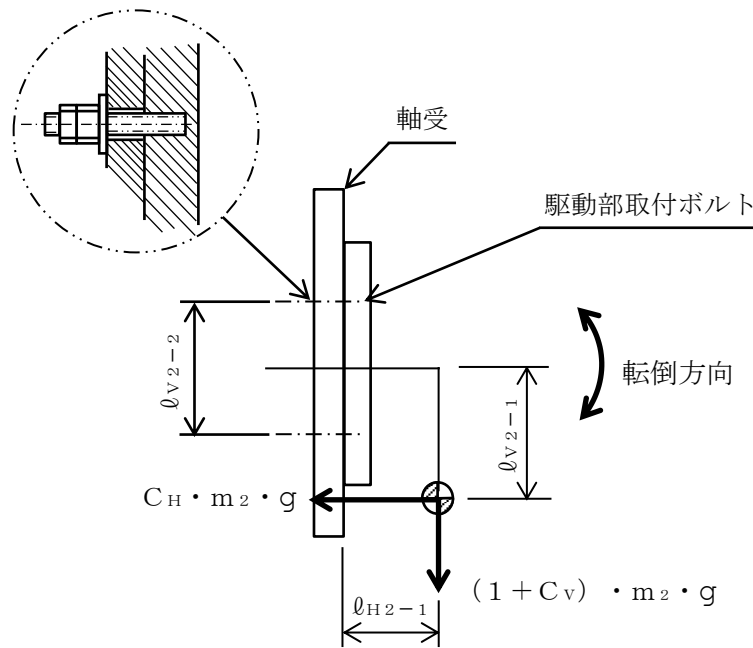


図5-5 駆動部取付ボルトの計算モデル（側面方向転倒）

5.4.1.5 取付ボルトの計算方法

取付ボルトに作用する荷重による引張力及びせん断力を算出し、取付ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-6及び図5-7に示すとおりとする。

(1) 引張応力

取付ボルト（1本当たり）に対する引張力は片側のボルト列を支点とする転倒を考え、これを逆側の最外列の取付ボルトで受けるものとして下式により計算する。差圧及び風による荷重も引張力として考慮する。

計算結果は最も厳しいものを記載する。

引張力

$$F_{b3-1} = \frac{m_3 \cdot (1 + C_v) \cdot \ell_{H3-3} \cdot g}{n_{v3} \cdot (\ell_{v3-1} + \ell_{v3-2})} + \frac{m_3 \cdot C_H \cdot \ell_{H3-3} \cdot g}{n_{H3} \cdot (\ell_{H3-1} + \ell_{H3-2})} + \frac{F_{bBOS} + F_{WBOS}}{n_3} \dots \dots \dots (5.4.1.5.1)$$

$$F_{b3-2} = \frac{m_3 \cdot (1 + C_v) \cdot \ell_{H3-3} \cdot g + m_3 \cdot C_H \cdot \ell_{v3-2} \cdot g}{n_{v3} \cdot (\ell_{v3-1} + \ell_{v3-2})} + \frac{F_{bBOS} + F_{WBOS}}{n_3} \dots \dots \dots (5.4.1.5.2)$$

$$F_{b3} = \text{Max} (F_{b3-1}, F_{b3-2}) \dots \dots \dots (5.4.1.5.3)$$

ここで、差圧による荷重 F_{bBOS} は次式により求める。

$$F_{bBOS} = B_b \cdot H_b \cdot P \dots \dots \dots (5.4.1.5.4)$$

ここで、風による荷重 F_{WBOS} は次式により求める。

$$F_{WBOS} = B_b \cdot H_b \cdot P_w \dots \dots \dots (5.4.1.5.5)$$

引張応力

$$\sigma_{b3} = \frac{F_{b3}}{A_{b3}} \dots \dots \dots (5.4.1.5.6)$$

ここで、取付ボルトの断面積 A_{b3} は次式により求める。

$$A_{b3} = d_3^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.5.7)$$

ただし、 F_{b3} が負の時、取付ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

取付ボルト（1本当たり）に対するせん断力は取付ボルト全本数で受けるものとして下式により計算する。

差圧及び風による荷重は，せん断力に加えない。

せん断力

$$Q_{b3} = \frac{m_3 \cdot \sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} \cdot g}{n_3} \quad \dots \dots (5.4.1.5.8)$$

せん断応力

$$\tau_{b3} = \frac{Q_{b3}}{A_{b3}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.5.9)$$

ここで，取付ボルトの断面積 A_{b3} は次式により求める。

$$A_{b3} = d_3^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.5.10)$$

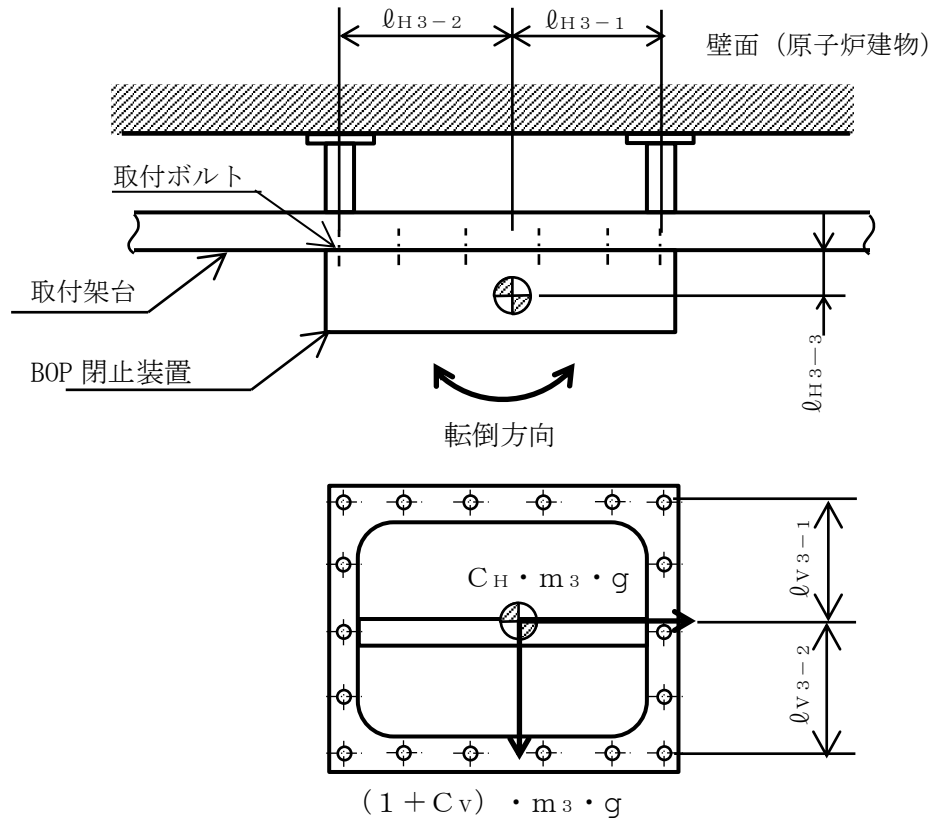


図5-6 取付ボルトの計算モデル (正面方向転倒)

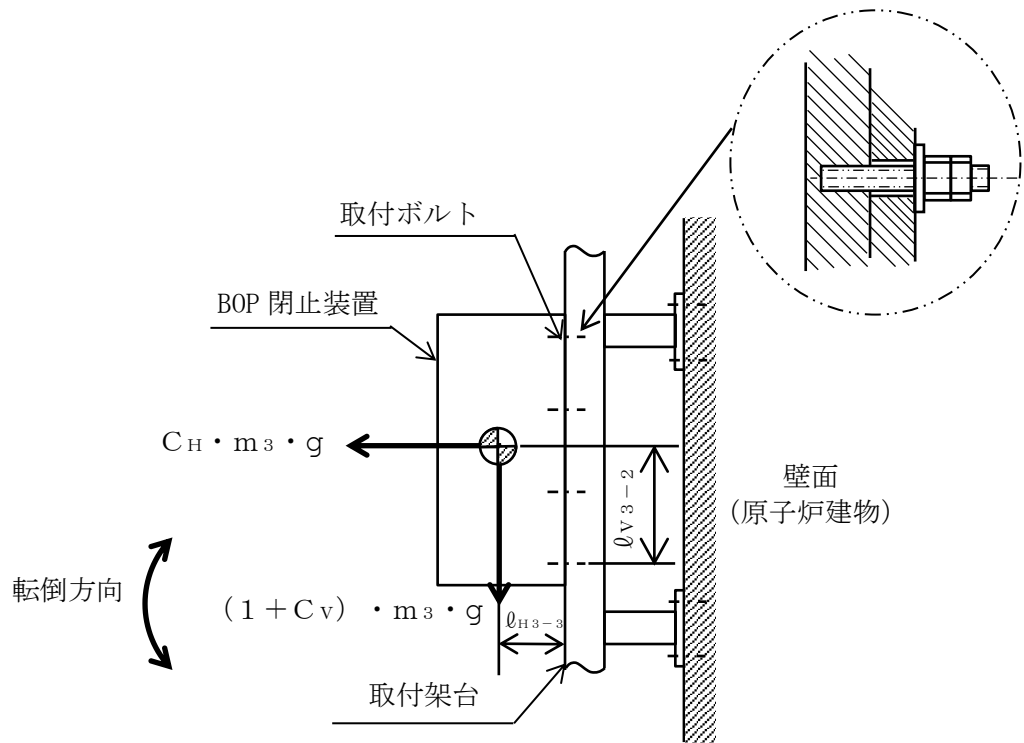


図5-7 取付ボルトの計算モデル (側面方向転倒)

5.4.1.6 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトに作用する荷重によるせん断力及び引張力を算出し、基礎ボルトに生じる応力を計算する。計算モデルは図5-8及び図5-9に示すとおりとする。重心は、前後方向はフレームの中心に、左右方向はフレームの中心にまた鉛直方向は下端から5900mmとする。

荷重には差圧及び風による荷重も考慮する。差圧及び風による圧力荷重は、方向を考慮して引張荷重として地震荷重と組み合わせる。荷重は転倒支点からの距離に比例して配分し、計算結果は最も厳しいものを記載する。

また、ボルトに作用する荷重を考慮する際に、架台の側面転倒時に引張力を受けるボルトを正面ボルト、せん断力を受けるボルトを側面ボルトと分けて考えた場合、それぞれのボルトが受ける応力は以下の通りになる。ボルトごとに各応力を合計し評価する。

正面ボルト：側面方向の転倒モーメントによる引張応力 σ_{b4-1} 、水平方向の地震力によるせん断応力 τ_{b4-2} 、自重によるせん断応力 τ_{b4-3}

側面ボルト：水平方向の地震力による引張応力 σ_{b4-2} 、側面方向の転倒モーメントによるせん断応力 τ_{b4-1} 、自重によるせん断応力 τ_{b4-3}

(1) 引張応力

正面ボルトにかかる引張応力

側面方向の転倒モーメントが働いた場合に、転倒支点を除くk段目の正面の基礎ボルト1本あたりの引張力と支点からの距離には次の関係が成り立つ。

$$F_{b4-k} = \frac{\ell_{V4-k}}{\ell_{V4-1}} \cdot F_{b4-1} \quad \dots (5.4.1.6.1)$$

$$M = \sum (n_{bt4-k} \cdot F_{b4-k} \cdot \ell_{V4-k}) = \sum (n_{bt4-k} \cdot \frac{\ell_{V4-k}^2}{\ell_{V4-1}} \cdot F_{b4-1}) \quad \dots (5.4.1.6.2)$$

$$F_{b4-1} = \frac{M}{\sum (n_{bt4-k} \cdot \frac{\ell_{V4-k}^2}{\ell_{V4-1}})} \quad \dots (5.4.1.6.3)$$

ここで、側面方向の転倒モーメントは

$$M = m_4 \cdot (1+C_V) \cdot g \cdot \ell_{H4} + m_4 \cdot C_H \cdot g \cdot \ell_{V4} + (F_{bSP} + F_{wSP}) \cdot \ell_{VSP} \quad \dots (5.4.1.6.4)$$

また，差圧及び風圧による荷重は次式により求める。

$$F_{bSP} = A_{SP} \cdot P \quad \dots \dots \dots (5.4.1.6.5)$$

$$F_{wSP} = A_{SP} \cdot P_w \quad \dots \dots \dots (5.4.1.6.6)$$

よって，引張応力は

$$\sigma_{b4-1} = \frac{F_{b4-1}}{A_{b4}} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.6.7)$$

ここで，基礎ボルトの断面積 A_{b4} は次式により求める。

$$A_{b4} = d_4^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad \dots \dots \dots (5.4.1.6.8)$$

側面ボルトにかかる引張応力

水平方向の地震力が働いた場合の，側面ボルトにかかる引張応力は

$$\sigma_{b4-2} = \frac{m_4 \cdot C_H \cdot g}{\sum n_{bt4-k} \cdot A_{b4}} \quad \dots \dots (5.4.1.6.9)$$

以上より

$$\sigma_{b4} = \text{Max}(\sigma_{b4-1}, \sigma_{b4-2}) \quad \dots \dots (5.4.1.6.10)$$

(2)せん断応力

側面ボルトにかかるせん断応力

側面方向の転倒モーメントが働いた場合に，転倒支点を除く k 段目の側面の基礎ボルト1本あたりのせん断力と支点からの距離には次の関係が成り立つ。

また，基礎ボルトの配置上，側面ボルトの最上段は2段目となる。

$$Q_{b4-k} = \frac{\ell_{V4-k}}{\ell_{V4-2}} \cdot Q_{b4-2} \quad \dots \dots (5.4.1.6.11)$$

$$M = \sum (n_{bs4-k} \cdot Q_{b4-k} \cdot \ell_{V4-k}) = \sum (n_{bs4-k} \cdot \frac{\ell_{V4-k}^2}{\ell_{V4-2}} \cdot Q_{b4-2}) \quad \dots \dots (5.4.1.6.12)$$

$$Q_{b4-2} = \frac{M}{\sum (n_{bs4-k} \cdot \frac{\ell_{V4-k}^2}{\ell_{V4-2}})} \quad \dots \dots (5.4.1.6.13)$$

ここで、側面方向の転倒モーメントは

$$M = m_4 \cdot (1 + C_v) \cdot g \cdot \ell_{H4} + m_4 \cdot C_H \cdot g \cdot \ell_{V4} + (F_{bSP} + F_{wSP}) \cdot \ell_{VSP} \dots \dots \dots (5.4.1.6.14)$$

また、差圧及び風圧による荷重は

$$F_{bSP} = A_{SP} \cdot P \dots \dots \dots (5.4.1.6.15)$$

$$F_{wSP} = A_{SP} \cdot P_w \dots \dots \dots (5.4.1.6.16)$$

よって、せん断応力は

$$\tau_{b4-1} = \frac{Q_{b4-2}}{A_{b4}} \dots \dots \dots (5.4.1.6.17)$$

ここで、基礎ボルトの断面積 A_{b4} は次式により求める。

$$A_{b4} = d_4^2 \cdot \frac{\pi}{4} \dots \dots \dots (5.4.1.6.18)$$

正面ボルトにかかるせん断応力

水平方向の地震力が働いた場合の、正面ボルトにかかるせん断応力は

$$\tau_{b4-2} = \frac{m_4 \cdot C_H \cdot g}{\sum n_{bs4-k} \cdot A_{b4}} \dots \dots (5.4.1.6.19)$$

全ボルトにかかる自重及び鉛直方向の地震力によるせん断応力

ボルト全本数により荷重を受けるものとし、自重及び鉛直方向の地震力によるせん断応力は

$$\tau_{b4-3} = \frac{m_4 \cdot (1 + C_v) \cdot g}{n_4 \cdot A_{b4}} \dots \dots (5.4.1.6.20)$$

以上より

$$\tau_{b4} = \text{Max} (\tau_{b4-1} + \tau_{b4-3}, \tau_{b4-2} + \tau_{b4-3}) \dots \dots (5.4.1.6.21)$$

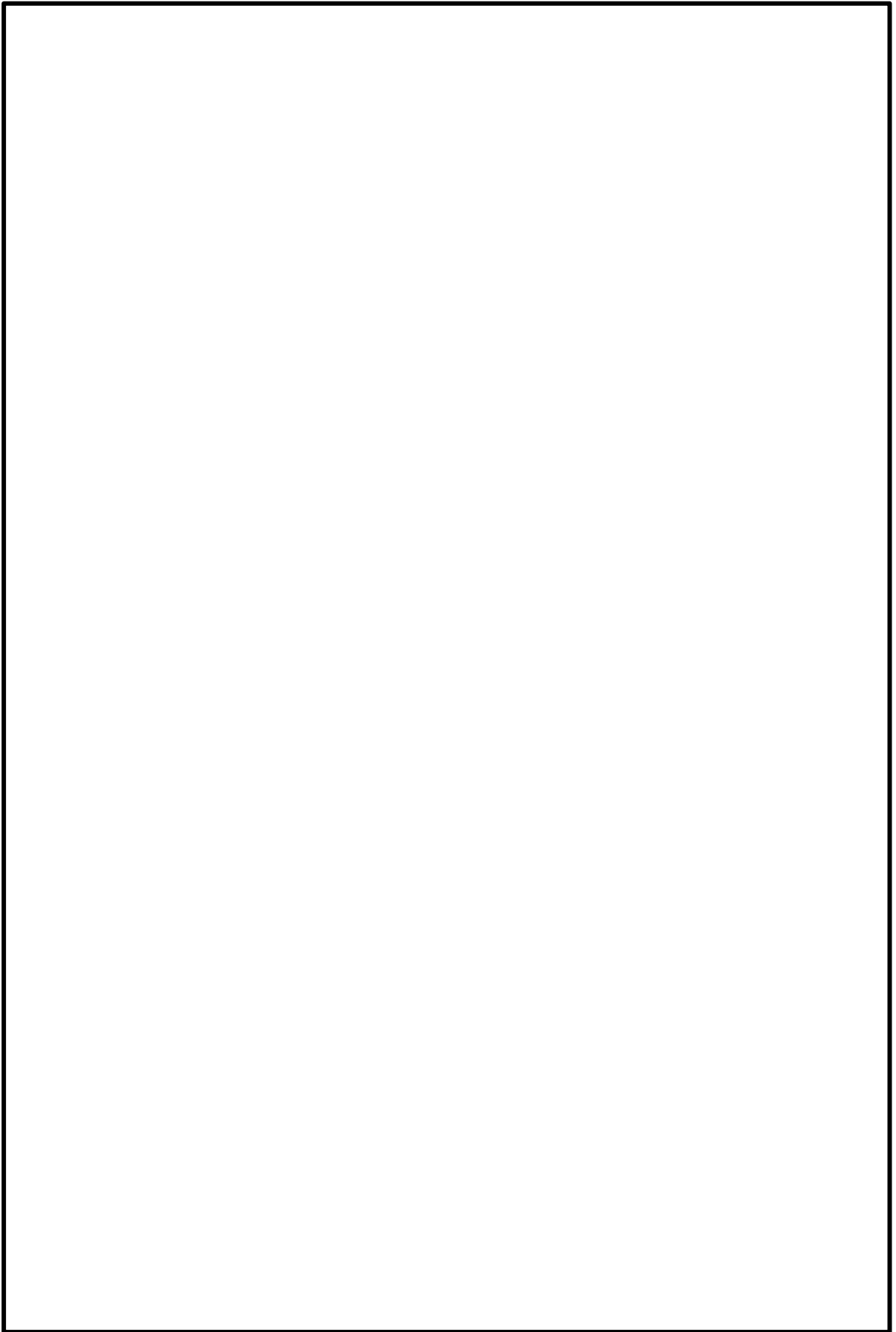


図 5-8 基礎ボルト部の計算モデル

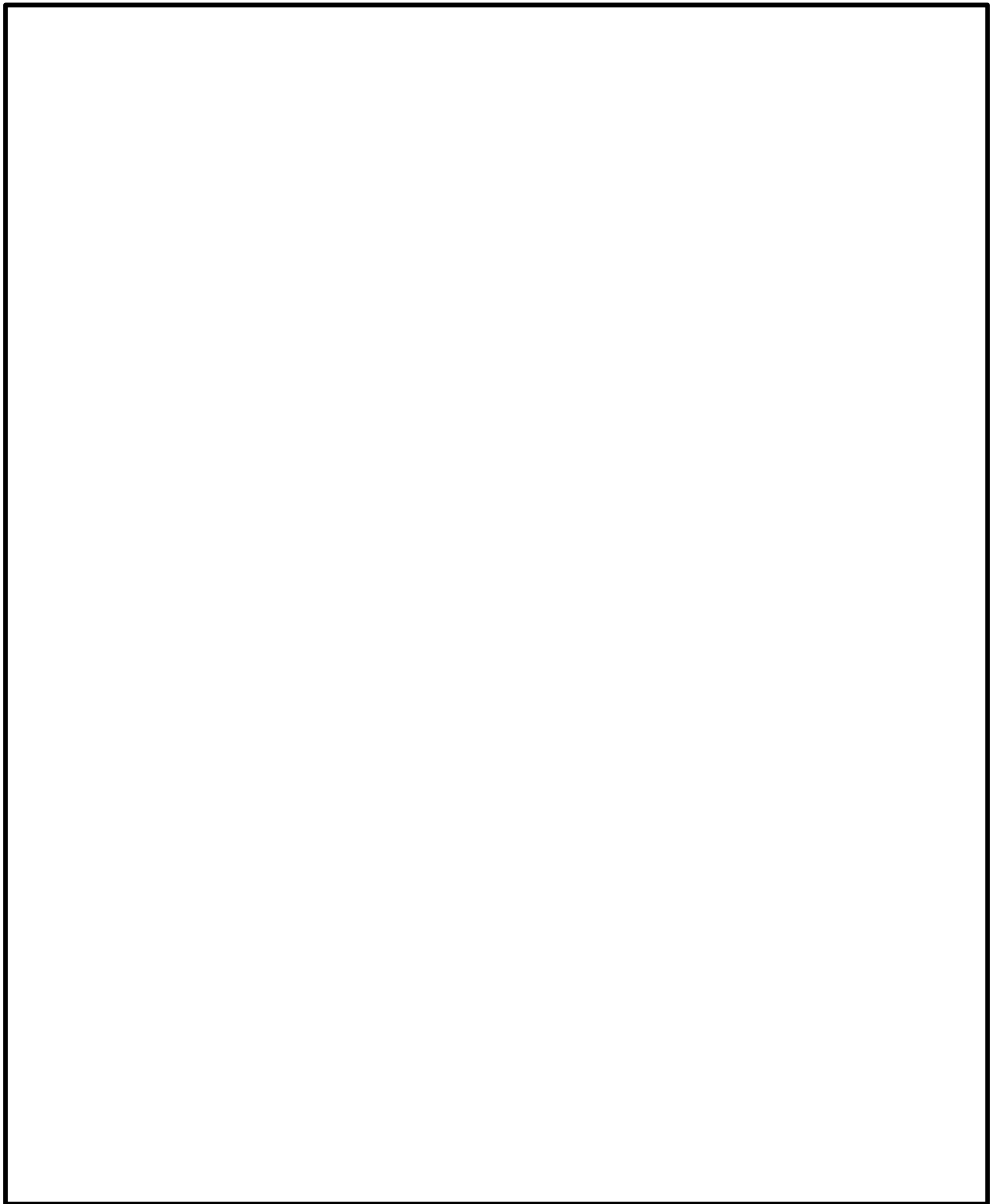


図 5-9 基礎ボルト部の計算モデル（側面方向転倒）

5.5 計算条件

5.5.1 応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【BOP閉止装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 シャフトの応力評価

5.4項で求めたシャフトの組合せ応力 σ_{sc} は許容引張応力 f_{tm} 以下であること。ただし、 f_{tm} は表5-5による。

表5-5 シャフトの許容応力

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

5.6.2 コネクタの応力評価

5.4項で求めたコネクタのせん断応力 τ_{co} が許容せん断応力 f_{sm} 以下であること。ただし、 f_{sm} は表5-6による。

表5-6 コネクタの許容応力

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sm}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5.6.3 ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bi} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、許容引張応力 f_{toi} は表5-7による。

$$f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots \dots \dots (5.6.3.1)$$

せん断応力 τ_{bi} はせん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は表5-7による。

表5-7 ボルトの許容応力

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 動的機能維持評価方法

BOP閉止装置の動的機能維持評価について以下に示す。

なお、動的機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

BOP閉止装置の動的機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、模擬地震波による加振試験において、動的機能の健全性を確認した最大加速度を適用する。

動的機能確認済加速度を表6-1に示す。

表6-1 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
BOP閉止装置	水平	<input type="checkbox"/>
	鉛直	<input type="checkbox"/>

7. 評価結果

7.1 重大事故等対処設備としての評価結果

BOP閉止装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【BOP閉止装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所 及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
BOP閉止装置	常設／緩和	原子炉建物 EL42.800 (EL63.500* ¹)	0.019	0.05以下	—	—	C _H =4.97* ²	C _V =2.66* ²	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

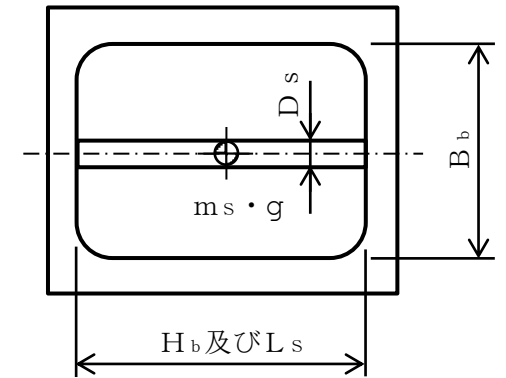
1.2 機器要目

1.2.1 シャフト

(1) 開状態

m_s (kg)	D_s (mm)	A_s (mm ²)	L_s (mm)	B_b (mm)	H_b (mm)	Z_s (mm ³)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>



(2) 閉状態

m_s (kg)	D_s (mm)	A_s (mm ²)	L_s (mm)	B_b (mm)	H_b (mm)	Z_s (mm ³)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

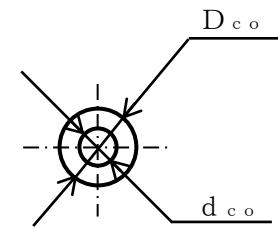
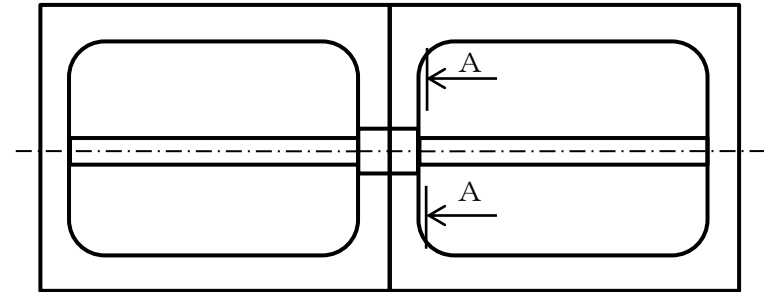
S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

P_w (kPa)	P (Pa)
1.725	63

1.2.2 コネクタ

$D_{c o}$ (mm)	$d_{c o}$ (mm)	$A_{c o}$ (mm ²)	m_{BOS} (kg)
□	□	□	□

S_y (MPa)	S_u (MPa)	F^* (MPa)
□	□	□



A~A 矢视图
















1.2.3 ボルト（基礎ボルト除く）

(1)開状態









部材	m_i (kg)	d_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{ti}	n_{iv}	n_{iH}	ℓ_{Hi-1} (mm)	ℓ_{Hi-2} (mm)	ℓ_{Hi-3} (mm)	ℓ_{Vi-1} (mm)	ℓ_{Vi-2} (mm)	PCD (mm)
軸受取付ボルト ($i = 1$)					—	—	—	—	—	—	—	—	—
駆動部取付ボルト ($i = 2$)						—	—			—		—	
取付ボルト ($i = 3$)					—								—

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi} (RT)$ (MPa)	F_{i}^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
軸受取付ボルト ($i = 1$)					—	—
駆動部取付ボルト ($i = 2$)					—	側面方向
取付ボルト ($i = 3$)					—	側面方向

(2) 閉状態

部材	m_i (kg)	d_i (mm)	A_{bi} (mm ²)	n_i	n_{vi}	n_{Hi}	ℓ_{Hi-1} (mm)	ℓ_{Hi-2} (mm)	ℓ_{Hi-3} (mm)	ℓ_{Vi-1} (mm)	ℓ_{Vi-2} (mm)
軸受取付ボルト ($i = 1$)					—	—	—	—	—	—	—
取付ボルト ($i = 3$)											

部材	P_w (kPa)	P (Pa)
軸受取付ボルト ($i = 1$)	1.725	63
取付ボルト ($i = 3$)	1.725	63

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	S_{yi} (RT) (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
軸受取付ボルト ($i = 1$)					—	—
取付ボルト ($i = 3$)					—	側面方向

1.2.4 基礎ボルト

部材	m_i (kg)	d_{i-1} (mm)	d_{i-2} (mm)	d_{i-3} (mm)	A_{bi-1} (mm ²)	A_{bi-2} (mm ²)	A_{bi-3} (mm ²)	A_{sp} (m ²)	ℓ_{Hi} (mm)	ℓ_{vi} (mm)	n_i (mm)	ℓ_{vSP} (mm)
基礎ボルト ($i = 4$)												

部材	ℓ_{vi-1} (mm)	ℓ_{vi-2} (mm)	ℓ_{vi-3} (mm)	ℓ_{vi-4} (mm)	ℓ_{vi-5} (mm)	ℓ_{vi-6} (mm)	ℓ_{vi-7} (mm)	ℓ_{vi-8} (mm)	ℓ_{vi-9} (mm)	ℓ_{vi-10} (mm)	ℓ_{vi-11} (mm)	ℓ_{vi-12} (mm)
基礎ボルト ($i = 4$)												

部材	n_{bti-1}	n_{bti-2}	n_{bti-3}	n_{bti-4}	n_{bti-5}	n_{bti-6}	n_{bti-7}	n_{bti-8}	n_{bti-9}	n_{bti-10}	n_{bti-11}	n_{bti-12}
基礎ボルト ($i = 4$)												

部材	n_{bsi-1}	n_{bsi-2}	n_{bsi-3}	n_{bsi-4}	n_{bsi-5}	n_{bsi-6}	n_{bsi-7}	n_{bsi-8}	n_{bsi-9}	n_{bsi-10}	n_{bsi-11}	n_{bsi-12}
基礎ボルト ($i = 4$)												

部材	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)	$S_{yi} (RT)$ (MPa)	F_i^* (MPa)	α_c	P_w (kPa)	P (Pa)	転倒方向	
								弾性設計用地震動 S_d 又は 静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト ($i = 4$)						1.725	63	—	側面方向

注： P_w 、 P は閉状態の場合に考慮する。

1.3 計算数値

1.3.1 シャフトに作用する力及びモーメント

(1)開状態

部 材	M_s (N・mm)		Q_s (N)	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
シャフト	—	9.174×10^5	—	3.783×10^3

(2)閉状態

部 材	M_s (N・mm)		Q_s (N)	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
シャフト	—	1.079×10^6	—	4.451×10^3

1.3.2 コネクタに作用する力

(単位 : N)

部 材	Q_{co}	
	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
コネクタ	—	2.179×10^4

1.3.3 軸受取付ボルトに作用する力

(1)開状態

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
軸受取付ボルト ($i=1$)	—	761.5	—	472.9

(2)閉状態

(単位：N)

部 材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
軸受取付ボルト ($i=1$)	—	761.5	—	556.4

1.3.4 駆動部取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部 材	F_{bi}			Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	転倒方向	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
駆動部取付ボルト ($i=2$)	—	9.205×10^3	側面方向	—	998.7

1.3.5 取付ボルトに作用する力

(1)開状態

(単位：N)

部 材	F_{bi}			Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	—	—	転倒方向	—	—
取付ボルト ($i=3$)	—	2.009×10^3	側面方向	—	1.211×10^3

(2)閉状態

(単位：N)

部 材	F_{bi}			Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	—	—	転倒方向	—	—
取付ボルト ($i=3$)	—	2.083×10^3	側面方向	—	1.211×10^3

1.3.6 基礎ボルトに作用する力

(1) 開状態

(単位：N)

部 材	F_{bi}			Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	—	—	転倒方向	—	—
基礎ボルト ($i=4$)	—	1.739×10^4	側面	—	2.308×10^4

(2) 閉状態

(単位：N)

部 材	F_{bi}			Q_{bi}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
	—	—	転倒方向	—	—
基礎ボルト ($i=4$)	—	1.739×10^4	側面	—	2.586×10^4

1.4 結論

1.4.1 応力

(1) 主要部材 (開状態)

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
シャフト	<input type="text"/>	組合せ	—	—	$\sigma_{sc}=75$	$f_{tm}=305$
コネクタ	<input type="text"/>	せん断	—	—	$\tau_{co}=5$	$f_{sm}=176$

すべて許容応力以下である。

(2) 主要部材 (閉状態)

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
シャフト	<input type="text"/>	組合せ	—	—	$\sigma_{sc}=89$	$f_{tm}=305$
コネクタ	<input type="text"/>	せん断	—	—	$\tau_{co}=5$	$f_{sm}=176$

すべて許容応力以下である。

(3) ボルト類 (開状態)

(単位: MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
軸受取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=118$
駆動部取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b2}=30$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=118$
取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b3}=18$	$f_{ts3}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=118$
基礎ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b4}=46$	$f_{ts4}=116^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=61$	$f_{sb4}=117$

注記*: $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

(4) ボルト類 (閉状態)

(単位 : MPa)

部 材	材 料	応 力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
軸受取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b1}=7$	$f_{ts1}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=5$	$f_{sb1}=118$
駆動部取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b2}=30$	$f_{ts2}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=118$
取付ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b3}=19$	$f_{ts3}=153^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b3}=11$	$f_{sb3}=118$
基礎ボルト		引張	—	—	$\sigma_{b4}=46$	$f_{ts4}=104^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b4}=69$	$f_{sb4}=117$

注記* : $f_{tsi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

1.4.2 動的機能維持の評価結果

($\times 9.8\text{m/s}^2$)

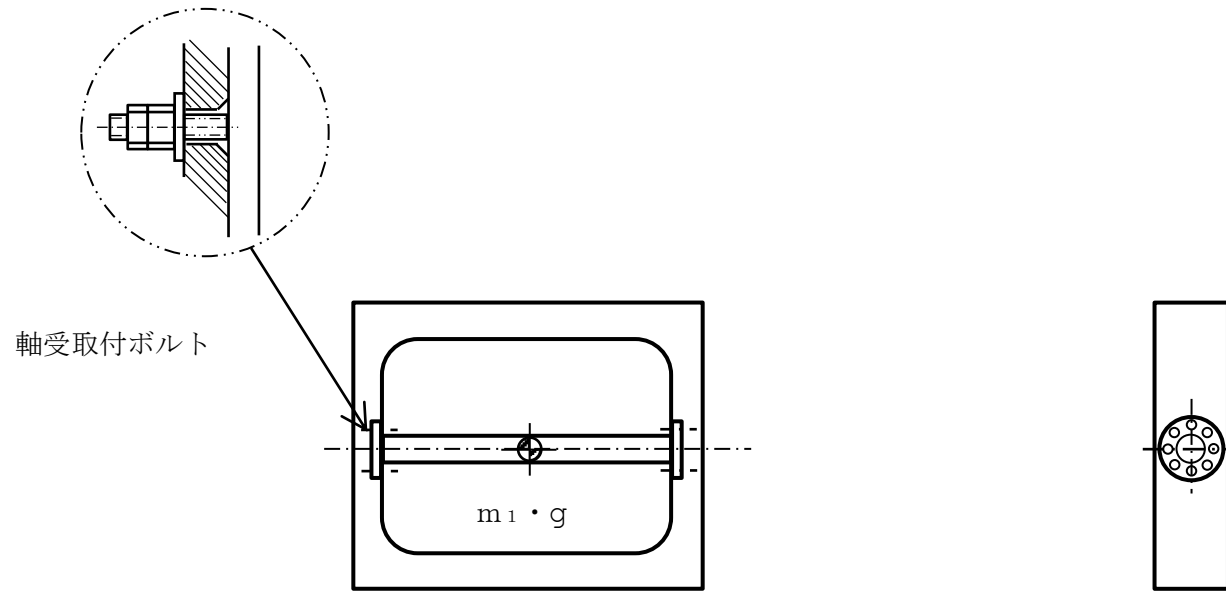
		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
BOP閉止装置	水平方向	2.76	<input type="checkbox"/>
	鉛直方向	1.63	<input type="checkbox"/>

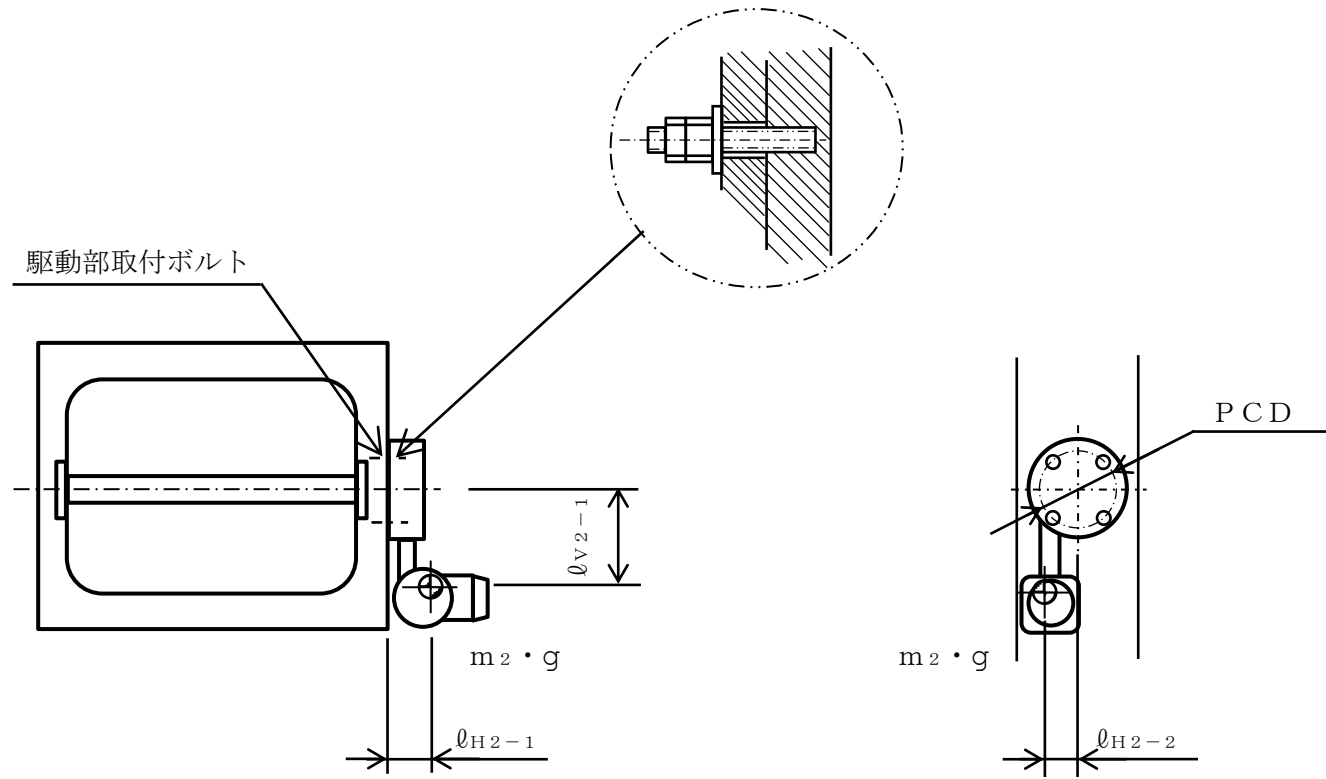
注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）により定まる加速度

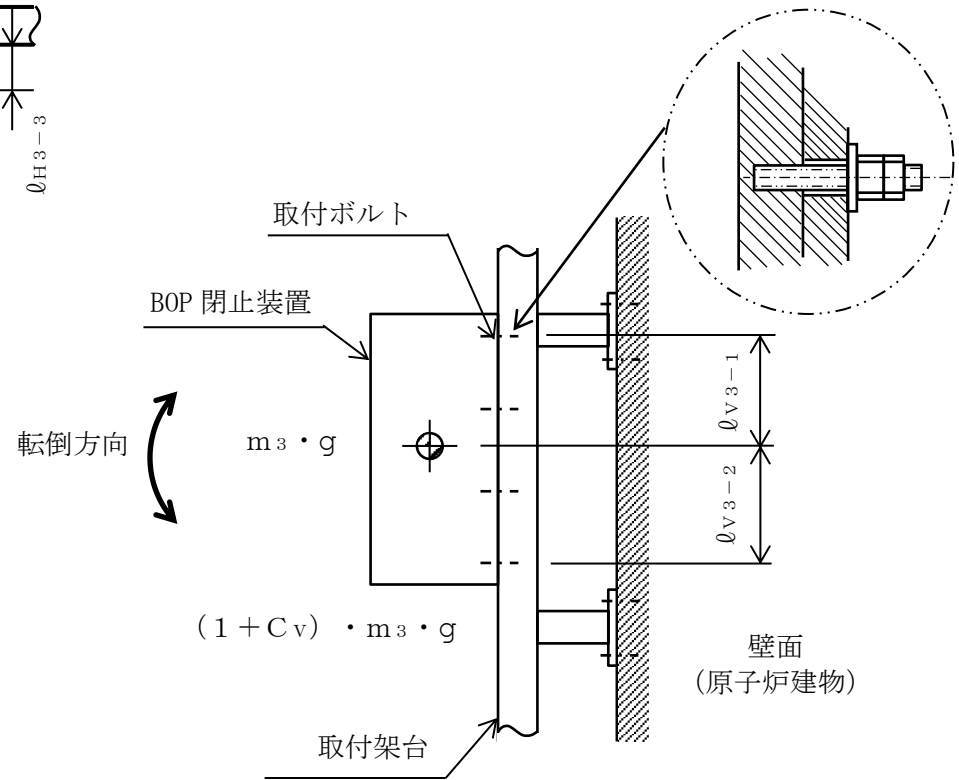
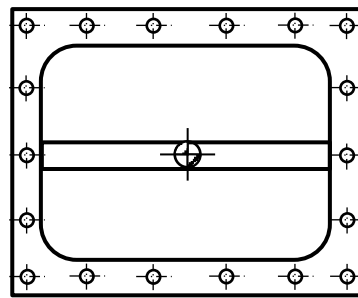
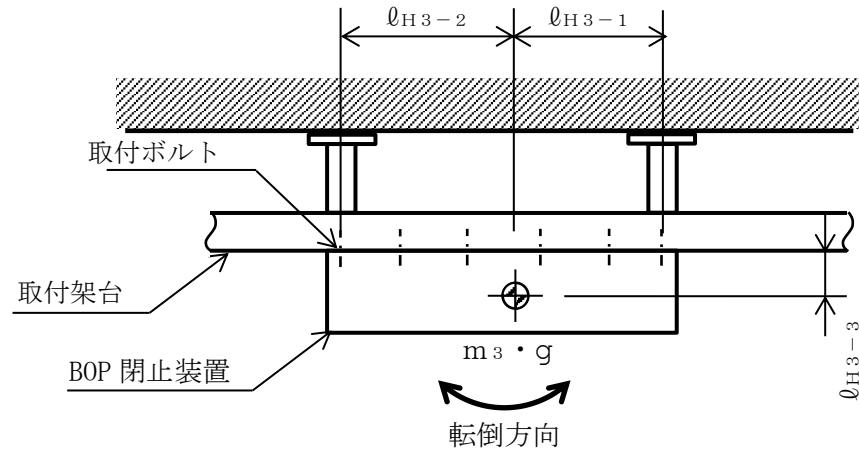
動的機能維持評価用加速度はすべて動的機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

項目	記号	単位	入力値
材料（取付架台）	—	—	<input type="checkbox"/>
質量（2連ユニット）	m_{BOS2}	kg	<input type="checkbox"/>
質量（3連ユニット）	m_{BOS3}	kg	<input type="checkbox"/>
質量（取付架台）	m_{SP}	kg	<input type="checkbox"/>
温度条件（周囲環境温度）	T	℃	100
縦弾性係数（周囲環境温度）	E	MPa	198000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="checkbox"/>
節点数	—	個	<input type="checkbox"/>









VI-2-9-4-5-2 可燃性ガス濃度制御系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-2-1 管の耐震性についての計算書
(可燃性ガス濃度制御系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	8
3.1 計算方法	8
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	9
3.3 設計条件	10
3.4 材料及び許容応力	21
3.5 設計用地震力	22
4. 解析結果及び評価	23
4.1 固有周期及び設計震度	23
4.2 評価結果	35
4.2.1 管の応力評価結果	35
4.2.2 支持構造物評価結果	36
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	37
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	38

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、可燃性ガス濃度制御系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全4モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






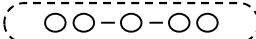

(3) 弁

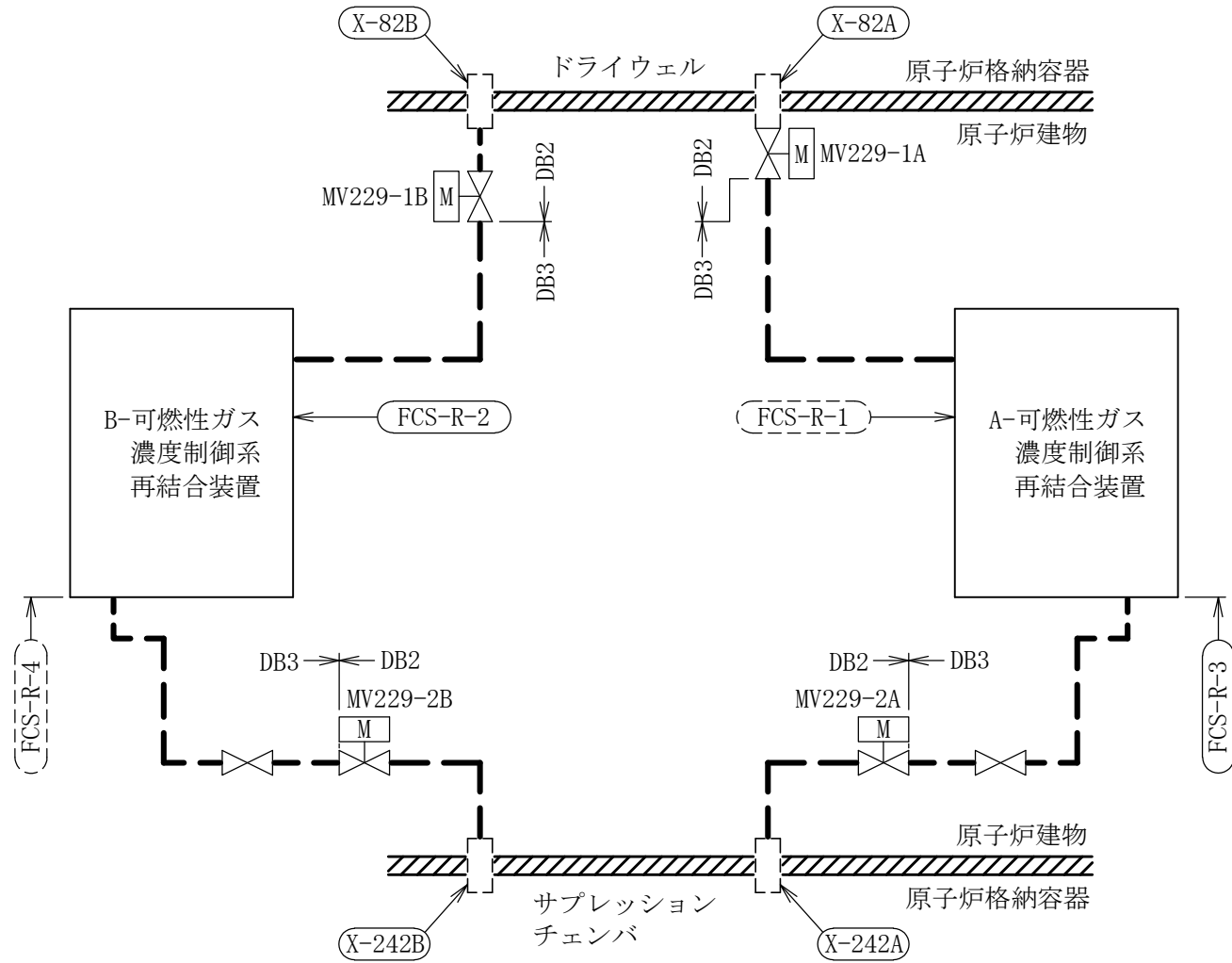
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例


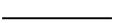
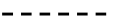


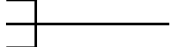
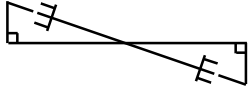
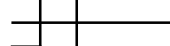
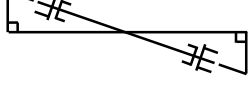

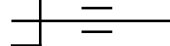
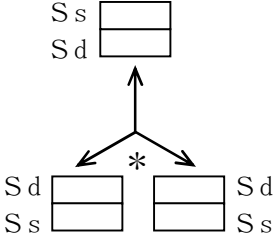
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



