Ⅴ-2-10-3-1-6　取水路の耐震性についての計算書

目　次

1. 概要 …… 1
2. 基本方針 …… 2
2.1 位置 …… 2
2.2 構造概要 …… 3
2.3 評価方針 …… 10
2.4 適用基準 …… 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Ｓｓ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。

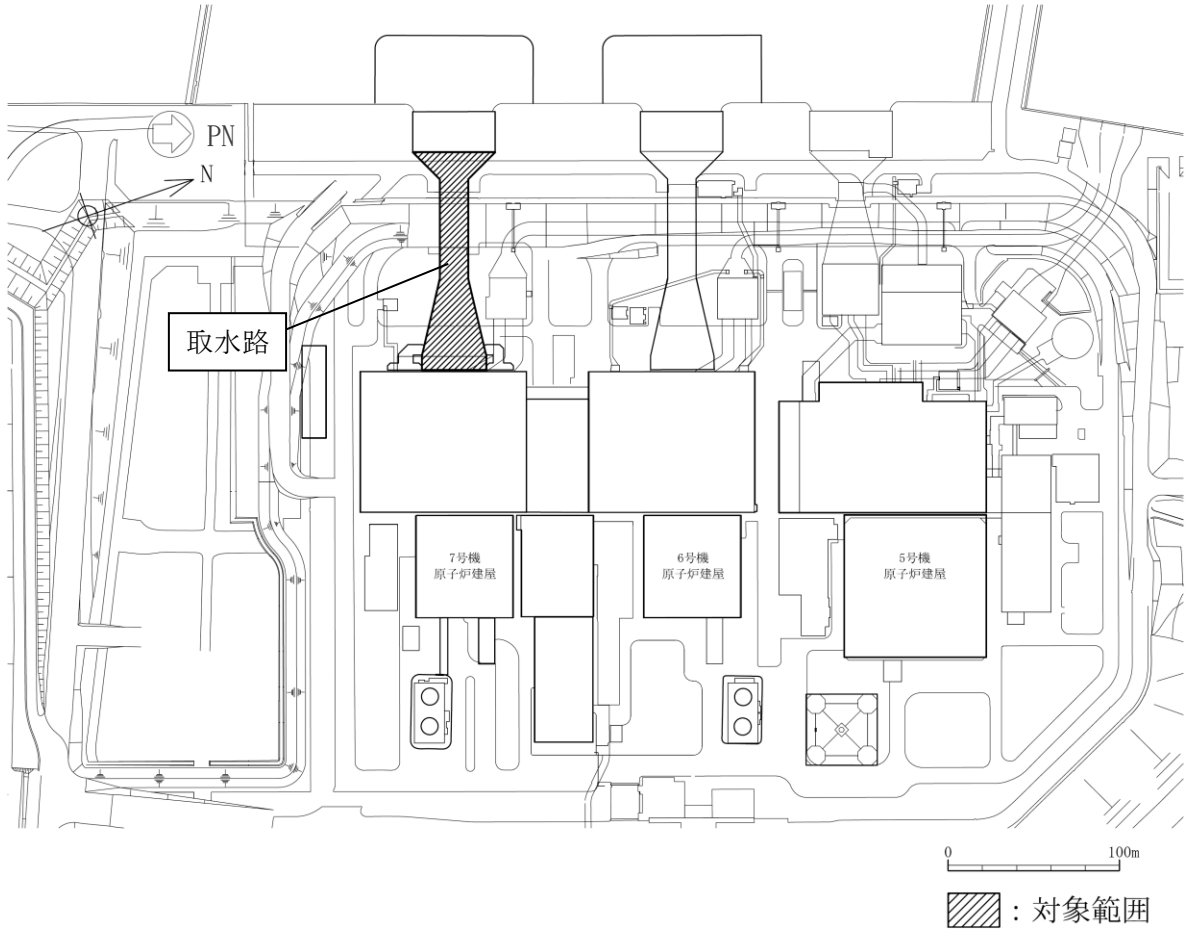


図２－１　取水路の位置図（全体平面図）

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。

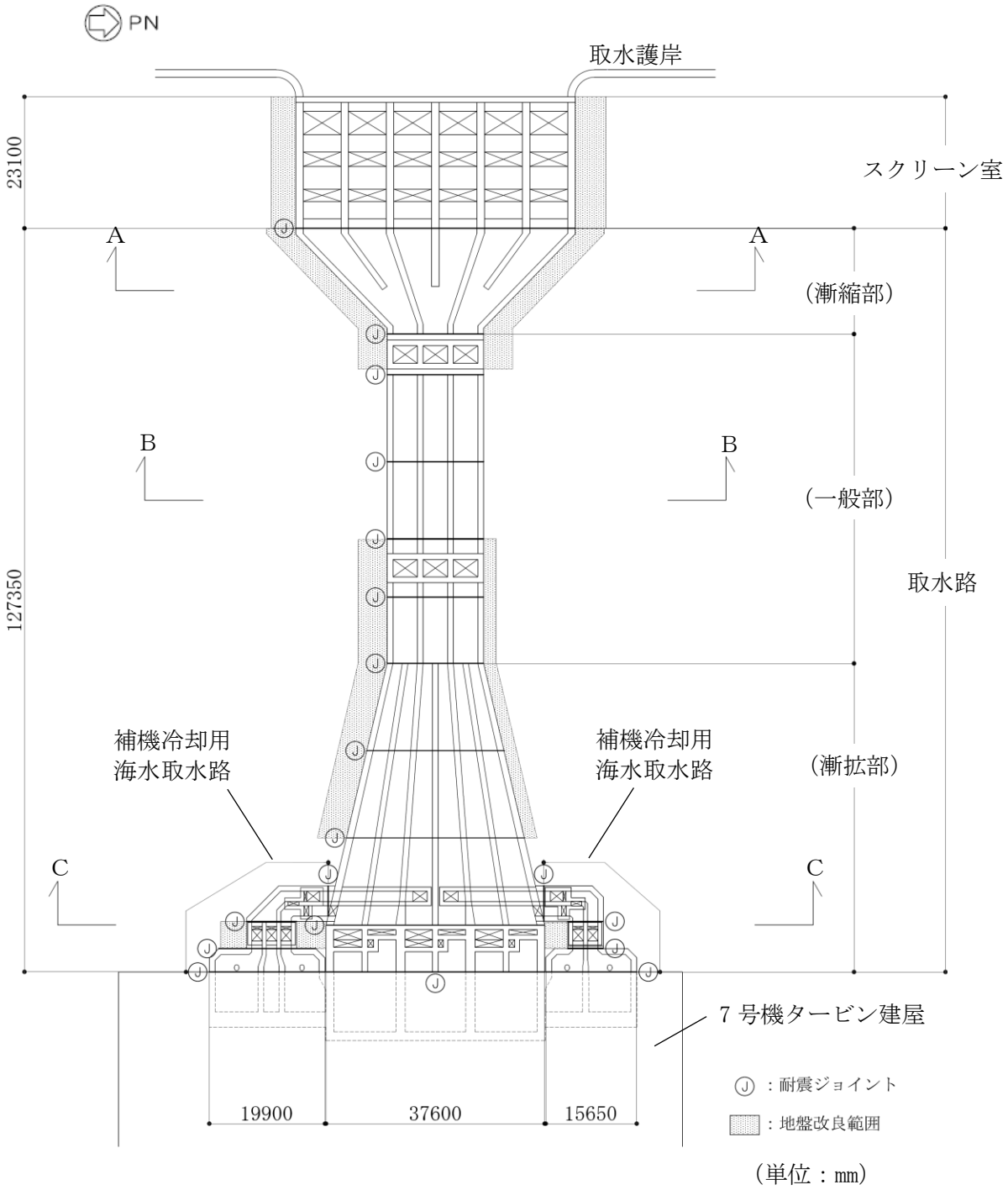
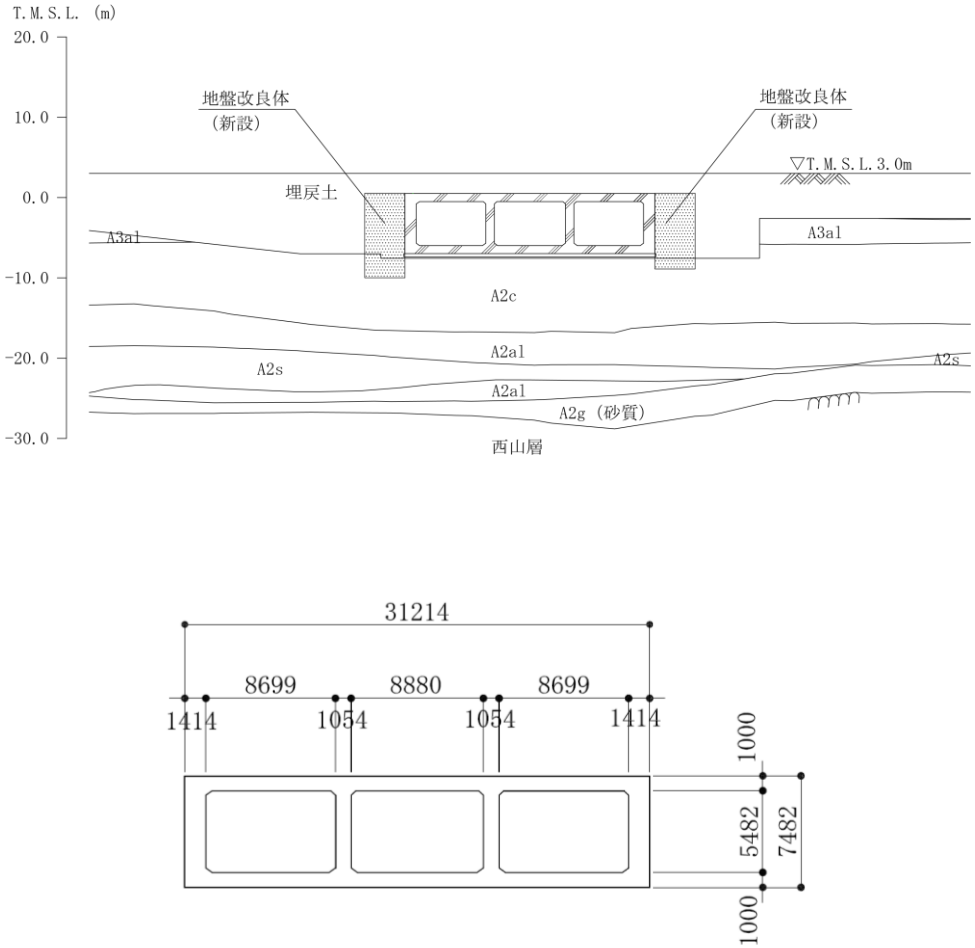


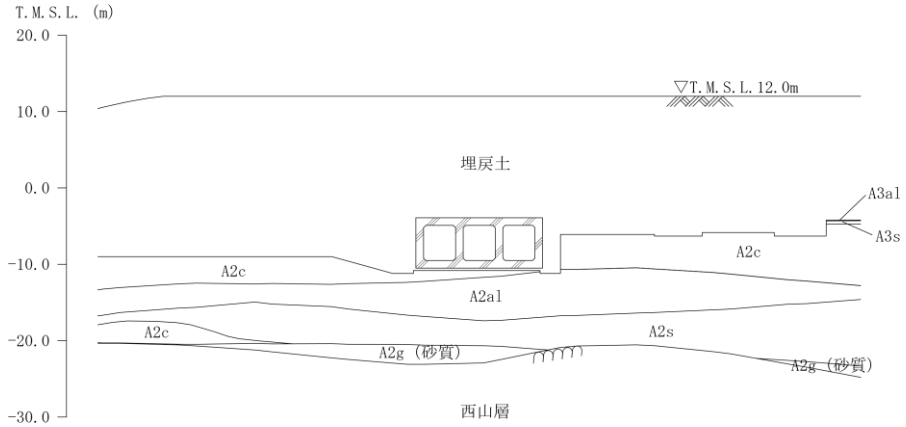
図 2－2　取水路の平面図

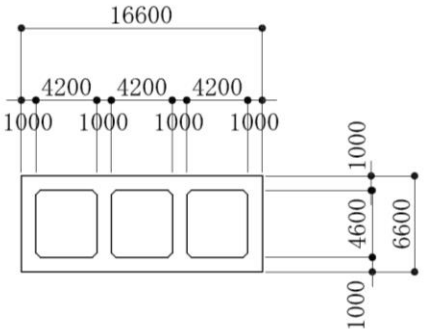


(単位：mm)

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）

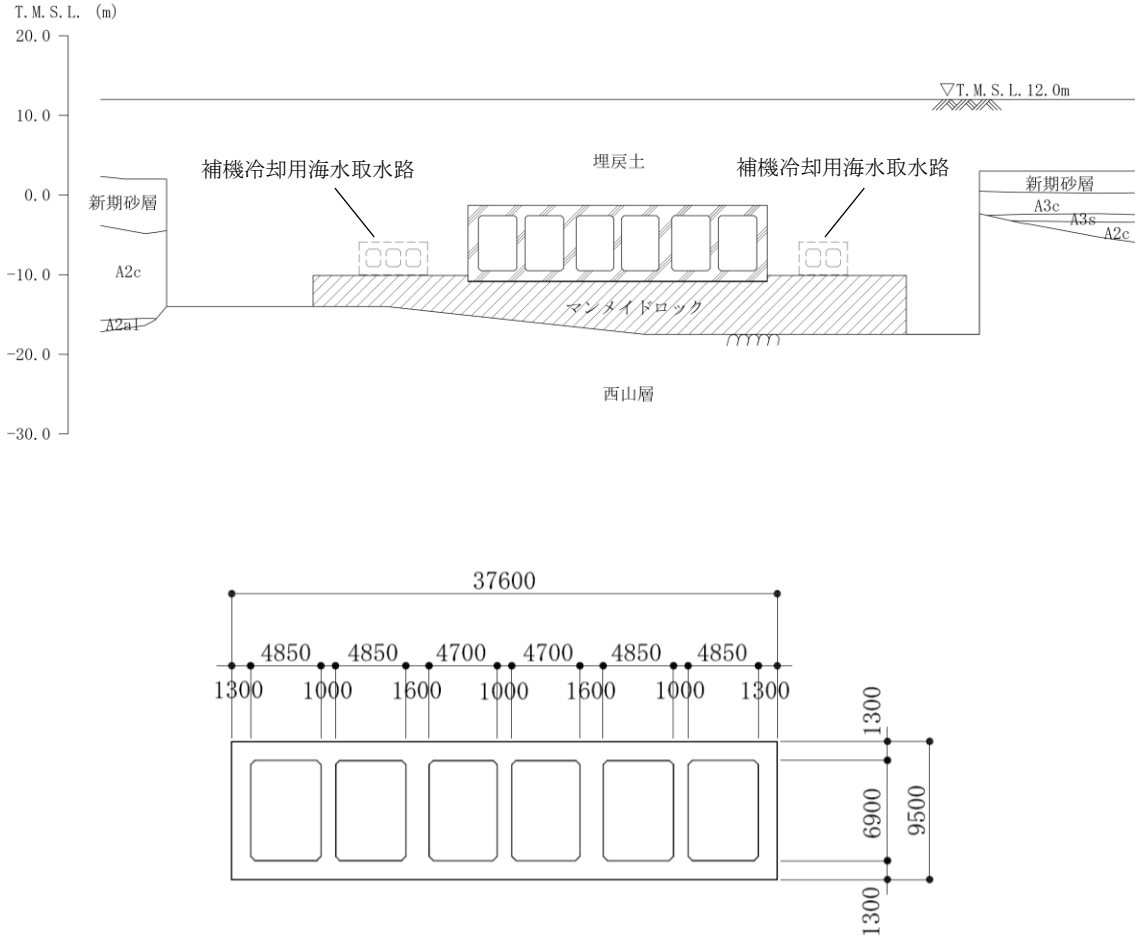
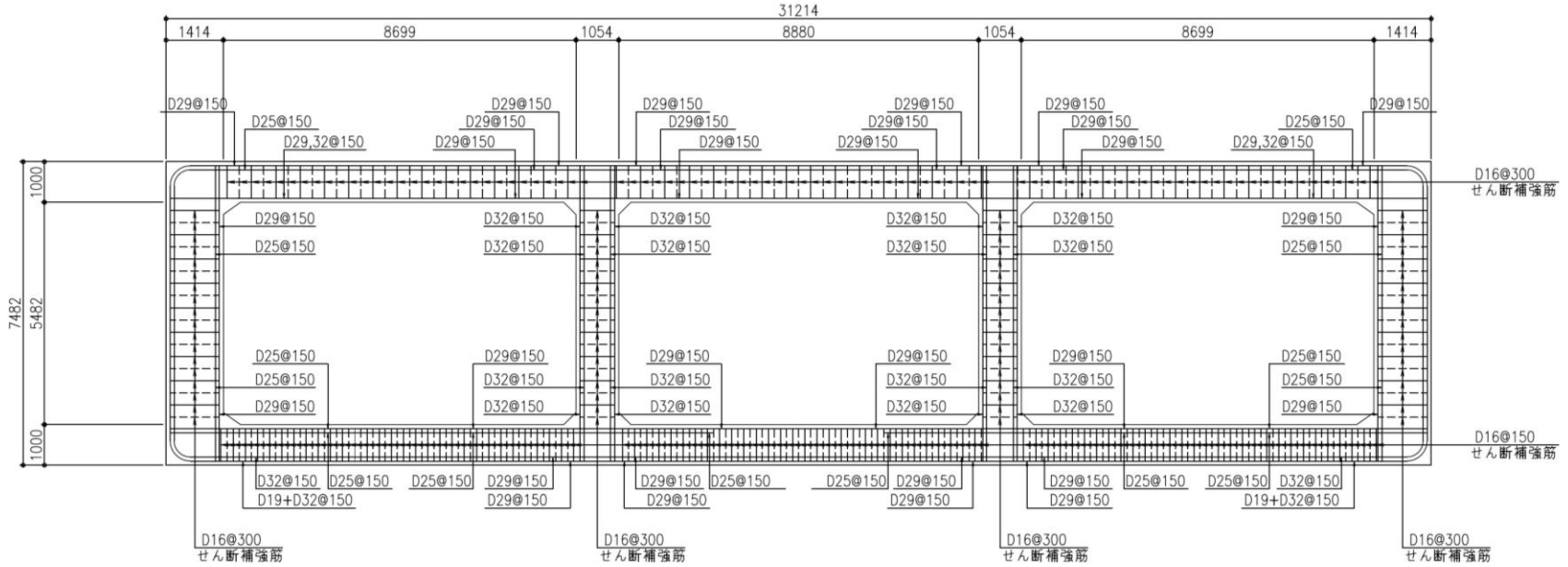
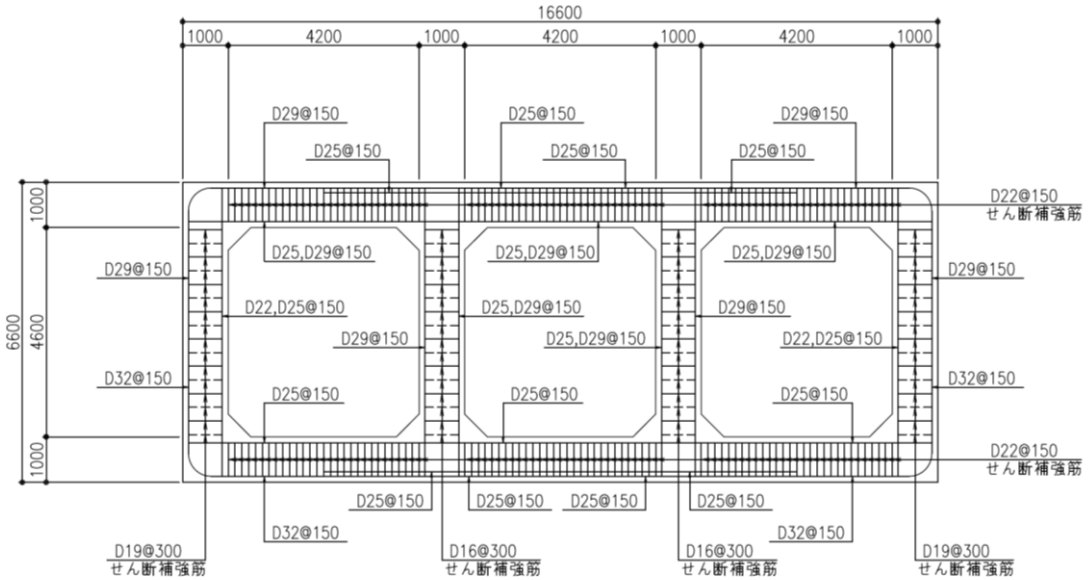


