V-2-別添3 可搬型重大事故等対処設備の耐震性に関する説明書

V-2-別添 3-1 可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針

目 次

1. 概	要	1
2. 耐	震評価の基本方針 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2.1	評価対象設備	2
2.2	評価方針	2
3. 荷	重及び荷重の組合せ並びに許容限界・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	28
3.1	荷重及び荷重の組合せ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	28
3.2	許容限界	28
4. 耐	震評価方法	36
4.1	車両型設備	36
4.2	ボンベ設備 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	51
4.3 ·	その他設備・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	66
4.4	水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮	68
5. 適	用規格・基準等 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	68

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(以下「技術基準規則」 という。)」第54条及び第76条並びにそれらの「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準 に関する規則の解釈」に適合する設計とするため、V-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」(以下「V-1-1-7」という。)の別添2「可 搬型重大事故等対処設備の設計方針」(以下「V-1-1-7-別添2」という。)にて設定する耐震重要 度分類及び重大事故等対処施設の設備の分類に該当しない設備である可搬型重大事故等対処設備 が,基準地震動Ssによる地震力に対して耐震性を有することを確認するための耐震計算方針に ついて説明するものである。

なお,可搬型重大事故等対処設備への基準地震動Ssによる地震力に対する耐震性の要求は, 技術基準規則の第5条及び第50条の対象ではない。

可搬型重大事故等対処設備の加振試験等に使用する保管場所の入力地震動は、V-2-別添 3-2 「可搬型重大事故等対処設備の保管場所における入力地震動」に、車両型設備の具体的な計算の 方法及び結果は、V-2-別添 3-3「可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の耐震計算書」に、 ボンベ設備の耐震計算書」に、その他設備の具体的な計算の方法及び結果は、V-2-別添 3-5「可 搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の耐震計算書」に示すとともに、動的地震力の水平 2 方向及び鉛直方向の組合せに対する各設備の影響評価結果については、V-2-別添 3-6「可搬型重 大事故等対処設備の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。 2. 耐震評価の基本方針

可搬型重大事故等対処設備の耐震評価は、「2.1 評価対象設備」に示す評価対象設備を対象と して、構造強度評価、転倒評価及び機能維持評価を実施して、地震後において重大事故等に対処 するための機能を損なわないこと、及び車両型設備の支持機能及び移動機能が損なわれないこと を確認する。

また,波及的影響評価を実施し,当該設備がすべり及び傾くことによる波及的影響を防止する 必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する。

可搬型重大事故等対処設備は、基準地震動Ssによる地震力に対してその機能を維持できる設計とすることを踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価が必要な設備は、水平2方向及び鉛直方向地震力を適切に組み合わせて評価を実施する。影響評価方法は「4.4水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮」に示す。

2.1 評価対象設備

評価対象設備は、V-1-1-7-別添2の「3. 設備分類」に設定している車両型設備、ボンベ設備及びその他設備を対象とし、表2-1に示す。また、評価を要しない可搬型重大事故等対処設備についてもあわせて示す。

V-1-1-7-別添2にて設定している対象設備の構造計画を表2-2に示す。

2.2 評価方針

可搬型重大事故等対処設備の耐震評価は、V-1-1-7-別添2の「3. 設備分類」に設定している車両型設備、ボンベ設備及びその他設備の分類ごとに定める構造強度評価、転倒評価、機能維持評価及び波及的影響評価並びに水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮に従って実施する。

可搬型重大事故等対処設備の耐震評価の評価部位は、V-1-1-7-別添2の「4.2 性能目標」 で設定している設備ごとの構造強度上の性能目標を踏まえて、表2-3に示すとおり設定する。

- (1) 車両型設備
 - a. 構造強度評価

車両型設備の構造強度評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(1)b.(a) 構造強度」 にて設定している評価方針に基づき、基準地震動Ssによる地震力に対し、車両に積載し ているポンプ、発電機、内燃機関等の支持部の取付ボルト及びコンテナ取付ボルトが、塑 性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分 な余裕を有することを、計算により確認する。ここで、車両型設備に求められる主たる機 能を担うポンプ、発電機、内燃機関等の支持部の取付ボルトを直接支持構造物、この直接 支持構造物を支持するコンテナの取付ボルトを間接支持構造物とする。

その評価方法は、「4.1(2) 構造強度評価」に示すとおり、加振試験にて得られる応答加 速度を用いて、車両に積載しているポンプ、発電機、内燃機関等の支持部の取付ボルト及 びコンテナ取付ボルトの評価を行う。評価に当たっては、実機における車両型設備応答の 不確実さを考慮し、加速度が大きくなる加振試験で測定された評価部位頂部の加速度を用 いる。

b. 転倒評価

車両型設備の転倒評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(1)b.(b) 転倒」にて設定 している評価方針に基づき、ポンプ、発電機、内燃機関等の機器を積載している車両型設 備全体は、基準地震動Ssによる地震力に対し、保管場所の地表面の最大応答加速度が、 加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認 する。

その評価方法は「4.1(3) 転倒評価」に示すとおり加振試験により転倒しないことを確認する。

c. 機能維持評価

車両型設備の支持機能,移動機能,動的及び電気的機能維持評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(1)b.(c) 機能維持」にて設定している評価方針に基づき,車両部は,基準 地震動Ssによる地震力に対し,保管場所の地表面の最大応答加速度が,加振試験により 積載物の支持機能及び車両型設備としての自走,牽引等による移動機能を維持できること を確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

また,車両に積載しているポンプ,発電機,内燃機関等は,基準地震動Ssによる地震 力に対し,保管場所の地表面の最大応答加速度が,加振試験により,ポンプの送水機能, 発電機の発電機能,内燃機関の駆動機能等の動的及び電気的機能を維持できることを確認 した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

それらの評価方法は「4.1(4) 機能維持評価」に示すとおり,加振試験により機能が維持できることを確認する。

d. 波及的影響評価

車両型設備の波及的影響評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(1)b.(d) 波及的影

響」にて設定している評価方針に基づき,車両型設備はサスペンションのようなばね構造 を有するため設備に生じる地震荷重により傾きが生じること,またタイヤが固定されてい ないためすべりを生じることから,基準地震動Ssによる地震力に対し,当該設備による 波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認す る。具体的には,各設備のすべり及び傾きによる設備頂部の変位量が,V-2-別添 3-3「可 搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の耐震計算書」にて設定する離隔距離未満であ ることにより確認する。

その評価方法は、「4.1(5) 波及的影響評価」に示すとおり、加振試験により確認した車 両型設備頂部の変位量を基に評価を行う。

- (2) ボンベ設備
 - a. 構造強度評価

ボンベ設備の構造強度評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(2)b.(a) 構造強度」 にて設定している評価方針に基づき、基準地震動Ssによる地震力に対し、ボンベを収納 するボンベラック、これを床又は壁に固定する溶接部又は基礎ボルトが、塑性ひずみが生 じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分な余裕を有す ることを、計算により確認する。

その評価方法は、「4.2(2) 構造強度評価」に示すとおり、固有値解析により算出する固 有周期及び地震による荷重を用いて、ボンベラック、これを床又は壁に固定する溶接部又 は基礎ボルトの評価を行う。

b. 波及的影響評価

ボンベ設備の波及的影響評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(2)b.(c) 波及的影響」にて設定している評価方針に基づき実施する。基準地震動Ssによる地震力に対し、 ボンベを収納するボンベラック、これを床又は壁に固定する溶接部又は基礎ボルトが、塑 性ひずみが生じる場合であっても、その量が微小なレベルに留まって破断延性限界に十分 な余裕を有することを、計算により確認することで、波及的影響を及ぼさないことを確認 する。

- (3) その他設備
 - a. 転倒評価

その他設備の転倒評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(3)b.(b) 転倒」にて設定 している評価方針に基づき、その他設備は、基準地震動Ssによる地震力に対し、保管場 所における設置床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験により転倒を防止するための スリング等の健全性を確認した加振台の最大加速度以下であることを確認する。

その評価方法は、「4.3(2) 転倒評価」に示すとおり、加振試験によりスリング等が健全 であることを確認する。

b. 機能維持評価

その他設備の機能維持評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(3)b.(c) 機能維持」 にて設定している評価方針に基づき,その他設備は,基準地震動Ssによる地震力に対し, 保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が,加振試験により計測機能,給電 機能等の動的及び電気的機能並びにスリング等の支持機能を維持できることを確認した加 振台の最大加速度以下であることを確認する。

その評価方法は、「4.3(3) 機能維持評価」に示すとおり、加振試験により機能が維持で きることを確認する。

c. 波及的影響評価

その他設備の波及的影響評価については、V-1-1-7-別添2の「6.3(3)b.(d) 波及的影響」にて設定している評価方針に基づき、その他設備は、基準地震動Ssによる地震力に対し、床、壁、架台等に固定するスリング等が健全であることを加振試験により確認することで、波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する。

その他設備に使用しているスリング等は,基準地震動Ssによる地震力に対し,対象設備の重心高さを考慮してスリング等の設置位置を設定するとともに,保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度によりスリング等が受ける荷重に対して十分な裕度を持たせて選定を行う。スリング等の支持機能については,保管状態を模擬した加振試験により確認する。

以上を踏まえ、以降では、可搬型重大事故等対処設備の耐震計算に用いる荷重及び荷重 の組合せ並びに許容限界について、「3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界」に示し、 車両型設備、ボンベ設備及びその他設備の分類ごとの耐震評価方法を評価項目ごとに「4. 耐震評価方法」に示す。

V-1-1-7-別添 2		V-2-別添3での記載箇所	
の分類	設備名称	又は評価を要しない理由	
		重心が低く、地震により転倒せ	
	ホイールロータ(6,7号機共用)	ず,機能喪失しない。	
	タンクローリ(4kL)(6,7 号機共用)	Ⅴ-2-別添 3-3	
	タンクローリ(16kL)(6,7 号機共		
	用)	▼ -2-万川43 3-3	
	可搬型代替注水ポンプ(A−2級)(6,7	V o 即送 o o	
	号機共用)	v -Z-万山积 3-3	
	可搬型代替注水ポンプ(A-1級)(6,7	₩9即接 99	
	号機共用)	v −2−万山积3−3	
	電源車(6,7号機共用)	V-2-別添 3-3	
	熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷	V-2-11)沃 3-3	
甫 雨 刑 霕 備	却系熱交換器(6,7号機共用)		
平时王权师	大容量送水車(熱交換器ユニット用)	₩-2-別添 3-3	
	(6,7号機共用)		
	大容量送水車(原子炉建屋放水設備	₩-2-別添 3-3	
	用) (6,7号機共用)		
	大容量送水車(海水取水用)(6,7号	V-2-別添 3-3	
	機共用)		
	可搬型窒素供給装置(6,7号機共用)	V-2-別添 3-3	
	原子炉建屋放水設備 放水砲(6,7号	重心が低く、地震により転倒せ	
	機共用)	ず,機能喪失しない。	
	泡原液搬送車(6,7号機共用)	V-2-別添 3-3	
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可	V_9_印版 9_9	
	搬型電源設備(6,7号機共用)		
	高圧窒素ガスボンベ	V-2-別添 3-4	
	遠隔空気駆動弁操作用ボンベ	V-2-別添 3-4	
	中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボ	₩-2-別添 3-4	
	ンベ)(6,7号機共用)		
ボンベ設備	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(対		
	策本部)陽圧化装置(空気ボンベ)	Ⅴ-2-別添 3-4	
	(6,7号機共用)		
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(待		
	機場所)陽圧化装置(空気ボンベ)	Ⅴ-2-別添 3-4	
	(6,7号機共用)		

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備(1/7)

V-1-1-7-別添 2	=九/世 ⁄z 44-	V-2-別添3での記載箇所	
の分類	□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	又は評価を要しない理由	
	スクラバ水 pH 制御設備用ポンプ(6,7 号機共用)	Ⅴ-2-別添 3-5	
	水酸化ナトリウム水溶液(6,7 号機共 用)	Ⅴ-2-別添 3-5	
	燃料プール冷却浄化系 可搬型スプレ	地震による転倒に対し,機能喪失	
	イヘッダ(6,7 号機共用)	しない。	
	放射性物質吸着材(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	汚濁防止膜(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	小型船舶(汚濁防止膜設置用)(6,7 号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	泡原液混合装置(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	可搬型蓄電池内蔵型照明(6,7号機共 用)	V-2-別添 3-5	
その他設備	中央制御室用乾電池内蔵型照明(ラン タンタイプ)(6,7号機共用)	V-2-別添 3-5	
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用乾 電池内蔵型照明(ランタンタイプ) (6,7 号機共用)	Ⅴ-2-別添 3-5	
	可搬型計測器	Ⅴ-2-別添 3-5	
	可搬型計測器(6,7号機共用)(予 備)	Ⅴ-2-別添 3-5	
	放射線管理用計測装置 GM 汚染サー ベイメータ(6,7 号機共用)	V-2-別添 3-5	
	放射線管理用計測装置 NaI シンチレ	V-2-別添 3-5	
	用)		
	放射線管理用計測装置 ZnS シンチレ	Ⅴ-2-別添 3-5	
	ーションサーベイメータ(6,7 号機共		
	用)		
	放射線管理用計測装置電離箱サーベ	V-2-別添 3-5	
	イメータ(6,7号機共用)		

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備(2/7)

V-1-1-7-別添 2		V-2-別添3での記載箇所
の分類	設備名称	又は評価を要しない理由
	放射線管理用計測装置 可搬型モニタ	Ⅴ-2-別添 3-5
	リングポスト(6,7 号機共用)	
	可搬型気象観測装置(6,7号機共用)	Ⅴ-2-別添 3-5
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所用差	Ⅴ-2-別添 3-5
	圧計 (6,7号機共用)	
	中央制御室用差圧計(6,7号機共用)	Ⅴ-2-別添 3-5
	可搬型ダスト・よう素サンプラ(6,7	V-2-2川沃 2-5
	号機共用)	V 2 万円称(3 5
	中央制御室待避室遮蔽(可搬型)(6,7	地震による転倒に対し、機能喪失
	号機共用)	しない。
	中央制御室可搬型陽圧化空調機(ファ	Ⅴ-2-別添 3-5
	ン) (6,7号機共用)	
	中央制御室可搬型陽圧化空調機(フィ	Ⅴ-2-別添 3-5
	ルタユニット) (6,7 号機共用)	
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対	
	策本部)可搬型陽圧化空調機(ファ	Ⅴ-2-別添 3-5
その他設備	ン)(6,7号機共用)	
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対	
	策本部)可搬型陽圧化空調機(フィル	Ⅴ-2-別添 3-5
	タユニット)(6,7号機共用)	
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(対	
	策本部)可搬型外気取入送風機(6,7	∇-2-別添 3-5
	号機共用)	
	緊急時対策所換気空調糸 5 号機原子	
	炉建屋内緊急時対策所(対策本部)可	地震による転倒に対し、機能喪失
	搬型陽圧化空調機用 10m 仮設タクト	
	(6,7 亏機共用)	
	5	
		▼ -2-万寸43、3-5
	 ノ (0, 1 ク(成六円) 5	
	0 71級小」が定生11米高時利水の(付 機堪所)可搬刑阻工化応調機(ファル	Ⅴ-2-別沃 3-5
	1287/20171 「1281/2012」に王明133(ノイル	
	ノーーフェア(0,1万/成六川)	

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備(3/7)

V-1-1-7-別添 2		V-2-別添3での記載箇所	
の分類	設備名称	又は評価を要しない理由	
	緊急時対策所換気空調系 5号機原子		
	炉建屋内緊急時対策所(待機場所)可	地震による転倒に対し、機能喪失	
	搬型陽圧化空調機用 10m 仮設ダクト	しない。	
	(6,7号機共用)		
	放射線管理用計測装置 可搬型エリア		
	モニタ (6,7 号機共用)	▼ -2-万小小 3-5	
	小型船舶(海上モニタリング用)(6,7		
	号機共用)	V -Z-万川43、3-5	
	無線連絡設備(可搬型)(6,7号機共		
	用)	V -Z-万川43、3-5	
	衛星電話設備(可搬型)(6,7号機共		
	用)	V -Z-万川43、3-5	
	酸素濃度・二酸化炭素濃度計(6,7号	V 9 即沃 9 5	
	機共用)	v -Z-万小43×3-5	
	酸素濃度計(6,7号機共用)	V-2-別添 3-5	
その他設備	二酸化炭素濃度計(6,7号機共用)	V-2-別添 3-5	
	逃がし安全弁用可搬型蓄電池	Ⅴ-2-別添 3-5	
	逃がし安全弁用可搬型蓄電池(6,7号	Ⅴ-2	
	機共用) (予備)		
	携带型音声呼出電話設備(携帯型音声	₩-2	
	呼出電話機)		
	携带型音声呼出電話設備(携帯型音声	₩-2	
	呼出電話機) (6,7号機共用)		
	可搬ケーブル (6.7 号機廿田)	地震による転倒に対し,機能喪失	
		しない。	
	可搬型 Y 型ストレーナ(6,7 号機共	地震による転倒に対し,機能喪失	
	用)	しない。	
	代替給水設備 可搬型代替注水ポンプ	地震による転倒に対し、機能喪失	
	屋外用 20m ホース(6,7 号機共用)	しない。	
	代替給水設備 可搬型代替注水ポンプ	地震による転倒に対し、機能喪失	
	屋内用 20m ホース	しない。	

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備(4/7)

V-1-1-7-別添 2		V-2-別添3での記載箇所	
の分類	設佣名例	又は評価を要しない理由	
	代替給水設備 可搬型代替注水ポンプ 燃料プール代替注水用屋外 20m ホース (6,7 号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	原子炉建屋放水設備 大容量送水車 (原子炉建屋放水設備用)吸込 20m ホ ース(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	代替原子炉補機冷却系 大容量送水車 (熱交換器ユニット用)吸込 20mホ ース(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	代替給水設備 大容量送水車(海水取 水用)吸込 20m ホース(6,7 号機共 用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	代替給水設備 大容量送水車海水用 5m,10m,50mホース(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
その他設備	原子炉建屋放水設備 大容量送水車吐 出放水砲用 5m, 10m, 50m ホース (6, 7 号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	代替原子炉補機冷却系 熱交換器ユニ ット淡水用 5m フレキシブルホース (6,7 号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	代替原子炉補機冷却系 熱交換器ユニ ット海水用 10m, 25m, 50m ホース (6, 7 号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	格納容器圧力逃がし装置 可搬型窒素 供給装置用 20m ホース(6,7 号機共 用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	格納容器圧力逃がし装置 スクラバ水 pH 制御設備用 3m, 5m ホース (6,7 号機 共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	中央制御室陽圧化換気空調系 中央制 御室可搬型陽圧化空調機用 5m 仮設ダ クト(6,7 号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備(5/7)

V-1-1-7-別添 2	<u>⇒1.145 6 71.</u>	V-2-別添3での記載箇所	
の分類	設備名称	又は評価を要しない理由	
	緊急安全対策資機材系 タンクローリ 給油ライン接続用 20m ホース(6,7号 機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	緊急安全対策資機材系 タンクローリ 給油ライン接続用 40m ホース(6,7 号 機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	緊急安全対策資機材系 タンクローリ 給油ライン接続用 3m ホース(6,7 号 機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	号炉間電力融通ケーブル(可搬型) (6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷 却系熱交換器(6,7号機共用)	Ⅴ-2-別添 3-5	
	逃がし安全弁の作動に必要な窒素ガス 喪失時の減圧設備 高圧窒素ガスボン べ~高圧窒素ガスボンベ接続口(A)及 び高圧窒素ガスボンベ接続口(B)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
その他設備	遠隔空気駆動弁操作設備	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	中央制御室待避室陽圧化換気空調系 中央制御室待避室陽圧化装置(配管) ボンベ接続管(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	中央制御室待避室陽圧化換気空調系 中央制御室待避室陽圧化装置(配管) 1.25m高圧ホース(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	緊急時対策所換気空調系 5号機原子 炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽 圧化装置(配管)1.5m,1.2m,1.0m高 圧ホース(6,7号機共用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	
	緊急時対策所換気空調系 5号機原子 炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽 圧化装置(配管)ボンベ接続ロ~高圧 ホース接続口(上流側)(6,7号機共 用)	地震による転倒に対し,機能喪失 しない。	

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備(6/7)

V-1-1-7-別添 2	乳 /# 友 孙·	Ⅴ-2-別添3での記載箇所
の分類	 	又は評価を要しない理由
	緊急時対策所換気空調系 5号機原子	
	炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽	地震による転倒に対し、機能喪失
	圧化装置(配管)1.5m,1.2m,1.0m 高	しない。
	圧ホース (6,7号機共用)	
その他設備	緊急時対策所換気空調系 5号機原子	
	炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽	
	圧化装置(配管)ボンベ接続ロ〜高圧	地長による転倒に刈し、機能受大
	ホース接続口(上流側)(6,7号機共	
	用)	

表 2-1 可搬型重大事故等対処設備(7/7)

衣 2-2 可撤空重入争议寺刘処故哺の構造計画 (1/2)				
<u></u>	計画の	学中区		
	主体構造	支持構造	就明凶	
【位置】				
屋内の可搬費	型重大事故等対処設備は, V-1	-1-7の要求を満たす耐震性を	有する保管場	
所として,原言	子炉建屋, コントロール建屋,	廃棄物処理建屋及び5号機原子	子炉建屋に保管	
する設計とする	5.			
屋外の可搬費	型重大事故等対処設備は, V-1	-1-7の要求を満たす地盤安定	生を有する保	
管場所として,	荒浜側高台保管場所,大湊	則高台保管場所,5号機東側	保管場所及び5	
号機東側第二	保管場所に保管する設計とす	5.		
	サスペンションを有し,	ポンプ,発電機,内燃機関等は,		
	地震に対する影響を軽減で	コンテナに直接支持構造物で		
	きる構造であるとともに,	ある取付ボルトにて固定する。		
	早期の重大事故等への対	ポンプ,発電機,内燃機関等を		
車両型設備*	処を考慮し、自走、牽引等	収納したコンテナは, 間接支持	図2-1	
	にて移動できる構造と	構造物であるトラックに積載		
	し、車両、ポンプ、発電	し取付ボルトにより固定し,保		
	機、内燃機関等により構成	管場所に固定せずに保管		
	する。	する。		
		ボンベけ容器として十分な		
	ボンベ設備は、ボンベ(窒	確度を有する構造とし、 固		
	素ボンベ又は空気ボン	定ボルトによりボンベラッ	X 2 - 2	
ボンベ設備	べし、ボンベラック等により	クに固定し、ボンベラック	$\mathbb{X}^2 - 3$	
	構成する。	を溶接又は基礎ボルトによ		
		り床又は壁に据え付ける。		

表 2-2 可搬型重大事故等対処設備の構造計画(1/2)

注記*:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器については,保管時に限り,熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナを車両から取外し,コンテナを専用架台に 取付け,地面に固定せずに保管する。

	計画の概要		
設備分類		支持構造	説明図
	 (収納箱拘束保管・可搬型計測器の例) 		
	可搬型計測器及びこれを収納	可搬型計測器を収納した収納箱は,	図2-4
	する収納箱で構成する。	床に基礎ボルトで固定する。	
	(コンテナ内拘束保管:スクラバ	「水pH制御設備用ポンプの例)	
	フクラバ水型制御設備田ポンプ	スクラバ水pH制御設備用ポンプは, コ	
	スリンハ、小川前御設備用ホンン 及びこれを収納するコンテナで	ンテナ内にその保管箱を取付ボルトで	図2-5
	及びこれを収納するニンノノー	固定する。コンテナは,地表面に固定	
	1時成 9 る。	して保管する。	
	(架台拘束保管:中央制御室可搬型陽圧化空調機(ファン)の例)		
	中央制御室可搬型陽圧化空調	中央制御室可搬型陽圧化空調機(フ	
その他設備	機(ファン)及び架台で構成す る。	ァン)は,架台に取付ボルトで固定	図2-6
		する。架台は,床に基礎ボルトで固	
		定する。	
	(本体拘束保管:逃がし安全弁用可搬型蓄電池の例)		
	逃がし安全弁用可搬型蓄電池 で構成する。	逃がし安全弁用可搬型蓄電池は,床	⊠2-7
		に基礎ボルトで固定する。	
	(車両拘束保管:放射線管理用計測装置 可搬型モニタリングポストの		
	例)		
		放射線管理用計測装置 可搬型モニタ	図2-8
	モニタリングポスト及びこれを	リングポストは,車両に保管し,スリ	
		ングで固縛する。車両は、地表面に固	
		定せずに保管する。	

表 2-2 可搬型重大事故等対処設備の構造計画(2/2)

表 2-3	可搬型重大事故等対処設備	構造強度評価部位	(1/6)
			(1 / 0)

乳供力折	∋几/拱	評価部位		福宁田山	
 	〕 7月	直接支持構造物	間接支持構造物	进行 建定理田	
タンクローリ (4kL) (6,7 号機 共用)	車両型 設備	タンク取付 ボルト ポンプ取付 ボルト		タンクローリは、燃料を内包し輸送できる圧力容器であり、十分な強度を有 した設計である。保管状態は、タンクが空の状態であり、地震時に考慮すべき 荷重は、タンク自重によるモーメントであり、当該モーメントはタンク取付ボ ルトにかかることからタンク取付ボルトを評価対象とする。また、JEAG4 601-1991において剛構造のポンプは、構造強度評価対象が取付ボルト、基 礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。ポンプは、内圧に耐える肉厚構 造の設計となっていることから、当該設備はJEAG4601-1991に記載さ れているポンプと同等の構造とみなすことができるため、評価対象はポンプの 取付ボルトとする。	
タンクローリ (16kL) (6,7 号機 共用)	車両型 設備	タンク取付 ボルト ポンプ取付 ボルト		タンクローリは、燃料を内包し輸送できる圧力容器であり、十分な強度を有 した設計である。保管状態は、タンクが空の状態であり、地震時に考慮すべき 荷重は、タンク自重によるモーメントであり、当該モーメントはタンク取付ボ ルトにかかることからタンク取付ボルトを評価対象とする。また、JEAG4 601-1991において剛構造のポンプは、構造強度評価対象が取付ボルト、基 礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。ポンプは、内圧に耐える肉厚構 造の設計となっていることから、当該設備はJEAG4601-1991に記載さ れているポンプと同等の構造とみなすことができるため、評価対象はポンプの 取付ボルトとする。	
可搬型代替注水ポ ンプ(A-2 級) (6,7 号機共用)	車両型 設備	ポンプ取付 ボルト	コンテナ取付 ボルト	ポンプは、JEAG4601-1991において剛構造のポンプは、構造強度評 価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。ポンプ は、内圧に耐える肉厚構造の設計となっており、剛構造であることから、当該 設備はJEAG4601-1991に記載されているポンプと同等の構造とみなす ことができるため、評価対象はポンプ取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が 失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコン テナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。	

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価部位 (2/6)

 凯 借 夕	設備	評価部位		濯字理山	
 		直接支持構造物	間接支持構造物	进行 建化 生 日	
可搬型代替注水ポ ンプ(A-1 級) (6,7 号機共用)	車両型 設備	ポンプ取付 ボルト	コンテナ取付 ボルト	ポンプは、JEAG4601-1991において剛構造のポンプは、構造強度評 価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。ポンプ は、内圧に耐える肉厚構造の設計となっており、剛構造であることから、当該 設備はJEAG4601-1991に記載されているポンプと同等の構造とみなす ことができるため、評価対象はポンプ取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が 失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコン テナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。	
電源車(6,7号機 共用)	車両型 設備	発電機/内 燃機関取付 ボルト	コンテナ取付 ボルト	発電機及び内燃機関は、JEAG4601-1991において剛構造の発電機及 び内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる 旨規定されている。発電機は、重量の大きな固定子、回転子を支持するケーシ ングからなる剛構造であり、内燃機関は、シリンダブロックが内圧に耐える肉 厚構造の設計であり剛構造であることから、当該設備はJEAG4601- 1991に記載されている発電機及び内燃機関を同等の構造とみなすことができ るため、評価対象は発電機及び内燃機関取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が 失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコン テナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。	
 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷 却系熱交換器 (6,7号機共用) 	車両型 設備			熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器については,保管時に限り,熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナを車両から取外し, コンテナを専用架台に取付け,地面に固定せずに保管を行うものであり,保管 時において車両に積載する機器がないことから,構造強度評価対象はない。	

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価部位 (3/6)

乱供友我	設備	評価部位		福存理由	
		直接支持構造物	間接支持構造物	選 <u>法</u> 理田	
大容量送水車(熱 交換器ユニット 用)(6,7号機共 用)	車両型 設備	ポンプ取付 ボルト 内燃機関取付 ボルト	コンテナ取付 ボルト	ポンプ及び内燃機関は、JEAG4601-1991において剛構造のポンプ及び 内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨 規定されている。ポンプ及び内燃機関は、内圧に耐える肉厚構造の設計となっ ており、剛構造であることから、当該設備はJEAG4601-1991に記載され ているポンプ及び内燃機関と同等の構造とみなすことができるため、評価対象 はポンプ及び内燃機関取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が 失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコン テナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。	
大容量送水車(原 子炉建屋放水設備 用)(6,7号機共 用)	車両型 設備	ポンプ取付 ボルト 内燃機関取付 ボルト	コンテナ取付 ボルト	ポンプ及び内燃機関は、JEAG4601-1991において剛構造のポンプ及び 内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨 規定されている。ポンプ及び内燃機関は、内圧に耐える肉厚構造の設計となっ ており、剛構造であることから、当該設備はJEAG4601-1991に記載され ているポンプ及び内燃機関と同等の構造とみなすことができるため、評価対象 はポンプ及び内燃機関取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が 失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコン テナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。	
大容量送水車(海 水取水用)(6,7号 機共用)	車両型 設備	ポンプ取付 ボルト 内燃機関取付 ボルト	コンテナ取付 ボルト	ポンプ及び内燃機関は、JEAG4601-1991において剛構造のポンプ及び 内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨 規定されている。ポンプ及び内燃機関は、内圧に耐える肉厚構造の設計となっ ており、剛構造であることから、当該設備はJEAG4601-1991に記載され ているポンプ及び内燃機関と同等の構造とみなすことができるため、評価対象 はポンプ及び内燃機関取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が 失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコン テナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。	

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価部位 (4/6)

乳供友粉	弐1/世	評価部位		福宁田市	
	⑦	直接支持構造物	間接支持構造物	医定性田	
可搬型窒素供給装 置(6,7号機共 用)	車両型 設備	発電機 取付ボルト 窒素ガス 発生装置 取付ボルト 圧縮機 取付ボルト	コンテナ 取付ボルト	発電機は、JEAG4601-1991において剛構造の発電機は、構造強度評 価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる旨規定されている。発電機 は、重量の大きな固定子、回転子を支持するケーシングからなる剛構造である ことから、当該設備はJEAG4601-1991に記載されている発電機と同等 の構造とみなすことができるため、評価対象は発電機取付ボルトとする。 窒素ガス発生装置及び圧縮機は、地震時、荷重が集中して作用する窒素ガス 発生装置及び圧縮機取付ボルトを評価対象とする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が 失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコン テナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。	
泡原液搬送車 (6,7号機共用)	車両型 設備	タンク取付 ボルト		泡原液搬送車は,泡消火薬剤を内包し輸送できる圧力容器であり,十分な強 度を有した設計である。保管状態は,タンクに泡消火薬剤を内包した状態であ り,地震時に考慮すべき荷重は,タンク自重及び泡消火薬剤内包量によるモー メントであり,当該モーメントはタンク取付ボルトにかかることからタンク取 付ボルトを評価対象とする。	
5 号機原子炉建屋 内緊急時対策所用 可搬型電源設備 (6,7 号機共用)	車両型 設備	発電機/内燃機 関取付ボルト	コンテナ取付ボ ルト	発電機及び内燃機関は、JEAG4601-1991において剛構造の発電機及 び内燃機関は、構造強度評価対象が取付ボルト、基礎ボルトが評価対象となる 旨規定されている。発電機は、重量の大きな固定子、回転子を支持するケーシ ングからなる剛構造であり、内燃機関は、シリンダブロックが内圧に耐える肉 厚構造の設計であり剛構造であることから、当該設備はJEAG4601- 1991に記載されている発電機及び内燃機関と同等の構造とみなすことができ るため、評価対象は発電機及び内燃機関取付ボルトとする。 車両部については、間接支持構造物の主たる支持構造物であり、支持機能が 失われた場合に影響が大きい部位である車両フレーム、コンテナ台板及びコン テナ取付ボルトのうち断面積の小さなコンテナ取付ボルトを評価対象とする。	

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価部位 (5/6)

1. 供力 升	設備	ボンベラック	評価部位		语合理中	
		支持構造	直接支持構造物	間接支持構造物	選足 埋田	
高圧窒素 ガスボンベ	ボンベ 設備	溶接	ボンベラック 溶接部	_	ボンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計がな されており、V-3-1-6「重大事故等クラス3機器の強度計算の基 本方針」に基づき、重大事故等クラス3機器として強度評価を実 施しており、十分な強度を有していることから、ボンベを壁に固 定している支持構造物であるボンベラック及びボンベラックを 据え付けるアンカープレートの溶接部を評価対象とする。	
遠隔空気駆動弁	ボンベ	溶接	ボンベラック 溶接部		ボンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計がな されており、V-3-1-6「重大事故等クラス3機器の強度計算の基 本方針」に基づき、重大事故等クラス3機器として強度評価を実 施しており、十分な強度を有していることから、ボンベを床に固 定している支持構造物であるボンベラック及びボンベラックを 据え付けるアンカープレートの溶接部を評価対象とする。	
操作用ボンベ	設備	基礎ボルト	ボンベラック 基礎ボルト		ボンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計がな されており、V-3-1-6「重大事故等クラス3機器の強度計算の基 本方針」に基づき、重大事故等クラス3機器として強度評価を実 施しており、十分な強度を有していることから、ボンベを床に固 定している支持構造物であるボンベラック及びボンベラックを 固定する基礎ボルトを評価対象とする。	

表 2-3 可搬型重大事故等対処設備 構造強度評価部位 (6/6)

凯供友称	⇒九/曲	ボンベラック	評価部位		温今田古	
	〕 7月	支持構造	直接支持構造物	間接支持構造物	进行 建田	
中央制御室待避					ボンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計がな	
室陽圧化装置	-12) (A)	溶接	ボンベラック 溶接部	_	されており、V-3-1-6「重大事故等クラス3機器の強度計算の基本方針」に基づき、重大事故等クラス3機器として強度評価を実施しており、十分な強度を有していることから、ボンベを壁に固定している支持構造物であるボンベラック及びボンベラックを据	
(空気ボンベ)	設備					
(6,7 号機共	以加					
用)					え付けるアンカープレートの溶接部を評価対象とする。	
5号機原子炉建						
屋内緊急時対策					ホンへについては、高圧カス保安法の規格に基ついた設計がな されており V-3-1-6「重大車故等クラス3機哭の強度計算の其	
所 (対策本部)	ボンベ	What they	ボンベラック		本方針」に基づき、重大事故等クラス3機器として強度評価を実	
陽圧化装置(空	設備	俗按	溶接部	_	施しており、十分な強度を有していることから、ボンベを床に固 定している支持構造物であるボンベラック及びボンベラックを据	
気ボンベ)(6,7						
号機共用)						
5号機原子炉建						
屋内緊急時対策	ボンベ 設備	べ 溶接 青	ボンベラック 溶接部	_	ホンベについては、高圧ガス保安法の規格に基づいた設計がな されており、V-3-1-6「重大事故等クラス3機器の強度計算の基 本方針」に基づき、重大事故等クラス3機器として強度評価を実 施しており、十分な強度を有していることから、ボンベを床に固 定している支持構造物であるボンベラック及びボンベラックを据 え付けるアンカープレートの溶接部を評価対象とする。	
所(待機場所)						
陽圧化装置(空						
気ボンベ)(6,7						
号機共用)						







図 2-4 その他設備(収納箱拘束保管)



⁽コンテナが基礎に固定された状態)









図 2-5 その他設備(コンテナ内拘束保管)







図 2-7 その他設備(本体拘束保管)



3. 荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界

可搬型重大事故等対処設備の耐震計算に用いる荷重及び荷重の組合せを,以下の「3.1 荷重 及び荷重の組合せ」に,許容限界を「3.2 許容限界」に示す。

3.1 荷重及び荷重の組合せ

可搬型重大事故等対処設備のうち,屋外に保管している設備の自然現象の考慮については, V-1-1-3「発電用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」に設定する荷重の組合せを用いる。

荷重及び荷重の組合せは、重大事故等起因の荷重は発生しないため、V-1-1-7-別添2の 「6.2 荷重及び荷重の組合せ」に従い、保管状態における荷重を考慮し設定する。

地震と組み合わせるべき荷重としては,積雪荷重が挙げられる。地震と組み合わせる荷重の 設定に当たっては, V-2-1-9「機能維持の基本方針」の図 3-1 耐震計算における積雪荷重 の設定フローに基づき設定する。

積雪については、除雪にて対応することで無視できる。

3.2 許容限界

許容限界は、V-1-1-7-別添2の「4.2 性能目標」で設定している設備ごとの構造強度上の 性能目標のとおり、評価部位ごとに設定する。

「3.1 荷重及び荷重の組合せ」で設定している荷重及び荷重の組合せを含めた,設備ごとの許容限界は, V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-1~表 3-5 のとおりとする。

各設備の許容限界の詳細は,各計算書にて評価部位の損傷モードを考慮し,評価項目を選定 し,評価項目ごとに定める。

直接支持構造物の評価については,JEAG4601・補-1984に規定されているその他の 支持構造物の評価に従った評価を実施する。また,車両型設備の間接支持構造物としてのボル トの評価については,直接支持構造物の評価に準じた評価を行う。

- (1) 車両型設備
 - a. 構造強度評価

車両型設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震後において、基準地震動 Ssによる地震力に対し、地盤安定性を有する屋外の保管場所に保管し、炉心等へ冷却水 を送水する機能を有するポンプ、必要な負荷へ給電するために発電する機能を有する発電 機、これらの駆動源となる内燃機関等の機器を車両に取付ボルトで固定し、主要な構造部 材が送水機能、発電機能、駆動機能等を維持可能な構造強度を有する設計とする。

そのため、車両型設備は、「2.2(1)a. 構造強度評価」に設定している評価方針を踏ま え、JEAG4601・補-1984を適用し、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定して いる許容応力状態IVASの許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

b. 転倒評価

車両型設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 Ssによる地震力に対し、地盤安定性を有する屋外の保管場所に保管し、炉心等へ冷却水 を送水する機能を有するポンプ、必要な負荷へ給電するために発電する機能を有する発電 機、これらの駆動源となる内燃機関等を車両に取付ボルトで固定し、車両型設備全体が安 定性を有し、転倒しない設計とする。

そのため、車両型設備は、「2.2(1)b. 転倒評価」に設定している評価方針を踏まえ、 加振試験にて転倒しないことを許容限界として設定する。

c. 機能維持評価

車両型設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震後において、基準地震動 Ssによる地震力に対し、地盤安定性を有する屋外の保管場所に保管し、車両に積載して いるポンプ等の炉心等へ冷却水を送水する機能、必要な負荷へ給電するために発電する機 能、これらの駆動源となる内燃機関等の動的及び電気的機能を維持できる設計とする。

また,車両型設備は,地震後において,基準地震動Ssによる地震力に対し,車両積載 物から受ける荷重を支持する機能及び車両型設備としての自走,牽引等による移動機能を 維持できる設計とする。

そのため、車両型設備は、「2.2(1)c. 機能維持評価」に設定している評価方針を踏ま え、加振試験により支持機能、移動機能、動的及び電気的機能が維持できることを許容限 界として設定する。

d. 波及的影響評価

車両型設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、基準地震動Ssによる地震力 に対し、地盤安定性を有する屋外の保管場所の地面に固定せずに保管し、車両型設備全体 が安定性を有し、主要な構造部材が送水機能、発電機能、支持機能等を維持可能な構造強 度を有し、当該設備のすべり及び傾きにより、当該設備による波及的影響を防止する必要 がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないよう離隔距離を確保し、保管する設計と する。 そのため、車両型設備は、「2.2(1)d. 波及的影響評価」に設定している評価方針を踏 まえ、他の設備との接触、衝突等の相互干渉による破損等を引き起こし、機能喪失する等 の波及的影響を及ぼさないよう、車両型設備の加振試験にて確認した車両型設備の最大変 位量を基に設定した離隔距離を、許容限界として設定する。

また,離隔距離に関しては,実際の設備配置の運用上の管理値として必要であるため, 保安規定に離隔距離を基に必要な設備間隔を定め,管理を行う。

- (2) ボンベ設備
 - a. 構造強度評価

ボンベ設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震後において、基準地震動 Ssによる地震力に対し、ボンベラックに収納し、ボンベラックを耐震性を有する建屋内 の保管場所の壁又は床に溶接又は基礎ボルトで固定して保管する。

主要な構造部材は、窒素又は空気供給機能を維持可能な構造強度を有する設計とする。 そのため、ボンベ設備は、「2.2(2)a. 構造強度評価」に設定している評価方針を踏ま え、JEAG4601・補-1984を適用し、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定して いる許容応力状態WASの許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

b. 波及的影響評価

ボンベ設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 Ssによる地震力に対し、ボンベラックに収納し、ボンベラックを耐震性を有する建屋内 の保管場所の壁又は床に溶接又は基礎ボルトで固定し保管する。

主要な構造部材は、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して 波及的影響を及ぼさないよう、構造強度を有する設計とする。

そのため、ボンベ設備は、「2.2(2)b. 波及的影響評価」に設定している評価方針としていることを踏まえ、JEAG4601・補-1984を適用し、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定している許容応力状態IVASの許容応力以下とすることを許容限界として設定する。

- (3) その他設備
 - a. 転倒評価

その他設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 Ssによる地震力に対し、耐震性を有する建屋内又は地盤安定性を有する屋外の保管場所 に保管し、スリングで固縛する等により保管することで、機器本体が安定性を有し、転倒 しない設計とする。

そのため、その他設備は、「2.2(3)a. 転倒評価」に設定している評価方針を踏まえ、 加振試験にて転倒しないことを許容限界として設定する。

b. 機能維持評価

その他設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震後において、基準地震動 Ssによる地震力に対し、耐震性を有する建屋内又は地盤安定性を有する屋外の保管場所 に保管し、スリングで固縛する等により、主要な構造部材が水位、圧力等を計測する機 能、必要な負荷へ給電するための給電機能等の支持機能、動的及び電気的機能を維持でき る設計とする。

そのため、その他設備は、「2.2(3)b. 機能維持評価」に設定している評価方針を踏ま え、加振試験により支持機能、動的及び電気的機能が維持できることを許容限界として設 定する。

c. 波及的影響評価

その他設備は、重大事故等起因の荷重は発生しないため、地震時において、基準地震動 Ssによる地震力に対し、耐震性を有する建屋内又は地盤安定性を有する屋外の保管場所 に保管し、スリングで固縛する等により、機器本体が安定性を有し、主要な構造部材が水 位、圧力等を計測する機能、必要な負荷へ給電するための給電機能等の機能を維持可能な 構造強度を有することで、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対 して波及的影響を及ぼさない設計とする。

また,地盤安定性を有する屋外の保管場所に固定せずに保管する車両等に,スリング等 で拘束し保管する設備は,車両等のすべり及び傾きにより,当該設備による波及的影響を 防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないよう離隔距離を確保し,保 管する設計とする。

そのため、その他設備は、「2.2(3)c. 波及的影響評価」に設定している評価方針を踏まえ、加振試験にてスリング等の支持機能が維持できることを許容限界として設定する。

また,地盤安定性を有する屋外の保管場所に固定せずに保管する車両等に,スリング等 で拘束し保管する設備については,当該車両等が他の設備との接触,衝突等の相互干渉に よる破損等を引き起こし,機能喪失する等の波及的影響を及ぼさないよう,加振試験にて 確認した最大変位量を基に設定した離隔距離を許容限界として設定する。

なお,離隔距離に関しては,実際の設備配置の運用上の管理値として必要であるため, 保安規定に離隔距離を基に必要な設備間隔を定め,管理を行う。

<u> </u>	荷重の組合せ	河伍刘位	機能損傷モー	ド	<u> </u>	
□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □		고 여러 찌기 구려	応力等の状態	限界状態		
車両型設備	D+S s	支持部の取付ボルト (表3-2)	引張り, せん断, 組合せ	部材の降伏	JEAG4601・補-1984を適用 し, 許容応力状態ⅣASの許容 応力以下とする。	
ボンベ設備	D + S s	ボンベラック (表3-3)	組合せ	部材の降伏		
		溶接部 (表3-4)	せん断	部材の降伏	JEAG4601・補-1984を適用 し,許容応力状態Ⅳ _A Sの許容 応力以下とする	
		支持部の基礎ボルト (表3-5)	引張り、せん断、組合せ	部材の降伏		

表3-1 設備ごとの荷重の組合せ及び許容限界
		許容応力状態	許容限界*1, *2		
評価部位	荷重の組合せ		一次応力		
			引張り*3	せん断*3	
取付ボルト D+Ss		IV _A S	1.5 • f _t *	1.5 • f _s *	

表3-2 支持部の取付ボルトの許容限界

注記*1 : f_t*, f_s*は, JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(1)a.本文中Sy及びSy (RT)を1.2・Sy及び1.2・Sy(RT)と読み替えて算出した値(JSME S NC1-2005/2007 SSB-3133)。ただし, Sy及び0.7・Suのいずれか小さい方の値と する。

*2 : JEAG4601・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

*3 : ボルトにせん断力が作用する場合、組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{ts} は、JSME S NC1-2005/2007 SSB-3133に基づき、 f_{ts} =Min[1.4・ f_{to} -1.6・ τ_{b} 、 f_{to}]とする。ここで、 f_{to} は1.5・ f_{t} *とする。

なお、*f*_t_sは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をいい、*f*_t_oは引 張力のみを受けるボルトの許容引張応力をいう。

				許容限界*1, *2
	評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	一次応力
			組合せ	
	ボンベラック	D+S s	IV _A S	1.5 • f _t *

表3-3 ボンベラックの許容限界

注記*1 : f_t*は, JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(1)a.本文中Sy及びSy(R T)を1.2・Sy及び1.2・Sy(RT)と読み替えて算出した値(JSME S NC 1-2005/2007 SSB-3121.3)。ただし, Sy及び0.7・Suのいずれか小さい方の値とす る。

*2 : JEAG4601・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

表 3-4 溶接部の許容限界

		許容応力状態	許容限界*1, *2	
評価部位	荷重の組合せ		一次応力	
			せん断	
溶接部 D+S s		IV _A S	1.5 • f s*	

注記*1 : f_s*は, JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(1)a.本文中Sy及びSy(R T)を1.2・Sy及び1.2・Sy(RT)と読み替えて算出した値(JSME S NC 1-2005/2007 SSB-3121.3)。ただし, Sy及び0.7・Suのいずれか小さい方の値とす る。

*2 : JEAG4601・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1, *2	
評価部位			一次応力	
			引張り*3	せん断*3
基礎ボルト	D+S s	IV _A S	1.5•f _t *	1.5•f _s *

表3-5 支持部の基礎ボルトの許容限界

注記*1 : f_t*, f_s*は, JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(1)a.本文中Sy及びSy (RT)を1.2・Sy及び1.2・Sy(RT)と読み替えて算出した値(JSME S NC1-2005/2007 SSB-3133)。ただし, Sy及び0.7Suのいずれか小さい方の値とす る。

*2 : JEAG4601・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

*3 : ボルトにせん断力が作用する場合,組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{ts} は,JSME S NC1-2005/2007 SSB-3133に基づき, f_{ts} =Min[1.4・ f_{to} -1.6・ τ_{b} , f_{to}]とする。ここで, f_{to} は1.5・ f_{t} *とする。 なお、 f_{ts} は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をいい、 f_{to} は引 張力のみを受けるボルトの許容引張応力をいう。 4. 耐震評価方法

可搬型重大事故等対処設備の耐震評価は、車両型設備、ボンベ設備及びその他設備の分類ごと に評価方法が異なることから、以下の「4.1 車両型設備」、「4.2 ボンベ設備」及び「4.3 その他設備」のそれぞれに示す「固有値解析」、「加振試験」、「構造強度評価」、「転倒評 価」、「機能維持評価」及び「波及的影響評価」に従って実施する。

4.1 車両型設備

車両型設備においては,重大事故等に対処するための機能を維持するために,構造強度評価,転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価を実施する。

車両型設備の耐震評価フローを図 4-1 に示す。



図 4-1 車両型設備の耐震評価フロー

- (1) 加振試験
 - a. 基本方針

車両型設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、車両全体として安定性を有し、転倒しないこと、主要な構造部材が必要な構造強度を有すること及び支持機能、移動機能、動的及び電気的機能が維持できること並びに当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを加振試験の結果を踏まえて評価することから、以下の「b. 入力地震動」に示す入力地震動を用いて、「(3) 転倒評価」、「(4) 機能維持評価」及び「(5) 波及的影響評価」に示す方法により加振試験を行う。

b. 入力地震動

入力地震動は、V-2-別添 3-2「可搬型重大事故等対処設備の保管場所における入力 地震動」に示す、各保管場所の保管エリアごとに算定した入力地震動を用いる。

- (2) 構造強度評価
 - a. 直接支持構造物

車両型設備の直接支持構造物の構造強度評価は,以下に示す「(a) 直接支持構造物の 計算式」に従って,評価部位について,JEAG4601-1987 に規定されているポン プ等の取付ボルトの評価方法を用いて発生応力を算出し,許容応力以下であることを確 認する。

評価については,実機における車両型設備応答の不確実さを考慮し,加速度が大きく なる加振試験で測定された評価部位頂部の加速度を設計用水平加速度及び設計用鉛直加 速度として設定し,構造強度評価を行う。

構造強度評価に使用する記号を表 4-1 に、計算モデル例を図 4-2~図 4-5 に示す。

なお,取付ボルト①については,タンクローリ(4kL)及びタンクローリ(16kL)のポ ンプ以外の評価部位について適用し,取付ボルト②については,タンクローリ(4kL)及 びタンクローリ(16kL)のポンプに適用する。

また,転倒方向は,図4-2~図4-5における軸直角方向及び軸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。

記号	単位	記号の説明
A _b	mm^2	取付ボルトの軸断面積
a _H	m/s^2	設計用水平加速度
a _P	m/s^2	回転体振動による加速度
a _v	m/s^2	設計用鉛直加速度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	据付面から重心位置までの高さ
L	mm	車両重心位置と取付ボルト間の水平方向距離
D	mm	支点としている取付ボルトより評価に用いる取付ボルトまでの距離
ℓ i		(iは転倒支点から距離の長い順に番号取りをする。)
m	kg	機器の保管時質量
M_{P}	N•mm	回転体回転により働くモーメント
N i	_	引張力又はせん断力の作用する取付ボルトの本数
		(iは転倒支点から距離の長い順に番号取りをする。)
n		取付ボルトの総本数
σь	MPa	取付ボルトの最大引張応力
τь	MPa	取付ボルトの最大せん断応力

表 4-1 構造強度評価に使用する記号







(取付ボルト① 軸直角方向転倒-2 (g-a_V-a_P) <0の場合)







図 4-4 直接支持構造物の計算モデル例 (取付ボルト② 軸直角方向転倒)





- (a) 直接支持構造物の計算式
 - イ. 図 4-2 及び図 4-3 の場合の引張応力 なお,図 4-3 の場合のボルトについては、回転体回転により働くモーメントは作用 しない。

$$\sigma_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot (\mathbf{a}_{H} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{h} + \mathbf{M}_{P} - \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} - \mathbf{a}_{V} - \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \cdots (4.1)$$

ロ. 図4-2及び図4-3の場合のせん断応力

ハ. 図 4-4 の場合のせん断応力
(イ) 荷重によるせん断応力
$$\tau_{b} = \frac{m \cdot \sqrt{(a_{H} + a_{P})^{2} + (g + a_{V} + a_{P})^{2}}}{n \cdot A_{b}} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots (4.3)$$

(ロ) モーメントによるせん断応力

$$\tau_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot (\mathbf{a}_{H} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{h} + \mathbf{M}_{P} + \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} + \mathbf{a}_{V} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \cdots (4.4)$$

ホ. 図 4-5 の場合のせん断応力

$$\tau_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot (\mathbf{a}_{H} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{h} + \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} + \mathbf{a}_{V} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}}}{\dots (4.6)}$$

b. 間接支持構造物

車両型設備の間接支持構造物の構造強度評価は、「(a) 間接支持構造物の計算式」に 従って、評価部位について、JEAG4601-1987 に規定されているポンプ等の取付 ボルトの評価方法を用いて発生応力を算出し、許容応力以下であることを確認する。

評価については,実機における車両型設備の応答の不確実さを考慮し,加速度が大き くなる加振試験で測定された評価部位頂部の加速度を設計用水平加速度及び設計用鉛直 加速度として設定し,構造強度評価を行う。

構造強度評価に使用する記号を表 4-2 に、計算モデル例を図 4-6~図 4-9 に示す。 なお、取付ボルト①については、可搬型窒素供給装置のコンテナ以外の評価部位につ いて適用し、取付ボルト②については、可搬型窒素供給装置のコンテナに適用する。

また,転倒方向は,図4-6~図4-9における軸直角方向及び軸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。

記号	単位	記号の説明
A _b	mm^2	取付ボルトの軸断面積
a _H	m/s^2	設計用水平加速度
a _v	m/s^2	設計用鉛直加速度
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	据付面から重心位置までの高さ
L	mm	車両重心位置と取付ボルト間の水平方向距離
$\ell_{\rm i}$	mm	支点としている取付ボルトより評価に用いる取付ボルトまでの距離
		(iは転倒支点から距離の長い順に番号取りをする。)
m	kg	機器の保管時質量
N i	_	引張力又はせん断力の作用する取付ボルトの本数
		(iは転倒支点から距離の長い順に番号取りをする。)
n		取付ボルトの総本数
σ _b	MPa	取付ボルトの最大引張応力
au b	MPa	取付ボルトの最大せん断応力

表 4-2 構造強度評価に使用する記号



図4-6 間接支持構造物の計算モデル例(1/2) (取付ボルト① 軸直角方向転倒-1 (g-a_v) ≧0の場合)





(取付ボルト① 軸方向転倒-1 $(g-a_v) \ge 0$ の場合)













図4-9 間接支持構造物の計算モデル例 (2/2) (取付ボルト② 軸方向転倒-2 (g-a_v) <0の場合)

- (a) 間接支持構造物の計算式
 - イ. 図4-6及び図4-7の場合の引張応力

ロ. 図4-6及び図4-7の場合のせん断応力

$$\tau_{\rm b} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{a}_{\rm H}}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{A}_{\rm b}} \qquad (4.8)$$

ニ. 図 4-8 の場合のせん断応力

$$\tau_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{a}_{H} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} - \mathbf{a}_{V}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \quad \dots \dots \dots \quad (4.10)$$

ホ. 図 4-9 の場合のせん断応力
(イ) 荷重によるせん断応力
$$\tau_{b} = \frac{m \cdot \sqrt{a_{H}^{2} + (g - a_{V})^{2}}}{n \cdot A_{b}} \quad \dots \qquad (4.11)$$

(ロ) モーメントによるせん断応力

$$\tau_{b} = \frac{m \cdot a_{H} \cdot h - m \cdot (g - a_{V}) \cdot L}{A_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1} N_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \quad \dots \dots \dots \quad (4.12)$$

(3) 転倒評価

車両型設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.1(1)b. 入力地 震動」を基に作成した入力地震動によるランダム波加振試験を行い、試験後に転倒してい ないことを確認する。

転倒評価は,当該設備設置地表面での最大応答加速度が,加振試験により転倒しないこ とを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

(4) 機能維持評価

車両型設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.1(1)b. 入力地震動」を基に作成した入力地震動によるランダム波加振試験を行い、試験後に支持機能、移動機能、動的及び電気的機能が維持されていることを確認する。加振試験については、JEAG4601-1991に基づき実施する。

基準地震動Ssによる地震力に対し,当該設備設置地表面での最大応答加速度が,地震 力に伴う浮上りを考慮しても,加振試験により車両部の支持機能及び車両型設備としての 自走,牽引等による移動機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下である ことにより確認する。

また,基準地震動Ssによる地震力に対し,当該設備設置地表面での最大応答加速度が, 地震力による浮上りを考慮しても,加振試験により,ポンプの送水機能,発電機の発電機 能,内燃機関の駆動機能等の動的及び電気的機能を維持できることを確認した加振台の最 大加速度以下であることにより確認する。

(5) 波及的影響評価

車両型設備は,実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し,「4.1(1)b. 入力地震動」を基に作成した入力地震動によるランダム波加振試験を行い,加振試験にて確認した 車両型設備の最大変位量が,当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備と の離隔距離未満であることにより確認する。

地震時における各設備のすべり量の算出については「a. すべり量」に、地震時におけ る各設備の傾きによる変位量の算出については「b. 傾きによる変位量」に、最大変位量 の算出については「c. 最大変位量」に示す。

a. すべり量

すべり量については、加振試験の結果を基に設定する。

加振試験によるすべり量については,各設備の加振試験により確認したすべり量のう ち,最も大きいすべり量を使用する。

b. 傾きによる変位量

傾きによる変位量については、各設備の加振試験により確認した傾き角のうち、最も 大きい値を用いて算出する。

また、波及的影響として評価すべき傾きによる変位量を表した図を図4-10に示し、

使用する記号を表 4-3 に示す。

傾きによる変位量については、以下の関係式により示される。

記号	単位	記号の説明
h	mm	設備高さ
Х	mm	傾きによる変位量
θ	0	傾き角

表 4-3 波及的影響評価に使用する記号



図 4-10 傾きによる変位量の算出図

c. 最大変位量

「a. すべり量」にて設定したすべり量と、「b. 傾きによる変位量」により算出される傾きによる変位量を加算した値を最大変位量と定義し、最大変位量が「3.2 許容限界」にて設定した離隔距離未満であることを波及的影響評価として確認する。

4.2 ボンベ設備

ボンベ設備においては,重大事故等に対処するための機能を維持するために,構造強度評価 及び波及的影響評価を実施する。

ボンベ設備の耐震評価フローを図4-11に示す。



- (1) 固有值解析
 - a. 基本方針

ボンベ設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、主要な構 造部材が必要な構造強度を有すること及び当該設備による波及的影響を防止する必要があ る他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを、固有値解析の結果を踏まえて評価す ることから、以下の「b. 解析方法及び解析モデル」に示す解析方法及び解析モデルを用 いて、固有値解析を行う。

- b. 解析方法及び解析モデル
 - (a) ボンベラックを構成する鋼材をはり要素(形鋼等),シェル要素(鋼板等)としてモデ ル化した3次元 FEM モデルによる固有値解析を実施する。

- (b) 拘束条件として,ボンベラックは,溶接又は基礎ボルトにより X, Y, Z の 3 方向を固定 として設定する。
- (c) ボンベ本体は、基準地震動Ssによる地震力に対して転倒しないことを目的としたボ ンベラックに、固定ボルト及び固定板にて固定され収納されている。ここで、ボンベ 本体は高圧ガス適用品であり、一般的な圧力容器に比べ、高い耐圧強度を有すること から、はるかに剛性が高いものであるが、解析上、断面性状を考慮したはり要素とし てモデル化する。
- (d) 各ボンベからヘッダー又は配管への連絡管は、接続を容易にするため可とう性をもつ
 形状としていること、地震時にはボンベとヘッダー又は配管の相対変位は微小である
 ことから、地震時の変位を十分吸収できるものである。
- (e) 解析コードは、「ABAQUS」、「NAPF」又は「MSC NASTRAN」を使用 する。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プロ グラム(解析コード)の概要」に示す。
- (f) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (2) 構造強度評価

ボンベ設備は、「2.2 評価方針」で設定した評価部位について、評価部位に作用する応力 が許容限界を満足することを確認する。

a. 設計用地震力

基準地震動Ssによる地震力は、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。

- b. ボンベ設備の計算式
 - (a) 溶接支持構造(壁固定型)

構造強度評価に使用する記号を表 4-4 に,計算モデル例を図 4-12 及び図 4-13 に 示す。

また,転倒方向は,図4-12及び図4-13における正面方向及び側面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。

記号	単位	記号の説明
σa	MPa	はり要素の軸応力
σ _b	MPa	はり要素の曲げ応力
τ	MPa	はり要素のせん断応力
σ	MPa	はり要素の組合せ応力
σ _x	MPa	シェル要素のX方向応力
σу	MPa	シェル要素のY方向応力
τ _{xy}	MPa	シェル要素のせん断応力
σ	MPa	シェル要素の組合せ応力
Сн		水平方向設計震度
C _V		鉛直方向設計震度
F_{W1}	Ν	取付面に対し平行方向に作用するせん断力
	N	取付面に対し前後方向に作用するせん断力
F w ₂	N	(正面方向転倒)
E E	N	取付面に対し前後方向に作用するせん断力
F _{W3}	IN	(側面方向転倒)
Fw	Ν	取付面に対し前後方向に作用する最大せん断力
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	取付面から重心までの距離
ℓ_1	mm	重心と下側溶接部間の距離
ℓ_2	mm	上側溶接部と下側溶接部中心間の距離
ℓ_3	mm	左側溶接部と右側溶接部中心間の距離
m	kg	ボンベ設備の質量
n	_	溶接箇所数
		鉛直方向地震により取付面に対し前後方向のせん断力を受ける
n _{vw}		として期待する溶接箇所数
10		水平方向地震により取付面に対し前後方向のせん断力を受ける
n _{HW}		として期待する溶接箇所数
au w	MPa	溶接部に生じる最大せん断応力
τ w1	MPa	取付面に対し平行方向に作用するせん断応力
τ w ₂	MPa	取付面に対し前後方向に作用するせん断応力
A_W	mm^2	溶接部の有効断面積(1箇所当たり)
S	mm	溶接部の脚長
Lw	mm	溶接長(1箇所当たり)

表 4-4 構造強度評価に使用する記号





図 4-12 計算モデル例(正面方向転倒)



図 4-13 計算モデル例 (側面方向転倒)

- イ. ボンベラック(はり要素) ボンベラックのうち、はり要素の組合せ応力を以下のとおり計算する。 $\sigma = \sqrt{\left(\sigma_{a} + \sigma_{b}\right)^{2} + 3 \cdot \tau^{2}} \quad \dots \qquad (4.14)$
- ロ. ボンベラック(シェル要素)
 ボンベラックのうち、シェル要素の組合せ応力を以下のとおり計算する。

$$\sigma_{s} = \sqrt{\sigma_{x}^{2} + \sigma_{y}^{2} - \sigma_{x} \cdot \sigma_{y} + 3 \cdot \tau_{xy}^{2}} \quad \dots \qquad (4.15)$$

ハ. 溶接部

溶接部の応力を以下のとおり計算する。

・ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断応力

ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断力は全溶接部で受けるもの として計算する。

ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断力(Fw1)

$$F_{W1} = \sqrt{(m \cdot C_H \cdot g)^2 + (m \cdot (1 + C_V) \cdot g)^2} \cdots (4.16)$$

ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断応力(τw1)

$$\tau_{W1} = \frac{F_{W1}}{n \cdot A_{W}} \quad \dots \qquad (4.17)$$

・ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断応力

溶接部に対する力は最も厳しい条件として,図4-12及び図4-13で最外列の溶 接部を支点とする転倒を考え,これを片側の最外列の溶接部で受けるものとして計 算する。

計算モデル図 4-12 に示す正面方向転倒の場合のせん断力(Fw2)

$$F_{W2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{VW} \cdot \ell_2} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{HW} \cdot \ell_3} \quad \dots \dots \quad (4.18)$$

計算モデル図 4-13 に示す側面方向転倒の場合のせん断力(Fω3)

$$F_{W3} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot \ell_1 \cdot g}{n_{VW} \cdot \ell_2} \quad \dots \dots \quad (4.19)$$

ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断力

 $F_{W} = Max (F_{W2}, F_{W3})$ (4.20)

ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断応力(て w2)

$$\tau_{W2} = \frac{F_W}{A_W} \qquad (4.21)$$

ここで、せん断を受ける溶接部の有効断面積Awは、

$$A_{W} = (S / \sqrt{2}) \times L_{W} \quad \dots \quad (4.22)$$

・溶接部の応力

 $\tau_{W} = Ma x (\tau_{W1}, \tau_{W2})$ (4.23)

(b) 溶接支持構造(床固定型)

構造強度評価に使用する記号を表 4-5 に,計算モデル例を図 4-14 及び図 4-15 に 示す。

また,転倒方向は,図4-14及び図4-15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。

記号	単位	記号の説明
σa	MPa	はり要素の軸応力
σ _b	MPa	はり要素の曲げ応力
τ	MPa	はり要素のせん断応力
σ	MPa	はり要素の組合せ応力
Сн	—	水平方向設計震度
C v	—	鉛直方向設計震度
F _{HW}	Ν	溶接部に作用する水平方向せん断力
$F_{\rm VW}$	Ν	溶接部に作用する鉛直方向せん断力
g	m/s^2	重力加速度
h	mm	取付面から重心までの距離
L	mm	ボンベ設備重心位置と溶接部間の水平方向距離
l	mm	支点としている溶接部より評価に用いる溶接部までの距離
m	kg	ボンベ設備の質量
n		溶接箇所数
n vw		評価上鉛直方向せん断力を受けるとして期待する溶接箇所数
au w	MPa	溶接部に生じる最大せん断応力
au w1	MPa	溶接部に生じる水平方向せん断応力
$ au_{ m W2}$	MPa	溶接部に生じる鉛直方向せん断応力
A _{HW}	2	水平方向せん断力を受ける溶接部の有効断面積(1箇所当た
	111111	り)
$A_{\rm VW}$	mm ²	鉛直方向せん断力を受ける溶接部の有効断面積(1箇所当た
		り)
S	mm	溶接部の脚長
L_{W}	mm	溶接長(1箇所当たり)

表 4-5 構造強度評価に使用する記号







図 4-14 計算モデル例 (2/2) (短辺方向転倒-2 (1-C_v) <0の場合)







図 4-15 計算モデル例 (2/2) (長辺方向転倒-2 (1-C_v) <0の場合)

イ. ボンベラック(はり要素) ボンベラックのうち,はり要素の組合せ応力を以下のとおり計算する。

$$\sigma = \sqrt{\left(\sigma_{a} + \sigma_{b}\right)^{2} + 3 \cdot \tau^{2}} \quad \dots \quad (4.24)$$

口. 溶接部

溶接部の応力を以下のとおり計算する。

・図 4-14 及び図 4-15 の場合の水平方向せん断応力 溶接部に対する水平方向せん断力は全溶接部で受けるものとして計算する。

水平方向せん断力 (F_{HW})

 $F_{HW} = C_{H} \cdot m \cdot g \quad \dots \quad (4.25)$

水平方向せん断応力(てw1)

$$\tau_{W1} = \frac{F_{HW}}{n \cdot A_{HW}} \quad \dots \qquad (4.26)$$

・図 4-14 及び図 4-15 の場合の鉛直方向せん断応力

溶接部に対する力は最も厳しい条件として,最外列の溶接部を支点とする転倒を 考え,これを片側の最外列の溶接部で受けるものとして計算する。

鉛直方向せん断力(Fvw)

$$F_{VW} = \frac{m \cdot C_{H} \cdot g \cdot h - m \cdot (1 - C_{V}) \cdot g \cdot L}{n_{VW} \cdot \ell} \quad \dots \dots \quad (4.27)$$

鉛直方向せん断応力(τ w2)

$$\tau_{W2} = \frac{F_W}{A_{VW}} \quad (4.28)$$

ここで、せん断を受ける溶接部の有効断面積A_{HW}, A_{VW}は、

 $A_{HW} = (S / \sqrt{2}) \times L_{W}$ (4.29)

 $A_{VW} = (S \neq \sqrt{2}) \times L_{W}$ (4.30)

・溶接部の応力

(c) 基礎ボルト支持構造(床固定型)

構造強度評価に使用する記号を表 4-6 に,計算モデル例を図 4-16 及び図 4-17 に 示す。

また,転倒方向は,図4-16及び図4-17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。

記号	単位	記号の説明	
σa	MPa	はり要素の軸応力	
σ _b	MPa	はり要素の曲げ応力	
τ	MPa	はり要素のせん断応力	
σ	MPa	はり要素の組合せ応力	
Сн	—	水平方向設計震度	
C v	—	鉛直方向設計震度	
A _b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積	
g	m/s^2	重力加速度	
h	mm	据付面から重心位置までの高さ	
L	mm	ボンベ設備重心位置と基礎ボルト間の水平方向距離	
	mm	支点としている基礎ボルトより評価に用いる基礎ボルトまでの	
l		距離	
m	kg	ボンベ設備の質量	
Ν	—	引張力の作用する基礎ボルトの本数	
n	_	基礎ボルトの総本数	
σь	MPa	基礎ボルトの最大引張応力	
τ _b	MPa	基礎ボルトの最大せん断応力	

表 4-6 構造強度評価に使用する記号



(短辺方向転倒-2 (1-C_v) <0 の場合)





(長辺方向転倒-2 (1-C_V) <0の場合)

イ. ボンベラック(はり要素)
 ボンベラックのうち,はり要素の組合せ応力を以下のとおり計算する。

$$\sigma = \sqrt{\left(\sigma_{a} + \sigma_{b}\right)^{2} + 3 \cdot \tau^{2}} \quad \dots \qquad (4.32)$$

ロ. 基礎ボルト

基礎ボルトの応力を以下のとおり計算する。 ・図 4-16 及び図 4-17 の場合の引張応力

・図 4-16 及び図 4-17 の場合のせん断応力

(3) 波及的影響評価

ボンベ設備は、地震後において、基準地震動Ssによる地震力に対し、ボンベラックに収 納し、ラックを耐震性を有する建屋内の保管場所の床又は壁に溶接又は基礎ボルトで固定し て保管し、主要な構造部材が窒素又は空気供給機能を維持可能な構造強度を有することで、 当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさない ことを確認する。

4.3 その他設備

その他設備においては,重大事故等に対処するための機能を維持するために,転倒評価,機 能維持評価及び波及的影響評価を実施する。

その他設備の耐震評価フローを図 4-18 に示す。



図 4-18 その他設備の耐震評価フロー

- (1) 加振試験
 - a. 基本方針

その他設備においては、重大事故等に対処するための機能を維持するために、機器全体 として安定性を有し、転倒しないこと、支持機能、動的及び電気的機能が維持できること 及び当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼ さないことを加振試験の結果を踏まえて評価することから、以下の「b. 入力地震動」に 示す入力地震動を用いて、「(2) 転倒評価」、「(3) 機能維持評価」及び「(4) 波及的 影響評価」に示す方法により加振試験を行う。

b. 入力地震動

入力地震動は、V-2-別添 3-2「可搬型重大事故等対処設備の保管場所における入力地 震動」に示す、各保管場所の保管エリアごとに算定した入力地震動を用いる。

 $\mathbb{R}1$

(2) 転倒評価

その他設備は,実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し,「4.3(1)b. 入力地震動」 を基に作成した入力地震動によるランダム波加振試験を行い,試験後に転倒していないこと を確認する。

転倒評価は,当該設備保管場所の設置床又は地表面での最大応答加速度が,加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認する。

(3) 機能維持評価

その他設備は、実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「4.3(1)b. 入力地震動」を基に作成した入力地震動によるランダム波加振試験を行い、試験後に支持機能、動的及び電気的機能が維持されることを確認する。加振試験については、JEAG4601-1991に基づき実施する。

機能維持評価は、当該設備保管場所の設置床又は地表面での最大応答加速度が、加振試験 により計測、給電等の機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であること により確認する。

(4) 波及的影響評価

その他設備は,実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し,「4.3(1)b. 入力地震動」 を基に作成した入力地震動によるランダム波加振試験を行い,波及的影響を防止する必要が ある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認する。

波及的影響評価は、当該設備保管場所の設置床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験 により転倒を防止するためのスリング等の健全性を確認した加振台の最大加速度以下である ことにより確認する。

また,地盤安定性を有する屋外の保管場所に固定せずに保管する車両等に,スリング等で 拘束し保管する設備は,加振試験にて確認した車両等の最大変位量が,当該設備による波及 的影響を防止する必要がある他の設備との離隔距離未満であることにより確認する。

なお,その他設備を保管する車両等のすべり量,傾きによる変位量及び最大変位量の算出 については「4.1(5) 波及的影響評価」と同じ。 4.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の考慮

動的地震力の水平2方向及び鉛直方向の組合せが可搬型重大事故等対処設備の有する耐震性 に及ぼす影響については、V-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評 価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針に基づき評価を行う。

評価内容及び評価結果は、V-2-別添 3-6「可搬型重大事故等対処設備の水平2方向及び鉛直 方向地震力の組合せに関する影響評価結果」に示す。

5. 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984
 ((社)日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- (4) 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)

V-2-別添 3-2 可搬型重大事故等対処設備の保管場所における 入力地震動
目 次

1.	概要	1
2.	可搬型重大事故等対処設備の保管場所 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
3.	保管場所における入力地震動の算定	3
3.1	保管場所における入力地震動の算定方針 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
3.2	2 保管場所におけるボーリング調査 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
3.3	3 解析条件の設定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
3.4	↓ 1 次元地震応答解析モデルの作成 ·····	16
3.5	5 解放基盤表面の設定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	26
3.6	5 基準地震動の引上げ	27
3.7	7 保管場所における入力地震動の算定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	28
4.	加速度応答スペクトルの算定 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	29
4.1	保管場所の最大応答加速度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	29
4.2	2 可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所)	33
4.3	3 可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所)	154
4.4	4 可搬型重大事故等対処設備保管場所(5 号機東側保管場所) ······	275
4.5	5 可搬型重大事故等対処設備保管場所(5 号機東側第二保管場所) ······	302

1. 概要

本資料は、V-2-別添 3-1「可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」に示すとおり、可搬 型重大事故等対処設備の保管場所に保管する可搬型重大事故等対処設備について、その加振試験 等に際して必要となる入力地震動を求めるために行う、基準地震動Ssを基にした各保管場所の 地盤の地震応答解析について説明するものである。

なお,原子炉建屋,コントロール建屋,廃棄物処理建屋及び緊急時対策所については, V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示す。

本資料には,可搬型重大事故等対処設備保管場所の地表面における加速度時刻歴波形及び加速 度応答スペクトルを示す。

2. 可搬型重大事故等対処設備の保管場所

可搬型重大事故等対処設備の保管場所は、位置的分散を考慮し、以下に示す4地点とする。 可搬型重大事故等対処設備保管場所の位置を図2-1に示す。

- a. 荒浜側高台保管場所
- b. 大湊側高台保管場所
- c. 5号機東側保管場所
- d. 5号機東側第二保管場所



図 2-1 可搬型重大事故等対処設備保管場所の位置

- 3. 保管場所における入力地震動の算定
- 3.1 保管場所における入力地震動の算定方針

保管場所における入力地震動は、地表面における入力地震動のことを示しており、水平方向 及び鉛直方向に対して、解放基盤表面で定義される基準地震動Ssを基に、各保管場所での地 盤条件を考慮し、地盤の地震応答解析により評価する。基準地震動SsはV-2-1-2「基準地震 動Ss及び弾性設計用地震動Sdの策定概要」による。

解放基盤表面から1次元地震応答解析モデル底面までの地震動の引上げは、1次元波動論に よる応答計算を解析コード「SLOK」により行うものとし、1次元地震応答解析モデル底面 から地表面までの地震動の引上げについては、1次元地震応答解析を解析コード「FLIP」 により行うものとする。なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、別紙「計 算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

保管場所における入力地震動の算定フローを図 3-1 に示す。

保管場所における入力地震動の算定にあたっては、各保管場所にて実施したボーリング調査 に基づき,解析条件の設定,1次元地震応答解析モデルの作成及び解放基盤表面の設定を行う。



図 3-1 保管場所における入力地震動の算定フロー図

3.2 保管場所におけるボーリング調査

可搬型重大事故等対処設備の各保管場所におけるボーリング調査は,解析条件を設定するためのボーリングと,解放基盤表面を確認するためのボーリングの2種類を実施している。

各保管場所における解析条件設定用ボーリング調査位置を図 3-2 に,解放基盤表面確認用 ボーリング調査位置を図 3-3 に示す。



図 3-2 解析条件設定用ボーリング調査位置





- 3.3 解析条件の設定
 - (1) 解析用物性值

荒浜側高台保管場所及び大湊側高台保管場所を対象とした1次元地震応答解析に使用する 地盤の解析用物性値及び解析用物性値の設定根拠は,図 3-2 にて示した解析条件設定用ボ ーリング調査位置での結果に基づくものであり,表 3-1~表 3-8 に示す。

5号機東側保管場所及び5号機東側第二保管場所を対象とした1次元地震応答解析に使用 する地盤の解析用物性値及び解析用物性値の設定根拠は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る 基本方針」に基づき設定することを基本とし、表3-9~表3-12に示す。

なお、本資料では、安田層下部層のMIS10~MIS7 と MIS6 の境界付近の堆積物を、『古安田 層』と仮称する。

<u> </u>			地質区分	新期砂層	・沖積層	承抽砂屑		古安田層	
物	物性值			新期砂層	沖積層下部	大湊砂層	A2s層	A3s層	A2g層 (砂質)
物 理	密度	ρ	(g/cm^3)	2.02 (1.93)*	2.01	1.90	1.92	1.92	1.92
特性	間隙率	n		0.41	0.43	0.48	0.45	0.45	0.45
	動せん断弾性係数	G _{ma}	(kN/m^2)	2.03×10^5 (1.94×10 ⁵) *	3.30×10^5	3.09×10^{5}	2.43×10^5	2.43×10^5	2. 43×10^5
変形	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}	(kN/m^2)	280	470	410	570	570	570
特性	ポアソン比	ν		0.33 (0.35)*	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値	h_{max}		0.318	0.358	0.084	0. 300	0.300	0.300
強度	粘着力	с'	(kN/m^2)	0.0 (41.5)*	0. 0	0.0	0.0	0.0	0.0
特性	内部摩擦角	φ'	(°)	37.0 (34.8)*	36.5	33.6	36.7	36. 7	36. 7
	変相角	$\phi_{\rm p}$	(°)	33.4	32.9	30.2	33. 1	33. 1	33. 1
			S_1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
液状化			w 1	7.50	8.80	7.95	43.0	43.0	43.0
化特性	液状化パラメーク	Þ	р ₁	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
			p ₂	0.70	0.65	0.70	0.80	0.80	0.80
			c 1	2.16	2.32	1.73	12.0	12.0	12.0

表 3-1 解析用物性值(荒浜側高台保管場所)(液状化検討対象層)

注記*:括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

表 3-2	解析用物性值	(荒浜側高台保管場所)	(非液状化検討対象層)

			地質区分			古安	田層		西口	山層
物	性値	<u> </u>		埋戻土	A3c層	A3a1層	A2c層	A2a1層	西山層 (T.M.S.L56.57m以浅)	西山層 (T.M.S.L56.57m ~-142.57m)
物理	密度	ρ	(g/cm^3)	1.86	1.65	1.87	1.77	1.77	1.61	1.63
特性	間隙率	n		0.48	0.60	0.48	0.54	0.54	0.59	0.59
	動せん断弾性係数	G_{ma}	(kN/m^2)	$7.\ 97\times 10^4$	8.58×10^{4}	$1.99\!\times\!10^5$	$1.55\!\times10^5$	1.56×10^{5}	3.26×10^{5}	5. 11×10^{5}
変形	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}	(kN/m^2)	140	360	450	500	480	98.0	98.0
特性	ポアソン比	ν		0.43	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値	h _{max}		0.161	0.097	0.185	0.125	0.270	0.281	0.281
強度	粘着力	с'	(kN/m^2)	15.2	261	57.7	466	44.9	830-5.60 · Z *	830-5.60 · Z *
特性	内部摩擦角	φ'	(°)	29.8	9.8	32.2	1.6	20.7	0.0	0.0
	注記*:Zは, T.M.S.	L. (m) ł	を示す。							

8

<u> </u>			地質区分	新期砂層	・沖積層	承抽砂屑		古安田層	
物	物性值			新期砂層	沖積層下部	大湊砂層	A2s層	A3s層	A2g層 (砂質)
物 理	密度	ρ	(g/cm^3)	1.89 (1.71)*	2.00	1.94	1.83	1.83	1.83
特性	間隙率	n		0.49	0.43	0.47	0.50	0.50	0.50
	動せん断弾性係数	G _{na}	(kN/m^2)	1.12×10^5 (1.01×10^5) *	1.84×10^{5}	2.23×10^{5}	2.57 \times 10 ⁵	2.57×10^{5}	2.57×10^{5}
変形	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}	(kN/m^2)	170	310	260	420	420	420
特性	ポアソン比	ν		0.33 (0.35)*	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値	h _{max}		0.246	0.183	0.177	0.134	0.134	0.134
強度	粘着力	c'	(kN/m^2)	0.0 (16.9)*	0. 0	0.0	0.0	0.0	0.0
特性	内部摩擦角	φ'	(°)	35.7 (34.7)*	35.7	37.0	37.1	37.1	37.1
	変相角	$\varphi_{\rm p}$	(°)	32.2	32.2	33.4	33.5	33. 5	33. 5
1.44			S_1	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
液 状			\mathbf{w}_1	8.00	9.20	7.35	40.0	40.0	40.0
1L 特 性	液状化パラメータ	7	р ₁	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
性			p ₂	0.65	0.65	0.80	0.80	0.80	0.80
			c 1	2.02	1.86	1.80	8.25	8.25	8.25

表 3-3 解析用物性值(大湊側高台保管場所)(液状化検討対象層)

注記*:括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

表 3-4	解析用物性值	(大湊側高台保管場所)	(非液状化検討対象層)

/	物性値		地質区分			古安田層		西山	山層
物				埋戻土	A3c層	A3a1層	A2c層	西山層 (T. M. S. L75. 98m以浅)	西山層 (T.M.S.L75.98m ~-129.98m)
物理	密度	ρ	(g/cm^3)	1.77	1.66	1.80	1.73	1.71	1.73
特性	間隙率	n		0.51	0.59	0.51	0.55	0.56	0.56
	動せん断弾性係数	G _{na}	(kN/m^2)	$7.\ 73 \times 10^4$	1.29×10^{5}	$1.\;57\times10^{5}$	1.64×10^{5}	4.80×10^{5}	6. 65×10^{5}
変形	基準平均有効拘束圧	σ_{ma} ,	(kN/m^2)	110	290	240	380	98.0	98.0
特性	ポアソン比	ν		0.40	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値	h_{max}		0.180	0.121	0.135	0.106	0.257	0.257
強度	粘着力	с'	(kN/m^2)	9.1	136	77.9	200	1370-5.04 · Z*	1370-5.04 · Z*
特性	内部摩擦角	φ'	(°)	31.5	24.0	30.1	22.0	0.0	0.0
	注記*: Z は, T.M.S.L. (m)を示す。								

9

			地質区分	新期砂層	・沖積層	番神砂層		古安田層		
物	物性值			新期砂層 沖積層下部		大湊砂層	A2s層	A3s層	A2g層 (砂質)	
物 理	密度	ρ	(g/cm^3)	物理	試験	物理試験	物理試験			
特性	間隙率	n		物理	試験	物理試験	物理試験			
	動せん断弾性係数	$G_{\rm ma}$	(kN/m^2)	PS検層によ 密度に基	るS波速度, づき設定	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定			
変 形	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}	(kN/m^2)	Gmiに対	応する値	G _m に対応する値	G _m に対応する値			
特性	ポアソン比	ν		慣用値 ^{*1} (PS検層) ^{*2}	慣用値*1	慣用値*1	慣用値*1			
	減衰定数の上限値	h _{max}		動的変形特性	に基づき設定	動的変形特性 に基づき設定	動的変形特性 に基づき設定			
強度	粘着力	с'	(kN/m^2)	二十二	容等	口季日後等要	口書日發発感	A2s層、	で代用	
特性	内部摩擦角	φ'	(°)		1111 pr 1 apr					
	変相角	$\phi_{\rm p}$	(°)							
1.44			S 1	液状化強度試験結果に基	液状化強度試験結果に基	液状化強度試験結果に基 ペイ要素 シミュ レーシュ	液状化強度試験結果に基			
液 状			w 1		ンマネンマニレーション		ン ン ジョン ション			
 化特性	液状化パラメー	Ø	р 1	(試験結果はV-2-1-3 「地盤の支持性能に係る まままれ」におきの新期	 (試験結果はV-2-1-3) 「地盤の支持性能に係る 第ままれ、におきの決時 	 (試験結果はV-2-1-3) 「地盤の支持性能に係る 其ままは、にお詰の新期 	 (試験結果はV-2-1-3 「地盤の支持性能に係る 			
			p ₂	磁本方計」に記載の新期 砂層より代用)	基本方針」に記載の件積 層下部より代用)	基本方針」に記載の新期 砂層より代用)	基本方針」に記載のA2s 層より代用)			
	SS Test . Sale 11- 11 - S	- Maria	с 1				View de la composition de la compositio			

表 3-5 解析用物性値の設定根拠(荒浜側高台保管場所)(液状化検討対象層)

注記*1 : 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法(港湾技研資料No.869) (運輸省港湾技術研究所,平成9年6月) *2 :括弧内は,地下水位以浅の根拠を表す。

表 3-6 解析用物性値の設定根拠(荒浜側高台保管場所)(非液状化検討対象層)

\sim							_			
			地質区分			古安	田層		西山	山層
物	性値	<u> </u>		埋戻土	埋戻土 A3c層 A3a1層 A2c層 A2a1層		A2a1層	西山層 (T.M.S.L56.57m以浅)	西山層 (T.M.S.L56.57m ~-142.57m)	
物理	密度	ρ (g/cm ³) 物理試験 物理試験				物理試験				
特性	間隙率	n		物理試験		物理試験				試験
変形	動せん断弾性係数	G_{ma}	(kN/m^2)	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	F	PS検層によるS波速度	, 密度に基づき設定	PS検層によるS波速度	,密度に基づき設定	
	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}	(kN/m^2)	G _{ma} に対応する値	G _{ma} に対応する値				慣月	1値*
特性	ポアソン比	ν		PS検層		懺用值*				1値*
	減衰定数の上限値	h_{max}		動的変形特性 に基づき設定		動的変形特性	に基づき設定		動的変形特性	に基づき設定
強度	粘着力	c'	(kN/m^2)	二十百百百百		三十五	銜 孝 郡		二十二	統計論
特性	内部摩擦角	φ'	(°)		三輪正縮於驗 三輪正縮於驗		THE PLACE			

注記*:液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法(港湾技研資料No.869) (運輸省港湾技術研究所,平成9年6月)

			地質区分	新期砂層	・沖積層	番神砂層		古安田層		
物	物性值			新期砂層 沖積層下部		大湊砂層	A2s層	A3s層	A2g層 (砂質)	
物 理	密度	ρ (g/cm ³) 物理試験		試験	物理試験	物理試験	I			
特性	間隙率	n		物理	試験	物理試験	物理試験			
	動せん断弾性係数	G _{na}	(kN/m^2)	PS検層によ 密度に基	るS波速度, づき設定	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定			
変 形	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}	(kN/m^2)	G _m に対	応する値	G _m に対応する値	G _m に対応する値			
特性	ポアソン比	ν		慣用値 ^{*1} (PS検層) ^{*2}	慣用値*1	慣用値*1	慣用値*1			
	減衰定数の上限値	h _{max}		動的変形特性	に基づき設定	動的変形特性 に基づき設定	動的変形特性 に基づき設定			
強度	粘着力	с'	(kN/m^2)	二十二	容等	口季日後等要	口書日發発感	19.8	74 H L	
特性	内部摩擦角	φ'	(°)		1111 pr 1 apr			R25/W		
	変相角	$\phi_{\rm p}$	(°)							
1.44			S 1	液状化強度試験結果に基	液状化強度試験結果に基	液状化強度試験結果に基 ペイ要素 シミュ レーショ	液状化強度試験結果に基			
液 状			w 1	ンシャンション	ンマネンマニレーション		ン ン ジョン ション			
(化特性	液状化パラメー	Ø	р 1	 (試験結果はV-2-1-3 「地盤の支持性能に係る 						
			p ₂	磁本方計」に記載の新期 砂層より代用)	基本方針」に記載の件積 層下部より代用)	基本方針」に記載の新期 砂層より代用)	基本方針」に記載のA2s 層より代用)			
	N = . Sala D. D. S. N	- Maria	с ₁				View (national sectors and			

表 3-7 解析用物性値の設定根拠(大湊側高台保管場所)(液状化検討対象層)

注記*1 : 液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法(港湾技研資料No.869) (運輸省港湾技術研究所,平成9年6月) *2 :括弧内は,地下水位以浅の根拠を表す。

表 3-8 解析用物性値の設定根拠(大湊側高台保管場所)(非液状化検討対象層)

			地質区分			古安田層		西山	西山層	
物	性値	<u> </u>		埋戻土	A3c層	A3a1層	A2c層	西山層 (T.M.S.L75.98m以浅)	西山層 (T. M. S. L75. 98m ~-129. 98m)	
物 理	密度	密度 ρ (g/cm ³) 物理試験 物理試験		物理	試験					
特性	間隙率	n		物理試験	物理試驗			物理試験		
	動せん断弾性係数	G _{na}	(kN/m^2)	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	PS検層によるS波速度,密度に基づき設定			PS検層によるS波速度	,密度に基づき設定	
変 形	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}	(kN/m^2)	G _m に対応する値	G mi に対応する値			慣月	/値*	
特性	ポアソン比	ν		PS検層		慣用値*			值*	
	減衰定数の上限値	h _{max}		動的変形特性 に基づき設定		動的変形特性に基づき設定	:	動的変形特性	に基づき設定	
強度	粘着力	с'	(kN/m^2)	二曲口流起路		二軸口統計論		二軸匹	size take mine	
特性	内部摩擦角	φ'	(°)		三軸圧縮試驗 三軸圧縮試驗		1111 IP* 42%			

注記*:液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法(港湾技研資料No.869) (運輸省港湾技術研究所,平成9年6月)

/		地質区分		古安	田層
物	性値		埋戻土	A2s層	A3s層
物 理	密度 p	(g/cm^3)	1.94	1.91	1.91
特性	間隙率 n		0.45	0.45	0.45
	動せん断弾性係数 G _{ma}	(kN/m^2)	1.04×10^{5}	2. 14×10^5	2.14×10^5
変 形	基準平均有効拘束圧 σ "а'	(kN/m^2)	98.0	200	200
特性	ポアソン比 v		0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h _{max}		0.225	0.157	0.157
強度	粘着力 c'	(kN/m^2)	0.0	0.0	0. 0
特性	内部摩擦角 φ'	(°)	35.9	36.6	36.6
	変相角 φ _p	(°)	32.0	32.0	32.0
		S_1	0.005	0.005	0.005
液状化		\mathbf{w}_{1}	5.50	25.0	25.0
特性	液状化パラメータ	р ₁	0.50	0.50	0.50
-14		p ₂	1.00	0.80	0.80
		c 1	1.69	8. 75	8.75

表 3-9 解析用物性值

(5号機東側保管場所及び5号機東側第二保管場所)(液状化検討対象層)

表 3-10 解析用物性值

(5号機東側保管場所及び5号機東側第二保管場所)(非液状化検討対象層)

/			地質区分		古安田層		西口	」層
物	性値	<u> </u>		A3a1層	A2c層	A2g層 (シルト質)	西山層 (T.M.S.L60m以浅)	西山層 (T.M.S.L60m~-100m)
物 理	密度	ρ	(g/cm^3)	1.81	1.80	1.80	1.70	1.75
特性	間隙率	n		0.52	0.52	0.52	0.56	0.56
	動せん断弾性係数	G_{ma}	(kN/m^2)	9. 57×10^4	1.39×10^{5}	1.39×10^{5}	4.09×10^{5}	5. 50×10^{5}
変 形	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}	(kN/m^2)	94	140	140	98.0	98.0
特性	ポアソン比	ν		0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値	h _{max}		0.162	0.110	0.110	0.130	0.130
強度	粘着力	с'	(kN/m^2)	29.2	113	113	$1370 - 5.04 \cdot Z^*$	$1370 - 5.04 \cdot Z^*$
特性	内部摩擦角	φ'	(°)	34. 2	27. 9	27.9	0.0	0.0

· 注記*:Zは, T.M.S.L.(m)を示す。

表 3-11 解析用物性値の設定根拠

(5号機東側保管場所及び5号機東側第二保管場所)(液状化検討対象層)

/		地質区分		古安	田層		
物 物理特性 変形特性 強度特性 液状化特性 性 密 間 動 基 パ 減 粘 内 変	性値		埋戻土	A2s層	A3s層		
物 理	密度	ρ (g/cm ³)	物理試験	物理試験			
特性	間隙率	n	物理試験	物理試験			
1	動せん断弾性係数 C	G _{ma} (kN/m ²)	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定	PS検層によるS波速度, 密度に基づき設定			
変 形	基準平均有効拘束圧 σ	, (kN/m ²)	慣用値*	G _{ma} に対応する値			
特性	ポアソン比	ν	慣用値*	慣用値*			
強強	減衰定数の上限値 h	max	動的変形特性 に基づき設定	動的変形特性 に基づき設定			
強度	粘着力 。	c' (kN/m ²)	二動口統計廠	二曲口游計廠	120展交体田口		
特性	内部摩擦角 ¢	5' (°)		平田/工_ 州日 p-1 初天	A2S/B CTC/H L		
	変相角 。	∮ _p (°)					
		S 1					
被状化		\mathbf{w}_1	液状化強度試験結果に基 づく要素シミュレーショ	液状化強度試験結果に基 づく要素シミュレーショ			
上特性	液状化パラメータ	р ₁					
		p ₂					
		c 1					

(運輸省港湾技術研究所,平成9年6月)

表 3-12 解析用物性値の設定根拠

(5号機東側保管場所及び5号機東側第二保管場所)(非液状化検討対象層)

/			地質区分		古安田層		西口	」層
物	性値	<u> </u>		A3a1層	A2c層	A2g層 (シルト質)	西山層 (T.M.S.L60m以浅)	西山層 (T.M.S.L60m~-100m)
物理	密度	ρ	(g/cm^3)	物理	試験		物理	試験
特性	間隙率	n		物理	試験		物理	試験
	動せん断弾性係数	G_{ma}	(kN/m^2)	PS検層によるS波速度	, 密度に基づき設定		PS検層によるS波速度	,密度に基づき設定
変 形	基準平均有効拘束圧	$\sigma_{\rm ma}$,	(kN/m^2)	G _{ma} に対	応する値	い。展で作用	慣用	值*
変形特性	ポアソン比	ν		慣用	1値*	A2Cher C1C/h	慣用	值*
	減衰定数の上限値	h _{max}		動的変形特性	に基づき設定		動的変形特性	に基づき設定
強度	粘着力	с'	(kN/m^2)	1 軒日	经补偿		1 軒日	谷社委
特性	内部摩擦角	φ,	(°)	¥#1/T_	THE PY VIC		¥#1/T_	THE PY OF

注記*:液状化による構造物被害予測プログラムFLIPにおいて必要な各種パラメタの簡易設定法(港湾技研資料No.869) (運輸省港湾技術研究所,平成9年6月)

(2) 地下水位

保管場所の入力地震動の算定における地下水位は,各保管場所近傍に設置した地下水位観 測孔の観測記録, PS 検層結果等に基づき設定する。

各保管場所における設定水位一覧を表 3-13 に示す。

亚尔马布	1 次元地震応答解析	凯告卡住
計 1111	モデル位置	
		T.M.S.L. 12.80m
	HA-P1	(新期砂層下端)
		T.M.S.L. 9.00m
	NA-P2	(新期砂層下端)
若 近侧百 石 炽答坦正	UA_D9	T.M.S.L. 4.82m
元供 侧向 口 体 目 场 川	ПА-РЭ	(新期砂層下端)
		T.M.S.L. 15.52m
	NA-14	(新期砂層下端)
	Н∧_Д2	T.M.S.L. 16.98m
		(埋戻土下端)
	<u>НО-</u> Р1	T.M.S.L. 18.51m
	110 1 1	(埋戻土下端)
	<u>НО–</u> Р2	T.M.S.L. 13.04m
	110 1 2	(埋戻土下端)
大法側真台促管提訴	HO-P3	T.M.S.L. 17.96m
八揆則同口休官勿川	110 1 5	(新期砂層下端)
	НО - Р4	T.M.S.L. 19.17m
	110 14	(新期砂層下端)
	HO-D2	T.M.S.L. 17.63m
	110 1 5	(新期砂層下端)
5 - 异 楼 甫 側 侶 答 捍 斫	НБ-Р9	T.M.S.L. 12.00m
0 勺饭木阅休日勿[7]	110 1 2	(地表面)
5 县继宙側第一促答提訴	Н5-D1	T.M.S.L. 12.00m
5 万1%不開和一杯目勿川		(地表面)

表 3-13 各保管場所における設定水位一覧

(3) 基準地震動 S s

各保管場所に用いる基準地震動Ssは、表 3-14 に示すとおりとする。

評価対象	基準地震動S s
荒浜側高台保管場所	荒浜側の基準地震動S s (Ss-1~7)
大湊側高台保管場所	荒浜側の基準地震動S s (Ss-1~7)
5 号機東側保管場所	大湊側の基準地震動 S s (Ss-1~8)
5 号機東側第二保管場所	大湊側の基準地震動S s (Ss-1~8)

表 3-14 各保管場所に用いる基準地震動 S s

- 3.4 1次元地震応答解析モデルの作成
 - 1次元地震応答解析モデルは、各保管場所において周辺の地質構造を考慮し、図 3-4 に示す 1次元地震応答解析モデル作成位置で実施したボーリング調査結果を用いて作成する。
 - 1 次元地震応答解析モデルを図 3-5~図 3-12 に示す。



図 3-4 1 次元地震応答解析モデル作成位置





K7 ① V-2-別添 3-2 R1



(可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所))(3/3)



(可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所))(1/3)



(可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所))(2/3)



(可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所))(3/3)







H5-P1

図 3-12 1 次元地震応答解析モデル

(可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所))

3.5 解放基盤表面の設定

荒浜側高台保管場所及び大湊側高台保管場所における解放基盤表面は,図3-3で示した,各 保管場所で実施した解放基盤表面確認用ボーリング調査結果に基づき,S波速度が700m/s以上 で著しい高低差がなく広がりを持って分布している硬質地盤に設定する。

また,5号機原子炉建屋周辺に設置される5号機東側保管場所及び5号機東側第二保管場所 における解放基盤表面は,5号機原子炉建屋位置で実施したボーリング調査結果に基づき,S波 速度が700m/s以上となるT.M.S.L.-134mの位置とする。

各保管場所における解放基盤表面標高と設定根拠を表 3-15 に示す。

評価対象	解放基盤表面標高	設定根拠
荒浜側高台保管場所	T.M.S.L280m	保管場所ボーリングの PS 検層
大湊側高台保管場所	T.M.S.L. −154m	保管場所ボーリングの PS 検層
5号機東側保管場所	T.M.S.L. −134m	5号機原子炉建屋ボーリングの PS 検層
5号機東側第二保管場所	T.M.S.L. −134m	5号機原子炉建屋ボーリングの PS 検層

表 3-15 各保管場所における解放基盤表面標高と設定根拠

3.6 基準地震動の引上げ

解放基盤表面から解析モデル下端(T.M.S.L.-80.0m)までの基準地震動の引上げは、1次 元波動論による応答計算を解析コード「SLOK」により行う。

モデル下端における入力地震動算定の考え方を図 3-13 に示す。

荒浜側高台保管場所及び大湊側高台保管場所の解放基盤表面~入力地震動作成モデル上端 (T.M.S.L.-80.0m)までについては,発電用原子炉設置変更許可申請書(6号及び7号発電 用原子炉施設の変更)のうち添付書類六に記載した解析用物性値を用いる。なお,地下構造モ デルや Vp及び Vsの速度構造については,原位置にて実施した解放基盤表面確認用ボーリング 調査に基づき設定したものを用いる。具体的には,荒浜側高台保管場所では解放基盤表面位置 (T.M.S.L.-280m)を確認している HA-P5'孔を,大湊側高台保管場所では解放基盤表面位置 (T.M.S.L.-154m)を確認している OB-1 孔を用いる。

5号機東側保管場所及び5号機東側第二保管場所の解放基盤表面~入力地震動作成モデル上端(T.M.S.L.-80.0m)までについては、5号機原子炉建屋で設定された物性値を用いることで保守的な入力地震動となることを確認している。なお、地下構造モデルは、5号機原子炉建屋と同様のものを用いる。



図 3-13 モデル下端における入力地震動算定の考え方

3.7 保管場所における入力地震動の算定

保管場所における入力地震動の算定においては,初期せん断弾性係数G₀及び液状化強度特 性のばらつきを考慮し,解析ケースを設定する。

(1) 初期せん断弾性係数Goのばらつき

地盤剛性について, 荒浜側高台保管場所及び大湊側高台保管場所では, 各保管場所近傍の ボーリング孔で実施した PS 検層結果に基づく S 波速度を基に設定している。5 号機東側保管 場所及び 5 号機東側第二保管場所では, V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づ き,保管場所を含む広域で実施した PS 検層結果に基づく S 波速度を基に設定している。 保管場所における入力地震動算定の地盤物性のばらつきについては, PS 検層結果のばらつ きを考慮し, 埋戻土及び第四紀の地層に対し, 初期せん断弾性係数G₀のばらつきを考慮した

検討を行う。

(2) 液状化強度特性のばらつき

地盤の液状化強度特性について、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、 敷地の地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。 地盤の液状化強度特性は、試験結果から得た液状化抵抗曲線に対し、最小二乗法による回 帰曲線を設定し、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差σを用いて、 液状化抵抗曲線の「回帰曲線-1σ」にて設定する。解析上考慮する液状化抵抗曲線は、この 「回帰曲線-1σ」に対して同等となるように設定することを基本とする。

(3) 地盤剛性及び液状化強度特性のばらつきを考慮した解析ケース

地盤剛性及び液状化強度特性のばらつきを考慮するため、V-2-1-7「設計用床応答曲線の 作成方針」に基づき、表 3-16の耐震評価における解析ケースに示す解析ケース(③~⑤) を設定する。

	3	4	5		
解析ケース	(ばらつきケース) 地盤物性のばらつき (-1σ)を考慮した 解析ケース	(基本ケース) 非液状化の条件を仮 定した解析ケース	(ばらつきケース) 地盤物性のばらつき (+1σ)を考慮して 非液状化の条件を仮 定した解析ケース		
地盤剛性の	地盤剛性	地盤剛性	地盤剛性		
設定	(-1 \sigma)	(平均値)	(+1 o)		
液状化強度	液状化強度	液状化パラメータを	液状化パラメータを		
特性の設定	特性 (-1σ)	非適用	非適用		

表 3-16 耐震評価における解析ケース

4. 加速度応答スペクトルの算定

保管場所における入力地震動の解析ケースより、最大応答加速度と加速度応答スペクトルを整 理する。

なお、本資料では、表 3-16 に示す解析ケースのうち「基本ケース」の算定結果を示す。

4.1 保管場所の最大応答加速度

荒浜側高台保管場所の最大応答加速度(基本ケース)を表 4-1~表 4-5 に、大湊側高台保 管場所の最大応答加速度(基本ケース)を表 4-6~表 4-10 に,5号機東側保管場所の最大応 答加速度(基本ケース)を表 4-11 に、5 号機東側第二保管場所の最大応答加速度(基本ケー ス)を表 4-12 に示す。

Ss-1 基準地震動 Ss-2 Ss-3 Ss-5 Ss-7 Ss-4 Ss-6 EW NS EW EW S s NS EW NS EW NS NS 水平方向 6.46 5.47 4.56 4.33 3.93 2.93 3.72 3.00 4.38 3.13 3.85 2.96 () 鉛 24 (1

表 4-1 最大応答加速度(絶対値)(荒浜側高台保管場所 [HA-P1])

m/s^2)												
直方向 m/s²)	8.74	5. 37	5. 38	5. 37	2.38	2.37	2.43	2.44	2.57	2. 58	3.23	3.2

表 4-2 最大応答加速度(絶対値)(荒浜側高台保管場所 [HA-P2])

基準地震動	Ss-1	Ss	-2	Ss-3	Ss	-4	Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	6.59	5. 52	4.50	4.37	3.95	2.95	3. 71	3.01	4.45	3. 18	3.85	2. 98
鉛直方向 (m/s ²)	9.75	5.26	5. 21	5. 38	2.48	2. 47	2. 41	2. 41	2.65	2.62	3.20	3. 22

表 4-3 最大応答加速度(絶対値)(荒浜側高台保管場所 [HA-P3])

基準地震動	Ss-1	Ss	-2	Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	6.83	5.67	4.39	4.34	3. 98	2.90	3.88	3.09	4.33	3. 15	3. 92	2.99
鉛直方向 (m/s ²)	10.69	5.48	5.42	5.80	2. 59	2. 58	2.50	2.49	2.73	2.71	3. 20	3. 22

基準地震動	Ss-1	Ss	-2	Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	6.65	5.85	4.27	4.19	3.67	2. 71	3. 68	2.96	3. 97	3. 14	3. 76	2.80
鉛直方向 (m/s ²)	8.68	5.65	5.70	5.44	2.44	2. 43	2.45	2.46	2.64	2.65	3. 25	3.27

表 4-4 最大応答加速度(絶対値)(荒浜側高台保管場所 [HA-P4])

表 4-5 最大応答加速度(絶対値)(荒浜側高台保管場所 [HA-P5])

基準地震動	Ss-1	Ss	-2	Ss-3	Ss	-4	Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	6.63	6. 13	4.71	4.85	4.25	2. 93	4.75	3. 41	4.50	3. 54	4.88	3.08
鉛直方向 (m/s ²)	8.19	5. 38	5. 37	5.32	2.45	2. 43	2.47	2.47	2.64	2.62	3. 21	3.24

表 4-6 最大応答加速度(絶対値)(大湊側高台保管場所 [HO-P1])

基準地震動	Ss-1	Ss-2		Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	8.10	6. 73	5.35	5.10	4. 72	3. 38	4.38	3.20	5.02	3. 78	4.25	3. 27
鉛直方向 (m/s ²)	11.55	7.15	7.20	6. 13	2.97	3. 21	2.95	2.93	3. 01	3. 07	3. 41	3. 41

表 4-7 最大応答加速度(絶対値)(大湊側高台保管場所 [H0-P2])

基準地震動	Ss-1	Ss-2		Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	8.58	7.38	6.10	5. 74	5.16	3. 57	4.44	3.30	5.48	3. 99	4.51	3.56
鉛直方向 (m/s ²)	14.16	7.03	7.03	6. 57	2. 98	3. 14	2.89	2.90	3. 28	3. 39	3.63	3. 59

基準地震動	Ss-1	Ss-2		Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	8.63	7.28	5.85	5.44	4. 92	3. 51	4.49	3.36	5.24	3. 86	4. 57	3.34
鉛直方向 (m/s ²)	13.25	7. 18	7.38	6.41	3. 05	3. 23	2.99	3.01	3. 18	3.24	3. 51	3. 48

表 4-8 最大応答加速度(絶対値)(大湊側高台保管場所 [HO-P3])

表 4-9 最大応答加速度(絶対値)(大湊側高台保管場所 [HO-P4])

基準地震動	Ss-1	Ss-2		Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	8.99	7. 78	6.14	5.35	4. 93	3. 59	4.65	3.26	5.24	4.09	4.47	3.30
鉛直方向 (m/s ²)	13.80	7.35	7.53	6. 58	3. 16	3. 30	3.06	3. 08	3. 34	3. 36	3.64	3. 61

表 4-10 最大応答加速度(絶対値)(大湊側高台保管場所 [H0-P5])

基準地震動	Ss-1	Ss-2		Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7	
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS
水平方向 (m/s ²)	9.06	7.60	6.05	5.44	4.82	3. 55	4.53	3. 31	5.16	3. 91	4.40	3.22
鉛直方向 (m/s ²)	14.78	7.40	7.45	6. 79	3. 12	3. 32	3.03	3.05	3. 44	3. 56	3. 75	3. 71

基準地震動	Ss-1	Ss-2		Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7		Ss-8
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	
水平方向 (m/s ²)	3.46	3.36	2.80	3. 70	3.24	2. 91	3. 39	2.58	3. 29	2.84	3. 39	2.58	3. 50
鉛直方向 (m/s ²)	5.74	3. 75	3. 73	4.35	2.79	2. 78	3. 08	3.06	3.08	3. 07	2. 90	2.85	2.18

表 4-11 最大応答加速度(絶対値)(5号機東側保管場所 [H5-P2])

表 4-12 最大応答加速度(絶対値)(5 号機東側第二保管場所 [H5-P1])

基準地震動	Ss-1	Ss	-2	Ss-3	Ss-4		Ss-5		Ss-6		Ss-7		Ss-8
S s		EW	NS		EW	NS	EW	NS	EW	NS	EW	NS	
水平方向 (m/s ²)	5.27	5.14	4. 29	5.09	4.73	4.11	4. 59	3.69	4.79	4.27	4.63	3. 39	5.22
鉛直方向 (m/s ²)	5.75	3.81	3. 80	4.37	2.82	2. 81	3. 10	3.08	3.12	3. 11	2. 92	2.87	2.23

4.2 可搬型重大事故等对処設備保管場所(荒浜側高台保管場所)

次元地震応答解析により算定した可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所)の地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(基本ケース)を図 4-1~
 図 4-120 に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰定数(8%)を考慮し設定する。

(1) HA-P1



図 4-1 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(1/120)



図 4-2 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(2/120)


図 4-3 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(3/120)



図 4-4 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(4/120)



図 4-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(5/120)



図 4-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(6/120)



図 4-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(7/120)



図 4-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(8/120)



図 4-9 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(9/120)



図 4-10 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(10/120)



図 4-11 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(11/120)



図 4-12 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(12/120)



図 4-13 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(13/120)



図 4-14 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(14/120)



図 4-15 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(15/120)



図 4-16 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(16/120)



図 4-17 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(17/120)



図 4-18 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(18/120)



図 4-19 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(19/120)



図 4-20 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(20/120)



図 4-21 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(21/120)



図 4-22 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(22/120)



図 4-23 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(23/120)



図 4-24 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P1]))(24/120)

(2) HA-P2



図 4-25 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(25/120)



図 4-26 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(26/120)



図 4-27 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(27/120)



図 4-28 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(28/120)



図 4-29 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(29/120)



図 4-30 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(30/120)



図 4-31 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(31/120)



図 4-32 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(32/120)



図 4-33 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(33/120)



図 4-34 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(34/120)



図 4-35 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(35/120)



図 4-36 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(36/120)



図 4-37 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(37/120)



図 4-38 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(38/120)


図 4-39 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(39/120)



図 4-40 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(40/120)



図 4-41 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(41/120)



図 4-42 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(42/120)



図 4-43 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(43/120)



図 4-44 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(44/120)



図 4-45 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(45/120)



図 4-46 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(46/120)



図 4-47 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(47/120)



図 4-48 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P2]))(48/120)

(3) HA-P3



図 4-49 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(49/120)



図 4-50 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(50/120)



図 4-51 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(51/120)



図 4-52 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(52/120)



図 4-53 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(53/120)



図 4-54 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(54/120)



図 4-55 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(55/120)



図 4-56 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(56/120)



図 4-57 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(57/120)



図 4-58 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(58/120)



図 4-59 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(59/120)



図 4-60 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(60/120)



図 4-61 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(61/120)



図 4-62 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(62/120)



図 4-63 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(63/120)



図 4-64 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(64/120)



図 4-65 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(65/120)



図 4-66 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(66/120)



図 4-67 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(67/120)



図 4-68 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(68/120)



図 4-69 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(69/120)



図 4-70 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(70/120)



図 4-71 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(71/120)



図 4-72 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P3]))(72/120)

(4) HA-P4



図 4-73 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場[HA-P4]))(73/120)



図 4-74 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(74/120)


図 4-75 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(75/120)



図 4-76 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(76/120)



図 4-77 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(77/120)



図 4-78 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(78/120)



図 4-79 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(79/120)



図 4-80 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(80/120)



図 4-81 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(81/120)



図 4-82 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(82/120)



図 4-83 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(83/120)



図 4-84 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(84/120)



図 4-85 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(85/120)



図 4-86 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(86/120)



図 4-87 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(87/120)



図 4-88 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(88/120)



図 4-89 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(89/120)



図 4-90 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(90/120)



図 4-91 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(91/120)



図 4-92 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(92/120)



図 4-93 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(93/120)



図 4-94 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(94/120)



図 4-95 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(95/120)



図 4-96 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P4]))(96/120)

(5) HA-P5



図 4-97 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(97/120)



図 4-98 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(98/120)



図 4-99 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(99/120)



図 4-100 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(100/120)



図 4-101 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(101/120)



図 4-102 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(102/120)



図 4-103 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(103/120)



図 4-104 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(104/120)



図 4-105 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(105/120)



図 4-106 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(106/120)



図 4-107 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(107/120)



図 4-108 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(108/120)



図 4-109 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(109/120)



図 4-110 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(110/120)


図 4-111 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(111/120)



図 4-112 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(112/120)



図 4-113 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(113/120)



図 4-114 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(114/120)



図 4-115 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(115/120)



図 4-116 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(116/120)



図 4-117 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(117/120)



図 4-118 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(118/120)



図 4-119 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(119/120)



図 4-120 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(荒浜側高台保管場所[HA-P5]))(120/120)

4.3 可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所)

次元地震応答解析により算定した可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所)の地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(基本ケース)を図 4-121
~図 4-240 に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰定数(8%)を考慮し設定する。

(1) HO-P1



図 4-121 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(1/120)



図 4-122 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(2/120)



図 4-123 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P1]))(3/120)



図 4-124 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P1]))(4/120)



図 4-125 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(5/120)



図 4-126 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(6/120)



図 4-127 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(7/120)



図 4-128 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(8/120)



図 4-129 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P1]))(9/120)



図 4-130 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(10/120)



図 4-131 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(11/120)



図 4-132 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(12/120)



図 4-133 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(13/120)



図 4-134 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(14/120)



図 4-135 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(15/120)



図 4-136 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(16/120)



図 4-137 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(17/120)



図 4-138 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(18/120)



図 4-139 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(19/120)



図 4-140 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(20/120)



図 4-141 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(21/120)



図 4-142 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(22/120)



図 4-143 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(23/120)



図 4-144 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P1]))(24/120)

(2) HO-P2



図 4-145 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(25/120)


図 4-146 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(26/120)



図 4-147 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(27/120)



図 4-148 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(28/120)



図 4-149 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(29/120)



図 4-150 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(30/120)



図 4-151 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(31/120)



図 4-152 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(32/120)



図 4-153 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(33/120)



図 4-154 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(34/120)



図 4-155 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(35/120)



図 4-156 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(36/120)



図 4-157 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(37/120)



図 4-158 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(38/120)



図 4-159 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(39/120)



図 4-160 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(40/120)



図 4-161 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(41/120)



図 4-162 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(42/120)



図 4-163 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(43/120)



図 4-164 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(44/120)



図 4-165 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(45/120)



図 4-166 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(46/120)



図 4-167 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(47/120)



図 4-168 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P2]))(48/120)

(3) HO-P3



図 4-169 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(49/120)



図 4-170 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(50/120)



図 4-171 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(51/120)



図 4-172 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(52/120)



図 4-173 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(53/120)



図 4-174 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(54/120)



図 4-175 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(55/120)



図 4-176 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(56/120)



図 4-177 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(57/120)



図 4-178 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(58/120)



図 4-179 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(59/120)



図 4-180 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(60/120)



図 4-181 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(61/120)


図 4-182 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(62/120)



図 4-183 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(63/120)



図 4-184 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(64/120)



図 4-185 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(65/120)



図 4-186 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(66/120)



図 4-187 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(67/120)



図 4-188 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(68/120)



図 4-189 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(69/120)



図 4-190 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(70/120)



図 4-191 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(71/120)



図 4-192 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P3]))(72/120)

(4) HO-P4

K7 ① V-2-別添 3-2 R1



図 4-193 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(73/120)

227



図 4-194 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(74/120)



図 4-195 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(75/120)



図 4-196 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(76/120)



図 4-197 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(77/120)



図 4-198 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(78/120)



図 4-199 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(79/120)



図 4-200 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(80/120)



図 4-201 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(81/120)



図 4-202 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(82/120)



図 4-203 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(83/120)



図 4-204 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(84/120)



図 4-205 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(85/120)



図 4-206 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(86/120)



図 4-207 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(87/120)



図 4-208 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(88/120)



図 4-209 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(89/120)



図 4-210 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(90/120)



図 4-211 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(91/120)



図 4-212 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(92/120)



図 4-213 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(93/120)



図 4-214 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(94/120)



図 4-215 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(95/120)



図 4-216 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P4]))(96/120)

(5) HO-P5



図 4-217 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(97/120)


図 4-218 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(98/120)



図 4-219 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(99/120)



図 4-220 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(100/120)



図 4-221 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(101/120)



図 4-222 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(102/120)



図 4-223 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(103/120)



図 4-224 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(104/120)



図 4-225 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(105/120)



図 4-226 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(106/120)



図 4-227 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(107/120)



図 4-228 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(108/120)



図 4-229 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(109/120)



図 4-230 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(110/120)



図 4-231 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(111/120)



図 4-232 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(112/120)



図 4-233 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(113/120)



図 4-234 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(114/120)



図 4-235 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(115/120)



図 4-236 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(116/120)



図 4-237 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(117/120)



図 4-238 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(118/120)



図 4-239 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[H0-P5]))(119/120)



図 4-240 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(大湊側高台保管場所[HO-P5]))(120/120)

4.4 可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所)

次元地震応答解析により算定した可搬型重大事故等対処設備保管場所(5 号機東側保管場所)の地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(基本ケース)を図 4-241
~図 4-266 に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰定数(8%)を考慮し設定する。



図 4-241 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(1/26)



図 4-242 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(2/26)



図 4-243 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(3/26)



図 4-244 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(4/26)



図 4-245 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(5/26)



図 4-246 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(6/26)



図 4-247 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(7/26)



図 4-248 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(8/26)



図 4-249 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(9/26)



図 4-250 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(10/26)



図 4-251 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(11/26)



図 4-252 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(12/26)


図 4-253 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(13/26)



図 4-254 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(14/26)



図 4-255 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(15/26)



図 4-256 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(16/26)



図 4-257 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(17/26)



図 4-258 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(18/26)



図 4-259 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(19/26)



図 4-260 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(20/26)



図 4-261 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(21/26)



図 4-262 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(22/26)



図 4-263 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(23/26)



図 4-264 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(24/26)



図 4-265 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-8) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(25/26)



図 4-266 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-8) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側保管場所[H5-P2]))(26/26)

4.5 可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所)

1 次元地震応答解析により算定した可搬型重大事故等対処設備保管場所(5 号機東側第二保 管場所)の地表面における加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(基本ケース)を図4-267~図4-292に示す。なお、加速度応答スペクトルに用いる減衰定数は、車両型設備の減衰 定数(8%)を考慮し設定する。



図 4-267 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(1/26)



図 4-268 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-1) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(2/26)



図 4-269 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(3/26)



図 4-270 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(4/26)



図 4-271 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(5/26)



図 4-272 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-2NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(6/26)



図 4-273 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(7/26)



図 4-274 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-3) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(8/26)



図 4-275 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(9/26)



図 4-276 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(10/26)



図 4-277 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(11/26)



図 4-278 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-4NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(12/26)



図 4-279 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(13/26)



図 4-280 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(14/26)



図 4-281 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(15/26)



図 4-282 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-5NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(16/26)



図 4-283 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(17/26)



図 4-284 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(18/26)



図 4-285 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(19/26)



図 4-286 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-6NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(20/26)



図 4-287 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(21/26)


図 4-288 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7EW) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(22/26)



図 4-289 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(23/26)



図 4-290 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-7NS) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(24/26)



図 4-291 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(水平方向:Ss-8) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(25/26)



図 4-292 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル(鉛直方向:Ss-8) (可搬型重大事故等対処設備保管場所(5号機東側第二保管場所[H5-P1]))(26/26)

V-2-別添 3-3 可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備の 耐震計算書

1. 札	既要	1
2. ‡	基本方針	1
2.1	配置	1
2.2	構造概要	3
2.3	固縛装置	13
2.4	評価方針	14
2.5	適用規格・基準等	18
3. t	□振試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19
3.1	基本方針	19
3.2	入力地震動	19
3.3	試験方法 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	19
3.4	試験結果	19
4. 柞	黄造強度評価	23
4.1	基本方針	23
4.2	評価部位	23
4.3	荷重及び荷重の組合せ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
4.4	許容限界	25
4.5	評価方法	26
5. 庫	云倒評価 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	36
5.1	基本方針	36
5.2	評価部位	36
5.3	許容限界	36
5.4	評価方法	36
6. 枝	幾能維持評価	37
6.1	基本方針	37
6.2	評価部位	37
6.3	許容限界	37
6.4	評価方法	37
7. 🕅	皮及的影響評価	40
7.1	基本方針	40
7.2	評価部位	40
7.3	許容限界	40
7.4	評価方法	41
8. 言	平価条件	43
8.1	構造強度評価	43
8.2	転倒評価	43
8.3	機能維持評価	43

8.4	波及的影響評価	43
9. 言	平価結果	64
9.1	構造強度評価結果	64
9.2	転倒評価結果	64
9.3	機能維持評価結果	64
9.4	波及的影響評価結果	64

1. 概要

本資料は、V-2-別添 3-1「可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」(以下「別添 3-1」 という。)に示すとおり、可搬型重大事故等対処設備のうち車両型設備が地震後において、基準 地震動Ssによる地震力に対し、十分な構造強度及び機能維持を有するとともに、当該設備によ る波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを説明するも のである。その耐震評価は、加振試験、構造強度評価、転倒評価及び機能維持評価並びに波及的 影響評価により行う。

2. 基本方針

別添 3-1 の「2. 耐震評価の基本方針」に示す構造計画のとおり,車両型設備の「2.1 配置」及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 配置

車両型設備は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、荒浜側高台 保管場所、大湊側高台保管場所、5 号機東側保管場所及び 5 号機東側第二保管場所に分散して 保管する。これらの保管場所を図 2-1 に示す。



図 2-1 車両型設備の保管場所位置図

2.2 構造概要

車両型設備の構造は、別添3-1の「2.1 評価対象設備」に示す構造計画としており、車両型 設備の構造計画を表2-1に、車両型設備の構造図を図2-2~図2-13に示す。

	計画の	当田図		
 研	主体構造	支持構造	就明凶	
タンクローリ (4kL)(6, 7 号機共用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,タンク,ポンプ により構成する。	タンク及びポンプは,トラ ックの荷台に直接支持構 造物である取付ボルトに て固定し,保管場所に固定せ ずに保管する。	図2-2	
タンクローリ (16kL)(6,7 号機共用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,タンク,ポンプ により構成する。	タンク及びポンプは,トラ ックの荷台に直接支持構 造物である取付ボルトに て固定し,保管場所に固定せ ずに保管する。	図2-3	
可搬型代替注 水ポンプ(A-2 級)(6,7号機 共用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,ポンプにより構 成する。	ポンプは、コンテナに直接 支持構造物である取付ボ ルトにて固定する。ポンプ を収納したコンテナは、間 接支持構造物であるトラ ックに積載し取付ボルトに より固定し、保管場所に固定 せずに保管する。	図2-4	

表 2-1 車両型設備の構造計画(1/4)

注記*:早期の重大事故等への対処を考慮し移動機能を有するとともに、地震に対する影響を軽減 できる構造として、サスペンションを有している。

凯供友新	計画の	0概要	学品区
	主体構造	支持構造	祝明凶
可搬型代替注 水ポンプ(A-1 級)(6,7号機 共用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造* ¹ と し,車両,ポンプにより構 成する。	ポンプは、コンテナに直接 支持構造物である取付ボ ルトにて固定する。ポンプ を収納したコンテナは、間 接支持構造物であるトラ ックに積載し取付ボルトに より固定し、保管場所に固定	図2-5
電源車(6,7号 機共用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造* ¹ と し,車両,発電機,内燃機 関により構成する。	2.9に体官900。 発電機及び内燃機関は,コ ンテナに直接支持構造物 である取付ボルトにて固 定する。発電機及び内燃機 関を収納したコンテナは, 間接支持構造物であるト ラックに積載し取付ボルト により固定し,保管場所に固 定せずに保管する。	図2-6
熱交換器ユニ ット 代替原 子炉補機冷却 系熱交換器 (6,7号機共 用) ^{*2,*3}	サスペンションを有し,ト ラクタにて連結したトレー ラを牽引して移動できる構 造*1とし,車両により構成 する。	トラクタ及びトレーラは, 保管場所に固定せずに保 管する。	図2-7

表 2-1 車両型設備の構造計画(2/4)

注記*1 : 早期の重大事故等への対処を考慮し移動機能を有するとともに、地震に対する影響を軽 減できる構造として、サスペンションを有している。

*2:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器のトラクタ・トレーラを車両型設備 として分類。

*3 :本資料の各評価においては,熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器2車種 のうち,最も厳しい評価結果を示す。

动曲在步	計画の)概要	兴田回
設佣名州	主体構造	支持構造	祝明凶
大容量送水車 (熱交換器ユ ニット用) (6,7号機共	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,ポンプ,内燃機 関により構成する。	ポンプ及び内燃機関は,コ ンテナに直接支持構造物 である取付ボルトにて固 定する。ポンプ及び内燃機 関を収納したコンテナは, 間接支持構造物であるト	図2-8
用)		ラックに積載し取付ボルト により固定し,保管場所に固 定せずに保管する。	
大容量送水車 (原子炉建屋 放水設備用) (6,7号機共 用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,ポンプ,内燃機 関により構成する。	ポンプ及び内燃機関は,コ ンテナに直接支持構造物 である取付ボルトにて固 定する。ポンプ及び内燃機 関を収納したコンテナは, 間接支持構造物であるト ラックに積載し取付ボルト により固定し,保管場所に固 定せずに保管する。	⊠2−9
大容量送水車 (海水取水 用) (6,7号機 共用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,ポンプ,内燃機 関により構成する。	ポンプ及び内燃機関は,コ ンテナに直接支持構造物 である取付ボルトにて固 定する。ポンプ及び内燃機 関を収納したコンテナは, 間接支持構造物であるト ラックに積載し取付ボルト により固定し,保管場所に固 定せずに保管する。	⊠2−10

表 2-1 車両型設備の構造計画(3/4)

注記*:早期の重大事故等への対処を考慮し移動機能を有するとともに、地震に対する影響を軽減 できる構造として、サスペンションを有している。

<u> 乳</u> 供 友	計画の	当田回	
	主体構造	支持構造	就竹凶
可搬型窒素供 給装置(6,7 号機共用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,発電機,窒素ガ ス発生装置,圧縮機により 構成する。	発電機,窒素ガス発生装置 及び圧縮機は、コンテナに 直接支持構造物である取 付ボルトにて固定する。発 電機,窒素ガス発生装置及 び圧縮機を収納したコン テナは,間接支持構造物で あるトラックに積載し取 付ボルトにより固定し,保管 場所に固定せずに保管する。	⊠2-11
泡原液搬送車 (6,7号機共 用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,タンクにより構 成する。	タンクは、トラックの荷台 に直接支持構造物である 取付ボルトにて固定し、保 管場所に固定せずに保管す る。	図2-12
5号機原子炉建 屋内緊急時対 策所用可搬型 電源設備(6,7 号機共用)	サスペンションを有し,自 走にて移動できる構造*と し,車両,発電機,内燃機 関により構成する。	発電機及び内燃機関は,コ ンテナに直接支持構造物 である取付ボルトにて固 定する。発電機及び内燃機 関を収納したコンテナは, 間接支持構造物であるト ラックに積載し取付ボルト により固定し,保管場所に固 定せずに保管する。	⊠2-13

表 2-1 車両型設備の構造計画(4/4)

注記*:早期の重大事故等への対処を考慮し移動機能を有するとともに、地震に対する影響を軽減 できる構造として、サスペンションを有している。



図2-2 タンクローリ (4kL) の構造図 (単位:mm)



図2-3 タンクローリ (16kL) の構造図 (単位:mm)



図2-4 可搬型代替注水ポンプ(A-2級)の構造図(単位:mm)



図2-5 可搬型代替注水ポンプ(A-1級)の構造図(単位:mm)



図2-6 電源車の構造図(単位:mm)





図2-8 大容量送水車(熱交換器ユニット用)の構造図(単位:mm)



図2-9 大容量送水車(原子炉建屋放水設備用)の構造図(単位:mm)



図2-10 大容量送水車(海水取水用)の構造図(単位:mm)



図2-11 可搬型窒素供給装置の構造図(単位:mm)



図2-12 泡原液搬送車の構造図(単位:mm)



図2-13 5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備の構造図(単位:mm)

2.3 固縛装置

保管場所のうち5号機東側第二保管場所に保管するタンクローリ(4kL)及び可搬型代替注水 ポンプ(A-2級)は、竜巻襲来時に飛散し、波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して 波及的影響を及ぼすことを防止するため、固縛装置を設置する。固縛装置は、「連結材」と連 結材を固定するための「固定材(基礎部含む)」から構成される。図2-14にタンクローリ(4kL) の固縛装置の構造概要を示す。

「連結材」は、車両型設備に取り付けるロープ及びシャックルで構成され、ロープ材質は高 強度繊維ロープを使用している。ロープは、車両型設備の特徴であるサスペンションの耐震性 (振動抑制効果)を損なわないようたるみを持たせている。「固定材」は、巻取装置及びアン カーボルト(基礎部)により構成されている。

なお,固縛装置を車両型設備に設置する場合,地震時の車両型設備の移動等の挙動により固 縛装置が作用して,車両型設備の重大事故等に対処するために必要な機能に影響を与えること のないように,以下の設計とする。

・固縛装置の連結材(ロープ)のたるみを十分に設けることにより地震時に作用させない設計とする。ここで、十分なたるみとは、地震に伴う車両型設備のすべり及び傾きによる変位が生じた場合でも、固縛装置が展張しないたるみのことを示す。なお、竜巻襲来時には車両を拘束するために巻取装置を作動させ、連結材(ロープ)のたるみを巻き取る設計とする。

固縛装置は、竜巻対策として設置することを目的としており、その設計方針、構造計画等の 詳細については、V-1-1-3-3「竜巻への配慮に関する説明書」に、竜巻対策としての固縛装置 の強度計算の基本方針については、V-3-別添1-3「固縛装置の強度計算の方針」に、固縛装置 の連結材(ロープ)のたるみ、固縛装置の強度計算の方法及び結果については、V-3-別添1-10 「固縛装置の強度計算書」に示す。



図2-14 固縛装置の構造概要(タンクローリ(4kL)の例)

2.4 評価方針

車両型設備の評価方針を以下に示し,評価方法の一覧を表 2-2 に,耐震評価フローを図 2-15 に示す。

(1) 構造強度評価

車両型設備は,別添 3-1 の「2.2(1) 車両型設備」にて設定した構造強度評価の方針に従い,直接支持構造物及び間接支持構造物に対する構造強度評価を実施する。

車両型設備の構造強度評価は、「3. 加振試験」にて得られた評価部位頂部の加速度を用い、「4. 構造強度評価」に示す方法により、車両型設備の評価部位に作用する応力が許容限界を満足することを確認する。確認結果を「9. 評価結果」に示す。

別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す評価部位のうち直接支持構造物としての取付ボルト の構造強度評価については、JEAG4601・補-1984に規定されているその他の支持構 造物の評価に従い実施する。間接支持構造物としての取付ボルトについては、直接支持構造 物の構造強度評価に準じて実施する。

(2) 転倒評価

車両型設備は,別添 3-1 の「2.2(1) 車両型設備」にて設定した転倒評価の方針に従い, 転倒評価を実施する。

車両型設備の転倒評価は、「5. 転倒評価」に示す方法により、「3. 加振試験」におけ る加振試験を行い、車両型設備が転倒していないことを確認し、保管場所の地表面の最大応 答加速度と、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、 許容限界を満足することを確認する。確認結果を「9. 評価結果」に示す。

(3) 機能維持評価

車両型設備は,別添 3-1 の「2.2(1) 車両型設備」にて設定した機能維持評価の方針に従い,支持機能,移動機能,動的及び電気的機能維持評価を実施する。

車両型設備の機能維持評価は、「6. 機能維持評価」に示す方法により、「3. 加振試験」 における加振試験にて、加振試験後に支持機能及び移動機能,並びにポンプの送水機能,発 電機の発電機能,内燃機関の駆動機能等の動的及び電気的機能を維持できることを確認し、 保管場所の地表面の最大応答加速度と、加振試験により支持機能,移動機能,動的及び電気 的機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、許容限界を満足す ることを確認する。確認結果を「9. 評価結果」に示す。

(4) 波及的影響評価

車両型設備は,別添 3-1 の「2.2(1) 車両型設備」にて設定した波及的影響評価の方針に 従い,波及的影響評価を実施する。

車両型設備の波及的影響評価は、「7. 波及的影響評価」に示す方法により、「3. 加振 試験」における加振試験にて確認した車両型設備のすべり及び傾きによる最大変位量が、許 容限界を満足することを確認する。確認結果を「9. 評価結果」に示す。



図 2-15 車両型設備の耐震評価フロー

表 2-2 車	両型設備の評価方法	(1/2)
---------	-----------	-------

			構造強度評価				波及的影響評価																		
設備名称	車両種別	設備種別	直接	間接	転倒評価 機能維持評価																				
			支持構造物	支持構造物																					
タンクローリ (4kL)	上与六方		加振試験+		吉古学家	吉古学家	古古学家																		
(6,7号機共用)	ドノツク	<i>\$ \$ \$ 7 4 - 9</i>	応力計算		川顶砘映	川山衣武陵	加振武映																		
タンクローリ (16kL)	1.5.5		加振試験+																						
(6,7号機共用)	トラック	<i>~~~~</i>	応力計算	_	加振訊練	加振武映	川板武映																		
可搬型代替注水ポンプ(A-2 級)	上与六方	ポンプ声	加振試験+	加振試験+	吉古学家	吉古学家	古古学家																		
(6,7号機共用)	トノツク	ホンノ車	応力計算	応力計算	川顶武映	加振訊映	川依武阙																		
可搬型代替注水ポンプ(A-1級)	上与六方	ポンプ声	加振試験+	加振試験+	吉古学家	吉古学家	古古学家																		
(6,7号機共用)	トノツク	ホンノ車	応力計算	応力計算	加板码映	川山衣武禄	加成試練																		
雪酒声 (6.7 马 懋 十 田)	トラック	発電機車	加振試験+	加振試験+	吉氏学家	澰 加振試験	加垢試驗																		
电你平(0,1万馒共用)	トノツク		応力計算	応力計算	7月1次中心闷火		刀印版码映																		
熱交換器ユニット 代替原子炉補	トラカタ・																								
機冷却系熱交換器(6,7号機共	トフクタ・	熱交換器車	—	_		—				—		_		—	—	—	—	—	—	—	—	—	加振試験	加振試験	加振試験
用)																									
大容量送水車(熱交換器ユニット	トラック	ポンプ車	加振試験+	加振試験+	加垢對驗	加垢對驗	加垢封驗																		
用) (6,7号機共用)	ドノソク	ホンノ中	応力計算	応力計算	刀口加大中心闷火	刀口10次 时代词失	刀口刀火 正气闷火																		
大容量送水車(原子炉建屋放水設	トラック	ポンプ宙	加振試験+	加振試験+	加垢對驗	加垢試驗	加垢試驗																		
備用) (6,7 号機共用)	r 7 9 9	シンチ	応力計算	応力計算	/JHJ/K中小闷火	川口水叶心吹	/141/以中心向大																		
大容量送水車(海水取水用)	トラック	ポンプ車	加振試験+	加振試験+	加垢對酸	加垢對緊	加垢對略																		
(6,7号機共用)	ドノツク	シント	応力計算	応力計算	刀印11次 时八词央	7月11代百八词央	八日11公百八间央																		

