

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添-2-043-10 改2
提出年月日	2020年8月31日

V-2-10-3-1-8 補機冷却用海水取水路の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-10-3-1-8 RI

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

目 次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	11
2.4 適用基準	14
3. 地震応答解析	15
3.1 評価対象断面	15
3.2 解析方法	19
3.2.1 地震応答解析	19
3.2.2 構造部材	19
3.2.3 地盤	21
3.2.4 減衰定数	22
3.2.5 地震応答解析の解析ケースの選定	22
3.3 荷重及び荷重の組合せ	23
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	23
3.3.2 荷重	23
3.3.3 荷重の組合せ	23
3.4 入力地震動	24
3.5 解析モデル及び諸元	51
3.5.1 地震応答解析モデル	51
3.5.2 使用材料及び材料物性値	56
3.5.3 地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の物性値	56
3.6 地震応答解析結果	57
4. 3次元構造解析	61
4.1 評価対象部材	61
4.2 解析方法	63
4.3 解析モデルの諸元	63
4.3.1 解析モデル	63
4.3.2 使用材料及び材料物性値	67
4.4 照査時刻及び入力荷重	68
4.4.1 照査時刻	68
4.4.2 入力荷重	68
4.5 3次元構造解析結果	69
5. 耐震評価	74

5.1 許容限界	74
5.1.1 構造部材の健全性に対する許容限界	74
5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	74
5.2 評価方法	75
6. 耐震評価結果	76
6.1 構造部材の健全性に対する評価結果	76
6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	82

1. 概要

本資料は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」にて設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、補機冷却用海水取水路が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していることを確認するものである。

補機冷却用海水取水路に要求される機能の維持を確認するにあたっては、地震応答解析に基づく構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

補機冷却用海水取水路の位置図を図2-1に示す。

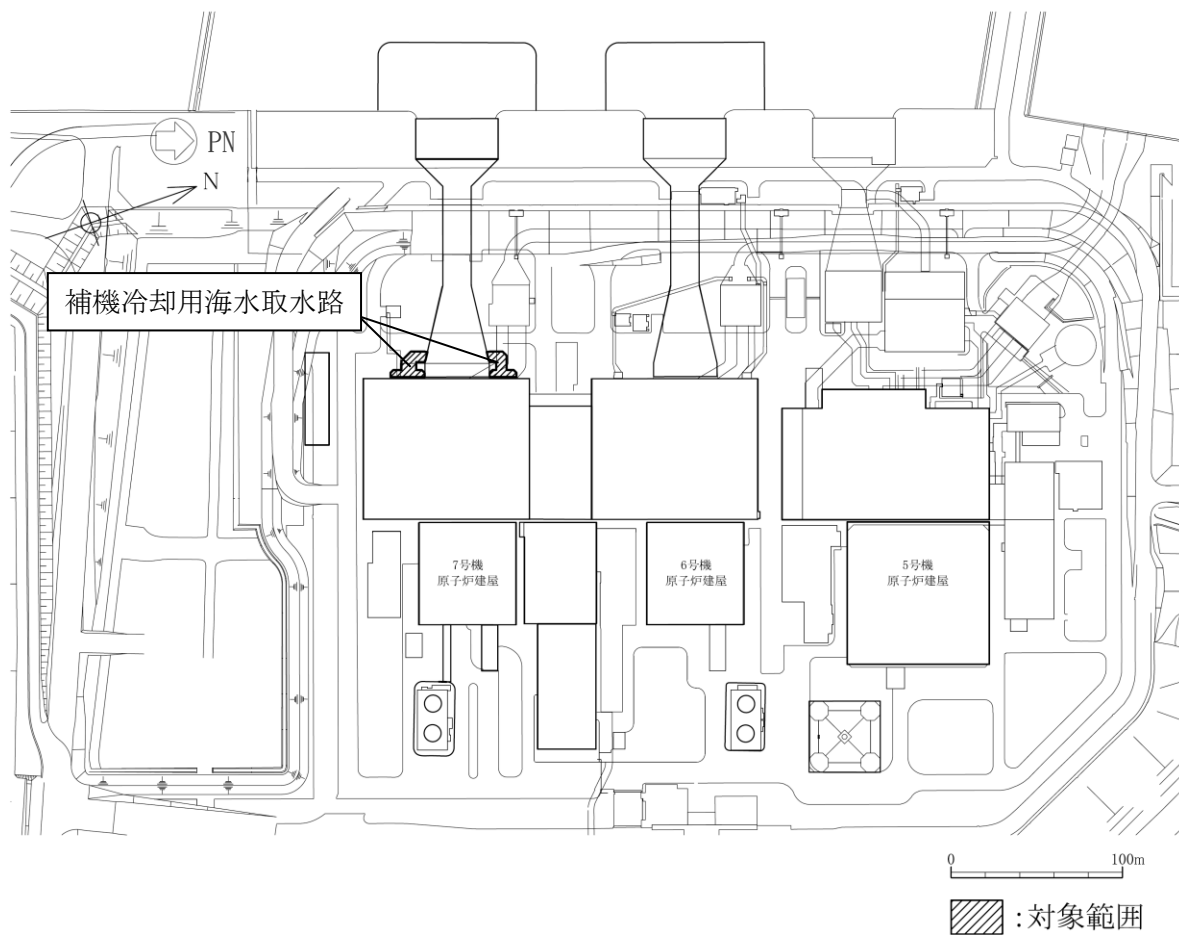


図2-1 補機冷却用海水取水路の位置図（全体平面図）

2.2 構造概要

補機冷却用海水取水路の平面図を図2-2、断面図を図2-3、概略配筋図を図2-4に示す。

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を求められる鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり、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。

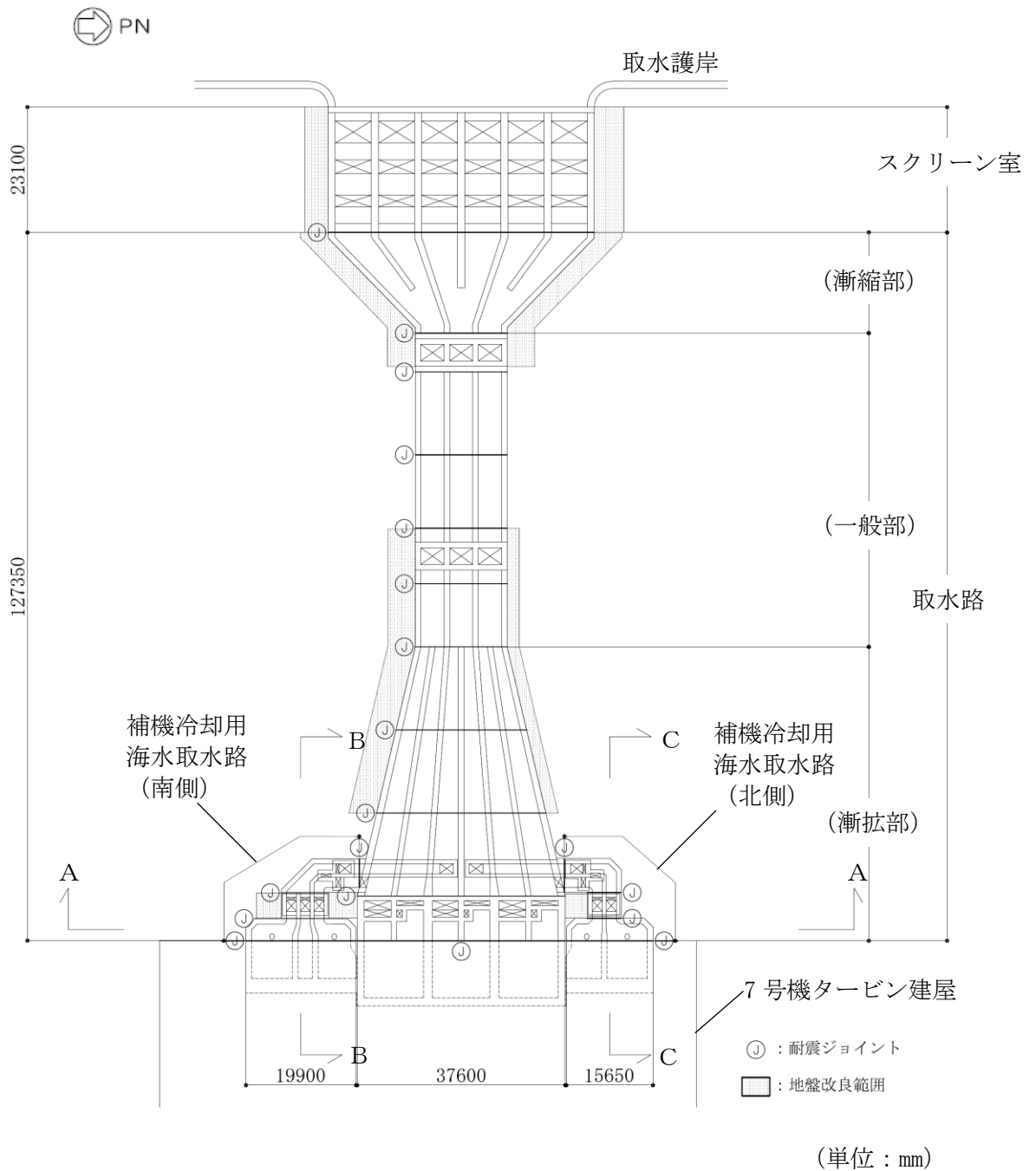
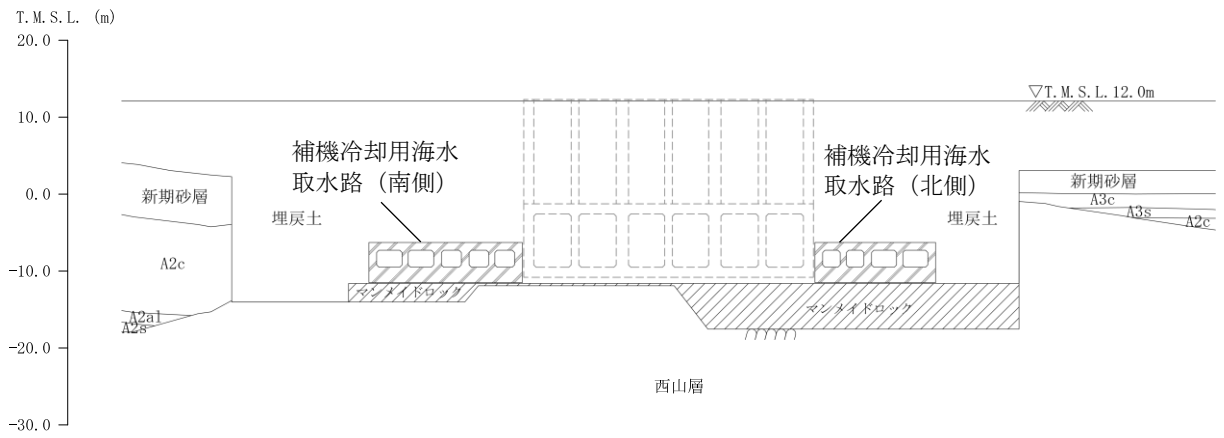
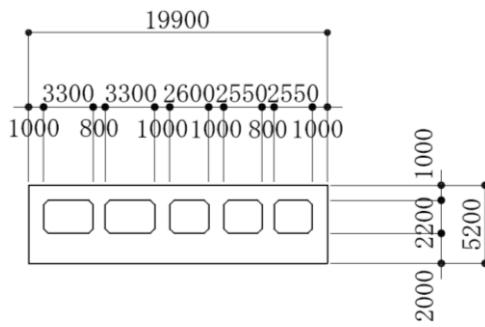


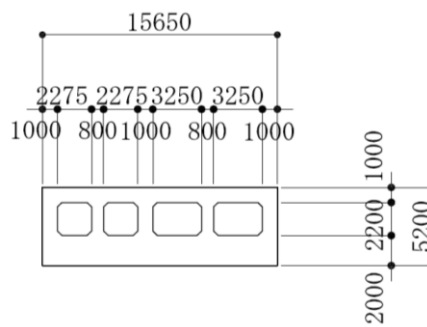
図2-2 補機冷却用海水取水路の平面図



(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)



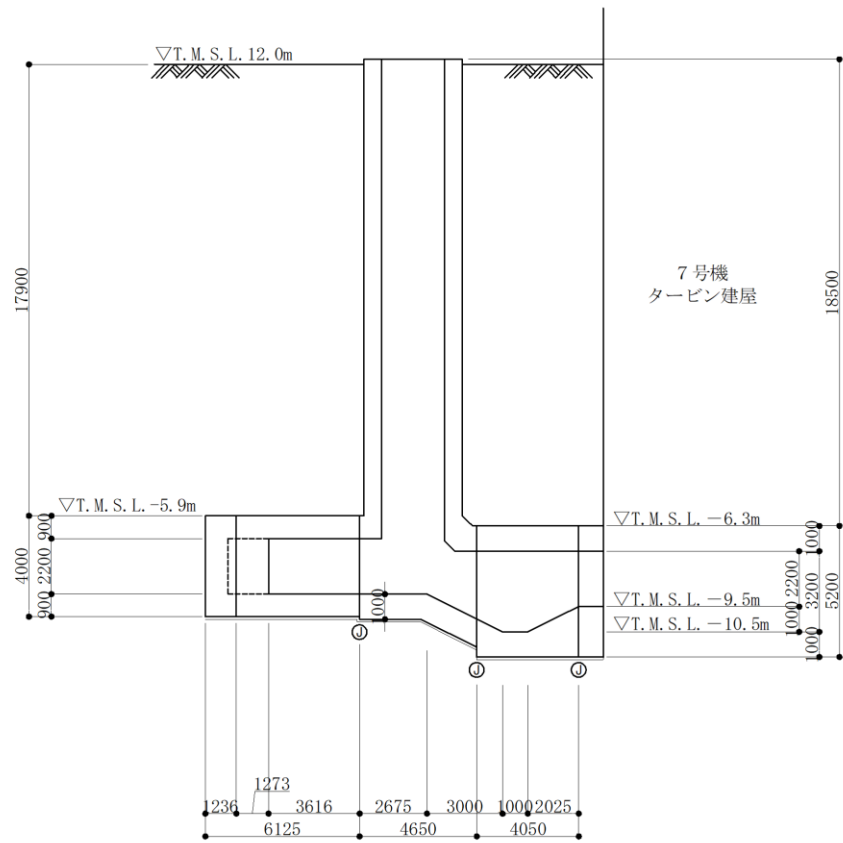
(c) 補機冷却用海水取水路 (北側)

(単位：mm)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図2-3 (1) 補機冷却用海水取水路の断面図 (A-A断面)

K7 ① V-2-10-3-1-8 RI



(単位 : mm)

図 2-3 (2) 補機冷却用海水取水路の断面図 (南側, B-B 断面)

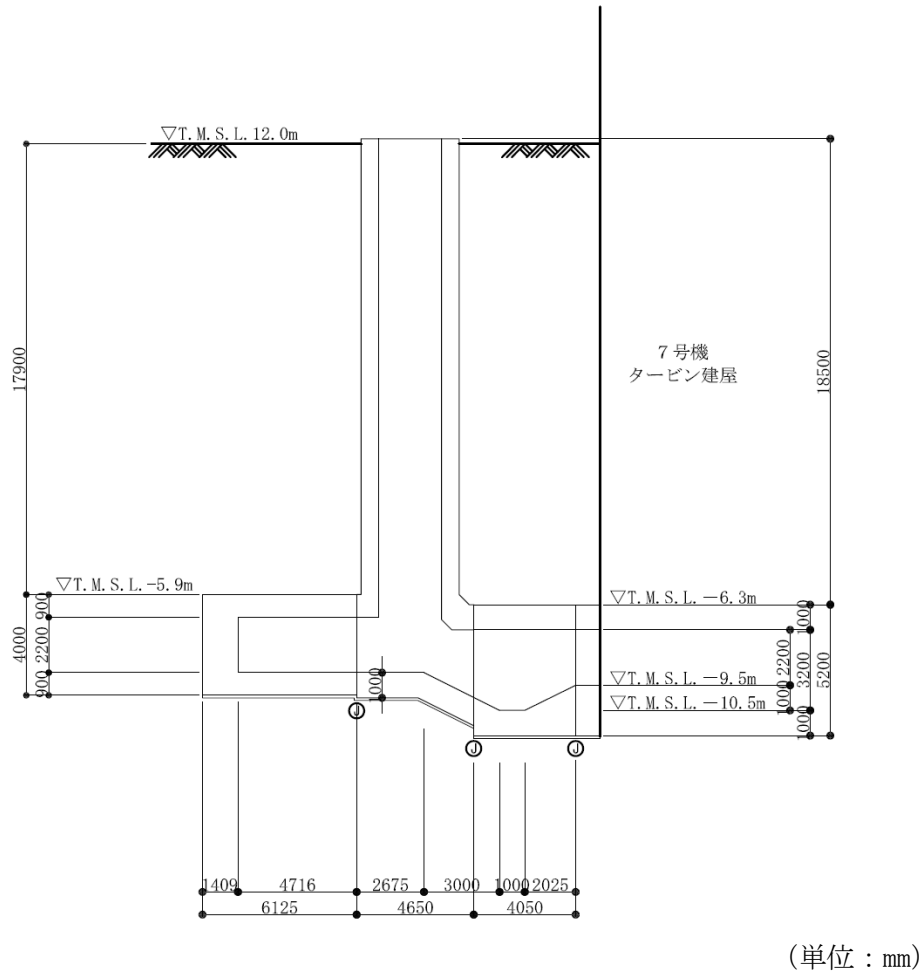
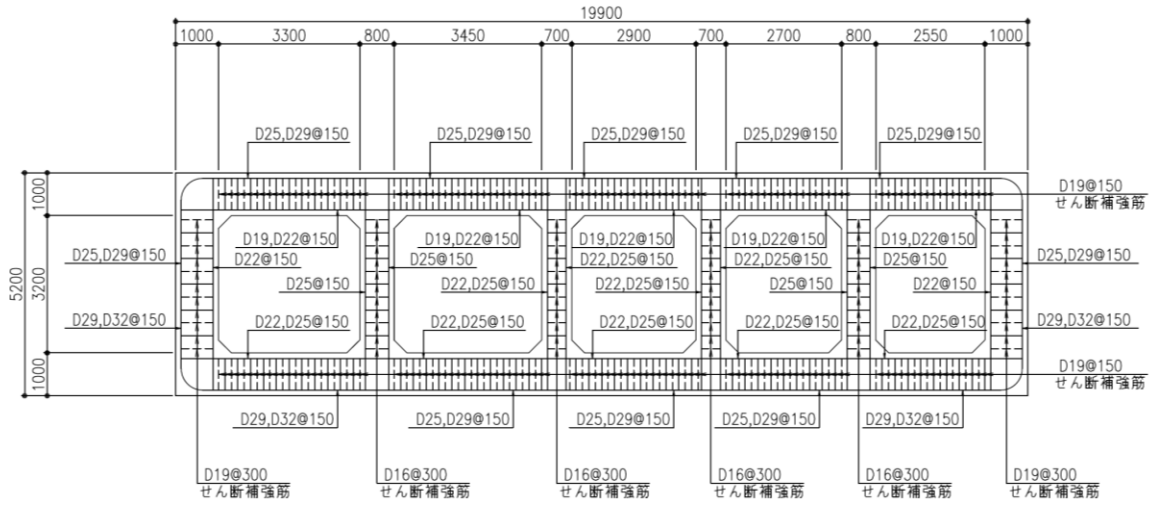
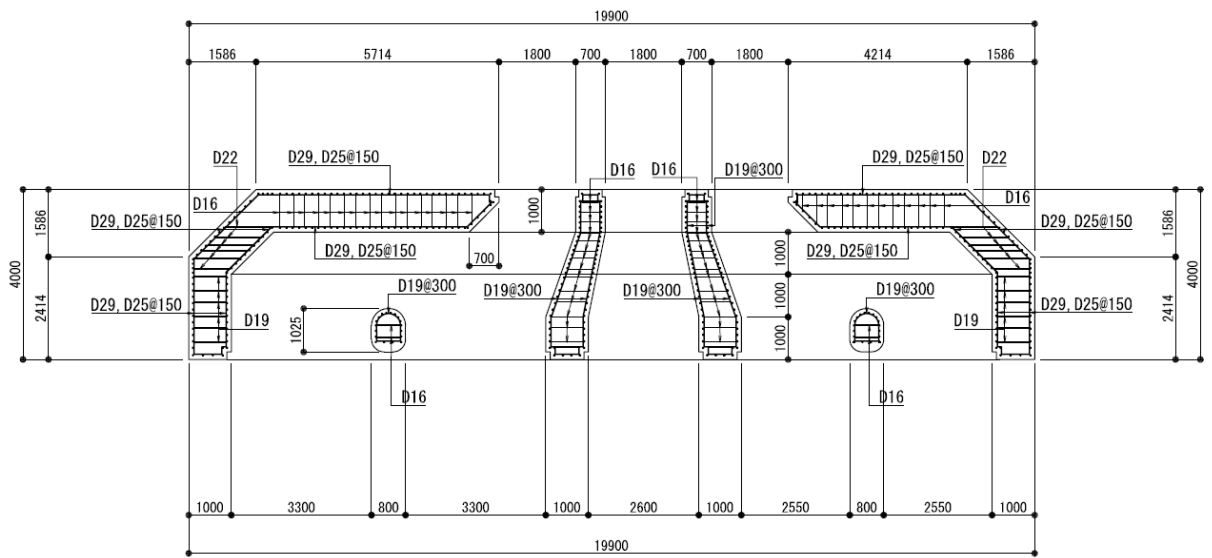


図2-3 (3) 補機冷却用海水取水路の断面図 (北側, C-C断面)



注 1 : 側壁の配力筋方向鉄筋 : D25, D29@150
 注 2 : 隔壁の配力筋方向鉄筋 : D19@300

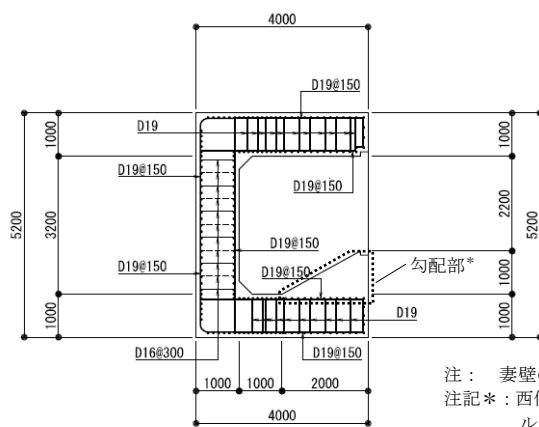
(断面図)



(平面図)

(単位 : mm)

図 2-4 (1) 補機冷却用海水取水路の概略配筋図 (南側)

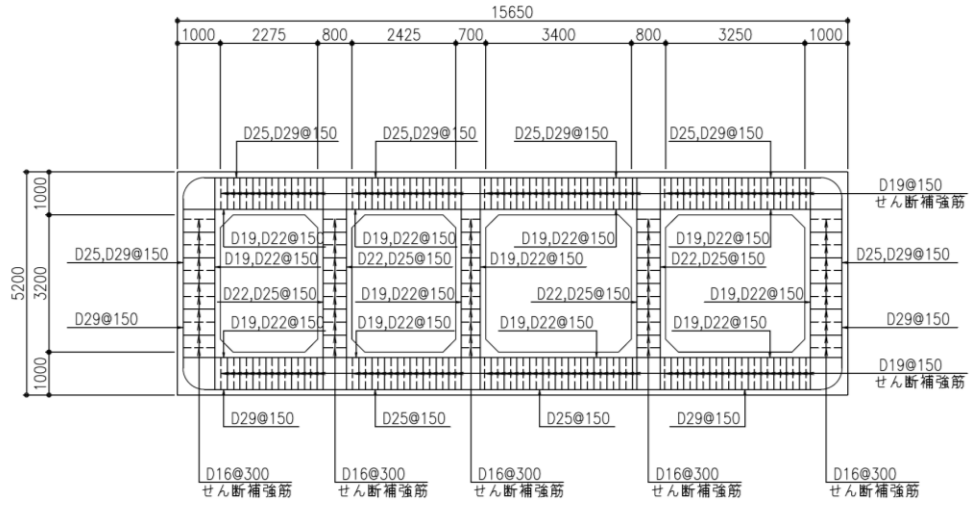


注： 妻壁の配筋方向鉄筋：D25, D29@150
 注記*： 西側及び東側の勾配部は、解析モデル上、構造部材として扱わないことから、配筋は非表示とした。

(断面図)

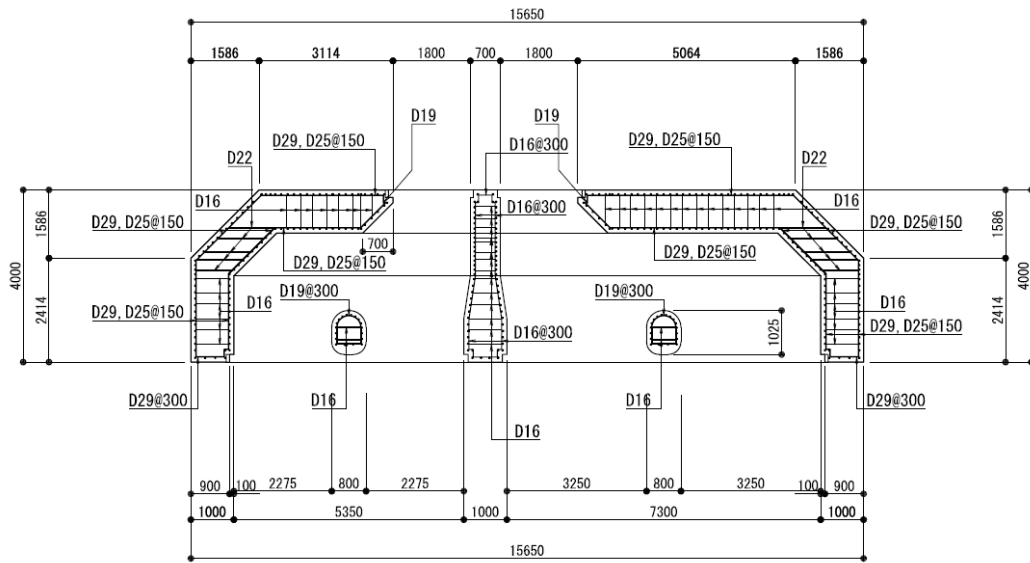
(単位：mm)

図 2-4 (2) 補機冷却用海水取水路の概略配筋図 (南側, 妻壁部)



注 1 : 側壁の配力筋方向鉄筋 : D25, D29@150
 注 2 : 隔壁の配力筋方向鉄筋 : D16@300

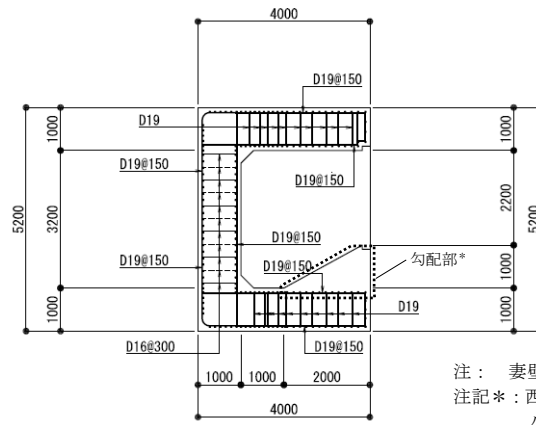
(断面図)



(平面図)

(単位 : mm)

図 2-4 (3) 補機冷却用海水取水路の概略配筋図 (北側)



注： 妻壁の配力筋方向鉄筋：D25, D29@150
 注記*： 西側及び東側の勾配部は、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。

(断面図)

(単位：mm)

図 2-4 (4) 補機冷却用海水取水路の概略配筋図 (北側, 妻壁部)

2.3 評価方針

補機冷却用海水取水路は、設計基準対象施設においては、非常用取水設備である屋外重要土木構造物に、重大事故等対処施設においては、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に分類される。

補機冷却用海水取水路の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設及び重大事故等対処施設の評価として、表 2-1 に示すとおり、構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価を行う。

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地盤剛性及び液状化強度特性は、地盤の代表性及び網羅性を踏まえた上で、ばらつき等を考慮して設定する。

構造部材の健全性評価については、地震応答解析から得られた水平 2 方向及び鉛直方向の荷重を用いた 3 次元非線形シェル要素による静的有限要素法解析（以下「3 次元構造解析」という）を実施し、構造部材に生じるコンクリートひずみ及びせん断力が、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、基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

補機冷却用海水取水路の耐震評価フローを図 2-5 に示す。

ここで、補機冷却用海水取水路は、運転時、設計基準事故時及び重大事故時の状態における圧力、温度等について、耐震評価における手法及び条件に有意な差異はなく、評価は設計基準対象施設の評価結果に包括されることから、設計基準対象施設の評価結果を用いた重大事故等対処施設の評価を行う。

表 2-1 補機冷却用海水取水路の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界	
構造強度を有すること	構造部材の健全性	鉄筋コンクリート部材	コンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認	曲げ軸力	限界ひずみ*
				せん断力	せん断耐力*
				面内せん断力	限界せん断ひずみ*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

