

VI-2-10-2-3 防波壁の耐震性についての計算書

VI-2-10-2-3-1 防波壁（波返重力擁壁）の
耐震性についての計算書

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	10
2.4	適用規格・基準等	15
3.	評価対象断面	16
4.	耐震評価	22
4.1	2次元動的有限要素法	22
4.1.1	解析方法	22
4.1.2	荷重及び荷重の組合せ	24
4.1.3	入力地震動	24
4.1.4	解析モデル及び諸元	26
4.1.5	評価対象部位	28
4.1.6	許容限界	29
4.1.7	評価方法	32
4.2	3次元構造解析	35
4.2.1	解析方法	35
4.2.2	荷重及び荷重の組合せ	35
4.2.3	解析モデル	36
4.2.4	評価対象部位	40
4.2.5	許容限界	40
4.2.6	評価方法	43
5.	耐震評価結果	44
5.1	重力擁壁	44
5.1.1	曲げ軸力照査	44
5.1.2	せん断照査	47
5.2	ケーソン	48
5.2.1	②-②断面及び④-④断面	48
5.2.2	③-③断面	58
5.3	H形鋼	62
5.3.1	せん断照査	62
5.4	MMR	62
5.5	改良地盤⑥	65

5.6	止水目地	66
5.7	基礎地盤	67

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防波壁（波返重力擁壁）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防波壁（波返重力擁壁）に要求される機能の維持を確認するに当たっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析又は3次元構造解析に基づく施設・地盤の健全性評価、施設の変形性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、基礎地盤に発生した接地圧を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

防波壁（波返重力擁壁）の位置図を図2-1に示す。

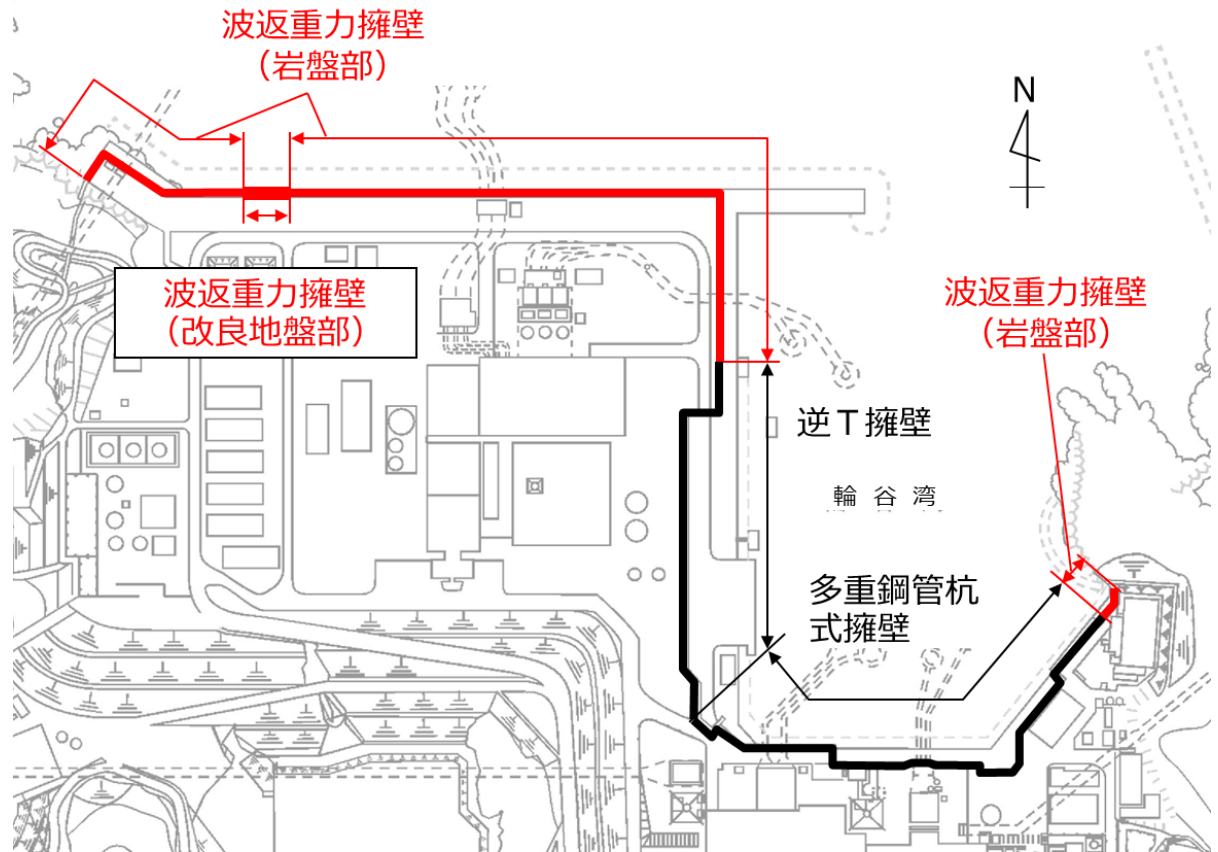


図2-1 防波壁（波返重力擁壁）の位置図

2.2 構造概要

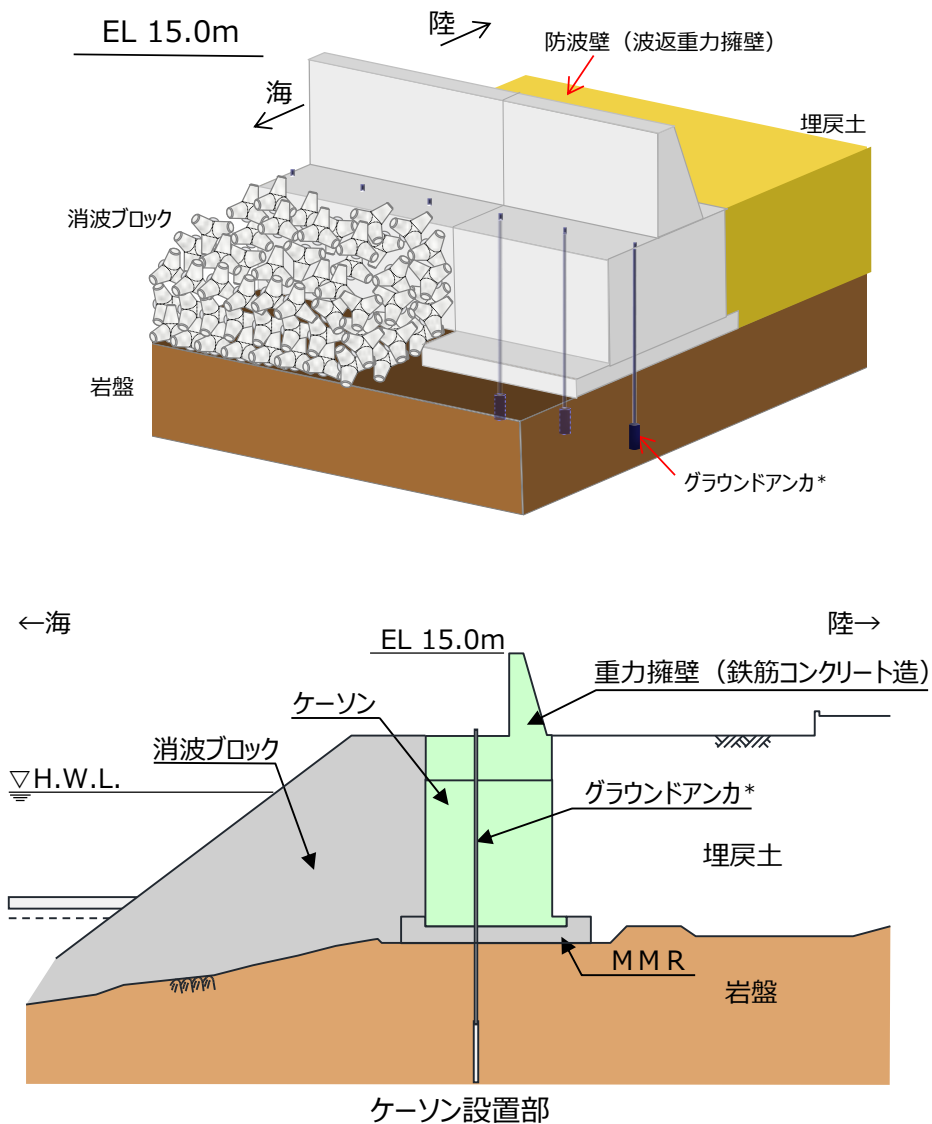
防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図を図 2-2 に，構造図を図 2-3 及び図 2-4 に，概略配筋図を図 2-5 に，止水目地の概念図及び配置位置図を図 2-6 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）は，入力津波高さ（EL 11.9m）に対して余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

防波壁（波返重力擁壁）は，マンメイドロック（以下「MMR」という。）等を介して堅固な地山の岩盤に支持され，鉄筋コンクリート造のケーソン及び重力擁壁から構成されるケーソン設置部と，重力擁壁が岩盤に直接支持される岩盤直接支持部に分類される。

構造体の境界部には，止水性を保持するための止水目地を重力擁壁の陸側に設置する。

なお，構造概要図にグラウンドアンカを示しているが，その効果を期待せずに耐震評価を行う。



注記*：防波壁（波返重力擁壁）は、グラウンドアンカの効果을期待しない設計とする。

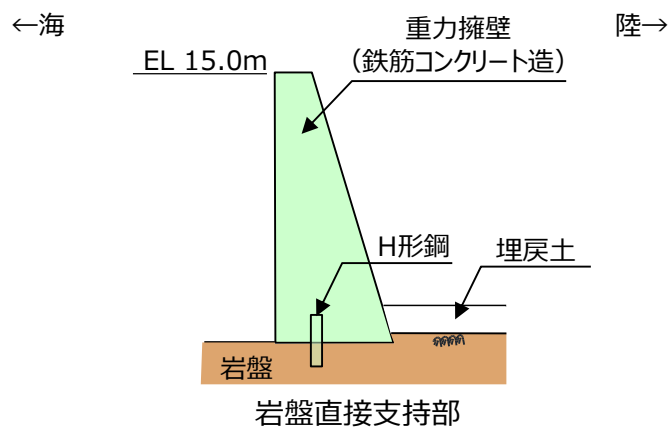


図 2-2 防波壁（波返重力擁壁）の構造概要図

(単位：mm)

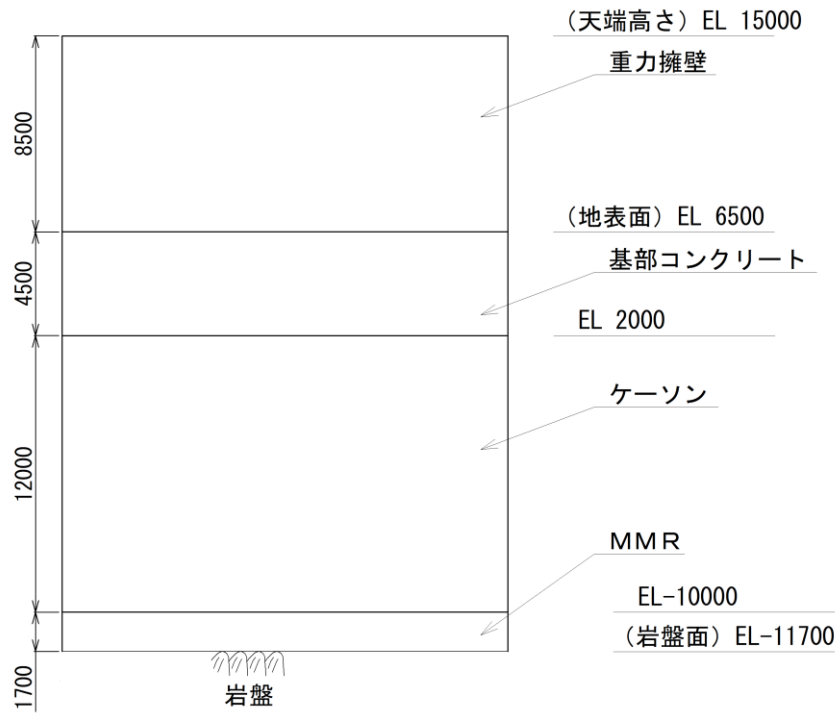


図 2-3(1) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（正面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

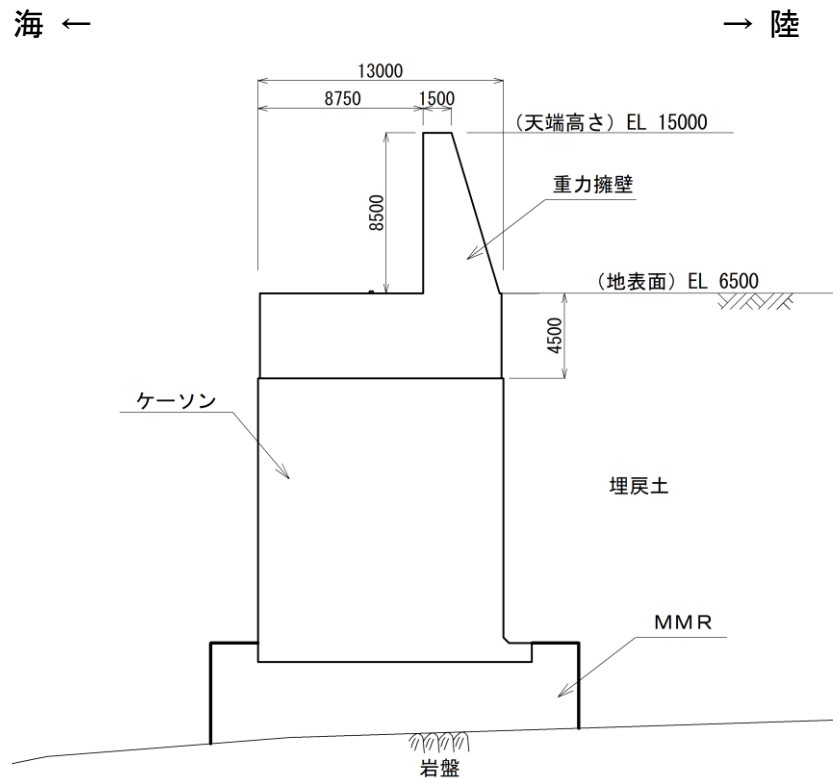


図 2-3(2) 防波壁（波返重力擁壁）の構造図（断面図）（ケーソン設置部）

(単位：mm)

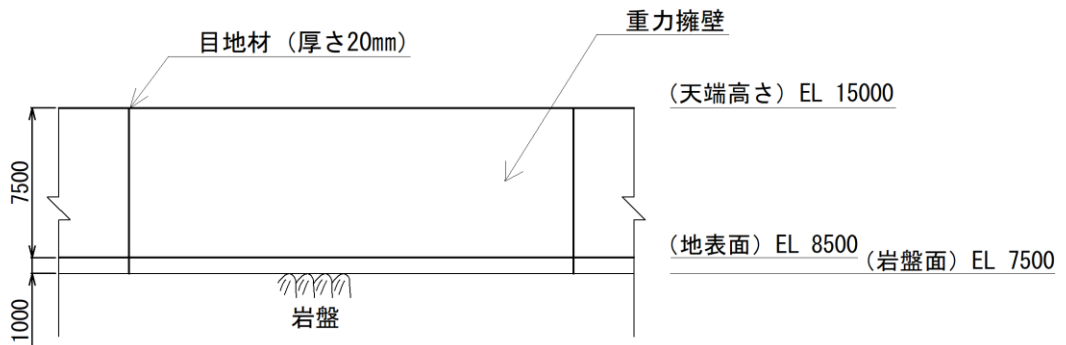


図 2-4(1) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (正面図) (岩盤直接支持部)

(単位：mm)

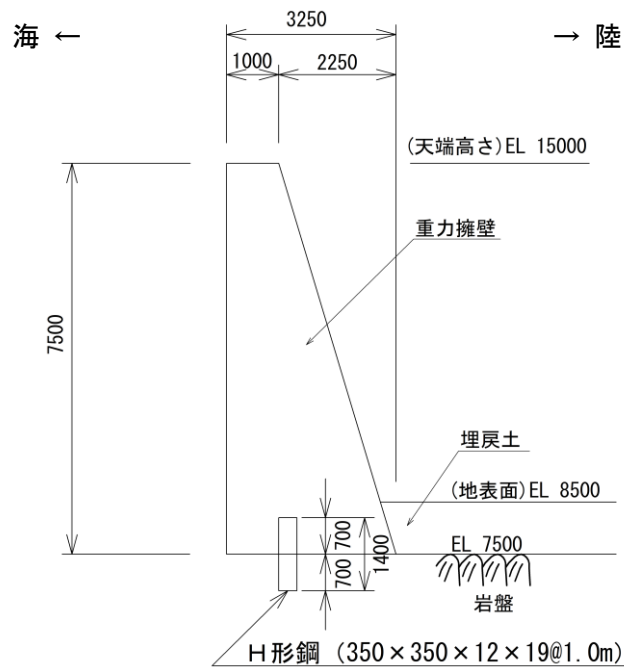


図 2-4(2) 防波壁 (波返重力擁壁) の構造図 (断面図) (岩盤直接支持部)

(単位：mm)

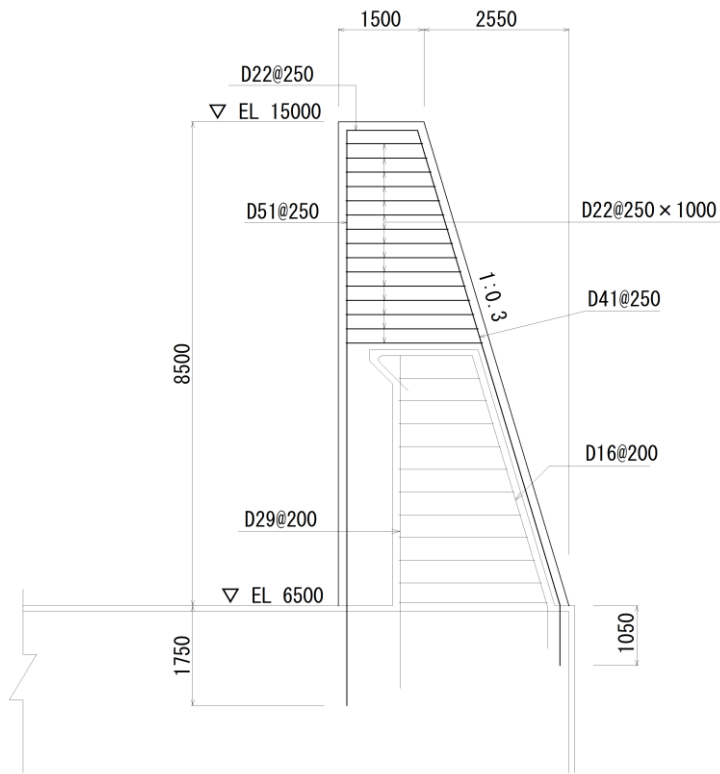


図 2-5(1) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（ケーソン設置部(1)）

(単位：mm)

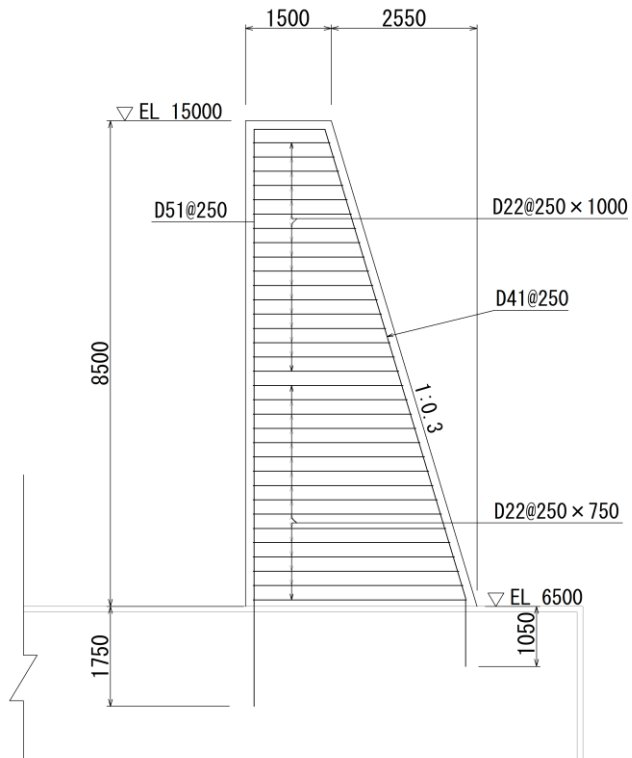


図 2-5(2) 防波壁（波返重力擁壁）の概略配筋図（ケーソン設置部(2)）

(単位 : mm)

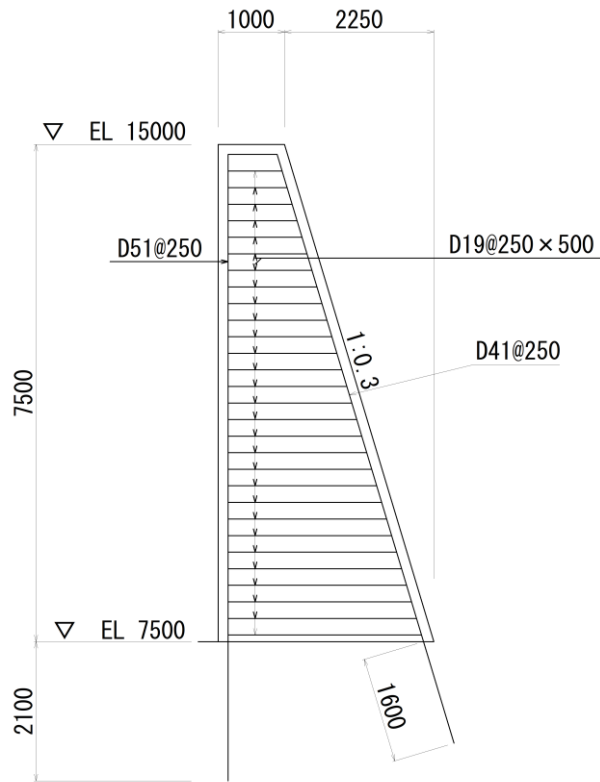


図 2-5(3) 防波壁 (波返重力擁壁) の概略配筋図 (岩盤直接支持部)

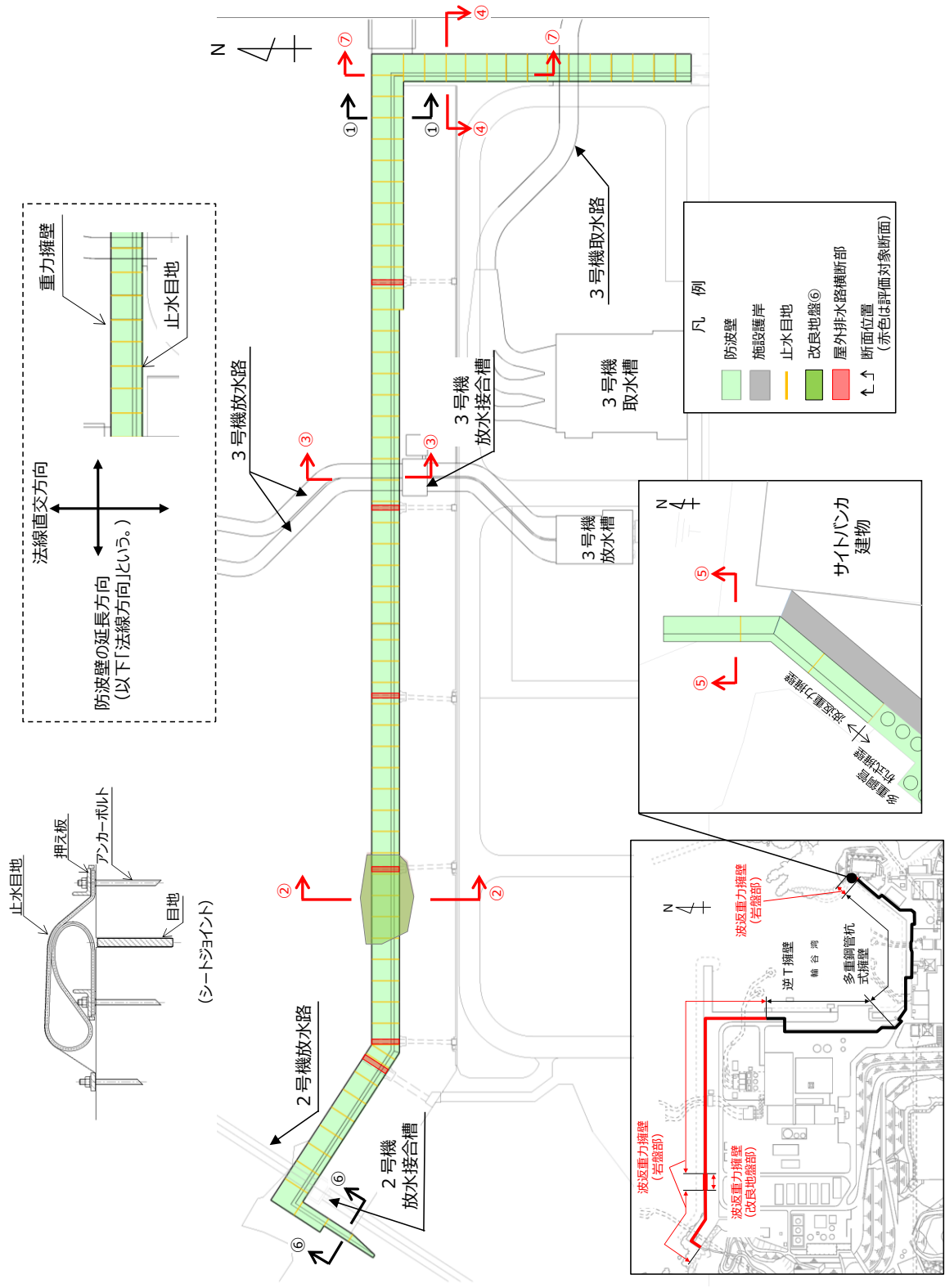


図 2-6 防波壁（波返重力擁壁）の止水目地の概念図及び配置位置図

2.3 評価方針

防波壁（波返重力擁壁）は，Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割及び性能目標を表 2-1 及び表 2-2 に示す。

防波壁（波返重力擁壁）の耐震評価は，地震応答解析及び3次元構造解析の結果に基づき，設計基準対象施設として，表 2-3 に示すとおり，施設・地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。

施設・地盤の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を実施することで，構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については，施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力度，すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては，基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

施設の変形性評価については，止水目地の変形量を算定し，有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界を下回ることを確認する。

防波壁（波返重力擁壁）の耐震評価フローを図 2-7 に示す。

表 2-1 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	重力擁壁	・止水目地及び漂流物対策工を支持する。	・止水目地及び漂流物対策工を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・重力擁壁間の変形に追従する。	・重力擁壁間の変形に追従し、遮水性を保持する。
	ケーソン	・重力擁壁を支持するとともに、遮水性を保持する。 ・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁及び漂流物対策工を支持するとともに、遮水性を保持する。 ・重力擁壁を支持する。
	H形鋼	・重力擁壁を支持する。	・重力擁壁を支持する。
	漂流物対策工	・役割に期待しない。	・漂流物衝突荷重を分散して防波壁（波返重力擁壁）に伝達する。 ・漂流物衝突荷重による防波壁（波返重力擁壁）の局所的な損傷を防止する。
地盤	MMR	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	改良地盤⑥	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・ケーソン及び重力擁壁を支持する。
	埋戻土， 砂礫層	・役割に期待しない（解析モデルに取り込み，防波壁（波返重力擁壁）への相互作用を考慮する）。	・津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。

表 2-2 防波壁（波返重力擁壁）の各部位の性能目標

部位		性能目標			
		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (透水性, 難透水性)
施設	重力擁壁	—	—	構造部材の健全性を保持するために、重力擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。	止水目地の支持機能を喪失して重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、重力擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。
	止水目地			重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形性能を保持すること。	重力擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。
	ケーソン			構造部材の健全性を保持するために、ケーソンがおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持し、有意な漏えいを生じないために、ケーソンがおおむね弾性状態にとどまること。
	H形鋼			構造部材の健全性を保持するために、H形鋼がおおむね弾性状態にとどまること。	構造部材の健全性を保持するために、H形鋼がおおむね弾性状態にとどまること。
	漂流物対策工			—	—
地盤	MMR	ケーソン及び重力擁壁を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	—	地盤中からの回り込みによる流入を防止（難透水性を保持）するため、MMR及び改良地盤⑥が破壊しないこと。（内的安定を保持）
	改良地盤⑥				
	岩盤				—

表 2-3 防波壁(波返重力擁壁)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	重力擁壁	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		ケーソン	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力(面内, 面外))が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度 材料強度
		H形鋼	発生する応力度(せん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		MMR	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2以上
		改良地盤⑥	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2以上
		漂流物対策工	発生する応力度(押抜きせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力度(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	重力擁壁	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		ケーソン	発生する応力度(曲げ・軸力及びせん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度 材料強度
		H形鋼	発生する応力度(せん断力)が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		MMR	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2以上
		改良地盤⑥	すべり破壊しないこと(内的安定を保持)を確認	すべり安全率 1.2以上
		漂流物対策工	—	—
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力度(接地圧)が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*
施設の変形性	止水目地	発生変形量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変形量	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

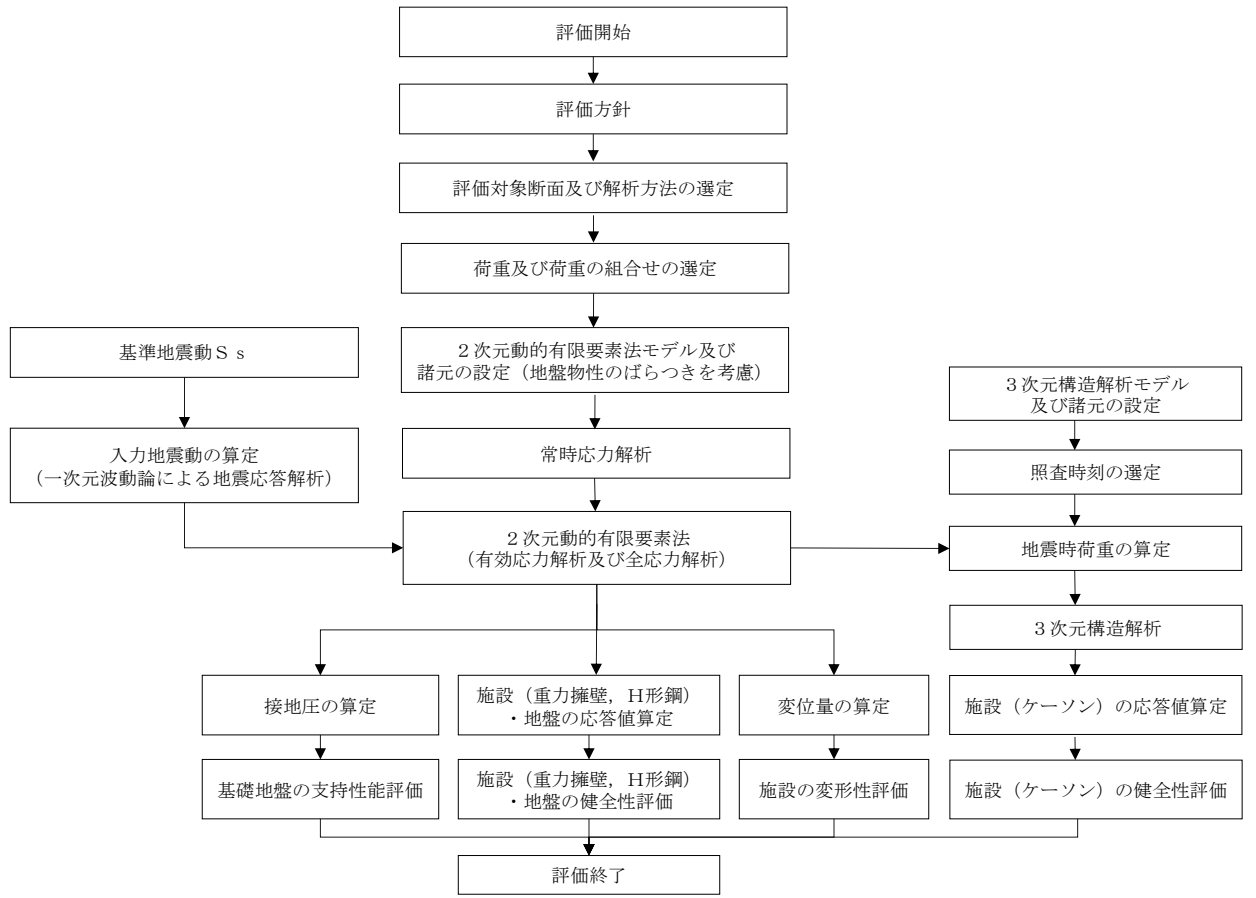


図 2-7 防波壁(波返重力擁壁)の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド(平成25年6月19日原管地発第1306196号)
- ・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)
- ・防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局, 平成27年12月)
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987(日本電気協会)
- ・松江市建築基準法施行細則(平成17年3月31日松江市規則第234号)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説((社)日本港湾協会, H19年版)
- ・港湾構造物設計事例集(沿岸技術研究センター, 平成19年3月)
- ・コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編](土木学会, 2013年制定)

3. 評価対象断面

防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面は，防波壁（波返重力擁壁）の構造上の特徴や周辺地盤状況を踏まえて設定する。防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図を図3-1に，縦断面図を図3-2に，防波壁（波返重力擁壁）の各区分における横断面図を図3-3～図3-8に示す。以下の理由から，②-②断面，③-③断面，④-④断面，⑤-⑤断面及び⑦-⑦断面を評価対象断面として選定する。

- ・②-②断面は，支持構造がケーソンとなる断面のうち，ケーソン高さに対するケーソン幅が狭く，地表面から岩盤上面までの深さが最も深いことに加え，ケーソン直下に改良地盤⑥が配置されているため，評価対象断面として選定した。
- ・③-③断面は，ケーソンに開口部（放水路）を有するため，評価対象断面として選定した。
- ・④-④断面は，地表面高さが最も高いため，評価対象断面として選定した。
- ・⑤-⑤断面は，重力擁壁が岩盤上に直接設置され，支持構造がH形鋼であり，重力擁壁の天端幅及び下端幅が狭いため，評価対象断面として選定した。
- ・⑦-⑦断面は④-④断面に直交する縦断方向の断面である。④-④断面位置における縦断方向の止水目地の変形量を求めるため，変形性評価の評価対象断面に選定した。

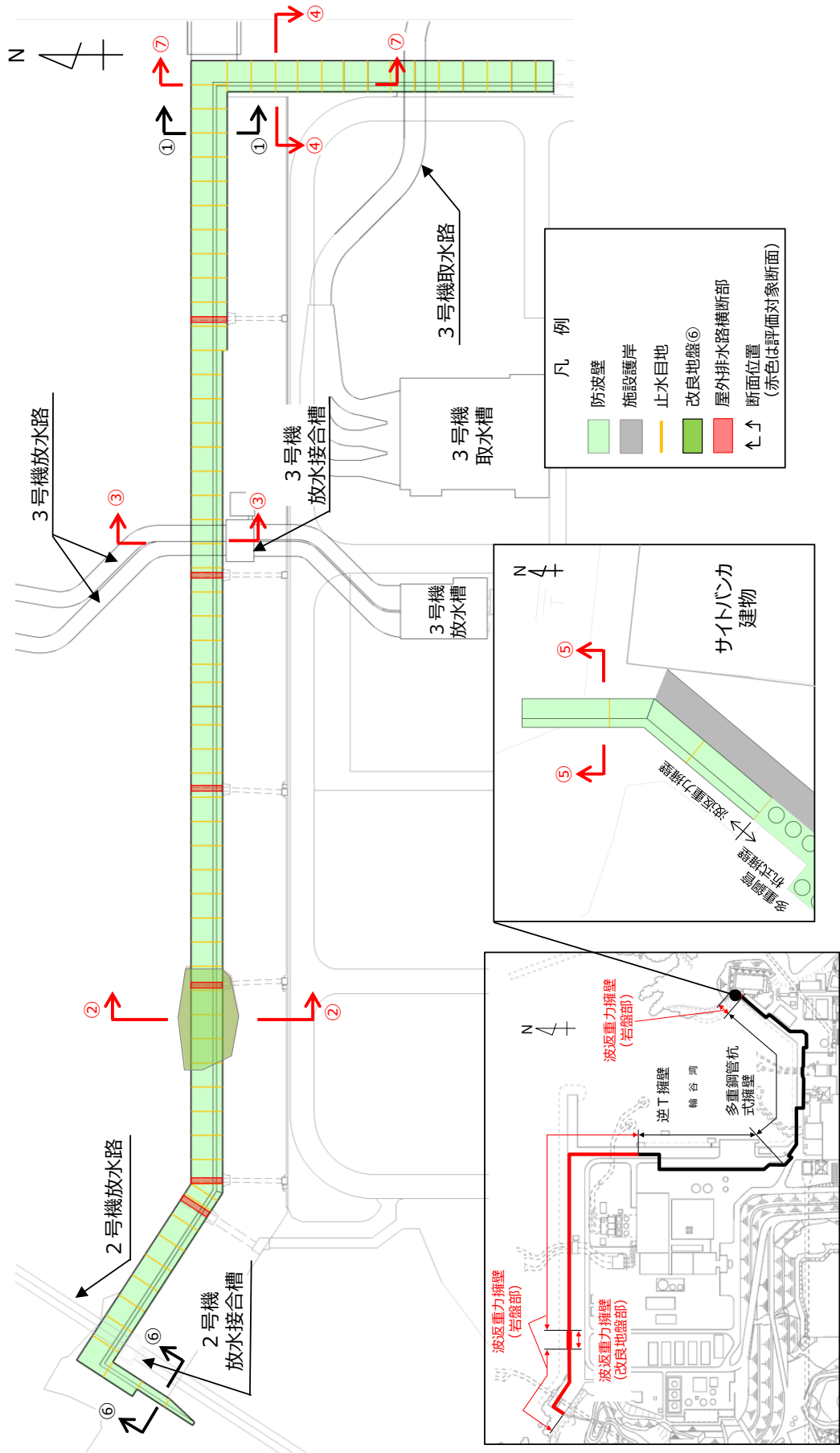


図 3-1 防波壁（波返重力擁壁）の評価対象断面位置図

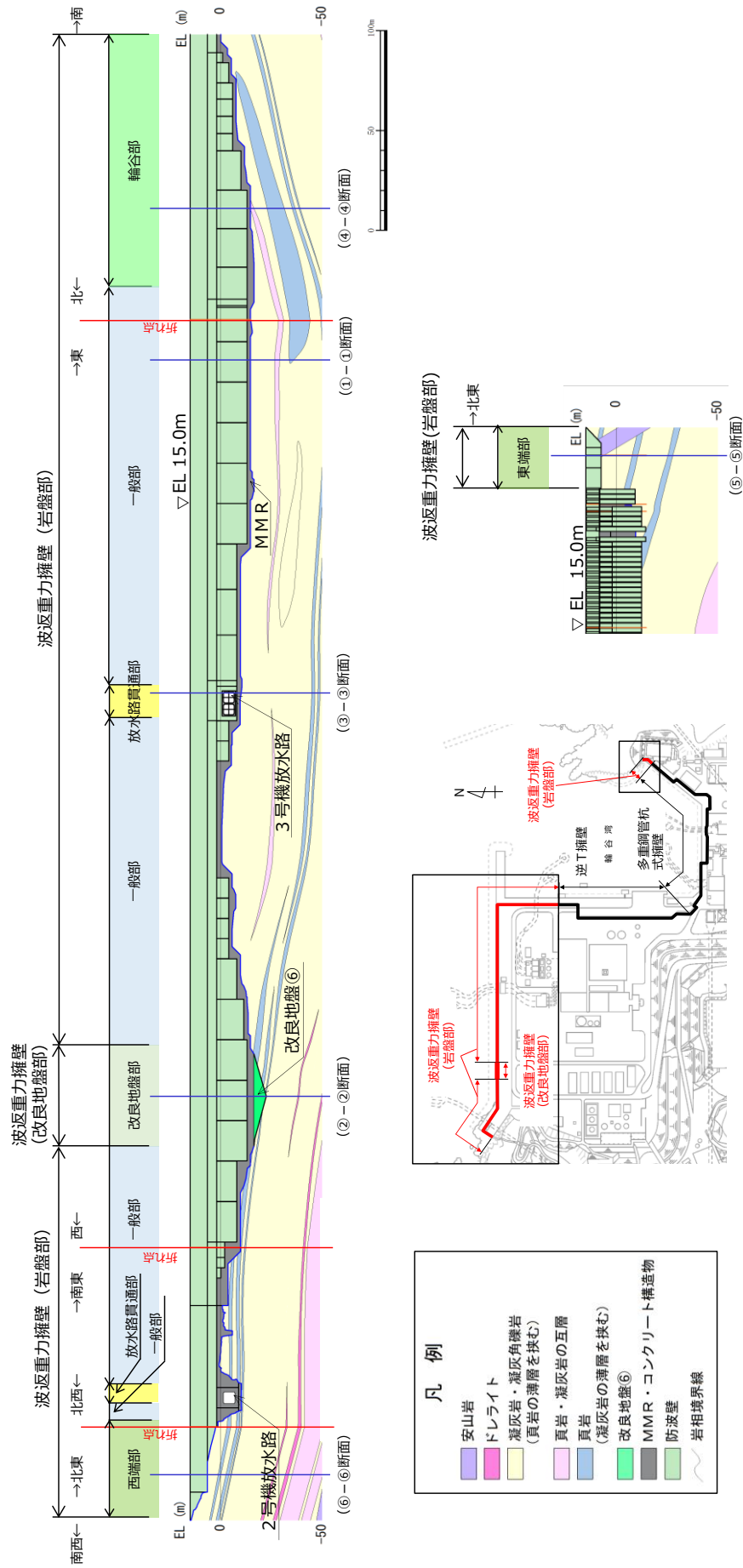


図 3-2 防波壁 (波返重力擁壁) の縦断面図

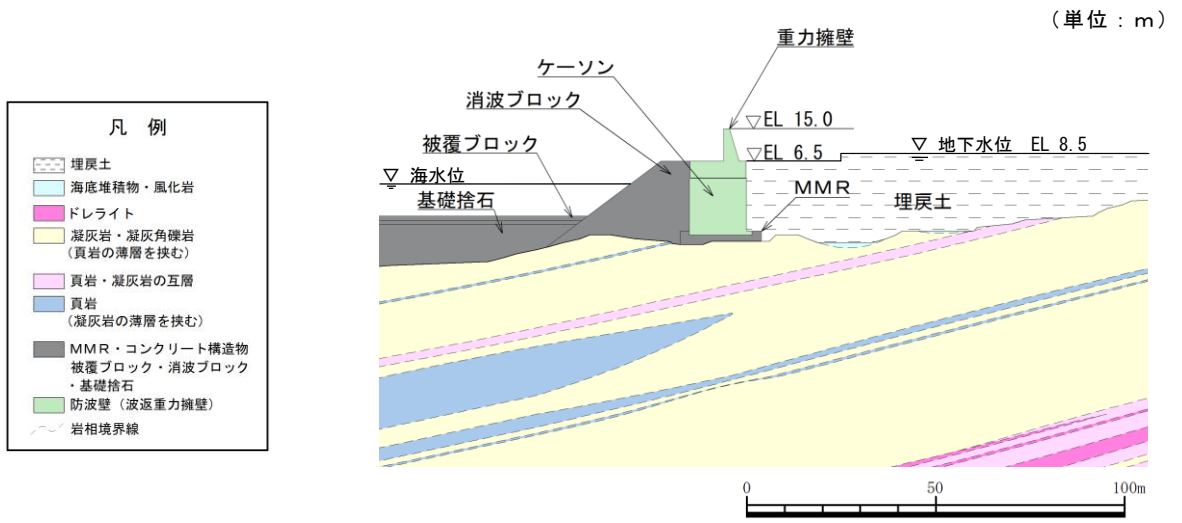


図 3-3 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (①-①断面)

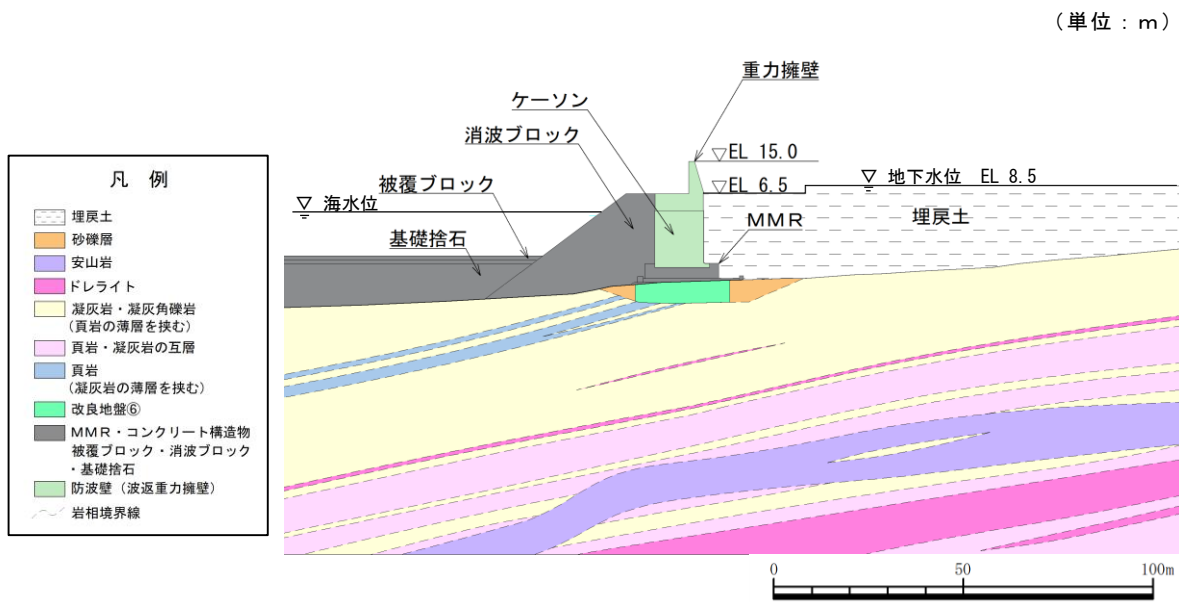


図 3-4 防波壁 (波返重力擁壁) の横断面図 (②-②断面)

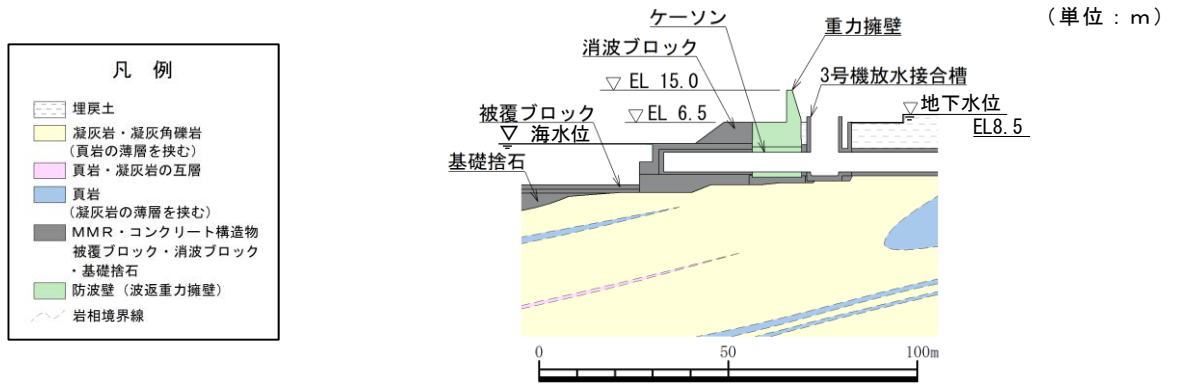


図 3-5 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（③-③断面）

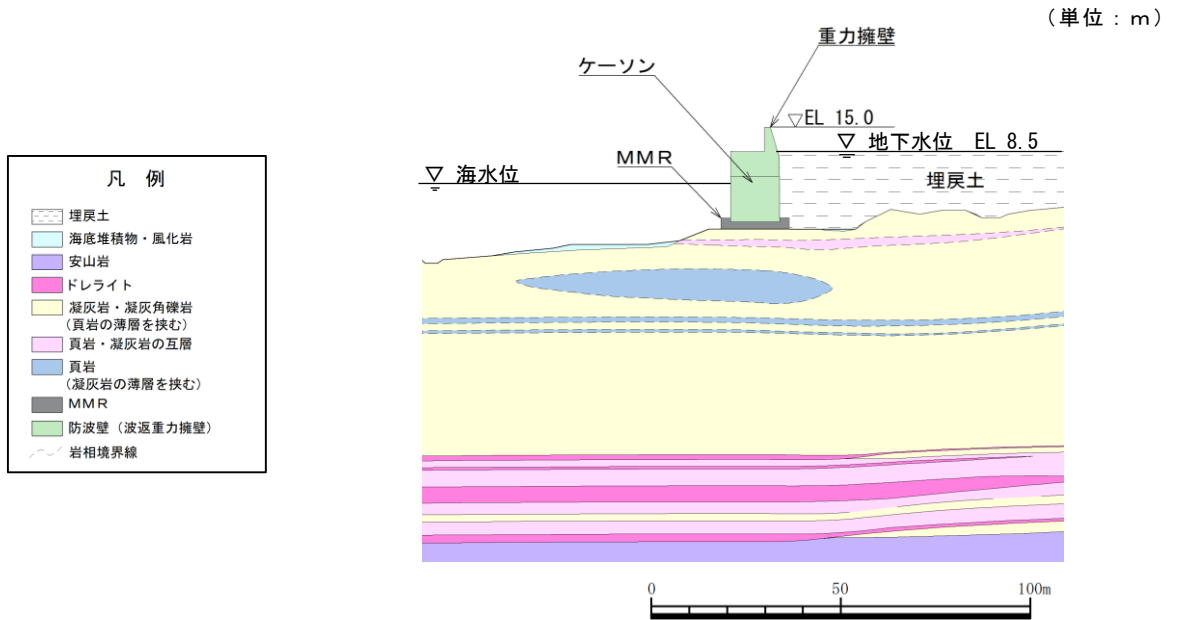


図 3-6 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（④-④断面）

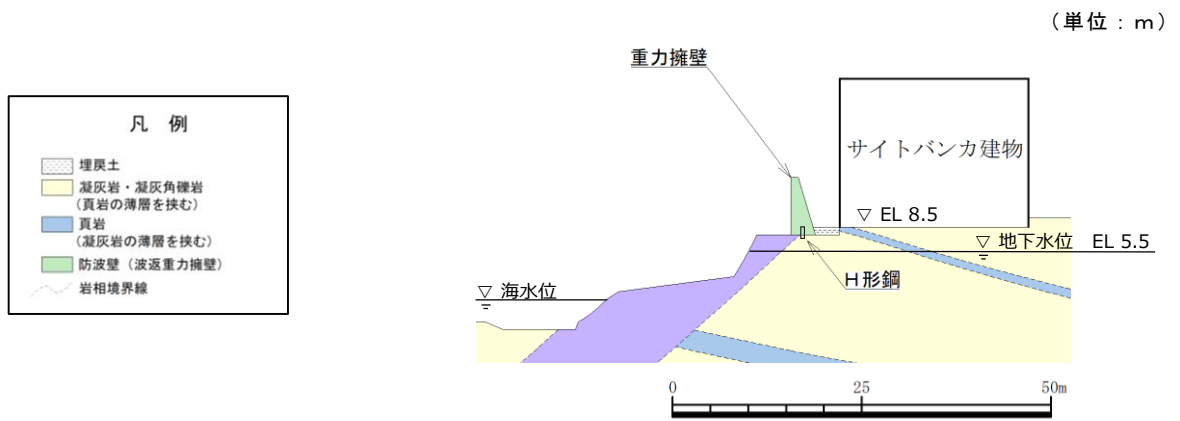


図 3-7 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（⑤-⑤断面）

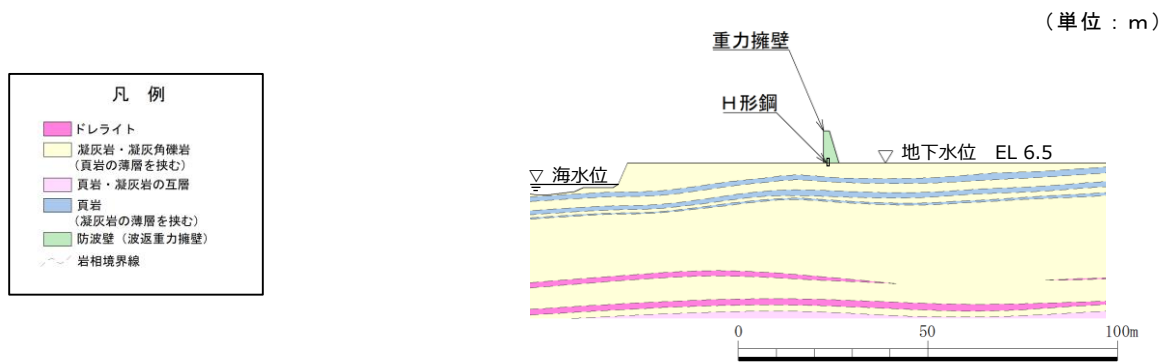


図 3-8 防波壁（波返重力擁壁）の横断面図（⑥-⑥断面）

4. 耐震評価

防波壁（波返重力擁壁）の各部位のうち、重力擁壁，H形鋼，MMR及び改良地盤⑥の健全性評価，基礎地盤の支持性能評価並びに止水目地の変形性評価については2次元動的有限要素法（有効応力解析及び全応力解析）による耐震評価を行う。2次元動的有限要素法において，②－②断面，③－③断面及び④－④断面は，地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため，解析方法は有効応力解析とし，⑤－⑤断面は，地下水位以深に液状化対象層が分布しないことから，解析方法は全応力解析とする。

ケーソンについては，ケーソンが複数の隔壁を有しており，部材間の応力伝達を考慮する必要があることから，3次元構造解析により健全性評価を行う。

4.1 2次元動的有限要素法

4.1.1 解析方法

解析方法はVI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」と同様とする。

防波壁（波返重力擁壁）の地震時の応答は，周辺地盤との相互作用によることから，地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては，表4-1に示す解析ケースにおいて考慮する。

②－②断面，③－③断面，④－④断面及び⑤－⑤断面は，図3-4～図3-7に示すとおり，動的変形特性にひずみ依存性がある地盤が分布しており，これらの地盤のせん断変形が地震時に防波壁（波返重力擁壁）の応答に与える影響が大きいと考えられる。このうち，広範囲に分布しており，応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

表4-1 解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	平均値

耐震評価における解析ケースを表 4-2 に示す。耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。全ての基準地震動 S_s に対して実施したケース①の解析において、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②及び③を実施する。

表 4-2 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①		ケース②	ケース③
		基本ケース		地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値		平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○	基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。	
		-+*	○		
		+ -*	○		
		--*	○		
	$S_s - F 1$	++*	○		
	$S_s - F 2$	++*	○		
	$S_s - N 1$	++*	○		
		-+*	○		
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○		
		-+*	○		
$S_s - N 2$ (EW)	++*	○			
	-+*	○			

注記* : 地震動の位相について、(++) の左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「-」は位相を反転させたケースを示す。

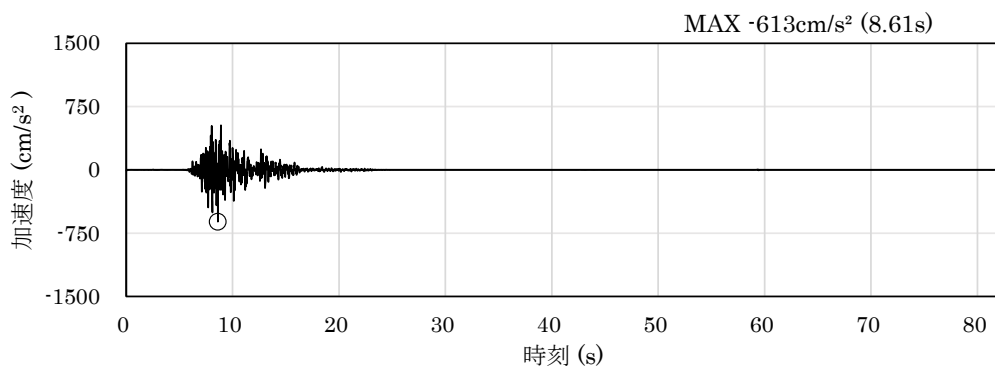
4.1.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した荷重を考慮する。

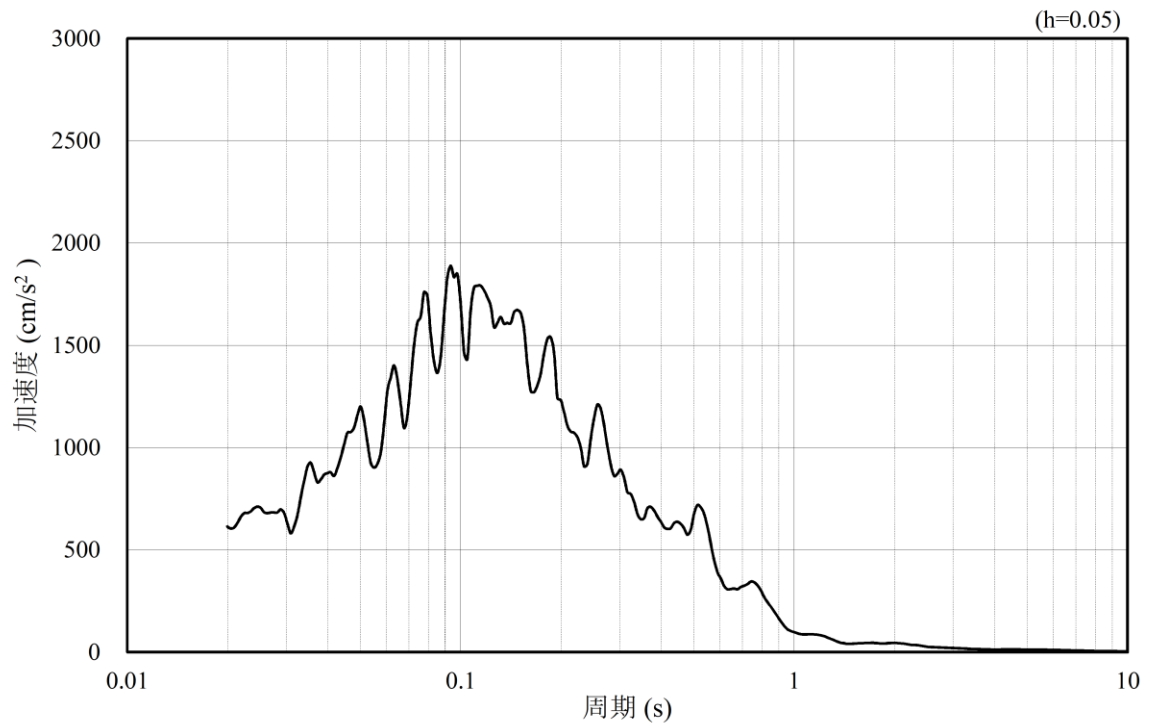
4.1.3 入力地震動

地震応答解析には、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した入力地震動を用いる。

⑦-⑦断面に用いる $S_s - F1 (NS)$ 及び $S_s - F2 (NS)$ について、図 4-1 及び図 4-2 に示す。

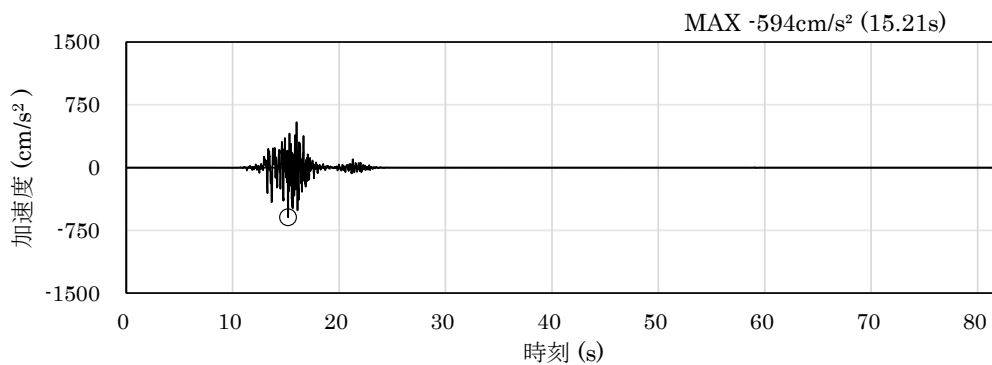


(a) 加速度時刻歴波形

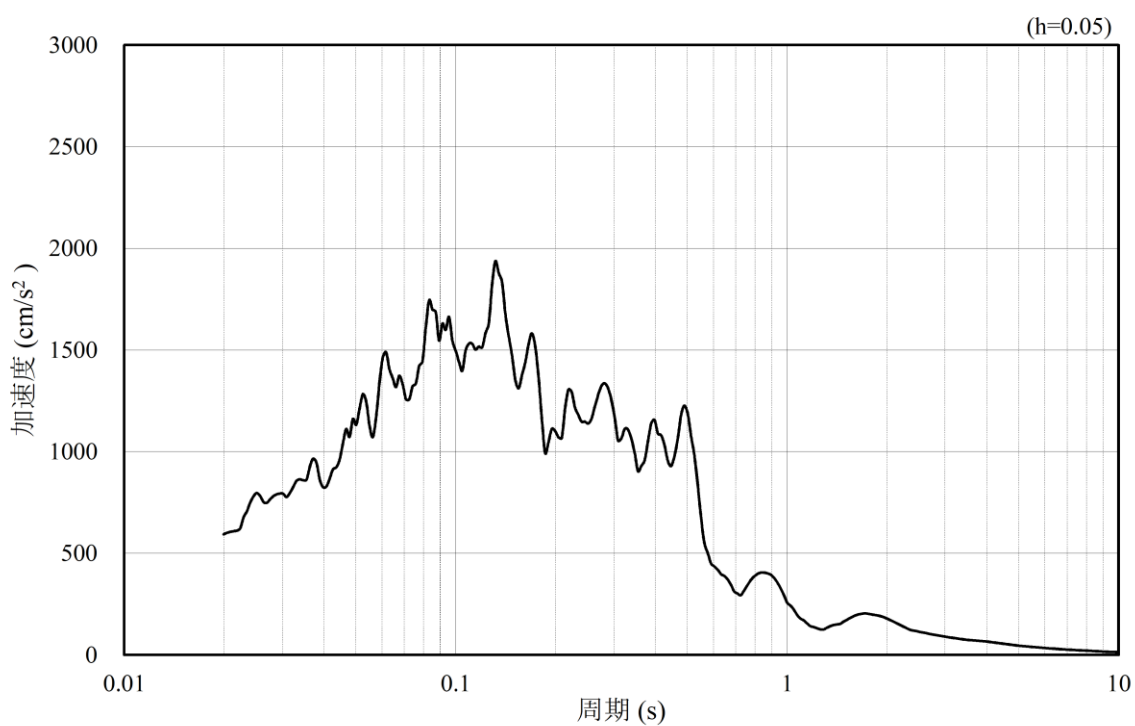


(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平成分： $S_s - F1 (NS)$)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

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
(水平成分 : S s - F 2 (N S))

4.1.4 解析モデル及び諸元

使用材料及び材料の物性値並びに地下水位については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」で設定したものをを用いる。解析モデル及び地盤の物性値について以下に示す。

(1) 解析モデル

評価対象断面のうち②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面の地震応答解析モデルは，VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した解析モデルを用いる。

評価対象断面のうち⑦-⑦断面の地震応答解析モデルを図 4-3 に示す。解析領域，境界条件等の考え方は，②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面と同様である。

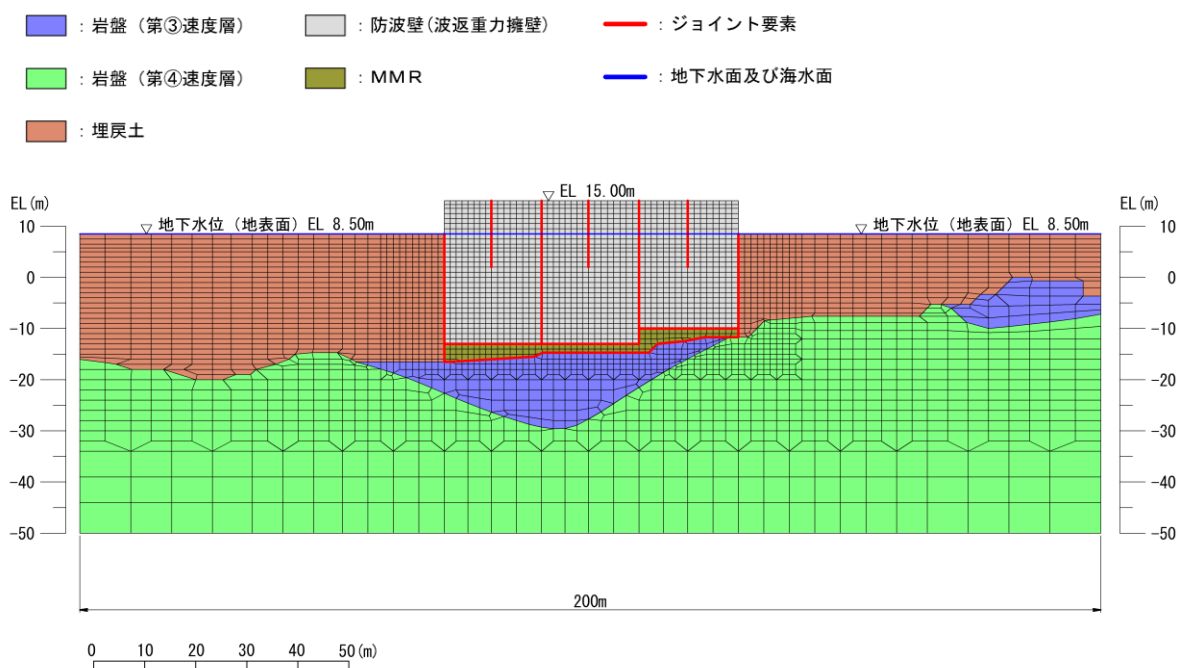


図 4-3 地震応答解析モデル (⑦-⑦断面)

(2) 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示したものを採用する。

(3) 地盤の物性値

地盤の物性値は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を採用する。

地盤のうち改良地盤⑥及びMMRの残留強度及び引張強度を表 4-3 のとおり設定する。

表 4-3 改良地盤⑥及びMMRの残留強度及び引張強度

地盤	残留強度		引張強度 σ_t (N/mm ²)
	c' (N/mm ²)	ϕ' (°)	
改良地盤⑥	0.0	48.80	436
MMR	4.8	0.00	1.91

(4) 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示したものを採用する。

4.1.5 評価対象部位

評価対象部位は，防波壁（波返重力擁壁）の構造上の特徴を踏まえ設定する。

(1) 施設・地盤の健全性評価

2次元動的有限要素法による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は，重力擁壁，H形鋼，MMR及び改良地盤⑥とする。

(2) 施設の変形性評価

2次元動的有限要素法による施設の変形性評価に係る評価対象部位は，構造物間に設置する止水目地とする。

(3) 基礎地盤の支持性能評価

2次元動的有限要素法による基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は，防波壁（波返重力擁壁）を支持する基礎地盤（MMR，改良地盤⑥及び岩盤）とする。

