

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-2-043-8 改3
提出年月日	2020年8月25日

V-2-10-3-1-6 取水路の耐震性についての計算書

K7 ① V-2-10-3-1-6 R1

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	10
2.4 適用基準	13
3. 耐震評価	14
3.1 評価対象断面	14
3.2 解析方法	17
3.2.1 構造部材	17
3.2.2 地盤	19
3.2.3 減衰定数	20
3.2.4 地震応答解析の解析ケースの選定	20
3.3 荷重及び荷重の組合せ	21
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	21
3.3.2 荷重	21
3.3.3 荷重の組合せ	21
3.4 入力地震動	22
3.5 解析モデル及び諸元	39
3.5.1 解析モデル	39
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	42
3.5.3 地盤, マンメイドロック及び地盤改良体の物性値	42
3.6 許容限界	43
3.6.1 構造部材の健全性に対する許容限界	43
3.6.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界	43
3.7 評価方法	44
3.7.1 構造部材の健全性評価	44
3.7.2 基礎地盤の支持性能評価	49
4. 耐震評価結果	50
4.1 構造部材の健全性に対する評価結果	50
4.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果	54

別紙 取水路立坑の健全性評価について

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、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。

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

取水路の位置図を図2-1に示す。

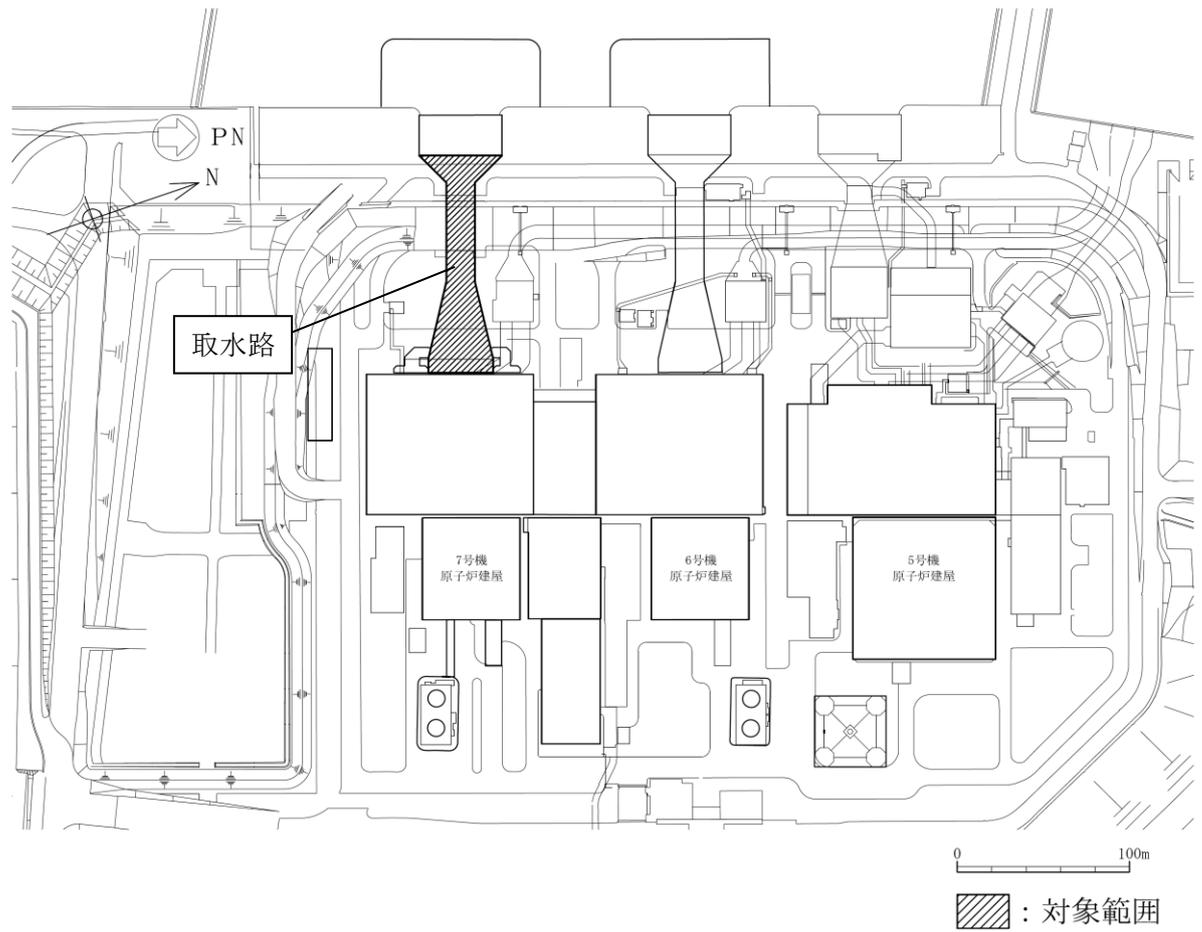


図2-1 取水路の位置図（全体平面図）

2.2 構造概要

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。

取水路は、非常時における海水の通水機能を求められる延長約 127m の鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり、取水方向に複数の断面形状を示し、海側から漸縮部、一般部、漸拡部に分けられる。取水路は、十分な支持性能を有する古安田層*、西山層に直接又はマンメイドロックを介して西山層に支持される。

注記* : 本資料では、安田層下部層の MIS10~MIS7 と MIS6 の境界付近の堆積物を「古安田層」と仮称する。

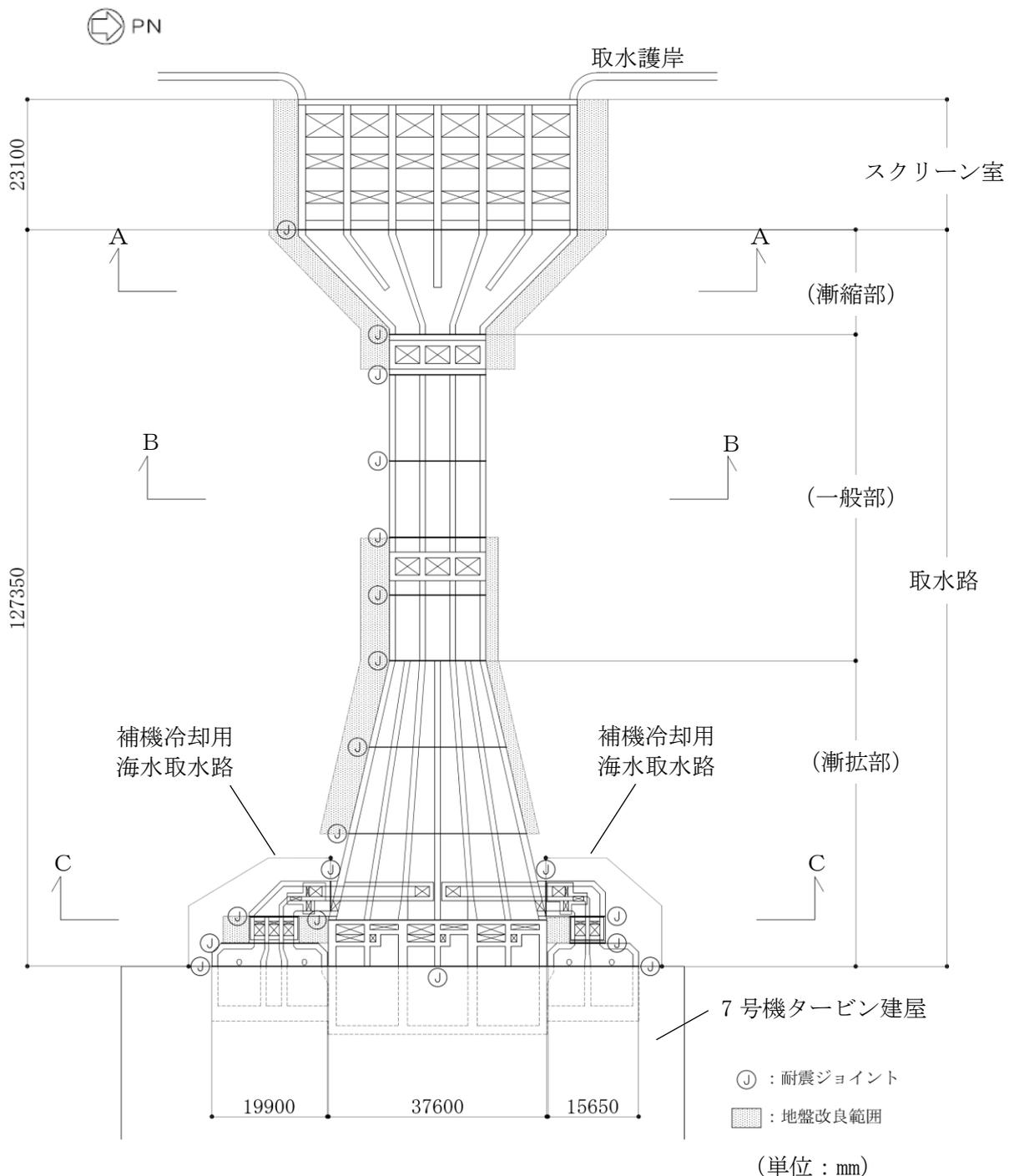
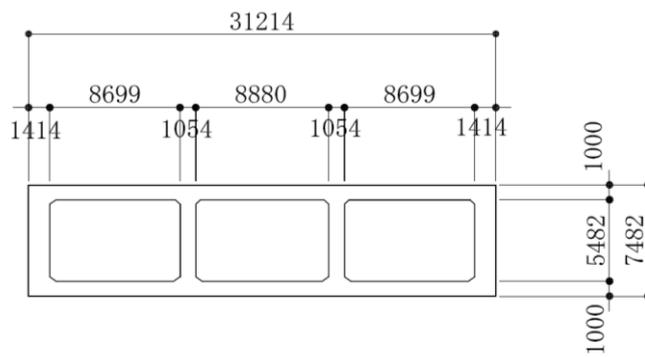
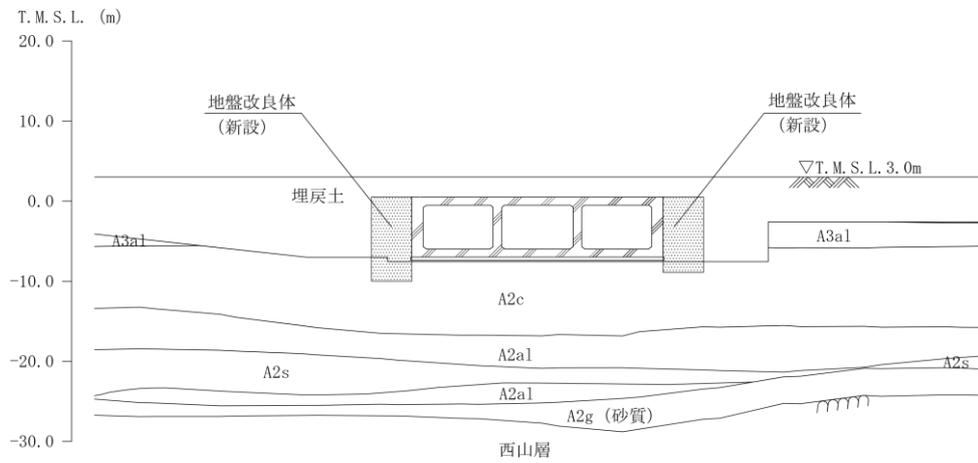


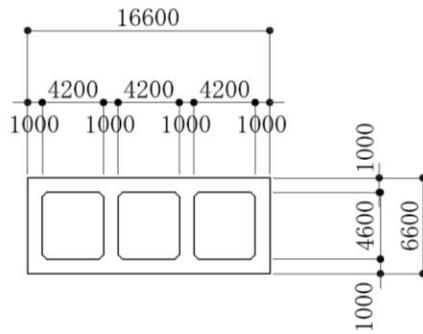
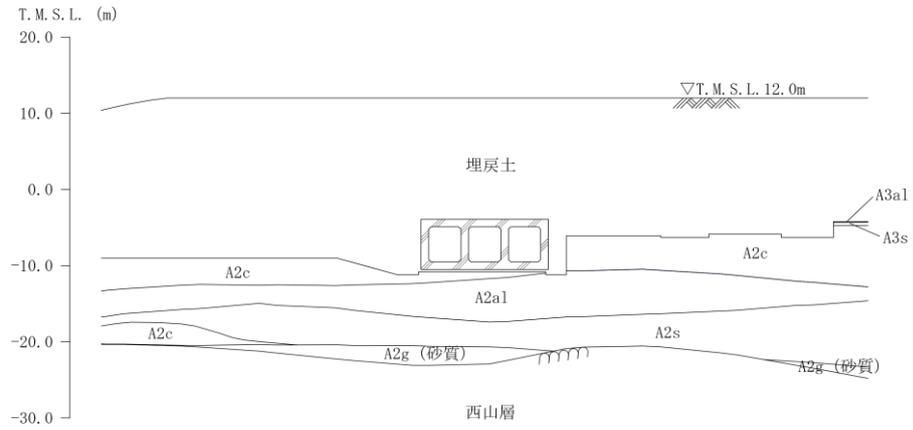
図 2-2 取水路の平面図



(単位：mm)

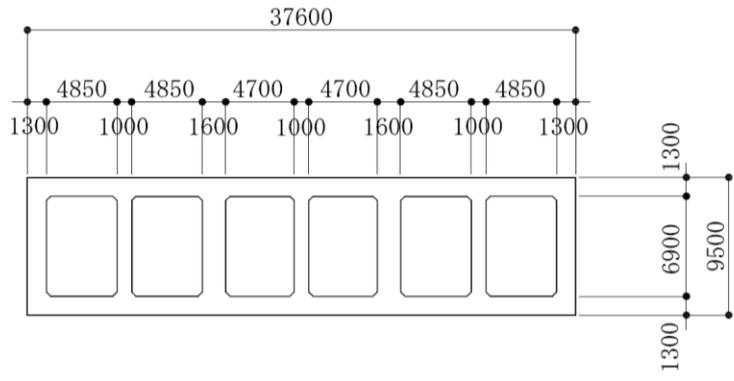
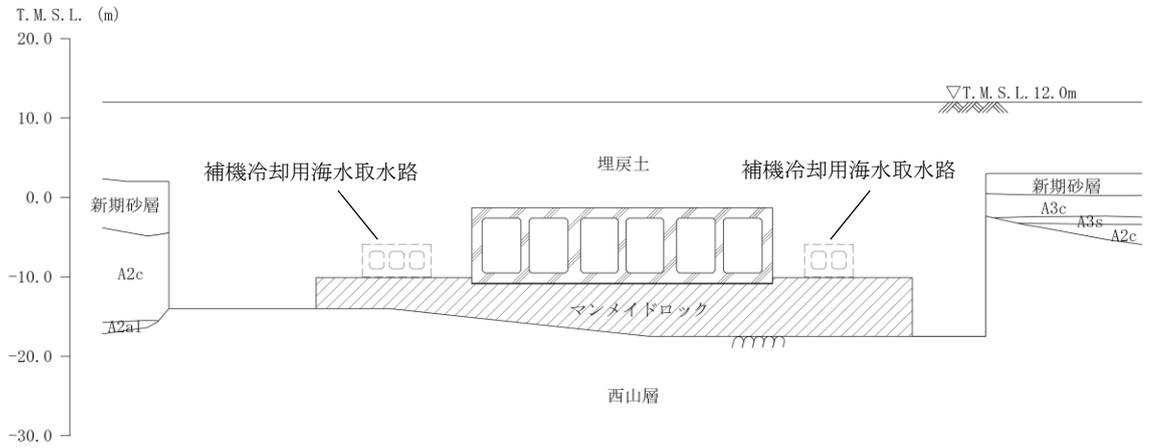
注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-3 (1) 取水路の断面図 (漸縮部 A-A 断面)



(単位 : mm)

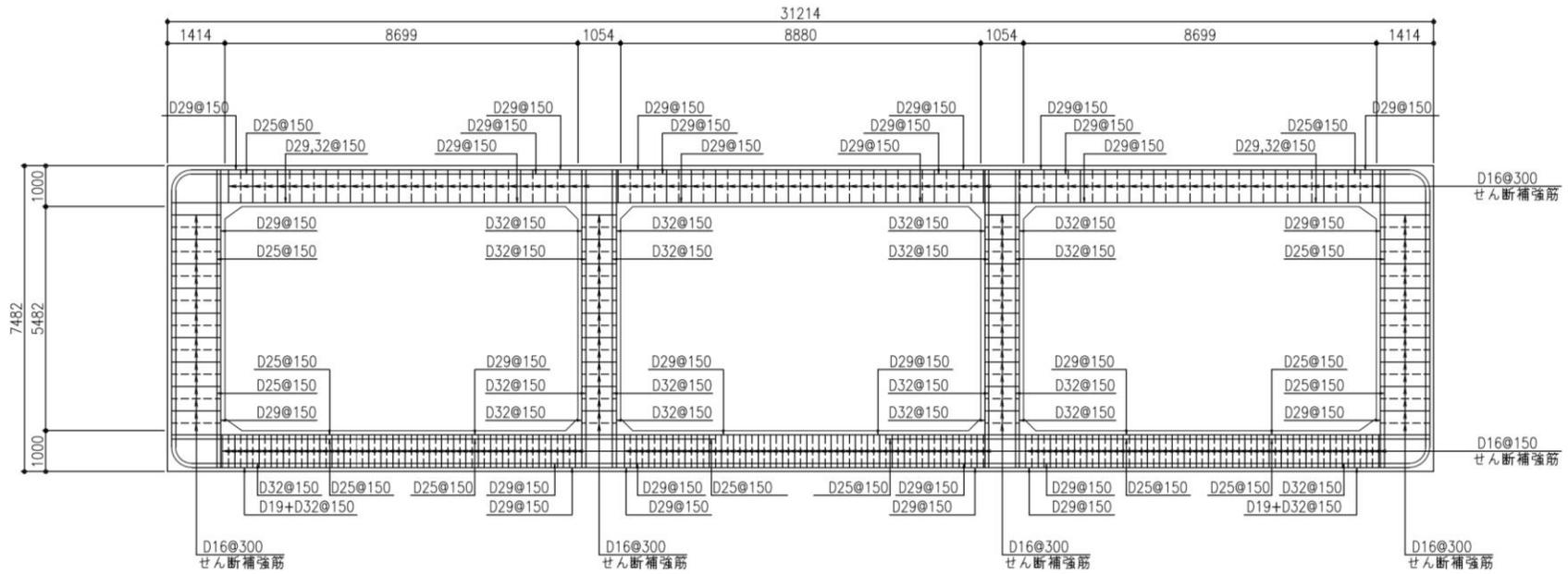
図 2-3 (2) 取水路の断面図 (一般部 B-B 断面)



(単位：mm)

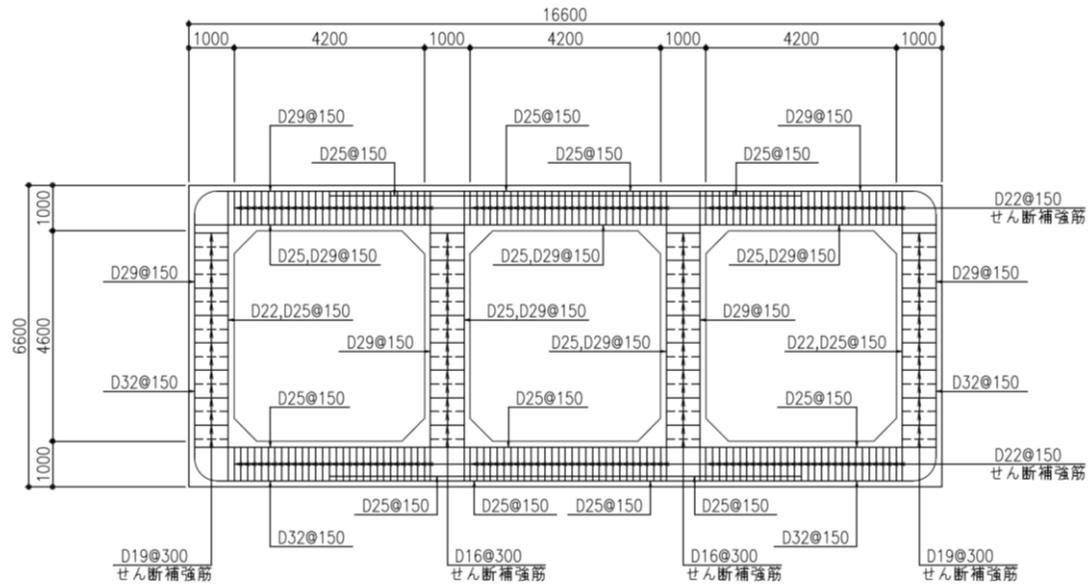
図 2-3 (3) 取水路の断面図 (漸拡部 C-C 断面)

7



(単位：mm)

図 2-4 (1) 取水路の概略配筋図 (漸縮部 A-A断面)



(単位：mm)

図 2-4 (2) 取水路の概略配筋図 (一般部 B-B 断面)

2.3 評価方針

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及び常設重大事故緩和設備に分類される。

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及び基礎地盤の支持性能評価を実施することで、構造強度を有することを確認する。

構造部材の健全性評価については、構造部材に生じる層間変形角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、基礎地盤に生じる鉛直力が極限支持力に基づく許容限界以下であること、若しく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。

取水路の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

ここで、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 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	層間変形角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	限界層間変形角*
				せん断力	せん断耐力*
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	鉛直力又は接地圧が許容限界以下であることを確認	極限支持力* 又は極限支持力度*	

注記* : 妥当な安全余裕を考慮する。

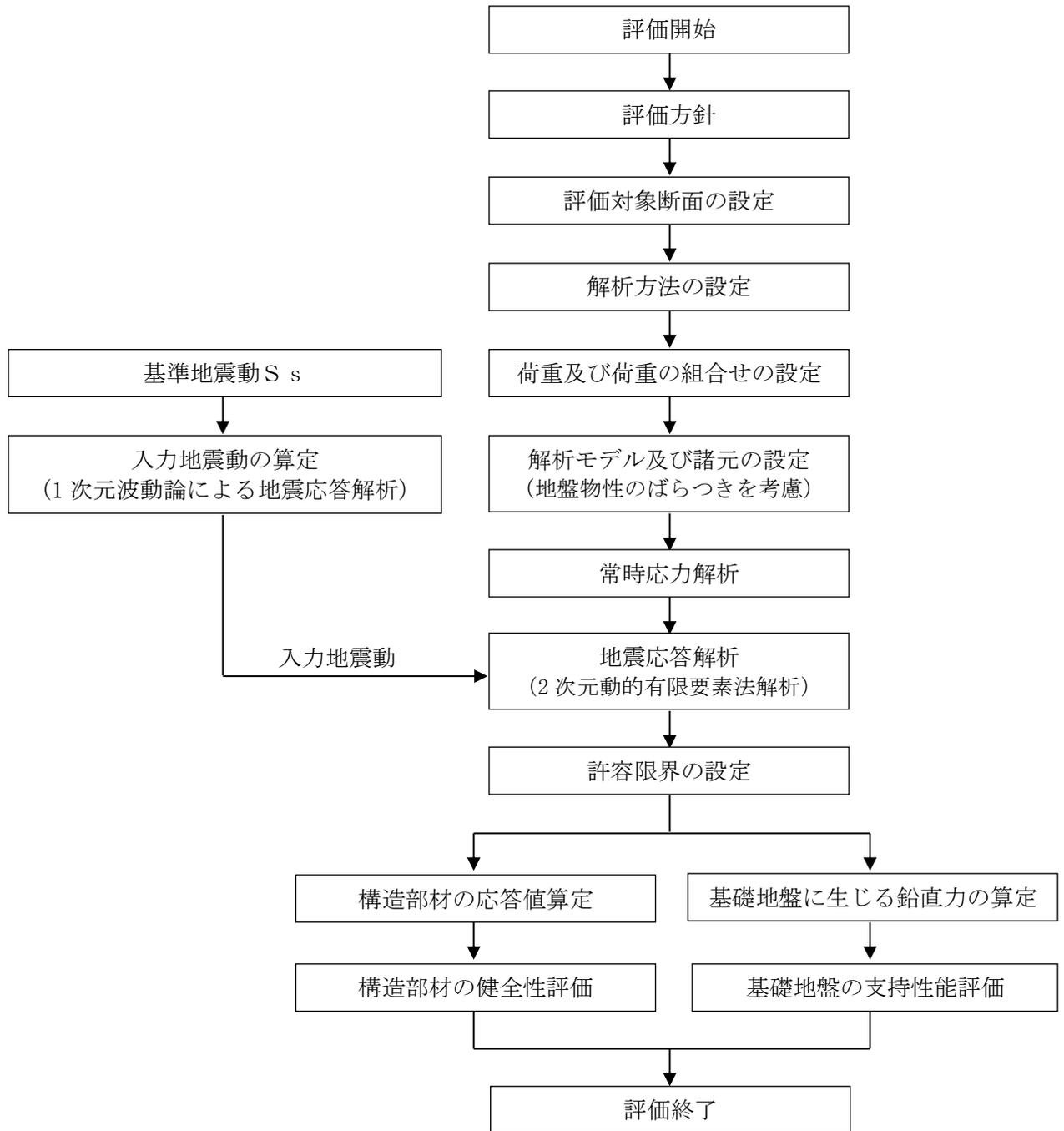


図 2-4 取水路の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，基準等を以下に示す。

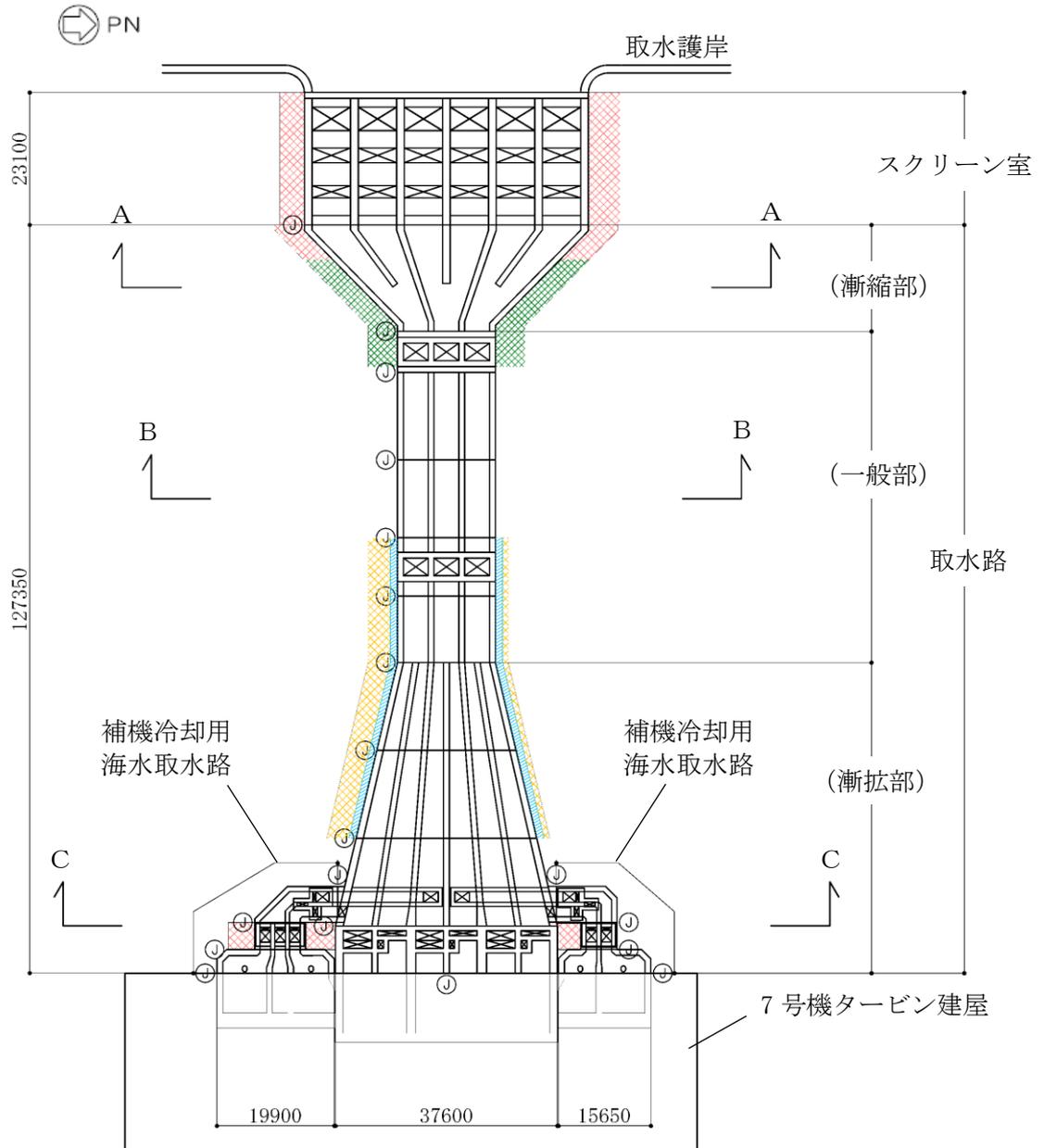
- ・コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）
- ・コンクリート標準示方書〔設計編〕（土木学会，2012年制定）
- ・道路橋示方書（Ⅰ共通編・Ⅳ下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成14年3月）
- ・原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

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。

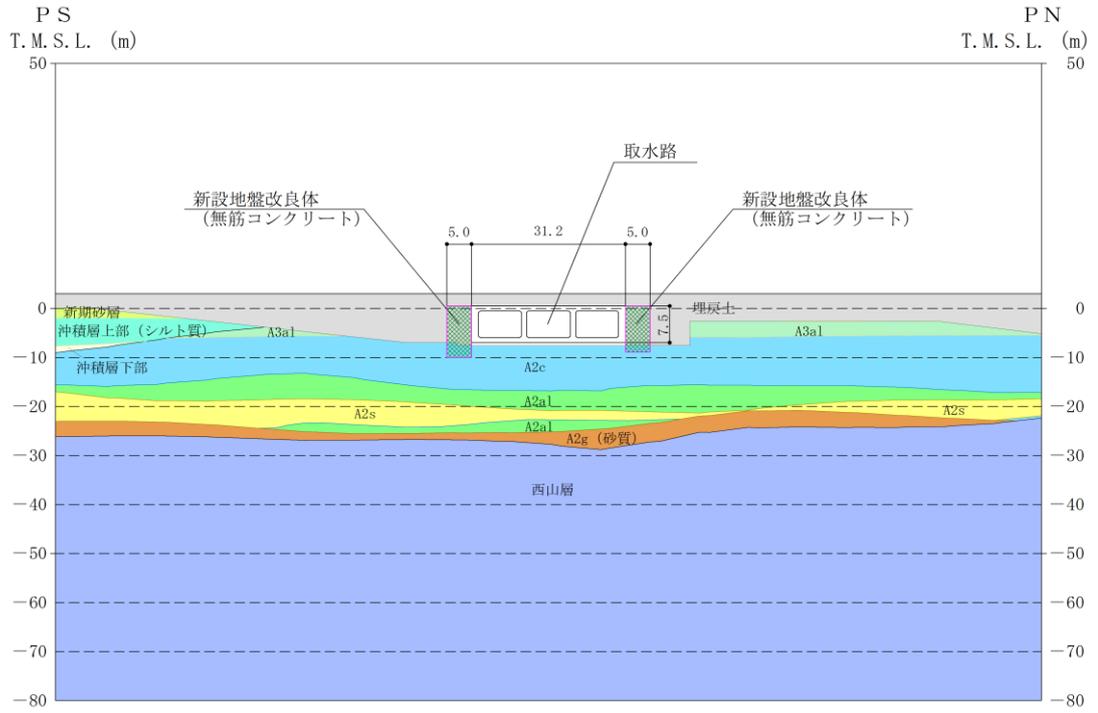


(単位：mm)