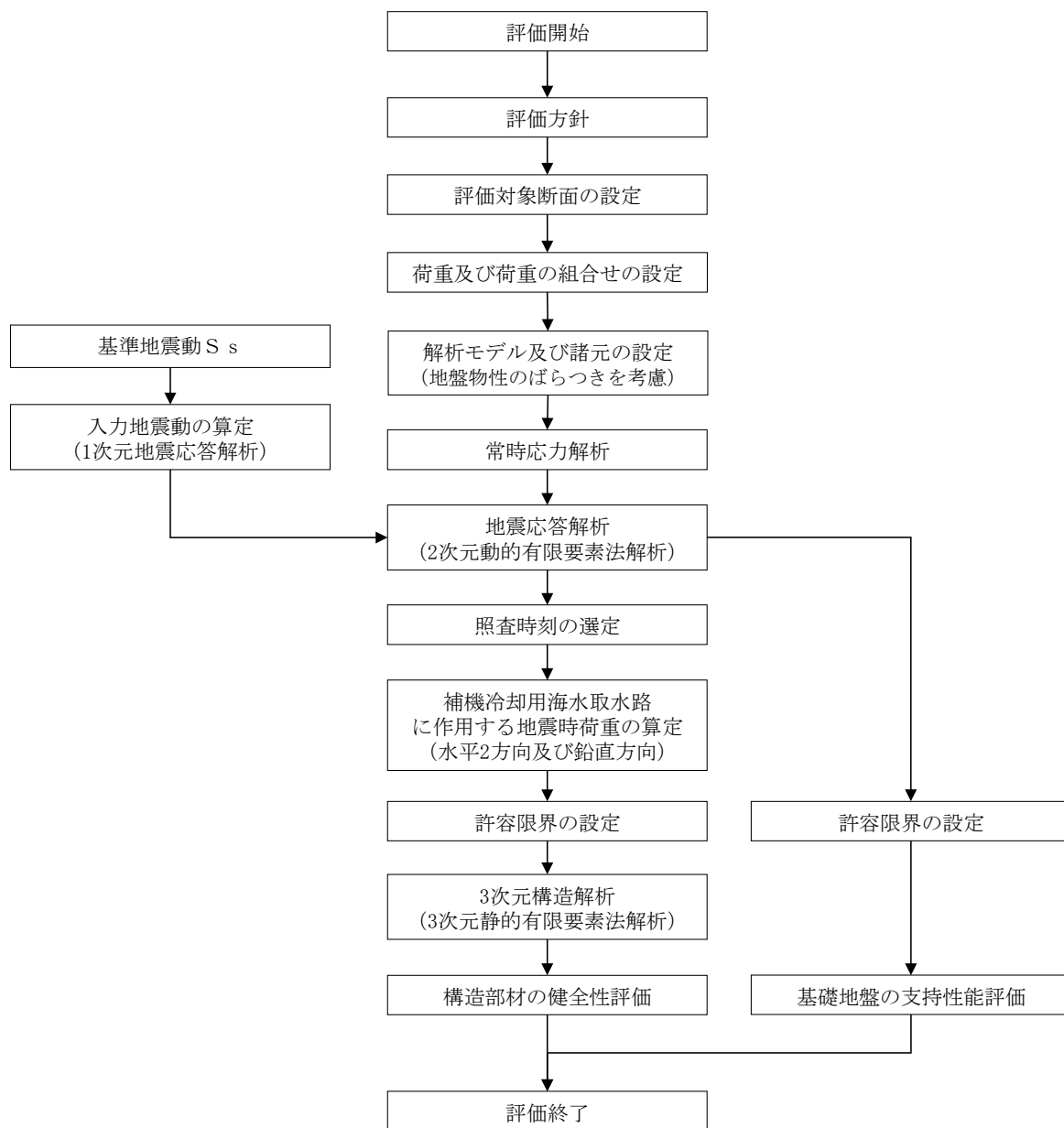


図 2-5 補機冷却用海水取水路の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
- ・コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2012年制定）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・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）
- ・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）

3. 地震応答解析

3.1 評価対象断面

補機冷却用海水取水路の評価対象断面位置を図3-1に示す。構造物の耐震設計における評価対象断面は、図3-1のA-A断面、B-B断面及びC-C断面とする。

評価対象断面図を図3-2に示す。

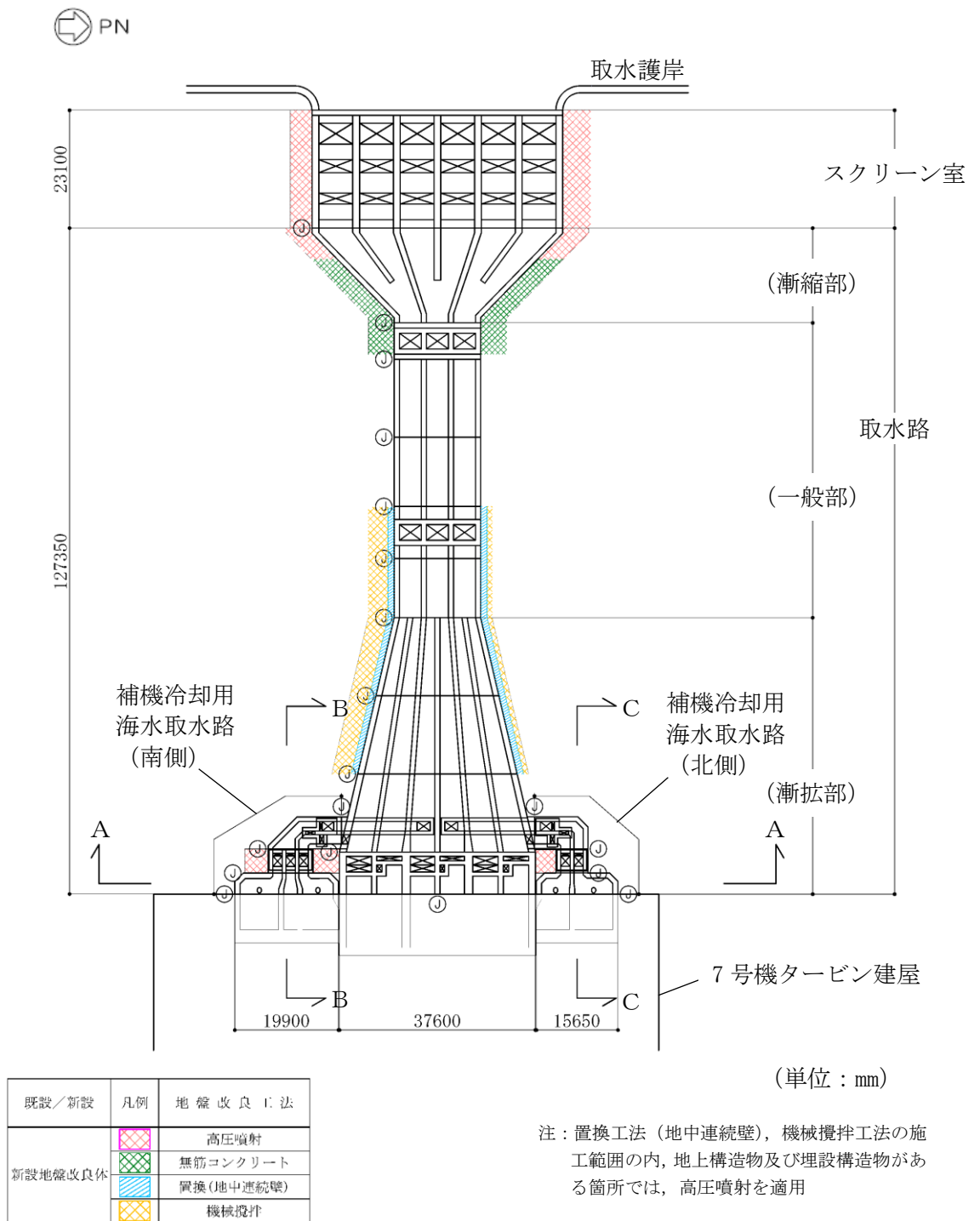


図3-1 補機冷却用海水取水路の評価対象断面位置図

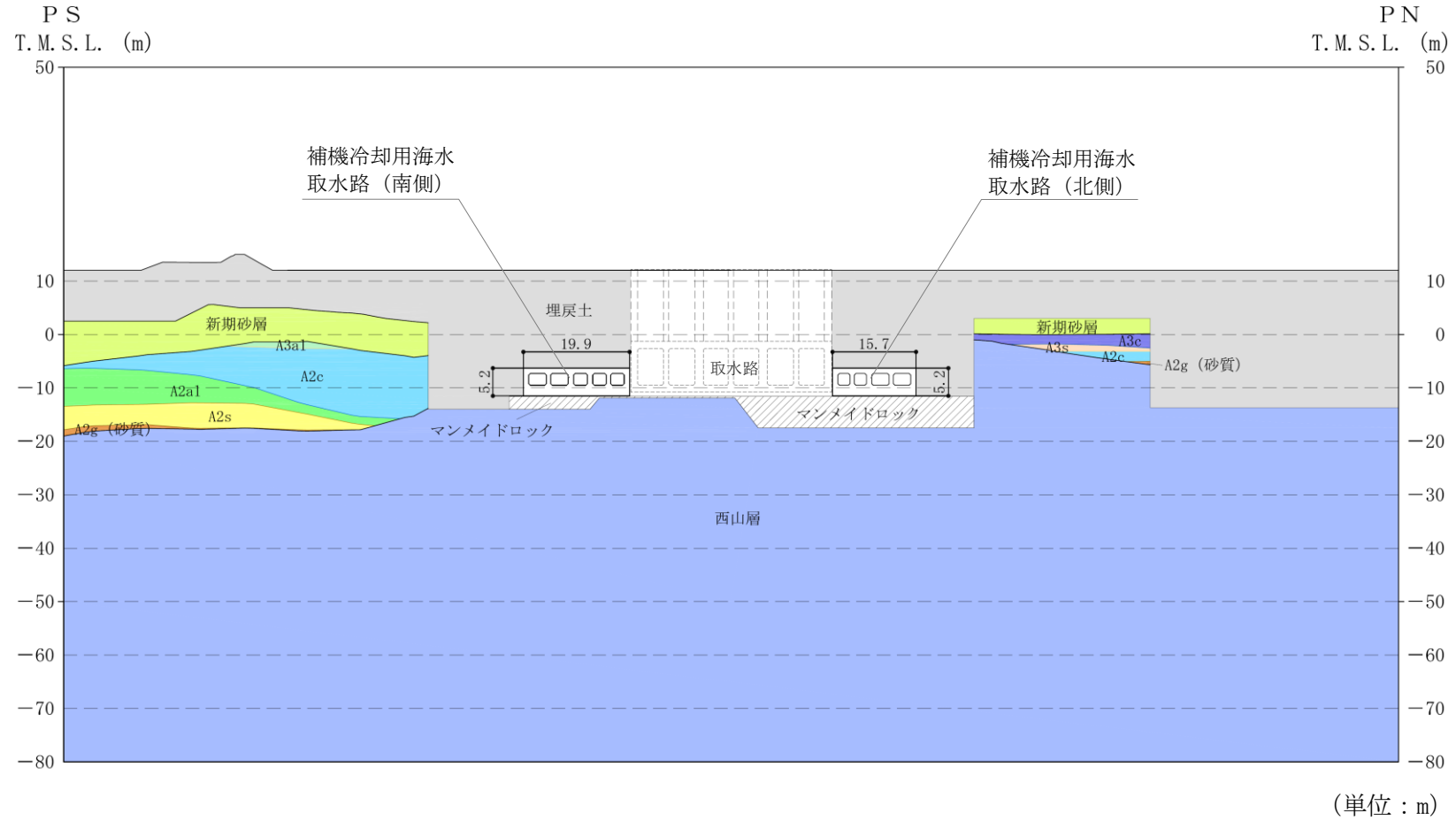
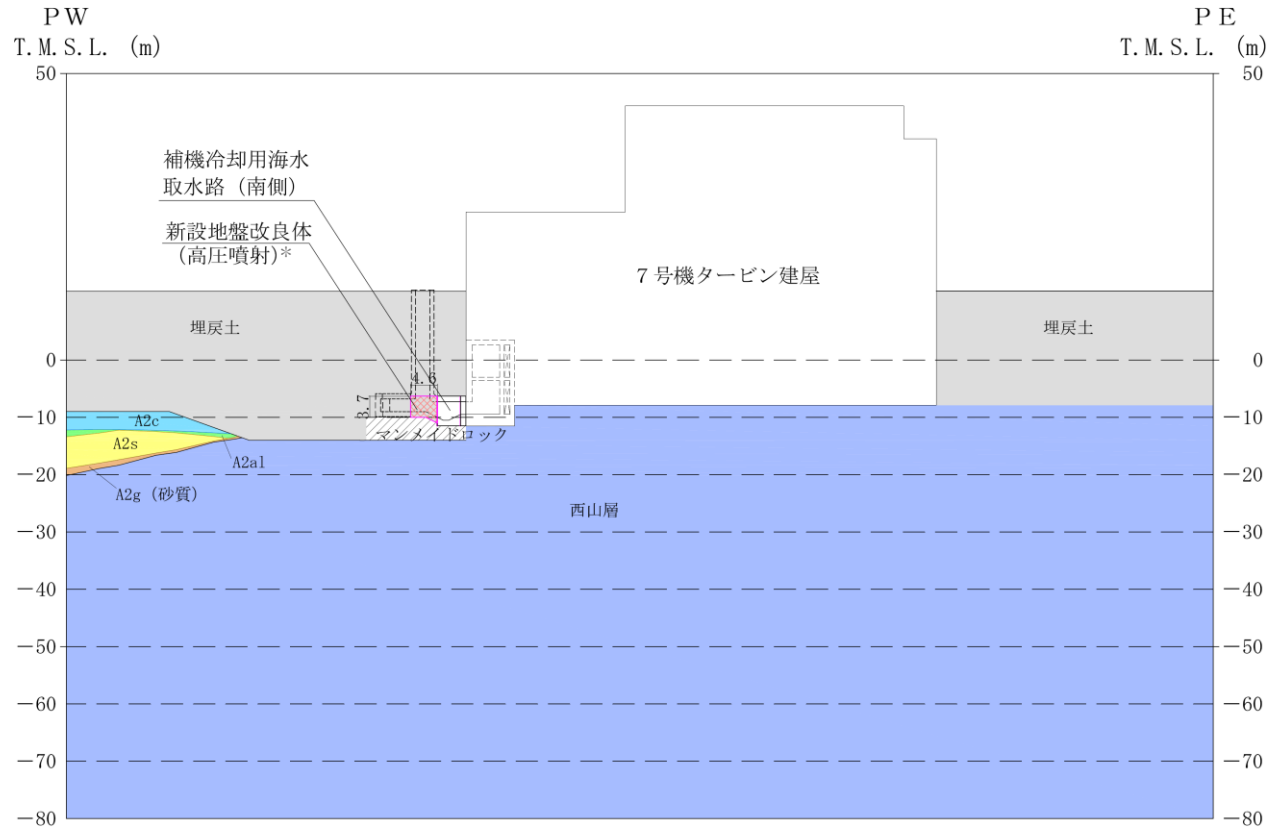


図 3-2 (1) 補機冷却用海水取水路の評価対象断面図 (A-A断面)



注記* : 地盤改良体の投影位置を示す。

(単位 : m)

図 3-2 (2) 補機冷却用海水取水路の評価対象断面図 (南側, B-B 断面)

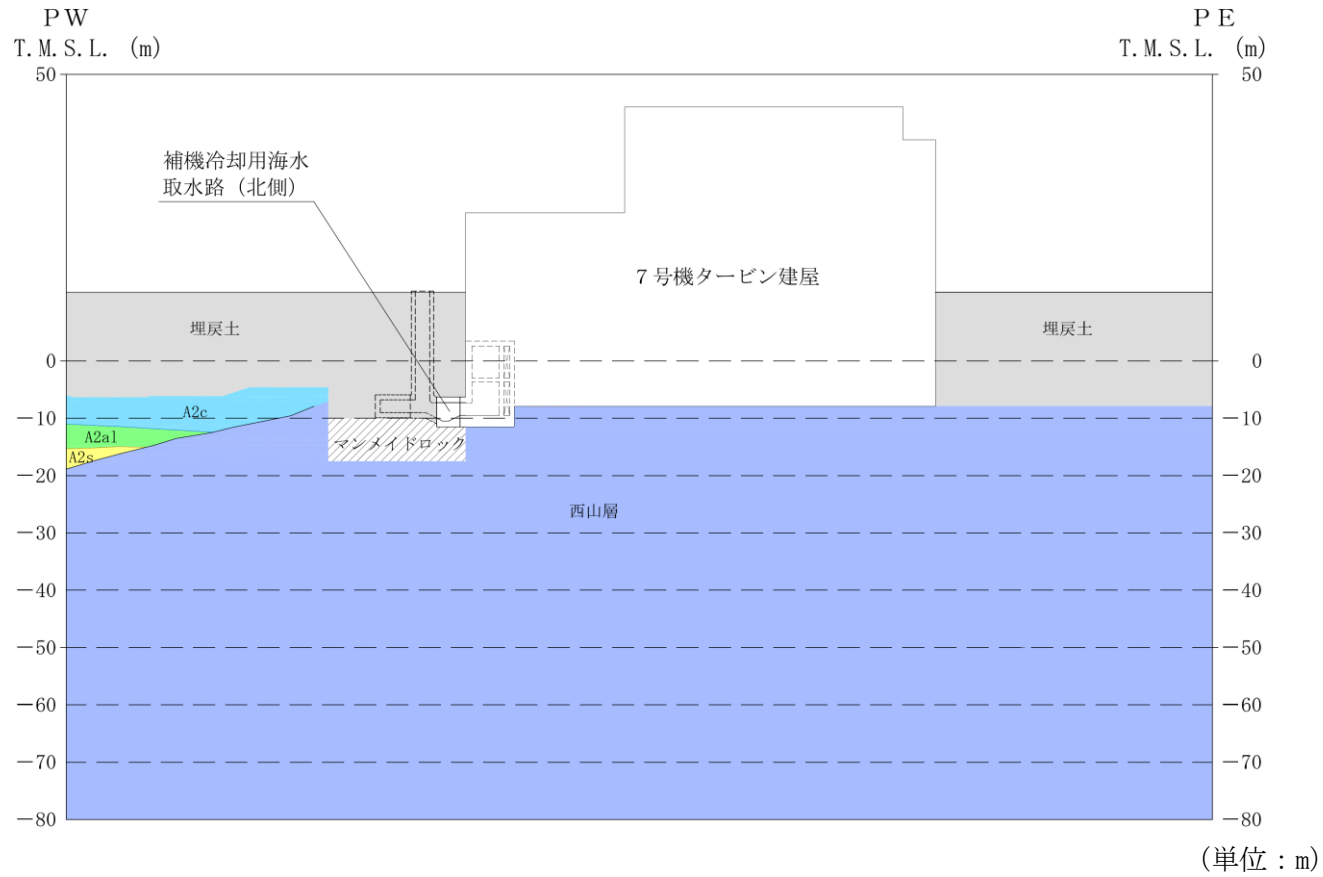


図 3-2 (3) 補機冷却用海水取水路の評価対象断面図 (北側, C-C 断面)

3.2 解析方法

3.2.1 地震応答解析

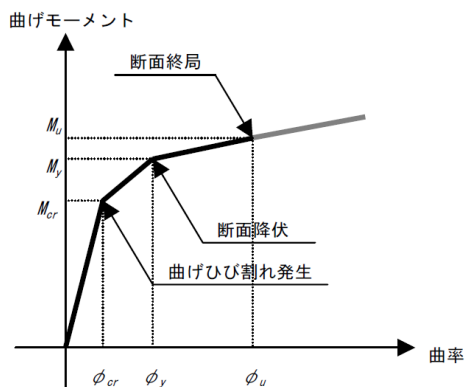
補機冷却用海水取水路の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法解析を用いて、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、非線形はり要素及び線形平面ひずみ要素でモデル化する。非線形はり要素の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。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」を使用する。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

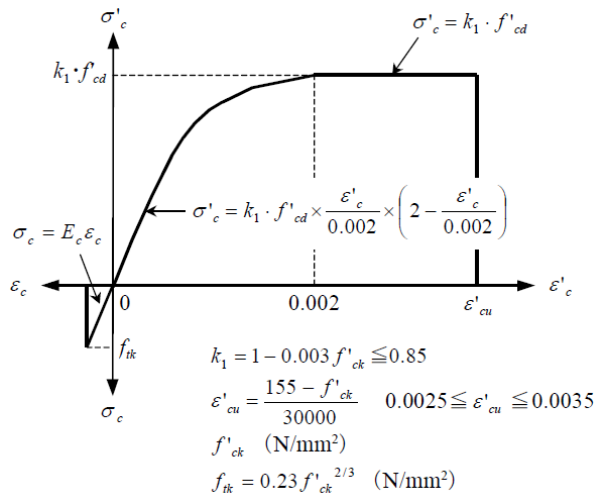
3.2.2 構造部材

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素及び線形平面ひずみ要素でモデル化し、非線形はり要素は図3-3～図3-5に示す非線形特性及び履歴特性を考慮する。



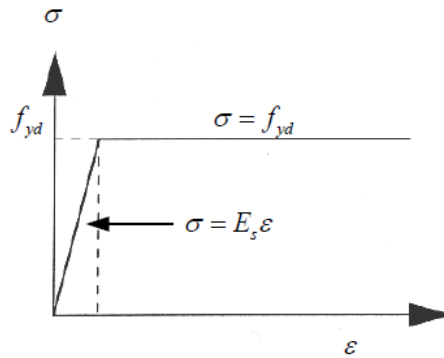
(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）より引用)

図3-3 鉄筋コンクリート部材の $M-\phi$ 関係



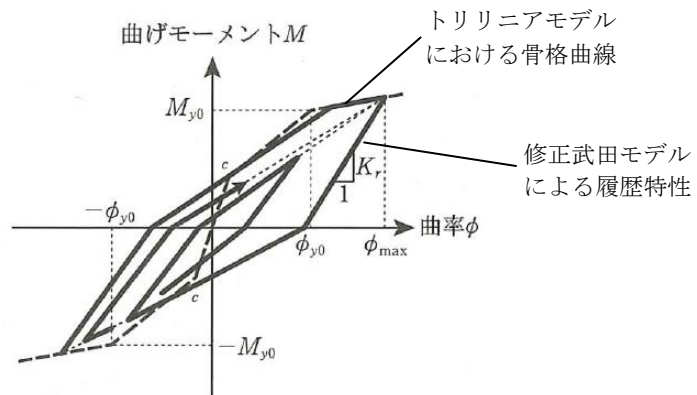
(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

図 3-4 (1) 構造部材の非線形特性 (コンクリートの応力-ひずみ関係)



(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

図 3-4 (2) 構造部材の非線形特性 (鉄筋の応力-ひずみ関係)



(道路橋示方書 (V耐震設計編)・同解説 (日本道路協会, 平成 14 年 3 月) より引用 (一部加筆))

図 3-5 鉄筋コンクリート部材の履歴特性

3.2.3 地盤

地盤については、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双曲線モデル (H-D モデル) を用いる。

また、地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表 3-1 に示す解析ケース (①～⑤) を設定する。

表 3-1 耐震評価における解析ケース

	①	②	③	④	⑤
解析ケース	基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	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 (+1 σ) 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 (+1 σ)	地盤剛性 (-1 σ)	地盤剛性 (平均値)	地盤剛性 (+1 σ)
液状化強度特性の設定	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	液状化強度特性 (-1 σ)	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 σ 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 σ 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 σ を用いて、液状化強度特性を (-1 σ) 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。

3.2.4 減衰定数

減衰特性は、柏崎刈羽原子力発電所における新潟県中越沖地震の地震記録を入力波とした再現解析等を踏まえ、Rayleigh減衰として、 $\alpha=0$ 、 $\beta=0.005$ を設定する。

3.2.5 地震応答解析の解析ケースの選定

耐震評価においては、全ての基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。また、解析ケース①において、曲げ軸力、せん断力、面内せん断力及び基礎地盤の支持性能の全ての評価項目について、各照査値が最も厳しい地震動を用い、解析ケース②～⑤を実施する。最も厳しい照査値の選定は、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。なお、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。

3.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

補機冷却用海水取水路の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

埋設構造物であるため、積雪を考慮しない。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

補機冷却用海水取水路の地震応答解析において、考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重 (G)

固定荷重として、躯体自重を考慮する。

(2) 積載荷重 (P)

積載荷重として、土圧及び水圧による荷重を考慮する。

(3) 地震荷重 (S_s)

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-2に示す。

表3-2 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S _s)	G + P + S _s

G : 固定荷重

P : 積載荷重

S_s : 地震荷重

3.4 入力地震動

入力地震動は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を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。

図3-6に入力地震動算定の概念図を、図3-7に入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを示す。入力地震動の算定には、解析コード「SLOK」を使用する。

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

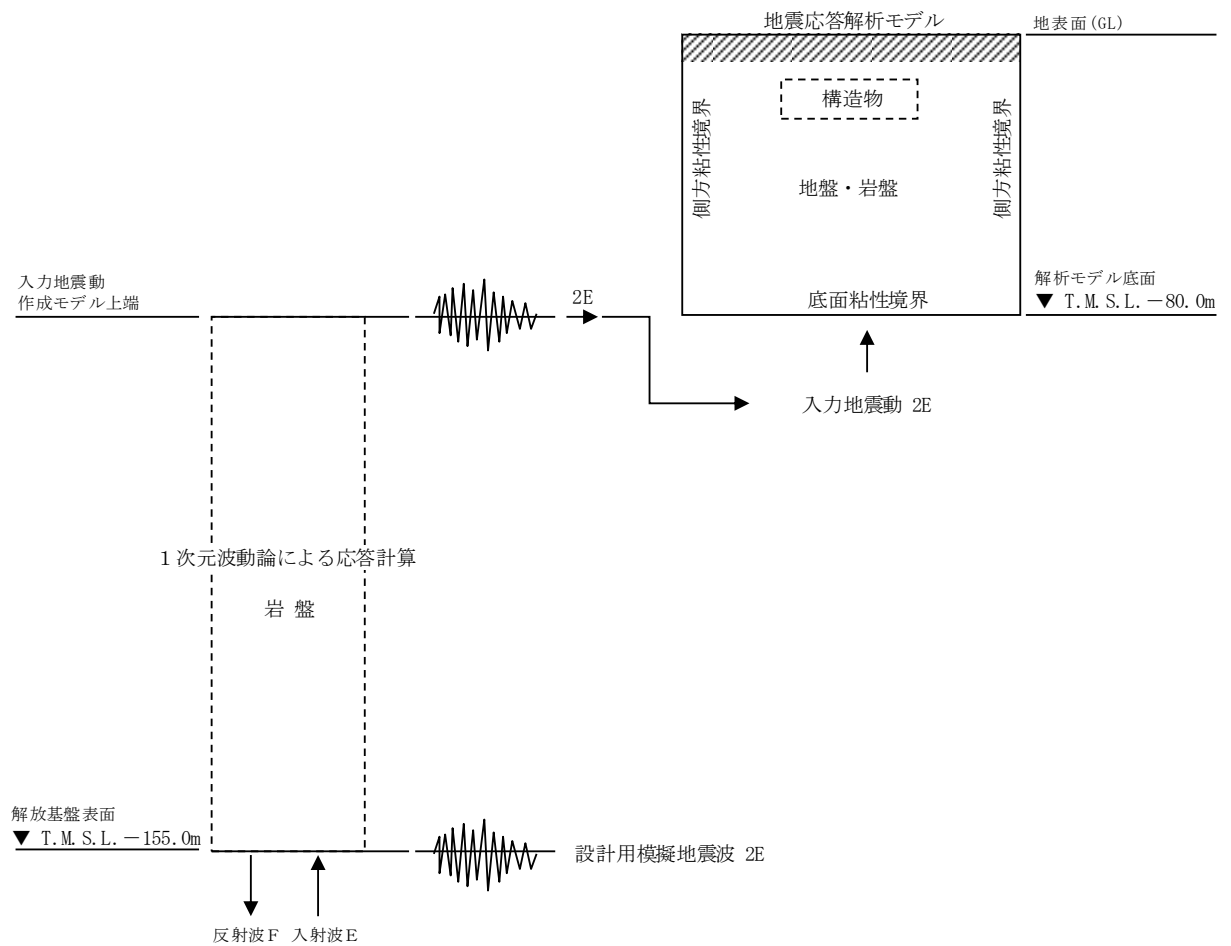
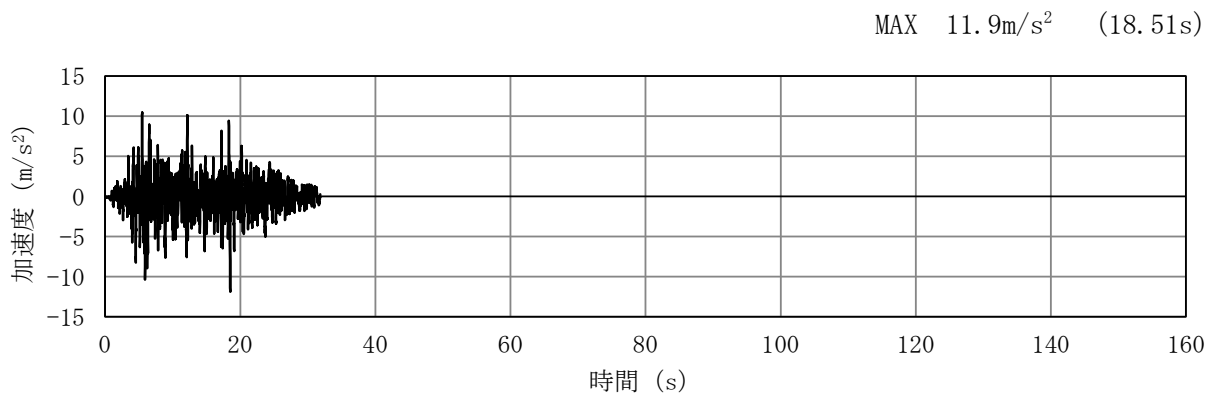
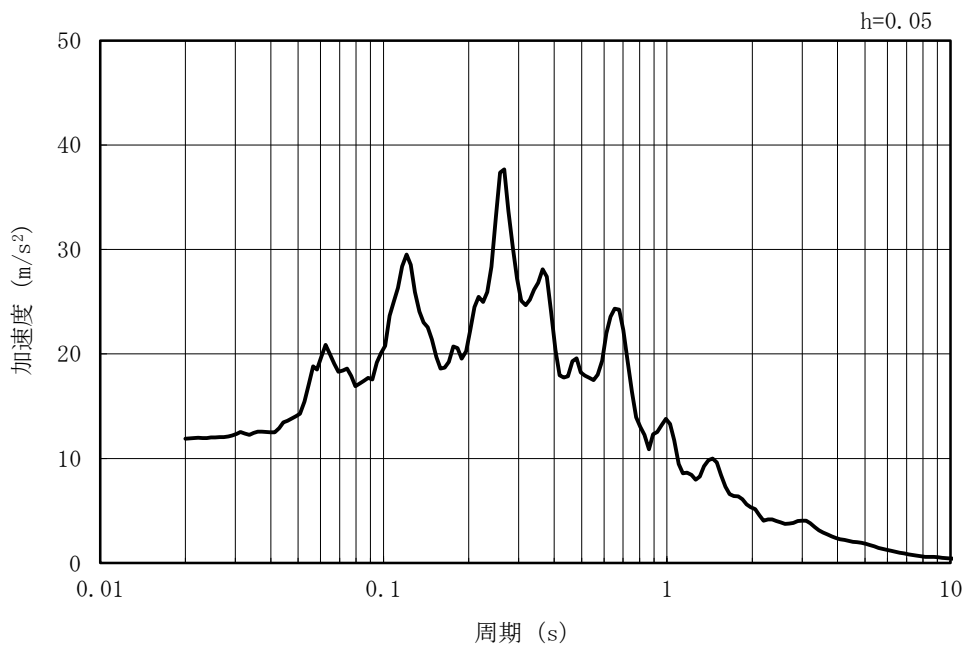