図 2－3（3） 取水路の断面図（漸拡部 C－C断面）



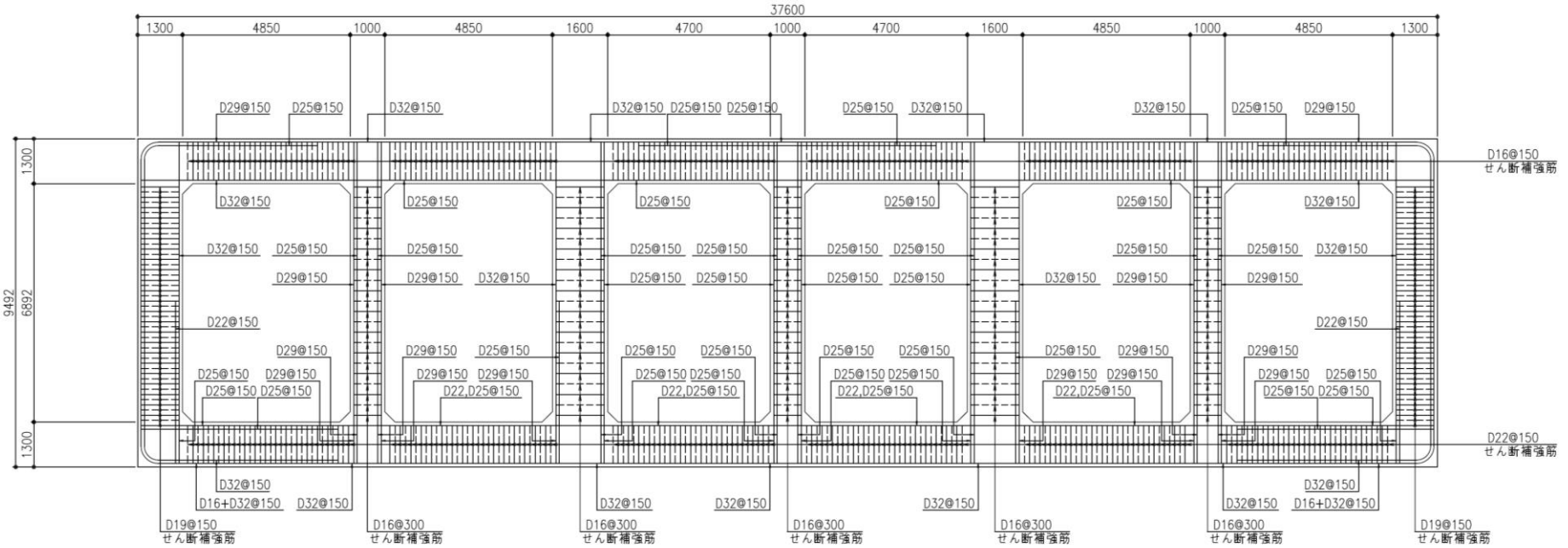
（単位：mm）

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）



（単位：mm）

図２－４（3） 取水路の概略配筋図（漸拡部 Ｃ－Ｃ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。

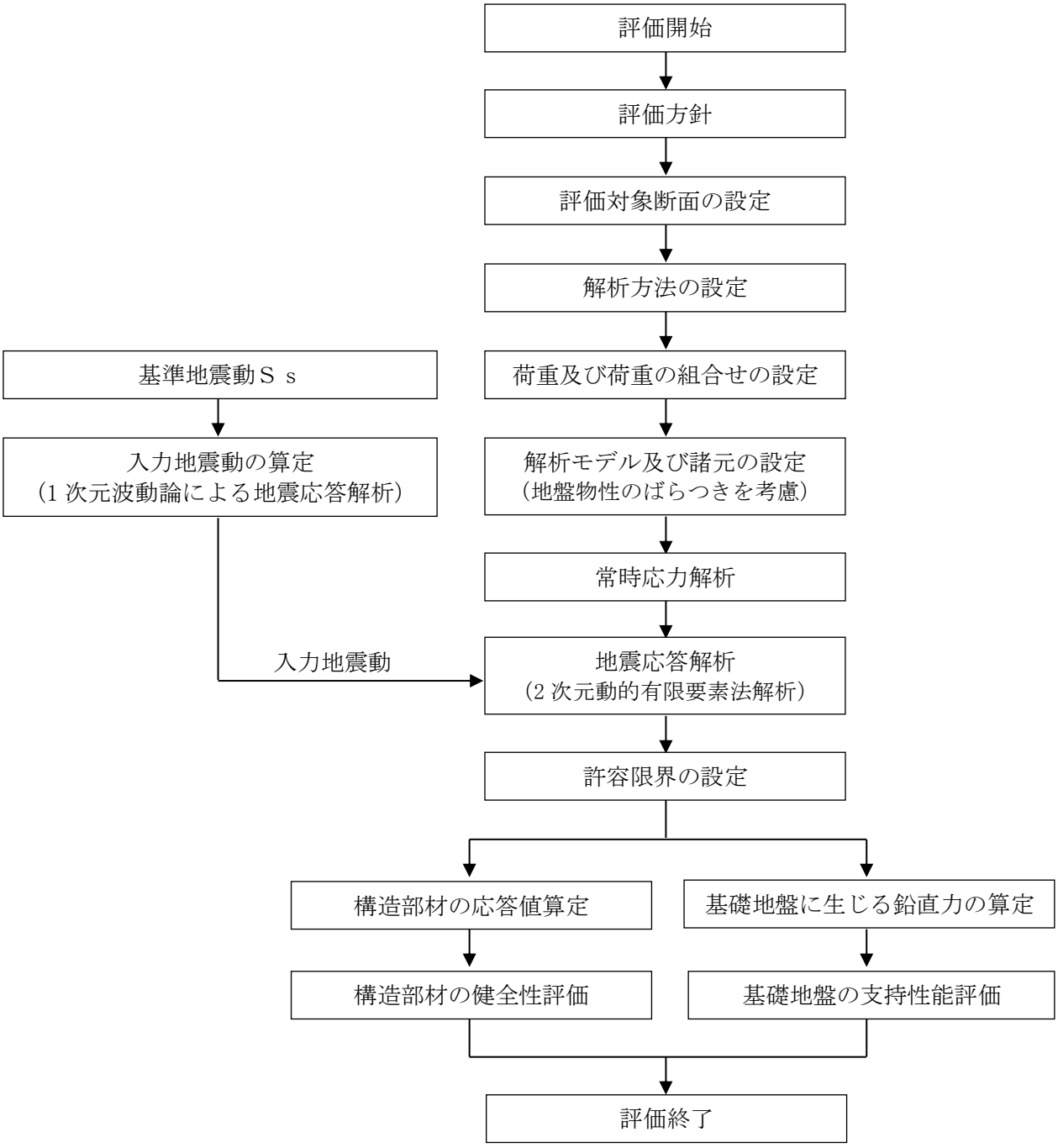


図 2－4　取水路の耐震評価フロー

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）

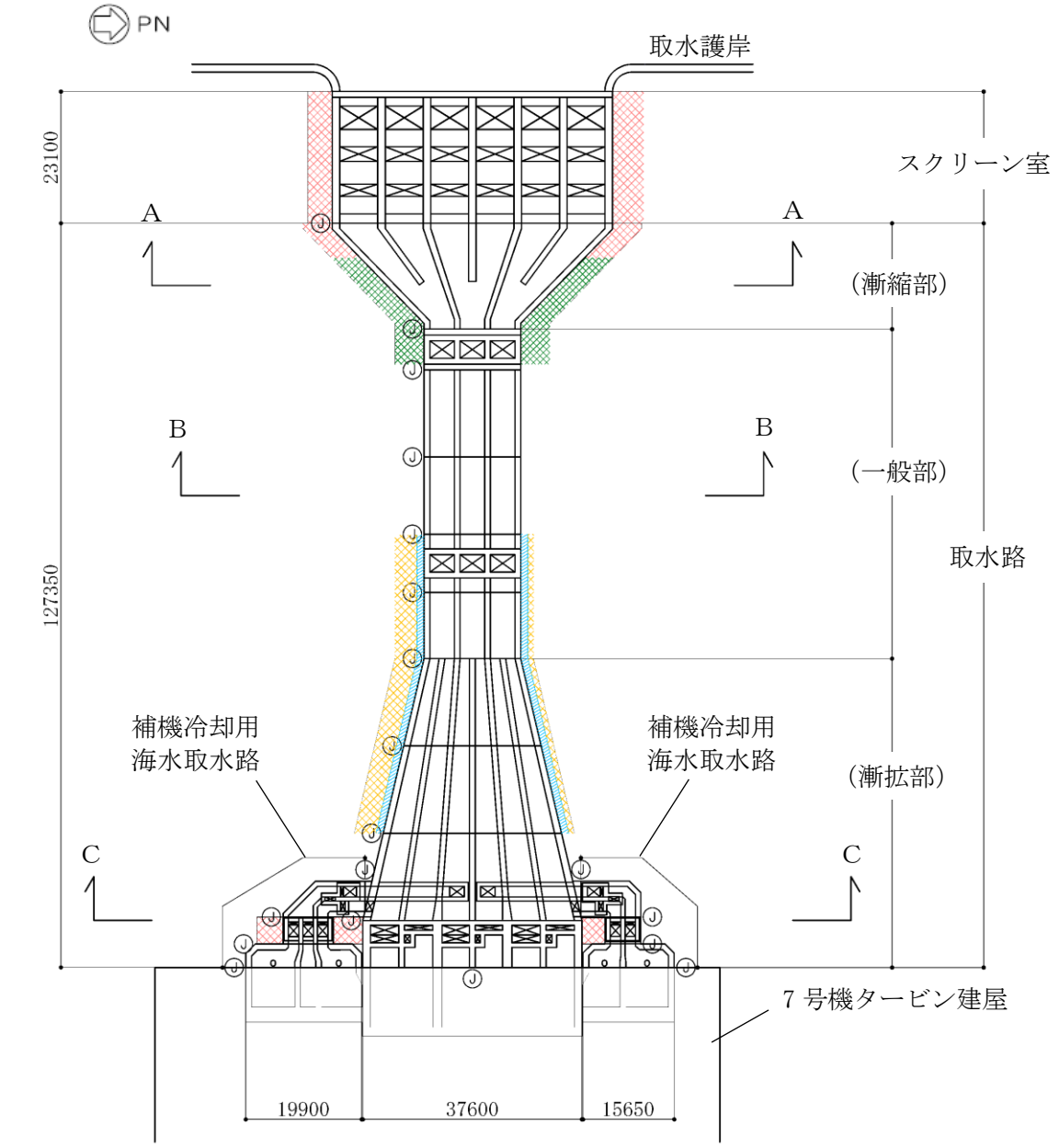
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会）

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。

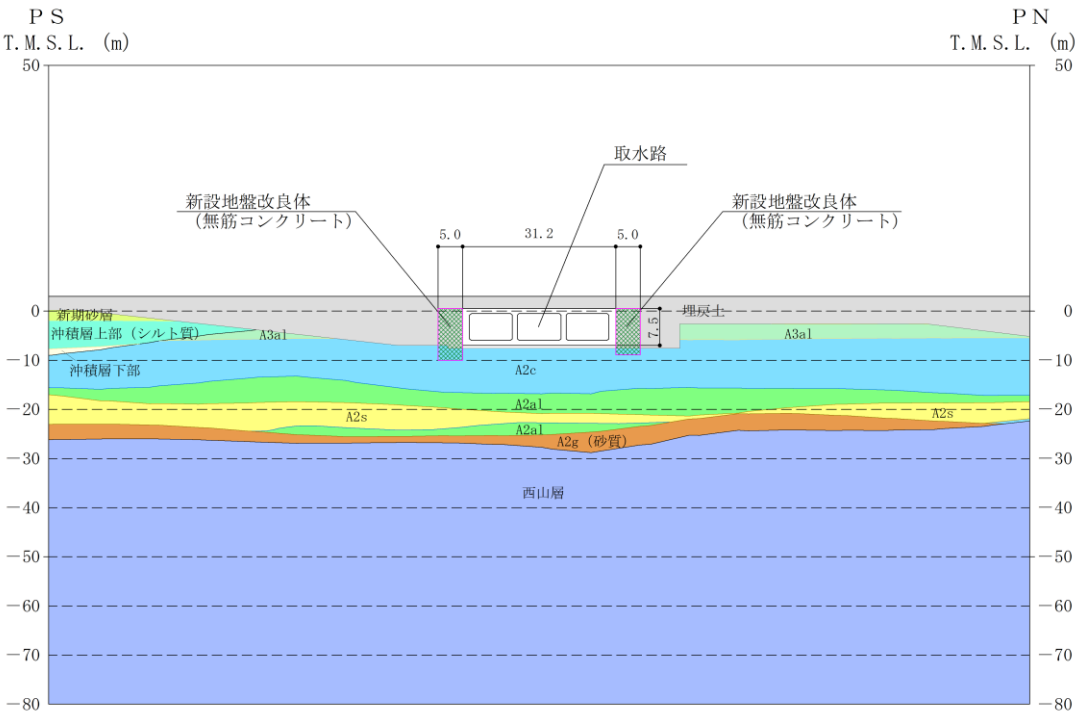


既設／新設	凡例	地 盤 改 良 工 法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換（地中連続壁）
		機械攪拌

（単位：mm）

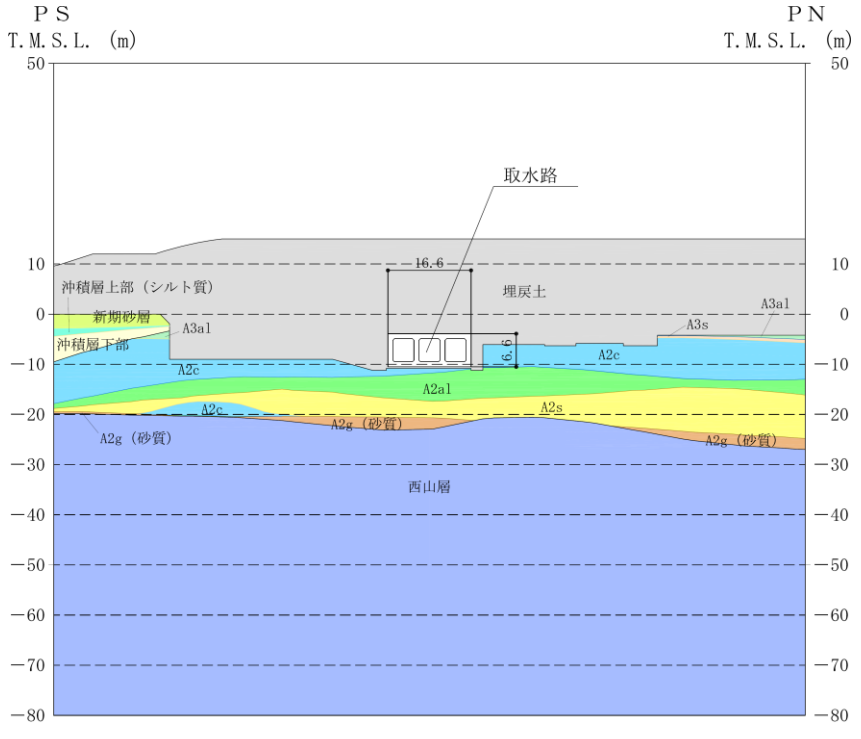
注：置換工法（地中連続壁），機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 3－1　取水路の評価対象断面位置図



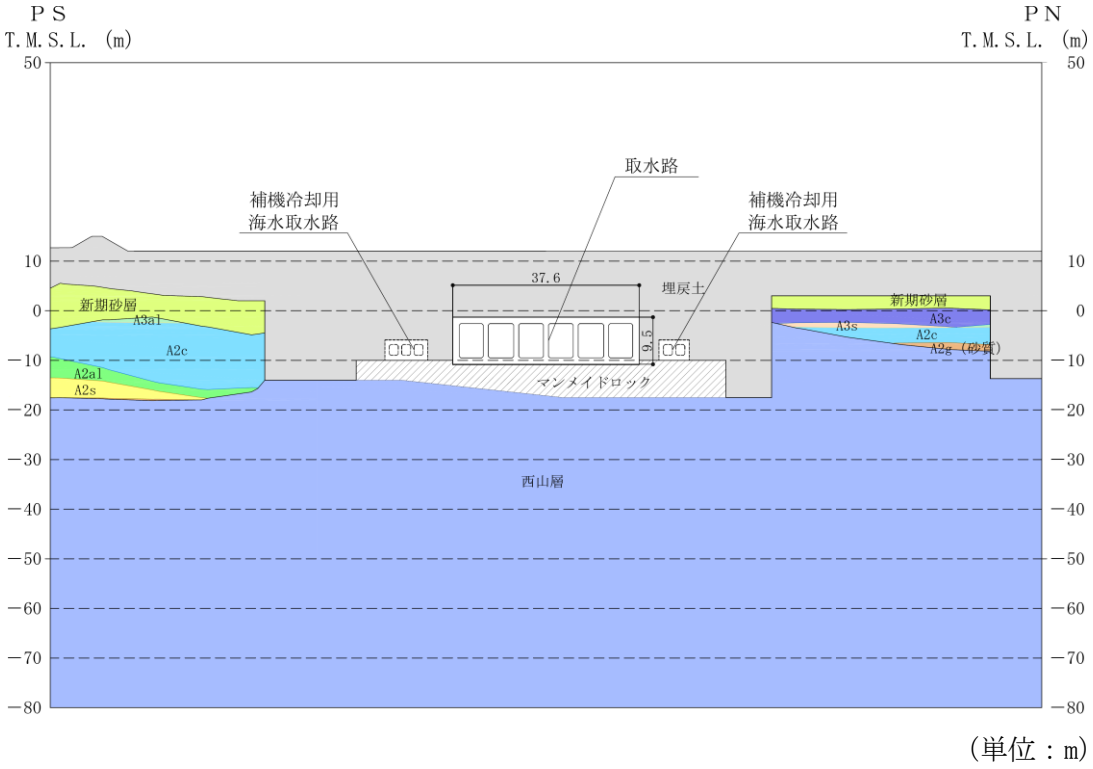
（単位：m）

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）



（単位：m）

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

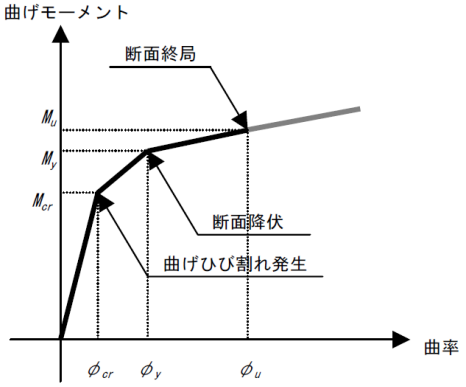
取水路の地震応答解析は，Ⅴ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち，「2.3　屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

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Ｓｓ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－φ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。

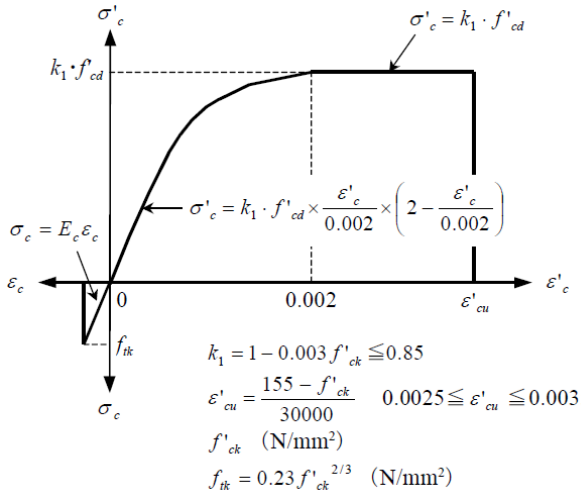
3.2.1　構造部材

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。



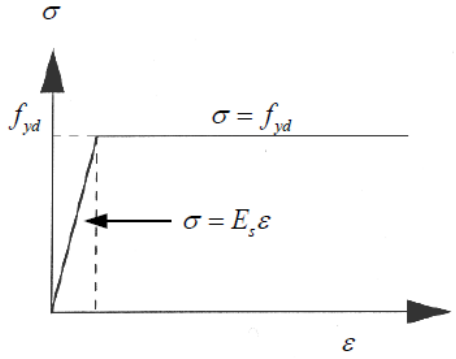
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）より引用）

図3－3　鉄筋コンクリート部材のＭ－φ関係



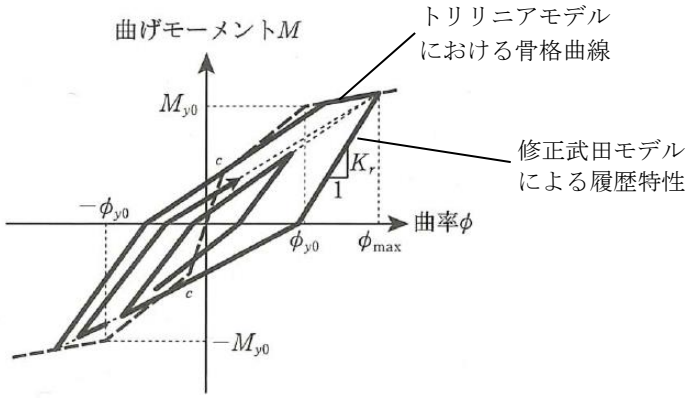
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005 年）より引用）

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，α＝0，β＝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Ｓｓ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（Ｓｓ）

基準地震動Ｓｓ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（Ｓｓ）	Ｇ＋Ｐ＋Ｓｓ

Ｇ　：固定荷重

Ｐ　：積載荷重

Ｓｓ：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Ｓｓ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。

