

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7 補足-027-5 改8
提出年月日	2020年6月25日

資料5 スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路の耐震安全性評価

2020年6月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

: 今回説明範囲

1. スクリーン室の耐震評価	1-1
2. スクリーン室(6号機設備)の耐震評価	2-1
3. 取水路の耐震評価	3-1
4. 取水路(6号機設備)の耐震評価	4-1
5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価	5-1

参考資料

(参考資料1) 浮上り評価について	参考 1-1
(参考資料2) 耐震ジョイントの健全性評価について	参考 2-1
(参考資料3) 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について	参考 3-1
(参考資料4) 材料非線形解析の部材係数について	参考 4-1
(参考資料5) 液状化検討対象層を踏まえた支持性能の影響検討について	参考 5-1
(参考資料6) 静的地震力に対する耐震評価	参考 6-1
(参考資料7) 3次元構造解析における照査時刻の選定について	参考 7-1

## 5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価

## 5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価

### 目次

5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価	5-1
5.1 評価方法	5-1
5.2 評価条件	5-1
5.2.1 適用規格	5-1
5.2.2 耐震評価フロー	5-3
5.2.3 評価対象断面の選定	5-5
5.2.4 使用材料及び材料定数	5-14
5.2.5 地盤、地盤改良体及びマンメイドロックの解析用物性値	5-14
5.2.6 評価構造物諸元	5-18
5.2.7 地下水位	5-22
5.3 地震応答解析	5-22
5.3.1 地震応答解析手法	5-22
5.3.2 地震応答解析モデルの設定	5-23
5.3.3 減衰定数	5-47
5.3.4 荷重の組合せ	5-47
5.3.5 耐震評価における解析ケース	5-51
5.4 3次元構造解析	5-54
5.4.1 解析手法	5-54
5.4.2 解析モデルの設定	5-55
5.4.3 照査時刻の選定	5-73
5.4.4 入力荷重	5-73
5.5 評価内容	5-85
5.5.1 入力地震動の設定	5-85
5.5.2 許容限界の設定	5-112
5.6 評価結果	5-122
5.6.1 地震応答解析結果	5-122
5.6.2 3次元構造解析結果	5-160
5.6.3 構造部材の健全性に対する評価結果	5-170
5.6.4 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	5-188
5.7 まとめ	5-190

## 5. 補機冷却用海水取水路の耐震評価

### 5.1 評価方法

補機冷却用海水取水路は非常時における海水の通水機能及び貯水機能が求められる土木構造物である。補機冷却用海水取水路について、基準地震動  $S_s$  による耐震評価として、構造部材の曲げ、せん断評価及び基礎地盤の支持性能評価を実施する。

補機冷却用海水取水路の地震応答解析においては、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮できる有効応力解析を実施する。

有効応力解析に用いる液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で、保守性を考慮して設定する。

構造物の応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の影響を考慮した解析ケースを設定する。

構造部材の健全性評価については、構造部材のコンクリートひずみ及びせん断力、妻壁の面内せん断ひずみが要求機能に応じた許容限界以下であることを確認する。基礎地盤の支持性能評価については、基礎地盤に作用する鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であることを確認する。

### 5.2 評価条件

#### 5.2.1 適用規格

補機冷却用海水取水路の耐震評価に当たっては、コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年）（以下「コンクリート標準示方書」という。），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）を適用するが、鉄筋コンクリート部材の曲げ及びせん断の許容限界については、原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）（以下「土木学会マニュアル」という。），妻壁の面内せん断の許容限界については、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）を適用する。また、基礎地盤の支持性能の許容限界は、道路橋示方書・同解説（I 共通編・IV 下部構造編）（日本道路協会，平成14年3月）（以下「道路橋示方書」という。）を適用する。

表 5-1 に適用する規格，基準類を示す。

表 5-1 適用する規格, 基準類

項目	適用する規格, 基準類	備考
使用材料及び材料定数	・コンクリート標準示方書〔構造的 性能照査編〕 (2002 年)	—
荷重及び荷重の組合せ	・コンクリート標準示方書〔構造的 性能照査編〕 (2002 年)	・永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷 重の適切な組合せを検討
許容限界	<b>【鉄筋コンクリート部材】</b> ・原子力発電所屋外重要土木構造物 の耐震性能照査指針・マニュアル (2005 年) ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987	・曲げに対する照査は, 限界ひずみを 設定した上で, 発生ひずみが限界ひ ずみを下回ることを確認* ・せん断に対する照査は, 発生せん断 力がせん断耐力を下回ることを確 認* ・妻壁の発生面内ひずみが許容限界を 下回ることを確認*
	<b>【基礎地盤の支持性能】</b> ・道路橋示方書・同解説 (I 共通編・ IV 下部構造編) (平成 14 年 3 月)	・基礎地盤の支持性能に対する照査 は, 基礎に発生する鉛直力が極限支 持力を下回ることを確認*
地震応答解析	・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987	・有限要素法による 2 次元モデルを用 いた時刻歴非線形解析

注記\* : 妥当な安全余裕を考慮する。

### 5.2.2 耐震評価フロー

図 5-1 に補機冷却用海水取水路の地震応答解析フローを, 図 5-2 に耐震評価フローを示す。

補機冷却用海水取水路については, 通水方向の水路の形状を踏まえて, 3次元非線形シェル要素による3次元静的有限要素法解析(以下, 「3次元構造解析」という。)による耐震評価を実施する。3次元構造解析にあたっては, 2次元動的有限要素法解析により得られた応答値から, 3次元構造解析モデルへ入力する荷重を算定する。

補機冷却用海水取水路の基礎地盤の支持性能については, 2次元動的有限要素法解析より得られた応答値を用いて耐震評価を行う。

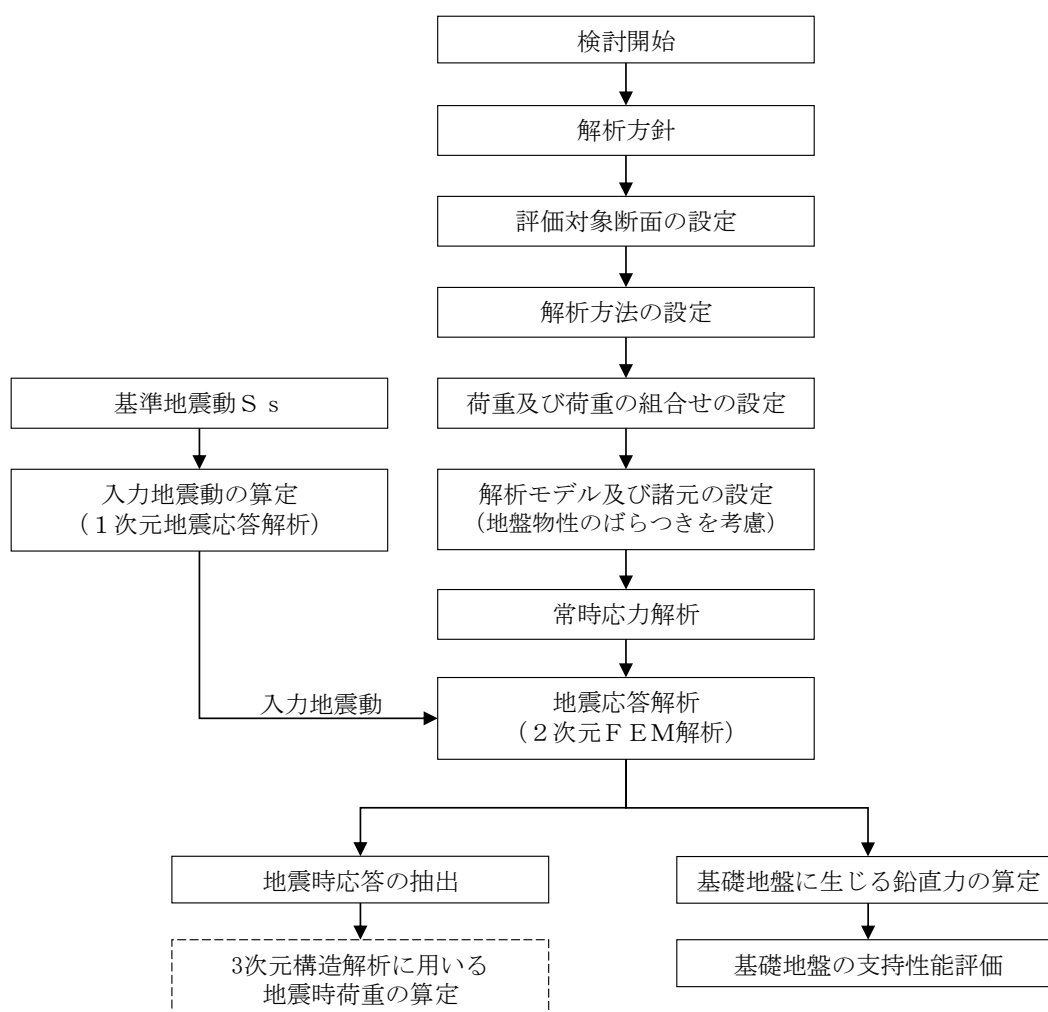


図 5-1 補機冷却用海水取水路の地震応答解析フロー

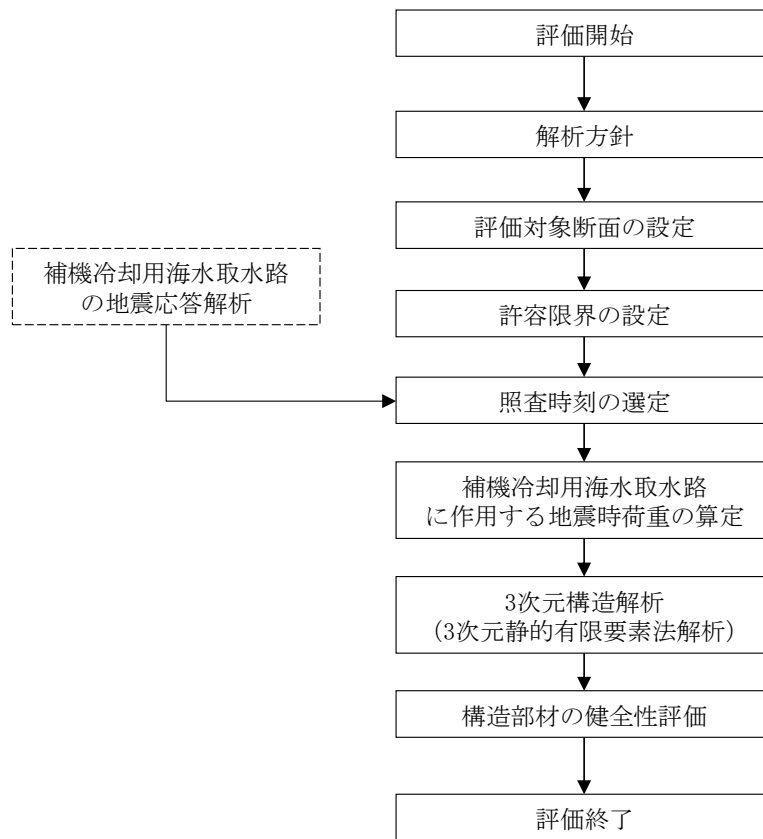


図 5-2 補機冷却用海水取水路の耐震評価フロー



### 5.2.3 評価対象断面の選定

補機冷却用海水取水路の位置を図 5-3 に、平面図を図 5-4 に、断面図を図 5-5～図 5-7 に、概略配筋図を図 5-9～図 5-11 に示す。

補機冷却用海水取水路は鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、取水路漸拡部からそれぞれ北側及び南側に分岐し、取水方向に複数の断面形状を示し、マンメイドロックを介して西山層に支持される。また、補機冷却用海水取水路の側方地盤の一部には、地震時における浮上り対策として、地盤改良を実施している。

評価対象断面は、資料 1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」の「4.4 補機冷却用海水取水路の断面選定の考え方」で記載したとおり、構造的特徴を踏まえ、構造物の幅に対する鉛直部材の割合が最も少なく耐震上厳しいと判断されるタービン建屋接続位置のブロックとして、北側 4 連（柱部 2 本）ボックスカルバート部及び南側 5 連（柱部 2 本）ボックスカルバート部を代表として耐震評価を実施する。

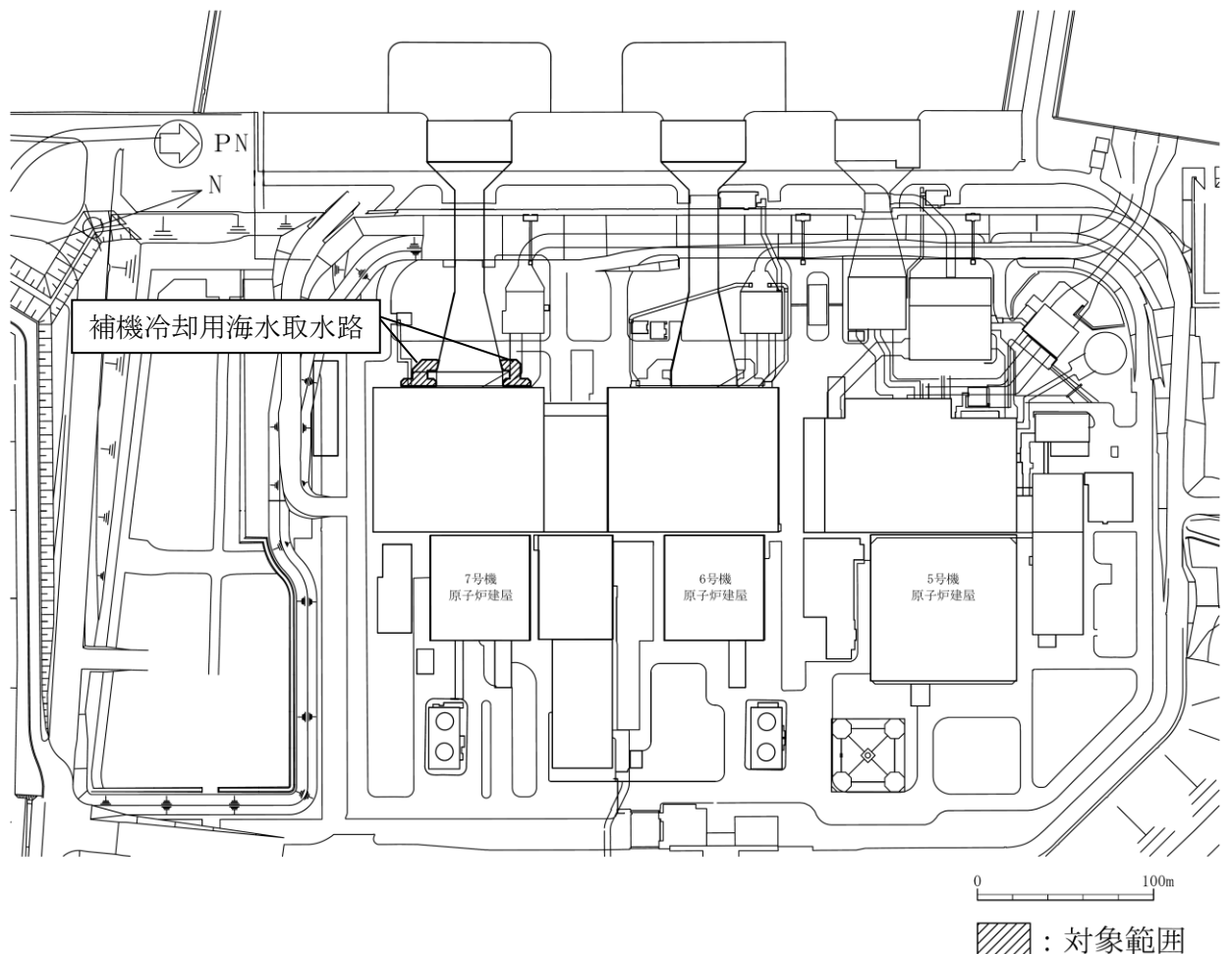
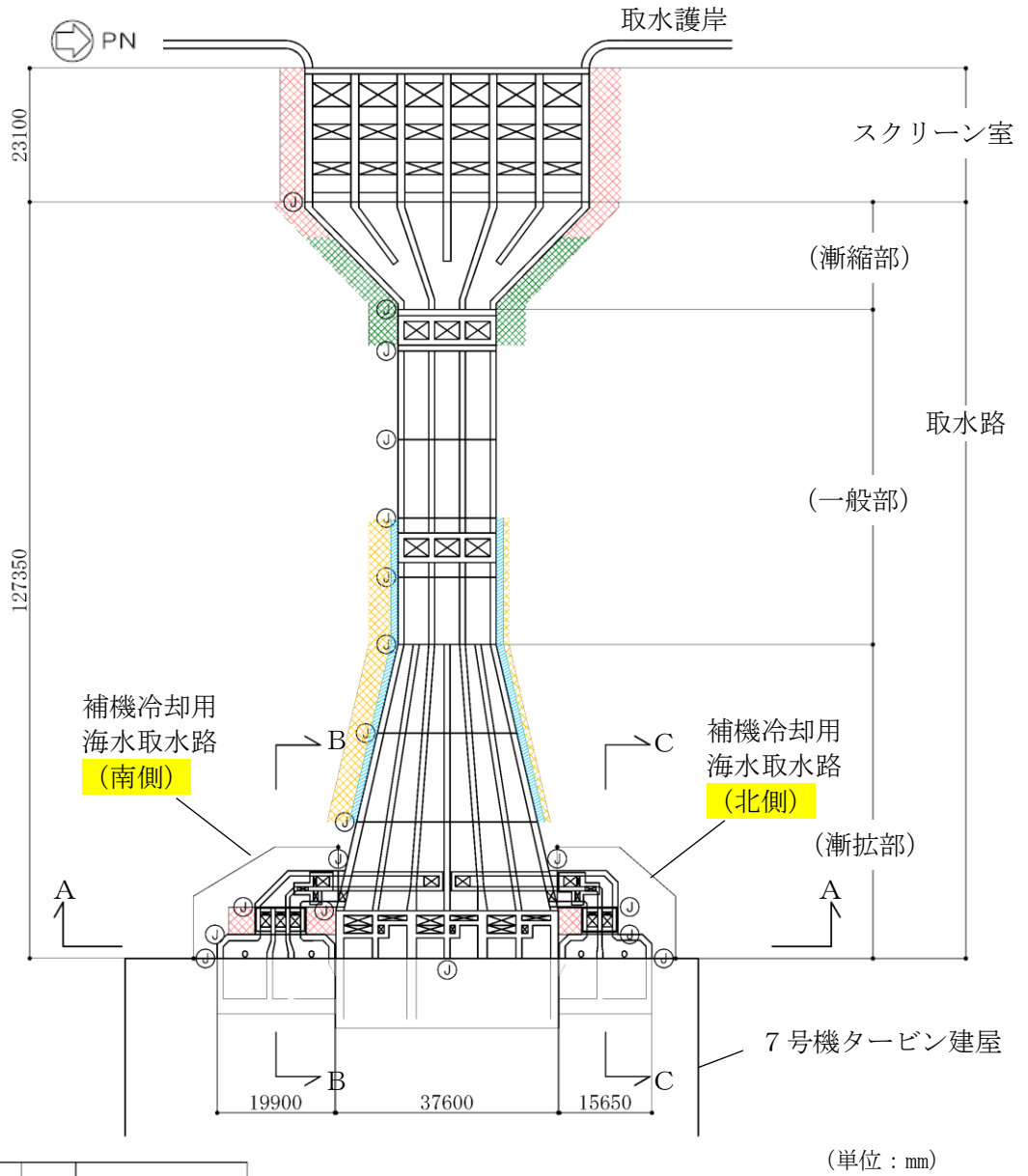


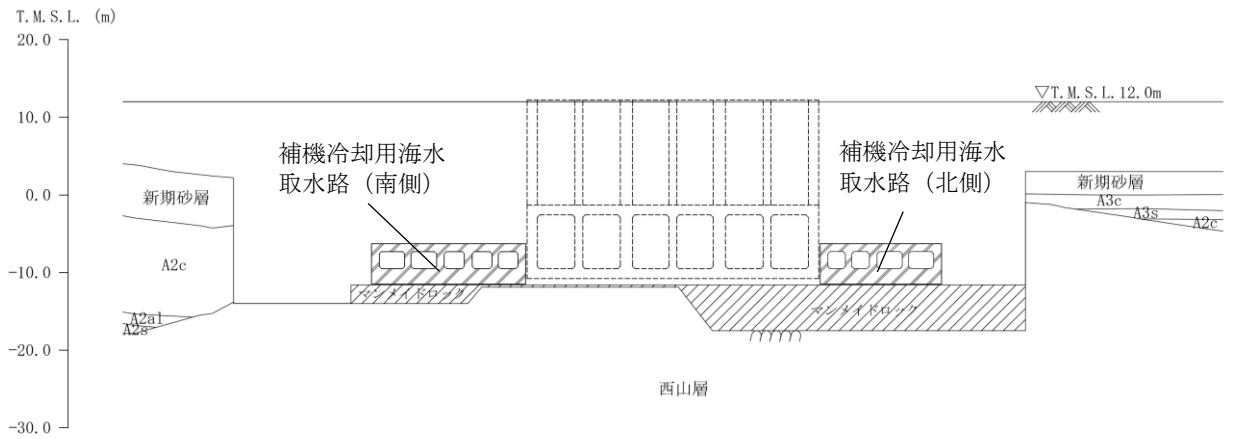
図 5-3 補機冷却用海水取水路の平面配置図（平面図）



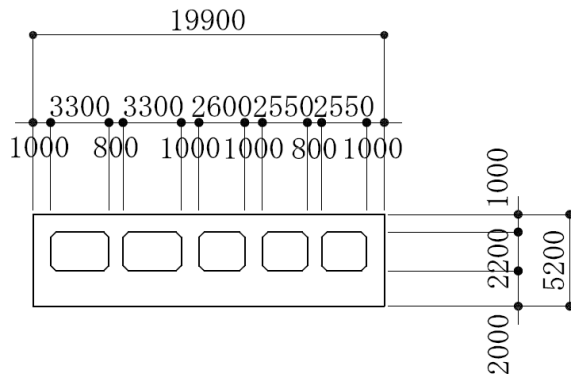
既設／新設	凡例	地盤改良工法
新設地盤改良体		高压喷射
		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

注：置換工法（地中連続壁），機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高压喷射を適用

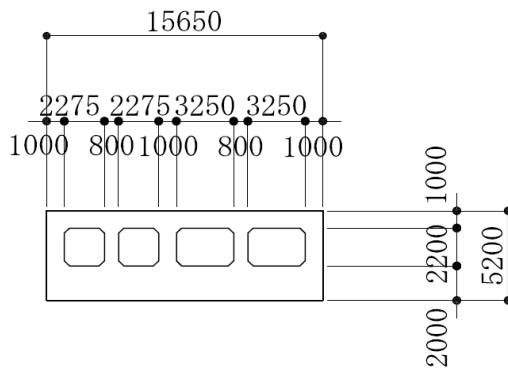
図 5-4 補機冷却用海水取水路の平面図



(a) 補機冷却用海水取水路 (全体)



(b) 補機冷却用海水取水路 (南側)



(c) 補機冷却用海水取水路 (北側)

(単位 : mm)

注 : 東京湾平均海面 (以下, 「T.M.S.L.」 という。)

図 5-5 補機冷却用海水取水路の断面図 (A-A断面)

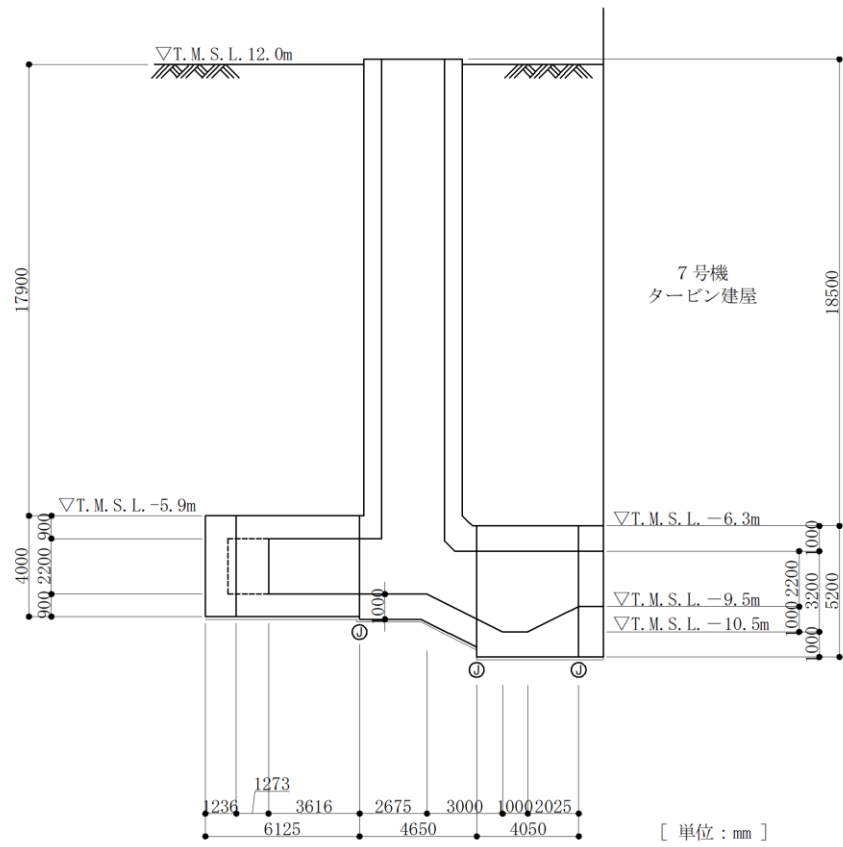


図 5-6 補機冷却用海水取水路（南側）の断面図（B-B断面）

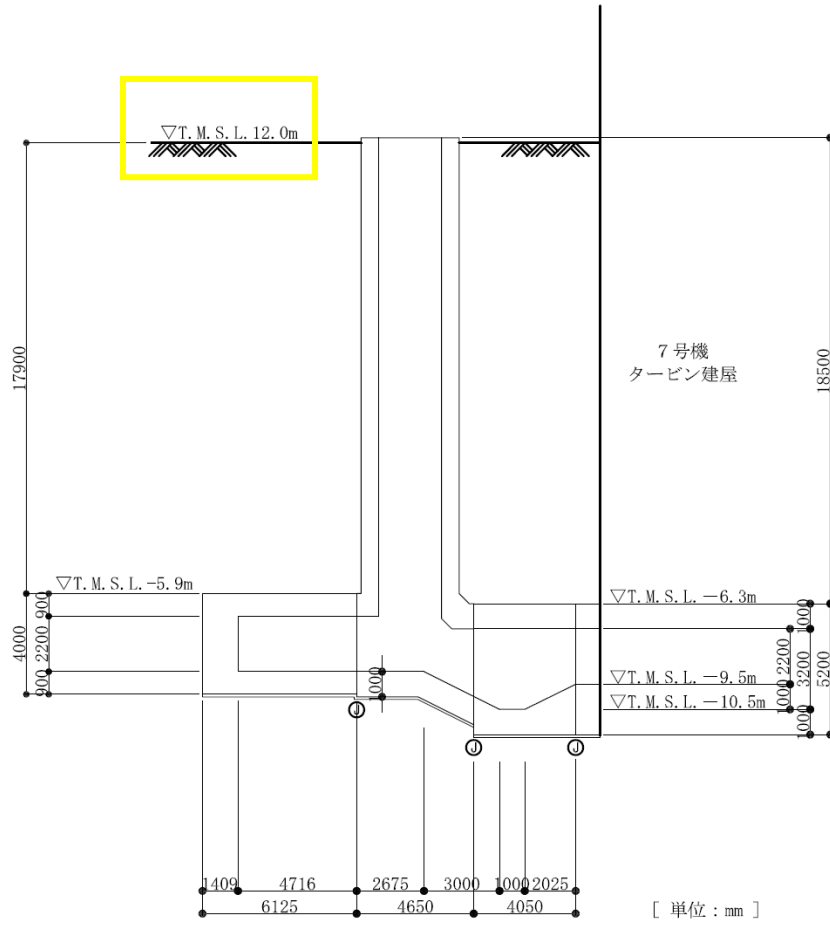
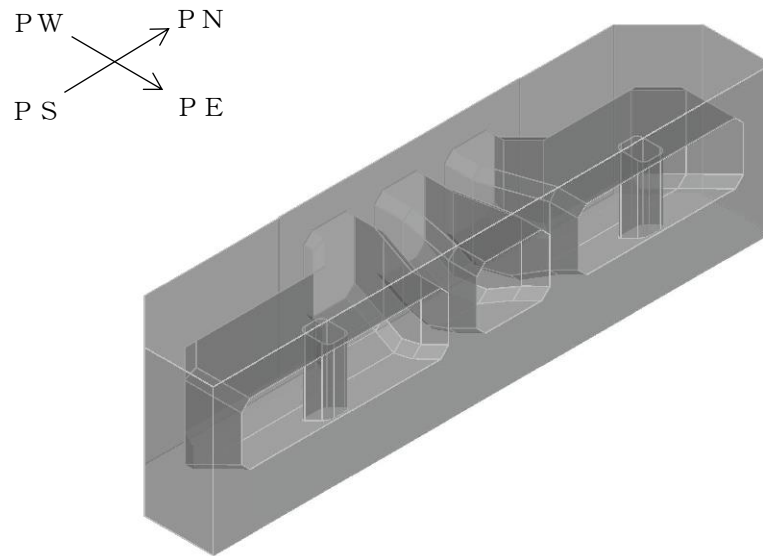
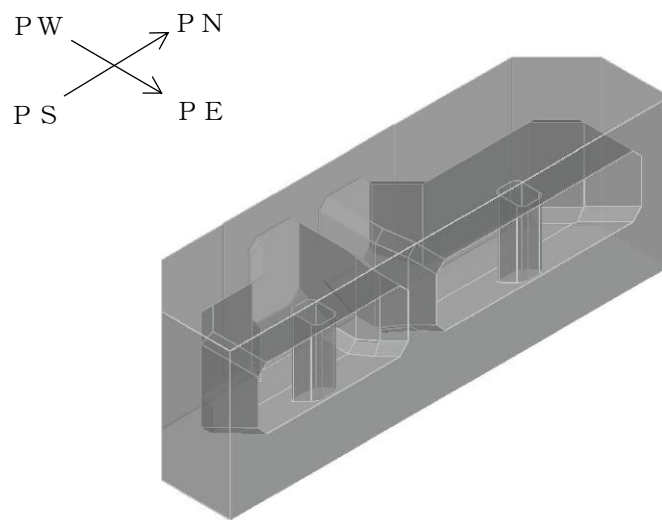


図 5-7 補機冷却用海水取水路（北側）の断面図（C-C断面）

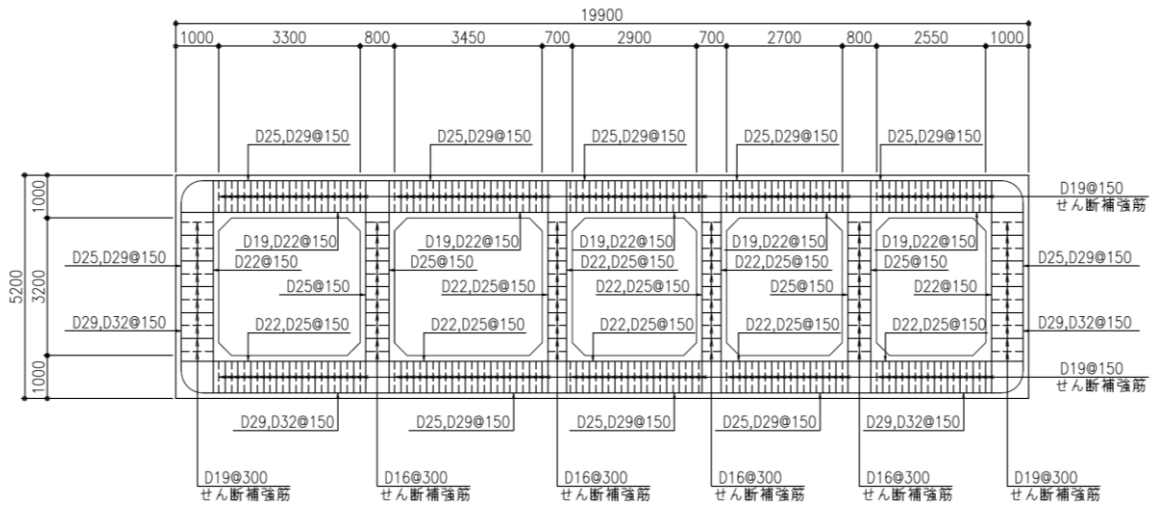


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）



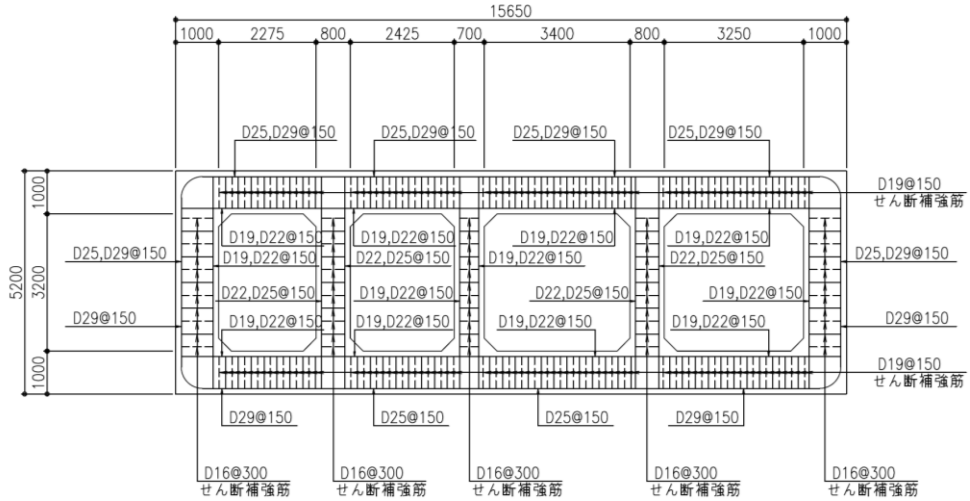
(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 5-8 補機冷却用海水取水路の鳥瞰図



注：側壁の配筋方向鉄筋：D25, D29@150  
 注：隔壁の配筋方向鉄筋：D19@300

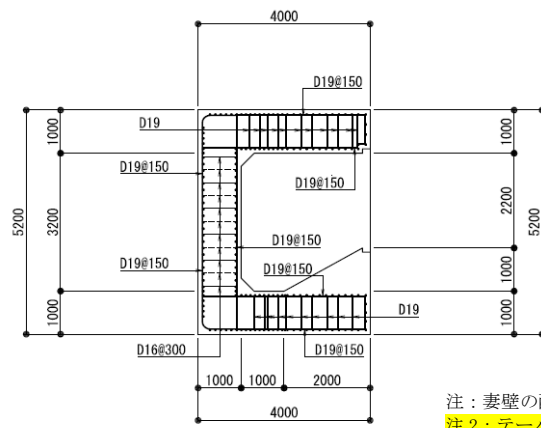
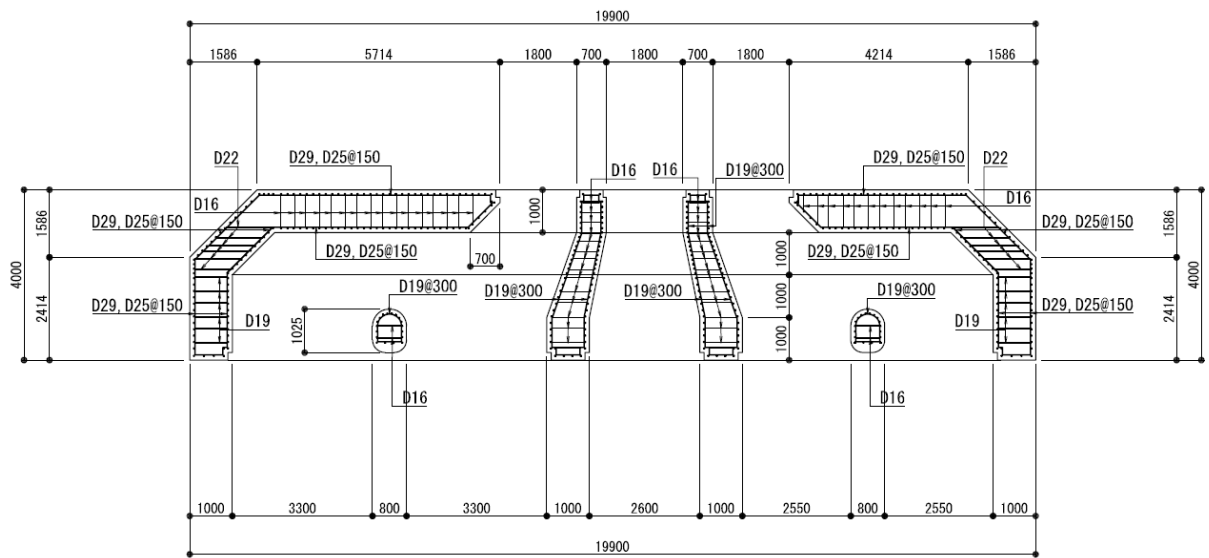
(a) 補機冷却用海水取水路（南側）



注：側壁の配筋方向鉄筋：D25, D29@150  
 注：隔壁の配筋方向鉄筋：D16@300

(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

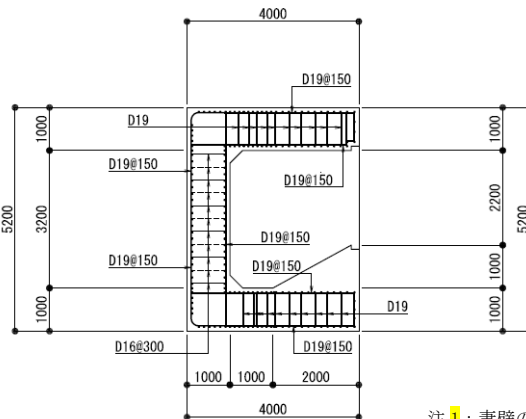
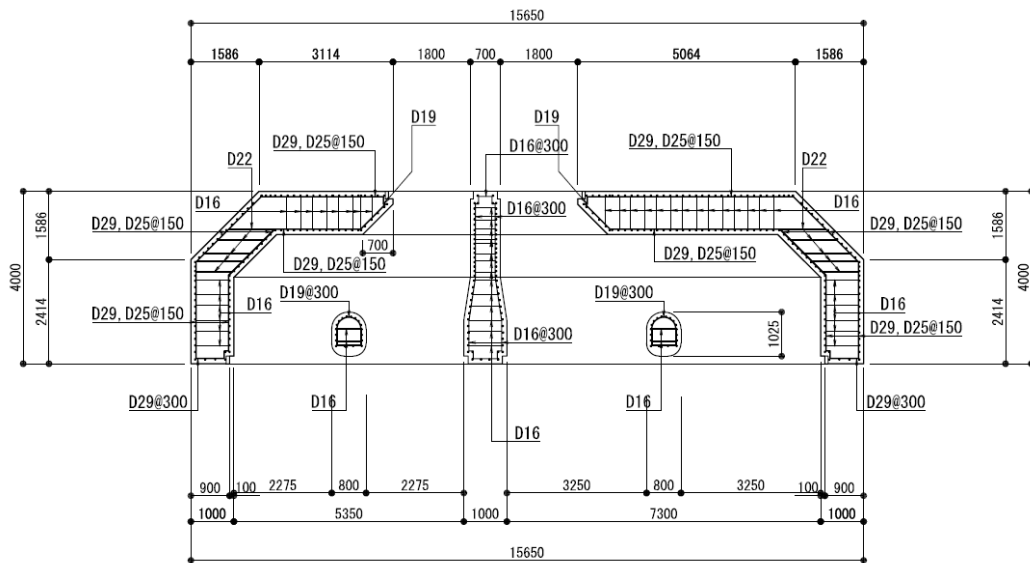
図 5-9 補機冷却用海水取水路（横断方向）の概略配筋図



注：妻壁の配力筋方向鉄筋：D25, D29@150  
 注2：テーパー部は、解析モデル上、構造部材として扱わないことから、配筋は非表示とした。

図 5-10 補機冷却用海水取水路（南側）（妻壁部）の概略配筋図





注1：妻壁の配力筋方向鉄筋：D25, D29@150  
 注2：テーパー部は、解析モデル上、構造部材として扱わないことから、配筋は非表示とした。

図 5-11 補機冷却用海水取水路（北側）（妻壁部）の概略配筋図

#### 5.2.4 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、建設時の設計値に基づき設定する。構造物の使用材料を表 5-2 に、材料物性値を表 5-3 に示す。

表 5-2 構造物の使用材料

材料	諸元
コンクリート	設計基準強度 23.5 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	SD35 (SD345 相当)

表 5-3 構造物の材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比
鉄筋コンクリート	23.5*	2.45×10 <sup>4</sup> *	0.2*

注記\* : 建設時の設計値に基づく

#### 5.2.5 地盤、地盤改良体及びマンメイドロックの解析用物性値

地盤、地盤改良体及びマンメイドロックの諸定数は、V-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。地盤の物性値を表 5-4～表 5-6 に、地盤改良体の物性値を表 5-8 に、マンメイドロックの物性値を表 5-7 に示す。

表 5-4 地盤の解析用物性値 (液状化検討対象層)

パラメータ		埋戻土	新期砂層・沖積層	古安田層			
			新期砂層	A2s 層	A3s 層	A2g 層 (砂質)	
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.94 (1.79)*	2.05 (2.00)*	1.91	1.91	1.91	
	間隙率 $n$	0.45	0.44	0.45	0.45	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ms}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$1.04 \times 10^5$	$1.26 \times 10^5$	$2.14 \times 10^5$	$2.14 \times 10^5$	$2.14 \times 10^5$	
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98.0	98.0	200.0	200.0	200.0	
	ポアソン比 $\nu$	0.33 (0.42)*	0.33 (0.44)*	0.33	0.33	0.33	
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.225	0.234	0.157	0.157	0.157	
強度特性	粘着力 $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	0.0 (9.6)*	0.0 (94.4)*	0.0	0.0	0.0	
	内部摩擦角 $\phi'$ (°)	35.9 (34.8)*	34.6 (27.6)*	36.6	36.6	36.6	
液状化特性	変相角 $\phi_p$ (°)	32.0	31.0	32.0	32.0	32.0	
	液状化パラメータ	$S_1$	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
		$w_1$	5.50	7.90	25.0	25.0	25.0
		$p_1$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		$p_2$	1.00	0.70	0.80	0.80	0.80
		$c_1$	1.69	2.13	8.75	8.75	8.75

注記\* : 括弧内の数字は、地下水位以浅の数値を表す。

表 5-5 地盤の解析用物性値 (非液状化層)

パラメータ		古安田層			
		A3c 層	A3a1 層	A2c 層	A2a1 層
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.70	1.81	1.80	1.88
	間隙率 $n$	0.57	0.52	0.52	0.48
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ms}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$1.09 \times 10^5$	$9.57 \times 10^4$	$1.39 \times 10^5$	$1.61 \times 10^5$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ms}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	60.0	94.0	140.0	170.0
	ポアソン比 $\nu$	0.33	0.33	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.114	0.162	0.110	0.147
強度特性	粘着力 $c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	99.6	29.2	113.0	82.8
	内部摩擦角 $\phi'$ (°)	26.8	34.2	27.9	28.7

表 5-6 地盤の解析用物性値 (西山層)

パラメータ		西山層	
		T. M. S. L. -33.0m 以浅	T. M. S. L. -33.0m~-90.0m
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.73	1.69
	間隙率 $n$	0.56	0.56
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$4.16 \times 10^5$	$4.75 \times 10^5$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98.0	98.0
	ポアソン比 $\nu$	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.257	0.257
強度特性	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$1370 - 5.04 \cdot Z^*$	$1370 - 5.04 \cdot Z^*$
	内部摩擦角 $\phi$ (°)	0	0

注記\* : Zは、標高 (m) を示す。

表 5-7 マンメイドロックの解析用物性値

パラメータ		マンメイドロック
物理特性	密度 $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.75
	間隙率 $n$	0.56
変形特性	動せん断弾性係数 $G_{ma}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$1.91 \times 10^6$
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98.0
	ポアソン比 $\nu$	0.36
	減衰定数の上限値 $h_{max}$	0.190
強度特性	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	1840
	内部摩擦角 $\phi$ (°)	0.0

表 5-8 地盤改良体（高圧噴射）の解析用物性値

パラメータ		新設地盤改良体	
		高圧噴射	
物理特性	密度	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.94
	間隙率	n	0.49
変形特性	動せん断弾性係数	$G_{ms}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$2.51 \times 10^5$
	基準平均有効拘束圧	$\sigma_{ms}'$ (kN/m <sup>2</sup> )	98
	ポアソン比	$\nu$	0.33
	減衰定数の上限値	$h_{max}$	0.05
強度特性	粘着力	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	500

5.2.6 評価構造物諸元

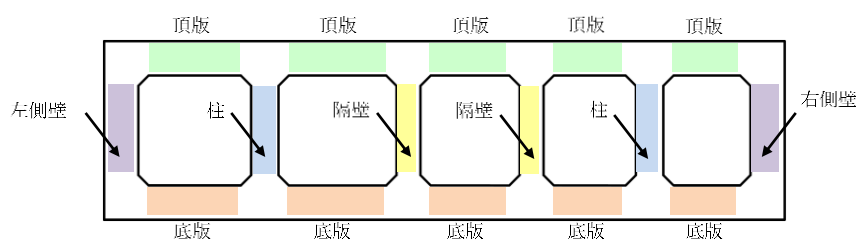
(1) 評価構造物諸元と評価部位

照査を行う補機冷却用海水取水路の評価構造物諸元を表 5-9 及び表 5-10 に、評価部位を図 5-12 及び図 5-13 に示す。

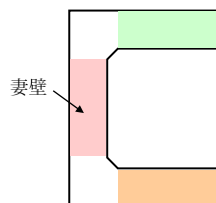
表 5-9 構造物の評価部位とその仕様 (南側)

部位	仕様		材料		機能要求
	部材奥行幅 (m)	部材高 (m)	コンクリート $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋	
頂版	1.000	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水, 貯水*
右側壁	1.000	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水, 貯水*
右柱	0.256	0.800	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
右隔壁	1.000	0.700	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
左隔壁	1.000	0.700	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
左柱	0.256	0.800	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
左側壁	1.000	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水, 貯水*
底版	1.000	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
妻壁	0.250	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水, 貯水*

注記\* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲



(a) A-A断面



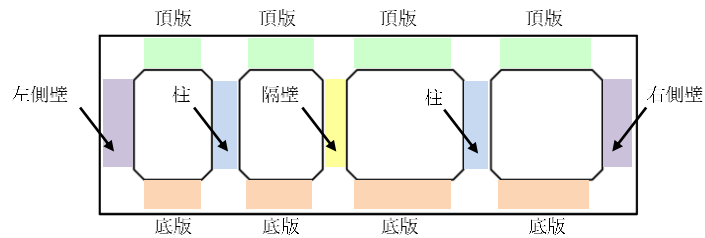
(b) B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-12 評価部位 (南側)

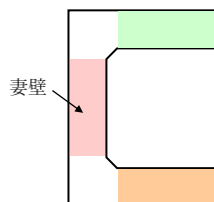
表 5-10 構造物の評価部位とその仕様（北側）

部位	仕様		材料		機能要求
	部材奥行幅 (m)	部材高 (m)	コンクリート $f'_{ck}$ (N/mm <sup>2</sup> )	鉄筋	
頂版	1.000	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水, 貯水*
右側壁	1.000	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水, 貯水*
右柱	0.256	0.800	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
隔壁	1.000	0.700	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
左柱	0.256	0.800	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
左側壁	1.000	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水, 貯水*
底版	1.000	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水
妻壁	0.250	1.000	23.5	SD35 (SD345 相当)	通水, 貯水*

注記\* : 海水貯留堰天端標高 (T. M. S. L. -3.5m) 以下の範囲



(a) A-A断面



(b) C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-13 評価部位 (北側)

(2) 補機冷却用海水取水路の機能要求の考え方

「(1) 評価構造物諸元と評価部位」の各表に記載した補機冷却用海水取水路の機能要求について、その考え方を以下に記載する。なお、補機冷却用海水取水路には、間接支持するSクラス施設はない。

a. 通水機能

補機冷却用海水取水路の通水断面を構成する各部材について、通水機能を要求するものとする。図 5-14 に通水機能を要求する部材の範囲を示す。

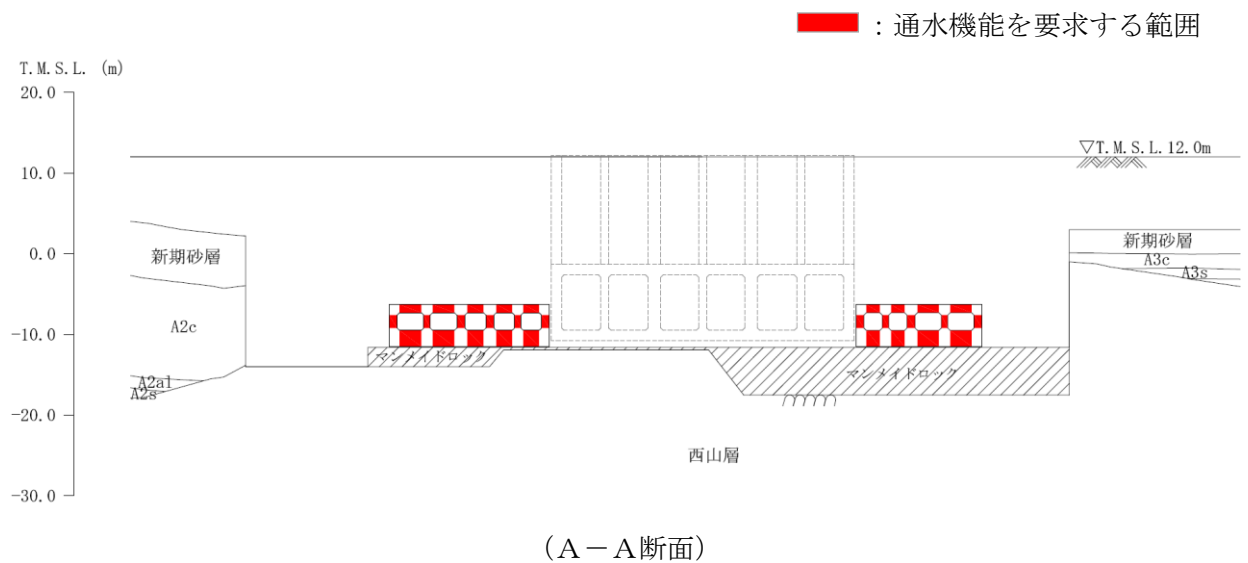


図 5-14 通水機能を要求する範囲



b. 貯水機能

補機冷却用海水取水路における貯水機能は、津波時の引き波を想定した要求機能であるため、海水貯留堰天端標高 (T.M.S.L. -3.5m) 以下の頂版及び側壁を対象とする。

ここで、補機冷却用海水取水路の周辺地盤の地下水位は常時は海水面付近にあると想定され、津波時の引き波による海水面低下が起きても、引き波の継続時間は最大約 16 分と短時間の現象と評価されているため、補機冷却用海水取水路の内水位よりも周辺地盤の地下水位の方が高い状態にあることから、補機冷却用海水取水路内の貯留水は地盤へ流出する可能性は低いものと考えられるが、当検討では側壁及び頂版の健全性により貯水機能を担保することとする。

なお、底版については、補機冷却用海水取水路全区間で透水係数の小さいマンメイドロック若しくは西山層に接しており、かつ地下水位面 (海水面) よりも低い位置に設置されることから、貯水機能を要求する範囲の対象外とする。

また、鉄筋コンクリート部材以外に貯水機能が要求される部材としては、ブロック間に設置している耐震ジョイントが挙げられる。耐震ジョイントの地震時の健全性については、(参考資料 2) に示す。

図 5-15 に貯水機能を要求する部材の範囲を示す。

引き波の継続時間の詳細は、V-1-1-3-2「津波への配慮に関する説明書」に示す。

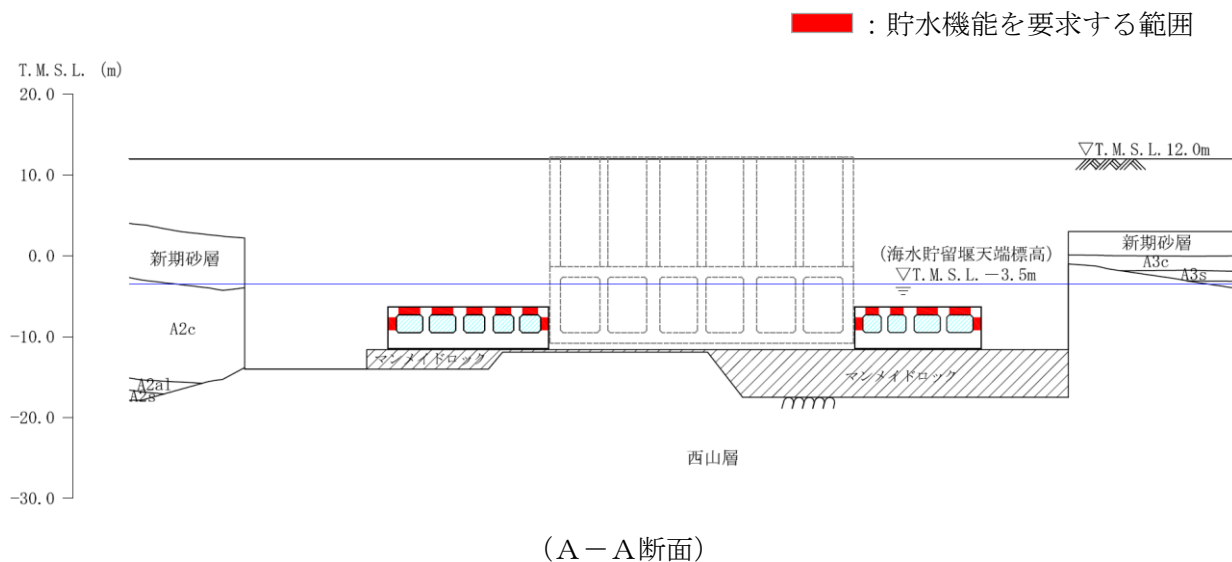


図 5-15 貯水機能を要求する範囲

### 5.2.7 地下水位

地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、T.M.S.L. 8.0mに設定する。

## 5.3 地震応答解析

### 5.3.1 地震応答解析手法

補機冷却用海水取水路の地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる2次元有限要素法を用いて、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にて行う。構造部材については、はり要素を用いることとし、非線形特性についてはコンクリートの $M-\phi$ 関係を適切にモデル化する。また、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるようにモデル化する。

地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則を有効応力解析へ適用する際は、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じた特徴を適切に表現できるモデルを用いる必要がある。一般に、地盤は荷重を与えることによりせん断ひずみを増加させていくと、地盤のせん断応力は上限値に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。また、地盤のせん断応力の上限値は有効応力に応じて変化する特徴がある。

よって、耐震評価における有効応力解析では、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線の構成則として、地盤の繰返しせん断応力～せん断ひずみ関係の骨格曲線に関するせん断ひずみ及び有効応力の変化に応じたこれら2つの特徴を表現できる双曲線モデル（H-Dモデル）を選定する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP Ver. 7.4.1」を使用する。地震応答解析手法の選定フローを図5-16に示す。

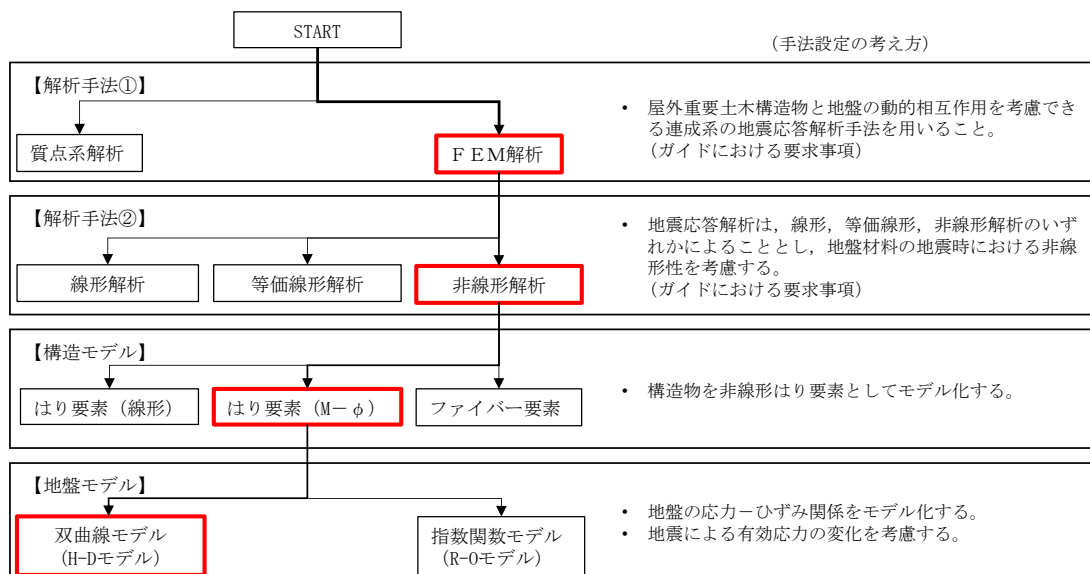


図 5-16 地震応答解析手法の選定フロー

### 5.3.2 地震応答解析モデルの設定

#### (1) 解析モデル領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 を参考に、図 5-17 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍程度、モデル高さを構造物幅の 2 倍程度とする。

なお、解析モデルの境界条件は、側面及び底面ともに粘性境界とする。

地盤の要素分割については、地盤の波動をなめらかに表現するために、最大周波数 20 Hz 及びせん断波速度  $V_s$  で算定される波長の 5 又は 4 分割、すなわち  $V_s/100$  又は  $V_s/80$  を考慮し、要素高さを 0.5~1m 程度まで細分割して設定する。

構造物の要素分割については、土木学会マニュアルに、線材モデルの要素分割については、要素長さを部材の断面厚さ又は有効高さの 2.0 倍以下とし、1.0 倍程度とするのが良い旨が示されていることを考慮し、部材の断面厚さ又は有効高さの 1.0 倍程度まで細分割して設定する。

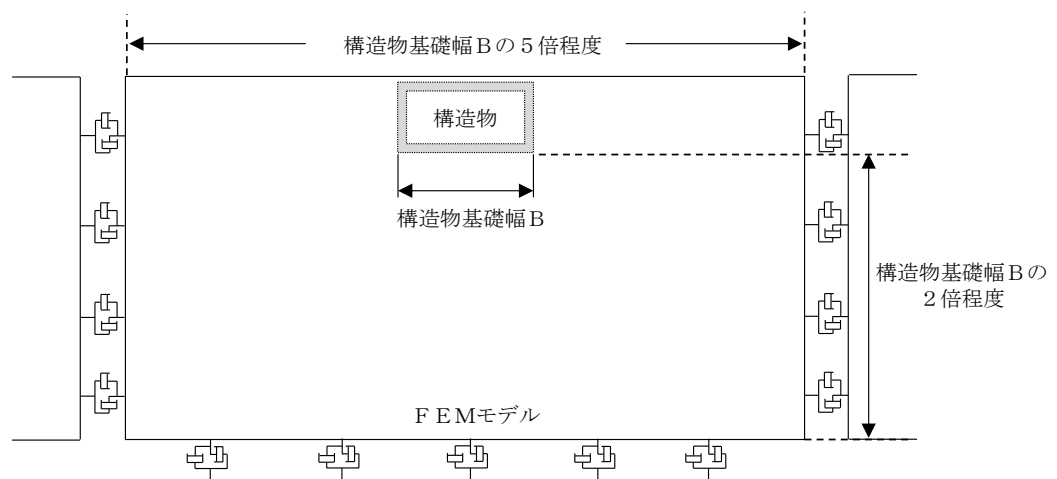


図 5-17 モデル範囲の考え方

2次元有効応力解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地層構成を有する1次元地盤モデルである。2次元有効応力解析における自由地盤の初期応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図5-18に示す。また、補機冷却用海水取水路周辺の地質断面図を図5-19～図5-21に示す。

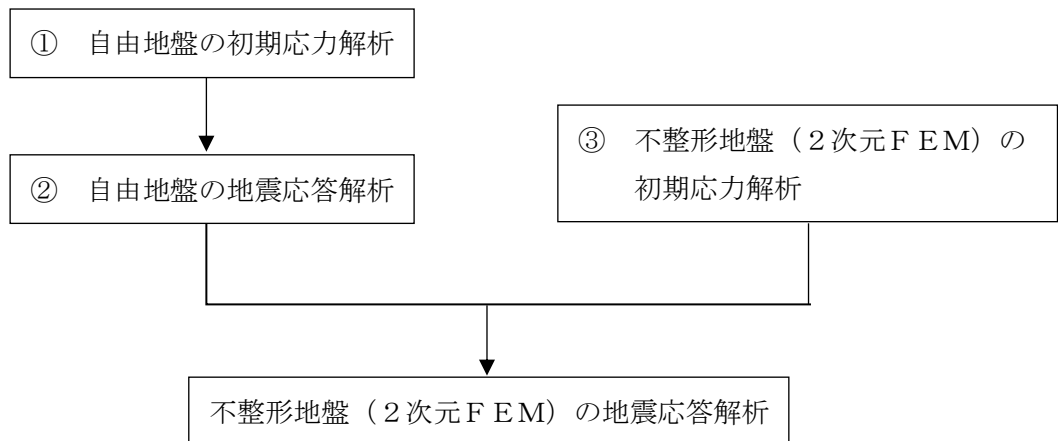
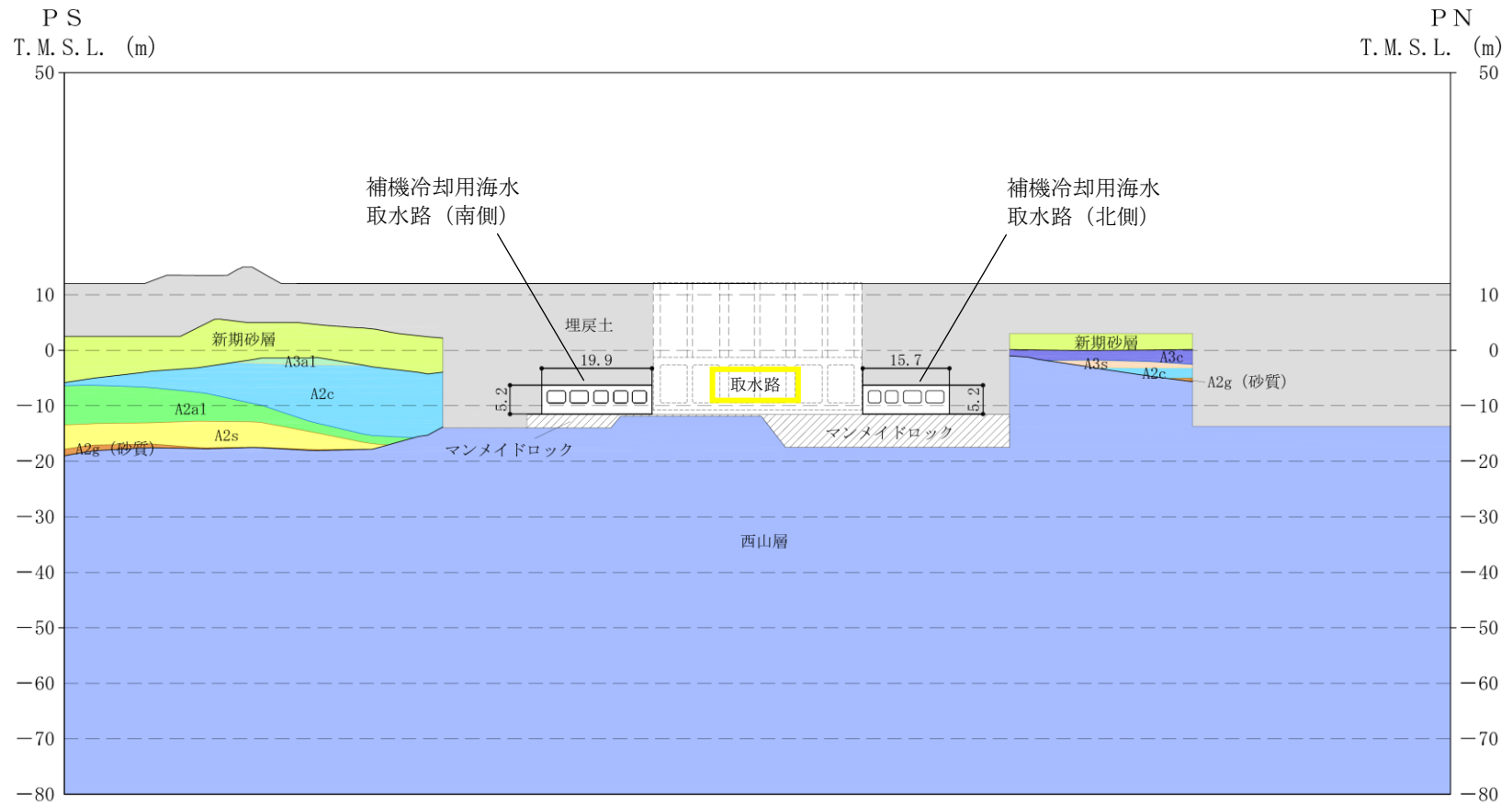


図5-18 自由地盤の初期応力解析から不整形地盤（2次元FEM）の地震応答解析までのフロー



(単位：m)