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

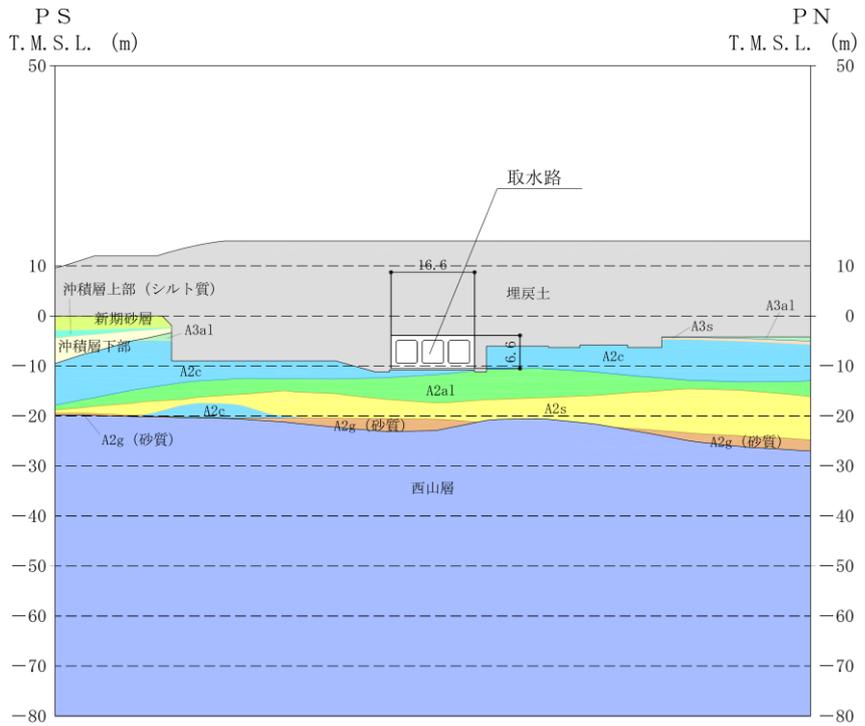
注：置換工法（地中連続壁），機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図3-1 取水路の評価対象断面位置図



(単位：m)

図 3-2 (1) 取水路の評価対象断面図 (A-A 断面)



(単位：m)

図 3-2 (2) 取水路の評価対象断面図 (B-B 断面)

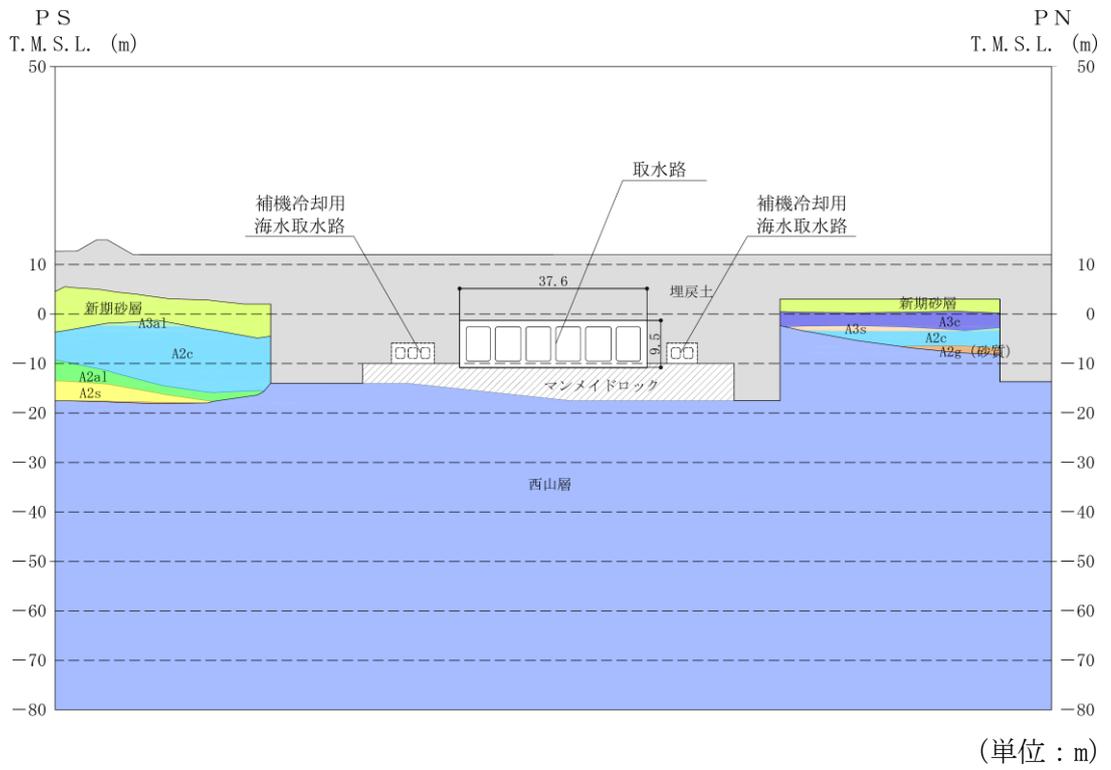


図 3-2 (3) 取水路の評価対象断面図 (C-C断面)

3.2 解析方法

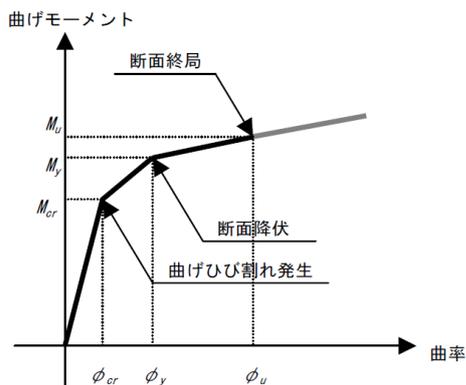
取水路の地震応答解析は、V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち、「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

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。

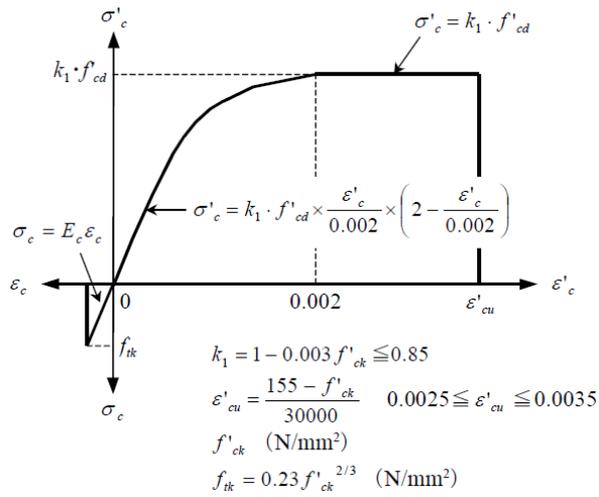
3.2.1 構造部材

鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素でモデル化し、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。



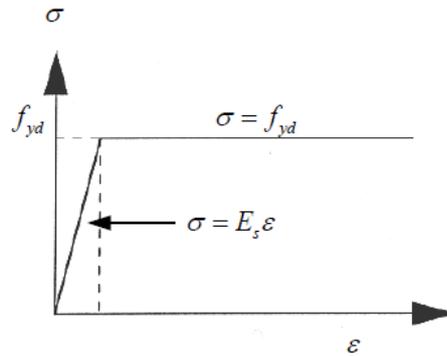
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）より引用）

図3-3 鉄筋コンクリート部材の $M-\phi$ 関係



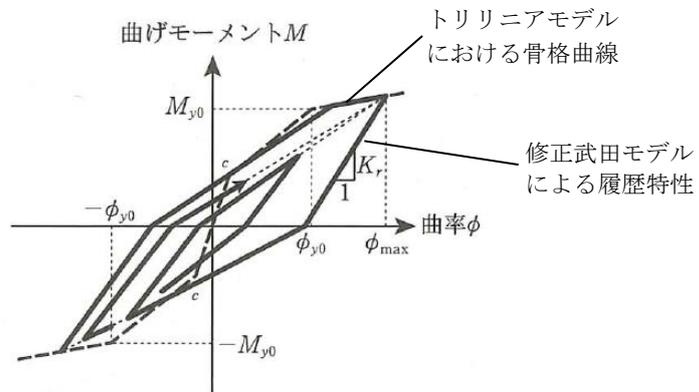
(原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル (土木学会, 2005 年) より引用)

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

3.2.2 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 (+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 (-1σ) 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。

3.2.3 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。

3.2.4 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

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

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 3-5 に入力地震動算定の概念図を、図 3-6 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。

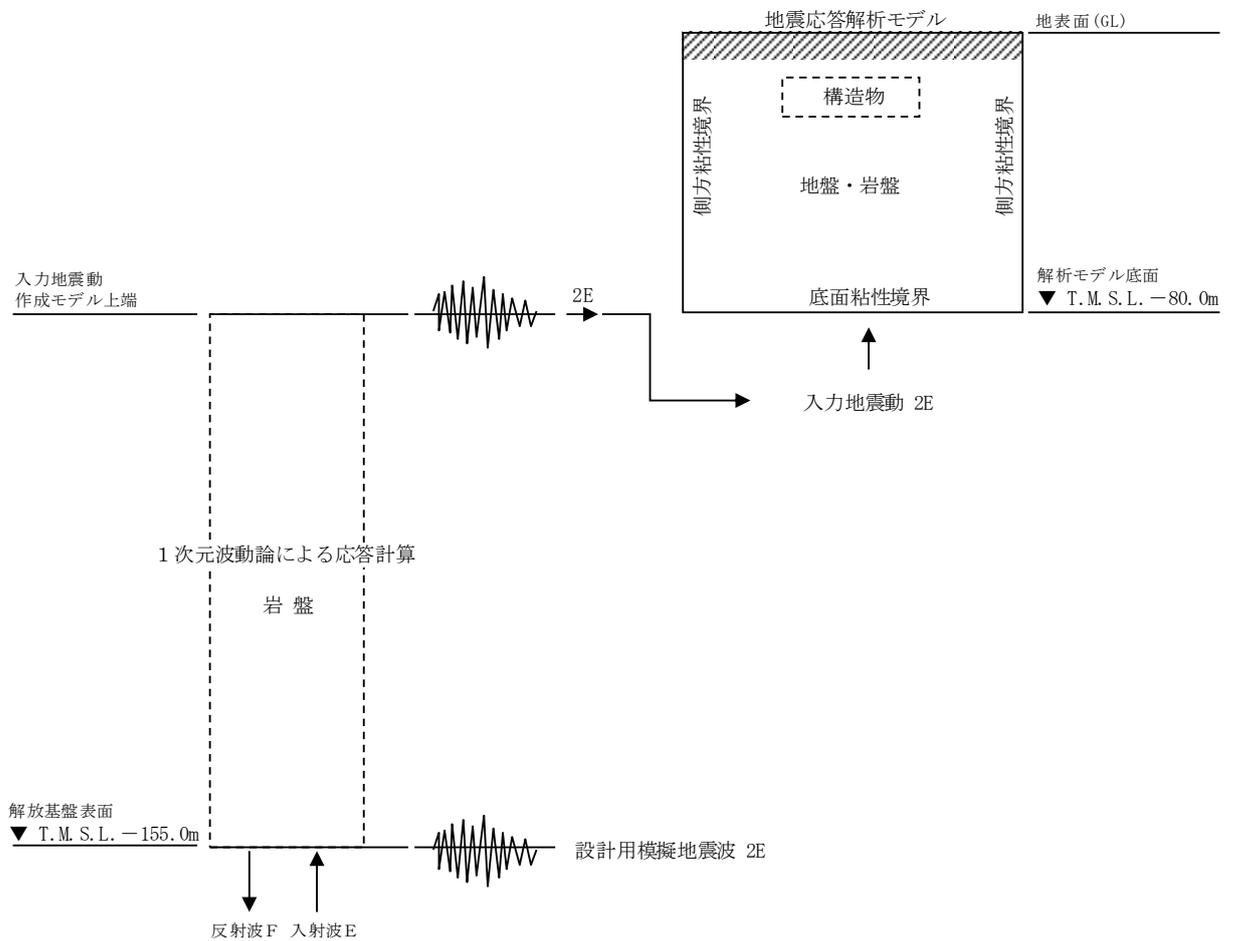
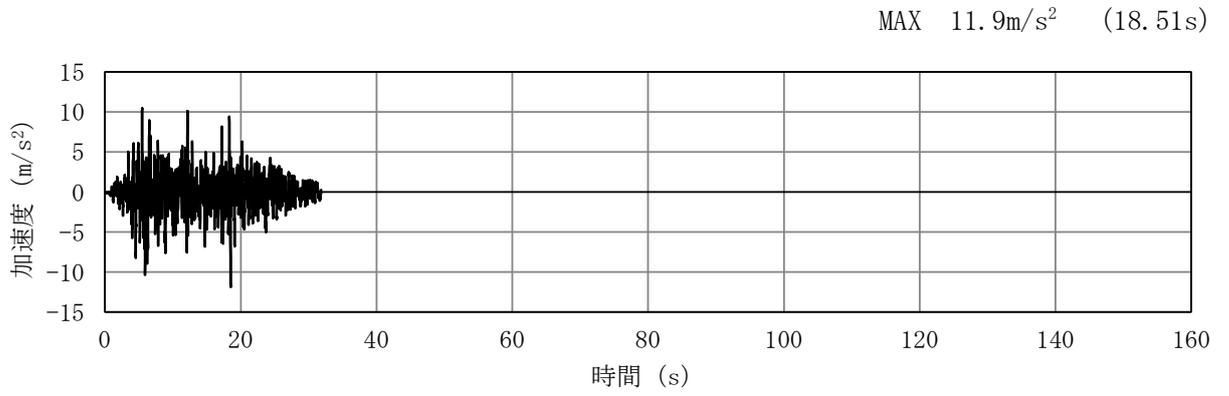
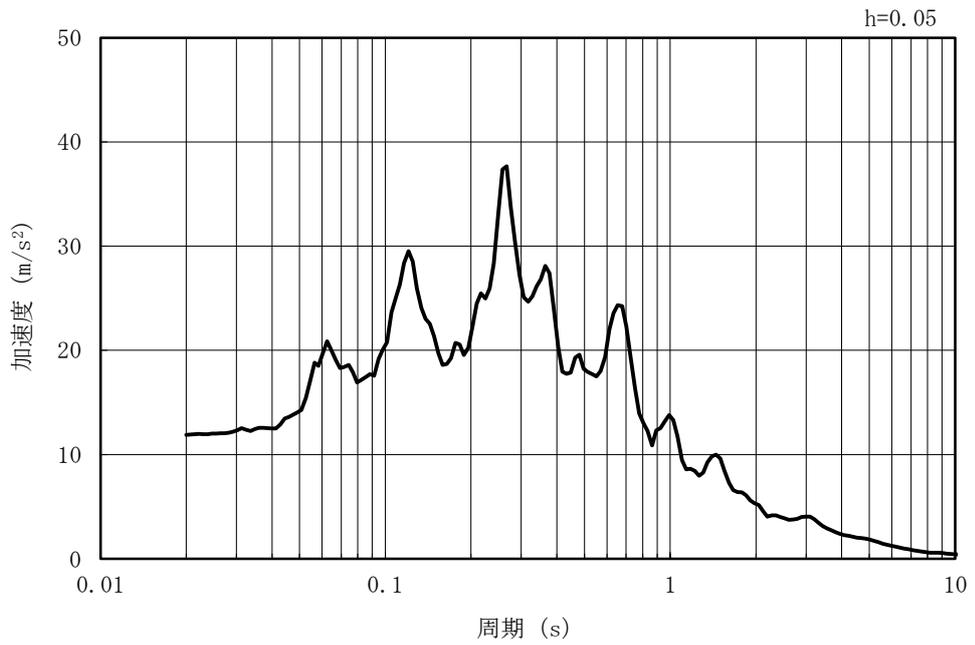


図 3-5 入力地震動算定の概念図

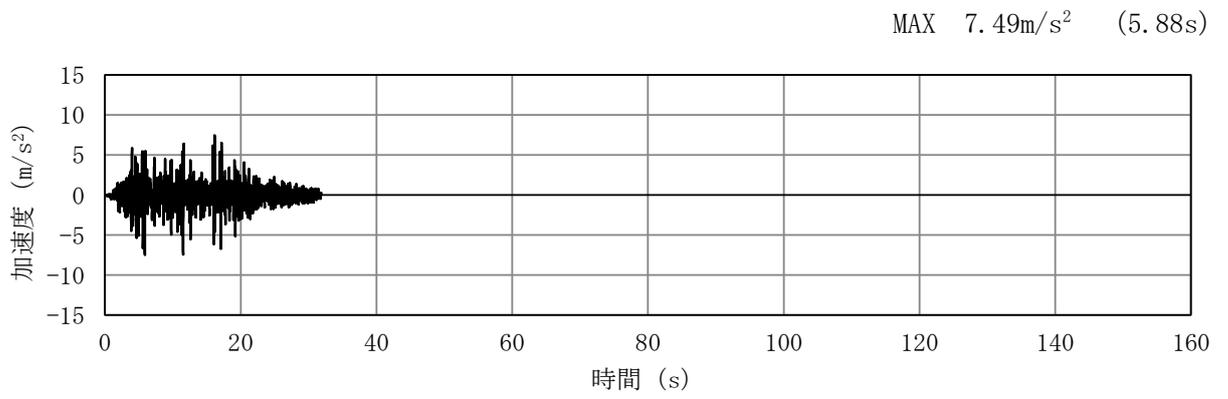


(a) 加速度時刻歴波形

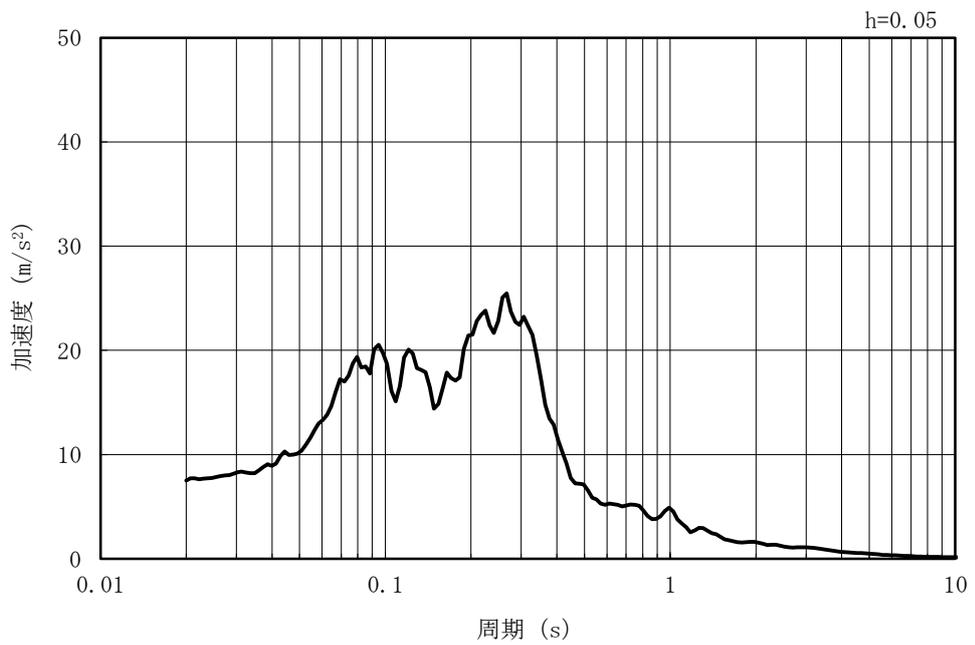


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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)

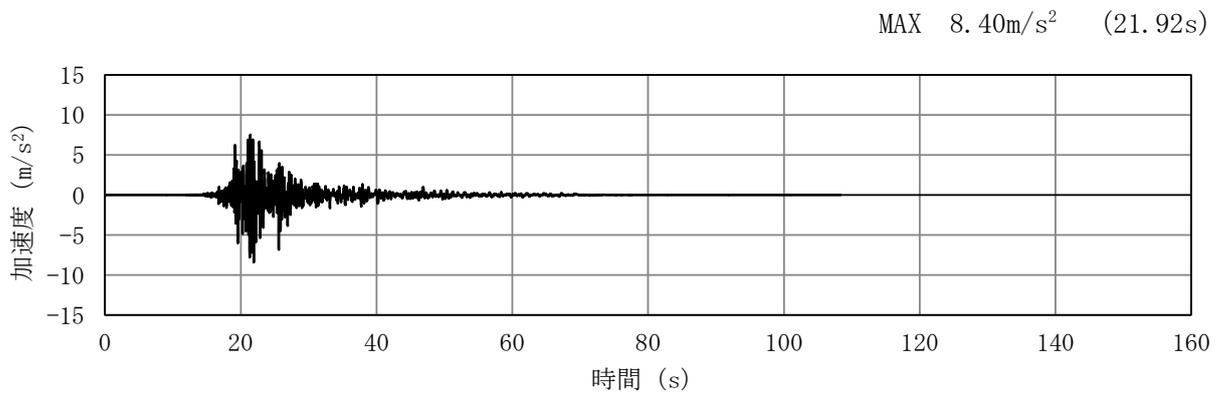


(a) 加速度時刻歴波形

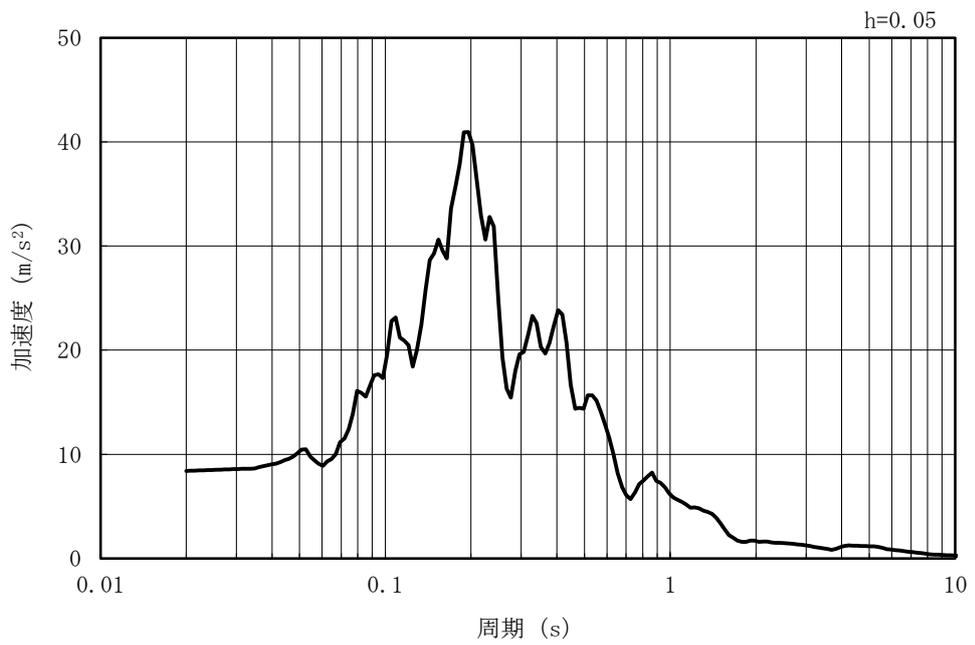


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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)

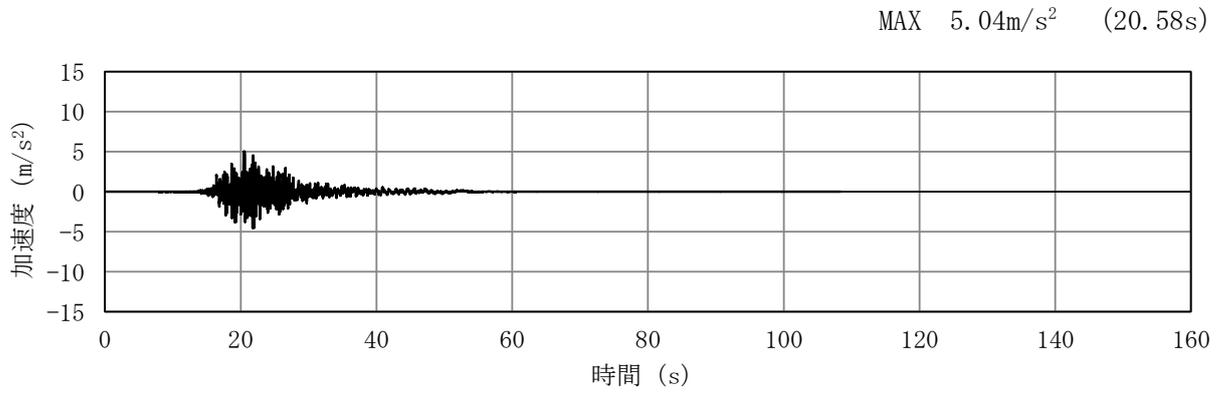


(a) 加速度時刻歴波形

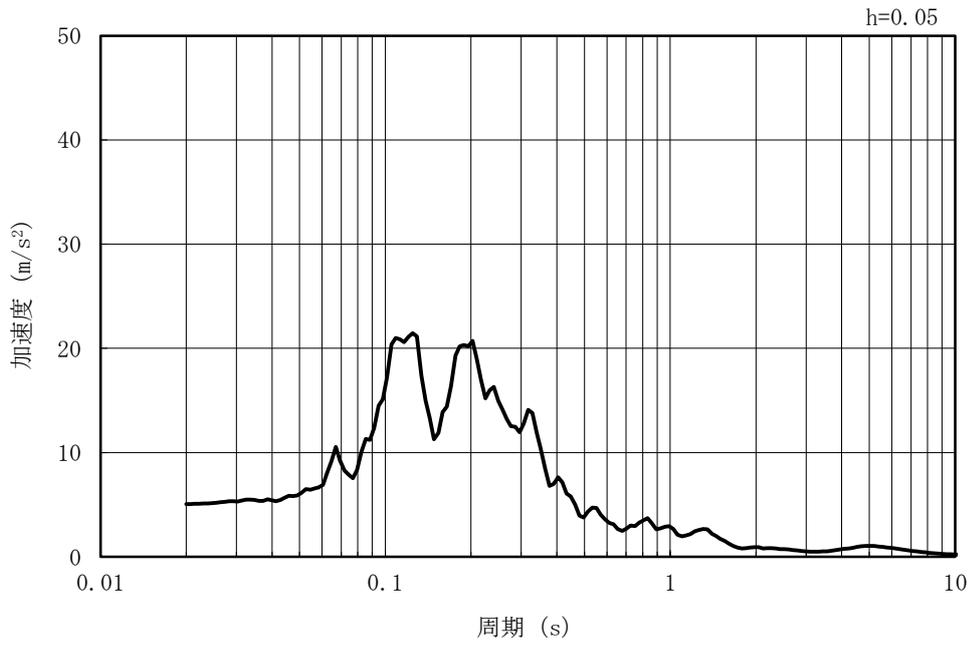


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-2NS)

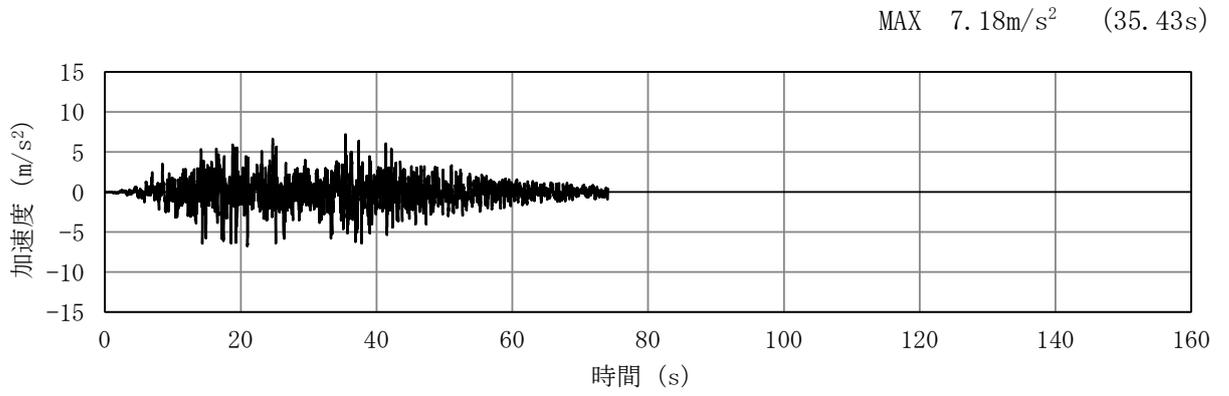


(a) 加速度時刻歴波形

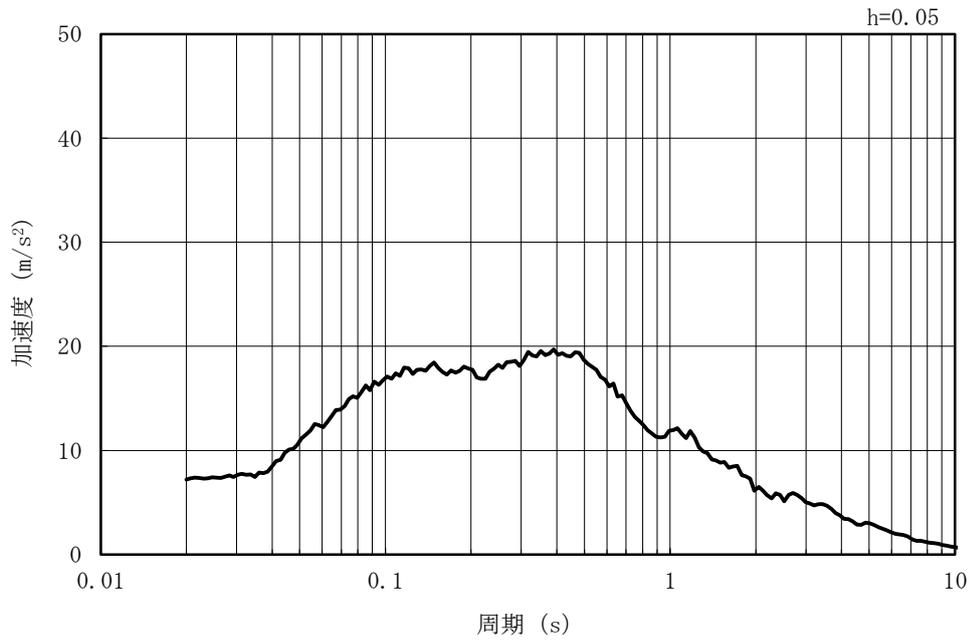


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-2NS)