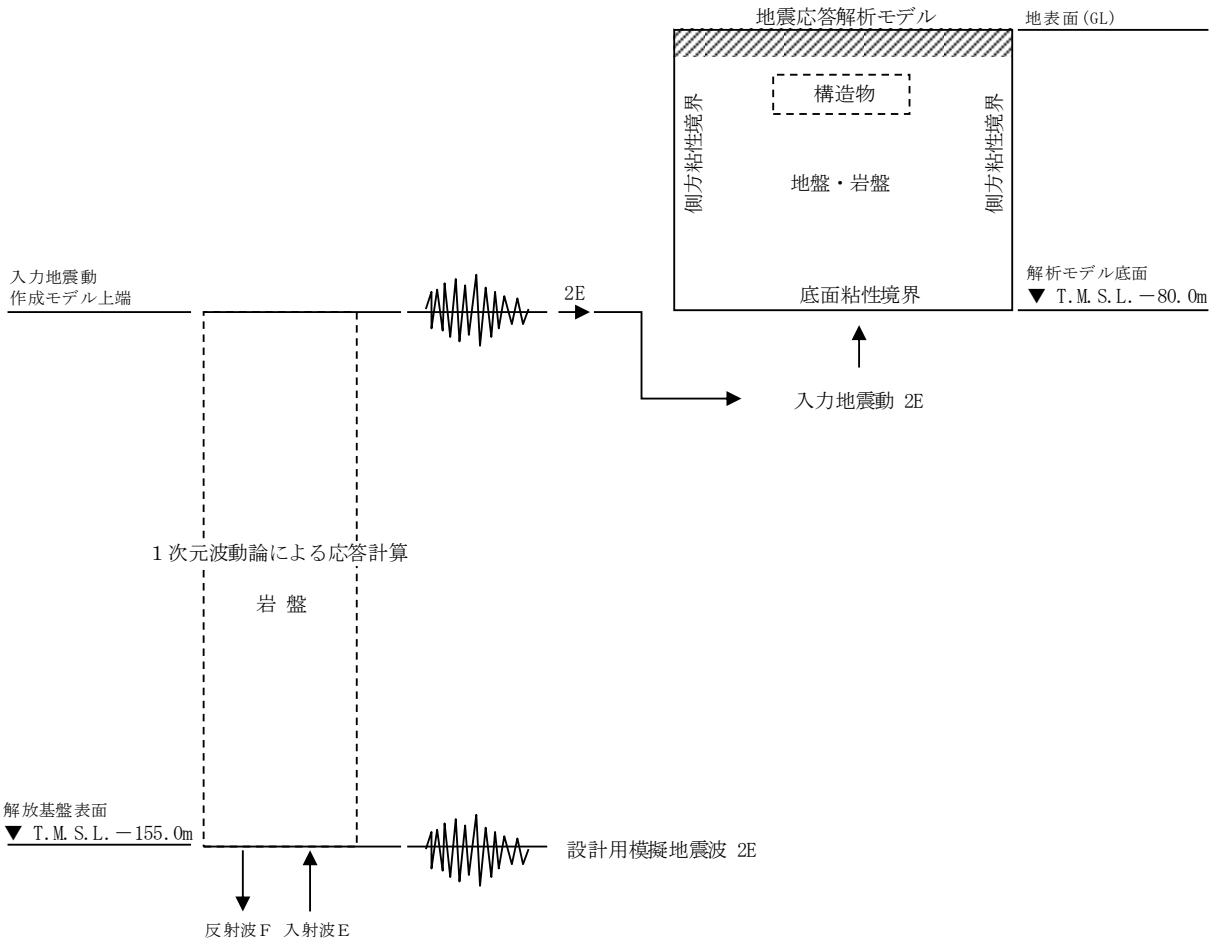
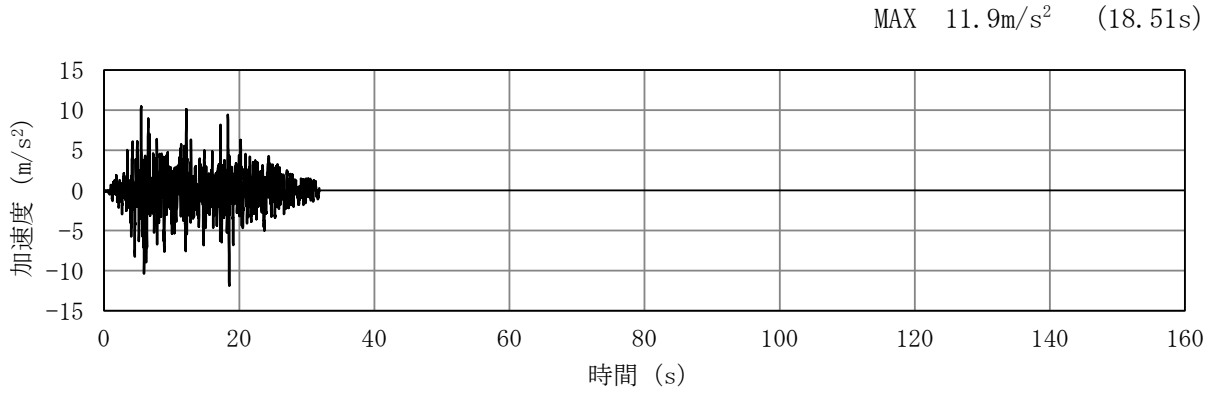
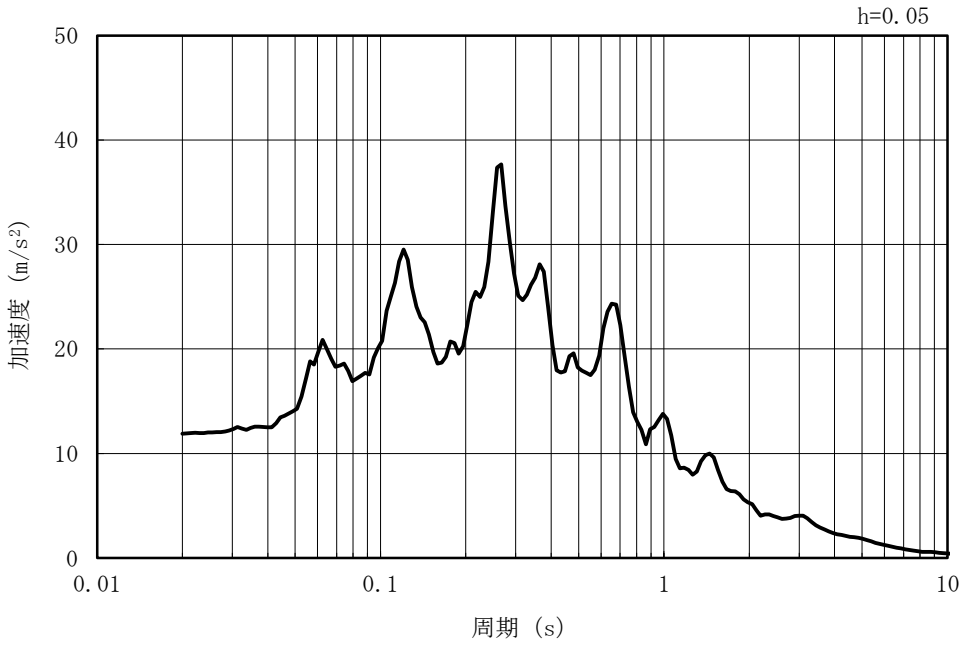