図 5-19 補機冷却用海水取水路（横断方向）の周辺地質断面図（A-A断面）

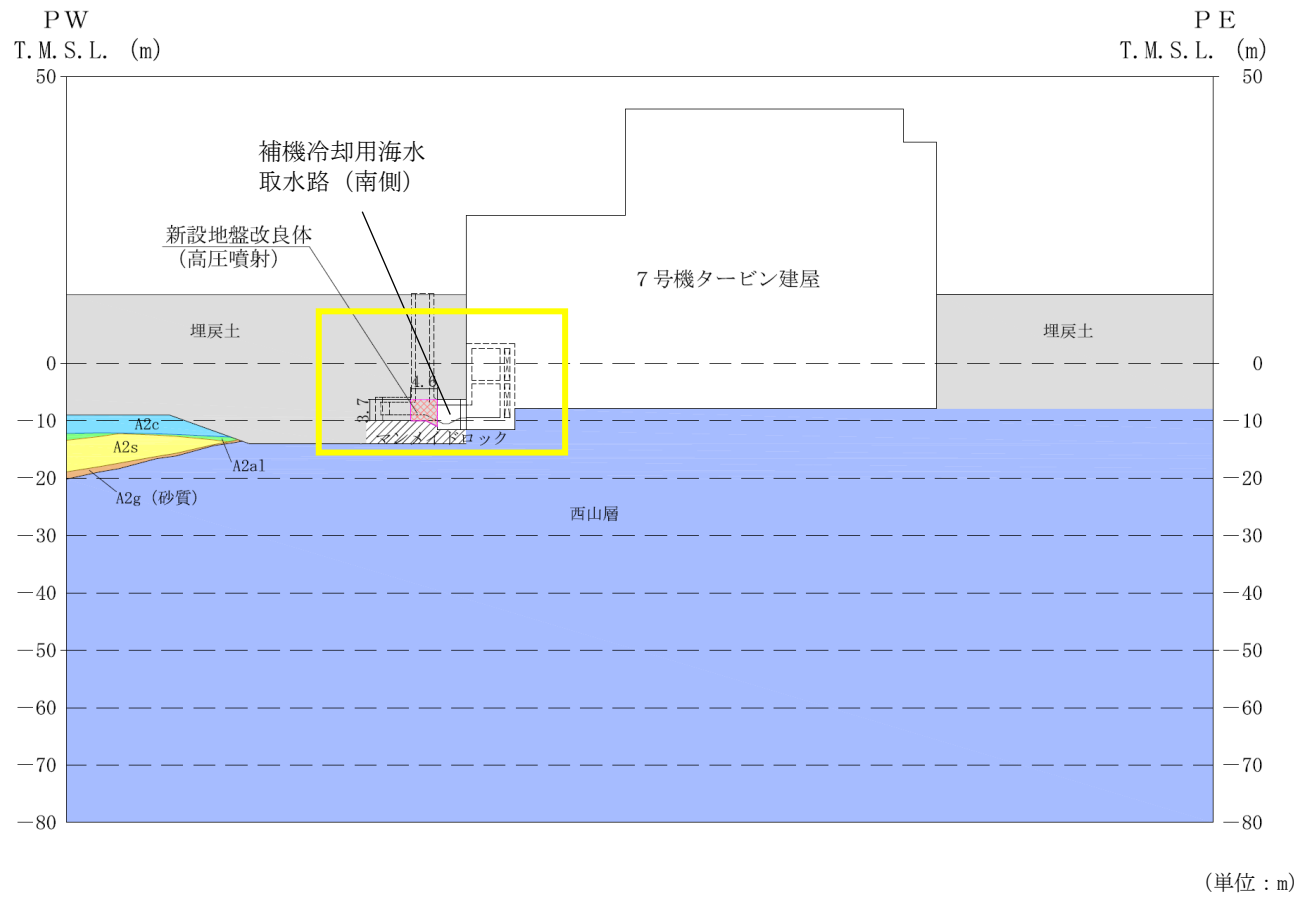


図 5-20 補機冷却用海水取水路 (南側) の縦断方向周辺地質断面図 (B-B断面)

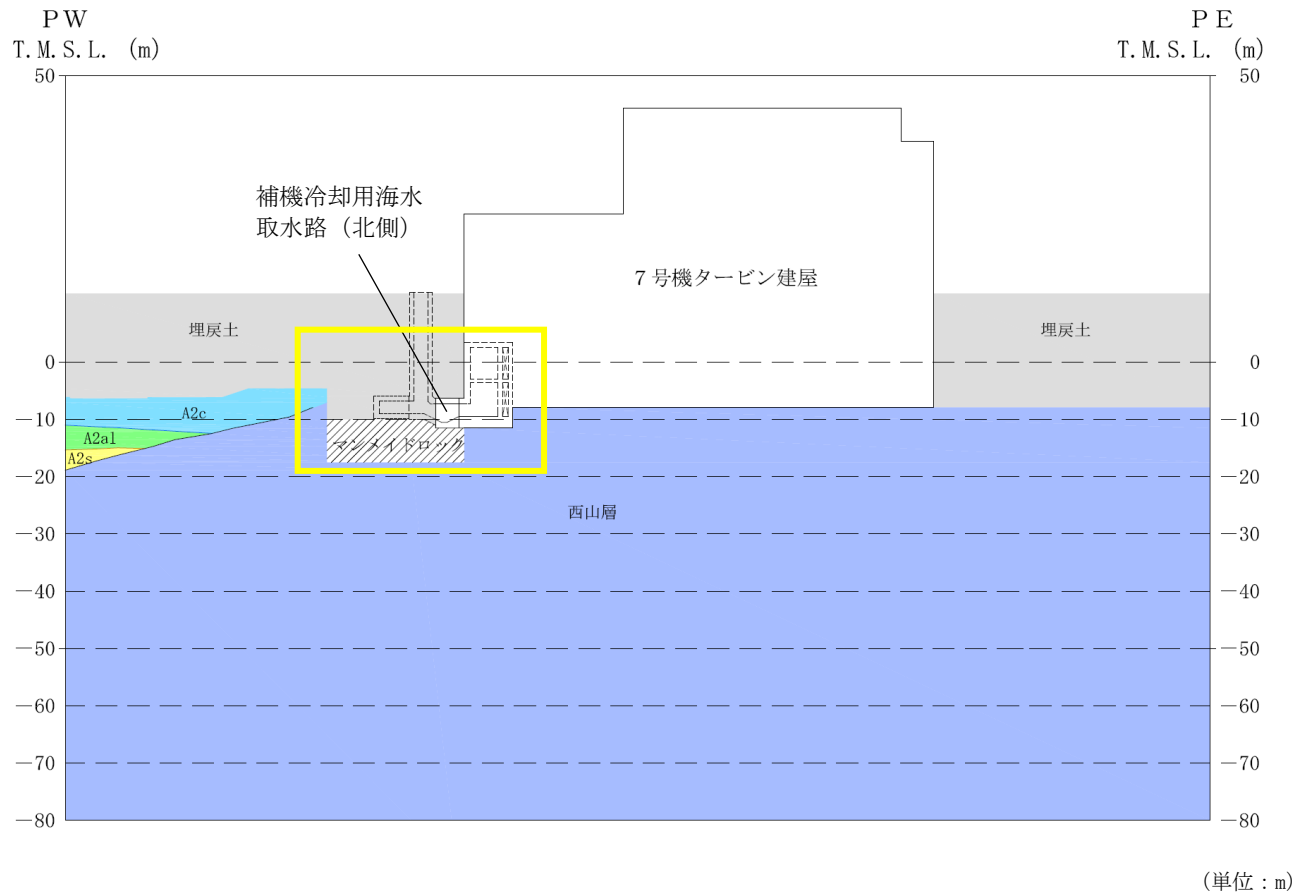


図 5-21 補機冷却用海水取水路 (北側) の縦断方向周辺地質断面図 (C-C断面)

(2) 境界条件

a. 初期応力解析時

初期応力解析は、地盤や構造物の自重等の静的な荷重を載荷することによる常時の初期応力を算定するために行う。そこで、初期応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 5-22 に示す。

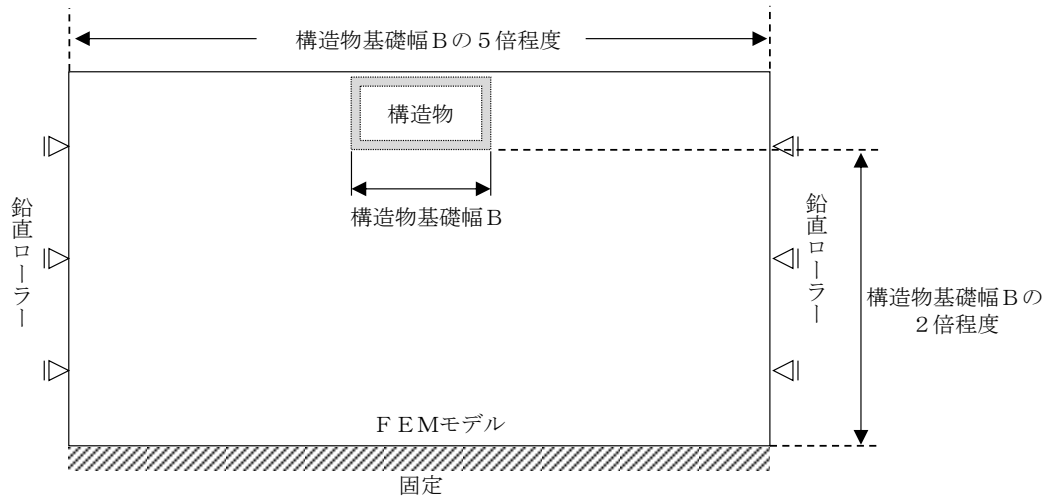


図 5-22 初期応力解析における境界条件の概念図



b. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデルを図 5-23～図 5-25 に示す。

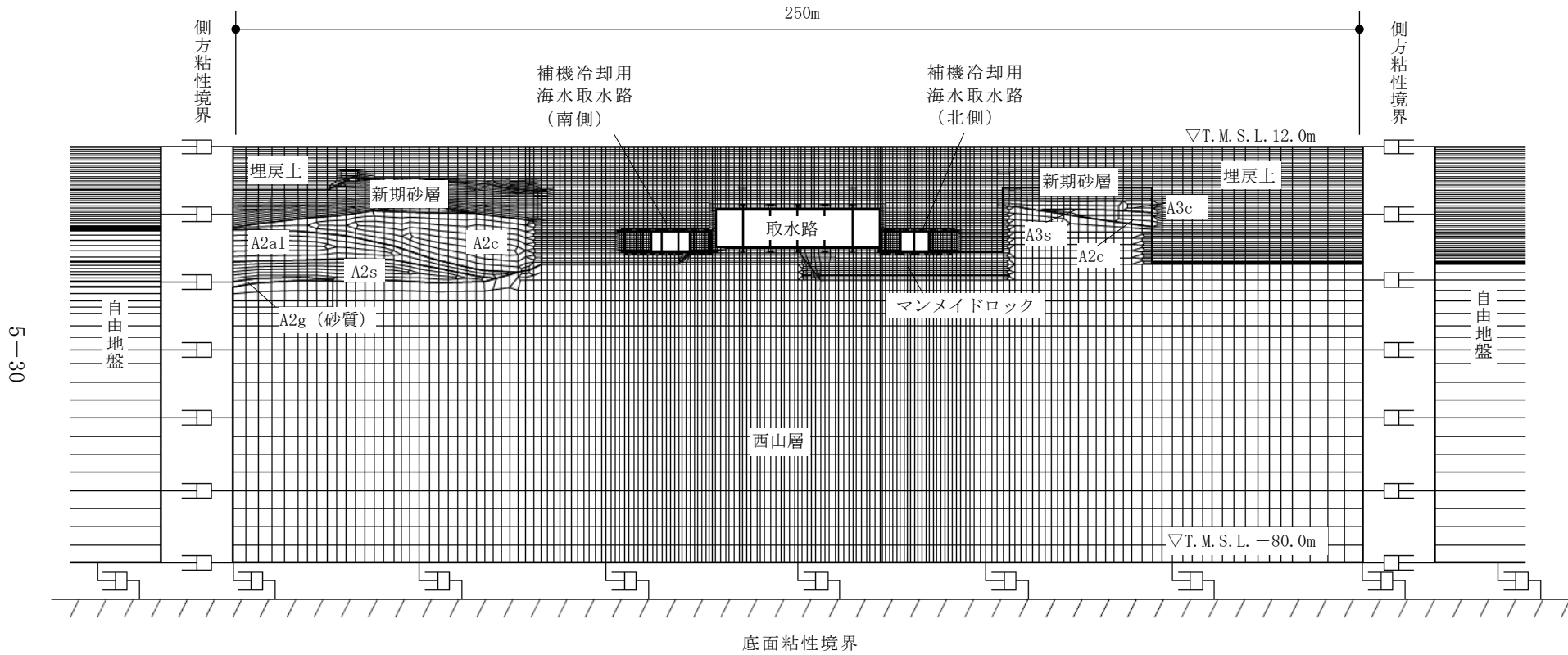


図 5-23 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル (A-A断面)

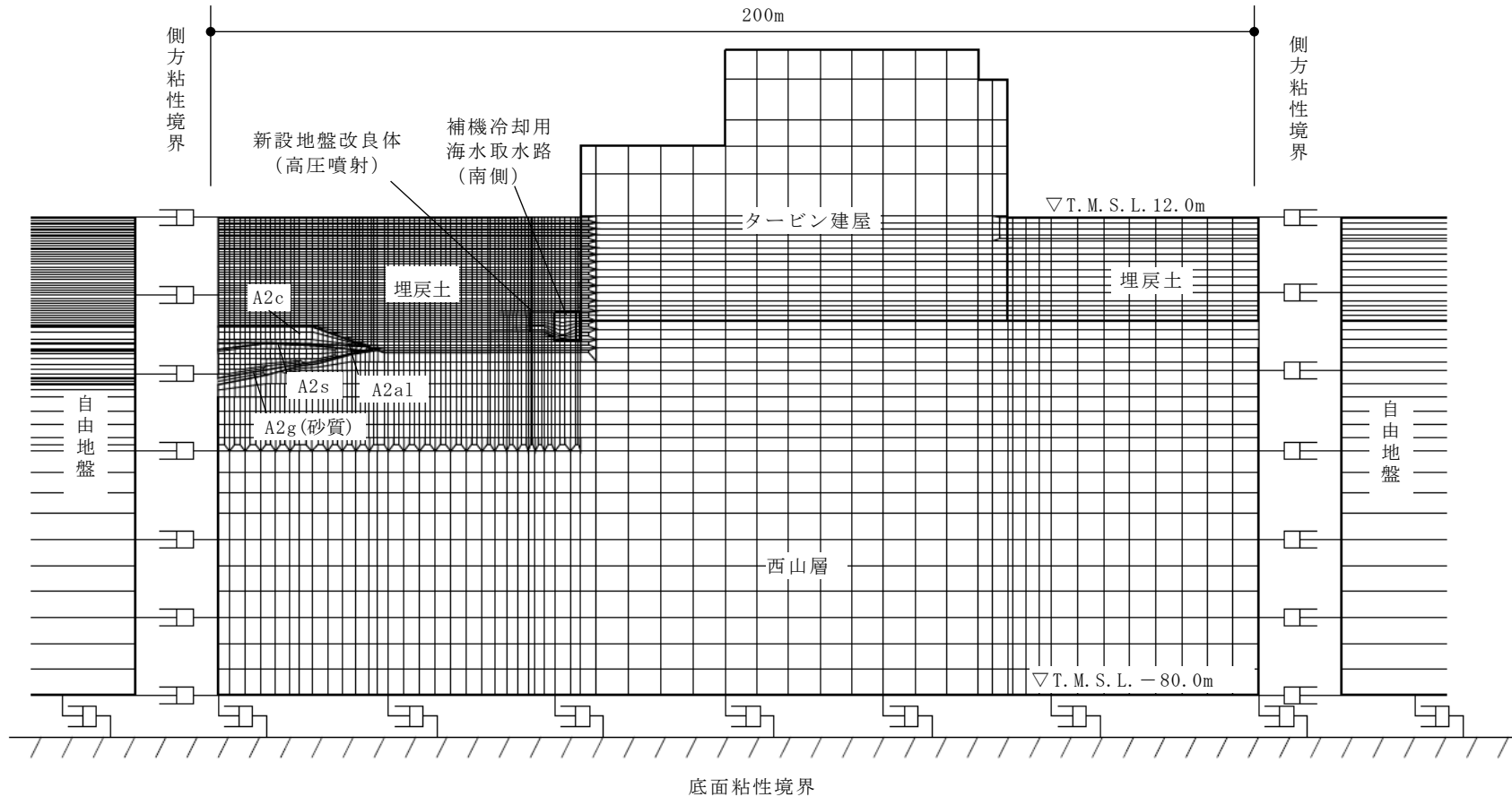
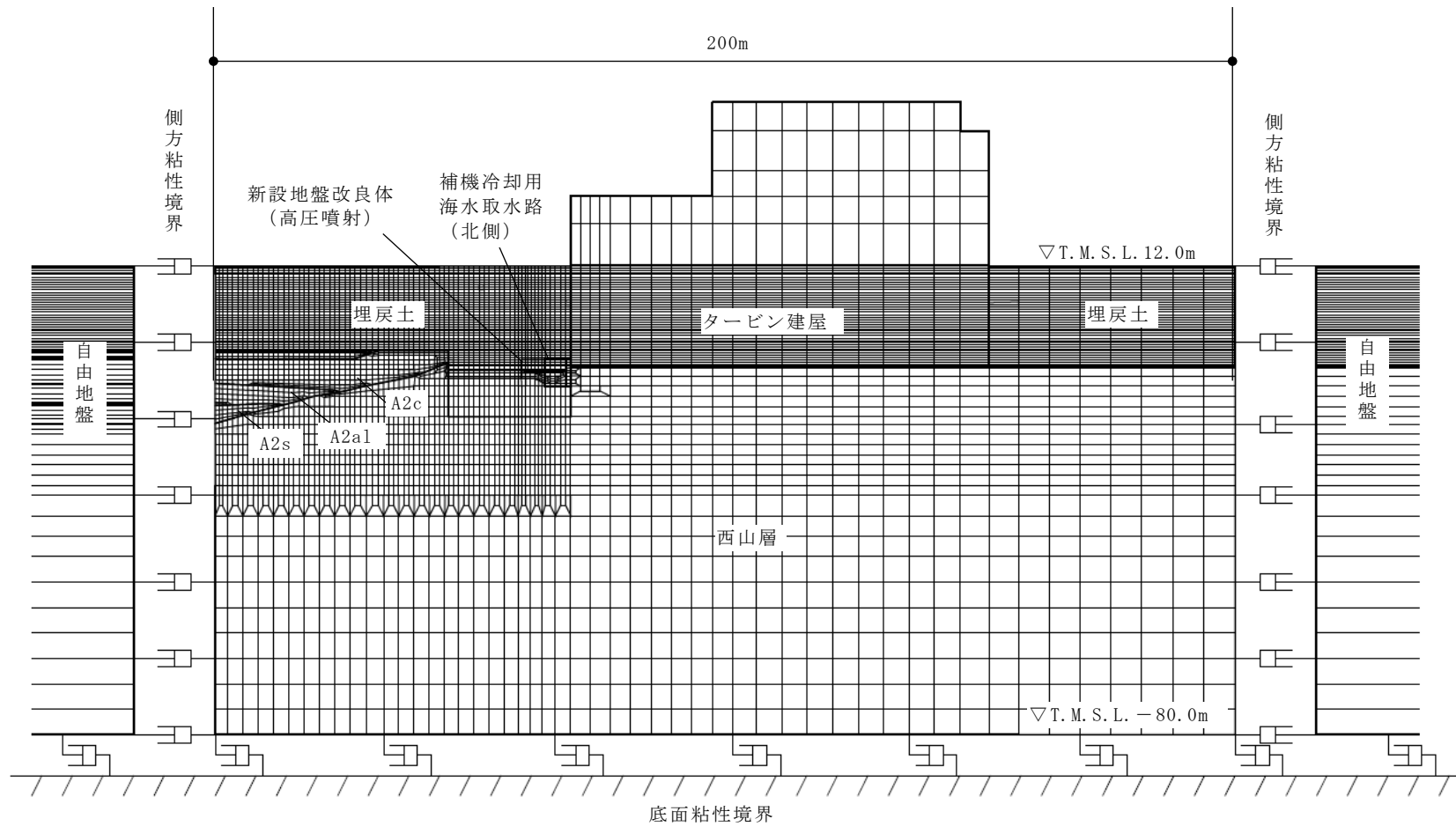


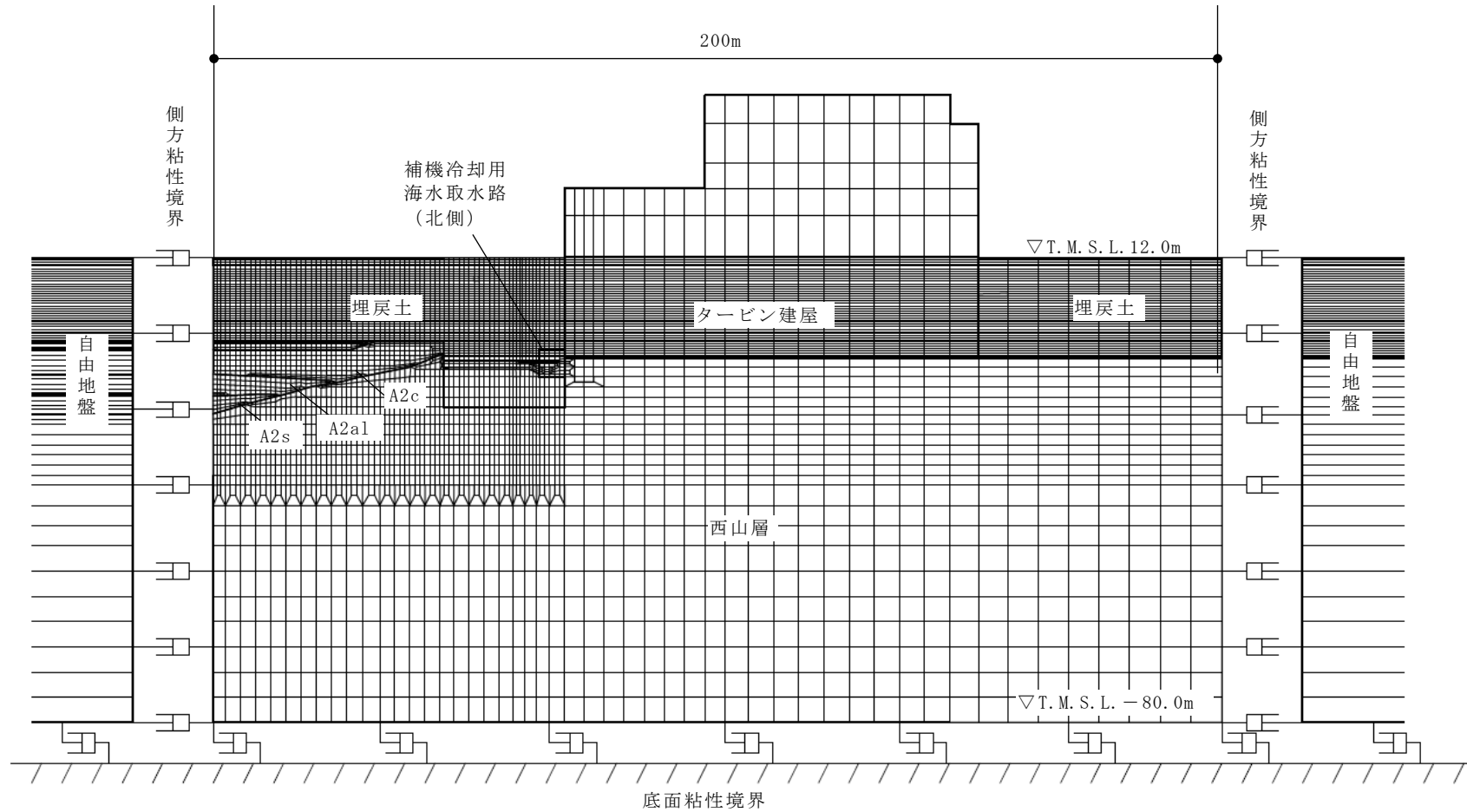
図 5-24 補機冷却用海水取水路（南側）の地震応答解析モデル（B-B断面）



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については、**南北**の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため、それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

(a) 南妻壁側

図 5-25 補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデル（C-C断面）(1/2)



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については，南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため，それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

(b) 北妻壁側

図 5-25 補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデル（C-C断面）(2/2)

(3) 構造物のモデル化

a. 横断方向 (NS 断面)

補機冷却用海水取水路の横断方向のA-A断面では、構造部材として考慮する側壁、隔壁、底版、頂版、柱を非線形はり要素でモデル化する。補機冷却用海水取水路の妻壁部については、線形平面ひずみ要素でモデル化する。なお、妻壁部を線形としてモデル化することは、地震時に躯体に作用する土圧を、非線形性を考慮した場合と比較して大きく評価することになるため、耐震評価の観点から保守的な設定となる。

構造部材 (側壁、隔壁、底版、頂版、柱) は、断面諸元 (鉄筋量・配筋) 及び部材奥行幅が解析奥行幅に占める割合に応じた非線形性を設定する。このうち、柱は、構造物の全奥行幅に対する部材の奥行幅が相対的に小さいことから、部材の奥行幅に応じた等価剛性を設定する。線形平面ひずみ要素でモデル化する妻壁部は、断面諸元 (鉄筋量・配筋) 及び部材奥行幅が解析奥行幅に占める割合に応じた等価剛性を設定する。等価剛性の算定の概念図を図 5-26 に、補機冷却用海水取水路の柱及び妻壁部の奥行幅を示した拡大図を、図 5-29～図 5-30 に示す。

それぞれの非線形はり要素の交点には、コンクリート標準示方書に基づき剛域を設ける。また、妻壁部は頂版、側壁及び底版の接続面と節点を共有する。柱部は、頂版及び底版との交点のみ節点を共有する。補機冷却用海水取水路の解析モデルの詳細を、図 5-29～図 5-30 に示す。

なお、補機冷却用海水取水路の底版のテーパ部分は、補機冷却用海水取水槽への接続を円滑にするために設けられた非構造部材であることから、非線形はり要素としてモデル化する底版は、テーパ部の配筋・剛性・重量を考慮せず、部材厚 1.0m としてモデル化する。

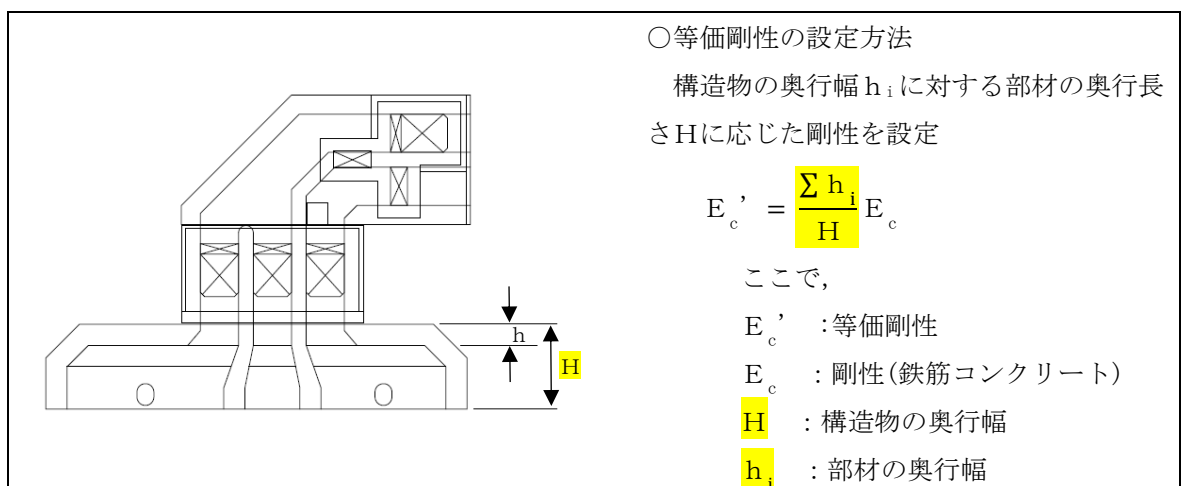


図 5-26 等価剛性の算定の概念図 (妻壁の例)

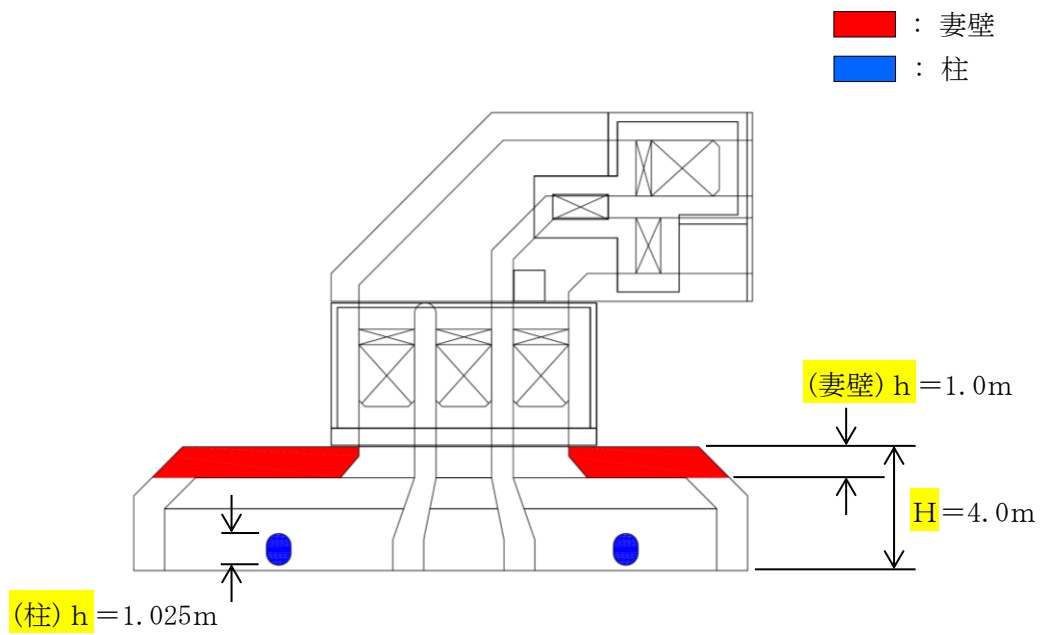


図 5-27 補機冷却用海水取水路（南側）の平面図

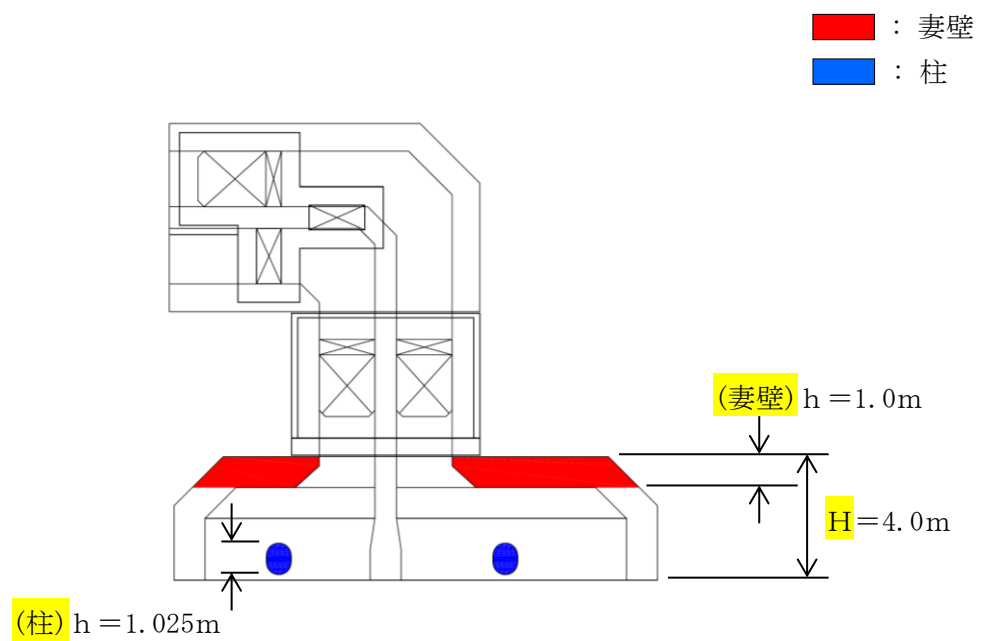
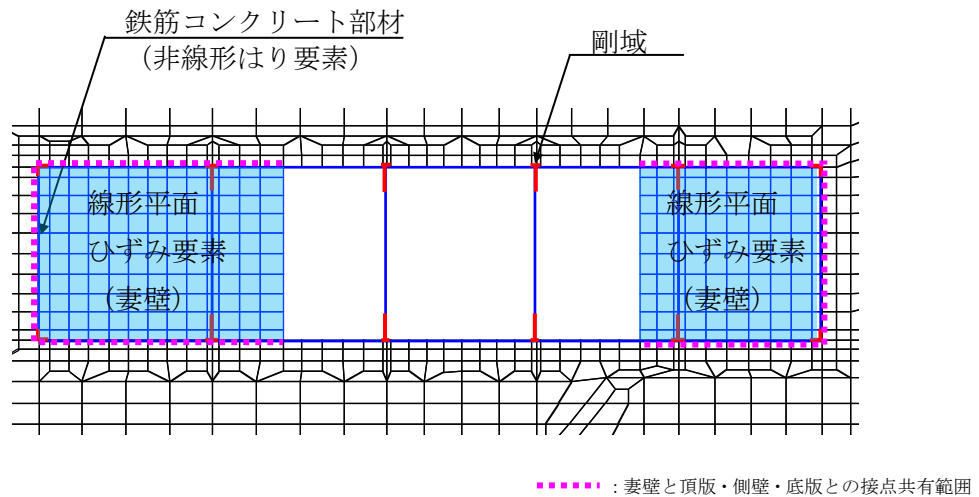


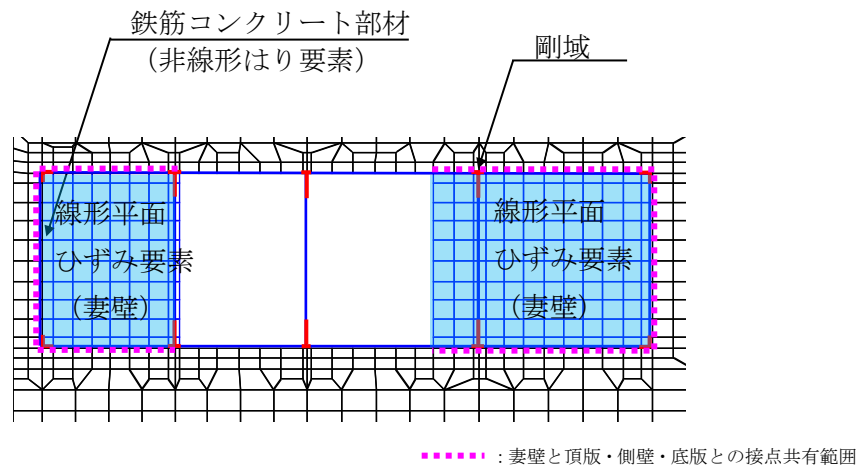
図 5-28 補機冷却用海水取水路（北側）の平面図



注1：柱部は，頂版及び底版との交点のみ節点を共有する。

注2：底版（非線形梁要素）は，テーパ部の配筋・剛性・重量を考慮せず，部材厚 1.0m としてモデル化する。

図 5-29 補機冷却用海水取水路（南側）の解析モデル（A-A断面，構造物拡大）



注1：柱部は，頂版及び底版との交点のみ節点を共有する。

注2：底版（非線形梁要素）は，テーパ部の配筋・剛性・重量を考慮せず，部材厚 1.0m としてモデル化する。

図 5-30 補機冷却用海水取水路（北側）の解析モデル（A-A断面，構造物拡大）



b. 縦断方向 (EW 断面)

補機冷却用海水取水路の縦断方向のB-B断面及びC-C断面では、補機冷却用海水取水路を線形平面ひずみ要素でモデル化する。側壁の剛性は、奥行方向の壁厚比に応じた等価剛性を設定する。等価剛性の算定の概念図を図5-31に、補機冷却用海水取水路の奥行幅を示した拡大図を、図5-32～図5-33に示す。

なお、構造部材を線形としてモデル化することは、地震時に躯体に作用する土圧を、非線形性を考慮した場合と比較して大きく評価することになるため、耐震評価の観点から保守的な設定となる。

補機冷却用海水取水路の解析モデルの詳細を、図5-34～図5-35に示す。

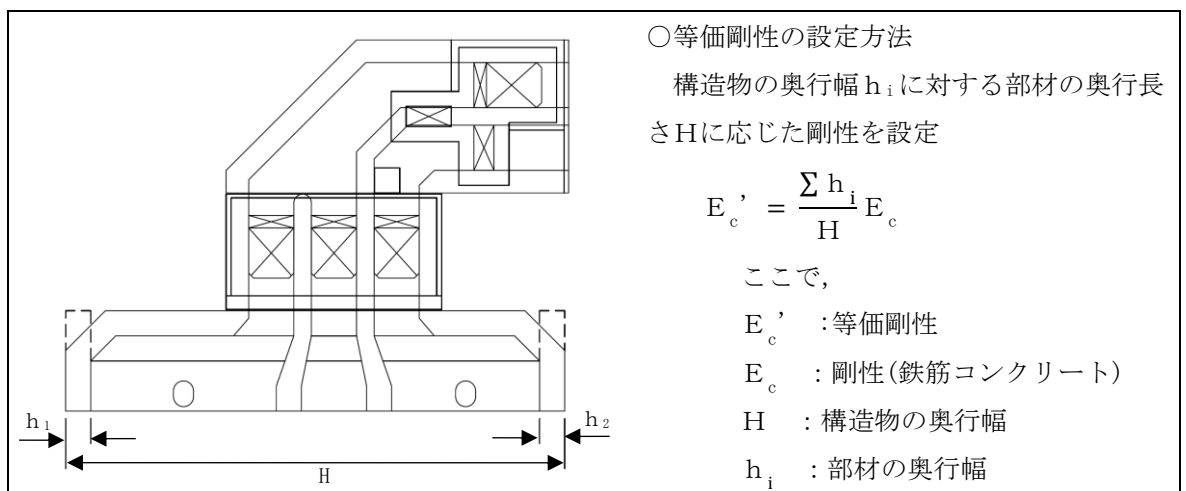


図5-31 等価剛性の算定の概念図 (補機冷却用海水取水路(縦断方向))

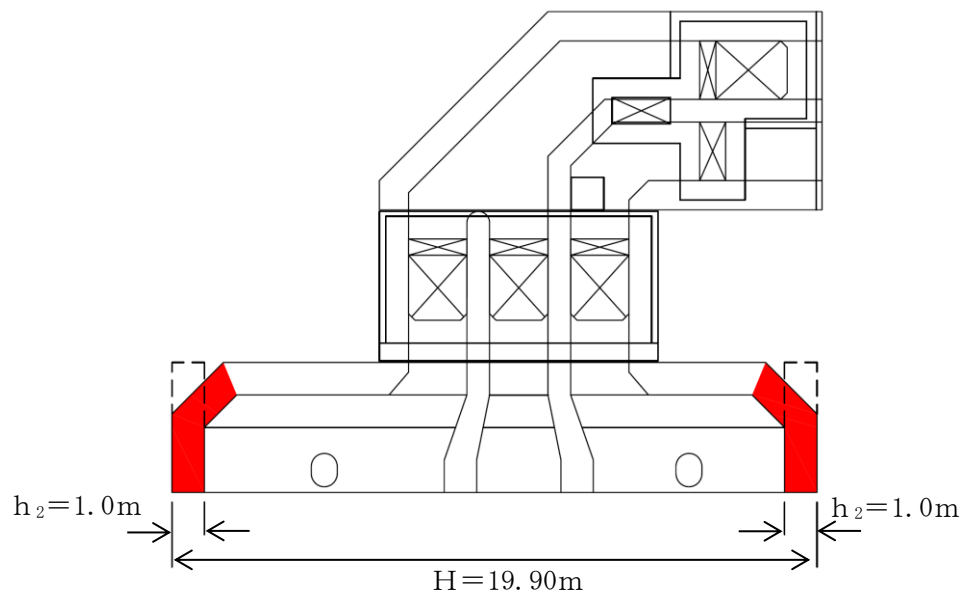


図 5-32 補機冷却用海水取水路（南側）の平面図

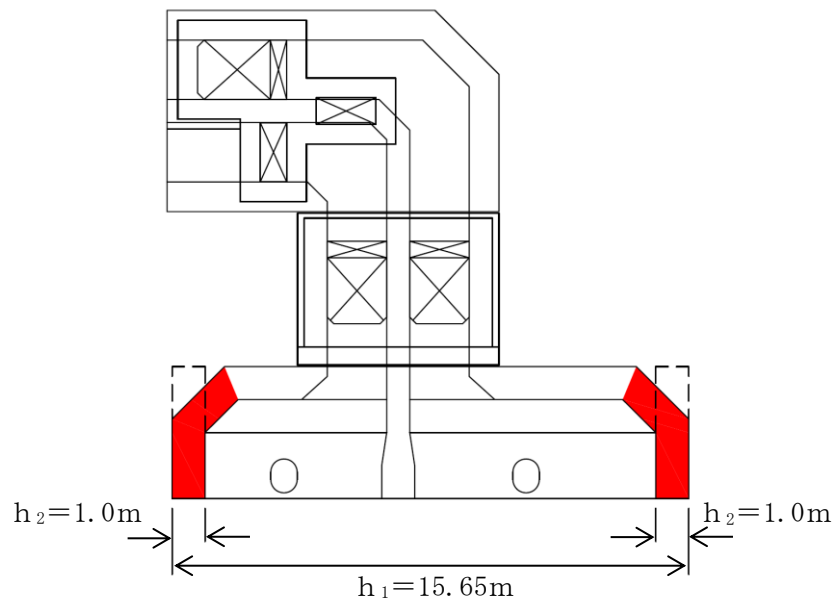


図 5-33 補機冷却用海水取水路（北側）の平面図

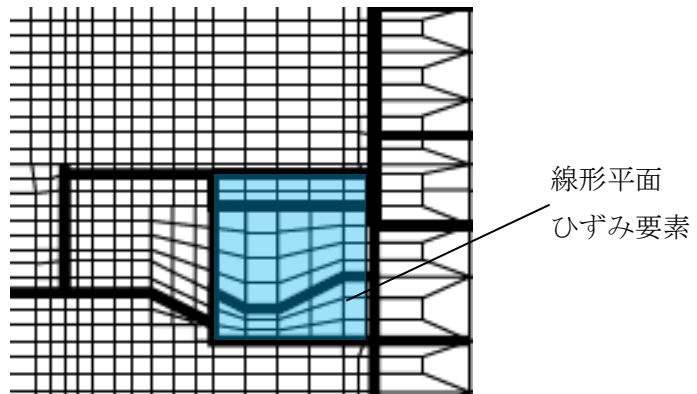
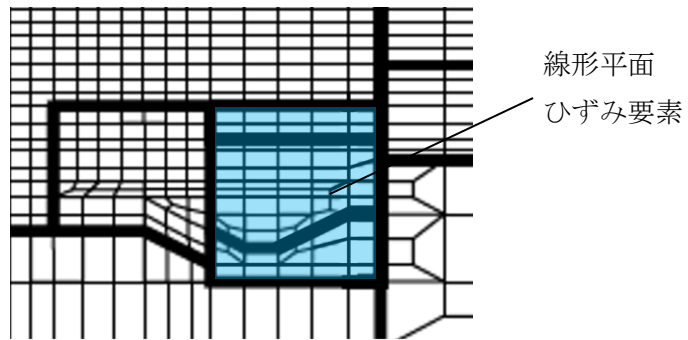


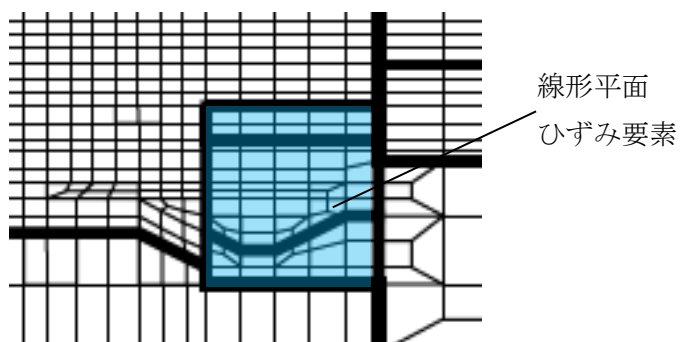
図 5-34 補機冷却用海水取水路（南側）の解析モデル（B-B断面，構造物拡大）



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については，南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため，それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

(a) 南妻壁側

図 5-35 補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデル（C-C断面，構造物拡大）(1/2)



注： 補機冷却用海水取水路（北側）については，南北の妻壁で地盤改良体の有無が異なるため，それぞれの地盤条件に応じた地震応答解析モデルを設定する。

(b) 北妻壁側

図 5-35 補機冷却用海水取水路（北側）の地震応答解析モデル（C-C断面，構造物拡大）(2/2)

(4) 隣接構造物のモデル化

a. 取水路

補機冷却用海水取水路（横断方向）の隣接構造物である取水路は、構造部材として考慮する側壁、隔壁、底版、頂版を非線形はり要素でモデル化する。

それぞれの非線形はり要素の交点には、コンクリート標準示方書に基づき剛域を設ける。隣接構造物の拡大図を、図 5-36 に示す。

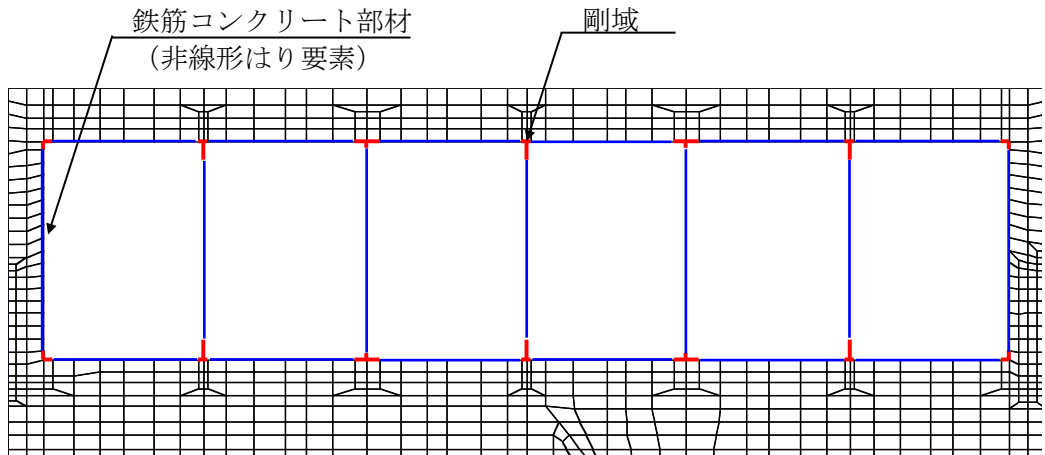


図 5-36 隣接構造物の解析モデル（A-A断面，取水路拡大）

b. タービン建屋

補機冷却用海水取水路の評価対象断面のうちB-B断面及びC-C断面には、隣接構造物である7号機タービン建屋をモデル化している。7号機タービン建屋のモデル化手法概念図を図 5-37 に示す。7号機タービン建屋は、設置変更許可申請書の基礎地盤安定性評価におけるモデル化と同様に、質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 $K_H$ 、鉛直剛性 $K_V$ 及び曲げ剛性 $K_\phi$ を用いて、せん断剛性 $G_i$ 、ポアソン比 $\nu_i$ 及びヤング係数 $E_i$ を求め、等価な有限要素モデルを作成する。

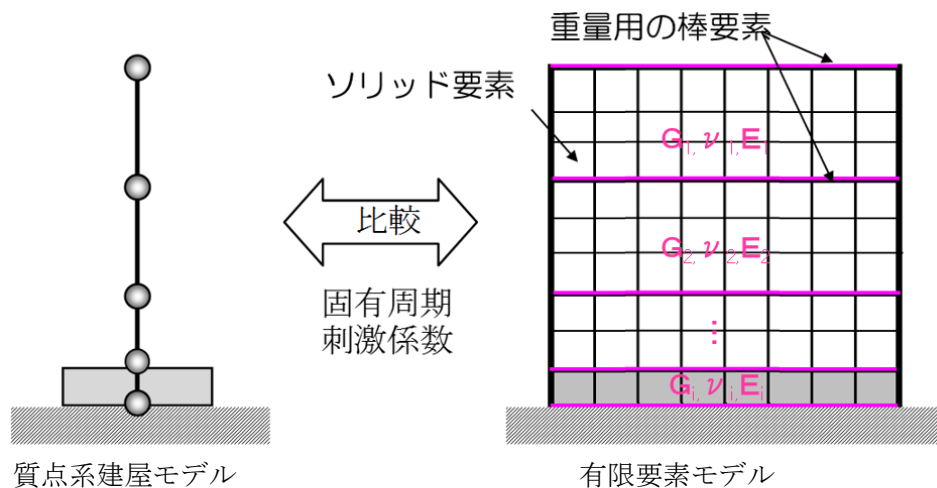


図 5-37 タービン建屋のモデル化手法概念図

(5) 地盤のモデル化

地盤はマルチスプリング要素及び間隙水要素にてモデル化し、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

(6) 地盤改良体のモデル化

地盤改良体は、マルチスプリング要素及び間隙水要素によりモデル化する。

(7) ジョイント要素の設定

「地盤と構造物」「地盤改良体と構造物」、「マンメイドロックと構造物」、「地盤と地盤改良体」及び「マンメイドロックと地盤改良体」との接合面にジョイント要素を設けることにより、地震時の接合面における剥離及びすべりを考慮する。なお、「マンメイドロックと岩盤」との接合面については、マンメイドロックは、西山層と同等以上の力学特性を有する置き換え材料として設計されており、著しい剛性差がないことを踏まえ、ジョイント要素は配置しない。

ジョイント要素は、隣接する要素との接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時の圧縮荷重以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力を零とし、剥離を考慮する。せん断方向については、各要素間の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性を零とし、すべりを考慮する。

なお、せん断強度  $\tau_f$  は、次式により規定される。

$$\tau_f = c_B + \sigma' \tan \phi_B$$

ここで、

$\sigma'$  : 要素間の直応力

$c_B$  : 付着力

$\phi_B$  : 摩擦角

要素間の付着力  $c_B$ 、摩擦角  $\phi_B$  は、表 5-11 に示す道路橋示方書の設定を参考に、表 5-12 のとおりに設定する。周辺地盤の粘着力  $c$ 、内部摩擦角  $\phi$  より、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、表 5-13 のとおりに設定する。

表 5-11 道路橋示方書における摩擦角  $\phi_B$  と付着力  $c_B$

条 件	摩擦角 $\phi_B$ (摩擦係数 $\tan \phi_B$ )	付着力 $c_B$
土とコンクリート	$\phi_B = \frac{2}{3} \phi$	$c_B = 0$
土とコンクリートの間に栗石を敷く場合	$\tan \phi_B = 0.6$ $\phi_B = \phi$ } の小さい方	$c_B = 0$
岩とコンクリート	$\tan \phi_B = 0.6$	$c_B = 0$
土と土又は岩と岩	$\phi_B = \phi$	$c_B = c$

ただし、 $\phi$ : 支持地盤のせん断抵抗角 (°)  $c$ : 支持地盤の粘着力 (kN/m<sup>2</sup>)

(道路橋示方書より引用)

表 5-12 要素間の付着力  $c_B$  と摩擦角  $\phi_B$

条 件	付着力 $c_B$ (kN/m <sup>2</sup> )	摩擦角 $\phi_B$ (°)
地盤と構造物	0	$2/3 \phi$
地盤改良体と構造物	0	31
マンメイドロック*と構造物	0	31
地盤と地盤改良体	$c$	$\phi$
マンメイドロック*と地盤改良体	0	31

注記\* : マンメイドロックは, その性状から道路橋示方書における岩とみなす。

表 5-13 周辺地盤の粘着力  $c$  と内部摩擦角  $\phi$

地質区分	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)
埋戻土	0.0 (9.6) *	35.9 (34.8) *

注記\* : 括弧内の数字は, 地下水位以浅の数値を表す。

また, ジョイント要素のばね定数は, 数値解析上不安定な挙動を起こさない程度に十分大きい値として, 港湾構造物設計事例集(上巻)(沿岸技術研究センター, 平成19年3月)に従い, 表 5-14 の通り設定する。ジョイント要素の力学特性を図 5-38 に, ジョイント要素の配置を図 5-39 に示す。

表 5-14 ジョイント要素のばね定数

対象	せん断剛性 $k_s$ (kN/m <sup>3</sup> )	圧縮剛性 $k_n$ (kN/m <sup>3</sup> )
側方及び底面	$1.0 \times 10^6$	$1.0 \times 10^6$

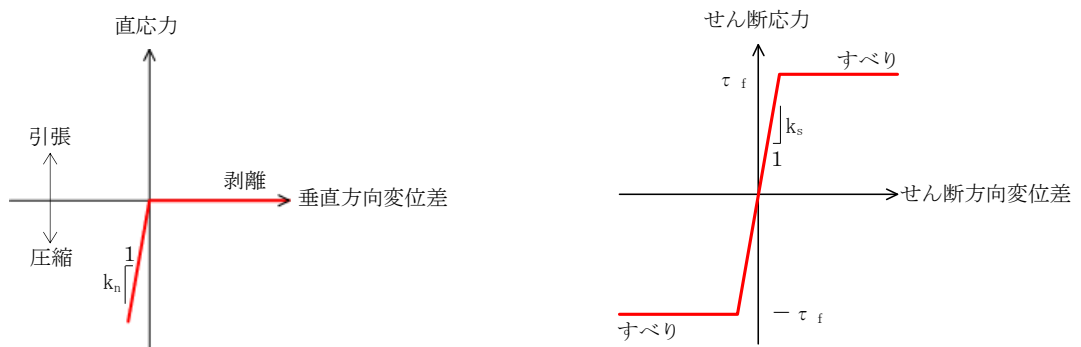
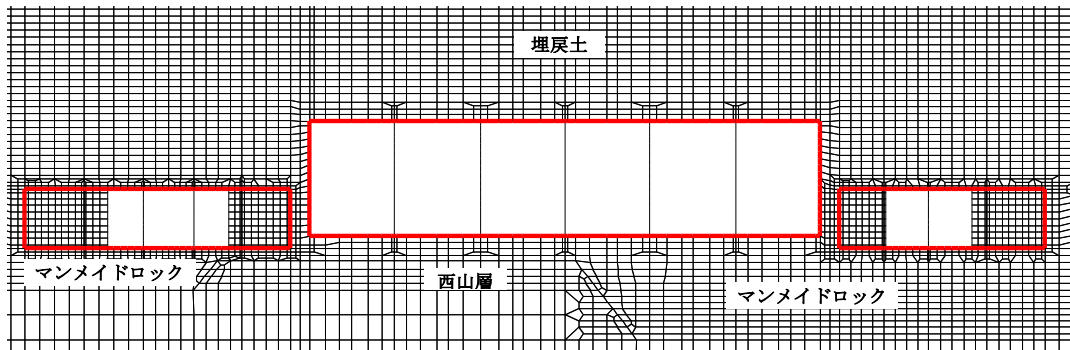
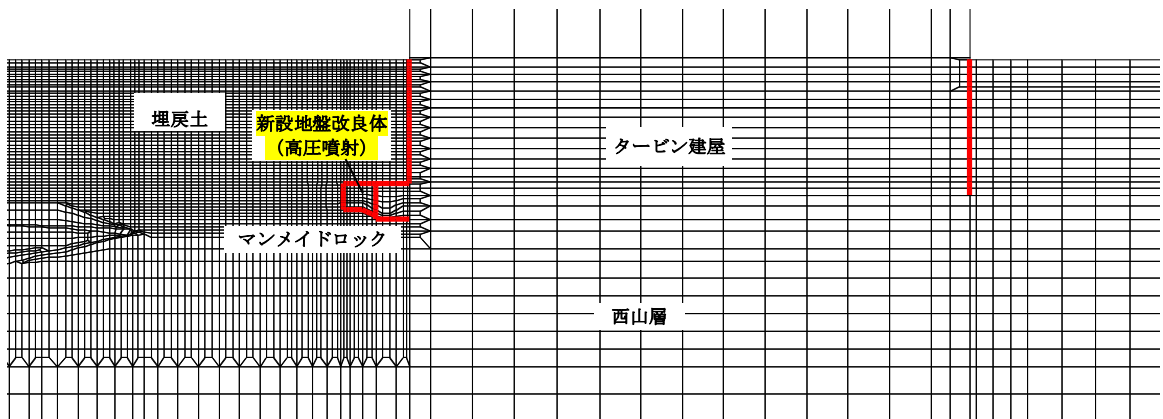


図 5-38 ジョイント要素の力学特性

— : ジョイント要素



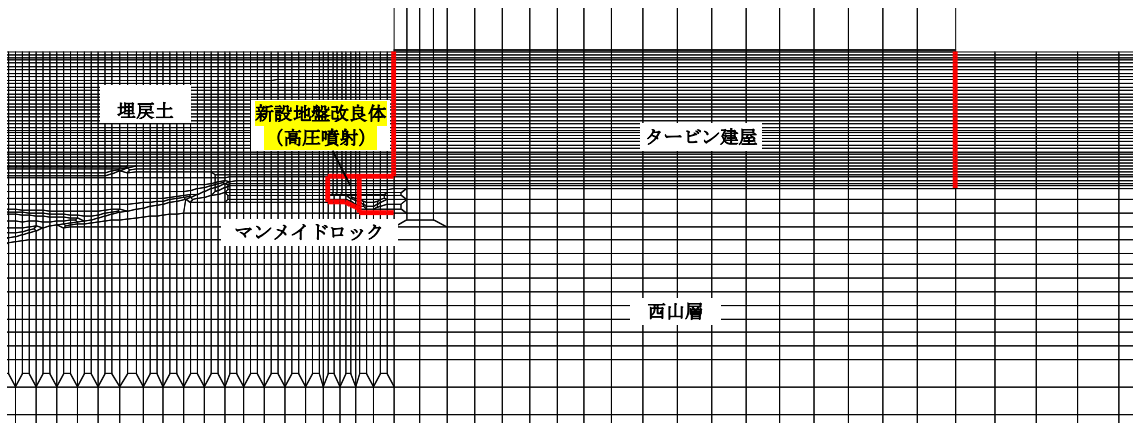
(a) 補機冷却用海水取水路 横断方向 (A-A断面)



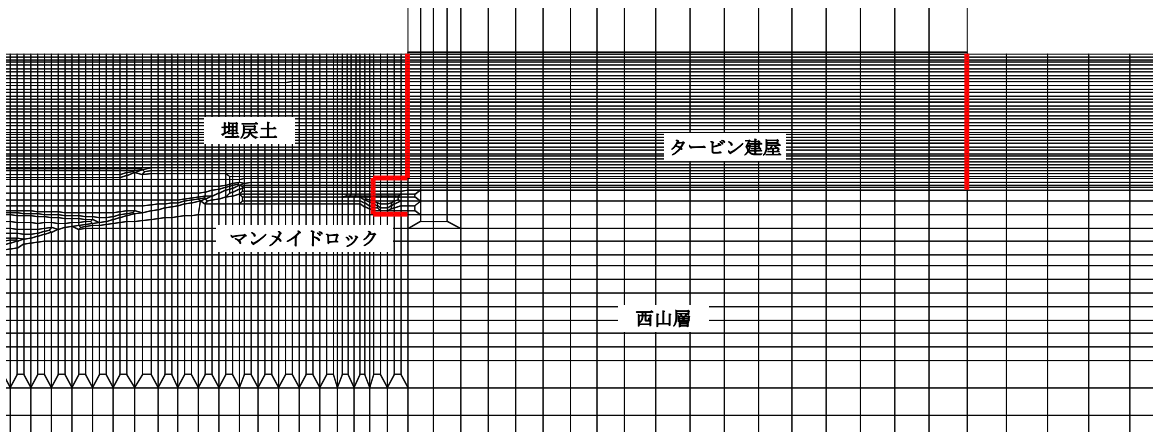
(北妻壁側, 南妻壁側)

(b) 補機冷却用海水取水路 (南側) 縦断方向 (B-B断面)

図 5-39 ジョイント要素の配置 (1/2)



(南妻壁側)



(北妻壁側)

(b) 補機冷却用海水取水路 (北側) 縦断方向 (C-C断面)

図 5-39 ジョイント要素の配置 (2/2)



(8) 材料特性の設定

鉄筋コンクリート部材は非線形はり要素を用いてモデル化する。非線形特性の設定においては、コンクリート及び鉄筋について、それぞれの非線形性を考慮する。材料の非線形特性はコンクリート標準示方書に準拠し設定する。

部材の非線形特性は以下のとおりである。

図 5-40 に、鉄筋コンクリート部材における、 $M-\phi$  関係のトリリニアモデルによる骨格曲線を示す。また、コンクリート及び鉄筋の応力-ひずみ曲線を図 5-41 及び図 5-42 に示す。トリリニアモデルによる骨格曲線と履歴特性の関係を図 5-43 に示す。履歴特性には、修正武田モデルを適用する。

有効応力解析コード「FLIP Ver. 7.4.1」における当該非線形特性では、地震時における部材の軸力は一定とされることから、常時応力解析により各部材に発生する軸力にて当該非線形特性を設定する。軸力変動が部材の非線形特性に及ぼす影響については、(参考資料 3) に示す。

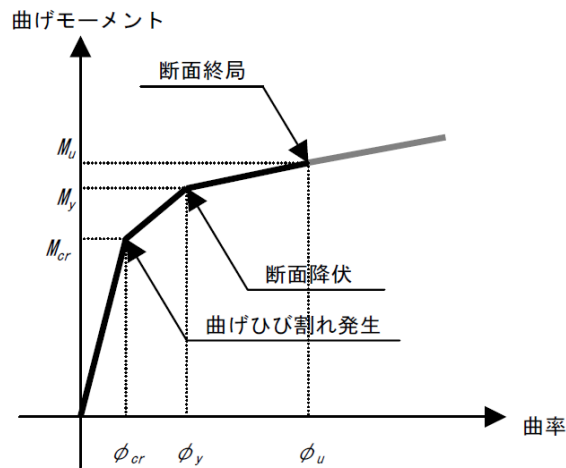


図 5-40  $M-\phi$  関係のトリリニアモデルによる骨格曲線 (鉄筋コンクリート部材)

(土木学会マニュアルより引用)

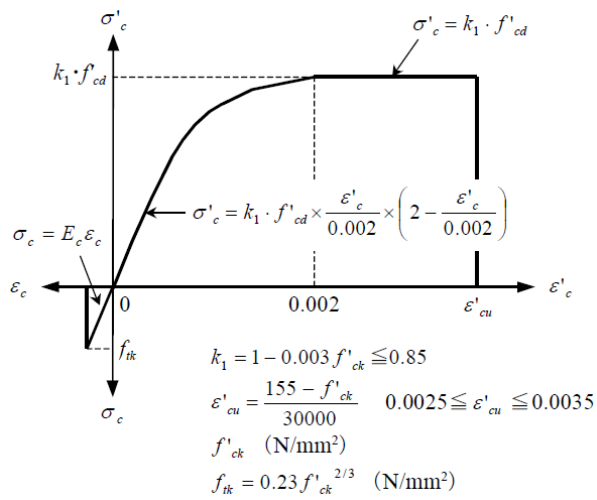


図 5-41 コンクリートの応力-ひずみ曲線  
(土木学会マニュアルより引用)

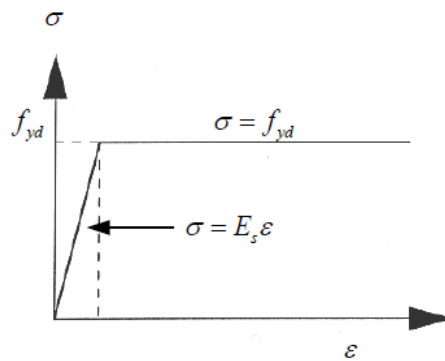


図 5-42 鉄筋の応力-ひずみ曲線  
(土木学会マニュアルより引用)

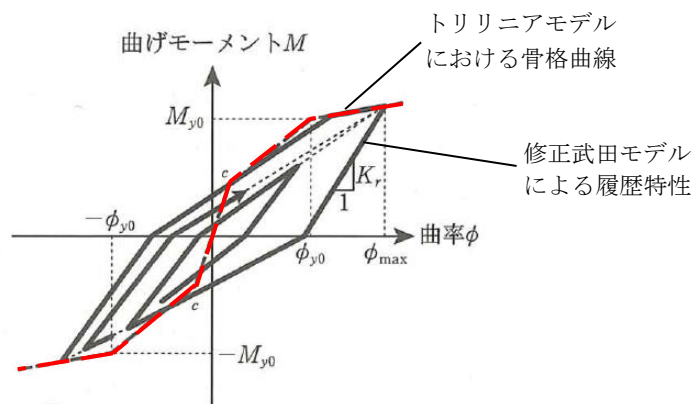


図 5-43 鉄筋コンクリート部材の履歴特性（修正武田モデル）  
(道路橋示方書（V耐震設計編）・同解説（平成 14 年 3 月）に一部加筆）

### 5.3.3 減衰定数

減衰定数は、KK7 補足-027-1「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」に基づき設定する。

### 5.3.4 荷重の組合せ

耐震評価にて考慮する荷重は、通常運転時の荷重（永久荷重）及び地震荷重を抽出し、それぞれを組み合わせて設定する。地震荷重には、地震時土圧及び動水圧の反力による荷重が含まれるものとする。なお、補機冷却用海水取水路には荷重として考慮すべき機器・配管は存在しない。

積雪荷重については、補機冷却用海水取水路が地中に埋設された構造物であることを考慮すると、構造物に与える影響は軽微であると判断し、地震力を組合せる荷重としては除外した。

なお、補機冷却用海水取水路は地中に埋設された構造物であることから、運転時の異常な過度変化時の状態及び設計基準事故時の状態の影響を受けないため、当該状態についての組合せは考慮しないものとする。また、重大事故等対処時においても、地中で設計基準事故時の条件を上回るような事象は発生しないため、設計基準事故時の条件を上回る荷重はない。

荷重の組合せを表 5-15 に示す。

表 5-15 荷重の組合せ

種別		荷重	算定方法の概要
永久荷重	固定荷重	躯体自重	○ ・設計図書に基づき、対象構造物の体積に材料の密度を乗じて設定する
		機器・配管自重	— ・機器・配管はないことから、考慮しない
		土被り荷重	○ ・常時応力解析により設定する
		永久上載荷重	— ・地盤表面に恒常的に置かれる設備等はないことから、考慮しない
	静止土圧		○ ・常時応力解析により算定する
	外水圧		○ ・地下水位（T.M.S.L. 5.0m）に応じた静水圧を設定する ・地下水の密度を考慮する
	内水圧		○ ・T.M.S.L. 1.0m*に応じた静水圧を設定する ・海水の密度を考慮する
	雪荷重		— ・埋設構造物であるため、積雪を考慮しない
偶発荷重 (地震荷重)	水平地震動		○ ・基準地震動 $S_s$ による水平・鉛直同時加振を考慮する
	鉛直地震動		○ ・躯体、動土圧を考慮する
	動水圧		○ ・水位条件及び密度は、永久荷重のうち内水圧と同様とする ・地震時動水圧を付加質量により考慮する

注記\*：内水圧の水位は、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対し、保守性を考慮し T.M.S.L. 1.0m とする。（共通：スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路）