4.1.6 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) 重力擁壁

重力擁壁の許容限界は、「コンクリート標準示方書[構造性能照査編](土木学会, 2002年制定)」に基づき、表4-4に示す短期許容応力度とする。

表4-4 重力擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ¹ (N/mm ²)
	コンクリート (f' _{ck} =24N/mm ²)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9.0
許容せん断応力度 τ_{ca} * ²		0.45	0.67
コンクリート	許容せん断応力度 τ_{ca} * ³	0.43* ⁴	0.64
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記*1：短期許容応力度は、コンクリート標準示方書より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

*2：④-④断面の評価に用いる。

*3：設計基準強度の異なるコンクリートが重力擁壁に混在している②-②断面及び③-③断面の評価に用いる。

*4：設計基準強度 21N/mm² 及び 24N/mm² の各々の許容せん断応力度を用い、評価断面の面積案分により算定

(2) H形鋼

H形鋼の許容限界は、「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、表4-5に示す短期許容応力度とする。

表4-5 H形鋼の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	H形鋼 (SM490)	許容せん断応力度 τ_{sa}	105

注記*：短期許容応力度は、道路橋示方書より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

(3) MMR

MMRの施設・地盤の健全性評価に用いる許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日，原管地発第1306196号）」を準拠し，すべり安全率とする。表4-6にMMRの許容限界を示す。

表4-6 MMRの許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上

(4) 改良地盤⑥

改良地盤⑥の許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日，原管地発第1306196号）」を準拠し，すべり安全率とする。表4-7に改良地盤⑥の許容限界を示す。

表4-7 改良地盤⑥の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2以上

(5) 止水目地

止水目地の許容限界は，メーカ規格，漏水試験及び変形試験より，有意な漏えいが生じないことを確認した変形量とする。評価対象断面である④-④断面及び⑦-⑦断面位置における止水目地の変形量に対する許容限界を表4-8に示す。

表4-8 止水目地の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	1960

(6) 基礎地盤

基礎地盤のうち岩盤及び改良地盤⑥に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，岩盤は支持力試験，改良地盤⑥は一軸圧縮試験により設定する。

MMRに発生する接地圧に対する許容限界は，「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）」に基づき，コンクリートの支圧強度とする。

基礎地盤の許容限界を表4-9に示す。

表 4-9 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
	改良地盤⑥		3.0
支圧強度	MMR		24.0

4.1.7 評価方法

防波壁（波返重力擁壁）の耐震評価は、地震応答解析に基づいて算定した発生応力度が「4.1.6 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

(1) 重力擁壁

重力擁壁の評価は、曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ圧縮応力度、曲げ引張応力度及びせん断力により算定されるせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

②－②断面、③－③断面及び④－④断面は、地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。⑤－⑤断面は、地下水位以深に液状化対象層が分布しないことから、解析方法は全応力解析とする。

重力擁壁の応力度算定には、解析コード「EMR G I N G」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、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

a. 曲げ軸力照査

コンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認する。

b. せん断照査

コンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認する。

(2) H形鋼

H形鋼は、⑤－⑤断面において、擁壁下端に発生するせん断力から算定されるせん断応力度が許容限界以下であることを確認する。

(3) MMR

MMRの評価は、②－②断面、③－③断面及び④－④断面において、すべり線のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を時々刻々求め、最小すべり安全率を算定する。

(4) 改良地盤⑥

改良地盤⑥の評価は、②-②断面において、改良地盤⑥を通るすべり線のすべり安全率が1.2以上であることを確認する。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態をもとに、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を時々刻々求め、最小すべり安全率を算定する。

(5) 止水目地

止水目地の地震時の評価は、④-④断面において、防波壁（波返重力擁壁）の縦断方向及び横断方向ともに、地震荷重による最大変位が許容限界以下であることを確認する。

x方向（法線直交方向）及びz方向（深度方向）の変位は、図4-4に示すとおり、重力擁壁における地震時の相対変位量とし、保守的に各ブロックの位相が逆になったことを考慮し、時刻歴最大の相対変位量を2倍したものを算定する。

y方向（法線方向）の変位は、隣接する重力擁壁の天端間の相対変位とする。相対変位の抽出位置を図4-5に示す。

$$\begin{aligned} \text{x方向（法線直交方向）の変位} & \quad \delta_x : \delta_x = |\delta_x(T)| \times 2 \\ \text{y方向（法線方向）の変位} & \quad \delta_y : \delta_y = |\delta_y(T)| \\ \text{z方向（深度方向）の変位} & \quad \delta_z : \delta_z = |\delta_z(T)| \times 2 \end{aligned}$$

ここで、

$\delta_x(T)$: x方向の最大相対変位

$\delta_y(T)$: y方向の最大相対変位

$\delta_z(T)$: z方向の最大相対変位

法線直交方向、法線方向及び深度方向の変位量を用い、下式のとおり合成方向（3方向合成）の変位量を求め、止水目地の地震荷重による最大変位とする。

$$\text{最大変位 } \delta : \delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$$

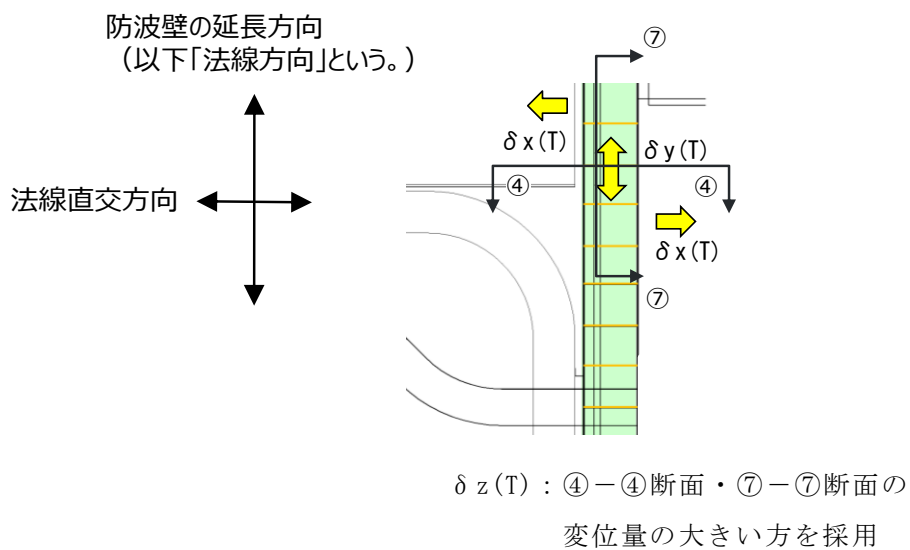


図 4-4 地震時の変位の概念図

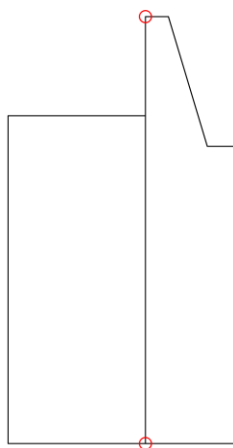


図 4-5 相対変位抽出位置

(6) 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価は、②-②断面、③-③断面、④-④断面及び⑤-⑤断面において、MMR、改良地盤⑥及び防波壁直下の岩盤に生じる接地圧が許容限界以下であることを確認する。

4.2 3次元構造解析

4.2.1 解析方法

②-②断面、③-③断面及び④-④断面は、隔壁を有したケーソンが設置されており、ケーソンは複雑な構造をしていることから、3次元構造解析によりケーソンの構造部材の健全性評価を行う。

3次元構造解析には、解析コード「FINAS/STAR」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3次元構造解析への入力荷重は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」の地震応答解析において、防波壁（波返重力擁壁）の耐震評価に支配的な荷重が最大となる時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から地震時土圧及び慣性力を設定する。

構造部材の健全性評価において、照査時刻は構造的特徴を踏まえ、部材の評価が厳しくなる時刻を地震時応答解析の結果から選定する。

4.2.2 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示した荷重を考慮する。

4.2.3 解析モデル

(1) 構造物のモデル化

a. ②-②断面及び④-④断面

②-②断面及び④-④断面の3次元構造解析モデルにおいて、ケーソンを構成する壁部材は線形シェル要素でモデル化し、その他は線形ソリッド要素でモデル化する。3次元構造解析モデルを図4-6及び図4-7に示す。

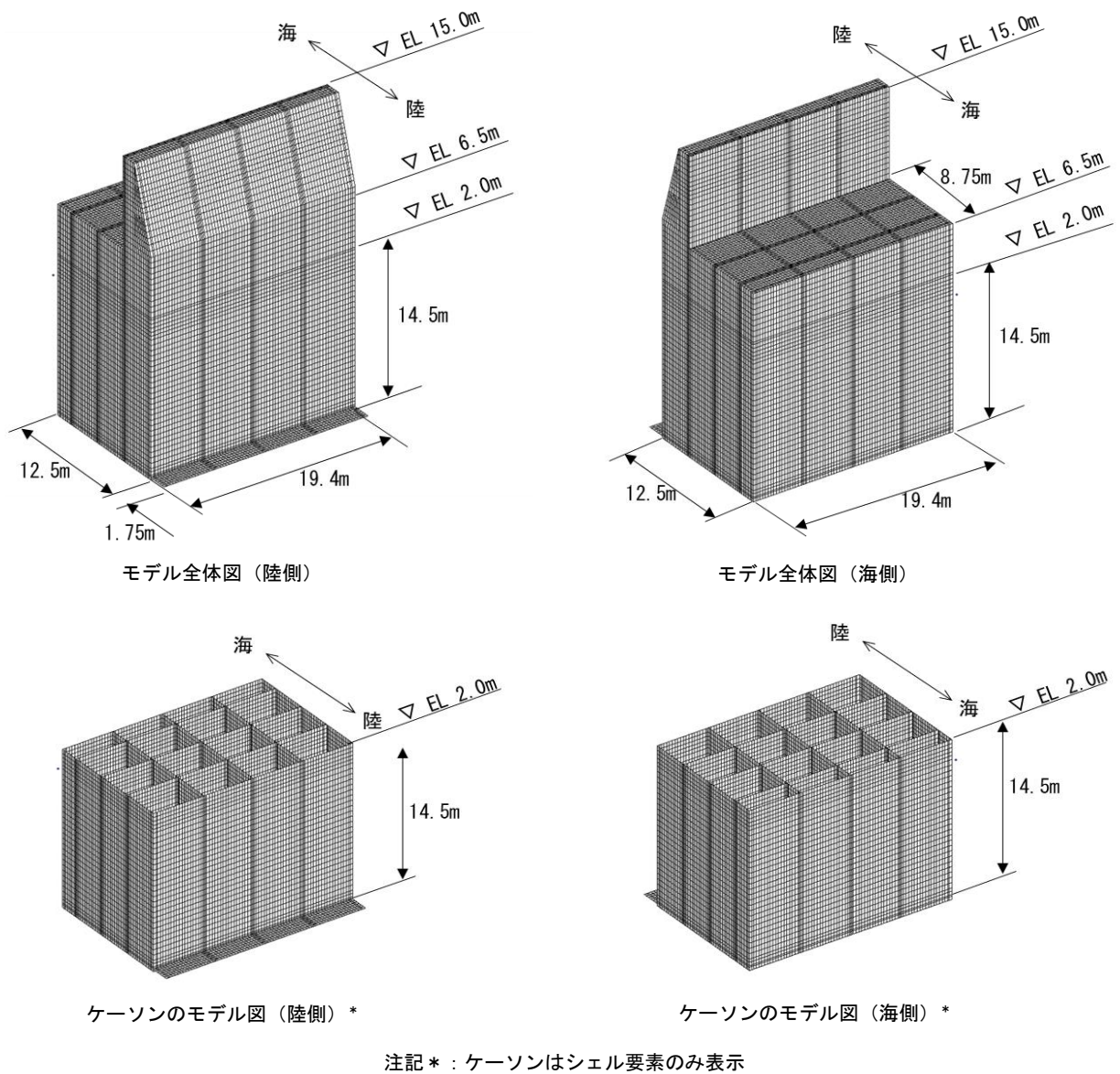
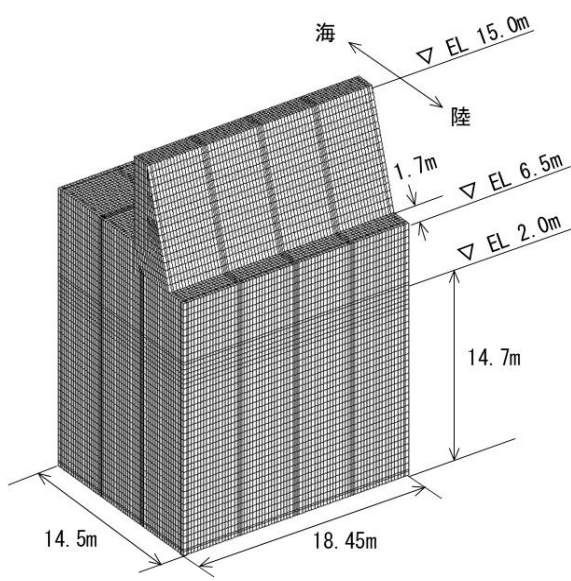
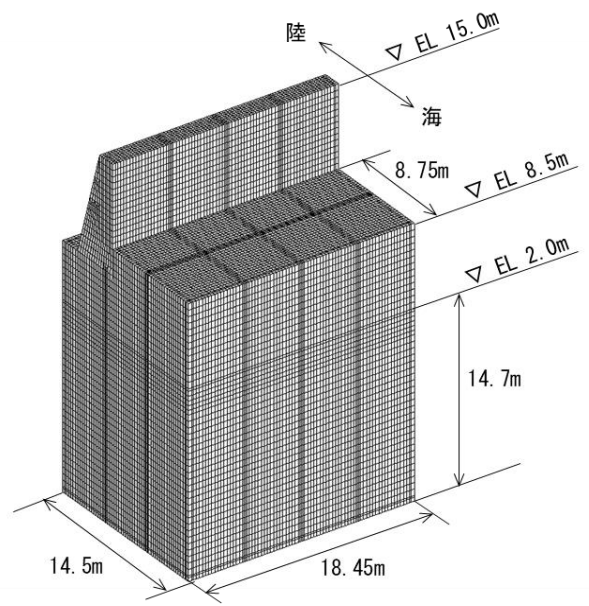


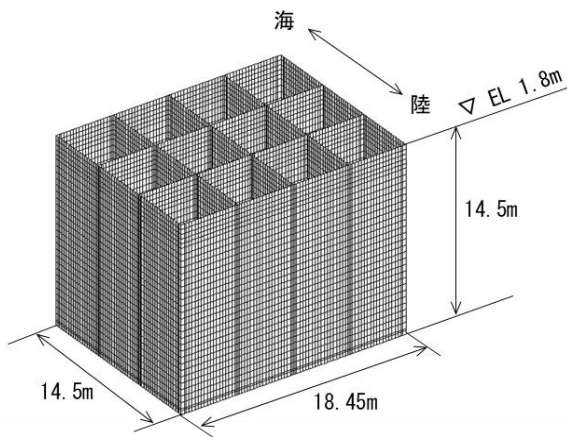
図4-6 3次元構造解析モデル (②-②断面)



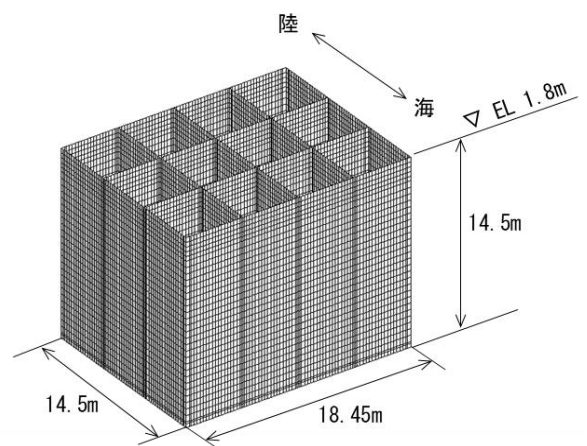
モデル全体図（陸側）



モデル全体図（海側）



ケーソンのモデル図（陸側）*



ケーソンのモデル図（海側）*

注記* : ケーソンはシェル要素のみ表示

図 4-7 3次元構造解析モデル（④-④断面）

b. ③－③断面

③－③断面の3次元構造解析モデルにおいて、ケーソン及び重力擁壁はソリッド要素でモデル化する。3次元構造解析モデルを図4-8に示す。



図4-8 3次元構造解析モデル（③－③断面）

(2) 地盤ばね

3次元構造解析モデルのうち、構造物とMMRの境界には地盤ばねを設置する。地盤ばねは、「4.2.1 解析方法」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。

(3) 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を基に設定する。

a. ケーソン

ケーソンの使用材料を表 4-10 に、材料の物性値を表 4-11 に示す。重力擁壁の使用材料は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

表 4-10 使用材料

材料	諸元
コンクリート	21.0 N/mm ²
	24.0 N/mm ²
鉄筋	SD345

表 4-11 材料の物性値

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
コンクリート	24.0*	2.5×10 ⁴ *	0.2*

注記*：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）

(4) 地下水位

設計用地下水位は、VI-2-10-2-2-1「防波壁（波返重力擁壁）の地震応答計算書」に示したものをを用いる。

4.2.4 評価対象部位

3次元構造解析による施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、ケーソンとする。

4.2.5 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

(1) ②-②断面及び④-④断面

ケーソンの許容限界は「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987」に基づき，表 4-12 に示す短期許容応力度とする。

せん断破壊（面内）に対しては，図 4-9 に示す J E A G 4 6 0 1 -1987 に規定されているスケルトンカーブの第 1 折点の許容せん断応力度（面内）を下回ることを許容限界とし，（式 1）に基づき設定する。

表 4-12 曲げ・軸力系の破壊及びせん断破壊（面外）に対する許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート ($f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9.0
許容せん断応力度 τ_{a1}		0.45	0.67
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記*：短期許容応力度は，コンクリート標準示方書より許容応力度に対して 1.5 倍の割増を考慮する。

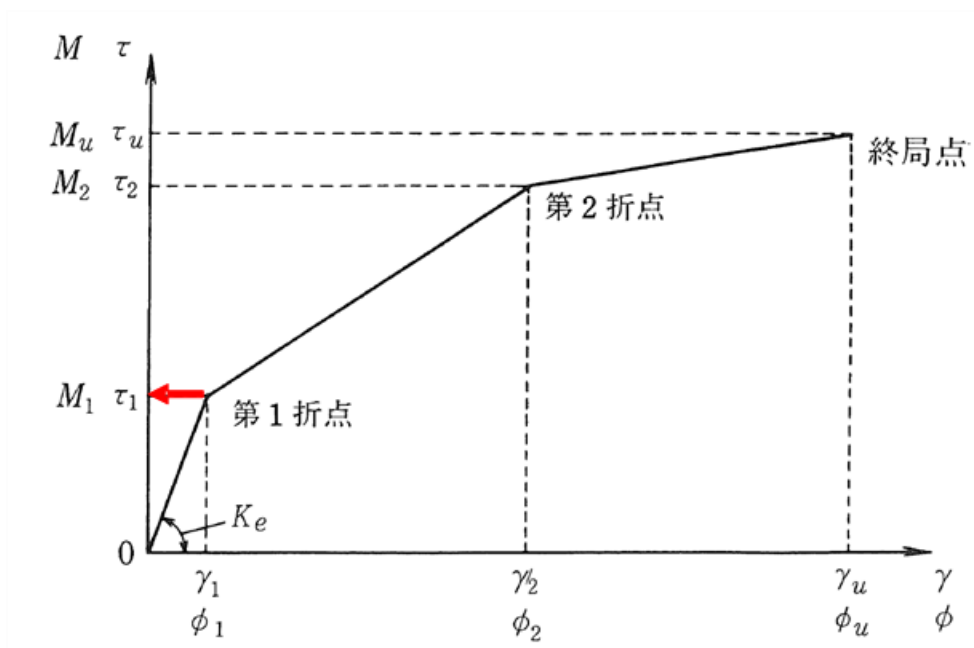


図 4-9 耐震壁のトリリニア・スケルトンカーブ（ $\tau - \gamma$ 関係）と評価式
（J E A G 4 6 0 1 - 1987 に加筆）

$$\tau_1 = \sqrt{0.31\sqrt{F_c}(0.31\sqrt{F_c} + \sigma_v)} \quad (\text{式 1})$$

ここに、

τ_1 : 許容せん断応力度（面内）(N/mm²)

F_c : 設計基準強度 (N/mm²)

σ_v : 鉛直方向軸応力度 (N/mm²)

(2) ③-③断面

③-③断面は鋼材を部材内に有する構造であるが、保守的に無筋コンクリートとみなし、許容限界を「コンクリート標準示方書[構造性能照査編]（土木学会，2002年制定）」及び「コンクリート標準示方書[ダムコンクリート編]（土木学会，2013年制定）」に基づき、表4-13に示す強度とする。

表4-13 ③-③断面ケーソンの許容限界

	算定式*2	強度 (N/mm ²)	準拠図書
圧縮強度 f'_{ak} *1	$\eta \cdot f'_{ck}$	24.0	コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（土木 学会，2002年制定）
引張強度 f_{tk}	$0.23f'_{ck}{}^{2/3}$	1.91	
せん断強度 τ_{ca}	$1/5f'_{ck}$	4.8	コンクリート標準示方書 [ダムコンクリート編] （土木学会，2013年制定）

注記*1：圧縮強度の算定に用いる係数 η は保守的に 1 とする。

*2：ここで f'_{ck} はコンクリートの設計基準強度

4.2.6 評価方法

(1) ②－②断面及び④－④断面

3次元構造解析に基づいて算定した曲げモーメント及び軸力より算定される曲げ圧縮応力度，曲げ引張応力度及びせん断力により算定されるせん断応力度が「4.2.5 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

応力度算定には，解析コード「EMR G I N G」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，VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

(2) ③－③断面

3次元構造解析に基づいて算定した圧縮応力度，引張応力度及びせん断応力度が「4.2.5 許容限界」で設定した許容限界以下であることを確認する。

5. 耐震評価結果

5.1 重力擁壁

5.1.1 曲げ軸力照査

②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面において，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-1 に，鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-2 に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリート及び鉄筋における発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1(1) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	①	5491	1367	3.9	13.5	0.29

表 5-1(2) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(③-③断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - N 1 (++)	①	8700	1979	6.0	13.5	0.45

表 5-1(3) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	③	5409	1266	4.8	13.5	0.36

表 5-1(4) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (+-)	①	3847	1249	3.7	13.5	0.28

表 5-2(1) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	①	5491	1367	155.2	294	0.53

表 5-2(2) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (③-③断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - N 1 (++)	①	8700	1979	244.6	294	0.84

表 5-2(3) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (-+)	③	5409	1266	216.5	294	0.74

表 5-2(4) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (++)	③	3837	1196	145.0	294	0.50

5.1.2 せん断照査

②-②断面，③-③断面，④-④断面及び⑤-⑤断面において，重力擁壁のコンクリートのせん断破壊に対する照査を行った。

コンクリートのせん断破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-3に示す。

この結果から，重力擁壁のコンクリートにおける発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表5-3(1) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値（②-②断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
		せん断力 Q (kN)			
S s - D (-+)	②	1089	0.28	0.64	0.44

表5-3(2) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値（③-③断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
		せん断力 Q (kN)			
S s - N 1 (++)	①	1500	0.38	0.64	0.61

表5-3(3) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値（④-④断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
		せん断力 Q (kN)			
S s - D (-+)	③	1249	0.36	0.67	0.54

表5-3(4) コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値（⑤-⑤断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{a1}
		せん断力 Q (kN)			
S s - D (++)	③	770	0.25	0.67	0.38

5.2 ケーソン

5.2.1 ②-②断面及び④-④断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、前壁、後壁、側壁、隔壁、底版及びフーチングとした。評価対象位置図を図5-1に示す。

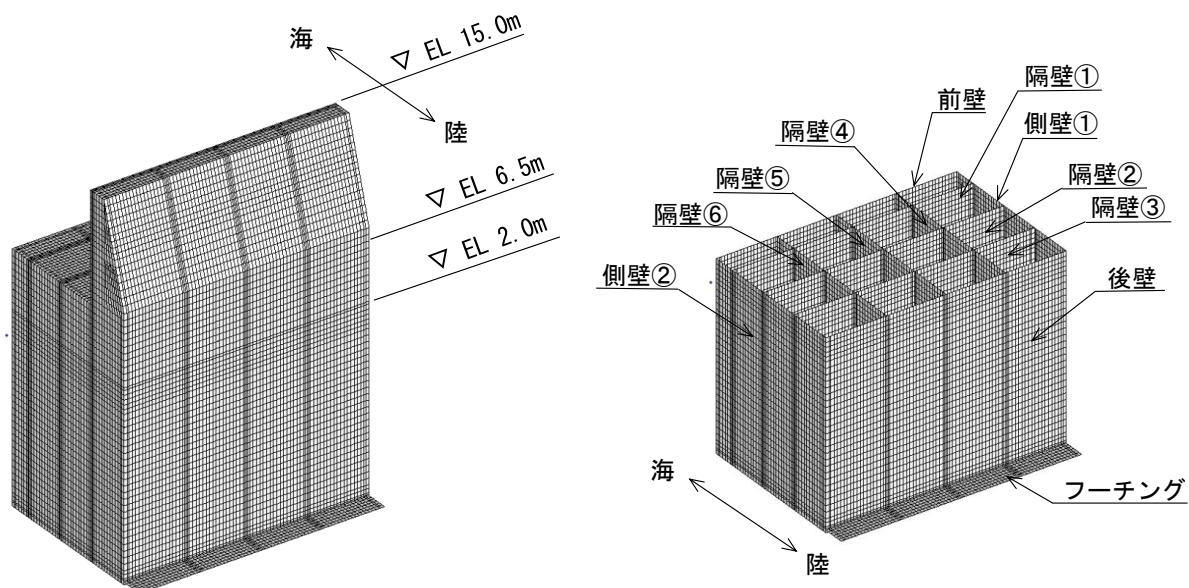


図5-1(1) 評価対象位置図 (②-②断面)

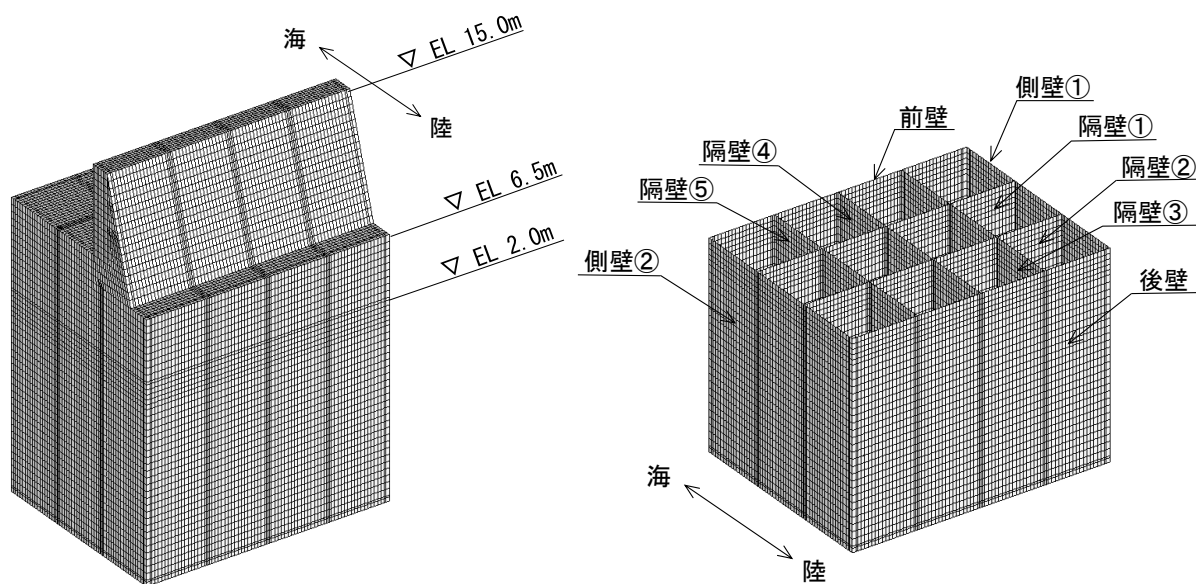


図5-1(2) 評価対象位置図 (④-④断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

②-②断面及び④-④断面において、ケーソンのコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査を行った。

コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-4 に、鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-5 に、コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-6 に、コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-7 に示す。

この結果から、ケーソンのコンクリート及び鉄筋における発生応力度が、構造部材の健全性に対する許容限界以下であることを確認した。

表 5-4(1) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(②-②断面)

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
			曲げ モーメント M(kN・m)	軸力 N(kN)			
底版	S s - N 1 (++)	②	124	-121	2.8	13.5	0.21
フーチング	S s - D (-+)	③	140	-49	1.1	13.5	0.08
前壁	S s - D (-+)	①	2	1479	2.8	13.5	0.21
後壁	S s - N 1 (++)	②	4	1967	4.1	13.5	0.31
側壁①	S s - N 1 (++)	②	30	1603	3.8	13.5	0.29
側壁②	S s - N 1 (++)	②	30	1603	3.8	13.5	0.29
隔壁①	S s - N 1 (-+)	①	10	384	2.3	13.5	0.18
隔壁②	S s - D (--)	①	8	390	2.1	13.5	0.16
隔壁③	S s - N 1 (++)	②	2	619	2.3	13.5	0.18
隔壁④	S s - N 1 (++)	②	5	749	3.1	13.5	0.23
隔壁⑤	S s - N 1 (++)	②	0	866	3.0	13.5	0.23
隔壁⑥	S s - N 1 (++)	②	5	749	3.1	13.5	0.23

表 5-4(2) コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
			曲げ モーメント M(kN・m)	軸力 N(kN)			
底版	S s - N 1 (- +)	②	212	272	4.1	13.5	0.31
前壁	S s - N 1 (- +)	②	22	2744	6.1	13.5	0.46
後壁	S s - N 1 (+ +)	①	26	2059	4.7	13.5	0.36
側壁①	S s - N 1 (- +)	②	87	2147	6.1	13.5	0.46
側壁②	S s - N 1 (- +)	②	87	2147	6.1	13.5	0.46
隔壁①	S s - N 1 (- +)	②	20	657	4.1	13.5	0.31
隔壁②	S s - N 1 (+ +)	①	3	730	2.7	13.5	0.21
隔壁③	S s - N 1 (- +)	②	5	1375	4.9	13.5	0.37
隔壁④	S s - N 1 (- +)	②	0	1376	4.4	13.5	0.33
隔壁⑤	S s - N 1 (- +)	②	5	1375	4.9	13.5	0.37

表 5-5(1) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (②-②断面)

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
			曲げ モーメント M(kN・m)	軸力 N(kN)			
底版	S s - N 1 (++)	②	124	-121	197.1	294	0.67
フーチング	S s - N 1 (++)	②	121	-250	93.4	294	0.32
前壁	S s - N 1 (++)	①	4	-282	94.3	294	0.32
後壁	S s - D (-+)	③	7	-244	94.2	294	0.32
側壁①	S s - N 1 (++)	①	0	-259	113.7	294	0.39
側壁②	S s - N 1 (++)	①	0	-259	113.7	294	0.39
隔壁①	S s - D (++)	①	0	-85	70.3	294	0.24
隔壁②	S s - N 1 (-+)	①	0	-95	75.0	294	0.26
隔壁③	S s - N 1 (++)	②	0	-133	105.5	294	0.36
隔壁④	S s - N 1 (++)	②	0	-57	46.3	294	0.16
隔壁⑤	S s - N 1 (++)	②	0	-69	54.7	294	0.19
隔壁⑥	S s - N 1 (++)	②	0	-57	46.3	294	0.16

表 5-5(2) 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値 (④-④断面)

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
			曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
底版	S _s - N 1 (-+)	②	208	-110	190.7	294	0.65
前壁	S _s - N 1 (-+)	②	-11	-227	93.5	294	0.32
後壁	S _s - N 1 (++)	①	-7	-211	82.3	294	0.28
側壁①	S _s - N 1 (-+)	③	1	-164	70.0	294	0.24
側壁②	S _s - N 1 (-+)	③	1	-164	70.0	294	0.24
隔壁①	S _s - N 1 (-+)	②	0	-195	121.1	294	0.42
隔壁②	S _s - N 1 (++)	①	0	-164	101.4	294	0.35
隔壁③	S _s - N 1 (-+)	③	0	-183	112.8	294	0.39
隔壁④	S _s - N 1 (-+)	③	0	-197	120.9	294	0.42
隔壁⑤	S _s - N 1 (-+)	③	0	-183	112.8	294	0.39

表 5-6(1) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
 (②-②断面)

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
			せん断力 Q (kN)			
底版	S _s -N1 (++)	②	129	0.29	0.67	0.44
フーチング	S _s -D (-+)	③	149	0.19	0.67	0.29
前壁	S _s -D (++)	③	68	0.20	0.67	0.30
後壁	S _s -N1 (++)	②	113	0.31	0.67	0.47
側壁①	S _s -N1 (++)	②	67	0.16	0.67	0.24
側壁②	S _s -N1 (++)	②	67	0.16	0.67	0.24
隔壁①	S _s -N2 (EW) (++)	①	11	0.10	0.67	0.15
隔壁②	S _s -D (-+)	①	13	0.12	0.67	0.18
隔壁③	S _s -D (+-)	①	9	0.08	0.67	0.12
隔壁④	S _s -N1 (++)	②	5	0.05	0.67	0.08
隔壁⑤	S _s -D (+-)	①	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑥	S _s -N1 (++)	②	5	0.05	0.67	0.08

表 5-6(2) コンクリートのせん断破壊（面外）に対する照査における最大照査値
 (④-④断面)

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_c / τ_{a1}
			せん断力 Q (kN)			
底版	S _s -N1 (-+)	②	207	0.46	0.67	0.69
前壁	S _s -D (--)	①	133	0.37	0.67	0.56
後壁	S _s -N1 (-+)	②	43	0.11	0.67	0.17
側壁①	S _s -N1 (-+)	②	82	0.20	0.67	0.30
側壁②	S _s -N1 (-+)	②	82	0.20	0.67	0.30
隔壁①	S _s -N1 (-+)	②	25	0.23	0.67	0.35
隔壁②	S _s -D (-+)	③	16	0.15	0.67	0.23
隔壁③	S _s -N1 (-+)	②	7	0.06	0.67	0.09
隔壁④	S _s -D (-+)	①	0	0.00	0.67	0.00
隔壁⑤	S _s -N1 (-+)	②	7	0.06	0.67	0.09

表 5-7(1) コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
 (②-②断面)

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 (面内) τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 (面内) τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_1
			せん断力 Q(kN)			
底版	S s - N 1 (-+)	①	292	0.49	1.51	0.33
フーチング	S s - N 1 (++)	②	319	0.32	1.51	0.22
前壁	S s - D (++)	①	121	0.24	2.20	0.11
後壁	S s - N 1 (++)	②	406	0.81	2.75	0.30
側壁①	S s - N 1 (-+)	①	463	0.93	1.95	0.48
側壁②	S s - N 1 (-+)	①	463	0.93	1.95	0.48
隔壁①	S s - D (-+)	①	91	0.36	2.24	0.17
隔壁②	S s - N 1 (-+)	①	91	0.37	1.91	0.20
隔壁③	S s - N 1 (++)	②	157	0.63	2.34	0.27
隔壁④	S s - D (++)	①	238	0.95	1.83	0.52
隔壁⑤	S s - D (++)	①	243	0.97	1.84	0.53
隔壁⑥	S s - D (++)	①	238	0.95	1.83	0.52

表 5-7(2) コンクリートのせん断破壊（面内）に対する照査における最大照査値
 (④-④断面)

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 (面内) τ_c (N/mm ²)	許容せん断 応力度 (面内) τ_1 (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_1
			せん断力 Q(kN)			
底版	S s - N 1 (-+)	②	497	0.83	1.51	0.55
前壁	S s - N 1 (-+)	②	380	0.76	2.93	0.26
後壁	S s - N 1 (++)	①	334	0.67	2.67	0.25
側壁①	S s - N 1 (-+)	②	694	1.39	2.13	0.66
側壁②	S s - N 1 (-+)	②	694	1.39	2.13	0.66
隔壁①	S s - N 1 (-+)	②	200	0.80	2.37	0.34
隔壁②	S s - N 1 (++)	①	192	0.77	2.46	0.32
隔壁③	S s - N 1 (-+)	②	463	1.85	2.32	0.80
隔壁④	S s - N 1 (-+)	②	468	1.87	2.31	0.81
隔壁⑤	S s - N 1 (-+)	②	463	1.85	2.32	0.80

5.2.2 ③-③断面

3次元構造解析に基づく、ケーソンの照査結果を示す。評価対象部材は、頂版、底版、側壁及び隔壁とした。評価対象位置図を図5-2に示す。

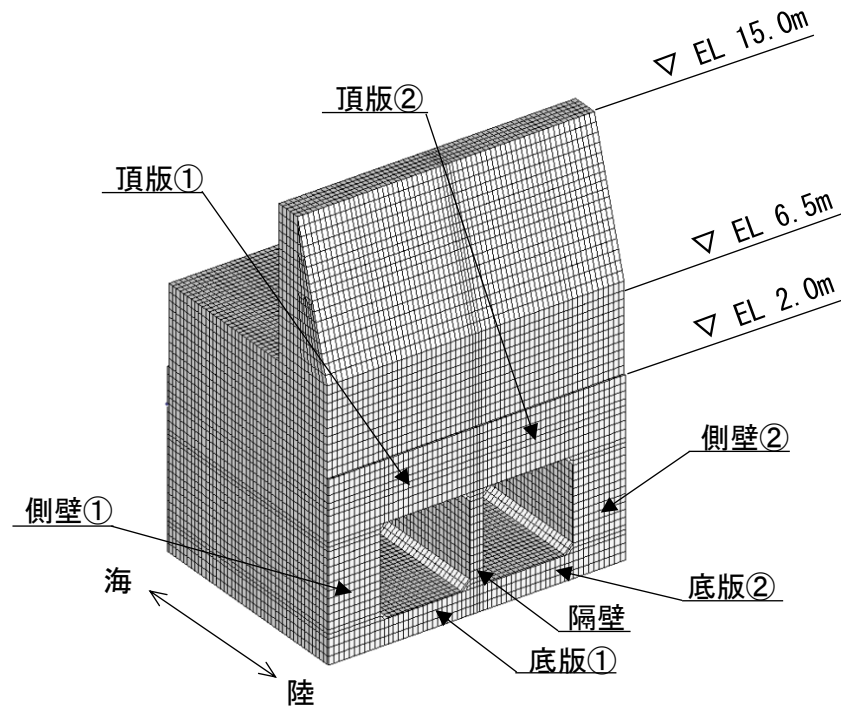


図5-2 評価対象位置図 (③-③断面)

a. 構造部材の健全性に対する評価結果

③-③断面において、ケーソンのコンクリートの圧縮応力度、引張応力度及びせん断応力度に対する照査を行った。

コンクリートの圧縮応力度に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-8に、コンクリートの引張応力度に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-9に、コンクリートのせん断応力度に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-10に示す。

この結果から、ケーソンのコンクリートにおける発生応力度が、構造部材の健全性に対する許容限界以下であることを確認した。

表 5-8 コンクリートの圧縮応力度に対する照査における最大照査値

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生応力	圧縮強度 f'_{ak} (N/mm ²)	照査値 σ_c/f'_{ak}
			圧縮応力度 σ_c (N/mm ²)		
底版①	S s - N 1 (-+)	③	4.2	24.0	0.18
底版②	S s - N 1 (-+)	③	4.2	24.0	0.18
側壁①	S s - D (+-)	①	7.1	24.0	0.30
側壁②	S s - D (+-)	①	7.1	24.0	0.30
隔壁	S s - N 1 (-+)	③	9.0	24.0	0.38
頂版①	S s - D (+-)	①	3.4	24.0	0.15
頂版②	S s - D (+-)	①	3.4	24.0	0.15

表 5-9 コンクリートの引張応力度に対する照査における最大照査値

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生応力	引張強度 f_{tk} (N/mm ²)	照査値 σ_s/f_{tk}
			引張応力度 σ_s (N/mm ²)		
底版①	S _s -N 1 (-+)	①	1.11	1.91	0.59
底版②	S _s -N 1 (-+)	①	1.11	1.91	0.59
側壁①	S _s -N 1 (-+)	②	0.99	1.91	0.52
側壁②	S _s -N 1 (-+)	②	0.99	1.91	0.52
隔壁	S _s -N 1 (-+)	①	1.80	1.91	0.95
頂版①	S _s -D (+-)	①	1.51	1.91	0.80
頂版②	S _s -D (+-)	①	1.51	1.91	0.80

表 5-10 コンクリートのせん断応力度に対する照査における最大照査値

評価対象 部材	地震動	解析 ケース	発生応力	せん断強度 τ_{ca} (N/mm ²)	照査値 τ_c/τ_{ca}
			せん断応力度 τ_c (N/mm ²)		
底版①	S s - N 1 (-+)	③	1.9	4.8	0.40
底版②	S s - N 1 (-+)	③	1.9	4.8	0.40
側壁①	S s - N 1 (-+)	③	1.8	4.8	0.38
側壁②	S s - N 1 (-+)	③	1.8	4.8	0.38
隔壁	S s - N 1 (-+)	③	1.9	4.8	0.40
頂版①	S s - D (+-)	①	1.6	4.8	0.35
頂版②	S s - D (+-)	①	1.6	4.8	0.35

5.3 H形鋼

5.3.1 せん断照査

⑤－⑤断面に設置しているH形鋼のせん断破壊に対する照査を行った。

H形鋼のせん断破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表5-11に示す。

この結果から、H形鋼における発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表5-11 H形鋼のせん断破壊に対する照査における最大照査値（⑤－⑤断面）

地震動	解析ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s/τ_{sa}
		せん断力 Q (kN)			
S s - D (++)	③	770	58	157	0.37

5.4 MMR

②－②断面、③－③断面及び④－④断面において、MMRのすべり安全率による評価を行った。

MMRのすべり安全率による評価結果を表5-12に、最小すべり安全率となる時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布を図5-3に示す。

この結果から、MMRのすべり安全率が1.2以上あることを確認した。

表5-12(1) MMRのすべり安全率評価結果（②－②断面）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - D (++)	②	24.73	7.48

表5-12(2) MMRのすべり安全率評価結果（③－③断面）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - N 1 (++)	②	8.26	8.52

表5-12(3) MMRのすべり安全率評価結果（④－④断面）

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - N 1 (-+)	②	7.62	7.30

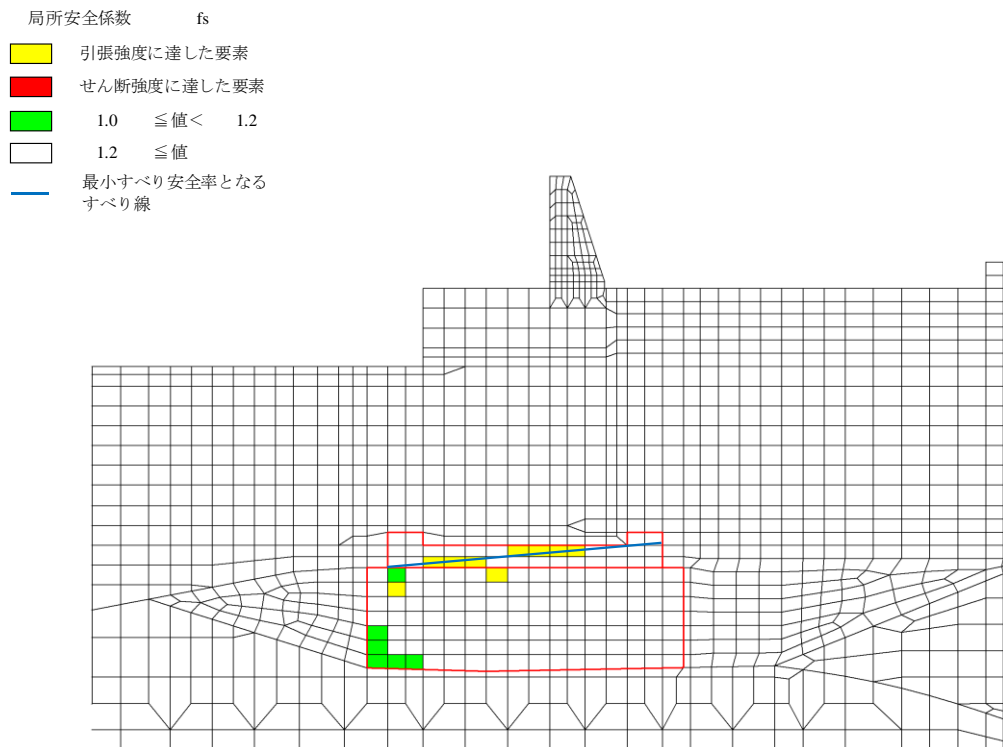


図 5-3(1) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (②-②断面, S s - D (++) , t=24.73s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)

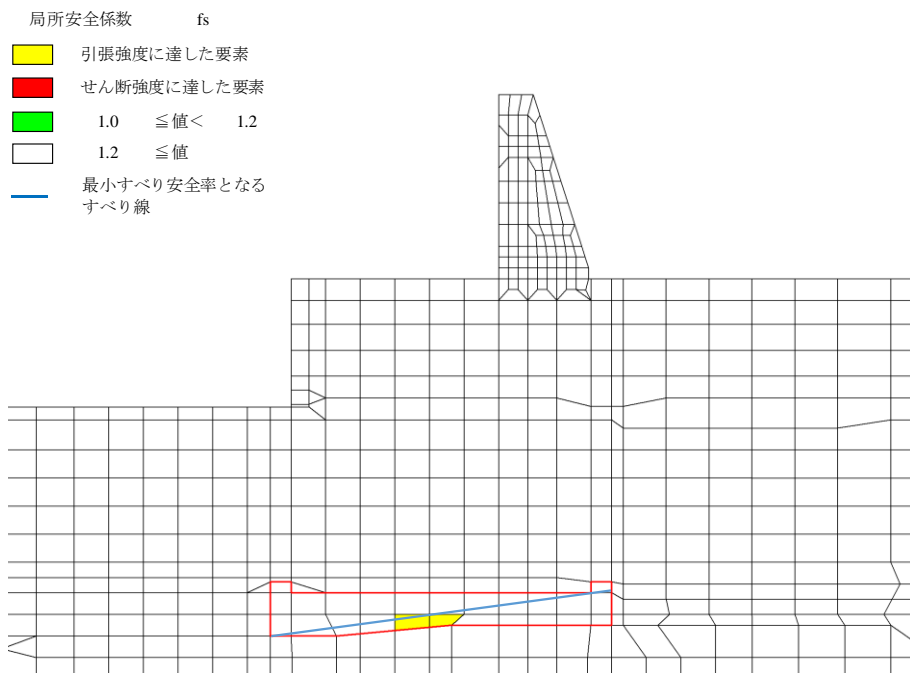


図 5-3(2) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (③-③断面, S s - N 1 (++) , t=8.26s)

解析ケース①：基本ケース

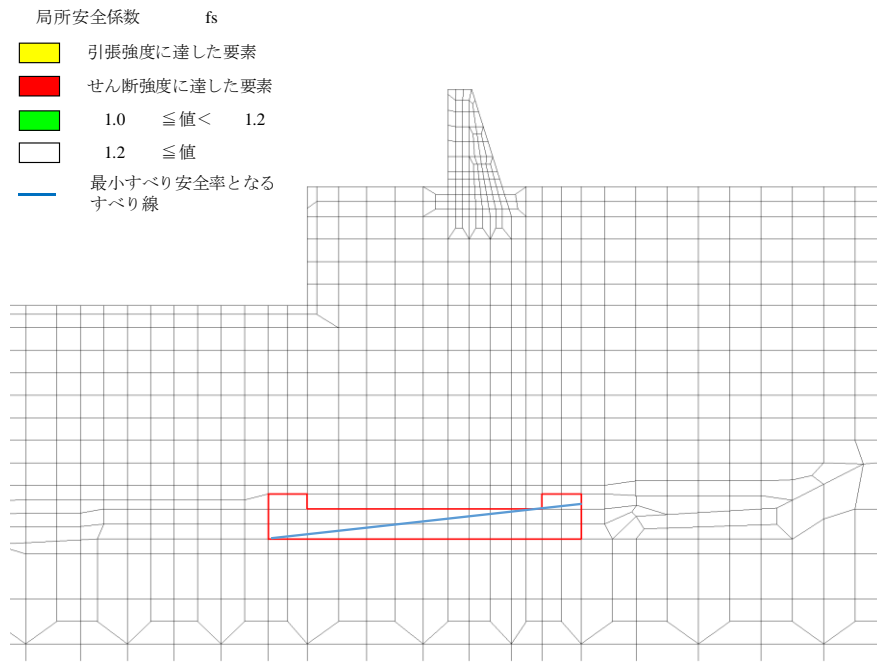


図 5-3(3) MMR の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
 (④-④断面, S s - N 1 (++) , t=7.62s)

解析ケース② : 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

5.5 改良地盤⑥

②-②断面において，改良地盤⑥のすべり安全率による評価を行った。

改良地盤⑥のすべり安全率による評価結果を表 5-13 に，最小すべり安全率となる時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布を図 5-4 に示す。

この結果から，改良地盤⑥のすべり安全率が 1.2 以上あることを確認した。

表 5-13 改良地盤⑥のすべり安全率評価結果 (②-②断面)

地震動	解析ケース	発生時刻 (s)	最小すべり安全率
S s - D (--)	①	10.26	2.05

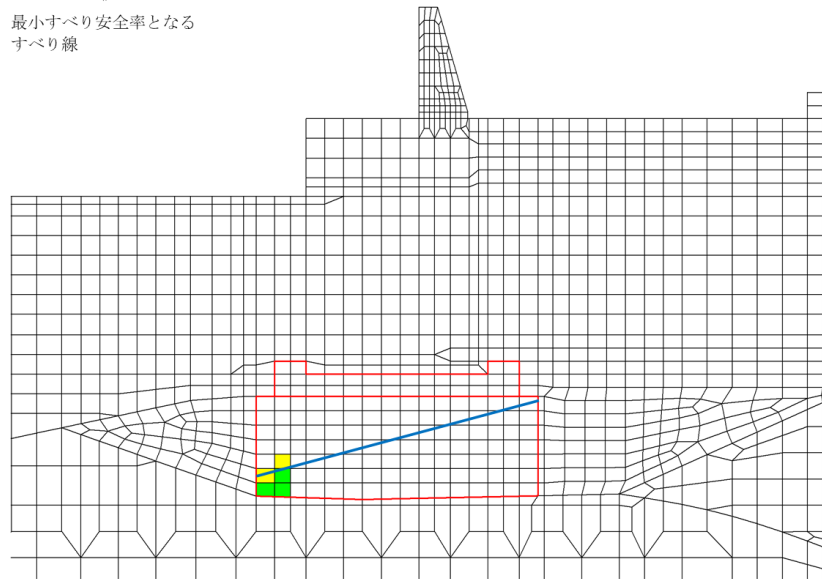
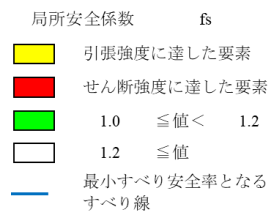


図 5-4 改良地盤⑥の最小すべり安全率時刻におけるすべり線及び局所安全係数分布
(②-②断面, S s - D (--), $t=10.26\text{s}$)

解析ケース①：基本ケース

5.6 止水目地

④－④断面において，止水目地の相対変位量に対する照査を行った。

地震時の止水目地の相対変位量に対する照査結果を表 5-14 に示す。

地震時の止水目地の相対変位量に対する照査を行った結果，相対変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 5-14 止水目地設置箇所の地震時相対変位量

方向	地震動	解析 ケース	地震時相対変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δ_x : ④－④断面 (横断方向)	S s - N 1 (-+)	①	299.43	—
δ_y : ⑦－⑦断面 (縦断方向)	S s - D (+-)	③	58.51	—
δ_z : ⑦－⑦断面 (横断方向)	S s - N 1 (-+)	②	82.12	—
合成方向 (3方向合成)	—	—	315.95	1960

5.7 基礎地盤

②－②断面，③－③断面，④－④断面及び⑤－⑤断面において，基礎地盤の支持性能評価を行った。

基礎地盤の支持性能評価結果を表 5-15～表 5-18 に，支持地盤の接地圧分布図を図 5-5～図 5-8 に示す。

この結果から，防波壁（波返重力擁壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 5-15(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（②－②断面，MMR）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P/P _u
S s - D (+-)	①	2.8	24.0	0.12

表 5-15(2) 基礎地盤の支持性能評価結果（②－②断面，改良地盤⑥）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P/P _u
S s - D (++)	②	2.1	3.0	0.70

表 5-15(3) 基礎地盤の支持性能評価結果（②－②断面，岩盤）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P/P _u
S s - D (--)	①	2.0	9.8	0.21

表 5-16(1) 基礎地盤の支持性能評価結果（③－③断面，MMR）

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P/P _u
S s - N 1 (+++)	③	1.7	24.0	0.08

表 5-16(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (③-③断面, 岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P/P _u
S _s -N1 (-+)	①	2.8	9.8	0.29

表 5-17(1) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, MMR)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	支圧強度 P _u (N/mm ²)	照査値 P/P _u
S _s -D (-+)	③	2.8	24.0	0.12

表 5-17(2) 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, 岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P/P _u
S _s -D (--)	①	2.9	9.8	0.30

表 5-18 基礎地盤の支持性能評価結果 (⑤-⑤断面, 岩盤)

地震動	解析ケース	最大接地圧 P (N/mm ²)	極限支持力度 P _u (N/mm ²)	照査値 P/P _u
S _s -N2 (EW) (-+)	①	1.9	9.8	0.20

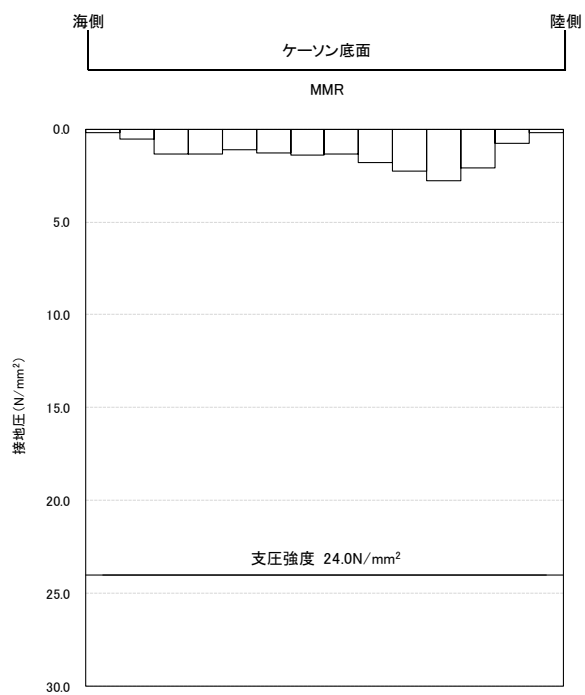


図 5-5(1) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, MMR)
 (S s - D (+ -))
 解析ケース①: 基本ケース

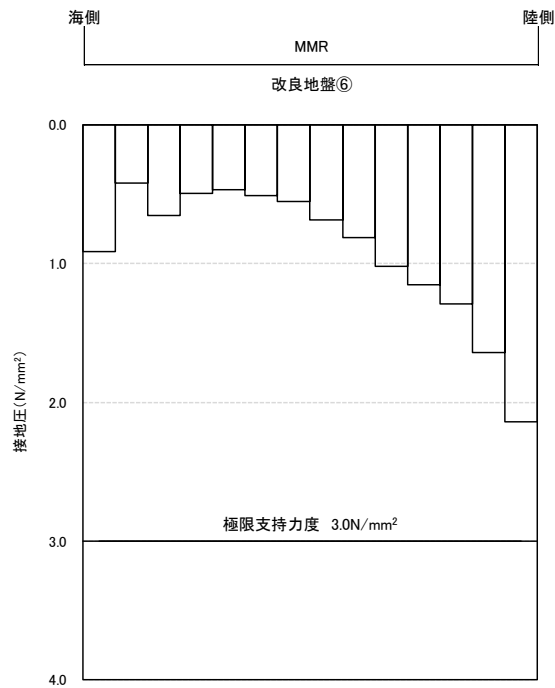


図 5-5(2) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 改良地盤⑥)

(S s - D (+ +))

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1 σ)

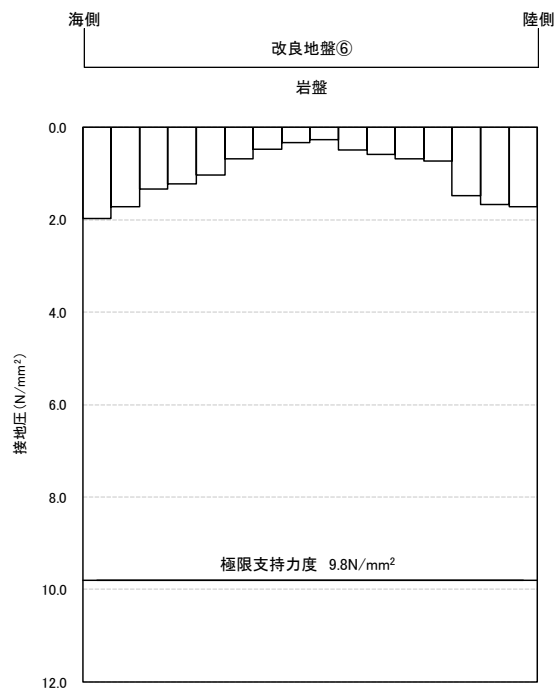


図 5-5(3) 支持地盤の接地圧分布図 (②-②断面, 岩盤)

(S s - D (- -))

解析ケース①：基本ケース

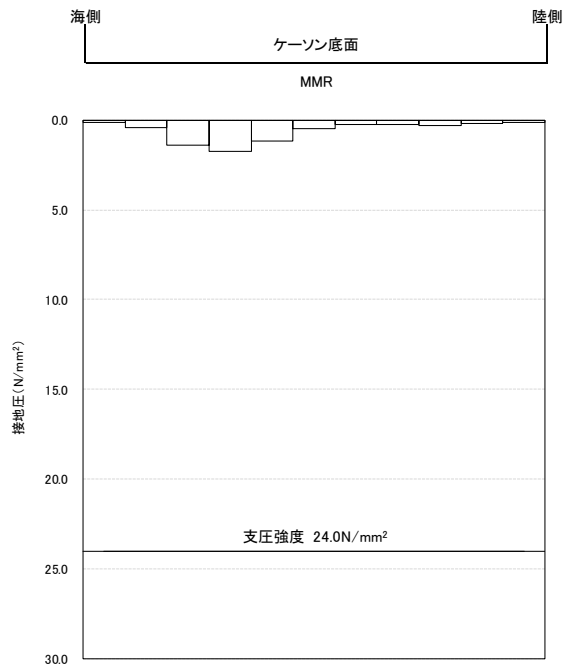


図 5-6(1) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, MMR)
(S_s-N1 (++))

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

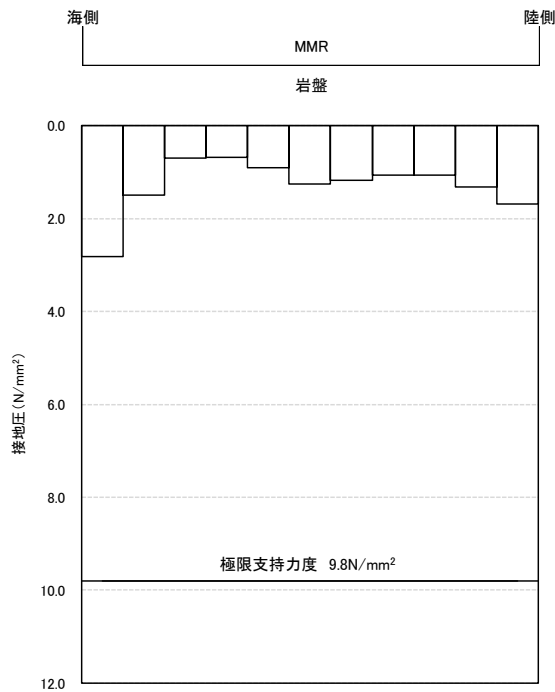


図 5-6(2) 支持地盤の接地圧分布図 (③-③断面, 岩盤)
(S_s-N1 (-+))

解析ケース①：基本ケース

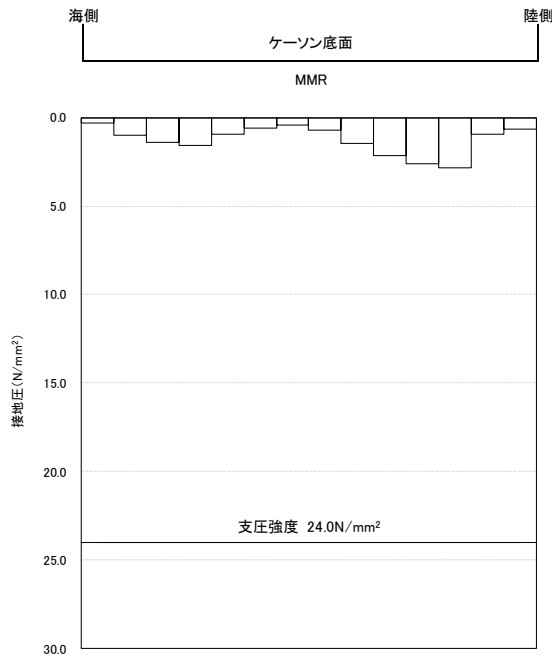


図 5-7(1) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, MMR)
(S s - D (-+))

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

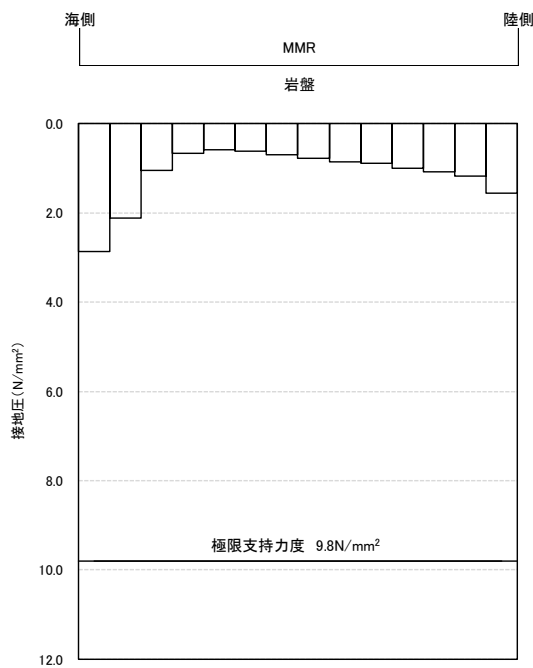


図 5-7(2) 支持地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)
(S s - D (--))

解析ケース①：基本ケース

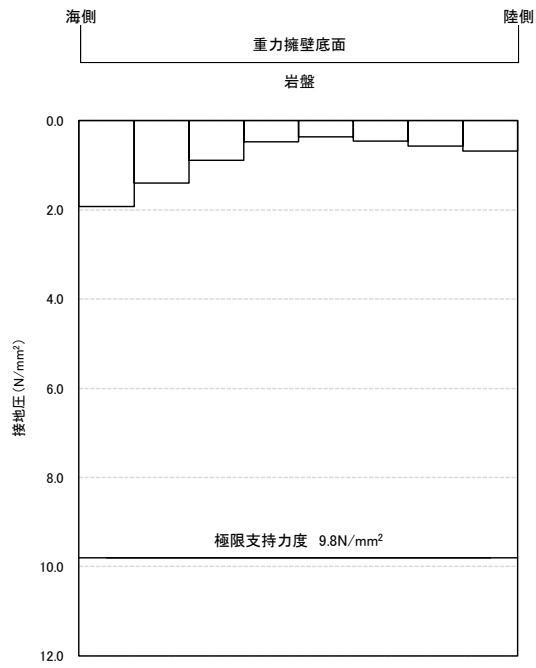


図 5-8 支持地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 岩盤)
 (S s - N 2 (E W) (-+))
 解析ケース①: 基本ケース

VI-2-10-2-11 隔離弁，機器・配管の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. タービン補機海水ポンプ	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 構造計画	2
2.3 固有値解析及び構造強度評価	4
2.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	4
2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力	4
2.3.3 解析モデル及び諸元	9
2.3.4 固有周期	9
2.3.5 設計用地震力	11
2.3.6 計算方法	12
2.3.7 計算条件	13
2.3.8 応力の評価	14
2.4 評価結果	15
2.4.1 設計基準対象施設としての評価結果	15
3. 循環水ポンプ	27
3.1 概要	27
3.2 一般事項	27
3.2.1 構造計画	27
3.3 固有値解析及び構造強度評価	29
3.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法	29
3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力	29
3.3.3 解析モデル及び諸元	34
3.3.4 固有周期	34
3.3.5 設計用地震力	39
3.3.6 計算方法	41
3.3.7 計算条件	42
3.3.8 応力の評価	43
3.4 評価結果	44
3.4.1 設計基準対象施設としての評価結果	44

4. 隔離弁, 配管	69
4.1 概要	69
4.2 配置概要, 概略系統図及び鳥瞰図	70
4.2.1 配置概要	70
4.2.2 概略系統図	71
4.2.3 鳥瞰図	76
4.3 計算条件	78
4.3.1 計算方法	78
4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	79
4.3.3 設計条件	81
4.3.4 材料及び許容応力	88
4.3.5 設計用地震力	89
4.4 解析結果及び評価	90
4.4.1 固有周期及び設計震度	90
4.4.2 評価結果	96

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、浸水防止設備のうち隔離弁、機器・配管が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

隔離弁、機器・配管の構成を表1-1に示す。また、概要図を図1-1に示す。

表1-1 隔離弁、機器・配管の構成

機器名称		据付場所
隔離弁	タービン補機海水ポンプ出口弁	取水槽
	タービン補機海水ポンプ第二出口弁	取水槽
	タービン補機海水系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
	液体廃棄物処理系逆止弁	屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)
機器	循環水ポンプ	取水槽
	タービン補機海水ポンプ	取水槽
配管	原子炉補機海水系配管	原子炉補機冷却系熱交換器～放水槽
	高圧炉心スプレィ補機海水系配管	高圧炉心スプレィ補機冷却系熱交換器～ 原子炉補機海水系配管合流部
	循環水系配管	循環水ポンプ～取水槽
	タービン補機海水系配管	タービン補機海水ポンプ～タービン補機 海水ポンプ第二出口弁 タービン補機海水系逆止弁～放水槽
	液体廃棄物処理系配管	液体廃棄物処理系逆止弁～放水槽