図 3－5　入力地震動算定の概念図

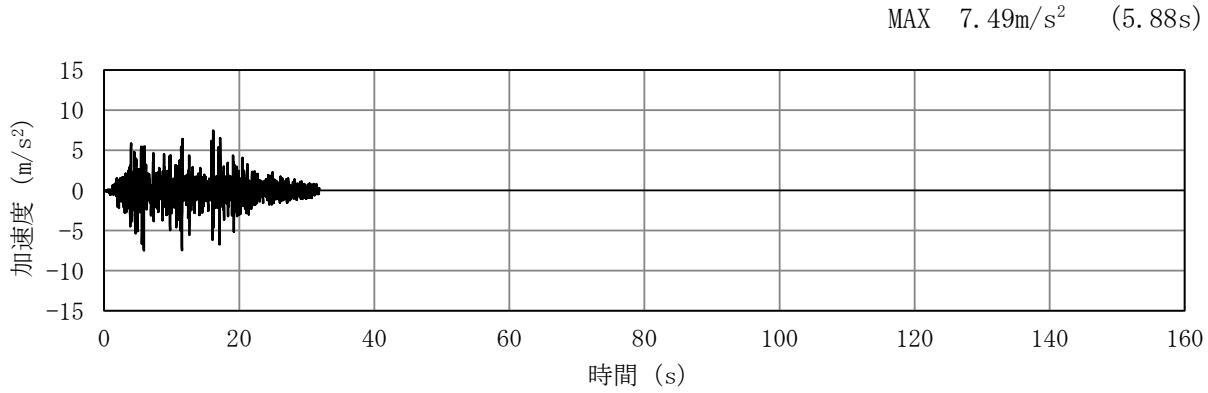


(a) 加速度時刻歴波形

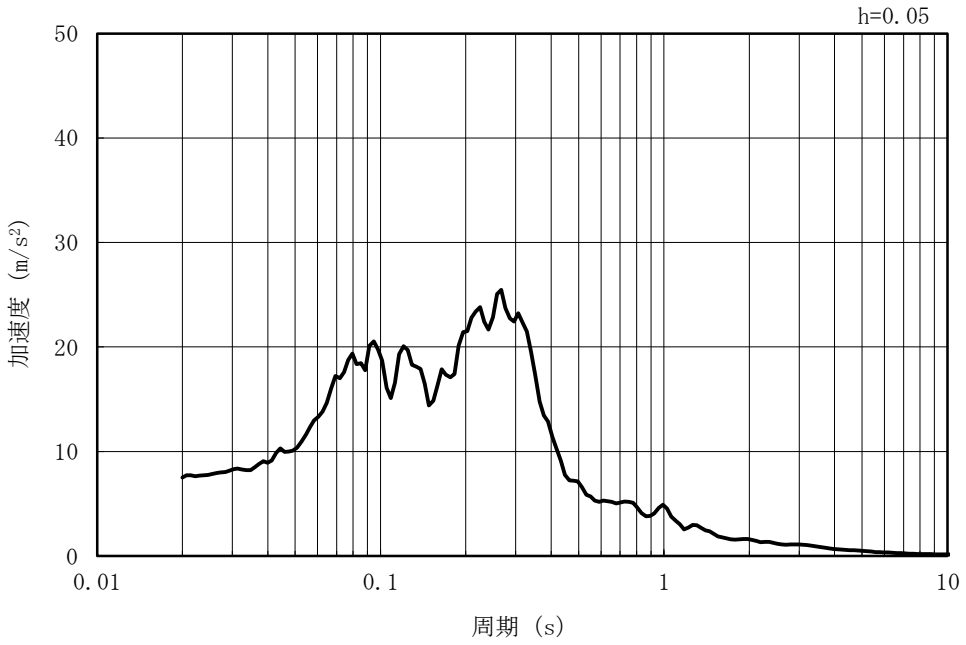


(b) 加速度応答スペクトル

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）

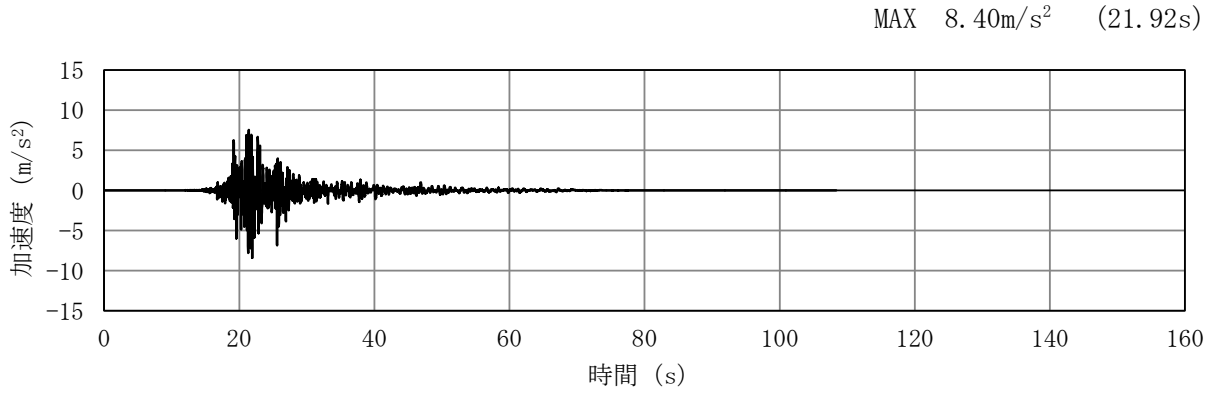


(a) 加速度時刻歴波形

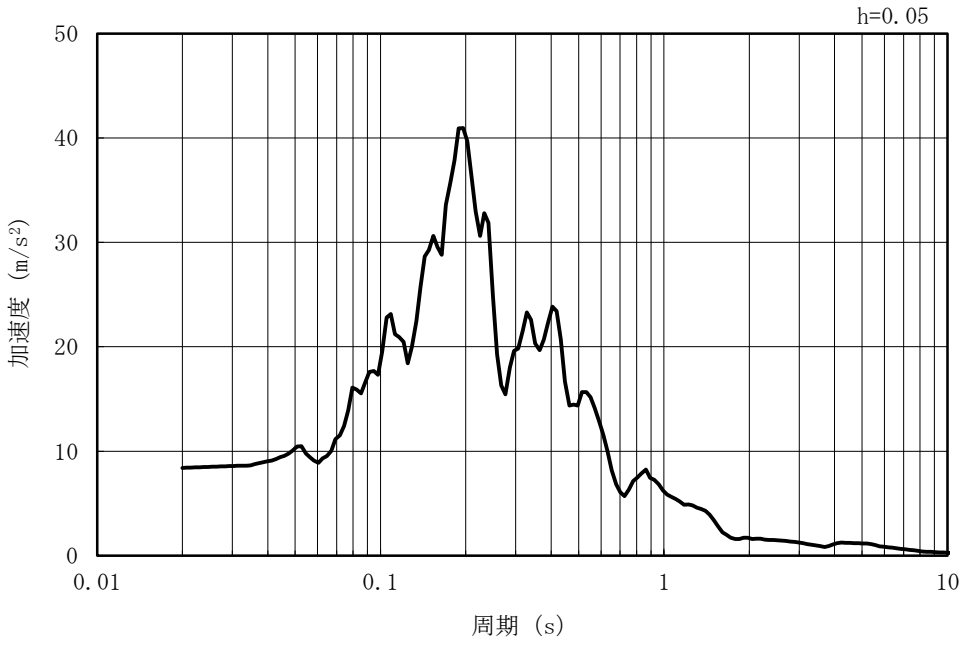


(b) 加速度応答スペクトル

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）

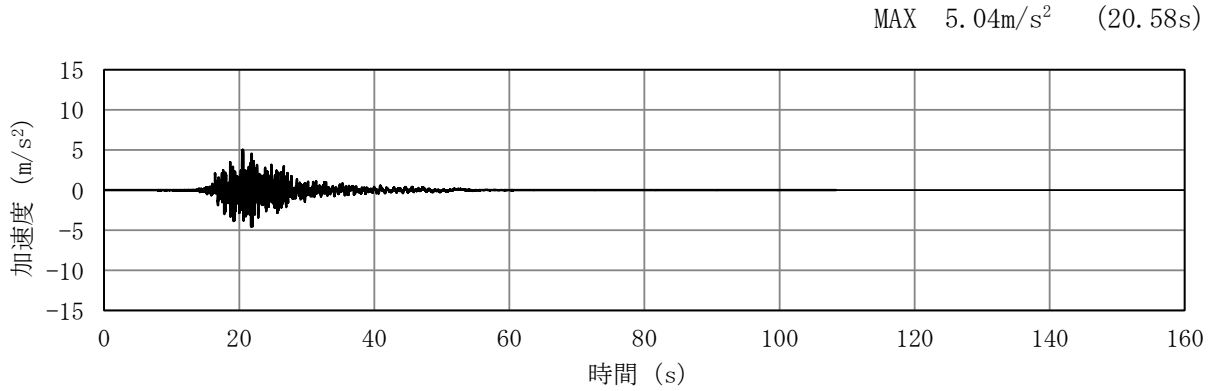


(a)　加速度時刻歴波形

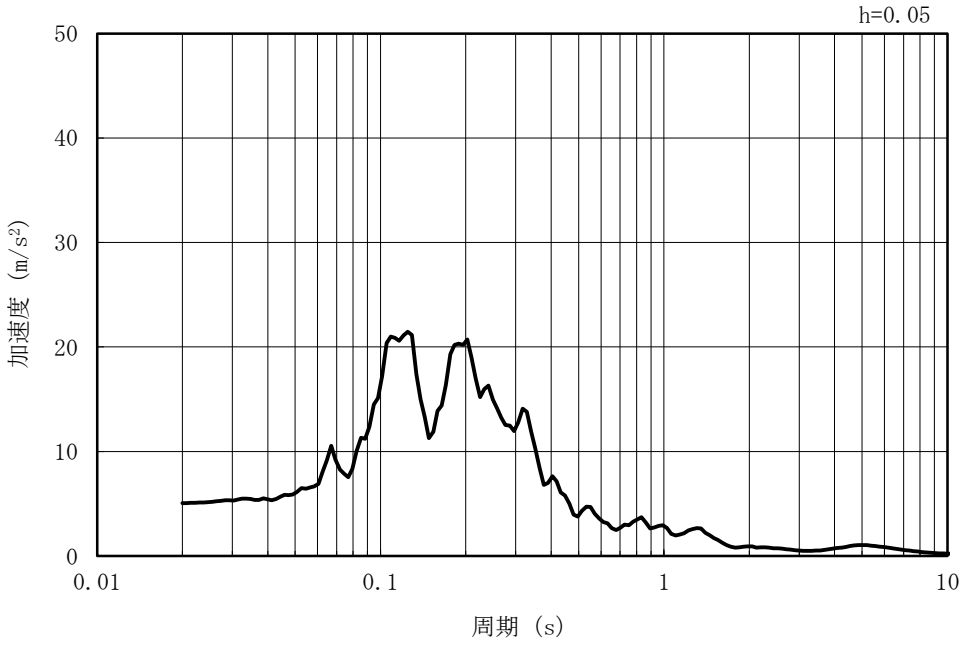


(b)　加速度応答スペクトル

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）

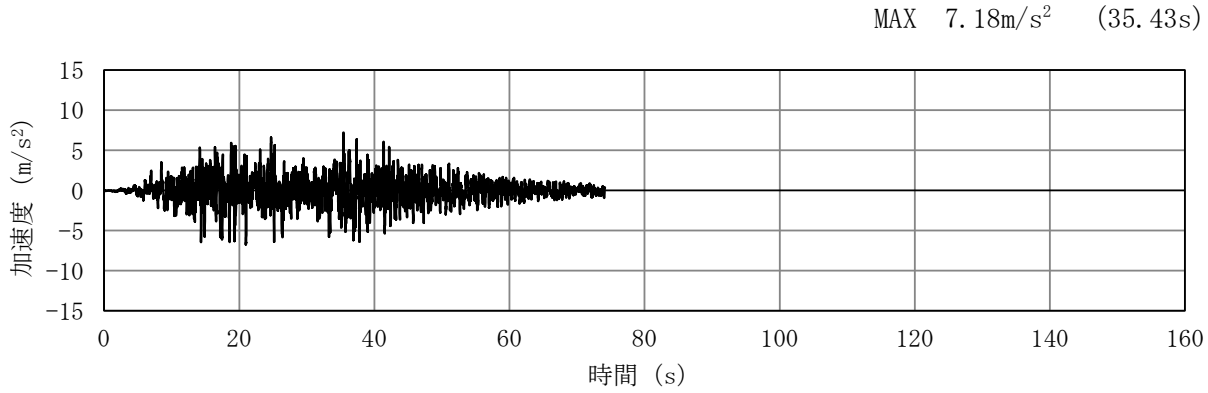


(a)　加速度時刻歴波形

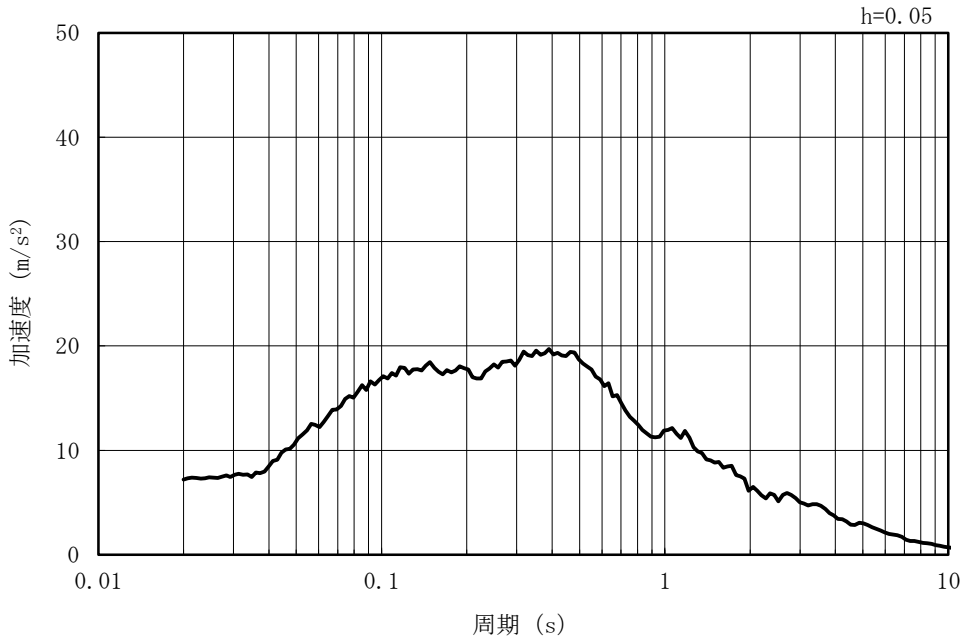


(b)　加速度応答スペクトル

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）

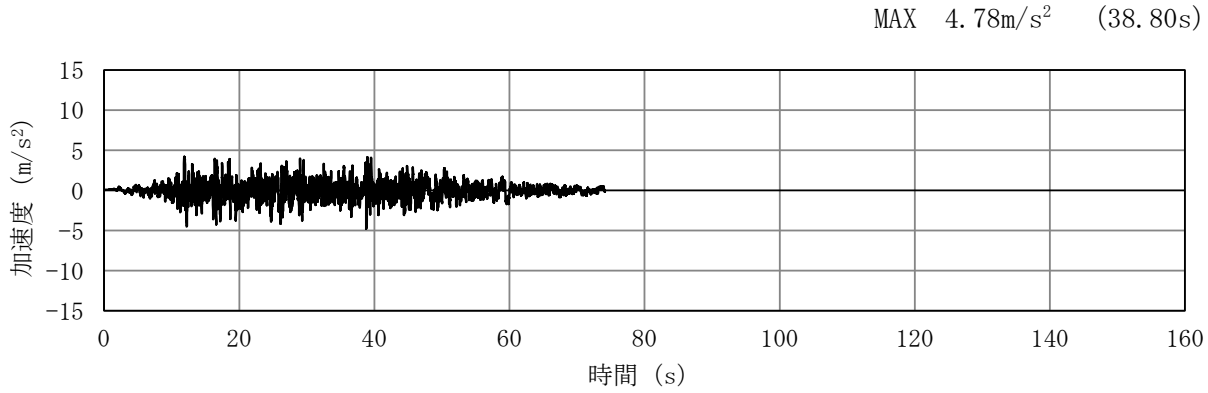


(a) 加速度時刻歴波形

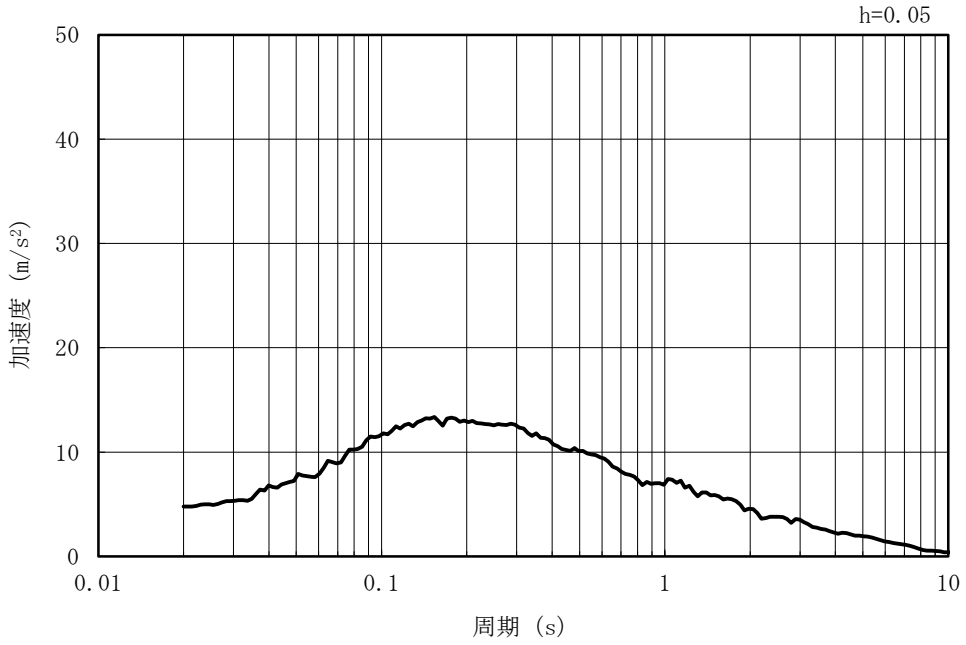


(b) 加速度応答スペクトル

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）

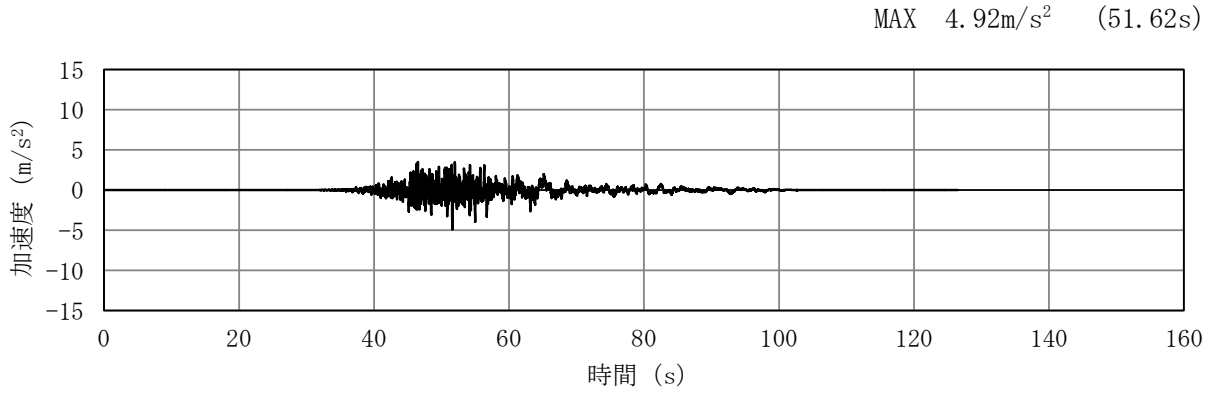


(a) 加速度時刻歴波形

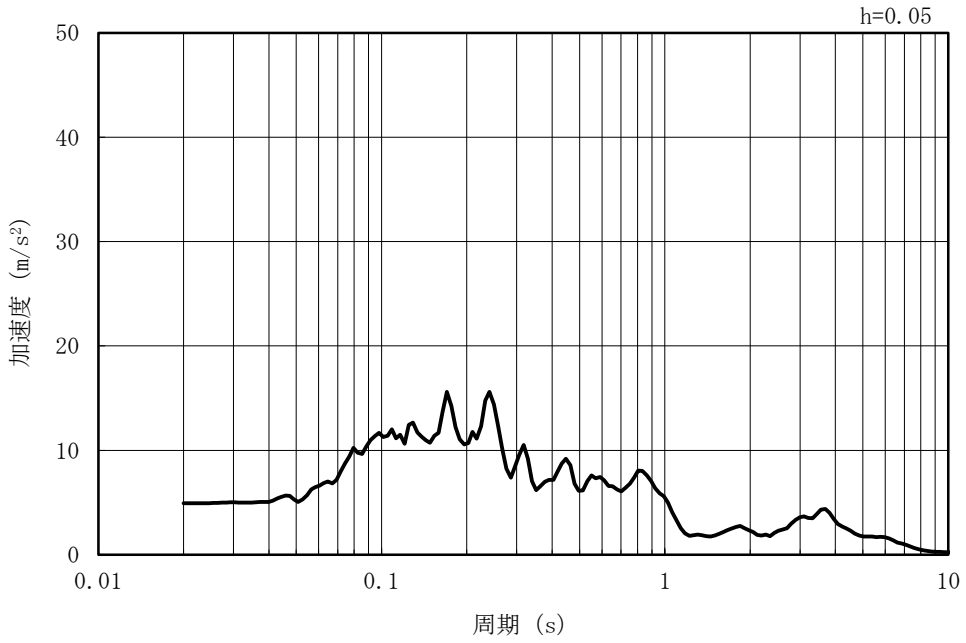


(b) 加速度応答スペクトル

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)