(1) 外水圧

外水圧は、地下水位に応じた静水圧を設定する。地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、T.M.S.L. 8.0mに設定する。設定の際は、地下水の密度として、 $1.00\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

(2) 内水圧

補機冷却用海水取水路の内部には、朔望平均満潮位 T.M.S.L. 0.49m に対して保守的に設定した T.M.S.L. 1.0m を静水面とした静水圧を内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。

A-A断面（南側）における内水圧図を図 5-44 に、A-A断面（北側）における内水圧図を図 5-45 に示す。

(内水位) :  $\nabla$ T.M.S.L. 1.0m

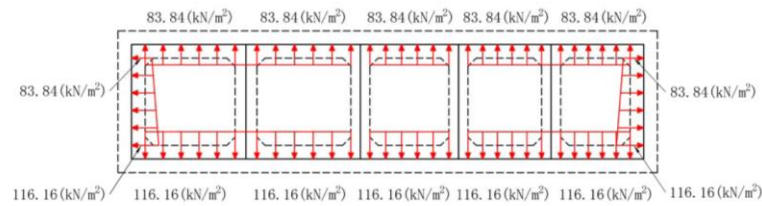


図 5-44 内水圧図 A-A断面（南側）

(内水位) :  $\nabla$ T.M.S.L. 1.0m

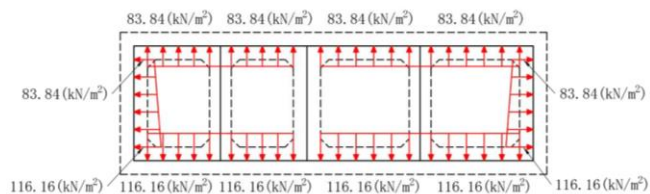


図 5-45 内水圧図 A-A断面（北側）

(3) 動水圧

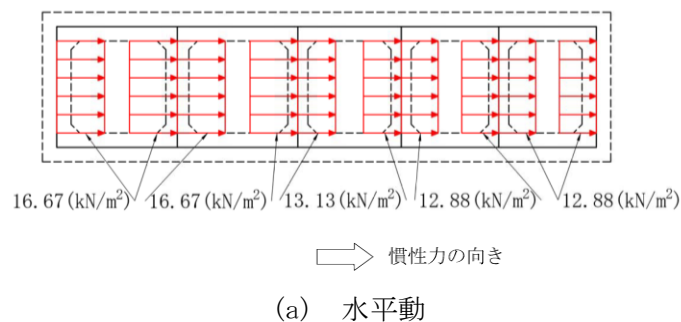
補機冷却海水取水路の内部には、朔望平均満潮位 T. M. S. L. 0.49m に対して保守的に設定した T. M. S. L. 1.0m を水面とした動水圧を付加質量として設定し、地震時の影響を考慮する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g/cm}^3$  を考慮する。

a. A-A断面（南側）

A-A断面（南側）における動水圧図を図 5-46 に示す。

A-A断面（南側）は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

(内水位) :  $\nabla$ T. M. S. L. 1.0m



(内水位) :  $\nabla$ T. M. S. L. 1.0m

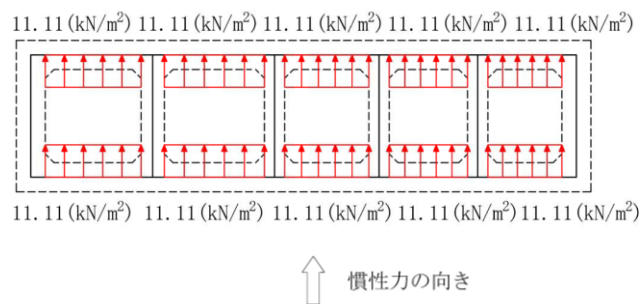


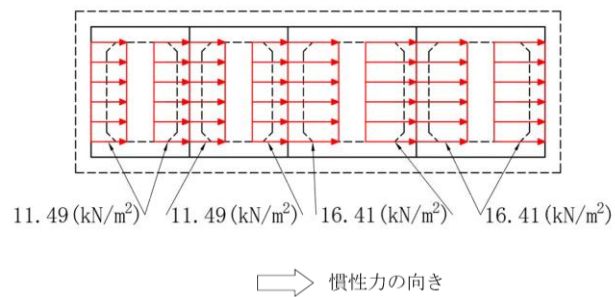
図 5-46 動水圧図 A-A断面（南側）

b. A-A断面（北側）

A-A断面（北側）における動水圧図を図 5-47 に示す。

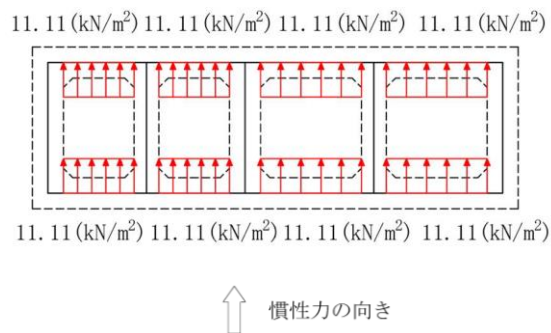
A-A断面（北側）は満水状態で自由水面が存在しないため、付加質量を設定する際は、水平動による動水圧は左右の壁に半分ずつ等しく作用させ、鉛直動による動水圧は上下スラブに半分ずつ作用させるものとする。

(内水位) :  $\nabla$ T. M. S. L. 1. 0m



(a) 水平動

(内水位) :  $\nabla$ T. M. S. L. 1. 0m



(b) 鉛直動

図 5-47 動水圧図 A-A断面（北側）

### 5.3.5 耐震評価における解析ケース

補機冷却用海水取水路は地中埋設構造物であるため、地震時の応答は地盤の応答に大きく影響される。また、構造物の地震時の変形は、主に上載地盤から地盤構造物間の摩擦を介して作用する頂版せん断力及び側方地盤から作用する土圧によって生じ、これらの作用力は地盤のせん断弾性係数に大きく依存する。したがって、補機冷却用海水取水路の耐震評価においてばらつきを考慮する物性値は、地盤の初期せん断弾性係数 $G_0$ とする。

耐震評価における解析ケースを表 5-16 に示す。

地盤剛性のばらつきの影響を考慮するため、地表付近で地下水面をまたぐ地層（埋戻土及び新期砂層）のばらつきは、初期せん断弾性係数と有効拘束圧の関係から初期せん断弾性係数の標準偏差 $\sigma$ を用いて、せん断波速度のばらつきとして設定する。地下水以深の飽和土層（沖積層及び古安田層）のばらつきは、各地層のPS 検層の結果からせん断波速度の標準偏差 $\sigma$ を求め、せん断波速度のばらつきとして設定する（解析ケース②，③，⑤）。

地盤の液状化強度特性は、代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮し、液状化強度試験データの最小二乗法による回帰曲線と、その回帰係数の自由度を考慮した不偏分散に基づく標準偏差 $\sigma$ を用いて、液状化強度特性を $(-1\sigma)$ にて設定する（解析ケース①，②，③）。

また、構造物への応答加速度に対する保守的な配慮として、地盤の非液状化の条件を仮定した解析ケースを設定する（解析ケース④，⑤）。

上記の地盤剛性及び液状化強度特性の設定を組み合わせた解析ケース（①～⑤）を実施することにより、地盤物性のばらつきの影響を網羅的に考慮する。

耐震評価においては、全ての基準地震動 $S_s$ に対して解析ケース①（基本ケース）で地震応答解析を実施し、基礎地盤の支持性能については得られた応答値から、曲げ軸力照査及びせん断力照査については3次元構造解析から照査値を算定する。また、解析ケース①において、曲げ軸力照査及びせん断力照査をはじめとした全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、追加解析ケースとして解析ケース②～⑤で地震応答解析を実施し、解析ケース①（基本ケース）と同様に照査値を算定する。最も厳しい地震動の選定は、照査値1.0に対して2倍の余裕となる照査値0.5以上を相対的に厳しい地震動の選定の目安として実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

追加解析ケースを実施する地震動の選定フローを図 5-48 に示す。

表 5-16 耐震評価における解析ケース

解析ケース		①	②	③	④	⑤	
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1σ) を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき (+1σ) を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース	
地盤剛性の設定		地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1σ)	地盤剛性 (-1σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1σ)	
液状化強度特性の設定		液状化強度特性 (-1σ)	液状化強度特性 (-1σ)	液状化強度特性 (-1σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用	
地震動 (位相)	Ss-1	++*	実施				
		+ -*	実施				
		- +*	実施				
		--*	実施				
	Ss-2		実施				
	Ss-3	++*	実施				
		+ -*	実施				
		- +*	実施				
		--*	実施				
	Ss-4		実施				
	Ss-5		実施				
	Ss-6		実施				
Ss-7		実施					
Ss-8	++*	実施					
	- +*	実施					

全ての基準地震動 S<sub>s</sub> に対して実施する①の解析ケース (基本ケース) において、せん断力照査及び曲げ軸力照査をはじめとした全ての照査項目について、各照査値が最も厳しい (許容限界に対する余裕が最も小さい) 地震動を用い、②~⑤より追加解析ケースを実施する。また、上記解析ケースの結果を踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

注記\* : 表中の符号+, -は地震動の位相 (水平, 鉛直) を示す。



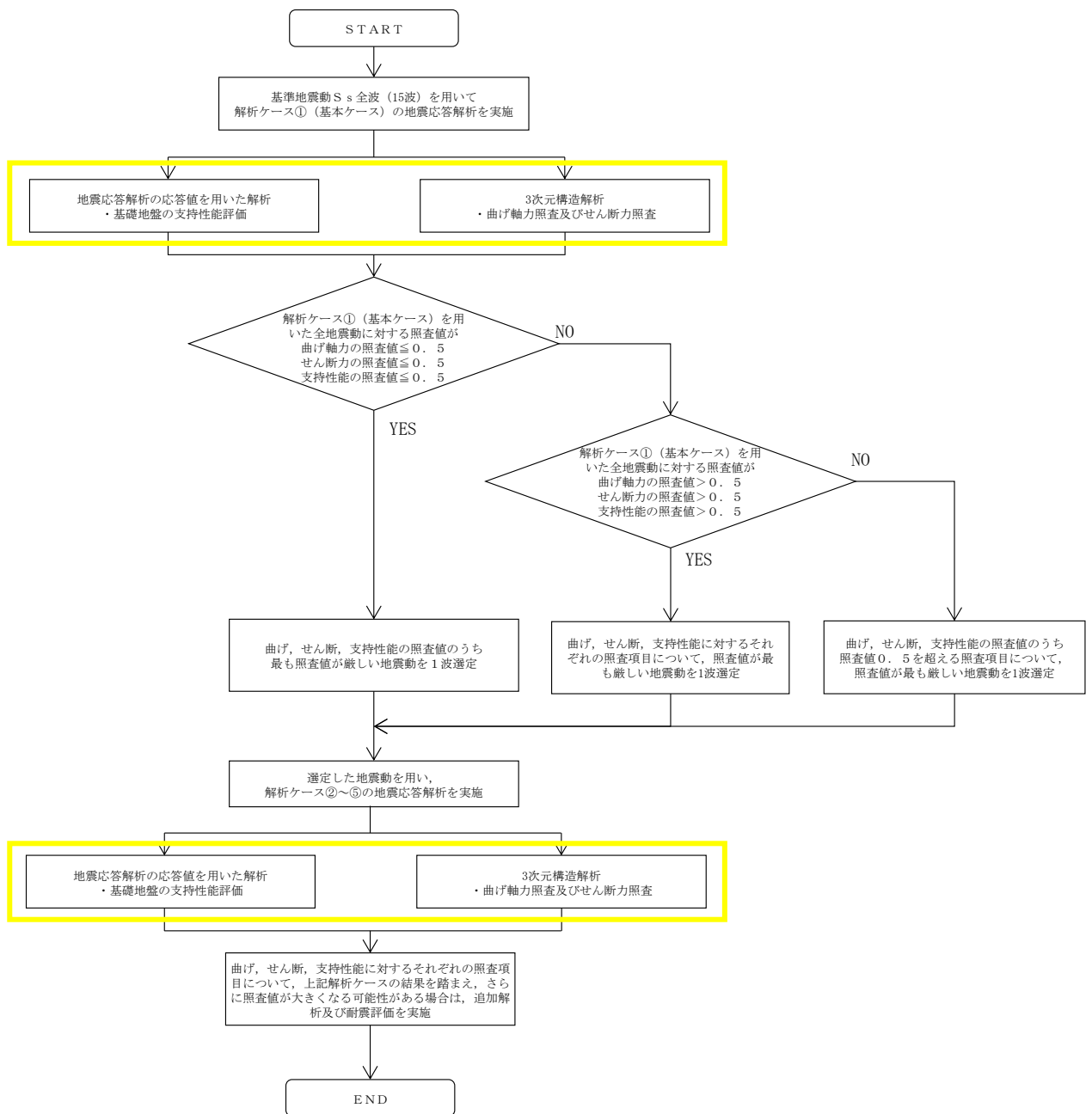


図 5-48 解析ケース②~⑤より追加解析ケースを実施する地震動の選定フロー

## 5.4 3次元構造解析

### 5.4.1 解析手法

補機冷却用海水取水路の評価は、構造物の三次元的な形状の影響を考慮するため、非線形積層シェル要素及び非線形梁要素でモデル化し、水平二方向及び鉛直方向の荷重に対する評価を、3次元構造解析を用いて行う。

補機冷却用海水取水路に作用する荷重は、地震応答解析（2次元動的有限要素法解析）において構造物の評価に支配的な荷重が作用する時刻を選定し、当該時刻における地震時応答から設定する。3次元構造解析には、解析コード「Engineer's Studio Ver. 8.0.1」を用いる。

本検討で扱う非線形積層シェル要素は、断面高さ方向に分割された鉄筋コンクリート部材の各層に対し、前川モデルに基づく非線形性を考慮しており、これを断面高さ方向に積分することで、面内変形だけでなく面外変形の非線形挙動も考慮する。

なお、前川モデルは新規制基準適合性審査において使用実績のある解析コード「WCOMD」に適用されている構成則であり、「コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2012年）」にも規定されている。

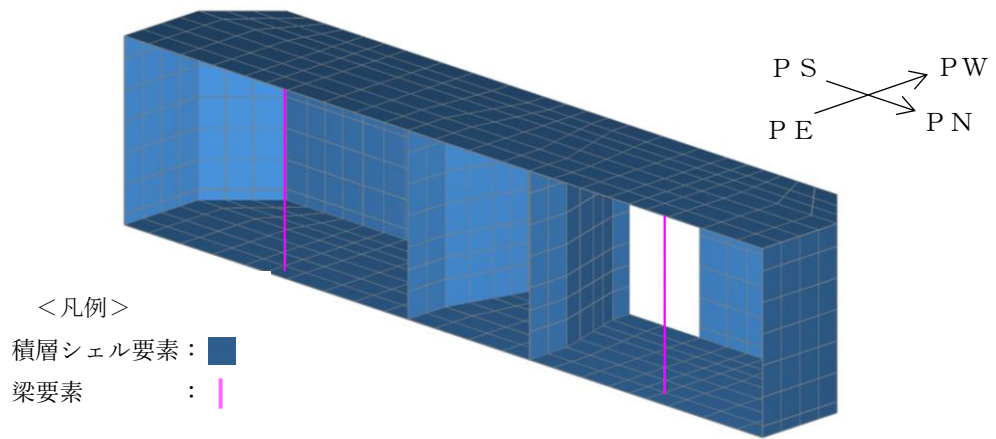
解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、V-2別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

#### 5.4.2 解析モデルの設定

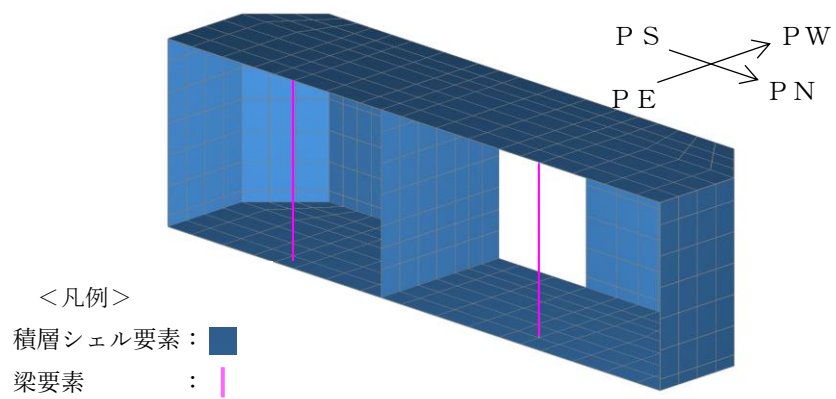
##### (1) 構造物のモデル化

補機冷却用海水取水路のうち、柱部材以外については材料の非線形特性を考慮した非線形積層シェル要素でモデル化する。非線形積層シェル要素は隔壁（部材厚 0.7m）は 6 層、隔壁以外（部材厚 1.0m）は 8 層とし、主鉄筋の位置が層の中心となるよう、主鉄筋位置に鉄筋コンクリート要素を設定する。鉄筋コンクリート要素を除く範囲は、無筋コンクリート要素としてモデル化する。非線形梁要素としてモデル化する柱部材については、断面を小領域に分割し、分割された小領域には積層シェル要素と同じ構成則を適用する。

モデル概念図を図 5-49 に、要素分割図を図 5-50～図 5-51 に示す。

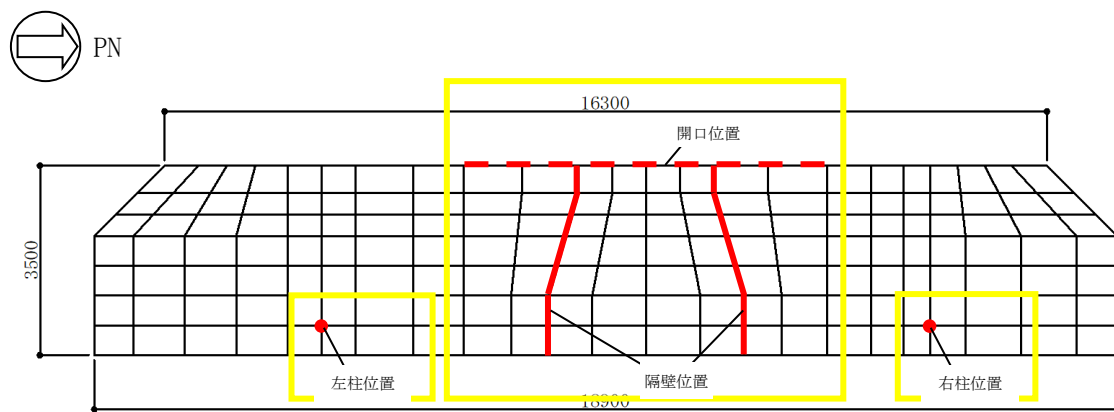
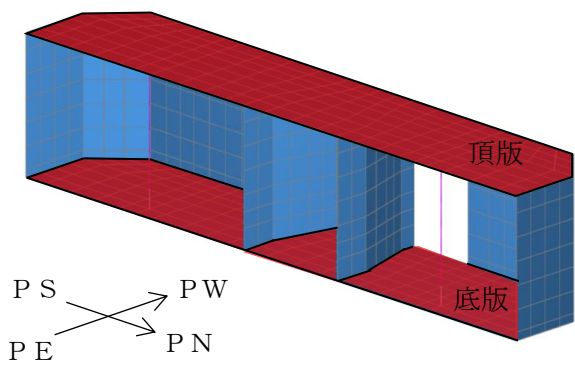


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）



(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

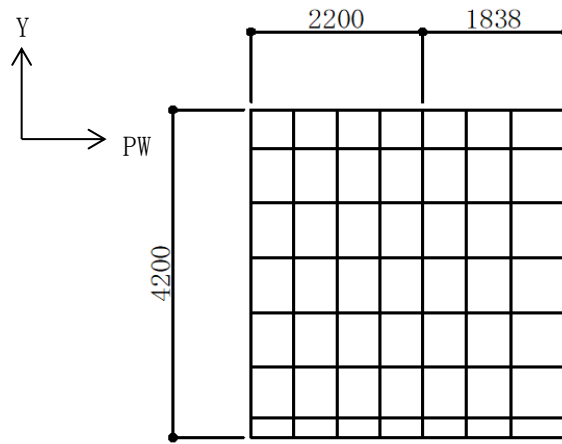
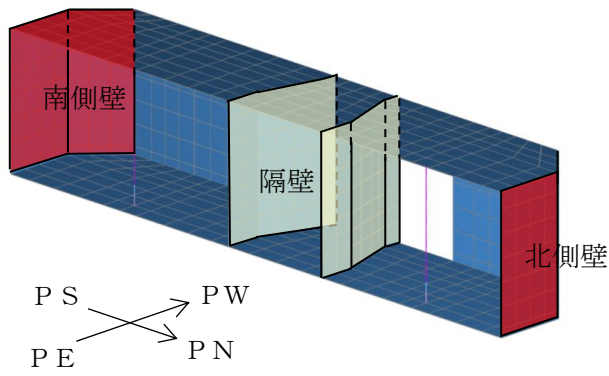
図 5-49 3次元構造解析モデルの概念図



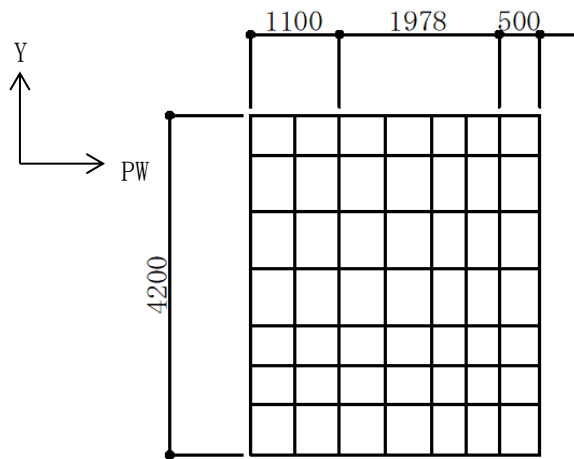
(a) 頂版及び底板

(単位 : mm)

図 5-50 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (南側)) (1/3)



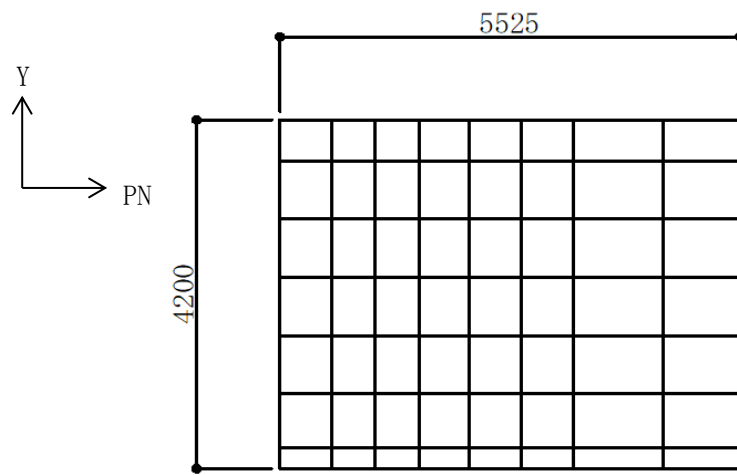
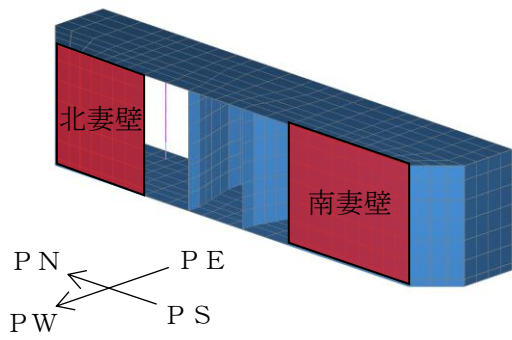
(b) 南及び北側壁



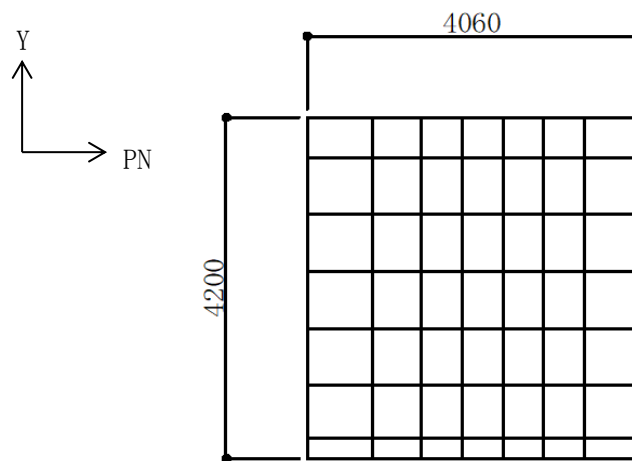
(c) 隔壁

(单位 : mm)

图 5-50 要素分割图 (補機冷却用海水取水路 (南侧)) (2/3)



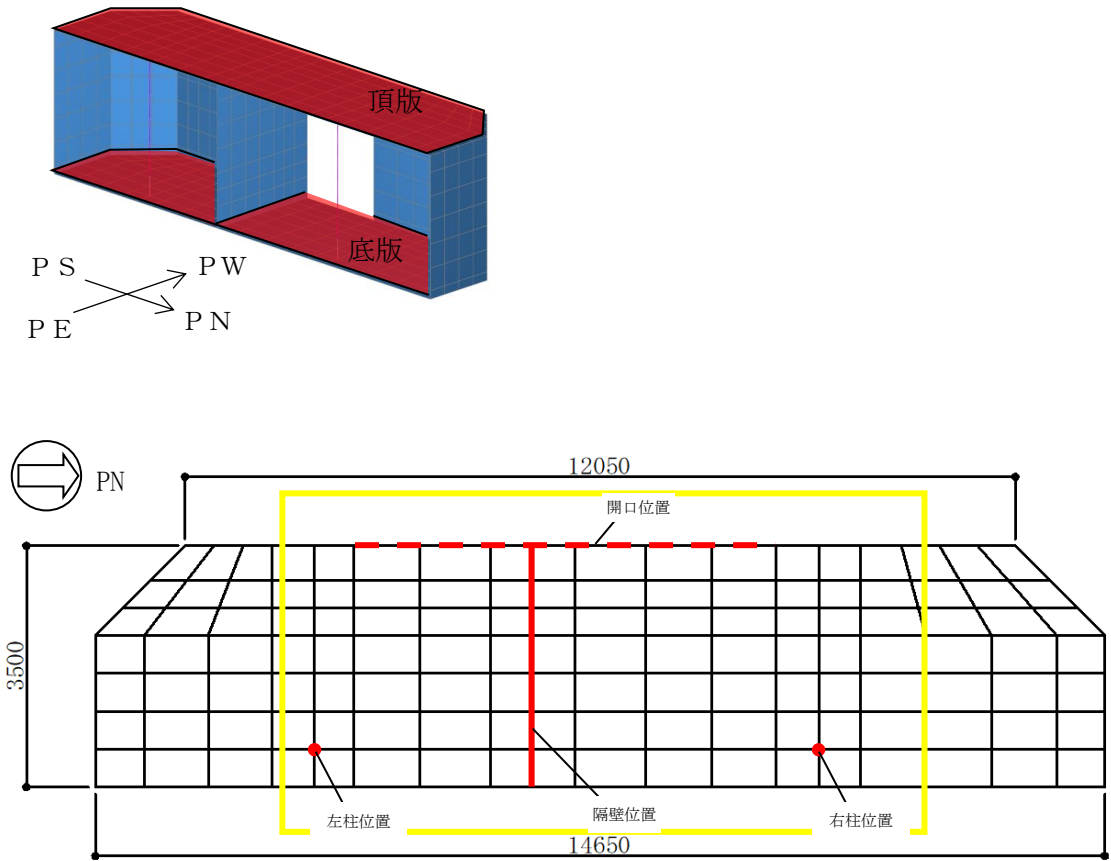
(d) 南妻壁



(e) 北妻壁

(单位: mm)

图 5-50 要素分割图 (補機冷却用海水取水路 (南侧)) (3/3)

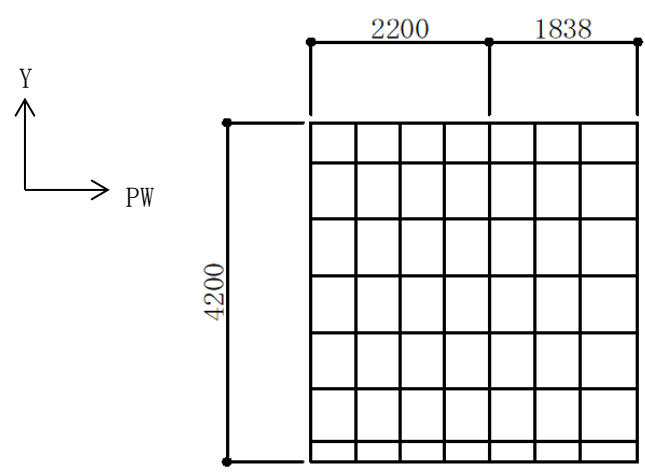
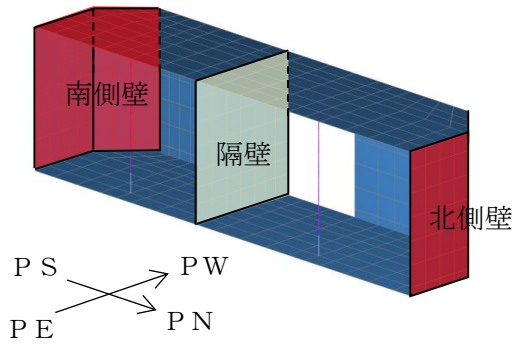


(a) 頂版及び底版

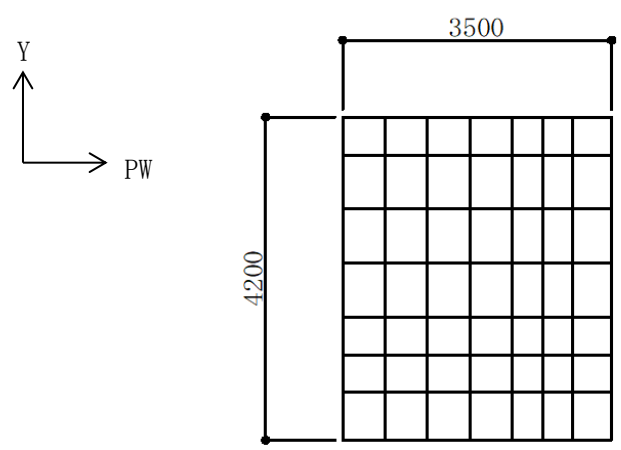
(単位：mm)

図 5-51 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (北側)) (1/3)





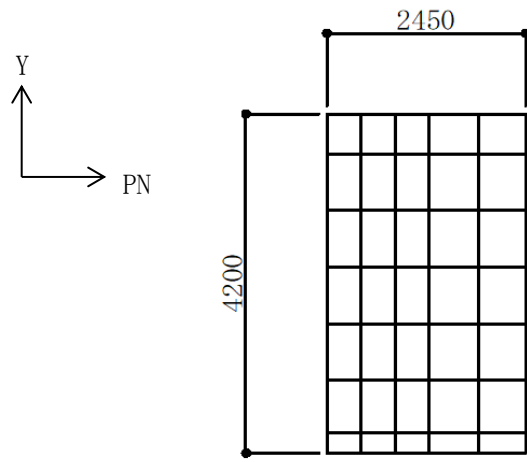
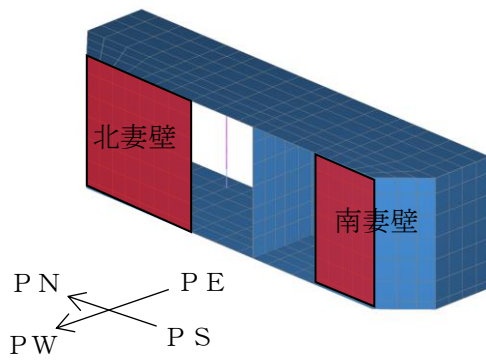
(b) 南及び北側壁



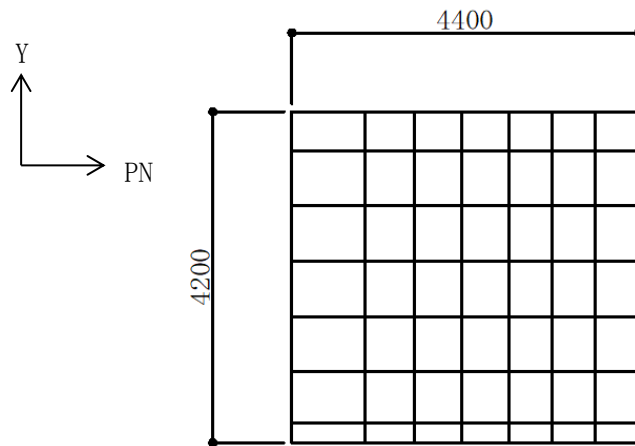
(c) 隔壁

(単位：mm)

図 5-51 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (北側)) (2/3)



(d) 南妻壁



(e) 北妻壁

(单位: mm)

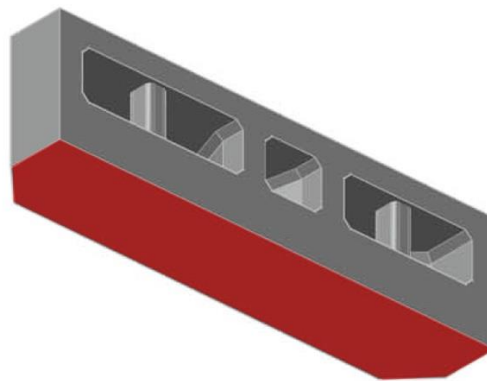
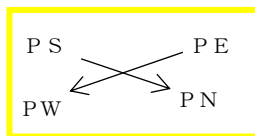
图 5-51 要素分割图 (補機冷却用海水取水路 (北側)) (2/3)

(2) 境界条件

3次元構造解析における境界条件として、底面には地盤ばね要素を配置する。

また、東側のタービン建屋との接続面については、耐震ジョイントが設置されていることから、NS方向および鉛直方向にはローラーを配置する。EW方向については、隣接するタービン建屋によって、構造物の変形が拘束されることから、固定とする。西側の水路部との接続面については、耐震ジョイントが設置されており、補機冷却用海水取水路に作用する土圧を踏まえると、タービン建屋側に変位することから、境界条件はフリーとする。

境界条件の概念図を図 5-45 に示す。

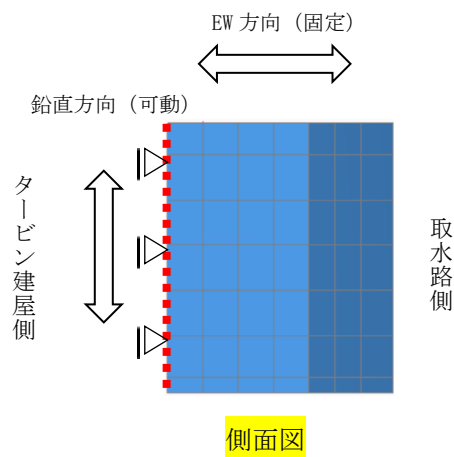
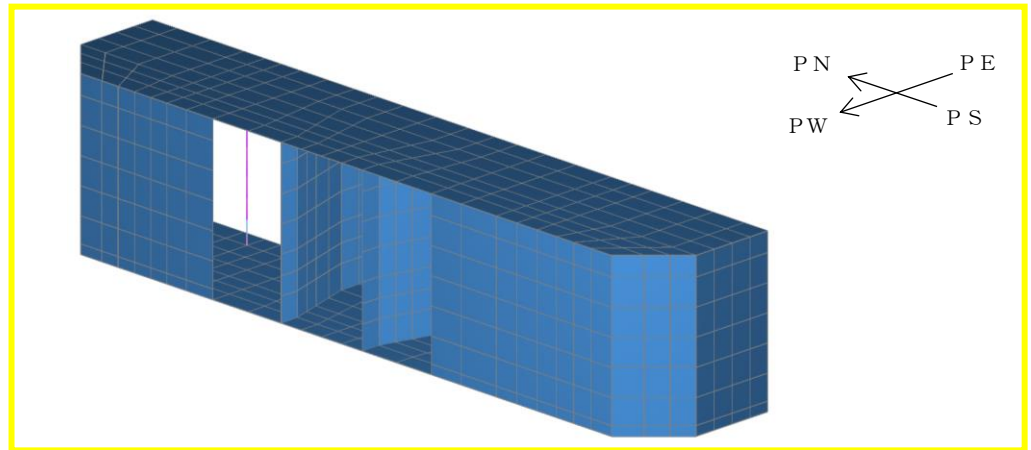
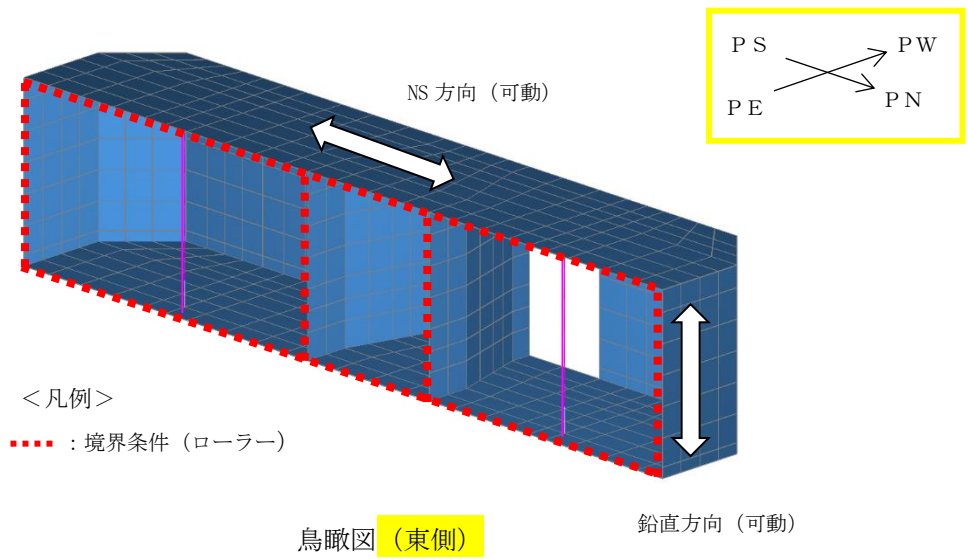


<凡例>

■ : 境界条件 (地盤ばね)

(a) 底面境界 (地盤ばね)

図 5-52 3次元構造解析モデルの境界条件の概念図 (1/2)



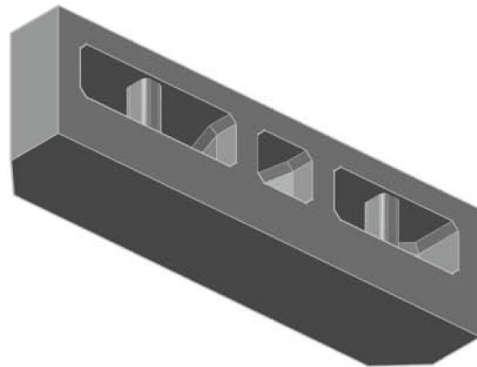
(b) タービン建屋境界 (ローラー)

図 5-52 3次元構造解析モデルの境界条件の概念図 (2/2)

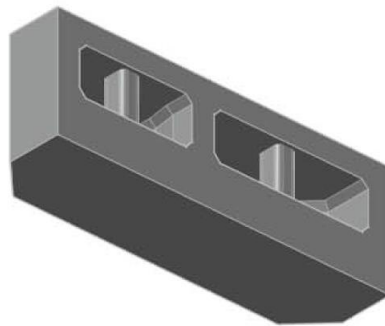
(3) 剛域の設定

補機冷却用海水取水路の3次元構造解析モデルでは、柱は非線形梁要素、側壁及び隔壁は非線形シェル要素でモデル化する。

一般に、3次元の解析モデルでは、2次元の地震応答解析モデルと同様の方法で剛域に大きな剛性を付与すると、フレームのような構造体だけで多くの荷重成分を受け持ち本来の構造躯体の特性を表現できない場合がある。これを避けるため、3次元構造解析モデルには剛域を設定しないことを基本とする。ただし、補機冷却用海水取水路については、図5-53に示すように、底版の部材厚（実形状）が他の部材と比較して相対的に厚いことを踏まえ、2次元の地震応答解析と同様に土木学会マニュアルに基づく剛域を設定する（図5-54参照）。

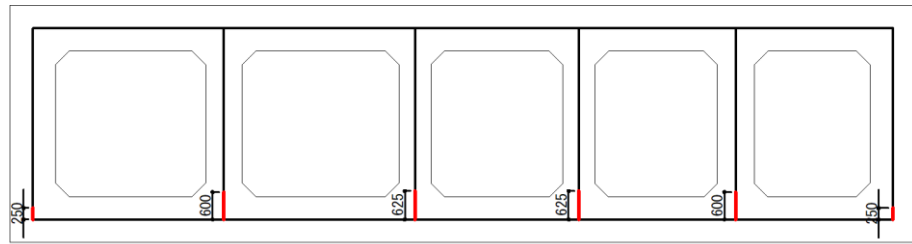
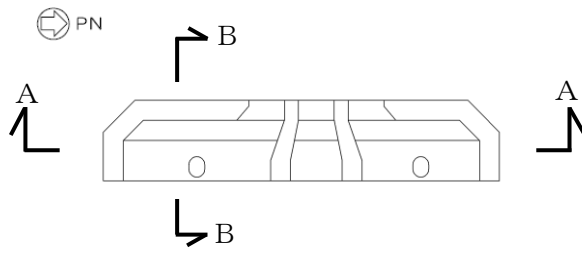


(a) 補機冷却用海水取水路（南側）



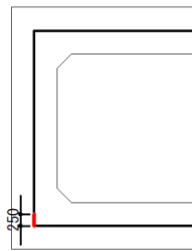
(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 5-53 補機冷却用海水取水路の実形状



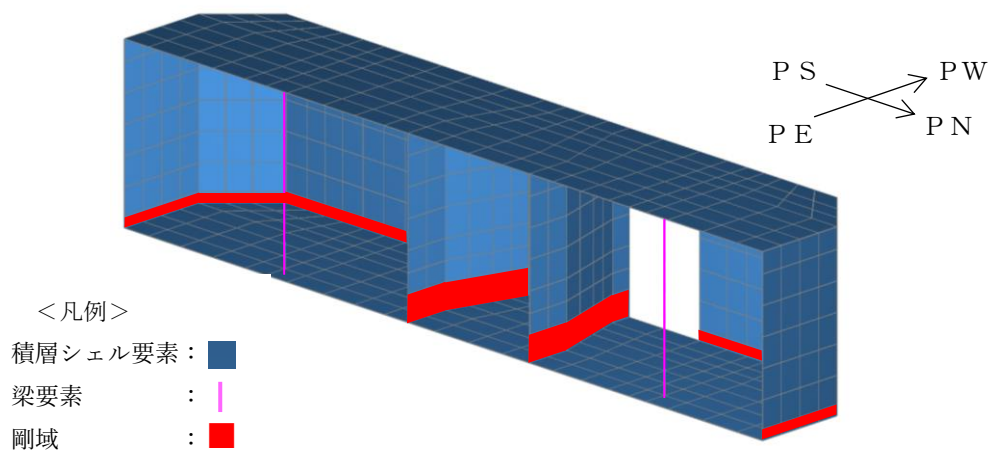
A-A断面

(単位：mm)



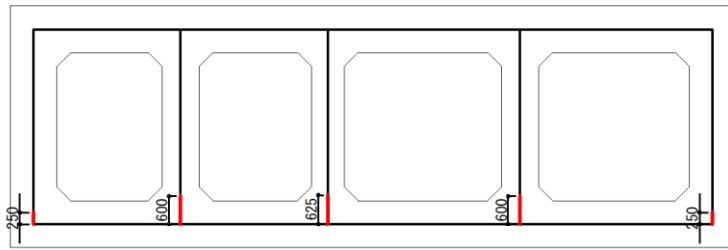
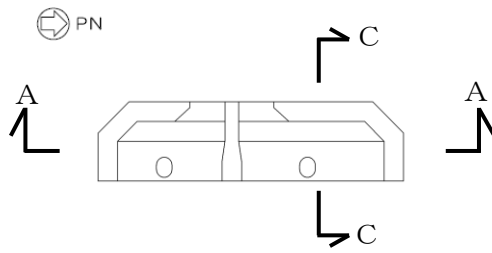
— : 剛域

B-B断面（妻壁を通る断面の構造形状）



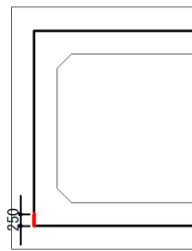
(a) 補機冷却用海水取水路（南側）

図 5-54 補機冷却用海水取水路 剛域設定範囲(1/2)



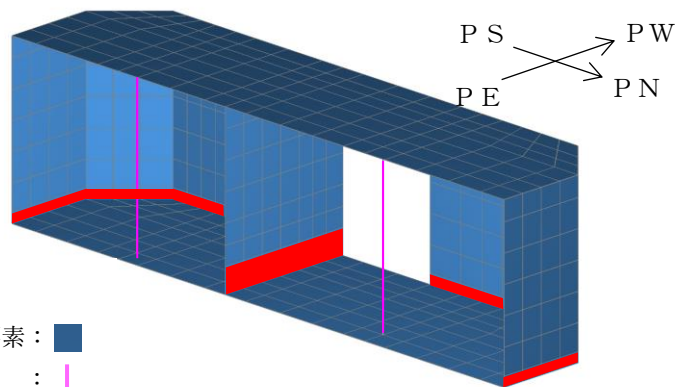
A-A断面

(単位：mm)



— : 剛域

C-C断面（妻壁を通る断面の構造形状）



<凡例>

- 積層シェル要素 : ■
- 梁要素 : |
- 剛域 : ■

(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 5-54 補機冷却用海水取水路 剛域設定範囲(2/2)

#### (4) 地盤ばね要素

構造物底面に設ける地盤ばね要素の剛性は、道路橋示方書に基づき設定する。なお、3次元構造解析における底面地盤ばねは、2次元地震応答解析と同様に構造物と地盤の剥離を考慮した設定とする。

鉛直方向の地盤反力係数  $k_v$  は、道路橋示方書の直接基礎の地盤反力係数算定方法にある下式により算出する。水平方向せん断地盤反力係数  $k_s$  は、鉛直方向地盤反力係数の  $1/3$  とする。基礎の換算載荷幅は、基礎の載荷面積に応じて設定する。なお、3次元構造解析の入力荷重は、地震時の荷重であることから、地盤反力係数に用いる係数は地震時の係数を適用する。

$$k_v = k_{v0} \left( \frac{B_v}{0.3} \right)^{-3/4}$$

ここで、

$k_{v0}$  : 直径 0.3m の剛体円板による平板載荷試験の値に相当する鉛直方向地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$$k_{v0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

$E_0$  : マンメイドロックの変形係数 (kN/m<sup>2</sup>)

$B_v$  : 基礎の換算載荷幅 (m)

$$B_v = \sqrt{A_v}$$

$A_v$  : 鉛直方向の載荷面積 (m<sup>2</sup>)

$\alpha$  : 地盤反力係数の推定に用いる係数 (地震時)



(5) 材料の非線形特性

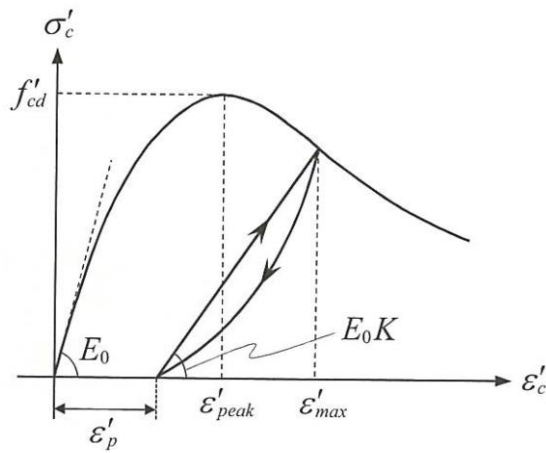
a. コンクリート

(a) 圧縮応力下における応力-ひずみ関係

図 5-55 に一軸圧縮応力下における応力-ひずみ関係を示す。

圧縮応力下の応力-ひずみの骨格曲線は、最大応力点までの硬化域と、最大応力点を越えた軟化域で表され、残留塑性ひずみと除荷再載荷時の剛性低下を考慮している。

また、ひび割れ発生後のコンクリートの圧縮強度については、図 5-56 に示す低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。



$$\sigma'_c = E_0K(\varepsilon'_c - \varepsilon'_p) \geq 0$$

$$E_0 = \frac{2 \cdot f'_{cd}}{\varepsilon'_{peak}}$$

$$K = \exp \left\{ -0.73 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \left( 1 - \exp \left( -1.25 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right) \right\}$$

$$\varepsilon'_p = \varepsilon'_{max} - 2.86 \cdot \varepsilon'_{peak} \left\{ 1 - \exp \left( -0.35 \frac{\varepsilon'_{max}}{\varepsilon'_{peak}} \right) \right\}$$

ここに、 $f'_{cd} = f'_{ck}/\gamma_c$

$\varepsilon'_{peak}$  : 圧縮強度に対応するひずみ (一般に、0.002 としてもよい)

$\varepsilon'_{max}$  : 過去に受けた圧縮ひずみの最大値

$\varepsilon'_p$  : 塑性ひずみ

$K$  : 弾性剛性残存率

図 5-55 圧縮応力下におけるコンクリートの非線形特性

(コンクリート標準示方書 [設計編] (土木学会, 2012 年) より引用)

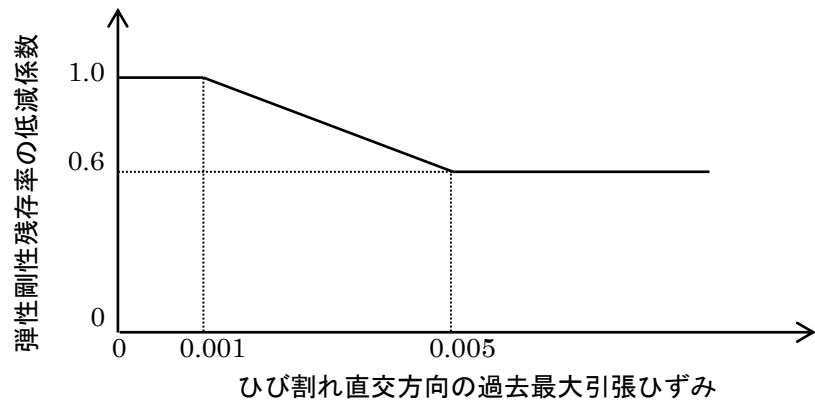


図 5-56 弾性剛性残存率の低減係数

(コンクリート標準示方書〔設計編〕(土木学会, 2012年)より引用)

(b) 引張応力下における応力-ひずみ関係

引張応力下における応力-ひずみ関係は、ひび割れ発生までは線形弾性とし、ひび割れ強度以降は、鉄筋とコンクリートの付着の影響等を考慮し、図 5-57 に示す骨格曲線を用いて、ひび割れ間のコンクリートに引張応力分担を考慮する。

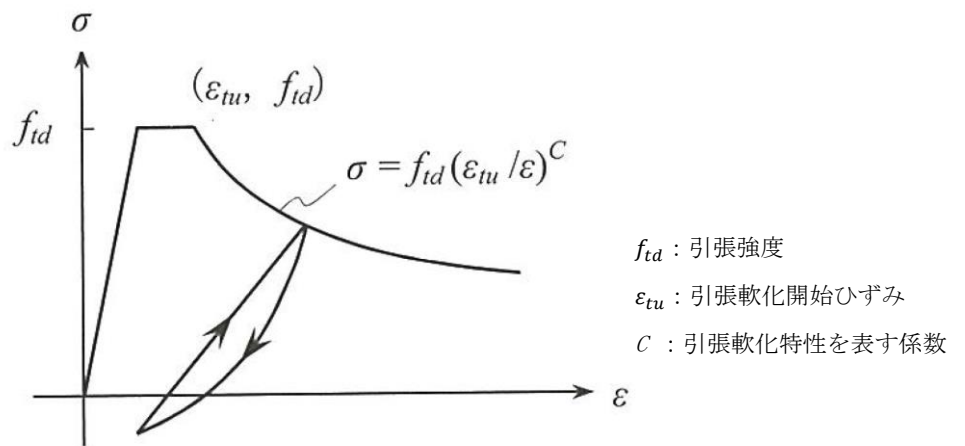


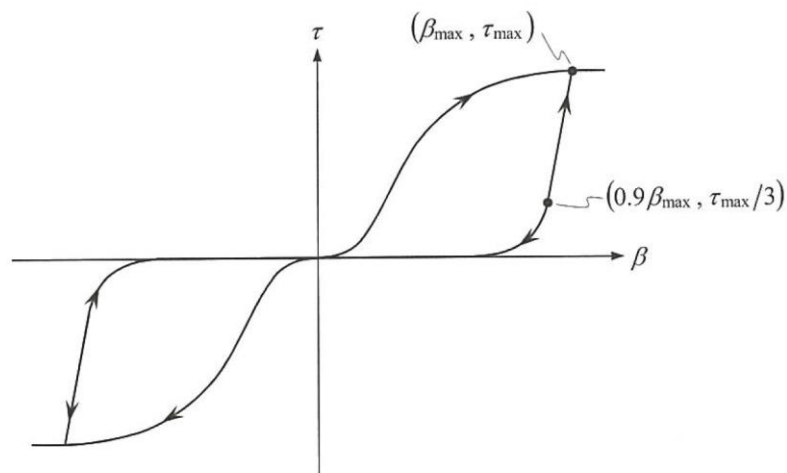
図 5-57 引張応力下における応力-ひずみ関係

(コンクリート標準示方書〔設計編〕(土木学会, 2012年)より引用)

(c) ひび割れ面でのせん断伝達関係

コンクリートのひび割れ発生後にひび割れ角度を固定する固定ひび割れモデルでは、ひび割れ面のずれによるせん断応力伝達特性を考慮する必要がある。

ひび割れ面でのせん断伝達挙動は、斜めひび割れの発生に伴う剛性低下や破壊を評価するため、図 5-58 に示すとおり、ひび割れ面におけるせん断ひずみ  $\gamma$  とひび割れ開口ひずみ  $\varepsilon$  の比をパラメータとし、コンクリートの剛性低下を考慮するモデルを用いる。



- $\beta$  : ひび割れ面におけるせん断ひずみ  $\gamma$  とひび割れ開口ひずみ  $\varepsilon$  の比 ( $\gamma / \varepsilon$ )  
 $\tau$  : ひび割れ面でのせん断応力  
 $\tau_{max}$  : 除荷開始時せん断応力  
 $\beta_{max}$  : 除荷開始時せん断ひずみ  $\gamma$  とひび割れ開口ひずみ  $\varepsilon$  の比

図 5-58 ひび割れ面でのせん断伝達モデル

(コンクリート標準示方書〔設計編〕(土木学会, 2012年)より引用)

b. 鉄筋

ひび割れを複数含む領域におけるコンクリート中の鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係は、単体鉄筋の応力-ひずみ関係と異なり、図 5-59 に示すひずみ硬化特性を考慮する。

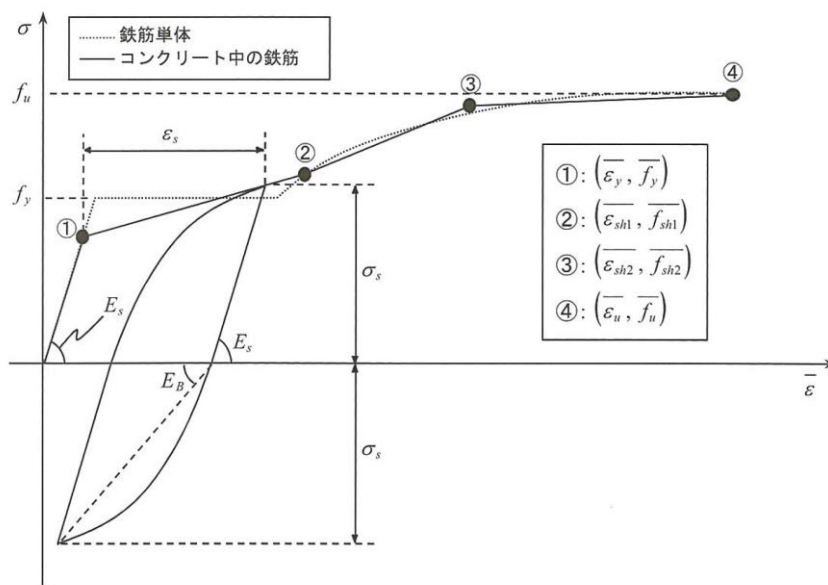


図 5-59 ひずみ硬化域までモデル化した鉄筋の平均応力-平均ひずみ関係  
(コンクリート標準示方書〔設計編〕(土木学会, 2012年)より引用)

c. 鉄筋コンクリートとしてのモデル化

コンクリートと鉄筋の界面の付着特性をテンションスティフニング効果(引張特性が硬化する現象)として、鉄筋コンクリート要素の中に取り込むことにより、鉄筋コンクリートの構成則を直接与える。

鉄筋コンクリートの引張応力下の平均応力は、以下の式\*で表される。

注記\* : 土木学会マニュアルより引用

$$\bar{\sigma}_{RC} = \frac{A_s}{A_{RC}} \bar{\sigma}_s + \frac{A_c}{A_{RC}} \bar{\sigma}_c$$

ここに、

$\bar{\sigma}_s$ ,  $\bar{\sigma}_c$  : それぞれ鉄筋とコンクリートの平均応力

$A_s$ ,  $A_c$  : それぞれ鉄筋とコンクリートの断面積,  $A_{RC} = A_s + A_c$

#### 5.4.3 照査時刻の選定

補機冷却用海水取水路の耐震評価では、評価に支配的な荷重が発生する時刻として、表 5-17 に示す事象を各加振方向の照査時刻として選定する。なお、照査時刻選定の妥当性については、(参考資料 7) に詳細を示す。

妻壁に対する面内せん断照査については、面内せん断力が最大となる解析ケース及び時刻として、応力の観点から地震応答解析において妻壁の面内せん断応力が最大の解析ケース及び時刻を、変形の観点から地震応答解析において妻壁の層間変位が最大となる解析ケース及び時刻をそれぞれ選定し、照査を行う。

表 5-17 補機冷却用海水取水路の照査時刻

施設	加振方向	事象
補機冷却用海水取水路 (北側, 南側)	NS	妻壁の面内せん断応力最大時
	EW	妻壁の土水圧最大時

#### 5.4.4 入力荷重

3次元構造解析の入力荷重は、「5.4.3 照査時刻の選定」にて選定した照査時刻に対し、地震応答解析から同時刻における水平二方向及び鉛直方向の応答値を抽出し、算定する。入力荷重の一覧を表 5-18 に示す。

「慣性力」及び「土圧及び水圧」については、抽出した地震時応答を用いて入力荷重を算定する。

表 5-18 入力荷重一覧

入力荷重		地震応答解析から抽出する地震時応答	载荷位置
慣性力	躯体 (横断方向)	応答加速度	躯体全体
	躯体 (縦断方向)	応答加速度	躯体全体
内水圧・動水圧	躯体 (横断方向)	—*	作用位置
	躯体 (縦断方向)	—*	作用位置
土圧及び水圧	躯体 (横断方向)	土圧・水圧	作用位置
	躯体 (縦断方向)	土圧・水圧	作用位置

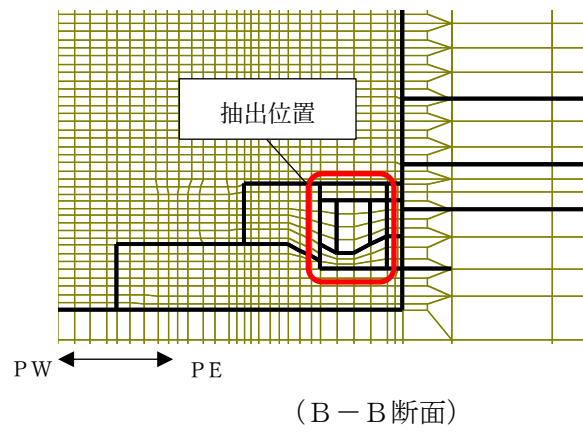
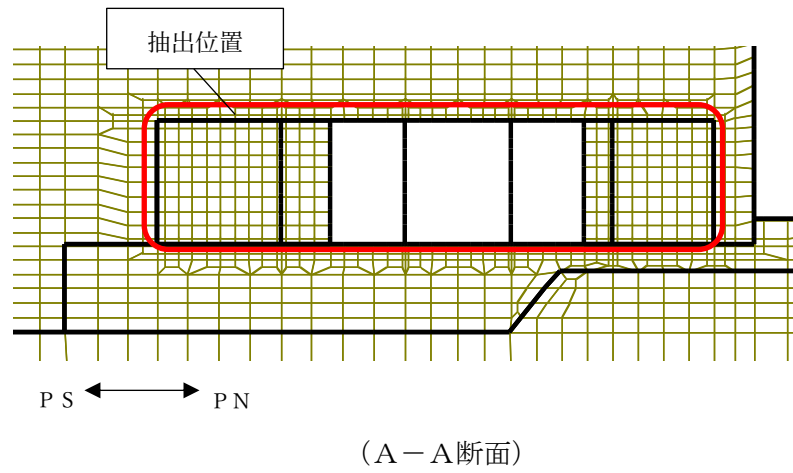
注記\* : 動水圧は、地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

(1) 慣性力

補機冷却用海水取水路の慣性力は、地震応答解析モデルにおける鉄筋コンクリート部材及び妻壁に位置する各節点の、照査時刻における応答加速度の平均値から算定する。応答加速度抽出位置を図 5-60 に示す。

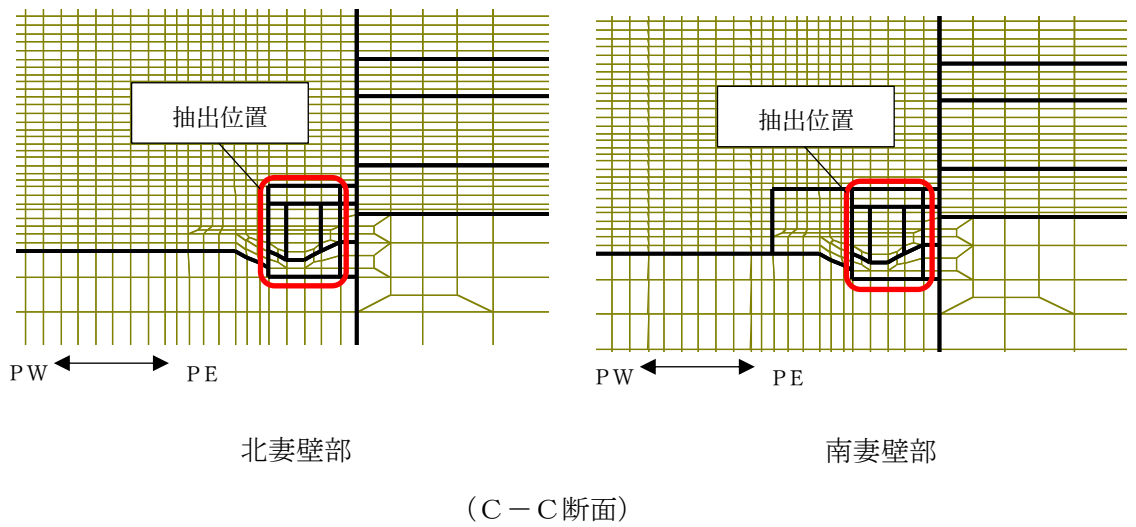
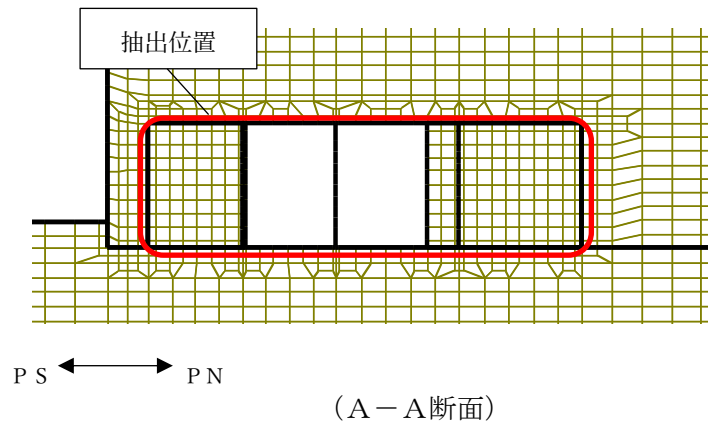
補機冷却用海水取水路の慣性力については、各方向において応答加速度が最大となる断面での慣性力を躯体に作用させる。

算定した慣性力は図 5-61 及び図 5-62 の概略図に示すとおり、補機冷却用海水取水路の 3 次元構造解析モデルに入力する。



(a) 補機冷却用海水取水路 (南側)

図 5-60 補機冷却用海水取水路の応答加速度抽出位置(1/2)



(b) 補機冷却用海水取水路（北側）

図 5-60 補機冷却用海水取水路の応答加速度抽出位置 (2/2)