図3-6 入力地震動算定の概念図

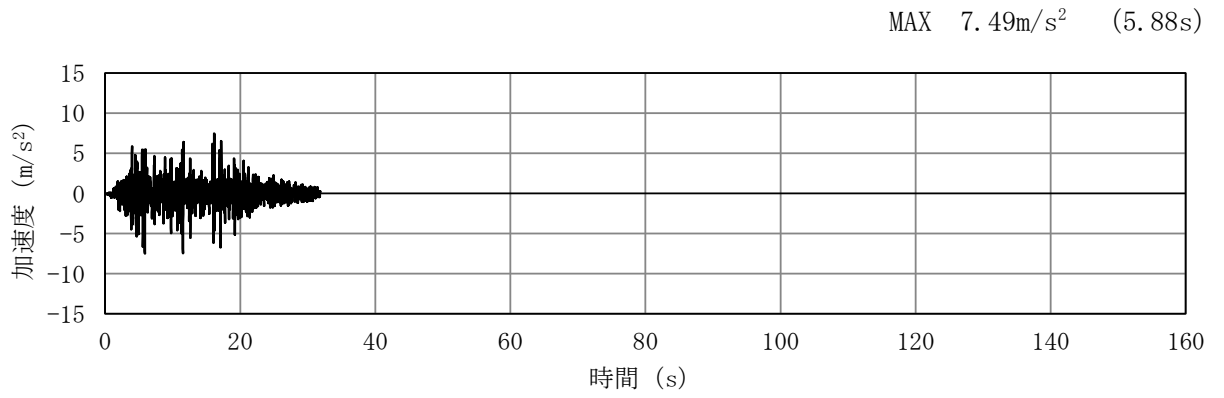


(a) 加速度時刻歴波形

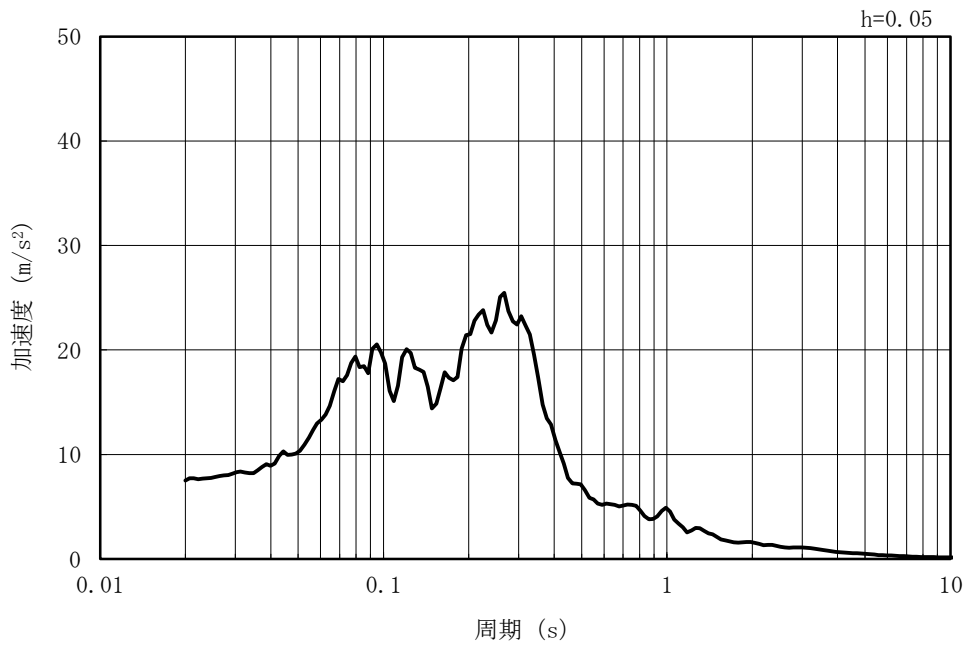


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (1) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-1)

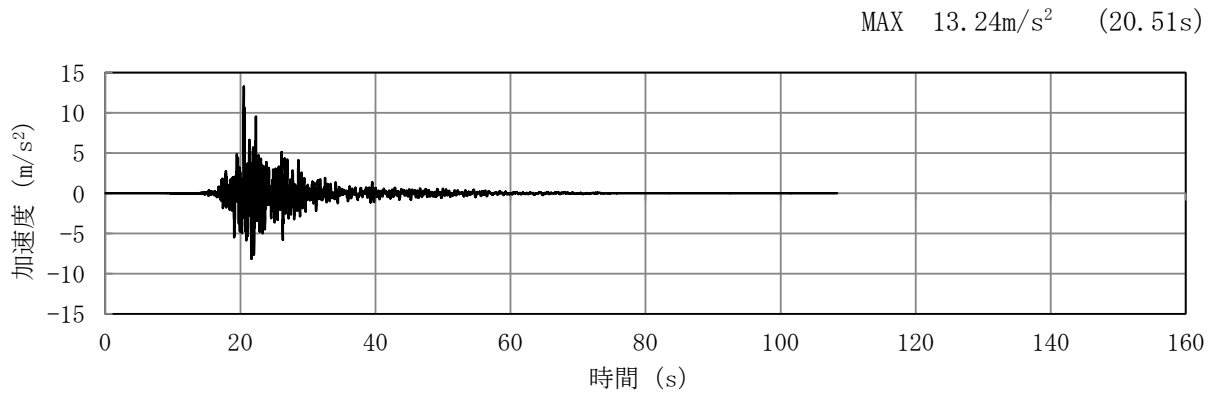


(a) 加速度時刻歴波形

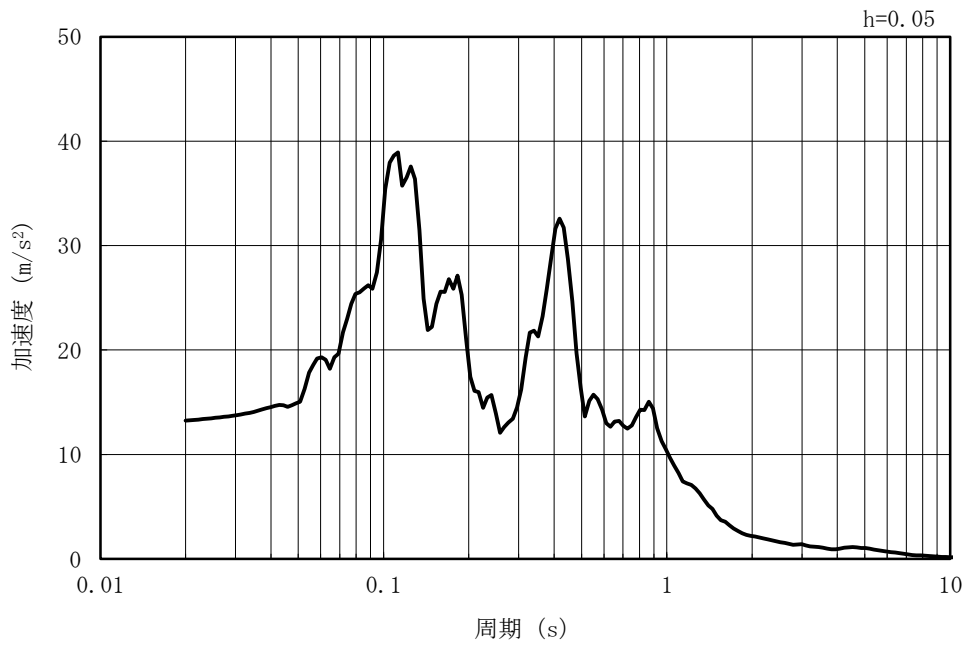


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (2) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-1)

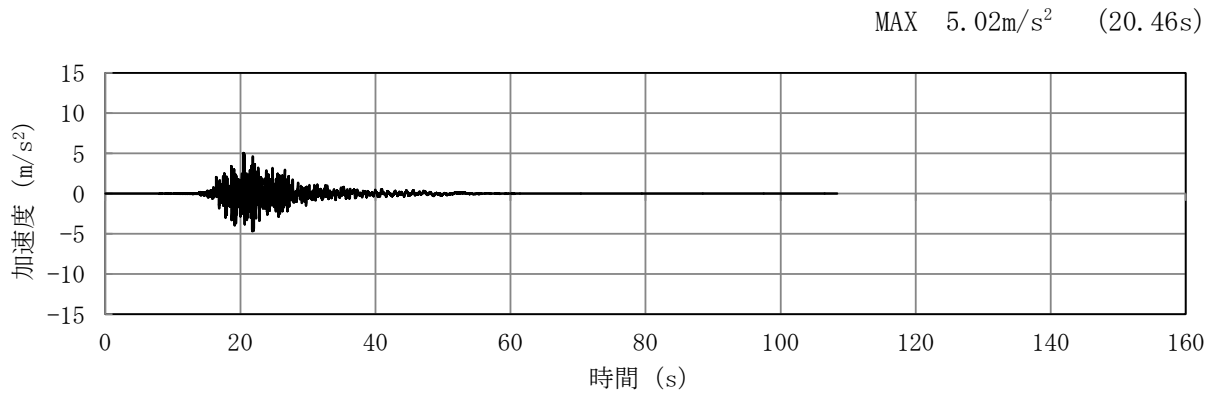


(a) 加速度時刻歴波形

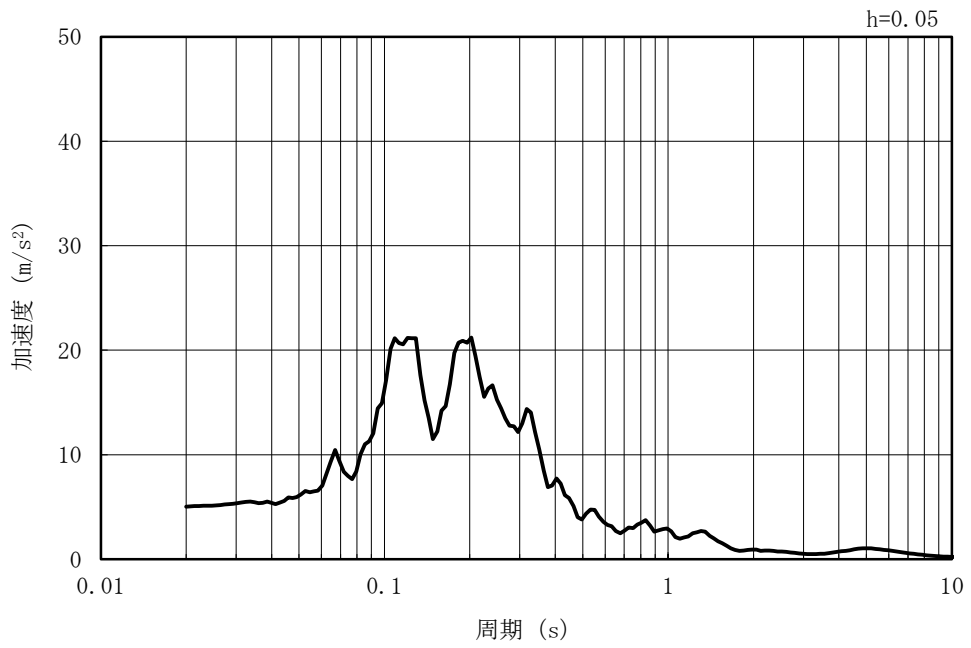


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (3) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-2EW)

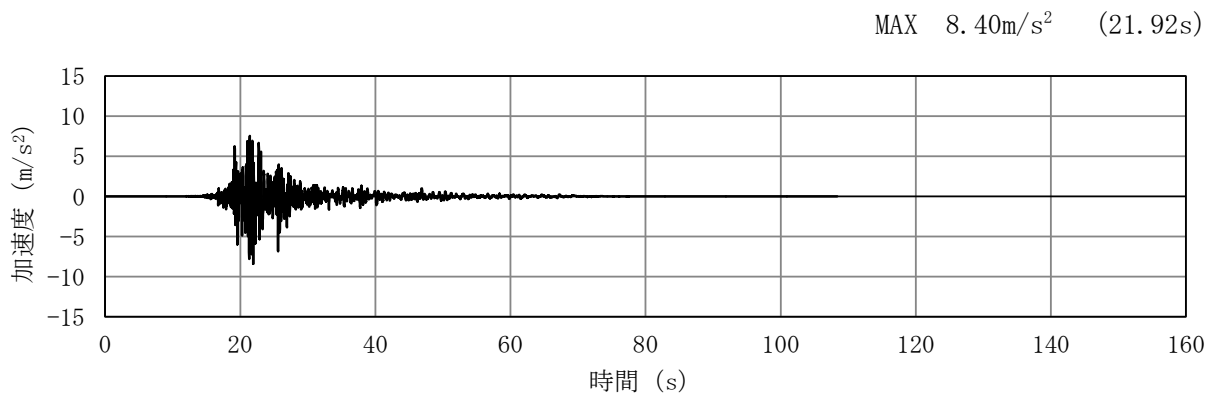


(a) 加速度時刻歴波形

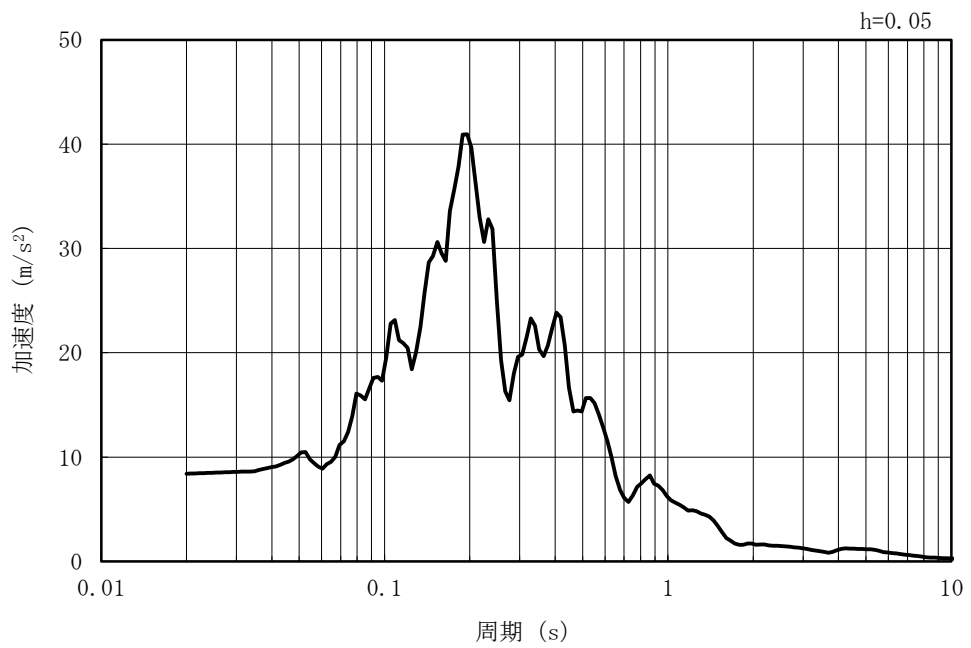


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (4) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-2EW)

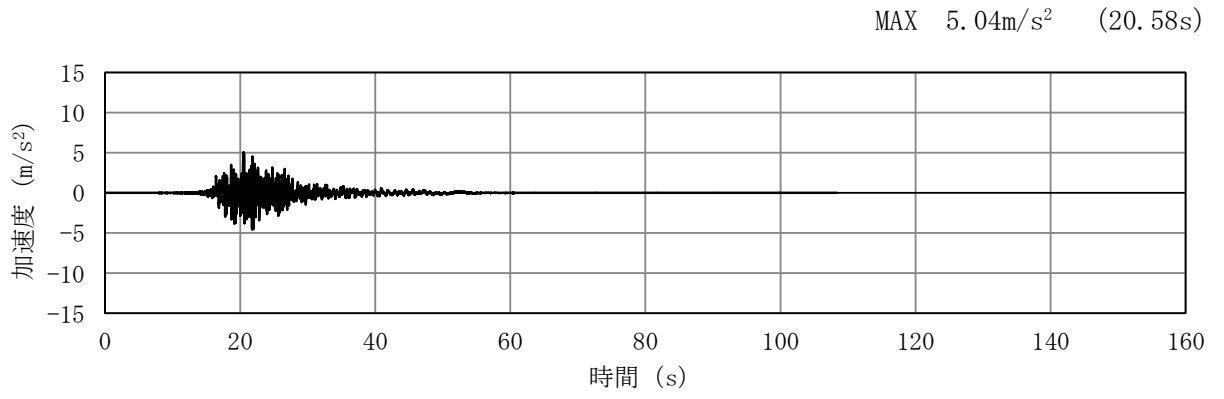


(a) 加速度時刻歴波形

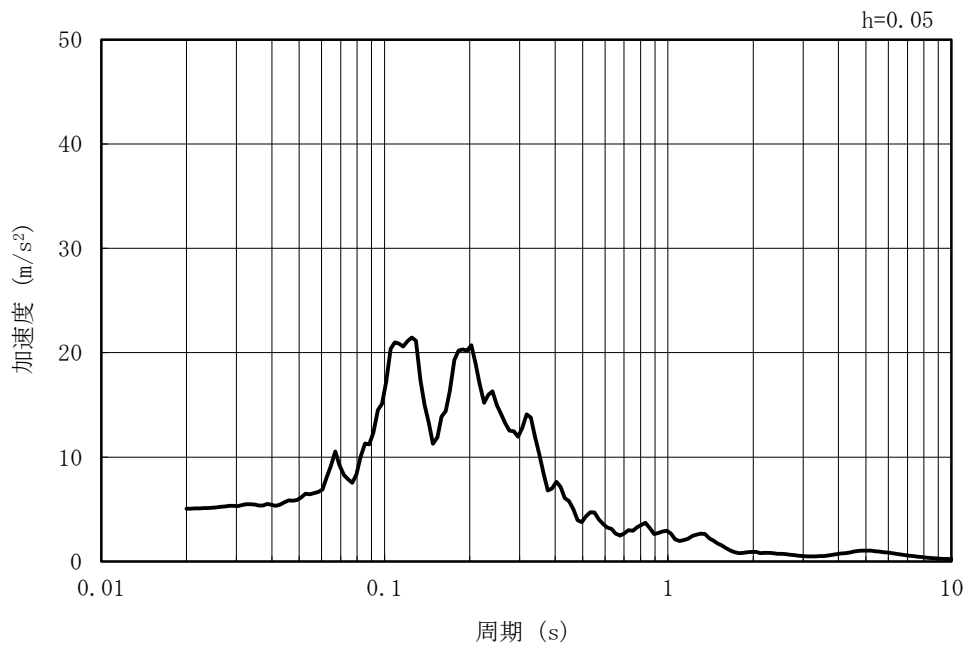


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (5) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-2NS)

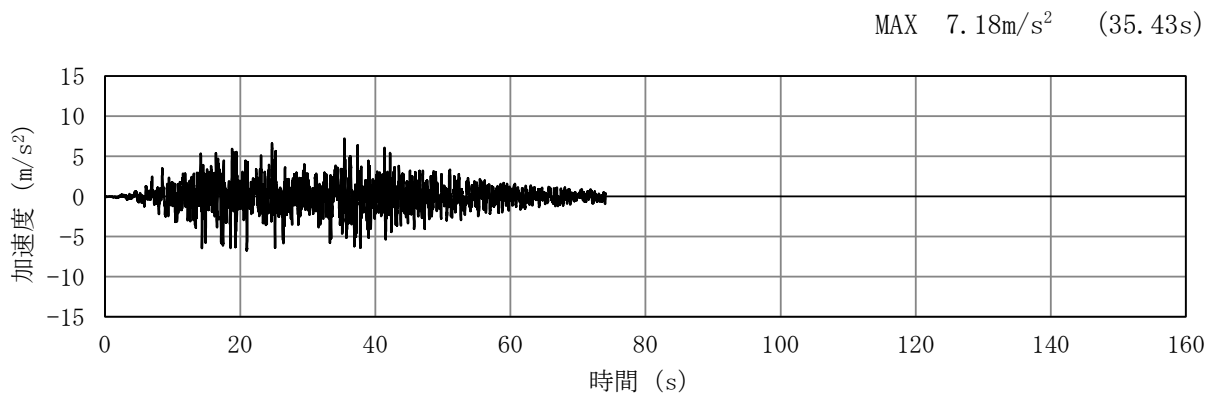


(a) 加速度時刻歴波形

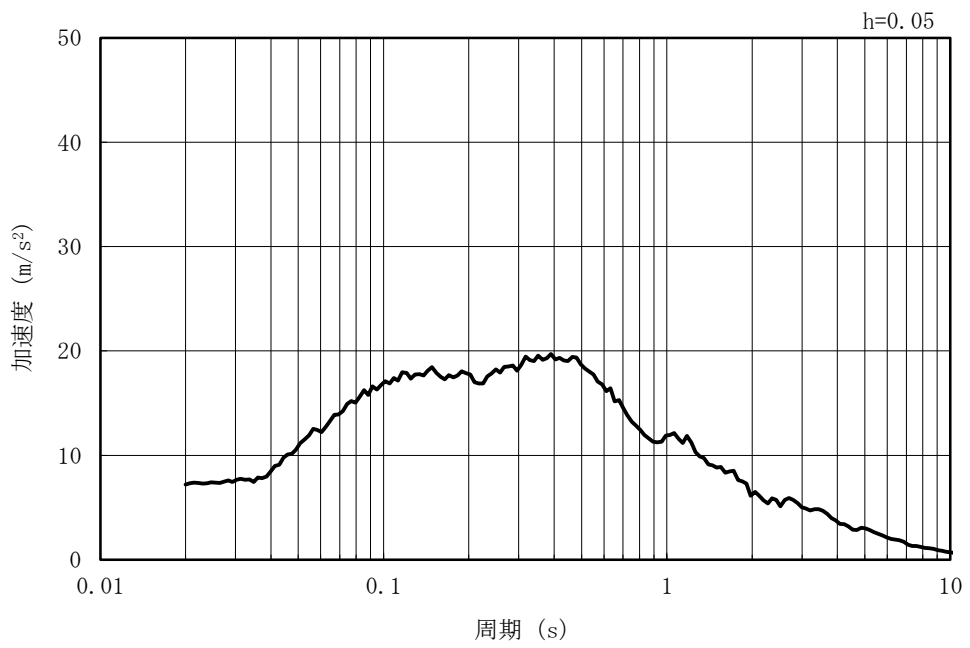


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (6) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向：Ss-2NS)

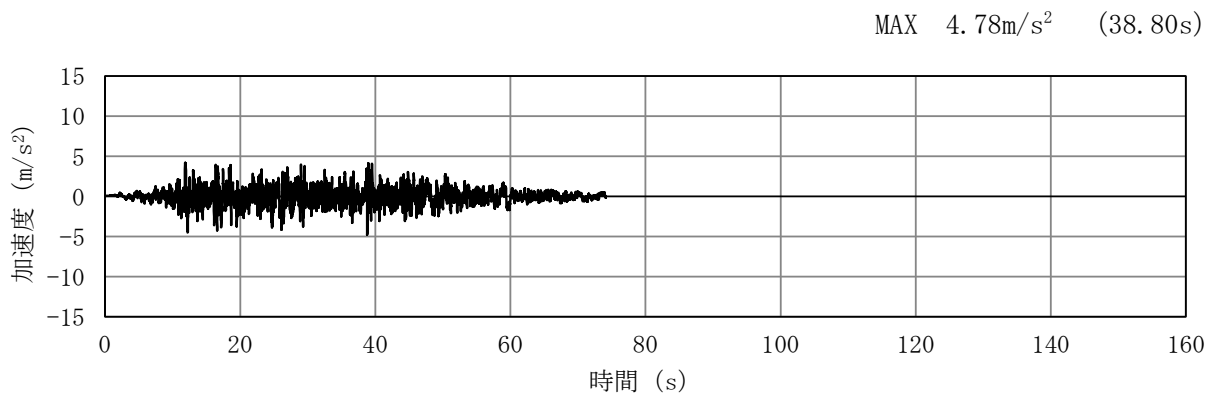


(a) 加速度時刻歴波形

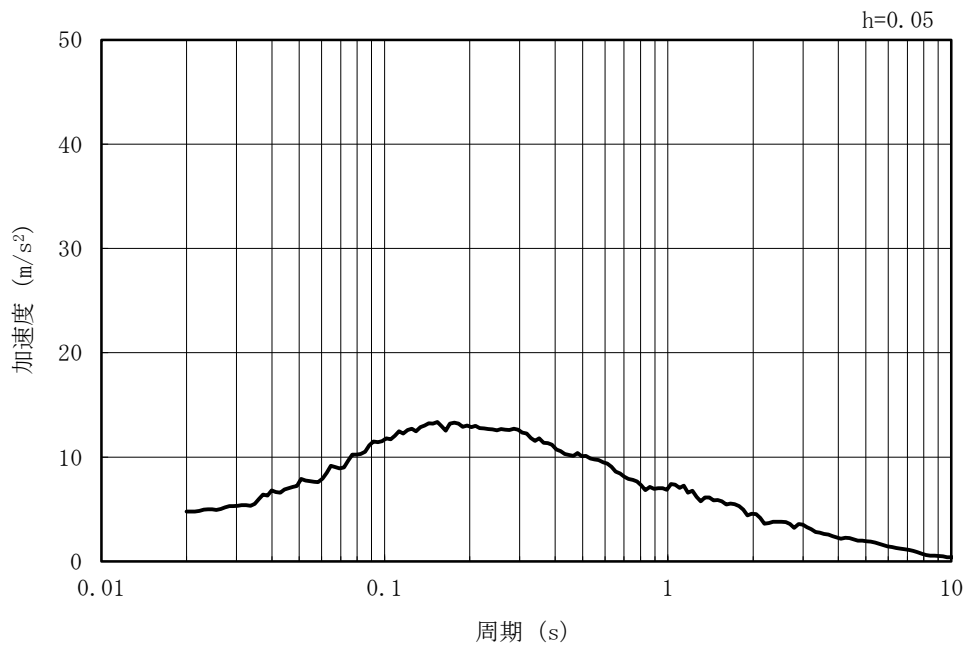


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (7) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-3)