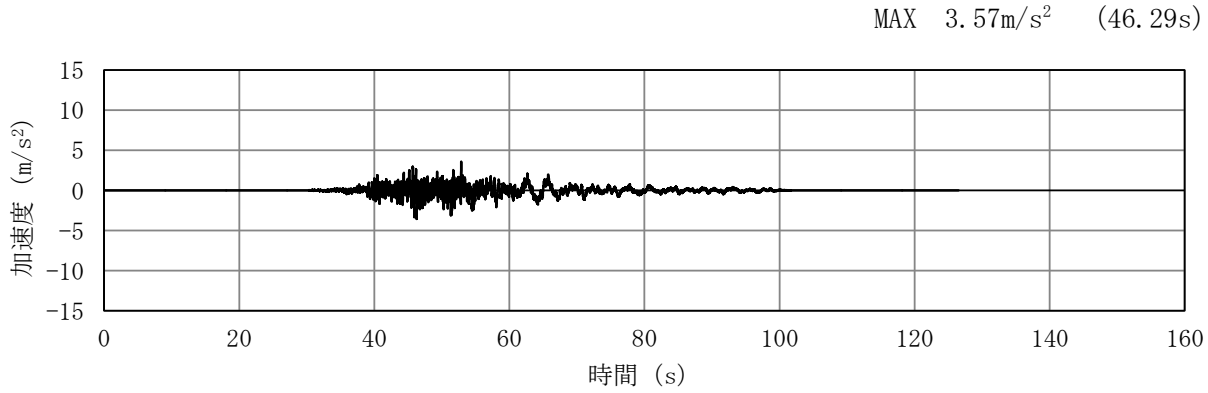


(a) 加速度時刻歴波形

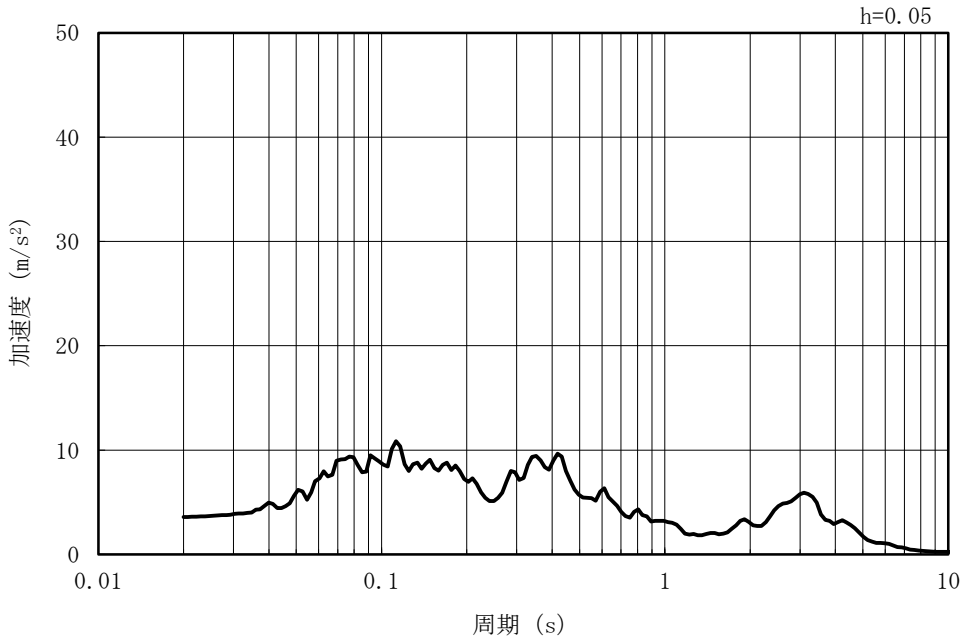


(b) 加速度応答スペクトル

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）

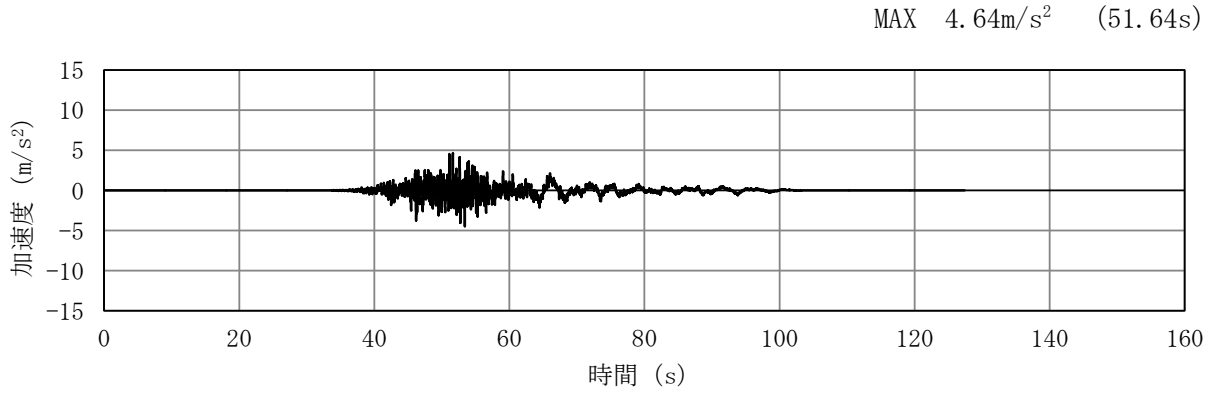


(a) 加速度時刻歴波形

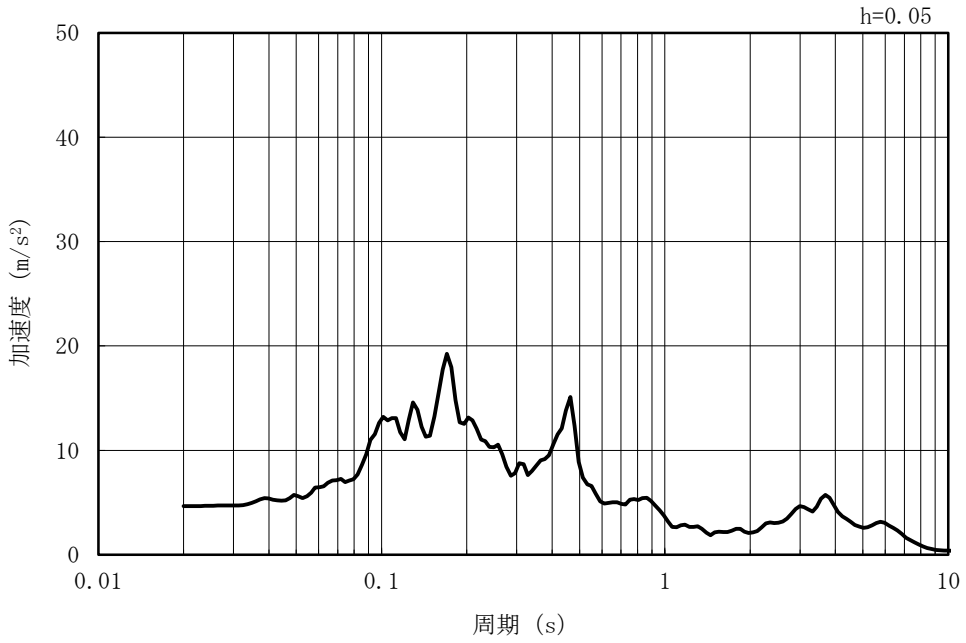


(b) 加速度応答スペクトル

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）

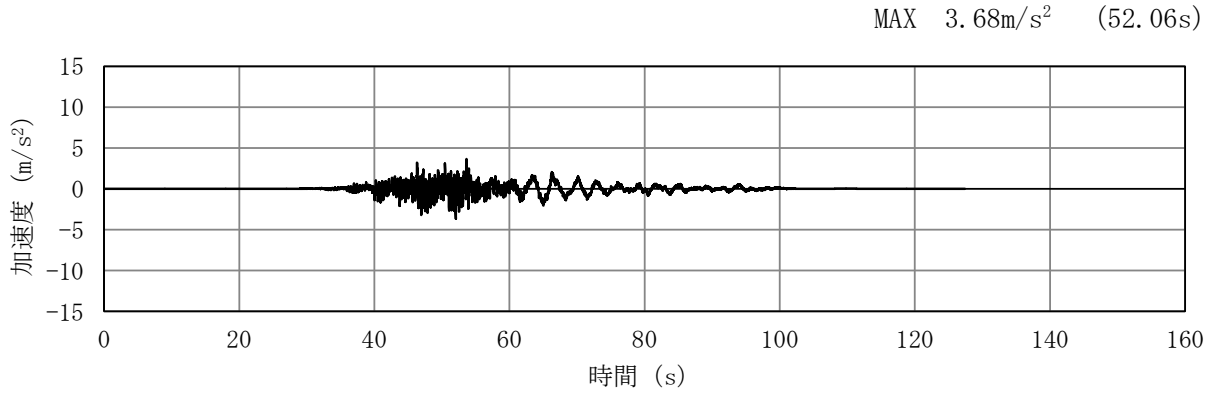


(a) 加速度時刻歴波形

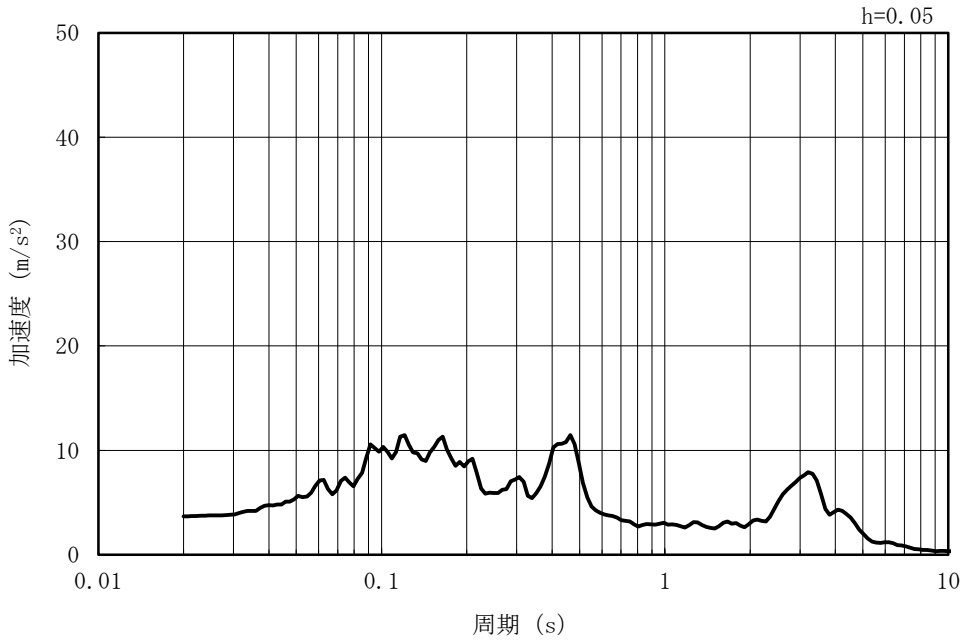


(b) 加速度応答スペクトル

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）

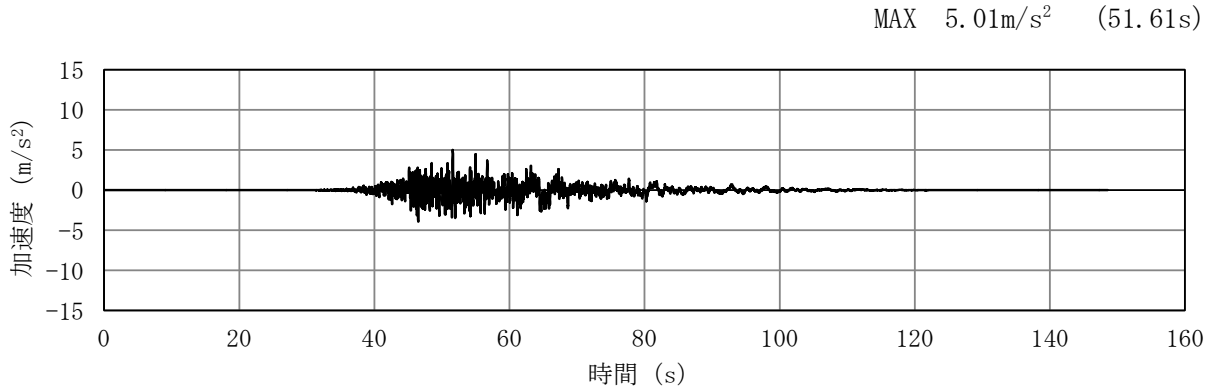


(a) 加速度時刻歴波形

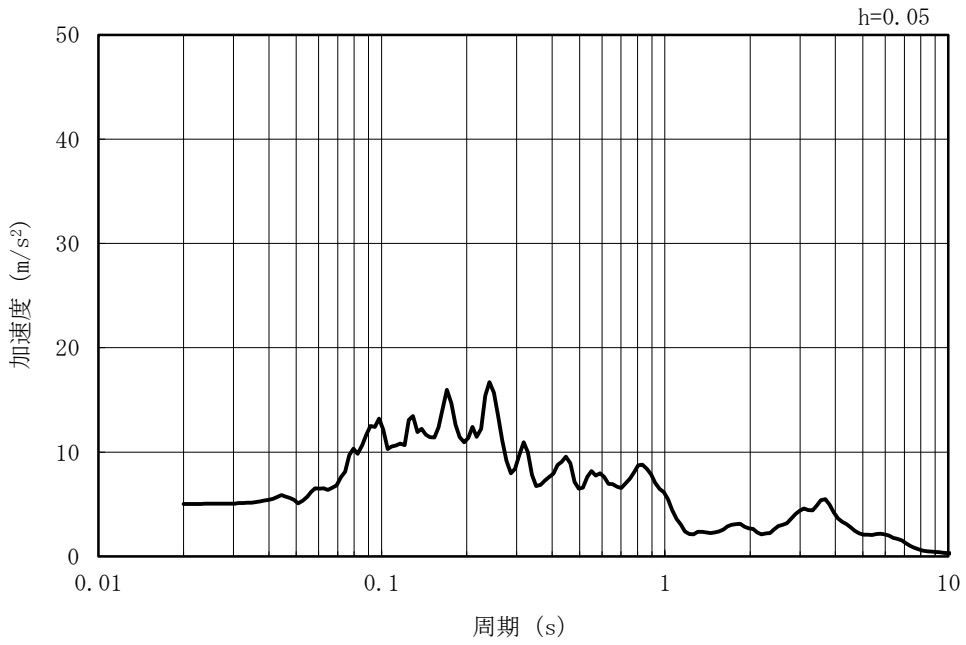


(b) 加速度応答スペクトル

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）

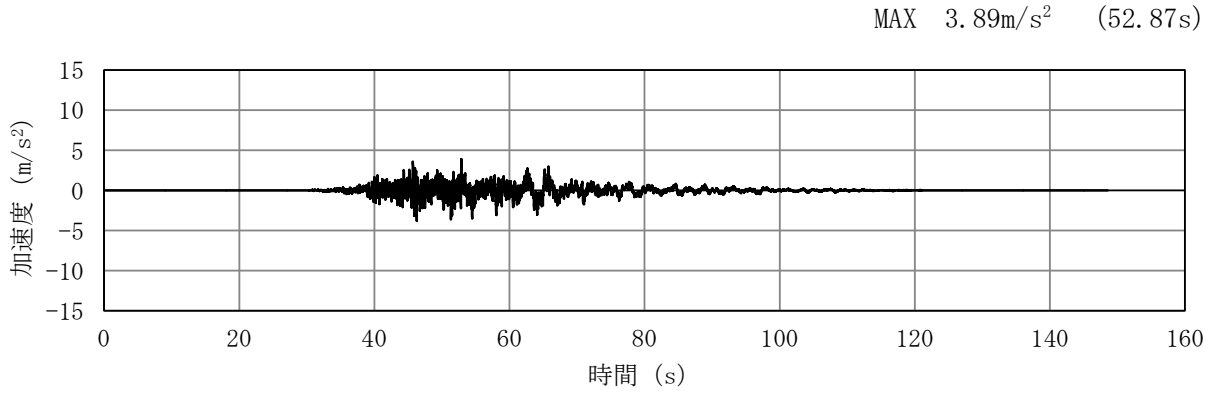


(a) 加速度時刻歴波形

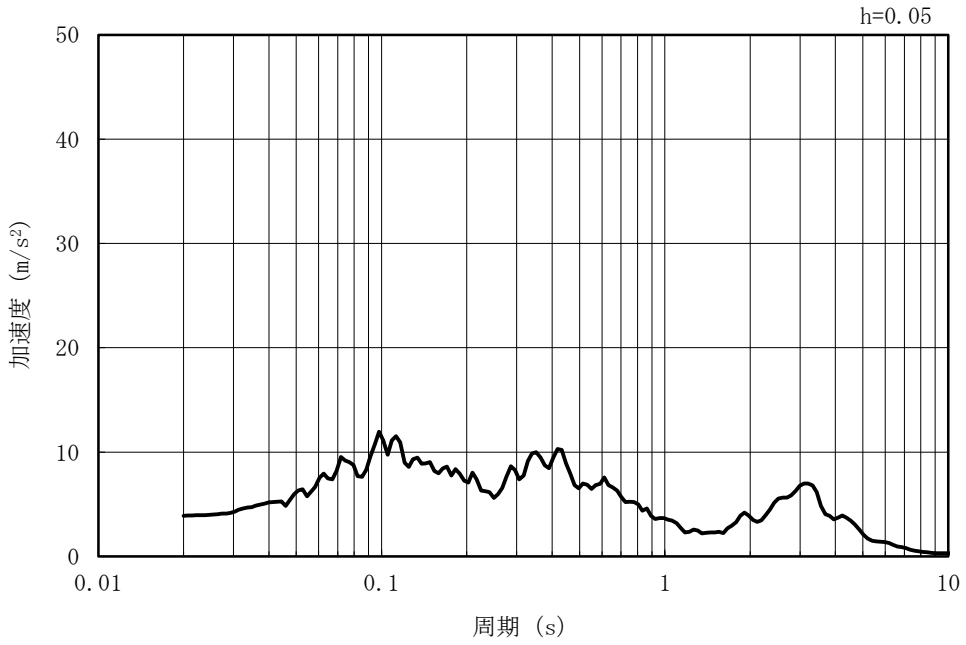


(b) 加速度応答スペクトル

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）

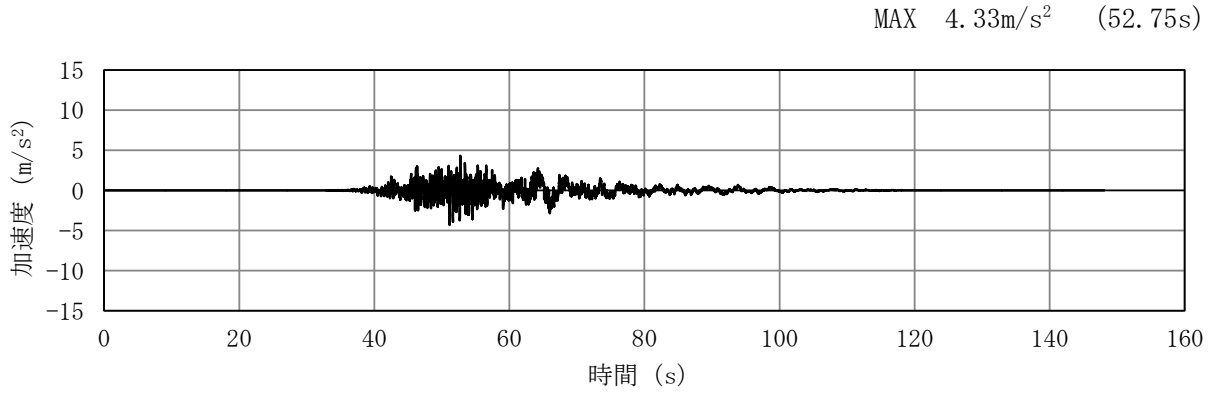


(a) 加速度時刻歴波形

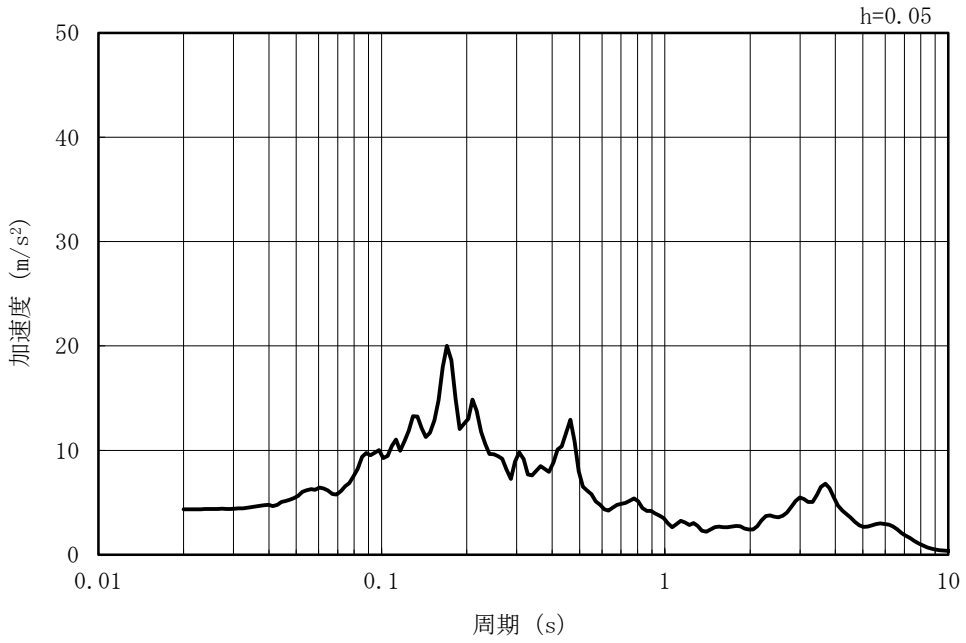


(b) 加速度応答スペクトル

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）

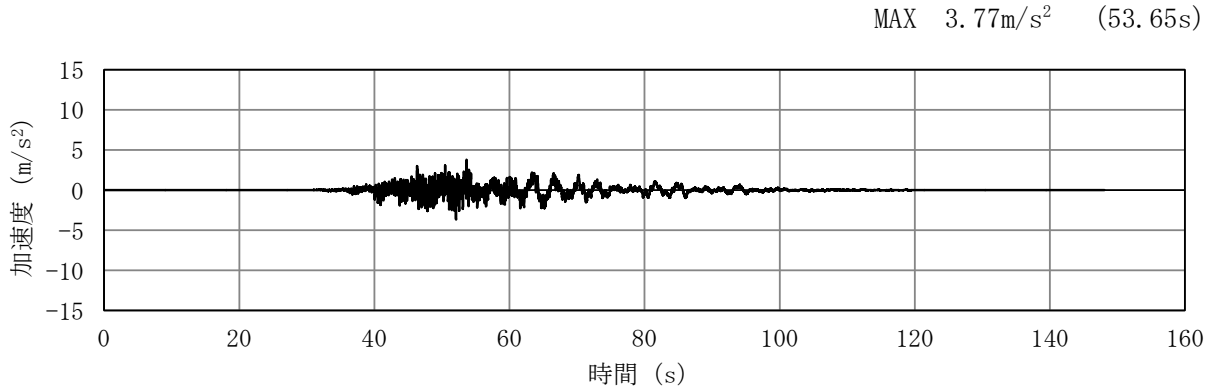


(a) 加速度時刻歴波形

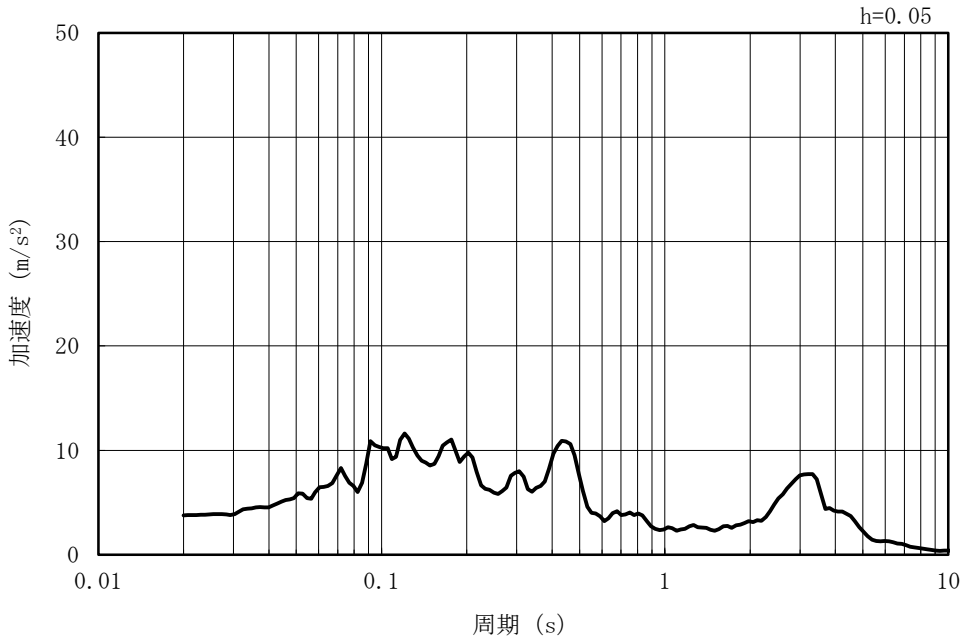


(b) 加速度応答スペクトル

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）

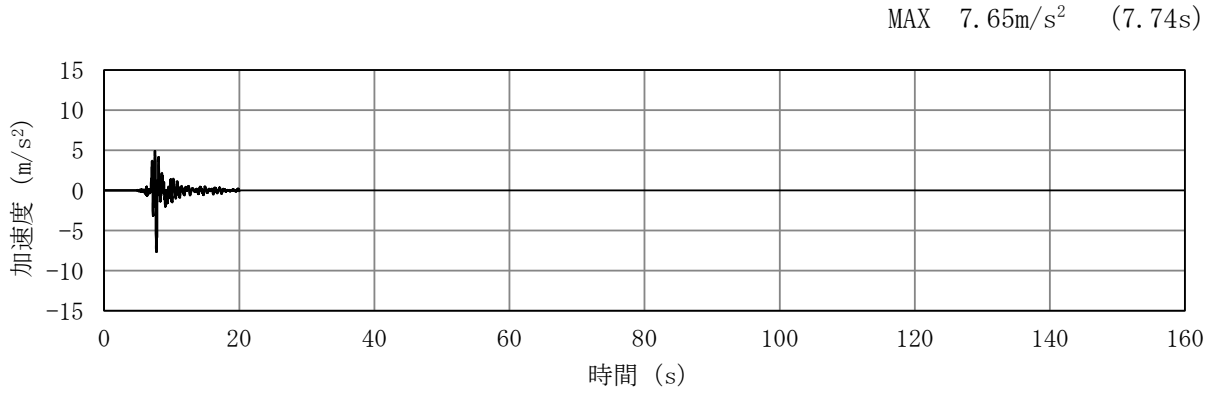


(a) 加速度時刻歴波形

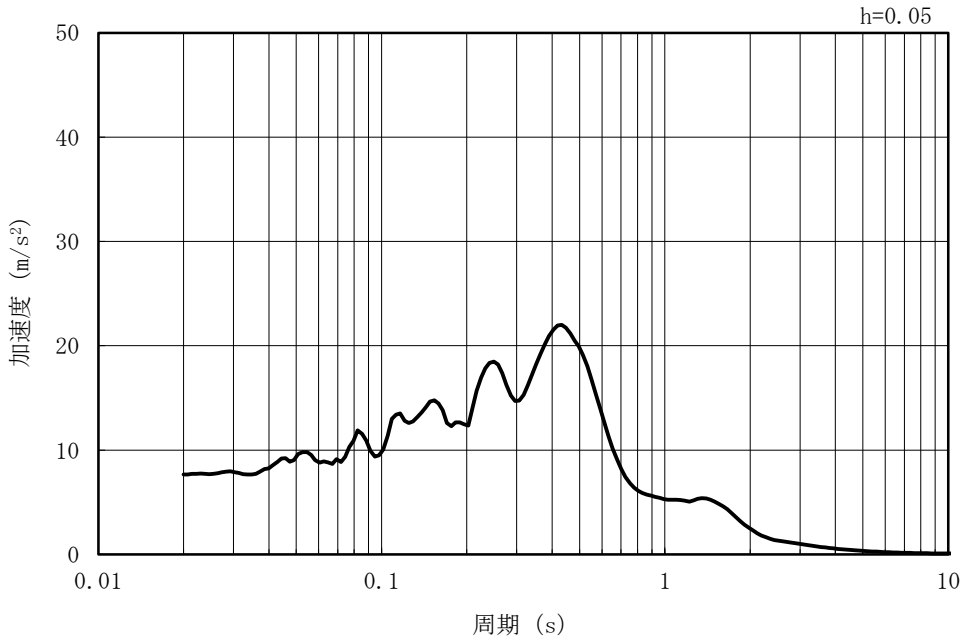


(b) 加速度応答スペクトル

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）

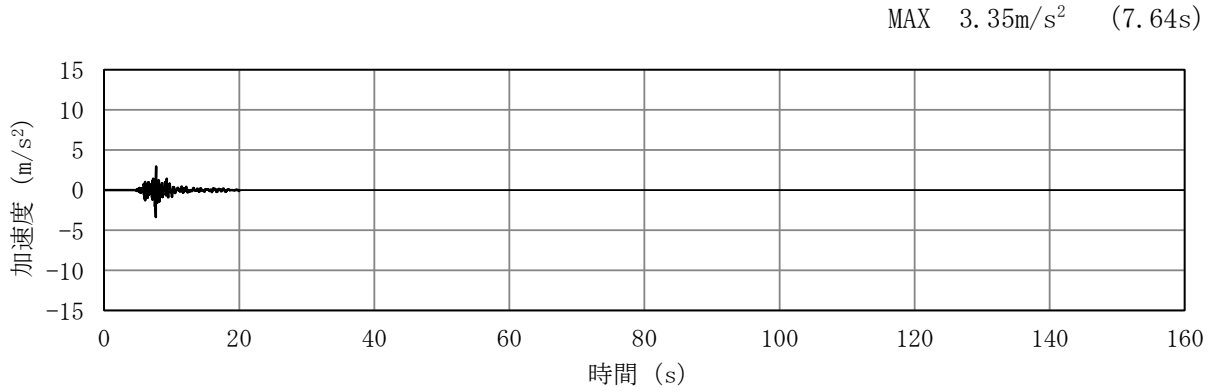