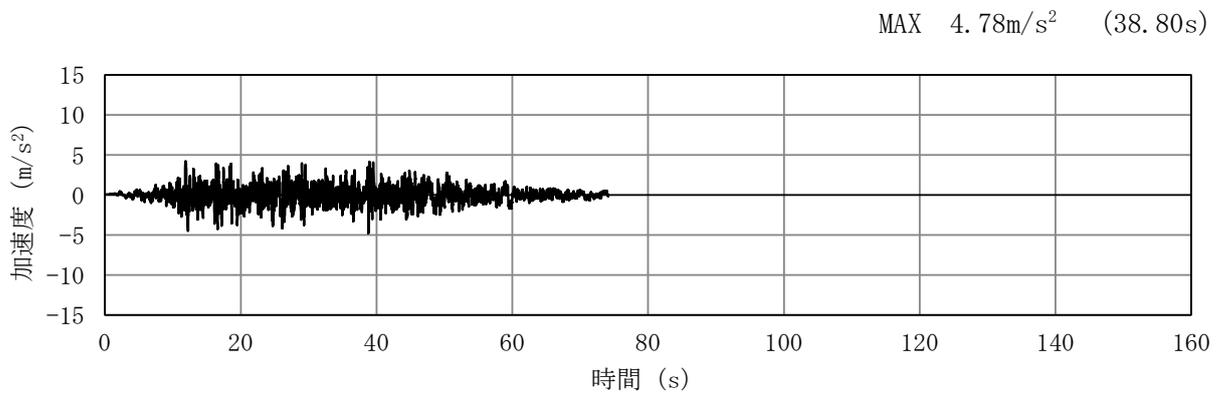


(a) 加速度時刻歴波形

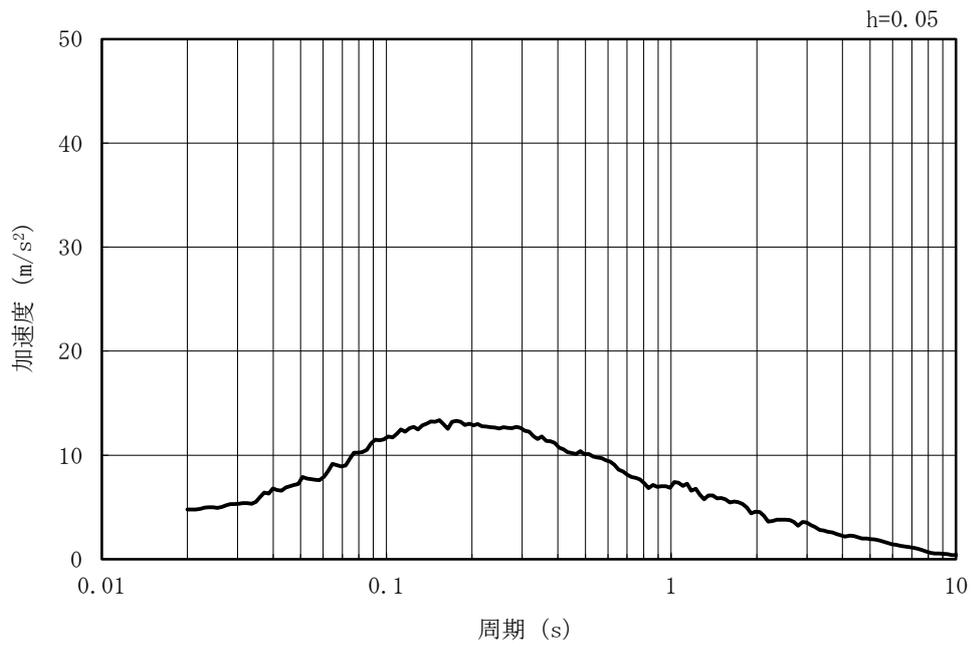


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-3)

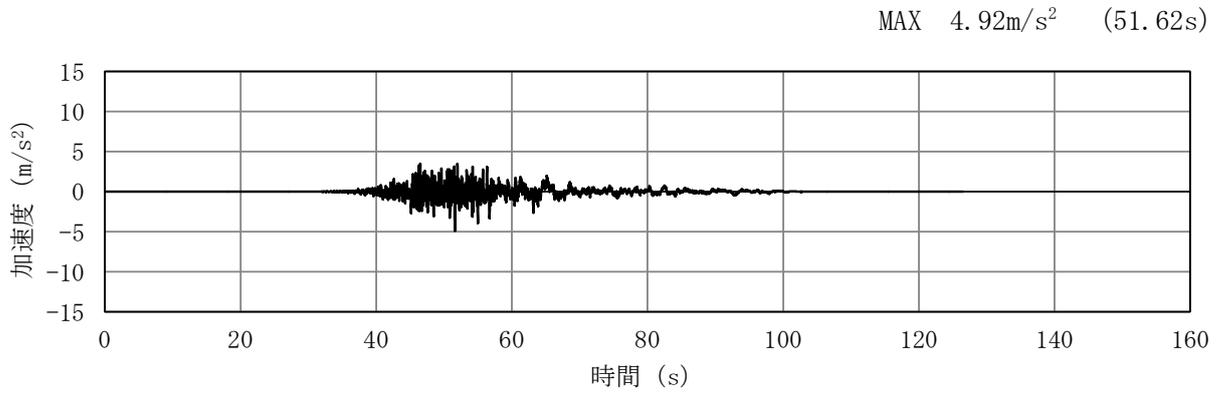


(a) 加速度時刻歴波形

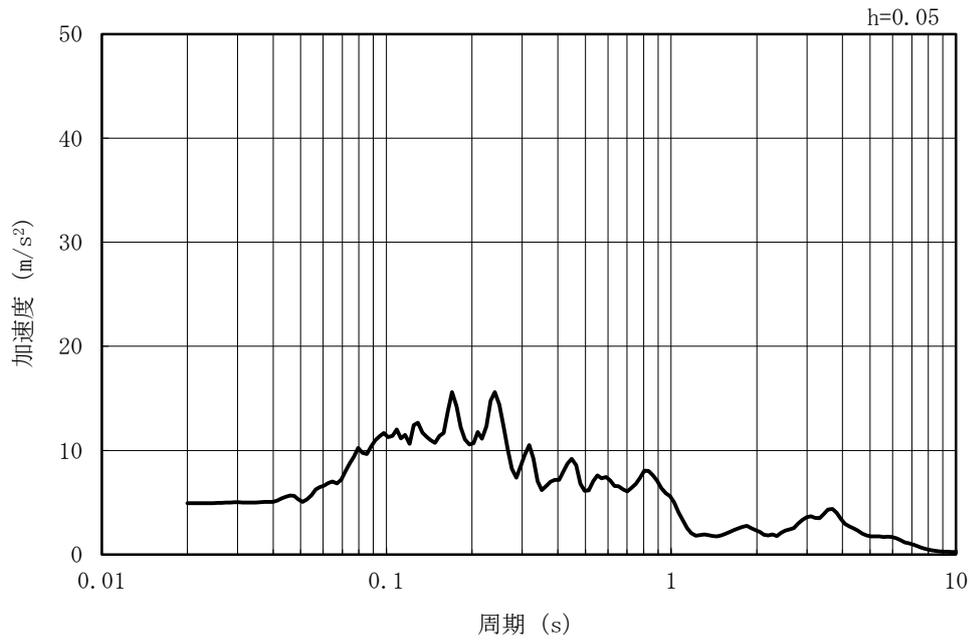


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-3)

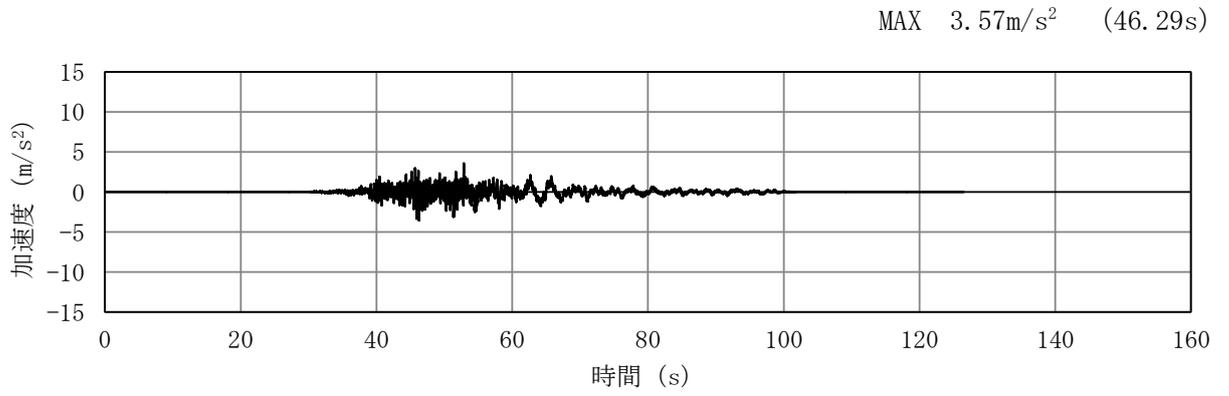


(a) 加速度時刻歴波形

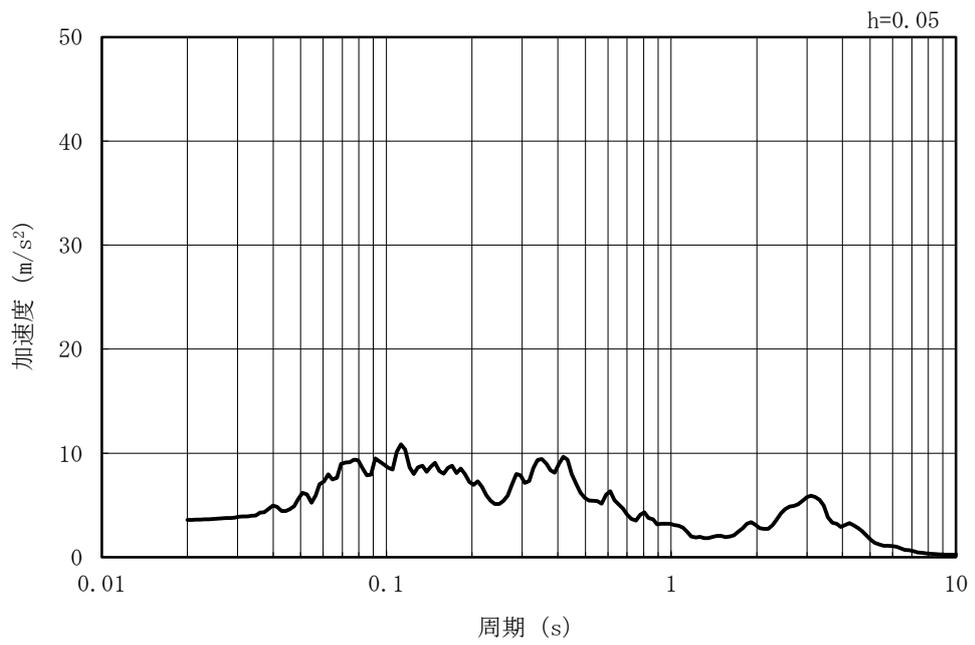


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-4NS)

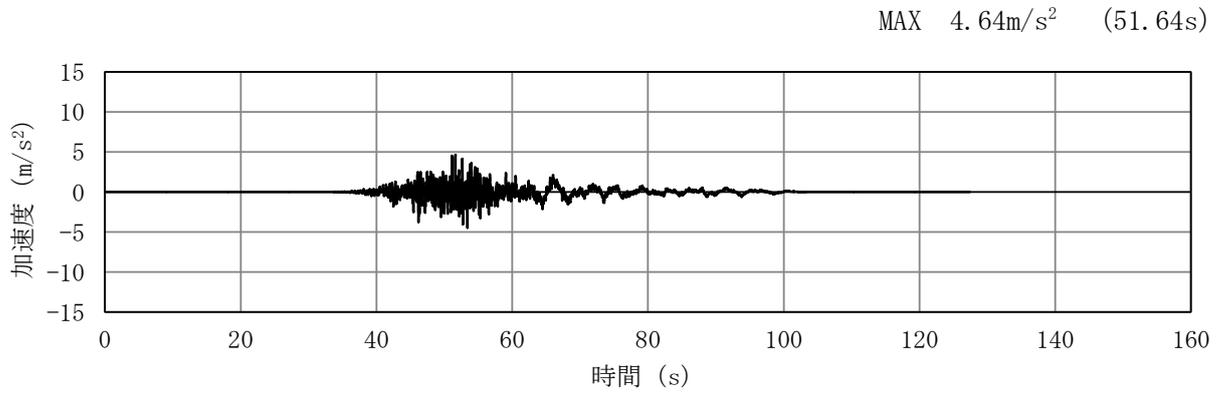


(a) 加速度時刻歴波形

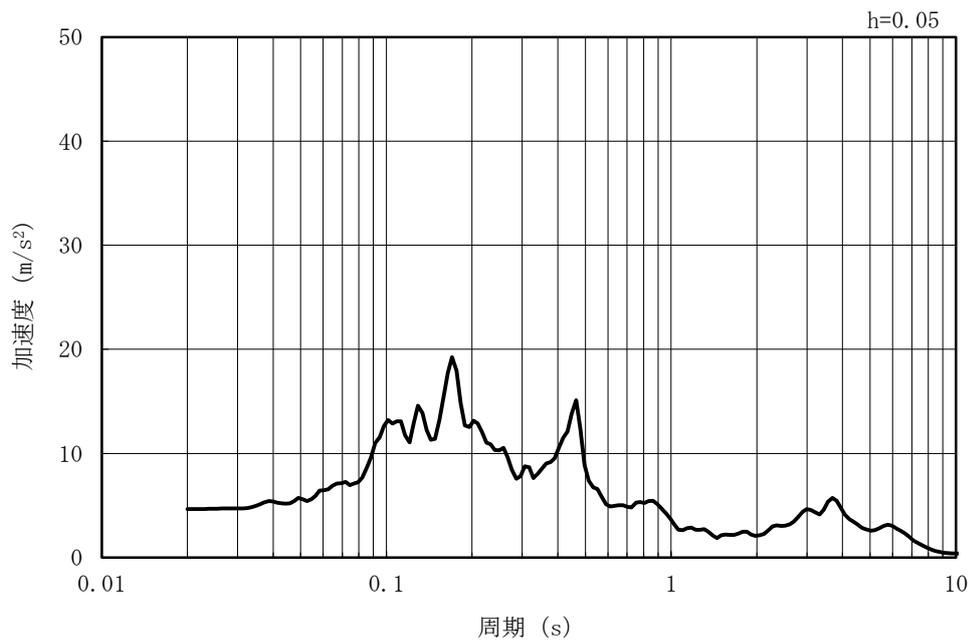


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-4NS)

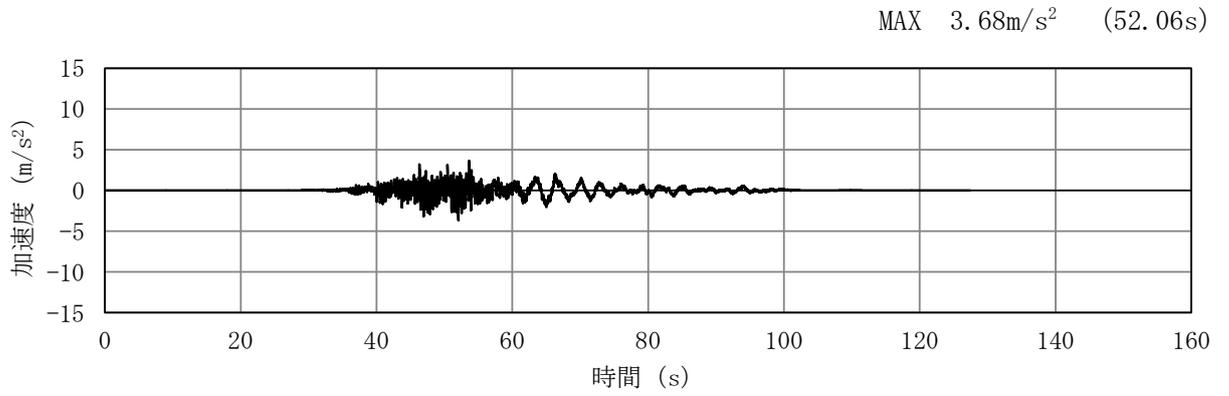


(a) 加速度時刻歴波形

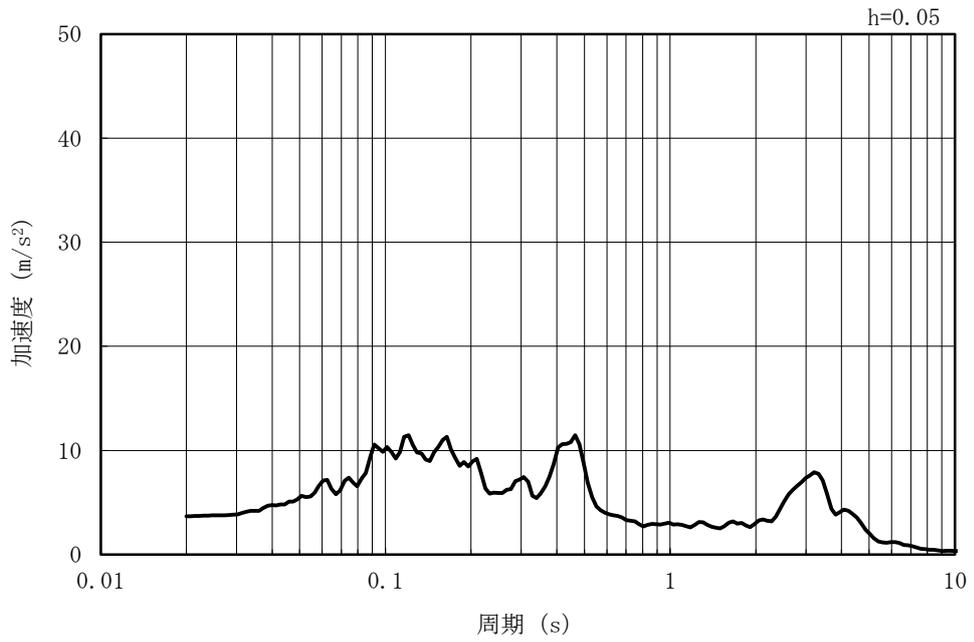


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-5NS)

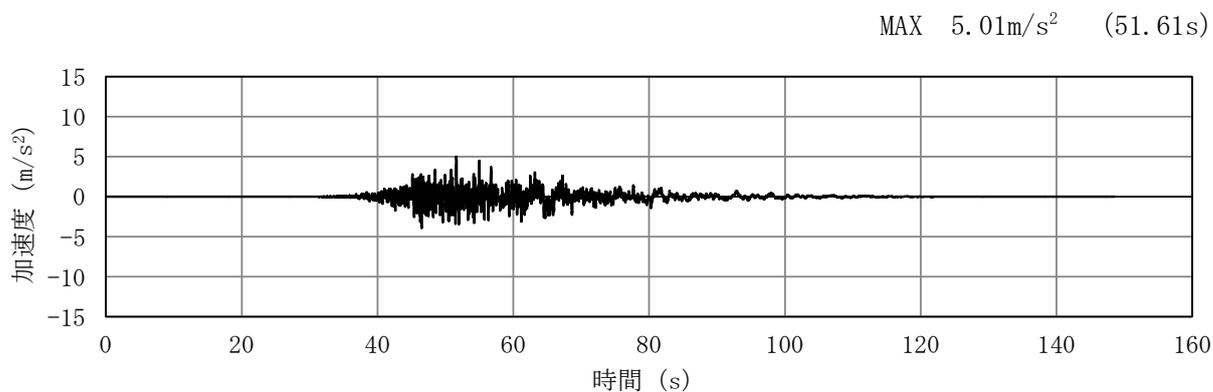


(a) 加速度時刻歴波形

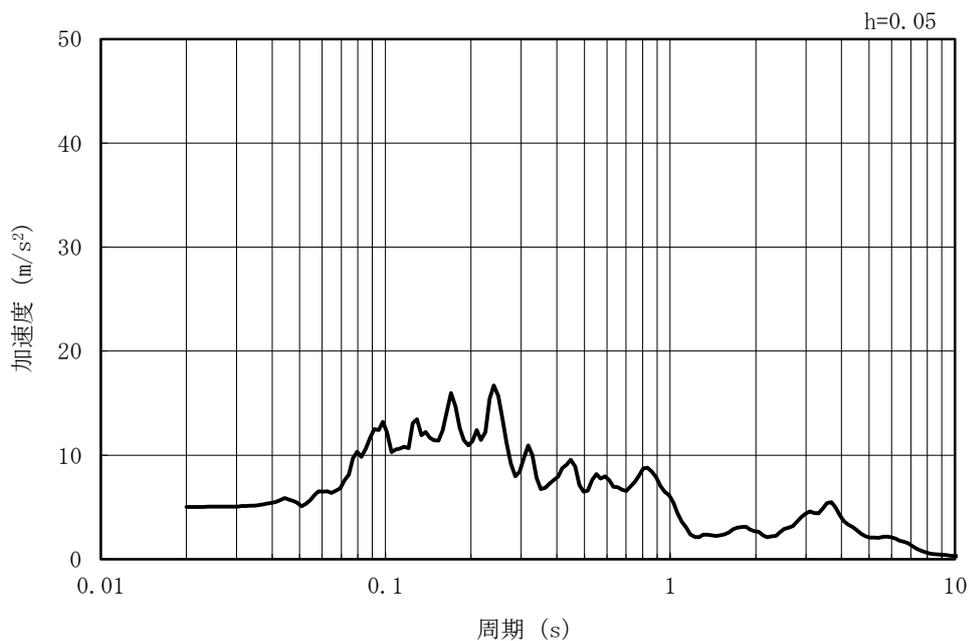


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-5NS)

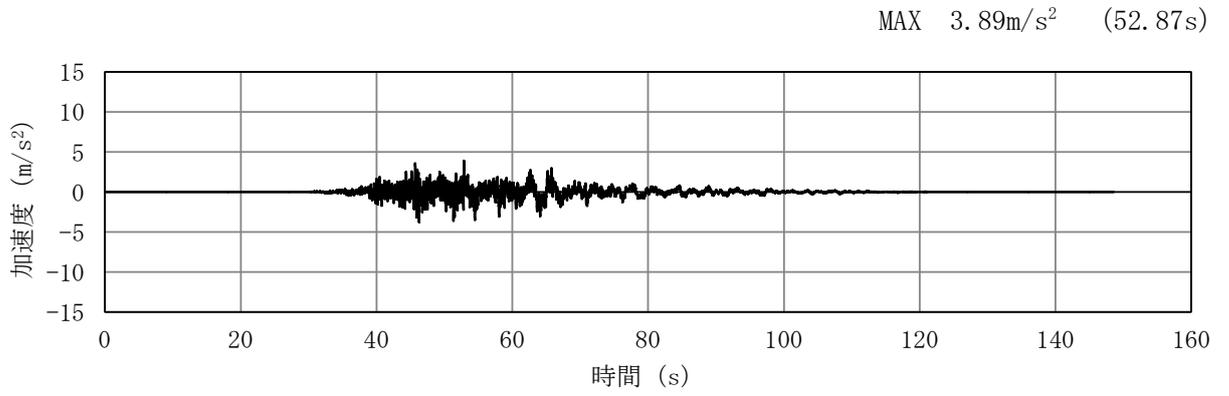


(a) 加速度時刻歴波形

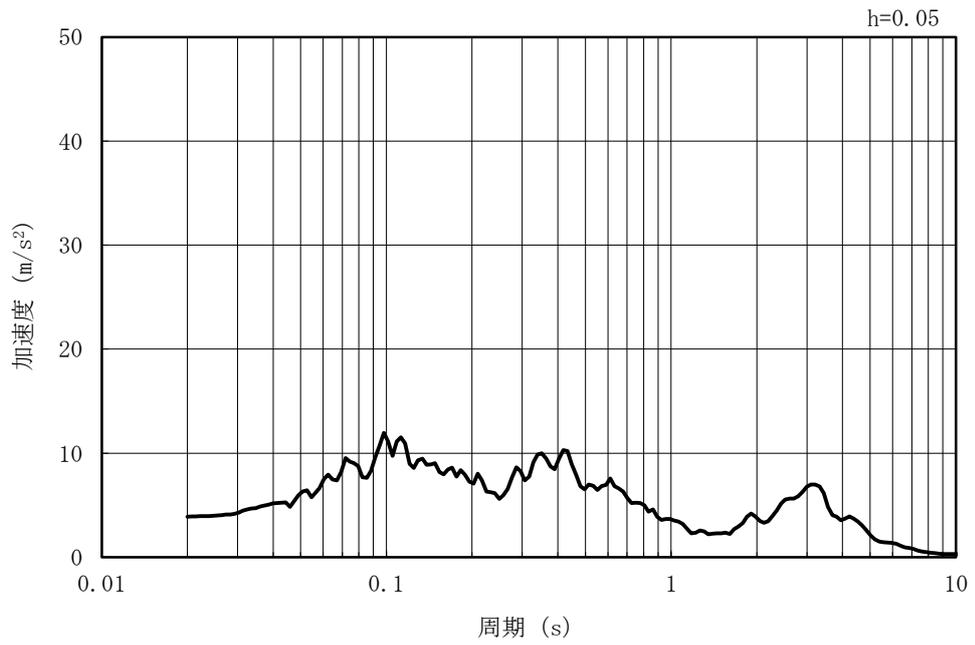


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-6NS)

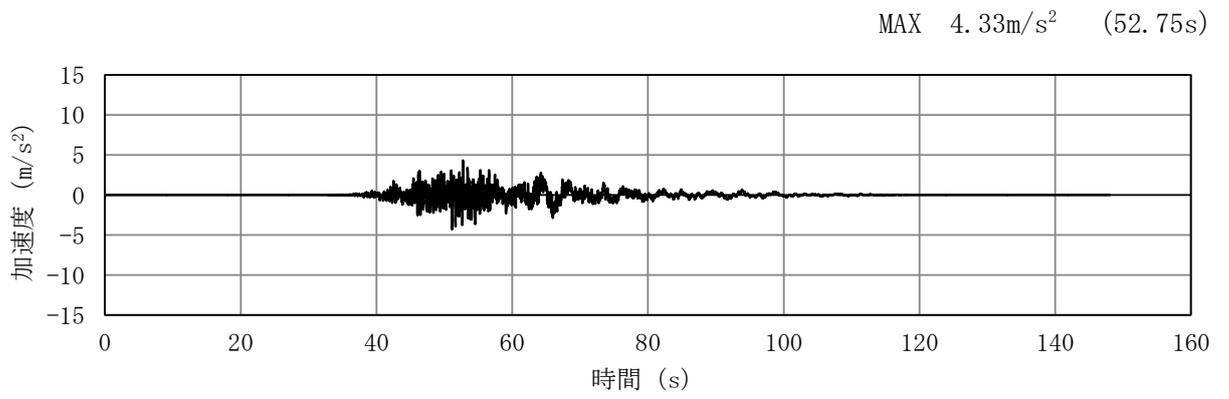


(a) 加速度時刻歴波形

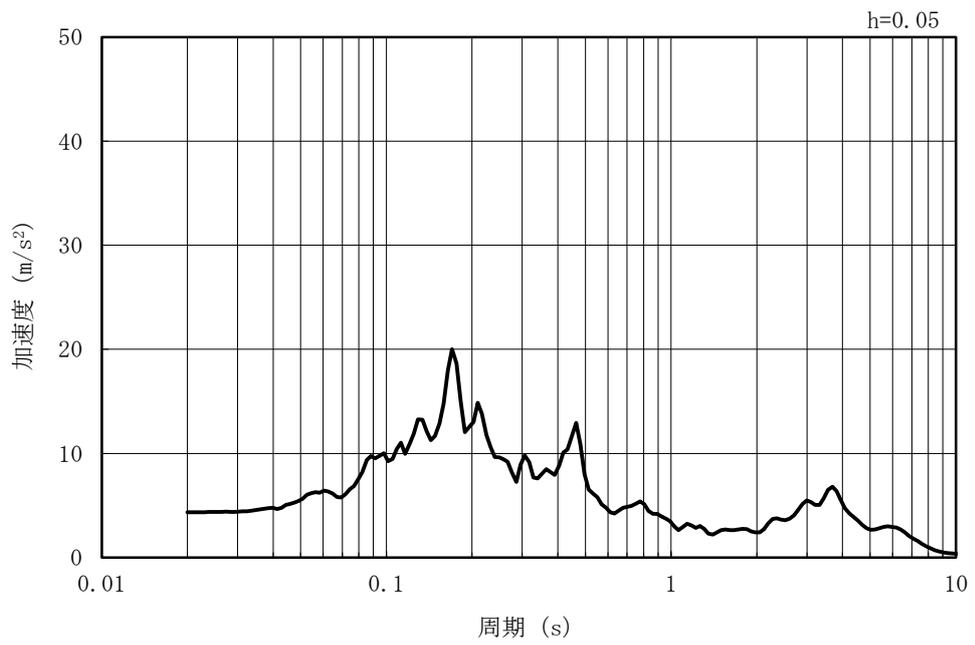


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-6NS)

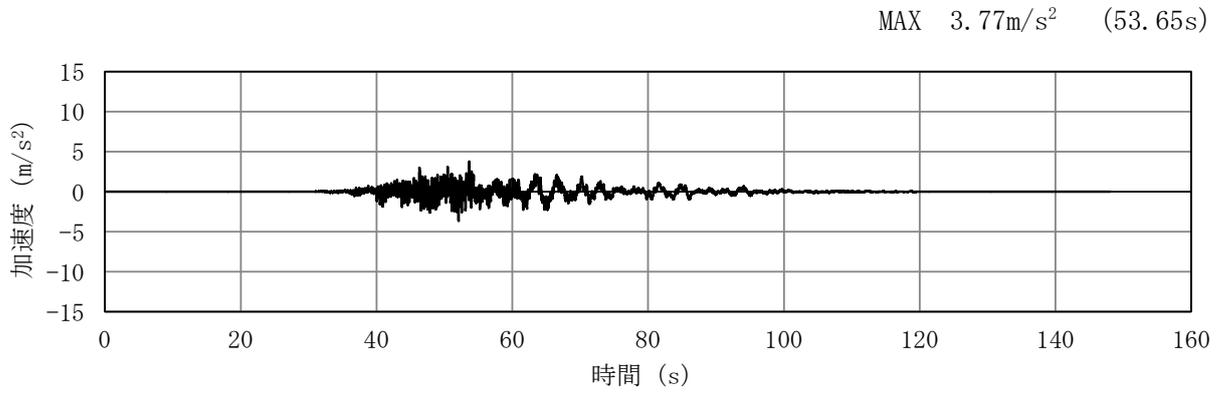


(a) 加速度時刻歴波形

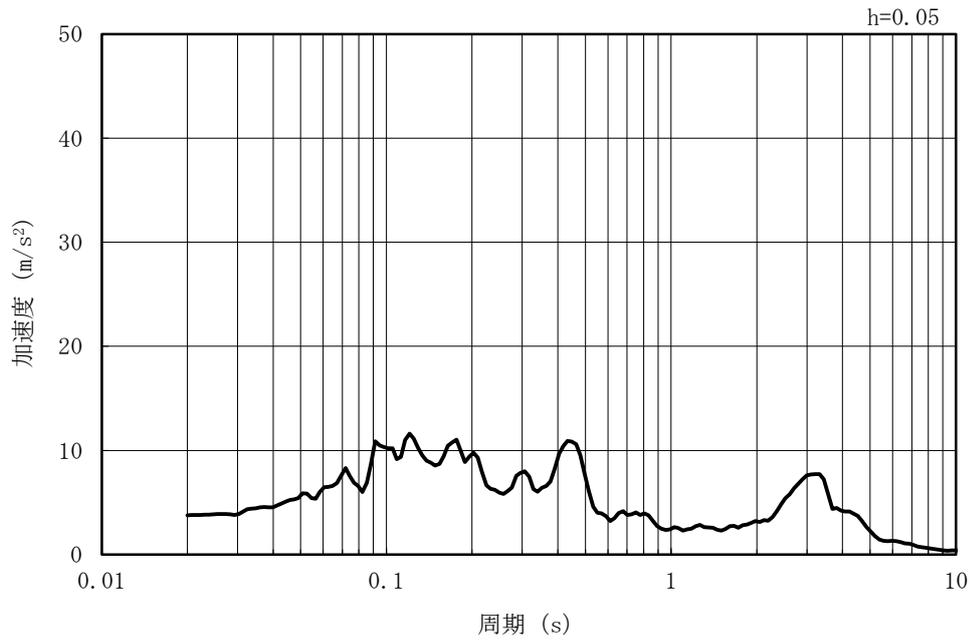


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-7NS)