			構造強度評価					
設備名称	車両種別	設備種別	直接	間接	転倒評価	機能維持評価	波及的影響評価	
			支持構造物	支持構造物				
可搬型窒素供給装置(6,7号機共	15.0	灾主欢开壮平	加振試験+	加振試験+	┺┺┺	┶╓┾═╤┾╒╤	加圬封驗	
用)	トノツク	至糸兜土表直	応力計算	応力計算	加饭码映	川山灰武時	川瓜武政	
沟 百 冻 枷 光 声 (c 7 号 槛 艹 田)	トラック		加振試験+		加振對陸	加卡学校		
泡尿攸脉达单(0,1 万陵共用)	トラック	タンクローリ	応力計算		加饭码映	川山灰武時	加振訊映	
5号機原子炉建屋内緊急時対策所			加垢對於口	加振對於口				
用可搬型電源設備(6,7号機共	トラック	発電機車	加振訊破工	加派武破⊤ 亡-五110	加振試験	加振試験	加振試験	
用)			心力计异	心刀矸异				

表 2-2 車両型設備の評価方法(2/2)

2.5 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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984
 ((社)日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- (4) 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)

- 3. 加振試験
- 3.1 基本方針

別添 3-1 の「4.1(1) 加振試験」にて設定した基本方針に従い,加振試験を実施する。 加振試験は,以下の「3.2 入力地震動」に示す入力地震動を用いて,「3.3 試験方法」に 示す方法により,「4. 構造強度評価」に用いる評価部位頂部の最大応答加速度,「5. 転倒 評価」に用いる転倒の有無,「6. 機能維持評価」に用いる加振台の最大加速度及び「7. 波 及的影響評価」に用いる車両型設備の最大変位量を求める。

3.2 入力地震動

入力地震動は、V-2-別添 3-2「可搬型重大事故等対処設備の保管場所における入力地震動」に示す、荒浜側高台保管場所及び大湊側高台保管場所の Ss-1~7 並びに 5 号機東側保管場所及び 5 号機東側第二保管場所の Ss-1~8 の地震動を用いて、V-2-1-7「設計用床応答曲線の 作成方針」に基づき作成する設計用床応答曲線をおおむね上回るよう作成したランダム波とする。

加振試験の入力地震動は、全ての保管場所における入力地震動を各対象設備の固有周期帯において上回り、かつ周期全体としておおむね上回るように設定する。

3.3 試験方法

車両型設備を実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「3.2 入力地震動」に示 すランダム波を入力地震動として加振試験を行い,評価部位頂部の最大応答加速度,加振試験 後に転倒していないこと,加振台の最大加速度及び車両型設備の最大変位量を確認する。 また,加振試験は水平方向と鉛直方向の同時入力で行う。

・加振波:「3.2 入力地震動」にて設定したランダム波

加振方向:水平(走行軸方向)+水平(走行軸直角方向)+鉛直

3.4 試験結果

加振試験により得られた結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 加振試験結果(1/3)

		評価部位項部の 最大応答加速度			加振みの長	またかがます	車両型設備の		
					加振台の東大加速度		最大変位量		
乳) 供 夕 升·	汞体动法	$(\times 9.8 \text{m/s}^2)$)	転倒の	(×9.3	$(\times 9.8 \text{m/s}^2)$		(mm)	
<u></u> 武加石	〒半1町 戸り1立。	水平		有無			土行軸	土行動古	
		(走行軸方向/	鉛直		水平	鉛直	定11 ¹ 田	<i>足</i> 们	
		走行軸直角方向)					万回	角刀间	
タンクローリ(4kL)(6,7 号機共	タンク取付ボルト	1.72/3.00	3.22	無	1.00	2.30	480	807	
用)	ポンプ取付ボルト	3. 31/2. 80	3.65						
タンクローリ(16kL)(6,7 号機共	タンク取付ボルト	6. 42/9. 31	4.54	無	1.00	2.30	420	1067	
用)	ポンプ取付ボルト	7.05/10.84	14.43						
可搬型代替注水ポンプ(A-2 級)	ポンプ取付ボルト	0.76/1.74	4.41	無	1.00	2.31	900	1007	
(6,7 号機共用)	コンテナ取付ボルト	2.80/3.19	2.89						
可搬型代替注水ポンプ(A-1 級)	ポンプ取付ボルト	1.66/2.48	4.17	無	1.01	2.29	640	1523	
(6,7号機共用)	コンテナ取付ボルト	2.22/3.50	3.42						
	発電機/内燃機関	0.92/3.10	3.12	for					
電源車(6,7 号磯共用) 	取付ホルト			無	1.01	2.29	1360	2082	
	コンテナ取付ボルト	1.59/3.50	3.87						

20

表 3-1 加振試験結果 (2/3)

-11.144 /2 1/4	=Ti /TT +TT /→-	評価部位頂部の 最大応答加速度 (×9.8m/s ²)		転倒の	加振台の最大加速度 (×9.8m/s ²)		車両型設備の 最大変位量 (mm)	
設傭名称	計41111 音13112	水平 (走行軸方向/ 走行軸直角方向)	鉛直	有無	水平	鉛直	走行軸 方向	走行軸直角 方向
熱交換器ユニット 代替原子炉補 機冷却系熱交換器(6,7号機共用)				無	1.00^{*1}	2. 29*1	1130*2	773*2
大容量送水車(熱交換器ユニット 用)(6,7号機共用)	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト コンテナ取付ボルト	2. 00/2. 29 1. 94/2. 09 2. 01/3. 02	2.36 1.93 3.24	無	1.00	2. 27	300	1886
大容量送水車(原子炉建屋放水設 備用)(6,7号機共用)	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	2. 00/2. 29 1. 94/2. 09	2. 36 1. 93	無	1.00	2.27	300	1886

注記*1 : 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器2車種のうち,加振台の最大加速度が最も小さい熱交換器ユニット 代替原子炉補機 冷却系熱交換器の結果を示す。

*2 : 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器 2 車種のうち,最大変位量が最も大きい熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱 交換器の結果を示す。

21

表 3-1 加振試験結果(3/3)

		評価部位頂部の			加振台の最大加速度		車両型設備の					
		最大応答加速度					最大変位量					
訊 供 友 私	亚体如位	$(\times 9.8 \text{m/s}^2)$)	転倒の	$(\times 9.8 \text{m/s}^2)$		(mm)					
□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□□	青半小川一百万小万	水平		有無			土行軸	土行動古舟				
		(走行軸方向/	鉛直		水平	鉛直	上门轴	定门 				
		走行軸直角方向)					刀间	刀凹				
+ ☆長洋水市(海水雨水田)(6-7	ポンプ取付ボルト	2.00/2.29	2.36									
人谷里达小単(海小取小用)(0,7 号機共用)	内燃機関取付ボルト	1.94/2.09	1.93	無	無	無	無	無	1.00	2.27	300	1886
	コンテナ取付ボルト	2.01/3.02	3.24									
	発電機取付ボルト	2.67/3.08	3. 49	無 1.								
可搬型窒素供給装置(6.7 号機共	窒素ガス発生装置	1 50 /0 10	1 70		1.00	2. 32	420					
用)	取付ボルト	1. 58/ 3. 12	1.78					2214				
	圧縮機取付ボルト	1.55/3.12	3.57									
	コンテナ取付ボルト	5.30/3.51	2.16									
泡原液搬送車(6,7号機共用)	タンク取付ボルト	0.90/3.00	2.55	無	1.00	2.32	630	1524				
5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用 可拠型電源設備(6.7 号機世界)	発電機/内燃機関 取付ボルト	0.68/1.97	2.62	無	1.00	2. 32	1470	1853				
可搬型電源設備(6,7号機共用)	コンテナ取付ボルト	1.07/2.16	1.85	1								

4. 構造強度評価

4.1 基本方針

車両型設備の構造強度評価は,別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価方針に従って, 構造強度評価を実施する。

車両型設備の構造強度評価は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 荷重及び荷重の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し、「4.4 許容限界」に示す許容応力を満足する ことを、「4.5 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価部位

車両型設備の評価部位は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価部位に従って設定する。評価部位を表 4-1 に示す。

	評価部位		
設備名称	直接支持構造物	間接支持構造物	- 🗵
タンクローリ(4kL)(6,7号機 共用)	タンク取付ボルト ポンプ取付ボルト	_	⊠ 2-2
タンクローリ(16kL)(6,7号 機共用)	タンク取付ボルト ポンプ取付ボルト	_	図 2-3
可搬型代替注水ポンプ(A-2 級)(6,7号機共用)	ポンプ取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-4
可搬型代替注水ポンプ(A-1 級)(6,7 号機共用)	ポンプ取付ボルト	コンテナ取付ボルト	⊠ 2−5
電源車(6,7号機共用)	発電機/内燃機関 取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-6
熱交換器ユニット 代替原子炉 補機冷却系熱交換器(6,7号機 共用)			⊠ 2−7
大容量送水車(熱交換器ユニッ ト用)(6,7号機共用)	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	ً 2−8
大容量送水車(原子炉建屋放水 設備用)(6,7号機共用)	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	ً 2−9
大容量送水車(海水取水用) (6,7号機共用)	ポンプ取付ボルト 内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	⊠ 2-10
可搬型窒素供給装置(6,7号機 共用)	発電機取付ボルト 窒素ガス発生装置 取付ボルト 圧縮機取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-11
泡原液搬送車(6,7号機共用)	タンク取付ボルト		⊠ 2−12
5 号機原子炉建屋内緊急時対策 所用可搬型電源設備(6,7 号機 共用)	発電機/内燃機関 取付ボルト	コンテナ取付ボルト	図 2-13

表 4-1 車両型設備の直接支持構造物及び間接支持構造物 評価部位

4.3 荷重及び荷重の組合せ

車両型設備の構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは,別添 3-1 の「3.1 荷重及び 荷重の組合せ」で設定した荷重及び荷重の組合せを用いる。

車両型設備の構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

設備名称	評価部位	荷重の組合せ
車両型設備	取付ボルト	D+S s

4.4 許容限界

車両型設備の直接支持構造物及び間接支持構造物の許容限界は、「4.2 評価部位」にて設 定した評価部位の破断延性限界を考慮し、別添 3-1 の「3.2 許容限界」で設定した許容限界 に従い、許容応力状態IVASの許容応力とする。

評価部位の許容限界を表 4-3 に示す。

表4-3 取付ボルトの許容限界

			許容限界*1, *2		
評価部	評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	一次応力	
				引張り*3	せん断*3
	取付ボルト	D+S s	IV _A S	1.5 • f t*	1.5•f _s *

注記*1 : f_t*, f_s*は, JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(1)a.本文中Sy及びSy (RT)を1.2・Sy及び1.2・Sy(RT)と読み替えて算出した値(JSME S NC1-2005/2007 SSB-3133)。ただし,Sy及び0.7・Suのいずれか小さい方の値と する。

*2 : JEAG4601・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

*3 : ボルトにせん断力が作用する場合,組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{ts} は、JSME S NC1-2005/2007 SSB-3133に基づき、 f_{ts} =Min[1.4・ f_{to} -1.6・ τ_{b}, f_{to}]とする。ここで、 f_{to} は1.5・ f_{t} *とする。

なお、 f_{ts} は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をいい、 f_{to} は引 張力のみを受けるボルトの許容引張応力をいう。

4.5 評価方法

車両型設備の直接支持構造物及び間接支持構造物の構造強度評価は,別添 3-1 の「4.1(2) 構造強度評価」で設定した計算式に従って,評価部位について,JEAG4601-1987に規定されているポンプ等の取付ボルトの評価方法を用いて発生応力を算出し,許容応力以下であることを確認する。

評価については,表 3-1 に示す加振試験で測定された評価部位頂部の加速度を設計用加速度 とし,発生応力を算出し,構造強度評価を行う。

(1) 評価に使用する記号及び計算モデルの説明

構造強度評価に使用する記号を表 4-4 に,計算モデル例を図 4-1~図 4-8 に示す。 なお,取付ボルト①については、タンクローリ(4kL)及びタンクローリ(16kL)のポンプ 以外の評価部位について適用し、取付ボルト②については、タンクローリ(4kL)及びタンク ローリ(16kL)のポンプに適用する。

また,取付ボルト③については,可搬型窒素供給装置のコンテナ以外の評価部位について 適用し,取付ボルト④については,可搬型窒素供給装置のコンテナに適用する。

記号	単位	記号の説明	
A_{b}	mm^2	取付ボルトの軸断面積	
a _H	m/s^2	設計用水平加速度	
a _P	m/s^2	回転体振動による加速度	
a _v	m/s^2	設計用鉛直加速度	
g	m/s^2	重力加速度	
h	mm	据付面から重心位置までの高さ	
L	mm	車両重心位置と取付ボルト間の水平方向距離	
0	mm	支点としている取付ボルトより評価に用いる取付ボルトまでの距離	
ℓi		(iは転倒支点から距離の長い順に番号取りをする。)	
m	kg	機器の保管時質量	
M_{P}	N•mm	回転体回転により働くモーメント	
N i	_	引張力又はせん断力の作用する取付ボルトの本数	
		(iは転倒支点から距離の長い順に番号取りをする。)	
n		取付ボルトの総本数	
бb	MPa	取付ボルトの最大引張応力	
τь	MPa	取付ボルトの最大せん断応力	

表 4-4 構造強度評価に使用する記号









図 4-2 直接支持構造物の計算モデル例 (1/2) (取付ボルト① 軸方向転倒-1 (g-a_V-a_P) ≧0の場合)




K7 ① V-2-別添 3-3 R1



図 4-5 間接支持構造物の計算モデル例 (1/2) (取付ボルト③ 軸直角方向転倒-1 (g-a_v) ≥0の場合)





図 4-6 間接支持構造物の計算モデル例(1/2) (取付ボルト③ 軸方向転倒-1 (g-a_v) ≧0の場合)











(取付ボルト④ 軸方向転倒-1 (g-a_v) ≧0の場合)



図 4-8 間接支持構造物の計算モデル例 (2/2) (取付ボルト④ 軸方向転倒-2 (g-a_v) <0の場合)

- a. 直接支持構造物の計算式
 - (a) 図 4-1 及び図 4-2 の場合の引張応力 なお、図 4-2 の場合のボルトについては、回転体回転により働くモーメントは作用しない。

$$\sigma_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot (\mathbf{a}_{H} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{h} + \mathbf{M}_{P} - \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} - \mathbf{a}_{V} - \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \cdots (4.1)$$

(b) 図 4-1 及び図 4-2 の場合のせん断応力

(c) 図 4-3 の場合のせん断応力イ. 荷重によるせん断応力

ロ. モーメントによるせん断応力

$$\tau_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot (\mathbf{a}_{H} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{h} + \mathbf{M}_{P} + \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} + \mathbf{a}_{V} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{I} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \cdots (4.4)$$

(e) 図 4-4 の場合のせん断応力

$$\tau_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot (\mathbf{a}_{H} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{h} + \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} + \mathbf{a}_{V} + \mathbf{a}_{P}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{I} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \dots (4.6)$$

- b. 間接支持構造物の計算式
- (a) 図 4-5 及び図 4-6 の場合の引張応力

$$\sigma_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{a}_{H} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} - \mathbf{a}_{V}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \quad \dots \dots \quad (4.7)$$

(b) 図 4-5 及び図 4-6 の場合のせん断応力

$$\tau_{\rm b} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{a}_{\rm H}}{\mathbf{n} \cdot \mathbf{A}_{\rm b}} \quad \dots \qquad (4.8)$$

$$\tau_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{a}_{H} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} - \mathbf{a}_{V}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \quad \dots \dots \quad (4.10)$$

(e) 図 4-8 の場合のせん断応力
イ. 荷重によるせん断応力
$$\tau_{\rm b} = \frac{{\rm m} \cdot \sqrt{{\rm a}_{\rm H}^2 + ({\rm g} - {\rm a}_{\rm V})^2}}{{\rm n} \cdot {\rm A}_{\rm b}}$$
(4.11)

ロ. モーメントによるせん断応力

$$\tau_{b} = \frac{\mathbf{m} \cdot \mathbf{a}_{H} \cdot \mathbf{h} - \mathbf{m} \cdot (\mathbf{g} - \mathbf{a}_{V}) \cdot \mathbf{L}}{\mathbf{A}_{b}} \cdot \frac{\ell_{1}}{\sum_{i=1}^{N} \mathbf{N}_{i} \cdot \ell_{i}^{2}} \quad \dots \dots \quad (4.12)$$

5. 転倒評価

5.1 基本方針

車両型設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、転倒評価を実施 する。

車両型設備の転倒評価は、「5.2 評価部位」に示す評価部位が、「5.3 許容限界」に示す許 容限界を満足することを、「5.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 評価部位

転倒評価の評価部位は、別添 3-1 の「3.2 許容限界」にて設定したとおり、地震後に転倒していないことが要求される車両型設備全体とする。

5.3 許容限界

許容限界は、「5.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所の地表面の最大応答加速度 が、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であることとする。

5.4 評価方法

車両型設備の転倒評価は、別添 3-1 の「4.1(3) 転倒評価」にて設定した評価方法に従い、 保管場所の地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における加振試験にて転倒しないこと を確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許 容限界以下であることを確認する。 6. 機能維持評価

6.1 基本方針

車両型設備は,別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い,機能維持評価を 実施する。

車両型設備の機能維持評価は、「6.2 評価部位」に示す評価部位が、「6.3 許容限界」に示 す許容限界を満足することを、「6.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

6.2 評価部位

機能維持評価の評価部位は,別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す確認方法を踏まえて,地震 後に支持機能及び移動機能の維持が必要な車両部並びに動的及び電気的機能の維持が必要な車 両に積載しているポンプ,発電機,内燃機関等とする。

6.3 許容限界

許容限界は、「6.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所の地表面の最大応答加速度 が、加振試験により支持機能、移動機能、動的及び電気的機能が維持されることを確認した加 振台の最大加速度以下であることとする。

6.4 評価方法

車両型設備の機能維持評価は、別添 3-1 の「4.1(4) 機能維持評価」にて設定した評価方法 に従い、保管場所の地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における加振試験にて得ら れた、表 6-1 に示す機能維持確認項目を確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方 向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

表 6-1 車両型設備の機能維持確認項目(1/2)

設備名称	機能維持確認項目	
	重大事故等時に軽油タンクから対象設備(電源車,可搬型代替注水ポンプ(A-1級),可搬型代替注水ポ	
	ンプ(A-2級),大容量送水車(熱交換器ユニット用),大容量送水車(原子炉建屋放水設備用),大容量	
タンクローリ(4kL)(6,7 号機共	送水車(海水取水用),モニタリングポスト用発電機及び5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設	
用)	備)へ必要となる容量の燃料油を輸送できること。	
	また、重大事故等時に保管場所から軽油タンク及び軽油タンクから対象設備までの自走機能を有するこ	
	と。	
	重大事故等時に軽油タンクから対象設備(第一ガスタービン発電機用燃料タンク)へ必要となる容量の燃	
タンクローリ(16kL)(6,7 号機共	料油を輸送できること。	
用)	また、重大事故等時に保管場所から軽油タンク及び軽油タンクから対象設備までの自走機能を有するこ	
	と。	
	重大事故等時に原子炉の冷却,残存溶融炉心の冷却,原子炉格納容器内の減圧及び除熱,原子炉格納容器	
□抑刑代麸注水ポンプ(ハ-9級)	内の冷却、原子炉格納容器下部への注水、溶融炉心の落下遅延及び防止、原子炉格納容器内の水素ガス及び	
	酸素ガスの排出及び使用済燃料貯蔵プールへの注水又はスプレイ並びに水の供給を行うために必要な容量及	
	び揚程を有すること。	
	また、保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。	
□拠刑代扶注水ポンプ (1-1 級)	重大事故等時に使用済燃料貯蔵プールへの注水又はスプレイを行うために必要な容量及び揚程を有するこ	
	と。	
(0,75 候共用)	また、保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。	
	重大事故等時の全交流動力電源喪失、又は全交流動力電源及び直流電源喪失時に必要な負荷に給電するた	
電源車(6,7号機共用)	めの容量を有すること。	
	また、保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。	

	表	6 - 1	車両型設備の機能維持確認項目	(2/2))
--	---	-------	----------------	-------	---

設備名称	機能維持確認項目
熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷	保管場所から設置場所まで移動可能であること。
却系熱交換器(6,7号機共用)	
十次号送水車(教な施器コーット用)	重大事故等時に原子炉格納容器内の減圧及び除熱並びに使用済燃料貯蔵プールの除熱を行うために必要
八谷里达小平(熱文換品ユーット用)	な容量及び揚程を有すること。
(0,7 与极共力)	また、保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。
十次是送水東(百乙仁建長故水設備	重大事故等時に大気への放射性物質の拡散抑制及び航空機燃料火災への泡消火を行うために必要な容量
八谷里达小平(床丁炉建屋放小設備	及び揚程を有すること。
	また、保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。
大容量送水車(海水取水用)(6,7号	重大事故等時に水の供給を行うために必要な容量及び揚程を有すること。
機共用)	また、保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。
	重大事故等時に原子炉格納容器内の減圧及び除熱並びに原子炉格納容器内の水素ガス及び酸素ガスの排
可搬型窒素供給装置(6,7号機共用)	出を行うために必要な容量を有すること。
	また、保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。
沟原波柳洋東 (67-县楼廿田)	重大事故等時に航空機燃料火災への泡消火を行うために必要な容量を有すること。
泡床很搬达单(0,7万候共用)	また、保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。
5 - 异继百子后建民内聚刍時対策正田司	重大事故等時の全交流動力電源喪失時に5号機原子炉建屋内緊急時対策所に給電するための容量を有す
3 7 1 威尔丁尔定座 1 采芯时对来所用引 抛刑雪酒設備 (6 7 县继廿田)	ること。
加土电砂胶油(0,1万饭六川)	また,保管場所から設置場所までの自走機能を有すること。

- 7. 波及的影響評価
- 7.1 基本方針

車両型設備は,別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い,当該設備による 波及的影響を防止する必要がある他の設備への波及的影響評価を実施する。

車両型設備の波及的影響評価は、「7.2 評価部位」に示す評価部位が、「7.3 許容限界」 に示す許容限界を満足することを、「7.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

7.2 評価部位

波及的影響評価の評価部位は,別添 3-1 の「3.2 許容限界」にて設定したとおり,車両型設備全体とする。

7.3 許容限界

車両型設備は、「7.2 評価部位」にて設定した評価部位と他の設備との離隔距離について、 車両型設備の加振試験にて確認した最大変位量を基に、1台当たりについて表 7-1の値を許容 限界とする。

なお,実際の車両型設備の配置に必要となる間隔については,隣り合う設備の離隔距離の合 算値以上とする。

表 7-1 加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離(1/2)

乳 借夕 初	化答坦正	離隔距離	
 这佣石 小	休官场内	走行軸方向	走行軸直角方向
	荒浜側高台保管場所	1600	1600
クンクローリ (4KL) (0,7万機共 田)	大湊側高台保管場所	1600	1000
用)	5号機東側第二保管場所	2000	2000
タンクローリ(16kL)(6,7 号機共	荒浜側高台保管場所	1600	1600
用)	大湊側高台保管場所	1600	1600
ゴ塩型を排注する。	荒浜側高台保管場所	1600	1600
	大湊側高台保管場所	1600	
(0,1万候共用)	5 号機東側第二保管場所	2000	2000
可搬型代替注水ポンプ(A-1 級)	荒浜側高台保管場所	1600	1600
(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	1600	1000
●135 (C 7 中蒙中田)	荒浜側高台保管場所	0100 0100	
电你平(0,1万陵共用)	大湊側高台保管場所	2100	2100
熱交換器ユニット 代替原子炉補	荒浜側高台保管場所	1600	1600
機冷却系熱交換器(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	1000	1000

表 7-1 加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離(2/2)

(単位:mm)

	但答担诉	離隔距離	
 武 佣 石 朴	沐官场別	走行軸方向	走行軸直角方向
大容量送水車(熱交換器ユニット	荒浜側高台保管場所	1000	1000
用) (6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	1900	1900
大容量送水車(原子炉建屋放水設	荒浜側高台保管場所	1000	1000
備用) (6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	1900	1900
大容量送水車(海水取水用)(6,7	荒浜側高台保管場所	1000	1000
号機共用)	大湊側高台保管場所	1900	1900
可搬型窒素供給装置(6,7号機共	荒浜側高台保管場所	2200	2200
用)	大湊側高台保管場所	2300	2300
沟原液柳送南(67县楼廿田)	荒浜側高台保管場所	1600	1600
泡尿液脉达单(0,7万微共用)	大湊側高台保管場所	1000	1000
5号機原子炉建屋内緊急時対策所用	大湊側高台保管場所	1900	1900
可搬型電源設備(6,7号機共用)	5号機東側保管場所	2000	2000

7.4 評価方法

車両型設備の波及的影響評価は,別添 3-1 の「4.1(5) 波及的影響評価」にて設定した評価 方法に従い,「3. 加振試験」における加振試験にて得られた,車両型設備のすべり及び傾き による変位量の合算値から求めた車両型設備の最大変位量が,許容限界以下であることを確認 する。

地震時における各設備のすべり量の算出については「(1) すべり量」に、地震時における 各設備の傾きによる変位量の算出については「(2) 傾きによる変位量」に、最大変位量の算 出については「(3) 最大変位量」に示す。

(1) すべり量

すべり量については,各設備の加振試験により確認したすべり量のうち,最も大きいすべ り量を使用する。

(2) 傾きによる変位量

傾きによる変位量については、各設備の加振試験で得られた傾き角のうち、最も大きい値 を用いて算出する。

また,波及的影響として評価すべき傾きによる変位量を表した図を図7-1に示し,使用 する記号を表7-2に示す。

なお,地震による走行軸方向への傾きはほとんど無視できるため,走行軸方向への傾きに よる変位量は評価しない。

傾きによる変位量については、以下の関係式により示される。

 $\mathbb{R}1$

記号	単位	記号の説明
h	mm	設備高さ
X	mm	傾きによる変位量
θ	0	傾き角

表 7-2 波及的影響評価に使用する記号



(3) 最大変位量

「(1) すべり量」にて設定したすべり量に、「(2) 傾きによる変位量」により算出され る傾きによる変位量を加算した値を最大変位量と定義し、最大変位量が「7.3 許容限界」 にて設定した離隔距離未満であることを波及的影響評価として確認する。

8. 評価条件

8.1 構造強度評価

「4. 構造強度評価」に用いる評価条件を表 8-1~表 8-24 に示す。

8.2 転倒評価

車両型設備の転倒評価は、「5. 転倒評価」に示す評価方法に従い、保管場所における地表 面の最大応答加速度が、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下で あることにより確認するものであり、転倒しないことを確認するために個別に設定する評価条 件はない。

比較対象となる保管場所の地表面の最大応答加速度は、評価結果と併せて表 9-3 に示す。

8.3 機能維持評価

車両型設備の機能維持評価は、「6. 機能維持評価」に示す評価方法に従い、保管場所の地 表面の最大応答加速度が、加振試験により積載物から受ける荷重を支持する支持機能及び車両 としての自走、牽引等による移動機能並びにポンプの送水機能,発電機の発電機能,内燃機関 の駆動機能等の動的及び電気的機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であ ることにより確認するものであり、機能維持を確認するために個別に設定する評価条件はない。 比較対象となる保管場所の地表面の最大応答加速度は、評価結果と併せて表 9-3 に示す。

8.4 波及的影響評価

「7. 波及的影響評価」に用いる評価条件を表 8-25 に示す。

⇒□ ₽.	出任	評価	Б部位
記万	中位	タンク取付ボルト	ポンプ取付ボルト
m	kg	1390	28
h	mm	594	125
A _b	mm^2	314. 2	113. 1
n	—	6	4
N_1	—	2	2
N_2	—	2	—
L	mm	1545	53
ℓ_1	mm	2350	106
ℓ_2	mm	1290	_

表 8-1 タンクローリ(4kL)の評価条件(走行軸方向)

表 8-2 タンクローリ(4kL)の評価条件(走行軸直角方向)

÷1 ₽	光存	·		部位
記万	甲位	タンク取付ボルト	ポンプ取付ボルト	
m	kg	1390	28	
h	mm	594	125	
A _b	mm^2	314. 2	113. 1	
n	—	6	4	
N_1	—	3	2	
L	mm	553	65	
ℓ_1	mm	882	117	

학모	光生	异····································		i部位
記万	中世	タンク取付ボルト	ポンプ取付ボルト	
m	kg	2360	58.5	
h	mm	1066	115	
A _b	mm^2	314.2	201.1	
n	—	8	4	
N_1	—	2	2	
N_2	—	2		
N_3	—	2		
L	mm	2400	91	
ℓ_1	mm	4730	182	
ℓ_2	mm	3100	—	
ℓ_3	mm	1405		

表 8-3 タンクローリ(16kL)の評価条件(走行軸方向)

表 8-4 タンクローリ(16kL)の評価条件(走行軸直角方向)

ㅋ므	出任	評価	部位
記万	中心	タンク取付ボルト	ポンプ取付ボルト
m	kg	2360	58.5
h	mm	1066	115
A _b	mm^2	314.2	201.1
n		8	4
N_1		4	2
L	mm	460	105
ℓ_1	mm	920	210

司旦	光序	評価	部位
記万	- 単位	ポンプ取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg		
h	mm		
A _b	mm^2		
n			
N_1			
\mathbf{N}_2	—		
L	mm		
ℓ_1	mm		
ℓ_2	mm		

表 8-5 可搬型代替注水ポンプ(A-2 級)の評価条件(走行軸方向)

表 8-6 可搬型代替注水ポンプ(A-2 級)の評価条件(走行軸直角方向)

专口 甲.	光佳	評価	
記万	- 甲位	ポンプ取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg		
h	mm		
A _b	mm^2		
n			
N ₁			
N_2	—		
N 3	—		
L	mm		
ℓ_1	mm		
ℓ_2	mm		
ℓ_3	mm		

		Ē	評価部位
記号	甲位	ポンプ取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg		
h	mm		
A _b	mm^2		
n	—		
N_1	—		
N_2	—		
N 3	—		
N_4	—		
N_5	—		
N_6	—		
N 7	—		
N ₈	—		
L	mm		
ℓ_1	mm		
ℓ_2	mm		
ℓ_3	mm		
ℓ_4	mm		
ℓ_5	mm		
ℓ_6	mm		
<i>ℓ</i> ₇	mm		
ℓ_8	mm		

表 8-7 可搬型代替注水ポンプ(A-1 級)の評価条件(走行軸方向)

		[] 評価音	部位
記号	単位	ポンプ取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg		
h	mm		
A _b	mm^2		
n			
N_1	—		
N_2	—		
N_3	—		
N_4	—		
N 5	—		
L	mm		
ℓ_1	mm		
ℓ_2	mm		
ℓ_3	mm		
ℓ_4	mm		
ℓ_5	mm		

表 8-8 可搬型代替注水ポンプ(A-1 級)の評価条件(走行軸直角方向)

		評価音	『位	
記号	単位	発電機/内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	
m	kg	2775	4365	
h	mm	712	428.5	
A _b	mm^2	113. 1	113. 1	
n		16	28	
N_1		4	2	
N_2		4	2	
N_3		4	2	
N_4			2	
N_5	—		2	
N_6		_	2	
N ₇	—		2	
N ₈	—		2	
N ₉	—	—	2	
N 10	—		2	
N 11	—	—	2	
N 12	—	—	2	
N_{13}	_	_	2	
L	mm	1228	2800. 5	
ℓ_1	mm	2069. 5	4400	
ℓ_2	mm	1909. 5	3923	
ℓ_3	mm	160	3737	
ℓ_4	mm	_	3526	
ℓ_5	mm	—	3299	
ℓ_6	mm		3139	
ℓ_7	mm	_	2871	
ℓ_8	mm	_	2411	
ℓ_9	mm	_	1566.5	
ℓ_{10}	mm	—	1390	
ℓ_{11}	mm	_	1310	
ℓ_{12}	mm	_	1230	
ℓ_{13}	mm		770	

表 8-9 電源車の評価条件(走行軸方向)

封 円.	光佳	評価部位		
百万	甲位	発電機/内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト	
m	kg	2775	4365	
h	mm	712	428.5	
A _b	mm^2	113. 1	113. 1	
n	—	16	28	
N_1	—	4	14	
N_2	—	4	—	
N_3	—	4	—	
L	mm	382.5	375	
ℓ_1	mm	730	750	
ℓ_2	mm	650	—	
ℓ_3	mm	80		

表 8-10 電源車の評価条件(走行軸直角方向)

司旦	用任		評価部位	
記与	中世	ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg			
h	mm			
A _b	mm^2			
n				
N_1				
N_2				
N_3				
N_4				
L	mm			
ℓ_1	mm			
ℓ_2	mm			
ℓ_3	mm			
ℓ_4	mm			

表 8-11 大容量送水車(熱交換器ユニット用)の評価条件(走行軸方向)

表 8-12 大容量送水車(熱交換器ユニット用)の評価条件(走行軸直角方向)

<u></u> ⇒1 ₽)) // /		評価部位	
記万	- 単位	ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg			
h	mm			
A b	mm^2			
n	_			
N_1				
N_2	_			
N 3	_			
N_4	_			
N_5				
L	mm			
ℓ_1	mm			
ℓ_2	mm			
ℓ_3	mm			
ℓ_4	mm			
ℓ_5	mm			

r				
封星	用件		評価部位	
	平匹	ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg			
h	mm			
A b	mm^2			
n				
\mathbf{N}_1				
\mathbf{N}_2				
N_3				
\mathbf{N}_4				
L	mm			
ℓ_1	mm			
ℓ_2	mm			
ℓ_3	mm			
ℓ_4	mm			

表 8-13 大容量送水車(原子炉建屋放水設備用)の評価条件(走行軸方向)

表 8-14 大容量送水車(原子炉建屋放水設備用)の評価条件(走行軸直角方向)

취미	光佳		評価部位	
記方	- 単位	ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg			
h	mm			
A _b	mm^2			
n				
N_1	_			
N_2	_			
N_3	_			
N_4	—			
N_5	_			
L	mm			
ℓ_1	mm			
ℓ_2	mm			
ℓ_3	mm			
ℓ_4	mm			
ℓ_5	mm			

封모	用母		評価部位	
百万	中世	ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg			
h	mm			
A b	mm^2			
n				
N_1	—			
\mathbf{N}_2				
N_3	—			
N_4				
L	mm			
ℓ_1	mm			
ℓ_2	mm			
ℓ_3	mm			
ℓ_4	mm			

表 8-15 大容量送水車(海水取水用)の評価条件(走行軸方向)

表 8-16 大容量送水車(海水取水用)の評価条件(走行軸直角方向)

			評価部位	
記号	単位	ポンプ取付ボルト	内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト
m	kg			
h	mm			
A b	mm^2			
n				
N_1	—			
N_2				
N 3				
N_4				
N_5	—			
L	mm			
ℓ_1	mm			
ℓ_2	mm			
ℓ_3	mm			
ℓ_4	mm			
ℓ_5	mm			

	評価部位				
記号	単位	発電機	窒素ガス発生装置	圧縮機	コンテナ
		取付ボルト	取付ボルト	取付ボルト	取付ボルト
m	kg	2690	2000	1200	8030
h	mm	770	900	523	707.2
A _b	mm^2	452.4	452.4	452.4	78.54
n		8	4	4	76
N_1		2	2	2	4
N_2		2			4
N_3		2			4
N_4					4
N_5		_			4
${ m N}_{6}$					4
N_7		_		_	4
N_8		_			4
N_9		_		_	4
${ m N}_{10}$		_		_	4
N_{11}		_		—	4
N_{12}					4
N_{13}		_		_	4
N_{14}		_		—	4
${ m N}_{15}$					4
N_{16}		_			4
${ m N}_{17}$		_		_	4
N_{18}					4
L	mm	1300	725	961	3527
ℓ_1	mm	2290	1450	1761	5305
ℓ_2	mm	1526			4955
ℓ_3	mm	762	_		4695
ℓ_4	mm				4435
ℓ_5	mm				4165
ℓ_6	mm		—		3865
<i>ℓ</i> ₇	mm				3565
ℓ_8	mm				3365
ℓ_9	mm				3030

表 8-17 可搬型窒素供給装置の評価条件(走行軸方向)(1/2)

		評価部位				
記号	単位	発電機	窒素ガス発生装置	圧縮機	コンテナ	
		取付ボルト	取付ボルト	取付ボルト	取付ボルト	
ℓ_{10}	mm	—	_	_	2680	
ℓ_{11}	mm				2335	
ℓ_{12}	mm	_			2085	
ℓ_{13}	mm				1835	
ℓ_{14}	mm				1585	
ℓ_{15}	mm		_	_	1200	
ℓ_{16}	mm	_	_	_	860	
ℓ_{17}	mm				525	
ℓ_{18}	mm				275	

表 8-17 可搬型窒素供給装置の評価条件(走行軸方向)(2/2)

表 8-18 可搬型窒素供給装置の評価条件(走行軸直角方向)

		評価部位					
記号	単位	発電機	窒素ガス発生装置	圧縮機	コンテナ		
		取付ボルト	取付ボルト	取付ボルト	取付ボルト		
m	kg	2690	2000	1200	8030		
h	mm	770	900	523	707.2		
A b	mm^2	452.4	452.4	452.4	78.54		
n		8	4	4	76		
N_1		4	2	2	38		
L	mm	560	575	577	405		
ℓ_1	mm	1120	950	1020	810		

封旦	光告	評価部位
記方	中世	タンク取付ボルト
m	kg	
h	mm	
A _b	mm^2	
n		
\mathbf{N}_{1}	—	
\mathbf{N}_2		
\mathbf{N}_3		
N_4		
L	mm	
ℓ_1	mm	
ℓ_2	mm	
ℓ_3	mm	
ℓ_4	mm	

表 8-19 泡原液搬送車の評価条件(走行軸方向)

表 8-20 泡原液搬送車の評価条件(走行軸直角方向)

記号	単位	評価部位 タンク取付ボルト
m	kg	
h	mm	
A b	mm^2	
n		
N_1		
L	mm	
ℓ_1	mm	

ㅋ므	単位	評価部位				
		発電機/内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト			
m	kg	1656	3860			
h	mm	1168	920			
A _b	mm^2	201.1	314.2			
n		4	8			
N_1	—	2	2			
N_2		_	2			
N_3			2			
L	mm	1728. 5	1575			
ℓ_1	mm	1106. 5	2700			
ℓ_2	mm	_	1800			
ℓ_3	mm		900			

表 8-21 5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備の評価条件(走行軸方向)

表 8-22 5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備の評価条件(走行軸直角方向)

휘모	用导	評価部位			
市山方	中位	発電機/内燃機関取付ボルト	コンテナ取付ボルト		
m	kg	1656	3860		
h	mm	1168	920		
A _b	mm^2	201. 1	314.2		
n		4	8		
N_1		2	4		
L	mm	777	670		
ℓ_1	mm	482	1340		

設備名称	評価部位	材料	温度条件 (℃)		Sy (MPa)	S u (MPa)
タンクローリ(4kL)(6,7 号	タンク取付ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	50	211	394
機共用)	ポンプ取付ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	50	211	394
	タンク取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
メンクローリ(IokL)(6,7号 機共用)	ポンプ取付ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	50	211	394
可搬型代替注水ポンプ(A-2	ポンプ取付ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	50	211	394
級) (6,7号機共用)	コンテナ取付ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	50	211	394
可搬型代替注水ポンプ(A-1	ポンプ取付ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	50	211	394
級)(6,7号機共用)	コンテナ取付ボルト	SS400 (40mm<径≦100mm)	周囲環境温度	50	211	394
電源車(6,7号機共用)	発電機/内燃機関 取付ボルト	SNB21-1	周囲環境温度	50	1022	1109
	コンテナ取付ボルト	8.8*	周囲環境温度	50	339	556

表 8-23 使用材料の許容応力評価条件(1/2)

注記*:強度区分を示す。

乳借友分	萩 (本) (七)	オナギル	温度条件 (℃)		S y	S u
 议佣石你	計工加算的1元	树村			(MPa)	(MPa)
十次具光水市(教六海兕ュー	ポンプ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
八谷里达小単(然父換益ユー … ト田) (6.7 号掛井田)	内燃機関取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
ット用) (0,7 万協共用)	コンテナ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
十次县光水市(西乙后进号北	ポンプ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
大谷里达小里(原于炉建座成 水設備田)(67 - 5-100 - 10	内燃機関取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
小政(11) (0,7万成共用)	コンテナ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
十次县光水市 (海水雨水田)	ポンプ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
人谷里达小里(伊小取小用) (6.7 - 丹烨世田)	内燃機関取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
(0,7万城六川)	コンテナ取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
	発電機取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	50	198	504
可柳刑空志什公壮罢 (6.7.县坳	窒素ガス発生装置	SNB7	周囲環境温度	50	519	671
り 伽 空 至 杀 供 和 表 但 (0, 1 万 ()	取付ボルト	(100mm<径≦120mm)		30	512	071
关几)	圧縮機取付ボルト	SUS304	周囲環境温度	50	198	504
	コンテナ取付ボルト	SB25	周囲環境温度	50	764	906
泡原液搬送車(6,7号機共用)	タンク取付ボルト	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
5 县楼佰子恒建层内婜刍時対策	発電機/内燃機関	SCM435	周囲環境温度	50	764	906
所用可搬型電源設備(67号機)	取付ボルト	50m 100		00	101	2000
共用)	コンテナ取付ボルト	SNB7	周囲環境温度	50	715	838
/ \/ 4/		(径≦63mm)		00	110	000

表 8-23 使用材料の許容応力評価条件(2/2)

表 8-24 直接支持構造物及び間接支持構造物の設計用加速度(1/2)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

		設計用加速度		
設備名称	評価部位	水平 (走行軸方向/走行軸直角方向)	鉛直	
	タンク取付ボルト	2.06/3.60	3.86	
タンクローリ (4KL) (0,7 万機共用)	ポンプ取付ボルト	3. 97/3. 36	4. 38	
	タンク取付ボルト	7. 70/11. 18	5.45	
ダンクローリ(IOKL)(0,7 万機共用)	ポンプ取付ボルト	8.46/13.01	17.32	
	ポンプ取付ボルト	0.91/2.08	5.29	
り	コンテナ取付ボルト	3.36/3.82	3. 47	
	ポンプ取付ボルト	1.99/2.98	5.01	
り 撤空 代 督 注 水 ホ ン ノ (A-1 赦) (6, 7 万 機 共 用)	コンテナ取付ボルト	2.66/4.20	4.10	
■「「」」 「「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「」」 「	発電機/内燃機関取付ボルト	1. 11/3. 72	3. 75	
电原单(0, <i>(</i> 亏機共用)	コンテナ取付ボルト	1.91/4.20	4.64	
	ポンプ取付ボルト	2.40/2.75	2.83	
大容量送水車(熱交換器ユニット用)(6,7 号機共 田)	内燃機関取付ボルト	2. 33/2. 51	2. 32	
	コンテナ取付ボルト	2. 41/3. 63	3. 88	

表 8-24 直接支持構造物及び間接支持構造物の設計用加速度(2/2)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

		設計用加速度		
設備名称	評価部位	水平	鉛直	
		(走行軸方向/走行軸直角方向)	11日	
	ポンプ取付ボルト	2.40/2.75	2.83	
大容量送水車(原子炉建屋放水設備用)(6,7号機共用)	内燃機関取付ボルト	2. 33/2. 51	2.32	
	コンテナ取付ボルト	2. 41/3. 63	3. 88	
	ポンプ取付ボルト	2. 40/2. 75	2.83	
大容量送水車(海水取水用)(6,7号機共用)	内燃機関取付ボルト	2. 33/2. 51	2.32	
	コンテナ取付ボルト	2. 41/3. 63	3. 88	
	発電機取付ボルト	3. 20/3. 70	4. 19	
可抛刑空妻什经准罢 (6.7 早继廿田)	窒素ガス発生装置取付ボルト	1.90/3.75	2.13	
可顺生至杀厌阳表直(0,1万候天用)	圧縮機取付ボルト	1.86/3.75	4.29	
	コンテナ取付ボルト	6. 35/4. 21	2. 59	
泡原液搬送車(6,7号機共用)	タンク取付ボルト	1.08/3.60	3.06	
5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備	発電機/内燃機関取付ボルト	0.81/2.37	3. 15	
(6,7号機共用)	コンテナ取付ボルト	1.29/2.59	2.22	

設備名称	保管場所	h (mm)	θ (°)	X (mm)
タンクローリ(4kL) (6,7 号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所 5号機東側第二保管場所	2400	10	417
タンクローリ(16kL) (6,7 号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	3010	7	367
可搬型代替注水ポンプ (A-2 級)(6, 7 号機共 用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所 5号機東側第二保管場所	2600	9	407
可搬型代替注水ポンプ (A-1 級)(6, 7 号機共 用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	2740	11	523
電源車(6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	3040	12	632
熱交換器ユニット 代替 原子炉補機冷却系熱交換 器(6,7号機共用)*	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	3450	4	93

表 8-25 傾きによる変位量(1/2)

注記*:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器2車種のうち,最大変位量が最も大き い熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の結果を示す。

設備名称	保管場所	h (mm)	θ (°)	X
大容量送水車(熱交換器 ユニット用)(6,7号機 共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	3580	14	866
大容量送水車(原子炉建 屋放水設備用)(6,7号 機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	3580	14	866
大容量送水車(海水取水 用) (6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	3580	14	866
可搬型窒素供給装置(6,7 号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	3570	14	864
泡原液搬送車(6,7号機 共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	2850	17	834
5 号機原子炉建屋内緊急 時対策所用可搬型電源設 備(6,7 号機共用)	大湊側高台保管場所 5号機東側保管場所	3100	15	803

表 8-25 傾きによる変位量(2/2)

9. 評価結果

車両型設備の基準地震動Ssによる地震力に対する評価結果を以下に示す。

構造強度評価の結果,発生値は許容応力を満足しており,基準地震動Ssによる地震力に対し て評価部位の健全性が維持されることを確認した。

転倒評価の結果,保管場所の地表面の最大応答加速度が,加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であり,転倒しないことを確認した。

機能維持評価の結果,保管場所の地表面の最大応答加速度が,加振試験により支持機能,移動 機能,動的及び電気的機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であり,基準地 震動Ssによる地震力に対し,機能が維持されることを確認した。

波及的影響評価の結果,車両型設備の最大変位量については,設定した許容限界(離隔距離) 未満であり,当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及 ぼさないことを確認した。

以上より,車両型設備は地震後において,基準地震動Ssによる地震力に対し,重大事故等に 対処するために必要な機能を維持するとともに当該設備による波及的影響を防止する必要がある 他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

9.1 構造強度評価結果

- (1) 直接支持構造物
 車両型設備の直接支持構造物の構造強度評価結果を表 9-1 に示す。
- (2) 間接支持構造物

車両型設備の間接支持構造物の構造強度評価結果を表 9-2 に示す。

9.2 転倒評価結果

車両型設備の転倒評価結果を表 9-3 に示す。

- 9.3 機能維持評価結果 車両型設備の機能維持評価結果を表 9-3 に示す。
- 9.4 波及的影響評価結果
 - 走行軸方向
 車両型設備の波及的影響評価結果(走行軸方向)を表 9-4 に示す。
 - (2) 走行軸直角方向
 車両型設備の波及的影響評価結果(走行軸直角方向)を表 9-5 に示す。

R1
表 9-1 直接支持構造物の構造強度評価結果(1/2)

(単位:MPa)

設備名称	評価部位	応力 分類	発生値	許容応力	評価 結果
		引張り	61	190*	0
タンクローリ(4kL)	タンク取付ホルト	せん断	26	146	0
(6,7号機共用)	ポンプ取付ポルト	引張り	9	190*	0
	ハンノ 取行 かルト	せん断	9	146	0
	タンク取付ボルト	引張り	280	475*	0
タンクローリ(16kL)		せん断	103	366	0
(6,7号機共用)	ポンプ取付ボルト	引張り	29	190*	\bigcirc
		せん断	24	146	\bigcirc
可搬型代替注水ポンプ	ポンプ版付せれた	引張り			0
(A=2 級) (0,7 号機共 用)	ホンノ取刊ホルト	せん断			\bigcirc
可搬型代替注水ポンプ	ポンプ版付せれた	引張り			0
用)	ホンク 取内 ホルト	せん断			0
☞酒声 (c 7 旦撚井田)	発電機/内燃機関	引張り	169	582*	\bigcirc
电你里(0,1万傚共用)	取付ボルト	せん断	56	448	0
十分里洋之中(對方番号	ポンプ取付ポルト	引張り			0
人谷重达水単(熱父換奋	ホンノ取付ホルト	せん断			0
エーツ下用) (0,1 号機 #田)	山跡が期雨仕ヂルト	引張り			0
六川)	ドリ際機関取り ホノレト	せん断			0
十次县光水市(百乙归进	ポンプ取付ポルト	引張り			0
八谷里达小里(尿丁炉建 民坊水設備田) (6.7 早		せん断			0
座 成 小 政 御 用) (0, (万	広め燃用取付ポルト	引張り			0
磯共用)	内燃機関取付ホルト	せん断			0

注記*:f_{ts}=Min[1.4・f_{to}-1.6・_{てb}, f_{to}]

表 9-1 直接支持構造物の構造強度評価結果(2/2)

(単位:MPa)

設備名称	評価部位	応力 分類	発生値	許容応力	評価 結果
	과지국머니과지	引張り			0
大容量送水車(海水取水	ホンク取付ホルト	せん断			0
用)(6,7号機共用)	内姆地胆历日子ルト	引張り			0
	171861後1月111111111111111111111111111111111	せん断			0
	発電機取付ボルト	引張り	61	178*	0
		せん断	27	137	0
可搬型窒素供給装置(6,7	窒素ガス発生装置	引張り	92	352*	0
号機共用)	取付ボルト	せん断	41	271	0
	圧縮機	引張り	50	178*	0
	取付ボルト	せん断	25	137	0
泡原液搬送車(6,7号機	カンク取得ポット	引張り			\bigcirc
共用)	ダンク取打ホルト	せん断			0
5 号機原子炉建屋内緊急	発電機/内燃機関 取付ボルト	引張り	371	475*	0
時対東所用可搬型電源設備(6,7号機共用)		せん断	48	366	0

注記*: f_{ts} =Min[1.4 · f_{to} -1.6 · τ_{b} , f_{to}]

表 9-2 間接支持構造物の構造強度評価結果

(単位:MPa)

設備名称	評価部位	応力 分類	発生値	許容応力	評価 結果
可搬型代替注水ポンプ(A-	コンテナ取付ボルト	引張り			\bigcirc
2級) (6,7号機共用)		せん断			\bigcirc
可搬型代替注水ポンプ(A-	コンテナ取付ボルト	引張り			\bigcirc
1級) (6,7号機共用)		せん断			\bigcirc
雲 酒 (67 - 丹 桃 士 田)	コンテナ取付ボルト	引張り	114	292*	0
电冰平(0,1万饭六川)		せん断	57	225	\bigcirc
大容量送水車(熱交換器ユ	コンニナモはギュー	引張り			\bigcirc
ーット用) (6,7 亏機共 用)	コンフラ取刊ホルト	せん断			\bigcirc
大容量送水車(原子炉建屋	コンニナモノナルし	引張り			0
成小設備用)(0,7 号機共 用)		せん断			\bigcirc
大容量送水車(海水取水	コンテナ版仕ギルト	引張り			\bigcirc
用)(6,7号機共用)		せん断			\bigcirc
可搬型窒素供給装置(6,7	コンテナ取付ボルト	引張り	119	475*	\bigcirc
号機共用)		せん断	118	366	\bigcirc
5 号機原子炉建屋内緊急時 対策張用可搬刑電源訊供	コンテナ版仕ギュし	引張り	194	440*	0
內來內用可做空电你設備 (6,7号機共用)		せん断	49	338	0

注記*:f_{ts}=Min[1.4・f_{to}-1.6・_{てb}, f_{to}]

表 9-3 転倒評価及び機能維持評価結果(1/3)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の最大 加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³
タンクローリ(4kL)(6,7 号機	荒浜側高台保管場所	水平	0. 93	1.00	0	0
共用)	5 号機東側第二保管場所	鉛直	1.77	2.30	0	0
タンクローリ(16kL)(6,7号	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.00	0	0
機共用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.30	0	0
可搬型代替注水ポンプ(A-2 級)(6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.00	0	\bigcirc
	大凑侧高台保官場所 5号機東側第二保管場所	鉛直	1.77	2. 31	0	0
可搬型代替注水ポンプ(A-1	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.01	0	\bigcirc
級) (6,7 号機共用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1. 77	2. 29	0	0

注記*1:地震応答解析により求めた地表面の最大応答加速度。

*2 :加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3 :加振試験後の支持機能,移動機能及び表 6-1 に示す機能維持確認項目の確認を含む。

表 9-3 転倒評価及び機能維持評価結果(2/3)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の最大 加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³
電酒声 (6.7 旦抛井田)	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.01	0	0
电原单(0,1万懱共用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.29	\bigcirc	0
熱交換器ユニット 代替原子炉 補機冷却系熱交換器 (6.7 号機曲	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.00^{*4}	0	0
用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.29^{*4}	0	0
大容量送水車(熱交換器ユニッ	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.00	\bigcirc	0
ト用) (6,7 号機共用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.27	0	0
大容量送水車(原子炉建屋放水	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.00	0	0
設備用)(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.27	0	0
大容量送水車 (海水取水用)	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.00	0	0
(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.27	0	0

注記*1:地震応答解析により求めた地表面の最大応答加速度。

*2 :加振試験により計測された加振台の最大加速度。

- *3 :加振試験後の支持機能,移動機能及び表 6-1 に示す機能維持確認項目の確認を含む。
- *4 : 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器2車種のうち,加振台の最大加速度が最も小さい熱交換器ユニット 代替原子炉補機 冷却系熱交換器の結果を示す。

69

表 9-3 転倒評価及び機能維持評価結果(3/3)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の最大 加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³
可搬型窒素供給装置(6,7号機	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.00	\bigcirc	0
共用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.32	0	0
泡原液搬送車(6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.00	0	0
	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.32	0	0
5号機原子炉建屋内緊急時対策	大湊側高台保管場所	水平	0.93	1.00	0	0
所用可搬型電源設備(6,7 号機 共用)	5 号機東側保管場所	鉛直	1. 77	2.28	0	0

2 注記*1:地震応答解析により求めた地表面の最大応答加速度。

*2 :加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3 :加振試験後の支持機能,移動機能及び表 6-1 に示す機能維持確認項目の確認を含む。

表 9-4 波及的影響評価結果(走行軸方向) (1/2)

1111	11.		```
	NT.	•	mm)
(+	<u>.</u>	•	IIIII/

乳供友分	但答担诉	車両の最大変位量	許容限界*1	評価
	休官物内	(走行軸方向)	(走行軸方向)	結果
	荒浜側高台保管場所		1600	\cap
$\gamma \gamma $	大湊側高台保管場所	480	1000	\cup
(6,7亏機共用)	5 号機東側第二保管場所		2000	0
タンクローリ(16kL)	荒浜側高台保管場所	420	1600	\bigcirc
(6,7 号機共用)	大湊側高台保管場所	420	1000	Û
可搬型代替注水ポンプ	荒浜側高台保管場所		1600	\bigcirc
(A-2 級) (6,7 号機	大湊側高台保管場所	900	1000	
共用)	5号機東側第二保管場所		2000	0
可搬型代替注水ポンプ	芸 近側真台保營提所			
(A-1 級) (6,7 号機	大涛側直台促帶提訴	640	1600	\bigcirc
共用)	八揆則同口休官勿川			
電源車(6,7号機共	荒浜側高台保管場所	1360	2100	\cap
用)	大湊側高台保管場所	1300	2100	U
熱交換器ユニット 代				
替原子炉補機冷却系熱	荒浜側高台保管場所	1120*2	1600	\bigcirc
交換器(6,7号機共	大湊側高台保管場所	1130	1600	0
用)				

注記*1:加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離。

*2:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器2車種のうち,最大変位量が最も大きい熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の結果を示す。

表 9-4 波及的影響評価結果(走行軸方向) (2/2)

11111		\
	•	mml
(単1)/.		111111/
	-	/

司使友好	旧体相武	最大変位量	許容限界*	評価
 	○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○		(走行軸方向)	結果
大容量送水車(熱交換器	若 近侧百 <u></u> 4.0 英担正			
ユニット用)(6,7 号機	元供())向口休官场()) 十法())百石()()	300	1900	\bigcirc
共用)	人			
大容量送水車(原子炉建	若 派 侧 古 厶 但 竺 相 託			
屋放水設備用)(6,7号	元 供 則 尚 百 休 官 場 所	300	1900	\bigcirc
機共用)	大凑側高台保官場所			
大容量送水車(海水取水	荒浜側高台保管場所	200	1000	\bigcirc
用)(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	300	1900	0
可搬型窒素供給装置	荒浜側高台保管場所	490	2200	\bigcirc
(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	420	2300	U
泡原液搬送車(6,7号機	荒浜側高台保管場所	620	1600	\bigcirc
共用)	大湊側高台保管場所	630	1600	0
5号機原子炉建屋内緊急	大湊側高台保管場所		1900	0
時対策所用可搬型電源設		1470		
備(6,7号機共用)	5 号機東側保管場所		2000	\bigcirc

注記*:加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離。

表 9-5 波及的影響評価結果(走行軸直角方向) (1/2)

1 111	11.		\
1 = 1	11	٠	mml
	11/.		IIIIII/
· ·			

		最大変位量	許容限界*1	評価
設備名称	保管場所	(走行軸直角	(走行軸直角	結里
		方向)	方向)	
	荒浜側高台保管場所		1600	\bigcirc
タンクローリ (4kL)	大湊側高台保管場所	807	1600	0
(6,7号機共用)	5 号機東側第二保管場所		2000	0
タンクローリ(16kL)	荒浜側高台保管場所	1067	1600	\bigcirc
(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	1007	1000	0
可搬型代替注水ポンプ	生水ポンプ 荒浜側高台保管場所		1600	\bigcirc
(A-2 級)(6,7 号機共	大湊側高台保管場所	1007	1000	
用)	5 号機東側第二保管場所		2000	0
可搬型代替注水ポンプ (A-1 級)(6,7 号機共 用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	1523	1600	0
電源車(6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	2082	2100	0
熱交換器ユニット 代替 原子炉補機冷却系熱交換 器(6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	773*2	1600	0

注記*1:加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離。

*2:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器2車種のうち,最大変位量が最も大きい熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の結果を示す。

表 9-5 波及的影響評価結果(走行軸直角方向) (2/2)

11111		\
	r •	mml
< 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一		IIIII/

設備名称	保管場所	車両の最大変位量 (走行軸直角 方向)	許容限界* (走行軸直角 方向)	評価 結果
大容量送水車(熱交換器 ユニット用)(6,7号機 共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	1886	1900	0
大容量送水車(原子炉建 屋放水設備用)(6,7号 機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	1886	1900	0
大容量送水車(海水取水 用) (6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	1886	1900	0
可搬型窒素供給装置 (6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	2214	2300	0
泡原液搬送車(6,7号機 共用)	荒浜側高台保管場所 大湊側高台保管場所	1524	1600	0
5 号機原子炉建屋内緊急	大湊側高台保管場所	1050	1900	0
时对東所用可搬型電源設備(6,7号機共用)	5 号機東側保管場所	1853	2000	0

注記*:加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離。

V-2-別添 3-4 可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の 耐震計算書

1.	概要	1
2.	基本方針	1
2.1	配置	1
2.2	構造概要	1
2.3	評価方針	7
2.4	適用規格・基準等	8
3.	固有値解析	9
3.1	基本方針	9
3.2	解析方法	9
3.3	解析モデル及び諸元 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	10
3.4	固有値解析結果	22
4.	構造強度評価	23
4.1	基本方針	23
4.2	評価部位	23
4.3	荷重及び荷重の組合せ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	24
4.4	許容限界	24
4.5	設計用地震力	26
4.6	評価方法	29
5.	波及的影響評価	43
5.1	基本方針	43
6.	評価条件	43
7.	評価結果	53
7.1	構造強度評価結果	53
7.2	波及的影響評価結果	53

1. 概要

本資料は、V-2-別添 3-1「可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」(以下「別添 3-1」という。)に示すとおり、可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備が地震後において、基準地震動Ssによる地震力に対し、十分な構造強度を有するとともに、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。その耐震評価は、固有値解析、構造強度評価及び波及的影響評価により行う。

2. 基本方針

別添 3-1 の「2. 耐震評価の基本方針」に示す構造計画のとおり、ボンベ設備の「2.1 配置」 及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 配置

ボンベ設備は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、原子炉建屋 (T. M. S. L. 4.8m, T. M. S. L. 18.1m, T. M. S. L. 31.7m), コントロール建屋 (T. M. S. L. 12.3m, T. M. S. L. 12.5m), 廃棄物処理建屋 (T. M. S. L. 12.3m, T. M. S. L. 12.5m) 及び 5 号機原子炉建屋 (T. M. S. L. 20.3m, T. M. S. L. 27.8m) に保管する。

2.2 構造概要

ボンベ設備の構造は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」に示す構造計画としており、ボンベ 設備の構造計画を表 2-1 に、ボンベ設備の構造図を図 2-1~図 2-7 に示す。

<u> </u>	計画の概要		
	主体構造	支持構造	плли
高圧窒素ガスボ ンベ	窒素ボンベ及びボンベの支持 構造物であるボンベラックに より構成する。	窒素ボンベは,容器として十 分な強度を有する構造とし, 固定ボルトによりボンベラッ クに固定し,ボンベラックを 溶接により壁に据え付ける。	図2-1
遠隔空気駆動弁 操作用ボンベ	窒素ボンベ及びボンベの支持 構造物であるボンベラックに より構成する。	窒素ボンベは,容器として十 分な強度を有する構造とし, 固定ボルトによりボンベラッ クに固定し,ボンベラックを 溶接又は基礎ボルトにより床 に据え付ける。	$\boxtimes 2 - 2$ $\boxtimes 2 - 3$ $\boxtimes 2 - 4$
中央制御室待避 室陽圧化装置 (空気ボンベ) (6,7号機共用)	空気ボンベ及びボンベの支持 構造物であるボンベラックに より構成する。	空気ボンベは,容器として十 分な強度を有する構造とし, 固定ボルトによりボンベラッ クに固定し,ボンベラックを 溶接により壁に据え付ける。	図2-5
5号機原子炉建屋 内緊急時対策所 (対策本部)陽 圧化装置(空気 ボンベ)(6,7号 機共用)	空気ボンベ及びボンベの支持 構造物であるボンベラックに より構成する。	空気ボンベは,容器として十 分な強度を有する構造とし, 固定ボルトによりボンベラッ クに固定し,ボンベラックを 溶接により床に据え付ける。	図2-6
5号機原子炉建屋 内緊急時対策所 (待機場所)陽 圧化装置(空気 ボンベ)(6,7号 機共用)	空気ボンベ及びボンベの支持 構造物であるボンベラックに より構成する。	空気ボンベは,容器として十 分な強度を有する構造とし, 固定ボルトによりボンベラッ クに固定し,ボンベラックを 溶接により床に据え付ける。	図2-7

表 2-1 ボンベ設備の構造計画



図2-2 遠隔空気駆動弁操作用ボンベ(ボンベラック支持構造:溶接①)の構造図 (単位:mm)



図2-3 遠隔空気駆動弁操作用ボンベ(ボンベラック支持構造:溶接②)の構造図 (単位:mm)



図2-4 遠隔空気駆動弁操作用ボンベ(ボンベラック支持構造:基礎ボルト)の構造図 (単位:mm)



図2-5 中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボンベ)の構造図 (単位:mm)



図2-6 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽圧化装置(空気ボンベ)の構造図 (単位:mm)



図2-7 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽圧化装置(空気ボンベ)の構造図 (単位:mm)

2.3 評価方針

ボンベ設備の評価方針を以下に示し、耐震評価フローを図 2-8 に示す。

(1) 構造強度評価

ボンベ設備は,別添 3-1 の「2.2(2) ボンベ設備」にて設定した構造強度評価の方針に従い,構造強度評価を実施する。

ボンベ設備の構造強度評価は、「3. 固有値解析」にて得られた固有周期を用い、「4. 構 造強度評価」に示す方法により、ボンベ設備の評価部位に作用する応力が許容限界を満足す ることを確認する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。

別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す評価部位のうち直接支持構造物としてのボンベラック,溶接部及び基礎ボルトの構造強度評価については,JEAG4601・補-1984 に規定されているその他の支持構造物の評価に従い実施する。

(2) 波及的影響評価

ボンベ設備は,別添 3-1 の「2.2(2) ボンベ設備」にて設定した波及的影響評価の方針に 従い,波及的影響評価を実施する。

ボンベ設備の波及的影響評価は、「5. 波及的影響評価」に示す方法により、基準地震動S sによる地震力に対し、当該設備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して 波及的影響を及ぼさないことを、「2.3(1) 構造強度評価」により確認する。確認結果を「7. 評価結果」に示す。



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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 重要度分類・許容応力編 JEAG4601・補-1984
 ((社)日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- (3) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)
- (4) 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)

8

3. 固有值解析

3.1 基本方針

別添 3-1 の「4.2(1) 固有値解析」にて設定した基本方針に従い,固有値解析を実施する。 固有値解析は,以下の「3.2 解析方法」に示す方法により,「3.3 解析モデル及び諸元」 に示す解析モデルを用いて,「3.4 固有値解析結果」においてボンベ設備の固有周期を求め る。

- 3.2 解析方法
 - (1) ボンベラックを構成する鋼材をはり要素(形鋼等),シェル要素(鋼板等)としてモデル化 した3次元 FEM モデルによる固有値解析を実施する。
 - (2) 拘束条件として、ボンベラックは、溶接又は基礎ボルトにより X, Y, Z の 3 方向を固定として設定する。
 - (3) ボンベ本体は、基準地震動Ssによる地震力に対して転倒しないことを目的としたボンベ ラックに、固定ボルト及び固定板にて固定され収納されている。ここで、ボンベ本体は高 圧ガス適用品であり、一般的な圧力容器に比べ、高い耐圧強度を有することから、はるか に剛性が高いものであるが、解析上、断面性状を考慮したはり要素としてモデル化する。
 - (4) 各ボンベからヘッダー又は配管への連絡管は、接続を容易にするため可とう性をもつ形状としていること、地震時にはボンベとヘッダー又は配管の相対変位は微小であることから、地震時の変位を十分吸収できるものである。
 - (5) 解析コードは、「ABAQUS」、「NAPF」又は「MSC NASTRAN」を使用する。 なお、解析コードの検証、妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム(解 析コード)の概要」に示す。
 - (6) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

- 3.3 解析モデル及び諸元
 - (1) 高圧窒素ガスボンベ

高圧窒素ガスボンベは、ボンベラックにボンベを立て掛け、固定ボルト及び固定板で固定 し、ボンベラックは、溶接により壁に据え付ける。

ボンベ背面の固定板は、ボンベラックに溶接で固定し、ボンベ背面の固定板とボンベ前面 の固定板を固定ボルトで締結することにより、ボンベをボンベラック短辺方向に拘束してい る。ここで、固定板には切欠きを設けているため、ボンベをボンベラック長辺方向に拘束し ている。また、ボンベ上部押さえにより、ボンベをボンベラック上下方向に拘束している。

高圧窒素ガスボンベの解析モデルは、ボンベラックを構成する鋼材をはり要素及びシェル 要素として、以下のとおりモデル化した3次元 FEM モデルである。

解析モデルを図 3-1 に,解析モデルの諸元を表 3-1 に示す。



図 3-1 解析モデル

項目	記号	単位	入力値
材料 (ボンベ)			マンガン鋼
材料(ボンベラック)			SS400
材料 (固定板)			STKR400
温度条件(周囲環境温度)	Т	°C	40
縦弾性係数 (ボンベ)	Е	MPa	2. 01×10^5
縦弾性係数(ボンベラック)	Е	MPa	2. 01×10^5
縦弾性係数(固定板)	Е	MPa	2.02 $\times 10^{5}$
ポアソン比	ν		0.3
質量	m	kg	670
ボンベ数		本	5
要素数		個	24563
節点数		個	25810

表 3-1 解析モデルの諸元

(2) 遠隔空気駆動弁操作用ボンベ

遠隔空気駆動弁操作用ボンベは、ボンベラックにボンベを立て掛け、固定ボルト及び固定 板で固定し、ボンベラックは、溶接又は基礎ボルトにより床に据え付ける。

ボンベ背面の固定板は、ボンベラックに溶接で固定し、ボンベ背面の固定板とボンベ前面 の固定板を固定ボルトで締結することにより、ボンベをボンベラック短辺方向に拘束してい る。ここで、ボンベラックには切欠きを設けているため、ボンベをボンベラック長辺方向に 拘束している。また、ボンベ上部押さえにより、ボンベをボンベラック上下方向に拘束して いる。

遠隔空気駆動弁操作用ボンベの解析モデルは,ボンベラックを構成する鋼材をはり要素として,以下のとおりモデル化した3次元 FEM モデルである。

解析モデルを図 3-2~図 3-4 に,解析モデルの諸元を表 3-2~表 3-4 に示す。



図 3-2 解析モデル(ボンベラック支持構造:溶接①)

項目	記号	単位	入力値
材料 (ボンベ)			マンガン鋼
材料(ボンベラック)			SS400
材料 (固定板)			SS400
温度条件 (周囲環境温度)	Т	°C	40
縦弾性係数(ボンベ)	Е	MPa	2. 01×10^5
縦弾性係数(ボンベラック)	Е	MPa	2. 02×10^5
縦弾性係数 (固定板)	Е	MPa	2. 02×10^5
ポアソン比	ν		0.3
質量	m	kg	159.9
ボンベ数		本	1
要素数		個	77
節点数		個	62

表 3-2 解析モデルの諸元(ボンベラック支持構造:溶接①)



図 3-3 解析モデル(ボンベラック支持構造:溶接②)

項目	記号	単位	入力値
材料 (ボンベ)		_	マンガン鋼
材料(ボンベラック)			SS400
材料 (固定板)			SS400
温度条件(周囲環境温度)	Т	$^{\circ}\mathrm{C}$	40
縦弾性係数(ボンベ)	Е	MPa	2. 01×10^5
縦弾性係数(ボンベラック)	Е	MPa	2. 02×10^5
縦弾性係数(固定板)	Е	MPa	2. 02×10^5
ポアソン比	ν		0.3
質量	m	kg	253
ボンベ数		本	2
要素数		個	127
節点数		個	100

表 3-3 解析モデルの諸元(ボンベラック支持構造:溶接②)



図 3-4 解析モデル(ボンベラック支持構造:基礎ボルト)

項目	記号	単位	入力値
材料 (ボンベ)	_	_	マンガン鋼
材料(ボンベラック)			SS400
材料 (固定板)			SS400
温度条件(周囲環境温度)	Т	$^{\circ}\mathrm{C}$	40
縦弾性係数(ボンベ)	Е	MPa	2. 01×10^5
縦弾性係数(ボンベラック)	Е	MPa	2. 02×10^5
縦弾性係数(固定板)	Е	MPa	2. 02×10^5
ポアソン比	ν		0.3
質量	m	kg	273
ボンベ数		本	1
要素数		個	142
節点数		個	102

表 3-4 解析モデルの諸元(ボンベラック支持構造:基礎ボルト)

(3) 中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボンベ)

中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボンベ)は、ボンベラックにボンベを立て掛け、固定 ボルト及び固定板で固定し、ボンベラックは、溶接により壁に据え付ける。

ボンベ背面の固定板は、ボンベラックに溶接で固定し、ボンベラックとボンベ前面の固定 板を固定ボルトで締結することにより、ボンベをボンベラック短辺方向に拘束している。こ こで、ボンベ間には鋼材による仕切りを設けているため、ボンベをボンベラック長辺方向に 拘束している。また、ボンベ上部押さえにより、ボンベをボンベラック上下方向に拘束して いる。

中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボンベ)の解析モデルは,ボンベラックを構成する鋼材をはり要素として,以下のとおりモデル化した3次元 FEM モデルである。

解析モデルを図 3-5 に、解析モデルの諸元を表 3-5 に示す。



図 3-5 解析モデル

表 3-5 解析モデルの諸元

項目	記号	単位	入力値
材料 (ボンベ)			マンガン鋼
材料 (ボンベラック)			SS400
材料(固定板)			SS400
温度条件(周囲環境温度)	Т	°C	40
縦弾性係数(ボンベ)	Е	MPa	2. 01×10^5
縦弾性係数(ボンベラック)	Е	MPa	2. 02×10^5
縦弾性係数(固定板)	Е	MPa	2. 02×10^5
ポアソン比	ν		0.3
質量	m	kg	251.4
ボンベ数		本	2
要素数		個	108
節点数		個	103

(4) 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽圧化装置(空気ボンベ)

5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽圧化装置(空気ボンベ)は、ボンベラックにボンベを立て掛け、固定ボルト及び固定板で固定し、ボンベラックは、溶接により床に 据え付ける。

最外列のボンベは、ボンベ背面の固定板とボンベ前面の固定板を固定ボルトで締結するこ とにより、ボンベラック短辺方向に拘束している。中央部のボンベは、切欠きを設けた固定 板を設けることにより、ボンベラック短辺方向に拘束している。ここで、最外列のボンベ及 び中央部のボンベは、切欠きを設けた固定板により、ボンベをボンベラック長辺方向に拘束 している。また、ボンベ上部押さえにより、ボンベをボンベラック上下方向に拘束してい る。

5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽圧化装置(空気ボンベ)の解析モデル は、ボンベラックを構成する鋼材をはり要素として、以下のとおりモデル化した3次元 FEM モデルである。

解析モデルを図 3-6 に、解析モデルの諸元を表 3-6 に示す。



図 3-6 解析モデル

項目	記号	単位	入力値
材料 (ボンベ)	—		マンガン鋼
材料 (ボンベラック)			SS400
材料(固定板)			SS400
温度条件(周囲環境温度)	Т	°C	40
縦弾性係数(ボンベ)	Е	MPa	2. 01×10^{5}
縦弾性係数(ボンベラック)	Е	MPa	2.02×10^{5}
縦弾性係数(固定板)	Е	MPa	2.02×10^5
ポアソン比	ν		0.3
質量	m	kg	1429
ボンベ数	—	本	15
要素数	_	個	753
節点数		個	731

表 3-6 解析モデルの諸元

(5) 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽圧化装置(空気ボンベ)

5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽圧化装置(空気ボンベ)は、ボンベラックにボンベを立て掛け、固定ボルト及び固定板で固定し、ボンベラックは、溶接により床に 据え付ける。

最外列のボンベは、ボンベ背面の固定板とボンベ前面の固定板を固定ボルトで締結するこ とにより、ボンベラック短辺方向に拘束している。中央部のボンベは、切欠きを設けた固定 板を設けることにより、ボンベラック短辺方向に拘束している。ここで、最外列のボンベ及 び中央部のボンベは、切欠きを設けた固定板により、ボンベをボンベラック長辺方向に拘束 している。また、ボンベ上部押さえにより、ボンベをボンベラック上下方向に拘束してい る。

5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽圧化装置(空気ボンベ)の解析モデル は、ボンベラックを構成する鋼材をはり要素として、以下のとおりモデル化した3次元 FEM モデルである。

解析モデルを図 3-7 に、解析モデルの諸元を表 3-7 に示す。



図 3-7 解析モデル

項目	記号	単位	入力値
材料 (ボンベ)			マンガン鋼
材料 (ボンベラック)			SS400
材料(固定板)			SS400
温度条件(周囲環境温度)	Т	°C	40
縦弾性係数(ボンベ)	E	MPa	2.01×10^5
縦弾性係数(ボンベラック)	E	MPa	2.02×10^{5}
縦弾性係数(固定板)	E	MPa	2.02×10^{5}
ポアソン比	ν		0. 3
質量	m	kg	1429
ボンベ数		本	15
要素数	—	個	753
節点数	—	個	731

表 3-7 解析モデルの諸元

3.4 固有值解析結果

ボンベ設備の固有値解析結果を表 3-8 に示す。固有周期は、0.05 秒以下であり、剛である ことを確認した。

設備名称	ボンベラック 支持構造	モード	卓越方向	固有周期(s)
高圧窒素ガスボンベ	溶接	1次	鉛直	0.041
	溶接①	1次	水平	0.042
遠隔空気駆動弁操作用ボンベ	溶接②	1次	水平	0.049
	基礎ボルト	1次	水平	0.046
中央制御室待避室陽圧化装置(空気	₩ ~ + ~	1 1		0.000
ボンベ)(6,7号機共用)	俗按	工伙	水平	0.022
5号機原子炉建屋内緊急時対策所				
(対策本部)陽圧化装置(空気ボン	溶接	1次	水平	0.047
べ) (6,7号機共用)				
5号機原子炉建屋内緊急時対策所				
(待機場所)陽圧化装置(空気ボン	溶接	1次	水平	0.047
べ) (6,7 号機共用)				

表 3-8 固有值解析結果

- 4. 構造強度評価
- 4.1 基本方針

ボンベ設備の構造強度評価は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価方針に従って、構造強度評価を実施する。

ボンベ設備の構造強度評価は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 荷重及び荷重の 組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し、「4.4 許容限界」に示す許容応力を満足するこ とを、「4.5 設計用地震力」に示す設計用地震力及び「4.6 評価方法」に示す方法を用いて評 価を行う。

4.2 評価部位

ボンベ設備の評価部位は,別添 3-1 の「2.2 評価方針」で設定した評価部位に従って設定する。評価部位を表 4-1 に示す。

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	X
高圧窒素ガスボンベ	溶接	ボンベラック 溶接部	図 2-1
遠隔空気駆動弁操作用ボンベ	溶接①	ボンベラック 溶接部	図 2-2
	溶接②	ボンベラック 溶接部	図 2-3
	基礎ボルト	ボンベラック 基礎ボルト	⊠ 2-4
中央制御室待避室陽圧化装置 (空気ボンベ)(6,7号機共用)	溶接	ボンベラック 溶接部	図 2-5
5号機原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部)陽圧化装置(空気 ボンベ)(6,7号機共用)	溶接	ボンベラック 溶接部	図 2-6
5号機原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所)陽圧化装置(空気 ボンベ)(6,7号機共用)	溶接	ボンベラック 溶接部	⊠ 2−7

表 4-1 ボンベ設備の評価部位

4.3 荷重及び荷重の組合せ

ボンベ設備の構造強度評価に用いる荷重及び荷重の組合せは,別添 3-1 の「3.1 荷重及び荷 重の組合せ」で設定した荷重及び荷重の組合せを用いる。

ボンベ設備の構造強度評価に用いる荷重の組合せを表 4-2 に示す。

表 4-2 荷重の組合せ

設備名称	評価部位	荷重の組合せ	
ボンベ設備	ボンベラック		
	溶接部	D+S s	
	基礎ボルト		

4.4 許容限界

ボンベ設備の許容限界は、「4.2 評価部位」にて設定した評価部位の破断延性限界を考慮し、 別添 3-1 の「3.2 許容限界」で設定した許容限界に従い、許容応力状態IVASの許容応力とす る。

評価部位の許容限界を表 4-3~表 4-5 に示す。

評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	許容限界*1,*2
			一次応力
			組合せ
ボンベラック	D+S s	IV _A S	1.5 • f t*

表 4-3 ボンベラックの許容限界

注記*1 : f_t*は, JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(1)a.本文中Sy及びSy(R T)を1.2・Sy及び1.2・Sy(RT)と読み替えて算出した値(JSME S NC 1-2005/2007 SSB-3121.3)。ただし, Sy及び0.7・Suのいずれか小さい方の値とす る。

*2 : JEAG4601・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。
			許容限界*1,*2			
評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	一次応力			
			せん断			
溶接部	D+S s	$IV_A S$	1.5 • f s*			

表 4-4 溶接部の許容限界

注記*1 : f_s*は, JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(1)a.本文中Sy及びSy(R T)を1.2・Sy及び1.2・Sy(RT)と読み替えて算出した値(JSME S NC 1-2005/2007 SSB-3121.3)。ただし, Sy及び0.7・Suのいずれか小さい方の値とす る。

*2 : JEAG4601・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

			許容限	界*1,*2		
評価部位	荷重の組合せ	許容応力状態	一次応力			
			引張り*3	せん断* ³		
基礎ボルト	D+S s	IV _A S	1.5•f t*	1.5• f _s *		

表4-5 基礎ボルトの許容限界

注記*1 : f_t*, f_s*は, JSME S NC1-2005/2007 SSB-3121.1(1)a.本文中Sy及びSy (RT)を1.2・Sy及び1.2・Sy(RT)と読み替えて算出した値(JSME S NC1-2005/2007 SSB-3133)。ただし, Sy及び0.7Suのいずれか小さい方の値とす る。

*2 : JEAG4601・補-1984の「その他の支持構造物の許容応力」に準じて設定する。

*3 : ボルトにせん断力が作用する場合,組合せ評価を実施する。その際の許容引張応力 f_{ts} は,JSME S NC1-2005/2007 SSB-3133に基づき, f_{ts} =Min[1.4・ f_{to} -1.6・ τ_{b} , f_{to}]とする。ここで, f_{to} は1.5・ f_{t} *とする。 なお、 f_{ts} は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をいい、 f_{to} は引張力のみを受けるボルトの許容引張応力をいう。

4.5 設計用地震力

基準地震動Ssによる地震力は、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき設定する。耐震評価に用いる設計用地震力を表 4-6~表 4-12 に示す。

据付場所 及び	固有周期	基準地震動 S s	
床面高さ	(s)	水平方向	鉛直方向
(m)		設計震度	設計震度
原子炉建屋			
T. M. S. L. 31. 7	0.041	2.03	1.45
(T.M.S.L.38.2*)			

表 4-6 設計用地震力(高圧窒素ガスボンベ)

注記*:基準床レベルを示す。

表 4-7 設計用地震力(遠隔空気駆動弁操作用ボンベ(ボンベラック支持構造:溶接①))

据付場所 及び	固有周期	基準地震動S s	
床面高さ	(s)	水平方向	鉛直方向
(m)		設計震度	設計震度
原子炉建屋			
T. M. S. L. 4. 8	0.042	1.13	1.08
T. M. S. L. 18. 1*			

注記*:基準床レベルを示す。

表 4-8 設計用地震力(遠隔空気駆動弁操作用ボンベ(ボンベラック支持構造:溶接②))

据付場所 及び	固有周期	基準地震	震動Ss
床面高さ (m)	(s)	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
原子炉建屋 T.M.S.L.18.1*	0.049	1. 13	1.08

注記*:基準床レベルを示す。

据付場所 及び	固有周期	基準地震	ξ動Ss
床面高さ	(s)	水平方向	鉛直方向
(m)		設計震度	設計震度
原子炉建屋			
T. M. S. L. 4. 8	0.046	1.13	1.08
T. M. S. L. 18. 1*			

表 4-9 設計用地震力(遠隔空気駆動弁操作用ボンベ(ボンベラック支持構造:基礎ボルト))

注記*:基準床レベルを示す。

据付場所 及び	固有周期	基準地震動 S s	
床面高さ	(s)	水平方向	鉛直方向
(m)		設計震度	設計震度
廃棄物処理建屋			
T. M. S. L. 12. 3			
T. M. S. L. 12. 5			
(T. M. S. L. 20. 4*)	0. 022	1.77	1.38
コントロール建屋			
T. M. S. L. 12. 3			
T. M. S. L. 12. 5			

表 4-10 設計用地震力(中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボンベ))

注記*:基準床レベルを示す。

 据付場所
 基準地震動Ss

 及び
 固有周期

 床面高さ
 (s)

 (m)
 水平方向

 5号機原子炉建屋
 0.047

表 4-11 設計用地震力(5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽圧化装置(空気ボンベ))

注記*:基準床レベルを示す。

T. M. S. L. 27.8*

表 4-12 設計用地震力(5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽圧化装置(空気ボンベ))

据付場所 及び	固有周期	基準地震動S s	
床面高さ	(s)	水平方向	鉛直方向
(m)		設計震度	設計震度
5号機原子炉建屋			
T. M. S. L. 20. 3	0.047	1.65	1.45
T. M. S. L. 27.8*			

注記*:基準床レベルを示す。

4.6 評価方法

ボンベ設備の構造強度評価は,別添 3-1 の「4.2(2) 構造強度評価」で設定した計算式に従って,評価部位の発生応力を算出し,許容応力以下であることを確認する。

- (1) 評価に使用する記号及び計算モデルの説明
 - a. 溶接支持構造(壁固定型) 構造強度評価に使用する記号を表4-13に,計算モデル例を図4-1及び図4-2に示す。

記号	単位	記号の説明			
σa	MPa	はり要素の軸応力			
σ _b	MPa	はり要素の曲げ応力			
τ	MPa	はり要素のせん断応力			
σ	MPa	はり要素の組合せ応力			
σ _x	MPa	シェル要素のX方向応力			
σу	MPa	シェル要素のY方向応力			
τ _{х у}	MPa	シェル要素のせん断応力			
σ	MPa	シェル要素の組合せ応力			
Сн		水平方向設計震度			
C _V		鉛直方向設計震度			
F_{W1}	Ν	取付面に対し平行方向に作用するせん断力			
	N	取付面に対し前後方向に作用するせん断力			
F w ₂	IN	(正面方向転倒)			
Б	N	取付面に対し前後方向に作用するせん断力			
F _{W3}	Ν	(側面方向転倒)			
Fw N 取付面に対し前後方向に作用する最大せん断力		取付面に対し前後方向に作用する最大せん断力			
g m/s ² 重力加速度		重力加速度			
h	mm	取付面から重心までの距離			
ℓ_1	mm	重心と下側溶接部間の距離			
ℓ_2	mm	上側溶接部と下側溶接部中心間の距離			
ℓ_3	mm	左側溶接部と右側溶接部中心間の距離			
m	kg	ボンベ設備の質量			
n	—	溶接箇所数			
		鉛直方向地震により取付面に対し前後方向のせん断力を受ける			
n vw		として期待する溶接箇所数			
10		水平方向地震により取付面に対し前後方向のせん断力を受ける			
II HW		として期待する溶接箇所数			
τ w	MPa	溶接部に生じる最大せん断応力			
τ w1	MPa	取付面に対し平行方向に作用するせん断応力			
τ w ₂	MPa	取付面に対し前後方向に作用するせん断応力			
Aw	mm^2	溶接部の有効断面積(1箇所当たり)			
S	mm	溶接部の脚長			
Lw	mm	溶接長(1箇所当たり)			

表 4-13 構造強度評価に使用する記号









図4-2 計算モデル例(側面方向転倒)

- (a) 計算式
 - イ. ボンベラック(はり要素) ボンベラックのうち、はり要素の組合せ応力を以下のとおり計算する。 $\sigma = \sqrt{\left(\sigma_{a} + \sigma_{b}\right)^{2} + 3 \cdot \tau^{2}} \quad \dots \qquad (4.1)$
 - ロ. ボンベラック(シェル要素) ボンベラックのうち、シェル要素の組合せ応力を以下のとおり計算する。 $\sigma_{s} = \sqrt{\sigma_{x}^{2} + \sigma_{y}^{2} - \sigma_{x} \cdot \sigma_{y} + 3 \cdot \tau_{xy}^{2}} \quad \dots \qquad (4.2)$

ハ. 溶接部

溶接部の応力を以下のとおり計算する。

・ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断応力
 ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断力は全溶接部で受けるもの
 として計算する。

ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断力(Fw1)

$$F_{W1} = \sqrt{(m \cdot C_H \cdot g)^2 + (m \cdot (1 + C_V) \cdot g)^2} \cdots (4.3)$$

ボンベラック取付面に対し平行方向に作用するせん断応力(τw1)

$$\tau_{W1} = \frac{F_{W1}}{n \cdot A_W} \quad \dots \qquad (4.4)$$

・ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断応力

溶接部に対する力は最も厳しい条件として,図4-1及び図4-2で最外列の溶接 部を支点とする転倒を考え,これを片側の最外列の溶接部で受けるものとして計算 する。

計算モデル図 4-1 に示す正面方向転倒の場合のせん断力(Fw2)

$$F_{W2} = \frac{m \cdot (1 + C_V) \cdot h \cdot g}{n_{VW} \cdot \ell_2} + \frac{m \cdot C_H \cdot h \cdot g}{n_{HW} \cdot \ell_3} \quad \dots \dots \quad (4.5)$$

計算モデル図 4-2 に示す側面方向転倒の場合のせん断力 (F_{W3}) $F_{W3} = \frac{m \cdot (1+C_V) \cdot h \cdot g + m \cdot C_H \cdot \ell_1 \cdot g}{n_{VW} \cdot \ell_2} \quad \quad (4.6)$ ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断力 $F_W = Ma \times (F_{W2}, F_{W3}) \quad \quad (4.7)$ ボンベラック取付面に対し前後方向に作用するせん断応力 (τ_{W2}) $\tau_{W2} = \frac{F_W}{A_W} \quad \quad (4.8)$ ここで、せん断を受ける溶接部の有効断面積Awは、

$$A_{W} = (S / \sqrt{2}) \times L_{W}$$
 (4.9)

・溶接部の応力

$$\tau_{W} = M a x (\tau_{W1}, \tau_{W2})$$
 (4.10)

b. 溶接支持構造(床固定型)

構造強度評価に使用する記号を表4-14に、計算モデル例を図4-3及び図4-4に示す。

記号	単位	記号の説明		
σa	MPa	はり要素の軸応力		
σ _b	MPa	はり要素の曲げ応力		
τ	MPa	はり要素のせん断応力		
σ	MPa	はり要素の組合せ応力		
Сн	—	水平方向設計震度		
C _V	—	鉛直方向設計震度		
Fнw	Ν	溶接部に作用する水平方向せん断力		
F _{vw}	Ν	溶接部に作用する鉛直方向せん断力		
g	m/s^2	重力加速度		
h	mm	取付面から重心までの距離		
L mm ボンベ設備重心位置と溶接部間の水		ボンベ設備重心位置と溶接部間の水平方向距離		
ℓ mm 支点としている溶接部より評価に用いる溶接部まで		支点としている溶接部より評価に用いる溶接部までの距離		
m	m kg ボンベ設備の質量			
n	一 溶接箇所数			
n vw ― 評価上鉛直方向せん断力を受けるとして期待す		評価上鉛直方向せん断力を受けるとして期待する溶接箇所数		
τ w	MPa	溶接部に生じる最大せん断応力		
$ au_{ m W1}$	MPa	溶接部に生じる水平方向せん断応力		
$ au_{ m W2}$	MPa	溶接部に生じる鉛直方向せん断応力		
$A_{\rm HW}$ mm ²		水平方向せん断力を受ける溶接部の有効断面積(1箇所当た		
		り) 秋声士向井) 戦力な受ける 家庭如の 方动戦 五種 (1 築正平本		
$A_{\rm VW}$	mm^2	町 回 の 岡 月 を 文 り る 俗 抜 司 の 有 別 例 回 楨 (1 固 月 目 た		
S	mm	溶接部の脚長		
Lw	mm	溶接長(1箇所当たり)		

表 4-14 構造強度評価に使用する記号







図 4-3 計算モデル例 (2/2) (短辺方向転倒-2 (1-C_v) <0の場合)







図 4-4 計算モデル例 (2/2) (長辺方向転倒-2 (1-C_v) <0の場合)

- (a) 計算式
 - イ. ボンベラック (はり要素) ボンベラックのうち,はり要素の組合せ応力を以下のとおり計算する。 $\sigma = \sqrt{\left(\sigma_{a} + \sigma_{b}\right)^{2} + 3 \cdot \tau^{2}} \quad \dots \qquad (4.11)$

口. 溶接部

溶接部の応力を以下のとおり計算する。

・図 4-3 及び図 4-4 の場合の水平方向せん断応力 溶接部に対する水平方向せん断力は全溶接部で受けるものとして計算する。

水平方向せん断力 (F_{HW})

 $\mathbf{F}_{\mathrm{HW}} = \mathbf{C}_{\mathrm{H}} \cdot \mathbf{m} \cdot \mathbf{g} \quad \dots \quad (4.12)$

水平方向せん断応力(てw1)

$$\tau_{W1} = \frac{F_{HW}}{n \cdot A_{HW}} \quad \dots \qquad (4.13)$$

・図 4-3 及び図 4-4 の場合の鉛直方向せん断応力

溶接部に対する力は最も厳しい条件として,最外列の溶接部を支点とする転倒を 考え,これを片側の最外列の溶接部で受けるものとして計算する。

鉛直方向せん断力(Fvw)

$$F_{VW} = \frac{m \cdot C_{H} \cdot g \cdot h - m \cdot (1 - C_{V}) \cdot g \cdot L}{n_{VW} \cdot \ell} \quad \dots \dots \quad (4.14)$$

鉛直方向せん断応力(てw2)

$$\tau_{W2} = \frac{F_W}{A_{VW}} \qquad (4.15)$$

ここで、せん断を受ける溶接部の有効断面積 A_{HW} , A_{VW} は、 A_{HW} = (S/ $\sqrt{2}$) × L_{W} ······ (4.16)

$$A_{VW} = (S / \sqrt{2}) \times L_{W} \quad \dots \quad (4.17)$$

・溶接部の応力

$$\tau_{\rm W} = {\rm M \, a \, x} \ (\tau_{\rm W1}, \tau_{\rm W2}) \qquad (4.18)$$

c. 基礎ボルト支持構造(床固定型)

構造強度評価に使用する記号を表4-15に、計算モデル例を図4-5及び図4-6に示す。

記号	単位	記号の説明	
σa	MPa	はり要素の軸応力	
σ _b	MPa	はり要素の曲げ応力	
τ	MPa	はり要素のせん断応力	
σ	MPa	はり要素の組合せ応力	
Сн		水平方向設計震度	
C _v		鉛直方向設計震度	
A _b	mm^2	基礎ボルトの軸断面積	
g	m/s^2	重力加速度	
h mm 据付面から重心位置までの高さ		据付面から重心位置までの高さ	
L mm ボンベ設備重心位置と基礎ボルト間の水平方向距離		ボンベ設備重心位置と基礎ボルト間の水平方向距離	
0	mm	支点としている基礎ボルトより評価に用いる基礎ボルトまでの	
e		距離	
m	kg	ボンベ設備の質量	
N 一 引張力の作用する基礎ボルトの本数		引張力の作用する基礎ボルトの本数	
n — 基礎ボルトの総本数		基礎ボルトの総本数	
σь	MPa	基礎ボルトの最大引張応力	
τь	MPa	基礎ボルトの最大せん断応力	

表 4-15 構造強度評価に使用する記号



(短辺方向転倒-2 (1-C_v) <0 の場合)





(長辺方向転倒-2 (1-C_V) <0 の場合)

- (a) 計算式
 - イ. ボンベラック(はり要素) ボンベラックのうち、はり要素の組合せ応力を以下のとおり計算する。 $\sigma = \sqrt{\left(\sigma_{a} + \sigma_{b}\right)^{2} + 3 \cdot \tau^{2}} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (4.19)$

ロ. 基礎ボルト 基礎ボルトの応力を以下のとおり計算する。 ・図 4-5 及び図 4-6 の場合の引張応力 $\sigma_{b} = \frac{m \cdot g \cdot C_{H} \cdot h - m \cdot (1 - C_{V}) \cdot g \cdot L}{N \cdot A_{b} \cdot \ell} \quad \dots \dots \dots (4.20)$

・図 4-5 及び図 4-6 の場合のせん断応力

- 5. 波及的影響評価
- 5.1 基本方針

ボンベ設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、当該設備によ る波及的影響を防止する必要がある他の設備への波及的影響評価を実施する。

ボンベ設備の波及的影響評価は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 荷重及び荷重 の組合せ」に示す荷重及び荷重の組合せに対し、「4.4 許容限界」に示す許容応力を満足する ことを、「4.5 設計用地震力」に示す設計用地震力及び「4.6 評価方法」に示す方法を用いて 評価を行う。

6. 評価条件

「4. 構造強度評価」及び「5. 波及的影響評価」に用いる評価条件を表 6-1~表 6-15 に示 す。

뉡무	単位	評価部位
記与		溶接部
m	kg	670
h	mm	185
A_W	mm^2	763. 7
n		4
n vw		2
$n_{\rm HW}$		2
ℓ_2	mm	595
ℓ_3	mm	690

表 6-1 高圧窒素ガスボンベの評価条件(正面方向転倒)

表 6-2 高圧窒素ガスボンベの評価条件(側面方向転倒)

⇒⊐.旦.	単位	評価部位
市口方		溶接部
m	kg	670
h	mm	185
Aw	mm^2	763. 7
n		4
n _{vw}	—	2
ℓ_1	mm	282
ℓ_2	mm	595

表 6-3 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの評価条件【ボンベラック支持構造:溶接①】

취묘	単位	評価部位
記与		溶接部
m	kg	159.9
h	mm	1003
$A_{\rm HW}$	mm^2	1200
$A_{\rm VW}$	mm^2	1200
n		4
n_{VW}		2
L	mm	200
l	mm	400

(短辺方向転倒)

表 6-4 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの評価条件【ボンベラック支持構造:溶接①】 (長辺方向転倒)

封旦.	単位	評価部位
記与		溶接部
m	kg	159.9
h	mm	1003
$A_{\rm HW}$	mm^2	1200
$A_{\rm VW}$	mm^2	1200
n		4
n _{vw}		2
L	mm	335
l	mm	670

表 6-5 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの評価条件【ボンベラック支持構造:溶接②】

힘묘	単位	評価部位
記方		溶接部
m	kg	253
h	mm	1000
$A_{\rm HW}$	mm^2	1200
$A_{\rm VW}$	mm^2	1200
n		4
$n_{\rm VW}$		2
L	mm	200
l	mm	400

(短辺方向転倒)

表 6-6 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの評価条件【ボンベラック支持構造:溶接②】 (長辺方向転倒)

封旦	単位	評価部位
百四万		溶接部
m	kg	253
h	mm	1000
$A_{\rm HW}$	mm^2	1200
A_{VW}	mm^2	1200
n		4
n _{vw}		2
L	mm	525
l	mm	1050

表 6-7 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの評価条件【ボンベラック支持構造:基礎ボルト】

	単位	評価部位
記与		基礎ボルト
m	kg	273
h	mm	1000
A_{b}	mm^2	201.1
n		4
Ν	—	2
L	mm	200
l	mm	400

(短辺方向転倒)

表 6-8 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの評価条件【ボンベラック支持構造:基礎ボルト】 (長辺方向転倒)

专口 中.	単位	評価部位
記万		基礎ボルト
m	kg	273
h	mm	1000
A b	mm^2	201. 1
n		4
Ν	—	2
L	mm	425
l	mm	850

封电	単位	評価部位
記万		溶接部
m	kg	251.4
h	mm	193
A_W	mm^2	644. 9
n		4
n vw		2
$n_{\rm HW}$		2
ℓ_2	mm	1000
ℓ_3	mm	300

表 6-9 中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボンベ)の評価条件 (正面方向転倒)

表 6-10 中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボンベ)の評価条件 (側面方向転倒)

⇒⊐.旦.	単位	評価部位
記万		溶接部
m	kg	251.4
h	mm	193
Aw	mm^2	644. 9
n	—	4
n _{vw}	—	2
ℓ_1	mm	479.5
ℓ_2	mm	1000

表 6-11 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽圧化装置(空気ボンベ)の評価条件 (短辺方向転倒)

취묘	単位	評価部位
市口方		溶接部
m	kg	1429
h	mm	790
$A_{\rm HW}$	mm^2	1678.6
$A_{\rm VW}$	mm^2	1678.6
n		4
n _{vw}		2
L	mm	477. 4
l	mm	950

表 6-12 5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽圧化装置(空気ボンベ)の評価条件 (長辺方向転倒)

訂다	単位	評価部位
記与		溶接部
m	kg	1429
h	mm	790
$A_{\rm HW}$	mm^2	1678. 6
$A_{\rm VW}$	mm^2	1678. 6
n		4
n _{vw}		2
L	mm	713. 3
l	mm	1430

表 6-13 5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽圧化装置(空気ボンベ)の評価条件 (短辺方向転倒)

割旦	単位	評価部位
百四万		溶接部
m	kg	1429
h	mm	790
$A_{\rm HW}$	mm^2	1678.6
$A_{\rm VW}$	mm^2	1678.6
n		4
n _{vw}		2
L	mm	477.4
l	mm	950

表 6-14 5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽圧化装置(空気ボンベ)の評価条件 (長辺方向転倒)

封旦	単位	評価部位		
記与		溶接部		
m	kg	1429		
h	mm	790		
$A_{\rm HW}$	mm^2	1678. 6		
$A_{\rm VW}$	mm^2	1678. 6		
n		4		
n _{vw}		2		
L	mm	713. 3		
l	mm	1430		

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	材料	温度条件 (℃)		S y (MPa)	S u (MPa)
真正空表ガスボンズ	溶接	ボンベラック	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
向圧至糸ルヘルンハ		溶接部	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
	溶接①	ボンベラック	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
		溶接部	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
這隔空気駆動分損佐田ボンズ	溶接②	ボンベラック	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
速隔空 ス 跡動升操作用小ンパ		溶接部	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
	基礎ボルト	ボンベラック	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
		基礎ボルト	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400

表 6-15 使用材料の許容応力評価条件(1/2)

表	6 - 15	使用材料の許容応力評価条件	(2/2)
~ ~			(-, -)

	設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	材料	温度条件 (℃)		Sу (MPa)	S u (MPa)
	中央制御室待避室陽圧化装置(空 気ボンベ)(6,7 号機共用)	溶接	ボンベラック	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
			溶接部	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部) 陽圧化装置(空気ボ	対策所 空気ボ 溶接	ボンベラック	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
3	ンベ)(6,7号機共用)		溶接部	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
52	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所)陽圧化装置(空気ボ ンベ)(6,7 号機共用)	溶接	ボンベラック	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400
			溶接部	SS400 (t≦16)	周囲環境温度	40	245	400

7. 評価結果

ボンベ設備の基準地震動Ssによる地震力に対する評価結果を以下に示す。

構造強度評価及び波及的影響評価の結果,発生値は許容応力を満足しており,基準地震動Ss による地震力に対して評価部位の健全性が維持されるとともに,当該設備による波及的影響を防 止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

以上より、ボンベ設備は地震後において、基準地震動Ssによる地震力に対し、重大事故等に 対処するために必要な機能を維持するとともに当該設備による波及的影響を防止する必要がある 他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認した。

7.1 構造強度評価結果

ボンベ設備の構造強度評価結果を表 7-1 に示す。 また,ボンベラックの最大応力発生箇所を図 7-1~図 7-7 に示す。

7.2 波及的影響評価結果

ボンベ設備の波及的影響評価結果を表 7-1 に示す。

表 7-1 構造強度評価及び波及的影響評価結果

(単位	1:	MPa)
\ I I−	· ·	

設備名称	ボンベラック 支持構造	評価部位	応力分類	発生値	許容応力	評価 結果
高圧窒素ガスボ	·//	ボンベラック	組合せ	41	280	0
ンベ	俗按	溶接部	せん断	8	161	0
	溶接①	ボンベラック	組合せ	142	280	0
		溶接部	せん断	2	161	0
法阿尔尔取新会场	》 2 4 4 4 6 6 6 6 7 6 7 6 7 6 7 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7	ボンベラック	組合せ	142	280	0
速隔空気駆動井探 佐田ボンベ	俗妆	溶接部	せん断	3	161	0
		ボンベラック	組合せ	122	280	0
	基礎ボルト	甘花林子山下	引張り	20	210*	0
		を 使 小 ノレ ト	せん断	4	161	0
中央制御室待避室 陽圧化装置(空気	溶接	ボンベラック	組合せ	158	280	0
ボンベ)(6,7号機 共用)		溶接部	せん断	4	161	0
5 号機原子炉建屋 内緊急時対策所 (対策本部) 陽圧	溶接	ボンベラック	組合せ	136	280	0
 (A) 東本前 / 陽上 化装置(空気ボン べ)(6,7号機共 用) 		溶接部	せん断	7	161	0
5 号機原子炉建屋 内緊急時対策所 (待機場所) 陽圧	5 号機原子炉建屋 内緊急時対策所 (待機場所)陽圧 化装置(空気ボン べ)(6,7 号機共 用)	ボンベラック	組合せ	136	280	0
 化装置(空気ボン べ)(6,7号機共 用) 		溶接部	せん断	7	161	0

注記*: $f_{t s} = Min[1.4 \cdot f_{t o} - 1.6 \cdot \tau_{b}, f_{t o}]$

図 7-1 高圧窒素ガスボンベの最大応力発生箇所

図 7-2 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの最大応力発生箇所 (ボンベラック支持構造:溶接①) 図 7-3 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの最大応力発生箇所 (ボンベラック支持構造:溶接②)

図 7-4 遠隔空気駆動弁操作用ボンベの最大応力発生箇所 (ボンベラック支持構造:基礎ボルト)





図 7-7 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)陽圧化装置(空気ボンベ)の 最大応力発生箇所 V-2-別添 3-5 可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備の 耐震計算書

1. 棋	既要	1
2. 考	基本方針 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
2.1	配置	1
2.2	構造概要	5
2.3	評価方針	10
2.4	適用規格・基準等	16
3. 力	四振試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	17
3.1	基本方針	17
3.2	入力地震動	17
3.3	試験方法	17
3.4	試験結果	17
4. 車	云倒評価 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	25
4.1	基本方針	25
4.2	評価部位	25
4.3	許容限界	25
4.4	評価方法	25
5. 栲	幾能維持評価	26
5.1	基本方針	26
5.2	評価部位	26
5.3	許容限界	26
5.4	評価方法	26
6. 涟	皮及的影響評価	29
6.1	基本方針	29
6.2	評価部位	29
6.3	許容限界	29
6.4	評価方法	30
7. 言	平価条件	32
7.1	転倒評価	32
7.2	機能維持評価	32
7.3	波及的影響評価	32
8. 青	平価結果	34
8.1	転倒評価	34
8.2	機能維持評価	34
8.3	波及的影響評価	34
1. 概要

本資料は、V-2-別添 3-1「可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」(以下「別添 3-1」 という。)に示すとおり、可搬型重大事故等対処設備のうちその他設備が地震後において、基準 地震動Ssによる地震力に対し、十分な機能維持を有するとともに、当該設備による波及的影響 を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。そ の耐震評価は、加振試験、転倒評価、機能維持評価及び波及的影響評価により行う。なお、加振 試験結果に基づき行う転倒評価、機能維持評価及び波及的影響評価により、基準地震動Ssによ る地震力に対し、主要な構造部材に該当するスリング等が支持機能を喪失しないことを確認す る。

2. 基本方針

別添 3-1 の「2. 耐震評価の基本方針」に示す構造計画のとおり、その他設備の「2.1 配置」及び「2.2 構造概要」を示す。

2.1 配置

その他設備は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」のうち構造計画に示すとおり、表 2-1 に 示す保管場所に保管する。

•		
設備名称	保管場所	保管状態
	荒浜側高台保管場所	
スクラバ水pH制御設備用ポンプ(6,7	T. M. S. L. 37. Om	コンニナ中や末辺体
号機共用)	大湊側高台保管場所	コンケケハ拘束体官
	T. M. S. L. 35. Om	
	荒浜側高台保管場所	
水酸化ナトリウム水溶液(6,7号機共	T. M. S. L. 37. Om	コンテナ中均市但等
用)	大湊側高台保管場所	コンノノ門拘束体目
	T. M. S. L. 35. Om	
可搬型蓄電池内蔵型照明(6,7号機共	コントロール建屋	加力均古风答
用)	T. M. S. L. 17. 3m	米口狗來体官
中央制御室用乾電池内蔵型照明(ラ	コントロール建屋	収納約均市化等
ンタンタイプ)(6,7号機共用)	T. M. S. L. 17. 3m	4又前1相19不休日
5号機原子炉建屋内緊急時対策所用乾	5. 早 烨 佰 之 后 建 层	
電池内蔵型照明(ランタンタイプ)	J 万(陵)示 J 》 定座 T M S I 97 8m	収納箱拘束保管
(6,7号機共用)	1. M. O. L. 21. On	
可搬刑計測哭	コントロール建屋	収納箔拘束保管
	T. M. S. L. 17. 3m	
可搬型計測器(6,7号機共用)(予	5号機原子炉建屋	収納箱拘束保管
備)	T. M. S. L. 27. 8m	
	コントロール建屋	
放射線管理用計測装置 GM汚染サー	T. M. S. L. 17. 3m	収納箱拘束保管
ベイメータ (6,7号機共用)	5号機原子炉建屋	
	T. M. S. L. 27. 8m	
 放射線管理田計測準置 NaTシンチレ	コントロール建屋	
ーションサーベイメータ (6 7号機士	T. M. S. L. 17. 3m	収納箱拘束保管
田)	5号機原子炉建屋	
	T. M. S. L. 27. 8m	
 放射線管理用計測装置 7nSシンチレ	コントロール建屋	
ーションサーベイメータ(67号機士	T. M. S. L. 17. 3m	収納箔拘束保管
田)	5号機原子炉建屋	
, (1),	T. M. S. L. 27. 8m	
	コントロール建屋	
放射線管理用計測装置 電離箱サー	T. M. S. L. 17. 3m	収納箱拘束保管
ベイメータ (6,7号機共用)	5号機原子炉建屋	
	T. M. S. L. 27.8m	

表 2-1 設備リスト (1/3)

設備名称 保管場所 保管状態 荒浜側高台保管場所 T. M. S. L. 37. 0m 車両拘束保管 放射線管理用計測装置 可搬型モニ 大湊側高台保管場所 タリングポスト(6,7号機共用) T. M. S. L. 35. 0m 5号機原子炉建屋 収納箱拘束保管 T. M. S. L. 27.8m 荒浜側高台保管場所 T. M. S. L. 37. 0m 可搬型気象観測装置(6,7号機共用) 車両拘束保管 大湊側高台保管場所 T. M. S. L. 35. 0m 5号機原子炉建屋内緊急時対策所用 5号機原子炉建屋 本体拘束保管 差圧計(6,7号機共用) T. M. S. L. 27.8m 中央制御室用差圧計(6,7号機共 コントロール建屋 本体拘束保管 用) T. M. S. L. 17. 3m コントロール建屋 可搬型ダスト・よう素サンプラ(6,7 T. M. S. L. 17. 3m 収納箱拘束保管 号機共用) 5号機原子炉建屋 T. M. S. L. 27.8m コントロール建屋 中央制御室可搬型陽圧化空調機(ファ 架台拘束保管 ン) (6,7号機共用) T. M. S. L. 12. 3m 中央制御室可搬型陽圧化空調機(フ コントロール建屋 架台拘束保管 イルタユニット) (6,7号機共用) T. M. S. L. 12. 3m 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対 5号機原子炉建屋 策本部)可搬型陽圧化空調機(ファ 架台拘束保管 T. M. S. L. 27.8m ン) (6,7号機共用) 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対 5号機原子炉建屋 策本部)可搬型陽圧化空調機(フィ 架台拘束保管 T. M. S. L. 27.8m ルタユニット) (6,7号機共用) 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対 5号機原子炉建屋 策本部)可搬型外気取入送風機(6,7 架台拘束保管 T. M. S. L. 27.8m 号機共用) 5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待 5号機原子炉建屋 機場所)可搬型陽圧化空調機(ファ 架台拘束保管 T. M. S. L. 27.8m

表 2-1 設備リスト (2/3)

ン) (6,7号機共用)

設備名称	保管場所	保管状態
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待 機場所)可搬型陽圧化空調機(フィ ルタユニット)(6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	架台拘束保管
放射線管理用計測装置 可搬型エリ アモニタ(6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	収納箱拘束保管
小型船舶(海上モニタリング用) (6,7号機共用)	 荒浜側高台保管場所 T. M. S. L. 37. 0m 大湊側高台保管場所 T. M. S. L. 35. 0m 	本体拘束保管
無線連絡設備(可搬型)(6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	収納箱拘束保管
衛星電話設備(可搬型)(6,7号機共 用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	収納箱拘束保管
酸素濃度・二酸化炭素濃度計(6,7 号機共用)	コントロール建屋 T. M. S. L. 17. 3m	収納箱拘束保管
酸素濃度計(6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	収納箱拘束保管
二酸化炭素濃度計(6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	収納箱拘束保管
逃がし安全弁用可搬型蓄電池	原子炉建屋 T.M.S.L.4.8m	本体拘束保管
逃がし安全弁用可搬型蓄電池(6,7 号機共用)(予備)	原子炉建屋 T.M.S.L.4.8m	本体拘束保管
携带型音声呼出電話設備(携帯型音 声呼出電話機)	コントロール建屋 T. M. S. L. 17. 3m	収納箱拘束保管
携帯型音声呼出電話設備(携帯型音 声呼出電話機)(6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	収納箱拘束保管
熱交換器ユニット 代替原子炉補機 冷却系熱交換器(6,7号機共用)*	荒浜側高台保管場所 T.M.S.L.37.0m 大湊側高台保管場所 T.M.S.L.35.0m	架台拘束保管

表 2-1 設備リスト (3/3)

注記*:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を 内装するコンテナをその他設備として分類。

2.2 構造概要

その他設備の構造は、別添 3-1 の「2.1 評価対象設備」に示す収納箱拘束保管、コンテナ 内拘束保管、架台拘束保管、本体拘束保管及び車両拘束保管の構造計画としており、その他設 備の代表の構造計画を表 2-2~表 2-6 に、保管状態図を図 2-1~図 2-5 に示す。

	計画0	D概要	
設備名称	(可搬型計	説明図	
	主体構造	支持構造	
可搬型計測器*	可搬型計測器及びこれを収 納する収納箱で構成する。	可搬型計測器を収納した収 納箱は,床に基礎ボルトで 固定する。	図2-1

表2-2 その他設備の構造計画(収納箱拘束保管)

注記*:その他の設備は、表2-1参照。



	計画(つ概要	
設備名称	(スクラバ水pH制御	説明図	
	主体構造	支持構造	
スクラバ水pH制御設 備用ポンプ(6,7号機 共用)*	スクラバ水pH制御設備用ポン プ及びこれを収納するコンテ ナで構成する。	スクラバ水pH制御設備用ポン プは,コンテナ内にその保管 箱を取付ボルトで固定する。 コンテナは,地表面に固定 して保管する。	図2-2

表2-3 その他設備の構造計画(コンテナ内拘束保管)



(コンテナが基礎に固定された状態)



図2-2 スクラバ水pH制御設備用ポンプの保管状態図

	計画(の概要	
設備名称	(中央制御室可搬型陽圧化	説明図	
	主体構造	支持構造	
中央制御室可搬型 陽圧化空調機(フ ァン)(6,7号機共 用)*	中央制御室可搬型陽圧化空 調機(ファン)及び架台で 構成する。	中央制御室可搬型陽圧化空 調機(ファン)は,架台に 取付ボルトで固定する。架 台は,床に基礎ボルトで固 定する。	図2-3

表2-4 その他設備の構造計画(架台拘束保管)



図2-3 中央制御室可搬型陽圧化空調機(ファン)の保管状態図

	計画0	つ概要	
設備名称	(逃がし安全弁用す	説明図	
	主体構造	支持構造	
逃がし安全弁用可 搬型蓄電池*	逃がし安全弁用可搬型蓄電 池で構成する。	逃がし安全弁用可搬型蓄電 池は,床に基礎ボルトで固 定する。	図2-4

表2-5 その他設備の構造計画(本体拘束保管)



図2-4 逃がし安全弁用可搬型蓄電池の保管状態図

	計画0	つ概要	
設備名称	(放射線管理用計測装置 可挑	説明図	
	主体構造	支持構造	
放射線管理用計測装 置 可搬型モニタリ ングポスト(6,7号機 共用)*	放射線管理用計測装置 可搬 型モニタリングポスト及びこ れを収納する車両で構成す る。	放射線管理用計測装置 可搬 型モニタリングポストは,車 両に保管し,スリングで固縛 する。車両は,地表面に固定 せずに保管する。	図2-5

表2-6 その他設備の構造計画(車両拘束保管)



(放射線管理用計測装置 可搬型モニタリングポスト保管車両)

図2-5 放射線管理用計測装置 可搬型モニタリングポストの保管状態図

2.3 評価方針

その他設備の評価方針を以下に示し,評価方法の一覧を表 2-7 に,耐震評価フローを図 2 -6 に示す。

(1) 転倒評価

その他設備は,別添 3-1 の「2.2(3) その他設備」にて設定した転倒評価の方針に従い, 転倒評価を実施する。

その他設備の転倒評価は、「4. 転倒評価」に示す方法により、「3. 加振試験」における 加振試験にて、試験後に転倒していないことを確認し、保管場所における設置床又は地表面 の最大応答加速度と、加振試験により転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比 較を行い、許容限界を満足することを確認する。確認結果を「8. 評価結果」に示す。

(2) 機能維持評価

その他設備は,別添 3-1 の「2.2(3) その他設備」にて設定した機能維持評価の方針に従い,動的及び電気的機能並びに支持機能維持評価を実施する。

その他設備の機能維持評価は、「5. 機能維持評価」に示す方法により、「3. 加振試験」 における加振試験にて、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、試験後に 計測機能,給電機能等の動的及び電気的機能並びに支持機能を維持できることを確認した加 振台の最大加速度との比較を行い、許容限界を満足することを確認する。確認結果を「8. 評価結果」に示す。

(3) 波及的影響評価

その他設備は,別添 3-1 の「2.2(3) その他設備」にて設定した波及的影響評価の方針に 従い,波及的影響評価を実施する。

その他設備の波及的影響評価は、「6. 波及的影響評価」に示す方法により、「3. 加振試 験」における加振試験にて、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、スリ ング等が健全であり転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、許容限 界を満足することを確認する。確認結果を「8. 評価結果」に示す。

また,地盤安定性を有する屋外の保管場所に固定せずに保管する車両等に,スリング等で 拘束し保管する設備は,「6. 波及的影響評価」に示す方法により,「3. 加振試験」におけ る加振試験にて確認したその他設備の保管車両等のすべり及び傾きによる最大変位量が,許 容限界を満足することを確認する。確認結果を「8. 評価結果」に示す。



表 2-7 その他設備の評価方法(1/4)

設備名称	保管状態	転倒評価	機能維持評価	波及的影響評価	加振方向
スクラバ水 pH 制御設備用ポンプ(6,7 号機共用)	コンテナ内拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+水平(左右 方向)+鉛直」
水酸化ナトリウム水溶液(6,7号機共 用)	コンテナ内拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+水平(左右 方向)+鉛直」
可搬型蓄電池内蔵型照明(6,7号機共 用)	架台拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
中央制御室用乾電池内蔵型照明(ラン タンタイプ)(6,7号機共用)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用乾 電池内蔵型照明(ランタンタイプ) (6,7 号機共用)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
可搬型計測器	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
可搬型計測器(6,7号機共用)(予 備)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
放射線管理用計測装置 GM 汚染サー ベイメータ(6,7号機共用)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
放射線管理用計測装置 NaI シンチレ ーションサーベイメータ(6,7号機共 用)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」

表 2-7 その他設備の評価方法(2/4)

設備名称	保管状態	転倒評価	機能維持評価	波及的影響評価	加振方向
放射線管理用計測装置 ZnS シンチレ ーションサーベイメータ(6,7号機共 用)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
放射線管理用計測装置 電離箱サーベ イメータ(6,7号機共用)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
放射線管理用計測装置 可搬型モニタ	車両拘束保管				「水平(前後方向)+水平(左右 方向)+鉛直」
リングポスト(6,7 号機共用)	収納箱拘束保管	加依武鞅	加依武领	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」	
可搬型気象観測装置(6,7号機共用)	車両拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+水平(左右 方向)+鉛直」
5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用差 圧計(6,7 号機共用)	本体拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+水平(左右 方向)+鉛直」
中央制御室用差圧計(6,7号機共用)	本体拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+水平(左右 方向)+鉛直」
可搬型ダスト・よう素サンプラ(6,7 号機共用)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
中央制御室可搬型陽圧化空調機(ファ ン)(6,7号機共用)	架台拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
中央制御室可搬型陽圧化空調機(フィ ルタユニット)(6,7号機共用)	架台拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」

	表 2-7	その他設備の評価方法	(3/4)
--	-------	------------	-------

設備名称	保管状態	転倒評価	機能維持評価	波及的影響評価	加振方向
5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(対 策本部)可搬型陽圧化空調機(ファ ン)(6,7 号機共用)	架台拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対 策本部)可搬型陽圧化空調機(フィル タユニット)(6,7号機共用)	架台拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(対 策本部)可搬型外気取入送風機(6,7 号機共用)	架台拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
5 号機原子炉建屋内緊急時対策所(待 機場所)可搬型陽圧化空調機(ファ ン)(6,7 号機共用)	架台拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待 機場所)可搬型陽圧化空調機(フィル タユニット)(6,7号機共用)	架台拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
放射線管理用計測装置 可搬型エリア モニタ(6,7号機共用)	収納箱拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+鉛直」及び 「水平(左右方向)+鉛直」
小型船舶(海上モニタリング用)(6,7 号機共用)	本体拘束保管	加振試験	加振試験	加振試験	「水平(前後方向)+水平(左右 方向)+鉛直」

表 2-7	その他設備の評価方法	(4/4)
		· · ·

設備名称	保管状態	転倒評価	機能維持評価	波及的影響評価	加振方向
無線連絡設備(可搬型)(6,7号機共	収納簽均市保管	加垢對驗	加垢對廢	加垢對除	「水平(前後方向)+鉛直」及び
用)	収耐相拘保休官	加板码映	加扱訊機	刀口顶武政	「水平(左右方向)+鉛直」
衛星電話設備(可搬型)(6,7号機共	収納簽約市保勞	加垢對驗	加垢對驗	加垢對驗	「水平(前後方向)+鉛直」及び
用)	收附1相19水休目	八日11次 时代闷火	刀口加口心灵	刀口加入中气闷火	「水平(左右方向)+鉛直」
酸素濃度・二酸化炭素濃度計(6,7号	収納箔拘古保管	加垢封驗	加垢試驗	加垢試驗	「水平(前後方向)+水平(左右
機共用)	以而用的水体目	刀口加入时代	刀印放叶心夹	刀口加入中气动大	方向)+鉛直」
· 动表) 一	収納簽均市保签	加垢對驗	加垢對驗	加垢對驗	「水平(前後方向)+鉛直」及び
政糸侲皮訂(0,1 万悈六川)	収附1相191米1本目	川北武政	川水武家	刀口11公司八词央	「水平(左右方向)+鉛直」
一 融化出表濃度計(67-日燃井田)	収納簽均市保签	加垢對驗	加垢對驗	加垢對驗	「水平(前後方向)+鉛直」及び
一敢 [[灰茶儀及訂 (0,75 儀共用)	収納相拘果保官	/川川水 武利明史	刀口11公司八词矢	刀口加及时代视天	「水平(左右方向)+鉛直」
北がし左合会田司柳刑芸雪油	木体均古纪签	加垢對除	加垢對驗	加坡對驗	「水平(前後方向)+鉛直」及び
処かし女主介用可服主量电池	平平的木木目	八日11次 时代阅失	刀口加口心灵	刀口加入中心闷火	「水平(左右方向)+鉛直」
逃がし安全弁用可搬型蓄電池(6,7号	木体均市但签	加振對廢	加长学校		「水平(前後方向)+鉛直」及び
機共用) (予備)	平平拘束休官	加板码映	加扱訊	刀口顶武领	「水平(左右方向)+鉛直」
携带型音声呼出電話設備(携帯型音声	山如然均主伊德	加振對廢	加长学校		「水平(前後方向)+鉛直」及び
呼出電話機)	収附1相191米1本目	川北武政	川水武家	刀口11公司八词央	「水平(左右方向)+鉛直」
携带型音声呼出電話設備(携帯型音声	山油签为古伊签	┶┓╆═╧╆╒╤			「水平(前後方向)+水平(左右
呼出電話機) (6,7号機共用)	4又利1相19月末1末官	川北区武陵	川口区武陵	7月111111111111111111111111111111111111	方向)+鉛直」
熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷	加力均声但答	加垢對於	加垢對醉	加卡社路	「水平(前後方向)+水平(左右
却系熱交換器(6,7号機共用)	米口	川饭码映	川瓜可以	川山灰武陵	方向)+鉛直」

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。

- (1) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)
- (2) 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)

3. 加振試験

3.1 基本方針

別添 3-1 の「4.3(1) 加振試験」にて設定した基本方針に従い,加振試験を実施する。 加振試験は,以下の「3.2 入力地震動」に示す入力地震動を用いて,「3.3 試験方法」に 示す方法により,「4. 転倒評価」,「5. 機能維持評価」及び「6. 波及的影響評価」に用い る加振台の最大加速度及び「6. 波及的影響評価」に用いるその他設備の保管車両等の最大変 位量を求める。

3.2 入力地震動

入力地震動は、V-2-別添 3-2「可搬型重大事故等対処設備の保管場所における入力地震動」に示す、荒浜側高台保管場所及び大湊側高台保管場所の Ss-1~7 並びに 5 号機東側保管場所及び 5 号機東側第二保管場所の Ss-1~8 の地震動を用いて、V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に基づき作成する設計用床応答曲線をおおむね上回るよう作成したランダム波とする。

加振試験の入力地震動は、全ての保管場所における入力地震動を各対象設備の固有周期帯において上回り、かつ周期全体としておおむね上回るように設定する。

3.3 試験方法

その他設備を実際の保管状態を模擬した状態で加振台に設置し、「3.2 入力地震動」に示す ランダム波を入力地震動として加振試験を行い、スリング等が健全であり加振試験後に転倒し ていないこと、加振台の最大加速度、その他設備の保管車両等の最大変位量を確認する。 また、加振試験は水平方向と鉛直方向の同時入力にて行う。

・加 振 波: 「3.2 入力地震動」にて設定したランダム波

 ・加振方向:「水平(前後方向)+鉛直」及び「水平(左右方向)+鉛直」又は「水平(前後 方向)+水平(左右方向)+鉛直」
 加振波の最大加速度と加振台の制限加速度の関係上,2軸加振及び3軸加振の 使い分けを行うこととし、各対象設備の加振方向については、表2-7に示す。

3.4 試験結果

加振試験により得られた結果を表 3-1 に示す。

表 3-1 加振試験結果(1/7)

設備名称	保管場所	保管状態 有無		 転倒の 有無 		その他設備の保管車両等の 最大変位量 (mm)	
				水平	鉛直	前後方向	左右方向
スクラバ水 nH 制御設備	荒浜側高台保管場所						
田ポンプ (67 早機出	T. M. S. L. 37. Om	コンテナ内均市保管	柵	1 02	0 33		
用い (0,1万候来	大湊側高台保管場所	コンノノア加州本体目		1.02	2.00		
用)	T. M. S. L. 35. Om						
	荒浜側高台保管場所						
水酸化ナトリウム水溶液	T. M. S. L. 37. Om	一、二、上中七十四次	/mr	1 00	0.00		
(6,7 号機共用)	大湊側高台保管場所	コンナナ内拘束保官	***	1.02	2.33	_	—
	T. M. S. L. 35. Om						
可搬型蓄電池内蔵型照明	コントロール建屋	加力均支促黨	ÁTT.	9.15	1 49		
(6,7号機共用)	T. M. S. L. 17. 3m	朱口拘果休官	無	2.15	1.43		
中央制御室用乾電池内蔵							
型照明(ランタンタイ		収納箱拘束保管	無	2.15	1.43	—	—
プ)(6,7号機共用)	1. M. S. L. 17. 3m						
5号機原子炉建屋内緊急							
時対策所用乾電池内蔵型	5号機原子炉建屋	电始体抬手但然	/mr.	0.15	1 40		
照明(ランタンタイプ)	T. M. S. L. 27.8m	収納相拘束係官	無	2.15	1.43		
(6,7号機共用)							
可搬型計測器	コントロール建屋 T. M. S. L. 17. 3m	収納箱拘束保管	無	2.15	1.43	_	—

表 3-1 加振試験結果(2/7)

設備名称	保管場所	保管状態	保管状態 有無		転倒の 有無 加振台の最大加速度 (×9.8m/s ²)		その他設備の保管車両等の 最大変位量 (mm)	
				水平	鉛直	前後方向	左右方向	
可搬型計測器(6,7号機	5号機原子炉建屋	原始签指主用签	4117-	9 15	1 49			
共用) (予備)	T. M. S. L. 27.8m	收附相的来休官	***	2.15	1.40			
七年治济中田学家主要	コントロール建屋							
风州禄官理用司侧表直 CM 汪池井, ベイオ、ク	T. M. S. L. 17. 3m	四她然为古伊答	ÁTT.	9.15	1 49			
	5号機原子炉建屋	収附相拘束体官	収納箱拘束保官 無		1.43		—	
(0,1 亏饿共用)	T. M. S. L. 27. 8m							
放射線管理用計測装置	コントロール建屋							
NaI シンチレーションサ	T.M.S.L.17.3m	四她答为古伊答	400-	9 15	1 49			
ーベイメータ(6,7 号機	5号機原子炉建屋	収附相拘束体官	***	2.15 1.4	1.43 —	—		
共用)	T. M. S. L. 27.8m							
放射線管理用計測装置	コントロール建屋							
ZnS シンチレーションサ	T. M. S. L. 17. 3m	四她然为古伊答	ÁTT.	9.15	1 49			
ーベイメータ(6,7 号機	5号機原子炉建屋	収約相拘來休官	羔	2.15	1.43	—	—	
共用)	T. M. S. L. 27.8m							
步时海滨油田雪河东带	コントロール建屋							
瓜 初 献 目 垤 用 司 側 表 直 電 離 笠 み 二 ベ イ ノ 二 ク	T.M.S.L.17.3m	四如容护声伊答	细花	9 15	1 40	_	_	
	5号機原子炉建屋	以附相拘水休官	赤	2.10	1.43	—		
(0,1万悈共用)	T. M. S. L. 27.8m							

表 3-1 加振試験結果(3/7)

設備名称	保管場所	保管状態	転倒の 有無	加振台の f (×9.8	曼大加速度 8m/s ²)	その他設備の 最大3 (m	保管車両等の 変位量 m)	
				水平	鉛直	前後方向	左右方向	
	荒浜側高台保管場所							
拔射線签理田計測装置	T. M. S. L. 37. Om	甫而拘古但答	柵	1 00	2 28	850	2675	
成初 林 目	大湊側高台保管場所	平间的水体目		1.00	2.20	000	2013	
り (G 7 - 日本 世田)	T. M. S. L. 35. Om							
下(0,1万(波兴用)	5号機原子炉建屋	収如效均再但符	400-	9.90	1 56			
	T. M. S. L. 27.8m	収剂相拘水木官	無	2.30	1. 00	_	_	
	荒浜側高台保管場所							
可搬型気象観測装置	T. M. S. L. 37. Om	古玉竹古石笠	ÁTTT.	1 00	0.00	050	0675	
(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	単 凹拘床床官	兼	1.00	2.28	850	2675	
	T. M. S. L. 35. Om							
5号機原子炉建屋内緊急	「县地百乙后建民							
時対策所用差圧計(6,7	3万悈原丁炉建屋	本体拘束保管	無	2.30	1.49	—	—	
号機共用)	1. M. S. L. 27. 8m							
中央制御室用差圧計	コントロール建屋	十十十十十四位	ám.	0.00	1 40			
(6,7号機共用)	T. M. S. L. 17. 3m	平 仲 拘 宋 休 官	黑	2.30	1.49			
	コントロール建屋							
可搬型ダスト・よう素サ	T. M. S. L. 17. 3m	山如然也古伊楚	ÁTT.	9.15	1 49			
ンプラ(6,7 号機共用)	5号機原子炉建屋	収約相拘果沐官	悪	2.15	1.43			
	T. M. S. L. 27.8m							

表 3-1 加振試験結果(4/7)

設備名称	保管場所	保管状態	転倒の 有無	加振台の f (×9.8	是大加速度 Sm/s ²)	その他設備の 最大変 (m	保管車両等の E位量 m)
				水平	鉛直	前後方向	左右方向
中央制御室可搬型陽圧化 空調機(ファン)(6,7号 機共用)	コントロール建屋 T. M. S. L. 12. 3m	架台拘束保管	嶣	2.26	1.55	_	—
中央制御室可搬型陽圧化 空調機(フィルタユニッ ト)(6,7号機共用)	コントロール建屋 T. M. S. L. 12. 3m	架台拘束保管	熊	2.26	1.55	_	_
5 号機原子炉建屋内緊急 時対策所(対策本部)可 搬型陽圧化空調機(ファ ン)(6,7 号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	架台拘束保管	巣	2.26	1.55	_	_
5 号機原子炉建屋内緊急 時対策所(対策本部)可 搬型陽圧化空調機(フィ ルタユニット)(6,7 号 機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	架台拘束保管	兼	2.26	1.55		
5 号機原子炉建屋内緊急 時対策所(対策本部)可 搬型外気取入送風機 (6,7 号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	架台拘束保管	無	2.26	1.55		_

表 3-1 加振試験結果(5/7)

設備名称	保管場所	保管状態 転f		か振台の最大加速度 (×9.8m/s ²)		その他設備の 最大羽 (m	保管車両等の 変位量 m)
				水平	鉛直	前後方向	左右方向
5 号機原子炉建屋内緊急 時対策所(待機場所)可 搬型陽圧化空調機(ファ ン)(6,7 号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	架台拘束保管	無	2.26	1.55	_	
5 号機原子炉建屋内緊急 時対策所(待機場所)可 搬型陽圧化空調機(フィ ルタユニット)(6,7 号 機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	架台拘束保管	無	2.26	1.55	_	
放射線管理用計測装置 可搬型エリアモニタ (6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	収納箱拘束保管	嶣	2.22	1.60	_	_
小型船舶(海上モニタリ ング用)(6,7号機共 用)	荒浜側高台保管場所 T.M.S.L.37.0m 大湊側高台保管場所 T.M.S.L.35.0m	本体拘束保管	熊	0.99	2.27	230	260

表 3-1 加振試験結果(6/7)