(a) 加速度時刻歴波形

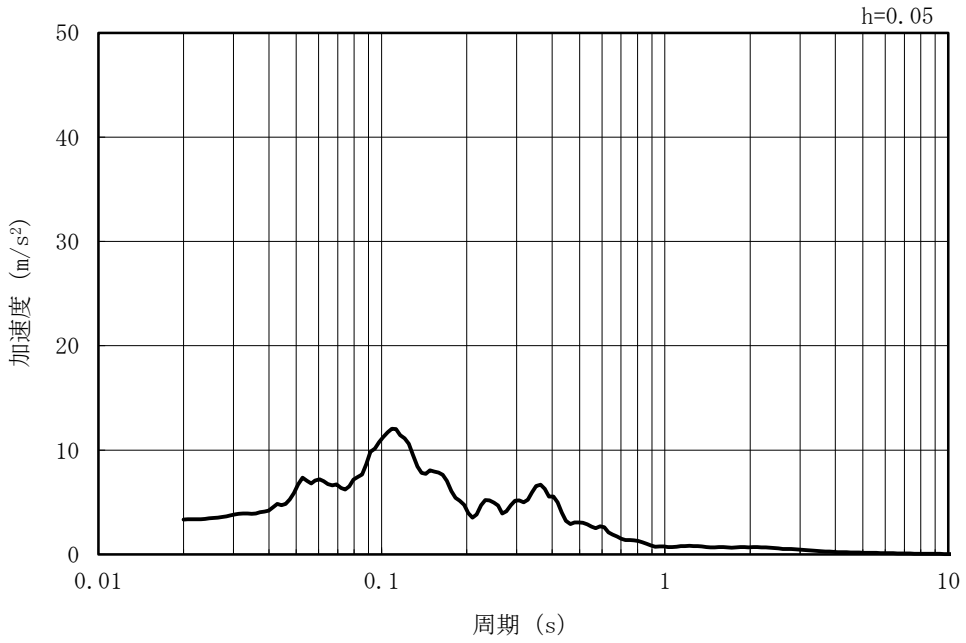


(b) 加速度応答スペクトル

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。

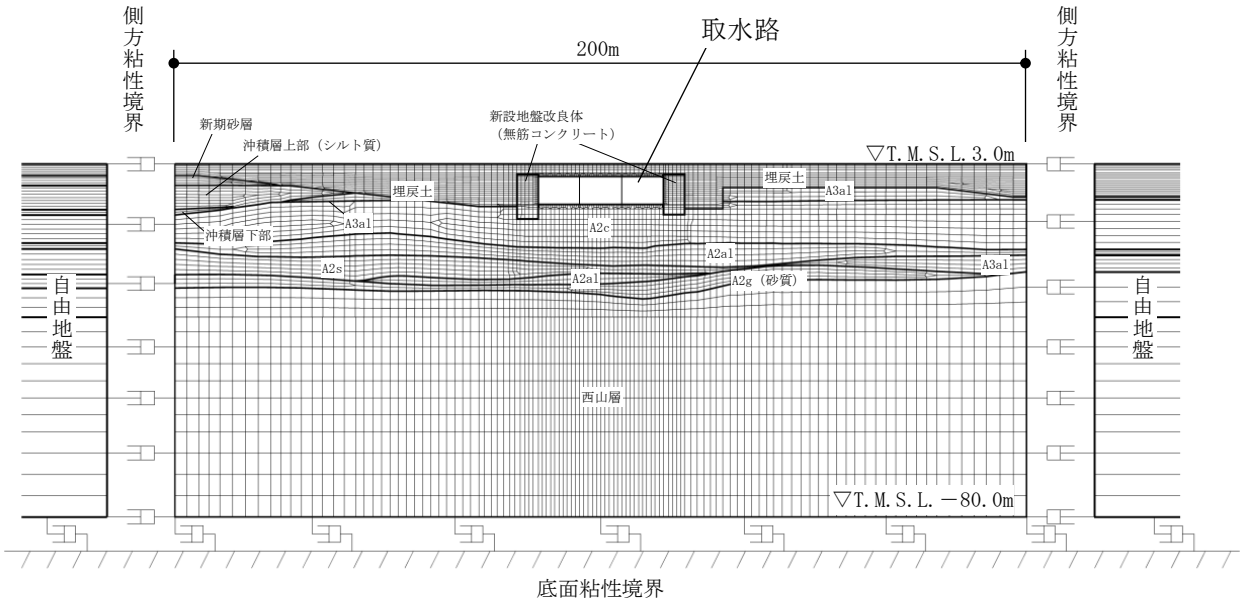


図 3－7（1） 取水路の地震応答解析モデル（Ａ－Ａ断面）

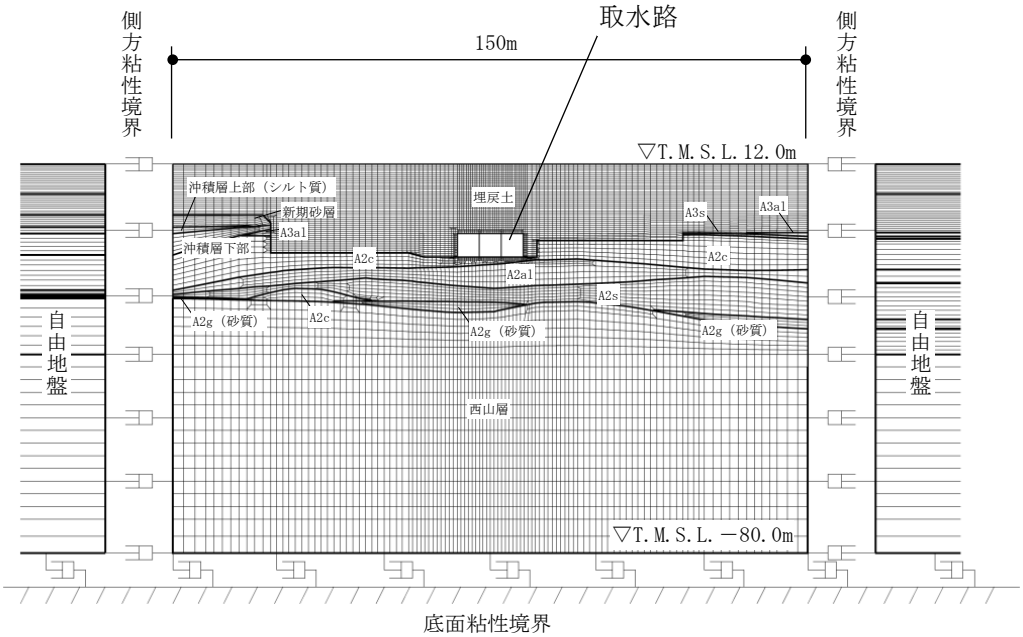


図 3－7（2） 取水路の地震応答解析モデル（Ｂ－Ｂ断面）

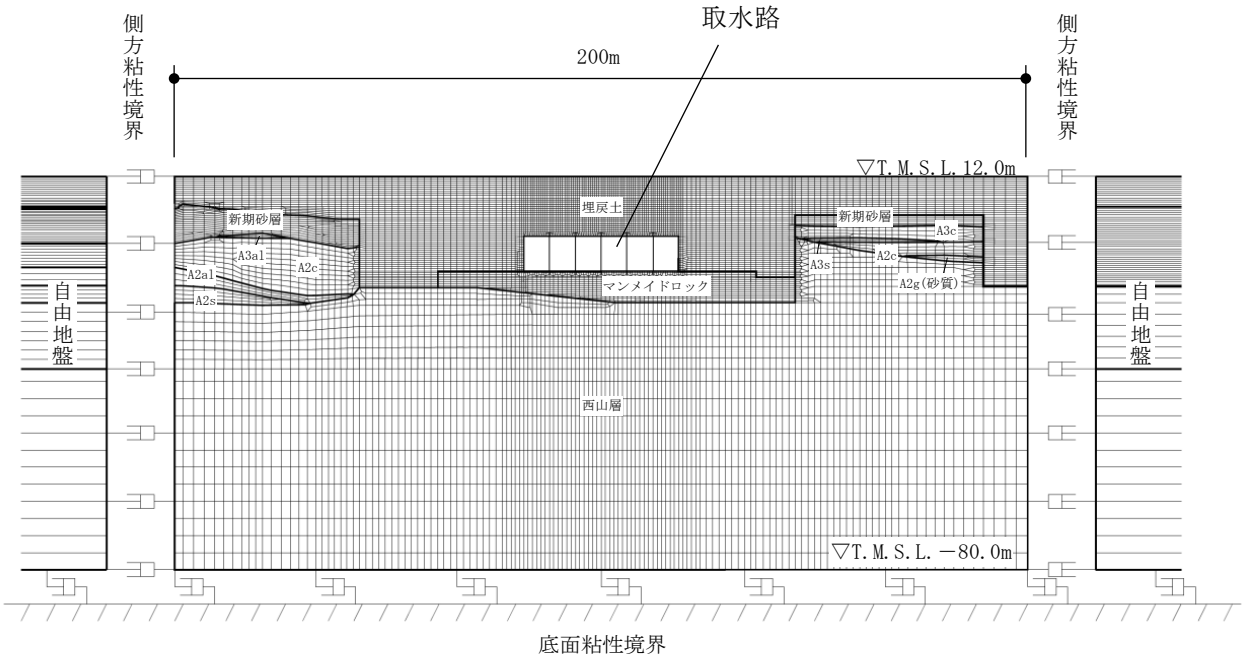


図 3－7（3） 取水路の地震応答解析モデル（Ｃ－Ｃ断面）

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「ＷＣＯＭＤ－ＳＪ」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

K7 ① Ⅴ-2-10-3-1-6 R1

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。

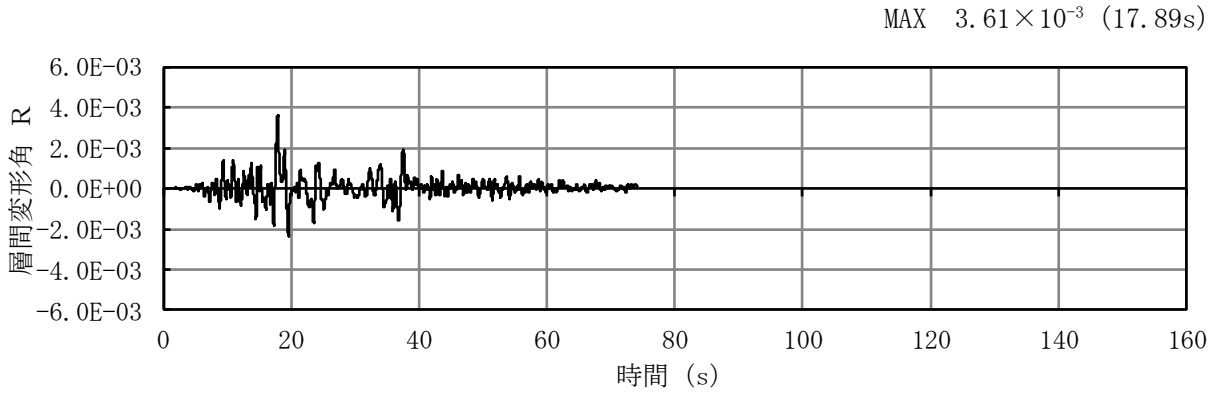


図 3－8 (1)　Ａ－Ａ断面における層間変形角の時刻歴波形

(解析ケース③, Ss-3＋－)

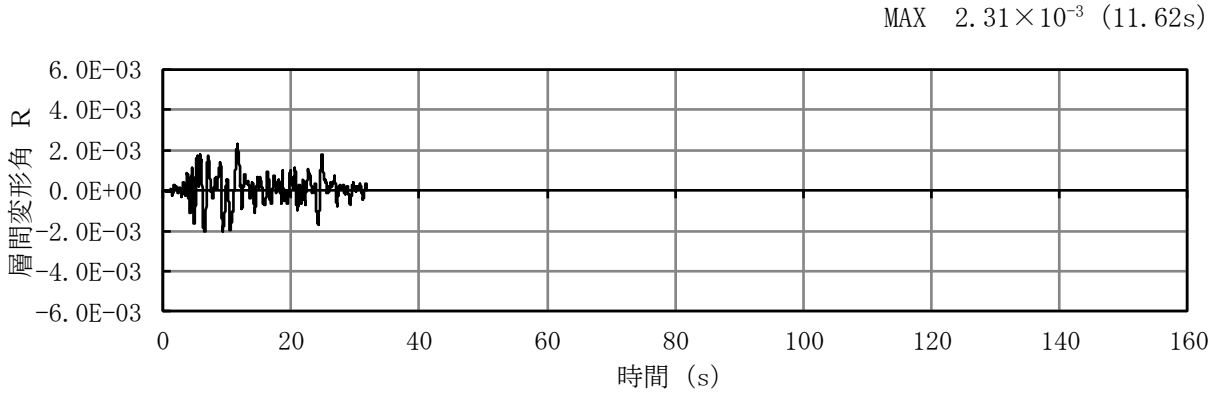


図 3－8 (2)　Ｂ－Ｂ断面における層間変形角の時刻歴波形

(解析ケース④, Ss-1－－)

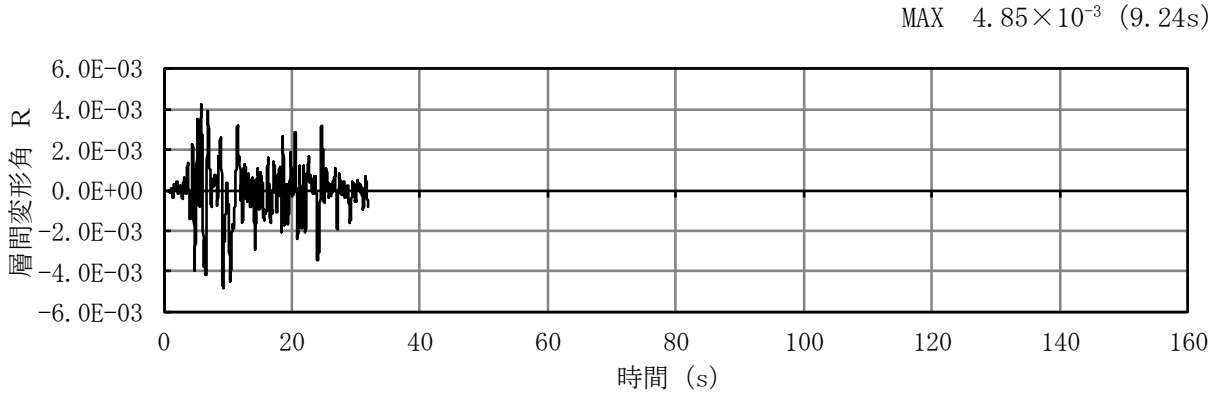
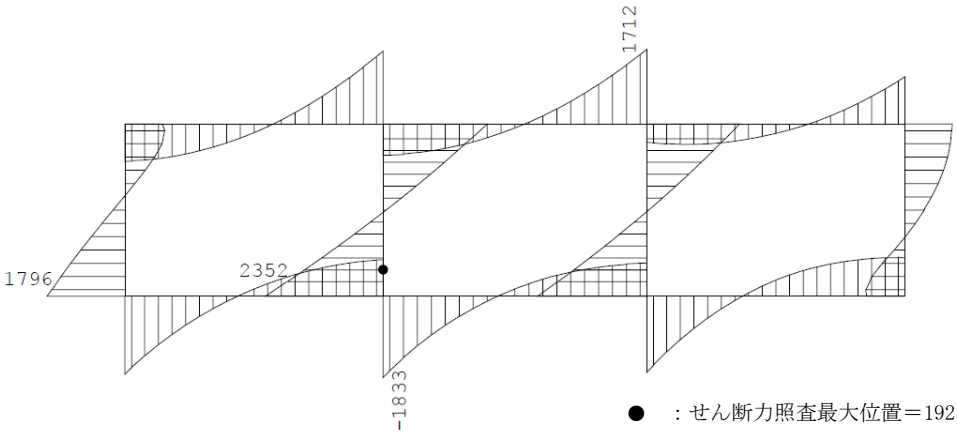
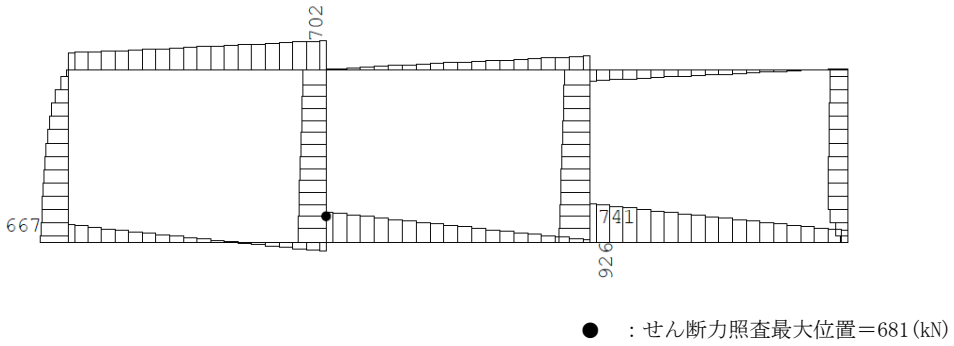


図 3－8 (3)　Ｃ－Ｃ断面における層間変形角の時刻歴波形

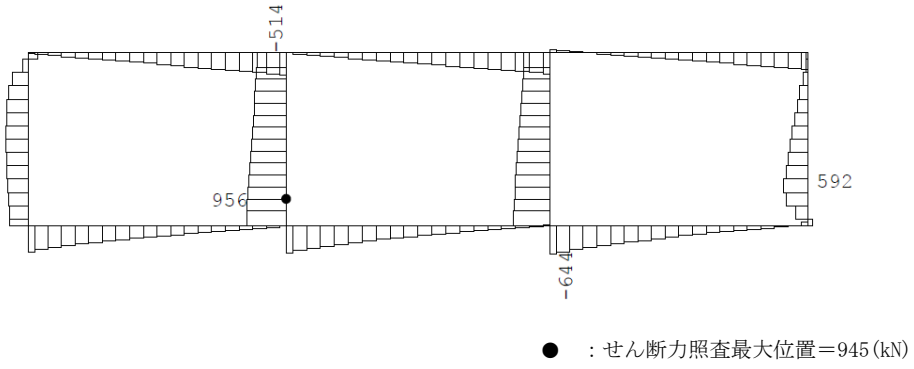
(解析ケース⑤, Ss-1－＋)



曲げモーメント(kN・m)



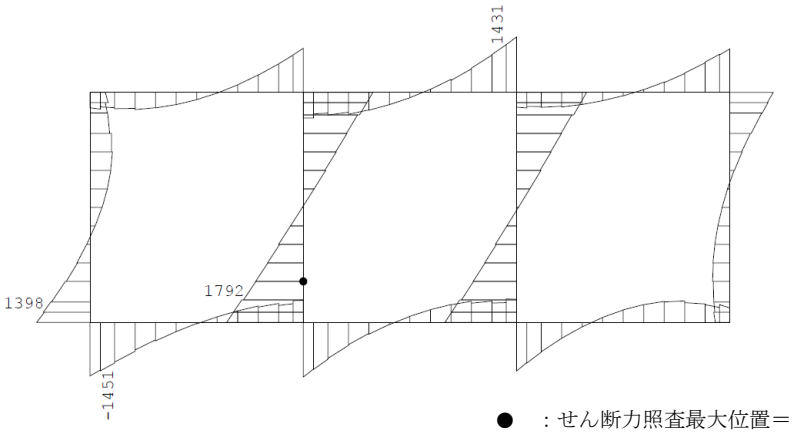
軸力(kN)　（＋：圧縮，－：引張）



せん断力(kN)

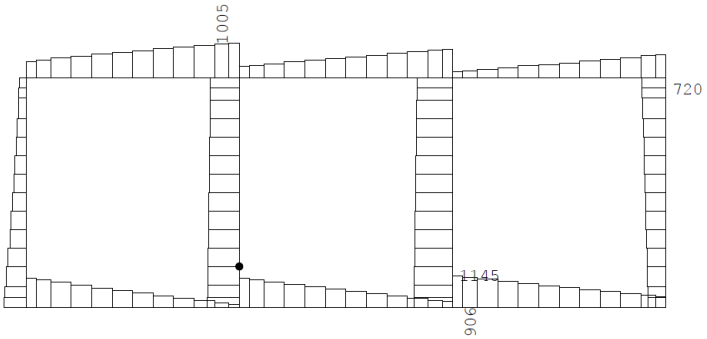
数値：各評価位置の最大断面力

図 3－9（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）



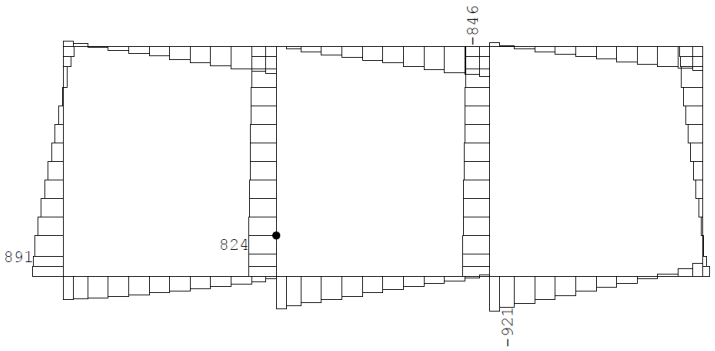
● ：せん断力照査最大位置＝1426(kN・m)

曲げモーメント(kN・m)



● ：せん断力照査最大位置＝939(kN)

軸力(kN)　（＋：圧縮，－：引張）

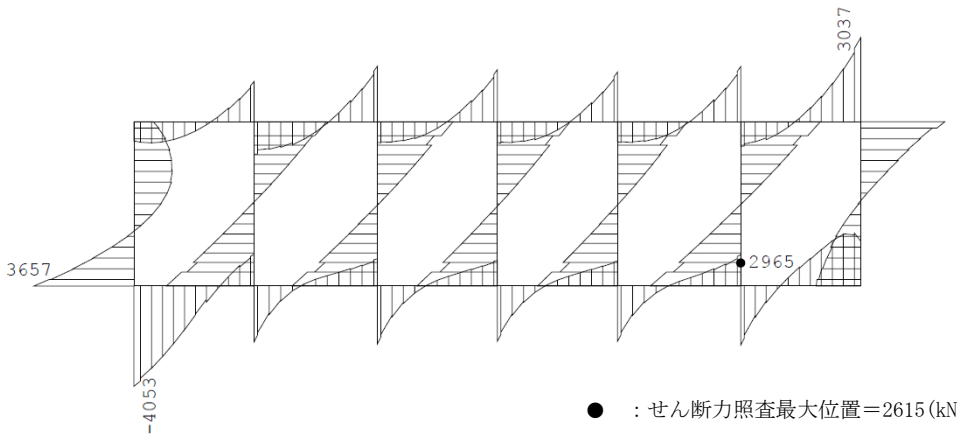


● ：せん断力照査最大位置＝820(kN)

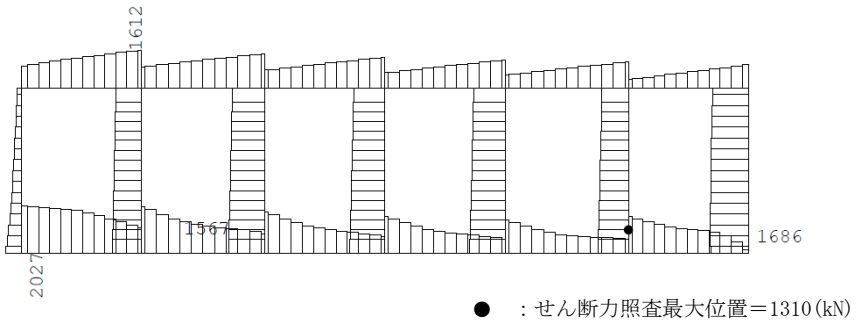
せん断力(kN)