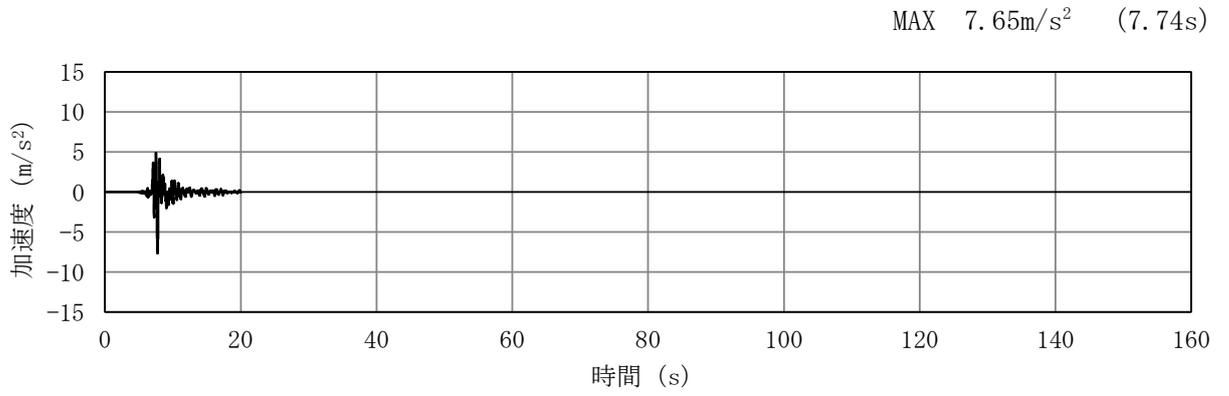


(a) 加速度時刻歴波形

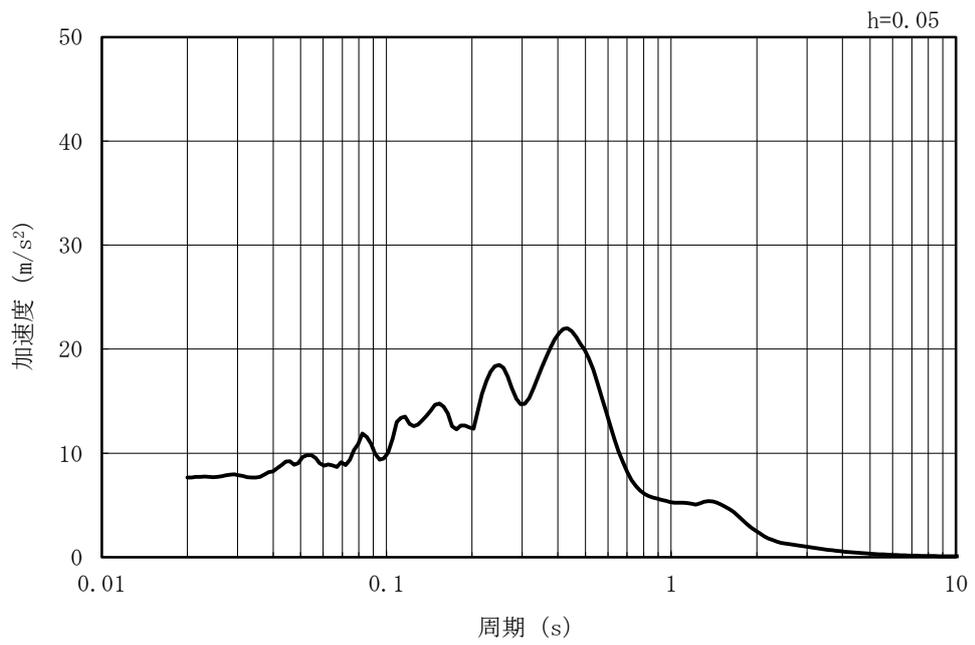


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-7NS)

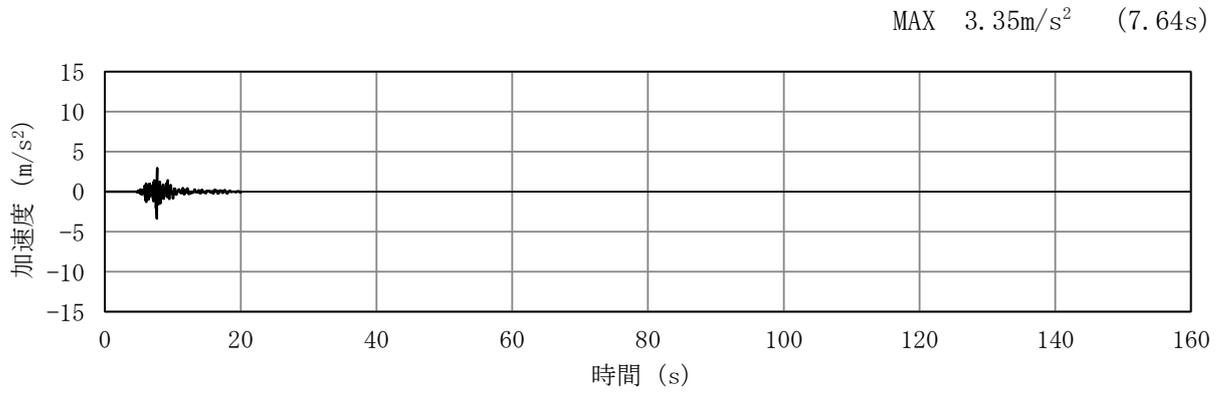


(a) 加速度時刻歴波形

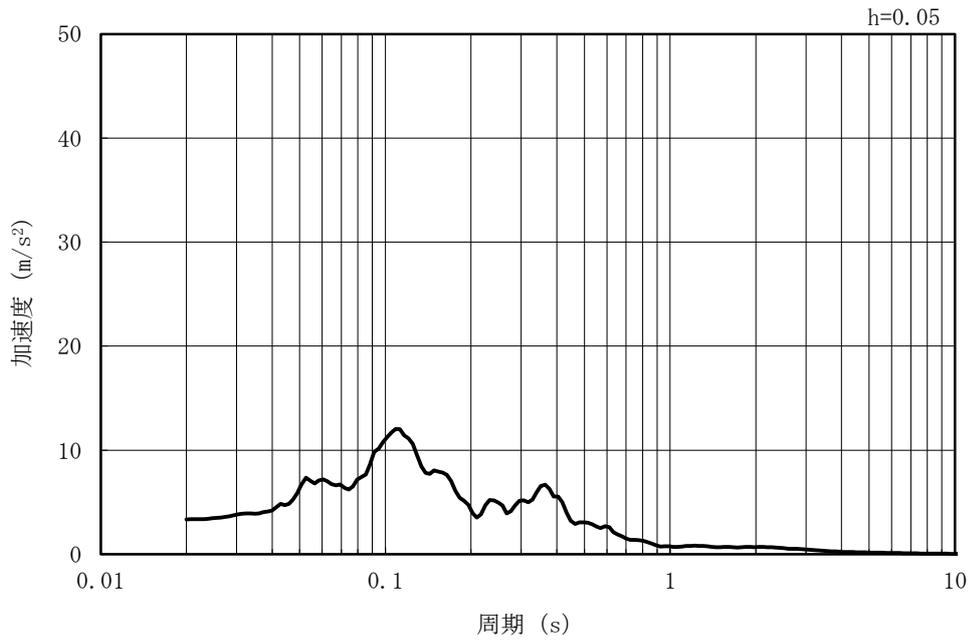


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-8)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 (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-8)

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

取水路の地震応答解析モデルを図3-7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(無筋コンクリート)は、線形平面ひずみ要素によりモデル化し、線形弾性体として考慮する。

(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」及び「地盤と地盤改良体」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

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. 3.0m、B-B断面はT.M.S.L. 5.0m、C-C断面はT.M.S.L. 8.0mに設定する。

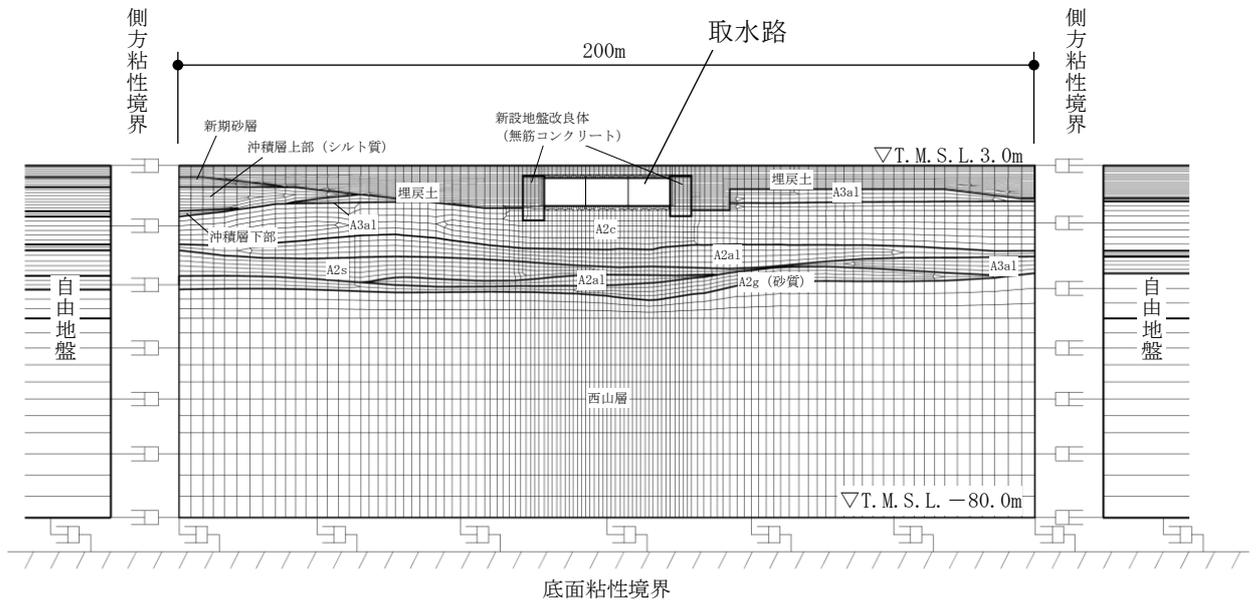


図 3-7 (1) 取水路の地震応答解析モデル (A-A断面)

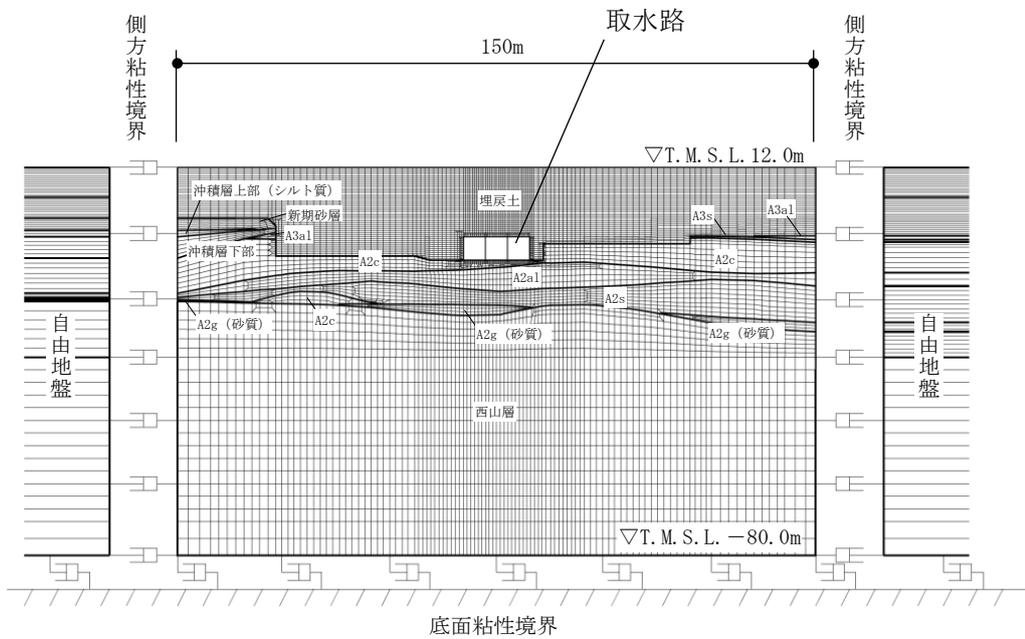


図 3-7 (2) 取水路の地震応答解析モデル (B-B断面)

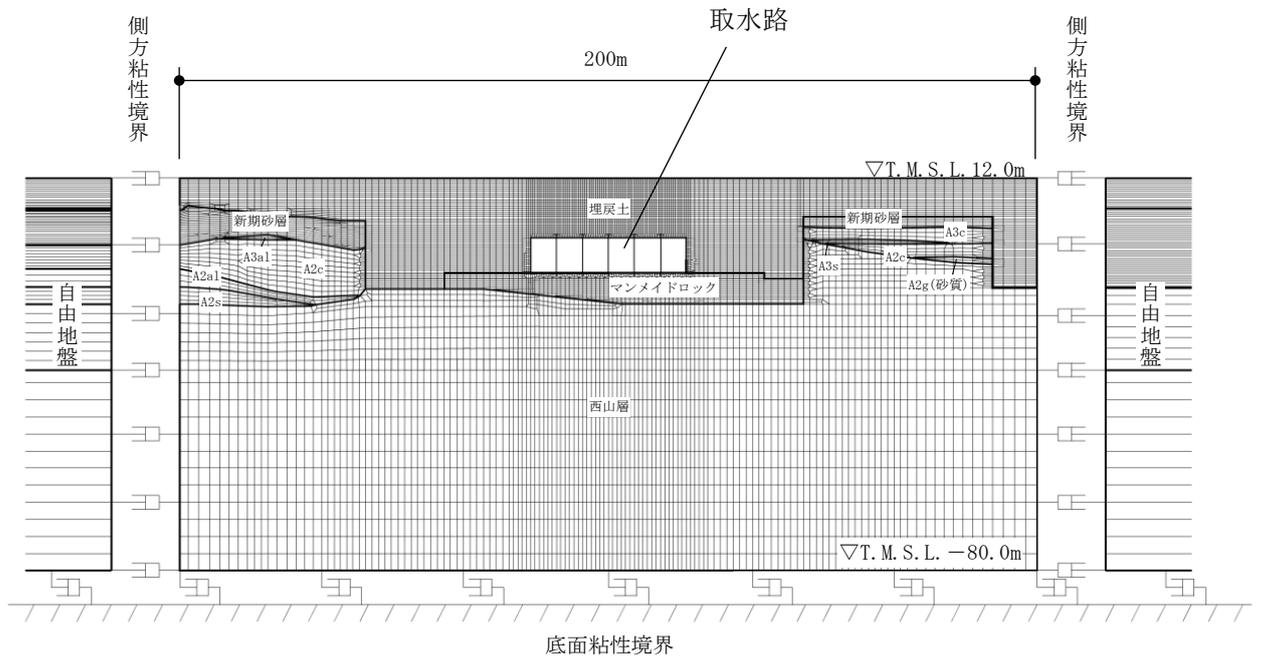


図 3-7 (3) 取水路の地震応答解析モデル (C-C断面)

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		無筋コンクリート	
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.30	
	間隙率 n	—*	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma} (kN/m ²)	9.17×10 ⁶	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	—*	
	ポアソン比 ν	0.20	
	減衰定数の上限値 h_{max}	—*	
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	—*	

注記* : 線形弾性体としてモデル化することから設定しない。

3.6 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。

3.6.1 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、限界層間変形角（層間変形角 1/100）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。

層間変形角 1/100 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、ディープビーム式、又は材料非線形解析で求まるせん断耐力を許容限界とする。材料非線形解析によるせん断耐力は、解析コード「WC OMD-S J」により算定する。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。

3.6.2 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鉛直力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、A-A断面及びB-B断面については、道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（日本道路協会，平成 14 年 3 月）の直接基礎より設定する。C-C断面については、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 3-5 に示す。

表 3-5 基礎地盤（西山層）の極限支持力度

項目	許容限界 (N/mm ²)
	C-C断面
極限支持力度	6.17

3.7 評価方法

取水路の耐震評価は、地震応答解析により算定した照査用応答値が、「3.6 許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

3.7.1 構造部材の健全性評価

構造部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査に対して、地震応答解析により算定した照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認する。

曲げ照査において照査値が最大となる地震動及び解析ケースでの層間変形角の時刻歴波形を図3-8、せん断力照査において照査値が最大となる地震動、解析ケース及び評価時刻での断面力分布を図3-9に示す。

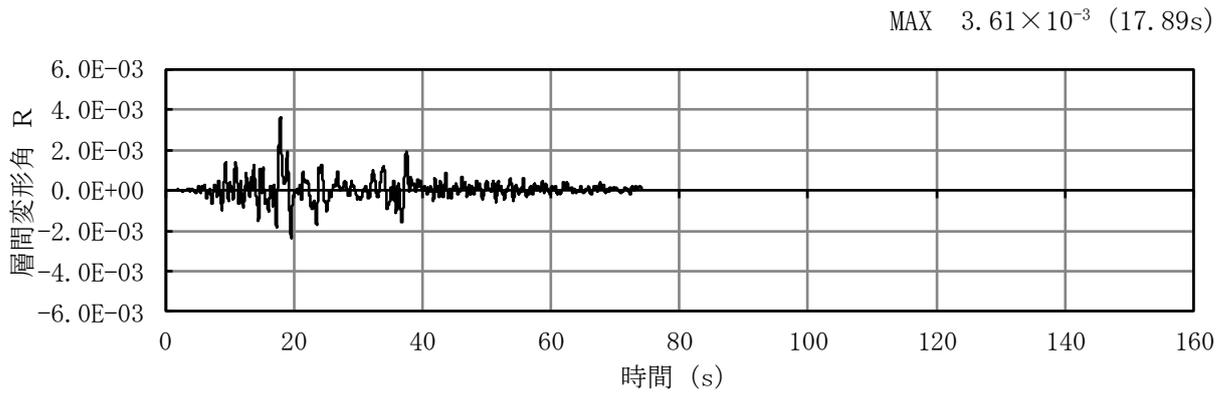


図 3-8 (1) A-A断面における層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース③, Ss-3+-)

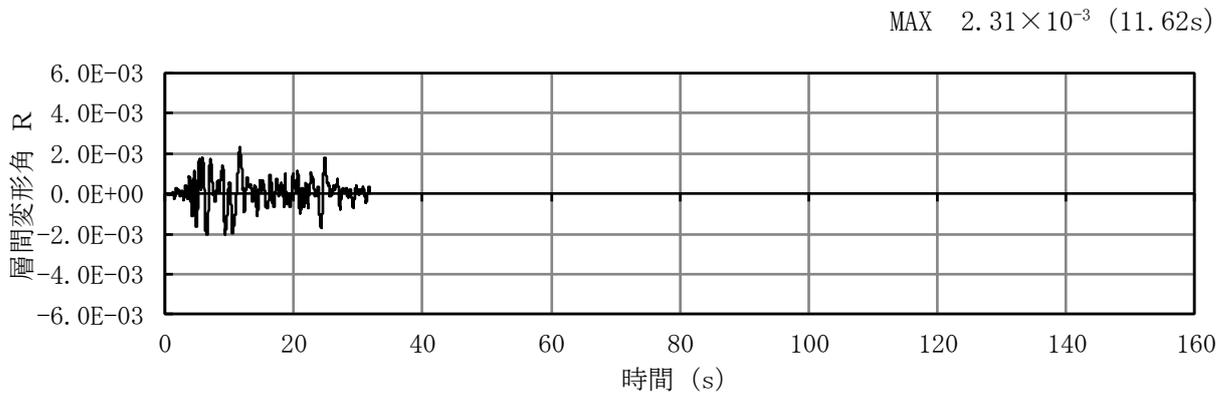


図 3-8 (2) B-B断面における層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース④, Ss-1--)

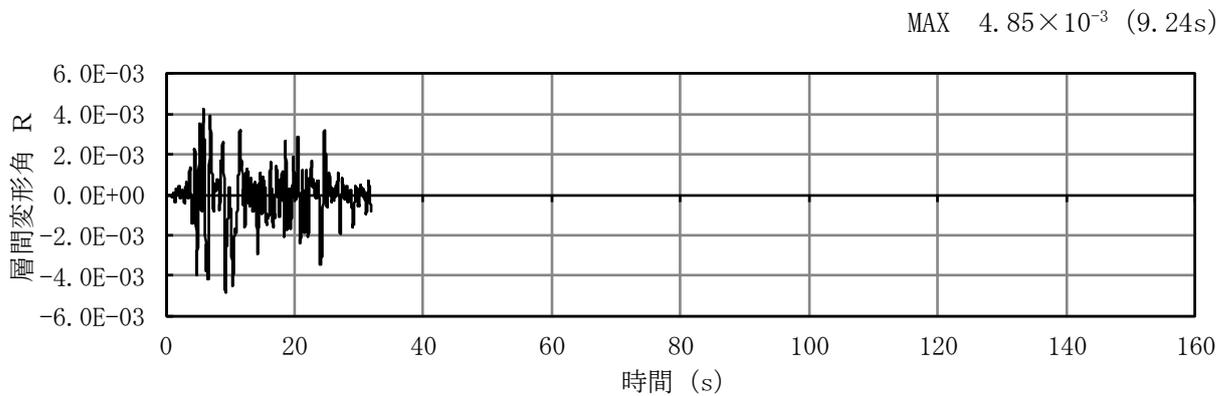
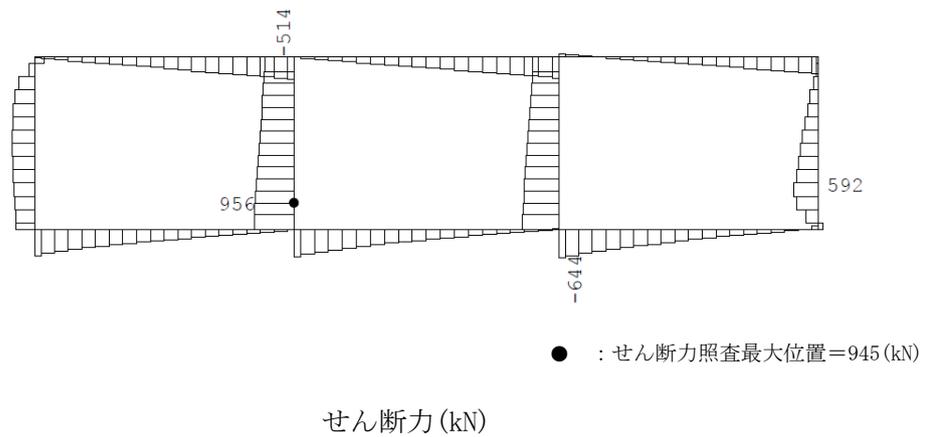
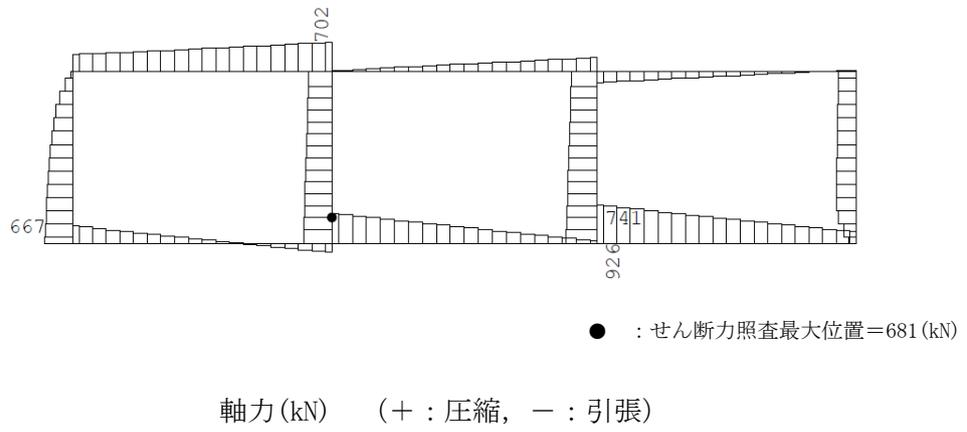
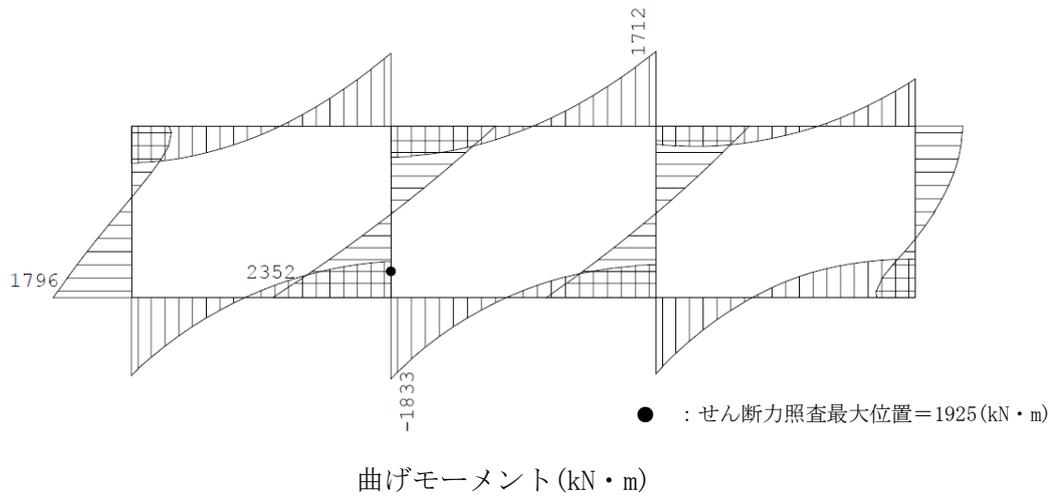
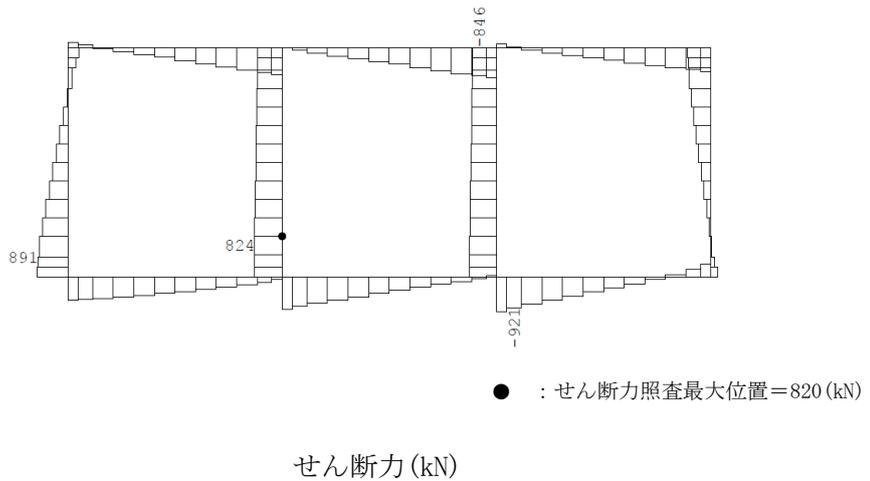
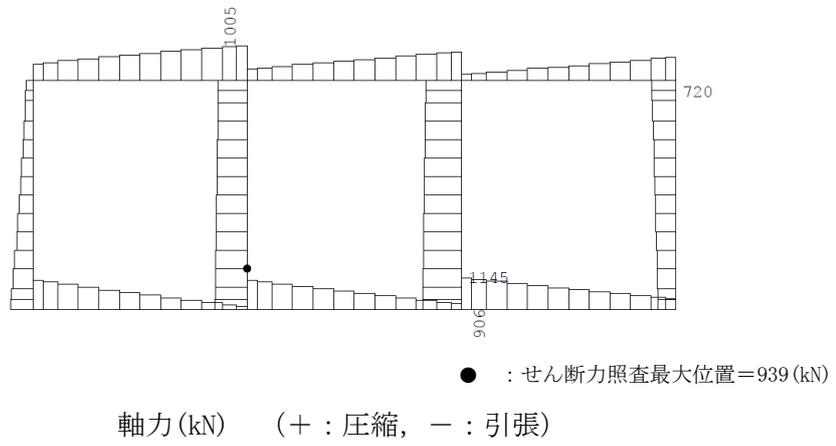
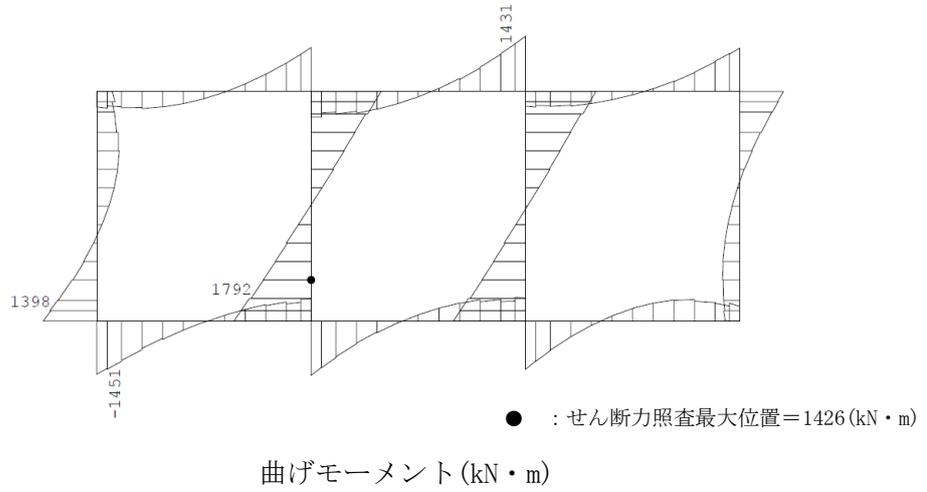