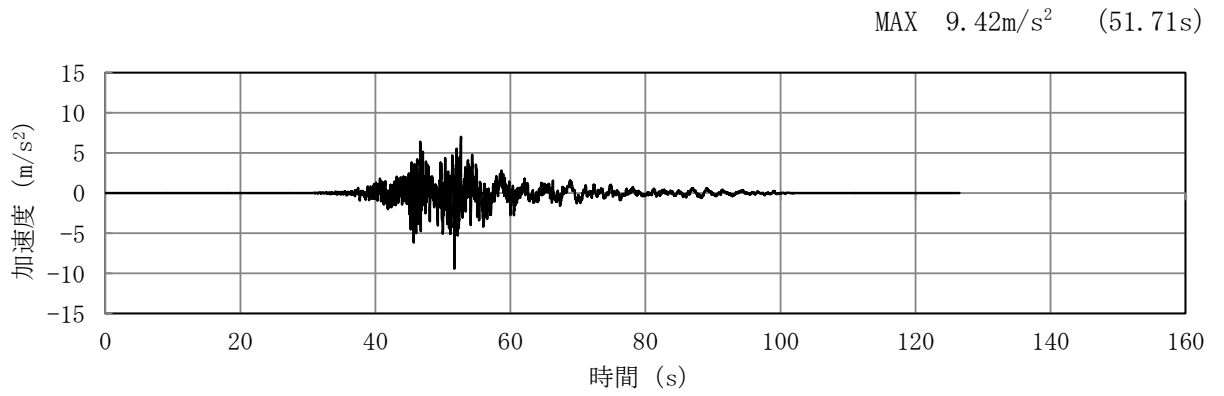


(a) 加速度時刻歴波形

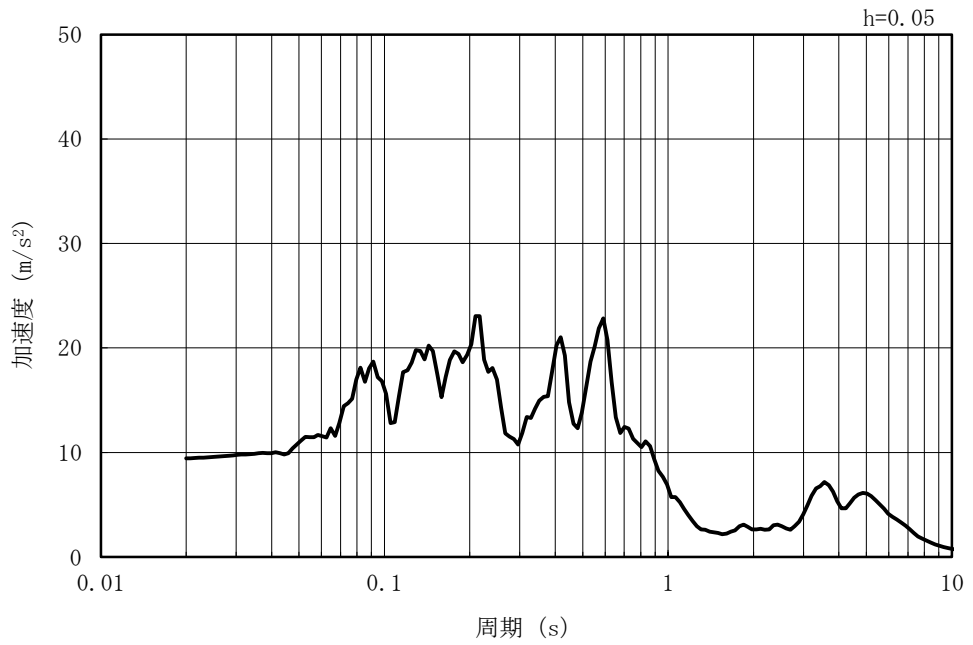


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (8) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-3)

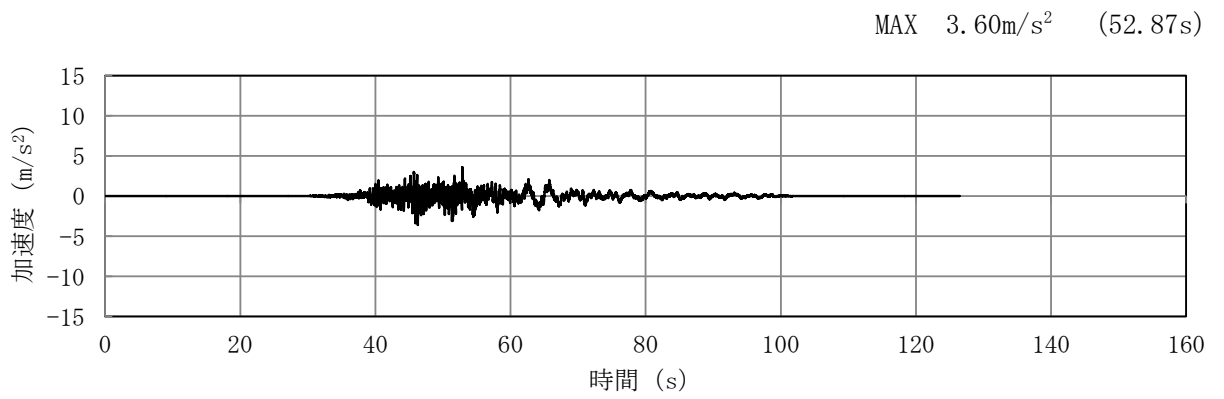


(a) 加速度時刻歴波形

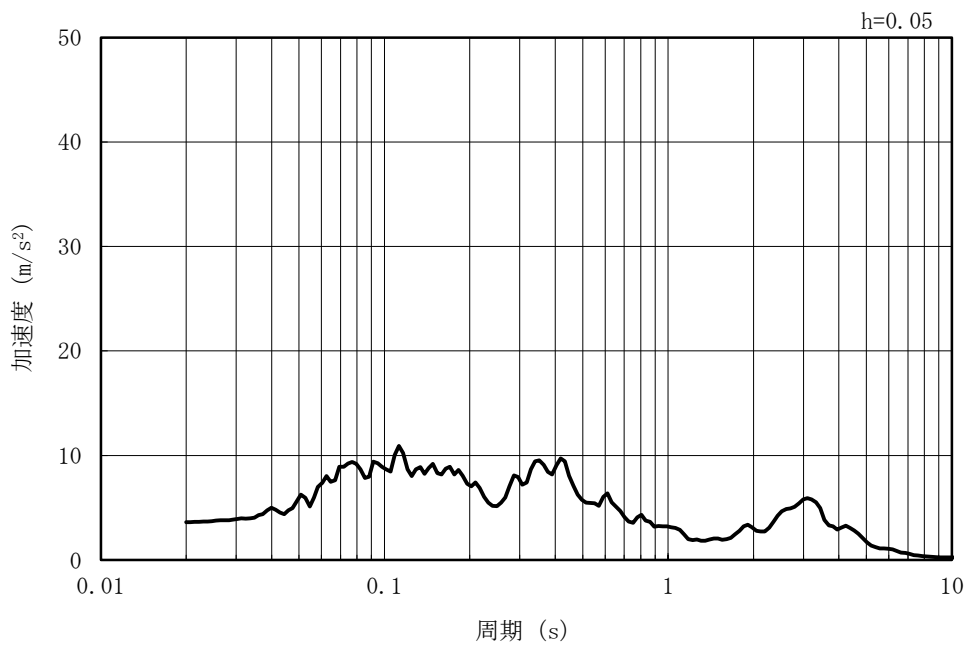


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (9) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-4EW)

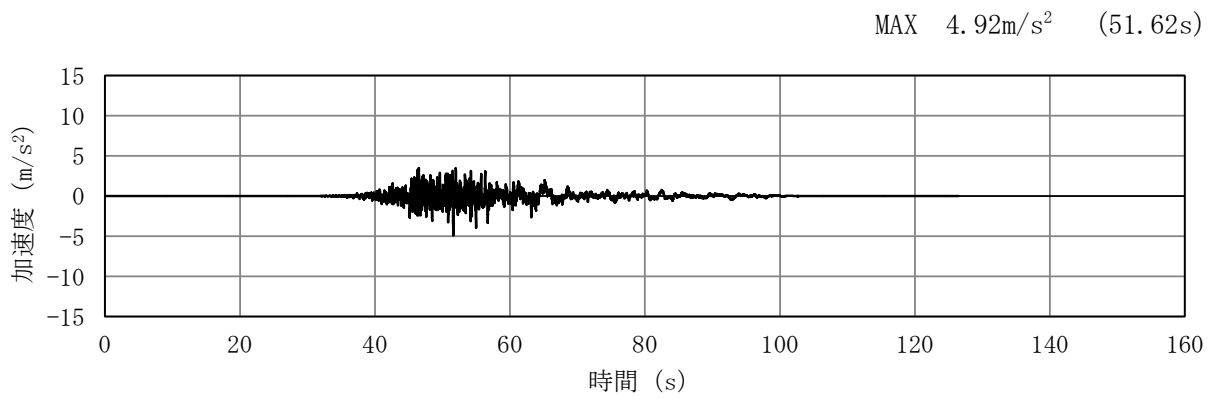


(a) 加速度時刻歴波形

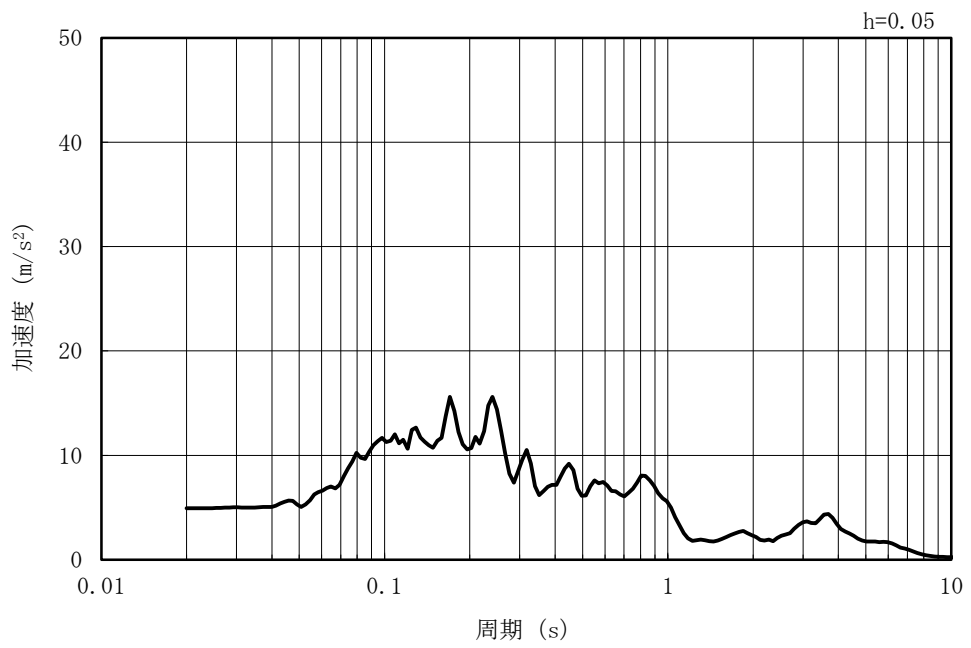


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (10) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4EW)

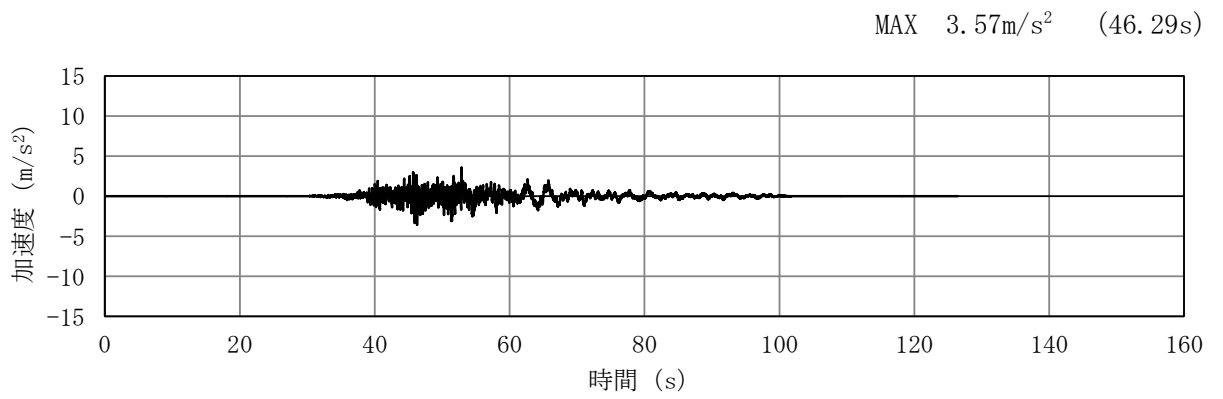


(a) 加速度時刻歴波形

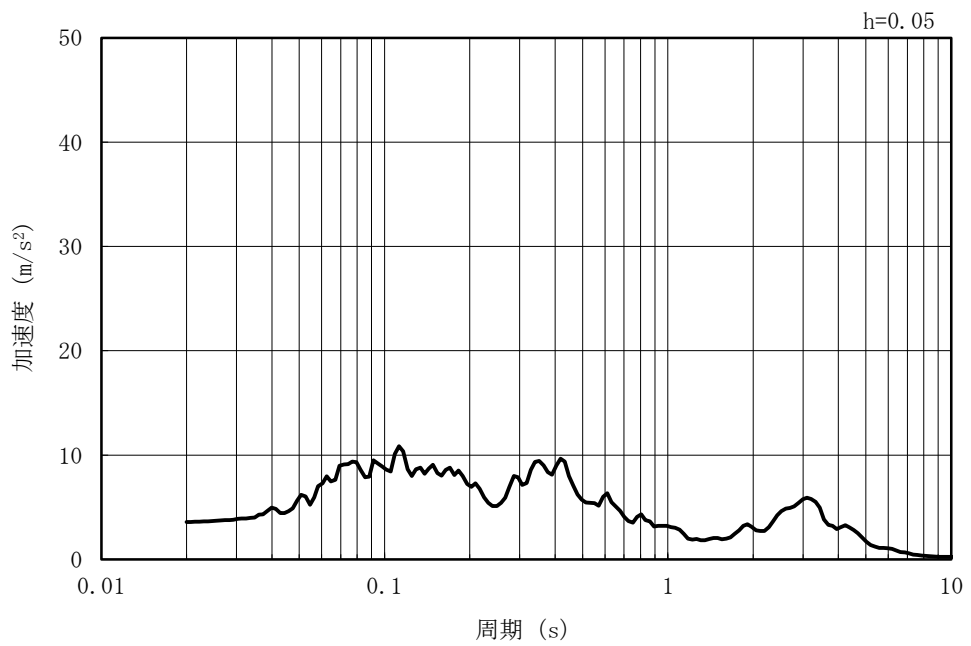


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (11) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-4NS)

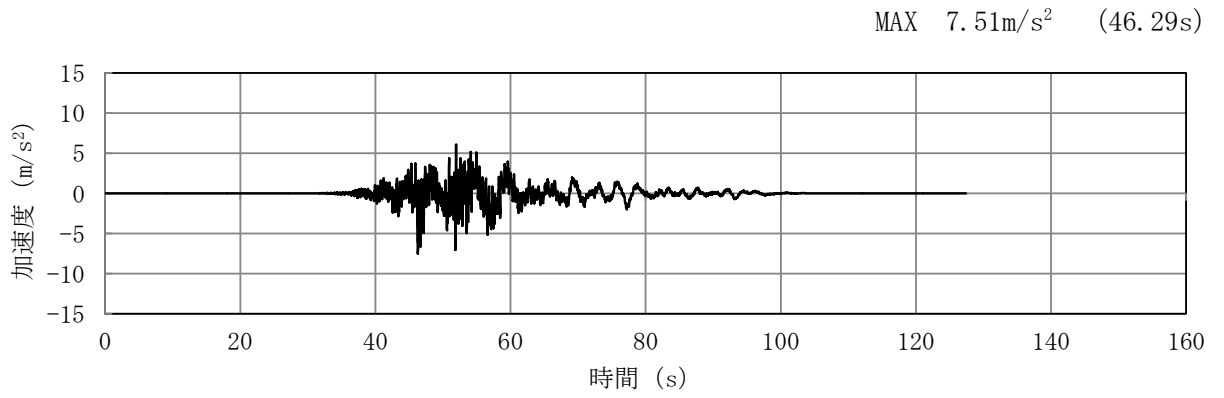


(a) 加速度時刻歴波形

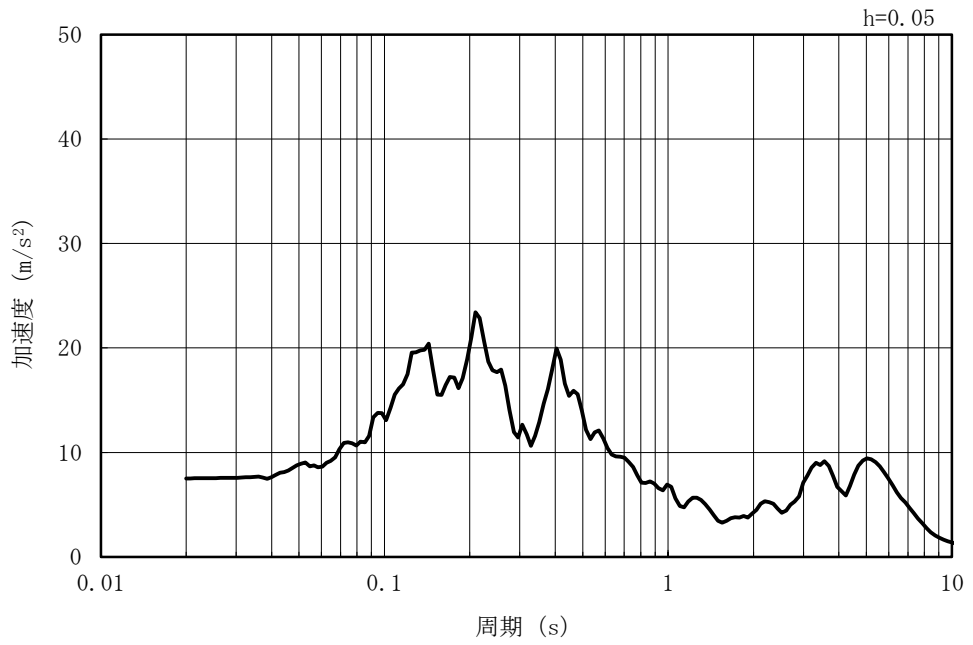


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (12) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-4NS)

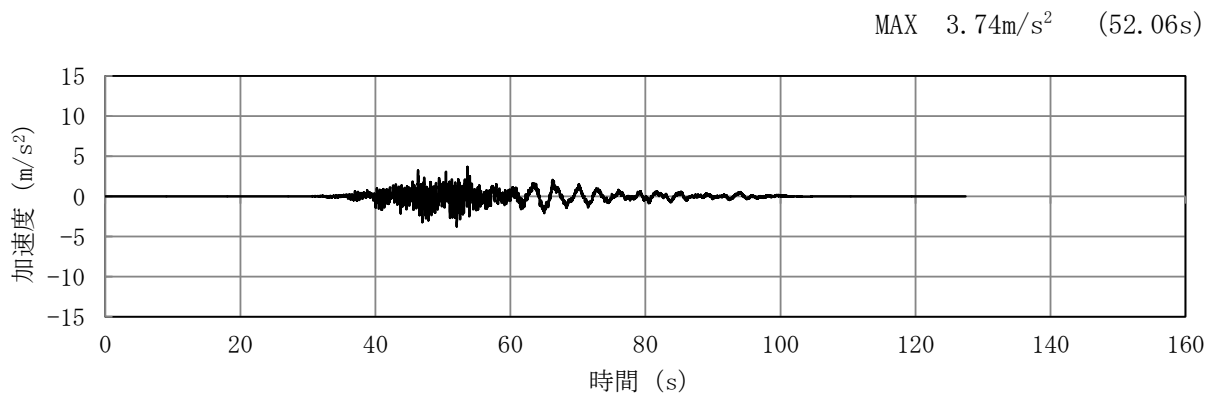


(a) 加速度時刻歴波形

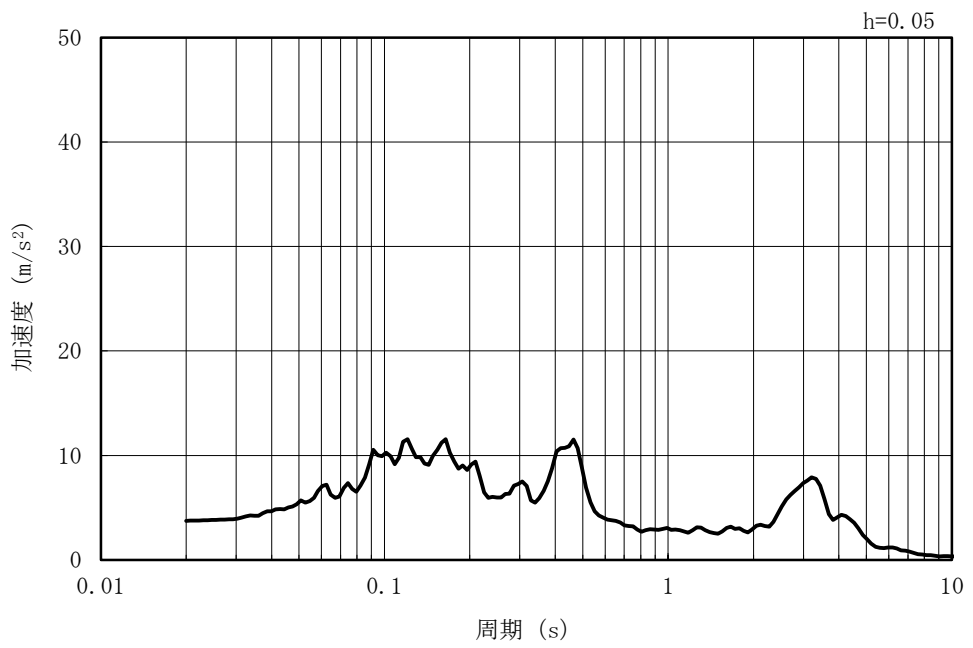


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (13) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-5EW)

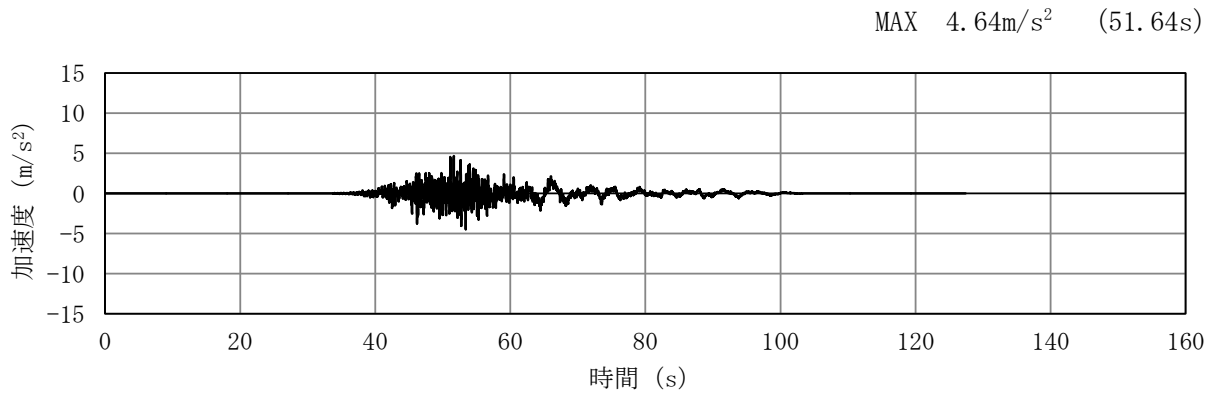


(a) 加速度時刻歴波形

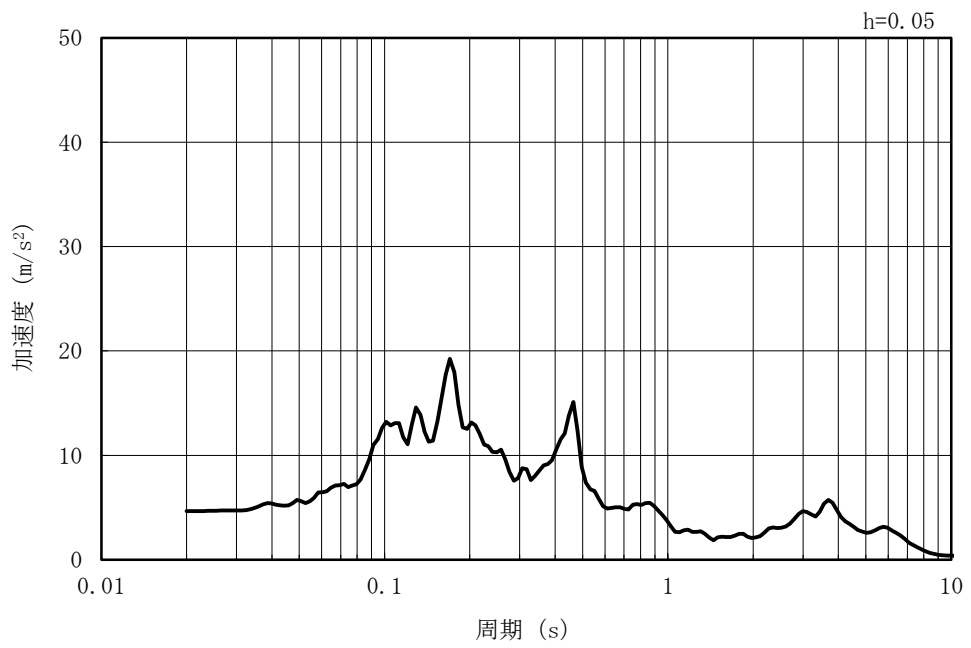


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (14) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-5EW)

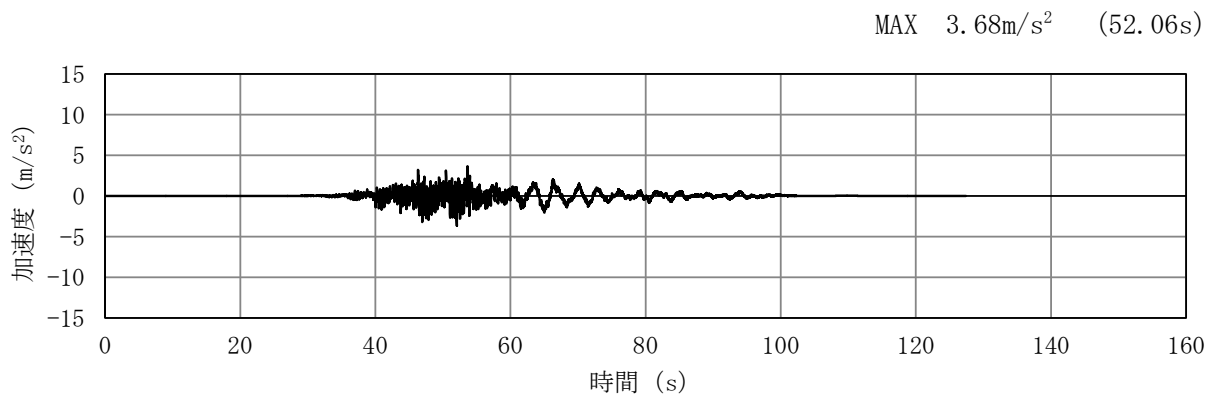


(a) 加速度時刻歴波形

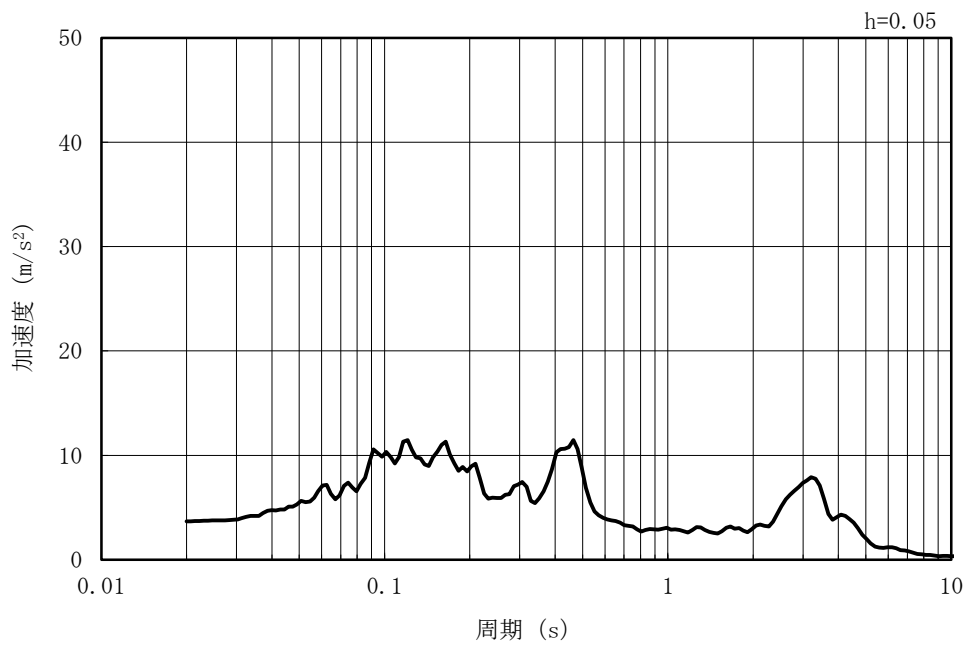


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (15) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-5NS)