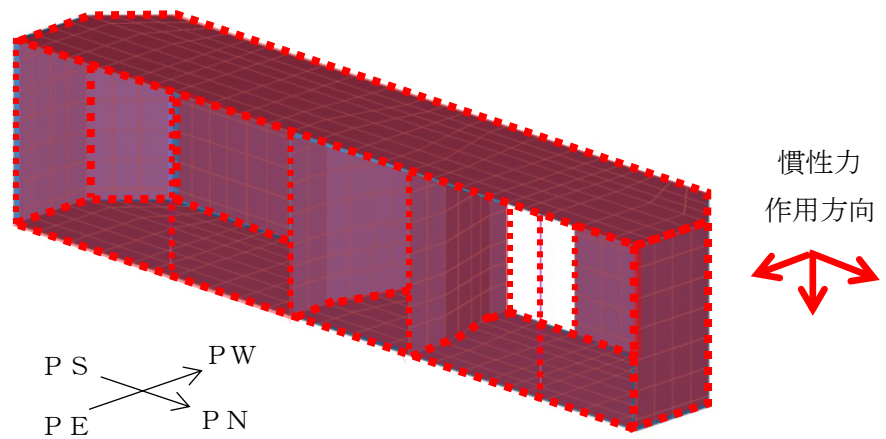


図 5-61 補機冷却用海水取水路（南側）の慣性力 概略図

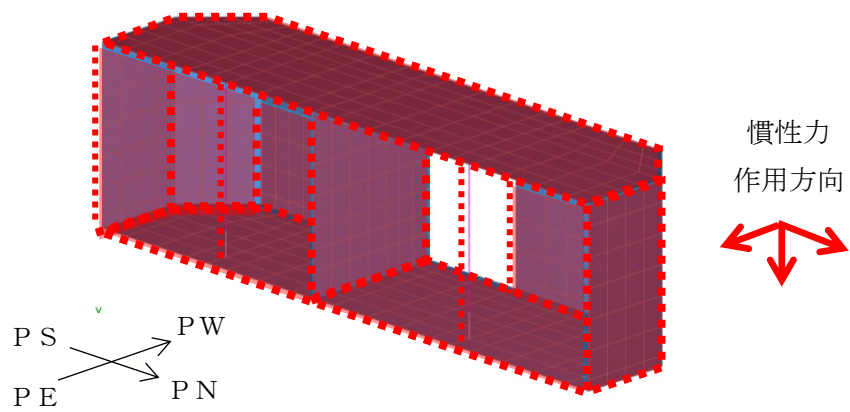


図 5-62 補機冷却用海水取水路（北側）の慣性力 概略図

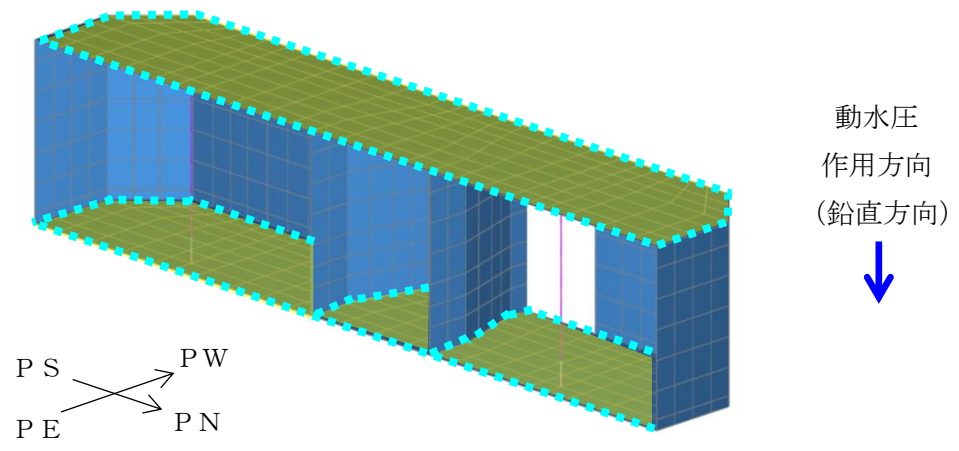
(2) 内水圧・動水圧

補機冷却用海水取水路の内部には、朔望平均満潮位 T. M. S. L. 0.49m に対して保守的に設定した T. M. S. L. 1.0m を静水面とした内水圧として設定する。設定の際は、海水の密度として、 $1.03\text{g/cm}^3$  を考慮する。

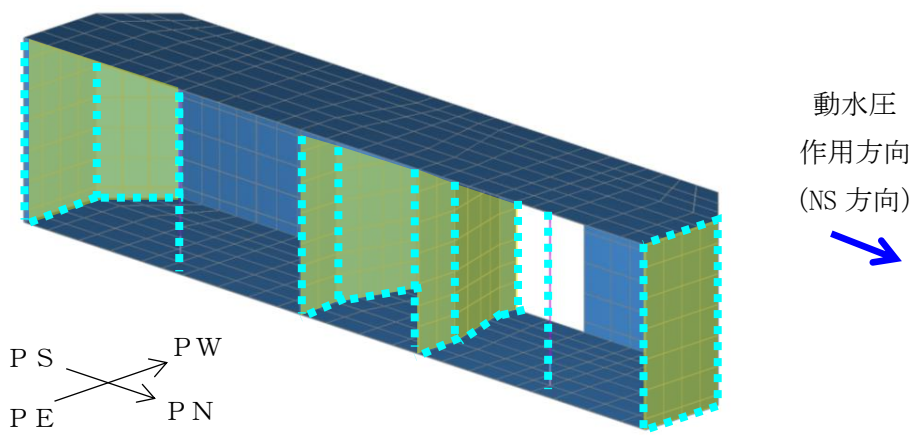
動水圧については、水路内は満水状態であることから、内空幅及び高さに対し、(1)で算定した各方向の慣性力に応じた荷重を作用させる。

算定した動水圧は図 5-63 及び図 5-64 の概略図に示すとおり、補機冷却用海水取水路の 3次元構造解析モデルに入力する。

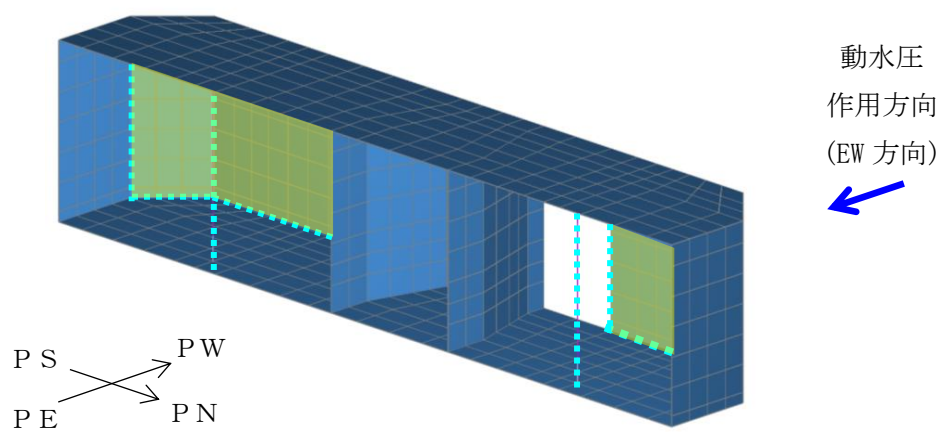
なお、外水圧については、後述(3)における、地震応答解析から抽出される土圧及び水圧の荷重に考慮されている。



(a) 鉛直方向

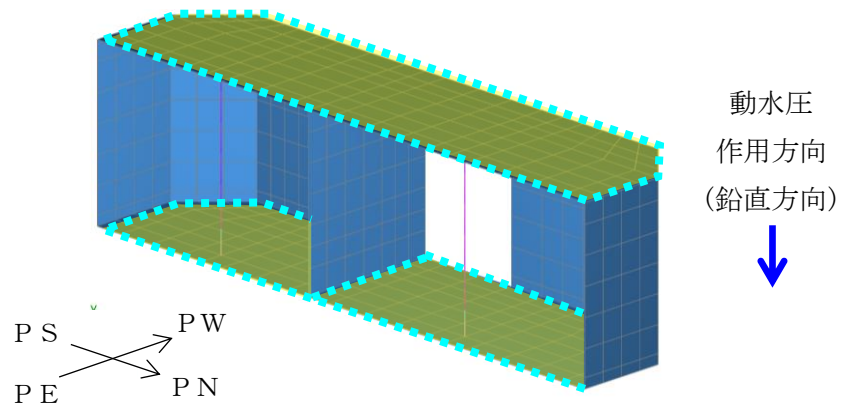


(b) NS方向

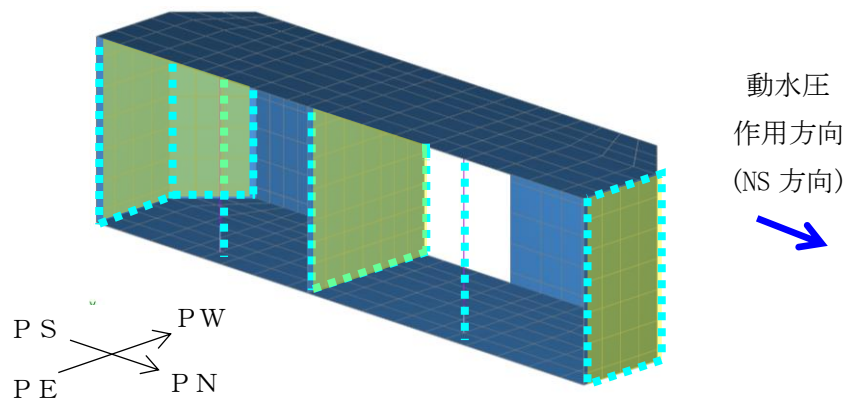


(c) EW方向

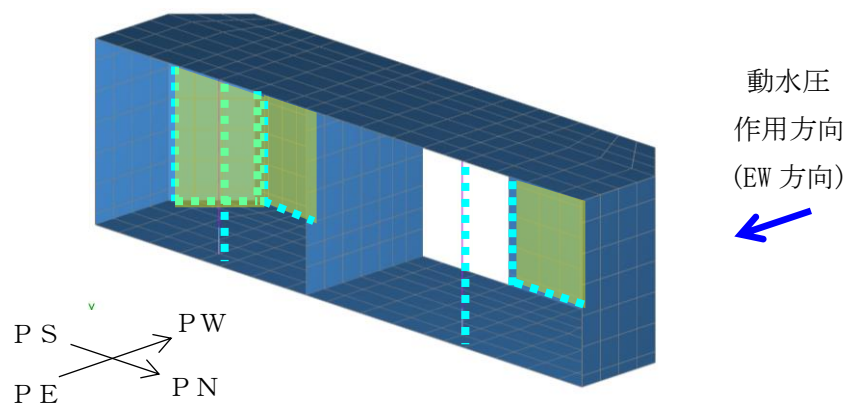
図 5-63 補機冷却用海水取水路 (南側) の動水圧 概略図



(a) 鉛直方向



(b) NS 方向



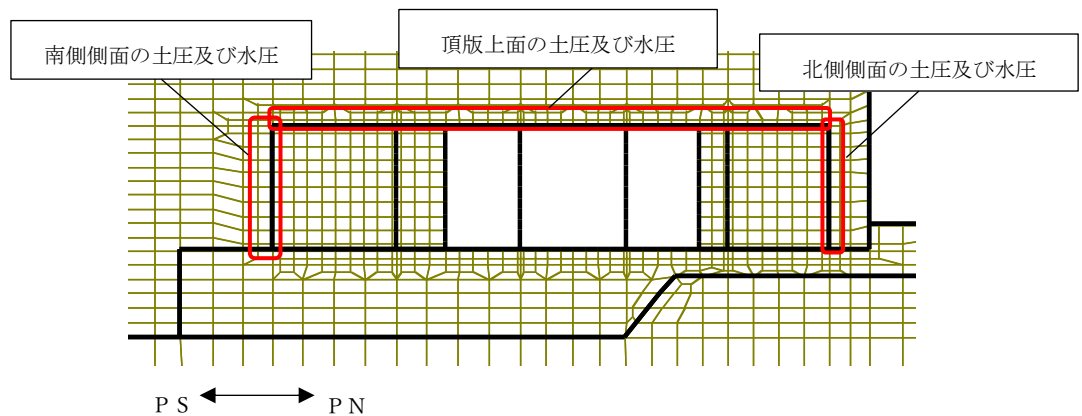
(c) EW 方向

図 5-64 補機冷却用海水取水路 (南側) の動水圧 概略図

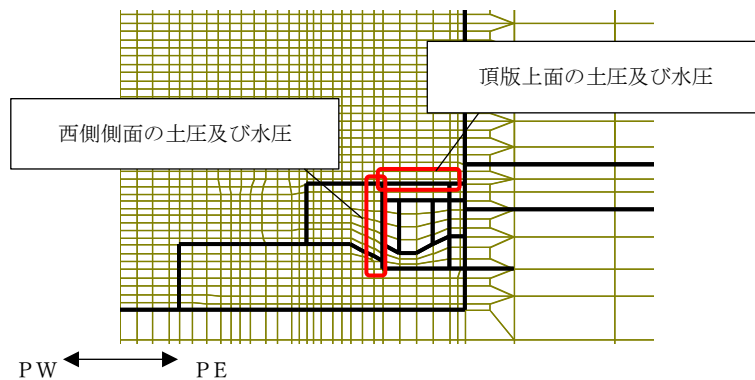
(3) 土圧及び水圧

補機冷却用海水取水路の側面及び頂版に作用する土圧及び水圧は、地震応答解析モデルにおける補機冷却用海水取水路の側面及び頂版上面に接する地盤のマルチスプリング要素及び間隙水要素の、照査時刻における要素応力から算定する。土圧及び水圧の抽出位置を図 5-65 に示す。

算定した土圧及び水圧は図 5-66 及び図 5-67 の概略図に示すとおり入力する。



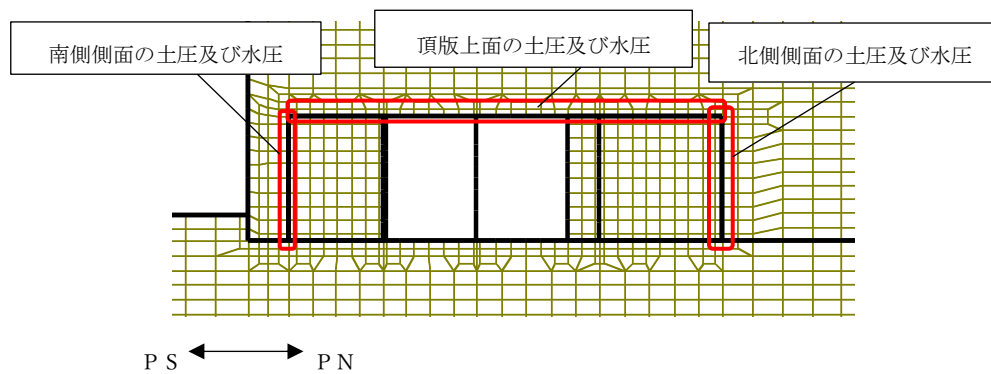
(A-A断面)



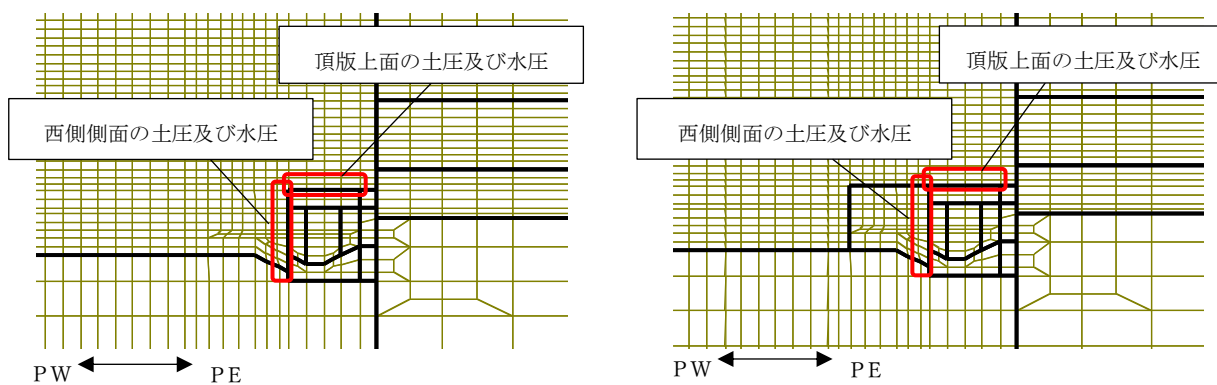
(B-B断面)

(a) 補機冷却用海水取水路 (南側)

図 5-65 土圧及び水圧の抽出位置(1/2)



(A-A断面)



(C-C断面)

(b) 補機冷却用海水取水路 (北側)

図 5-65 土圧及び水圧の抽出位置 (2/2)

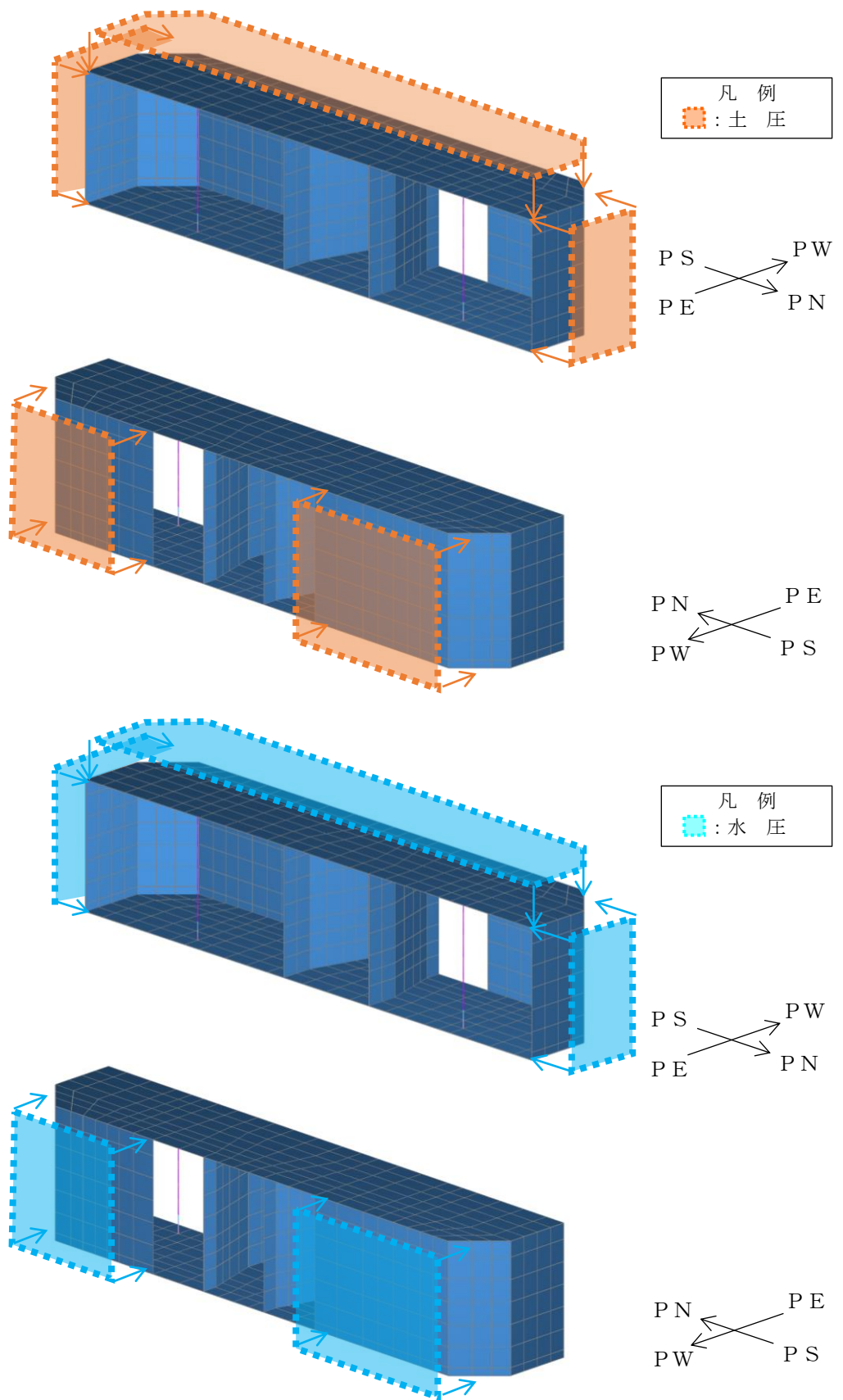


図 5-66 補機冷却用海水取水路（南側）の土圧及び水圧の概略図

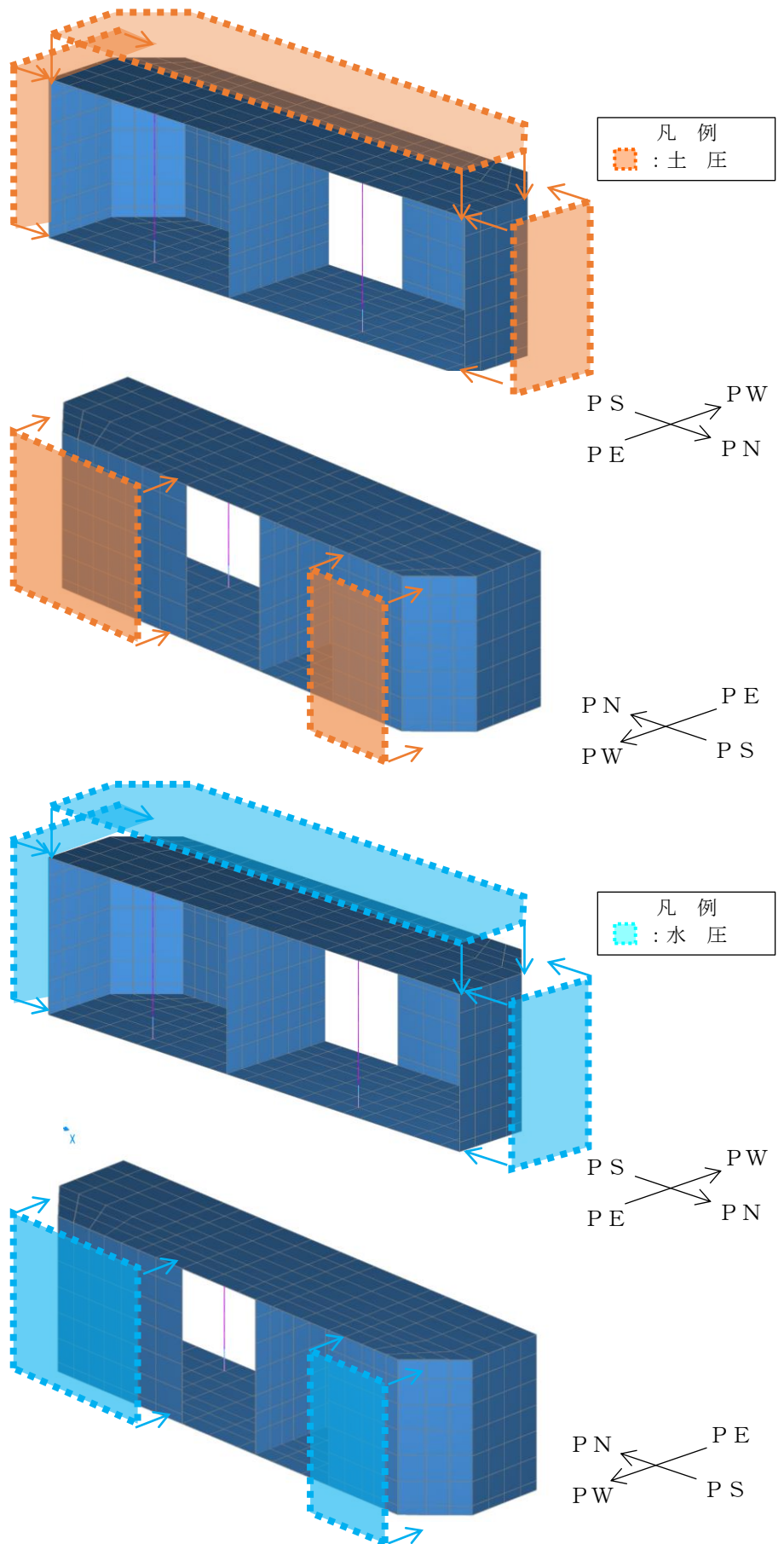


図 5-67 補機冷却用海水取水路（北側）の土圧及び水圧の概略図



## 5.5 評価内容

### 5.5.1 入力地震動の設定

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1次元波動論により地震応答解析モデルの底面位置で評価したものをを用いる。入力地震動の設定においては、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す地下構造モデルとし、原子炉建屋と同様のものをを用いる。

入力地震動算定の概念図を図 5-68 に、入力地震動の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルを図 5-69～図 5-94 に示す。入力地震動の算定には解析コード「S L O K Ver. 2.0」を使用する。

なお、基準地震動  $S_s$  のうち特定の方向性を有しない地震動については、位相を反転させた場合の影響も確認する。

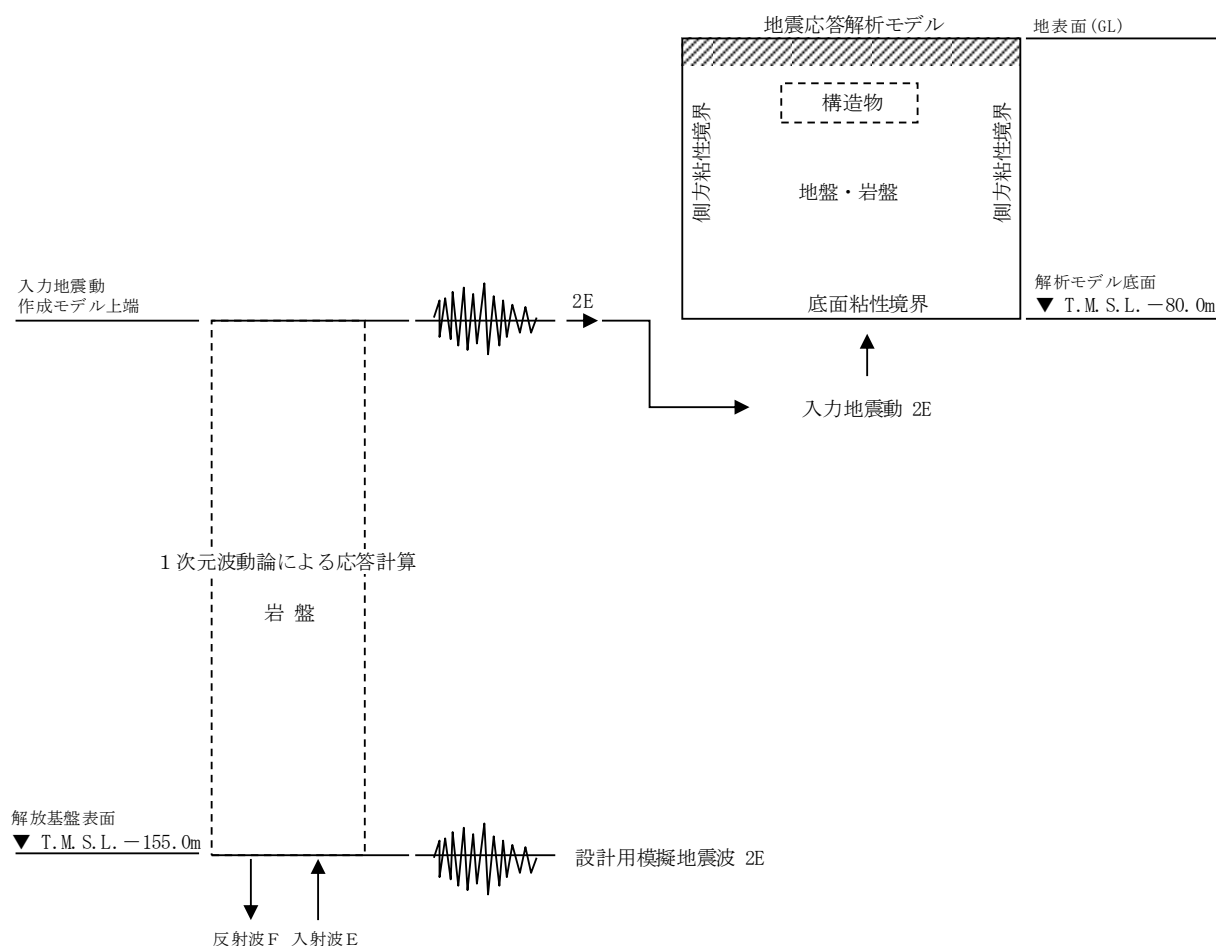
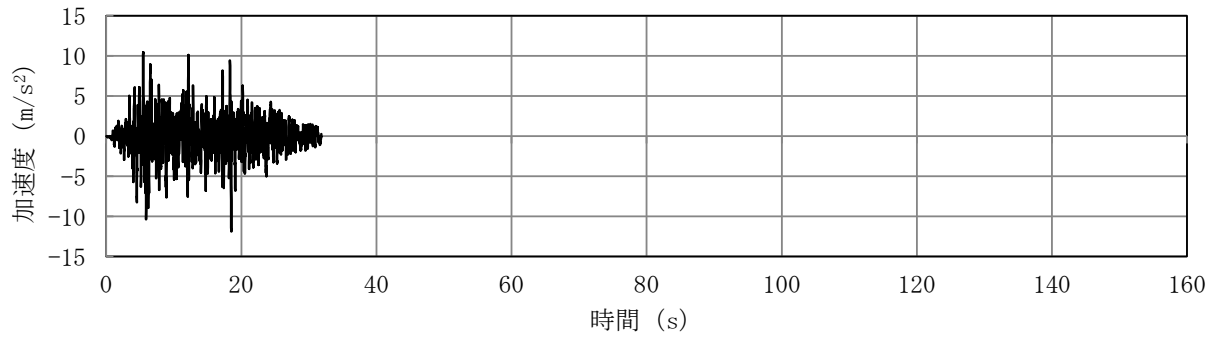
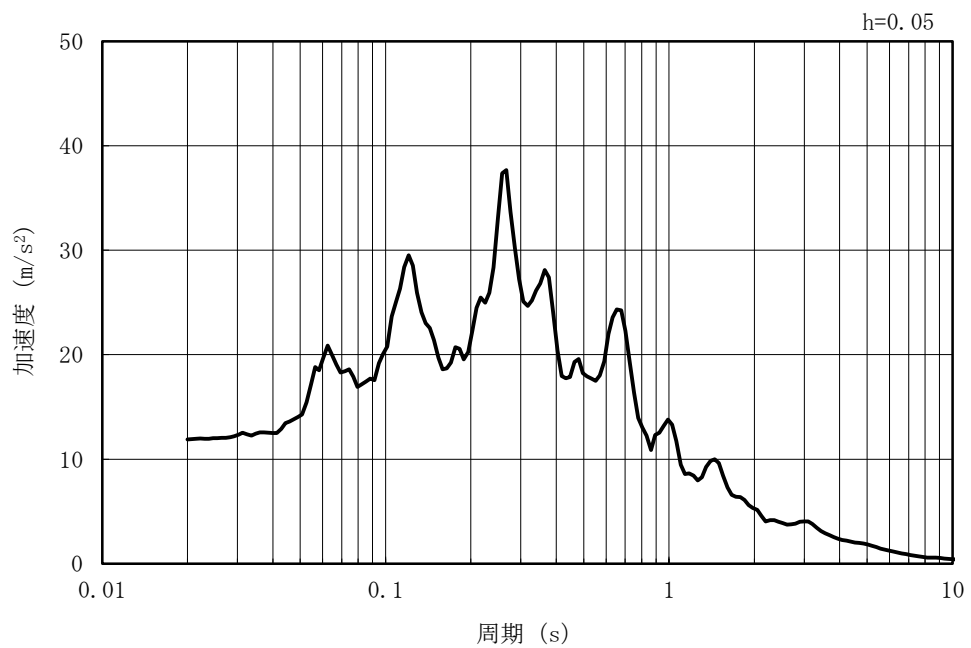


図 5-68 入力地震動算定の概念図

MAX 11.88m/s<sup>2</sup> (18.51s)



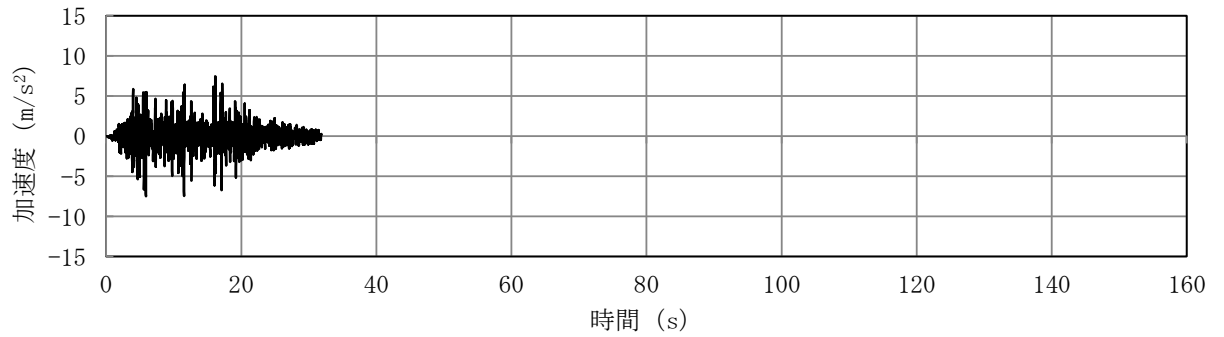
(a) 加速度時刻歴波形



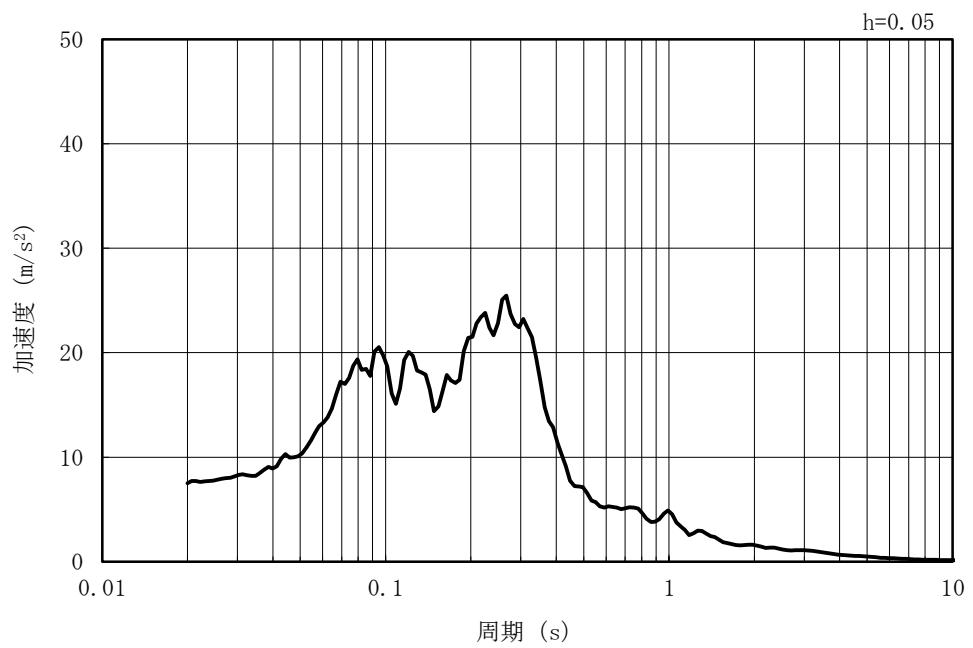
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-69 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-1)

MAX 7.49m/s<sup>2</sup> (5.88s)



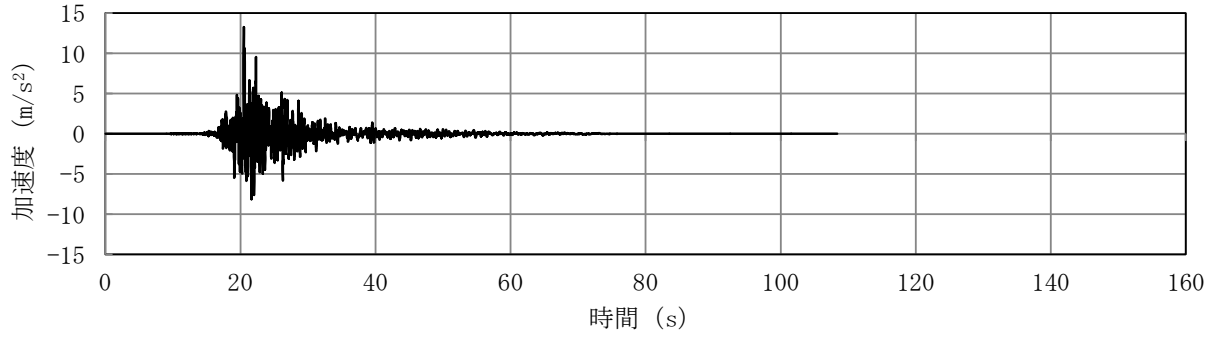
(a) 加速度時刻歴波形



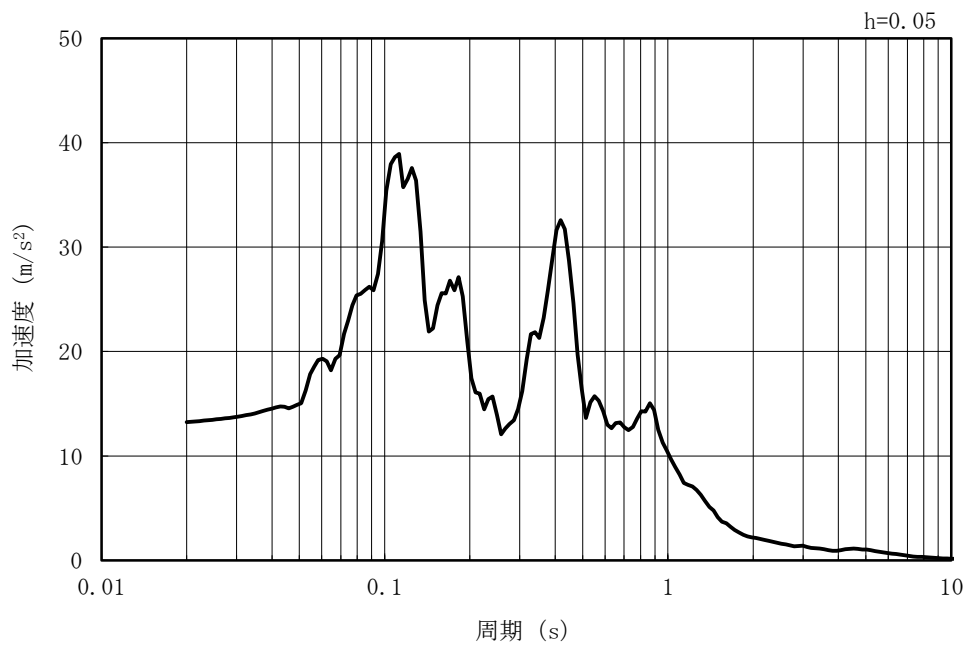
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-70 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-1)

MAX 13.24m/s<sup>2</sup> (20.51s)

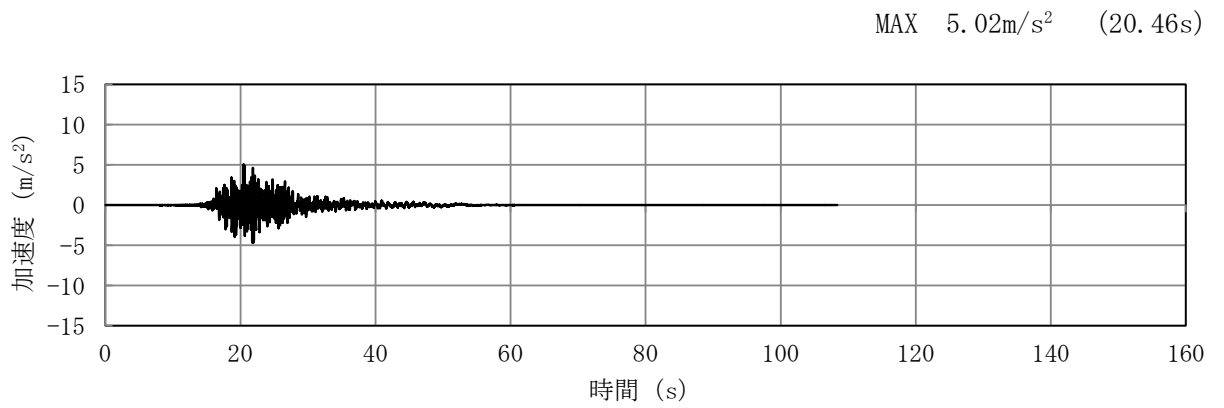


(a) 加速度時刻歴波形

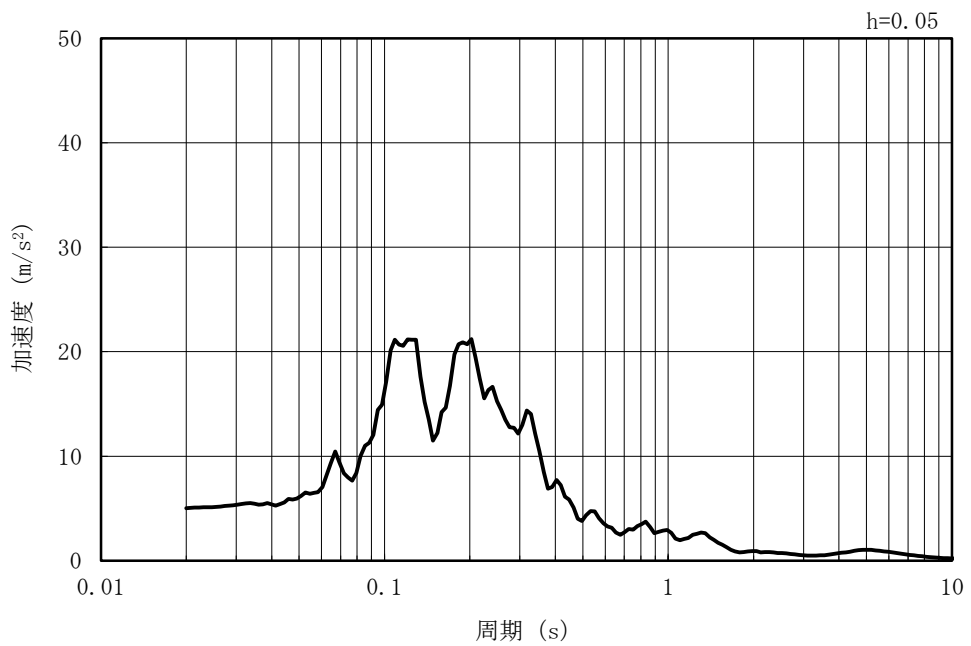


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-71 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-2EW)

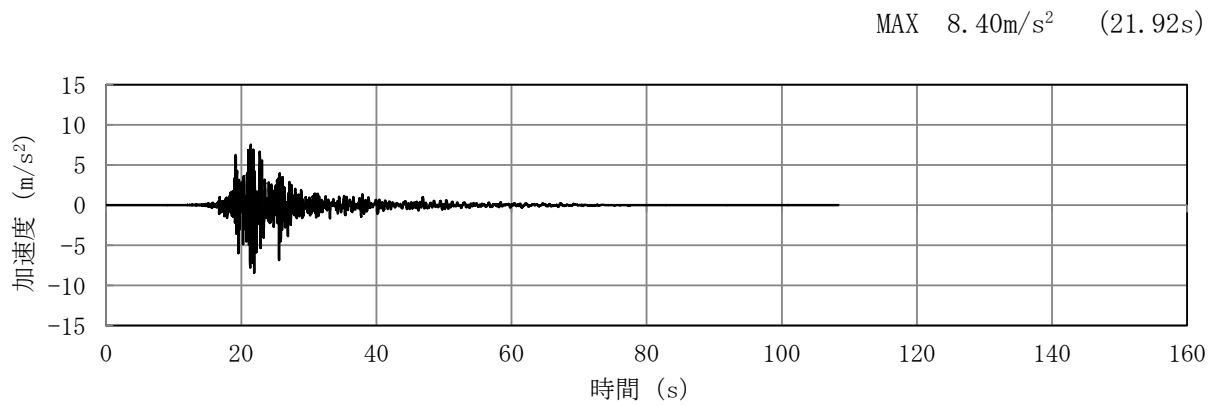


(a) 加速度時刻歴波形

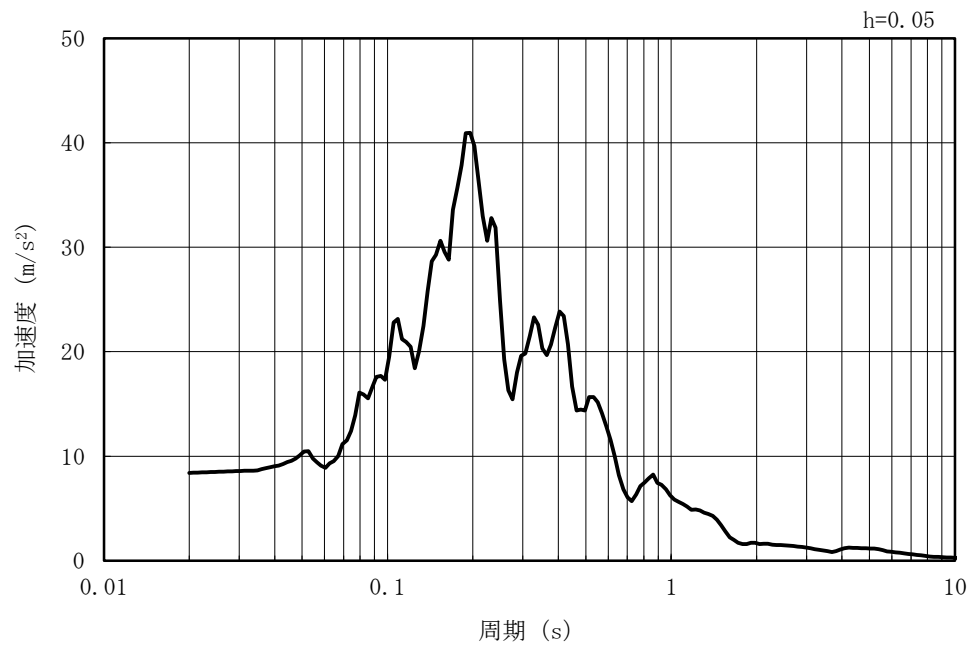


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-72 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-2EW)

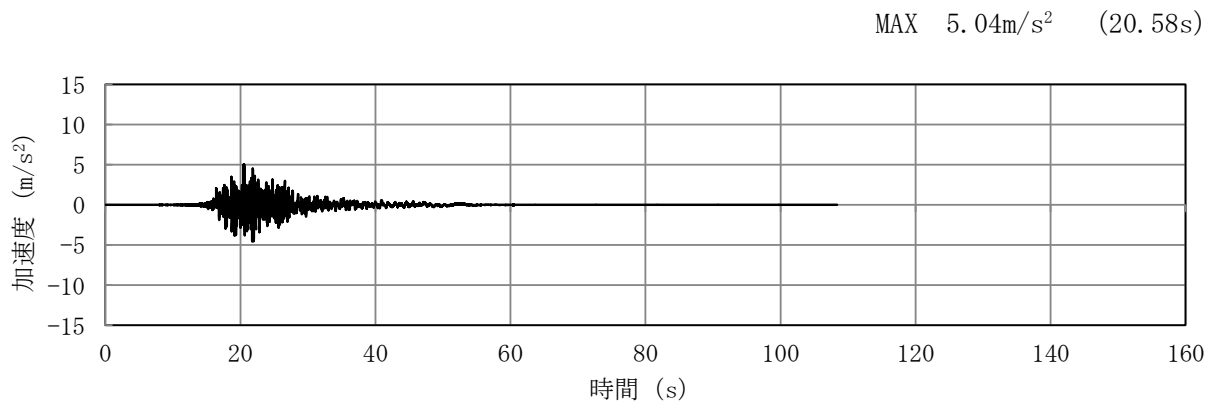


(a) 加速度時刻歴波形

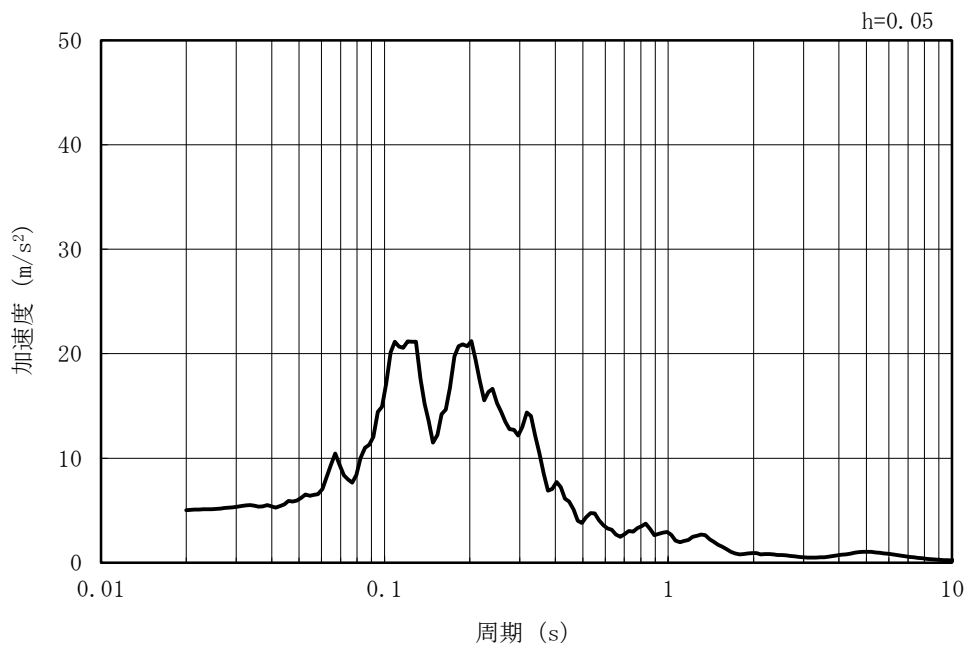


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-73 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-2NS)



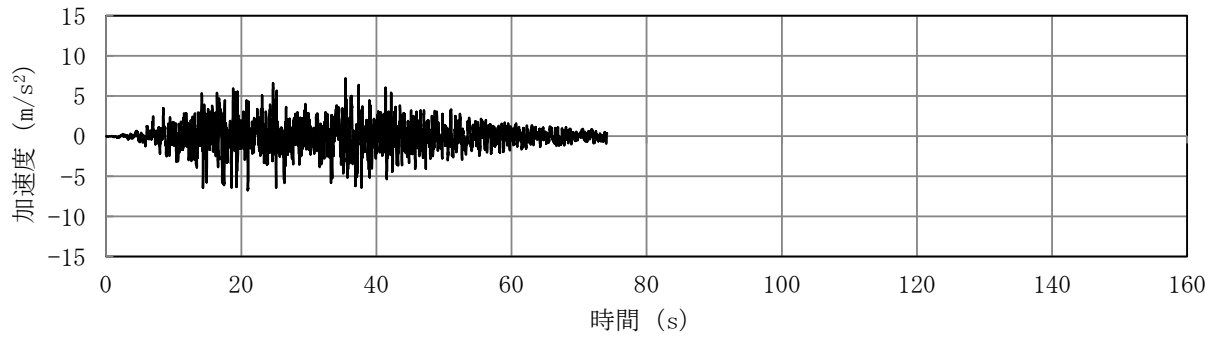
(a) 加速度時刻歴波形



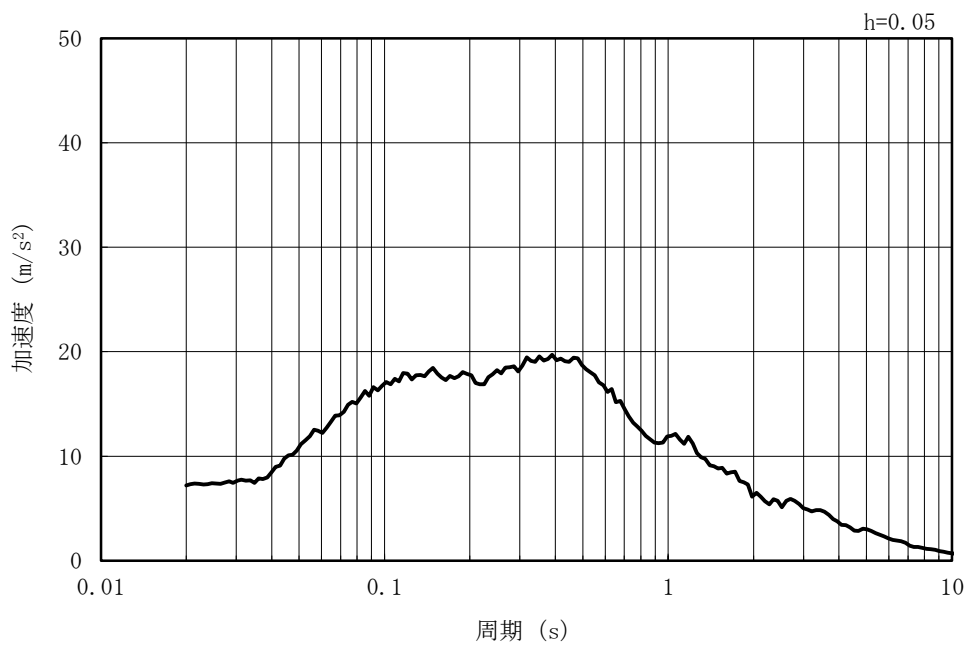
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-74 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-2NS)

MAX 7.18m/s<sup>2</sup> (35.43s)



(a) 加速度時刻歴波形

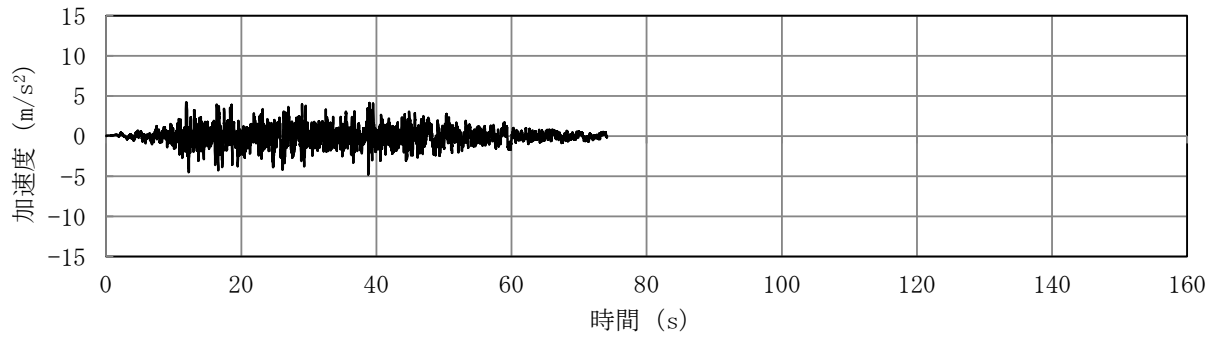


(b) 加速度応答スペクトル

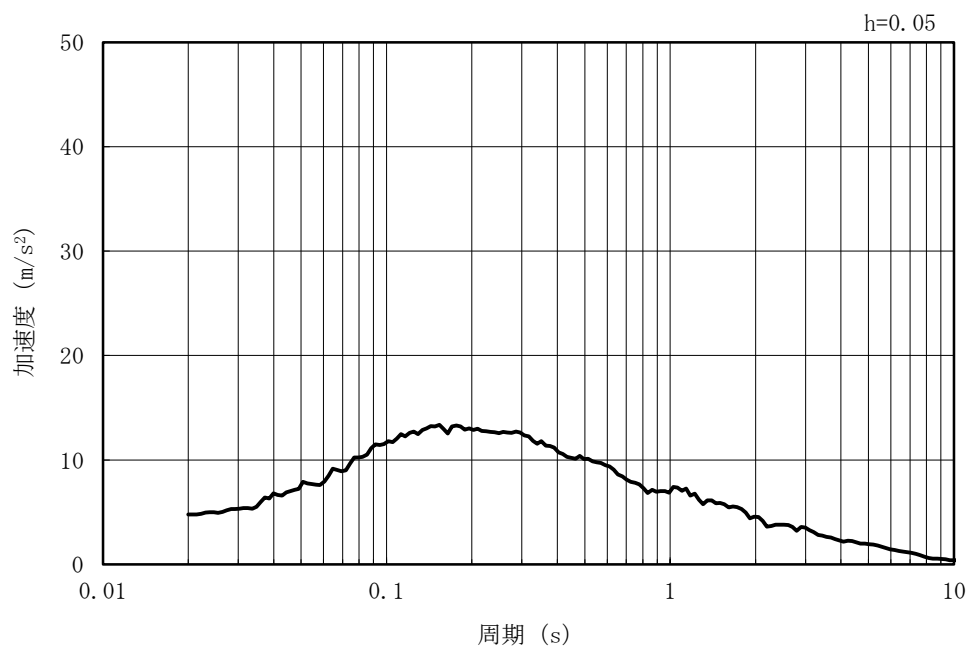
図 5-75 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-3)



MAX 4.78m/s<sup>2</sup> (38.80s)



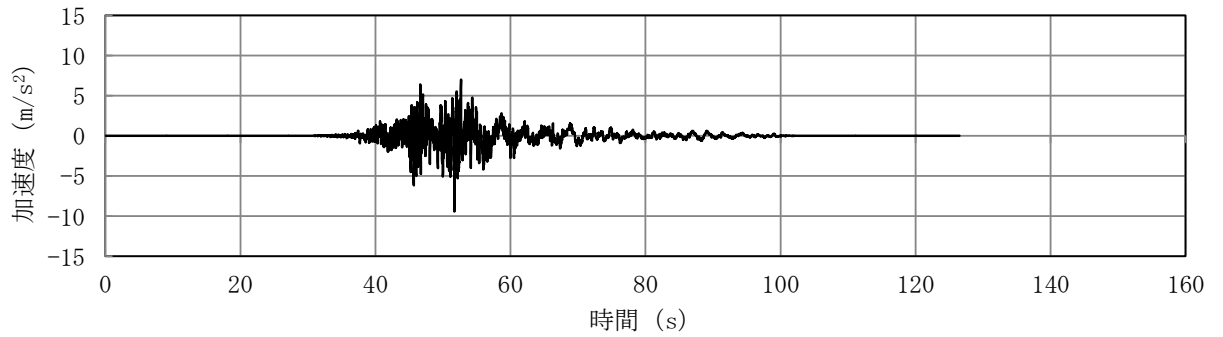
(a) 加速度時刻歴波形



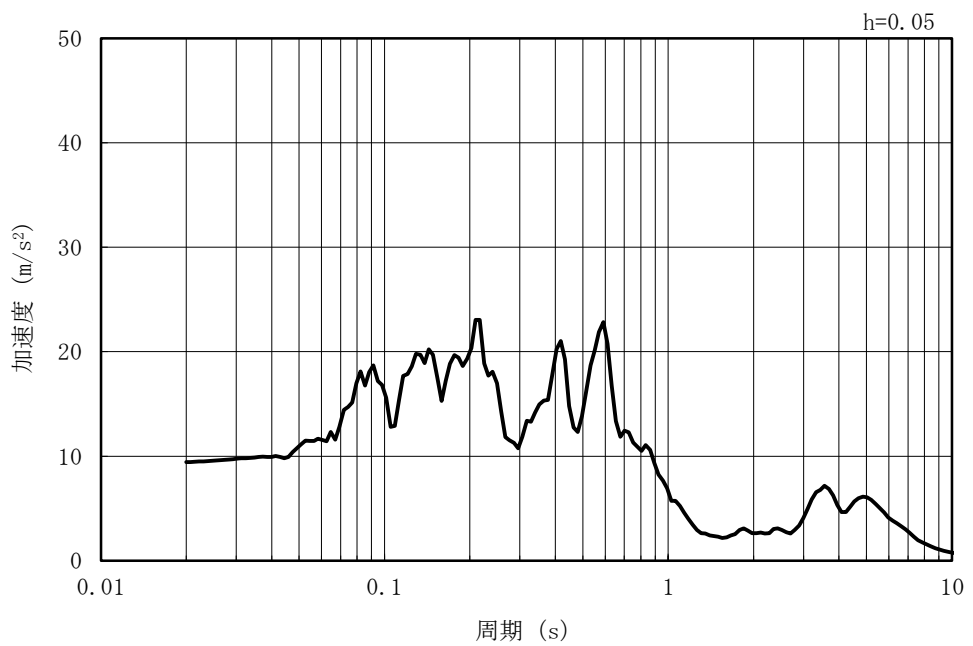
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-76 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-3)

MAX 9.42m/s<sup>2</sup> (51.71s)



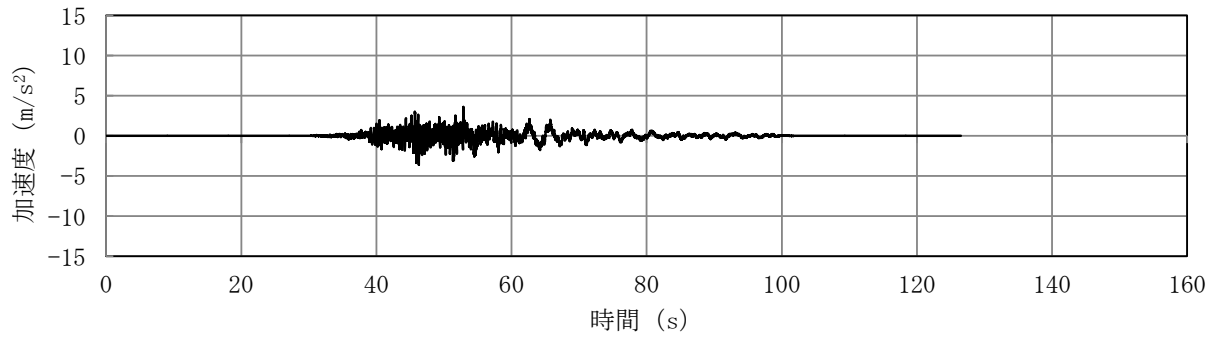
(a) 加速度時刻歴波形



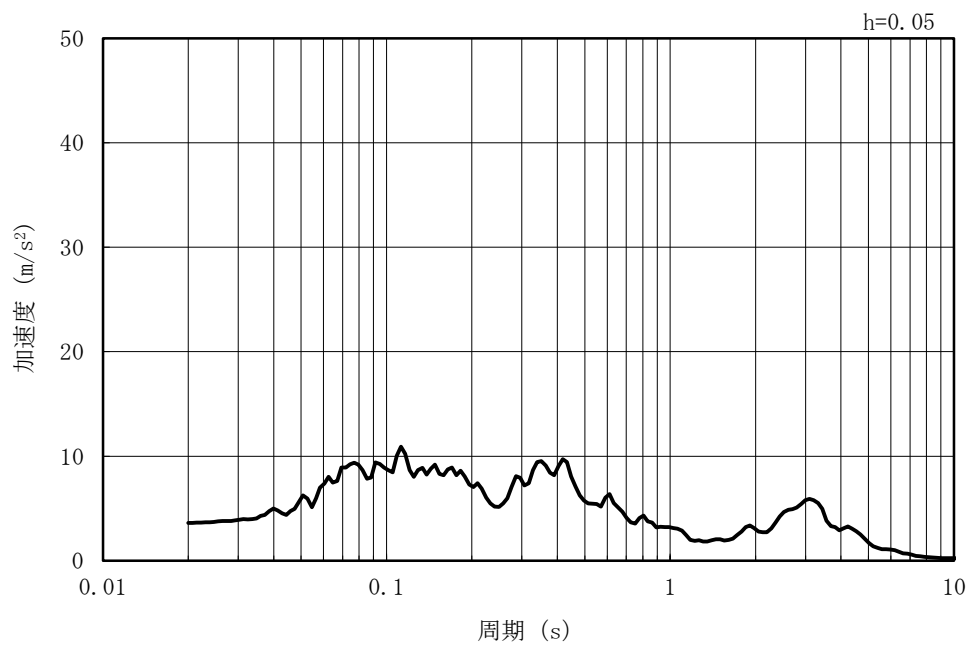
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-77 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-4EW)

MAX 3.60m/s<sup>2</sup> (52.87s)

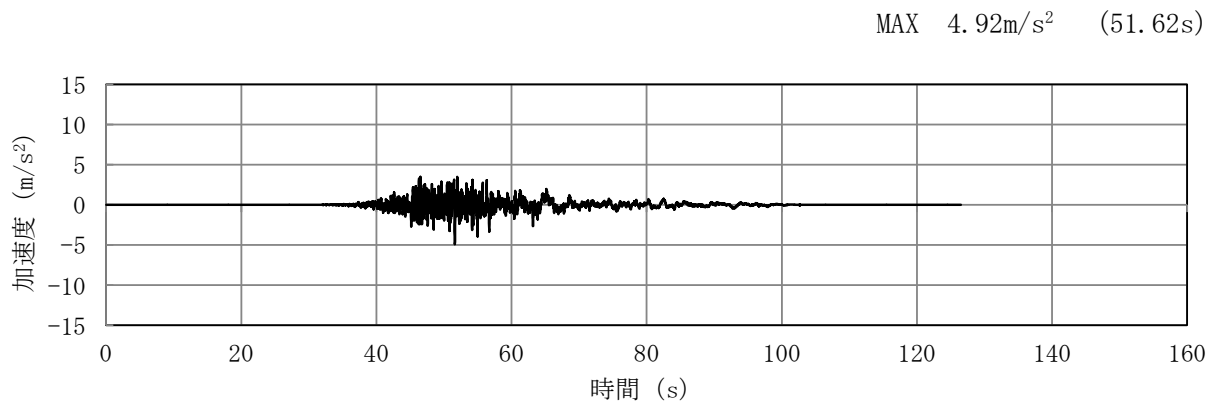


(a) 加速度時刻歴波形

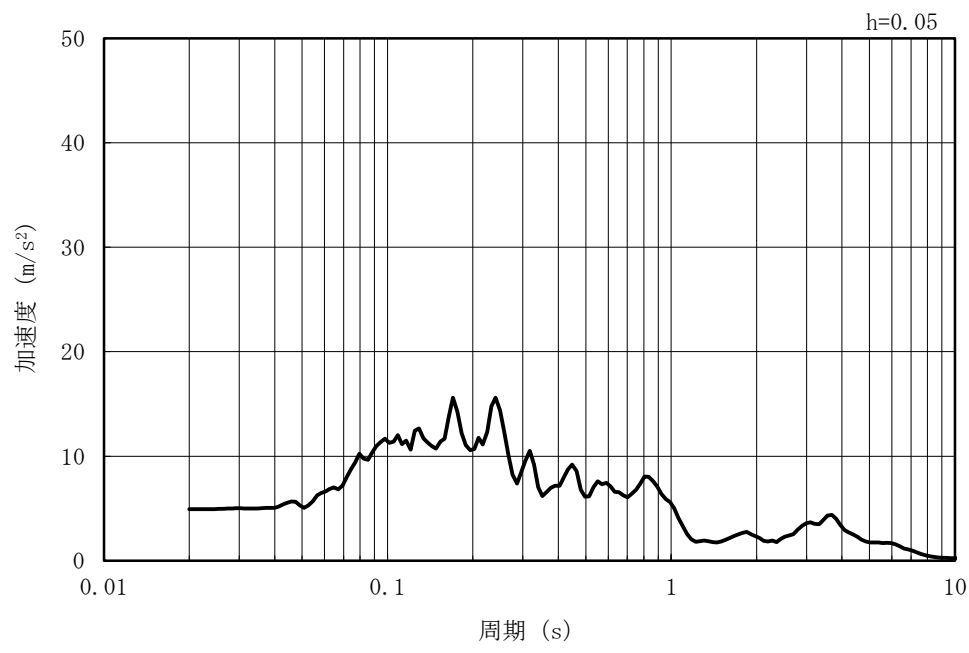


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-78 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-4EW)