設備名称	保管場所	保管状態	転倒の 有無	加振台の (×9.)	最大加速度 8m/s ²)	その他設備の 最大3 (m	保管車両等の 変位量 m)
				水平	鉛直	前後方向	左右方向
無線連絡設備 (可搬型)	5号機原子炉建屋	収納容均市保管	毎	2 15	1 49		
(6,7号機共用)	T. M. S. L. 27.8m	收附相拘束体官	***	2.10	1.40		
衛星電話設備(可搬型)	5号機原子炉建屋	加油效均由促药	细	9.15	1 49		
(6,7 号機共用)	T. M. S. L. 27.8m	收附相列来休官	***	2.10	1.40		
酸素濃度・二酸化炭素濃	コントロール建屋	加油效均由促药	细	2.05	1 97		
度計(6,7号機共用)	T. M. S. L. 17. 3m	收附相拘束体官		2.03	1.07		
酸素濃度計(6,7号機共	5号機原子炉建屋	加油效均由促药	细	9.15	1 49		
用)	T. M. S. L. 27.8m	收附相列来休官	***	2.10	1.40		
二酸化炭素濃度計(6,7	5号機原子炉建屋	加油效均由促药	细	9.15	1 49		
号機共用)	T. M. S. L. 27.8m	收附相列来休官	***	2.10	1.40		
逃がし安全弁用可搬型蓄	原子炉建屋	卡休均市保管	细	9.15	1 49		
電池	T.M.S.L.4.8m	~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	***	2.10	1.40		
逃がし安全弁用可搬型蓄 電池(6,7号機共用) (予備)	原子炉建屋 T.M.S.L.4.8m	本体拘束保管	無	2. 15	1. 43		

表 3-1 加振試験結果(7/	(7)	
-------------------	-----	--

設備名称	保管場所	保管状態	転倒の 有無	加振台の (×9.3	最大加速度 8m/s ²)	その他設備の 最大函 (n	保管車両等の 変位量 m)
				水平	鉛直	前後方向	左右方向
携帯型音声呼出電話設備 (携帯型音声呼出電話 機)	コントロール建屋 T. M. S. L. 17. 3m	収納箱拘束保管	無	2. 15	1. 43	_	_
携帯型音声呼出電話設備 (携帯型音声呼出電話 機)(6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	収納箱拘束保管	無	1.98	1.37		_
熱交換器ユニット 代替 原子炉補機冷却系熱交換 器(6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所 T.M.S.L.37.0m 大湊側高台保管場所 T.M.S.L.35.0m	架台拘束保管	無	0.98*1	2. 32*1	740^{*2}	1070*2

注記*1 : 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナ2つのうち,加振台の最大加 速度が最も小さい熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナの結果を示 す。

*2:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナ2つのうち,最大変位量が最 も大きい熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナの結果を示す。

- 4. 転倒評価
- 4.1 基本方針

その他設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、転倒評価を実施する。

その他設備の転倒評価は、「4.2 評価部位」に示す評価部位が、「4.3 許容限界」に示す許 容限界を満足することを、「4.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

4.2 評価部位

転倒評価の評価部位は,別添 3-1 の「3.2 許容限界」にて設定したとおり,地震後に転倒 していないことが要求されるその他設備全体とする。

4.3 許容限界

許容限界は、「4.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所における設置床又は地表面 の最大応答加速度が、加振試験によりスリング等が健全であり転倒しないことを確認した加振 台の最大加速度以下であることとする。

4.4 評価方法

その他設備の転倒評価は、別添 3-1 の「4.3(2) 転倒評価」にて設定した評価方法に従い、 保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における加振試験 にて転倒しないことを確認した加振台の最大加速度との比較を行い、水平方向と鉛直方向の比 較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

5. 機能維持評価

5.1 基本方針

その他設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、機能維持評価 を実施する。

その他設備の機能維持評価は、「5.2 評価部位」に示す評価部位が、「5.3 許容限界」に示 す許容限界を満足することを、「5.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

5.2 評価部位

機能維持評価の評価部位は,別添 3-1 の「2.2 評価方針」に示す確認方法を踏まえて,地 震後に計測機能,給電機能等の動的及び電気的機能並びにスリング等の支持機能を維持できる ことが要求される機器全体とする。

5.3 許容限界

許容限界は,「5.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所における設置床又は地表面 の最大応答加速度が,加振試験により動的及び電気的機能並びに支持機能が維持されることを 確認した加振台の最大加速度以下であることとする。

5.4 評価方法

その他設備の機能維持評価は、別添 3-1 の「4.3(3) 機能維持評価」にて設定した評価方法 に従い、保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と、「3. 加振試験」における 加振試験にて得られた、表 5-1 に示す機能維持確認項目を確認した加振台の最大加速度との 比較を行い、水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

設備名称	機能維持確認項目
スクラバ水 pH 制御設備用ポンプ(6,7号	
機共用)	nHの制御が可能なこと
水酸化ナトリウム水溶液(6,7号機共	
用)	
可搬型蓄電池内蔵型照明(6,7号機共	昭明が占くこと
用)	
中央制御室用乾電池内蔵型照明(ランタ	昭明が点くこと
ンタイプ) (6,7 号機共用)	
5号機原子炉建屋内緊急時対策所用乾電	
池内蔵型照明(ランタンタイプ)(6,7号	照明が点くこと
機共用)	
可搬型計測器	電力供給ができ、出力を計測できること
可搬型計測器(6,7号機共用)(予備)	
放射線管理用計測装置 GM 汚染サーベイ	 放射性物質濃度の計測が可能なこと
メータ(6,7号機共用)	
放射線管理用計測装置 NaI シンチレー	 放射性物質濃度の計測が可能なこと
ションサーベイメータ(6,7号機共用)	
放射線管理用計測装置 ZnS シンチレー	放射性物質濃度の計測が可能なこと
ションサーベイメータ(6,7号機共用)	
放射線管理用計測装置電離箱サーベイ	放射性物質濃度の計測が可能なこと
メータ (6,7号機共用)	
放射線管理用計測装置 可搬型モニタリ	放射線量の計測が可能なこと
ンクホスト(6,7号機共用)	
可搬型気象観測装置(6,7号機共用)	気象条件の計測が可能なこと
5 号磯原子炉建屋内緊急時対策所用差上	差圧の計測が可能なこと
計(6,7 号機共用)	
中央制御圣用差上計(6,7号機共用)	差圧の計測か可能なこと
可	空気中の放射性物質の採取が可能なこと
機共用)	
□ 甲央制御室 可 雅型陽上化 空 調 機 (ファ 、)、 (c, c, c	
ン)(b,(風量が流れること
中央制御室可搬型陽圧化空調機(フィル カーーー)(2月日秋川田)	
タユニット) (6,7号機共用)	

表 5-1 その他設備の機能維持確認項目(1/2)

設備名称	機能維持確認項目
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策	
本部)可搬型陽圧化空調機(ファン)	
(6,7号機共用)	日見が広わててい
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策	風重が流れること
本部)可搬型陽圧化空調機(フィルタユ	
ニット) (6,7号機共用)	
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策	
本部)可搬型外気取入送風機(6,7号機	風量が流れること
共用)	
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機	
場所)可搬型陽圧化空調機(ファン)	
(6,7号機共用)	風景が流れること
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機	
場所)可搬型陽圧化空調機(フィルタユ	
ニット) (6,7 号機共用)	
放射線管理用計測装置 可搬型エリアモ	放射線量の計測が可能なこと
ニタ (6,7 号機共用)	
小型船舶(海上モニタリング用)(6,7号	水上での走行が可能たこと
機共用)	
無線連絡設備(可搬型)(6,7号機共用)	発信・着信ができ通話が可能なこと
衛星電話設備(可搬型)(6,7号機共用)	発信・着信ができ通話が可能なこと
酸素濃度・二酸化炭素濃度計(6,7号機	酸素濃度及び二酸化炭素濃度の計測が可能なこと
共用)	■ 酸素液及及0
酸素濃度計(6,7号機共用)	酸素濃度の計測が可能なこと
二酸化炭素濃度計(6,7号機共用)	二酸化炭素濃度の計測が可能なこと
逃がし安全弁用可搬型蓄電池	
逃がし安全弁用可搬型蓄電池(6,7号機	主蒸気逃がし安全弁用電磁弁への給電が可能なこと
共用)(予備)	
携带型音声呼出電話設備	
(携帯型音声呼出電話機)	発信・差信ができ通話が可能なこと
携带型音声呼出電話設備(携帯型音声呼	
出電話機) (6,7号機共用)	
熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却	除執ができること
系熱交換器(6,7号機共用)	

表 5-1 その他設備の機能維持確認項目(2/2)

- 6. 波及的影響評価
- 6.1 基本方針

その他設備は、別添 3-1 の「2.2 評価方針」にて設定した評価方針に従い、当該設備によ る波及的影響を防止する必要がある他の設備への波及的影響評価を実施する。

その他設備の波及的影響評価は、「6.2 評価部位」に示す評価部位が、「6.3 許容限界」に 示す許容限界を満足することを、「6.4 評価方法」に示す方法を用いて評価を行う。

6.2 評価部位

波及的影響評価の評価部位は、別添 3-1 の「3.2 許容限界」にて設定したとおり、その他 設備全体とする。

6.3 許容限界

許容限界は、「6.2 評価部位」にて設定した評価部位の保管場所における設置床又は地表面 の最大応答加速度が、加振試験によりスリング等の支持機能が維持されることを確認した加振 台の最大加速度以下であることとする。

また,地盤安定性を有する屋外の保管場所に固定せずに保管する車両等に,スリング等で拘 束し保管する設備は,別添 3-1 の「3.2(3)c. 波及的影響評価」にて設定した許容限界に従 い,他の設備との離隔距離について,その他設備の加振試験にて確認した最大変位量を基に, 保管車両等1台当たりについて表6-1の値を許容限界とする。

なお,実際の保管車両等の配置に必要となる間隔については,隣り合う設備の離隔距離の合 算値以上とする。 表 6-1 加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた保管車両等1台当たりの離隔距離

(単位:mm)

	化答坦正	離隔距離		
武川市石 小	休官场内	前後方向	左右方向	
	荒浜側高台保管場所			
放射線管理用計測装置 可搬型モ	T. M. S. L. 37. Om	9700	2700	
ニタリングポスト(6,7 号機共用)	大湊側高台保管場所	2700	2700	
	T. M. S. L. 35. Om			
	荒浜側高台保管場所			
可搬型気象観測装置(6,7号機共	T. M. S. L. 37. Om	2700	2700	
用)	大湊側高台保管場所	2700	2100	
	T. M. S. L. 35. Om			
	荒浜側高台保管場所			
小型船舶(海上モニタリング用)	T. M. S. L. 37. Om	1600	1600	
(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	1000	1000	
	T. M. S. L. 35. Om			
	荒浜側高台保管場所			
熱交換器ユニット 代替原子炉補	T. M. S. L. 37. Om	1600	1600	
機冷却系熱交換器(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	1000	1000	
	T. M. S. L. 35. Om			

6.4 評価方法

その他設備の波及的影響評価は,別添 3-1 の「4.3(4) 波及的影響評価」にて設定した評価 方法に従い,保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度と,「3. 加振試験」にお ける加振試験にてスリング等の支持機能が維持されることを確認した加振台の最大加速度との 比較を行い,水平方向と鉛直方向の比較結果がそれぞれ許容限界以下であることを確認する。

また,地盤安定性を有する屋外の保管場所に固定せずに保管する車両等に,スリング等で拘 束し保管する設備の波及的影響評価は,別添 3-1 の「4.3(4) 波及的影響評価」にて設定した 評価方法に従い,「3. 加振試験」における加振試験にて得られた,その他設備の保管車両等 のすべり及び傾きによる変位量の合算値から求めたその他設備の保管車両等の最大変位量が, 許容限界以下であることを確認する。

地震時におけるその他設備の保管車両等のすべり量の算出については「(1) すべり量」 に、地震時におけるその他設備の保管車両等の傾きによる変位量の算出については「(2) 傾 きによる変位量」に、最大変位量の算出については「(3) 最大変位量」に示す。

(1) すべり量

すべり量については、その他設備の保管車両等の加振試験により確認したすべり量のう ち、最も大きいすべり量を使用する。 (2) 傾きによる変位量

傾きによる変位量については、その他設備の保管車両等の加振試験で得られた傾き角のうち、最も大きい値を用いて算出する。

また,波及的影響として評価すべき傾きによる変位量を表した図を図 6-1 に示し,使用 する記号を表 6-2 に示す。

なお,地震による前後方向への傾きはほとんど無視できるため,前後方向への傾きによる 変位量は評価しない。

傾きによる変位量については、以下の関係式により示される。

 $X = h \cdot s \ i \ n \ \theta \qquad (6.1)$

記号	単位	記号の説明
h	mm	保管車両等高さ
Х	mm	傾きによる変位量
θ	0	傾き角

表 6-2 波及的影響評価に使用する記号



(3) 最大変位量

「(1) すべり量」にて設定したすべり量に、「(2) 傾きによる変位量」により算出される 傾きによる変位量を加算した値を最大変位量と定義し、最大変位量が「6.3 許容限界」にて 設定した離隔距離未満であることを波及的影響評価として確認する。

- 7. 評価条件
- 7.1 転倒評価

その他設備の転倒評価は、「4. 転倒評価」に示す評価方法に従い、保管場所における設置 床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験によりスリング等が健全であり転倒しないことを 確認した加振台の最大加速度以下であることにより確認するものであり、転倒しないことを確 認するために個別に設定する評価条件はない。

比較対象となる保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度は,評価結果と併せて 表 8-1 に示す。

7.2 機能維持評価

その他設備の機能維持評価は、「5. 機能維持評価」に示す評価方法に従い、保管場所にお ける設置床又は地表面の最大応答加速度が、加振試験により計測機能、給電機能等の動的及び 電気的機能並びにスリング等の支持機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下 であることにより確認するものであり、機能維持を確認するために個別に設定する評価条件は ない。

比較対象となる保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度は,評価結果と併せて 表 8-1 に示す。

7.3 波及的影響評価

「6. 波及的影響評価」に用いる評価条件を表 7-1 に示す。

設備名称	保管状態	保管場所	h	θ	Х
			(mm)	(°)	(mm)
廿射線管理田計測 七署		荒浜側高台保管場所		18	965
成 初 献 目 垤 巾 巾 側 表 直 可 枷 刑 エ ー タ リ ン グ ポ	車両拘束保管	T. M. S. L. 37. Om	2190		
り 微空 モーク リンク か フト (67		大湊側高台保管場所	3120		
^ ト (0, / 方機共用)		T. M. S. L. 35. Om			
	車両拘束保管	荒浜側高台保管場所		18	965
可搬型気象観測装置		T. M. S. L. 37. Om	2100		
(6,7号機共用)		大湊側高台保管場所	3120		
		T. M. S. L. 35. Om			
小刑叭的(海上エーカ		荒浜側高台保管場所		2	70
小室加加(伊工てーク	本体拘束保管	T. M. S. L. 37. Om	2000		
リンク用)(0,1 万機共		大湊側高台保管場所	2000		
円)		T. M. S. L. 35. Om			
熱交換器ユニット 代	架台拘束保管	荒浜側高台保管場所		1	70
替原子炉補機冷却系熱		T. M. S. L. 37. Om	1000		
交換器(6,7号機共		大湊側高台保管場所	4000		
用)*		T. M. S. L. 35. Om			

表 7-1 傾きによる変位量

注記*:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を 内装するコンテナ2つのうち,最大変位量が最も大きい熱交換器ユニット 代替原子炉補 機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナの結果を示す。

8. 評価結果

その他設備の基準地震動Ssによる地震力に対する評価結果を以下に示す。

転倒評価の結果,保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が,加振試験により転 倒しないことを確認した加振台の最大加速度以下であり,転倒しないことを確認した。また,加 振試験後にスリング等が健全であることを確認した。

機能維持評価の結果,保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が,加振試験により動的及び電気的機能並びに支持機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であり,基準地震動Ssによる地震力に対し,機能が維持されることを確認した。

波及的影響評価の結果,保管場所における設置床又は地表面の最大応答加速度が,加振試験に よりスリング等の支持機能を維持できることを確認した加振台の最大加速度以下であり,当該設 備による波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを確認 した。また,その他設備の保管車両等の最大変位量については,設定した許容限界(離隔距離) 未満であり,波及的影響を防止する必要がある他の設備に対して波及的影響を及ぼさないことを 確認した。

以上より,その他設備は地震後において,基準地震動Ssによる地震力に対し,重大事故等に 対処するために必要な機能を維持するとともに波及的影響を防止する必要がある他の設備に対し て波及的影響を及ぼさないことを確認した。

8.1 転倒評価

その他設備の転倒評価結果を表 8-1 に示す。

8.2 機能維持評価

その他設備の機能維持評価結果を表 8-1 に示す。

8.3 波及的影響評価

その他設備の波及的影響評価結果を表 8-1~表 8-3 に示す。

表 8-1 転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価結果(1/8)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の 最大加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³	波及的影響 評価結果
	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.02	0	0	0
スクラバ水pH制御設備用	T. M. S. L. 37. Om						
ポンプ(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.33	0	0	0
	T. M. S. L. 35. Om						
水酸化ナトリウム水溶液 (6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所	水平	0.93	1.02	0	0	0
	T.M.S.L.37.0m						
	大湊側高台保管場所	鉛直	1.77	2.33	0	0	0
	T. M. S. L. 35. Om						
可搬型蓄電池内蔵型照明	コントロール建屋	水平	1.57	2.15	0	0	0
(6,7号機共用)	T. M. S. L. 17. 3m	鉛直	0.96	1.43	0	0	\bigcirc
中央制御室用乾電池内蔵	コントロール建屋	水平	1.37	2.15	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
型照明(ランタンタイ							
プ)(6,7号機共用)	1. M. S. L. 17. 5m	鉛直	0.93	1.43	0	0	0
5号機原子炉建屋内緊急時		水平	1.08	2.15	0	0	0
対策所用乾電池内蔵型照	5号機原子炉建屋						
明 (ランタンタイプ)	T. M. S. L. 27.8m		0.04	1 40	\bigcirc		
(6,7号機共用)		町回	0.94	1.43	0		U

注記*1:地震応答解析により求めた設置床又は地表面の最大応答加速度。

*2 :加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3 :加振試験後の動的及び電気的機能並びに支持機能の確認を含む。

表 8-1 転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価結果(2/8)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の 最大加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³	波及的影響 評価結果
可搬型計測器	コントロール建屋	水平	1.37	2.15	0	0	0
	T. M. S. L. 17. 3m	鉛直	0.93	1.43	0	0	\bigcirc
可搬型計測器(6,7号機共	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.15	0	0	0
用)(予備)	T. M. S. L. 27. 8m	鉛直	0.94	1.43	0	0	0
放射線管理用計測装置 GM汚染サーベイメータ (6,7号機共用)	コントロール建屋 T. M. S. L. 17. 3m	水平	1. 37	2.15	0	0	0
	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	鉛直	0.94	1.43	0	0	0
放射線管理用計測装置 NaIシンチレーションサー	コントロール建屋 T. M. S. L. 17. 3m	水平	1.37	2.15	0	0	0
ベイメータ(6,7号機共 用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	鉛直	0.94	1.43	0	0	0
放射線管理用計測装置 ZnSシンチレーションサー	コントロール建屋 T. M. S. L. 17. 3m	水平	1. 37	2.15	0	0	0
ベイメータ(6,7号機共 用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	鉛直	0.94	1.43	0	0	0

注記*1:地震応答解析により求めた設置床又は地表面の最大応答加速度。

*2:加振試験により計測された加振台の最大加速度。

36

*3:加振試験後の動的及び電気的機能並びに支持機能の確認を含む。
表 8-1 転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価結果(3/8)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の 最大加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³	波及的影響 評価結果
放射線管理用計測装置	コントロール建屋 T. M. S. L. 17. 3m	水平	1.37	2.15	0	0	0
电融相 y =>>> y =>> (6,7号機共用)	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	鉛直	0.94	1.43	0	0	0
	荒浜側高台保管場所 T.M.S.L.37.0m	水平	0.93	1.00	0	0	_
放射線管理用計測装置 可搬型モニタリングポス	大湊側高台保管場所 T.M.S.L.35.0m	鉛直	1.77	2.28	0	0	
ト (6,7号機共用)	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.30	0	0	0
	T. M. S. L. 27800mm	鉛直	0.94	1.56	0	0	0
可搬型気象観測装置(6,7 号機共用)	荒浜側高台保管場所 T.M.S.L.37.0m	水平	0.93	1.00	0	0	_
	大湊側高台保管場所 T.M.S.L.35.0m	鉛直	1.77	2.28	0	0	_

注記*1:地震応答解析により求めた設置床又は地表面の最大応答加速度。

*2 :加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3 :加振試験後の動的及び電気的機能並びに支持機能の確認を含む。

表 8-1 転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価結果(4/8)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の 最大加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³	波及的影響 評価結果
5号機原子炉建屋内緊急時	5号機原子炉建屋	水平	1.18	2.30	0	0	0
对录所用 <u>定</u> 上訂(0,75機 共用)	T. M. S. L. 27.8m	鉛直	0.97	1.49	0	0	0
中央制御室用差圧計(6,7	コントロール建屋	水平	1.57	2.30	0	0	0
号機共用)	T. M. S. L. 17. 3m	鉛直	0.96	1.49	0	0	0
	コントロール建屋	水亚	1.97	2 15	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
可搬型ダスト・よう素サ	T. M. S. L. 17. 3m	小十	1. 57	2.15	0	0	0
ンプラ(6,7号機共用)	5号機原子炉建屋	鉛直	0.94	1, 43	\bigcirc	\bigcirc	\bigcirc
	T. M. S. L. 27.8m		0.01	1. 10			0
中央制御室可搬型陽圧化	コントロール建屋	水平	1.27	2.26	0	0	0
空調機(ファン)(6,7号機 共用)	T. M. S. L. 12. 3m	鉛直	0.91	1.55	0	0	0
中央制御室可搬型陽圧化	コントロール建屋	水平	1.27	2.26	0	0	0
空調磯(フィルタユニッ ト)(6,7号機共用)	T. M. S. L. 12. 3m	鉛直	0.91	1.55	0	0	0

注記*1:地震応答解析により求めた設置床又は地表面の最大応答加速度。

*2 :加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3:加振試験後の動的及び電気的機能並びに支持機能の確認を含む。

表 8-1 転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価結果(5/8)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の 最大加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³	波及的影響 評価結果
5号機原子炉建屋内緊急時 対策所(対策本部)可搬	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.26	0	0	0
型陽圧化空調機(ファ ン)(6,7号機共用)	T. M. S. L. 27. 8m	鉛直	0.94	1.55	0	0	0
5号機原子炉建屋内緊急時 対策所(対策本部)可搬	5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	水平	1.08	2.26	0	0	0
型陽圧化空調機(フィル タユニット)(6,7号機共 用)		鉛直	0.94	1.55	0	0	0
5号機原子炉建屋内緊急時 対策所(対策本部)可搬	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2. 26	0	0	0
型外気取入送風機(6,7号 機共用)	T.M.S.L.27.8m	鉛直	0.94	1.55	0	0	0
5号機原子炉建屋内緊急時 対策所(待機場所)可搬	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.26	0	0	0
型陽圧化空調機(ファ ン)(6,7号機共用)	T. M. S. L. 27. 8m	鉛直	0.94	1.55	0	0	0

注記*1:地震応答解析により求めた設置床又は地表面の最大応答加速度。

*2 :加振試験により計測された加振台の最大加速度。

39

*3 :加振試験後の動的及び電気的機能並びに支持機能の確認を含む。

表 8-1 転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価結果(6/8)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の 最大加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³	波及的影響 評価結果
5号機原子炉建屋内緊急時 対策所(待機場所)可搬	5号楼原子炉建屋	水平	1.08	2.26	0	0	0
型陽圧化空調機(フィル タユニット)(6,7号機共 用)	T. M. S. L. 27. 8m	鉛直	0.94	1.55	0	0	0
放射線管理用計測装置	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.22	0	0	0
可搬型エリアモニタ (6,7 号機共用)	T. M. S. L. 27.8m	鉛直	0.94	1.60	0	0	0
小型船舶(海上モニタリ	荒浜側高台保管場所 T.M.S.L.37.0m	水平	0.93	0.99	0	0	_
ング用)(6,7号機共用)	大湊側高台保管場所 T.M.S.L.35.0m	鉛直	1.77	2.27	0	0	_
無線連絡設備(可搬型)	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.15	0	0	0
(6,7号機共用)	T. M. S. L. 27. 8m	鉛直	0.94	1.43	\bigcirc	0	0
衛星電話設備(可搬型)	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.15	\bigcirc	0	0
(6,7号機共用)	T. M. S. L. 27. 8m	鉛直	0.94	1.43	0	0	0

注記*1:地震応答解析により求めた設置床又は地表面の最大応答加速度。

*2:加振試験により計測された加振台の最大加速度。

40

*3:加振試験後の動的及び電気的機能並びに支持機能の確認を含む。

表 8-1 転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価結果(7/8)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の 最大加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³	波及的影響 評価結果
酸素濃度・二酸化炭素濃	コントロール建屋	水平	1.37	2.05	0	0	0
度計(6,7号機共用)	T. M. S. L. 17. 3m	鉛直	0.93	1.37	0	0	0
酸素濃度計(6,7号機共	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.15	0	0	0
用)	T. M. S. L. 27. 8m	鉛直	0.94	1.43	0	0	0
二酸化炭素濃度計(6,7号	5号機原子炉建屋	水平	1.08	2.15	0	0	0
機共用)	T. M. S. L. 27. 8m	鉛直	0.94	1.43	0	0	\bigcirc
逃がし安全弁用可搬型蓄	原子炉建屋	水平	0.83	2.15	0	0	0
電池	T. M. S. L. 4.8m	鉛直	0.84	1.43	0	0	0
逃がし安全弁用可搬型蓄	原子炉建屋	水平	0.83	2.15	0	0	0
備)	T.M.S.L.4.8m	鉛直	0.84	1.43	0	0	0

注記*1:地震応答解析により求めた設置床又は地表面の最大応答加速度。

*2 :加振試験により計測された加振台の最大加速度。

*3 :加振試験後の動的及び電気的機能並びに支持機能の確認を含む。

表 8-1 転倒評価,機能維持評価及び波及的影響評価結果(8/8)

 $(\times 9.8 \text{m/s}^2)$

設備名称	保管場所	方向	保管場所の最大 応答加速度*1	加振台の 最大加速度*2	転倒 評価結果	機能維持 評価結果* ³	波及的影響 評価結果
携带型音声呼出電話設備	コントロール建屋	水平	1.37	2.15	0	0	0
(携带型音声呼出電話 機)	T.M.S.L.17.3m	鉛直	0.93	1.43	\bigcirc	0	0
携带型音声呼出電話設備	型音声呼出電話設備 帯型音声呼出電話 (6,7号機共用) 5号機原子炉建屋 T.M.S.L.27.8m	水平	1.08	1.98	0	0	0
(携帯型音声呼出電話 機)(6,7号機共用)		鉛直	0.94	1.37	\bigcirc	0	0
熱交換器ユニット 代替 原子炉補機冷却系熱交換 器(6,7号機共用)	荒浜側高台保管場所 T.M.S.L.37.0m	水平	0.93	0.98*4	0	0	_
	大湊側高台保管場所 T.M.S.L.35.0m	鉛直	1.77	2. 32 ^{*4}	0	0	_

注記*1:地震応答解析により求めた設置床又は地表面の最大応答加速度。

*2:加振試験により計測された加振台の最大加速度。

42

*3:加振試験後の動的及び電気的機能並びに支持機能の確認を含む。

*4 : 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナ2つのうち,加振台の最大加 速度が最も小さい熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナの結果を示 す。

表 8-2 波及的影響評価結果(前後方向)

(単位)	:	mm)
------	---	-----

乳供力升	但体中能	旧然相応	最大変位量	許容限界*1	評価
	休官扒悲	休官场川	(前後方向)	(前後方向)	結果
放射線管理用計測装		荒浜側高台保管場所			
置 可搬型モニタリ	車両拘束	T. M. S. L. 37. Om	950	9700	
ングポスト(6,7号	保管	大湊側高台保管場所	850	2700	0
機共用)		T. M. S. L. 35. Om			
		荒浜側高台保管場所			
可搬型気象観測装置	車両拘束	T. M. S. L. 37. Om	950	2700	\bigcirc
(6,7号機共用)	保管	大湊側高台保管場所	0.00	2100	
		T. M. S. L. 35. Om			
小刑(約)的(海 トエー		荒浜側高台保管場所			
小空船船(伊上てー	本体拘束	T. M. S. L. 37. Om	220	1600	\bigcirc
タリンク用)(0,7	保管	大湊側高台保管場所	230	1000	U
与1读共用)		T. M. S. L. 35. Om			
熱交換器ユニット		荒浜側高台保管場所			
代替原子炉補機冷却	架台拘束	T. M. S. L. 37. Om	740*2	1600	\cap
系熱交換器(6,7号	保管	大湊側高台保管場所	740	1000	\cup
機共用)		T. M. S. L. 35. Om			

注記*1:加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離。

*2 : 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器, ポンプ, ストレーナ等 を内装するコンテナ2つのうち, 最大変位量が最も大きい熱交換器ユニット 代替原子 炉補機冷却系熱交換器の熱交換器, ポンプ, ストレーナ等を内装するコンテナの結果を 示す。

表 8-3 波及的影響評価結果(左右方向)

(単位)	:	mm)
------	---	-----

乳供力粉	但竺山船	旧然相応	最大変位量	許容限界*1	評価
	休官扒悲	休官场川	(左右方向)	(左右方向)	結果
放射線管理用計測装		荒浜側高台保管場所			
置 可搬型モニタリ	車両拘束	T. M. S. L. 37. Om	0675	0700	
ングポスト(6,7号	保管	大湊側高台保管場所	2675	2700	0
機共用)		T. M. S. L. 35. Om			
		荒浜側高台保管場所			
可搬型気象観測装置	車両拘束	T. M. S. L. 37. Om	9675	9700	\bigcirc
(6,7号機共用)	保管	大湊側高台保管場所	2075	2100	
		T. M. S. L. 35. Om			
山田町前(海上エー		荒浜側高台保管場所			
小空船船(伊上てー	本体拘束	T. M. S. L. 37. Om	260	1600	\bigcirc
クリンク用) (0, <i>1</i> 日本後十日)	保管	大湊側高台保管場所	260	1600	0
万愤共用 】		T. M. S. L. 35. Om			
熱交換器ユニット		荒浜側高台保管場所			
代替原子炉補機冷却	架台拘束	T. M. S. L. 37. Om	1070*2	1600	\cap
系熱交換器(6,7号	保管	大湊側高台保管場所	1070	1000	U
機共用)		T. M. S. L. 35. Om			

注記*1:加振試験にて確認した最大変位量を基に定めた1台当たりの離隔距離。

*2 : 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器, ポンプ, ストレーナ等 を内装するコンテナ2つのうち, 最大変位量が最も大きい熱交換器ユニット 代替原子 炉補機冷却系熱交換器の熱交換器, ポンプ, ストレーナ等を内装するコンテナの結果を 示す。 V-2-別添 3-6 可搬型重大事故等対処設備の水平2方向及び鉛直方向 地震力の組合せに関する影響評価結果

目 次

1.	概要	1
2.	基本方針	1
3.	評価方法	1
4.	評価結果	3
4.]	1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備(部位)の抽出 ・・・・・・・・・・	3
4.2	2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への	
	影響の検討結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
4.3	3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
4.4	4 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5

1. 概要

本資料は、V-2-別添 3-1「可搬型重大事故等対処設備の耐震計算の方針」に基づき、基準地震 動Ssによる地震力に対する機能を保持できることを確認した可搬型重大事故等対処設備に対し、 水平2方向及び鉛直方向の組合せによる地震力が与える影響について説明するものである。なお、 耐震設計上の重大事故等対処施設の設備の分類に該当しない設備である可搬型重大事故等対処設 備は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」別 記2において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を要求されていないが、確認 を行うものである。

2. 基本方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価については、V-2-1-8「水平2方向及 び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4.2 機器・配管系」の評価方針を踏まえ て、可搬型重大事故等対処設備としての構造上及び保管方法の特徴を踏まえた抽出を行い、設備 が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

3. 評価方法

V-2-1-8「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価方針」の「4. 各施設に おける水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する影響評価方針」を踏まえて、基準地震動 Ssによる地震力に対して、耐震評価を実施する設備のうち、従来の設計手法における水平1方 向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、設備の構造特性から水平2方向及び鉛 直方向地震力の組合せによる影響の可能性があるものを評価対象設備として抽出し、設備が有す る耐震性に及ぼす影響を評価する。

影響評価フローを図 3-1 に示す。

- (1) 評価対象となる設備の整理 可搬型重大事故等対処設備のうち,基準地震動Ssによる地震力に対して構造強度又は機能維持を確認する設備を評価対象とする。(図 3-1①)
- (2) 構造上及び保管方法の特徴による抽出

可搬型重大事故等対処設備としての構造上及び保管方法の特徴から,水平2方向の地震力 が重畳する観点にて検討を行い,水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出 する。なお,ここでの影響が軽微な設備とは,構造上及び保管方法の観点から発生応力への 影響に着目し,その増分が1割程度以下となる設備を分類しているが,水平1方向地震力に よる裕度(許容応力/発生応力)が1.1未満の設備については,個別に検討を行うこととす る。(図 3-1②)

(3) 発生値の増分による抽出

水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して,水平2方向の地震力が各方 向1:1で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め,従来の水平1方向及び鉛直方向

R1

地震力の組合せによる設計に対して、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増 分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。(図 3-1③)

(4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

(3)の検討において算出された荷重や応力を用いて,設備が有する耐震性への影響を確認 する。(図 3-1④)



図 3-1 水平2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

- 4. 評価結果
- 4.1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備(部位)の抽出 評価対象設備を表4-1に示す。V-2-12「水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する 影響評価結果」の「3.2 機器・配管系」の評価設備(部位)の抽出方法を踏まえ,評価対象設 備の各評価部位及び応力分類に対し,構造上及び保管方法の特徴から,水平2方向の地震力に よる影響を以下の項目により検討し,影響の可能性がある設備を抽出した。
 - (1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

評価対象設備は、水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した 場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要と なる可能性があるものを抽出した。抽出結果を表 4-2 に示す。

なお,評価対象設備の抽出に当たって,耐震性への影響が軽微とした設備の理由を以下に 示す。

- a. 構造強度評価対象設備 構造強度評価対象設備において,耐震性への影響が軽微と分類した設備はなし。
- b. 機能維持評価対象設備
- (a) 収納箱

収納箱に保管している設備は、収納箱内で緩衝材によって保護されており、X、Yの2 方向入力に対して、応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向の入力 の影響は軽微である。

(b) その他

水平2方向及び鉛直方向地震力を同時に入力した加振試験結果に基づき機能維持評価 を行い,健全性を確認していることから,水平2方向入力の影響は考慮済みである。 (2) 水平1方向及び鉛直方向地震力に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の増分の観点 (1)にて影響の可能性がある設備について、水平2方向の地震力が各方向1:1で入力され た場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の設計手法 による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される 設備を抽出した。抽出結果を表4-2に示す。

なお,評価対象設備の抽出に当たって,耐震性への影響が軽微とした設備の理由を以下に 示す。

- a. 構造強度評価対象設備
- (a) 車両型設備

車両型設備に積載したポンプ,発電機,内燃機関等は,矩形構造の横型回転機器等で あり応答軸(強軸・弱軸)が明確である。水平2方向の地震力が発生した場合,その応 答はそれぞれの応答軸方向に分解され,実質的には弱軸方向に1方向入力した応答レベ ルと同等となることから,耐震性への影響の懸念はないと整理した。

(b) ボンベ設備

ボンベ設備は、矩形構造の架構設備であり、応答軸(強軸・弱軸)が明確である。水 平2方向の地震力が発生した場合、その応答はそれぞれの応答軸方向に分解され、実質 的には弱軸方向に1方向入力した応答レベルと同等となることから、耐震性への影響の 懸念はないと整理した。

- b. 機能維持評価対象設備
 - (a) その他設備(本体拘束保管及び架台拘束保管)

その他設備(本体拘束保管及び架台拘束保管)は、応答軸(強軸・弱軸)が明確であ る。水平2方向の地震力が発生した場合、その応答はそれぞれの応答軸方向に分解され、 実質的には弱軸方向に1方向入力した応答レベルと同等となることから、耐震性への影響の懸念はないと整理した。

4.2 建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討による機器・配管系への影響の検討結果建物・構築物及び屋外重要土木構造物の検討において、可搬型重大事故等対処設備への影響

を検討した結果、耐震性への影響が懸念されるものは抽出されなかった。

4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

表 4-2 において,水平 2 方向の地震力による影響の可能性があるとして抽出された設備はないため,水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を行う設備はない。

4.4 まとめ

可搬型重大事故等対処設備について,水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性 がある設備(部位)について,従来の設計手法における保守性も考慮した上で抽出し,従来の 水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を確認した結果,設備が有す る耐震性に影響のないことを確認したため,従来の設計手法に加えて更なる設計上の配慮が必 要な設備はない。

別添番号	設備名称	構造強度 評価	機能維持 評価	部位*1
	タンクローリ(4kL)(6,7 号機共 用)	0	0	各部位
	タンクローリ(16kL)(6,7 号機共 用)	0	0	各部位
	可搬型代替注水ポンプ(A-2 級) (6,7 号機共用)	0	0	各部位
	可搬型代替注水ポンプ(A-1 級) (6,7 号機共用)	0	0	各部位
	電源車(6,7号機共用)	0	0	各部位
即沃??	熱交換器ユニット 代替原子炉補機 冷却系熱交換器(6,7号機共用)* ²	_	0	各部位
万寸47、5-5	大容量送水車(熱交換器ユニット 用)(6,7号機共用)	0	0	各部位
	大容量送水車(原子炉建屋放水設備 用)(6,7号機共用)	0	0	各部位
	大容量送水車(海水取水用)(6,7号 機共用)	0	0	各部位
	可搬型窒素供給装置(6,7号機共 用)	0	0	各部位
	泡原液搬送車(6,7号機共用)	0	0	各部位
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用 可搬型電源設備(6,7 号機共用)	0	0	各部位
	高圧窒素ガスボンベ	0	_	各部位
	遠隔空気駆動弁操作用ボンベ	0	_	各部位
	中央制御室待避室陽圧化装置(空気 ボンベ)(6,7号機共用)	0	_	各部位
別添 3−4	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所 (対策本部)陽圧化装置(空気ボン べ)(6,7 号機共用)	0	_	各部位
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所 (待機場所)陽圧化装置(空気ボン べ)(6,7 号機共用)	0		各部位

表 4-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備(1/4)

注記*1 : 部位については、別添 3-3 及び別添 3-4 に示す耐震評価部位のとおり。

*2 :熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器のトラクタ・トレーラを示す。

则沃釆旦	設備友称	構造強度	機能維持	立[[(古*	
加你借 方	政 浦 石 松	評価	評価	보[5] <u>7</u> 7	
	スクラバ水 pH 制御設備用ポンプ		\bigcirc	久 动 伝	
	(6,7号機共用)		0	日印江	
	水酸化ナトリウム水溶液(6,7号機共		\bigcirc	久如估	
	用)		0	-口. 日凡.1元	
	可搬型蓄電池内蔵型照明(6,7号機共	_	\cap	冬部位	
	用)		0		
	中央制御室用乾電池内蔵型照明(ラ	_	\bigcirc	久立応	
	ンタンタイプ)(6,7 号機共用)			1, 비시고	
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用乾 電池内蔵型照明(ランタンタイプ)				
		—	0	各部位	
	(6,7号機共用)				
	可搬型計測器		0	各部位	
	可搬型計測器(6,7号機共用)(予		\bigcirc	久 动 估	
	備)			1 비미고	
	放射線管理用計測装置 GM 汚染サー		\bigcirc	久 动 估	
印沃 3-5	ベイメータ (6,7 号機共用)		0	1, 비시고	
	放射線管理用計測装置 NaI シンチレ				
	ーションサーベイメータ(6,7 号機共	—	0	各部位	
	用)				
	放射線管理用計測装置 ZnS シンチレ				
	ーションサーベイメータ(6,7 号機共	—	\bigcirc	各部位	
	用)				
	放射線管理用計測装置 電離箱サー	_	\cap	冬部位	
	ベイメータ(6,7号機共用)		0	그 이미 다	
	放射線管理用計測装置 可搬型モニ	_	\cap	冬部位	
	タリングポスト(6,7 号機共用))	그 이미 다	
	可搬型気象観測装置(6,7号機共用)	_	0	各部位	
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所用差	_	\bigcirc	久立は	
	圧計 (6,7号機共用)		0	그 이미 다	
	中央制御室用差圧計(6,7号機共用)		0	各部位	
	可搬型ダスト・よう素サンプラ(6,7	_	\cap	冬部位	
	号機共用)		\bigcirc	그나머 다	

表 4-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備(2/4)

注記*:部位については、別添 3-5 に示す耐震評価部位のとおり。

別添番号	設備名称	構造強度 評価	機能維持 評価	部位*
	中央制御室可搬型陽圧化空調機(ファ		0	
	ン)(6,7号機共用)		\bigcirc	谷部位
	中央制御室可搬型陽圧化空調機(フィ	_	\bigcirc	久如估
	ルタユニット) (6,7号機共用)		0	合即业
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対			
	策本部)可搬型陽圧化空調機(ファ	—	\bigcirc	各部位
	ン) (6,7号機共用)			
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対			
	策本部)可搬型陽圧化空調機(フィル	—	\bigcirc	各部位
	タユニット) (6,7 号機共用)			
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対			
	策本部)可搬型外気取入送風機(6,7	—	0	各部位
	号機共用)			
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待			
	機場所)可搬型陽圧化空調機(ファ	—	\bigcirc	各部位
別添 3-5	ン)(6,7号機共用)			
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待			
	機場所)可搬型陽圧化空調機(フィル	—	0	各部位
	タユニット) (6,7 号機共用)			
	放射線管理用計測装置 可搬型エリア	_	0	各部位
	モニタ(6,7号機共用)			
	小型船舶(海上モニタリング用)(6,7	_	0	各部位
	号機共用)		-	
	無線連絡設備(可搬型)(6,7号機共	_	0	各部位
	用)			
	衛星電話設備(可搬型)(6,7号機共	_	0	各部位
	用)			
	酸素濃度・二酸化炭素濃度計(6,7号		0	各部位
	機共用)			
	酸素濃度計(6,7号機共用)		0	各部位
	二酸化炭素濃度計(6,7号機共用)		0	各部位

表 4-1	水平2方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備	(3/4)
-------	-----------------------	-------

注記*:部位については、別添 3-5 に示す耐震評価部位のとおり。

別添番号	設備名称	構造強度 評価	機能維持 評価	部位*1
	逃がし安全弁用可搬型蓄電池	_	0	各部位
	逃がし安全弁用可搬型蓄電池(6,7号機 共用)(予備)	_	0	各部位
別添 3-5	携带型音声呼出電話設備(携帯型音声 ¹ ×3-5 呼出電話機)	_	0	各部位
	携带型音声呼出電話設備(携帯型音声 呼出電話機)(6,7号機共用)	_	0	各部位
	熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷 却系熱交換器(6,7号機共用)* ²		0	各部位

表 4-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価対象設備(4/4)

注記*1:部位については、別添 3-5 に示す耐震評価部位のとおり。

*2 : 熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器, ポンプ, ストレーナ等 を内装するコンテナを示す。

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(1/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(1) 構造強度評価(1/2)

	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	4.1項(1) 水平2方向の地震力が 重畳する観点	4.1項(2)		
設備名称		水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果	
		力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)	
		直方向地震力の増分の観点		
タンクローリ(4kL)(6,7 号機共用)	0	\bigtriangleup		
タンクローリ(16kL)(6,7 号機共用)	0	\bigtriangleup		
可搬型代替注水ポンプ(A-2 級)(6,7 号機共用)	0	\bigtriangleup	4.1項(2)a.「(a) 車両型設備」の理	
可搬型代替注水ポンプ(A-1 級)(6,7 号機共用)	0	\bigtriangleup	由(車両型設備に積載したポンプ,発	
電源車(6,7号機共用)	0	\bigtriangleup	電機,内燃機関等は,矩形構造の横型	
大容量送水車(熱交換器ユニット用)(6,7号機共	\bigcirc	Λ	回転機器等であり応答軸(強軸・弱軸)	
用)			が明確である。水平2方向の地震力が	
大容量送水車(原子炉建屋放水設備用)(6,7号機	\bigcirc	\wedge	発生した場合,その応答はそれぞれの	
共用)			応答軸方向に分解され,実質的には弱	
大容量送水車(海水取水用)(6,7号機共用)	0	\bigtriangleup	軸方向に 1 方向入力した応答レベル	
可搬型窒素供給装置(6,7号機共用)	0	\bigtriangleup	と同等となることから, 耐震性への影	
泡原液搬送車(6,7号機共用)	0	\bigtriangleup	響の懸念はないと整理した。)による。	
5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設	\bigcirc	\wedge		
備(6,7号機共用)				

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(2/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(1) 構造強度評価(2/2)

		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	設備名称	4.1項(1) 水平2方向の地震力が	4.1項(2)		
			水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果	
			力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)	
		里宜りる観尽	直方向地震力の増分の観点		
	高圧窒素ガスボンベ	0	\bigtriangleup	4.1項(2)a.「(b) ボンベ設備」の理	
	遠隔空気駆動弁操作用ボンベ	0	\bigtriangleup	由 (ボンベ設備は, 矩形構造の架構設	
	中央制御室待避室陽圧化装置(空気ボンベ)(6,7	0	о Д О Д	備であり、応答軸(強軸・弱軸)が明	
11	号機共用)			確である。水平2方向の地震力が発生	
	5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)陽	0		した場合,その応答はそれぞれの応答	
	圧化装置(空気ボンベ)(6,7号機共用)	0		軸方向に分解され,実質的には弱軸方	
	F. 县楼百乙后建民内取各味社举诉(法继担诉)阻			向に 1 方向入力した応答レベルと同	
	3 万機尿丁炉建産的系芯时対象所(付機物所) 物	\bigcirc	\bigtriangleup	等となることから, 耐震性への影響の	
	上化装置(空気ホンベ)(6,7 号機共用)			懸念はないと整理した。)による。	

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(3/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(1/13)

12

		:平2方向及び鉛直方向地震力の	影響の可能性
設備名称	4 1 西(1)	4.1項(2)	
	4.1 頃(1)	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果
	小干2万円の地長万 が重黒オス知ら	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)
	が重宜りる観点	直方向地震力の増分の観点	
タンクローリ(4kL)(6,7号機共用)	\bigtriangleup	_	
タンクローリ(16kL)(6,7号機共用)	\bigtriangleup	_	
可搬型代替注水ポンプ(A-2 級)(6,7 号機共用)	\bigtriangleup	_	
可搬型代替注水ポンプ(A-1 級)(6,7 号機共用)	\bigtriangleup		4.1.西(1)1 「(1) フ.の(4)」の田
電源車(6,7号機共用)	\bigtriangleup		4.1 項(1)b.「(b) その他」の理 中(小玉 a 士 h J J J J J J J J J J J J J J J J J J
熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器(6,7	^		田(小牛2万回及い町直万回地長
号機共用)*			刀を回時に八刀した加派武俠相
大容量送水車(熱交換器ユニット用)(6,7号機共用)	\bigtriangleup	_	木に 本 つ さ
大容量送水車(原子炉建屋放水設備用)(6,7号機共用)	\bigtriangleup	_	健主住を確応していることがら, 水亚 9 方向入力の影響け考慮落
大容量送水車(海水取水用)(6,7号機共用)	\bigtriangleup	_	ホー 2 万向八方の影音は今感頃 みであろ) に上ろ
可搬型窒素供給装置(6,7号機共用)	\bigtriangleup		
泡原液搬送車(6,7号機共用)	\bigtriangleup		
5号機原子炉建屋内緊急時対策所用可搬型電源設備(6,7	_		
号機共用)			

注記*:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器のトラクタ・トレーラを示す。

K7 ① V-2-別添 3-6 R1

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(4/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(2/13)

	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
	4 1 巧 (1)	4.1項(2)		
設備名称	4.1項(1)	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果	
	が重畳する観点	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)	
		直方向地震力の増分の観点		
			4.1項(1)b.「(b) その他」の	
 スクラバ水 pH 制御設備用ポンプ(6.7 号機共用)		_	理由(水平2方向及び鉛直方向	
			地震力を同時に入力した加振試	
			験結果に基づき機能維持評価を	
			行い、健全性を確認しているこ	
水酸化ナトリウム水溶液(6,7号機共用)	\bigtriangleup	_	とから,水平2方向入力の影響	
			は考慮済みである。)による。	

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(5/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(3/13)

	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性			
		4.1項(2)		
設備名称	4.1 頃(1)	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果	
	小半2万回の地長万	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)	
	が里宜りる観尽	直方向地震力の増分の観点		
可搬型蓄電池内蔵型照明(6,7号機共用)	0		4.1 項(2)b.「(a) その他設備 (本体拘束保管及び架台拘束保 管)」の理由(その他設備(本体 拘束保管及び架台拘束保管)は, 応答軸(強軸・弱軸)が明確であ る。水平2方向の地震力が発生 した場合,その応答はそれぞれ の応答軸方向に分解され,実質 的には弱軸方向に1方向入力し た応答レベルと同等となること	
			から,耐震性への影響の懸念は ないと整理した。)による。	

K7 ① V-2-別添 3-6 R1

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(6/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(4/13)

		×平2方向及び鉛直方向地震力の	影響の可能性
設備名称	4 1 項(1)	4.1項(2)	
	*** 項(1)	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果
	が重要する組占	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)
	が重重する観示	直方向地震力の増分の観点	
中央制御室用乾電池内蔵型照明(ランタンタイプ)(6,7		_	
号機共用)			
5号機原子炉建屋内緊急時対策所用乾電池内蔵型照明(ラ	^	_	
ンタンタイプ)(6,7号機共用)			4.1項(1)b.「(a) 収納箱」の理
可搬型計測器	\bigtriangleup	—	由(収納箱に保管している設備
可搬型計測器(6,7号機共用)(予備)	\bigtriangleup	_	は、収納箱内で緩衝材によって
放射線管理用計測装置 GM 汚染サーベイメータ(6,7号	_	_	保護されており, X, Yの2方向
機共用)			入力に対して、応答増加は生じ
放射線管理用計測装置 NaI シンチレーションサーベイメ	_	_	ないものと考えられることか
ータ (6,7 号機共用)			ら,水平2方向の入力の影響は
放射線管理用計測装置 ZnS シンチレーションサーベイメ	~		軽微である。)による。
ータ (6,7 号機共用)			
放射線管理用計測装置 電離箱サーベイメータ(6,7号機			
共用)			

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(7/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 一:該当なし

(2) 機能維持評価 (5/13)

		水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
		4 1 五(1)	4.1項(2)				
	設備名称	4.1 頃(1) 北亚 9 七向の地震力	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果			
		小半2万回の地長万	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)			
		が里宜りる観尽	直方向地震力の増分の観点				
				4.1項(1)b.「(b) その他」の理			
	放射線管理用計測装置 可搬型モニタリングポスト(6,7 号機共用)*			由(水平2方向及び鉛直方向地震			
				力を同時に入力した加振試験結			
16		\bigtriangleup	—	果に基づき機能維持評価を行い,			
				健全性を確認していることから,			
				水平 2 方向入力の影響は考慮済			
				みである。)による。			

注記*:車両拘束保管。

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(8/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 一:該当なし

(2) 機能維持評価(6/13)

		水	:平2方向及び鉛直方向地震力の	影響の可能性
		4 1 西 (1)	4.1項(2)	
	設備名称	4.1 頃(1) 水亚 2 古向の地震力	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果
		小半4万回の地長刀が重要士を知ら	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)
		が里宜りる観尽	直方向地震力の増分の観点	
				4.1項(1)b.「(a) 収納箱」の理
	放射線管理用計測装置 可搬型モニタリングポスト (6,7 号機共用) *			由(収納箱に保管している設備
				は,収納箱内で緩衝材によって保
17		^		護されており, X, Yの2方向入
				力に対して,応答増加は生じない
				ものと考えられることから,水平
				2 方向の入力の影響は軽微であ
				る。)による。

注記*:収納箱拘束保管。

K7 ① V-2-別添 3-6 R1

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(9/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(7/13)

		影響の可能性		
		4 1 西 (1)	4.1項(2)	
	設備名称	4.1 頃(1) 北亚 9 古向の地震力	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果
		小十2万円の地展万 が手用ナフ知上	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)
		が重宜りる観点	直方向地震力の増分の観点	
	可搬型気象観測装置(6,7号機共用)			4.1項(1)b.「(b) その他」の理
		\bigtriangleup	—	由(水平2方向及び鉛直方向地震
	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所用差圧計(6,7 号機共用) 中央制御室用差圧計(6,7 号機共用)			力を同時に入力した加振試験結
18		\bigtriangleup	—	果に基づき機能維持評価を行い,
				健全性を確認していることから、
		Δ	_	水平 2 方向入力の影響は考慮済
				みである。)による。
				4.1項(1)b.「(a) 収納箱」の理
				由(収納箱に保管している設備
				は,収納箱内で緩衝材によって保
	可柳刑 ヴァト, トる実井ンプラ (67 日桃井田)	٨		護されており,X,Yの2方向入
	可搬空クスト・よう系リンノノ (0,7 万機共用)	\bigtriangleup		力に対して,応答増加は生じない
				ものと考えられることから,水平
				2 方向の入力の影響は軽微であ
				る。)による。

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(10/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(8/13)

	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	4.1項(1)	4.1項(2)				
設備名称	水平2方向の地震力 が重畳する観点	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果			
		力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)			
		直方向地震力の増分の観点				
中央制御室可搬型陽圧化空調機(ファン)(6,7号機共用)	0	\bigtriangleup	41 冱(2) ト「(2) スの仲乳供			
中央制御室可搬型陽圧化空調機(フィルタユニット)	\bigcirc	^	4.1 項(2)0. 「(a) ての他設備 (ナケカ末/J グロッゴ加 (カナ)			
(6,7号機共用)	U		(本体拘束保官及び朱合拘束保			
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)可搬型陽圧	0		官)」の理由(その他設備(本体			
化空調機(ファン)(6,7号機共用)	0		拘果保官及い衆 合拘果保官) は, 広 ダ 軸 (没 軸 - 記 軸) が 明 砕 で な			
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)可搬型陽圧		٨	心合軸(短軸・羽軸)が明確じの			
化空調機(フィルタユニット)(6,7号機共用)	0		る。水平2万回の地震力が発生した担人 たれん たの広			
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(対策本部)可搬型外気		^	に場合、その心合はそれそれの心			
取入送風機(6,7号機共用)	0		合軸力回に分離され,夫貨的には			
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)可搬型陽圧		^	羽軸刀间に 刀间八刀しに応合 しべれし日竿しねてこしかく 一計			
化空調機(ファン)(6,7号機共用)	0		レッシルと同寺となることから, 順			
5号機原子炉建屋内緊急時対策所(待機場所)可搬型陽圧		A	辰江、の影響の恋心はないと登			
化空調機(フィルタユニット)(6,7号機共用)	U U		垤しに。) による。			

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(11/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価 (9/13)

		才	影響の可能性	
		4.1	4.1項(2)	
	設備名称	北亚9古向の地震力	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果
		が重農する細占	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)
		が単直する観示	直方向地震力の増分の観点	
				4.1項(1)b.「(a) 収納箱」の理
				由(収納箱に保管している設備
	放射線管理用計測装置 可搬型エリアモニタ(6,7号機共 用)			は,収納箱内で緩衝材によって保
20				護されており, X, Yの2方向入
				力に対して,応答増加は生じない
				ものと考えられることから,水平
				2 方向の入力の影響は軽微であ
				る。)による。
				4.1項(1)b.「(b) その他」の理
				由(水平2方向及び鉛直方向地震
				力を同時に入力した加振試験結
	小型船舶(海上モニタリング用)(6,7号機共用)	\bigtriangleup	—	果に基づき機能維持評価を行い,
				健全性を確認していることから,
				水平 2 方向入力の影響は考慮済
				みである。)による。

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(12/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(10/13)

	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	4 1 西 (1)	4.1項(2)				
設備名称	4.1 頃(1) 水亚 0 七向の地電力	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果			
	小平2万回の地長万 が重黒オス知ら	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)			
	が車宜りる観尽	直方向地震力の増分の観点				
			4.1項(1)b.「(a) 収納箱」の理			
	^		由(収納箱に保管している設備			
			は,収納箱内で緩衝材によって保			
			護されており, X, Y の 2 方向入			
			力に対して,応答増加は生じない			
御見雪話設備(可搬刑)(67号機廿田)	\bigtriangleup	_	ものと考えられることから,水平			
南至电印队俑(马顶王)(0,1 万饭天用)			2 方向の入力の影響は軽微であ			
			る。)による。			
			4.1項(1)b.「(b) その他」の理			
			由(水平2方向及び鉛直方向地震			
			力を同時に入力した加振試験結			
酸素濃度・二酸化炭素濃度計(6,7号機共用)	\bigtriangleup	—	果に基づき機能維持評価を行い,			
			健全性を確認していることから、			
			水平 2 方向入力の影響は考慮済			
			みである。)による。			

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(13/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 一:該当なし

(2) 機能維持評価(11/13)

	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				
	4 1 西 (1)	4.1項(2)			
設備名称	4.1項(1) 水平2方向の地震力	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果		
		力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)		
	小里宜りつ観尽	直方向地震力の増分の観点			
	Δ	_	4.1項(1)b.「(a) 収納箱」の理		
			由(収納箱に保管している設備		
			は,収納箱内で緩衝材によって保		
			護されており, X, Yの2方向入		
			力に対して,応答増加は生じない		
	^		ものと考えられることから,水平		
	Δ		2 方向の入力の影響は軽微であ		
			る。)による。		

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(14/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(12/13)

	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性				
	4 1 西 (1)	4.1項(2)			
設備名称	4.1項(1) 水平2方向の地震力 が重畳する観点	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果		
		力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)		
		直方向地震力の増分の観点			
氷がし左会会田可柳刑芸雪 洲			4.1 項(2)b.「(a) その他設備		
			(本体拘束保管及び架台拘束保		
	0		管)」の理由 (その他設備 (本体		
2017日東王が11月版王宙电信			拘束保管及び架台拘束保管)は,		
			応答軸(強軸・弱軸)が明確であ		
			る。水平2方向の地震力が発生し		
			た場合,その応答はそれぞれの応		
			答軸方向に分解され,実質的には		
冰が 安全金田可搬刑萎雪沖 (67号機廿田) (予備)	\bigcirc	^	弱軸方向に 1 方向入力した応答		
迎がし女王开用可撤至當电池(0,7万機共用)(17個)			レベルと同等となることから,耐		
			震性への影響の懸念はないと整		
			理した。)による。		

表 4-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価設備(部位)の抽出結果(15/15)

(凡例)

○:影響の可能性あり △:影響軽微 -:該当なし

(2) 機能維持評価(13/13)

24

	水平2方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性					
	4 1 西 (1)	4.1項(2)				
設備名称	4.1 項(1)	水平1方向及び鉛直方向地震	検討結果			
	小半2万回の地長万	力に対する水平2方向及び鉛	(影響軽微の理由)			
	が里宜りつ観尽	直方向地震力の増分の観点				
			4.1項(1)b.「(a) 収納箱」の理			
			由(収納箱に保管している設備			
		は,収納箱内で緩衝材によって保				
推	_	_	護されており, X, Yの2方向入			
防带生自产吁叫电站以佣 (防带生自产吁叫电站)			力に対して,応答増加は生じない			
			ものと考えられることから,水平			
			2 方向の入力の影響は軽微であ			
			る。)による。			
			4.1項(1)b.「(b) その他」の理			
携帯型音声呼出電話設備(携帯型音声呼出電話機)(6,7	\bigtriangleup	_	由(水平2方向及び鉛直方向地震			
号機共用)			力を同時に入力した加振試験結			
			果に基づき機能維持評価を行い,			
熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器(6,7			健全性を確認していることから,			
号機共用)*	\bigtriangleup	—	水平 2 方向入力の影響は考慮済			
			みである。)による。			

注記*:熱交換器ユニット 代替原子炉補機冷却系熱交換器の熱交換器,ポンプ,ストレーナ等を内装するコンテナを示す。

V-2-別添4 地震荷重と風荷重の組合せの影響評価結果

1.	概要				••••	 	 	 1
2.	基本方針				••••	 	 	 1
3.	評価方針				••••	 	 	 1
3.1	組み合わ	せる風速の	条件につ	いて	••••	 	 	 1
3.2	? 対象とな	る施設の選	定につい	いて ・・	••••	 	 	 1
4.	評価結果				••••	 	 	 3
4.1	評価結果は	について			••••	 	 	 3
4.2	2 まとめ					 	 	 4
1. 概要

本資料は、V-2-1-1「耐震設計の基本方針」に示す自然現象に関する組合せの方針を踏まえて、 屋外に設置されており風の影響を受けやすいと考えられる施設に対する地震荷重と風荷重を組み 合わせた場合の影響について説明するものである。なお、自然現象の組合せは、V-1-1-3「発電 用原子炉施設の自然現象等による損傷の防止に関する説明書」のうちV-1-1-3-1-1「発電用原子 炉施設に対する自然現象等による損傷の防止に関する基本方針」に示すとおり、地震荷重と積雪 荷重を組み合わせることとしている。しかしながら、一部の施設においては、形状等により積雪 荷重を考慮していないことから、これらの施設について、地震荷重と風荷重を組み合わせた場合 の影響について確認を行うものである。

2. 基本方針

地震荷重と風荷重の組合せの影響評価は、V-2-1-1「耐震設計の基本方針」の「5.1 構造強度」 を踏まえて、屋外に設置されており風の影響を受けやすいと考えられる施設を対象とする。その 上で積雪荷重が生じにくい形状の施設、又は除雪等の緩和措置に期待できる施設として、従荷重 にあたる年超過確率 10⁻²/年規模の積雪荷重の組合せを考慮していない施設を選定し、これらの 施設が主荷重として想定する地震とその際に生じうる外部事象に対し一定の裕度を有しているこ とを確認するため、従荷重として適切と考えられる風速による風荷重を組み合わせた場合の影響 を確認する。

- 3. 評価方針
- 3.1 組み合わせる風速の条件について

柏崎刈羽原子力発電所の設計基準風速は,保守的な値となるよう,新潟県各地の観測記録を 比較し,その中でも大きい風速が観測される傾向がある新潟市の観測記録に基づき定めている が,地震荷重と組み合わせる風速については,柏崎市の観測記録の既往最大である 16m/s (10 分間平均値,地上高 10m)を用いる。また,風荷重の算出においては,建築基準法及び建設省告 示に基づき,高さに応じたガスト影響係数を乗じることで,突発的な風荷重についても考慮す ることとする。

3.2 対象となる施設の選定について

地震荷重と風荷重を組み合わせる対象施設の選定フローを図 3-1 に示す。

選定された対象施設のうち以下の観点で特に風の影響を受けやすいと考えられるものについ て影響評価を行う。

a. 積雪荷重を考慮せず,風の影響が大きくなる可能性のある鉄骨造施設

b. その他, 屋外で風の影響を受けると推定される施設

特に風の影響を受けやすいと推定される施設を表 3-1 に示す。



図 3-1 地震荷重と風荷重を組み合わせる対象施設の選定フロー

表 3-	1 対象施設のうち,	特に風の影響を受けやすい	と推定される	る施設
		+/→ =n,		

施設	観点
主排気筒	a.
火災感知器 (熱感知カメラ)	b.
衛星無線通信装置用アンテナ	b.
第一ガスタービン発電機(発電機車,制御車)	b.

4. 評価結果

- 4.1 評価結果について
 - (1) 主排気筒

対象とした施設のうち,主排気筒については,主排気筒のモデル化における保守性を,実 状に合わせた解析モデルへと見直すことで,基準地震動Ss及び風荷重(16m/s)の組合せを 考慮した場合であっても,すべての部材において,検定値が1.0を下回っていることより, 許容限界を超えないことを確認した。主要部材の確認結果を表4-1に示す。

表 4-1 主排気筒における基準地震動Ss及び風速 16m/sを重畳させた場合の影響確認結果

<i>b</i> -7	最大検定値(断面算定結果)					
	主柱材	斜材	水平材	筒身		
S s -1(基本ケース)	0.61	0.74	0.17	0.76		
S s −2(回転ばね低減ケース)	0.95	0.69	0. 25	0.81		

(2) 機器・配管系の設備

機器・配管系の設備については、以下の方法のうち、適切な手段を選択し確認を行う。

- 方法①:耐震計算書の最小裕度部材について,地震荷重と風荷重を組み合わせた評価を行う。
- 方法②:「耐震計算書(地震荷重)の評価結果(裕度)」と「地震荷重と風荷重の比」の比 較を行う。
- 方法③:「加振試験における設計用床応答曲線に対する加振波の床応答曲線の裕度」と「風 荷重」の比較を行う。

表 4-2 に示すとおり,機器・配管系の設備も地震荷重に加え 16m/s の風荷重を考慮して も,裕度の範囲に含まれることを確認した。

					基準地震動S s				
		確	基準	的大学的	S s		+		
		認		の評価		風荷	輩 (16m	/s)	
工認図書番号	施設	方	方		の評価			確認結果	
		法	評価値	判定値	裕度	評価値	判定値	裕度	
	山然武府明		00	154	5.3	0.5	154 MPa	4.4	現設計の裕度に
V-2-別添 1-2	火災感知器 (熱感知カメラ)	1	29 MD	154 MD		35 MD			包絡されること
			мРа	мра		MPa			を確認
	衛星無線通信装置		01	102	9. 1	26 6	102	193 MPa 7.2	現設計の裕度に
V-2-6-7-15(1)		2	21 MDo	195 MDa		9.1	195 MDa		包絡されること
	用ノンノノ		мга	мга		мга	мга		を確認
	第一ガスタービン 発電機 (発電機車)				58%*	102%	158%	56%	現設計の裕度に
		3	100%	158%					包絡されること
V-2-10-1-2-2-1									を確認
V 2 10 1 2 2 1	第一ガスタービン								現設計の裕度に
	第 カハノー しつ	3	100%	145%	45%*	104%	145%	41%	包絡されること
	元电磁 (を確認

表 4-2 地震荷重と風荷重を組み合わせた際の裕度の確認結果

注記*:加振試験にて評価を行っている施設の,設計用床応答曲線に対する加振波の床応答曲線 の裕度を示す。

4.2 まとめ

地震を主荷重とし風を従荷重とする組合せは「同時に発生する可能性が極めて低いもの」と 整理しているが、地震とその他自然現象の組合せのうち、積雪荷重の影響を受けにくい施設に ついて、設計の裕度を確認するため柏崎市の観測記録の既往最大である 16m/s の風荷重と地震 荷重を組み合わせた確認の方針を検討し評価を行った。その結果、評価を行ったいずれの施設 においても、一定の裕度を有していることを確認した。 計算機プログラム(解析コード)の概要

1. はじ	めに	1
別紙1	MakeFRS	2
別紙 2	Seismic Analysis System(SAS)	14
別紙 3	VIANA	17
別紙 4	DAC3N ·····	20
別紙 5	GRIMP2 ·····	22
別紙 6	KSHAKE	24
別紙7	NVK263	26
別紙 8	DYNA2E	33
別紙 9	NOVAK	41
別紙 10	SHAKE	43
別紙 11	ST-CROSS ·····	58
別紙 12	TDAS	60
別紙 13	MSC NASTRAN	62
別紙 14	NX NASTRAN	82
別紙 15	ADMIT ·····	93
別紙 16	LNOVAK	103
別紙 17	SHAKE ·····	112
別紙 18	DIANA	127
別紙 19	NAPISOS	141
別紙 20	Soil Plus	143
別紙 21	FLIP ·····	167
別紙 22	SLOK ·····	170
別紙 23	Engineer's Studio	172
別紙 24	TDAPIII ·····	191
別紙 25	KSHAKE ·····	194
別紙 26	SHAKE	196
別紙 27	NuPIAS ·····	219
別紙 28	KANSAS2 ·····	232
別紙 29	NUPP4 ·····	241
別紙 30	FRAME	268
別紙 31	ANSYS	270
別紙 32	FURST	295
別紙 33	PRIME ·····	297

別紙34	ABAQUS ·····	300
別紙 35	SAP-IV ·····	323
別紙 36	NSAFE ·····	326
別紙 37	SOLVER ·····	329
別紙 38	HISAP	332
別紙 39	ISAP	335
別紙 40	NAPF ·····	340
別紙 41	SAP-IV ·····	360
別紙 42	KSAP ·····	363
別紙 43	Super Build/SS7	375
別紙 44	MSAP (配管) ······	387
別紙 45	WCOMD-SJ ·····	390
別紙 46	Hyper Statics and Dynamics	393
別紙 47	Super Build/SS3	402
別紙 48	N-DAPS3	440
別紙 49	SAP-V ·····	452
別紙 50	STRUCT	467

1. はじめに

本資料は、添付書類V-2「耐震性に関する説明書」において使用した計算機プログラム(解析コード)について説明するものである。

「耐震性に関する説明書」において使用した解析コードの使用状況一覧,解析コードの概要を以降に記載する。

別紙1 MakeFRS

	使用添付書類	バージョン
V-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	Ver. 1. 0. 0. 1

2. 解析コードの概要

コード名項目	MakeFRS
使用目的	設計用床応答曲線の作成
開発機関	東電設計株式会社,川崎重工業株式会社
開発時期	2014 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0. 0. 1
コードの概要	本解析コードは,耐震設計に使用する設計用床応答曲線を作成 することを目的としており,加速度応答時刻歴から応答スペクト ルを計算する機能,複数の応答スペクトルの包絡値を求める機 能,応答スペクトルの拡幅を行う機能を有する。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・別解析コードMSC NASTRANによる応答スペクトル と本解析コードで作成した応答スペクトルを比較し、一致し ていることを確認している。 ・拡幅機能については、手計算により±10%拡幅した算出値と、 本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していること を確認している。 ・包絡機能については、手計算により包絡した応答スペクトル と、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致していること を確認している。 ・包絡機能については、手計算により包絡した応答スペクトル と、本解析コードで作成した算出値を比較し、一致している ことを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する計算 機にインストールして用いていることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・今回の工事計画認可申請で使用する機能は応答スペクトルの 作成機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の 最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コードMS C NASTRANと本解析コードの結果を比較すること で、妥当性を確認している。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする加速度応答時刻 歴の時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している。

・周期軸方向の拡幅率(±10%),加速度応答時刻歴の時間刻
み,固有周期計算間隔はJEAG4601−1987 に従ってお
り、妥当性に問題ない。
 ・今回の工事計画認可申請における応答スペクトル,加速度応
答時刻歴に対し,使用用途及び方法に関する適用範囲が上述
の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本書は,建物・構築物の地震応答解析から算出される加速度応答時刻歴から応答スペクトル を作成する解析コードであるMakeFRS(以下,「本解析コード」という)の説明書であ る。

本解析コードは、一定の固有周期及び減衰定数を有する1質点系の、与えられた加速度応答時刻歴に対する最大応答加速度を計算し応答スペクトルを求める。また、求めた応答スペクト ルを拡幅し、周期と減衰定数が同一の系で計算された複数の応答スペクトルの包絡値を求め て設計用床応答曲線の作成を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を下記に示す。

・加速度応答時刻歴から周期及び減衰定数に応じた応答スペクトルの算出

- ・応答スペクトルの周期軸方向への拡幅
- ・複数の応答スペクトルを包絡した設計用床応答曲線の作成

応答スペクトルの算出では、1自由度系(1質点)の運動方程式の解を数値積分法により求 めるもので、本解析コードでは、ニガム法、ニューマークβ法、ルンゲ・クッタ法の3種類の 数値積分法を選択して用いることができる。

3.3 解析手法

3.3.1 ニガム法

質点の相対変位をx,固有円振動数をω,減衰定数をh,地動の加速度時刻歴を .. y(t)としたとき系の運動方程式は,

 $\ddot{\mathbf{x}} + 2 \cdot \mathbf{h} \cdot \boldsymbol{\omega} \cdot \dot{\mathbf{x}} + \boldsymbol{\omega}^2 \cdot \mathbf{x} = -\ddot{\mathbf{y}} (\mathbf{t}) \cdots (3. 1)$

と表される。 t は一定時間間隔 Δ t ごとに与えられて、 y _i と y _{i+1}の間を直線によ

って補間し、 t_i を原点とする区間 $t_i \sim t_{i+1}$ 内の局部的な時間を τ ,

$$\begin{split} \Delta \ddot{y} &= \ddot{y}_{i+1} - \ddot{y}_{i} \notin \tau + \ddot{y}_{i}, \\ \ddot{y}(t) &= \frac{\Delta \ddot{y}}{\Delta t} \cdot \tau + \ddot{y}_{i}, \quad 0 \leq \tau \leq \Delta t \\ &\geq \vdots \\ &\geq \vdots \\ &\geq \vdots \\ &\approx (\tau) + 2 \cdot h \cdot \omega \cdot \dot{x}(\tau) + \omega^{2} \cdot x(\tau) = -\frac{\Delta \ddot{y}}{\Delta t} \cdot \tau - \ddot{y}_{i}, \quad 0 \leq \tau \leq \Delta t \\ &\geq t \\ &\leq t \\ &\leq t \\ &\geq t \\ &\leq t \\ &= t$$

この非同時微分方程式を解いて、区間のはじめ時刻 t ; における初期条件

 $\tau = 0$: $\mathbf{x} = \mathbf{x}_{i}$, $\mathbf{x} = \mathbf{x}_{i}$

を与えれば、区間の終わり $\tau = \Delta t$ (時刻 t $_{i+1} = t_i + \Delta t$)における相対変位応答 及び相対速度応答は次のような形で求まる。

ここで, A, Bはω, h, Δ t が定まれば一意に定まる係数である。 x_{i+1}, x_{i+1} が定まれば, 絶対加速度応答は(3.1)式より

$$\begin{array}{c} \ddot{(\mathbf{x} + \mathbf{y})}_{i+1} = - (2 \cdot \mathbf{h} \cdot \boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{x}_{i+1} + \boldsymbol{\omega}^2 \cdot \mathbf{x}_{i+1}) \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (3. 3) \\ \\ & \text{によって求められる。したがって, } \mathbf{t} = 0 \text{における応答の初期値} \mathbf{x}_1 = 0 \\ & \mathbf{x}_1 = - \mathbf{y}_1 \cdot \Delta \mathbf{t} \\ & (\mathbf{x} + \mathbf{y})_1 = 2 \cdot \mathbf{h} \cdot \boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{y}_1 \cdot \Delta \mathbf{t} \\ & \tilde{(\mathbf{x} + \mathbf{y})}_1 = 2 \cdot \mathbf{h} \cdot \boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{y}_1 \cdot \Delta \mathbf{t} \\ \\ & \text{を与えれば, 後は(3. 2)式と(3. 3)式によって応答値が算出される。} \end{array}$$

3.3.2 ニューマークβ法

時間に関する関数 x (t)の時間 t_i周辺でのテイラー展開に基づくと、時間刻みを Δ t とし、時刻 t_{i+1} = t_i + Δ t における応答値は以下のように近似できる。

$$\mathbf{x} (\mathbf{t}_{i+1}) = \mathbf{x} (\mathbf{t}_{i}) + \frac{\mathrm{d} \mathbf{x} (\mathbf{t}_{i})}{\mathrm{d} \mathbf{t}} \cdot \Delta \mathbf{t} + (\frac{1}{2} - \beta)$$

$$\cdot \frac{\mathrm{d}^{2} \mathbf{x} (\mathbf{t}_{i})}{\mathrm{d} \mathbf{t}^{2}} \cdot \Delta \mathbf{t}^{2} + \beta \cdot \frac{\mathrm{d}^{2} \mathbf{x} (\mathbf{t}_{i+1})}{\mathrm{d} \mathbf{t}^{2}} \cdot \Delta \mathbf{t}^{2}$$

$$\cdot \mathbf{x} (\mathbf{t}_{i+1}) = \mathbf{x} (\mathbf{t}_{i}) + (1 - \gamma) \cdot \frac{\mathrm{d}^{2} \mathbf{x} (\mathbf{t}_{i})}{\mathrm{d} \mathbf{t}^{2}}$$

$$\cdot \Delta \mathbf{t} + \gamma \cdot \frac{\mathrm{d}^{2} \mathbf{x} (\mathbf{t}_{i+1})}{\mathrm{d} \mathbf{t}^{2}} \cdot \Delta \mathbf{t}$$

ここで、 $\gamma = 1/2$ 、 $0 \le \beta \le 1/2$ で、各 β の値は Δ t間の加速度の変化と次のような関係がある。

 $\beta = 0$ は加速度が Δ t間で無変化 $\beta = 1/6$ は加速度が Δ t間で線形に変化 $\beta = 1/4$ は Δ t間の加速度はtとt+ Δ tの平均値 $\beta = 1/2$ は Δ t間の加速度はt+ Δ tの値

(3. 4)式と系の運動方程式(3. 1)式の連立方程式の解を反復法により求める。すなわ ち,時刻 t_{i+1} における加速度 \dot{x}_{i+1} の値を仮定し,(3. 4)式から時刻 t_{i+1} における変 \dot{x}_{i+1} ,速度 \dot{x}_{i+1} を計算,この変位,加速度を(3. 1)式に代入して得られる加速度 と,最初に仮定した値との差が許容誤差範囲内になるまで繰返し計算して解を求めるも のである。

3.3.3 ルンゲ・クッタ法

以上の公式を運動方程式に適用して加速度応答解を求める。

3.4 解析フローチャート

本解析コードを用いて行う解析フローチャートを図3.4-1に示す。



図 3.4-1 解析コード「MakeFRS」を用いた解析フローチャート

- 3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)
 - 3.5.1 検証 (Verification)
 - (1) 応答スペクトル作成機能

別解析コードMSC NASTRANによる応答スペクトルと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較することで、本解析コードの検証を行った。

検証に用いた加速度応答時刻歴を図3.5-1に示す。また、別解析コードと本解析コードで作成した応答スペクトルを比較したものを図3.5-2に示す。図3.5-2より本解析コードの結果とよく一致していることがわかる。

(2) 拡幅機能

拡幅は、拡幅前の応答スペクトルを周期軸方向に-10%とした曲線と+10%とした曲 線及び両曲線を結ぶ水平線を構成する点、3つの曲線が交わる場合にはその交点を加え て、大きい値を選定して作成する。本解析コードの拡幅機能は、3つの曲線をプロットし た図を確認して選定した手計算値と、本解析コードで作成した算出値の比較により検証 した。拡幅前の応答スペクトルには(1)で作成したものを用いた。図3.5-3に本解析コー ドによる拡幅結果を示すように、正しく拡幅されていることがわかる。

(3) 包絡機能

包絡は、2つの応答スペクトルを構成する点及び2曲線が交わる場合にはその交点を加 えて、大きい値を選定して作成する。本解析コードの包絡機能は、2つの曲線をプロット した図を確認して選定した手計算値と、本解析コードで作成した算出値の比較により検 証した。包絡前の応答スペクトルには(2)で作成したもの及び別の±10%拡幅済み応答ス ペクトルを用いた(図3.5-4参照、「包絡前1」及び「包絡前2」)。図3.5-4に本解析 コードによる包絡結果を示すように、正しく包絡されていることがわかる。







図 3.5-2 応答スペクトルの解析結果比較



図 3.5-4 包絡結果

3.5.2 妥当性確認 (Validation)

本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

- ・今回の工事計画認可申請で使用する機能は応答スペクトルの作成機能であるため、同一の入力条件に対する1自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別解析コードであるMSC NASTRANと本解析コードの結果を比較することで、妥当性を確認している。
- ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする加速度応答時刻歴の時間刻み 幅、データの形式は、上述の妥当性を確認している範囲内での使用である ことを確認している。
- ・周期軸方向の拡幅率(±10%),加速度応答時刻歴の時間刻み,固有周期 計算間隔はJEAG4601-1987に従っており,妥当性に問題ない。
- ・今回の工事計画認可申請における応答スペクトル,加速度応答時刻歴に対し、使用用途及び方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
- 3.5.3 評価結果

3.5.1 及び 3.5.2 より,本解析コードを使用目的に示す設計用床応答曲線の 作成に用いることは妥当である。

別紙2 Seismic Analysis System (SAS)

	使用添付書類	バージョン
V-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	Ver. 6. 1. 0

2. 解析コードの概要

コード名	Seismic Analysis System (SA
項目	S)
使用目的	設計用床応答曲線の作成
開発機関	日立GEニュークリア・エナジー株式会社
開発時期	2009 年
使用したバージョン	Ver. 6. 1. 0
コードの概要	本解析コードは,耐震設計に使用する条件を作成すること を目的に,地震波時刻歴データの波形書式の変換機能,地震 波時刻歴データから応答スペクトルを計算する機能,応答分 布図や振動モード図の作成機能等,耐震解析プログラムを統 合したシステムである。このうち応答スペクトル作成機能 を,建屋床応答時刻歴から設計用床応答曲線を作成するため に使用する。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・別解析コードDYNA2Eによる応答スペクトルと本 解析コードで作成した応答スペクトルを比較し、一致し ていることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する 計算機にインストールして用いていることを確認して いる。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・今回の工事計画認可申請で使用する機能は応答スペク トルの作成機能であるため、同一の入力条件に対する1 自由度系の最大応答加速度を固有周期ごとに算定し、別 解析コードDYNA2Eと本解析コードの結果を比較 することで、妥当性を確認している。 ・設計用床応答曲線を作成する際、入力とする時刻歴デー タの時間刻み幅、データの形式は、上述の妥当性を確認 している範囲内での使用であることを確認している。 ・周期軸方向の拡幅率(±10%)、時刻歴波の時間刻み、固 有周期計算間隔はJEAG4601-1987に従ってお

り,妥当性に問題はない。
・今回の工事計画認可申請において使用するバージョン
は, 他プラントの既工事計画において使用されているも
のと同じであることを確認している。
・今回の工事計画認可申請における応答スペクトル, 時刻
歴データに対し,使用用途及び方法に関する適用範囲が
上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

別紙3 VIANA

	使用添付書類	バージョン
V-2-1-7	設計用床応答曲線の作成方針	Ver.1.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	VIANA
使用目的	設計用床応答曲線の作成
開発機関	株式会社東芝
開発時期	1983 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	本解析コードは,加速度時刻歴から応答スペクトルを作成 するプログラムであり,建屋床応答時刻歴から設計用床応答 曲線を作成することを目的とする。一定の固有周期及び減衰 定数を有する1 質点系の与えられた加速度時刻歴に対する 最大応答加速度を計算し,周期と減衰定数が同一の系で計算 された複数の応答スペクトルの包絡値を求め,また応答スペ クトルの拡幅を行う。本解析コードは,設計用床応答曲線を 作成するために開発したハウスコードである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・理論解と本解析コードで作成した応答スペクトルと比 較し,一致していることを確認した。 ・拡幅機能については,±10%拡幅した算出値と,本解析 コードで作成した算出値を比較し,一致していることを 確認した。 ・包絡機能については,包絡した応答スペクトルの最大値 と,本解析コードで作成した算出値を比較し,一致して いることを確認した。 ・本解析コードの運用環境について,動作環境を満足する 計算機にインストールして用いていることを確認して いる。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・今回の工事計画認可申請で使用する解析機能は,理論モ デルをそのままコード化したものであり,妥当性は確認 されている。

ータの時間刻み幅,データの形式は,妥当性を確認し
ている範囲内での使用であることを確認している。
・10%拡幅,時刻歴波の時間刻み,固有周期計算間隔はJ
EAG4601-1987 に従っており, 妥当性は確認さ
れている。
・今回の工事計画認可申請において使用するバージョン
は,他プラントの既工事計画において使用されている
ものと同じであることを確認している。

別紙4 DAC3N

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver.97

^{2.} 解析コードの概要

コード名	DAC 3 N
項目	
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1997 年
使用したバージョン	Ver.97
コードの概要	本解析コードは,ばね要素やはり要素等でモデル化された 建屋-地盤連成系モデルの固有値解析及び地震応答解析を 行うプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、原子炉建屋について、基準地震動Ss及 び弾性設計用地震動Sdに対する建屋の応答を評価するた めに使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・既工事計画において実績のある別コード による弾塑性を考慮した多質点系の解析結果と一致す ることを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり,弾塑性を考慮した多質点系の地震 応答について検証していることから,解析の目的に照ら して今回の解析に適用することは妥当である。

別紙5 GRIMP2

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver.2.5

^{2.} 解析コードの概要

ユード名 項目	GRIMP2
使用目的	底面地盤ばね算定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver. 2. 5
コードの概要	本解析コードは,振動アドミッタンス理論により,基礎の 水平,上下及び回転に対する地盤の複素ばね剛性を振動数領 域で計算するプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、原子炉建屋の水平方向及び鉛直方向の 地震応答解析における質点系建屋-地盤連成モデルの基礎 底面地盤ばねを評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードを用いて評価した基礎底面地盤の水平ば ね、鉛直ばね及び回転ばねが * の計 算結果と良い一致を示すことを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、基礎底面地盤の水平ばね、鉛直ば ね及び回転ばねについて検証していることから、解析の 目的に照らして今回の解析に適用することは妥当であ る。

別紙6 KSHAKE

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver.2
V-2-2-13	格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書	Ver.2

2. 解析コードの概要

コード名 項目	KSHAKE
使用目的	入力地震動算定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1983 年
使用したバージョン	Ver.2
コードの概要	本解析コードは,米国カリフォルニア大学から発表された SHAKEを基本に開発したプログラムで,1次元重複反射 理論に基づく地盤の伝達関数及び時刻歴応答波形を計算す るプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは,原子炉建屋及び格納容器圧力逃がし装置 基礎の地震応答解析における入力地震動算定において,基準 地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdに対する地盤の応答 を評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードを用いて評価した弾性地盤の増幅特性が 理論解と一致することを確認している。 ・既工事計画において実績のある別コード による解析結果と一致することを確認してい る。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり,地盤の応答解析について検証して いることから,解析の目的に照らして今回の解析に適用 することは妥当である。

別紙7 NVK263

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-1	原子炉建屋の地震応答計算書	Ver.1.0

^{2.} 解析コードの概要

コード名	NVK263
使用目的	 側面地盤ばね算定
開発機関	清水建設株式会社
開発時期	1985 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	本解析コードは, に基づき,水平,上下,回転及びねじれに対する地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは,原子炉建屋の水平方向の地震応答解析に おける質点系建屋-地盤連成モデルの建屋埋込み部分の側 面地盤ばねを評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードを用いて評価した建屋側面地盤の水平ば ね及び回転ばねが の計算結果と良い一致を示すことを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり,建屋側面地盤の水平ばね及び回転 ばねについて検証していることから,解析の目的に照ら して今回の解析に適用することは妥当である。

- 3. 解析手法
 - 3.1 一般事項

本解析コードは、Novakの論文に基づき、水平、上下、回転及びねじれに対する 地盤の複素ばね剛性を振動数領域で計算するプログラムである。本解析コードは、 原子炉建屋の水平方向の地震応答解析における質点系建屋-地盤連成モデルの建屋 埋込み部分の側面地盤ばねを評価するために使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・平面ひずみを仮定した無限地盤にある円形基礎の側面地盤ばねを算定できる。
- ・円形基礎は剛体として扱う。

3.3 解析手法

円形基礎の側面と接する地盤に対する水平,上下,回転及びねじれ加振した場合 の力-変形関係から建屋の側面地盤ばねを算定する方法である。

建屋側面地盤の水平ばね K_a及び回転ばね K_cは,0次と1次の変形ベッセル関数を 用いて,(3.1)式及び(3.2)式で評価される。

$$K_{a} = -\pi H_{j}G_{j}a_{0}^{2} \frac{4K_{1}(b_{0}^{*})K_{1}(a_{0}^{*}) + a_{0}^{*}K_{1}(b_{0}^{*})K_{0}(a_{0}^{*}) + b_{0}^{*}K_{0}(b_{0}^{*})K_{1}(a_{0}^{*})}{b_{0}^{*}K_{0}(b_{0}^{*})K_{1}(a_{0}^{*}) + a_{0}^{*}K_{1}(b_{0}^{*})K_{0}(a_{0}^{*}) + b_{0}^{*}a_{0}^{*}K_{0}(b_{0}^{*})K_{0}(a_{0}^{*})}$$
(3.1)

$$K_{c} = \pi H_{j}G_{j}r_{0}^{2}(1 + i \cdot 2h_{j})\left[1 + a_{0}^{*} \frac{K_{0}(a_{0}^{*})}{K_{1}(a_{0}^{*})}\right]$$
(3.2)

 $a_0 = \omega r_0 / V_s$ (等価円置換の無次元振動数)

 $b_0 = \omega r_0 / V_p$ (等価円置換の無次元振動数)

$$\begin{split} r_{0} = \sqrt{B_{x} B_{y} / \pi} \quad (等価円半径) \\ \omega & : 円振動数 \\ V_{s} & : 地下部外壁に接する地盤のS波速度 \\ B_{x}, B_{y} & : 建物の辺長 \\ K_{0}(), K_{1}() & : それぞれ 0 次と 1 次の変形ベッセル 関数 \\ a_{0}^{*} = \frac{a_{0}}{\sqrt{1 + i \cdot 2h_{j}}} \cdot i, \ b_{0}^{*} = a_{0}^{*} / \eta_{j}, \ \eta_{j} = \sqrt{2(1 - \nu_{j}) / (1 - 2\nu_{j})} \\ h_{j}, \nu_{j} & : 地下部外壁に接する地盤のそれぞれの減衰定数とポアソン比 \end{split}$$
3.4 解析フローチャート 解析フローチャートを図3-1に示す。



図 3-1 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 文献との比較による検証

以下に示す条件について水平ばね及び回転ばねを評価し, の計算結果との比較を行う。

- ・地盤のポアソン比は 0.33 とする。
- ・地盤の材料減衰定数は0.00, 0.05, 0.10の3ケースとする。

水平ばね及び回転ばねの比較結果を図 3-2 に示す。

図 3-2 より,本解析コードの結果は_____の計算結果と良い一

致を示しており、本解析コードが建屋側面地盤の水平ばね及び回転ばねを正し く評価していることが確認できる。



図 3-2 解析結果の比較

3.5.2 使用内容に対する妥当性

原子炉建屋の地震応答解析における側面地盤ばねの算定に本解析コードを使 用することは,次のとおり,本解析の適用範囲に対して検証されており,妥当で ある。

 ・検証の内容のとおり、建屋側面地盤の水平ばね及び回転ばねについて検 証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用すること は妥当である。

4. 引用文献



別紙 8 DYNA 2 E

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-4	原子炉本体の基礎の地震応答計算書	Ver. 7. 2. 48
V-2-2-7	主排気筒の地震応答計算書	Ver. 8. 0. 4
V-2-2-8	主排気筒の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 4
V-2-2-9	コントロール建屋の地震応答計算書	Ver. 7. 2. 18
Ⅴ-2-2-別添 2-2	隣接建屋による影響を考慮した機器・配管系の	Ver. 8. 1. 0
	耐震性についての計算書	
V-2-3-1	炉心,原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物	Ver. 7. 2. 48
	の地震応答計算書	
V-2-7-2-1	主排気筒の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 4
V-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の耐震性	Ver. 8. 0. 4
	についての計算書	

- 2. 解析コードの概要
- 2.1 DYNA2E Ver.7.2.48

コード名 項目	DYNA2E	
使用目的	固有值解析,応答解析	
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	
開発時期	1972 年(センチュリリサーチセンタ株式会社) 2007 年(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)	
使用したバージョン	Ver. 7. 2. 48	
コードの概要	本解析コードは, 土木・建築分野における骨組構造*を対 象として開発された2次元/3次元応答解析コードであり, 市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値 解析並びに静的解析(線形)及び動的解析(線形, 非線形) による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し, 3 種 類の解析を行うことができる。 <構 造> 1. 2次元骨組構造 2. 3次元骨組構造 <解 析> 1. 固有値解析 2. 静的解析(線形) 3. 動的解析(線形, 非線形)	
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・一本棒の曲げせん断型モデルについて,本解析コード及 び別解析コードMSC NASTRAN Ver.2008r1 を用いて得られた固有値解析結果及び応答解析結果を 比較して検討し,本解析コードによる解析結果が妥当で あることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証内容のとおり,固有値解析及び応答解析について検 証していることから,解析の目的に照らして今回の解析 に適用することは妥当である。	

 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所工事計画認可
申請書のVー2ー3ー2 「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格納容器及び原子炉本体の基礎
の地震応答計算書」において、固有値解析及び応答解析
に使用された実績がある。
・誘発上下動を考慮する場合の地震応答解析については,
「原子力発電所耐震設計技術規程」EAC4601-
2008((社)日本電気協会)」を参考に,水平加振によ
り励起される上下応答を評価するために, 基礎浮き上が
りの評価法, 鉛直モデルの諸元及び接地率に応じて変化
する回転・鉛直連成ばねについて考慮している。
・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する
固有値解析及び応答解析の使用目的に対し,使用用途及
び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範
囲内であることを確認している。

注記*:本解析コードでは、主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。

2.2	DY	ΝA	2 E	Ver.	8.	0.	4
-----	----	----	-----	------	----	----	---

<u>コード名</u> 項目	DYNA2E		
使用目的	立体フレームモデルによる応力解析,固有値解析及び地震 応答解析		
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社		
開発時期	1972 年(センチュリリサーチセンタ株式会社) 2007 年(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)		
使用したバージョン	Ver. 8. 0. 4		
コードの概要	本解析コードは、土木・建築分野における2次元/3次元 骨組構造物の動的解析を目的として開発されたプログラム である。微小変形理論に基づき、固有値、振動モード、各質 点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が 求められる。		
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 DYNA2Eは,原子炉建屋の主排気筒及び屋根トラスの 弾塑性地震応答解析に使用している。主排気筒及び屋根トラスの地震応答解析では,部材をはり要素等でモデル化している。屋根トラスでは,部材の圧縮座屈による非線形挙動に対して修正若林モデルによる履歴特性を設定している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・谷口らの論文及び若林らの論文に示される式から算定した履歴曲線と解析結果が一致することを確認している。 ・応答解析については,別の妥当性が確認されている解析コードによる解析結果と一致することを確認している。 ・本コードを用いた3次元フレームモデルによる地震応答解析結果と理論解の比較を行い,両者が一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり,非線形挙動及び地震応答解析について検証していることから,解析の目的に照らして今回 		

の解析に適用することは妥当である。
電源開発株式会社大間 1 号機第 2 回工事計画認可申請
書のⅣ-2-3「原子炉格納容器及び原子炉建屋の地震応答
計算書」において,動的解析に使用された実績がある。
地震応答解析に対して,九州電力株式会社川内原子力発
電所1号機第1回工事計画認可申請書の 3-16-1「原子
炉格納施設の地震応答解析」 において, 動的解析に使用
された実績があるTDAPⅢを用いた解析解と,本コー
ドによる解析解を比較した結果,双方の解が一致してい
ることを確認した。
3次元フレームモデルに使用する要素及び地震応答解析
の使用目的に対し,使用用途及び使用方法に関する適用
範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認し
ている。

コード名 項目	DYNA2E
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	2005 年
使用したバージョン	Ver. 7. 2. 18
コードの概要	本解析コードは、土木・建築分野における2次元/3次元 骨組構造物の動的解析を目的として開発されたプログラム である。微小変形理論に基づき、固有値、振動モード、各質 点と部材の最大応答値及び各質点の応答加速度時刻歴等が 求められる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析に使用 している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・汎用コードである 「による解析 解と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の 解がおおむねー致していることを確認している。 ・汎用コードである 「による解析解 と本解析コードによる解析解を比較した結果、双方の解 がおおむねー致していることを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、弾塑性を考慮した多質点系の地震 応答について検証していることから、解析の目的に照ら して今回の解析に適用することは妥当である。

2.3 DYNA2E Ver.7.2.18

コード名 項目	DYNA2E
使用目的	固有值解析,応答解析
開発機関	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社
開発時期	1972 年(センチュリリサーチセンタ株式会社) 2007 年(伊藤忠テクノソリューションズ株式会社)
使用したバージョン	Ver. 8. 1. 0
コードの概要	本解析コードは, 土木・建築分野における骨組構造*を対 象として開発された2次元/3次元応答解析コードであり, 市販されている汎用構造計算機プログラムである。固有値 解析並びに静的解析(線形)及び動的解析(線形, 非線形) による応答解析が可能である。以下に示す構造に対し, 3 種 類の解析を行うことができる。 <構 造> 1. 2次元骨組構造 2. 3次元骨組構造 <解 析> 1. 固有値解析 2. 静的解析(線形, 非線形)
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析で使用したDYNA2E Ver.8.1.0に対し,使用実績のある Ver.7.2.48 からのバージョンアップにおいて,本解析で使用するコマンドに関し解析結果に影響を及ぼす変更がないことをバージョンのリリースノートより確認している。 ・実績のある解析モデルデータでの固有値解析結果及び動的解析結果より,バージョンアップにより解析結果に相違が生じないことを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

2.4 DYNA2E Ver.8.1.0

 ・検証内容のとおり、固有値解析及び応答解析について検
証していることから,解析の目的に照らして今回の解析
に適用することは妥当である。
・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する固
有値解析及び応答解析の使用目的に対し,使用用途及び
使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲
内であることを確認している。

注記*:本解析コードでは、主に曲げせん断はり要素を適用する構造のことをいう。

別紙9 NOVAK

	バージョン	
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 0
V-2-2-15	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver. 1. 0
V-2-11-2-1	サービス建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 0

^{2.} 解析コードの概要

コード名 項目	N O V A K
使用目的	側面地盤ばね算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1979 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	本解析コードは, Novakの論文*に基づき,水平,上下,回 転成分の単位深さあたりの地盤の複素ばね剛性を振動数領 域で計算するプログラムである。地震応答解析における水平 方向の地震応答解析モデルの建屋埋め込み部分の基礎側面 地盤の評価に使用する。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、タービン建屋等の地震応答解析における 入力地震動の策定において、基準地震動Ss及び弾性設計用 地震動Sdに対する地盤の応答を評価するために使用して いる。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・他コードとの比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、側面地盤ばねについて検証してい ることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用す ることは妥当である。

注記*: Novak, M, et al. : "Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case", The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1978, pp. 953-959.

別紙 10 SHAKE

	バージョン	
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	Ver. 1. 0
V-2-2-11	廃棄物処理建屋の地震応答計算書	Ver.1.0
V-2-2-15	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver.1.0
V-2-2-別添 2-1	隣接建屋による影響を考慮した地震応答計算及	Ver.1.0
	び建物・構築物の耐震性についての計算書	
V-2-11-2-1	サービス建屋の耐震性についての計算書	Ver.1.0

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SHAKE
使用目的	入力地震動算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1999 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	本解析コードは,重複反射理論に基づく地盤の地震応答解 析を行うことが可能であり,地盤の非線形性はひずみ依存特 性を用いて等価線形法により考慮することができる。 本解析コードの主な特徴として,以下の①~③を挙げるこ とができる。 ①1次元重複反射理論に基づくプログラムである。 ②地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法 により考慮できる。 ③鉛直動は,S波速度をVs,P波速度をVpとして定義するこ とで対応が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、タービン建屋等の地震応答解析における 入力地震動の策定において、基準地震動Ss及び弾性設計用 地震動Sdに対する地盤の応答を評価するために使用して いる。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・理論解との比較 ・他コードとの比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・原子力産業界において、日本原燃株式会社の「ウラン・ プルトニウム混合酸化物燃料加工施設に係る設計及び 工事」で、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加工施 設(MOX燃料加工施設)のうち燃料加工建屋に対する

地震応答解析に本解析コードが使用された実績がある。
・検証の内容のとおり,入力地震動算定について検証して
いることから,解析の目的に照らして今回の解析に適用
することは妥当である。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本解析コードは,重複反射理論に基づく地震応答解析を行うプログラムである。 本解析コードは1次元地震応答解析(入力地震動算定)に使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・1次元重複反射理論に基づく解析を行う。
- ・地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等価線形法により考慮する。
- ・鉛直動は、S波速度 VsをP波速度 Vpとして定義することで対応できる。
- 3.3 解析手法

R1

別紙

V-2

K7 ①

図3-1に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。線形粘弾性 系は、均質、等方性であり、厚さがh、密度が ρ 、せん断弾性係数がG、臨界減衰 比が β で定義されているとする。せん断波の伝ばは水平変位u = u(x,t)のみによる。これ は、次の波動方程式を満足しなければならない。

$$\rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2} = \mathbf{G} \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}^2} + \eta \frac{\partial^3 \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}^2 \partial \mathbf{t}}$$
(3.1)

波動方程式(3.1)式の解は、振動数ωに対し、次式で与えられる。

$$u(x, t) = Ee^{i(kx+\omega t)} + Fe^{-i(kx-\omega t)}$$
 (3.2)

ここに,

$$k^{2} = \frac{\rho \cdot \omega^{2}}{G + i \omega \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \omega^{2}}{G^{*}}$$
(3.3)

である。(3.2)の第1項は、Xのマイナス方向(上向き)に伝わる入射波を示し、第2項 はXのプラス方向(下向き)に伝わる反射波を示している。また、水平面におけるせん 断応力度の定義は次式で与えられる。

$$\tau(\mathbf{x}, \mathbf{t}) = \mathbf{G}\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}} + \eta \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x} \partial \mathbf{t}} = \mathbf{G}^* \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial \mathbf{x}}$$
(3.4)

(3.4)式に(3.2)式を代入すると,

$$\tau(\mathbf{x}, \mathbf{t}) = \mathbf{i}\mathbf{k}\mathbf{G}^* \left(\mathbf{E} \cdot \mathbf{e}^{\mathbf{i}\mathbf{k}\mathbf{x}} - \mathbf{F} \cdot \mathbf{e}^{-\mathbf{i}\mathbf{k}\mathbf{x}}\right) \cdot \mathbf{e}^{\mathbf{i}\omega\mathbf{t}}$$
(3.5)

となる。

(3.1)式は図3-1の各層にて成り立つ。各層の局所座標系Xで表される第m層の最 上部 x = 0 及び最下部 $x = h_m$ における変位は、第m層における厚さを h_m 、密度を ρ_m 、 せん断弾性係数を G_m 、臨界減衰比を β_m で定義すると、それぞれ次のように表せる。

$$u_{m}(0, t) = (E_{m} + F_{m})e^{i\omega \cdot t}$$
 (3.6)

$$\mathbf{u}_{m}(\mathbf{h}_{m},\mathbf{t}) = \left(\mathbf{E}_{m} \cdot \mathbf{e}^{i\mathbf{k}_{m}\mathbf{h}_{m}} + \mathbf{F}_{m} \cdot \mathbf{e}^{-i\mathbf{k}_{m}\mathbf{h}_{m}}\right) \mathbf{e}^{i\omega \cdot \mathbf{t}}$$
(3.7)

ここで,任意のm層とm+1層の変位及びせん断応力との連続性を考慮すると次の 循環公式が求まる。

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m}$$
(3.8)

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m) \cdot e^{ik_m h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m) \cdot e^{-ik_m h_m}$$
(3.9)

ここに, α は複素インピーダンス比と呼ばれる定数で, 次式で定義されている。

$$\alpha_{\rm m} = \frac{k_{\rm m} G^{*}_{\rm m}}{k_{\rm m+l} G^{*}_{\rm m+l}} = \left(\frac{\rho_{\rm m} G^{*}_{\rm m}}{\rho_{\rm m+l} G^{*}_{\rm m+l}}\right)^{\frac{1}{2}}$$
(3.10)

この複素インピーダンス比 α_{m} は、周期に対して独立である。自由面におけるせん 断応力度 $\tau=0$ と(3.7)式より $E_{1}=F_{1}$ が得られる。循環公式(3.8)式,(3.9)式を繰り返 し用いて、次のようなm層と表層の振幅の関係を導き出すことができる。

$$\mathbf{E}_{\mathbf{m}} = \mathbf{e}_{\mathbf{m}}(\boldsymbol{\omega})\mathbf{E}_{\mathbf{1}} \tag{3.11}$$

$$\mathbf{F}_{m} = \mathbf{f}_{m} \left(\boldsymbol{\omega} \right) \mathbf{F}_{1} \tag{3.12}$$

伝達関数 e_m 及び f_m は、単なる $E_1 = F_1 = 1$ に対する倍率であり、 $E_1 = F_1 = 1$ を上式に代入して解けば求まる。

他の伝達関数は_e, f_mから簡単に得られる。n層及び m 層表面での変位を関係づ ける伝達関数 A_{nm}を次のように定義する。

$$\mathbf{A}_{\mathbf{n},\mathbf{m}}(\omega) = \frac{\mathbf{u}_{\mathbf{m}}}{\mathbf{u}_{\mathbf{n}}} \tag{3.13}$$

(3.13)式に(3.4)式,(3.11)式及び(3.12)式を代入して整理すると次式を得る。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)}$$
(3.14)

これらの式より, 伝達関数 A ()は, 系のいかなる2つの層の間においても定められる。

ゆえに,任意の層の動的変位が判れば,他の層の動的変位も計算できる。(3.2)式 より,加速度 $\ddot{u}(x,t)$,ひずみ $\gamma(x,t)$ は次のように得られる。

$$\ddot{u}(x,t) = \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = -\omega^2 \left(E e^{i(kx+\omega t)} + F e^{-i(kx-\omega t)} \right)$$
(3.15)

$$\gamma(\mathbf{x}, \mathbf{t}) = \frac{\partial \mathbf{u}(\mathbf{x}, \mathbf{t})}{\partial \mathbf{x}} = ik \left(E e^{i(k\mathbf{x} + \omega \mathbf{t})} - F e^{-i(k\mathbf{x} - \omega \mathbf{t})} \right)$$
(3.16)

振幅 E 及び Fは,系全体の層において求めることができるので,加速度及びひずみ も求めることができる。



図 3-1 1 次元地盤モデル

48

3.4 解析フローチャート 解析フローチャートを図 3-2 に示す。



図 3-2 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 理論解との比較による検証 2層のモデル地盤において、1次元重複反射理論に基づく伝達関数の理論解と の比較を行った。
 - (1) 検証モデル及び検討条件

図 3-3 に地盤モデル諸元を示す。

単位体積重量	$17 \mathrm{kN/m^3}$	
せん断波速度 減衰	150m/s 1%	5.0m
単位体積重量 せん断波速度 減衰	18kN/m³ 250m/s 1%	5. Om
単位体積重量 せん断波速度 減衰	18kN/m³ 250m/s 0%	

図 3-3 地盤モデル諸元

- <検討条件>
- ・重力加速度は 9.80665m/s²とする。
- ・検討する振動数は0~50Hzまでとする。

(2) 比較結果

理論解との伝達関数の比較結果を図 3-4 に示すが、本解析コードと理論解の 結果は一致していることが確認できる。



図 3-4 理論解との伝達関数の比較結果

3.5.2 他コードとの比較による検証

市販されている 1 次元地盤の等価線形解析プログラムLiQSMARTとの 比較を実施した。

(1) 検証モデル

表 3-1 に地盤モデル諸元を示し,図 3-5 及び図 3-6 にひずみ依存特性を示す。

日本	層厚	分割	深度	単位体積重量	せん断波速度	せん断弾性係数	
区分	(m)	(m)	(m)	(kN/m^3)	(m/s)	(kN/m^2)	减衰正毅
		1.00	1.00	17	110	20976	0.03
	4.00	1.00	2.00	17	110	20976	0.03
	4.00	1.00	3.00	17	110	20976	0.03
		1.00	4.00	17	110	20976	0.03
		1.20	5.20	16	124	25087	0.02
		1.20	6.40	16	124	25087	0.02
第1層		1.20	7.60	16	124	25087	0.02
		1.20	8.80	16	124	25087	0.02
	10.80	1.20	10.00	16	124	25087	0.02
		1.20	11.20	16	124	25087	0.02
		1.20	12.40	16	124	25087	0.02
		1.20	13.60	16	124	25087	0.02
		1.20	14.80	16	124	25087	0.02
		1.60	16.40	16	162	42818	0.02
		1.60	18.00	16	162	42818	0.02
	0.60	1.60	19.60	16	162	42818	0.02
	9.00	1.60	21.20	16	162	42818	0.02
		1.60	22.80	16	162	42818	0.02
(4)日本		1.60	24.40	16	162	42818	0.02
\$P\$4眉	1.20	1.20	25.60	20	286	166817	0.02
		2.00	27.60	20	252	129512	0.02
8.00	2.00	29.60	20	252	129512	0.02	
	0.00	2.00	31.60	20	252	129512	0.02
		2.00	33.60	20	252	129512	0.02
	2.00	2.00	35.60	20	375	286795	0.01
基盤				20	442	398432	0.01

表 3-1 地盤モデル諸元





減衰

(%)

0.00 0.28

0.59

1.13

2.02

2.70

3.81

6.09

9.04

11.51

14.65

18.99

22.90

24.69

26.62

28.18

G/G0

1.000

0.991

0.980

0.962

0.933

0.910

0.873

0.797

0.699

0.616

0.512

0.367

0.237

0.177

0.113

0.061

せん断 有効ひずみ

(%)

0.0001

0.0002

0.0005

0.001

0.002

0.003

0.005

0.01

0.02

0.03

0.1

0.2 0.3

0.5

1

図 3-5 ひずみ依存特性(第1層)



図 3-6 ひずみ依存特性(第2層)

(2) 検討条件

以下に,検討条件を示す。

- ・重力加速度は 9.80m/s²とする。
- ・等価線形解析とする。
- ・検討する振動数は 0~25Hz までとする。
- (3) 入力地震動

入力波水平一方向に入力する。図 3-7 に入力地震動(2E 波)の加速度時刻歴を 示す。



(4) 比較結果

伝達関数及び加速度の解析解の比較を図 3-8~図 3-11 に示す。各図より、伝 達関数及び加速度の解析解は、一致していることが確認できる。





図 3-9 加速度最大分布比較





図 3-11 地表面加速度応答スペクトル比較

3.5.3 使用内容に対する妥当性

本解析コードの解析結果と理論解を比較し,理論解と解析解が一致している ことを確認した。また,類似解析コードであるLiQSMARTと比較し解析解 が一致していることを確認した。したがって,本解析にSHAKEを使用するこ とは妥当である。 別紙 11 ST-СROSS

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	Ver.1.0
V-2-2-11	廃棄物処理建屋の地震応答計算書	Ver.1.0
V-2-2-15	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver.1.0
V-2-11-2-1	サービス建屋の耐震性についての計算書	Ver. 1. 0

2. 解析コードの概要

<u>コード名</u> 項目	ST-CROSS
使用目的	底面地盤ばね算定
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1977 年
使用したバージョン	Ver. 1. 0
コードの概要	本解析コードは,はり要素とばね要素からなる多質点系モ デルを用いた時刻歴応答解析において,地盤ばね(底面ばね) を算定するプログラムである。半無限均質地盤の地表面点加 振解(グリーン関数)を用いて,指定した矩形基礎形状に応 じたインピーダンスマトリックスを求める。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、タービン建屋等の地震応答解析における 入力地震動の策定において、基準地震動Ss及び弾性設計用 地震動Sdに対する地盤の応答を評価するために使用して いる。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・理論解との比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、矩形基礎形状に応じた地盤インピ ーダンスについて検証していることから、解析の目的に 照らして今回の解析に適用することは妥当である。

別紙 12 TDAS

使用添付書類		バージョン
V-2-2-5	タービン建屋の地震応答計算書	Ver.20121030
V-2-2-11	廃棄物処理建屋の地震応答計算書	Ver.20121030
V-2-2-15	緊急時対策所の地震応答計算書	Ver.20121030
V-2-11-2-1	サービス建屋の耐震性についての計算書	Ver.20121030

2. 解析コードの概要

コード名 項目	T D A S
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver. 20121030
コードの概要	本解析コードは,曲げせん断要素及びばね要素で構成され る質点系モデルの地震応答解析等を行うことができる。本解 析コードの主な特徴として,以下の①,②を挙げることがで きる。 ①固有値解析と建屋の基礎浮上りを考慮した非線形地震 応答解析ができる。 ②1次元重複反射理論による地盤の振動解析に基づき,埋 め込みを伴う側面地盤ばね位置に入力する地盤応答を 算定することができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、タービン建屋等の地震応答解析における 入力地震動の策定において、基準地震動Ss及び弾性設計用 地震動Sdに対する地盤の応答を評価するため並びに基準 地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdに対する建屋の応答 を評価するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・理論解との比較 ・他コードとの比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、弾塑性を考慮した多質点系の地震 応答について検証していること、また、地盤の応答解析 について検証していることから、解析の目的に照らして 今回の解析に適用することは妥当である。

別紙13 MSC NASTRAN

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-6	タービン建屋の耐震性についての計算書	Ver. 2012.1.0
V-2-2-12	廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書	Ver. 2012.1.0
V-2-2-14	格納容器圧力逃がし装置基礎の耐震性について	Ver.2016.1.1
	の計算書	
V-2-2-16	緊急時対策所の耐震性についての計算書	Ver. 2012.1.0
V-2-2-別添 1-3-7	サブドレンピットの耐震性についての計算書	Ver.2013.1.1
V-2-3-3-2-3	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	Ver.2013.0.0
	の応力計算書	
V-2-4-2-1	使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐	Ver. 2016.1.1
	震性についての計算書	
V-2-4-2-5	使用済燃料貯蔵プール監視カメラの耐震性につ	Ver.2005r2
	いての計算書	
V-2-4-2-6	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置の	Ver.2005r2
	耐震性についての計算書	
V-2-5-3-1-2	残留熱除去系ポンプの耐震性についての計算書	Ver.2006r1
V-2-5-3-1-3	残留熱除去系ストレーナの耐震性についての計	Ver. 2013.0.0
	算書	
V-2-5-3-1-4	残留熱除去系ストレーナ部ティーの耐震性につ	Ver. 2013.0.0
	いての計算書	
V-2-5-3-1-5	残留熱除去系ストレーナ取付部コネクタの耐震	Ver. 2013.0.0
	性についての計算書	
V-2-5-4-1-1	高圧炉心注水系ポンプの耐震性についての計算	Ver.2006r1
	書	
V-2-5-4-1-2	高圧炉心注水系ストレーナの耐震性についての	Ver. 2013.0.0
	計算書	
V-2-5-4-1-3	高圧炉心注水系ストレーナ部ティーの耐震性に	Ver. 2013.0.0
	ついての計算書	
V-2-5-4-1-4	高圧炉心注水系ストレーナ取付部コネクタの耐	Ver. 2013. 0. 0
	震性についての計算書	
V-2-5-4-2-3	原子炉隔離時冷却系ストレーナの耐震性につい	Ver. 2013.0.0
	ての計算書	

	使用添付書類	バージョン
V-2-5-4-2-4	原子炉隔離時冷却系ストレーナ部ティーの耐震	Ver. 2013.0.0
	性についての計算書	
V-2-5-5-1-2	復水貯蔵槽の耐震性についての計算書	Ver. 2012.1.0
V-2-5-6-1-3	原子炉補機冷却海水ポンプの耐震性についての	Ver.2006r1
	計算書	
V-2-6-5-1	起動領域モニタの耐震性についての計算書	Ver. 2018.2.1
V-2-6-7-22	フィルタ装置スクラバ水 pH の耐震性についての	Ver.2005r2
	計算書	
V-2-6-7-26	静的触媒式水素再結合器動作監視装置の耐震性	Ver.2005r2
	についての計算書	
V-2-9-2-1	原子炉格納容器コンクリート部の耐震性につい	Ver. 2016.1.1
	ての計算書	
V-2-9-2-4	下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及	Ver. 2013.0.0
	び鏡板(所員用エアロック付)の耐震性について	
	の計算書	
V-2-9-2-5	下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及	Ver. 2013.0.0
	び鏡板(機器搬入用ハッチ付)の耐震性について	
	の計算書	
V-2-9-2-8	下部ドライウェル機器搬入用ハッチの耐震性に	Ver. 2013.0.0
	ついての計算書	
V-2-9-2-11	下部ドライウェル所員用エアロックの耐震性に	Ver. 2013.0.0
	ついての計算書	
V-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の耐震性	Ver. 2005. 5. 2
	についての計算書	
V-2-9-3-1-2	主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震	Ver. 2016. 1. 1
	性についての計算書	
V -2-9-3-4	県子炉建屋基礎スフフの耐震性についての計算 =	Ver. 2016. 1. 1
\mathbf{V}	青	Vor 2012 0 0
V - 2 - 9 - 4 - 2	タイイノノムノロノの耐晨性についての計算音	Ver. 2013. 0. 0
V = 2 - 9 - 4 - 3 V = 2 - 9 - 4 - 4 - 1 - 1	ドライウェルスプレイ管の耐雪州についての計	$V_{\rm Or} = 2013 \ 0 \ 0$
v 4 5 4 4 1 1		101.2013.0.0
	 プ 目	

	バージョン	
V-2-9-4-4-1-2	サプレッションチェンバスプレイ管の耐震性に	Ver.2013.0.0
	ついての計算書	
V-2-9-4-8-1	下部ドライウェルアクセストンネルの耐震性に	Ver.2013.0.0
	ついての計算書	
V-2-9-5-5	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震	Ver. 2013.1.1
	性についての計算書	
V-2-10-1-2-2-6	管の耐震性についての計算書	Ver.2008.0.0
V-2-11-2-8	耐火隔壁の耐震性についての計算書	Ver.2008.0.0
Ⅴ-2-別添 1-4	ボンベラックの耐震計算書	Ver.2005r2
		Ver. 2008.0.4
Ⅴ-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B,C クラス機器の耐震計算	Ver.2012.1.0
	書	
V-2-別添 3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の	Ver.2005r2
	耐震計算書	

- 2. 解析コードの概要
- 2.1 MSC NASTRAN Ver. 2012. 1.0

コード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法による応力解析(弾性) はりモデルによる固有値解析及び地震応答解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2012. 1. 0
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 (1) 3次元有限要素法による応力解析(弾性) ・等分布面荷重を作用させた平板の最大変位について、 本解析コードで応力解析を行った解析解と、 S. Timoshenkoの理論式による理論解を比較し,解析 解と理論解が概ね一致していることを確認した。 ・材料力学分野における一般的知見により解を求める ことができる体系について、3次元有限要素法による 応力解析を行い,解析解が理論モデルによる理論解と 一致することを確認した。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示 された要件を満足していることを確認している。 (2) はりモデルによる固有値解析及び地震応答解析 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めるこ とができる体系について、本解析コードを用いた解析
結果と理論モデルによる理論解の比較を行い,解析解	

が理論解と一致することを確認している。	
・本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示	
された要件を満足していることを確認している。	
【妥当性確認(Validation)】	
本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。	
(1) 3次元有限要素法による応力解析(弾性)	
・本解析コードは,航空宇宙,自動車,造船,機械,建	
築,土木等様々な分野における使用実績を有してお	
り,妥当性は十分に確認されている。	
・応力解析に対して, 一般産業界において, 全世界 40 ヶ	
国,約4,000件の多数のプロジェクトの解析で使用実	
績のあるMIDASを用いた解析解と,本解析コード	
による解析解を比較したベンチマーキングを行った	
結果,双方の解が概ね一致していることを確認した。	
・原子力産業界において,日本原燃株式会社の「ウラン・	
プルトニウム混合酸化物燃料加工施設に係る設計及	
び工事」で、ウラン・プルトニウム混合酸化物燃料加	
工施設(MOX燃料加工施設)のうち燃料加工建屋に	
対する応力解析に本解析コードが使用された実績が	
ある。	
 ・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系 	
が同等であることから、検証結果をもって、解析機能	
の妥当性も確認できる。	
・今回の工事計画認可申請において, 使用するバージョ	
ンは, 他プラントの既工事計画において使用されてい	
るものと同じであることを確認している。	
 ・検証の内容のとおり、応力解析について検証している 	
ことから,解析の目的に照らして今回の解析に適用す	
ることは妥当である。	
(2) はりモデルによる固有値解析及び応力解析	
・本解析コードは, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建	
築,土木等様々な分野における使用実績を有してお	
り,妥当性は十分に確認されている。	
 ・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系 	
が同等であることから, 検証結果をもって, 解析機能	

の妥当性も確認できる。
・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が
上述の妥当性確認の範囲内であることを確認してい
る。

2.2 MSC NASTRAN Ver. 2016. 1.1

ユード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	3 次元有限要素法による応力解析(弾性) 3 次元有限要素法(はりモデル及びシェルモデル)による固 有値解析及び地震応答解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2016. 1. 1
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは,格納容器圧力逃がし装置基礎,使用済燃 料貯蔵プール,原子炉格納容器コンクリート部及び原子炉建 屋基礎スラブの3次元有限要素法による応力解析,主蒸気系 トンネル室ブローアウトパネルの3次元有限要素法による 固有値解析及び地震応答解析に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めるこ とができる体系について,3次元有限要素法による応力 解析,固有値解析及び地震応答解析を行い,解析解が理 論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,航空宇宙,自動車,造船,機械,建

築,土木等様々な分野における使用実績を有しており,
妥当性は十分に確認されている。
・日本原子力発電東海第二発電所工事計画認可申請書に
おいて,原子炉建屋の使用済燃料プール,基礎盤及び
原子炉格納容器底部コンクリートマット,緊急時対策所
建屋,格納容器圧力逃がし装置格納槽の3次元有限要素
法による応力解析及び温度分布解析に使用された実績
がある。
・日本原子力発電東海第二発電所工事計画認可申請書に
おいて,固有値解析及び地震応答解析に本解析コードが
使用された実績がある。
・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系
が同等であることから, 検証結果をもって, 解析機能の
妥当性も確認している。
・今回の工事計画認可申請において, 使用するバージョン
は, 他プラントの既工事計画において使用されているも
のと同じ又は他プラントの既工事計画において使用さ
れているものと異なるが, バージョンの変更は, 計算機
能の追加に伴うものであり, 今回の使用範囲における解
析機能に影響のある変更がおこなわれていないことを
確認している。
・今回の工事計画認可申請における構造に対し使用する
要素,3次元有限要素法の使用目的に対し,使用用途及
び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範
囲内であることを確認している。
・検証の内容のとおり、応力解析、固有値解析及び地震応
答解析について検証していることから,解析の目的に照
らして今回の解析に適用することは妥当である。

2.3 MSC NASTRAN Ver. 2013. 1.1

ユード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法(シェルモデル)による応力解析 3次元有限要素法(はりモデル及びシェルモデル)による固 有値解析,応力解析
開発機関	MSC. Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2013. 1. 1
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めるこ とができる体系について,本解析コードを用いた解析結 果と理論モデルによる理論解の比較を行い,解析解が理 論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,航空宇宙,自動車,造船,機械,建築, 土木等様々な分野における使用実績を有しており,妥当 性は十分に確認されている。 ・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系 が同等であることから,検証結果を持って,解析機能の 妥当性も確認できる。

・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が
上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

2.4 MSC NASTRAN Ver. 2013.0.0

コード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	 3 次元有限要素法(はりモデル及びシェルモデル)による固 有値解析及び応力解析 3 次元有限要素法(シェルモデル)による固有値解析及び応 力解析 3 次元有限要素法(シェルモデル)による応力解析 3 次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析及び応力 解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2013. 0. 0
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めることができる体系について、本解析コードを用いた解析結果と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、 土木等様々な分野における使用実績を有しており、妥当

性は十分に確認されている。
・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系
が同等であることから, 検証結果を持って, 解析機能の
妥当性も確認できる。
・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が
上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

コード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	 3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析,応力解析 3次元有限要素法(はりモデル,シェルモデル)による固有 値解析,応力解析 3次元有限要素法(はり要素)による管の固有値解析及び応 力解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2005r2
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めるこ とができる体系について、本解析コードを用いた3次元 有限要素法(はり、シェルモデル)による応力解析結果 と理論モデルによる理論解の比較を行い、解析解が理論 解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示さ れた要件を満足していることが確認されている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、航空宇宙、自動車、造船、機械、建築、 土木等様々な分野における使用実績を有しており、妥当 性は妥当性は十分確認されている。

 $2.5 \quad M \ S \ C \quad N \ A \ S \ T \ R \ A \ N \quad \mbox{Ver}. \ 2005r2$

・開発機関が提示する使用マニュアルより、今回の工事
計画認可申請で使用する有限要素法による応力解析
に、本解析コードが適用できることを確認している。
・検証した機能・範囲と今回の工事計画認可申請で使用
する機能・範囲が同等であることから、検証結果をも
って,解析機能の妥当性も確認できる。
・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が
上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

コード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	はりモデルによる固有値解析及び地震応答解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver.2006r1
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めること ができる体系について,本解析コードを用いた解析結果 と理論モデルによる理論解の比較を行い,解析解が理論 解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,航空宇宙,自動車,造船,機械,建築, 土木等様々な分野における使用実績を有しており,妥当 性は十分に確認されている。 ・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が 同等であることから,検証結果を持って,解析機能の妥 当性も確認できる。

2.6 MSC NASTRAN Ver. 2006r1

ユード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2018. 2. 1
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めるこ とができる体系について,はり要素を用いた固有値解析 を行い,解析解が論理解と概ね一致することを確認して いる。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・開発機関が提示するマニュアルにより,今回の工事計画 認可申請で使用するはり要素を用いた固有値解析結果 に本コードが適用できることを確認している。 ・本解析に本解析コードを使用することの妥当性は,前述 の検証の中で確認している。

ユード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法による応力解析(弾性)
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2005. 5. 2
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、大物搬入建屋の3次元有限要素法による 応力解析に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・等分布面荷重を作用させた平板の最大変位について、本 解析コードで応力解析を行った解析解と,S.Timoshe nkoの理論式による理論解を比較し、解析解と理論解が 概ね一致していることを確認した。 ・材料力学分野における一般的知見により解を求めるこ とができる体系について、3次元有限要素法による応力 解析を行い、解析解が理論モデルによる理論解と一致す ることを確認した。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認した。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・原子力産業界において、様々な建屋に対する応力解析に 本解析コードが使用された実績がある。

コード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法(はり要素)による固有値解析及び応力 解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 0
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般知見により解を求めることが できる体系について、本解析コードを用いた3次元有限 要素法による解析結果と理論モデルによる理論解の比較 を行い,解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、自動車、航空機、土木、造船、海洋油 田、工業設備、化学技術、光学、政府調査等の様々な分 野における使用実績を有しており、妥当性は十分確認さ れている。 ・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系 が同等であることから、解析解と理論解の一致をもって 解析機能の妥当性も確認している。

2.10 J	МSС	NAST	Γ R A N	Ver. 2008. 0. 4	1
--------	-----	------	---------	-----------------	---

コード名 項目	MSC NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析及び応力 解析
開発機関	MSC.Software Corporation
開発時期	1971年(一般商業用リリース)
使用したバージョン	Ver. 2008. 0. 4
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として開発 された,有限要素法による構造解析用の汎用計算機プログラ ムである。適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッ ド要素)に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過 渡応答解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温 度分布解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有して いる。数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車, 造船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用され ている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・構造力学分野における一般的知見により解を求めるこ とができる体系について,本解析コードを用いた3次元 有限要素法(はりモデル)による応力解析結果と理論モ デルによる理論解の比較を行い,解析解が理論解と一致 することを確認されている。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることが確認されている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,航空宇宙,自動車,造船,機械,建築, 土木等様々な分野における使用実績を有しており,妥当 性は十分確認されている。

・検証した機能・範囲と今回の工事計画認可申請で使用
する機能・範囲が同等であることから、検証結果をも
って,解析機能の妥当性も確認できる。今回の工事計
画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性
確認の範囲内であることを確認している。
・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が
上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

別紙14 NX NASTRAN

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-7	主排気筒の地震応答計算書	Ver.11.0
V-2-2-8	主排気筒の耐震性についての計算書	Ver.11.0
V-2-4-2-4	使用済燃料貯蔵プール水位・温度(SA 広域)の	Ver.5mp1
	耐震性についての計算書	
V-2-7-2-1	主排気筒の耐震性についての計算書	Ver.11.0
V-2-9-4-5-3-1	静的触媒式水素再結合器の耐震性についての計	Ver. 8. 1
	算書	
V-2-10-2-4-4	津波監視カメラの耐震性についての計算書	Ver.11.0
V-2-11-2-2-2	非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板	Ver. 9.0
	の耐震性についての計算書	
V-2-11-2-2-3	竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算書	Ver. 7.1
V-2-11-2-2-4	換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計	Ver. 7.1
	算書	Ver.9.0
V-2-11-2-2-5	原子炉補機冷却海水系配管防護壁の耐震性につ	Ver.9.0
	いての計算書	
Ⅴ-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B,C クラス機器の耐震計算	Ver.5mp1
	書	

- 2. 解析コードの概要
- 2.1 NX NASTRAN Ver. 11.0

コード名 項目	NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法による応力解析(弾性) 3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析,応力解 析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年(The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年(Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 11. 0
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され, Siemens PLM Software Inc. に引き継がれた有限要素法による構造解 析用の汎用プログラムであり,MSC NASTRANと同 じ機能を持つ。 適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッド要素) に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過渡応答 解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温度分布 解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車,造 船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用されて いる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは,主排気筒の応力解析に使用している。 主排気筒の応力解析では,部材をはり要素でモデル化した弾 性応力解析を実施している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・既工事計画において実積のある別コード(MSC NA STRAN)によるはりモデルでの応力解析結果と一致 することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。

【妥当性確認(Validation)】
本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。
・検証の内容のとおり、はりモデルによる応力解析につい
て,本解析コードによる解析結果が別コードによる解析
結果と一致していることから,解析の目的に照らして今
回の解析に適用することは妥当である。
・電源開発株式会社大間原子力発電所 1 号機第 2 回工事
計画認可申請書のⅣ-2-9-1「主排気筒の耐震性及び強度
に関する計算書」 において, 応力解析に使用された実績
がある。
 日本原子力発電株式会社東海第二発電所工事計画認可
申請書のVー2ー別添 3ー4「可搬型重大事故等対処設備の
うちボンベ設備の耐震性についての計算書」において,
応力解析に使用された実績がある。
・はりモデルに使用する要素及び応力解析の使用目的に
対し,使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の
妥当性確認の範囲内であることを確認している。
・今回の工事計画認可申請において使用するバージョン
は、既工事計画において使用されているものと異なる
が, バージョンの変更において解析機能に影響のある変
更が行われていないことを確認している。

•	
コード名 項目	NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析,応力
	解析
	3次元有限要素法(はりモデル)による応力解析
	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software
笧	Inc.
	1971 年(The MacNeal-Schwendler Corporation)
用	2005 年(Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver.5mp1
	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として The
	MacNeal-Schwendler Corporation により開発され, Siemens
	PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解
	析用の汎用プログラムであり, MSC NASTRANと同
	じ機能を持つ。
コードの概要	適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッド要素)
	に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過渡応答
	解析,周波数応答解析),固有值解析,伝熱解析(温度分布
	解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有している。
	数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車,造船,
	機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用されている。
	【検証(Verification)】
	本解析コードの検証内容は以下のとおりである。
	・固有値解析
	3次元骨組構造物について,質点および質量の無い弾性
	メンバーからなる等価な解析モデルを設定し,解析結果
検証(Verification)	が公開文献*により求めた理論解(以下「理論解」とい
及び	う。)及び別コード(SOLVER)による解析結果と
妥当性確認(Validation)	NX NASTRANによる解析結果とが同等である
	ことを確認している。
	・応力解析
	固有値解析で作成した二層ラーメン構造の解析モデル
	を使用して自重及び水平 1G を考慮した応力解析を行
	い,計算された部材応力と支点反力について別コード

2.2 NX NASTRAN Ver.5mp1

(SOLVER)による解析結果とNX NASTR
ANによる解析結果とが同等であることを確認してい
る。
【妥当性確認(Validation)】
本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。
・理論解とNX NASTRANによる解析結果とが同
等であることを確認していることから, 今回の解析に適
用することは妥当である。
・本解析コードは,航空宇宙,自動車,造船,機械,建築,
土木等様々な分野における使用実績を有しており,妥当
性は十分に確認されている。

注記*:「振動及び応答解析入門」(川井忠彦,藤谷義信共著 179頁 培風館)

コード名 項目	N X N A S T R A N
使用目的	3次元有限要素法(シェルモデル及びはりモデル)による 固有値解析及び応力解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年(The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年(Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 8. 1
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され, Siemens PLM Software Inc.に引き継がれた有限要素法による構造解 析用の汎用プログラムであり,MSC NASTRANと同 じ機能を持つ。 適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッド要素) に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過渡応答 解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温度分布 解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車,造 船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用されて いる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・材料力学分野における一般的な知見により解を求めるこ とができる体系について、3次元有限要素法(3次元シ ェル及びはりモデル)による固有値解析及び応力解析を 行い,解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,自動車,航空宇宙,防衛,重機,造成 等様々な分野における使用実績を有しており,妥当性は 十分に確認されている。

2.3 NX NASTRAN Ver.8.1

・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画
認可申請で使用する3次元有限要素法(シェルモデル及
びはりモデル)による固有値解析及び応力解析に本解析
コードが適用できることを確認している。
・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系が
同等であることから、解析解と理論解の一致をもって、
解析機能の妥当性を確認している。
・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法(シェ
ルモデル及びはりモデル)による固有値解析及び応力解
析の用途, 適用範囲が, 上述の妥当性確認範囲内にある
ことを確認している。

ユード名 項目	NX NASTRAN
使用目的	3 次元有限要素法(シェル及びはり要素)による固有値解 析,応力解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年(The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年(Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver.9.0
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され, Siemens PLM Software Inc. に引き継がれた有限要素法による構造解 析用の汎用プログラムであり, MSC NASTRANと同 じ機能を持つ。 適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッド要素) に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過渡応答 解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温度分布 解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車,造 船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用されて いる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・材料力学分野における一般的な知見により解を求める ことができる体系について、3次元有限要素法(シェル 及びはり要素)による固有値解析及び応力解析を行い、 解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示 された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、重機、造 船等様々な分野における使用実績を有しており、妥当

2.4 NX NASTRAN Ver.9.0

・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画
認可申請で使用する3次元有限要素法(シェル及びはり
要素)による固有値解析及び応力解析に本解析コードが
適用できることを確認している。
・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系
が同等であることから、解析解と理論解の一致をもっ
て,解析機能の妥当性も確認できる。
・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法(シェ
ル及びはり要素)による固有値解析及び応力解析の用
途, 適用範囲が, 上述の妥当性確認範囲内にあることを
確認している。
・今回の工事計画認可申請において使用するバージョン
は,既工事計画に置いて使用されているものと異なる
が、バージョンの変更において解析機能に影響のある
変更が行われていないことを確認している。

ユード名 項目	NX NASTRAN
使用目的	3次元有限要素法(シェル及びはり要素)による固有値解 析,応力解析
開発機関	Siemens PLM (Product Lifecycle Management) Software Inc.
開発時期	1971年(The MacNeal-Schwendler Corporation) 2005年(Siemens PLM Software Inc.)
使用したバージョン	Ver. 7. 1
コードの概要	本解析コードは,航空機の機体強度解析を目的として The MacNeal-Schwendler Corporation により開発され, Siemens PLM Software Inc. に引き継がれた有限要素法による構造解 析用の汎用プログラムであり, MSC NASTRANと同 じ機能を持つ。 適用モデル(主にはり要素,シェル要素,ソリッド要素) に対して,静的解析(線形,非線形),動的解析(過渡応答 解析,周波数応答解析),固有値解析,伝熱解析(温度分布 解析),熱応力解析,線形座屈解析等の機能を有している。 数多くの研究機関や企業において,航空宇宙,自動車,造 船,機械,建築,土木等様々な分野の構造解析に使用されて いる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・材料力学分野における一般的な知見により解を求める ことができる体系について、3次元有限要素法(シェル 及びはり要素)による固有値解析及び応力解析を行い、 解析解が理論解と一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、自動車、航空宇宙、防衛、重機、造船 等様々な分野における使用実績を有しており、妥当性は 十分に確認されている。

2.5 NX NASTRAN Ver.7.1

・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画
認可申請で使用する3次元有限要素法(シェル及びはり
要素)による固有値解析及び応力解析に本解析コードが
適用できることを確認している。
・検証の体系と今回の工事計画認可申請で使用する体系
が同等であることから、解析解と理論解の一致をもっ
て,解析機能の妥当性を確認している。
・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法(シェ
ル及びはり要素)による固有値解析及び応力解析の用
途, 適用範囲が, 上述の妥当性確認範囲内にあることを
確認している。
・今回の工事計画認可申請において使用するバージョン
は, 他プラントの既工事計画において使用されているも
のと同じであることを確認している。

別紙 15 ADM IT

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-9	コントロール建屋の地震応答計算書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

ユード名 項目	ADMIT
使用目的	底面地盤ばね算定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1984 年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	本解析コードは,基礎底面地盤ばねを求めるために開発さ れたプログラムである。振動アドミッタンス理論に基づき, 地盤を半無限等方均質弾性体として,基礎底面における水平 方向,鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析モデル における基礎底面地盤ばねを算定するために使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・ と本解析コードによる解析解を比較した結 果、双方の解がおおむね一致していることを確認してい る。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、水平方向、鉛直方向及び回転方向 の地盤ばねについて検証していることから、解析の目的 に照らして今回の解析に適用することは妥当である。

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本解析コードは,基礎底面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。 本解析コードは,コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤 ばねを算定するために,動的インピーダンスの計算を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・振動アドミッタンス理論に基づき、基礎底面地盤ばねを求めることができる。
- ・任意の振動数に対する動的ばねを求めることができる。
- ・応力分布として一様分布(回転の場合には三角形分布),また剛基礎を仮定した一様変位分布が選択できる。
- ・解析結果としては,水平方向,鉛直方向及び回転方向の地盤ばねが求められる。

3.3 解析手法

図 3-1 に示す基礎分割法による地盤ばねを求めるに当たり,荷重,変位関係の式は,以下の式で表される。

$$\left\{ U_{j}^{1} \right\} = \left[D_{ij}^{k} \right] \left\{ P_{i}^{k} \right\}$$
(3.1)
ここで、
$$\left\{ U_{j}^{1} \right\} : j 要素の1 方向変位$$

$$\left\{ P_{i}^{k} \right\} : i 要素のk 方向に加わる力$$

$$\left[D_{ij}^{k} \right] : 柔性マトリックス (各成分は i 要素のk 方向に単位の加振力が作用した時の j 要素における1 方向変位を表す)$$



図3-1 基礎分割法による地盤ばねの求め方について

なお、解析当たっては下記の仮定を設けている。

- ・基礎が半無限地盤の地表面上に置かれているものと仮定する。
- ・基礎は無質量の剛体と見なす。
- ・基礎を微小要素に分割する。
- ・各要素内では,変位及び応力は一定であると仮定する。

3.4 解析フローチャート 解析フローチャートを図3-2に示す。



図3-2 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 文献との比較による検証



図 3-3 解析結果の比較(水平方向)



図 3-4 解析結果の比較(鉛直方向)



図 3-5 解析結果の比較(回転方向)
3.5.2 使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける基礎底面地盤ばねの算定に 本解析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証さ れており、妥当である。

- ・検証の内容のとおり、水平方向、鉛直方向及び回転方向の地盤ばねについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。
- 4. 引用文献



別紙 16 LNOVAK

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-9	コントロール建屋の地震応答計算書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

ユード名 項目	L N O V A K
使用目的	側面地盤ばね算定
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1986 年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	本解析コードは, Novakの方法による側面地盤ばねを求め るために開発されたプログラムである。埋め込み部を等価な 円形に置換することで,全無限弾性体中の無質量剛な円盤が 定常振動するときのインピーダンスを解析的に求める。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析モデル における Novak の方法による側面地盤ばねを算定するため に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・ と本解析コードによる解析解を比較した結 果、双方の解がおおむね一致していることを確認して いる。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、建屋側面地盤の水平ばね及び回転 ばねについて検証していることから、解析の目的に照ら して今回の解析に適用することは妥当である。

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本解析コードは、Novakの方法による側面地盤ばねを求めるために開発されたプログラムである。本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねを算定するために、動的インピーダンスの計算を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・全無限弾性体中の無質量剛な円盤が定常振動するときのインピーダンスを求めることができる。
- ・水平方向,鉛直方向及び回転方向のばねを求めることができる。
- ・任意の振動数に対する動的ばねを求めることができる。
- ・解析結果としては,任意の振動数に対する水平方向,鉛直方向及び回転方向 の地盤ばねが求められる。

3.3 解析手法

図 3-1 に示す加振を受ける剛な円盤の水平方向のインピーダンス算定式は,以下 の式で表される。

$$\widetilde{\mathbf{k}}_{a} = -\pi \cdot \mathbf{G} \cdot \mathbf{a}_{0}^{2} \cdot \frac{4\mathbf{K}_{1}\left(\mathbf{b}_{0}^{*}\right) \cdot \mathbf{K}_{1}\left(\mathbf{a}_{0}^{*}\right) + \mathbf{a}_{0}^{*} \cdot \mathbf{K}_{1}\left(\mathbf{b}_{0}^{*}\right) \cdot \mathbf{K}_{0}\left(\mathbf{a}_{0}^{*}\right) + \mathbf{b}_{0}^{*} \cdot \mathbf{K}_{0}\left(\mathbf{b}_{0}^{*}\right) \cdot \mathbf{K}_{1}\left(\mathbf{a}_{0}^{*}\right)}{\mathbf{b}_{0}^{*} \cdot \mathbf{K}_{0}\left(\mathbf{b}_{0}^{*}\right) \cdot \mathbf{K}_{1}\left(\mathbf{a}_{0}^{*}\right) + \mathbf{a}_{0}^{*} \cdot \mathbf{K}_{1}\left(\mathbf{b}_{0}^{*}\right) \cdot \mathbf{K}_{0}\left(\mathbf{a}_{0}^{*}\right) + \mathbf{b}_{0}^{*} \cdot \mathbf{a}_{0}^{*} \cdot \mathbf{K}_{0}\left(\mathbf{b}_{0}^{*}\right) \cdot \mathbf{K}_{0}\left(\mathbf{a}_{0}^{*}\right)}$$

$$(3.1)$$

ここで、 $K_0()$:0次の変形ベッセル関数 $K_1()$:1次の変形ベッセル関数 a_0 : $\omega \cdot r_0 / V_s$ で定義される無次元振動数 $(a_0^* = \frac{a_0}{\sqrt{1 + i \cdot 2h}} \cdot i)$

 b_0 : ω·r₀/V_Pで定義される無次元振動数 ($b_0^* = \frac{a_0^*}{\eta}, \eta = \sqrt{\frac{2(1-\nu)}{1-2\nu}}$) 回転方向のインピーダンス算定式は、以下の式で表される。

$$\widetilde{\mathbf{k}}_{c} = \pi \cdot \mathbf{G} \cdot \mathbf{r}_{0}^{2} \left[1 + \mathbf{a}_{0}^{*} \cdot \frac{\mathbf{K}_{0} \left(\mathbf{a}_{0}^{*} \right)}{\mathbf{K}_{1} \left(\mathbf{a}_{0}^{*} \right)} \right]$$
(3.2)



なお、解析当たっては下記の仮定を設けている。

- ・建屋埋め込み部分を等価な円形と仮定する。
- ・建屋埋め込み部分は無質量の剛体と見なす。
- ・建屋-地盤間の接触・剥離は考慮しない。

3.4 解析フローチャート 解析フローチャートを図3-2に示す。



図3-2 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 文献との比較による検証



図 3-3 解析結果の比較(水平方向)

図 3-4 解析結果の比較(回転方向)

3.5.2 使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析モデルにおける側面地盤ばねの算定に本解 析コードを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されて おり、妥当である。

・検証の内容のとおり、建屋側面地盤の水平ばね及び回転ばねについて検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。



別紙 17 SHAKE

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-9	コントロール建屋の地震応答計算書	導入時 Ver.