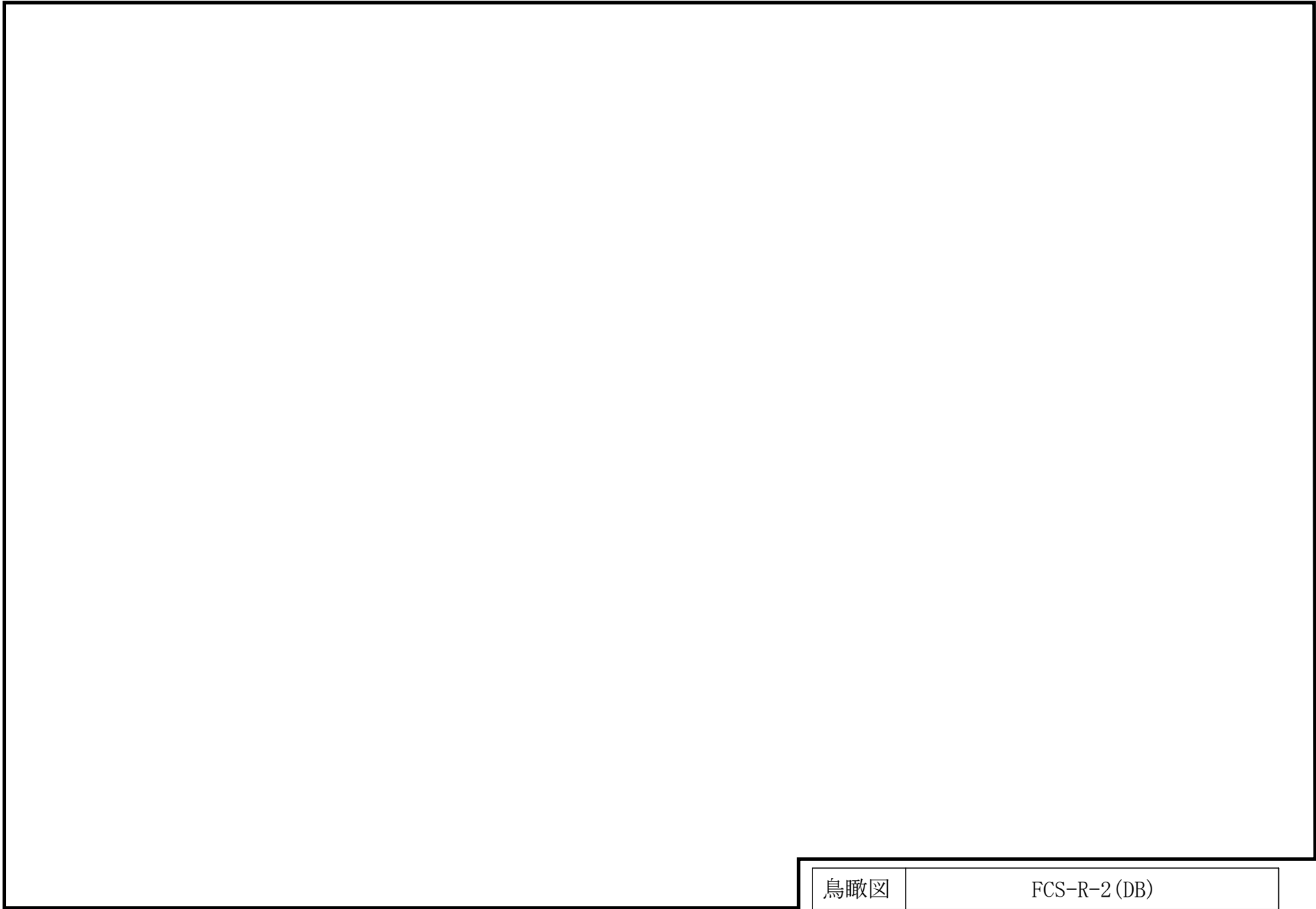
可燃性ガス濃度制御系概略系統図

2.2 鳥瞰図

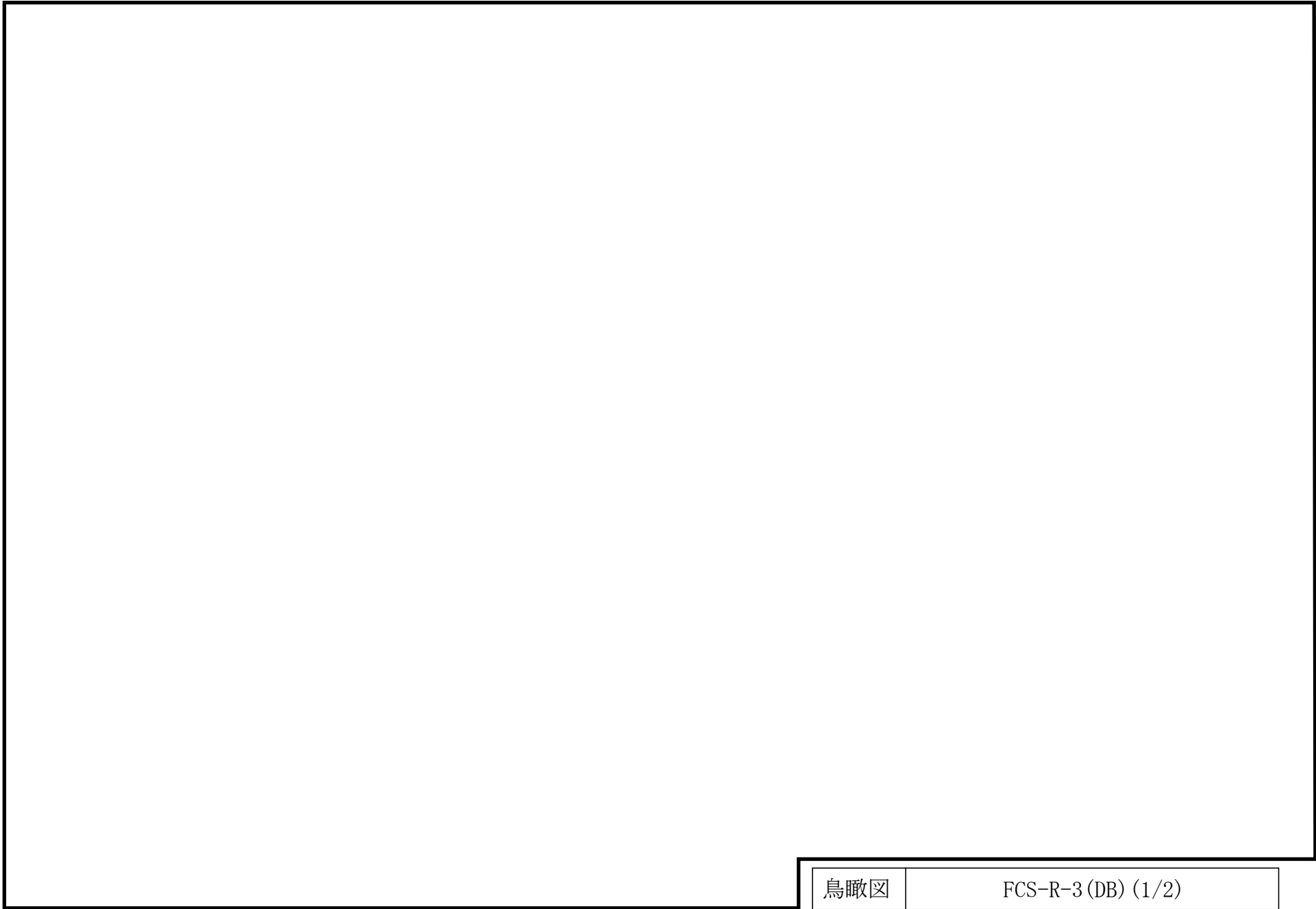
鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本システムの管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本システムの管であって計算書作成対象範囲外の管及び他システムの管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

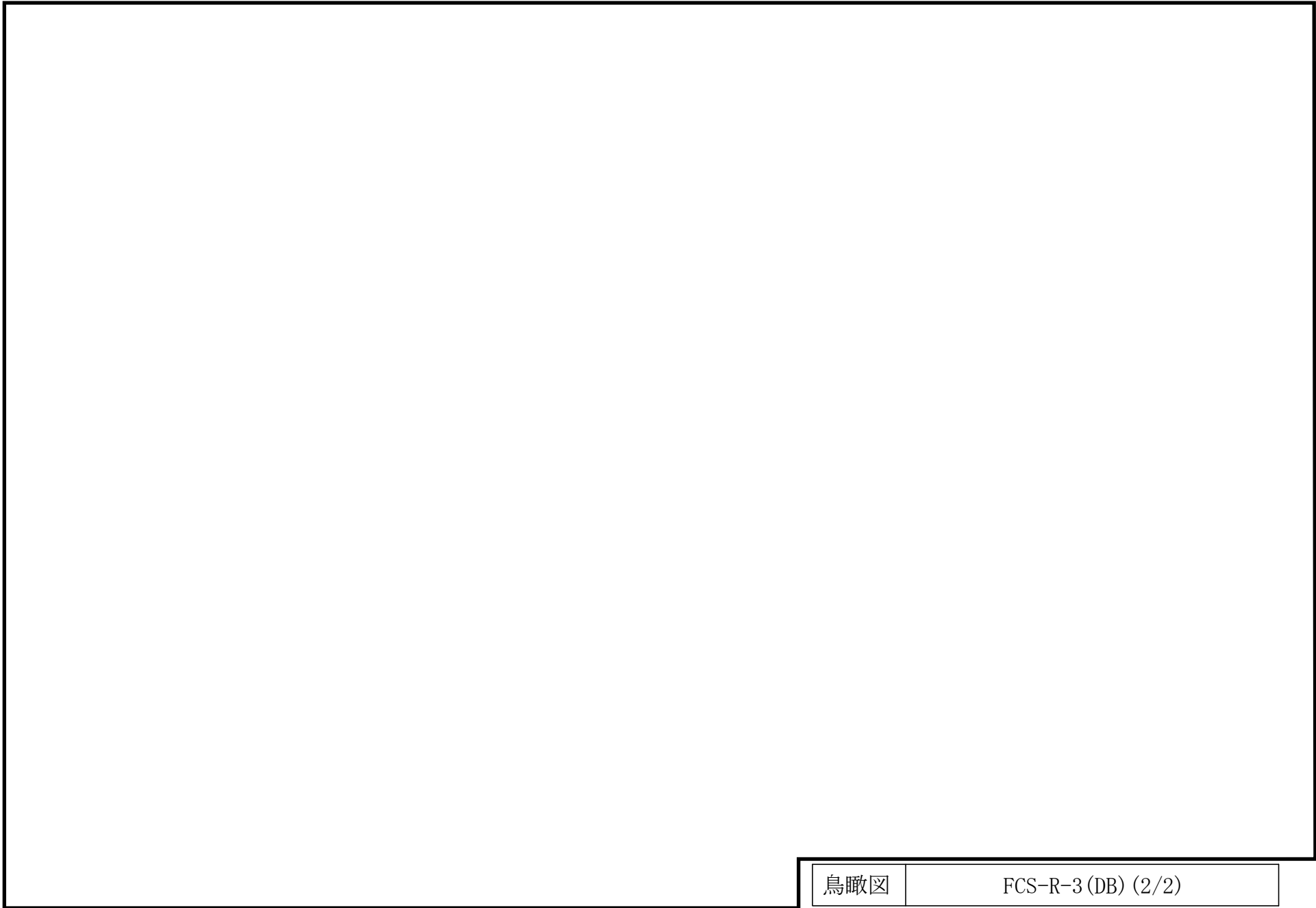
S2 補 VI-2-9-4-5-2-1 R1



鳥瞰図	FCS-R-2 (DB)
-----	--------------



鳥瞰図	FCS-R-3 (DB) (1/2)
-----	--------------------



鳥瞰図	FCS-R-3 (DB) (2/2)
-----	--------------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2, *3}	許容応力状態
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	可燃性ガス濃度制御系	DB	—	クラス2管 クラス3管	S	I _L +S _d	III _A S
							II _L +S _d	
							I _L +S _s	IV _A S
							II _L +S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCS-R-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	3~6, 10~43	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—
2	43~44N	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCS-R-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	3～6, 10～43	114.3	6.0	STPT42	S	201667
2	43～44N	114.3	6.0	SUS304TP	S	193667

弁部の質量

鳥 瞰 図 FCS-R-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	6, 10	<input type="checkbox"/>	7
<input type="checkbox"/>	8	<input type="checkbox"/>	9

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FCS-R-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
6~7				7~8			
8~801				801~9			
7~10							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-R-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
** 1N **						
** 1N **						
801						
801						
11						
11						
18						
24						
34						
44N						

S2 補 VI-2-9-4-5-2-1 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCS-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~2	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—
2	2~75, 76~79	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—
3	83~90	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCS-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~2	165.2	7.1	SUS304TP	S	193667
2	2~75, 76~79	165.2	7.1	STPT42	S	201667
3	83~90	165.2	7.1	STPT42	S	201667

弁部の質量

鳥 瞰 図 FCS-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	75~76		79, 83
	80		81
	82		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 FCS-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
75~76				79~80			
80~81							
8101~82							
				80~83			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1N						
10						
16						
29						
** 35 **						
** 35 **						
42						
** 47 **						
47						
59						
** 59 **						
** 59 **						
66						
** 66 **						
74						
** 74 **						
78						
** 78 **						
** 8101 **						

S2 補 VI-2-9-4-5-2-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCS-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 8101 **						
** 91N **						
** 91N **						
** 91N **						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SUS304TP	171	—	150	413	—
STPT42	171	—	211	404	—
STPT42	104	—	219	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
FCS-R-2	原子炉建物	EL			
FCS-R-3	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FCS-R-2

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FCS-R-2

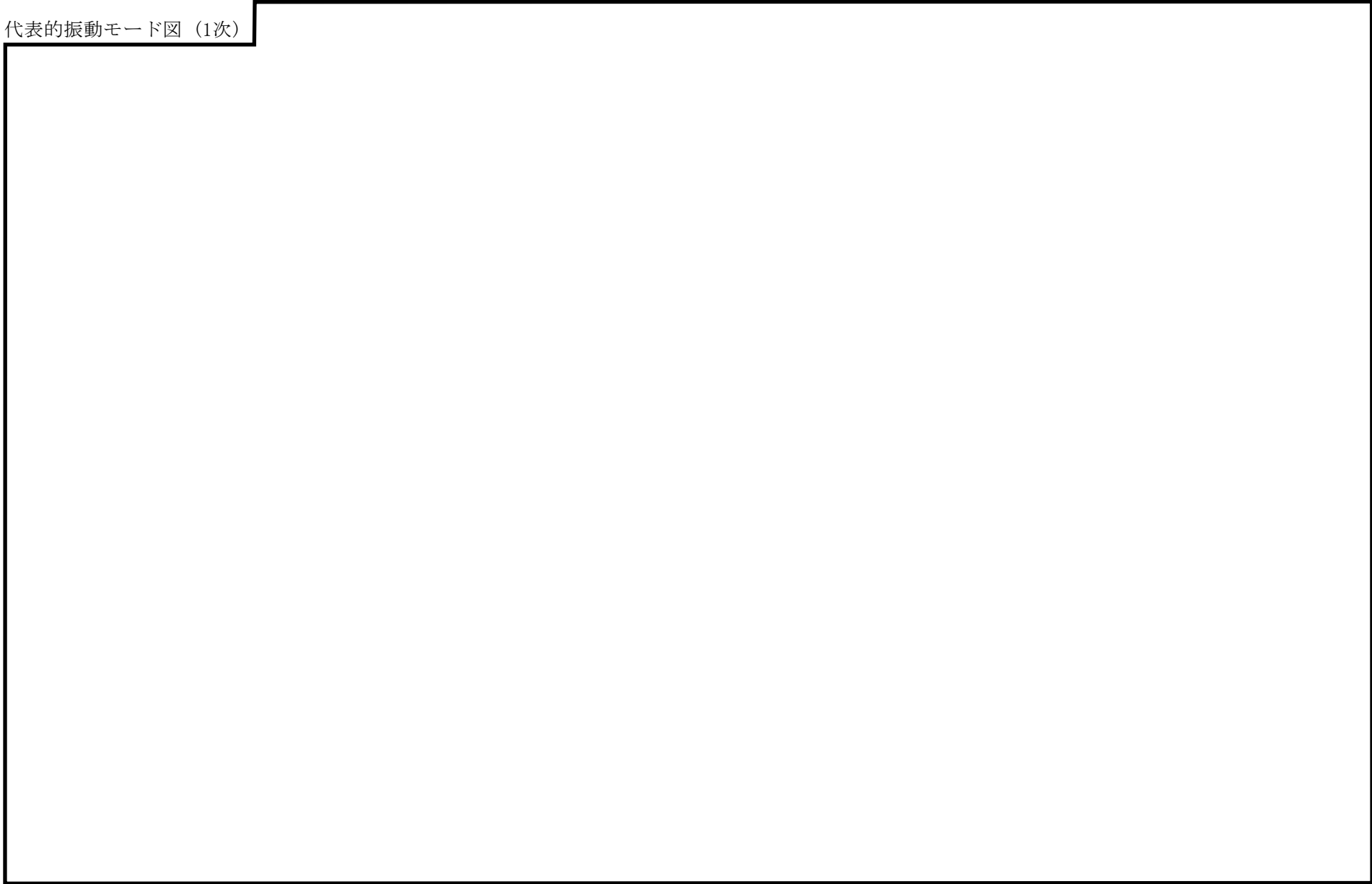
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

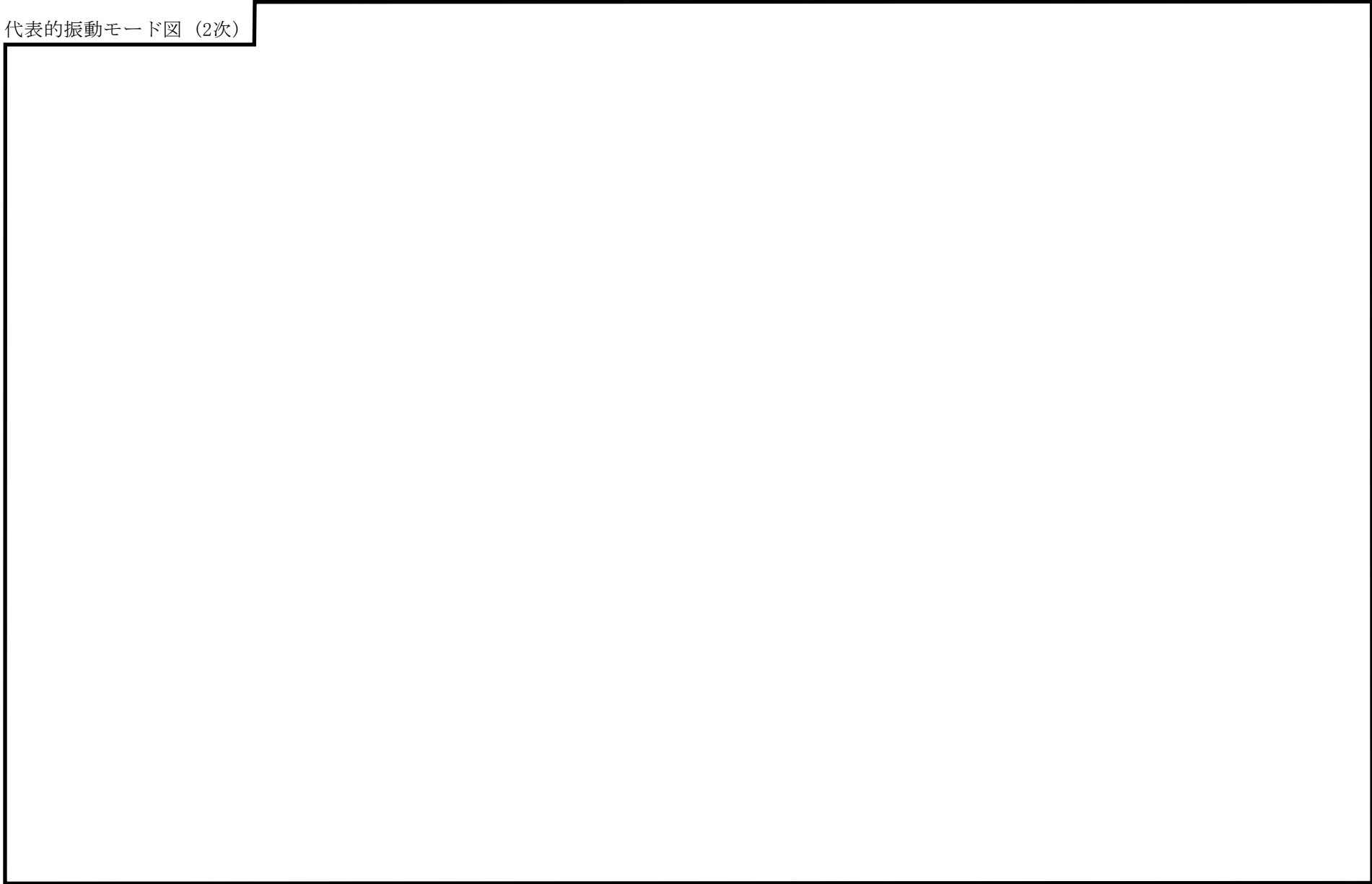
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

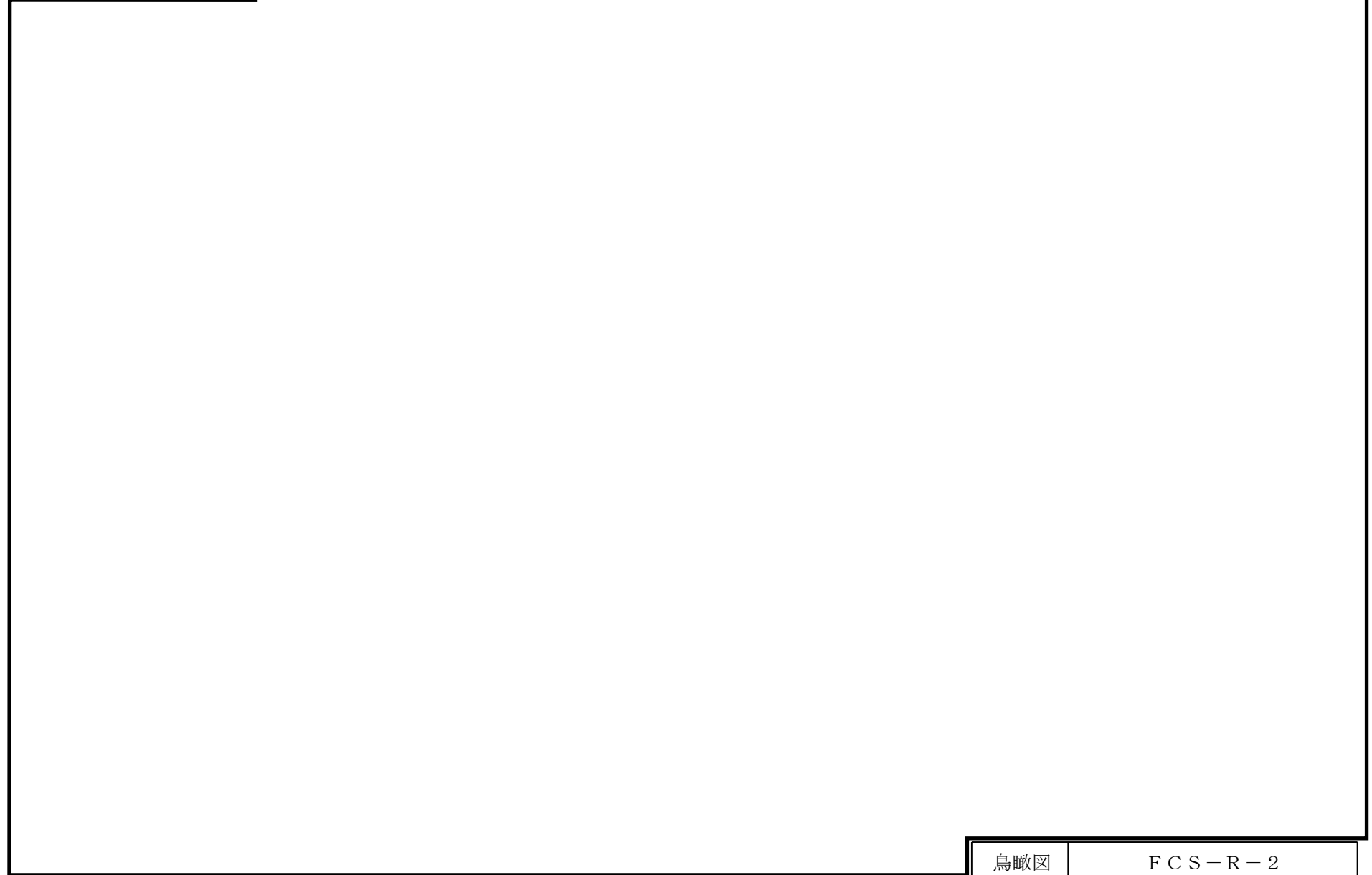
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FCS-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
10次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FCS-R-3

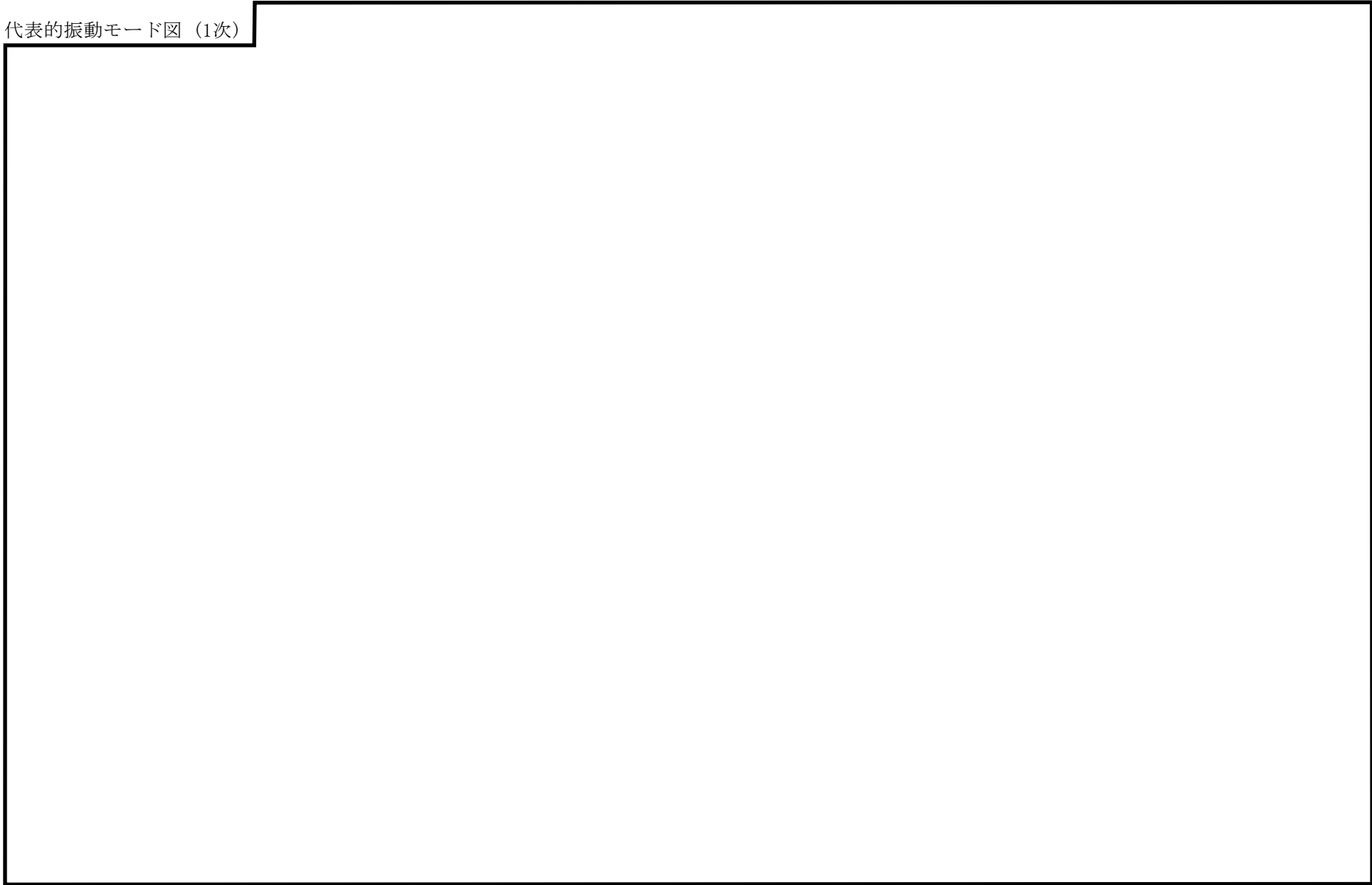
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
10次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

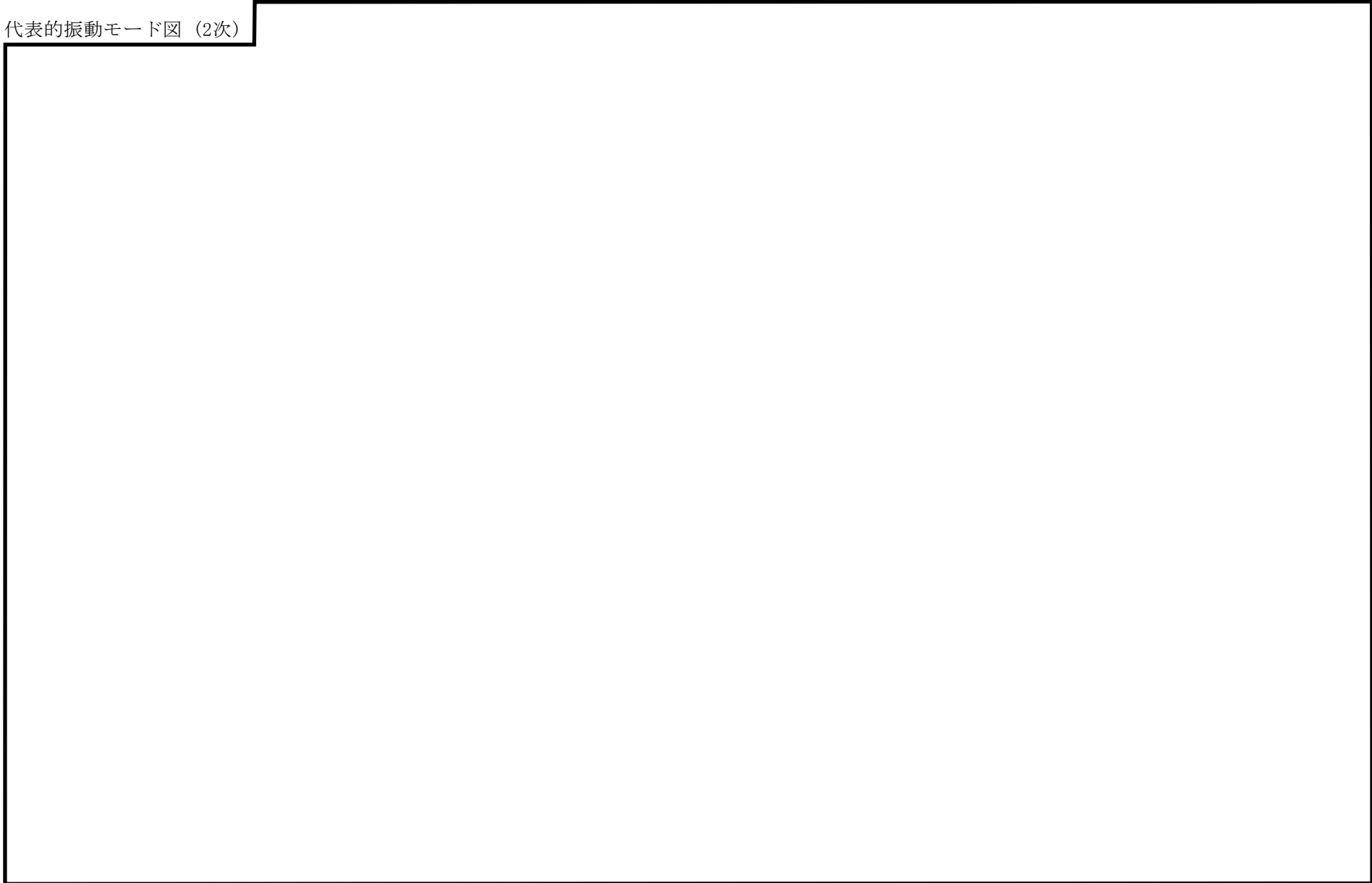
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

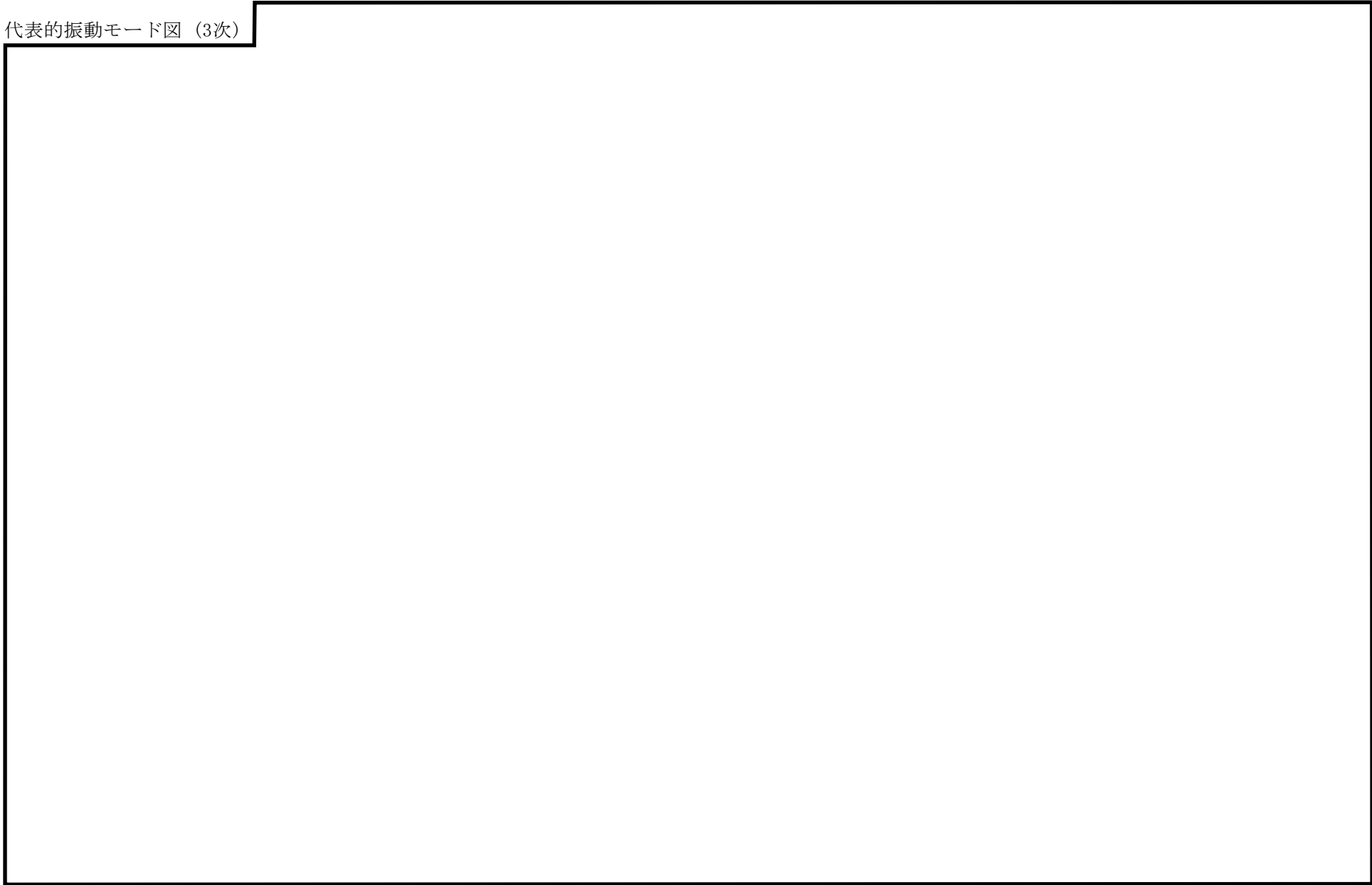
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	FCS-R-2	3	44	211	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FCS-R-3	87	216	438	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FCS-R-2	10	75	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FCS-R-3	87	466	438	0.6098

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については、 S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SNO-FCS-236	オイルスナッパ	SN-6		48	90	—	
RE-FCS-234	ロッドレストレイント	RSA-6		54	108	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		
—	—	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-FCS-220	レストレイント	パイプバンド	SM400B	171	0	39	12	—	—	—	圧縮	28	121
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}					
								動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
MV229-1B	電動ゲート弁	β (S s)	6.5	4.0	7.6	6.0	6.0	20.0	20.0	ボンネット	組合せ	147	325

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FCS-R-1	15	36	211	5.86	—	70	192	422	2.19	—	—
2	FCS-R-2	3	44	211	4.79	○	10	156	422	2.70	—	—
3	FCS-R-3	17	39	211	5.41	—	87	216	438	2.02	—	○
4	FCS-R-4	44	40	211	5.27	—	85	98	438	4.46	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FCS-R-1	15	65	363	5.58	—	70	290	422	1.45	—	—
2	FCS-R-2	10	75	363	4.84	○	10	268	422	1.57	—	—
3	FCS-R-3	40	72	363	5.04	—	87	466	438	0.93	0.6098	○
4	FCS-R-4	44	68	363	5.33	—	85	202	438	2.16	—	—

VI-2-9-4-5-2-2 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の
耐震性についての計算書

- (1) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置
- (2) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ

(1) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	3
2.3 適用規格・基準等	4
2.4 記号の説明	5
2.5 計算精度と数値の丸め方	6
3. 評価部位	6
4. 固有周期	6
5. 構造強度評価	7
5.1 構造強度評価方法	7
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	7
5.3 設計用地震力	10
5.4 計算方法	11
5.5 計算条件	14
5.6 応力の評価	14
6. 評価結果	14
6.1 設計基準対象施設としての評価結果	14
7. 参照図書	14

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、可燃性ガス濃度制御系再結合装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

可燃性ガス濃度制御系再結合装置は、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ブロワ等はスキッドベースに溶接で固定され、スキッドベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>熱反応式 (スキッドベース上にブロワ及びヒータボックスを取り付けた構造)</p>	<p>(側面図) (全体図)</p> <p>(平面図) (単位: mm)</p>

2.2 評価方針

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す可燃性ガス濃度制御系再結合装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価フローを図2-1に示す。

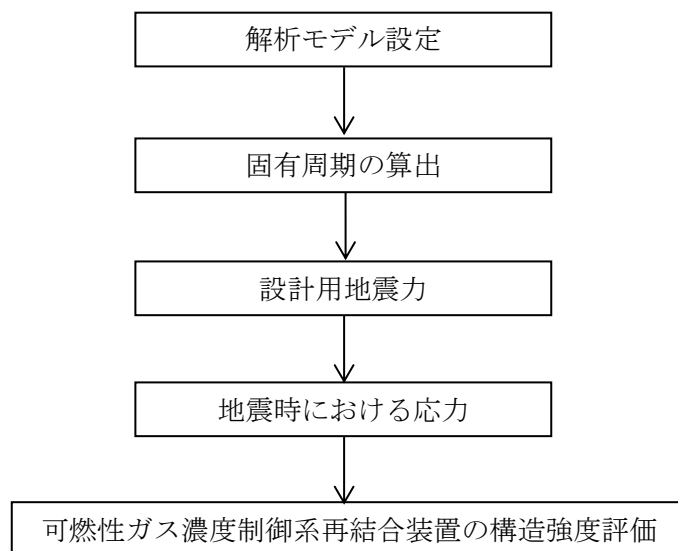


図2-1 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bh}	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3133 に定める値	MPa
F_{bh}	基礎ボルトに作用する引張力 (1本あたり)	N
f_{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
h	据付面又は取付面から重心までの距離	mm
l_1	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
l_2	重心と基礎ボルト間の水平方向距離*	mm
m	可燃性ガス濃度制御系再結合装置の質量	kg
n	せん断力を受ける基礎ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
Q_{bh}	基礎ボルトに作用するせん断力	N
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40°Cにおける値	MPa
π	円周率	—
σ_{bh}	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ_{bh}	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

注記* : $l_1 \leq l_2$

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりとする。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルトについて実施する。可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

固有周期は、既工認から変更はなく「7. 参照図書」に示すとおり 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

- (1) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置の質量は重心に集中するものとする。
- (2) 地震力は、可燃性ガス濃度制御系再結合装置に対して、水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (3) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置全体の構造強度評価に対するブロワの運転による影響は微小であるため、ブロワの振動は考慮しないものとする。
- (4) 転倒方向は図 5-1 及び図 5-2 における長辺方向及び短辺方向について検討し、計算書には計算結果の厳しい方（許容値／発生値の小さい方をいう。）を記載する。
- (5) 耐震計算に用いる値は公称値を使用する。

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

可燃性ガス濃度制御系再結合装置基礎ボルトの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	可燃性ガス濃度制御系再結合装置	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度	100	685	847	—
基礎ボルト	SCM435 (径 ≤ 60mm)	周囲環境温度	100	685	847	—

5.3 設計用地震力

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に示す。

「弾性設計用地震動 S d 又は静的震度」及び「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.8*1	0.05 以下	$C_H=1.56^{*2}$	$C_V=1.31^{*2}$	$C_H=3.73^{*3}$	$C_V=2.32^{*3}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

基礎ボルトの応力は地震による震度により作用するモーメントによって生じる引張力とせん断力について計算する。

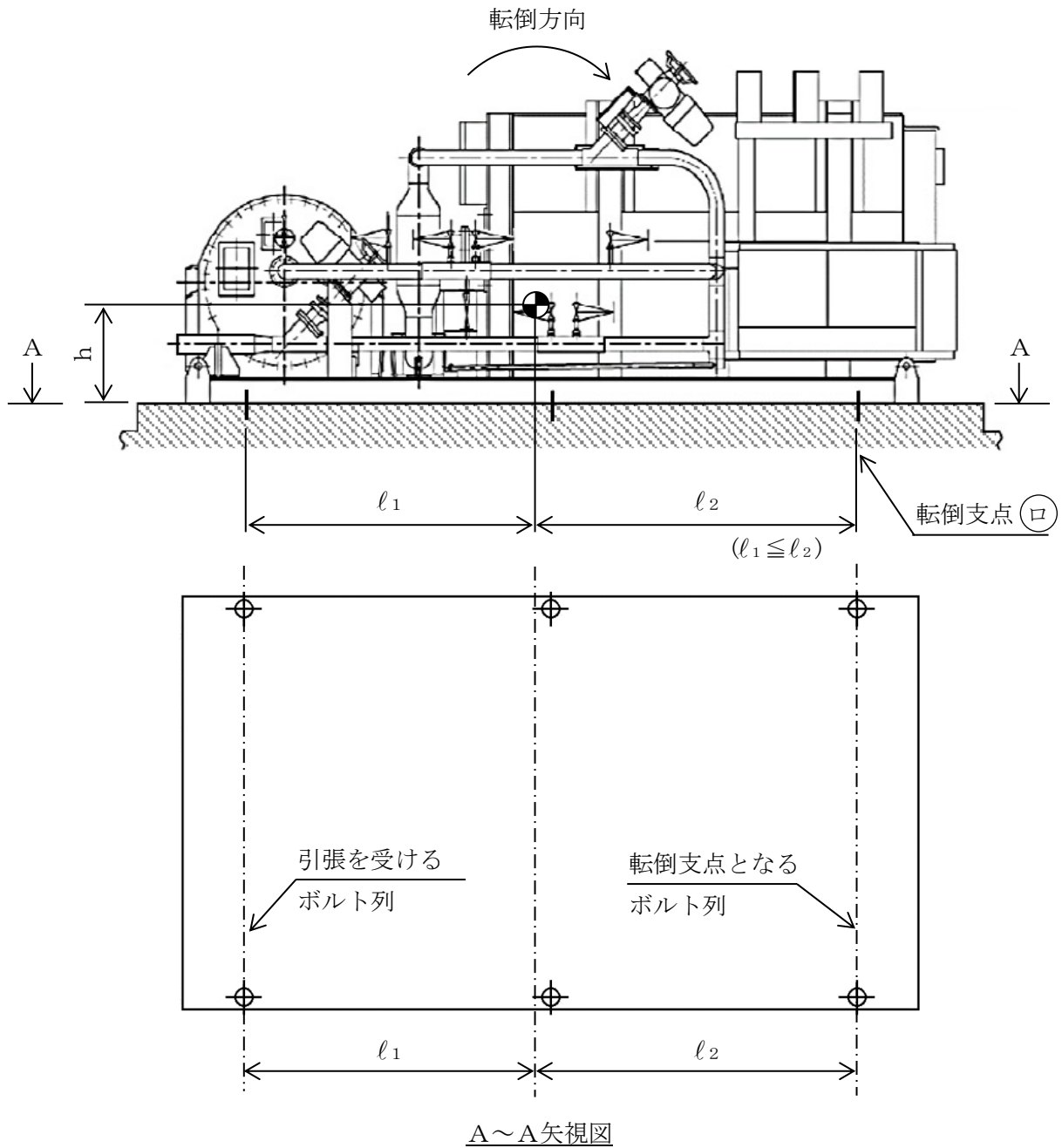


図 5-1 計算モデル（長辺方向転倒）

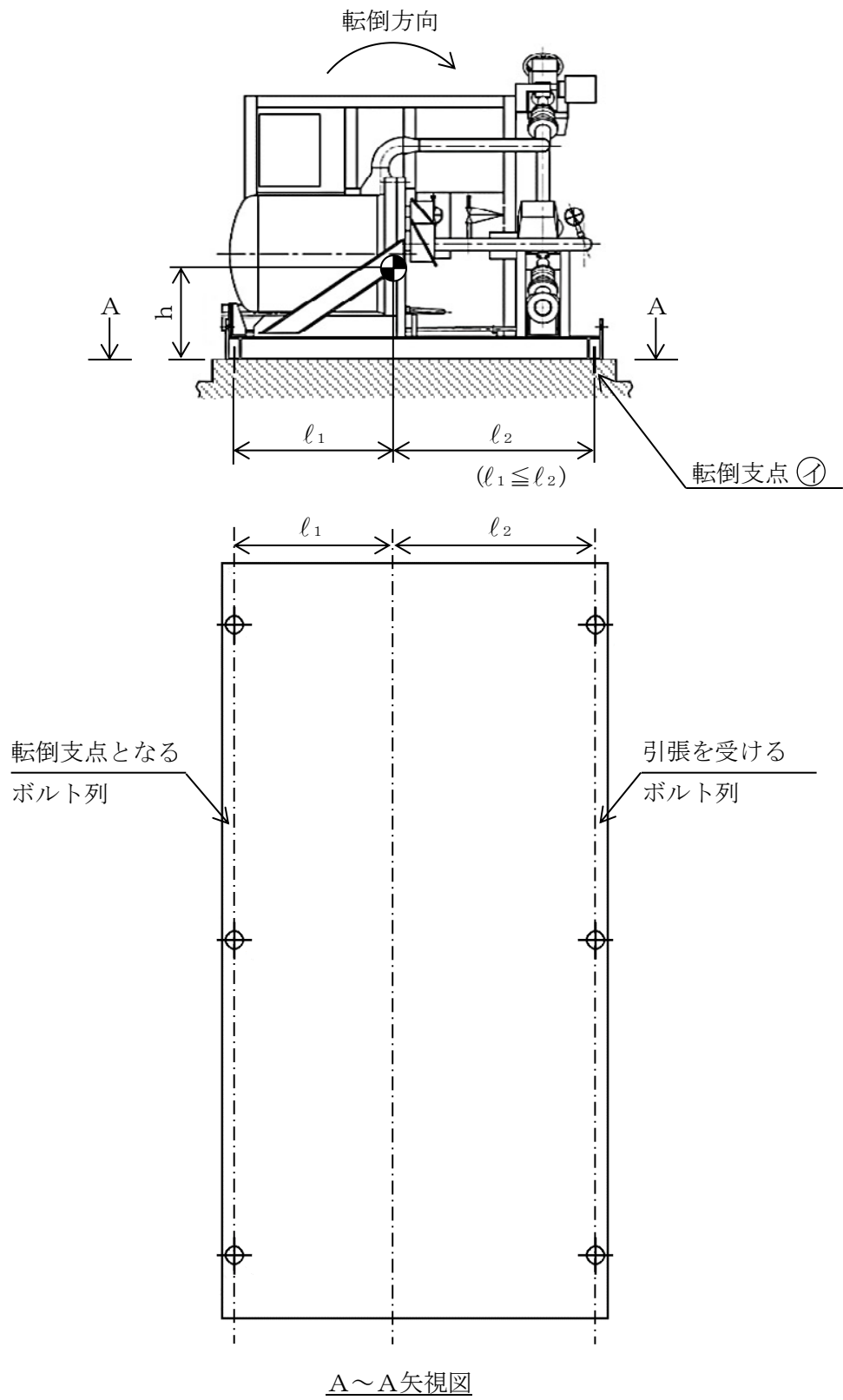


図 5-2 計算モデル (短辺方向転倒)

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は最も厳しい条件として、図 5-1 及び図 5-2 に示すモデルにより (イ) 点及び (ロ) 点を支点とする転倒を考え、これを片側の最外列の基礎ボルトで受けるものとして計算する。

引張力

$$F_{bh} = \frac{C_H \cdot m \cdot g \cdot h - (1 - C_V) \cdot m \cdot g \cdot \ell_2}{n_f \cdot (\ell_1 + \ell_2)} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.1)$$

引張応力

$$\sigma_{bh} = \frac{F_{bh}}{A_{bh}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2)$$

ここで、基礎ボルトの軸断面積 A_{bh} は次式により求める。

$$A_{bh} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (5.4.1.3)$$

ただし、 F_{bh} が負のとき基礎ボルトには引張力が生じないので、引張応力の計算は行わない。

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、基礎ボルト全本数で受けるものとして計算する。

せん断力

$$Q_{bh} = C_H \cdot m \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.4)$$

せん断応力

$$\tau_{bh} = \frac{Q_{bh}}{n \cdot A_{bh}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

基礎ボルトの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 基礎ボルトの応力評価

5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_{bh} は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は表5-5による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{bh}, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_{bh} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は表5-5による。

表5-5 許容応力

	弾性設計用地震動S _d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動S _s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 評価結果

6.1 設計基準対象施設としての評価結果

可燃性ガス濃度制御系再結合装置の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

7. 参照図書

- ・建設時第5回工事計画認可申請書（60資庁第11431号 昭和60年9月9日）
添付書類IV-2-7-1-2「可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算書」

【可燃性ガス濃度制御系再結合装置の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度 分類	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用 温度 (°C)	周囲環境 温度 (°C)
				水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
可燃性ガス濃度 制御系再結合装置	S	原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}	0.05 以下	C _H =1.56 ^{*2}	C _V =1.31 ^{*2}	C _H =3.73 ^{*3}	C _V =2.32 ^{*3}	—	100

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

部材	m (kg)	h (mm)	ℓ ₁ [*] (mm)	ℓ ₂ [*] (mm)	d (mm)	A _{bh} (mm ²)	n	n _f [*]
基礎ボルト								