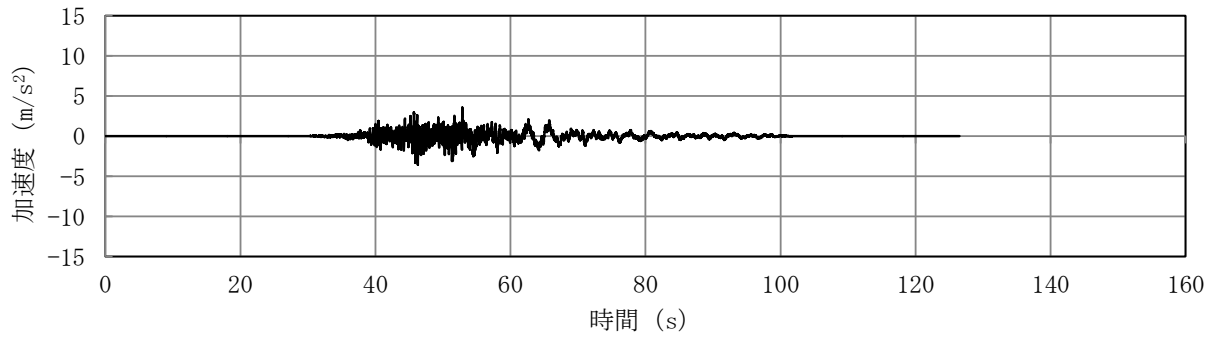
(a) 加速度時刻歴波形



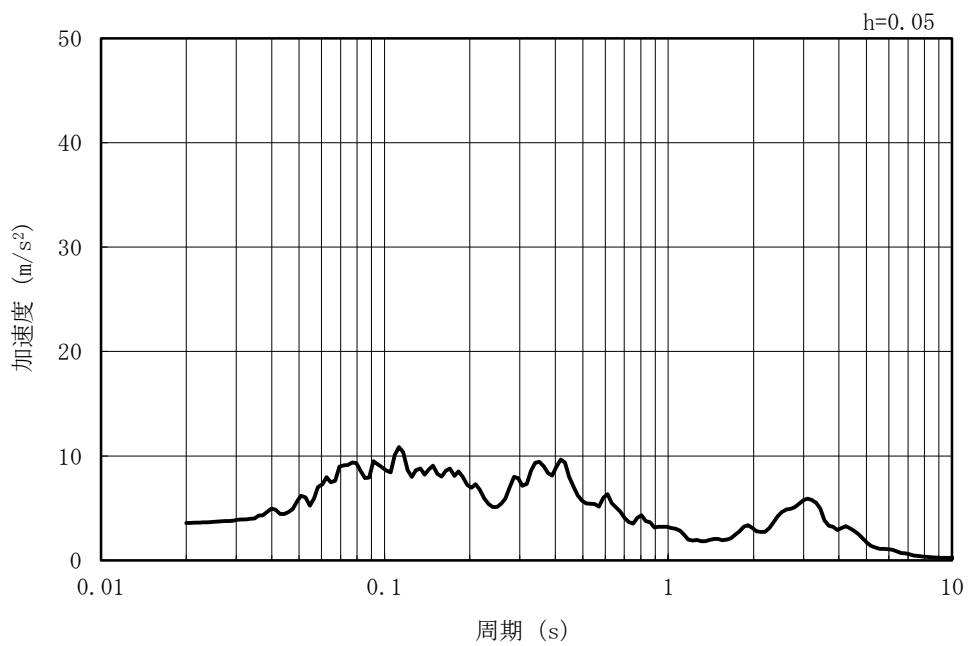
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-79 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-4NS)

MAX 3.57m/s<sup>2</sup> (46.29s)



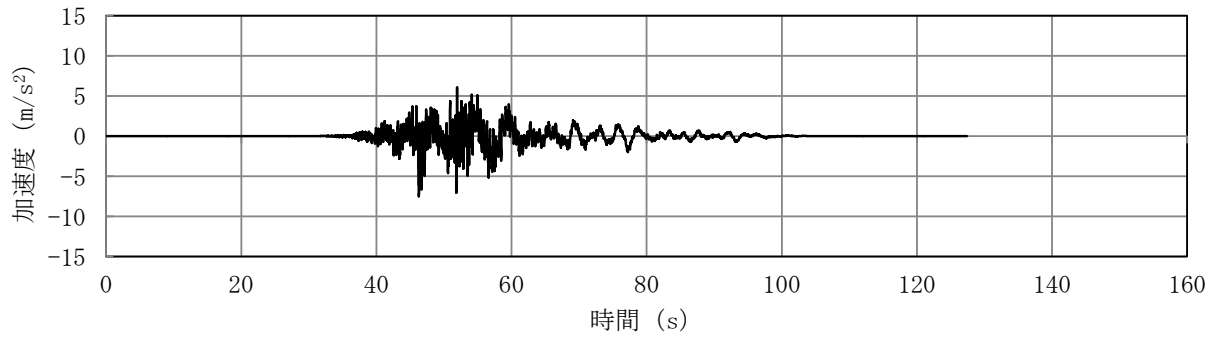
(a) 加速度時刻歴波形



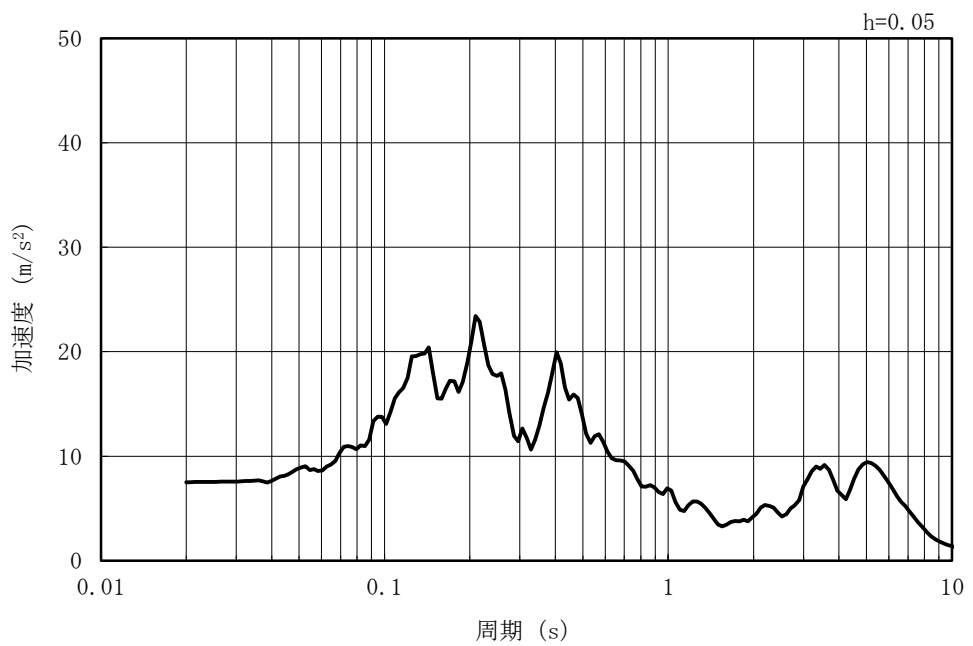
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-80 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-4NS)

MAX 7.51m/s<sup>2</sup> (46.29s)



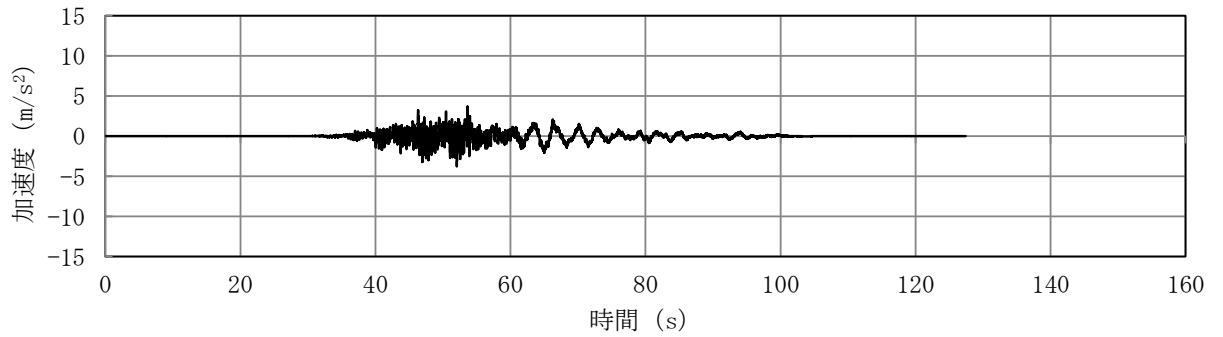
(a) 加速度時刻歴波形



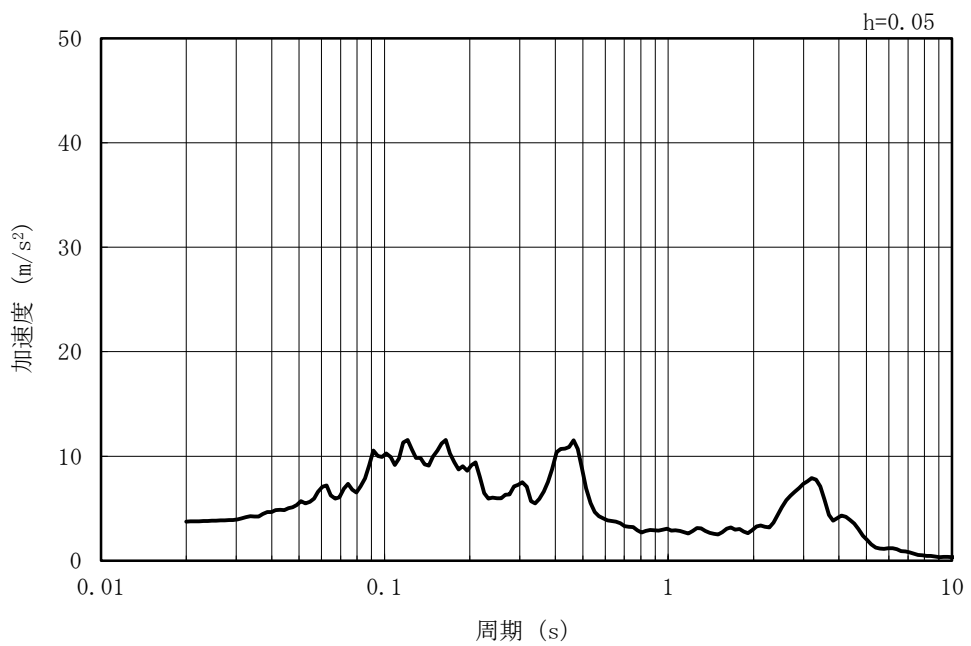
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-81 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-5EW)

MAX 3.74m/s<sup>2</sup> (52.06s)



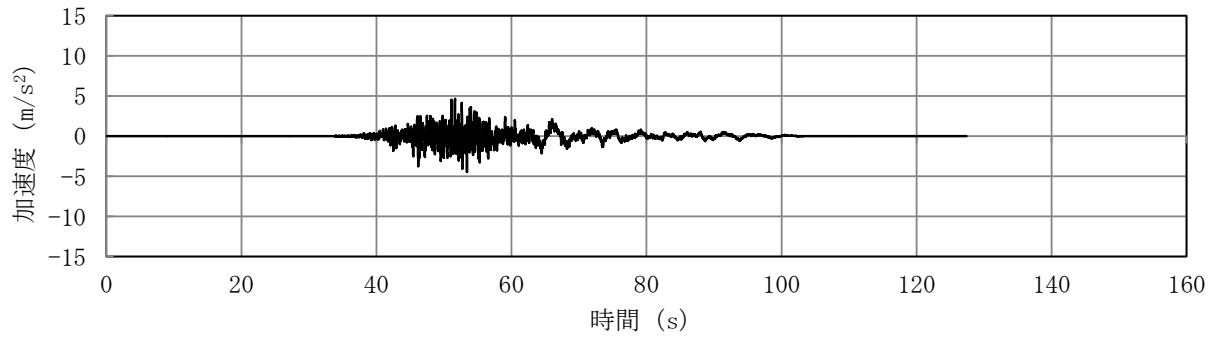
(a) 加速度時刻歴波形



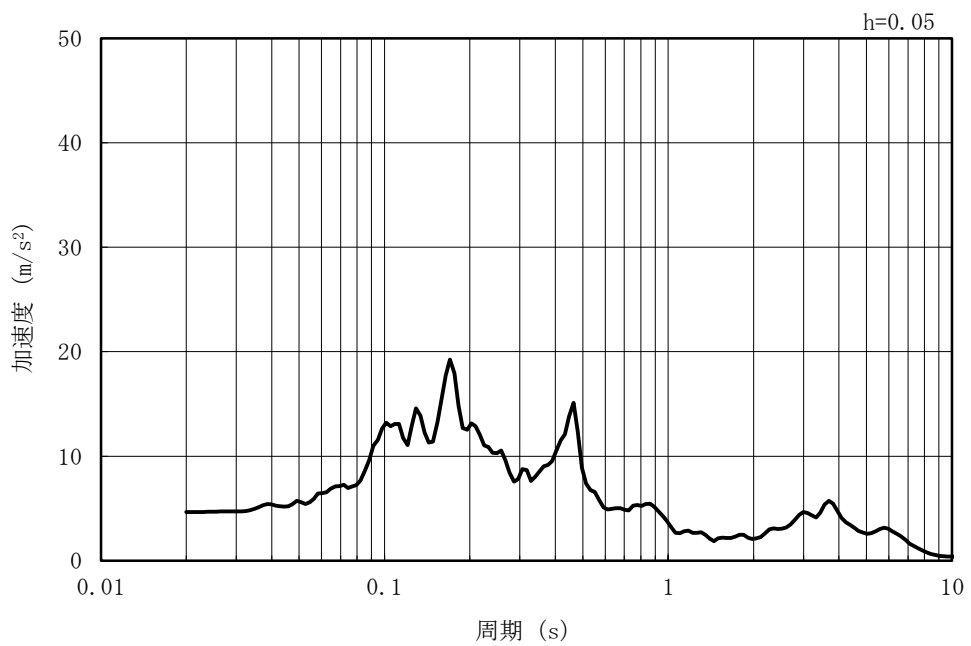
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-82 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-5EW)

MAX 4.64m/s<sup>2</sup> (51.64s)



(a) 加速度時刻歴波形

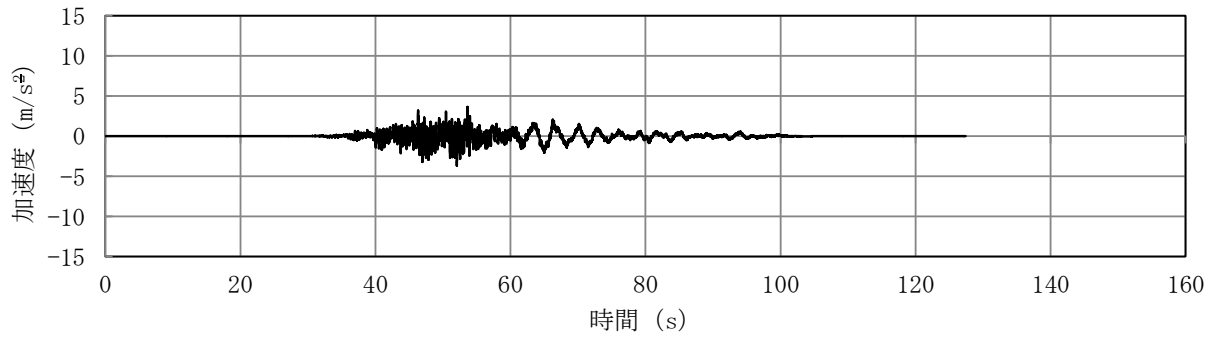


(b) 加速度応答スペクトル

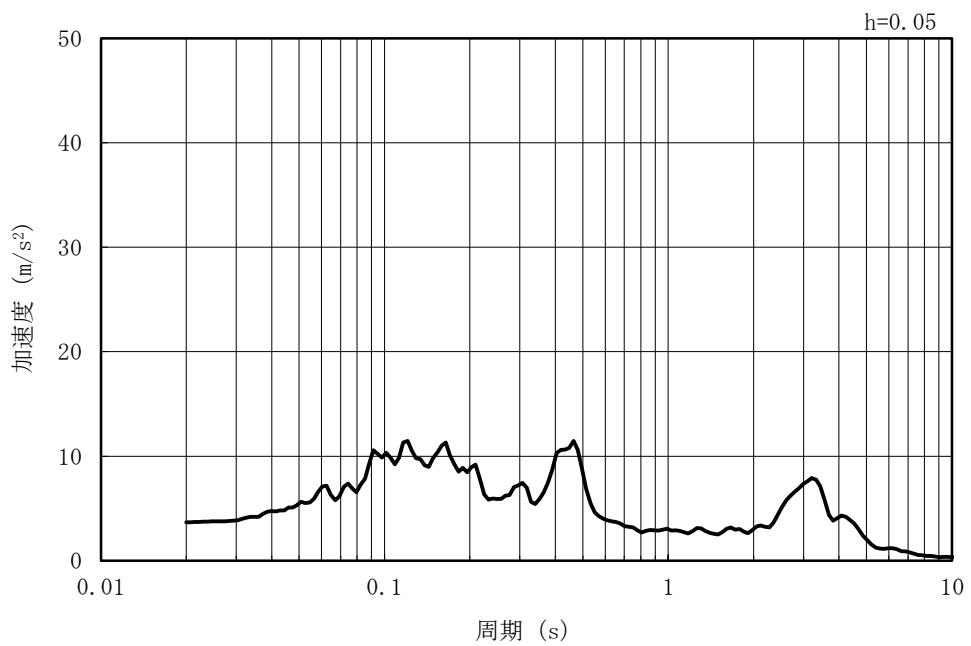
図 5-83 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-5NS)



MAX 3.68m/s<sup>2</sup> (52.06s)



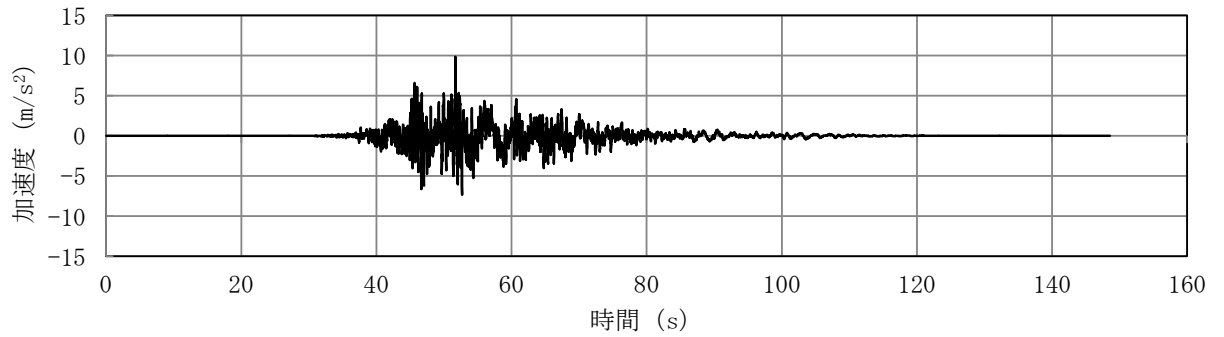
(a) 加速度時刻歴波形



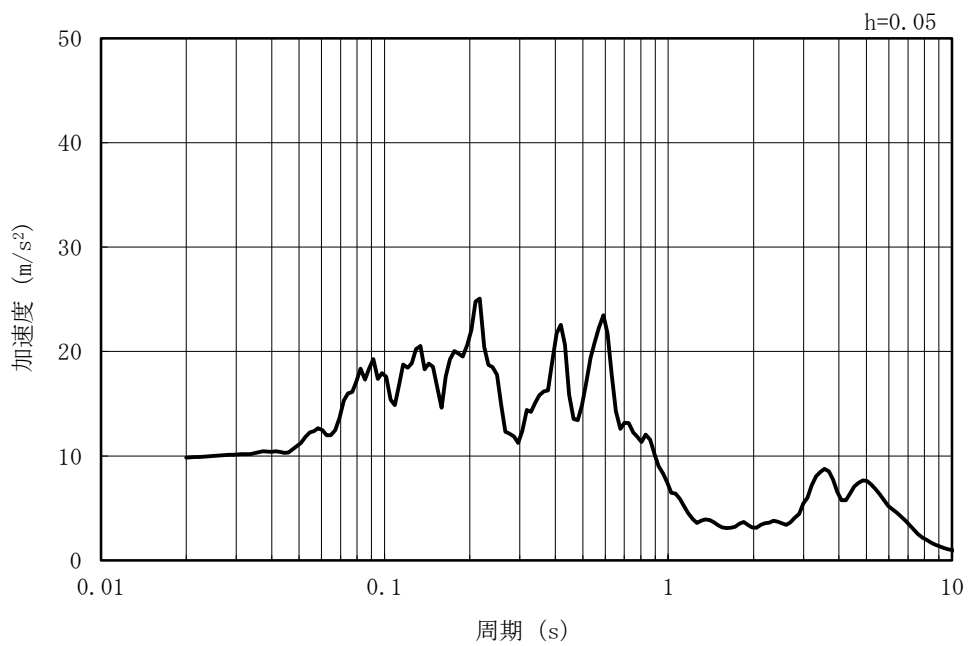
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-84 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-5NS)

MAX 9.84m/s<sup>2</sup> (51.71s)



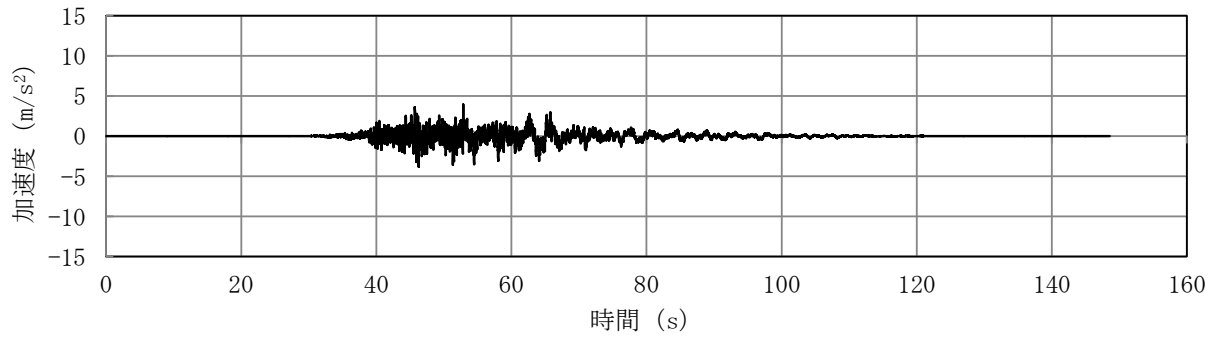
(a) 加速度時刻歴波形



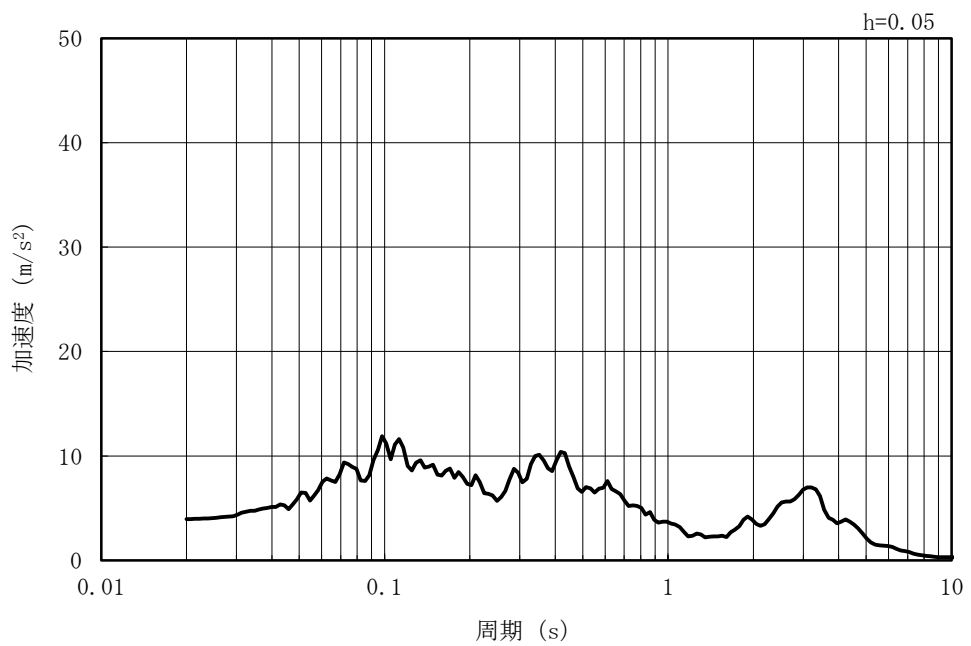
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-85 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-6EW)

MAX 3.95m/s<sup>2</sup> (52.87s)

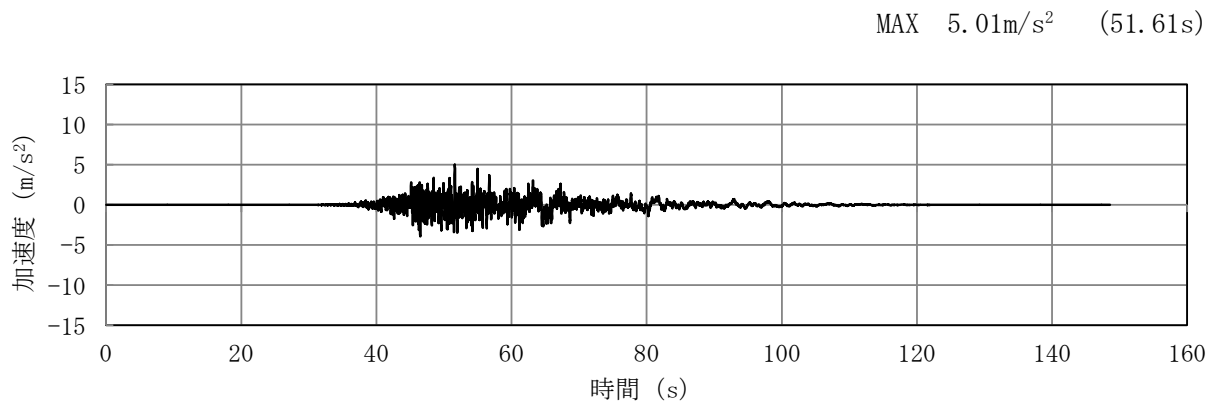


(a) 加速度時刻歴波形

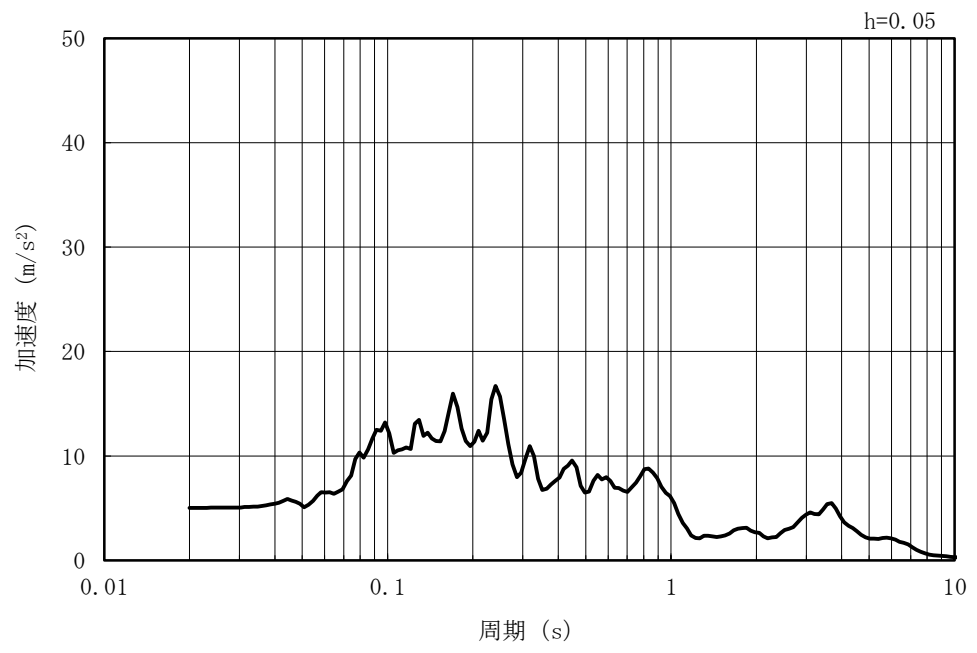


(b) 加速度応答スペクトル

図 5-86 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-6EW)



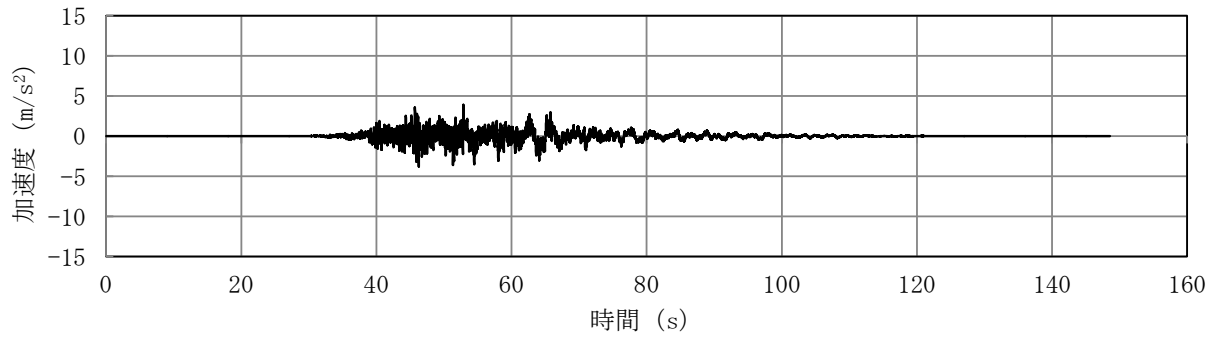
(a) 加速度時刻歴波形



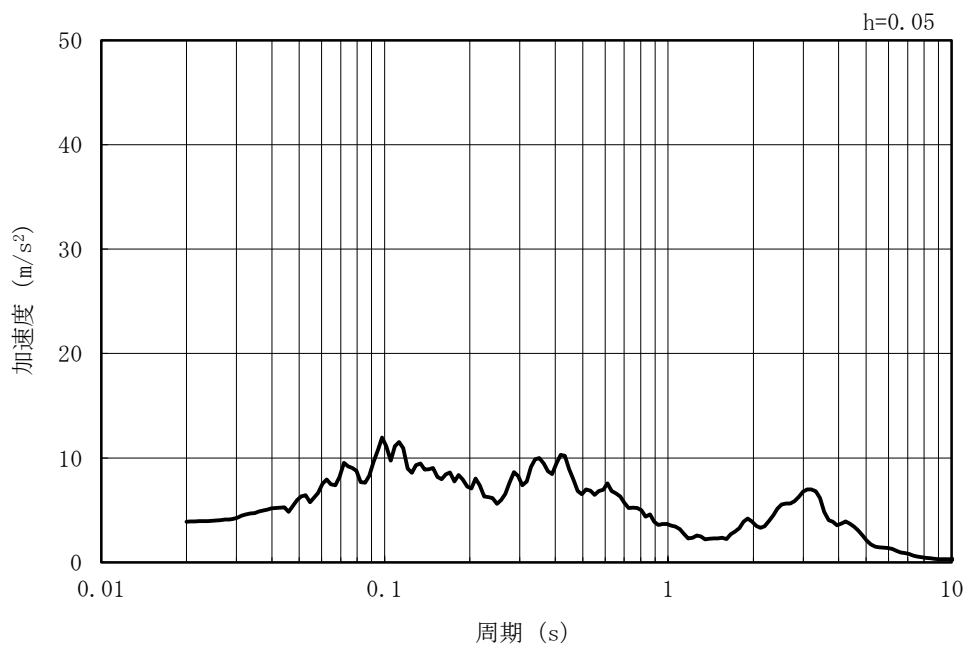
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-87 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-6NS)

MAX 3.89m/s<sup>2</sup> (52.87s)



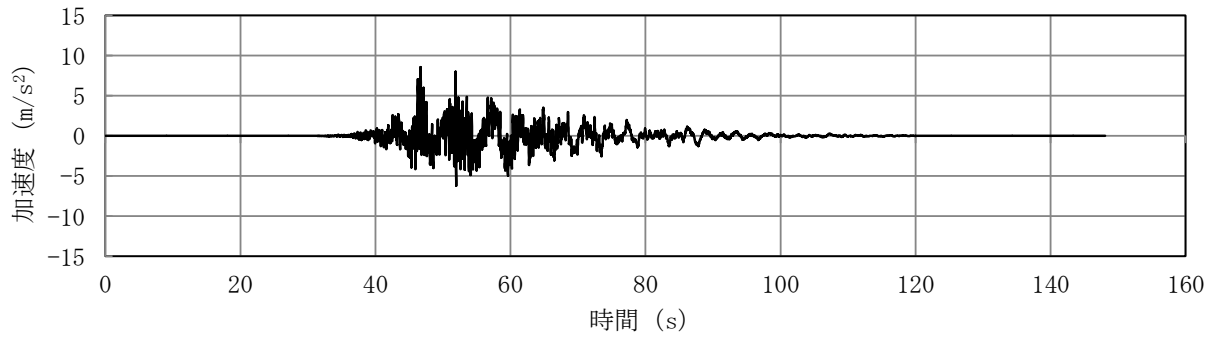
(a) 加速度時刻歴波形



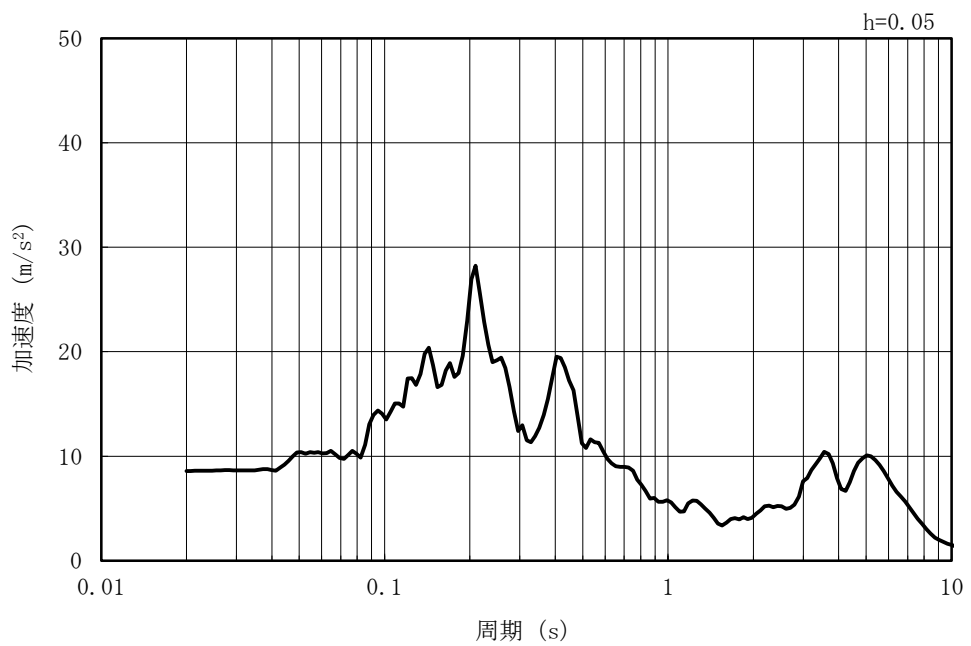
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-88 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向 : Ss-6NS)

MAX 8.58m/s<sup>2</sup> (46.68s)



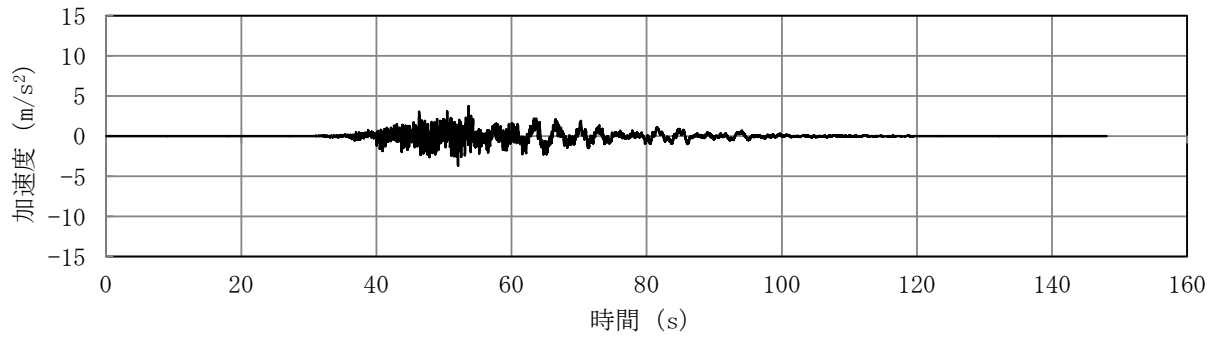
(a) 加速度時刻歴波形



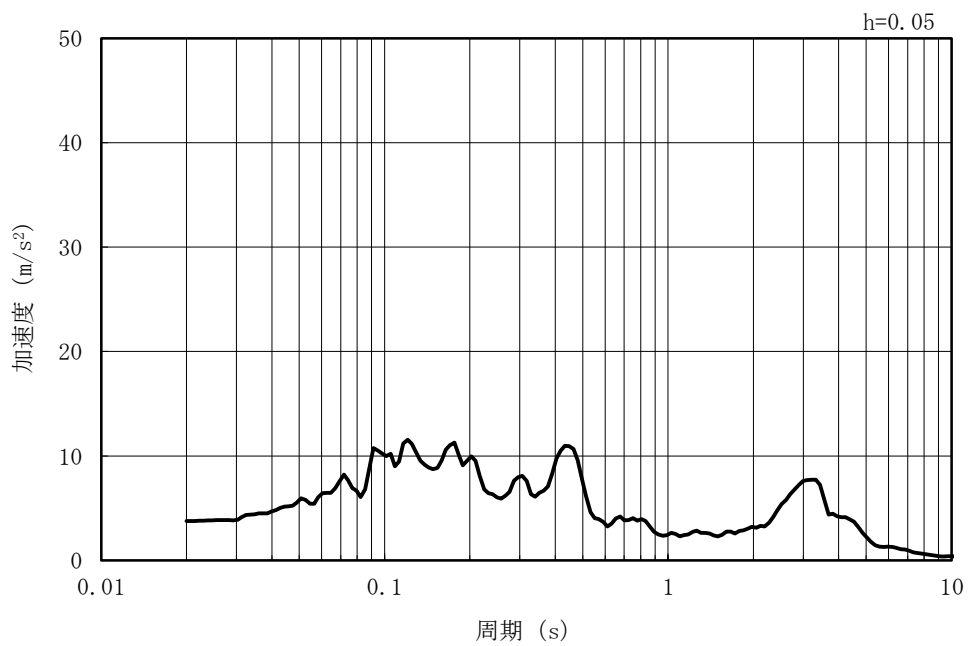
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-89 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-7EW)

MAX 3.76m/s<sup>2</sup> (53.65s)



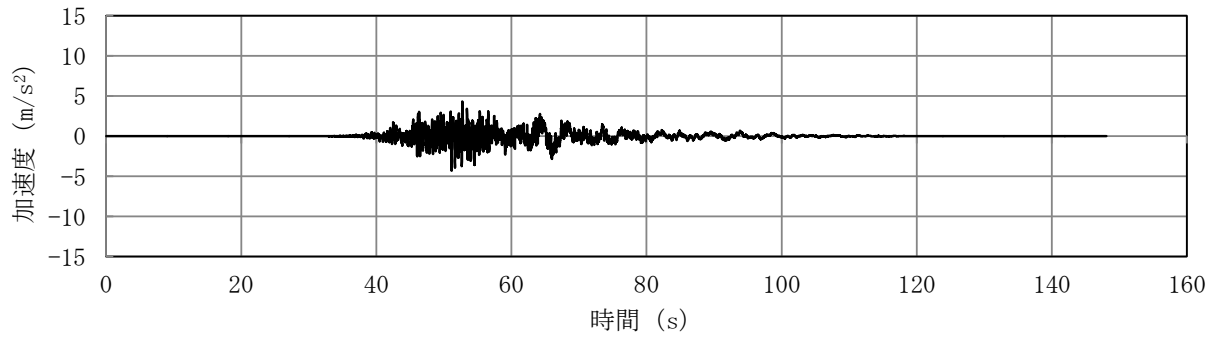
(a) 加速度時刻歴波形



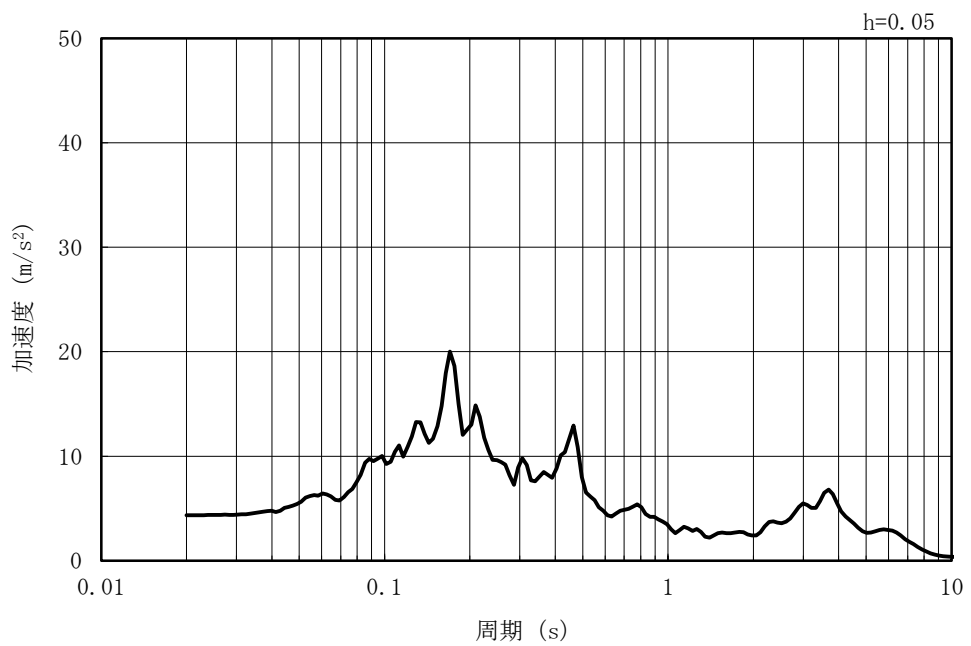
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-90 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-7EW)

MAX 4.33m/s<sup>2</sup> (52.75s)



(a) 加速度時刻歴波形

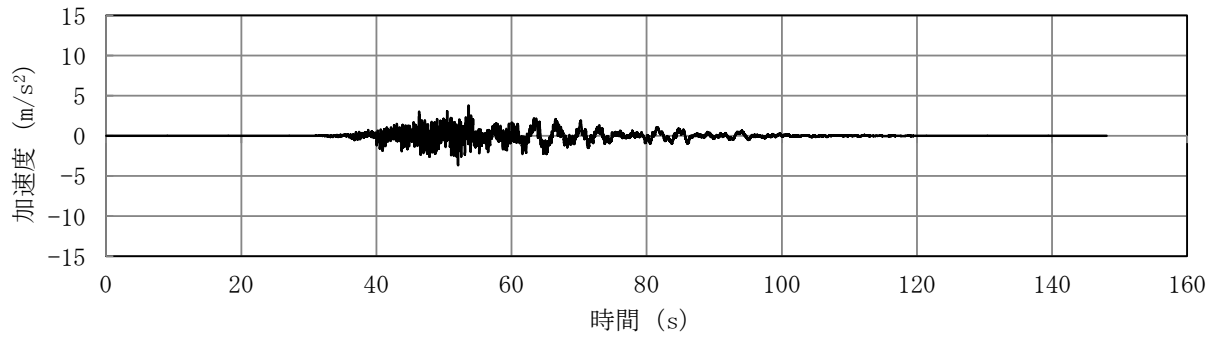


(b) 加速度応答スペクトル

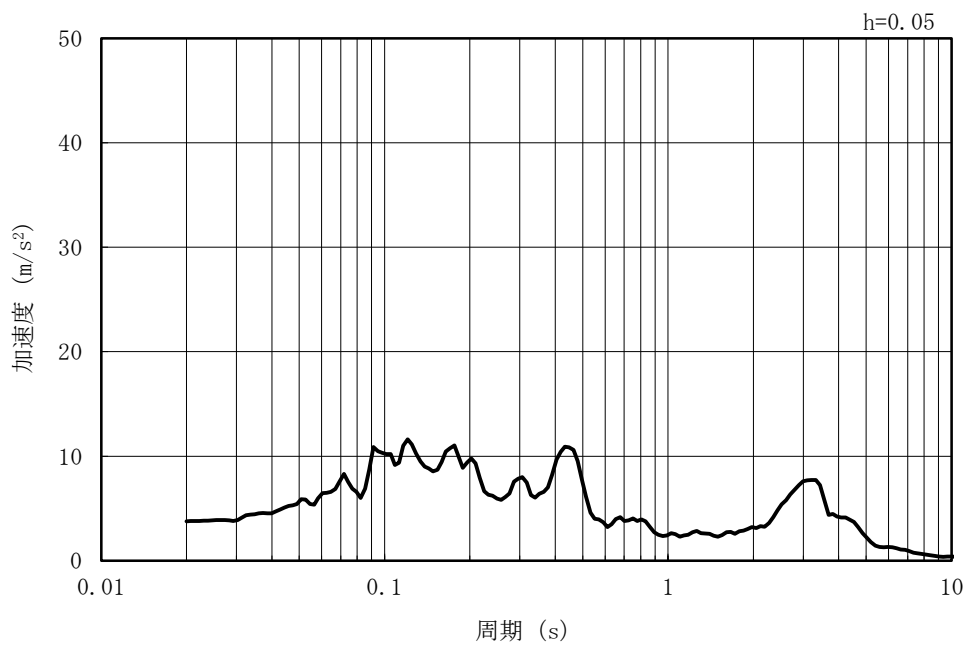
図 5-91 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-7NS)



MAX 3.77m/s<sup>2</sup> (53.65s)



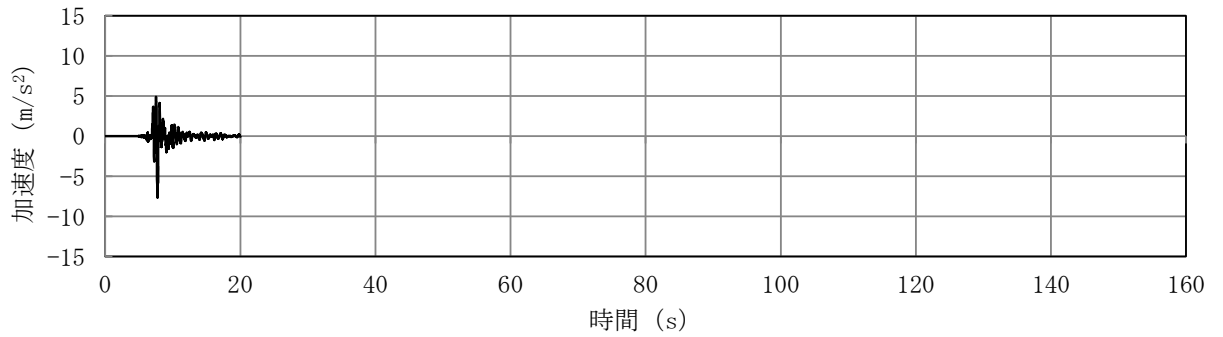
(a) 加速度時刻歴波形



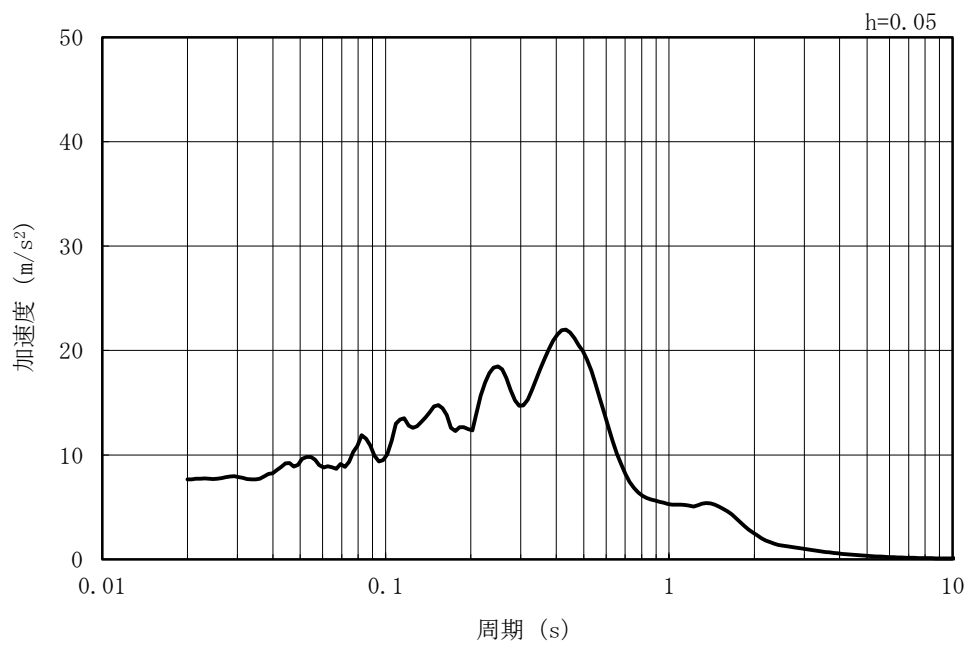
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-92 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-7NS)

MAX 7.65m/s<sup>2</sup> (7.74s)



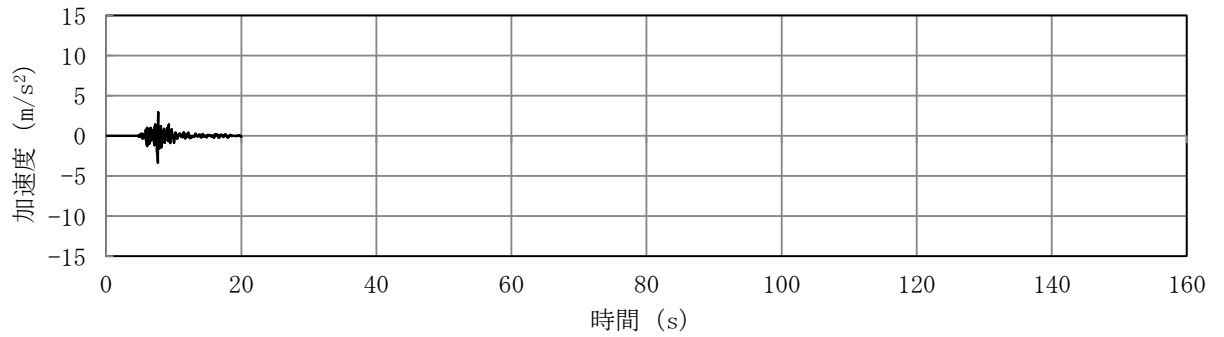
(a) 加速度時刻歴波形



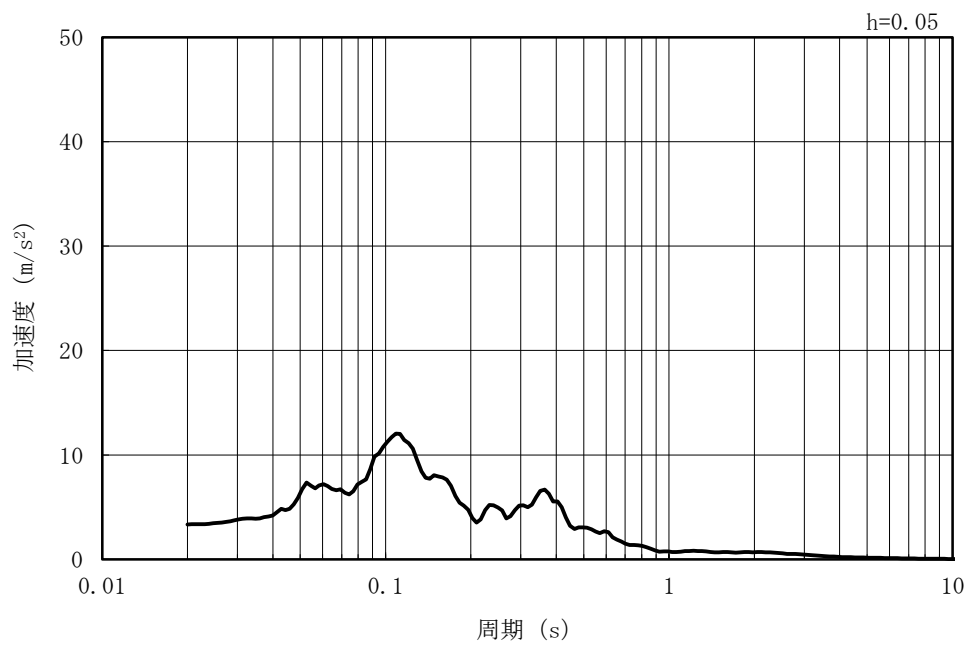
(b) 加速度応答スペクトル

図 5-93 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(水平方向 : Ss-8)

MAX 3.35m/s<sup>2</sup> (7.64s)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 5-94 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル  
(鉛直方向：Ss-8)

## 5.5.2 許容限界の設定

### (1) 通水機能を要求する部材の許容限界

#### a. 曲げに対する許容限界

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ 1%）を許容限界とし、照査用コンクリートひずみが限界ひずみを下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査に用いるコンクリートの照査用圧縮ひずみは、3次元構造解析により得られたコンクリートの圧縮縁の発生ひずみに安全係数（構造解析係数）1.2 を乗じることにより、曲げ破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_r} < 1.0$$

ここで、

$\gamma_i$  : 構造物係数 ( $\gamma_i = 1.0$ )

$\varepsilon_r$  : 限界ひずみ

$\varepsilon_d$  : 照査用圧縮ひずみ ( $\varepsilon_d = \gamma_a \cdot \varepsilon$ )

$\gamma_a$  : 構造解析係数 ( $\gamma_a = 1.2$ )

$\varepsilon$  : 圧縮縁の発生ひずみ

b. せん断に対する許容限界

鉄筋コンクリート部材のせん断に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、(a)棒部材式及び(b)ディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方を許容限界とし、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認する。

鉄筋コンクリート部材のせん断照査に用いる照査用せん断力は、地震応答解析により得られたせん断力に安全係数（構造解析係数）1.05 を乗じることにより、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{V_d}{V_{yd}} < 1.0$$

ここで、

$\gamma_i$  : 構造物係数 ( $\gamma_i=1.0$ )

$V_{yd}$  : せん断耐力

$V_d$  : 照査用せん断力 ( $V_d = \gamma_a \cdot V$ )

$\gamma_a$  : 構造解析係数 ( $\gamma_a=1.05$ )

$V$  : 応答計算によるせん断力値

構造部材のせん断に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、(a)棒部材式及び(b)ディープビーム式で求まるせん断耐力のうち、いずれか大きい方とする。

(a) 棒部材式

$$V_{yd} = V_{cd} + V_{sd}$$

ここで、

$V_{cd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sd}$  : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_n \cdot \beta_a \cdot f_{vcd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{vcd} = 0.20 \sqrt[3]{f_{cd}}$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72$  (N/mm<sup>2</sup>) となる場合は  
 $f_{vcd} = 0.72$  (N/mm<sup>2</sup>)

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$  となる場合は  $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$  となる場合は  $\beta_p = 1.5$

$$\beta_n = 1 + 2 M_0 / M_{ud} \quad (N'_d \geq 0) \quad \text{ただし、} \beta_n > 2.0 \text{ となる場合は } \beta_n = 2.0$$

$$= 1 + 4 M_0 / M_{ud} \quad (N'_d < 0) \quad \text{ただし、} \beta_n < 0 \text{ となる場合は } \beta_n = 0$$

$$\beta_a = 0.75 + \frac{1.4}{a/d}$$

ただし、 $\beta_a < 1.0$  となる場合は  $\beta_a = 1.0$

$f'_{cd}$  : コンクリート圧縮強度の設計用値 (N/mm<sup>2</sup>) で設計基準強度  $f'_{ck}$  を材料係数  $\gamma_{mc}$  (=1.3) で除したもの

$p_v = A_s / (b_w \cdot d)$  : 引張鉄筋比

$A_s$  : 引張側鋼材の断面積

$b_w$  : 部材の有効幅

$d$  : 部材の有効高さ

$N'_d$  : 設計軸圧縮力

$M_{ud}$  : 軸方向力を考慮しない純曲げ耐力

$M_0 = N'_d \cdot D / 6$  :  $M_d$  に対する引張縁において、軸方向力によって発生する応力を打ち消すのに必要なモーメント (デコンプレッションモーメント)

$D$  : 断面高さ

$a/d$  : せん断スパン比

$\gamma_{bc}$  : 部材係数 (=1.3)

$$V_{sd} = \{A_w \cdot f_{wyd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) / s\} \cdot z / \gamma_{bs}$$

ここで、

$A_w$  : 区間  $s$  におけるせん断補強筋の総断面積

$f_{wyd}$  : せん断補強筋の降伏強度を材料係数  $\gamma_{ms}$  (1.0) で除したもので、 $400\text{N/mm}^2$  以下とする。ただし、コンクリートの圧縮強度の特性値  $f'_{ck}$  が  $60\text{N/mm}^2$  以上の時は、 $800\text{N/mm}^2$  以下とする。

$\alpha$  : せん断補強筋と部材軸のなす角

$s$  : せん断補強筋の配置間隔

$z$  : 圧縮応力の合力の作用位置から引張鋼材図心までの距離で  $d/1.15$  とする。

$\gamma_{bs}$  : 部材係数 (=1.1)

(b) ディープビーム式

$$V_{ydd} = V_{cdd} + V_{sdd}$$

ここで、

$V_{cdd}$  : コンクリートが分担するせん断耐力

$V_{sdd}$  : せん断補強筋が分担するせん断耐力

$$V_{cdd} = \beta_d \cdot \beta_p \cdot \beta_a \cdot f_{dd} \cdot b_w \cdot d / \gamma_{bc}$$

$$f_{dd} = 0.19 \sqrt{f_{cd}}$$

$$\beta_d = \sqrt[4]{1/d} \quad (d \text{ [m]})$$

ただし、 $\beta_d > 1.5$  となる場合は  $\beta_d = 1.5$

$$\beta_p = \sqrt[3]{100 p_v}$$

ただし、 $\beta_p > 1.5$  となる場合は  $\beta_p = 1.5$

$$\beta_a = \frac{5}{1 + (a/d)^2}$$

$\gamma_{bc}$  : 部材係数 (=1.3)

$$V_{sdd} = \phi \cdot V_{sd}$$

$$\phi = -0.17 + 0.3 a/d + 0.33/p_{wb} \quad \text{ただし、} 0 \leq \phi \leq 1$$

$p_{wb}$  : せん断補強鉄筋比 (%)



また、分布荷重を受ける部材のせん断耐力については、図 5-95 に示す等価せん断スパンの考え方に基づき、せん断耐力を算定する。

(c) 等価せん断スパンの設定

時刻歴地震応答解析で得られる断面力分布に基づいて、支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメントが発生する位置（あるいはせん断力が零となる点）までを照査対象区間と考える。この区間において、等価せん断スパンを以下のように設定する。

- ① 区間に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が存在する場合は、以下の2種類の等価せん断スパンを設定する。

第1等価せん断スパン(a1)：支承前面あるいははり・柱前面から反曲点までの距離

第2等価せん断スパン(a2)：反曲点から最大曲げモーメント点までの距離

- ② 区間に曲げモーメントの反曲点（曲げモーメントが零）が無い場合は、以下のように等価せん断スパンを設定する。

等価せん断スパン(a)：支承前面あるいははり・柱前面から最大曲げモーメント点までの距離

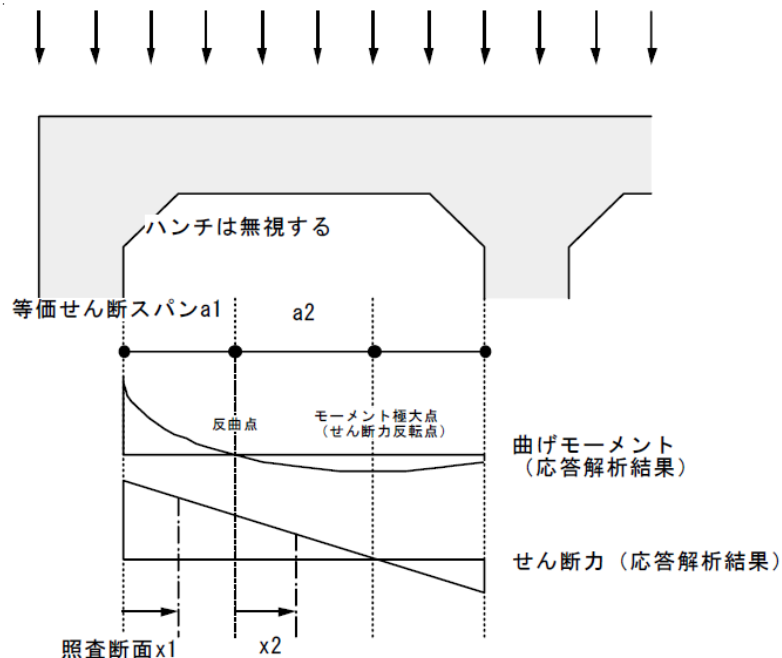


図 5-95 等価せん断スパンの設定方法

(土木学会マニュアルより引用)

土木学会マニュアルでは、コンクリート標準示方書におけるせん断耐力式のうち棒部材式において等価せん断スパンにより設定可能な係数 $\beta_a$ を考慮している。これは、地中に埋設されたラーメン構造で、分布荷重が卓越、スパン内に曲げモーメントの反曲点が存在する等の载荷形態にある条件下では、せん断耐力が増大するという実験的知見を踏まえ、より合理的なせん断耐力を与えるよう、コンクリート標準示方書のせん断耐力式を精緻化したものである。

また、土木学会マニュアルにおけるせん断耐力式による評価においては、表 5-19 に示すとおり、複数の安全係数が見込まれていることから、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施することが可能である。

なお、部材係数 $\gamma_b$ のうち、繰返し作用を受けても曲げせん断破壊しないことを保証するための裕度分 $\gamma_{b2}$ については、部材降伏に至らない応答解析結果であることから、 $\gamma_{b2}=1.0$ とする。

表 5-19 せん断耐力式において考慮している安全係数

安全係数			値	内容
材料係数	コンクリート	$\gamma_{mc}$	1.30	コンクリートの特性値（圧縮強度）を低減
部材係数	コンクリート	$\gamma_{bc}$	1.30	コンクリートが負担するせん断力を低減
	鉄筋	$\gamma_{bs}$	1.10	せん断補強筋が負担するせん断力を低減
構造解析係数		$\gamma_a$	1.05	応答値（断面力）を割り増し

注記\* : 土木学会マニュアルでは、部材係数 $\gamma_b = \gamma_{b1} \times \gamma_{b2}$

$$\gamma_{b1} = \begin{cases} 1.3 & (\text{コンクリート}) \\ 1.1 & (\text{鉄筋}) \end{cases}$$

$$\gamma_{b2} = \begin{cases} 1.0 & (R \leq 0.01) \\ \frac{100R + 2}{3} & (0.01 < R \leq 0.025) \\ 1.5 & (R > 0.025) \end{cases}$$

ここで、R：層間変形角

とされている。

$\gamma_{b2}$ は層間変形角の値によらず、部材が降伏していない状態であれば $\gamma_{b2}=1.0$ としてよいとされており、補機冷却用海水取水路は部材降伏に至らないことから、 $\gamma_{b2}=1.0$ とする。

以上より、 $\gamma_{bc}=1.3 \times 1.0=1.30$ 、 $\gamma_{bs}=1.1 \times 1.0=1.10$ となる。

c. 妻壁の面内せん断に対する許容限界

妻壁の面内せん断に対する許容限界は、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) に基づき、以下の式で求まるせん断ひずみ度に関する許容限界の目安値とする。

妻壁の面内せん断照査に用いる照査用せん断ひずみは、版解析により得られた面内せん断ひずみに安全係数 (構造解析係数) 1.2 を乗じることにより、せん断破壊に対して安全余裕を見込んだ評価を実施する。

$$\gamma_i \frac{\gamma_d}{\gamma_A} < 1.0$$

ここで、 $\gamma_i$  : 構造物係数 (=1.0)

$$\gamma_d = \gamma_a \cdot \gamma$$

$\gamma_a$  : 構造解析係数 (=1.2)

$\gamma$  : 応答計算による面内せん断ひずみ

$\gamma_A$  : せん断ひずみ度に関する許容限界の目安値

$$\gamma_A = \gamma_u / 2.0$$

$\gamma_u$  : 終局せん断ひずみ度で  $4.0 \times 10^{-3}$

- (2) 基礎地盤の支持性能に対する許容限界  
(追而)

(3) 貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界

貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材については、鉄筋の降伏（図 5-96）を許容限界とする。なお、部材の片側の鉄筋が降伏に至った場合でも、部材を貫通するひび割れが発生するまでは著しい漏水が生じる可能性は低いものと考えられる。そのため、部材を貫通するひび割れが発生（＝部材の両側ともに鉄筋降伏に至った状態）を貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界とする。