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SHAKE
使用目的	入力地震動算定
開発機関	東電設計株式会社(オリジナル:カリフォルニア大学)
開発時期	1988 年
使用したバージョン	導入時 Ver.
コードの概要	本解析コードは、1次元波動論に基づき、多層地盤の地震 応答解析を効率よく行うために開発されたプログラムであ る。等価線形解析を行うことができ、各層における加速度、 応力度、ひずみ度等の伝達関数、応答波形等が求められる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、コントロール建屋の地震応答解析におけ る入力地震動の策定において、基準地震動Ss及び弾性設計 用地震動Sdに対する地盤の応答を評価するために使用し ている。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードを用いて評価した弾性地盤の増幅特性が 理論解と一致することを確認している。 ・汎用コードである と本解析コードによる解析解を比較した 結果、双方の解がおおむね一致していることを確認して いる。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用し ている。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証して いることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用 することは妥当である。

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本解析コードは、1次元波動論に基づき、多層地盤の地震応答解析を効率よく行 うために開発されたプログラムである。本解析コードは、コントロール建屋の地震 応答解析における入力地震動策定のために、多層地盤の地震応答解析を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・1次元波動論に基づき,多層地盤の地震応答解析を効率よく行うことができる。
- ・等価線形解析を行うことができる。
- ・解析結果としては、地盤の各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達 関数、応答波形等が求められる。

3.3 解析手法

図 3-1 に示す多層地盤における1次元波動方程式は、以下の式で表される。

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \cdot \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \cdot \partial t}$$
(3.1)

ここで,

- ρ : 単位体積重量
- G : せん断弾性係数
- u : 変位
- η :粘性係数
- ただし,変位u(x, t)は次式で表す。

$$u(x, t) = E \cdot e^{i(k \cdot x + \omega \cdot t)} + F \cdot e^{-i(k \cdot x - \omega \cdot t)}$$
(3.2)

ここで,右辺第1項は上昇波,第2項は下降波を示すもので,kは複素波数と呼ばれ,下式を満足するものである。

$$k^{2} = \frac{\rho \cdot \omega^{2}}{G + i \omega \cdot \eta} = \frac{\rho \cdot \omega^{2}}{G^{*}}$$
(3.3)

ここで,

G* : 複素せん断弾性係数

また伝達関数は、上記の変位の式より求められるm層とn層の変位を

$$U_{m} = E_{m}(\omega) + F_{m}(\omega)$$
(3.4)

$$U_{n} = E_{n}(\omega) + F_{n}(\omega)$$
(3.5)

と表わせば、m層とn層の伝達関数 $A_{n,m}(\omega)$ は次式で求められる。

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{U_m}{U_n} = \frac{E_m(\omega) + F_m(\omega)}{E_n(\omega) + F_n(\omega)}$$
(3.6)

なお、解析当たっては下記の仮定を設けている。

- ・地盤を水平成層よりなるものと仮定し、その各層はせん断弾性係数,減衰定数, 単位体積重量及び層厚により規定されるものとする。
- ・各層の応答は、鉛直方向に伝ばするせん断波のみにより励起されるものとする。





- G_m: m層のせん断弾性係数
- h_m: m層の減衰定数
- ρ_m: m層の単位体積重量
- H_m: m層の層厚
- U_m: m層の水平変位
- X_m: m層の局所座標

図 3-1 解析対象の多層地盤

3.4 解析フローチャート 解析フローチャートを図 3-2 に示す。



図3-2 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 理論解との比較による検証

本解析コードについて,

の理論解	(非減衰時の伝達関数)	との比較を行う。

非減衰時における伝達関数の比較を図 3-4 に示す。

図より,本解析コードの結果は理論解と一致しており,地盤応答を正しく評価 していることが確認できる。

図3-4 伝達関数の理論解との比較

3.5.2 他コードとの比較による検証

本解析コードについて、市販されている 2 次元有限要素法による地盤-構造物連成系の動的相互作用解析プログラム

と

の比較を行う。

多層地盤を対象に,等価線形解析を実施する。検討用地盤モデルを表 3-1に, 各地層の動的ひずみ依存特性を図 3-5 に示す。図 3-6 に示す入力地震動を に基準化した地震動を,モデル下端に 2E 波として入力した。なお,解 析条件は以下の条件とした。

・考慮する振動数

有効せん断ひず	みの算定に用	いる	係数
---------	--------	----	----

:	
:	

	解析結果の比較を図 3-7,表 3-2 に示す。	
	図より、本解析コードの結果は	による結果とお
お	がねー致していることが確認できる。	

表 3-1 検討用地盤モデル



図 3-5 各地層の動的ひずみ依存特性

図 3-6 入力地震動

図 3-7 解析結果の比較



表 3-2 解析結果の比較(最大応答加速度)(1/2)

表 3-2 解析結果の比較(最大せん断ひずみ)(2/2)

3.5.3 使用内容に対する妥当性

コントロール建屋の地震応答解析における入力地震動の策定に本解析コード を使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥 当である。

- ・多層地盤の地震応答解析について, による解析結果と比較しておおむね一致していることから, 解析の目的に照らして
 今回の解析に使用することは妥当である。
- ・検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解 析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。
- ・評価地盤を水平成層と仮定していることから、1次元重複反射理論の適用 範囲である。
- 4. 引用文献
- (1)

別紙 18 DIANA

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-10	コントロール建屋の耐震性についての計算書	Ver.10.2

^{2.} 解析コードの概要

ユード名 項目	DIANA
使用目的	3次元有限要素法による応力解析(弾塑性)
開発機関	TNO DIANA 社
開発時期	1983 年
使用したバージョン	Ver. 10. 2
コードの概要	本解析コードは,TNO DIANA BV (オランダ)により開発さ れ,国内においては JIP テクノサイエンス(株)により保守 されている汎用有限要素法プログラムである。 土木及び建築分野に特化した要素群及び材料非線形モデ ルを数多くサポートしていることが特徴で,日本国内では, 建設部門を中心として,官公庁,大学及び民間を問わず,多 くの利用実績がある。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・面外集中荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の実験 についてシミュレーション解析を行い,実験結果の荷 重-変位関係と解析結果の比較をすることにより,本 解析コードの当該解析機能の妥当性を確認した。 ・基礎浮上りに関する例題解析を実施し,解析結果と理 論モデルによる理論解が一致することを確認した。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証内容のとおり,コンクリートの応力解析について 検証していることから,解析の目的に照らして今回の 解析に適用することは妥当である。

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本解析コードは,有限要素法による汎用非線形構造解析プログラムである。材料 非線形性及び幾何学的非線形性を考慮した構造物の静的応力変形解析や動的解析, 熱伝導解析,地盤の浸透流,圧密解析が提供されている。また,各分野特有の連成 問題(熱応力,構造-流体連成,圧密-浸透流連成等)も解析可能である。本解析 コードは,コントロール建屋基礎スラブの地震時の応力解析(弾塑性)に使用して いる。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

・非線形構造問題(材料及び幾何学的非線形)に必要な機能が充実している。

- ・数多くの要素及び材料構成則が提供されており、多様な構造物のモデル化が可能である。
- ・連成問題が解析可能である。

また、今回の解析における本解析コードの使用要素はシェル要素及びはり要素で ある。

3.3 解析手法

3.3.1 有限要素法による評価

有限要素法による評価は、次の手順で行う。

要素内の変位を仮定し、節点変位を使って要素内任意点の変位を表現する。

$$\{u\} = [N] \{u_e\}$$
 (3.1)

ここで,

- {u} :要素内任意点の変位
 [N] :形状関数マトリックス
 {u_e} :節点変位
- ② 上記の変位を微分して,要素内任意点のひずみを節点変位により表す。

$$\{ \epsilon \} = [B] \{ u_e \}$$

$$(3.2)$$

③ 材料物性から求められる応力とひずみの関係式である(3.3)式より定められる弾性係数マトリックスを用いて、要素剛性マトリックスを(3.4)式より計算する。

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon\}$$

$$[K_e] = \int [B]^T [D] [B] dV$$

$$(3.3)$$

ここで,

{ σ }	: 要素内任意点の応力
[D]	: 材料の応力-ひずみ接線マトリックス
[K _e]	:要素剛性マトリックス

 ④ 全体の剛性マトリックスを要素剛性マトリックスの重ね合わせによって 求め、力の釣合いより静的変位は(3.5)式、また動的変位は(3.6)式より求 める。

$$\{ f \} = [K] \{ \gamma \}$$
(3.5)
$$\{ f \} = [M] \{ \dot{\gamma} \} + [K] \{ \gamma \}$$
(3.6)

ここで,
{ f } :荷重ベクトル
{ y } :構造全体の変位
(U)

$$\{\gamma\} = \begin{cases} U_{e1} \\ U_{e2} \\ \vdots \\ U_{en} \end{cases}$$

U_{e1}, U_{e2}, …, U_{en}:各節点の節点変位

- {ÿ} :構造全体の加速度
- [M] :質量マトリックス
- [K] :剛性マトリックス

⑤ 変位が決まれば、(3.2)式、(3.3)式より各要素の応力が求められる。

3.3.2 基礎浮上りの評価

コントロール建屋基礎スラブの応力解析モデルは、基礎底面に鉛直ばね及び 水平ばねを設けている。このばねは、ジョイント要素によりモデル化し、引張力 が発生したときに軸剛性及びせん断剛性が 0 になることで基礎浮上りを考慮し ている。

ジョイント要素に付与する復元力特性は,図 3-1に示すように仮定する。図 3-1(a)はジョイント面に垂直な方向である鉛直ばね,図 3-1(b)はジョイント 面に平行な方向である水平ばねの特性である。垂直方向は,引張りの場合は力の 伝達は行われず,圧縮の場合には鉛直ばね係数knを介して構成関係は線形関 係にあるものとする。

また、垂直方向に剥離が生じた場合には、せん断応力も伝達されない。



3.4 解析フローチャート
 本解析コードの解析フローチャートを図3-2に示す。



図 3-2 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 実験結果とシミュレーション解析の比較による検証
 - (1) 検証概要

本解析コードが静的非線形解析において妥当であることを検証する。

文献(引用文献(1)参照)に示される面外方向集中荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の崩壊問題を,シェル要素と鉄筋要素でモデル化し静的非線形解析 を行い,実験結果の荷重-変位関係と解析結果の整合を確認する。

(2) 検証モデル

図 3-3 に解析モデルを示す。正方形の鉄筋コンクリート造平板は4 隅で鉛直 方向に支持されており、中央に集中荷重を受ける。スラブは厚さ方向の 75%の位 置で、2 方向に配筋されている。鉄筋比(鉄筋の体積/コンクリートの体積)は、 各方向に対し 8.5×10⁻³である。



図 3-3 解析モデル

(3) 材料物性值

表 3-1 に解析に用いる材料物性値を示す。材料物性値は原則として文献(引) 用文献(1)及び引用文献(2)参照)に記載の値を用いる。

諸元		物性値	
	設計基準強度 Fc	37.92 N/mm^2 (5500 lb/in ²)	
コンクリート	ヤング係数	$2.86 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (4150000 lb/in ²)	
	ポアソン比	0.15	
鉄筋	降伏強度 σ _y	345 N/mm ² (50000 lb/in ²)	
	ヤング係数	$2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ (29000000 1b/in ²)	

表 3-1 解析に用いる材料物性値

(4) 材料構成則

図 3-4 に材料構成則を示す。



Fc:コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	-0.85Fc(CCV 規格)
終局圧縮ひずみ	-3000 µ (CCV 規格)
圧縮側のコンクリート構	CEB-FIP Model code に基づき設定
成則	(引用文献(3)参照)
ひび割れ発生後の引張軟	出雲ほか(1987)による式(c=0.4)
化曲線	(引用文献(4)参照)
引張強度	σ _t =0.38√Fc(「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改定)」)

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 3-4 材料構成則(1/2)

- ・鉄筋の構成則:バイリニア型
- ・終局ひずみ:±5000 µ (CCV 規格)



図 3-4 材料構成則(2/2)
(5) 解析結果

解析結果の荷重-変形関係を文献の図(引用文献(1)参照)に重ねて図 3-5 に 示す。図より両者は概ね一致していることから,解析の目的に照らして今回の解 析に使用することは妥当である。





図 3-5 検証解析結果

3.5.2 基礎浮上りの評価の検証

剛はりを、「3.2 解析コードの特徴」に示す手法による地盤ばねで固定点 と連結した図3-6のモデルに対して、鉛直力Nを作用した状態で、転倒モーメ ントMを漸増させ、接地率を評価し、理論解と比較する。ここで鉛直力Nは 5(kN)とする。



図3-6 解析モデル

(1) 理論解による接地率の評価

浮上り限界モーメントM₀及び接地率ηは、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)」に基づき下式により算 定する。

$$M_{0} = \frac{N \cdot L}{6}$$

$$\eta = 3 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{M}{N \cdot L}\right)$$

ここで、

$$M_{0} : 浮 \bot 9 限 \mathcal{R} \mathcal{T} - \mathcal{I} \mathcal{V} \wedge (kN \cdot m)$$

$$N : 鉛 直 力 (kN)$$

$$L : 建 屋 基 礎 幅 (m)$$

$$\eta : 接 地 率$$

$$M : 転 倒 \mathcal{T} - \mathcal{I} \mathcal{V} \wedge (kN \cdot m)$$

また,接地率 $\eta = 0$ となる転倒モーメントMは,以下となる。 M= $\frac{1}{2}$ ·N・L= $\frac{1}{2}$ ×5×40=100 (kN·m) (2) DIANAによる接地率の評価

本解析コードによる接地率の解析結果と理論解の比較を図 3-7 に示す。図 3 -7 より、転倒モーメントMと接地率 ηの関係は、理論解と一致することが確 認できる。

本解析コードによる接地率は、荷重増分ステップ毎に浮き上がった(軸剛性 及びせん断剛性が0の状態)地盤ばねのジョイント要素を確認し、その要素の 総支配面積を計算することで算定した。



図 3-7 理論解と解析結果の比較

4. 引用文献

- Jofriet J. C. & G. M. McNeice : Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs, Journal of the Structural Division, ASCE 1971, Vol. 97, No. ST3
- (2) Gilbert R. I. & R. F. Warner : Tension Stiffening In Reinforced Concrete Slabs, Journal of the Structural Division, ASCE 1978, Vol. 104, No.ST12
- (3) Comite Euro-International du Beton : CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE) , 1993
- (4) 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

別紙19 NAPISOS

1. 使用状況一覧

	バージョン			
V-2-2-11	廃棄物処理建屋の地震応答計算書	Ver. 2. 0		
V-2-2-別添 2-1	別添 2-1 隣接建屋による影響を考慮した地震応答計算及			

2. 解析コードの概要

コード名 項目	NAPISOS
使用目的	固有値解析及び地震応答解析
開発機関	電力中央研究所,株式会社竹中工務店
開発時期	1996年(使用開始時期)
使用したバージョン	Ver. 2. 0
コードの概要	本解析コードは,地盤をソリッド要素で,建屋を非線形積 層シェル要素や非線形ビーム要素でモデル化することによ り,原子力発電所建屋の地盤建屋連成系3次元非線形地震応 答解析が可能である。 また,建屋基礎と地盤モデル間に,ジョイント要素を設置 することにより,基礎浮上り性状を評価することができる。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・理論解との比較 ・他コードとの比較 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・検証の内容のとおり、地盤(FEM)-建屋(多質点)を 連成した地震応答について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。 ・原子力産業界において、関西電力株式会社の大飯3号 機の新規制基準適合性審査に係る工事計画認可申請の うち、制御建屋に対する地震応答解析に本解析コード が使用された実績がある。

別紙 20 Soil Plus

1. 使用状況一覧

	バージョン					
V-2-2-13	V-2-2-13 格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答計算書					
		1 Build2				
V-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の耐震性	2017 Revision				
	についての計算書	1 Build2				

2. 解析コードの概要

項日 使用目的 固有値解析及び地震応答解析 開発機関 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 開発時期 2005 年 使用したバージョン 2017 Revision1 Build2 本解析コードは、2次元及び3次元の 時た時り 振らこしばでたス約へ付けた300	
開発機関 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社 開発時期 2005 年 使用したバージョン 2017 Revision1 Build2 本解析コードは、2次元及び3次元の 時た時りかりたことがでたス約へ付けた315	
開発時期 2005 年 使用したバージョン 2017 Revision1 Build2 本解析コードは、2次元及び3次元の 販な取り扱うこしがでたス約へ付わが10	
使用したバージョン 2017 Revision1 Build2 本解析コードは、2次元及び3次元の 販な取り扱うこしがでたス%へ付われて	
本解析コードは、2次元及び3次元の	
 国を取りなりことかできる総合的な汎用である。土木・建築分野に特化した要素形モデルを多数準備し,有限要素法のモーいる。 解析対象としては,地盤と構造物の連,解析に用いられることが多く,橋梁,地道施設,原子力発電所施設,起振実験や値シミュレーション等の解析にも多くのまた,本解析コードは,直接積分法・による線形地震応答解析,複素地震応答よる非線形地震応答解析の機能を持つづ oilPlusの主な特徴は以下のとこ ①常時応力解析及び地震応答解析の設 ②地震応答解析では,一般的な運動方法答解析に加え,地盤の非線形特性を完モデルにおいて考慮することが可能 ③地盤要素の非線形モデルとして,修GHEモデル及び修正R-0モデル,鉄については部材軸力の依存性を考慮基づく非線形構造モデル等が適用可 ④はり要素,シェル要素及びソリッド解析が可能である。 	静的・浸透・動的問 用計構造部材のテム 群,構造部材の正して 成下ルルを容易にして 成下ルルル、上下の かまたいかがすれたである。 を本称がすたである。 をたいがすたである。 をたいがですたい。 にはて、 に、 たいがすりたい。 に、 たいがすりたい。 に、 たいがすりたい。 に、 たいがすりたい。 に、 たいがすりたい。 たいがすい。 たいがすりたい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいがすい。 たいが、 たいがすい。 たいが、 たいが、 たいが、 たいが、 たいが、 たいが、 たいが、 たいが、
検証 (Verification) 本解析コードは,格納容器圧力逃がし	装置基礎,大物搬入
及び 建屋の固有値解析及び地震応答解析に使 妥当性確認(Validation) 【検証(Verification)】	用している。

本解析コードの検証内容は以下のとおりである。
・今回の工事計画認可申請で使用する有限要素法による
地震応答解析の検証として、先行工事計画認可申請で
実績ある他解析コード(TDAPⅢ)と地震応答解析
結果が一致することを確認している。
 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示
された要件を満足していることを確認している。
【妥当性確認(Validation)】
本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。
 ・本解析コードは、国内の土木・建築分野における使用
実績を有しており,妥当性は十分に確認されている。
・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計
画認可申請で使用する有限要素法による地震応答解析
に本解析コードが適用できることを確認している。
・今回の工事計画認可申請で行う有限要素法による地震
応答解析の用途,適用範囲が,上述の妥当性確認範囲
内にあることを確認している。

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

Soil Plusは, 土木・建築向け地震応答解析の汎用プログラムである。土 木・建築分野に特化した要素群,構造部材の非線形モデルを多数準備し,有限要素法 のモデル化を容易にしている。

解析対象としては,地盤と構造物の連成モデルの地震応答解析に用いられること が多く,橋梁,地下トンネル,上下水道施設,原子力発電所施設,起振実験や静的加 力実験等の数値シミュレーション等の解析にも多くの実績がある。

3.2 解析コードの特徴

Soil Plusは,直接積分法・モード重ね合わせ法による線形地震応答解析, 直接積分法による非線形地震応答解析の機能を持つプログラムである。Soil P lusの主な特徴は以下のとおりである。

①常時応力解析及び地震応答解析の連続解析が可能である。

②地震応答解析では、一般的な運動方程式に基づく地震応答解析に加え、地盤の 非線形特性を地盤-構造物の連成モデルにおいて考慮が可能である。

③地盤要素の非線形モデルとして,修正 H-D モデル,修正 GHE モデル及び修正

R-0 モデル,鉄筋コンクリート部材については部材軸力の依存性を考慮した M − φ 関係に基づく非線形構造モデル等が適用可能である。

④はり要素,シェル要素及びソリッド要素を用いた応力解析が可能である。

- 3.3 解析手法
 - 3.3.1 直接積分法による地震応答解析

有限要素法による地震応答解析は,任意外力による強制振動の運動方程式を 直接積分して,2階の連立微分方程式を解き,解uを求める方法である。

地震外力による運動方程式は,式(3.1)で表される。

 $[M]{\ddot{u}} + [C]{\dot{u}} + [K]{u} = {F}$ (3.1)

ここで,

- [M] :構造全体の質量マトリクス
 [C] :構造全体の減衰マトリクス
 [K] :構造全体の剛性マトリクス
 {u} :変位ベクトル
- {*ii*} :速度ベクトル
- {ii} :加速度ベクトル
- {F} : 加振ベクトル

式(3.1) について差分法を用いると時刻 $(n+1)\Delta t$ における速度 $\{\dot{u}_{n+1}\}$,変位 $\{u_{n+1}\}$ は,式(3.2)及び式(3.3)のように表される。

$$\left\{\dot{u}_{n+1}\right\} = \left\{\dot{u}_{n}\right\} + \frac{\Delta t}{2} \left(\left\{\ddot{u}_{n}\right\} + \left\{\ddot{u}_{n+1}\right\}\right)$$
(3.2)

$$\{u_{n+1}\} = \{u_n\} + \Delta t \{\dot{u}_n\} + \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \Delta t^2 \{\ddot{u}_n\} + \beta \Delta t^2 \{\ddot{u}_{n+1}\}$$
(3.3)

これは、Newmark – β 法と呼ばれる方法で、fは、Newmark – β 法のパラメータで、その範囲は $0 \le f \le 1/2$ である。

式(3.2)に[C],式(3.3)に[K]を掛けると次のようになる。

$$[C]\{\dot{u}_{n+1}\} = [C]\{\dot{u}_n\} + \frac{\Delta t}{2}[C](\{\ddot{u}_n\} + \{\ddot{u}_{n+1}\})$$
(3.4)

$$[K]\{u_{n+1}\} = [K]\{u_n\} + \Delta t[K]\{\dot{u}_n\} + \left(\frac{1}{2} - \beta\right)\Delta t^2[K]\{\ddot{u}_n\} + \beta \Delta t^2[K]\{\ddot{u}_{n+1}\}$$
(3.5)

-方,式(3.1)に式(3.4)及び式(3.5)を代入すると次の式が導かれる。 $\begin{bmatrix} M \end{bmatrix} \{ \ddot{u}_{n+1} \} + \begin{bmatrix} C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{ \dot{u}_n \} + \frac{\Delta t}{2} (\{ \ddot{u}_n \} + \{ \ddot{u}_{n+1} \}) \end{bmatrix}$ $+ \begin{bmatrix} K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{ u_n \} + \Delta t \{ \dot{u}_n \} + \left(\frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \{ \ddot{u}_n \} + \beta \Delta t^2 \{ \ddot{u}_{n+1} \} \end{bmatrix} = \{ F_{n+1} \}$ (3.6)

 \mathbb{R}^{1}

これを整理すると次のようになる。
{
$$\ddot{u}_{n+1}$$
} = $\left[[M] + \frac{\Delta t}{2} [C] + \beta \Delta t^2 [K] \right]^{-1}$
× $\left[\{F_{n+1}\} - [K] \{u_n\} - ([C] + \Delta t [K]) \{\dot{u}_n\} - \left\{ \frac{\Delta t}{2} [C] + \Delta t^2 \left(\frac{1}{2} - \beta \right) [K] \right\} \{\ddot{u}_n\} \right]$ (3.7)

$$\{\dot{u}_{n+1}\} = \{\dot{u}_n\} + \frac{\Delta t}{2}(\{\ddot{u}_n\} + \{\ddot{u}_{n+1}\})$$
(3.8)

$$\{u_{n+1}\} = \{u_n\} + \Delta t \{\dot{u}_n\} + \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \Delta t^2 \{\ddot{u}_n\} + \beta \Delta t^2 \{\ddot{u}_{n+1}\}$$
(3.9)

これを順次求めていくのは Newmark- β 法による直接積分法である。線形問題においては、 $\beta = 1/4$ (平均加速度法)が一般的に使われ解も絶対安定となる。

3.3.2 固有值解析

多自由度系モデルの非減衰自由振動の運動方程式は式(3.10)のようになる。

$$\begin{bmatrix} M \end{bmatrix} \{ \ddot{u} \} + \begin{bmatrix} K \end{bmatrix} \{ u \} = 0 \tag{3.10}$$

自由振動は調和振動であるから,変位 {u}を次のように仮定する。

$$\{u\} = \{x\} e^{i\omega t} \tag{3.11}$$

$$\left(-\omega^2[M] + [K]\right)(x)e^{i\omega t} = 0 \tag{3.12}$$

 $e^{i\omega t} \neq 0$ であるから式(3.12) は次のようになる。

$$\left(-\omega^{2}[M]+[K])(x)=0\right)$$
(3.13)

x=0でない解が存在するためには,次の関係が成立しなけばならない。

$$\left|-\omega^{2}\left[M\right]+\left[K\right]\right|=0\tag{3.14}$$

これを特性方程式と呼ぶ。この行列式を展開すればω²に関する_n次の代数方 程式になり、その根_oを固有値、{x}を固有ベクトルとする固有値問題になる。

 $\mathbb{R}1$

3.3.3 減衰項の策定

粘性減衰は、系をとりまく粘性による減衰で速度に比例する。すなわち、運動 方程式の[C]に相当するマトリクスを質量マトリクス[M]及び剛性マトリクス [K]に比例するものと定義し、式(3.15)~式(3.19)のように表す。この減衰タイ プはレーリー型減衰と呼ばれており、一般的に有限要素法の解析で用いられる。

$$\begin{bmatrix} C \end{bmatrix} = \alpha \begin{bmatrix} M \end{bmatrix} + \beta \begin{bmatrix} K \end{bmatrix}$$
(3.15)

$$\{x_i\}^T [C] \{x_i\} = \alpha \{x_i\}^T [M] \{x_i\} + \beta \{x_i\}^T [K] \{x_i\} = \alpha + \beta \omega^2$$
(3. 16)

$$h_i = \frac{\alpha + \beta \omega_i^2}{2\omega_i} \tag{3.17}$$

$$\alpha = \frac{2\omega_j \omega_k (h_j \omega_k - h_k \omega_j)}{\omega_k^2 - \omega_j^2}$$
(3.18)

$$\beta = \frac{2(h_k \omega_k - h_j \omega_j)}{\omega_k^2 - \omega_j^2}$$
(3.19)

α	: 粘性減衰の質量項に関する係数
β	: 粘性減衰の剛性項に関する係数
X_{i}	:i次の固有モードベクトル
$h_{\!_i}$,	h_j , h_k : i次, j次, k次のモード減衰定数
$\omega_{_{i}}$,	$\omega_{_j}, \omega_{_k}:$ i次,j次,k次の固有円振動数

- 3.3.4 要素剛性マトリクス
 - (1) はり要素の要素剛性マトリクス

断面が円や矩形で十分に長いはりでは,捩り変形においても以下の 3 つの仮 定が成り立つものとする。

i)断面形の不変

ii) 断面の平面保持 (Bernouli-Euler の仮定)

iii)微小変形理論を適用

はり要素の要素座標系を図 3-1 に示す。



図 3-1 はり要素の要素座標系

・要素剛性マトリクス [K] を式(3.20) 及び式(3.21) に示す。



(2) ソリッド要素の要素剛性マトリクス

六面体を考えた場合,要素図心位置を原点とした局所座標系(ξ, η, ζ)と全体直行座標系(x, y, z) との関係は図3−2を仮定する。これより,ひずみ-変位関係及び応力-変位関係は式(3.22)~式(3.26)のように表される。



図3-2 8節点六面体要素

・ひずみー変位関係

$$\begin{cases}
\frac{\partial N_i}{\partial x} \\
\frac{\partial N_i}{\partial y} \\
\frac{\partial N_i}{\partial z}
\end{cases} = \begin{bmatrix} \mathbf{J} \end{bmatrix}^{-1} \begin{cases}
\frac{\partial N_i}{\partial \xi} \\
\frac{\partial N_i}{\partial \eta} \\
\frac{\partial N_i}{\partial \zeta}
\end{cases}$$
(3. 24)

$$\{N_i'\} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial \xi} & \frac{\partial N_i}{\partial \eta} & \frac{\partial N_i}{\partial \zeta} \end{bmatrix}^T$$

$$= \frac{1}{8} \begin{bmatrix} \xi_i (1+\eta\eta_i)(1+\zeta\zeta_i) & \eta_i (1+\xi\xi_i)(1+\zeta\zeta_i) & \zeta_i (1+\xi\xi_i)(1+\eta\eta_i) \end{bmatrix}^T$$

$$(3.25)$$

ここで,

 \mathcal{E}_{e} : ひずみベクトル E : 節点変位-ひずみマトリクス δ_{e} : 変位ベクトル N'_{i} : 形状関数 J : Jacobiマトリクス

・応力-変位関係

$$\{\sigma\} = [D][B]\{\delta_e\}$$
(3.26)

ここで,

- σ :応力
- D :弾性係数マトリクス

3.3.5 杭の曲げモーメントー曲率関係

杭については、杭軸力の依存性を考慮した曲げモーメントー曲率関係(以下「M ー ϕ 関係」という。)に基づく非線形構造モデルが適用可能である。杭の M – ϕ 関係と杭軸力の変動に伴う応答値の乗り移りの概念を図 3 – 3 に示す。同図に示 すとおり、杭の M – ϕ 関係は杭軸力の変動に伴い変化する。このため、時刻 t に おける杭軸力 N_tが、時刻 t+ Δ t において杭軸力が N_(t+\Deltat)に変動した場合、応答値 は杭軸力 N_tの M – ϕ 関係から杭軸力 N_(t+\Deltat)の M – ϕ 関係へ乗り移る。時刻 t+ Δ t に おける乗り移り後の曲率 $\phi_{(t+\Deltat)}$ は、式(3.27)に示すとおり、乗り移り前の曲率 に関する塑性率 $\phi_{(t+\Deltat)}/\phi_{t}$ が変わらないように乗り移るものとする。

$$\phi_{(t+\Delta t) \,\mathrm{mod}} = \left(\phi_{(t+\Delta t)} / \phi_{yt}\right) \phi_{y(t+\Delta t)}$$

(3.27)



$\phi_{(t+\Delta t) \mod}$:時刻 t+Δt における曲率(乗り移り後)
$\phi_{(t+\Delta t)}$:時刻 t+Δt における曲率(乗り移り前)
ϕ_{yt}	:時刻 t での M- φ関係における降伏曲率
$\phi_{v(t+\Delta t)}$:時刻 t+Δt での M-φ関係における降伏曲率



図 3-3 杭の M- φ関係と杭軸力の変動に伴う応答値の乗り移りの概念

3.4 解析フローチャート

地震応答解析の解析フローチャートを図 3-4 に示す。



図 3-4 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードは、国内の土木・建築分野における使用実績を有しており、解析機能 全般について、十分に妥当性が確認されている。

そこで、今回使用する解析機能に特化する形で、実績ある他解析コードとの解析 結果の比較を行うことにより、本解析コードの当該解析機能の適切さを改めて確認 した。その結果を以下に示す。

3.5.1 概要

Soil Plusによる地震応答解析について,他解析コードとの解析結 果の比較を行うことで検証する。

- 3.5.2 地震応答解析の検証(他解析コードとの解析結果との比較検証)
 - (1) 検証の概要

Soil Plusによる地震応答解析の検証については、同一条件下における他解析コードとの解析結果の比較により行う。比較する他解析コードは、既往の工事計画認可で実績のあるTDAPⅢとする。

表 3-1に、比較する他解析コードを示す。

	内容
コード名	TDAPⅢ
開発機関	大成建設(株)/(株)アーク情報システム
開発時期	1980 年代後半
使用したバージョン	Ver. 3. 08

表 3-1 比較する他解析コード

- (2) 解析条件
 - a. 解析モデル

解析モデルは図 3-5 に示すとおり,建屋-杭-地盤の3次元連成モデルと する。解析モデルのうち,地盤についてはソリッド要素,建屋及び杭は線形の は り要素,基礎スラブは剛なシェル要素でモデル化する。なお,地盤は、下 層の岩盤部と上層の表層部の二つを考慮する。境界条件は,側方を周期境界, 底面を粘性境界とする。





図 3-5 解析モデル

b. 解析用物性值

地盤の解析用物性値を表 3-2 に, 建屋の解析用物性を表 3-3 に示す。また, 鋼管杭の解析用物性を表 3-4 に示す。

なお、建屋及び鋼管杭は線形材料として取り扱う。

地層	層厚 (m)	密度 ρ(t/m³)	初期 せん断剛性 G ₀ (kN/m²)	ポアソン比 v	備考
表層	10	1.8	7.2×10 ⁴	0.45	Vs=200m/s 相当
岩盤	20	2.0	5. 0×10^{5}	0.40	Vs=500m/s 相当

表 3-2 地盤の解析用物性値

表 3-3 建屋の解析用物性値

質点	質点重量	回転慣性重 量	回転慣性重 量 軸断面積		断面二次 モーメント
番号	W(kN)	I _G (kN•m ²)	$A(m^2)$	$A_{s}(m^{2})$	I (m ⁴)
1	2640	26600	17.0	0.00	210
2	3700	38300	17.0	8.80	318

注記:建屋のヤング係数E=2.27×10⁴(N/mm²),ポアソン比v=0.2とする。

表 3-4 鋼管杭の解析用物性値

杭種・杭径	軸断面積 A(mm²)	断面二次 モーメント I (mm ⁴)	せん断 断面積 A _s (mm²)
鋼管杭 φ800(t=19mm)	4.66×10 ⁴	3.56×10 ⁹	2.33×10 ⁴

注記:鋼管杭のヤング係数E=2.05×10⁵(N/mm²),ポアソン比v=0.3とする。

c. 減衰定数

動的解析における地盤及び建屋の減衰定数は,固有値解析から求まる1次 固有振動数3.60Hz に対して3.0%とする剛性比例型減衰を適用する。 d. 入力地震動

GL-30mの岩盤上で定義した入力地震動を図 3-6 に示す。



⁽a) 加速度波形



(b)加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動

- (3) 検証結果
 - a. 応答加速度の比較

解析モデルにおける応答加速度の抽出箇所を図 3-7 に示す。抽出箇所は建 屋頂部(節点番号 100)とし、その応答加速度波形を図 3-8 に、加速度応答 スペクトルを図 3-9 に示す。同図には本解析コードSoil PlusとT DAPⅢの両者を重ね書きしており、両者は同一の解析結果を与えている。



(a)モデル平面



図 3-7 応答加速度の抽出箇所





(b) T D A P $\mathrm{I\!I\!I}$



(c) S o i l P l u s と T D A P Ⅲの重ね書き (20 s~30 s の 区間を拡大)

図 3-8 建屋頂部の応答加速度波形(節点番号 100)



図 3-9 建屋頂部の加速度応答スペクトル(節点番号 100)

b. 建屋の最大応答分布の比較

建屋の最大応答分布を図 3-10 に,最大応答値の比較を表 3-5 に示す。同 図には本解析コードSoil PlusとTDAPⅢの両者を重ね書きしてお り,両者は概ね一致した解析結果を与えている。



図 3-10 建屋の最大応答分布

表3-5 建屋の最大応答値の比較

標高	加速度(cm/s²)			所 加速度(cm/s ²) 相対変位(cm)		n)
(m)	Soil Plus	TDAP III	Soil Plus TDAPⅢ	Soil Plus	TDAP III	Soil Plus TDAP II
5.2	638.1	638.2	1.000	5.00	5.00	1.000
0.0	584.9	585.0	1.000	4.97	4.97	1.000

(a)加速度及び相対変位

(b)せん断力及び曲げモーメント

標高	せん断力(kN)			曲げモ	ーメント	(kN⋅m)
(m)	Soil Plus	TDAP III	Soil Plus TDAPⅢ	Soil Plus	TDAP III	Soil Plus TDAP II
5.2	1700	1700	1 000	391.1	391.6	0.999
0.0	1708	1708	1.000	9116	9118	1.000

c. 鋼管杭の最大断面力分布の比較

鋼管杭の最大断面力分布を図 3-11 に,最大断面力の比較を表 3-6 に示 す。同図には本解析コードSoil PlusとTDAPⅢの両者を重ね書き しており,両者は概ね一致した解析結果を与えている。





図 3-11 鋼管杭の最大断面力分布

標高	せん断力(kN)		曲げモーメント(kN・m)		軸力(kN)				
()	C 1 D1	TDAD	Soil Plus	C 1 D1	TDAD	Soil Plus	C 1 D1	TDAD	Soil Plus
(m)	Soll Plus	ТДАРШ	TDAP III	Soll Plus	Т ДАР Ш	TDAP 🎹	Soll Plus	ТДАРШ	TDAP III
0.0				155.9	155.9	1.000			
	37.04	37.05	1.000				474.8	474.9	1.000
-2.0	0 500	0 500	1 000	82.09	82.11	1.000	0.0.4.1	004.0	1 000
	8.522	8. 523	1.000				384.1	384.2	1.000
-4.0	6.95	6.95	1.000	75.20	75.21	1.000	327.0	327.2	1.000
-6.0				87 84	87 85	1 000			
0.0	35.06	35.06	1.000	01.01	01.00	1.000	285.5	285.7	1.000
-8.0				24.56	24.57	1.000			
	143.1	143.1	1.000				248.3	248.4	0.999
-10.0				268.5	268.5	1.000			
10.0	89.49	89.50	1.000				121.9	122.0	0.999
-13.0				0	0	—			

表3-6 鋼管杭の最大応答せん断力及び曲げモーメントの比較

3.5.3 まとめ

本解析コードに関する知見を以下にまとめて示す。

- ・本解析コードの3次元モデルによる地震応答解析結果が、実積のある他 解析コードと概ね一致していることを確認した。
- ・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用 する有限要素法による地震応答解析に本解析コードが適用できることを 確認した。
- ・国内の土木・建築分野における使用実積を有しており、解析機能について十分にその妥当性が確認されている。

これより、本解析コードを格納容器圧力逃がし装置基礎の地震応答解析に使 用することは妥当である。

別紙 21 FLIP

1.	使用	状況	<u> </u>	覧
		V V V U		~-

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-17	軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-2-19	燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-2-21	常設代替交流電源設備基礎の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-2-23	軽油タンク基礎(6号機設備)の地震応答計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-10-3-1-2-1	海水貯留堰の耐震性についての計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-10-3-1-2-2	取水護岸の耐震性についての計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-10-3-1-3-1	海水貯留堰(6号機設備)の耐震性についての計	Ver. 7. 4. 1
	算書	
V-2-10-3-1-3-2	取水護岸(6号機設備)の耐震性についての計算	Ver. 7. 4. 1
	書	
V-2-10-3-1-4	スクリーン室の耐震性についての計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-10-3-1-5	スクリーン室(6号機設備)の耐震性についての	Ver. 7. 4. 1
	計算書	
V-2-10-3-1-6	取水路の耐震性についての計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-10-3-1-7	取水路(6号機設備)の耐震性についての計算書	Ver. 7. 4. 1
V-2-10-3-1-8	補機冷却用海水取水路の耐震性についての計算	Ver. 7. 4. 1
	書	
V-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管場所における	Ver. 7. 4. 1
	入力地震動	

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FLIP
使用目的	2 次元有限要素法による地震応答解析(有効応力法)
開発機関	FLIP コンソーシアム
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Ver. 7. 4. 1
コードの概要	本解析コードは、1988年に運輸省港湾技術研究所(現:港 湾空港技術研究所)において開発された平面ひずみ状態を対 象とする有効応力解析法に基づく、2次元地震応答解析プロ グラムである。主な特徴は以下のとおりである。 ・有限要素法に基づくプログラムである。 ・平面ひずみ状態を解析対象とする。 ・地盤の有効応力の変化を考慮した地震応答解析を行い、 部材の断面力や変形量を計算する。 ・土の応力-ひずみモデルとして多重せん断モデルを採 用している。 ・有効応力の変化は有効応力法により考慮する。そのため に必要な過剰間隙水圧算定モデルとして井合モデルを 用いている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コード による解析解との比較を実施し,解析解が提示解と一致 することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは港湾施設の設計に用いられる「港湾施設 の技術上の基準・同解説(2007)(日本港湾協会)」に おいて,港湾施設に対して適用性が確認されている解析 コードとして扱われており,今回の解析に使用すること は妥当である。

・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において,建
物・構築物, 屋外重要土木構造物等の地震応答解析に本
解析コード (Ver.7.3.0_2) が使用された実績があり,
今回の工事計画認可申請で対象とする施設に適用性が
あることが既に検証されている。
・バージョン更新により新しい構成則の追加, 出力機能の
追加が図られたが, 今回の工事計画認可申請において使
用するバージョン(Ver.7.4.1)と他プラントの既工事
計画で使用されたバージョン(Ver.7.3.0_2)で使用し
ている機能は同じである。
・今回の工事計画認可申請における 2 次元有限要素法に
よる地震応答解析(有効応力法)の使用目的に対し、使
用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性
確認の範囲内であることを確認している。

別紙 22 SLOK

1. ′	使用	状況	一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-17	軽油タンク基礎の地震応答計算書	Ver. 2. 0
V-2-2-19	燃料移送系配管ダクトの地震応答計算書	Ver. 2. 0
V-2-2-21	常設代替交流電源設備基礎の地震応答計算書	Ver. 2. 0
V-2-2-23	軽油タンク基礎(6号機設備)の地震応答計算書	Ver. 2. 0
V-2-10-3-1-2-1	海水貯留堰の耐震性についての計算書	Ver. 2. 0
V-2-10-3-1-2-2	取水護岸の耐震性についての計算書	Ver. 2. 0
V-2-10-3-1-3-1	海水貯留堰(6号機設備)の耐震性についての計	Ver. 2. 0
	算書	
V-2-10-3-1-3-2	取水護岸(6号機設備)の耐震性についての計算	Ver. 2. 0
	書	
V-2-10-3-1-4	スクリーン室の耐震性についての計算書	Ver. 2. 0
V-2-10-3-1-5	スクリーン室(6号機設備)の耐震性についての	Ver. 2. 0
	計算書	
V-2-10-3-1-6	取水路の耐震性についての計算書	Ver. 2. 0
V-2-10-3-1-7	取水路(6号機設備)の耐震性についての計算書	Ver. 2. 0
V-2-10-3-1-8	補機冷却用海水取水路の耐震性についての計算	Ver. 2.0
	書	
V-2-別添 3-2	可搬型重大事故等対処設備の保管場所における	Ver. 2.0
	入力地震動	

2. 解析コードの概要

<u>コード名</u> 項目	SLOK
使用目的	1次元地震応答解析(入力地震動算定)
開発機関	東電設計株式会社
開発時期	1985 年
使用したバージョン	Ver. 2. 0
コードの概要	本解析コードは,東電設計株式会社によって開発された1 次元重複反射理論に基づく地盤の地震応答解析を行う解析 コードであり,地盤の非線形性はひずみ依存特性を用いて等 価線形化法により考慮している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードによる一層のモデル地盤に対する地震応 答解析結果と、1次元重複反射理論に基づく理論解が一 致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・柏崎刈羽原子力発電所7号機の既工事計画において本 解析コード(Ver.0)が使用された実績がある。 ・バージョン更新により機能の追加が図られたが、今回の 工事計画認可申請において使用するバージョン(Ver. 2.0)と既工事計画で使用されたバージョン(Ver. 2.0)と既工事計画認可申請における1次元地震応答解析 (入力地震動算定)の使用目的に対し、使用用途及び使 用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内 であることを確認している。

別紙 23 Engineer's Studio

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-18	軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 1
V-2-2-22	常設代替交流電源設備基礎の耐震性についての	Ver. 8.0.1
	計算書	
V-2-2-24	軽油タンク基礎(6 号機設備)の耐震性について	Ver. 8. 0. 1
	の計算書	
V-2-10-3-1-6	取水路の耐震性についての計算書	Ver. 8. 0. 1
V-2-10-3-1-8	補機冷却用海水取水路の耐震性についての計算	Ver. 8. 0. 1
	書	

2. 解析コードの概要

コード名 項目	Engineer's Studio
使用目的	3次元有限要素法による静的解析
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	2009 年
使用したバージョン	Ver. 8. 0. 1
コードの概要	本解析コードは,株式会社フォーラムエイトによって開発 された3次元有限要素法解析を行う解析コードである。主な 特徴は以下のとおりである。 ・土木・建築構造物の部材を,1本の棒に見立てたはり要 素や平面的に連続した平板要素でモデル化して構造物 の応答解析を行い,断面力及びひずみの算出を行う。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードによる非線形平板要素を用いた解析結果と実験結果が概ね一致することを確認している。 ・本解析コードによる杭頭ばね要素を用いた解析結果と理論解が概ね一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において,屋外重要土木構造物等に本解析コード(Ver.6.00.04)が使用された実績があり,線形のはり要素及び平板要素を用いた解析に適用性があることが既に検証されている。 ・バージョン更新により機能の追加が図られたが,今回の工事計画認可申請において使用するバージョン(Ver.8.0.1)と他プラントの既工事計画で使用されたバージョン(Ver.6.00.04)で使用している機能は同じである。 ・今回の工事計画認可申請において使用する非線形平板要素及び杭頭ばね要素を用いた解析の適用性を検証している。
・今回の工事計画認可申請における 3 次元有限要素法に	

よる静的解析の使用目的に対し,使用用途及び使用方法	
に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内である	
ことを確認している。	

3. 解析手法

3.1 一般事項

Engineer's Studioは土木・建築構造物の部位を一本の棒に見立てたはり 要素や平面的に連続した平板要素でモデル化して、構造物の非線形挙動を解析できる 3 次元 有限要素法 (FEM) 解析プログラムである。Engineer's Studioは、軽油タ ンク基礎、常設代替交流電源設備基礎、補機冷却用海水取水路及び軽油タンク基礎(6号機設 備)の3次元有限要素法による静的解析に使用している。

3.2 解析コードの特徴

Engineer's Studioの特徴を以下に示す。

- ・構造物の鉄筋コンクリート部材を平面的に連続した非線形平板要素でモデル化して、応答 計算により、断面力及びひずみの算出が可能である。
- ・地盤や杭頭部からの反力は、ばね要素でモデル化することにより考慮することが可能である。
- 3.3 解析手法
 - 3.3.1 非線形平板要素

Engineer's Studioで用いられているミンドリン平板要素は有限要素法 (FEM) について記載されている一般的な参考書を参照している。以降は主要な点だけを述べるが,理論の詳細は下記文献に基づいている。

参考文献(1)

Zienkiewicz, O. C. and Taylor, R. L. The Finite Element Method. Fifth Edition. 2000. Vol. 1 The Basis. ISBN 0 7506 5049 4.

参考文献(2)

The Finite Element Method. Fifth Edition. 2000. Vol. 2 Solid Mechanics. ISBN 0 7506 5055 9.

面内については,一般的な2次元平面応力モデルが適用される。(詳細は,参考文献(1) の4章「Plane stress and Plane strain」を参照)

面外方向については、曲げ及びせん断成分両方を考慮する。面外の曲げは、平板要素の 厚みから得られる面内層のひずみを積分したもので、面外せん断モデルは線形弾性であ り、その値は要素の厚さを通して全ての層で積分することで得られる。

なお、非線形平板要素には、下記文献に基づく材料の非線形特性が考慮される。

参考文献(3)

Koichi MAEKAWA, Amorn PIMANMAS and Hajime OKAMURA, Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete. 2003. ISBN 0 4152 7126 6.

3.3.2 ばね要素

ばね要素は要素の長さがゼロあるいは無視できる要素に対して適用する。ばね要素両端に接続された2節点の変位から計算される要素両端の相対変位を要素変形と定義する。

図 3-1 には要素変形を明確にするため、並進変形と回転変形を分離して示している。

並進変形及び回転変形の成分を求めるために必要となる変位後の要素座標系は、次のように決定する。節点変位と共に回転する要素端iに設定された要素端座標系が、変位後の他端j要素端座標系に一致する回転を求める。この回転の半回転をi端座標系に与えた回転後の座標系を要素座標系と定義する。並進変形の各成分は2節点を結ぶベクトルの要素座標軸成分であり、回転変形はi端座標系がj端座標系に一致する回転ベクトルを要素座標軸成分として求めたものになる。

したがって、これら要素変形と仕事の対を成す要素端力は、 図 3-2 に示すように、 要素座標軸に平行であり要素両端で逆向きとなる 3 つの対をなす並進力と、要素座標軸 周り両端逆向きの3対の端モーメントである。要素端に作用するそれぞれ6 個の力の内、 これら3 並進力と3 端モーメントの6 つの力が独立である。要素端に作用する12 の力の うち、これら独立な端力を除く6 つの力は3 対の並進力に釣り合うべき端モーメントで あることは明白であるが、これらの従属する力が要素両端にどのように作用するかは明 確ではない。しかし、定義された要素座標系から厳密な適合条件により導かれる要素変形 を節点変位により展開することによって、線形の適合条件が導かれるとともに、平衡条件 式も同様に得ることができる。結果として、3 並進力に釣り合うべき3 つのモーメントを 両端に均等に配分することにより生じる6 つのモーメント(回転変形と対を成すモーメ ントとは異なるモーメント)が、従属な要素端力となる。

この要素座標系の大きな特徴は, ばね要素が接続される 2 節点の均等性が保証される ことと, ばね要素長がゼロであっても幾何剛性が算出できる点にある。 線要素に単純ばり 要素座標系を採用した場合, 軸力をその要素長で割る幾何剛性が存在し, これ故に要素長 ゼロが発生する要素に対しては単純ばり要素座標系が適用できない。一方, 片持ちばり要 素座標系では幾何剛性にゼロ割は生じないものの、固定端側に接続される節点と自由端 側に接続される節点では、要素内の幾何学的非線形を完全に取り入れない限り節点間の 不均等性が現れ、片持ちばり要素座標系の与え方次第で解は異なることになる。ここで定 義した要素座標系はこれらの問題点を解消できるものである。しかしながら、ゴム支承な どのせん断変形が卓越し、要素長が確実に保証できる部材にこの要素座標系を適用した 場合, せん断変形により見かけ上軸方向の圧縮変形が生じ, 本来存在しない圧縮力を生み 出すこととなり、実現象に対する精度の悪化は否めない。要素長ゼロの可能性がない要素 であれば、曲げ変形に加えてせん断変形を行う線要素として単純ばり要素座標系を使用 することが望ましい。本解析で使用するばね要素においては、要素端力は仕事の対として 対応する要素変形によってばね定数から独立に決定されるものとし、他の要素変形との ・連成はないものとする。要素変形と要素端力の関係は非弾性も可能とし、ばねの復元力特 性として、バイリニアあるいは一方向のみ復元力がバイリニアとなる非弾性性状を与え ることができるものとする。

図 3-3 に示す2重節点(要素両端の変位が1つ以上の自由度について一致する節点) は、このばね要素で設定するものとする。非線形解析においては、変位が一致する方向は 節点変位と共に変化するため、厳密な適合条件から求めた変位後の要素座標系を使用し て、2重節点における変位が一致する方向を確定する必要がある。



図 3-1 ばね要素の要素変形と要素座標系



図 3-2 ばね要素の要素端力



The direction of the same displacements

図 3-3 2 重節点

3.4 解析フローチャート

解析フローチャートを図 3-4 に示す。



図 3-4 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性 (Validation)
 - 3.5.1 非線形平板要素の適用性の検証

非線形平板要素は、コンクリート及び鉄筋の非線形特性を考慮し、鉄筋コンク リート部材を積層モデルでモデル化する要素である。非線形平板要素を用いた 解析の適用性は、単純ばりモデルの荷重-変位関係について、本解析コードによ る解析結果と実験結果を比較することで検証する。

- (1) 検討条件
 - a. 実験概要

比較対象とする実験の概念図を図 3-5 に示す。実験では鉄筋コンクリート はりの試験体に対し,試験体天端2点に荷重し,試験体中央位置での鉛直変位 に関する荷重-変位関係を確認する。



図 3-5 実験概念図

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005年) より引用) b. 解析モデル

解析モデルは図 3-5 に基づき,積層シェル要素でモデル化する。積層シェ ル要素は8層とし,上端2層及び下端2層は鉄筋コンクリート要素で,中央4 層は無筋コンクリート要素でモデル化する。

解析モデル図を図 3-6 に示す。



図 3-6 解析モデル図

c. 解析用物性值

解析用物性値を表 3-1 に示す。

表 3-1 解析用物性

	圧縮強度 f_c (N/mm ²)	45.3
コンクリート	引張強度 f_i (N/mm ²)	3.7
	ヤング係数 E _c (N/mm ²)	3.06×10^{4}
AH- 47	降伏強度 f, (N/mm ²)	344
	ヤング係数 E _s (N/mm ²)	1.94×10^{5}

(原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針(技術資料)(2005 年) より引用)

d. 解析条件

図 3-5の載荷位置と同様に,図 3-6に示す載荷位置に載荷し,モデル中央 位置における荷重-変位関係を算出する。 (2) 結果の検証

実験結果と解析結果の荷重-変位関係の比較を図 3-7 に示す。



解析結果と実験結果の荷重-変位関係は概ね-致しており,鉄筋降伏時の荷重 も概ね同等である。以上より,非線形平板要素を用いた解析の適用性を確認した。 3.5.2 杭頭ばね要素の適用性の検証

杭頭ばね要素は杭軸方向のばね,杭軸法線方向のばね及び回転ばねを設定す ることで,杭頭反力をモデル化する要素である。

杭頭ばね要素を用いた解析の適用性は,杭基礎構造物の杭頭反力及び変位に ついて,本解析コードによる解析結果と変位法による理論解を比較することで 検証を行う。

(1) 検討条件

a. 検討モデル

検討モデルは図 3-8 に示すとおり,杭基礎形式の逆T型擁壁とし,フーチングは剛体とする。



図 3-8 検討モデル

b. 杭頭ばね定数

杭頭ばね定数は,道路橋示方書(Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編)・同解説(日本 道路協会,平成14年3月)に基づき算定し,表3-2のとおりとする。

名称	区分	単位	ばね定数	
軸方向ばね	K _v :杭軸方向のばね	kN/m	131567	
軸直角方向ばね	K ₁ : 杭の法線方向ばね	kN/m	27550	
	K2:杭の回転ばね	kN/rad	14032	
	K3:杭の法線方向ばね	leNm /m	14022	
	(モーメント)	KINII/ III	14032	
	K4: 杭の回転ばね	kNm/rod	14204	
	(モーメント)	KINIII/ FAU	14294	

表 3-2 杭頭ばね値

c. 荷重条件

荷重条件は,図 3-9 に示すフーチングの中心線に,表 3-2 に示す荷重を 分布荷重で作用させるものとする。



図 3-9 載荷点の位置

 鉛直荷重
 水平荷重
 モーメント

 V
 H
 M

 420 (kN/m)
 196 (kN/m)
 397 (kNm/m)

表 3-3 荷重值

(2) 解析結果の算出

本解析コードによる解析モデルを図 3-10 に示す。フーチングを剛板で, 杭を 杭頭ばね要素でモデル化する。

解析モデルに対して「(1)c. 荷重条件」で設定した荷重を作用させた際の杭 頭ばね要素の反力図を図 3-11 に示す。解析で得られた各杭頭ばね要素の反力 を表 3-4 及び表 3-5 に示す。また,フーチング軸線の変位を表 3-6 に示す。







図 3-11 解析結果 杭頭ばね要素の反力図

杭頭位置	1	2	3	4	5	6	7	平均值
杭頭曲げ反力M(kNm/本)	59.6	59.6	59.6	59.6	59.6	59.6	59.6	59.6
杭頭鉛直反力 P _v (kN/本)	571.6	574.2	576.1	576.8	576.1	574.2	571.6	574.3
杭頭水平反力 P _H (kN/本)	140.2	140.2	140.2	140.2	140.2	140.2	140.2	140.2

表 3-4 擁壁前面側の杭頭部の反力

表 3-5 擁壁背面側の杭頭部の反力

杭頭位置	1	2	3	4	5	6	7	平均值
杭頭曲げ反力M(kNm/本)	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1	59.1
杭頭鉛直反力 P _v (kN/本)	23.5	25.5	27.0	27.6	27.0	25.5	23.5	25.7
杭頭水平反力 P _H (kN/本)	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8	139.8

表 3-6 フーチング軸線の変位

算定位置	軸線(平均値)
水平変位 δ _x (mm)	5.93
鉛直変位δ _y (mm)	2.30
回転角 α (rad)	0.001679

(3) 理論解の算出

変位法によって理論解を算出する。図 3-12 に示すようにフーチングの中心 を原点Oとし、外力Vo, Ho, Moを作用させたときの応答値を算定する。



図 3-12 変位法による計算座標

このときフーチング原点の変位は、次の三元連立方程式を解いて求められる。 $A_{xx} \delta_{x} + A_{xy} \delta_{y} + A_{x\alpha} \alpha = H_{O}$ $A_{yx} \delta_{x} + A_{yy} \delta_{y} + A_{y\alpha} \alpha = V_{O}$ $A_{\alpha x} \delta_{x} + A_{\alpha y} \delta_{y} + A_{\alpha \alpha} \alpha = M_{O}$

フーチングの底面が水平なため、各係数は次式で求められる。

 $A_{x x} = \Sigma (K_{1} \cos^{2} \theta_{i} + K_{v} \sin^{2} \theta_{i})$ $A_{x y} = A_{y x} = \Sigma (K_{v} - K_{1}) \sin \theta_{i} \cos \theta_{i}$ $A_{x a} = A_{a x} = \Sigma \{ (K_{v} - K_{1}) x_{i} \sin \theta_{i} \cos \theta_{i} - K_{2} \cos \theta_{i} \}$ $A_{y y} = \Sigma (K_{v} \cos^{2} \theta_{i} + K_{1} \sin^{2} \theta_{i})$ $A_{y a} = A_{a y} = \Sigma \{ (K_{v} \cos^{2} \theta_{i} + K_{1} \sin^{2} \theta_{i}) x_{i} + K_{2} \sin \theta_{i} \}$ $A_{a a} = \Sigma \{ (K_{v} \cos^{2} \theta_{i} + K_{1} \sin^{2} \theta_{i}) x_{i}^{2} + (K_{2} + K_{3}) x_{i} \sin \theta_{i} + K_{4} \}$

ここに,

H_o: フーチング底面より上に作用する水平荷重(kN)
V_o: フーチング底面より上に作用する鉛直荷重(kN)
M_o: 原点0まわりの外力のモーメント(kNm)
δ_x: 原点0の水平変位(m)
δ_y: 原点0の鉛直変位(m)
α : フーチングの回転角(rad)
x_i: i 番目の杭の杭頭のx座標(m)
θ_i: i 番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度(度)

以上の計算から、求められたフーチング原点の変位(δ_x , δ_y , α)により、 各杭頭に作用する杭軸方向力 P_{Ni} , 杭軸直角方向力 P_{Hi} , およびモーメントM t_i は次式で求まる。

$$P_{Ni} = K_{v} \delta_{yi}'$$

$$P_{Hi} = K_{1} \delta_{xi}' - K_{2} \alpha$$

$$M_{ti} = -K_{3} \delta_{xi}' + K_{4} \alpha$$

$$\delta_{xi}' = \delta_{x} \cos \theta_{i} - (\delta_{y} + \alpha_{xi}) \sin \theta_{i}$$

$$\delta_{yi}' = \delta_{x} \sin \theta_{i} + (\delta_{y} + \alpha_{xi}) \cos \theta_{i}$$

ここに,

- δ_{xi}': i 番目の杭の杭頭の軸直角方向変位(m)
- δ_{vi}, : i 番目の杭の杭頭の軸方向変位(m)
- K_v: 抗頭に単位量の軸方向変位を生じさせる杭軸方向力(杭の軸方 向ばね定数)(kN/m)
- K₁, K₂, K₃, K₄ : 杭の軸直角方向ばね定数
- **x**_i : i 番目の杭の杭頭の x 座標(m)
- *θ*_i : i 番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度(度)
- P_{Ni} : i 番目の杭の杭軸方向力(kN)
- P_{Hi}: i 番目の杭の杭軸直角方向力(kN)
- M_{ti}: i 番目の杭の杭頭に作用する外力としてのモーメント(kNm)

係数	単位	算定値
A _{x x}	kN/m	385697
A _{xy} , A _{yx}	kN/m	0
$A_{x \alpha}$, $A_{\alpha x}$	kN/rad	-196450
Ауу	kN/m	1841942
$A_{y\alpha}$, $A_{\alpha y}$	kN/rad	0
Ααα	kNm/rad	3078153

表 3-7 各係数の計算結果

表 3-8 各杭頭反力の計算結果

算定位置	擁壁前面杭頭	擁壁背面杭頭
杭頭曲げ反力M(kNm/本)	59	59
杭頭鉛直反力 P _v (kN/本)	574	26
杭頭水平反力 P _H (kN/本)	140	140

表 3-9 フーチングの原点Oの変位

算定位置	原点O
水平変位 δ _x (mm)	5.93
鉛直変位δ _y (mm)	2.28
回転角α(rad)	0.001668

(4) 結果の検証

本解析コードによる解析結果と理論解の比較結果を表 3-10 及び表 3-11 に 示す。表 3-10 及び表 3-11 より, 杭頭反力及びフーチングの変位が解析解と理 論解で概ね一致していることから, 杭頭ばね要素を用いた解析の適用性を確認 した。

表 3-10 本解析コードによる解析結果と理論解の比較 杭頭反力

算定位置	擁壁前面側杭頭			擁壁	管背面側框	亢頭
算定方法	解析結果 (平均值)	理論解	理論解に対 する比率	解析結果 (平均值)	理論解	理論解に対 する比率
杭頭曲げ反力M(kNm/本)	59.6	59	101.0%	59.1	59	100.2%
杭頭鉛直反力 P v (kN/本)	574.3	574	100.1%	25.7	26	98.8%
杭頭水平反力 P _H (kN/本)	140.2	140	100.1%	139.8	140	99.9%

表 3-11 本解析コードによる解析結果と理論解の比較 フーチング変位

算定位置	中心線(原点O)					
算定方法	解析結果 (平均値)	理論解	理論解に対する比率			
水平変位δ _x (mm)	5.93	5.93	100.0%			
鉛直変位δ _y (mm)	2.30	2.28	100.9%			
回転角α(rad)	0.001679	0.001668	100.7%			

3.5.3 使用目的に対する妥当性

本解析コードは,非線形平板要素及び杭頭ばね要素を用いた3次元有限要素法 による静的解析に使用されている。非線形はり要素を用いた解析の適用性は, 3.5.1「非線形平板要素の適用性の検討」において検討している。また,杭頭ばね 要素を用いた解析の適用性は,3.5.2「杭頭ばね要素の適用性の検証」において検 証している。

以上より,今回の工事計画認可申請における3次元有限要素法による静的解析 の使用目的に対し,本解析コードを用いることは妥当である。

別紙 24 TDAPⅢ

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-18	軽油タンク基礎の耐震性についての計算書	Ver. 3. 11

2. 解析コードの概要

コード名 項目	ΤDAPIII				
使用目的	静的応力解析				
開発機関	大成建設株式会社 株式会社アーク情報システム				
開発時期	1994 年				
使用したバージョン	Ver. 3. 11				
コードの概要	本解析コードは、2次元、3次元及び軸対称問題に対応可能で、 静荷重、動荷重の取り扱いができる構造解析の汎用解析コードで ある。 土木・建築分野の特化した要素群、材料非線形モデルを数多くサ ポートしていることが特徴で、日本国内では、建設部門を中心とし て、官公庁、大学、民間問わず、多くの利用実績がある。				
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。 ・マニュアルに記載された例題の提示解と本解析コードによる 解析解との比較を実施し、解析解が提示解と一致することを 確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された 要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。 ・橋梁・橋脚、地盤・構造物連成、地中構造物等をはじめとす る多数の解析において本解析コードが使用されており、十分 な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。 ・日本原子力発電株式会社東海第二発電所において、建物・構 築物、屋外重要土木構造物等の静的応力解析に本解析コード (Ver. 3. 08)が使用された実績があり、今回の工事計画認可 申請で対象とする施設に適用性があることが既に検証されて いる。 バージョン更新により新しい構成則の追加、出力機能の追加 が図られたが、今回の工事計画認可申請において使用するバ ージョン(Ver. 3. 11)と他プラントの既工事計画で使用され 				

たバージョン(Ver. 3. 08)で使用している機能は同じである。
・今回の工事計画認可申請における静的応力解析の使用目的に
対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当
性確認の範囲内であることを確認している。

別紙 25 KSHAKE

1. 使用状況一覧

	バージョン	
V-2-2-別添 1-2-1	地下水排水設備設置位置の地盤応答	Ver. 6. 2
Ⅴ-2-2-別添 1-3-1	地下水排水設備設置位置の地盤応答	Ver. 6.2

2. 解析コードの概要

コード名 項目	KSHAKE				
使用目的	原子炉建屋地下水排水設備設置位置における地震応答解析				
開発機関	株式会社構造計画研究所				
開発時期	1997 年				
使用したバージョン	Ver. 6. 2				
コードの概要	 KSHAKEは株式会社構造計画研究所により開発・公開された汎用市販コードである。一次元重複反射理論に基づく等価線形解析法により、成層地盤の地震応答解析を行う。以下に本解析コードの主な特徴を挙げる。 (1)重複理論による等価線形解析により、地盤の非線形を考慮した解析が可能である。 (2)従来型・改良型の複素剛性を選択できる。 (3)地盤材料の動的変形特性として、土研式、港湾式等の歪依存特性をサポートする。 (4)各層の加速度や相対変位等の最大応答分布図や時刻歴波形、並びに応答スペクトル図や地盤物性表等が出力可能である。 				
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・作成した検討用地盤モデルを対象とし,本解析コードによる地 震応答解析結果と,一次元重複反射理論に基づく理論解が一 致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示された要 件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・作成した検討用地盤モデルを対象に本解析コードによる地震 応答解析結果と,汎用市販地震応答解析ソフトである地震工 学研究所「microSHAKE-3D Ver2.3」による地震応答解析結果の 比較を行い,解析結果が一致することを確認した。 ・原子力産業界において,原子力発電所の地盤・斜面評価などの 解析に本コードが使用されており,十分な使用実績があるた め 信頼性があると判断できる				

別紙 26 SHAKE

1. 使用状況一覧

	バージョン	
V-2-2-別添 1-2-1	地下水排水設備設置位置の地盤応答	Ver. 1. 6. 11
Ⅴ-2-2-別添 1-3-1	地下水排水設備設置位置の地盤応答	Ver. 1. 6. 11

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SHAKE				
使用目的	地盤の地震応答解析				
開発機関	鹿島建設株式会社				
開発時期	1971 年				
使用したバージョン	Ver. 1. 6. 11				
コードの概要	本解析コードは,米国カルフォルニア大学から発表された SHAKE(最新公開版はSHAKE-91)(以下「SH AKE-91」という。)を基本に開発されたもので,1次 元重複反射理論に基づく地盤の伝達関数や時刻歴波形を算 出するプログラムである。				
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは,地盤の地震応答解析に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証は以下のとおり実施している。 ・本解析コードによる弾性地盤の増幅特性の解析結果と 公開文献*の理論解を比較し,両者が概ね一致するこ とを確認している。また,SHAKE-91による解 析結果と概ね一致することを確認している。 ・動作環境を満足する計算機にインストールして使用して いる。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は以下のとおりである。 ・同じ理論解に基づくSHAKE-91を用いた解析解 と本解析コードの解析解のベンチマークを行った結 果,概ね一致していること確認した。 ・今回の工事計画認可申請で行う1次元重複反射理論に よる地盤の応答解析の用途及び適用範囲が上述の妥当 性確認の範囲内であることを確認している。 注記*:最新耐震構造解析 柴田明徳著 231頁,232頁 森 北出版株式会社 第3版				

- 3. 解析手法
- 3.1 概要

本解析コードは、米国カルフォルニア大学バークレイ校(UCB)でSchnabelとLysmerらに より開発されたSHAKE-91を基本に開発されたプログラムである。本解析コード は、水平方向に半無限に広がりのある均質、粘弾性のいくつかの層からなる土層でのせん 断波の鉛直方向伝播に対する応答計算を行う。

- 3.2 本解析コードの特徴
 - (1) 1次元波動論に基づき,多層地盤の地震応答を行う。
 - (2) 解析結果として、地盤の各層における加速度、応力度、ひずみ度等の伝達関数及び応答 波形が求められる。
 - (3) 本解析コードは、次の仮定を設けて地震応答解析を行っている。
 - ・ 地盤は、水平方向に半無限に広がっているものとする。(水平成層地盤)
 - ・ 応答は、地震動の解析基盤からの鉛直伝播により起こるものとする。
 - ・ 地盤物性は,各層の密度,せん断波速度又はせん断弾性係数(あるいは、P波速度) 及び減衰定数を入力することで定義する。
 - (4) 等価線形解析を行うことができる。

3.3 解析理論

解析理論において、図 3-1 に示す線形粘弾性系を通過するせん断波による応答を考える。 各層は、均質、等方性であり、厚さh、密度 ρ 、せん断弾性係数G及び減衰定数 β で定義される。

図 3-1 に示される系を通過するせん断波の伝播は,水平変位 u=u(x,t)による以下の式で 表わされる。

η:粘性係数

水平変位 u=u(x,t)を,以下の(2)式で表わされる振動数ωに対する調和振動と考える。

(3.2)式は、波動方程式の一般解として(3.3)式で表わされる。

$$u(x, t) = E \cdot e^{i(kx + \omega t)} + F \cdot e^{-i(kx - \omega t)} \dots (3. 3)$$

$$k = \sqrt{\frac{\rho \omega^2}{6 + i \omega \eta}} = \sqrt{\frac{\rho \omega^2}{6^*}} \dots (3. 4)$$

$$\Xi \subseteq \mathfrak{T},$$

E, F:積分定数

G* : 複素剛性

(3.3)式の第一項は、Xのマイナス方向(上向き)に伝わる入射波を示し、第二項はXの プラス方向(下向き)に伝わる反射波を示している。 ここで,任意のm層と(m+1)層の変位とせん断応力との連続性を考え,更に自由表面では せん断応力 τ=0の境界条件を導入し,以下の関係を導く。

 $E_{m} = e_{m}(\omega)E_{1} \qquad (3. 5)$ $F_{m} = f_{m}(\omega)F_{1} \qquad (3. 6)$

伝達関数 em 及び fm は, それぞれ E1 及び F1 に対する倍率であり, E1=F1=1 を上式に代入 すれば決まるものである。

他の伝達関数は, em 及び fm から得られ, n 層及び m 層表面での変位を関連づける伝達関数 An, m は次のように定義する。

$$A_{n,m}(\omega) = u_m/u_n \cdots (3. 7)$$

$$A_{n,m}(\omega) = \frac{e_m(\omega) + f_m(\omega)}{e_n(\omega) + f_n(\omega)} \cdots (3. 8)$$

これらの式より, 伝達関数 A(ω)は, 系のいかなる 2 つの層の間においても定められる。 伝達関数が定まれば, フーリエ変換により入力動のフーリエスペクトル F(f)を求め, それ に伝達関数 A(f)を乗じてフーリエスペクトル R(f)を算定し, それをフーリエ逆変換するこ とにより時刻歴応答が求まる。



図 3-1 1次元地盤の波動伝播

K7 ① V-2 別紙 R1



注記*:入力データとして密度, せん断弾性係数, 減衰定数及び等価線形化法に用いるひずみ依存性を選定する。

図 3-2 解析フローチャート

3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

本解析コードは、「3.3 解析理論」に示した一般性を有する理論モデルそのままに構築されたものである。よって、解析解の適切さは、公開文献*により得られる理論解との比較をもって確認可能である。また、複素応答と1次元重複反射理論に基づき構築された計算機コードSHAKE-91の解析結果との比較により、本解析コードの当該解析機能の適切さを確認した。

注記*:最新耐震構造解析 柴田明徳著 231頁, 232頁 森北出版株式会社 第3版

3.5.1 理論解との比較による検証

検証は、2層のモデル地盤を対象として、本解析コードの解析解と公開文献により 得られる理論解の比較を行う。

(1) 地盤モデル及び検討条件

検証を行う解析モデル及び解析諸元を図 3-3 に示す。

$$H = 20 \text{ m}$$

$$V_{1} = 200 \text{ m/s},$$

$$\rho_{1}g = 15.68 \text{ kN/m}^{3}(\rho_{1} = 1.6 \times 10^{3} \text{ kg/m}^{3})$$

$$V_{2} = 600 \text{ m/s},$$

$$\rho_{2}g = 19.6 \text{ kN/m}^{3}(\rho_{2} = 2.0 \times 10^{3} \text{ kg/m}^{3})$$

$$(g = 9.8 \text{ m/s}^{2})$$

地盤減衰は、履歴減衰として0%と5%の二種とする。

図 3-3 解析条件及び解析モデル

- <検討条件>
- ・重力加速度は、9.80m/s²とする。
- ・検討する振動数は、文献に合わせ0~15Hzとする。

(2) 比較結果

基盤層(第2層境界層)に対する地表の応答倍率(伝達関数)の理論解と解析解の比較を図 3-4 及び表 3-1 に示す。

また、本解析コードのバージョンの違いによる解析解の比較を表 3-2 及び表 3-3 に 示す。

図 3-4 及び表 3-1 より理論解と解析解は十分な精度で一致しており、本解析コード が応答波を正しく評価していることが確認できる。

また、本解析コードの解析結果にバージョンの違いは見られない。



図 3-4 公開文献の理論解とSHAKE (Ver. 1.6.2) による加速度伝達関数

振動		履歴減衰 h=0		履歴減衰 h=0.05			
数 (Hz)	理論解	SHAKE ver. 1. 6. 2	理論解/ SHAKE Ver.1.6.2	理論解	SHAKE ver. 1. 6. 2	理論解/ SHAKE Ver.1.6.2	
0.0	1.0000	1.0000	1.000	1.0000	1.0000	1.000	
0.5	1.0475	1.0475	1.000	1.0423	1.0425	1.000	
1.0	1.2135	1.2135	1.000	1.1962	1.1973	0.999	
1.5	1.5971	1.5971	1.000	1.5385	1.5419	0.998	
2.0	2.5015	2.5015	1.000	2.2363	2.2445	0.996	
2.5	3.7500	3.7500	1.000	2.8930	2.8892	1.001	
3.0	2.5015	2.5015	1.000	2.1532	2.1387	1.007	
3.5	1.5971	1.5971	1.000	1.4802	1.4717	1.006	
4.0	1.2135	1.2135	1.000	1.1510	1.1463	1.004	
4.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9987	0.9964	1.002	
5.0	1.0000	1.0000	1.000	0.9488	0.9484	1.000	
5.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9789	0.9806	0.998	
6.0	1.2135	1.2135	1.000	1.0965	1.1012	0.996	
6.5	1.5971	1.5971	1.000	1.3345	1.3438	0.993	
7.0	2.5015	2.5015	1.000	1.7119	1.7237	0.993	
7.5	3.7500	3.7500	1.000	1.9585	1.9534	1.003	
8.0	2.5015	2.5015	1.000	1.6739	1.6546	1.012	
8.5	1.5971	1.5971	1.000	1.2909	1.2766	1.011	
9.0	1.2135	1.2135	1.000	1.0511	1.0427	1.008	
9.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9271	0.9228	1.005	
10.0	1.0000	1.0000	1.000	0.8822	0.8811	1.001	
10.5	1.0475	1.0475	1.000	0.9012	0.9033	0.998	
11.0	1.2135	1.2135	1.000	0.9849	0.9906	0.994	
11.5	1.5971	1.5971	1.000	1.1407	1.1502	0.992	
12.0	2.5015	2.5015	1.000	1.3456	1.3542	0.994	
12.5	3.7500	3.7500	1.000	1.4534	1.4484	1.003	
13.0	2.5015	2.5015	1.000	1.3230	1.3063	1.013	
13.5	1.5971	1.5971	1.000	1.1052	1.0901	1.014	
14.0	1.2135	1.2135	1.000	0.9400	0.9300	1.011	
14.5	1.0475	1.0475	1.000	0.8443	0.8389	1.007	
15.0	1.0000	1.0000	1.000	0.8060	0.8042	1.002	

表 3-1 公開文献の理論解とSHAKE (Ver. 1.6.2) による加速度伝達関数

振動数	SHAKE							
(Hz)	V.1.6.2	V.1.6.3	V.1.6.4	V.1.6.5	V.1.6.6	V.1.6.7	V.1.6.8	V.1.6.9
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
1.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
1.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
2.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
2.5	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500
3.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
3.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
4.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
4.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
5.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
6.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
6.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
7.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
7.5	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500
8.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
8.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
9.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
9.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
10.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
11.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
11.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
12.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
12.5	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500
13.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
13.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
14.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
14.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
15.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

表 3-2 本解析コードバージョンの違い(加速度伝達関数 履歴減衰 h=0)

振動数	SHAKE							
(Hz)	V.1.6.2	V.1.6.3	V.1.6.4	V.1.6.5	V.1.6.6	V.1.6.7	V.1.6.8	V.1.6.9
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.5	1.0425	1.0425	1.0425	1.0425	1.0425	1.0425	1.0425	1.0425
1.0	1.1973	1.1973	1.1973	1.1973	1.1973	1.1973	1.1973	1.1973
1.5	1.5419	1.5419	1.5419	1.5419	1.5419	1.5419	1.5419	1.5419
2.0	2.2445	2.2445	2.2445	2.2445	2.2445	2.2445	2.2445	2.2445
2.5	2.8892	2.8892	2.8892	2.8892	2.8892	2.8892	2.8892	2.8892
3.0	2.1387	2.1387	2.1387	2.1387	2.1387	2.1387	2.1387	2.1387
3.5	1.4717	1.4717	1.4717	1.4717	1.4717	1.4717	1.4717	1.4717
4.0	1.1463	1.1463	1.1463	1.1463	1.1463	1.1463	1.1463	1.1463
4.5	0.9964	0.9964	0.9964	0.9964	0.9964	0.9964	0.9964	0.9964
5.0	0.9484	0.9484	0.9484	0.9484	0.9484	0.9484	0.9484	0.9484
5.5	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806
6.0	1.1012	1.1012	1.1012	1.1012	1.1012	1.1012	1.1012	1.1012
6.5	1.3438	1.3438	1.3438	1.3438	1.3438	1.3438	1.3438	1.3438
7.0	1.7237	1.7237	1.7237	1.7237	1.7237	1.7237	1.7237	1.7237
7.5	1.9534	1.9534	1.9534	1.9534	1.9534	1.9534	1.9534	1.9534
8.0	1.6546	1.6546	1.6546	1.6546	1.6546	1.6546	1.6546	1.6546
8.5	1.2766	1.2766	1.2766	1.2766	1.2766	1.2766	1.2766	1.2766
9.0	1.0427	1.0427	1.0427	1.0427	1.0427	1.0427	1.0427	1.0427
9.5	0.9228	0.9228	0.9228	0.9228	0.9228	0.9228	0.9228	0.9228
10.0	0.8811	0.8811	0.8811	0.8811	0.8811	0.8811	0.8811	0.8811
10.5	0.9033	0.9033	0.9033	0.9033	0.9033	0.9033	0.9033	0.9033
11.0	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906
11.5	1.1502	1.1502	1.1502	1.1502	1.1502	1.1502	1.1502	1.1502
12.0	1.3542	1.3542	1.3542	1.3542	1.3542	1.3542	1.3542	1.3542
12.5	1.4484	1.4484	1.4484	1.4484	1.4484	1.4484	1.4484	1.4484
13.0	1.3063	1.3063	1.3063	1.3063	1.3063	1.3063	1.3063	1.3063
13.5	1.0901	1.0901	1.0901	1.0901	1.0901	1.0901	1.0901	1.0901
14.0	0.9300	0.9300	0.9300	0.9300	0.9300	0.9300	0.9300	0.9300
14.5	0.8389	0.8389	0.8389	0.8389	0.8389	0.8389	0.8389	0.8389
15.0	0.8042	0.8042	0.8042	0.8042	0.8042	0.8042	0.8042	0.8042

表 3-3 本解析コードバージョンの違い(加速度伝達関数履歴減衰 h=0.05)

3.5.2 SHAKE-91との比較

本解析コードによる地震応答解析結果と,SHAKE-91による地震応答解析結果 の比較を実施した。

比較に用いるSHAKE-91は、米国カルフォルニア大学バークレイ校(UCB)が 有償配布している複素応答と重複反射理論に基づいた1次元地盤の等価線形解析プロ グラムであり、世界各国で広く用いられているSHAKEの最新バージョンである。な お、本解析コードのSHAKE(Ver.1.6.2及びこれ以前のVersion)は既工認での使 用実績を数多く有する。

- (1) 検討条件
 - a. 地盤モデル

検証を行う地盤モデル諸元を表 3-4 に,図 3-5~図 3-6 に地盤のひずみ依存特 性を示す。

なお、地盤モデルは、SHAKE-91の例題に添付されている等価線形モデルで ある。このため長さは feet,重さは pond,重力加速度は 32.2 feet/s² である。

b. 入力地震動

基盤への入力地震動を図 3-7 に示す。

入力地震動もSHAKE-91の例題に添付されているものであり,メキシコ地震 のロマ・プリータで記録された地震波を 0.1G (0.980665m/s²)に基準化したものを用 いる。

c. 等価線形解析時の解析条件

SHAKE-91の例題で用いられている主な解析条件を以下に示す。

- ・地盤の有効ひずみは、最大応答ひずみの0.5倍とする。
- ・収束回数は、8回までとする。
- ・収束誤差判定は、1%とする。(SHAKE-91では考慮していない)
| 区分 | 層厚
ft | 深度
ft | 湿潤単位体積重量
kpd/ft ³ | せん断波速度
ft/s | 減衰定数 |
|-----|----------|----------|---------------------------------|----------------|------|
| 砂質土 | 5 | 5 | 0.125 | 1000 | 0.05 |
| | 5 | 10 | 0.125 | 900 | 0.05 |
| | 10 | 20 | 0.125 | 900 | 0.05 |
| | 10 | 30 | 0.125 | 950 | 0.05 |
| 粘性土 | 10 | 40 | 0.125 | 1000 | 0.05 |
| | 10 | 50 | 0.125 | 1000 | 0.05 |
| | 10 | 60 | 0.125 | 1100 | 0.05 |
| | 10 | 70 | 0.125 | 1100 | 0.05 |
| 砂質土 | 10 | 80 | 0.130 | 1300 | 0.05 |
| | 10 | 90 | 0.130 | 1300 | 0.05 |
| | 10 | 100 | 0.130 | 1400 | 0.05 |
| | 10 | 110 | 0.130 | 1400 | 0.05 |
| | 10 | 120 | 0.130 | 1500 | 0.05 |
| | 10 | 130 | 0.130 | 1500 | 0.05 |
| | 10 | 140 | 0.130 | 1600 | 0.05 |
| | 10 | 150 | 0.130 | 1800 | 0.05 |
| 基盤 | _ | _ | 0.140 | 4000 | 0.01 |

表 3-4 地盤モデル諸元



γ	粘性土 G/Go	γ	粘性土 h
0.0001	1.000	0.0001	0.0024
0.0003	1.000	0.0003	0.0042
0.0010	1.000	0.0010	0.0080
0.0030	0.981	0.0030	0.0140
0.0100	0.941	0.0100	0.0280
0.0300	0.847	0.0300	0.0510
0.1000	0.656	0.1000	0.0980
0.3000	0.438	0.3000	0.1550
1.0000	0.238	1.0000	0.2100
3.0000	0.144	3.1600	0.2500
10.0000	0.110	10.0000	0.2800

γ

0.0001

0.0003

0.0010

0.0030

0.0100

0.0300

0.1000

0.3000

1.0000

3.0000

10.0000







(2) 解析結果

本解析コードによる地震応答解析結果と、SHAKE-91による地震応答解析結果 のうち、地盤の最大加速度分布を図3-8、地盤の等価せん断ひずみ分布を図3-9、地 表の加速度応答スペクトルを図3-10に示す。

なお, SHAKE-91の加速度出力(重力加速度単位)は重力加速度 G=9.80665m/s² を用いて cm/s²に変換して比較する。

また、本解析コードのバージョンの違いによる解析解の比較を表 3-5 及び表 3-6 に 示す。

これらによれば、本解析コードとSHAKE-91の解析結果は十分な精度で一致しており、本解析コードの等価線形解析は検証された。

また、本解析コードの解析結果にバージョンの違いは見られない。

	SHAKE	SHAKE		SHAKE	1				
深さ	-0.1	-0.1	SHAKE	-0.1	-	SH	AKE-91		
(ft)	-91	-91 (cm/s ²)	(Ver. 1. 6. 2)	-91 /Ver162	-	SH	AKE(Ver.:	1.6.2)_MK	S
0	0. 19040	186.7	186.6	1.001	0				
5	0. 19006	186.4	186.3	1.001	-10				
10	0.18873	185.1	185.0	1.001	-20			+++++	
20	0.18258	179.0	179.0	1.000	-30			/	
30	0.17209	168.8	168.7	1.001	-40				
40	0.15947	156.4	156.4	1.000	-50				
50	0.14288	140.1	140.1	1.000	-60		/	4	
60	0.12653	124.1	124.1	1.000					
70	0.11049	108.4	108.3	1.001	÷ +0 -80		-/		
80	0.09839	96.5	96.5	1.000	账 -90 —				
90	0.08997	88.2	88.2	1.000	-100		/		
100	0.08268	81.1	81.1	1.000	-110				
110	0.08559	83.9	84.0	0.999	-120				
120	0.08546	83.8	83.8	1.000	120				
130	0.08201	80.4	80.4	1.000	-130				
140	0.07769	76.2	76.2	1.000	-140				
150	0.07616	74.7	74.7	1.000	-150 +	500	100.0	150.0	
					0.0	30.0 加:	100.0 速度(cm/s	130.0	200.0

図 3-8 地盤の最大加速度分布







図 3-10 地表の加速度応答スペクトル (h=0.05)

深さ	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE
(ft)	V.1.6.2	V. 1. 6. 3	V. 1. 6. 4	V. 1. 6. 5	V. 1. 6. 6	V. 1. 6. 7	V. 1. 6. 8	V. 1. 6. 9
0	186.6	186.6	186.6	186.6	186.6	186.6	186.6	186.6
5	186.3	186.3	186.3	186.3	186.3	186.3	186.3	186.3
10	185.0	185.0	185.0	185.0	185.0	185.0	185.0	185.0
20	179.0	179.0	179.0	179.0	179.0	179.0	179.0	179.0
30	168.7	168.7	168.7	168.7	168.7	168.7	168.7	168.7
40	156.4	156.4	156.4	156.4	156.4	156.4	156.4	156.4
50	140.1	140.1	140.1	140.1	140.1	140.1	140.1	140.1
60	124.1	124.1	124.1	124.1	124.1	124.1	124.1	124.1
70	108.3	108.3	108.3	108.3	108.3	108.3	108.3	108.3
80	96.5	96.5	96.5	96.5	96.5	96.5	96.5	96.5
90	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2	88.2
100	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1	81.1
110	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0	84.0
120	83.8	83.8	83.8	83.8	83.8	83.8	83.8	83.8
130	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4	80.4
140	76.2	76.2	76.2	76.2	76.2	76.2	76.2	76.2
150	74.7	74.7	74.7	74.7	74.7	74.7	74.7	74.7

表 3-5 本解析コードバージョン比較(地盤の最大加速度分布)

表 3-6 本解析コードバージョン比較(地盤の等価せん断ひずみ)

深さ	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE
(ft)	V.1.6.2	V. 1. 6. 3	V. 1. 6. 4	V.1.6.5	V. 1. 6. 6	V. 1. 6. 7	V. 1. 6. 8	V.1.6.9
0	0.000771	0.000771	0.000771	0.000771	0.000771	0.000771	0.000771	0.000771
5	0.002954	0.002954	0.002954	0.002954	0.002954	0.002954	0.002954	0.002954
10	0.006338	0.006338	0.006338	0.006338	0.006338	0.006338	0.006338	0.006338
20	0.009761	0.009761	0.009761	0.009761	0.009761	0.009761	0.009761	0.009761
30	0.010989	0.010989	0.010989	0.010989	0.010989	0.010989	0.010989	0.010989
40	0.014032	0.014032	0.014032	0.014032	0.014032	0.014032	0.014032	0.014032
50	0.013617	0.013617	0.013617	0.013617	0.013617	0.013617	0.013617	0.013617
60	0.015662	0.015662	0.015662	0.015662	0.015662	0.015662	0.015662	0.015662
70	0.013548	0.013548	0.013548	0.013548	0.013548	0.013548	0.013548	0.013548
80	0.015041	0.015041	0.015041	0.015041	0.015041	0.015041	0.015041	0.015041
90	0.013348	0.013348	0.013348	0.013348	0.013348	0.013348	0.013348	0.013348
100	0.014116	0.014116	0.014116	0.014116	0.014116	0.014116	0.014116	0.014116
110	0.012326	0.012326	0.012326	0.012326	0.012326	0.012326	0.012326	0.012326
120	0.012806	0.012806	0.012806	0.012806	0.012806	0.012806	0.012806	0.012806
130	0.011145	0.011145	0.011145	0.011145	0.011145	0.011145	0.011145	0.011145
140	0.008645	0.008645	0.008645	0.008645	0.008645	0.008645	0.008645	0.008645

3.5.3 使用内容に対する妥当性

地盤の地震応答解析にSHAKEを使用することは、次のとおり、本解析の適用範囲 に対して検証されており、妥当である。

- 検証の内容のとおり、地盤の応答解析について検証していることから、解析の目的に照らして今回の解析に使用することは妥当である。
- ・ 評価地盤を水平成層と仮定していることから,一次元重複反射理論の適用範囲で ある。

振動数	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE
(Hz)	V.1.6.2	V.1.6.10	V.1.6.11	V.1.6.13
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
1.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
1.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
2.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
2.5	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500
3.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
3.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
4.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
4.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
5.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
6.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
6.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
7.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
7.5	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500
8.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
8.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
9.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
9.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
10.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
10.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
11.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
11.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
12.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
12.5	3.7500	3.7500	3.7500	3.7500
13.0	2.5015	2.5015	2.5015	2.5015
13.5	1.5971	1.5971	1.5971	1.5971
14.0	1.2135	1.2135	1.2135	1.2135
14.5	1.0475	1.0475	1.0475	1.0475
15.0	1 0000	1 0000	1 0000	1 0000

付表-1 本解析コードバージョンの違い(加速度伝達関数 履歴減衰 h=0)

振動数	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE
(Hz)	V.1.6.2	V.1.6.10	V.1.6.11	V.1.6.13
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.5	1.0425	1.0425	1.0425	1.0425
1.0	1.1973	1.1973	1.1973	1.1973
1.5	1.5419	1.5419	1.5419	1.5419
2.0	2.2445	2.2445	2.2445	2.2445
2.5	2.8892	2.8892	2.8892	2.8892
3.0	2.1387	2.1387	2.1387	2.1387
3.5	1.4717	1.4717	1.4717	1.4717
4.0	1.1463	1.1463	1.1463	1.1463
4.5	0.9964	0.9964	0.9964	0.9964
5.0	0.9484	0.9484	0.9484	0.9484
5.5	0.9806	0.9806	0.9806	0.9806
6.0	1.1012	1.1012	1.1012	1.1012
6.5	1.3438	1.3438	1.3438	1.3438
7.0	1.7237	1.7237	1.7237	1.7237
7.5	1.9534	1.9534	1.9534	1.9534
8.0	1.6546	1.6546	1.6546	1.6546
8.5	1.2766	1.2766	1.2766	1.2766
9.0	1.0427	1.0427	1.0427	1.0427
9.5	0.9228	0.9228	0.9228	0.9228
10.0	0.8811	0.8811	0.8811	0.8811
10.5	0.9033	0.9033	0.9033	0.9033
11.0	0.9906	0.9906	0.9906	0.9906
11.5	1.1502	1.1502	1.1502	1.1502
12.0	1.3542	1.3542	1.3542	1.3542
12.5	1.4484	1.4484	1.4484	1.4484
13.0	1.3063	1.3063	1.3063	1.3063
13.5	1.0901	1.0901	1.0901	1.0901
14.0	0.9300	0.9300	0.9300	0.9300
14.5	0.8389	0.8389	0.8389	0.8389
15.0	0.8042	0.8042	0.8042	0.8042

付表-2 本解析コードバージョンの違い(加速度伝達関数履歴減衰 h=0.05)

深さ	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE
(ft)	V. 1. 6. 2	V.1.6.10	V.1.6.11	V.1.6.13
0	186.6	186.6	186.6	186.6
5	186.3	186.3	186.3	186.3
10	185.0	185.0	185.0	185.0
20	179.0	179.0	179.0	179.0
30	168.7	168.7	168.7	168.7
40	156.4	156.4	156.4	156.4
50	140.1	140.1	140.1	140.1
60	124.1	124.1	124.1	124.1
70	108.3	108.3	108.3	108.3
80	96.5	96.5	96.5	96.5
90	88.2	88.2	88.2	88.2
100	81.1	81.1	81.1	81.1
110	84.0	84.0	84.0	84.0
120	83.8	83.8	83.8	83.8
130	80.4	80.4	80.4	80.4
140	76.2	76.2	76.2	76.2
150	74.7	74.7	74.7	74.7

付表-3 本解析コードバージョン比較(地盤の最大加速度分布)

付表-4 本解析コードバージョン比較(地盤の有効せん断ひずみ)

深さ	SHAKE	SHAKE	SHAKE	SHAKE
(ft)	V.1.6.2	V.1.6.10	V. 1. 6. 11	V.1.6.13
0	0.000771	0.000771	0.000771	0.000771
5	0.002954	0.002954	0.002954	0.002954
10	0.006338	0.006338	0.006338	0.006338
20	0.009761	0.009761	0.009761	0.009761
30	0.010989	0.010989	0.010989	0.010989
40	0.014032	0.014032	0.014032	0.014032
50	0.013617	0.013617	0.013617	0.013617
60	0.015662	0.015662	0.015662	0.015662
70	0.013548	0.013548	0.013548	0.013548
80	0.015041	0.015041	0.015041	0.015041
90	0.013348	0.013348	0.013348	0.013348
100	0.014116	0.014116	0.014116	0.014116
110	0.012326	0.012326	0.012326	0.012326
120	0.012806	0.012806	0.012806	0.012806
130	0.011145	0.011145	0.011145	0.011145
140	0.008645	0.008645	0.008645	0.008645

別紙 27 NuPIAS

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
Ⅴ-2-2-別添 1-2-3	管の耐震性についての計算書	Ver. 6. 1. 3c
V-2-2-別添 1-3-3	管の耐震性についての計算書	Ver.6.1.3c
V-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書	Ver.6.1.3c
V-2-8-3-1-2-1	管の耐震性についての計算書	Ver.6.1.3c
V-2-8-3-2-1	管の耐震性についての計算書	Ver.6.1.3c
V-2-9-4-5-1-2	管の耐震性についての計算書	Ver.6.1.3c
		Ver. 6. 1. 4
V-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書	Ver.6.1.3c
V-2-9-4-7-1-2	管の耐震性についての計算書	Ver.6.1.3c
V-2-9-5-2	管の耐震性についての計算書(格納容器圧力逃	Ver.6.1.3c
	がし装置)	
Ⅴ-2-別添 1-6	消火配管の耐震計算書	Ver.6.1.3c

- 2. 解析コードの概要
- 2.1 N u P I A S Ver. 6.1.3c

コード名 項目	N u P I A S
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による管の固有値解析, 応力解析
開発機関	東電設計株式会社,川崎重工業株式会社
開発時期	2000 年
使用したバージョン	Ver. 6. 1. 3c
コードの概要	本解析コードは,配管の強度解析を目的として開発された 計算機プログラムである。本解析コードは,汎用構造解析コ ードSAP-Vをメインプログラムとし,応力評価プログラ ム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログ ラムから成る。 任意の1次元,2次元あるいは3次元形状に対し,静的解 析,動的解析を行うことが可能で,反力・モーメント・応力, 固有値・刺激係数等の算出が可能である。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・配管系応力解析プログラム *1の計算 データと本解析コードによる計算結果を比較し,よく合 致していることを確認している。 ・応力評価プログラムについては,メインプログラムの出 力結果(軸力,モーメント)から,適用技術基準(JS ME* ² , JEAG* ³ 等)に基づいて応力評価が正しく計 算されていることを確認している。 ・サブプログラムについては,インターフェイスチェック シートを用いて,単位,桁数,符号が変換前後で正しく 処理されていることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・原子力の分野における使用実績を有しており,妥当性は 十分に確認されている。

・今回の工事計画認可申請で行うはりモデルによる管の
応力解析の用途, 適用範囲が, 上述の妥当性確認範囲に
あることを確認している。

注記*1:

*2:発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。)) JSME S NC1-2005/2007)(日本機械学会2007年9月)

*3:原子力発電所耐震設計技術指針(重要度分類·許容応力編 JEAG4601

・補-1984, JEAG4601-1987及びJEAG4601-1991 追補版)

(日本電気協会 電気技術基準調査委員会 昭和59年9月,昭和62年8月及び平 成3年6月) 2.2 N u P I A S Ver. 6.1.4

コード名 項目	N u P I A S		
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による管の固有値解析, 応力解析		
開発機関	東電設計株式会社,川崎重工業株式会社		
開発時期	2000 年		
使用したバージョン	Ver. 6. 1. 4		
コードの概要	本解析コードは,配管の強度解析を目的として開発された 計算機プログラムである。本解析コードは,汎用構造解析コ ードSAP-Vをメインプログラムとし,応力評価プログラ ム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログ ラムから成る。 任意の1次元,2次元あるいは3次元形状に対し,静的解 析,動的解析を行うことが可能で,反力・モーメント・応力, 固有値・刺激係数等の算出が可能である。 原子力の分野における使用実績を有している。		
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・実績のあるNuPIAS Ver.6.1.3c から本解析で使 用したNuPIAS Ver.6.1.4 までのバージョンア ップにおいて,本解析で使用するコマンドに関して解析 結果に影響するプログラム変更がないことを各バージ ョンのリリースノートより確認した。 ・最新バージョンへの改訂において,解析結果に大きな影 響を与える不具合に伴う改訂が行われていないことを 確認した。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・バージョンの差分は,解析結果から得られる節点の加速 度及び変位を整理するものであり,今回の使用範囲にお ける解析結果に影響を及ぼさない。 ・本解析における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認 の範囲内であることを確認している。		

3. NuPIAS Ver.6.1.3c, Ver.6.14の解析手法

3.1 一般事項

本解析コードには、3次元トラスやビーム、平面応力など数多くの要素が用意され ており、それらを用いて1次元、2次元あるいは3次元の静的解析及び動的解析を行 う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの処理能力は主に解析する問題の総節点数と必要となる固有値の数 (動的解析の場合)に依存し,要素数,荷重条件数,剛性マトリックスの次数やバ ンド幅などに特別の制限はない。

各節点は、0から6自由度まで設定することができる。

構造マトリックスの誘導は静的解析,動的解析共に同様である。静的解析では釣 合い方程式を解いた後,要素の応力を算出する。動的解析では次の選択ができる。

- (a) 固有值解析
- (b) 時刻歷応答解析
- (c) 応答スペクトル解析
- 3.3 解析手法
 - 3.3.1 運動方程式

節点の運動方程式を以下に示す。

 $[m] \cdot \{u\} + [c] \cdot \{u\} + [k] \cdot \{u\} = \{R\} \cdots (3. 1)$

ここで〔k〕, 〔c〕, 〔m〕は剛性,減衰及び質量マトリックスであり (u}, {u}, {u}, {R}は変位,速度,加速度及び荷重ベクトルを表 す。構造マトリックスは要素マトリックスを直接合成して得られる。 例えば

 $[k] = \Sigma [k_m] \cdots (3. 2)$

ここで、〔k_m〕はm番目の要素の剛性マトリックスである。

本解析コードでは、上記方程式の解法として質点系モデル(lumped Mass)による解析を採用している。したがって、系の質量は、個々の要素の質量マトリックスに、節点に付加している集中質量を加えた対角マトリックスとなる。また、減衰はレイリー減衰(Rayleigh Damping: [c] = α [m] + β [k], α

及びβは比例定数)を採用している。

3.3.2 静的解析

静的解析では(3. 1)式において $\{u\} = \{u\} = 0$ とした次の釣合い方程式 を解き,各要素の応力を算出する。

 $[k] \cdot \{u\} = \{R\} \cdots (3, 3)$

本解析コードでは、方程式の解である節点の変位を正定値行列によるガウスの消去法にて求め、次に応力---ひずみマトリックスより要素の応力を求める。

3.3.3 固有值解析

固有値解析では、(3. 1)式において〔c〕= $\{R\}$ =0とした以下の固有方程 式を解き、固有値と振動モードを求める。

$$[k] \cdot \{\phi\} = [m] \cdot \{\phi\} \cdot \omega^2 \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (3. 4)$$

ここで、 ω は固有角振動数、 $\{\phi\}$ は固有ベクトルを表す。

本解析コードでは、p次までの固有値及び固有ベクトルが必要であると仮定 している。したがって、(3.5)式は下式にて表される。

 $[k] \cdot [\Phi] = [m] \cdot [\Phi] \cdot [\Omega^2] \cdots (3.5)$

ここで、 $[\Omega^2]$ は対角ベクトルである $[\Omega^2] = d i a g (\omega_i^2)$, かつ $[\Phi]$ は直交する固有ベクトル $\{\phi_1\}$, $\{\phi_2\}$ ···· $\{\phi_p\}$ を列に持つマトリックスである。

(3. 5)式を解く方法として2つの方法があり、ひとつは〔k〕の次数及びバンド幅が小さい時の解法である行列式探索法(Determinant Search Method),もうひとつは〔k〕の次数及びバンド幅が大きい時の解法であるサブスペース法(Subspace Method)が用意されている。

3.3.4 動的応答解析

動的応答解析は、次の方程式で表される。

 $[m] \cdot \{u\} + [c] \cdot \{u\} + [k] \cdot \{u\} = \{R(t)\} \cdots (3. 6)$

ここで、 {R(t)} は時間依存荷重又は基準面の動きより生じる荷重のベクトルである。特に地震による動的応答計算の場合のように基準面が動く場合

は、構造物が一様な基準面の加速度 { u g } を受けているとして、下式のごと く表される。

ここで、 { u_r } は基準面に関する構造物の相対変位量、即ち { u_r } = {u} - { u_s } である。

本解析コードでは、(3.6)式及び(3.7)式を時刻歴応答解析法、(3.7)式を応 答スペクトル法にて解くことができ、どちらもモードの重ね合わせ(モーダル 解析)を使用している。

(1) モーダル解析法による時刻歴応答解析

モーダル解析法では,構造物の応答はp次(p<<n)までの振動モードで表 現できると仮定している。ここで,nは全自由度を示す。

 $\{u\} = [\Phi] \cdot \{X\}$ ($[\Phi]$ は, その列が p 個の直交する固有ベクトル $\{\phi_1\}$, $\{\phi_p\}$ を列に持つマトリックス)の変換を行い,

 $\begin{bmatrix} \Phi \end{bmatrix}^{T} \cdot \begin{bmatrix} m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Phi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \end{bmatrix}$ として正規化して(3. 6)式に代入すると次のようになる。

 $\{\ddot{\mathbf{X}}\} + [\Delta] \cdot \{\dot{\mathbf{X}}\} + [\Omega^2] \cdot \{\mathbf{X}\} = [\Phi]^T \cdot \{\mathbf{R}\} \cdots (3. 8)$

ここで, $[\Delta] = d i a g (2 \cdot \omega_i \cdot \xi_i)$, $[\Omega^2] = d i a g (\omega_i^2) \subset \mathfrak{F}$ る。

また、 ω_i はi次モードの固有角振動数、 ξ_i はi次モードの減衰比を示し、減衰マトリックス〔c〕は次のような直交条件を満たすと仮定している。

 $\{\phi_i\}^{\mathrm{T}} \cdot [c] \cdot \{\phi_j\} = 0 \quad (i \neq j) \quad \dots \quad (3. 9)$

したがって,(3.8)式はp個の非連成2次の微分方程式を表している。この微 分方程式は,ウィルソンのθ法にて解かれる。

(2) 応答スペクトル解析

応答スペクトル解析では、(3.7)式における基準面の加速度を以下にて記述する。

$${\ddot{u}}_{g} = {\ddot{u}}_{gx} + {\ddot{u}}_{gy} + {\ddot{u}}_{gz} + {\ddot{u}}_{gz}$$

ここで、 $\{ u_{gx} \} + \{ u_{gy} \} + \{ u_{gz} \}$ は、x, y, z方向への基準面の加速度である。したがって、r次のモードにおける応答式は下式として表される。

ここで、X_rはr次における {X}の要素であり、かつ
{r_{rx}} =- {
$$\phi_r$$
}^T・ [m] ・ { \ddot{u}_{gx} },
{r_{ry}} =- { ϕ_r }^T・ [m] ・ { \ddot{u}_{gy} },
{r_{rz}} =- { ϕ_r }^T・ [m] ・ { \ddot{u}_{gz} },
(3 11) 式から x方向への最大のr次の変位は

$$\{\mathbf{u}_{\mathbf{r}\mathbf{x}}\}_{\mathbf{m}\mathbf{a}\mathbf{x}} = \{\phi_{\mathbf{r}}\} \cdot \beta_{\mathbf{r}\mathbf{x}} \cdot \mathbf{S}_{\mathbf{x}}(\omega_{\mathbf{r}}) \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (3. 12)$$

ここで、
$$\beta_{rx}$$
はr次モードにおける刺激係数であり、

$$\beta_{\mathbf{r}\mathbf{x}} = \frac{\left\{\phi_{\mathbf{r}}\right\}^{\mathrm{T}} \cdot [\mathbf{m}] \cdot \left\{\mathbf{I}_{\mathbf{x}}\right\}}{\left\{\phi_{\mathbf{r}}\right\}^{\mathrm{T}} \cdot [\mathbf{m}] \cdot \left\{\mathbf{I}_{\mathbf{r}}\right\}}$$

 $S_x(\omega_r)$ は固有角振動数 ω_r に対応するx方向のスペクトル変位であり, I_x はx方向のみ1で他は0のベクトルである。同様に

$$\{ u_{ry} \}_{max} = \{ \phi_r \} \cdot \beta_{ry} \cdot S_y (\omega_r) \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (3. 13)$$

$$\{u_{rz}\}_{max} = \{\phi_r\} \cdot \beta_{rz} \cdot S_y(\omega_r) \cdots \cdots \cdots \cdots (3. 14)$$

$$\forall \delta_{2}$$

本解析コードでは、1次からp次までの振動による最大変位と応力を二乗和平 方根法 (Square Root of the Sum of the Square) にて計算する。 3.4 解析フローチャート
 本解析コードを用いて行う評価フローチャートを図3-1に示す。



図3-1 計算機コード「NuPIAS」を用いた評価フロー

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 他コードとの比較による検証

229

3.5.2 使用内容に対する妥当性

本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

- ・原子力の分野における使用実績を有しており,妥当性は十分に確認されて いる。
- ・今回の工事計画認可申請で行うはりモデルによる管の応力解析の用途,適用範囲が,上述の妥当性確認範囲にあることを確認している。

4. 参考文献

別紙 28 KANSAS 2

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-別添 1-2-6	サブドレンシャフトの耐震性についての計算書	Ver.6.01
V-2-2-別添 1-3-6	サブドレンシャフトの耐震性についての計算書	Ver.6.01

2. 解析コードの概要

コード名 項目	KANSAS 2	
使用目的	はりモデルによる静的応力解析	
開発機関	鹿島建設株式会社	
開発時期	2004 年	
使用したバージョン	Ver. 6.01	
コードの概要	KANSAS2(以下「本解析コード」という。)は、鹿 島建設により開発された3次元応力解析(FEM要素含む)の 計算機コードである。 本解析コードは、微小変位理論による変位法を用いて、3 次元骨組(FEM要素含む)の断面力・変位を算出するための 構造解析プログラムである。	
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、サブドレンシャフトの応力解析に使用し ている。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する 妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する 計算機にインストールして用いていることを確認して いる。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、一般建築分野における使用実績を有し ており、妥当性は十分に確認されている。 ・はり要素を用いた応力解析について、本解析コードによ る解析結果と文献(「4. 引用文献」参照)による一般 構造力学による理論解の比較を行い、解析解が理論解と 一致することを確認している。 ・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が 上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。	

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本解析コードは, 鹿島建設株式会社で開発した3次元骨組構造を対象としたプロ グラムであり, 微小変位理論による変位法を用いて骨組モデルの応力・反力を算出 するための構造解析プログラムである。

また,本解析コードは,サブドレンシャフトのはりモデルにおける静的応力解析 に使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

- ・3次元問題を対象として、はり要素、ばね要素、シェル要素等が用意されており、原子力発電所建屋他の骨組モデル解析に用いることができる。
- ・部材荷重,節点荷重及び強制変位を外力として指定できる。
- ・大規模問題も取り扱うために、入力データが簡素化されている。
- ・解析する座標及び拘束方法は、取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。
- ・解析に用いる単位系は、SI単位系である。

3.3 解析理論

本解析コードの解析部分は微小変形理論に基づいており、節点変位を未知数とする多次元連立方程式を解くことによって所要の変位・応力・反力を算出する。

この連立方程式は,構造データから決定される剛性マトリックスと荷重データか ら決定される荷重ベクトルから構成される。

検討に用いた静的応力解析で使用する基本方程式は(1)式で表される。

ここで,

[K] :剛性マトリックス
 {u} :変位ベクトル
 {F} :荷重ベクトル

3.4 解析フローチャート
 本解析コードの解析フローチャートを図3-1に示す。



図 3-1 解析フローチャート

3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)

本解析コードは、「3.3 解析理論」に示した一般性のある理論に基づき構築され た解析コードであり、「3.4 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っ ている。

本解析コードは、日本国内の数多くの原子力施設の工事計画認可申請における解 析に使用された実績があるため、解析機能全般について十分な妥当性が確認されて いる。

こうした特徴を踏まえ、今回の解析機能に特化する形で、一般構造力学による理 論解(以下「理論解」という。)と本解析コードによる解析解を比較し、本解析コ ードの解析機能の適切さを確認している。

3.5.1 検証 (Verification)

本解析コードの計算機能が適正であることは,後述する妥当性確認の中で確 認している。

- 3.5.2 妥当性確認 (Validation)
 - (1) 妥当性確認方法

本解析コードによる妥当性確認は、はり要素による応力解析(門型ラーメン)を実施し、解析結果と理論解(「4.引用文献」参照)が一致することの 確認をもって行う。

(2) 解析条件

検証を行う梁部材の解析条件及び解析モデルを図 3-2 に,部材緒元を表 3-1 に示す。



図 3-2 解析条件及び解析モデル

モデル	部材	断面積 A(cm ²)	断面 2 次モーメント I (cm ⁴)	備考
D1	C1, C2	1200	250000	ナビ社中
G1	1200	250000	小平何 里	
DO	C1, C2	1200	250000	秋古共重
G1	G1, G2	1200	500000	如 旦 何 里

表 3-1 部材緒元

注:ヤング係数 E=1kN/cm²

(3) 妥当性確認結果

荷重点の節点変位及び要素応力について、本解析コードによる解析結果と理 論解(「4. 引用文献」参照)を比較して、水平荷重時を表 3-2, 鉛直荷重時 を表 3-3 に示す。

表 3-2 及び表 3-3 より、いずれのケースも両者は一致しており、本解析コ ードが発生変位及び応力を正しく評価していることを確認できる。

項目		本解析コード	理論式
変形	$u_2(cm)$	238.095	238.095
	heta 2(rad)	0.142857	0.142857
	M_1	-285.714	-285.714
曲げ モーメント	M_2	214.286	214.286
(kN·cm)	M_3	-214.286	-214.286
	M_4	285.714	285.714
	H_1	0.5	0.5
反力	H_4	0.5	0.5
(kN)	V_1	-0.428571	-0.428571
	V_4	0.428571	0.428571

表 3-2 水平荷重時の解析結果の比較(R1 モデル)

表 3-3 鉛直荷重時の解析結果の比較(R2 モデル)

項目		本解析コード	理論式
変形	$ heta$ $_2$ (rad)	0. 333333	0. 333333
	v_3 (cm)	333.333	333.333
曲げ モーメント (kN・cm)	M_1	166.667	166.667
	M_2	-333.333	-333.333
	M_3	666.667	666.667
反力	H ₁	0.5	0.5
(kN)	V 1	1.0	1.0

3.5.3 まとめ

以上のとおり、本解析コードについては、原子力発電所において十分な使用 実績を有しており、解析機能全般について、十分妥当性が確認されている。構 造力学分野における一般的知見により解を求めることができる簡素な体系につ いて、はり要素を用いた静的応力解析結果と理論解の比較を行い、解析解が理 論解と一致することを確認した。

従って,本解析コードの当該機能は適切である。

また,上記に加えて,使用マニュアルにより,今回の工事認可申請で使用す るはり要素を用いた静的応力解析に,本解析コードが適用できることを確認し ている。

従って、本解析コードを、静的応力解析に使用することは、妥当である。

4. 引用文献

成岡昌夫,服部正他:コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-1-B,日本鋼構造協会編, 骨組構造解析,培風館,昭和46年6月,pp.20~33

別紙 29 NUPP4

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-2-別添 1-2-6	サブドレンシャフトの耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 11
V-2-2-別添 1-3-6	サブドレンシャフトの耐震性についての計算書	Ver. 1. 4. 11

2. 解析コードの概要

コード名 項目	NUPP4		
使用目的	はりー地盤ばねモデルによる時刻歴応答解析		
開発機関	鹿島建設株式会社		
開発時期	1967 年		
使用したバージョン	Ver. 1. 4. 11		
コードの概要	 ・原子力発電所建屋の地震応答解析用として開発された質 点系モデルによる解析計算機コードである。 ・静荷重(節点荷重)及び動荷重(節点加振力,地震入力) を,扱うことができる。 ・地震応答解析は,線形解析及び非線形解析を時間領域にお ける数値積分により行うほか,線形解析を周波数領域で行 うことが可能である。 		
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは,サブドレンシャフトの応答解析に使用し ている。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードの食証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは,後述する 妥当性確認の中で確認している。 ・本解析コードの運用環境について,動作環境を満足する 計算機にインストールして用いていることを確認して いる。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認は,以下のとおりである。 ・固有値解析,弾性地震応答解析については,一般産業界 において使用実績のあるDYNA2E ^{*1} を用いて,同一 諸元による解析を行い,本解析コードによる解析結果と ほぼ一致することを確認している。 ・弾塑性地震応答解析については,既設工事認可申請時に 確認されている(財)原子力発電技術機構の報告書*2 による解析結果と概ね一致することを確認している。		

注記*1	
	ョンズ株式会社
* 2	:質点系モデル解析コード SANLUM の保守に関する
	報告書 平成 10 年 3 月 (財)原子力発電技術機
	構 原子力安全解析所

- 3. 解析手法
- 3.1 概要

本解析コードは, 鹿島建設株式会社で開発した原子力発電所建屋を対象としたプ ログラムであり, 時間領域並びに周波数領域における質点系はりモデルによる動的 応答解析プログラムである。

本解析コードは、日本国内の原子力施設の工事計画認可申請において多くの利用 実績のある地震応答解析コードNUPP及びNUPPIIをバージョンアップしたも のである。

3.2 本解析コードの特徴

本解析コードは,直接積分法・モーダル解析法による弾性解析及び直接積分法に よる弾塑性解析ができる解析コードである。以下に,今回の解析に使用する弾性及 び弾塑性解析の機能を示す。

- (1) 本解析コードの解析機能の一例を以下に示す。
 - ·動的解析
 - ·静的解析
 - ・実固有値解析及び複素固有値解析
- (2) 2次元問題を対象として、はり要素、ばね要素、ダンパー要素等が用意されており、原子力発電所建屋他の構造物の解析に用いることができる。
- (3) 大規模問題も取り扱うために、入力データが簡素化されている。
- (4) 自由度の拘束方法は、取り扱う問題に合ったものを選ぶことができる。
- (5) 解析に用いる単位系は、ユーザが任意に統一して用いることができる。

- 3.3 解析理論
 - 3.3.1 運動方程式

多自由度系の運動方程式は一般に(3.1)式で表される。

- [M] : 質量マトリックス
- [C] :減衰マトリックス
- [K] :剛性マトリックス
- {ü} :加速度ベクトル
- {ù} :速度ベクトル
- {u} :変位ベクトル
- {F} :荷重ベクトル

3.3.2 固有値の解法

(3.1)式は,荷重ベクトルを{0}とし,減衰項を除けば,(3.2)式に示す非減衰 自由振動を表す方程式となる。

(3. 2)式で変位{u}に調和振動を仮定すれば、(3. 3)式が得られる。

 $\left(-\omega_{s}^{2}[M]+[K]\right)\left\{\phi_{s}\right\}=\left\{0\right\}$ (3. 3)

(3.3)式で固有ベクトル $\{\phi_s\} \neq \{0\}$ を満たす条件が固有値問題であり、(3.3)式 を解くことにより固有値 ω_s と対応する固有ベクトル $\{\phi_s\}$ が得られる。
3.3.3 減衰項の策定

減衰項として,系の粘性減衰はひずみエネルギー比例型モード減衰を用いて おり,減衰定数は以下で表される。

ただし

$$\left[H_{K}\right] = \sum_{e}^{Element} h_{e} \left[K_{e}\right]$$

- ここで,
 - h_s :s次のモード減衰定数
 {\$\phi_s\$} :s次のモードの構造全体のモードベクトル
 h_e :要素 eの減衰定数
 [K_e] :要素 eの全体座標系の局所剛性マトリックス
 [K] :構造物全体の剛性マトリックス

 h_e は、要素ごとに入力値として与え、 $\{\phi_s\}$ は、コードによる固有値解析により評価する。 $[K_e]$ は、入力した各要素の剛性を元に、コードにより評価される。

3.3.4 直接積分法による解法

直接積分法は、連立の微分方程式を直接積分するもので、時間を Δt 毎に分割 し、時間ステップごとに、順次解を求めていく方法である、今回の解析で用いた Newmark – β 法 ($\beta = 1/4$) について以下に示す。

(3.1)式の運動方程式を増分形式で表すと(3.5)式となる。

 $M{\Delta \ddot{u}}+C{\Delta \dot{u}}+K{\Delta u}=-M{1}\Delta \alpha \cdots (3. 5)$

n ステップの変位 $\{u_n\}$,速度 $\{\dot{u}_n\}$,加速度 $\{\ddot{u}_n\}$ が既知の場合,次の n+1 ステ ップの変位増分,速度増分は以下のように表せる。

$$\begin{aligned} \{\Delta u_{n+1}\} &= \{u_{n+1}\} - \{u_n\} = \Delta t \left(\frac{\{\dot{u}_{n+1}\} + \{\dot{u}_n\}}{2}\right) \\ &= \Delta t \left(\frac{\{(\dot{u}_n\} + \{\Delta \dot{u}_{n+1}\}) + \{\dot{u}_n\}}{2}\right) = \Delta t \left(\{\dot{u}_n\} + \frac{\{\Delta \dot{u}_{n+1}\}}{2}\right) \end{aligned}$$
 (3. 6)

$$\{\Delta \dot{u}_{n+1}\} = \frac{2}{\Delta t} \{\Delta u_{n+1}\} - 2\{\dot{u}_n\} \dots (3. 8)$$

(3. 8)式, (3. 9)式を (3. 5) 式に代入し, $\{\Delta u_{n+1}\}$ に関して解く。

(3. 6)式, (3. 7)式より

(3.10)式を解くと、n+1 ステップの変位増分が得られる。また、(3.8)式、(3.9)式を用いて n+1 ステップの速度増分及び加速度増分が得られる。

3.4 解析フローチャート本解析コードの解析フローチャートを図 3-1 に示す。



図 3-1 解析フローチャート

3.5 検証(Verification)と妥当性確認(Validation)

本解析コードは、「3.3 解析理論」に示す一般的な理論モデルに基づき構築され た解析コードであり、「3.4 解析フローチャート」に示したプログラム構造を持っ ている。

本解析コードは日本国内の原子力施設における建築物の地震応答解析において数 多くの工事計画認可申請に使用されているNUPP及びNUPPIIについて使用計 算機(0S)の変更に伴うカスタマイズを施したものであり,解析に係る部分は変更 していないため,解析機能全般について十分な妥当性が確認されている。

このような特徴を踏まえ、本解析コードのうち今回使用する解析機能に特化する 形で、一般産業界において多数の解析で使用実績のあるDYNA2E^{*1}及び(財)原 子力発電技術機構が保有していた解析コード SANLUM の報告書^{*2}(以下「原機構」と いう。)とのコードベンチマークを行うことにより、本解析コードの解析機能の適切 さを確認した。

原機構は,解析技術の高度化に合わせて,建屋の非線形履歴特性,浮上り非線形等 へのコード改良が実施されており,解析コードの保守に関する報告書として公開さ れている。

注記*1 : DYNA2E: 販売元 伊藤忠テクノソリューションズ株式会社

*2: 質点系モデル解析コード SANLUM の保守に関する報告書
 平成10年3月 (財)原子力発電技術機構 原子力安全解析所

3.5.1 検証(Verification)

本解析コードの計算機能が適正であることは,後述する妥当性確認の中で確認している。

- 3.5.2 妥当性確認(Validation)
 - (1) 固有值解析
 - a. 妥当性確認方法

本解析コードによる固有値解析の妥当性確認は,地盤ばねを有する多質点系 はりモデルを対象として,本解析コードによる解析結果とDYNA2Eによる 解析結果が一致することにより行う。

また、本解析コードのバージョン毎の解析結果についても確認する。

249

b. 解析条件

解析モデル及び解析条件を図 3-2 に示す。



質点	高さ	重量	せん断断	断面2次	要素	
番号	(m)	(tf)	面積(m ²)	モーメント(m ⁴)	番号	
7	62.5	9517				
'	02.5	2017	40.9	0.3143	0	
		~ - ~ ~	40.5	$\times 10^5$	6	
6	51.8	3762		0.6005		
			74.1	$\times 10^5$	5	
5	45.3	23087		0.205		
			256.3	2.520	4	
4	34.3	46042		×10		
_			447 3	5.137		
	00 F	45000		$\times 10^{5}$	0	
ა	26.5	40609		9.689		
			589.4	$\times 10^5$	2	
2	17.5	84535		11.03		
			763.1	×10 ⁵	1	
12	2.5	—		~10		
			1.0×10^{6}	1.0×10^{9}	12	
1	0.0	_	1.0.10	1.0.10		
T	0.0		10.106	10.109	11	
			1.0×10	1.0×10	11	
11	-2.5	124597				
	回転慣性	1.7287	センガ区	数・91×10 ⁶ +	f/m^2	
11	(此	c/2				
ドわ孛	粉,減毒空	~10	」でん断弾	11注1形数:0.9×10 t	t/m	
は仏化	致 • 侧衰足	刻 7				

解析条件

Newmark-β法積分 ひずみエネルギー比例型減衰

$K_S =$	4.445×10^{7}	tf/m	$h_S=20\%$
Kss=	1.559×10^{7}	tf/m	hss= 10%
$K_R =$	6.987×10^{10}	tfm/rad	$h_R \text{= } 7.5\%$

図 3-2 解析モデル及び解析条件

c. 妥当性確認結果

本解析コードとDYNA2Eにおける各次数の固有周期及びモーダル減衰 の解析結果を表 3-1に示す。本解析コードとDYNA2Eの解析結果は同一 条件,同一手法による結果であり,両者は一致していることから,本解析コー ドは正しく評価していることが確認できる。

また,表 3-2 に示す本解析コードのバージョン毎の解析結果に違いがない ことが確認できる。

次数	固有周其	朔(秒)	モーダル減衰(%)			
	NUPP4	DYNA2E	NUPP4	DYNA2E		
1	0.245	0.245	8.84	8.84		
2	0.107	0.107	11.52	11.52		
3	0.084	0.084	5.98	5.98		
4	0.067	0.067	7.17	7.17		

表 3-1 固有値解析結果(DYNA2Eとの比較)

表 3-2 バージョン毎の固有値解析結果

固有周期(秒)

次 数	バージョン 1.4.6	バージョン 1.4.7	バージョン 1.4.8	バージョン 1.4.9	バージョン 1.4.10	バージョン 1.4.11	バージョン 1.4.12
1	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245	0.245
2	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107	0.107
3	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084	0.084
4	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067

モーダル減衰(%)

次 数	バージョン 1.4.6	バージョン 1.4.7	バージョン 1.4.8	バージョン 1.4.9	バージョン 1.4.10	バージョン 1.4.11	バージョン 1.4.12
1	8.84	8.84	8.84	8.84	8.84	8.84	8.84
2	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52	11.52
3	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98	5.98
4	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17	7.17

- (2) 弾性地震応答解析
 - a. 妥当性確認方法

本解析コードによる弾性地震応答解析の妥当性確認は,(1)固有値解析と同 じモデルについての本解析コードによる解析結果とDYNA2Eによる解析 結果が一致することにより行う。

また、本解析コードのバージョン毎の解析結果についても確認する。

b. 解析条件

解析モデル及び解析の諸条件を以下に示す。

・解析モデル : 固有値解析と同様(図 3-2 参照)

:直接積分法

- : 固有値解析と同様(図 3-2 参照)
- ・応答解析手法
- ・積分手法
- ・積分ステップ

・モデル諸元

- ・減衰評価
- ・入力地震動
- : Newmark β 法 ($\beta = 1/4$: 平均加速度法)
- :入力動時間刻み⊿t=0.01 秒
- : ひずみエネルギー比例型減衰
 - :高地震帯用の近距離地震(エルセントロ波位相: M7.0,震源距離20km)(図3-3参照)。



図 3-3 入力地震動の加速度時刻歴波形

c. 妥当性確認結果

本解析コードとDYNA2Eにおける最大応答加速度,最大応答変位,最大 応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの解析結果を表 3-3 及び表 3-4 に示す。本解析コードとDYNA2Eの解析結果は同一条件,同一手法の結果 であり,ほぼ一致していることから,正しく評価していることが確認できる。 また,表 3-5 及び表 3-6 に示す本解析コードのバージョン毎の解析結果 に違いがないことが確認できる。