部材	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F [*] (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	685	847	592	592	長辺方向	長辺方向

注記*：基礎ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F_{bh}		Q_{bh}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト				

1.4 結論

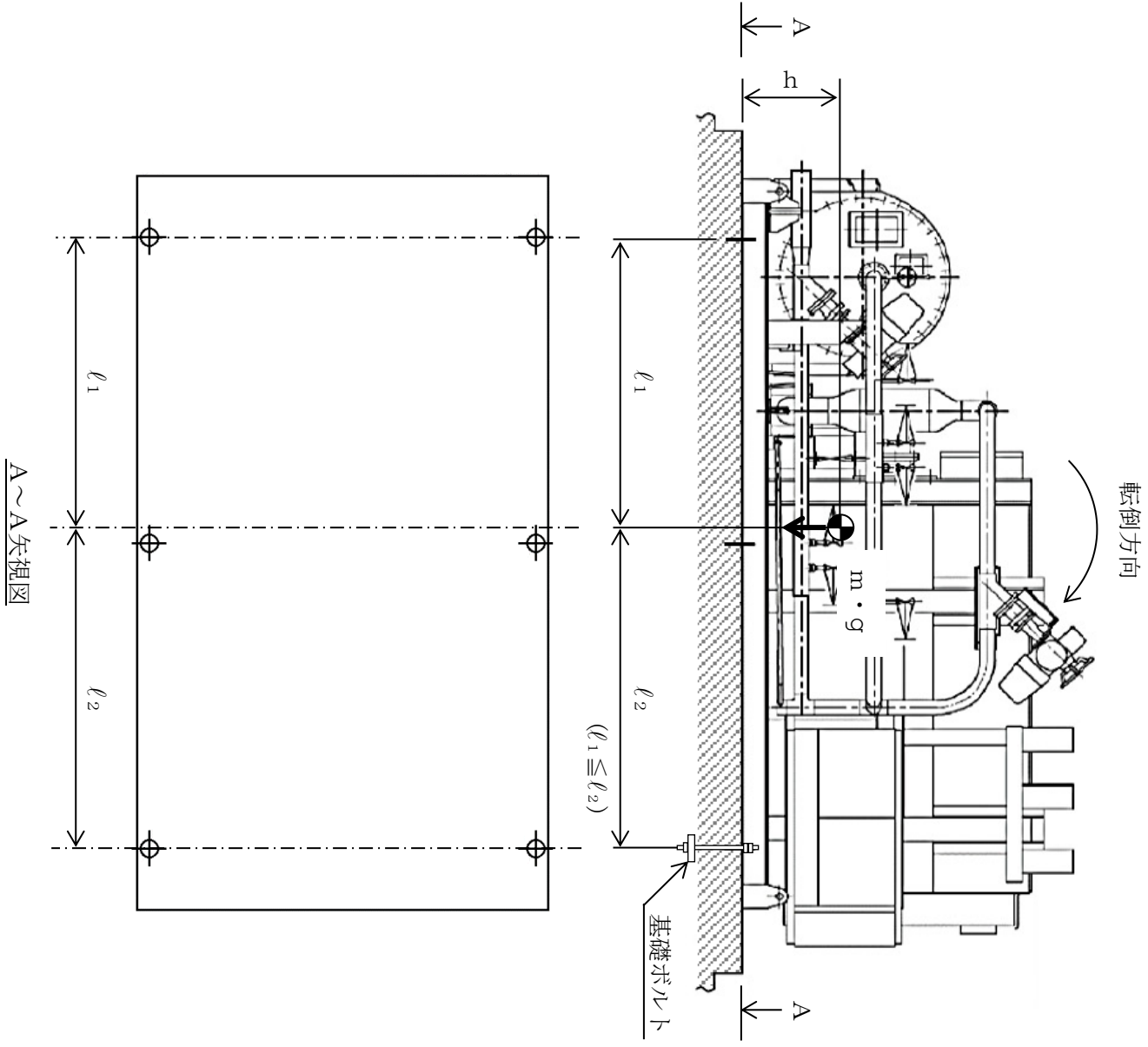
1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SCM435	引張	$\sigma_{bh}=52$	$f_{ts}=444^*$	$\sigma_{bh}=159$	$f_{ts}=386^*$
		せん断	$\tau_{bh}=62$	$f_{sb}=342$	$\tau_{bh}=148$	$f_{sb}=342$

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{bh}, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。



(2) 可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	5
2.3 適用規格・基準等	6
2.4 記号の説明	7
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 固有周期	11
4.1 固有周期の計算方法	11
4.2 固有周期の計算条件	12
4.3 固有周期の計算結果	12
5. 構造強度評価	13
5.1 構造強度評価方法	13
5.2 荷重の組合せ及び許容応力	14
5.3 設計用地震力	18
5.4 計算方法	18
5.5 計算条件	19
5.6 応力の評価	20
6. 機能維持評価	21
6.1 基本方針	21
6.2 ブロワの動的機能維持評価	22
6.3 原動機の動的機能維持評価	34
7. 評価結果	42
7.1 設計基準対象施設としての評価結果	42

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ（以下「ブロワ」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

ブロワは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び動的機能維持評価を示す。

なお、ブロワは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の遠心直動型ファンであり、機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、原子力発電所耐震設計技術指針（J E A G 4 6 0 1-1991 追補版）（（社）日本電気協会 電気技術基準調査委員会平成3年6月）（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

ブロワの構造計画を表2-1～表2-3に示す。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>キャンはキャン取付ボルトでサポートプレートに固定され、サポートプレート、ブレース及びベースは溶接で固定され、サポートプレート及びベースはスキッドベース（再結合装置と共通）に溶接で固定される。</p>	<p>キャンド形遠心式 (遠心直動型ファン)</p>	<p>(平面図)</p> <p>サポートプレート</p> <p>ブレース</p> <p>キャン</p> <p>キャン取付ボルト</p> <p>溶接</p> <p>溶接</p> <p>溶接</p> <p>スキッドベース (再結合装置と共通)</p> <p>1160</p> <p>ベース</p> <p>(全体図)</p> <p>1226</p> <p>1100</p> <p>(背面図)</p> <p>(単位: mm)</p>

表 2-2 構造計画 (その 2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ブロワはケーシング取付ボルトで原動機に固定され、原動機は原動機取付ボルトでブラケットに固定される。ブラケットはブラケット取付ボルトでサポートプレートに固定される。</p>	<p>キャンド形遠心式 (遠心直動型ファン)</p>	<p>ケーシング取付ボルト</p> <p>ケーシング</p> <p>インペラ</p> <p>原動機取付ボルト</p> <p>ブロワ</p> <p>原動機</p> <p>サポートプレート</p> <p>ブラケット取付ボルト</p> <p>ブラケット</p> <p>(キャン内部構造図)</p>

表 2-3 構造計画 (その 3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機の軸 (回転子) は軸受に支持され, 軸受及び固定子はモータフレームに支持される。</p>	<p>誘導電動機 (横形ころがり軸受電動機)</p>	<p>(正面図) (A-A断面図)</p> <p>(原動機構造図)</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

ブロワの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示すブロワの部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4. 固有周期」にて算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「5. 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、ブロワの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が動的機能確認済加速度以下であることを、「6. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

ブロワの耐震評価フローを図2-1に示す。

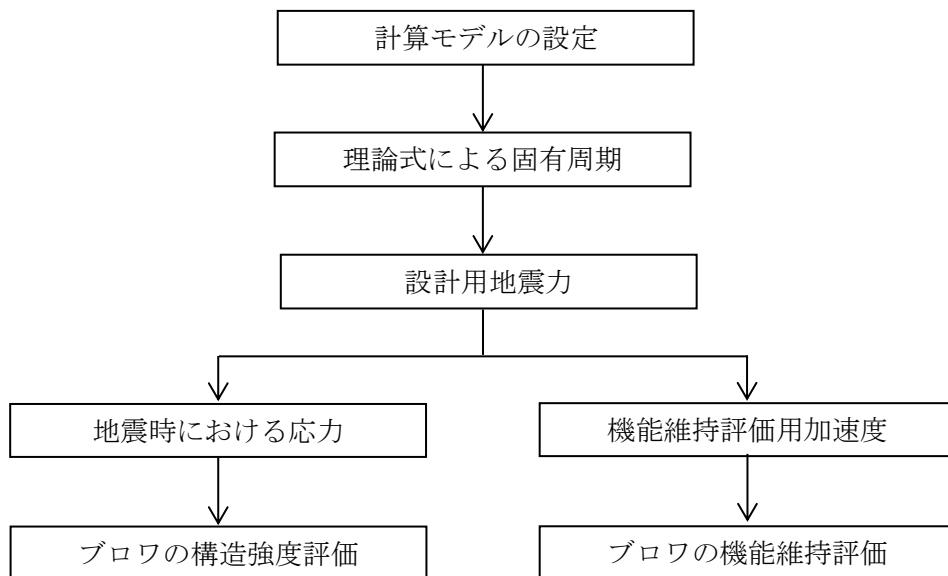


図2-1 ブロワの耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	鉛直方向荷重を受ける支持構造物の断面積	mm ²
A _b	ブレースの断面積	mm ²
A _s	水平方向荷重を受ける支持構造物の有効せん断断面積	mm ²
A _{s b}	ブレースの有効せん断断面積	mm ²
A _{s s}	サポートプレートの有効せん断断面積	mm ²
A _{HW}	水平方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm ²
A _{VW}	鉛直方向荷重を受ける溶接部の有効断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
C _P	ブロワ振動による震度	—
E	支持構造物の縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F [*]	設計・建設規格 SSB-3121.3に定める値	MPa
F _{CB}	ブレースに作用する圧縮力	N
F _{HB}	ブレースに作用する水平方向反力	N
F _{HW}	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断荷重	N
F _{VB}	ブレースに作用する鉛直方向反力	N
F _{VW}	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断荷重	N
f _{bc}	ブレースの許容圧縮応力	MPa
f _{ws}	ベース取付溶接部の許容せん断応力	MPa
G	支持構造物のせん断弾性係数	MPa
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
H _P	予想最大両振幅	μm
h _c	ブロワ水平方向重心位置	mm
I _H	水平方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメント	mm ⁴
I _b	ブレースの断面二次モーメント	mm ⁴
I _V	鉛直方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメント	mm ⁴
i	座屈軸についての断面二次半径	mm
L	重心高さ (ブロワ中心高さ)	mm
ℓ	ブロワベース長さ	mm
ℓ _B	ブレース水平方向投影長さ	mm
ℓ _k	ブレース長さ	mm
m _C	ブロワ質量	kg
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
P _B	ブレースに作用する水平方向荷重	N
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
T_H	水平方向固有周期	s
T_V	鉛直方向固有周期	s
τ_w	ベース取付溶接部に作用する最大せん断応力	MPa
τ_{w1}	ベース取付溶接部に作用する水平方向せん断応力	MPa
τ_{w2}	ベース取付溶接部に作用する鉛直方向せん断応力	MPa
σ_c	ブレースに生じる圧縮応力	MPa
Λ	圧縮材の限界細長比	—
λ	圧縮材の有効細長比	—
ν	設計・建設規格 SSB-3121.1(3)に定める値	—
π	円周率	—

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-4 に示すとおりである。

表 2-4 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	°C	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位
長さ	mm	—	—	整数位 ^{*1}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
断面二次モーメント	mm ⁴	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*2}
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*3}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第 1 位の場合は、小数点以下第 1 位表示とする。

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第 1 位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

ブロワの耐震評価は、「5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなるブレース及びベース取付溶接部について実施する。ブロワの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

4. 固有周期

4.1 固有周期の計算方法

ブローの固有周期の計算方法を以下に示す。

(1) 計算モデル

- ブローの質量は重心に集中するものとする。
- ブローは溶接によりスキッドベースに固定されており，固定端とする。
- 耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。
- ブローは，図 4-1 及び図 4-2 に示す下端固定の 1 質点系振動モデルとして考える。

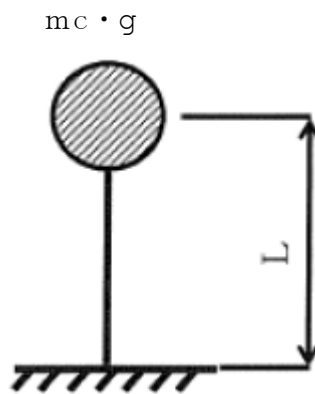


図 4-1 水平方向固有周期の計算モデル

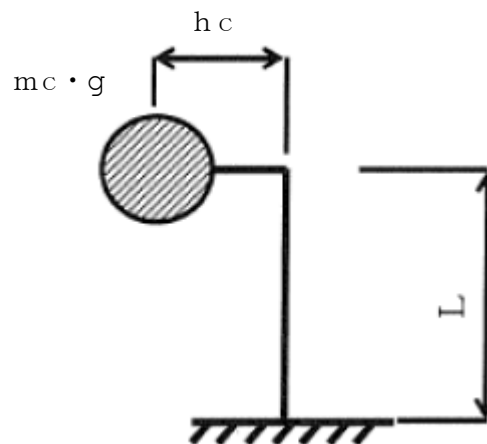


図 4-2 鉛直方向固有周期の計算モデル

(2) 水平方向固有周期

水平方向固有周期は次式で求める。

$$T_H = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m c}{1000} \cdot \left(\frac{L^3}{3 \cdot E \cdot I_H} + \frac{L}{G \cdot A_s} \right)} \dots\dots\dots (4.1.1)$$

ここで、水平方向荷重を受ける支持構造物の断面二次モーメントは、

$$I_H = I_v + 2 \cdot I_b \dots\dots\dots (4.1.2)$$

水平方向荷重を受ける支持構造物の有効せん断断面積は、

$$A_s = A_{s s} + 2 \cdot A_{s b} \dots\dots\dots (4.1.3)$$

(3) 鉛直方向固有周期

鉛直方向固有周期は次式で求める。

$$T_v = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{m c}{1000} \cdot \left(\frac{L \cdot h c^2}{E \cdot I_v} + \frac{L}{E \cdot A} \right)} \dots\dots\dots (4.1.4)$$

4.2 固有周期の計算条件

固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【プロワの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

4.3 固有周期の計算結果

固有周期の計算結果を表 4-1 に示す。計算の結果、固有周期は 0.05 秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表 4-1 固有周期 (単位：s)

水平	<input type="text"/>
鉛直	<input type="text"/>

5. 構造強度評価

5.1 構造強度評価方法

4.1 項 a. ~d. のほか、次の条件で評価する。

- (1) 地震力はブローに対して水平方向及び鉛直方向から作用するものとする。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。
- (2) ブレース
 - a. ブローの質量は、2本のブレースに均等にかかるため、1本のブレースについて計算する。
 - b. 荷重方向はブレースの応力が最も厳しい方向として図5-1の方向を計算する。

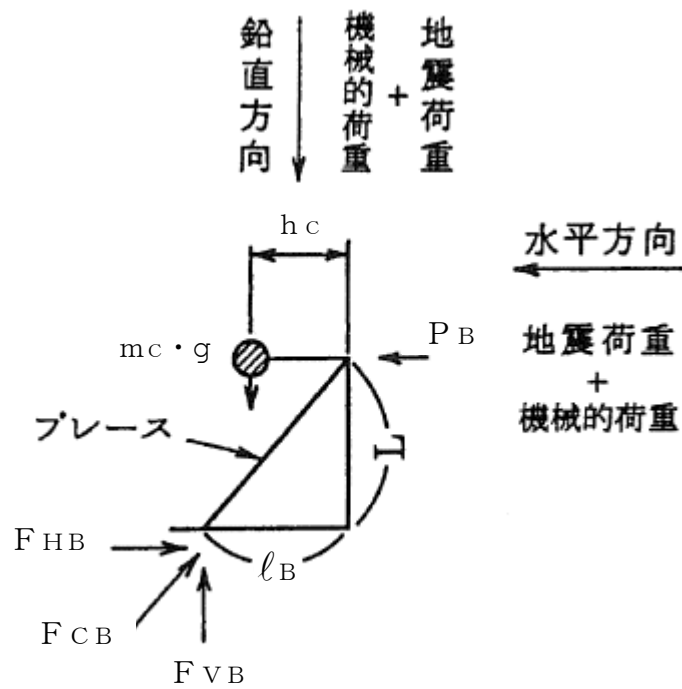


図5-1 ブレースに作用する荷重

(3) ベース取付溶接部

- a. 荷重がベース取付溶接部に水平方向せん断荷重として作用する場合と、転倒モーメントによる鉛直方向せん断荷重として作用する場合について計算する。
- b. 転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として図5-2の転倒支点を支点とする方向を計算する。

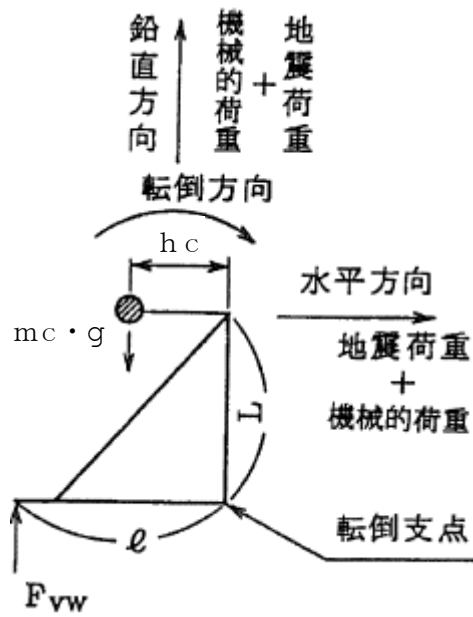


図 5-2 ベース取付溶接部に作用する荷重

5.2 荷重の組合せ及び許容応力

5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

ブロワの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-1 に示す。

5.2.2 許容応力

ブロワの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 5-2 のとおりとする。

5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

ブロワの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-3 に示す。

表 5-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備	可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロワ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
	$D + P_D + M_D + S_s$				Ⅳ _A S	

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 5-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	
	一次応力	
	せん断	圧縮
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 5-3 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		最高使用温度				
ブレース	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	171	201	373	—
ベース取付溶接部	SS41* (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	171	201	373	—

注記* : SS400 相当

5.3 設計用地震力

プロワの設計用地震力のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 5-4 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7 「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 5-4 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建物 EL 34.8 ^{*1}			C _H =3.73 ^{*2}	C _V =2.32 ^{*2}	C _H =3.73 ^{*3}	C _V =2.32 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S_d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

5.4 計算方法

5.4.1 応力の計算方法

5.4.1.1 ブレースの応力

(1) 圧縮応力

ブレースに作用する水平方向反力は

$$F_{HB} = P_B = \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_P) \cdot m_C \cdot g \quad \dots \quad (5.4.1.1.1)$$

ここで、C_Pはプロワ振動による振幅及び原動機の同期回転数を考慮して定める値である。

$$C_P = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{H_P}{1000} \cdot \left(2 \cdot \pi \cdot \frac{N}{60}\right)^2}{g \cdot 1000} \quad \dots \quad (5.4.1.1.2)$$

ブレースに作用する鉛直方向反力は

$$F_{VB} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot m_C \cdot g \cdot h_C + \frac{1}{2} \cdot (C_H + C_P) \cdot m_C \cdot g \cdot L}{\ell_B} \quad \dots \quad (5.4.1.1.3)$$

ブレースに作用する圧縮力は

$$F_{CB} = \sqrt{F_{HB}^2 + F_{VB}^2} \quad \dots \quad (5.4.1.1.4)$$

圧縮応力は

$$\sigma_c = \frac{F_{CB}}{A_b} \quad \dots \quad (5.4.1.1.5)$$

5.4.1.2 ベース取付溶接部の応力

(1) 水平方向せん断応力

水平方向せん断荷重はベース取付溶接部に作用するものとして計算する。

水平方向せん断荷重

$$F_{HW} = (C_H + C_P) \cdot m_C \cdot g \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.1)$$

水平方向せん断応力

$$\tau_{W1} = \frac{F_{HW}}{A_{HW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.2)$$

(2) 鉛直方向せん断応力

転倒方向はベース取付溶接部に対する鉛直方向せん断荷重が最も厳しい方向として
図5-2の転倒支点を支点とする方向を計算する。

鉛直方向せん断荷重

$$F_{VW} = \frac{(C_V + C_P - 1) \cdot m_C \cdot g \cdot h_C + (C_H + C_P) \cdot m_C \cdot g \cdot L}{\ell} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.3)$$

鉛直方向せん断応力

$$\tau_{W2} = \frac{F_{VW}}{A_{VW}} \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.4)$$

(3) ベース取付溶接部の応力

$$\tau_W = \text{Max}[\text{水平方向せん断応力} (\tau_{W1}), \text{鉛直方向せん断応力} (\tau_{W2})] \quad \dots\dots\dots (5.4.1.2.5)$$

5.5 計算条件

5.5.1 ブレースの応力計算条件

ブレースの応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブローの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.5.2 ベース取付溶接部の応力計算条件

ベース取付溶接部の応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【ブローの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

5.6 応力の評価

5.6.1 ブレースの応力評価

5.4項で求めたブレースの圧縮応力 σ_c は許容圧縮応力 f_{bc} 以下であること。ただし、 f_{bc} は下表による。

	弾性設計用地震動S _d 又は 静的震度による荷重との組合せ の場合	基準地震動S _s による荷重との 組合せの場合
許容圧縮応力 f_{bc}	$\left\{1-0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F}{\nu} \cdot 1.5$	$\left\{1-0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2\right\} \cdot \frac{F^*}{\nu} \cdot 1.5$

ここで、 λ は、圧縮材の有効細長比で、次の計算式による。

$$\lambda = \frac{\ell_k}{i} \dots\dots\dots (5.6.1.1)$$

Λ は、圧縮材の限界細長比で、次の計算式による。

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \dots\dots\dots (5.6.1.2)$$

注：基準地震動S_s評価の場合は、FをF*に置き換える。

ν は、次の計算式による。

$$\nu = 1.5 + \frac{2}{3} \left(\frac{\lambda}{\Lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (5.6.1.3)$$

5.6.2 ベース取付溶接部の応力評価

5.4項で求めたベース取付溶接部に作用するせん断応力 τ_w は許容せん断応力 f_{ws} 以下であること。ただし、 f_{ws} は下表による。

	弾性設計用地震動S _d 又は 静的震度による荷重との組合せ の場合	基準地震動S _s による荷重との 組合せの場合
許容せん断応力 f_{ws}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

6. 機能維持評価

6.1 基本方針

ブロワ及び原動機は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載の遠心直動型ファン及び横形ころがり軸受電動機であり、表6-1に示すとおり機能維持評価において機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を上回ることから、J E A G 4 6 0 1 に定められた評価部位の健全性を詳細評価することで動的機能維持の確認を行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

詳細評価に用いる応答加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

表 6-1 機能維持評価用加速度及び機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	形式	方向	機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
ファン	遠心直動型 ファン	水平	2.26	2.6
		鉛直	2.69	1.0
原動機	横形ころがり 軸受電動機	水平	2.26	4.7
		鉛直	2.69	1.0

6.2 ブロワの動的機能維持評価

ブロワは、地震後機能維持が要求される設備であるが、ブロワの動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

6.2.1 評価対象部位

ブロワは、横置型の原動機にインペラを直接取り付け付けた遠心式ブロワであり、J E A G 4 6 0 1 に示される遠心直動型ファンと同等の構造であるため、J E A G 4 6 0 1 に記載のファンの動的機能維持評価を基に、以下の部位について評価を実施する。

- a. 軸
- b. 軸受
- c. インペラとファンケーシング間のクリアランス
- d. ファンケーシング
- e. 軸シール
- f. 軸系架台
- g. ファンケーシング固定ボルト
- h. 電動機固定ボルト
- i. 基礎ボルト

このうち「a. 軸」及び「b. 軸受」については、「6.3 原動機の動的機能維持評価」に含まれる。

「d. ファンケーシング」は、キャン及びケーシングが該当するが、これらは十分な剛性を有しており、地震時にはこれらの固定ボルトに最も荷重が作用することから、キャン及びケーシングの評価は対象外とする。

「e. 軸シール」及び「f. 軸系架台」は、ブロワの構成部材にはないため、評価対象外とする。

「i. 基礎ボルト」は、基礎ボルトに相当するブレース及びベース取付溶接部が「5. 構造強度評価」に従い評価を行った「7. 評価結果」にて設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認している。

また、原動機の評価対象部位である端子箱はブロワのサポートプレートに取り付けられているためブロワ側の評価対象部位としているが、端子箱は箱状の構造物で十分な剛性を有しており、軽量であること、及び当該機器に掛かる荷重は原動機取付ボルトで代表されることから、評価対象外とする。

以上より、本計算書においては、インペラとファンケーシング間のクリアランスに相当する部位としてインペラとケーシング間のクリアランス、ファンケーシング固定ボルトに相当する部材としてキャン取付ボルト及びケーシング取付ボルト、電動機固定ボルトに相当する部材として原動機取付ボルト及びブラケット取付ボルトを評価対象部位とする。

6.2.2 評価基準値

原動機取付ボルト，ブラケット取付ボルト，キャン取付ボルト及びケーシング取付ボルトの許容応力は，その他の支持構造物の許容応力状態IV_ASに準拠し設定する。また，インペラとケーシング間のクリアランスについては，変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値を表6-2に示す。

表6-2 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値	
原動機取付ボルト	引張	SS41*	MPa		
	せん断	SS41*	MPa		
ブラケット取付ボルト	引張	SS41*	MPa		
	せん断	SS41*	MPa		
キャン取付ボルト	引張		MPa		
	せん断		MPa		
ケーシング取付ボルト	引張		MPa		
	せん断		MPa		
インペラとケーシング間のクリアランス		—	mm		

注記*：SS400相当

6.2.3 記号の説明

ブロワの動的機能維持評価に使用する記号を表6-3に示す。

表 6-3 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{bi}	ボルトの断面積*	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ブロワ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_{cb}	キャン取付ボルトのピッチ円直径	mm
D_{ci}	キャンの内径	mm
D_{fb}	ケーシング取付ボルトのピッチ円直径	mm
D_{fs}	軸の外径	mm
E_{fs}	軸の縦弾性係数	MPa
F_{bi}	ボルトに作用する引張力 (1本当たり) *	N
F_{bp}	最高使用圧力により生じる引張力	N
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s^2
$h_{1i} \sim h_{2i}$	ボルトの位置を示す鉛直方向距離*	mm
h_{f1}	インペラ中心からインペラでケーシングに最も近い位置までの距離	mm
h_{f2}	ケーシング中心からケーシングでインペラに最も近い位置までの距離	mm
I_{fs}	軸の断面二次モーメント	mm^4
$k_{\theta r}$	軸直角方向回転ばね剛性	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$
$k_{\theta t}$	軸方向回転ばね剛性	$\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$
$l_{1i} \sim l_{3i}$	ボルトの位置を示す水平方向距離*	mm
l_{fs}	インペラ重心から負荷側軸受までの距離	mm
M_P	ブロワの回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
N	回転数 (原動機の同期回転数)	rpm
n_{bi}	ボルトの本数*	—
n_{f1i}, n_{f2i}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*	—
P	原動機出力	kW
P_0	最高使用圧力	MPa

記号	記号の説明	単位
Q_{bi}	ボルトに作用するせん断力*	N
W_{11}	原動機の質量	kg
W_{12}	ケーシングの質量	kg
W_{13}	ブラケットの質量	kg
W_{14}	インペラの質量	kg
W_{15}	キャンの質量	kg
W_{16}	軸の質量	kg
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa
β_1	軸のたわみ角	rad
β_2	ケーシングの軸方向の傾き角	rad
β_3	ケーシングの軸直角方向の傾き角	rad
δ	インペラとケーシングの合計変位量	mm
δ_1	軸のたわみ量	mm
δ_2	軸のたわみによるインペラの変位量	mm
δ_3	ケーシングの傾きによる軸方向の変位量	mm
δ_4	ケーシングの傾きによる軸直角方向の変位量	mm

注記* : A_{bi} , F_{bi} , $h_{1i} \sim h_{3i}$, $l_{1i} \sim l_{3i}$, n_{bi} , n_{f1i} , n_{f2i} , Q_{bi} , σ_{bi} 及び τ_{bi} の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 原動機取付ボルト

$i = 2$: ブラケット取付ボルト

$i = 3$: キャン取付ボルト

$i = 4$: ケーシング取付ボルト

6.2.4 評価方法

(1) 原動機取付ボルト

図6-1に示す計算モデルにて、原動機取付ボルトに生じる荷重を算出し、原動機取付ボルトに生じる応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

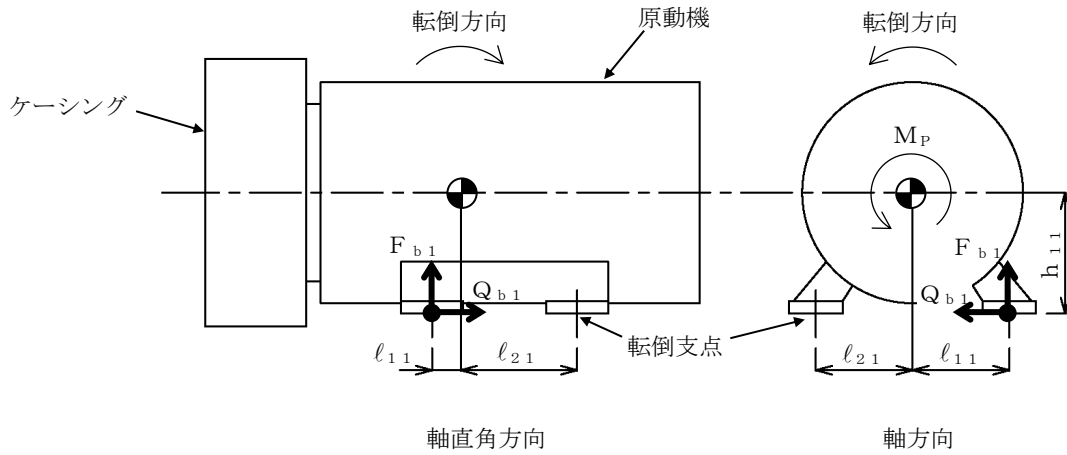


図6-1 原動機取付ボルトの計算モデル

原動機取付ボルトに生じる引張応力 σ_{b1} は次式で求める。

$$\sigma_{b1} = F_{b1} / A_{b1} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.1)$$

ここで、原動機取付ボルト1本当たりに作用する引張力 F_{b1} は

軸直角方向

$$F_{b1} = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_{11} + M_P + (W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_V + C_P - 1) \cdot l_{21}}{n_{f11} \cdot (l_{11} + l_{21})} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.2)$$

軸方向

$$F_{b1} = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_{11} + (W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_V + C_P - 1) \cdot l_{21}}{n_{f21} \cdot (l_{11} + l_{21})} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.3)$$

ブロワの回転により作用するモーメント M_P は

$$M_P = \left(\frac{60}{2 \cdot \pi \cdot N} \right) \cdot 10^6 \cdot P \quad \dots\dots\dots (6.2.4.4)$$

(1kW = 10⁶N·mm/s)

原動機取付ボルトに生じるせん断応力 τ_{b1} は次式で求める。

$$\tau_{b1} = Q_{b1} / (n_{b1} \cdot A_{b1}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.5)$$

ここで、原動機取付ボルトに生じるせん断力 Q_{b1} は

$$Q_{b1} = (W_{11} + W_{12} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.6)$$

(2) ブラケット取付ボルト

図 6-2 に示す計算モデルにて、ブラケット取付ボルトに生じる荷重を算出し、ブラケット取付ボルトに生じる応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

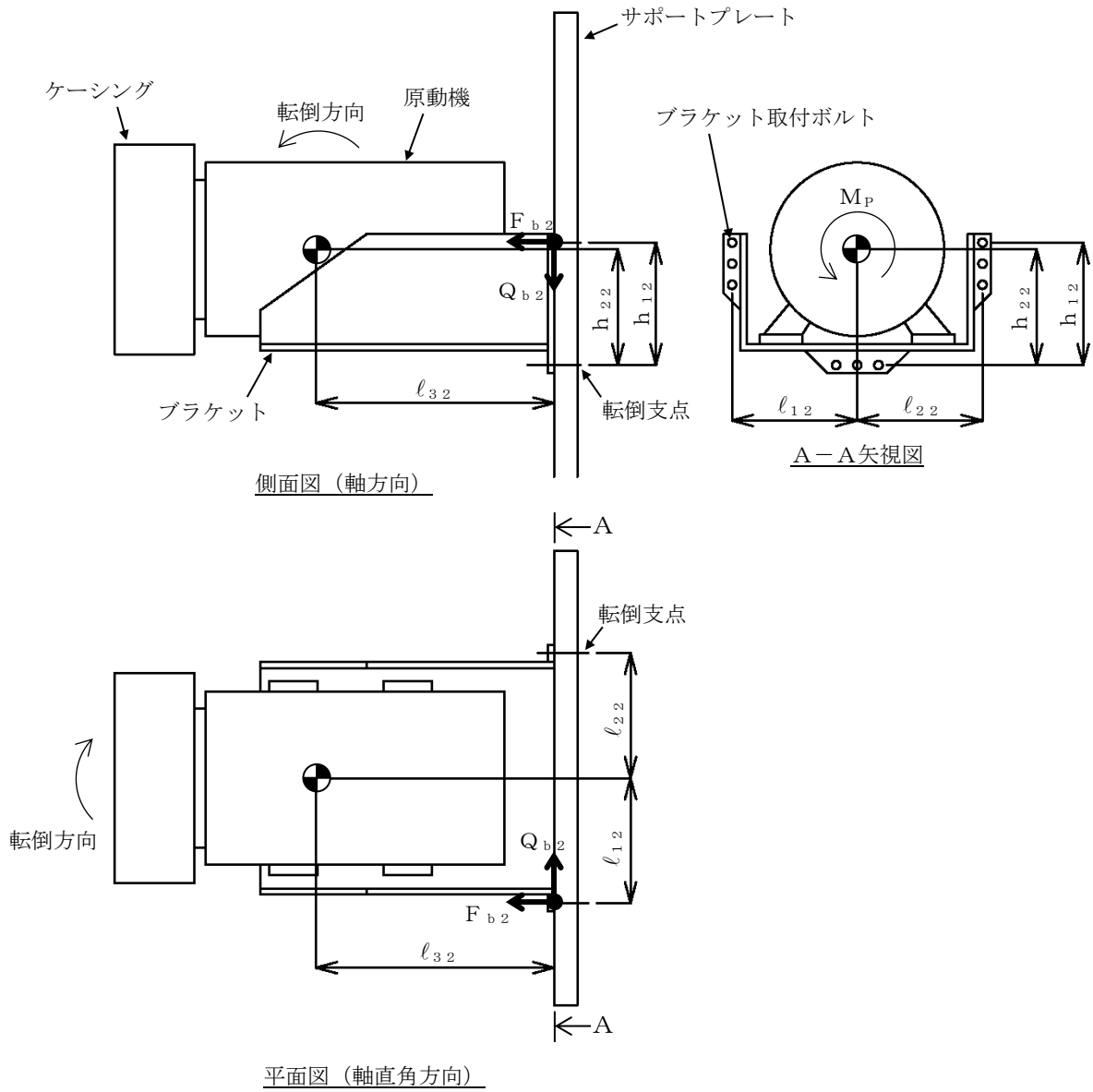


図 6-2 ブラケット取付ボルトの計算モデル

ブラケット取付ボルトに生じる引張応力 σ_{b2} は次式で求める。

$$\sigma_{b2} = F_{b2} / A_{b2} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.7)$$

ここで、ブラケット取付ボルト 1 本あたりに作用する引張力 F_{b2} は
軸直角方向

$$F_{b2} = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \ell_{32}}{n_{f22} \cdot h_{12}} + \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \ell_{32}}{n_{f12} \cdot (\ell_{12} + \ell_{22})} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.8)$$

軸方向

$$F_{b2} = \frac{(W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_{22} + (W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \ell_{32}}{n_{f22} \cdot h_{12}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.9)$$

ブラケット取付ボルトに生じるせん断応力 τ_{b2} は次式で求める。

$$\tau_{b2} = Q_{b2} / (n_{b2} \cdot A_{b2}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.10)$$

ここで、ブラケット取付ボルトに生じるせん断力 Q_{b2} は

$$Q_{b2} = (W_{11} + W_{12} + W_{13} + W_{14}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) + \frac{M_P}{h_{22}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.11)$$

(3) キャン取付ボルト

図 6-3 に示す計算モデルにて、キャン取付ボルトに生じる荷重を算出し、キャン取付ボルトに生じる応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

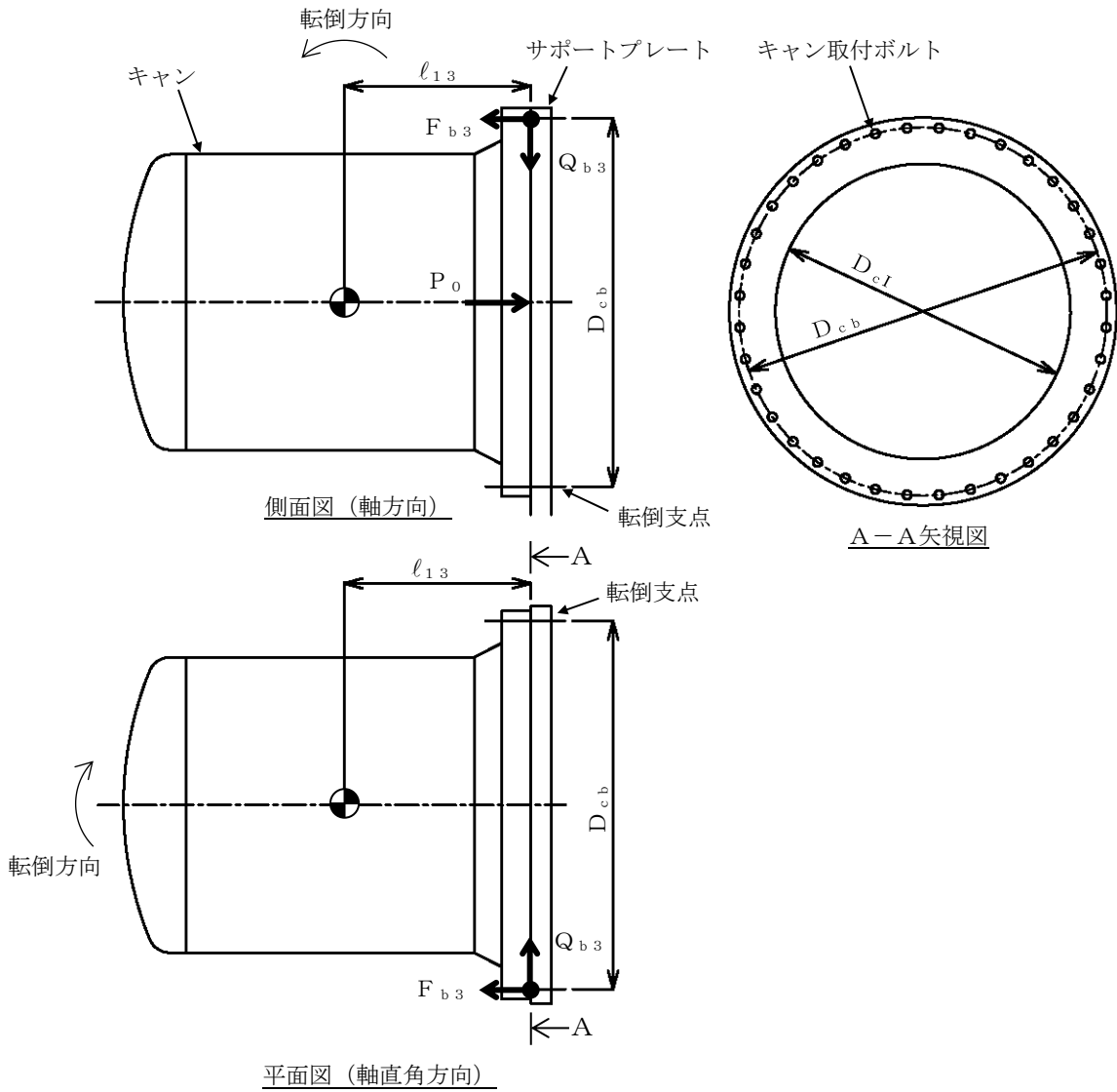


図 6-3 キャン取付ボルトの計算モデル

キャン取付ボルトに生じる引張応力 σ_{b3} は次式で求める。

$$\sigma_{b3} = F_{b3} / A_{b3} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.12)$$

ここで、キャン取付ボルト 1 本あたりに作用する引張力 F_{b3} は

軸直角方向

$$F_{b3} = \frac{\frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (W_{15} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \ell_{13}) + W_{15} \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \ell_{13}}{n_{f13}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.13)$$

軸方向

$$F_{b3} = \frac{\frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot (W_{15} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \frac{D_{cb}}{2}) + W_{15} \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot \ell_{13} + F_{bP}}{n_{f13}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.14)$$

最高使用圧力により生じる引張力 F_{bP} は

$$F_{bP} = \frac{8}{3 \cdot D_{cb}} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot D_{cI}^2 \cdot P_0 \cdot \frac{D_{cb}}{2} \right) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.15)$$

キャン取付ボルトに生じるせん断応力 τ_{b3} は次式で求める。

$$\tau_{b3} = Q_{b3} / (n_{b3} \cdot A_{b3}) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.16)$$

ここで、キャン取付ボルトに生じるせん断力 Q_{b3} は

$$Q_{b3} = W_{16} \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.17)$$

(4) ケーシング取付ボルト

図 6-4 に示す計算モデルにて、ケーシング取付ボルトに生じる荷重を算出し、ケーシング取付ボルトに生じる応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

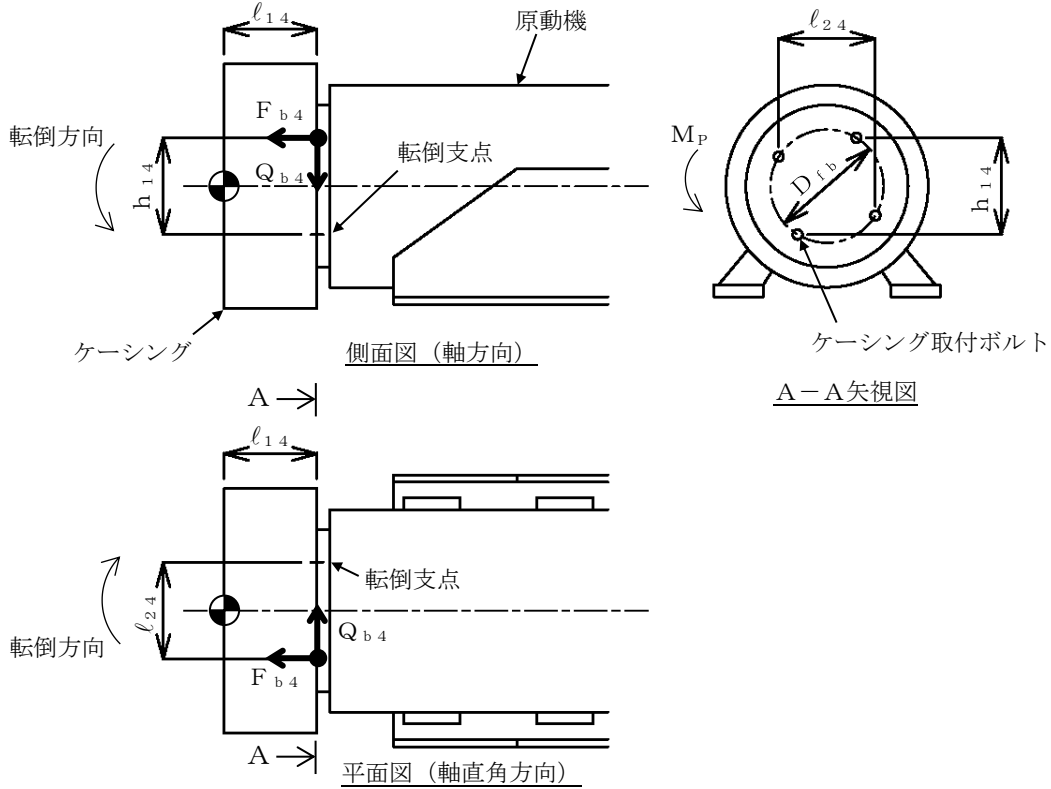


図 6-4 ケーシング取付ボルトの計算モデル

ケーシング取付ボルトに生じる引張応力 σ_{b4} は次式で求める。

$$\sigma_{b4} = F_{b4} / A_{b4} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.18)$$

ここで、ケーシング取付ボルト 1 本あたりに作用する引張力 F_{b4} は
軸直角方向

$$F_{b4} = \frac{W_{12} \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot l_{14}}{n_{f24} \cdot h_{14}} + \frac{W_{12} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot l_{14}}{n_{f14} \cdot l_{24}} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.19)$$

軸方向

$$F_{b4} = \frac{W_{12} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot \frac{h_{14}}{2} + W_{12} \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) \cdot l_{14}}{n_{f24} \cdot h_{14}} \quad \dots \dots \dots (6.2.4.20)$$

ケーシング取付ボルトに生じるせん断応力 τ_{b4} は次式で求める。

$$\tau_{b4} = Q_{b4} / (n_{b4} \cdot A_{b4}) \quad \dots \dots \dots (6.2.4.21)$$

ここで、ケーシング取付ボルトに作用するせん断力 Q_{b4} は

$$Q_{b4} = W_{12} \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (1 + C_V)^2} + C_P) + M_P \cdot \frac{2}{D_{fb}} \quad \dots \dots (6.2.4.22)$$

(5) インペラとケーシング間のクリアランス

図 6-5 に示す計算モデルにて、軸及びケーシングに地震力が作用することにより生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

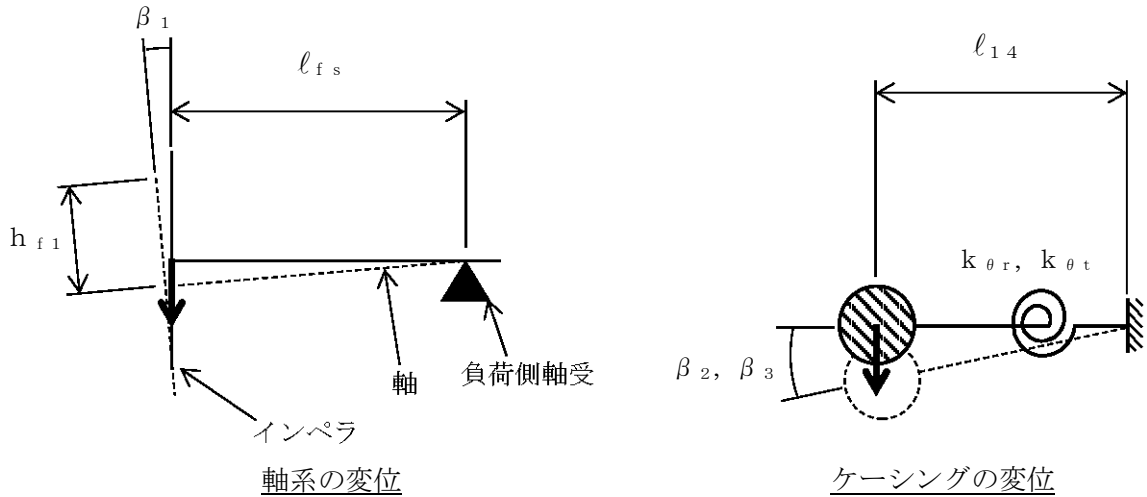


図 6-5 インペラとケーシング間のクリアランスの計算モデル

インペラとケーシングの合計変位量 δ は次式で求める。

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \sqrt{\delta_3^2 + \delta_4^2} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.23)$$

ここで、軸のたわみ量 δ_1 は

$$\delta_1 = \frac{(W_{14} + W_{16}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot l_{fs}^3}{3 \cdot E_{fs} \cdot I_{fs}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.24)$$

軸の断面二次モーメント I_{fs} は

$$I_{fs} = \frac{\pi \cdot D_{fs}^4}{64} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.25)$$

軸のたわみによるインペラの変位量 δ_2 は

$$\delta_2 = h_{f1} \cdot \beta_1 \quad \dots\dots\dots (6.2.4.26)$$

軸のたわみ角 β_1 は

$$\beta_1 = \frac{l_{fs}^2}{2 \cdot E_{fs} \cdot I_{fs}} \cdot (W_{14} + W_{16}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots\dots\dots (6.2.4.27)$$

ケーシングの傾きによる変位量は

軸方向の変位量 δ_3

$$\delta_3 = h_{f2} \cdot \beta_2 \quad \dots\dots\dots (6.2.4.28)$$

軸直角方向の変位量 δ_4

$$\delta_4 = h_{f2} \cdot \beta_3 \quad \dots\dots\dots (6.2.4.29)$$

ケーシングの傾き角は

軸方向の傾き角 β_2

$$\beta_2 = \frac{W_{12} \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot \ell_{14}}{k_{\theta t}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.30)$$

軸直角方向の傾き角 β_3

$$\beta_3 = \frac{W_{12} \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \cdot \ell_{14}}{k_{\theta r}} \quad \dots\dots\dots (6.2.4.31)$$

6.3 原動機の動的機能維持評価

ブロワは、地震後機能維持が要求される設備であるが、原動機の動的機能維持評価は保守的に動作時の評価を実施する。

6.3.1 評価対象部位

J E A G 4 6 0 1 における原動機の動的機能維持評価に従い、以下の部位について評価を実施する。

- a. 取付ボルト
- b. 固定子
- c. 軸（回転子）
- d. 端子箱
- e. 軸受
- f. 固定子と回転子間のクリアランス
- g. モータフレーム
- h. 冷却ファン、クーラユニット

このうち「a. 取付ボルト」及び「d. 端子箱」については、「6.2 ブロワの動的機能維持評価」に含まれる。「h. 冷却ファン、クーラユニット」については、冷却ファンは遠心直動式ファンであり、インペラ・ケーシング間の接触が回転機能の喪失に関わるが、原動機においては、同じ軸上に取り付けられている固定子と回転子のクリアランスの方が許容可能変位の観点より厳しいことから、当該クリアランスで回転機能維持の評価を代表するため、冷却ファンの評価を省略する。