図 3-8 (3) C-C断面における層間変形角の時刻歴波形
(解析ケース⑤, Ss-1-+)



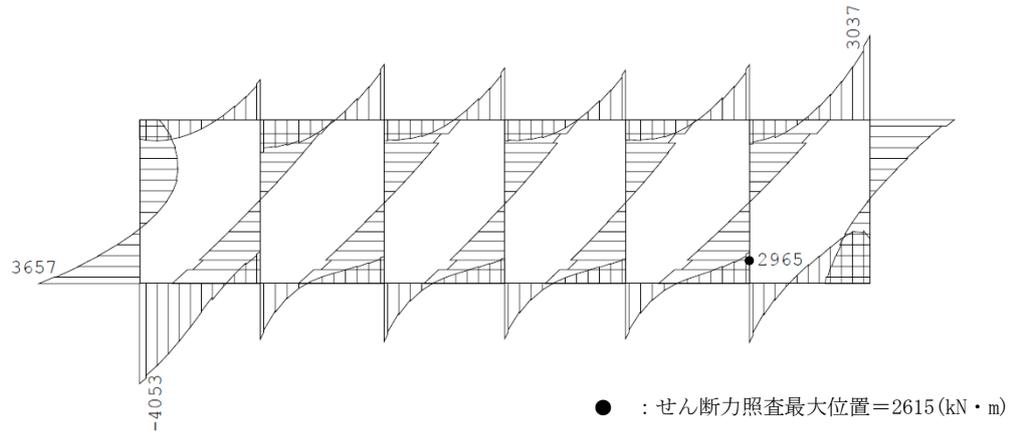
数値：各評価位置の最大断面力

図 3-9 (1) A-A断面 (隔壁) のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
(解析ケース③, Ss-3+-, t=17.85s)

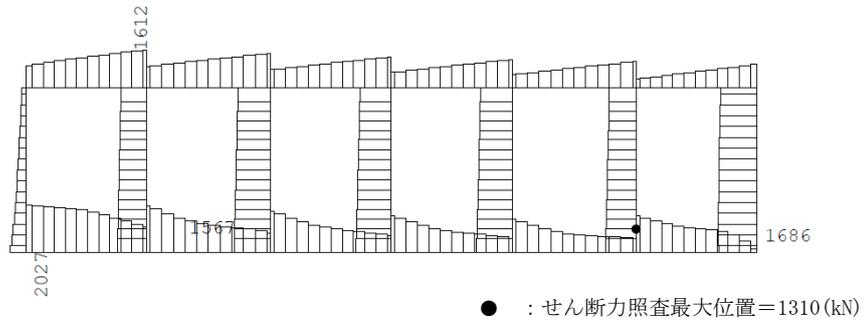


数値 : 各評価位置の最大断面力

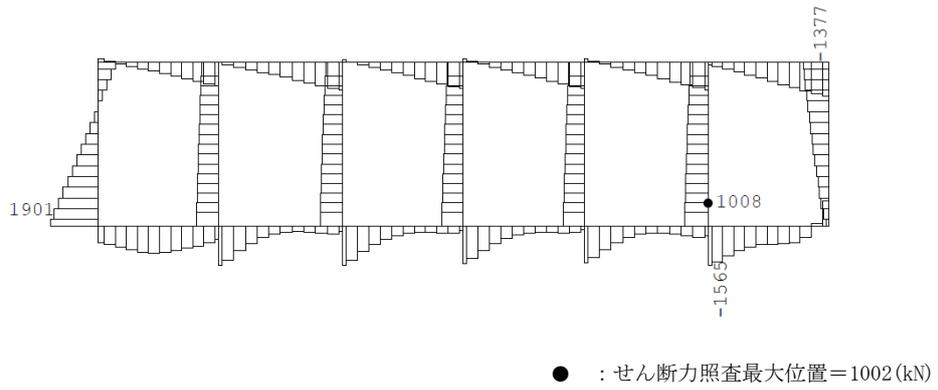
図 3-9 (2) B-B断面のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
(解析ケース②, Ss-1--, t=5.78s)



曲げモーメント (kN・m)



軸力(kN) (+ : 圧縮, - : 引張)



せん断力(kN)

数値 : 各評価位置の最大断面力

図 3-9 (3) C-C 断面 (隔壁) のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1-+, t=5.73s)

3.7.2 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価においては、A-A断面及びB-B断面については、基礎地盤に発生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、C-C断面については基礎地盤に発生する接地圧が基礎地盤（西山層）の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。

C-C断面において、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。

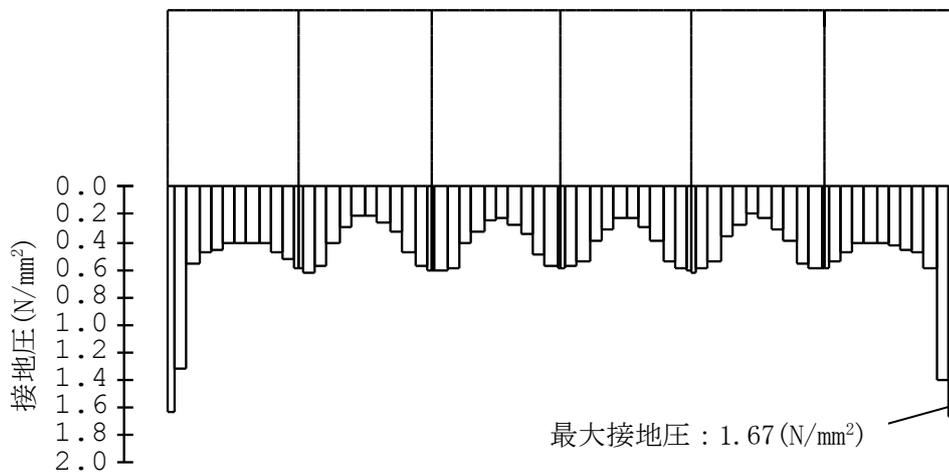


図3-10 C-C断面の最大接地圧分布図
(解析ケース②, 地震動 Ss-1-+)

4. 耐震評価結果

4.1 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 4-1, せん断力照査における各評価位置での最大照査値を表 4-2 に示す。

取水路の構造部材の照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 4-1 (1) 曲げ軸力照査における最大照査値 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
③	Ss-3+-	4.33×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.44

注記* : 照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-1 (2) 曲げ軸力照査における最大照査値 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
④	Ss-1--	2.77×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.28

注記* : 照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

表 4-1 (3) 曲げ軸力照査における最大照査値 (C-C断面)

解析 ケース	地震動	照査用層間変形角* R_d	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
⑤	Ss-1-+	5.82×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.59

注記* : 照査用層間変形角 $R_d =$ 最大層間変形角 $R \times$ 構造解析係数 γ_a

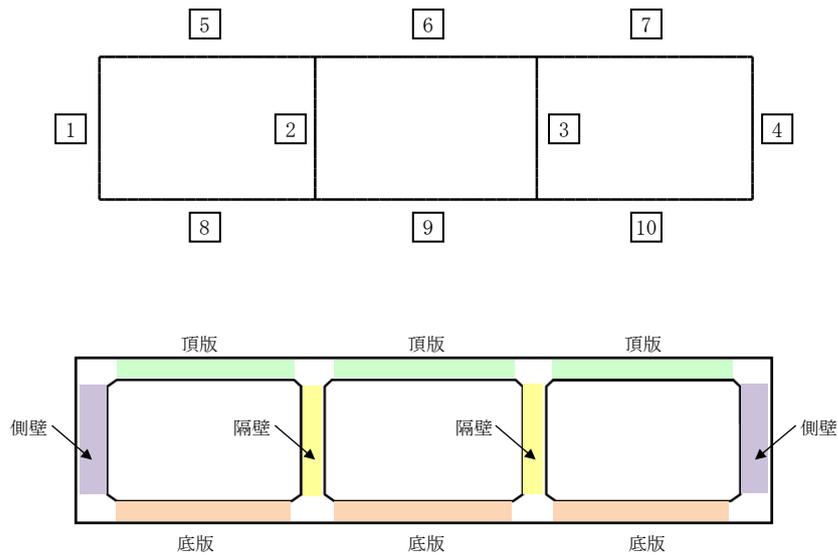
表 4-2 (1) せん断力照査における最大照査値 (A-A断面)

評価位置		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*1 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	7	①	Ss-1++	651	977	0.67
側壁	4	①	Ss-3+-	742*2	2178*2	0.35*2
隔壁	2	③	Ss-3+-	1008*2	2295*2	0.44*2
底版	10	①	Ss-1++	699	1576	0.45

注記*1 : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

*2 : 材料非線形解析を用いた方法による数値

評価位置は下図に示す。



評価位置

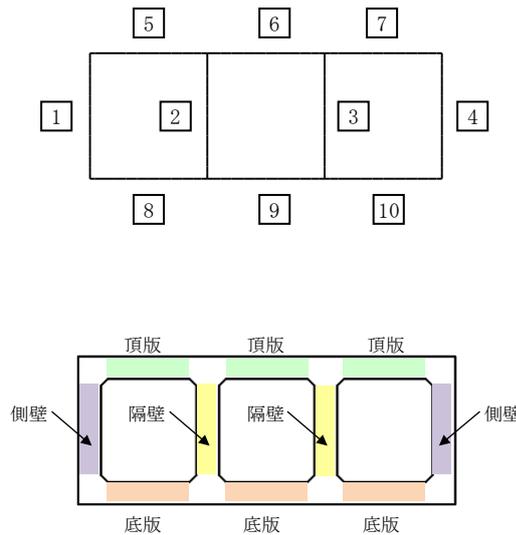
表 4-2 (2) せん断力照査における最大照査値 (B-B断面)

評価位置		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*1 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	6	④	Ss-1--	1158	2696	0.43
側壁	1	④	Ss-1--	1432*2	2959*2	0.49*2
隔壁	2	②	Ss-1--	868*2	2125*2	0.41*2
底版	10	④	Ss-1--	1248	2793	0.45

注記*1 : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

*2 : 材料非線形解析を用いた方法による数値

評価位置は下図に示す。



評価位置

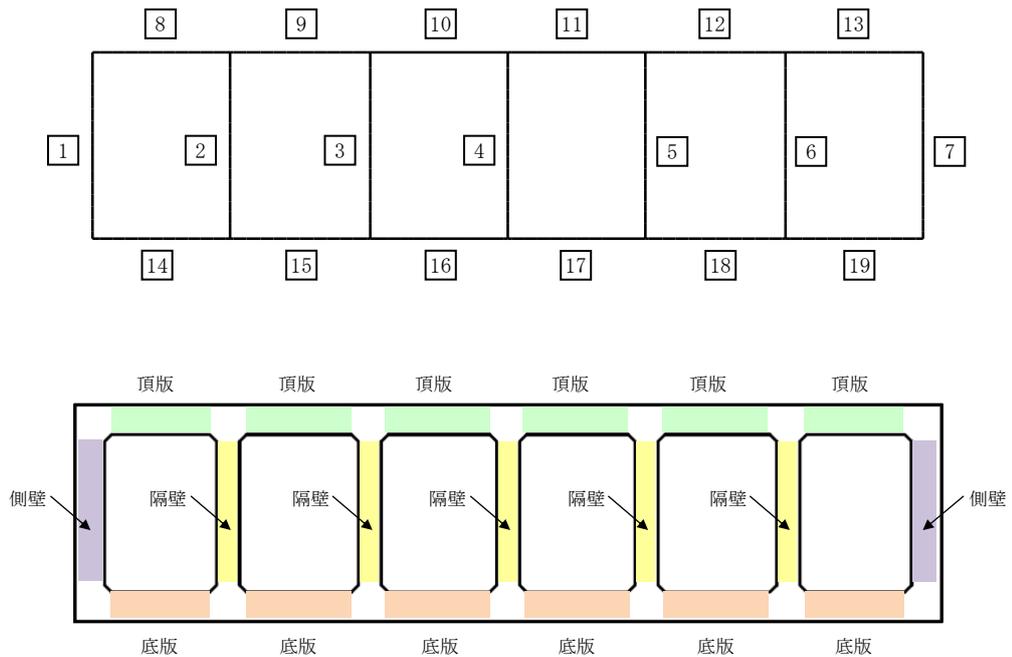
表 4-2 (3) せん断力照査における最大照査値 (C-C断面)

評価位置		解析 ケース	地震動	照査用せん断力*1 V_d (kN)	せん断耐力 $V_{y d}$ (kN)	照査値 $V_d / V_{y d}$
頂版	13	⑤	Ss-1-+	1386	2079	0.67
側壁	1	①	Ss-1--	2693*2	3977*2	0.68*2
隔壁	6	②	Ss-1-+	1062*2	2256*2	0.48*2
底版	14	①	Ss-1--	1675	3485	0.49

注記*1 : 照査用せん断力 V_d = 発生せん断力 V × 構造解析係数 γ_a

*2 : 材料非線形解析を用いた方法による数値

評価位置は下図に示す。



評価位置

4.2 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 4-3 に示す。

A-A断面及びB-B断面については、取水路の基礎地盤に発生する最大鉛直力が極限支持力以下であること、C-C断面については、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 4-3 (1) 基礎地盤の支持性能照査結果 (A-A断面)

解析 ケース	地震動	最大鉛直力 V (kN)	極限支持力 Q _u (kN)	照査値 V/Q _u
①	Ss-3+-	2220	24600	0.10

表 4-3 (2) 基礎地盤の支持性能照査結果 (B-B断面)

解析 ケース	地震動	最大鉛直力 V (kN)	極限支持力 Q _u (kN)	照査値 V/Q _u
②	Ss-1--	4520	27900	0.17

表 4-3 (3) 基礎地盤の支持性能照査結果 (C-C断面)

解析 ケース	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-+	1.67	6.17	0.28

別紙 取水路立坑の健全性評価について

目次

1. 概要	1
2. 基本方針	2
2.1 位置	2
2.2 構造概要	3
2.3 評価方針	6
2.4 適用基準	9
3. 代表構造物の選定	10
4. 地震応答解析	17
4.1 解析方法	17
4.2 入力地震動	17
4.3 使用材料及び材料物性値	17
4.4 地盤, マンメイドロック及び地盤改良体の物性値	18
4.5 地下水位	18
4.6 地震応答解析モデル (NS 断面)	18
4.7 地震応答解析モデル (EW 断面)	20
4.8 減衰定数	22
4.9 荷重の組合せ	22
4.9.1 外水圧	23
4.9.2 内水圧	23
4.9.3 動水圧	24
4.10 解析ケース	25
4.11 地震応答解析結果 (水路部)	26
4.12 地震応答解析結果 (立坑部)	28
5. 耐震評価	33
5.1 水路部	33
5.1.1 評価対象断面の選定	33
5.1.2 許容限界	33
5.2 立坑部	34
5.2.1 評価方法	34
5.2.2 3次元構造解析の解析手法	34
5.2.3 構造物のモデル化	35
5.2.4 材料の非線形特性	36
5.2.5 入力荷重	36
5.2.6 許容限界	38

6. 耐震評価結果	39
6.1 水路部の評価結果	39
6.2 水路部の貯水機能の確認	43
6.3 立坑部の評価結果	44

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、取水路立坑（水路部）（以下「水路部」という。）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度を有していること及び取水路立坑（立坑部）（以下「立坑部」という。）が、下部に設置された水路部に対して、地震時に波及的影響を及ぼさないことを確認するものである。

水路部及び立坑部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により行う。

2. 基本方針

2.1 位置

取水路立坑の位置図を図 2-1 に示す。

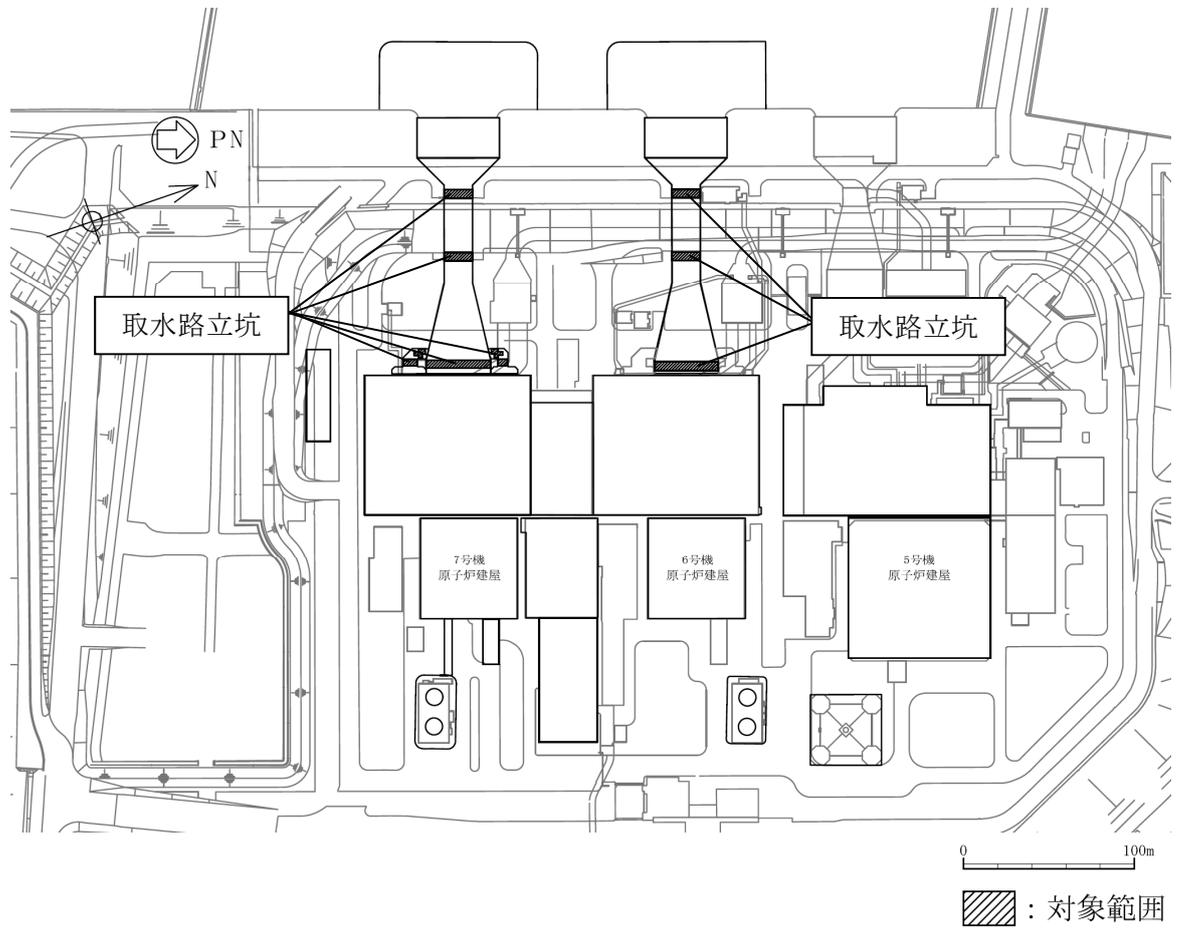
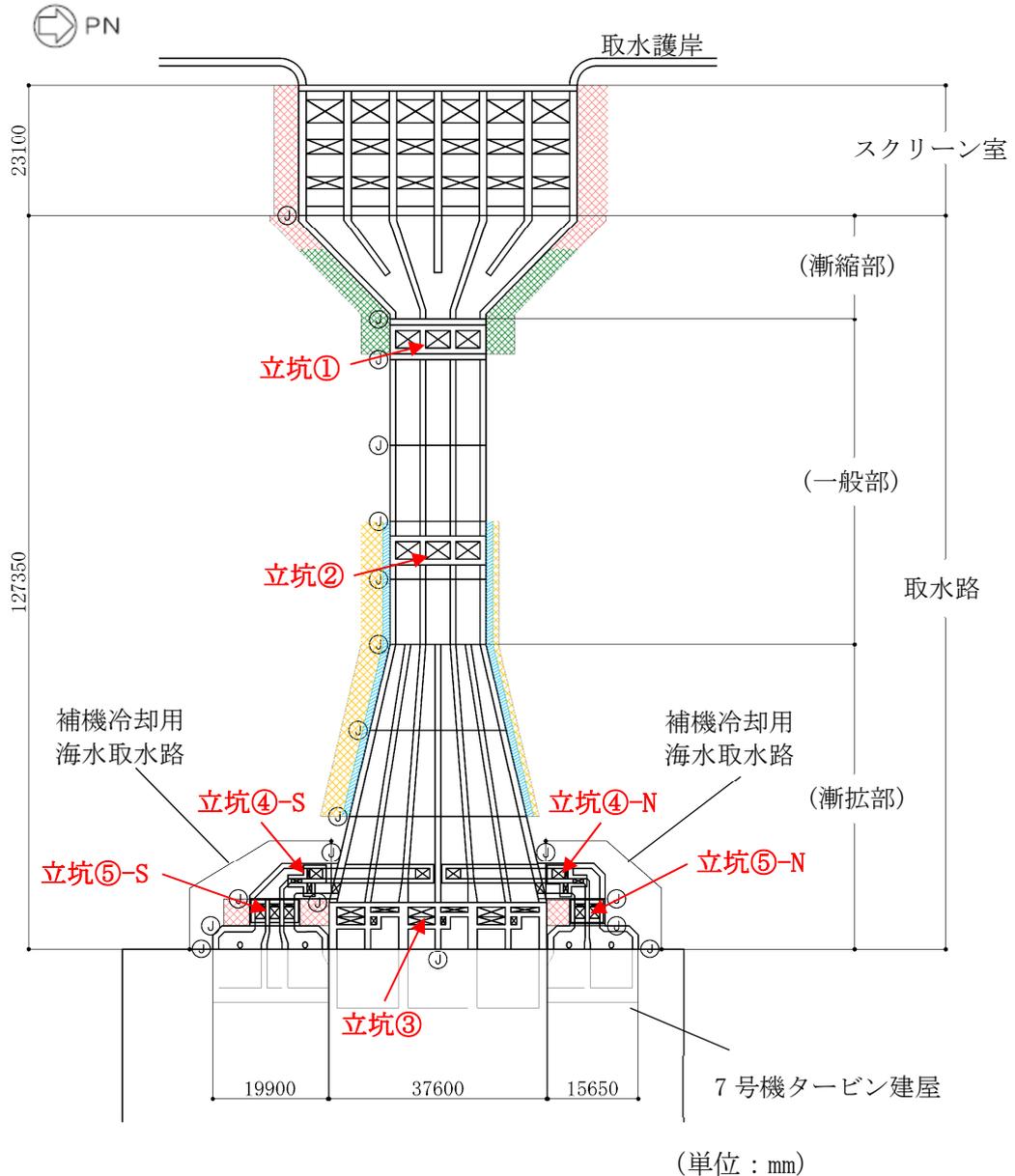


図 2-1 取水路立坑の位置図（全体平面図）

2.2 構造概要

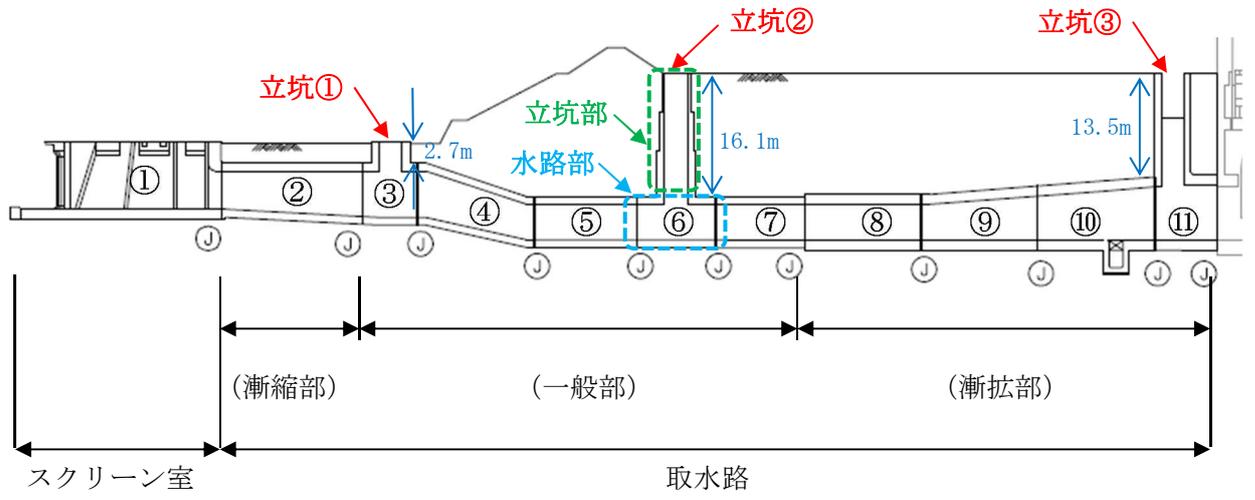
取水路立坑の構造は、7号機と6号機で大きな差異が無いことから、一例として7号機の平面図を図2-2、縦断図を図2-3に示す。

取水路立坑は、取水路及び補機冷却用海水取水路と一体構造の鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり、水路部と立坑部から構成される。水路部は、屋外重要土木構造物として非常時における海水の通水機能を求められる構造部位であり、立坑部は、取水路及び補機冷却用海水取水路の点検用に設置された構造部位である。



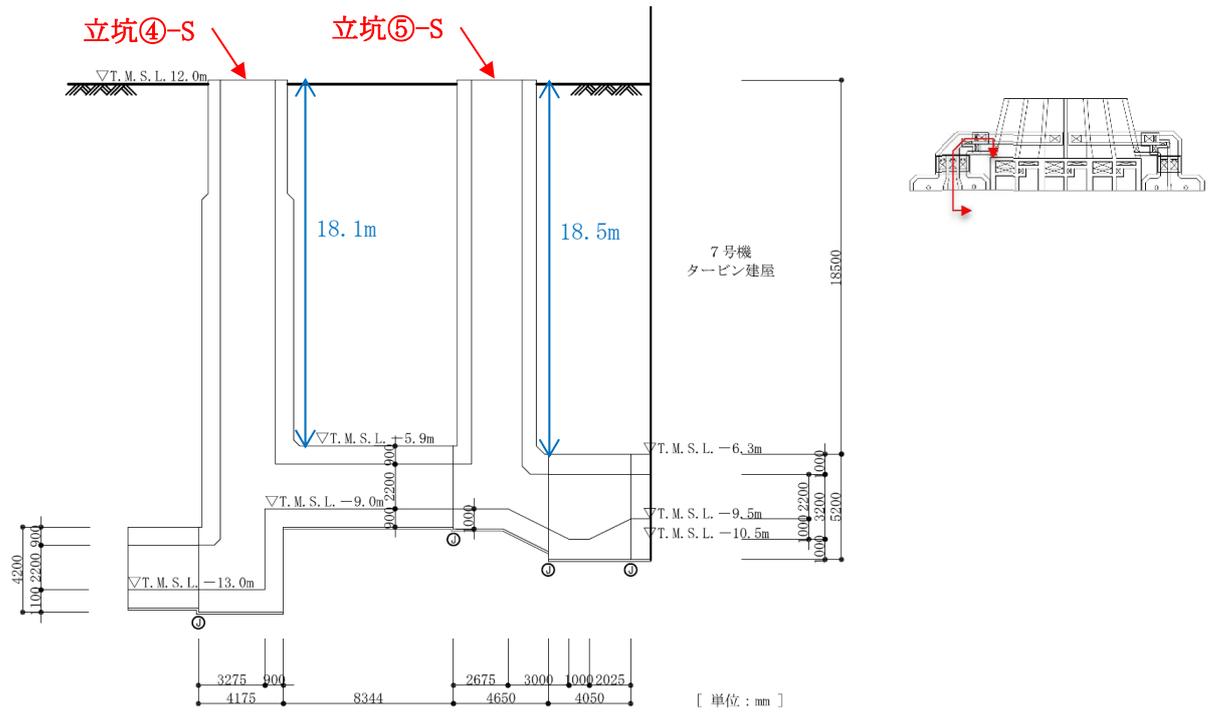
既設/新設	凡例	地盤改良工法
		高圧噴射
新設地盤改良体		無筋コンクリート
		置換(地中連続壁)
		機械攪拌

図 2-2 7号機取水路立坑の平面図

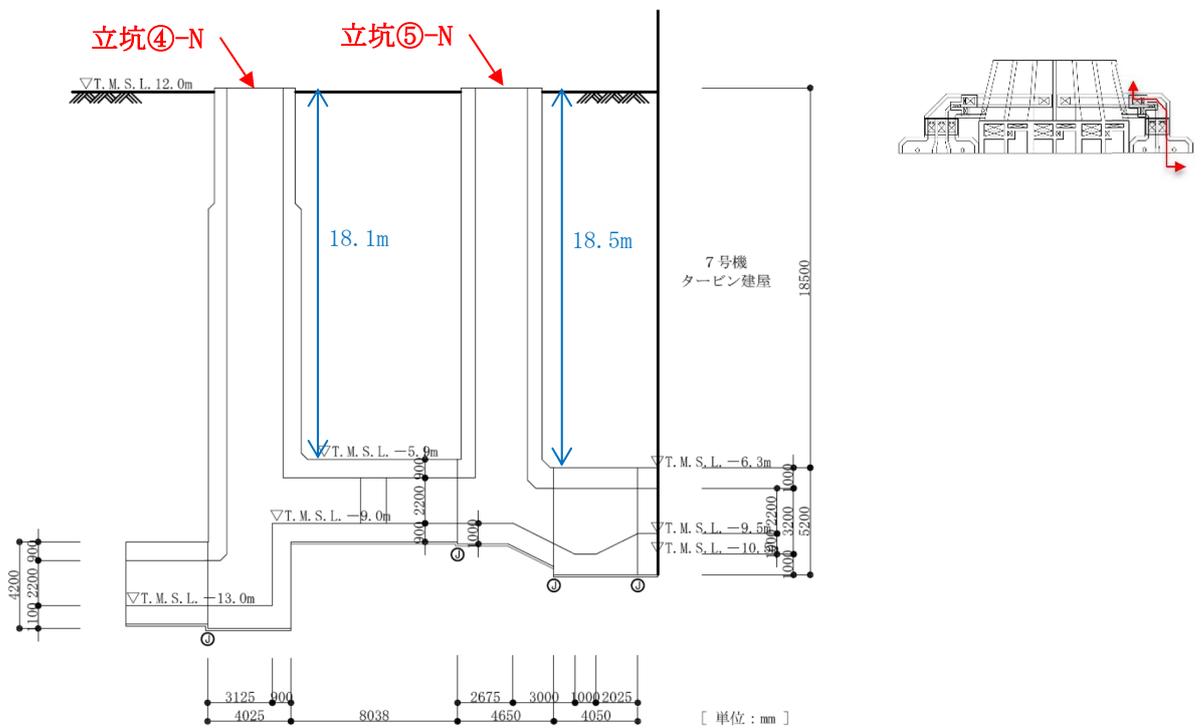


注： ①は耐震ジョイント

図 2-3 (1) 7号機取水路立坑の縦断図 (取水路部)



(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 2-3 (2) 7号機取水路立坑の縦断図（補機冷却用海水取水路部）