数値：各評価位置の最大断面力

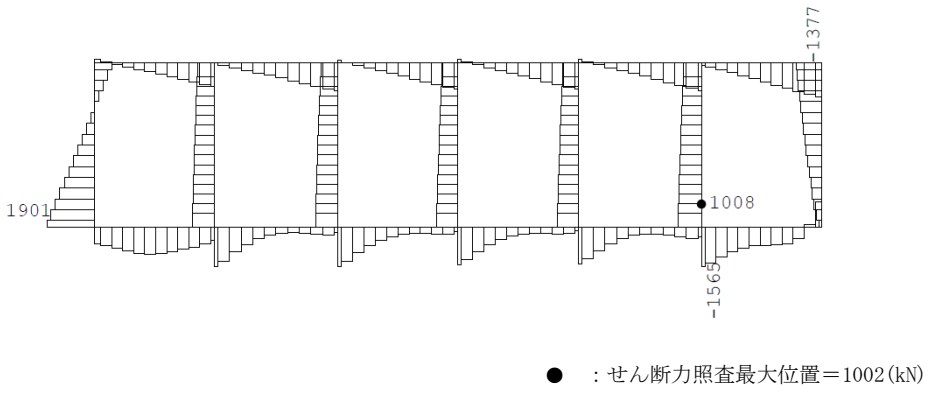
図 3－9（2）　Ｂ－Ｂ断面のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
（解析ケース②，Ss-1－－，t＝5.78s）



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。

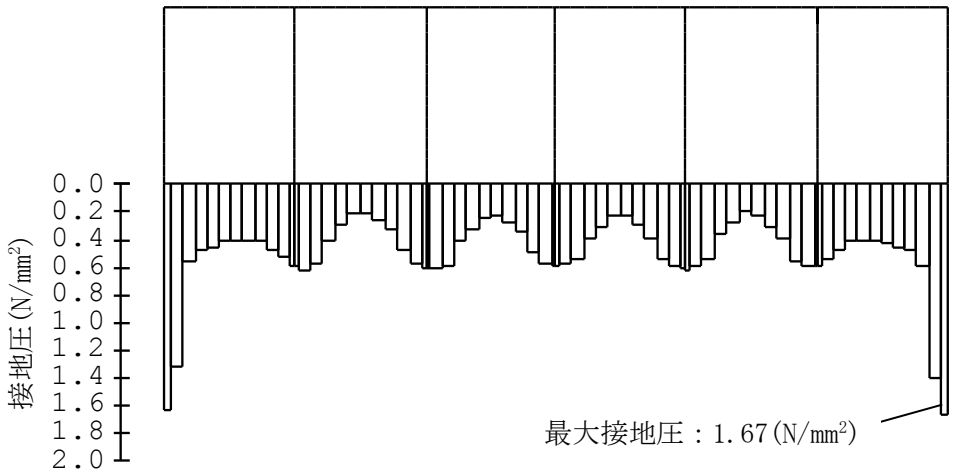


図 3－10　Ｃ－Ｃ断面の最大接地圧分布図
（解析ケース②，地震動 Ss-1－＋）

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×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×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×構造解析係数γ_a

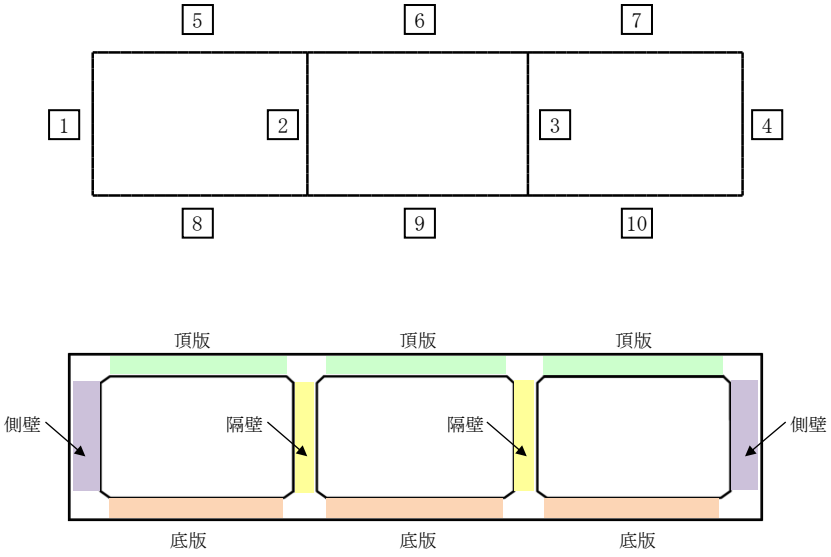
表 4－2（1）　せん断力照査における最大照査値（Ａ－Ａ断面）

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_{yd}（kN）	照査値 V_d / V_{yd}
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×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

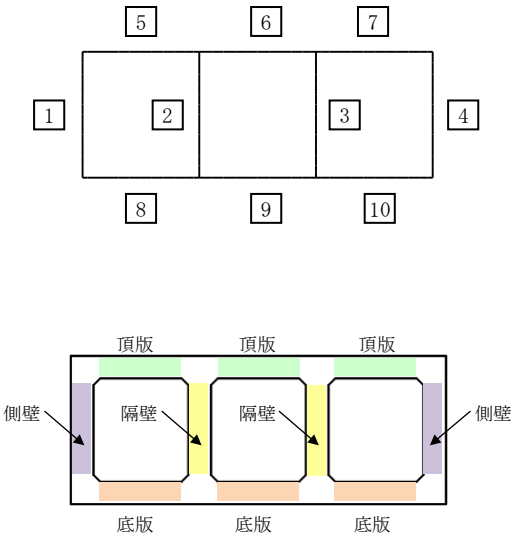
表 4－2（2）　せん断力照査における最大照査値（Ｂ－Ｂ断面）

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_{yd}（kN）	照査値 V_d / V_{yd}
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×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

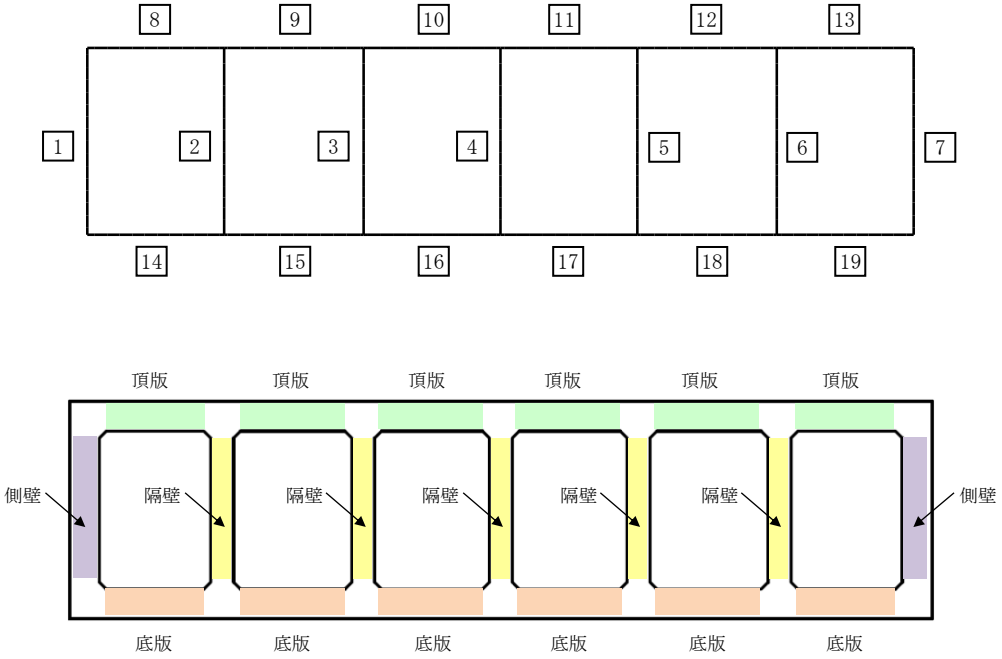
表 4－2（3）　せん断力照査における最大照査値（C－C断面）

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_{yd}（kN）	照査値 V_d / V_{yd}
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 $\sigma／q_u$
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Ｓｓ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。

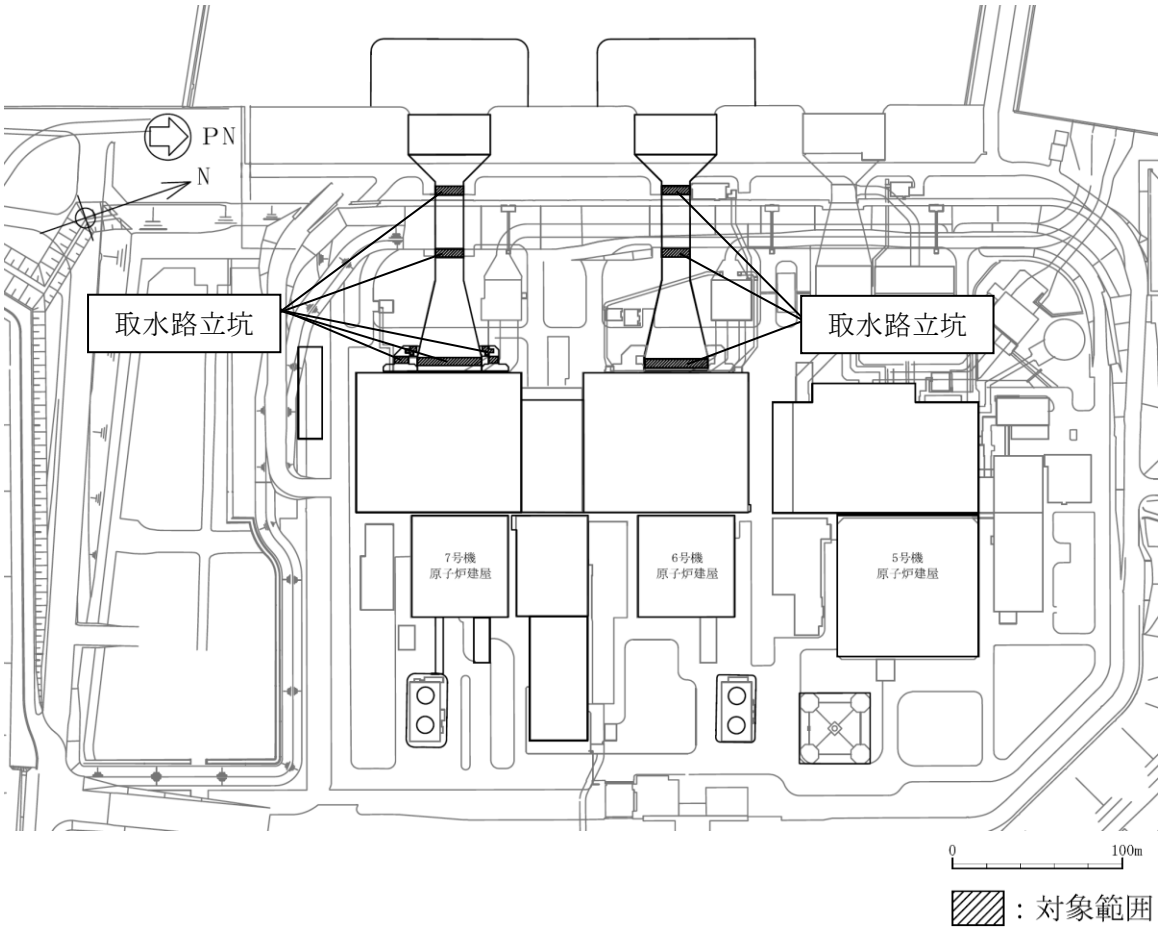
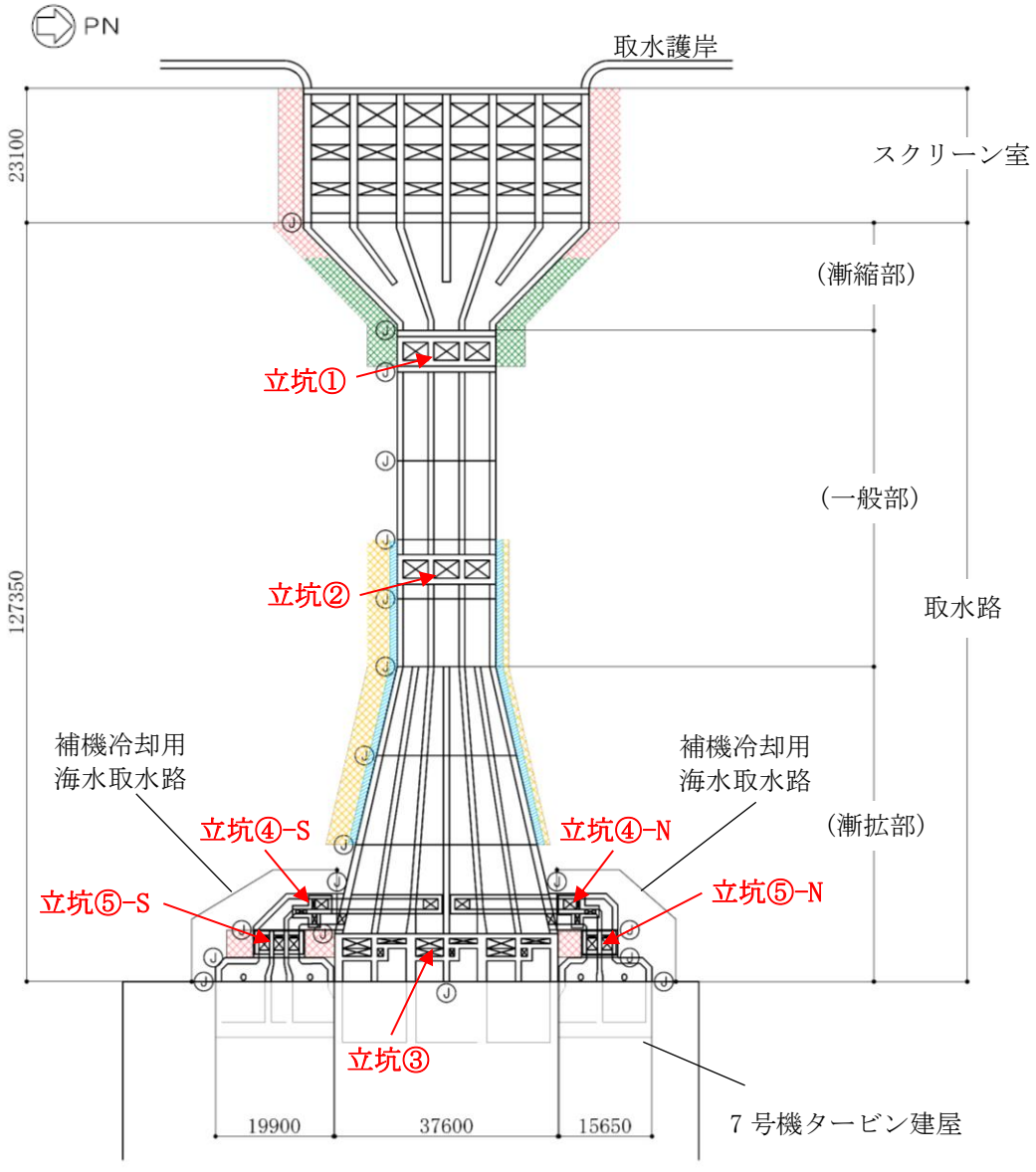


図 2－1　取水路立坑の位置図（全体平面図）

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。

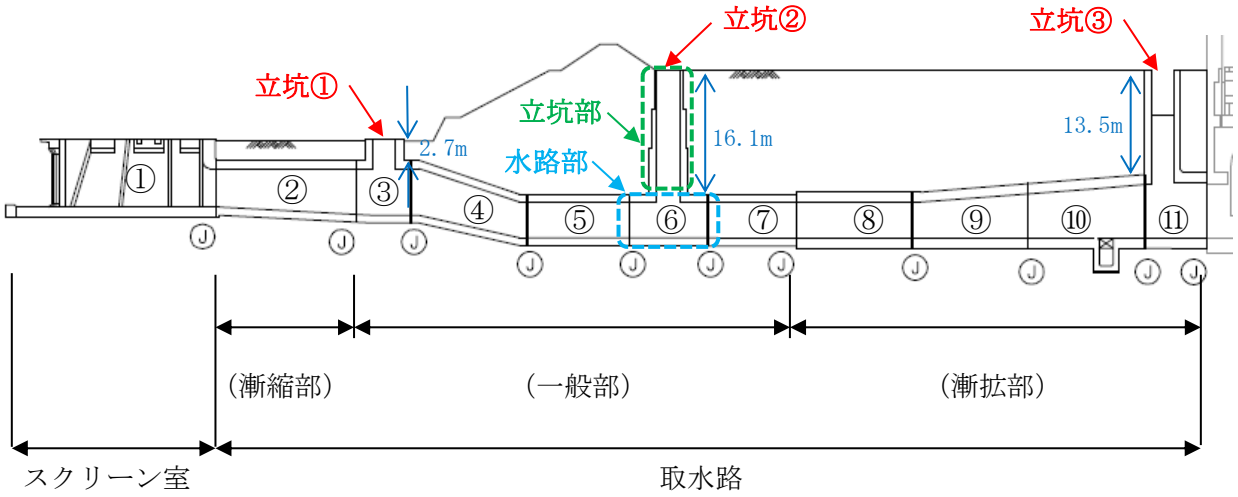
取水路立坑は，取水路及び補機冷却用海水取水路と一体構造の鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり，水路部と立坑部から構成される。水路部は，屋外重要土木構造物として非常時における海水の通水機能を求められる構造部位であり，立坑部は，取水路及び補機冷却用海水取水路の点検用に設置された構造部位である。



（単位：mm）

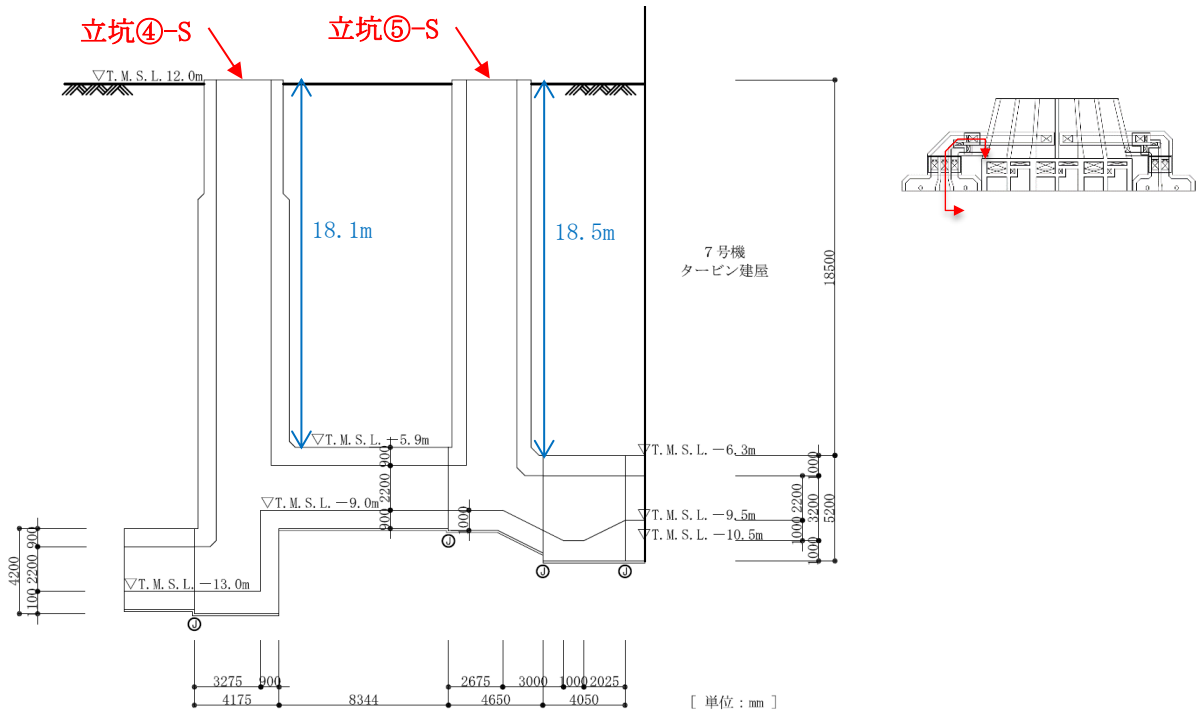
既設／新設	凡例	地 盤 改 良 工 法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換（地中連続壁）
		機械攪拌