以上より、本計算書においては、固定子、軸（回転子）、軸受、固定子と回転子間のクリアランス及びモータフレームを評価対象部位とする。

6.3.2 評価基準値

固定子及び軸（回転子）の許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅲ_ASに準拠し設定し、モータフレームの許容応力は、その他の支持構造物の許容応力状態Ⅳ_ASに準拠し設定する。また、軸受についてはメーカ規定の許容値を、固定子と回転子間のクリアランスについては、変位可能寸法を評価基準値として設定する。

評価基準値を表6-4に示す。

表6-4 評価基準値

評価対象部位		材料	単位	評価基準値
固定子		SS41*	MPa	
軸（回転子）			MPa	
軸受	負荷側	—	N	
	反負荷側	—	N	
固定子と回転子間のクリアランス		—	mm	
モータフレーム		SS41*	MPa	

注記* : SS400相当

6.3.3 記号の説明

可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ用原動機の動的機能維持評価に使用する記号を表6-5に示す。

表 6-5 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_F	モータフレーム（脚部）の断面積	mm^2
A_S	軸（回転子）の断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_P	ブロワ振動による震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
D_S	軸（回転子）の直径	mm
E_S	軸（回転子）の縦弾性係数	MPa
F_{B1}	負荷側軸受に生じる静等価荷重	N
F_{B2}	反負荷側軸受に生じる静等価荷重	N
F_H	水平方向（軸直角方向）地震力によりキーに生じるせん断力	N
F_K	キーに生じるせん断力	N
F_M	原動機の回転によりキーに生じるせん断力	N
F_R	軸（回転子）に生じるラジアル荷重	N
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
h_F	原動機取付面から原動機重心までの高さ	mm
I	軸（回転子）の断面二次モーメント	mm^4
l_b	モータフレームの脚部の長さ	mm
$l_{b,L}$	軸受間の距離	mm
l_{h1}	モータフレームの脚部間の距離（内側）	mm
l_{h2}	モータフレームの脚部間の距離（外側）	mm
L_K	キーと固定子の接触長さ	mm
$l_{r,C}$	軸受間の距離の1/2	mm
M_P	原動機の回転により作用するモーメント	$\text{N}\cdot\text{mm}$
Q_B	軸（回転子）に生じるスラスト荷重	N
r	固定子の半径	mm
t_K	キーの厚さ	mm
W_{21}	固定子の質量	kg
W_{22}	軸（回転子）の質量	kg

記号	記号の説明	単位
W_{23}	インペラの質量	kg
W_{24}	原動機の質量	kg
W_{25}	ケーシングの質量	kg
X_{01}	負荷側軸受の静ラジアル荷重係数	—
X_{02}	反負荷側軸受の静ラジアル荷重係数	—
y	軸（回転子）の変位量	mm
Y_{01}	負荷側軸受の静アキシアル荷重係数	—
Y_{02}	反負荷側軸受の静アキシアル荷重係数	—
Z_F	モータフレーム（脚部）の断面係数	mm ³
Z_P	軸（回転子）の極断面係数	mm ³
Z_S	軸（回転子）の断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ_b	軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力	MPa
σ_F	モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力	MPa
σ_{F1}	モータフレーム（脚部）に生じる曲げ応力	MPa
σ_{F2}	モータフレーム（脚部）に生じる圧縮応力	MPa
σ_{F3}	原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力	MPa
σ_S	軸（回転子）に生じる組合せ応力	MPa
τ_K	キーに生じるせん断応力	MPa
τ_F	モータフレーム（脚部）に生じるせん断応力	MPa
τ_t	軸（回転子）に生じるねじり応力	MPa

6.3.4 評価方法

(1) 固定子

図 6-6 に示す計算モデルにて、キーに生じるせん断力を算出し、キーに生じるせん断応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

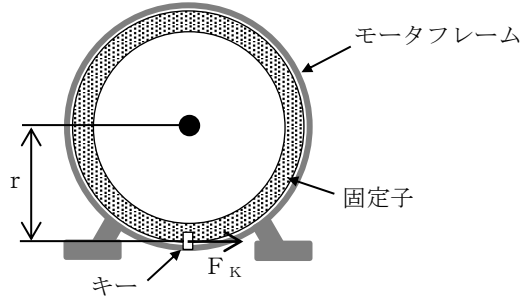


図 6-6 固定子の計算モデル

キーに生じるせん断応力 τ_K は次式で求める。

$$\tau_K = F_K / (t_K \cdot L_K) \quad \dots \quad (6.3.4.1)$$

ここで、キーに生じるせん断力 F_K は

$$F_K = F_H + F_M \quad \dots \quad (6.3.4.2)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりキーに生じるせん断力 F_H は

$$F_H = W_{21} \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots \quad (6.3.4.3)$$

原動機の回転によりキーに生じるせん断力 F_M は

$$F_M = M_P / r \quad \dots \quad (6.3.4.4)$$

(2) 軸（回転子）

図 6-7 に示す計算モデルにて、軸に生じる荷重とモーメントから軸に生じる応力を算出し、軸に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。

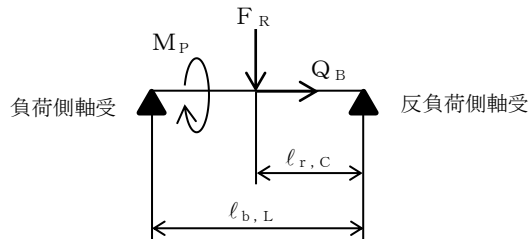


図 6-7 軸（回転子）の計算モデル

軸（回転子）に生じる組合せ応力 σ_s は次式で求める。

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_t^2} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.5)$$

ここで、軸（回転子）に生じる引張応力及び曲げ応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{(\ell_{b,L} - \ell_{r,C}) \cdot \ell_{r,C}}{Z_s \cdot \ell_{b,L}} \cdot F_R + \frac{Q_B}{A_s} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.6)$$

軸（回転子）に生じるねじり応力 τ_t は

$$\tau_t = \frac{M_P}{Z_P} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.7)$$

軸（回転子）の断面係数 Z_s は

$$Z_s = \frac{\pi \cdot D_s^3}{32} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.8)$$

軸（回転子）の極断面係数 Z_P は

$$Z_P = \frac{\pi \cdot D_s^3}{16} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.9)$$

軸（回転子）に生じる荷重は

ラジアル荷重 F_R

$$F_R = (W_{22} + W_{23}) \cdot g \cdot (\sqrt{C_H^2 + (C_V + 1)^2} + C_P) \quad \dots \dots \dots (6.3.4.10)$$

スラスト荷重 Q_B

$$Q_B = (W_{22} + W_{23}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \quad \dots \dots \dots (6.3.4.11)$$

(3) 軸受

図 6-8 に示す計算モデルにて、地震力が加わる場合に発生する全荷重について保守的にそれぞれの軸受が受けるものとし、軸受に生じる静等価荷重を求め、メーカー規定の許容値以下であることを確認する。

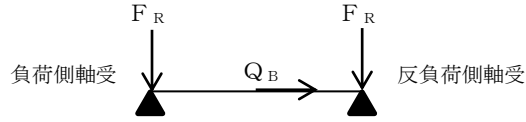


図 6-8 軸受の計算モデル

軸受に生じる静等価荷重は次式で求める。

負荷側軸受に生じる静等価荷重 F_{B1}

$$F_{B1} = \text{Max} (X_{01} \cdot F_R + Y_{01} \cdot Q_B, F_R) \quad \dots \dots \dots (6.3.4.12)$$

反負荷側軸受に生じる静等価荷重 F_{B2}

$$F_{B2} = \text{Max} (X_{02} \cdot F_R + Y_{02} \cdot Q_B, F_R) \quad \dots \dots \dots (6.3.4.13)$$

(4) 固定子と回転子間のクリアランス

図 6-9 に示す計算モデルにて、軸（回転子）に生じる変位量を求め、変位可能寸法以下であることを確認する。

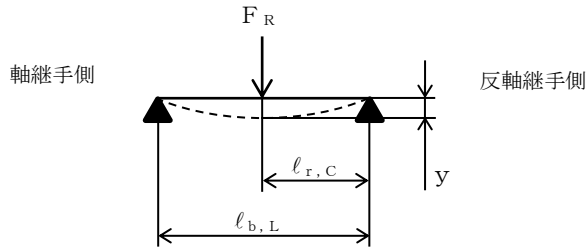


図 6-9 固定子と回転子間のクリアランスの計算モデル

軸（回転子）の変位量 y は次式で求める。

$$y = \frac{F_R \cdot l_{r,C} \cdot (l_{b,L}^2 - l_{r,C}^2)^{3/2}}{9 \cdot \sqrt{3} \cdot E_S \cdot I \cdot l_{b,L}} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.14)$$

ここで、軸（回転子）の断面二次モーメント I は

$$I = \frac{\pi \cdot D_S^4}{64} \quad \dots \dots \dots (6.3.4.15)$$

(5) モータフレーム

図6-10に示す計算モデルにて、モータフレーム（脚部）に生じる応力を算出し、モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力を求め、許容応力以下であることを確認する。なお、モータフレーム（脚部）の評価は、構造上厳しくなる軸直角方向について評価を実施する。

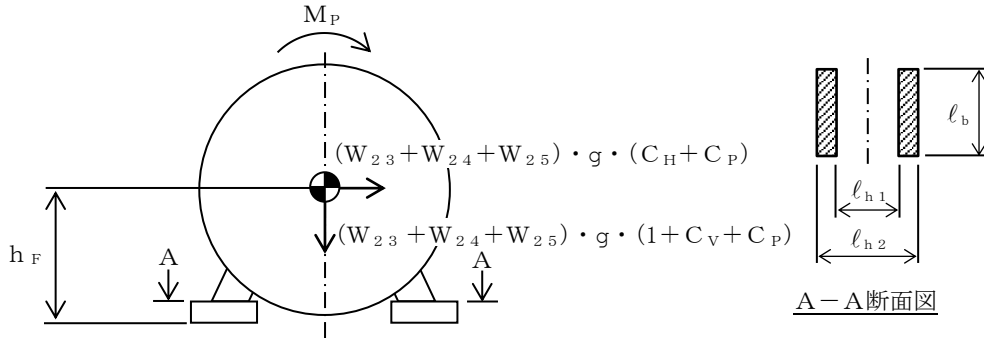


図 6-10 モータフレームの計算モデル

モータフレーム（脚部）に生じる組合せ応力 σ_F は次式で求める。

$$\sigma_F = \sqrt{(\sigma_{F1} + \sigma_{F2} + \sigma_{F3})^2 + 3 \cdot \tau_F^2} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.16)$$

ここで、水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレームに生じる曲げ応力 σ_{F1} は

$$\sigma_{F1} = (W_{23} + W_{24} + W_{25}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) \cdot h_F / Z_F \quad \dots\dots\dots (6.3.4.17)$$

鉛直方向地震力によりモータフレーム（脚部）に生じる圧縮応力 σ_{F2} は

$$\sigma_{F2} = (W_{23} + W_{24} + W_{25}) \cdot g \cdot (1 + C_V + C_P) / A_F \quad \dots\dots\dots (6.3.4.18)$$

原動機回転により作用するモーメントによる圧縮応力 σ_{F3} は

$$\sigma_{F3} = M_P / Z_F \quad \dots\dots\dots (6.3.4.19)$$

水平方向（軸直角方向）地震力によりモータフレーム（脚部）に生じるせん断応力 τ_F は

$$\tau_F = (W_{23} + W_{24} + W_{25}) \cdot g \cdot (C_H + C_P) / A_F \quad \dots\dots\dots (6.3.4.20)$$

フレームの断面係数 Z_F は

$$Z_F = \frac{1}{6} \cdot \frac{\ell_b \cdot (\ell_{h2}^3 - \ell_{h1}^3)}{\ell_{h2}} \quad \dots\dots\dots (6.3.4.21)$$

7. 評価結果

7.1 設計基準対象施設としての評価結果

ブロワの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【プロワの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		プロワ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度			
可燃性ガス濃度制御系再結合装置プロワ	S	原子炉建物 EL 34.8*1			$C_H=3.73^{*2}$	$C_V=2.32^{*2}$	$C_H=3.73^{*3}$	$C_V=2.32^{*3}$	$C_P=$ <input type="text"/>	171	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）及び静的震度を上回る設計震度

*3：設計用震度Ⅰ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

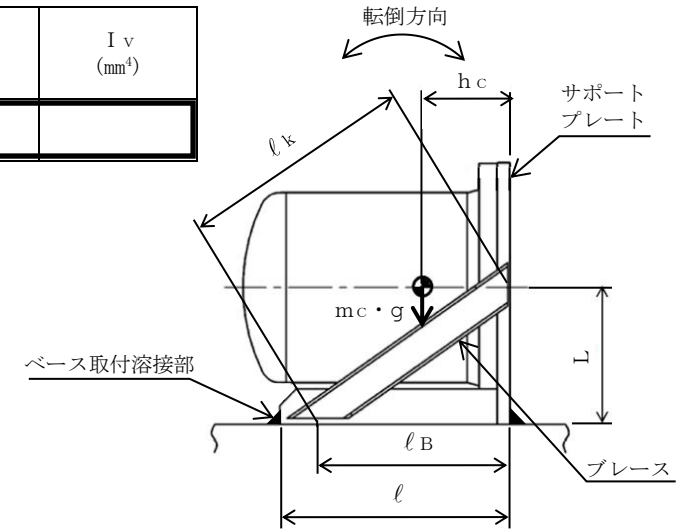
1.2 機器要目

部材	m c (kg)	L (mm)	h c (mm)	ℓ (mm)	ℓ B (mm)	ℓ k (mm)	A b (mm ²)	A s s (mm ²)	A s b (mm ²)
ブレース及びベース取付溶接部									

部材	A HW (mm ²)	A VW (mm ²)	A (mm ²)	i (mm)	E (MPa)	G (MPa)	I b (mm ⁴)	I v (mm ⁴)
ブレース及びベース取付溶接部								

部材	S y (MPa)	S u (MPa)	F (MPa)	F * (MPa)	転倒方向	
					弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
ブレース及びベース取付溶接部	201 (厚さ ≤ 16mm)	373 (厚さ ≤ 16mm)	201	241	軸	軸

H P (μ m)	N (rpm)



1.3 計算数値

1.3.1 ブレースに作用する力

(単位：N)

部材	F _{HB}		F _{VB}		F _{CB}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ブレース						

1.3.2 ベース取付溶接部に作用する力

(単位：N)

部材	F _{HW}		F _{VW}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
ベース取付溶接部				

1.4 結論

1.4.1 応力

(単位：MPa)

部材	材 料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
ブレース	SS41	圧縮	$\sigma_c = 15$	$f_{bc} = 179$	$\sigma_c = 15$	$f_{bc} = 210$
ベース取付溶接部	SS41	せん断	$\tau_w = 24$	$f_{ws} = 116$	$\tau_w = 24$	$f_{ws} = 139$

すべて許容応力以下である。

1.5 動的機能維持評価

1.5.1 設計条件

機器名称	形式	定格容量 (m ³ /h)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		ブロウ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロウ	遠心直動型 ファン	255	原子炉建物 EL 34.8*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	C _H =2.26*2	C _V =2.69*2	C _P = <input type="text"/>	171	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

機器名称	形式	出力 (kW)	据付場所及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動 S s		ブロウ振動 による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
				水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
可燃性ガス濃度制御系 再結合装置ブロウ用原動機	横形ころがり 軸受電動機	15	原子炉建物 EL 34.8*1	—*2	—*2	C _H =2.26*3	C _V =2.69*3	C _P = <input type="text"/>	171	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：固有周期は十分に小さく、計算は省略する。

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

1.5.2 機器要目

1.5.2.1 ブロウ

(1) 原動機取付ボルト

評価部位	A _{b1} (mm ²)	h ₁₁ (mm)	ℓ ₁₁ * (mm)	ℓ ₂₁ * (mm)	N (rpm)	n _{b1}	n _{f11}	n _{f21}	P (kW)	W ₁₁ (kg)
原動機取付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*：機器要目における上段は軸直角方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は軸方向転倒に対する評価時の要目を示す。

評価部位	W ₁₂ (kg)	W ₁₄ (kg)
原動機取付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>

(2) ブラケット取付ボルト

評価部位	A_{b2} (mm^2)	h_{12} (mm)	h_{22} (mm)	ℓ_{12} (mm)	ℓ_{22} (mm)	ℓ_{32} (mm)	n_{b2}	n_{f12}	n_{f22}	W_{11} (kg)
ブラケット取付ボルト										

評価部位	W_{12} (kg)	W_{13} (kg)	W_{14} (kg)
ブラケット取付ボルト			

(3) キャン取付ボルト

評価部位	A_{b3} (mm^2)	D_{cb} (mm)	D_{c1} (mm)	ℓ_{13} (mm)	n_{b3}	n_{f13}	P_0 (MPa)	W_{15} (kg)
キャン取付ボルト								

(4) ケーシング取付ボルト

評価部位	A_{b4} (mm^2)	D_{fb} (mm)	h_{14} (mm)	ℓ_{14} (mm)	ℓ_{24} (mm)	n_{b4}	n_{f14}	n_{f24}	W_{12} (kg)
ケーシング取付ボルト									

(5) インペラとケーシング間のクリアランス

評価部位	D_{fs} (mm)	E_{fs} (MPa)	h_{f1} (mm)	h_{f2} (mm)	$k_{\theta r}$ ($\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$)	$k_{\theta t}$ ($\text{N}\cdot\text{mm}/\text{rad}$)	ℓ_{14} (mm)	ℓ_{fs} (mm)	W_{12} (kg)	W_{14} (kg)
インペラとケーシング間のクリアランス										

評価部位	W_{16} (kg)
インペラとケーシング間のクリアランス	

1.5.2.2 原動機

(1) 固定子

評価部位	L_K (mm)	r (mm)	t_K (mm)	W_{21} (kg)
固定子				

(2) 軸 (回転子)

評価部位	A_S (mm ²)	D_S (mm)	$l_{b,L}$ (mm)	$l_{r,C}$ (mm)	W_{22} (kg)	W_{23} (kg)
軸 (回転子)						

(3) 軸受

評価部位	X_{01}	X_{02}	Y_{01}	Y_{02}
軸受				

(4) 固定子と回転子間のクリアランス

評価部位	D_S (mm)	E_S (MPa)	$l_{b,L}$ (mm)	$l_{r,C}$ (mm)
固定子と回転子間の クリアランス				

(5) モータフレーム

評価部位	A_F (mm ²)	h_F (mm)	l_b (mm)	l_{h1} (mm)	l_{h2} (mm)	W_{23} (kg)	W_{24} (kg)	W_{25} (kg)
モータフレーム								

1.6 結論

1.6.1 機能確認済加速度との比較 (×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
ブロー	水平方向	2.26	2.6
	鉛直方向	2.69	1.0
原動機	水平方向	2.26	4.7
	鉛直方向	2.69	1.0

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）を上回る設計震度により定まる加速度

ブローは、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.6.2 ブローの動的機能維持評価で評価する。

原動機は、鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超えるため、1.6.3 原動機の動的機能維持評価で評価する。

1.6.2 ブローの動的機能維持評価

1.6.2.1 代表評価項目の評価

ブレース及びベース取付溶接部については、構造強度評価において設計用地震力に対して十分な強度を有しているため、計算は省略する。

1.6.2.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.6.2.2.1 原動機取付ボルト (単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
原動機取付ボルト	引張	33	□
	せん断	12	

すべて許容応力以下である。

1.6.2.2.2 ブラケット取付ボルト (単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
ブラケット取付ボルト	引張	73	□
	せん断	7	

すべて許容応力以下である。

1.6.2.2.3 キャン取付ボルト (単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
キャン取付ボルト	引張	19	□
	せん断	2	

すべて許容応力以下である。

1.6.2.2.4 ケーシング取付ボルト

(単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力
ケーシング取付ボルト	引張	28	
	せん断	6	

すべて許容応力以下である。

1.6.2.2.5 ケーシングとインペラ間のクリアランスの評価

(単位：mm)

評価部位	変位量	許容変位量
ケーシングとインペラ間のクリアランス	1.18	

すべて許容変位量以下である。

1.6.3 原動機の動的機能維持評価

1.6.3.1 代表評価項目の評価

原動機取付ボルトについては、プロワの動的機能維持評価にて確認しているため、計算は省略する。

1.6.3.2 上記以外の基本評価項目の評価

1.6.3.2.1 固定子の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
固定子	2	

すべて許容応力以下である。

1.6.3.2.2 軸（回転子）の評価

(単位：MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
軸（回転子）	21	

すべて許容応力以下である。

1.6.3.2.3 軸受の評価

(単位：N)

評価部位	算出荷重	許容荷重
負荷側軸受	3.459×10^3	
反負荷側軸受	3.459×10^3	

すべて許容荷重以下である。

1.6.3.2.4 固定子と回転子間のクリアランスの評価 (単位: mm)

評価部位	変位量	許容変位量
固定子と回転子間のクリアランス	0.07	

すべて許容変位量以下である。

1.6.3.2.5 モータフレームの評価 (単位: MPa)

評価部位	算出応力	許容応力
モータフレーム	8	

すべて許容応力以下である。

VI-2-9-4-5-3 原子炉建物水素濃度抑制設備の耐震性についての
計算書

VI-2-9-4-5-3-1 静的触媒式水素処理装置の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
2.2 評価方針	5
2.3 適用規格・基準等	6
2.4 記号の説明	7
2.5 計算精度と数値の丸め方	9
3. 評価部位	10
4. 地震応答解析及び構造強度評価	10
4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法	10
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	11
4.3 解析モデル及び諸元	15
4.4 固有周期	19
4.5 設計用地震力	21
4.6 計算方法	22
4.7 計算条件	27
4.8 応力の評価	27
5. 評価結果	28
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	28

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、静的触媒式水素処理装置が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

静的触媒式水素処理装置は、重大事故等対処設備においては常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

2. 一般事項

2.1 構造計画

静的触媒式水素処理装置の構造計画を表2-1から表2-3に示す。静的触媒式水素処理装置は、形状の異なる3種類の架台形状があり、1つの架台につき、静的触媒式水素処理装置本体を1台から3台取り付けている。

表 2-1 構造計画 (その 1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	(1つの架台に静的触媒式水素処理装置本体1台を取り付ける場合)
<p>静的触媒式水素処理装置本体はブラケットを介してそれぞれ取付ボルト4本で架台に固定する。</p> <p>取付ボルトは熱膨張を逃がす構造となっている。</p> <p>架台はプレートを通じて基礎ボルトにて壁面に固定する。</p> <p>1つの架台につき静的触媒式水素処理装置本体1台を取り付ける。</p>	<p>触媒反応式 (鋼板を角形に組み立てたハウジングの内部に触媒カートリッジを装荷した構造である。)</p>	<p>(側面図) (正面図)</p> <p>静的触媒式水素処理装置 (その1)</p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-2 構造計画 (その 2)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	(1つの架台に静的触媒式水素処理装置本体2台を取り付ける場合)
<p>静的触媒式水素処理装置本体はブラケットを介してそれぞれ取付ボルト4本で架台に固定する。 取付ボルトは熱膨張を逃がす構造となっている。 架台はプレートを通じて基礎ボルトにて壁面に固定する。 1つの架台につき静的触媒式水素処理装置本体2台を取り付ける。</p>	<p>触媒反応式 (鋼板を角形に組み立てたハウジングの内部に触媒カートリッジを装荷した構造である。)</p>	<p>(側面図) (正面図)</p> <p>静的触媒式水素処理装置 (その2)</p> <p>(単位 : mm)</p>

表 2-3 構造計画 (その 3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	(1つの架台に静的触媒式水素処理装置本体3台を取り付ける場合)
<p>静的触媒式水素処理装置本体はブラケットを介してそれぞれ取付ボルト4本で架台に固定する。</p> <p>取付ボルトは熱膨張を逃がす構造となっている。</p> <p>架台はプレートを通じて基礎ボルトにて壁面に固定する。</p> <p>1つの架台につき静的触媒式水素処理装置本体3台を取り付ける。</p>	<p>触媒反応式（鋼板を角形に組み立てたハウジングの内部に触媒カートリッジを装荷した構造である。）</p>	<p>(側面図) (正面図)</p> <p>静的触媒式水素処理装置 (その3)</p> <p>(単位 : mm)</p>

2.2 評価方針

静的触媒式水素処理装置の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す静的触媒式水素処理装置の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5. 評価結果」に示す。

静的触媒式水素処理装置の耐震評価フローを図2-1に示す。



図 2-1 静的触媒式水素処理装置の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984
((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版 ((社) 日本電気協会)
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格 ((社) 日本機械学会, 2005/2007) (以下「設計・建設規格」という。)

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A_{b1}	取付ボルトの軸断面積	mm^2
A_{b2}	基礎ボルトの軸断面積	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d_1	取付ボルトの呼び径	mm
d_2	基礎ボルトの呼び径	mm
E	静的触媒式水素処理装置本体の縦弾性係数	MPa
E_s	架台の縦弾性係数	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{bp}	取付ボルトに作用する引張力	N
F_x	架台に作用する力 (X方向)	N
F_y	架台に作用する力 (Y方向)	N
F_z	架台に作用する力 (Z方向)	N
f_{sb}	ボルトの許容せん断応力	MPa
f_{tm}	静的触媒式水素処理装置本体及び架台の許容引張応力	MPa
f_{to}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力	MPa
f_{ts}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa
m_o	静的触媒式水素処理装置本体1台あたりの質量	kg
m_{o1}	架台を含めた全体の質量	kg
ℓ_1, ℓ_2	基礎ボルト間距離	mm
M_x	架台に作用するモーメント (X軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_y	架台に作用するモーメント (Y軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
M_z	架台に作用するモーメント (Z軸周り)	$\text{N}\cdot\text{mm}$
n_1	せん断力を受ける取付ボルトの本数	—
n_2	せん断力を受ける基礎ボルトの本数	—
n_{f1}	引張力を受ける取付ボルトの本数	—
n_{f2}	架台に作用する力 (F_x) により引張力を受ける基礎ボルトの本数	—
n_{f3}	架台に作用するモーメント (M_y, M_z) により引張力を受ける基礎ボルトの本数	—
Q_{bp}	取付ボルトに作用するせん断力	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa

記号	記号の説明	単位
S_y (R T)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の 40℃における値	MPa
T	温度条件	℃
ν	ポアソン比	—
$\sigma_{b a}$	基礎ボルトに作用する引張応力	MPa
$\sigma_{b p}$	取付ボルトに作用する引張応力	MPa
σ_p	静的触媒式水素処理装置本体に作用する組合せ応力	MPa
σ_s	架台に作用する組合せ応力	MPa
τ_b	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力 ($f_{t s}$) の計算に用いるボルトに作用するせん断応力 ($\tau_{b a}$ 及び $\tau_{b p}$)	MPa
$\tau_{b a}$	基礎ボルトに作用するせん断応力	MPa
$\tau_{b p}$	取付ボルトに作用するせん断応力	MPa

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2-4に示すとおりである。

表 2-4 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第1位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*4：絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

静的触媒式水素処理装置の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる静的触媒式水素処理装置本体、架台、取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。

静的触媒式水素処理装置の耐震評価部位については、表2-1から表2-3の概略構造図に示す。

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

(1) 地震力は、静的触媒式水素処理装置に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし、強度評価において組み合わせるものとする。なお、取付ボルト及び基礎ボルトにおいては、作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。ここで、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

(2) 触媒カートリッジは、静的触媒式水素処理装置本体と一体として評価する。なお、解析モデルでは、カートリッジが補強材として作用しないよう、静的触媒式水素処理装置本体に質量のみを付加する。

(3) 静的触媒式水素処理装置本体は、壁に設置した架台に熱膨張を逃がすために設置したベアリングを介して、それぞれ4本の取付ボルトで取り付けられており、



ため、解析モデルでは取付ボルト部4箇所全てを同じようにモデル化して評価する。なお、取付ボルトの強度評価については、引張力及びせん断力を受ける取付ボルトは、保守的に1本とする。

(4) 架台は、壁に基礎ボルトにより固定される。

(5) 取付ボルト及び基礎ボルトの強度評価については、解析結果で得られた荷重を用いて、理論式により応力を算出する。

(6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

静的触媒式水素処理装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

静的触媒式水素処理装置の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

静的触媒式水素処理装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	静的触媒式 水素処理装置	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
	放射性物質濃 度制御設備及 び可燃性ガス 濃度制御設備 並びに格納容 器再循環設備				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとしてIVASの 許容限界を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表4-2 許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次応力	
	組合せ	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t *	1.5・f _t *	1.5・f _s *
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの 許容限界を用いる。)			

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表 4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度					
静的触媒式水素 処理装置本体	ASTM A240 grade304* ¹	最高使用温度	300	110	127	391	205
架台	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	最高使用温度	300	—	170	373	—
取付ボルト	SUS304	最高使用温度	300	110	127	391	205
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	100 (300* ²)	—	170	373	—

注記*1：SUS304 相当

*2：周囲環境温度は 100°C であるが、保守的に機器の最高使用温度である 300°C を使用する。

4.3 解析モデル及び諸元

静的触媒式水素処理装置の解析モデルを図4-1に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【静的触媒式水素処理装置の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 静的触媒式水素処理装置本体及び架台は、3次元のシェル要素を用いてモデル化する。なお、静的触媒式水素処理装置本体の前後のブラケットはシャフトにより結合されており、そのシャフトははり要素としてモデル化する。なお、シャフトはブラケットにのみ接続されるものであり、静的触媒式水素処理装置本体には接続されない。
- (2) 拘束条件として、架台は壁への取付部を固定端とする。また、静的触媒式水素処理装置本体は、架台に取付ボルトで固定する。なお、取付ボルト部は、ばね要素としてモデル化する。
- (3) 静的触媒式水素処理装置本体及び架台の質量は、密度にて与えるものとする。ただし、カートリッジの質量は、静的触媒式水素処理装置本体の前後面に分布荷重として与える。
- (4) 取付ボルト及び基礎ボルトの応力は、解析結果で得られた荷重（反力，モーメント）を用いて理論式により算出する。
- (5) 解析コードは、「NX NASTRAN」を使用し、固有値，静的触媒式水素処理装置本体及び架台の応力を求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

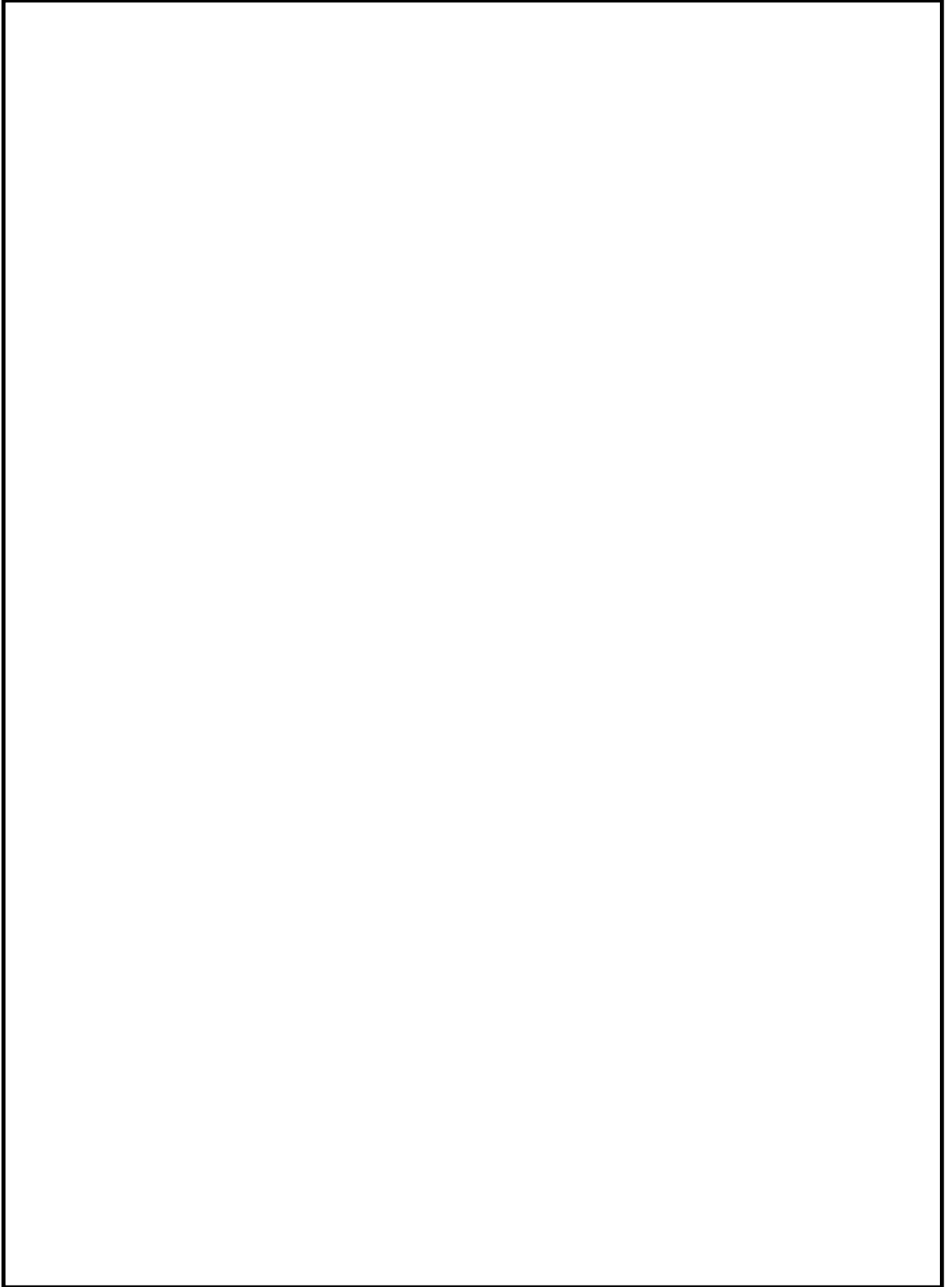


図4-1(1) 解析モデル（静的触媒式水素処理装置（その1））

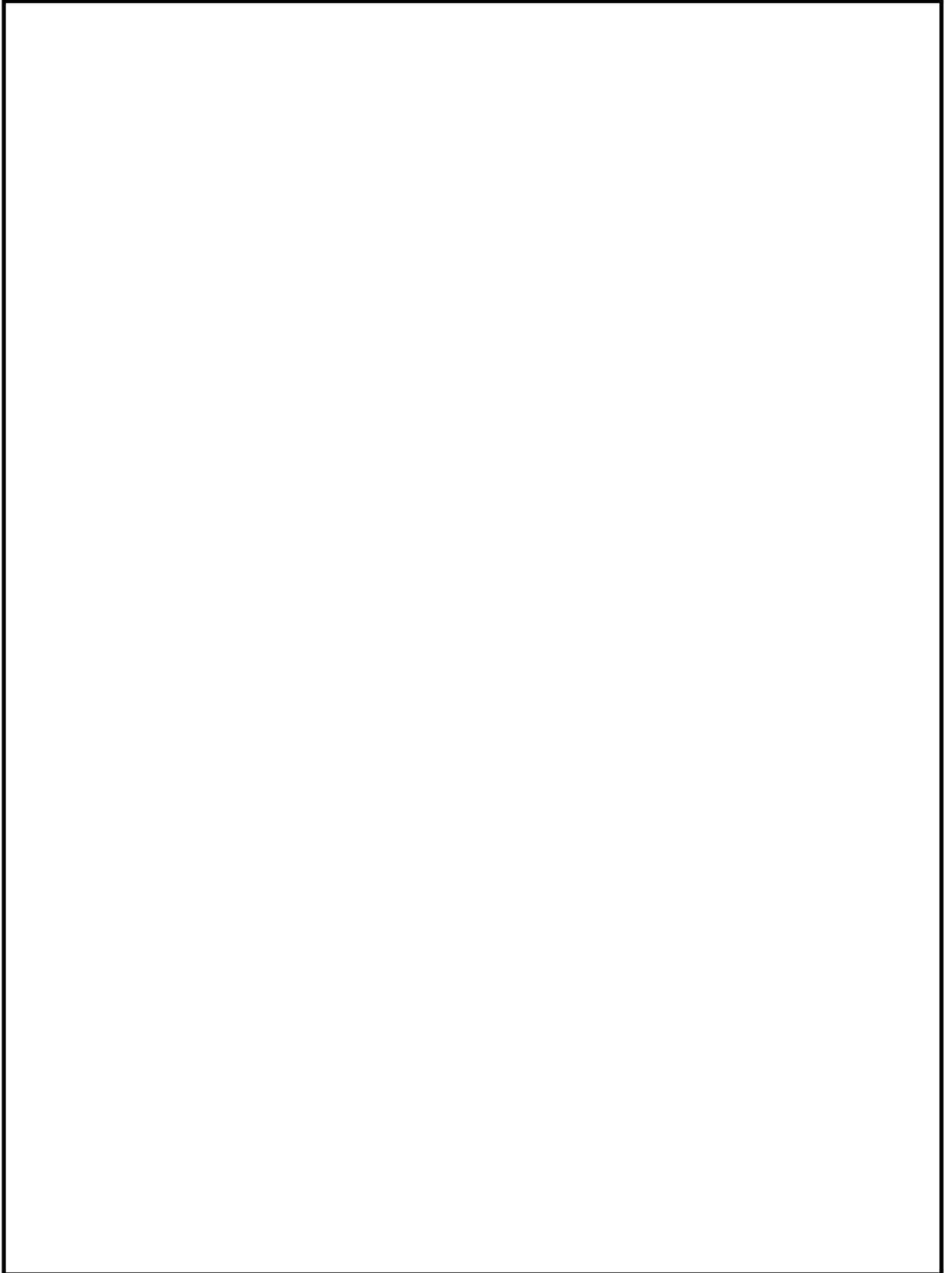


図4-1(2) 解析モデル（静的触媒式水素処理装置（その2））

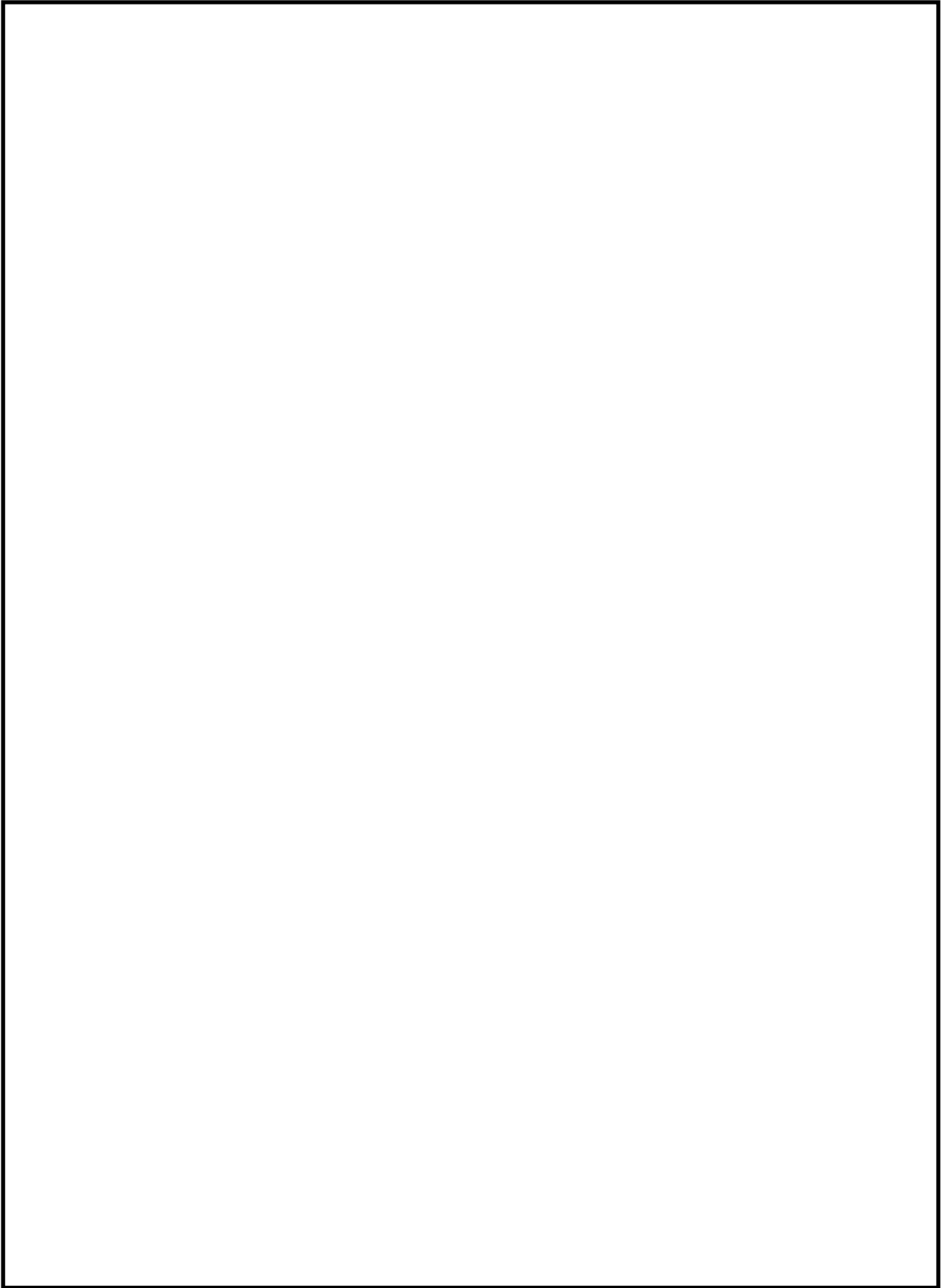


図4-1(3) 解析モデル（静的触媒式水素処理装置（その3））

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-4に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有値解析モード図を図4-2に示す。

表 4-4 固有値解析結果

機器名称	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
				X方向	Y方向	
静的触媒式水素処理装置 (その1)	1次	水平	0.029	—	—	—
静的触媒式水素処理装置 (その2)	1次	水平	0.029	—	—	—
静的触媒式水素処理装置 (その3)	1次	水平	0.029	—	—	—

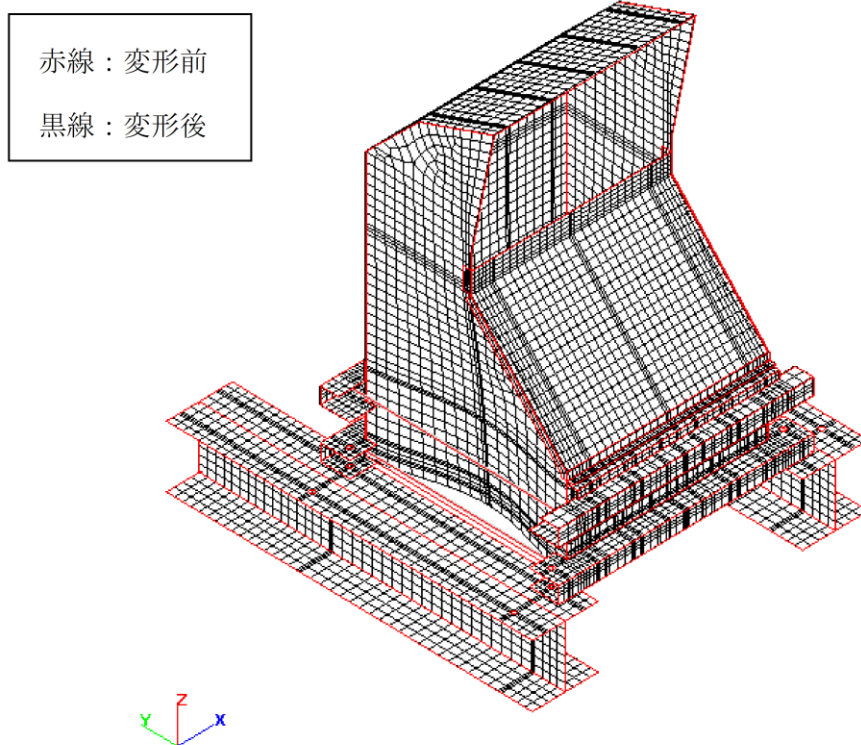


図 4-2(1) 静的触媒式水素処理装置(その1) 固有値解析モード図(1次モード)

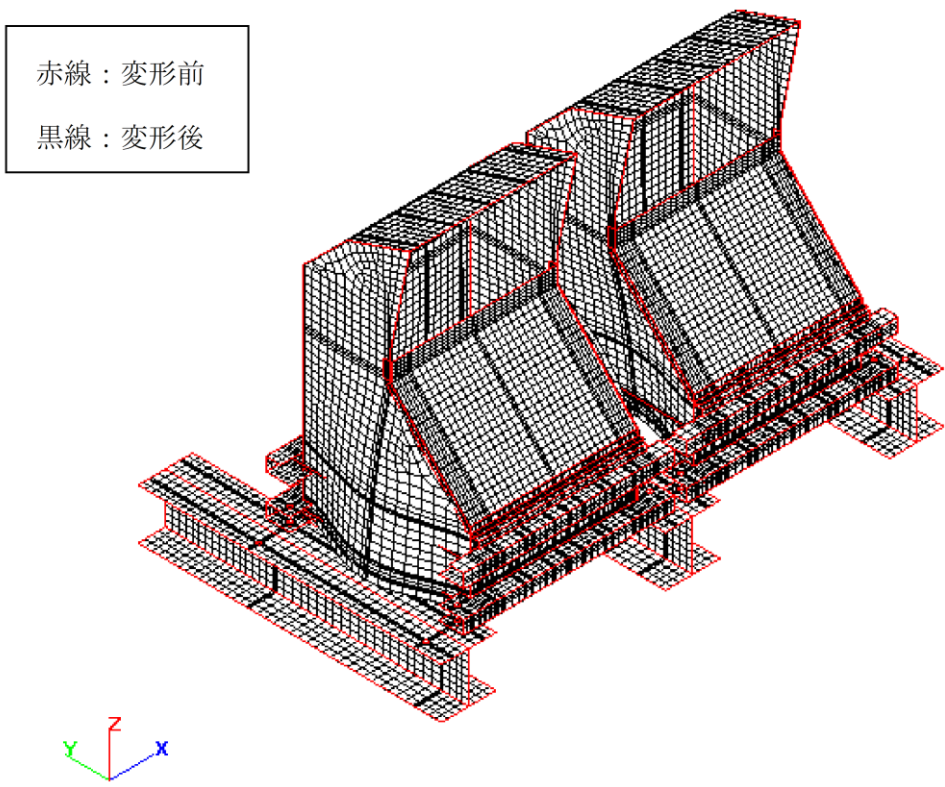


図 4-2(2) 静的触媒式水素処理装置(その2) 固有値解析モード図(1次モード)

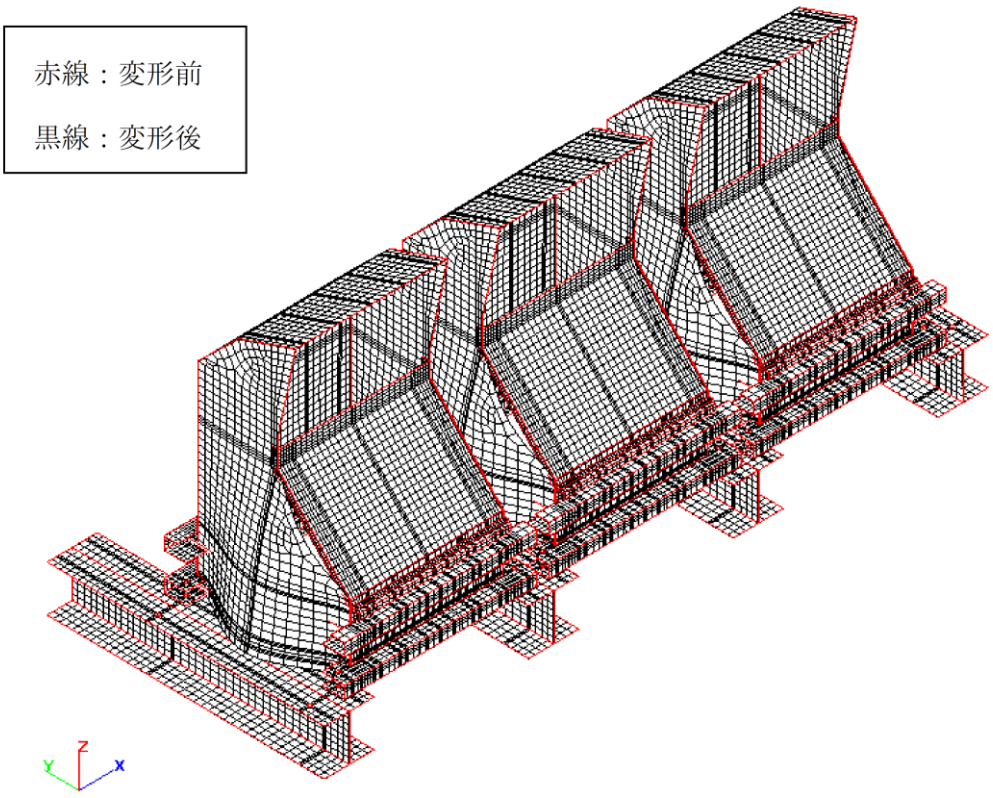


図 4-2(3) 静的触媒式水素処理装置(その3) 固有値解析モード図(1次モード)

4.5 設計用地震力

静的触媒式水素処理装置の設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
静的触媒式 水素処理装置 (その1)	原子炉建物 EL 42.8 (EL 51.7* ¹)	0.029	0.05 以下	—	—	C _H =3.51* ²	C _V =2.46* ²
静的触媒式 水素処理装置 (その2)		0.029	0.05 以下				
静的触媒式 水素処理装置 (その3)		0.029	0.05 以下				

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 静的触媒式水素処理装置本体の応力

静的触媒式水素処理装置本体の応力は、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X, Y）を考慮し、3次元のシェル要素による解析結果を用いる。ここで、応力の算出式は下記による。

応力の種類	単位	応力算出式
組合せ応力	MPa	$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3 \tau_{xy}^2}$

4.6.1.2 架台の応力

架台の応力は、静的触媒式水素処理装置本体と同様に、自重、鉛直方向地震及び水平方向地震（X, Y）を考慮し、3次元のシェル要素による解析結果を用いる。応力の算出式は静的触媒式水素処理装置本体と同様である。