2.3 評価方針

取水路立坑のうち水路部は、屋外重要土木構造物として非常時における海水の通水機能を求められる構造部位である。一方、立坑部は、取水路及び補機冷却用海水取水路の点検用に設置された構造部位であり、屋外重要土木構造物としての機能を要求される部位では無いが、立坑部の崩壊による土砂の流入等により水路部の必要な機能を損なわないことを確認するために、波及的影響の観点から屋外重要土木構造物と同等の評価を行う。

取水路立坑の耐震評価は、表 2-1 に示すとおり、水路部及び立坑部に分けて構造部材の曲げ軸力及びせん断力評価を行う。水路部の耐震評価については、構造部材の層間変形角及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。立坑部の耐震評価については、構造部材のコンクリートひずみ及びせん断力が許容限界以下であることを確認する。

取水路立坑の耐震評価フローを図 2-4 に示す。

ここで、取水路立坑は、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 取水路立坑の評価項目

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	水路部（鉄筋コンクリート部材）	層間変形角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	限界層間変形角 ^{*2}
				せん断力	せん断耐力 ^{*2}
		立坑部（鉄筋コンクリート部材） ^{*1}	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 ^{*2}
				せん断力	せん断耐力 ^{*2}
				面内せん断力	限界せん断ひずみ ^{*2}

注記*1：波及的影響の観点から屋外重要土木構造物と同等の評価を行う。

*2：妥当な安全余裕を考慮する。

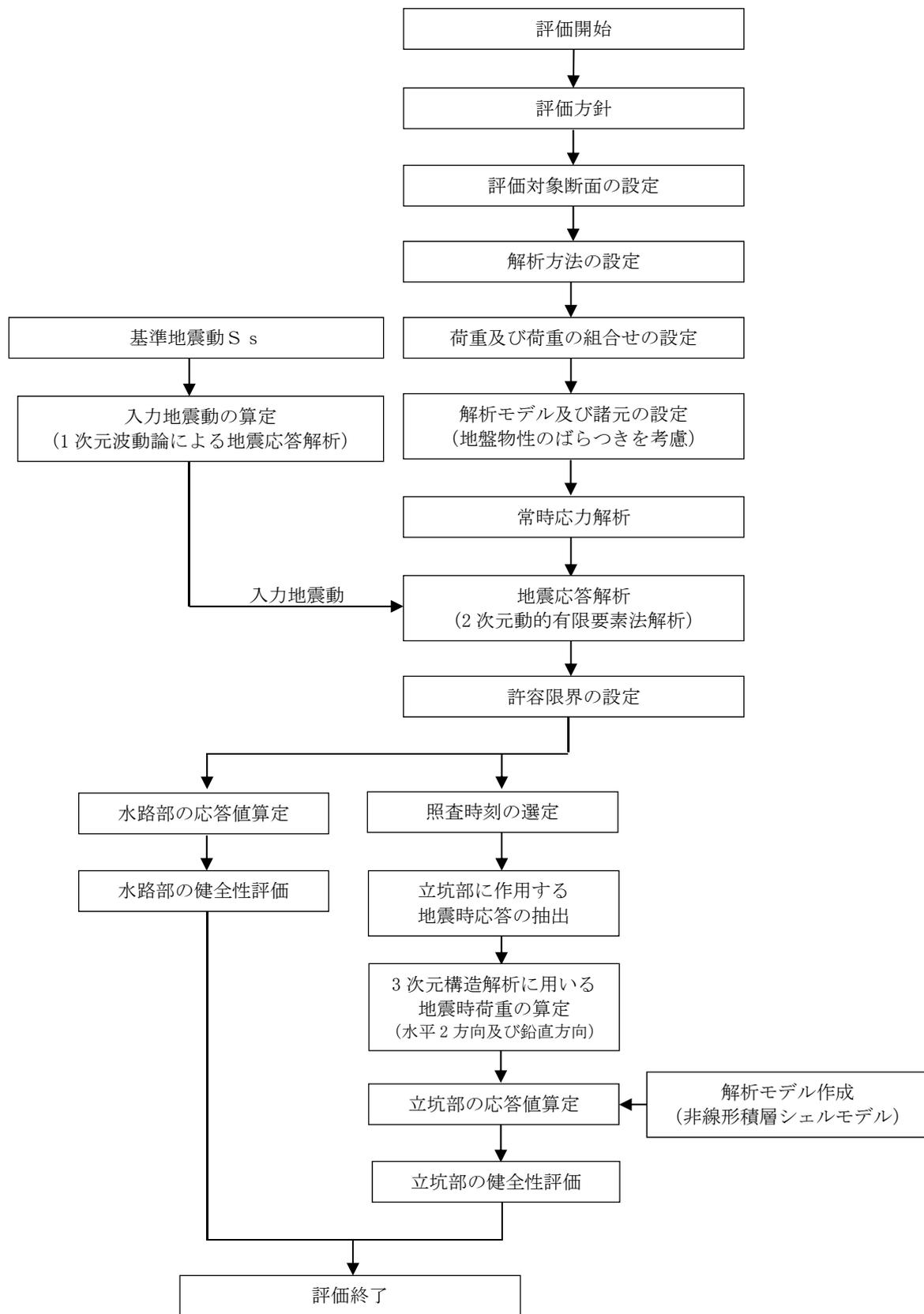


図 2-4 取水路立坑の耐震評価フロー

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)
- ・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. 代表構造物の選定

立坑構造物を有する取水路については、図 3-1 に示すとおり、7号機と6号機で構造に大きな差異が無く、立坑の耐震評価への影響が大きいと考えられる埋戻土層の全体範囲も、7号機と6号機で大きな差異は無い。また、立坑①と立坑②の間の地盤改良範囲を比較すると、7号機と比較し6号機の方が地盤改良の範囲が広く、立坑の変形抑制効果が大きいと考えられる。以上のことから、7号機を代表として取水路立坑の代表構造物の選定を行う。

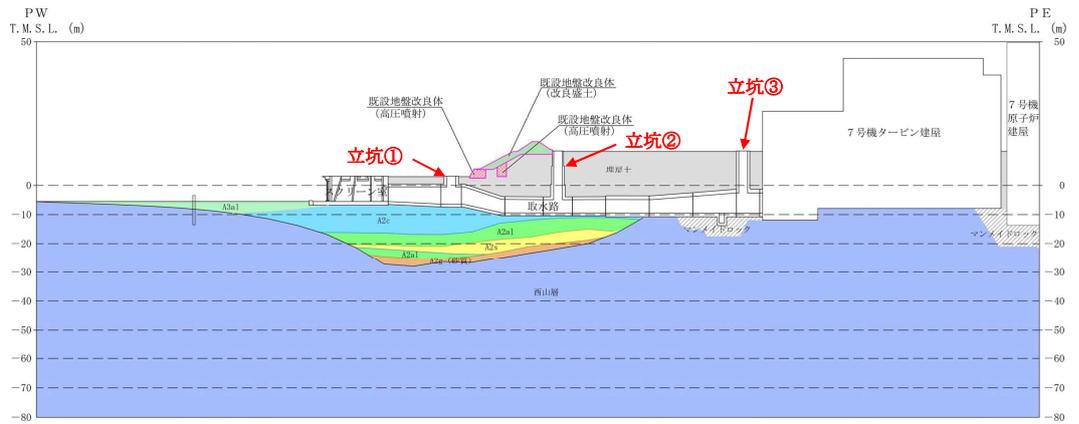
図 2-2 及び図 2-3 の7号機取水路立坑の平面図及び縦断図に示すとおり、取水路立坑は、水路上部に複数箇所存在（立坑①～⑤）する。このうち、取水路立坑に支配的な動土圧及び動水圧を受ける立坑の高さ（土被り厚さ）に着目すると、表 3-1 に示すとおり、立坑②～⑤と比較し、立坑①は高さが高い。また、表 3-1 及び表 3-2 に示すとおり、立坑②～⑤は、立坑の高さ（土被り厚さ）及び鉄筋比に大きな差がないことから、動土圧の主要因である地盤変位に着目し、立坑の水路接続位置と地表面間の地盤の最大相対水平変位を比較する。

表 3-1 各立坑の高さ

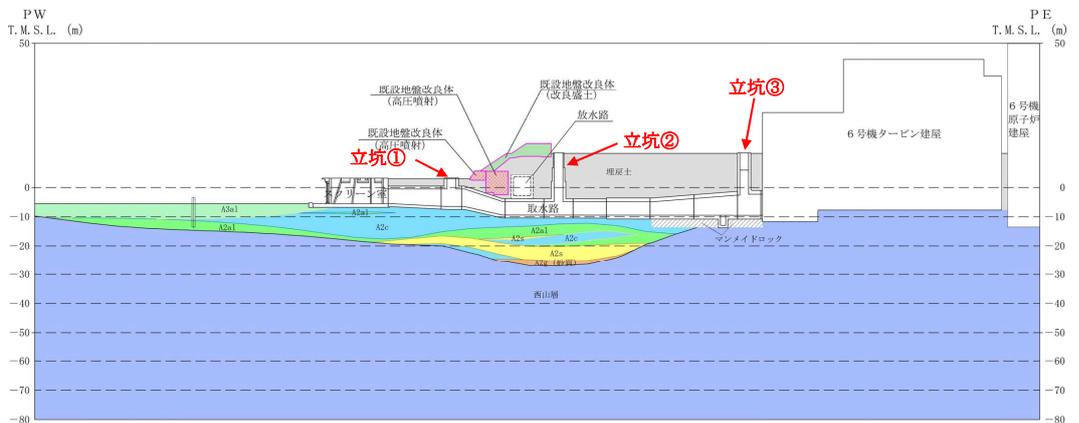
立坑	高さ (m)
①	2.7
②	16.1
③	13.5
④-S, N	18.1
⑤-S, N	18.5

表 3-2 立坑②～⑤の鉄筋比

立坑	鉄筋比 (%)
②	0.70
③	0.90
④-S	1.62
④-N	1.60
⑤-S	0.83
⑤-N	0.85



(7号機取水路縦断面図)



(6号機取水路縦断面図)

図 3-1 7号機及び6号機の取水路立坑部の比較

地盤変位は、液状化の影響を考慮するために2次元有効応力解析（解析コード「FLIP」）により算定する。図3-2に解析断面位置図、図3-3に解析モデル図を示す。地震応答解析に用いる地盤物性値及び地下水位は、V-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定し、その他の解析条件は、V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」に基づき設定する。また、検討を実施する地震動は、基準地震動 S_s 全波（8波）及びこれらの位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた全15波とする。

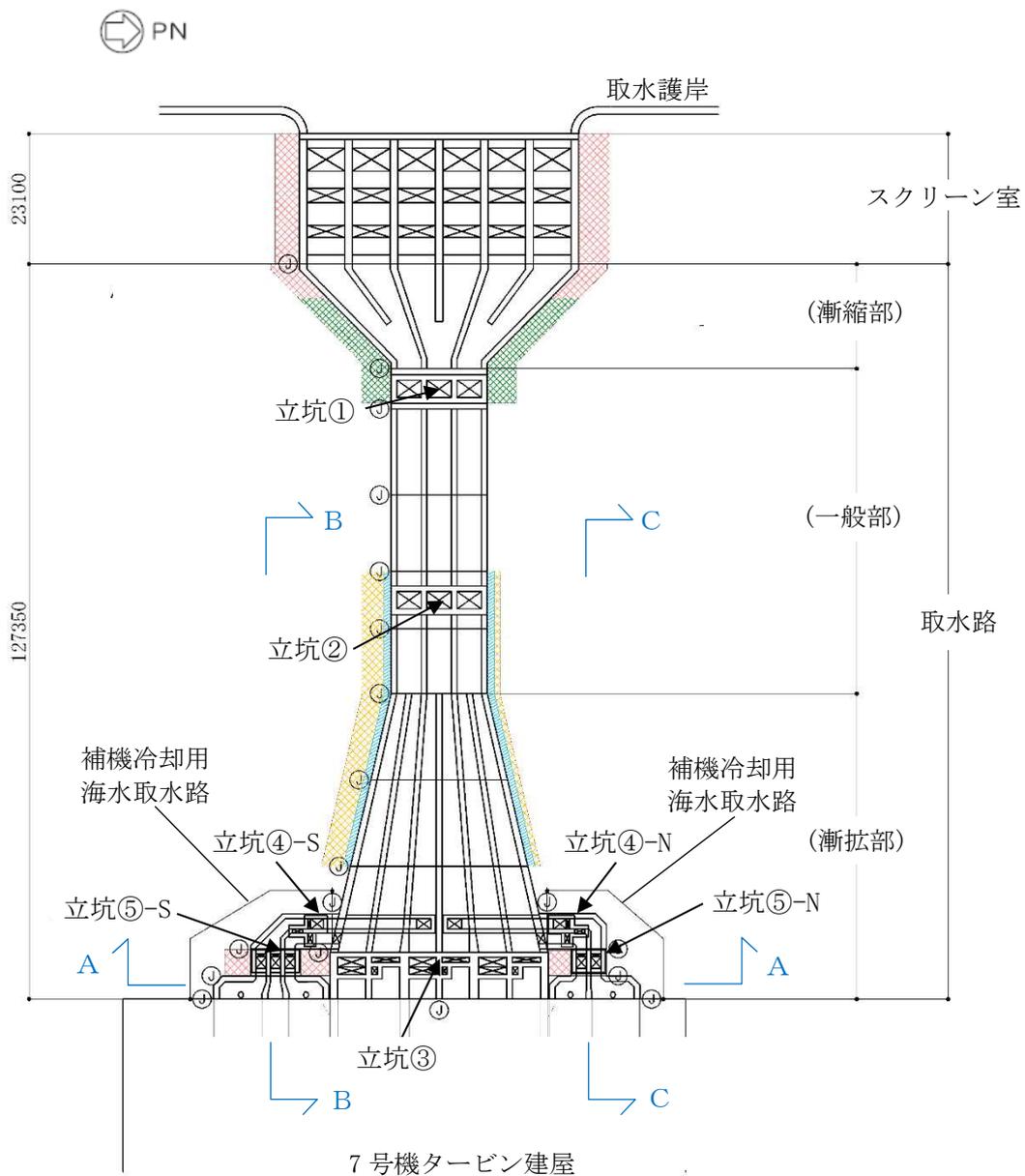
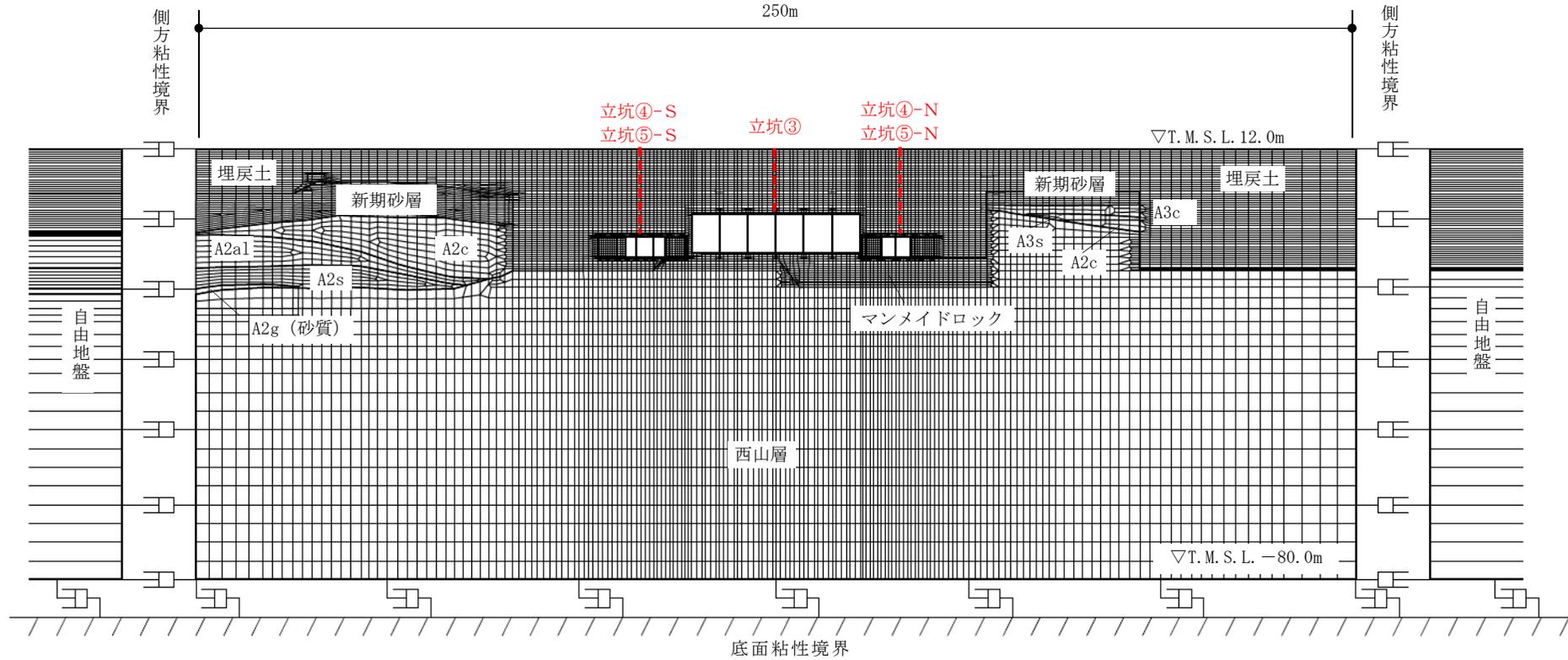
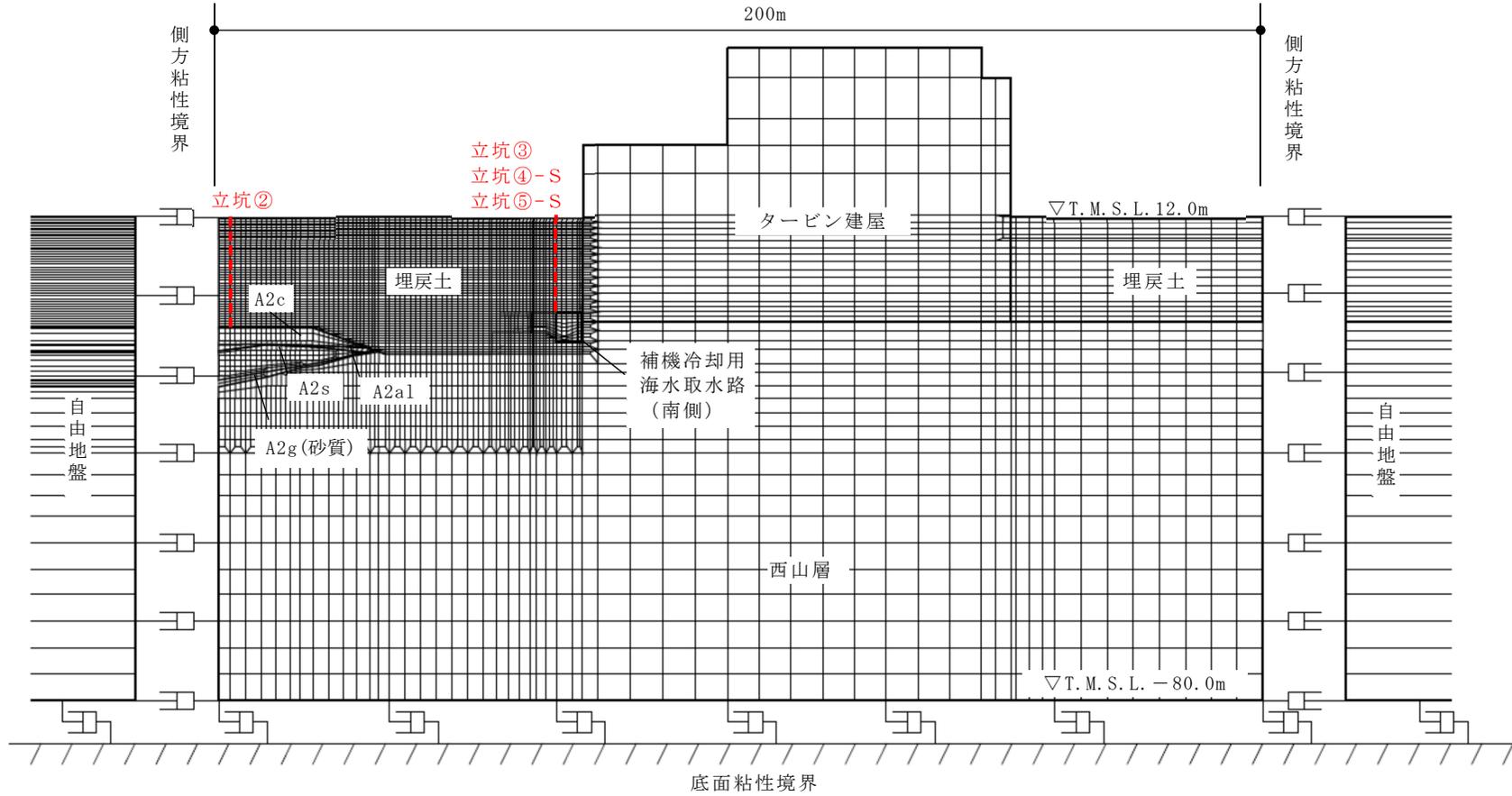


図 3-2 解析断面位置図



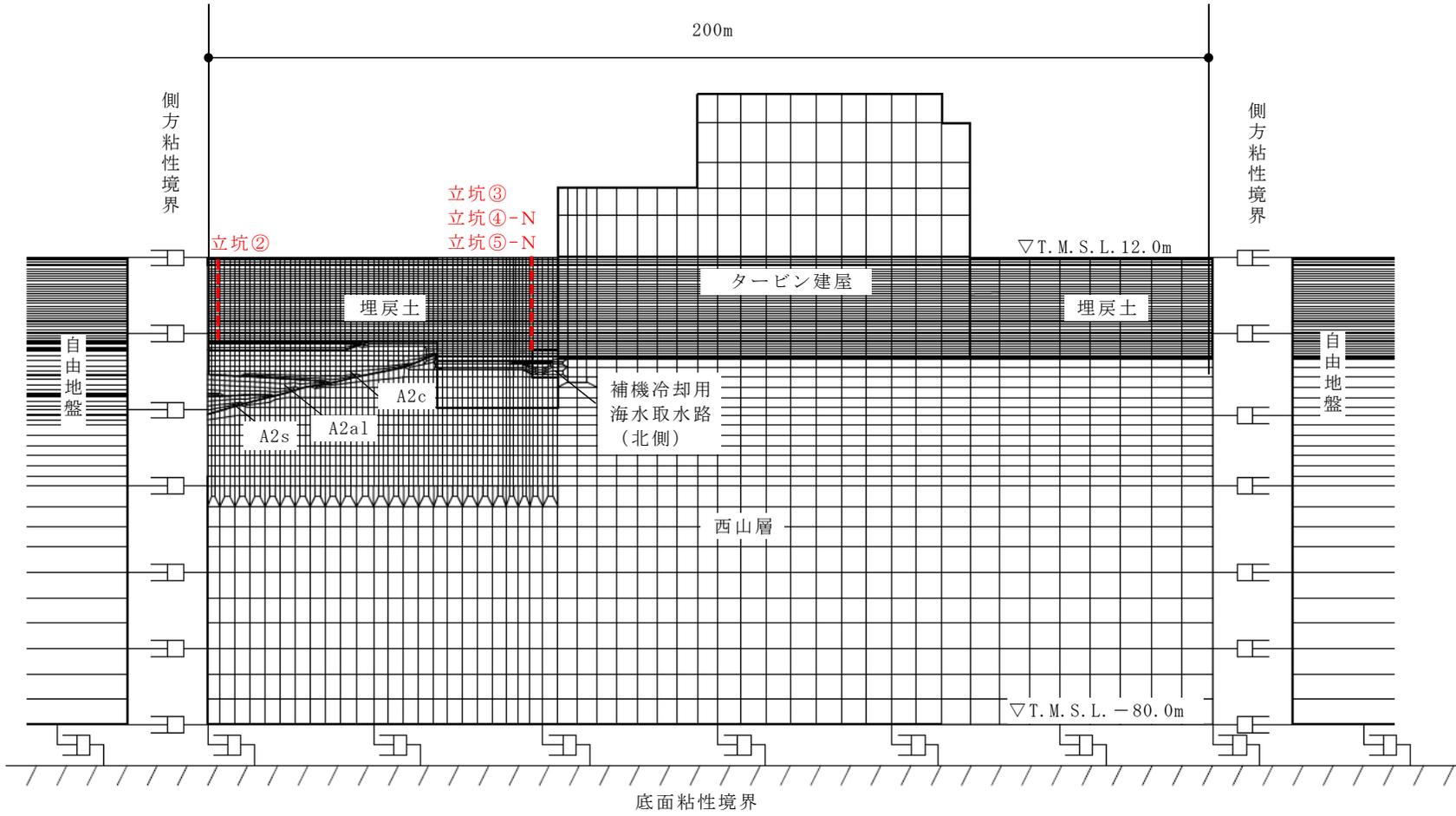
(A-A断面)

図 3-3 (1) 解析モデル図



(B-B断面)

図 3-3 (2) 解析モデル図



(C-C断面)

図 3-3 (3) 解析モデル図

表 3-3 に立坑②～⑤位置における地盤の最大相対水平変位の算定結果を示す。表 3-3 に示すとおり、NS 断面、EW 断面ともに立坑③～⑤と比較し、立坑②の方が地盤の最大相対水平変位が大きい。また、表 3-2 に示すとおり、立坑②～⑤のうち立坑②が最も鉄筋比が小さい。以上のことから、立坑②を取水路立坑の耐震評価を実施する代表構造物として選定する。

表 3-3 地盤の最大相対水平変位の算定結果

立坑位置	最大相対水平変位 (cm) *1		
	NS 断面	EW 断面	
		北側	南側
②	59.6 (Ss-7) *2	173 (Ss-7) *3	187 (Ss-7) *3
③	40.1 (Ss-7)	35.3 (Ss-7)	71.6 (Ss-7)
④-S	42.7 (Ss-7)	—	71.6 (Ss-7)
④-N	37.6 (Ss-7)	35.3 (Ss-7)	—
⑤-S	42.7 (Ss-7)	—	71.6 (Ss-7)
⑤-N	37.6 (Ss-7)	35.3 (Ss-7)	—

注記*1 : () 内は、相対水平変位が最大となる地震動を示す。

*2 : V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」の取水路(一般部)の地震応答解析より算定。

*3 : 立坑②中央位置に最も近い位置で相対変位を算定。

4. 地震応答解析

4.1 解析方法

取水路立坑の地震応答解析は、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、NS方向及びEW方向の2断面について実施する。

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。

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。

4.2 入力地震動

入力地震動は、V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「3.4 入力地震動の設定」に示す方法と同様に、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。

4.3 使用材料及び材料物性値

構造物の使用材料を表4-1、材料物性値を表4-2に示す。

表 4-1 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 4-2 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

4.4 地盤，マンメイドロック及び地盤改良体の物性値

地盤，マンメイドロック及び地盤改良体については，V-2-10-3-1-4「スクリーン室の耐震性についての計算書」及びV-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」にて設定している物性値を用いる。

4.5 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，NS断面の地震応答解析では，T.M.S.L. 5.0mに，EW断面の地震応答解析では，スクリーン室はT.M.S.L. 3.0m，取水路はT.M.S.L. 3.0～8.0mに設定する。

4.6 地震応答解析モデル（NS断面）

NS断面の地震応答解析モデルの設定のうち解析モデル領域，境界条件，地盤のモデル化，地盤改良体のモデル化，ジョイント要素の設定方法は，V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「3.5 解析モデル及び諸元」に示す方法と同様とする。図4-1に地震応答解析モデルを示す。

図4-2に構造物のモデル化方法を示す。構造物（取水路立坑）は，水路部の側壁，隔壁，底版及び頂版を非線形はり要素でモデル化し，立坑部を線形平面ひずみ要素及び線形はり要素でモデル化する。非線形はり要素の非線形特性は，V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「3.2 解析方法」に示す設定と同様とする。

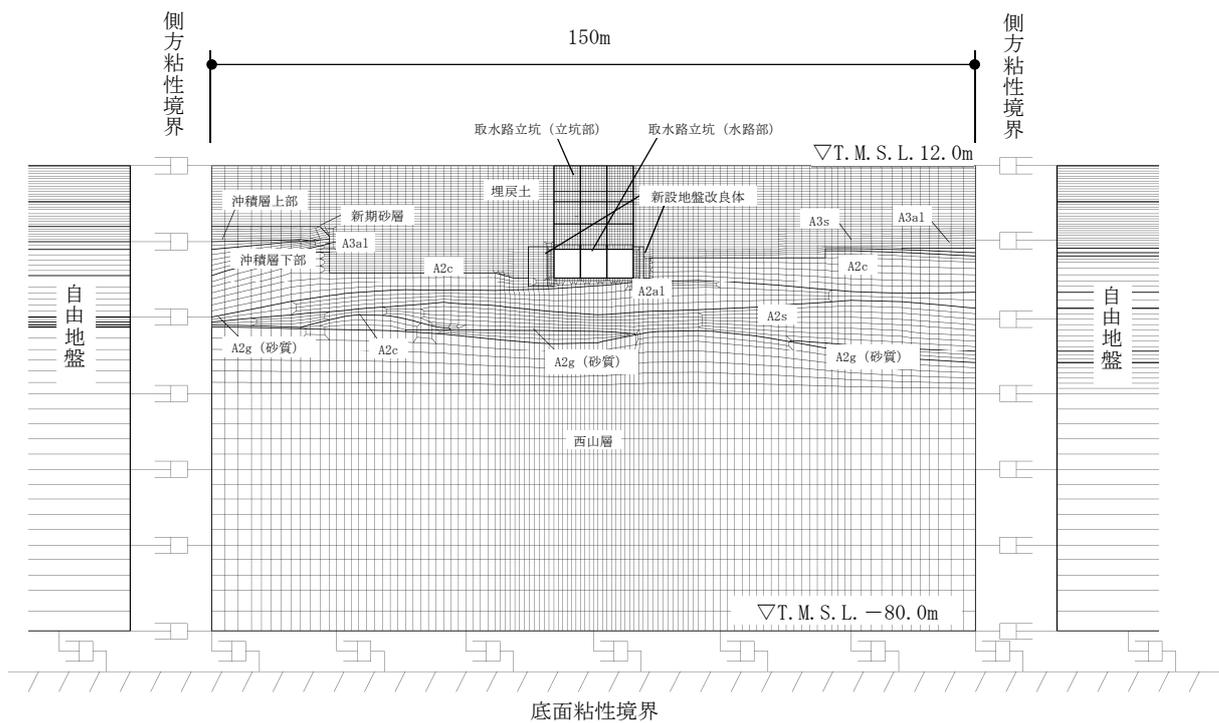


図 4-1 NS 断面の地震応答解析モデル

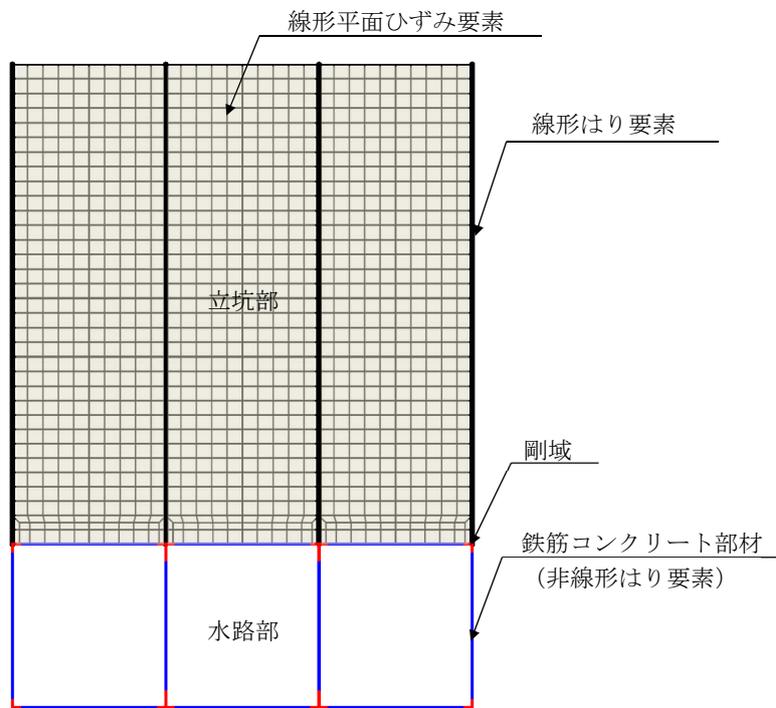


図 4-2 NS 断面における構造物のモデル化方法

4.7 地震応答解析モデル (EW 断面)