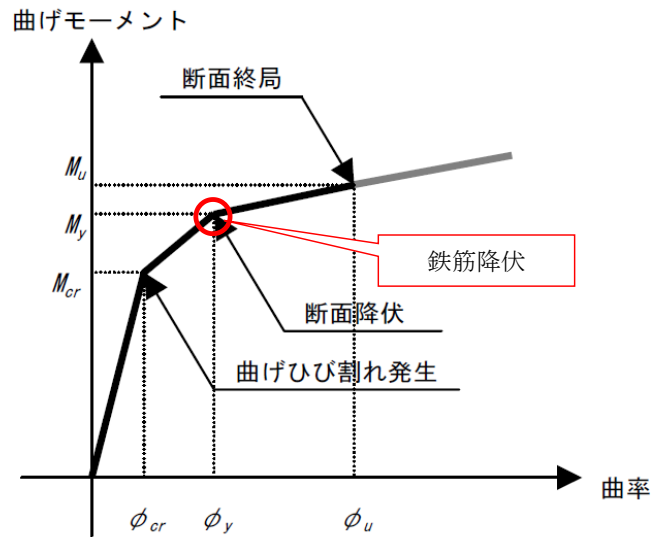


図 5-96 貯水機能を要求する鉄筋コンクリート部材の許容限界

## 5.6 評価結果

### 5.6.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「最大せん断ひずみ分布」及び「最大過剰間隙水圧比分布」を記載する。

#### (1) 解析ケースと照査値

耐震評価においては、KK7 補足-027-1「資料1 屋外重要土木構造物の耐震安全性評価について」のうち「9. 屋外重要土木構造物の耐震評価における追加解析ケースの選定について」に基づき、全ての基準地震動 $S_s$ に対して実施する解析ケース①（基本ケース）で地震応答解析を実施し、基礎地盤の支持性能については得られた応答値から、曲げ軸力照査及びせん断力照査については3次元構造解析から照査値を算定する。また、曲げ軸力照査、せん断力照査及び基礎地盤の支持性能照査の各評価項目について、照査値が最も厳しい（許容限界に対する余裕が最も小さい）地震動を用い、追加解析ケースとして解析ケース②～⑤で地震応答解析を実施し、解析ケース①（基本ケース）と同様に照査値を算定する。上記解析ケースを踏まえ、さらに照査値が大きくなる可能性がある場合は、追加解析を実施する。

a. 補機冷却用海水取水路（南側）

(a) 曲げ軸力照査

補機冷却用海水取水路（南側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 5-20 に示す。

表 5-20 補機冷却用海水取水路（南側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（1/3）

頂版

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.015				
	-+	0.017				
	+-	0.015	0.016	0.015	0.016	0.017
	--	0.015				
Ss-2		0.017				
Ss-3	++	0.016				
	-+	0.015				
	+-	0.014				
	--	0.015				
Ss-4		0.014				
Ss-5		0.015				
Ss-6		0.013				
Ss-7		0.014				
Ss-8	++	0.016				
	-+	0.014				

側壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.012				
	-+	0.015				
	+-	0.021	0.021	0.020	0.017	0.017
	--	0.012				
Ss-2		0.016				
Ss-3	++	0.017				
	-+	0.013				
	+-	0.010				
	--	0.012				
Ss-4		0.013				
Ss-5		0.011				
Ss-6		0.016				
Ss-7		0.016				
Ss-8	++	0.016				
	-+	0.014				

表 5-20 補機冷却用海水取水路（南側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（2/3）

**隔壁**

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.017				
	-+	0.017				
	+-	0.022	0.022	0.022	0.019	0.020
	--	0.016				
Ss-2		0.018				
Ss-3	++	0.019				
	-+	0.018				
	+-	0.016				
	--	0.015				
Ss-4		0.012				
Ss-5		0.012				
Ss-6		0.015				
Ss-7		0.015				
Ss-8	++	0.021				
	-+	0.018				

**底版**

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.013				
	-+	0.021				
	+-	0.020	0.020	0.021	0.014	0.014
	--	0.017				
Ss-2		0.013				
Ss-3	++	0.022				
	-+	0.019				
	+-	0.016				
	--	0.019				
Ss-4		0.011				
Ss-5		0.010				
Ss-6		0.013				
Ss-7		0.010				
Ss-8	++	0.013				
	-+	0.016				



表 5-20 補機冷却用海水取水路（南側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（3/3）

柱

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.012				
	-+	0.016				
	+-	0.021	0.021	0.021	0.015	0.016
	--	0.014				
Ss-2		0.015				
Ss-3	++	0.017				
	-+	0.015				
	+-	0.011				
	--	0.013				
Ss-4		0.011				
Ss-5		0.010				
Ss-6		0.014				
Ss-7		0.015				
Ss-8	++	0.018				
	-+	0.016				

妻壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.022				
	-+	0.023				
	+-	0.025	0.026	0.025	0.020	0.020
	--	0.021				
Ss-2		0.023				
Ss-3	++	0.020				
	-+	0.021				
	+-	0.019				
	--	0.019				
Ss-4		0.016				
Ss-5		0.017				
Ss-6		0.017				
Ss-7		0.017				
Ss-8	++	0.024				
	-+	0.024				

(b) せん断力照査

補機冷却用海水取水路（南側）の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 5-21 に示す。

表 5-21 補機冷却用海水取水路（南側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（1/3）

頂版

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.36				
	-+	0.37				
	+-	0.37	0.38	0.37	0.31	0.32
	--	0.34				
Ss-2		0.40				
Ss-3	++	0.30				
	-+	0.37				
	+-	0.33				
	--	0.32				
Ss-4		0.29				
Ss-5		0.30				
Ss-6		0.28				
Ss-7		0.27				
Ss-8	++	0.33				
	-+	0.33				

側壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.27				
	-+	0.35				
	+-	0.35	0.35	0.35	0.36	0.37
	--	0.30				
Ss-2		0.29				
Ss-3	++	0.38				
	-+	0.33				
	+-	0.26				
	--	0.30				
Ss-4		0.22				
Ss-5		0.23				
Ss-6		0.27				
Ss-7		0.27				
Ss-8	++	0.27				
	-+	0.27				

表 5-21 補機冷却用海水取水路（南側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（2/3）

隔壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.17				
	-+	0.16				
	+-	0.17	0.16	0.18	0.15	0.15
	--	0.15				
Ss-2		0.15				
Ss-3	++	0.15				
	-+	0.15				
	+-	0.14				
	--	0.15				
Ss-4		0.09				
Ss-5		0.08				
Ss-6		0.09				
Ss-7		0.13				
Ss-8	++	0.18				
	-+	0.17				

底版

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.49				
	-+	0.48				
	+-	0.58	0.59	0.59	0.47	0.43
	--	0.48				
Ss-2		0.31				
Ss-3	++	0.49				
	-+	0.47				
	+-	0.44				
	--	0.45				
Ss-4		0.26				
Ss-5		0.25				
Ss-6		0.35				
Ss-7		0.40				
Ss-8	++	0.54				
	-+	0.55				

注： □は、前述 5.3.5 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

表 5-21 補機冷却用海水取水路（南側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（3/3）

柱

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.15				
	-+	0.12				
	+-	0.12	0.11	0.13	0.09	0.10
	--	0.12				
Ss-2		0.11				
Ss-3	++	0.11				
	-+	0.11				
	+-	0.12				
	--	0.12				
Ss-4		0.06				
Ss-5		0.06				
Ss-6		0.07				
Ss-7		0.09				
Ss-8	++	0.12				
	-+	0.12				

妻壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.41				
	-+	0.47				
	+-	0.38	0.41	0.39	0.42	0.43
	--	0.42				
Ss-2		0.46				
Ss-3	++	0.34				
	-+	0.39				
	+-	0.38				
	--	0.41				
Ss-4		0.39				
Ss-5		0.39				
Ss-6		0.36				
Ss-7		0.35				
Ss-8	++	0.42				
	-+	0.37				

(c) 基礎地盤の支持性能

補機冷却用海水取水路（南側）の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 5-22 に示す。

表 5-22 補機冷却用海水取水路（南側）の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

地震動		基礎地盤の支持性能照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.07				
	-+	0.07				
	+-	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07
	--	0.07				
Ss-2		0.07				
Ss-3	++	0.06				
	-+	0.06				
	+-	0.06				
	--	0.06				
Ss-4		0.06				
Ss-5		0.06				
Ss-6		0.06				
Ss-7		0.06				
Ss-8	++	0.05				
	-+	0.06				

b. 補機冷却用海水取水路（北側）

(a) 曲げ軸力照査

補機冷却用海水取水路（北側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値を表 5-23 に示す。

表 5-23 補機冷却用海水取水路（北側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（1/3）

頂版

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.022				
	-+	0.022				
	+-	0.024	0.024	0.023	0.019	0.018
	--	0.023				
Ss-2		0.016				
Ss-3	++	0.015				
	-+	0.015				
	+-	0.017				
	--	0.018				
Ss-4		0.014				
Ss-5		0.014				
Ss-6		0.018				
Ss-7		0.016				
Ss-8	++	0.015				
	-+	0.012				

側壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.025				
	-+	0.024				
	+-	0.026	0.022	0.021	0.016	0.016
	--	0.025				
Ss-2		0.017				
Ss-3	++	0.015				
	-+	0.012				
	+-	0.019				
	--	0.020				
Ss-4		0.012				
Ss-5		0.015				
Ss-6		0.019				
Ss-7		0.018				
Ss-8	++	0.015				
	-+	0.012				

表 5-23 補機冷却用海水取水路（北側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（2/3）

隔壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.022				
	-+	0.023				
	+-	0.026	0.022	0.023	0.028	0.028
	--	0.025				
Ss-2		0.021				
Ss-3	++	0.019				
	-+	0.017				
	+-	0.017				
	--	0.019				
Ss-4		0.015				
Ss-5		0.018				
Ss-6		0.020				
Ss-7		0.016				
Ss-8	++	0.023				
	-+	0.020				

底版

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.014				
	-+	0.014				
	+-	0.019	0.019	0.020	0.021	0.021
	--	0.018				
Ss-2		0.014				
Ss-3	++	0.015				
	-+	0.016				
	+-	0.013				
	--	0.014				
Ss-4		0.012				
Ss-5		0.013				
Ss-6		0.012				
Ss-7		0.011				
Ss-8	++	0.016				
	-+	0.014				

表 5-23 補機冷却用海水取水路（北側）の曲げ軸力に対する解析ケースと照査値（3/3）

柱

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.024				
	-+	0.024				
	+-	0.026	0.026	0.027	0.030	0.029
	--	0.025				
Ss-2		0.019				
Ss-3	++	0.020				
	-+	0.017				
	+-	0.018				
	--	0.020				
Ss-4		0.014				
Ss-5		0.017				
Ss-6		0.019				
Ss-7		0.018				
Ss-8	++	0.022				
	-+	0.020				

妻壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートの曲げ軸力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.028				
	-+	0.027				
	+-	0.029	0.028	0.029	0.035	0.035
	--	0.027				
Ss-2		0.023				
Ss-3	++	0.022				
	-+	0.024				
	+-	0.022				
	--	0.024				
Ss-4		0.019				
Ss-5		0.020				
Ss-6		0.022				
Ss-7		0.022				
Ss-8	++	0.024				
	-+	0.021				



(b) せん断力照査

補機冷却用海水取水路（北側）の各部材毎におけるせん断力に対する解析ケースと照査値を表 5-24 に示す。

表 5-24 補機冷却用海水取水路（北側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（1/3）

頂版

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.45				
	-+	0.44				
	+-	0.49	0.48	0.50	0.53	0.52
	--	0.46				
Ss-2		0.42				
Ss-3	++	0.38				
	-+	0.40				
	+-	0.36				
	--	0.38				
Ss-4		0.35				
Ss-5		0.35				
Ss-6		0.36				
Ss-7		0.36				
Ss-8	++	0.40				
	-+	0.35				

側壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.48				
	-+	0.45				
	+-	0.47	0.49	0.45	0.38	0.37
	--	0.48				
Ss-2		0.32				
Ss-3	++	0.33				
	-+	0.30				
	+-	0.38				
	--	0.38				
Ss-4		0.25				
Ss-5		0.28				
Ss-6		0.35				
Ss-7		0.33				
Ss-8	++	0.29				
	-+	0.26				

表 5-24 補機冷却用海水取水路（北側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（2/3）

隔壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.16				
	-+	0.17				
	+-	0.21	0.20	0.23	0.31	0.30
	--	0.20				
Ss-2		0.17				
Ss-3	++	0.13				
	-+	0.13				
	+-	0.13				
	--	0.13				
Ss-4		0.10				
Ss-5		0.11				
Ss-6		0.15				
Ss-7		0.13				
Ss-8	++	0.20				
	-+	0.19				

底版

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.42				
	-+	0.45				
	+-	0.59	0.58	0.62	0.76	0.76
	--	0.57				
Ss-2		0.45				
Ss-3	++	0.45				
	-+	0.40				
	+-	0.41				
	--	0.43				
Ss-4		0.35				
Ss-5		0.39				
Ss-6		0.46				
Ss-7		0.39				
Ss-8	++	0.56				
	-+	0.50				

注： □は、前述 5.3.5 のフローに基づき、解析ケース②～⑤を実施する地震動の基本ケース①の照査値を示す。

表 5-24 補機冷却用海水取水路（北側）のせん断力に対する解析ケースと照査値（3/3）

柱

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.14				
	-+	0.13				
	+ -	0.15	0.15	0.17	0.22	0.21
	--	0.15				
Ss-2		0.13				
Ss-3	++	0.11				
	-+	0.12				
	+ -	0.11				
	--	0.11				
Ss-4		0.10				
Ss-5		0.09				
Ss-6		0.12				
Ss-7		0.10				
Ss-8	++	0.15				
	-+	0.14				

妻壁

解析ケース 地震動		鉄筋コンクリートのせん断力照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.52				
	-+	0.53				
	+ -	0.54	0.53	0.54	0.41	0.41
	--	0.52				
Ss-2		0.45				
Ss-3	++	0.41				
	-+	0.43				
	+ -	0.42				
	--	0.46				
Ss-4		0.38				
Ss-5		0.40				
Ss-6		0.43				
Ss-7		0.42				
Ss-8	++	0.40				
	-+	0.36				

(c) 基礎地盤の支持性能

補機冷却用海水取水路（北側）の基礎地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値を表 5-25 に示す。

表 5-25 補機冷却用海水取水路（北側）の地盤の支持性能に対する解析ケースと照査値

地震動		基礎地盤の支持性能照査				
		①	②	③	④	⑤
Ss-1	++	0.08				
	-+	0.07				
	+-	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	--	0.07				
Ss-2		0.06				
Ss-3	++	0.06				
	-+	0.06				
	+-	0.07				
	--	0.06				
Ss-4		0.06				
Ss-5		0.06				
Ss-6		0.06				
Ss-7		0.06				
Ss-8	++	0.05				
	-+	0.06				

(2) 妻壁の面内せん断力及び層間変位

地震応答解析における妻壁の面内せん断応力の最大値と時刻を表 5-26 及び表 5-27, 地震応答解析における妻壁の層間変位の最大値と時刻を表 5-28 及び表 5-29, 妻壁の位置を図 5-97～図 5-100 に示す。

表 5-26 地震応答解析における補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の面内せん断応力の最大値と時刻（A-A断面）

解析ケース	地震動	面内せん断応力の最大値 (kN/m <sup>2</sup> )		面内せん断応力最大時の時刻 (s)	
		南妻壁	北妻壁	南妻壁	北妻壁
①	Ss-1++	812	903	5.69	6.13
	Ss-1-+	716	890	5.68	18.56
	Ss-1+-	856	906	5.67	4.73
	Ss-1--	905	1149	5.67	5.68
	Ss-2	632	753	19.35	21.90
	Ss-3++	685	863	35.61	21.20
	Ss-3-+	669	880	35.60	35.62
	Ss-3+-	657	807	24.89	21.21
	Ss-3--	632	787	17.46	19.08
	Ss-4	500	625	51.79	51.80
	Ss-5	543	611	46.40	46.40
	Ss-6	466	473	45.38	52.93
	Ss-7	482	542	46.54	53.72
	Ss-8++	721	813	8.00	8.01
	Ss-8-+	774	734	8.00	7.31
②	Ss-1+-	912	932	5.67	9.10
③	Ss-1+-	817	910	5.67	4.73
④	Ss-1+-	1051	1126	4.74	4.74
⑤	Ss-1+-	1228	1251	4.74	4.74

注： □は、壁部材の面内せん断に対する照査を実施するケース

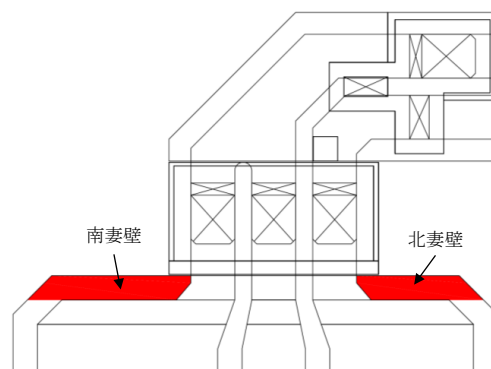


図 5-97 補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の位置

表 5-27 地震応答解析における補機冷却用海水取水路（北側）の  
妻壁の面内せん断応力の最大値と時刻（A-A断面）

解析ケース	地震動	面内せん断応力の 最大値(kN/m <sup>2</sup> )		面内せん断応力 最大時の時刻(s)	
		南妻壁	北妻壁	南妻壁	北妻壁
①	Ss-1++	786	671	5.15	6.11
	Ss-1-+	769	763	4.79	5.69
	Ss-1+-	995	872	5.67	5.67
	Ss-1--	863	825	4.73	5.67
	Ss-2	672	617	20.52	19.35
	Ss-3++	709	619	35.60	17.46
	Ss-3-+	693	662	17.50	35.60
	Ss-3+-	673	650	12.28	17.45
	Ss-3--	672	617	17.44	24.89
	Ss-4	511	543	45.77	51.80
	Ss-5	513	572	47.68	46.43
	Ss-6	572	512	51.80	45.37
	Ss-7	544	506	46.39	46.49
	Ss-8++	722	742	7.30	7.99
	Ss-8-+	773	755	8.01	8.00
②	Ss-1+-	1018	911	5.67	5.67
③	Ss-1+-	993	864	5.67	5.67
④	Ss-1+-	1039	1012	5.68	4.75
⑤	Ss-1+-	1089	1143	5.69	4.74

注：□は、壁部材の面内せん断に対する照査を実施するケース

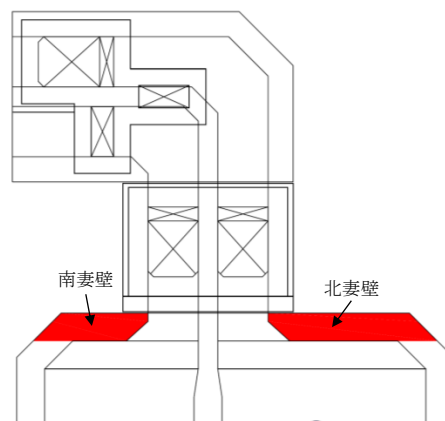


図 5-98 補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の位置

表 5-28 地震応答解析における補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の層間変位の最大値と時刻（A-A断面）

解析ケース	地震動	層間変位の最大値 (cm)		層間変位最大時の 時刻(s)	
		南妻壁	北妻壁	南妻壁	北妻壁
①	Ss-1++	$4.52 \times 10^{-2}$	$4.24 \times 10^{-2}$	5.69	6.12
	Ss-1-+	$4.08 \times 10^{-2}$	$4.94 \times 10^{-2}$	5.69	5.69
	Ss-1+-	$3.75 \times 10^{-2}$	$4.23 \times 10^{-2}$	5.68	6.13
	Ss-1--	$4.74 \times 10^{-2}$	$5.50 \times 10^{-2}$	5.68	5.68
	Ss-2	$2.45 \times 10^{-2}$	$2.80 \times 10^{-2}$	19.78	21.49
	Ss-3++	$3.41 \times 10^{-2}$	$3.99 \times 10^{-2}$	21.20	21.20
	Ss-3-+	$3.41 \times 10^{-2}$	$3.90 \times 10^{-2}$	35.61	35.61
	Ss-3+-	$3.25 \times 10^{-2}$	$3.83 \times 10^{-2}$	21.20	21.20
	Ss-3--	$3.22 \times 10^{-2}$	$3.67 \times 10^{-2}$	35.61	35.61
	Ss-4	$1.86 \times 10^{-2}$	$2.19 \times 10^{-2}$	45.39	51.80
	Ss-5	$2.25 \times 10^{-2}$	$2.26 \times 10^{-2}$	46.50	46.52
	Ss-6	$1.69 \times 10^{-2}$	$1.69 \times 10^{-2}$	51.65	50.68
	Ss-7	$1.94 \times 10^{-2}$	$2.13 \times 10^{-2}$	46.55	46.55
	Ss-8++	$3.88 \times 10^{-2}$	$4.11 \times 10^{-2}$	8.00	8.00
	Ss-8-+	$3.58 \times 10^{-2}$	$3.65 \times 10^{-2}$	8.00	7.31
②	Ss-1+-	$4.23 \times 10^{-2}$	$4.97 \times 10^{-2}$	6.13	6.13
③	Ss-1+-	$3.64 \times 10^{-2}$	$4.13 \times 10^{-2}$	4.74	4.74
④	Ss-1+-	$5.67 \times 10^{-2}$	$6.28 \times 10^{-2}$	4.75	4.75
⑤	Ss-1+-	$6.72 \times 10^{-2}$	$7.29 \times 10^{-2}$	4.75	4.75

注： □は、壁部材の面内せん断に対する照査を実施するケース

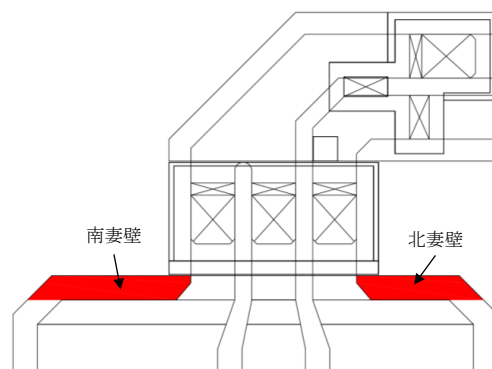


図 5-99 補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の位置



表 5-29 地震応答解析における補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の層間変位の最大値と時刻（A-A断面）

解析ケース	地震動	層間変位の最大値 (cm)		層間変位最大時の 時刻(s)	
		南妻壁	北妻壁	南妻壁	北妻壁
①	Ss-1++	$3.26 \times 10^{-2}$	$3.78 \times 10^{-2}$	5.70	5.70
	Ss-1-+	$3.37 \times 10^{-2}$	$4.27 \times 10^{-2}$	5.66	5.68
	Ss-1+-	$4.10 \times 10^{-2}$	$4.44 \times 10^{-2}$	5.67	5.68
	Ss-1--	$3.49 \times 10^{-2}$	$3.77 \times 10^{-2}$	4.73	4.73
	Ss-2	$2.59 \times 10^{-2}$	$2.73 \times 10^{-2}$	19.35	19.36
	Ss-3++	$2.59 \times 10^{-2}$	$3.03 \times 10^{-2}$	35.59	17.46
	Ss-3-+	$2.55 \times 10^{-2}$	$3.14 \times 10^{-2}$	21.19	17.47
	Ss-3+-	$2.50 \times 10^{-2}$	$3.13 \times 10^{-2}$	21.19	17.47
	Ss-3--	$2.54 \times 10^{-2}$	$3.03 \times 10^{-2}$	17.45	17.46
	Ss-4	$1.56 \times 10^{-2}$	$1.65 \times 10^{-2}$	45.37	45.38
	Ss-5	$1.90 \times 10^{-2}$	$2.09 \times 10^{-2}$	46.51	46.51
	Ss-6	$1.87 \times 10^{-2}$	$1.98 \times 10^{-2}$	45.37	51.80
	Ss-7	$1.82 \times 10^{-2}$	$2.20 \times 10^{-2}$	46.54	46.55
	Ss-8++	$3.20 \times 10^{-2}$	$3.63 \times 10^{-2}$	7.30	7.98
	Ss-8-+	$3.51 \times 10^{-2}$	$4.03 \times 10^{-2}$	8.00	8.00
②	Ss-1+-	$4.46 \times 10^{-2}$	$4.74 \times 10^{-2}$	5.67	5.68
③	Ss-1+-	$4.04 \times 10^{-2}$	$4.39 \times 10^{-2}$	5.67	5.68
④	Ss-1+-	$5.31 \times 10^{-2}$	$5.36 \times 10^{-2}$	5.70	4.76
⑤	Ss-1+-	$5.97 \times 10^{-2}$	$6.12 \times 10^{-2}$	5.71	4.75

注：□は、壁部材の面内せん断に対する照査を実施するケース

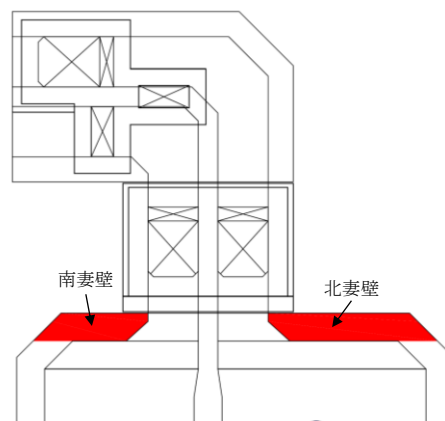


図 5-100 補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の位置

(3) 最大せん断ひずみ分布

地盤に発生した最大せん断ひずみを確認するため、曲げ軸力照査及びせん断力照査において最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻における最大せん断ひずみの分布を示す。表 5-30 に最大照査値を示す解析ケース一覧を示す。A-A断面における最大せん断ひずみ分布を図 5-101～図 5-102 に、B-B断面における最大せん断ひずみ分布を図 5-103～図 5-104 に、C-C断面における最大せん断ひずみ分布を図 5-105～図 5-108 示す。

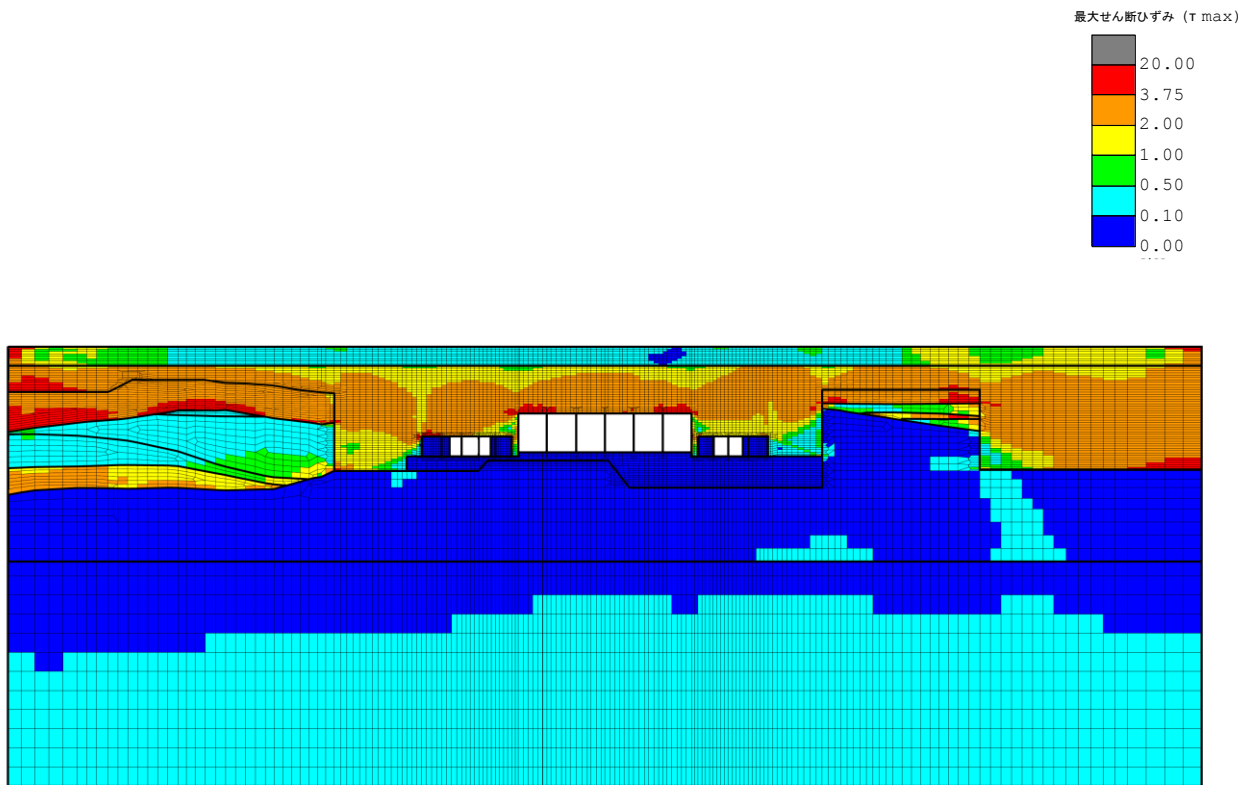
表 5-30 最大照査値を示す解析ケース一覧

評価部位	断面	評価項目	
		曲げ軸力照査	せん断力照査
補機冷却用海水取水路 (南側)	—	Ss-1+- (解析ケース②)	Ss-1+- (解析ケース②)
補機冷却用海水取水路 (北側)	—	Ss-1+- (解析ケース④)	Ss-1+- (解析ケース④)

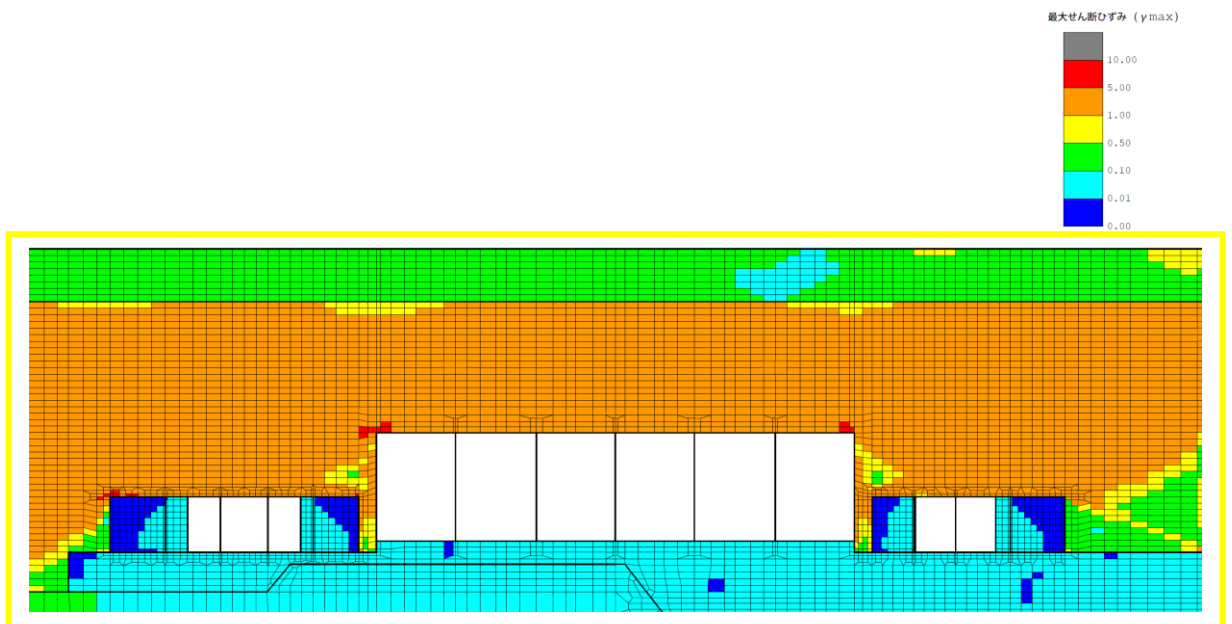
注：耐震評価における解析ケース一覧

	①	②	③	④	⑤
解析ケース	基本ケース	地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性(平均値)	地盤剛性(+1σ)	地盤剛性(-1σ)	地盤剛性(平均値)	地盤剛性(+1σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性(-1σ)	液状化強度特性(-1σ)	液状化強度特性(-1σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

a. A-A断面



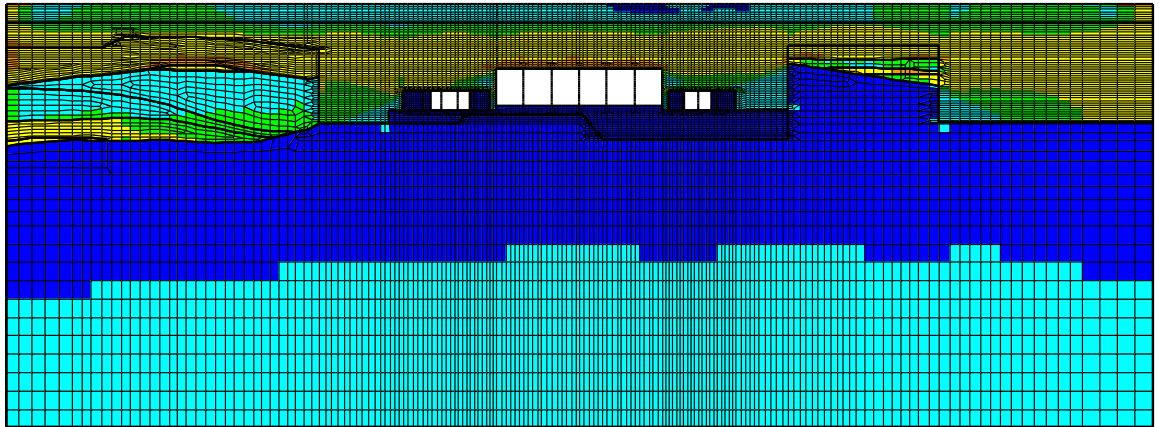
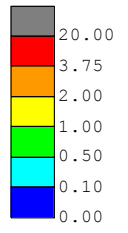
(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-101 A-A断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図  
(解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)

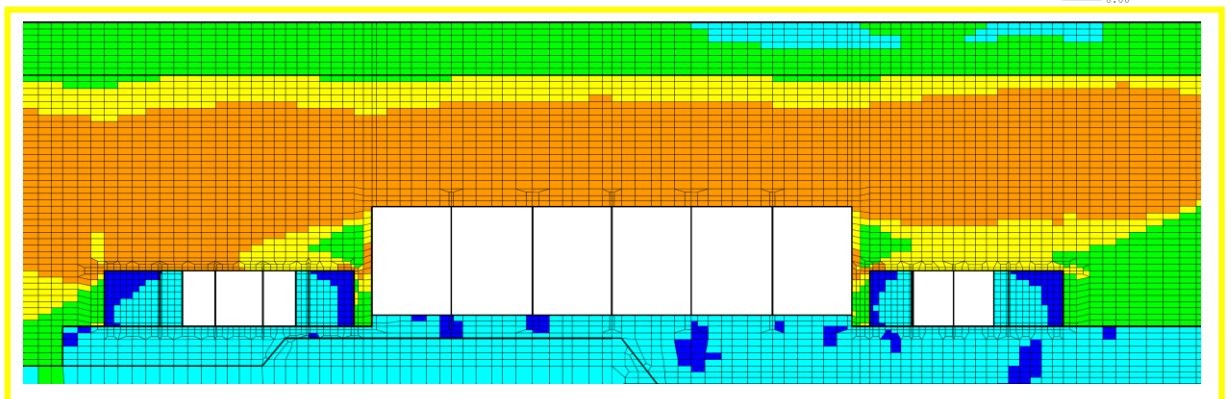
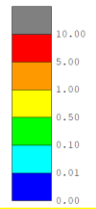
最大せん断ひずみ ( $\tau_{max}$ )



(a) 全体図

5

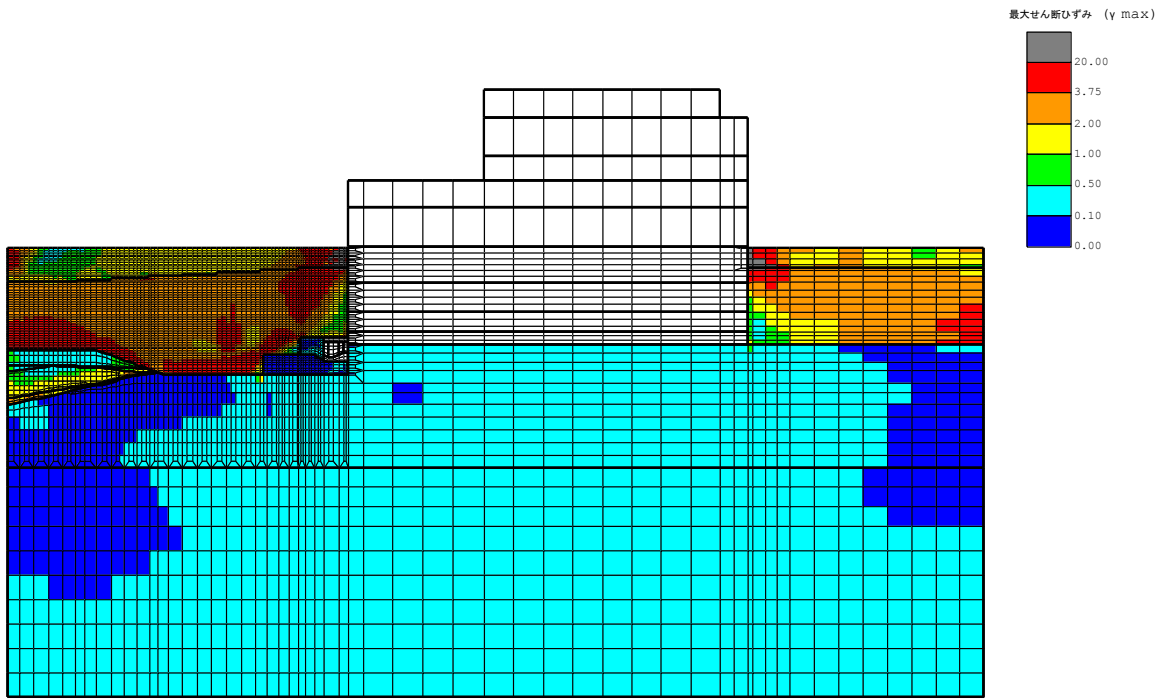
最大せん断ひずみ ( $\gamma_{max}$ )



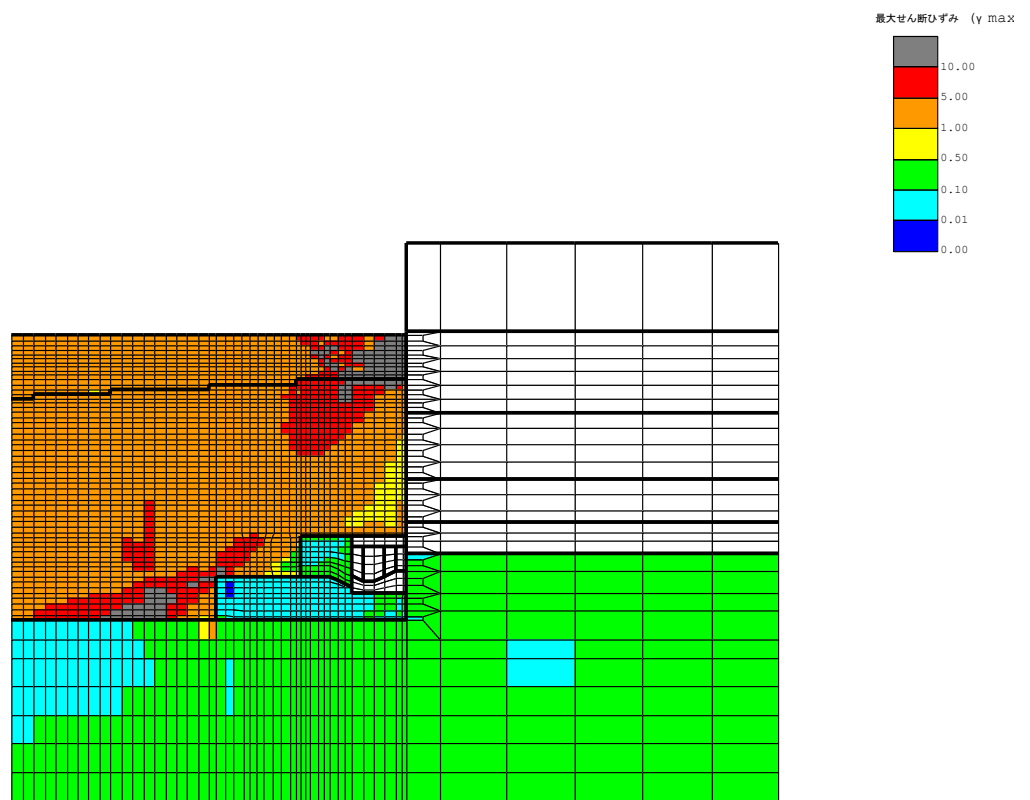
(b) 構造物周辺拡大図

図 5-102 A-A断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図  
(解析ケース④, 地震動 Ss-1+-)

b. B-B断面

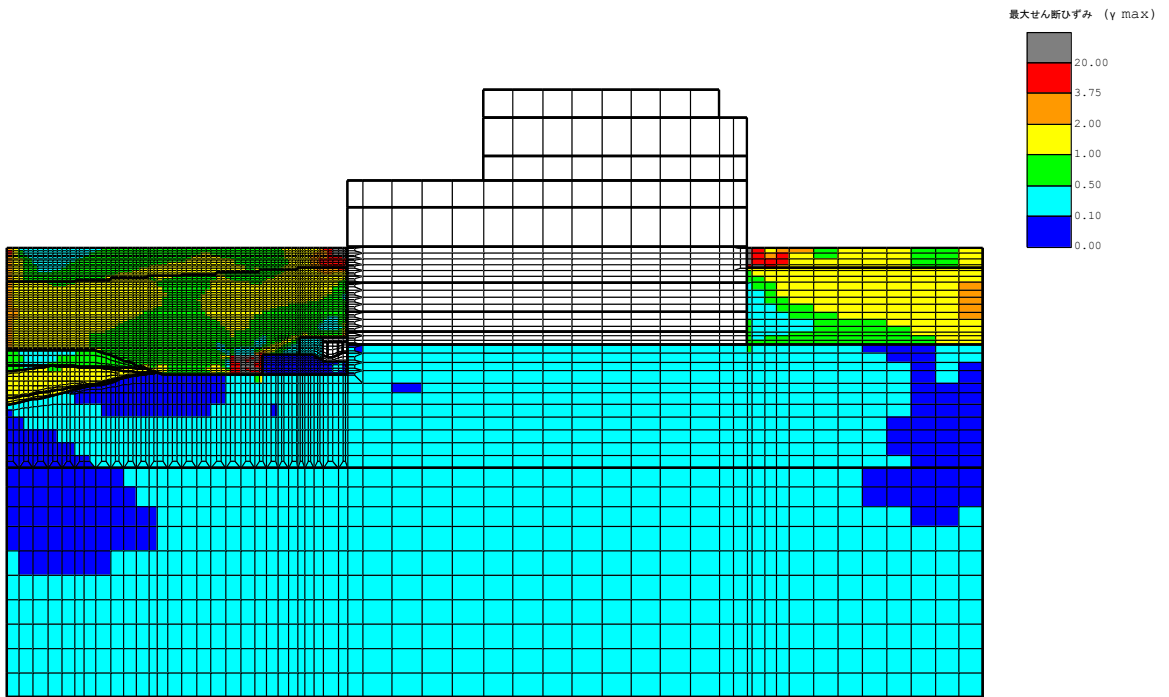


(a) 全体図

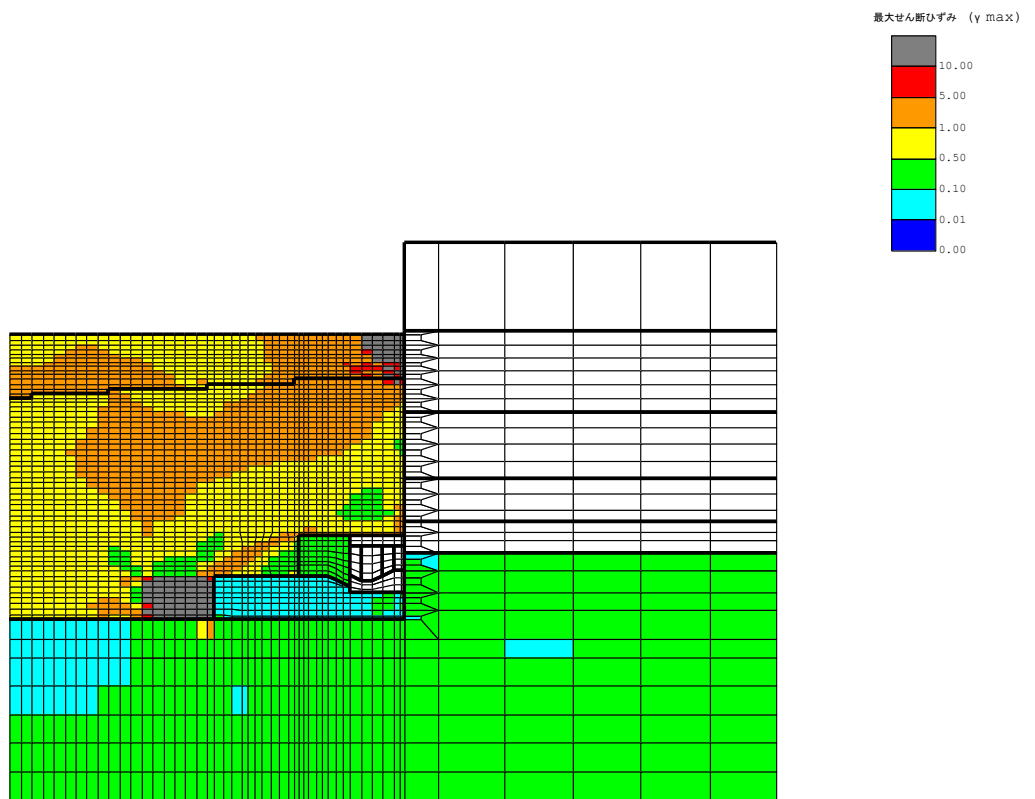


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-103 B-B断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図  
(解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



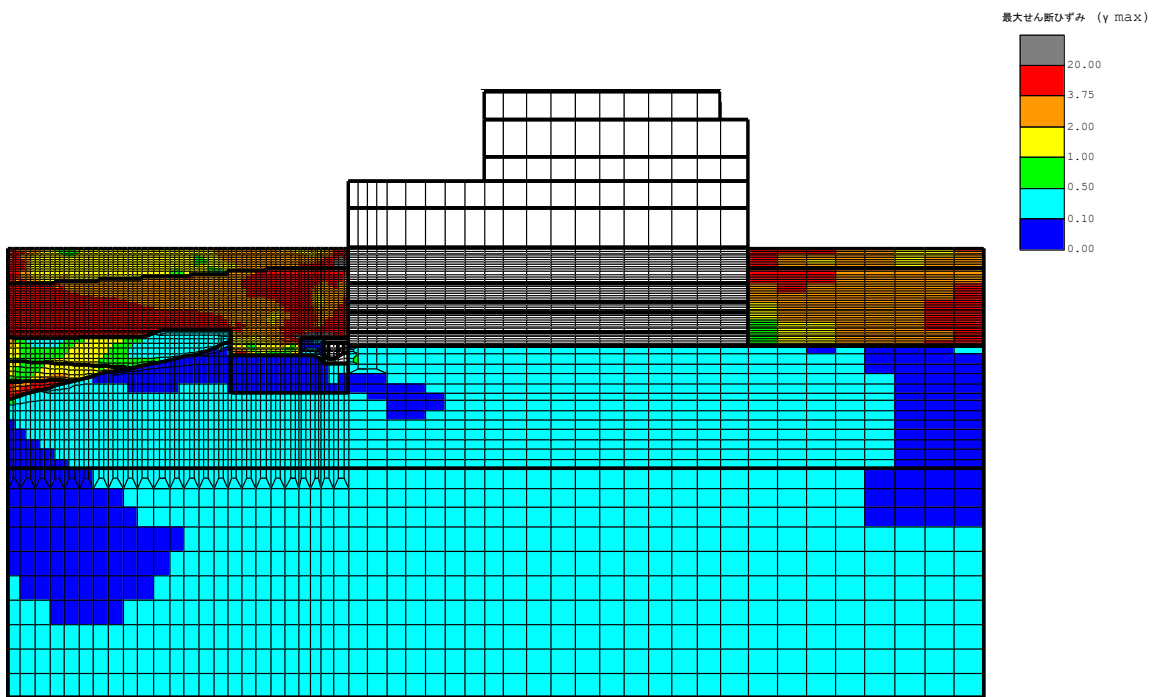
(a) 全体図



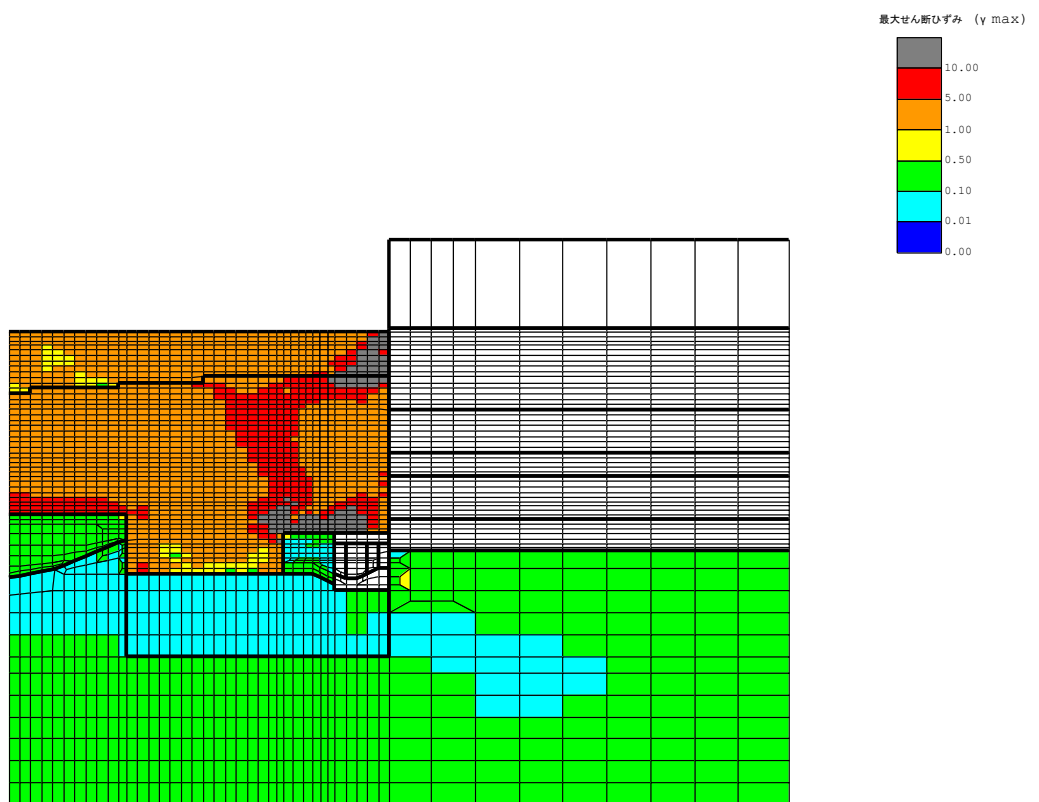
(b) 構造物周辺拡大図

図 5-104 B-B断面の地盤の最大せん断ひずみ分布図  
(解析ケース④, 地震動 Ss-1+-)

c. C-C断面

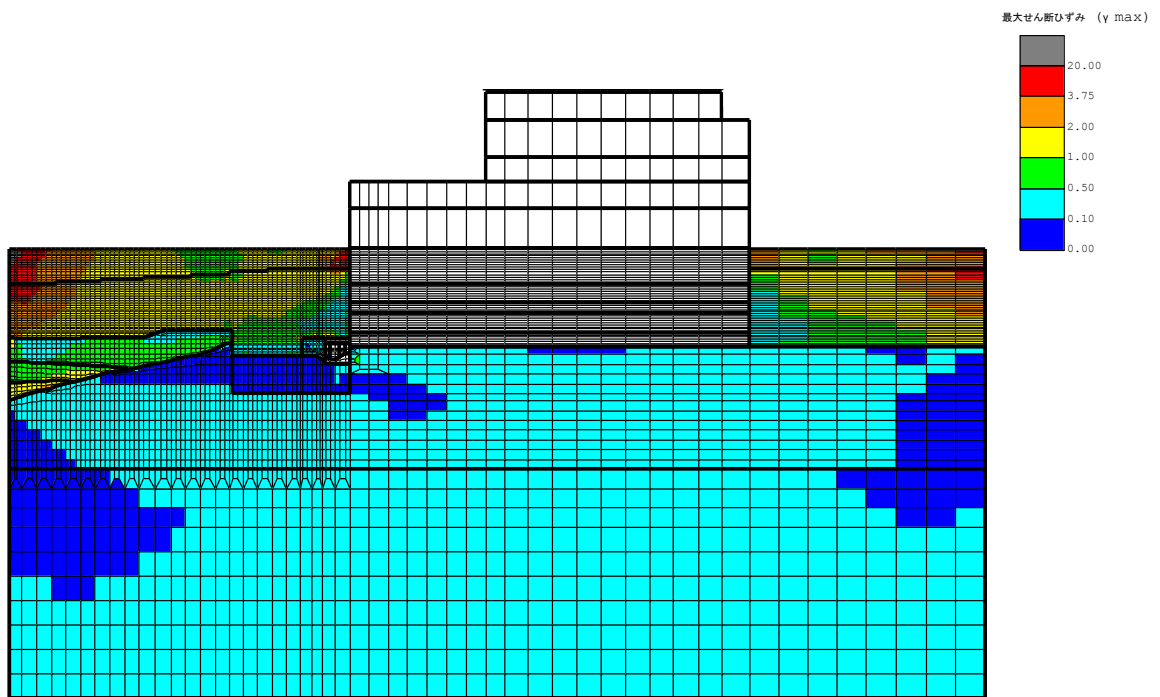


(a) 全体図

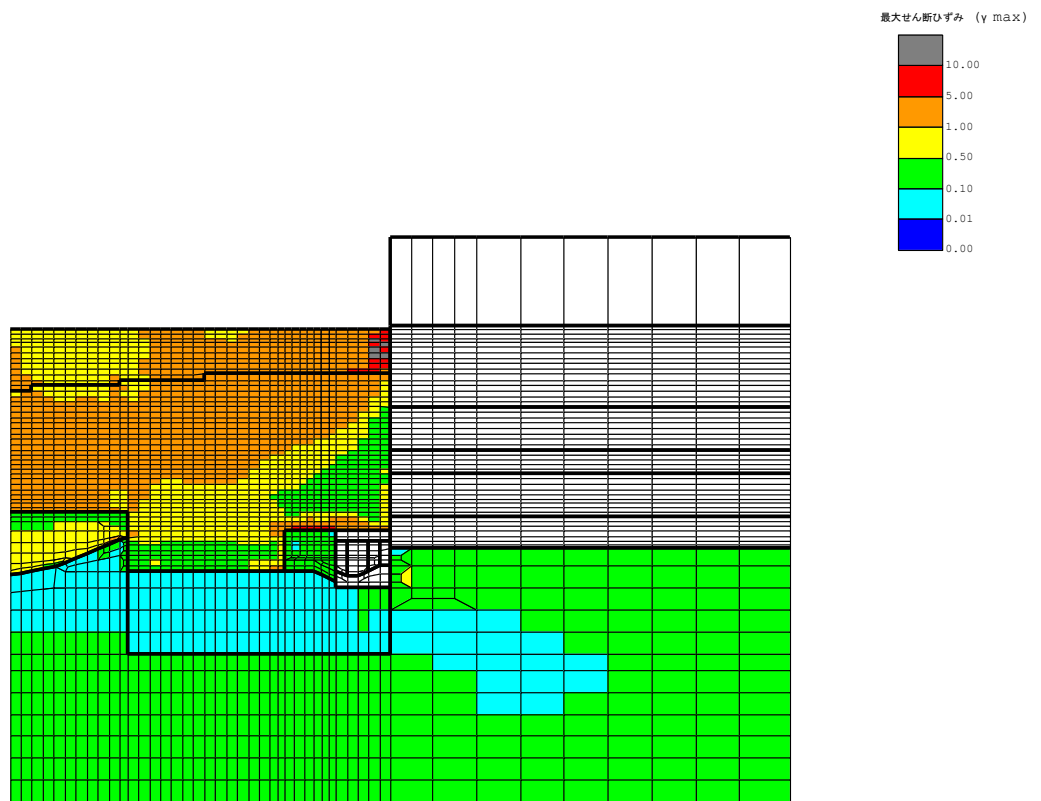


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-105 C-C断面（南妻壁側）の地盤の最大せん断ひずみ分布図  
 （解析ケース②，地震動 Ss-1+-）



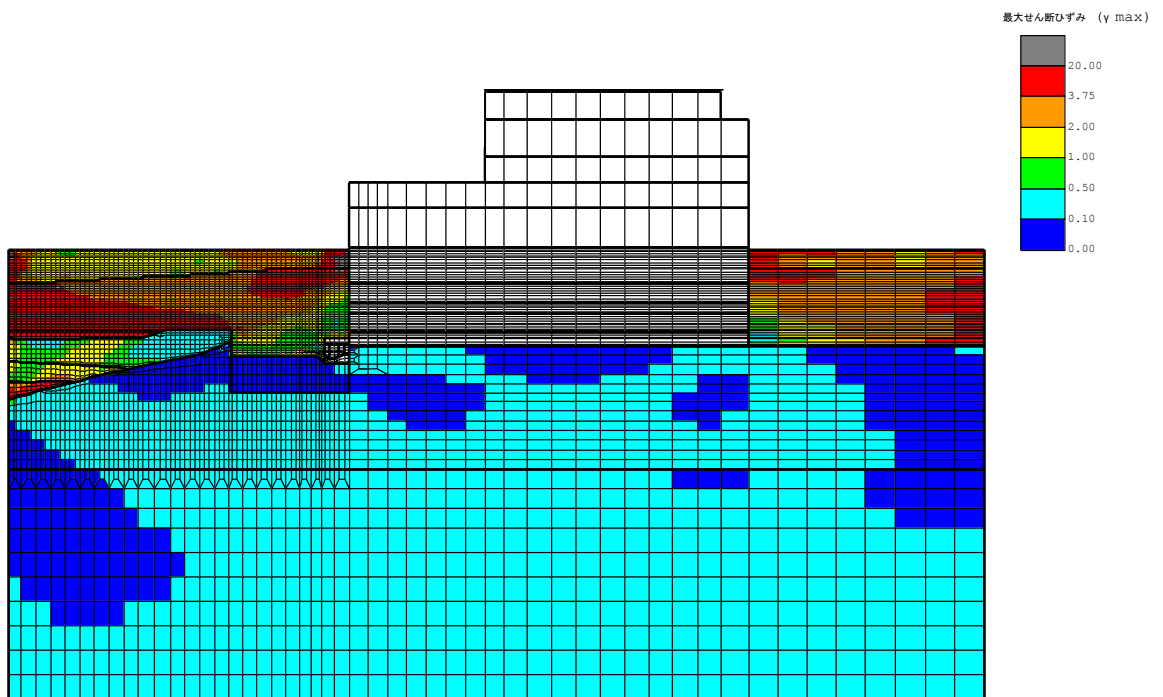
(a) 全体図



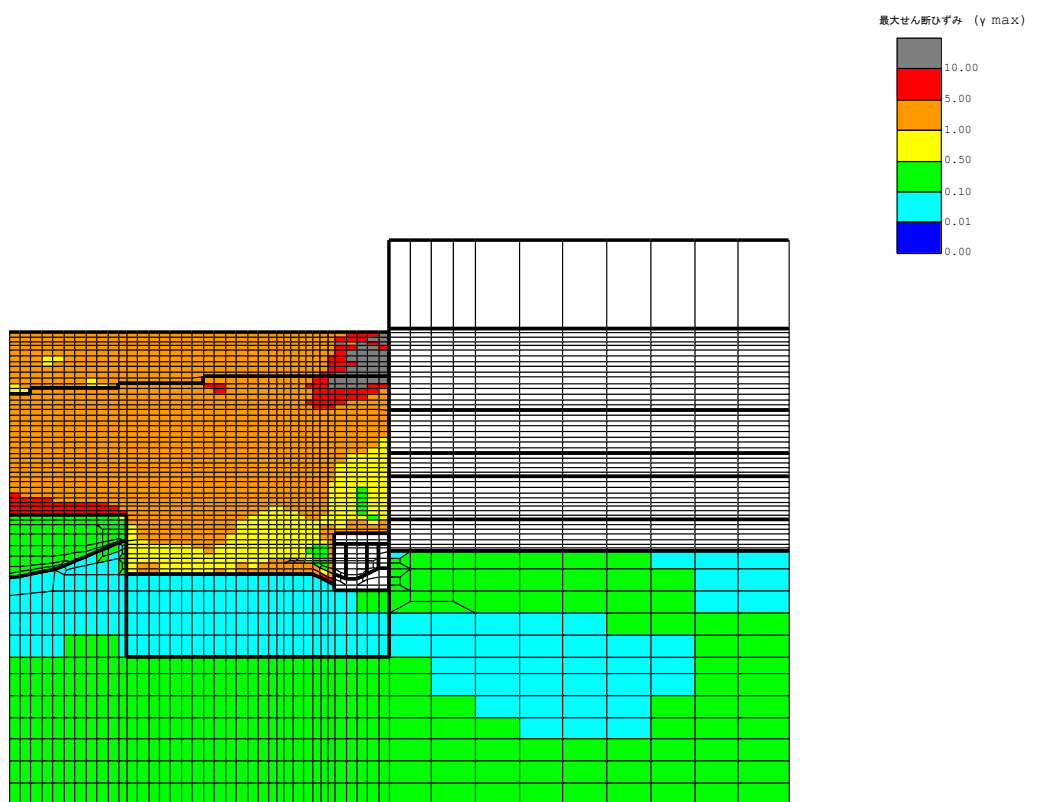
(b) 構造物周辺拡大図

図 5-106 C-C断面（南妻壁側）の地盤の最大せん断ひずみ分布図  
 （解析ケース④，地震動 Ss-1+-）



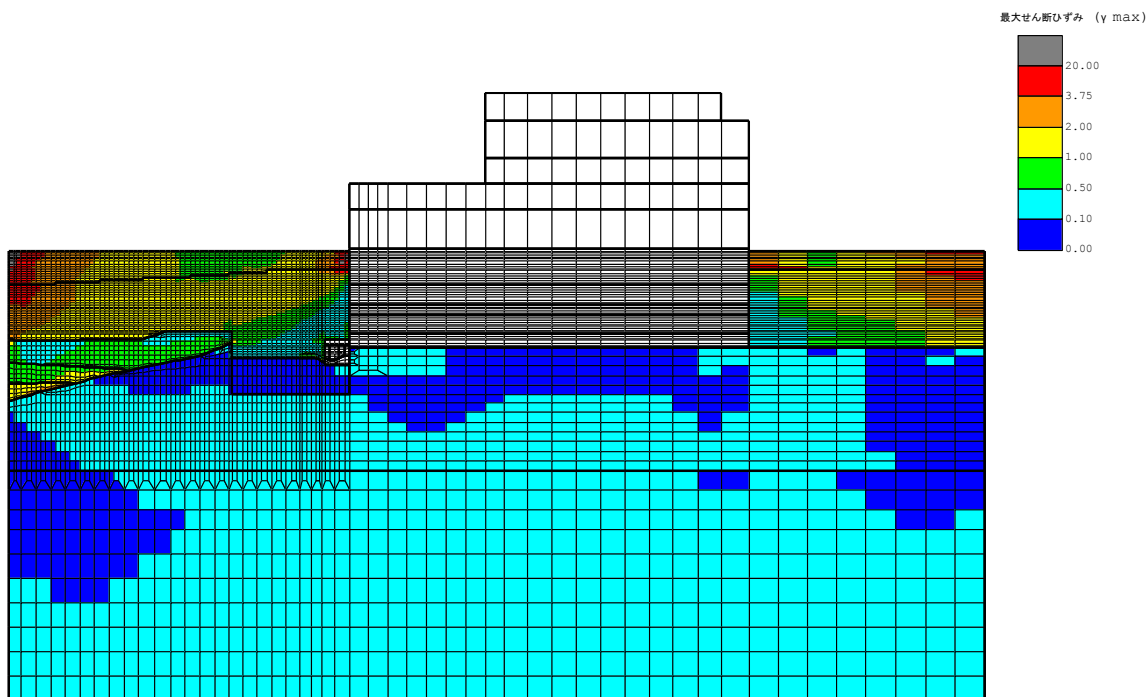


(a) 全体図

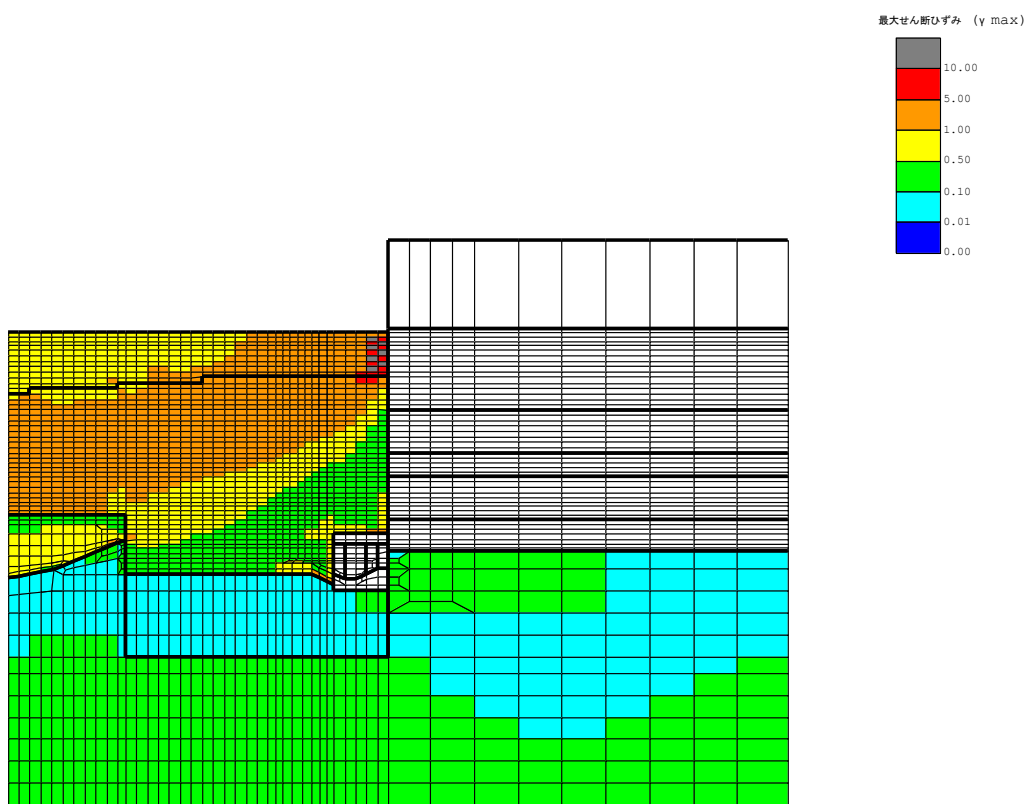


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-107 C-C断面（北妻壁側）の地盤の最大せん断ひずみ分布図  
 （解析ケース②，地震動 Ss-1+-）



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-108 C-C断面（北妻壁側）の地盤の最大せん断ひずみ分布図  
 （解析ケース④，地震動 Ss-1+-）