4.6.1.3 取付ボルトの応力

取付ボルトの応力は、解析結果で得られた反力から理論式により引張応力及びせん断応力を算出する。

計算モデルを図4-3及び図4-4に、解析で得られた取付ボルト部の反力を表4-6に示す。

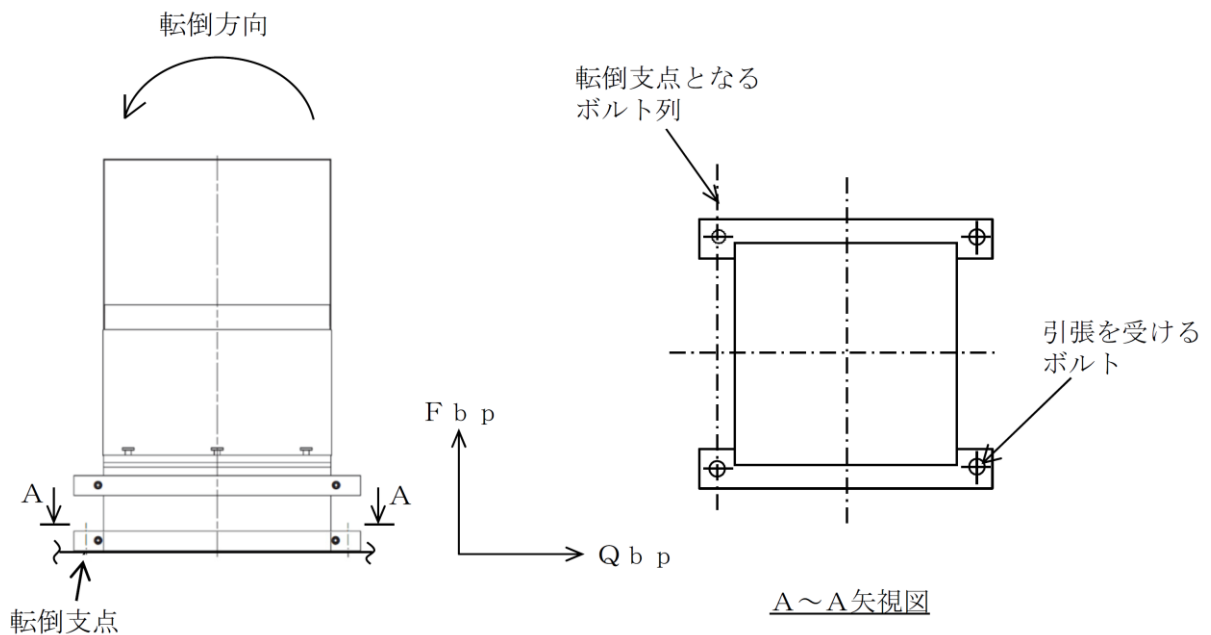


図4-3 計算モデル（長辺方向転倒）

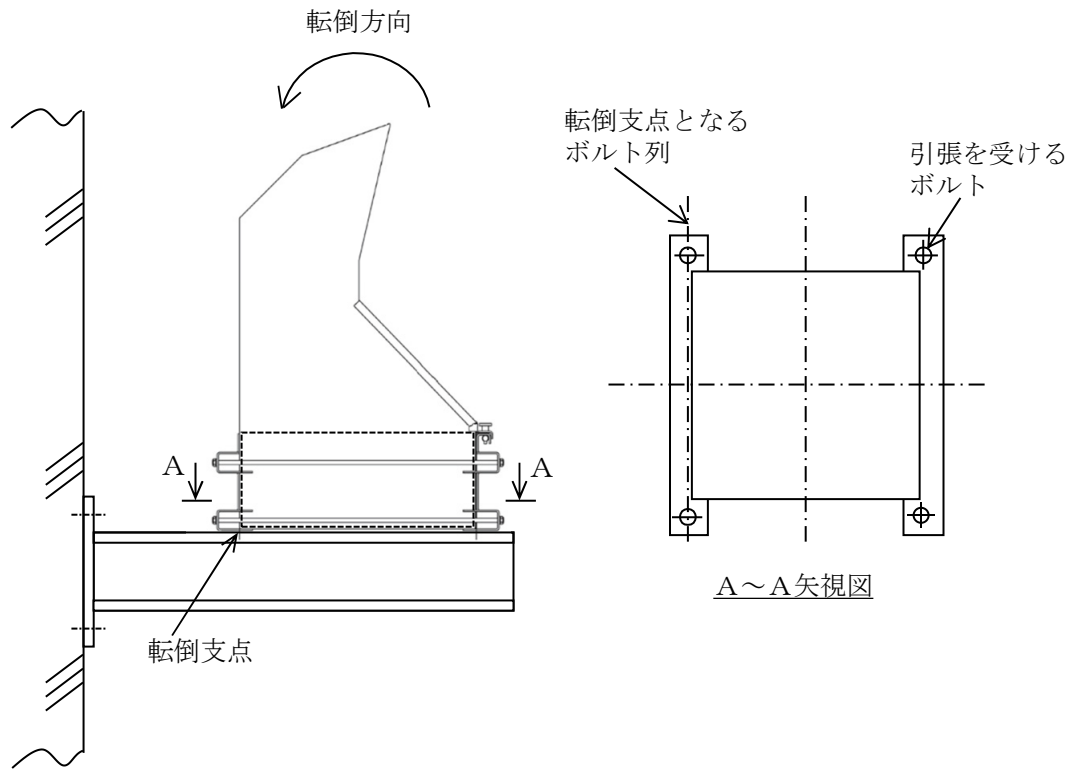


図4-4 計算モデル（短辺方向転倒）

表4-6 取付ボルト発生反力 (単位：N)

機器名称	反力	
	F_{bp}	Q_{bp}
静的触媒式水素処理装置 (その1)	1.180×10^3	2.067×10^3
静的触媒式水素処理装置 (その2)	1.180×10^3	2.224×10^3
静的触媒式水素処理装置 (その3)	1.180×10^3	2.435×10^3

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張力は、図4-3及び図4-4に示す取付ボルトを支点とする転倒を考え、この片側の取付ボルト1本で受けるものとして計算する。

引張応力

$$\sigma_{b p} = \frac{F_{b p}}{A_{b 1}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.1)$$

取付ボルトの軸断面積 $A_{b 1}$ は、次式により求める。

$$A_{b 1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots\dots\dots (4.6.1.3.2)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト1本で受けるものとして計算する。

せん断応力

$$\tau_{b p} = \frac{Q_{b p}}{A_{b 1}} \dots\dots\dots (4.6.1.3.3)$$

4.6.1.4 基礎ボルトの応力

基礎ボルトの応力は、解析で得られた反力及びモーメントから理論式により、引張応力及びせん断応力を算出する。

計算モデルを図4-5に、解析で得られた架台基礎ボルト部の反力及びモーメントを表4-7に示す。

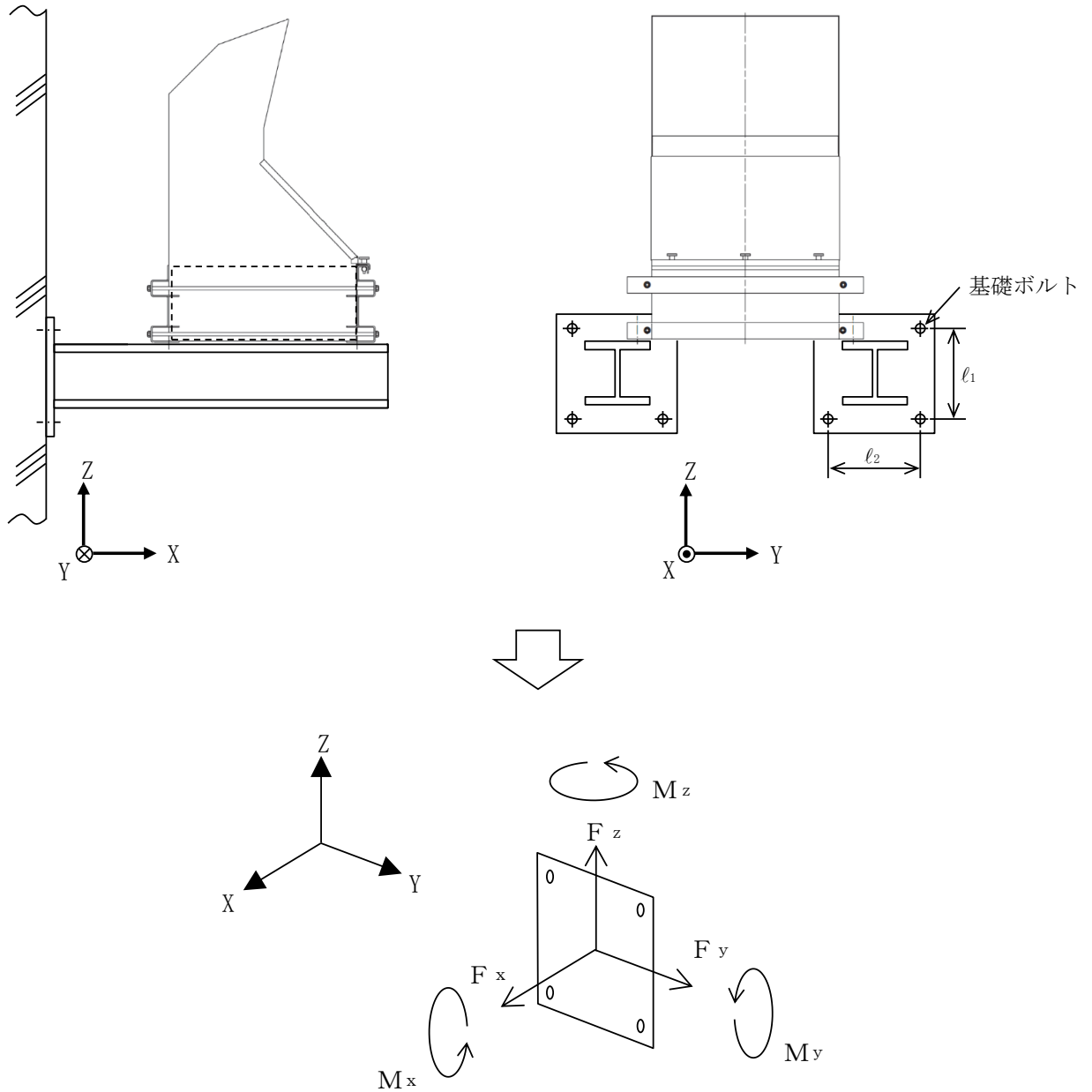


図4-5 計算モデル (架台基礎ボルト部)

表4-7 基礎ボルトの発生反力及びモーメント

機器名称	反力(N)			モーメント(N・mm)		
	F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z
静的触媒式 水素処理装置 (その1)	1.759×10 ³	2.039×10 ³	2.098×10 ³	6.133×10 ⁴	9.843×10 ⁵	9.497×10 ⁵
静的触媒式 水素処理装置 (その2)	2.619×10 ³	2.157×10 ³	2.598×10 ³	5.602×10 ⁴	1.588×10 ⁶	1.017×10 ⁶
静的触媒式 水素処理装置 (その3)	2.619×10 ³	2.306×10 ³	2.589×10 ³	6.625×10 ⁴	1.588×10 ⁶	1.092×10 ⁶

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張応力は、次式により求める。

引張応力

$$\sigma_{ba} = \frac{F_x}{n_{f2} \cdot A_{b2}} + \frac{M_y}{n_{f3} \cdot \ell_1 \cdot A_{b2}} + \frac{M_z}{n_{f3} \cdot \ell_2 \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.4.1)$$

基礎ボルトの軸断面積A_{b2}は、次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (4.6.1.4.2)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断応力は、次式により求める。

せん断応力

$$\tau_{ba} = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n_2 \cdot A_{b2}} + \frac{M_x}{n_2 \cdot \frac{\sqrt{\ell_1^2 + \ell_2^2}}{2} \cdot A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.4.3)$$

4.7 計算条件

応力解析に用いる自重（静的触媒式水素処理装置本体及び架台）及び荷重（地震荷重）は、本計算書の【静的触媒式水素処理装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 静的触媒式水素処理装置本体及び架台の応力評価

4.6.1.1項及び4.6.1.2項で求めた各応力が許容応力以下であること。ただし、組合せ応力が許容引張応力 f_{tm} 以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tm}	$\frac{F^*}{1.5} \cdot 1.5$

4.8.2 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.3項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{bp} 及び4.6.1.4項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{ba} は、次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots \quad (4.8.2.1)$$

せん断応力 τ_{bp} 及び τ_{ba} はせん断力のみを受ける取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

静的触媒式水素処理装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【静的触媒式水素処理装置（その1）の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
静的触媒式 水素処理装置 (その1)	常設/緩和	原子炉建物 EL 42.8 (EL 51.7*1)	0.029	0.05以下	—	—	C _H =3.51*2	C _V =2.46*2	300	100 (300*3)

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*3：周囲環境温度は100°Cであるが、保守的に機器の最高使用温度である300°Cを使用する。

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _{o1} (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	ν	d ₁ (mm)	A _{b1} (mm ²)	d ₂ (mm)	A _{b2} (mm ²)	n ₁	n _{f1} * 1	n ₂	n _{f2}	n _{f3}
50	102	230	230	176000	185000	0.3	12 (M12)	113.1	16 (M16)	201.1	1	1	4	4	2

注記*：上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)	F* (MPa)
静的触媒式 水素処理装置本体	SUS304相当	127	391	205	171
架台	SS400	170 (厚さ≤16mm)	373 (厚さ≤16mm)	—	204
取付ボルト	SUS304	127	391	205	171
基礎ボルト	SS400	170 (径≤16mm)	373 (径≤16mm)	—	204

1.3 計算数値

1.3.1 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{b p}$		$Q_{b p}$	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
取付ボルト	—	1.180×10^3	—	2.067×10^3

1.3.2 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	F_x		F_y		F_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—	1.759×10^3	—	2.039×10^3	—	2.098×10^3

1.3.3 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・mm)

部材	M_x		M_y		M_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—	6.133×10^4	—	9.843×10^5	—	9.497×10^5

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.029
鉛直方向	0.05以下

1.4.2 応力及び許容荷重

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
静的触媒式 水素処理装置本体	SUS304相当	組合せ	—	—	$\sigma_p = 88$	$f_{tm} = 171$
架台	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 21$	$f_{tm} = 204$
取付ボルト	SUS304	引張	—	—	$\sigma_{bp} = 11$	$f_{ts} = 128^*$
		せん断	—	—	$\tau_{bp} = 19$	$f_{sb} = 98$
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	引張	—	—	$\sigma_{ba} = 23$	$f_{ts} = 122^*$
		せん断	—	—	$\tau_{ba} = 5$	$f_{sb} = 94$

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

【静的触媒式水素処理装置（その2）の耐震性についての計算結果】

2. 重大事故等対処設備

2.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
静的触媒式 水素処理装置 (その2)	常設/緩和	原子炉建物 EL 42.8 (EL 51.7* ¹)	0.029	0.05以下	—	—	C _H =3.51* ²	C _V =2.46* ²	300	100 (300* ³)

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*3：周囲環境温度は 100°Cであるが、保守的に機器の最高使用温度である 300°Cを使用する。

2.2 機器要目

m _o (kg)	m _{o1} (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	ν	d ₁ (mm)	A _{b1} (mm ²)	d ₂ (mm)	A _{b2} (mm ²)	n ₁	n _{f1} * 1	n ₂	n _{f2}	n _{f3}
50	178	230	230	176000	185000	0.3	12 (M12)	113.1	16 (M16)	201.1	1	1	4	4	2
												1			

注記*：上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F* (MPa)
静的触媒式 水素処理装置本体	SUS304相当	127	391	205	171
架台	SS400	170 (厚さ≤16mm)	373 (厚さ≤16mm)	—	204
取付ボルト	SUS304	127	391	205	171
基礎ボルト	SS400	170 (径≤16mm)	373 (径≤16mm)	—	204

2.3 計算数値

2.3.1 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{b p}$		$Q_{b p}$	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
取付ボルト	—	1.180×10^3	—	2.224×10^3

2.3.2 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	F_x		F_y		F_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—	2.619×10^3	—	2.157×10^3	—	2.598×10^3

2.3.3 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・mm)

部材	M_x		M_y		M_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—	5.602×10^4	—	1.588×10^6	—	1.017×10^6

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.029
鉛直方向	0.05以下

2.4.2 応力及び許容荷重

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
静的触媒式 水素処理装置本体	SUS304相当	組合せ	—	—	$\sigma_p = 88$	$f_{tm} = 171$
架台	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 25$	$f_{tm} = 204$
取付ボルト	SUS304	引張	—	—	$\sigma_{bp} = 11$	$f_{ts} = 128^*$
		せん断	—	—	$\tau_{bp} = 20$	$f_{sb} = 98$
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	引張	—	—	$\sigma_{ba} = 32$	$f_{ts} = 122^*$
		せん断	—	—	$\tau_{ba} = 5$	$f_{sb} = 94$

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

【静的触媒式水素処理装置（その3）の耐震性についての計算結果】

3. 重大事故等対処設備

3.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
静的触媒式 水素処理装置 (その3)	常設/緩和	原子炉建物 EL 42.8 (EL 51.7*1)	0.029	0.05以下	—	—	C _H =3.51*2	C _V =2.46*2	300	100 (300*3)

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

*3：周囲環境温度は100°Cであるが、保守的に機器の最高使用温度である300°Cを使用する。

3.2 機器要目

m _o (kg)	m _{o1} (kg)	ℓ ₁ (mm)	ℓ ₂ (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	ν	d ₁ (mm)	A _{b1} (mm ²)	d ₂ (mm)	A _{b2} (mm ²)	n ₁	n _{f1} * 1	n ₂	n _{f2}	n _{f3}
50	254	230	230	176000	185000	0.3	12 (M12)	113.1	16 (M16)	201.1	1	1	4	4	2

注記*：上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F* (MPa)
静的触媒式 水素処理装置本体	SUS304相当	127	391	205	171
架台	SS400	170 (厚さ≤16mm)	373 (厚さ≤16mm)	—	204
取付ボルト	SUS304	127	391	205	171
基礎ボルト	SS400	170 (径≤16mm)	373 (径≤16mm)	—	204

3.3 計算数値

3.3.1 取付ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	$F_{b p}$		$Q_{b p}$	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
取付ボルト	—	1.180×10^3	—	2.435×10^3

3.3.2 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

部材	F_x		F_y		F_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—	2.619×10^3	—	2.306×10^3	—	2.589×10^3

3.3.3 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・mm)

部材	M_x		M_y		M_z	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	基準地震動 S_s
基礎ボルト	—	6.625×10^4	—	1.588×10^6	—	1.092×10^6

3.4 結論

3.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	0.029
鉛直方向	0.05以下

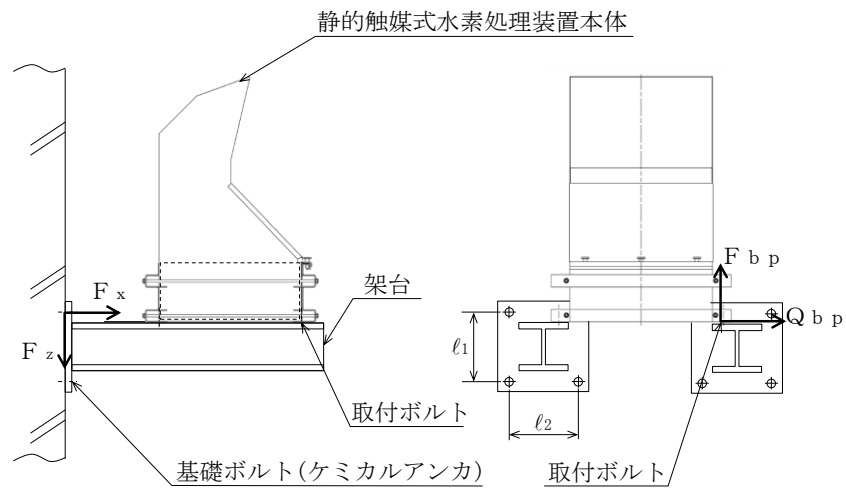
3.4.2 応力及び許容荷重

(単位：MPa)

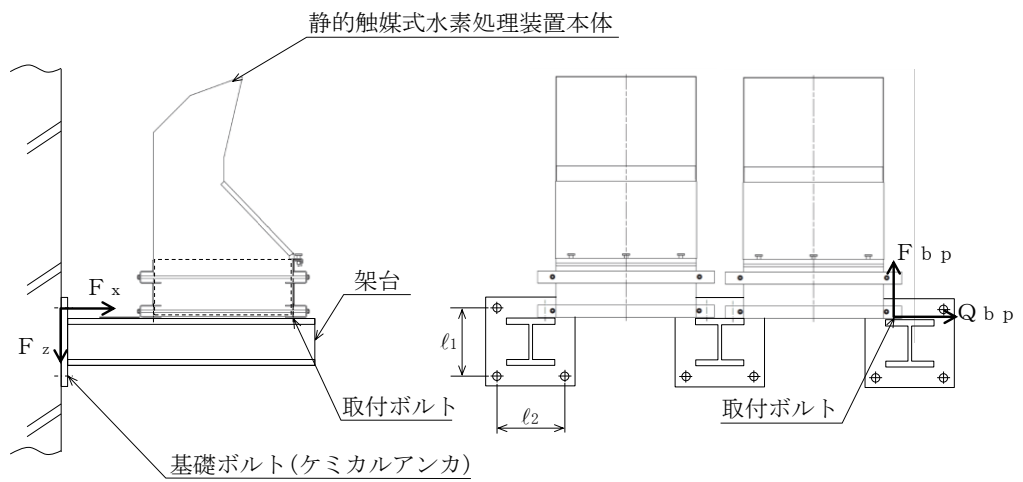
部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
静的触媒式 水素処理装置本体	SUS304相当	組合せ	—	—	$\sigma_p = 88$	$f_{tm} = 171$
架台	SS400 (厚さ ≤ 16mm)	組合せ	—	—	$\sigma_s = 26$	$f_{tm} = 204$
取付ボルト	SUS304	引張	—	—	$\sigma_{bp} = 11$	$f_{ts} = 128^*$
		せん断	—	—	$\tau_{bp} = 22$	$f_{sb} = 98$
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	引張	—	—	$\sigma_{ba} = 33$	$f_{ts} = 122^*$
		せん断	—	—	$\tau_{ba} = 5$	$f_{sb} = 94$

注記 * : $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

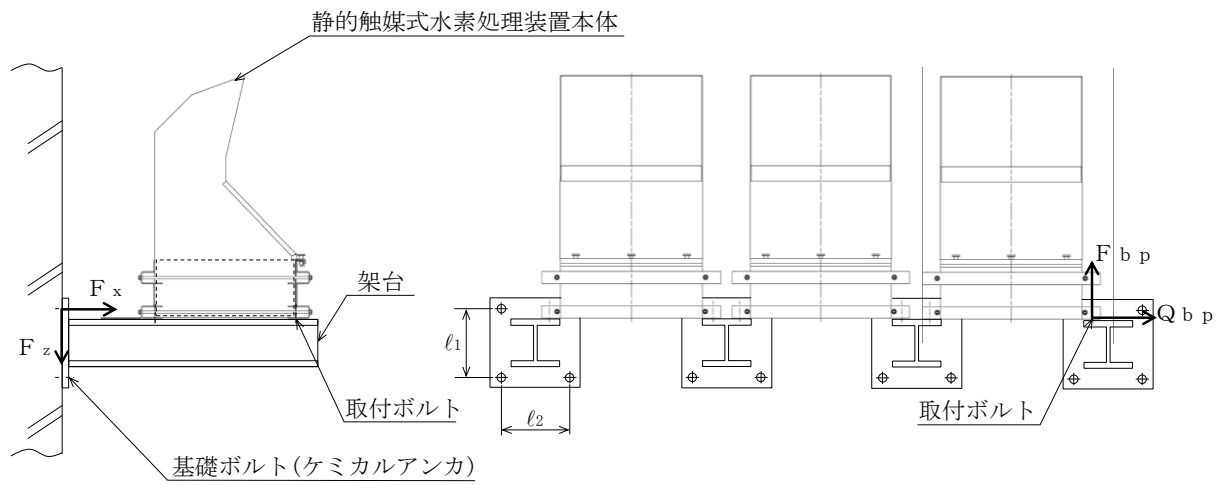
すべて許容応力以下である。



静的触媒式水素処理装置 (その1)



静的触媒式水素処理装置 (その2)



静的触媒式水素処理装置 (その3)

VI-2-9-4-5-4 窒素ガス代替注入系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-5-4-1 管の耐震性についての計算書
(窒素ガス代替注入系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	10
3.1 計算方法	10
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	11
3.3 設計条件	12
3.4 材料及び許容応力	22
3.5 設計用地震力	23
4. 解析結果及び評価	24
4.1 固有周期及び設計震度	24
4.2 評価結果	31
4.2.1 管の応力評価結果	31
4.2.2 支持構造物評価結果	32
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	33
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	34

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、窒素ガス代替注入系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全10モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






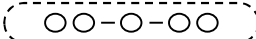

(3) 弁

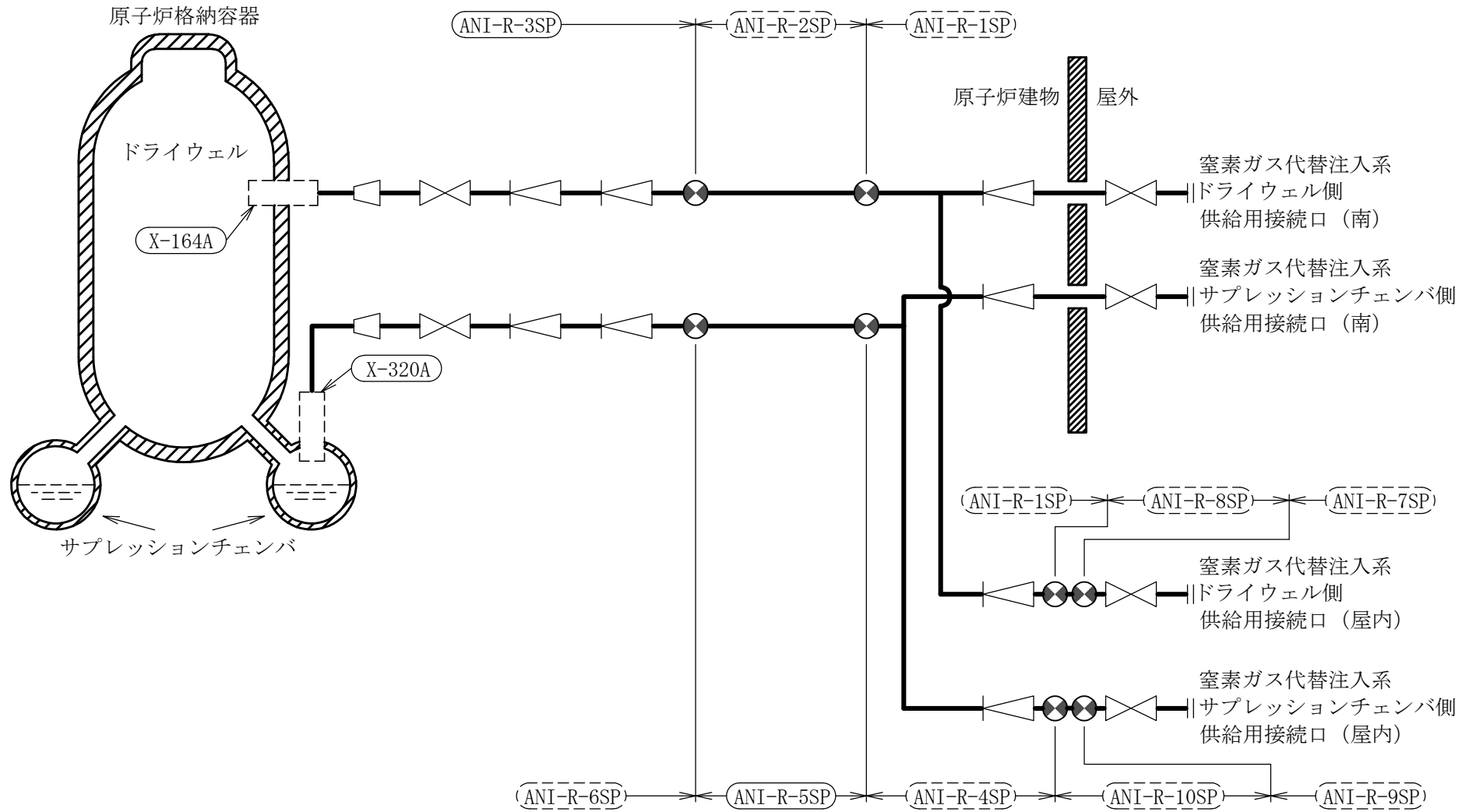
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管


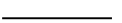
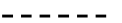


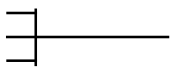
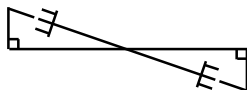
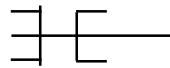
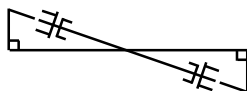

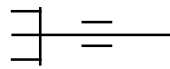
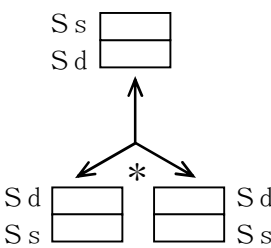


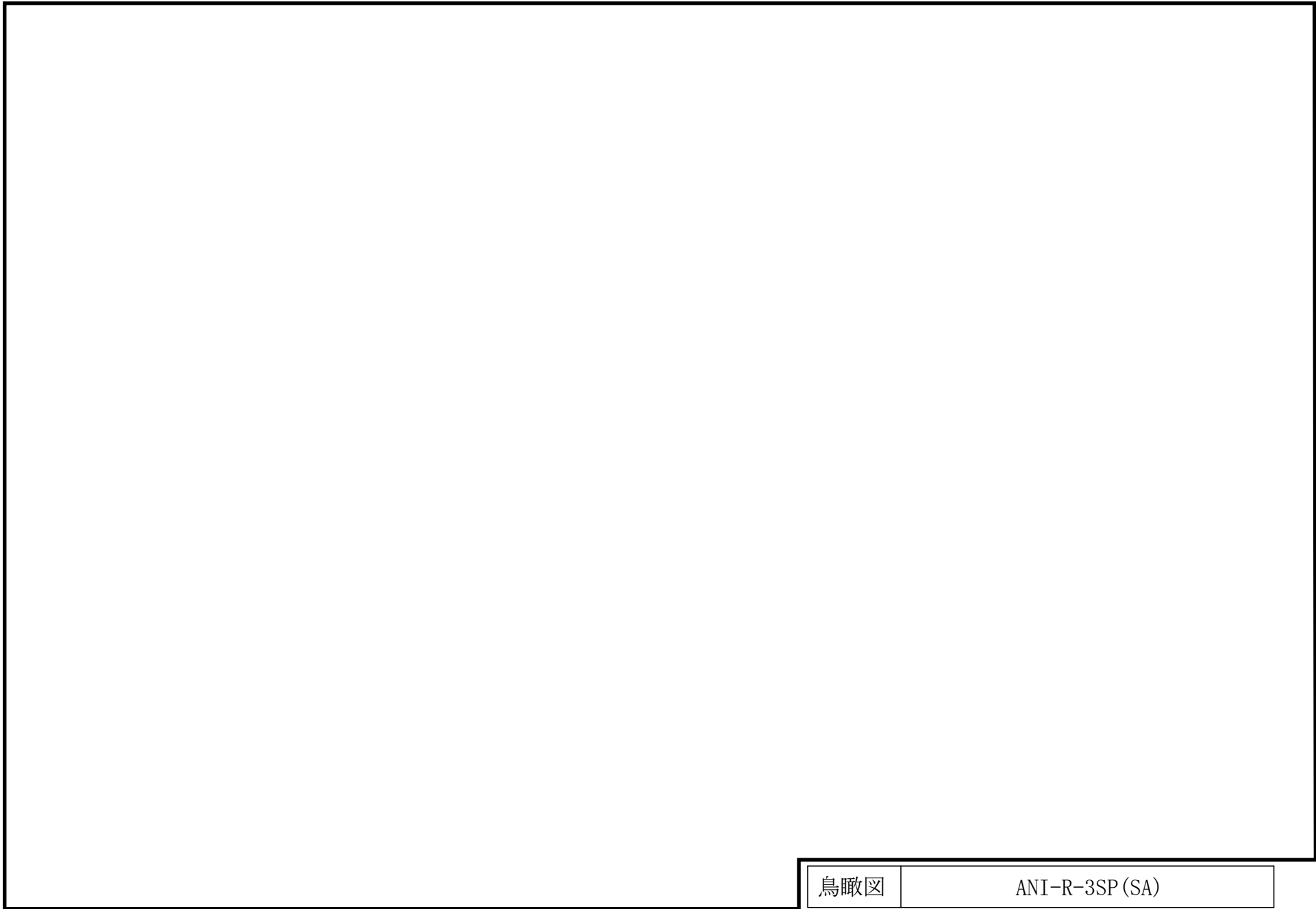
3

[注] 太線範囲の管クラス : SA2
窒素ガス代替注入系概略系統図

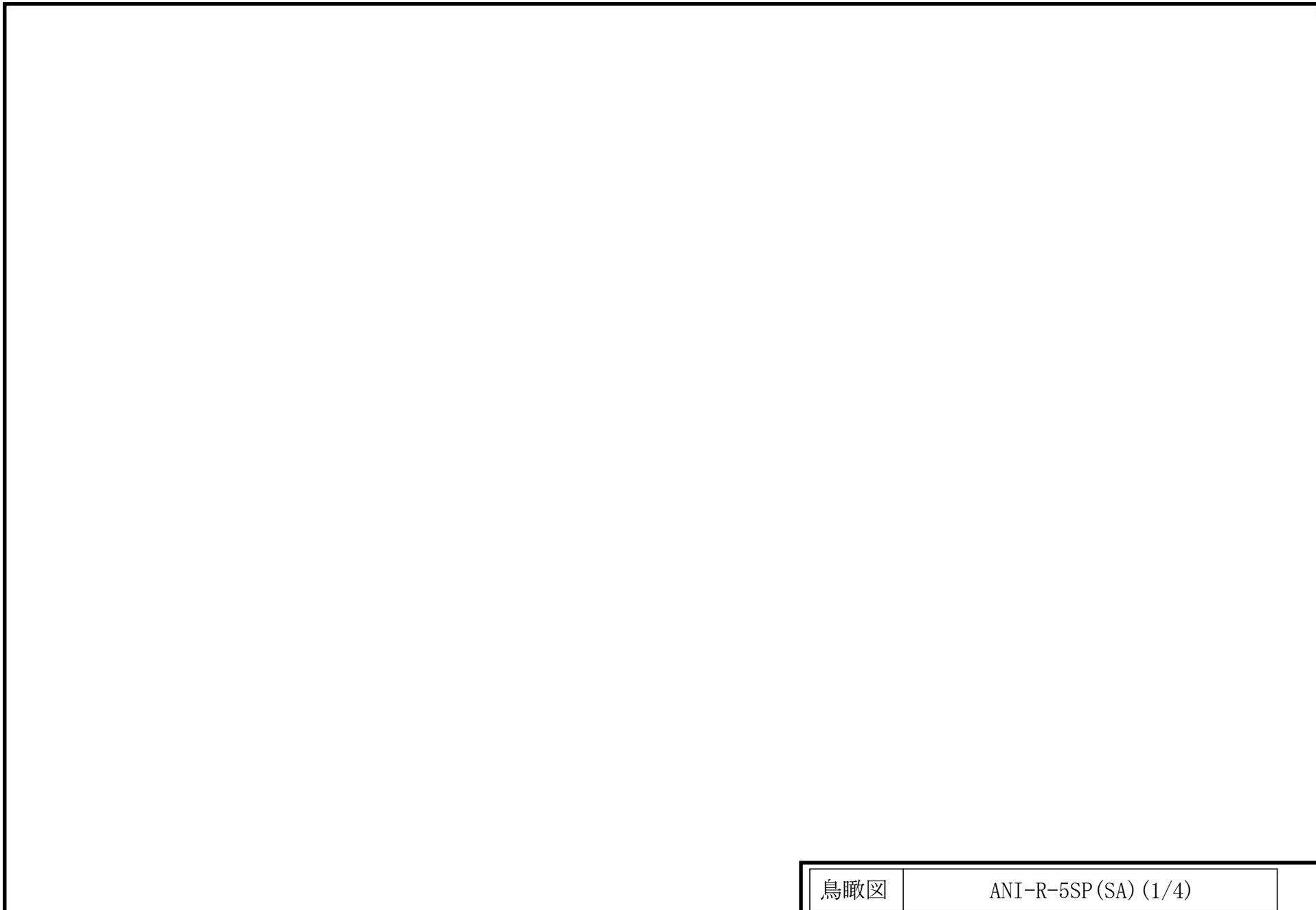
2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

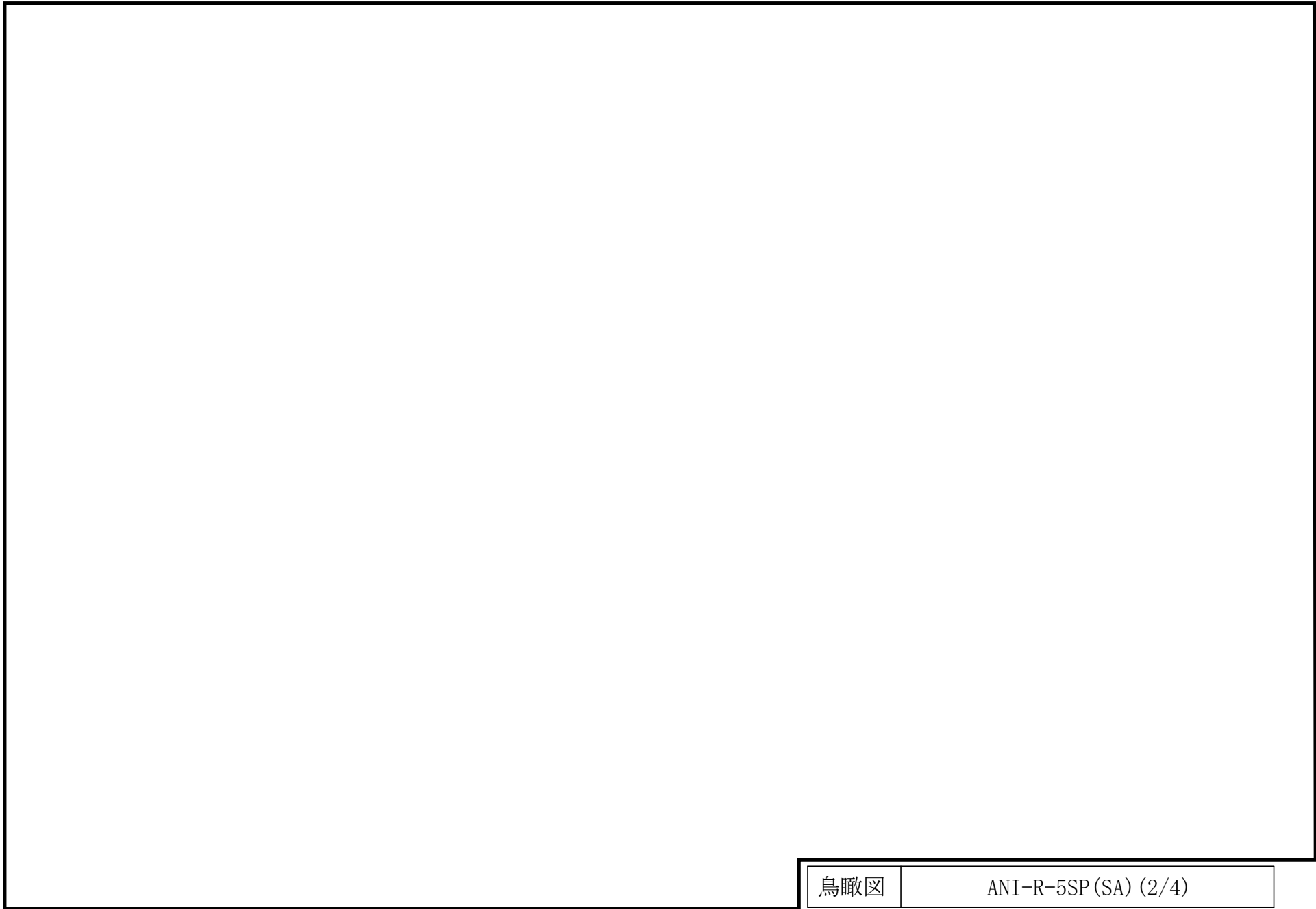
記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	ANI-R-3SP(SA)
-----	---------------

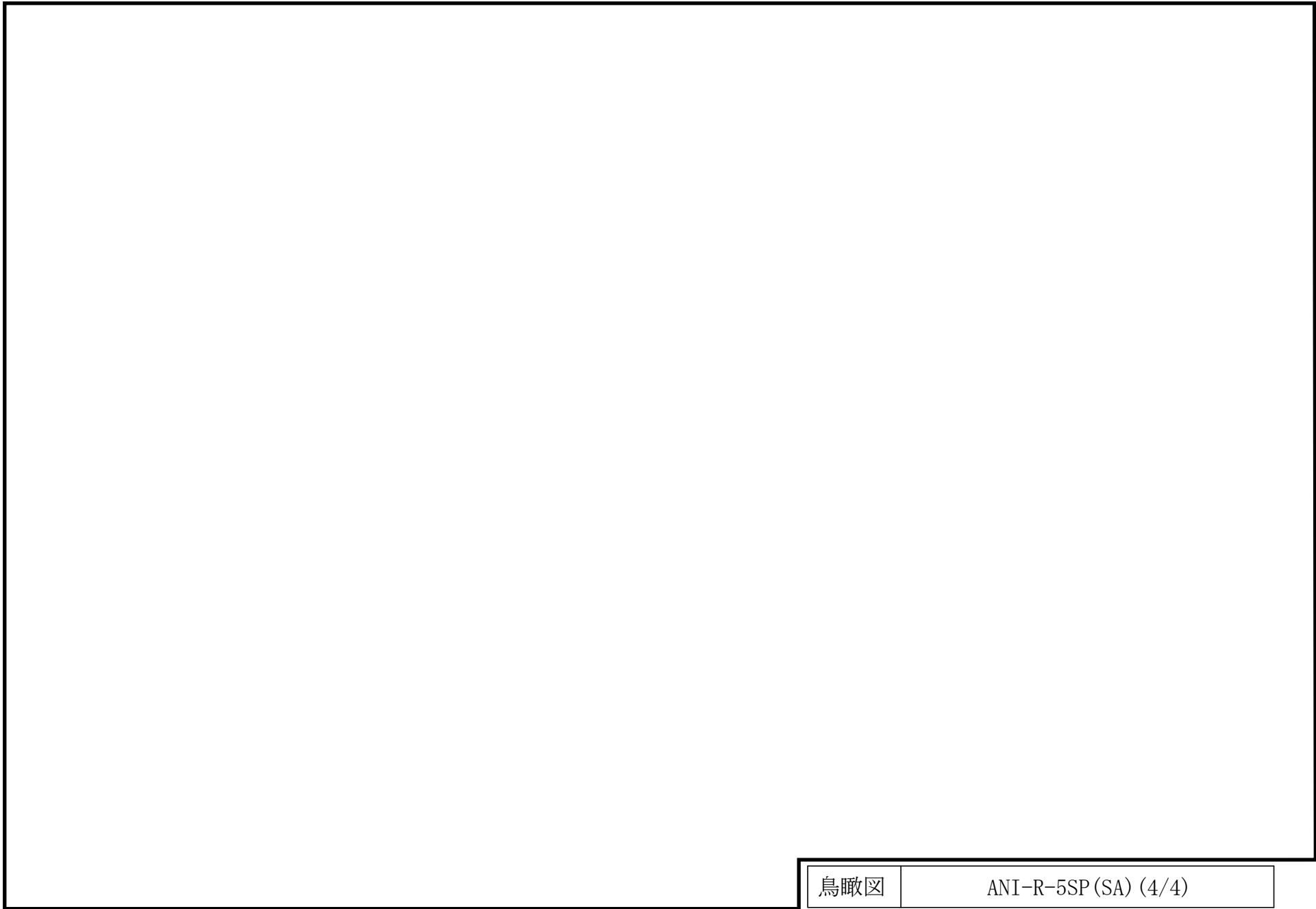


鳥瞰図	ANI-R-5SP(SA) (1/4)
-----	---------------------



∞

鳥瞰図	ANI-R-5SP(SA) (3/4)
-----	---------------------



鳥瞰図	ANI-R-5SP(SA) (4/4)
-----	---------------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	窒素ガス代替注入系	S A	常設／緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d$ ^{*6, *7, *8}	V _A S
							$V_L(LL) + S_s$ ^{*6, *9}	
							$V_L + S_s$ ^{*10}	

注記*1 : S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*8 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用しない場合)における荷重条件を適用する。

*9 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用する場合)における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ANI-R-3SP

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~19W	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.93	66
		Ⅴ _A S	0.93	66
2	20W~29W	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.93	200
		Ⅴ _A S	0.93	200
3	30W~32W	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.93	200
		Ⅴ _A S	0.93	200
4	33W~34W	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.853	200
		Ⅴ _A S	0.853	200
5	35W~40W	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.853	200
		Ⅴ _A S	0.853	200
6	40W~41	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.853	200
		Ⅴ _A S	0.853	200
7	41~45W	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.853	200
		Ⅴ _A S	0.853	200

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ANI-R-3SP

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～19W	60.5	5.5	STPT410	—	201667
2	20W～29W	60.5	5.5	STPT410	—	201667
3	30W～32W	60.5	5.5	STPT410	—	200400
4	33W～34W	60.5	5.5	STPT410	—	200400
5	35W～40W	27.2	3.9	STPT410	—	200400
6	40W～41	27.2	3.9	S25C	—	200400
7	41～45W	27.2	3.9	SUS316LTP	—	191800

配管の付加質量

鳥 瞰 図 ANI-R-3SP

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	501～7W, 11～1201

弁部の質量

鳥 瞰 図 ANI-R-3SP

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="text"/>	19W~20W, 29W~30W	<input type="text"/>	32W~33W

弁部の寸法

鳥 瞰 図 ANI-R-3SP

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
19W~20W				29W~30W			
32W~33W							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ANI-R-3SP

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
** 8 **						
8						
** 13 **						
13						
** 16 **						
16						
** 21 **						
21						
** 31 **						
31						
46N						

S2 補 VI-2-9-4-5-4-1 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ANI-R-5SP

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~160A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.93	66
		Ⅴ _A S	0.93	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 ANI-R-5SP

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~160A	60.5	5.5	STPT410	—	201667

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ANI-R-5SP

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
6						
8						
14						
18						
22						
26						
36						
41						
47						
50						
55						
** 55 **						
59						
64						
73						
78						
84						
89						
93						
100						
104						
110						
** 110 **						
117						
122						
** 122 **						
125						

S2 補 VI-2-9-4-5-4-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 ANI-R-5SP

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 125 **						
131						
** 131 **						
136						
** 136 **						
139						
143						
149						
154						
** 154 **						
160A						

S2 補 VI-2-9-4-5-4-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT410	66	—	231	407	—
STPT410	200	—	207	404	—
S25C	200	—	218	406	—
SUS316LTP	200	—	120	407	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
ANI-R-3SP	原子炉建物	EL			
ANI-R-5SP	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ANI-R-3SP

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度		応答鉛直震度
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
動的震度*2, *3				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

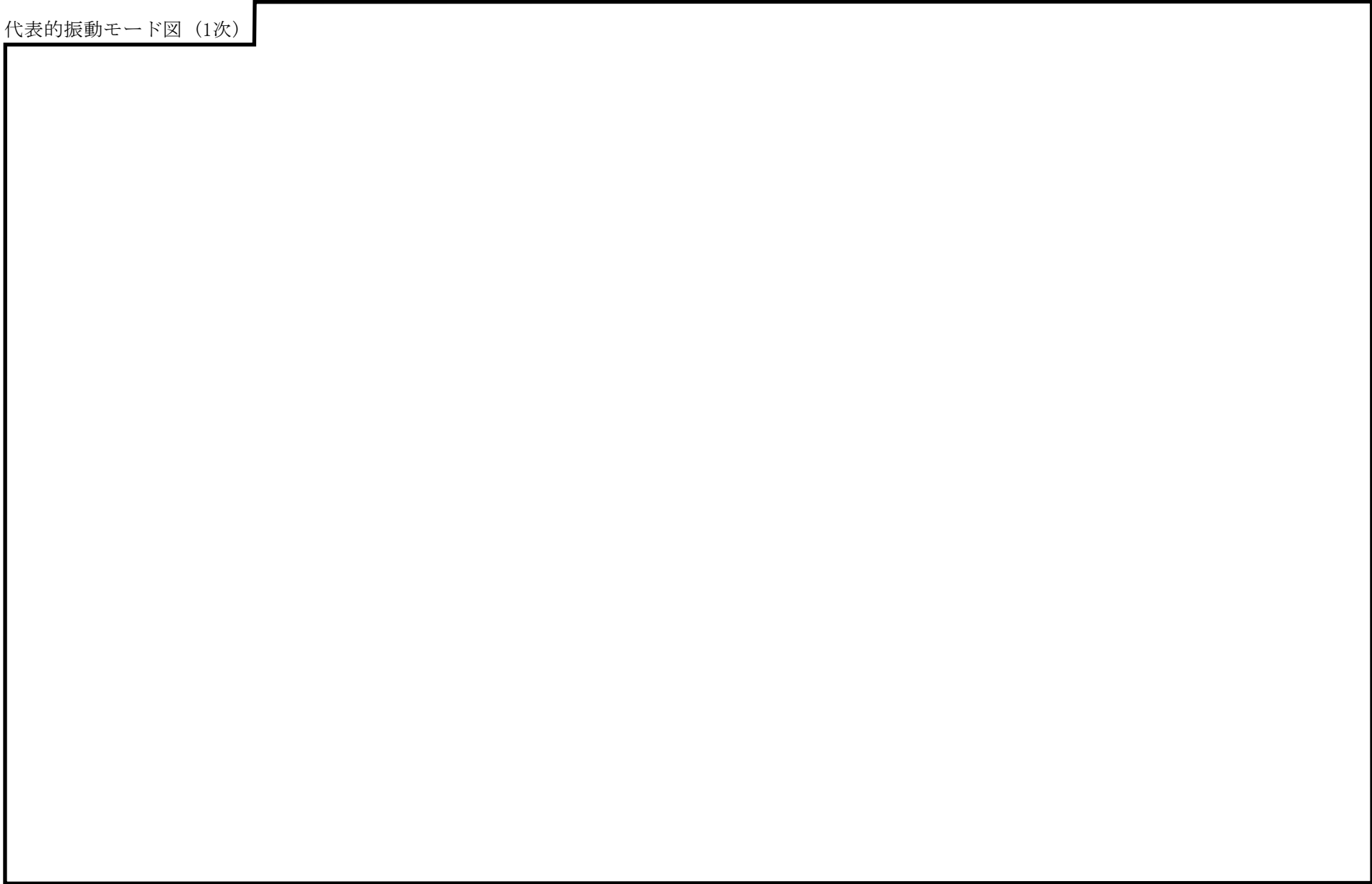
*2：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*3：最大応答加速度を1.2倍した震度