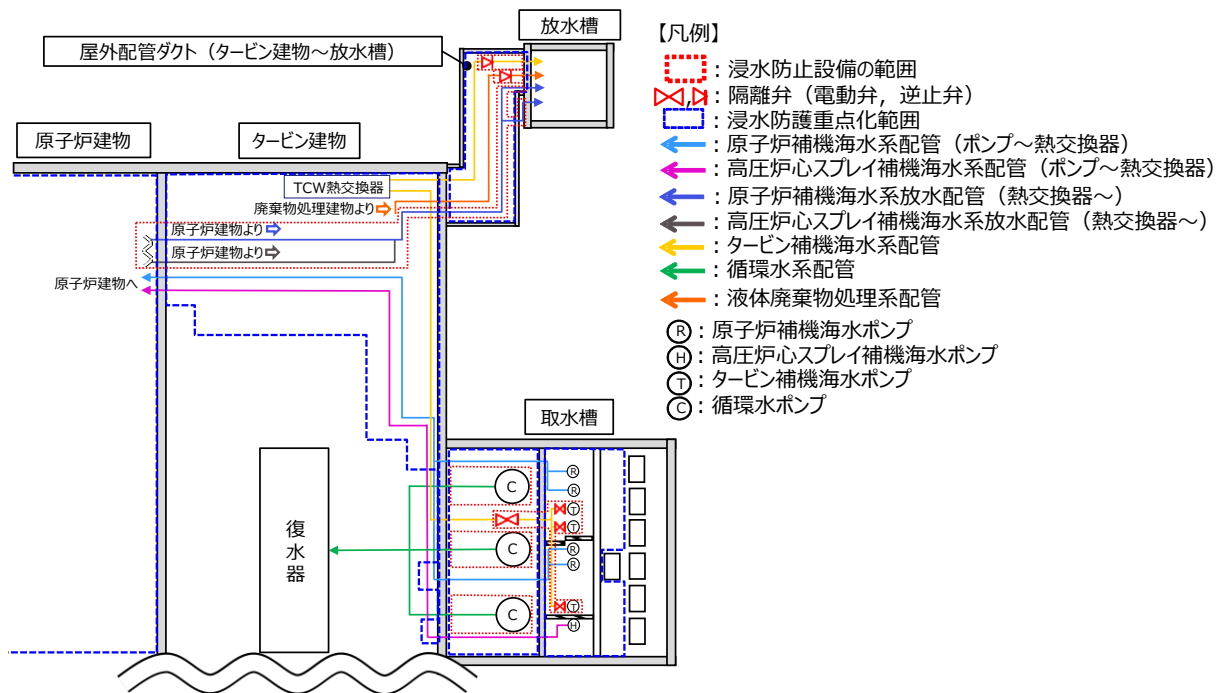


図1-1 隔離弁、機器・配管の概要図

2. タービン補機海水ポンプ

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、タービン補機海水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

タービン補機海水ポンプは、設計基準対象施設のうち浸水防止設備としてSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

なお、タービン補機海水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づく評価を基本とし、浸水防止設備としての評価部位も評価を実施する。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

タービン補機海水ポンプの構造計画を表 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>原動機は原動機取付ボルトでポンプに固定され、ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定され、ポンプベースは基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	<p>(単位: mm)</p>

2.3 固有値解析及び構造強度評価

2.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

タービン補機海水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。タービン補機海水ポンプは浸水防止設備であるため、評価部位としてディスチャージケーシングの評価を実施する。ディスチャージケーシングの耐震計算方法は上記方針によらないため、「2.3.6 計算方法」に基づき実施する。

2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

タービン補機海水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2.3-1 に示す。

(2) 許容応力

タービン補機海水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2.3-2 及び表 2.3-3 のとおりとする。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

タービン補機海水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2.3-4 に示す。

表 2.3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防止設備	タービン補機海水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 2.3-2 許容応力 (浸水防止設備 (ポンプ))

許容応力状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
ⅢA S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし, オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S_t$ の大きい方とする。	左欄の 1.5 倍の値	一次 + 二次 + ピーク応力
ⅣA S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	Sd 又は S_s 地震動のみによる疲労解析を行い, 疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし, 地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば, 疲労解析は不要

注記*: $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合, 設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 2.3-3 許容応力 (浸水防止設備 (支持構造物))

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 2.3-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
コラムパイプ		30		—	245	400	—
基礎ボルト			□	—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		30		—	205	520	205
原動機取付ボルト			□	—	198	504	205
デイスチャージャケーシング		30		—	245	400	—

□

2.3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、シャフト及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体積質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【タービン補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

2.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 2.3-5、振動モード図を図 2.3-1 に示す。固有周期は、0.05 秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は 2 次モード以降で卓越し、固有周期は 0.05 秒以下であることを確認した。

表 2.3-5 固有値解析結果

モード*1	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*2		鉛直方向刺激係数*2
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.251	2.005	2.005	—

注記*1：固有周期が 0.050s 以上のモードを示す。

*2：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

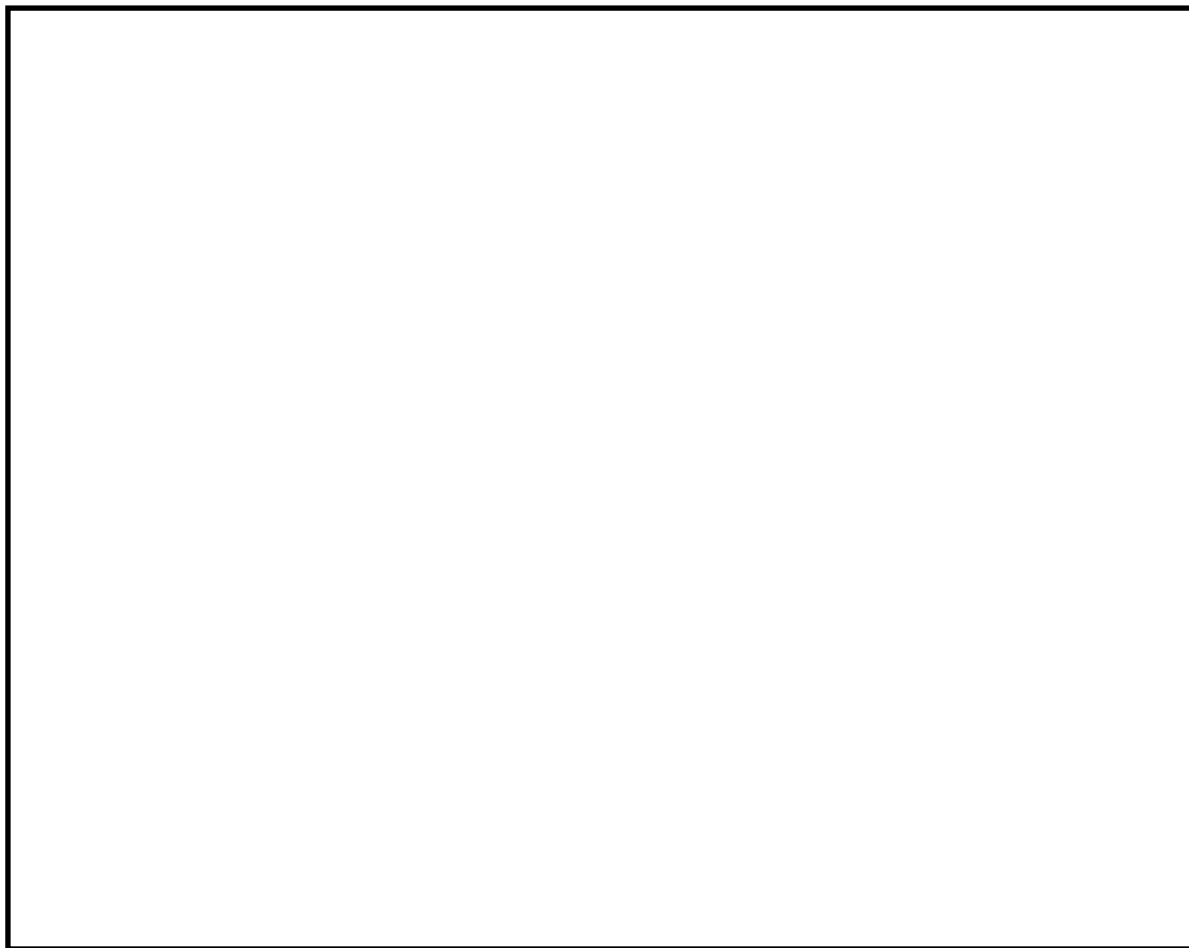


図 2.3-1 振動モード (1 次モード 水平方向 0.251s)

2.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2.3-6 に示す。

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

表 2.3-6 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.251 ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度			基準地震動 S s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直 震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.251	4.17	5.01	—	4.17	5.01	—
動的震度 ^{*6, *7}		1.41	1.67	1.28	1.41	1.67	1.28
静的震度 ^{*8}		0.58	0.58	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

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

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

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

*6：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S d）を上回る設計震度及び設計用震度Ⅱ（基準地震動 S s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

2.3.6 計算方法

(1) 記号の説明

タービン補機海水ポンプのディスチャージケーシングの応力評価に使用する記号を表 2.3-7 に示す。

表 2.3-7 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
C _P	ポンプ振動による震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _d	ディスチャージケーシングの内径	mm
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
M _d	ディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm
M _{d C P}	ディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
m _d	ポンプ床下部質量	kg
P _d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
S _{d a}	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
t _d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
Z _d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm ³
σ _d	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ _{d C H 1}	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ _{d C H 2}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ _{d C V 1}	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ _{d C V 2}	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ _{d Z P}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
σ _{d θ P}	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa

(2) ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた結果により，ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

- a. ポンプ振動による震度による水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCP}}{Z_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.1)$$

- b. 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.2)$$

- c. 自重及びポンプ振動による震度による鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1+C_P) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.3)$$

- d. 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_V \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.4)$$

- e. 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (2.3.6.2.6)$$

以上の a. ～e. の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max}(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P}) \dots\dots\dots (2.3.6.2.7)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

2.3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【タービン補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.3.8 応力の評価

(1) ディスチャージケーシングの応力評価

2.3.6 (2)項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_{da} 以下であること。ただし、 S_{da} は下表による。

応力の種類	許容応力 S_{da}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。	$0.6 \cdot S_u$

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

2.4 評価結果

2.4.1 設計基準対象施設としての評価結果

タービン補機海水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【タービン補機海水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ(m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動S _d 又は静的震度			基準地震動S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度(°C)	周囲環境温度(°C)	最高使用圧力(MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度					
タービン補機海水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.251	0.05以下	C _H =1.67*2 又は*3	C _V =1.28*2	C _H =1.67*4 又は*5	C _V =1.28*4	C _P =0.04	30	30	0.54	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動S_d）及び静的震度を上回る設計震度

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

*4：設計用震度Ⅱ（基準地震動S_s）を上回る設計震度

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

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	S	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
基礎ボルト (i=1)					8	8	—	198*1	504*1	205	205	205	—	245* (厚さ≦ 16mm)	400* (厚さ≦ 16mm)		
ポンプ取付ボルト (i=2)					12	12	2.334×10 ⁶	205*2	520*2	205	205	205					
原動機取付ボルト (i=4)					8	8	2.334×10 ⁶	198*1	504*1	205	205	205					

(2) コラムパイプ

部材	S	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	245* (厚さ≦ 16mm)	400* (厚さ≦ 16mm)		

注記*：最高使用温度で算出

(3) ディスチャージケーシング

部材	S	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージケーシング	—	245* (厚さ≦ 16mm)	400* (厚さ≦ 16mm)		

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

注記*：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{Cp i} (N・mm)	F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i = 1)							
ポンプ取付ボルト (i = 2)							
原動機取付ボルト (i = 4)							

(2) コラムパイプに作用する力

部材	M (単位：N・mm)		M _{Cp}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	
コラムパイプ			

(3) デイスチャージングに作用する力

部材	M _d (単位：N・mm)		M _{dCp}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	
デイスチャージ ケーシング			

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1} = 0.251$
鉛直方向	$T_{V1} = 0.05$ 以下

1.4.2 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i = 1)		引張	$\sigma_{b1} = 74$	$f_{ts1} = 153^*$	$\sigma_{b1} = 74$	$f_{ts1} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 23$	$f_{sb1} = 118$	$\tau_{b1} = 23$	$f_{sb1} = 118$
ポンプ取付ボルト (i = 2)		引張	$\sigma_{b2} = 63$	$f_{ts2} = 153^*$	$\sigma_{b2} = 63$	$f_{ts2} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b2} = 16$	$f_{sb2} = 118$
原動機取付ボルト (i = 4)		引張	$\sigma_{b4} = 37$	$f_{ts4} = 153^*$	$\sigma_{b4} = 37$	$f_{ts4} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b4} = 22$	$f_{sb4} = 118$	$\tau_{b4} = 22$	$f_{sb4} = 118$

すべて許容応力以下である。

注記* : $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 コラムパイプの応力 (単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	算出応力
コラムパイプ		基準地震動 S _s	$\sigma = 150$
		許容応力	$S_a = 240$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 デイスチャージケーシングの応力 (単位：MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	算出応力
ディスチャージケーシング		基準地震動 S _s	$\sigma_d = 165$
		許容応力	$S_{da} = 240$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	1		4.909×10 ⁶
2	2-3	1		4.909×10 ⁶
3	3-4	1		4.528×10 ⁶
4	4-5	1		4.528×10 ⁶
5	5-6	1		4.909×10 ⁶
6	6-7	1		4.909×10 ⁶
7	46-8	1		7.187×10 ⁶
8	8-9	1		7.187×10 ⁶
9	9-10	1		1.018×10 ⁷
10	10-11	1		1.018×10 ⁷
11	11-12	1		4.528×10 ⁶
12	12-13	1		4.528×10 ⁶
13	13-14	1		4.909×10 ⁶
14	14-15	1		4.909×10 ⁶
15	15-16	4		5.750×10 ⁷
16	16-17	6		3.221×10 ⁶
17	17-18	6		1.886×10 ⁷
18	18-19	6		1.886×10 ⁷
19	19-20	6		1.018×10 ⁷
20	21-22	1		2.195×10 ⁹
21	22-23	1		3.578×10 ⁹
22	23-24	1		3.578×10 ⁹
23	24-25	3		8.896×10 ⁸
24	25-26	3		8.896×10 ⁸
25	26-27	3		8.896×10 ⁸
26	27-28	3		8.896×10 ⁸
27	47-29	3		8.896×10 ⁸
28	29-30	3		8.896×10 ⁸
29	30-31	3		8.896×10 ⁸
30	31-32	3		8.896×10 ⁸
31	32-33	2		8.127×10 ⁸
32	33-34	2		8.127×10 ⁸
33	34-35	2		8.127×10 ⁸
34	44-36	4		5.075×10 ¹¹
35	36-37	2		9.799×10 ⁹
36	37-38	2		9.799×10 ⁹
37	38-39	2		9.799×10 ⁹
38	39-40	5		2.246×10 ⁹
39	40-41	5		2.246×10 ⁹
40	41-42	5		2.246×10 ⁹
41	42-43	5		9.684×10 ⁸
42	7-46	1		7.187×10 ⁶
43	28-47	3		8.896×10 ⁸

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
2	23		
6	27		
10	31		
17	40		
19	42		
19	42		
33	36		
33	36		

(4) 節点の質量

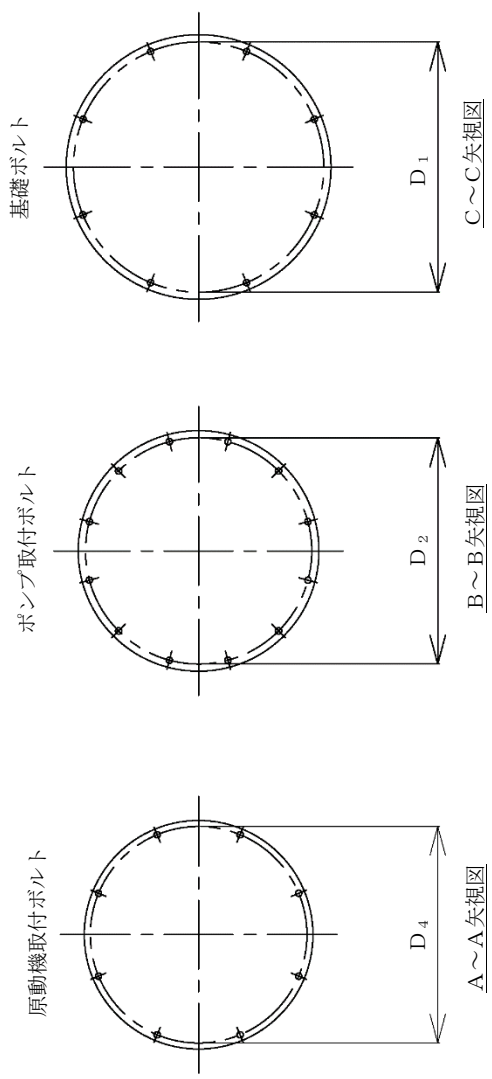
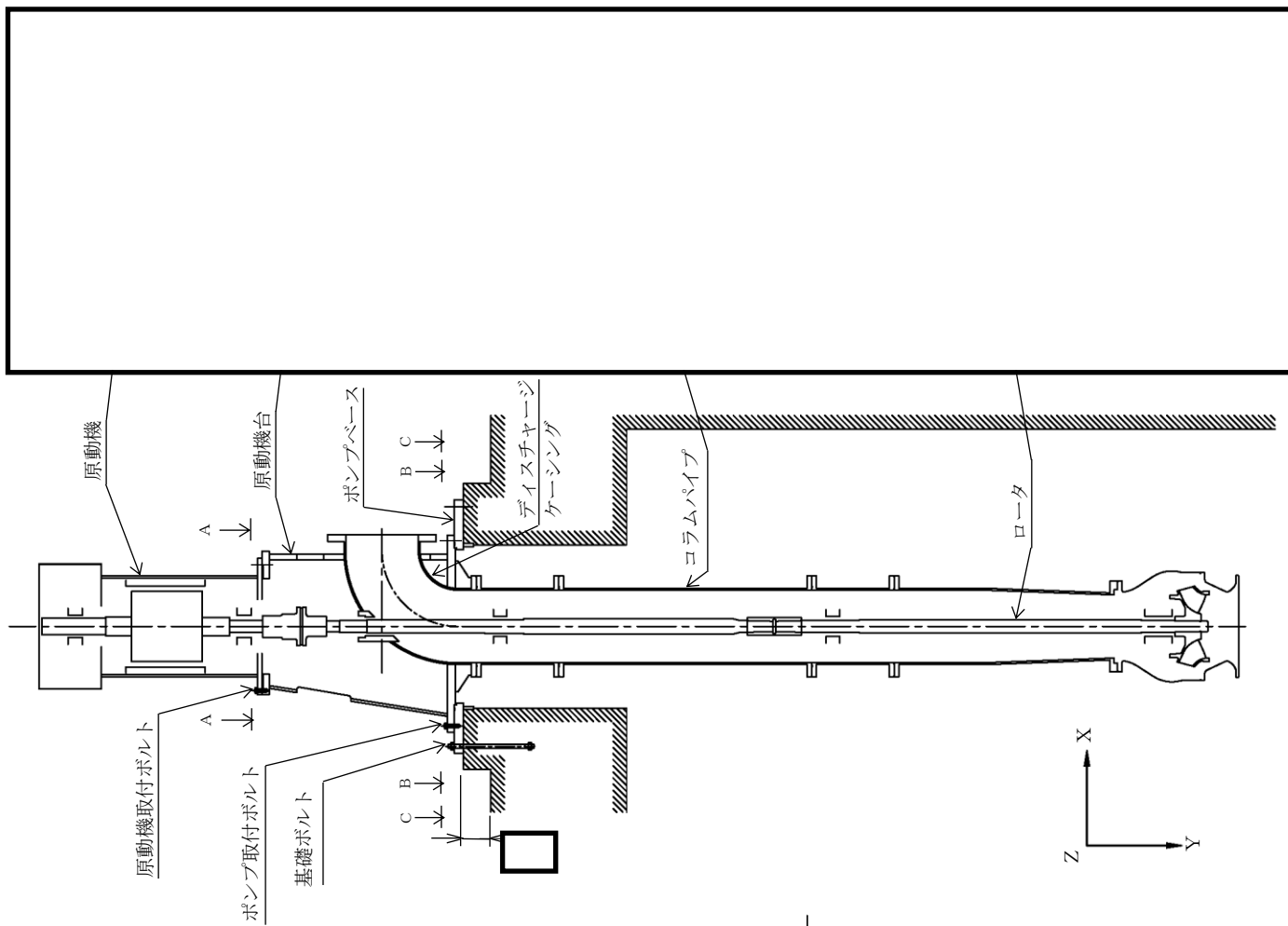
節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
46	
47	

(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.02×10^5		0.3	
4	<input type="checkbox"/>	2.01×10^5		0.3	
5	—	1.98×10^5		0.3	
6	—	2.00×10^5		0.3	



3. 循環水ポンプ

3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度の設計方針に基づき、循環水ポンプが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを説明するものである。

循環水ポンプは、設計基準対象施設のうち浸水防止設備としてSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価を示す。

なお、循環水ポンプは、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の立形ポンプであるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づく評価を基本とし、浸水防止設備としての評価部位も評価を実施する。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

循環水ポンプの構造計画を表 3.2-1 に示す。

表 3.2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>ポンプはポンプ取付ボルトでポンプベースに固定される。ポンプベースは円筒形のリブを介して水平方向の荷重を基礎に伝達する構造とし、基礎ボルトで基礎に据え付ける。</p> <p>デイスチャージャは短管に接続され、短管は壁に支持される。</p>	<p>ターボ形 (ターボ形立形ポンプ (海水ポンプ))</p>	

3.3 固有値解析及び構造強度評価

3.3.1 固有値解析及び構造強度評価方法

循環水ポンプの固有値解析及び構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-2 立形ポンプの耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。ただし、解析モデルにおいてディスチャージケーシングに接続される短管の剛性を考慮することとしており、短管の剛性がNS方向及びEW方向で異なることから、各方向で異なるモデルにより耐震評価を行う。なお、水平方向はスペクトルモーダル解析、鉛直方向は静的解析を用いて行う。また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、SRS法を適用する。

基礎ボルトの構造強度評価において、水平方向の地震荷重及びポンプ振動によりポンプベースに作用する荷重は、ポンプベースのリブを介して基礎に伝達されるため基礎ボルトに作用しない。また、循環水ポンプは電動機とポンプが独立した基礎を有する構造であることから、ポンプ回転により作用するモーメントを考慮して基礎ボルトの評価を行う。循環水ポンプは浸水防止設備であるため、評価部位としてディスチャージケーシングの評価を実施する。ディスチャージケーシングの耐震計算方法は上記方針によらないため、「3.3.6 計算方法」に基づき実施する。

3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

循環水ポンプの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3.3-1に示す。

(2) 許容応力

循環水ポンプの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3.3-2及び表3.3-3のとおりとする。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

循環水ポンプの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3.3-4に示す。

表 3.3-1 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
浸水防止設備	循環水ポンプ	S	その他のポンプ*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
				$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他のポンプの支持構造物を含む。

表 3.3-2 許容応力 (浸水防止設備 (ポンプ))

許容応力状態	許容限界		
	一次一般膜応力	一次膜応力 + 一次曲げ応力	一次 + 二次応力
ⅢA S	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S_t$ の大きい方	左欄の 1.5 倍の値	一次 + 二次 + ピーク応力
ⅣA S	$0.6 \cdot S_u$	左欄の 1.5 倍の値	弾性設計用地震動 S_d 又は基準地震動 S_s のみによる疲労解析を行い、疲労累積係数が 1.0 以下であること。 ただし、地震動のみによる一次 + 二次応力の変動値が $2 \cdot S_y$ 以下であれば、疲労解析は不要

注記* : $2 \cdot S_y$ を超える場合は弾塑性解析を行う。この場合、設計・建設規格 PVB-3300 (PVB-3313 を除く。 S_m は $2/3 \cdot S_y$ と読み替える。) の簡易弾塑性解析を用いる。

表 3.3-3 許容応力 (浸水防止設備 (支持構造物))

許容応力状態	許容限界 ^{*1, *2} (ボルト等)	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 3.3-4 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		最高使用温度	周囲環境温度				
コラムパイプ		30		—	235	400	—
基礎ボルト				—	198	504	205
ポンプ取付ボルト		30		—	205	520	205
ディスプレイケーシング		30		—	235	400	—

3.3.3 解析モデル及び諸元

- (1) モデル化に際しては、ロータ、保護管及びコラムパイプに対して水の付加質量及び排除水体积質量を考慮する。
- (2) 固有値解析及び構造強度評価に用いる解析モデル及び諸元は、本計算書の【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】の機器要目及びその他の機器要目に示す。
- (3) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.4 固有周期

固有値解析のうちNS方向モデルの結果を表3.3-5に、EW方向モデルの結果を表3.3-6に示す。振動モード図のうちNS方向モデルの図を図3.3-1、図3.3-2及び図3.3-3に、EW方向モデルの図を図3.3-4、図3.3-5及び図3.3-6に示す。固有周期は、0.05秒を超えており、柔構造であることを確認した。また、鉛直方向は7次モード以降で卓越し、固有周期は0.05秒以下であることを確認した。

表 3.3-5 固有値解析結果 (NS 方向モデル)

モード	卓越方向	固有周期(s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1次	水平	0.145	9.225	—	—
2次	水平	0.129	2.635	—	—
3次	水平	0.073	1.838	—	—
4次	水平	0.059	0.519	—	—
5次	水平	0.051	-0.026	—	—
6次	水平	0.038	—	—	—

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

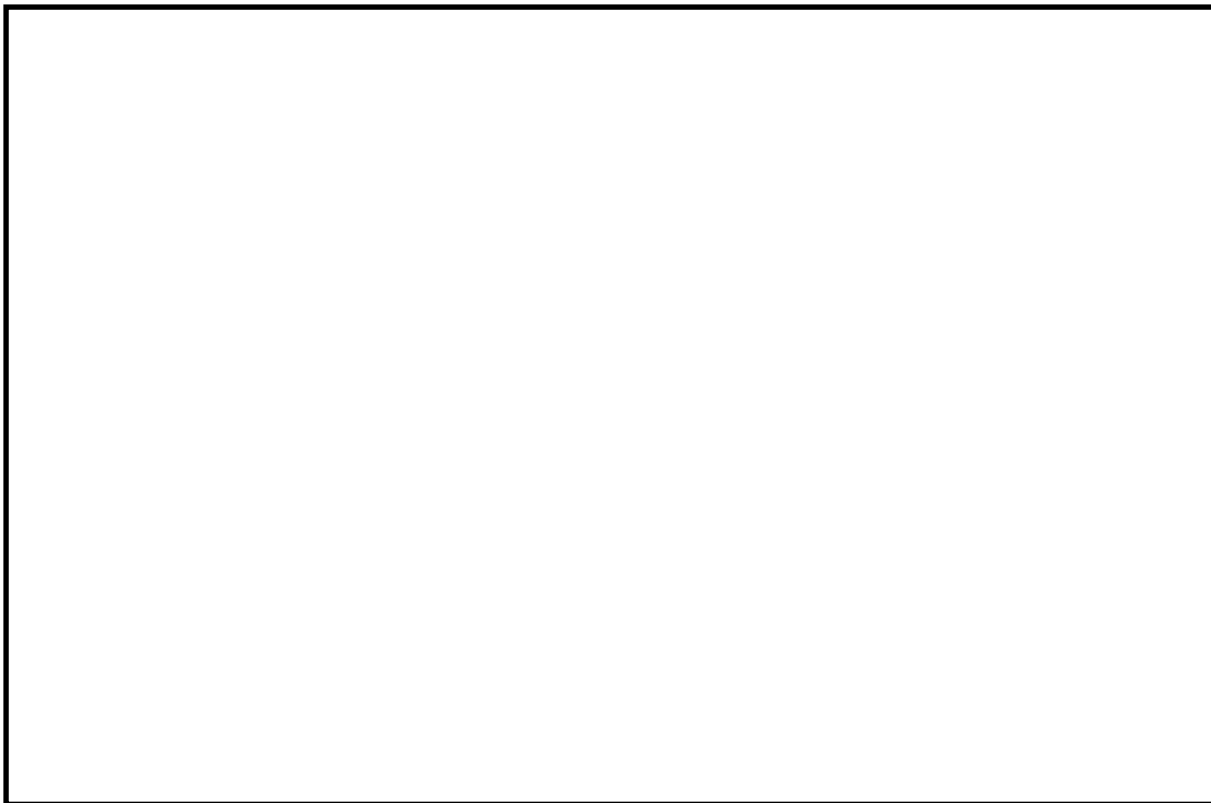


図 3.3-1 振動モード (NS 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.145s)

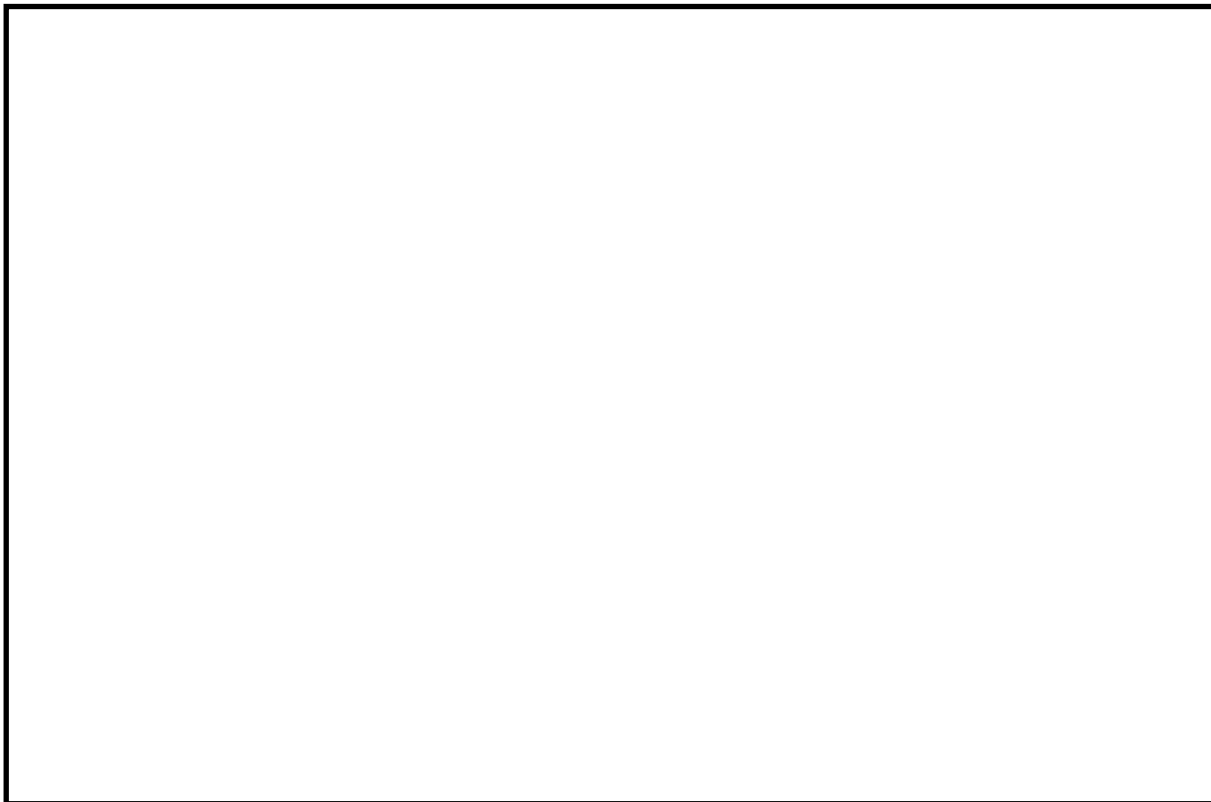


図 3.3-2 振動モード (NS 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)



図 3.3-3 振動モード (NS 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

表 3.3-6 固有値解析結果 (EW 方向モデル)

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数*		鉛直方向刺激係数*
			NS 方向	EW 方向	
1 次	水平	0.146	—	-9.222	—
2 次	水平	0.129	—	2.583	—
3 次	水平	0.073	—	-1.824	—
4 次	水平	0.059	—	-0.498	—
5 次	水平	0.051	—	-0.022	—
6 次	水平	0.038	—	—	—

注記* : モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。



図 3.3-4 振動モード (EW 方向モデル) (1 次モード 水平方向 0.146s)



図 3.3-5 振動モード (EW 方向モデル) (2 次モード 水平方向 0.129s)

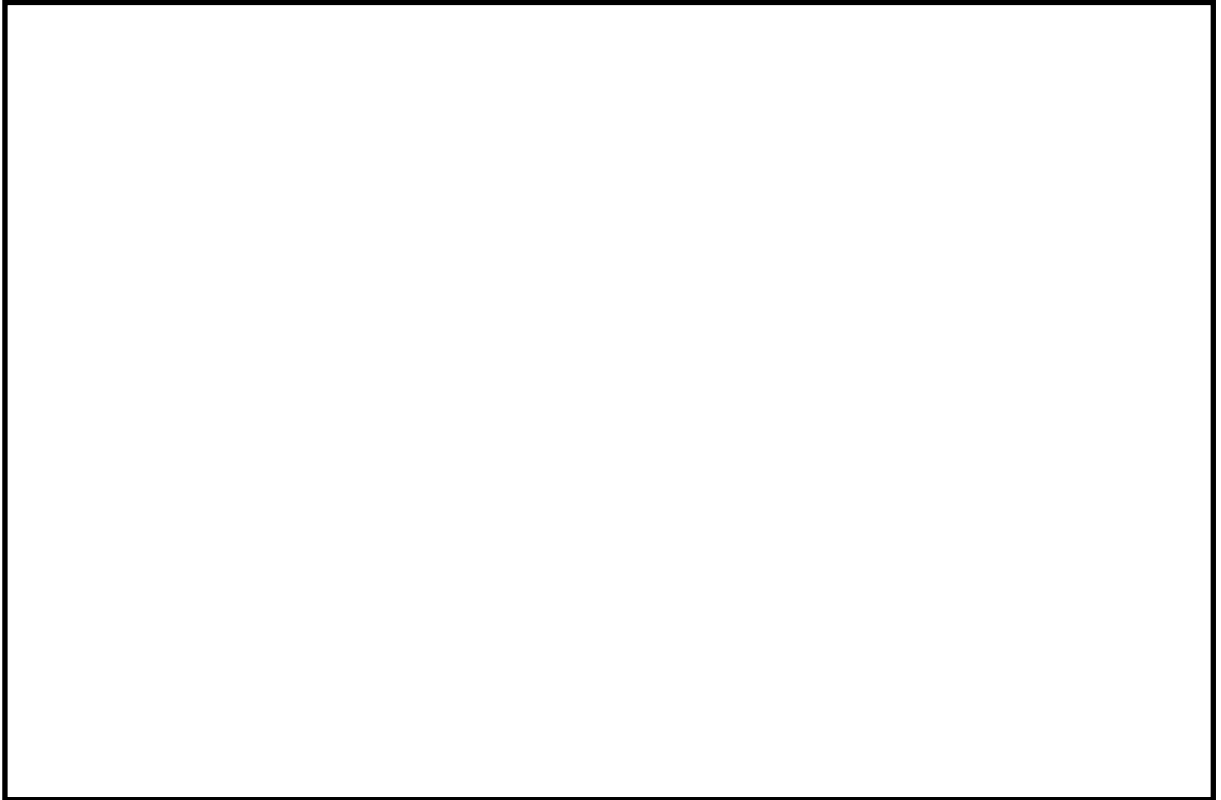


図 3.3-6 振動モード (EW 方向モデル) (3 次モード 水平方向 0.073s)

3.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力のうち NS 方向を表 3.3-7 に、EW 方向を表 3.3-8 に示す。

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

表 3.3-7 設計用地震力（設計基準対象施設）（NS 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.145 ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*3}	固有周期 (s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直 震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直 震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.145	2.70	—	—	4.63	—	—
2 次	0.129	2.70	—	—	4.68	—	—
3 次	0.073	1.34	—	—	2.58	—	—
4 次	0.059	1.47	—	—	2.78	—	—
5 次	0.051	1.13	—	—	2.25	—	—
動的震度 ^{*6, *7}		0.80	—	0.63	1.41	—	1.26
静的震度 ^{*8}		0.58	—	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

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

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

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S_d）又は設計用震度 II（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8：3.6・C_i及び 1.2・C_vより定めた震度

表 3.3-8 設計用地震力（設計基準対象施設）（EW 方向）

据付場所及び床面高さ(m)		取水槽 EL 1.1 ^{*1}					
固有周期(s)		水平：0.146 ^{*2} 鉛直：0.05 以下					
減衰定数(%)		水平：1.0 鉛直：—					
地震力		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		
モード ^{*3}	固有周期(s)	応答水平震度 ^{*4}		応答鉛直震度 ^{*4}	応答水平震度 ^{*5}		応答鉛直震度 ^{*5}
		NS 方向	EW 方向		NS 方向	EW 方向	
1 次	0.146	—	4.27	—	—	5.99	—
2 次	0.129	—	3.36	—	—	5.46	—
3 次	0.073	—	1.03	—	—	2.62	—
4 次	0.059	—	1.24	—	—	2.25	—
5 次	0.051	—	1.21	—	—	1.94	—
動的震度 ^{*6, *7}		—	0.95	0.63	—	1.67	1.26
静的震度 ^{*8}		—	0.58	0.29	—	—	—

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：1 次固有周期について記載

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

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

*5：設計用床応答スペクトル I（基準地震動 S_s）により得られる震度

*6：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S_d）を上回る設計震度及び設計用震度 II（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

*7：最大応答加速度を 1.2 倍した震度

*8： $3.6 \cdot C_i$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

3.3.6 計算方法

(1) 記号の説明

循環水ポンプのディスチャージケーシングの応力評価に使用する記号を表 2.3-9 に示す。

表 3.3-9 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A _d	ディスチャージケーシングの断面積	mm ²
C _P	ポンプ振動による震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
D _d	ディスチャージケーシングの内径	mm
g	重力加速度 (=9.80665)	m/s ²
M _d	ディスチャージケーシングに作用する水平方向地震によるモーメント	N・mm
M _{d C P}	ディスチャージケーシングに作用する水平方向のポンプ振動によるモーメント	N・mm
m _d	ポンプ床下部質量	kg
P _d	ディスチャージケーシングの内圧	MPa
S _{d a}	ディスチャージケーシングの許容応力	MPa
t _d	ディスチャージケーシングの厚さ	mm
Z _d	ディスチャージケーシングの断面係数	mm ³
σ _d	ディスチャージケーシングの一次一般膜応力の最大値	MPa
σ _{d C H 1}	ポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる水平方向の応力	MPa
σ _{d C H 2}	水平方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ _{d C V 1}	自重及びポンプ振動による震度によりディスチャージケーシングに生じる鉛直方向の応力	MPa
σ _{d C V 2}	鉛直方向地震によりディスチャージケーシングに生じる応力	MPa
σ _{d Z P}	ディスチャージケーシングの内圧による軸方向応力	MPa
σ _{d θ P}	ディスチャージケーシングの内圧による周方向応力	MPa

(2) ディスチャージケーシングの応力の計算方法

多質点モデルを用いて応答計算を行い，得られた結果により，ディスチャージケーシングに生じる応力を次式で求める。

- a. ポンプ振動による震度による水平方向の応力

$$\sigma_{dCH1} = \frac{M_{dCP}}{Z_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.1)$$

- b. 水平方向地震による応力

$$\sigma_{dCH2} = \frac{M_d}{Z_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.2)$$

- c. 自重及びポンプ振動による震度による鉛直方向の応力

$$\sigma_{dCV1} = \frac{(1+C_P) \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.3)$$

- d. 鉛直方向地震による応力

$$\sigma_{dCV2} = \frac{C_V \cdot m_d \cdot g}{A_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.4)$$

- e. 内圧による応力

$$\sigma_{d\theta P} = \frac{P_d \cdot D_d}{2 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.5)$$

$$\sigma_{dZP} = \frac{P_d \cdot D_d}{4 \cdot t_d} \dots\dots\dots (3.3.6.2.6)$$

以上の a. ～e. の各応力から，一次一般膜応力は

$$\sigma_d = \text{Max} \left(\sigma_{dCH1} + \sigma_{dCV1} + \sqrt{(\sigma_{dCH2})^2 + (\sigma_{dCV2})^2} + \sigma_{dZP}, \sigma_{d\theta P} \right) \dots\dots\dots (3.3.6.2.7)$$

一次応力は一次一般膜応力と同じになるので省略する。

3.3.7 計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

3.3.8 応力の評価

(1) ディスチャージケーシングの応力評価

3.3.6 (2)項で求めた応力が最高使用温度における許容応力 S_{da} 以下であること。ただし、 S_{da} は下表による。

応力の種類	許容応力 S_{da}	
	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
一次一般膜応力	S_y と $0.6 \cdot S_u$ の小さい方 ただし、オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については上記値と $1.2 \cdot S$ との大きい方とする。	$0.6 \cdot S_u$

一次応力の評価は算出応力が一次一般膜応力と同じ値であるので省略する。

3.4 評価結果

3.4.1 設計基準対象施設としての評価結果

循環水ポンプの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。NS 方向及び EW 方向で解析モデルが異なるため、各方向に対する耐震評価結果を記載する。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設 (NS 方向)

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	掘付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度					
循環水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.145	0.05 以下	C _H =0.80*2 又は*3	C _V =0.63*2	C _H =1.41*4 又は*5	C _V =1.26*4	C _p =0.01	30	□	0.31	

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d)

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

*4: 設計用震度 I (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

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

1.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)
基礎ボルト (i=1)					12	12	1.337×10 ⁸	198*1	504*1	205	205	205
ポンプ取付ボルト (i=2)					24	24	1.337×10 ⁸	205*2	520*2	205	205	205

(2) コラムパイプ

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

(3) ディスチャージャケーシング

部材	S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージャケーシング	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記*: 最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

1.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{Cp i} (N・mm)	F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)							
ボンプ取付ボルト (i=2)							

注記*：負の値であり引張力は生じない。

(2) コラムパイプに作用する力

部材	M		M _{Cp}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	
コラムパイプ			

(3) デイスタチャージングに作用する力

部材	M _d		M _{dCp}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	
デイスタチャージ ケーシング			

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1} = 0.145$
鉛直方向	$T_{V1} = 0.050$ 以下

1.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト ($i = 1$)		引張	$\sigma_{b1} = -$	$f_{ts1} = 153^*$	$\sigma_{b1} = 67$	$f_{ts1} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 118$	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 118$
ポンプ取付ボルト ($i = 2$)		引張	$\sigma_{b2} = 5$	$f_{ts2} = 153^*$	$\sigma_{b2} = 41$	$f_{ts2} = 121^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 35$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b2} = 59$	$f_{sb2} = 118$

すべて許容応力以下である。

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.3 コラムハイクの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	許容応力
コラムハイク		算出応力	$\sigma = 54$
		基準地震動 S_s	$\sigma = 82$

すべて許容応力以下である。

1.4.4 デイスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度	許容応力
ディスチャージ ケーシング		算出応力	$\sigma_d = 54$
		基準地震動 S_s	$\sigma_d = 82$

すべて許容応力以下である。

1.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	3		6.182×10 ⁸
2	2-3	3		6.182×10 ⁸
3	3-4	3		6.182×10 ⁸
4	4-5	3		6.182×10 ⁸
5	5-6	3		6.182×10 ⁸
6	6-7	3		6.182×10 ⁸
7	7-8	3		6.182×10 ⁸
8	8-9	3		6.182×10 ⁸
9	9-10	3		6.182×10 ⁸
10	10-11	3		6.182×10 ⁸
11	11-12	3		6.182×10 ⁸
12	12-13	3		3.321×10 ⁹
13	13-50	3		6.182×10 ⁸
14	14-15	3		4.833×10 ⁸
15	15-16	4		2.013×10 ⁹
16	16-17	4		3.017×10 ⁸
17	17-18	6		5.510×10 ⁸
18	19-20	1		3.595×10 ¹⁰
19	20-21	2		7.821×10 ⁹
20	21-22	2		7.821×10 ⁹
21	22-23	2		1.343×10 ⁹
22	23-24	2		1.343×10 ⁹
23	24-25	2		1.343×10 ⁹
24	25-26	2		7.550×10 ⁹
25	26-27	2		1.486×10 ⁹
26	27-28	2		1.486×10 ⁹
27	28-29	2		1.486×10 ⁹
28	29-51	2		1.486×10 ⁹
29	31-32	1		6.765×10 ¹⁰
30	32-33	1		9.954×10 ¹⁰
31	33-34	1		2.053×10 ¹¹
32	34-35	1		2.053×10 ¹¹
33	35-36	2		1.557×10 ¹¹
34	36-37	2		1.557×10 ¹¹
35	37-38	2		1.557×10 ¹¹
36	38-39	2		1.557×10 ¹¹
37	39-40	2		1.557×10 ¹¹
38	40-41	2		1.778×10 ¹¹
39	41-42	2		1.778×10 ¹¹
40	42-43	2		1.557×10 ¹¹

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	43-44	2		1.557×10^{11}
42	44-52	2		1.557×10^{11}
43	47-46	5		7.464×10^{12}
44	50-14	3		6.182×10^8
45	51-30	2		1.486×10^9
46	52-45	2		1.557×10^{11}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

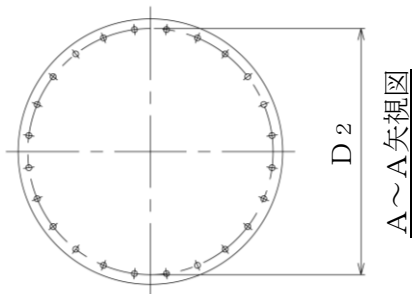
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

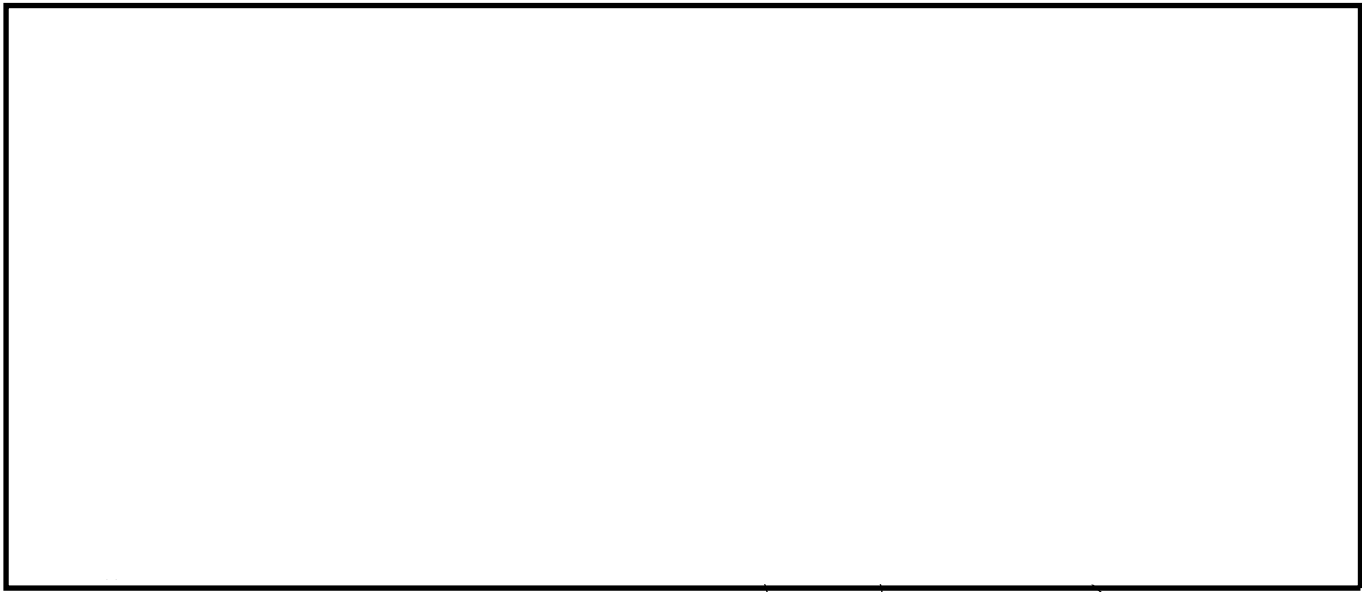
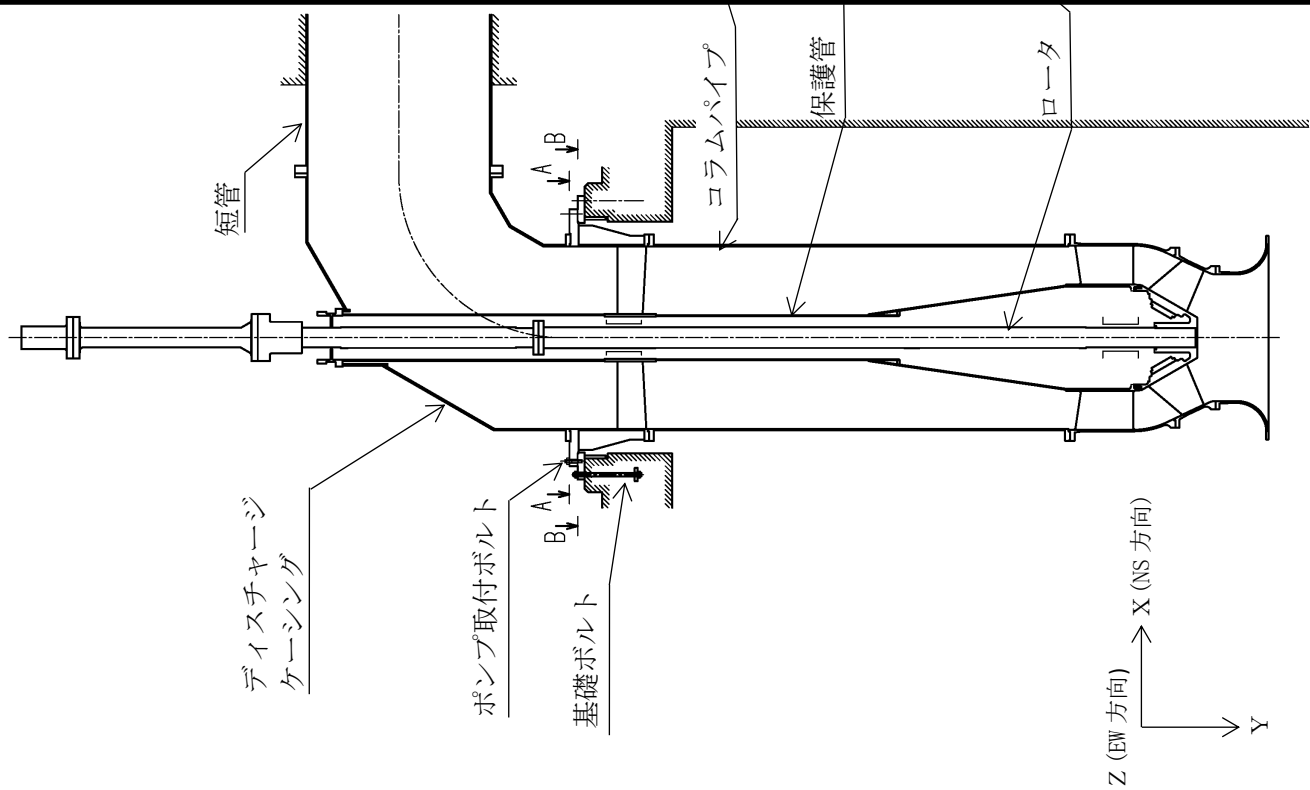
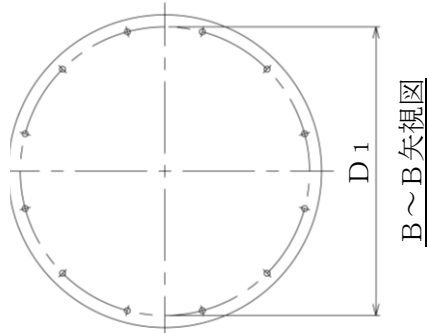
(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4	<input type="text"/>	2.00×10^5		0.3	
5	<input type="text"/>	2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	

ポンプ取付ボルト



基礎ボルト



【循環水ポンプの耐震性についての計算結果】

2. 設計基準対象施設 (EW 方向)

2.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	掘付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度			基準地震動 S _s		ポンプ振動による震度	最高使用温度 (°C)	周囲環境温度 (°C)	最高使用圧力 (MPa)
			水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度					
循環水ポンプ	S	取水槽 EL 1.1*1	0.146	0.05 以下	C _H =0.95*2 又は*3	C _V =0.63*2	C _H =1.67*4 又は*5	C _V =1.26*4	C _p =0.01	30	30	0.31	

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) 及び静的震度を上回る設計震度

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

*4：設計用震度 II (基準地震動 S_s) を上回る設計震度

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

2.2 機器要目

(1) ボルト

部材	m _i (kg)	D _i (mm)	d _i (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	M _p (N・mm)	S _{y i} (MPa)	S _{u i} (MPa)	S _{y i} (RT) (MPa)	F _i (MPa)	F _i * (MPa)	S	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
基礎ボルト (i=1)					12	12	1.337×10 ⁸	198*1	504*1	205	205	205	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		
ポンプ取付ボルト (i=2)					24	24	1.337×10 ⁸	205*2	520*2	205	205	205	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

(2) コラムパイプ

部材	S	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _c (mm)	t (mm)
コラムパイプ	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記*：最高使用温度で算出

注記*1：周囲環境温度で算出

*2：最高使用温度で算出

(3) ディスチャージケーシング

部材	S	S _y (MPa)	S _u (MPa)	D _d (mm)	t _d (mm)
ディスチャージケーシング	—	235* (16mm<厚さ≤40mm)	400* (16mm<厚さ≤40mm)		

注記*：最高使用温度で算出

H _p (μm)	N (rpm)

2.3 計算数値

(1) ボルトに作用する力

部材	M _i (N・mm)		M _{Cp i} (N・mm)	F _{bi} (N)		Q _{bi} (N)	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s
基礎ボルト (i=1)							
ボンプ取付ボルト (i=2)							

(2) コラムパイプに作用する力

部材	M		M _{Cp}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	
コラムパイプ			

(単位：N・mm)

(3) デイスタチャージングに作用する力

部材	M _d		M _{dCp}
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動S _s	
デイスタチャージ ケーシング			

(単位：N・mm)

2.4 結論

2.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	$T_{H1} = 0.146$
鉛直方向	$T_{V1} = 0.050$ 以下

2.4.2 ボルトの応力 (単位: MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト (i = 1)		引張	$\sigma_{b1} = 33$	$f_{ts1} = 153^*$	$\sigma_{b1} = 96$	$f_{ts1} = 153^*$
		せん断	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 118$	$\tau_{b1} = 4$	$f_{sb1} = 118$
ポンプ取付ボルト (i = 2)		引張	$\sigma_{b2} = 26$	$f_{ts2} = 131^*$	$\sigma_{b2} = 59$	$f_{ts2} = 99^*$
		せん断	$\tau_{b2} = 53$	$f_{sb2} = 118$	$\tau_{b2} = 73$	$f_{sb2} = 118$

注記*: $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

すべて許容応力以下である。

2.4.3 コラムパイプの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	算出応力
コラムパイプ		$\sigma = 77$	$\sigma = 102$
		許容応力 S _a = 235	許容応力 S _a = 240

すべて許容応力以下である。

2.4.4 デイスチャージケーシングの応力 (単位: MPa)

部材	材料	一次一般膜応力	
		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	算出応力
ディスチャージケーシング		$\sigma_d = 77$	$\sigma_d = 102$
		許容応力 S _a = 235	許容応力 S _a = 240

すべて許容応力以下である。

2.5 その他の機器要目

(1) 節点データ

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			

(続き)

節点番号	節点座標 (mm)		
	x	y	z
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			

(2) 要素の断面性状

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
1	1-2	3		6.182×10 ⁸
2	2-3	3		6.182×10 ⁸
3	3-4	3		6.182×10 ⁸
4	4-5	3		6.182×10 ⁸
5	5-6	3		6.182×10 ⁸
6	6-7	3		6.182×10 ⁸
7	7-8	3		6.182×10 ⁸
8	8-9	3		6.182×10 ⁸
9	9-10	3		6.182×10 ⁸
10	10-11	3		6.182×10 ⁸
11	11-12	3		6.182×10 ⁸
12	12-13	3		3.321×10 ⁹
13	13-50	3		6.182×10 ⁸
14	14-15	3		4.833×10 ⁸
15	15-16	4		2.013×10 ⁹
16	16-17	4		3.017×10 ⁸
17	17-18	6		5.510×10 ⁸
18	19-20	1		3.595×10 ¹⁰
19	20-21	2		7.821×10 ⁹
20	21-22	2		7.821×10 ⁹
21	22-23	2		1.343×10 ⁹
22	23-24	2		1.343×10 ⁹
23	24-25	2		1.343×10 ⁹
24	25-26	2		7.550×10 ⁹
25	26-27	2		1.486×10 ⁹
26	27-28	2		1.486×10 ⁹
27	28-29	2		1.486×10 ⁹
28	29-51	2		1.486×10 ⁹
29	31-32	1		6.765×10 ¹⁰
30	32-33	1		9.954×10 ¹⁰
31	33-34	1		2.053×10 ¹¹
32	34-35	1		2.053×10 ¹¹
33	35-36	2		1.557×10 ¹¹
34	36-37	2		1.557×10 ¹¹
35	37-38	2		1.557×10 ¹¹
36	38-39	2		1.557×10 ¹¹
37	39-40	2		1.557×10 ¹¹
38	40-41	2		1.778×10 ¹¹
39	41-42	2		1.778×10 ¹¹
40	42-43	2		1.557×10 ¹¹

(続き)

断面特性番号 (要素番号)	要素両端の節点 番号	材料 番号	断面積 (mm ²)	断面二次 モーメント (mm ⁴)
41	43-44	2		1.557×10^{11}
42	44-52	2		1.557×10^{11}
43	47-46	5		7.464×10^{12}
44	50-14	3		6.182×10^8
45	51-30	2		1.486×10^9
46	52-45	2		1.557×10^{11}

(3) ばね結合部の指定

ばねの両端の節点番号		ばね定数	ばねの方向
3	19		
10	26		
18	48		
19	34		
26	41		
52	53		
42	46		
52	53		
42	46		
52	53		

(4) 節点の質量

節点番号	質量 (kg)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	

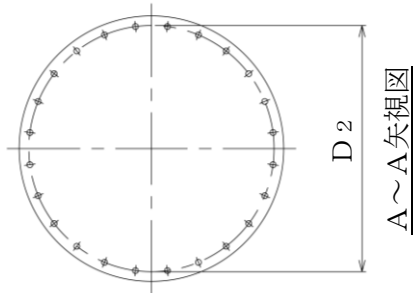
(続き)

節点番号	質量 (kg)
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
50	
51	
52	

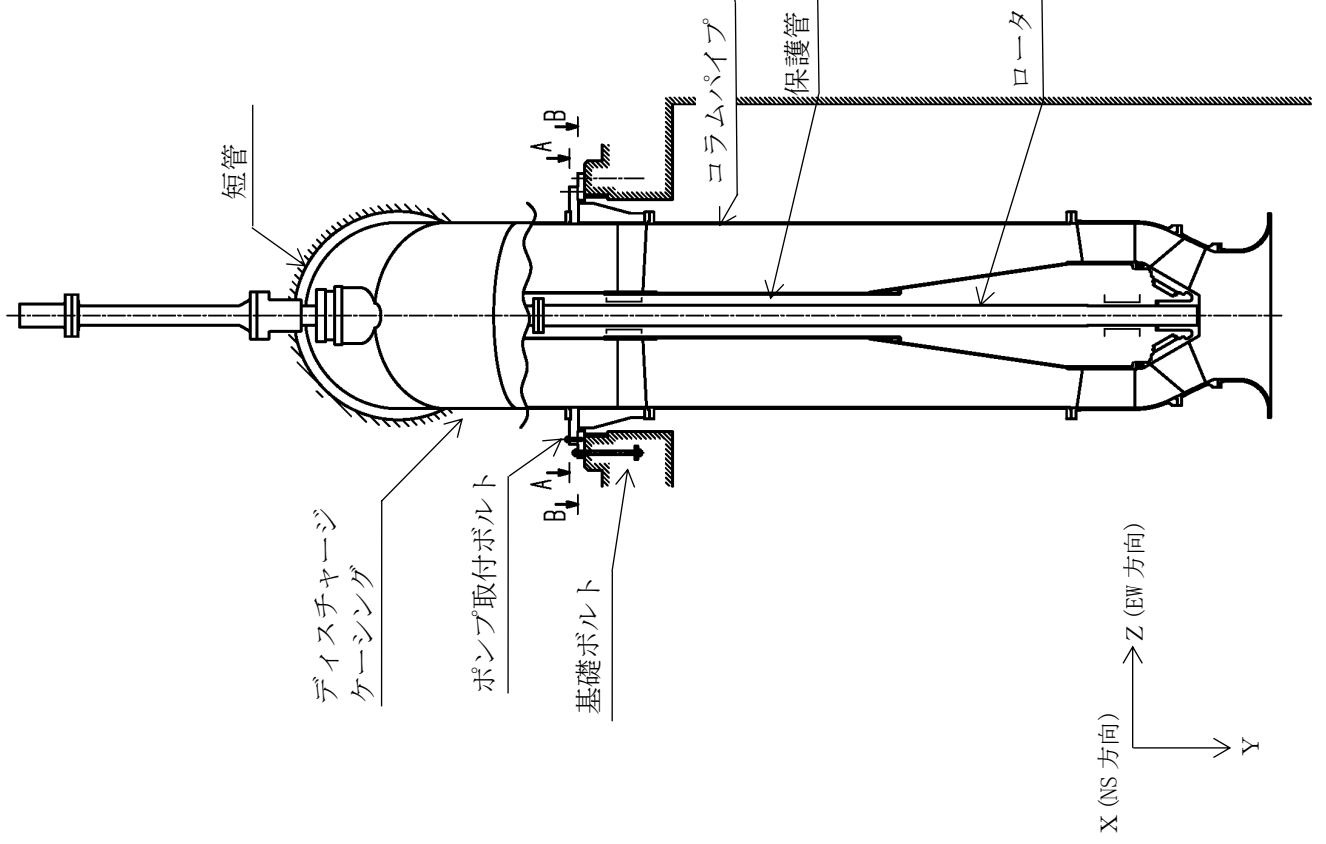
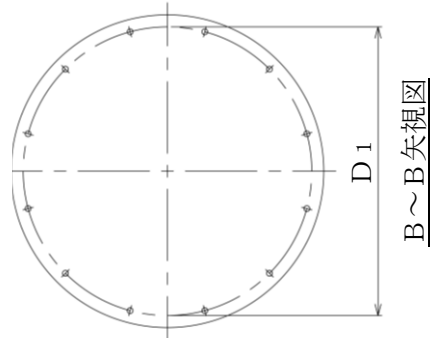
(5) 材料物性値

材料番号	温度 (°C)	縦弾性係数 (MPa)	質量密度 (kg/mm ³)	ポアソン比 (—)	材質
1	30	1.94×10^5		0.3	
2	30	2.02×10^5		0.3	
3	30	2.01×10^5		0.3	
4	<input type="checkbox"/>	2.00×10^5		0.3	
5	<input type="checkbox"/>	2.01×10^5		0.3	
6	70	1.98×10^5		0.3	

ポンプ取付ボルト



基礎ボルト



4. 隔離弁，配管

4.1 概要

本計算書は，VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」（以下「基本方針」という。）に基づき，浸水防護施設の管，支持構造物及び弁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，動的機能を維持できることを説明するものである。

計算結果の記載方法は，以下に示すとおりである。

(1) 管

浸水防護施設の管のうち，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元に記載する。また，全24モデルのうち，各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図，計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を4.4.2 (4)に記載する。

(2) 支持構造物

浸水防護施設の管の支持点のうち，種類及び型式単元に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

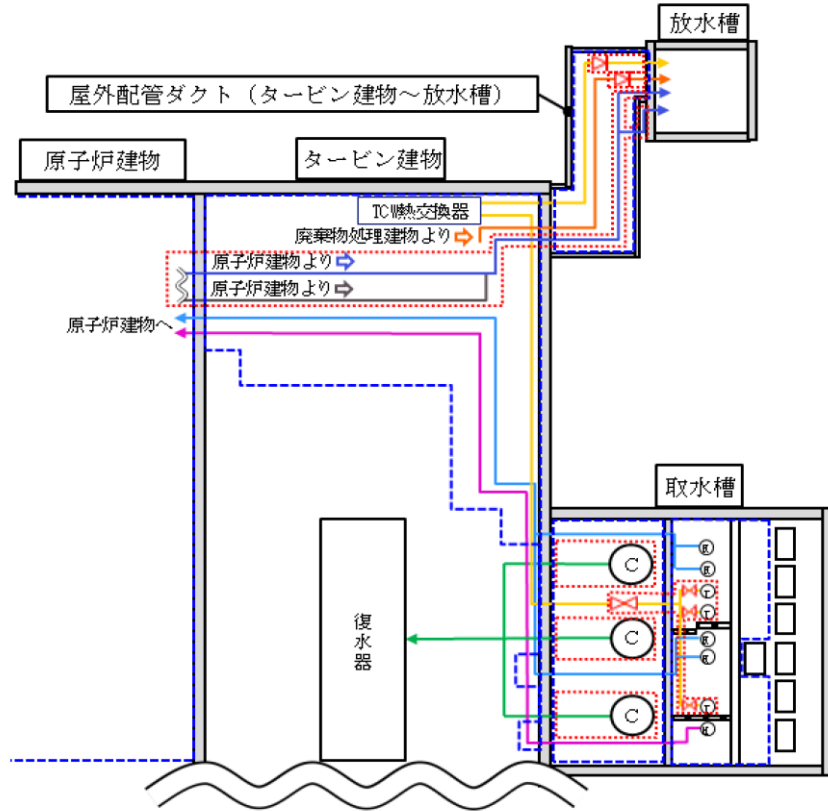
(3) 弁

機能確認済加速度の機能維持評価用加速度に対する裕度が最小となる動的機能維持要求弁を代表として，弁型式別に評価結果を記載する。

4.2 配置概要，概略系統図及び鳥瞰図

4.2.1 配置概要

図4.2-1に示すとおり，浸水防護重点化範囲への津波の流入を防止するため，隔離弁を設置するとともに，バウンダリ機能を保持する配管を設置する。



【凡例】

- : Sクラスとする範囲
- X : 隔離弁（電動弁，逆止弁）
- : 浸水防護重点化範囲
- ← : 原子炉補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系配管（Sクラス）
- ← : 原子炉補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : 高圧炉心スプレイ補機海水系放水配管（Cクラス）
- ← : タービン補機海水系配管（Cクラス）
- ← : 循環水系配管（Cクラス）（点線部は埋設配管を示す）
- ← : 液体廃棄物処理系配管（Cクラス）




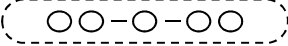

- R : 原子炉補機海水ポンプ（Sクラス）
- H : 高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ（Sクラス）
- T : タービン補機海水ポンプ（Cクラス）
- C : 循環水ポンプ（Cクラス）