(4) 最大過剰間隙水圧比分布

地盤に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、曲げ軸力照査及びせん断力照査において最大照査値を示した地震動について、地震応答解析の全時刻における地盤要素の過剰間隙水圧比の最大値分布を示す。表 5-31 に最大照査値を示す解析ケース一覧を示す。なお、最大照査値が非液状化の条件である解析ケース④及び⑤である場合は、最大過剰間隙水圧比分布は記載せず、参考として、同地震動の解析ケース①（基本ケース）の最大過剰間隙水圧比分布を示す。

A-A断面における過剰間隙水圧比分布を図 5-109 に、B-B断面における過剰間隙水圧比分布を図 5-111 に、C-C断面における過剰間隙水圧比分布を図 5-113～図 5-115 に示す。

表 5-31 最大照査値を示す解析ケース一覧

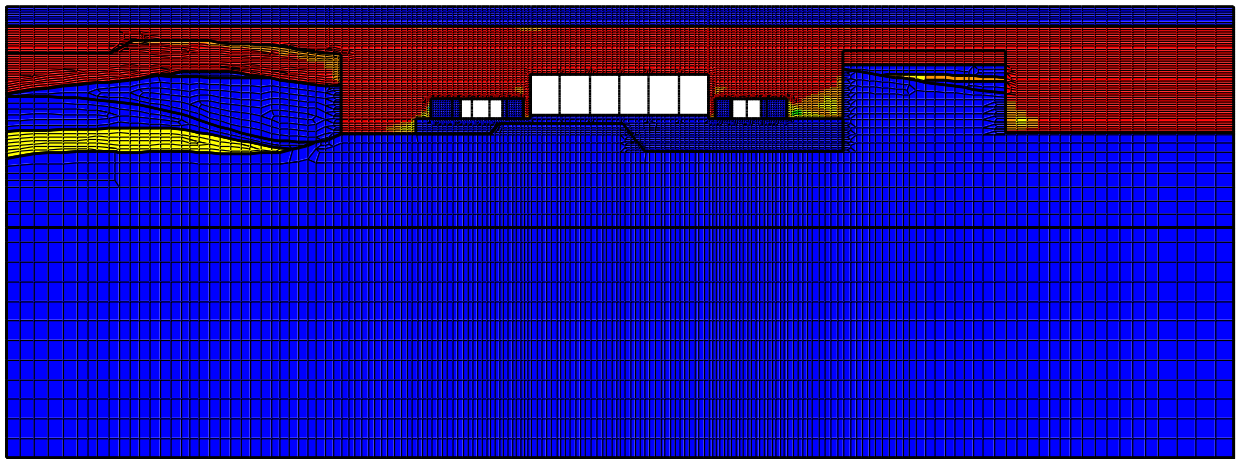
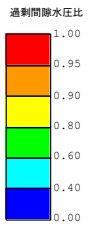
評価部位	評価項目	
	曲げ軸力照査	せん断力照査
補機冷却用海水取水路 (南側)	Ss-1+- (解析ケース②)	Ss-1+- (解析ケース②)
補機冷却用海水取水路 (北側)	Ss-1+- (解析ケース④) *	Ss-1+- (解析ケース④) *

注記\* : 非液状化を仮定した解析ケースについては、参考として、最大過剰間隙水圧比分布図は同地震動の解析ケース①を表示)

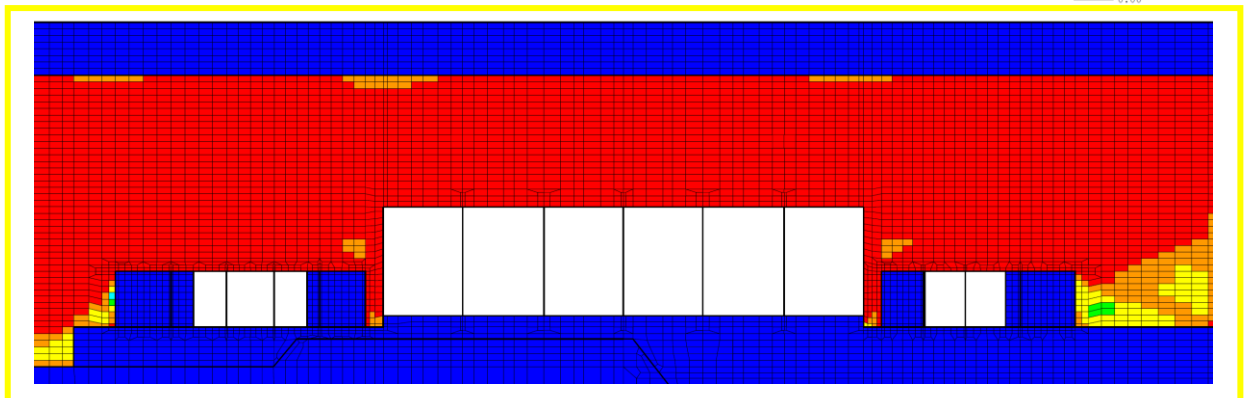
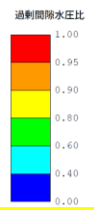
注：耐震評価における解析ケース一覧

	①	②	③	④	⑤
解析ケース	基本ケース	地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき(-1σ)を考慮した解析ケース	非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつき(+1σ)を考慮して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	地盤剛性(平均値)	地盤剛性(+1σ)	地盤剛性(-1σ)	地盤剛性(平均値)	地盤剛性(+1σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性(-1σ)	液状化強度特性(-1σ)	液状化強度特性(-1σ)	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

a. A-A断面

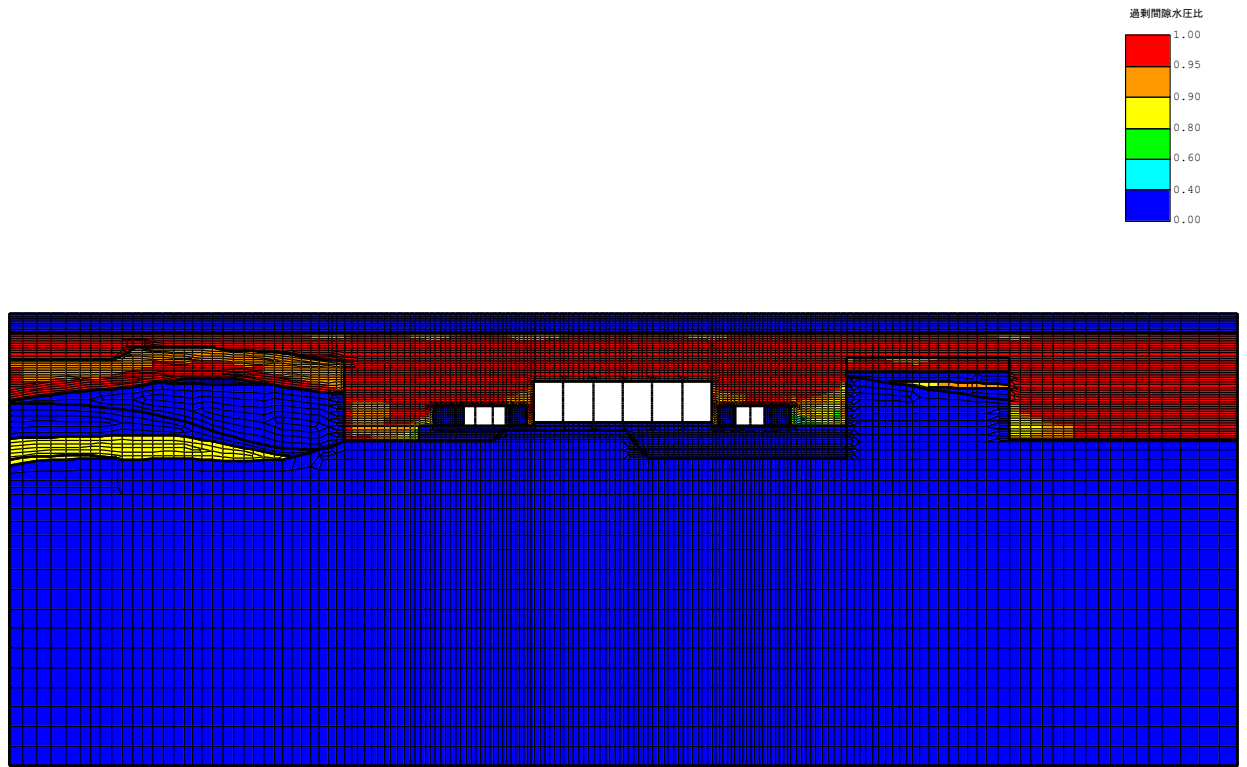


(a) 全体図



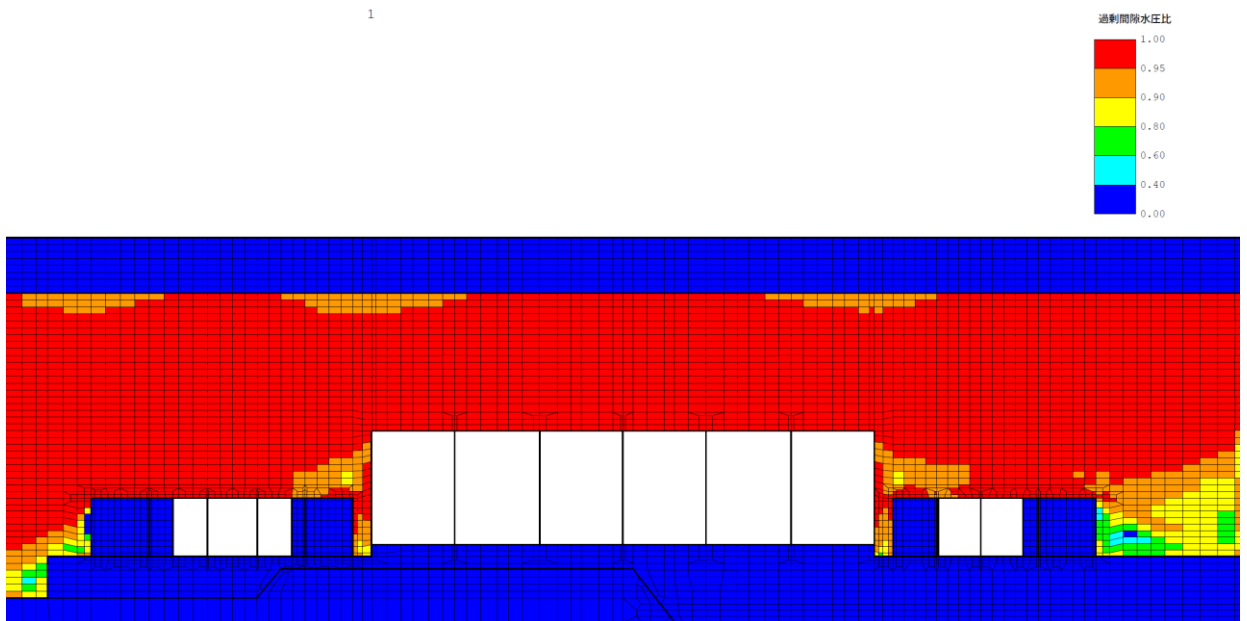
(b) 拡大図

図 5-109 A-A断面の最大過剰間隙水圧比分布図  
(解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



(a) 全体図

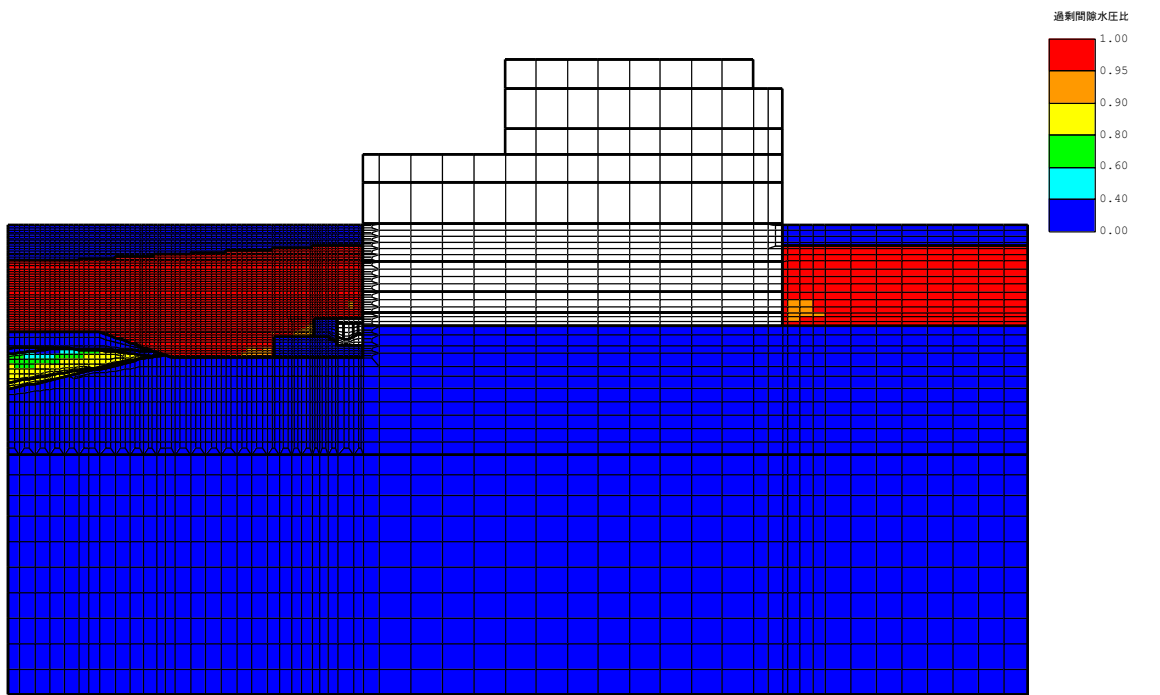
1



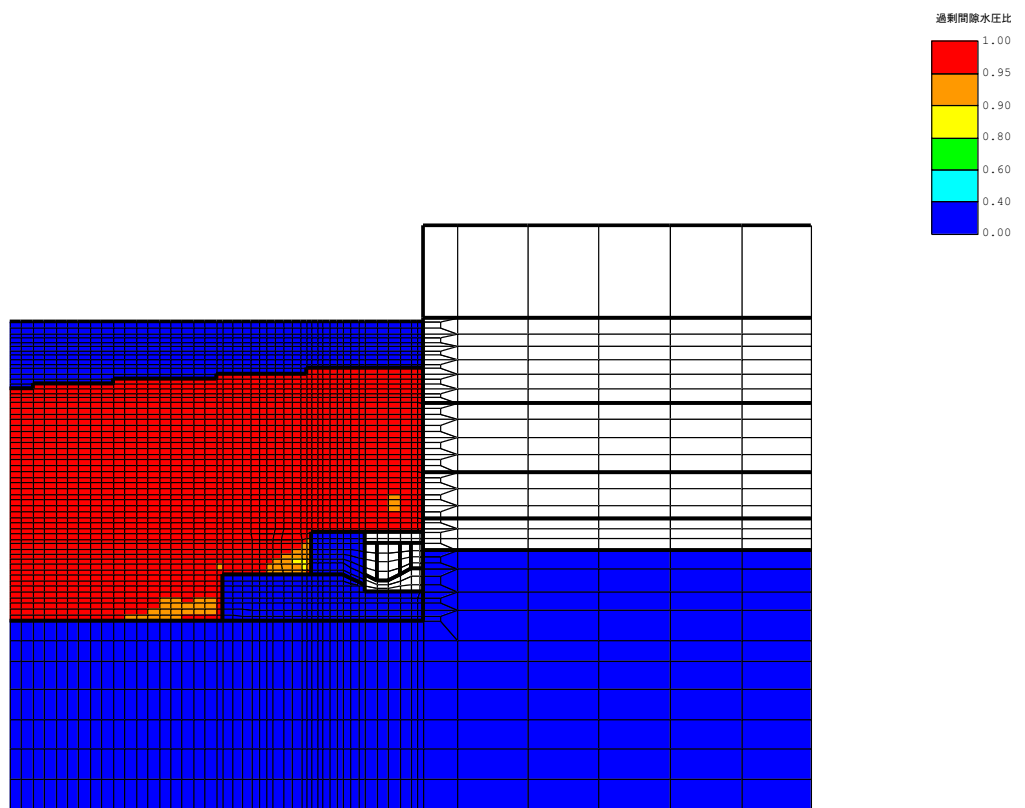
(b) 拡大図

図 5-110 A-A断面の最大過剰間隙水圧比分布図  
(参考：解析ケース①，地震動 Ss-1+-)

b. B-B断面

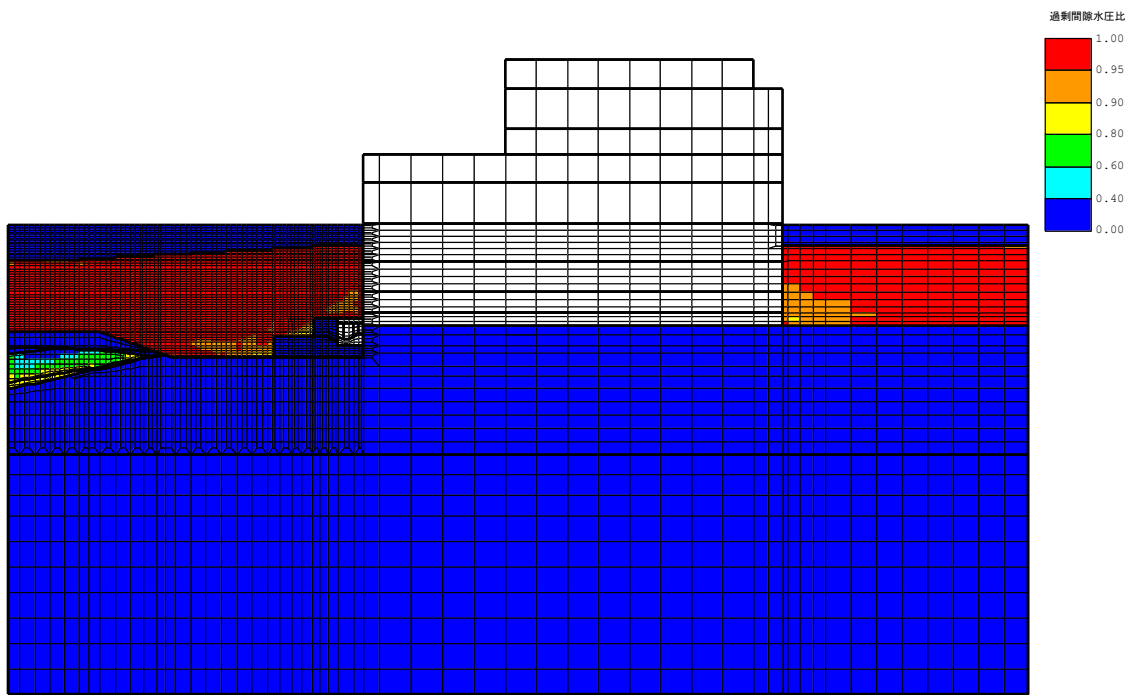


(a) 全体図

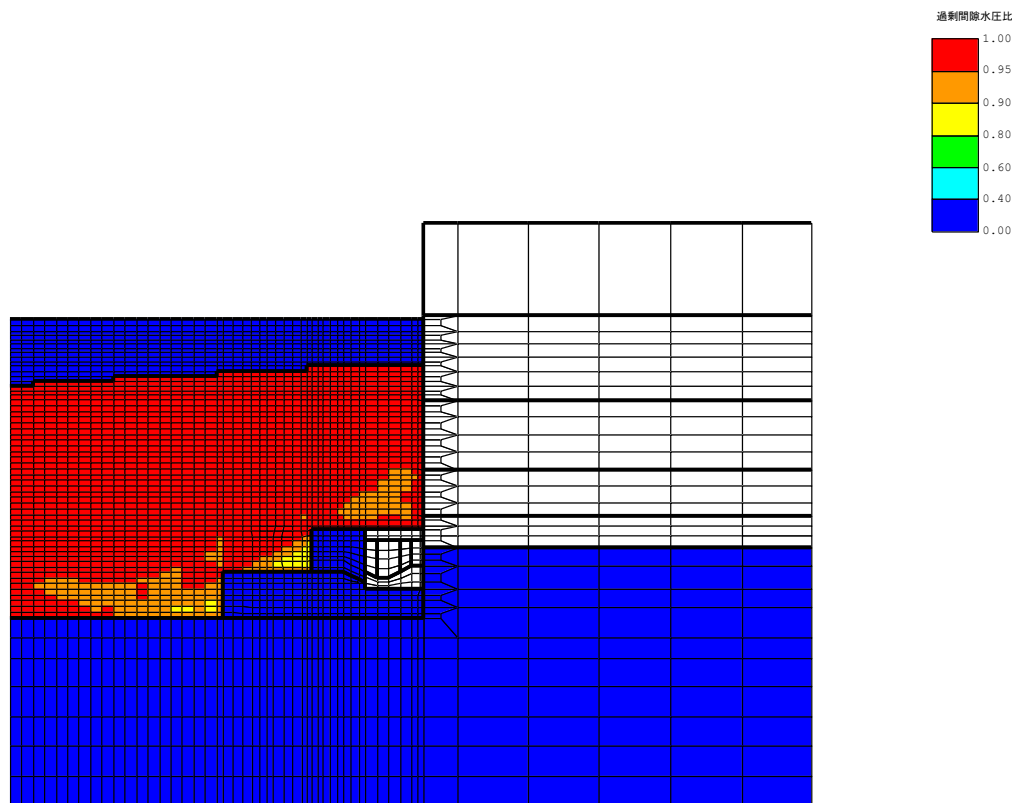


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-111 B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布図  
(解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



(a) 全体図

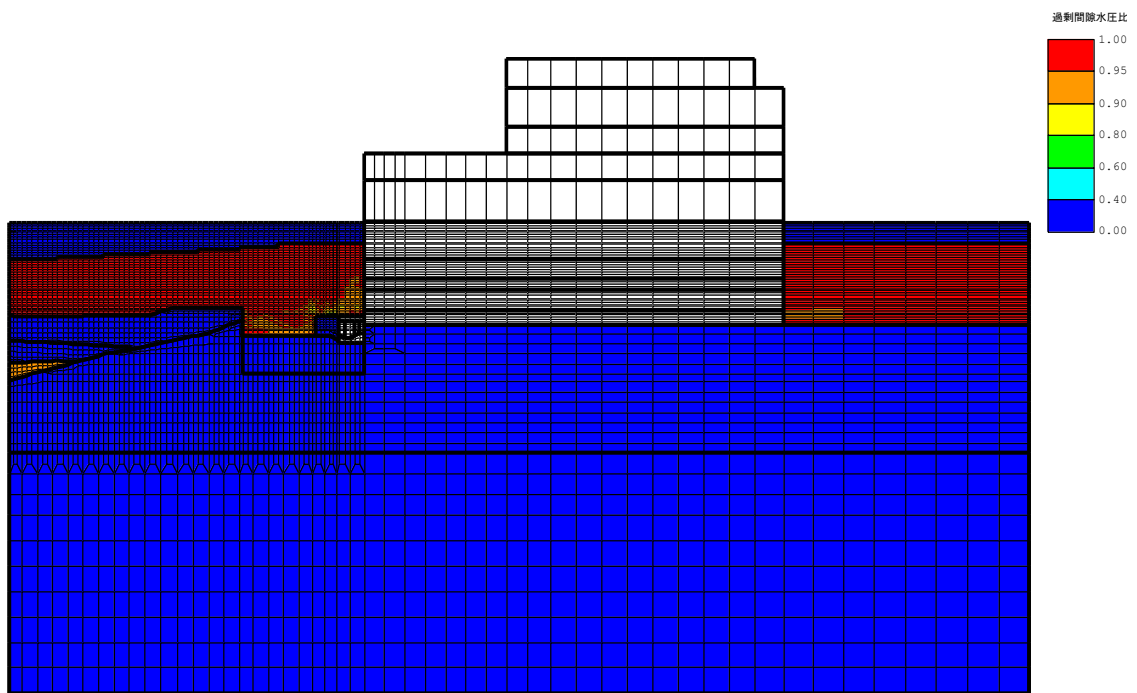


(b) 構造物周辺拡大図

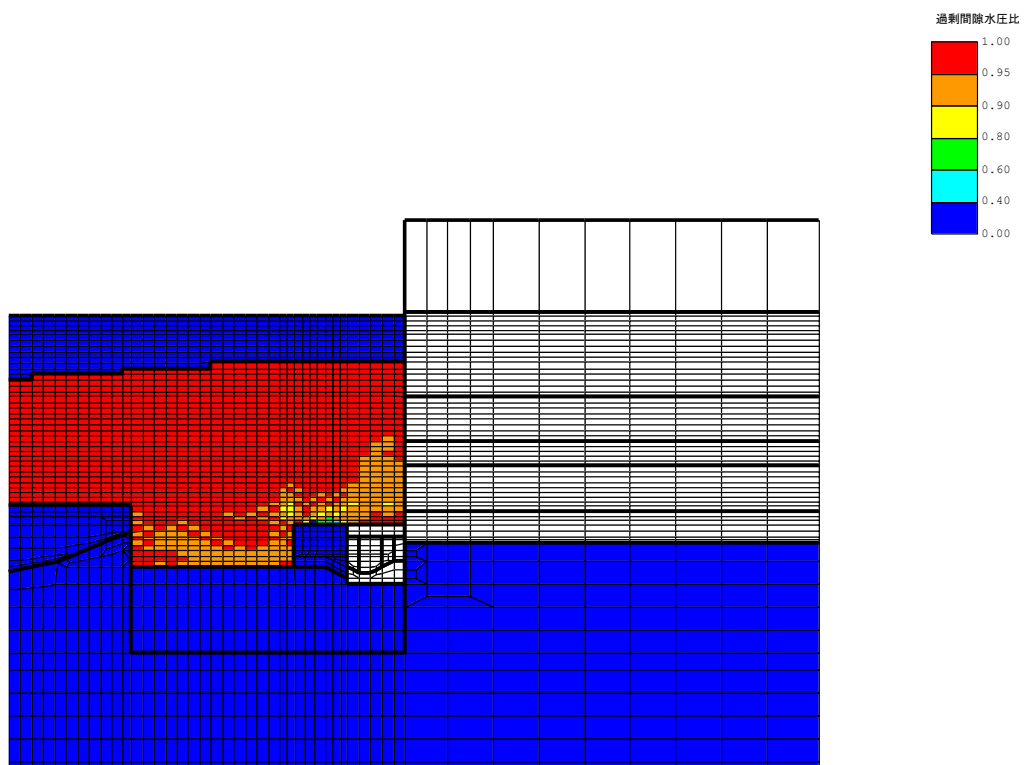
図 5-112 B-B断面の最大過剰間隙水圧比分布図

(参考：解析ケース①，地震動 Ss-1+-)

c. C-C断面



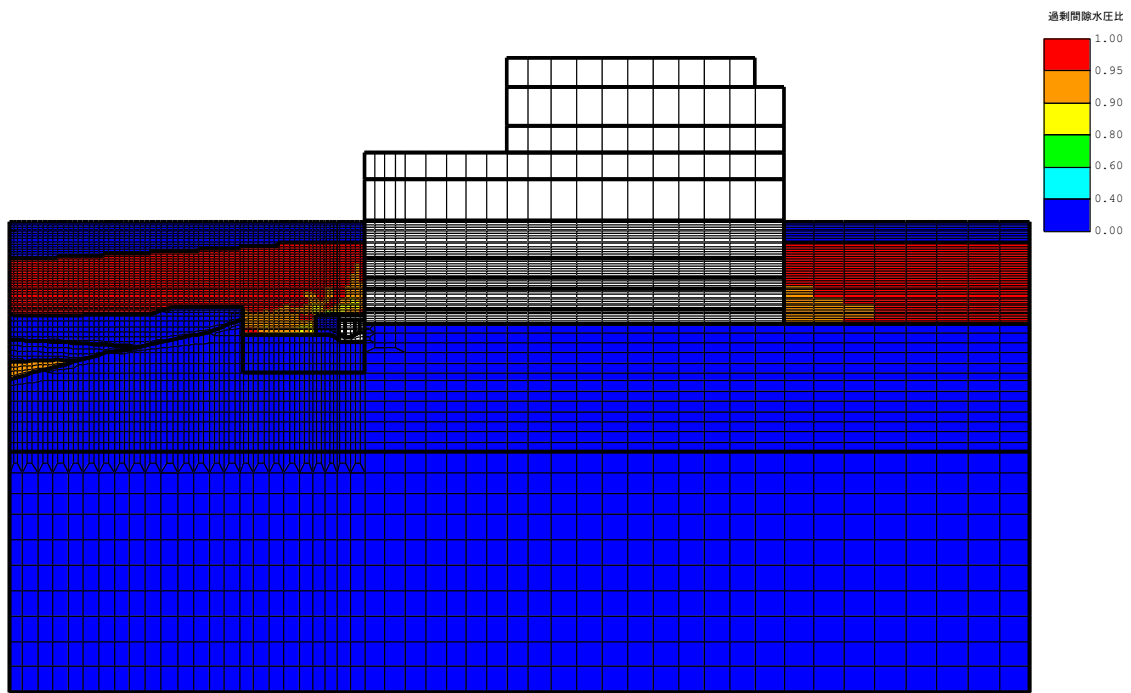
(a) 全体図



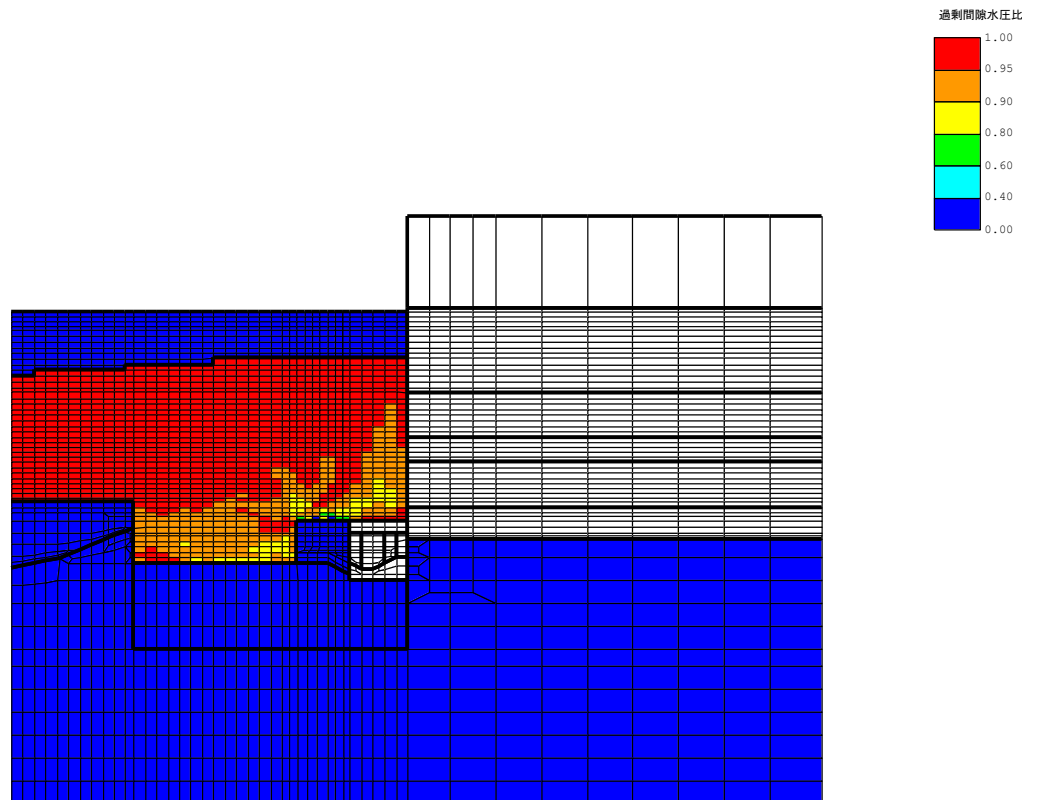
(b) 構造物周辺拡大図

図 5-113 C-C断面（南妻壁側）の最大過剰間隙水圧比分布図  
 (解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



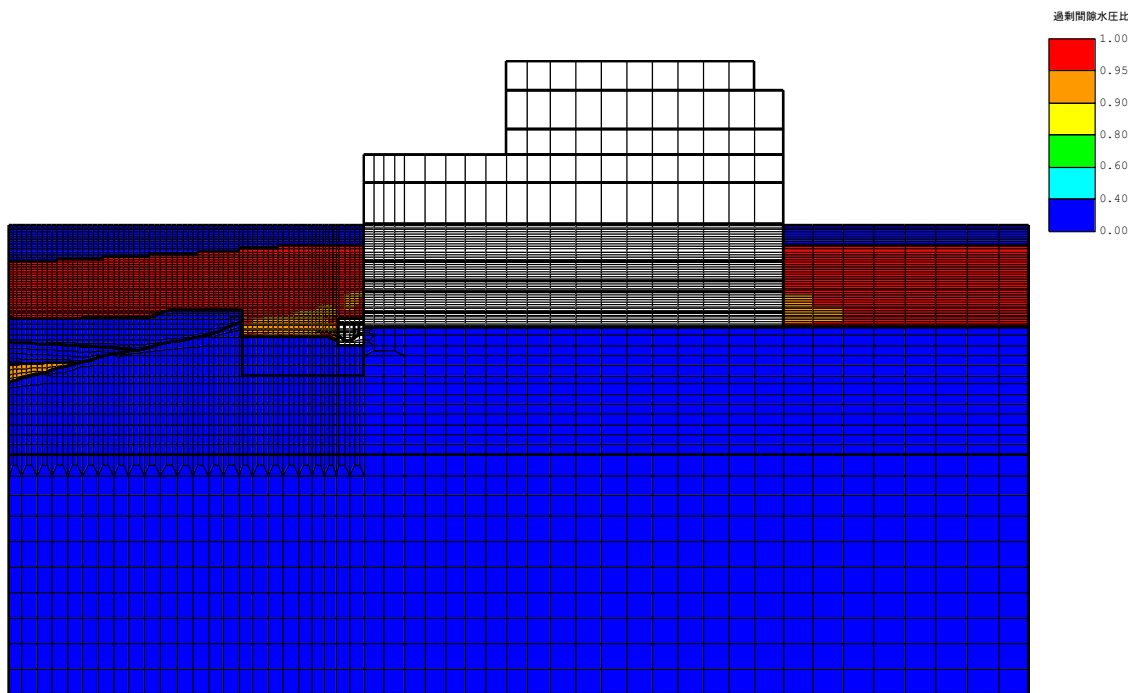


(a) 全体図

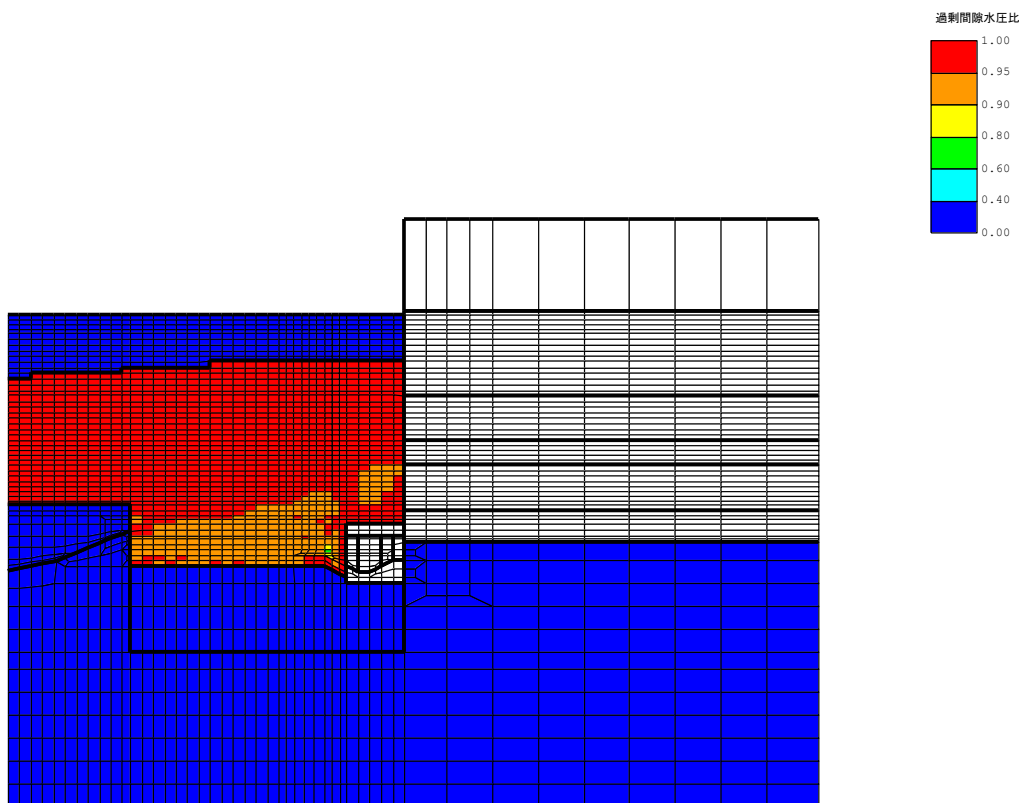


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-114 C-C断面（南妻壁側）の最大過剰間隙水圧比分布図  
 （参考：解析ケース①，地震動 Ss-1+-）

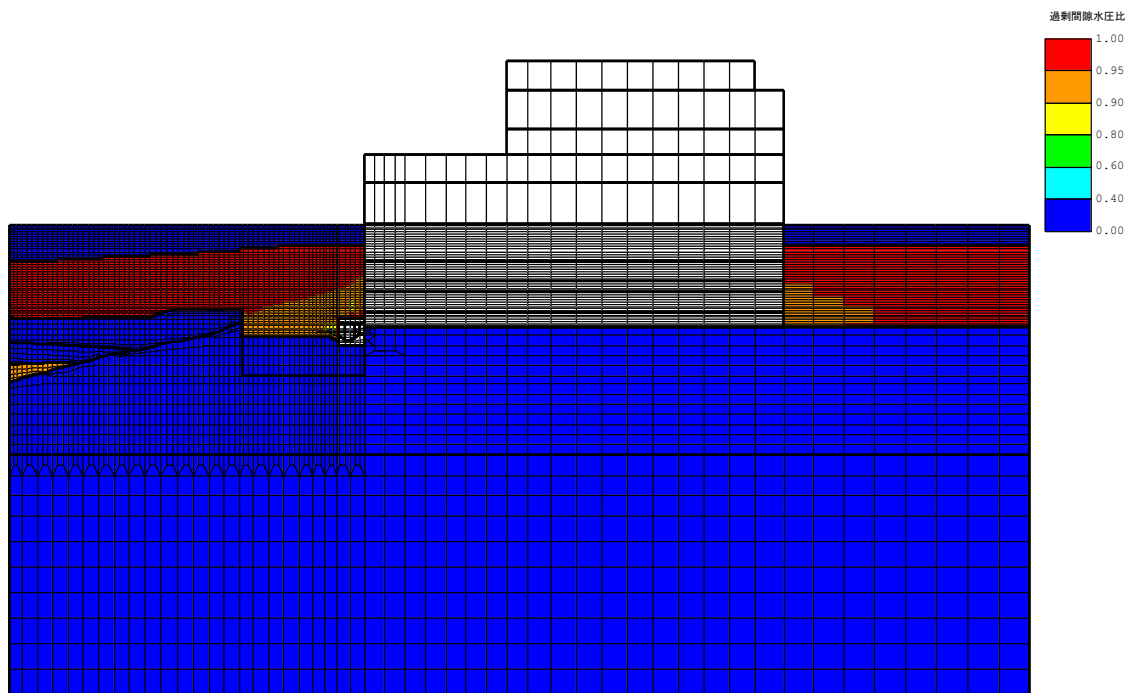


(a) 全体図

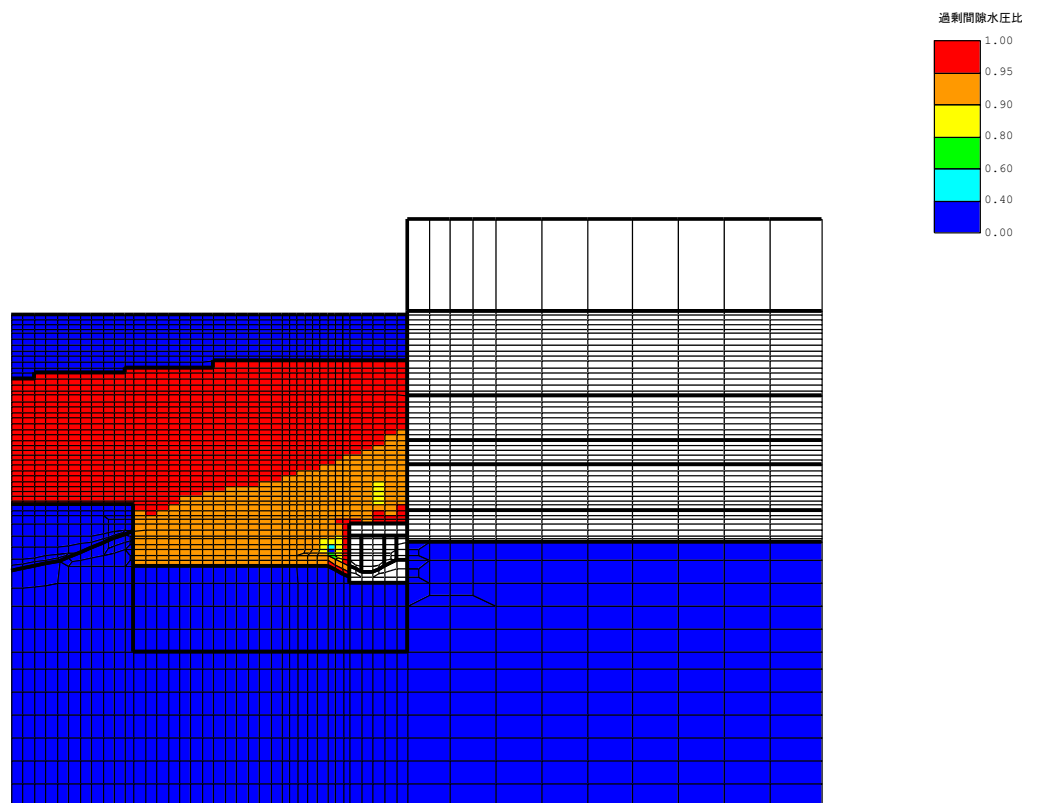


(b) 構造物周辺拡大図

図 5-115 C-C断面（北妻壁側）の最大過剰間隙水圧比分布図  
 (解析ケース②, 地震動 Ss-1+-)



(a) 全体図



(b) 構造物周辺拡大図

図 5-116 C-C断面（北妻壁側）の最大過剰間隙水圧比分布図  
 （参考：解析ケース①，地震動 Ss-1+-）

### 5.6.2 3次元構造解析結果

#### (1) 構造部材のひずみ分布（鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査）

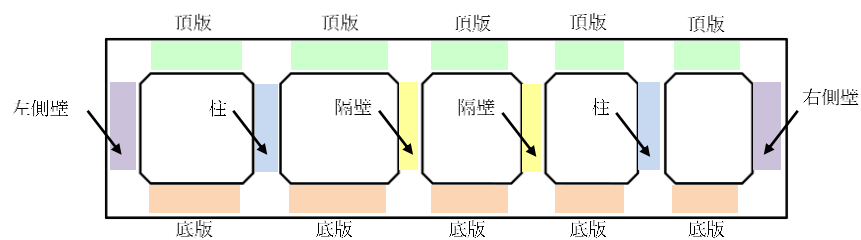
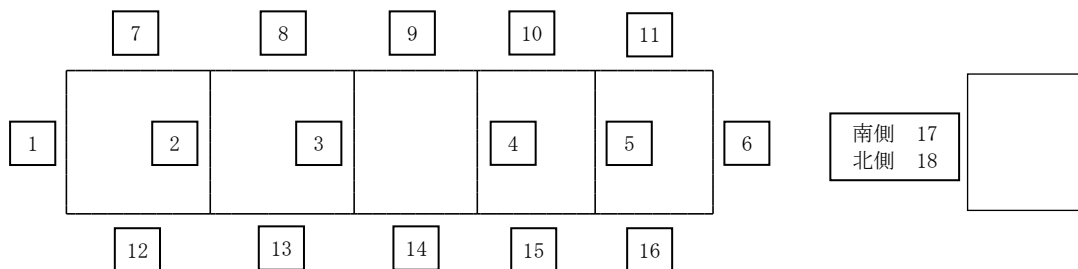
補機例冷却用海水取水路の鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 5-32 及び表 5-33 に示す。また、該当する解析ケースのひずみ分布図を図 5-117 及び図 5-118 に示す。なお、図 5-117 及び図 5-118 は、表 5-32 及び表 5-33 に示す解析ケースの照査値最大時における最大ひずみと同方向のひずみ分布を示している。

表 5-32 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果（補機冷却用海水取水路（南側））  
（最も厳しい照査値とその地震動）

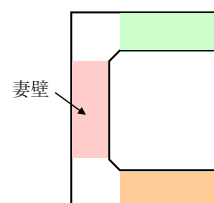
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用圧縮ひずみ $\epsilon_d$ *2 ( $\mu$ )	限界ひずみ $\epsilon_r$ ( $\mu$ )	照査値
頂版	8	①	S s - 1 - +	168	10000	0.017
側壁	1	②	S s - 1 + -	203	10000	0.021
隔壁	4	③	S s - 1 + -	217	10000	0.022
底版	12	①	S s - 3 + +	214	10000	0.022
柱	2	②	S s - 1 + -	208	10000	0.021
妻壁	18	②	S s - 1 + -	253	10000	0.026

注記\*1 : 評価位置は下図に示す。

\*2 : 照査用圧縮ひずみ  $\epsilon_d = \text{圧縮縁の発生ひずみ } \epsilon \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$



A-A断面



B-B断面（妻壁を通る断面の構造形状）

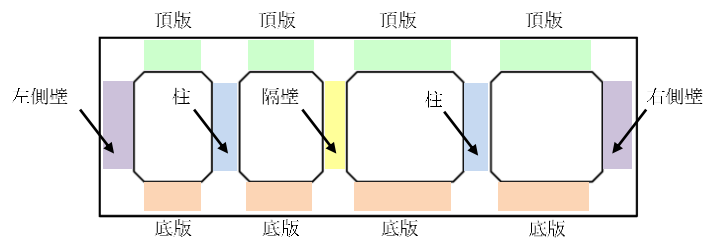
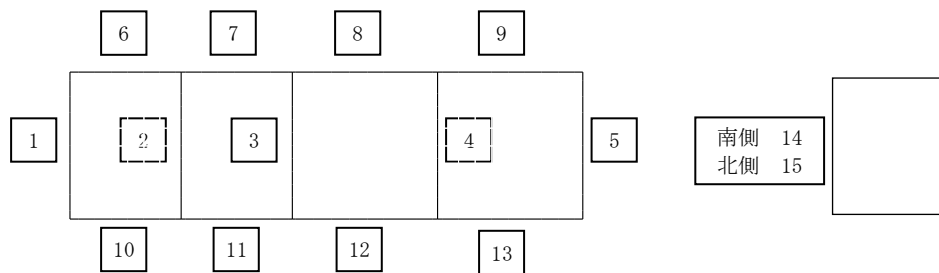
評価位置

表 5-33 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果（補機冷却用海水取水路（北側））  
（最も厳しい照査値とその地震動）

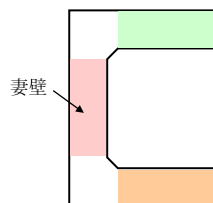
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用 $\epsilon_d$ *2 ( $\mu$ )	限界ひずみ $\epsilon_r$ ( $\mu$ )	照査値
頂版	8	②	S s - 1 + -	236	10000	0.024
側壁	5	②	S s - 1 + -	259	10000	0.026
隔壁	3	④	S s - 1 + -	327	10000	0.033
底版	12	④	S s - 1 + -	205	10000	0.021
柱	4	④	S s - 1 + -	292	10000	0.030
妻壁	15	④	S s - 1 + -	344	10000	0.035

注記\*1：評価位置は下図に示す。

\*2：照査用 $\epsilon_d$ ひずみ  $\epsilon_d = \text{圧縮縁の発生ひずみ } \epsilon \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$

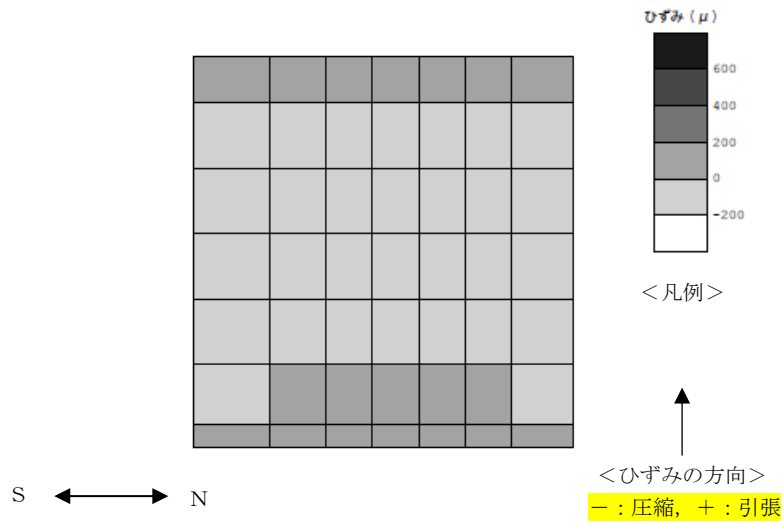
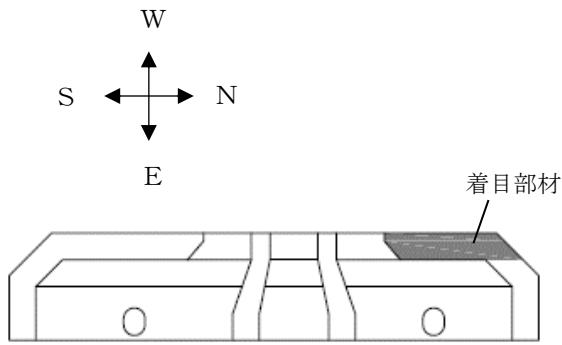


A-A断面

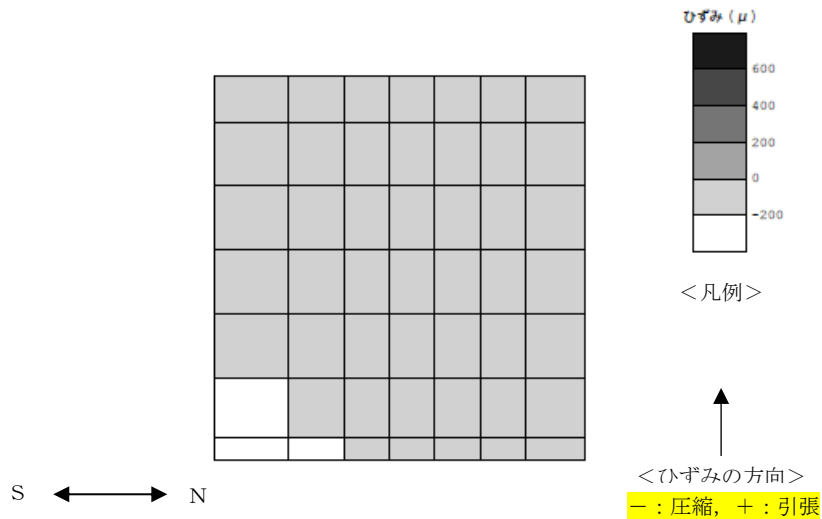


C-C断面（妻壁を通る断面の構造形状）

評価位置

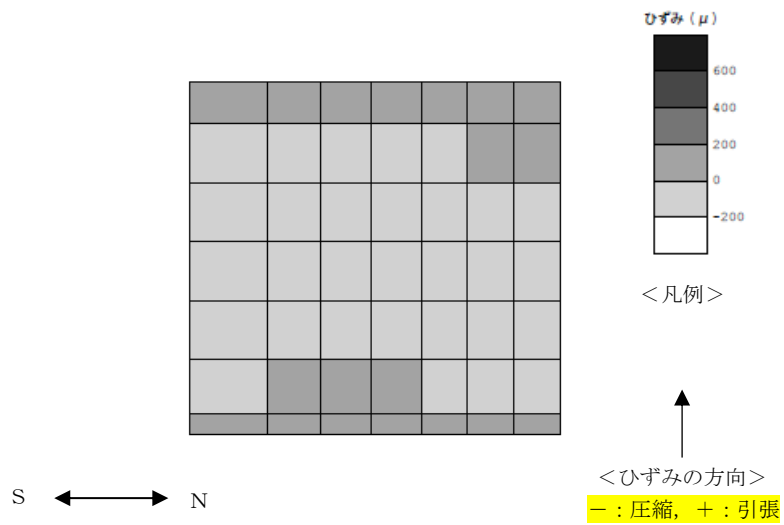
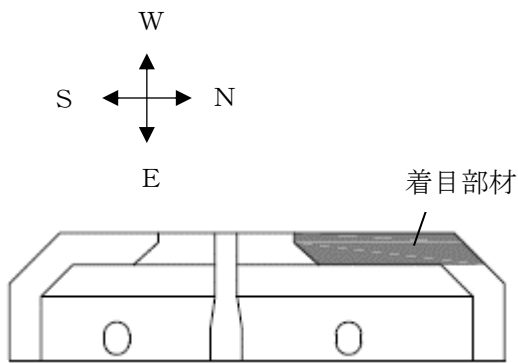


(a) 最外縁（西側）のひずみ分布

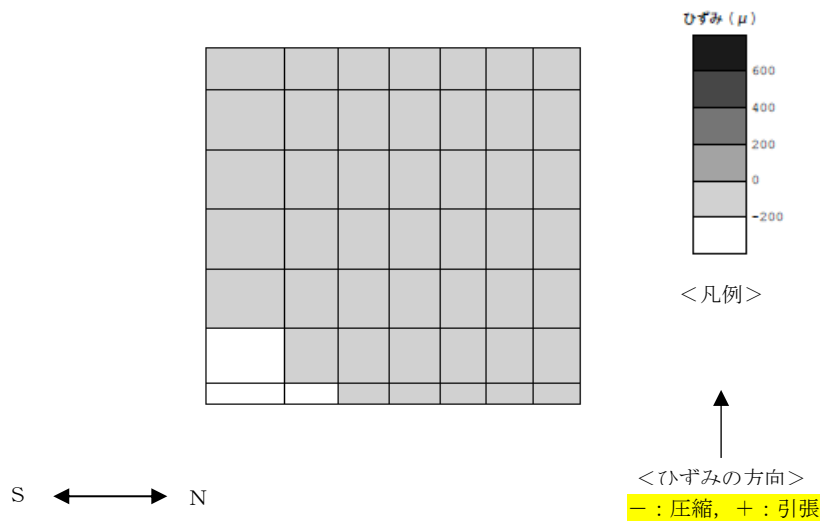


(b) 最外縁（東側）のひずみ分布

図 5-117 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケースでのひずみ分布図  
 (補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 妻壁, 解析ケース②, 地震動 Ss-1+-, t=5.67s)



(a) 最外縁（西側）のひずみ分布



(b) 最外縁（東側）のひずみ分布

図 5-118 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケースでのひずみ分布図  
 (補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 妻壁, 解析ケース④, 地震動 Ss-1+-, t=5.70s)



(2) 構造部材の断面力分布（鉄筋コンクリート部材のせん断力照査）

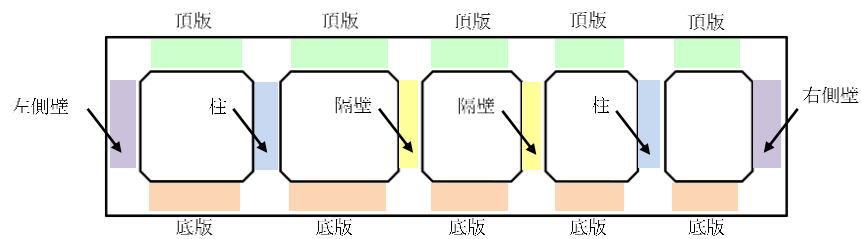
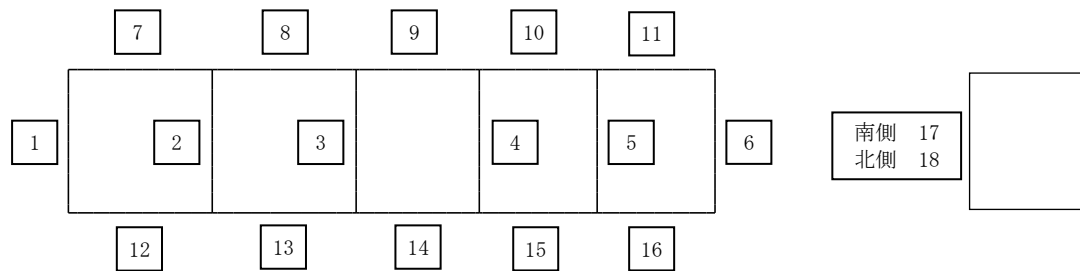
補機冷却用海水取水路の鉄筋コンクリート部材のせん断力照査において、各解析ケースのうち、最も厳しい照査値となる解析ケースの一覧を表 5-34 及び表 5-35 に示す。最も厳しい照査値となる時刻における断面力分布図（曲げモーメント，軸力，せん断力）を図 5-119 及び図 5-120 に示す。なお、図 5-119 及び図 5-120 は、表 5-34 及び表 5-35 に示す解析ケースの照査値最大時における各断面力最大値と同方向の断面力分布を示している。

表 5-34 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果（補機冷却用海水取水路（南側））  
（最も厳しい照査値とその地震動）

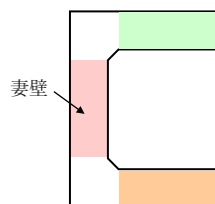
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{yd}$
頂版	10	①	S s -2	1195	3050	0.40
側壁	6	①	S s -3++	1038	2773	0.38
隔壁	4	①	S s -8++	134	754	0.18
底版	15	②	S s -1+-	1817	3098	0.59
柱	5	①	S s -1++	115	795	0.15
妻壁	17	①	S s -1-+	903	1958	0.47

注記\*1：評価位置は下図に示す。

\*2：照査用せん断力  $V_d = \text{発生せん断力} \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$



A-A断面



B-B断面（妻壁を通る断面の構造形状）

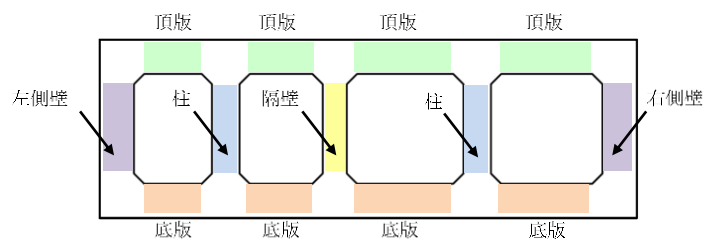
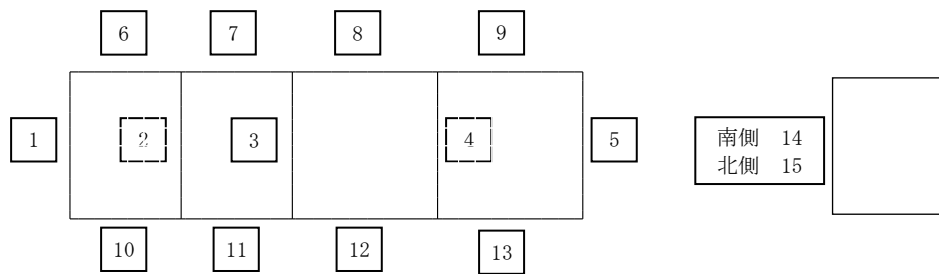
評価位置

表 5-35 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果（補機冷却用海水取水路（北側））  
（最も厳しい照査値とその地震動）

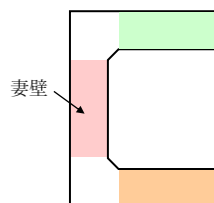
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 $V_d$ (kN)	せん断耐力 $V_{yd}$ (kN)	照査値 $V_d/V_{yd}$
頂版	7	④	S s -1+-	1513	2890	0.53
側壁	5	②	S s -1+-	937	1947	0.49
隔壁	3	④	S s -1+-	257	854	0.31
底版	12	④	S s -1+-	2380	3134	0.76
柱	2	④	S s -1+-	192	912	0.22
妻壁	15	③	S s -1+-	902	1695	0.54

注記\*1：評価位置は下図に示す。

\*2：照査用せん断力 $V_d$ =発生せん断力×構造解析係数 $\gamma_a$

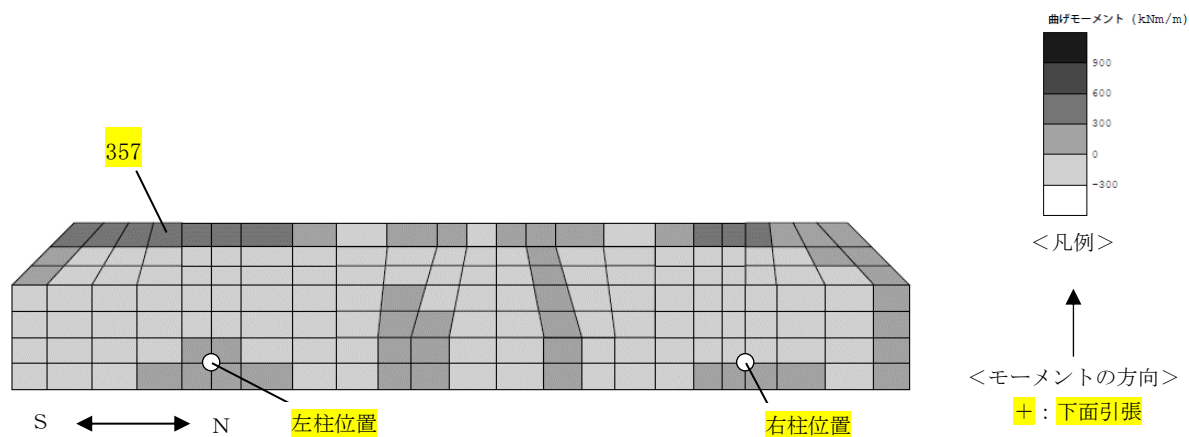


A-A断面

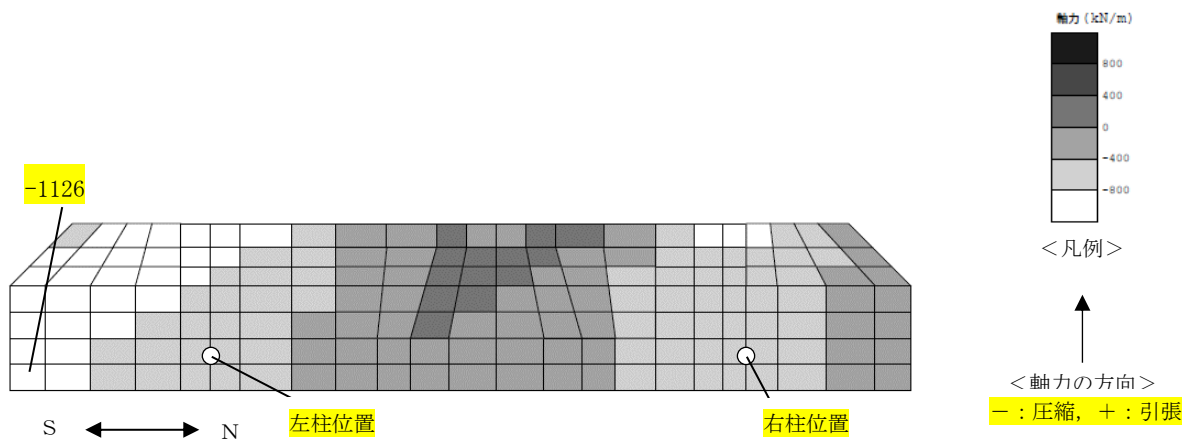


C-C断面（妻壁を通る断面の構造形状）

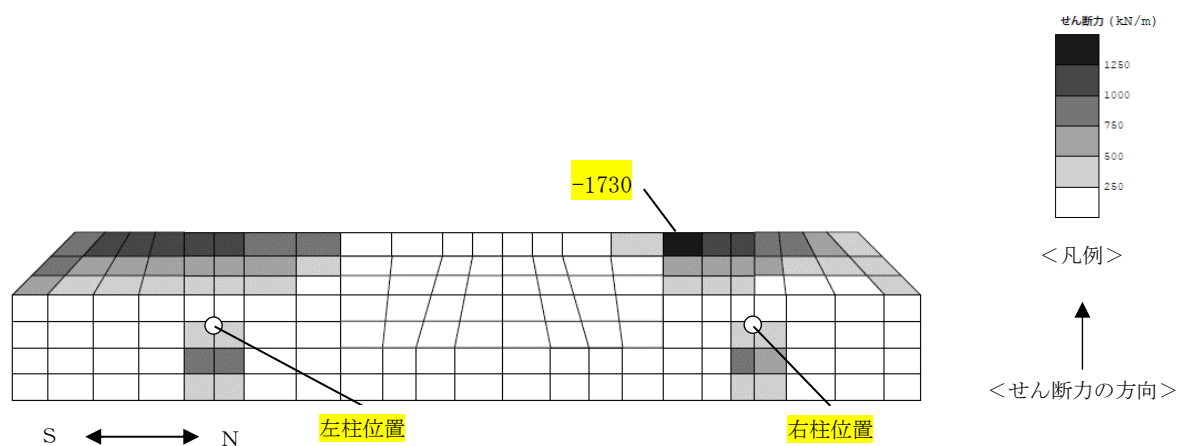
評価位置



(a) 曲げモーメント分布

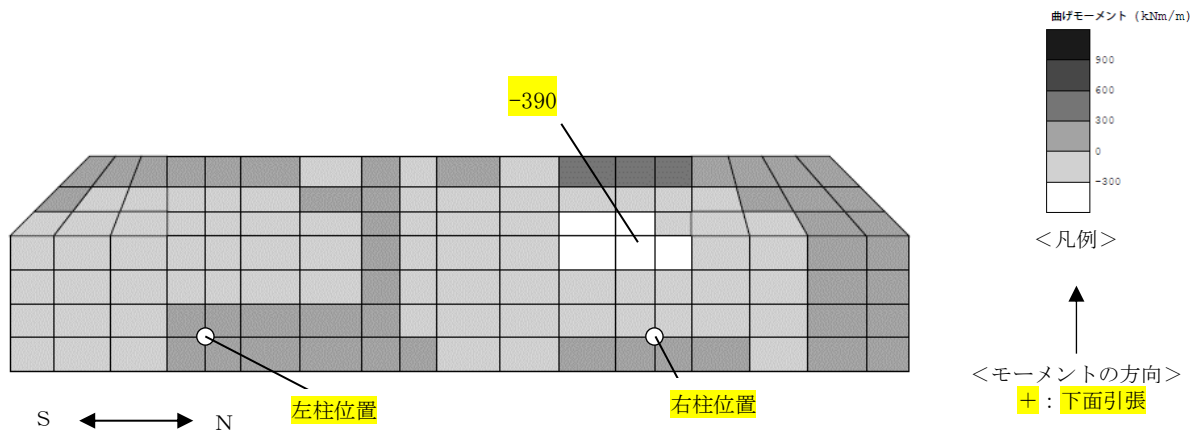


(b) 軸力分布

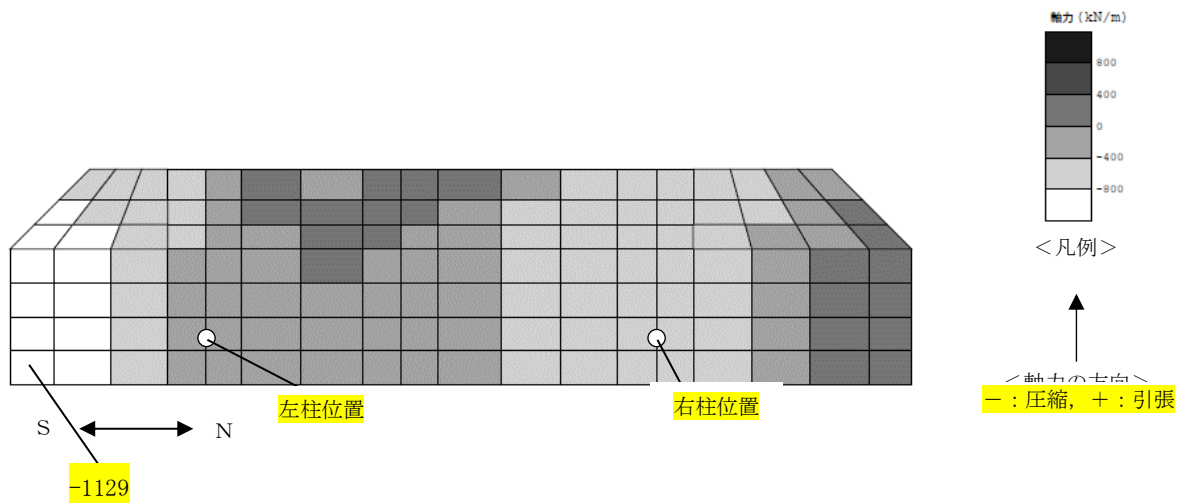


(c) せん断力分布

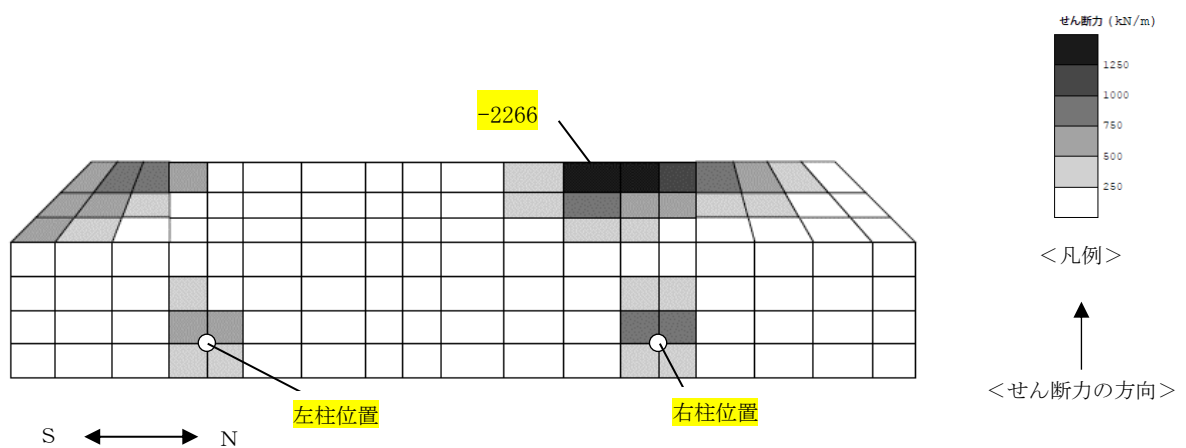
図 5-119 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査が最も厳しくなるケースでの断面力分布図 (補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 底版, 解析ケース②, 地震動 Ss-1+-, t=5.67s)