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 ANI-R-5SP

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

- *2：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度
- *3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）
- *4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 ANI-R-5SP

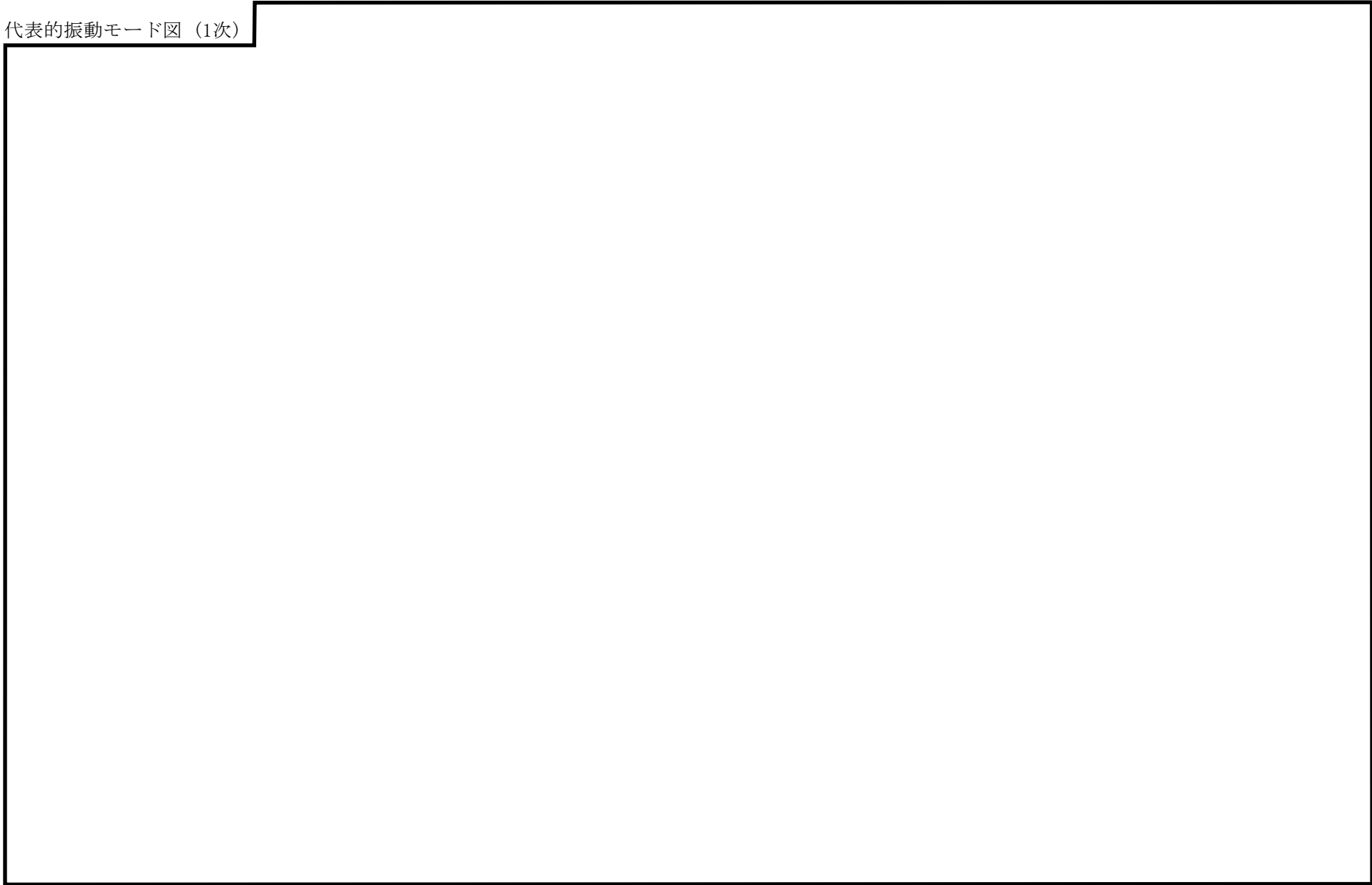
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



30

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	ANI-R-5SP	87W	114	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	ANI-R-3SP	35W	191	414	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	ANI-R-5SP	87W	114	366	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	ANI-R-3SP	35W	191	414	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
—	オイルスナッパ	—			—	—	—
—	ロッドレストレイント	—			—	—	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	—
—	コンスタントハンガ	—			—	—	—
—	リジットハンガ	—			—	—	—

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-ANI-201	レストレイント	ラグ	SGV410	100	2	2	5	—	—	—	組合せ	70	139
AN-ANI-119	アンカ	ラグ	SGV410	100	3	1	1	1	1	1	組合せ	65	139

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	ANI-R-1SP	74	106	366	3.45	—	74	201	462	2.29	—	—
2	ANI-R-2SP	9W	98	366	3.73	—	9W	186	462	2.48	—	—
3	ANI-R-3SP	13	38	366	9.63	—	35W	191	414	2.16	—	○
4	ANI-R-4SP	72	95	366	3.85	—	72	179	462	2.58	—	—
5	ANI-R-5SP	87W	114	366	3.21	○	87W	199	462	2.32	—	—
6	ANI-R-6SP	7W	28	363	12.96	—	24W	175	414	2.36	—	—
7	ANI-R-7SP	64W	95	366	3.85	—	64W	182	462	2.53	—	—
8	ANI-R-8SP	141	97	366	3.77	—	141	186	462	2.48	—	—
9	ANI-R-9SP	12	101	366	3.62	—	48	186	462	2.48	—	—
10	ANI-R-10SP	198W	112	366	3.26	—	198W	209	462	2.21	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	ANI-R-1SP	74	106	366	3.45	—	74	201	462	2.29	—	—
2	ANI-R-2SP	9W	98	366	3.73	—	9W	186	462	2.48	—	—
3	ANI-R-3SP	13	38	366	9.63	—	35W	191	414	2.16	—	○
4	ANI-R-4SP	72	95	366	3.85	—	72	179	462	2.58	—	—
5	ANI-R-5SP	87W	114	366	3.21	○	87W	199	462	2.32	—	—
6	ANI-R-6SP	7W	28	363	12.96	—	24W	175	414	2.36	—	—
7	ANI-R-7SP	64W	95	366	3.85	—	64W	182	462	2.53	—	—
8	ANI-R-8SP	141	97	366	3.77	—	141	186	462	2.48	—	—
9	ANI-R-9SP	12	101	366	3.62	—	48	186	462	2.48	—	—
10	ANI-R-10SP	198W	112	366	3.26	—	198W	209	462	2.21	—	—

VI-2-9-4-6 原子炉格納容器調気設備の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-6-1 窒素ガス制御系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-6-1-1 管の耐震性についての計算書
(窒素ガス制御系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	4
3. 計算条件	12
3.1 計算方法	12
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	13
3.3 設計条件	14
3.4 材料及び許容応力	26
3.5 設計用地震力	27
4. 解析結果及び評価	28
4.1 固有周期及び設計震度	28
4.2 評価結果	40
4.2.1 管の応力評価結果	40
4.2.2 支持構造物評価結果	41
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	42
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	43

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、窒素ガス制御系の管、支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全2モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






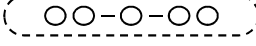

(3) 弁

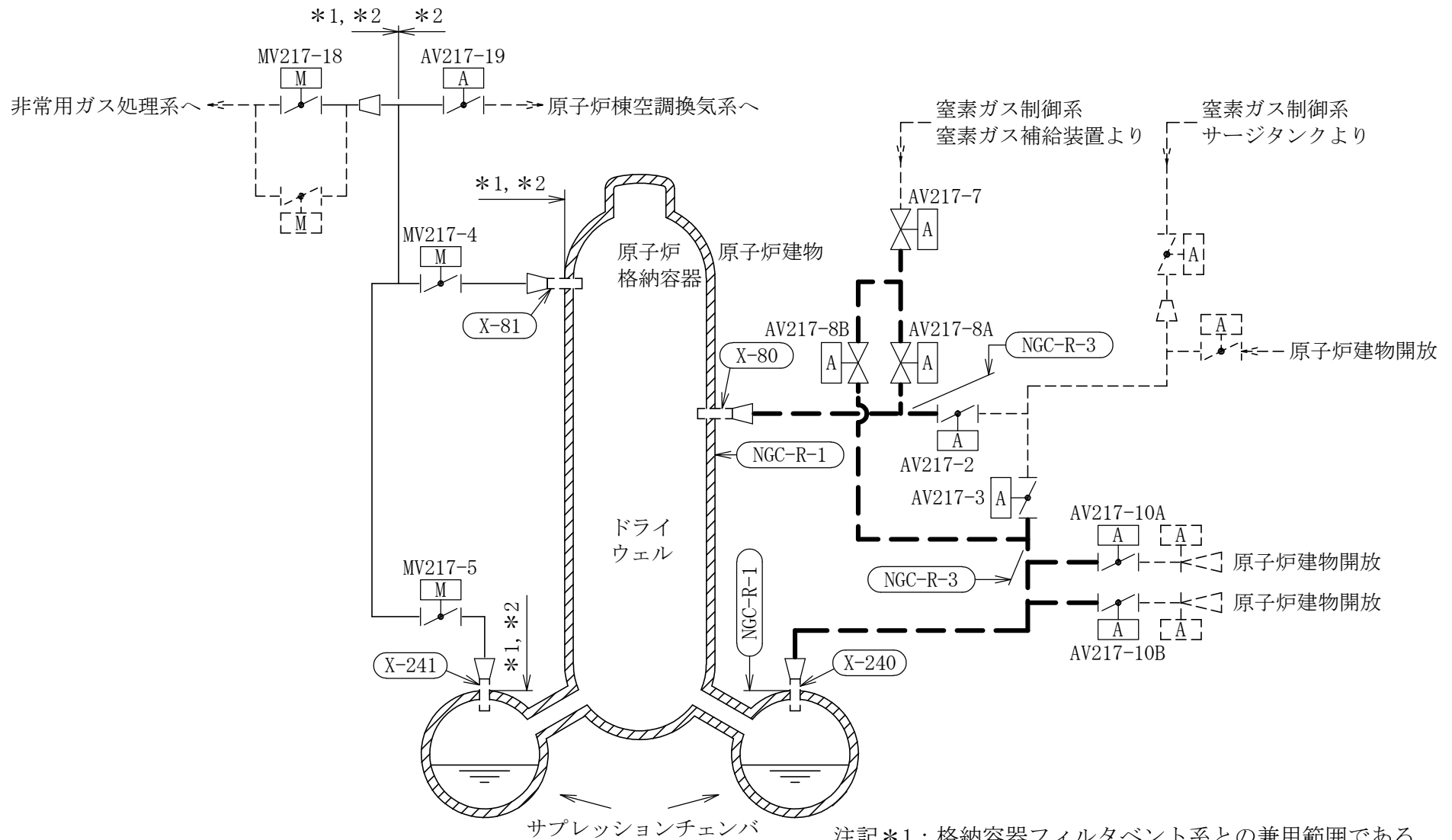
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として、弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管、又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管



注記*1：格納容器フィルタベント系との兼用範囲である。



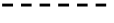


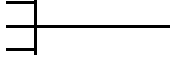
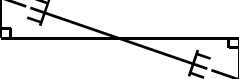
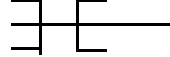
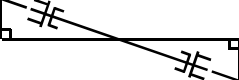

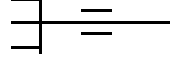
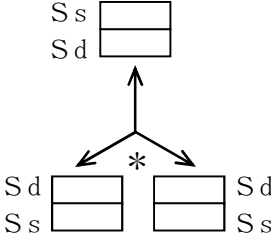
*2：計算結果は非常用ガス処理系に含めて示す。

[注] 太破線範囲の管クラス：DB2

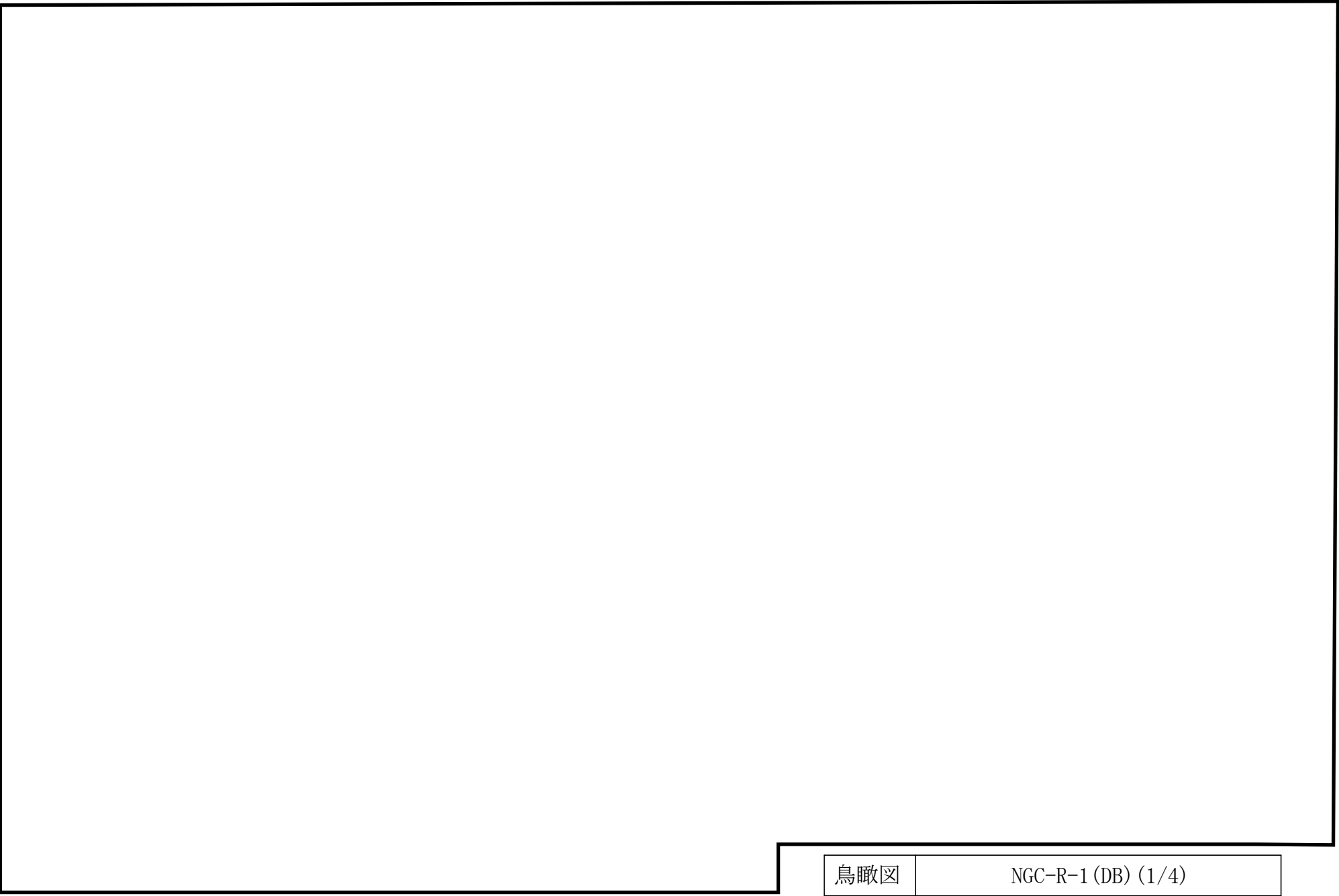
窒素ガス制御系概略系統図

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

5



鳥瞰図

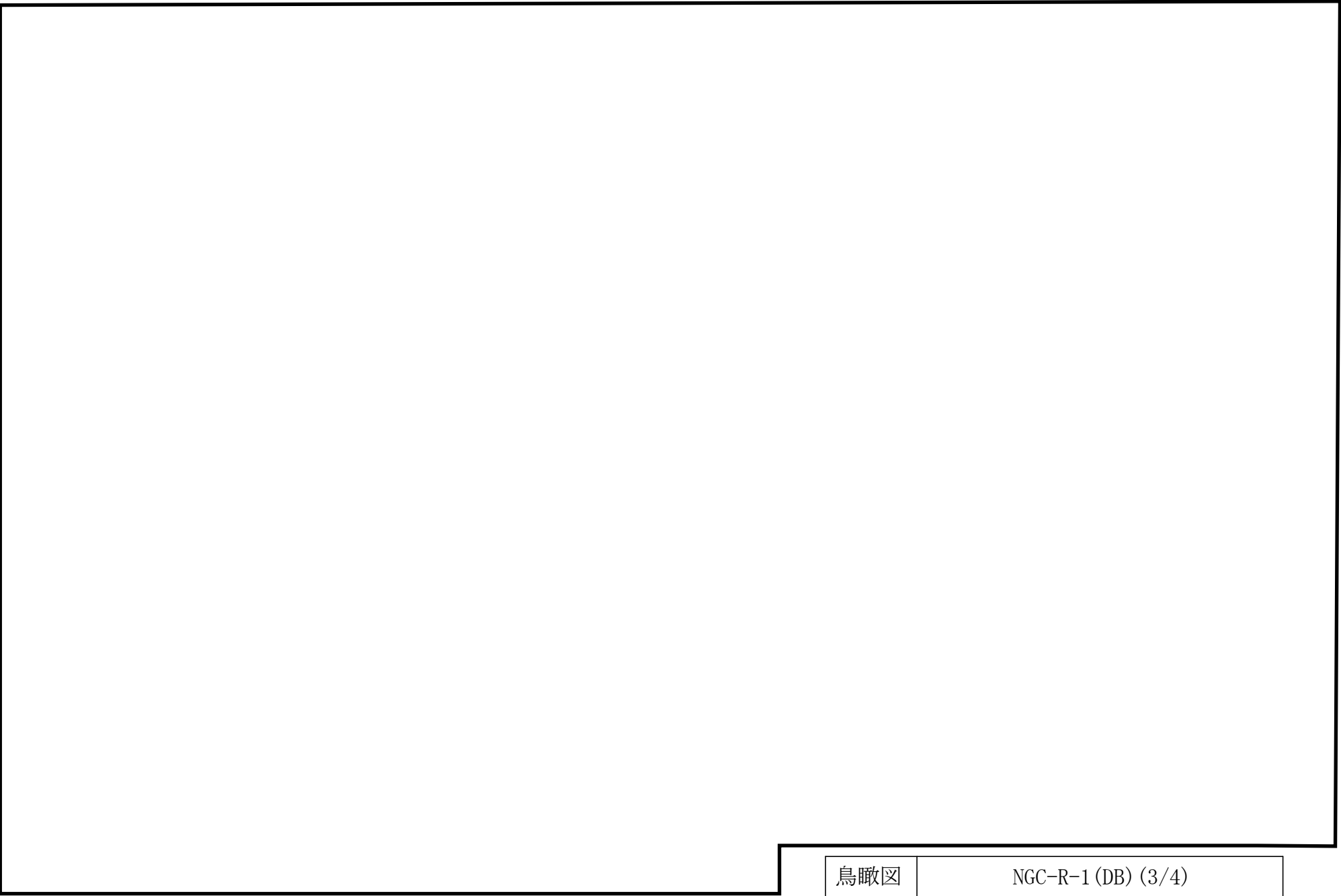
NGC-R-1 (DB) (1/4)

9

鳥瞰図

NGC-R-1 (DB) (2/4)

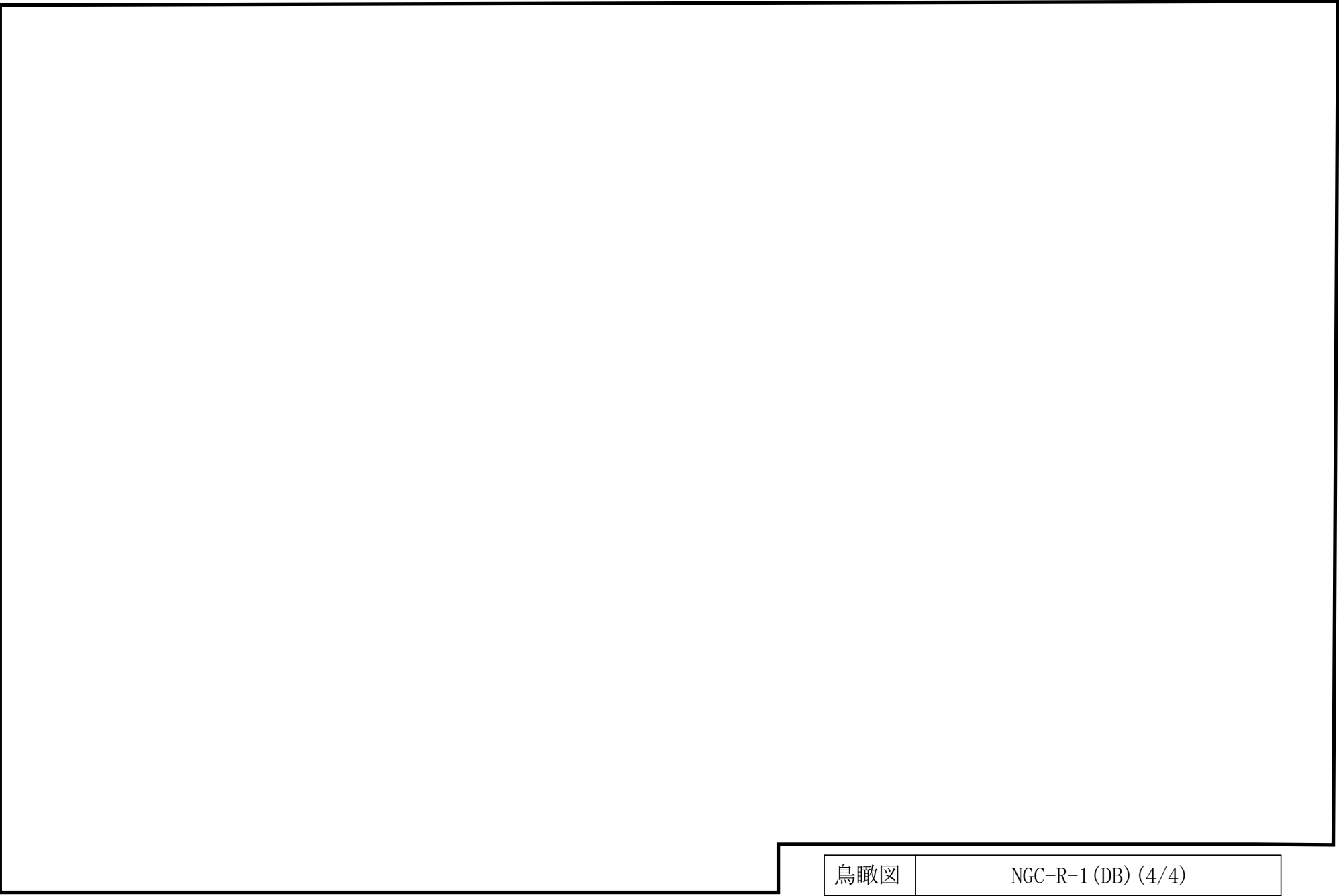
7



鳥瞰図

NGC-R-1 (DB) (3/4)

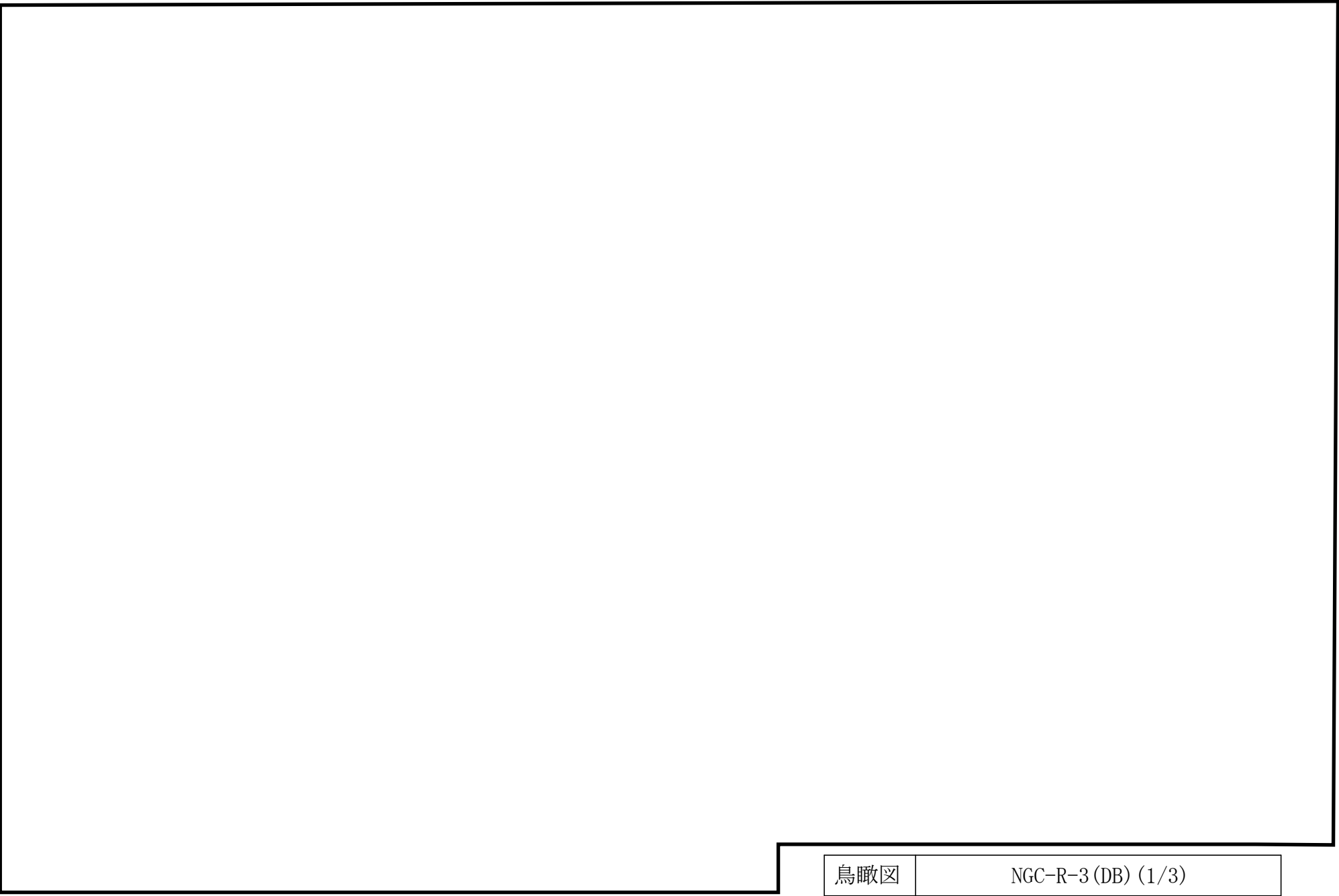
∞



鳥瞰図

NGC-R-1 (DB) (4/4)

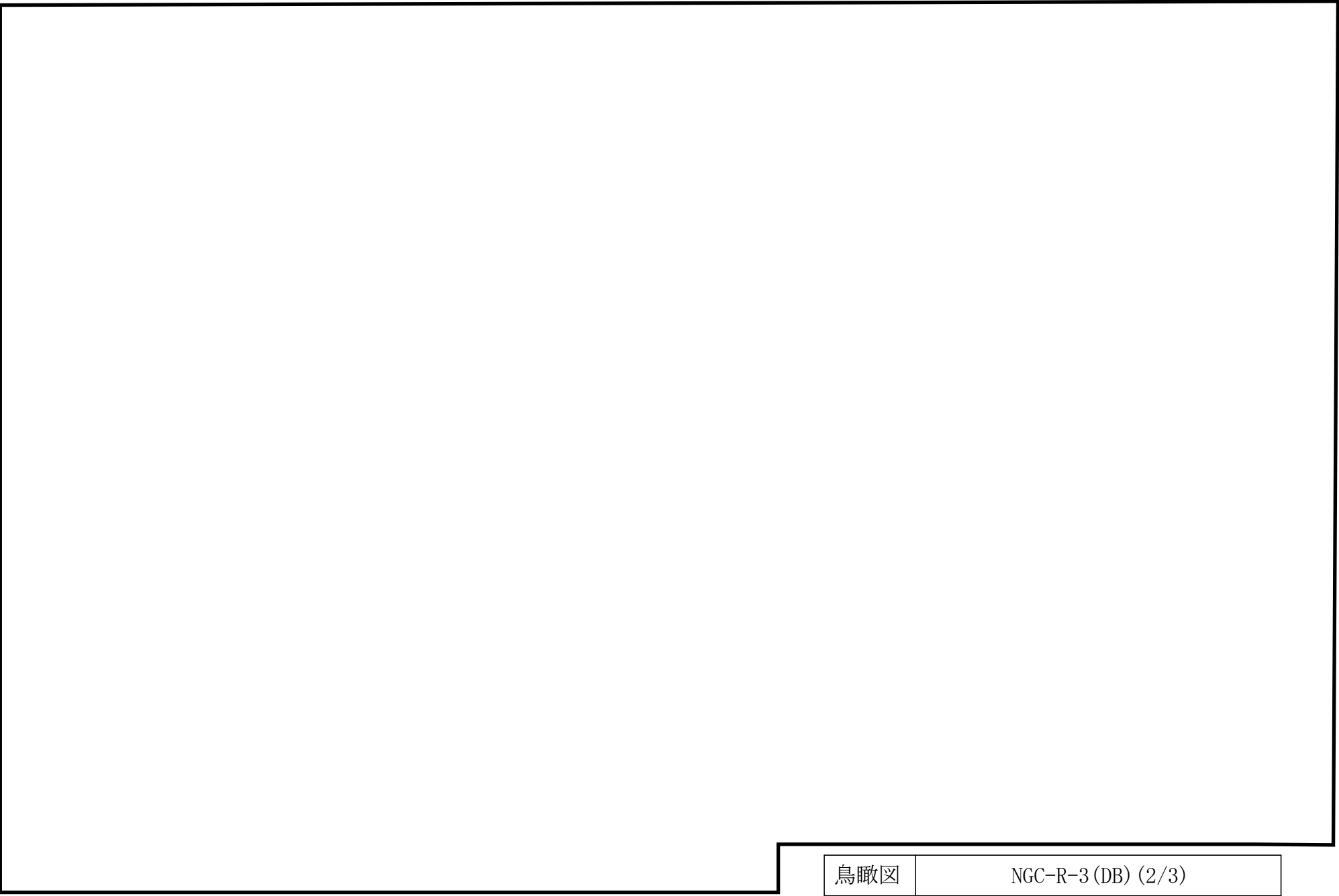
6



鳥瞰図

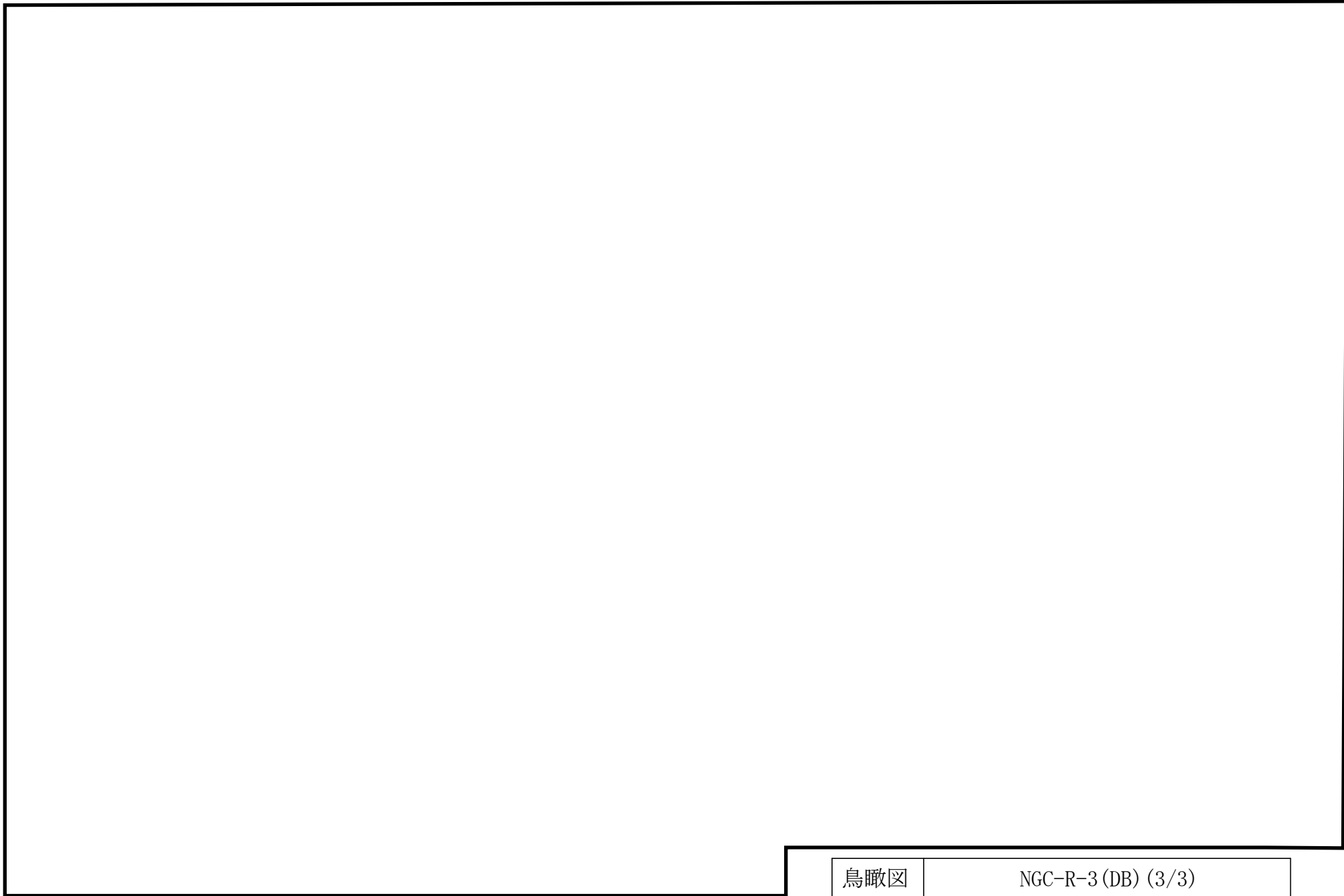
NGC-R-3 (DB) (1/3)

10



鳥瞰図

NGC-R-3 (DB) (2/3)



鳥瞰図

NGC-R-3 (DB) (3/3)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2, *3}	許容応力状態
原子炉格納施設	原子炉格納容器調気設備	窒素ガス制御系	DB	—	クラス2管	S	I _L + S _d	III _A S
							II _L + S _d	
							I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*3：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 NGC-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	66F~70, 72~73	Ⅲ _A S	0.427	104
	7401~80, 129~130F	Ⅳ _A S	0.427	104
	139~140F	Ⅴ _A S	—	—
2	70~72, 73~7401	Ⅲ _A S	0.427	104
	71~129, 74~139	Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	—	—
3	123F~125	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 NGC-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	66F～70, 72～73 7401～80, 129～130F 139～140F	609.6	9.5	SM41C	S	200400
2	70～72, 73～7401 71～129, 74～139	619.2	14.3	SM41C	S	200400
3	123F～125	609.6	9.5	SM41C	S	200400

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 NGC-R-1

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	62F, 66F, 119F, 123F, 130F, 135F, 140F, 145F

弁部の質量

鳥 瞰 図 NGC-R-1

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	62F, 66F, 119F, 123F		63, 120
	65, 122		131, 141
	132, 142		133, 143
	134, 144		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 NGC-R-1

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
62F~63				63~64			
64~6401				6401~65			
63~66F				119F~120			
120~121				121~1211			
1211~122				120~123F			
130F~131				131~132			
132~1321				1321~133			
133~134				131~135F			
140F~141				141~142			
142~143				143~1431			
1431~144				141~145F			

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 NGC-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 64 **						
6401						
** 68 **						
69						
** 6901 **						
7201						
** 7501 **						
** 7901 **						
82N						
** 82N **						
** 82N **						
** 121 **						
** 1211 **						
128N						
** 128N **						
** 128N **						
1321						
1431						

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 R1

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 NGC-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	7W~13W, 18W~46N 10~48W	Ⅲ _A S	0.427	171
		Ⅳ _A S	0.427	171
		Ⅴ _A S	—	—
2	53W~73N	Ⅲ _A S	0.427	104
		Ⅳ _A S	0.427	104
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し、管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 NGC-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	7W～13W, 18W～46N 10～48W	60.5	5.5	STPT42	S	200400
2	53W～73N	60.5	5.5	STPT42	S	200400

弁部の質量

鳥 瞰 図 NGC-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	2W, 7W		3
	4		5
	13W, 18W, 48W, 53W		14, 49
	15, 50		16, 51

弁部の寸法

鳥 瞰 図 NGC-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
2W~3	[Blank]	[Blank]	[Blank]	3~4	[Blank]	[Blank]	[Blank]
4~5				5~6			
3~7W				13W~14			
14~15				15~16			
16~17				14~18W			
48W~49				49~50			
50~51				51~52			
49~53W							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 NGC-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 6 **						
8						
** 8 **						
12						
** 12 **						
1205						
** 1205 **						
** 17 **						
21						
** 21 **						
24						
27						
** 27 **						
30						
** 30 **						
33						
** 33 **						
38						
** 38 **						
46N						

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 R1

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 NGC-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
** 52 **						
54						
** 54 **						
63						
67						
** 67 **						
73N						

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41C	104	—	219	373	—
SM41C	171	—	201	373	—
STPT42	171	—	211	404	—
STPT42	104	—	219	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
NGC-R-1	原子炉建物	EL	[Redacted]	[Redacted]	[Redacted]
NGC-R-3	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 NGC-R-1

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s			
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3	
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向	
1次								
2次								
3次								
4次								
5次								
6次								
7次								
8次								
14次								
動的震度*4, *5								
静的震度*6								

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S_d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_V$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 NGC-R-1

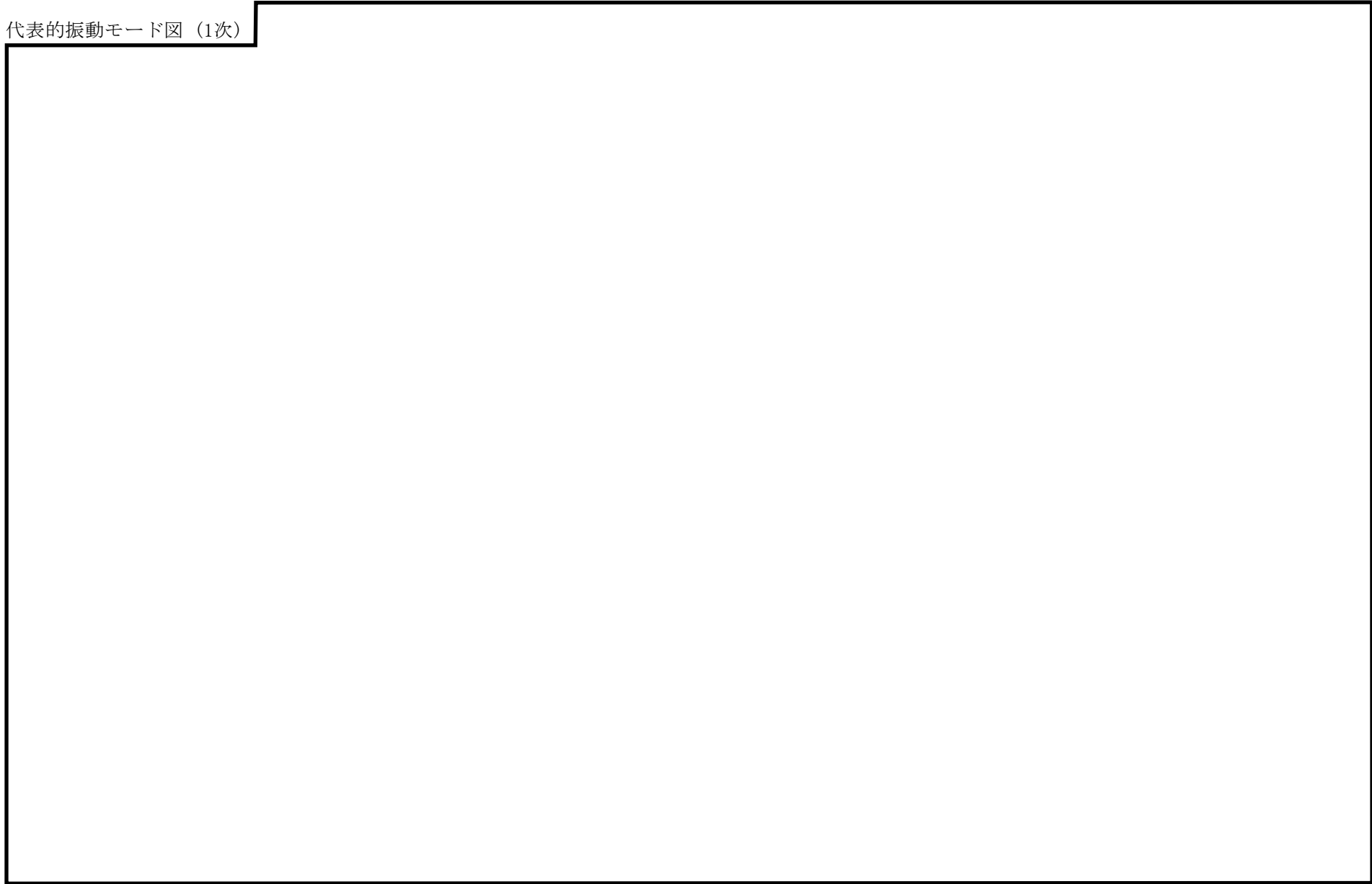
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
14次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

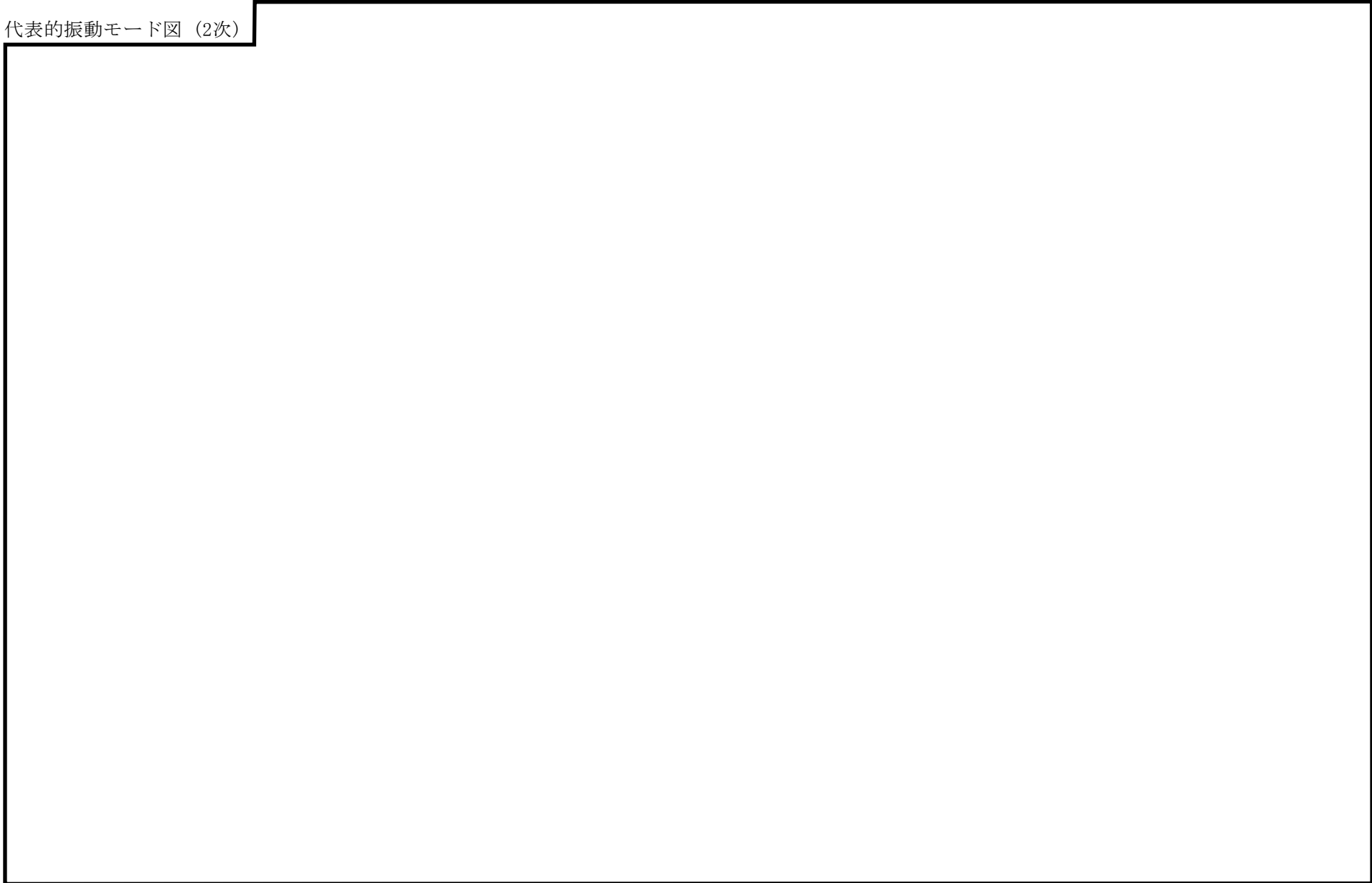
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

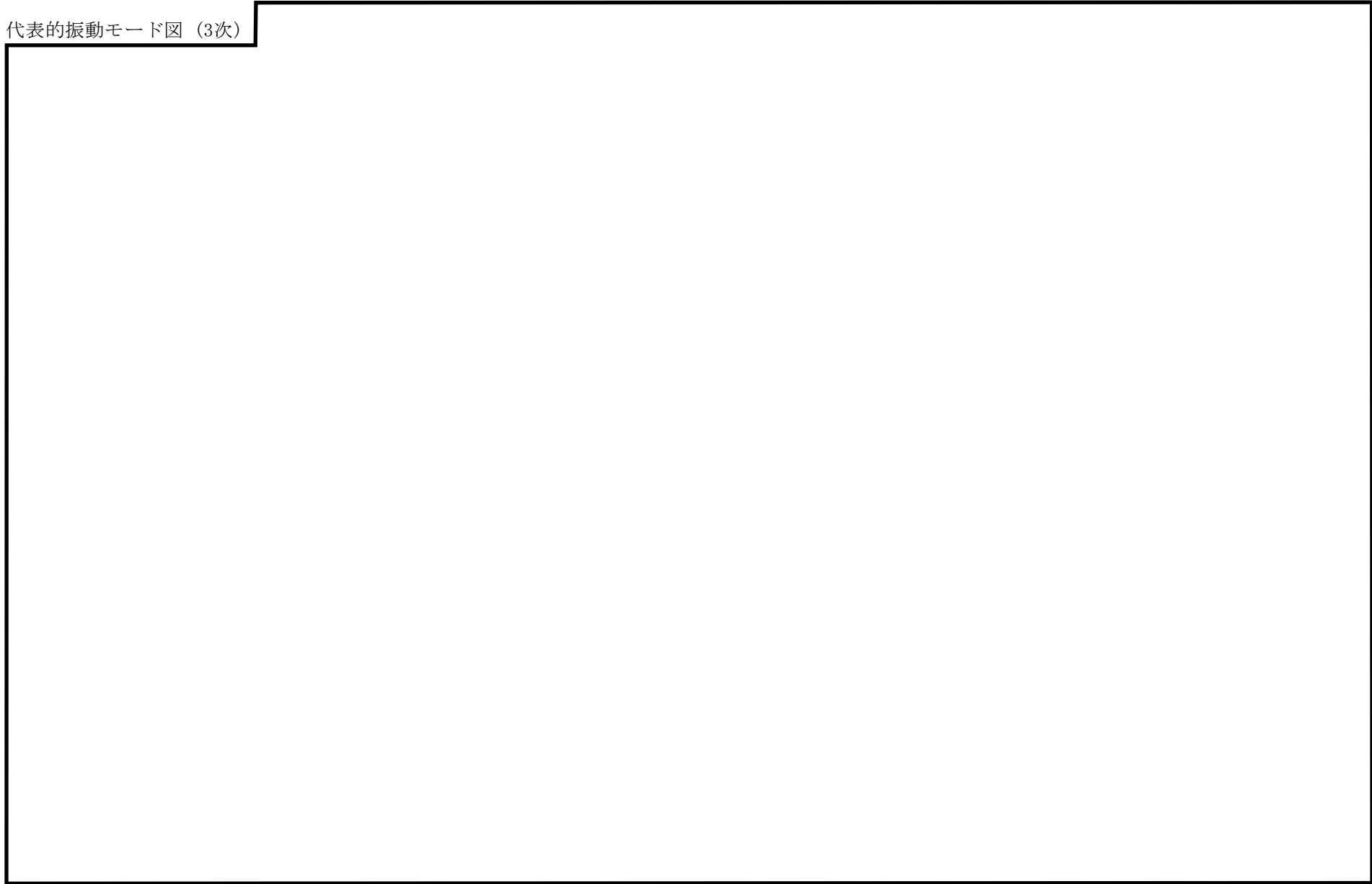
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 NGC-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S d 及び静的震度			基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
5次							
6次							
7次							
8次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトル I (弾性設計用地震動 S d)により得られる震度