表 3-3 弾性地震応答解析結果:節点応答値(DYNA2Eとの比較)

質点	最大応 (cm	答加速度 /s²)	最大応答変位 (cm)		
	NUPP4	DYNA2E	NUPP4	DYNA2E	
7	1660.0	1659.7	1.818	1.818	
6	1312.3	1312.3	1.578	1.578	
5	1077.5	1077.5	1.411	1.411	
4	753.5	753.5	1.120	1.120	
3	594.1	594.2	0.902	0.902	
2	524.3	524.3	0.677	0.677	
11	386.8	386.8	0.275	0.275	
12	370.8	370.8	0.305	0.305	

表 3-4 弾性地震応答解析結果:部材応答値(DYNA2Eとの比較)

要素	最大応答 ×10 ⁴ (せん断力 (tonf)	最大応答曲げモーメント $ imes 10^5$ (tonf・m)		
	NUPP4	DYNA2E	NUPP4	DYNA2E	
6	0.421	0.420	0. 45	0. 45	
5	0.912	0.912	1.04	1.04	
4	3.430	3.430	4.81	4.81	
3	6.855	6.855	10.16	10.16	
2	9.374	9.374	18.60	18.59	
1	12.377	12.377	37.16	37.16	

質 占	バージョン 1.4.6	バージョン 1.4.7	バージョン 1.4.8	バージョン 1.4.9	バージョン 1.4.10	バージョン 1.4.11	バージョン 1.4.12
7	1660.0	1660.0	1660.0	1660.0	1660.0	1660.0	1660.0
6	1312.3	1312.3	1312.3	1312.3	1312.3	1312.3	1312.3
5	1077.5	1077.5	1077.5	1077.5	1077.5	1077.5	1077.5
4	753.5	753.5	753.5	753.5	753.5	753.5	753.5
3	594.1	594.1	594.1	594.1	594.1	594.1	594.1
2	524.3	524.3	524.3	524.3	524.3	524.3	524.3
11	386.8	386.8	386.8	386.8	386.8	386.8	386.8
12	370.8	370.8	370.8	370.8	370.8	370.8	370.8

表 3-5 バージョン毎の応答結果:節点応答値 最大応答加速度 (cm/s²)

最大応答変位 (cm)

質点	バージョン 1.4.6	バージョン 1.4.7	バージョン 1.4.8	バージョン 1.4.9	バージョン 1.4.10	バージョン 1.4.11	バージョン 1.4.12
7	1.818	1.818	1.818	1.818	1.818	1.818	1.818
6	1.578	1.578	1.578	1.578	1.578	1.578	1.578
5	1.411	1.411	1.411	1.411	1.411	1.411	1.411
4	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120	1.120
3	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902	0.902
2	0.677	0.677	0.677	0.677	0.677	0.677	0.677
11	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275
12	0.305	0.305	0.305	0.305	0.305	0.305	0.305

要 素	バージョン 1.4.6	バージョン 1.4.7	バージョン 1.4.8	バージョン 1.4.9	バージョン 1.4.10	バージョン 1.4.11	バージョン 1.4.12
6	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421	0.421
5	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912	0.912
4	3.430	3.430	3.430	3.430	3.430	3.430	3.430
3	6.855	6.855	6.855	6.855	6.855	6.855	6.855
2	9.374	9.374	9.374	9.374	9.374	9.374	9.374
1	12. 377	12.377	12. 377	12. 377	12. 377	12. 377	12.377

表 3-6 バージョン毎の応答結果:部材応答値 最大応答せん断力 (×10⁴tonf)

最大応答曲げモーメント (×10⁵tonf・m)

要	バージョン	バージョン	バージョン	バージョン	バージョン	バージョン	バージョン
素	1.4.6	1.4.7	1.4.8	1.4.9	1.4.10	1.4.11	1.4.12
6	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
5	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
4	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81
3	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16	10.16
2	18.60	18.60	18.60	18.60	18.60	18.60	18.60
1	37.16	37.16	37.16	37.16	37.16	37.16	37.16

- (3) 弹塑性地震応答解析
 - a. 妥当性確認方法

本解析コードによる弾塑性地震応答解析の妥当性確認は,本解析コードによる解析結果と原機構による解析結果が一致することにより行う。

b. 解析条件

原機構の解析モデル及び解析の諸条件を以下に示す。

- ・解析モデル : 図 3-4 参照 ・モデル諸元 :表 3-7~表 3-10 参照 応答解析手法 :直接積分法 ·積分手法 :Newmark $-\beta$ 法 ($\beta = 1/4$:平均加速度法) ・積分ステップ :入力動時間刻み/t=0.01 秒の 1/10 ·減衰評価 :ひずみエネルギー比例型減衰 ·入力地震動 : 基準地震動 S₂の 2 倍 (図 3-5 及び図 3-6 参照) · 復元力特性 : せん断非線形 $(\tau - \gamma)$, 曲げ非線形 $(M - \phi)$ を考慮、地盤の非線形は考慮しない。 : トリリニア型(図 3-7 及び表 3-11~表 3-・スケルトンカーブ 13 参照)
- ・履歴特性
- :最大点指向型(図3-7参照)





図 3-4 解析モデル

		レベル	重量	回転擔件		サム解	新聞の文
速屋	楷占조문			IN THE DE LL	更表悉号	新産業	モーメント
~ ~	JC/mar J	(m.)	(ton)	10^{6} (t · m ²)	35 36 B V	$A \left(n^{2} \right)$	T (× 104-4)
	1	EL. 24.3	2440	2,497			1 (> 10 m)
	2	EL.18.0	8470	8.271	1	189.8	24.54
0/₩	3	EL. 12.2	7590	7.256	2	214.8	27.50
1 1	4	EL. 6.0	6850	5.320	3	244.2	31.45
		EL 20.0	0500	0.000	4	244.2	31.45
	5	BL. 70.0	3520	0.730	5	54.6	2.97
1	0	EL. 58.5	4050	0.840	6	70.8	3.76
	0	EL. 30.5	9990	3.032	7	95.8	4.96
	8	EL. 39.0	15200	4.090	8	140.8	7.18
7./9	9	EL. 31.0	11810	0.420	9	175.2	8.84
L	10	EL. 24.0	15260	9.663	10	282.3	14.56
	11	EL. 10.0	23050	13.899	11	291.6	14.58
1	12	BL. 16.6	20890	10.536	12	290.0	14.58
1	13	FI 0.0	67460	10.461	13	290.0	14.58
1	14	EL. 0.0	43300	22.00	14	1.0×10 6	1.0×10 8
	10	56. 0.0	45500	20.99			
	16	EL.50.5	5210	0.130	15	89.0	0.33
	17	EL.39.8	14130	1.442	16	65.8	0.81
	18	_EL.31.8	7720	0.641	17	76.2	1.25
S∕₩	19	EL.24.3	7500	1.124	18	85.7	1.25
	20	EL. 18.0	15310	2.530	19	91.8	2.43
1 1	21	EL. 12.2	6400	0.593	20	91.8	2.43
	22	EL 6.0	6460	0.676	21	91.8	2.43
<u>at</u>			320450		1	74.9	5.10
				t !	2	118.0	0.47 - 14
	T/W				3	65.3	(×10 ⁵ t/m)
	ŝ		EL 70.0m	di Berrarda	4	52.4	1
	Ϋ́_			休放田内	5	16.0	
	(5)		F1 60 6-	ENSIA	6	43.1	1
	°¢_	\$737	-mc.oc.13		7	42.6	T# _ S#
	0	I 16	EL 50.5m		8	35.0	(×10 ⁵ +6)
	70	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~			9	103.0]
	00	۵ 17 ¹⁸	WI 30.8m	1	10	86.7]
	80=~	<u>~~</u> p	EL 39.00		11	56.3	
0.02	بگاه	<u>귀 18 @</u>	EL 31.8m				
, ∐ 10 (⑨ 및 19 (⑪ _{₹1.})			EL 24.3m				
		EL 18.0m					
<u> 1</u> 2	1210	0 21 0	EL 12.2m				
			EL 6.0m				
			EL 0.0m				
	15 19		EL -5.5m				
	0						

表 3-7 建屋解析諸元(水平方向)

水平方向モデル

質点番号 (0.17)	質点重量 夏(t)	要素番号 (0.#7)	軸断面積 A _n (m ²)	要素番号	上下繋ぎばね k _s (×10 ⁵ tél)	
1	4554	1	445.76	1	20.2	
2	15807	2	445.76	2	38.7	
3	14165	3	508.16	3	38.4	
4	12784	4	508.16	4	39.1	
(T.MF)	₩ (t)	(1,717)	$A_n(m^2)$	5	21.2	
5	3520	5	61.02	6	23.8	
6	4050	6	81.20			
7	9990	7	161.12	Г	/w	
8	15200	8	297.90] 3	φ.	EL. 70.0m.
9	11810	9	374.30		6	
10	13146	10	374.30	6	0	EL 58.5m
11	15713	11	374.30		© S/W	
12	14315	12	374.30	7	0 0 0 0 16	.FL. 10.1m.
13	11906	13	374.30		0 5	CT 20 8-
14	67460	14	6560.75	8	0 0 0 0 17	PL SIME
. 15	43300				0 018	FI. 31 km
(\$ <i>7</i> #)	¥ (t)	(S <i>T</i> #)	A n ^(m 2)	O/W_	0 0	EI 24 2m
16	5210	15	97.53		-0 019 പതം ഥയ	FI-74CHL
17	14130	16	131.44	2000	δ <u>δ</u> 20	EI. 18.0m.
18	7720	17	152.45	300 2 1	20 021	EL_12.2m.
19	7500	18	171.25	40 1	100 022	EL. 6.0m
20	15310	19	183.67	() () () () () () () () () () () () () (4 <u>©</u> []	Ei. 0.0m
21	6400	20	183.67	1	£®	FI
22	6460	21	183.67		·	
計	320450				上下方向モデ	r

表 3-8 建屋解析諸元(鉛直方向)

表 3-9 材料定数

ヤング係数 E(t/cm ²)	せん断弾性係数 G(t/cm ²)	コンクリート圧縮強 度 Fc (kg/cm ²)	減衰定数 (%)
230	99	240	5

表 3-10 地盤ばね定数

			ばわ開性	減資係数	
せん断		部位	K (them)	C (tfstm)	
(又)丞/文			K (tf cm /md)	C (tf can s/iad)	
	_	EL.12.2	6977E+03	4930E+02	
	倒面	EL.60	1553E+04	9 7 01 E+02	
V 5"	ばわ	EL.00	3195E+04	1 592E+03	
		EL5.5	2351E+04	1215E+03	
[応回じ	水平	4360E+05	1.092E+04 4.493E+10	
		回転	8.D65E+12		
	ta	上下	2985E+05	2151E+04	



図 3-5 基準地震動 S₂及び基礎版底面位置での加速度波(解析は 2×S₂)



図 3-6 基準地震動 S₂の加速度スペクトル



				r−y関係			
		第1折点		第2折点		第3折点	
	要素香号	τ, kgf/cm ²	γ, ×104	r 2 kgf/cm ²	$\gamma_t \times 10^{-4}$	r, kgf/cm ²	γ, ×10 ⁻³
	1	15.995	1.620	21.593	4.870	56.532	4.000
0/W	2	17.628	1.790	23.798	5.370	57.293	4.000
	3	18.581	1.890	25.084	5.660	57.020	4.000
	4	19.602	1.990	26.462	5.970	58.041	4.000
	5	18.148	1.840	24.500	5.520	58.577	4.000
	6	19.607	1.990	26.469	5.970	58.812	4.000
	7	20.220	2.050	27.297	6.150	59.898	4.000
	8	20.257	2.060	27.348	6.170	60.076	4.000
I∕w	9	20.603	2.090	27.814	6.270	56.255	4.000
	10	21.883	2.220	29.543	6.660	55.277	4.000
	11	23.322	2.370	31.485	7.100	53.160	4.000
	12	24.559	2.490	33.155	7.470	53.735	4.000
	13	25.543	2.590	34.483	7.770	56.591	4.000
	15	17.965	1.820	24.252	5.470	61.344	4.000
	16	21.631	2.190	29.201	6.580	62.028	4.000
	17	22.693	2.300	30.636	6.910	64.379	4.000
s∕w	18	23.508	2.380	31.736	7.150	67.196	4.000
	19	25.702	2.610	34.698	7.820	69.612	4.000
	20	26.733	2.710	36.090	8.140	69.714	4.000
	21	27.732	2.810	37.438	8.440	69.714	4.000

表 3-11 τ-γ関係

表 3−12 M−φ関係

				M − ≬関係			
		第1折点		第2折点		第3折点	
	要素香号	M ₁	≠:	Mz	\$ 2	M ₃	\$ 3
		×10 ⁵ tm	×10 ⁻⁶ m ⁻¹	×10 ³ tm	×10 ⁻⁵ m ⁻¹	×10 ⁵ tm	$\times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$
	1	15.443	2.736	37.948	2.464	52.863	4.928
o∕w	2	18.235	2.883	42.070	2.524	57.539	5.047
	3	22.640	3.130	50.641	2.563	68.714	5.126
	4	24.884	3.440	53.919	2.603	72.455	5.206
	5	2.728	3.994	5.965	3.978	7.314	7.955
	6	4.144	4.792	8.577	4.060	10.439	8.121
1	7	8.614	7.551	18.451	4.138	22.616	8.275
	8	15.544	9.412	33.490	4.163	41.434	8.326
t/w	9	19.524	9.603	37.612	4.139	46.235	8.278
	10	21.773	6.502	40.520	4.218	49.396	8.436
	11	24.460	7.294	43.976	4.310	53.155	8.621
1	12	26.908	8.024	47.106	4.393	56.559	8.786
	13	28.945	8.631	49.695	4.461	59.376	8.923
	15	0.972	12.800	3.102	13.210	4.376	17.039
1	16	2.512	13.484	6.371	10.251	8.586	12.145
	17	3.742	13.014	9.811	9.072	13.131	9.437
s∕w	18	5.143	12.634	13.814	8.247	18.389	7.660
1	19	7.381	13.206	17.720	7.480	22.914	6.312
	20	7.944	14.214	18.493	7.592	23.592	5.923
	21	8.511	15.228	19.268	7.704	24.249	5.566

表 3-13 τ-γ関係の動的効果を考慮した割増率 α

		5	1.1903		
		6	1.2020		
		7	1.2149	15	1.1715
		8	1.2141	16	1.2045
		9	1.2124	17	1.2001
1	1.1772	10	1.1732	18	1.1844
2	1.1891	11	1.1798	19	1.1869
3	1.1896	12	1.1889	20	1.1871
4	1.1997	13	1.1918	21	1.1927

c. 妥当性確認結果

本解析コードと原機構における最大応答加速度,最大応答せん断力及び最大 応答曲げモーメントを図 3-8~図 3-10 に示す。また,浮上り非線形として 回転地盤ばね(ダンパー減衰力含む)の曲げモーメントー回転角関係を図 3-11 に示す。

本解析コードと原機構の解析結果は同一条件,同一手法の結果であり,概ね 一致していることから,正しく評価していることが確認できる。

また、本解析コードのバージョン毎の最大応答値を表 3-14~表 3-16 に示 す。これらは全て一致しておりバージョンの違いがないことが確認できる。



図 3-8 弹塑性地震応答解析結果(最大応答加速度)



x10 ³ (t	S/W
原機構	NUPP4
11.5	12. 0
24. 4	26. 0
28. 1	29. 9
22. 8	24. 2
25. 7	25. 4
27.9	27. 7
31.2	30. 7

図 3-9 弾塑性地震応答解析結果(最大応答せん断力)



原機構の部材上部曲げモーメントは公開資料にないためNUPPの値を用いて図化している。

図 3-10 弾塑性地震応答解析結果(最大応答曲げモーメント)



表 3-14 バージョン毎の応答結果((原機構解析モデル)
---------------------	------------

質点	バージョン 1.4.6	バージョン 1.4.7	バージョン 1.4.8	バージョン 1.4.9	バージョン 1. 4. 10	バージョン 1. 4. 11	バージョン 1.4.12	
	IIIII 0/W							
1	1027	1027	1027	1027	1027	1027	1027	
2	919	919	919	919	919	919	919	
3	839	839	839	839	839	839	839	
4	929	929	929	929	929	929	929	
				I/W				
5	3097	3097	3097	3097	3097	3097	3097	
6	2616	2616	2616	2616	2616	2616	2616	
7	2094	2094	2094	2094	2094	2094	2094	
8	1507	1507	1507	1507	1507	1507	1507	
9	1177	1177	1177	1177	1177	1177	1177	
10	1120	1120	1120	1120	1120	1120	1120	
11	975	975	975	975	975	975	975	
12	874	874	874	874	874	874	874	
13	780	780	780	780	780	780	780	
14	714	714	714	714	714	714	714	
15	720	720	720	720	720	720	720	
				S/W				
16	2288	2288	2288	2288	2288	2288	2288	
17	1680	1680	1680	1680	1680	1680	1680	
18	1390	1390	1390	1390	1390	1390	1390	
19	1220	1220	1220	1220	1220	1220	1220	
20	1046	1046	1046	1046	1046	1046	1046	
21	922	922	922	922	922	922	922	
22	806	806	806	806	806	806	806	

最大応答加速度 (cm/s²)

部材	バージョン 1. 4. 6	バージョン 1.4.7	バージョン 1.4.8	バージョン 1. 4. 9	バージョン 1.4.10	バージョン 1.4.11	バージョン 1. 4. 12
				O/W			
1	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4	35.4
2	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9	60.9
3	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6	65.6
4	78.1	78.1	78.1	78.1	78.1	78.1	78.1
				I/W			
5	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9
6	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5
7	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3
8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8	63.8
9	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0	79.0
10	64.7	64.7	64.7	64.7	64.7	64.7	64.7
11	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5	75.5
12	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5
13	96.2	96.2	96.2	96.2	96.2	96.2	96.2
14	211.9	211.9	211.9	211.9	211.9	211.9	211.9
				S/W			
15	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
16	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
17	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9
18	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
19	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
20	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
21	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7

表 3-15 バージョン毎の応答結果(原機構解析モデル) 最大応答せん断力(×10³tonf)

部材	バージョン 1.4.6	バージョン 1.4.7	バージョン 1.4.8	バージョン 1.4.9	バージョン 1.4.10	バージョン 1.4.11	バージョン 1.4.12
O/W							
1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
2	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
3	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07
4	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48	1.48
				I/W			
5	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
6	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
7	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
8	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
9	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
10	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57	2.57
11	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14	3.14
12	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56	3.56
13	3.97	3.97	3.97	3.97	3.97	3.97	3.97
14	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43	7.43
				S/W			
15	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
16	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
17	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
18	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
19	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01
20	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
21	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20

表 3-16 バージョン毎の応答結果(原機構解析モデル) 最大応答曲げモーメント(×10⁶tonf・m)

3.5.3 使用内容に対する妥当性

サブドレンシャフトの時刻歴応答解析にNUPP4を使用することは、次の とおり、本解析の適用範囲に対して検証されており、妥当である。

 本解析コードの前バージョンNUPP及びNUPPⅡは原子力発電所の建物などの工事認可申請における使用実績を有しており、本解析コードは使用計算機(0S)の変更に伴うカスタマイズを施したものであり、解析に係る部分は前バージョンから変更していないため、解析機能全般について、 十分妥当性が確認されている。

別紙 30 FRAME

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-2-別添 1-2-8	集水管の耐震性についての計算書	Ver. 5. 0. 4
Ⅴ-2-2-別添 1-2-9	サブドレン管の耐震性についての計算書	Ver. 5. 0. 4
Ⅴ-2-2-別添 1-3-8	集水管の耐震性についての計算書	Ver. 5. 0. 4
Ⅴ-2-2-別添 1-3-9	サブドレン管の耐震性についての計算書	Ver. 5. 0. 4

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FRAME
使用目的	2 次元骨組構造解析
開発機関	株式会社フォーラムエイト
開発時期	1998 年
使用したバージョン	Ver. 5. 0. 4
コードの概要	本解析コードは,株式会社フォーラムエイトで開発された平面 骨組構造解析の汎用市販コードである。 本解析コードは微小変位理論に基づく変位法を用いて,2次元 平面骨組モデルの断面力・変位・反力を算出するための構造解析 プログラムである。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 FRAMEは汎用市販コードであり、集水管及びサブドレン管の断面力算出に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードを用いて静的解析を行った解析結果と、構造力学公式集に記載の理論式による理論解を比較し、両者がおおむねー致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・円形断面の検討用平面骨組モデルを対象に、本解析コードによる構造解析結果と、汎用コード「T-FRAME」による構造解析結果の比較を行い、解析結果が一致することを確認している。 ・原子力産業界において、プラント構造物や地中埋没構造物等の多数の解析に本コードが使用されており、十分な使用実績があるため、信頼性があると判断できる。

別紙 31 ANSYS

1. 区田扒儿 見	1.	l一覧	使用状況-
-----------	----	-----	-------

使用添付書類		バージョン
V-2-3-2-1	炉心の耐震計算結果	Ver. 14.0
V-2-6-7-15	統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備 (テレビ会議システム, IP-電話機及び IP-FAX)の耐 震性についての計算書	Ver. 15.0

- 2. 解析コードの概要
- 2.1 ANSYS Ver.14.0

コード名	ANSYS
項日	
使用目的	有限要素法による下部端栓溶接部応力評価
開発機関	アンシス
開発時期	1970 年
使用したバージョン	Ver. 14. 0
コードの概要	本解析コードは、スワンソン・アナリシス・システムズ(現, アンシス)により開発された有限要素法による計算機プログラム である。 本解析コードは、広範囲にわたる多目的な有限要素法による計 算機プログラムであり、伝熱、構造、流体、電磁界、マルチフィ ジックス解析を実施するものである。 本解析コードは、ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品 質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委 員会による 10CFR50 並びに 10CFR21 の要求を満たしており、数多 くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、 土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。また、9 ×9 燃料(B型)の下部端栓溶接部の応力評価にも利用されてい る。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,開発元のリリースノートの例題集におい て,多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較により 両者が一致することで検証されている。 ・本解析コード配布時に同梱された ANSYS Mechanical APDL Verification Testing Package を入力とした解析により, 上記例題集の検証を再現できることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発元から提示された要 件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,数多くの研究機関や企業において,航空

宇宙,自動車,機械,建築,土木等の様々な分野の構造解析
に広く利用されていることを確認している。
・本解析コードは,原子力分野では,原子炉設置(変更)許可
申請書における応力解析等,これまで多くの構造解析に対し
使用実績があり,9×9燃料(B型)の原子炉設置(変更)許可
申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の
応力評価に対し使用実績があることを確認している。
・本解析コードは既認可の下部端栓溶接部応力解析において
使用実績のあるMARCと同等な解析条件(有限要素モデ
ル,ペレットやジルカロイ被覆管の物性値,荷重条件及び境
界モデル)を設定可能なこと, MARCと本解析コードとで
同等な解析結果となることを確認している。

2.2 ANSYS Ver. 15.0

コード名 項目	ANSYS
使用目的	3 次元有限要素法(ソリッド要素)による固有値解析,応力解 析
開発機関	アンシス
開発時期	1970 年
使用したバージョン	Ver. 15. 0
コードの概要	本解析コードは、スワンソン・アナリシス・システムズ(現, アンシス)により開発された有限要素法による計算機プログラム である。 本解析コードは、広範囲にわたる多目的な有限要素法による計 算機プログラムであり、伝熱、構造、流体、電磁界、マルチフィ ジックス解析を実施するものである。 本解析コードは、ISO9001 及び ASME NQA-1 の認証を受けた品 質保証システムのもとで開発され、アメリカ合衆国原子力規制委 員会による 10CFR50 並びに 10CFR21 の要求を満たしており、数多 くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、機械、建築、 土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードの検証は、開発元のリリースノートの例題集に おいて、多くの解析例に対する理論解と解析結果との比較が 実施されている。 ・本解析コードが適正であることは、コード配布時に同梱され たANSYS Mechanical APDL Verification Testing Package により確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発元から提示された 要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇 宙、自動車、機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に 広く利用されていることを確認している。

・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置(変更)許可
申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し
使用実績があることを確認している。

3. 解析手法

- 3.1 ANSYS Ver.14.0の解析手法
 - 3.1.1 一般事項

本解析コードは,スワンソン・アナリシス・システムズ(現,アンシス)により開発 された有限要素法による計算機プログラムである。

本解析コードは, ISO9001 及びASME NQA-1の認証を受けた品質保証システムのもとで 開発され,アメリカ合衆国原子力規制委員会による10CFR50 並びに10CFR21 の要求を満 たしている。

3.1.2 解析コードの特徴

本解析コードは、広範囲にわたる多目的な有限要素法による計算機プログラムであり、 伝熱、構造、流体、電磁界、マルチフィジックス解析を実施するものである。

3.1.3 解析手法

本解析コードの機能の内、下部端栓溶接部応力評価に用いる伝熱解析及び構造解析における解析手法について以下に記載する。

(1) 伝熱解析

伝熱解析においては,熱力学の第一法則であるエネルギ保存の法則に基づき,単位体 積における微分形式で表した次式に基づいた解析を実施する。

(2) 構造解析

構造解析においては,線形材料を対象として,歪と応力の関係を示した次式に基づい た解析を実施する。





- 3.1.4 解析フローチャート
 - (1) 伝熱及び構造解析

伝熱及び構造解析における解析フローチャートを図3-1に示す。



図 3-1 伝熱及び構造解析における解析フローチャート
- 3.1.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - (1) 検証 (Verification)

本解析コードの検証として、開発元のリリースノートの例題集において、多くの解析例 に対する理論解と解析結果との比較が実施されており、解析例の入力データに基づく本 解析コードの解析結果と理論解を比較して検証を実施した。その検証の例を以下に示す。

a. 解析ケース



(2) 妥当性確認 (Validation)

本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

- ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、 機械、建築、土木等の様々な分野の構造解析に広く利用されていることを 確認している。
- ・本解析コードは、原子力分野では、原子炉設置(変更)許可申請書における応力解析等、これまで多くの構造解析に対し使用実績があり、9×9 燃料(B型)の原子炉設置(変更)許可申請書や燃料体設計認可申請書における下部端栓溶接部の応力評価に対し使用実績があることを確認している。
- ・本解析コードは既認可の下部端栓溶接部応力解析において使用実績のあるMARCと同等な解析条件(有限要素モデル,ペレットやジルカロイ被 覆管の物性値,荷重条件及び境界モデル)を設定可能なこと,MARCと
 本解析コードとで同等な解析結果となることを確認している。
- (3) 評価結果

(1)項及び(2)項より,本解析コードを使用状況一覧に示す燃料集合体の耐震性についての計算書における下部端栓溶接部応力解析に用いることは妥当である。

- 3.2 ANSYS Ver.15.0の解析手法
 - 3.2.1 一般事項

本解析コードは,スワンソン・アナリシス・システムズ(現,アンシス)に より開発された有限要素解析プログラムである。

本解析コードは, ISO9001 及びASME NQA-1 を取得し, アメリカ合衆国原子力 規制委員会による10CFR Part 50 並びに10CFR21 の要求を満たしている。

3.2.2 解析コードの特徴

本解析コードは、広範囲に亘る多目的有限要素解析プログラムである。本解析 コードは、構造、マルチフィジックス、流体、陽解法による動的、電磁界及び流 体力学のシミュレーション並びに解析を実施するものである。

3.2.3 解析手法

解析は線形構造静的解析及びモーダル解析を実施する。

本解析手法は線形構造を想定している。

線形構造静的解析に対する全体的な平衡方程式は以下のとおり。

 $[K]{u} = {F}$

又は

[K]{
$$u$$
} = { F^a } + { F^r }
ここで、
[K] = 全剛性マトリクス = $\sum_{m=1}^{N} [K_e]$
{ u } = 節点変位ベクトル
N = 要素数
[K_e] = 要素剛性マトリクス
{ F^r } = 反力荷重ベクトル
全負荷荷重ベクトル{ F^a }は以下で定義される。
{ F^a } = { F^{nd} } + { F^{ac} } + $\sum_{m=1}^{N} ({F^{th}_{e}} + {F^{pr}_{e}})$
ここで、
{ F^{nd} } = 負荷節点荷重ベクトル
{ F^{ac} } = $-[M]{a_c}$ = 加速度荷重ベクトル
[M] = 全質量マトリクス = $\sum_{m=1}^{N} [M_e]$
[M_e] = 要素質量マトリクス
{ a_c } = 全加速度ベクトル
{ F^{th}_{e} } = 要素伝熱荷重ベクトル
{ F^{pr}_{e} } = 要素圧力荷重ベクトル

モーダル解析は、固有振動数及びモード形状の決定に使用される。

構造物には一定剛性及び質量効果があるものとして行列表記法で記述された, 減衰しない系の運動方程式は以下のとおり。

 [M]{ü} + [K]{u} = {0}
 線形システムの場合,自由振動は以下の形式の周波数応答となる。
 {u} = {φ}_i cos ω_i t
 ここで,
 {φ}_i = i番目の固有振動数のモード形状を示す固有ベクトル ω_i = i番目の固有円振動数(単位時間あたりのラジアン)

t = 時間

これにより,運動方程式は以下のとおり。

 $(-\omega_{i}^{2}[M] + [K])\{\varphi\}_{i} = \{0\}$

この等式は, $\{\varphi\}_i = \{0\}$ 又は([K] – $\omega^2[M]$)のいずれかの行列式がゼロの場合に満たされる。

3.2.4 解析フローチャート

本解析コードの解析フローチャートを図 3-5 に示す。



図 3-5 解析フローチャート

- 3.2.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - (1) モーダル解析
 - a. 検証の概要

本解析コードについて,固有値解析の解析結果と理論解を比較し検証を行った。

b. 解析モデル

解析モデルを図 3-6 に,解析条件を表 3-3 に示す。ソリッド要素を用いて 作成し,拘束はせず,両端自由の解析モデルとした。



図 3-6 解析モデル (ソリッド要素)

表 3-3 解	杕	条	件
---------	---	---	---

諸元	記号	入力値	単位
長さ	L	2000	(mm)
断面積	А	2500	(mm^2)
断面二次モーメント	I=I1=I2	5.2083E+05	(mm^4)
ねじり定数	J	8.80E+05	(mm^4)
せん断面積係数	K=K1=K2	0.833	(-)
縦弾性係数	Е	2.00E+05	$(N/mm^2) = (MPa)$
ポアソン比	ν	0.30	(-)
密度	ρ	7.93E-09	(ton/mm^3)

c. 解析結果と理論解との比較

解析結果と理論解の固有振動数の比較を表 3-4 に示す。また、各次数にお けるソリッド要素の解析結果(モード図)を図 3-8~図 3-10 にそれぞれ示 す。なお,理論解は式3.4及び図3-7に基づき導入した。表3-4に示すとお り解析結果と理論解はよく一致しており、本解析コードの妥当性が確認され た。

	固有振動数[Hz]		
次数	田珍佃	解析結果	
	上生 神川 丹牛	ソリッド要素	
1 次	64.53	64.39	
2 次	177.86	176.79	
3 次	348.73	344.60	

表 3-4 固有振動数の解析結果と理論解の比較

・固有振動数
$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$$
 [Hz] ・・・ (式 3.4)

振動数 $f = \frac{\lambda^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho A}}$ Hz, l: 長さ m, E: 縦弾性係数 Pa, I: 断面二次モーメント m⁴ ρ:比重 kg/m³, A:断面積 m²,

棒の状態および振動モード	棒の状態および振動モード
1. 自由一自由	6. 支 持支 持
<u> 0132</u> 0132 -次	
次数 1 2 3	次数 1 2 3
振動数係数λ 4.730 7.853 10.996	振動数係数λ π 2π 3π

図 3-7 一様断面はりの横振動(出典:機械工学便覧)



図 3-8 モード図-1次 (ソリッド要素)



図 3-9 モード図-2次(ソリッド要素)



図 3-10 モード図-3次(ソリッド要素)

- (2) 線形構造静的解析
 - a. 検証の概要

本解析コードについて,線形構造静的解析の解析結果と理論解を比較し検証 を行った。

b. 解析モデル

解析モデルを図 3-11 に,解析条件を表 3-5 に示す。ソリッド要素を用い て作成し,片側の端点又は端線,端面を全拘束して 1G (9806.6mm/s²)の静的 加速度を等分布荷重として Y 方向に付加した。



図 3-11 解析モデル (ソリッド要素)

表 3-5 解析条件

諸元	記号	入力値	単位
長さ	L	2000	(mm)
断面積	А	2500	(mm^2)
断面二次モーメント	I=I1=I2	5.21E+05	(mm^4)
ねじり定数	J	8.80E+05	(mm^4)
せん断面積係数	K=K1=K2	0.833	(-)
縦弾性係数	Е	2.00E+05	$(N/mm^2) = (MPa)$
ポアソン比	ν	0.30	(-)
密度	ρ	7.93E-09	(ton/mm^3)

c. 解析結果と理論解との比較

表 3-6 に理論解と解析結果のたわみ量の比較を示す。また、ソリッド要素の解析結果(変形図)を図 3-14 に示す。なお、理論解は静的加速度を等分布荷重($\rho \times A \times 1G$)に換算し、式 3.5 及び式 3.6、図 3-12 に基づき導入した。 また、算出位置は図 3-13 示す 5 点とした。表 3-7 に示すとおり解析結果と 理論解はよく一致しており、本解析コードの妥当性が確認された。

	たわみ量 Y(mm)		
甲田 刀 円 歫 两田 7 (mm)	1田 弐△ 毎辺	解析結果	
Ζ (11111)	上王 神田 乃牛	ソリッド要素	
0	0.000	0	
500	0.394	0.390	
1000	1.322	1.314	
1500	2.493	2.481	
2000	3. 733	3.716	

表 3-6 たわみ量の解析結果と理論解の比較

· 等分布荷重

$$w = \rho \times A \times 1G = 7.93E - 09 \times 2500 \times 9806.6$$
$$= 0.19442 \quad \left[\frac{N}{mm}\right] \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (\vec{x} \ 3.5)$$

・たわみ方程式

$$y = \frac{w}{24EI} \{ (L-z)^4 - 4L^3(L-z) + 3L^4 \} \quad [mm] \quad \dots \quad (\exists 3.6)$$

荷重,弾性線,せん断力図 (shearing force diagram) および曲げモーメント図 (bending moment diagram)	反力 <i>R</i> および せん断力 <i>F</i>	曲げモーメント <i>M</i>	たわみ v および傾斜 i
l w -jt R_2 R_2 R_2 R_2 R_2 R_2	$R_2 = wl$ $F = -wx$	$M = -\frac{wx^2}{2}$ $ M _{\max} = \frac{wl^2}{2} \qquad \cdots (x = l)$	$v = \frac{wl^4}{8EI} \left(1 - \frac{4x}{3l} + \frac{x^4}{3l^4} \right)$ $v_{\text{max}} = \frac{wl^4}{8EI} \qquad \cdots (x=0)$ $ i _{\text{max}} = \frac{wl^3}{6EI} = \frac{4}{3l} v_{\text{max}} \qquad \cdots (x=0)$

図 3-12 はりのたわみ(出典:機械工学便覧)



図 3-13 モデル概略図



図 3-14 変形図 (ソリッド要素)

(3) 結論

以上より、解析結果の検証を行い、本解析コードにおける妥当性を確認した。

別紙 32 FURST

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-3-2-1	炉心の耐震計算結果	Ver.5

2. 解析コードの概要

コード名 項目	FURST
使用目的	弾性解析による被覆管応力解析
開発機関	ゼネラル・エレクトリック社
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Ver.5
コードの概要	本解析コードは、ゼネラル・エレクトリック社により開発 された被覆管応力解析コードである。 本解析コードは、燃料被覆管温度、燃料棒内圧、炉心条件、 燃料棒寸法及び許容応力の統計的分布を考慮し、被覆管の支 持格子間及び支持格子接触部の応力評価をモンテカルロ法 により統計的に実施する。地震時には、通常運転時及び過渡 時に被覆管に発生する応力の他に、水平及び鉛直地震加速度 により被覆管に発生する応力を考慮する。 本解析コードは、高燃焼度 8×8 燃料、9×9 燃料及び MOX 燃料の設計・許認可に適用された実績がある。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・被覆管の応力計算式(厚肉円筒)がコードに正しく組み 込まれていることを,本解析コードによる解析結果が別 法計算による解析結果と一致していることにより確認 している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・コード検討会等規制機関による確認*1,*2,*3が実施され ていることを確認している。

注記*1:沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について(平成10年2月 株式会社 日立製作所 HLR-033訂1)

- *2:沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について(平成10年1月 株式会社 東芝 TLR-045 改訂1)
- *3:原子炉安全基準専門部会報告書,発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について (昭和63年5月12日 原子力安全委員会了承)

別紙 33 PRIME

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-3-2-1	炉心の耐震計算結果	Ver.1

2. 解析コードの概要

コード名 項目	PRIME
使用目的	燃料棒の熱的挙動及び機械的挙動の評価
開発機関	ゼネラル・エレクトリック社,株式会社 東芝,株式会社 日立製作所(メーカ共同開発)
開発時期	1985 年
使用したバージョン	Ver.1
コードの概要	本解析コードは、ゼネラル・エレクトリック社、株式会社 東芝及び株式会社 日立製作所で共同開発された燃料棒熱・ 機械設計コードである。 本解析コードは、出力履歴に対応したペレットー被覆管の ギャップ幅変化とガスの熱伝導率をもとにペレットと被覆 管のギャップ熱伝達係数を求め、燃料棒の熱的挙動を評価す ると同時に、軸対称有限要素法 (FEM) により、ペレットと 被覆管の相互作用等の機械的挙動を評価する。 本解析コードは、高燃焼度 8×8 燃料、9×9 燃料及び MOX 燃料の設計・許認可に適用された実績がある。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・ハルデン炉の試験燃料データ、商業炉燃料棒の照射後試 験データ等に基づいてペレット中心温度,核分裂生成ガ ス放出率,燃料棒内圧及び被覆管直径変化を対象とした 計算値と測定値の比較*1,*2 が実施され、コードに組み 込まれた個々の解析モデルが正しく機能していること を確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・ハルデン炉の試験燃料データ等との比較における計算 値と測定値のばらつきがコード予測の不確かさとして 考慮*1,*2 されていることを確認している。 ・コード検討会等規制機関による確認*1,*2,*3 が実施され ていることを確認している。

- 注記*1:沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について(平成10年2月 株式会社 日立製作所 HLR-033訂1)
 - *2: 沸騰水型原子力発電所 燃料の設計手法について(平成10年1月 株式会社 東芝 TLR-045 改訂1)
 - *3:原子炉安全基準専門部会報告書,発電用軽水型原子炉の燃料設計手法について (昭和 63 年 5 月 12 日 原子力安全委員会了承)

別紙 34 ABAQUS

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-4-2-1	使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐	Ver. 6. 14-6
	震性についての計算書	
V-2-9-2-1	原子炉格納容器コンクリート部の耐震性につい	Ver. 6.14-6
	ての計算書	
V-2-9-3-4	原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算	Ver. 6.14-6
	書	
V-2-9-4-7-1-1	ドレンタンクの耐震性についての計算書	Ver.2017
V-2-9-5-3	遠隔手動弁操作設備の耐震性についての計算書	Ver.2017
V-2-10-2-4-3	取水槽水位の耐震性についての計算書	Ver.6.5-4
V-2-11-2-4	原子炉建屋クレーンの耐震性についての計算書	Ver.6.5-4
Ⅴ-2-別添 3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の	Ver. 6.5-4
	耐震計算書	

- 2. 解析コードの概要
- 2.1 A B A Q U S Ver. 6.14-6

コード名 項目	ABAQUS	
使用目的	3次元有限要素法による応力解析(弾塑性)	
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社	
開発時期	1978 年 (Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc) 2005 年 (ダッソー・システムズ株式会社)	
使用したバージョン	Ver. 6. 14-6	
コードの概要	本解析コードは、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc (HKS 社)で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継 がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機コード である。 適用モデルは1次元~3次元の任意形状の構造要素、連続 体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析、 動的応力解析、熱応力解析、伝熱解析、座屈解析等の機能を 有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であ り、境界条件として、熱流束、温度、集中荷重、分布荷重、 加速度等を取り扱うことができる。 数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造 船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績 を持つ。	
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは,使用済燃料貯蔵プール,原子炉格納容器 コンクリート部及び原子炉建屋基礎スラブの3次元有限要 素法による応力解析に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・面外集中荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の実験 についてシミュレーション解析を行い,実験結果の荷 重-変位関係と解析結果の比較をすることにより,本 解析コードの当該解析機能の妥当性を確認している。 ・基礎浮上りに関する例題解析を実施し,解析結果と理論 モデルによる理論解が一致することを確認している。	

・既往知見におけるプレストレストコンクリート製格納
容器の耐圧実証試験及びシミュレーション解析の荷重
一変位関係により、本解析コードの当該解析機能の妥
当性を確認している。
・本解析コードの運用環境について, 開発機関から提示さ
れた要件を満足していることを確認している。
【妥当性確認(Validation)】
本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。
 ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航
空宇宙,自動車,造船,機械,建築,土木等の様々な分
野における使用実績を有しており,妥当性は十分に確認
されている。
・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上
述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画
認可申請で使用する 3 次元有限要素法(積層シェル要
素) による応力解析に, 本解析コードが適用できること
を確認している。
 ・検証内容のとおり、鉄筋コンクリートの応力解析につい
て検証しており,今回の工事計画認可申請において適正
な材料構成則を設定していることから,解析の目的に照
らして今回の解析に適用することは妥当である。

2.2	ABAQUS	Ver. 2017
2.2	MD MQ 0 0	101.2011

コード名 項目	ABAQUS	
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析,地震 応答解析	
開発機関	ダッソー・システムズ株式会社	
開発時期	1978 年(Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc) 2016 年(ダッソー・システムズ株式会社)	
使用したバージョン	Ver. 2017	
コードの概要	本解析コードは、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc (HKS 社)で開発され、ダッソー・システムズ社に引き継 がれた有限要素法に基づく構造解析用の汎用計算機コード である。 適用モデルは1次元~3次元の任意形状の構造要素、連続 体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析, 動的応力解析,熱応力解析,伝熱解析,座屈解析等の機能を 有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であ り、境界条件として、熱流束、温度、集中荷重、分布荷重、 加速度等を取り扱うことができる。 数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造 船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績 を持つ	
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・今回使用する適用要素(はり要素)について,解析結果が理論モデルによる理論解と一致することを確認している。 ・最新バージョンへの改訂において,計算結果に大きな影響を与える不具合に伴う改訂が行われていないことを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 	

・本解析コードは, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築,
土木等の様々な分野における使用実績を有しており, 妥
当性は十分に確認されている。
•
において,3次元有限要素法(はりモ
デル)による固有値解析及び地震応答解析に本解析コー
ド(Ver.6.5-4)が,使用された実績がある。
・本評価における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認
の範囲内であることを確認している。
・今回の工事計画認可申請において使用するバージョン
は, 他プラントの既工事計画において使用されているも
のと異なるが, バージョンの変更において, 本解析の使
用範囲の結果に影響の無いことを確認している。

2.3	ABAQUS	Ver. 6.5-4
-----	--------	------------

<u>コード名</u> 項目	ABAQUS	
使用目的	3次元有限要素法(シェル要素,はり要素)による固有値 解析及び応力解析 はりモデルによる固有値解析及び地震応答解析	
開発機関	Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc	
開発時期	1978 年	
使用したバージョン	Ver. 6. 5-4	
コードの概要	本解析コードは、米国 Hibbitt, Karlsson and Sorensen, Inc (HKS 社) で開発された有限要素法に基づく構造解析用の 汎用計算機コードである。 適用モデルは1次元~3次元の任意形状の構造要素、連続 体要素について取り扱うことが可能であり、静的応力解析, 動的応力解析,熱応力解析,伝熱解析,座屈解析等の機能を 有している。特に非線形解析が容易に行えることが特徴であ り、境界条件として、熱流束、温度、集中荷重、分布荷重、 加速度等を取り扱うことができる。 数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、造 船、機械、建築、土木等の様々な分野で利用されている実績 を持つ。	
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードによる地震応答計算結果と振動試験結果を 比較して,検証*が実施され,本解析コードが検証され たものであることを確認した。 ・今回使用する適用要素(シェル要素及びはり要素)につ いて,解析結果が理論モデルによる理論解と一致するこ とを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,数多くの研究機関や企業において,	

様々な分野の構造解析に広く利用されていることを確
認している。
・本解析コードは, 航空宇宙, 自動車, 造船, 機械, 建築,
土木等の様々な分野における使用実績を有しており,
妥当性は十分に確認されている。
・使用する解析モデルは,既工事計画及び耐震評価にて実
績のある関連規格及び文献を基に作成した評価モデル
を採用していることを確認している。
・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画
認可申請で使用するはりモデルによる固有値解析及び
地震応答解析,3次元有限要素法(シェル要素,はり要
素)による固有値解析及び応力解析に、本解析コードが
適用できることを確認している。

注記*:独立行政法人 原子力安全基盤機構「平成19年度 原子力施設等の耐震性評価 技術に関する試験及び調査」動的上下動耐震試験(クレーン類)に係る報告書

- 3. ABAQUS Ver.6.14-6の解析手法
 - 3.1 一般事項

本解析コードは,有限要素法による汎用非線形構造解析プログラムである。材料非 線形性,幾何学的非線形性及び接触問題を含む境界非線形性を考慮した構造物の静 的応力変形解析,動的解析,熱伝導解析,音響解析機能等が提供されている。また, 各分野特有の連成問題(熱応力,構造-流体連成等)も解析可能である。本解析コー ドは,使用済燃料貯蔵プール,原子炉格納容器コンクリート部及び原子炉建屋基礎ス ラブの3次元有限要素法による応力解析(弾塑性)に使用している。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの主な特徴を以下に示す。

・非線形構造問題(材料及び幾何学的非線形)に必要な機能が充実している。

- ・数多くの要素及び材料構成則が提供されており、多様な構造物のモデル化が可能である。
- ・連成問題が解析可能である。

また,今回の解析における本解析コードの使用要素は複合シェル要素(積層シェル 要素),はり要素,トラス要素(ロッド要素)及びギャップ要素である。

3.3 解析手法

3.3.1 有限要素法による評価

有限要素法による評価は、次の手順で行う。

要素内の変位を仮定し、節点変位を使って要素内任意点の変位を表現する。

$$\{u\} = [N] \{u_e\}$$
 (3.1)

ここで,

- {u}
 :要素内任意点の変位
 [N]
 :形状関数マトリックス
 {u_e}
 :節点変位
- ② 上記の変位を微分して,要素内任意点のひずみを節点変位により表す。

$$\{ \epsilon \} = [B] \{ u_e \}$$

$$(3.2)$$

③ 材料物性から求められる応力とひずみの関係式である(3.3)式より定められる弾性係数マトリックスを用いて、要素剛性マトリックスを(3.4)式より計算する。

$$\{\sigma\} = [D] \{\varepsilon\}$$

$$[K_e] = \int [B]^T [D] [B] dV$$

$$(3.3)$$

ここで,

$\{\sigma\}$: 要素内任意点の応力
[D]	: 材料の応力-ひずみ接線マトリックス
[K _e]	:要素剛性マトリックス

 ④ 全体の剛性マトリックスを要素剛性マトリックスの重ね合わせによって 求め、力の釣合いより静的変位は(3.5)式、また動的変位は(3.6)式より求 める。

$$\{ f \} = [K] \{ \gamma \}$$
(3.5)
$$\{ f \} = [M] \{ \dot{\gamma} \} + [K] \{ \gamma \}$$
(3.6)

ここで, {f} :荷重ベクトル {y} :構造全体の変位

$$\{\gamma\} = \begin{cases} U_{e1} \\ U_{e2} \\ \vdots \\ U_{en} \end{cases}$$

U_{e1}, U_{e2}, …, U_{en}:各節点の節点変位

- {ÿ}:構造全体の加速度
- [M] :質量マトリックス
- [K] :剛性マトリックス

⑤ 変位が決まれば、(3.2)式、(3.3)式より各要素の応力が求められる。

3.3.2 基礎浮上りの評価

原子炉建屋基礎スラブの応力解析モデルは,基礎スラブと底面地盤との間に 底面地盤を表現するギャップ要素を設け,基礎スラブと底面地盤との間の剝離 (基礎スラブの浮上り)を考慮している。

ギャップ要素は、図 3-1 に示すように仮定する。図 3-1(a)は地盤面に垂直 な方向である鉛直ばね、図 3-1(b)は地盤面に平行な方向である水平ばねの特性 である。垂直方向は、引張りの場合は力の伝達は行われず、圧縮の場合には鉛直 ばね係数k_nを介して構成関係は線形関係にあるものとする。

また、垂直方向に剥離が生じた場合には、せん断応力も伝達されない。



図 3-1 ギャップ要素の復元力特性

3.4 解析フローチャート
 本解析コードの解析フローチャートを図3-2に示す。



図 3-2 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 実験結果とシミュレーション解析の比較による検証
 - (1) 検証概要

本解析コードが静的非線形解析において妥当であることを検証する。

文献(引用文献(1)参照)に示される面外方向集中荷重を受ける鉄筋コンクリート造平板の崩壊問題を,鉄筋の層を埋め込んだシェル要素でモデル化し静的 非線形解析を行い,実験結果の荷重-変位関係と解析結果の整合を確認する。

(2) 検証モデル

図 3-3 に解析モデルを示す。正方形の鉄筋コンクリート造平板は4 隅で鉛直 方向に支持されており、中央に集中荷重を受ける。スラブは厚さ方向の 75%の位 置で、2 方向に配筋されている。鉄筋比(鉄筋の体積/コンクリートの体積)は、 各方向に対し 8.5×10⁻³である。



図 3-3 解析モデル

(3) 材料物性值

表 3-1 に解析に用いる材料物性値を示す。材料物性値は原則として文献(引) 用文献(1)及び引用文献(2)参照)に記載の値を用いる。

諸元		物性値
コンクリート	設計基準強度 Fc	37.92 N/mm ² (5500 lb/in ²)
	ヤング係数	$2.86 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ (4150000 lb/in ²)
	ポアソン比	0.15
鉄筋	降伏強度 σ _ッ	345 N/mm ² (50000 lb/in ²)
	ヤング係数	$2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ (29000000 lb/in ²)

表 3-1 解析に用いる材料物性値

(4) 材料構成則

図 3-4 に材料構成則を示す。



Fc:コンクリートの設計基準強度

項目	設定
圧縮強度	-0.85Fc(CCV 規格)
終局圧縮ひずみ	-3000 µ (CCV 規格)
圧縮側のコンクリート構	CEB-FIP Model codeに基づき設定
成則	(引用文献(3)参照)
ひび割れ発生後の引張軟	出雲ほか(1987)による式(c=0.4)
化曲線	(引用文献(4)参照)
] 進始 産	σ _t =0.38√Fc(「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改定)」)

(a) コンクリートの応力-ひずみ関係

図 3-4 材料構成則(1/2)

- ・鉄筋の構成則:バイリニア型
- ・終局ひずみ:±5000 µ (CCV 規格)



図 3-4 材料構成則(2/2)

解析結果の荷重-変形関係を文献の図(引用文献(1)参照)に重ねて図 3-5 に 示す。図より両者は概ね一致していることから,解析の目的に照らして今回の解 析に使用することは妥当である。



図 3-5 検証解析結果

3.5.2 基礎浮上りの評価の検証

剛はりを、「3.2 解析コードの特徴」に示す手法による地盤ばねで固定点と 連結した図3-6のモデルに対して、鉛直力Nを作用した状態で、転倒モーメント Mを漸増させ、接地率を評価し、理論解と比較する。ここで鉛直力Nは5(kN)と する。



図3-6 解析モデル

(1) 理論解による接地率の評価

浮上り限界モーメントM₀及び接地率ηは,「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1991 追補版((社)日本電気協会)」に基づき下式により算 定する。

 $M_{0} = \frac{N \cdot L}{6}$ $\eta = 3 \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{M}{N \cdot L}\right)$ ここで、 $M_{0} : 浮 \bot 9 限 P = - \times \times + (kN \cdot m)$ N : 鉛 直 力 (kN) L : 建 屋 基 礎 幅 (m) $\eta : 接 地 率$ $M : 転 倒 = - \times \times + (kN \cdot m)$

また,接地率 $\eta = 0$ となる転倒モーメントMは,以下となる。 M= $\frac{1}{2}$ ·N・L= $\frac{1}{2}$ ×5×40=100 (kN·m)
(2) ABAQUSによる接地率の評価

本解析コードによる接地率の解析結果と理論解の比較を図 3-7 に示す。図 3 -7より、転倒モーメントMと接地率 ηの関係は、理論解と一致することが確認 できる。

本解析コードによる接地率は、荷重増分ステップ毎に浮き上がった(軸剛性及 びせん断剛性が0の状態)地盤ばねのギャップ要素を確認し、その要素の総支配 面積を計算することで算定した。



図 3-7 解析結果と理論解の比較

- 3.5.3 既往知見による検証
 - (1) 概要

本解析コードが静的非線形解析において妥当であることを検証する。

財団法人 原子力発電技術機構(NUPEC)の原子炉格納容器信頼性実証事業に おいて実施された、プレストレストコンクリート製格納容器(以下「PCCV」とい う。)の耐圧実証試験及びシミュレーション解析(引用文献(5)参照)により、 試験結果の荷重-変位関係と解析結果の整合を確認する。

(2) PCCVの耐圧実証試験及びシミュレーション解析

図 3-8 に試験体外形図と主要諸元を,図 3-9 にシミュレーション解析モデルを示す。基礎版,円筒胴部及びドーム部より構成される PCCV 構造の 1/4 縮尺 モデルを用いて,高圧窒素ガスを準静的に注入することにより,躯体限界圧挙動 及びライナの限界圧時の漏えい挙動を実験的に把握することを目的として試験 が行われている。

シミュレーション解析は、本解析コードを用いて実施しており、コンクリート 及びライナは積層シェル要素、鉄筋は積層シェル内に鉄筋層、テンドンについて は要素軸方向の剛性のみ有するはり要素としてモデル化されている。材料は表 3 -2 に示す構成則が用いられており、PCCVの耐圧実証試験と同様に終局状態ま で載荷し弾塑性挙動を確認している。



図 3-8 試験体外形図と主要諸元(引用文献(5)より引用)



図 3-9 シミュレーション解析モデル (引用文献(5)より引用)

項目		設定	
	圧縮側のコンクリート	修正 Kent&Park に基づき設定	
	構成則	(引用文献(6)参照)	
	ひび割れ発生後の引張	出雲ほか(1987)による式	
	軟化曲線	(c=0.4) (引用文献(4)参照)	
鉄筋	応力-ひずみ関係	バイリニア型	

表 3-2 シミュレーション解析における構成則

(3) 解析結果

解析結果の内圧-半径方向変位関係を図 3-10 に示す。実験と解析による載 荷挙動を比較すると,最大圧力に至るまでの試験結果の変位挙動が良好に模擬 されており,適正な材料構成則を使う限りはほぼ妥当な評価ができ,実機の評価 において本解析コードを適用することは妥当であるとされている。



図 3-10 内圧-半径方向変位関係(引用文献(5)より引用)

3.5.4 妥当性確認

本解析コードの妥当性確認の内容は、以下のとおりである。

- ・本解析コードは、数多くの研究機関や企業において、航空宇宙、自動車、 造船、機械、建築、土木等の様々な分野における使用実績を有しており、 妥当性は十分に確認されている。
- ・今回の工事計画認可申請における用途及び適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。
- ・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法(積層シェル要素)による応力解析に、本解析コードが適用できることを確認している。
- ・検証内容のとおり、鉄筋コンクリートの応力解析について検証しており、
 今回の工事計画認可申請において適正な材料構成則を設定していること
 から、解析の目的に照らして今回の解析に適用することは妥当である。
- 3.5.5 評価結果

3.5.1, 3.5.2, 3.5.3及び3.5.4より,本解析コードを使用状況一覧に示す解析 に用いることは妥当である。

- 4. 引用文献
 - Jofriet J. C. & G. M. McNeice: Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs, Journal of the Structural Division, ASCE 1971, Vol. 97, No.ST3
 - (2) Gilbert R. I. & R. F. Warner : Tension Stiffening In Reinforced Concrete Slabs, Journal of the Structural Division, ASCE 1978, Vol. 104, No.ST12
 - (3) Comite Euro-International du Beton: CEB-FIP MODEL CODE 1990 (DESIGN CODE), 1993
 - (4) 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
 - (5) 財団法人 原子力発電技術機構:重要構造物の安全評価(原子炉格納容器信頼性実 証事業)に関する統括報告書,平成15年3月
 - (6) Park, R., Priestley, M. J. N. and Gill, W. D. : Ductility of Square-Confined Concrete Columns, J. Struct. Div., ASCE, Vol. 108, No. ST4, PP.929-950, 1982

別紙 35 SAP-IV

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-4-2-2	使用済燃料貯蔵ラックの耐震性についての計算	
	書	
V-2-6-3-2-1-1	水圧制御ユニットの耐震性についての計算書	
V-2-6-5-1	起動領域モニタの耐震性についての計算書	
V-2-6-5-2	出力領域モニタの耐震性についての計算書	
V-2-11-2-5	燃料取替機の耐震性についての計算書	

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SAP-W
使用目的	 3次元有限要素法(シェルモデル)による固有値解析及び応力解析 3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析及び地震応答解析 3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析
開発機関	株式会社日立製作所
開発時期	1973年(米国カリフォルニア大学) 1990年(株式会社日立製作所)
使用したバージョン	
コードの概要	本解析コードは, 本解析コードは, 機械工学, 土木工学, 航空工学等の分野 において, 多くの実績を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・両持ちはりの単純支持円筒モデルについて,本解析コー ドによる解析結果と理論解とを比較して検討し,解析解 と理論解が一致していることを確認している。 ・平板のモデルについて,シェルモデルによる固有値解析 及び応力解析を行い,本解析コードによる解析結果と理 論解とを比較して検討し,解析解と理論解が一致してい ることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

・本解析コードは,機械工学,土木工学,航空工学等の分
野において,多くの実績を有しており,妥当性は十分に
確認されている。
・本解析コードのマニュアルにより, 今回の工事計画認可
申請で使用する3次元有限要素法(シェルモデル)によ
る固有値解析及び応力解析並びに3次元有限要素法(は
りモデル)による固有値解析及び地震応答解析に、本解
析コードが適用できることを確認している。
・今回の工事計画認可申請における構造に対して使用す
る要素及び解析については,既工事計画において使用
された実績がある。
・今回の工事計画認可申請において使用するバージョン
は, 既工事計画において使用されているものと同じであ
ることを確認している。

別紙 36 NSAFE

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-4-2-3	使用済燃料貯蔵プール水位・温度(SA)の耐震性	Ver.5
	についての計算書	
V-2-6-1	計測制御系統施設の耐震計算結果	Ver.5
V-2-6-5-21	ドライウェル雰囲気温度の耐震性についての計	Ver.5
	算書	
V-2-6-5-22	サプレッションチェンバ気体温度の耐震性につ	Ver.5
	いての計算書	
V-2-6-5-23	サプレッションチェンバプール水温度の耐震性	Ver.5
	についての計算書	
V-2-6-5-26	格納容器内水素濃度(SA)の耐震性についての計	Ver.5
	算書	
V-2-6-5-30	格納容器下部水位の耐震性についての計算書	Ver.5
V-2-8-2-1-4	耐圧強化ベント系放射線モニタの耐震性につい	Ver.5
	ての計算書	
V-2-8-3-1-1-1	管の耐震性についての計算書	Ver.5
V-2-8-5-1	中央制御室外気取入れ・排気ダクトの耐震性に	Ver.5
	ついての計算書	
V-2-11-2-3	中央制御室天井照明の耐震性についての計算書	Ver.5

2. 解析コードの概要

コード名 項目	N S A F E
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による支持構造物の固有 値解析,応力解析
開発機関	株式会社日立プラントコンストラクション
開発時期	1982 年
使用したバージョン	Ver.5
コードの概要	本解析コードは、支持構造物の強度解析を目的として開発 された計算機プログラムである。本解析コードは、汎用構造 解析コード をメインプログラムとし、応力評価プ ログラム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブ プログラムから成る。 任意の1次元、2次元あるいは3次元形状に対し、静的解析、 動的解析を行うことが可能で、反力・モーメント・応力、固 有値・刺激係数等の算出が可能である。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証 (Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

注記*1:日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

*2:原子力発電所耐震設計技術指針

別紙 37 SOLVER

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-4-2-4	使用済燃料貯蔵プール水位・温度(SA 広域)の	Rev 02.05
	耐震性についての計算書	
V-2-10-1-2-2-6	管の耐震性についての計算書	Rev 02.05
Ⅴ-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B,C クラス機器の耐震計算	Rev 02.05
	書	

2. 解析コードの概要

ユード名 項目	SOLVER
使用目的	3次元有限要素法(はり要素)による固有値解析,地震応 答解析及び応力解析
開発機関	株式会社東芝
開発時期	1988 年
使用したバージョン	Rev 02.05
コードの概要	本解析コードは,構造物の静的及び動的解析のメインプロ グラムである「SAP」を基に作られている。「SAP」は, 米カリフォルニア大学にて開発された計算機プログラムで ある。 任意の3次元形状に対し,有限要素法により静的解析,動 的解析を行い,反力・モーメント・応力,固有振動数・刺激 係数等の算出が可能である。 本解析コードは,原子力の配管設計において,多くの実績 を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数 の多い配管解析プログラムの一つである解析コード による解析結果を比較し,結果が 合致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,他プラントの既工事計画において使用 実績があることを確認している。 ・今回の工事計画認可申請で行うはりモデルの固有値解 析,地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らして, 用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であること

を確認している。
・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画
認可申請で使用する3次元有限要素法(はり要素)によ
る固有値解析, 地震応答解析及び応力解析に本解析コー
ドが適用できることを確認している。

別紙 38 HISAP

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-4-3-1-3	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-4-3-2-1	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-1	原子炉冷却系統施設の耐震計算結果	Ver. 52
V-2-5-2-1-2	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-3-1-6	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-4-1-5	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-4-2-5	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-4-3-2	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-4-4-1	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-5-1-3	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-6-1-6	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-5-6-2-1	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-6-3-2-1-2	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-6-4-1-3	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-6-6-1-1	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-6-6-2-1	管の耐震性についての計算書	Ver.52
V-2-7-1	放射性廃棄物の廃棄施設の耐震計算結果	Ver.52
V-2-9-4-4-2-1	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-9-4-4-3-1	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-9-4-5-1-2	管の耐震性についての計算書	Ver.52
V-2-9-4-5-2-1	管の耐震性についての計算書	Ver.52
V-2-9-4-5-4-1	管の耐震性についての計算書	Ver.52
V-2-9-4-6-1-1	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-10-1-2-1-7	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-10-1-2-2-6	管の耐震性についての計算書	Ver. 52
V-2-10-2-4-3	取水槽水位の耐震性についての計算書	Ver. 52
Ⅴ-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B,C クラス機器の耐震計算	Ver. 52
	書	

2. 解析コードの概要

コード名	HISAP
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による管の固有値解析, 応力解析
開発機関	株式会社日立製作所
開発時期	1978 年
使用したバージョン	Ver. 52
コードの概要	本解析コードは,配管の強度解析を目的として開発された 計算機プログラムである。本解析コードは,汎用構造解析コ ード をメインプログラムとし,応力評価プログラ ム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログ ラムから成る。 任意の1次元,2次元あるいは3次元形状に対し,静的解析, 動的解析を行うことが可能で,反力・モーメント・応力,固 有値・刺激係数等の算出が可能である。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証 (Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 【妥当性確認 (Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。

r	

注記*1:日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

*2:原子力発電所耐震設計技術指針

別紙 39 ISAP

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-5-4-5-1	管の耐震性についての計算書	ISAP− Ⅲ
V-2-10-1-2-2-6	管の耐震性についての計算書	ISAP− Ⅲ
V-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B,C クラス機器の耐震計算	ISAP-IV
	書	

- 2. 解析コードの概要
- 2.1 I S A P ISAP-III

コード名	ISAP
使用目的	3次元有限要素法(はり要素)による固有値解析,地震応 答解析及び応力解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1988 年
使用したバージョン	ISAP-III
コードの概要	本解析コードは,汎用構造解析コード「SAP-V」を基 につくられている。「SAP」は,米カリフォルニア大学に て開発された計算機プログラムである。 任意の3次元形状に対して,有限要素法により静的解析, 動的解析を行い,反力・モーメント・応力,固有周期・刺激 係数等の算出が可能である。 本解析コードは,原子力の配管設計において,多くの実績 を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の 多い配管解析プログラムの一つである解析コード

認している。
・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画
認可申請で使用する3次元有限要素法(はり要素)によ
る固有値解析, 地震応答解析及び応力解析に本解析コー
ドが適用できることを確認している。

2.2 I S A P ISAP-IV

コード名 項目	Ι SΑΡ
使用目的	3次元有限要素法(はり要素)による固有値解析,地震応 答解析及び応力解析
開発機関	株式会社 IHI
開発時期	1988 年
使用したバージョン	ISAP-IV
コードの概要	本解析コードは,汎用構造解析コード「SAP-V」を基 につくられている。「SAP」は,米カリフォルニア大学に て開発された計算機プログラムである。 任意の3次元形状に対して,有限要素法により静的解析, 動的解析を行い,反力・モーメント・応力,固有周期・刺激 係数等の算出が可能である。 本解析コードは,原子力の配管設計において,多くの実績 を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の 多い配管解析プログラムの一つである解析コード による解析結果を比較し,結果が合致す ることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは,既工事計画において使用実績があるこ とを確認している。 ・今回の工事計画認可申請で行うはり要素の固有値解析, 地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らして,用途 及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確

・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画
認可申請で使用する3次元有限要素法(はり要素)によ
る固有値解析, 地震応答解析及び応力解析に本解析コー
ドが適用できることを確認している。

別紙 40 NAPF

1.	使用	状況一	·覧
		V V V U	

	バージョン	
V-2-8-2-1-3	フィルタ装置出口放射線モニタの耐震性につい	ver.NAPFS-201
	ての計算書	9-A-01
V-2-8-4-7	配管遮蔽の耐震性についての計算書	ver.NAPFS-201
		9-A-01
V-2-9-5-4	遠隔手動弁操作設備遮蔽の耐震性についての計	ver.NAPFS-201
	算書	9-A-01
Ⅴ-2-別添 1-4	ボンベラックの耐震計算書	ver.NAPFS-201
		9-A-01
Ⅴ-2-別添 1-5	選択弁の耐震計算書	ver.NAPFS-201
		9-A-01
Ⅴ-2-別添 3-4	可搬型重大事故等対処設備のうちボンベ設備の	ver.NAPFS-201
	耐震計算書	9-A-01

2. 解析コードの概要

ユード名 項目	N A P F
使用目的	 3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析 配管支持構造物の強度評価 3次元有限要素法(はりモデル)による固有値解析及び応 力解析
開発機関	日本発条株式会社
開発時期	1980 年
使用したバージョン	ver.NAPFS-2019-A-01
	本解析コードは, 骨組構造の静的構造解析を行うことを目 的として, 配管系等の支持構造物の設計用に開発された計算 機プログラムである。
コードの概要	
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・材料力学の数式を用いた結果と本解析コードの結果を比 較した。なお、モデルは材料力学上の計算結果と容易に 比較可能なものとして片持ちはりに自重による分布荷重 が作用するものとした。 この結果、本解析コードの結果が良好に一致しているこ とを確認した。 他の解析コード(

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本解析コードは骨組構造の静的構造解析を行うためのものであり,配管系等の支持 構造物の設計用として 日本発条株式会社で開発し,保守・運 用している。変形は線形かつ微小変形であり,部材についてはフックの法則が成り立 っていること,及び荷重に対しては重ね合わせの原理が成り立つことを前提としてい る。

3.2 解析コードの特徴

- 3.3 解析手法
 - 3.3.1 静的解析

図 3-1 に示す骨組構造の元となる要素の i, j 端に加わる荷重(材端力)とそれ に伴う変位(たわみ)の関係は,

と表す事ができる。



i 端は要素の始点

j端は要素の終点

• • • (3, 3)

図 3-1 要素座標系における定義

材端力の成分 $(f_i^*, f_j^*)^{\mathsf{T}}$ は釣り合い条件より,

ここで, [H]は釣り合いマトリクスで, 要素 x 軸を要素の両端を結ぶ線に一致す る様に座標系をとると,

[H] =	1 0 0 0	$ \begin{array}{c} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} $		1	0		
	0	0 2	$-\lambda$	0	1	1	

となる。ここで, λは i, j間の要素長である。

i端の変形による影響を除外した j端の変位を $\{u_j\}$ とし,この要素単体の剛性マトリクスを[K]とすると材端力 $\{f_j^*\}$ は,

となる。

ここで, [K]の各成分は下記のとおりである。

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{\lambda} & & & \\ 0 & \frac{12EI_z}{\lambda^3(1+\phi_y)} & & Symmetric \\ 0 & 0 & \frac{12EI_y}{\lambda^3(1+\phi_z)} & & \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{\lambda} & & \\ 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{\lambda^2(1+\phi_z)} & 0 & \frac{(4+\phi_z)EI_y}{\lambda(1+\phi_z)} & \\ 0 & \frac{-6EI_z}{\lambda^2(1+\phi_y)} & 0 & 0 & 0 & \frac{(4+\phi_y)EI_z}{\lambda(1+\phi_y)} \end{bmatrix}$$

(3.4), (3.5)式を(3.2)式に, (3.4)式を(3.5)式にそれぞれ代入し,整理すると材端力と変位の関係式は,

と表される。

ここで,

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{H} \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{H}^{\mathrm{T}} & -\mathbf{H} \cdot \mathbf{K} \\ -\mathbf{K} \cdot \mathbf{H}^{\mathrm{T}} & \mathbf{K} \end{bmatrix}$$

とする。

[K*]の各成分を図 3-2 に示す。

[K*]は要素座標系における要素剛性マトリクスであるが、全体座標系から要素 座標系への座標変換マトリクスを[T]とすると、全体座標系における要素剛性マト リクス[k*]は次のとおりになる。

よって,外力ベクトル{f}が与えられるとき,変位{u}は次式により求められる。

図 3-2 要素剛性マトリクス[K*]

(3.8)式を効率的に解くために変形コレスキー法を用いる。

また, [k]の上部三角行列[k´]内の各数値は,以下のとおりとなる。

(3. 10)式を(3. 8)式に代入すると,

 $\{f\} = [k^{T} \cdot [D] \cdot [k^{T}] \cdot \{u\}$

となる。ここで、

 $\{f\} = [k^{T} \cdot [D] \cdot \{f^{T}\}$

となり、変形すると、

 ${f^{f}} = [D]^{-1}([k^{T}]^{T})^{-1}{f}$

となる。ここで, $[D]^{-1}([k^{2}]^{T})^{-1}$ は下部三角行列である。

つづいて,前進消去過程により{f[^]}を求めることができる。{f[^]}内の各数値は,以下の とおりとなる。

$$(a = 2, 3, \dots, n)$$

得られた{f[^]}を(3.13)式に代入し、後進代入過程を行えば{u}を求めることができる。

これは全体座標系における変位を示し、これと剛性マトリクスから、任意の要素の要素 座標系における材端力(内力) {f_i*}、{f_j*}を求めることができる。

各方向の応力は, (3. 15)式によって得られた{f_i*}, {f_j*}を用いて i 端, j 端ごとに (3. 16)式にて求める。

軸応力: $\sigma_x = F_x/A$ せん断応力: $\tau_y = F_y/A_{sy}$, $\tau_z = F_z/A_{sz}$ ねじり応力: $\tau_x = Mx/Z_x$ 曲げ応力: $\sigma_y = My/Z_y$, $\sigma_z = Mz/Z_z$ ここで, F_x : 軸力 F_y , F_z : せん断力 M_x : ねじりモーメント M_y , M_z : 曲げモーメント

である。

次に拘束点の反力を求める。

ある拘束点の反力 {R} は,その点に隣接されている要素 n 個分の反力の合計となる。 m 番目の隣接要素の反力 {R_m} は(3.1) 式より,

i端が固定端の場合: $\{R_m\} = -([K_{ii}]\{u_i^*\}+[K_{ij}]\{u_j^*\})$

j端が固定端の場合: $\{R_m\} = -([K_{ji}]\{u_i^*\}+[K_{jj}]\{u_j^*\})$

3.3.2 固有值解析

骨組構造物をばね-質量要素からなる多質点系振動モデルとして取り扱い,固有値解析 を行う。

各要素の質量m,変位uとすると,自由振動の方程式は,

$\mathbf{m}_1 \cdot \ddot{\mathbf{u}}_1 + \mathbf{k}_{11} \cdot \mathbf{u}_1 + \mathbf{k}_{12} \cdot \mathbf{u}_2 + \dots + \mathbf{k}_{1n} \cdot \mathbf{u}_n = 0$	
$m_2 \cdot \ddot{u}_2 + k_{21} \cdot u_1 + k_{22} \cdot u_2 + \dots + k_{2n} \cdot u_n = 0$	
	$\left. \begin{array}{c} \bullet \\ \bullet $
$\mathbf{m}_{n} \cdot \ddot{\mathbf{u}}_{n} + \mathbf{k}_{n1} \cdot \mathbf{u}_{1} + \mathbf{k}_{n2} \cdot \mathbf{u}_{2} + \cdots + \mathbf{k}_{nn} \cdot \mathbf{u}_{n} = 0$	J

と表現される。

(3. 18)式の解を

 $u_1 = \phi_1 \cdot e^{i\omega t}, u_2 = \phi_2 \cdot e^{i\omega t} \dots$ とする。ここで、 ϕ は固有ベクトル、 ω は固有角振動数である。

$$\ddot{\mathbf{u}}_1 = -\omega^2 \phi_1 \cdot e^{\mathrm{i}\,\omega\,t}, \quad \ddot{\mathbf{u}}_2 = -\omega^2 \phi_2 \cdot e^{\mathrm{i}\,\omega\,t} \dots$$

となり、これらを(3.18)式に代入して整理し、マトリクス表現すると、

[k]は 3.3.1 項と同様の方法で作成する。次に,各要素の質量 m_i を各節点に集中させて [M]を作成する。[k], [M]を(3.19)式に代入し,サブスペース法による固有値解析により (3.19)式を満足する固有値ω²と固有ベクトル{φ}を求める。

- {f_i*}:要素 i 端の材端力
- {f_j*}:要素 j 端の材端力
- {u_i*}:要素 i 端の変位ベクトル
- {u_i*}:要素 j 端の変位ベクトル
- {u_i}:要素 j 端の変位ベクトル(i 端の変形による影響を除去したもの)
- [H] : 釣り合いマトリクス
- [K] :部分剛性マトリクス
- *λ* : i, j間の要素長
- [T]:全体座標系から要素座標系への変換マトリクス
- [K*]:要素座標系における要素剛性マトリクス
- [k*]:全体座標系における要素剛性マトリクス
- {f}:全体座標系における外力ベクトル
- [k] : 全体剛性マトリクス
- [k[´]] :上部三角行列
 - {u}:全体座標系における変位ベクトル
 - k_{ij}:全体剛性マトリクスの各成分
 - {R} :拘束点反力
 - E : 縦弾性係数
 - A : 軸方向断面積
- I_y, I_z :断面二次モーメント
 - G : 横弹性係数
 - J : ねじり定数
- φ_y, φ_z: せん断変形に関するパラメータ

$$\phi_{y} = \frac{12 \text{EI}_{z}}{\text{GA}_{sy} \lambda^{2}}$$
, $\phi_{z} = \frac{12 \text{EI}_{y}}{\text{GA}_{sz} \lambda^{2}}$

- Asy:y方向変位に対する有効せん断断面積
- Asz: z 方向変位に対する有効せん断断面積
- Z_y, Z_z:断面係数
 - Z_x:ねじり断面係数
 - [M] : 全体質量マトリクス

3.4 解析フローチャート 解析フローチャートを図 3-3 に示す。

7	\mathbb{F}	IJ	ク	ス構造解析の流れ
---	--------------	----	---	----------

図 3-3 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 材料力学上の計算値との比較による検証
 - (1) 方法:材料力学の数式を用いた結果と本解析コードの結果を比較し、その正当 性を検証した。なお、モデルは材料力学上の計算結果と容易に比較可能 なものとして片持ちはりに自重による分布荷重が作用するものとした。
 (2) 判定基準:
 - (3) 比較結果

材料力学の数式を用いた結果とNAPFの解析結果を比較した。

a. 解析モデルの形状

下図のような片持ちはりとする。



b. 断面定数及び物性値

縦弾性係数:E	$0.1995 imes 10^6 MPa$
断面 2 次モーメント: I	$0.498 \times 10^8 \mathrm{mm}^4$
単位長さ当たりの重量:w	0.6659N/mm
長さ:λ	1000mm

c. 解析条件

wによる分布荷重がかかった時の自由端のたわみ U,固定端の反力 R 及びモー メント M を比較する。

なお,材料力学上の計算式と合わせるため,せん断によるたわみは考慮しな いこととした。 d. 材料力学による解析結果

U = w
$$\lambda^4 / (8 \cdot E \cdot I) = 0.00838 \text{mm}$$

R = w $\lambda = 665.9 \text{N}$
M = w $\lambda^2 / 2 = 332.95 \text{N} \cdot \text{m}$

e. 材料力学による解析結果とNAPFによる解析結果の比較

	材料力学による 解析結果	NAPFによ る解析結果	差分	比率 (%)	判定
	1	2	3(1-2)	3/1)×100	
たわみ(mm)	0.008380				合格
反力(N)	665.9				合格
モーメント(N・m)	332.95				合格

以上の結果より, 判定基準を満足した。

3.5.2 他の解析コードとの比較による検証

(1)	方法 : 3 種類のモデル	⁄(片持ち,	門型,	門型斜め部	财付)	を本解	析コード及	び2種類の	汎用
	プログラム(*1及びMS	S C	NAST	RAN^{*2}	で解析し,	これ
	らの結果と本角	军析コード	の解析	結果を比較	するこ	ことによ	り本解析コ	ードの妥当	i性を
	確認した。								
	注記*1:								
	*2:	MSC 1	NAS	TRAN (v	er. 20	18)			
(2)	判定基準:下記のいす	゛れかを満り	足した	場合に合格で	ける。			_	

(3) 比較結果

3種類のモデルについてそれぞれMSC NASTRAN及び の解析結果とNAPFの解析結果を比較し妥当性を確認した。

- a. 解析モデルの形状
- (a) モデル No.: KTMC-A形状:片持ち固定端:節点1





(c) モデル No. BRC-A
 形状:門型に斜軸ブレースを追加したもの
 固定端:節点1,13,17,21


b. 断面定数及び物性値

材質		STKR400
縦弾性係数:E	$0.1995 \times 10^{6} MPa$	
単位長さ当たりの重量	0.1667N/mm	
総断面積:Ax	2163mm ²	
有効せん断断面積	Y 軸方向: Ay	1080mm ²
	Z 軸方向:Az	1080mm ²
断面2次モーメント	X 軸周り:Ixねじり	$0.498 \times 10^7 \mathrm{mm}^4$
	Y 軸周り:Iy	$0.311 \times 10^7 \mathrm{mm}^4$
	Z 軸周り:Iz	$0.311 \times 10^7 \mathrm{mm}^4$
長さ:λ		1000mm

c. 解析条件

モ	デル No.	静的解析	要素数		
		固有値解析			
1	KTMC-A	静的解析	10		
		固有値解析			
2	RYOTN-A	静的解析	12		
		固有値解析			
3	BRC-A	静的解析	20		
		固有値解析			

d. 解析結果の比較

	節	方		各プログラム別解析結果						
	点	向	1	2	3	④差分	⑤差分	⑥比率	⑦比率	判定
	No.		ΝΑΡ		MSC	1-2	1-3	4/1)	5/1	結果
			F		N A S			%	%	
					TRA					
					Ν					
反力	1	F_X								合格
(N)		F_{Y}								合格
		F_{Z}								合格
モーメ		M _X								合格
ント		$M_{\rm Y}$								合格
(N • m)		$M_{\rm Z}$								合格
変位	11	Х								合格
(mm)		Y								合格
		Ζ								合格
角度		$\theta_{\rm X}$								合格
(rad)		θ γ								合格
		heta z								合格
固有	1次									合格
振動数	2次									合格
(H_Z)	3次									合格

(a) モデル No. KTMC-A

\backslash	節	方		各プログラム別解析結果						
	点	向	1	2	3	④差分	⑤差分	⑥比率	⑦比率	判定
	No.		NAPF		MSC	11-2	1-3	4/1	5/1	結果
					N A S			%	%	
					TRA					
					Ν					
反力	1	Fx								合格
(N)		F_{Y}								合格
		F_Z								合格
モーメ		M _X								合格
ント		My								合格
(N • m)		Mz								合格
反力	13	F _X								合格
(N)		Fy								合格
		F_Z								合格
モーメ		Mx								合格
ント		My								合格
(N • m)		Mz								合格
変位	5	Х								合格
(mm)		Y								合格
		Ζ								合格
角度		$\theta_{\rm X}$								合格
(rad)		θ_{Y}								合格
		$\theta_{\rm Z}$								合格
変位	7	Х								合格
(mm)		Y								合格
		Ζ								合格
角度		$\theta_{\rm X}$								合格
(rad)		θ_{Y}								合格
		$\theta_{\rm Z}$								合格

(b) モデル No. RYOTN-A

\backslash	節	方		各プログラム別解析結果						
	点	向	1	2	3	④差分	⑤差分	⑥比率	⑦比率	判定
	No.		NAPF		MSC	11-21	11-3	(4)/(1)	5/1	結果
					N A S			%	%	
					TRA					
					Ν					
変位	9	Х								合格
(mm)		Y								合格
		Z								合格
角度		$\theta_{\rm X}$								合格
(rad)		θ_{Y}								合格
		heta z								合格
固有	1次									合格
振動数	2次									合格
(Hz)	3次									合格

(c)	モデル No.	BRC-A
(0)	_ <i>)</i> // 110.	Ditto II

	節	方		各プログラム別解析結果						
	点	向	1	2	3	④差分	⑤差分	⑥比率	⑦比率	判定
	No.		ΝΑΡ		MSC	1-2	1-3	<u>(4</u>)(1)	5/1	結果
			F		N A S			%	%	
					ΤRΑ					
					Ν					
反力	1	F _X								合格
(N)		Fy								合格
		F_{Z}								合格
モーメ		M _X								合格
ント		$M_{\rm Y}$								合格
(N • m)		M_Z								合格
反力	13	F_X								合格
(N)		F_{Y}								合格
		F_Z								合格

\backslash	節	方	各プログラム別解析結果							
	点	向	1	2	3	④差分	⑤差分	⑥比率	⑦比率	判定
	No.		ΝΑΡ		MSC	1-2	1-3	<u>(4)</u> /(1)	5/1	結果
			F		N A S			%	%	
					ΤRΑ					
					Ν					
モーメ	13	M _X								合格
ント		$M_{\rm Y}$								合格
(N • m)		Mz								合格
反力	17	F_X								合格
(N)		Fy								合格
		F_Z								合格
モーメ		M _X								合格
ント		$M_{\rm Y}$								合格
(N • m)		Mz								合格
反力	21	F _X								合格
(N)		F_{Y}								合格
		F_Z								合格
モーメ		$M_{\rm X}$								合格
ント		$M_{\rm Y}$								合格
(N • m)		Mz								合格
変位	5	Х								合格
(mm)		Y								合格
		Z								合格
角度		$\theta_{\rm X}$								合格
(rad)		θ γ								合格
		θ_{z}								合格
変位	7	Х								合格
(mm)		Y								合格
		Z								合格
角度		$\theta_{\rm X}$								合格
(rad)		$\theta_{\rm Y}$								合格
		$\theta_{\rm Z}$								合格

	節	方		各プログラム別解析結果						
	点	向	1	2	3	④差分	⑤差分	⑥比率	⑦比率	判定
	No.		ΝΑΡ		MSC	1-2	11-3	4/1	5/1	結果
			F		N A S			%	%	
					TRA					
					Ν					
変位	9	Х								合格
(mm)		Y								合格
		Ζ								合格
角度		$\theta_{\rm X}$								合格
(rad)		$\theta_{\rm Y}$								合格
		heta z								合格
固有	1次									合格
振動数	2次									合格
(Hz)	3次									合格
	4次									合格
	5次									合格
	6次									合格
	7次									合格
	8次									合格

以上の結果より, 判定基準を満足した。

3.5.3 使用内容に対する妥当性

本解析コードによる計算結果は、材料力学上の計算値及び他の解析コードによる計算結果と 比較してよく合致していることから、妥当であることを確認した。

別紙 41 SAP-IV

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-8-5-1	中央制御室外気取入れ・排気ダクトの耐震性に ついての計算書	Ver.1.00

2. 解析コードの概要

<u>コード名</u> 項目	SAP-IV
使用目的	3 次元有限要素法(はり要素)による固有値解析及び応力 解析
開発機関	新日本空調株式会社
開発時期	1973年(米国カリフォルニア大学) 2004年(新日本空調株式会社)
使用したバージョン	Ver. 1. 00
コードの概要	本解析コードは、カリフォルニア大学が開発したSAP- IVをベースに、インターフェースの追加を目的として新日本 空調がカスタマイズした計算機プログラムである。任意形状 の3次元モデル(主にはり要素及びシェル要素)に対して、 有限要素法を用いて静的解析及び動的解析を行うもので、主 として、機器の固有値計算並びに自重、運転時荷重及び地震 力による応力計算等に用いる。 本解析コードは、機械工学、土木工学、航空工学等の分野 において、多くの実績を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・入力されたデータはインプットデータとして解析結果 とともに出力され、入力データと一致することを確認し ている。 ・片持ちばりの自重による固定端モーメント及び自由端 たわみ、固有振動数を本解析コードの静的解析結果及び 固有値解析結果と理論解を比較して検討し、解析解と理 論解が一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示さ れた要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、機械工学、土木工学、航空工学等の様々 な分野における使用実績を有しており、妥当性は十分に 確認されている。

・原子力産業界において,工事計画認可申請範囲外の支持
構造物に対する耐震性評価に本解析コードの使用実績
があることを確認している。
・今回の工事計画認可申請で行うはりモデルの固有値解
析及び静的解析という解析の使用目的に照らして,用途
及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確
認している。
・開発機関が提示するマニュアルにより今回の工事計画
認可申請で使用する 3 次元有限要素法(はり要素)によ
る固有値解析及び応力解析に本解析コードが適用でき
ることを確認している。

別紙 42 KSAP

1. 使用状況一覧

	バージョン	
V-2-9-1	原子炉格納施設の耐震計算結果	VERSION 6.3

2. 解析コードの概要

コード名 項目	K S A P
使用目的	 3 次元有限要素法(はり要素)による固有値解析,地震応答 解析及び応力解析 3 次元有限要素法(シェル要素)による固有値解析
開発機関	川崎重工業株式会社
開発時期	1984 年
使用したバージョン	VERSION 6.3
コードの概要	本解析コードは,配管の強度解析を目的として開発された 計算機プログラムである。本解析コードは,汎用構造解析コ ードSAP-Vをメインプログラムとし,応力評価プログラ ム及びそれらのインターフェイスプログラムのサブプログ ラムからなる。 任意の1次元,2次元あるいは3次元形状に対し,静的解 析,動的解析を行うことが可能で,反力・モーメント・応力, 固有値・刺激係数等の算出が可能である。 原子力の分野における使用実績を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードと世界的に使用実績及びクライアント数の多い配管解析プログラムの一つである解析コード による解析結果を比較し、結果が合致することを確認している。 ・応力評価プログラムについては、メインプログラムの出力結果(軸力、モーメント)から、適用技術基準(JSME*1, JEAG*2等)に基づいて応力評価が正しく計算されていることを確認している。 ・サブプログラムについては、インターフェイスチェックシートを用いて、単位、桁数、符号が変換前後で正しく処理されていることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示さ

れた要件を満足していることを確認している。
【妥当性確認(Validation)】
本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。
・原子力の分野における使用実績を有しており,妥当性は
十分に確認されている。
 ・検証の内容により、今回の工事計画認可申請で行う固有
値解析, 地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らし
て今回の解析に使用することが妥当であることを確認
している。

注記*1:日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

*2:原子力発電所耐震設計技術指針

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本解析コードには3次元トラスやビーム,平面応力等数多くの要素が用意されており,それらを用いて1次元,2次元あるいは3次元の静的及び動的解析を行う。

3.2 解析コードの特徴

本解析コードの処理能力は主に解析する問題の総節点数と必要となる固有値の数 (動的解析の場合)に依存し,要素数,荷重条件数,剛性マトリクスの次数やバンド 幅等に特別の制限はない。

各節点は,0から6自由度まで設定することができる。

構造マトリクスの誘導は静的解析,動的解析共に同様である。静的解析では釣合い 方程式を解いた後,要素の応力を算出する。動的解析では次の選択ができる。

- (a) 固有值解析
- (b) 時刻歴応答解析
- (c) 応答スペクトル解析
- 3.3 解析手法
- 3.3.1 運動方程式

節点の運動方程式を以下に示す。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = R \tag{3.1}$$

ここで*K*, *C*, *M*は剛性, 減衰及び質量マトリクスであり, *u*, *u*, *u*, *R* は変位, 速度, 加速度及び荷重ベクトルを表す。構造マトリクスは要素マトリク スを直接合成して得られる。例えば

$$K = \sum K_m \tag{3.2}$$

ここで, K_mはm番目の要素の剛性マトリクスである。

本解析コードでは、上記方程式の解法として質点系モデル(lumped Mass)に よる解析を採用している。したがって、系の質量は、個々の要素の質量マトリク スに、節点に付加している集中質量を加えた対角マトリクスとなる。また、減衰 は比例減衰を採用している。

366

3.3.2 静的解析

静的解析では(3.1)式において $\ddot{u}=\dot{u}=0$ とした次の釣合い方程式を解き,各 要素の応力を算出する。

$$Ku = R \tag{3.3}$$

本解析コードでは方程式の解である節点の変位を正定値行列によるガウスの 消去法にて求め,次に応力--ひずみマトリクスより要素の応力を求める。

3.3.3 固有值解析

固有値解析では、(3.1)式においてC = R = 0とした以下の固有方程式を解き、 固有値と振動モードを求める。

$$K\phi = \omega^2 M\phi \tag{3.4}$$

ここで、*0*は固有角振動数、*ϕ*は固有ベクトルを表す。

本解析コードでは, p 次までの固有値及び固有ベクトルが必要であると仮定している。したがって, (3.4)式は下式にて表される。

$$K\Phi = M\Phi\Omega^2 \tag{3.5}$$

ここで、 Ω^2 は対角ベクトルである $\Omega^2 = diag(\omega_i^2)$ 、かつ Φ は直交する固有ベクトル ϕ_1 、 ϕ_2 、・・・ ϕ_p を列に持つマトリクスである。

(3.5)式を解く方法として 2 つの方法があり, ひとつは K の次数及びバンド幅 が小さい時の解法である行列式探索法 (Determinant Search Method), もうひと つは K の次数及びバンド幅が大きい時の解法であるサブスペース法 (Subspace Method)が用意されている。

3.3.4 動的応答解析

動的応答解析は、次の方程式で表される。

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = R(t) \tag{3.6}$$

ここで, R(t)は時間依存荷重又は基準面の動きより生じる荷重のベクトルであ

る。特に地震による動的応答計算の場合のように基準面が動く場合は、構造物が 一様な基準面の加速度 üg を受けているとして、下式のごとく表される。

$$M\ddot{u}_r + C\dot{u}_r + Ku_r = -M\ddot{u}_g \tag{3.7}$$

ここで、 u_r は基準面に関する構造物の相対変位量、即ち $u_r = u - u_g$ である。 「KSAP」では、時刻歴応答解析法((3.6)式又は(3.7)式)及び応答スペクト ル法((3.7)式)にて解くことができ、どちらもモードの重ね合わせ(モーダル 解析)を使用している。

(1) モーダル解析法による時刻歴応答解析

モーダル解析法では、構造物の応答は時間依存荷重又は基準面の動きより生 じる荷重の周波数成分に関連して、p次(p<<全モード数 n)までの振動モード で十分に記述しうると仮定している。

 $u = \Phi X$ (Φ は直交する固有ベクトル ϕ_1 , ϕ_2 , $\cdots \phi_p$ を列に持つマトリクス)の変換を行い, (3.6)式に代入すると次のようになる。

$$\ddot{X} + \Delta \dot{X} + \Omega^2 X = \Phi^T R \tag{3.8}$$

 $\Box \Box \heartsuit$, $\Delta = \operatorname{diag}(2\omega_i \xi_i)$; $\Omega^2 = \operatorname{diag}(\omega_i^2)$

また、 ω_i はi次モードの固有角振動数、 ξ_i はi次モードの減衰比を示し、減衰マトリクス Cは次のような直交条件を満たすと仮定している。

$$\boldsymbol{\phi}_i^T \boldsymbol{C} \boldsymbol{\phi}_j = \boldsymbol{0} \tag{3.9}$$

したがって,(3.8)式はp個の非連成二次の微分方程式を表している。この微 分方程式は、ウィルソンのθ法にて解かれる。 (2) 応答スペクトル解析

応答スペクトル解析では、(3.7)式における基準面の加速度を以下にて記述する。

$$\ddot{u}_{g} = \ddot{u}_{gx} + \ddot{u}_{gy} + \ddot{u}_{gz} \tag{3.10}$$

ここで、 \ddot{u}_{gx} 、 \ddot{u}_{gy} 、 \ddot{u}_{gz} は、X、Y、Z 方向への基準面の加速度である。したがって、r 次のモードにおける応答式は下式として表される。

$$\ddot{x}_{r} + 2\xi_{r}\omega_{r}\dot{x}_{r} + \omega_{r}^{2}x_{r} = r_{rx} + r_{ry} + r_{rz}$$
(3.11)

ここで,
$$x_r$$
はr次における X の要素であり,かつ

$$r_{rx} = -\phi_r^T M \ddot{u}_{gx}, \quad r_{ry} = -\phi_r^T M \ddot{u}_{gy}, \quad r_{rz} = -\phi_r^T M \ddot{u}_{gz}$$

(3.11)式から、X方向へのr次の変位は、

$$u_{rx}^{(\max)} = \phi_r |\phi_r^T M I_x| S_x(\omega_r)$$
(3.12)

ここで、 $S_x(\omega_r)$ は固有振動数 ω_r に対応する X 方向のスペクトル変位であり、 I_x は X 方向のみ 1 で他は 0 のベクトルである。同様に

$$u_{ry}^{(\max)} = \phi_r \left| \phi_r^T M I_y \right| S_y(\omega_r)$$
(3.13)

$$u_{rz}^{(\max)} = \phi_r \left| \phi_r^T M I_z \right| S_z(\omega_r)$$
(3.14)

である。

本解析コードでは、一次から p 次までの振動による最大変位と応力を二乗和 平方根法(Square Root of the Sum of the Square)にて計算する。 3.4 解析フローチャート
 本解析コードを用いて行う評価フローチャートを図 3-1 に示す。



図 3-1 計算機コード「KSAP」を用いた評価フロー

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 他コードとの比較による検証

372

373

3.5.2 使用内容に対する妥当性

4. 参考文献

別紙 43 Super Build/SS7

1. 使用状況一覧

	バージョン	
V-2-9-3-1	原子炉建屋原子炉区域(二次格納施設)の耐震性 についての計算書	Ver. 1. 1. 1. 11

2. 解析コードの概要

コード名 項目	Super Build/SS7
使用目的	立体フレームモデルによる応力解析
開発機関	ユニオンシステム株式会社
開発時期	2016 年
使用したバージョン	Ver. 1. 1. 1. 11
コードの概要	本解析コードは,建物の諸定数(部材性能,荷重)を入力 として,個材の非線形性を算定し,荷重漸増解析を行う。ま た,弾塑性応答解析による骨組み又は縮約モデルの弾塑性領 域の動的挙動の算定を行う。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、大物搬入建屋における3次元フレームの 応力解析に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する 妥当性確認の中で、せん断耐力を理論解と比較して確認 している。なお、今回の解析は、静的応力解析であるた め、静的応力解析を対象とした検証を行っている。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する 計算機にインストールして用いていることを確認して いる。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・静的応力解析について、NASTRAN及びHyper Statics and Dynamicsを用いた解 析結果と比較して、双方の結果が一致していることを確 認した。 ・検証の内容のとおり、応力解析について検証しているこ とは妥当である。

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

Super Build/SS7 (以下,「SS7」という。)は、3次元フレー ムの応力解析に使用する解析コードである。

- 3.2 解析コードの特徴
 - SS7の主な特徴を以下に示す。
 - ・静的解析、動的解析など適用範囲が広く、多くの解析機能を有している
 - ・多くの要素が用意されており、種々のタイプの構造物の解析を行うことができる。
 - ・多自由度を有する大規模問題を効率よく解析することができる。
 - ・大規模問題を取り扱うために、入力データが単純化されている。
 - ・プロッティングの機能が準備されており、モデルの確認、解析結果の図形処理
 を簡単に行うことができる。
 - ・解析する座標系, 拘束方法は, 取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。

3.3 解析手法

静的応力解析は、次の手順で行われる。

- (2) 上記の変位を微分して,要素内任意点のひずみを節点変位により表す。

 {ε} = [B]{u_e}
 (3.2)
 ここで,

 (ε) :要素内任意点のひずみ
 [B] : ひずみマトリクス
- (3) 材料物性から求められる応力とひずみの関係式((3.3)式参照)より定められる 弾性係数マトリクスを用いて,要素剛性マトリクスを(3.4)式により計算する。 {σ} = [D]{ε}
 (3.3)

$$\begin{bmatrix} K_e \end{bmatrix} = \int \begin{bmatrix} B \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} dV \tag{3.4}$$

ここで,

- {σ} :要素内任意点の応力
- [D] :材料応力一ひずみ接線マトリクス
- [*K*_e] :要素剛性マトリクス
- (4) 全体の剛性マトリクスを要素剛性マトリクスの重ね合わせによって求め、力の 釣合いより静的変位を(3.5)式より求める。
 - $\{f\} = [K] \{\gamma\}$ (3.5) $\mathbb{C} \subset \mathbb{C},$
 - *{f}* :荷重ベクトル
 - {y} :構造全体の変位
 - [K] : 剛性マトリクス
- (5) 変位が決まれば、(3.2)式、(3.3)式より各要素の応力が求められる。 以上が有限要素法の評価手順である。

3.4 解析フローチャート 解析フローチャートを図 3-1 に示す。



図3-1 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 フレーム解析の検証
 - (1) 検証の概要

X・Y方向1スパン,高さ1階のラーメン構造モデルの応力解析をSS7により行い,汎用3次元構造解析コードNASTRANと比較して同一結果となる ことを確認することにより検証を行った。

図 3-2 に解析モデル図を示す。表 3-1 に部材諸元を示す。



図3-2 解析モデル

表 3-1 部材緒元

立7 大	•	В	D
内日		(mm)	(mm)
柱	C1	700	700
基礎梁	BG1	400	1200
梁	G1	400	700

(2) フレーム解析結果

曲げモーメントおよびせん断力について、SS7およびNASTRANによる解析結果の比較を表3-2及び表3-3に示す。両者の誤差は1%以下で、解析結果は良く合致している。

					S S 7
	部材	着目点	S S 7	NASTRAN	
					NASTRAN
曲译	C1	1	265	2.648305E+02	1.0006
一一日の	01	2	161	1.601695E+02	1.0052
(lz Nm)	BG1	1	265	2.648305E+02	1.0006
	G1	2	161	1.601695E+02	1.0052

表 3-2 曲げモーメント

表 3-3 せん断力

					S S 7
	部材	着目点	SS7	NASTRAN	
					NASTRAN
せん断力 (kN)	C1	1,2	100	1.000000E+02	1.0000
	BG1	1	76	7.566585E+01	1.0044
	G1	2	46	4.576272E+01	1.0052



(3) 内容に対する妥当性

SS7の解析結果とNASTRANを比較し解析解が一致していることを確認した。したがって、本解析にSS7を使用することは妥当である。

- 3.5.2 荷重漸増解析の検証
 - (1) 類似プログラムによる検証

ラーメン構造モデルの荷重漸増解析を本計算機コードSS7により行い,理 論解と別計算機コード『Hyper Statics and Dynamics』 (以下,「HyperSD」という。)と比較して同一結果となることを確認す ることにより検証する。

図 3-3 に解析モデル図を示す。X・Y 方向1スパン,高さ1階の3次元フレームモデルに,表3-4の部材諸元を与え,各方向の荷重漸増解析を行う。

それぞれの解析コードで得られた各方向(X・Y方向)のQ- δ 関係を図 3-4 に、せん断耐力の比較を表 3-5 に示す。Q- δ 関係はよく一致しており、せん 断耐力は理論解及び両解析コードと比較して誤差は 1%以下で、解析結果は良く 整合している。



図3-3 解析モデル

表 3-4 部材諸元

(a)	柱	(C1)
		C1
符号名		101
断面		

		断面			<u>:</u> ;
1 R	呰	コンクリート	$Dx \times Dy$		700 × 700 (Fc21)
1 1			Х		5-D32
	主筋	Y		5-D32	
			材料		SD390
		dt1 mm		mm	60
	半故			2-D13@100	
		'中'月刀	材料		SD345

(b) 基礎はり (BG1)

					GX1	
					全断面	
	符	号名			1GX1	
1F 層	断	ΪŒ				
	コンクリート	b >	× D		400×1200 (Fc21)	
	8	上端			3/3-D22	
	+ 47	下端			3/3-D22	
	土肋	++ 343	上端		SD345	
		1/1 木斗	下端		SD345	
	dt1			mm	60	
	+ 1 1 > 44				3-D13@200	
	めはら肋	材	材料		SD295A	

(c) はり (G1)

				GX1
				全断面
	符	号名		RGX1
	断	面		
	コンクリート	b × D		400 × 700 (Fc21)
RF 層	主筋	上端		3-D22
		下端		3-D22
		++** 上端		SD345
		17 科 下端		SD345
	dt1 mm		mm	60
	ちげこな			3-D13@200
	のより肋	材料		SD295A







図 3-4 Q-δ関係

表 3-5 せん断耐力

	X 方向	Y 方向
理論解	617.6	529.4
S S 7	617.9	529.6
SS7/理論解	1.0005	1.0004
НурегSD	617.2	529
SS7/HyperSD	1.0011	1.0011

(2) 内容に対する妥当性

SS7の解析結果と類似解析コードであるHyperSDと比較し解析解が 一致していることを確認した。また,理論解によるせん断耐力を比較し,解析 解が一致していることを確認した。したがって,本解析にSS7を使用するこ とは妥当である。 別紙 44 M S A P (配管)

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョ	マン
V-2-10-1-2-2-6	管の耐震性についての計算書		
Ⅴ-2-別添 1-6	消火配管の耐震計算書		

-	
ユード名 項目	MSAP (配管)
使用目的	3次元有限要素法(はり要素)による固有値解析,地震応 答解析,構造解析及び応力算出
開発機関	三菱重工業株式会社
開発時期	
使用したバージョン	
コードの概要	本解析コードは, 対話方式のよる入力及び構造解析の出力データを基に規 格基準の算出式に従った評価が可能である。
	【検証 (Verification)】
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 本解析コードの について、開発元より発行されている例題集の中で、モデル要素ごとに静的及び動的解析の例題に対して、解析結果と理論モデルによる理論解又は他の解析コードでの計算結果と一致していることを確認している。また、サンプルモデルに対する固有値解析結果が、理論計算と一致することを確認している。 ・対話方式により入力されたデータはインプットファイルとして出力され、入力データと一致していることを確認している。 ・入力データが正しく構造解析に受け渡されていること、構造解析データが正しく規格計算に受け渡されていることをそれぞれ確認している。 ・構造解析結果として出力されたデータを規格基準に従い、発生応力、疲労累積係数を算出しており、その過程

	が理論解を再現できることを確認している。
	・地震動の組合せ処理は,本解析コード内で処理しており,
	アウトットファイルと理論計算結果が一致することを
	確認している。
	 ・本解析コードの適用制限として使用節点数・要素数があ
	るが、適用範囲内であることを確認している。
	・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示さ
	れた要件を満足していることを確認している。
	【妥当性確認(Validation)】
	本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。
	・JEAG4601-1987 6.5.2 項の加圧水型原子力発
	電設備における1次冷却ループの多質点 3 次元はりモ
	デルによる解析の妥当性確認として,
快証 (Verlilcation)	
反い 妥当性確認(Validation)	
及い 妥当性確認(Validation)	
反い 妥当性確認(Validation)	
妥当性確認(Validation)	
及び 妥当性確認(Validation)	
反い 妥当性確認 (Validation)	
及い 妥当性確認 (Validation)	·上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に
及び 妥当性確認(Validation)	 上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが,1
及い 妥当性確認(Validation)	 ・上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配
及い 妥当性確認(Validation)	 ・上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配 管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデル
及い 妥当性確認(Validation)	 ・上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配 管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデル を用いてモデル化している。
妥当性確認 (Validation)	 ・上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配 管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデル を用いてモデル化している。 ・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法(はり
妥当性確認 (Validation)	 ・上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配 管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデル を用いてモデル化している。 ・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法(はり 要素)による固有値解析、地震応答解析、構造解析、応
妥当性確認 (Validation)	 ・上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配 管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデル を用いてモデル化している。 ・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法(はり 要素)による固有値解析、地震応答解析、構造解析、応 力算出の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内に
妥当性確認 (Validation)	 ・上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配 管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデル を用いてモデル化している。 ・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法(はり 要素)による固有値解析、地震応答解析、構造解析、応 力算出の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内に あることを確認している。
及い 妥当性確認 (Validation)	 ・上記妥当性確認を行ったのは加圧水型原子力発電設備に おける1次冷却ループの3次元はりモデルであるが、1 次冷却ループに含まれる1次冷却材管は今回解析する配 管と幾何学的に類似しており、同様の3次元はりモデル を用いてモデル化している。 ・今回の工事計画認可申請で行う3次元有限要素法(はり 要素)による固有値解析、地震応答解析、構造解析、応 力算出の用途、適用範囲が、上述の妥当性確認範囲内に あることを確認している。
別紙 45 WCOMD-SJ

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
V-2-10-3-1-4	スクリーン室の耐震性についての計算書	Ver. 7. 2
V-2-10-3-1-6	取水路の耐震性についての計算書	Ver. 7.2
V-2-10-3-1-7	取水路(6号機設備)の耐震性についての計算書	Ver. 7.2

2. 解析コードの概要

ユード名 項目	WCOMD-S J
使用目的	2 次元非線形有限要素法(応力解析)
開発機関	東京大学
開発時期	1987 年
使用したバージョン	Ver. 7. 2
コードの概要	本解析コードは,東京大学で開発された鉄筋コンクリート 構造物の2次元有限要素法解析を行う解析コードである。 コンクリートに関する数多くの実験と理論的検討結果に 基づいた高精度の構成則を用いており,ひび割れを生じた 様々な鉄筋コンクリート構造物の2次元非線形動的解析・静 的解析を行う。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・せん断耐力式によるせん断耐力と解析によるせん断耐力が概ね一致していることを確認している。また,鉄筋コンクリートはりの載荷試験の結果と解析結果が概ね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・本解析コードは、九州電力株式会社川内原子力発電所1,2号機において,取水路に汎用市販コード(UC-win/WCOMD Ver.2)が使用された実績がある。 ・汎用市販コード(UC-win/WCOMD Ver.2)では新しい構成則の追加,出力の機能追加が図られているが、今回の工事計画認可申請において使用するパージョン(Ver.7.2)で使用している機能は同じである。 ・開発機関が提示するマニュアルにより、今回の工事計画認可申請で使用する2次元非線形有限要素法解析(応力解析)に、本解析コードが適用できることを確認している。

・今回の工事計画認可申請における2次元非線形有限要
素法解析(応力解析)の使用目的に対し、使用用途及
び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範
囲内であることを確認している。

別紙46 Hyper Statics and Dynamics

1. 使用状況一覧

	バージョン	
V-2-11-2-1	サービス建屋の耐震性についての計算書	Ver. 2. 57

2. 解析コードの概要

コード名 項目	Hyper Statics and Dynamics
使用目的	立体フレームモデルの荷重漸増解析
開発機関	株式会社竹中工務店
開発時期	2007 年
使用したバージョン	Ver. 2. 57
コードの概要	本解析コードは,建物の諸定数(部材性能,荷重)を入力 として,個材の非線形性を算定し,荷重漸増解析を行う。ま た,弾塑性応答解析による骨組み又は縮約モデルの弾塑性領 域の動的挙動の算定を行う。一般建築における構造設計や構 造解析に、数多く使用されている。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	本解析コードは、サービス建屋における3次元フレームの 応力解析に使用している。 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・本解析コードの計算機能が適正であることは、後述する 妥当性確認の中で、せん断耐力を理論解と比較して確認 している。なお、今回の解析は、静的応力解析であるた め、静的応力解析を対象とした検証を行っている。 ・本解析コードの運用環境について、動作環境を満足する 計算機にインストールして用いていることを確認して いる。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は、以下のとおりである。 ・静的応力解析について、Super Build/SS 7を用いた解析結果と比較して、双方の結果が一致して いることを確認した。 ・検証の内容のとおり、応力解析について検証しているこ とは妥当である。

3. 解析手法

3.1 一般事項

Hyper Statics and Dynamics(以下,「HyperSD」 という。)は、3次元フレームの応力解析に使用する解析コードである。

3.2 解析コードの特徴

HyperSDの主な特徴を以下に示す。

- ・静的解析、動的解析など適用範囲が広く、多くの解析機能を有している。
- 多くの要素が用意されており、種々のタイプの構造物の解析を行うことができる。
- ・多自由度を有する大規模問題を効率よく解析することができる。
- ・大規模問題を取り扱うために、入力データが単純化されている。
- ・プロッティングの機能が準備されており、モデルの確認,解析結果の図形処理 を簡単に行うことができる。
- ・解析する座標系、拘束方法は、取り扱う問題にあったものを選ぶことができる。

3.3 解析手法

静的応力解析は、次の手順で行われる。

- (1) 要素内の変位を仮定し,節点変位を使って要素内任意点の変位を表現する。
 {u} = [N]{u_e}
 (3.1)
 ここで、
 {u} : 要素内任意点の変位
 [N] :形状関数マトリクス
 {u_e} : 節点変位
 (2) 上記の変位を微分して、要素内任意点のひずみを節点変位により表す。
 {e} = [B]{u_e}
 (3.2)
 ここで、
 {e} : 要素内任意点のひずみ
 [B] : ひずみマトリクス
 (3.3)式参照) より定められる
 - 弾性係数マトリクスを用いて,要素剛性マトリクスを(3.4)式により計算する。 $\{\sigma\} = [D]_{\epsilon}\}$ (3.3)

$$\begin{bmatrix} K_e \end{bmatrix} = \int \begin{bmatrix} B \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} dV \tag{3.4}$$

- ここで,
 - {σ} :要素内任意点の応力
 - [D] :材料応力一ひずみ接線マトリクス
 - [*K*_e] : 要素剛性マトリクス
- (4) 全体の剛性マトリクスを要素剛性マトリクスの重ね合わせによって求め、力の 釣合いより静的変位を(3.5)式より求める。
 - ${f} = [K] {\gamma}$

ここで,

- {*f*} :荷重ベクトル
- {y} :構造全体の変位
- **[K]** : 剛性マトリクス
- (5) 変位が決まれば、(3.2)式、(3.3)式より各要素の応力が求められる。

以上が有限要素法の評価手順である。

(3.5)

3.4 解析フローチャート 解析フローチャートを図 3-1 に示す。



図3-1 解析フローチャート

- 3.5 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
 - 3.5.1 類似プログラムによる検証

ラーメン構造モデルの荷重漸増解析を本計算機コード『HyperSD』に より行い,理論解と別計算機コード『Super Build/SS7』(以 下,「SS7」という。)と比較して同一結果となることを確認することによ り検証する。

図3-2に解析モデル図を示す。X・Y方向1スパン,高さ1階の3次元フレームモデルに,表3-1の部材諸元を与え,各方向の荷重漸増解析を行う。

それぞれの解析コードで得られた各方向(X・Y方向)のQ- δ 関係を図 3-3 に、せん断耐力の比較を表 3-2に示す。Q- δ 関係はよく一致しており、せん 断耐力は理論解及び解析コードと比較して誤差は 1%以下で、解析結果は良く整 合している。



図3-2 解析モデル

表 3-1 部材諸元

	(a) 柱 (C1)					
				C1		
	符号	弓名		101		
	断面					
1 陛	コンクリート	$Dx \times Dy$		700 × 700 (Fc21)		
I PE	主筋	Х		5-D32		
		Y		5-D32		
		材料		SD390		
	d	t <mark>1</mark>	mm	60		
	世 か			2-D13@100		
	'市'月刀	市助 材料		SD345		

(b) 基礎梁 (BG1)

				2	GX1	
					全断面	
	符	号名		1GX1		
1F 層			i面			
	コンクリート	b >	× D		400×1200 (Fc21)	
		上端		Ĵ	3/3-D22	
		下端			3/3-D22	
	土肋	++ 4/4	上端		SD345	
		11 不计	下端		SD345	
	d		mm	60		
	キルジンか				3-D13@200	
	あはら筋		材料		SD295A	

(c) 梁 (G1)

					GX1		
					全断面		
	符	号名			RGX1		
	断面						
	コンクリート	b × D			400×700 (Fc21)		
RF 層	主筋	上端			3-D22		
		下端			3-D22		
		材料	上端		SD345		
			下端		SD345		
	d	dt1			60		
	ちげこな				3-D13@200		
めはら肋		材料			SD295A		







図 3-3 Q-δ関係

表 3-2 せん断耐力

	X 方向	Y 方向
理論解	617.6	529.4
НурегSD	617.2	529.0
HyperSD/理論解	0.9994	0.9992
S S 7	617.9	529.6
HyperSD∕SS7	0.9989	0. 9989

3.5.2 使用内容に対する妥当性

HyperSDの解析結果と類似解析コードであるSS7と比較し解析解が一 致していることを確認した。また,理論解によるせん断耐力を比較し,解析解が 一致していることを確認した。したがって,本解析にHyperSDを使用する ことは妥当である。

別紙 47 Super Build/SS3

1. 使用状況一覧

	バージョン	
V-2-11-2-2-1	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護 板の耐震性についての計算書	Ver. 1. 1. 1. 48

2. 解析コードの概要

ユード名 項目	Super Build/SS3
使用目的	静的応力解析
開発機関	ユニオンシステム株式会社
開発時期	2008 年
使用したバージョン	Ver. 1. 1. 1. 48
コードの概要	本プログラムは,建築基準法に基づき,RC造,S造,SRC 造,CFT造及びこれらが混合する構造物について,許容応力 度計算から保有水平耐力計算までを一貫して行う構造計算 ソフトウェア(プログラム)である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は、以下のとおりである。 ・本解析コードを用いた立体フレームモデルの応力解析結果が、先行審査にて使用実績のある類似解析コード(T DAPIII)による解析結果と概ね一致していることを確認している。 ・本解析コードの運用環境について、開発機関から提示された要件を満足することを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は、以下のとおりである。 ・今回の工事計画認可申請における使用目的である建屋構造の応力解析について、本解析コードの適用の妥当性を検証している。 ・建築分野の構造計算及び建築確認申請では広く使用されているプログラムであり、建屋構造計算では十分な実績を有している。 ・今回の工事計画認可申請における建屋構造の応力解析の使用目的に対し、使用用途及び使用方法に関する適用範囲が上述の妥当性確認の範囲内であることを確認している。

- 3. 解析手法
- 3.1 一般事項

本プログラムは,建築基準法に基づき,RC造,S造,SRC造,CFT造及びこれらが 混合する構造物について,部材剛性の計算,各荷重計算(固定荷重・積載荷重・積雪 荷重・風圧力・地震力),部材応力の計算,計算ルートの合否判定,断面検定,保有 水平耐力の検討,崩壊形保証のためのクライテリアの検討,終局時せん断力に対する 再検討までを一貫して行う構造計算プログラムである。

3.2 解析コードの特徴

本プログラムは,建築分野において豊富かつ幅広い適用実績を有しているとと もに,確認申請においては主要なプログラムの1つである。本解析コードの主な特 徴を以下に示す。

- ・複雑な平面形状の計算が可能である。
- ・柱主軸の回転が可能である。
- ・剛床解除,多剛床,反剛床,床ブレースを考慮できる。
- ・立体弾性解析、立体弾塑性解析を行うことができる。
- ・各種部材耐力式が適用できる。
- ・建築物の構造関係技術基準解説書に対応している。

- 3.3 解析手法
 - 3.3.1 部材剛性マトリクス
 - (1) 座標系と正方向

荷重,変位を示す記号を以下のとおり定める。

- δ:鉛直変位,水平変位
- θ :回転角
- P:鉛直力,水平力
- M:モーメント

部材座標系を図 3-1 に示すように定め,回転の方向は進行方向に対して時 計回りをプラスとする。

(2) はり,柱,ブレース,壁柱の荷重-変位関係

「x 軸方向の荷重-変位関係」,「x-z 面の荷重-変位関係」,「x-y 面の 荷重-変位関係」は,互いに影響し合わないものとし,独立に考慮する。

a. x 軸方向の荷重-変位関係(軸力,捩りモーメント)
 考慮する荷重及び変位の概念図を図 3-2 に示す。x 軸方向の荷重-変位
 関係は、式(3.1)のとおり算出する。



407



c. x-y面の荷重-変位関係(せん断,曲げモーメント)

K7 ① V-2 別紙 R1

- 3.3.2 全体剛性マトリクス
 - (1) 全体座標系変換

(2) 剛床変位変換

(3) 全体剛性マトリクスの組立て

求められた全体座標系の(剛床に含まれる水平成分は代表点で表される) 個々の部材の荷重-変位式を合成し,建物全体の荷重-変位式を組み立てる。 解析フローチャート 解析フローチャートを図 4-1 に示す。



図 4-1 解析フローチャート

- 5. 検証 (Verification) と妥当性確認 (Validation)
- 5.1 解析結果の比較による検証

本解析コードの解析結果について、本解析コードの類似解析コードである「TD APIII(大成建設株式会社,株式会社アークシステム)」の解析結果と比較し、本 解析コードの適用性を検証する。TDAPIIIは

等,先行の工事計画認可申請で使用実績があり,建設部門を中心として官公庁,大 学,民間でも広く使用されている解析コードである。

検証内容は、以下のとおりとする。

- ・長期荷重時の応力解析について、本解析コードとTDAPⅢの結果を比較する。
 ・水平荷重時の応力解析について、本解析コードとTDAPⅢの結果を比較する。
- 5.1.1 解析モデル

解析モデルを図 5-1 に示す。解析モデルは、1 層の1スパン×2スパンの鉄骨 架構モデルとする。柱と大はりはラーメン架構とし、Y方向にブレースを2面配 置する。柱脚は固定、ブレースの材端はピンとする。荷重条件は屋根に 150mm の RC スラブを配置し、積載荷重は考慮しない。



図 5-1 解析モデル図

5.1.2 応力解析結果の比較(長期荷重時・水平荷重時)

図 5-3 から図 5-26 に本解析コードとTDAPⅢの長期荷重時,水平荷重時 (X方向正加振・Y方向正加振)における断面力図を示す。また,表 5-1から 表 5-12 に本解析コードとTDAPⅢの発生断面力の比較を示す。水平荷重時 は標準せん断力係数 Co=0.30 として解析する。解析結果より,本解析コードの解 析結果は先行審査で使用実績があり,建設部門を中心として幅広く使用されて いるTDAPⅢの解析結果とほぼ一致しているため,本解析コードの結果は妥 当であると判断する。

本解析コード解析結果の凡例を図 5-2 に示す。



図 5-2 応力図凡例

図 5-3 曲げモーメント図 (長期荷重時・A フレーム) (単位:kN・m)

部材	着目箇所	a. SS3(kN • m)	b. TDAP \mathbf{III} (kN \cdot m)	比率 a / b
	1	-4.7	-4.6	1.022
はり1	2	4.5	4.6	0.978
	3	-7.5	-7.4	1.014
	4	-7.5	-7.4	1.014
はり 2	5	4.5	4.6	0.978
	6	-4.7	-4.6	1.022
<i>t</i>]- 1	\bigcirc	-4.7	-4.6	1.022
作主 1	8	2.2	2.1	1.048
tt: 9	9	0.0	0.0	
↑土 ∠	10	0.0	0.0	
+ } 0	11	4.7	4.6	1.022
	12	-2.2	-2.1	1.048

表 5-1 解析結果の比較 (長期荷重時・A フレーム・曲げモーメント)



図 5-4 着目位置図 (長期荷重時・A フレーム・曲げモーメント)



部材	着目箇所	a. SS3(kN • m)	b. TDAPⅢ (kN•m)	比率 a / b
はり1	1	-13.1	-12.6	1.040
	2	17.2	17.4	0.989
	3	-13.1	-12.6	1.040
柱 1	4	-13.1	-12.6	1.040
	5	6.4	5.9	1.085
柱 2	6	13.1	12.6	1.040
	\bigcirc	-6.4	-5.9	1.085

表 5-2 解析結果の比較 (長期荷重時・1 フレーム・曲げモーメント)



図 5-6 着目位置図 (長期荷重時・1 フレーム・曲げモーメント)

図 5-7 せん断力図(長期荷重時・A フレーム) (単位:kN)

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ (kN)	比率 a / b
はり1	1	7.4	7.3	1.014
	2	-8.8	-8.6	1.023
はり2	3	8.8	8.6	1.023
	4	-7.4	-7.3	1.014
柱 1	5	-2.4	-2.4	1.000
柱 2	6	0.0	0.0	—
柱 3	\overline{O}	2.4	2.4	1.000

表 5-3 解析結果の比較 (長期荷重時・A フレーム・せん断力図)



図 5-8 着目位置図 (長期荷重時・A フレーム・せん断力図)

図 5-9 せん断力図(長期荷重時・1 フレーム) (単位:kN)

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ (kN)	比率 a / b
はり1	1	16.2	15.4	1.052
	2	-16.2	-15.4	1.052
柱 1	3	-6.9	-6.5	1.062
柱 2	4	6.9	6.5	1.062

表 5-4 解析結果の比較 (長期荷重時・1 フレーム・せん断力)



図 5-10 着目位置図 (長期荷重時・1 フレーム・せん断力)



部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPIII (kN)	比率 a / b
柱 1	1	-25.0	-24.8	1.008
柱 2	2	-49.2	-49.3	0.998
柱 3	3	-25.0	-24.8	1.008

表 5-5 解析結果の比較 (長期荷重時・A フレーム・軸力)



図 5-12 着目位置図 (長期荷重時・A フレーム・軸力)

図 5-13 軸力図(長期荷重時・1 フレーム) (単位:kN)
部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ (kN)	比率 a / b
柱 1	1	-25.0	-24.8	1.008
柱 2	2	-25.0	-24.8	1.008
ブレース1	3	0.0	0.6	—
ブレース2	4	0.0	0.6	_

表 5-6 解析結果の比較 (長期荷重時・1 フレーム・軸力)



図 5-14 着目位置図 (長期荷重時・1 フレーム・軸力)

図 5-15 曲げモーメント図 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム) (単位:kN・m)

部材	着目箇所	a. SS3(kN • m)	b. TDAPⅢ (kN•m)	比率 a / b
ン+ N 1	1	8.8	8.6	1.023
1291	2	-7.3	-7.1	1.028
1+10 0	3	7.3	7.1	1.028
1292	4	-8.8	-8.6	1.023
+ }- 1	5	8.8	8.6	1.023
1 1	6	-16.3	-16.7	0.976
<u></u> 十 の	\bigcirc	14.6	14.3	1.021
1主 2	8	-19.1	-19.3	0.990
<u>計</u> 2	9	8.8	8.6	1.023
	10	-16.3	-16.7	0.976

表 5-7 解析結果の比較 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム・曲げモーメント)



図 5-16 着目位置図 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム・曲げモーメント)

図 5-17 曲げモーメント図 (水平荷重時・Y方向正加振・1フレーム) (単位:kN・m)

部材	着目箇所	a. SS3(kN • m)	b. TDAPⅢ (kN • m)	比率 a / b
パー り 1	1	3.3	3.1	1.065
1291	2	-3.3	-3.1	1.065
<u></u> <u></u> <u></u>	3	3.3	3.1	1.065
↑土 Ⅰ	4	-4.6	-4.6	1.000
柱 2	5	3. 3	3. 1	1.065
	6	-4.6	-4.6	1.000

表 5-8 解析結果の比較 (水平荷重時・Y方向正加振・1フレーム・曲げモーメント)



図 5-18 着目位置図 (水平荷重時・X方向正加振・1 フレーム・曲げモーメント)

図 5-19 せん断力図 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム) (単位:kN)

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ (kN)	比率 a / b
はり1	1	-4.0	-3.9	1.026
はり2	2	-4.0	-3.9	1.026
柱 1	3	8.9	9.3	0.957
柱 2	4	11.9	11.9	1.000
柱 3	5	8.9	9.0	0.989

表 5-9 解析結果の比較 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム・せん断力図)



図 5-20 着目位置図 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム・せん断力図)

図 5-21 せん断力図(水平荷重時・X方向正加振・1フレーム) (単位:kN)

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPIII (kN)	比率 a / b
はり1	1	-1.1	-1.0	1.100
柱 1	2	2.8	2.8	1.000
柱 2	3	2.8	2.8	1.000

表 5-10 解析結果の比較 (水平荷重時・Y方向正加振・1フレーム・せん断力)





図 5-23 軸力図 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム) (単位:kN)

部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ (kN)	比率 a / b
柱 1	1	4.0	3.9	1.026
柱 2	2	0.0	0.0	—
柱 3	3	-4.0	-3.9	1.026

表 5-11 解析結果の比較 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム・軸力)



図 5-24 着目位置図 (水平荷重時・X方向正加振・Aフレーム・軸力)



部材	着目箇所	a. SS3(kN)	b. TDAPⅢ (kN)	比率 a / b
柱 1	1	1.1	1.0	1.100
柱 2	2	-11.1	-11.1	1.000
ブレース1	3	23.6	23.8	0.992
ブレース2	4	0.0	0.0	—

表 5-12 解析結果の比較 (水平荷重時・Y方向正加振・1 フレーム・軸力)





5.2 使用目的に対する妥当性

本解析コードは,建屋構造の応力解析に使用されており,その適用妥当性は 5.1 「解析結果の比較による検証」において検証している。

また、本解析コードは一般建築分野の構造計算及び建築確認申請では広く使用さ れているプログラムであり、建屋構造計算では十分な実績を有している。

したがって、本解析にSuper Build/SS3を使用することは妥当である。

別紙 48 N-DAPS 3

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
Ⅴ-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B,C クラス機器の耐震計算	Ver. 2. 20
	書	
Ⅴ-2-別添 2-5	復水器出入口弁の耐震性についての計算書	Ver. 2. 20
Ⅴ-2-別添 2-7	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性に	Ver. 2. 20
	ついての計算書	

2. 解析コードの概要

コード名 項目	N – D A P S 3
使用目的	3次元有限要素法(はり要素)による固有値解析,地震応 答解析及び応力解析
開発機関	三和テッキ株式会社
開発時期	1970 年
使用したバージョン	Ver. 2. 20
コードの概要	本解析コードは,配管の強度解析を目的として開発され た計算機プログラムである。汎用構造解析コード DAPS と SRACをメインプログラムとし,応力評価プログラム及びそ れらのインターフェイスプログラムのサブプログラムから なる。 任意の3次元形状に対し,有限要素法により静的解析, 動的解析を行い,反力・モーメント・応力,固有振動数・ 刺激係数等の算出が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 N-DAPS3と汎用コード "ADL Pipe Static-Thermal- Dynamic Pipe Stress Analysis" (Arthur D.Little. Inc., Cambridge, Massachusetts, January 1971) によ る解析結果がよく一致していることを確認した。 応力評価プログラムは、メインプログラムの出力結果 (モーメント)から,適用技術基準(JSME*1, J EAG*2等)に基づいて応力評価が正しく計算され ていることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 原子力の分野における使用実績を有しており、妥当性 は十分に確認されている。 検証結果より、今回の工事計画認可申請で行う固有値 解析、地震応答解析及び応力解析の使用目的に照らし て、妥当であることを確認している。

注記*1:日本機械学会「発電用原子力設備規格 設計・建設規格」

*2:原子力発電所耐震設計技術指針

3. 解析手法

3.1 一般事項

本計算機プログラムは、原子力発電所、火力発電所、化学プラントにおける配管 系の、熱膨張応力、分布荷重応力、静的震度法による地震応力、スペクトルモーダ ル解析法による地震応答応力等を計算するプログラムである。なお、本プログラム で用いている固有値解法は、米国カリフォルニア大学で作成された汎用計算プログ ラム「SAP」を基に作られている。

計算機コード名「DAPS」は静的解析,「SRAC」は固有値解析及びスペクトルモー ダル解析を行うプログラムであるが,要素データ入力や応力計算式は共通化されて いるので,以下にその理論の概要を述べる。

- 4. 理論
- 4.1 静的解析

静的解析における基本式は,

この式に拘束自由度及び強制変位を代入し、それらの自由度を消去すると、

 ${f} = [K] {d} + {f}_{T} + {f}_{W} + {f}_{D} \cdots (4.2)$ ここで、 ${f}_{D}$ は変位を与えた自由度を消去したために発生した変位消去ベクトル を表す。

カベクトルをまとめると,

 $\{f^*\} = \{f\} - \{f\}_T - \{f\}_W - \{f\}_D$ (4.3) (4.2) 式を (4.3) 式に代入すると、

これは、*d*を未知数とする連立方程式であり、これを解くために[K]を次の様に三角分解する。

ここで、[L]は下三角行列、[D]は対角行列、[U]は上三角行列を表す。

442

この三角分解された行列を用いて,前進消去,後退代入を実行する事により,未知 変位 *d* を求める。

応力は、(4.4)式に対応した部材座標の断面力から求める。

4.2 固有值解析

固有値解析(固有振動数と固有ベクトル)は、次の固有値問題を解けばよい。

 $[K]{x} = \lambda [M]{x} \cdots$ (4.6) ここで、[K]は系の剛性行列、[M]は系の質量行列、 λ は固有値、 $\{x\}$ は固有 ベクトルを表す。

(4.6) 式を解く方法として2つの方法があり、ひとつは[K]の次数及びバンド幅が小さい時の解法としての行列式探索法 (Determinant Search Method), もうひとつ は[K]の次数及びバンド幅が大きい時の解法としてのサブスペース法 (Subspa-ce Method) を採用している。

4.3 スペクトルモーダル解析

スペクトルモーダル解析における基本式は次の式で表される。

 $\begin{bmatrix} M \\ \ddot{a} \\ + \begin{bmatrix} C \\ \dot{d} \\ \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K \\ \dot{d} \\ \end{bmatrix} = -\ddot{A}_{(t)} \begin{bmatrix} M \\ \end{bmatrix} \\ I \\ \end{bmatrix}_{i} \cdots \cdots \cdots (4.7)$ ここで、 $\begin{bmatrix} M \\ \end{bmatrix} は質量行列, \begin{bmatrix} C \\ \end{bmatrix} は減衰行列, \{ \ddot{a} \\ \end{bmatrix} は相対加速度ベクトル, \{ \dot{d} \\ \end{bmatrix} は$ $相対速度ベクトル, \{ d \\ \end{bmatrix} は相対変位ベクトル, \ddot{A}_{(t)} は地震加速度, \{ I \\ \end{bmatrix}_{i} は地震方向$ ベクトル (地震方向が1, 他は0のベクトル) を表す。

スペクトルモーダル解析は、境界条件を入れた(4.7)式に、

となる変数分離を適用すれば,各次が独立になる。

 $\ddot{q}_{s} + 2h_{s}w_{s}\dot{q}_{s} + w_{s}^{2}q_{s} = -\beta_{s,i}\ddot{A}(t) \cdots (4.9)$ ここで、 { ϕ_{s} }はS次の固有モードベクトル、 q_{s} はS次の時刻関数、 sは=1~n(モード番号), iはx, y, zを表す。

なお、 β_{si} は刺激係数と呼ばれるもので、次式で表す。

(4.9) 式の解の最大値は,

$$(q_s)_{\max} = \beta_{s,i} \frac{(S_A)_{ws,hs}}{\omega_s^2} \cdots (4.11)$$

ここで、(S_A)は床応答スペクトルより、固有値 ω_s に対応した加速度スペクトルである。

これを(4.8) 式に代入すると、各次の最大の応答変位は、

次に、一次から最大次数までの応答値の近似値を各次応答値の二乗和平方根法

(Square Root of the Sum of the Squares法)により求める。

応力は,(4.12)式の各次の変位モードに対応した部材座標の断面力から変位と同等 の手順で求める。

5. 応力解析

5.1 応力解析フローチャート 応力解析フローチャートを図 5-1 に示す。



スペクトルモーダル解析

図 5-1 計算機コード「N-DAPS3」応力解析フローチャート

5.1.1 入力データ

入力データは次のものである。

- ・タイトル
- ・要素のデータ(縦弾性係数,管の外径,肉厚,計算圧力,温度,管の単位長 さ当たりの重量等)
- ・系の幾何学的形状についてのデータ、すなわち要素とその両端の質点及び
 その座標
- ・集中荷重及び分布荷重の作用する節点あるいは要素とその値
- ・境界条件及び拘束条件、すなわちアンカ、レストレイントの位置及び方向
- ・数値化された加速度応答スペクトル

5.1.2 出力データ

出力データは次のものである。

- 入力データ
- 固有周期
- 固有ベクトル
- 節点変位
- ・ 要素の応力
- ・ 支持拘束に作用する力,モーメント

- 6. 計算機コードの検証(Verification)と妥当性確認(Validation)
- 6.1 他計算機コードとの比較による検証

計算機コード「N-DAPS3 (Ver.2.20)」による計算結果との比較検証に用いた 配管応力解析プログラム「ADLPIPE」は、米国にて開発された配管系応力解析 プログラムである。本プログラムは、1971年開発後これまで、約40年の使用実績が あり、世界的に使用実績およびクライアント数の多い配管専用応力解析プログラム の一つである。解析種類としては、静的解析として熱膨張・自重・風力・静的地震解 析及び動的解析として応答スペクトラム解析(単一入力スペクトラム・多入力スペク トラム)等が行える。

「ADLPIPE」と「N-DAPS3 (Ver.2.20)」を用いてある配管用検証モデルを対象に解析を行い,得られた結果を比較することにより,検証を行った。

- 6.2 検証解析
 - (1) 解析条件
 - この解析では,次に示す種々の荷重条件
 - 1. 集中荷重
 - 2. 垂直(Y-方向)重力荷重
 - 3. 一様温度変化(熱荷重)
 - 4. 支持点に作用する強制変位
 - のもとで、配管系の静的な解析を行った。
 - (2) モデル図