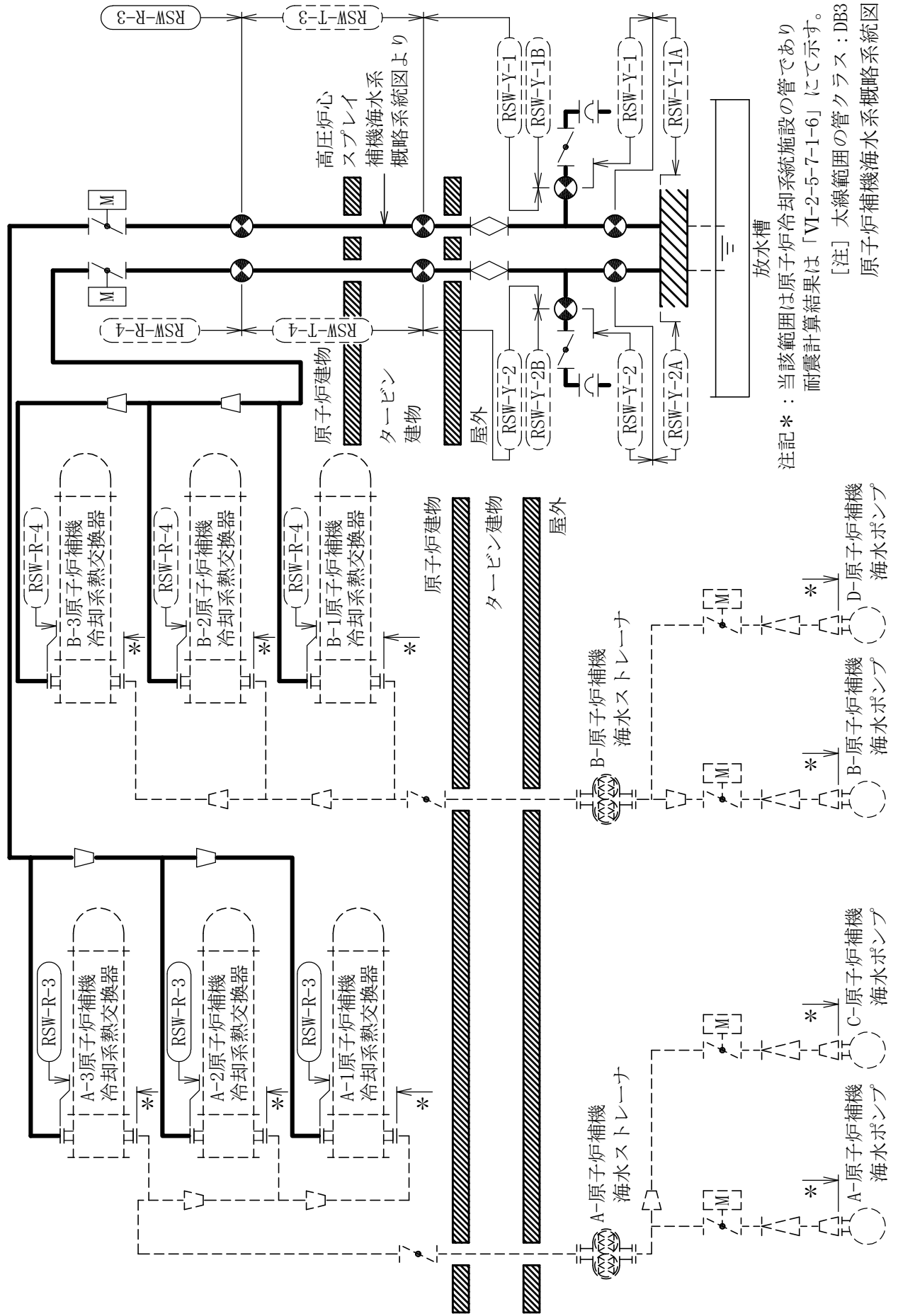
注）浸水防護機能を除く耐震クラスを記載

図4.2-1 配置概要

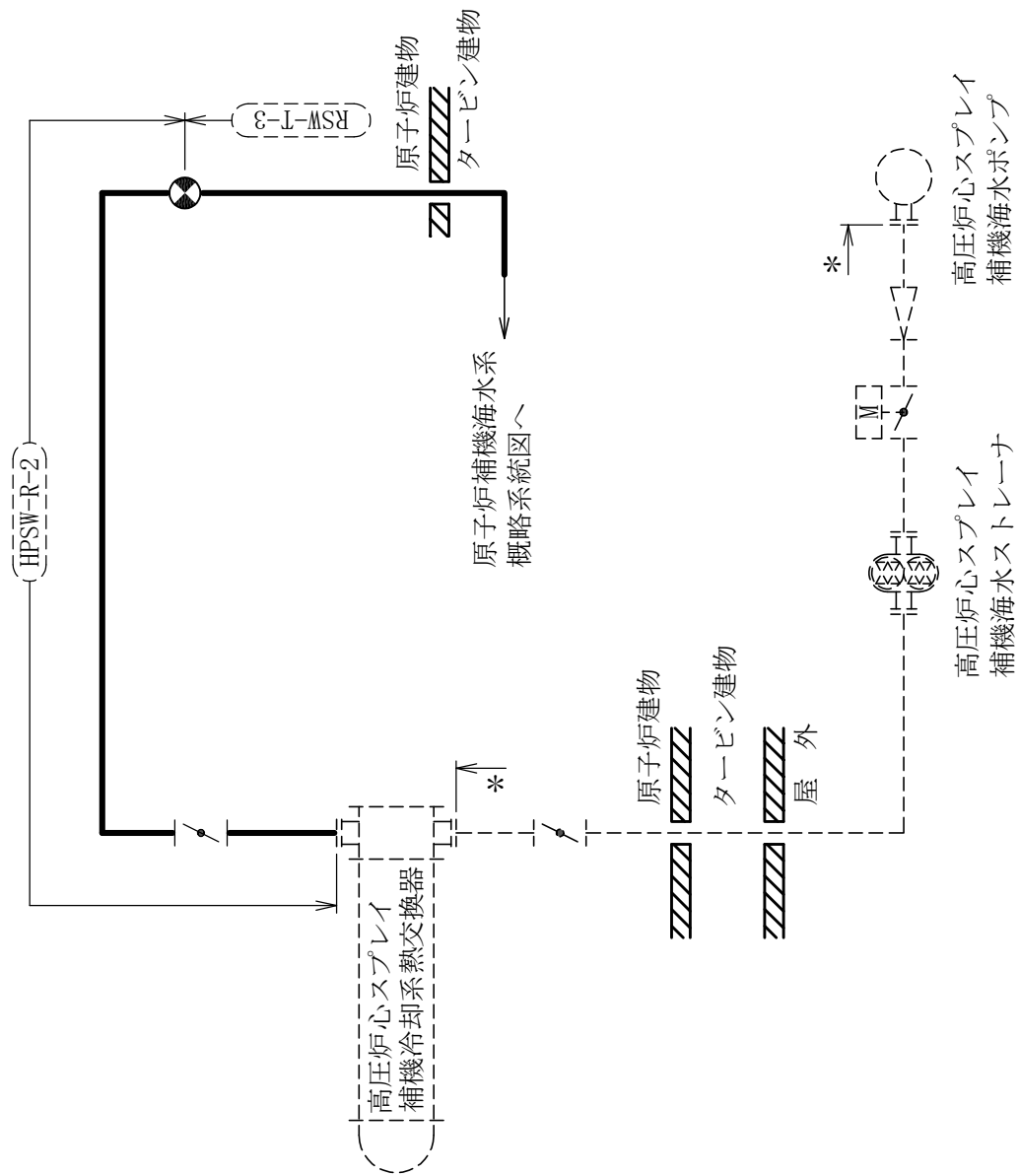
4.2.2 概略系統図

概略系統図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外の管であって系統の概略を示すために表記する管
	鳥瞰図番号 (代表モデル)
	鳥瞰図番号 (代表モデル以外)
	アンカ
<p>[管クラス]</p> <p>DB1</p> <p>DB2</p> <p>DB3</p> <p>DB4</p> <p>SA2</p> <p>SA3</p> <p>DB1/SA2</p> <p>DB2/SA2</p> <p>DB3/SA2</p> <p>DB4/SA2</p>	<p>クラス 1 管</p> <p>クラス 2 管</p> <p>クラス 3 管</p> <p>クラス 4 管</p> <p>重大事故等クラス 2 管</p> <p>重大事故等クラス 3 管</p> <p>重大事故等クラス 2 管であってクラス 1 管</p> <p>重大事故等クラス 2 管であってクラス 2 管</p> <p>重大事故等クラス 2 管であってクラス 3 管</p> <p>重大事故等クラス 2 管であってクラス 4 管</p>



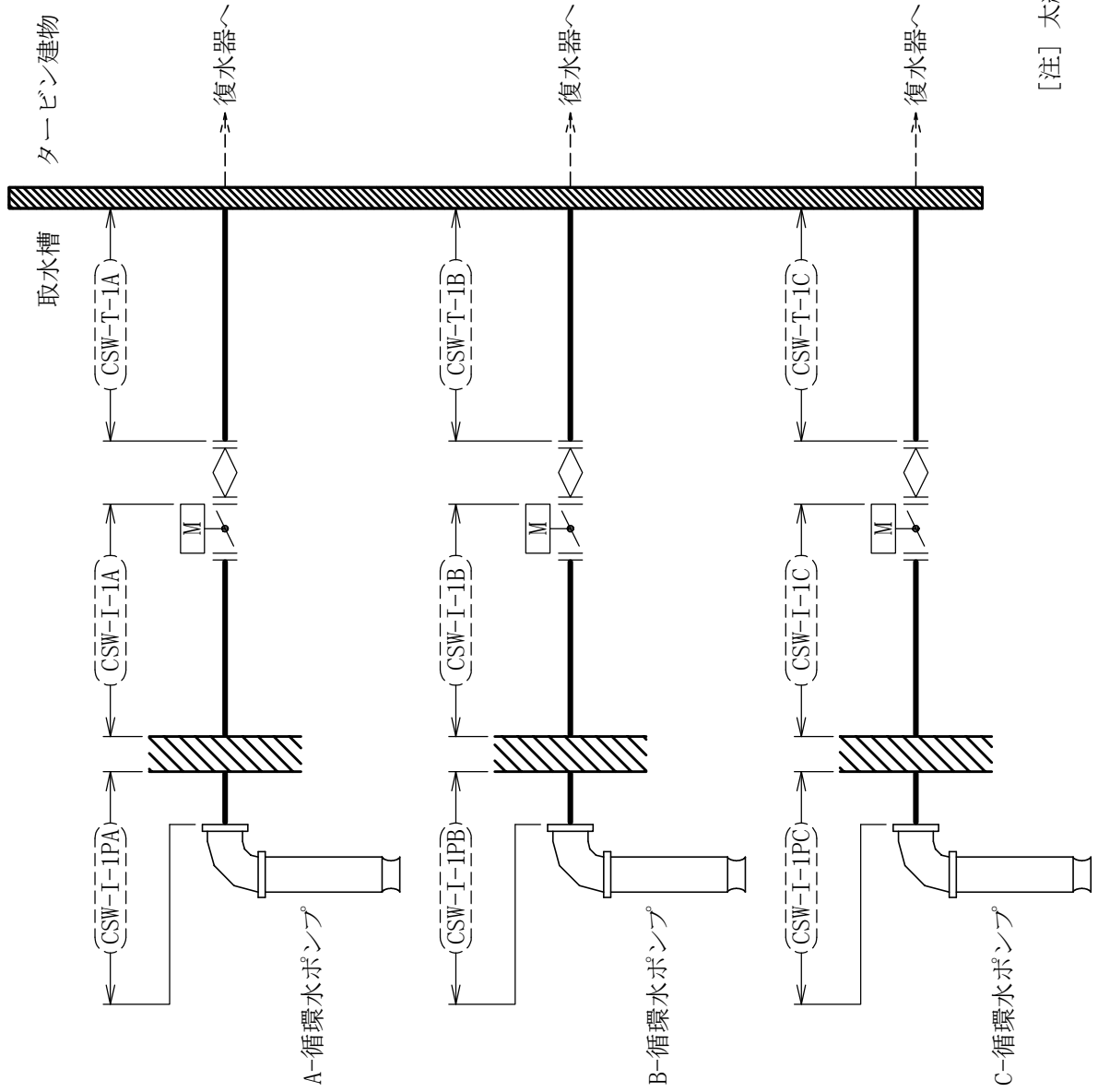
注記*：当該範囲は原子炉冷却系統施設の管であり
耐震計算結果は「VI-2-5-7-1-6」にて示す。
[注] 太線範囲の管クラス：DB3
原子炉補機海水系概略系統図



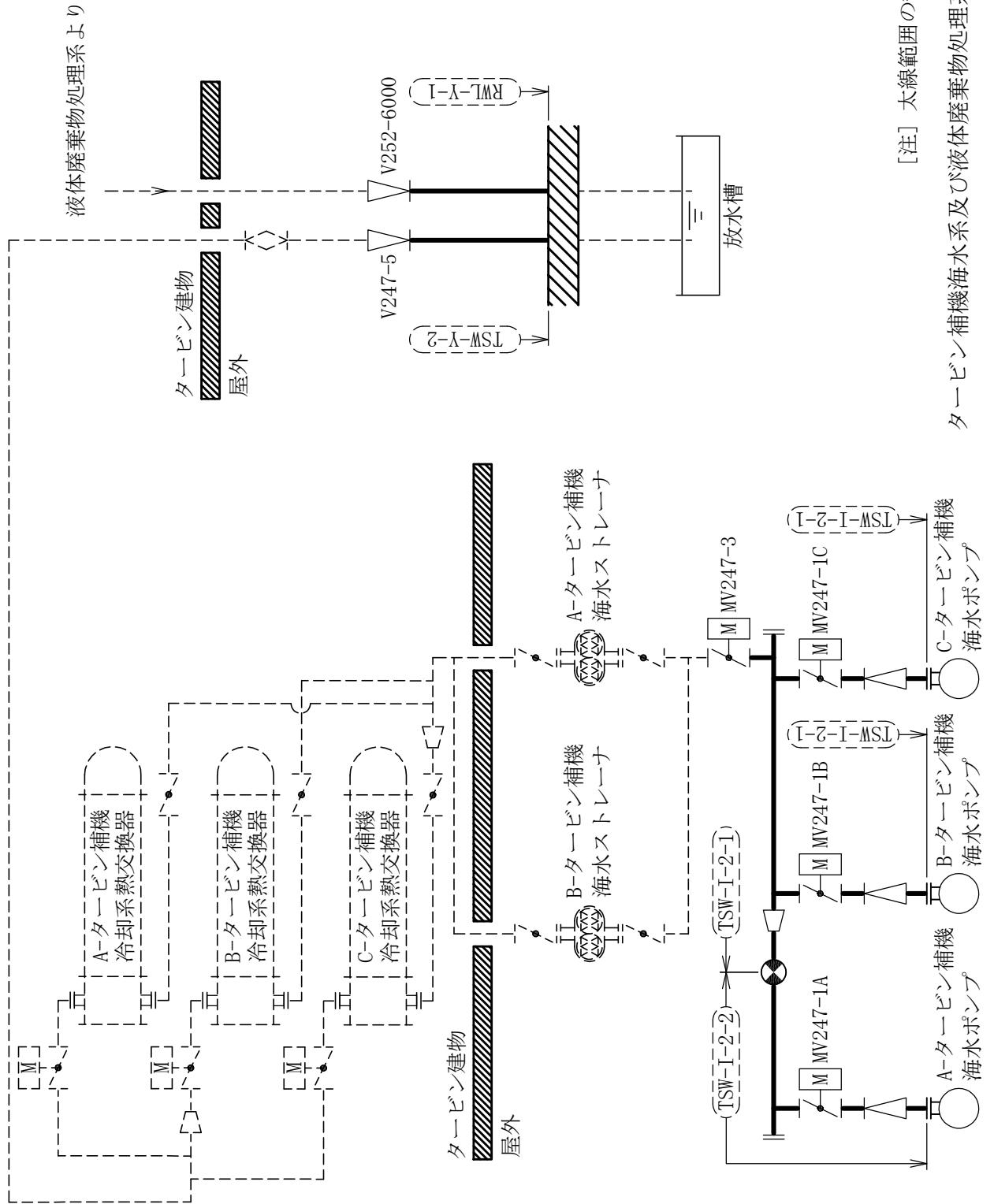
注記*：当該範囲は原子炉冷却系統施設の管であり耐震計算結果は「VI-2-5-7-2-6」にて示す。

[注] 太線範囲の管クラス：DB3

高圧炉心スプレー補機海水系概略系統図



[注] 太線範囲の管クラス：DB3
 循環水系概略系統図
 (取水槽廻り)





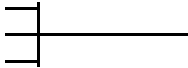
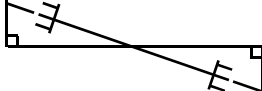
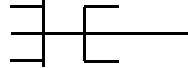
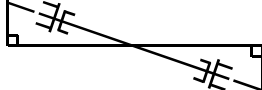

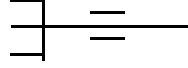
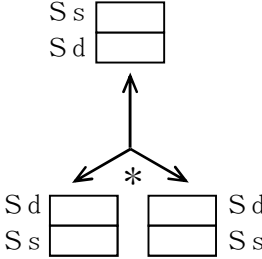


[注] 太線範囲の管クラス：DB3

タービン補機海水系及び液体廃棄物処理系概略系統図

4.2.3 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記 号	内 容
 (太線)	浸水防護施設の管
 (破線)	浸水防護施設以外の管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	拘束点の地震による相対変位量(mm) (*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)
	注：鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。

鳥瞰図

RSW-R-3

4.3 計算条件

4.3.1 計算方法

管の構造強度評価は、基本方針に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」又は「M S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*1, *2}	許容応力状態
浸水防護施設 (浸水防止設備)	—	原子炉補機海水系	クラス3管	S ^{*3}	I _L +S _d ^{*3}	III _A S ^{*3}
					II _L +S _d ^{*3}	
					I _L +S _s	
					II _L +S _s	
		高圧炉心スプレイ補機海水系	クラス3管	S ^{*3}	I _L +S _d ^{*3}	III _A S ^{*3}
					II _L +S _d ^{*3}	
	循環水系	クラス3管	S ^{*3}	I _L +S _s	IV _A S	
				II _L +S _s		
				I _L +S _d ^{*3}		
				II _L +S _d ^{*3}		
	タービン補機海水系	クラス3管	S ^{*3}	I _L +S _d ^{*3}	III _A S ^{*3}	
				II _L +S _d ^{*3}		
I _L +S _s						
II _L +S _s						

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

施設名称	設備名称	系統名称	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*1, *2}	許容応力状態
浸水防護施設 (浸水防止設備)	—	液体廃棄物処理系	クラス3管	S ^{*3}	I _L +S _d ^{*3}	III _A S ^{*3}
					II _L +S _d ^{*3}	
					I _L +S _s	IV _A S
					II _L +S _s	

注記*1：運転状態の添字Lは荷重を示す。

*2：許容応力状態ごとに最も厳しい条件又は包絡条件を用いて評価を実施する。

*3：基準地震動S_sに対する浸水防止機能保持の信頼性を高めるために、従来からのSクラス設備の耐震設計と同様に、弾性設計用地震動S_dによる地震力に対しておおむね弾性状態にとどまる設計とする。
(許容応力状態III_ASの許容限界を適用)

4.3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-R-3

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1N~12, 15~73N 22~79N	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	—	—
2	13~19	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	—	—
3	20~52F, 60F~67A	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	—	—
4	55F~60F	Ⅲ _A S	0.98	40
		Ⅳ _A S	0.98	40
		Ⅴ _A S	—	—

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 RSW-R-3

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1N~12, 15~73N 22~79N	457.2	9.5	SM41A	S	201933
2	13~19	558.8	9.5	SM41A	S	201933
3	20~52F, 60F~67A	711.2	9.5	SM41A	S	201933
4	55F~60F	711.2	9.5	SM400A	S	201933

配管の付加質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1N～12, 15～73N, 22～79N
<input type="checkbox"/>	13～19
<input type="checkbox"/>	20～52F, 55F～67A

フランジ部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点
□	1N, 73N, 79N
□	5F, 8F, 10F, 69F, 75F
□	14F, 17F
□	21F, 24F, 27F, 30F, 34F, 37F, 40F, 43F, 46F, 49F, 63F, 66F
□	52F
□	55F
□	60F

弁部の質量

鳥 瞰 図 RSW-R-3

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	53	<input type="checkbox"/>	540
<input type="checkbox"/>	5401	<input type="checkbox"/>	54

弁部の寸法

鳥 瞰 図 RSW-R-3

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
52F~53				53~540			
540~5401				5401~54			
53~55F							

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1N						
401						
** 6001 **						
11						
18						
2201						
29						
33						
42						
50						
58						
64						
67A						
73N						
79N						

S2 補 VI-2-10-2-11 R0

4.3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
SM41A	40	—	245	400	—
SM400A	40	—	245	400	—

4.3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
RSW-R-3	原子炉建物				

4.4 解析結果及び評価

4.4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 RSW-R-3

適用する地震動等		弾性設計用地震動 S _d 及び静的震度			基準地震動 S _s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直 震度*2	応答水平震度*3		応答鉛直 震度*3
		X方向	Z方向	Y方向	X方向	Z方向	Y方向
1次							
2次							
3次							
4次							
動的震度*4, *5							
静的震度*6							

注記*1：固有周期が0.050 s以上のモードを示す。0.020 s以上0.050 s未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

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

*3：設計用床応答スペクトル I (基準地震動 S_s)により得られる震度

*4：設計用震度 I (弾性設計用地震動 S_d)及び設計用震度 I (基準地震動 S_s)

*5：最大応答加速度を1.2倍した震度

*6： $3.6 \cdot C_I$ 及び $1.2 \cdot C_v$ より定めた震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 RSW-R-3

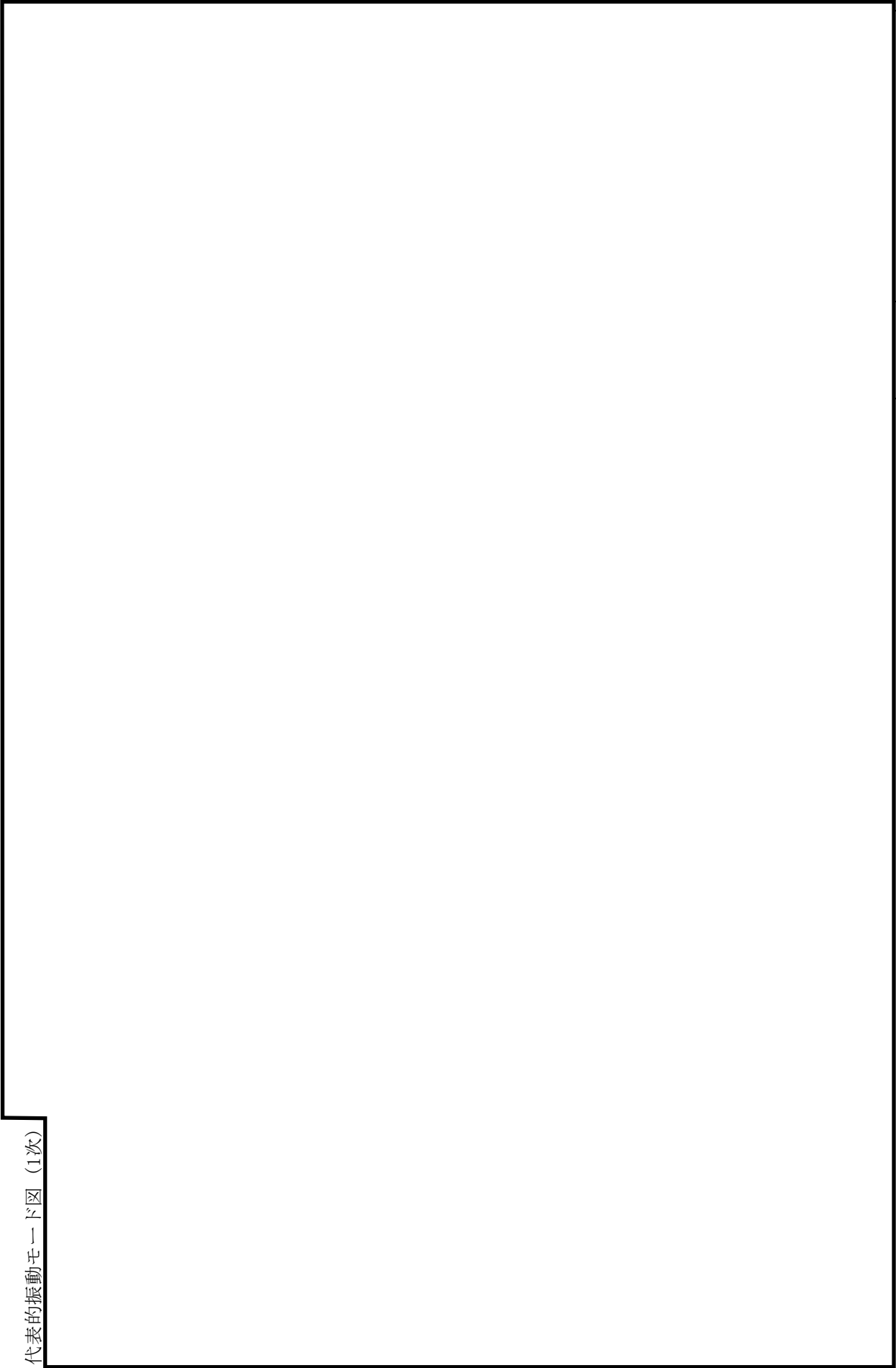
モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は、3次モードまでを代表とし、各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し、次頁以降に示す。

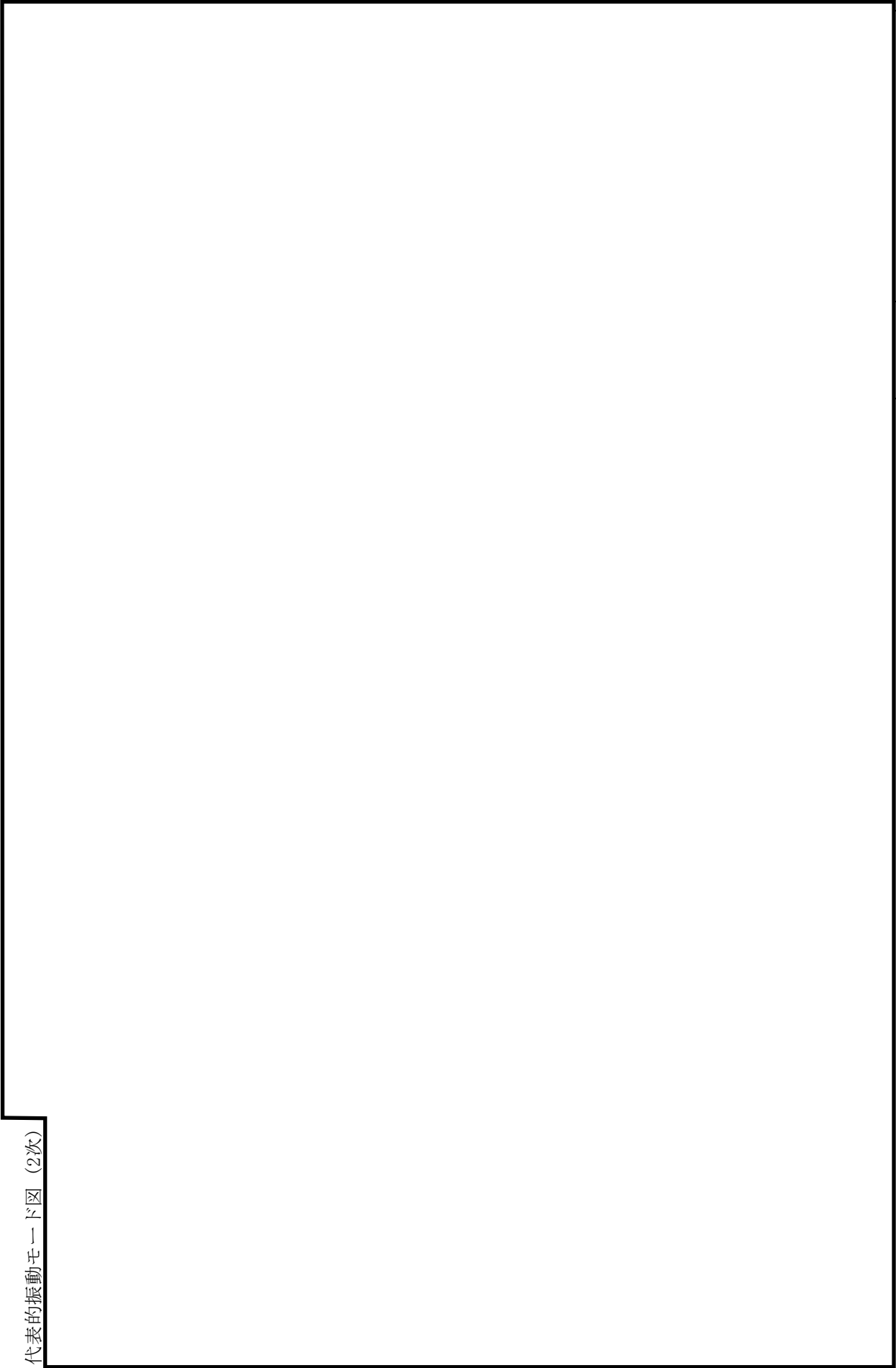
代表的振動モード図 (1次)



鳥瞰図

R SW - R - 3

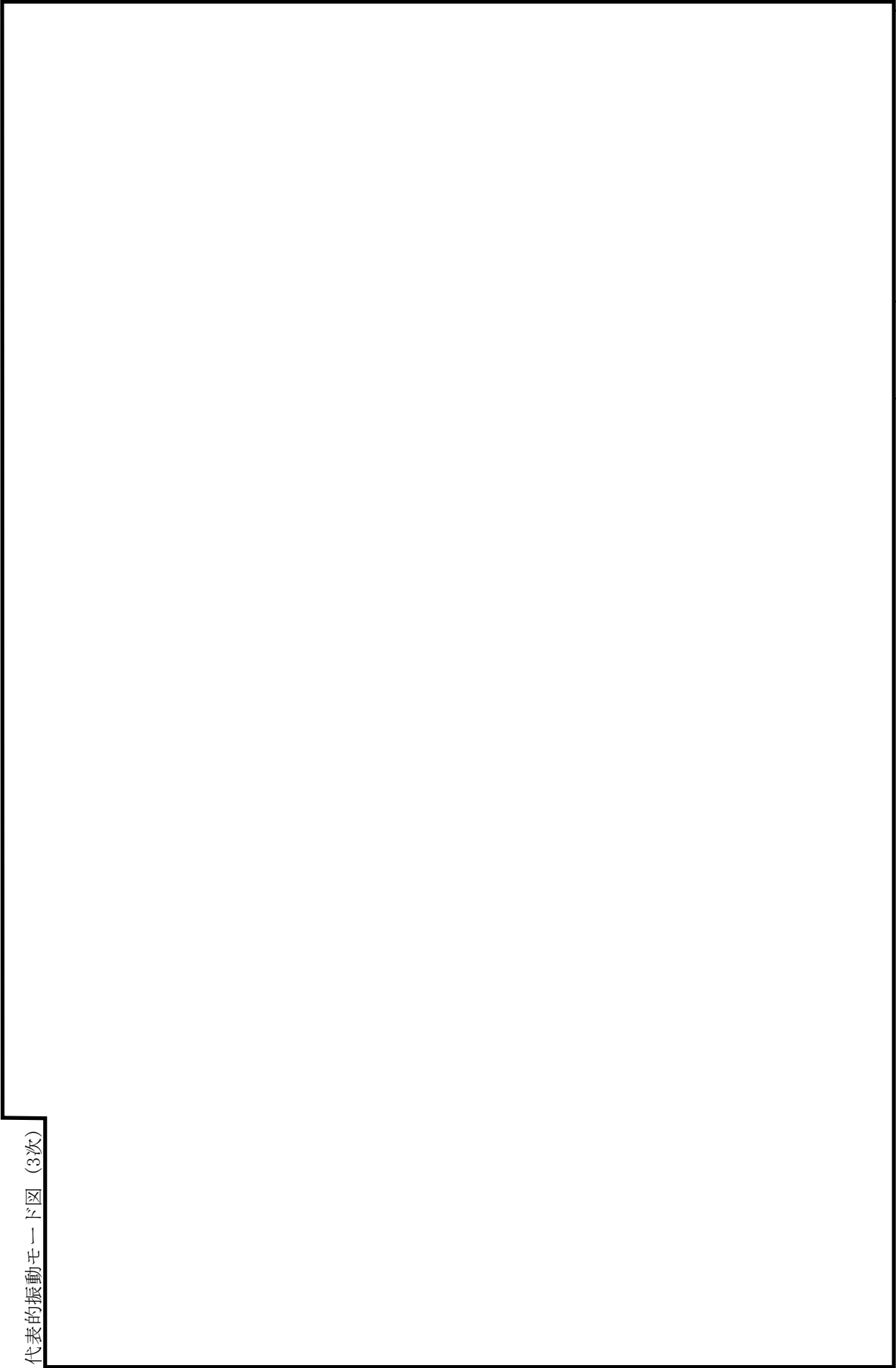
代表的振動モード図 (2次)



鳥瞰図

R S W - R - 3

代表的振動モード図 (3次)



鳥瞰図

R S W - R - 3

4.4.2 評価結果

(1) 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス3管

許容応力状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図番号	最大応力評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	
Ⅲ _A S	一次応力 Sprm(Sy*)	RSW-R-3	22	148	245	—
	一次+二次応力 Sn(2・Sy)	RSW-R-3	22	253	490	—
Ⅳ _A S	一次応力 Sprm(0.9・Su)	RSW-R-3	22	265	360	—
	一次+二次応力 Sn(2・Sy)	RSW-R-3	22	488	490	—

注記*：オーステナイト系ステンレス鋼及び高ニッケル合金については，SyとI.2・Sのうち大きい方とする。

(2) 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果 (荷重評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	一次評価 ^{*1}	二次評価 ^{*2}
—	メカニカルスナツバ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	—
SNO-RSW-788	オイルスナツバ	SN-100			260	1500	—
RE-RSW-MH0017	ロッドレストレイント	RSA60			660	1080	—
SH-RSW-284	スプリングハンガ	VSB2F-22			113	170	
—	コンスタントハンガ	—			—	—	
—	リジットハンガ	—	—	—			

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して，J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお，一次評価を満足する場合は「一」と記載する。

支持構造物評価結果 (応力評価)

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重							評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)				応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F x	F y	F z	M x	M y	M z				
RE-RSW-728	レストレイント	ラグ	SGV410	40	535	73	74	—	—	—	—	組合せ	44	70
AN-RSW-MH0003	アンカ	ラグ	STPG370	40	86	84	580	38	36	10	組合せ	143	430	

(3) 弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能*1	機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)				機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)				詳細評価*2					
			水平		鉛直		水平		鉛直		動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)			
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力
MV247-1A	電動バタフライ弁	β (S s)	2.3	1.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV247-1B	電動バタフライ弁	β (S s)	2.3	1.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV247-1C	電動バタフライ弁	β (S s)	2.3	1.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
MV247-3	電動バタフライ弁	β (S s)	2.3	1.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- α (S d)：弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- β (S s)：基準地震動 S s，弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの
- β (S d)：弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し，機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお，機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合は「—」と記載する。

弁の動的機能維持の評価結果

下表に示すとおり機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下又は機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下である。

弁番号	形式	要求機能*1	詳細評価**2										
			機能維持評価用加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		動作機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)		構造強度評価結果 (MPa)				
			水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	評価部位	応力分類	計算応力	許容応力	
V247-5	逆止弁	β (S s)	2.8	1.9	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—
V252-6000	逆止弁	β (S s)	2.8	1.9	6.0	6.0	—	—	—	—	—	—	—

注記*1：弁に要求される機能に応じて以下を記載する。

- α (S s) : 基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- α (S d) : 弾性設計用地震動 S d 時に動的機能が要求されるもの
- β (S s) : 基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの
- β (S d) : 弾性設計用地震動 S d 後に動的機能が要求されるもの

*2：機能維持評価用加速度が機能確認済加速度を超過する場合は詳細評価を実施し、機能維持評価用加速度が動作機能確認済加速度以下かつ計算応力が許容応力以下であることを確認する。なお、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下の場合「一」と記載する。

(4) 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰

図，計算条件及び評価結果を記載している。下表に，代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	RSW-R-3	22	148	245	1.65	○	22	253	490	1.93	—	○
2	RSW-R-4	16	113	245	2.16	—	39	147	490	3.33	—	—
3	RSW-T-3	66	92	215	2.33	—	66	179	430	2.40	—	—
4	RSW-T-4	10	56	245	4.37	—	2F	123	490	3.98	—	—
5	RSW-Y-1	411	50	245	4.90	—	8	35	490	14.00	—	—
6	RSW-Y-1A	813	35	245	7.00	—	1	15	490	32.66	—	—
7	RSW-Y-1B	816	47	245	5.21	—	816	34	490	14.41	—	—
8	RSW-Y-2	511	48	245	5.10	—	802	32	490	15.31	—	—
9	RSW-Y-2A	814	34	245	7.20	—	814	12	490	40.83	—	—
10	RSW-Y-2B	2	35	245	7.00	—	2	32	490	15.31	—	—
11	HPSW-R-2	36	71	215	3.02	—	36	94	430	4.57	—	—
12	CSW-T-1A	8A	32	235	7.34	—	8A	20	470	23.50	—	—
13	CSW-T-1B	8A	32	235	7.34	—	8A	20	470	23.50	—	—
14	CSW-T-1C	8A	32	235	7.34	—	8A	20	470	23.50	—	—
15	CSW-I-1A	1A	16	235	14.68	—	1A	6	470	78.33	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅢA S											
		一次応力評価						一次＋二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表	
16	CSW-I-1B	1A	16	235	14.68	—	1A	6	470	78.33	—	—	
17	CSW-I-1C	1A	16	235	14.68	—	1A	6	470	78.33	—	—	
18	CSW-I-1PA	4A	33	235	7.12	—	4A	23	470	20.43	—	—	
19	CSW-I-1PB	4A	33	235	7.12	—	4A	23	470	20.43	—	—	
20	CSW-I-1PC	4A	33	235	7.12	—	4A	23	470	20.43	—	—	
21	TSW-I-2-1	441	62	245	3.95	—	441	87	490	5.63	—	—	
22	TSW-I-2-2	401	57	245	4.29	—	401	39	490	12.56	—	—	
23	TSW-Y-2	7	63	245	3.88	—	7	77	490	6.36	—	—	
24	RWL-Y-1	852	44	231	5.25	—	852	51	463	9.07	—	—	

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅣA S													
		一次応力評価						一次＋二次応力評価							
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表			
1	RSW-R-3	22	265	360	1.35	○	22	488	490	1.00	—	○			
2	RSW-R-4	16	183	360	1.96	—	16	285	490	1.71	—	—			
3	RSW-T-3	66	192	333	1.73	—	66	399	430	1.07	—	—			
4	RSW-T-4	10	69	360	5.21	—	15	246	490	1.99	—	—			
5	RSW-Y-1	8	69	360	5.21	—	802	81	490	6.04	—	—			
6	RSW-Y-1A	813	42	360	8.57	—	813	29	490	16.89	—	—			
7	RSW-Y-1B	816	66	360	5.45	—	816	74	490	6.62	—	—			
8	RSW-Y-2	511	77	360	4.67	—	511	86	490	5.69	—	—			
9	RSW-Y-2A	814	41	360	8.78	—	814	27	490	18.14	—	—			
10	RSW-Y-2B	2	50	360	7.20	—	2	59	490	8.30	—	—			
11	HPSW-R-2	36	143	333	2.32	—	36	240	430	1.79	—	—			
12	CSW-T-1A	8A	41	360	8.78	—	8A	39	470	12.05	—	—			
13	CSW-T-1B	8A	41	360	8.78	—	8A	39	470	12.05	—	—			
14	CSW-T-1C	8A	41	360	8.78	—	8A	39	470	12.05	—	—			
15	CSW-I-1A	1A	18	360	20.00	—	1A	10	470	47.00	—	—			

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態ⅣAS										
		一次応力評価					一次＋二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
16	CSW-I-1B	1A	18	360	20.00	—	1A	10	470	47.00	—	—
17	CSW-I-1C	1A	18	360	20.00	—	1A	10	470	47.00	—	—
18	CSW-I-1PA	4A	45	360	8.00	—	4A	47	470	10.00	—	—
19	CSW-I-1PB	4A	45	360	8.00	—	4A	47	470	10.00	—	—
20	CSW-I-1PC	4A	45	360	8.00	—	4A	47	470	10.00	—	—
21	TSW-I-2-1	441	92	360	3.91	—	441	147	490	3.33	—	—
22	TSW-I-2-2	401	75	360	4.80	—	401	75	490	6.53	—	—
23	TSW-Y-2	7	101	360	3.56	—	7	155	490	3.16	—	—
24	RWL-Y-1	852	96	366	3.81	—	852	158	463	2.93	—	—

VI-2-10-2-12 タービン補機海水系隔離システムの
耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 漏えい検知器	2
2.1 概要	2
2.2 一般事項	2
2.2.1 構造計画	2
2.2.2 評価方針	6
2.2.3 適用規格・基準等	7
2.2.4 記号の説明	8
2.2.5 計算精度と数値の丸め方	9
2.3 評価部位	10
2.4 固有周期	11
2.4.1 固有値解析方法	11
2.4.2 解析モデル及び諸元	12
2.4.3 固有値解析結果	14
2.5 構造強度評価	16
2.5.1 構造強度評価方法	16
2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力	16
2.5.3 設計用地震力	20
2.5.4 計算方法	21
2.5.5 計算条件	25
2.5.6 応力の評価	26
2.6 機能維持評価	27
2.6.1 電氣的機能維持評価方法	27
2.7 評価結果	28
2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果	28

3.	防護設備制御盤 (2-1007)	45
3.1	概要	45
3.2	一般事項	45
3.2.1	構造計画	45
3.3	固有周期	47
3.3.1	固有周期の確認	47
3.4	構造強度評価	48
3.4.1	構造強度評価方法	48
3.4.2	荷重の組合せ及び許容応力	48
3.4.3	計算条件	48
3.5	機能維持評価	52
3.5.1	電氣的機能維持評価方法	52
3.6	評価結果	53
3.6.1	設計基準対象施設としての評価結果	53

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、タービン補機海水系隔離システムが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

タービン補機海水系隔離システムは、漏えい検知器及び防護設備制御盤から構成される。タービン補機海水系隔離システムの構成を図1-1に示す。

「2. 漏えい検知器」においては、タービン補機海水系隔離システムのうち漏えい検知器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明する。構造強度評価として、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について評価を実施し、電気的機能維持評価として、電極式水位検出器を評価対象部位として評価を実施する。

「3. 防護設備制御盤」においては、タービン補機海水系隔離システムのうち防護設備制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明する。構造強度評価として、耐震評価上厳しくなる取付ボルト部について評価を実施し、電気的機能維持評価として、防護設備制御盤に設置される器具を評価対象部位として評価を実施する。

電気的機能維持評価では、機能維持評価用加速度がすべて機能維持確認済加速度以下であることで評価する。

タービン補機海水系隔離システムは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

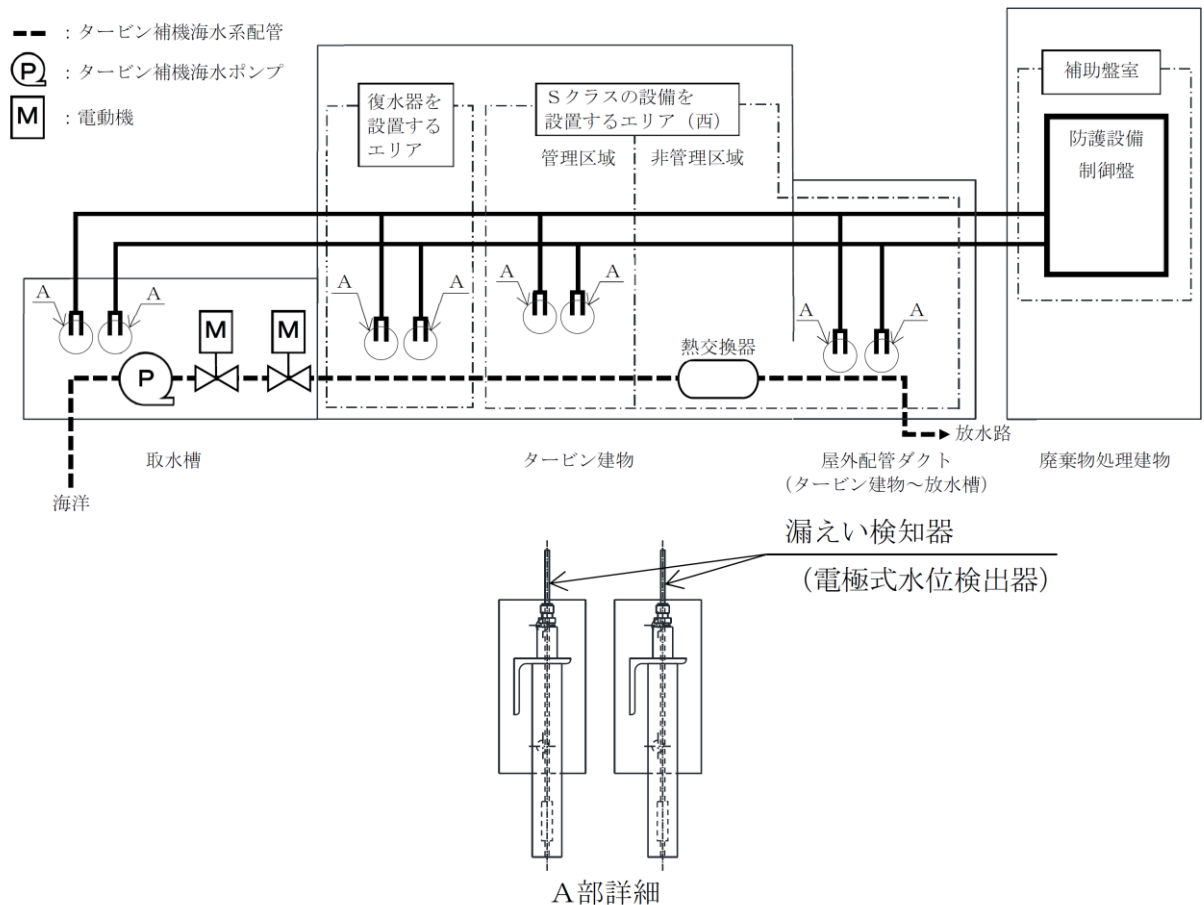


図1-1 タービン補機海水系隔離システムの構成

2. 漏えい検知器

2.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、漏えい検知器が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

2.2 一般事項

2.2.1 構造計画

漏えい検知器の構造計画を表 2-1 に示す。

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>検出器は、圧縮継手によりサポート鋼材に固定する。 サポート鋼材は、基礎ボルトにより壁面に設置する。</p>	<p>電極式水位検出器</p>	

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図				
基礎・支持構造	主体構造					
		対象機器	LE245-5A-1	LE245-5A-2	LE245-5B-1	LE245-5B-2
		たて				
		横				
		高さ				
		対象機器	LE245-5C-1	LE245-5C-2	LE245-6A-1	LE245-6A-2
		たて				
		横				
		高さ				
		対象機器	LE245-6B-1	LE245-6B-2	LE245-6C-1	LE245-6C-2
		たて				
		横				
		高さ				

(単位 : mm)

表 2-1 構造計画

計画の概要		概略構造図				
基礎・支持構造	主体構造					
		対象機器	LE245-7A-1	LE245-7A-2	LE245-7B-1	LE245-7B-2
		たて				
		横				
		高さ				
		対象機器	LE245-7C-1	LE245-7C-2	LE245-8A-1	LE245-8A-2
		たて				
		横				
		高さ				
		対象機器	LE245-8B-1	LE245-8B-2	LE245-8C-1	LE245-8C-2
		たて				
		横				
		高さ				

(単位：mm)

2.2.2 評価方針

漏えい検知器の応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.2.1 構造計画」にて示す漏えい検知器の部位を踏まえ「2.3 評価部位」にて設定する箇所において、「2.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.5 構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、漏えい検知器の機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.6 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.7 評価結果」に示す。

漏えい検知器の耐震評価フローを図 2-1 に示す。

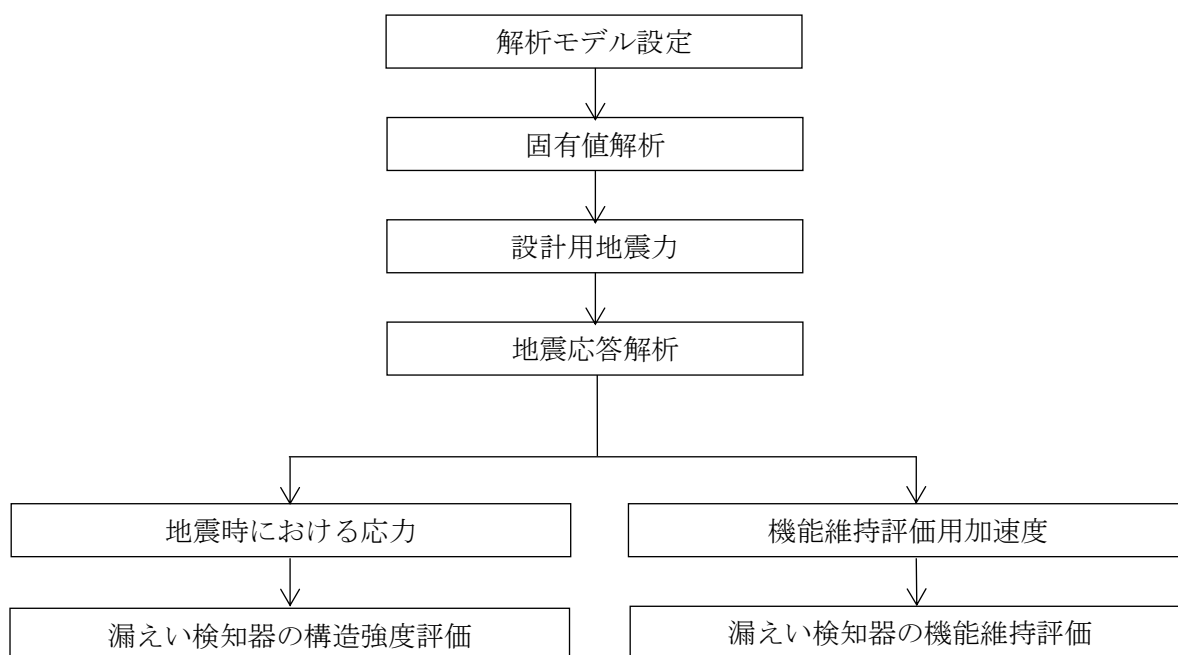


図 2-1 漏えい検知器の耐震評価フロー

2.2.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.2.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	サポート鋼材の断面積	mm ²
A _b	基礎ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d	基礎ボルトの呼び径	mm
F	設計・建設規格 SSB-3121.1(1)に定める値	MPa
F*	設計・建設規格 SSB-3133に定める値	MPa
F _b	基礎ボルトに作用する引張力	N
f _{sb}	せん断力のみを受ける基礎ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{to}	引張力のみを受ける基礎ボルトの許容引張応力	MPa
f _{ts}	引張力とせん断力を同時に受ける基礎ボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）	MPa
g	重力加速度（=9.80665）	m/s ²
Q _b	基礎ボルトに作用するせん断力（1本当たり）	N
S _u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表9に定める値	MPa
S _y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める値	MPa
S _y (RT)	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表8に定める材料の40°Cにおける値	MPa
W ₁	検出器の荷重	N
W ₂	保護管の荷重	N
Z ₁	サポート鋼材の弱軸回りの断面係数	mm ³
Z ₂	サポート鋼材の強軸回りの断面係数	mm ³
Z _p	サポート鋼材のねじり断面係数	mm ³
π	円周率	—
σ _b	基礎ボルトに生じる引張応力	MPa
τ _b	基礎ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.2.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は、表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

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

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

*2：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

*3：計算機プログラム固有の桁処理により算出値が有効数字 4 桁以下となる場合は、計算機プログラム保有の最大桁数表示とする。

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

2.3 評価部位

漏えい検知器の耐震評価は、「2.5.1 構造強度評価方法」に示す条件に基づき、耐震評価上厳しくなる基礎ボルト部について実施する。漏えい検知器の耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.4 固有周期

2.4.1 固有値解析方法

漏えい検知器の固有値解析方法を以下に示す。

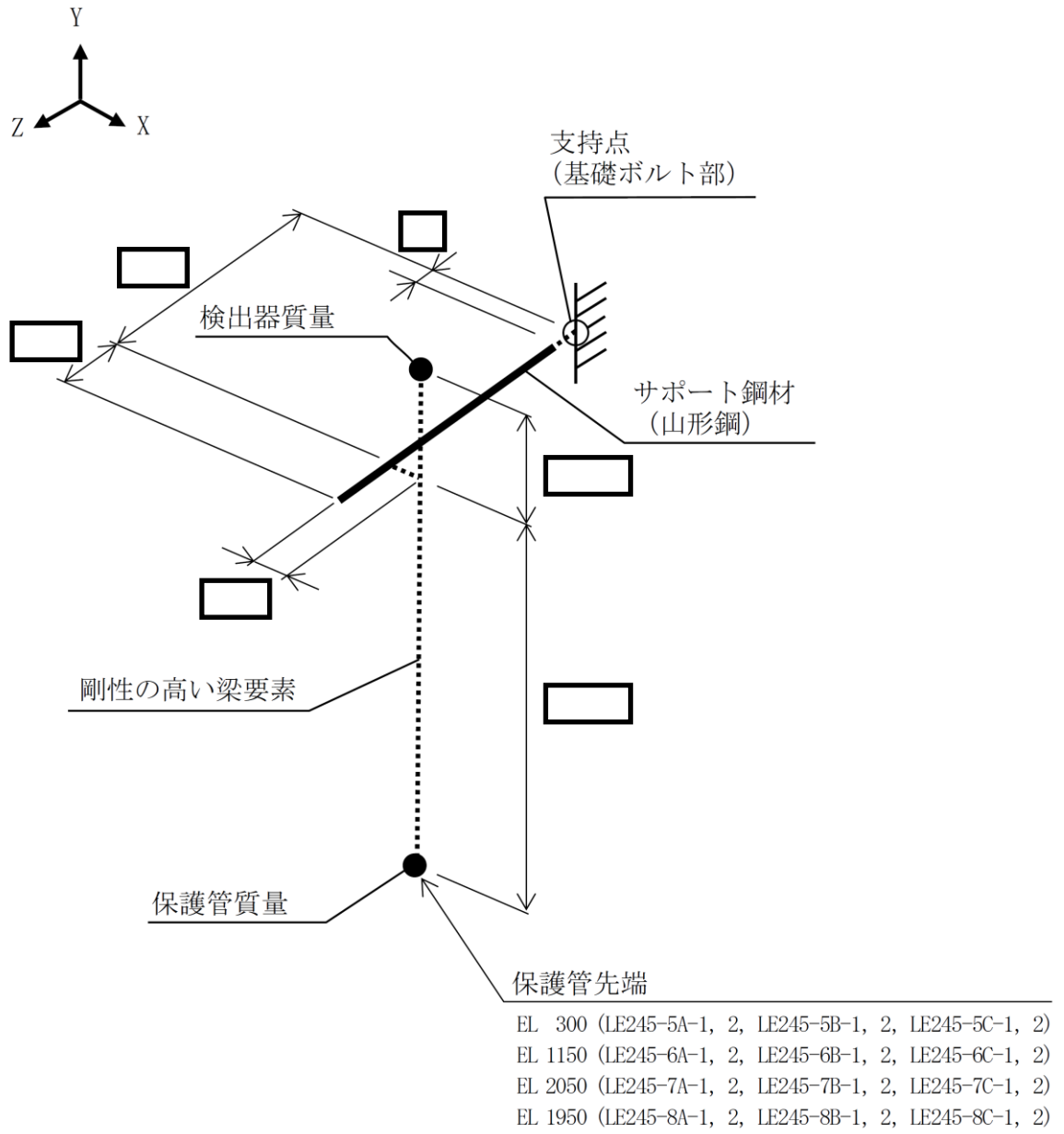
- (1) 漏えい検知器は、「2.4.2 解析モデル及び諸元」に示す三次元はりモデルにより固有周期を算出する。

2.4.2 解析モデル及び諸元

漏えい検知器の解析モデルを図 2-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2) の耐震性についての計算結果】のその他の機器要目に示す。

- (1) 漏えい検知器の検出器及び保護管の質量は、それぞれの重心に集中するものとする。
- (2) 漏えい検知器の検出器及び保護管の重心位置については、計算条件が厳しくなる位置に重心位置を設定する。
- (3) 拘束条件として、基礎部の並進方向を固定する。なお、基礎ボルト部は剛体として評価する。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。
- (5) 解析コードは、「NSAFE」を使用し、固有値及び荷重を求める。

なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



(単位 : mm)

図 2-2 解析モデル

2.4.3 固有値解析結果

固有値解析結果を表 2-3, 振動モード図を図 2-3 に示す。固有周期は 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 2-3 固有値解析結果

機器番号	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向 刺激係数
				X方向	Z方向	
LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2, LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2, LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2, LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2	1次	水平	□	—	—	—

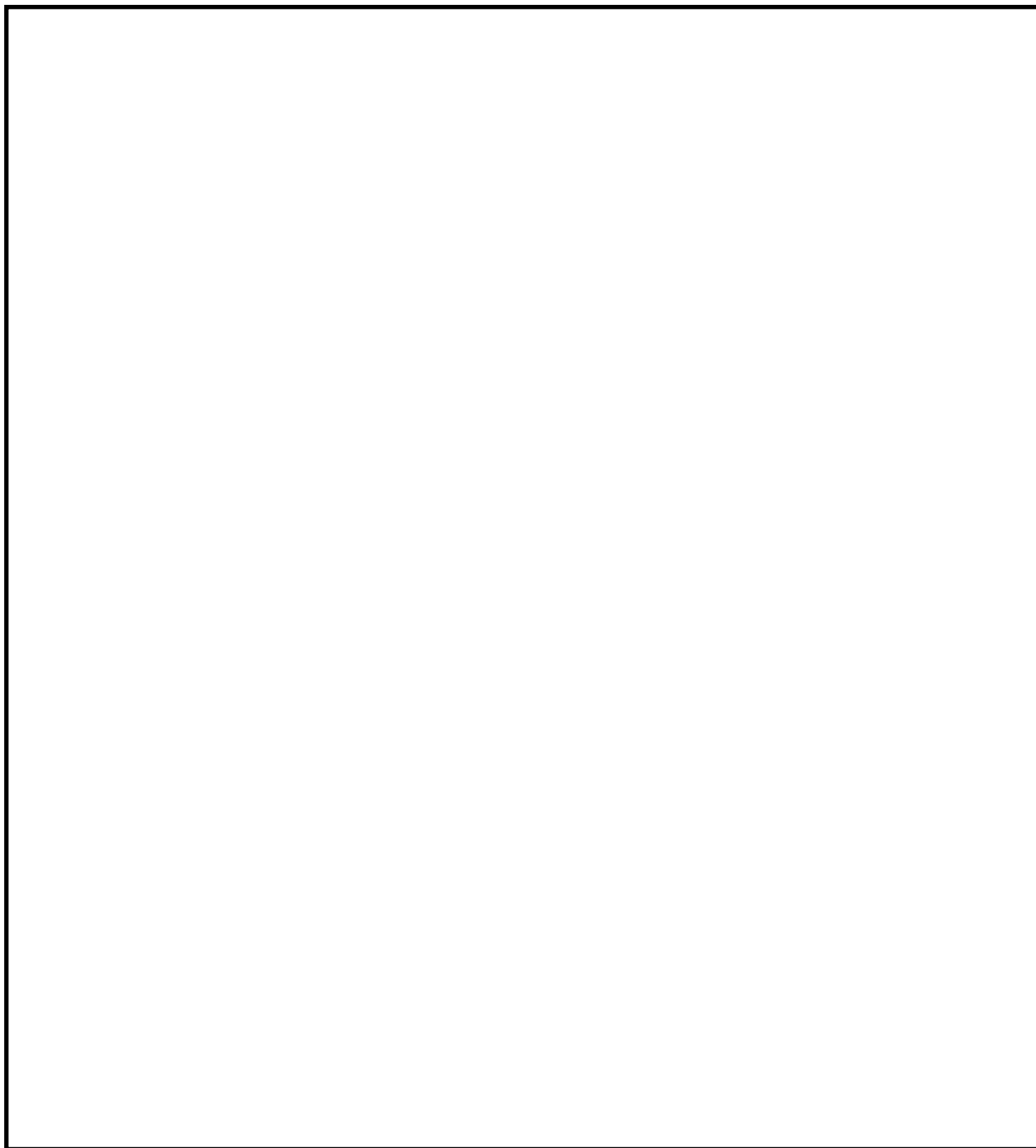


図 2-3 振動モード (1 次モード 水平方向 s)

2.5 構造強度評価

2.5.1 構造強度評価方法

2.4.2項(1)～(5)のほか、次の条件で計算する。

- (1) 地震力は、漏えい検知器に対して、水平方向及び鉛直方向から個別に作用させる。

また、水平方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、絶対値和を適用する。

2.5.2 荷重の組合せ及び許容応力

2.5.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

漏えい検知器の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表2-4に示す。

2.5.2.2 許容応力

漏えい検知器の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表2-5のとおりとする。

2.5.2.3 使用材料の許容応力評価条件

漏えい検知器の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表2-6に示す。

表 2-4 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他 発電用原子炉 の附属施設	浸水防護 施設	漏えい検知器	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 2-5 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
ⅢA S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
ⅣA S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 2-6 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度	50			
基礎ボルト	SS400 (径 ≤ 16mm)	周囲環境温度	50	241	394	—

2.5.3 設計用地震力

耐震評価に用いる設計用地震力を表 2-7 に示す。

「弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度」及び「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 2-7 設計用地震力（設計基準対象施設）

機器名称	据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用 地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
		水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)	タービン建物 EL 0.25 (EL 2.0 ^{*1})		0.05 以下	C _H = 0.81 ^{*2}	C _V = 0.51 ^{*2}	C _H = 1.74 ^{*3}	C _V = 0.99 ^{*3}
漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)	取水槽 EL 1.1 (EL 8.8 ^{*1})		0.05 以下	C _H = 2.22 ^{*2}	C _V = 1.01 ^{*2}	C _H = 5.64 ^{*3}	C _V = 1.55 ^{*3}
漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2)	タービン建物 EL 2.0 (EL 5.5 ^{*1})		0.05 以下	C _H = 1.07 ^{*2}	C _V = 0.54 ^{*2}	C _H = 2.18 ^{*3}	C _V = 1.05 ^{*3}
漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)	屋外配管ダクト (タービン建物～ 放水槽) EL 1.9 (EL 4.9～1.9 ^{*1})		0.05 以下	C _H = 0.98 ^{*2}	C _V = 0.83 ^{*2}	C _H = 2.24 ^{*3}	C _V = 2.22 ^{*3}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

2.5.4 計算方法

2.5.4.1 応力の計算方法

2.5.4.1.1 基礎ボルトの計算方法

基礎ボルトの応力は、三次元はりモデルによる個別解析から基礎ボルト1本当たりの発生力を求めて、その結果を用いて手計算にて計算する。

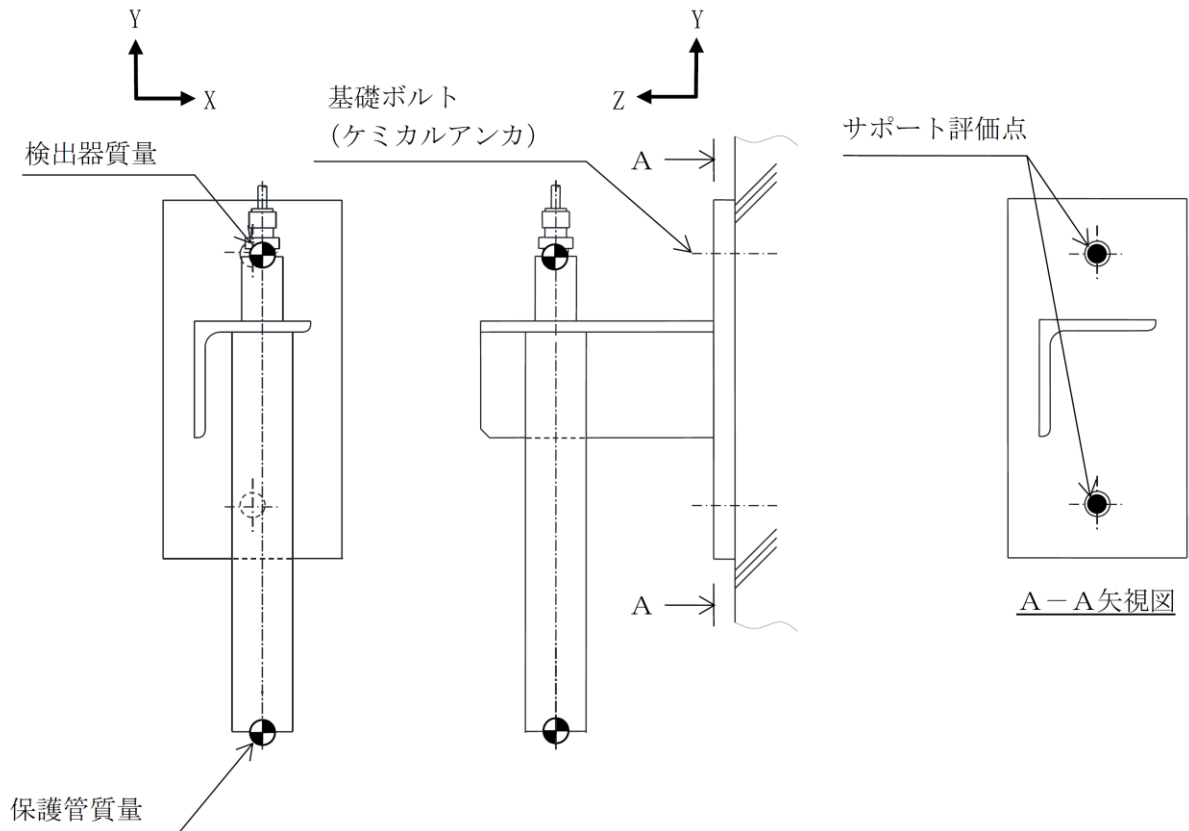


図 2-4 計算モデル (基礎ボルト)

個別解析によって得られた基礎ボルト部の評価点の最大発生力を表 2-8 及び表 2-9 に示す。

表 2-8 サポート発生反力 (弾性設計用地震動 S d 又は静的震度)

対象機器	反力 (N)	
	F b	Q b
LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2		
LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2		
LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2		
LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2		

表 2-9 サポート発生反力 (基準地震動 S_s)

対象機器	反力 (N)	
	F _b	Q _b
LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2		
LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2		
LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2		
LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2		

(1) 引張応力

基礎ボルト（1本あたり）に対する引張応力は，下式により計算する。

引張応力

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.1)$$

ここで，基礎ボルトの軸断面積 A_b は次式により求める。

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.2)$$

(2) せん断応力

基礎ボルト（1本あたり）に対するせん断応力は，下式により計算する。

せん断応力

$$\tau_b = \frac{Q_b}{A_b} \dots\dots\dots (2.5.4.1.1.3)$$

2.5.5 計算条件

2.5.5.1 基礎ボルトの応力計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2) の耐震性についての計算結果】、【漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2) の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.5.6 応力の評価

2.5.6.1 基礎ボルトの応力評価

2.5.4.1項で求めたボルトの引張応力 σ_b は次式より求めた許容組合せ応力 f_{ts} 以下であること。ただし、 f_{to} は下表による。

$$f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad \dots\dots\dots (2.5.6.1.1)$$

せん断応力 τ_b は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度による 荷重との組合せの場合	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$	$\frac{F^*}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.6 機能維持評価

2.6.1 電気的機能維持評価方法

漏えい検知器の電気的機能維持評価について以下に示す。

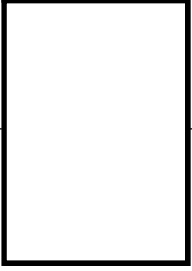
なお、機能維持評価用加速度はVI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