EW 断面の地震応答解析モデルの設定のうち解析モデル領域、境界条件、地盤のモデル化、地盤改良体のモデル化、ジョイント要素の設定方法は、V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「3.5 解析モデル及び諸元」に示す方法と同様とする。

スクリーン室及び取水路の水路部の鉄筋コンクリート部材は、線形平面ひずみ要素によりモデル化し、水路部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。立坑部の鉄筋コンクリート部材は、非線形はり要素 (M- ϕ 関係) でモデル化し、立坑の形状を考慮し、部材軸両側は剛ばりにより地盤と結合させる。立坑部の水路接続位置は、曲げによる力を伝達させるために線形はり要素を設ける。立坑部の解析モデルの概念図を図 4-3 に示す。

図 4-4 に地震応答解析モデルを示す。

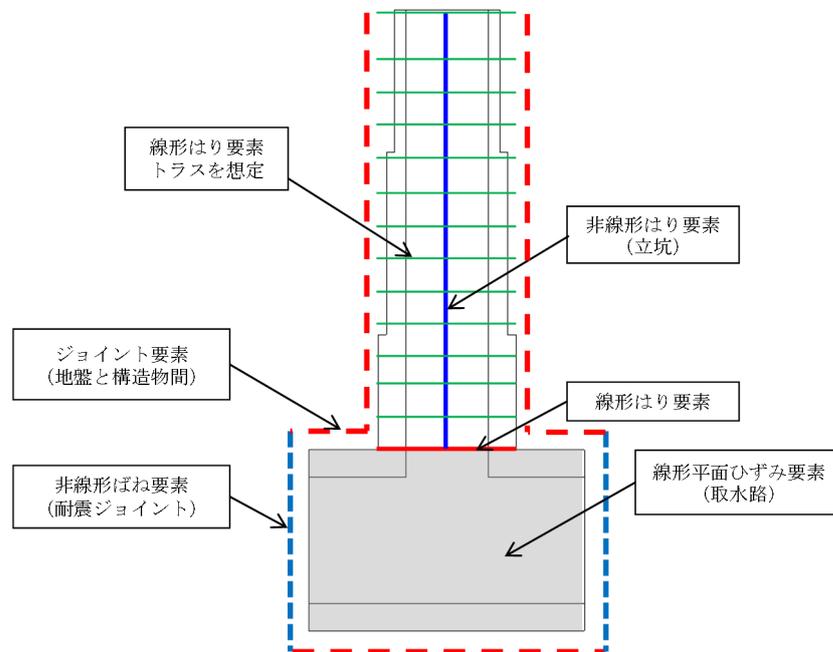


図 4-3 立坑部の解析モデルの概念図

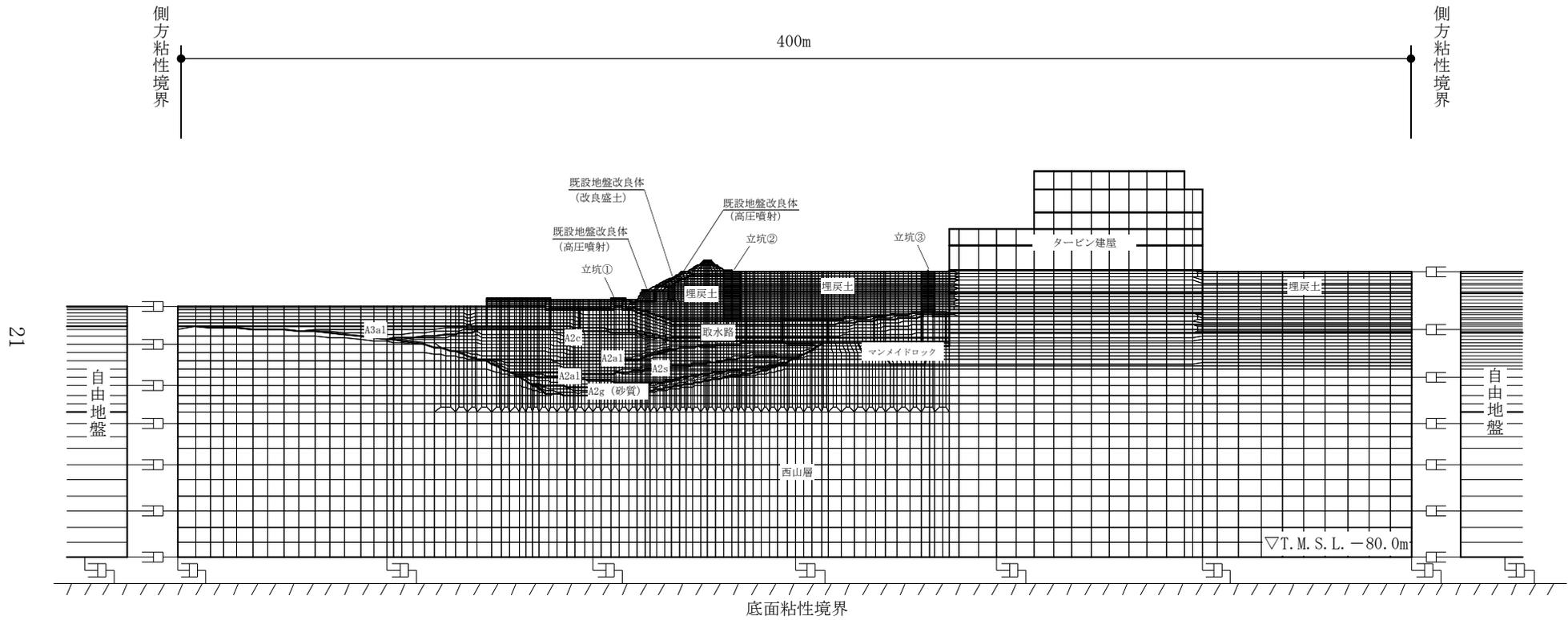


図 4-4 EW 断面の地震応答解析モデル

4.8 減衰定数

減衰定数は、V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「3.2 解析方法」に示す設定と同様とする。

4.9 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、取水路立坑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、取水路立坑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、取水路立坑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 4-3 に示す。

表 4-3 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。（共通条件：スクリーン室，取水路，補機冷却用海水取水路，取水路立坑）

4.9.1 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、NS断面の地震応答解析では T.M.S.L. 5.0m, EW断面の地震応答解析では、スクリーン室は T.M.S.L. 3.0m, 取水路は T.M.S.L. 3.0~8.0m 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。

4.9.2 内水圧

NS断面の地震応答解析では、取水路立坑の内部には、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。NS断面における内水圧図を図 4-5 に示す。

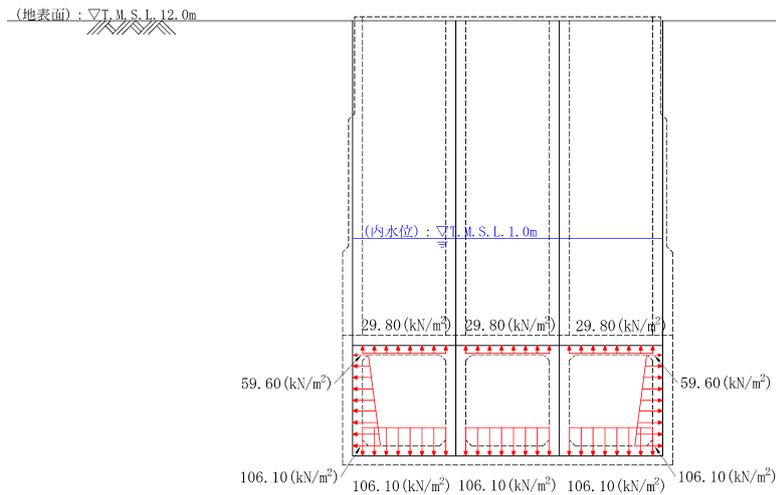


図 4-5 内水圧図 (NS 断面)

4.9.3 動水圧

NS断面の地震応答解析では、取水路立坑の内部には、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 $1.03\text{g}/\text{cm}^3$ を考慮する。NS断面における動水圧図を図 4-6 に示す。

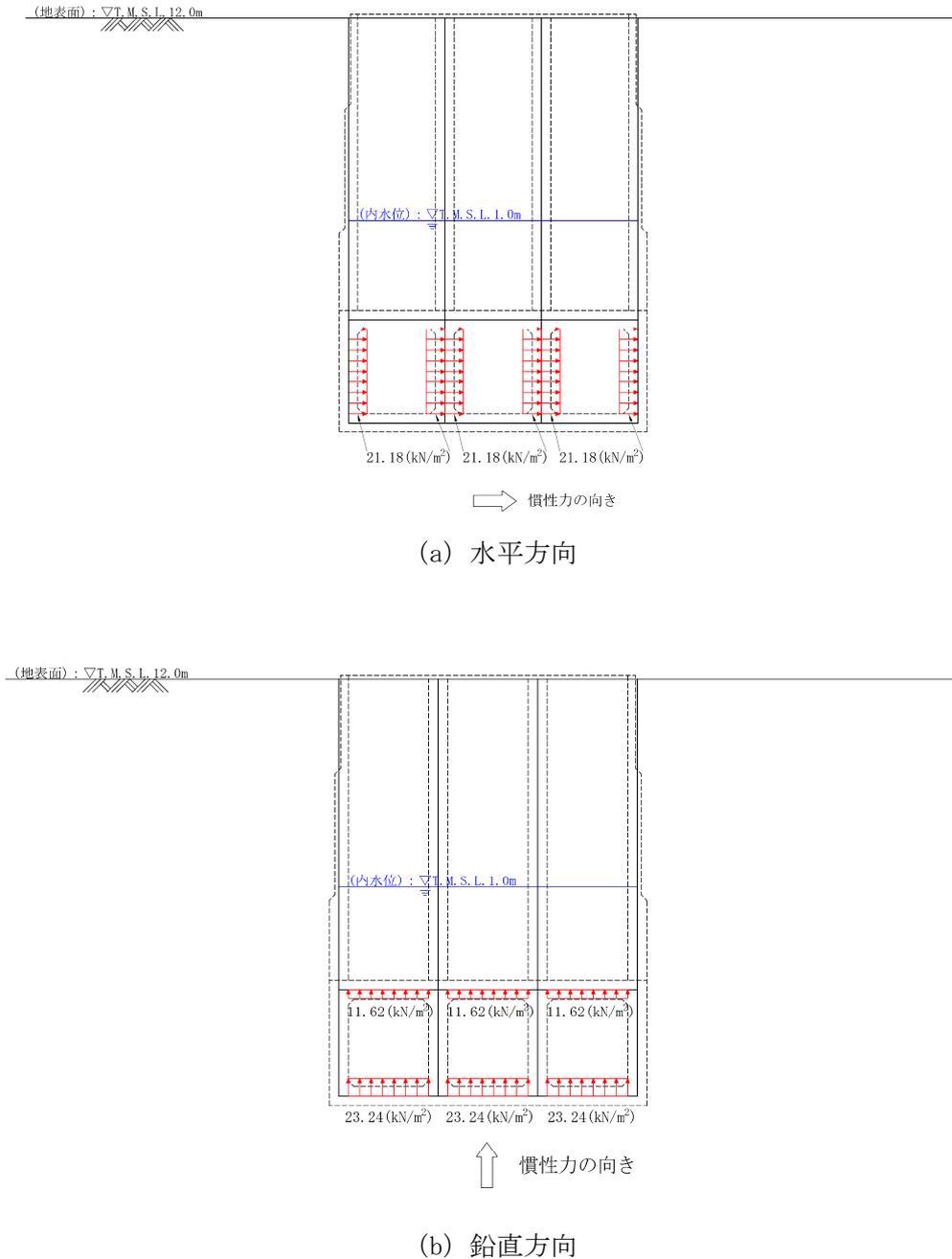


図 4-6 動水圧図 (NS断面)

4.10 解析ケース

解析ケース及び地震動は、解析ケース①（基本ケース）の基準地震動 S_s 全波（8波）及びこれらの位相反転を考慮した地震動（7波）を加えた全15波とする。屋外重要土木構造物としての機能を要求される水路部については、上記解析ケース及び地震動に加え、V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」に示す取水路（一般部）で実施している解析ケース②～⑤の $Ss-1$ —を追加する。

4.11 地震応答解析結果（水路部）

NS 断面の地震応答解析結果のうち、水路部の曲げ軸力照査値が最大となる解析ケース及び地震動の地震応答解析により算定した層間変形角の時刻歴波形を図 4-7、水路部のせん断力照査値が最大となる解析ケース及び地震動の評価時刻での断面力分布を図 4-8 に示す。

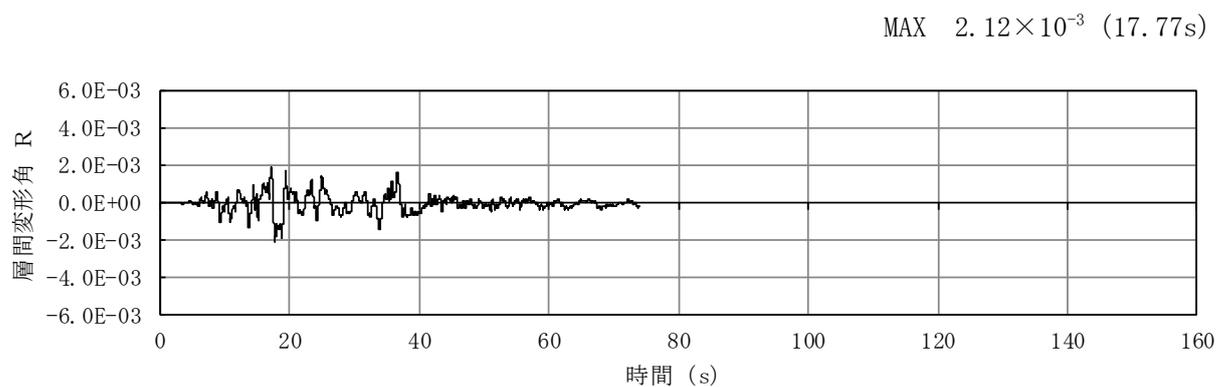
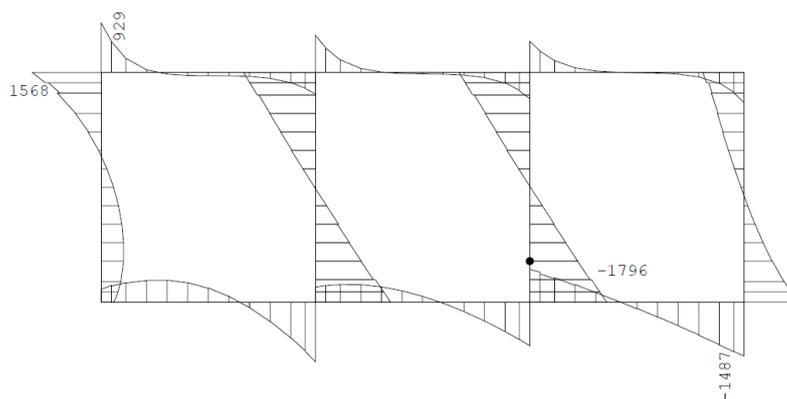


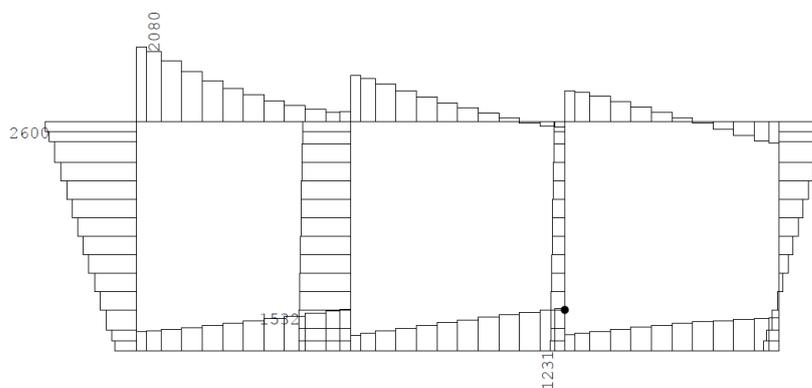
図 4-7 層間変形角の時刻歴波形
(NS 断面, 解析ケース①, Ss-3--)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = -1430 (kN・m)

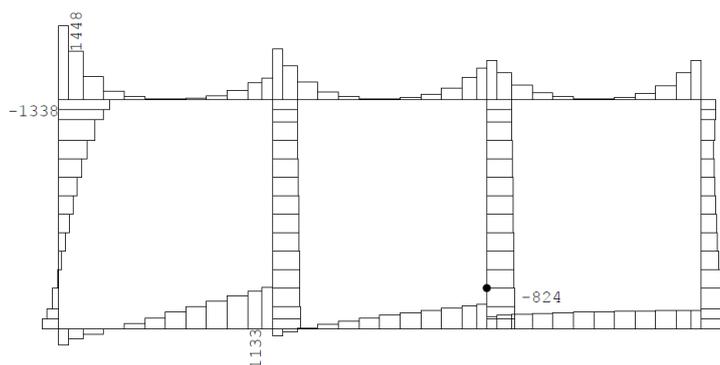
(a) 曲げモーメント (kN・m)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = 411 (kN)

(b) 軸力 (kN)



数値：各部材の最大断面力

●：せん断照査最大位置 = -820 (kN)

(c) せん断力 (kN)

図 4-8 水路部の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図
(NS 断面, 解析ケース①, Ss-3- -, t=17.75s)

4.12 地震応答解析結果（立坑部）

NS 断面の地震応答解析結果のうち，地震時の立坑部の水路接続位置と頂部間の最大相対水平変位の算定結果を表 4-4，表 4-4 において最大相対水平変位が最も大きくなる地震動における変位最大時刻での相対水平変位分布図を図 4-9 に示す。また，地震時に立坑部に作用する最大土水圧の算定結果を表 4-5，表 4-5 において最大土水圧が最も大きくなる地震動における土水圧最大時刻での土水圧分布図を図 4-10 に示す。

EW 断面の地震応答解析結果のうち，地震時の立坑部の水路接続位置と頂部間の最大相対水平変位の算定結果を表 4-6，表 4-6 において最大相対水平変位が最も大きくなる地震動における変位最大時刻での相対水平変位分布図を図 4-11 に示す。また，地震時に立坑部に作用する最大土水圧の算定結果を表 4-7，表 4-7 において最大土水圧が最も大きくなる地震動における土水圧最大時刻での土水圧分布図を図 4-12 に示す。

表 4-4 最大相対水平変位の算定結果 (NS 断面)

地震動		最大相対水平変位 (cm)
Ss-1	++	0.194
	-+	0.205
	+ -	0.193
	--	0.203
Ss-2		0.129
Ss-3	++	0.196
	-+	0.202
	+ -	0.202
	--	0.198
Ss-4		0.160
Ss-5		0.169
Ss-6		0.184
Ss-7		0.186
Ss-8	++	0.175
	-+	0.186

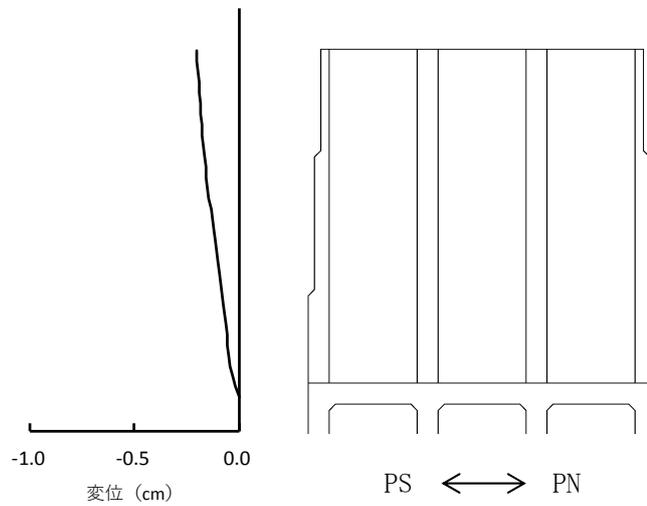


図 4-9 相対水平変位分布図 (NS 断面)
(解析ケース①, Ss-1-+, t=10.58s)

表 4-5 最大土水圧の算定結果 (NS 断面)

地震動		最大土水圧 (kN)
Ss-1	++	12303
	-+	11746
	+ -	11918
	--	11871
Ss-2		8115
Ss-3	++	11289
	-+	10995
	+ -	11962
	--	12252
Ss-4		9869
Ss-5		10897
Ss-6		11860
Ss-7		11735
Ss-8	++	10800
	-+	10488

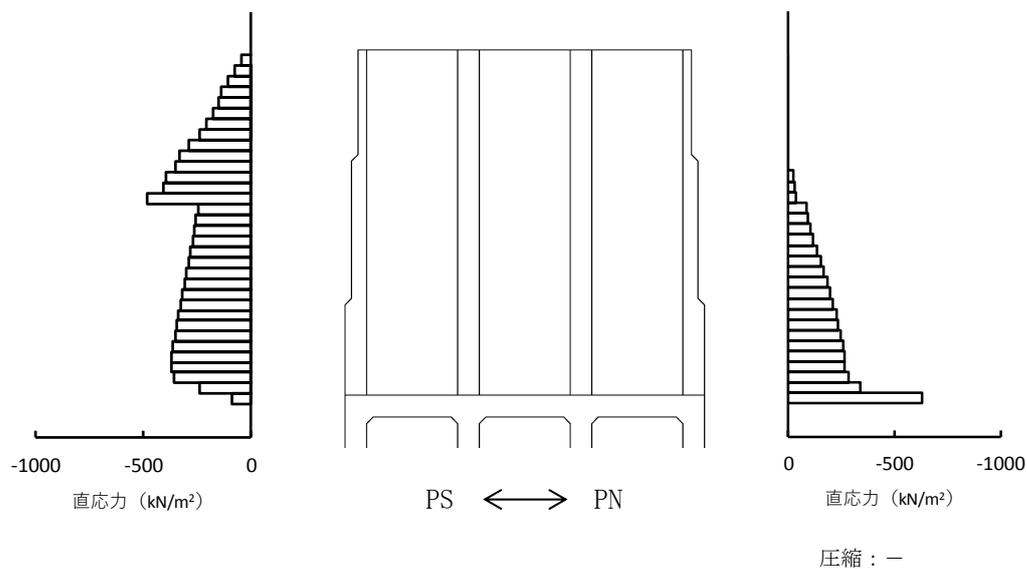


図 4-10 土水圧分布図 (NS 断面)
(解析ケース①, Ss-1++, t=10.64s)

表 4-6 最大相対水平変位の算定結果 (EW 断面)

地震動		最大相対水平変位 (cm)
Ss-1	++	3.87
	-+	7.93
	+ -	3.63
	--	8.19
Ss-2		2.36
Ss-3	++	6.97
	-+	8.21
	+ -	6.41
	--	7.12
Ss-4		4.53
Ss-5		18.26
Ss-6		13.70
Ss-7		26.85
Ss-8	++	2.73
	-+	2.33

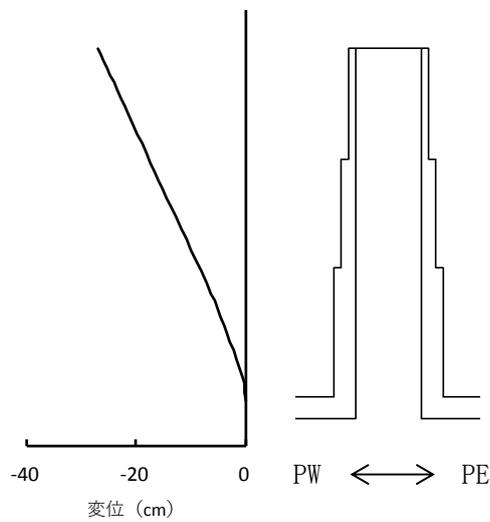


図 4-11 相対水平変位分布図 (EW 断面)
(解析ケース①, Ss-7, t=58.47s)

表 4-7 最大土水圧の算定結果 (EW 断面)

地震動		最大土水圧 (kN)
Ss-1	++	22485
	-+	24161
	+ -	23454
	--	24251
Ss-2		18602
Ss-3	++	23959
	-+	21841
	+ -	23223
	--	23333
Ss-4		22699
Ss-5		26940
Ss-6		24870
Ss-7		26749
Ss-8	++	22456
	-+	17800

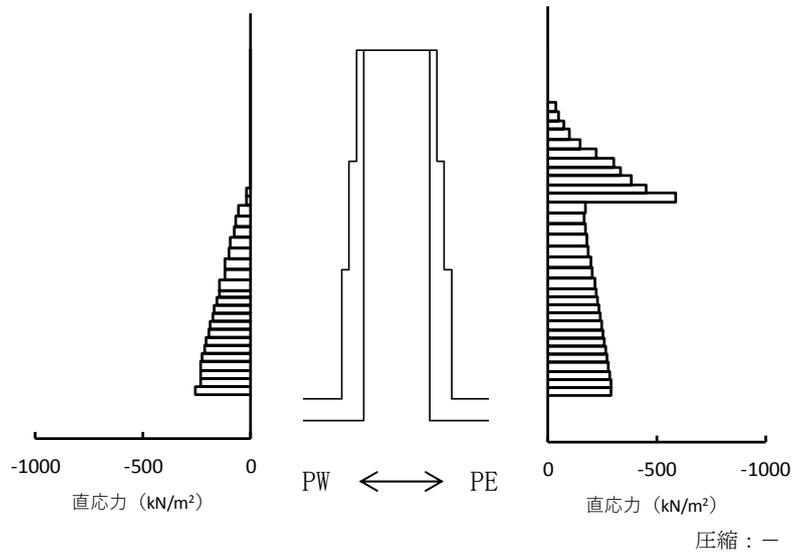


図 4-12 土水圧分布図 (EW 断面)
(解析ケース①, Ss-5, t=60.42s)

5. 耐震評価

5.1 水路部

5.1.1 評価対象断面の選定

水路部の縦断方向（通水方向，EW 方向）は，加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができることから，強軸断面方向となる。一方，水路部の横断方向（通水方向に対し直交する方向，NS 方向）は，通水機能を確保するため，加振方向と平行に配置される構造部材が少ないことから，弱軸断面方向となる。

以上のことから，水路部の耐震評価では，構造の安定性に支配的な弱軸断面方向である横断方向（通水方向に対し直交する方向，NS 方向）を評価対象断面とする。

5.1.2 許容限界

曲げ軸力に対する照査は，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。）に基づき限界層間変形角（層間変形角 1/100）を許容限界とする。曲げ軸力照査に用いる照査用層間変形角は，発生層間変形角に安全係数（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。

せん断力に対する照査は，土木学会マニュアルに基づき，棒部材式及び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。また，照査用せん断力が，上記せん断耐力式により算定するせん断耐力を上回る場合は，材料非線形解析を実施し，より精緻なせん断耐力を評価した上で，当該部材に対するせん断力照査を実施する。せん断力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。

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する状態（＝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。

5.2 立坑部

5.2.1 評価方法

立坑部の評価は、取水路立坑の NS 断面及び EW 断面それぞれについて、2次元の地震応答解析を実施し、それぞれの地震応答解析により得られた応答値を用いて、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。

5.2.2 3次元構造解析の解析手法

立坑部の評価は、構造物の3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でモデル化し、水平2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。

立坑部に作用する荷重は、2次元の地震応答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」を用いる。

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。

5.2.3 構造物のモデル化

図 5-1 に立坑部の 3 次元構造解析モデルを示す。立坑部は、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、立坑下部（部材厚さ 1.0m）は 8 層、立坑上部（部材厚 0.4~0.7m）は 6 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。また、立坑部と水路部の接合部については、土木学会マニュアルに基づく剛域を設定する。