図-添1の配管系は、配管解析プログラム「ADLPIPE」のユーザマニュア ルに掲載されている配管系である。 a. モデル図



図-添1「ADLPIPE」ユーザマニュアルの配管用モデル

b. 各節点の座標値と拘束条件

(単位:mm)

節点番号	Х	Y	Z	拘束条件
1	0.0	0.0	0.0	完全固定
2	0.0	2667.0	0.0	
3	-381.0	3048.0	0.0	
4	-3048.0	3048.0	0.0	
5	-3378.2	3048.0	0.0	
6	-5080.0	3048.0	0.0	
7	-5969.0	3048.0	0.0	
8	-6350.0	3048.0	381.0	
9	-6350.0	3048.0	3048.0	
10	-6350.0	3048.0	6096.0	回転成分固定
11	-5080.0	5715.0	0.0	
12	-5461.0	6096.0	0.0	
13	-11176.0	6096.0	0.0	
14	-6350.0	3048.0	0.0	以下境界要素の方
15	-6350.0	3302.0	3048.0	向を決める節点と
16	-6096.0	3048.0	6096.0	して使われる仮想
17	-6350.0	3302.0	6096.0	節点
18	-6350.0	3048.0	6350.0	

c. 管の材料特性

ヤング率 E =1.92×10⁵ MPa (27.9×10⁶ psi) ポアソン比 ν =0.333 熱膨脹係数 α =1.23×10⁻⁵ mm/mm℃ (6.81×10⁻⁶ in/in/°F)

d. 管の形状特性

外径 272.796 mm (10.74 in)
肉厚 12.7 mm (0.5 in)
ただし,要素番号4における管肉厚は,50.8 mm (2.0 in)
単位管質量 118.04 kg/m (6.61 lbs/ in)
なお,配管系の温度上昇は411.11 ℃ (740 °F) とする。

e. 載荷荷重

(単位:N)

the state	力	向	
何里の種類	Х	Y	Z
集中荷重:			
節点番号 4	—	4448	—
節点番号 5	—	-890	—
節点番号 13	13345	4448	8896
重力荷重:		-27952	
 ₽	13345	-19946	8896

重力荷重 27952(N)は、次式より計算される。
管の全長* 単位管質量 重力加速度 重力荷重
24.147 m×118.04 kg/m×9.80665 m/s² = 27952 N
注記*:管の全長は、950.686 in(24.147 m)。

(3) 解析結果

表-添1に、「N-DAPS3 (Ver. 2. 20)」と「ADLPIPE」それぞれの解 析コードから得られる結果の比較を示す。これにより、互いの解析結果がよく一致 していることが分かる。

表 - 添 1 反力 (N - D A P S 3 (Ver. 2. 20) と A D L P I P E の比較)

(単位:N)

答 占	N-DAPS3 (Ver.2.20)			ADLPIPE		
二 二月	Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz
1	-48917	20048	13176	-49024	20057	13193
7	25115	_	—	25172	—	—
9	—	-17998	—	—	-18024	—
10	10462	17904	-22077	10502	17909	-22090
計	-13340	19954	-8901	-13350	19942	-8897

ADLPIPE の反力値は、lbs を N に単位換算して表示している。

6.3 妥当性

計算機コード「N-DAPS3 (Ver. 2. 20)」による計算結果は,汎用構造解析コード「ADLPIPE」の計算結果と比較してよく一致していることから,計算機コード「N-DAPS3 (Ver. 2. 20)」は妥当性があると判断する。

別紙 49 SAP-V

1. 使用状況一覧

使用添付書類		バージョン
V-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B,C クラス機器の耐震計算 書	ADAMS-V

2. 解析コードの概要

コード名 項目	SAP-V
使用目的	3 次元有限要素法(はりモデル)による応力解析
開発機関	株式会社IHI
開発時期	1993 年
使用したバージョン	ADAMS-V
コードの概要	本解析コードは、米国カリフォルニア大学が開発したSA P-IVをベースに南カリフォルニア大学が一部機能を追加 し開発されたSAP-Vに対して、IHIが一部機能追加・ 拡張したバージョンである。任意の3次元形状に対して、有 限要素法により静的解析を行い、反力、モーメント、応力等 の算出が可能である。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 本解析コードの検証内容は以下のとおりである。 ・汎用構造解析プログラムである「NASTRAN」を用いた計算結果,及び理論式に基づく計算結果と,検証モデルの計算結果を比較し,検証モデルの結果がよく一致することを確認している。 ・本解析コードの運用環境について,開発機関から提示された要件を満足していることを確認している。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・今回の工事計画認可申請で行うはり要素の応力解析の使用目的に照らして,用途及び適用範囲が上述の妥当性確認範囲であることを確認している。 ・開発機関が提示するマニュアルにより,今回の工事計画認可申請で使用する3次元有限要素法(はり要素)による応力解析に本解析コードが適用できることを確認している。

3. 解析手法

3.1 一般事項

本書は、米国カリフォルニア大学にて 10 年以上に及ぶ研究に基づいて 1970 年に 開発されたプログラム「SAP」(引用文献(1)参照)をもとに、追加改良がなされ た構造解析用計算機コード「SAP-V」の概要説明書である。

本計算機コードは,任意形状の3次元系の静的解析を,有限要素法を用いて行うも ので,主として支持構造物の自重,運転時荷重及び地震力による応力計算等に用いる。 要素の応力は,構造マトリックスを誘導し,釣合い方程式を解き変位を求めて算出す る。

以上のような特徴を有する本プログラムにつき、以下にその概要を述べる。

表 3-1 SAP-Vシステム概要

コード名	$S \wedge D - V$	
項目	SAF = V	
開発機関	(株) IHI	
	(ADAMS-Vは, 米国カリフォルニア大学が開発した	
	SAP-IVをベースに南カリフォルニア大学が一部	
	機能を追加し開発されたSAP-Vに対して、(株)	
	IHIが一部機能追加・拡張したバージョンである)	
使用バージョン	ADAMS-V	
開発時期	1993 年	
計算機コード の概要	(汎用構造解析コード)	
	任意の3次元形状に対して,有限要素法により静的	
	解析を行い,反力,モーメント,応力等の算出が可能。	
	検証モデルに対し、汎用構造解析プログラムである	
検証方法	「NASTRAN」及び理論解と計算結果を比較し,	
	一致することを確認。(詳細は添付資料-1参照)	

4. 理論

構造物全体に対して次の平衡方程式を作り、これを解く。

ここで,

- [k]:剛性マトリックス
- {u}:変位ベクトル
- {f}:荷重ベクトル

計算された節点の変位から、要素の変形及び要素の応力を求める。

5. 応力解析

境界条件として節点変位,拘束を与え,荷重を負荷し,これらをもとに要素中のひず みと応力を算出する。

本計算機コードの応力解析のフローチャートを図 5-1 に示す。



図 5-1 応力解析フローチャート

- 計算機コードの検証
 本計算機コードの検証結果を示す。検証は評価フローの各段階で実施した。
 - 6.1 計算機コードを用いた評価フローチャート
 本計算機コードを用いて行う評価フローチャートを,図6-1に示す。



図 6-1 計算機コード(SAP-V:バージョン ADAMS-V)を用いた評価フローチャート

6.2 検証結果

図 6-1 に示したフローチャートに基づき、本計算機コードによる計算結果と、汎 用の構造解析プログラムを用いた計算結果及び理論式に基づいた計算結果を比較し た(詳細は、添付資料-1を参照)。

各計算結果は概ね一致していることから、本計算機コードの妥当性を確認した。

- 7. 引用文献
 - (1) E. L. WILSON, K. J. BATHE, F. E. PETERSON and H. H. DOVEY "SAP A STRUCTURAL ANALYSIS PROGRAM FOR LINEAR SYSTEMS" (NUCLEAR ENGINEERING AND DESIGN 25(1973)257-274

1. 計算機コード検証についての概要

本計算機コード「SAP-V:バージョン ADAMS-V」の検証を行うため、汎用の構造 解析プログラムである「NASTRAN」の計算結果,理論式に基づく計算結果と、検 証モデルの計算結果を比較した。
2. 解析条件

検証モデルの解析条件を次に示す。

2.1 モデル図

検証に使用した構造モデル図を図添 2-1に、解析モデル図を図添 2-2に示す。



図添 2-1 構造モデル図



図添 2-2 解析モデル図

- 注:図中の番号は各節点に割り当てた節点番号を表す。各要素の要素番号は、両端の節 点の節点番号のうち、小さい方を適用する。
- 2.2 荷重条件

本解析では,構造物の自重は考慮せず,集中荷重のみによる支持構造物の静的解析 を行った。

節点 番号	Х	Y	Z	拘束条件
1	0.0	0.0	0.0	6 方向拘束
2	0.0	0.0	100.0	
3	0.0	0.0	200.0	
4	0.0	0.0	300.0	
5	0.0	0.0	400.0	
6	0.0	0.0	500.0	
7	100.0	0.0	500.0	
8	200.0	0.0	500.0	
9	300.0	0.0	500.0	
10	400.0	0.0	500.0	
11	500.0	0.0	500.0	

表添 2-1 各節点の座標と拘束条件

(単位:mm)

2.4 部材の形状特性

角型鋼管			
辺の長さ	=	100.0 mm \times 100.	0 mm
肉厚	=	4.5 mm	

2.5 部材の材料特性

縦弾性係数 E	=	2.03×10 ⁵	MPa
ポアソン比 ν	=	0.3	

463

2.6 負荷荷重

表添 2-2 負荷荷重

(単位:N)

費重の種類	方 向			
111 里 17 1里)項	Х	Y	Z	
節点番号 11	_	_	-2000	

3. 解析結果

表添 3-1~表添 3-2 に、「SAP-V:バージョン ADAMS-V」、「NASTRAN」 及び理論式に基づく計算結果を示す。表より、互いの解析結果がよく致していることが 分かる。

表添 3-1 軸力(F)及びせん断力(M)の計算結果

|--|

要素番号	SAP-V (ADAMS-V)		NASTRAN		理論式	
	F	М	F	М	F	М
1	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000
2	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000
3	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000
4	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000
5	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000
6	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000
7	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000
8	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000
9	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000
10	-2000	0.0000	-2000	0.0000	-2000	0.0000

表添 3-2 Y 軸回りモーメント(My)の計算結果

節点	SAP-V (ADAMS-V)	N A S T R A N	理論式
留力	$M_{\rm y}$	$M_{\rm y}$	M_{y}
1	-1000000	-1000000	-1000000
2	-1000000	-1000000	-1000000
3	-1000000	-1000000	-1000000
4	-1000000	-1000000	-1000000
5	-1000000	-1000000	-1000000
6	-1000000	-1000000	-1000000
7	-800000	-800000	-800000
8	-600000	-600000	-600000
9	-400000	-400000	-400000
10	-200000	-200000	-200000
11	0.0000	0.0000	0.0000

(単位:N・mm)

別紙 50 STRUCT

1. 使用状況一覧

	使用添付書類	バージョン
Ⅴ-2-別添 2-2	溢水源としない耐震 B,C クラス機器の耐震計算 書	Ver 2.86
V-2-別添 2-7	タービン補機冷却海水ポンプ吐出弁の耐震性に ついての計算書	Ver 2.86

2. 解析コードの概要

ユード名 項目	STRUCT
使用目的	3次元有限要素法(はりモデル)による応力解析
開発機関	三和テッキ株式会社
開発時期	1982 年
使用したバージョン	Ver. 2.86
コードの概要	本解析コードは, 骨組構造の静的解析及び動的解析を, は り理論を用いて行う計算機プログラムである。架構等の骨組 構造に対し, 集中荷重, 分布荷重, 静的震度等による反力, モーメント, 応力の算出が可能である。 原子力発電所, 火力発電所, 化学プラント等での使用実績 を有している。
検証 (Verification) 及び 妥当性確認 (Validation)	 【検証(Verification)】 ・本解析コードと材料力学分野の一般的知見により解を 求めることができる体系に対し,静的解析の結果が概ね 一致することを確認した。 ・本解析コードと既工事計画において使用実績のある応 力解析コードMSC NASTRANを比較対象とし て,今回の工事計画において対象とする構造物の形状の 構成要素である片持ちばり,門型はり,斜材付支柱はり の応力解析を検証問題とする解析を行い,本解析コード による数値解がMSC NASTRANによる数値解 と概ね一致する事を確認した。 【妥当性確認(Validation)】 本解析コードの妥当性確認内容は以下のとおりである。 ・原子力産業界において,配管支持構造物などの評価に十 分な使用実績が有り,妥当性は十分に確認されている。 ・検証結果より,今回の工事計画認可申請で行う応力解析 の使用目的に照らして,妥当であることを確認してい る。

V-3 強度に関する説明書

目 次

- V-3-1 強度計算の基本方針
- V-3-2 強度計算方法
- V-3-3 強度計算書
 - V-3-3-1 原子炉本体の強度に関する説明書
 - V-3-3-2 核燃料物質の取扱施設及び貯蔵施設の強度に関する説明書
 - V-3-3-3 原子炉冷却系統施設の強度に関する説明書
 - V-3-3-4 計測制御系統施設の強度に関する説明書
 - V-3-3-5 放射線管理施設の強度に関する説明書
 - V-3-3-6 原子炉格納施設の強度に関する説明書
 - V-3-3-7 その他発電用原子炉の附属施設の強度に関する説明書
- V-3-別添1 竜巻への配慮が必要な施設の強度に関する説明書
- V-3-別添2 火山への配慮が必要な施設の強度に関する説明書
- V-3-別添3 津波又は溢水への配慮が必要な施設の強度に関する説明書
- V-3-別添4 発電用火力設備の技術基準による強度に関する説明書
- V-3-別添5 非常用発電装置(可搬型)の強度に関する説明書
- V-3-別添6 炉心支持構造物の強度計算書
- V-3-別添7 原子炉圧力容器内部構造物の強度計算書
- V-3-別添8 原子炉圧力容器スカートの強度計算書

V-3-1 強度計算の基本方針

- V-3-1-1 強度計算の基本方針の概要
- V-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針
- V-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針
- V-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針
- V-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本 方針
- V-3-1-6 重大事故等クラス3機器の強度計算の基本方針
- V-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算書の基本方針

V-3-1-1 強度計算の基本方針の概要

1.	概要	1	_

次

目

1. 概要

本資料は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成25 年6月28日 原子力規制委員会規則第六号)(以下「技術基準規則」という。)第17条 に規定されている設計基準対象施設または第55条に規定されている重大事故等対処設 備に属する容器、管、ポンプ、弁若しくはこれらの支持構造物又は設計基準対象施設に 属する炉心支持構造物の材料及び構造について、適切な材料を使用し、十分な構造及び 強度を有することを説明するものである。

なお,設計基準対象施設のうち材料及び構造の要求事項に変更がなく,改造を実施し ない機器については,今回の申請において変更は行わない。

今回,新たに材料及び構造の要求が追加または変更となる以下の機器が十分な強度を 有することを説明するものである。

・クラス1機器のうち原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲

- ・クラス2機器のうち「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」の改造に伴い強度評価が必要な範囲
- ・クラス3機器のうち「その他発電用原子炉の附属施設(火災防護設備)」
- ・クラス3機器のうち「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」の改造に伴い強度評価が必要な範囲
- ・重大事故等クラス2機器
- ・重大事故等クラス2支持構造物
- ・重大事故等クラス3機器
- ・原子炉格納容器のうち改造に伴い強度評価が必要な範囲

また、クラス1機器支持する支持構造物及び重大事故等クラス2管を支持する支持構造 物であって、その損壊により重大事故等クラス2管に損壊を生じるおそれがある重大事故 等クラス2支持構造物の強度計算については、計算方法が耐震評価と同じであり、地震荷 重が支配的であることからV-2「耐震性に関する説明書」にて説明する。

上述の機器と評価条件が異なる自然現象等特殊な荷重を考慮した評価が必要な設備のう ち竜巻の荷重を考慮した評価を別添1に,火山の影響による荷重を考慮した評価を別添2 に,津波又は溢水の荷重を考慮した評価を別添3に示す。

技術基準規則の機器区分に該当しない機器のうち,施設したガスタービン(燃料系含 む。)及び内燃機関(燃料系含む。)の評価を別添4に,非常用発電装置(可搬型)の内燃 機関の評価を別添5に,重大事故等対処設備としての炉心支持構造物の評価を別添6に, 原子炉圧力容器内部構造物の評価を別添7に示す。 強度計算及び強度評価の基本方針については以下の資料により構成する。

- V-3-1 強度計算の基本方針
 - V-3-1-1 強度計算の基本方針の概要
 - V-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針
 - V-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針
 - V-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針
 - V-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針
 - V-3-1-6 重大事故等クラス3機器の強度計算の基本方針
 - V-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針
- V-3-2 強度計算方法
 - V-3-2-1 強度計算方法の概要
 - V-3-2-2 クラス1管の強度計算方法
 - V-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法
 - V-3-2-4 クラス2管の強度計算方法
 - V-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法
 - V-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法
 - V-3-2-7 クラス3管の強度計算方法
 - V-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法
 - V-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法
 - V-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法
 - V-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法
 - V-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物(容器)の強度計算方法
 - V-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物(ポンプ)の強度計算方法
 - V-3-2-14 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

V-3-1-2 クラス1機器の強度計算の基本方針

目	次
---	---

1.	概要		1
2.	クラス	、1機器の強度計算の基本方針 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2.	1 クラ	ラス1機器の構造及び強度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3

1. 概要

クラス1機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号)(以下「技術基準規則」という。)第17条第1項第1号及び第8号に規定されており、適切な材料 を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は、クラス1機器のうち材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器 が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するもの である。

・原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲となる弁及び管

2. クラス1機器の強度計算の基本方針

クラス1機器の材料及び構造については,技術基準規則第17条(材料及び構造)に 規定されており,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解 釈」(平成25年6月19日 原規技発第1306194号)第17条10において「発電用原子 力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))<第1編軽水炉規格 >JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会)又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)<第1編軽水炉規格> JSME S NC1-2012」 (日本機械学会)によることとされているが,技術基準規則の施行の際現に施設し,又 は着手した設計基準対象施設については,施設時に適用された規格によることと規定さ れている。同解釈において規定されるJSME S NC1-2005/2007及びJSME S NC1-2012は,いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

原子炉冷却材圧力バウンダリの拡大範囲は施設時の適用規格が「発電用原子力設備に 関する構造等の技術基準」(昭和55年10月30日 通商産業省告示第501号)(以下 「告示第501号」という。)であることから,JSME S NC1-2005/2007(以 下「設計・建設規格」という。)と告示第501号の比較を行い,いずれか安全側の規 格による評価を実施する。

- 2.1 クラス1機器の構造及び強度
 - (1) 強度計算における適用規格の選定

クラス1管及び弁については、施設時の適用規格は告示第501号である。よって、設計・建設規格と告示第501号との比較を行い、いずれか安全側の規格 による評価を実施する。

安全側の規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価 手法が規定されていることから、以下「a.公式による評価の比較」及び「b.解析 による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては,評価式,評価 式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については 評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値について は,物性値を割下げ率で除して許容値を設定されていることからその影響は許容 値に含まれることになる。よって,評価式と許容値の2つの項目について比較す る。

評価式及び許容値の比較は,評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較は, 許容値が小さい方を安全側とする。ただし,許容値のSI単位化による誤差は, 単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく,評価結果に影響を与えない ため,ここでは相違するものとは見なさない。

上述の2つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合 は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第501号のいずれか にて評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容 易に判断できない場合は設計・建設規格及び告示第501号の両規格により評価 を実施する。両規格に相違がない場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施す る。

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は,設計・建 設規格及び告示第501号の両規格により評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号による評価について,評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し整理した。その結果,クラス1弁の弁箱の疲労評価において両規格に相違があることを確認した。

R1

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において,確認された安全側の規格により評価を実施する。

クラス1機器の計算書に記載する強度評価結果については,安全側の規格による評価結果を記載する。なお,設計・建設規格及び告示第501号の両規格による評価を実施したものにおいては,両規格による評価結果を計算書に記載する。

V-3-1-3 クラス2機器の強度計算の基本方針

目	次
---	---

1.	概要		 1
2.	クラス	2機器の強度計算の基本方針	 1

1. 概要

クラス2機器の材料及び構造については,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号)(以下「技術基準規則」という。)第17条第1項第2号及び第9号に規定されており,適切な材料を使用し,十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は、クラス2機器のうち材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器 が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するもの である。

・「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」 の改造に伴い強度評価が必要となる弁及び管

2. クラス2機器の強度計算の基本方針

クラス2機器の材料及び構造については,技術基準規則第17条(材料及び構造)に 規定されており,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解 釈」(平成25年6月19日 原規技発第1306194号)第17条10において「発電用原子 力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))<第1編軽水炉規格 >JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会)又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)<第1編軽水炉規格> JSME S NC1-2012」 (日本機械学会)によることとされているが,技術基準規則の施行の際現に施設し,又 は着手した設計基準対象施設については,施設時に適用された規格によることと規定さ れている。同解釈において規定されるJSME S NC1-2005/2007及びJSME S NC1-2012は,いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、クラス2機器のうち「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」の改造を実施する機器の評価はJSME S NC1-2005/2007による評価を実施する。

なお,クラス2機器を同位クラスである重大事故等クラス2機器として兼用し,重大 事故等時の使用条件に設計基準の使用条件が包絡され,重大事故等時における評価結果 がある場合は,材料,構造及び強度の要求は同じであることから,設計基準の評価結果 の記載は省略する。 V-3-1-4 クラス3機器の強度計算の基本方針

目 次

1.	概要		1
2.	クラス	3機器の強度計算の基本方針 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2.	1 クラ	ス3機器(消火設備用ボンベ及び消火器を除く)の構造及び強度 ・・・・・	3
2.2	2 クラ	ス3機器のうち消火設備用ボンベ及び消火器の構造及び強度 ・・・・・・・	4

1. 概要

クラス3機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号)(以下「技術基準規則」という。)第17条第1項第3号及び第10号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有することが要求されている。

本資料は、クラス3機器のうち材料及び構造の要求が追加又は変更となる以下の機器 が十分な強度を有することを確認するための強度評価の基本方針について説明するもの である。

- 「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」
 の改造に伴い強度評価が必要となる管
- ・「その他発電用原子炉の附属施設(火災防護設備)」の容器及び管
- ・「その他発電用原子炉の附属施設(浸水防護設備)」の管

2. クラス3機器の強度計算の基本方針

クラス3機器の材料及び構造については,技術基準規則第17条(材料及び構造)に規 定されており,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈」

(平成25年6月19日 原規技発第 1306194 号)(以下「技術基準規則の解釈」とい う。)第17条10において「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007 年追補版含む。))<第I編 軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」(日本機 械学会)又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)<第I編軽水炉 規格> JSME S NC1-2012」(日本機械学会)によることとされているが、技術 基準規則の施行の際現に施設し、又は着手した設計基準対象施設については、施設時に 適用された規格に拠ることと規定されている。同解釈において規定されているJSME S NC1-2005/2007及びJSME S NC1-2012は、いずれも技術基準規則を満た す仕様規定として相違がない。

よって、クラス3機器(火災防護設備のハロンボンベ及び二酸化炭素ボンベ(以下 「消火設備用ボンベ」という。)、消火器を除く。)の評価は、基本的にJSME S N C1-2005/2007(以下「設計・建設規格」という。)による評価を実施する。ただし、 施設時の適用規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(昭和55年10月 30日 通商産業省告示第501号)(以下「告示第501号」という。)の場合は、設 計・建設規格と告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施 する。

また,技術基準規則の解釈の冒頭において「技術基準規則に定める技術的要件を満足 する技術的内容は,本解釈に限定されるものではなく,技術基準規則に照らして十分な 保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば,技術基準規則に適合するものと判断 する。」ことが規定されている。

クラス3容器のうち完成品としてそれぞれ高圧ガス保安法及び消防法の規制を受ける 消火設備用ボンベ及び「実用発電用原子炉及びその附属施設の火災防護に係る審査基 準」に基づき火災区域又は火災区画に配備する消火器(以下「消火器」という。)につ いては,技術基準規則第17条第1項第3号及び第10号におけるクラス3容器の材料, 構造及び強度の要求に照らして十分な保安水準の確保ができることを確認した上で,高 圧ガス保安法又は消防法に適合したものを使用する設計とする。

消火設備用ボンベ及び消火器の材料については,技術基準規則第17条におけるクラス3容器の材料,構造及び強度の規定と高圧ガス保安法又は消防法の規定の比較評価において適切であることを確認する。

- 2.1 クラス3機器(消火設備用ボンベ及び消火器を除く)の構造及び強度
 - (1) 強度計算における適用規格の選定

クラス3機器(消火設備用ボンベ及び消火器を除く。)のうち改造を実施する機 器又は施設時の適用規格が設計・建設規格の機器の場合は設計・建設規格による評 価を実施する。

クラス3機器(消火設備用ボンベ及び消火器を除く。)のうち施設時の適用規格 が告示第501号の場合は,設計・建設規格と告示第501号との比較を行い,い ずれか安全側の規格による評価を実施する。

安全側の適用規格の選定は、クラス3機器において解析による評価は行わないた め、公式による評価について実施する。

a. 公式による評価の比較

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては,評価式,評価式 に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数については,評 価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値については, 物性値を割下げ率で除して許容値が設定されていることからその影響は許容値に含 まれることになる。よって,評価式と許容値の2つの項目について比較する。

評価式及び許容値の比較は,評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較は,許 容値が小さい方を安全側とする。

ただし,許容値の SI 単位化による誤差は,単位換算によるものであり工学的な 意味合いはなく,評価結果に影響を与えないため,ここでは相違するものとはみな さない。

上述の2つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合 は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第501号のいずれかに て評価を実施する。また、安全側の規格が異なる場合等で、安全側の規格が容易に 判断できない場合は設計・建設規格及び告示第501号の両規格により評価を実施 する。両規格に相違がない場合は設計・建設規格に基づき評価を実施する。

(2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第50 1号による評価について,評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施した 結果,両規格に相違がないことを確認した。 (3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第50 1号の比較において、両規格に相違がないことが確認できたことから設計・建設規 格に基づき評価を実施する。

2.2 クラス3機器のうち消火設備用ボンベ及び消火器の構造及び強度

クラス3機器のうち消火設備用ボンベ及び消火器については,設計に適用した高圧 ガス保安法及び消防法の規定が技術基準規則第17条に照らして十分な保安水準の確 保が達成できる技術的根拠があることを確認する。

- (1) 技術基準規則第17条第1項第3号,第10号及び第15号の要求事項
 - a. 材料
 - ・クラス3容器に使用する材料が、その使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な機械的強度及び化学的成分を有すること。
 - ・工学的安全施設に属するクラス3容器に使用する材料にあっては、当該機器の 最低使用温度に対して適切な破壊じん性を有することを機械試験その他の評価 方法により確認したものであること。(火災防護設備は工学的安全施設に該当 しないため対象外。)
 - b. 構造及び強度
 - ・設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に抑えること。
 - ・クラス3容器に属する伸縮継手にあっては、設計上定める条件で応力が繰り返し加わる場合において、疲労破壊が生じないこと。(消火設備用ボンベ及び消火器に対して伸縮継手を使用していないため対象外)
 - ・設計上定める条件において,座屈が生じないこと。(消火設備用ボンベ及び消 火器の外面には圧力が加わらないことから対象外)
 - c. 主要な耐圧部の溶接部

主要な耐圧部の溶接部について、不連続で特異な形状でないものであること等 が規定されている。(主要な耐圧部の溶接部は、機器のうち容器及び管を対象と し、施設の安全上の重要度、圧力、口径等から技術基準規則の解釈に定められて おり、火災防護設備ついては、外径150mm以上の管が「主要な耐圧部の溶接部」 に該当し、容器については対象外)

- (2) 技術基準規則第17条と高圧ガス保安法の規定の比較
 - a. 材料

技術基準規則第17条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な 機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用することが要求されている。

一方,高圧ガス保安法では,容器について,充てんする高圧ガスの種類,充てん 圧力,使用温度及び使用される環境に応じた適切な材料を使用して製造することが 要求されており,考慮する使用条件は以下のとおり同等であることから,材料に対 して要求する保安水準は同等である。

(圧力)

技術基準規則第17条では,設計上定める条件において,機器が受ける最高の 圧力以上の圧力である「最高使用圧力」を条件としており,高圧ガス保安法にお けるボンベ内部に受ける最高の圧力である「充てん圧力」と同等である。 (温度)

技術基準規則第17条では,設計上定める条件において,最高の温度以上の温 度である「最高使用温度」を条件としており,高圧ガス保安法における「使用温 度」として規定している温度の上限値と同等である。

(荷重)

技術基準規則第17条の要求を満たす仕様規定である設計・建設規格のクラス 3容器の規定において、具体的な荷重は規定されていない。消火設備用ボンベに 対する荷重は最高使用圧力に包絡されており、高圧ガス保安法も充てん圧力を規 定していることから、想定する荷重は同等である。

(その他の使用条件)

技術基準規則第17条では,機器の内部流体などの使用条件を考慮した材料を 選定することが要求されており,具体的な使用可能材料が設計・建設規格に規定 されている。

一方,高圧ガス保安法では,ボンベの材料選定として,充てんする高圧ガスの 種類等,使用される環境に応じた適切な材料を選定するよう規定していることか ら,技術基準規則第17条において考慮すべき「その他の使用条件」と同等であ る。 b. 構造及び強度

技術基準規則第17条では,設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に 抑えることが要求されている。

一方,高圧ガス保安法では,「溶接容器(ハロンボンベ)及び一般継目なし容器 (二酸化炭素ボンベ)の必要肉厚を材料の許容応力より算出すること」が要求され ており,材料の降伏点を超えることのないよう許容応力を規定していることから, 要求する保安水準は同等である。

上述の a. 項及び b. 項より,技術基準規則第 17 条と高圧ガス保安法の材料,構造及 び強度の規定の水準は同等であることから,火災防護設備として使用する消火設備用 ボンベについては,高圧ガス保安法の材料,構造及び強度に関する要求に適合するこ とにより,技術基準規則第 17 条の要求に照らして十分な保安水準の確保が可能であ るため,高圧ガス保安法に適合したものを使用する設計とする。

- (3) 技術基準規則第17条と消防法の規定の比較
 - a. 材料

技術基準規則第17条では、圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切な 機械的強度及び化学的成分を有する材料を使用することが要求されている。

一方,消防法では,容器について耐食性及び耐久性を有する良質の材料を用いた 堅ろうな材料を使用すること並びに腐食試験等においてさび等の異常を生じないこ とが要求されており,考慮する使用条件は以下のとおり同等であることから,材料 に対して要求する保安水準は同等である。

(圧力)

技術基準規則第17条では,設計上定める条件において,機器が受ける最高の 圧力以上の圧力である「最高使用圧力」を条件としており,消防法における消火 器内部に受ける最高の圧力である「調整圧力,閉そく圧力及び使用圧力の上限 値」と同等である。

(温度)

技術基準規則第17条では,設計上定める条件において,最高の温度以上の温 度である「最高使用温度」を条件としており,消防法における「使用温度範囲」 として規定している最高温度と同等である。

(荷重)

技術基準規則第17条の要求を満たす仕様規定である設計・建設規格のクラス 3容器の規定において、具体的な荷重は規定されていない。消火器に対する荷重 は最高使用圧力に包絡されており、消防法も使用圧力等を規定していることか ら、想定される荷重は同等である。

(その他の使用条件)

技術基準規則第17条では,機器の内部流体等の使用条件を考慮した材料を選 定することが要求されており,具体的な使用可能材料が設計・建設規格に規定さ れている。

一方,消防法では,消火器の材料選定として,充てんした消火剤に接触する部 分をその消火剤に侵されない材料で造ることが規定されており,技術基準規則第 17条において考慮すべき「その他の使用条件」と同等である。 b. 構造及び強度

技術基準規則第17条では,設計上定める条件において全体的な変形を弾性域に 抑えることが要求されている。

一方,消防法では,使用材料に応じた消火器の本体容器の板厚を規定しており, 消火器内部に受ける最高の圧力(調整圧力,閉そく圧力及び使用圧力の上限値)を 超える圧力(設計上定める最高の圧力の1.3~2.0倍)で耐圧試験を実施し,強度 上支障のある永久ひずみ(円筒部分にあっては,円周長の0.5%以上の永久ひず み)を生じないことが要求されている。これは,設計上定める条件に対して十分な 裕度を持って,全体的な変形を弾性域に抑えることができる水準であることから, 要求する保安水準は同等である。

上述の a. 項及び b. 項より,技術基準規則第 17 条と消防法の材料,構造及び強度の 規定の水準は同等であることから,火災防護設備として使用する消火器については, 消防法の材料,構造及び強度に関する要求に適合することにより,技術基準規則第 17 条の要求に照らして十分な保安水準の確保が可能であるため,消防法に適合した ものを使用する設計とする。 V-3-1-5 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2 支持構造物の強度計算の基本方針

目 次

1.	概要	• • •	•••	••••		• • • •	•••	•••	• • • •	• • • •	•••	• • • •	•••	•••	• • • •	• • • •	• • • •	••••	••••		1
2.	重大事	₣故領	等ク	ラス	2枝	幾器)	及び	重大	;事背	女 等 :	クラ	ス2	支持	寺構	造物	の強	度計	算 (の基ズ	本	
	方針	•••	•••	• • • •		• • • •	•••	•••	• • • •	• • • •	•••	••••		• • •		••••	••••	•••	••••	••••	2
2.1	重大	:事は	汝等	クラ	ス	2 機暑	器(クラ	スコ	L機碁	器及	び原	〔子贞	戸格;	納容	器を	除く) 1	並びり	こ重力	た
	事故	女等?	クラ	ス2	支持	寺構ì	告物	(ク	ラス	1支	を持	構造	物を	·除‹	<)0	り構え	造及	び強	度	• • • •	4
2	2.1.1	クラ	ラス	2 機	器(の規算	宦に	基づ	うく言	平価	••	• • • •		•••	• • • •	•••	••••	••••	••••	••••	7
2	2.1.2	クラ	ラス	2 機	器(の規算	宦に	よら	ない	い場合	合の	評価	ī	•••	• • • •	• • • •	••••	••••	••••	•••	11
2.2	2 重大	:事は	汝等	クラ	ス	2 機暑	器で	あっ	て!	フラン	ス1	機器	及て	「重	大事	故等	シラ	ス	2 支打	寺	
	構造	皆物 ~	であ	って	クラ	ラス	1支	持構	青造物	勿の柞	冓造	及び	、強度	÷	• • • •	••••	••••	••••	••••	•••	22
2.3	3 重大	:事は	汝等	クラ	ス	2 機暑	器で	あっ	って原	原子炸	戸格	納容	器0)構	造及	び強	度	•••	••••	••••	24
2.4	1 設計	十.灸	ま 設	規格	i又	は告え	示第	5 0	1 5	号に↓	おけ	る材	*料の	つ規	定に	よら	ない	場	合の		
	評価	fi •	•••		••••	• • • •	•••	•••	• • • •	• • • •	•••	• • • •	• • • •	•••		••••	••••	••••	••••	•••	26
1. 概要

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料及び構造について は、「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成25年6月28 日 原子力規制委員会規則第六号)(以下「技術基準規則」という。)第55条第1項第 2号及び第5号に規定されており、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有する ことが要求されている。

本資料は、重大事故等クラス2機器である容器、管、ポンプ及び弁並びに重大事故等 クラス2支持構造物であって、重大事故等クラス2機器に溶接により取り付けられ、そ の損壊により重大事故等クラス2機器に損壊を生じさせるおそれがある支持構造物(以 下「重大事故等クラス2支持構造物」という。)が十分な強度を有することを確認する ための強度評価の基本方針について説明するものである。 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料及び構造について は、技術基準規則第55条(材料及び構造)に規定されており、「実用発電用原子炉及び その附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(平成25年6月19日 原規技発第 1306194号)(以下「技術基準規則の解釈」という。)に従い、設計基準施設の規定を準 用する。

また,技術基準規則の解釈第17条10において「発電用原子力設備規格 設計・建設 規格(2005年版(2007年追補版含む。))<第1編軽水炉規格> JSME S NC 1-2005/2007」(日本機械学会)又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012 年版)<第1編軽水炉規格> JSME S NC1-2012」(日本機械学会)によるこ ととされているが,技術基準規則の施行の際現に施設し,又は着手した設計基準対象施 設については,施設時に適用された規格によることと規定されている。同解釈において 規定されるJSME S NC1-2005/2007及びJSME S NC1-2012は,いず れも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって、重大事故等クラス2機器(クラス1機器及び原子炉格納容器を除く)及び重 大事故等クラス2支持構造物(クラス1支持構造物を除く)の評価は、基本的にJSM E S NC1-2005/2007(以下「設計・建設規格」という。)による評価とする。た だし、施設時の規格が「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(昭和55年10 月30日 通商産業省告示第501号)(以下「告示第501号」という。)の場合は、 今回の設計時において技術基準規則を満たす仕様規定とされている設計・建設規格と告 示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

クラス2機器又はクラス2支持構造物を同位クラスである重大事故等クラス2機器又 は重大事故等クラス2支持構造物として兼用し,重大事故等の使用条件が設計基準の使 用条件に包絡され,クラス2機器又はクラス2支持構造物の既に認可された工事計画の 添付資料(以下「既工認」という。)における評価結果がある場合は,材料,構造及び 強度の要求は同じであることから,その評価の適用性を確認し,既工認の確認による評 価を実施する。

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物で あってクラス1支持構造物の評価は、重大事故等時の使用条件が設計基準の使用条件に 包絡され、既工認における評価結果がある場合は、その評価の適用性を確認し、既工認 の確認による評価を実施する。また、上述の評価条件がない場合は、設計・建設規格と 告示第501号の比較を行い、いずれか安全側の規格による評価を実施する。

原子炉格納容器のうちコンクリート製格納容器の評価は「コンクリート製原子炉格納容器に関する構造等の技術基準」(平成2年10月22日 通商産業省告示第452号)

(以下「告示第452号」という。)による評価を実施する。但し, コンクリート製格 納容器のうち改造を実施する設備は「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格

2

納容器規格 JSME S NE1-2003」(日本機械学会)(以下「CCV規格」という。)による評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器(コンクリート製原子炉格納容器を 除く。)の評価は、告示第501号による評価を実施する。但し、原子炉格納容器のう ち改造を実施する設備は設計・建設規格による評価を実施する。

重大事故等クラス2機器であって非常用炉心冷却設備に係るろ過装置(ストレーナ) の評価は,技術基準規則の解釈第17条4に記載される「非常用炉心冷却設備又は格納 容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について(内規)」(平成20・02・12原院 第5号(平成20年2月27日原子力安全・保安院制定))の評価方針を考慮し,重大事 故等クラス2機器としての評価を実施する。

重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料については,技術 基準第55条において材料は「使用前に適用されるものとする。」と規定されていること から,重大事故等クラス2機器(原子炉格納容器のうちコンクリート製原子炉格納容器 を除く。)及び重大事故等クラス2支持構造物の材料については,技術基準規則施行前 に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第501号における材 料の規定によらない場合は,使用条件に対して適切であることを確認した材料を使用す る設計とする。

また,原子炉格納容器のうちコンクリート製原子炉格納容器の材料については,告示 第452号に規定された材料を使用する設計とする。 2.1 重大事故等クラス2機器(クラス1機器及び原子炉格納容器を除く)並びに重大 事故等クラス2支持構造物(クラス1支持構造物を除く)の構造及び強度

重大事故等クラス2機器(クラス1機器及び原子炉格納容器を除く)並びに重大事 故等クラス2支持構造物(クラス1支持構造物を除く)の評価における適用規格,評 価方法の考え方を図2-1に示す。重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支 持構造物において,施設時の技術基準に対象とする施設の規定がある機器又は支持構 造物で,クラスアップ又は条件アップ*1されておらず,既工認における評価結果が ある場合は,その評価結果の確認による評価を実施する(評価区分①)。

施設時の技術基準に対象とする施設の規定がない機器及び支持構造物については, 設計・建設規格による評価を実施する(評価区分②)。

施設時の技術基準に対象とする施設の規定がある機器又は支持構造物でクラスアッ プ又は条件アップされており,施設時の適用規格が告示第501号である機器又は支 持構造物については,設計・建設規格又は告示第501号のいずれか安全側の規格に よる評価を実施する。また,クラスアップ又は条件アップされておらず,既工認にお ける評価結果がない場合で,施設時の適用規格が告示第501号である機器又は支持 構造物については同じく設計・建設規格又は告示第501号のいずれか安全側の規格 による評価を実施する(評価区分③)。

上述する機器又は支持構造物以外については,設計・建設規格による評価を実施する(評価区分④)。

設計・建設規格又は告示第501号に評価式*2が規定されていない場合,同等性 を示す評価方法により評価を実施する。より精緻な評価が必要な場合は,クラス1容 器の規定を準用した評価方法により十分な強度を有することを確認する。

技術基準規則において,重大事故等クラス2機器の強度評価については,延性破 断,疲労破壊(各機器に属する伸縮継手及び伸縮継手を除く管に限る。)及び座屈

(容器及び管に限る。)による破壊の防止が求められており,重大事故等クラス2支 持構造物の強度評価については,延性破断及び座屈による破壊の防止が求められてい る。

ただし,重大事故等クラス2管の疲労評価については,重大事故等時は運転状態IV を超える事象であり,発生回数が少なく疲労に顕著な影響を及ぼす繰返し応力は発生 しないこと,また,設計基準対象施設と機能を兼用している設備については,設計基 準対象施設に対する要求事項に基づき疲労評価を実施していることから,評価を省略 する。

注記*1:クラスアップする機器とは、クラス1機器又はクラス2機器に属さない 機器のうち、重大事故等クラス2機器となるものをいう。条件アップす る機器とは、設計基準対象施設としての使用時における最高使用圧力及 び最高使用温度に、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が包絡

R1

されないものをいう。

*2:評価式とは設計・建設規格にて評価する場合,クラス2機器の評価式, 告示第501号にて評価する場合,第3種機器の評価式を示す。



図 2-1 評価区分の整理フロー

- 2.1.1 クラス2機器の規定に基づく評価
 - (1) 強度計算における適用規格の選定

ここでは、重大事故等クラス2機器のうち図2-1において、「③設計・建設規 格又は告示第501号のいずれか安全側の規格による評価」に区分された機器の 適用規格について説明する。当該機器の施設時の適用規格は告示第501号であ るため、設計・建設規格と告示第501号との比較を行い、いずれか安全側の規 格による評価を実施する。

安全側の規格の選定は、両規格において公式による評価手法と解析による評価 手法が規定されていることから、以下「a.公式による評価の比較」及び「b. 解 析による評価の比較」に示す手法ごとに比較を行い実施する。

a. 公式による評価

公式による評価において評価結果に影響を与えるものとしては,評価式,評 価式に用いる許容値及び係数並びに材料の物性値がある。このうち係数につい ては評価式を構成するものであることから評価式として扱う。材料の物性値に ついては,物性値を割下げ率で除して許容値を設定されていることからその影 響は許容値に含まれることになる。よって,評価式と許容値の2つの項目につ いて比較する。

評価式及び許容値の比較は,評価対象部位ごとに実施する。許容値の比較 は,許容値が小さい方を安全側とする。ただし,許容値のSI単位化による誤 差は,単位換算によるものであり工学的な意味合いはなく,評価結果に影響を 与えないため,ここでは相違するものとは見なさない。

上記2つの項目における比較において安全側の規格が容易に判断できる場合 は、安全側の規格として選定した設計・建設規格又は告示第501号のいずれ かにて評価を実施する。安全側の規格が容易に判断できない場合は設計・建設 規格及び告示第501号の両規格により評価を実施する。両規格に相違がない 場合は、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

b. 解析による評価の比較

解析による評価において安全側の規格が容易に判断できない場合は,設計・ 建設規格及び告示第501号の両規格により評価を実施する。 (2) 規格の相違

施設時の適用規格が告示第501号である場合の,設計・建設規格及び告示第 501号による評価について,評価式及び許容値の2つの項目について比較を実施し,安全側の規格を整理した。以下に,両規格に相違が認められた評価項目例 を示す。なお,本項に記載の告示第501号の評価式は,両規格の比較を行うため,SI単位系に換算したものを用いる。

a. 評価式

(a) 容器 ^{*1}

評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する	備考
			規格	
平板の板厚計	[PVC-3310]	[第 34 条第 1 項]	告示	* 2
算における係	取付方法(i)の場合	取付方法(g)の場合	第501号	
数	K = 0.33	K = 0.50		
	(参考)	(参考)		
	$t = d \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$	$t = d \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$		

注記*1:評価式に記載の記号は、V-3-2-8「重大事故等クラス2容器の強度計算方法」 による。

*2:t(必要肉厚)は告示第501号の方が大きくなり安全側が明確であるため,告示第501号の評価式を適用する。

. ,				
評価項目	設計・建設規格	告示第501号	適用する	備考
			規格	
うず巻ポン	[PMC-3310(片吸込み1	[第 77 条第 2 項]	設計・建設	* 2
プ,ターボポ	重うず巻きポンプ)]	P A	規格	
ンプ又は往復	PA	$t = \frac{1}{2S}$		
ポンプのケー	t =S			
シングの厚さ				
の規定				
うず巻ポン	[PMC-3340(3)]	[第 77 条第 7 項 3]	告示	* 3
プ,ターボポ	分流壁がケーシング壁	分流壁がケーシング壁	第501号	
ンプ又は往復	面に交わる部分のすみ	面に交わる部分のすみ		
ポンプのケー	の丸み径は, 式 PMC-3	の丸み径は, 第二項の		
シング各部形	により計算した値の	計算式により計算した		
状の規定	0.1倍の値または 6mm	値の 0.1 倍の値または		
	のうちいずれか大きい	7mm のうちいずれか大		
	値以上であること。	きい値以上であるこ		
		と。		
うず巻ポン	[PMC-3410]	[第 77 条第 5 項]	告示	* 3
プ,ターボポ	取付方法(a)の場合	取付方法(a)の場合	第501号	
ンプ又は往復	K = 0.17	K = 0.20		
ポンプのケー	取付方法(その他)の	取付方法(その他)の		
シングカバー	場合	場合		
の厚さ計算に	K = 0.50	K = 0.75		
おける係数	(参考)	(参考)		
(平板形)	0.5	0.5		
	$t = d \left(\frac{K \cdot P}{S}\right)^{0.0}$	$t = d \left(\frac{K \cdot P}{S}\right)^{0.0}$		
	1	1		1

(b) ポンプ*1

注記*1:評価式に記載の記号は、V-3-2-10「重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法」による。

- *2:t(必要肉厚)は設計・建設規格の方が大きくなり安全側が明確であるため,設計・建設規格の評価式を適用する。
- *3: すみの丸み半径及びケーシングカバー厚さは告示第501号の方が大きくなり 安全側が明確であるため、告示第501号の評価式を適用する。

b. 許容値

(a)	弁*1
(4)	71

評価項目	許容	許容		P_1, P_2 $\&$	適用する						
	圧力	圧力	最少厚さ(mm) *2			規格					
	P_1	P_2	設計・建設		設計・建設		告示		建設 告示		
	(MPa)	(MPa)	規格		第501号		規格 第501号				
			t_1	t_2	t_1	t_2					
弁箱又は弁ふたの厚さ	1.83	4.79	9.5	14.2	9.5	14.5	告示				
$t=t_{1}+\frac{(P-P_{1})(t_{2}-t_{1})}{(P_{2}-P_{1})}$							第501号				
(残留熱除去系 004A)											

注記*1:評価式に記載の記号は、V-3-2-11「重大事故等クラス2弁の強度計算方法」に よる。

*2:設計・建設規格 別表3及び告示第501号 別表15による。

(3) 選定規格

施設時の適用規格が告示第501号である場合の設計・建設規格及び告示第501号の比較において,確認された安全側の規格により評価を実施し,強度計算書に評価結果を記載する。なお,設計・建設規格及び告示第501号の両規格による評価を実施したものにおいては,両規格による評価結果を計算書に記載する。

2.1.2 クラス2機器の規定によらない場合の評価

ここでは,設計・建設規格又は告示第501号に評価式*1が規定されていない場合,又は,より精緻な評価を実施する必要がある場合の評価方法について説明する。

設計・建設規格及び告示第501号に評価式が規定されていない場合,同等性 を示す評価式により評価を実施する。より精緻な評価が必要な場合は,クラス1 容器の規定を準用した評価により十分な強度を有することを確認する。

図 2-2 に重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フローを示す。今回の申請対象設備である重大事故等クラス2機器の評価のうち、フローに基づき抽出された同等性評価方法を以下に示す。

- a. 評価式が規定されていない場合
- (a) 長方形板の大たわみ式*2を用いた評価
- (b) クラス3ポンプの規定を準用した評価
- (c) ねじ山のせん断破壊式*3を用いた評価
- b. 精緻な評価を実施する必要がある場合
 - (a) クラス1容器(第1種容器)の規定を準用した評価
 - 注記*1:評価式とはJSMEにて評価する場合は、クラス2機器の評価式, 告示501号にて評価する場合は,第3種機器の評価式を示す。
 - *2:機械工学便覧に記載されている4辺単純支持の長方形板が等分布荷 重を受ける場合の長方形板の大たわみ式
 - *3:機械工学便覧に記載されているねじ山のせん断破壊荷重評価式



図 2-2 重大事故等クラス2機器の技術基準規則適合性確認フロー

(1) 長方形板の大たわみ式を用いた矩形ダクトの評価

重大事故等クラス2管のうち矩形ダクトについては、形状が円形でないことか ら、設計・建設規格に規定されているクラス2管の円形を前提とした評価式を適 用することができない。このため、矩形ダクトの強度評価については、以下に示 すとおりの重大事故等クラス2管の評価手法として妥当性を確認した機械工学便 覧に記載されている長方形板の大たわみ式及び判断基準を用いた評価を実施す る。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できない矩形ダクトについて,矩形ダクトの任意 のダクト鋼板面のうち2辺は他の2つの側面のダクト鋼板で支持されており, 残りの2辺は補強部材(及び接続材)で支持された,4辺単純支持長方形板と 見なすことができる。実際の使用条件では,この鋼板面に圧力と自重の等分布 荷重である面外荷重が作用する。鋼板面は,この面外荷重により薄い平板が板 厚の半分以上大きくたわみ,膜引張応力状態で応力の釣合いが保たれ,鋼板中 心部で最大応力が発生する。このように,薄い平板が板厚の半分以上の比較的 大きなたわみを生じる挙動を示す場合の応力評価には,機械工学便覧記載の長 方形板の大たわみの式(次項に示す2つの式)が適していることから,矩形ダ クトの強度評価には,機械工学便覧記載の4辺単純支持長方形板の大たわみ式 を用いる。



記号	単位	定義
t	mm	ダクトの厚さ
а	mm	ダクト長辺寸法
b	mm	ダクト短辺寸法
С	mm	ダクト接続材・補強材の接続ピッチ
Р	MPa	最高使用圧力
g	m/s^2	重力加速度
D p	kg/mm^2	単位面積当たりのダクト鋼板の質量
Е	MPa	ヤング率
ν	—	ポアソン比
δ _{max}	mm	面外荷重によるダクト鋼板の最大変位量
σ _{max}	MPa	面外荷重による一次応力

計算に使う記号



b. 判断基準

矩形ダクトの強度評価では,設計・建設規格のクラス2管に規定のある厚さ 計算及び応力計算を参考とし,機械工学便覧記載のたわみの式を適用した評価 を実施する。また,判断基準については以下のとおりとし,裕度については設 計・建設規格のクラス2管の規定における許容引張応力S値を適用する。

(a) 厚さ計算

最小板厚を求める場合は、面外荷重による一次応力σ_{max}を許容引張応力 S値に置換えて、2式を解き、両辺を満足するδ_{max}及びtを求める。この 時のtを矩形ダクトの計算上必要な厚さと定義し、ダクトの実際使用厚さが 計算上必要な厚さを満足することを確認する。

(b) 応力計算

一次応力を求める場合は、ダクトの公称値を用いて、2式を解き、両辺を 満足するδmax及びσmaxを求める。この時のσmaxを矩形ダクトの一次応 力と定義し、一次応力が許容引張応力S値の1.5倍以下であることを確認す る。 (2) クラス3ポンプの規定を準用した立形ポンプの評価

重大事故等クラス2ポンプのうち立形ポンプについては,設計・建設規格にお けるクラス2ポンプに評価式が規定されていないため,立形ポンプの強度評価に ついては,以下に示すとおりの重大事故等クラス2ポンプの評価手法として妥当 性を確認した設計・建設規格に規定されているクラス3ポンプの評価式及び判断 基準を用いた評価を実施する。

a. 評価式

クラス2ポンプ及びクラス3ポンプのケーシングの強度評価式を表 2-1 に示 す。

ケーシングの厚さの評価式については、一般的な材料力学における内圧を受ける薄肉円筒の式又は内圧を受ける円筒の応力式である Lame の修正式に基づいており、横形ポンプにおいては、クラス2ポンプとクラス3ポンプの考え方は同一であり、技術的に同一の強度を有することが要求されている。この考え方については、クラス2管とクラス3管の厚さ計算についても同様であることから、クラス2ポンプに評価式が規定されていない重大事故等クラス2ポンプのうち立形ポンプのケーシングの強度評価については、クラス3ポンプに規定されている立形ポンプの評価式を用いる。

ポンプ型式	設計・建設規構	各 強度評価式	供 类	
	クラス2	クラス3	加方	
			・同じ式である。	
横形ポンプ	$t = \frac{P \cdot A}{2S}$	$t = \frac{P \cdot A}{2S}$	・内圧を受ける薄肉円筒の式	
	2.5	25	に基づく。	
立形ポンプ	_		・内圧をうける円筒の応力式	
		$t = \frac{P \cdot D \circ}{2(S + m + D + m)}$	である Lame の修正式に基づ	
		2(3 · η · F · y)	< .	
			・同じ式である。	
配管 (参考)	P · D o	P·D o	・内圧をうける円筒の応力式	
	$t = \frac{1}{2 \text{ S} \cdot \eta + 0.8 \text{ P}}$	$1 - \frac{1}{2 \text{ S} \cdot \eta + 0.8 \text{ P}}$	である Lame の修正式に基づ	
			< 。	

表 2-1 設計・建設規格 ケーシングの強度評価式

t : ケーシング及び吐出エルボ, 揚水管又はボウルの計算上必要な厚さ (mm)

P :最高使用圧力 (MPa)

 A :設計・建設規格 図 PMC-3320-1 から図 PMC-3320-6 又は設計・建設規格 図 PMD-3310-1 から図 PMD-3310-6 までに示す寸法 (mm)

S : 最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規定する材料 の許容引張応力(MPa)

Do:設計・建設規格 図 PMD-3310-7 に示す吐出エルボの外径寸法, 揚水管の外形寸法, 個々のボウルの吸い込み側の最大外径寸法 (mm)

η :長手継手の効率で,設計・建設規格 PVD-3110 に定めるところによる

- y : 0.4 (Do/t ≧6.0の場合)
 - d / (d+Do) (Do/t<6.0の場合)

b. 判断基準

立形ポンプのケーシングの強度評価は、クラス3ポンプに規定されている立 形ポンプの評価式を用いた評価を実施するが、裕度については設計・建設規格 のクラス2ポンプのケーシングの規定における許容引張応力S値を適用する。 (3) ねじ山のせん断破壊式を用いたねじ込み継手の評価

重大事故等クラス2管のうちねじ込み継手については端部がねじ部であるため 設計・建設規格に規定されているクラス2管の評価式を適用することができな い。このため、ねじ部の強度評価については、以下に示す機械工学便覧に記載さ れているねじ部のせん断破壊評価式を準用した評価を実施する。

a. 評価式

クラス2管の評価式を適用できないねじ部のせん断応力評価について、使用 するねじはJIS B 8246 (2004)「高圧ガス容器用弁」におけるガス 充てん口ねじに適合したものを使用することから、ねじ部の強度評価に用いら れる機械工学便覧記載のねじ山のせん断破壊式を用い評価する。また、継手部 の厚さ計算については設計・建設規格に規定されている計算上必要な厚さの規 定を用いる。



計算に使う記号

記号	単位	定義				
A B	mm	おねじのせん断長さ				
Р	mm	ピッチ				
d p	mm	おねじの有効径				
D _c	mm	めねじの内径				
α	0	ねじ角度				
W _B	Ν	おねじのねじ山の許容軸方向荷重				
Z	—	負荷能力があるとみなされる、ねじ山の数				
		z = (L-0.5P)/P				
τ в	MPa	おねじ材料の許容せん断応力				
L	mm	ねじの基準長さ				
Fв	MPa	おねじの耐圧力				
F _t	Ν	ねじ締付トルクによる引抜荷重				
А	mm^2	内圧評価断面積				

	計算式
AB = $(P/2) + (d_p - D_c) \tan \alpha$	
$W_B = \pi D_C (AB) z \tau_B$	
$F_{B} = (W_{B} - F_{t}) / A$	

b. 許容値

ねじ部のせん断評価は、機械工学便覧記載のせん断破壊式を準用した評価を 実施するが、ねじ込み継手は管と管とを接続する継手であることから、許容値 については設計・建設規格クラス2管の規定における許容引張応力Sを基に求 めた許容せん断応力S/√3を適用する。 (4) クラス1容器の規定を準用又は参考とした評価

重大事故等クラス2機器の評価において、公式による評価を満足しない部位に ついては、より精緻な評価を実施する必要があるため、設計・建設規格にて規定 されている準用規定に基づき、クラス1容器の規定を準用し、解析による評価を 実施する。そのための機器によっては、公式による評価と解析による評価を組合 せ、その健全性を確認する方針とする。

a. 公式による評価と解析による評価の組合せ

設計・建設規格のクラス2機器の評価は公式による評価が基本となるが,公 式による評価を満足しない部位を含む機器は,公式による評価と解析による評 価を組合せた評価を実施する。

(a) クラス2機器の公式による評価

設計・建設規格クラス2機器の評価については,設計・建設規格 PVC-3000(クラス2容器の設計), PPC-3000(管の設計), PMC-3000(クラス2ポ ンプの設計)の各機器の規定において, 胴, 管,ケーシング等の一般部の板 厚評価式,開口部に対する補強及びフランジの簡易評価式等,強度評価式が 種々に与えられているが,構造不連続部等の局所に着目した強度評価手法に ついては明確にされていない。

設計・建設規格のクラス2機器であっても,構造不連続部等の局所的に応 力が高い部位も存在すると考えられるが,各機器の規定されている強度評価 は,一般部に対し,許容値を低く設定(許容引張応力S)して裕度のある評 価を行うことで,局所の健全性も担保している。

(b) 解析による評価

評価対象部位のうち公式による評価を満足しない部位については,より精 緻な評価としてクラス1容器の規定を準用し,解析による評価を実施する。 解析による評価は,構造不連続部等の局所的に応力が高い部位を模擬した詳 細な解析に応じた許容値(設計応力強さSm)を設定し,より精緻な評価を 行うことで,局所の健全性を確認している。 (c) 評価対象部位間の相互影響

前述の(b)項に記載の機器は,評価対象部位ごとに公式と解析による評価 が混在する機器であり,以下に示すとおり部位間の相互影響を適切に考慮す ることで,機器としての健全性を確認する。

イ. 一体構造体

主管に設けられた管台等の一体構造体中に存在する構造不連続部等の局 所では,一般部に比べ発生応力が大きくなり,その局部応力により局所周 辺も発生応力が引き上げられると考えられる。そのため,局部応力が隣接 する部位に及ぼす影響の有無を適切に評価する必要がある。

局部応力が隣接する部位に及ぼす影響については,設計・建設規格解説 にその考え方が示されており,設計・建設規格 解説 PVB-3513(補強面 積の設置条件)及び設計・建設規格 解説 PVB-3530(補強をしない穴の 適合条件)では, 殻理論に基づく軸対称殻上の局所が及ぼす影響範囲につ

いて示されている。設計・建設規格 解説 PVB-3513 には「0.5 \sqrt{R} ・t 内に局部応力のほとんどが収まる」と示されている。

以上のことから,主配管に設けられた管台等の一体構造体内に存在する 構造不連続部等の局所の評価について,局部応力が及ぼす影響範囲

0.5√R・tを網羅するように適切にモデル化することで、一体構造物として評価を実施する。

ロ. 一体でない構造体

フランジとボルト等の一体でない異なる構造体中に存在する評価対象部 位間では、荷重・変位伝達等を個別に設定することで、独立した部位とし て個々に評価を実施する。 2.2 重大事故等クラス2機器であってクラス1機器及び重大事故等クラス2支持構造物であってクラス1支持構造物の構造及び強度

重大事故等クラス2機器は、技術基準規則第55条において、「設計上定める条件 において、全体的な変形を弾性域に抑えること」が要求されている。

クラス1機器については,重大事故等時に流路としての機能が要求され,重大事 故等クラス2機器となることから,設計上定める条件として重大事故等時の使用圧 力,使用温度,事故時荷重等が付加された状態を想定し,全体的な変形を弾性域に 抑えることについては,それと同等以上の性能を有していることを確認する。

重大事故等クラス2機器であってクラス1機器の強度評価に当たっては,既に施 設された設備であることから,設計・建設規格と告示第501号の比較を行い,い ずれか安全側の規格による評価を基本とし,設計上定める条件である重大事故等時 における使用圧力,使用温度及び事故時荷重に対して,供用状態Dの許容応力*を 目安とした十分な裕度を有する設計とし,その評価条件においても塑性変形が小さ なレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を有し,流路としての十分な機能 が保持できることを確認する。なお,上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実 施された評価がある場合は,その評価結果の確認を実施する。

また,重大事故等クラス2支持構造物は,技術基準規則第55条において,「重大 事故等クラス2機器に溶接により取り付けられ,その損壊により重大事故等クラス 2機器に損壊を生じさせるおそれがあるものにあっては,設計上定める条件におい て,延性破断及び座屈が生じないこと」が要求されていることから,重大事故等ク ラス2機器であってクラス1機器に溶接により取り付けられている支持構造物につ いては,重大事故等クラス2機器であってクラス1機器と同様に,設計上定める条 件である重大事故等時における使用圧力,使用温度及び自重に対して,供用状態D の許容応力*を目安とした十分な裕度を有する設計とする。なお、上述の評価条件 及び判断基準を満たす既に実施された評価結果がある場合は、その評価結果の確認 を実施する。

注記*:供用状態 D の許容応力は,設計・建設規格 解説 PVB-3111 において, 鋼材の究極的な強さを基に,弾性計算により塑性不安定現象の評価を行 うことへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり,一次一般膜応 力(Pm)は2/3Su,一次局部膜応力(PL)+一次曲げ応力(Pb)は 1.5×2/3Su(=Su)と規定されている。前者は,膜応力であり断面の 応力がSuに到達すると直ちに破損に至るため割下げ率1.5を考慮して 規定されているが,後者は,断面表面がSuに到達しても断面内部は更 なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は1.0として いる。設計・建設規格に規定されている供用状態 D の許容応力は,耐圧 機能維持の観点から,安全評価上の仮定に保障を与えるものであり,そ れを適用することについては,材料の究極的な強さに対して適切かつ十 分な裕度を持った設計となる。 2.3 重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器の構造及び強度

重大事故等クラス2機器は,技術基準規則第55条において,「設計上定める条件に おいて,全体的な変形を弾性域に抑えること」が要求されている。

原子炉格納容器については、重大事故等時に放射性物質の閉じ込め機能が要求さ れ、重大事故等クラス2機器となることから、設計上定める条件として重大事故等時 の使用圧力、使用温度等が付加された状態を想定し、全体的な変形を弾性域に抑える ことについては、それと同等以上の性能を有していることを確認する。

重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器のうちコンクリート製原子炉格納 容器の強度評価に当たっては、告示第452号による評価を基本とし(コンクリート 製原子炉格納容器のうち改造を実施する設備の強度評価に当たっては、CCV規格に よる評価とする。),設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力及び使用 温度に対して、荷重状態IVの許容値*1を目安とした十分な裕度を有する設計とし、 その評価条件においてもコンクリート製原子炉格納容器の終局耐力に対し妥当な安全 余裕を有し、放射性物質の閉じ込め機能としての十分な機能を保持できることを確認 する。

また,重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器(コンクリート製原子炉格 納容器を除く。)の強度評価に当たっては,既に施設された設備であることから,施 設時の適用規格である告示第501号による評価を基本とし(原子炉格納容器のうち 改造を実施する設備の強度評価に当たっては,設計・建設規格による評価とする。), 設計上定める条件である重大事故等時における使用圧力及び使用温度の評価条件に対 して,運転状態IVの許容応力*2を目安とした十分な裕度を有する設計とし,その評 価条件においても塑性変形が小さなレベルに留まって延性破断に対して十分な余裕を 有し,放射性物質の閉じ込め機能としての十分な機能が保持できることを確認する。 なお,上述の評価条件及び判断基準を満たす既に実施された評価がある場合は,その 評価結果の確認を実施する。

注記*1:荷重状態IVの許容値は,告示第452号において,コンクリート製原子 炉格納容器の安全設計上想定する限界状態において,コンクリートの圧 縮ひずみの最大値を0.003,鉄筋の引張ひずみの最大値を0.005と定 め,さらに,コンクリートの圧縮応力度をコンクリートの設計基準強度 の0.85倍の値に制限して,部材全体の終局耐力を確保し,かつ,コン クリート製原子炉格納容器の機能を維持するものであることが定義され ている。

> また,告示第452号において,気密性を確保するためにコンクリート 部に内張りされた鋼板であるライナープレートは,荷重状態Ⅳにおい て,コンクリート部分の変形およびコンクリートとの温度差により強制

R1

されるような自己制御的ひずみに対して漏えいを生じることなく追従で きる変形性能を有する許容ひずみ量が規定されている。

また、ライナープレートに強制的にひずみを発生させるコンクリート部 分の変形は、上述のとおり、荷重状態Ⅳの許容値を適用することから、

ライナープレートについては強制ひずみに対して追従できる変形性能を 確保することが可能である。

したがって,それを適用することについては,材料の究極的な強さに対 して適切かつ十分な裕度を持った設計となる。

但し、コンクリート製原子炉格納容器のうち改造を実施する設備の強度 評価に当たっては、CCV規格による評価となるため、告示第501号 をCCV規格と読み替える。

注記*2:運転状態IVの許容応力は、告示第501号第13条解説において、鋼材 の究極的な強さを基に、弾性計算により塑性不安定現象の評価を行うこ とへの理論的安全裕度を考慮して定めたものであり、一次一般膜応力 (P_m)は2/3S_u, 一次局部膜応力(P_L)+一次曲げ応力(P_b)は 1.5×2/3Su(=Su)と規定されている。前者は, 膜応力であり断面の 応力がSuに到達すると直ちに破損に至るため割下げ率1.5を考慮して 規定されているが、後者は、断面表面がS」に到達しても断面内部は更 なる耐荷能力があり直ちに破損には至らないため割下げ率は1.0として いる。一方、原子炉格納容器のジェット力および機械的荷重に対する応 力評価は、告示第501号第21条において、一次一般膜応力(Pm)は 0.6S_u, 一次局部膜応力(P_L)+一次曲げ応力(P_b)は1.5×0.6S u (=S_u)と規定されている。原子炉格納容器の応力評価を行う上での 分類は運転状態Ⅳであることから、告示第501号第13条の許容応力 と比較して保守側となる告示第501号第21条の許容応力を評価基準 値とする。告示第501号に規定されている運転状態Ⅳの許容応力は, 耐圧機能維持の観点から、安全評価上の仮定に保障を与えるものであ り、それを適用することについては、材料の究極的な強さに対して適切 かつ十分な裕度を持った設計となる。

> 但し,原子炉格納容器のうち改造を実施する設備の強度評価に当たって は,設計・建設規格による評価となるため,告示第501号を設計・建 設規格,第13条解説を解説 PVB-3111,第21条をPVE-3113と読み替 える。

- 2.4 設計・建設規格又は告示第501号における材料の規定によらない場合の評価 重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の材料について、技術 基準規則施行前に工事に着手又は完成したものであって設計・建設規格又は告示第5 01号における材料の規定によらない場合の評価については、以下の方針に従って、 重大事故等対処設備として使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適 切な材料であることを確認する。
 - (1) 機械的強度及び化学的成分

設計・建設規格又は告示第501号に使用可能な材料として規定されていない材料を使用している場合は、機械的強度及び化学的成分について、使用材料とクラス2機器に使用可能な材料として規定されている材料との比較又は求められる機能を考慮し、使用材料が重大事故等対処設備として使用される圧力、温度、荷重その他の使用条件に対して適切であることを確認する。

- a. 機械的強度
 - (a) 評価項目の選定

機械的強度については、使用材料と比較対象となるクラス2機器に使用可能 な材料として規定されている材料の材料規格である日本工業規格(以下「JI S」という。)等に規定されている機械的性質のうち機械的強度の評価につい て必要な項目の選定を行う。選定結果を表 2-2「機械的強度における評価項目 の選定結果」に示す。

機械的性質*	選定 結果	選定理由
引張強さ 降伏点 又は耐力	0	引張強さ,降伏点又は耐力については,強度評価に用いる設計 許容応力を算出するために必要であるため確認を実施する。
伸び	×	伸びについては,材料の延性の評価に用いる値であるが,重大 事故等クラス2機器の強度評価においては,全体的な変形を弾 性域に抑えることが要求されていることから今回評価を省略す る。また、一般的に伸びが大きいほど塑性加工の際の加工量を 大きくとれるものの,対象となる重大事故等クラス2機器は既 に施設された設備であるため,今回評価を省略する。
絞り	×	絞りについては、材料の延性の評価に用いる値であるが、重大 事故等クラス2機器については、塑性変形する領域では使用し ないことから今回評価を省略する。また、一般的に絞りが大き いほど深しぼり加工などの成形性がよくなるものの、対象とな る重大事故等クラス2機器は既に施設された設備であるため、 今回評価を省略する。
曲げ性	×	曲げ性については,材料の加工性を示す値であるが,一般的に 曲げ性が大きいほど曲げ加工等の成形性がよくなるものの,対 象となる重大事故等クラス2機器は既に施設された設備である ため,今回評価を省略する。
シャルピー 衝撃値	×	シャルピー衝撃値については、材料のじん性の評価に用いられ る値であるが、じん性については「(2) 破壊じん性」において 確認を実施するため、今回評価を省略する。
硬さ	×	硬さについては,耐摩耗性を示す値であり,硬いほど耐摩耗性 が強くなるが,引張強さと相関関係がある値であり,引張強さ について確認を実施するため,今回評価を省略する。

表 2-2 機械的強度における評価項目の選定結果

注記*: J I S等に機械的性質として規定されている項目を示す。

(b) 機械的強度の適切性の確認

評価項目として選定された引張強さ及び降伏点又は耐力について,使用材料 と設計・建設規格においてクラス2機器に使用可能な材料として規定された材 料との比較又は求められる機能を考慮し,使用条件に対して適切な機械的強度 を有していることを確認する。

- b. 化学的成分
 - (a) 評価項目の選定

化学的成分の評価項目は,使用材料と比較対象となるクラス2機器に使用可 能な材料として規定されている材料の材料規格であるJIS等に記載されてい る化学的成分とする。

(b) 化学的成分の適切性の確認

評価項目として選定された化学的成分について,使用材料と設計・建設規格 においてクラス2機器に使用可能な材料として規定された材料との比較を行 い,化学的成分規定値に差異があった場合は,化学的成分ごとの影響を確認 し,使用条件において材料に悪影響を及ぼす差異でないことを確認する。ある いは,求められる機能を考慮し,使用条件に対して適切な材料であることを確 認する。なお,各化的成分の影響については,表 2-3「化学的成分が材料に及 ぼす影響整理表」のとおり整理する。

K7 ① V-3-1-5 R1

		С	Si	Mn	Р	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	W	影響の確認方法
機柄	战的強度	向上	向上	向上	向上		向上	向上	向上	向上	向上	向上	機械的強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合 は,材料の機械的強度である引張強さ,降伏点又は耐力 が同等であることを確認する。
高温強度		向上	_	_	_		_	_		向上	_	_	高温強度に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合 は、高温域(設計・建設規格 PVB-3312)で使用されて いないことを確認する。
滨	序接性	低下		_									溶接性に影響を及ぼす化学的成分に差異がある場合は, 溶接規格*にて定められた数値 0.35%以下であることを 確認する。
ť	じん性	低下	_	向上	低下	低下	_	向上	_	_	_	_	じん性については、「(2) 破壊じん性」において確認す る。なお、じん性に影響を及ぼす不純物である P, S の化 学的成分に差異がある場合は、成分値が影響を与えるレ ベル以下であることを確認する。
耐	応力 腐食 割れ	低下	_				_	向上	向上				耐食性のうち,応力腐食割れに影響を与える化学的成分 には C, Ni, Cr があるが, Ni, Cr については応力腐食割 れを防ぐために添加されるものであり考慮は不要である ことから,悪影響を与える C の含有量が過剰でないこと
性	全面腐食						向上	向上	向上	向上	向上	_	を確認する。全面腐食に影響を与える成分に差異がある 場合は,悪影響を与える際がないことを確認する。な お,耐食性に関しては使用環境に対して適切な水質管理 やライニング処理が行われていることも確認する。

注記*:「発電用原子力設備規格 溶接規格(2007年版) JSME S NB1-2007」(日本機械学会)を示す。なお、施設時の適用規格である電気工作物の溶接に 関する技術基準を定める省令(昭和45年通商産業省令第81号)も同値である。

- (2) 破壊じん性
 - a. 破壊じん性試験不要となる材料の規定

破壊じん性については,設計・建設規格に規定されている破壊じん性試験不要 となる材料の規定に該当する材料であることを確認する。

破壊じん性試験不要となる材料の規定*

- ・厚さが 16mm 未満の材料
- ・断面積が 625mm²未満の棒の材料
- ・呼び径が 25mm 未満のボルト等の材料
- ・外径が 169mm 未満の管の材料
- ・厚さが16mm,又は外径が169mm未満の管に接続されるフランジの材料及 び管継手の材料
- ・オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金
- ・非鉄金属
- 注記*:一例としてクラス2容器の除外規定(設計・建設規格 PCV-2310) を記載している。
- b. 破壊じん性の確認

破壊じん性試験不要となる材料の規定に該当しない機器の破壊じん性について は、施設時の要求を考慮し、以下のとおりとする。

(a) 施設時に破壊じん性が要求されていた設備

該当施設は,施設時の規格の要求に基づき十分な破壊じん性を有しているこ とを確認している。また,材料の破壊じん性値は,一般的に温度が低くなるに つれて低下することから,脆性破壊に対して影響を与える最低使用温度につい て,重大事故等対処設備として使用される値が設計基準対象施設としての値を 有意に下回らないこと又は使用条件を考慮して影響がないことを確認する。

(b) 施設時に破壊じん性が要求されていなかった設備

対象設備は,機器クラスがクラス3機器(工学的安全施設を除く),クラス 4 管及び Non クラス*に該当する設備であり,施設時における破壊じん性に対 する要求がないことから,材料のじん性は確認されていないが,設計基準の使 用条件に応じた材料が選定されている。重大事故等対処設備としての使用条件 と設計基準対象施設としての条件が大きく変わらないことを確認することで, 使用条件下での脆性破壊に対するじん性は同じであるとみなせることから,脆 性破壊に対して影響を与える最低使用温度について,重大事故等対処設備とし ての値が設計基準対象施設としての値を有意に下回らないこと又は使用条件を 考慮して影響のないことを確認する。

注記*:技術基準規則第2条第2項第28号,第32号,第33号,第34条及 び第35号に規定する「原子炉格納容器」,「クラス1容器」,「クラ ス1管」,「クラス1ポンプ」,「クラス1弁」,「クラス2容器」,「ク ラス2管」,「クラス2ポンプ」,「クラス2弁」,及びこれらを指示 する構造物「クラス3容器」,「クラス3管」,「クラス4管」,炉心 支持構造物並びに発電用火力設備に関する技術基準を定める省令の 規定を準用するもの以外の容器,管,ポンプ,弁又は支持構造物。

上述の(a)項,(b)項において比較対象となる設計基準対象施設としての最低 使用温度は屋外に施設される機器においては新潟地方気象台の最低気温を基に 年超過確立評価により算出した-15.2℃(建設段階は-13℃),原子炉格納容 器の最低使用温度は0℃,原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する機器及び屋 内に設置されている機器においては建屋内雰囲気温度の最低温度である 10℃,海水と接する設備は海水最低温度 5.2℃を考慮し0℃がそれぞれ設定さ れている。

重大事故等時において屋外の最低気温が変わることはないため,原子炉格納 容器及び屋外に施設される機器の最低使用温度は設計基準対象施設として設定 された値を下回ることはない。屋内に施設される機器のうち,重大事故時にお いて通水される内部流体が高温流体の場合は設計基準対象施設として設定され ている最低使用温度 10℃を下回ることはなく,原子炉冷却材圧力バウンダリ を構成する機器については,重大事故等時において原子炉冷却材圧力バウンダ リは高温状態となるため,設計基準対象施設として設定されている最低使用温 度 10℃を下回ることはない。また、屋内に施設される機器のうち,重大事故 等時において通水される内部流体のうち最も温度が低い海水においても最低海 水温度が 5.2℃であり,設計基準対象施設として設定されている最低使用温度 10℃を有意に下回ることはない。

以上より,(a)項に該当する施設時に破壊じん性が要求されていた機器にお いて,材料の破壊じん性に影響を与える最低使用温度が設計基準対象施設とし て設定されている値を重大事故等対処設備としての値が下回らない機器につい ては,施設時に確認した破壊じん性が重大事故等対処設備としての材料要求さ れる破壊じん性を包絡しており,重大事故等対処設備としての評価は省略す る。最低使用温度が設計基準対象施設として設定されている値を重大事故等対

31

処設備としての値が下回る機器については,使用条件を考慮して問題のない材 料であることを確認する。

(b)項に該当する施設時に破壊じん性が要求されていなかった機器におい て,設計基準対象施設としての最低使用温度と重大事故等対処設備としての最 低使用温度とを比較し,使用条件に応じた材料が規格に適合していること若し くは使用条件を考慮して問題のない材料であることを確認する。

- (3) 非破壊試験
 - a. 非破壊試験の実績確認

重大事故等クラス2機器に属する鋳造品については,非破壊試験の実施の有無 を確認する。

b. 非破壊試験の実績の考慮

強度計算に用いる許容値に,非破壊試験実施の有無による品質係数を適用する ことで,材料の品質を適切に考慮した強度評価を実施する。 V-3-1-6 重大事故等クラス3機器の強度計算の基本方針

目 次

1.		概要	•	•••	•••	••	•••	••	•••	••	•••	••	••	••	••	•••	•••	•••	••	•••	•••	••	•••	••	•••	••	•••	•••	•••	•	••	••	•••	1
2.		重大事	事故	女等	ク	ラ	ス	3 校	幾暑	居の)強	度	計	算	の	基	本フ	方金	<u>}</u> +	•	•••	••	•••	••	•••	••	•••	•••	•••	•	••	••	•••	2
2	. 1	完成	戈占	4	·除	<	重フ	大耳	事責	汝等	≦ク	ラ	ス	3	機	器(の柞	溝ì	告及	τŨ	《強	度		••	•••	••	•••	•••	•••	• •	••	••	•••	3
2	2.2	重フ	大事	₽故	t等	ク	ラン	ス:	3 杉	幾器	その	う	ち	完	成	品(の柞	溝 ì	告及	ζŨ	《強	度		••	•••	••	•••	•••	•••	• •	••	••	•••	4

1. 概要

重大事故等クラス3機器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附 属施設の技術基準に関する規則」(平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六 号)(以下「技術基準規則」という。)第55条第1項第3号及び第6号に規定されてお り、適切な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は,重大事故等クラス3機器である容器,管及びポンプが十分な強度を有する ことを確認するための強度評価の基本方針について説明するものである。 2. 重大事故等クラス3機器の強度計算の基本方針

重大事故等クラス3機器の材料及び構造については,技術基準規則第55条(材料及 び構造)に規定されており,「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する 規則の解釈」(平成25年6月19日 原規技発第1306194号)により完成品として一般 産業品の規格及び基準へ適合している場合は技術基準規則の規定を満足するものとされ ている。

よって,重大事故等クラス3機器の技術基準規則第55条への適合性については,技術基準規則の解釈第55条6において同解釈第17条6を準用していることから,17条において技術基準規則を満たす仕様規定としている「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))<第1編軽水炉規格>JSME S NC 1-2005/2007」(日本機械学会)(以下「設計・建設規格」という。)のクラス3機器を 参考にして評価を実施する,又は完成品として一般産業品の規格及び基準に適合してい ることを確認することで評価を実施する。

完成品を除く重大事故等クラス3機器の材料については設計・建設規格を参考にして 適切な材料を使用する設計とする。また,重大事故等クラス3機器のうち完成品の材料 については,完成品として一般産業品の規格及び基準に適合するものを使用する設計と する。
- 2.1 完成品を除く重大事故等クラス3機器の構造及び強度
 - (1) フランジ

管のフランジは,設計・建設規格 PPD-3414 に適合するものを使用する設計とする。

(2) 管継手

管継手の強度評価は、以下のいずれかによる。

- ・設計・建設規格 PPD-3415 に適合するものを使用する設計とする。
- ・設計・建設規格で考慮されている裕度を参考にしつつ、実条件を踏まえた耐圧 試験により裕度を有することが確認された型式のものを使用する設計とする。 なお、設計・建設規格のクラス3機器の規定では、設計許容応力以下となる必 要板厚は、最高使用圧力を条件として評価式により求めており、設計許容応力 は降伏点に対して8分の5を基準にしていることから、降伏点に対する安全率 は1.6となる。また、設計・建設規格のクラス3機器の最高許容耐圧試験圧力 は機器の応力制限(降伏点)を基に定められており、耐圧試験の規定では、耐 圧試験圧力は最高使用圧力の1.5倍(気圧の場合は1.25倍)の106%を超え ないこととしている。

2.2 重大事故等クラス3機器のうち完成品の構造及び強度

完成品は、一般産業品の規格及び基準への適合性を確認することにより材料及び構造の要求を満たしていると評価することから、適用される規格及び基準を、その規格 基準に応じて、「法令*1又は公的な規格*2」、「メーカ規格及び基準」の2つの区分に 分類し、適用される規格及び基準が妥当であること、対象とする機器の材料が適切で あること及び使用条件に対する強度を確認する。

また,使用条件が一般産業品としての評価条件を超える場合は,使用条件を考慮し て評価を行う。

内燃機関を有する可搬型ポンプに附属する燃料タンク,非常用発電装置(可搬型) に附属する燃料タンク及び冷却水ポンプについては,可搬型ポンプ及び非常用発電装 置(可搬型)が燃料タンク等を含む一体構造品の完成品として製作されているため, 内燃機関を有する可搬型ポンプ又は非常用発電装置(可搬型)が一般産業品の規格及 び基準へ適合していることを確認することで,それらの附属機器である燃料タンク又 は冷却水ポンプが重大事故等時の使用条件に対する強度を有することを確認する。

注記*1:例えば,高圧ガス保安法に基づく容器保安規則及び一般高圧ガス保安規 則等

*2: 例えば,日本工業規格

V-3-1-7 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

1.	概要	• • • •		•••	• • • •	•••	••	••	•••	••	••	•••	••	••	•••	•••	•••	•••	•••	••	•••	••	••	••	••	••	••	•••	••	1
2.	原子炉	■格納	容器	の強	度	計算	の	基	本フ	方金	ł	• •	••	•••	•••	•••	••	••	•••	••	•••	••	••	••	••	••	•••	••	••	1

1. 概要

原子炉格納容器の材料及び構造については、「実用発電用原子炉及びその附属施設の 技術基準に関する規則」(平成25年6月28日 原子力規制委員会規則第六号)(以下 「技術基準規則」という。)第17条第1項第5号及び第12号に規定されており、適切 な材料を使用し、十分な構造及び強度を有していることが要求されている。

本資料は,原子炉格納容器のうち改造を実施する配管貫通部が十分な強度を有することを確認するための強度計算の基本方針について説明するものである。

2. 原子炉格納容器の強度計算の基本方針

原子炉格納容器(コンクリート製原子炉格納容器を除く。)の材料及び構造について は、技術基準規則第17条(材料及び構造)に規定されており、「実用発電用原子炉及び その附属施設の技術基準に関する規則の解釈」(平成25年6月19日 原規技発第 1306194号)(以下「技術基準規則の解釈」という。)第17条10において「発電用原子 力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))<第1編軽水炉規格 >JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会)又は「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2012年版)<第1編軽水炉規格> JSME S NC1-2012」 (日本機械学会)によることとされているが、技術基準規則の施行の際現に施設し、又 は着手した設計基準対象施設については、施設時に適用された規格によることと規定さ れている。同解釈において規定されるJSME S NC1-2005/2007及びJSME S NC1-2012は、いずれも技術基準規則を満たす仕様規定として相違がない。

よって,原子炉格納容器のうち改造を実施する配管貫通部の評価はJSME S NC1-2005/2007による評価を実施する。

原子炉格納容器のうちコンクリート製格納容器の材料及び構造については,技術基準 規則第17条(材料及び構造)に規定されており,技術基準に関する規則の解釈第17条 14において「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 JSME S NE1-2003」(日本機械学会)(以下「CCV規格」という。)によることとされて いるが,規則の施行の際現に施設し,又は着手した設計基準対象施設については,施設 時に適用された規格によることと規定されている。

よって、コンクリート製格納容器のうち改造を実施する設備の評価はCCV規格による評価を実施する。

なお、原子炉格納容器の強度計算方法については計算書で個別に示すこととする。

V-3-2 強度計算方法

目 次

- V-3-2-1 強度計算方法の概要
- V-3-2-2 クラス1管の強度計算方法
- V-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法
- V-3-2-4 クラス2管の強度計算方法
- V-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法
- V-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法
- V-3-2-7 クラス3管の強度計算方法
- V-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法
- V-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法
- V-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法
- V-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法
- V-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物(容器)の強度計算方法
- V-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物(ポンプ)の強度計算方法
- V-3-2-14 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

V-3-2-1 強度計算方法の概要

1.	概要		 1
2.	評価条	件整理表	 2

1. 概要

本資料は、添付書類V-3-1「強度計算の基本方針」に基づき、クラス1機器、クラス2機器、 クラス3機器、重大事故等クラス2機器、重大事故等クラス2支持構造物及び重大事故等クラ ス3機器が十分な強度を有することを確認するための方法について説明するものであり、以下 の資料により構成する。

- V-3-2-2 クラス1管の強度計算方法
- V-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法
- V-3-2-4 クラス2管の強度計算方法
- V-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法
- V-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法
- V-3-2-7 クラス3管の強度計算方法
- V-3-2-8 重大事故等クラス2容器の強度計算方法
- V-3-2-9 重大事故等クラス2管の強度計算方法
- V-3-2-10 重大事故等クラス2ポンプの強度計算方法
- V-3-2-11 重大事故等クラス2弁の強度計算方法
- V-3-2-12 重大事故等クラス2支持構造物(容器)の強度計算方法
- V-3-2-13 重大事故等クラス2支持構造物(ポンプ)の強度計算方法
- V-3-2-14 重大事故等クラス3機器の強度評価方法

2. 評価条件整理表

添付書類V-3-1「強度計算の基本方針」に示す強度計算の方針との整合を図るため、各強度 計算書において、「評価条件整理表」を添付する。本項では「評価条件整理表」で整理する項 目について説明する。なお、強度評価対象機器のうち以下の機器については、評価条件及び適 用規格の比較等が不要であることから「評価条件整理表」は添付しないこととする。

- ・重大事故等クラス2機器であってクラス1機器
- ・重大事故等クラス2機器であって原子炉格納容器
- ・消火設備用ボンベ又は消火器
- ・火災防護設備用水源タンク
- ・重大事故等クラス3機器
- (1) 新設又は既設の判定

当該設備が新設又は既設であるかを記載する。

(2) 施設時の技術基準における規定の有無

表2-1 施設時の技術基準における規定の有無の判定区分*

項目	説明
有	施設時の技術基準が 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(昭和55年10月30日 通商産業省 告示第501号)(以下「昭和55年告示第501号」という。) 又は 「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(平成6年7月21日 通商産業省告 示第501号(以下「平成6年告示第501号」という。)
	 又は 「発電用原子力設備規格 設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))<第 1編軽水炉規格> JSME S NC1-2005/2007」(日本機械学会)(以下「設計・建設規格」という。) である機器
無	「施設時の技術基準における規定がない機器」

注記*:「新設する機器(重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器 含む)」については「有」「無」に分類可能なものであっても「一」とする。 (3) 機器クラス

・クラスアップの有無

項目	説明
有	「原子炉冷却材圧力バウンダリ拡大範囲でありクラス2機器からクラス1機器になる機器」*2,「施設時に規定がなかった機器のうち今回クラス3機器に分類される機器」*2,又は「クラス1機器又はクラス2機器に属さない機器のうち重大事故等クラス2機器となる機器」
無	上記以外の強度評価対象機器

表2-2 クラスアップの有無の判定区分*1

注記*1:「施設時の技術基準における規定がない機器」又は「新設する機器(重大事故等

対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む)」については「有」

「無」に分類可能なものであっても「一」とする。

*2: クラスアップする理由を評価条件整理表に注記として追加する。

・施設時機器クラス

表2-3 施設時機器クラスの判定区分*

項目	説明
DB-1	「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則」(平成25年6 月28日 原子力規制委員会規則第六号)(以下「技術基準規則」という。) 第2条第2項第32号に規定する「クラス1容器」,「クラス1管」,「クラス1 ポンプ」又は「クラス1弁」及びこれらを支持する構造物
DB-2	技術基準規則第2条第2項第33号に規定する「クラス2容器」,「クラス2 管」,「クラス2ポンプ」又は「クラス2弁」及びこれらを支持する構造物
DB-3	技術基準規則第2条第2項第34号に規定する「クラス3容器」,「クラス3 管」
DB-4	技術基準規則第2条第2項第35号に規定する「クラス4管」
Non	上記以外の容器,管,ポンプ,弁又は支持構造物
_	新設する機器(重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用し ない機器含む)又は上記以外の機器

注記*:施設時の適用規格が昭和55年告示第501号又は平成6年告示第501号の場合には, 技術基準規則における機器クラスに読み替えて記載する。 ・ D B クラス:設計基準対象施設としての機器クラス

項目	説明
DB-1	技術基準規則第2条第2項第32号に規定する「クラス1容器」,「クラス1 管」,「クラス1ポンプ」又は「クラス1弁」及びこれらを支持する構造物
DB-2	技術基準規則第2条第2項第33号に規定する「クラス2容器」,「クラス2 管」,「クラス2ポンプ」又は「クラス2弁」及びこれらを支持する構造物
DB-3	技術基準規則第2条第2項第34号に規定する「クラス3容器」,「クラス3管」
DB-4	技術基準規則第2条第2項第35号に規定する「クラス4管」
Non	重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器であり, 上記以外の容器,管,ポンプ,弁又は支持構造物
	重大事故等対処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器であり, 上記以外の機器

表2-4 DBクラスの判定区分

・SAクラス:重大事故等対処設備としての機器クラス

表2-	-5	SA	、カ	ラ	スの	11定	区分
1×4	0	S L	1/		~~~/-		ビル

項目	説明
SA-2	技術基準規則第2条第2項第38号に規定する「重大事故等クラス2容器」,「重 大事故等クラス2管」,「重大事故等クラス2ポンプ」又は「重大事故等クラ ス2弁」及びこれらを支持する構造物
	設計基準対象施設としてのみ使用する機器

(4) 評価条件

・条件アップの有無

表 2-6	条件ア	ップの有無の判定区分*
14 0		

項目	説明
有	設計基準対象施設としての使用時における最高使用圧力及び最高使用温度 に、重大事故等時における使用圧力及び使用温度が包絡されない機器
無	上記以外の強度評価対象機器

注記*:「施設時の技術基準における規定がない機器」又は「新設する機器(重大事故等対 処設備のうち設計基準対象施設として使用しない機器含む)」は「有」「無」に分 類可能なものであっても「一」とする。

・DB条件:最高使用圧力及び最高使用温度

・SA条件:重大事故等時における使用時の圧力及び温度

(5) 既工認における評価結果の有無

表2-7 既工認における評価結果の有無の判定区分*

項目	説明
有	既工認において同等以上の評価条件にて評価されている機器
無	上記以外の強度評価対象機器

注記*:「施設時の技術基準における規定がない機器」,「クラスアップする機器」,「条件ア ップする機器」又は「新設する機器(重大事故等対処設備のうち設計基準対象施 設として使用しない機器含む)」は「有」「無」に分類可能なものであっても「一」 とする。

(6) 施設時の適用規格

表2-8 施設時の評価規格の判定区分*

項目	説明
S55告示	施設時の適用規格が昭和55年告示第501号である機器
H6告示	施設時の適用規格が平成6年告示第501号である機器
設計・建設規格	施設時の適用規格が設計・建設規格である機器

注記*:「施設時の技術基準に対象とする施設の規定がない機器」,「施設時に上記以外の規格

にて評価を実施している機器」又は「新設する機器(重大事故等対処設備のうち設計 基準対象施設として使用しない機器含む)」は「一」とする。

(7) 評価区分

項目	説明
既工認	既工認における評価結果の確認による評価
設計・建設規格 又は告示	設計・建設規格又は告示第501号*1のいずれか安全側の規格による評価*2
設計・建設規格	設計・建設規格による評価 ^{*3, *4}
同等性*5	同等性を示す手法による評価

表2-9 評価区分

注記*1:「告示第501号」とは昭和55年告示第501号を指す。

*2:安全側の規格が容易に判断できない場合は、両規格による評価を実施する。

*3:施設時の適用規格が設計・建設規格の場合又は施設時の技術基準に規定がない場合

*4:平成6年告示第501号のものについては、公式及び解析による評価において設計・ 建設規格と差異がないことから、設計・建設規格に基づき評価を実施する。

*5:一部の部位のみ同等性を示す手法による評価を実施する場合においても列記する。

(8) 同等性評価区分

- a. 評価式が規定されていない場合
 - (a) 長方形板の大たわみ式を用いた評価
 - (b) クラス3ポンプの規定を準用した評価
 - (c) ねじ山のせん断破壊式を用いた評価
- b. 精緻な評価を実施する必要がある場合
 - (a) クラス1容器の規定を準用した評価
- (9) 評価クラス
 - (1)~(8)の分類に基づき,評価クラスを判別する。

V-3-2-2 クラス1管の強度計算方法

目 次

1. –	般事項	1
1.1	概要	1
1.2	適用規格 •••••••••••••••••••••	1
2. ク	ラス1管の強度計算方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2.1	計算方針 ·····	2
2.2	計算方法 ·····	2
3. 青	算書の構成 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	16
3.1	管の応力計算書 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	16

- 1. 一般事項
- 1.1 概要

本書は,発電用原子力設備のうちクラス1管の応力計算書(以下「計算書」という。)につ いて説明するものである。

1.2 適用規格

適用規格を以下に示す。

- (1) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(原子力規制委員会 2013 年 6月)(以下「技術基準規則」という。)
- (2) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈(原子力規制委員会 2013年6月)(以下「技術基準規則解釈」という。)
- (3) 発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。)) J S M E
 S N C 1-2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) (以下「設計・建設規格」という。)
- (4) 発電用原子力設備に関する構造等の技術基準(昭和 55 年通商産業省告示第501号)
 (以下「告示第501号」という。)

- 2. クラス1管の強度計算方法
- 2.1 計算方針

設計基準対象施設はそれぞれの施設の評価条件での設計・建設規格による評価を実施する。 技術基準規則解釈において,技術基準規則第 17 条に規定の要求に適合する材料及び構造と は,設計・建設規格によることから,クラス1管は,設計・建設規格 PPB-3500 による評価 を実施する。加えて,施設時に適用された規格が告示第501号の範囲については,告示第5 01号第46条から第48条までの規定に基づく評価を実施する。

計算は三次元多質点系はりモデルを用いた配管応力解析により実施する。ただし,既工認評価結果が有り,かつ評価条件(最高使用圧力及び最高使用温度)に変更がない範囲は,既工認の確認による評価を実施する。

2.2 計算方法

2.2.1 解析による計算

応力計算は三次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の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。なお、解析コードは、「HISAP」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、V-3 別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

2.2.1.1 解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は三次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する 剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁 の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを 十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
 - a. レストレイント:拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. スナッバ:拘束方向の剛性を考慮する。
 - c. アンカ:6方向を固定と扱う。
 - d. ガイド: 拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は,配管自体の質量(フランジ部含む。)の他に弁等の集中質量,保 温材等の付加質量及び管内流体の質量を考慮するものとする。

 $\mathbb{R}1$

2.2.1.2 解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

- (1) 荷重条件
 - a. 内圧
 - b. 機械的荷重(自重及びその他の長期的荷重)
 - c. 機械的荷重(逃がし弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重)
 - d. 熱膨張及び熱による支持点の変位による応力
 - e. 配管肉厚方向の温度勾配及び管軸に沿った構造上不連続部に生じる熱応力

2.2.2 計算式

2.2.2.1 記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義		
B ₁ , B ₂ , B _{2b} , B _{2r}		設計・建設規格 PPB-3810 及び告示第501号第48条に規定 する応力係数(一次応力の計算に使用するもの)		
C ₁ , C ₂ , C _{2b} C _{2r} , C ₃ , C ₃ '		設計・建設規格 PPB-3810 及び告示第501号第48条に規定 する応力係数(一次+二次応力の計算に使用するもの)		
C 4	_	フェライト系材料に対し 1.1, オーステナイト系材料に対し 1.3		
D ₀	mm	管の外径		
E	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1及び告示 第501号別表第11に規定する縦弾性係数		
E _{ab}	MPa	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した 点又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側の室温にお ける設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1及び告示 第501号別表第11に規定する縦弾性係数の平均値		
K ₁ , K ₂ , K _{2b} , K _{2r} , K ₃	_	設計・建設規格 PPB-3810 及び告示第501号第48条に規定 する応力係数(ピーク応力の計算に使用するもの)		
M _{bp}	N•mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷 重により生じるモーメント		
M _{br}	N•mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重 (逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限 る。)により生じるモーメント		
M _{bs}	N•mm	(S _n , S _p):管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分 岐管の熱膨張,支持点の変位及び機械的荷重(自重を除 く。)により生じるモーメント (S _n '):管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管 の支持点の変位(熱によるものを除く。)及び機械的荷重 (自重を除く。)により生じるモーメント (S _e):管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の 熱による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメント		
M c	N•mm	管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメン ト		
Mip	N•mm	管の機械的荷重により生じるモーメント		

記号	単位	定義			
M _{is}	N•mm	 (S_n, S_p):管の熱膨張,支持点の変位及び機械的荷重 (自重を除く。)により生じるモーメント (S_n'):管の支持点の変位(熱によるものを除く。)及び 機械的荷重(自重を除く。)により生じるモーメント (S_e):管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生じる モーメント 			
${ m M}$ r p	N•mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重 により生じるモーメント			
M _{rs}	N•mm	(S_n , S_p):管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱膨張,支持点の変位及び機械的荷重(自重を除く。) により生じるモーメント (S_n '):管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の 支持点の変位(熱によるものを除く。)及び機械的荷重(自 重を除く。)により生じるモーメント (S_e):管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の熱 による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメント			
n i		繰返し荷重 i の実際の繰返し回数			
N i		繰返し荷重 i の許容繰返し回数			
Р	MPa	最高使用圧力			
Ρ ₀	MPa	供用状態A及びB(運転状態Ⅰ及びⅡ)において生じる圧力			
Р ₀'	MPa	供用状態における最大圧力			

記号	単位	定義		
S _c	MPa	室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 及 び告示第501号別表第6に規定する材料の許容引張応力		
S _e	MPa	熱膨脹応力		
S &	MPa	繰返しピーク応力強さ		
S m	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1及び告示 第501号別表第2に規定する材料の設計応力強さ		
S _n	MPa	一次+二次応力		
S n'	MPa	一次+二次応力 (熱によるものを除く。)		
S _p	MPa	ピーク応力		
S p r m	MPa	一次応力		
S y	MPa	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8及び告示 第501号別表第9に規定する材料の設計降伏点		
t	mm	管の厚さ		
Та, Ть	°C	構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高いと推定した点 又は材質を異にする点を境とするそれぞれの側における次の 計算式により計算した範囲 ℓ_a , ℓ_b 内の平均温度 $\ell_a = \sqrt{(d_a t_a)}$, $\ell_b = \sqrt{(d_b t_b)}$ d a及び d b:構造上の不連続部のうち応力集中度が最も高い と推定した点を境とするそれぞれの側における 管の内径(mm) t a及び t b: ℓ_a 及び ℓ_b の範囲内における管の平均厚さ(mm)		
ΔΤ	°C	温度差の変動範囲		
Δ T $_1$	°C	線形化した厚さ方向の温度分布における管の内外面温度差		
ΔΤ2	°C	管の内面又は外面において生じる温度とそれに対応する線形 化した温度との差のうちいずれか大きい方の温度(負の場合 は0とする)		
Z, Z _i	mm^3	管の断面係数		
Ζь	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数		
Z _r	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数		
α	mm/mm°C	室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表 2 及 び告示第501号第12に規定する熱膨張係数		
α _a , α _b	mm/mm°C	構造上の不連続部分のうち応力集中度が最も高いと推定した 点を境とするそれぞれの側の室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表2及び告示第501号別表第12に 規定する熱膨張係数		

記号	単位	定義
c.		S _p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して,弾性解析に より計算したときのひずみであり,次の計算式により計算し た値
če		$ε_e = \overline{\sigma}^* / E$ $\overline{\sigma}^* : 弾性解析によるミーゼス相当応力$
ξер		S _p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して、材料の応力 -ひずみ関係として、降伏応力をS _m の 1.5 倍の値とした弾完 全塑性体とした弾塑性解析により計算したときのひずみであ り、次の計算式により計算した値 $\epsilon_{ep} = \overline{\sigma} / E + \overline{\epsilon}^{p}$ $\overline{\sigma}: 弾塑性解析によるミーゼス相当応力 \overline{\epsilon}^{p}: 弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ$

2.2.2.2 応力計算

- (1) 設計・建設規格 PPB-3500 による評価
 - a. 一次応力(設計・建設規格 PPB-3520)
 - (a) 管台及び突合せ溶接式ティー S_{prm}(1)=B₁・P・D₀/(2・t)+B_{2b}・M_{bp}/Z_b+B_{2r}・M_{rp}/Z_r≤1.5・S_m
 (b) (a)以外の管
 - $S_{p rm}(1) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{i p} / Z_i \leq 1.5 \cdot S_m$
 - b. 一次応力(設計・建設規格 PPB-3552)

c. 一次応力(設計・建設規格 PPB-3562)

- (a) 管台及び突合せ溶接式ティー
 S_{prm}(2) = B₁ · P · D₀ / (2 · t) + B_{2b} · M_{bp} / Z_b + B_{2r} · M_{rp} / Z_r
 ≦Min (2.25 · S_m, 1.8 · S_v)
- (b) (a)以外の管 $S_{prm}(2) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq Min (2.25 \cdot S_m, 1.8 \cdot S_y)$

- (b) (a)以外の管 S_{prm}(3)=B₁・P・D₀/(2・t)+B₂・M_{ip}/Z_i ≦Min (3・S_m, 2・S_y)
- d. 一次+二次応力(設計・建設規格 PPB-3531)
- (a) 管台及び突合せ溶接式ティー
 S_n=C₁・P₀・D₀/(2・t)+C_{2b}・M_{bs}/Z_b+C_{2r}・M_{rs}/Z_r+C₃・E_{ab}・
 | α_a・T_a α_b・T_b | ≦3・S_m
- (b) (a)以外の管 S_n=C₁・P₀・D₀/(2・t)+C₂・M_{is}/Z_i+C₃・E_{ab}・| α_a ・T_a - α_b ・T_b| \leq 3・S_m
- e. ピーク応力(設計・建設規格 PPB-3532)
 - (a) 管台及び突合せ溶接式ティー
 S_p=K₁·C₁·P₀·D₀/(2·t)+K_{2b}·C_{2b}·M_{bs}/Z_b+
 K_{2r}·C_{2r}·M_{rs}/Z_r+K₃·E·α· | ΔT₁ | /1.4+K₃·C₃·E_{ab}·
 | α_a·T_a α_b·T_b | +E·α · | ΔT₂ | /0.7
 (b) (a)以外の管
 - $S_{p} = K_{1} \cdot C_{1} \cdot P_{0} \cdot D_{0} / (2 \cdot t) + K_{2} \cdot C_{2} \cdot M_{is} / Z_{i} + K_{3} \cdot E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_{1} | / 1.4 + K_{3} \cdot C_{3} \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_{a} \cdot T_{a} \alpha_{b} \cdot T_{b} | + E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_{2} | / 0.7$
- f. 繰返しピーク応力強さ(設計・建設規格 PPB-3533)
 S₀=S_p/2

- g. 許容繰返し回数(設計・建設規格 PPB-3534) 設計・建設規格 添付 4-2 3.1 及び 3.2 を用いて,設計・建設規格 PPB-3533 に従 って算出された繰返しピーク応力強さに対応する許容繰返し回数N_iを算出する。
- h. 疲労累積係数(設計・建設規格 PPB-3535)
 Σ(n_i / N_i)≤1.0
- i. 簡易弾塑性解析(設計・建設規格 PPB-3536)
- (a) 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 1 に定める当該部分の材料の最小降伏 点と最小引張強さとの比が 0.8 以下であること。
- (b) 供用状態A及びBにおいて生じる当該部分の温度は、次の値を超えないこと。
 - イ. 低合金鋼, マルテンサイト系ステンレス鋼及び炭素鋼 370℃
 - ロ. オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金 430℃
- (c) 一次+二次応力(熱によるものを除く。)
 - イ、管台及び突合せ溶接式ティー

 $S_{n}' = C_{1} \cdot P_{0} \cdot D_{0} / (2 \cdot t) + C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_{b} + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_{r} + C_{3}' \cdot E_{ab} \cdot |\alpha_{a} \cdot T_{a} - \alpha_{b} \cdot T_{b}| \leq 3 \cdot S_{m}$

ロ. イ.以外の管

 $S_{n}' = C_{1} \cdot P_{0} \cdot D_{0} / (2 \cdot t) + C_{2} \cdot M_{is} / Z_{i} + C_{3}' \cdot E_{ab}$

 $\mid \alpha_{a} \cdot T_{a} - \alpha_{b} \cdot T_{b} \mid \leq 3 \cdot S_{m}$

- (d) 供用状態A及びBにおける設計・建設規格 PPB-3533 の計算式により計算した応 力を繰返しピーク応力強さとした値は,設計・建設規格 添付 4-2, 3.1 及び 3.2 に おける 10 回の許容繰返し回数に対応する許容繰返しピーク応力強さの値を超えない こと。
- (e) 供用状態A及びBにおける次の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとし、設計・建設規格 添付 4-2、3.1 及び 3.2 において、これに対応する許容繰返し回数が実際の繰返し回数以上であること。この場合において、実際の繰返し回数が2 種類以上ある場合は、疲労累積係数が1以下でなければならない。
 - $S_{\ell} = K_e \cdot S_p / 2$
 - Ke: 次の計算式により計算した値
 - イ. S_n<3·S_mの場合
 - $K_{e} = 1$
 - □. S_n≧3·S_m場合
 - (イ) K<B₀の場合

i.
$$S_n / (3 \cdot S_m) < [(q + A_0 / K - 1))$$

 $-\sqrt{\{(q + A_0 / K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}] / (2 \cdot A_0)$ の場合
 $K_e = K_e^* = 1 + A_0 \cdot \{S_n / (3 \cdot S_m) - 1 / K\}$

ii.
$$S_n/(3 \cdot S_m) \ge [(q + A_0/K - 1)) - \sqrt{\{(q + A_0/K - 1)^2 - 4 \cdot A_0 \cdot (q - 1)\}}]/(2 \cdot A_0)$$
の場合
 $K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m/S_n)$
(ロ) $K \ge B_0 O$ 場合
i. $S_n/(3 \cdot S_m) < [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (l - 1/K) \cdot (q - 1)\}}]/a O$ 場合
 $K_e = K_e^{**} = a \cdot S_n/(3 \cdot S_m) + A_0 \cdot (1 - 1/K) + 1 - a$
ii. $S_n/(3 \cdot S_m) \ge [(q - 1) - \sqrt{\{A_0 \cdot (l - 1/K) \cdot (q - 1)\}}]/a O$ 場合
 $K_e = K_e' = 1 + (q - 1) \cdot (1 - 3 \cdot S_m/S_n)$
 $\subset \subset \mathfrak{C},$

$$K = S_{p} / S_{n},$$

$$a = A_{0} \cdot (1 - 1 / K) + (q - 1) - 2 \cdot \sqrt{\{A_{0} \cdot (1 - 1/K) \cdot (q - 1)\}}$$

q, A₀, B₀: 下表に掲げる材料の種類に応じ, それぞれの同表に掲げる値

材料の種類	q	A ₀	Во
低合金鋼	3.1	1.0	1.25
マルテンサイト系ステンレス鋼	3.1	1.0	1.25
炭素鋼	3.1	0.66	2.59
オーステナイト系ステンレス鋼	3.1	0.7	2.15
高ニッケル合金	3.1	0.7	2. 15

 $S_n \ge 3 \cdot S_m$ の場合, 2.2.2.2(1)i. (e) \Box . に関わらず, 次の計算式により計算した 値を用いても良い。

 $K_{e} = \epsilon_{e p} \diagup \epsilon_{e}$

- (f) 熱膨張応力
 - イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

S_e = C_{2b}·M_{bs}/Z_b+C_{2r}·M_{rs}/Z_r \leq 3·S_m

ロ. (イ)以外の管

 $S_e = C_2 \cdot M_{is} / Z_i \leq 3 \cdot S_m$

(g) 管の内外面の温度差の変動範囲

 $\Delta T \leq 1.4 \cdot y \cdot S_y / (E \cdot \alpha) \cdot C_4$

y:xの値に応じ下表に示す値

Х	0.3	0.5	0.7	0.8
У	3.33	2.00	1.20	0.80

(備考) 表中の値の中間の値は、比例法によって計算する。

x:次式により計算した値

 $x = P_0' \cdot D_0 / (2 \cdot t) \cdot 1 / S_y$

- (2) 告示第501号第46条から第48条までの規定に基づく評価
 - a. 一次応力(第46条第1号)
 - (a) 管台及び突合せ溶接式ティー
 S_{prm}(イ)=B₁・P・D₀/(2・t)+B_{2b}・M_{bp}/Z_b+B_{2r}・M_{rp}/Z_r≤1.5・S_m
 - $S_{prm}(\mathcal{A}) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq 1.5 \cdot S_m$
 - b. 一次応力(第46条第2号)

(b) (a)以外の管

(a) 管台及び突合せ溶接式ティー S_{prm}(ロ)=B₁·P·D₀/(2·t)+B_{2b}·M_{bp}/Z_b+B_{2r}·M_{rp}/Z_r≤2.25·S_m
(b) (a)以外の管

$$S_{p,r,m}(\square) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{i,p} / Z_i \leq 2.25 \cdot S_m$$

- c. 一次応力(第46条第3号)
- (a) 管台及び突合せ溶接式ティー S_{prm}(ハ)=B₁・P・D₀/(2・t)+B_{2b}・M_{bp}/Z_b+B_{2r}・M_{rp}/Z_r≦3・S_m
 (b) (a)以外の管
 - $S_{p rm}(\gamma) = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_{ip} / Z_i \leq 3 \cdot S_m$
- d. 一次+二次応力(第46条第4号)
- (a) 管台及び突合せ溶接式ティー $S_n = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_b + C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_r$ $+ E \cdot \alpha \cdot |\Delta T_1| / 1.4 + C_3 \cdot E_{ab} \cdot |\alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b| \leq 3 \cdot S_m$
- (b) (a)以外の管 $S_n = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_2 \cdot M_{is} / Z_i + E \cdot \alpha \cdot |\Delta T_1| / 1.4$ $+ C_3 \cdot E_{ab} \cdot |\alpha_a \cdot T_a - \alpha_b \cdot T_b| \leq 3 \cdot S_m$
- e. ピーク応力(第46条第5号)
 - (a) 管台及び突合せ溶接式ティー
 - $S_{p} = K_{1} \cdot C_{1} \cdot P_{0} \cdot D_{0} / (2 \cdot t_{}) + K_{2b} \cdot C_{2b} \cdot M_{bs} / Z_{b}$ $+ K_{2r} \cdot C_{2r} \cdot M_{rs} / Z_{r} + K_{3} \cdot E \cdot \alpha \cdot |\Delta T_{1}| / 1.4$ $+ K_{3} \cdot C_{3} \cdot E_{ab} \cdot |\alpha_{a} \cdot T_{a} \alpha_{b} \cdot T_{b}| + E \cdot \alpha \cdot |\Delta T_{2}| / 0.7$
 - (b) (a)以外の管

 $S_{p} = K_{1} \cdot C_{1} \cdot P_{0} \cdot D_{0} / (2 \cdot t) + K_{2} \cdot C_{2} \cdot M_{is} / Z_{i}$ $+ K_{3} \cdot E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_{1} | / 1.4 + K_{3} \cdot C_{3} \cdot E_{ab} \cdot | \alpha_{a} \cdot T_{a} - \alpha_{b} \cdot T_{b} |$ $+ E \cdot \alpha \cdot | \Delta T_{2} | / 0.7$

f. 繰返しピーク応力強さ(第46条第5号)

$$S_{\ell} = S_{p} / 2$$

g. 許容繰返し回数(第46条第5号)
 別図第1及び別図第2を用いて,繰返しピーク応力強さに対応する許容繰返し回数
 N_iを算出する。

- h. 疲労累積係数(第46条第5号)
 Σ(n_i / N_i)≦1.0
- i. 簡易弾塑性解析(第47条)
- (a) 別表第2に定める当該部分の材料の最小降伏点と最小引張強さとの比が0.8以下であること。
- (b) 運転状態 I 及び II において生じる当該部分の温度は、次の値を超えないこと。
 - イ. 低合金鋼,マルテンサイト系ステンレス鋼及び炭素鋼 375℃
 - ロ. オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金 425℃
- (c) 一次+二次応力(熱によるものを除く)
 - イ. 管台及び突合せ溶接式ティー S_n'=C₁・P₀・D₀/(2・t)+C_{2b}・M_{bs}/Z_b+C_{2r}・M_{rs}/Z_r +C₃'・E_{ab}・| α_a ・T_a- α_b ・T_b | ≦3・S_m
 - ロ. イ.以外の管

$$S_n' = C_1 \cdot P_0 \cdot D_0 / (2 \cdot t) + C_2 \cdot M_{is} / Z_i$$

- + C₃' · E_{ab} · | $\alpha_a \cdot T_a \alpha_b \cdot T_b$ | $\leq 3 \cdot S_m$
- (d) 運転状態Ⅰ及びⅡにおける第46条第5号の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強さとした値は、別図第1又は別図第2における10回の許容繰返し回数に対応する許容繰返しピーク応力強さの値を超えないこと。
- (e) 運転状態Ⅰ及びⅡにおける次の計算式により計算した応力を繰返しピーク応力強 さとし、別図第1又は別図第2において、これに対応する許容繰返し回数が実際の 繰返し回数以上であること。この場合において、実際の繰返し回数が2種類以上あ る場合は、疲労累積係数が1以下でなければならない。
 - イ. S_n<3·S_mの場合

 $S_{\ell} = S_{p} / 2$

ロ. $3 \cdot S_m \leq S_n \leq 3 \cdot m \cdot S_m O$ 場合

 $S_{\ell} = \max[K_{e} \cdot S_{p}/2, \{S_{p} + A_{o} \cdot S_{n} \cdot (S_{p}/3 \cdot S_{m}-1)\}/2]$

 $K_{e} = 1 + (1 - n) \cdot (S_{n} / 3 \cdot S_{m} - 1) / \{n \cdot (m - 1)\}$

m, n, A。: 下表に掲げる材料の種類に応じ、それぞれ同表に掲げる値

材料の種類	m	n	A_{o}
低合金鋼	2.0	0.2	1.0
マルテンサイト系ステンレス鋼	2.0	0.2	1.0
炭素鋼	3.0	0.2	0.66
オーステナイト系ステンレス鋼	1.7	0.3	0.7
高ニッケル合金	1.7	0.3	0.7

- ハ. $S_n > 3 \cdot m \cdot S_m O$ 場合
 - $S_{\ell} = S_{p} / (2 \cdot n)$

- (f) 熱膨張応力
 - イ. 管台及び突合せ溶接式ティー
 S_e=C_{2b}·M_{bs}/Z_b+C_{2r}·M_{rs}/Z_r≤3·S_m
 - ロ. イ.以外の管

 $S_e = C_2 \cdot M_{is} / Z_i \leq 3 \cdot S_m$

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

管クラス	設備	荷重の組合せ	状態
		P + M + D	設計条件
	原子炉冷却材 圧力バウンダリ	P + M + T + O	供用状態A, B
クラス1管			許容応力状態Ⅰ, Ⅱ
		P+M+D P+M+D	供用状態C
			許容応力状態Ⅲ
			供用状態D
			許容応力状態Ⅳ

表 2-1 荷重の組合せ

表 2-1 中の記号

P:内圧による荷重

M:機械荷重(自重除く)

D:配管の自重による荷重

T:配管の熱膨張荷重(支持点の熱膨張変位を含む)

O:過渡熱による荷重

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
設計条件	1. 5• S _m	_	_
供用状態 A, B	_	3• S m	疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
供用状態C	Min (2.25 · S _m , 1.8 · S _y)	—	—
供用状態D	Min $(3 \cdot S_m, 2 \cdot S_y)$	—	—

表 2-2 許容応力(設計・建設規格 PPB-3500)

表 2-3 許容応力(告示第501号第46条から第48条)

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
設計条件	1. 5• S _m		
許容応力状態 Ⅰ, Ⅱ	—	3• S m	疲労累積係数の和が 1.0 以下であること。
許容応力状態Ⅲ	2.25 · S _m	—	—
許容応力状態IV	3• S m	_	_

2.2.4 計算精度と数値の丸め方

計算精度は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。

項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁			
鳥瞰図	寸法	mm	小数点第1位	四捨五入	整数位			
	変位量	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位			
	圧力	MPa	小数点第3位	四捨五入	小数点第2位*1			
	温度	°C	小数点第1位	四捨五入	整数位			
	外径	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位			
	厚さ	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位			
	縦弾性係数	MPa	小数点第1位	四捨五入	整数位			
計算条件	質量	kg	小数点第1位	四捨五入	整数位			
	単位長さ質量	kg/m	小数点第1位	四捨五入	整数位			
	ばね定数	N/mm	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁			
	回転ばね定数	N•mm/rad	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁			
	方向余弦	_	小数点第5位	四捨五入	小数点第4位			
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位			
解析結果 及び評価	計算応力	MPa	小数点第1位	切上げ	整数位			
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位			

表 2-4 表示する数値の丸め方

注記*1:必要に応じて小数点第3位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と記載する。

*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応力は、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。また、告 示別表に記載された許容引張応力は、各温度の値をSI単位に換算し、SI単位に換算 した値の小数点以下第1位を四捨五入して、整数位までの値とする。その後、設計・ 建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

- 3. 計算書の構成
- 3.1 管の応力計算書
 - (1) 概要

本計算方法に基づき,管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。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,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についても記載する。

(2) 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

(3) 鳥瞰図

評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。

(4) 計算条件

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応-1~応-5 に示す。

なお,クラス1管の供用状態A及びB(運転状態I及びⅡ)における一次+二次応力評価 及び疲労評価において考慮する運転条件については,既工認から変更がないことから,記載 を省略する。

(5) 計算結果

本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応-6-1~応-6-2 に示す。

(6) 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、応力分類毎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する。このため、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を記載する。本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応-7 に示す。

 $\mathbb{R}1$

・FORMAT 応-1:

計算条件

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。

鳥瞰図番号

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料

・FORMAT 応-2:

配管の付加質量,フランジ部の質量,弁部の質量

鳥瞰図番号

質量	対応する評価点

・FORMAT 応-3:

弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

・FORMAT 応-4:

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

士士上平日	各軸	方向ばね定数(1	N/mm)	各軸回り回転ばね定数(N·mm/rad)			
又付尽留方	Х	Υ	Z	Х	Υ	Z	

・FORMAT 応-5:

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。

** *	最高使用温度	許容応力(MPa)*					
19 14	(°C)	S _m	S _y	S _u	S _h		

注記*:評価に使用しない許容応力については「一」と記載する。

・FORMAT 応-6-1:

計算結果

下表に示すごとく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1管

設計・建設規格 PPB-3500の規定に基づく評価

鳥瞰図番号

					一次応力評価		一次+二次応力評価				熱応力評価	
				(MPa)		(MPa)				(°C)		½又 23 pT IⅢ
取入 配管 供用 応力 要素 状態 評価 名称	最大応力 区分	一次応力 S _{prm}	許容 応力 1.5Sm ^{Min(2,25・S=,} 1.8・Sy) ^{Min(3:S=,} 2・Sy)	一次+二次 応力 S _n	熱膨張 応力 S。	熱を除いた 一次+二次 応力 S _n ,	許容 応力 3 S m	温度差の 変動範囲 ΔT	許容 温度差	疲労累積 係数 U		
(A, B)			S _{prm} (1)	Max	1.5Sm				_			
(A, B)			S _n	—	_	Max	_	_	3 S m	—	—	_
(A, B)			S _e	-	_	—	Max	—	3 S m	_	_	—
(A, B)			S "'	—	—	—	—	Max	3 S m	—	—	—
(A, B)			ΔΤ	—	—	—	—	—	—	Max	*	—
(A, B)			U	—	—	—	—	—	—	—	—	Max
С			S _{p r m} (2)	Max	Min(2.25 · S =, 1.8 · S y)	—	—	—	—	—	—	—
D			S _{prm} (3)	Max	Min (3 · S m, 2 · S ₇)	_	—	_	_	_	_	_

注記*:本書2.2.2.2(1)i.(g)に基づき計算した値((1.4·y·S_y/E·α)·C₄)を記載する。

・FORMAT 応-6-2:

計算結果

下表に示すごとく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1管

告示第501号第46条から第48条までの規定に基づく評価

鳥瞰図番号

			一次応力評価			在兴动江				
				(ME	Pa)		(MPa	a)		疲力評価
運転 状態	最大 応力 評価点	配管 要素 名称	最大応力 区分	一次応力	許容 応力	一次+二次 応力	熱膨張 応力	熱を除いた 一次+二次	許容 応力	疲労累積 係数
				Sprm	1.5S _m 2.25 • S _m 3 • S _m	S n	S _e	応力 S'n'	3 S m	U
Ι, Π			S _{prm} (∤)	Max	1.5Sm	—	—	—	—	—
Ι, Π			S _n	—	—	Max	—	—	3 S m	—
Ι, Π			S _e	—	—	—	Max	—	3 S m	—
Ι, Π			S n'	—	—	—	—	Max	3 S m	—
Ι, Π			U	—	—	—	—	—	—	Max
Ш			S _{prm} (口)	Max	2.25 • S _m	—	—	_	_	—
IV			S _{prm} (ハ)	Max	3 • S m	—	—	—	—	—
・FORMAT 応-7:

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管 供用状態A, B)

			供用状態(A, B)											
No.	配管モデル	- 次応力 (膜+曲げ)					一次+二次応力 (Sn)					疲労評価		
		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	代表	評価点	疲労累積 係数	代表
1	***-1	1	**	***	*. **	_	11	**	***	*. **		17	*. ****	
2	***-2	2	**	***	*. **	—	12	**	***	*. **	0	18	*. ****	—
3	***-3	3	**	***	*. **	—	13	**	***	*. **	—	19	*. ****	0
4	***-4	4	**	***	*. **	0	14	**	***	*. **	-	20	*. ****	
5	***-5	5	**	***	*. **	_	15	**	***	*. **	-	21	*. ****	
6	***-6	6	**	***	*. **	—	16	**	***	*. **	_	22	*. ****	

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス1管 供用状態C, D)

No.	配管モデル	供用状態C					供用状態D				
			- 次応力 (膜+曲げ)					一次応力(膜+曲げ)			
		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	代表
1	***-1	23	**	***	*. **	_	29	**	***	*. **	_
2	***-2	24	**	***	*. **	-	30	**	***	*. **	
3	***-3	25	**	***	*. **	_	31	**	***	*. **	_
4	***-4	26	**	***	*. **	0	32	**	***	*. **	0
5	***-5	27	**	***	*. **	—	33	**	***	*. **	_
6	***-6	28	**	***	*. **	—	34	**	***	*. **	_

V-3-2-3 クラス1弁の強度計算方法

1. –	-般事項	1
1.1	概要	1
1.2	適用規格及び基準との適合性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1.3	強度計算書の構成とその見方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
1.4	計算精度と数値の丸め方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
1.5	材料の表示方法	5
2. !	7 ラス 1 弁の強度計算方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6
2.1	弁箱に係るものの応力評価 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6
2.2	弁体の一次応力 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	15
2.3	フランジの強度計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	21
2.4	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	29
2.5	弁箱の形状規定	31
2.6	管台の最小厚さの計算	32
3. 浚	©1997	33

目 次

別紙 クラス1弁の強度計算書のフォーマット

- 1. 一般事項
- 1.1 概要

本書は、V-3-1-2「クラス1機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス1弁が十分な強度 を有することを確認するための方法を説明するものである。

- 1.2 適用規格及び基準との適合性
 - (1) 強度計算は、昭和55年通商産業省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(以下「告示第501号」という。)又は発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))JSME S NC1-2005/2007)(日本機械学会2007年9月)(以下「設計・建設規格」という。)により行う。

告示第501号と設計・建設規格の比較に基づく,告示第501号各条項又は設計・建設 規格各規格番号と強度計算書との対応は,表1-1に示すとおりである。

(2) 告示第501号又は設計・建設規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格(以下「JIS」という。)と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおりである。

告示第501号 条項	本資料の計算式	(世 孝)
設計・建設規格 規格番号	(章節番号)	1冊
VVB-3300 弁の応力評価	2.1	弁箱に係るものの応力評価
VVB-3320*1	2.1.1	一次応力
VVB-3330*1	2.1.2	配管反力による応力
VVB-3340*1	2.1.3	一次+二次応力
VVB-3350*1, *2	2.1.4	一次局部応力
VVB-3360*1	2.1.5	起動時及び停止時の繰返しピーク応力
		強さ
第81条 材料の許容応力		
第1項第1号ホ(ロ)*1	2.1.6	繰返しピーク応力強さ
VVB-3370*1	2.1.6	繰返しピーク応力強さ
VVB-3380*1	2.2	弁体の一次応力
VVB-3390	2.3	フランジの強度計算
VVB-3390(1)* ¹ a	2.3	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
VVB-3390(1)*1b	2.3	フランジボルトの応力解析
第82条 弁の形状等		弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算
第1項第1号, 第2号	2.4	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVB-3200 耐圧部の設計		
VVB-3210	2.4	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVB-3220	2.6	管台の最小厚さの計算
VVB-3400 弁の形状	2.5	弁箱の形状規定
VVB-3410*1	2.5	弁箱のネック部内径と弁入口流路内径
		の比
VVB-3411(1)*1	2.5	弁箱のネック部と流路部が交わる部分
		の外表面の丸みの半径
VVB-3411(2)*1	2.5	弁箱の弁座挿入部のすみの丸みの半径

表1-1 告示第501号各条項又は設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

注記*1:告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)又は設計・建設規格 VVB-3320, 3330, 3340, 3350, 3360, 3370, 3380, 3390(1)a, 3390(1)b, 3410, 3411(1), 3411(2)による計算は,接続管の外径が115mmを超える弁について適用する。

*2:設計・建設規格 VVB-3350 に対する確認については、弁の最高使用圧力を決定する時点 でその1.1 倍を超えないよう安全弁等を設置するため、供用状態Cにおいても最高使用 圧力の1.2 倍を超えることはない。

JIS	本資料の計算式) 世书	
No.	項	(章節番号)	加石
JIS B 8265 (2003)		2.3	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造-一般事項」			
附属書3(規定)	3		
「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		

表1-2 JISと強度計算書との対応

注記*:設計・建設規格 VVB-3390 によりJIS B 8265 (2003) 「圧力容器の構造–
 一般事項」(以下「JIS B 8265」という。)の附属書3(規定) 「圧力容器のボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。

- 1.3 強度計算書の構成とその見方
 - (1) 強度計算書は、本書と各弁の強度計算書からなる。
 - (2) 各弁の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているので、本書によるものとする。

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は、6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表1-3に示すとおりとする。

		五1		<i></i>	
	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
	最高使用圧力	MPa	_		小数点以下第2位
	告示第501号				
L.	別表第 13 又は				
上力	設計・建設規格	MPa	*1	*1	小数点以下第2位
	別表 1-1 に規定する		(小数点以下第3位)	(四捨五入)	
	許容圧力				
	上記以外の圧力	MPa	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
応	許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
力	算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第2位	切上げ	小数点以下第1位
長	実際の長さ	mm	—		小数点以下第1位
3	ボルト谷径	mm	_		小数点以下第3位
	上記以外の長さ	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
面	総断面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
槓	実際の断面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
カ	弁操作力による反力	Ν	_		整数位
//	上記以外の力	Ν	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
	モーメント	N•mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
	角度	0			小数点以下第1位

表1-3 表示する数値の丸め方

注記*1:設計・建設規格 別表に定められる温度区分の中間の温度における許容圧力を比例法に より補間して求める場合は、()内を適用する。また、告示第501号別表に記載さ れた許容圧力は、各温度の値をSI単位に換算し、SI単位に換算した値の小数点以下第3 位を四捨五入して、小数点以下第2位までの値とする。その後、設計・建設規格と同様 の換算と桁処理を行う。

- *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。また,告 示第501号別表に記載された許容引張応力は,各温度の値をSI単位に換算し,SI単 位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して,整数位までの値とする。その後, 設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。
- *3:絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

JISの改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合,設計・建設 規格と同等以上の材料であることを確認し,最新のJISによる材料記号を表示する。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合 は、次のように表示する。

相当材記号相当(当該材記号)

- (例 1) SM400A 相当 (SMA400AP)
- (例 2) SCS14A 相当 (ASME SA351 Gr. CF8M)
- (2) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合,材料記号の後に該当す る厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SNB7 (径≦63 mm)

- (3) ガスケット材料で非石綿の場合の表示は、フランジの強度計算「記号の説明」の「計算 書の表示」による。
 - (例) NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

なお、この場合のガスケット係数(m)及びガスケットの最小設計締付圧力(y)は、

JIS B 8265附属書3 表2 備考3よりガスケットメーカ推奨値を適用する。

2. クラス1弁の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス1弁の強度計算に用いる計算式と記号を以下に示す。

2.1 弁箱に係るものの応力評価

クラス1弁の強度計算において,告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)又は設計・建 設規格 VVB-3320,3330,3340,3350,3360,3370を適用する。

告示第501号			
又は	計算書の表示	表示内容	単位
設訂・建設 規格の記号			
A_0	A_0	告示第501号第81条第1項第1号ホの表又は設	
		計・建設規格 PVB-3315の表 PVB-3315-1 より求め	
		た値	
m, n	m, n	告示第501号第81条第1項第1号ホの表より求	—
		めた値	
A_1	A_1	接続管の断面積の2分の1	mm^2
A_2	A $_2$	図 3-2 に示すA~A断面における金属部の断面積	mm^2
A f	A f	図 3-1 に示す流体部面積	mm^2
(A_{f1}, A_{f2})	$(A_{f 1}, A_{f 2})$		
A_{m}	A_{m}	図 3-1 に示す金属部面積	mm^2
(A_{m1}, A_{m2})	(A_{m1}, A_{m2})		
B ₀	B ₀	設計・建設規格 PVB-3315の表 PVB-3315-1 より求	
		めた値	
C $_2$	C $_2$	応力係数で設計・建設規格 VVB-3340の表	—
		VVB-3340-1 より求めた値	
Сз	Сз	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ホ	—
		図1又は設計・建設規格 VVB-3360の表	
		VVB-3360-1 より求めた値	
C ₄	C $_4$	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ハ	—
		図3又は設計・建設規格 VVB-3340の表	
		VVB-3340-2 より求めた値	
C 5	C 5	応力係数で告示第501号第81条第1項第1号ホ	—
		の図又は設計・建設規格 VVB-3370の表	
		VVB-3370-1 より求めた値	
Сь	C b	応力係数で設計・建設規格 VVB-3330 式(VVB-9)よ	
		り求めた値	
d	d	図 3-1 に示す寸法	mm

(1) 記号の説明

告示第501号			
又は	計算書の表示	表示内容	単位
設計・建設 相格の記号			
E	E		MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に規	
		定する材料の縦弾性係数	
	E _m	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料	MPa
		Part6 表1に規定する材料の縦弾性係数	
	I t	疲労累積係数	_
К	K	ネック部の角度による係数	_
K e	K e	設計・建設規格 PVB-3315(2)(3)より求まる係数	—
L _A	L _A	図 3-1 に示すA _f 及びA _m の範囲	mm
L _N	L _N	図 3-1 に示すA _f 及びA _m の範囲	mm
	N (1)	Sℓ(1)に対応する許容繰返し回数	_
	N (2)	Sℓ(2)に対応する許容繰返し回数	_
	N i	実際の繰返し回数	_
	N r i	許容繰返し回数	_
Р	Р	最高使用圧力	MPa
P 1	P 1	最高使用温度における設計・建設規格 別表 1-1	MPa
		に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より	
		低く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	
P 2	P ₂	最高使用温度における設計・建設規格 別表 1-1	MPa
		に規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より	
		高く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	
Рь	Рь	配管反力による弁箱の応力(設計・建設規格	MPa
		VVB-3330による。)	
P _d	P _d	配管反力による弁箱の応力(設計・建設規格	MPa
		VVB-3330による。)	
P _e	P _e	P _d , P _b 及びP _t の中の最大応力	MPa
P r 1	P r 1	260℃の温度における設計・建設規格 別表 1-1 に	MPa
		規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より低	
		く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	
Р _{г2}	Р г 2	260℃の温度における設計・建設規格 別表 1-1 に	MPa
		規定する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より高	
		く、かつ、最も近い呼び圧力の項の許容圧力	
P _s	P _s	260℃における許容圧力	MPa
P _t	${ m P}_{ m t}$	配管反力による弁箱の応力(設計・建設規格	MPa
		VVB-3330による。)	