漏えい検知器の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の検出器単体の正弦波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表2-10に示す。

表2-10 機能確認済加速度

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

機器名称	方向	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2, LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2, LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2, LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)	水平	
	鉛直	

2.7 評価結果

2.7.1 設計基準対象施設としての評価結果

漏えい検知器の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)	S	タービン建物 EL 0.25 (EL 2.0 ^{*1})	□	0.05 以下	C _H =0.81 ^{*2}	C _V =0.51 ^{*2}	C _H =1.74 ^{*3}	C _V =0.99 ^{*3}	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□				241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト				

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=111$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=127$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)	水平方向	1.46	
	鉛直方向	0.83	

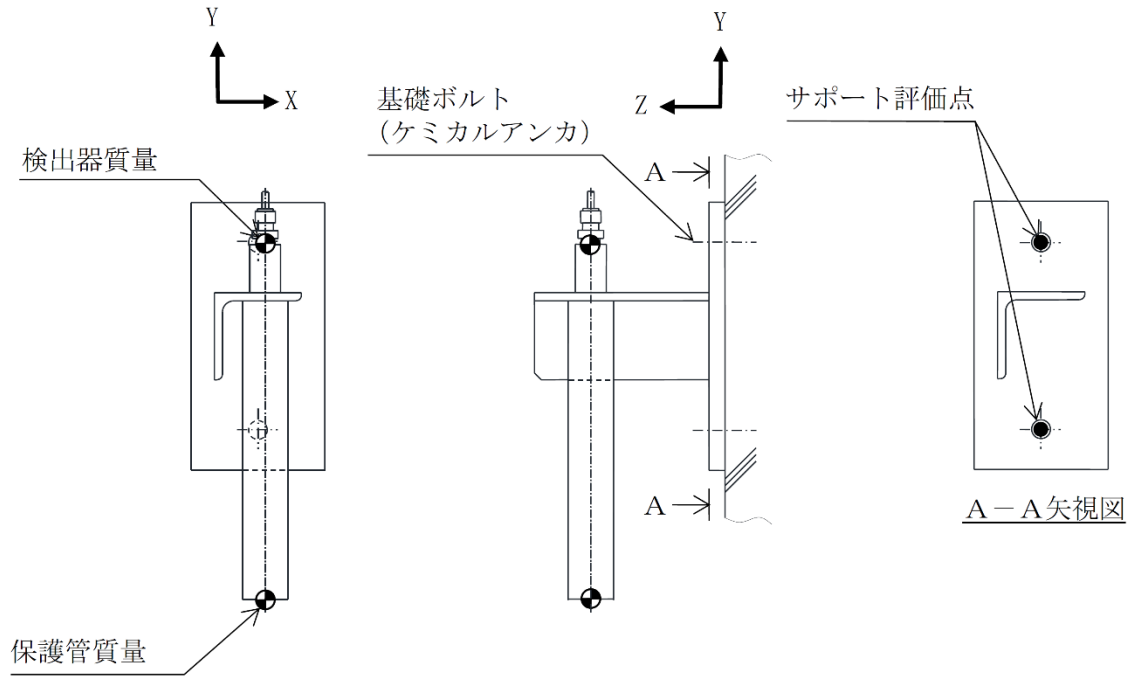
注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

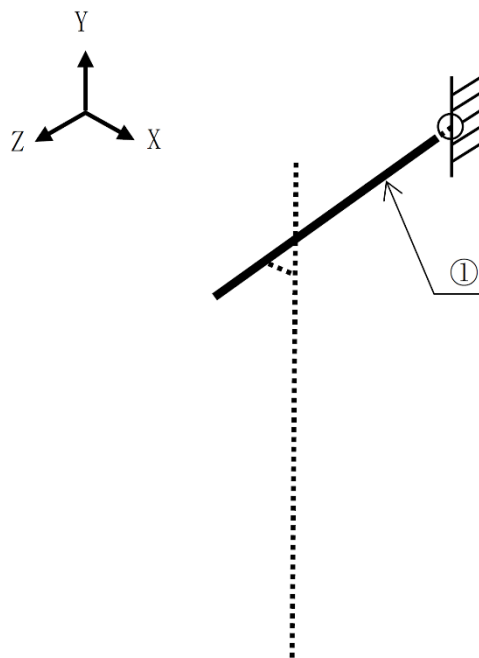
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値 (LE245-5A-1, 2, LE245-5B-1, 2, LE245-5C-1, 2)
材質	—	—	SUS304
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



(2) 断面性状

部材	サポート鋼材
要素	①
A (mm ²)	
Z ₁ (mm ³)	
Z ₂ (mm ³)	
Z _p (mm ³)	
断面形状 (mm)	 (a × b × c)



【漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)	S	取水槽 EL 1.1 (EL 8.8 ^{*1})	□	0.05 以下	C _H =2.22 ^{*2}	C _V =1.01 ^{*2}	C _H =5.64 ^{*3}	C _V =1.55 ^{*3}	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度Ⅱ（弾性設計用地震動 S_d）又は静的震度

*3：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□				241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	[]		[]	

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_{b=1}$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_{b=2}$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_{b=1}$	$f_{sb}=111$	$\tau_{b=1}$	$f_{sb}=127$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_{b}, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)	水平方向	3.14	[]
	鉛直方向	0.86	

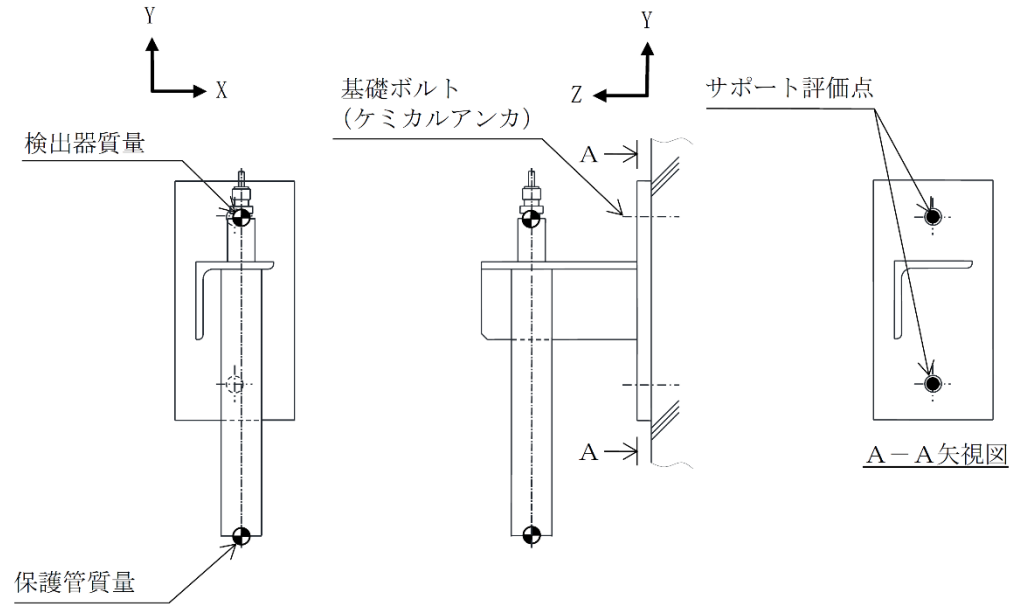
注記*：設計用震度 I（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

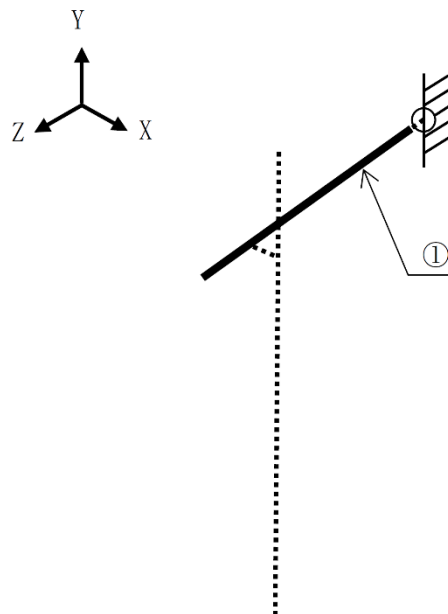
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値 (LE245-6A-1, 2, LE245-6B-1, 2, LE245-6C-1, 2)
材質	—	—	SUS304
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



(2) 断面性状

部材	サポート鋼材
要素	①
A (mm ²)	
Z ₁ (mm ³)	
Z ₂ (mm ³)	
Z _p (mm ³)	
断面形状 (mm)	 (a × b × c)



【漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2)	S	タービン建物 EL 2.0 (EL 5.5* ¹)	□	0.05 以下	C _H =1.07* ²	C _V =0.54* ²	C _H =2.18* ³	C _V =1.05* ³	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S_d) 又は静的震度

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S_s)

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□				241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	[]		[]	

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=111$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=127$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2)	水平方向	1.82	[]
	鉛直方向	0.89	

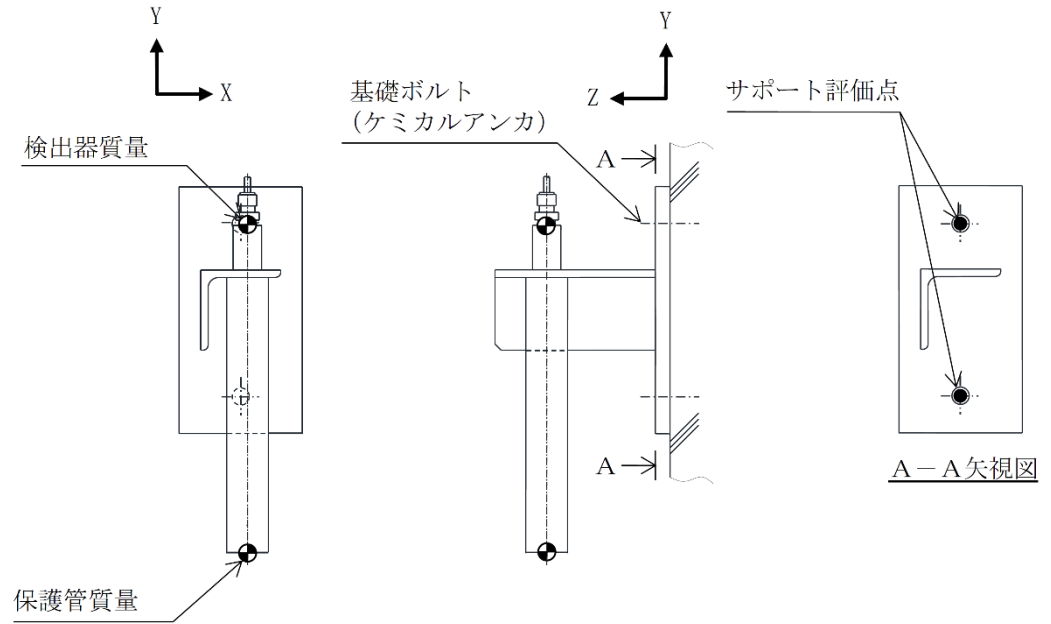
注記*：設計用震度 II（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

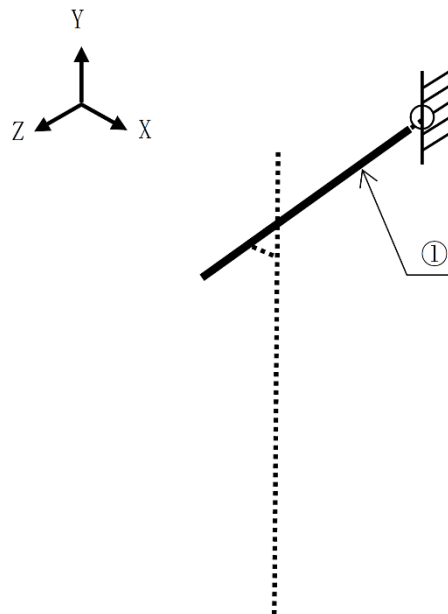
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値 (LE245-7A-1, 2, LE245-7B-1, 2, LE245-7C-1, 2,)
材質	—	—	SUS304
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	℃	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



(2) 断面性状

部材	サポート鋼材
要素	①
A (mm ²)	
Z ₁ (mm ³)	
Z ₂ (mm ³)	
Z _p (mm ³)	
断面形状 (mm)	 (a × b × c)



【漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2) の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)	S	屋外配管ダクト (タービン 建物~放水槽) EL 1.9 (EL 4.9~1.9* ¹)	□	0.05 以下	$C_H=0.98^{*2}$	$C_V=0.83^{*2}$	$C_H=2.24^{*3}$	$C_V=2.22^{*3}$	50

注記*1: 基準床レベルを示す。

*2: 設計用震度 II (弾性設計用地震動 S d) 又は静的震度

*3: 設計用震度 II (基準地震動 S s)

1.2 機器要目

部材	W ₁ (N)	W ₂ (N)	d (mm)	A _b (mm ²)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)
基礎ボルト	□				241 (径 ≤ 16mm)	394 (径 ≤ 16mm)	241	276

1.3 計算数値

1.3.1 基礎ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _b		Q _b	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
基礎ボルト	□		□	

1.4 結論

1.4.1 基礎ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
基礎ボルト	SS400	引張	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=144^*$	$\sigma_b=1$	$f_{ts}=165^*$
		せん断	$\tau_b=1$	$f_{sb}=111$	$\tau_b=1$	$f_{sb}=127$

すべて許容応力以下である。

注記*： $f_{ts} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

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

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
漏えい検知器 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)	水平方向	1.88	□
	鉛直方向	1.85	

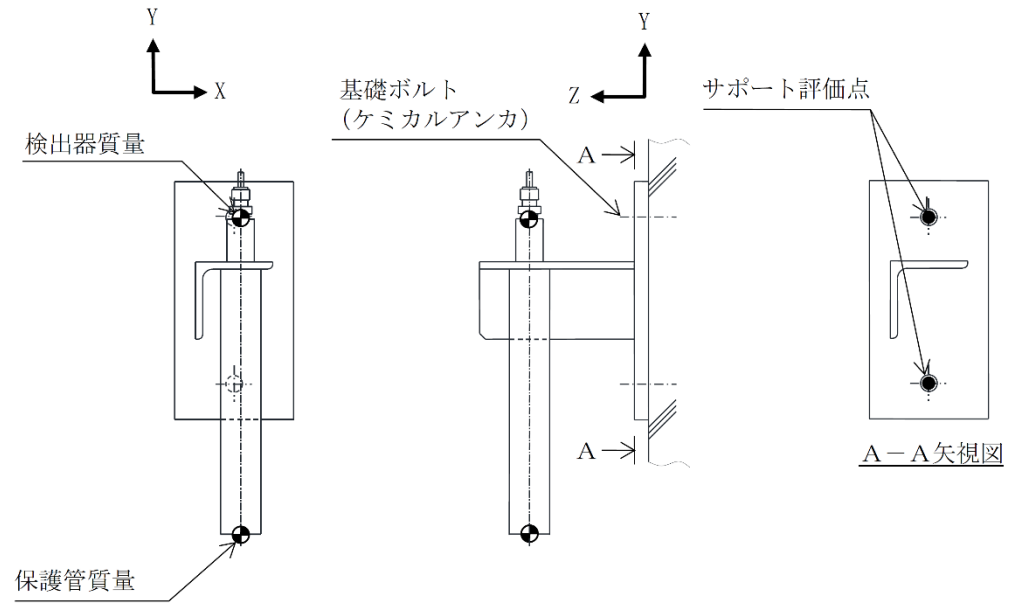
注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度

機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

1.5 その他の機器要目

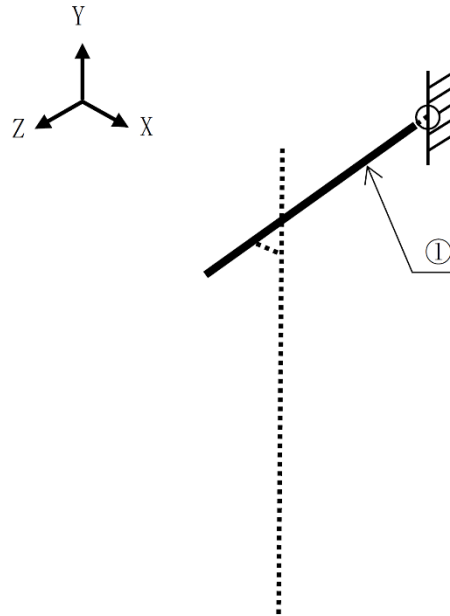
(1) 材料物性値

項目	記号	単位	入力値 (LE245-8A-1, 2, LE245-8B-1, 2, LE245-8C-1, 2)
材質	—	—	SUS304
質量	m	kg	<input type="text"/>
温度条件 (雰囲気温度)	T	°C	50
縦弾性係数	E	MPa	193000
ポアソン比	ν	—	0.3
要素数	—	個	<input type="text"/>
節点数	—	個	<input type="text"/>



(2) 断面性状

部材	サポート鋼材
要素	①
A (mm ²)	
Z ₁ (mm ³)	
Z ₂ (mm ³)	
Z _p (mm ³)	
断面形状 (mm)	



3. 防護設備制御盤 (2-1007)

3.1 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防護設備制御盤が設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを説明するものである。

防護設備制御盤は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

3.2 一般事項

3.2.1 構造計画

防護設備制御盤の構造計画を表 3-1 に示す。

表 3-1 構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>防護設備制御盤は、取付ボルトにてチャンネルベースに設置する。 チャンネルベースは溶接にて基礎に埋め込まれた金物に固定する。</p>	<p>直立形 (鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖型の盤)</p>	<p>【防護設備制御盤】</p> <p>正面 2400</p> <p>側面 900</p> <p>2300</p> <p>取付ボルト</p> <p>溶接</p> <p>埋込金物 (長辺方向)</p> <p>チャンネルベース (短辺方向)</p> <p>床</p> <p>(単位：mm)</p>

3.3 固有周期

3.3.1 固有周期の確認

防護設備制御盤の固有周期は、構造が同等な盤に対する振動試験（自由振動試験）の結果算定された固有周期を使用する。固有周期の確認結果を表 3-2 に示す。

表 3-2 固有周期 (単位：s)

防護設備制御盤 (2-1007)	水平	0.05 以下
	鉛直	0.05 以下

3.4 構造強度評価

3.4.1 構造強度評価方法

防護設備制御盤の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

3.4.2 荷重の組合せ及び許容応力

3.4.2.1 荷重の組合せ及び許容応力状態

防護設備制御盤の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-3 に示す。

3.4.2.2 許容応力

防護設備制御盤の許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 3-4 のとおりとする。

3.4.2.3 使用材料の許容応力評価条件

防護設備制御盤の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 3-5 に示す。

3.4.3 計算条件

応力計算に用いる計算条件は、本計算書の【防護設備制御盤（2-1007）の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他 発電用原子炉 の附属施設	浸水防護 施設	防護設備制御盤	S	—*	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
					$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力	
	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$
Ⅳ _A S	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度				
取付ボルト	SS400 (16mm<径≤40mm)	周囲環境温度	50	231	394	—

3.5 機能維持評価

3.5.1 電氣的機能維持評価方法

防護設備制御盤の電氣的機能維持評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

防護設備制御盤に設置される器具の機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、当該器具と類似の器具単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表 3-6 に示す。

表 3-6 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

機器名称	方向	機能確認済加速度
防護設備制御盤 (2-1007)	水平	□
	鉛直	□

3.6 評価結果

3.6.1 設計基準対象施設としての評価結果

防護設備制御盤の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有し，電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【防護設備制御盤（2-1007）の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件


機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
防護設備制御盤 (2-1007)	S	廃棄物処理建物 EL 16.9*1	0.05 以下	0.05 以下	$C_H=1.25^{*2}$	$C_V=0.68^{*2}$	$C_H=1.88^{*3}$	$C_V=1.46^{*3}$	50

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（弾性設計用地震動 S d）又は静的震度

*3：設計用震度 II（基準地震動 S s）

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{b_i} (mm ²)	n_i	S_{y_i} (MPa)	S_{u_i} (MPa)
取付ボルト ($i=2$)		1300	16 (M16)	201.1	36	231 (16mm<径≤40mm)	394 (16mm<径≤40mm)

部材	l_{1i}^* (mm)	l_{2i}^* (mm)	n_{fi}^*	F_i (MPa)	F_i^* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動 S d 又は静的震度	基準地震動 S s
取付ボルト ($i=2$)	300	480	12	231	276	短辺方向	長辺方向
	1045	1285	4				

注記*：各ボルトの機器要目における上段は短辺方向転倒に対する評価時の要目を示し、
下段は長辺方向転倒に対する評価時の要目を示す。

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力

(単位：N)

部材	F _{b i}		Q _{b i}	
	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度	基準地震動 S _s
取付ボルト (i=2)	□	□	□	□

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト (i=2)	SS400	引張	$\sigma_{b2}=20$	$f_{ts2}=173^*$	$\sigma_{b2}=39$	$f_{ts2}=207^*$
		せん断	$\tau_{b2}=4$	$f_{sb2}=133$	$\tau_{b2}=7$	$f_{sb2}=159$

すべて許容応力以下である。

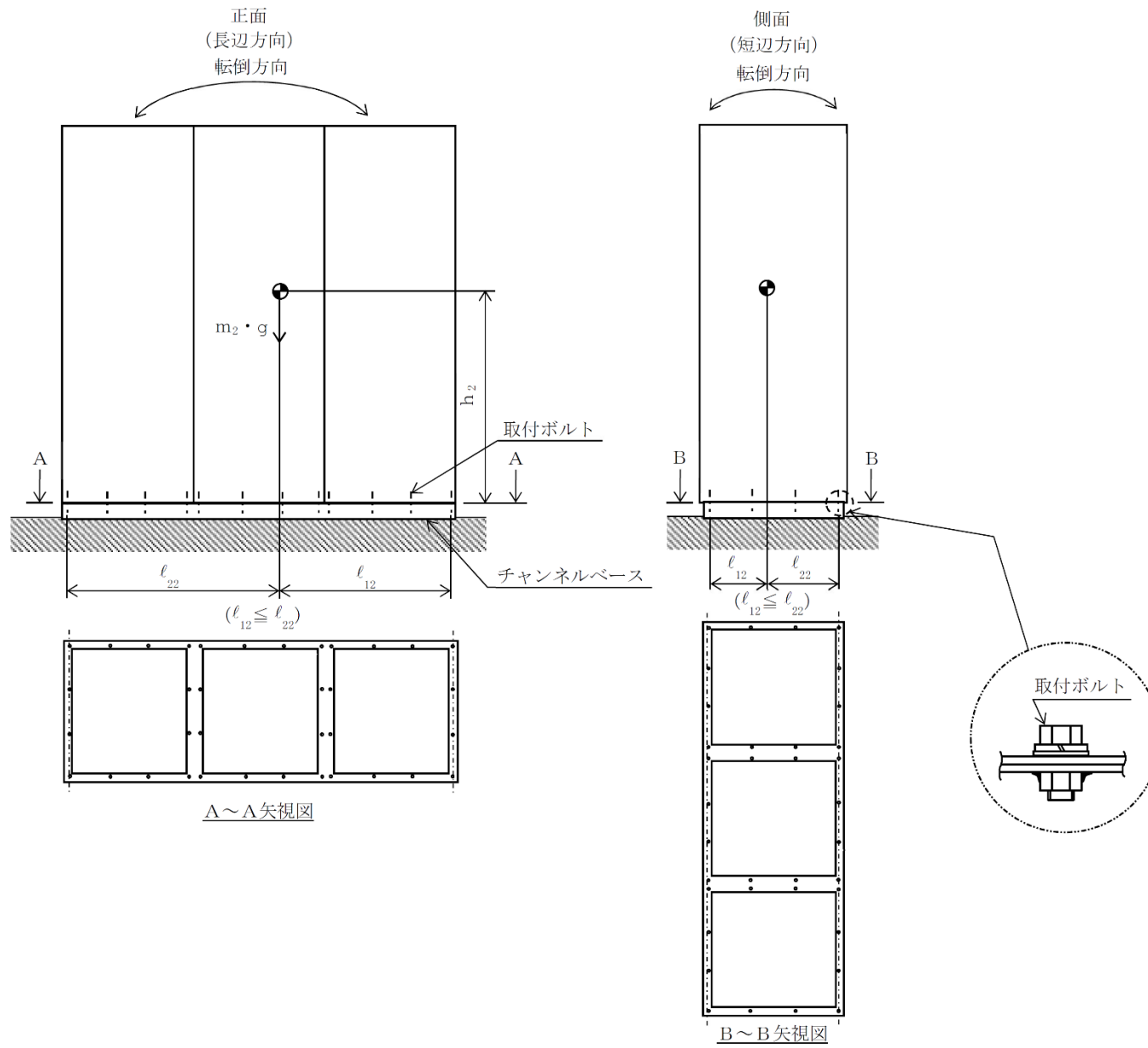
注記*： $f_{tsi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}]$

1.4.2 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
防護設備制御盤 (2-1007)	水平方向	1.56	□
	鉛直方向	1.22	□

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動 S_s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。



VI-2-10-2-17 津波監視カメラの耐震性についての計算書

目 次

1.	概要	1
2.	2号機排気筒津波監視カメラ	2
2.1	一般事項	2
2.1.1	構造計画	2
2.1.2	評価方針	4
2.1.3	適用規格・基準等	5
2.1.4	記号の説明	5
2.1.5	計算精度と数値の丸め方	7
2.2	評価部位	8
2.3	地震応答解析及び構造強度評価	8
2.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	8
2.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	8
2.3.3	解析モデル及び諸元	12
2.3.4	固有周期	13
2.3.5	設計用地震力	14
2.3.6	応力の計算方法	15
2.3.7	計算条件	17
2.3.8	応力の評価	17
2.4	機能維持評価	19
2.4.1	電氣的機能維持評価方法	19
2.5	評価結果	19
2.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	19
3.	3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ	25
3.1	一般事項	25
3.1.1	構造計画	25
3.1.2	評価方針	27
3.1.3	適用規格・基準等	28
3.1.4	記号の説明	28
3.1.5	計算精度と数値の丸め方	31
3.2	評価部位	32
3.3	地震応答解析及び構造強度評価	32
3.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	32
3.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	32
3.3.3	解析モデル及び諸元	36
3.3.4	固有周期	37
3.3.5	設計用地震力	38
3.3.6	応力の計算方法	39

3.3.7	計算条件	42
3.3.8	応力の評価	42
3.4	機能維持評価	44
3.4.1	電氣的機能維持評価方法	44
3.5	評価結果	44
3.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	44
4.	3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ	51
4.1	一般事項	51
4.1.1	構造計画	51
4.1.2	評価方針	53
4.1.3	適用規格・基準等	54
4.1.4	記号の説明	54
4.1.5	計算精度と数値の丸め方	57
4.2	評価部位	58
4.3	地震応答解析及び構造強度評価	58
4.3.1	地震応答解析及び構造強度評価方法	58
4.3.2	荷重の組合せ及び許容応力	58
4.3.3	解析モデル及び諸元	62
4.3.4	固有周期	63
4.3.5	設計用地震力	64
4.3.6	応力の計算方法	65
4.3.7	計算条件	68
4.3.8	応力の評価	68
4.4	機能維持評価	70
4.4.1	電氣的機能維持評価方法	70
4.5	評価結果	70
4.5.1	設計基準対象施設としての評価結果	70

1. 概要

本計算書は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、津波監視カメラが設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを説明するものである。

津波監視カメラは、2号機排気筒津波監視カメラ、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ及び3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの3式を設置する。津波監視カメラの配置図を図1-1に示す。本計算書は各津波監視カメラの評価結果を示す。

津波監視カメラは、設計基準対象施設においてはSクラス施設に分類される。以下、設計基準対象施設としての構造強度評価及び電氣的機能維持評価を示す。

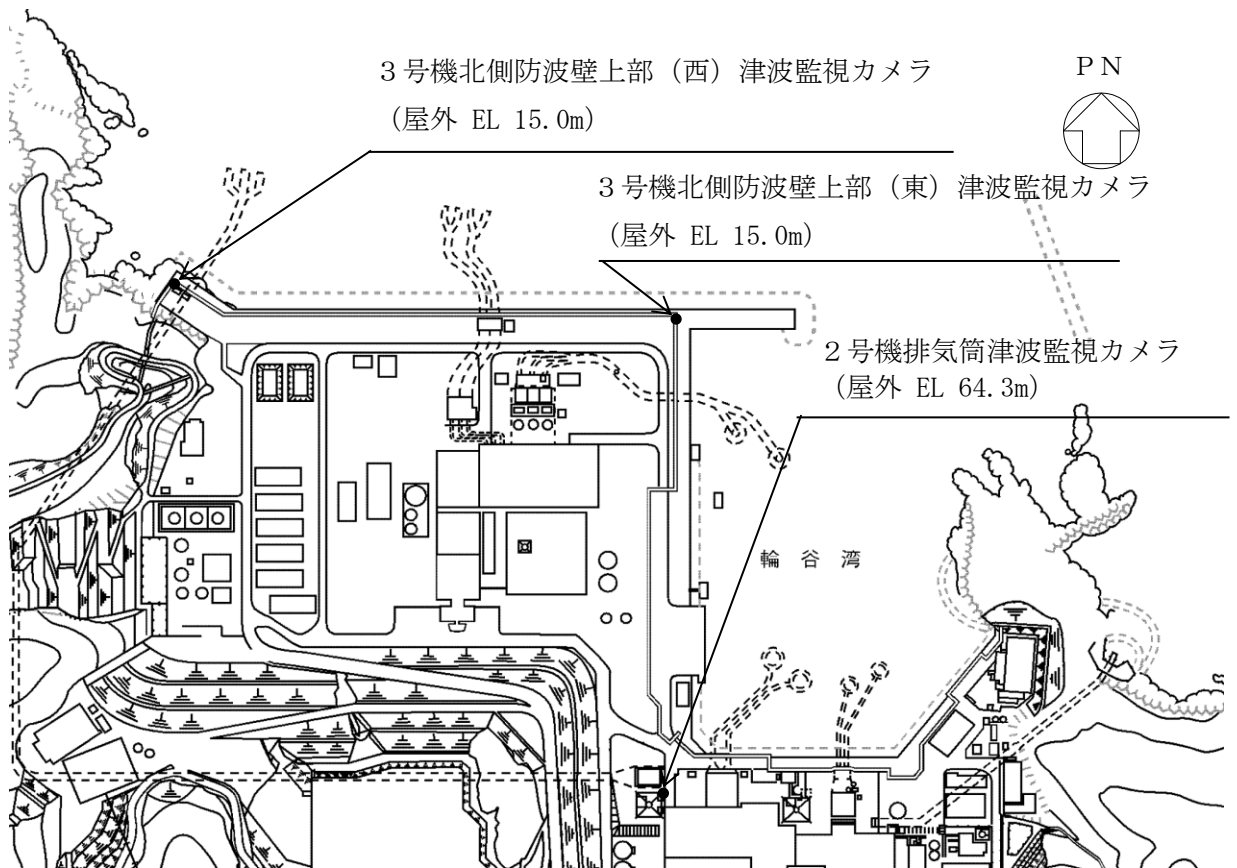


図1-1 津波監視カメラ配置図

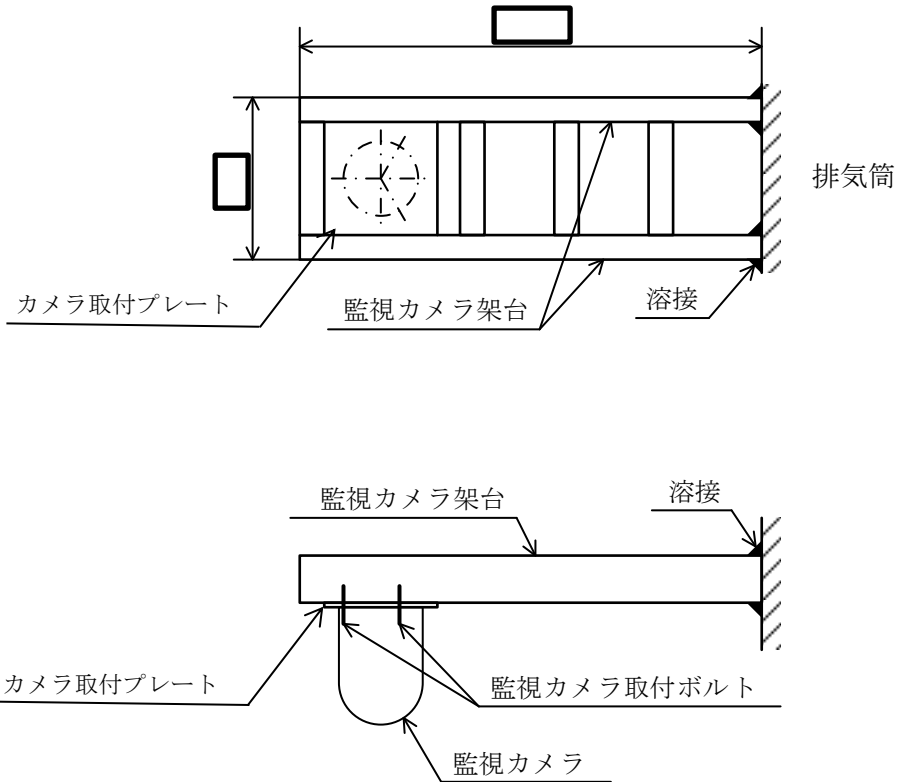
2. 2号機排気筒津波監視カメラ

2.1 一般事項

2.1.1 構造計画

2号機排気筒津波監視カメラの構造計画を表2-1に示す。

表 2-1 構造計画（2号機排気筒津波監視カメラ）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは、津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され、津波監視カメラ架台は排気筒支柱材に溶接により固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	 <p>(単位: mm)</p>

2.1.2 評価方針

2号機排気筒津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「2.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「2.2 評価部位」にて設定する箇所において、「2.3.3 解析モデル及び諸元」及び「2.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「2.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した動的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「2.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「2.5 評価結果」に示す。

2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価フローを図2-1に示す。

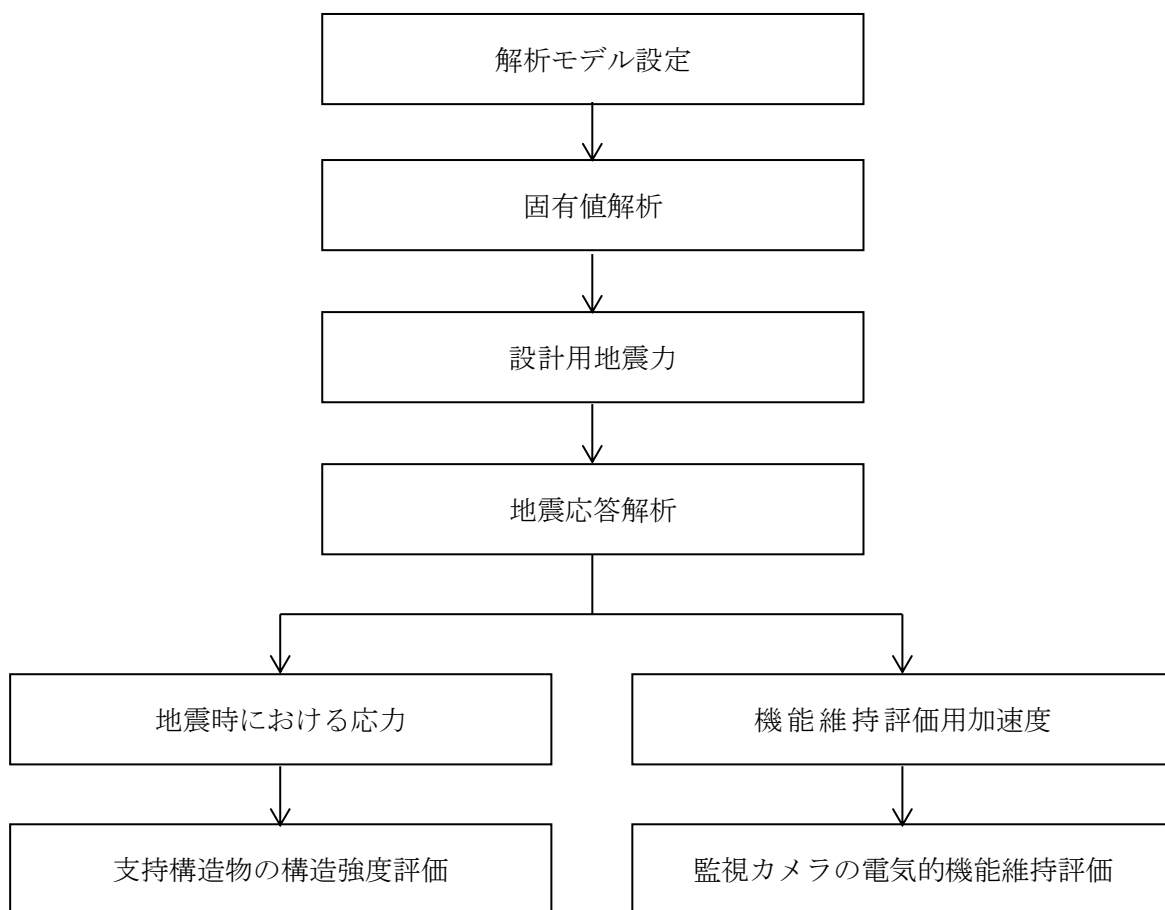


図2-1 2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価フロー

2.1.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

2.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	津波監視カメラ架台の断面積	mm ²
A _{ey} , A _{ez}	津波監視カメラ架台のせん断断面積	mm ²
A _w	津波監視カメラ架台溶接部の断面積	mm ²
A _{eyw} , A _{ezw}	津波監視カメラ架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _b	津波監視カメラ取付ボルトの軸断面積	mm ²
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _o	津波監視カメラ取付ボルトの呼び径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F _x	津波監視カメラ架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	津波監視カメラ架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{xb}	津波監視カメラ取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{yb} , F _{zb}	津波監視カメラ取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	津波監視カメラ架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	津波監視カメラ架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	津波監視カメラ架台の許容せん断応力	MPa
f _t	津波監視カメラ架台の許容引張応力	MPa
f _{bw}	津波監視カメラ架台溶接部の許容曲げ応力	MPa
f _{cw}	津波監視カメラ架台溶接部の許容圧縮応力	MPa
f _{sw}	津波監視カメラ架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{tw}	津波監視カメラ架台溶接部の許容引張応力	MPa
f _{sb}	せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力	MPa
f _{to}	引張力のみを受ける取付ボルトの許容引張応力	MPa
f _{tsb}	引張力とせん断力を同時に受ける取付ボルトの許容引張応力 (許容組合せ応力)	MPa

記号	記号の説明	単位
i	断面二次半径	mm
I_y, I_z	津波監視カメラ架台の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
I_{yw}, I_{zw}	津波監視カメラ架台溶接部の断面二次モーメント (y, z 軸)	mm ⁴
J	津波監視カメラ架台のねじり定数	mm ⁴
J_w	津波監視カメラ架台溶接部のねじり定数	mm ⁴
l_k	座屈長さ	mm
M_x	津波監視カメラ架台のねじりモーメント (x 軸)	N・mm
M_y	津波監視カメラ架台の曲げモーメント (y, z 軸)	N・mm
n	津波監視カメラ取付ボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待する津波監視カメラ取付ボルトの本数	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
X, Y, Z	絶対 (節点) 座標軸	—
x, y, z	局所 (要素) 座標軸	—
Z_p	津波監視カメラ架台のねじり断面係数	mm ³
Z_y, Z_z	津波監視カメラ架台の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Z_{pw}	津波監視カメラ架台溶接部のねじり断面係数	mm ³
Z_{yw}, Z_{zw}	津波監視カメラ架台の断面係数 (y, z 軸)	mm ³
Λ	津波監視カメラ架台の限界細長比	—
λ	津波監視カメラ架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	津波監視カメラ架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	津波監視カメラ架台溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_c	津波監視カメラ架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	津波監視カメラ架台溶接部に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	津波監視カメラ架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	津波監視カメラ架台溶接部に生じる引張応力	MPa
σ_{tb}	津波監視カメラ取付ボルトに生じる引張応力	MPa
τ	津波監視カメラ架台に生じるせん断応力	MPa
τ_w	津波監視カメラ架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
τ_b	津波監視カメラ取付ボルトに生じるせん断応力	MPa

2.1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 2-2 に示すとおりである。

表 2-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

2.2 評価部位

2号機排気筒津波監視カメラの耐震評価は、「2.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部及びカメラ取付ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表 2-1 の概略構造図に示す。

2.3 地震応答解析及び構造強度評価

2.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 2号機排気筒津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、2号機排気筒津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

2.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

2号機排気筒津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-3 に示す。

(2) 許容応力

2号機排気筒津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 2-4 に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

2号機排気筒津波監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 2-5 に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速 30m/s を使用し、2号機排気筒津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表 2-6 に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、2号機排気筒津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表2-7に示す。

表 2-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 2-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 2-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (RT) (MPa)
		周囲環境温度					
津波監視カメラ架台 (C125×65×6)	SS400 []	周囲環境温度	50	—	[]	—	—
津波監視カメラ架台 溶接部	SS400 []	周囲環境温度	50	—			—
津波監視カメラ 取付ボルト	SS400 []	周囲環境温度	50	—			—

表 2-6 基準速度圧

(単位 : N/m²)

作用する部位	基準速度圧
2号機排気筒津波監視カメラ	1.801×10 ³

表 2-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位 : N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
2号機排気筒津波監視カメラ	2.000×10 ³

2.3.3 解析モデル及び諸元

2号機排気筒津波監視カメラの解析モデルを図 2-2 に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【2号機排気筒津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 2号機排気筒津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとする。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の溶接部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

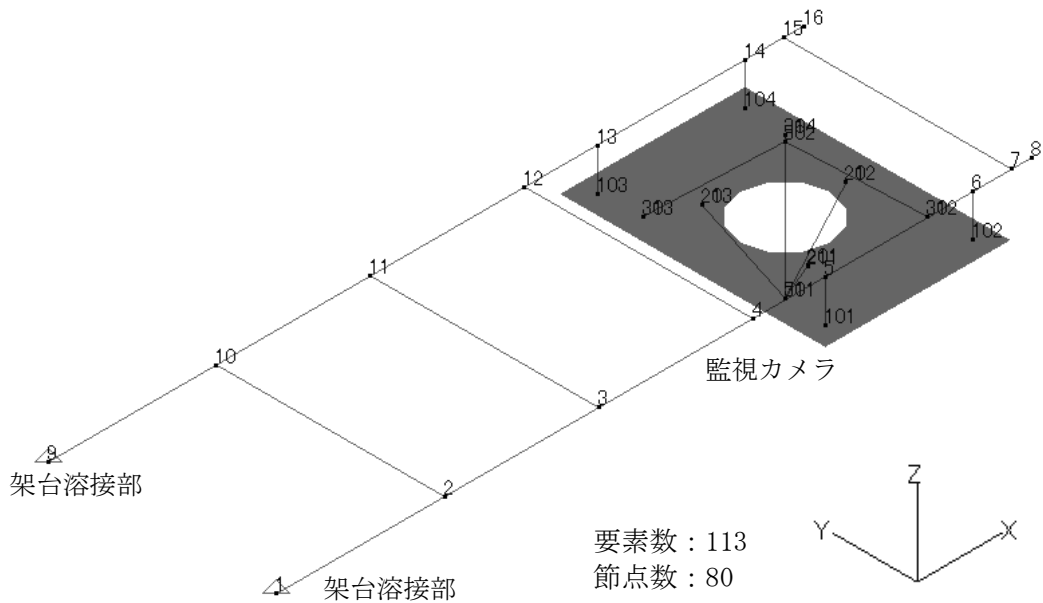


図 2-2 2号機排気筒津波監視カメラ解析モデル

2.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 2-8, 振動モード図を図 2-3 に示す。固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 2-8 固有値解析結果

機器名称	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
				X方向	Y方向	
2号機排気筒 津波監視カメラ	1次	□	□	—	—	—

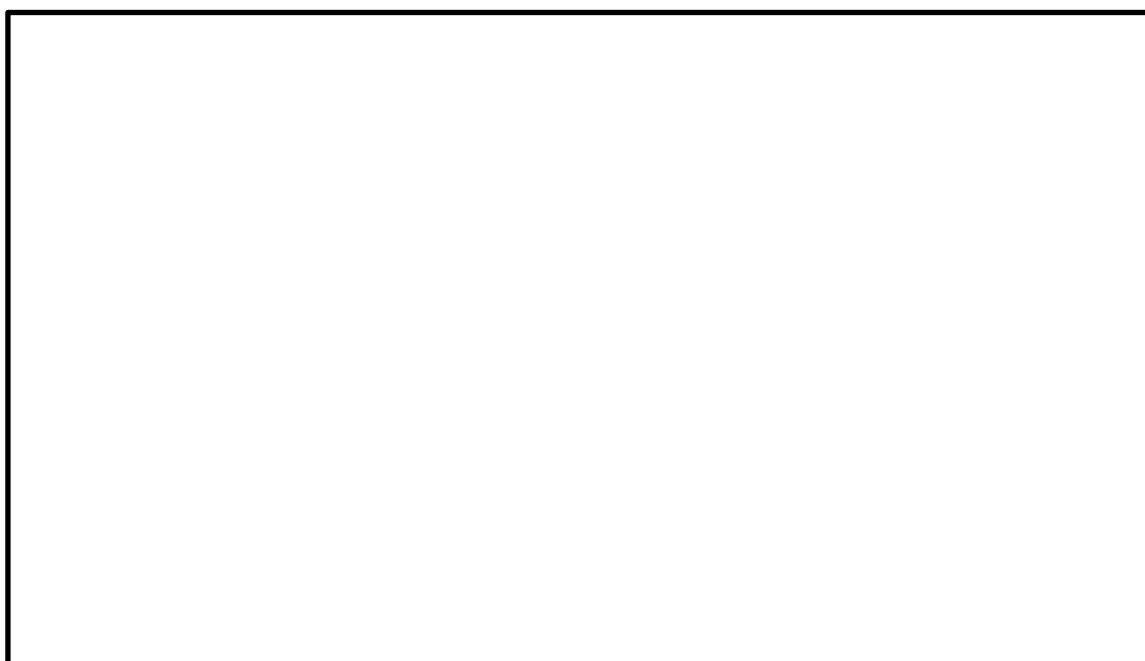


図 2-3 2号機排気筒津波監視カメラ振動モード (1次モード □方向 □s)

2.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 2-9 に示す。

「基準地震動 S s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 2-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S d 又は静的震度		基準地震動 S s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
排気筒 EL 64.3 (EL 62.2~69.5*1)			—	—	C _H =2.05*2	C _V =1.66*2

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 II（基準地震動 S s）

2.3.6 応力の計算方法

(1) 2号機排気筒津波監視カメラ架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力，圧縮応力

$$\sigma_t = \sigma_c = \frac{|F_x|}{A} \quad (2.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (2.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (2.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力（垂直+せん断）

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (2.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力（圧縮+曲げ）

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力（引張+曲げ）

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.6)$$

(2) 2号機排気筒津波監視カメラ架台溶接部の応力

2号機排気筒津波監視カメラの固定端において解析による計算で得られる軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力・圧縮応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (2.3.6.7)$$

b. せん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (2.3.6.8)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (2.3.6.9)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力（垂直+せん断）

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \leq f_{sw} \quad (2.3.6.10)$$

(b) 組合せ応力（圧縮+曲げ）

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{cw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.11)$$

(c) 組合せ応力（引張+曲げ）

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{tw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (2.3.6.12)$$

(3) 津波監視カメラ取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は，解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} ，せん断力 F_{yb} ， F_{zb} より，引張応力とせん断応力について計算する。

a. 引張応力

$$\sigma_{tb} = \frac{F_{xb}}{A_b} \quad (2.3.6.13)$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (2.3.6.14)$$

b. せん断応力

$$\tau_b = \frac{\sqrt{F_{yb}^2 + F_{zb}^2}}{A_b} \quad (2.3.6.15)$$

2.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【2号機排気筒津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

2.3.8 応力の評価

(1) 2号機排気筒津波監視カメラ架台の応力評価

2.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(2.3.6.5)式、(2.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{\theta_k}{i} \quad (2.3.8.1)$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \quad (2.3.8.2)$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \quad (2.3.8.3)$$

(2) 2号機排気筒津波監視カメラ架台溶接部の応力評価

2.3.6(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(2.3.6.11)式、(2.3.6.12)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) 津波監視カメラ取付ボルトの応力評価

2.3.6(3)a.項で求めた取付ボルトの引張応力 σ_{tb} は、下記の f_{tsb} 以下であること。ただし f_{to} は下表による。

$$f_{tsb} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{to} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{to}] \quad (2.3.8.4)$$

2.3.6(3)項で求めたせん断応力 τ_b は、せん断力のみを受ける取付ボルトの許容せん断応力 f_{sb} 以下であること。ただし、 f_{sb} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{to}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sb}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

2.4 機能維持評価

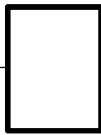
2.4.1 電気的機能維持評価方法

2号機排気筒津波監視カメラの電気的機能維持評価について以下に示す。

なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

2号機排気筒津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電気的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表2-10に示す。

表 2-10 機能確認済加速度 (×9.8m/s²)

評価部位	方向	機能確認済加速度
監視カメラ	水平	
	鉛直	

2.5 評価結果

2.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

2号機排気筒津波監視カメラの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。

発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電気的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【2号機排気筒津波監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
2号機排気筒 津波監視カメラ	S	排気筒 EL 64.3 (EL 62.2~69.5*1)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =2.05*2	C _V =1.66*2	50

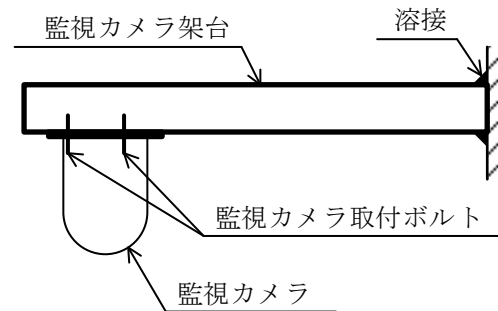
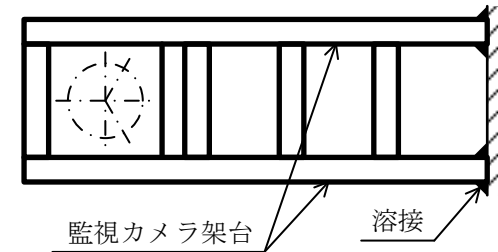
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度II（基準地震動 S_s）

1.2 機器要目

部材	d _o (mm)	A _b (mm ²)	n	n _f
津波監視カメラ 取付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3	3

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (C125×65×6)	SS400	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
津波監視カメラ 架台溶接部	SS400	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
津波監視カメラ 取付ボルト	SS400	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>



材料	E (MPa)	ν	ϕ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SS400 (架台)	201000	0.3				

		要素番号	
		1~14, 18	1, 8
材料		架台 (C125×65×6) SS400	架台溶接部 SS400
断面積	A (w) (mm ²)		
断面二次 モーメント	I _y (w) (mm ⁴)		
	I _z (w) (mm ⁴)		
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)		
ねじり 断面係数	Z _p (w) (mm ³)		
せん断面積	A _{e y} (w) (mm ²)		
	A _{e z} (w) (mm ²)		
断面係数	Z _y (w) (mm ³)		
	Z _z (w) (mm ³)		

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
1	1						
4	4						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素 番号	節点 番号	基準地震動 S s	
					算出応力	許容応力
架台	SS400	引張	1	1	$\sigma_t = 4$	$f_t = \boxed{}$
		圧縮	1	1	$\sigma_c = 4^{*1}$	$f_c = \boxed{}$
		せん断	4	4	$\tau = 7$	$f_s = \boxed{}$
		曲げ	1	1	$\sigma_b = \boxed{}$	$f_b = \boxed{}$
		組合せ (垂直+せん断)	1	1	$\sigma_f = \boxed{}$	$f_t = \boxed{}$
		組合せ (圧縮+曲げ)	1	1	$\boxed{}$	1
		組合せ (引張+曲げ)	1	1	0.204	1
架台溶接部	SS400	引張	-	1	$\sigma_{tw} = \boxed{}$	$f_{sw} = \boxed{}$
		圧縮	-	1	$\sigma_{cw} = \boxed{}$	$f_{sw} = \boxed{}$
		せん断	-	1	$\tau_w = \boxed{}$	$f_{sw} = \boxed{}$
		曲げ	-	1	$\sigma_{bw} = \boxed{}$	$f_{sw} = \boxed{}$
		組合せ (垂直+せん断)	-	1	$\sigma_{fw} = \boxed{}$	$f_{sw} = \boxed{}$
		組合せ (圧縮+曲げ)	-	1	$\boxed{}$	1
		組合せ (引張+曲げ)	-	1	$\boxed{}$	1
取付ボルト	SS400	引張	201	201	$\sigma_{tb} = \boxed{}$	$f_{tsb} = \boxed{}$
		せん断	201	201	$\tau_b = \boxed{}$	$f_{sb} = \boxed{}$

すべて許容応力以下である。

注記*1：絶対値を記載

$$*2 : f_{tsb} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{tob} - 1.6 \cdot \tau_b, f_{tob}]$$

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	1.71	□
	鉛直方向	1.38	

注記*：設計用震度Ⅱ（基準地震動S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

3. 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ

3.1 一般事項

3.1.1 構造計画

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの構造計画を表3-1に示す。

表 3-1 構造計画（3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは、津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され、津波監視カメラ架台は防波壁上に基礎ボルトにより固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	<p>(側面図)</p> <p>監視カメラ取付ボルト</p> <p>カメラ取付プレート</p> <p>監視カメラ</p> <p>監視カメラ架台</p> <p>溶接</p> <p>防波壁</p> <p>基礎ボルト(ケミカルアンカ)</p> <p>(上面図)</p> <p>溶接</p> <p>監視カメラ架台</p> <p>カメラ取付プレート</p> <p>(単位：mm)</p>

3.1.2 評価方針

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「3.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「3.2 評価部位」にて設定する箇所において、「3.3.3 解析モデル及び諸元」及び「3.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「3.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「3.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「3.5 評価結果」に示す。

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価フローを図3-1に示す。

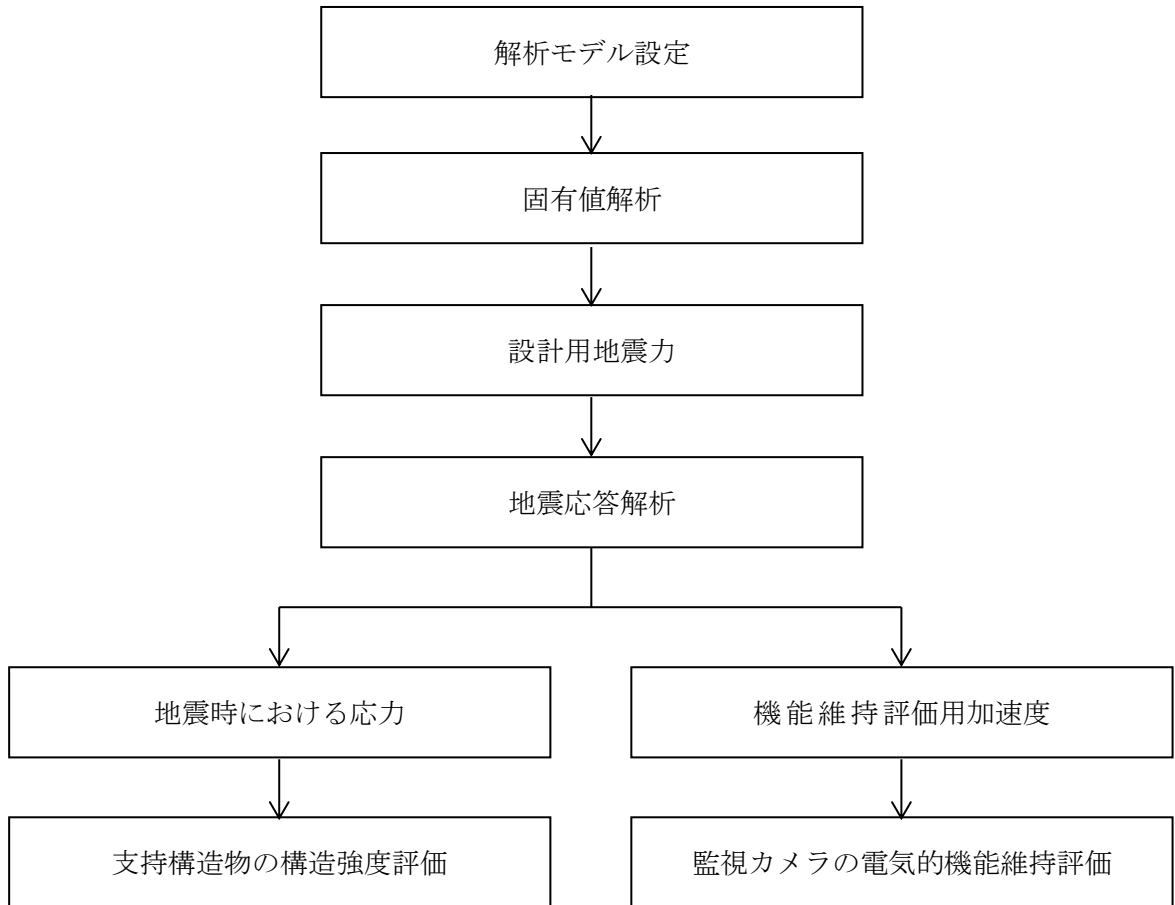


図3-1 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価フロー

3.1.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

3.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架台の断面積	mm ²
A _{ey} , A _{ez}	架台のせん断断面積	mm ²
A _w	架台溶接部の断面積	mm ²
A _{eyw} , A _{ezw}	架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積*	mm ²
a	基礎ボルトの間隔 (x 方向)	mm
b	基礎ボルトの間隔 (y 方向)	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _{oi}	ボルトの呼び径*	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{xb}	取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{yb} , F _{zb}	取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{bw}	架台溶接部の許容曲げ応力	MPa
f _{cw}	架台溶接部の許容圧縮応力	MPa
f _{sw}	架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{tw}	架台溶接部の許容引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
f_{tsbi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）*	MPa
i	断面二次半径	mm
I_y, I_z	架台の断面二次モーメント（y, z 軸）	mm ⁴
I_{yw}, I_{zw}	架台溶接部の断面二次モーメント（y, z 軸）	mm ⁴
J	架台のねじり定数	mm ⁴
J_w	架台溶接部のねじり定数	mm ⁴
l_k	座屈長さ	mm
M_x	架台のねじりモーメント（x 軸）	N・mm
M_y, M_z	津波監視カメラ架台の曲げモーメント（y, z 軸）	N・mm
n_i	ボルトの本数*	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
S_b	基礎ボルトのせん断力	N
T	基礎ボルトの引張力	N
X, Y, Z	絶対（節点）座標軸	—
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
Z_p	架台のねじり断面係数	mm ³
Z_y, Z_z	架台の断面係数（y, z 軸）	mm ³
Z_{pw}	架台溶接部のねじり断面係数	mm ³
Z_{yw}, Z_{zw}	架台溶接部の断面係数（y, z 軸）	mm ³
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	架台溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	架台溶接部に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	架台溶接部に生じる引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{tbi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa
τ_w	架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字 i の意味は以下のとおりとする。

$i = 1$ ：取付ボルト

$i = 2$ ：基礎ボルト

3.1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 3-2 に示すとおりである。

表 3-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

3.2 評価部位

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震評価は、「3.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部、津波監視カメラ取付ボルト及び津波監視カメラ架台基礎ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表3-1の概略構造図に示す。

3.3 地震応答解析及び構造強度評価

3.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

3.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-3に示す。

(2) 許容応力

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表3-4に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表3-5に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速30m/sを使用し、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表3-6に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表3-7に示す。

表 3-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

注記*：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 3-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には、組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 3-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
津波監視カメラ架台 (B300×300×9)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 (C130×65×6)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 溶接部	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 基礎ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205

表 3-6 基準速度圧

(単位 : N/m²)

作用する部位	基準速度圧
3号機北側防波壁上部 (東) 津波監視カメラ	1.346×10 ³

表 3-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位 : N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
3号機北側防波壁上部 (東) 津波監視カメラ	2.000×10 ³

3.3.3 解析モデル及び諸元

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの解析モデルを図3-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとする。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の基礎部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

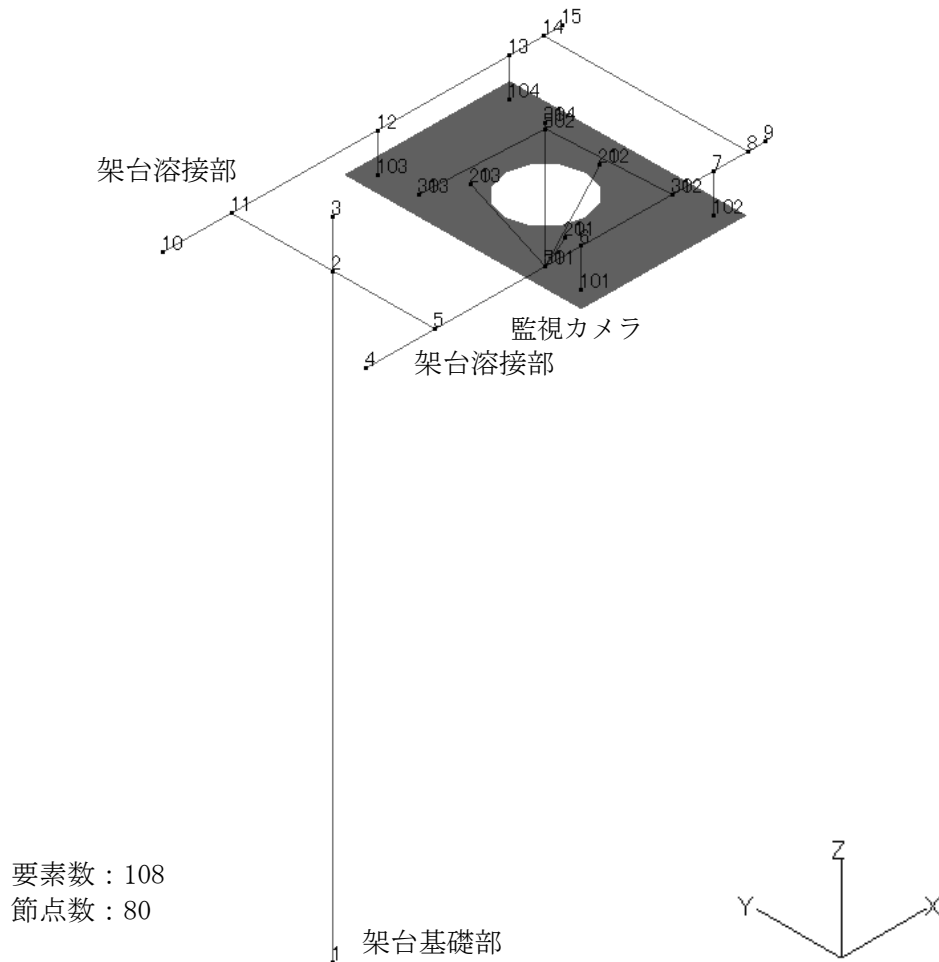


図3-2 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ解析モデル

3.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表 3-8, 振動モード図を図 3-3 に示す。固有周期は, 0.05 秒以下であり, 剛構造であることを確認した。

表 3-8 固有値解析結果

機器名称	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
				X方向	Y方向	
3号機北側防波壁上部(東)津波監視カメラ	1次	□	□	—	—	—

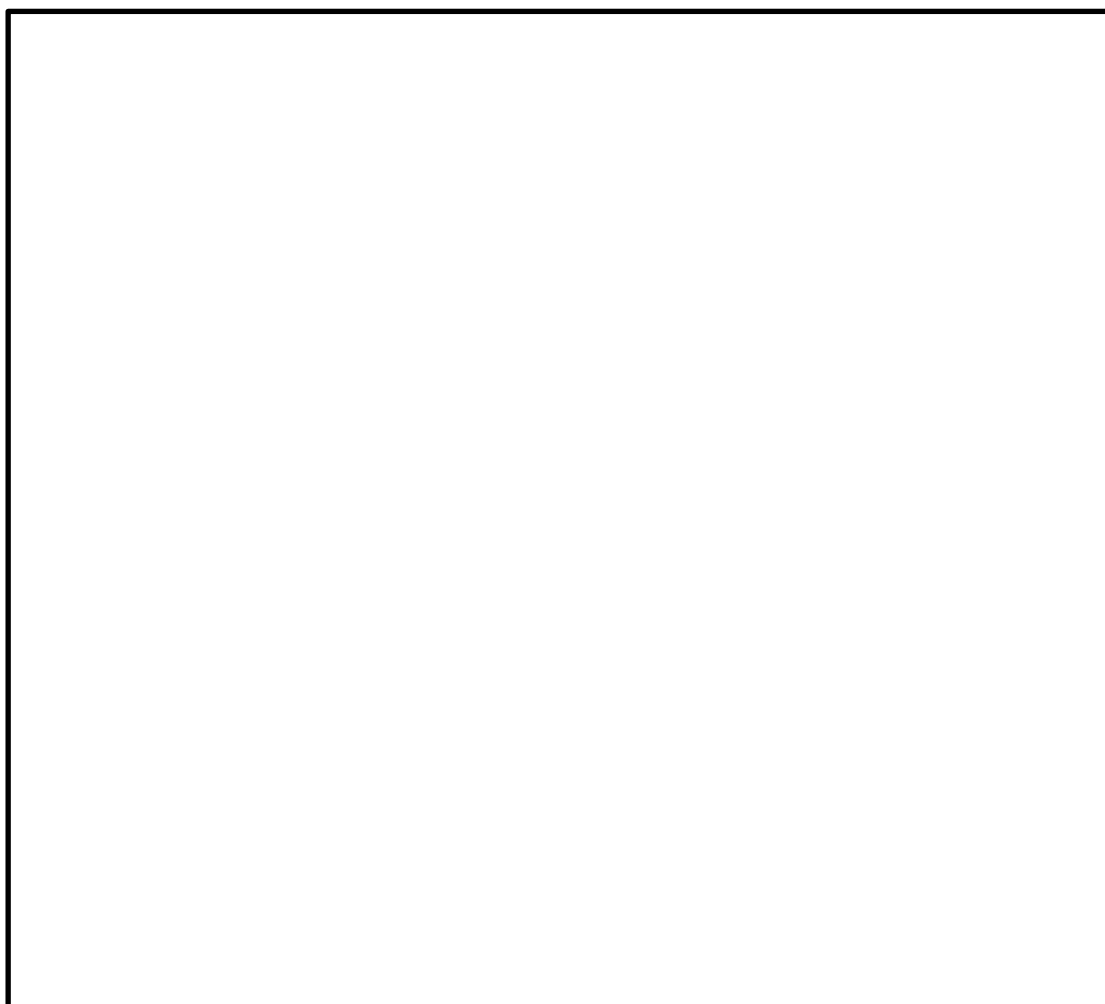


図 3-3 3号機北側防波壁上部(東)津波監視カメラ振動モード
(1次モード □方向 □s)

3.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 3-9 に示す。

「基準地震動 S_s」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 3-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
防波壁 (波返重力擁壁) EL 15.0 ^{*1}	□	□	—	—	C _H =4.38 ^{*2}	C _V =3.83 ^{*2}

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

3.3.6 応力の計算方法

(1) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力，圧縮応力

$$|\sigma_t| = |\sigma_c| = \frac{|F_x|}{A} \quad (3.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (3.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (3.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力（垂直+せん断）