(a) 曲げモーメント分布



(b) 軸力分布



(c) せん断力分布

図 5-120 鉄筋コンクリート部材のせん断力照査が最も厳しくなるケースでの断面力分布図 (補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 底版, 解析ケース⑤, 地震動 Ss-1+-, t=5.70s)

### 5.6.3 構造部材の健全性に対する評価結果

#### (1) 曲げ軸力に対する評価結果

##### a. 通水機能

3次元構造解析に基づく鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査結果を表 5-36 及び表 5-37, 評価位置を図 5-121 及び図 5-122 に示す。各表には, 「5.4.3 照査時刻の選定」に基づき選定した各照査時刻における評価結果のうち, 解析ケース, 地震動ごとに照査値が最大となる結果を示している。

照査結果より, 照査用コンクリートひずみが限界ひずみを下回ることを確認した。

表 5-36 曲げ軸力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（南側））（1/2）

解析ケース	地震動	評価位置		照査用ひずみ*	限界ひずみ	照査値
				$\varepsilon_d (\mu)$	$\varepsilon_r (\mu)$	$\varepsilon_d / \varepsilon_r$
①	Ss-1++	頂版	8	147	10000	0.015
		側壁	1	111	10000	0.012
		隔壁	3	168	10000	0.017
		底版	12	126	10000	0.013
		柱	2	117	10000	0.012
		妻壁	18	216	10000	0.022
①	Ss-1-+	頂版	8	168	10000	0.017
		側壁	1	142	10000	0.015
		隔壁	4	169	10000	0.017
		底版	12	209	10000	0.021
		柱	2	153	10000	0.016
		妻壁	18	225	10000	0.023
①	Ss-1+-	頂版	9	144	10000	0.015
		側壁	1	201	10000	0.021
		隔壁	4	214	10000	0.022
		底版	12	197	10000	0.020
		柱	2	206	10000	0.021
		妻壁	18	248	10000	0.025
①	Ss-1--	頂版	8	149	10000	0.015
		側壁	1	115	10000	0.012
		隔壁	3	155	10000	0.016
		底版	12	170	10000	0.017
		柱	2	131	10000	0.014
		妻壁	18	203	10000	0.021
①	Ss-2	頂版	8	163	10000	0.017
		側壁	1	158	10000	0.016
		隔壁	3	171	10000	0.018
		底版	12	123	10000	0.013
		柱	2	144	10000	0.015
		妻壁	17	229	10000	0.023
①	Ss-3++	頂版	11	156	10000	0.016
		側壁	1	164	10000	0.017
		隔壁	4	182	10000	0.019
		底版	12	214	10000	0.022
		柱	2	166	10000	0.017
		妻壁	18	200	10000	0.020
①	Ss-3-+	頂版	7	141	10000	0.015
		側壁	1	129	10000	0.013
		隔壁	3	172	10000	0.018
		底版	12	190	10000	0.019
		柱	2	144	10000	0.015
		妻壁	18	210	10000	0.021
①	Ss-3+-	頂版	8	135	10000	0.014
		側壁	1	97	10000	0.010
		隔壁	3	153	10000	0.016
		底版	12	152	10000	0.016
		柱	2	109	10000	0.011
		妻壁	18	185	10000	0.019
①	Ss-3--	頂版	8	145	10000	0.015
		側壁	6	111	10000	0.012
		隔壁	4	147	10000	0.015
		底版	12	184	10000	0.019
		柱	2	127	10000	0.013
		妻壁	18	185	10000	0.019

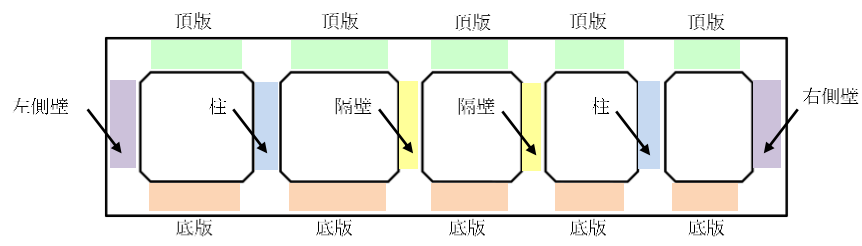
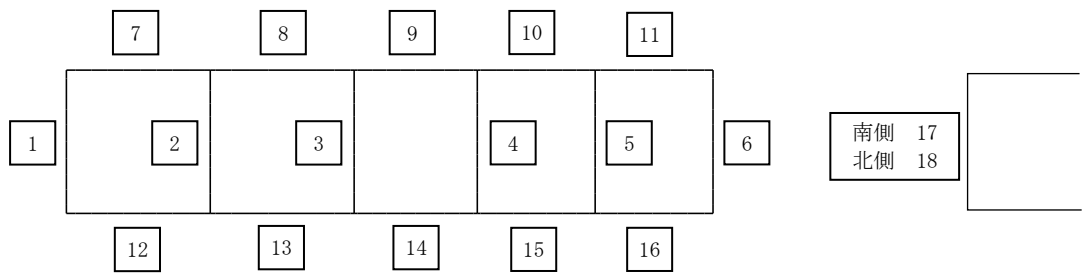
注記\* : 照査用圧縮ひずみ  $\varepsilon_d$  = 圧縮縁の発生ひずみ  $\varepsilon$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

表 5-36 曲げ軸力に対する評価結果 (補機冷却用海水取水路 (南側)) (2/2)

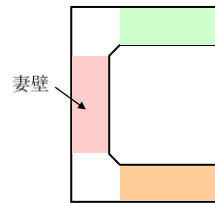
解析ケース	地震動	評価位置		照査用ひずみ*	限界ひずみ	照査値
				$\epsilon_d (\mu)$	$\epsilon_r (\mu)$	$\epsilon_d / \epsilon_r$
①	Ss-4	頂版	8	138	10000	0.014
		側壁	1	123	10000	0.013
		隔壁	4	119	10000	0.012
		底版	14	103	10000	0.011
		柱	2	106	10000	0.011
		妻壁	18	157	10000	0.016
		①	Ss-5	頂版	8	141
側壁	1			103	10000	0.011
隔壁	3			118	10000	0.012
底版	14			98	10000	0.010
柱	2			93	10000	0.010
妻壁	18			163	10000	0.017
①	Ss-6	頂版	8	128	10000	0.013
		側壁	1	159	10000	0.016
		隔壁	4	141	10000	0.015
		底版	12	129	10000	0.013
		柱	2	140	10000	0.014
		妻壁	17	163	10000	0.017
①	Ss-7	頂版	8	138	10000	0.014
		側壁	1	155	10000	0.016
		隔壁	3	147	10000	0.015
		底版	12	99	10000	0.010
		柱	2	142	10000	0.015
		妻壁	18	168	10000	0.017
①	Ss-8++	頂版	8	151	10000	0.016
		側壁	1	156	10000	0.016
		隔壁	4	203	10000	0.021
		底版	12	126	10000	0.013
		柱	2	176	10000	0.018
		妻壁	18	232	10000	0.024
①	Ss-8+	頂版	8	134	10000	0.014
		側壁	1	138	10000	0.014
		隔壁	4	173	10000	0.018
		底版	12	151	10000	0.016
		柱	2	159	10000	0.016
		妻壁	18	236	10000	0.024
②	Ss-1+-	頂版	8	158	10000	0.016
		側壁	1	203	10000	0.021
		隔壁	4	213	10000	0.022
		底版	12	195	10000	0.020
		柱	2	208	10000	0.021
		妻壁	18	253	10000	0.026
③	Ss-1+-	頂版	9	142	10000	0.015
		側壁	1	198	10000	0.020
		隔壁	4	217	10000	0.022
		底版	12	201	10000	0.021
		柱	2	206	10000	0.021
		妻壁	18	250	10000	0.025
④	Ss-1+-	頂版	8	160	10000	0.016
		側壁	1	161	10000	0.017
		隔壁	3	184	10000	0.019
		底版	13	135	10000	0.014
		柱	2	150	10000	0.015
		妻壁	18	199	10000	0.020
⑤	Ss-1+-	頂版	8	164	10000	0.017
		側壁	1	165	10000	0.017
		隔壁	3	192	10000	0.020
		底版	13	140	10000	0.014
		柱	2	156	10000	0.016
		妻壁	18	192	10000	0.020

注記\* : 照査用圧縮ひずみ  $\epsilon_d$  = 圧縮縁の発生ひずみ  $\epsilon$  × 構造解析係数  $\gamma_a$





A-A断面



B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-121 補機冷却用海水取水路 (南側) の評価位置

表 5-37 曲げ軸力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（北側））（1/2）

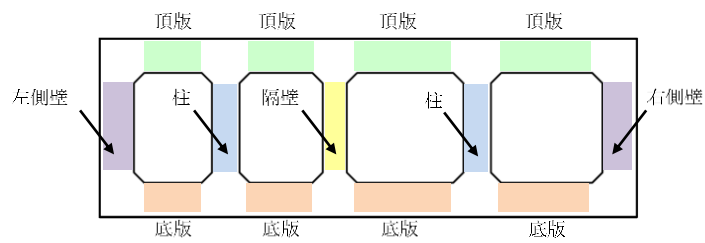
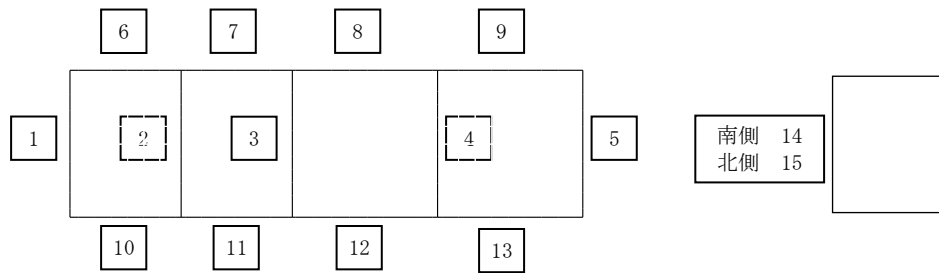
解析ケース	地震動	評価位置		照査用ひずみ*	限界ひずみ	照査値
				$\varepsilon_d (\mu)$	$\varepsilon_r (\mu)$	$\varepsilon_d / \varepsilon_r$
①	Ss-1++	頂版	8	215	10000	0.022
		側壁	5	242	10000	0.025
		隔壁	3	218	10000	0.022
		底版	13	139	10000	0.014
		柱	4	233	10000	0.024
		妻壁	15	271	10000	0.028
①	Ss-1-+	頂版	8	212	10000	0.022
		側壁	5	234	10000	0.024
		隔壁	3	224	10000	0.023
		底版	13	136	10000	0.014
		柱	4	234	10000	0.024
		妻壁	15	267	10000	0.027
①	Ss-1+-	頂版	8	233	10000	0.024
		側壁	5	253	10000	0.026
		隔壁	3	259	10000	0.026
		底版	13	184	10000	0.019
		柱	4	257	10000	0.026
		妻壁	14	281	10000	0.029
①	Ss-1--	頂版	8	221	10000	0.023
		側壁	5	246	10000	0.025
		隔壁	3	246	10000	0.025
		底版	13	175	10000	0.018
		柱	4	241	10000	0.025
		妻壁	15	264	10000	0.027
①	Ss-2	頂版	8	158	10000	0.016
		側壁	5	161	10000	0.017
		隔壁	3	210	10000	0.021
		底版	13	139	10000	0.014
		柱	4	188	10000	0.019
		妻壁	14	229	10000	0.023
①	Ss-3++	頂版	8	150	10000	0.015
		側壁	5	142	10000	0.015
		隔壁	3	190	10000	0.019
		底版	10	147	10000	0.015
		柱	4	191	10000	0.020
		妻壁	15	213	10000	0.022
①	Ss-3-+	頂版	9	143	10000	0.015
		側壁	5	116	10000	0.012
		隔壁	3	161	10000	0.017
		底版	10	157	10000	0.016
		柱	4	164	10000	0.017
		妻壁	15	233	10000	0.024
①	Ss-3+-	頂版	8	165	10000	0.017
		側壁	12	185	10000	0.019
		隔壁	12	168	10000	0.017
		底版	12	121	10000	0.013
		柱	4	176	10000	0.018
		妻壁	12	214	10000	0.022
①	Ss-3--	頂版	12	176	10000	0.018
		側壁	12	198	10000	0.020
		隔壁	12	188	10000	0.019
		底版	12	132	10000	0.014
		柱	4	196	10000	0.020
		妻壁	13	232	10000	0.024

注記\* : 照査用圧縮ひずみ  $\varepsilon_d$  = 圧縮縁の発生ひずみ  $\varepsilon$  × 構造解析係数  $\gamma_a$

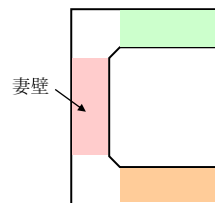
表 5-37 曲げ軸力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（北側））（2/2）

解析ケース	地震動	評価位置		照査用ひずみ*	限界ひずみ	照査値
				$\epsilon_d (\mu)$	$\epsilon_r (\mu)$	$\epsilon_d / \epsilon_r$
①	Ss-4	頂版	13	131	10000	0.014
		側壁	13	119	10000	0.012
		隔壁	13	147	10000	0.015
		底版	13	118	10000	0.012
		柱	4	140	10000	0.014
		妻壁	13	189	10000	0.019
①	Ss-5	頂版	13	136	10000	0.014
		側壁	13	143	10000	0.015
		隔壁	13	172	10000	0.018
		底版	13	121	10000	0.013
		柱	4	168	10000	0.017
		妻壁	13	196	10000	0.020
①	Ss-6	頂版	13	171	10000	0.018
		側壁	13	187	10000	0.019
		隔壁	13	192	10000	0.020
		底版	13	112	10000	0.012
		柱	4	190	10000	0.019
		妻壁	13	216	10000	0.022
①	Ss-7	頂版	13	156	10000	0.016
		側壁	10	174	10000	0.018
		隔壁	10	159	10000	0.016
		底版	10	109	10000	0.011
		柱	4	174	10000	0.018
		妻壁	10	214	10000	0.022
①	Ss-8++	頂版	10	148	10000	0.015
		側壁	10	144	10000	0.015
		隔壁	10	229	10000	0.023
		底版	11	154	10000	0.016
		柱	4	216	10000	0.022
		妻壁	11	240	10000	0.024
①	Ss-8+-	頂版	11	117	10000	0.012
		側壁	11	113	10000	0.012
		隔壁	11	198	10000	0.020
		底版	11	135	10000	0.014
		柱	4	191	10000	0.020
		妻壁	12	207	10000	0.021
②	Ss-1+-	頂版	8	236	10000	0.024
		側壁	5	259	10000	0.026
		隔壁	3	254	10000	0.026
		底版	13	181	10000	0.019
		柱	4	260	10000	0.026
		妻壁	14	276	10000	0.028
③	Ss-1+-	頂版	8	228	10000	0.023
		側壁	5	245	10000	0.025
		隔壁	3	269	10000	0.027
		底版	13	191	10000	0.020
		柱	4	263	10000	0.027
		妻壁	14	288	10000	0.029
④	Ss-1+-	頂版	8	183	10000	0.019
		側壁	5	184	10000	0.019
		隔壁	3	327	10000	0.033
		底版	12	205	10000	0.021
		柱	4	292	10000	0.030
		妻壁	15	344	10000	0.035
⑤	Ss-1+-	頂版	8	178	10000	0.018
		側壁	5	186	10000	0.019
		隔壁	3	326	10000	0.033
		底版	12	204	10000	0.021
		柱	4	289	10000	0.029
		妻壁	15	344	10000	0.035

注記\* : 照査用圧縮ひずみ  $\epsilon_d$  = 圧縮縁の発生ひずみ  $\epsilon$  × 構造解析係数  $\gamma_a$



A-A断面



C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

図 5-122 補機冷却用海水取水路 (北側) の評価位置

b. 貯水機能

貯水機能を要求する側壁及び頂版について、鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケースにおける発生曲げモーメントと降伏モーメントの関係を図 5-123 及び図 5-124 に示す。同図は、発生曲げモーメントの変形に対応する降伏モーメントとの比が厳しい部材の結果を示す。

照査結果より、側壁及び頂版ともに、発生曲げモーメントが降伏モーメントを下回ることを確認した。

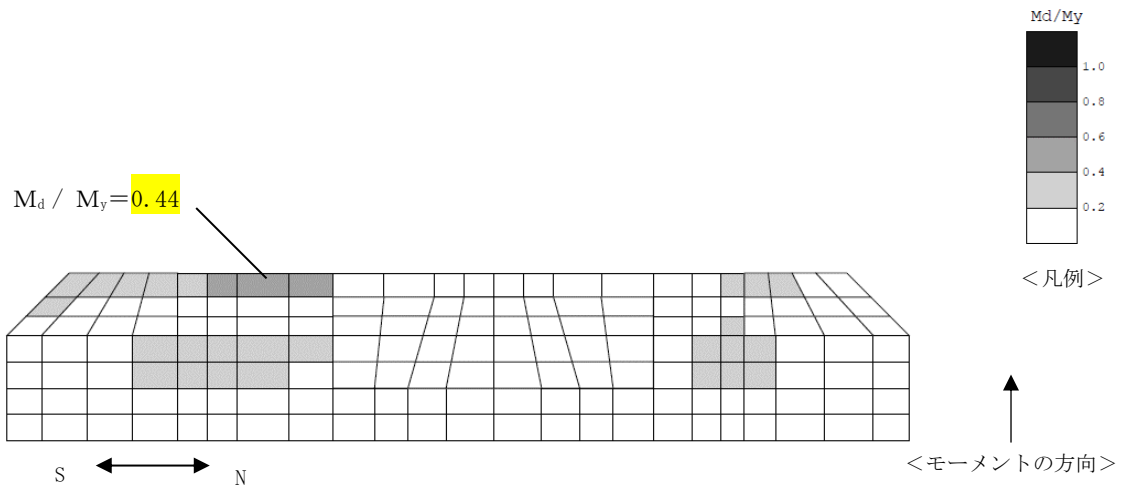


図 5-123 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケース  
での発生曲げモーメント/降伏モーメント

(補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 頂版, 解析ケース②, 地震動 Ss-1+-, t=5.67s)

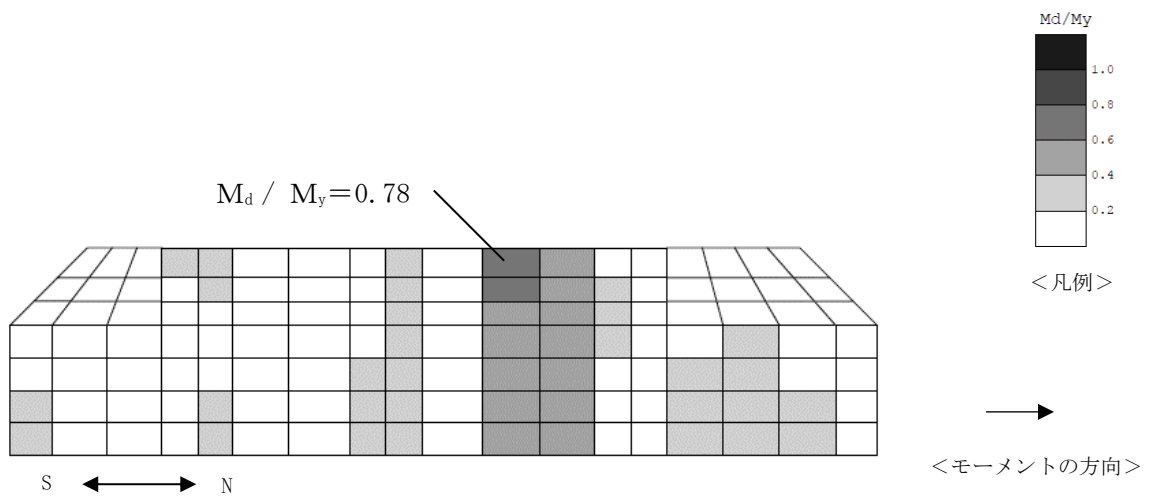


図 5-124 鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査が最も厳しくなるケース  
での発生曲げモーメント/降伏モーメント

(補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 頂版, 解析ケース④, 地震動 Ss-1+-, t=5.70s)

(2) せん断力に対する評価結果

3次元構造解析に基づく鉄筋コンクリート部材のせん断力照査結果を表 5-38 及び表 5-39, 評価位置を図 5-125 及び図 5-126 に示す。各表には、「5.4.3 照査時刻の選定」に基づき選定した各照査時刻における評価結果のうち、解析ケース、地震動及び評価位置ごとに照査値が最大となる結果を示している。

照査結果より、照査用せん断力がせん断耐力を下回ることを確認した。

表 5-38 せん断力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（南側））（1/2）

解析ケース	地震動	評価位置		照査用	せん断耐力	照査値
				せん断力*	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
				$V_d$ (kN)		
①	Ss-1++	頂版	10	1099	3054	0.36
		側壁	1	709	2674	0.27
		隔壁	4	152	940	0.17
		底版	15	1442	3001	0.49
		柱	5	115	795	0.15
		妻壁	17	772	1910	0.41
①	Ss-1-+	頂版	10	1142	3107	0.37
		側壁	6	972	2788	0.35
		隔壁	4	140	926	0.16
		底版	15	1443	3014	0.48
		柱	5	97	854	0.12
		妻壁	17	903	1958	0.47
①	Ss-1+-	頂版	8	1115	3035	0.37
		側壁	6	942	2758	0.35
		隔壁	4	154	939	0.17
		底版	15	1781	3083	0.58
		柱	5	104	872	0.12
		妻壁	17	513	1365	0.38
①	Ss-1--	頂版	10	1023	3048	0.34
		側壁	1	781	2683	0.30
		隔壁	4	133	933	0.15
		底版	15	1454	3033	0.48
		柱	5	93	839	0.12
		妻壁	17	793	1922	0.42
①	Ss-2	頂版	10	1195	3050	0.40
		側壁	1	749	2587	0.29
		隔壁	3	99	667	0.15
		底版	13	900	2942	0.31
		柱	2	81	766	0.11
		妻壁	17	830	1844	0.46
①	Ss-3++	頂版	8	806	2715	0.30
		側壁	6	1038	2773	0.38
		隔壁	4	135	909	0.15
		底版	15	1461	3019	0.49
		柱	5	91	867	0.11
		妻壁	17	458	1386	0.34
①	Ss-3-+	頂版	10	1108	3031	0.37
		側壁	1	876	2701	0.33
		隔壁	4	132	923	0.15
		底版	15	1397	3004	0.47
		柱	5	92	848	0.11
		妻壁	17	738	1897	0.39
①	Ss-3+-	頂版	10	968	3013	0.33
		側壁	1	680	2662	0.26
		隔壁	4	130	931	0.14
		底版	15	1325	3017	0.44
		柱	5	94	811	0.12
		妻壁	17	716	1906	0.38
①	Ss-3--	頂版	10	967	3037	0.32
		側壁	6	837	2812	0.30
		隔壁	4	134	914	0.15
		底版	15	1353	3019	0.45
		柱	5	95	829	0.12
		妻壁	17	773	1930	0.41

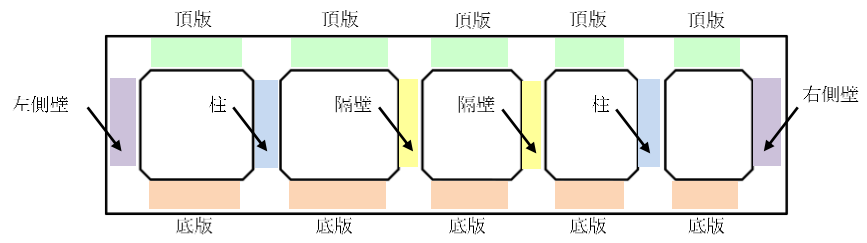
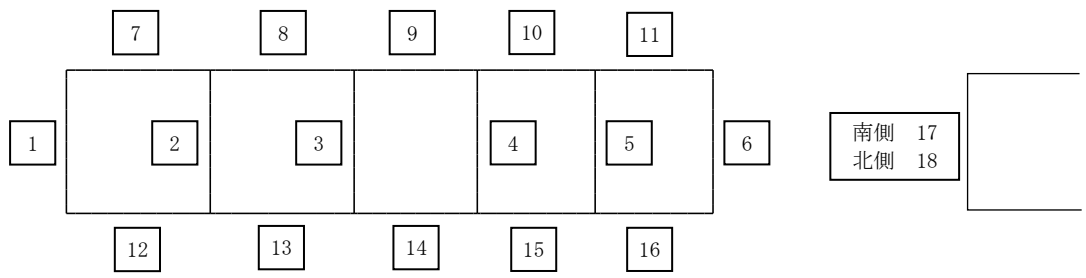
注記\* : 照査用せん断力  $V_d$  = 発生せん断力  $V$  × 構造解析係数  $\gamma_a$



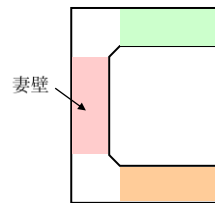
表 5-38 せん断力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（南側））（2/2）

解析ケース	地震動	評価位置		照査用	せん断耐力	照査値
				せん断力*		
				$V_d$ (kN)		
①	Ss-4	頂版	10	856	2997	0.29
		側壁	1	554	2548	0.22
		隔壁	4	67	756	0.09
		底版	13	744	2944	0.26
		柱	2	46	871	0.06
		妻壁	17	719	1891	0.39
①	Ss-5	頂版	10	887	3001	0.30
		側壁	1	585	2564	0.23
		隔壁	3	64	856	0.08
		底版	13	705	2911	0.25
		柱	5	41	731	0.06
		妻壁	17	732	1885	0.39
①	Ss-6	頂版	8	738	2660	0.28
		側壁	6	705	2693	0.27
		隔壁	4	66	768	0.09
		底版	15	1024	2964	0.35
		柱	2	49	797	0.07
		妻壁	17	679	1936	0.36
①	Ss-7	頂版	8	791	2978	0.27
		側壁	1	587	2214	0.27
		隔壁	4	93	728	0.13
		底版	15	1177	2945	0.40
		柱	5	70	847	0.09
		妻壁	17	595	1705	0.35
①	Ss-8++	頂版	10	986	3052	0.33
		側壁	1	710	2679	0.27
		隔壁	4	134	754	0.18
		底版	15	1604	3002	0.54
		柱	5	101	876	0.12
		妻壁	17	795	1929	0.42
①	Ss-8-+	頂版	10	970	3011	0.33
		側壁	1	705	2672	0.27
		隔壁	4	146	908	0.17
		底版	15	1662	3063	0.55
		柱	5	102	857	0.12
		妻壁	17	681	1879	0.37
②	Ss-1+-	頂版	8	1140	3048	0.38
		側壁	6	955	2761	0.35
		隔壁	4	150	940	0.16
		底版	15	1817	3098	0.59
		柱	5	96	908	0.11
		妻壁	17	700	1726	0.41
③	Ss-1+-	頂版	8	1094	3012	0.37
		側壁	6	940	2758	0.35
		隔壁	4	166	963	0.18
		底版	15	1787	3078	0.59
		柱	5	111	902	0.13
		妻壁	17	522	1371	0.39
④	Ss-1+-	頂版	10	853	2785	0.31
		側壁	1	888	2518	0.36
		隔壁	3	124	871	0.15
		底版	15	1417	3019	0.47
		柱	5	75	870	0.09
		妻壁	17	732	1784	0.42
⑤	Ss-1+-	頂版	10	894	2807	0.32
		側壁	1	914	2521	0.37
		隔壁	3	129	869	0.15
		底版	15	1280	2991	0.43
		柱	5	77	852	0.10
		妻壁	17	754	1783	0.43

注記\* : 照査用せん断力  $V_d$  = 発生せん断力  $V$  × 構造解析係数  $\gamma_a$



A-A断面



B-B断面（妻壁を通る断面の構造形状）

図 5-125 補機冷却用海水取水路（南側）の評価位置

表 5-39 せん断力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（北側））（1/2）

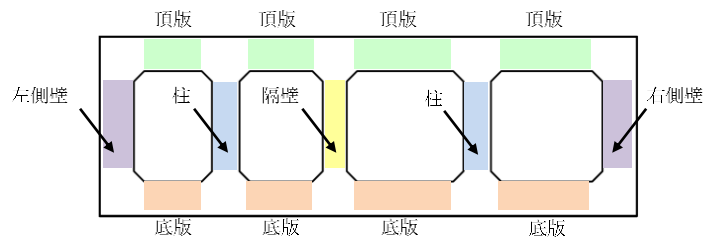
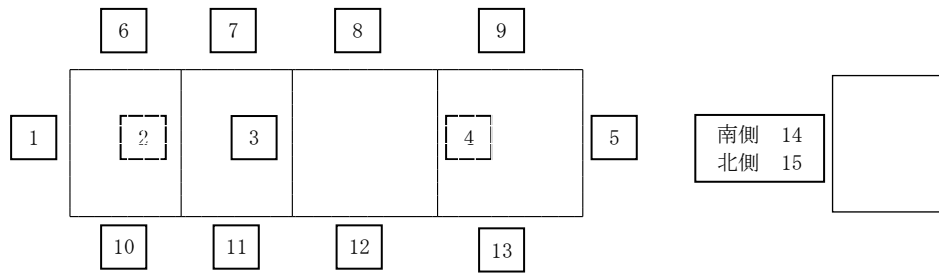
解析ケース	地震動	評価位置		照査用 せん断力*	せん断耐力	照査値
				$V_d$ (kN)	$V_{y d}$ (kN)	$V_d / V_{y d}$
①	Ss-1++	頂版	7	1290	2905	0.45
		側壁	5	968	2023	0.48
		隔壁	3	149	947	0.16
		底版	12	1269	3038	0.42
		柱	4	110	817	0.14
		妻壁	15	873	1684	0.52
①	Ss-1-+	頂版	7	1260	2892	0.44
		側壁	5	863	1950	0.45
		隔壁	3	146	880	0.17
		底版	12	1363	3060	0.45
		柱	2	106	846	0.13
		妻壁	15	873	1676	0.53
①	Ss-1+-	頂版	7	1392	2876	0.49
		側壁	5	898	1927	0.47
		隔壁	3	196	953	0.21
		底版	12	1812	3078	0.59
		柱	2	140	934	0.15
		妻壁	15	896	1684	0.54
①	Ss-1--	頂版	7	1317	2909	0.46
		側壁	5	951	2000	0.48
		隔壁	3	183	929	0.20
		底版	12	1729	3032	0.58
		柱	2	131	914	0.15
		妻壁	15	865	1678	0.52
①	Ss-2	頂版	7	1170	2813	0.42
		側壁	5	641	2043	0.32
		隔壁	3	143	827	0.18
		底版	12	1338	2953	0.46
		柱	2	111	864	0.13
		妻壁	15	821	1847	0.45
①	Ss-3++	頂版	7	1067	2875	0.38
		側壁	5	718	2238	0.33
		隔壁	3	131	1033	0.13
		底版	12	1341	2989	0.45
		柱	2	91	900	0.11
		妻壁	15	691	1694	0.41
①	Ss-3-+	頂版	8	1217	3109	0.40
		側壁	1	740	2487	0.30
		隔壁	3	127	961	0.14
		底版	12	1182	2938	0.41
		柱	2	83	726	0.12
		妻壁	15	717	1696	0.43
①	Ss-3+-	頂版	8	1007	2866	0.36
		側壁	5	767	2053	0.38
		隔壁	3	126	985	0.13
		底版	12	1201	2916	0.42
		柱	2	88	872	0.11
		妻壁	15	639	1548	0.42
①	Ss-3--	頂版	8	1083	2877	0.38
		側壁	5	735	1956	0.38
		隔壁	3	132	997	0.14
		底版	12	1251	2971	0.43
		柱	2	91	867	0.11
		妻壁	15	761	1690	0.46

注記\* : 照査用せん断力 $V_d$  = 発生せん断力 $V$  × 構造解析係数 $\gamma_a$

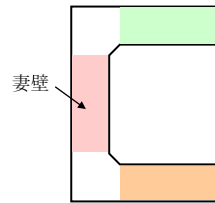
表 5-39 せん断力に対する評価結果（補機冷却用海水取水路（北側））（2/2）

解析ケース	地震動	評価位置		照査用	せん断耐力	照査値
				せん断力*		
				$V_d$ (kN)		
①	Ss-4	頂版	7	978	2814	0.35
		側壁	5	510	2118	0.25
		隔壁	3	91	889	0.11
		底版	12	1037	2936	0.36
		柱	2	71	722	0.10
		妻壁	15	696	1846	0.38
①	Ss-5	頂版	7	997	2855	0.35
		側壁	5	550	1985	0.28
		隔壁	3	94	869	0.11
		底版	12	1136	2884	0.40
		柱	2	63	714	0.09
		妻壁	15	728	1857	0.40
①	Ss-6	頂版	7	1018	2842	0.36
		側壁	5	664	1926	0.35
		隔壁	3	135	884	0.16
		底版	12	1384	3016	0.46
		柱	2	99	871	0.12
		妻壁	15	703	1668	0.43
①	Ss-7	頂版	8	994	2839	0.36
		側壁	5	623	1925	0.33
		隔壁	3	107	796	0.14
		底版	12	1117	2879	0.39
		柱	2	81	840	0.10
		妻壁	15	648	1558	0.42
①	Ss-8++	頂版	7	1113	2813	0.40
		側壁	1	724	2528	0.29
		隔壁	3	165	817	0.21
		底版	12	1680	3022	0.56
		柱	2	125	874	0.15
		妻壁	15	650	1657	0.40
①	Ss-8-+	頂版	7	977	2834	0.35
		側壁	1	639	2504	0.26
		隔壁	3	167	880	0.19
		底版	12	1446	2937	0.50
		柱	2	120	865	0.14
		妻壁	15	598	1701	0.36
②	Ss-1+-	頂版	7	1373	2870	0.48
		側壁	5	937	1947	0.49
		隔壁	3	186	949	0.20
		底版	12	1754	3063	0.58
		柱	2	135	932	0.15
		妻壁	15	882	1680	0.53
③	Ss-1+-	頂版	7	1421	2883	0.50
		側壁	5	863	1922	0.45
		隔壁	3	215	962	0.23
		底版	12	1877	3057	0.62
		柱	2	151	932	0.17
		妻壁	15	902	1695	0.54
④	Ss-1+-	頂版	7	1513	2890	0.53
		側壁	5	851	2292	0.38
		隔壁	3	257	854	0.31
		底版	12	2380	3134	0.76
		柱	2	192	912	0.22
		妻壁	15	652	1595	0.41
⑤	Ss-1+-	頂版	7	1479	2878	0.52
		側壁	5	840	2275	0.37
		隔壁	3	251	838	0.30
		底版	12	2372	3127	0.76
		柱	2	189	903	0.21
		妻壁	15	644	1584	0.41

注記\* : 照査用せん断力  $V_d =$  発生せん断力  $V \times$  構造解析係数  $\gamma_a$



A-A断面



C-C断面（妻壁を通る断面の構造形状）

図 5-126 補機冷却用海水取水路（北側）の評価位置

(3) 妻壁の面内せん断に対する評価結果

3次元構造解析に基づく補機冷却用海水取水路の妻壁の面内せん断照査結果を表5-40、表5-41、評価位置を図5-121、図5-122に示す。

照査結果より、照査用面内せん断ひずみが許容限界を下回ることを確認した

表5-40 補機冷却用海水取水路（南側）の妻壁の面内せん断照査結果（1/2）

ケースの 着目事象	解析 ケース	地震動	時刻	評価位置	照査用面内 せん断ひずみ* $\gamma_d$	許容限界 $\gamma_A$	照査値 $\gamma_d / \gamma_A$
応力	⑤	Ss-1+-	4.74	南妻壁	$4.55 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-3}$	0.023
				北妻壁	$9.88 \times 10^{-5}$		0.050
変形	⑤	Ss-1+-	4.75	南妻壁	$4.20 \times 10^{-5}$		0.021
				北妻壁	$9.85 \times 10^{-5}$		0.050

注記\* : 照査用面内せん断ひずみ  $\gamma_d =$  発生面内せん断ひずみ  $\times$  構造解析係数  $\gamma_a$

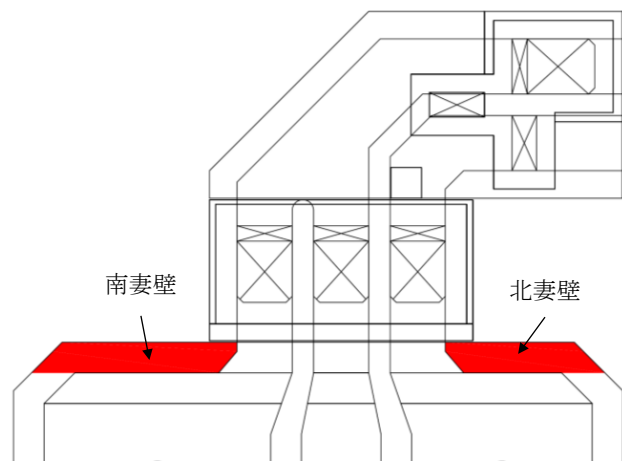


図5-127 補機冷却用海水取水路（南側）の評価位置

表 5-41 補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の面内せん断照査結果（1/2）

ケースの 着目事象	解析 ケース	地震動	時刻	評価位置	照査用面内 せん断ひずみ* $\gamma_d$	許容限界 $\gamma_A$	照査値 $\gamma_d / \gamma_A$
応力	⑤	Ss-1+-	4.74	南妻壁	$2.34 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-3}$	0.012
				北妻壁	$7.68 \times 10^{-5}$		0.039
変形	⑤	Ss-1+-	4.75	南妻壁	$2.74 \times 10^{-5}$		0.014
				北妻壁	$7.92 \times 10^{-5}$		0.040

注記\* : 照査用面内せん断ひずみ  $\gamma_d =$  発生面内せん断ひずみ  $\times$  構造解析係数  $\gamma_a$

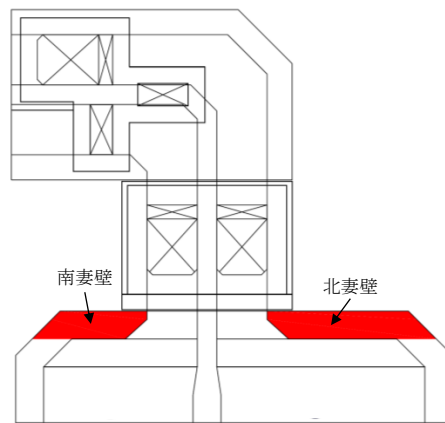


図 5-128 補機冷却用海水取水路（北側）の妻壁の位置

5.6.4 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評価結果を表 5-42 及び表 5-43 に示す。

補機冷却用海水取水路の基礎地盤に発生する鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。

表 5-42 基礎地盤の支持性能評価結果 補機冷却用海水取水路（南側）

解析ケース	基準地震動	最大合力 F (kN)	極限支持力 Qu (kN)	照査値 F/Qu
①	Ss-1++	8000	122900	0.07
	Ss-1-+	8050	122900	0.07
	Ss-1+-	8620	122900	0.08
	Ss-1--	8280	122900	0.07
	Ss-2	7580	122900	0.07
	Ss-3++	7130	122900	0.06
	Ss-3-+	7250	122900	0.06
	Ss-3+-	7240	122900	0.06
	Ss-3--	7360	122900	0.06
	Ss-4	6600	122900	0.06
	Ss-5	6640	122900	0.06
	Ss-6	6450	122900	0.06
	Ss-7	6670	122900	0.06
	Ss-8++	5690	122900	0.05
Ss-8-+	6290	122900	0.06	
②	Ss-1+-	8520	122900	0.07
③	Ss-1+-	8740	122900	0.08
④	Ss-1+-	8180	122900	0.07
⑤	Ss-1+-	8200	122900	0.07



表 5-43 基礎地盤の支持性能評価結果 補機冷却用海水取水路（北側）

解析ケース	基準地震動	最大鉛直力 $R_a$ (kN)	極限支持力 $R_u$ (kN)	照査値 $R_a / R_u$
①	Ss-1++	6930	96600	0.08
	Ss-1-+	6480	96600	0.07
	Ss-1+-	6700	96600	0.07
	Ss-1--	6040	96600	0.07
	Ss-2	5730	96600	0.06
	Ss-3++	5760	96600	0.06
	Ss-3-+	5750	96600	0.06
	Ss-3+-	5960	96600	0.07
	Ss-3--	5610	96600	0.06
	Ss-4	5330	96600	0.06
	Ss-5	5120	96600	0.06
	Ss-6	5230	96600	0.06
	Ss-7	5140	96600	0.06
	Ss-8++	4730	96600	0.05
	Ss-8-+	5020	96600	0.06
②	Ss-1+-	6700	96600	0.07
③	Ss-1+-	6720	96600	0.07
④	Ss-1+-	6250	96600	0.07
⑤	Ss-1+-	6300	96600	0.07

## 5.7 まとめ

補機冷却用海水取水路は、基準地震動  $S_s$  に対して、構造物の地震応答解析に基づく曲げ軸力に伴うコンクリートの圧縮ひずみ、せん断力が各部材の要求性能に応じた許容限界以下であることを確認した。基礎地盤の支持性能評価については、地震応答解析に基づく鉛直力が極限支持力以下であることを確認した。

以上のことから、補機冷却用海水取水路は、基準地震動  $S_s$  による地震力に対して、構造安定性、通水機能、貯水機能を維持できる。

スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路の耐震安全性評価  
に関する参考資料

## 目 次

: 今回説明範囲

(参考資料 1) 浮上り評価について .....	参考 1-1
(参考資料 2) 耐震ジョイントの健全性評価について .....	参考 2-1
(参考資料 3) 軸力の変動が部材の非線形特性に与える影響について .....	参考 3-1
(参考資料 4) 材料非線形解析の部材係数について .....	参考 4-1
(参考資料 5) 液状化検討対象層を踏まえた支持機能への影響について .....	参考 5-1
(参考資料 6) 静的地震力に対する耐震評価 .....	参考 6-1
(参考資料 7) 3次元構造解析における照査時刻の選定について .....	参考 7-1

(参考資料 7) 3次元構造解析における照査時刻の選定について

1. 概要

補機冷却用海水取水路では、部材評価に支配的な荷重が発生する時刻として、表 1-1 に示す事象を各加振方向の照査時刻として選定している。

補機冷却用海水取水路は、鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり、西側には耐震壁として妻壁が存在する。NS 断面の地震応答解析では、妻壁を線形平面ひずみ要素としてモデル化しており、部材に作用する外力と部材に発生する内力は等価であるため、NS 断面については、妻壁の面内せん断応力が最大となる時刻に着目する。EW 断面については、妻壁に作用する土水圧による面外方向の変形による損傷が想定されるため、水平方向の土水圧が最大となる時刻に着目する。

本検討では、表 1-1 に示す事象が発生する時刻を照査時刻とすることに対して、表 1-1 の照査時刻以外で構造物に対して大きな外力が生じると想定される事象を抽出し、各事象の発生時刻における照査値を比較し、選定した照査時刻の妥当性を確認する。

表 1-1 補機冷却用海水取水路の照査時刻

施設	加振方向	事象
補機冷却用海水取水路 (南側, 北側)	NS 方向	妻壁の面内せん断応力最大時
	EW 方向	妻壁の土水圧最大時

2. 耐震評価による検証

2.1 抽出事象

構造物に対して大きな外力が生じると想定される事象として、抽出した照査時刻の事象一覧を表 2-1 に示す。抽出事象の概念図を図 2-1 に示す。

構造物の変形に影響を与える事象として、側壁に作用する土水圧及び地盤せん断力、頂版に作用する地盤せん断力及び慣性力が挙げられる。本検討では、構造物の変形に大きな影響を与える水平方向の荷重に着目し、側壁に作用する土水圧及び頂版に作用する地盤せん断力を着目事象とする。

慣性力については、補機冷却用海水取水路が地中埋設構造物で土被りも厚く、また、間接支持する機器・配管もないことから、慣性力が構造物の変形に与える影響は比較的小さいと考えられるため、着目事象からは除外する。

また、EW 断面については、補機冷却用海水取水路がタービン建屋と隣接していることから、図 2-1 に示すとおり、頂版の地盤せん断変形は拘束を受けると考えられるため、着目事象としては除外する。

表 2-1 照査時刻の抽出事象一覧

	加振方向	抽出事象	卓越すると想定される荷重
採用事象	NS 方向	妻壁の面内せん断応力最大時	・土水圧
	EW 方向	妻壁に作用する土水圧最大時	・土水圧
検証用抽出事象	NS 方向	側壁に作用する土水圧最大時	・土水圧
		頂版に作用するせん断力最大時	・土圧

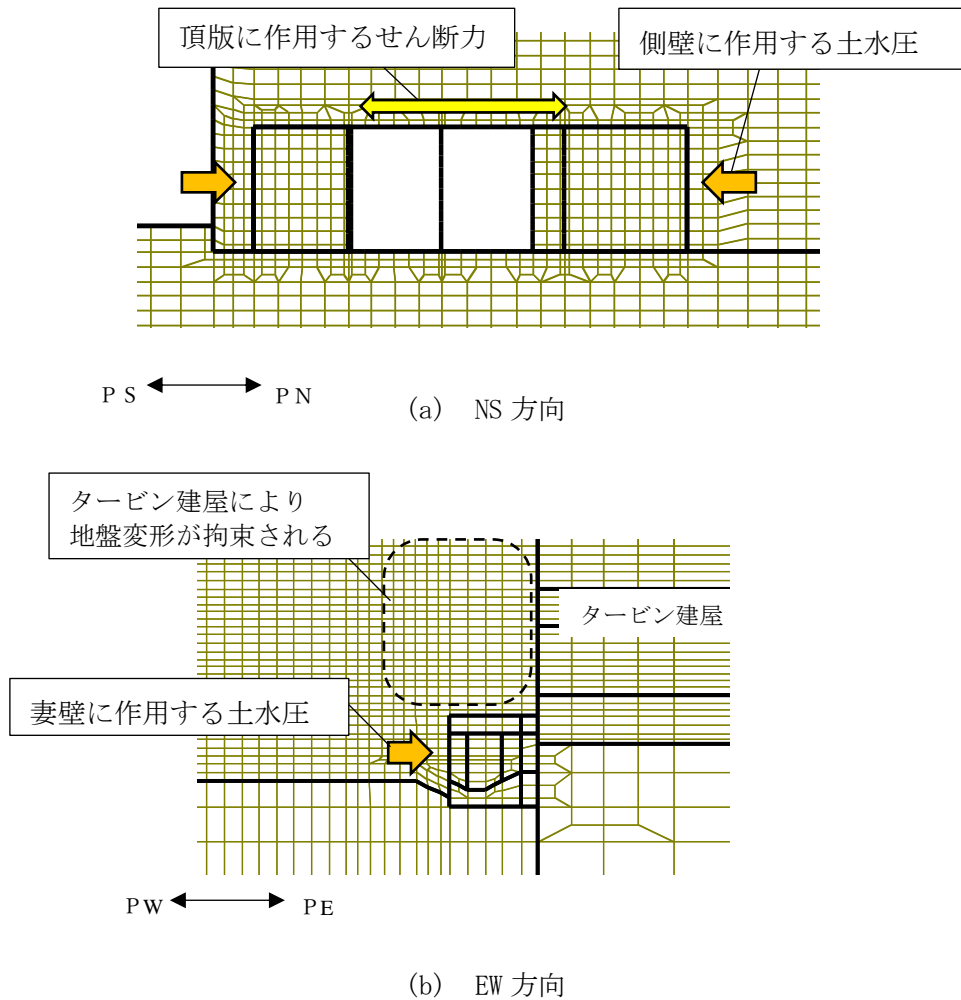


図 2-1 構造物に作用する主要な外力の概念図

## 2.2 検証方法

検証は、前述 2.1 に示した各事象について、地震応答解析の応答値から各事象が最大となる時刻を算定し、3次元構造解析により同時刻の曲げ軸力照査及びせん断力照査を実施する。算定した照査値を比較し、照査値が最大となる事象を確認する。検証フローを図 2-2 に示す。

検証ケースは、補機冷却用海水取水路の北側及び南側で、それぞれ照査値が最大となった解析ケース、地震動とする。

着目する部材については、図 2-3 に示す変形図のとおり、妻壁が底版を押し込む変形により、開口部付近の底版におけるせん断力が厳しくなることが想定されたことから、底版を対象とする。

検証ケースを表 2-2 に示す。

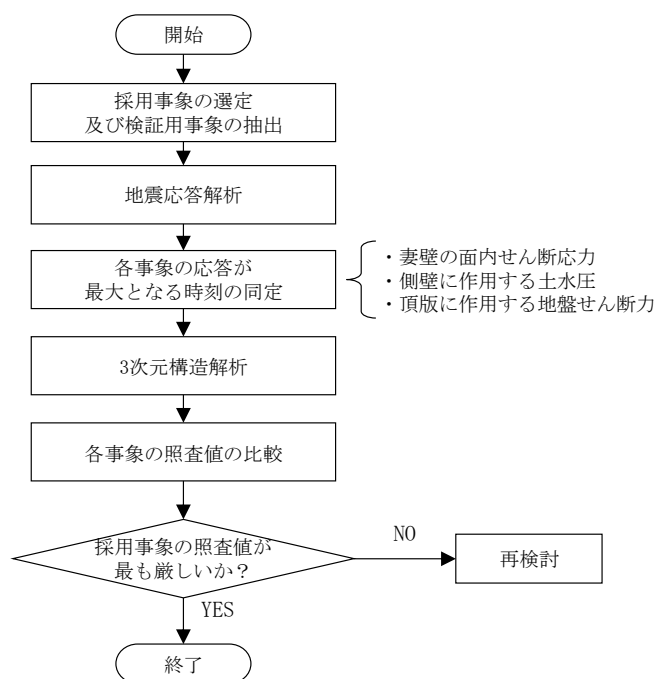


図 2-2 照査時刻の検証フロー

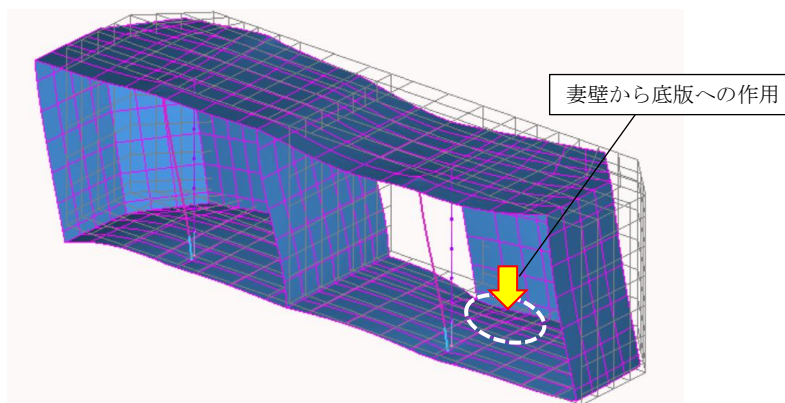


図 2-3 3次元構造解析の変形図の一例

(補機冷却用海水取水路 (北側)) 変形倍率: 500 倍

表 2-2 検証ケース

対象	解析ケース	入力地震動	部材
補機冷却用海水取水路（南側）	解析ケース②	Ss-1+-	底版
補機冷却用海水取水路（北側）	解析ケース④	Ss-1+-	底版

2.3 検証結果

各抽出事象に対する 3次元構造解析による照査結果一覧を表 2-3 に示す。

曲げ軸力に対する照査値は、いずれの事象においても 0.1 以下であることから、ここでは、せん断力に対する照査結果に着目する。

これより、水路軸直交方向となる NS 方向では、補機冷却用海水取水路北側及び南側ともに、妻壁の面内せん断応力が最大となる時刻で、着目部材の照査値が最大となることを確認した。

照査値が最大となる事象である妻壁の面内せん断応力最大時の作用荷重の分布を、図 2-4 ~ 図 2-5 に示す。

表 2-3 各抽出事象に対する照査結果一覧

(a) 補機冷却用海水取水路（南側）（解析ケース② S s -1+-：底版）

	抽出事象	解析断面	事象	照査時刻 (s)	曲げ照査値	せん断力照査値
採用事象	土水圧による荷重最大	NS 断面	妻壁の面内せん断応力最大時	5.67	0.017	<b>0.59</b>
		EW 断面	妻壁に作用する土水圧最大時	9.29	0.010	0.35
検証用抽出事象	土水圧による荷重最大	NS 断面	頂版に作用するせん断力最大時（作用方向*：+）	2.88	0.007	0.23
			頂版に作用するせん断力最大時（作用方向*：-）	1.73	0.008	0.27
			側壁に作用する土水圧最大時（作用方向*：+）	9.14	0.016	0.35
			側壁に作用する土水圧最大時（作用方向*：-）	18.57	<b>0.021</b>	0.48
			妻壁の面内せん断応力最大時（変形方向：+）	6.13	0.014	0.36

注記\*：土水圧の作用方向は S→N 方向を+とし、N→S 方向を-とする。

(b) 補機冷却用海水取水路（北側）（解析ケース④ S s -1+-：底版）

	抽出事象	解析断面	事象	照査時刻 (s)	曲げ照査値	せん断力照査値
採用事象	土水圧による荷重最大	NS 断面	妻壁の面内せん断応力最大時	<b>5.70</b>	<b>0.021</b>	<b>0.76</b>
		EW 断面	妻壁に作用する土水圧最大時	5.00	0.018	0.60
検証用抽出事象	土水圧による荷重最大	NS 断面	頂版に作用するせん断力最大時（作用方向*：+）	6.51	0.016	0.36
			頂版に作用するせん断力最大時（作用方向*：-）	5.74	0.019	0.69
			側壁に作用する土水圧最大時（作用方向*：+）	4.78	0.014	0.30
			側壁に作用する土水圧最大時（作用方向*：-）	6.87	0.018	0.67
			妻壁の面内せん断応力最大時（変形方向：+）	<b>4.76</b>	0.015	0.33

注記\*：土水圧の作用方向は S→N 方向を+とし、N→S 方向を-とする。



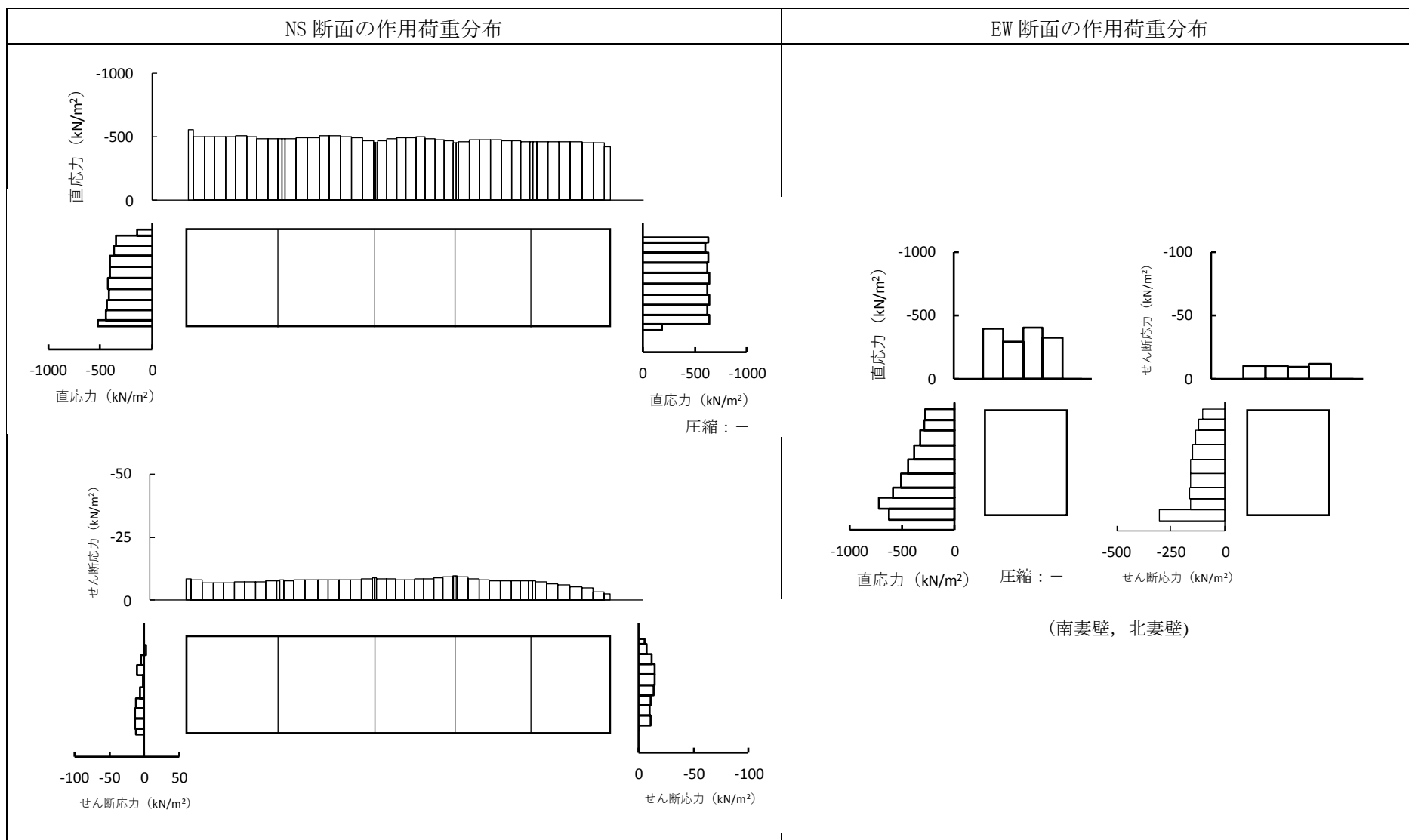


図 2-4 妻壁の面内せん断応力最大時の作用荷重の分布 (補機冷却用海水取水路 (南側))

(照査時刻=5.67s)

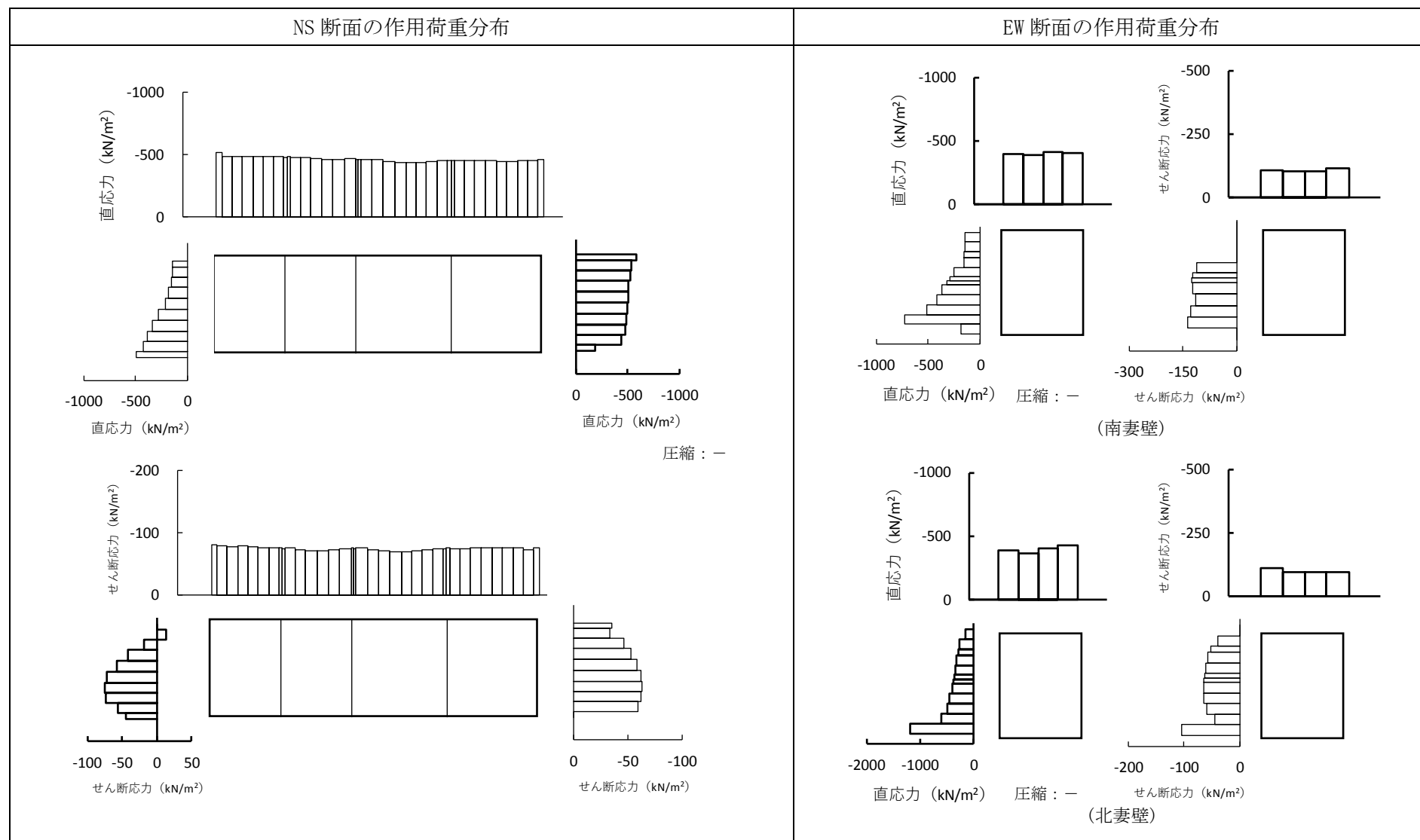


図 2-5 妻壁の面内せん断応力最大時の作用荷重の分布 (補機冷却用海水取水路 (北側))

(照査時刻=5.70s)

### 3. まとめ

補機冷却用海水取水路の選定した照査時刻の妥当性確認として、補機冷却用海水取水路に対して大きな外力が生じると想定される事象を抽出し、各事象の発生時刻におけるせん断力に対する照査値の比較を行った。

その結果、NS断面では、着目部材において照査値が最大となる時刻は、補機冷却用海水取水路の南側及び北側ともに妻壁の面内せん断応力最大時であることを確認した。なお、EW断面については、地盤のせん断変形が補機冷却用海水取水路に隣接するタービン建屋による拘束を受けるため、妻壁に作用する水平方向の土水圧による影響が卓越することから、妻壁に作用する土水圧の最大時を構造物に最も影響を与える事象として採用した。

以上の結果より、補機冷却用海水取水路の耐震評価における選定した照査時刻は妥当である。