告示第501号			
又は	計算書の表示	表示内容	単位
設計・建設 規格の記号			
ΔP_{fm}	ΔP _{fm}	供用状態A及び供用状態B(供用状態Cにおいて開	MPa
		 閉操作を必要とする弁については、供用状態A、供	
		 用状態B及び供用状態C)において生じる圧力の段	
		階的な変化の最大値と最小値との差(運転条件図に	
		より求める。起動時及び停止時を除く。)	
QT	QT	厚さ方向の温度勾配による最大熱応力で設計・建設	MPa
		規格 VVB-3360の表 VVB-3360-2 より求めた値	
q	q	設計・建設規格 PVB-3315の表 PVB-3315-1 より求	
1	Ť	めた値	
r	r	○ 図 3-2 に示すA~A断面における平均半径	mm
_		$r = r_{i} + t_{o}/2$	
r 1	r 1	図 3-1 に示すネック部と流路部が交わる部分の外	mm
- 1	- 1	表面の丸みの半径	
r ;	r ;	図 3-2 に示すA~A断面における内半径	mm
S	S	弁箱の一次応力又は一次局部応力	MPa
S l	S l	繰返しピーク応力強さ(設計・建設規格 VVB-3370	MPa
SI	$S\ell$ (1)	記動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ(設計・	MPa
		建設規格 VVB-3360 式 (VVB-14_1)による。)	in a
SI	$S\ell$ (2)	起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ(設計・	MPa
		建設規格 VVB-3360 式 (VVB-14-2)による。)	in a
Sm	Sm	弁箱材料の260℃の温度における告示第501号別	MPa
		表第2又は設計・建設規格 付録材料図表 Part5	in a
		表1に定めろ値	
S.	Sin	設計・建設規格 VVB-3370 式 (VVB-15)の計算式によ	MPa
		り求めた広力	in a
S.,	S_{n} (1)	弁箱の一次+二次応力(設計・建設規格 VVB-3340	MPa
~ 11		式(VVB-10.1)による。)	
S n	S_{n} (2)	 弁箱の一次+二次応力(設計・建設規格 VVB-3340	MPa
~ 11	~ 11 (-)	式 $(VVB-10, 2)$ による。)	
S n	S n	 設計・建設規格 VVB-3370 式(VVB-17)の計算式によ	MPa
P	P	り求めた応力	
S _v	S v	接続管の260℃の温度における設計・建設規格 付	MPa
y	У	録材料図表 Part5 表8に規定する材料の設計降	
		·····································	
L		· ·····	

告示第501号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
Ть	Ть	図 3-1 に示す弁箱の厚さ	mm
t e	t e	図 3-2 に示すA~A断面における金属部の厚さ	mm
Т _{е1}	T _{e1}	図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法	mm
T _{e2}	Те2	図 3-3 及び図 3-4 に示す寸法	mm
	T _m	最高使用温度	°C
Тг	T _r	図 3-1 に示す弁箱の厚さ	mm
Ζ ₁	Z ₁	接続管の断面係数	mm^3
Z ₂	Z $_2$	図 3-2 に示すA~A断面における断面係数	mm^3
Z _p	Z p	図 3-2 に示すA~A断面における極断面係数	mm^3
α	α	260℃の温度における告示第501号別表第 12 又は	mm/mm°C
		設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表2に規	
		定する材料の熱膨張係数	
εe	εe	S _p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して,	—
		弾性解析により計算したときのひずみ	
ξер	ξер	S _p を求めたピーク応力強さのサイクルに対して,	—
		材料の応力一ひずみ関係として,降伏応力をSmの	
		1.5 倍とした弾完全塑性体とした弾塑性解析より計	
-p	-p	算したときのひずみ	
ε	3	弾塑性解析によるミーゼス相当塑性ひずみ	—
θ	θ	ネック部の中心線と流路中心線との交角	0
$\frac{-}{\sigma}$		弾塑性解析によるミーゼス相当応力	MPa
$\overline{\sigma} *$		弾性解析によるミーゼス相当応力	MPa
ΔΤ	Δ T	設計・建設規格 VVB-3340 式(VVB-12)より求めた値	°C
Δ T $_{ m f}$	Δ T f	流体温度変動の振幅(運転条件図により求める。告	°C
		示第501号の場合17℃以上又は設計・建設規格の	
		場合14℃以上のものに限る。)	
Δ T $_{\rm f\ m}$	Δ T fm	供用状態A及び供用状態B(供用状態Aにおいて開	°C
		閉操作を必要とする弁にあっては、供用状態A、供	
		用状態B及び供用状態C)において生じる流体温度	
		の段階的な温度変化の最大値と最小値との差(運転	
		条件図により求める。起動時及び停止時を除く。)	

2.1.1 一次応力

設計・建設規格 VVB-3320 を適用する。

(1) 算式

弁箱の一次応力は次の式による。 $S = P_{s} \cdot \left(\frac{A_{f}^{*}}{A_{m}} + 0.5\right)$ 注記*: $\frac{A_{f}}{A_{m}}$ は図3-1の(4)の場合, $\frac{A_{f1}}{A_{m1}} \geq \frac{A_{f2}}{A_{m2}}$ のいずれか大きい値を用いる。
ここで、 $P_{s} = P_{r1} + \left(\frac{P - P_{1}}{P_{2} - P_{1}}\right) \cdot (P_{r2} - P_{r1})$ $A_{m} \delta \mathcal{O} A_{f} \delta \mathcal{F} \delta \delta \mathfrak{F} \mathfrak{C} \mathfrak{R} \mathfrak{O} \delta \mathcal{O} \mathfrak{L}_{N} \mathfrak{C} \mathcal{O} \mathfrak{C} \mathfrak{T} \mathfrak{O} \delta \mathfrak{O}$ $L_{A} = 0.5 \cdot \mathbf{d} - \mathbf{T}_{b}, \ L_{A} = \mathbf{T}_{r}$ のいずれか大きい値を用いる。

 $L_{\rm N} = 0.5 \cdot r_{1} + 0.354 \cdot \sqrt{T_{\rm b} \cdot (d + T_{\rm b})}$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。 S \leq S_m

2.1.2 配管反力による応力

設計・建設規格 VVB-3330 を適用する。

(1) 算式

配管反力による弁箱の応力は次の式による。

$$P_{d} = \frac{A_{1} \cdot S_{y}}{A_{2}}$$
$$P_{b} = \frac{C_{b} \cdot Z_{1} \cdot S_{y}}{Z_{2}}$$
$$P_{t} = \frac{2 \cdot Z_{1} \cdot S_{y}}{Z_{p}}$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

$$\begin{split} & P_d \leq 1.5 \cdot S_m \\ & P_b \leq 1.5 \cdot S_m \\ & P_t \leq 1.5 \cdot S_m \end{split}$$

2.1.3 一次+二次応力

設計・建設規格 VVB-3340 を適用する。

(1) 算式

供用状態A及び供用状態B(供用状態Cにおいて開閉操作を必要とする弁にあっては, 供用状態A,供用状態B及び供用状態C)における弁箱の一次+二次応力は次の式によ る。

$$S_{n} (1) = 3 \cdot K \cdot P_{s} \cdot \left(\frac{r_{i}}{t_{e}} + 0.5\right) + P_{e} + 2 \cdot \alpha \cdot E \cdot C_{2} \cdot \Delta T$$

$$S_{n} (2) = 3 \cdot K \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_{i}}{t_{e}} + 0.5\right) + \alpha \cdot E \cdot C_{2} \cdot C_{4} \cdot \Delta T_{fm}$$

$$\Xi \equiv \mathfrak{C},$$

$$K = 0.2 + \frac{0.8}{\sin \theta}$$

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。 S_n (1) \leq 3 · S_m

- S_n (2) $\leq 3 \cdot S_m$
- 2.1.4 一次局部応力

設計・建設規格 VVB-3350 を適用する。

(1) 算式

供用状態Cにおいて開閉操作を必要とする弁以外の弁については,弁箱の一次局部応力 は次の式による。

S=1.5 · K · P_s ·
$$\left(\frac{r_i}{t_e}+0.5\right)+1.2$$
 · P_e

(2) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。 S $\leq 2.25 \cdot S_m$

- 2.1.5 起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さ
 設計・建設規格 VVB-3360を適用する。
 - (1) 算式

弁箱の起動時及び停止時の繰返しピーク応力強さは次の式による。

$$S \ell (1) = 2 \cdot P_{s} \cdot \left(\frac{r_{i}}{t_{e}} + 0.5\right) + \frac{P_{e}}{2} + \alpha \cdot E \cdot C_{3} \cdot \Delta T + 1.3 \cdot Q_{T}$$
$$S \ell (2) = 1.2 \cdot P_{s} \cdot \left(\frac{r_{i}}{t_{e}} + 0.5\right) + P_{e} + 2 \cdot \alpha \cdot E \cdot C_{3} \cdot \Delta T$$

(2) 評価

設計・建設規格 添付 4-2 3.1 又は 3.2 において, Sℓ(1)及びSℓ(2)に対応する 許容繰返し回数N(1)及びN(2)がそれぞれ 2000回以上であること。

2.1.6 繰返しピーク応力強さ

告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)又は設計・建設規格 VVB-3370を適用する。

(1) 算式

供用状態A及び供用状態B(供用状態Cにおいて開閉操作を必要とする弁にあっては, 供用状態A,供用状態B及び供用状態C)における弁箱の繰返しピーク応力強さは次の式 による。

$$S_{n} = 3 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_{i}}{t_{e}} + 0.5\right) + \alpha \cdot E \cdot C_{3} \cdot C_{4} \cdot \Delta T_{fm} \quad \dots \dots \quad (2.1.6.1)$$

a. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の260℃における告示第501号別表第2又は
 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値(S_m)の3倍未満の場合(S_n
 <3・S_m)

$$S \ell = \frac{S_p}{2}$$

$$\Xi \equiv \mathfrak{C},$$

$$S_p = 4 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5\right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$$

b. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260℃における告示第501号別表第2に定める値(S_m)の3倍以上で,告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(2)の表に掲げるmの値と上記S_mの値を乗じた値の3倍以下の場合(3・S_m≦S_n≦3・m・S_m)

$$S \ell = \frac{K_{e} \cdot S_{p}}{2}$$
$$S \ell = \frac{1}{2} \cdot \left\{ S_{p} + A_{o} \cdot S_{n} \cdot \left(\frac{S p}{3 \cdot S_{m}} - 1 \right) \right\}$$

上記2式のうちいずれか大きい方 ここで $S_p = 4 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_i}{t_e} + 0.5\right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_f \cdot (C_3 \cdot C_4 + C_5)$ $K_e = 1 + \frac{1-n}{n \cdot (m-1)} \cdot \left(\frac{S_n}{3 \cdot S_m} - 1\right)$ c. (2.1.6.1) 式で計算した値が告示第501号第81条第1項第1号ホ(ロ)(2)の表に掲 げるmの値と弁箱材料の260℃における告示第501号別表第2に定める値(S_m)を乗 じた値の3倍を超える場合(S_n>3・m・S_m)

$$S \ell = \frac{S p}{2 \cdot n}$$

$$\Xi \equiv \mathcal{C}$$

$$S_{p} = 4 \cdot \Delta P_{fm} \cdot \left(\frac{r_{i}}{t_{e}} + 0.5\right) + \alpha \cdot E \cdot \Delta T_{f} \cdot (C_{3} \cdot C_{4} + C_{5})$$

d. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の260℃における設計・建設規格 付録材料図
 表 Part5 表1に定める値(S_m)の3倍以上の場合(S_n≧3・S_m)

$$S \ell = \frac{K_{e} \cdot S_{p}}{2}$$
(a) K0 (K_e式 (以下, A₀式と呼ぶ) とK_e'式が交わる場合)
イ. $\frac{S_{n}}{3 \cdot S_{m}} < \frac{\left(q + \frac{A_{0}}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_{0}}{K} - 1\right)^{2} - 4 \cdot A_{0} \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_{0}}$
K_e=K_e*=1+A₀ · $\left(\frac{S_{n}}{3 \cdot S_{m}} - \frac{1}{K}\right)$
 \square . $\frac{S_{n}}{3 \cdot S_{m}} \ge \frac{\left(q + \frac{A_{0}}{K} - 1\right) - \sqrt{\left(q + \frac{A_{0}}{K} - 1\right)^{2} - 4 \cdot A_{0} \cdot (q - 1)}}{2 \cdot A_{0}}$
K_e=K_e' =1+ (q - 1) · $\left(1 - \frac{3 \cdot S_{m}}{S_{n}}\right)$

(b) K ≥ B₀ (A₀式とK_e'式が交わらない場合)
イ.
$$\frac{S_n}{3 \cdot S_m} < \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot (1 - \frac{1}{K}) \cdot (q-1)}}{a}$$

K_e = K_e^{**} = a $\cdot \frac{S_n}{3 \cdot S_m} + A_0 \cdot (1 - \frac{1}{K}) + 1 - a$
 \square . $\frac{S_n}{3 \cdot S_m} \ge \frac{(q-1) - \sqrt{A_0 \cdot (1 - \frac{1}{K}) \cdot (q-1)}}{a}$
K_e = K_e' = 1 + (q-1) $\cdot (1 - \frac{3 \cdot S_m}{S_n})$
K = $\frac{S_p}{S_n}$

$$\mathbf{a} = \mathbf{A}_{0} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mathbf{K}}\right) + (\mathbf{q} - 1) - 2 \cdot \sqrt{\mathbf{A}_{0} \cdot \left(1 - \frac{1}{\mathbf{K}}\right)} \cdot (\mathbf{q} - 1)$$

e. (2.1.6.1) 式で計算した値が弁箱材料の 260℃における設計・建設規格 付録材料図
 表 Part5 表1に定める値(S_m)を乗じた値の3倍以上の場合(S_n≧3・S_m)b.項に
 係らず,次の計算式により計算した値を用いてもよい。

$$S \ell = \frac{K_e \cdot S_p}{2}$$
$$K_e = \frac{\varepsilon_e p}{\varepsilon_e}$$
$$\varepsilon_{e p} = \frac{\overline{\sigma}}{\overline{E}} + \overline{\varepsilon}^p$$
$$\varepsilon_e = \frac{\overline{\sigma}}{\overline{E}}$$

K_eはS_pを求めたピーク応力強さのサイクルに対して安全側となるようにサイクルを 設定してよい。

(2) 評価

告示第501号別図第1又は第2,設計・建設規格 添付4-2 3.1又は3.2において、S ℓ に対応する許容繰返し回数(N_{ri})が実際の繰返し回数(N_i)以上であること。この場合において、実際の繰返し回数が2種類以上あるときは、疲労累積係数(I_t)が1以下であること。

すなわち,

$$I_{t} = \sum \frac{N_{i}}{N_{r i}} \leq I$$

であること。

2.2 弁体の一次応力

クラス1弁の強度計算において,設計・建設規格 VVB-3380 を適用する。 具体的な計算方法は,VVB-3380 解説による。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	A A' B B'	機械工学便覧新版A4 編表 26(以下「便覧」 という。)より求めた値 (添字の数字は,便覧の荷重状態のNo.を 示す。)	
	$ \begin{array}{c} a\\ a_1\\ b\\ h\\ (h_1, h_2) \end{array} $	円板の外周半径 円板の外周半径(形式G2の場合) 円板の内周半径 弁体の厚さ (h、及びh、は形式G2の場合)	mm mm mm
	(Π_{1}, Π_{2}) P P_{c} (P_{1}, P_{2})	(H1)及びH2は形式G2の場合) 最高使用圧力 機械的荷重を含む集中荷重	MPa N
	S m v	 弁体材料の最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表1に定める値 ポアソン比(0.3) 	MPa
	π σ _D σ _{D1} σ _{D2} σ _{D3}	円周率 弁体に発生する一次応力 (σ _{D1} , σ _{D2} 及びσ _{D3} は形式G2の場合)	MPa*
	σ, σ'	便覧より求めた応力 (添字の数字は,便覧の荷重状態のNo.を示 す。)	MPa*

注記*:便覧は「N/mm²」を使用しているが,設計・建設規格に合わせ「MPa」に読み替えるものとする。

(2) 算式

弁体にかかる最高使用圧力及び機械的荷重により生じる荷重状態をモデル化し,円板の 理論式により各弁体に応じて一次応力を計算する。

- a. 形式W1 右図のような弁体形状のもの $\sigma_{\rm D} = \frac{3 \cdot (3+\nu) \cdot P \cdot a^{2}}{8 \cdot h^{2}}$
- b. 形式W2
 右図のようか弁体形状のもの





P102

WW

并体

弁理

P2

¥¥

d. 形式G2右図のような弁体形状のもの

 $\sigma_D は \sigma_{D1}, \sigma_{D2} 及 び \sigma_{D3} の 最大のもの$

(a) 図の①の荷重状態の場合 $\sigma_{D1} = |\sigma_{13}| + |\sigma_{9}|$ (P及びP₁は図の①) $\sigma_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a^{2}}{8 \cdot h_{1}^{2}} \cdot \left\{ (1+3 \cdot v) \cdot \frac{b^{2}}{a^{2}} + 4 \cdot (1+v) \cdot (A_{13} + \ell_{n}\frac{a}{b}) \right.$ $\left. \cdot \frac{b^{2}}{a^{2}} + (1-v) \cdot (\frac{2 \cdot b^{2}}{a^{2}} + B_{13} \cdot \frac{a^{2}}{b^{2}}) \right\}^{*6}$ $A_{13} = \frac{b^{2}}{a^{2} - b^{2}} \cdot \ell_{n}\frac{a}{b} - \frac{1}{4 \cdot (1+v)} \cdot \left\{ (1+3 \cdot v) + (3+v) \cdot \frac{a^{2}}{b^{2}} \right\}$ $B_{13} = \frac{1}{1-v} \cdot \left\{ 4 \cdot (1+v) \cdot \frac{b^{2}}{a^{2} - b^{2}} \cdot \ell_{n}\frac{a}{b} - (3+v) \right\} \cdot \frac{b^{2}}{a^{2}}$ $\sigma_{9} = \frac{3 \cdot P_{1}}{4 \cdot \pi \cdot h_{1}^{2}} \cdot \left\{ 2 \cdot (1+v) \cdot (A_{9} + \ell_{n}\frac{a}{b}) + (1-v) \cdot (1-B_{9}, \frac{a^{2}}{b^{2}}) \right\}^{*7}$ $A_{9} = \frac{1-v}{2 \cdot (1+v)} + \frac{b^{2}}{a^{2} - b^{2}} \cdot \ell_{n}\frac{a}{b}$

$$B_{9} = -\frac{2 \cdot (1+\nu)}{1-\nu} \cdot \frac{b^{2}}{a^{2}-b^{2}} \cdot \ell_{n} \frac{a}{b}$$

(b) 図の②の荷重状態の場合

$$1 \nu a = 0 b$$

$$\sigma'_{13} = \frac{3 \cdot P \cdot a_1^{2}}{8 \cdot h_1^{2}} \cdot \left\{ (1+3 \cdot v) \cdot \frac{b^2}{a_1^{2}} + 4 \cdot (1+v) \cdot (A_{13}' + \ell_n \frac{a_1}{b}) \right\}$$
$$\cdot \frac{b^2}{a_1^{2}} + (1-v) \cdot (\frac{2 \cdot b^2}{a_1^{2}} + B_{13}' \cdot \frac{a_1^{2}}{b^2}) \right\}^{*6}$$
$$A'_{13} = \frac{b^2}{a_1^{2} + b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b} - \frac{1}{4 \cdot (1+v)} \cdot \left\{ (1+3 \cdot v) + (3+v) \cdot \frac{a_1^{2}}{b^2} \right\}$$
$$B'_{13} = \frac{1}{1-v} \cdot \left\{ 4 \cdot (1+v) \cdot \frac{b^2}{a_1^{2} + b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b} - (3+v) \right\} \cdot \frac{b^2}{a_1^{2}}$$
$$\sigma'_9 = \frac{3 \cdot P_1}{4 \cdot \pi \cdot h_1^{2}}$$
$$\cdot \left\{ 2 \cdot (1+v) \cdot (A'_9 + \ell_n \frac{a_1}{b}) + (1-v) \cdot (1-B'_9 \cdot \frac{a_1^{2}}{b^2}) \right\}^{*7}$$
$$A'_9 = \frac{1-v}{2 \cdot (1+v)} + \frac{b^2}{a_1^{2} - b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b}$$
$$B'_9 = -\frac{2 \cdot (1+v)}{1-v} \cdot \frac{b^2}{a_1^{2} - b^2} \cdot \ell_n \frac{a_1}{b}$$

(c) 図の③の荷重状態の場合 $\sigma_{D3} = |\sigma_{15}| + |\sigma_{11}|$ (P及びP1は図の③)

$$\sigma_{15} = \frac{3 \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h_2^2} \cdot \left\{ (3 + \nu) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} + 4 \cdot (1 + \nu) \cdot (A_{15} + \ell_n \frac{a}{a_1}) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right\}^{*8}$$
$$- (1 - \nu) \cdot (\frac{2 \cdot a_1^2}{a^2} + B_{15} \cdot \frac{a^2}{a_1^2}) \right\}^{*8}$$
$$A_{15} = -\frac{1}{4} \cdot \frac{a^2}{(1 + \nu) \cdot a^2 + (1 - \nu) \cdot a_1^2}$$
$$\cdot \left[(3 + \nu) \cdot \frac{a^2}{a_1^2} + (1 - \nu) \cdot \left\{ (4 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} + 3) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} - 2 \right\} \right]$$

$$B_{15} = \frac{a_1^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2}$$

$$\cdot \left[(3+\nu) - \left\{ (5+\nu) + 4 \cdot (1+\nu) \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} \right\} \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right]$$

$$\sigma_{11} = \frac{3 \cdot P_2}{4 \cdot \pi \cdot h_2^2}$$

$$\cdot \left\{ 2 \cdot (1+\nu) \cdot (A_{11} + \ell_n \frac{a}{a_1}) - (1-\nu) \cdot (1-B_{11} \cdot \frac{a^2}{a_1^2}) \right\}^{*9}$$

$$A_{11} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(1-\nu) \cdot a^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2} \cdot \left\{ 1 - (1+2 \cdot \ell_n \frac{a}{a_1}) \cdot \frac{a_1^2}{a^2} \right\}$$

$$B_{11} = \frac{2 \cdot a_1^2}{(1+\nu) \cdot a^2 + (1-\nu) \cdot a_1^2} \cdot \left\{ (1+\nu) \cdot \ell_n \frac{a}{a_1} + 1 \right\}$$

e. 形式C1
右図のような弁体形状のもの
$$\sigma_{\rm D} = \frac{3 \cdot (3 + \nu) \cdot P \cdot a^2}{8 \cdot h^2}$$
*10



f. 形式C2右図のような弁体形状のもの





(3) 評価以下の条件を満足すれば十分である。

 $\sigma_{D} {\triangleq} 1.5 \bullet S_{m}$

注記*1:便覧No.1による。

- *2:便覧 No. 11 による。 ただし, P_o= π ・b²・Pとする。 *3:便覧 No. 15 による。 *4:便覧 No. 5 による。 ただし, P= $\frac{P_c}{\pi \cdot b^2}$ とする。 *5:便覧 No. 7 による。 ただし, P_o= π ・a²・Pとする。 *6:便覧 No. 13 による。
 - ただし, h=h₁とする。 *7:便覧No.9による。
 - ただし, P_c=P₁及びh=h₁とする。
 - *8:便覧 No.15 による。

ただし, h=h2とする。

ただし、
$$P_c = P_2$$
及びh = h_2とする。

- *10:便覧 No.1 による。
- *11:設計・建設規格 PMC-3410(2)b.より応力値を求める式に変換した。

2.3 フランジの強度計算

クラス1弁の強度計算において,設計・建設規格 VVB-3390を適用する。

JISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
А	А	フランジの外径	mm
A _b	A _b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m}	A_{m}	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m1}	A_{m1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
В	В	フランジの内径	mm
B 1	В 1	B + g ₀ (f ≧1 のときの一体形フランジの場合)	mm
		B + g 1 (f <1 のときの一体形フランジの場合)	
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b _o	b _o	ガスケット座の基本幅	mm
С	С	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数(= $\frac{\mathrm{U}}{\mathrm{V}}$ ・h。・g。 ² (一体形フランジの場	mm ³
d _b	d _b	合)) ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さ い方の径	mm
е	е	係数(= $\frac{F}{h_o}$ (一体形フランジの場合))	mm^{-1}
		一体形フランジの係数	
F	F	(JIS B 8265 附属書3 図5 又は表4	
	F _e	フランンに作用する機械的鉛直何重(开操作力によ	IN
£	£		
1	1		
C	C	「による。」	mm
U	G	ガスケット接触面の外径	mm
	U s		111111

(1) 記号の説明

JISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
g o	g o	ハブ先端の厚さ	mm
g 1	g 1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
Н	Н	内圧力によってフランジに加わる全荷重	Ν
h	h	ハブの長さ	mm
H_{D}	H_{D}	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	Ν
h _D	h _D	ボルト穴の中心円からHD作用点までの半径方向の	mm
		距離	
H_{G}	H_{G}	ガスケット荷重	Ν
h _G	h _G	ボルト穴の中心円からH _G 作用点までの半径方向の	mm
		距離	
h _o	h _o	$\sqrt{\mathbf{B} \cdot \mathbf{g}_0}$	mm
H _P	H _P	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮	Ν
		カ	
Η _T	Η _T	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジ	Ν
		の内径面に加わる荷重との差	
h _T	h _T	ボルト穴の中心円からHr作用点までの半径方向の	mm
		距離	
K	K	フランジの内外径の比	_
L	L	係数 $\left(=\frac{\mathbf{t} \cdot \mathbf{e} + 1}{T} + \frac{\mathbf{t}^3}{1}\right)$	
m	m		
		(JIS B 8265 附属書3 表2によ 、	
		る。)).
$M_{\rm D}$	$M_{\rm D}$	内圧刀によってファンシの内径面に加わる何重によ	N•mm
		るモーメント).
	M _e	ノフンン部に作用するセーメント	N•mm
		(駆動部の偏心何里によるセーメント)	N
M _g	M _g	カスクット柿付時にノフンシに作用するモーメント	N•mm
		使用状態でノフシンに作用するセーメント	N•mm
M _T	M _T	内圧力によう(ノブンシに加わる主何里とノブンシ	N•mm
NT	NT	の内径面に加わる何里との差によるモーメント	
IN	IN		mm
		(JIS B 8203 附偶書3 衣3によ 	
		る。)	

JISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
n	n	ボルトの本数	
	Р	最高使用圧力	MPa
	P _{eq}	機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメ	MPa
		ントを圧力に換算した等価圧力	
Р	P_{FD}	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点ま	mm
		での半径方向の距離	
Т	Т	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数	_
		(JIS B 8265 附属書3 図7によ z)	
t	+	る。)	mm
t	i.		11111
U	U	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数	—
		(JIS B 8265 附属書3 図7によ	
		る。)	
V	V	一体形フランジの係数	—
		(JIS B 8265 附属書3 図8又は表4	
W g	W g	ガスケット総付時のホルト倚重	N
W _{m 1}	W _{m1}	使用状態での必要な最小ホルト倚重	N
W _{m 2}	W _{m 2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	N
W o	W _o	使用状態でのホルト荷重	Ν
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数	—
		(JIS B 8265 附属書3 図7によ	
		る。)	
У	У	ガスケットの最小設計締付圧力	N/mm^2
		(JIS B 8265 附属書3 表2によ	
		る。)	
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数	
		(JIS B 8265 附属書3 図7によ	
		る。)	
π	π	円周率	—

JISの記号	計算書の表示	表示内容	単位
σ _a	σ _a	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録	MPa
		材料図表 Part5 表2に定める設計応力強さ	
σь	σ _b	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規	MPa
		格 付録材料図表 Part5 表2に定める設計応力	
		強さ	
σ _f	σ _{fa}	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格 付	MPa
		録材料図表 Part5 表1に定める設計応力強さ	
$\sigma_{ m f}$	σ _{fb}	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設	MPa
		規格 付録材料図表 Part5 表1に定める設計応	
		力強さ	
σ _H	σ _{Hg}	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σ _H	σ _{Ho}	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σ _R	σ _{Rg}	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σ _R	σ _{Ro}	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
στ	σ _{Tg}	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
στ	σ _{Το}	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	NON-	非石綿ジョイントシート	—
	ASBESTOS		
	SUS-NON-	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス	
	ASBESTOS	錮)	

注記*: JIS B 8265は「N/mm2」を使用しているが,設計・建設規格に合わせ 「MPa」に読み替えるものとする。 (2) 算式



- a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径
 - (a) b 。≦6.35mm の場合

$$G = G_{s} - N$$

b = b_o
(b) b_o > 6.35mm の場合
$$G = G_{s} - 2 \cdot b$$

b = 2.52 · √b_o
ここで,
b_o = N / 2

b. フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{eq}$$
$$P_{eq} = \frac{16 \cdot M e}{\pi \cdot G^3} + \frac{4 \cdot F_e}{\pi \cdot G^2}$$

- c. 計算上必要なボルト荷重
 - (a) 使用状態で必要なボルト荷重 W_{m1}=H+H_P H=<u>π</u>4・G²・P_{FD} H_P=2・π・b・G・m・P_{FD}
 (b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m\,2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_{b}} \quad (使用状態)$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a}} \quad (ガスケット締付時)$$

$$A_{m} = Max (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{b}^{2} \cdot n$$

- e. フランジの計算に用いるボルト荷重 W_o=W_{m1} (使用状態) W_g= $\frac{A_m + A_b}{2} \cdot \sigma_a$ (ガスケット締付時)
- f. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_{D} = \frac{\pi}{4} \cdot B^{2} \cdot P_{FD}$$

$$H_{G} = W_{o} - H$$

$$H_{T} = H - H_{D}$$

g. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h _D	h _G	h _T
一体形フランジ*	R+0.5 \cdot g ₁	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{\mathbf{R} + \mathbf{g}_1 + \mathbf{h}_{\mathbf{G}}}{2}$

ただし, $R = \frac{C-B}{2} - g_1$

注記*:クラス1弁には、一体形フランジを採用する。

- h. 使用状態でフランジに作用するモーメント $M_D = H_D \cdot h_D$ $M_G = H_G \cdot h_G$ $M_T = H_T \cdot h_T$ $M_o = M_D + M_G + M_T$
- i. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C-G}{2}$$

j. 一体形フランジの応力

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{H_{0}} = \frac{f \cdot M_{o}}{L \cdot g_{1}^{2} \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_{0}}^{*1, *2}$$

$$\sigma_{R_{0}} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{o}}{L \cdot t^{2} \cdot B}$$

$$\sigma_{T_{0}} = \frac{Y \cdot M_{o}}{t^{2} \cdot B} - Z \cdot \sigma_{R_{0}}$$

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^{2} \cdot B} *^2$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^{2} \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^{2} \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$

$$\Xi \equiv \overline{C},$$

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_0}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_0^2$$

$$e = \frac{F}{h_o}$$

- 注記*1:設計・建設規格 VVB-3390 式(VVB-19)による。JIS B 8265の計算式に一次膜 応力を加えたものである。
 - *2: $B < 20 \cdot g_1$ のときは、 σ_{H_0} 及び σ_{H_g} の計算式のBの代わりに B_1 を用いる。

(3) 評価

一体形フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

a. ボルトの総有効断面積

 $A_b > A_m$

b.	ハブの軸方向応力	
	使用状態にあっては	σ _{Ho} ≦1.5 • σ _{fb}
	ガスケット締付時にあっては	$\sigma_{\rm Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{\rm fa}$
с.	フランジの半径方向応力	
	使用状態にあっては	$\sigma_{Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$
	ガスケット締付時にあっては	$\sigma_{Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
d.	フランジの周方向応力	
	使用状態にあっては	σ _{To} ≦1.5 • σ _{fb}
	ガスケット締付時にあっては	$\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

2.4 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

クラス1弁の強度計算において,告示第501号第82条第1項第1号,第2号又は設計・ 建設規格 VVB-3210を適用する。

告示第501号 又は 設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d m	d m	図 3-5 に示す弁入口流路内径	mm
d n	d n	図 3-5 に示すネック部の内径	mm
Р	Р	最高使用圧力	MPa
P 1	P ₁	最高使用温度における告示第501号別表第13又	MPa
		は設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力	
		の欄のうち、最高使用圧力より低く、かつ、最も	
		近い呼び圧力の項の許容圧力	
P ₂	P_2	最高使用温度における告示第501号別表第13又	MPa
		は設計・建設規格 別表 1-1 に規定する許容圧力	
		の欄のうち、最高使用圧力より高く、かつ、最も	
		近い呼び圧力の項の許容圧力	
	Τm	最高使用温度	°C
t	t	弁箱(ネック部を除く。)又は弁ふたの計算上必	mm
		要な厚さ	
t 1	t 1	告示第501号別表第15又は設計・建設規格 別	mm
		表3の呼び圧力(告示第501号別表第13又は設	
		計・建設規格 別表 1-1 において P ₁ に対応する	
		呼び圧力をいう。)の欄のうち,当該弁の弁入口	
		流路内径に対応する値	
t ₂	t 2	告示第501号別表第15又は設計・建設規格 別	mm
		表3の呼び圧力(告示第501号別表第13又は設	
		計・建設規格 別表 1-1 において P2に対応する	
		呼び圧力をいう。)の欄のうち,当該弁の弁入口	
		流路内径に対応する値	
	t a b	弁箱の最小厚さ	mm
t m	t _{a f}	弁ふたの最小厚さ	mm
	t m	ネック部の計算上必要な厚さ	mm
	t ma	ネック部の最小厚さ	mm

(1) 記号の説明

- (2) 算式
 - a. 弁箱(ネック部を除く。)又は弁ふたの計算上必要な厚さ $t = t_1 + \frac{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}{(P - P_1) \cdot (t_2 - t_1)}$

$$t = t_1 + \frac{P_1 - P_2}{(P_2 - P_1)}$$

b. ネック部の計算上必要な厚さ

(a)
$$\frac{d_n}{d_m} \leq 1.5 \mathcal{O}$$
場合
 $t_m = t$
(b) $\frac{d_n}{d_m} > 1.5 \mathcal{O}$ 場合
2. d. t

1

$$t_{m} = \frac{2 \cdot d_{n} \cdot t}{3 \cdot d_{m}}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

- a. 弁箱(ネック部を除く。)又は弁ふたの最小厚さ
 - t $_{a \ b} \geqq t$

t $_{a\ f}\geqq t$

b. ネック部の最小厚さ

t $_{\text{ma}} \geqq$ t $_{\text{m}}$

2.5 弁箱の形状規定

クラス1 弁の強度計算において,設計・建設規格 WVB-3410,3411 を適用する。

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
d m	d m	図 3-5 に示す弁入口流路内径	mm
d n	d n	図 3-5 に示すネック部の内径	mm
h	h	図 3-6 に示す弁座挿入部の高さ	mm
r 1	r 1	図 3-1 に示すネック部と流路部が交わる部分の外	mm
		表面の丸みの半径	
r ₂	r ₂	図 3-6 に示す弁座挿入部のすみの丸みの半径	mm
t	t	弁箱(ネック部を除く。)又は弁ふたの計算上必要	mm
		な厚さ(設計・建設規格 VVB-3210 による。)	

(1) 記号の説明

(2) 評価

弁箱の形状は以下の条件を満足するものとする。

a. ネック部と流路部が交わる部分の外表面の丸みの半径

r ₁≧0.3• t

b. 弁座挿入部のすみの丸みの半径

 $r_{2} \ge Max (0.05 \cdot t, 0.1 \cdot h)$

c. ネック部の内径と弁入口流路内径の比

$$\frac{d_n}{d_m} < 2$$

2.6 管台の最小厚さの計算

クラス1弁の強度計算において、設計・建設規格 VVB-3220を適用する。

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	N o .	管台の番号	—
D _o	D _o	管台の外径	mm
Р	Р	最高使用圧力	MPa
S	S	管台の最高使用温度における設計・建設規格 付	MPa
		録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引	
		張応力	
t	t	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t _{br}	管台の最小厚さ	mm
	T _m	最高使用温度	°C
	t no	管台の公称厚さ	mm
η	η	継手の効率(設計・建設規格 PVC-3130の表	_
		PVC-3130-1 より求めた値)	

(1) 記号の説明

$$t = \frac{P \cdot D_o}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

t $_{\rm b\ r} \geqq t$



注1:本図は設計・建設規格 VVB-3320の図 VVB-3320-1と同じ。

注2:(4)の場合、 A_f 及び A_m の値は、図の A_{f1} 及び A_{f2} 並びに A_{m1} 及び A_{m2} のうち

 $\frac{A_{f1}}{A_{m1}}$ と $\frac{A_{f2}}{A_{m2}}$ の値が大きい方の組合せを用いる。

図 3-1 A_f及びAmの範囲を明示した図


注:本図は告示第501号第81条第1項第1号ロの図1又は 設計・建設規格 VVB-3330の図 VVB-3330-1と同じ。 図3-2 t_e及びrを明示した図



注:本図は設計・建設規格 VVB-3340の図 VVB-3340-1と同じ。

図 3-3 T_{e1}及びT_{e2}を明示した図

T_{e1}は,交差部壁面とその二等分線とに接する二 つの円のうち大きい方の直径

 $T_{e1} < t e$ の場合は、 $T_{e1} = t_{e}$ とする。

(t_eは,図3-2に定めるところによる。)

注:本図は図 3-3の(4)の内容を図 3-2(1)の構造に適用したもの



T_{e2}は, 交差部壁面に接する円の直径

注:本図は図 3-3の(3)の内容を図 3-2(1)の構造に適用したもの

図 3-4 T_{e1}及びT_{e2}を明示した図



注:本図は告示第501号第82条解説の図82.3又は 設計・建設規格 VVB-3210解説図 VVB-3210-3と同じ。



図 3-5 d_m及びd_nを明示した図

注:本図は設計・建設規格 VVB-3411の図 VVB-3411-2と同じ。 図 3-6 h及び r 2を明示した図 別紙 クラス1弁の強度計算書のフォーマット

V---- 0000000000の強度計算書

まえがき

本計算書は、V-3-1-2「クラス1機器の強度計算の基本方針」及びV-3-1-5「重大事故等クラス2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強 度計算の基本方針」並びにV-3-2-3「クラス1弁の強度計算方法」及びV-3-2-11「重大事故等クラス2弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。 評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、V-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義 したものを使用する。

·評価条件整理表

		施設時の		クラスアップするか			条件アップするか									
	既設	技術基準 に対象と	カラフ	依款畦			冬卅	DB∮	条件	SA≸	条件	既工認に おける	施設時の		同等性	評価
機器名	or 新設	する施設 の規定が あるか	クラス アップ の有無	^施 設時 機器 クラス	DB クラス	SA クラス	^{来件} アップ 圧力 の有無 (MPa	圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)	温度 (℃)	評価結果 の有無	適用規格	評価区分	評価 区分	クラス

 \sim

1. 設計仕様

系統:

機器の	区分		う	/ラス1弁		
台来旦	插粄	呼び径		材	料	
	作里決只	(A)	弁箱	弁ふた	弁体	ボルト

2. 強度計算書

系統:

弁番号	シート	

		設計・建設規格	告示第501号			
設計条件		•			「をようして」	
最高使用圧力	P (MPa)			开相仍一次十_		
最高使用温度	T _m (°C)			t e	(mm)	
弁箱材料				T _{e1}	(mm)	
接続管材料				r _i	(mm)	
接続管外径	(mm)			θ	(°)	
接続管内径	(mm)			К		
				P _e	(MPa)	
添付図番号				$lpha imes 10^6$	(mm/mm°C)	
	図3-3	(2)	(一例)	Е	(MPa)	
				C ₂		
内圧による开	箱の一次応力評価		-	ΔΤ	(°C)	
P 1	(MPa)			C ₄		
P ₂	(MPa)			Δ P $_{\rm f\ m}$	(MPa)	
P _{r1}	(MPa)			Δ T $_{ m f\ m}$	(°C)	
P _s	(MPa)			S _n (1)	(MPa)	
d	(mm)			S _n (2)	(MPa)	
Ть	(mm)			3 • S m	(MPa)	
T _r	(mm)			at and former		
LA	(mm)			評価: S	S_n (1) $\leq 3 \cdot S_m$	
L _N	(mm)			5	\mathbf{S}_{n} (2) $\leq 3 \cdot \mathbf{S}_{m}$	
$A_{\rm f}$	(mm^2)		$ imes 10^4$			よって十分である。
A_{m}	(mm^2)		$ imes 10^4$			
r 1	(mm)			开相切向部一边	火ル心ノJ言平1曲	
S	(MPa)			S	(MPa)	
S _m	(MPa)			2.25 • S _m	(MPa)	
評価:	$S \leq S_m$			評価:S≦	≦2.25 • S _m	
		よって十分	である。			よって十分である。
配管反力によ	る弁箱の二次応力詞	平価		起動時及び停止	と時の繰返しピークル	芯力強さ
A-A断面の	弁外径 (mm)			Сз		
A 1	(mm^2)		$ imes 10^3$	Q _T	(MPa)	
A_2	(mm^2)		$ imes 10^4$	S ℓ (1)	(MPa)	
Сь				S ℓ (2)	(MPa)	
Z 1	(mm^3)		$ imes 10^5$	Em	(MPa)	
Z ₂	(mm^3)		$ imes 10^{6}$	N (1)		
Zp	(mm^3)		$ imes 10^{6}$	N (2)		
S y	(MPa)					
${ m P}_{ m d}$	(MPa)			評価:N	$(1) \geq 2000$	
Рь	(MPa)			Ν	$(2) \geq 2000$	
P _t	(MPa)					よって十分である。
1.5 • S _m	(MPa)					
評価:	$P_d \leq 1.5 \cdot S_m$					
	$P_b \leq 1.5 \cdot S_m$					
	$P_t \leq 1.5 \cdot S_m$					
		よって-	十分である。			

弁番号	シート	
ЛШЛ	× 1	

繰返しせ	ピーク応力	強さ(疲れ	累積係数)	設言	十・建設規	格			
q	A o	В。	C ₅	(1	S _n MPa)	3 · S _m (MPa)			
ΔT _f (°C)	S _p (MPa)	К е	()	S l (Pa)	N i	N r i		N i / N r i	
評伯	⊞:疲れ累	積係数 I	$_{t} = \sum \frac{N}{N_{r}}$	i	≦1		よっ	って十分である。	
弁箱の刑	形状規定				弁体の一次応力評価				
r 1	(mm))			材料				
r 2	(mm))			形式				
0.3 • t	(mm))			P (MPa)				
0.05 · ·	t (mm))			P _c (P ₁ , P ₂) (N)				
0.1 • h	0.1 · h (mm)					h (mm)			
d n/d	m			a (mm)					
評价	$\mathbb{f}: r_1 \ge 0$		b (mm)						
	r ₂≧M	ax (0.05 •	t, 0.1•	h)	σ _D	(MPa)		
	$\frac{d_n}{d} < 2$	2			1.5 • S	S _m (MPa)		
	a _m	,			評価:σ _D ≦1.5・S _m				
		よっ	て十分でも				よって十分である。		

弁番	号	シート	
Г / Ш	.	÷ ,	

繰返し	繰返しピーク応力強さ(疲れ累積係数) 告示第501号									
m	n	A _o	C 5	C 5 5		3 • S _m	$3 \cdot m \cdot S_m$			
				()	(Pa)	(MPa)	(MPa)			
Δ T $_{\rm f}$	S p	K	e	5ℓ	N i	N r i	N $_{\rm i}$ / N $_{\rm r}$ $_{\rm i}$			
(°C)	(MPa)		(M	IPa)						
評1	評価:疲れ累積係数 $I_t = \sum \frac{N_i}{N_{r,i}} = \leq 1$ よって十分である。									

系統:

	設計・建設規格	告示第501号
弁箱又は弁ふたの厚さ及び	「ネック部の厚さ	·
弁箱材料		
弁ふた材料		
d _m (m)	
t 1 (m)	
t 2 (m)	
t (m)	
d _n (m)	
d n / d m		
t _m (m)	
t _{ab} (m)	
t _{af} (m)	
t _{ma} (m)	
評価: t _{a b} ≧ t		
t $_{a\ f}\geqq$ t		
t $_{m a} \geqq$ t $_m$		
		よって十分である。

			モーメ	ントの計算	
	(MPa)		H _D	(N)	×10
	(MPa)		h _D	(mm)	
	(°C)	302	M _D	(N•mm)	×10
	$(N \cdot mm)$	$\times 10^{6}$	H_{G}	(N)	×10
	(N)		h _G	(mm)	
弋		JIS B 8265附属書3b)7)(例)	M_{G}	(N•mm)	×10
			Нт	(N)	×10
			h _T	(mm)	
,	(MPa)		M _T	(N•mm)	×10
ソト	· 統付時)		M _o	(N•mm)	×10
	(MPa)		Mg	(N•mm)	×10 ⁰
(使	〔用状態〕		フランジの厚さと係数		
	(mm)		t	(mm)	
	(mm)		K		
	(mm)		h 。	(mm)	
	(mm)		f		
	(mm)		F		
	(mm)		V		
			е	(mm^{-1})	
			d	(mm^3)	
. 1	(MPa) 兹仲毗		L		
ソト	亦市1小中于)		Т		
	(MPa)		U		
(使	[用状態]		Y		
			Z		
	(mm)		応力の	計算	
			σ H o	(MPa)	
			$\sigma_{\rm Ro}$	(MPa)	
ž	(mm)		σ _{To}	(MPa)	
	(mm)		$\sigma_{\rm Hg}$	(MPa)	
			$\sigma_{ m Rg}$	(MPa)	
	(N/mm^2)		σ Tg	(MPa)	
	(mm)				
	(mm)		応	力の評価 : σ _{Но} ≦1.5	• σ f b
	(mm)			σ _{Ro} ≦1.5	• σ f b
	(mm)			σ _{то} ≦1.5	• σ f b
	(mm) (mm)				σ _{Ro} ≦1.5 σ _{To} ≦1.5

系統:

シート

弁番号

 $\sigma_{\rm H\,g} \leq 1.5 \cdot \sigma_{\rm f\,a}$

K7 ① V-3-2-3 別紙 R1

Н	(N)	$ imes 10^{6}$	$\sigma_{\rm Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{\rm fa}$
H _p	(N)	$ imes 10^5$	$\sigma_{\rm Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{\rm fa}$
$W_{m \ 1}$	(N)	$ imes 10^{6}$	$\sigma_{Tg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$
W_{m2}	(N)	$ imes 10^5$	
$A_{m 1}$	(mm^2)	$ imes 10^3$	よって十分である。
A_{m2}	(mm^2)	$ imes 10^3$	
Am	(mm^2)	$ imes 10^3$	
Аь	(mm^2)	$ imes 10^4$	
W o	(N)	$ imes 10^{6}$	
W s	(N)	$ imes 10^{6}$	
評価:』	$A_m < A_b$		
		よって十分である。	

系統:						[弁番号	シ	-
管台の	管台の厚さ								
	最高使用圧力	最高使用温度	外径	公称厚さ					
Νο.	Р	T _m	D o	t no	材料	S	η	t	t br
	(MPa)	(°C)	(mm)	(mm)		(MPa)		(mm)	(mm)
1									
2									
評	評価:t _{br} ≧t								
	よって十分である。								



K7 ① V-3-2-3 別紙 R1

管台の形状

9

外径 115mm 以下の管に接続される弁のフォーマット

外径 115mm 以下の管に接続される弁は,以下の計算を省略する。 告示第501号第81条解説又は設計・建設規格 VVB-3010による。

- ・弁箱の応力解析
- ・弁体の応力解析
- ・フランジの応力計算

1. 設計仕様

系統:

機器の区分			ク	/ラス1弁		
弁番号	種類	呼び径	材料			
		(A)	弁箱	弁ふた	弁体	ボルト

2. 強度計算書

系統:

弁番号 シート

	設計・建設規格	告示第501号
設計条件		
最高使用圧力 P (MPa)		
最高使用温度T _m (℃)		
弁箱又は弁ふたの厚さ及	びネック部の厚さ	
弁箱材料		
弁ふた材料		
P ₁ (MPa)		
P ₂ (MPa)		
d _m (mm)		
t 1 (mm)		
t ₂ (mm)		
t (mm)		
d _n (mm)		
d n/d m		
t _m (mm)		
t _{ab} (mm)		
t _{af} (mm)		
t ma (mm)		
評価: t _{a b} ≧ t		
t $_{a\ f}\geqq t$		
t $_{ma}\geqq$ t $_{m}$		
		よって十分である。

V-3-2-4 クラス2管の強度計算方法

まえがき

本書は、工事計画認可申請書に添付するクラス2管の強度計算について説明するものである。 本書は、V-3-1-3「クラス2機器の強度計算の基本方針」に基づき以下により構成される。

- (1) クラス2管の基本板厚計算方法
- (2) クラス2管の応力計算方法

(1) クラス2管の基本板厚計算方法

1. –	-般事項	1
1.1	概要	1
1.2	適用規格及び基準との適合性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1.3	強度計算書の構成とその見方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
1.4	計算精度と数値の丸め方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
1.5	材料の表示方法	5
1.6	概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6
2. ク	' ラス 2 管の強度計算方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
2.1	共通記号	7
2.2	管の板厚計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
2.3	平板の強度計算	10
2.4	鏡板の強度計算	21
2.5	レジューサの強度計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	24
2.6	管の穴と補強計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	27
2.7	フランジの強度計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	52
2.8	伸縮継手の強度計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	67

次

目

- 別紙1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領
- 別紙2 管の基本板厚計算書フォーマット

- 1. 一般事項
- 1.1 概要

本書は,発電用原子力設備のうちクラス2管の基本板厚計算書(以下「強度計算書」という。) について説明するものである。

- 1.2 適用規格及び基準との適合性
 - (1) 強度計算は、発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))
 JSME S NC1-2005/2007)(日本機械学会 2007年9月)(以下「設計・建設規格」という。)により行う。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表1-1に示すとおりである。

- (2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては、他の規格及び基準を適用して行う。 日本工業規格(以下「JIS」という。)と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおり である。
- (3) 管継手は、以下に掲げる規格(形状及び寸法に関する部分に限る。)又は設計・建設規格 別表4に掲げるものとし、接続配管のスケジュール番号と同等以上のものを使用する。(設 計・建設規格 PPC-3415)
 - a. JIS B 2312 (2001) 「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
 - b. JIS B 2313 (2001) 「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
 - c. JIS B 2316 (1997) 「配管用鋼製差込み溶接式管継手」
- (4) 強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については、以下に掲げる規格(材料に関 する部分を除く。)又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。(設計・建設規格 PPC-3414)
 - a. JIS B 2238 (1996) 「鋼製管フランジ通則」
 - b. JIS B 2239 (1996) 「鋳鉄製管フランジ通則」
 - c. JIS B 8210 (1994) 「蒸気用及びガス用ばね安全弁」
- (5) 管の接続

管と管を接続する場合は,設計・建設規格 PPC-3430により溶接継手又はフランジ継手と する。

設計·建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
PPC-3411(直管)	2.2 2.4 2.5	 管の板厚計算 鏡板の強度計算(フランジ部) レジューサの強度計算(フランジ 部)
PPC-3411(1) PPC-3411(2) PPC-3411(3)		
PPC-3412(曲げ管) PPC-3411(直管)を準用する。		
PPC-3413 (平板)	2.3	平板の強度計算
PPC-3414 (フランジ) PPC-3414(1) PPC-3414(2) PPC-3414(3)	2.7	フランジの強度計算 (1.2(4) フランジ継手)
PPC-3415(管継手) PPC-3415(1)		1.2(3)管継手
PPC-3415.1 (レジューサ) PPC-3415.1(1) PPC-3415.1(2) PPC-3415.1(3)	2.5	レジューサの強度計算
準用 PVC-3124.2(外面に圧力を受ける円 すい形の胴の厚さ)		レジューサの強度計算(円すい及び すその丸みの部分(外面に圧力を受 けるもの))

表1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

設計・建設規格 規格番号 PPC-3415.2 (鏡板) PPC-3415.2(1)	強度計算書の計算式 (章節番号) 2.4	備 考 鏡板の強度計算
PPC-3415.2(2)		
PPC-3416(伸縮継手)	2.8	伸縮継手の強度計算
PPC-3420(穴と補強) PPC-3421 PPC-3422 PPC-3423 PPC-3424	2.6	管の穴と補強計算
PPC-3422 (3)	2.3	平板の強度計算

表1-2 JISと強度計算書との対応

JIS		強度計算書の計算式	/++: -+*
No.	項	(章節番号)	偏 考
JIS B 8265 (2003) 「圧	2	2.7	フランジの強度計算*
力容器の構造-一般事項」附属書3	3		
(規定)「圧力容器のボルト締めフ	4		
ランジ」	5		

- 注記*:設計・建設規格 PPC-3414(2)によりJIS B 8265 (2003) 「圧力容器の構造–
 一般事項」(以下「JIS B 8265」という。)の附属書3(規定) 「圧力容器の
 ボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。
- 1.3 強度計算書の構成とその見方
 - (1) 強度計算書は、本書と各配管の強度計算書からなる。
 - (2) 各配管の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているので、本書によるものとする。
 - (3) 各配管の強度計算書において、NO.の番号は概略系統図の丸で囲んだ番号を表す。

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-3に示すとおりとする。

	数値の種類	単 位	処理桁	処理方法	表 示 桁
1	下記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
圧	最高使用圧力	MPa		_	小数点以下第2位
力	外面に受ける最高 の圧力	MPa	_	_	小数点以下第2位*1
温度		°C	—		整数位
許容応力*2		MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
	下記以外の長さ	mm	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
長	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
	最小厚さ	mm	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位
さ	ボルト谷径	mm	—	_	小数点以下第3位
	ガスケット厚さ	mm	—	—	小数点以下第1位
面積		mm ²	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力		Ν	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N•mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
角度		0	小数点以下第2位 (小数点以下第1位)* ⁴	四捨五入	小数点以下第1位 (整数位)*4

表1-3 表示する数値の丸め方

注記*1:必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

- *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及び設計 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:絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。
- *4:管の穴と補強計算の主管と分岐管とのなす角度に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は, 次のように表示する。

相当材記号 相当(当該材記号)

- (例1) SM400A 相当 (SMA400AP)
- (例2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11Cl. 1)
- (2) 管の強度計算書において管の製造方法の区別を表示するので、材料表示としては、製造方 法の区別を特に表示しない。

(継目無管:S, 溶接管:₩)

(3) 強度区分により許容引張応力の値が異なる場合,材料記号の後にJISで定める強度区分 を付記する。

(例)		
設計	・建設規格の表示	計算書の表示
	(付録材料図表)	
SCMV3	Part5 表5の許容	SCMV3-1
	く引張応力の上段 /	
	(付録材料図表)	
SCMV3	Part5 表5の許容	SCMV3-2
	く引張応力の下段 /	

(4) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合,材料記号の後に該当する 厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SS400 (16mm<径≦40mm)

(5) ガスケット材料で非石綿の場合の表示は、各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

なお、この場合のガスケット係数(m)及びガスケットの最小設計締付圧力(y)は、

JIS B 8265 附属書3 表2 備考3によりガスケットメーカ推奨値を適用する。

- 1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法
 - (1) 管継手の表示方法
 概略系統図において、計算対象となる管と管継手の区別をするために管継手のみの管番号
 に"*"を付け、概略系統図中に"注記*:管継手"と表示する。
 - (2) 管の仕様変更点の表示方法
 概略系統図中,管の途中において仕様変更が生じた場合は" ―●― "のように表示する。

2. クラス2管の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス2管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず,一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。 なお,以下に示す記号のうち,各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	NO.	管,平板,鏡板,レジューサ,管の穴,フラン	—
		ジ及び伸縮継手等の番号	
		数字のみ:管	
		B:平板	
		C:鏡板	
		R:レジューサ	
		T : 管の穴	
		F:フランジ	
		E:伸縮継手	
		S P : 穴あき管	
Р	Р	最高使用圧力(内圧)	MPa
Ре	P e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Q	厚さの負の許容差	%, mm
η	η	継手の効率	—
		管及び鏡板は設計・建設規格 PVC-3130による。	
		レジューサは設計・建設規格 PVC-3130及び	
		PVC-3140による。	

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は,設計・建設規格 PPC-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設	判禁事のまご		
規格の記号	計 昇 書 の 衣 示	衣 示 內 谷	单 位
В	В	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数	_
		設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1~	
		図20により求めた値(Bを求める際に使用した	
		板の厚さは繰返し計算により最終的にtopと	
		なる。)	
D _o	Dо	管の外径	mm
ℓ	l	管の座屈の長さ	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	tор	管の計算上必要な厚さ	mm
	t r	管に必要な厚さ	mm
	t s	管の最小厚さ	mm
	t t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算 式	trとして用いる値の算式	—
	製 法		—
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPC-3411(1)の式より求めた値: t

$$t = \frac{P \cdot D_{\circ}}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$
(A)

b. 外面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPC-3411(2)の図PPC-3411-1より求めた値。ただし、図から求められな い場合は次の式より求めた値: t o p

 $t_{op} = \frac{3 \cdot P_{e} \cdot D_{o}}{4 \cdot B} \qquad (B)$

c. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ:t t

(3) 評価

t,top又はttOいずれか大きい方の値をtrとする。

管の最小厚さ(ts) ≧管に必要な厚さ(tr)ならば強度は十分である。

- (4) 補足
 - a. 計算書中,算式の項の文字は(2)a項,b項及びc項の文字A,B及びCに対応する。
 - b. 曲げ管は,管に必要な厚さが確保されている場合は,直管と同等に考えるものとし,表示はしないものとする。

2.3 平板の強度計算

平板の強度計算は,設計・建設規格 PPC-3413及び設計・建設規格 PPC-3422(3)を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格又は JISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A b	Аb	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
Am	Am	ボルトの総有効断面積	mm^2
$A m_1$	$A m_1$	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A m $_2$	A m $_2$	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b o	bо	ガスケット座の基本幅(JIS B 8265	mm
		附属書3 表3による。)	
С	С	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPC-3413-1に規定する方法	mm
		によって測った平板の径又は最小内のり	
dь	dь	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の	mm
		小さい方の径	
	d h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	Ν
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G s	ガスケット接触面の外径	mm
Н	Н	内圧によってフランジに加わる全荷重	Ν
Нр	Η _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接	Ν
		触面に加える圧縮力	
h g	h g	ボルトのピッチ円の直径と d との差の2分の1	mm
К	K	平板の取付け方法による係数	—
l	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	tr⁄ts	—
m	m g	ガスケット係数(JIS B 8265 附属	—
		書3 表2による。)	
Ν	Ν	ガスケットの接触面の幅(JIS B 826	mm
		5 附属書3 表3による。)	
n	n	ボルトの本数	—
r	r	すみの丸みの内半径	mm

設計・建設			
規格又は	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
JISの記号			
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
σа	S a	常温におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に	
		よる。	
σb	S ь	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
		 設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に	
		よる。	
	S x	 ボルトの許容引張応力(S а 又はS ь のいずれか	MPa
		小さい方の値)	
	S 1		MPa
		等の機械的装置の材料の許容引張応力	
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又	
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t c	t c	平板のすみ肉ののど厚	mm
t.f. t	t f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t w	ti	平板ののど厚	mm
t n	tn	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	tp	平板の最小厚さ	mm
	tpo	平板の呼び厚さ	mm
t s	t s	管の最小厚さ	mm
t r	t r	 継目のない管の計算上必要な厚さ	mm
tw, tw1	t w	平板の溶接部の深さ	mm
tw2	t w 2	平板の溶接部の長さ	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面	Ν
		積に作用する全荷重	
Wg	Wg	ガスケット締付時のボルト荷重	Ν
$W_{m \ 1}$	$W_{m \ 1}$	使用状態での必要な最小ボルト荷重	Ν
$W_{m \ 2}$	Wm 2	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	
Wo	W o	使用状態でのボルト荷重	Ν
У	У	ガスケットの最小設計締付圧力(JIS B	N/mm^2
		8265 附属書3 表2による。)	

設計・建設 規格又は JISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
π	π	円周率	—
	σр	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	
	SUS-NON-ASBES	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス	
	TOS	鋼)	
	ガスケット座	JIS B 8265 附属書3 表2による。	—
	面の形状		
	平板の取付け	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413	—
	方法	の表PPC-3413-1による。	
$(a) \sim (n)$	$2A\sim 2N$	取付け方法の表示区分	

(2) 形状の制限

取付け方法		形状の制限
(a)	d t p t p t p t p	無し
(b)	$r \ge 0.25 \cdot t f$	d ≦600mm, d ∕20≦ t p < d ∕4かつ, r ≧0.25・t f であること。
(c)	$t_{s} t_{f}$ $t_{f} \ge 2 \cdot t_{s}$	t f ≧2・t s かつ, r ≧3・t f であること。
(d)	$t f$ $t f \ge t s$ $t f$ $t f \ge t s$ t s $t pr \ge 1.5 \cdot t f$	t f ≧ t sかつ, r ≧1.5・t f であること。
(e)	溶接部中心 ts tf tf tf tf tf tp tf tp tf tp r≧3·tf	r ≧3・t f であること。

取付け方法			形	状	の	制	限
(f)	↓ tp	0.8 · S	ı≧ σ	p である	ること。		
(g)		0.8 · S	$x \ge \sigma$	pであ	ること。	5	
(h)	^s ^s ^s ^s ^s ^s ^s ^s ^s ^s	t i≧2	• t r Ż	うっつ, t	i ≧1.	25• t	sであること。
(i)	$\begin{array}{c} & & & \\ & & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & &$	$\begin{array}{c} t w + t \\ t s \ge 1. \end{array}$	w₂≧2 25• t	2・ts rであ	, tw ること。	≧tsŻ	bvつ,

	取付け方法	形状の制限
(j)	t c t c t c t c t c t c t c t c	 (1) 平板が鍛造品で、かつ、平板の面からの開先 角度が45°未満の場合 tw≧Min (0.5・ts, 0.25・tp) かつ、 tc≧Min (0.7・ts, 6mm) であること。 (2) (1)以外の場合 tw≧Min (ts, 0.5・tp) かつ、 tc≧Min (0.7・ts, 6mm) であること。
(k)	t c t c t s d	t c ≧Min (0.7・t s, 6mm) であること。
(ℓ)	$tw+$ $tw2 \ge 2 \cdot ts$	tw+tw₂≧2・tsであること。


(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	K の 値
(a)	0. 17
(b)	0.13
(c)	0. 17
(d)	Max $(0.33 \cdot m, 0.2)$ $m = t r / t s$
(e)	0.17^{*1}
	0. 10
(f)	0. 20
(g)	0. 20*2
(h)	Max $(0.33 \cdot m, 0.2)$ $m = t r / t s$
(i)	0. 33
(j)	
(k)	Max $(0.33 \cdot m, 0.2)$ $m = t r / t s$
(ℓ)	
(m)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$
	ただし, tnの厚さの場合は
	$1.0 \cdot F \cdot hg^{*3}$
	W·d
(n)	0. 50

注記*1:取付け方法(e)の場合

t f から t s へ移行するテーパが1対4又はそれより緩やかであり、かつ、以下の (a)又は(b)いずれかの場合、K=0.10とできる。

- (a) $\ell \ge \left(1.1 0.8 \cdot \frac{t s^2}{t f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t f}$ の場合
- (b) 管が2・ $\sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さにわたって $t_s \ge 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

注記*2:取付け方法(g)の場合のσpは以下による。

- (a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径
 - ガスケット座の有効幅(b)及びガスケット反力円の直径(G)は,ガス ケット座の基本幅(b。)に従い以下のように求める。
 - b $\circ \leq 6.35 \text{ mm} \mathcal{O}$ 場合 b = b \circ G = G s - N b $\circ > 6.35 \text{ mm} \mathcal{O}$ 場合 b = 2.52 $\cdot \sqrt{b \circ}$ G = G s - 2 \cdot b ただし, b \circ は J I S B 8265 附属書3 表3による。 d = G
- (b) 計算上必要なボルト荷重
- イ. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m 1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

ただし、Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。 ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

 $W_{m\,2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_{b}} \qquad (使用状態)$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_{a}} \qquad (ガスケット締付時)$$

$$A_{m} = Max(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{b}^{2} \cdot n$$

- (d) フランジの計算に用いるボルト荷重 W_o=W_{m1} (使用状態) W_g= $\left(\frac{A_m + A_b}{2}\right)$ ・S_a (ガスケット締付時) F=Max(W_o, W_g)
- (e) 平板に作用する力によって生じるボルトの応力 $\sigma_{p} = \frac{F}{A_{b}}$

注記*3:取付け方法(m)の場合のF, hg, W及びdは以下による。

- (a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径
 - ガスケット座の有効幅(b)及びガスケット反力円の直径(G)は、ガス
 - ケット座の基本幅(bo)に従い以下のように求める。

b $\circ \leq 6.35 \text{ mm}$ の場合 b = b \circ G = G s - N b $\circ > 6.35 \text{ mm}$ の場合 b = 2.52 $\cdot \sqrt{b \circ}$ G = G s - 2 \cdot b ただし, b \circ は J I S B 8265 附属書3 表3による。 d = G

- (b) 計算上必要なボルト荷重
- イ. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$
$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$
$$W = H$$

 $H_{P}=2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_{g} \cdot P$

ただし、Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m\,2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_{b}} \qquad (使用状態)$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_{a}} \qquad (ガスケット締付時)$$

$$A_{m} = Max(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{b}^{2} \cdot n$$

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重
W_o=W_{m1} (使用状態)
W_g=
$$\left(\frac{Am+Ab}{2}\right)$$
・S_a (ガスケット締付時)
F=Max(W_o, W_g)

(e) 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム hg= $\frac{C-G}{2}$

- b. 平板に穴を設ける場合は,設計・建設規格 PPC-3422(3)により平板の計算上必要な厚さ を,次の式より計算した値とする。
 - (a) 穴の径(dh)が平板の径又は最小内のり(d)の値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし, Kの値は(m)の取付け方法を除き0.375以上とすることを要しない。 (b) 穴の径(dh)が平板の径又は最小内のり(d)の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(4) 評価

平板の最小厚さ(tp)≧平板の計算上必要な厚さ(t)ならば強度は十分である。

- (5) 補足
 - a. 取付け方法は,設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1の条件を満足するものとする。
 b. スペクタクルフランジの取付け方法は(g)タイプとする。

2.4 鏡板の強度計算

鏡板の強度計算は,設計・建設規格 PPC-3415.2及び設計・建設規格 PPC-3411を適用する。 (1) 記号の説明

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
В	В	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数	
		設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1~	
		図20により求めた値	
		(Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計	
		算により最終的に t となる。)	
D	D	半だ円形鏡板の内面における長径	mm
Dо	Dо	鏡板が取り付けられる管の外径	mm
		(フランジ部の外径に同じ。)	
	Dос	さら形鏡板の外径	mm
h	h	半だ円形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
К	Κ	半だ円形鏡板の形状による係数	—
К	Кк	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計	—
		算に用いる係数	
		設計・建設規格 PPC-3415.2(2)f.の	
		表PPC-3415.2-1による。	
R	R	さら形鏡板の中央部における内半径又は全半球	mm
		形鏡板の内半径	
R	R d	さら形又は全半球形鏡板の中央部の外半径	mm
		R _D =R+(最小厚さ)	
R	R R	半だ円形鏡板の外面の長径	mm
		$R_R = D + 2 \cdot (最小厚さ)$	
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t c	鏡板の最小厚さ	mm
	tco	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	—
	形 式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算 式	t として用いる値の算式	—

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

a. さら形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPC-3415.2(1)a.により以下とする。

- Doc \geq R
 - $r \ge 3 \cdot t_{co}$ $r \ge 0.06 \cdot D_{oc}$
 - $1 \equiv 0.00 D 0$
 - $r \geq 50 mm$

設計・建設規格 PPC-3415.2(2)a.の式PPC-1.12又は設計・建設規格 PPC-3415.2(2)b. の式PPC-1.14より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \dots \qquad (A)$$

ただし,

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}}\right)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの $t = \frac{P e \cdot R_D}{B}$ (A')

b. 全半球形鏡板鏡部

設計・建設規格 PPC-3415.2(2)c.の式PPC-1.15又は設計・建設規格 PPC-3415.2(2)d. の式PPC-1.16より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの $t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$ (B) (b) 中高面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P e \cdot R_D}{B} \qquad (B')$$

c. 半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPC-3415.2(1)c.により以下とする。

 $2 \geq \frac{D}{2 \cdot h}$

設計・建設規格 PPC-3415.2(2)e.の式PPC-1.17又は設計・建設規格 PPC-3415.2(2)f. より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \dots \qquad (C)$$

ただし,

$$\mathbf{K} = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{\mathbf{D}}{2 \cdot \mathbf{h}} \right)^2 \right\}$$

- (b) 中高面に圧力を受けるもの $t = \frac{P e \cdot K_{K} \cdot R_{R}}{B}$ (C')
- d. 鏡板のフランジ部

設計・建設規格 PPC-3411により求めた値

- (a) 内面に圧力を受ける管 (D)
- (b) 外面に圧力を受ける管 ······ (D')
- (c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ ······(D')
 (a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。
- (3) 評価

鏡板の最小厚さ(t c) ≧鏡部(上段)及びフランジ部(下段)の計算上必要な厚さ(t) ならば強度は十分である。

(4) 補足

計算書中,算式の項の文字は(2)a項,b項,c項及びd項の文字A,A',B,B',C,C', D,D'及びD''に対応する。

2.5 レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は、設計・建設規格 PPC-3415.1 (設計・建設規格 PVC-3124.2準用) 及び設計・建設規格 PPC-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
B	в	み面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数	
D	D	いるのもの可葉に用いる味飯 設計・建設相枚 付録材料図素 Part7 図1~	
		図20に上り支めた値	
		(Bを求める際に使用した板の厚さけ縄返し計	
		($b \in \mathcal{K}^{(n)}$) のに($c \in \mathcal{K}^{(n)}$) ($b \in \mathcal{K}^{(n)}$)	
Di	Di	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部	mm
		分の軸に垂直な断面の内径	
Dο	Dο	レジューサのフランジ部の外径	mm
_ 0	D _o ℓ	大径端側の外径	mm
Κ	K	設計・建設規格 PPC-3415.1(3)の	_
		図PPC-3415.1-1より求めた係数	
r, r ₀ , r _s	r	円すいのすその丸みの部分の内半径	mm
		(円すいの丸みの外半径)	
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又	
		は表6による。	
S	S 1	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料	MPa
		図表 Part5 表5又は表6に定める値の2倍,又は	
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に	
		定める値の0.9倍の値のいずれか小さい方の値	
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm
	t 1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm
	t 2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm
	tз	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm
	t s	レジューサの最小厚さ	mm
	t sℓ	大径端側の最小厚さ	mm
W	W	円すいの形状による係数	
θ	θ	円すいの頂角の2分の1	o
	算 式	t として用いる値の算式(計算上必要な厚さが	—
		最大となる算式)	
	端部記号	大径端、小径端及びフランジ部を示す名称	

(2) 算式

レジューサの計算上必要な厚さは、次に掲げる値とし、大径端側及び小径端側のそれぞれ について計算を行う。

- a. 円すいの部分(内面に圧力を受けるもの) 設計・建設規格 PPC-3415.1(1)a.の式PPC-1.8より求めた値 $t_1 = \frac{P \cdot D i}{2 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.6 \cdot P)}$ (A)
- b. すその丸みの部分(内面に圧力を受けるもの)

大径端側

設計・建設規格 PPC-3415.1(1)b.の式PPC-1.9より求めた値 $t_2 = \frac{P \cdot D_i \cdot W}{4 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.1 \cdot P)}$

ただし,

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{D i}{2 \cdot r \cdot \cos \theta}} \right)$$

小径端側

設計・建設規格 PPC-3415.1(3)の式PPC-1.11より求めた値 $t_2 = \frac{K}{\eta} \cdot \frac{P \cdot D_{\circ}}{2 \cdot S + 0.8 \cdot P}$

 $\eta \quad 2 \cdot S + 0.8 \cdot P$

ただし, Kは設計・建設規格 PPC-3415.1(3)の図PPC-3415.1-1より求めた値

►(B)

c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格 PPC-3411により求めた値

(a)	内面に圧力を受ける管	 (C)
(b)	外面に圧力を受ける管	 (C')
<i>(</i>)		(- · • • >

(c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ (C'')
 (a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d. 円すい及びすその丸みの部分(外面に圧力を受けるもの)

設計・建設規格 PVC-3124.2により求める。

- (a) 円すいの頂角の2分の1が22.5°以下のもの
 - イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合 $t_{3} = \frac{3 \cdot P \cdot D \circ}{4 \cdot B}$ (D)

ただし、 Do=Dol, 長さは円すい部の軸方向の長さとする。

 ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合 次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$t_{3} = \frac{D_{o} \cdot (P_{e} \nearrow B + 0.0833)}{2.167}$$

$$t_{3} = \frac{D_{o}}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_{e}}{S_{1}}}\right)$$
(D')

ただし、Do=Dol,長さは円すい部の軸方向の長さとする。

- (b) 円すいの頂角の2分の1が22.5°を超え60°以下のもの
 - イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

ただし、 $D_o = D_o \ell$, $t_s = t_s \ell$, 長さは $(D_o \ell - 2 \cdot t_s \ell)$ とする。

ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$t_{3} = \frac{(D_{0} - 2 \cdot t_{s}) \cdot (P_{e} / B + 0.0833)}{2.167}$$

 $t_{3} = \frac{(D_{0} - 2 \cdot t_{s})}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_{e}}{S_{1}}}\right)$
.....(D', '')

)

ただし、 $D_o = D_o \ell$, $t_s = t_s \ell$, 長さは $(D_o \ell - 2 \cdot t_s \ell)$ とする。

(3) 評価

大径端側及び小径端側のそれぞれについて,レジューサの最小厚さ(t s) ≧レジューサ の計算上必要な厚さ(t)ならば強度は十分である。

- (4) 補足
 - a. 計算書中, NO. (レジューサの番号) に*印の付いているものは, 偏心レジューサを示 す。
 - b. 偏心レジューサの場合の θ は、円すいの頂角をそのまま使用する。
 - c. 計算書中,算式の項の文字は(2)a項,b項,c項及びd項の文字A,B,C,C',C'',D,D',及びD'''に対応する。

2.6 管の穴と補強計算

管の穴と補強計算は、設計・建設規格 PPC-3420を適用する。

(1) 記号の説明

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	В	В	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数	—
			設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1~図20	
			により求めた値	
			(Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算に	
直			より最終的にtbr及びtrrとなる。)	
	D	D o r	主管の外径	mm
管	d	d	断面に現われる穴の径	mm
∇	d	d f r	補強を要しない穴の最大径	mm
	Κ	Κ	穴の補強計算の係数	—
は			$\left(=\frac{\mathbf{P}\cdot\mathbf{D}\circ\mathbf{r}}{1.82\cdot\mathbf{S}\cdot\mathbf{r}\cdot\boldsymbol{\eta}\cdot\mathbf{t}\cdot\mathbf{r}}\right)$	
曲		Q r	主管の厚さの負の許容差	%, mm
	S	S r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力	MPa
げ			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	
55	t s	t r	主管の最小厚さ	mm
'邑'		tro	主管の公称厚さ	mm
Ø	tsr, tra	trr	主管の計算上必要な厚さ	mm
-	η	η	継手の効率	—
記			穴が管の長手継手を通る場合、穴が鏡板を継ぎ合わ	
			せて作る場合の当該継手を通る場合、穴が管と全半	
号			球形鏡板との接合部の周継手を通る場合は設計・建	
			設規格 PVC-3130に規定する効率	
			その他の場合は1.00とする。	

	設計・建設	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
-	規格の記号			
	В	В	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数	—
			設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1~図20	
			により求めた値	
			(Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算に	
			より最終的にtbr及びtcrとなる。)	
		D	鏡板の内面における長径	mm
鏡	D	D o	鏡板が取り付けられる管の外径	mm
			(フランジ部の外径に同じ。)	
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
枟	d	d f r	補強を要しない穴の最大径	mm
100	K	K	穴の補強計算の係数	—
	K_1	K 1	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に	—
			用いる係数	
\mathcal{O}			設計・建設規格 PPC-3424(1)の表PPC-3424-1及び表	
			PPC-3424-2による。	
	Κ	Кк	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に	—
∃ ⊒			用いる係数	
μL			設計・建設規格 PPC-3415.2(2)f.の表PPC-3415.2-1	
			による。	
	R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球	mm
号			形鏡板の内半径	
	S	S	最高使用温度における鏡板の材料の許容引張応力	MPa
			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	
	t s	t c	鏡板の最小厚さ	mm
		t c o	鏡板の公称厚さ	mm
	tsr, trı	tcr	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	W	W	さら形鏡板の形状による係数	—

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	d	d	平板の径又は最小内のり	mm
	d	dн	断面に現われる穴の径	mm
平	Κ	Κ	平板の取付け方法による係数	—
	S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力	MPa
板			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	
Ð	t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm
0)	t s	t c	平板の最小厚さ	mm
記		t c o	平板の呼び厚さ	mm
,	tsr, tr2	tcr	平板の計算上必要な厚さ	mm
号		取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPC-3413の表	—
			PPC-3413-1による。	
	$(a) \sim (n)$	$2A\sim 2N$	取付け方法の表示区分	

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	А	A ₀	穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
		A_1	穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
		A_2	穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
		Аз	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
		A_4	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A r	A r	穴の補強に必要な面積	mm^2
		A r d	大穴の補強に必要な面積	mm^2
		$A \circ D$	大穴の補強に有効な面積の総和	mm^2
共		A_{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2
迅		A_{2D}	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
Ш		$A \mathbin{\scriptstyle \exists} D$	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
記		A_{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
	A s	Asr	2つの穴の間の主管の必要な断面積	mm^2
号		A s o	2つの穴の間の主管の断面積	mm^2
		Ari	2つの穴の補強に必要な面積の2分の1の面積	mm^2
(管		Ao i	2つの穴の間にある補強に有効な面積	mm^2
п Ф		Ars	隣接する穴の補強に必要な面積	mm^2
		A 2 s	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2
穴		A _{3s}	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2
と		A ₄ s	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2
補	D i	D i b	管台の内径	mm
強		D i r	主管の内径	mm
計		D o b	管台の外径	mm
皆		D o e	強め材の外径	mm
丹		d D	断面に現われる隣接する穴の径	mm
		d f r D	大穴の補強を要しない限界径	mm
		d r 1	補強を要しない穴の最大径	mm
	d	d r 2	補強を要しない穴の最大径	mm
	F	F	設計・建設規格 PPC-3424(1)b.により求められる係	—
			数	
		F ₁	すみ肉溶接のせん断応力係数	
		F ₂	突合せ溶接の引張応力係数	
		F ₃	突合せ溶接のせん断応力係数	

_	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
		L	2つの穴の径の平均値の1.5倍の値	mm
		LA	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な	mm
			範囲	
		Lad	穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に	mm
			有効な範囲	
		LN	主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範	mm
			囲	
共		LND	主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有	mm
			効な範囲	
通	ℓ	L s	2つの穴の中心間の距離	mm
		L ₁	管台のすみ肉部の脚長 (A形, B形) 又は管台補強	mm
記			部の短辺長さ(C形)	
		L ₂	強め材のすみ肉部の脚長	mm
ち	P, Pe	Р	最高使用圧力又は外面に受ける最高の圧力	MPa
		\mathbf{Q} b	管台の厚さの負の許容差	%, mm
管	S	S b	最高使用温度における管台の材料の許容引張応力	MPa
\mathcal{O}			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	
穴	S	S e	最高使用温度における強め材の材料の許容引張応力	MPa
لح			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	
し		$S \le 1$	すみ肉溶接の許容せん断応力	MPa
↑用		$S \le 2$	突合せ溶接の許容引張応力	MPa
強		S w 3	突合せ溶接の許容せん断応力	MPa
計	t n	tь	管台の最小厚さ	mm
算		t b n	管台の公称厚さ	mm
	t n r	t b r	管台の計算上必要な厚さ	mm
		t e	強め材の最小厚さ	mm
		W	溶接部の負うべき荷重	Ν
		W e 1	管台取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	Ν
		W e 2	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	Ν

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
共		W e 3	管台取付部突合せ溶接部の許容せん断力	Ν
通記		W e 4	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力	Ν
号		We 5	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力	Ν
(管の穴と補強計算		Webpı	予想される破断箇所の強さ	Ν
		Webp2	予想される破断箇所の強さ	Ν
		Wеbрз	予想される破断箇所の強さ	Ν
	heta	α	分岐管の中心線と主管の中心線との交角	0
		π	円周率	—
)		形 式	管台の取付け形式	—

- (2) 計算手順及び算式
 - a. 穴の形状

管に設ける穴は、設計・建設規格 PPC-3421(2)により円形又はだ円形であること。

b. 管台の取付け形式

図2-1~図2-5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

ただし、すみ肉溶接部分の破断箇所については、両方の脚長が等しいため、片側の脚長 の破断形式のみを図示する。





- ・(We3) を通る破断
- ・Wel Wel を通る破断

図2-1 A形(強め材のない場合)



補強に有効な面積
補強に必要な面積

- ・ Wel Wel を通る破断
- ・ We₂ We₄ を通る破断
- ・ We₂ We₅ を通る破断

図2-2 B形(強め材のある場合)





補強に有効な面積 補強に必要な面積

- We3 を通る破断
- ・ (Wel) (Wel) を通る破断
- 注記*:A₃の面積で(L₁)²以外の部分は, 補強面積評価上は考慮しない。

図2-3 A形(鏡板で強め材のない場合)





- We3 を通る破断
- Wel Wel を通る破断

図2-4 A形(平板で強め材のない場合)



注記*:本形式における補強に有効な面積A₃はA形及びB形と同様に A₃=(L₁)²·sinα·S_b/S_r(上記)として算出す るものとし,同補強部外側の余肉部(上記)の)は,補強 面積評価上は考慮しない。

図2-5 C形(一体形で強め材のない場合)

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPC-3422を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は,次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値(d fr)とする。

- イ. 平板以外の管に設ける穴であって,穴の径が61mm以下で,かつ,管の内径の4分の1 以下の穴(dr1)
- ロ. 平板以外の管に設ける穴であって、イ項に掲げるものを除き、穴の径が200mm以下で、
 かつ、設計・建設規格の図PPC-3422-1及び図PPC-3422-2により求めた値以下の穴(d
 r₂)
 - 直管又は曲げ管の場合
 - d r 2=8.05 $\cdot \sqrt[3]{D_{0}r \cdot t_{r} \cdot (1-K)}$

鏡板の場合

d r 2=8.05
$$\cdot \sqrt[3]{D_{0}} \cdot t_{c} \cdot (1-K)$$

- ただし、Kの値は次の算式による。
- (イ) 直管又は曲げ管の場合
 - $\mathbf{K} = \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{D} \circ \mathbf{r}}{1.82 \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{r} \cdot \eta \cdot \mathbf{t} \cdot \mathbf{r}}$
- (ロ) さら形鏡板又は半だ円形鏡板の場合

$$\mathbf{K} = \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{D} \,\mathbf{o}}{\mathbf{1.82} \cdot \mathbf{S} \cdot \eta \cdot \mathbf{t} \,\mathbf{c}}$$

(ハ) 全半球形鏡板の場合

$$\mathbf{K} = \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{D} \,\mathbf{o}}{3.\,64 \cdot \mathbf{S} \cdot \eta \cdot \mathbf{t} \,\mathbf{o}}$$

ただし, K>0.99の場合はK=0.99とする。

- ハ. 平板に穴を設ける場合であって、平板の最小厚さ(t c)が次の式により計算した 値以上のもの
- (イ) 穴の径が平板の径又は最小内のりであるdの値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし, Kの値は設計・建設規格 PPC-3413の表PPC-3413-1中で(m)の取付け方 法を除き, 0.375以上とすることを要しない。

(ロ) 穴の径が平板の径又は最小内のりである d の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径(d f r) ≧断面に現われる穴の径(d) 又は平板の最小 厚さ(t c) ≧補強を要しない平板の計算上必要な厚さ(t) ならば,穴の補強計算及 び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は、d項以降による。

- d. 穴の補強に有効な範囲 穴の補強に有効な範囲は,設計・建設規格 PPC-3424(1)a.を適用する。 ただし,構造上計算した有効範囲が取れない場合は,構造上取り得る範囲とする。
- (a) 穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲(LA)は、次の2つの式より 計算したいずれか大きい方の値
 - イ. 直管又は曲げ管の場合

$$L_A = d$$
 $\forall L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$

ロ. 鏡板の場合

$$L_A = d$$
 $\forall t L_A = \frac{d}{2} + t_c + t_b$

ハ. 平板の場合

 $L_A = d_H$, Z it $L_A = \frac{d_H}{2} + t_c + t_b$

- (b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲(LN)は,次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値
 - イ. 直管又は曲げ管の場合

 $L_N=2.5 \cdot t_r$ Z $L_N=2.5 \cdot t_b + t_e$

ロ. 鏡板の場合

L_N=2.5・t_c 又は L_N=2.5・t_b

ハ. 平板の場合

 $L_N = 2.5 \cdot t_c$ Z/t $L_N = 2.5 \cdot t_b$

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ(trr又はtcr)は,設計・建設規格 PPC-3424(1)b.(a)を適 用する。

(a) 直管又は曲げ管の場合

t r r =
$$\frac{P \cdot D \circ r}{2 \cdot S r \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$
 (内圧)
ただし、 $\eta = 1.00$

$$t_{r}r = \frac{3 \cdot P \cdot D \circ r}{4 \cdot B} \qquad (AE)$$

(b) 鏡板の場合

イ. さら形鏡板

t c r = $\frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$ (中低面)

ただし、W=1.00及び
$$\eta$$
=1.00
t c r = $\frac{P \cdot (R + t c)}{B}$ (中高面)

ロ. 半だ円形鏡板

$$t \circ r = \frac{P \cdot K_1 \cdot D}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \qquad (+ K \oplus m)$$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot K_{K} \cdot (D + 2 \cdot t_{c})}{B} \qquad (\text{p}aa)$$

ハ. 全半球形鏡板

$$t_{c r} = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \qquad (+ \mbox{tm})$$

$$P \cdot (R + t_{c}) \qquad (+ \mbox{tm})$$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot (R + t_c)}{B} \qquad (\text{pan})$$

(c) 平板の場合

$$t_{c r} = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ (tbr) は,設計・建設規格 PPC-3424(1)b.(b)を適用する。 tbr = $\frac{P \cdot D_{ib}}{2 \cdot S_{b} - 1.2 \cdot P}$ (内圧) tbr = $\frac{3 \cdot P \cdot D_{ob}}{4 \cdot B}$ (外圧)

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は、設計・建設規格 PPC-3424(1)を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

A r = 1.07 · d · t r r · $(2 - \sin \alpha)$

(ロ) 鏡板の場合

$$A r = d \cdot t c r$$

(ハ) 平板の場合

 $A r = 0.5 \cdot d H \cdot t c r$

ロ. 補強に有効な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

 $A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$

(ロ) 鏡板の場合

$$A_{1} = (\eta \cdot t_{c} - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_{A} - d)$$

$$A_{2} = 2 \cdot (t_{b} - t_{br}) \cdot L_{N} \cdot \frac{S_{b}}{S}$$

$$A_{3} = (L_{1})^{2} \cdot \frac{S_{b}}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

(ハ) 平板の場合

$$A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H)$$

 $A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$
 $A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$
 $A_0 = A_1 + A_2 + A_3$

(b) 評価

穴の補強に有効な面積(A_0)>穴の補強に必要な面積(A_r)ならば穴の補強は十分である。

h. 大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

(a) 算式

大穴の補強を要しない限界径(dfrD)

イ. Dirが1500mm以下の場合

d f r D = D i r /2

ただし、500mmを超える場合500mmとする。

ロ. Dirが1500mmを超える場合

d f r D = D i r /3

ただし、1000mmを超える場合1000mmとする。

(b) 評価

大穴の補強を要しない限界径(d f r D) \geq 断面に現われる穴の径(d) ならば大穴の 補強計算は必要ない。

必要な場合は, i項以降による。

i. 大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は,設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。

ただし,構造上計算した有効範囲が取れない場合は,構造上取り得る範囲とする。 (a) 大穴の補強における管台の取付け形式

図2-6~図2-10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。



図2-6 A形(強め材のない場合)



図2-7 B形(強め材のある場合)



注記*: A_{3D}の面積で(L₁)²以外の部分は, 補強面積評価上は考慮しない。

図2-8 A形 (鏡板で強め材のない場合)





図2-9 A形(平板で強め材のない場合)



注記*:本形式における補強に有効な面積A₃DはA形及びB形と同様に A₃D=(L₁)²・sinα・S_b/S_r(上記) 部)として算出 するものとし,同補強部外側の余肉部(上記) 部)は,補強 面積評価上は考慮しない。

図2-10 C形(一体形で強め材のない場合)

(b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD} = \frac{d}{2} + \frac{d}{4}$$

- (c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲
 LND=LN
- j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は,設計・建設規格 PPC-3424(4)を適用する。 (a) 算式

イ. 大穴の補強に必要な面積

$$A r D = \frac{2}{3} \cdot A r$$

ロ. 大穴の補強に有効な面積

 $A_{1D} = (\eta \cdot t_{r} - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_{AD} - d)$ $A_{2D} = A_{2}$

(管台の外径が有効範囲 L AD 内にある場合)

$$A_{2D} = 2 \cdot \left(\frac{d}{4} - t \ b \ r \ \cdot \operatorname{cosec} \alpha\right) \cdot L_{ND} \cdot \frac{S \ b}{S \ r}$$

(管台の外径が有効範囲LADの外まである場合)

A_{3D}=A₃ (すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}内にある場合)

A_{4D}=A₄ (強め材が有効範囲L_{AD}内にある場合)

$$A_{4D} = \left(3 \cdot \frac{d}{2} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha\right) \cdot t \cdot e \cdot \frac{S_{e}}{S_{r}}$$

(強め材が有効範囲LADの外まである場合)

 $A_{0}D = A_{1}D + A_{2}D + A_{3}D + A_{4}D$

(b) 評価

大穴の補強に有効な面積(A_{0D}) \geq 大穴の補強に必要な面積(A_{rD}) ならば大穴の 補強は十分である。 k. 2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は,設計・建設規格 PPC-3424(2)a., b.及びc.を適用する。

以下,直管の2つ穴の計算方法を示す。

- (a) 算式
 - イ. 2つの穴の間にある主管の必要な断面積

 $A_{s r} = 0.7 \cdot L_s \cdot t_{r r} \cdot F$

ロ. 2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so} = \left(L_s - \frac{d + d_D}{2} \right) \cdot t_r$$

(b) 算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

$$L = 1.5 \cdot \left(\frac{d + d_{D}}{2}\right)$$

- (c) 算式
 - イ. 2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

$$A_{r i} = \frac{A_{r} + A_{r s}}{2}$$

Ar及びArsは1つの穴の計算に準じる。

2つの穴の間にある補強に有効な面積
A_o i =
$$\left(L_{s} - \frac{d+d_{D}}{2}\right) \cdot (t_{r} - t_{rr}) + \frac{A_{2} + A_{2s}}{2} + \frac{A_{3} + A_{3s}}{2} + \frac{A_{4} + A_{4s}}{2}$$

A₂, A₂s, A₃, A₃s, A₄及びA₄sは, 1つの穴の計算に準じる。

(d) 評価

Π.

穴の補強は、以下の条件を満足すれば十分である。

- イ. 2つの穴の間にある主管の断面積(Aso) ≥2つの穴の間にある主管の必要な断面積(Asr)
- ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積(A_oi) ≥2つの穴の補強に必要な面積の2分の1(A_ri)
- ハ. 2つの穴の中心間の距離(Ls) ≧2つの穴の径の平均値の1.5倍(L)

1. 溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は,設計・建設規格 PPC-3424(8)及び(9)を適用する。 ただし,C形に関しては評価すべき溶接部がないため,強度計算は行わない。

- (a) 算式
 - イ. 溶接部の負うべき荷重
 - (イ) 直管又は曲げ管の場合

W=d · t r r · S r - $(\eta \cdot t r - F \cdot t r r) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S r$

(ロ) 鏡板の場合

W=d · t c r · S - (η · t c - F · t c r) · (2 · L A - d) · S

(ハ) 平板の場合

$$W = d_{H} \cdot t_{cr} \cdot S - (\eta \cdot t_{c} - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_{A} - d_{H}) \cdot S$$

- ロ. 溶接部の許容応力
- (イ) 直管又は曲げ管の場合 Sw1=Sr・F1 Sw2=Sr・F2 Sw3=Sr・F3
 (ロ) 鏡板又は平板の場合 Sw1=S・F1 Sw2=S・F2

$$S_{W3} = S \cdot F_3$$

- ハ. 溶接部の破断強さ
 - (イ) 直管又は曲げ管の場合

We
$$_{1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t \ b \cdot cosec\alpha\right) \cdot L_{1} \cdot Sw_{1}$$

We $_{2} = \pi \cdot d \cdot t \ b \cdot Sw_{3} \cdot cosec\alpha / 2$
We $_{3} = \pi \cdot d \cdot t \ b \cdot Sw_{3} \cdot cosec\alpha / 2$
We $_{4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t \ b \cdot cosec\alpha\right) \cdot t \ e \cdot Sw_{2}$
We $_{5} = \pi \cdot D \ o \ e \cdot L_{2} \cdot Sw_{1} / 2$

(ロ) 鏡板の場合

版の場合
Wei=\pi ・
$$\left(\frac{d}{2} + t b\right) \cdot L_1 \cdot Sw_1$$

Wei=\pi ・ d ・ t b ・ Sw3/2
Wei=\pi ・ d ・ t b ・ Sw3/2

(ハ) 平板の場合

W_e 1 =
$$\pi \cdot \left(\frac{d_{H}}{2} + t_{b}\right) \cdot L_{1} \cdot S_{W1}$$

W_e 2 = $\pi \cdot d_{H} \cdot t_{b} \cdot S_{W3}/2$
W_e 3 = $\pi \cdot d_{H} \cdot t_{b} \cdot S_{W3}/2$

- ニ. 予想される破断箇所の強さ
- (イ) A形の管台形式の場合

(ロ) B形の管台形式の場合

- (b) 評価
 - イ. 溶接部の負うべき荷重(W)が0以下の場合 溶接部の強度は十分とみなし、溶接部の強度計算は行わない。
 - ロ. 溶接部の負うべき荷重(W)が0を超える場合
 溶接部の負うべき荷重(W) ≦予想される破断箇所の強さ(Webp1, Webp2, Webp3)ならば溶接部の強度は十分である。
- (3) 補足
 - a. 穴の補強計算,大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際, $\frac{Sb}{Sr}, \frac{Sb}{S}$ 又は $\frac{Se}{Sr}$ が1を超える場合は,値を1として計算する。
 - b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは、1として計算する。
 - c. 鏡板及び平板の補強計算は,本書では取付け角度が90°で1つ穴のものについての計算方法を示す。
2.7 フランジの強度計算

フランジの強度計算は、設計・建設規格 PPC-3414を適用する。

計算は、JIS B 8265 附属書3を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格又は JISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
А	А	フランジの外径	mm
A b	Аb	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m}	A_{m}	ボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m_1}	A_{m_1}	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	A_{m2}	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
В	В	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≧1のときの一体形フランジの場合)	mm
		B+g1 (ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)	
		及び一体形フランジで f の最小採用値は1であ	
		るが, JIS B 8265 附属書3 図4よ	
		り求まる f が1未満となる場合)	
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b _o	b o	ガスケット座の基本幅(JIS B 8265	mm
		附属書3 表3による。)	
С	С	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数	mm^3
		$\left(=\frac{U}{V} \cdot \mathbf{h}_{0} \cdot \mathbf{g}_{0}^{2}(- \phi \mathcal{R} \mathcal{T} \mathcal{T} \mathcal{T} \mathcal{T} \mathcal{T} \mathcal{T} \mathcal{T} T$	
		$ \begin{pmatrix} = \frac{U}{V_{L}} \cdot h_{o} \cdot g_{o}^{2} (\mu - \chi \hbar 7 \gamma \psi) (\bar{E} \bar{U} \\ \lambda \bar{V} \bar{U} \end{pmatrix} $	
d b	dь	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の	mm
		小さい方の径	
	d i	穴あきボルトの内径	mm
е	е	係数	mm^{-1}
		$\left(=\frac{F}{h_{o}}$ (一体形フランジの場合))	
		$\left(=\frac{F_{L}}{h_{o}} (\nu - \vec{x} \vec{N} \vec{D} \vec{D} \vec{D} \vec{D} \vec{D} \vec{D} \vec{D} D$	
F	F	 一体形フランジの係数(JIS B 8265 附属書3 図5又は表4による。) 	—

設計・建設			
規格又は IISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
F T	F .	ルーズ形フランジの係数(IIS B 8265	
T. L	T. F	$ W F = 3 \square 6 \nabla t = 4 t c + 5 $)	
f	f	ハズ店の $ $	_
1	1		
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
G	G	ガスケット接触面の外径	mm
go	g o	ハブ先端の厚さ	mm
g 1	g 1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
H	Н	圧力によってフランジに加わる全荷重	Ν
HD	ΗD	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	Ν
HG, Hg	Hg	ガスケット荷重	Ν
Нp	Ηp	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接	Ν
		触面に加える圧縮力	
Ηт	Ηт	圧力によってフランジに加わる全荷重とフラン	Ν
		ジの内径面に加わる荷重との差	
h	h	ハブの長さ	mm
h D	h D	ボルト穴の中心円からHD作用点までの半径方	mm
		向の距離	
h G	h G	ボルト穴の中心円からHg作用点までの半径方	mm
		向の距離	
h o	h o	√B • g ₀	mm
hт	hт	ボルト穴の中心円からHr作用点までの半径方	mm
		向の距離	
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left(=\frac{\mathbf{t} \cdot \mathbf{e} + 1}{T} + \frac{\mathbf{t}^{3}}{d}\right)$	—
$M_{\rm D}$	MD	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメ	N•mm
		ント	
${ m M}_{ m G}$	MG	ガスケット荷重によるモーメント	N•mm
Мg	Мg	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメ	N•mm
		ント	
M_0	M o	使用状態でフランジに作用するモーメント	N•mm
Мт	Мт	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジ	N•mm
		の内径面に加わる荷重との差によるモーメント	
m	m g	ガスケット係数(JIS B 8265 附属	
		書3 表2による。)	

 設計・建設 規格又は JISの記号 	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
N	Ν	ガスケットの接触面の幅(JIS B 8265	mm
		附属書3 表3による。)	
n	n	ボルトの本数	_
М	Ме	フランジ部に作用するモーメント	N•mm
РгD	Р	設計圧力	MPa
		応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力又は外	
		面に受ける最高の圧力に P e q を加えたものであ	
		る。	
P e q	Реq	管の自重及びその他の機械的荷重によりフラン	MPa
		ジ部に作用する曲げモーメントを圧力に換算し	
		た値	
		$P e q = \frac{16 \cdot M e}{\Omega^3}$	
	П	$\pi \cdot G^{\circ}$	MD -
р		取局使用圧力(内圧) ザルトの中心回転されずトフランバ北西トの方	MPa
К	К	ホルトの中心内からハノとノノンショ面との交	11111
Т	Т		—
		8265 附属書3 図7による。)	
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数(JIS B	—
		8265 附属書3 図7による。)	
V	V	一体形フランジの係数(JIS B 8265)	—
		附属書3 図8又は表4による。)	
V L	V L	ルーズ形フランジの係数(JIS B 8265	_
		附属書3 図9又は表4による。)	
W, Wg	Wg	ガスケット締付時のボルト荷重	Ν
$W_{m \ 1}$	$W_{m \ 1}$	使用状態での必要な最小ボルト荷重	Ν
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	Ν
Wo	W o	使用状態でのボルト荷重	Ν
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数(JIS B	—
		8265 附属書3 図7による。)	
У	У	ガスケットの最小設計締付圧力(JIS B	N/mm^2
		8265 附属書3 表2による。)	

設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
Z	Z	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数(JIS B	_
		8265 附属書3 図7による。)	
π	π	円周率	—
σa	σа	常温におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に	
		よる。	
σb	σb	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に	
		よる。	
σf	σfa	常温におけるフランジ材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
σf	σfb	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
σн	σнg	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σн	σно	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σR	σRg	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σR	σπο	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σт	σтg	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σт	σто	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形 式	フランジの形式	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-	渦巻形金属ガスケット(非石綿)	—
	ASBESTOS	(ステンレス鋼)	

注記*: JIS B 8265は「N/mm²」を使用しているが,設計・建設規格に合わせ「MPa」 に読み替えるものとする。 (2) フランジの形式

フランジの形式及び各部の記号は、図2-11~図2-15による。 ただし、Wは、Wg、Wm1、Wm2及びWoのボルト荷重を表す。



注:ハブのテーパが6°以下のときは、g₀=g₁とする。

TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



注:ハブのテーパが6°以下のときは、go=g1とする。

TYPE-2 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)

図2-11 ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)



注:ハブのテーパが6°以下のときは、go=g1とする。

TYPE-3 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 5)

図2-12 ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)



TYPE-4 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 8)



TYPE-5 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 8)

注記*:フランジに近いハブのこう配が1/3以下の場合は、hは下図に従う。



図2-13 一体形フランジ



TYPE-6 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 6)

図2-14 一体形フランジ



TYPE-7 JIS B 8265 附属書3 図2 c) 12) (一体形フランジとして計算)



TYPE-8 JIS B 8265 附属書3 図2 c) 11) (一体形フランジとして計算)

図2-15 任意形フランジ

- (3) 内圧計算手順及び算式
 - a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径 ガスケット座の有効幅(b)及びガスケット反力円の直径(G)は、ガスケット座の基 本幅(bo)に従い以下のように求める。
 - b o $\leq 6.35 \text{mm}$ の場合 b = b o G = G s - N b o > 6.35 mmの場合 b = 2.52 · $\sqrt{b \text{ o}}$ G = G s - 2 · b ただし, b o は J I S B 8265 附属書3 表3による。 b. 計算上必要なボルト荷重 (a) 使用状態で必要なボルト荷重 Wm1=H+HP H= $\frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$ HP=2 · π · b · G · mg · P
 - (b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重

 $W_{m\,2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_{b}} \qquad (使用状態)$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a}} \qquad (ガスケット締付時)$$

$$A_{m} = Max (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{b}^{2} - d_{i}^{2}) \cdot n$$

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_{o} = W_{m1}$$
 (使用状態)
 $W_{g} = \left(\frac{A_{m} + A_{b}}{2}\right) \cdot \sigma_{a}$ (ガスケット締付時)

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_{D} = \frac{\pi}{4} \cdot B^{2} \cdot P$$
$$H_{G} = W_{o} - H$$
$$H_{T} = H - H_{D}$$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h D	h G	hт
一体形フランジ	R+0.5 • g 1	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{\mathbf{R} + \mathbf{g}_{1} + \mathbf{h}_{G}}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h d + h g}{2}$

$$\mathbf{R} = \left(\frac{\mathbf{C} - \mathbf{B}}{2}\right) - \mathbf{g}_{1}$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

 $M_{D} = H_{D} \cdot h_{D}$ $M_{G} = H_{G} \cdot h_{G}$ $M_{T} = H_{T} \cdot h_{T}$

$$M_{0} = M_{D} + M_{G} + M_{T}$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$\mathbf{M}_{\mathbf{g}} = \mathbf{W}_{\mathbf{g}} \cdot \left(\frac{\mathbf{C} - \mathbf{G}}{2}\right)$$

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の応力
 - (a) 使用状態でのフランジの応力 $\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_o}{L \cdot g_1^2 \cdot B} + \frac{P_o \cdot B}{4 \cdot g_o}$ $\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_o}{2}$

$$\sigma_{To} = \frac{\mathbf{Y} \cdot \mathbf{M}_{o}}{\mathbf{t}^{2} \cdot \mathbf{B}} - \mathbf{Z} \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_1^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$
ただし、

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \qquad (- 4\pi7 = 7 \times 5)$$

$$d = \frac{U}{V_L} \cdot h_o \cdot g_o^2 \qquad (\mu - \vec{x} = 7 = 7 \times 5)$$

$$e = \frac{F}{h_o} \qquad (\mu - \vec{x} = 7 = 7 \times 5)$$

また, Bが20・g1より小さいときは, ハブの軸方向の応力(σно)及び σнgの計 算式のBの代わりにB1を用いる。

j. 評価

内圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

(a)	ボルトの総有効断面積	$A_m \leq A_b$
(b)	ハブの軸方向応力	
	使用状態にあっては	σ _H ₀≦1.5•σ _f b
	ガスケット締付時にあっては	σ _{Hg} ≦1.5 • σ f a
(c)	フランジの径方向応力	
	使用状態にあっては	σ R o ≦1.5 • σ f b
	ガスケット締付時にあっては	σ Rg≦1.5 • $σ$ f a
(d)	フランジの周方向応力	
	使用状態にあっては	σто≦1.5• σ f b
	ガスケット締付時にあっては	στg≦1.5•σfa

- (4) 外圧計算手順及び算式
 - a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径 ガスケット座の有効幅(b)及びガスケット反力円の直径(G)は、ガスケット座の基 本幅(bo)に従い以下のように求める。
 - b $o \leq 6.35 \text{mm}$ の場合 b = b oG = G s - Nb o > 6.35 mmの場合 b = 2.52 $\cdot \sqrt{b o}$ G = G $s - 2 \cdot b$ ただし、b o it J I S B 8265 附属書3 表3による。 b. 計算上必要なボルト荷重 Wm $_2 = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$
 - c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積
 Wm2

$$A_{m2} = \frac{1}{\sigma_{a}}$$
$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{b}^{2} - d_{i}^{2}) \cdot n$$

$$W_{g} = \left(\frac{A_{m\,2} + A_{b}}{2}\right) \cdot \sigma a$$

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

 $H_D = \frac{\pi}{4} \cdot B^2 \cdot P$

 $H_T = H - H_D$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h D	h G	hт
一体形フランジ	R+0.5 • g 1	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{\mathbf{R} + \mathbf{g}_{1} + \mathbf{h}_{G}}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h p + h g}{2}$

$$\mathbf{R=}\left(\frac{\mathbf{C}-\mathbf{B}}{2}\right) - \mathbf{g}_{1}$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_0 = H_D \cdot (h_D - h_G) + H_T \cdot (h_T - h_G)$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot h_G$$

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の応力
- (a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_{o}}{L \cdot g_{1}^{2} \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_{0}}$$
$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{o}}{L \cdot t^{2} \cdot B}$$
$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_{o}}{t^{2} \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力
$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{\frac{2}{1-\sigma_{Hg}}}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{\begin{array}{c} L \cdot g \ 1 \cdot B \\ (1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot Mg \\ L \cdot t^2 \cdot B \end{array}}{\begin{array}{c} Y \cdot Mg \\ \end{array}}$$

$$\sigma_{\mathrm{Tg}} = \frac{\mathrm{Y} \cdot \mathrm{M_g}}{\mathrm{t}^2 \cdot \mathrm{B}} - \mathrm{Z} \cdot \sigma_{\mathrm{Rg}}$$

また, Вが20・g1より小さいときは, ハブの軸方向の応力(оно)及びонgの計 算式のBの代わりにB1を用いる。

j. 評価

外圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

(a)	ボルトの総有効断面積	$\mathrm{A}\mathrm{m}{}_2{\leq}\mathrm{A}\mathrm{b}$
(b)	ハブの軸方向応力	
	使用状態にあっては	σ _{Ho} ≦1.5 • σ f b
	ガスケット締付時にあっては	σ нg≦1.5 • $σ$ f a
(c)	フランジの径方向応力	
	使用状態にあっては	σ R o ≦1.5 • $σ$ f b
	ガスケット締付時にあっては	σ Rg≦1.5 • $σ$ f a
(d)	フランジの周方向応力	
	使用状態にあっては	σтο≦1.5•σfb
	ガスケット締付時にあっては	σтg≦1.5•σfa

2.8 伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は、設計・建設規格 PPC-3416を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
b	b	継手部の波のピッチの2分の1	mm
С	С	継手部の層数	—
Е	Е	材料の縦弾性係数	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part6 表1に	
		よる。	
h	h	継手部の波の高さ	mm
Ν	N 許容繰返し回数		—
	N r	実際の繰返し回数	—
n	n 継手部の波数の2倍の値		—
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数(Nr)/許容繰返し回数(N)	—
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算 式		—
	А	調整リング無しの場合	
	В	調整リング付きの場合	

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。



図2-16 継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma}\right)^{3.5}$$

ただし、材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

(4) 評価

実際の繰返し回数 (Nr)と許容繰返し回数 (N)の比 (U=Nr/N) がU \leq 1であれば、 伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合は、実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた 値 ($U=\Sigma$ (Nr i / Ni)) がU \leq 1であれば、伸縮継手の強度は十分である。 別紙1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

目 次

1.	適用範囲	1
2.	書式 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
3.	記載内容	3
4.	記載要領	4
4.	1 配管	4
4. 2	2 弁 ·····	13
4. 3	3 スペシャリティ及び計装品 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	14
4.4	4 フランジ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	16
4. 8	5 機器 ·····	16
4.0	6 その他 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	17
5.	管番号及び継手番号 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19
5.	1 付番の原則 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	19
5.2	2 管継手部の管番号及び管継手マークの記載 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	21
5.3	3 管番号表示の際に注意すべき事項 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	27

1. 適用範囲

本要領書は、管の基本板厚計算書中の概略系統図の作成方法に適用する。

- 2. 書式
 - (1) 用紙はA4(又はA3)サイズとし、用紙の記載範囲については、下記を原則とする。 詳細については、総括編に従うものとする。



注3:上記寸法は目安値である。

(2) 概略系統図に用いる線については、下記に従うものとする。

区分	線の種類	線の太さ
・工事計画記載範囲のうち,当該計算書記載範囲 の配管	太い実線(――)	0.8~1.0mm
 ・当該申請回の機器*1,弁,スペシャリティ,レジューサ,キャップ,フランジ,平板,伸縮継手 ・建屋区分 ・既認可図書を呼び出す配管 	細い実線 ()	0. 3∼0. 5mm
 ・申請ラインのうち,別シートに記載されている か,若しくは別工認の概略系統図中に記載され ているが,系統の接続を示すため記載するライ ン,機器,弁,スペシャリティ,レジューサ, キャップ,フランジ,平板,伸縮継手 ・他号機との取合い ・工事計画書に記載される管継手で分岐部が申 請対象外の場合にその管継手を表すために記 載するライン ・申請範囲ではないが,系統の接続を示すために 必要なライン*² ・当該計算書記載範囲外の主配管 	細い破線()	0. 3∼0. 5mm

注記*1:原子炉格納容器貫通部は、破線で記載する。

*2: φ61mm 以下の穴で,穴の補強が不要なものについては表示不要とする。

3. 記載内容

	項目	記載內容
1	申請範囲	・工事計画書記載範囲
2	分岐合流	・配管計装線図(以下「P&ID」という。)及び工認系統図
		に合わせる。
3	機器名称及び番号	・機器名称は,正式名称*で記載する。
		・機器番号は記載しない。
		(例) $\bigcirc \bigcirc ポンプ(CO01A) \rightarrow \bigcirc \bigcirc ポンプ(A)$
4	主要弁	・弁番号及び駆動方式(MO, AO)は、工事計画書記載の弁
		について記載する。
5	フランジ	・フランジについては、下記のものについて記載する。
		(イ) 機器と配管の取合い部となるフランジ
		(ロ) 仕様変更(圧力,材料等)又は系統区分点となるフランジ
		(ハ) 強度計算対象となるフランジ(設計・建設規格対象外フラ
		ンジ)

注1: 概略系統図のレイアウトは、制約がない限り極力、工認系統図に合わせる。

注2:配管口径,配管番号,系統略称及び管種区分は記載しない。また,スペシャリティ番号 も記載しない。

注3:ドレン、ベント及びファンネルについては記載しない。

ただし,工事計画書に記載される管継手により分岐される場合は,分岐部の位置を表す 表示(破線表示)を行う。

- 注4:原子炉格納容器貫通部番号,原子炉圧力容器ノズル番号は記載し,その他の機器ノズル 番号は記載しない。
- 注5:系統の流れ表示は、系統の接続を示す部分のみ記載する。
- 注6:ポンプの流れ方向表示は行わない。

注記*:各プラントで定められた名称とする。

4. 記載要領

- 4.1 配管
 - (1) P&IDより概略系統図を作成する場合の表記(原則として)



また, 概略系統図のシートNo. (その1, その2等)は, 原則として流れの上流側から付番する。ただし, 流れの方向が一定していないものは, 工認系統図の順番に従い付番する。 また, パッケージ分については, シートの最後にもってきてもよいものとする。

(2) Uシール部の表記

Uシール部は、Uシール部とわかるように概略系統図へ記入する。



(3) 線の交差の表示

線が交差する場合は下記に従うものとする。ただし、線の優先順位は、太い実線、細い 破線の順とし、同一線が交差する場合は横線を優先して記載する。



- (4) 配管の接続先表示
 - a. 表記上概略系統図では,原則として工認系統図に合わせ「………へ」及び「………より」で統一する。
 - b. 同一系統の同一シート内での機器の接続は、実線で結ぶことを原則とする。
 - c. 同一系統であって,別シートへの接続を表示する場合は,接続される概略系統図名を 記載する。また,読込んだシート内に接続する機器がある場合は機器名称も記載する。



概略系統図の構成が3枚となる場合の表記例





○○系概略系統図(その2)



- d. 他系統と取り合う場合は以下による。
- (a) 系統名は正式系統名称を記載するものとし、略称は使用しないものとする。
- (b) 当該申請回及び既申請回で申請されている系統と取り合う場合は、相手側の系統名称 及び接続する機器名称を記載する。*ただし、機器名称の中にその機器の属する系統名 称が表示されている場合は系統名称は記載しない。また、他系統の機器へ接続するまで に機器が属する系統以外の他系統を経由する場合は、最初に接続する系統の名称のみ記 載する。

注記*:ユーティリティ系と接続する場合は系統名称のみとする。

ただし、系統機能上重要なものは機器名称も記載する。

なお,同一申請回において廃棄設備と取り合う場合は,概略系統図名と機 器名称を記載する。

また、将来申請の系統と取り合う場合は、相手側の系統名のみ記載する。

気体廃棄物処理系と復水器空気抽出系との取合いがあり,気体廃棄物処理系が先の申 請回で申請される場合



放射性ドレン移送系と低電導度廃液系との取合いがあり,放射性ドレン移送系が先の 申請回で申請される場合



放射性ドレン移送系概略系統図 (低電導度廃液系は将来申請) 低電導度廃液系概略系統図 (放射性ドレン移送系は申請済)

(c) 弁取合いの場合の表記は、両系統に弁を記載し、弁が属する系統が申請される場合に は実線で、他系統の申請時記載する場合には破線で記載し、上記(a)項又は(b)項に従っ た接続先表示をする。 e. 流体が行き来するライン(タイライン等)にあっては、お互い「〇〇より(へ)」と呼び合うものとし、記載する事項はb項、c項又はd項と同様とする。

	(その2) り(へ)	系概略系統図(その1) タンク(A)より(へ)		
(その1) (その2)	(2	その1)		(その2)	\langle

注:流体がモード等により行き先が変わる場合,下記の例に従う。



f. 接続先の配管が工認対象外である場合は、表記する必要はない。ただし、工事計画書に 記載する管継手に係わる場合及び系統の接続を示すために必要なラインは、11頁「(9)分 岐部の申請範囲の表記」に示す表記をする。 g. 将来増設プラントと取り合う場合は、予備配管と表記する。

また,申請対象設備が設置されるプラントの将来設置機器と取り合う場合には将来設置 機器の名称を表記する。



将来増設プラントと取り合う場合

将来設置機器の名称を記載



当該プラントの将来設置機器と取り合う場合

h. 既申請回(同一系統又は他系統)で申請されている系統と取り合う場合は,取合配管の 申請回を表記する。



(5) 管台の表記は下記に従うものとする。(寸法は目安値)



(6) 継手類の表記は下記に従うものとする。

a. ティー



ただし、材料又は肉厚が接続配管と異なる場合は下記に示す仕様変更表示をする。



- b. レジューサ
- (a) 偏心又は同心の区別は行わない。また,径違いソケットについてはレジューサ表記と する。
- (b) 表記寸法(目安値)



c. 鏡板,キャップ表記寸法(目安値)



d. 平板

表記寸法 (目安値)

(a) フランジにボルトで締め付けられるタイプ



- (b) (a)以外のタイプ <u>■</u>
- (7) セーフエンド等の表記は下記に従うものとする。



(8) 配管上で材料又は肉厚等が変更となる場合は下記の表示とする。



(9) 分岐部の申請範囲の表記



分岐部の種類	申請形態	クラス1配管及び クラス2配管の表記	左記以外の表記
直管直付 (同径)	主流路 計算対象外		
	計算対象外		
直管直付 (異径) 『	主流路 計算対象外		
	計算対象外		
管 台(設計・建設規			
格規定のJI S規格品以外)	計算対象外 		

注1:分岐部破線及び管台の表記寸法(目安値)



- 注2: クラス1配管及びクラス2配管以外であっても、工認系統図上の分岐、合流を明確 にする必要がある場合にはクラス1配管及びクラス2配管の表記とする。 ただし、主流路を形成する分岐部を除き、φ61mm以下の穴で、穴の補強が不要なも のについては分岐部破線表示又は管台表示は不要とする。
- 4.2 弁
 - (1) 弁の形式は下記記号にて表示する。
 - a. 逆止弁

注:流れ方向の指示は表示しない。

ただし、弁の向きは工認系統図に合わせる。

b. バタフライ弁



c. 三方弁



d. 安全弁,逃し弁



e. アングル弁

f. 上記以外の弁はすべてゲート弁表示とする。

- (2) 弁の開閉は表示しないものとし、すべて白抜きとする。
- (3) 主要弁の表記は下記に示すように駆動方式及び弁番号を記載する。(寸法は目安値)



(4) 弁の記載寸法は下記を原則とする。(目安値)



(5) 前記(1)に係わらず、切替弁は下記表示とする。



4.3 スペシャリティ及び計装品

スペシャリティ及び計装品の表示は下記に従うものとする。

- (1) オリフィス
 - a. 単段減圧オリフィス



b. 多段減圧オリフィス



c. ベンチュリ形流量制限器



(2) 流量計



c. その他



(4) 伸縮継手

- c. T型ストレーナ



- (6) スペクタクルフランジ

4.4 フランジ

フランジは下記表示とする。(寸法は目安値)



- 4.5 機器
 - (1) ポンプ

ポンプの形式の表示は下記に従うものとする。 (図はフランジ取合を示している。)

- a. サンプポンプ b. ほう酸水注入ポンプ c. その他すべてのポンプ
- (2) その他の機器 当該配管が直接接続している機器の概略形状を記載する。 (形状は原則として工認系統図に合わせる。)
- (3) 機器取合点表示
 - a. フランジ取合点













(4) 復水器貫通部表示

b. ノズル取合点



- 4.6 その他
 - (1) 原子炉格納容器及び原子炉格納容器貫通部は下記表示とする。



(2) 原子炉圧力容器及び原子炉圧力容器ノズルは下記表示とする。



- 注:N-4Aと"-"は付記しない。
- (3) 複数の建屋に配管がまたがる場合の建屋の区分は下記表示とする。 (寸法は目安値)



注1: R/B, T/B等の略称は使用 しない。

- 注2:埋込部の表示は行わない。
- 注3:建屋外のダクトは「屋外」と、2m ギャップ

は「連絡トレンチ」と呼称する。

(4) スパージャ,ディフューザ及びクエンチャは下記表示とする。



(5) 水面は表示しない。
(6) ユニットとして同一のものが多系列にわたっている場合の記載方法は、下記の ように代表箇所のみ,配管構成及び計算箇所を表示する。



○○ろ過装置(A)~(C)付番

- 5. 管番号及び継手番号
- 5.1 付番の原則
 - (1) 板厚計算を行うすべての管及び継手に対し番号を付番するものとし、同一仕様のものは同 一番号とする。また、付番は原則として系統の上流側より主流路に沿って系統の終わりまで 行う。

ただし、同一系統内に異なる管種がある場合は、上位管種を優先して付番する。

- (2) 管番号及び継手番号は下記条件の切換点で変更するものとする。
 - ・最高使用圧力
 - ・最高使用温度
 - ・外径
 - ・肉厚
 - ・材料
 - ・製法
 - ・クラス
- (3) 管番号及び継手番号

・管(セーフエンド及び規格外	$\begin{pmatrix} 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 3 \end{pmatrix}$				
- 170かを含む。) ・管継手	$\underbrace{1}^{*}\underbrace{2}^{*}\underbrace{3}^{*}$				
・ティー,管台,枝管等の穴	$\begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \end{array} \\ \end{array} \end{array} \\ \begin{array}{c} \end{array} \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \end{array} \\ \begin{array}{c} \end{array} \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \end{array} \\ \end{array} \end{array} \\ \end{array} \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \end{array} \\ \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \end{array} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \\$	 (規材	各外継	手に適	用)
・レジューサ	R1 R2 R3	 (同	上)
・鏡板、キャップ	$\begin{array}{c} \hline \\ \hline $	 (同	上)
・平板,閉止フランジ	B1 B2 B3	 (同	上)
・フランジ	F1 F2 F3	 (同	上)
・伸縮継手	(E1) $(E2)$ $(E3)$	 (同	上)
・穴あき管	(SP1) (SP2) (SP3)	 (同	上)

(4) 管番号の記入

(誤)

a. 番号の矢印は2箇所以内とする。



b. 同一仕様であっても, 弁及びフランジ等により仕様変更か否か誤解を招くと思われる場 合は必ず番号を取る。



c. 管番号を記入することによって、概略系統図が煩雑になる場合は下記のように表示する。





d. 寸法(目安値)



- 5.2 管継手部の管番号及び管継手マークの記載
 - (1) 一般原則

管の基本板厚計算書概略系統図における管番号の付番は,5.1項を原則とし,各管番号に て示された範囲が,管継手のみにて構成される場合は,管と管継手を区別するため管番号に 管継手マーク "*"を付ける。

(2) 管継手部の記載要領

管の基本板厚計算書概略系統図における管継手マークの記載は(1)項に従うが,管継手部 における具体的な記載要領を下記に示す。

a. エルボ

エルボの両端にエルボと仕様の異なる管又は管以外の要素が接続される場合,エルボに 管番号を付番し,管継手マーク "*"を付ける。

ただし,同一ライン上にある他に付番された管番号により当該エルボの仕様がわかる場 合は,管番号を省略する。

注:接続される管の仕様と比べ,肉厚のみ厚くしたJIS規格のエルボについては,ク ラス1配管及びクラス2配管を除き,接続される管と同一仕様と見なす。

- b. ティー
 - (a) ティーの主管側(A) と接続される管(a) が同一仕様である場合は、(a) に管番号を付番する。ただし、表記スペースの関係上(A) (a) 側半分) に管番号を付番する場合もある。
 - (b) ティーの主管側(A) と接続される管(b) が同一仕様である場合は、(b) に管番号を付番する。ただし、表記スペースの関係上(A) ((b) 側半分) に管番号を付番する場合もある。
 - (c) ティーの主管側 (A) の両端に仕様の異なる管又は管以外の要素が直接接続される場合は、(A) に管番号を付番し、管継手マーク "*"を付ける。ただし、管以外の要素が
 (A) と同一仕様の管継手であれば、管以外の要素側に付番する場合もある。
 - (d) ティーの分岐管側 B と接続される管 C が同一仕様である場合は、C に管番号を 付番する。たたし、表記スペースの関係上 B に管番号を付番する場合もある。

- (e) ティーの分岐管側 (B) に仕様の異なる管又は管以外の要素が直接接続される場合は、
 (B) に管番号を付番し、管継手マーク "*"を付ける。ただし、管以外の要素が (B) と
 同一仕様の管継手であれば、管以外の要素側に付番する場合もある。
 - 注:主管側又は分岐管側において接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くしたJI S規格のティーについては、クラス1配管及びクラス2配管を除き、接続される 管と同一仕様と見なす。



c. レジューサ

レジューサに仕様の異なる管若しくは管継手が接続される場合,又は管若しくは管継手 以外の要素が接続される場合,レジューサ端部に管番号を付番し,管継手マーク "*"を 付ける。

- 注:接続される管の仕様と比べ,肉厚のみ厚くしたJIS規格のレジューサについては, クラス1配管及びクラス2配管並びに汽力設備を除き,接続される管と同一仕様と 見なす。
- d. キャップ

キャップに仕様の異なる管若しくは管継手が接続される場合は,キャップ端部に管番号 を付番し,管継手マーク "*"を付ける。

注:接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くしたJIS規格のキャップについては、 クラス1配管及びクラス2配管を除き、接続される管と同一仕様と見なす。 (ティー主管側+レジューサ)













(ティー主管側+弁)













管番号及び管継手マーク記載原則の実例(その1)

(ティー分岐管側+レジューサ)









(ティー分岐管側+弁)











1

管番号及び管継手マーク記載原則の実例 (その2)

(JIS厚肉ティー)





(ア) クラス1配管及びクラス2配管並びに汽力設備……同材質で単に肉厚アップしている





(イ) 上記以外……同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。



管番号及び管継手マーク記載原則の実例(その3)

- (JIS厚肉キャップ)
- (ア) クラス1配管及びクラス2配管………同材質で単に肉厚アップしている場合



も管番号を付す。

(イ) 上記以外……同材質で単に肉厚アップしただけの場合は管番号自体が不要。



管番号及び管継手マーク記載原則の実例(その4)

- 5.3 管番号表示の際に注意すべき事項
 - (1) 管

曲げ管は直管と同等に考えるものとし、表示は行わないものとする。

- (2) 管継手 (ティー,エルボ,レジューサ,キャップ)
 - a. 設計・建設規格規定のJIS規格の継手であって,接続配管と同等以上の強度を有する 場合は,板厚計算は不要である。したがって,管番号はとらないで管の基本板厚計算書中 に以下の事項を明示する。ただし,接続配管と材料又は厚さが異なる管継手については,
 - JIS規格の管継手であっても直管相当として板厚計算を記載する。

規格外継手(設計・建設規格規定のJIS規格以外の継手)には、管番号又は継手番号を付番するものとする。

- 注1:接続される管の仕様と比べ、肉厚のみ厚くしたJIS規格の管継手については、 クラス1配管及びクラス2配管を除き、接続される管と同一仕様と見なす。
- 注2:接続配管のスケジュール番号と同等以上,かつ,接続配管の材料と同等以上の強 度を有するJIS規格の差込み溶接式管継手については、クラス1配管及びクラ ス2配管を除き,接続される管と同一仕様と見なす。
- b. a 項にかかわらず下記に示す場合は管板厚計算を行うので管番号を付番する。
 - (a) レジューサの多段直列接続の場合
 - (b) 異径ティーで分岐部がレジューサ等に接続する場合,機器直結のレジューサのように 溶接部における口径が表れない場合又は機器,エルボ,レジューサ直結で直管がない場 合
 - (c) 接続配管と同等以上の強度を有さない場合
- c. 分岐部分が強度計算対象外の配管に接続している場合は付番しない。
- (3) 番号表示例
 - a. エルボの強度計算を行う場合



- b. 設計・建設規格規定のJIS規格品管継手を使用する場合
- (a) 管継手の材料又は肉厚が接続配管と異なる場合は、すべて管番号を付番し、直管相当 の計算を記載する。(クラス1配管及びクラス2配管(レジューサについては、 汽力設 備も含む。)の場合)















(b) レジューサの2段直列接続

注:接続配管と同材,同肉厚 の場合を示す。



(c) ティーとレジューサの直付等のように溶接部における口径が表示できない場合



(d) エルボとレジューサが直付でエルボに接続配管がない場合



c. 設計・建設規格規定のJIS規格品以外の管継手を使用する場合

(a) 管継手の材料又は肉厚が接続配管と異なる場合



















注記*1:仕様が①と異なる場合を示す。 *2:仕様が⑥と異なる場合を示す。

(b) 管継手の材料及び肉厚が接続配管と同じ場合







レジューサ,エルボ













2

1

2

1

З

2

(R1)

3

2)*1

R1



注記*1:仕様が①と異なる場合を示す。 *2:仕様が⑥と異なる場合を示す。

/ר

(4) フランジ

JIS B 2238,2239又は2240の規格に適合し,設計・建設規格 付録 材料図表 Part1に規定される材料を使用する場合,若しくは設計・建設規格 別表2に 規定されるフランジを使用する場合以外は,継手番号を付番する。

ただし, JIS等の規格フランジに圧力検出用の穴をあけた場合,規格フランジとして 扱う。

- (5) その他
 - a. 弁メーカの工場で溶接される弁の付属品としてのセーフエンドには,管番号を付番しないものとする。また,バタリング(異材肉盛溶接)についても管番号は付番しないものとする。
 - b. 下記に示すセーフエンドは管として扱うものとする。



c. ベンチュリ形流量制限器,ベンチュリ式流量計及びフローノズル式流量計について計算 する場合は,下記のごとく管番号を付番する。



別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット

管の基本板厚計算書の書式例
 書式例を次頁以降に示す。

V-3-○-○-○ 管の基本板厚計算書

まえがき

本計算書は、V-3-1-*「クラス*機器の強度計算の基本方針」及びV-3-1-5「重大事故等クラス 2機器及び重大事故等クラス2支持構造物の強度計算の基本方針」並びにV-3-2-*「クラス*管の 強度計算方法」及びV-3-2-9「重大事故等クラス2管の強度計算方法」に基づいて計算を行う。

評価条件整理結果を以下に示す。なお,評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については, V-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義したものを使用する。

・評価条件整理表

		施設時の 技術基準	クラスアップするか		条件アップするか					既工認に						
管No.	既設 or 新歌	に 対象と す る 施設	クラス	施設時	DB	S A	条件。	DB条件		S A条件		おける 評価結果	施設時の 適用規格	評価区分	同等性 評価	評価 クラス
	利政	の規定が あるか	アップ の有無	機器 クラス	クラス	クラス	アップ の有無	圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)	温度 (℃)	の有無			区方	
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																

•	適	用	規	格	の	選定	
---	---	---	---	---	---	----	--

管No.	評価項目	評価区分	判定基準	適用規格
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				

目次

1. 概略系統図



注記*:管継手 非常用ガス処理系概略系統図

2. 管の強度計算書(重大事故等クラス2管)

設計,建設規格 PPC-3411 準用

NO.	最高使用圧力 P (MPa)	最高使用 温 度 (℃)	外 径 Do (mm)	公称厚さ (nn)	材料	製法	クラス	S (MPa)	η	Q	ts (nn)	t (nn)	算式	tr (mm.)
1														
2						1								
3				_		1								
4														
5						T								
8														
7														
8														
9														
11														

評価:ts ≧ tr,よって十分である。

管の穴と補強計算書(重大事故等クラス2管)

設計・建設規格 PPC-3420 準用

NO.		T2	Ar (mn ²)
形 式			Ao (mn ²)
最高使用圧力 '	(MPa)		A 1 (mn ²)
最高使用温度	(°C)		A 2 (mm ²)
主管と管台の角度。	(°)		A 3 (mm ²)
			A 4 (mn ²)
主管材料			
Sr	(MPa)		評価: Ao > Ar
Dor	(nn)		よって十分である。
Dir	(nn)		
tro	(nn)		dfrD (mm)
Qr			LAD (mm)
t r	(nn)		LND (mm)
trr	(nn)		ArD (ma ²)
η			AOD (mm²)
			A1D (mm ²)
管台材料			A2D (mm²)
Sь	(MPa)		A3D (mm ²)
Dоь	(nn)		A 4 D (mm ²)
Diь	(nn)		
tbn	(nn)		評価: Aop ≧ Arp
Q٥			よって十分である。
tь	(nn)		W (N)
tbr	(nn)		F 1
			F 2
強め材材料			F 3
Se	(MPa)		Sw 1 (MPa)
Doe	(nn)		Sw2 (MPa)
te	(nn)		Sw3 (MPa) —
			₩e1 (N)
穴の径 d	(nn)		We2 (N)
K			We3 (N) ——
d f r	(nn)		We4 (N)
LA	(nn)		We5 (N) ——
LΝ	(nn)		Wеbр (N) —
L 1	(nn)		Webp (N)
L 2	(nn)		Wеbр (N) —
			評価:W≦0 よって溶接部の強度計算は必要ない。 以上より十分である。

管の穴と補強計算書(クラス3配管)

設計・建設規格 PPD-3420

NO.		I3	Ar (mn ²)	
形式			Ao (mn²)	
最高使用圧力 '	(MPa)		A 1 (mm ²)	
最高使用温度	(°C)		A 2 (mm ²)	
主管と管台の角度・	(°)		A3 (mm ²)	
			A 4 (mn ²)	
主管材料				
Sr	(MPa)		評価: Ao > Ar	
Dor	(nn)		よって十分である。	
Dir	(nn)			
t r o	(nn)		dfrD (mm)	
Qr			LAD (mm)	
t r	(nn)		LND (mm)	
trr	(nn)		ArD (mm ²)	
η			AOD (mm ²)	
			A1D (mm ²)	
管台材料			A2D (mm ²)	
Sь	(MPa)		A3D (mm ²)	
Dob	(nn)		A 4 D (mm ²)	
Dib	(nn)			
t b n	(nn)		評価: Aop ≧ Art	>
Qь			よって十分である。	
tь	(nn)		₩ (N)	
tbr	(nn)		F 1	
			F 2	
強め材材料			Fз	
Se	(MPa)		Swii (MPa)	
Doe	(nn)		Sw2 (MPa)	
te	(nn)		Swз (MPa)	
			₩e1 (N)	
穴の径 d	(nn)		₩e2 (N)	
K			₩ e 3 (N)	
d f r	(nn)		We4 (N)	
LA	(nn)		₩e5 (N)	
LN	(nn)		Webp (N)	
L 1	(nn)		Webp (N)	
L 2	(nn)		Webp (N)	
			評価:W≦0 よって溶接部の強度計算は 以上より十分である。	必要ない。

既工認図書を呼び出す例 (1/2)

V-3-○-○-○ 管の基本板厚計算書

既工認図書を呼び出す例 (2/2)

1. 概要

本計算書については、重大事故等対処設備としての評価結果を示すものであるが、設計基準対象施設としての使用条件を超えないことから、評価結果については平成**年**月**日付け**資庁第****号にて認可された工事計画の添付書類IV-*-*-*「管の基本板厚計算書」による。

(2) クラス2管の応力計算方法

目 次

1. –	-般事項	1
1.1	概要	1
1.2	適用規格	1
2. ク	マラス2管の強度計算方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
2.1	計算方針	2
2.2	計算方法	2
3. 青	算書の構成 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
3.1	管の応力計算書 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8

- 1. 一般事項
- 1.1 概要

本書は,発電用原子力設備のうちクラス2管の応力計算書(以下「計算書」という。)について説明するものである。

1.2 適用規格

適用規格を以下に示す。

- (1) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則(原子力規制委員会 2013 年 6月)(以下「技術基準規則」という。)
- (2) 実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則の解釈(原子力規制委員会 2013年6月)(以下「技術基準規則解釈」という。)
- (3) 発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005 年版(2007 年追補版含む。)) JSME
 S NC1-2005/2007) (日本機械学会 2007 年9月) (以下「設計・建設規格」という。)

- 2. クラス2管の強度計算方法
- 2.1 計算方針

技術基準規則解釈において,技術基準規則第 17 条に規定の要求に適合する材料及び構造と は,設計・建設規格によることから,クラス2管は,設計・建設規格 PPC-3500 の規定に基 づく評価を実施する。