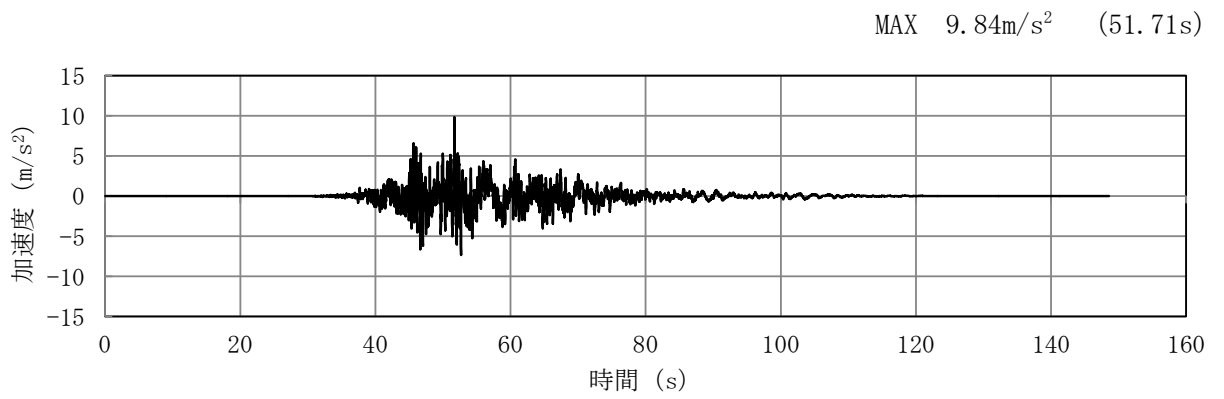


(a) 加速度時刻歴波形

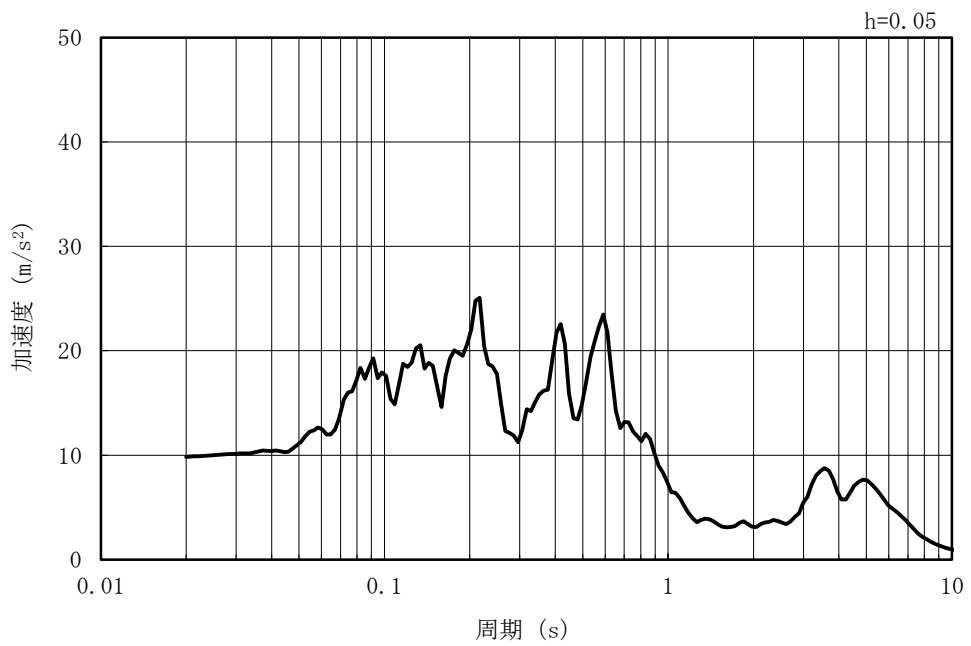


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (16) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-5NS)

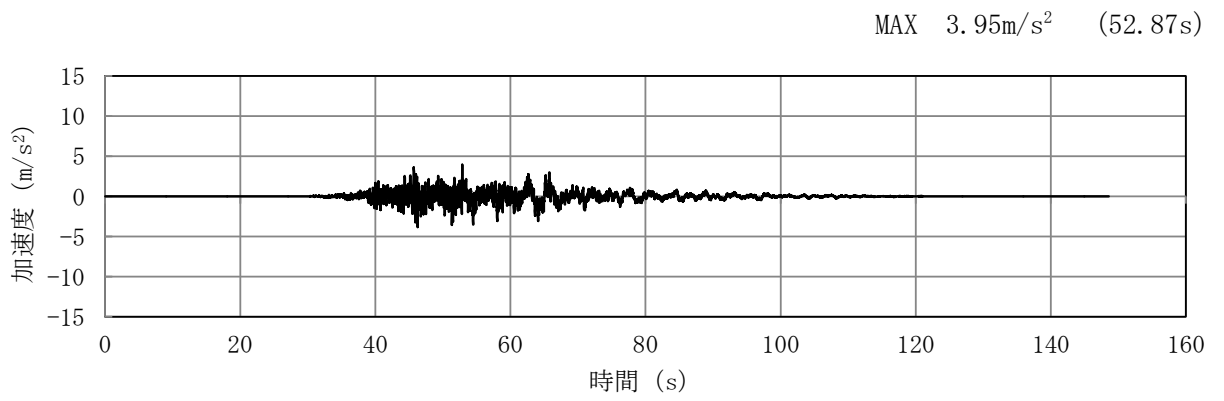


(a) 加速度時刻歴波形

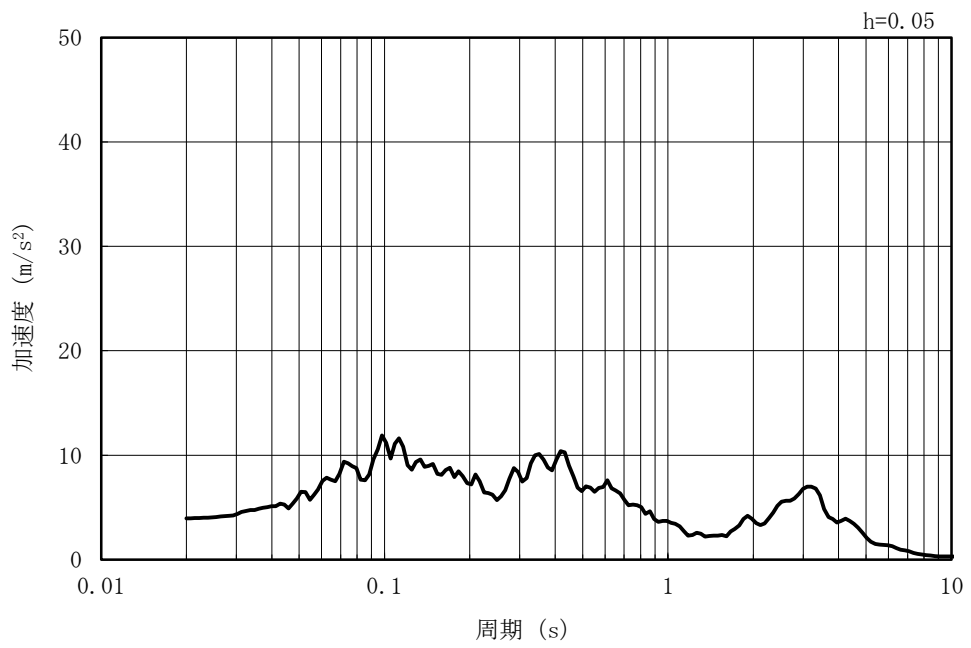


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (17) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-6EW)

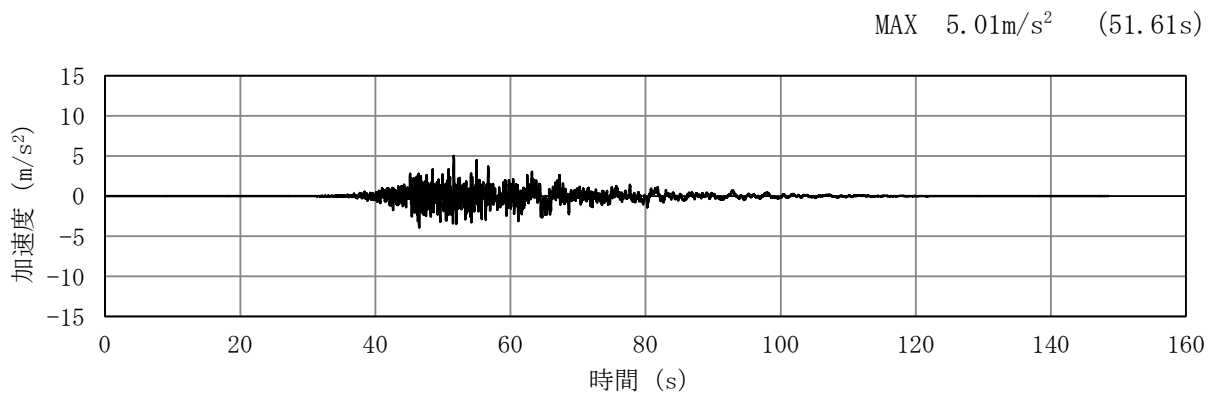


(a) 加速度時刻歴波形

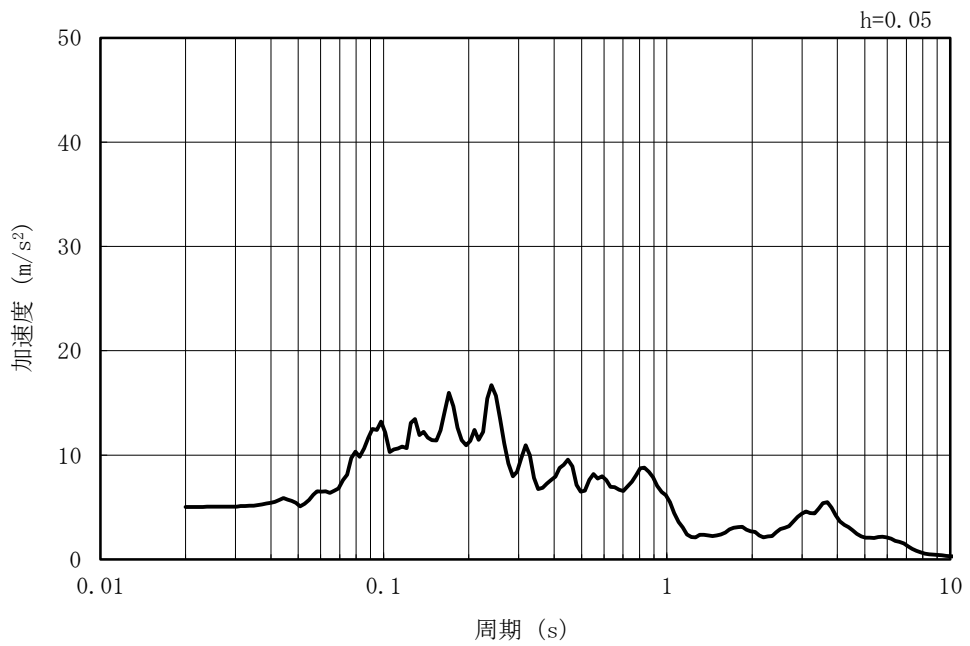


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (18) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-6EW)

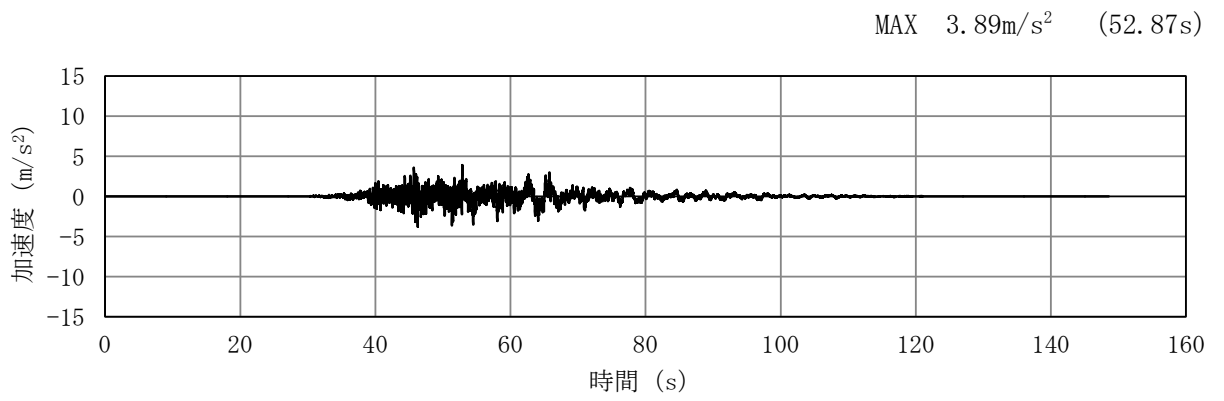


(a) 加速度時刻歴波形

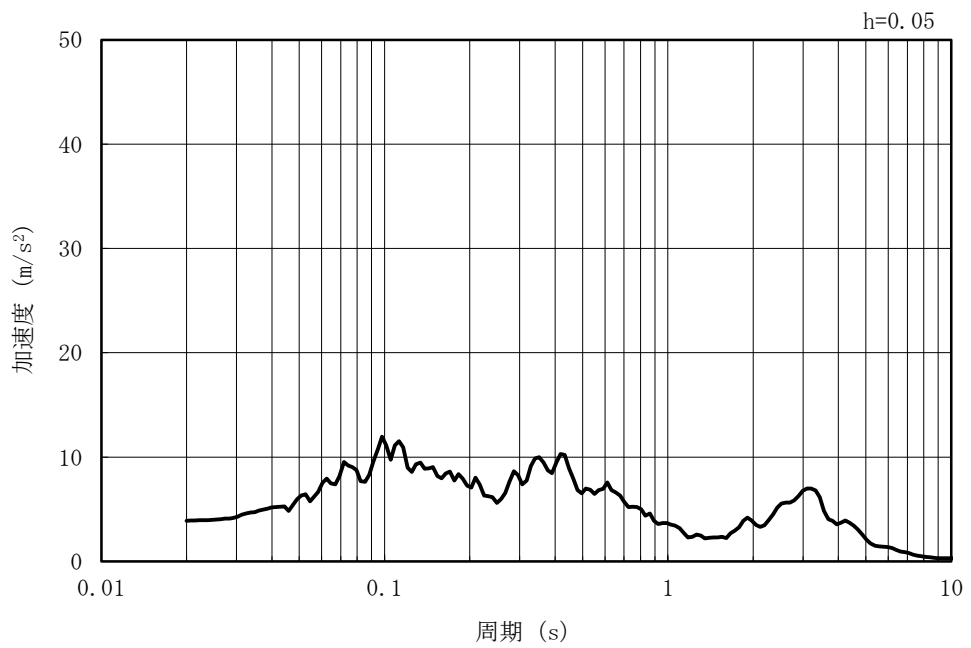


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (19) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-6NS)

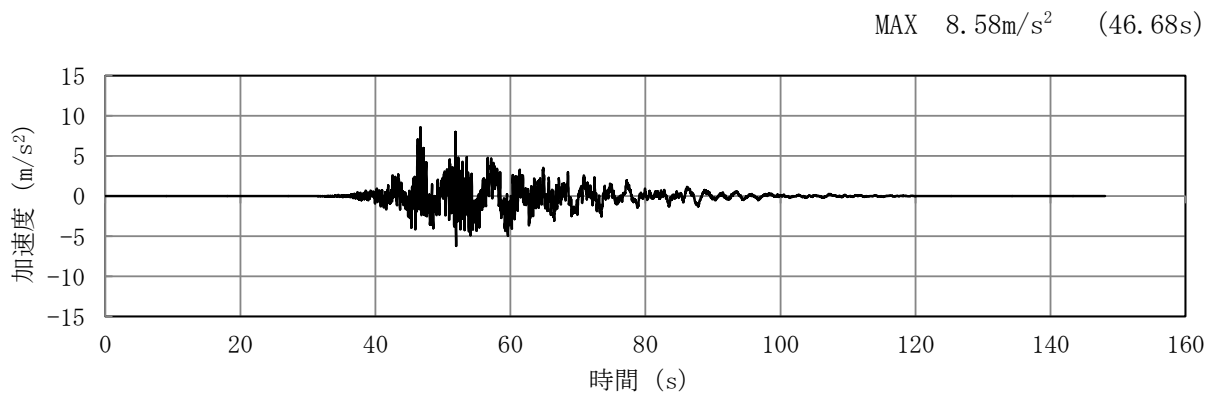


(a) 加速度時刻歴波形

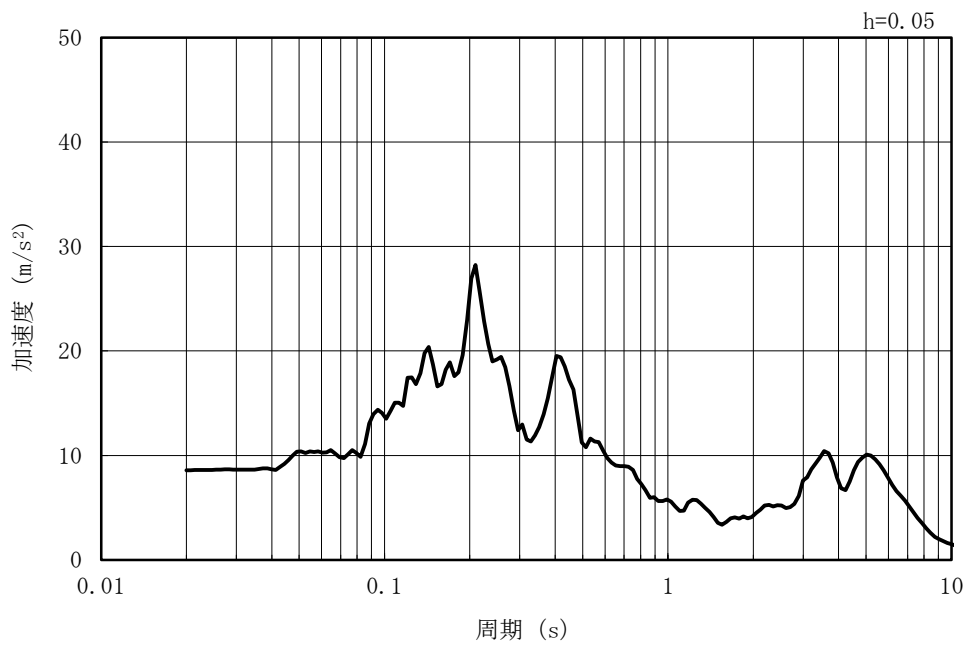


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (20) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-6NS)

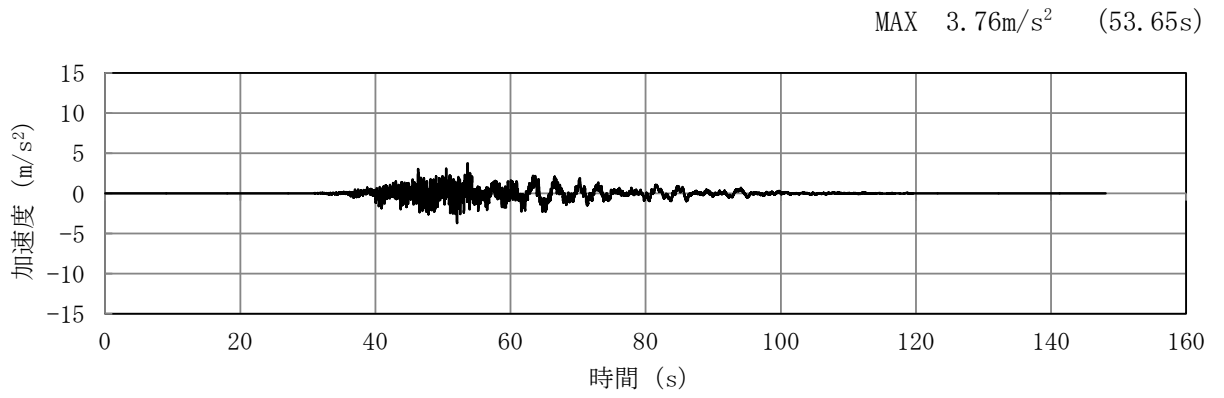


(a) 加速度時刻歴波形

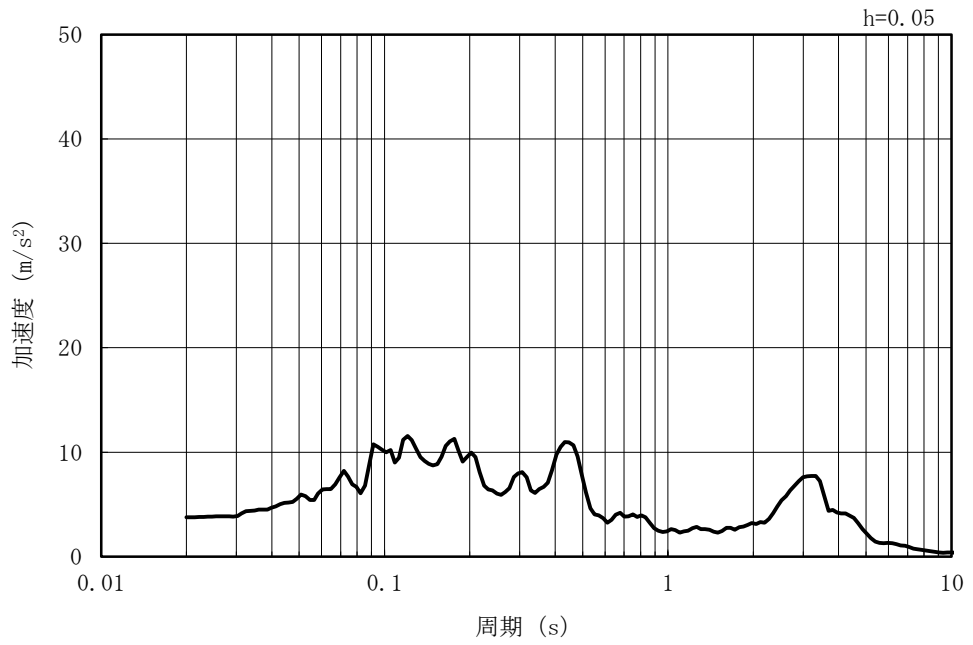


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (21) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-7EW)

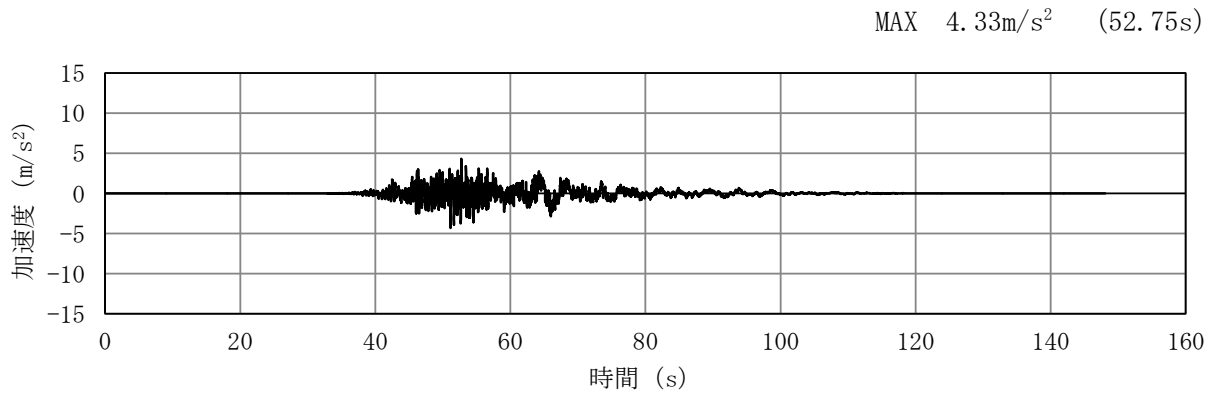


(a) 加速度時刻歴波形

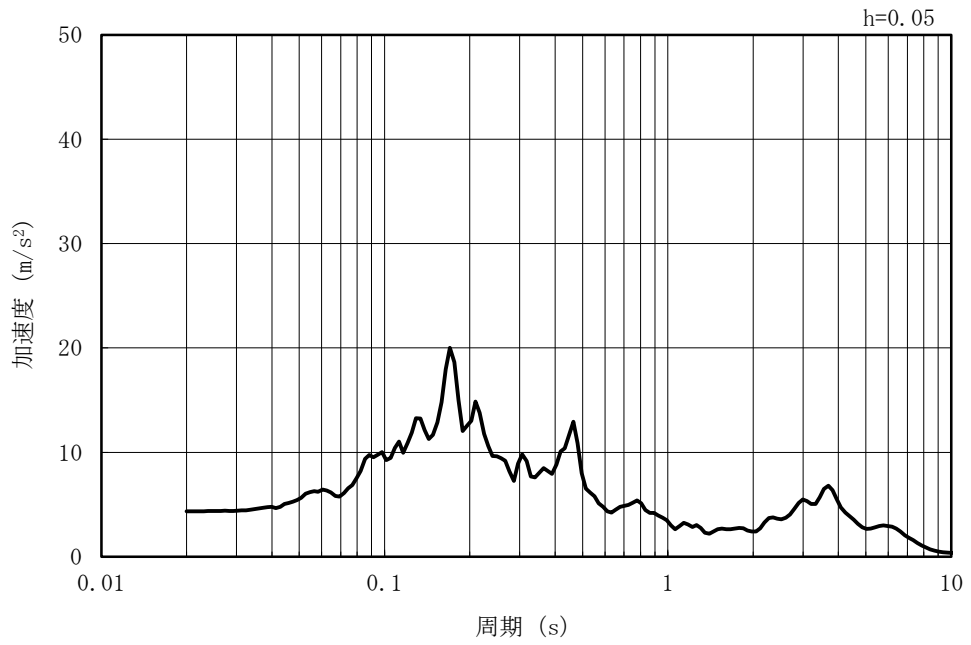


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (22) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-7EW)

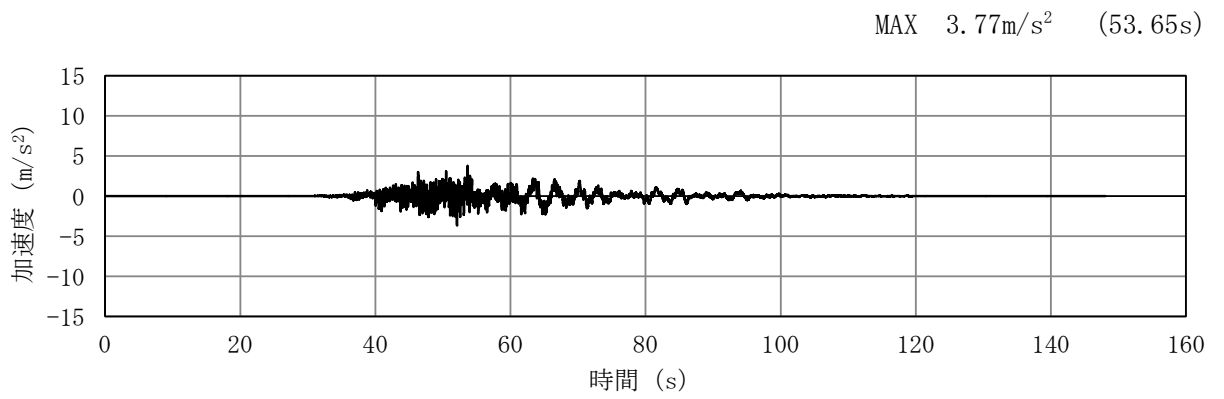


(a) 加速度時刻歴波形

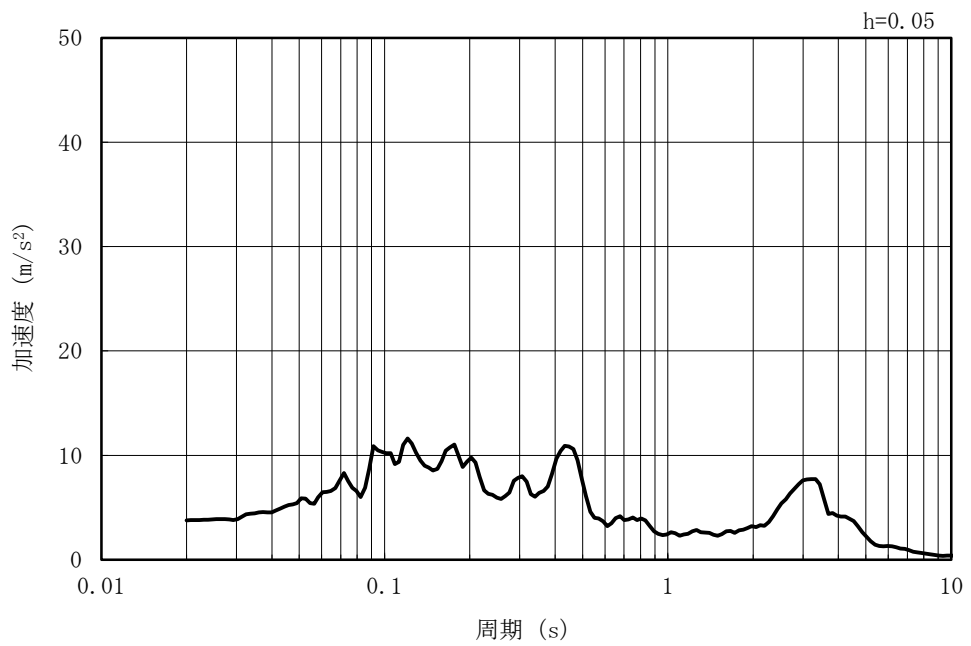


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (23) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-7NS)