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S d)及び設計用震度 I (基準地震動 S s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 NGC-R-3

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				

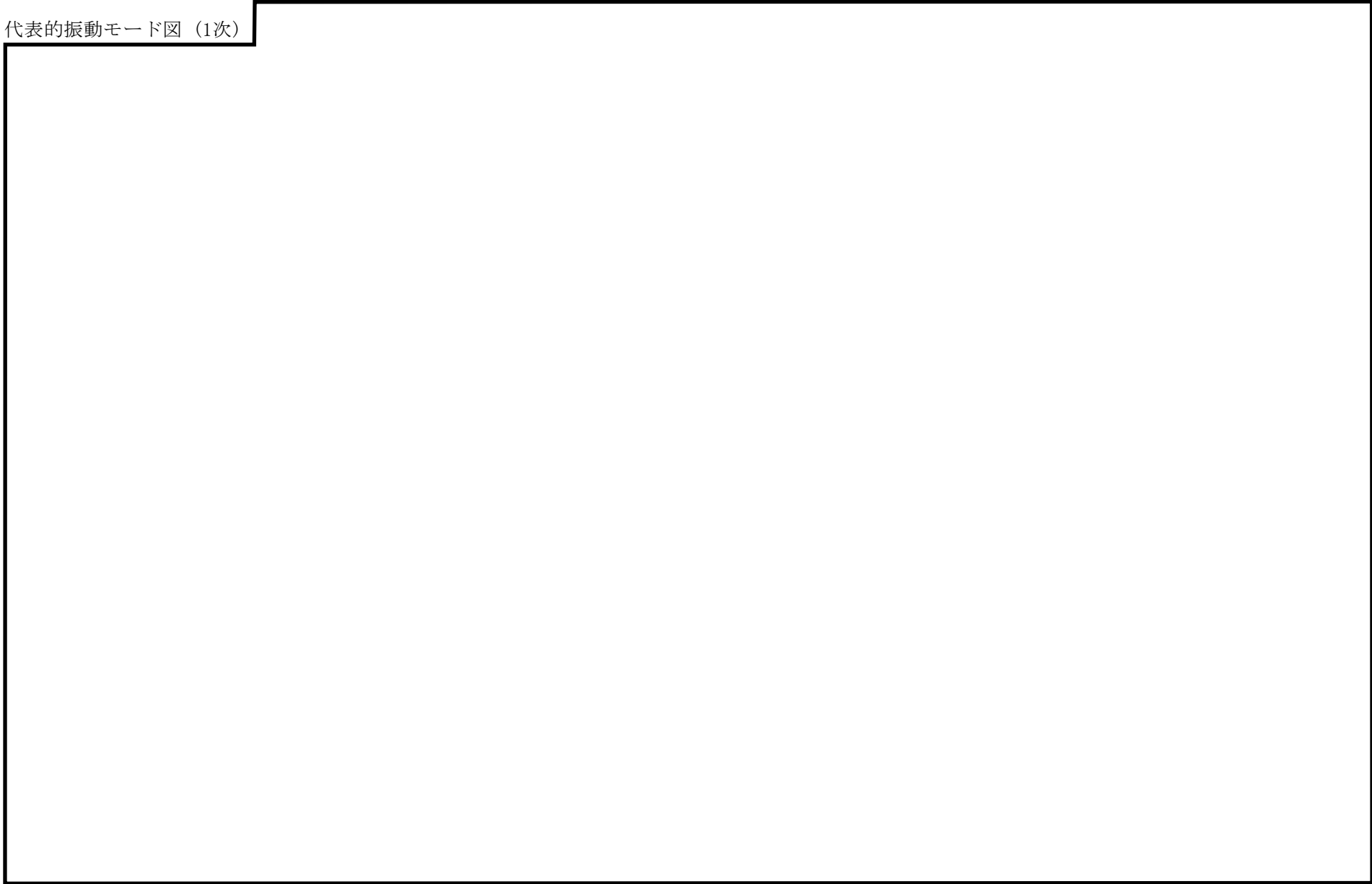
注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

S2 補 VI-2-9-4-6-1-1 R1

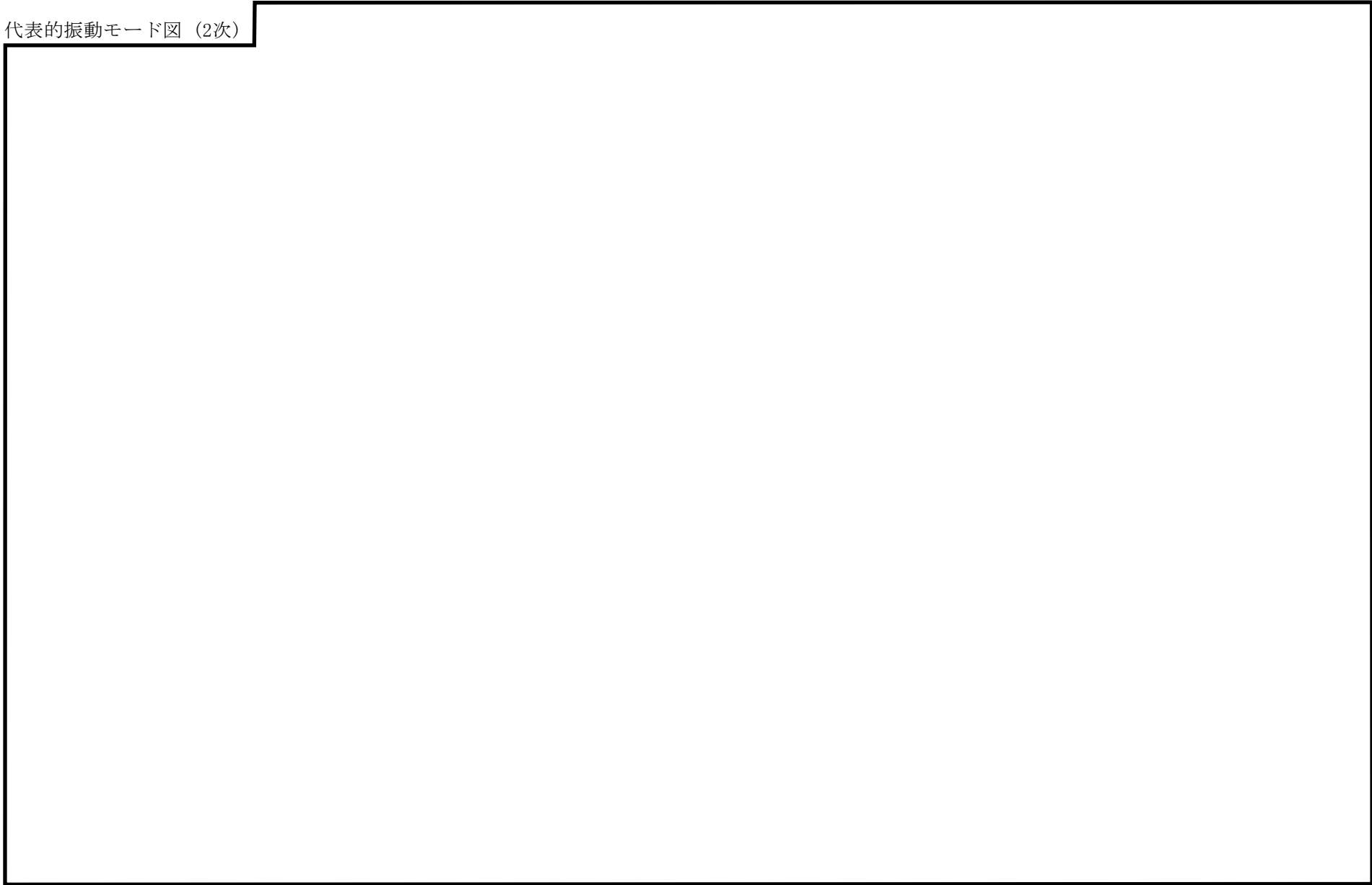
代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

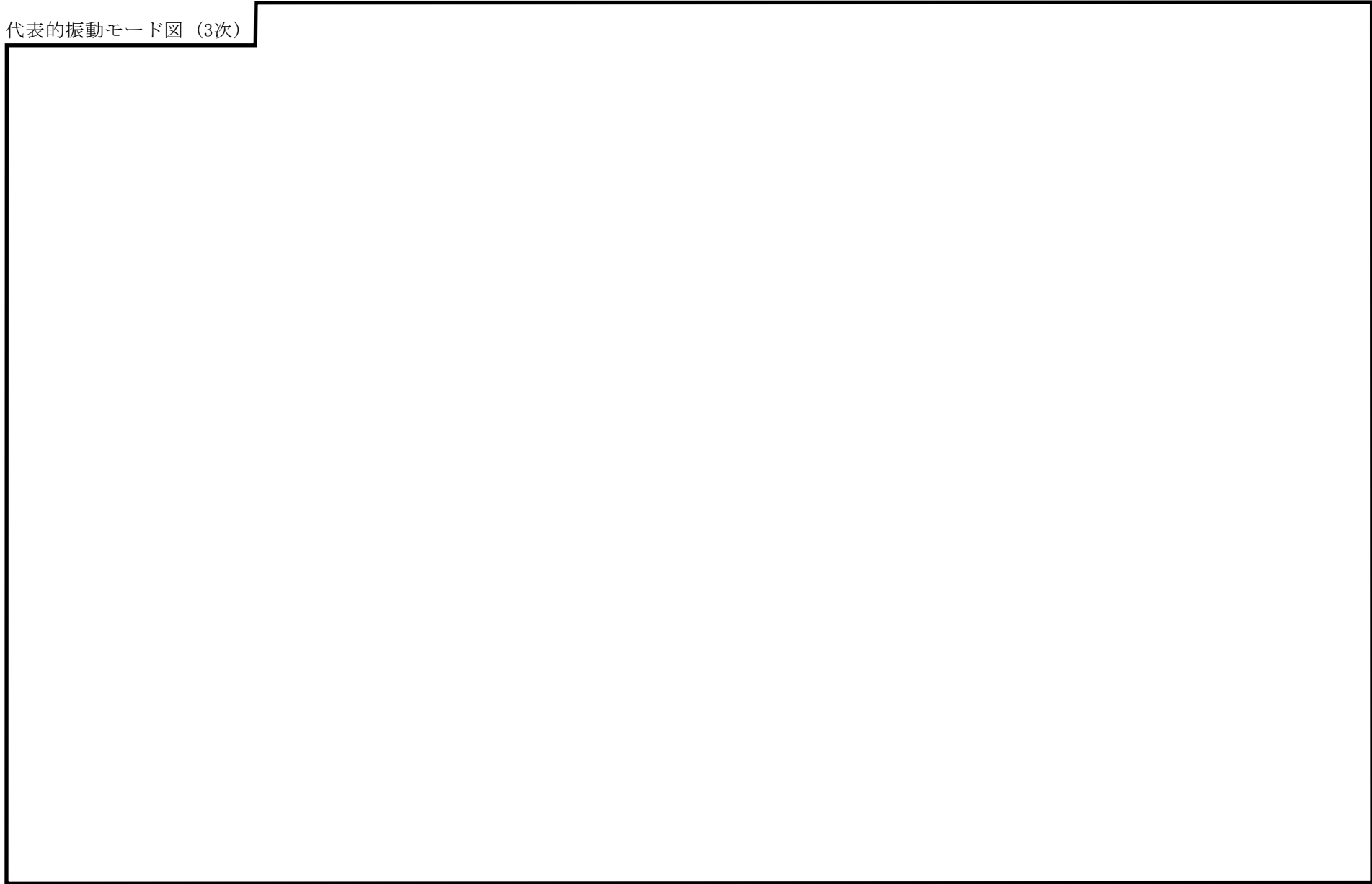
代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス2以下の管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S d U S s
Ⅲ _A S	一次応力 $S_{p r m}(S_y^*)$	NGC-R-3	67	66	219	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	NGC-R-1	79	175	438	—
Ⅳ _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	NGC-R-3	67	109	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	NGC-R-1	79	380	438	—

注記* : オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については, S_y と $1.2 \cdot S$ のうち大きい方とする。

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
SNM-NGC-237	メカニカルスナッパ	SMS-3	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	100	31	45	—
SNO-NGC-239	オイルスナッパ	SN-16			212	240	—
RE-NGC-259	ロッドレストレイント	RSA-16			147	288	—
—	スプリングハンガ	—			—	—	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-NGC-233	レストレイント	ビーム	STKR400	100	0	64	0	—	—	—	組合せ	84	135
—	アンカ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
AV217-10A	空気作動 バタフライ弁	β (S s)	1.6	1.2	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
AV217-10B	空気作動 バタフライ弁	β (S s)	2.5	1.2	—	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス2以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	NGC-R-1	71	39	219	5.61	—	79	175	438	2.50	—	○
2	NGC-R-3	67	66	219	3.31	○	67	125	438	3.50	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス 2 以下の管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	NGC-R-1	71	57	335	5.87	—	79	380	438	1.15	—	○
2	NGC-R-3	67	109	363	3.33	○	67	233	438	1.87	—	—

VI-2-9-4-7 圧力逃がし装置の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-7-1 格納容器フィルタベント系の耐震性についての計算書

VI-2-9-4-7-1-1 管の耐震性についての計算書
(格納容器フィルタベント系)

目 次

1. 概要	1
2. 概略系統図及び鳥瞰図	2
2.1 概略系統図	2
2.2 鳥瞰図	6
3. 計算条件	9
3.1 計算方法	9
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	10
3.3 設計条件	12
3.4 材料及び許容応力	16
3.5 設計用地震力	17
4. 解析結果及び評価	18
4.1 固有周期及び設計震度	18
4.2 評価結果	23
4.2.1 管の応力評価結果	23
4.2.2 支持構造物評価結果	24
4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果	25
4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	26

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき、格納容器フィルタベント系の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

工事計画記載範囲の管のうち，各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また，全42モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.2.4に記載する。

(2) 支持構造物

工事計画記載範囲の支持点のうち，種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。






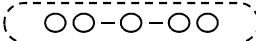

(3) 弁

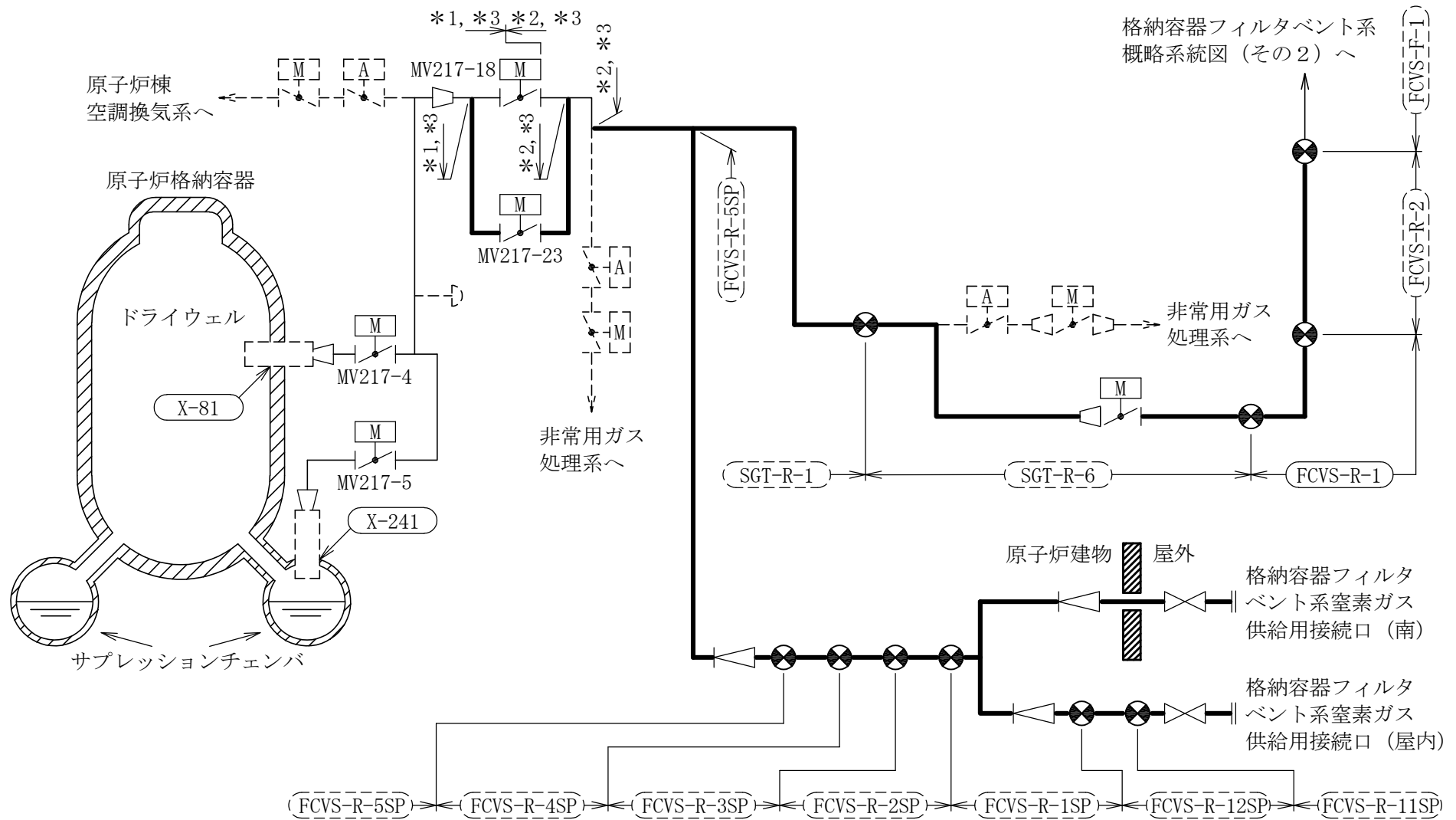
機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

2. 概略系統図及び鳥瞰図

2.1 概略系統図

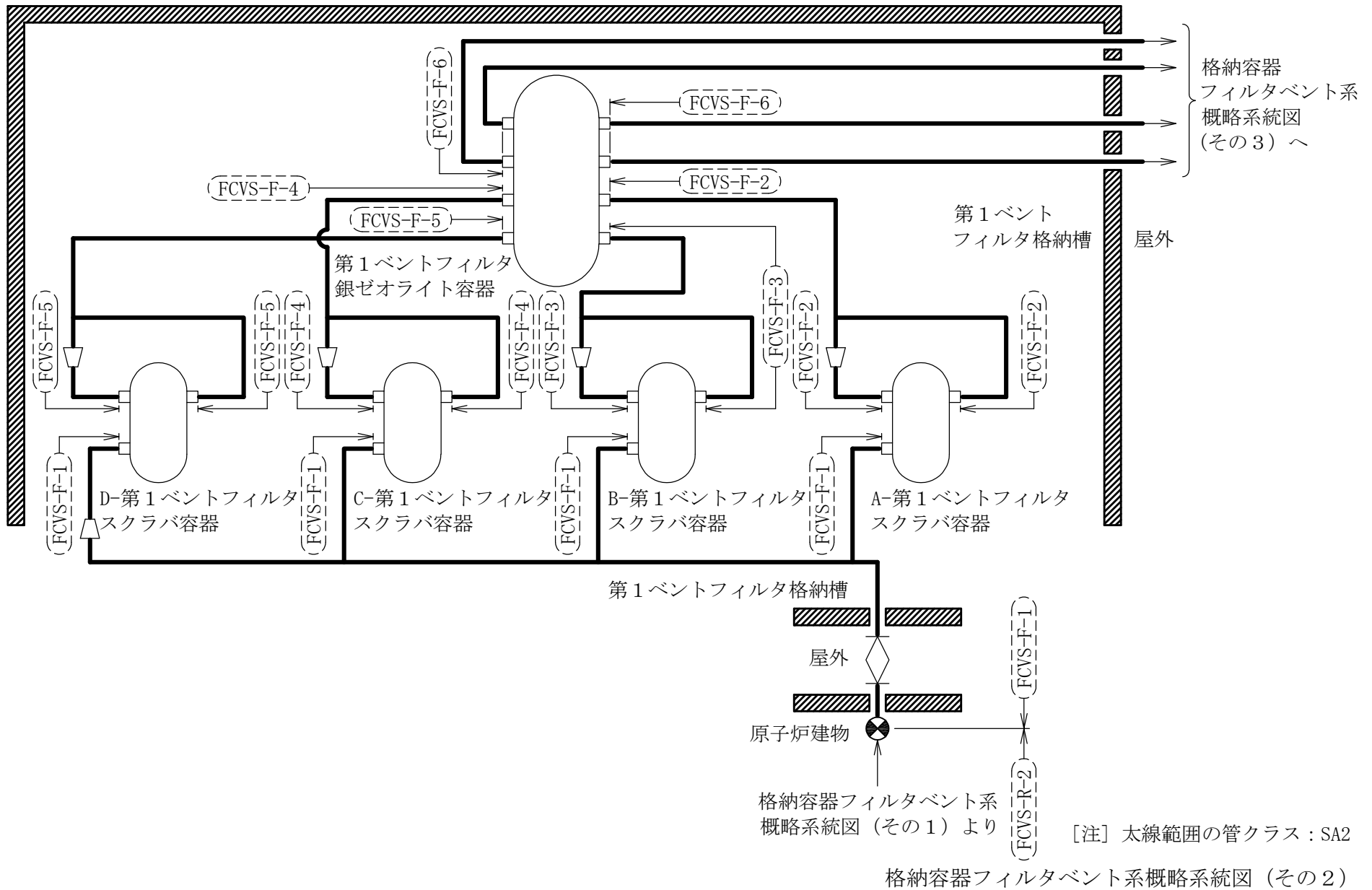
概略系統図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備)
 (太破線)	工事計画記載範囲の管のうち，本計算書記載範囲の管 (設計基準対象施設)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち，本系統の管であって他 計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管，又は工事計画記載範囲の管 のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管 及び他系統の管であって系統の概略を示すために表記 する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
[管クラス] DB1 DB2 DB3 DB4 SA2 SA3 DB1/SA2 DB2/SA2 DB3/SA2 DB4/SA2	クラス 1 管 クラス 2 管 クラス 3 管 クラス 4 管 重大事故等クラス 2 管 重大事故等クラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管 重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管

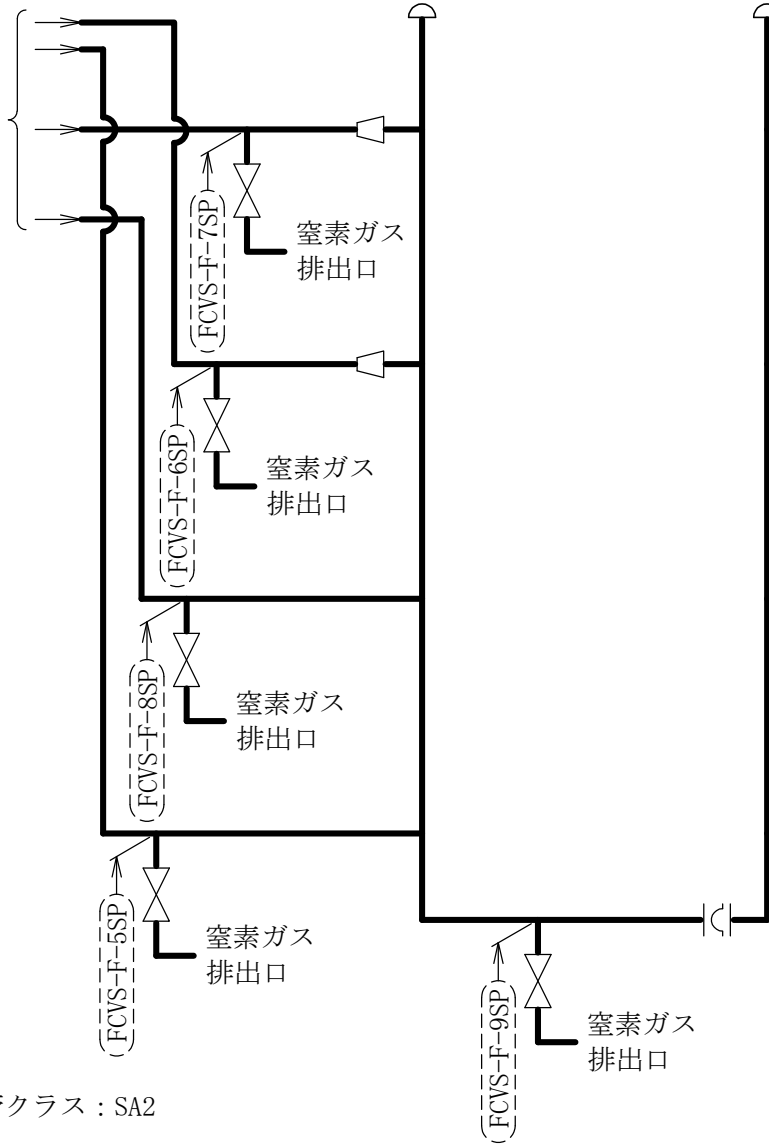


注記*1：窒素ガス制御系との兼用範囲である。
 *2：非常用ガス処理系との兼用範囲である。
 *3：計算結果は非常用ガス処理系に含めて示す。

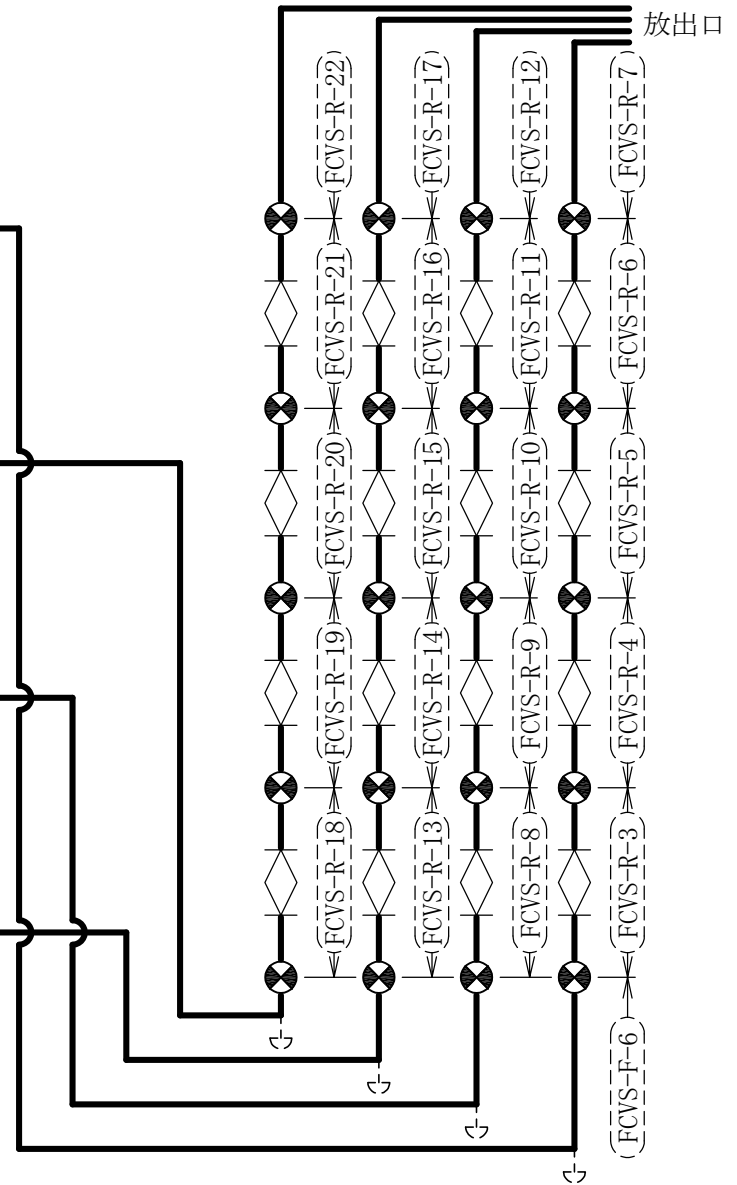
[注] 太線範囲の管クラス：SA2
 格納容器フィルタベント系概略系統図 (その1)



格納容器
フィルタベント系
概略系統図
(その2) より





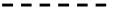


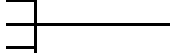
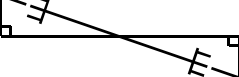
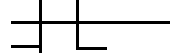
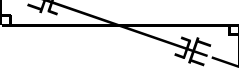

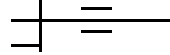
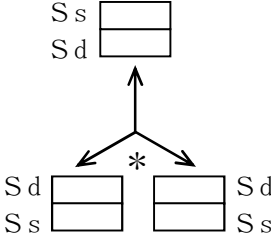
[注] 太線範囲の管クラス : SA2

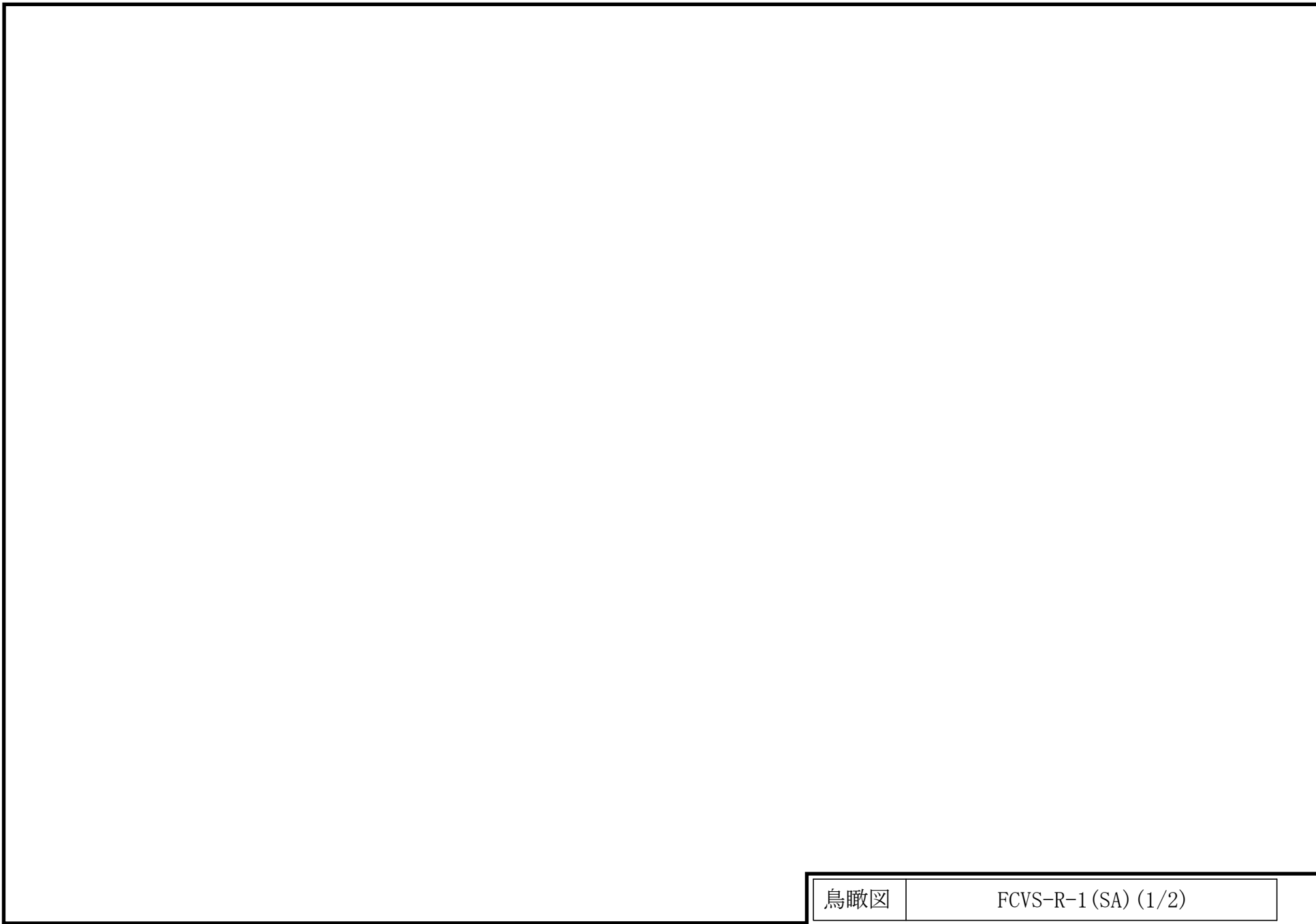


格納容器フィルタベント系概略系統図 (その3)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	工事計画記載範囲の管のうち、本計算書記載範囲の管 (重大事故等対処設備の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(SA)」, 設計基準対象施設の場合は鳥瞰図番号の末尾を「(DB)」とする。)
 (細線)	工事計画記載範囲の管のうち、本系統の管であって他計算書記載範囲の管
 (破線)	工事計画記載範囲外の管, 又は工事計画記載範囲の管のうち本系統の管であって計算書作成対象範囲外の管及び他系統の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。) 注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	FCVS-R-1(SA) (1/2)
-----	--------------------

∞

鳥瞰図

FCVS-R-1(SA) (2/2)

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉冷却系統施設	残留熱除去設備	格納容器フィルタベント系	S A	常設耐震/防止	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*6, *9}$	
							$V_L + S_s^{*10}$	
原子炉格納施設	放射性物質濃度制御設備及び可燃性ガス濃度制御設備並びに格納容器再循環設備	格納容器フィルタベント系	S A	常設/緩和	重大事故等クラス2管	—	$I_L + S_s$	IV _A S
							$II_L + S_s$	
							$V_L(L) + S_d^{*6, *7, *8}$	V _A S
							$V_L(LL) + S_s^{*6, *9}$	
							$V_L + S_s^{*10}$	

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	施設分類 ^{*1}	設備分類 ^{*2}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*3, *4}	許容応力状態 ^{*5}
原子炉格納施設	圧力逃がし装置	格納容器 フィルタ ベント系	S A	常設／緩和	重大事故等 クラス2管	—	I _L + S _s	IV _A S
							II _L + S _s	
							V _{L(L)} + S _d ^{*6, *7, *8}	V _A S
							V _{L(LL)} + S _s ^{*6, *9}	
							V _L + S _s ^{*10}	

注記*1 : S Aは重大事故等対処設備を示す。

*2 : 「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*3 : 運転状態の添字Lは荷重, (L)は荷重が長期間作用している状態, (LL)は(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を示す。

*4 : 許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*5 : 許容応力状態V_ASは許容応力状態IV_ASの許容限界を使用し, 許容応力状態IV_ASとして評価を実施する。

*6 : 原子炉格納容器バウンダリにおいて考慮する。

*7 : 原子炉格納容器バウンダリは, 事象の進展によっては, 重大事故等時の最大荷重の発生タイミングが遅くなる可能性があることから, 保守的に重大事故等時の最大荷重とS_d地震力の組合せを考慮する。

*8 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用しない場合)における荷重条件を適用する。

*9 : 原子炉格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用する場合)における荷重条件を適用する。

*10 : 原子炉冷却材圧力バウンダリ及び原子炉格納容器バウンダリを除く設備は必ずしも重大事故等時の荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから, 重大事故等時の最大荷重とS_s地震力の組合せを考慮する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~76A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	0.853	200
		Ⅴ _A S	0.853	200

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A～76A	318.5	10.3	STPT410	—	201667

配管の付加質量

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

質量	対応する評価点
<input type="text"/>	1A~76A

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
1A						
11						
17						
22						
31						
37						
42						
46						
52						
57						
66						
73						
76A						

S2 補 VI-2-9-4-7-1-1 R1

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPT410	200	—	207	404	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高 (m)	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
FCVS-R-1	原子炉建物	EL			

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050s以上のモードを示す。0.020s以上0.050s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ（基準地震動 S s）により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 FCVS-R-1

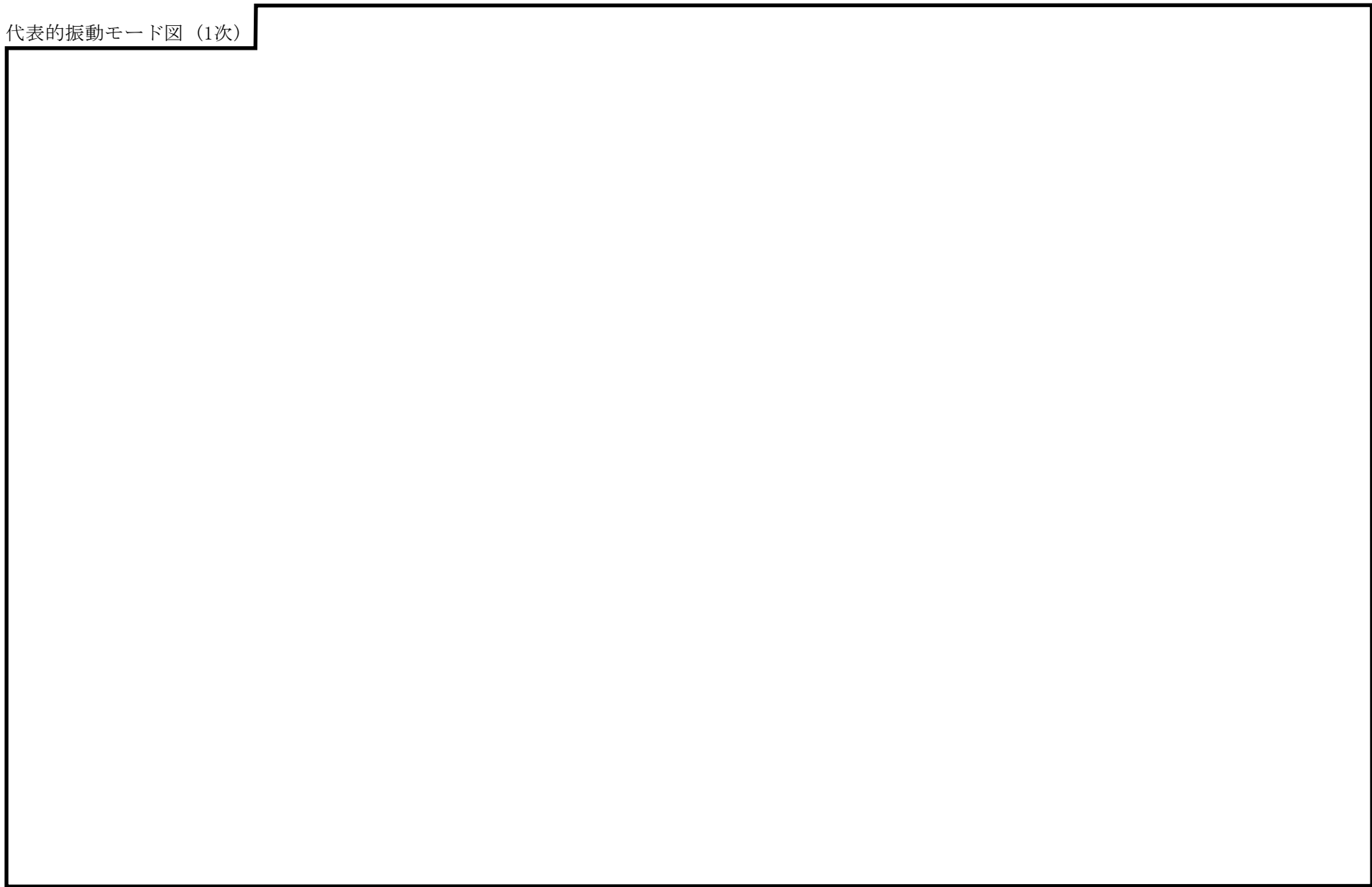
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

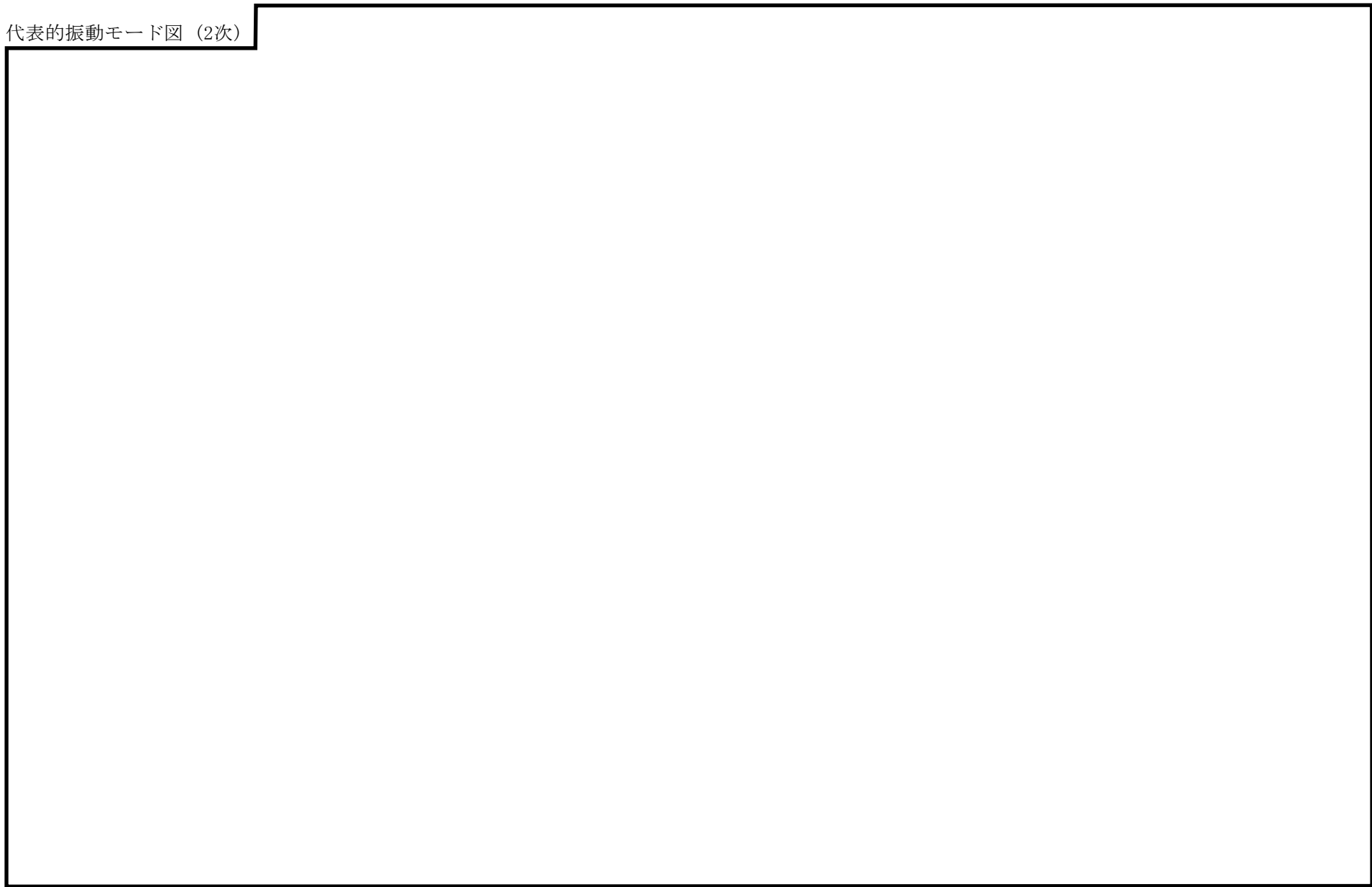
代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



代表的振動モード図 (2次)



4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

重大事故等クラス2管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FCVS-R-1	65	147	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FCVS-R-1	65	257	414	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	FCVS-R-1	65	147	363	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	FCVS-R-1	65	257	414	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	40	—	—	—
SNO-FCVS-34	オイルスナッパ	SN-6			44	90	—
RE-FCVS-174	ロッドレストレイント	RSA-3			34	54	—
SH-FCVS-35	スプリングハンガ	VSAL2B-13			12	13	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—			—	—	

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材料	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-FCVS-51	レストレイント	ビーム	STKR400	40	0	80	124	—	—	—	組合せ	61	161
AN-FCVS-64	アンカ	ラグ	SGV410	200	18	38	20	15	0	13	組合せ	37	130

4.2.3 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能 ^{*1}	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)			機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		詳細評価 ^{*2, *3}						
			水平	鉛直	合成 ^{*3, *4}	水平	鉛直	動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
								水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの

β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：水平又は鉛直方向の機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，水平及び鉛直方向を合成した機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度の最小値以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。

*3：詳細評価を実施しない場合は「—」と記載する。

*4：水平及び鉛直方向の機能維持評価用加速度をベクトル和により合成した値であり，詳細評価を実施する場合に使用する。

4.2.4 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	FCVS-R-1	65	147	363	2.46	○	65	257	414	1.61	—	○
2	FCVS-R-2	2	81	363	4.48	—	3	132	414	3.13	—	—
3	FCVS-R-3	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
4	FCVS-R-4	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
5	FCVS-R-5	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
6	FCVS-R-6	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
7	FCVS-R-7	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
8	FCVS-R-8	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
9	FCVS-R-9	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
10	FCVS-R-10	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
11	FCVS-R-11	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
12	FCVS-R-12	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
13	FCVS-R-13	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
14	FCVS-R-14	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
15	FCVS-R-15	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	FCVS-R-16	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
17	FCVS-R-17	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
18	FCVS-R-18	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
19	FCVS-R-19	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
20	FCVS-R-20	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
21	FCVS-R-21	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
22	FCVS-R-22	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
23	FCVS-R-1SP	45	77	366	4.75	—	45	146	462	3.16	—	—
24	FCVS-R-2SP	54W	128	366	2.85	—	54W	272	462	1.69	—	—
25	FCVS-R-3SP	1A	124	366	2.95	—	1A	241	462	1.91	—	—
26	FCVS-R-4SP	43W	136	366	2.69	—	43W	263	462	1.75	—	—
27	FCVS-R-5SP	27W	113	366	3.23	—	64W	244	462	1.89	—	—
28	FCVS-R-11SP	48	78	366	4.69	—	48	144	462	3.20	—	—
29	FCVS-R-12SP	191W	132	366	2.77	—	234A	251	462	1.84	—	—
30	SGT-R-1	1155	76	363	4.77	—	1155	104	414	3.98	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
31	SGT-R-6	424	116	363	3.12	—	424	170	414	2.43	—	—
32	FCVS-F-1	40	62	363	5.85	—	40	94	414	4.40	—	—
33	FCVS-F-2	39	66	361	5.46	—	39	94	288	3.06	—	—
34	FCVS-F-3	50	53	361	6.81	—	41	83	288	3.46	—	—
35	FCVS-F-4	65	71	361	5.08	—	63	107	288	2.69	—	—
36	FCVS-F-5	10	53	361	6.81	—	10	82	288	3.51	—	—
37	FCVS-F-6	414	83	363	4.37	—	177N	149	288	1.93	—	—
38	FCVS-F-5SP	102	58	363	6.25	—	102	161	414	2.57	—	—
39	FCVS-F-6SP	102	65	363	5.58	—	102	184	414	2.25	—	—
40	FCVS-F-7SP	102	29	363	12.51	—	102	170	414	2.43	—	—
41	FCVS-F-8SP	26	24	431	17.95	—	102	220	414	1.88	—	—
42	FCVS-F-9SP	102	125	363	2.90	—	102	222	414	1.86	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	FCVS-R-1	65	147	363	2.46	○	65	257	414	1.61	—	○
2	FCVS-R-2	2	81	363	4.48	—	3	132	414	3.13	—	—
3	FCVS-R-3	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
4	FCVS-R-4	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
5	FCVS-R-5	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
6	FCVS-R-6	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
7	FCVS-R-7	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
8	FCVS-R-8	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
9	FCVS-R-9	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
10	FCVS-R-10	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
11	FCVS-R-11	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
12	FCVS-R-12	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
13	FCVS-R-13	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
14	FCVS-R-14	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
15	FCVS-R-15	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
16	FCVS-R-16	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
17	FCVS-R-17	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
18	FCVS-R-18	702	18	366	20.33	—	12A	15	414	27.60	—	—
19	FCVS-R-19	702	18	366	20.33	—	12A	16	414	25.87	—	—
20	FCVS-R-20	702	18	366	20.33	—	12A	22	414	18.81	—	—
21	FCVS-R-21	12A	21	363	17.28	—	12A	30	414	13.80	—	—
22	FCVS-R-22	301	54	363	6.72	—	301	94	414	4.40	—	—
23	FCVS-R-1SP	45	77	366	4.75	—	45	146	462	3.16	—	—
24	FCVS-R-2SP	54W	128	366	2.85	—	54W	272	462	1.69	—	—
25	FCVS-R-3SP	1A	124	366	2.95	—	1A	241	462	1.91	—	—
26	FCVS-R-4SP	43W	136	366	2.69	—	43W	263	462	1.75	—	—
27	FCVS-R-5SP	27W	113	366	3.23	—	64W	244	462	1.89	—	—
28	FCVS-R-11SP	48	78	366	4.69	—	48	144	462	3.20	—	—
29	FCVS-R-12SP	191W	132	366	2.77	—	234A	251	462	1.84	—	—
30	SGT-R-1	1155	76	363	4.77	—	1155	104	414	3.98	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

重大事故等クラス2管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
31	SGT-R-6	424	116	363	3.12	—	424	170	414	2.43	—	—
32	FCVS-F-1	40	62	363	5.85	—	40	94	414	4.40	—	—
33	FCVS-F-2	39	66	361	5.46	—	39	94	288	3.06	—	—
34	FCVS-F-3	50	53	361	6.81	—	41	83	288	3.46	—	—
35	FCVS-F-4	65	71	361	5.08	—	63	107	288	2.69	—	—
36	FCVS-F-5	10	53	361	6.81	—	10	82	288	3.51	—	—
37	FCVS-F-6	414	83	363	4.37	—	177N	149	288	1.93	—	—
38	FCVS-F-5SP	102	58	363	6.25	—	102	161	414	2.57	—	—
39	FCVS-F-6SP	102	65	363	5.58	—	102	184	414	2.25	—	—
40	FCVS-F-7SP	102	29	363	12.51	—	102	170	414	2.43	—	—
41	FCVS-F-8SP	26	24	431	17.95	—	102	220	414	1.88	—	—
42	FCVS-F-9SP	102	125	363	2.90	—	102	222	414	1.86	—	—

VI-2-9-4-7-1-2 第1 ベントフィルタ スクラバ容器の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	9
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、第1ベントフィルタ スクラバ容器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

第1ベントフィルタ スクラバ容器は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、第1ベントフィルタ スクラバ容器は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