- 2.2 計算方法
 - 2.2.1 解析による計算

応力計算は三次元多質点系はりモデルによる解析により実施する。配管系の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。なお、解析コードは、「HISAP」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、V-3 別紙「計算機プログラム(解析コード)の概要」に示す。

2.2.1.1 解析モデルの作成

配管系の解析モデル作成に当たっては、以下を考慮する。

- (1) 配管系は三次元多質点系はりモデルとし、曲げ、せん断、ねじり及び軸力に対する 剛性を考慮する。
- (2) 弁等の偏心質量がある場合には、その影響を評価できるモデル化を行う。また、弁 の剛性を考慮したモデル化を行う。
- (3) 同一モデルに含める範囲は、原則としてアンカ点からアンカ点までとする。
- (4) 分岐管がある場合には、その影響を考慮できるモデル化を行う。ただし、母管に対して分岐管の径が十分に小さく、分岐管の振動が母管に与える影響が小さい場合にはこの限りではない。
- (5) 質点は応力が高くなると考えられる点に設定するとともに、代表的な振動モードを 十分に表現できるように、適切な間隔で設ける。
- (6) 配管の支持構造物は、以下の境界条件として扱うことを基本とする。
 - a. レストレイント:拘束方向の剛性を考慮する。
 - b. スナッバ:拘束方向の剛性を考慮する。
 - c. アンカ:6方向を固定と扱う。
- d. ガイド: 拘束方向及び回転拘束方向の剛性を考慮する。
- (7) 配管系の質量は,配管自体の質量(フランジ部含む。)の他に弁等の集中質量,保 温材等の付加質量及び管内流体の質量を考慮するものとする。

2.2.1.2 解析条件

解析において考慮する解析条件を以下に示す。

- (1) 荷重条件
 - a. 内圧
 - b. 機械的荷重(自重及びその他の長期的荷重)
 - c. 機械的荷重(逃がし弁又は安全弁の吹出し反力及びその他の短期的荷重)
 - d. 熱膨張及び熱による支持点の変位による応力

2.2.2 計算式

2.2.2.1 記号の定義

計算式中に説明のない記号の定義は下表のとおりとする。

記号	単位	定義
B ₁ , B ₂ ,		設計・建設規格 PPB-3810 に規定する応力係数(一次応力の
B _{2b} , B _{2r}		計算に使用するもの)
D ₀	mm	管の外径
f	_	設計・建設規格 PPC-3530 に規定する許容応力低減係数
i 1		設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.33 のいずれか 大きい方の値
i 2		設計・建設規格 PPC-3810 に規定する値又は 1.0 のいずれか 大きい方の値
M _a	N•mm	管の機械的荷重(自重その他の長期的荷重に限る)により生 じるモーメント
M _{ab}	N•mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷 重(自重その他の長期的荷重に限る)により生じるモーメン ト
M _{ar}	N•mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重 (自重その他の長期的荷重に限る)により生じるモーメント
M _b	N•mm	管の機械的荷重(逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の 短期的荷重に限る)により生じるモーメント
${ m M}_{{ m b}{ m b}}$	N•mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の機械的荷 重(逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に 限る)により生じるモーメント
M _{br}	N•mm	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の機械的荷重 (逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重に限 る)により生じるモーメント
M _c	N•mm	管の熱による支持点の変位及び熱膨張により生じるモーメン ト
Р	MPa	最高使用圧力
P _m	MPa	内面に受ける最高の圧力
S _a	MPa	設計・建設規格 PPC-3530 に規定する許容応力
S _c	MPa	室温における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に規 定する材料の許容引張応力
S _h	MPa	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力
S _n	MPa	一次+二次応力
S _{prm}	MPa	一次応力
t	mm	管の厚さ
Z, Z _i	mm ³	管の断面係数
Zb	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される分岐管の断面係数
Zr	mm ³	管台又は突合せ溶接式ティーに接続される主管の断面係数
- 2.2.2.2 応力計算
 - (1) 設計・建設規格 PPC-3500 による評価
 - a. 一次応力(設計・建設規格 PPC-3520)
 - (a) 最高使用圧力及び機械的荷重(自重その他の長期的荷重に限る)による一次応力
 - イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

$$S_{prm} = B_{1} \cdot P \cdot D_{0} / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot M_{ab} / Z_{b} + B_{2r} \cdot M_{ar} / Z_{r} \leq 1.5 \cdot S_{h}$$

ロ. イ.以外の管

 $S_{prm} = B_1 \cdot P \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot M_a / Z \leq 1.5 \cdot S_h$

- (b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重(自重その他の長期的荷重及び逃がし弁 又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重)による一次応力
 - イ. 管台及び突合せ溶接式ティー

 $S_{p r m} = B_1 \cdot P_m \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_{2b} \cdot (M_{ab} + M_{bb}) / Z_b +$

- $B_{2r} \cdot (M_{ar} + M_{br}) / Z_{r} \leq 1.8 \cdot S_{h}$
- ロ. イ.以外の管

$$S_{p r m} = B_1 \cdot P_m \cdot D_0 / (2 \cdot t) + B_2 \cdot (M_a + M_b) / Z \leq 1.8 \cdot S_h$$

- b. 一次+二次応力(設計・建設規格 PPC-3530)
- (a) 最高使用圧力及び機械的荷重(自重その他の長期的荷重に限る)による一次+二 次応力

 $S_n = P \cdot D_0 / (4 \cdot t) + (0.75 \cdot i_1 \cdot M_a + i_2 \cdot M_c) / Z$

(b) 内面に受ける最高の圧力及び機械的荷重(自重その他の長期的荷重及び逃がし弁 又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重)による一次+二次応力

 $S_n = P \cdot D_0 / (4 \cdot t) + \{0.75 \cdot i_1 \cdot (M_a + M_b) + i_2 \cdot M_c\} / Z$

(c) (a) に対する許容応力

 $S_{a} = 1.25 \cdot f \cdot S_{c} + (1+0.25 \cdot f) \cdot S_{h}$

(d) (b)に対する許容応力
 S_a=1.25・f・S_c+(1.2+0.25・f)・S_h

2.2.3 荷重の組合せ及び許容応力

計算における荷重の組合せ及び許容応力を以下に示す。

管クラス	設備	荷重の組合せ	状態	
	原子炉格納容器	P + D		
クラス2管	バウンダリ	P + M + D	供用状態A, B	

表 2-1 荷重の組合せ

表 2-1 中の記号

P:内圧による荷重

M: 逃がし弁又は安全弁の吹出し反力その他の短期的荷重

D:自重その他の長期的荷重

状態	一次応力 (曲げ応力を含む。)	一次+二次応力		
	1. 5• S _h	$S_{a} = 1.25 \cdot f \cdot S_{c} + (1+0.25 \cdot f) \cdot S_{h}$		
供用状態 A, B	1. 8• S _h	$S_{a} = 1.25 \cdot f \cdot S_{c} + (1.2 + 0.25 \cdot f) \cdot S_{h}$		

表 2	2	許宏広力	(設計・	建設相格	PPC - 3500)
1 4-	- 2	町谷心刀	(取可)	建取规俗	FFC-3300)

2.2.4 計算精度と丸め方

計算精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-3 に示すとおりである。

	X		9.《图》24275		
項目	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
	寸法	mm	小数点第1位	四捨五入	整数位
鳥瞰図	変位量	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	圧力	MPa	小数点第3位	四捨五入	小数点第2位*1
	温度	°C	小数点第1位	四捨五入	整数位
	外径	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	厚さ	mm	小数点第2位	四捨五入	小数点第1位
	縦弾性係数	MPa	小数点第1位	四捨五入	整数位
計算条件	質量	kg	小数点第1位	四捨五入	整数位
	単位長さ質量	kg/m	小数点第1位	四捨五入	整数位
	ばね定数	N/mm	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	回転ばね定数	N•mm/rad	有効桁数3桁	四捨五入	有効桁数2桁
	方向余弦		小数点第5位	四捨五入	小数点第4位
	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位
解析結果	計算応力	MPa	小数点第1位	切上げ	整数位
及び評価	許容応力*2	MPa	小数点第1位	切捨て	整数位

表 2-3 表示する数値の丸め方

注記*1:必要に応じて小数点第3位表示とする。また、静水頭は「静水頭」と表示する。

*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応力は、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. 計算書の構成
- 3.1 管の応力計算書
 - (1) 概要

本計算方法に基づき,管の応力計算を実施した結果を示す旨を記載する。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,各応力区分における最大応力点の許容値/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についても記載する。

(2) 概略系統図

工事計画記載範囲の系統の概略を示した図面を添付する。

- (3) 鳥瞰図 評価結果記載の解析モデルの解析モデル図を添付する。
- (4) 計算条件
 本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応-1~応-5 に示す。
- (5) 計算結果本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応-6 に示す。
- (6) 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、応力分類毎に裕度最小のモデ ルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。このため、代表モデルの選定結果 及び全モデルの評価結果を記載する。本項目記載内容及び記載フォーマットを FORMAT 応-7 に示す。

・FORMAT 応-1:

計算条件

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。

鳥瞰図番号

管番号	対応する評価点	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (℃)	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料

・FORMAT 応-2:

配管の付加質量,フランジ部の質量,弁部の質量

鳥瞰図番号

質量	対応する評価点

·FORMAT 応−3:

弁部の寸法

鳥瞰図番号

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)

・FORMAT 応-4:

支持点及び貫通部ばね定数

鳥瞰図番号

十七七五日	各軸	方向ばね定数()	N/mm)	各軸回り回転ばね定数(N·mm/rad)			
又村尽留方	Х	Y	Z	Х	Y	Z	

・FORMAT 応-5:

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。

++水1	最高使用温度	許容応力(MPa)*						
1/1 1/1	(°C)	S _m	S _y	S _u	S _h			

注記*:評価に使用しない許容応力については「一」と記載する。

・FORMAT 応-6:

計算結果

下表に示すごとく最大応力はすべて許容応力以下である。

クラス2管

設計・建設規格 PPC-3500の規定に基づく評価

				一次応力	評価(MPa)	一次+二次応力評価(MPa)		
鳥瞰図	供用	最大応力	最大応力	計算応力	許容応力	計算応力	許容応力	
	状態	評価点	区分	S _{p r m} (1) *1	1.5•S _h	S _n (a) *3	$S_{a}(c) *^{5}$	
				S _{p r m} (2)* ²	1.8•S _h	S _n (b) *4	$S_{a}(d) *^{6}$	
	(A, B)		S _{prm} (1)*1	Max	1.5•S _h	—	—	
鳥瞰図	(A, B)		S _n (a) *3	—	_	Max	S _a (c)	
番号	(A, B)		S _{prm} (2)*2	Max	1.8•S h	_	_	
	(A, B)		S _n (b) *4	—	_	Max	S _a (d)	

王記 *1 : 設計・建設規格	PPC-3520(1)に基つさ計算した一次応力を示す。
*2:設計・建設規格	PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。
*3:設計・建設規格	PPC-3530(1)a.に基づき計算した一次+二次応力を示す。
*4:設計・建設規格	PPC-3530(1)b.に基づき計算した一次+二次応力を示す。
*5:設計・建設規格	PPC-3530(1)c.に基づき計算した許容応力を示す。
*6:設計・建設規格	PPC-3530(1)d.に基づき計算した許容応力を示す。

・FORMAT 応-7:

No.		供用状態(A, B) ^{*1}					供用状態(A, B) ^{*2}				
	配答モデル			一次応力			一次応力				
		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	代表
1	***-1	1	**	***	*. **	_	9	**	***	*. **	
2	***-2	2	**	***	*. **	0	10	**	***	*. **	0
3	***-3	3	**	***	*. **	_	11	**	***	*. **	
4	***-4	4	**	***	*. **	—	12	**	***	*. **	—
5	***-5	5	**	***	*. **	_	13	**	***	*. **	
6	***-6	6	**	***	*. **	—	14	**	***	*. **	—
7	***-7	7	**	***	*. **	_	15	**	***	*. **	_
8	***-8	8	**	***	*. **	_	16	**	***	*. **	_

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果(クラス2管)

注記*1:設計・建設規格 PPC-3520(1)に基づき計算した一次応力を示す。 *2:設計・建設規格 PPC-3520(2)に基づき計算した一次応力を示す。

	配管モデル	供用状態(A, B)*3				供用状態(A, B) ^{*4}					
No.			-	次+二次応	「力				次+二次応	「力	
		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	代表
1	***-1	1	**	***	*. **	_	9	**	***	*. **	_
2	***-2	2	**	***	*. **	0	10	**	***	*. **	0
3	***-3	3	**	***	*. **	_	11	**	***	*. **	_
4	***-4	4	**	***	*. **	_	12	**	***	*. **	_
5	***-5	5	**	***	*. **		13	**	***	*. **	_
6	***-6	6	**	***	*. **		14	**	***	*. **	_
7	***-7	7	**	***	*. **	_	15	**	***	*. **	_
8	***-8	8	**	***	*. **	_	16	**	***	*. **	_

注記*3:設計・建設規格 PPC-3530(1)aに基づき計算した一次+二次応力を示す。 *4:設計・建設規格 PPC-3530(1)bに基づき計算した一次+二次応力を示す。 V-3-2-5 クラス2弁の強度計算方法

目 次

1. –	一般事項	1
1.1	概要	1
1.2	適用規格及び基準との適合性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1.3	強度計算書の構成とその見方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	2
1.4	計算精度と数値の丸め方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
1.5	材料の表示方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
2. ジ	クラス2弁の強度計算方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5
2.1	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5
2.2	2.1項の規定に適合しない場合の計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
2.3	管台の最小厚さの計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	10
2.4	フランジの強度計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11
3. 湖	私付図 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	26

別紙 クラス2弁の強度計算書のフォーマット

- 1. 一般事項
- 1.1 概要

本書は、V-3-1-3「クラス2機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス2弁が十分な強度を有することを確認するための方法を説明するものである。

- 1.2 適用規格及び基準との適合性
 - (1) 強度計算は、発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))
 JSME S NC1-2005/2007) (日本機械学会 2007年9月) (以下「設計・建設規格」という。)により行う。

設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応は、表1-1に示すとおりである。

- (2) 設計・建設規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。 日本工業規格(以下「JIS」という。)と強度計算書との対応は、表1-2に示すとおりで ある。
- (3) 強度計算書で計算するもの以外のフランジは、以下に掲げる規格(材料に係る部分を除 く。)又は設計・建設規格別表2に掲げるものを使用する。(設計・建設規格 VVC-3410)

a. JIS B 2238 (1996) 「鋼製管フランジ通則」

設計・建設規格 規格番号	強度計算書の計算式 (章節番号)	備考
VVC-3200 耐圧部の設計		弁箱又は弁ふた及び管台の強度計算
VVC-3210	2.1	弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算
VVC-3220	2.2	2.1項の規定に適合しない場合の計算
VVC-3230	2.3	管台の最小厚さの計算
VVC-3300 弁の応力評価		フランジの強度計算
VVC-3310 (a)*	2.4	弁箱と弁ふたのフランジの応力解析
VVC-3310 (b)*	2.4	フランジボルトの応力解析

表1-1 設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

注記*:設計・建設規格 VVC-3310による計算は,接続管の外径が115mmを超える弁について適用 する。

J I S		強度計算書の計算式	備老
No.	項	(章節番号)	
JIS B 8265 (2003)		2.4	フランジの強度計算*
「圧力容器の構造-一般事項」			
附属書3(規定)	3		
「圧力容器のボルト締めフランジ」	4		
附属書4(規定)	3		
「全面形非金属ガスケットを用い	4		
る全面座フランジ」			

表1-2 JISと強度計算書との対応

 注記*:設計・建設規格 WC-3310によりJIS B 8265 (2003) 「圧力容器の構造– 一般事項」(以下「JIS B 8265」という。)の附属書3(規定)「圧力容器 のボルト締めフランジ」及び附属書4(規定)「全面形非金属ガスケットを用いる全面 座フランジ」を用いて計算を行う。

- 1.3 強度計算書の構成とその見方
 - (1) 強度計算書は、本書と各弁の強度計算書からなる。
 - (2) 各弁の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているので、本書によるものとする。

1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は、6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表1-3に示すとおりとする。

	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
	最高使用圧力	MPa			小数点以下第2位
圧	設計・建設規格		*1	*1	
	別表1-1に規定	MPa		(四松子ス)	小粉上いて笠の片
力	する許容圧力		(小剱点以下弗3位)	(四括五八)	小剱点以下弗2位
	上記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
温月	度	°C	—	_	整数位
応	許容応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
力	算出応力	MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
	計算上必要な				
長	厚さ	mm	小	切上げ	小数点以下第1位
	実際の長さ	mm			小数点以下第1位
さ	ボルト谷径	mm			小数点以下第3位
	上記以外の長さ	mm	小数点以下第2位	四捨五入	小数点以下第1位
面	総断面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
積	実際の断面積	mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
	弁操作力による	N			本体光// /
力	反力	Ν			整致位
	上記以外の力	N	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N•mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
角周		0			小数点以下第1位

表1-3 表示する数値の丸め方

注記*1:設計・建設規格 別表に定められる温度区分の中間の温度における許容圧力を比例法に より補間して求める場合は、()内を適用する。

*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:絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

(1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。

JISの改正により設計・建設規格に定める材料記号と相違が生じた場合,設計・建設規格と同等以上の材料であることを確認し,最新のJISによる材料記号を表示する。

設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は, 次のように表示する。

相当材記号 相当(当該材記号)

- (例1) SM400A 相当 (SMA400AP)
- (例2) SCS14A 相当 (ASME SA351 Gr. CF8M)
- (2) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合,材料記号の後に該当する 厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SNB7 (径≦63mm)

- (3) ガスケット材料で非石綿の場合の表示は、フランジの強度計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。
 - (例) NON-ASBESTOS

SUS-NON-ASBESTOS

なお,この場合のガスケット係数(m)及びガスケットの最小設計締付圧力(y)は,

JIS B 8265附属書3 表2 備考3よりガスケットメーカ推奨値を適用する。

2. クラス2弁の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス2弁の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 弁箱又は弁ふたの最小厚さの計算

設計・建設規格 VVC-3210を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設	計算書の	表 云 内 灾	畄 位
規格の記号	一 衣 不		<u>+-</u> <u>1</u>
d m	d m	図3-1に示す开入口流路内径	mm
1	1		
a n	d n	図3-1に示す不ツク部の内径	mm
P	P		mm
K	r	${d_m} \ge 1.500 場合, 図3-2に示す ネック部の厚さか t 以上$	11111
		必要な部分の範囲	
Р	Р	最高使用圧力	MPa
P 1	P 1	最高使用温度における設計・建設規格 別表1-1に規定	MPa
		する許容圧力の欄のうち、最高使用圧力より低く、かつ、	
		最も近い呼び圧力の項の許容圧力	
D	Ð		
P 2	P ₂	最高使用温度における設計・建設規格 別表1−1に規定 オス許容にもの期のきた 見宣告 甲にもよい直く かっ	MPa
		9 る計谷圧刀の欄のうら, 取高使用圧刀より高く, かつ, 鼻からい呕び圧力の頂の許容圧力	
		取6近19时公元7109項00計台江75	
t	t	弁箱(ネック部を除く)又け弁らたの計算上必要な厚さ	mm
U	U		
t 1	tı	設計・建設規格 別表3の呼び圧力(設計・建設規格 別	mm
		表1-1においてP1に対応する呼び圧力をいう。)の欄の	
		うち当該弁の弁入口流路内径に対応する値	
t 2	t 2	設計・建設規格 別表3の呼び圧力(設計・建設規格 別	mm
		表1−1においてP₂に対応する呼び圧力をいう。)の欄の	
		うち当該弁の弁入口流路内径に対応する値	

設計・建設	計算書の	表 示 内 容	単 位
規格の記号	表示		, ,
	tab	弁箱の最小厚さ	mm
	t a f	弁ふたの最小厚さ	mm
	Τm	最高使用温度	°C
t m	t m 1	ℓの範囲内のネック部の計算上必要な厚さ	mm
t m	t m 2	ℓ の範囲外及び $\frac{d n}{d m} > 1.5$ の場合ネック部の計算上必要な	mm
		厚さ	
	t m a 1	t mıに対応するネック部の最小厚さ	mm
	t m a 2	tm2に対応するネック部の最小厚さ	mm

(2) 算式

a. 弁箱(ネック部を除く。)又は弁ふたの計算上必要な厚さ

$$t = t_{1} + \frac{(P - P_{1}) \cdot (t_{2} - t_{1})}{(P_{2} - P_{1})}$$

- 注記:最高使用圧力が最高使用温度における設計・建設規格 別表1-1に規定する許 容圧力の欄に掲げる許容圧力以下の場合は、弁箱(ネック部を除く。)又は弁 ふたの計算上必要な厚さtは、設計・建設規格 別表3の呼び圧力(1.03MPa) の欄のうち当該弁の弁入口流路内径に対応する値とする。
- b. ネック部の計算上必要な厚さ

(a)
$$\frac{d n}{d m} \leq 1.5$$
の場合

イ. 弁箱流路方向の外径から,ネック方向に沿って次の式で計算したℓの範囲の必要厚さ

$$t_{m1} = t$$
$$\ell = 1.1 \cdot \sqrt{d_m \cdot t}$$

ロ. イ.以外のネック部の必要厚さ

$$t_{m2} = \frac{2 \cdot d_n \cdot t}{3 \cdot d_m}$$

(b)
$$\frac{d n}{d m} > 1.5$$
の場合
 $t_{m2} = \frac{2 \cdot d n \cdot t}{3 \cdot d m}$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。ただし、弁箱(ネック部を含む。)で2.2項に掲げる 規定(設計・建設規格 WC-3220)を満足する場合については、この限りではない。 a. 弁箱(ネック部を除く。)又は弁ふたの最小厚さ

 $t a b \geqq t$ $t a f \geqq t$

b. ネック部の最小厚さ

(a)
$$\frac{d n}{d m} \leq 1.5$$
の場合
t m a 1 \geq t m 1
t m a 2 \geq t m 2

(b)
$$\frac{d n}{d m} > 1.5$$
の場合

t m a 2 \geq t m 2

2.2 2.1項の規定に適合しない場合の計算 設計・建設規格 VVC-3220を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格の記号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
D	D	t 又は t m1若しくは t m2を満足しない部分を囲んだ円の直径の許容範囲	mm
	D'	t 又は t m1若しくは t m2を満足しない部分を囲んだ円 の実際の直径	mm
d 1, d 2	d 1, d 2	t 又は t m1若しくは t m2を満足しない部分が2箇所以上 ある場合の,それぞれの部分を囲んだ円の直径	mm
d m	d m	図3-1に示す弁入口流路内径	mm
l	l	t 又は t m1若しくは t m2を満足しない部分が2箇所以上 ある場合の, それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間距 離の許容範囲	mm
	l '	t 又は t m1若しくは t m2を満足しない部分が2箇所以上 ある場合の, それぞれの部分を囲んだ円と円との中心間の 実際の距離	mm
t	t	弁箱(ネック部を除く。)又は弁ふたの計算上必要な厚さ (設計・建設規格 WC-3210(1)による。)	mm
	ť'	t 又は t m1若しくは t m2を満足しない部分の最小厚さ	mm
t m	tm1, tm2	ネック部の計算上必要な厚さ (設計・建設規格 WVC-3210(2)による。)	mm

(2) 評価

2.1 項の規定(設計・建設規格 WVC-3210)に適合しない部分がある弁箱であっても、当該部分が以下の条件を満足すれば十分である。

a. t 又は t m1 若しくは t m2 を満足しない部分を囲んだ円の直径

 $D' \leq D$ $D = 0.35 \cdot \sqrt{d m \cdot t}$

- b. t又はtm1若しくはtm2を満足しない部分の厚さ t' $\geq \frac{3}{4}$ ・t
- c. t又はtm1若しくはtm2を満足しない部分が2箇所以上ある場合の,それぞれの部分 を囲んだ円と円との中心間の距離

$$\ell' \ge \ell$$

 $\ell = 1.75 \cdot \sqrt{d_m \cdot t} + 0.5 \cdot (d_1 + d_2)$

2.3 管台の最小厚さの計算

設計・建設規格 VVC-3230 を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設 規格の記号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
	N o .	管台の番号	—
D o	D o	管台の外径	mm
Р	Р	最高使用圧力	MPa
S	S	管台の最高使用温度における設計・建設規格 付録材料 図表 Part5 表5に規定する材料の許容引張応力	MPa
t	t	管台の計算上必要な厚さ	mm
	tbr	管台の最小厚さ	mm
	Τm	最高使用温度	°C
	t n o	管台の公称厚さ	mm
η	η	継手の効率(設計・建設規格 PVC-3130表のPVC-3130-1 より求めた値)	—

(2) 算式

$$t = \frac{P \cdot D_{o}}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$

(3) 評価

以下の条件を満足すれば十分である。

t b r \geqq t

2.4 フランジの強度計算

2.4.1 ボルト締めフランジ

設計・建設規格 VVC-3310を適用する。

(1)	記方の配明		
JISの 記 号	計算書の 表示	表示内容	単 位
А	А	フランジの外径	mm
Аb	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
$\mathrm{A}\mathrm{m}$	Am	ボルトの総有効断面積	mm^2
$\mathrm{A}\mathrm{m}\mathrm{i}$	A m 1	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A m 2	A m 2	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
В	В	フランジの内径	mm
B 1	B 1	B + g ₀ (f ≧1のときの一体形フランジの場合) B + g ₁ (f <1のときの一体形フランジの場合)	mm
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b o	b o	ガスケット座の基本幅	mm
С	С	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数(= $\frac{\mathrm{U}}{\mathrm{V}}$ ・h o・g o ² (一体形フランジの場合))	mm ³
d b	dь	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の小さい方の径	mm
е	e	係数(= <u>F</u> (一体形フランジの場合))	mm^{-1}
F	F	ー体形フランジの係数 JIS B 8265 附属書3 図5又は表4による。)	

(1) 記号の説明

JISの 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
	F e	フランジに作用する機械的鉛直荷重(弁操作力による反力)	Ν
f	f	ハブ応力修正係数 (JIS B 8265 附属書3 図4又は表4による。)	_
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G s	ガスケット接触面の外径	mm
g o	g o	ハブ先端の厚さ	mm
g 1	g 1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
Η	Н	内圧力によってフランジに加わる全荷重	Ν
h	h	ハブの長さ	mm
ΗD	ΗD	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	Ν
h D	h D	ボルト穴の中心円からHp作用点までの半径方向の距離	mm
Ηg	ΗG	ガスケット荷重	Ν
h G	h G	ボルト穴の中心円からHg作用点までの半径方向の距離	mm
h o	h o	√B · g ₀	mm
Нр	Нр	気密を十分に保つために、ガスケットに加える圧縮力	Ν
Ηт	Ηт	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面 に加わる荷重との差	Ν

JISの 記号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
hт	hт	ボルト穴の中心円からHr作用点までの半径方向の距離	mm
K	К	フランジの内外径の比	
L	L	係数 $\left(=\frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}\right)$	_
m	m	ガスケット係数 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	_
Md	Md	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重によるモーメ ント	N•mm
	M e	フランジ部に作用するモーメント (駆動部の偏心荷重によるモーメント)	N•mm
MG	${ m M}$ G	ガスケット荷重によるモーメント	N•mm
${ m Mg}$	$M\mathrm{g}$	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント	N•mm
Мo	Мо	使用状態でフランジに作用するモーメント	N•mm
Мт	Мт	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面 に加わる荷重との差によるモーメント	N•mm
Ν	Ν	ガスケットの接触面の幅 (JIS B 8265 附属書3 表3による。)	mm
n	n	ボルトの本数	_
	Р	最高使用圧力	MPa
	P e q	機械的荷重によりフランジ部に作用する曲げモーメントを圧 力に換算した等価圧力	MPa

JISの 記号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
Р	РгD	フランジの設計圧力	MPa
R	R	ボルトの中心円からハブとフランジ背面との交点までの半径 方向の距離	mm
Т	Т	$K = \left(\frac{A}{B}\right) \mathcal{O}$ 値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書3 図7による。)	_
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数	
		(JIS B 8265 附属書3 図7による。)	
V	V	ー体形フランジの係数 (JIS B 8265 附属書3 図8又は表4による。)	—
Wg	Wg	ガスケット締付時のボルト荷重	Ν
W_{m1}	$W_{m \ 1}$	使用状態での必要な最小ボルト荷重	Ν
W_{m2}	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	Ν
W o	W o	使用状態でのボルト荷重	Ν
Y	Y	K= $\left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書3 図7による。)	_

JISの 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
У	У	ガスケットの最小設計締付圧力	N/mm^2
Z	Z	(JIS B 8265 附属書3 表2による。) K= $\left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数 (JIS B 8265 附属書3 図7による。)	_
π	π	円周率	—
σа	σa	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa
σb	σb	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材 料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa
σ_f	0fa	常温におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa
σ_f	σfb	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録材 料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa
σн	σHg	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σн	σно	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σR	σRg	ガスケット締付時のフランジの半径方向応力	MPa*
σR	σπο	使用状態でのフランジの半径方向応力	MPa*
σт	σTg	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σт	σтο	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*

JISの 記号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
	NON-	非石綿ジョイントシート	
	ASBESTOS		
	SUS-NON-	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	—
	ASBESTOS		

注記*: JIS B 8265は「N/mm²」を使用しているが、設計・建設規格に合わせ「MPa」に 読み替えるものとする。 (2) 算式



a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

(a) b o ≦6.35mmの場合

 $G = G_{s} - N$ $b = b_{o}$

(b) b_o>6.35mmの場合

 $G = G \circ -2 \cdot b$ $b = 2.52 \cdot \sqrt{b \circ}$ $c \in \mathcal{C},$ $b \circ = N \neq 2$

b. フランジ設計圧力

$$P_{FD} = P + P_{e q}$$
$$P_{e q} = \frac{16 \cdot M_{e}}{\pi \cdot G^{3}} + \frac{4 \cdot F_{e}}{\pi \cdot G^{2}}$$

- c. 計算上必要なボルト荷重
- (a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m 1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P_{FD}$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m \cdot P_{FD}$$

(b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m\,2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

d. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_{b}} \quad (使用状態)$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a}} \quad (ガスケット締付時)$$

$$A_{m} = Max (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{b}^{2} \cdot n$$

e. フランジの計算に用いるボルト荷重

$$W_{o} = W_{m1}$$
 (使用状態)
 $W_{g} = \frac{A_{m} + A_{b}}{2} \cdot \sigma_{a}$ (ガスケット締付時)

f. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_{D} = \frac{\pi}{4} \cdot B^{2} \cdot P_{FD}$$
$$H_{G} = W_{o} - H$$
$$H_{T} = H - H_{D}$$

g. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h D	h G	hт
一体形フランジ*	R+0.5 · g $_{1}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{\mathbf{R} + \mathbf{g}_{1} + \mathbf{h}_{G}}{2}$

ただし、R=
$$\frac{C-B}{2}$$
-g₁
注記*:クラス2弁には、一体形フランジを採用する。

- h. 使用状態でフランジに作用するモーメント
 - $M_{D} = H_{D} \cdot h_{D}$ $M_{G} = H_{G} \cdot h_{G}$ $M_{T} = H_{T} \cdot h_{T}$ $M_{o} = M_{D} + M_{G} + M_{T}$
- i. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot \frac{C - G}{2}$$

(a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_{o}}{L \cdot g_{1}^{2} \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_{0}}^{*1, *2}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{o}}{L \cdot t^{2} \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_{o}}{t^{2} \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{\mathrm{Hg}} = \frac{\mathbf{f} \cdot \mathbf{M_g}}{\mathbf{L} \cdot \mathbf{g}^{-1} \cdot \mathbf{B}} *^{2}$$

$$\sigma_{\mathrm{Rg}} = \frac{(1.33 \cdot \mathbf{t} \cdot \mathbf{e} + 1) \cdot \mathbf{M_g}}{\mathbf{L} \cdot \mathbf{t}^{2} \cdot \mathbf{B}}$$

$$\sigma_{\mathrm{Tg}} = \frac{\mathbf{Y} \cdot \mathbf{M_g}}{\mathbf{t}^{2} \cdot \mathbf{B}} - \mathbf{Z} \cdot \sigma_{\mathrm{Rg}}$$

ここで,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^{3}}{d}$$
$$h_{o} = \sqrt{B \cdot g_{0}}$$
$$d = \frac{U}{V} \cdot h_{o} \cdot g_{0}^{2}$$
$$e = \frac{F}{h_{o}}$$

注記*1:設計・建設規格 VVB-3390式(VVB-19)による。JIS B 8265の計算式に 一次膜応力を加えたものである。

*2: В < 20・g 1のときは、 оно及び онg の計算式の В の代わりに В 1を用いる。

(3) 評価

一体形フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

a. ボルトの総有効断面積

A b > A m

b. ハブの軸方向応力

使用状態にあっては $\sigma_{Ho} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fb}$ ガスケット締付時にあっては $\sigma_{Hg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{fa}$

c. フランジの半径方向応力

使用状態にあっては	σ R o ≦1.5 ·	σ	f b
ガスケット締付時にあっては	σ _{Rg} ≦1.5•	σ	f a

d. フランジの周方向応力

使用状態にあっては	σ	то≦1.5•	σ	f b
ガスケット締付時にあっては	σ	т g ≦1.5 •	σ	f a

2.4.2 全面座フランジ

設計・建設規格 VVC-3310を適用する。

(1) 記号の説明

JISの	計算書の	表 示 内 容	単 位
記号	表示		2
Аb	Аb	実際に使用するホルトの総有効断面積	mm²
A	٨	ギルトの正亜絵方効断面積	mm ²
Am	Am	がルトの所安総有効阿面積	111111
A m 1	A m 1	 使用状態でのボルトの所要総有効断面積	mm^2
$A_{m 2}$	Am_2	ガスケット締付時のボルトの所要総有効断面積	mm^2
В	В	フランジの内径	mm
b'o	b'o	G。-C,ガスケット締付時におけるガスケット座の基本幅	mm
h'	h'	4・√1℃。 ガスケット締付時におけろガスケット座の有効幅	mm
Б	5		11111
2 b "	2•b"	使用状態におけるガスケット座の有効幅。2・b"=5mm	mm
С	С	ボルト穴の中心円の直径	mm
d h	d h	ボルト穴の直径	mm
d h	d h	ボルトのわじ部の公径と軸部の径の長小部の小さい方の径	mm
Чb	Чb		11111
G'	G'	C-(dh+2・b"), ガスケット圧縮力H'Pの位置の直径	mm
G o	G o	ガスケット外径とフランジ外径の小さい方の値	mm
g 1	g 1	フランジ背面のハブの厚さ	mm

JISの 記 号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
ΗD	Hd	内圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	N
H'	H'	内圧力によってフランジに加わる全荷重	N
H'p	H'p	気密を十分に保つためのガスケット圧縮力	Ν
Н'т	Н'т	内圧力によってフランジに加わる全荷重とフランジの内径面 に加わる荷重との差	Ν
ΗR	Ηr	平衡反力	Ν
h D	h D	ボルト穴の中心円からHD作用点までの半径方向の距離	mm
h'p	h'p	ボルト穴の中心円からH'p作用点までの半径方向の距離	mm
h'т	h'т	ボルトの中心円からH'r作用点までの半径方向の距離	mm
h R	h R	ボルトの中心円からHR作用点までの半径方向の距離	mm
m	m	ガスケット係数 (JIS B 8265 附属書3 表2による。)	
Мo	Мо	HR・hR,使用状態でフランジに作用する全モーメント	N•mm
n	n	ボルトの本数	_
Р	Pfd	フランジの設計圧力	MPa
t	t fℓ	フランジの厚さ	mm
t	t	フランジの計算厚さ	mm

JISの 記号	計算書の 表 示	表 示 内 容	単 位
Wm 1	W_{m1}	使用状態における必要な最小ボルト荷重	Ν
Wm_2	Wm_2	ガスケット締付けに必要な最小ボルト荷重	Ν
У	У	ガスケットの最小設計締付圧力	N/mm^2
		(JIS B 8265 附属書3 表2による。)	
π	π	円周率	—
σa	σa	常温におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa*
σb	σb	最高使用温度におけるボルト材料の設計・建設規格 付録材 料図表 Part5 表7に定める許容引張応力	MPa*
σ_f	σfb	最高使用温度におけるフランジ材料の設計・建設規格 付録 材料図表 Part5 表5に定める許容引張応力	MPa*

注記*: JIS B 8265は「N/mm²」を使用しているが、設計・建設規格に合わせ「MPa」に
 読み替えるものとする。

(2) 算式



a. 計算上必要なボルト荷重

(a) 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m 1} = H' + H'_{P} + H_{R}$$

$$H' = \frac{\pi}{4} \cdot (C - d_{h})^{2} \cdot P_{FD}$$

$$H'_{P} = 2 \cdot \pi \cdot b'' \cdot G' \cdot m \cdot P_{FD}$$

$$H_{R} = \frac{H_{D} \cdot h_{D} + H'_{T} \cdot h'_{T} + H'_{P} \cdot h'_{P}}{h_{R}}$$

$$H_{D} = \frac{\pi}{4} \cdot B^{2} \cdot P_{FD}$$

$$h_{D} = \frac{(C - B)}{2} - 0.5 \cdot g_{1}$$

$$H'_{T} = H' - H_{D}$$

$$h'_{T} = \frac{(C + d_{h} + 2 \cdot b'') - B}{4}$$

$$h'_{P} = \frac{d_{h} + 2 \cdot b''}{2}$$

$$h_{R} = \frac{G_{0} - (C + d_{h})}{4} + \frac{d_{h}}{2}$$

(b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m\,2} = \pi \cdot b' \cdot C \cdot y$$

b. ボルトの所要総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{\sigma_{b}} \qquad (使用状態)$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a}} \qquad (ガスケット締付時)$$

$$A_{m} = Max (A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{b}^{2} \cdot n$$

c. フランジの計算厚さ
$$t = \sqrt{\frac{6 \cdot M_{o}}{\sigma_{fb} \cdot (\pi \cdot C - n \cdot dh)}}$$

(3) 評価

全面座フランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

a. ボルトの総有効断面積

A b > A m

b. フランジの厚さ

t fℓ≧ t



注:本図は設計・建設規格 VVB-3210の解説図VVB-3210-3と同じ。

図3-1 dm及びdnを明示した図



ℓの範囲は、ネック部と流路部の 交わる部分を基点としてネック部 方向にとるものとする。

注:本図は設計・建設規格 VVC-3210の図VVC-3210-1と同じ。

図3-2 ネック部のℓの範囲

別紙 クラス2弁の強度計算書のフォーマット
V---- OOOOOOOOOの強度計算書

まえがき

本計算書は、V-3-1-3「クラス2機器の強度計算の基本方針」並びにV-3-2-5「クラス2弁の強度計算方法」に基づいて計算を行う。 評価条件整理結果を以下に示す。なお、評価条件の整理に当たって使用する記号及び略語については、V-3-2-1「強度計算方法の概要」に定義 したものを使用する。

• 評価条件整理表

		施設時の 技術其準			条件》	アップする	らか		町丁穀)。							
	既設	技術基準 に対象と	カラス	協設時	DB クラス		冬仳	DB≸	条件	SAŝ	条件	既上認に おける	施設時の		同等性	評価
1750 fiit ⁻² 13	or 新設	する施設 の規定が あるか	アップ の有無	^{旭設内} 機器 クラス		SA クラス	*FF アップ の有無	圧力 (MPa)	温度 (℃)	圧力 (MPa)	温度 (℃)	評価結果 の有無	適用規格	評価区分	区分	クラス

目 次

1.	クラス2弁	• •	•••		•••	 	•	•	 •	•••	• •	• •	•••	•	•••	•	•••	•••	•	•••	• •	•	• •	 • •	•	•••	• •	• •	•	•••	• •	•	•••	• •	•	• •	•
1.1	設計仕様	• •	••	••	•••	 	•	•	 •	• •		•••	•••	•	•••	•		•••	•	•••	• •	•		 • •	•	•••	• •	• •	•	•••	• •	•	••	• •		• •	•
1.2	強度計算書	ŀ	• •		•••	 		•	 •			•••		• •		•		• •	•			•		 	•				•		• •	••		• •	•	• •	•

1. クラス2弁

1.1 設計仕様

系統:

機器	の区分		クラス2弁							
台来旦	括粘	呼び径	び径 材料							
开留 万	不里 決只	(A)	弁箱	弁ふた	ボルト					

1.2 強度計算書

系統:	弁番号	シート	

設計条件			ネック部	の厚さ	
最高使用圧力 F	₽ (MPa)		d n	(mm)	
最高使用温度7	Γ _m (°C)		d n/d	l _m	
弁箱又は弁ふた	この厚さ		Q	(mm)	
弁箱材料			t _{m1}	(mm)	
弁ふた材料			t $_{m2}$	(mm)	
P 1	(MPa)		t _{ma1}	(mm)	
P ₂	(MPa)		t _{ma2}	(mm)	
d m	(mm)				
t 1	(mm)		評価:	$t_{ma1} \geqq t$	m 1
t 2	(mm)			$t_{ma2}\!\geqq t$	m 2
t	(mm)			よ	って十分である。
t a b	(mm)				
t _{a f}	(mm)				
評価: t _{ab} ≧	t				
t af≧	≧ t				
		よって十分である。			

K7 ① V-3-2-5 別紙 R1

系統:			弁番号	シート
フランジ及びフランジボルトの応力解析				
設計条件		モーメント	の計算	
P _{FD} (MPa)		H _D	(N)	×10
P _{eq} (MPa)		h _D	(mm)	
Т _т (°С)		M _D	(N•mm)	×10
M _e (N·mm)	$ imes 10^{6}$	H _G	(N)	×10
F _e (N)		h _G	(mm)	
フランジの形式		M_{G}	(N•mm)	$\times 10$
フランジ		Нт	(N)	×10
材料		h _T	(mm)	
σ _{fa} (MPa)		M _T	(N·mm)	$\times 10$
常温(ガスケット締付時) (20℃)		${ m M}_{ m o}$	(N•mm)	×10
σ _{fb} (MPa)		$M_{\rm g}$	(N·mm)	$\times 10$
最高使用温度 (使用状態)		フランジの	享さと係数	
A (mm)		t	(mm)	
B (mm)		K		
C (mm)		h _o	(mm)	
g ₀ (mm)		f		
g 1 (mm)		F		
h (mm)		V		
ボルト		е	(mm^{-1})	
材料		d	(mm^3)	
σ_{a} (MPa)		L		
常温(ガスケット締付時)(20℃)		Т		
g h (MPa)		U		
最高使用温度(使用状態)		Y		
n		Ζ		
d _b (mm)		応力の計算		
ガスケット		σно	(MPa)	
材料		σ _{Ro}	(MPa)	
ガスケット厚さ (mm)		σ _{Το}	(MPa)	
G (mm)		σ Hg	(MPa)	
m		σ _{Rg}	(MPa)	
y (N/mm ²)		σтg	(MPa)	
b _o (mm)				
b (mm)		応力の詞	評価: σ н₀≦1.5・ σ ք ь	
N (mm)			$\sigma_{\rm Ro} \leq 1.5 \cdot \sigma_{\rm fb}$	
G _s (mm)			σ T o $\leq 1.5 \cdot \sigma$ f b	
ボルトの計算				
H (N)	$ imes 10^{6}$		σ Hg \leq 1.5 • σ fa	

K7 ① V-3-2-5 別紙 R1E

H	(N)	$\times 10^5$	$\sigma_{\rm Rg} \leq 1.5 \cdot \sigma_{\rm fa}$
W _{m 1}	(N)	$\times 10^{6}$	σ _{Tg} ≦1.5 • σ _{fa}
W_{m2}	(N)	$ imes 10^5$	
A_{m1}	(mm^2)	$ imes 10^3$	よって十分である。
A_{m2}	(mm^2)	$ imes 10^3$	
A_m	(mm^2)	$ imes 10^3$	
A_{b}	(mm^2)	$ imes 10^4$	
W o	(N)	$ imes 10^{6}$	
W s	(N)	$ imes 10^{6}$	
評価:A	$A_{\rm m} < A_{\rm b}$		
		よって十分である。	

V-3-2-6 クラス3容器の強度計算方法

目 次

1. –	-般事項	1
1.1	概要 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••	1
1.2	適用規格及び基準とその適合性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	1
1.3	強度計算書の構成とその見方 ・・・・・	1
1.4	計算精度と数値の丸め方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	3
1.5	材料の表示方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	4
2. ク	↑ラス3容器の強度計算方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5
2.1	共通記号 •••••••	5
2.2	開放タンクの構造及び強度・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6
2.2	2.1 開放タンクの胴の計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6
2.2	2.2 開放タンクの底板の計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
2.2	2.3 開放タンクの管台の計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	9
2.2	2.4 開放タンクの胴の穴の補強計算 ・・・・・ 1	0
別紙	クラス3容器の強度計算書フォーマット	

- 1. 一般事項
- 1.1 概要

本資料は、V-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」に基づき、クラス3容 器が十分な強度を有することを確認するための方法を説明するものである。

1.2 適用規格及び基準との適合性

クラス3容器の強度計算は,昭和55年通商産業省告示第501号「発電用原子力 設備に関する構造等の技術基準」(以下「告示第501号」という。)又は発電用原子 力設備規格(設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))JSME S NC 1-2005/2007)(日本機械学会 2007年9月)(以下「設計・建設規格」という。)に より行う。

また,消火設備用ボンベ及び消火器については, V-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」に示すとおり,高圧ガス保安法又は消防法に適合したものを使用する こととする。

告示第501号と設計・建設規格の比較に基づく,告示第501号各条項又は設計・ 建設規格各規格番号と強度計算書との対応は,表1-1に示すとおりである。

- 1.3 強度計算書の構成とその見方
 - (1) 強度計算書は、本書と各容器の強度計算書からなる。
 - (2) 各容器の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているので、本書によるものとする。

告示第501号 条項	強度計算書の計算式	
設計·建設規格 規格番号	(章節番号)	加不
第 40 号		
(開放タンクについての規定)		
第2項	2.2.1	開放タンクの胴の計算
PVD-3000		
(開放タンクについての規定)		
PVD-3010	2.2.1	開放タンクの胴の計算
(PVC-3920 準用)		
PVD-3010	2.2.4	開放タンクの胴の穴の補
(PVC-3950 準用)		強計算
PVD-3010	2.2.2	開放タンクの底板の計算
(PVC-3960, PVC-3970 準用)		
PVD-3010	2.2.3	開放タンクの管台の計算
(PVC-3980 準用)		

表1-1 告示第501号各条項又は設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

1.4 計算精度と数値の丸め方

表示する数値の丸め方は表 1-2 に示すとおりとする。

	数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
温	度	°C	—	—	整数位
許	容応力*1	MPa	小数点以下第1位	切り捨て	整数位
長	下記以外の長さ	mm m ^{*2}	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第3位	切り上げ	小数点以下第2位
	最小厚 さ	mm	小数点以下第3位	切り捨て	小数点以下第2位
さ	開放タンクの水頭 及び管台の内径	m	小数点以下第5位	四捨五入	小数点以下第4位
比	重	_	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位

表 1-2 表示する数値の丸め方

注記 *1: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 及び設計降伏点は、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。ただし、許容引張応力及び設計降伏点が設計・建設規 格 付録材料図表に定められた値のa倍である場合は次のようにして定める。

> (1) 比例法により補間した値の小数点以下第2位を切り捨て,小数点以下第1 位までの値をa倍する。

> (2) (1)で得られ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。 また,告示別表に記載された許容引張応力及び設計降伏点は,各温度の値をSI 単位に換算し,SI単位に換算した値の小数点以下第1位を四捨五入して,整数 位までの値とする。その後,設計・建設規格と同様の換算と桁処理を行う。

*2:開放タンクの胴内径

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。
 - 設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている 場合は、次のように表示する。

相当材記号 相当(当該材記号)

- (例1) SM400A 相当 (SMA400AP)
- (例2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11C1.1)
- (2) 管材の許容引張応力の値は継目無管,電気抵抗溶接管及び鍛接管等,製造方法により異なる場合があるため材料記号の後に"-"を入れ,その製法による記号を付記して表示する。

(例) STPT410-S (継目無管の場合)

(3) 強度区分により許容引張応力が異なる場合,材料記号の後にJISで定める強度区分を付記して表示する。

(例)

	設計・建設規格の表示	計算書の表示			
CONVO	∫付録材料図表 Part5 表5	COMV2 1			
SCMV3	しの許容引張応力の上段	SCMV3-1			
CONVO	∫ 付録材料図表 Part5 表5)	COMV2 2			
SCMV3	の許容引張応力の下段	5CMV 3-2			

(4) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合,材料記号の 後に該当する厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) S45C(直径40mm以下)

(5) 熱処理によって許容引張応力の値が異なる場合,材料記号の後にJISに定める熱処理記号を付記して表示する。

(例) SUS630 H1075 (固溶化熱処理後570~590℃空冷の場合)

- (6) ガスケット材料で非石綿の場合の表示は以下とする。
 - (例)非石綿ジョイントシート
 渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)
 平形金属被覆ガスケット(非石綿板)(ステンレス鋼)

なお,この場合のガスケット係数m及びガスケットの最小設計締付圧力yは,

JIS B 8265 附属書3 表2 備考3より,ガスケットメーカ推奨値 を適用する。 2. クラス3容器の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス3容器の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

クラス3容器の強度計算において、特定の計算に限定せず、一般的に使用する記号を共通記 号として次に掲げる。

告示第501号			l
又は設計・建設	計算書の表示	表示内容	単位
規格の記号			l
Р	Р	最高使用圧力	MPa
η	η	継手の効率	—
		クラス3容器については設計・建設規格	1
		PVD-3110に規定している継手の種類に応じ	1
		た効率を使用する。	
	継手の種類		
	継手無し	同左	—
	突合せ両側溶接	同左	—
	放射線検査の有無		
	有り	発電用原子力設備規格(溶接規格 JSM	—
		E S N B 1 -2001) (日本機械学会	
		2001 年 2 月)N-3140 及び N-4140(N-	1
		1100(1)a. 準用) の規定に準じて放射線透過	
		試験を行い、同規格の規定に適合するもの	
	無し	その他のもの	_

なお、以下に示す記号のうち、各計算において説明しているものはそれに従う。

- 2.2 開放タンクの構造及び強度
 - 2.2.1 開放タンクの胴の計算

ろ過水タンクについては告示第40条第2項及び設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)を適用する。

告示第501号			
又は設計・建設規	計算書の表示	表示内容	単位
格の記号			
D i	D i	胴の内径	m
Н	Н	水頭	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
		告示第501号別表第6又は別表第7,設	
		計・建設規格付録材料図表 Part5 表 5 又	
		は表6による。	
	t	胴に必要な厚さ	mm
	t 1	胴の規格上必要な最小厚さ	mm
t	t 2	胴の計算上必要な厚さ	mm
	tз	胴の内径に応じた必要厚さ	mm
	t s	胴の最小厚さ (呼び厚さ-JIS 公差) 又は胴	mm
		の実際の厚さ(検査記録)	
	t s o	胴の呼び厚さ	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし 1.00 未満の場合は	—
		1.00とする。	

記号の説明

(2) 算式

開放タンクの胴に必要な厚さは、次に掲げる値のうちいずれか大きい値とする。

- a. 規格上必要な最小厚さ:t1 炭素鋼鋼板又は低合金鋼鋼板で作られた場合は3mm,その他の材料で作られた場合は 1.5mm とする。
- b. 胴の計算上必要な厚さ:t2

 $t_{2} = \frac{D_{i} \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$

c. 胴の内径に応じた必要厚さ:t³
 胴の内径が 5m を超えるものについては,胴の内径の区分に応じ設計・建設規格 表
 PVC-3920-1 より求めた胴の厚さとする。

(3) 評価
 胴の最小厚さ(ts) ≧胴に必要な厚さ(t)ならば十分である。

2.2.2 開放タンクの底板の計算

ろ過水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960 及び PVC-3970 準用)を 適用する。

(1) 記号の説明

「設計・建設規格」の記号	計算書の表示	表示内容	単位
	t	底板の規格上必要な厚さ	mm
	tь	底板の最小厚さ	mm
	t b o	底板の呼び厚さ	mm

(2) 形状

a. 平板

(3) 算式

開放タンクの底板に必要な厚さは次によるものとする。

- a. 地面,基礎等に直接接触するものの厚さ:t
 「設計・建設規格」PVC-3970 により 6mm 以上とする。
- (4) 評価

底板の最小厚さ(tb)≧底板の規格上必要な厚さ(t)ならば十分である。

- 2.2.3 開放タンクの管台の計算 ろ過水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)を適用する。
 - 記号の説明

「設計・建設規格」の記号	計算書の表示	表示内容	単位
D i	D i	管台の内径*	m
Н	Н	水頭	m
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5	
		又は表6による。	
	t	管台に必要な厚さ	mm
t	t 1	管台の計算上必要な厚さ	mm
	t 2	管台の規格上必要な最小厚さ	mm
	t n	管台の最小厚さ	mm
	t n o	管台の呼び厚さ*	mm
ρ	ρ	液体の比重。ただし 1.00 未満の場合は	—
		1.00とする。	





- 注:本図は、管台の内径及び呼び厚さの寸法を説明するものであり、管台の取付け形式を 示すものではない。
- (2) 算式

開放タンクの管台に必要な厚さは、次に掲げる値のうち、いずれか大きい値とする。 a. 管台の計算上必要な厚さ: t₁

$$t_{1} = \frac{D_{i} \cdot H \cdot \rho}{0.204 \cdot S \cdot \eta}$$

- b. 規格上必要な最小厚さ:t²
 管台の外径に応じ設計・建設規格 表 PVC-3980-1 より求めた管台の厚さとする。
- (3) 評価
 管台の最小厚さ(tn) ≧管台に必要な厚さ(t)ならば十分である。

2.2.4 開放タンクの胴の穴の補強計算

ろ過水タンクについては設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3950 準用)を適用する。

「設計・建設	乳質書のまデ	志子内公	用任
規格」の記号	前昇音の衣小	云小的谷 	中世
А	А	補強に有効な断面積	mm^2
η	η	継手の効率	—
t s	t s	胴の厚さ	mm
t s r	tsr	胴の計算上必要な厚さ	mm
t n	t n	管台壁の厚さ	mm
d	d	断面に現れる穴の径	mm
F	F	図 PVC-3161.2-1 により求めた値	—
t n r	t n r	管台の計算上必要な厚さ	mm
D i	D i	管台の内径	mm
Р	Р	最高使用圧力	MPa
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 又	
		は表6による。	
A r	A r	補強に必要な断面積	mm^2

(1) 記号の説明

(2) 算式

開放タンクの穴の補強に有効な断面積は,次のa,b,cに規定する断面積の和とする。 a. 次の2つの計算式により求めた断面積のうちいずれか大きいもの

 $A_1 = (\eta t_s - F t_{sr}) d$ $A_1 = 2(\eta t_s - F t_{sr})(t_s + t_n)$

b. 管台がある場合は,管台のうち次の計算式により計算した値を超える部分の断面積 および当該管台のフランジ,または強め材の断面積

$$t_{n r} = \frac{P \cdot D_{i}}{2 \cdot S - 1.2 \cdot P}$$

c. 管台,管台のフランジまたは強め材を溶接により取り付ける場合におけるすみ肉部の 断面積

補強に必要な断面積は、次の計算式により計算した値に等しい断面積とする。

 $A_r = d \cdot t_{sr} \cdot F$

(3) 評価
 補強に有効な断面積(A) ≧補強に必要な断面積(Ar)ならば十分である。

別紙 クラス3容器の強度計算書フォーマット

V-3-*-*-*-* ○○○の強度計算書

まえがき

本計算書は、V-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」及びV-3-2-6「クラス3容器の強 度計算方法」に基づいて計算を行う。

なお、V-3-2-1「強度計算方法の概要」に基づき、火災防護設備用水源タンクについては評価条 件整理表は不要とする。

次

1. 言	H算条件·····
1.1	計算部位 ••••••••••••••••••••••••••••••••••••
1.2	設計条件·····
2. 剪	魚度計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.1	〇〇〇〇〇〇〇の強度計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
2.2	△△△△△△△の強度計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・

- 1. 計算条件
- 1.1 計算部位

概要図に強度計算箇所を示す。



図中の番号は次ページ以降の 計算項目番号を示す。

図 1-1 概要図

1.2 設計条件

表 1-1 設計条件

最高使用圧力	(MPa)	静水頭
最高使用温度	(°C)	

2. 強度計算

- 2.1 開放タンクの強度計算
 - 2.1.1 開放タンクの胴の厚さの計算

告示第40条第2項及び設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3920 準用)

胴板名称			
材料			
水頭	Н	(m)	
最高使用温度		(°C)	
胴の内径	D i	(m)	
液体の比重	ρ	(-)	
許容引張応力	S	(MPa)	
継手効率	η	(-)	
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t 1	(mm)	
必要厚さ	t 2	(mm)	
必要厚さ	tз	(mm)	
tı, t₂, t₃の大きい値	t	(mm)	
呼び厚さ	t s o	(mm)	
最小厚さ(tso-JIS 公差)	t s	(mm)	
又は実際の厚さ (検査記録)			
評価: t s≧ t,よって十分であ	る。		

2.1.2 開放タンクの底板の厚さの計算

(1) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3960 準用)

底板の形状

(2) 設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3970 準用)

底板名称			
材料			
必要厚さ	t	(mm)	
呼び厚さ	t b o	(mm)	
最小厚さ	tь	(mm)	
評価 : t b≧ t,	,よって十分で	ぎある。	

2.1.3 開放タンクの管台の厚さの計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3980 準用)

2.1.3.1 側マンホール

管台名称			
材料			
水頭	Н	(m)	
最高使用温度		(°C)	
管台の内径	Di	(m)	
液体の比重	ρ	(-)	
許容引張応力	S	(MPa)	
継手効率	η	(-)	
継手の種類			
放射線検査の有無			
必要厚さ	t 1	(mm)	
必要厚さ	t 2	(mm)	
t ₁ , t ₂ の大きい値	t	(mm)	
呼び厚さ	tno	(mm)	
最小厚さ	t n	(mm)	
評価: $t_n \ge t$,よって十分である。			

2.1.4 開放タンクの胴の穴の補強計算

設計・建設規格 PVD-3010 (PVC-3950 準用)

2.	1.	4.	1	側マンホール
<i>–</i> .	.	T •	T	

管台名称			
胴の厚さ	t s	(mm)	
胴の計算上必要な厚さ	tsr	(mm)	
管台壁の厚さ	t n	(mm)	
断面に現れる穴の径	d	(mm)	
継手効率	η	(-)	
Fの値	F	(-)	
補強に有効な断面積	A_1	(mm^2)	
最高使用圧力	Р	(MPa)	
管台の内径	D i	(mm)	
許容引張応力	S	(MPa)	
管台の計算上必要な厚さ	t n r	(mm)	
管台、強め材およびすみ肉部	A_2	(mm^2)	
の断面積			
補強に有効な面積(A1+A2)	А	(mm^2)	
補強に必要な面積	A r	(mm^2)	
評価 : A≧Ar,よって十分であ	る。		

V-3-2-7 クラス3管の強度計算方法

1. —	·般事項 ·····	1
1.1	概要	1
1.2	適用規格及び基準との適合性	1
1.3	強度計算書の構成とその見方 ・・・・・・	4
1.4	計算精度と数値の丸め方 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	5
1.5	材料の表示方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	6
1.6	概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	7
2. ク	'ラス3管の強度計算方法 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	8
2.1	共通記号	8
2.2	管の板厚計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	9
2.3	平板の強度計算・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	11
2.4	鏡板の強度計算	22
2.5	レジューサの強度計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	25
2.6	管の穴と補強計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	28
2.7	フランジの強度計算 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	53
2.8	伸縮継手の強度計算	68

- 別紙1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領
- 別紙2 基本板厚計算書のフォーマット

- 1. 一般事項
- 1.1 概要

本書は、V-3-1-4「クラス3機器の強度計算の基本方針」に基づき、発電用原子力設備のう ちクラス3管の基本板厚計算書(以下「強度計算書」という。)について説明するものである。

- 1.2 適用規格及び基準との適合性
 - (1) 強度計算は、昭和55年通商産業省告示第501号「発電用原子力設備に関する構造等の技術基準」(以下「告示第501号」という。)又は発電用原子力設備規格(設計・建設規格(2005年版(2007年追補版含む。))JSME S NC1-2005/2007)(日本機械学会 2007年9月)(以下「設計・建設規格」という。)により行う。

告示第501号と設計・建設規格の比較に基づく,告示第501号各条項及び設計・建設 規格各規格番号と強度計算書との対応は,表1-1に示すとおりである。

(2) 告示第501号又は設計・建設規格に計算式の規定がないものについては他の規格及び基準を適用して行う。

日本工業規格(以下「JIS」という。)と強度計算書との対応は,表1-2に示すとおり である。

- (3) 強度計算書で計算するもの以外の管継手は、以下に掲げる規格(形状及び寸法に関する部 分に限る。)又は設計・建設規格 別表4に掲げるものとし、接続配管のスケジュール番号と 同等以上のものを使用する。(設計・建設規格 PPD-3415)
 - a. JIS B 2301 (2001) 「ねじ込み式可鍛鋳鉄製管継手」
 - b. JIS B 2302 (1998) 「ねじ込み式鋼管製管継手」
 - c. JIS B 2303 (1995) 「ねじ込み式排水管継手」
 - d. JIS B 2311 (2001) 「一般配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
 - e. J I S B 2312 (2001) 「配管用鋼製突合せ溶接式管継手」
 - f. JIS B 2313 (2001) 「配管用鋼板製突合せ溶接式管継手」
 - g. JIS B 2316 (1997) 「配管用鋼製差込み溶接式管継手」
 - h. JIS G 3451 (1987) 「水輸送用塗覆装鋼管の異形管」
 - i. JIS G 5527 (1998) 「ダクタイル鋳鉄異形管」
- (4) 強度計算書で計算するもの以外のフランジ継手については、以下に掲げる規格(材料に関する部分を除く。)又は設計・建設規格 別表2に掲げるものを使用する。(設計・建設規格 PPD-3414)

a.	JIS	В	2238	(1996)	「鋼製管フランジ通則」
b.	JIS	В	$2\ 2\ 3\ 9$	(1996)	「鋳鉄製管フランジ通則」
с.	JIS	В	8210	(1994)	「蒸気用及びガス用ばね安全弁」

R1

(5) 管の接続

管と管を接続する場合は、設計・建設規格 PPD-3430により溶接継手、フランジ継手、ね じ込み継手又は機械的継手(メカニカルジョイント、ビクトリックジョイント等であって当 該継手が十分な強度を有する機械的な締付けにより行われ、かつ、漏えいを防止する方法に よるものに限る。)とする。ただし、継手部に著しい配管反力が生じる場合は、ねじ込み継 手又は機械的継手としない。

告示第501号 各条項	強度計算書の計算式	備 考
設計・建設規格 規格番号	(章節番号)	
PPD-3411(直管)	2.2	管の板厚計算
	2.4	鏡板の強度計算(フランジ部)
	2.5	レジューサの強度計算(フランジ
		音(3)
PPD-3411(1)		
PPD-3411(2)		
PPD-3411(3)		
PPD-3412(曲げ管)		
PPD-3411(直管)を準用する。		
PPD-3413 (平板)	2.3	平板の強度計算
PPD-3414(フランジ)	2.7	フランジの強度計算
PPD-3414(1)		(1.2(4) フランジ継手)
PPD-3414(2)		
PPD-3414(3)		
 PPD-3415(管継手)		1.2(3)管継手
PPD-3415(1)		
 PPD-3415.1(レジューサ)	2.5	レジューサの強度計算
PPD-3415.1(1)		
PPD-3415.1(2)		
PPD-3415 + 1(3)		
110 0110.1(0)		
進用		
- ⁻		レジューサの強度計算(円すい及び)
すい形の胴の厚さ)		オその丸みの部分(外面に圧力を受
9 V 117071110717-C)		うての方のの前方()下面に圧力を文

表1-1 告示第501号各条項又は設計・建設規格各規格番号と強度計算書との対応

告示第501号 各条項	強度計算書の計算式	一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一		
設計・建設規格 規格番号	(章節番号)	1 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一 一		
PPD-3415.2(鏡板)	2.4	鏡板の強度計算		
PPD-3415.2(1)				
PPD-3415.2(2)				
第64条第7項	2.8	伸縮継手の強度計算		
PPD-3416(伸縮継手)				
PPD-3420(穴と補強)	2.6	管の穴と補強計算		
PPD-3421				
PPD-3422				
PPD-3423				
PPD-3424				
PPD-3422(3)	2.3	平板の強度計算		

表1-2 JISと強度計算書との対応

JIS		強度計算書の計算式	/#: +*	
No.	項	(章節番号)	佣 考	
JIS B 8265 (2003) 「圧	2	2.7	フランジの強度計算*	
力容器の構造-一般事項」	3			
附属書3(規定)「圧力容器のボル	4			
ト締めフランジ」	5			

- 注記*:設計・建設規格 PPC-3414(2)によりJIS B 8265 (2003) 「圧力容器の構造–
 一般事項」(以下「JIS B 8265」という。)の附属書3(規定)「圧力容器の
 ボルト締めフランジ」を用いて計算を行う。
- 1.3 強度計算書の構成とその見方
 - (1) 強度計算書は、本書と各配管の強度計算書からなる。
 - (2) 各配管の強度計算書では、記号の説明及び計算式を省略しているので、本書によるものとする。
 - (3) 各配管の強度計算書において、NO.の番号は概略系統図の丸で囲んだ番号を表す。
1.4 計算精度と数値の丸め方

計算の精度は6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表1-3に示すとおりとする。

	数値の種類	単 位	処理桁	処理方法	表 示 桁
1	下記以外の圧力	MPa	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
上	最高使用圧力	MPa		_	小数点以下第2位
力	外面に受ける最高 の圧力	MPa			小数点以下第2位*1
温度		°C			整数位
許容	F応力*2	MPa	小数点以下第1位	切捨て	整数位
算出応力		MPa	小数点以下第1位	切上げ	整数位
	下記以外の長さ	mm	小数点以下第3位	四捨五入	小数点以下第2位
長	計算上必要な厚さ	mm	小数点以下第3位	切上げ	小数点以下第2位
	最小厚さ	mm	小数点以下第3位	切捨て	小数点以下第2位
さ	ボルト谷径	mm			小数点以下第3位
	ガスケット厚さ	mm		_	小数点以下第1位
面積		mm^2	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
力		Ν	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
モーメント		N•mm	有効数字5桁目	四捨五入	有効数字4桁*3
角度		0	小数点以下第2位 (小数点以下第1位)*4	四捨五入	小数点以下第1位 (整数位)*4

表1-3 表示する数値の丸め方

注記*1:必要に応じて小数点以下第3位を用いる。

- *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及び設計 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:絶対値が1000以上のときは、べき数表示とする。
- *4:管の穴と補強計算の主管と分岐管とのなす角度に用いる。

1.5 材料の表示方法

材料は次に従い表示するものとする。

- (1) 設計・建設規格に定める材料記号を原則とする。
 - 設計・建設規格に記載されていないが設計・建設規格に相当材が記載されている場合は, 次のように表示する。
 - 相当材記号 相当(当該材記号)
 - (例1) SM400A 相当 (SMA400AP)
 - (例2) SCMV3-1 相当 (ASME SA387 Gr. 11Cl. 1)
- (2) 管の強度計算書において管の製造方法の区別を表示するので、材料表示としては、製造方 法の区別を特に表示しない。

(継目無管:S, 溶接管:₩)

(3) 強度区分により許容引張応力の値が異なる場合,材料記号の後にJISで定める強度区分 を付記する。

(例)

設計	・建設規格の表示	計算書の表示	
	(付録材料図表)		
SCMV3	Part5 表5の許容	SCMV3-1	
	く引張応力の上段 /		
	(付録材料図表)		
SCMV3	Part5 表5の許容	SCMV3-2	
	↓引張応力の下段 /		

(4) 使用する厚さ又は径等によって許容引張応力の値が異なる場合,材料記号の後に該当する 厚さ又は径等の範囲を付記して表示する。

(例) SS400 (16mm<径≦40mm)

(5) ガスケット材料で非石綿の場合の表示は、各計算「記号の説明」の「計算書の表示」による。

(例) NON-ASBESTOS

なお、この場合のガスケット係数(m)及びガスケットの最小設計締付圧力(y)は、

JIS B 8265 附属書3 表2 備考3によりガスケットメーカ推奨値を適用する。

- 1.6 概略系統図の管継手及び仕様変更点の表示方法
 - (1) 管継手の表示方法
 概略系統図において、計算対象となる管と管継手の区別をするために管継手のみの管番号
 に"*"を付け、概略系統図中に"注記*:管継手"と表示する。
 - (2) 管の仕様変更点の表示方法
 概略系統図中,管の途中において仕様変更が生じた場合は" —●— "のように表示する。

2. クラス3管の強度計算方法

発電用原子力設備のうちクラス3管の強度計算に用いる計算式と記号を以下に定める。

2.1 共通記号

特定の計算に限定せず,一般的に使用する記号を共通記号として次に掲げる。 なお,以下に示す記号のうち,各計算において説明しているものはそれに従う。

設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	NO.	管,平板,鏡板,レジューサ,管の穴,フラン	
		ジ及び伸縮継手等の番号	
		数字のみ:管	
		B:平板	
		C:鏡板	
		R:レジューサ	
		T : 管の穴	
		F:フランジ	
		E:伸縮継手	
		S P : 穴あき管	
Р	Р	最高使用圧力 (内圧)	MPa
Ре	P e	外面に受ける最高の圧力	MPa
	Q	厚さの負の許容差	%, mm
η	η	継手の効率	_
		管及び鏡板は設計・建設規格 PVD-3110による。	
		レジューサは設計・建設規格 PVC-3130による。	

2.2 管の板厚計算

管の板厚計算は,設計・建設規格 PPD-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設	14首まの主二	志 子 内 穷	出 合
規格の記号	司 昇音の衣不		₽ 1⊻
В	В	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数	_
		設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1~図	
		20により求めた値(Bを求める際に使用した板の	
		厚さは繰返し計算により最終的に topとなる。)	
D ₀	Dо	管の外径	mm
ℓ	l	管の座屈の長さ	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5によ	
		る。	
t	t	管の計算上必要な厚さ	mm
t	tор	管の計算上必要な厚さ	mm
	t r	管に必要な厚さ	mm
	t s	管の最小厚さ	mm
	t t	炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ	mm
	算 式	trとして用いる値の算式	—
	製 法		—
	S	継目無管	
	W	溶接管	

(2) 算式

管に必要な厚さは、次に掲げる値のいずれか大きい方の値とする。

a. 内面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPD-3411(1)の式より求めた値: t

$$t = \frac{P \cdot D_{\circ}}{2 \cdot S \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$
(A)

b. 外面に圧力を受ける管

設計・建設規格 PPD-3411(2)の図PPD-3411-1より求めた値。ただし、図から求められな い場合は次の式より求めた値: t o p

$$t \circ p = \frac{3 \cdot P \cdot D \circ}{4 \cdot B}$$
 (B)

c. 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ:t t

(3) 評価

t,top又はttOいずれか大きい方の値をtrとする。

管の最小厚さ(ts) ≧管に必要な厚さ(tr)ならば強度は十分である。

- (4) 補足
 - a. 計算書中,算式の項の文字は(2)a項,b項及びc項の文字A,B及びCに対応する。
 - b. 曲げ管は,管に必要な厚さが確保されている場合は,直管と同等に考えるものとし,表示はしないものとする。

2.3 平板の強度計算

平板の強度計算は,設計・建設規格 PPD-3413及び設計・建設規格 PPD-3422(3)を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
A b	A b	実際に使用するボルトの総有効断面積	mm^2
Am	Am	ボルトの総有効断面積	mm^2
Am_1	A m 1	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
Am_2	Am_2	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b o	bо	ガスケット座の基本幅(JIS B 8265	mm
		附属書3 表3による。)	
С	С	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	設計・建設規格の表PPD-3413-1に規定する方法	mm
		によって測った平板の径又は最小内のり	
d b	dь	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の	mm
		小さい方の径	
	d h	穴の径	mm
F	F	全体のボルトに作用する力	Ν
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G s	ガスケット接触面の外径	mm
Н	Н	内圧によってフランジに加わる全荷重	Ν
Н _Р	Н _Р	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接	Ν
		触面に加える圧縮力	
h g	h g	ボルトのピッチ円の直径とdとの差の2分の1	mm
К	К	平板の取付け方法による係数	
l	ℓ	フランジの長さ	mm
m	m	tr⁄ts	
m	m g	ガスケット係数(JIS B 8265 附属	
		書3 表2による。)	
Ν	Ν	ガスケットの接触面の幅(JIS B 8265	mm
		附属書3 表3による。)	
n	n	ボルトの本数	_
r	r	すみの丸みの内半径	mm

設計·建設規			
格又は JISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
σa	S a	常温におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に	
		よる。	
σb	Ѕь	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に	
		よる。	
	S x	ボルトの許容引張応力(Sa又はSbのいずれか	MPa
		小さい方の値)	
	S $_1$	最高使用温度におけるねじ込み輪,分割リング	MPa
		等の機械的装置の材料の許容引張応力	
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又	
		は表6による。	
t	t	平板の計算上必要な厚さ	mm
t c	t c	平板のすみ肉ののど厚	mm
tf, t	t f	平板のフランジ部の厚さ	mm
t w	t i	平板ののど厚	mm
t n	t n	ガスケット溝を考慮した平板の厚さ	mm
t	t p	平板の最小厚さ	mm
	tро	平板の呼び厚さ	mm
t s	t s	管の最小厚さ	mm
t r	t r	継目のない管の計算上必要な厚さ	mm
tw, tw1	t w	平板の溶接部の深さ	mm
t w 2	t w 2	平板の溶接部の長さ	mm
W	W	パッキンの外径又は平板の接触面の外径内の面	Ν
		積に作用する全圧力	
Wg	Wg	ガスケット締付時のボルト荷重	Ν
$W_{m \ 1}$	Wm 1	使用状態での必要な最小ボルト荷重	Ν
$W_{m \ 2}$	$W_{m\ 2}$	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	Ν
Wo	W o	使用状態でのボルト荷重	Ν
У	У	ガスケットの最小設計締付圧力	N/mm^2
		(JIS B 8265 附属書3 表2によ)	
		る。)	

設計・建設規 格又は JISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
π	π	円周率	—
	σр	平板に作用する力によって生じる応力	MPa
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-ASBES	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス	—
	TOS	錮)	
	ガスケット座	JIS B 8265 附属書3 表2による。	—
	面の形状		
	平板の取付け	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPD-3413	—
	方法	の表PPD-3413-1による。	
$(a) \sim (o)$	3A~30	取付け方法の表示区分	

(2) 形状の制限





	取付け方法	形状の制限
(j)	tc tc tc tc tc tc tc tc tc tc tc tc	 (1) 平板が鍛造品で、かつ、平板の面からの開先角度 が45°未満の場合 tw≧Min(0.5・ts,0.25・tp)かつ、 tc≧Min(0.7・ts,6mm)であること。 (2) (1)以外の場合 tw≧Min(ts,0.5・tp)かつ、 tc≧Min(0.7・ts,6mm)であること。
(k)	t c t c t c t s d	t c ≧Min (0.7・t s, 6mm) であること。
(l)	$tw+ tw2 \ge 2 \cdot ts$	t w+t w 2≧2・t s であること。

	取付け方法	形	状	の	制	限
(m)		無し				
(n)	r≧3.tf	$0.8 \cdot S_x \ge \sigma_p$, r≧3	• t f	である	こと。
(0)	その他の場合	無し				

(3) 算式

平板の計算上必要な厚さは、次の式による値とする。

a. 平板に穴がない場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

Kの値は以下による。

取付け方法	K の 値
(a)	0. 17
(b)	0. 13
(c)	0. 17
(d)	Max $(0.33 \cdot m, 0.2)$ $m = t r / t s$
(e)	0.17^{*1}
	0. 10
(f)	0. 20
(g)	0. 20*2
(h)	Max $(0.33 \cdot m, 0.2)$ $m = t r / t s$
(i)	0. 33
(j)	
(k)	Max $(0.33 \cdot m, 0.2)$ $m = t r / t s$
(ℓ)	
(m)	$0.20 + \frac{1.0 \cdot F \cdot h_g}{W \cdot d}$
	ただし、tnの厚さの場合は
	$1.0 \cdot F \cdot h_g^{*3}$
	W·d
(n)	0. 20
(0)	0. 50

注記*1:取付け方法(e)の場合

t f から t s へ移行するテーパが1対4又はそれより緩やかであり、かつ、以下の (a)又は(b)いずれかの場合、K=0.10とできる。

- (a) $\ell \ge \left(1.1 0.8 \cdot \frac{t_s^2}{t_f^2}\right) \cdot \sqrt{d \cdot t_f}$ の場合
- (b) 管が2・ $\sqrt{d \cdot t_s}$ 以上の長さにわたって $t_s \ge 1.12 \cdot t_f \cdot \sqrt{1.1 - \ell / \sqrt{d \cdot t_f}}$ の場合

注記*2:取付け方法(g)の場合のσpは以下による。

- (a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径
 - ガスケット座の有効幅(b)及びガスケット反力円の直径(G)は,ガス ケット座の基本幅(bo)に従い以下のように求める。
 - b。 $\leq 6.35 \text{ mm}$ の場合 b = b o G = G s - N b o > 6.35 mmの場合 b = 2.52 · $\sqrt{b \text{ o}}$ G = G s - 2 · b ただし, b o は J I S B 8265 附属書3 表3による。 d = G
- (b) 計算上必要なボルト荷重
- イ. 使用状態で必要なボルト荷重
 - $W_{m1} = H + H_P$ $H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$ W = H $H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$ $f_{\pi} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{2} 2\pi \frac{\pi}{4} (1) + 2\pi \frac{\pi}{4} (1)$
 - ただし、Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。
 - ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重
 - $W_{m\,2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$
- (c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{W_{m1}}{S_{b}} \qquad (使用状態)$$

$$A_{m2} = \frac{W_{m2}}{S_{a}} \qquad (ガスケット締付時)$$

$$A_{m} = Max(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{b}^{2} \cdot n$$

- (d) フランジの計算に用いるボルト荷重 W₀=W_{m1} (使用状態) W_g= $\left(\frac{A_m + A_b}{2}\right)$ ・S_a (ガスケット締付時) F=Max(W₀, W_g)
- (e) 平板に作用する力によって生じるボルトの応力 $\sigma_{p} = \frac{F}{A_{b}}$

注記*3:取付け方法(m)の場合のF, hg, W及びdは以下による。

- (a) ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径
 - ガスケット座の有効幅(b)及びガスケット反力円の直径(G)は,ガス ケット座の基本幅(bo)に従い以下のように求める。
 - b $\circ \leq 6.35 \text{ mm} \mathcal{O}$ 場合 b = b \circ G = G $\circ - N$ b $\circ > 6.35 \text{ mm} \mathcal{O}$ 場合 b = 2.52 $\cdot \sqrt{b \circ}$ G = G $\circ - 2 \cdot b$ ただし、b \circ はJIS B 8265 附属書3 表3による。
 - d = G
- (b) 計算上必要なボルト荷重
- イ. 使用状態で必要なボルト荷重

$$W_{m1} = H + H_P$$

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$$

$$W = H$$

$$H_P = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_g \cdot P$$

ただし、Pは2.7項(1)のフランジの強度計算の記号の説明による。

ロ. ガスケット締付時に必要なボルト荷重

$$W_{m\,2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$$

(c) ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m1} = \frac{Wm1}{Sb} \qquad (使用状態)$$

$$A_{m2} = \frac{Wm2}{Sa} \qquad (ガスケット締付時)$$

$$A_{m} = Max(A_{m1}, A_{m2})$$

$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot db^{2} \cdot n$$

(d) フランジの計算に用いるボルト荷重
W_o=W_{m1} (使用状態)
W_g=
$$\left(\frac{Am+Ab}{2}\right)$$
・S_a (ガスケット締付時)
F=Max(W_o, W_g)

(e) 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム h g = $\frac{C-G}{2}$

- b. 平板に穴を設ける場合は,設計・建設規格 PPD-3422(3)により平板の計算上必要な厚さ を,次の式より計算した値とする。
 - (a) 穴の径(dh)が平板の径又は最小内のり(d)の値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし, Kの値は(m)の取付け方法を除き0.375以上とすることを要しない。 (b) 穴の径(dh)が平板の径又は最小内のり(d)の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(4) 評価

平板の最小厚さ(tp) ≧平板の計算上必要な厚さ(t) ならば強度は十分である。

- (5) 補足
 - a. 取付け方法は,設計・建設規格 PPD-3413の表PPD-3413-1の条件を満足するものとする。
 b. スペクタクルフランジの取付け方法は(g)タイプとする。

2.4 鏡板の強度計算

鏡板の強度計算は,設計・建設規格 PPD-3415.2及び設計・建設規格 PPD-3411を適用する。 (1) 記号の説明

設計・建設	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
R俗の記方	D	中言五に「十七年」はて相合の計算に用いて反對	
Б	D	中間面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数 記書・建築相換 仕稿材料図書 Dant 7 図1。	
		取引・建設規格 内球的科因衣 faiti 因1。	
		因20により不めに他 (D た	
		(D C N M O G K C C T C C W M C C C K M O G K C C T C C W M C C C C C C C C C C C C C C C C	
П	D	昇により取べりに t となる。) 半だ田形倍振の内面における 長怒	mm
D D	D .	年に口が現後の計画における民住	IIIII
D_{0}	Do	現版が取り付けられる官のが住 $(フランジョの外径)$	111111
	Dee	(シノンショルの)下住に同じ。)	mm
h	b	とちか現似の不臣 当だ田形鏡板の内面における短径の2分の1	mm
K	K	半だ田形鏡板の形状に上ろ係数	
K	Кк	半だ田形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計	
		算に用いる係数	
		設計・建設規格 PPD-3415.2(2)f.の	
		表PPD-3415.2-1による。	
R	R	さら形鏡板の中央部における内半径又は全半球	mm
		形鏡板の内半径	
R	Rр	さら形又は全半球形鏡板の中央部の外半径	mm
		Rp=R+(最小厚さ)	
R	R R	半だ円形鏡板の外面の長径	mm
		R _R =D+2・ (最小厚さ)	
r	r	さら形鏡板のすみの丸みの内半径	mm
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
t	t	鏡板の鏡部及びフランジ部の計算上必要な厚さ	mm
	t c	鏡板の最小厚さ	mm
	t c o	鏡板の公称厚さ	mm
W	W	さら形鏡板の形状による係数	
	形 式	鏡板の形式及び計算箇所を示す名称	—
	算 式	t として用いる値の算式	

(2) 算式

鏡板の計算上必要な厚さは、次に掲げる値とする。

- a. さら形鏡板鏡部
 - 形状は設計・建設規格 PPD-3415.2(1)a.により以下とする。
 - Doc \geq R
 - $r \geq 3 \cdot t \circ$
 - $r \geq 0.06 \cdot D \circ c$
 - $\rm r ~\geqq~ 50 \rm mm$

設計・建設規格 PPD-3415.2(2)a.の式PPD-1.12又は設計・建設規格 PPD-3415.2(2)b. の式PPD-1.14より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \qquad (A)$$

ただし,

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{R}{r}}\right)$$

(b) 中高面に圧力を受けるもの $t = \frac{P \cdot R D}{B}$ (A')

b. 全半球形鏡板鏡部

設計・建設規格 PPD-3415.2(2)c.の式PPD-1.15又は設計・建設規格 PPD-3415.2(2)d. の式PPD-1.16より求めた値

- (a) 中低面に圧力を受けるもの $t = \frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$ (B)
- (b) 中高面に圧力を受けるもの $t = \frac{P e \cdot R D}{B}$ (B')

c. 半だ円形鏡板鏡部

形状は設計・建設規格 PPD-3415.2(1)c.により以下とする。

 $2 \geq \frac{D}{2 \cdot h}$

設計・建設規格 PPD-3415.2(2)e.の式PPD-1.17又は設計・建設規格 PPD-3415.2(2)f. より求めた値

(a) 中低面に圧力を受けるもの

$$t = \frac{P \cdot D \cdot K}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \dots \qquad (C)$$

ただし,

$$\mathbf{K} = \frac{1}{6} \cdot \left\{ 2 + \left(\frac{\mathbf{D}}{2 \cdot \mathbf{h}} \right)^2 \right\}$$

- (b) 中高面に圧力を受けるもの $t = \frac{P e \cdot K_{K} \cdot R_{R}}{B}$ (C')
- d. 鏡板のフランジ部

設計・建設規格 PPD-3411により求めた値

- (a) 内面に圧力を受ける管 …………………………………………………………(D)
- (b) 外面に圧力を受ける管 (D')
- (3) 評価

鏡板の最小厚さ(t c) ≧鏡部(上段)及びフランジ部(下段)の計算上必要な厚さ(t) ならば強度は十分である。

(4) 補足

計算書中,算式の項の文字は(2)a項,b項,c項及びd項の文字A,A',B,B',C,C', D,D'及びD''に対応する。

2.5 レジューサの強度計算

レジューサの強度計算は,設計・建設規格 PPD-3415.1 (設計・建設規格 PVC-3124.2準用) 及び設計・建設規格 PPD-3411を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設	計管書の主子		畄 凸	
規格の記号	前昇音の衣小		单 位	
В	В	外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数	—	
	設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1~図20			
	により求めた値			
	(Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算			
		により最終的に t ₃となる。)		
D i	D i	円すいの部分がすその丸みの部分に接続する部分	mm	
		の軸に垂直な断面の内径		
D o	D o	レジューサのフランジ部の外径	mm	
	$D \mathrel{\circ} \ell$	大径端側の外径	mm	
Κ	K	設計・建設規格 PPD-3415.1(3)の図PPD-3415.1-1	_	
		より求めた係数		
r, ro, rs	r	円すいのすその丸みの部分の内半径	mm	
		(円すいの丸みの外半径)		
S	S	最高使用温度における材料の許容引張応力	MPa	
Ē		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5又は表		
		6による。		
S	S 1	最高使用温度における設計・建設規格 付録材料図	MPa	
:		表 Part5 表5又は表6に定める値の2倍,又は設		
		計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める		
		値の0.9倍の値のいずれか小さい方の値		
t	t	レジューサの計算上必要な厚さ	mm	
	t 1	円すいの部分の計算上必要な厚さ	mm	
	t 2	すその丸みの部分の計算上必要な厚さ	mm	
	tз	外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さ	mm	
	t s	レジューサの最小厚さ	mm	
	t s l	大径端側の最小厚さ	mm	
W	W	円すいの形状による係数		
heta	θ	円すいの頂角の2分の1	o	
	算 式	t として用いる値の算式(計算上必要な厚さが最大	—	
		となる算式)		
	端部記号	大径端、小径端及びフランジ部を示す名称	—	

(2) 算式

レジューサの計算上必要な厚さは、次に掲げる値とし、大径端側及び小径端側のそれぞれ について計算を行う。

- a. 円すいの部分 (内面に圧力を受けるもの) 設計・建設規格 PPD-3415.1(1)a.の式PPD-1.8より求めた値 $t_{1} = \frac{P \cdot D_{i}}{2 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot \eta - 0.6 \cdot P)}$ (A)
- b. すその丸みの部分(内面に圧力を受けるもの)

大径端側

設計・建設規格 PPD-3415.1(1)b.の式PPD-1.9より求めた値 $t_{0} =$ P・D_i・W

$$z_{2} = \frac{1}{4 \cdot \cos \theta \cdot (S \cdot n - 0 \cdot 1 \cdot P)}$$

ただし,

$$W = \frac{1}{4} \cdot \left(3 + \sqrt{\frac{D i}{2 \cdot r \cdot \cos \theta}} \right)$$

小径端側

ただし、Kは設計・建設規格 PPD-3415.1(3)の図PPD-3415.1-1より求めた値

(B)

c. レジューサのフランジ部

設計・建設規格 PPD-3411により求めた値

- (a) 内面に圧力を受ける管 ………………………………………………………………………(C)
- (b) 外面に圧力を受ける管 (C')
- (c) 炭素鋼鋼管の設計・建設規格上必要な最小厚さ …………(C'')
 (a), (b)又は(c)のいずれか大きい方の値とする。

d. 円すい及びすその丸みの部分(外面に圧力を受けるもの)

設計・建設規格 PVC-3124.2により求める。

- (a) 円すいの頂角の2分の1が22.5°以下のもの
 - イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合 $t_{3} = \frac{3 \cdot P \cdot D \circ}{4 \cdot B}$ (D)

ただし、 Do=Dol, 長さは円すい部の軸方向の長さとする。

中. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合
 次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$t_{3} = \frac{D_{0} \cdot (P_{e} \not B + 0.0833)}{2.167}$$

$$t_{3} = \frac{D_{0}}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_{e}}{S_{1}}}\right)$$
(D')

ただし、Do=Dol,長さは円すい部の軸方向の長さとする。

- (b) 円すいの頂角の2分の1が22.5°を超え60°以下のもの
 - イ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍以下の場合

$$t_{3} = \frac{3 \cdot P_{e} \cdot (D_{o} - 2 \cdot t_{s})}{4 \cdot B} \quad \dots \qquad (D'')$$

ただし、 $D_o = D_o \ell$, $t_s = t_s \ell$, 長さは $(D_o \ell - 2 \cdot t_s \ell)$ とする。

ロ. 外面に圧力を受ける場合の計算上必要な厚さが外径の0.1倍を超える場合

次の2つの式より計算したいずれか大きい方の値

$$t_{3} = \frac{(D_{0} - 2 \cdot t_{s}) \cdot (P_{e} / B + 0.0833)}{2.167}$$

 $t_{3} = \frac{(D_{0} - 2 \cdot t_{s})}{2} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot P_{e}}{S_{1}}}\right)$ (D''')

ただし、 $D_o = D_o \ell$, $t_s = t_s \ell$, 長さは ($D_o \ell - 2 \cdot t_s \ell$) とする。

(3) 評価

大径端側及び小径端側のそれぞれについて、レジューサの最小厚さ(t_s) ≧レジューサの計算上必要な厚さ(t) ならば強度は十分である。

- (4) 補足
 - a. 計算書中, NO. (レジューサの番号) に*印の付いているものは, 偏心レジューサを示 す。
 - b. 偏心レジューサの場合の θ は、円すいの頂角をそのまま使用する。
 - c. 計算書中,算式の項の文字は(2)a項,b項,c項及びd項の文字A,B,C,C',C'',D,D',及びD'''に対応する。

2.6 管の穴と補強計算

管の穴と補強計算は、設計・建設規格 PPD-3420を適用する。

(1) 記号の説明

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位		
	В	B B 外面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数				
			設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1~図20			
			により求めた値			
			(Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算に			
			より最終的にtbr及びtrrとなる。)			
	D	D o r	主管の外径	mm		
	d	d	断面に現われる穴の径	mm		
直	d	d f r	補強を要しない穴の最大径	mm		
管	Κ	Κ	穴の補強計算の係数	_		
又			$\left(= \frac{P \cdot D \circ r}{1}\right)$			
は			$(1.82 \cdot Sr \cdot \eta \cdot tr)$			
曲		Q r	主管の厚さの負の許容差	%, mm		
۲ ۲	S	S r	最高使用温度における主管の材料の許容引張応力	MPa		
() ***			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。			
管	t s	t r	主管の最小厚さ	mm		
Ø		tro	主管の公称厚さ	mm		
記	tsr, tra	trr	主管の計算上必要な厚さ	mm		
号	η	η	継手の効率	—		
			穴が管の長手継手を通る場合			
			穴が鏡板を継ぎ合わせて作る場合の当該継手を通る			
			場合			
			穴が管と全半球形鏡板との接合部の周継手を通る場			
			合			
			設計・建設規格 PVD-3110に規定する効率			
			その他の場合は1.00とする。			

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
	В	В	中高面に圧力を受ける場合の計算に用いる係数	
			設計・建設規格 付録材料図表 Part7 図1~図20	
			により求めた値	
			(Bを求める際に使用した板の厚さは繰返し計算に	
			より最終的にtbr及びtcrとなる。)	
		D	鏡板の内面における長径	mm
	D	Dо	鏡板が取り付けられる管の外径	mm
			(フランジ部の外径に同じ)	
	d	d	断面に現われる穴の径	mm
办女	d	d f r	補強を要しない穴の最大径	mm
窥	K	К	穴の補強計算の係数	_
板	К 1	K 1	半だ円形鏡板の中底面に圧力を受ける場合の計算に	—
			用いる係数	
\mathcal{O}			設計・建設規格 PPD-3424(1)の表PPD-3424-1及び表	
			PPD-3424-2による。	
記	К	Кк	半だ円形鏡板の中高面に圧力を受ける場合の計算に	
旦			用いる係数	—
ク			設計・建設規格 PPD-3415.2(2)f.の表PPD-3415.2-1	
			による。	
	R	R	さら形鏡板の中央部における内面の半径又は全半球	
			形鏡板の内半径	mm
	S	S	最高使用温度における鏡板の材料の許容引張応力	
			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。	MPa
	t s	t c	鏡板の最小厚さ	mm
		t c o	鏡板の公称厚さ	mm
	tsr, tr1	tcr	鏡板の計算上必要な厚さ	mm
	W	W	さら形鏡板の形状による係数	—

_	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位	
	d	d	平板の径又は最小内のり	mm	
	d	dн	断面に現われる穴の径	mm	
	Κ	Κ	平板の取付け方法による係数	—	
平	S	S	最高使用温度における平板材料の許容引張応力	MPa	
板			設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5による。		
6	t	t	補強を要しない平板の計算上必要な厚さ	mm	
	t s	t c	平板の最小厚さ	mm	
記		tсо	平板の呼び厚さ	mm	
号	tsr, tr2	tcr	平板の計算上必要な厚さ	mm	
		取付け方法	平板の取付け方法で設計・建設規格 PPD-3413の表	_	
			PPD-3413-1による。		
	$(a) \sim (o)$	3A~30	取付け方法の表示区分		

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位	
	А	A o	穴の補強に有効な面積の総和	mm^2	
		A_1	穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2	
		A_2	穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2	
		A ₃	穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2	
	A r	A_4	穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2	
		A r	穴の補強に必要な面積	mm^2	
		A r d	大穴の補強に必要な面積	mm^2	
		$A \circ D$	大穴の補強に有効な面積の総和	mm^2	
共		A_{1D}	大穴の補強に有効な主管部の面積	mm^2	
<u>ک</u> ر		$A_2 d$	大穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2	
乪		A 3 D	大穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2	
記		A_{4D}	大穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2	
нц	A s	A s r	2つの穴の間の主管の必要な断面積	mm^2	
号		A s o	2つの穴の間の主管の断面積	mm^2	
		Ari	2つの穴の補強に必要な面積の2分の1の面積	mm^2	
(答		A o i	2つの穴の間にある補強に有効な面積	mm^2	
		Ars	隣接する穴の補強に必要な面積	mm^2	
の穴		A 2 s	隣接する穴の補強に有効な管台部の面積	mm^2	
		A з s	隣接する穴の補強に有効なすみ肉部の面積	mm^2	
と	D i	A ₄ s	隣接する穴の補強に有効な強め材部の面積	mm^2	
補		D i b	管台の内径	mm	
強		D i r	主管の内径	mm	
計		D o b	管台の外径	mm	
四		Dое	強め材の外径	mm	
見		d D	断面に現われる隣接する穴の径	mm	
		d f r D	大穴の補強を要しない限界径	mm	
		dr1	補強を要しない穴の最大径	mm	
	d	d r 2	補強を要しない穴の最大径	mm	
	F	F	設計・建設規格 PPD-3424(1)b.により求められる係	—	
1		数			
1		F ₁	すみ肉溶接のせん断応力係数		
		F ₂	突合せ溶接の引張応力係数	_	
		F ₃	突合せ溶接のせん断応力係数	—	

	設計・建設 規格の記号	計算書の表示	表 示	内	容	単	位	
		L	2つの穴の径の平均値の1.5倍の値				 m	
		LA	穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な				mm	
			範囲					
		Lad	 穴の中心線に平行な直線で国	区切られる	る大穴の補強に	mr	m	
			有効な範囲					
		LN	主管の面に平行な直線で区均	刃られる褌	捕強に有効な範	mr	n	
共			<u></u> 推					
		LND	主管の面に平行な直線で区域	刃られるナ	、穴の補強に有	mr	n	
通			効な範囲					
⇒⊐	l	L s	2つの穴の中心間の距離			mr	n	
βĽ		L ₁	管台のすみ肉部の脚長 (AH	彩, B形)	又は管台補強	mr	m	
号			部の短辺長さ(C形)*					
		L ₂	演め材のすみ肉部の脚長*			mr	n	
(歩	P, Pe	Р	最高使用圧力又は外面に受け	ける最高の	圧力	MP	'a	
'目'		Q b	管台の厚さの負の許容差			%,	mm	
σ	S	S b	最高使用温度における管台の	つ材料の許	容引張応力	MP	'a	
穴			設計・建設規格 付録材料図]表 Part	5 表5による。			
と	S	S e	最高使用温度における強め材	すの材料の	許容引張応力	MP	'a	
補			設計・建設規格 付録材料図]表 Part	5 表5による。			
強		$S \le 1$	すみ肉溶接の許容せん断応力	Ċ		MP	'a	
±		$S \le 2$	突合せ溶接の許容引張応力			MP	'a	
口		S w 3	突合せ溶接の許容せん断応力	Ċ		MP	'a	
見	t n	tь	管台の最小厚さ			mr	n	
		t b n	管台の公称厚さ			mr	n	
	t n r	tbr	管台の計算上必要な厚さ			mr	n	
		t e	歯め材の最小厚さ			mr	n	
		W	容接部の負うべき荷重			Ν	I	
		W e 1	管台取付部すみ肉溶接部の諸	午容せん断	力	Ν	ſ	
		W e 2	管台取付部突合せ溶接部の諸	午容せん断	力	Ν	I	

注記*:設計・建設規格の図PPD-4000-4による。

	設計・建設 規格の記号	計算書の表	表示	表	示	内	容	単	位	
共通記号		We3	3	管台取付部突	合せ溶接部の	の許容せん	し断力	Ν		
		We4	1	強め材取付部突合せ溶接部の許容引張力					Ν	
		We5	5	強め材取付部すみ肉溶接部の許容せん断力				Ν		
(管の穴と補強計算		We b	o p 1	予想される破断箇所の強さ						
		We b	o p 2	予想される破	断箇所の強さ	Ż		Ν		
	θ	We b	брз	予想される破	断箇所の強さ	Ż		Ν		
		α		分岐管の中心	線と主管の「	中心線との)交角	0		
		π		円周率					-	
)		形工	式	管台の取付け	形式				-	

- (2) 計算手順及び算式
 - a. 穴の形状

管に設ける穴は、設計・建設規格 PPD-3421(2)により円形又はだ円形であること。

b. 管台の取付け形式

図2-1~図2-5に管台の取付け形式及び予想される破断形式を示す。

ただし、すみ肉溶接部分の破断箇所については、両方の脚長が等しいため、片側の脚長 の破断形式のみを図示する。





- ・W_{e 3} を通る破断
- ・Wel Wel を通る破断

図2-1 A形(強め材のない場合)



補強に有効な面積
補強に必要な面積

- We1 We3 を通る破断
- ・ We₂ We₄ を通る破断
- ・ We2 We5 を通る破断

図2-2 B形(強め材のある場合)





補強に有効な面積 補強に必要な面積

- We3 を通る破断
- ・ Wel Wel を通る破断
- 注記*:A₃の面積で(L₁)²以外の部分は, 補強面積計算上は考慮しない。

図2-3 A形(鏡板で強め材のない場合)





- We₃を通る破断
- ・ Wel Wel を通る破断

図2-4 A形(平板で強め材のない場合)



注記*:本形式における補強に有効な面積A₃はA形及びB形と同様に A₃=(L₁)²·sinα·S_b/S_r(上記)2000 るものとし,同補強部外側の余肉部(上記)2000 部)は,補強 面積評価上は考慮しない。

図2-5 C形(一体形で強め材のない場合)

c. 穴の補強の要否

穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPD-3422を適用する。

(a) 算式

補強を要しない穴の最大径は,次のイ項又はロ項で計算した値のいずれか大きい値 (d f r)とする。

- イ. 平板以外の管に設ける穴であって,穴の径が61mm以下で,かつ,管の内径の4分の1 以下の穴(dr1)
- ロ. 平板以外の管に設ける穴であって、イ項に掲げるものを除き、穴の径が200mm以下で、
 かつ、設計・建設規格の図PPD-3422-1及び図PPD-3422-2により求めた値以下の穴(d
 r₂)
 - 直管又は曲げ管の場合
 - d r 2=8.05 $\cdot \sqrt[3]{D_{or} \cdot t_{r} \cdot (1-K)}$

鏡板の場合

d r 2=8.05
$$\cdot \sqrt[3]{D_{0}} \cdot t_{c} \cdot (1-K)$$

- ただし、Kの値は次の算式による。
- (イ) 直管又は曲げ管の場合
 - $\mathbf{K} = \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{D} \circ \mathbf{r}}{1.82 \cdot \mathbf{S} \cdot \mathbf{r} \cdot \eta \cdot \mathbf{t} \cdot \mathbf{r}}$
- (ロ) さら形鏡板又は半だ円形鏡板の場合

$$\mathbf{K} = \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{D} \,\mathbf{o}}{1.82 \cdot \mathbf{S} \cdot \eta \cdot \mathbf{t} \,\mathbf{c}}$$

(ハ) 全半球形鏡板の場合

$$\mathbf{K} = \frac{\mathbf{P} \cdot \mathbf{D} \circ}{3.64 \cdot \mathbf{S} \cdot \eta \cdot \mathbf{t} \circ}$$

ただし、K>0.99の場合はK=0.99とする。

- ハ. 平板に穴を設ける場合であって、平板の最小厚さ(t c)が次の式により計算した 値以上のもの
- (イ) 穴の径が平板の径又は最小内のりであるdの値の2分の1以下の場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot P}{S}}$$

ただし, Kの値は設計・建設規格 PPD-3413の表PPD-3413-1中で(m)の取付け方 法を除き, 0.375以上とすることを要しない。

(ロ) 穴の径が平板の径又は最小内のりである d の値の2分の1を超える場合

$$t = d \cdot \sqrt{\frac{2.25 \cdot K \cdot P}{S}}$$

(b) 評価

補強を要しない穴の最大径(dfr) \geq 断面に現われる穴の径(d) 又は平板の最小 厚さ(tc) \geq 補強を要しない平板の計算上必要な厚さ(t) ならば、穴の補強計算及 び溶接部の強度計算は必要ない。

必要な場合は、d項以降による。

- d. 穴の補強に有効な範囲 穴の補強に有効な範囲は、設計・建設規格 PPD-3424(1)a.を適用する。 ただし、構造上計算した有効範囲が取れない場合は、構造上取り得る範囲とする。
- (a) 穴の中心線に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲(LA)は、次の2つの式より 計算したいずれか大きい方の値
 - イ. 直管又は曲げ管の場合

$$L_A = d$$
 $\forall L_A = \frac{d}{2} + t_r + t_b$

ロ. 鏡板の場合

$$L_A = d$$
 $\forall L_A = \frac{d}{2} + t_c + t_b$

ハ. 平板の場合

 $L_A = d_H \quad \text{Xit} \quad L_A = \frac{d_H}{2} + t_c + t_b$

- (b) 主管の面に平行な直線で区切られる補強に有効な範囲(LN)は,次の2つの式より計算したいずれか小さい方の値
 - イ. 直管又は曲げ管の場合

 $L_N = 2.5 \cdot t_r$ $Z l L_N = 2.5 \cdot t_b + t_e$

ロ. 鏡板の場合

L_N=2.5・t_c 又は L_N=2.5・t_b

ハ. 平板の場合

 $L_N = 2.5 \cdot t_c$ $\chi l t_L = 2.5 \cdot t_b$

e. 主管の厚さの計算

主管の計算上必要な厚さ(trr又はtcr)は,設計・建設規格 PPD-3424(1)b.(a)を適 用する。

(a) 直管又は曲げ管の場合

t r r =
$$\frac{P \cdot D \circ r}{2 \cdot S r \cdot \eta + 0.8 \cdot P}$$
 (内圧)
ただし、 $\eta = 1.00$

$$t_{r} r = \frac{3 \cdot P \cdot D_{o} r}{4 \cdot B} \qquad (ME)$$
(b) 鏡板の場合

イ. さら形鏡板

$$t_{cr} = \frac{P \cdot R \cdot W}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$
(中低面)
ただし、W=1.00及び \eta = 1.00
$$t_{cr} = \frac{P \cdot (R + t_c)}{R}$$
(中高面)

ロ. 半だ円形鏡板

В

$$t_{c r} = \frac{P \cdot K_1 \cdot D}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P} \quad \dots \qquad (\phi \oplus \Xi)$$

$$t_{cr} = \frac{P \cdot K_{K} \cdot (D + 2 \cdot t_{c})}{B} \quad \dots \quad (\uparrow = \bar{a} \bar{a})$$

ハ. 全半球形鏡板

t c r =
$$\frac{P \cdot R}{2 \cdot S \cdot \eta - 0.2 \cdot P}$$
 (中低面)
t c r = $\frac{P \cdot (R + t c)}{B}$ (中高面)

(c) 平板の場合

$$t_{c r} = d \cdot \sqrt{\frac{K \cdot P}{S}}$$

f. 管台の厚さの計算

管台の計算上必要な厚さ (t b r) は, 設計・建設規格 PPD-3424(1)b. (b)を適用する。 t b r = $\frac{P \cdot D_{ib}}{2 \cdot S_{b} - 1.2 \cdot P}$ (内圧) t b r = $\frac{3 \cdot P \cdot D_{ob}}{4 \cdot B}$ (外圧)

g. 穴の補強計算

穴の補強計算は、設計・建設規格 PPD-3424(1)を適用する。

(a) 算式

イ. 補強に必要な面積

(イ) 直管又は曲げ管の場合

A r = 1.07 · d · t r r · $(2 - \sin \alpha)$

(ロ) 鏡板の場合

 $A_r = d \cdot t_c r$

(ハ) 平板の場合

 $A_r = 0.5 \cdot d_H \cdot t_c r$

- ロ. 補強に有効な面積
- (イ) 直管又は曲げ管の場合

$$A_{1} = (\eta \cdot t_{r} - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_{A} - d)$$

$$A_{2} = 2 \cdot (t_{b} - t_{br}) \cdot \operatorname{coseca} \cdot L_{N} \cdot \frac{S_{b}}{S_{r}}$$

$$A_{3} = (L_{1})^{2} \cdot \operatorname{sina} \cdot \frac{S_{b}}{S_{r}}$$

$$A_{4} = (D_{oe} - D_{ob} \cdot \operatorname{coseca}) \cdot t_{e} \cdot \frac{S_{e}}{S_{r}} + (L_{2})^{2} \cdot \frac{S_{e}}{S_{r}}$$

$$(\frac{M}{2} \delta d \vec{m} d \vec$$

 $A_0 = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$

(ロ) 鏡板の場合

$$A_{1} = (\eta \cdot t_{c} - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_{A} - d)$$

$$A_{2} = 2 \cdot (t_{b} - t_{br}) \cdot L_{N} \cdot \frac{S_{b}}{S}$$

$$A_{3} = (L_{1})^{2} \cdot \frac{S_{b}}{S}$$

$$A_0 = A_1 + A_2 + A_3$$

- (ハ) 平板の場合 $A_1 = (\eta \cdot t_c - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_A - d_H)$ $A_2 = 2 \cdot (t_b - t_{br}) \cdot L_N \cdot \frac{S_b}{S}$ $A_3 = (L_1)^2 \cdot \frac{S_b}{S}$ $A_0 = A_1 + A_2 + A_3$
- (b) 評価

穴の補強に有効な面積(A_0)>穴の補強に必要な面積(A_r)ならば穴の補強は十分である。

h. 大穴の補強の要否

大穴の補強の要否は、設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。

(a) 算式

大穴の補強を要しない限界径(dfrD)

イ. Dirが1500mm以下の場合

d f r D = D i r /2

ただし、500mmを超える場合500mmとする。

ロ. Dirが1500mmを超える場合

d f r D = D i r /3

ただし、1000mmを超える場合1000mmとする。

(b) 評価

大穴の補強を要しない限界径(d f r D) \geq 断面に現われる穴の径(d) ならば大穴の 補強計算は必要ない。

必要な場合は, i項以降による。

i. 大穴の補強に有効な範囲

大穴の補強に有効な範囲は,設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。

ただし、構造上計算した有効範囲が取れない場合は、構造上取り得る範囲とする。

(a) 大穴の補強における管台の取付け形式

図2-6~図2-10に大穴の補強における管台の取付け形式を示す。



図2-6 A形(強め材のない場合)



補強に必要な面積

図2-7 B形(強め材のある場合)



注記*: A_{3D}の面積で(L₁)²以外の部分は, 補強面積評価上は考慮しない。

図2-8 A形(鏡板で強め材のない場合)





図2-9 A形(平板で強め材のない場合)



注記*:本形式における補強に有効な面積A₃DはA形及びB形と同様に A₃D=(L₁)²・sinα・S_b/S_r(上記) するものとし,同補強部外側の余肉部(上記) 面積評価上は考慮しない。

図2-10 C形(一体形で強め材のない場合)

(b) 穴の中心線に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲

$$L_{AD} = \frac{d}{2} + \frac{d}{4}$$

- (c) 主管の面に平行な直線で区切られる大穴の補強に有効な範囲
 LND=LN
- j. 大穴の補強計算

大穴の補強計算は,設計・建設規格 PPD-3424(4)を適用する。 (a) 算式

イ. 大穴の補強に必要な面積

$$A r D = \frac{2}{3} \cdot A r$$

ロ. 大穴の補強に有効な面積

 $A_{1}D = (\eta \cdot t_{r} - F \cdot t_{r}) \cdot (2 \cdot L_{A}D - d)$ $A_{2}D = A_{2}$

(管台の外径が有効範囲 L AD 内にある場合)

$$A_{2D} = 2 \cdot \left(\frac{d}{4} - t \text{ b r } \cdot \operatorname{cosec} \alpha\right) \cdot L_{ND} \cdot \frac{S \text{ b}}{S \text{ r}}$$

(管台の外径が有効範囲LADの外まである場合)

A_{3D}=A₃ (すみ肉部の脚長が有効範囲L_{AD}内にある場合)

A_{4D}=A₄ (強め材が有効範囲L_{AD}内にある場合)

$$A_{4D} = \left(3 \cdot \frac{d}{2} - D_{ob} \cdot \operatorname{cosec} \alpha\right) \cdot t_{e} \cdot \frac{S_{e}}{S_{r}}$$

(強め材が有効範囲LADの外まである場合)

 $A_{0}D = A_{1}D + A_{2}D + A_{3}D + A_{4}D$

(b) 評価

大穴の補強に有効な面積(A_{0D}) \geq 大穴の補強に必要な面積(A_{rD}) ならば大穴の 補強は十分である。 k. 2つ穴の補強計算

2つ以上の穴の補強に有効な範囲が重なり合う場合の補強計算は,設計・建設規格 PPD-3424(2)a., b.及びc.を適用する。

以下,直管の2つ穴の計算方法を示す。

- (a) 算式
 - イ. 2つの穴の間にある主管の必要な断面積

Asr=0.7 · Ls · trr · F

ロ. 2つの穴の間にある主管の断面積

$$A_{so} = \left(L_s - \frac{d + d_D}{2} \right) \cdot t_r$$

(b) 算式

2つの穴の径の平均値の1.5倍の値

$$L = 1.5 \cdot \left(\frac{d + d_{D}}{2}\right)$$

- (c) 算式
 - イ. 2つの穴の補強に必要な面積の2分の1

$$A_{r} = \frac{A_{r} + A_{r} s}{2}$$

Ar及びArsは1つの穴の計算に準じる。

ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積

A o i =
$$\left(L_{s} - \frac{d + d_{D}}{2}\right) \cdot (t_{r} - t_{r}) + \frac{A_{2} + A_{2s}}{2} + \frac{A_{3} + A_{3s}}{2} + \frac{A_{4} + A_{4s}}{2}\right)$$

A₂, A₂s, A₃, A₃s, A₄及びA₄sは, 1つの穴の計算に準じる。

(d) 評価

穴の補強は、以下の条件を満足すれば十分である。

- イ. 2つの穴の間にある主管の断面積(Aso) ≥2つの穴の間にある主管の必要な断面積(Asr)
- ロ. 2つの穴の間にある補強に有効な面積(A_oi) ≥2つの穴の補強に必要な面積の2分の1(A_ri)
- ハ. 2つの穴の中心間の距離(Ls) ≧2つの穴の径の平均値の1.5倍(L)

1. 溶接部の強度計算

溶接部の強度計算は,設計・建設規格 PPD-3424(8)及び(9)を適用する。 ただし, C形に関しては評価すべき溶接部がないため,強度計算は行わない。

- (a) 算式
 - イ. 溶接部の負うべき荷重
 - (イ) 直管又は曲げ管の場合

 $W = d \cdot t_{rr} \cdot S_r - (\eta \cdot t_r - F \cdot t_{rr}) \cdot (2 \cdot L_A - d) \cdot S_r$

(ロ) 鏡板の場合

W=d · t c r · S - $(\eta \cdot t c - F \cdot t c r) \cdot (2 \cdot L A - d) \cdot S$

(ハ) 平板の場合

$$W = d_{H} \cdot t_{cr} \cdot S - (\eta \cdot t_{c} - F \cdot t_{cr}) \cdot (2 \cdot L_{A} - d_{H}) \cdot S$$

- ロ. 溶接部の許容応力
- (イ) 直管又は曲げ管の場合

$$Sw_1 = S r \cdot F_1$$
$$Sw_2 = S r \cdot F_2$$
$$Sw_3 = S r \cdot F_3$$

(ロ) 鏡板又は平板の場合

 $S_{W_1} = S \cdot F_1$

$$S_{W2} = S \cdot F_2$$
$$S_{W3} = S \cdot F_3$$

- ハ. 溶接部の破断強さ
- (イ) 直管又は曲げ管の場合

$$W_{e 1} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t \ b \cdot coseca\right) \cdot L_{1} \cdot S_{W_{1}}$$
$$W_{e 2} = \pi \cdot d \cdot t \ b \cdot S_{W_{3}} \cdot coseca / 2$$
$$W_{e 3} = \pi \cdot d \cdot t \ b \cdot S_{W_{3}} \cdot coseca / 2$$
$$W_{e 4} = \pi \cdot \left(\frac{d}{2} + t \ b \cdot coseca\right) \cdot t \ e \cdot S_{W_{2}}$$
$$W_{e 5} = \pi \cdot D_{0} \ e \cdot L_{2} \cdot S_{W_{1}} / 2$$

(ロ) 鏡板の場合

版の場合
We1=\pi ·
$$\left(\frac{d}{2} + t_b\right) \cdot L_1 \cdot S_{W1}$$

We2=\pi · d · t b · SW3/2
We3=\pi · d · t b · SW3/2

(ハ) 平板の場合

We
$$_{1} = \pi \cdot \left(\frac{d_{H}}{2} + t_{b}\right) \cdot L_{1} \cdot Sw_{1}$$

We $_{2} = \pi \cdot d_{H} \cdot t_{b} \cdot Sw_{3}/2$
We $_{3} = \pi \cdot d_{H} \cdot t_{b} \cdot Sw_{3}/2$

- ニ. 予想される破断箇所の強さ
- (イ) A形の管台形式の場合

(ロ) B形の管台形式の場合
 Wohnt=Wot+Woo
 を通ろ強さ=Wot+Woo

- (b) 評価
 - イ. 溶接部の負うべき荷重(W)が0以下の場合 溶接部の強度は十分とみなし,溶接部の強度計算は行わない。

- (3) 補足
 - a. 穴の補強計算,大穴の補強計算及び2つ穴の補強計算において面積の計算をする際, $\frac{Sb}{Sr}, \frac{Sb}{S}$ 又は $\frac{Se}{Sr}$ が1を超える場合は,値を1として計算する。
 - b. 断面が長手軸となす角度により求めた係数Fは、1として計算する。
 - c. 鏡板及び平板の補強計算は、本書では取付け角度が90°で1つ穴のものについての計算方法を示す。

2.7 フランジの強度計算

フランジの強度計算は、設計・建設規格 PPD-3414を適用する。

計算は、JIS B 8265 附属書3を適用する。

(1) 記号の説明

設計・建設規格又は	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
」150記号			
A	A	ノフンンの外住	mm
Ab	A b	美院に使用するホルトの総有効断面積	mm ²
Am	Am	ボルトの総有効断面積	mm ²
A_{m_1}	$A_{m 1}$	使用状態でのボルトの総有効断面積	mm^2
A_{m2}	$A_{m 2}$	ガスケット締付時のボルトの総有効断面積	mm^2
В	В	フランジの内径	mm
B ₁	B ₁	B + g ₀ (f ≧1のときの一体形フランジの場合)	mm
		B+g1(ルーズ形フランジ(差込み形フランジ)	
		及び一体形フランジで f の最小採用値は1であ	
		るが, JIS B 8265 附属書3 図4よ	
		り求まる f が1未満となる場合)	
b	b	ガスケット座の有効幅	mm
b _o	b o	ガスケット座の基本幅(JIS B 8265	mm
		附属書3 表3による。)	
С	С	ボルト穴の中心円の直径	mm
d	d	係数	mm^3
		$ \begin{pmatrix} = \frac{U}{V} \cdot h_{o} \cdot g_{o}^{2}(- \phi \overline{W} \overline{V} \overline{\nabla} \overline{V} \overline{\nabla} \overline{V}) \\ = \frac{U}{V_{L}} \cdot h_{o} \cdot g_{o}^{2}(\mu - \overline{X} \overline{W} \overline{\nabla} \overline{\nabla} \overline{V} \overline{\nabla} \overline{V}) \\ \overline{\partial} \overline{W} \overline{\partial} \overline{\nabla} \overline{V} \overline{\partial} \overline{V} \overline$	
dь	dь	ボルトのねじ部の谷の径と軸部の径の最小部の	mm
		小さい方の径	
	d i	穴あきボルトの内径	mm
е	е	係数	mm^{-1}
		$ \begin{pmatrix} =\frac{F}{h o} (- \oplus \overline{K} \overline{J} \overline{J} \overline{J} \overline{J} \overline{J} \overline{J} \overline{J} J$	
F	F	一体形フランジの係数(JIS B 8265附属書3 図5又は表4による。)	

 設計・建設 規格又は IISの記号 	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
F L	Fτ	ルーズ形フランジの係数(IIS B 826	
		5 附属書3 図6又は表4による。)	
f	f	ハブ応力修正係数(JIS B 8265 附	_
		属書3 図4又は表4による。)	
G	G	ガスケット反力円の直径	mm
	G s	ガスケット接触面の外径	mm
g 0	g o	ハブ先端の厚さ	mm
g 1	g 1	フランジ背面のハブの厚さ	mm
Н	Н	圧力によってフランジに加わる全荷重	Ν
ΗD	ΗD	圧力によってフランジの内径面に加わる荷重	Ν
HG, HG	Ηg	ガスケット荷重	Ν
Η _P	Η _P	気密を十分に保つためにガスケット又は継手接	Ν
		触面に加える圧縮力	
Ηт	Ηт	圧力によってフランジに加わる全荷重とフラン	Ν
		ジの内径面に加わる荷重との差	
h	h	ハブの長さ	mm
h D	h D	ボルト穴の中心円からHp作用点までの半径方	mm
		向の距離	
h G	h G	ボルト穴の中心円からHg作用点までの半径方	mm
		向の距離	
h o	h o	√B·g₀	mm
hт	hт	ボルト穴の中心円からHr作用点までの半径方	mm
		向の距離	
K	K	フランジの内外径の比	—
L	L	係数 $\left(=\frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t}{d}\right)$	—
$M_{\rm D}$	$M_{\rm D}$	内圧によってフランジの内径面に加わるモーメ	N•mm
		ント	
M_{G}	MG	ガスケット荷重によるモーメント	N•mm
Мg	Мg	ガスケット締付時にフランジに作用するモーメ	N•mm
		ント	
Мo	Мо	使用状態でフランジに作用するモーメント	N•mm
ΜT	Мт	内圧によってフランジに加わる全荷重とフランジ	N•mm
		の内径面に加わる荷重との差によるモーメント	
m	m g	ガスケット係数(JIS B 8265 附属	—
		書3 表2による。)	

設計・建設規格又はJISの記号	計算書の表示	表 示 内 容	単 位
Ν	Ν	ガスケットの接触面の幅(JIS B 826	mm
		5 附属書3 表3による。)	
n	n	ボルトの本数	_
М	Ме	フランジに作用するモーメント	N•mm
Ρfd	Р	設計圧力	MPa
		応力計算に用いる設計圧力は最高使用圧力又は外	
		面に受ける最高の圧力に Peqを加えたものであ	
		る。	
P e q	P e q	管の自重及びその他の機械的荷重によりフラン	MPa
		ジに作用する曲げモーメントを圧力に換算した	
		值	
		$P e q = \frac{16 \cdot M e}{\Omega^3}$	
	П	$\pi \cdot G$	MDe
D	P 0	取同使用圧力(内圧)	MFa
Γ	К	ホルトの中心内からハノとノノンン自面との文	11111
		$ = \begin{pmatrix} A \end{pmatrix} $ の d z と て 立 さ ズ 悠 教 (L L C D	
Т	Т		—
		8265 附属書3 図7による。)	
t	t	フランジの厚さ	mm
U	U	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数(JIS B	
		8265 附属書3 図7による。)	
V	V	一体形フランジの係数(JIS B 8265	_
		附属書3 図8又は表4による。)	
V L	V L	ルーズ形フランジの係数(JIS B 826	—
		5 附属書3 図9又は表4による。)	
W, W_g	Wg	ガスケット締付時のボルト荷重	Ν
$W_{m \ 1}$	$W_{m \ 1}$	使用状態での必要な最小ボルト荷重	Ν
$W_{m \ 2}$	W_{m2}	ガスケット締付時に必要な最小ボルト荷重	Ν
Wo	W o	使用状態でのボルト荷重	Ν
Y	Y	$K = \left(\frac{A}{B}\right)$ の値によって定まる係数(JIS B	—
		8265 附属書3 図7による。)	

設計・建設	리 & ㅋ ㅋ ㅋ		
規格又は IISの記号	計算書の表示	表 示 内 谷	单 位
y v	V	ガスケットの最小設計締付圧力	N/mm ²
у	у	(IISB 8965 WFF) = 3200000000000000000000000000000000000	
		\mathbf{x} (A) の値によって完まて低粉 (LIS D	
Z	Z		—
		8265 附属書3 図7による。)	
π	π	円周率	—
σa	σa	常温におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に	
		よる。	
σb	σb	最高使用温度におけるボルト材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表7に	
		よる。	
σf	σfa	常温におけるフランジ材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
σf	σfb	最高使用温度におけるフランジ材料の許容引張応力	MPa
		設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表5に	
		よる。	
σн	σ Hg	ガスケット締付時のハブの軸方向応力	MPa*
σн	σно	使用状態でのハブの軸方向応力	MPa*
σR	σRg	ガスケット締付時のフランジの径方向応力	MPa*
σR	σπο	使用状態でのフランジの径方向応力	MPa*
σт	σтg	ガスケット締付時のフランジの周方向応力	MPa*
σт	σтο	使用状態でのフランジの周方向応力	MPa*
	形式	フランジの形式	—
	NON-ASBESTOS	非石綿ジョイントシート	—
	SUS-NON-	渦巻形金属ガスケット(非石綿)(ステンレス鋼)	—
	ASBESTOS		

注記*: JIS B 8265は「N/mm²」を使用しているが,設計・建設規格に合わせ「MPa」 に読み替えるものとする。 (2) フランジの形式

フランジの形式及び各部の記号は、図2-11~図2-15による。 ただし、Wは、Wg、Wm1、Wm2及びWoのボルト荷重を表す。



注:ハブのテーパが6°以下のときは、g₀=g₁とする。

TYPE-1 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)



注:ハブのテーパが6°以下のときは、go=g1とする。

TYPE-2 JIS B 8265 附属書3 図2 a) 4)

図2-11 ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)



注:ハブのテーパが6°以下のときは、go=g1とする。

TYPE-3 JIS B 8265 附属書3 図2a) 5)

図2-12 ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)



TYPE-4 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 8)



注記*:フランジに近いハブのこう配が1/3以下の場合はhは下図に従う。



図2-13 一体形フランジ



TYPE-6 JIS B 8265 附属書3 図2 b) 6)

図2-14 一体形フランジ



TYPE-7 JIS B 8265 附属書3 図2 c) 12) (一体形フランジとして計算)



TYPE-8 JIS B 8265 附属書3 図2 c) 11) (一体形フランジとして計算)

図2-15 任意形フランジ

- (3) 内圧計算手順及び算式
 - a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅(b)及びガスケット反力円の直径(G)は,ガスケット座の基本幅(bo)に従い以下のように求める。

b o ≦6.35mmの場合 $b = b_{o}$ $G = G_s - N$ b o > 6.35mmの場合 $b = 2.52 \cdot \sqrt{b \circ}$ $G = G_s - 2 \cdot b$ ただし、b。はJIS B 8265 附属書3 表3による。 b. 計算上必要なボルト荷重 (a) 使用状態で必要なボルト荷重 $W_{m 1} = H + H_P$ $H = \frac{\pi}{4} \cdot G^2 \cdot P$ $H_{P} = 2 \cdot \pi \cdot b \cdot G \cdot m_{g} \cdot P$ (b) ガスケット締付時に必要なボルト荷重 $W_{m_2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$ c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積 $A_{m\,1} = \frac{W_{m\,1}}{\sigma_{b}}$ (使用状態) $A_{m2} = \frac{W_{m2}}{\sigma_{a}}$ (ガスケット締付時)

 $A_m = Max (A_{m1}, A_{m2})$

d. フランジの計算に用いるボルト荷重

 $W_0 = W_{m_1}$

 $A_b = \frac{\pi}{4} \cdot (d_b^2 - d_i^2) \cdot n$

 $W_{g} = \left(\frac{A_{m} + A_{b}}{2}\right) \cdot \sigma_{a}$ (ガスケット締付時)

(使用状態)

e. 使用状態でフランジに加わる荷重

$$H_{D} = \frac{\pi}{4} \cdot B^{2} \cdot P$$
$$H_{G} = W_{o} - H$$
$$H_{T} = H - H_{D}$$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h D	h G	hт
一体形フランジ	R+0.5 • g 1	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{\mathbf{R} + \mathbf{g}_{1} + \mathbf{h}_{G}}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h D + h G}{2}$

$$\mathbf{R} = \left(\frac{\mathbf{C} - \mathbf{B}}{2}\right) - \mathbf{g}_{1}$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

 $M_{D} = H_{D} \cdot h_{D}$ $M_{G} = H_{G} \cdot h_{G}$

 $M_T = H_T \cdot h_T$

$$M_0 = M_D + M_G + M_T$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$\mathbf{M}_{\mathbf{g}} = \mathbf{W}_{\mathbf{g}} \cdot \left(\frac{\mathbf{C} - \mathbf{G}}{2}\right)$$

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の応力
- (a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_{o}}{L \cdot g_{1}^{2} \cdot B} + \frac{P \circ \cdot B}{4 \cdot g_{0}}$$

$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{o}}{L \cdot t^{2} \cdot B}$$

$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_{o}}{t^{2} \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot g_{1}^{2} \cdot B}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{Tg} = \frac{Y \cdot M_g}{t^2 \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Rg}$$
ただし,

$$L = \frac{t \cdot e + 1}{T} + \frac{t^3}{d}$$

$$h_o = \sqrt{B \cdot g_o}$$

$$d = \frac{U}{V} \cdot h_o \cdot g_o^2 \qquad (- \phi R T \neg \neg) (\dot{E} \Box \partial R R \neg))$$

$$e = \frac{F}{h_o} \qquad (\mu - \vec{x} R \neg \neg) (\dot{E} \Box \partial R R \neg))$$

また, Bが20・g 1より小さいときは, ハブの軸方向の応力(σно)及び σнg の計算 式のBの代わりにB1を用いる。

j. 評価

内圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

(a)	ボルトの総有効断面積	$\mathrm{A}\mathrm{m}{\leq}\mathrm{A}\mathrm{b}$
(b)	ハブの軸方向応力	
	使用状態にあっては	σ _H ₀≦1.5•σ _f b
	ガスケット締付時にあっては	σ нg≦1.5 • $σ$ f a
(c)	フランジの径方向応力	
	使用状態にあっては	σ Ro $\leq 1.5 \cdot \sigma$ fb
	ガスケット締付時にあっては	σ Rg≦1.5 • $σ$ f a
(d)	フランジの周方向応力	
	使用状態にあっては	σтο≦1.5•σfb
	ガスケット締付時にあっては	στg≦1.5•σfa

- (4) 外圧計算手順及び算式
 - a. ガスケット座の有効幅及びガスケット反力円の直径

ガスケット座の有効幅(b)及びガスケット反力円の直径(G)は,ガスケット座の基本幅(bo)に従い以下のように求める。

- b $\circ \leq 6.35 \text{mm} \mathcal{O}$ 場合 b = b \circ G = G s - N b $\circ > 6.35 \text{mm} \mathcal{O}$ 場合 b = 2.52 $\cdot \sqrt{b \circ}$ G = G s - 2 \cdot b ただし、b \circ はJIS B 8265 附属書3 表3による。
- b. 計算上必要なボルト荷重

 $W_{m\,2} = \pi \cdot b \cdot G \cdot y$

c. ボルトの総有効断面積及び実際に使用するボルトの総有効断面積

$$A_{m2} = \frac{w_{m2}}{\sigma_{a}}$$
$$A_{b} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{b}^{2} - d_{i}^{2}) \cdot n$$

$$W_{g} = \left(\frac{A_{m\,2} + A_{b}}{2}\right) \cdot \sigma a$$

$$H_{D} = \frac{\pi}{4} \cdot B^{2} \cdot P$$

 $\mathrm{H}_{\mathrm{T}}\!=\!\mathrm{H}\!-\!\mathrm{H}_{\mathrm{D}}$

f. 使用状態でのフランジ荷重に対するモーメントアーム

フランジの形式	h D	h G	hт
一体形フランジ	R+0.5 \cdot g 1	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{R+g_{1}+h_{G}}{2}$
ルーズ形フランジ (差込み形フランジ)	$\frac{C-B}{2}$	$\frac{C-G}{2}$	$\frac{h d + h d}{2}$

$$R = \left(\frac{C-B}{2}\right) - g_{1}$$

g. 使用状態でフランジに作用するモーメント

$$M_o = H_D \cdot (h_D - h_G) + H_T \cdot (h_T - h_G)$$

h. ガスケット締付時にフランジに作用するモーメント

$$M_g = W_g \cdot h_G$$

- i. 一体形フランジ及びルーズ形フランジ(差込み形フランジ)の応力
- (a) 使用状態でのフランジの応力

$$\sigma_{Ho} = \frac{f \cdot M_{o}}{L \cdot g_{1}^{2} \cdot B} + \frac{P \cdot B}{4 \cdot g_{0}}$$
$$\sigma_{Ro} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_{o}}{L \cdot t^{2} \cdot B}$$
$$\sigma_{To} = \frac{Y \cdot M_{o}}{t^{2} \cdot B} - Z \cdot \sigma_{Ro}$$

(b) ガスケット締付時のフランジの応力

$$\sigma_{Hg} = \frac{f \cdot M_g}{L \cdot \sigma_1^2 \cdot P}$$

$$\sigma_{Rg} = \frac{(1.33 \cdot t \cdot e + 1) \cdot M_g}{L \cdot t^2 \cdot B}$$

$$\sigma_{\mathrm{Tg}} = \frac{\mathrm{Y} \cdot \mathrm{Mg}}{\mathrm{t}^2 \cdot \mathrm{B}} - \mathrm{Z} \cdot \sigma_{\mathrm{Rg}}$$

また, Вが20・g 1より小さいときは, ハブの軸方向の応力 (оно) 及び онg の計算 式のBの代わりにB1を用いる。

j. 評価

外圧を受けるフランジは、以下の条件を満足すれば十分である。

(a)	ボルトの総有効断面積	$\mathrm{A}\mathrm{m}{}_2\!<\!\mathrm{A}\mathrm{b}$
(b)	ハブの軸方向応力	
	使用状態にあっては	σ _{Ho} ≦1.5 • σ f b
	ガスケット締付時にあっては	σ Hg ≦1.5 • $σ$ f a
(c)	フランジの径方向応力	
	使用状態にあっては	σ R o ≦1.5 • $σ$ f b
	ガスケット締付時にあっては	σ Rg≦1.5 • $σ$ f a
(d)	フランジの周方向応力	
	使用状態にあっては	σтο≦1.5•σfb
	ガスケット締付時にあっては	σтg≦1.5• $σ$ fa

2.8 伸縮継手の強度計算

伸縮継手の強度計算は、告示第501号第64条又は、設計・建設規格 PPD-3416を適用する。 (1) 記号の説明

単

mm

位

 告示第501号
 又は
 計算書の表示
 表示内容

 設計・建設
 規格の記号
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と
 と</p

С	С	継手部の層数	
E	Е	材料の縦弾性係数	MPa
		告示第501号 別表11 又は設計・建設規格	
		付録材料図表 Part6 表1による。	
h	h	継手部の波の高さ	mm
Ν	Ν	許容繰返し回数	—
	N r	実際の繰返し回数	—
n	n	継手部の波数の2倍の値	—
t	t	継手部の板の厚さ	mm
	U	実際の繰返し回数(Nr)/許容繰返し回数(N)	—
δ	δ	全伸縮量	mm
σ	σ	継手部応力	MPa
	算 式		—
	А	調整リング無しの場合	
	В	調整リング付きの場合	

(2) 継手部の形状

継手部の形状を図2-16に示す。



図2-16 継手部の形状

(3) 算式

伸縮継手の許容繰返し回数は

$$N = \left(\frac{11031}{\sigma}\right)^{3.5}$$

ただし、材料がステンレス鋼及び高ニッケル合金のものに限る。

a. 調整リングが付いていない場合の継手部応力

b. 調整リングが付いている場合の継手部応力

(4) 評価

実際の繰返し回数(Nr)と許容繰返し回数(N)の比(U=Nr/N)がU \leq 1であれば 伸縮継手の強度は十分である。

実際の繰返し回数が2種類以上の場合は、実際の繰返し回数と許容繰返し回数の比を加えた 値 ($U=\Sigma$ (Nr i/Ni)) がU \leq 1であれば伸縮継手の強度は十分である。 別紙1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領

基本板厚計算書の概略系統図記載要領については、V-3-2-4「クラス2管の強度計算方法 別紙 1 基本板厚計算書の概略系統図記載要領」による。 別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット

管の基本板厚計算書のフォーマットについては、V-3-2-4「クラス2管の強度計算方法 別紙2 管の基本板厚計算書のフォーマット」による。