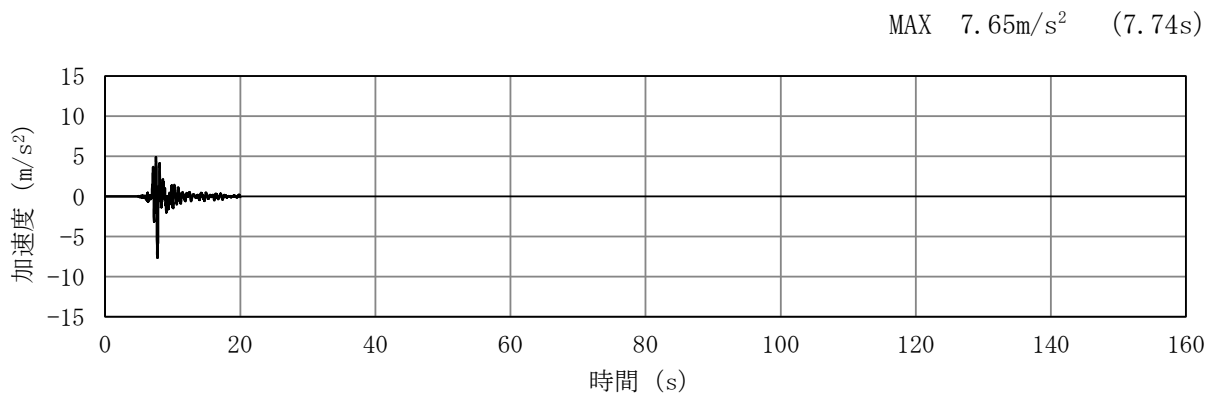


(a) 加速度時刻歴波形

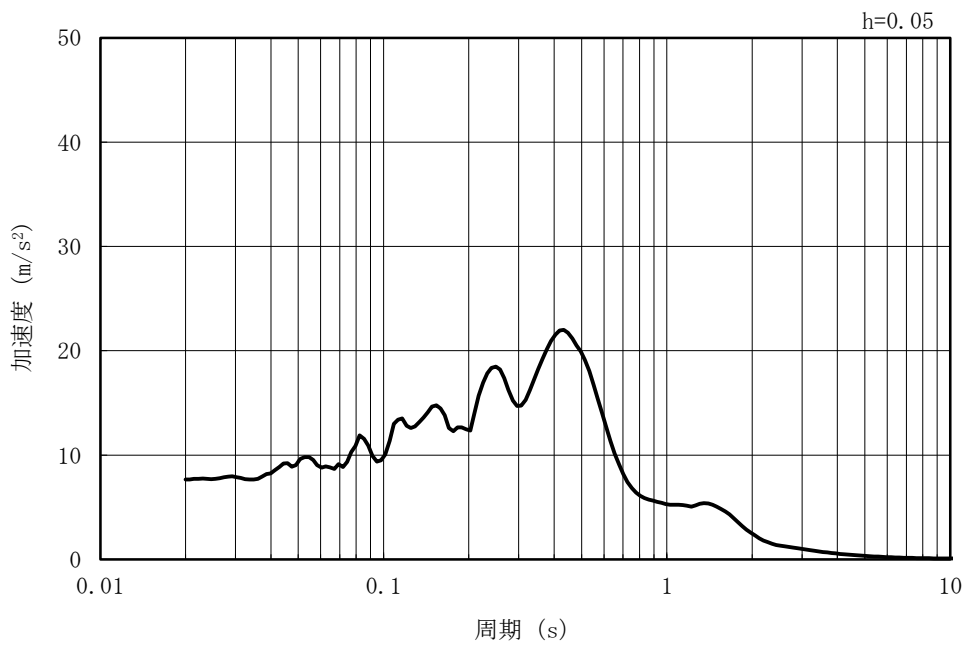


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (24) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-7NS)

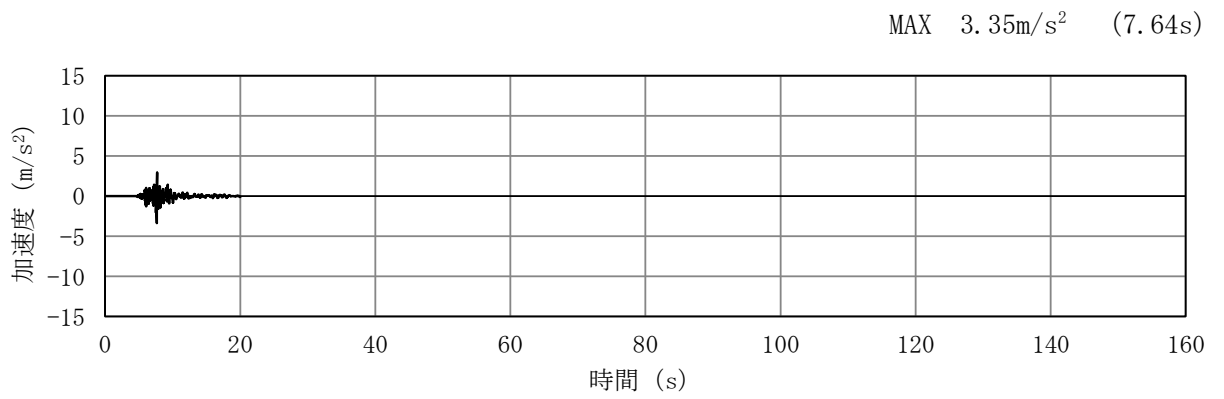


(a) 加速度時刻歴波形

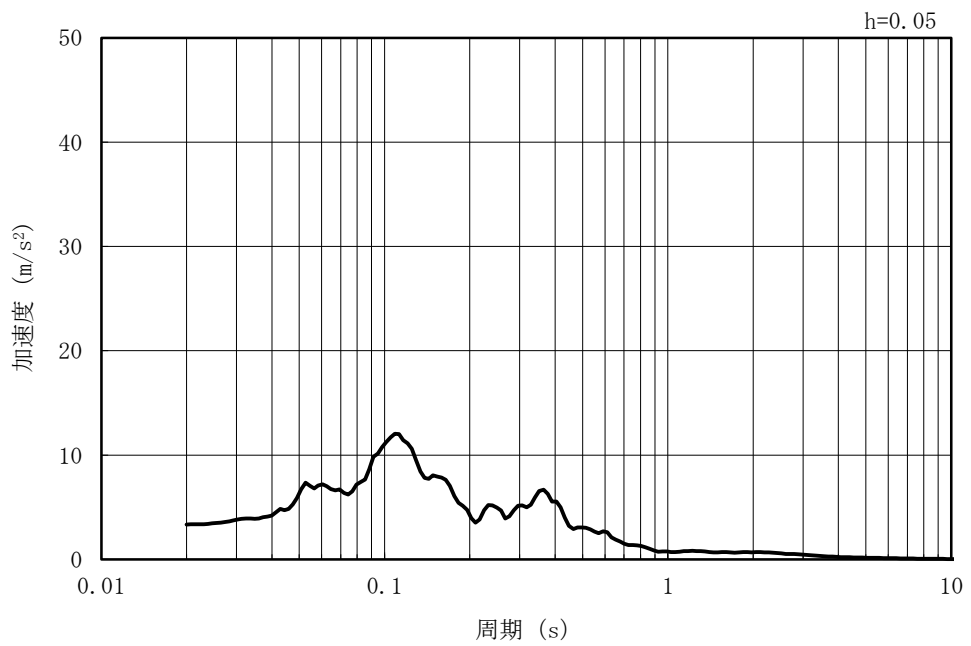


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (25) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平方向 : Ss-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 (26) 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直方向 : Ss-8)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 地震応答解析モデル

補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデルを図3-8に示す。

(1) 解析領域

解析領域は、側方境界及び底面境界が、構造物の応答に影響しないよう、構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には、エネルギーの逸散効果を考慮するため、粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素及び線形平面ひずみ要素によりモデル化する。

(4) 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よりモデル化し、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。

(5) マンメイドロックのモデル化

マンメイドロックは、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。

(6) 地盤改良体のモデル化

構造物周辺の地盤改良体は、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

地震時の「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」との接合面における剥離及びすべりを考慮するため、これらの接合面にジョイント要素を設定する。

(8) 水位条件

補機冷却用海水取水路の内水位は、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。

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、A-A断面は T.M.S.L. 8.0m に、B-B断面及びC-C断面は T.M.S.L. 5.0m～8.0m に設定する。

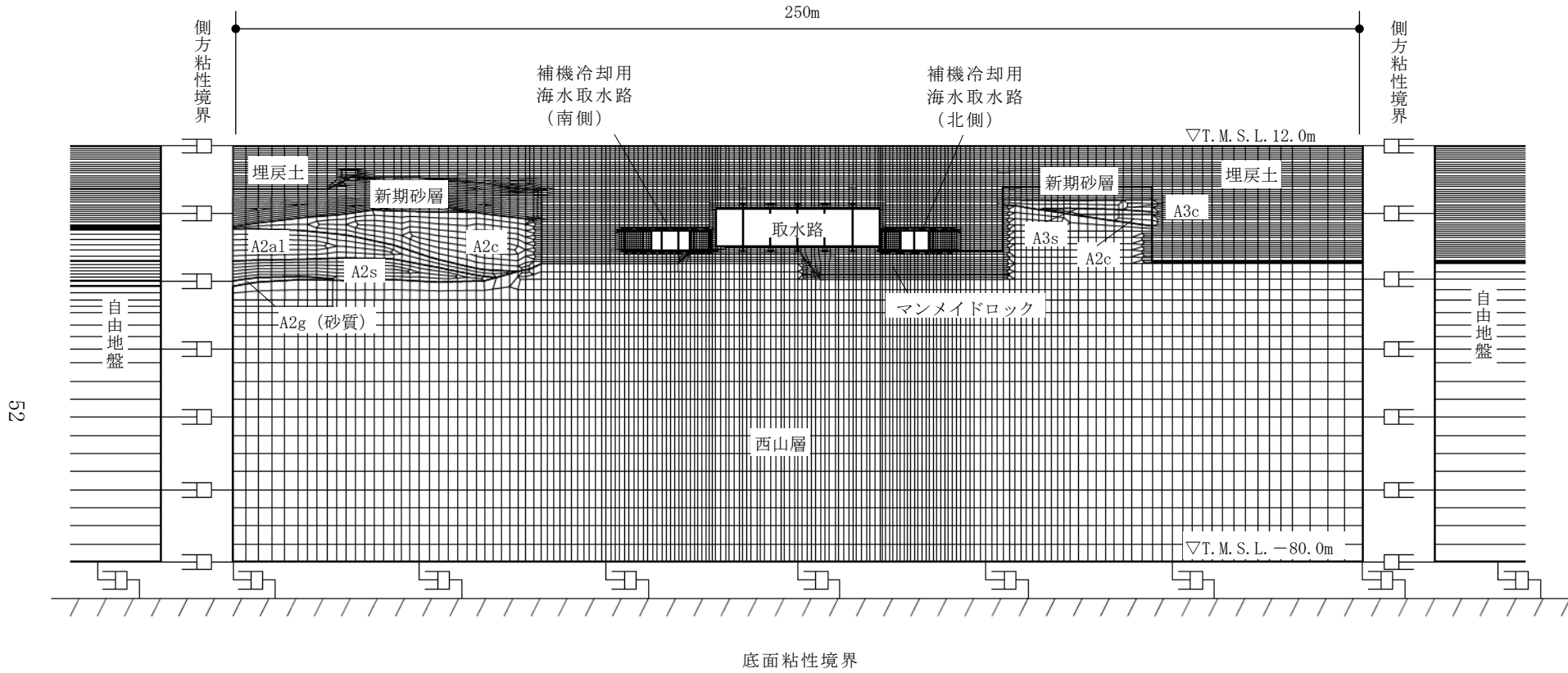


図 3-8 (1) 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル (A-A断面)

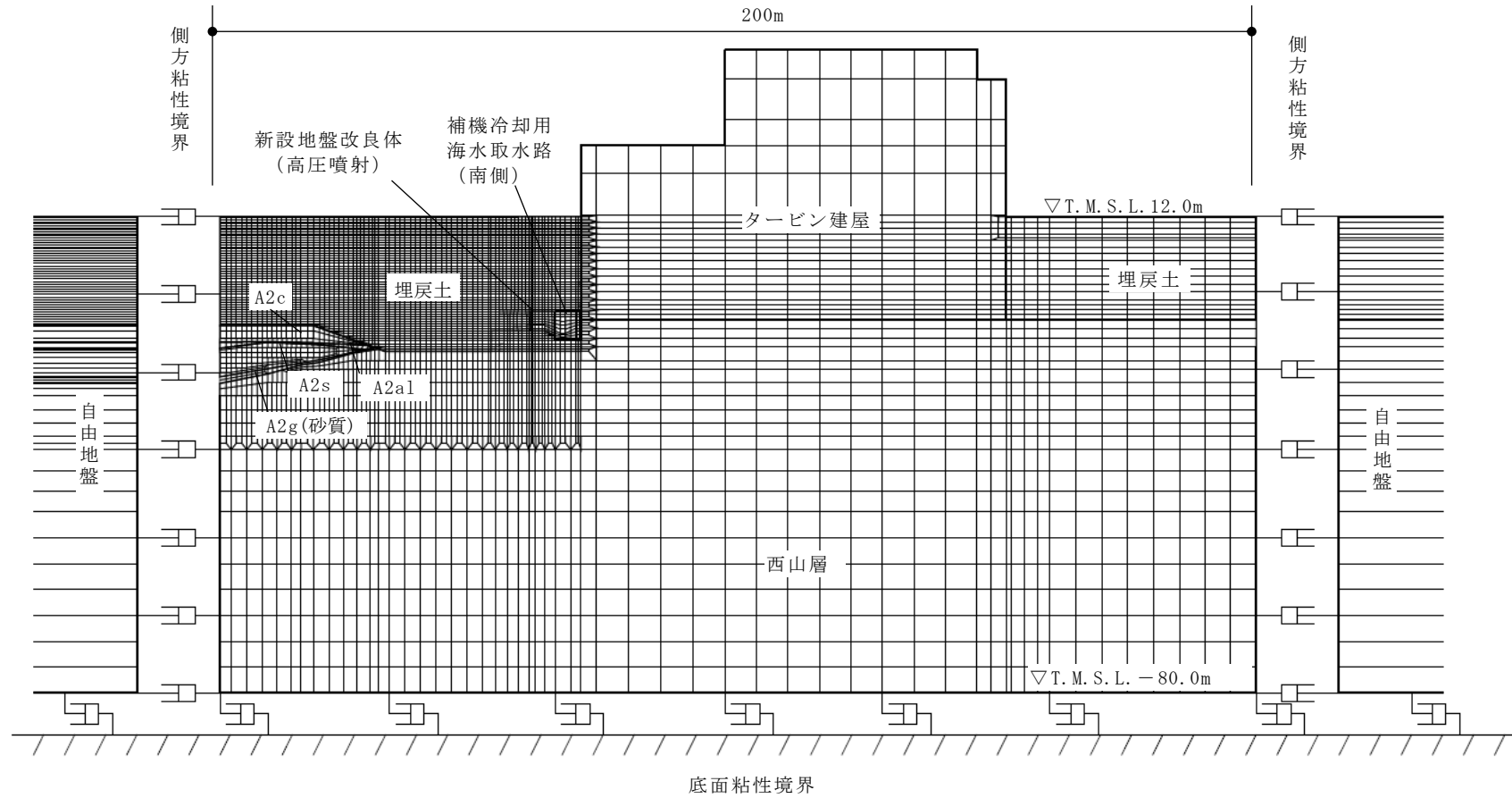
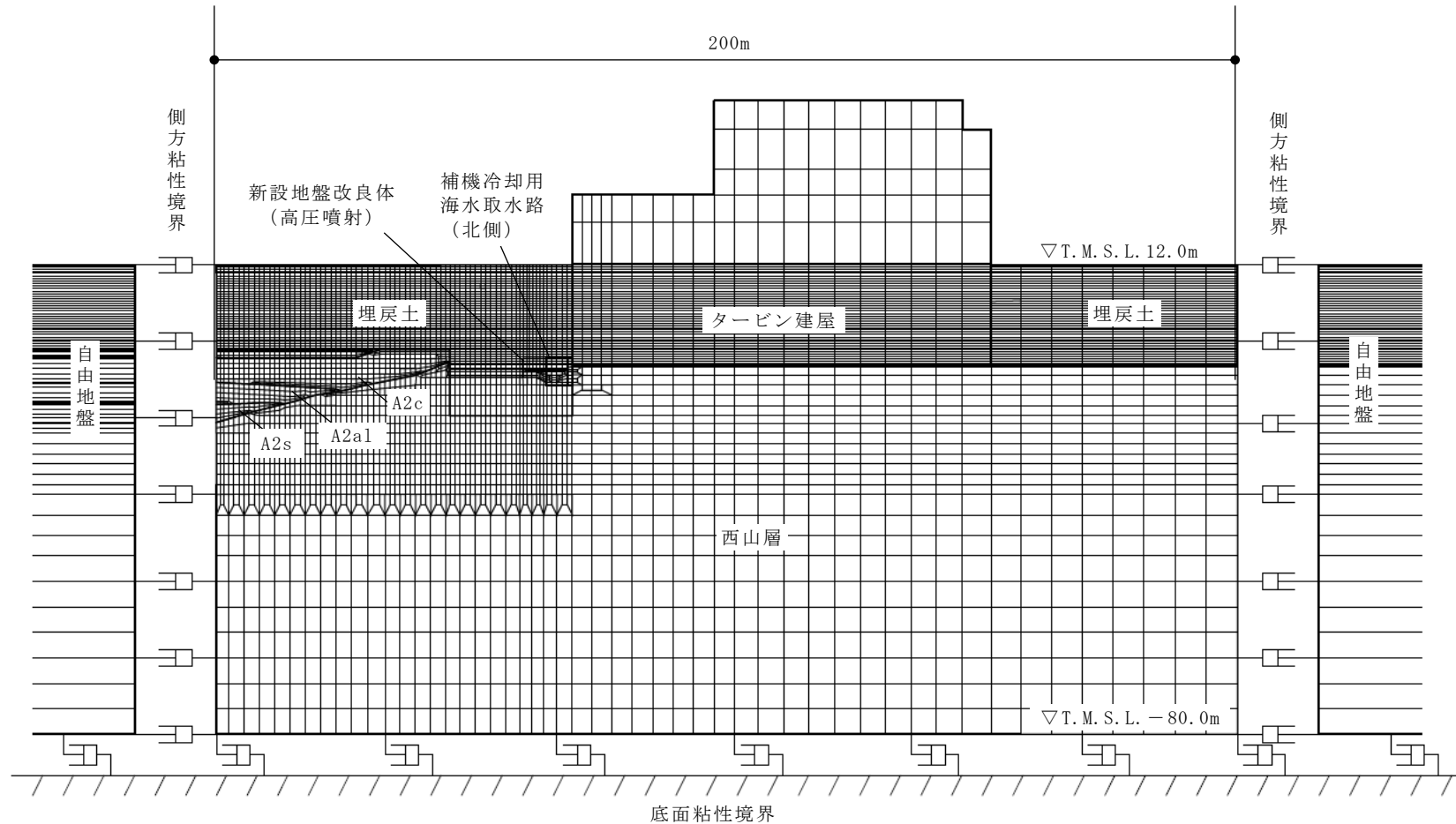
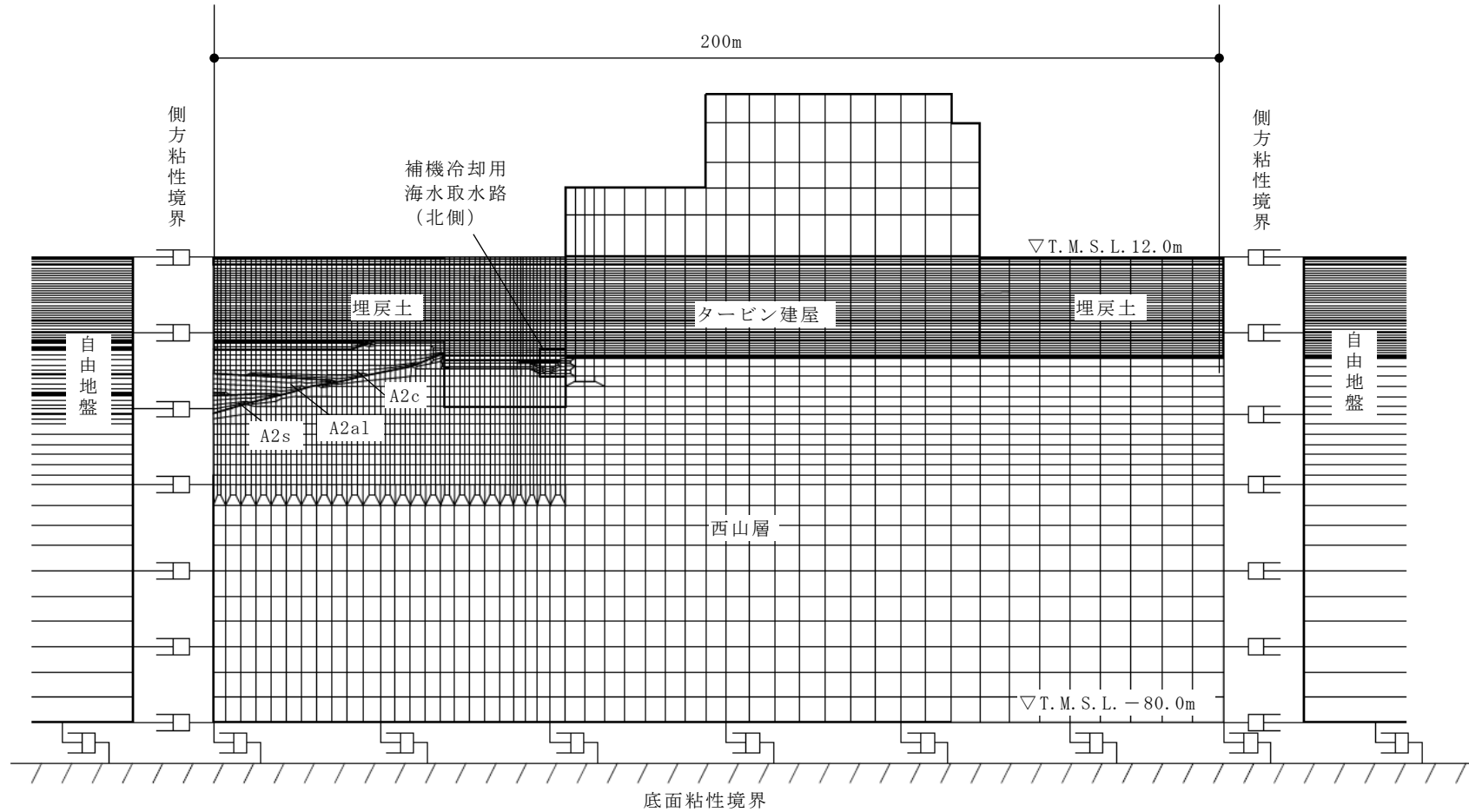


図 3-8 (2) 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル (南側, B-B断面)



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。

図 3-8 (3) 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル（北側，C-C断面（南妻壁側））



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。

図 3-8 (4) 補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル（北側，C-C断面（北妻壁側））

3.5.2 使用材料及び材料物性値

構造物の使用材料を表 3-3、材料物性値を表 3-4 に示す。

表 3-3 使用材料

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

表 3-4 材料物性値

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

注記* : 建設時の設計値に基づく。

3.5.3 地盤、マンメイドロック及び地盤改良体の物性値

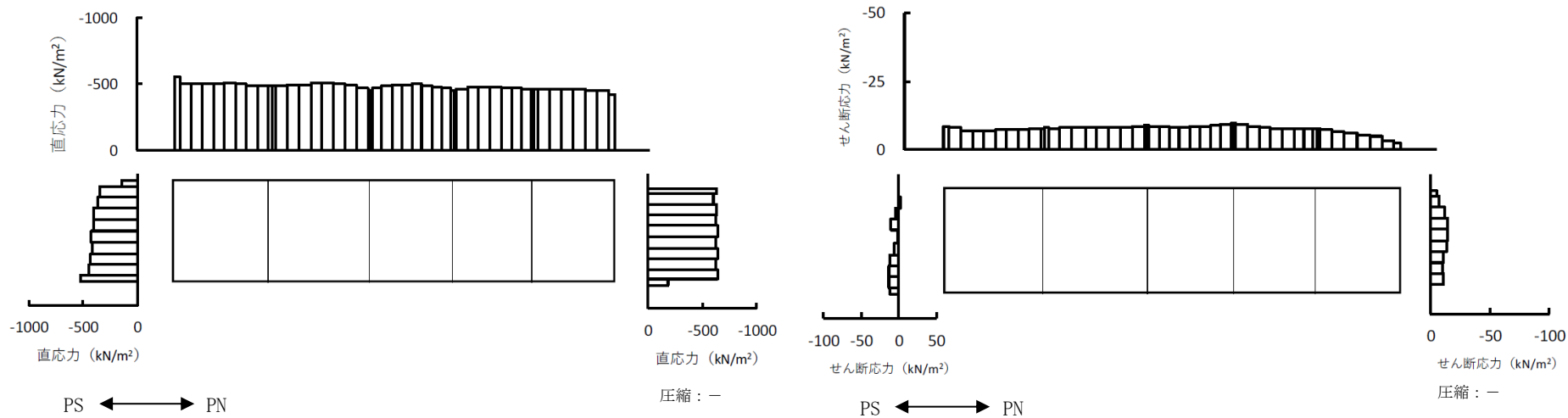
地盤及びマンメイドロックについては、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤改良体については、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に基づき、地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表 3-5 に示す。

表 3-5 地盤改良体の配置を考慮した物性値

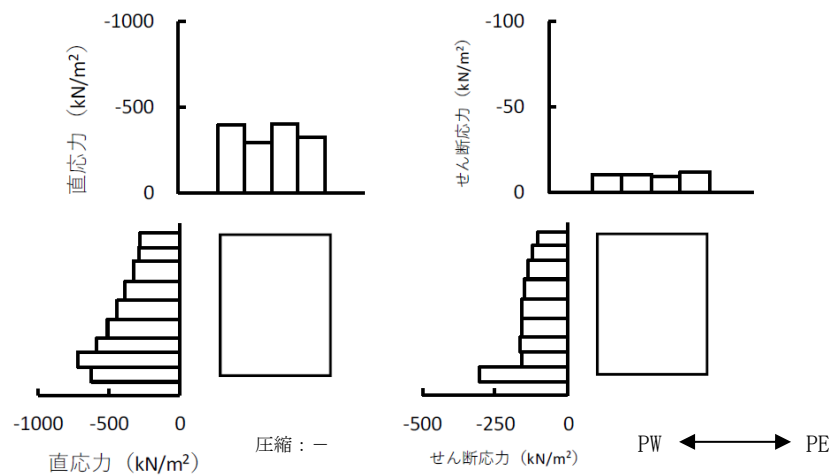
既設／新設		新設地盤改良体	
種別 (地盤種別)		高圧噴射 (砂質土)	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.94	
	間隙率 n	0.49	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{max} (kN/m ²)	2.51×10 ⁵	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ms}' (kN/m ²)	98.0	
	ポアソン比 ν	0.33	
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.050	
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	500	

3.6 地震応答解析結果

構造部材の曲げ軸力及びせん断力照査のうち、照査値が最大となるせん断力照査の地震動及び解析ケースにおける作用荷重分布図を図 3-9 に示す。また、基礎地盤の支持性能評価で最大照査値を示す地震動及び解析ケースにおける最大接地圧分布図を図 3-10 に示す。

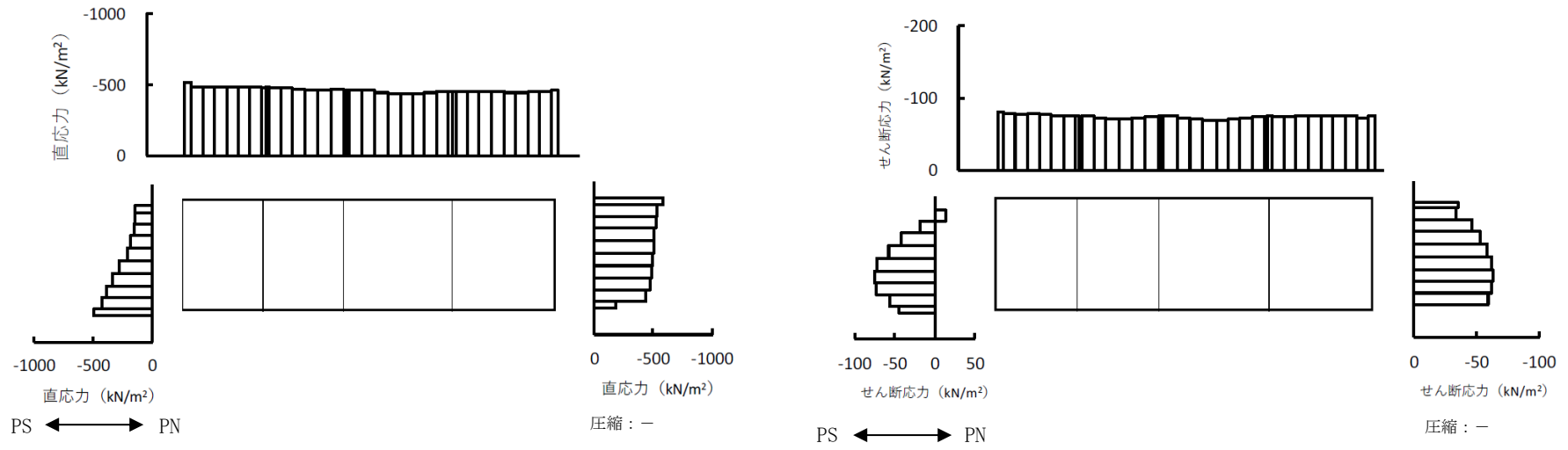


(a) A-A断面の作用荷重分布



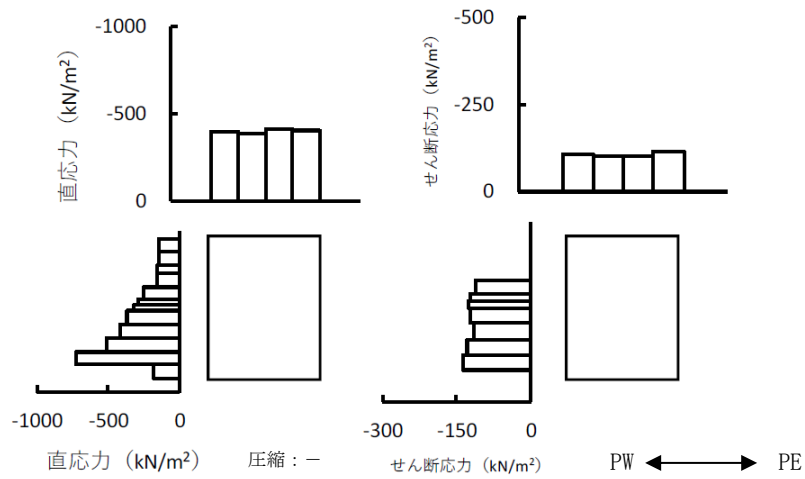
(b) B-B断面の作用荷重分布

図3-9 (1) 補機冷却用海水取水路の作用荷重分布図 (南側, 解析ケース②, Ss-1+-)