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (3.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力（圧縮+曲げ）

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力（引張+曲げ）

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.6)$$

(2) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ架台溶接部の応力

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの架台溶接部において解析による計算で得られる軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (3.3.6.7)$$

b. せん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (3.3.6.8)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (2.3.6.9)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力 (垂直+せん断)

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \leq f_{sw} \quad (3.3.6.10)$$

(b) 組合せ応力 (圧縮+曲げ)

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{cw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.11)$$

(c) 組合せ応力 (引張+曲げ)

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は、下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{tw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (3.3.6.12)$$

(3) 津波監視カメラ取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は、解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} 、せん断力 F_{yb} 、 F_{zb} より、引張応力とせん断応力について計算する。

a. 引張応力

$$\sigma_{tb1} = \frac{F_{xb1}}{A_{b1}} \quad (3.3.6.13)$$

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{o1}^2 \quad (3.3.6.14)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{\sqrt{F_{yb1}^2 + F_{zb1}^2}}{A_{b1}} \quad (3.3.6.15)$$

(4) 津波監視カメラ架台基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる架台下端の要素の軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から、基礎ボルトのうち引張応力とせん断応力を手計算により計算する。津波監視カメラ架台ボルト部の概要を図 3-4 に示す。

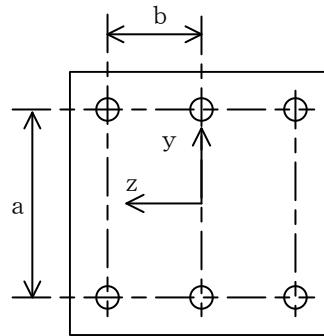


図 3-4 基礎ボルト部の概要

a. 引張応力

$$\sigma_{tb2} = \frac{T}{A_{b2}} \quad (3.3.6.16)$$

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (3.3.6.17)$$

$$T = \frac{F_x}{6} + \frac{M_y}{4b} + \frac{M_z}{3a} \quad (3.3.6.18)$$

b. せん断応力

$$\tau_{tb2} = \frac{S_b}{A_{b2}} \quad (3.3.6.19)$$

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{F_y}{6} + \frac{b \cdot M_x}{r}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{6} + \frac{a \cdot M_x}{2r}\right)^2} \quad (3.3.6.20)$$

$$r = \frac{3}{2} \cdot a^2 + 4 \cdot b^2 \quad (3.3.6.21)$$

3.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

3.3.8 応力の評価

(1) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ架台の応力評価

3.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(3.3.6.5)式、(3.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \tag{3.3.8.1}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \tag{3.3.8.2}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \tag{3.3.8.3}$$

(2) 3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラ架台溶接部の応力評価

3.3.6(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(3.3.6.11)式、(3.3.6.12)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) ボルトの応力評価

3.3.6 項で求めたボルトの引張応力 σ_{tbi} は、下記の f_{tsbi} 以下であること。ただし f_{toi} は下表による。

$$f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{toi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{toi}] \quad (3.3.8.4)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による 荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{toi}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$


3.4 機能維持評価

3.4.1 電氣的機能維持評価方法

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。
なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表3-10に示す。

表3-10 機能確認済加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
監視カメラ	水平	
	鉛直	

3.5 評価結果

3.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

3号機北側防波壁上部（東）津波監視カメラの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【3号機北防波壁上部（東）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
3号機北防波壁上部（東） 津波監視カメラ	S	防波壁（波返重力擁壁） EL. 15.0*1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	—	—	C _H =4.38*2	C _V =3.83*2	50

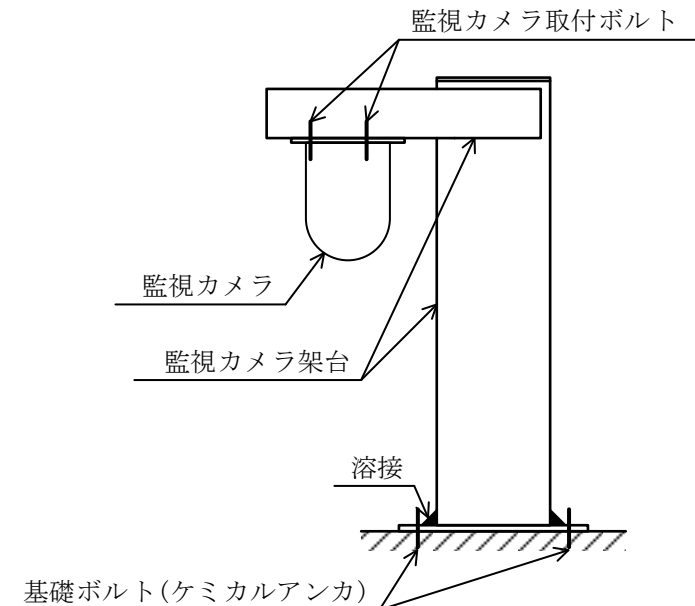
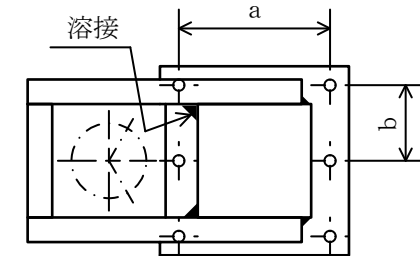
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

	d _{o i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	a	b
津波監視カメラ 取付ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	3	3	—	—
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	<input type="text"/>	<input type="text"/>	6	6	<input type="text"/>	<input type="text"/>

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (B300×300×9)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台 (C130×65×6)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台溶接部	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	SUS316	199	511	205	205



材料	E (MPa)	ν	\varnothing_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SUS316 (B300×300×9)	193000	0.3				
SUS316 (C130×65×6)	193000	0.3				

		要素番号			
		1, 2	3~13	1	4, 9, 13
材料		SUS316 (B300×300×9)	SUS316 (C130×65×6)	SUS316 溶接部(定着部)	SUS316 溶接部
断面積	A (w) (mm ²)				
断面二次 モーメント	I _y (w) (mm ⁴)				
	I _z (w) (mm ⁴)				
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)				
ねじり 断面係数	Z _p (w) (mm ³)				
せん断面積	A _{e y} (w) (mm ²)				
	A _{e z} (w) (mm ²)				
断面係数	Z _y (w) (mm ³)				
	Z _z (w) (mm ³)				

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
4	5						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。


1.3.4 基礎ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (單位：s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素 番号	節点 番号	基準地震動 S s	
					算出応力	許容応力
架台	SUS316	引張	4	5	$\sigma_t = \square$	$f_t = 205$
		圧縮	4	5	$\sigma_c = \square$	$f_c = 202$
		せん断	4	5	$\tau = \square$	$f_s = 118$
		曲げ	4	5	$\sigma_b = \square$	$f_b = 205$
		組合せ (垂直+せん断)	4	5	$\sigma_f = \square$	$f_t = 205$
		組合せ (圧縮+曲げ)	4	5	\square	1
		組合せ (引張+曲げ)	4	5	\square	1
架台溶接部	SUS316	引張	-	1	$\sigma_{tw} = \square$	$f_{sw} = 118$
		圧縮	-	1	$\sigma_{cw} = \square$	$f_{sw} = 118$
		せん断	-	1	$\tau_w = \square$	$f_{sw} = 118$
		曲げ	-	1	$\sigma_{bw} = \square$	$f_{sw} = 118$
		組合せ (垂直+せん断)	-	1	$\sigma_{fw} = \square$	$f_{sw} = 118$
		組合せ (圧縮+曲げ)	-	1	\square	1
		組合せ (引張+曲げ)	-	1	\square	1
取付ボルト	SUS316	引張	201	201	$\sigma_{tb1} = \square$	$f_{tsb1} = 153^{*2}$
		せん断	201	201	$\tau_{b1} = \square$	$f_{sb1} = 118$
架台 基礎ボルト	SUS316	引張	-	1	$\sigma_{tb2} = \square$	$f_{tsb2} = 123^{*2}$
		せん断	-	1	$\tau_{b2} = \square$	$f_{sb2} = 94$

すべて許容応力以下である。

注記*1：絶対値を記載

$$*2 : f_{tsbi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}]$$

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	3.30	
	鉛直方向	2.93	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

4. 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ

4.1 一般事項

4.1.1 構造計画

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの構造計画を表4-1に示す。

表 4-1 構造計画（3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ）

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
<p>監視カメラは、津波監視カメラ架台の一部であるカメラ取付プレートに監視カメラ取付ボルトにより固定され、津波監視カメラ架台は防波壁上に基礎ボルトにより固定される。</p>	<p>監視カメラ</p>	<p>(上面図)</p> <p>(側面図)</p> <p>(単位：mm)</p>

4.1.2 評価方針

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの応力評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した荷重及び荷重の組合せ並びに許容限界に基づき、「4.1.1 構造計画」にて示す津波監視カメラの部位を踏まえ「4.2 評価部位」にて設定する箇所において、「4.3.3 解析モデル及び諸元」及び「4.3.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを、「4.3 地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。また、津波監視カメラの機能維持評価は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定した電氣的機器の機能維持の方針に基づき、機能維持評価用加速度が機能確認済加速度以下であることを、「4.4 機能維持評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「4.5 評価結果」に示す。

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価フローを図4-1に示す。

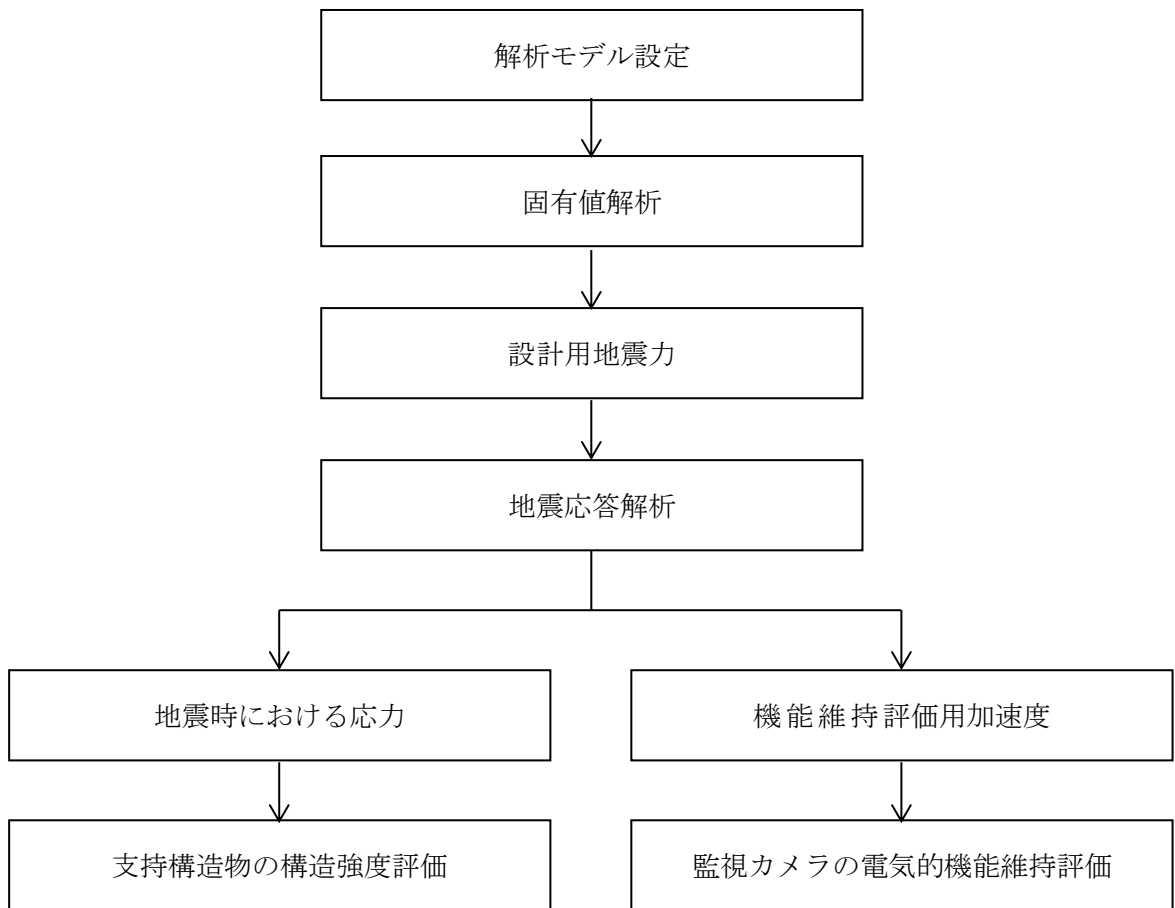


図4-1 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価フロー

4.1.3 適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

4.1.4 記号の説明

記号	記号の説明	単位
A	架台の断面積	mm ²
A _{ey} , A _{ez}	架台のせん断断面積	mm ²
A _w	架台溶接部の断面積	mm ²
A _{eyw} , A _{ezw}	架台溶接部のせん断断面積	mm ²
A _{bi}	ボルトの軸断面積*	mm ²
a	基礎ボルトの間隔 (x 方向)	mm
b	基礎ボルトの間隔 (y 方向)	mm
C _H	水平方向設計震度	—
C _V	鉛直方向設計震度	—
d _{oi}	ボルトの呼び径*	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格 SSB-3121.1 (1) に定める値	MPa
F _x	架台の軸力 (x 方向)	N
F _y , F _z	架台のせん断力 (y, z 方向)	N
F _{xb}	取付ボルトに作用する軸力 (x 方向)	N
F _{yb} , F _{zb}	取付ボルトに作用するせん断力 (y, z 方向)	N
f _b	架台の許容曲げ応力	MPa
f _c	架台の許容圧縮応力	MPa
f _s	架台の許容せん断応力	MPa
f _t	架台の許容引張応力	MPa
f _{bw}	架台溶接部の許容曲げ応力	MPa
f _{cw}	架台溶接部の許容圧縮応力	MPa
f _{sw}	架台溶接部の許容せん断応力	MPa
f _{tw}	架台溶接部の許容引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
f_{sbi}	せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力*	MPa
f_{toi}	引張力のみを受けるボルトの許容引張応力*	MPa
f_{tsbi}	引張力とせん断力を同時に受けるボルトの許容引張応力（許容組合せ応力）*	MPa
i	断面二次半径	mm
I_y, I_z	架台の断面二次モーメント（y, z 軸）	mm ⁴
I_{yw}, I_{zw}	架台溶接部の断面二次モーメント（y, z 軸）	mm ⁴
J	架台のねじり定数	mm ⁴
J_w	架台溶接部のねじり定数	mm ⁴
l_k	座屈長さ	mm
M_x	架台のねじりモーメント（x 軸）	N・mm
M_y, M_z	津波監視カメラ架台の曲げモーメント（y, z 軸）	N・mm
n_i	ボルトの本数*	—
n_{fi}	評価上引張力を受けるとして期待するボルトの本数*	—
S	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 5 に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 9 に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める値	MPa
$S_y (RT)$	設計・建設規格 付録材料図表 Part5 表 8 に定める材料の 40℃における値	MPa
S_b	基礎ボルトのせん断力	N
T	基礎ボルトの引張力	N
X, Y, Z	絶対（節点）座標軸	—
x, y, z	局所（要素）座標軸	—
Z_p	架台のねじり断面係数	mm ³
Z_y, Z_z	架台の断面係数（y, z 軸）	mm ³
Z_{pw}	架台溶接部のねじり断面係数	mm ³
Z_{yw}, Z_{zw}	架台溶接部の断面係数（y, z 軸）	mm ³
Λ	架台の限界細長比	—
λ	架台の有効細長比	—
ν	ポアソン比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ_b	架台に生じる曲げ応力	MPa
σ_{bw}	架台溶接部に生じる曲げ応力	MPa
σ_c	架台に生じる圧縮応力	MPa
σ_{cw}	架台溶接部に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	架台に生じる引張応力	MPa
σ_{tw}	架台溶接部に生じる引張応力	MPa

記号	記号の説明	単位
σ_{tbi}	ボルトに生じる引張応力*	MPa
τ	架台に生じるせん断応力	MPa
τ_w	架台溶接部に生じるせん断応力	MPa
τ_{bi}	ボルトに生じるせん断応力*	MPa

注記*：添字 i の意味は以下のとおりとする。

$i = 1$ ：取付ボルト

$i = 2$ ：基礎ボルト

4.1.5 計算精度と数値の丸め方

精度は、有効数字 6 桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表 4-2 に示すとおりである。

表 4-2 表示する数値の丸め方

数値の種類	単位	処理桁	処理方法	表示桁
固有周期	s	小数点以下第 4 位	四捨五入	小数点以下第 3 位
震度	—	小数点以下第 3 位	切上げ	小数点以下第 2 位
温度	℃	—	—	整数位
質量	kg	—	—	整数位 ^{*1}
長さ	下記以外の長さ	mm	—	整数位 ^{*1}
	部材断面寸法	mm	小数点以下第 2 位 ^{*2}	四捨五入 小数点以下第 1 位 ^{*3}
面積	mm ²	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
モーメント	N・mm	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
力	N	有効数字 5 桁目	四捨五入	有効数字 4 桁 ^{*4}
縦弾性係数	MPa	有効数字 4 桁目	四捨五入	有効数字 3 桁
算出応力	MPa	小数点以下第 1 位	切上げ	整数位
許容応力 ^{*5}	MPa	小数点以下第 1 位	切捨て	整数位

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

*2：設計上定める値が小数点以下第 3 位の場合は、小数点以下第 3 位表示とする。

*3：設計上定める値が小数点以下第 2 位の場合は、小数点以下第 2 位表示とする。

*4：絶対値が 1000 以上のときは、べき数表示とする。

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

4.2 評価部位

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震評価は、「3.4.1 地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき耐震評価上厳しくなる監視カメラ架台、架台溶接部、津波監視カメラ取付ボルト及び津波監視カメラ架台基礎ボルトについて耐震評価を実施する。津波監視カメラの耐震評価部位については、表4-1の概略構造図に示す。

4.3 地震応答解析及び構造強度評価

4.3.1 地震応答解析及び構造強度評価方法

- (1) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの質量には、監視カメラ本体及び架台の質量のほか、防水ボックス、電線管及び積雪により付加される質量を考慮する。
- (2) 地震力は、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラに対して水平2方向及び鉛直方向から個別に作用させる。また、水平2方向及び鉛直方向の動的地震力による荷重の組合せには、S R S S法を適用する。
- (3) 風圧力は、水平2方向それぞれの受風面積から荷重を算出し、はり要素に分布荷重として同時に作用させる。集中質量としてモデル化している監視カメラ、防水ボックスに対しては集中荷重として作用させる。
- (4) 耐震計算に用いる寸法は、公称値を使用する。

4.3.2 荷重の組合せ及び許容応力

(1) 荷重の組合せ及び許容応力状態

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-3に示す。

(2) 許容応力

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの許容応力は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表4-4に示す。

(3) 使用材料の許容応力評価条件

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4-5に示す。

(4) 風荷重

風荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、風速30m/sを使用し、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの形状、風向きを踏まえ、作用する風圧力を算出する。風圧力の算出の基準となる基準速度圧を表4-6に示す。

(5) 積雪荷重

積雪荷重は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し、3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの形状を踏まえ、算出する。算出した単位面積当たりの積雪荷重を表4-7に示す。

表 4-3 荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分		機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用 原子炉の 附属施設	浸水防護 施設	津波監視カメラ	S	—*	$D + P_D + M_D + S_s$ $+ P_K + P_S$	Ⅲ _A S

注記 *：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

表 4-4 許容応力（その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 (ボルト等以外)				許容限界*1, *2 (ボルト等)	
	一次応力				一次応力	
	引張	せん断	圧縮	曲げ	引張	せん断
Ⅲ _A S	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$	$1.5 \cdot f_c$	$1.5 \cdot f_b$	$1.5 \cdot f_t$	$1.5 \cdot f_s$

注記*1：応力の組合せが考えられる場合には，組合せ応力に対しても評価を行う。

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

表 4-5 使用材料の許容応力評価条件 (設計基準対象施設)

評価部材	材料	温度条件 (°C)		S (MPa)	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)
		周囲環境温度					
津波監視カメラ架台 (B300×300×9)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 (C130×65×6)	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 溶接部	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205
津波監視カメラ架台 基礎ボルト	SUS316	周囲環境温度	50	—	199	511	205

表 4-6 基準速度圧

(単位: N/m²)

作用する部位	基準速度圧
3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ	1.346×10 ³

表 4-7 単位面積当たりの積雪荷重

(単位: N/m²)

作用する部位	単位面積当たりの積雪荷重
3号機北側防波壁上部 (西) 津波監視カメラ	2.000×10 ³

4.3.3 解析モデル及び諸元

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの解析モデルを図4-2に、解析モデルの概要を以下に示す。また、機器の諸元を本計算書の【3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

- (1) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ架台のうちカメラ取付プレートを除く鋼材をはり要素で、カメラ取付プレートをシェル要素でモデル化したFEMモデルを用いる。
- (2) 監視カメラ及び防水ボックスの質量は、それぞれの重心位置に集中するものとする。電線管の質量は取付位置近傍の節点位置に分散して付加する。なお、積雪相当の質量は、分布質量としてモデル全体に付加する。
- (3) 拘束条件は、津波監視カメラ架台の基礎部を固定とする。
- (4) 解析コードは、「MSC NASTRAN」を使用し、固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお、評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

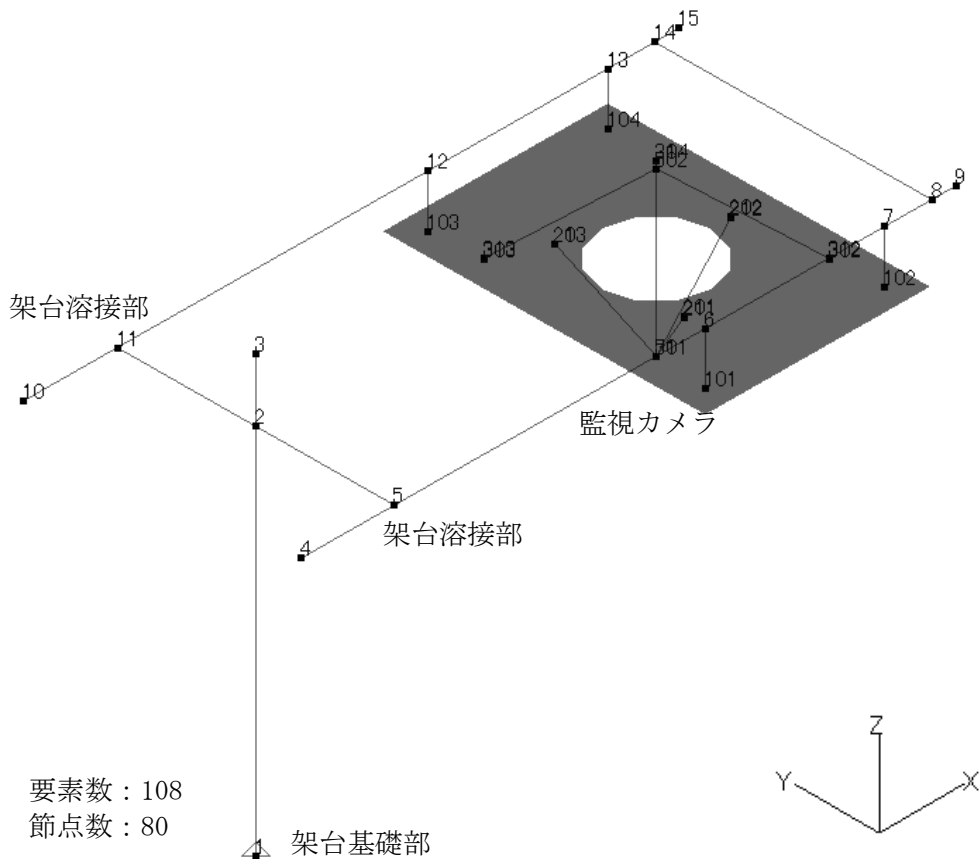


図4-2 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ解析モデル

4.3.4 固有周期

固有値解析の結果を表4-8、振動モード図を図4-3に示す。固有周期は、0.05秒以下であり、剛構造であることを確認した。

表4-8 固有値解析結果

機器名称	モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
				X方向	Y方向	
3号機北側防波壁上部(西) 津波監視カメラ	1次	□	□	—	—	—



図4-3 3号機北側防波壁上部(西)津波監視カメラ振動モード
(1次モード □ 方向 □ s)

4.3.5 設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4-9 に示す。

「基準地震動 S_s 」による地震力は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定する。

表 4-9 設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S_d 又は静的震度		基準地震動 S_s	
	水平 方向	鉛直 方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
防波壁 (波返重力擁壁) EL. 15.0 ^{*1}	□	□	—	—	$C_H=4.38^{*2}$	$C_V=3.83^{*2}$

注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s ）を上回る設計震度

4.3.6 応力の計算方法

(1) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ架台の応力

解析による計算で得られる各要素端での軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力，圧縮応力

$$|\sigma_t| = |\sigma_c| = \frac{|F_x|}{A} \quad (4.3.6.1)$$

b. せん断応力

$$\tau = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{ey}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ez}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_p} \quad (4.3.6.2)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_b = \frac{|M_y|}{Z_y} + \frac{|M_z|}{Z_z} \quad (4.3.6.3)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力（垂直+せん断）

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + 3\tau^2} \leq f_t \quad (4.3.6.4)$$

(b) 組合せ応力（圧縮+曲げ）

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_c}{f_c} + \frac{\sigma_b}{f_b}, \frac{\sigma_b}{f_t}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.5)$$

(c) 組合せ応力（引張+曲げ）

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_t + \sigma_b}{f_t}, \frac{\sigma_b}{f_b}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.6)$$

(2) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ架台溶接部の応力

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの架台溶接部において解析による計算で得られる軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z より各応力を次のように求める。

a. 引張応力

$$|\sigma_{tw}| = |\sigma_{cw}| = \frac{|F_x|}{A_w} \quad (4.3.6.7)$$

b. せん断応力

$$\tau_w = \sqrt{\left(\frac{|F_y|}{A_{eyw}}\right)^2 + \left(\frac{|F_z|}{A_{ezw}}\right)^2} + \frac{|M_x|}{Z_{pw}} \quad (4.3.6.8)$$

c. 曲げ応力

$$\sigma_{bw} = \frac{|M_y|}{Z_{yw}} + \frac{|M_z|}{Z_{zw}} \quad (4.3.6.9)$$

d. 組合せ応力

(a) 組合せ応力（垂直+せん断）

垂直応力とせん断応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\sqrt{(\sigma_{tw} + \sigma_{bw})^2 + \tau_w^2} \leq f_{sw} \quad (4.3.6.10)$$

(b) 組合せ応力（圧縮+曲げ）

圧縮応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{cw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.11)$$

(c) 組合せ応力（引張+曲げ）

引張応力と曲げ応力を生じる部分の応力は，下式を満足すること。

$$\text{Max}\left(\frac{\sigma_{tw} + \sigma_{bw}}{f_{sw}}, \frac{\sigma_{bw}}{f_{sw}}\right) \leq 1 \quad (4.3.6.12)$$

(3) 津波監視カメラ取付ボルトの応力

取付ボルトに生じる応力は，解析で得られるボルト位置での軸力 F_{xb} ，せん断力 F_{yb} ， F_{zb} より，引張応力とせん断応力について計算する。

a. 引張応力

$$\sigma_{tb1} = \frac{F_{xb1}}{A_{b1}} \quad (4.3.6.13)$$

$$A_{b1} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{o1}^2 \quad (4.3.6.14)$$

b. せん断応力

$$\tau_{b1} = \frac{\sqrt{F_{yb1}^2 + F_{zb1}^2}}{A_{b1}} \quad (4.3.6.15)$$

(4) 津波監視カメラ架台基礎ボルトの応力

基礎ボルトに生じる応力は、解析による計算で得られる架台下端の要素の軸力 F_x 、せん断力 F_y 、 F_z 、ねじりモーメント M_x 及び曲げモーメント M_y 、 M_z から、基礎ボルトのうち引張応力とせん断応力を手計算により計算する。津波監視カメラ架台ボルト部の概要を図4-4に示す。

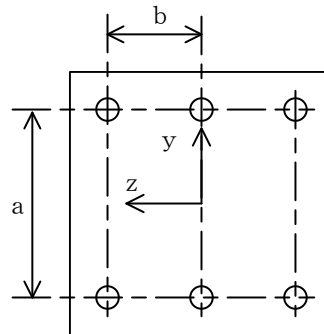


図4-4 基礎ボルト部の概要

a. 引張応力

$$\sigma_{tb2} = \frac{T}{A_{b2}} \quad (4.3.6.16)$$

$$A_{b2} = \frac{\pi}{4} \cdot d_o^2 \quad (4.3.6.17)$$

$$T = \frac{F_x}{6} + \frac{M_y}{4b} + \frac{M_z}{3a} \quad (4.3.6.18)$$

b. せん断応力

$$\tau_{tb2} = \frac{S_b}{A_{b2}} \quad (4.3.6.19)$$

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{F_y}{6} + \frac{b \cdot M_x}{r}\right)^2 + \left(\frac{F_z}{6} + \frac{a \cdot M_x}{2r}\right)^2} \quad (3.3.6.20)$$

$$r = \frac{3}{2} \cdot a^2 + 4 \cdot b^2 \quad (4.3.6.21)$$

4.3.7 計算条件

応力解析に用いる計算条件は、本計算書の【3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.3.8 応力の評価

(1) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ架台の応力評価

4.3.6(1)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(4.3.6.5)式、(4.3.6.6)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$
許容圧縮応力 f_c	$\left\{ 1 - 0.4 \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \right\} \cdot \frac{F}{v'} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_s	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$
許容曲げ応力 f_b	$\frac{F}{1.5} \cdot 1.5$

ただし、

$$\lambda = \frac{l_k}{i} \tag{4.3.8.1}$$

$$\Lambda = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E}{0.6 \cdot F}} \tag{4.3.8.2}$$

$$v' = 1.5 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{\lambda}{\Lambda} \right)^2 \tag{4.3.8.3}$$

(2) 3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラ架台溶接部の応力評価

4.3.6(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし、(4.3.6.11)式、(4.3.6.12)式で求めた組合せ応力度比が1以下であること。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容せん断応力 f_{sw}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

(3) ボルトの応力評価

4.3.6 項で求めたボルトの引張応力 σ_{tbi} は、下記の f_{tsbi} 以下であること。ただし f_{toi} は下表による。

$$f_{tsbi} = \text{Min}[1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}] \quad (4.3.8.4)$$

せん断応力 τ_{bi} は、せん断力のみを受けるボルトの許容せん断応力 f_{sbi} 以下であること。ただし、 f_{sbi} は下表による。

	基準地震動 S_s による荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_{tobi}	$\frac{F}{2} \cdot 1.5$
許容せん断応力 f_{sbi}	$\frac{F}{1.5 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1.5$

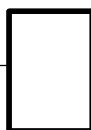
4.4 機能維持評価

4.4.1 電氣的機能維持評価方法

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの電氣的機能維持評価について以下に示す。
なお、機能維持評価用加速度は、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき、基準地震動 S_s により定まる加速度又はこれを上回る加速度を設定する。

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの機能確認済加速度は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、同形式の監視カメラ単体のサインビート波加振試験において、電氣的機能の健全性を確認した評価部位の加速度を適用する。機能確認済加速度を表4-10に示す。

表4-10 機能確認済加速度 ($\times 9.8m/s^2$)

評価部位	方向	機能確認済加速度
監視カメラ	水平	
	鉛直	

4.5 評価結果

4.5.1 設計基準対象施設としての評価結果

3号機北側防波壁上部（西）津波監視カメラの設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており、設計用地震力に対して十分な構造強度を有し、電氣的機能を維持できることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電氣的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【3号機北防波壁上部（西）津波監視カメラの耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期 (s)		弾性設計用地震動 S _d 又は静的震度		基準地震動 S _s		周囲環境温度 (°C)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
3号機北防波壁上部（西） 津波監視カメラ	S	防波壁（波返重力擁壁） EL. 15.0*1	□	□	—	—	C _H =4.38*2	C _V =3.83*2	50

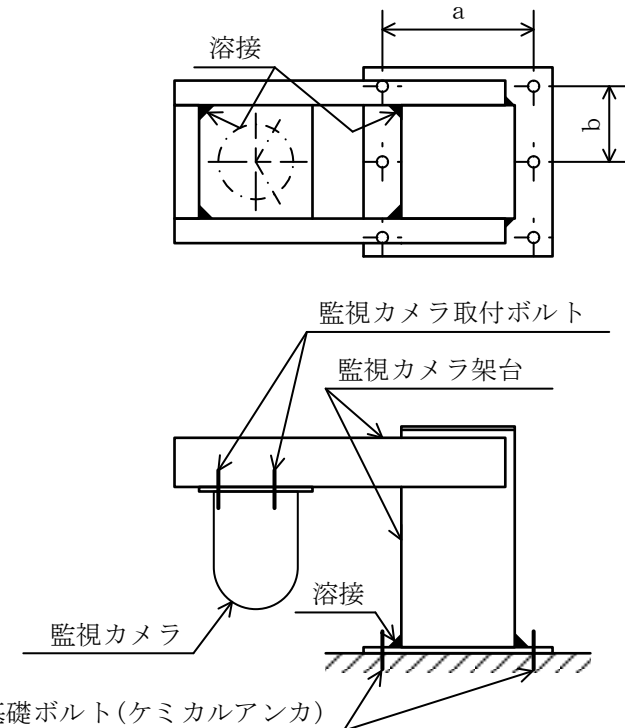
注記*1：基準床レベルを示す。

*2：設計用震度 I（基準地震動 S_s）を上回る設計震度

1.2 機器要目

	d _{o i} (mm)	A _{b i} (mm ²)	n _i	n _{f i}	a	b
津波監視カメラ 取付ボルト	□	□	3	3	—	—
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	□	□	6	6	□	□

部材	材料	S _y (MPa)	S _u (MPa)	S _y (R T) (MPa)	F (MPa)
津波監視カメラ 架台 (B300×300×9)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台 (C130×65×6)	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台溶接部	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 取付ボルト	SUS316	199	511	205	205
津波監視カメラ 架台基礎ボルト	SUS316	199	511	205	205



材料	E (MPa)	ν	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	Λ
SUS316 (B300×300×9)	193000	0.3				
SUS316 (C130×65×6)	193000	0.3				

		要素番号				
		1, 2	3~13	1	4, 9	13
材料		SUS316 (B300×300×9)	SUS316 (C130×65×6)	SUS316 溶接部(定着部)	SUS316 溶接部	SUS316 溶接部
断面積	A_w (mm ²)					
断面二次 モーメント	I_y (w) (mm ⁴)					
	I_z (w) (mm ⁴)					
ねじり定数	J (w) (mm ⁴)					
ねじり 断面係数	Z_p (w) (mm ³)					
せん断面積	A_{ey} (w) (mm ²)					
	A_{ez} (w) (mm ²)					
断面係数	Z_y (w) (mm ³)					
	Z_z (w) (mm ³)					

1.3 計算数値

1.3.1 架台の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
4	5						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.2 架台溶接部の荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						
13	14						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.3.3 取付ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_{xb} (N)	F_{yb} (N)	F_{zb} (N)
201	201			

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。


1.3.4 基礎ボルトの荷重・モーメント

要素番号	節点番号	F_x (N)	F_y (N)	F_z (N)	M_x (N・mm)	M_y (N・mm)	M_z (N・mm)
-	1						

注：添字 x, y, z は要素に与えられた座標軸で, x 軸は常に要素の長手方向にとる。

1.4 結論

1.4.1 固有周期 (単位: s)

方向	固有周期
水平方向	
鉛直方向	

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動 S s	
					算出	許容応力
架台	SUS316	引張	4	5	$\sigma_t =$ <input type="text"/>	$f_t = 205$
		圧縮	4	5	$\sigma_c =$ <input type="text"/>	$f_c = 200$
		せん断	4	5	$\tau =$ <input type="text"/>	$f_s = 118$
		曲げ	4	5	$\sigma_b =$ <input type="text"/>	$f_b = 205$
		組合せ (垂直+せん断)	4	5	$\sigma_f =$ <input type="text"/>	$f_t = 205$
		組合せ (圧縮+曲げ)	4	5	<input type="text"/>	1
		組合せ (引張+曲げ)	4	5	<input type="text"/>	1
架台溶接部	SUS316	引張	-	1	$\sigma_{tw} =$ <input type="text"/>	$f_{sw} = 118$
		圧縮	-	1	$\sigma_{cw} =$ <input type="text"/>	$f_{sw} = 118$
		せん断	-	1	$\tau_w =$ <input type="text"/>	$f_{sw} = 118$
		曲げ	13	14	$\sigma_{bw} =$ <input type="text"/>	$f_{sw} = 118$
		組合せ (垂直+せん断)	13	14	$\sigma_{fw} =$ <input type="text"/>	$f_{sw} = 118$
		組合せ (圧縮+曲げ)	13	14	<input type="text"/>	1
		組合せ (引張+曲げ)	13	14	<input type="text"/>	1
取付ボルト	SUS316	引張	201	201	$\sigma_{tb1} =$ <input type="text"/>	$f_{tsb1} = 153^{*2}$
		せん断	201	201	$\tau_{b1} =$ <input type="text"/>	$f_{sb1} = 118$
架台 基礎ボルト	SUS316	引張	-	1	$\sigma_{tb2} =$ <input type="text"/>	$f_{tsb2} = 123^{*2}$
		せん断	-	1	$\tau_{b2} =$ <input type="text"/>	$f_{sb2} = 94$

すべて許容応力以下である。

注記*1：絶対値を記載

$$*2 : f_{tsbi} = \text{Min} [1.4 \cdot f_{tobi} - 1.6 \cdot \tau_{bi}, f_{tobi}]$$

1.4.3 電氣的機能維持の評価結果

(×9.8 m/s²)

		機能維持評価用加速度*	機能確認済加速度
監視カメラ	水平方向	3.30	<input type="checkbox"/>
	鉛直方向	2.93	

注記*：設計用震度 I（基準地震動 S s）により定まる加速度
機能維持評価用加速度はすべて機能確認済加速度以下である。

VI-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性に関する
説明書

VI-2-11-2 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての
計算書

VI-2-11-2-8 管の耐震性についての計算書
(波及的影響)

目 次

1. 概要	1
2. 一般事項	3
2.1 配置概要	3
2.2 鳥瞰図	20
3. 計算条件	24
3.1 計算方法	24
3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態	25
3.3 設計条件	27
3.4 材料及び許容応力	33
3.5 設計用地震力	34
4. 解析結果及び評価	35
4.1 固有周期及び設計震度	35
4.2 評価結果	41
4.2.1 管の応力評価結果	41
4.2.2 支持構造物評価結果	42
4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果	43

1. 概要

本計算書は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、表1-1に示す下位クラス施設である配管系（以下「下位クラス配管」という。）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認することで、直下又は近傍に設置された上位クラス施設に対して、下位クラス配管の転倒及び落下による波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

表1-1 下位クラス施設と上位クラス施設の対応

下位クラス施設			直下又は近傍に設置された上位クラス施設	
設備名称	耐震クラス	解析モデル名	設備名称	施設区分*
循環水系配管	C	① CSW-T-H1	復水器エリア防水壁	DB
			タービン建物漏えい検知器	DB
タービン補機 海水系配管	C	② TSW-T-1	原子炉補機海水系配管	DB / SA
		③ TSW-T-2	原子炉補機海水系配管（放水配管）	DB / SA
		④ TSW-Y-1	復水器エリア防水壁	DB
給水系配管	B	⑤ FW-T-4	原子炉補機海水系配管	DB / SA
タービンヒータ ドレン系配管	B	⑥ THD-T-17	原子炉補機海水系配管	DB / SA
復水輸送系配管	B	⑦ CWT-T-1-2	非常用ガス処理系配管	DB / SA
		⑧ CWT-T-2		
復水系配管	B	⑨ CW-T-10	非常用ガス処理系配管	DB / SA
		⑩ FW-T-3		
消火系配管	C	⑪ FP-T-E1	高圧炉心スプレイ補機海水系配管	DB / SA
液体廃棄物 処理系配管	C	⑫ RWL-T-1	高圧炉心スプレイ補機海水系配管	DB / SA
床ドレン系配管	C	⑬ DR-T-E1	高圧炉心スプレイ補機海水系配管	DB / SA
		⑭ DR-T-E2		

注記*：DBは設計基準対象施設，SAは重大事故等対処設備を示す。

計算結果の記載方法は、以下に示すとおりである。

(1) 管

評価対象範囲の管のうち、各応力区分における最大応力評価点の評価結果を解析モデル単位に記載する。また、全 14 モデルのうち、各応力区分における最大応力評価点の許容値／発生値（以下「裕度」という。）が最小となる解析モデルを代表として鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載する。各応力区分における代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を 4.2.3 に記載する。

(2) 支持構造物

評価対象範囲の支持点のうち、種類及び型式単位に反力が最大となる支持点の評価結果を代表として記載する。

2. 一般事項

2.1 配置概要

下位クラス配管は、図 2-1-1～図 2-2-13 に示すように、上位クラス施設である配管系（上位クラス配管）の直上又は近傍に設置されており、地震時において本配管系が転倒、落下した場合は、上位クラス配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

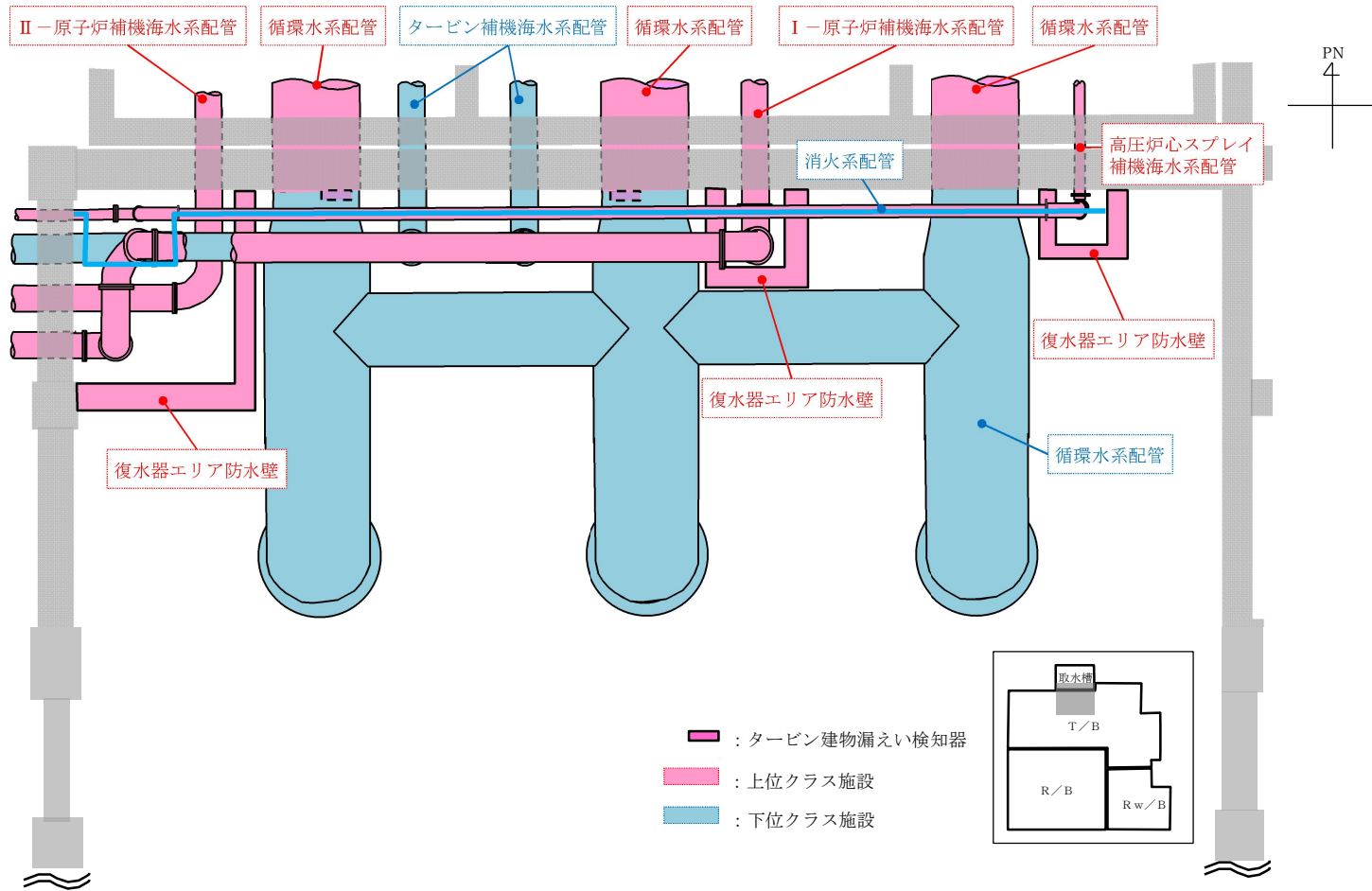


図 2-1-1 配置概要 (全体図: タービン建物 EL 2.000m, 5.500m)

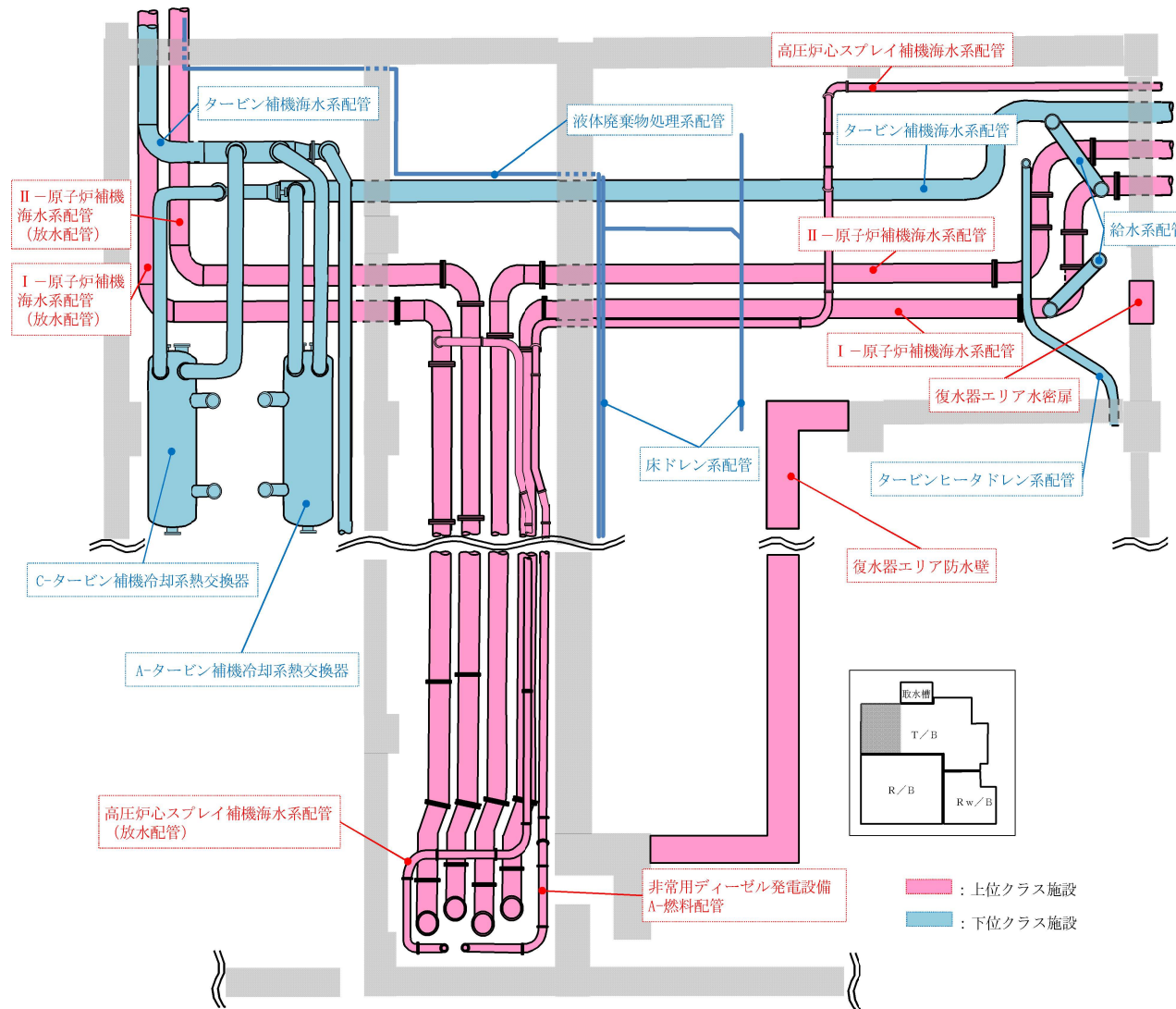


図 2-1-2 配置概要 (全体図: タービン建物 EL 2.000m)

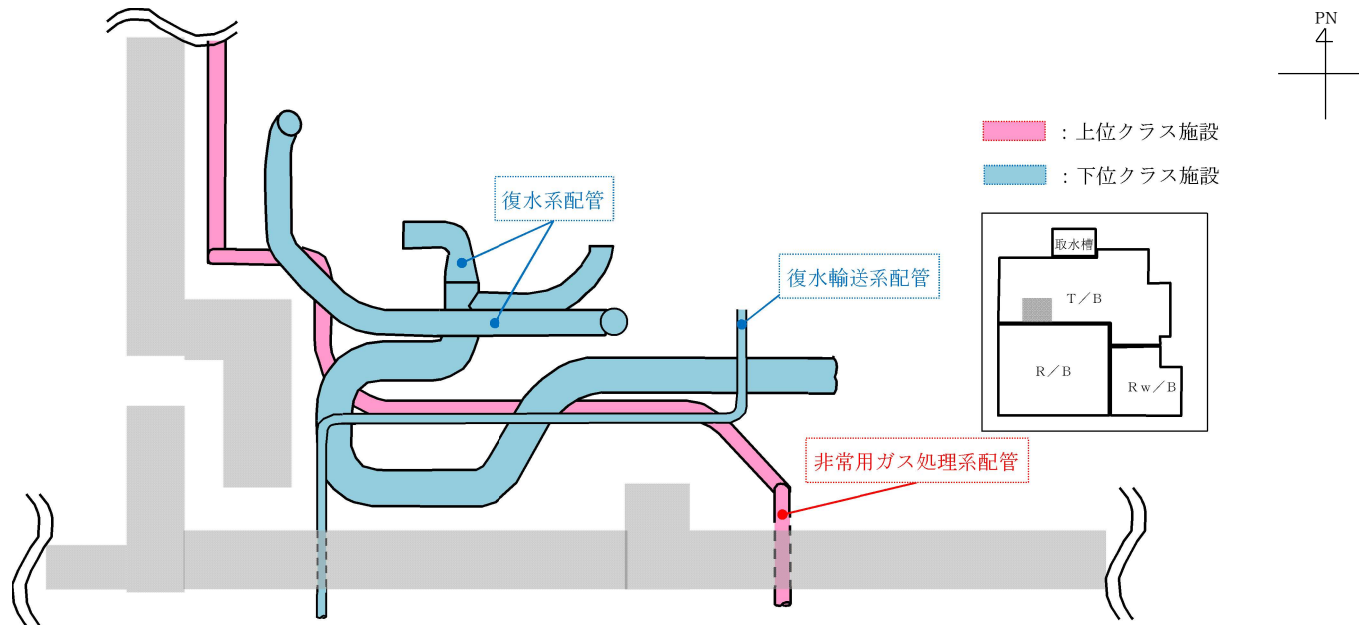


図 2-1-3 配置概要 (全体図：タービン建物 EL 5.500m)

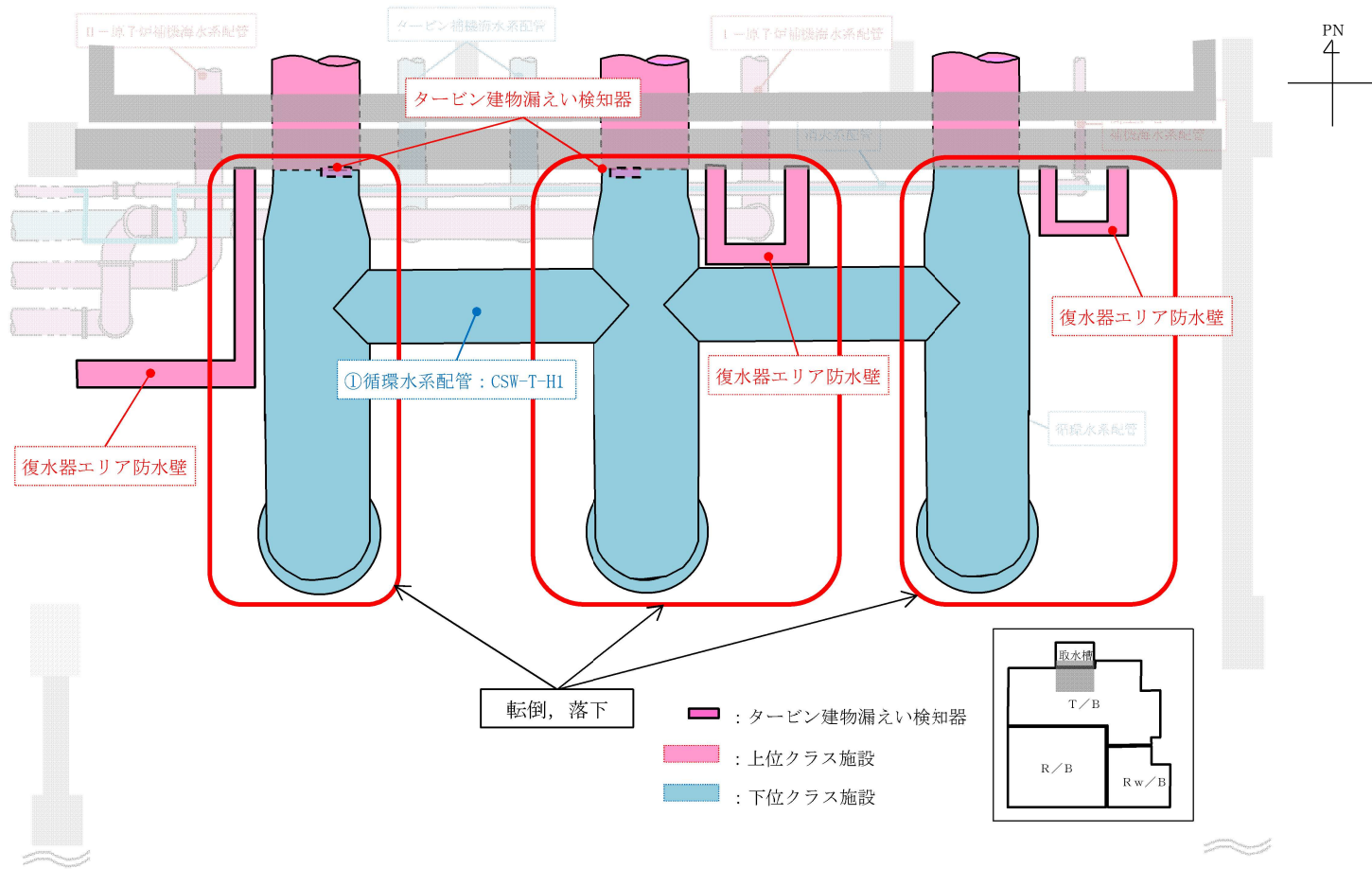


図 2-2-1 配置概要 (循環水系配管)

8

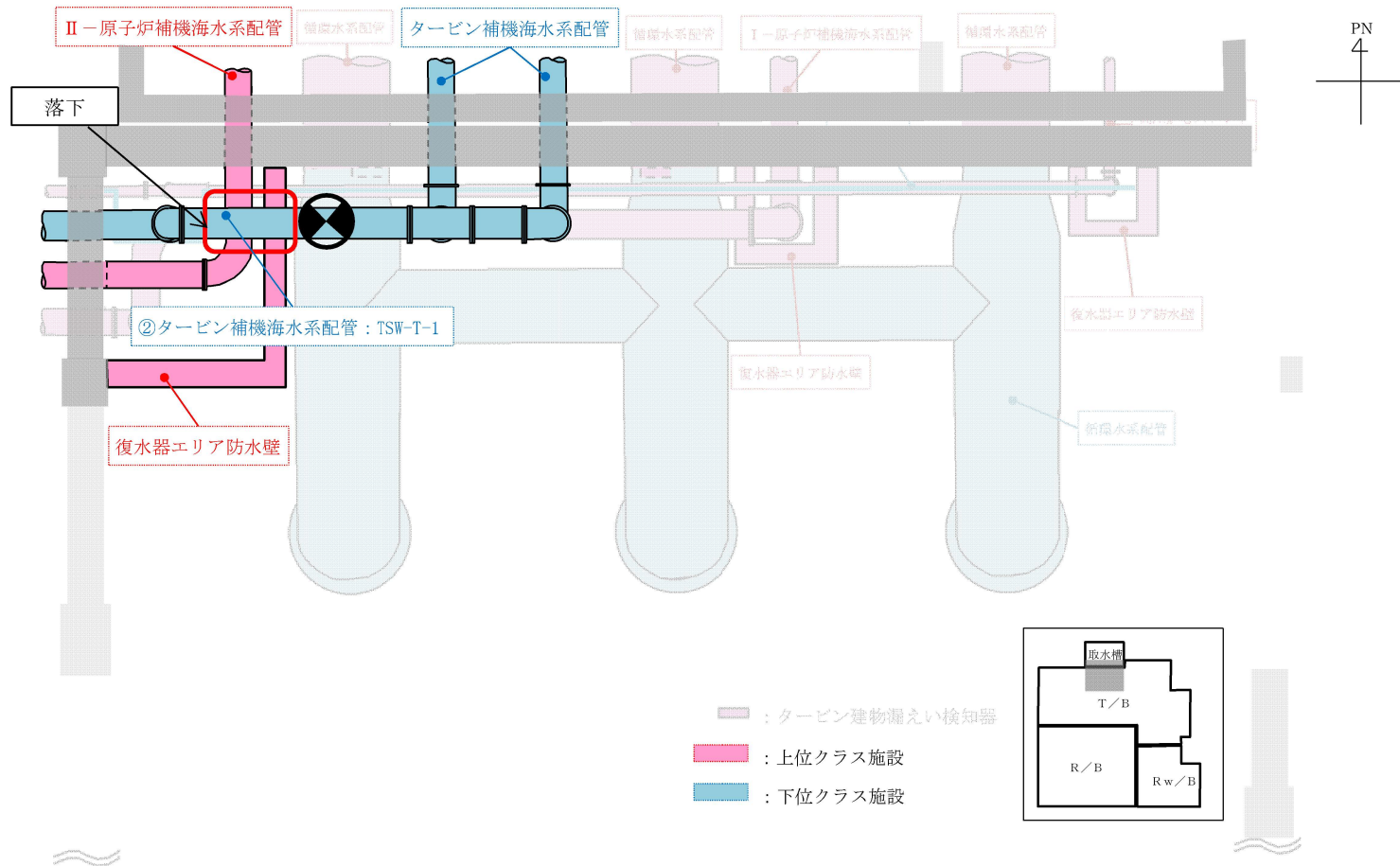


図 2-2-2 配置概要 (タービン補機海水系配管)

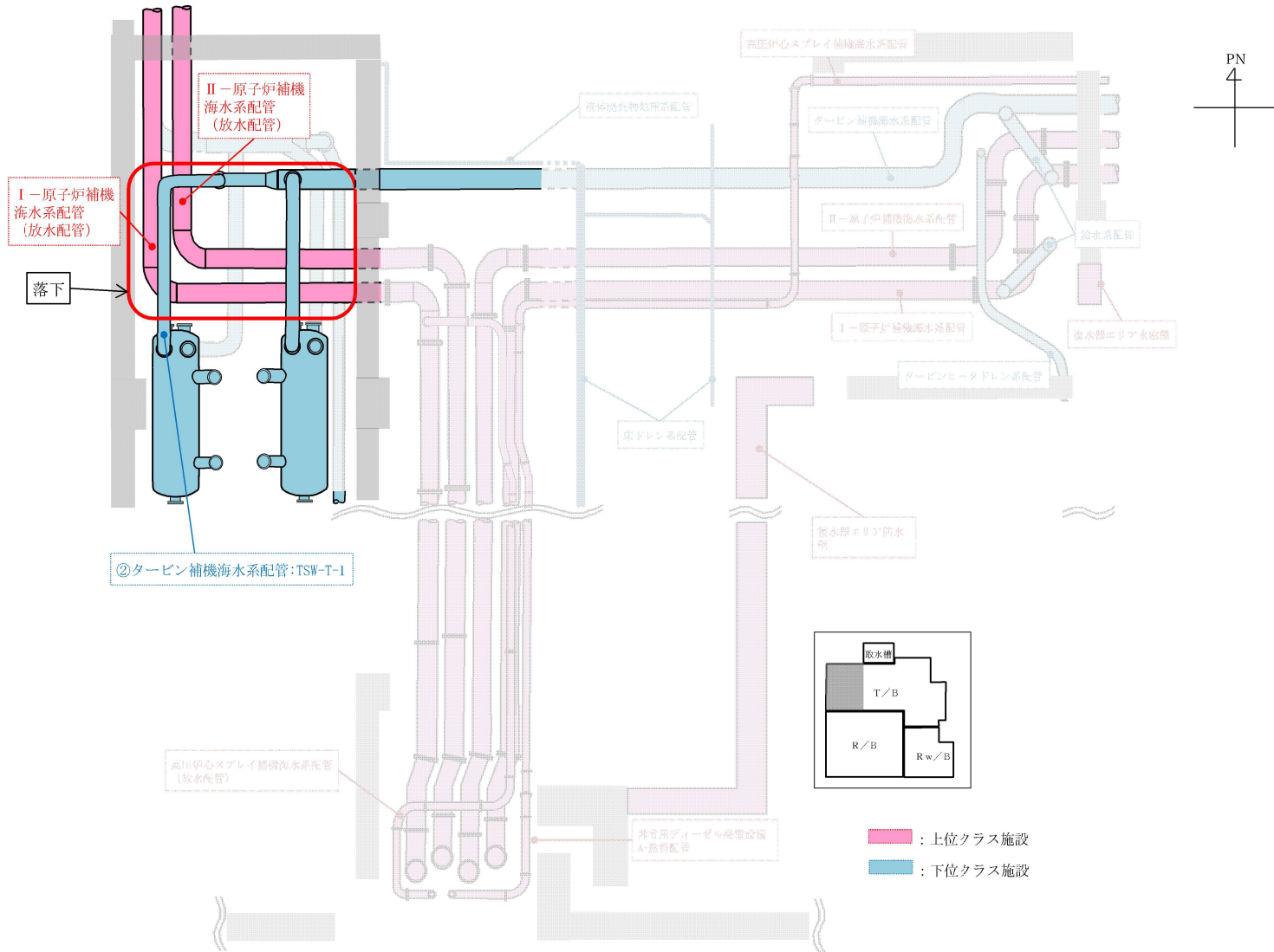


図 2-2-3 配置概要 (タービン補機海水系配管)

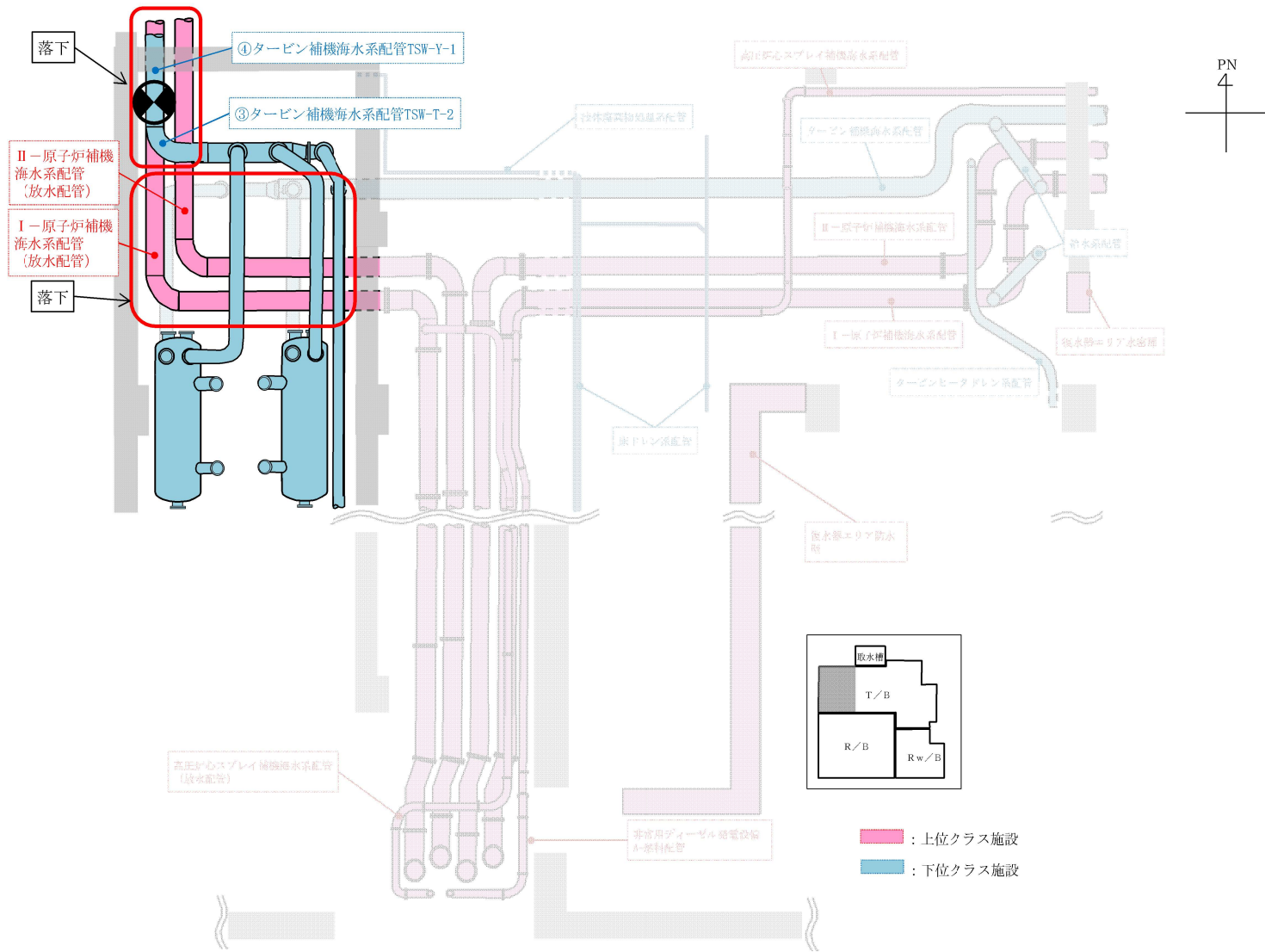


図 2-2-4 配置概要 (タービン補機海水系配管)