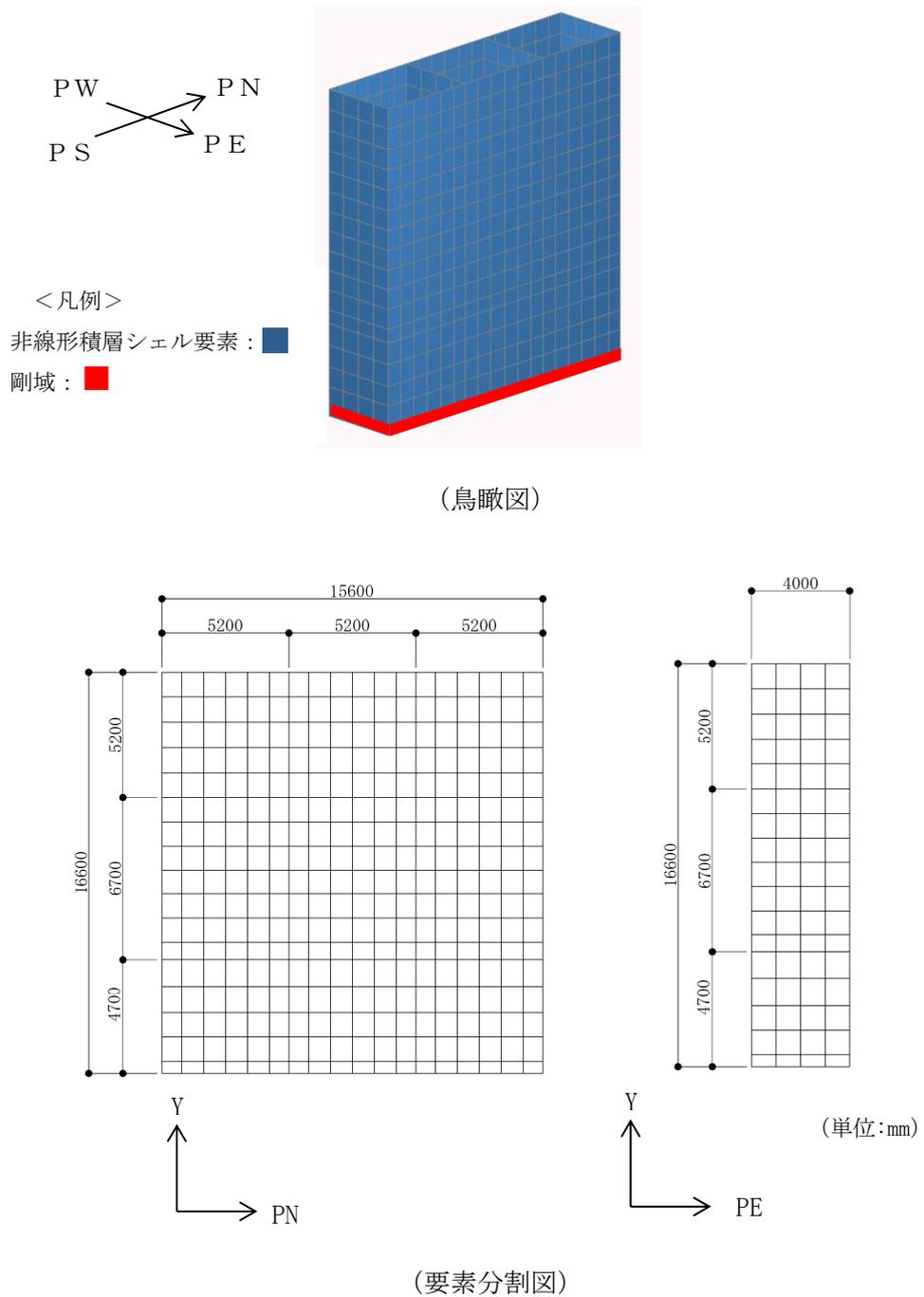


図 5-1 立坑部の 3 次元構造解析モデル

5.2.4 材料の非線形特性

材料の非線形特性は、V-2-10-3-1-6「取水路の耐震性についての計算書」のうち「3.2 解析方法」に示す設定と同様とする。

5.2.5 入力荷重

立坑部の耐震評価では、表 5-1 に示すとおり、評価に支配的な荷重が発生する時刻として、NS 断面及び EW 断面それぞれの地震応答解析において立坑の水路接続位置と頂部間の相対水平変位が最大となる時刻及び立坑に作用する土水圧が最大となる時刻を照査時刻として選定する。3次元構造解析の入力荷重は、上記照査時刻における水平 2 方向及び鉛直方向の応答値を NS 断面及び EW 断面それぞれの地震応答解析から抽出し算定する。なお、立坑部の面内方向のせん断に対する照査は、NS 断面における立坑部の面内せん断応力及び最大相対水平変位最大時を照査時刻とする。

入力荷重の一覧を表 5-2 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。立坑部の慣性力については、地震応答解析モデルにおける鉄筋コンクリート部材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。内水圧については、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として設定する。動水圧については、T.M.S.L. 1.0m を水面とし、各方向の慣性力に応じた荷重を作用させる。土圧及び水圧については、立坑部の側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。

表 5-1 立坑部の照査時刻

施設	加振方向	事象	照査時刻
立坑部	NS	立坑の水路接続位置と頂部間の相対水平変位最大時	時刻 1
		立坑に作用する土水圧最大時	時刻 2
	EW	立坑の水路接続位置と頂部間の相対水平変位最大時	時刻 3
		立坑に作用する土水圧最大時	時刻 4

表 5-2 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 (NS 断面方向)	応答加速度	躯体全体
	躯体 (EW 断面方向)	応答加速度	躯体全体
内水圧・動水圧	躯体 (NS 断面方向)	— *	作用位置
	躯体 (EW 断面方向)	— *	作用位置
土圧及び水圧	躯体 (NS 断面方向)	土圧・水圧	作用位置
	躯体 (EW 断面方向)	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。

5.2.6 許容限界

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%）を許容限界とする。曲げ軸力照査に用いる照査用コンクリートひずみは、3次元構造解析により得られたコンクリートひずみに安全係数（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。

面外方向のせん断力に対する照査は、土木学会マニュアルに基づき、棒部材式及び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。また、照査用せん断力が、上記せん断耐力式により算定するせん断耐力を上回る場合は、材料非線形解析を実施し、より精緻なせん断耐力を評価した上で、当該部材に対するせん断力照査を実施する。せん断力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。なお、解析結果から鉄筋コンクリート部材に降伏が認められる場合は、コンクリート標準示方書を参考とし、部材係数の割増しを考慮する。

面内方向のせん断に対する照査は、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。壁部材の面内せん断照査に用いる照査用せん断ひずみは、3次元構造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。

6. 耐震評価結果

6.1 水路部の評価結果

水路部の曲げ軸力に対する照査結果を表 6-1, せん断力に対する照査結果を表 6-2, 水路部の各部材において, せん断力に対する照査値が最も大きくなる解析ケース及び地震動の照査結果(照査値の裕度が小さい場合は材料非線形解析を実施)を表 6-3 に示す。表 6-1 及び表 6-3 より, 照査用層間変形角及び照査用せん断力が許容限界以下であることを確認した。

表 6-1 曲げ軸力に対する照査結果 (水路部)

解析 ケース	地震動	曲げ軸力照査		
		照査用 層間変形角 R_d^*	限界層間変形角 R_u	照査値 R_d/R_u
①	Ss-1++	2.41×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.25
	Ss-1-+	2.43×10^{-3}		0.25
	Ss-1+-	2.33×10^{-3}		0.24
	Ss-1--	2.50×10^{-3}		0.25
	Ss-2	1.28×10^{-3}		0.13
	Ss-3++	2.46×10^{-3}		0.25
	Ss-3-+	2.53×10^{-3}		0.26
	Ss-3+-	2.45×10^{-3}		0.25
	Ss-3--	2.54×10^{-3}		0.26
	Ss-4	1.43×10^{-3}		0.15
	Ss-5	1.69×10^{-3}		0.17
	Ss-6	1.75×10^{-3}		0.18
	Ss-7	1.99×10^{-3}		0.20
	Ss-8++	2.33×10^{-3}		0.24
Ss-8-+	2.42×10^{-3}	0.25		
②	Ss-1--	2.46×10^{-3}	0.25	
③	Ss-1--	2.30×10^{-3}	0.23	
④	Ss-1--	2.03×10^{-3}	0.21	
⑤	Ss-1--	2.00×10^{-3}	0.20	

注記* : 照査用層間変形角 R_d = 最大層間変形角 R × 構造解析係数 γ_a

表 6-2 (1) せん断力に対する照査結果 (水路部)

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^{*1} (kN)	V_{yd} (kN)	V_d/V_{yd}
①	Ss-1++	頂版	5	658	1676	0.40
		側壁	1	1193	1701	0.71
		隔壁	3	845	896	0.95
		底版	8	1271	2391	0.54
	Ss-1-+	頂版	7	645	1652	0.40
		側壁	4	1245	1662	0.75
		隔壁	3	836	863	0.97
		底版	10	1276	2403	0.54
	Ss-1+-	頂版	7	601	1649	0.37
		側壁	4	1139	1663	0.69
		隔壁	2	828	878	0.95
		底版	8	1274	2508	0.51
	Ss-1--	頂版	5	598	1649	0.37
		側壁	1	963	1483	0.65
		隔壁	3	852	866	0.99
		底版	10	1354	2539	0.54
	Ss-2	頂版	7	441	1623	0.28
		側壁	4	895	1765	0.51
		隔壁	2	594	897	0.67
		底版	10	988	2502	0.40
	Ss-3++	頂版	7	598	1640	0.37
		側壁	4	1096	1592	0.69
		隔壁	2	854	880	0.98
		底版	10	1139	2341	0.49
	Ss-3-+	頂版	5	602	1667	0.37
		側壁	1	958	1597	0.60
		隔壁	3	860	866	1.00
		底版	8	1175	2322	0.51
	Ss-3+-	頂版	5	615	1685	0.37
		側壁	4	980	1530	0.65
		隔壁	2	856	875	0.98
		底版	8	1320	2377	0.56
	Ss-3--	頂版	7	628	1658	0.38
		側壁	4	1232	1697	0.73
		隔壁	3	862	859	1.01
		底版	10	1341	2429	0.56
	Ss-4	頂版	5	459	1655	0.28
		側壁	4	822	1742	0.48
		隔壁	3	610	867	0.71
		底版	8	1114	2405	0.47

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 γ_a

表 6-2 (2) せん断力に対する照査結果 (水路部)

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_{yd} (kN)	V_d/V_{yd}
①	Ss-5	頂版	7	469	1624	0.29
		側壁	4	881	1671	0.53
		隔壁	2	678	859	0.79
		底版	8	1176	2399	0.50
	Ss-6	頂版	7	566	1668	0.34
		側壁	4	1122	1784	0.63
		隔壁	2	702	877	0.81
		底版	10	1295	2517	0.52
	Ss-7	頂版	7	570	1653	0.35
		側壁	4	1090	1699	0.65
		隔壁	3	724	831	0.88
		底版	10	1222	2441	0.51
	Ss-8++	頂版	7	546	1626	0.34
		側壁	4	1009	1576	0.65
		隔壁	2	820	883	0.93
		底版	10	1112	2323	0.48
Ss-8-+	頂版	5	575	1642	0.36	
	側壁	1	945	1607	0.59	
	隔壁	3	829	873	0.95	
	底版	8	1083	2302	0.48	
②	Ss-1--	頂版	5	598	1644	0.37
		側壁	4	1203	1869	0.65
		隔壁	3	842	865	0.98
		底版	10	1364	2527	0.54
③	Ss-1--	頂版	5	591	1642	0.36
		側壁	4	1226	1805	0.68
		隔壁	3	806	882	0.92
		底版	10	1253	2511	0.50
④	Ss-1--	頂版	7	526	1622	0.33
		側壁	1	992	1413	0.71
		隔壁	3	742	882	0.85
		底版	10	1180	2359	0.51
⑤	Ss-1--	頂版	7	510	1629	0.32
		側壁	1	955	1417	0.68
		隔壁	2	750	886	0.85
		底版	10	1172	2348	0.50

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 γ_a

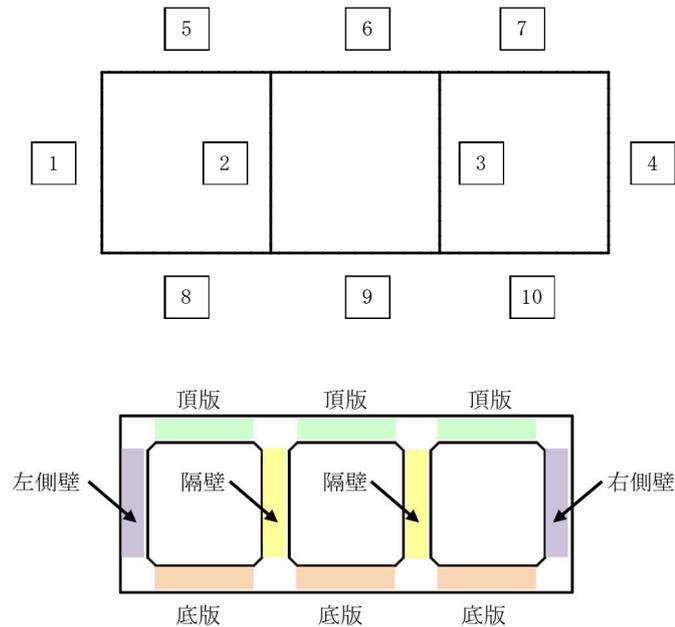
表 6-3 せん断力照査値が最大となる解析ケースの照査結果 (水路部)

評価位置		解析 ケース	地震動	照査用せん断力 V_d^{*1} (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
頂版	5	①	Ss-1++	658	1676	0.40
側壁	4	①	Ss-1-+	1536 ^{*2}	3232 ^{*2}	0.48 ^{*2}
隔壁	3	①	Ss-3--	868 ^{*2}	1866 ^{*2}	0.47 ^{*2}
底版	8	①	Ss-3+-	1320	2377	0.56

注記*1 : 照査用せん断力 $V_d =$ 発生せん断力 $V \times$ 構造解析係数 γ_a

*2 : 材料非線形解析を用いた方法による数値

*3 : 評価位置は下図に示す。



6.2 水路部の貯水機能の確認

曲げ軸力に対する照査値が最も厳しい解析ケースにおいて、貯水機能が要求される側壁のM- ϕ 曲線の応答を図 6-1 に示す。なお、同図は側壁および頂版の貯水機能が要求される部位の中で最も第 2 折れ点（鉄筋の降伏）に対する裕度が厳しい応答を示す位置の結果を示している。

鉄筋は、部材の片側の最大応答は第 2 折れ点（鉄筋の降伏）に至っているが、両側で鉄筋の降伏には至っておらず、漏水を生じるひび割れは発生しないことから、貯水機能は損なわれないことを確認した。

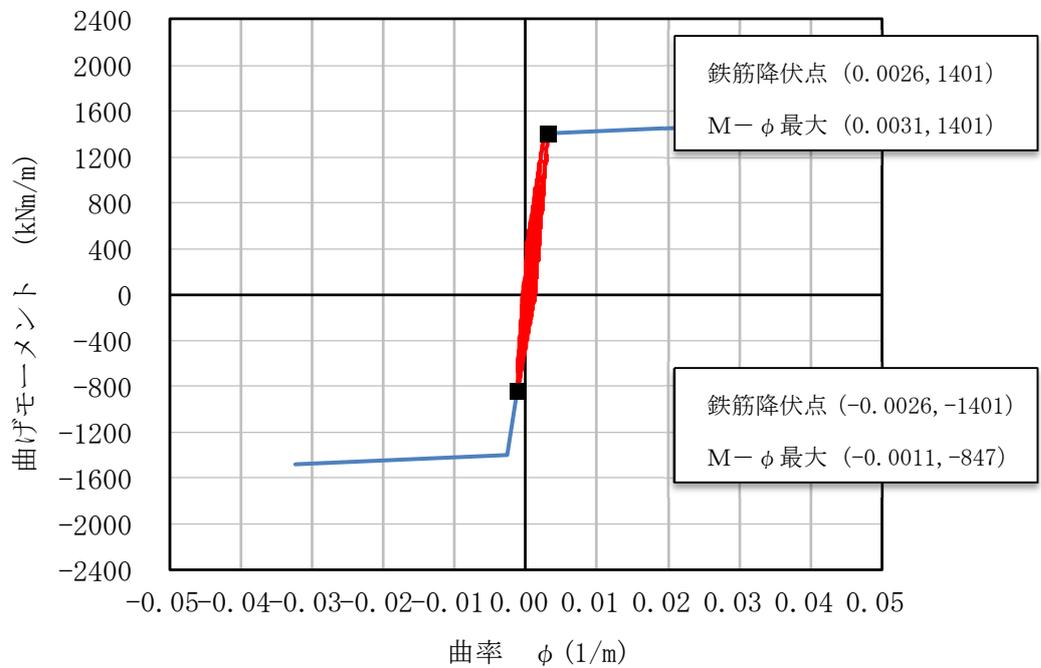


図 6-1 水路部のM- ϕ 曲線を用いた貯水機能の確認

(左側壁上部, 解析ケース①, Ss-3---) *

注記* : 曲げ軸力照査で照査値が最も厳しい解析ケース

6.3 立坑部の評価結果

立坑部の曲げ軸力に対する照査結果を表 6-4、せん断力に対する照査結果を表 6-5、面内せん断力に対する照査結果を表 6-6 に示す。せん断力に対する照査については、許容限界に対する余裕が小さいことから、表 5-1 に示す照査時刻 1~4（解析ケース①）の結果に加え、最も照査値が大きい照査時刻 4（EW 方向、立坑に作用する土水圧最大時）について、さらに照査値が大きくなる可能性がある解析ケース③、Ss-5 の地震応答解析を実施し、EW 方向の立坑に作用する土水圧最大時刻（時刻 4'）における照査を追加で実施する。

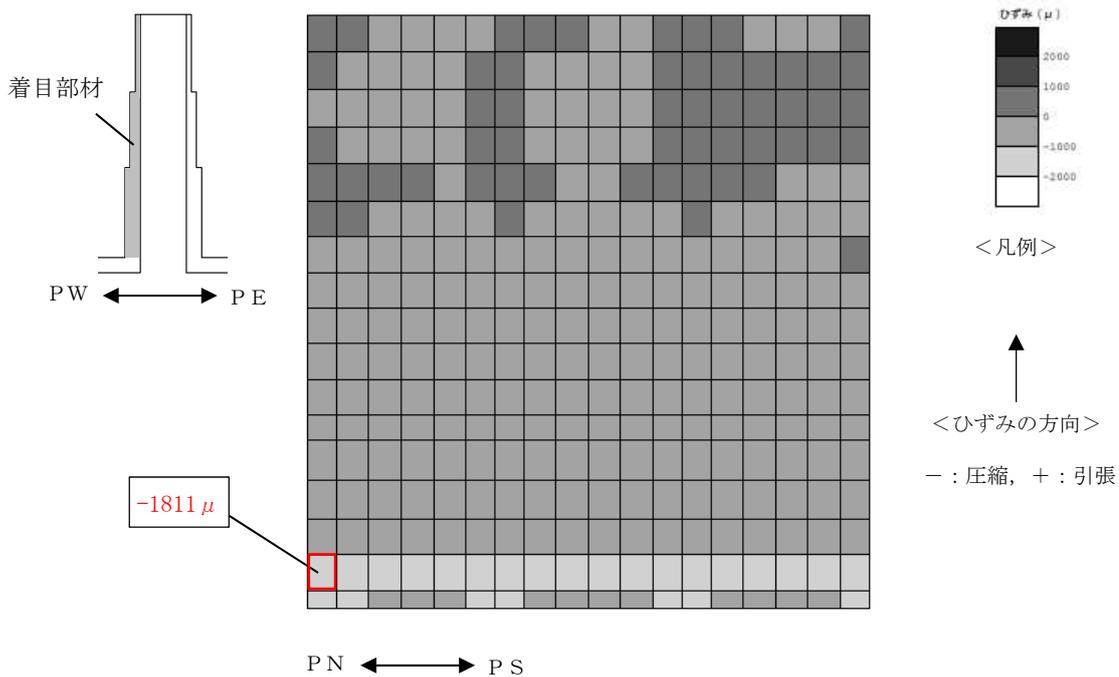
表 6-4、表 6-5 及び表 6-6 より、取水路の点検用に設置された構造部位である立坑部について屋外重要土木構造物と同等に各種安全係数を考慮することで安全余裕を見込んだ評価を実施した場合においても、照査用ひずみ、照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界以下であることを確認した。

なお、曲げ軸力に対する照査については、図 6-2 に示すとおり、立坑下部（部材厚さ 1.0m）で発生ひずみが大きくなるものの、許容限界に対して十分な余裕がある。一方、せん断力に対する照査については、許容限界に対する余裕が小さいものの、図 6-3(c) に示すとおり、発生せん断力は立坑部全体のうち立坑下部（部材厚さ 1.0m）の局所的な範囲で大きくなっていることから、立坑部の崩壊に伴う水路部への波及的影響の観点からは、十分な安全性を有していると考えられる。

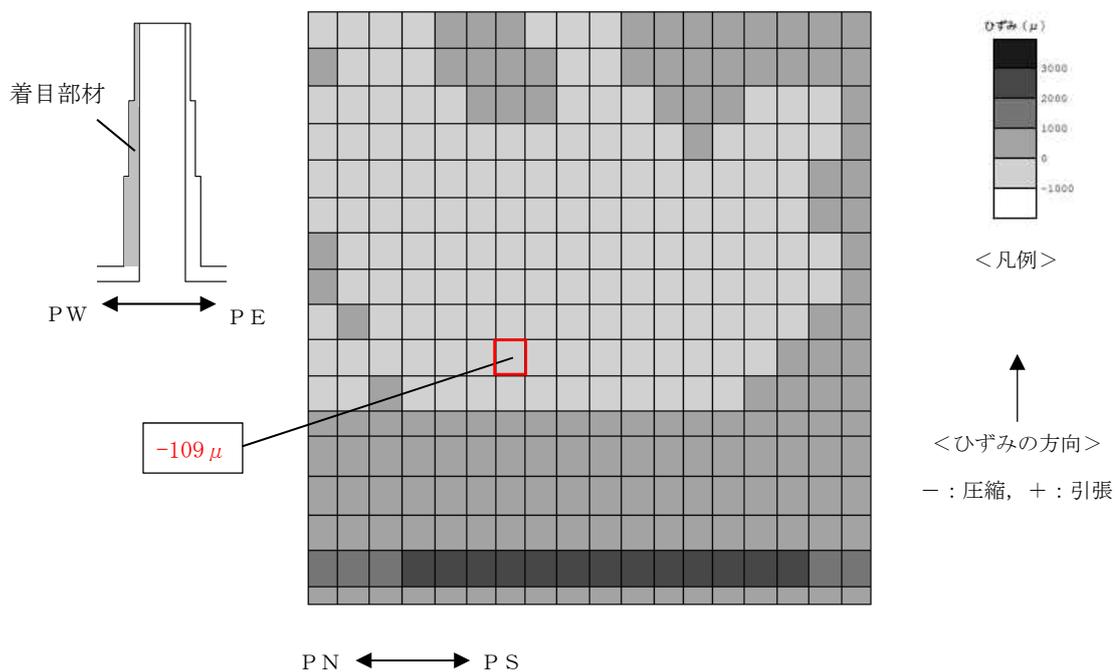
表 6-4 曲げ軸力に対する照査結果（立坑部）

照査時刻	解析 ケース	地震動	評価位置	照査用ひずみ* $\epsilon_d (\mu)$	限界ひずみ $\epsilon_r (\mu)$	照査値 ϵ_d / ϵ_r
時刻 1	①	Ss-1-+	部材厚 1.0m	1874	10000	0.19
時刻 2	①	Ss-1++	部材厚 0.4m	1169	10000	0.12
時刻 3	①	Ss-7EW Ss-7NS	部材厚 1.0m	2129	10000	0.22
時刻 4	①	Ss-5EW Ss-5NS	部材厚 1.0m	2174	10000	0.22

注記* : 照査用ひずみ = 発生ひずみ × 構造解析係数 γ_a



(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 6-2 曲げ軸力照査値が最も厳しくなるケースでのひずみ分布図（立坑部）
 （部材：側壁西側，解析ケース①，Ss-5，t=60.42s）

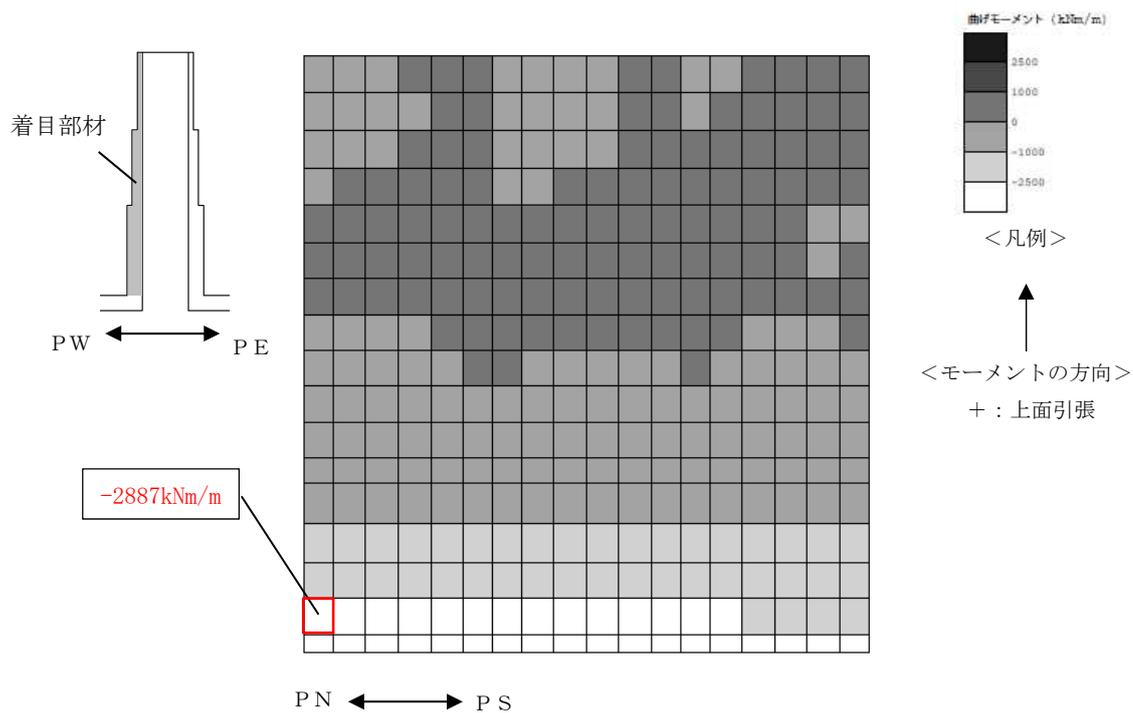
表 6-5 せん断力に対する照査結果（立坑部）

照査時刻	解析 ケース	地震動	評価位置	照査用せん断力 V_d^{*1} (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 V_d/V_{yd}
時刻 1	①	Ss-1-+	部材厚 1.0m	2083 ^{*2}	2185 ^{*2*3}	0.96 ^{*2}
時刻 2	①	Ss-1++	部材厚 0.4m	370	424 ^{*3}	0.88
時刻 3	①	Ss-7EW Ss-7NS	部材厚 1.0m	2044 ^{*2}	2197 ^{*2*3}	0.94 ^{*2}
時刻 4	①	Ss-5EW Ss-5NS	部材厚 1.0m	2308 ^{*2}	2362 ^{*2*3}	0.98 ^{*2}
時刻 4'	③	Ss-5EW Ss-5NS	部材厚 1.0m	2629 ^{*2}	2691 ^{*2*3}	0.98 ^{*2}

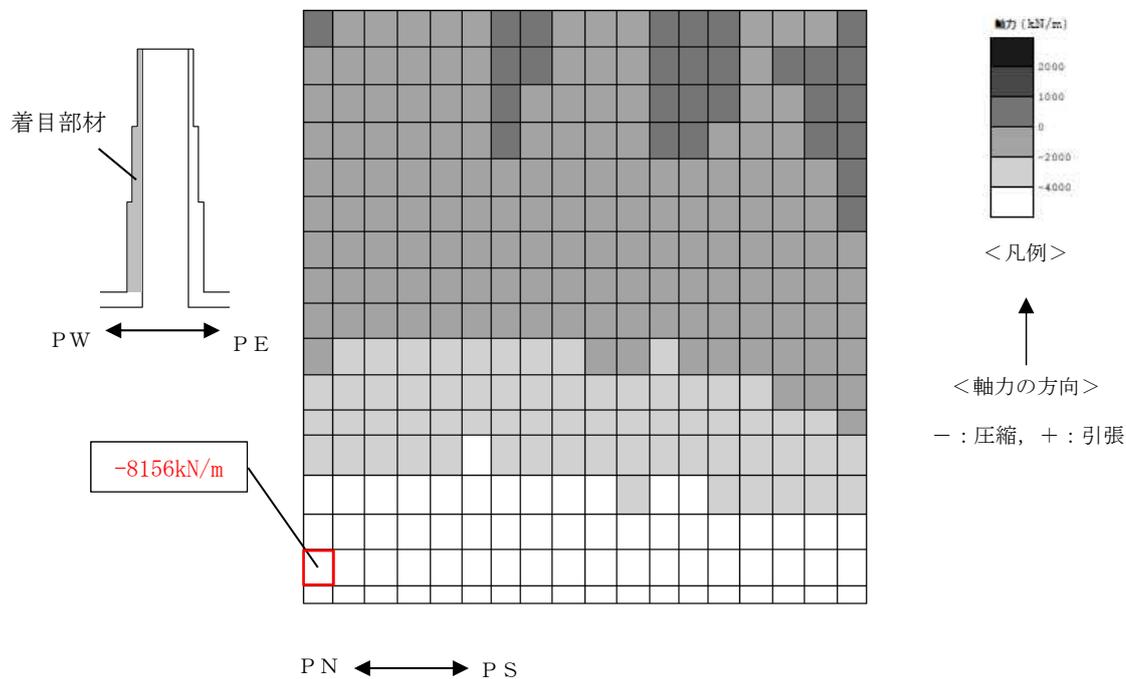
注記*1 : 照査用せん断力 $V_d = \text{発生せん断力 } V \times \text{構造解析係数 } \gamma_a$

*2 : 材料非線形解析を用いた方法による数値

*3 : 部材係数 γ_{b2} を考慮



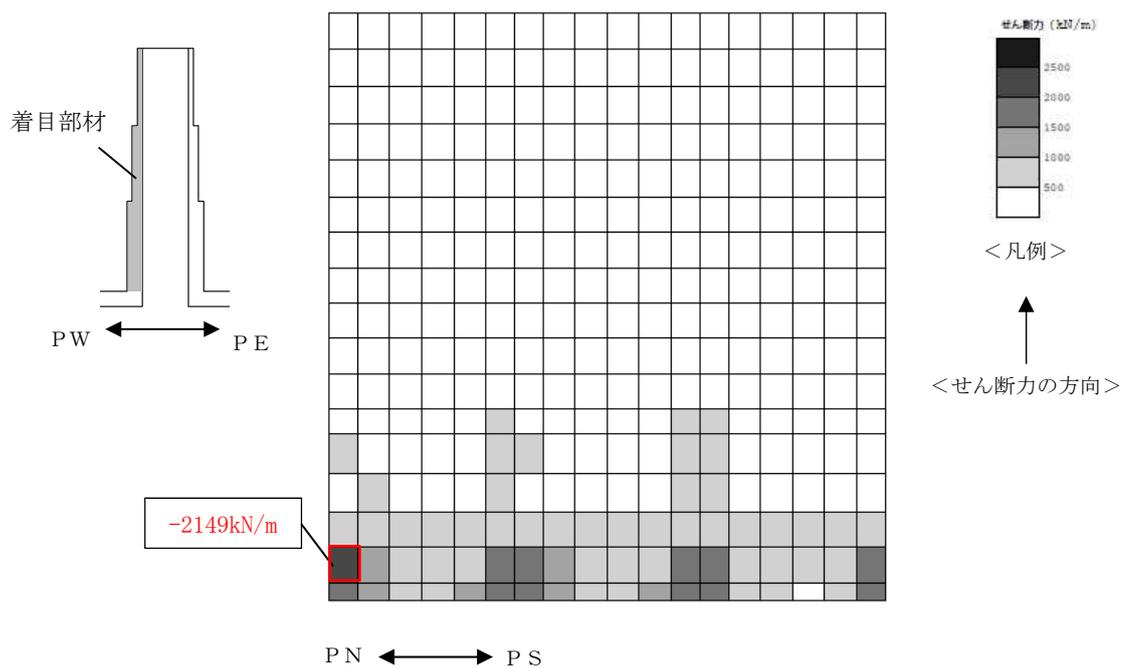
(a) 曲げモーメント分布



(b) 軸力分布

: 最大断面力発生箇所

図 6-3 (1) 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 (立坑部)
(部材 : 側壁西側, 解析ケース①, $S_s=5$, $t=60.42s$)



(c) せん断力分布

: 最大断面力発生箇所

図 6-3 (2) 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 (立坑部)
(部材: 側壁西側, 解析ケース①, Ss-5, t=60.42s)

表 6-6 面内せん断力に対する照査結果 (立坑部)

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
立坑部	②	Ss-1--	4.14×10^{-4}	2.0×10^{-3}	0.21

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