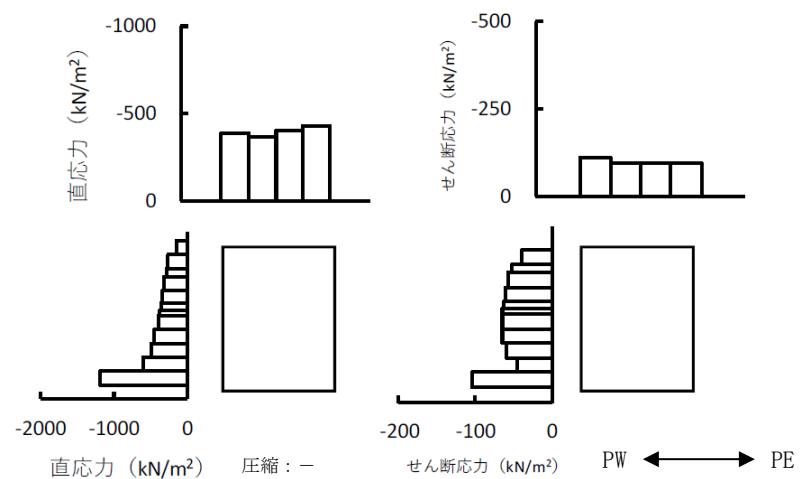


(a) A-A断面の作用荷重分布

69



(b) C-C断面の作用荷重分布 (南妻壁)



(c) C-C断面の作用荷重分布 (北妻壁)

図 3-9 (2) 補機冷却用海水取水路の作用荷重分布図 (北側, 解析ケース④, Ss-1+-)

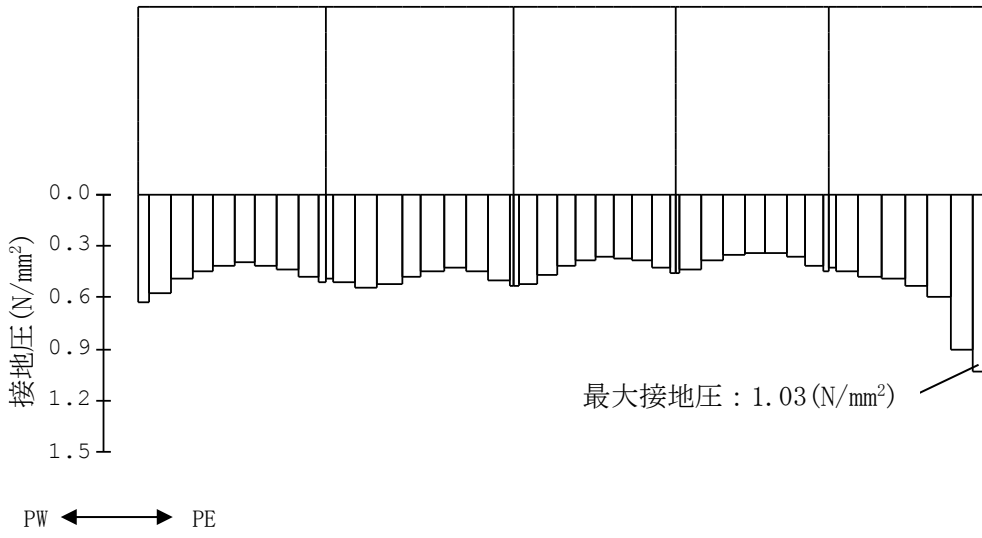


図 3-10 (1) 補機冷却用海水取水路の最大接地圧分布図
(南側, 解析ケース①, Ss-1--)

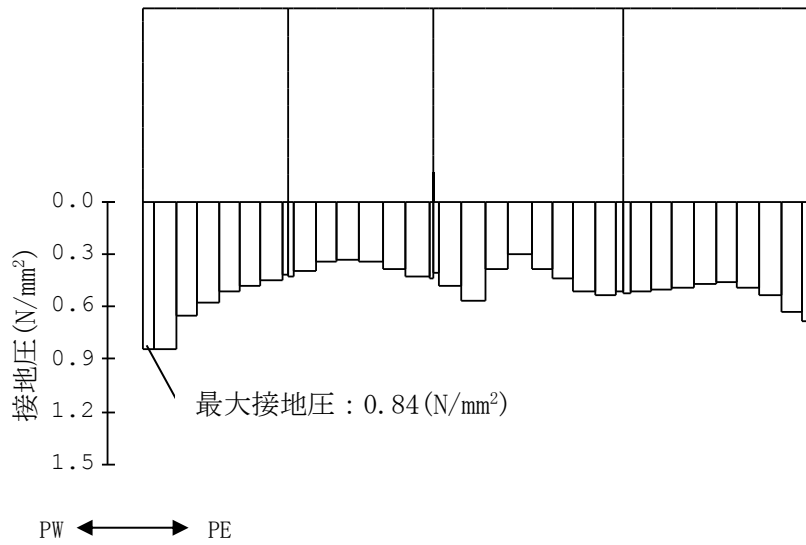


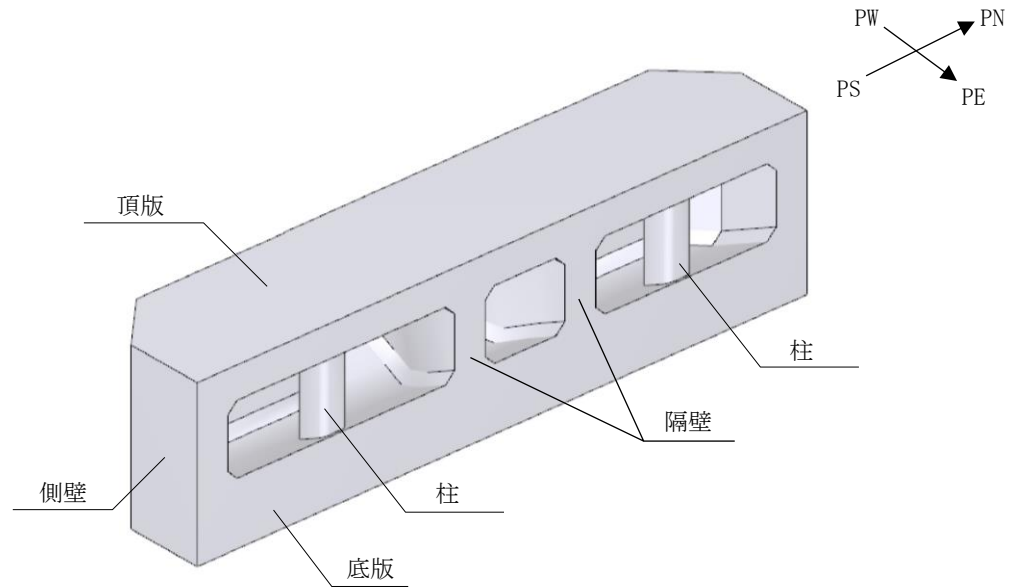
図 3-10 (2) 補機冷却用海水取水路の最大接地圧分布図
(北側, 解析ケース②, Ss-1+-)

4. 3次元構造解析

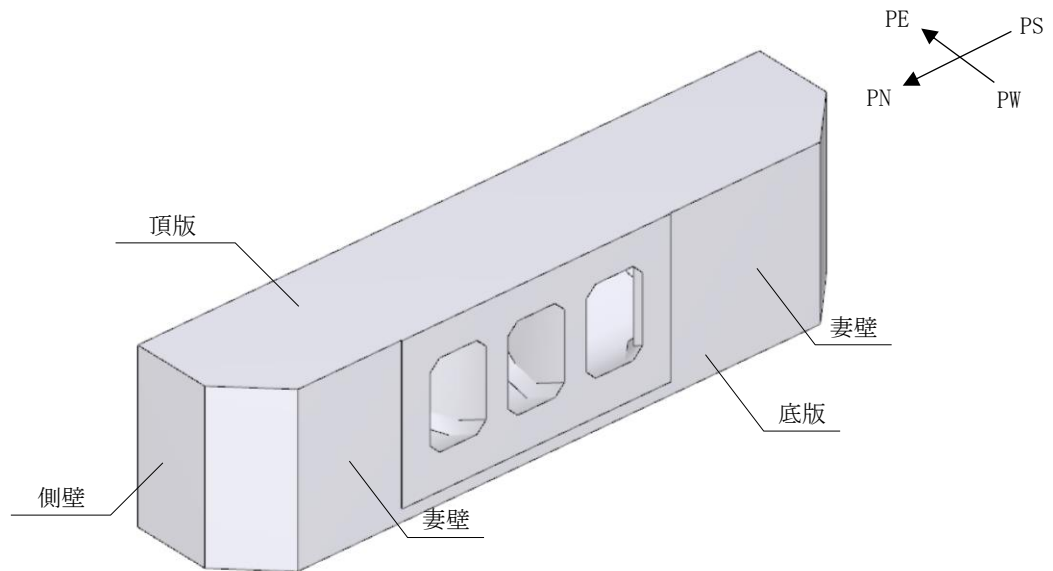
4.1 評価対象部材

補機冷却用海水取水路の3次元構造解析の評価対象部材は、補機冷却用海水取水路を構成する構造部材である頂版、底版、側壁、隔壁、柱及び妻壁とする。

評価対象部材を図4-1に示す。

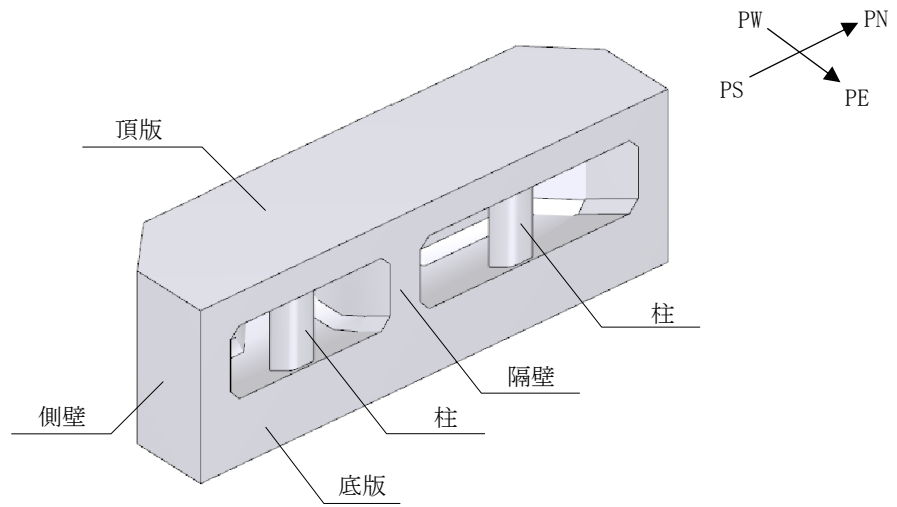


(a) 鳥瞰図 (東側視点)

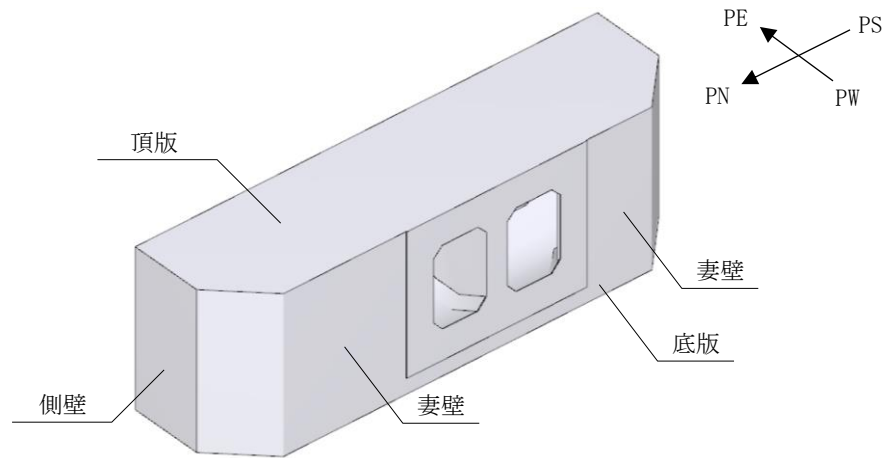


(b) 鳥瞰図 (西側視点)

図4-1 (1) 3次元構造解析の評価対象部材
(補機冷却用海水取水路 (南側))



(a) 鳥瞰図 (東側視点)



(b) 鳥瞰図 (西側視点)

図 4-1 (2) 3次元構造解析の評価対象部材
(補機冷却用海水取水路 (北側))

4.2 解析方法

補機冷却用海水取水路の3次元構造解析は、「3. 地震応答解析」より得られた応答値に基づき、水平2方向及び鉛直方向の荷重を入力し、各構造部材について、曲げ軸力及びせん断力に対する照査を実施する。

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

4.3 解析モデルの諸元

4.3.1 解析モデル

補機冷却用海水取水路の解析モデルを図4-2、要素分割図を図4-3に示す。

(1) 構造物のモデル化

補機冷却用海水取水路の構造部材のうち、柱以外の部材については、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し、柱については、材料の非線形特性を考慮した非線形はり要素でモデル化する。コンクリート及び鉄筋の非線形特性を図4-4及び図4-5に示す。

(2) 境界条件

3次元構造解析モデルの底面には、地盤ばね要素を配置する。東側のタービン建屋との接続面は、NS方向および鉛直方向にはローラーを配置し、EW方向には、隣接するタービン建屋により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は、土圧が西側から東側に作用することを踏まえ、自由境界とする。

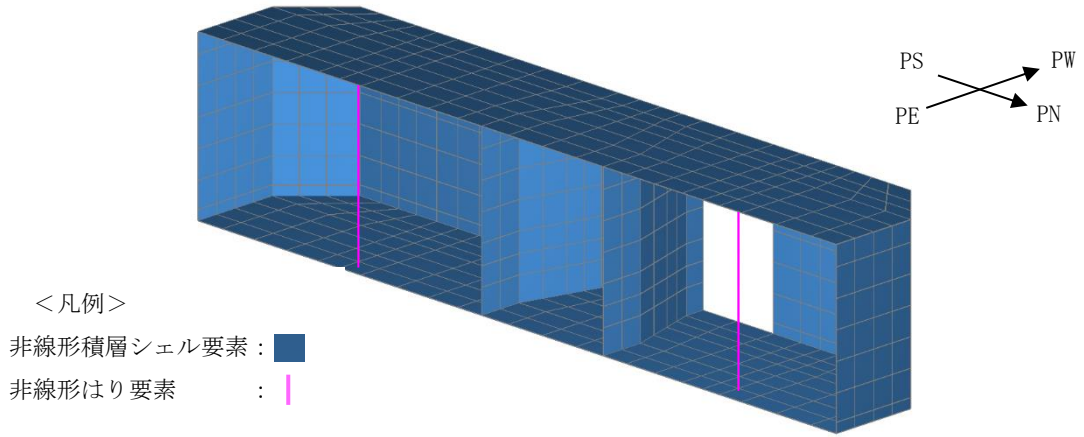


図 4-2 (1) 補機冷却用海水取水路のモデル概念図 (南側)

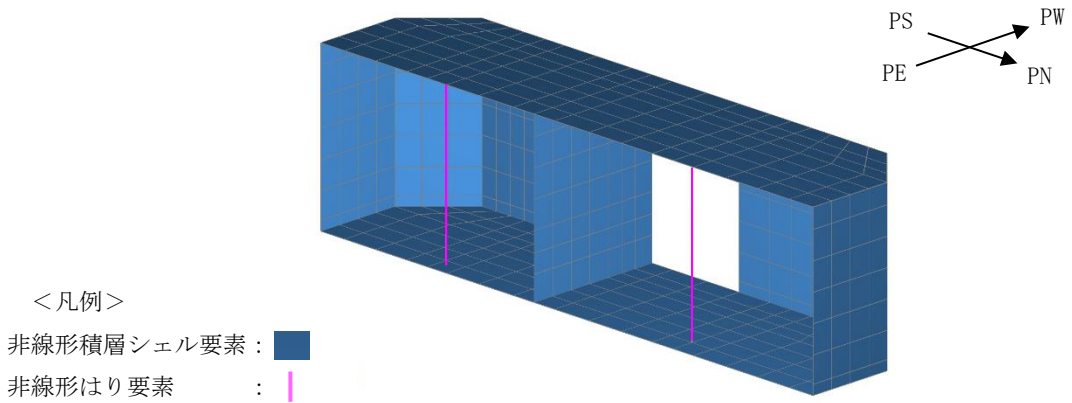
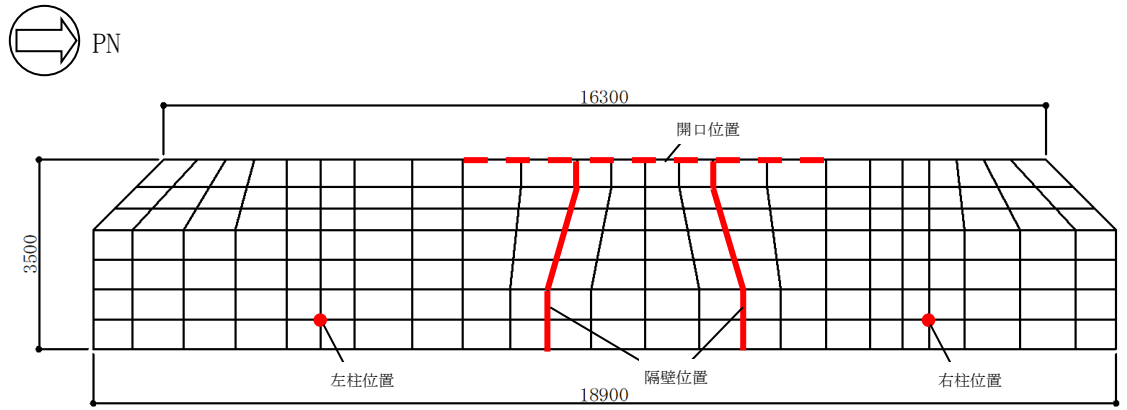
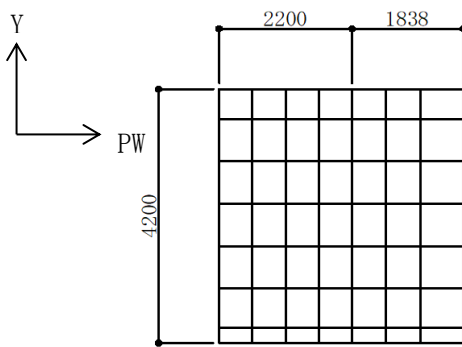


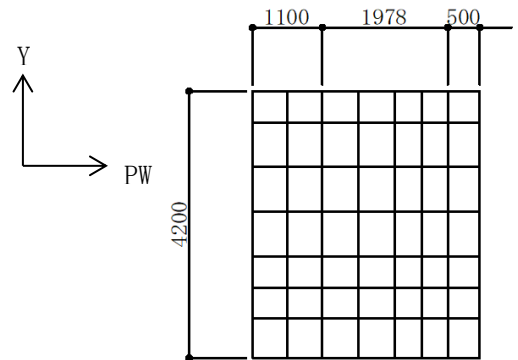
図 4-2 (2) 補機冷却用海水取水路のモデル概念図 (北側)



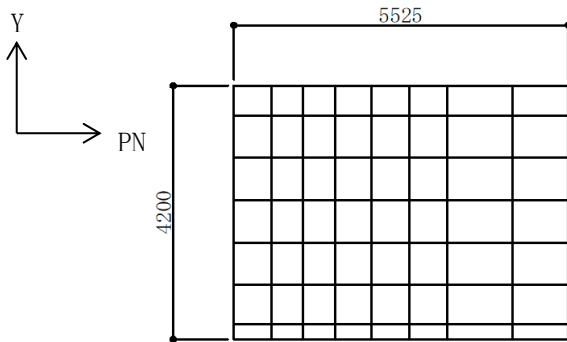
(a) 頂版及び底板



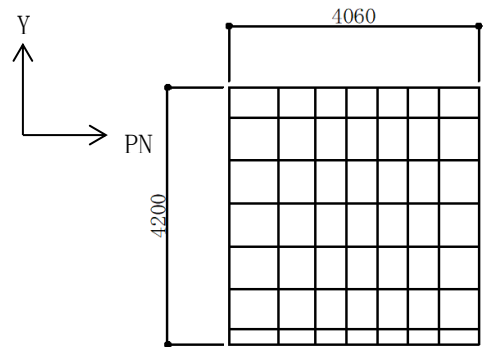
(b) 南側壁及び北側壁



(c) 隔壁



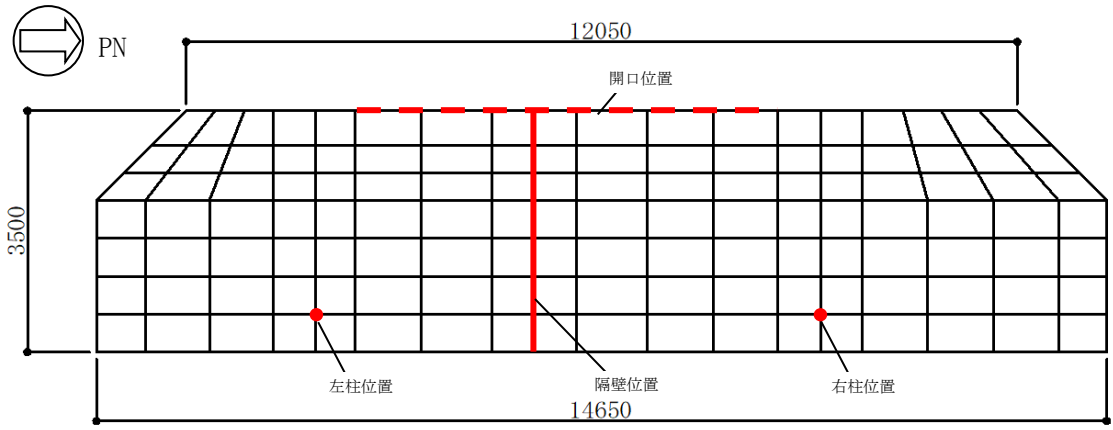
(d) 南妻壁



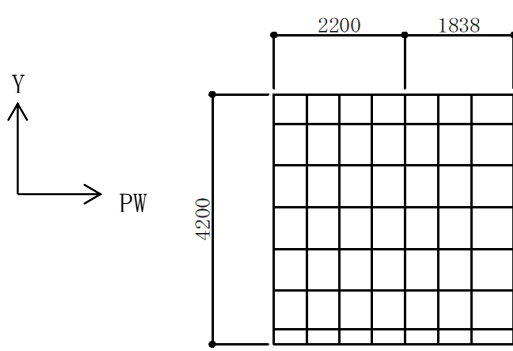
(e) 北妻壁

(単位：mm)

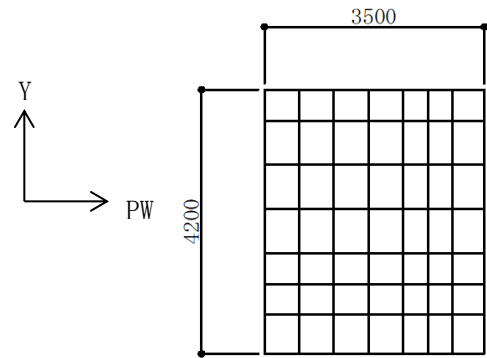
図 4-3 (1) 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (南側))



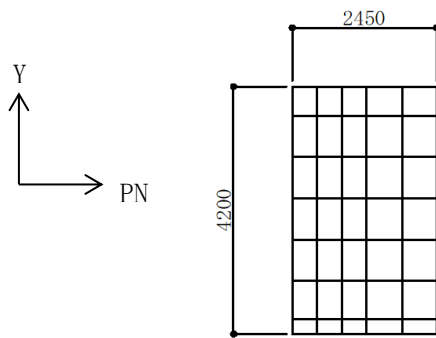
(a) 頂版及び底版



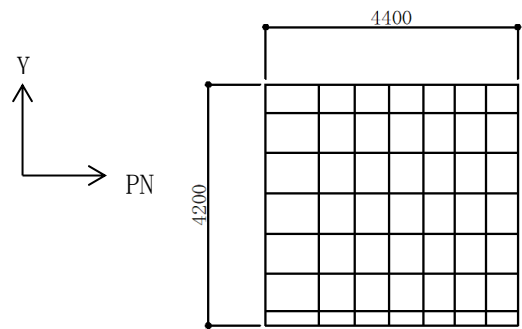
(b) 南側壁及び北側壁



(c) 隔壁



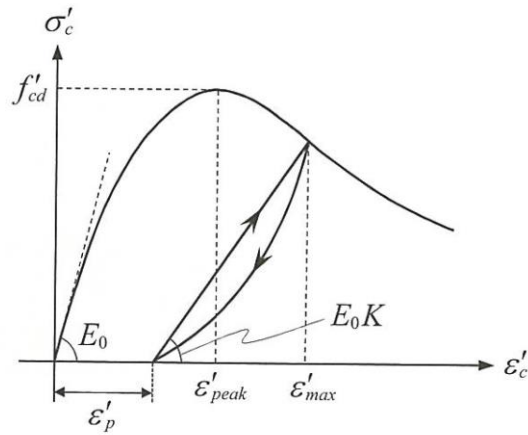
(d) 南妻壁



(e) 北妻壁

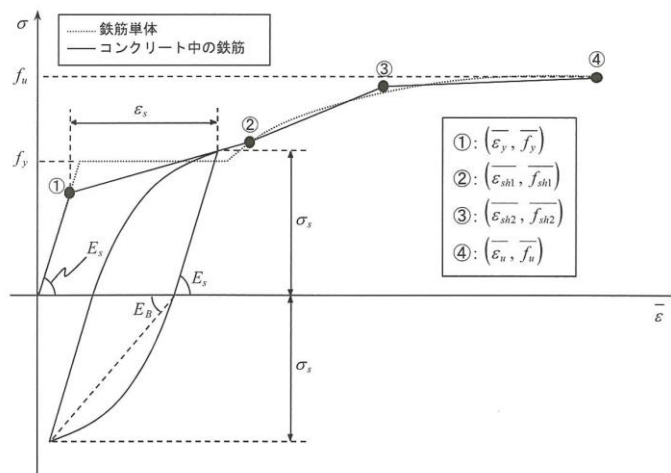
(単位：mm)

図 4-3 (2) 要素分割図 (補機冷却用海水取水路 (北側))



(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 4-4 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 4-5 鉄筋の非線形特性

4.3.2 使用材料及び材料物性値

補機冷却用海水取水路の使用材料及び材料物性値は、「3.5.2 使用材料及び材料物性値」に基づき設定する。

4.4 照査時刻及び入力荷重

4.4.1 照査時刻

照査時刻は、耐震評価に支配的な荷重が発生する時刻を選定する。

A-A断面については、妻壁の面内せん断応力最大時を照査時刻とし、B-B断面及びC-C断面については、妻壁の土水圧最大時を照査時刻とする。

4.4.2 入力荷重

3次元構造解析の入力荷重は、地震応答解析に基づく「4.4.1 照査時刻」で選定した照査時刻における応答値を用いて算定する。入力荷重の一覧を表4-1に示す。

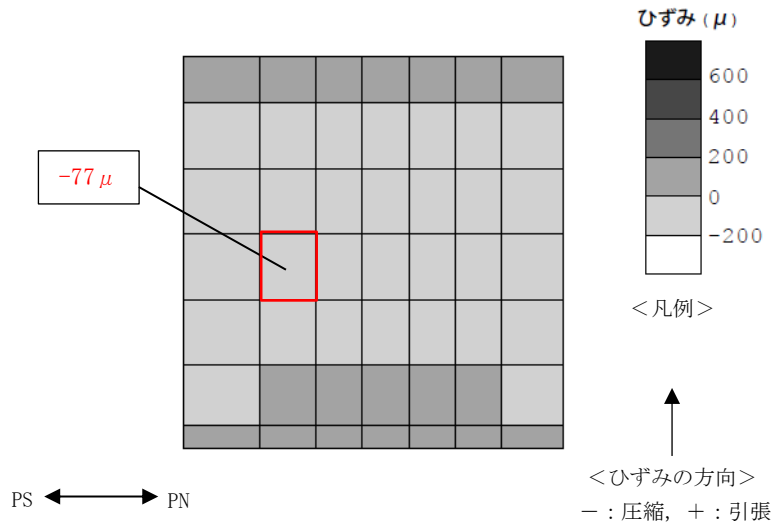
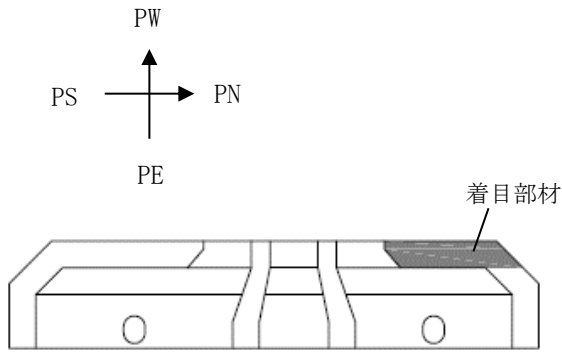
表4-1 3次元構造解析における入力荷重