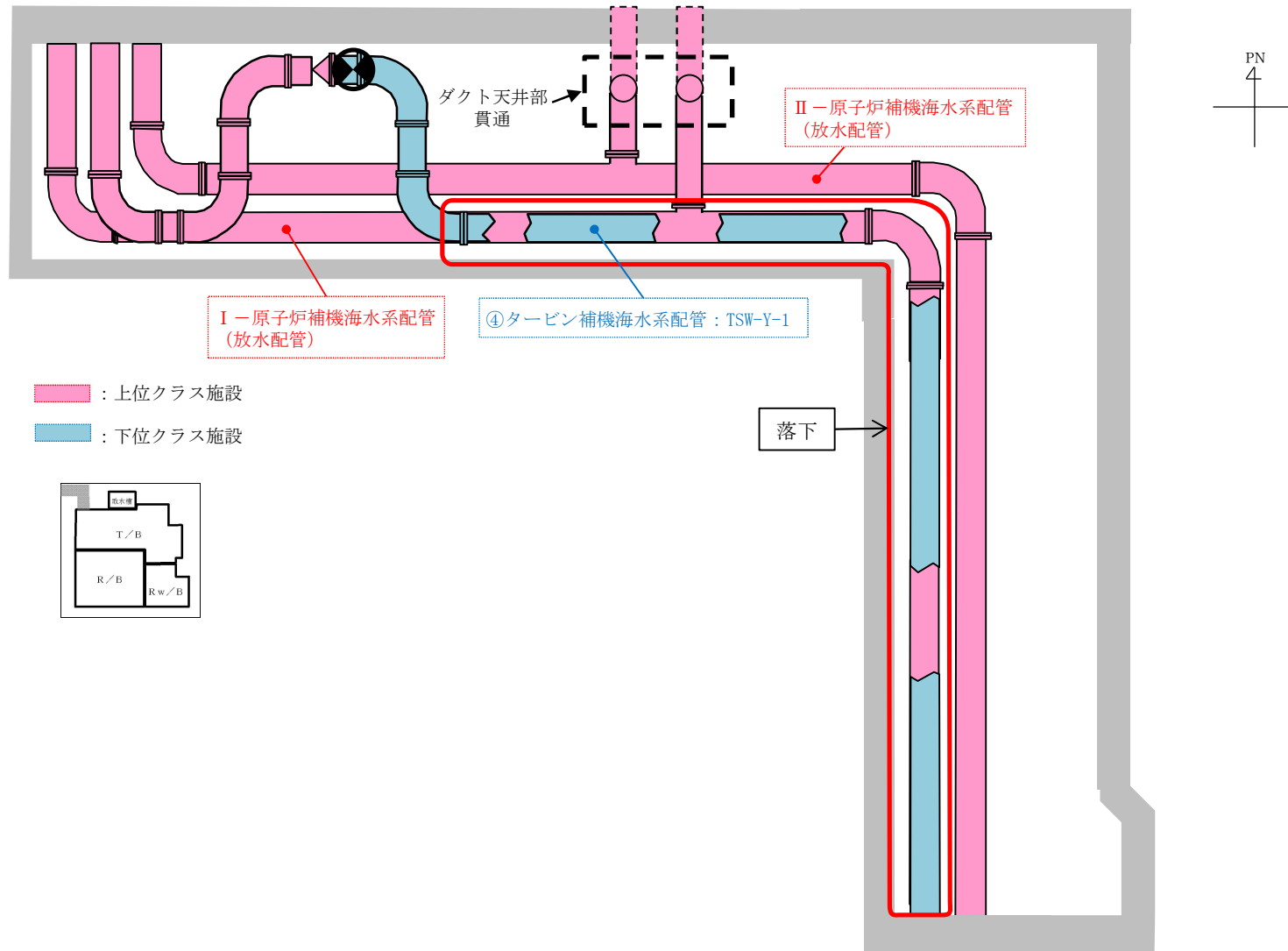


図 2-2-5 配置概要 (タービン補機海水系配管)

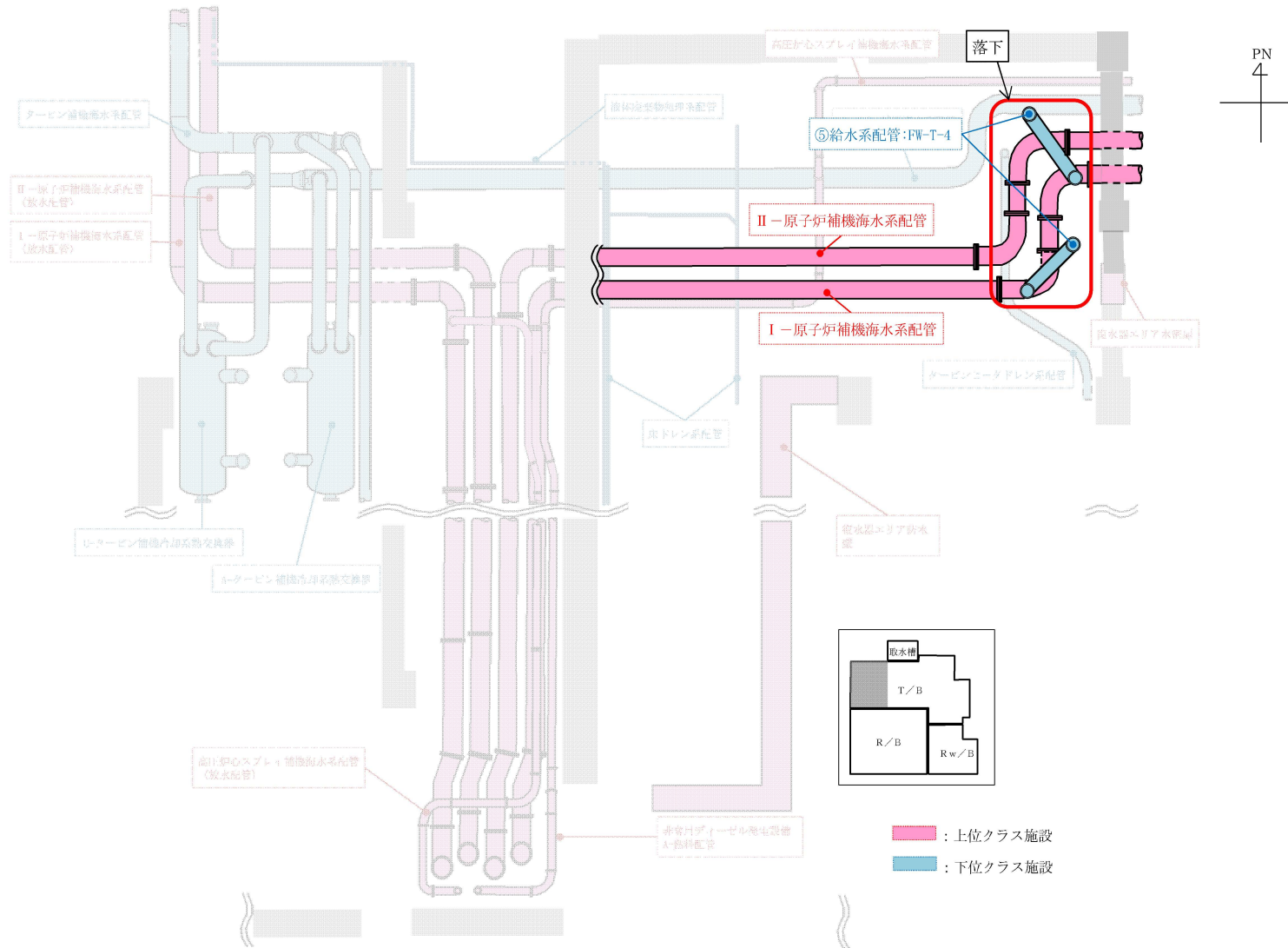


図 2-2-6 配置概要 (給水系配管)

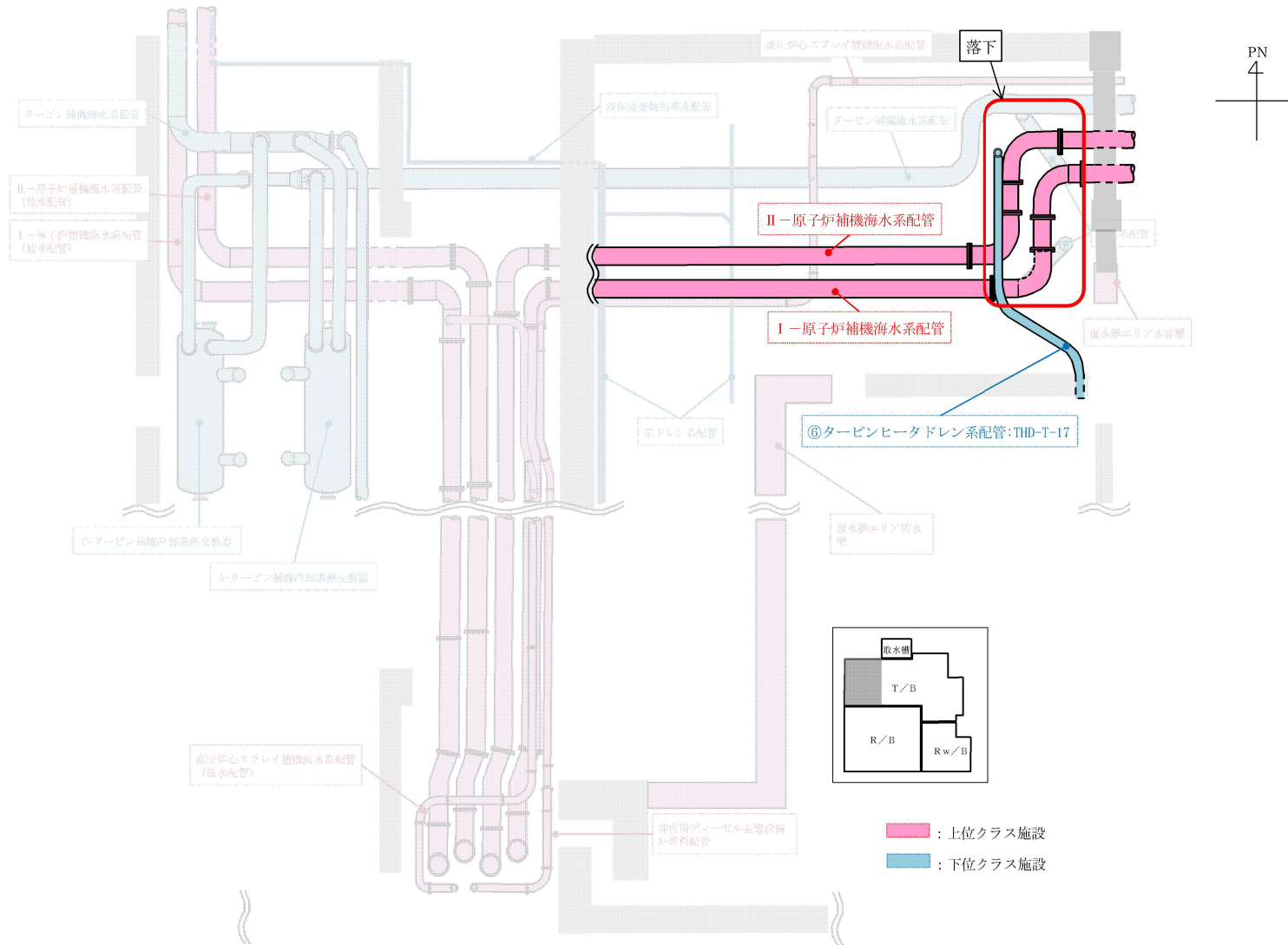


図 2-2-7 配置概要 (タービンヒータドレン系配管)

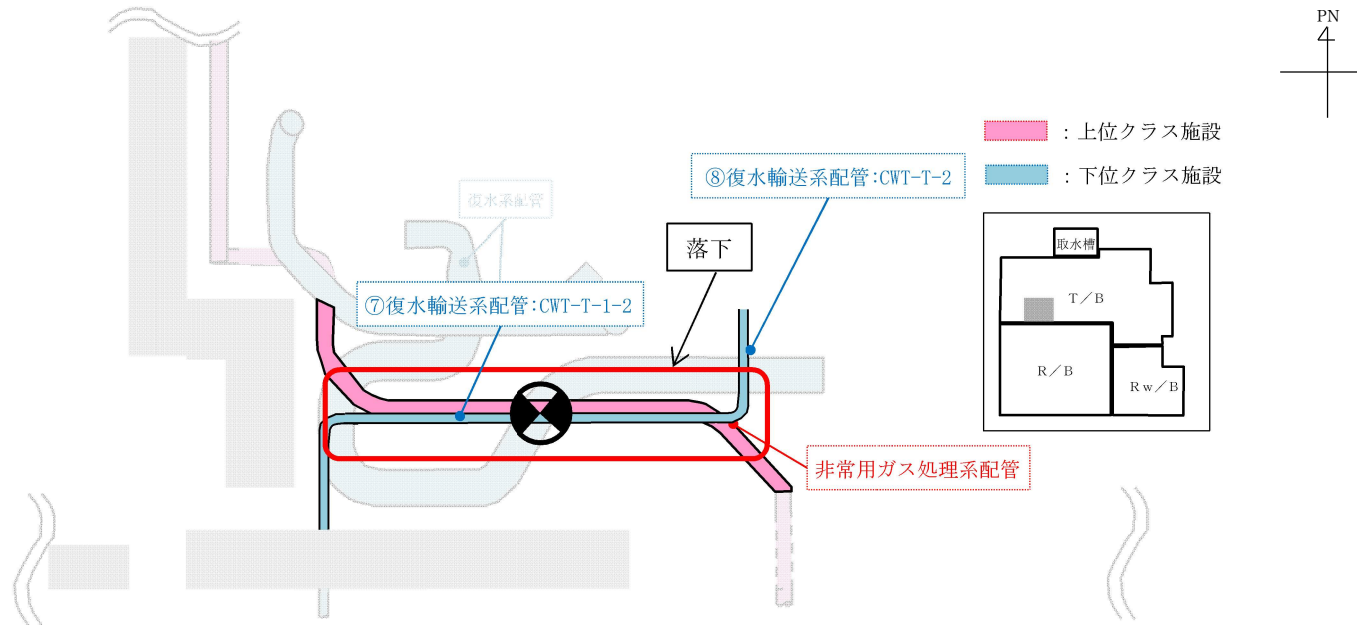


図 2-2-8 配置概要 (復水輸送系配管)

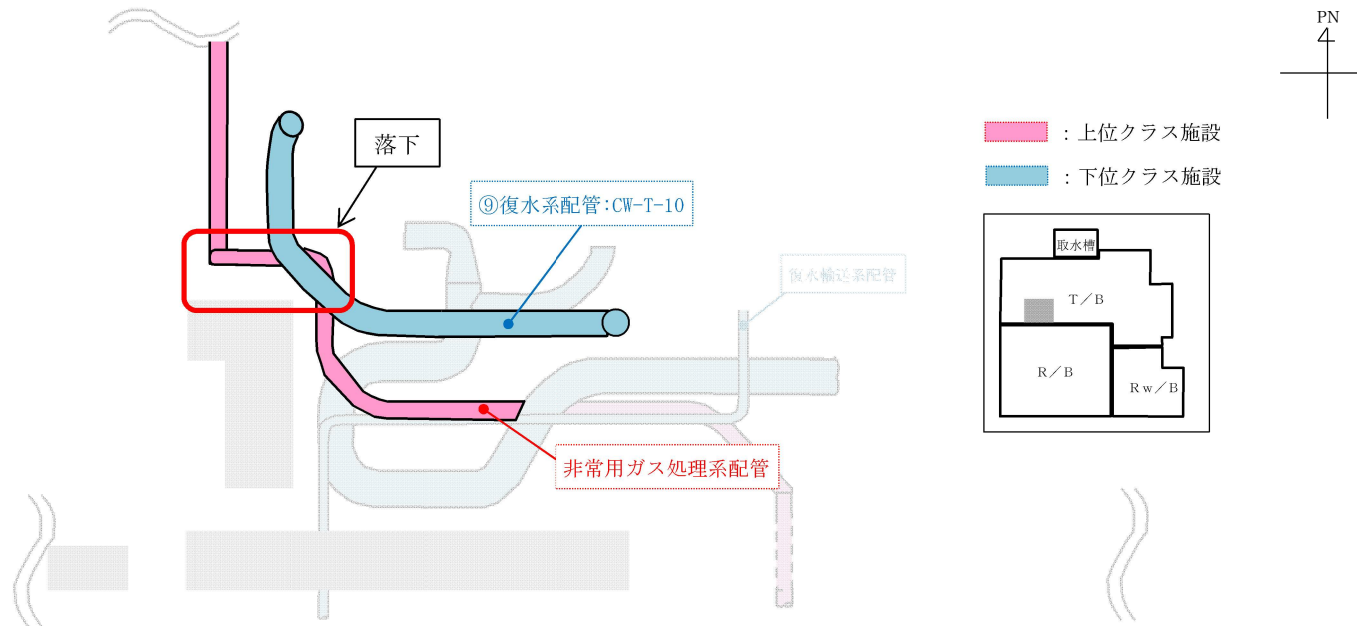


図 2-2-9 配置概要 (復水系配管)

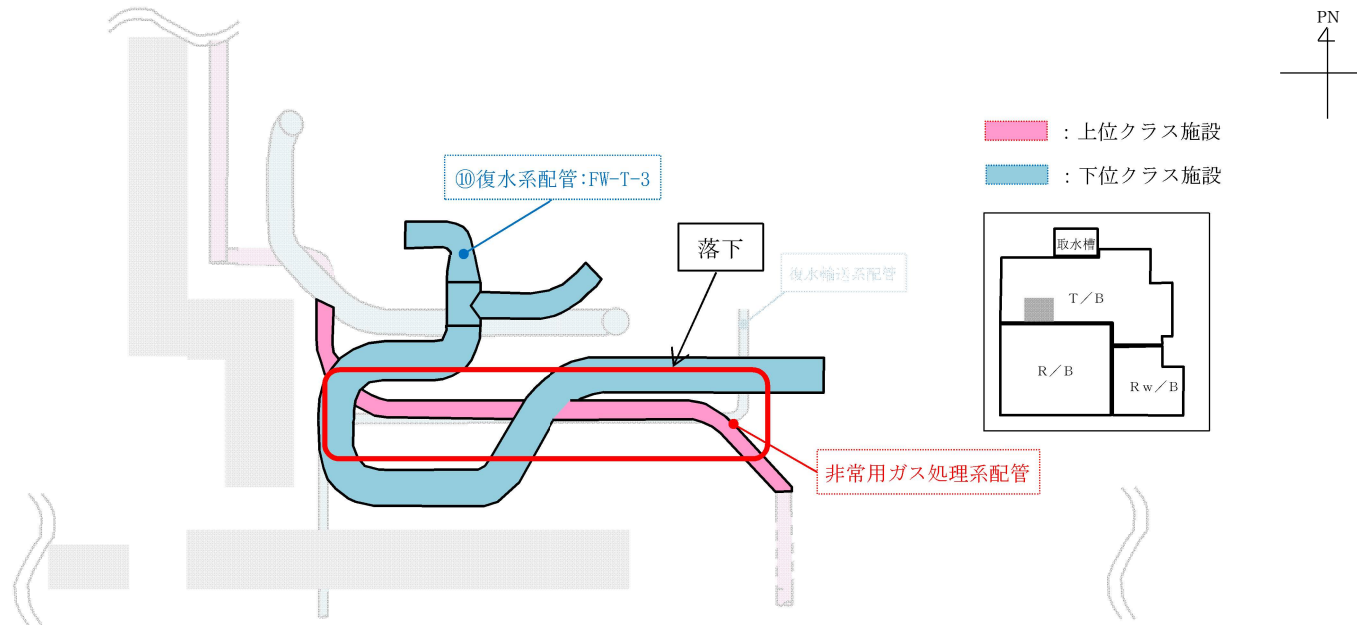


図 2-2-10 配置概要 (復水系配管)

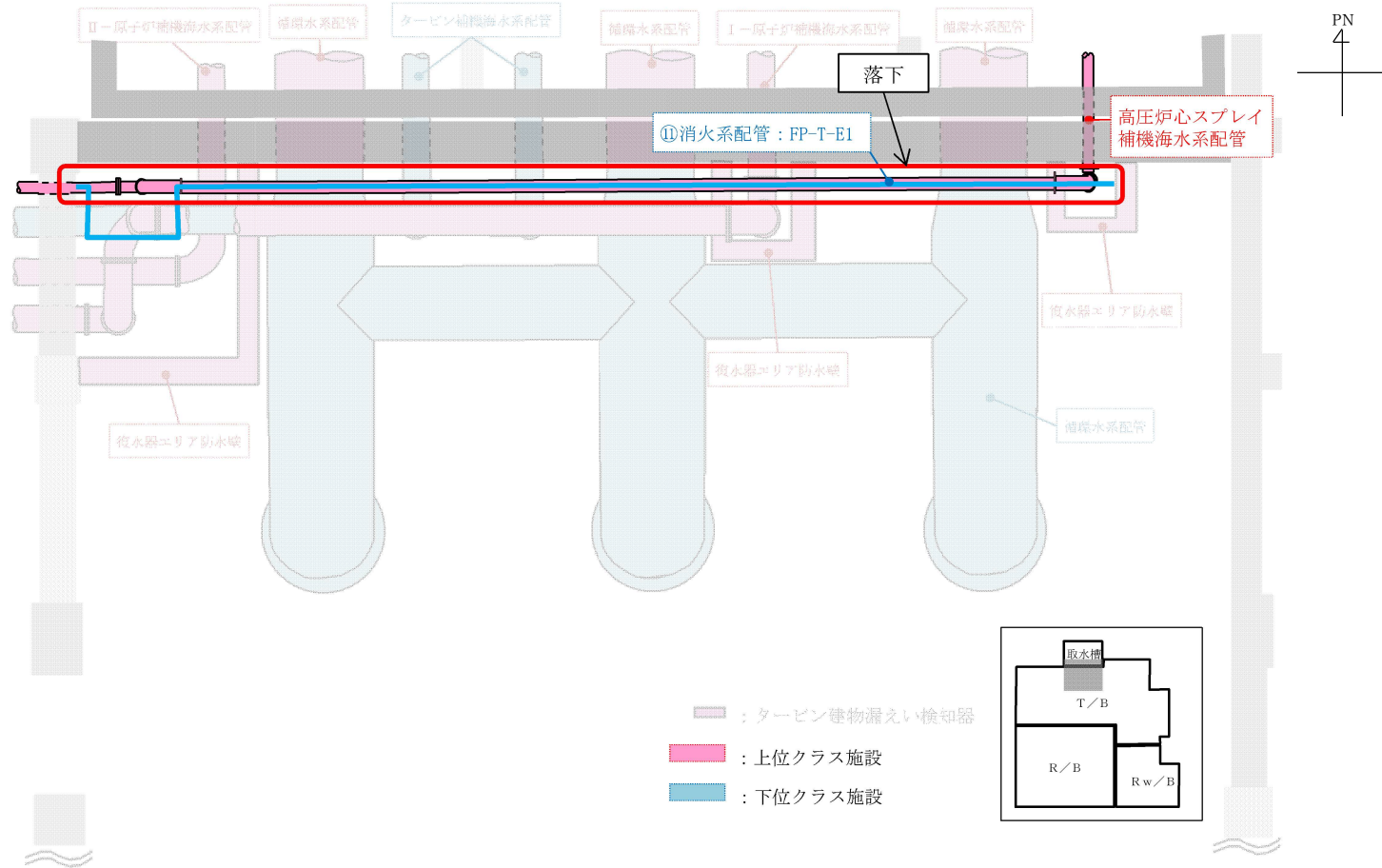


図 2-2-11 配置概要 (消火系配管)

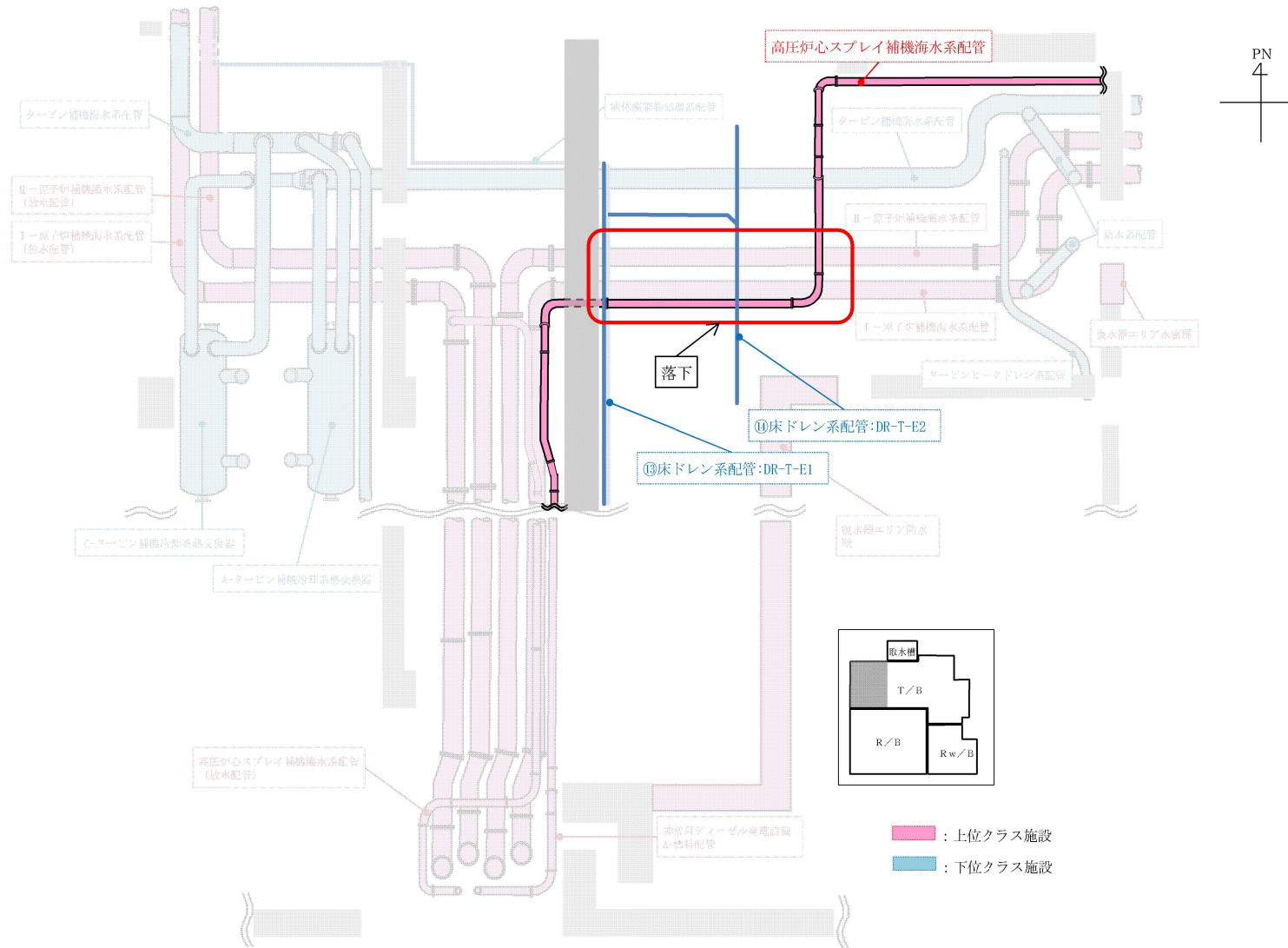

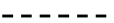


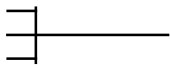
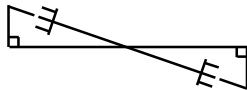
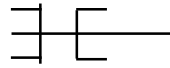
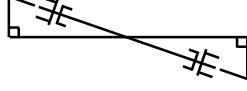

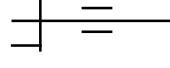
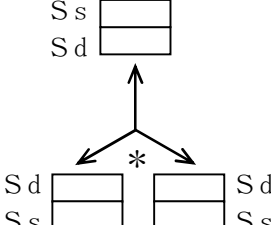
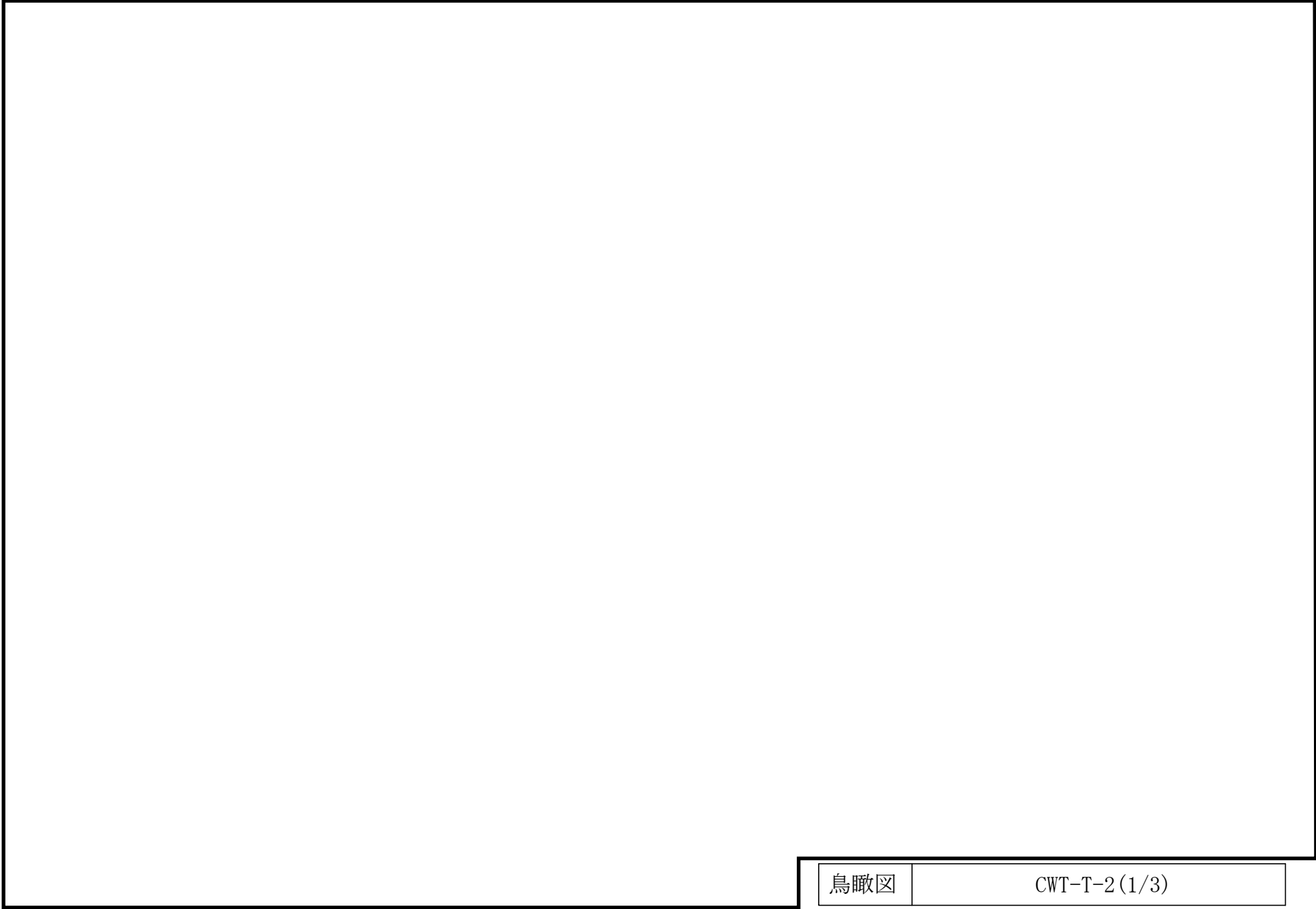


図 2-2-13 配置概要 (床ドレン系配管)

2.2 鳥瞰図

鳥瞰図記号凡例

記号	内容
 (太線)	本計算書に評価結果を記載する管
 (破線)	本計算書に評価結果を記載しない管であって解析モデルの概略を示すために表記する管
	質点
	アンカ
	レストレイント
	レストレイント (斜め拘束の場合)
	スナップ
	スナップ (斜め拘束の場合)
	ハンガ
	リジットハンガ
	<p>拘束点の地震による相対変位量(mm)</p> <p>(*は評価点番号, 矢印は拘束方向を示す。また, 内に変位量を記載する。なお, S s 機能維持の範囲は S s 地震動による変位量のみを記載する。)</p>
	注: 鳥瞰図中の寸法の単位はmmである。



鳥瞰図	CWT-T-2(1/3)
-----	--------------



鳥瞰図	CWT-T-2 (2/3)
-----	---------------



鳥瞰図	CWT-T-2 (3/3)
-----	---------------

3. 計算条件

3.1 計算方法

管の構造強度評価は、VI-2-1-14「機器・配管系の計算書作成の方法 添付資料-6 管の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。解析コードは「H I S A P」又は「M S A P」を使用し、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.2 荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

系統名称	施設分類 ^{*1}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2}	許容応力状態 ^{*3}
循環水系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
タービン補機海水系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
給水系	DB	クラス3管	B	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
タービンヒータドレン系	DB	クラス3管	B	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
復水輸送系	DB	クラス3管	B	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
復水系	DB	クラス3管	B	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
消火系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}
液体廃棄物処理系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}

荷重の組合せ及び許容応力状態

本計算書において考慮する荷重の組合せ及び許容応力状態を下表に示す。

系統名称	施設分類 ^{*1}	機器等の区分	耐震重要度分類	荷重の組合せ ^{*2}	許容応力状態 ^{*3}
床ドレン系	DB	クラス3管	C	$D + P_D + M_D + S_s$	IV_{AS}
				$D + P_{SAD} + M_{SAD} + S_s$	V_{AS}^{*4}

注記*1：DBは設計基準対象施設を示す。

*2：荷重の種類及び荷重の組合せに用いている記号はVI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づく。

*3：許容応力状態 V_{AS} は許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を使用し、許容応力状態 IV_{AS} として評価を実施する。

*4：上位クラス施設の施設分類に応じて、許容応力状態 V_{AS} に対する評価を実施する。

3.3 設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CWT-T-2

管番号	対応する評価点	許容応力状態	最高使用圧力 (MPa)	最高使用温度 (°C)
1	1A~1001, 2~3 4~20	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
2	1002~2	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66
3	7~89A	Ⅲ _A S	—	—
		Ⅳ _A S	1.37	66
		Ⅴ _A S	1.37	66

設計条件

鳥瞰図番号ごとに設計条件に対応した管番号で区分し，管番号と対応する評価点番号を示す。

鳥 瞰 図 CWT-T-2

管番号	対応する評価点	外径 (mm)	厚さ (mm)	材料	耐震 重要度 分類	縦弾性係数 (MPa)
1	1A~1001, 2~3 4~20	165.2	7.1	STPG38	B	200600
2	1002~2	165.2	7.1	STPG370	B	200600
3	7~89A	89.1	5.5	STPG370	B	200600

配管の付加質量

鳥 瞰 図 CWT-T-2

質量	対応する評価点
<input type="checkbox"/>	1A～1001, 1002～3, 4～20
<input type="checkbox"/>	7～89A

弁部の質量

鳥 瞰 図 CWT-T-2

質量	対応する評価点	質量	対応する評価点
	1001~1002		3, 4
	301		302
	304		

弁部の寸法

鳥 瞰 図 CWT-T-2

評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)	評価点	外径(mm)	厚さ(mm)	長さ(mm)
1001~1002				3~301			
301~302				302~303			
303~304				301~4			

支持点及び貫通部ばね定数

鳥 瞰 図 CWT-T-2

支持点番号	各軸方向ばね定数 (N/mm)			各軸回り回転ばね定数 (N・mm/rad)		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1A						
** 303 **						
5						
16						
20						
20						
89A						

3.4 材料及び許容応力

使用する材料の最高使用温度での許容応力を下表に示す。

材 料	最高使用温度 (°C)	許容応力 (MPa)			
		S m	S y	S u	S
STPG38	66	—	189	357	—
STPG370	66	—	189	357	—

3.5 設計用地震力

本計算書において考慮する設計用地震力の算出に用いる設計用床応答スペクトル及び等価繰返し回数を下表に示す。

なお、設計用床応答スペクトルは、VI-2-1-7「設計用床応答スペクトルの作成方針」に基づき設定したものをを用いる。減衰定数は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の減衰定数を用いる。等価繰返し回数は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定したものをを用いる。

鳥瞰図	建物・構築物	標高	減衰定数 (%)	等価繰返し回数	
				S _d	S _s
CWT-T-2	タービン建物				

4. 解析結果及び評価

4.1 固有周期及び設計震度

鳥 瞰 図 CWT-T-2

適用する地震動等		基準地震動 S s		
モード*1	固有周期 (s)	応答水平震度*2		応答鉛直震度*2
		X方向	Z方向	Y方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
29次				
動的震度*3, *4				

注記*1：固有周期が0.050 s 以上のモードを示す。0.020 s 以上0.050 s 未満のモードに対しては、最大応答加速度又はこれを上回る震度を適用する。なお、1次固有周期が0.050s未満である場合は、1次モードのみを示す。

*2：設計用床応答スペクトルⅡ(基準地震動 S s)により得られる震度

*3：設計用震度Ⅱ(基準地震動 S s)

*4：最大応答加速度を1.2倍した震度

各モードに対応する刺激係数

鳥 瞰 図 CWT-T-2

モード	固有周期 (s)	刺激係数*		
		X方向	Y方向	Z方向
1次				
2次				
3次				
4次				
5次				
6次				
7次				
8次				
29次				

注記*：モード質量を正規化するモードベクトルを用いる。

代表的振動モード図

振動モード図は，3次モードまでを代表とし，各質点の変位の相対量・方向を破線で図示し，次頁以降に示す。

代表的振動モード図 (1次)



38

代表的振動モード図 (2次)



代表的振動モード図 (3次)

40

4.2 評価結果

4.2.1 管の応力評価結果

下表に示すとおり最大応力及び疲労累積係数はそれぞれの許容値以下である。

クラス3管

許容応力 状態	最大応力区分(許容応力)	鳥瞰図 番号	最大応力 評価点	応力評価		疲労評価
				計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	疲労累積係数 U S s
IV _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	CWT-T-2	20	170	321	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	CWT-T-2	20	304	378	—
V _A S	一次応力 $S_{p r m}(0.9 \cdot S_u)$	CWT-T-2	20	170	321	—
	一次+二次応力 $S_n(2 \cdot S_y)$	CWT-T-2	20	304	378	—

4.2.2 支持構造物評価結果

下表に示すとおり計算応力及び計算荷重はそれぞれの許容値以下である。

支持構造物評価結果（荷重評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	評価結果		
					計算荷重 (kN)	許容荷重 (kN)	
						一次評価*1	二次評価*2
—	メカニカルスナッパ	—	VI-2-1-12「配 管及び支持構造 物の耐震計算に ついて」参照	—	—	—	
SNO-CW-1200	オイルスナッパ	SN-25		354	375	—	
RE-TSW-MH0005	ロッドレストレイント	RSA60		560	1080	—	
—	スプリングハンガ	—		—	—		
—	コンスタントハンガ	—		—	—		
—	リジットハンガ	—		—	—		

注記*1：あらかじめ設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価

*2：計算荷重があらかじめ設定した設計上の基準値を超過した箇所に対して、J E A G 4 6 0 1 に定める許容限界を満足する範囲内で新たに設定した設計上の基準値を許容荷重として実施する評価。なお、一次評価を満足する場合は「—」と記載する。

支持構造物評価結果（応力評価）

支持構造物 番号	種類	型式	材質	温度 (°C)	支持点荷重						評価結果		
					反力 (kN)			モーメント (kN・m)			応力 分類	計算 応力 (MPa)	許容 応力 (MPa)
					F _x	F _y	F _z	M _x	M _y	M _z			
RE-TSW-MH0006	レストレイント	Uボルト	SCM435	40	—	120	490	—	—	—	せん断	241	375
AN-TSW-MH0003	アンカ	ラグ	SM400A	40	390	54	33	9.4	14	47	組合せ	84	161

4.2.3 代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態IV _A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積 係数	代表
1	CSW-T-H1	6	190	360	1.89	—	6	303	470	1.55	—	—
2	TSW-T-1	812	106	360	3.39	—	812	167	490	2.93	—	—
3	TSW-T-2	16	45	360	8.00	—	16	41	490	11.95	—	—
4	TSW-Y-1	609	171	360	2.10	—	609	364	490	1.34	—	—
5	FW-T-4	47N	119	382	3.21	—	47N	128	458	3.57	—	—
6	THD-T-17	12	108	363	3.36	—	12	251	410	1.63	—	—
7	CWT-T-1-2	7	118	252	2.13	—	7	172	280	1.62	—	—
8	CWT-T-2	20	170	321	1.88	○	20	304	378	1.24	—	○
9	CW-T-10	1N	171	386	2.25	—	1N	292	464	1.58	—	—
10	FW-T-3	351	184	382	2.07	—	351	242	458	1.89	—	—
11	FP-T-E1	48Z	153	321	2.09	—	48Z	297	378	1.27	—	—
12	RWL-T-1	146	183	366	2.00	—	142	308	462	1.50	—	—
13	DR-T-E1	26	143	310	2.16	—	26	278	346	1.24	—	—
14	DR-T-E2	16	153	310	2.02	—	16	266	346	1.30	—	—

代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果

代表モデルは各モデルの最大応力点の応力と裕度を算出し、応力分類ごとに裕度最小のモデルを選定して鳥瞰図、計算条件及び評価結果を記載している。下表に、代表モデルの選定結果及び全モデルの評価結果を示す。

クラス3管

No	鳥瞰図番号	許容応力状態 V A S										
		一次応力評価					一次+二次応力評価					
		評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	代表	評価点	計算応力 (MPa)	許容応力 (MPa)	裕度	疲労累積係数	代表
1	TSW-T-1	812	106	360	3.39	—	812	167	490	2.93	—	—
2	TSW-T-2	16	45	360	8.00	—	16	41	490	11.95	—	—
3	TSW-Y-1	609	171	360	2.10	—	609	364	490	1.34	—	—
4	FW-T-4	47N	119	382	3.21	—	47N	128	458	3.57	—	—
5	THD-T-17	12	108	363	3.36	—	12	251	410	1.63	—	—
6	CWT-T-1-2	7	118	252	2.13	—	7	172	280	1.62	—	—
7	CWT-T-2	20	170	321	1.88	○	20	304	378	1.24	—	○
8	CW-T-10	1N	171	386	2.25	—	1N	292	464	1.58	—	—
9	FW-T-3	351	184	382	2.07	—	351	242	458	1.89	—	—
10	FP-T-E1	48Z	153	321	2.09	—	48Z	297	378	1.27	—	—
11	RWL-T-1	146	183	366	2.00	—	142	308	462	1.50	—	—
12	DR-T-E1	26	143	310	2.16	—	26	278	346	1.24	—	—
13	DR-T-E2	16	153	310	2.02	—	16	266	346	1.30	—	—

VI-2-11-2-13 仮設耐震構台の耐震性についての計算書

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用規格・基準等	8
3. 評価方法	9
3.1 評価対象部位及び評価方針	9
3.2 評価対象断面	11
3.3 解析方法	13
3.3.1 地盤物性	13
3.3.2 減衰定数	14
3.3.3 地震応答解析の解析ケースの選定	15
3.4 荷重及び荷重の組合せ	16
3.4.1 荷重	16
3.4.2 荷重の組合せ	16
3.5 許容限界	17
3.5.1 評価対象部位の曲げ軸力に対する許容限界	18
3.5.2 評価対象部位のせん断力に対する許容限界	20
3.5.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	20
3.5.4 構造物間の相対変位に対する許容限界	20
3.6 入力地震動	21
3.7 解析モデル	34
3.7.1 解析モデル	34
3.7.2 使用材料及び材料の物性値	36
3.7.3 地盤の物性値	36
3.7.4 地下水位	36
4. 評価方法	37
4.1 施設の損傷、転倒及び落下等による影響評価方法	37
4.1.1 構造部材の健全性に対する評価方法	37
4.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法	37
4.2 構造物間の相対変位による影響評価方法	37
4.2.1 相対変位による評価方法	37

5. 評価結果	38
5.1 施設の損傷，転倒及び落下等による影響評価結果	38
5.1.1 構造部材の健全性に対する評価結果	38
5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	39
5.2 構造物間の相対変位による影響評価結果	40
5.2.1 相対変位による評価結果	40

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、仮設耐震構台が上位クラス施設である2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は、上位クラス施設の有する機能が保持されることを確認するために、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析を行い、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、仮設耐震構台の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を、構造物間の相対変位による影響では、2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

仮設耐震構台の位置を図 2-1 に示す。

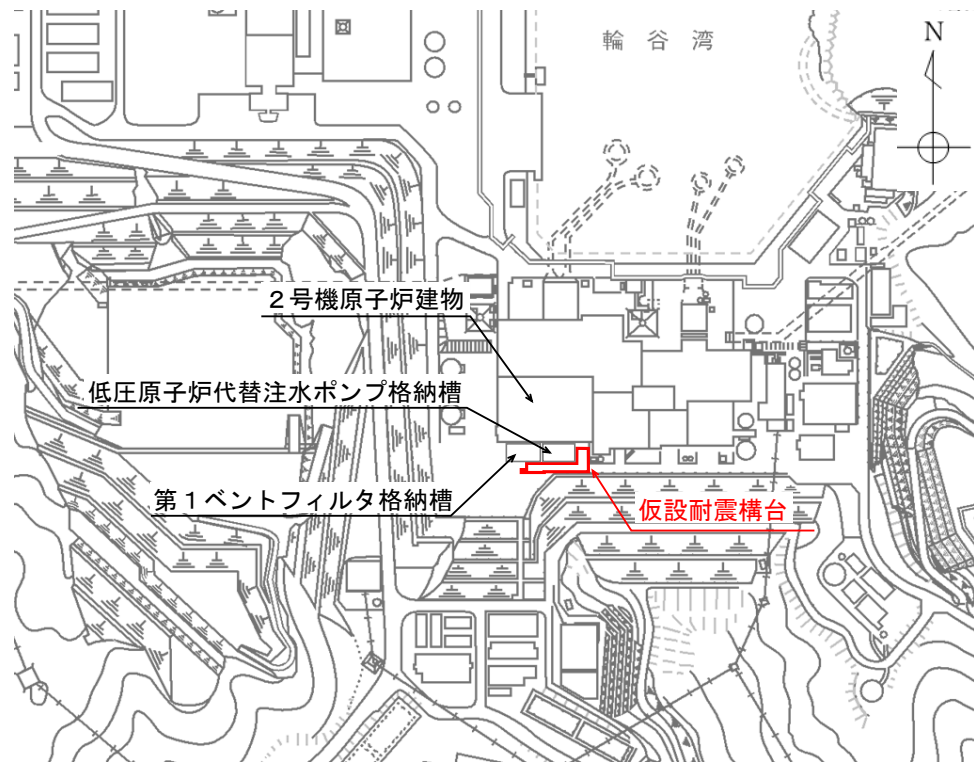


図 2-1 仮設耐震構台の設置位置

2.2 構造概要

仮設耐震構台の平面規模は、長辺方向で約 65m、短辺方向で約 8m であり、主桁、桁受、受桁、水平材、斜材及び支持杭により構成され、上部に覆工板による床面を有する鉄骨造構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

仮設耐震構台の概略平面図を図 2-2 に、仮設耐震構台の概略断面図を図 2-3 に、仮設耐震構台と各上位クラス施設との離隔距離一覧を表 2-1 に示す。

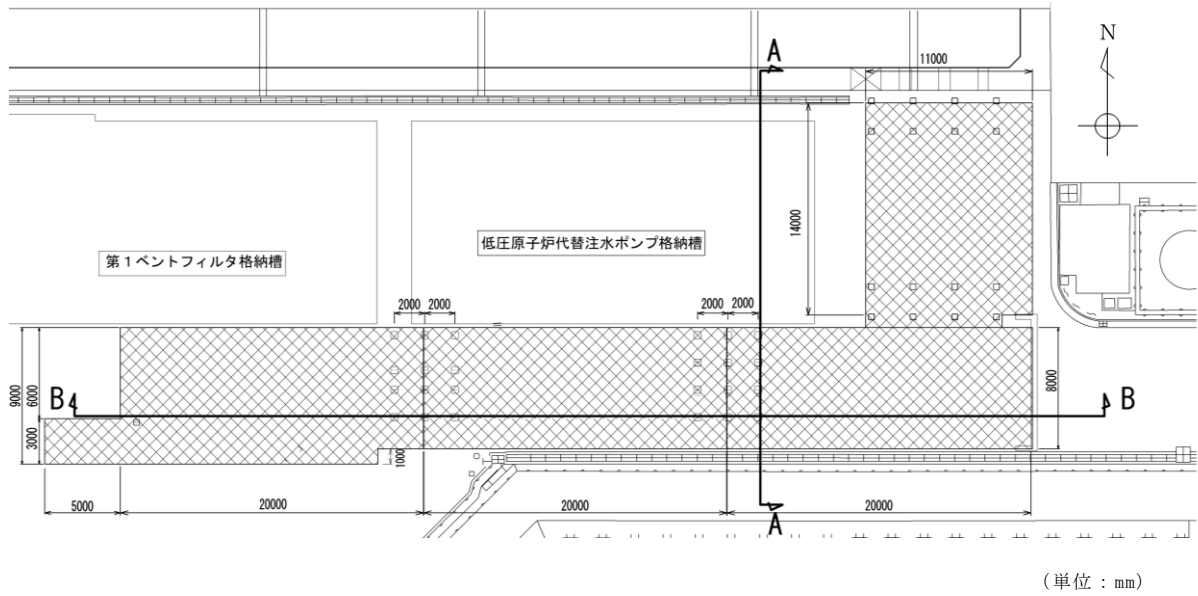
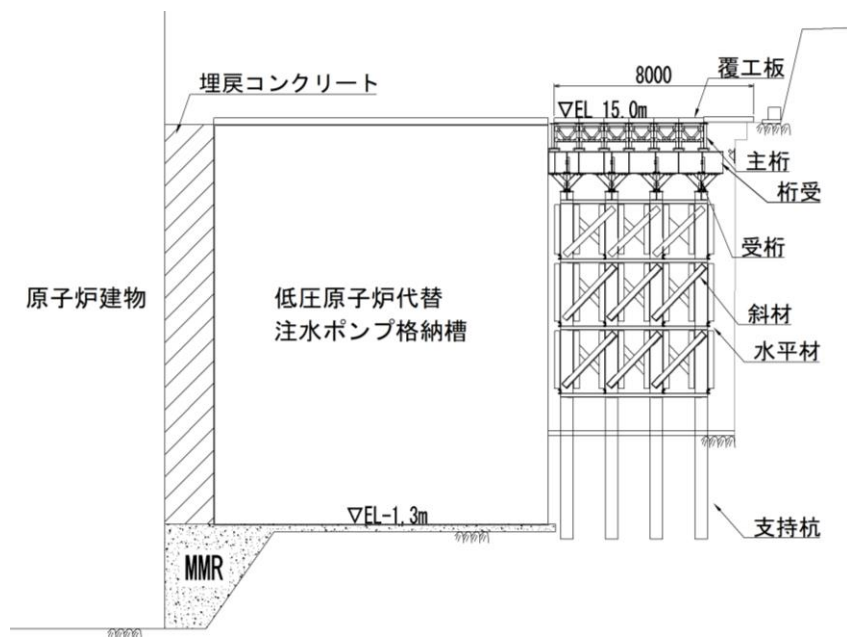
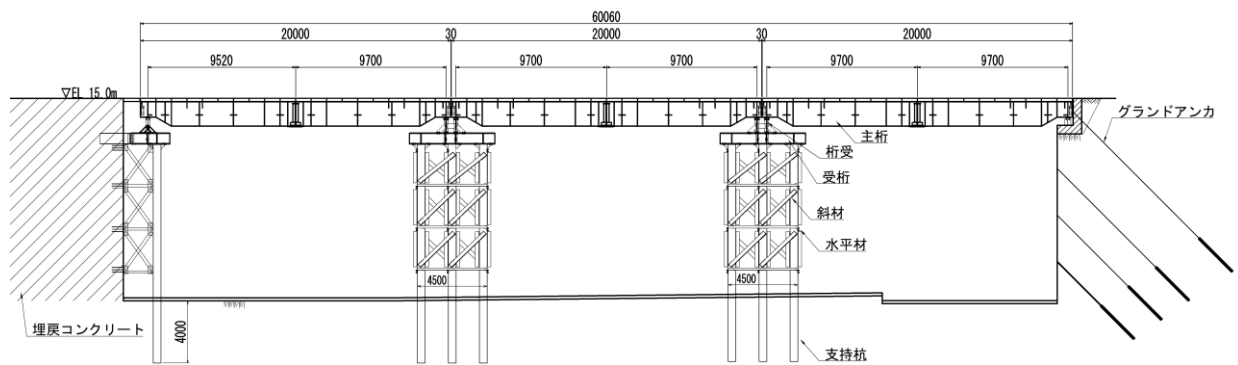


図 2-2 仮設耐震構台の概略平面図



(単位：mm)

(A-A断面)



(単位：mm)

(B-B断面)

図 2-3 仮設耐震構台の概略断面図

表 2-1 仮設耐震構台と各上位クラス施設との離隔距離一覧

	離隔距離 (mm)
仮設耐震構台と 2 号機原子炉建物	200
仮設耐震構台と第 1 ベントフィルタ格納槽	95
仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	50

2.3 評価方針

仮設耐震構台の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価を行う。仮設耐震構台の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷、転倒及び落下等による影響では、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

構造物間の相対変位による影響では、2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽のうち、橋軸直交方向で仮設耐震構台との離隔距離が最小となる低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽を対象とし、相対変位による評価を行うことで、衝突の有無の確認を行う。

この相対変位による評価では、仮設耐震構台の最大応答変位に加えて、VI-2-2-32「低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。

波及的影響の評価フローを図2-4に示す。

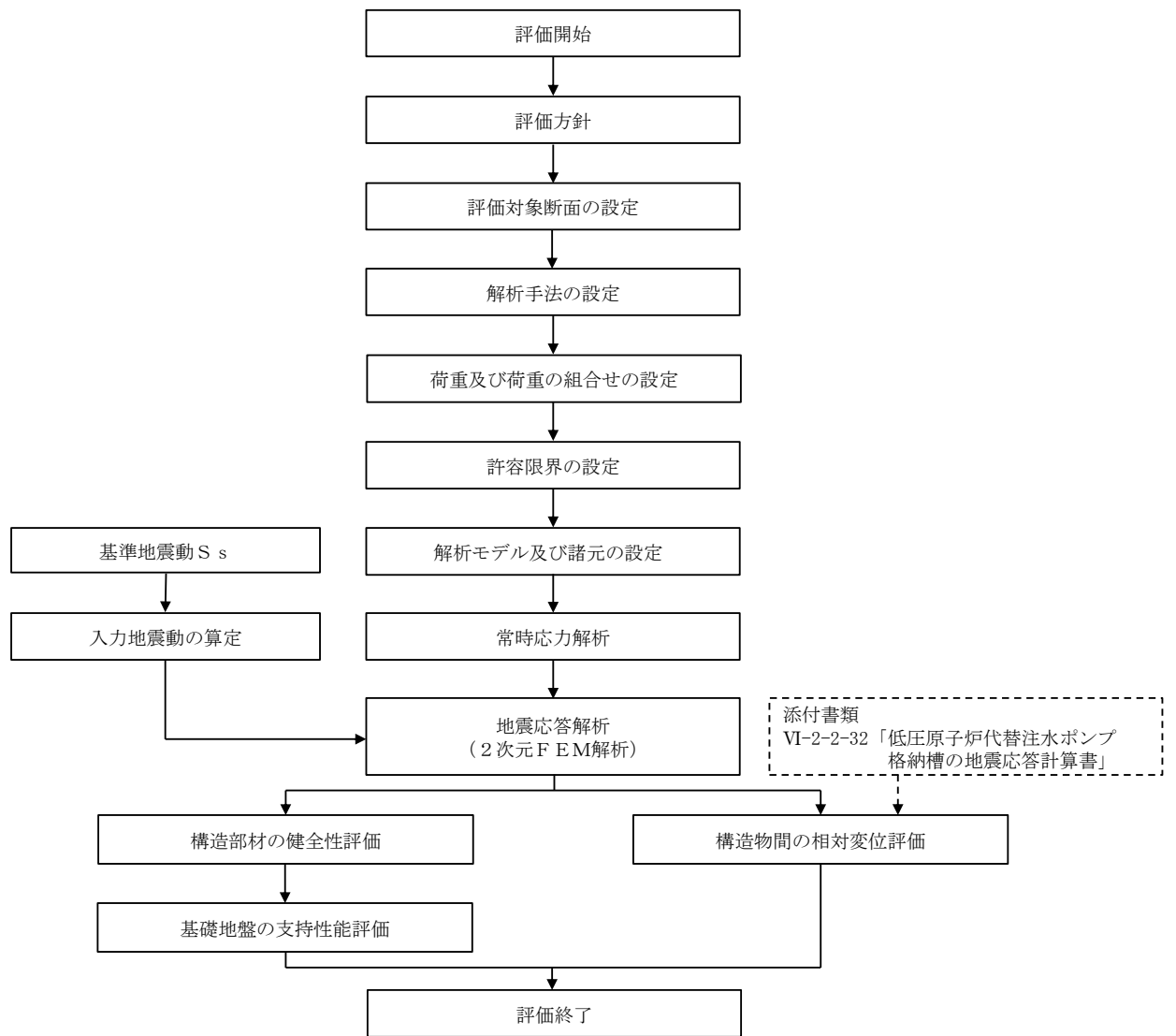


図 2-4 仮設耐震構台の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 平成 24 年 3 月（日本道路協会）
- ・道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成 24 年 3 月（日本道路協会）
- ・コンクリート標準示方書 [構造性能照査編]（土木学会 2002 年制定）
- ・コンクリート標準示方書 [設計編]（土木学会，2017 年制定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社団法人 日本電気協会 電気技術基準調査委員会）

3. 評価方法

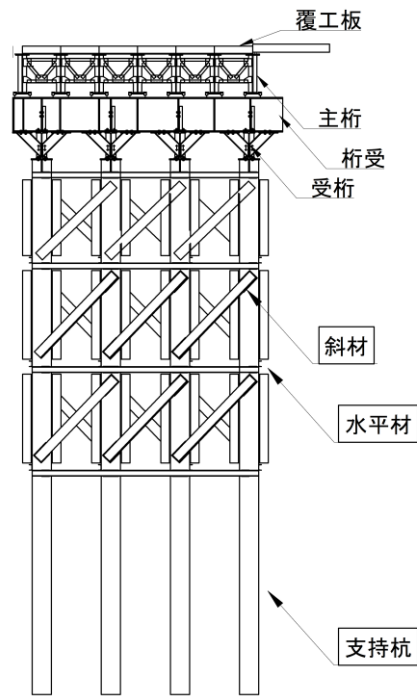
3.1 評価対象部位及び評価方針

仮設耐震構台の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

構造部材の健全性評価では、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法による地震応答解析結果により求められる評価対象部位の曲げ軸力及びせん断力が、「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成24年3月（日本道路協会）」により設定した許容限界を超えないことを確認する。評価対象部位は、水平材、斜材及び支持杭とする。なお、主桁、桁受及び受桁は、主桁間がスパン長の短い横構及び対傾構によりトラス構造となっていること、及び受桁と桁受間がスパン長の短い斜材に支える鋼材によりトラス構造となっていることから、評価対象部位と比較し、十分に剛な構造とみなすことができるため、評価対象部位としない。仮設耐震構台の構造部材を図3-1に示す。

基礎地盤の支持性能評価では、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法による地震応答解析結果により求められる発生する応力（接地圧）が、仮設耐震構台の設置地盤における許容限界を超えないことを確認する。

2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽、及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽との相対変位による評価では、仮設耐震構台との離隔距離が最小となる低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽を対象とし、構造物の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と構造物間の離隔距離の大小関係により、衝突の有無を確認する。



: 評価対象部位

図 3-1 仮設耐震構台の構造部材

3.2 評価対象断面

仮設耐震構台のうち，波及的影響を及ぼす恐れのある範囲から，評価対象断面を選定する。仮設耐震構台の評価対象断面位置図を図3-2に示す。

評価対象断面は，施設の損傷，転倒及び落下等の観点から上位クラス施設に隣接しており，仮設耐震構台の橋軸直交方向である，南北方向を選定する。また，上位クラス施設との離隔距離が最小となる低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽位置における断面を選定する。

仮設耐震構台の評価対象断面図を図3-3に示す。

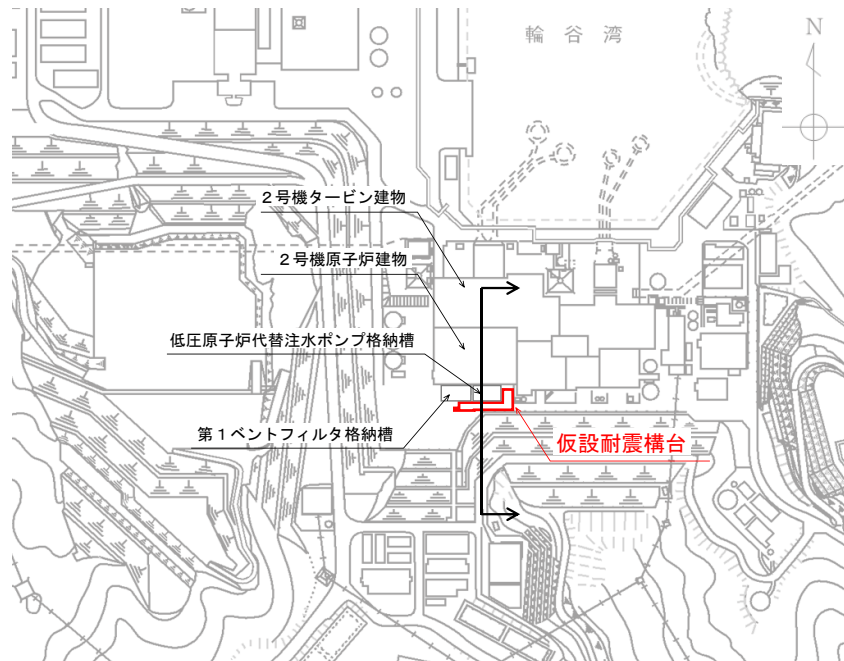


図3-2 仮設耐震構台の評価対象断面位置図

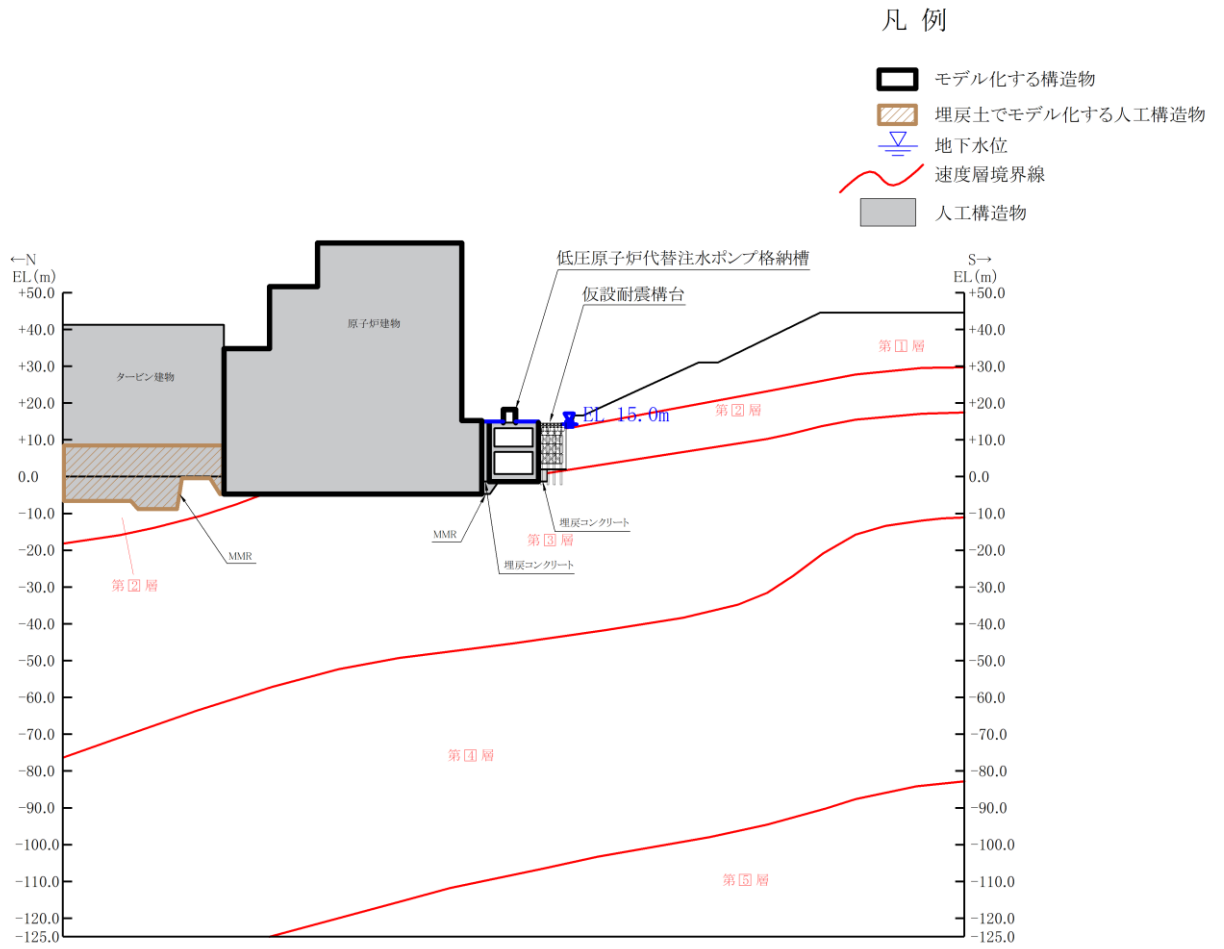


図 3-3 評価対象断面図（南北方向（A-A断面））

3.3 解析方法

地震応答解析は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析を行う。仮設耐震構台周辺の設計地下水位は仮設耐震構台の支持杭下端より高いが仮設耐震構台周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないため、解析手法は全応力解析とする。

地震応答解析には、解析コード「TDAP」を使用する。

なお、解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.1 地盤物性

地震応答解析に用いる埋戻土及び岩盤の物性は、平均物性を用いる。解析ケースを表3-1に示す。

表3-1 解析ケース

解析ケース	埋戻土	岩盤
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値

3.3.2 減衰定数

構造部材の減衰定数は、粘性減衰で考慮する。

粘性減衰は、固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。固有値解析結果に基づき設定した α 、 β を表 3-2 に示す。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α 、 β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α 、 β の設定結果

α	β
6.5071×10^{-1}	1.1093×10^{-3}

3.3.3 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。耐震評価における解析ケースを表 3-3 に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
	$S_s - F 1$	++*	○
	$S_s - F 2$	++*	○
	$S_s - N 1$	++*	○
	$S_s - N 2$ (NS)	++*	○
	$S_s - N 2$ (EW)	++*	○

注記*：地震動の位相について、左側は水平動、右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

3.4 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.4.1 荷重

仮設耐震構台の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積雪荷重 (P_s)

積雪荷重として、発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については、松江市建築基準法施行細則により、積雪量1cmごとに 20N/m^2 の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 風荷重 (P_k)

仮設耐震構台は、近傍に2号機原子炉建物、第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽が設置されており、地表面より下に設置されていることから、風荷重を考慮しない。

(4) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.4.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-4に示す。

表3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P_s + S_s$

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

S_s : 地震荷重 (基準地震動 S_s)

3.5 許容限界

仮設耐震構台の2号機原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に対する波及的影響の評価における許容限界は，VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき設定する。