第1ベントフィルタ スクラバ容器の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。</p>	<p>たて置円筒形 (上面及び下面に鏡板 を有するスカートを支持 たて置円筒形容器)</p>	<p>(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ スクラバ容器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平			
鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

第1ベントフィルタ スクラバ容器の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

第1ベントフィルタ スクラバ容器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

第1ベントフィルタ スクラバ容器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2及び表4-3のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第1ベントフィルタ スクラバ容器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-4に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ スクラバ容器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	第1ベントフィルタ スクラバ容器	常設／緩和	重大事故等*2 クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	第1ベントフィルタ スクラバ容器	常設耐震／防止	重大事故等*2 クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備、「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力＋ 一次曲げ応力	一次＋二次応力	一次＋二次＋ ピーク応力
IVAS	0.6・Su	左欄の 1.5 倍の値	<small>*2</small> 基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い，疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし，地震動のみによる一次＋二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば疲労解析は不要	
VAS (VAS として IVAS の 許容限界を用いる。)				

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*2：2・S_y を超えるときは弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313 を除く。S_m は 2/3・S_y と読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-3 許容応力 (重大事故等クラス 2 支持構造物)

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次+二次応力	一次応力	
	引張	座屈*3	引張	せん断
IVAS	1.5・ft*	1.5・fb, 1.5・fs 又は 1.5・fc	1.5・ft*	1.5・fs*
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあっては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		胴板	SUS316L	最高使用温度	200	—	120
スカート	SUS304	最高使用温度	200	—	144	402	205
基礎ボルト	SNB7 (径 ≤ 63mm)	周囲環境温度	60	—	705	816	—

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第1 ベントフィルタ スクラバ容器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【第1ベントフィルタ スクラバ容器の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
第1ベントフィルタ スクラバ容器	常設耐震/防止 常設/緩和	第1ベントフィルタ格納槽 EL 2.7 *1	□	□	—	—	C _H = 4.50 *2	C _V = 3.00 *2	0.853	200	60

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 I (基準地震動 S s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
□	□	2200	20.0	2200	25.0	183000 *1	183000 *1	70400 *1	70400 *1

ℓ (mm)	ℓ _s (mm)	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	s	n	D _c (mm)	D _{b o} (mm)
2456	851	550	550	150	15	20	2420	2600

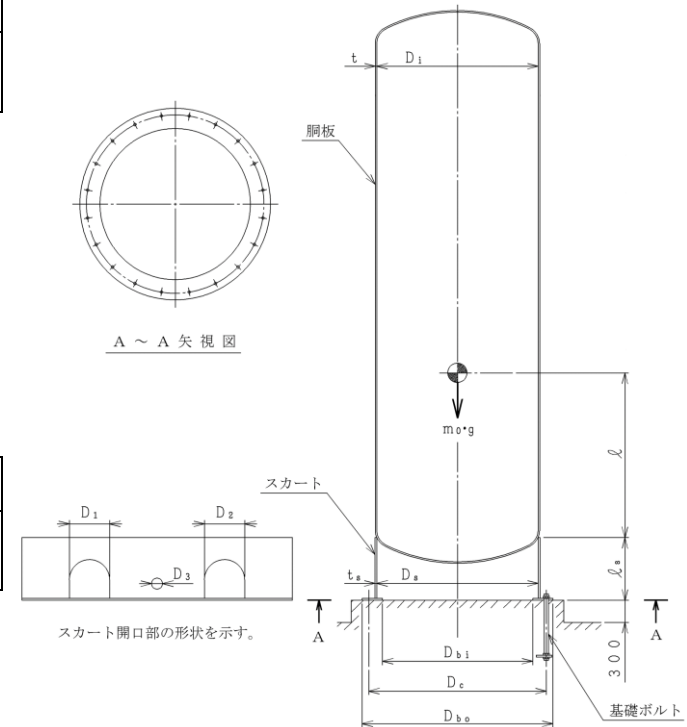
D _{b i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
2050	30 (M30)	706.9	1262	—	3.736 × 10 ⁹

S _y (胴板) (MPa)	S _u (胴板) (MPa)	S _y (スカート) (MPa)	S _u (スカート) (MPa)	S _y (RT) (スカート) (MPa)	F (スカート) (MPa)	F* (スカート) (MPa)
120 *1	407 *1	144 *1	402 *1	205	—	194

S _y (基礎ボルト) (MPa)	S _u (基礎ボルト) (MPa)	F (基礎ボルト) (MPa)	F* (基礎ボルト) (MPa)
705 *2 (径 ≤ 63mm)	816 *2 (径 ≤ 63mm)	—	571

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出



1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 48$	$\sigma_{X1} = 24$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X2} = 1$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X5} = 3$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X6} = 3$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{X4} = 36$	$\tau = 17$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi} = 48$	$\sigma_{Xt} = 63$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} = -48$	$\sigma_{Xc} = 16$	—
組合せ応力	引張	—	—	$\sigma_{0t} = 74$		
	圧縮	—	—	—		

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X5} = 3$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X6} = 3$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{X4} = 36$	$\tau = 17$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2Xt} = 39$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2Xc} = 39$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	—	—	$\sigma_{2t} = 89$		
	圧縮	—	—	$\sigma_{2c} = 90$		

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_s = 73$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3} = 6$	
水平方向地震 による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = 61$	
	せん断		$\tau_s = 16$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
引張応力	—	$\sigma_b = 372$
せん断応力	—	$\tau_b = 80$

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_H =$
鉛直方向	$T_V =$

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 74$	$S_a = 244$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 90$	$S_a = 240$
スカート	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_s = 73$	$f_{tm} = 194$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	
		—	—	0.35 (無次元)		
基礎ボルト	SNB7	引張	—	—	$\sigma_b = 372$	$f_{ts} = 428^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 80$	$f_{sb} = 329$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-9-4-7-1-3 第1 ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	1
2.1 構造計画	1
3. 固有周期	3
3.1 固有周期の計算	3
4. 構造強度評価	4
4.1 構造強度評価方法	4
4.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
4.3 計算条件	4
5. 評価結果	9
5.1 重大事故等対処設備としての評価結果	9

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器は、重大事故等対処設備においては常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載のスカート支持たて置円筒形容器であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
胴をスカートで支持し、 スカートを基礎ボルトで 基礎に据え付ける。	たて置円筒形 （上面及び下面に鏡板 を有するスカート支持 たて置円筒形容器）	<p style="text-align: right;">(単位：mm)</p>

3. 固有周期

3.1 固有周期の計算

理論式により固有周期を計算する。固有周期の計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

計算の結果、固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。固有周期の計算結果を表3-1に示す。

表 3-1 固有周期 (単位：s)

水平			
鉛直			

4. 構造強度評価

4.1 構造強度評価方法

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-3 スカート支持たて置円筒形容器の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2及び表4-3のとおりとする。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-4に示す。

4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類* ¹	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備 その他の安全 設備	第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器	常設／緩和	重大事故等* ² クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)
原子炉冷却 系統施設	残留熱除去 設備	第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器	常設耐震／防止	重大事故等* ² クラス2容器	$D + P_D + M_D + S_s$ * ³	IVAS
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)

注記*1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：重大事故等クラス2容器の支持構造物を含む。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表 4-2 許容応力（重大事故等クラス 2 容器）

許容応力状態	許容限界*1			
	一次一般膜応力	一次膜応力+ 一次曲げ応力	一次+二次応力	一次+二次+ ピーク応力
IVAS	0.6・Su	左欄の 1.5 倍の値	*2 基準地震動 S _s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次+二次応力の変動値が 2・S _y 以下であれば疲労解析は不要	
VAS (VASとして IVASの許容 限界を用いる。)				

注記*1：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

の

*2：2・S_yを超えるときは弾塑性解析を行う。この場合，設計・建設規格 PVB-3300（PVB-3313を除く。S_mは2/3・S_yと読み替える。）の簡易弾塑性解析を用いる。

表 4-3 許容応力（重大事故等クラス 2 支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)		許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	一次+二次応力	一次応力	
	引張	座屈*3	引張	せん断
IVAS	1.5・ft*	1.5・fb, 1.5・fs 又は 1.5・fc	1.5・ft*	1.5・fs*
VAS (VASとしてIVASの許容限界を用いる。)				

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

*3：薄肉円筒形状のものの座屈の評価にあつては，クラスMC容器の座屈に対する評価式による。

表 4-4 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		胴板	SUS316L	最高使用温度	200	—	120
スカート	SUS304	最高使用温度	200	—	144	402	205
基礎ボルト	SNB7 (径 ≤ 63mm)	周囲環境温度	60	—	705	816	—

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

第1 ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

S2 補 VI-2-9-4-7-1-3 R1

【第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度			
第1ベントフィルタ 銀ゼオライト容器	常設耐震/防止 常設/緩和	第1ベントフィルタ格納槽 EL 2.7 (EL 7.6 ^{*1})	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =4.50 ^{*2}	C _V =3.00 ^{*2}	0.427	200	60

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

1.2 機器要目

m _o (kg)	m _e (kg)	D _i (mm)	t (mm)	D _s (mm)	t _s (mm)	E (MPa)	E _s (MPa)	G (MPa)	G _s (MPa)
<input type="text"/>	<input type="text"/>	3000	20.0	3000	25.0	183000 ^{*1}	183000 ^{*1}	70400 ^{*1}	70400 ^{*1}

∅	∅ _s	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	s	n	D _c	D _{b o}
1260	940	550	550	150	150	15	24	3240	3400

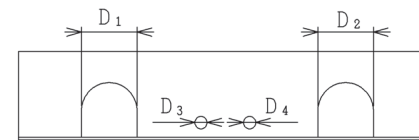
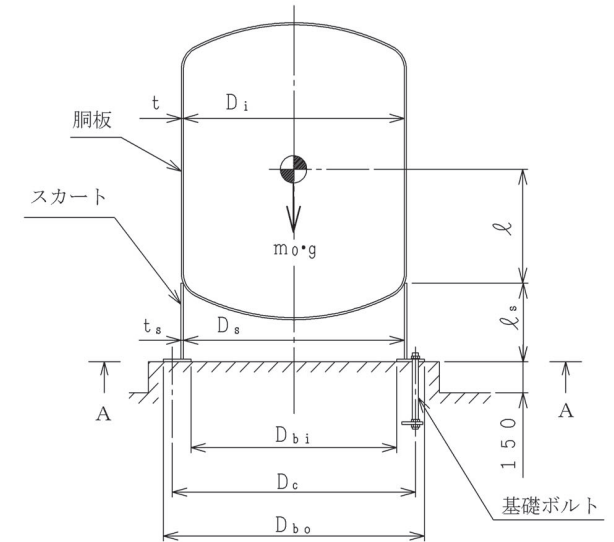
D _{b i} (mm)	d (mm)	A _b (mm ²)	Y (mm)	M _s (N・mm)	
				弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
2700	36 (M36)	1018	1406	—	2.282×10 ⁹

S _y (胴板)	S _u (胴板)	S _y (スカート)	S _u (スカート)	S _y (RT) (スカート)	F (スカート)	F* (スカート)
120 ^{*1}	407 ^{*1}	144 ^{*1}	402 ^{*1}	205	194	194

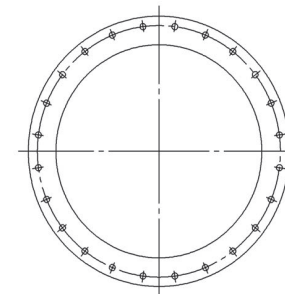
S _y (基礎ボルト)	S _u (基礎ボルト)	F (基礎ボルト)	F* (基礎ボルト)
705 ^{*2} (径≤63mm)	816 ^{*2} (径≤63mm)	—	571

注記*1: 最高使用温度で算出

*2: 周囲環境温度で算出



スカート開口部の形状を示す。



A ~ A 矢視図

S2 補 VI-2-9-4-7-1-3 R1

1.3 計算数値

1.3.1 胴に生じる応力

(1) 一次一般膜応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
静水頭又は内圧による応力	—	—	—	$\sigma_{\phi 1} = 33$	$\sigma_{X1} = 17$	—
運転時質量による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X2} = 1$	—
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X5} = 3$	—
空質量による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X3} = 1$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X6} = 2$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{X4} = 10$	$\tau = 11$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{\phi} = 33$	$\sigma_{Xt} = 29$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{\phi} = -33$	$\sigma_{Xc} = -6$	—
組合せ応力	引張	—	—	—	$\sigma_{0t} = 42$	—
	圧縮	—	—	—	—	—

(2) 地震動のみによる一次応力と二次応力の和の変動値

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
	周方向応力	軸方向応力	せん断応力	周方向応力	軸方向応力	せん断応力
鉛直方向地震による引張応力	—	—	—	—	$\sigma_{X5} = 3$	—
鉛直方向地震による圧縮応力	—	—	—	—	$\sigma_{X6} = 2$	—
水平方向地震による応力	—	—	—	—	$\sigma_{X4} = 10$	$\tau = 11$
応力の和	引張側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2Xt} = 12$	—
	圧縮側	—	—	$\sigma_{2\phi} = 0$	$\sigma_{2Xc} = 11$	—
組合せ応力 (変動値)	引張	—	—	—	$\sigma_{2t} = 37$	—
	圧縮	—	—	—	$\sigma_{2c} = 35$	—

1.3.2 スカートに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	応力	組合せ応力	応力	組合せ応力
運転時質量による応力	—	—	$\sigma_{s1} = 2$	$\sigma_s = 29$
鉛直方向地震による応力	—		$\sigma_{s3} = 4$	
水平方向地震 による応力	曲げ		$\sigma_{s2} = 18$	
	せん断		$\tau_s = 11$	

1.3.3 基礎ボルトに生じる応力

(単位：MPa)

	弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
引張応力	—	$\sigma_b = 110$
せん断応力	—	$\tau_b = 43$

S2 補 VI-2-9-4-7-1-3 R1E

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	T _H = <input type="text"/>
鉛直方向	T _V = <input type="text"/>

1.4.2 応力

(単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
胴板	SUS316L	一次一般膜	—	—	$\sigma_o = 42$	$S_a = 244$
		一次+二次	—	—	$\sigma_2 = 37$	$S_a = 240$
スカート	SUS304	組合せ	—	—	$\sigma_s = 29$	$f_{tm} = 194$
		圧縮と曲げの組合せ (座屈の評価)	—	—	$\frac{\eta \cdot (\sigma_{s1} + \sigma_{s3})}{f_{cm}} + \frac{\eta \cdot \sigma_{s2}}{f_{bm}} \leq 1$	
					0.12 (無次元)	
基礎ボルト	SNB7	引張	—	—	$\sigma_b = 110$	$f_{ts} = 428^*$
		せん断	—	—	$\tau_b = 43$	$f_{sb} = 329$

注記*: $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

すべて許容応力以下である。

VI-2-9-4-7-1-4 遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	一般事項	1
2.1	構造計画	1
2.2	評価方針	6
2.3	適用規格・基準等	7
2.4	記号の説明	8
2.5	計算精度と数値の丸め方	10
3.	評価部位	11
4.	地震応答解析及び構造強度評価	12
4.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	12
4.2	荷重の組合せ及び許容応力	12
4.3	解析モデル及び諸元	16
4.4	固有周期	18
4.5	設計用地震力	19
4.6	計算方法	20
4.7	計算条件	24
4.8	応力の評価	24
5.	機能維持評価	25
5.1	動的機能維持評価方法	25
6.	評価結果	26
6.1	重大事故等対処設備としての評価結果	26

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、遠隔手動弁操作設備が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、動的機能を維持できることを説明するものである。

遠隔手動弁操作設備は、重大事故等対処設備において常設重大事故緩和設備に分類される。以下、重大事故等対処設備としての構造強度評価を示す。

なお、遠隔手動弁操作設備は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない設備であるため、加振試験で得られた機能確認済加速度と機能維持評価用加速度との比較により、動的機能維持の確認を行う。

2. 一般事項

2.1 構造計画

遠隔手動弁操作設備の構造計画を表2-1から表2-4に示す。

表2-1 構造計画 (その1)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定される。L型ジョイントは対象弁に固定される。中間ギアは貫通シャフトに固定される。</p>	<p>遠隔操作装置 (電動駆動)</p> <p>フレキシブルシャフトガイド</p> <p>貫通シャフト</p> <p>中間ギア</p> <p>カップリングユニット</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>L型ジョイント</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p style="text-align: center;">遠隔手動弁操作設備 (その1)</p>

表2-2 構造計画 (その2)

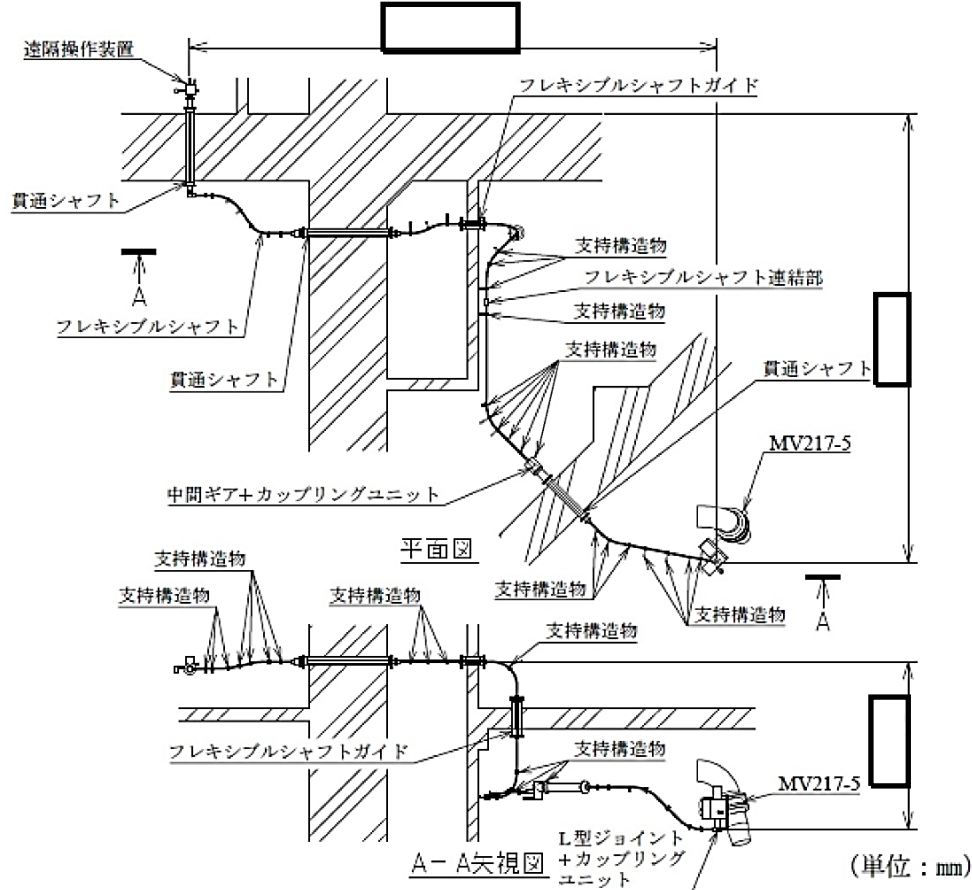
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフト、L型ジョイント及び中間ギアを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定される。L型ジョイントは対象弁に固定される。中間ギアは貫通シャフトに固定される。</p>	<p>遠隔操作装置 (電動駆動)</p> <p>フレキシブルシャフトガイド</p> <p>貫通シャフト</p> <p>中間ギア</p> <p>カップリングユニット</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>L型ジョイント</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	 <p>遠隔手動弁操作設備 (その2)</p>

表2-3 構造計画 (その3)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフトを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔操作装置 (電動駆動)</p> <p>貫通シャフト</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>カップリングユニット</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p>平面図</p> <p>A-A矢視図</p> <p>(単位: mm)</p> <p>遠隔手動弁操作設備 (その3)</p>

表2-4 構造計画 (その4)

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち駆動力を伝達するフレキシブルシャフトは、貫通シャフトを経由して対象弁に接続される。</p> <p>フレキシブルシャフトは剛構造の支持構造物を経由して基礎ボルトにより原子炉建物の床又は壁に固定される。</p>	<p>遠隔操作装置 (電動駆動)</p> <p>貫通シャフト</p> <p>フレキシブルシャフト</p> <p>カップリングユニット</p> <p>支持構造物</p> <p>フレキシブルシャフト連結部</p>	<p>遠隔手動弁操作設備 (その4)</p> <p>(単位: mm)</p>

2.2 評価方針

遠隔手動弁操作設備の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1 構造計画」にて示す遠隔手動弁操作設備の部位を踏まえ「3. 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3 解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4. 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、遠隔手動弁操作設備の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、地震時の応答加速度が機能確認済加速度以下であることを、「5. 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「6. 評価結果」に示す。

遠隔手動弁操作設備の耐震評価フローを図2-1に示す。

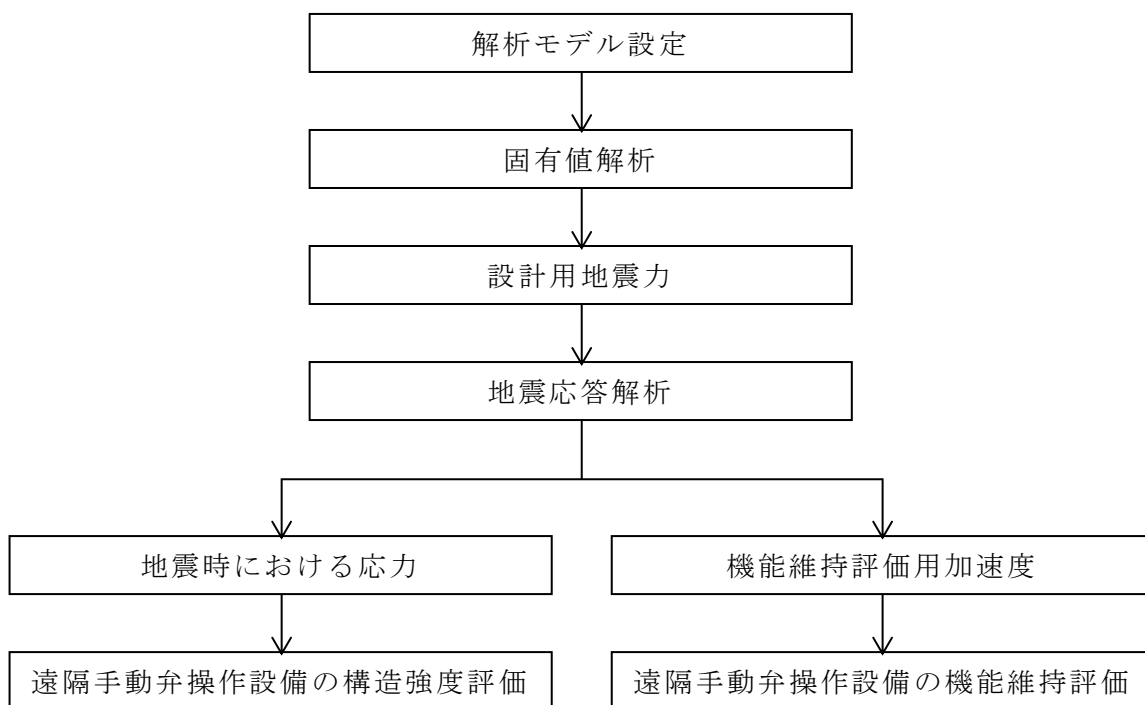


図2-1 遠隔手動弁操作設備の耐震評価フロー

2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（（社）日本電気協会）
- ・発電用原子力設備規格 設計・建設規格（（社）日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
$A_{b i}$	ボルトの軸断面積*	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_v	鉛直方向設計震度	—
d_i	ボルトの呼び径*	mm
B_P	アンカープレート内のボルト間距離	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格 SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
$f_{s b i}$	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
$f_{t o i}$	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
$f_{t s i}$	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）*	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s^2
F_x	サポート材の軸力（x方向）	N
F_y	サポート材のせん断力（y方向）	N
F_z	サポート材のせん断力（z方向）	N
M_x	サポート材に作用するモーメント（x軸廻り）	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_y	サポート材に作用するモーメント（y軸廻り）	$\text{N} \cdot \text{m}$
M_z	サポート材に作用するモーメント（z軸廻り）	$\text{N} \cdot \text{m}$
$F_{b i}$	ボルトに作用する引張力*	N
$P_{1 \max}$	M_y による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
$P_{2 \max}$	M_z による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大引張力	N
Q_{\max}	M_x による基礎ボルトにかかるアンカープレート内最大せん断力	N
r_j	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの長さ	mm
n_i	せん断力を受けるボルトの本数*	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する基礎ボルトの本数	—
$Q_{b i}$	ボルトに作用するせん断力*	N
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
$S_y(RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40℃における値	MPa

記号	記号の説明	単位
y_j	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの y 方向長さ	mm
z_j	各基礎ボルトからアンカープレート中心までの z 方向長さ	mm
ν	ポアソン比	—
π	円周率	—
σ_{bi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記* : A_{bi} , d_i , F_{bi} , Q_{bi} , f_{sbi} , f_{toi} , f_{tsi} , n_i , σ_{bi} , τ_{bi}
の添字 i の意味は、以下のとおりとする。

$i = 1$: 基礎ボルト

$i = 2$: 取付ボルト

2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効桁数6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表2-5に示すとおりである。

表2-5 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第4位	四捨五入	小数点以下第3位
震度	—	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第2位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第1位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
モーメント	N・m	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字4桁目	四捨五入	有効数字3桁
算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位

注記*1：設計上定める値が小数点以下第1位の場合は、小数点以下第1位表示とする。

*2：設計上定める値が小数点以下第3位の場合は、小数点以下第3位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第2位の場合は、小数点以下第2位表示とする。

*4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

*5：設計・建設規格 付録材料図表に記載された温度の中間における引張強さ及び降伏点は、比例法により補間した値の小数点以下第1位を切り捨て、整数位までの値とする。

3. 評価部位

遠隔手動弁操作設備の耐震評価は、「4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる取付ボルト及び基礎ボルトについて実施する。

今回の評価では、遠隔手動弁操作設備の支持構造物のうち最も高所に設置され、また、1つの支持構造物に対して複数のフレキシブルシャフトの支持点を持つため反力が大きくなり、評価上最も厳しくなるMV217-18, 23の支持構造物を代表とする。なお、支持構造物自体は、構造物として十分な剛性を有しており、取付ボルト及び基礎ボルトが健全であれば支持機能を維持できるため、取付ボルト及び基礎ボルトを評価対象とする。遠隔手動弁操作設備の耐震評価部位については、図3-1に示す。

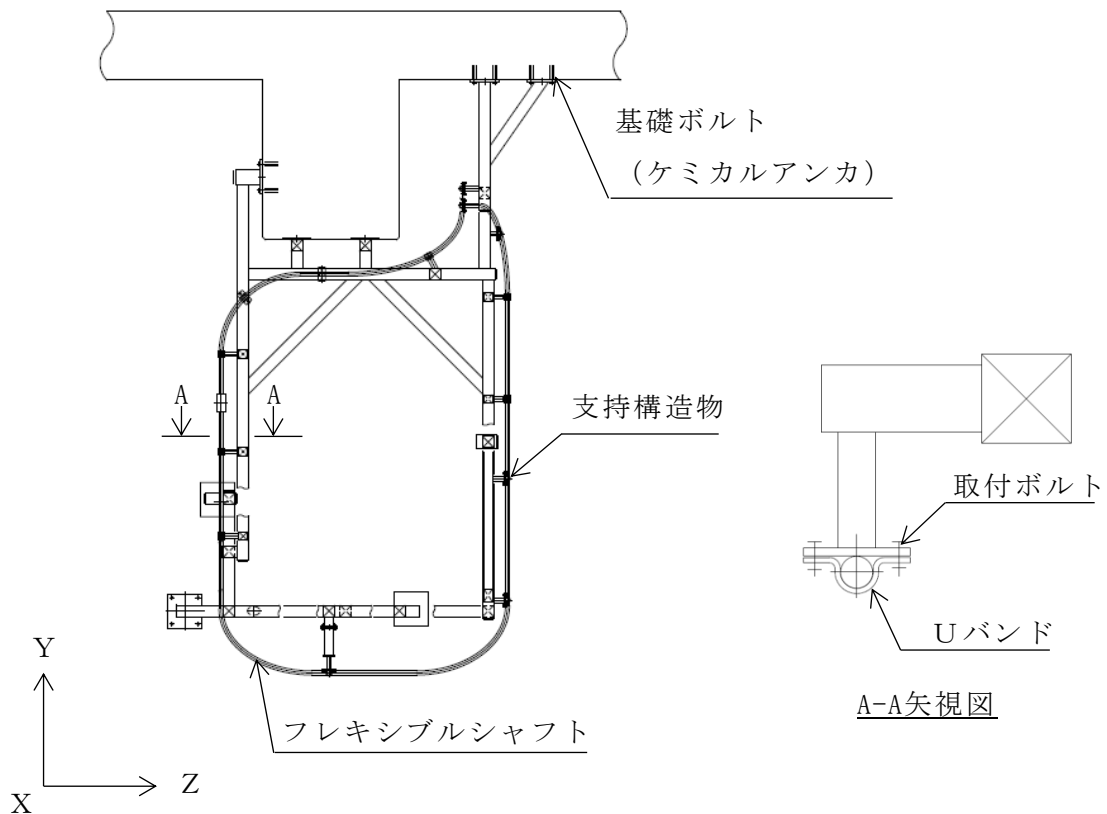


図3-1 耐震評価部位（取付ボルト，基礎ボルト）

4. 地震応答解析及び構造強度評価

4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、フレキシブルシャフトはL型ジョイント及び中間ギアに接続する。
- (2) 遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち、支持構造物は壁及び床に基礎ボルトにより固定する。
- (3) 地震力は、遠隔手動弁操作設備に対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による組合せには絶対値和を適用する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.2 荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

遠隔手動弁操作設備の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-1に示す。

4.2.2 許容応力

遠隔手動弁操作設備の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-2に示す。

4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

遠隔手動弁操作設備の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-3に示す。

表4-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の 区分	荷重の組合せ	許容応力状態
原子炉格納 施設	圧力低減設備その 他の安全設備	遠隔手動弁操作 設備	常設／緩和	—*2	$D + P_D + M_D + S_s$ *3	$IV_A S$
					$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	$V_A S$ ($V_A S$ として $IV_A S$ の許容限 界を用いる。)

注記*1：「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

*3：「 $D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$ 」の評価に包絡されるため、評価結果の記載を省略する。

表4-2 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
IV _A S	1.5・f _t [*]	1.5・f _s [*]
V _A S (V _A SとしてIV _A Sの許容限界を用いる。)		

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

*2：当該の応力が生じない場合，規格基準で省略可能とされている場合及び他の応力で代表可能である場合は評価を省略する。

表4-3 使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
取付ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100°C	—	194	373	—
基礎ボルト	SS400 (40mm<径≤100mm)	周囲環境温度	100°C	—	194	373	—

4.3 解析モデル及び諸元

遠隔手動弁操作設備の解析モデルを図4-1及び図4-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 解析モデルでは、支持構造物をはり要素でモデル化した地震応答解析を実施する。
- (2) フレキシブルシャフトから支持構造物への反力は、フレキシブルシャフトの重量と設計用床応答スペクトルを包絡する加速度を加味した反力として与える。
- (3) 拘束条件として、建物躯体との取合い点を完全拘束として設定する。
- (4) 支持構造物の取付ボルト及び基礎ボルトの応力は、解析結果で得られた荷重(反力, モーメント)を用いて理論式により算出する。
- (5) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値、遠隔手動弁操作設備の構成要素のうち支持構造物に生じる荷重(反力, モーメント)を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算プログラム(解析コード)の概要」に示す。

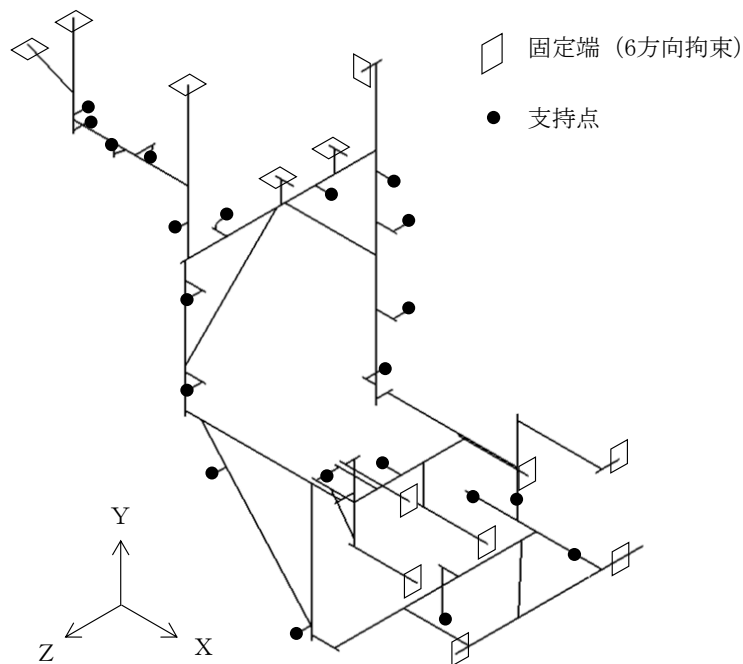


図4-1 解析モデル(全体構造)

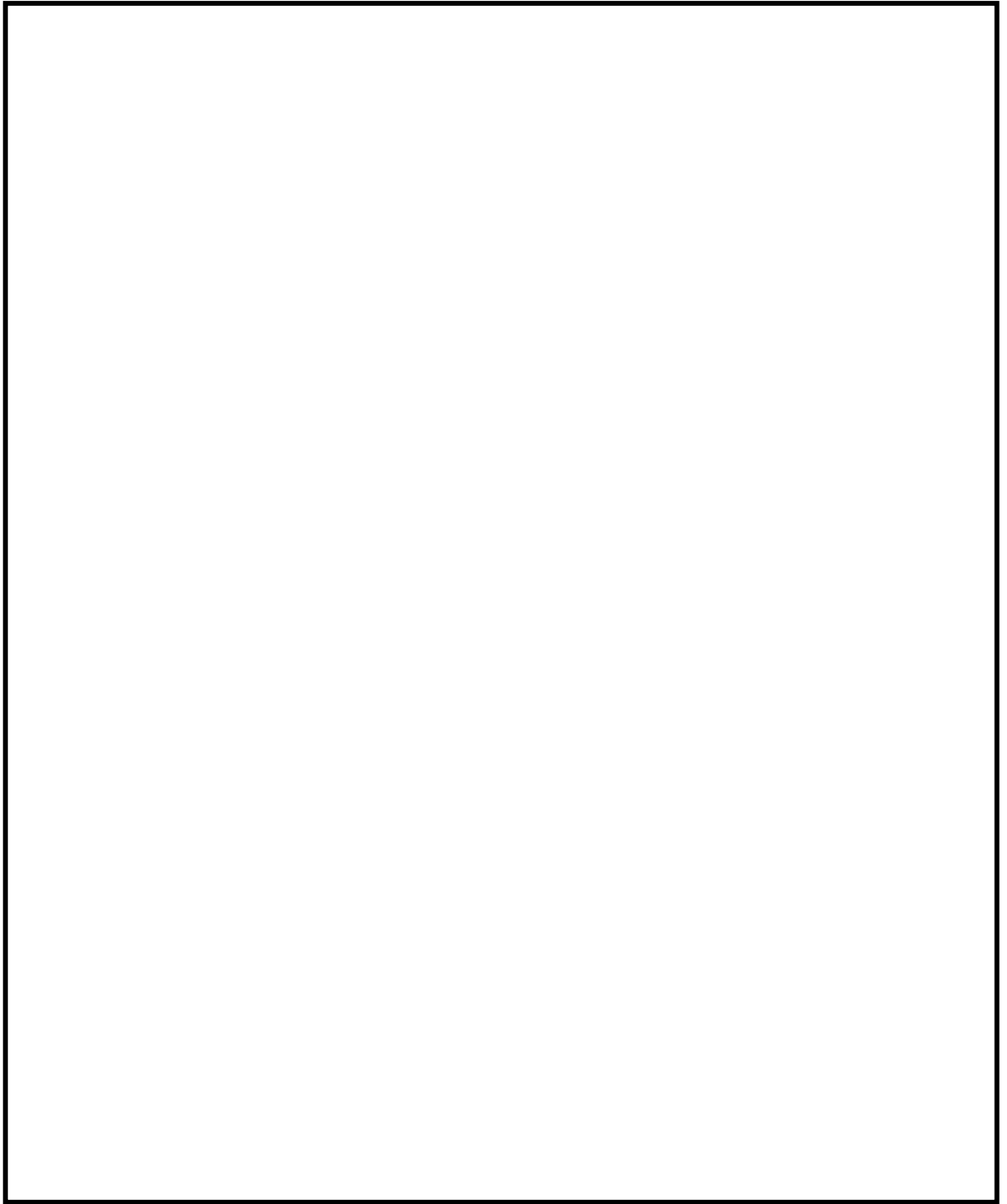


図4-2 解析モデル（主要寸法）

4.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-4に、振動モード図を図4-3に示す。固有周期は0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-4 固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
			X方向	Z方向	
1次			—	—	—



図4-3 振動モード図 (1次モード s)

4.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4-5に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表4-5 設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度			基準地震動 S_s			
	水平方向		鉛直 方向	水平方向 設計震度		鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度		鉛直方向 設計震度
	X方向	Z方向		X方向	Z方向		X方向	Z方向	
原子炉建物									

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）

4.6 計算方法

4.6.1 応力の計算方法

4.6.1.1 取付ボルトの応力

取付ボルトの応力は、Uバンドから加わる荷重が、引張力及びせん断力として取付ボルトに作用するものとする。Uバンドから加わる荷重は、接続されるフレキシブルシャフトのピッチ長さに相当する質量に対し、基準床レベルにおける床応答スペクトル（減衰 5%）の最大値を応答加速度として荷重を算出する。なお、取付ボルトについては保守的にx, y, z全方向の荷重を考慮するものとする。評価に用いるUバンドに生じる荷重を表4-6、基準床レベルにおける最大応答加速度を表4-7に示す。また、Uバンド部の概要を図4-4に示す。

(1) 引張応力

取付ボルトに対する引張応力は最も厳しい条件として、図4-4に示す3方向荷重を考慮し、これを2本の取付ボルトで受けるものとして計算する。

a. 引張力

$$F_{b2} = \frac{F_x}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.1)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{b2} = \frac{F_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.2)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b2} は次式により求める。

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \dots\dots\dots (4.6.1.1.3)$$

(2) せん断応力

取付ボルトに対するせん断力は、取付ボルト全本数で受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_{b2} = \frac{\sqrt{F_y^2 + F_z^2}}{n_2} \dots\dots\dots (4.6.1.1.4)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b2} = \frac{Q_{b2}}{A_{b2}} \dots\dots\dots (4.6.1.1.5)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b2} は、(4.6.1.1.3) 式による。

表4-6 Uバンドに生じる荷重

対象機器	荷重(N)		
	F_x	F_y	F_z
遠隔手動弁操作 設備	500	700	500

表4-7 基準床レベルにおける最大応答加速度 ($\times 9.8m/s^2$)

据付高さ及び 基準床面高さ (m)	応答加速度		
	水平方向		鉛直 方向
	X方向	Z方向	
<input style="width: 50px; height: 15px;" type="text"/>	6.33	6.46	7.66

S2 補 VI-2-9-4-7-1-4 R1

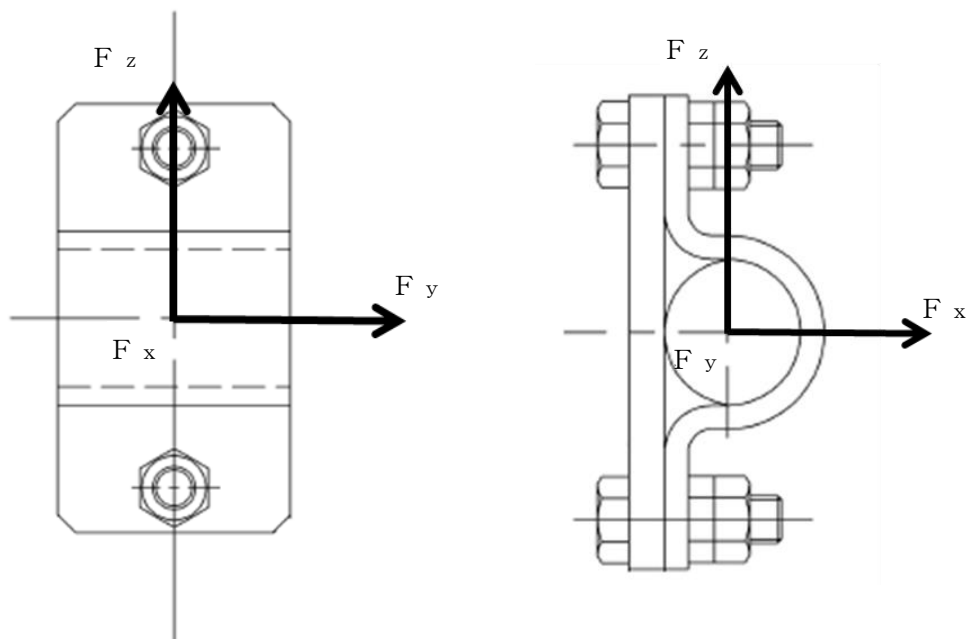


図4-4 Uバンド部の概要

4.6.1.2 基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から理論式により、地震による引張応力とせん断応力について計算する。遠隔手動弁操作設備の基礎ボルト部の概要を図4-5に示す。また、表4-8に要素端での反力及びモーメントを示す。

(1) 引張応力

基礎ボルトに対する引張力は、図4-4に示すサポート材の軸力 F_x と曲げモーメント M_y 、 M_z を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

アンカープレートを中心に解析による計算で得られる軸力及び曲げモーメントがかかるものとし、最も中心から遠い基礎ボルトが最大の引張力を受ける前提として、最大引張力から引張応力を計算する。

a. 引張力

$$F_{b1} = \frac{|F_x|}{n_1} + P_{1max} + P_{2max} \dots \dots \dots (4.6.1.2.1)$$

ここで、最大引張力 P_{1max} 及び P_{2max} は次式により求める。

$$P_{1max} = M_y / B_P / n_f \dots \dots \dots (4.6.1.2.2)$$

$$P_{2max} = M_z / B_P / n_f \dots \dots \dots (4.6.1.2.3)$$

b. 引張応力

$$\sigma_{b1} = \frac{F_{b1}}{A_{b1}} \dots \dots \dots (4.6.1.2.4)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b1} は次式により求める。

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \dots \dots \dots (4.6.1.2.5)$$

(2) せん断応力

基礎ボルトに対するせん断力は、図4-5に示すサポート材のせん断力 F_y 、 F_z とねじりモーメント M_x を考え、これを全てのボルトで受けるものとして計算する。

a. せん断力

$$Q_{b1} = \frac{\sqrt{(F_y^2 + F_z^2)}}{n_1} + Q_{max} \dots \dots \dots (4.6.1.2.6)$$

ここで、最大せん断力 Q_{max} は次式により求める。

$$Q_{max} = M_x / (B_P / \sqrt{2}) / n_1 \dots\dots\dots (4.6.1.2.7)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{Q_{b1}}{A_{b1}} \dots\dots\dots (4.6.1.2.8)$$

ここで、ボルトの軸断面積 A_{b1} は、(4.6.1.2.5) 式による。

表4-8 解析で得られる要素端での反力及びモーメント (基礎ボルト)

対象機器	反力 (N)			モーメント (N・m)		
	F_x	F_y	F_z	M_x	M_y	M_z
遠隔手動弁操作 設備	1.085×10^4	5.544×10^3	2.809×10^3	149.1	1.210×10^3	2.186×10^3

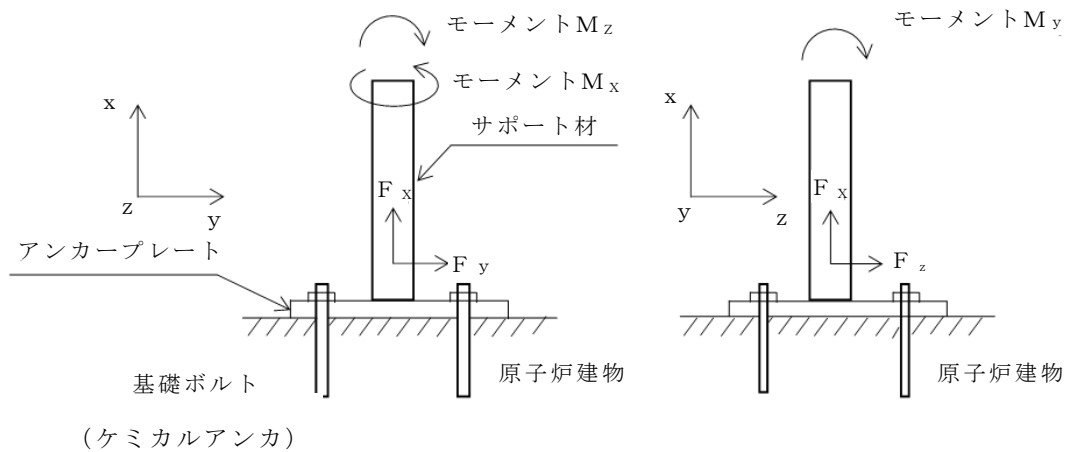


図4-5 基礎ボルト部の概要

4.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件を、本計算書の【遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8 応力の評価

4.8.1 取付ボルト及び基礎ボルトの応力評価

4.6.1.1項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{b1} 及び4.6.1.2項で求めた基礎ボルトの引張応力 σ_{b2} が、次式より求めた許容組合せ応力 f_{tsi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

$$f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad \dots\dots\dots (4.8.1.1)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受ける取付ボルト及び基礎ボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{toi} は下表による。

f_{toi}	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
f_{sbi}	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

5. 機能維持評価

5.1 動的機能維持評価方法

遠隔手動弁操作設備の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、機能維持評価用加速度が、機能確認済加速度以下であることを確認することで実施する。

機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度を設定する。なお、L型ジョイントは弁に直接取り付くことから、当該弁を含む配管モデルの地震応答解析から得られた当該弁の応答加速度を機能維持評価用加速度とする。

遠隔手動弁操作設備が、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に記載されていない設備であることから、個別の加振試験によって得られる機能維持を確認した加速度を機能確認済加速度とする。

5.1.1 機能確認済加速度

遠隔手動弁操作設備の機能確認済加速度として、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該機器が設置される床における加速度以上での連続正弦波による加振試験において、動的機能の健全性を確認した機能確認済加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5-1に示す。

表5-1 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
貫通シャフト	水平	
	鉛直	
中間ギア	水平	
	鉛直	
L型ジョイント	水平	
	鉛直	
フレキシブルシャフト連結部	水平	
	鉛直	

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

遠隔手動弁操作設備の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

動的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び 床面高さ(m)	固有周期(s)			弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s			周囲環境温度 (°C)
			水平方向		鉛直方向	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	水平方向設計震度		鉛直方向 設計震度	
			X方向	Z方向		X方向	Z方向		X方向	Z方向		
遠隔手動弁 操作設備	常設/緩和	原子炉建物 []	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	100

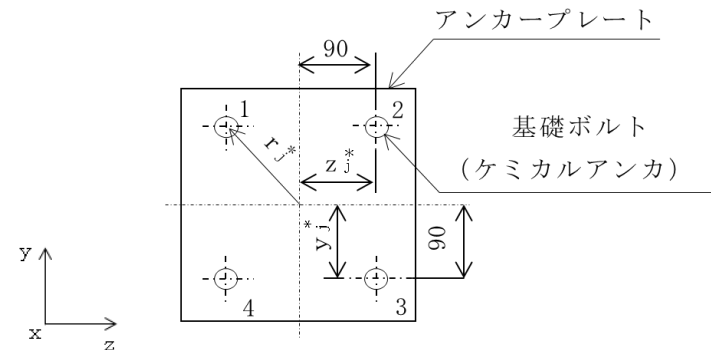
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

d ₁ (基礎ボルト) (mm)	A _{b1} (基礎ボルト) (mm ²)	n ₁ (基礎ボルト)	n _f	B _p (mm)	y _{1,2,3,4} (mm)	z _{1,2,3,4} (mm)	r _{1,2,3,4} (mm)	d ₂ (取付ボルト) (mm)	A _{b2} (取付ボルト) (mm ²)	n ₂ (取付ボルト)
16 (M16)	201.1	4	2	180	90	90	127.3	12 (M12)	113.1	2

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	SS400	194 (40mm<径≤100mm)	373	194	232
取付ボルト	SS400	194 (40mm<径≤100mm)	373	194	232



注記*：j は基礎ボルト番号を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトの荷重

(単位：N)

要素 番号	節点 番号	F _x		F _y		F _z	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
1	1	—	1.085×10 ⁴	—	5.544×10 ³	—	2.809×10 ³

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 基礎ボルトのモーメント

(単位：N・m)

要素 番号	節点 番号	M _x		M _y		M _z	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
1	1	—	149.1	—	1.210×10 ³	—	2.186×10 ³

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルト及び基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト (i = 1)	—	1.214×10 ⁴	—	1.847×10 ³
取付ボルト (i = 2)	—	250	—	430.1

1.4 結論

1.4.1 固有周期

(単位：s)

モード	卓越方向	固有周期
1次		

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i=1)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b1}=61$	$f_{ts}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=10$	$f_{sb}=133$
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	—	—	$\sigma_{b2}=3$	$f_{ts}=174^*$
		せん断	—	—	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb}=133$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 動的機能の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度	機能確認済加速度	
遠隔手動弁操作設備 (貫通シャフト)	水平方向	1.46* ¹		
	鉛直方向	1.51* ¹		
遠隔手動弁操作設備 (中間ギア)	水平方向	1.46* ¹		
	鉛直方向	1.51* ¹		
遠隔手動弁操作設備 (L型ジョイント)	水平方向	5.10* ²		
	鉛直方向	5.30* ²		
遠隔手動弁操作設備 (フレキシブルシャフト連結部)	水平方向	1.46* ¹		
	鉛直方向	1.51* ¹		

注記*1：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度

*2：L型ジョイントは弁に直接取り付くことから、当該弁を含む配管モデルの地震応答解析から得られた当該弁の応答加速度を機能維持評価用加速度とする。
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。