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

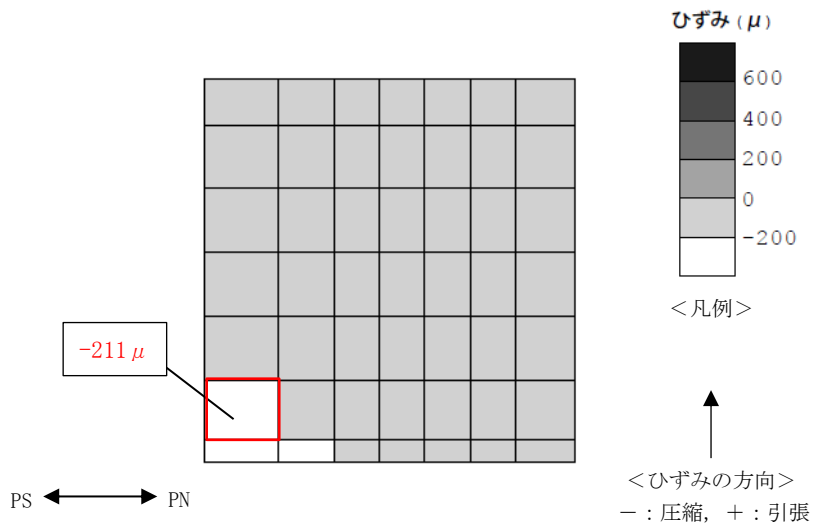
注記* : 動水圧は、地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

4.5 3次元構造解析結果

3次元構造解析に基づく構造部材の曲げ軸力照査における最大照査値の評価時刻でのひずみ分布を図4-6,せん断力照査における最大照査値の評価時刻での断面力分布を図4-7に示す。



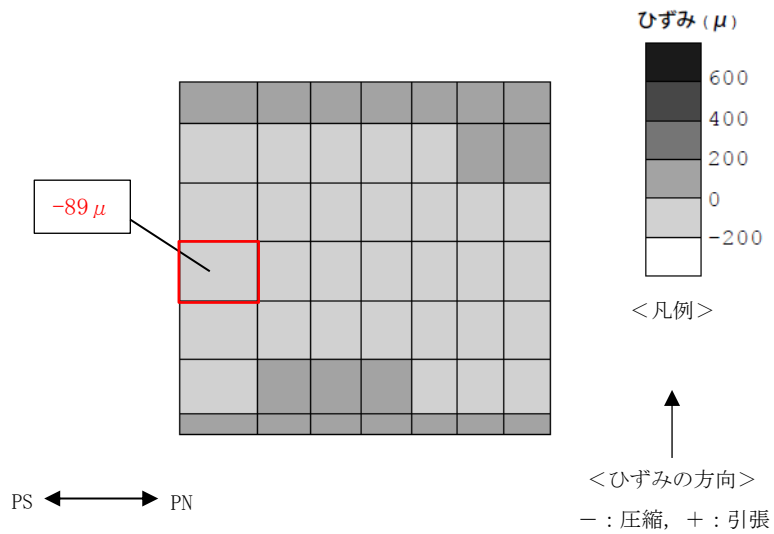
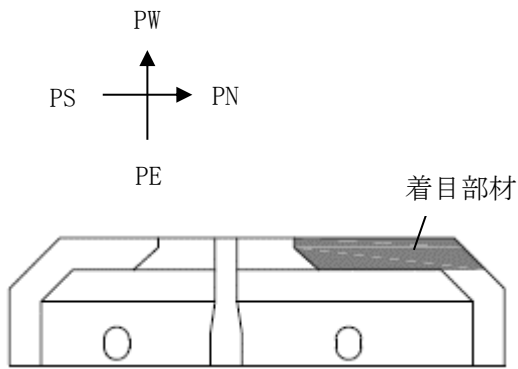
(a) 最外縁（西側）のひずみ分布



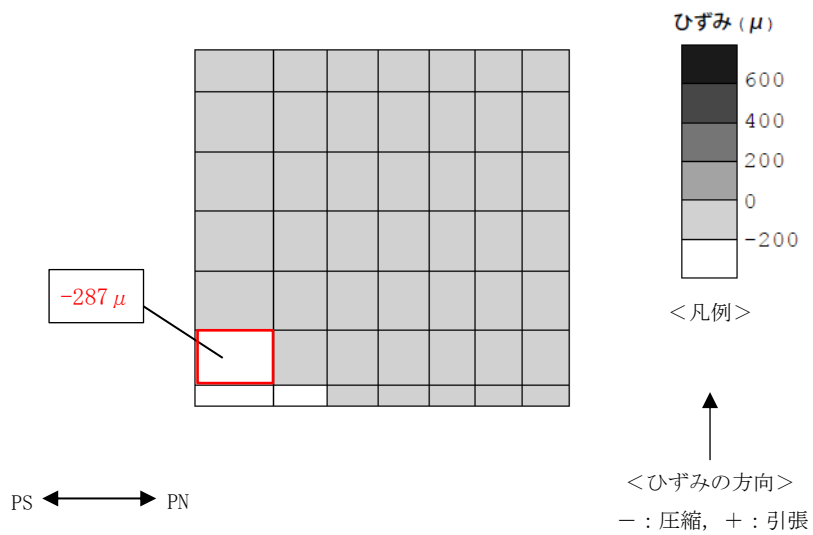
(b) 最外縁（東側）のひずみ分布

: 最大ひずみ発生箇所

図 4-6 (1) 曲げ軸力照査における照査値最大時のひずみ分布図
 (補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 妻壁, 解析ケース②, Ss-1+, t=5.67s)



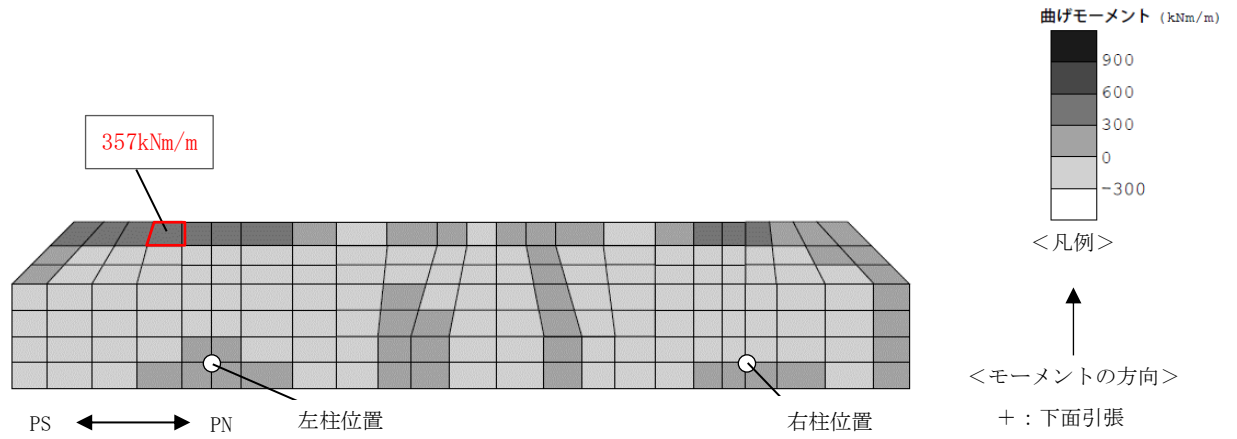
(a) 最外縁（西側）のひずみ分布



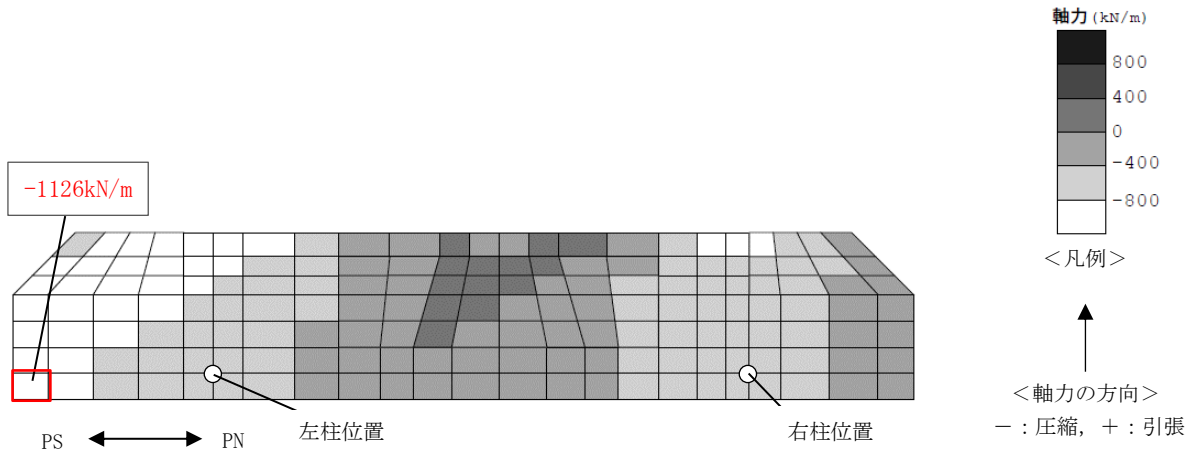
(b) 最外縁（東側）のひずみ分布

: 最大ひずみ発生箇所

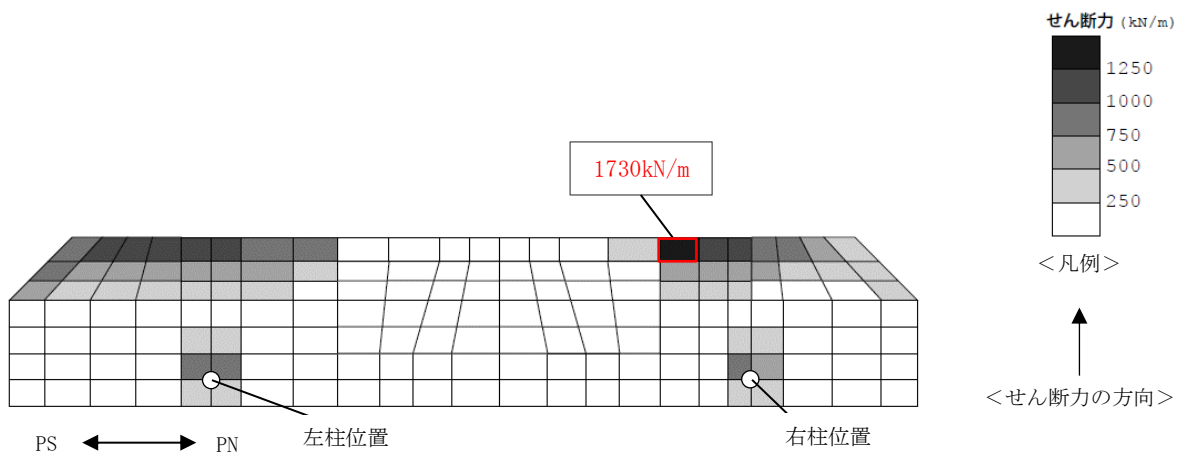
図 4-6 (2) 曲げ軸力照査における照査値最大時のひずみ分布図
 (補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 妻壁, 解析ケース④, Ss-1+, t=5.70s)



(a) 曲げモーメント分布



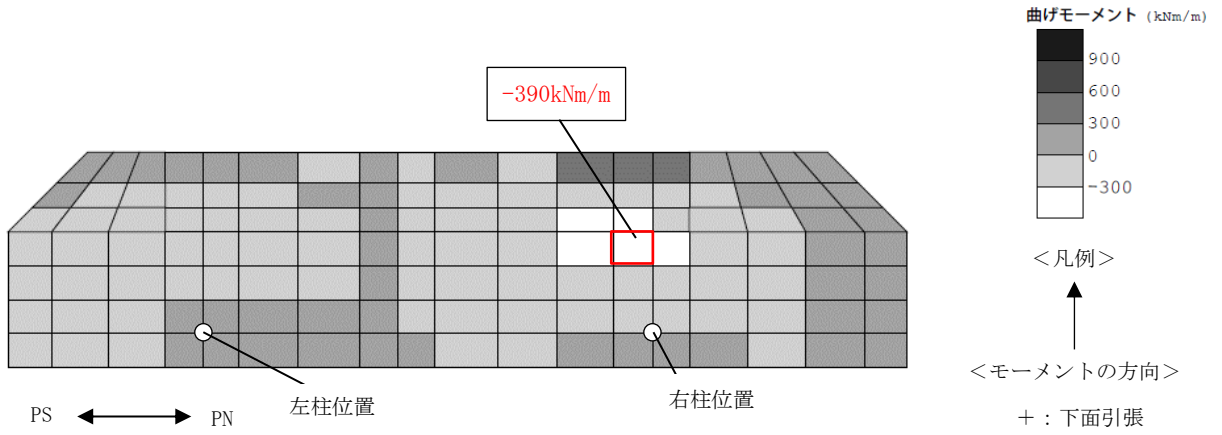
(b) 軸力分布



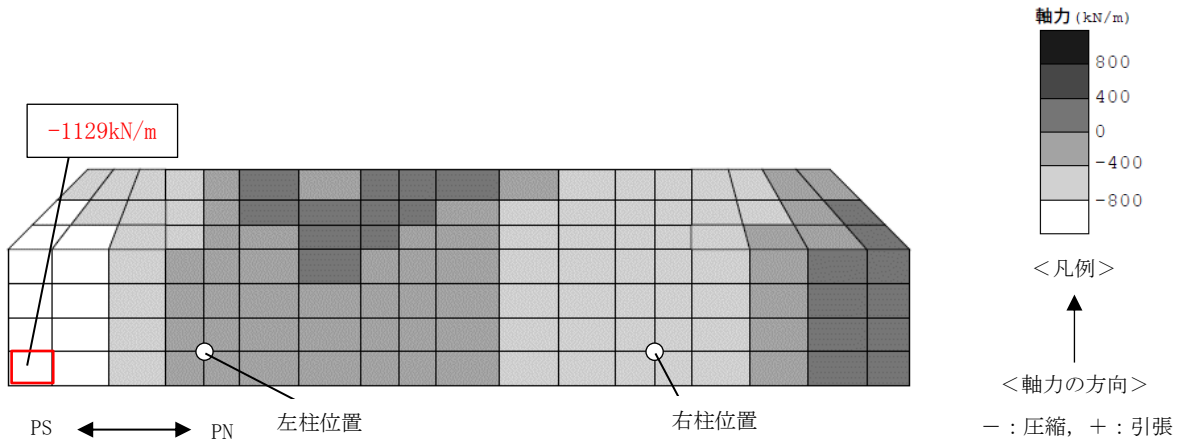
(c) せん断力分布

: 最大断面力発生箇所

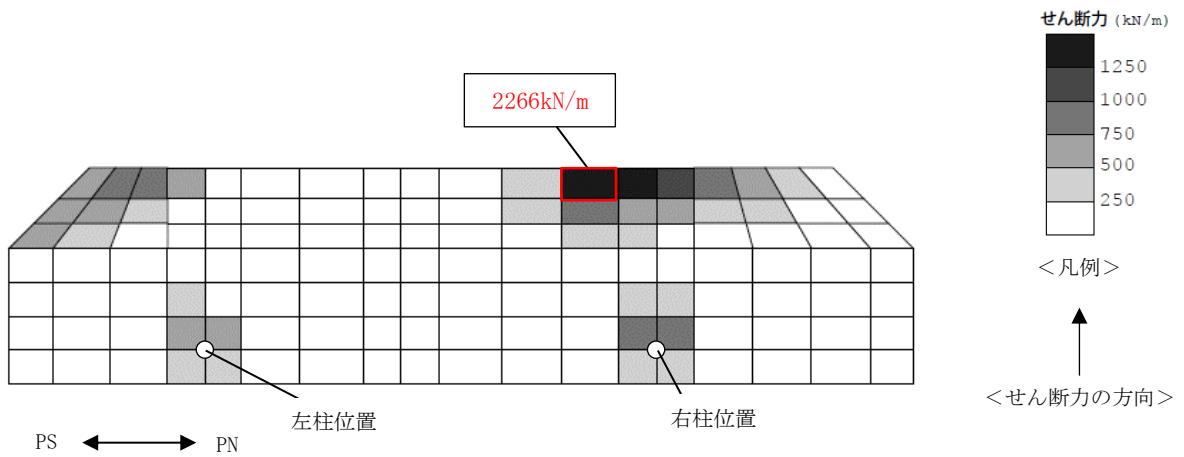
図 4-7 (1) 構造部材のせん断力照査値最大時の断面力分布図
(補機冷却用海水取水路 (南側), 部材: 底版, 解析ケース②, Ss-1+-, t=5.67s)



(a) 曲げモーメント分布



(b) 軸力分布



(c) せん断力分布

: 最大断面力発生箇所

図 4-7 (2) 構造部材のせん断力照査値最大時の断面力分布図
(補機冷却用海水取水路 (北側), 部材: 底版, 解析ケース④, Ss-1+, t=5.70s)

5. 耐震評価

5.1 許容限界

許容限界は、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

5.1.1 構造部材の健全性に対する許容限界

(1) 曲げ軸力に対する許容限界

曲げ軸力に対する許容限界は、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。）に基づき、限界ひずみ（圧縮縁コンクリートひずみ1.0%）とする。

土木学会マニュアルでは、曲げ系の破壊に対する限界状態は、コンクリートの圧縮縁のかぶりが剥落しないこととされている。

圧縮縁コンクリートひずみ1.0%の状態は、かぶりコンクリートの剥落が発生する前の状態であることが、屋外重要土木構造物を模したラーメン構造の破壊実験及び数値シミュレーション等の結果より確認されている。この状態を限界値とすることで構造全体としての安定性が確保できるとして設定されたものである。

(2) せん断力に対する許容限界

せん断力に対する許容限界は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式又はディープビーム式で求まるせん断耐力を許容限界とする。妻壁の面内せん断に対する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）に基づき、せん断ひずみ度に関する許容限界の目安値とする。

5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する最大接地圧に対する許容限界は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、基礎地盤（西山層）の極限支持力度とする。

基礎地盤（西山層）の極限支持力度を表5-1に示す。

表5-1 基礎地盤（西山層）の極限支持力度

項目	許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	6.17

5.2 評価方法

補機冷却用海水取水路の耐震評価は、地震応答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。

構造部材の健全性評価については、3次元構造解析より算定した構造部材の照査用圧縮ひずみ、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが、「5.1 許容限界」に示す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については、地震応答解析から算定した最大接地圧が、「5.1 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

6. 耐震評価結果

6.1 構造部材の健全性に対する評価結果

構造部材の曲げ軸力照査における最大照査値を表 6-1、せん断力照査における各評価位置での最大照査値を表 6-2 に示す。また、妻壁の面内せん断力照査の結果を表 6-3 に示す。

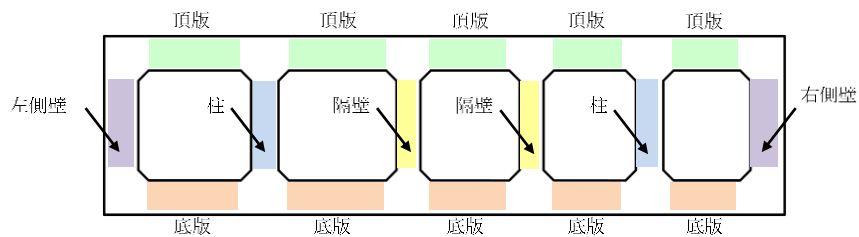
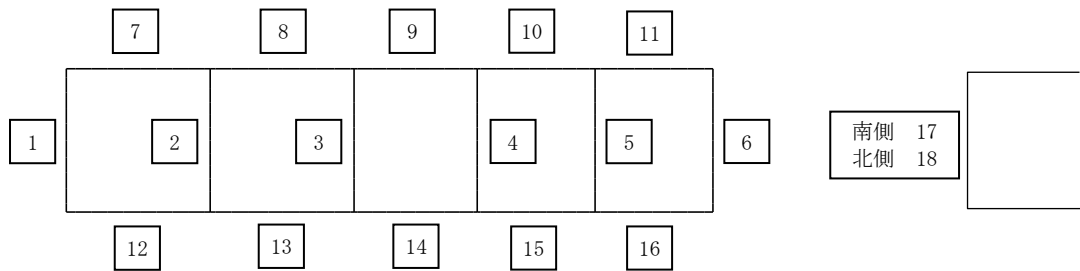
補機冷却用海水取水路の構造部材の照査用圧縮ひずみ、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 (1) 曲げ軸力照査における最大照査値 (補機冷却用海水取水路 (南側))

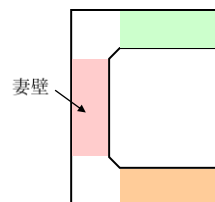
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用圧縮ひずみ $\epsilon_d^{*2} (\mu)$	限界ひずみ $\epsilon_r (\mu)$	照査値 ϵ_d / ϵ_r
頂版	8	①	Ss-1-+	168	10000	0.017
側壁	1	②	Ss-1+-	203	10000	0.021
隔壁	4	③	Ss-1+-	217	10000	0.022
底版	12	①	Ss-3++	214	10000	0.022
柱	2	②	Ss-1+-	208	10000	0.021
妻壁	18	②	Ss-1+-	253	10000	0.026

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

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



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (南側))



B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

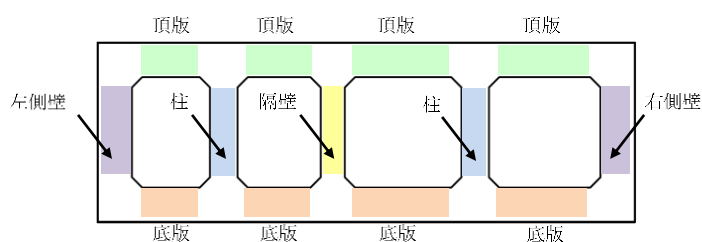
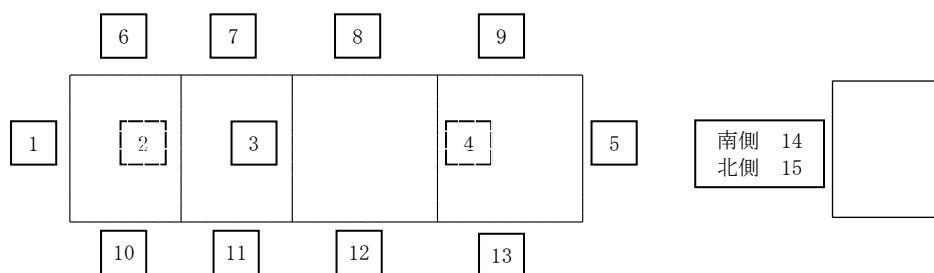
評価位置

表 6-1 (2) 曲げ軸力照査における最大照査値 (補機冷却用海水取水路 (北側))

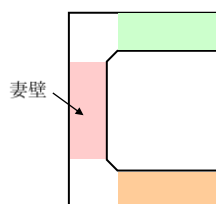
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用圧縮ひずみ ϵ_d^{*2} (μ)	限界ひずみ ϵ_r (μ)	照査値 ϵ_d / ϵ_r
頂版	8	②	Ss-1+-	236	10000	0.024
側壁	5	②	Ss-1+-	259	10000	0.026
隔壁	3	④	Ss-1+-	327	10000	0.033
底板	12	④	Ss-1+-	205	10000	0.021
柱	4	④	Ss-1+-	292	10000	0.030
妻壁	15	④	Ss-1+-	344	10000	0.035

注記*1 : 評価位置は下図に示す。

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



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (北側))



C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

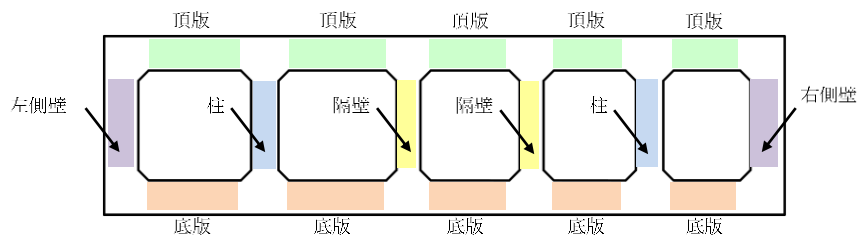
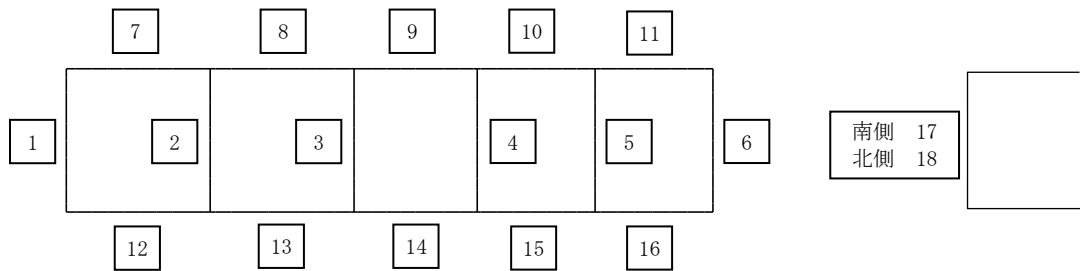
評価位置

表 6-2 (1) せん断力照査における最大照査値 (補機冷却用海水取水路 (南側))

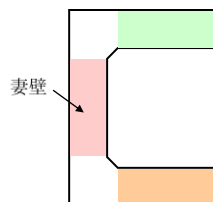
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
頂版	10	①	Ss-2	1195	3050	0.40
側壁	6	①	Ss-3++	1038	2773	0.38
隔壁	4	①	Ss-8++	134	754	0.18
底版	15	②	Ss-1+-	1817	3098	0.59
柱	5	①	Ss-1++	115	795	0.15
妻壁	17	①	Ss-1-+	903	1958	0.47

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 (補機冷却用海水取水路 (南側))



B-B断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

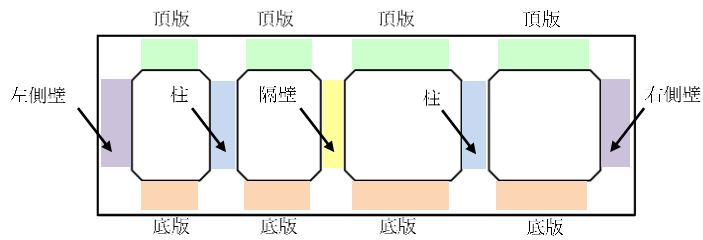
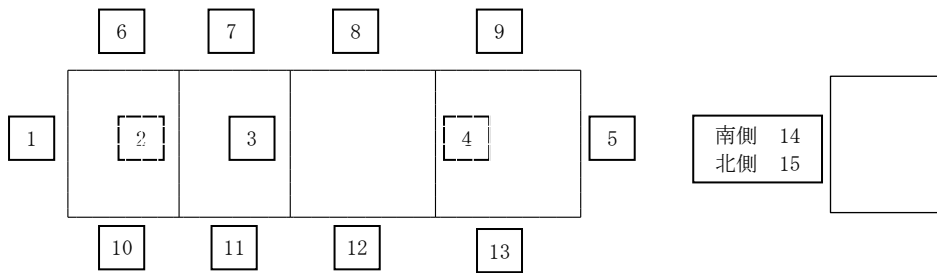
評価位置

表 6-2 (2) せん断力照査における最大照査値 (補機冷却用海水取水路 (北側))

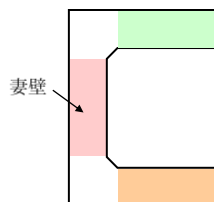
評価位置*1		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*2 V_d (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
頂版	7	④	Ss-1+-	1513	2890	0.53
側壁	5	②	Ss-1+-	937	1947	0.49
隔壁	3	④	Ss-1+-	257	854	0.31
底版	12	④	Ss-1+-	2380	3134	0.76
柱	2	④	Ss-1+-	192	912	0.22
妻壁	15	③	Ss-1+-	902	1695	0.54

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 \times 構造解析係数 γ_a



A-A断面 (補機冷却用海水取水路 (北側))



C-C断面 (妻壁を通る断面の構造形状)

評価位置

表 6-3 (1) 妻壁の面内せん断照査結果 (補機冷却用海水取水路 (南側))

評価位置	解析 ケース	地震動	照査用面内 せん断ひずみ* γ_d	限界せん断 ひずみ γ_A	照査値 γ_d / γ_A
南妻壁	⑤	Ss-1+-	4.55×10^{-5}	2.0×10^{-3}	0.023
北妻壁			9.88×10^{-5}		0.050

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

表 6-3 (1) 妻壁の面内せん断照査結果 (補機冷却用海水取水路 (北側))

評価位置	解析 ケース	地震動	照査用面内 せん断ひずみ* γ_d	限界せん断 ひずみ γ_A	照査値 γ_d / γ_A
南妻壁	⑤	Ss-1+-	2.74×10^{-5}	2.0×10^{-3}	0.014
北妻壁			7.92×10^{-5}		0.040

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

6.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 6-4 に示す。

補機冷却用海水取水路の基礎地盤に発生する最大接地圧が極限支持力度以下であることを確認した。

表 6-4 (1) 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	最大接地圧 σ (N/mm ²)	極限支持力度 q_u (N/mm ²)	照査値 σ / q_u
①	Ss-1--	1.03*	6.17	0.17

注記* : 最大接地圧発生位置は下図に示す。



表 6-4 (2) 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	最大接地圧 σ (N/mm ²)	極限支持力度 q_u (N/mm ²)	照査値 σ / q_u
②	Ss-1+-	0.84*	6.17	0.14

注記* : 最大接地圧発生位置は下図に示す。