仮設耐震構台の波及的影響の評価における許容限界を表3-5に示す。

表3-5 仮設耐震構台の波及的影響の評価における許容限界

機能設計上の性能目標	地震力	部位	機能維持のための考え方	許容限界
2号機原子炉建物，第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に波及的影響を及ぼさない	基準地震動 S _s	水平材，斜材及び支持杭	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容曲げ圧縮応力度別途算出* ¹ 短期許容せん断応力度* ² 120N/mm ²
		基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を超えないことを確認	極限支持力度* ³ 9.8N/mm ²
		仮設耐震構台及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽	構造物間の最大相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	離隔距離 50mm

注記*1：「3.5.1 評価対象部位の曲げ軸力に対する許容限界」に示す。

*2：道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋編 平成24年3月（日本道路協会）

*3：VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」

3.5.1 評価対象部位の曲げ軸力に対する許容限界

評価対象部位（水平材，斜材及び支持杭）の曲げ軸力に対する許容限界は，「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成 24 年 3 月（日本道路協会）」に基づき，以下の式にて算出する。

(1) 軸方向力が引張の場合

$$\sigma_t + \sigma_{bty} + \sigma_{btz} \leq \sigma_{ta} \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

$$-\frac{\sigma_t}{\sigma_{ta}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao}} \leq 1 \quad \dots \dots \dots (3.2)$$

$$-\sigma_t + \sigma_{bcy} + \sigma_{bcz} \leq \sigma_{cal} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

(2) 軸方向力が圧縮の場合

$$\frac{\sigma_c}{\sigma_{caz}} + \frac{\sigma_{bcy}}{\sigma_{bagy}\alpha_y} + \frac{\sigma_{bcz}}{\sigma_{bao}\alpha_z} \leq 1 \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

$$\sigma_c + \frac{\sigma_{bcy}}{\alpha_y} + \frac{\sigma_{bcz}}{\alpha_z} \leq \sigma_{cal} \quad \dots \dots \dots (3.5)$$

- σ_t, σ_c : それぞれ照査する断面に作用する軸方向力による引張及び圧縮応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{bty}, \sigma_{btz}$: それぞれ強軸及び弱軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ引張応力度 (N/mm²)
- $\sigma_{bcy}, \sigma_{bcz}$: それぞれ強軸及び弱軸まわりに作用する曲げモーメントによる曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{ta} : 許容軸方向引張応力度 (N/mm²)
- σ_{caz} : 弱軸まわりの許容軸方向圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{bagy} : 局部座屈を考慮しない強軸まわりの許容曲げ圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_{bao} : 局部座屈を考慮しない許容曲げ圧縮応力度の上限値 (N/mm²)
- σ_{cal} : 局部座屈に対する許容応力度 (N/mm²)

α_y, α_z : それぞれ強軸及び弱軸まわりの付加曲げモーメントの影響を考慮するための係数。ただし、有限変位理論によって断面力を算出する場合には 1 とする。

$$\alpha_y = 1 - \frac{\sigma_c}{0.8\sigma_{ey}}$$

$$\alpha_z = 1 - \frac{\sigma_c}{0.8\sigma_{ez}}$$

σ_{ey}, σ_{ez} : それぞれ強軸及び弱軸まわりのオイラー座屈応力度 (N/mm²)

$$\sigma_{ey} = \pi^2 E / (l/\gamma_y)^2$$

$$\sigma_{ez} = \pi^2 E / (l/\gamma_z)^2$$

l : 有効座屈長 (mm)

γ_y, γ_z : それぞれ強軸及び弱軸まわりの断面二次半径 (mm)

E : 鋼材のヤング係数 (N/mm²)

3.5.2 評価対象部位のせん断力に対する許容限界

評価対象部位（水平材，斜材及び支持杭）のせん断力に対する許容限界は，「道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成 24 年 3 月（日本道路協会）」に基づき設定する。

評価対象部位（水平材，斜材及び支持杭）のせん断力に対する許容限界を表 3-6 に示す。

表 3-6 評価対象部位（水平材，斜材及び支持杭）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度	120

3.5.3 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき，岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-7 に示す。

表 3-7 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

3.5.4 構造物間の相対変位に対する許容限界

構造物間の相対変位に対する許容限界は，仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の離隔距離とする。

構造物間の相対変位に対する許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 構造物間の相対変位に対する許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
構造物間の離隔距離 (仮設耐震構台と低圧原子炉 代替注水ポンプ格納槽)	50

3.6 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

入力地震動算定の概念図を図3-4に、入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを図3-5～図3-16に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」及び「microSHAKE/3D」を使用する。

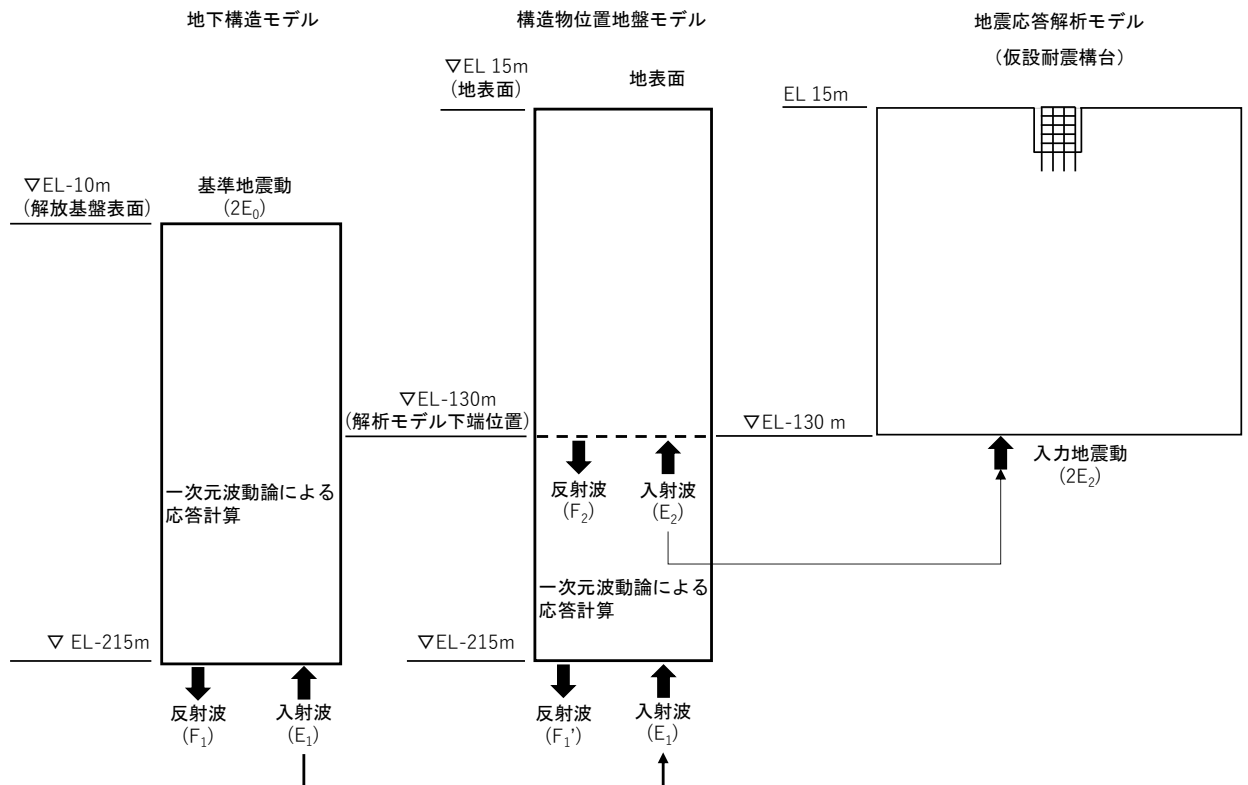
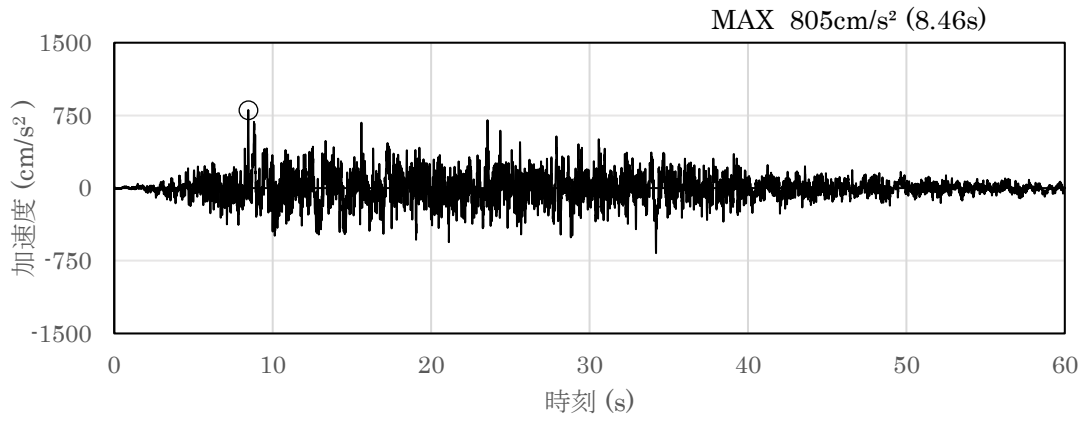
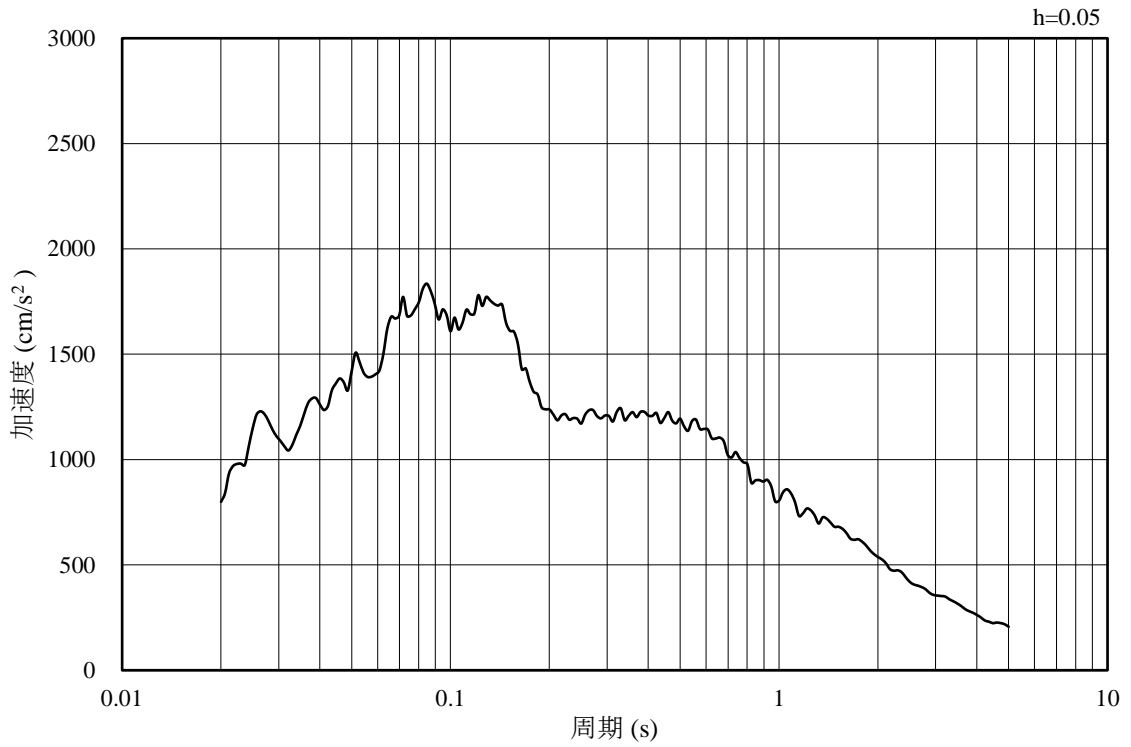


図3-4 入力地震動算定の概念図

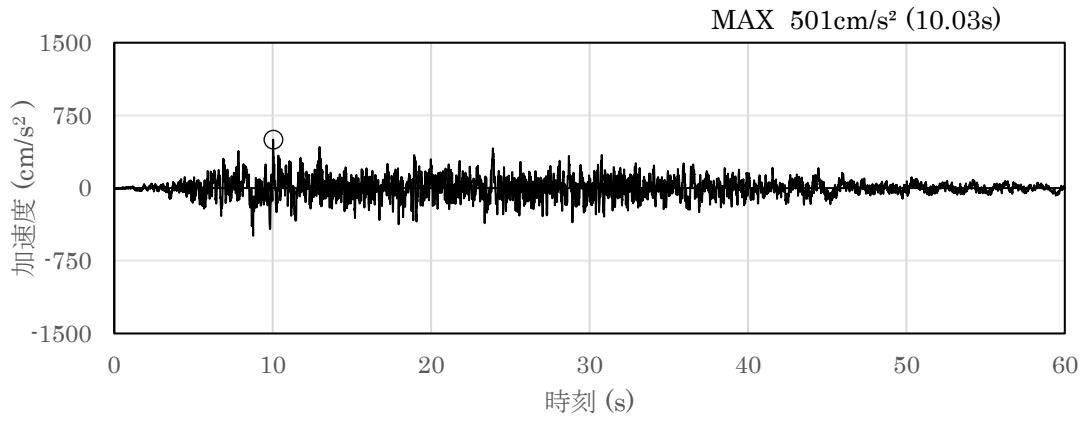


(a) 加速度時刻歴波形

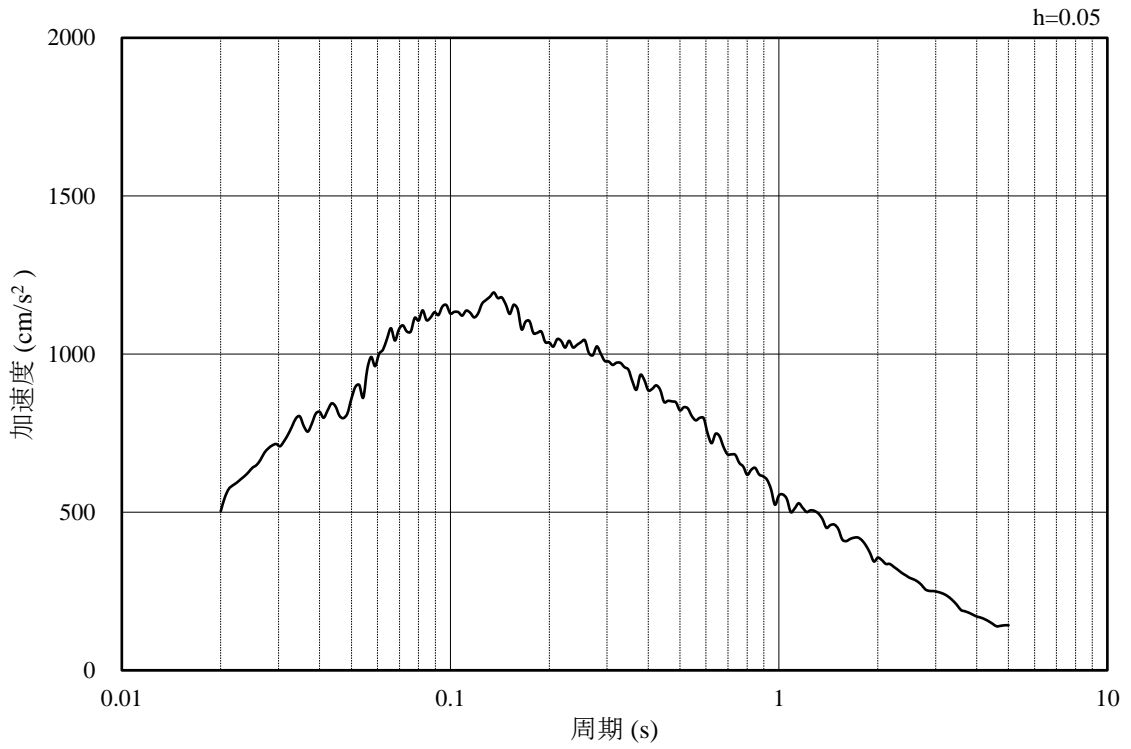


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 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
(水平成分：S s - D)

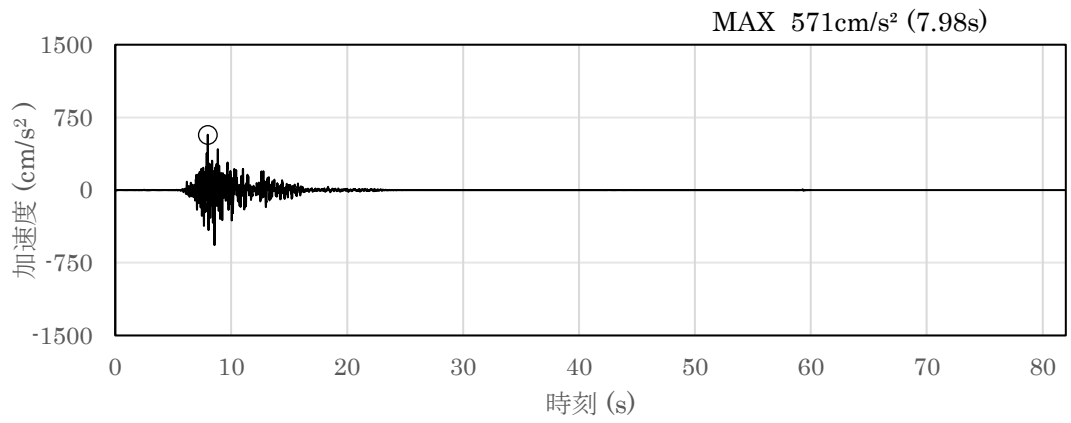


(a) 加速度時刻歴波形

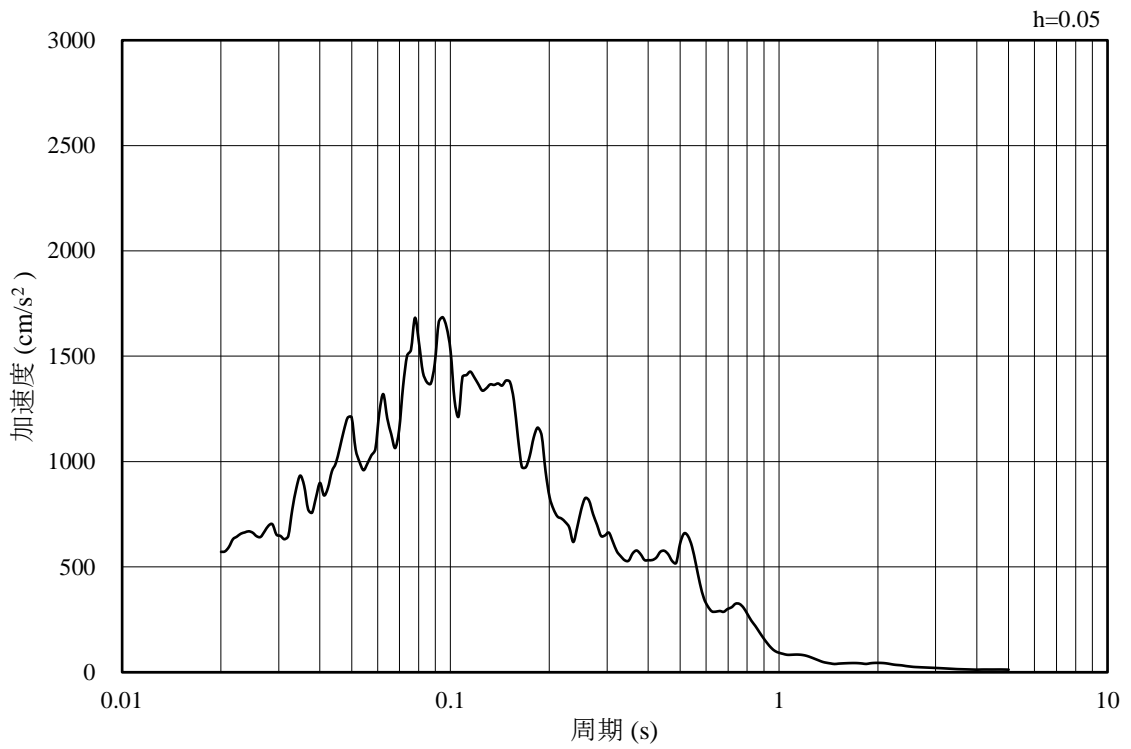


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 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
(鉛直成分：S s - D)

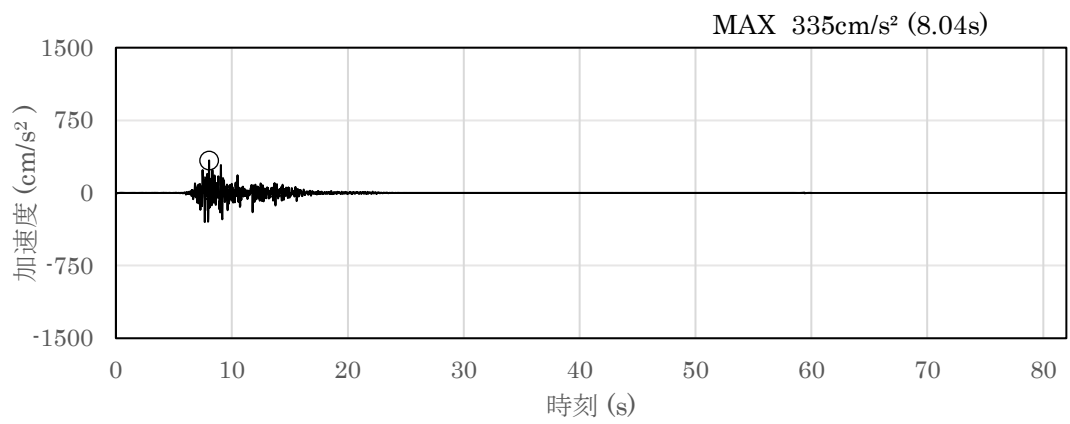


(a) 加速度時刻歴波形

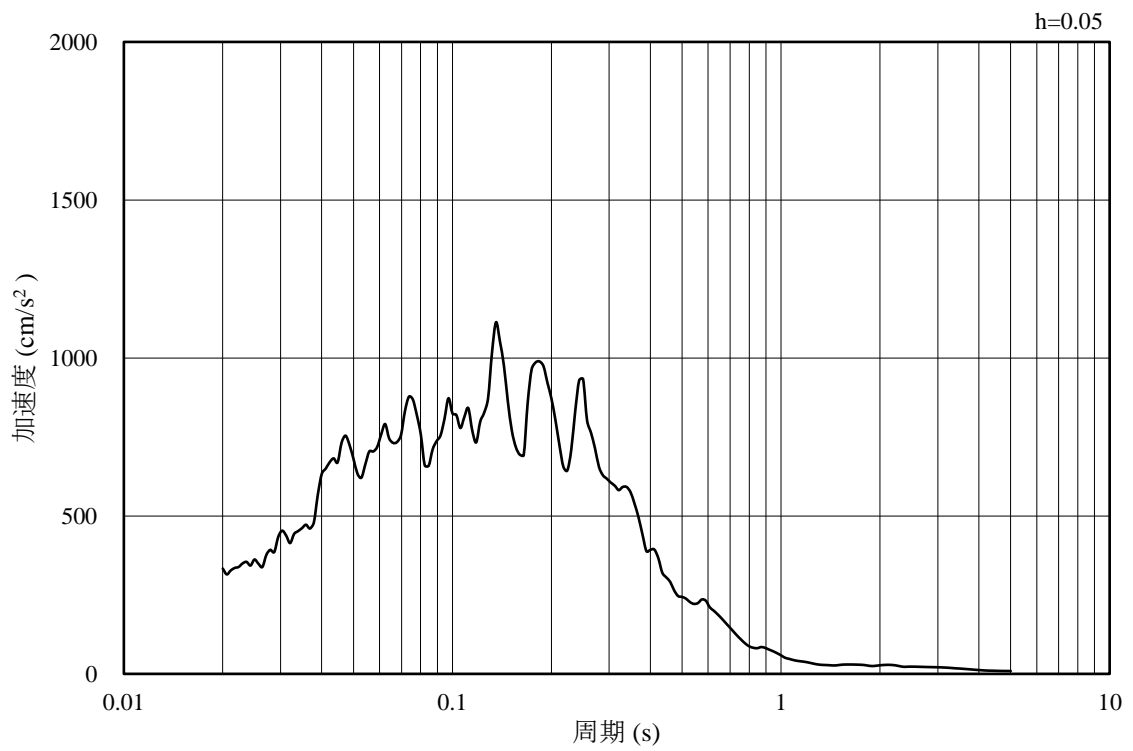


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 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
(水平成分：S s - F 1)

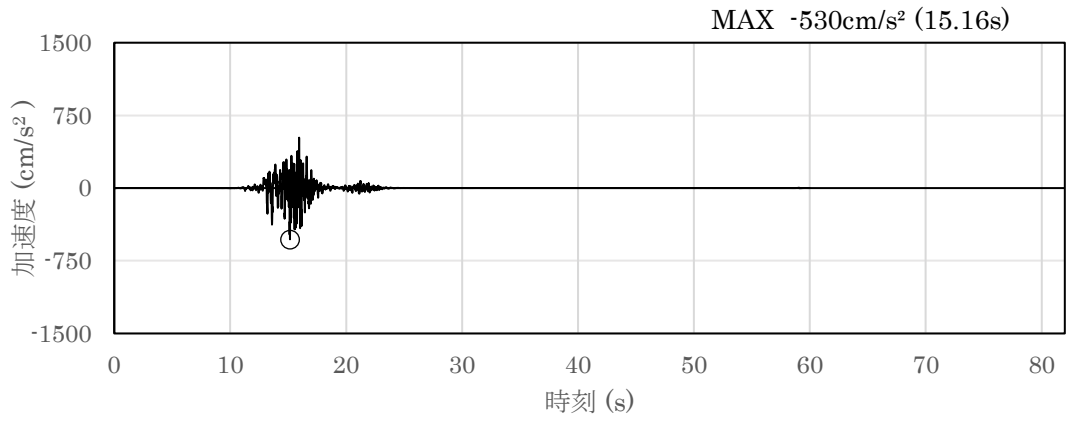


(a) 加速度時刻歴波形

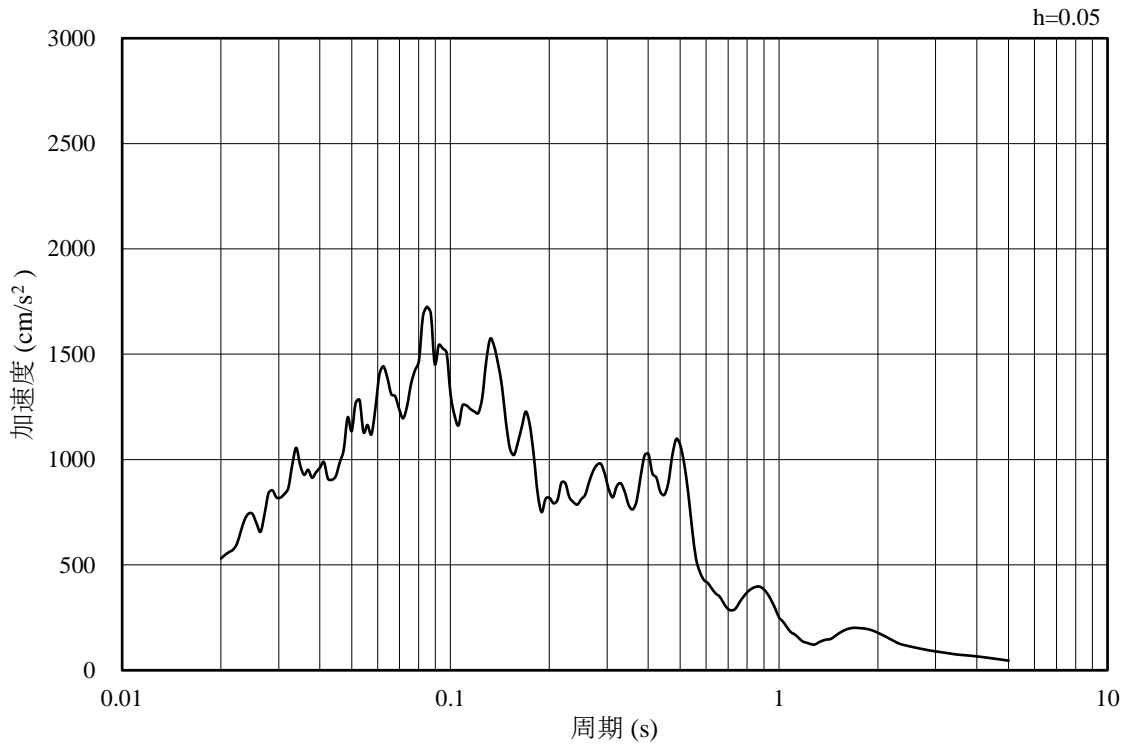


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 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
(鉛直成分：S s - F 1)

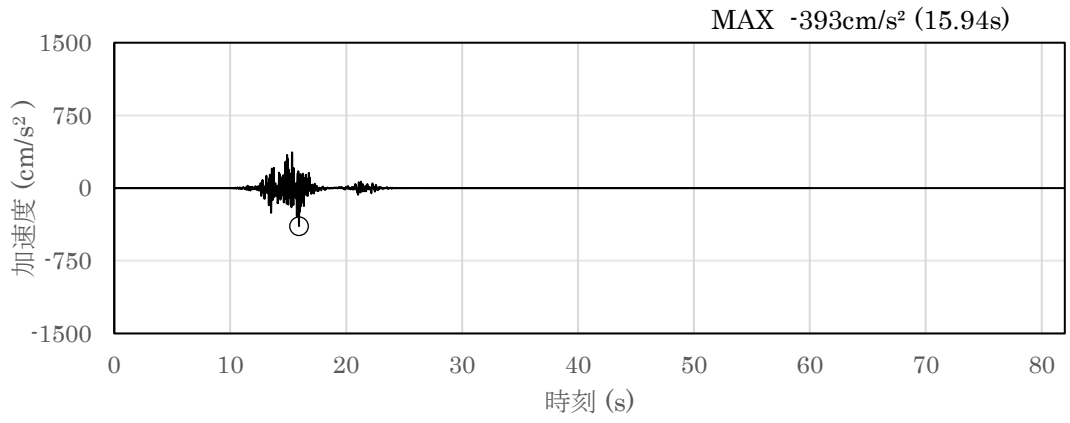


(a) 加速度時刻歴波形

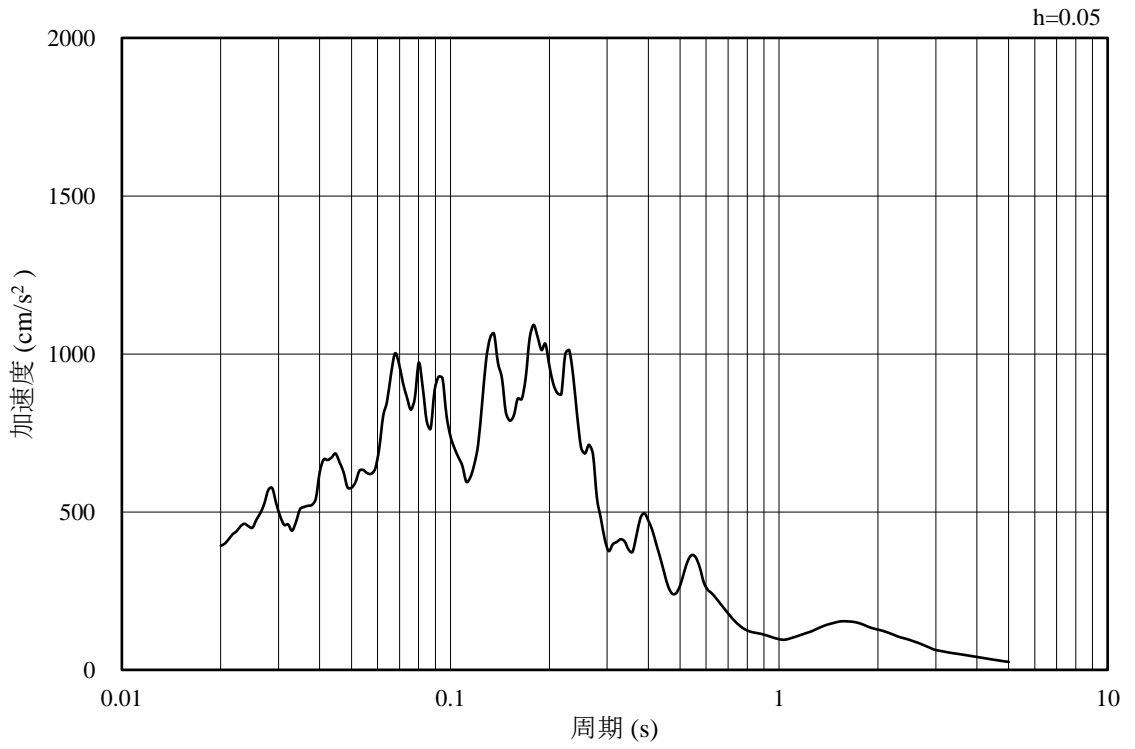


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-9 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
(水平成分 : S s - F 2)

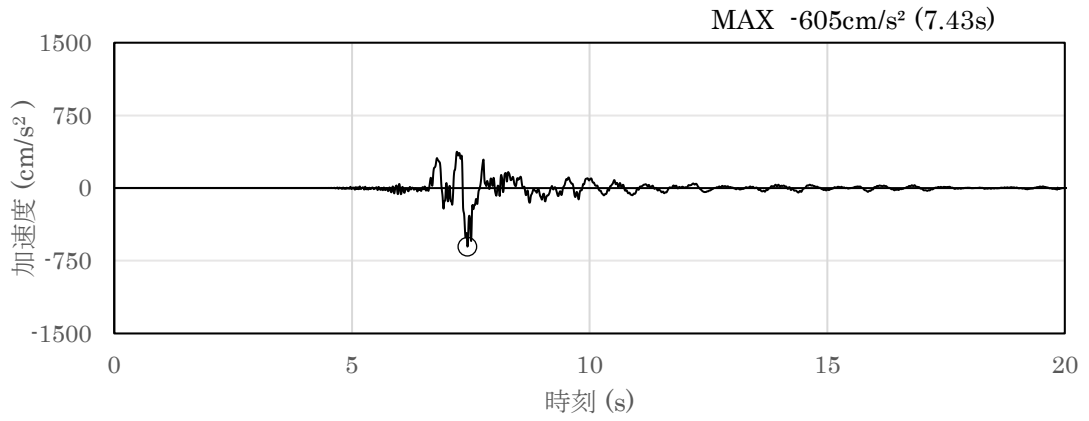


(a) 加速度時刻歴波形

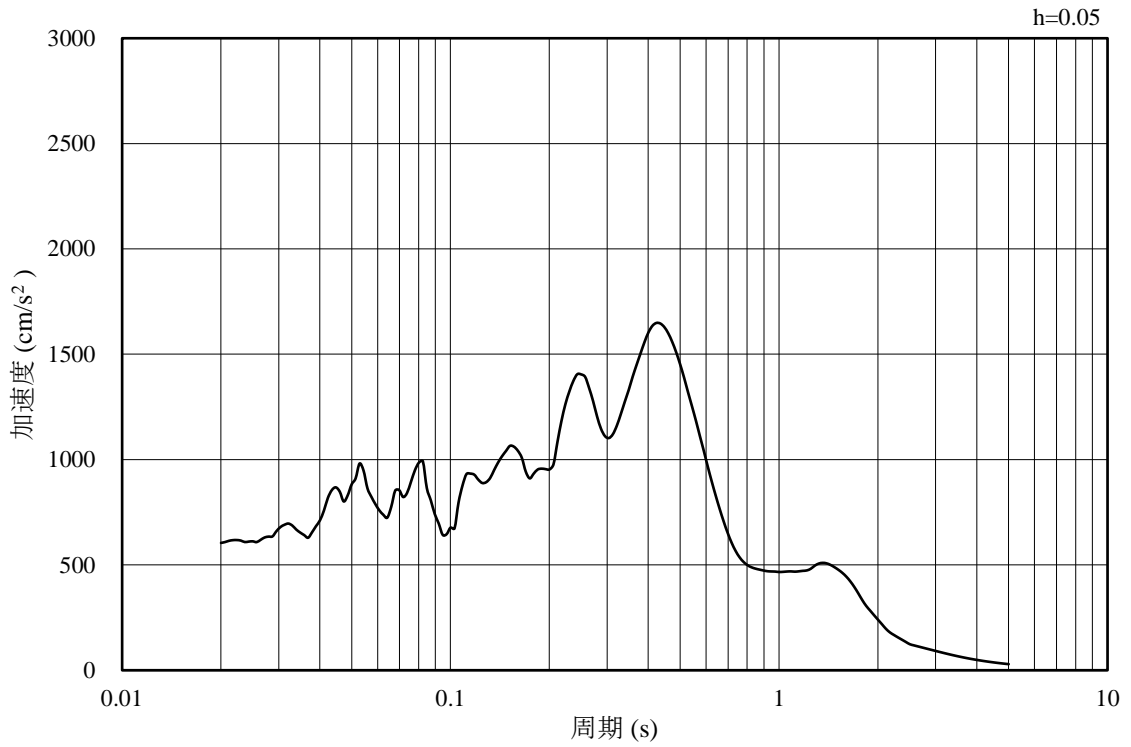


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-10 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
(鉛直成分：S s - F 2)

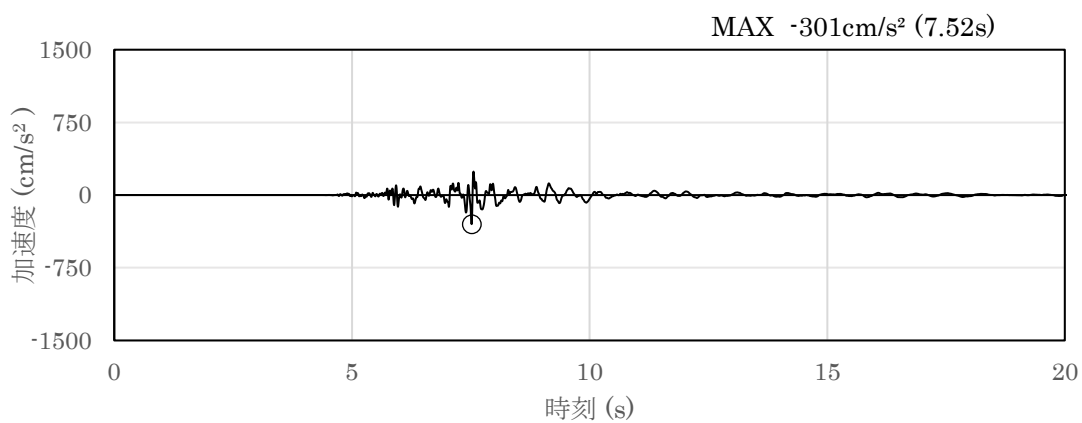


(a) 加速度時刻歴波形

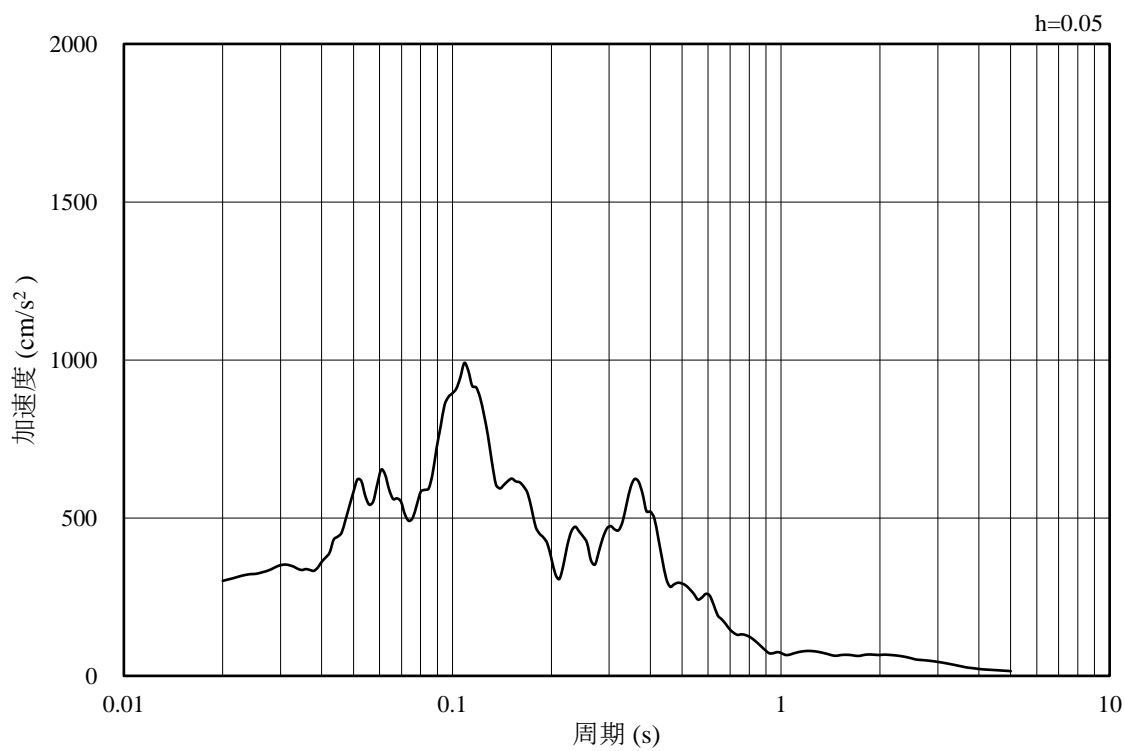


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-11 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
(水平成分 : S s - N 1)

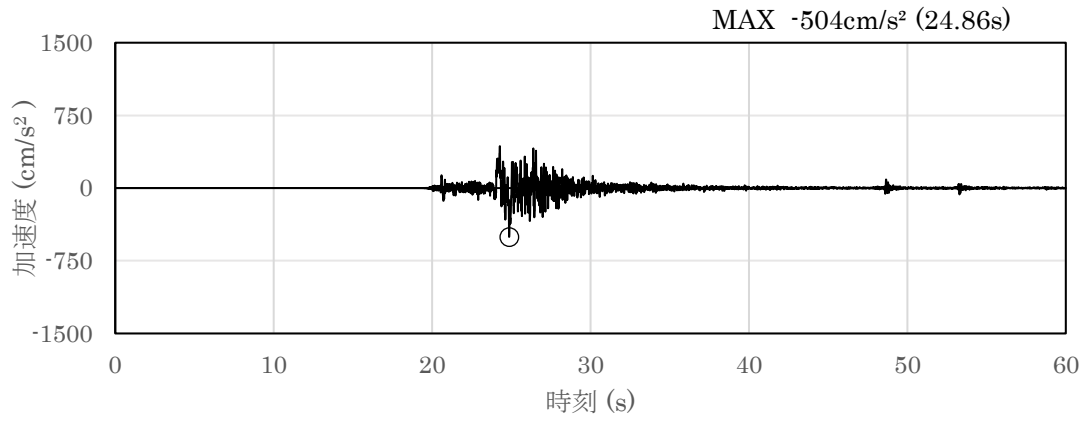


(a) 加速度時刻歴波形

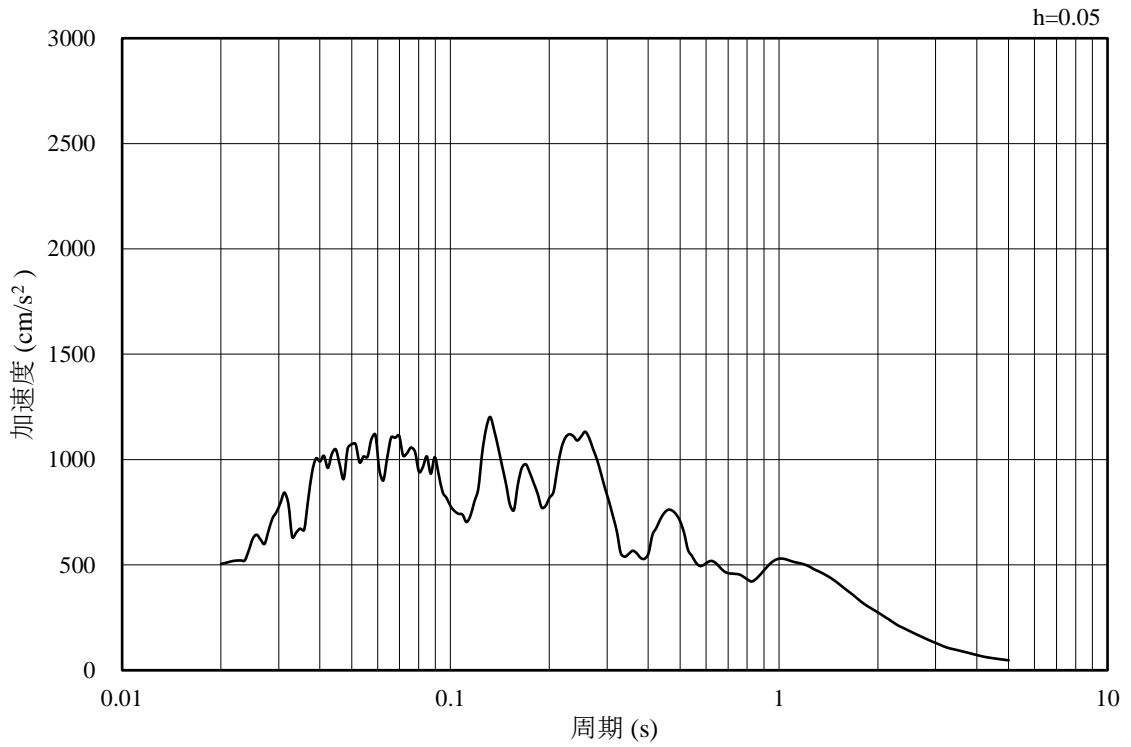


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-12 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
(鉛直成分：S s - N 1)

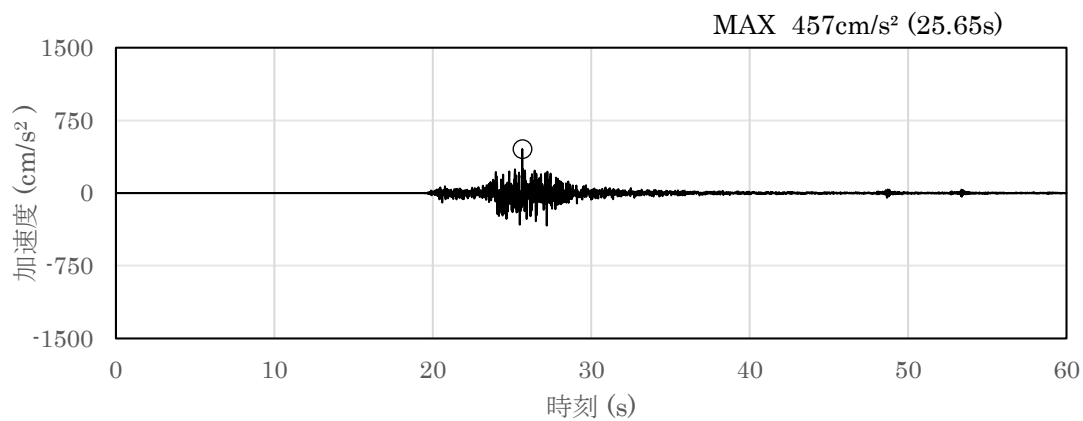


(a) 加速度時刻歴波形

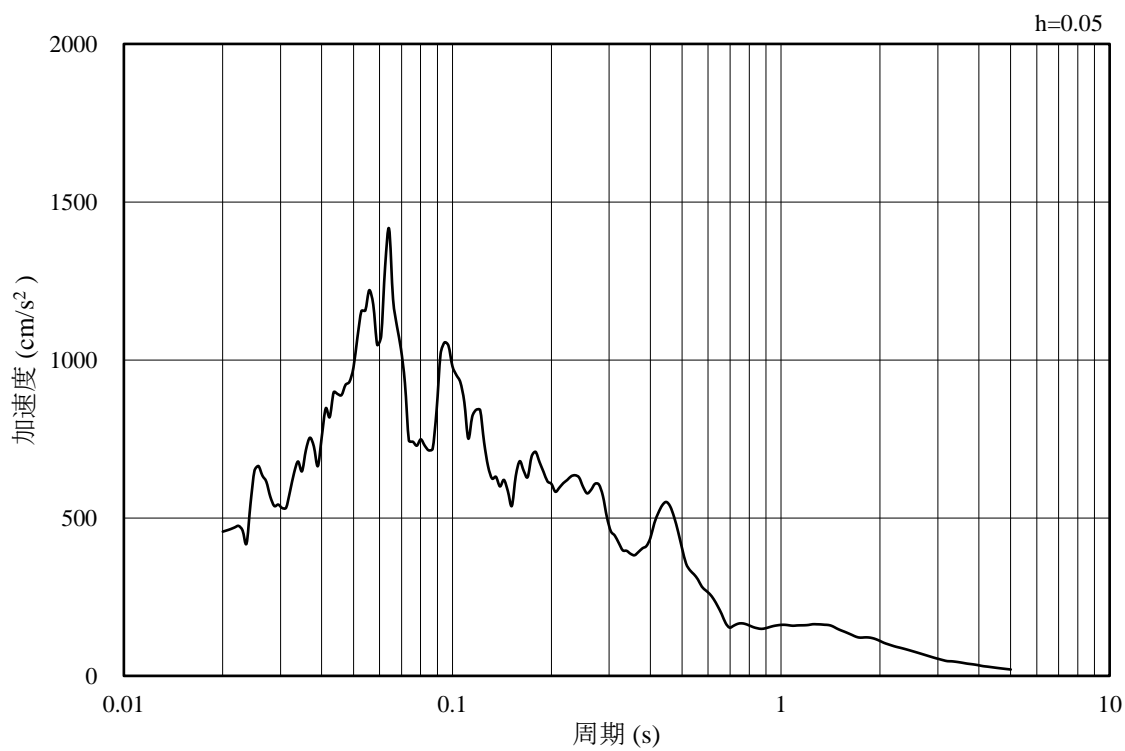


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-13 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
(水平成分：S s - N 2, N S 方向)

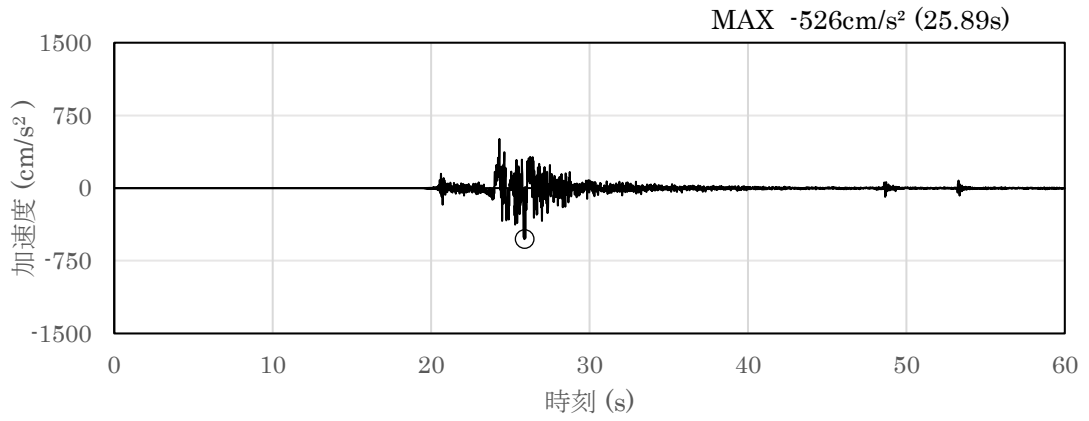


(a) 加速度時刻歴波形

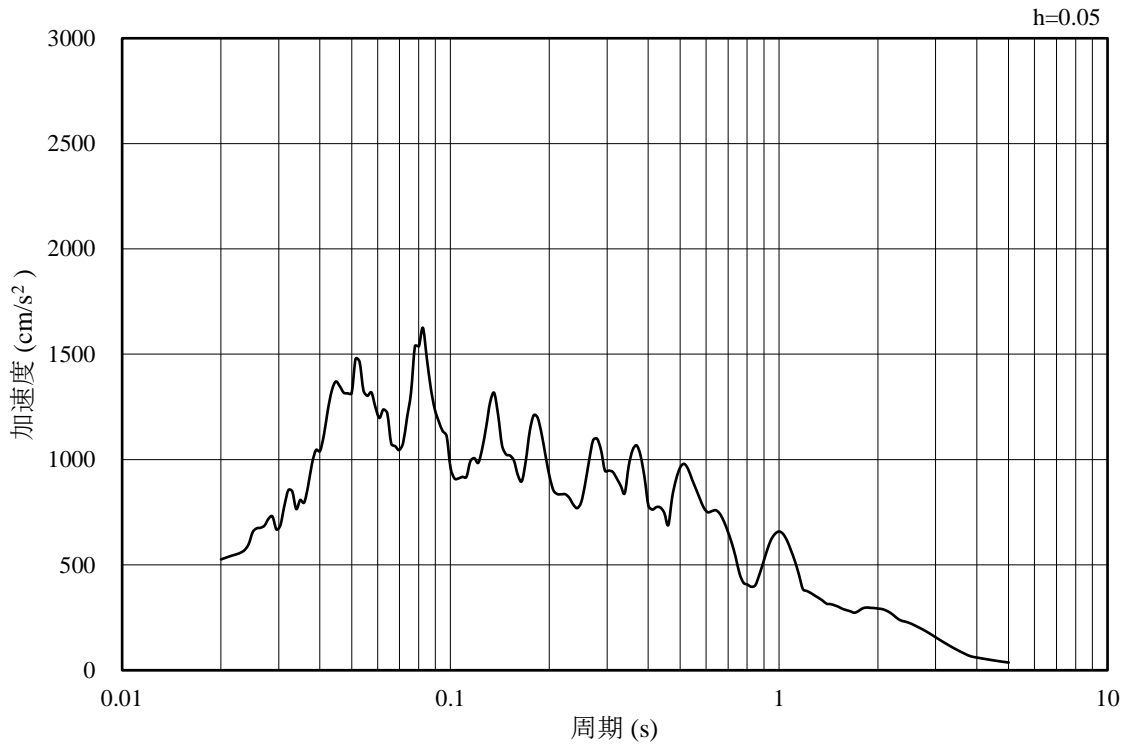


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-14 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
(鉛直成分：S s - N 2, N S 方向)

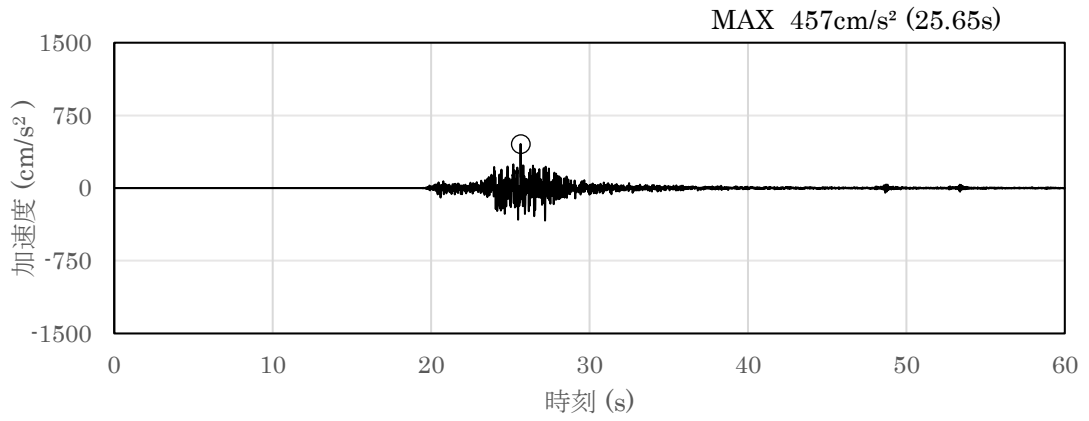


(a) 加速度時刻歴波形

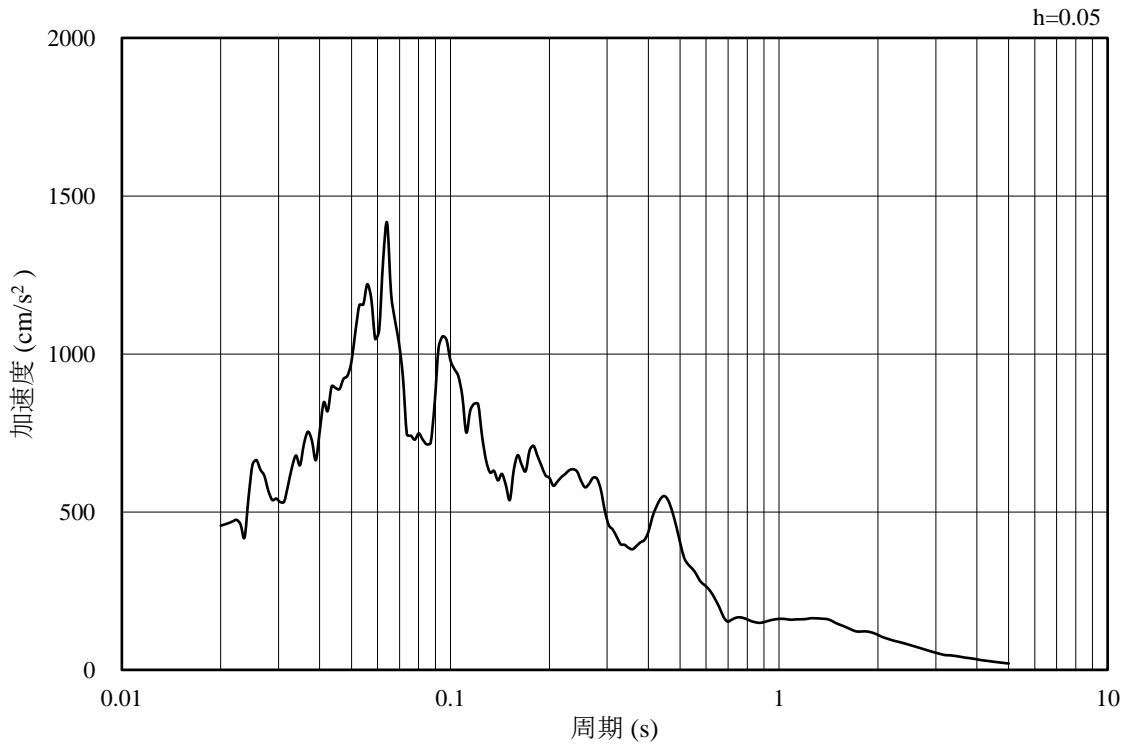


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-15 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
(水平成分：S s - N 2, E W方向)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-16 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
(鉛直成分：S s - N 2, EW方向)

3.7 解析モデル

3.7.1 解析モデル

仮設耐震構台の地震応答解析モデルを図 3-17 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

評価対象部位（水平材、斜材及び支持杭）は、線形はり要素によりモデル化する。上部工（主桁・受桁等）は、剛はり要素によりモデル化し、上部工の重量については、剛はりの頂部の節点に付加重量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、埋戻土は、地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) 隣接構造物のモデル化

隣接構造物となる低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽は、鉄筋コンクリート部材を非線形はり要素でモデル化する。機器・配管荷重は、解析モデルに付加質量として与えることで考慮し、内水位は、EL 11.2m とする。

2号機原子炉建物は、等価剛性として線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(6) MMR及び埋戻コンクリートのモデル化

MMR及び埋戻コンクリートは無筋コンクリートとして線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

地震時の「地盤と構造物」、「構造物と埋戻コンクリート」、「MMRと埋戻コンクリート」及び「地盤とMMR」の接合面における接触、剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

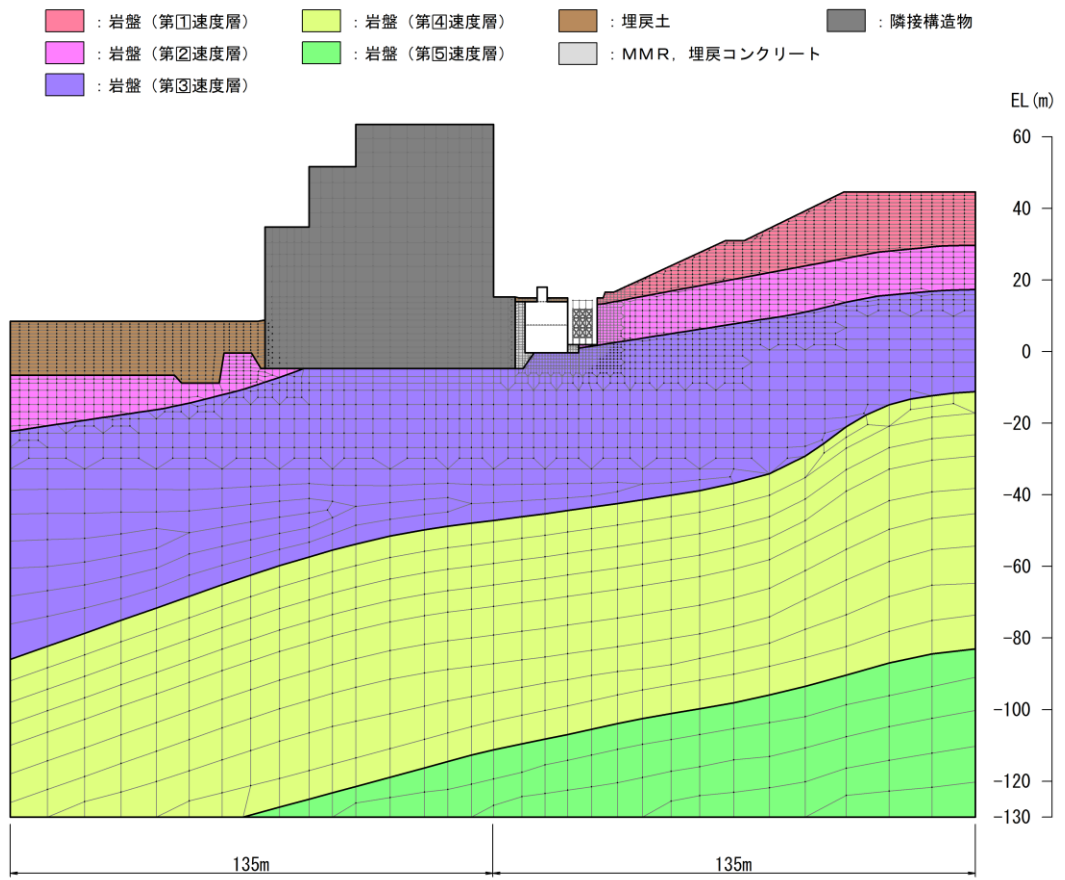


図 3-17 仮設耐震構台の解析モデル (A-A断面)

3.7.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-9 に、材料の物性値を表 3-10 に示す。

表 3-9 使用材料

材料		仕様
水平材	[150×75×6.5×10	SS400
斜材	L250×250×25	SS400
支持杭	□500×500×22	BCR295

表 3-10 材料の物性値 (評価対象部位)

材料	項目	材料諸元
水平材, 斜材, 支持杭	単位体積重量 (kN/m ³)	77
	ヤング係数 (N/mm ²)	2.0×10^5
	ポアソン比	0.3

3.7.3 地盤の物性値

地盤については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。

3.7.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表 3-11 に示す。

表 3-11 設計用地下水位

施設名称	解析断面	設計用地下水位 (EL m)
仮設耐震構台	A-A断面	15.0*

注記* : EL 15.0m 以下の掘削部には地下水位を設定しない。

4. 評価方法

仮設耐震構台の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が「3.5 許容限界」において設定した許容限界以下であることを確認する。

4.1 施設の損傷、転倒及び落下等による影響評価方法

4.1.1 構造部材の健全性に対する評価方法

構造部材の健全性に対する評価においては、評価対象部材（水平材、斜材及び支持杭）の曲げ軸力照査及びせん断力照査を行う。曲げ軸力照査については、「3.5.1 評価対象部位の曲げ軸力に対する許容限界」に示す、式(3.1)～式(3.5)による評価を行い、許容限界以下であることを確認する。せん断力照査については、「3.5.2 評価対象部位のせん断力に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

4.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

4.2 構造物間の相対変位による影響評価方法

4.2.1 相対変位による評価方法

相対変位による評価においては、仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の最大相対変位が許容限界以下であることを確認する。

5. 評価結果

5.1 施設の損傷，転倒及び落下等による影響評価結果

5.1.1 構造部材の健全性に対する評価結果

仮設耐震構台の曲げ軸力に対する照査値を表 5-1 に，せん断力に対する照査値を表 5-2 に示す。

仮設耐震構台の評価対象部位に発生する曲げ軸力及びせん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 5-1 曲げ軸力に対する照査値

解析 ケース	地震動*		部位	発生断面力		照査値
				曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	
①	S s - D	++	水平材	5	-9	0.32
	S s - D	++	斜材	11	-508	0.41
	S s - D	++	支持杭	333	-1814	0.49

注記*：発生応力度が最大となる地震動を示す。

表 5-2 せん断力に対する照査値

解析 ケース	地震動*		部位	発生応力度 (N/mm ²)	短期許容 せん断応力度 (N/mm ²)	照査値
①	S s - D	++	水平材	6	120	0.05
	S s - D	++	斜材	1	120	0.01
	S s - D	++	支持杭	28	120	0.24

注記*：発生応力度が最大となる地震動を示す。

5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 5-3 に示す。

仮設耐震構台の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 5-3 基礎地盤の支持性能評価結果

解析 ケース	地震動*		軸力 Nmax (kN)	軸応力度 R _d (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R _d /R _u
	S _s -D	++				
①	S _s -D	++	1814	3.2	9.8	0.33

注記* : 発生応力度が最大となる地震動を示す。

5.2 構造物間の相対変位による影響評価結果

5.2.1 相対変位による評価結果

基準地震動 S_s に対する仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の南北方向の最大相対変位を表 5-4 に、各構造物の変位抽出位置を図 5-1 示す。

最大相対変位は、16mm であり、許容限界（50mm）を超えないことを確認した。

表 5-4 仮設耐震構台と低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽の最大相対変位（南北方向）

解析ケース	地震動 ^{*1}		仮設耐震構台 最大変位(mm) ^{*2}	低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽 最大変位(mm) ^{*3}	最大相対変位 (mm)	離隔距離 (mm)
①	$S_s - D$	++	7	9	16	50

注記*1：最大相対変位が最大となる地震動を示す。

*2：北側（低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽側）への最大変位

*3：南側（仮設耐震構台側）への最大変位

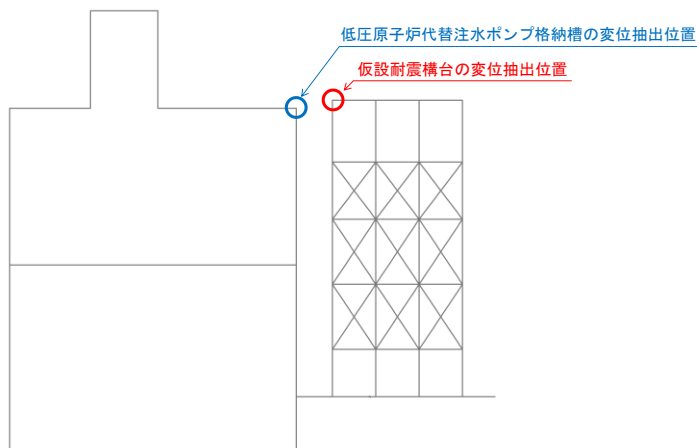


図 5-1 各構造物の変位抽出位置