図 2－2　7 号機取水路立坑の平面図

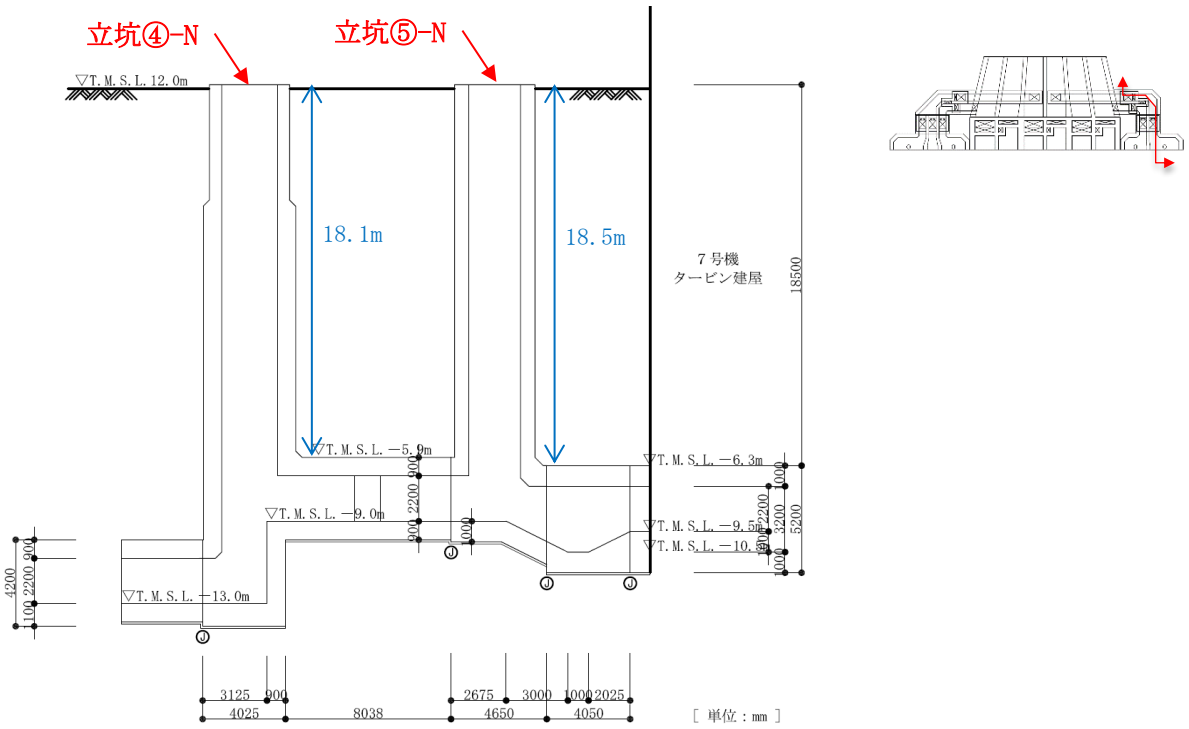


注：　Ⓙは耐震ジョイント

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。

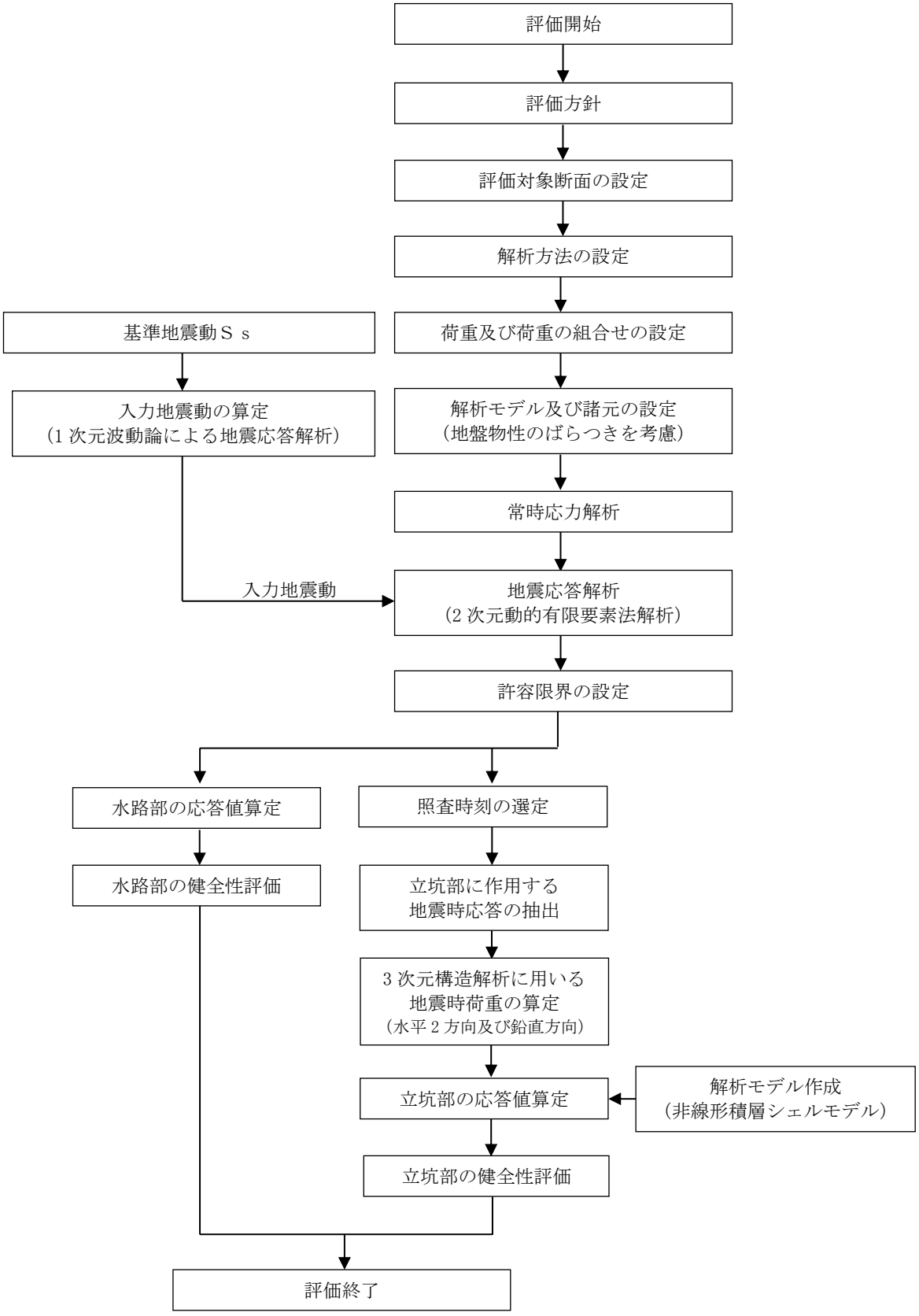


図 2－4　取水路立坑の耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１-1987（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。

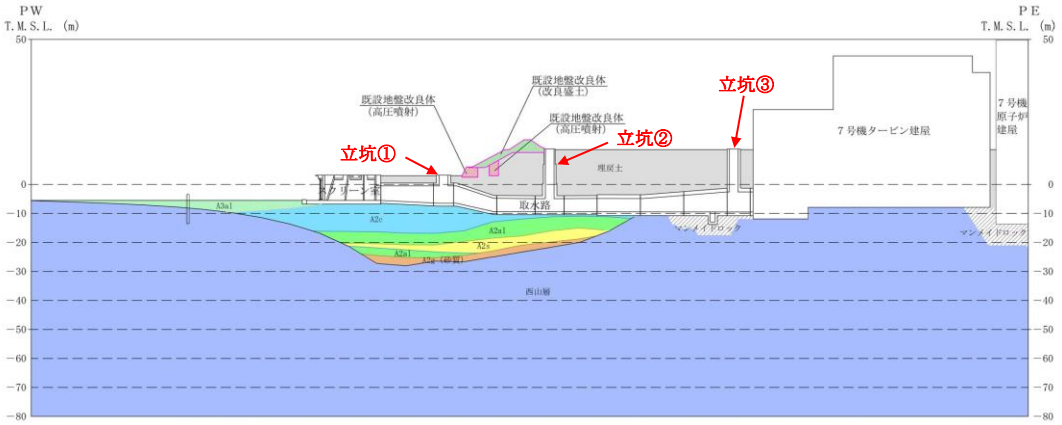
図 2－2 及び図 2－3 の 7 号機取水路立坑の平面図及び縦断図に示すとおり，取水路立坑は，水路上部に複数箇所存在（立坑①～⑤）する。このうち，取水路立坑に支配的な動土圧及び動水圧を受ける立坑の高さ（土被り厚さ）に着目すると，表 3－1 に示すとおり，立坑②～⑤と比較し，立坑①は高さが低い。また，表 3－1 及び表 3－2 に示すとおり，立坑②～⑤は，立坑の高さ（土被り厚さ）及び鉄筋比に大きな差がないことから，動土圧の主要因である地盤変位に着目し，立坑の水路接続位置と地表面間の地盤の最大相対水平変位を比較する。

表 3－1　各立坑の高さ

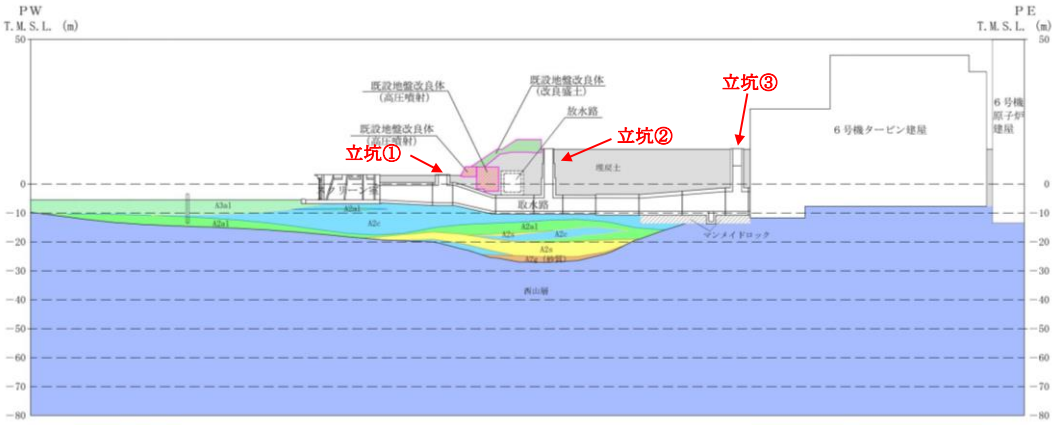
立坑	高さ(m)
①	2.7
②	16.1
③	13.5
④-S,N	18.1
⑤-S,N	18.5

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 号機取水路縦断図）



（6 号機取水路縦断図）

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Ｓｓ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。

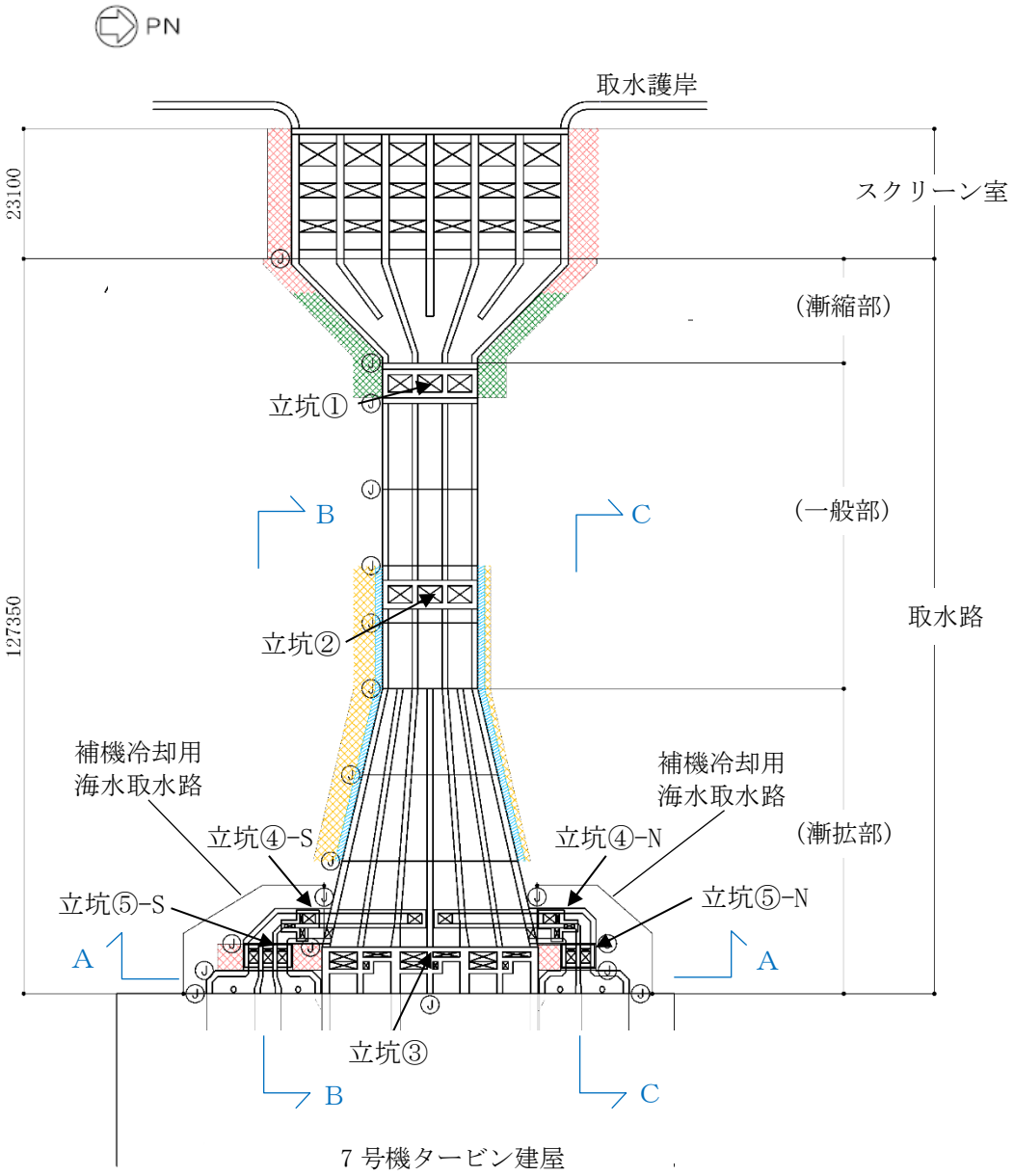
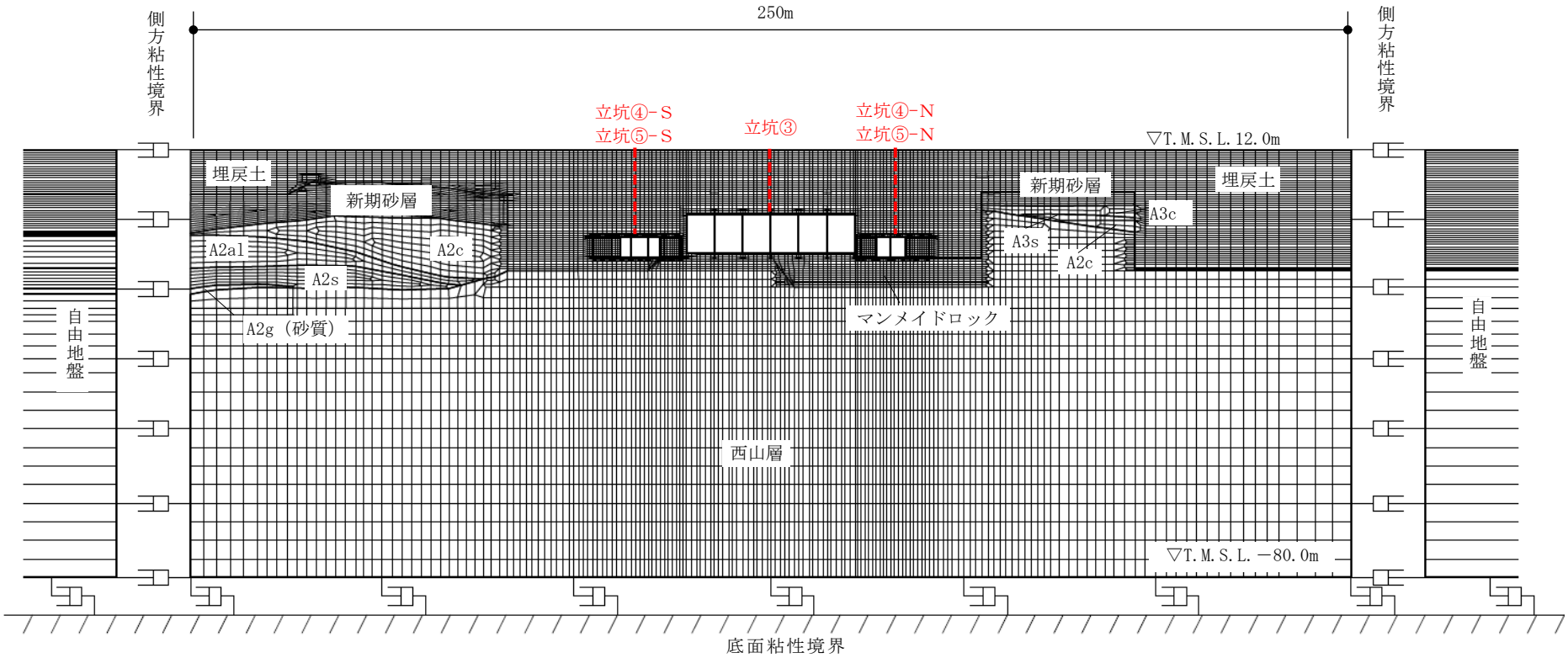
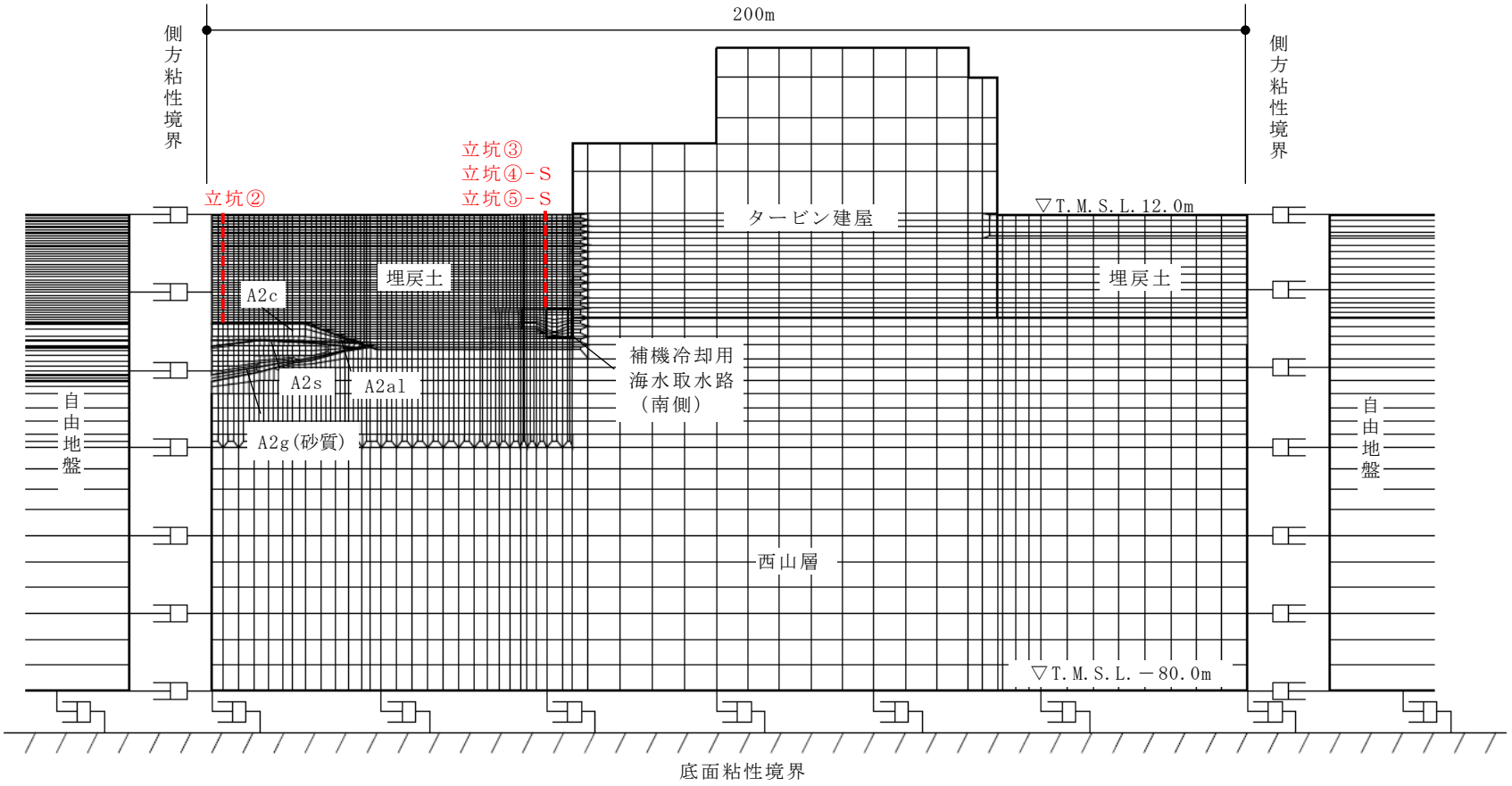

PN
取水護岸
23100
スクリーン室
(漸縮部)
立坑①
B
C
(一般部)
127350
取水路
立坑②
補機冷却用
海水取水路
補機冷却用
海水取水路
立坑④-S
立坑④-N
(漸拡部)
立坑⑤-S
立坑⑤-N
A
A
立坑③
B
C
7 号機タービン建屋

図 3－2　解析断面位置図



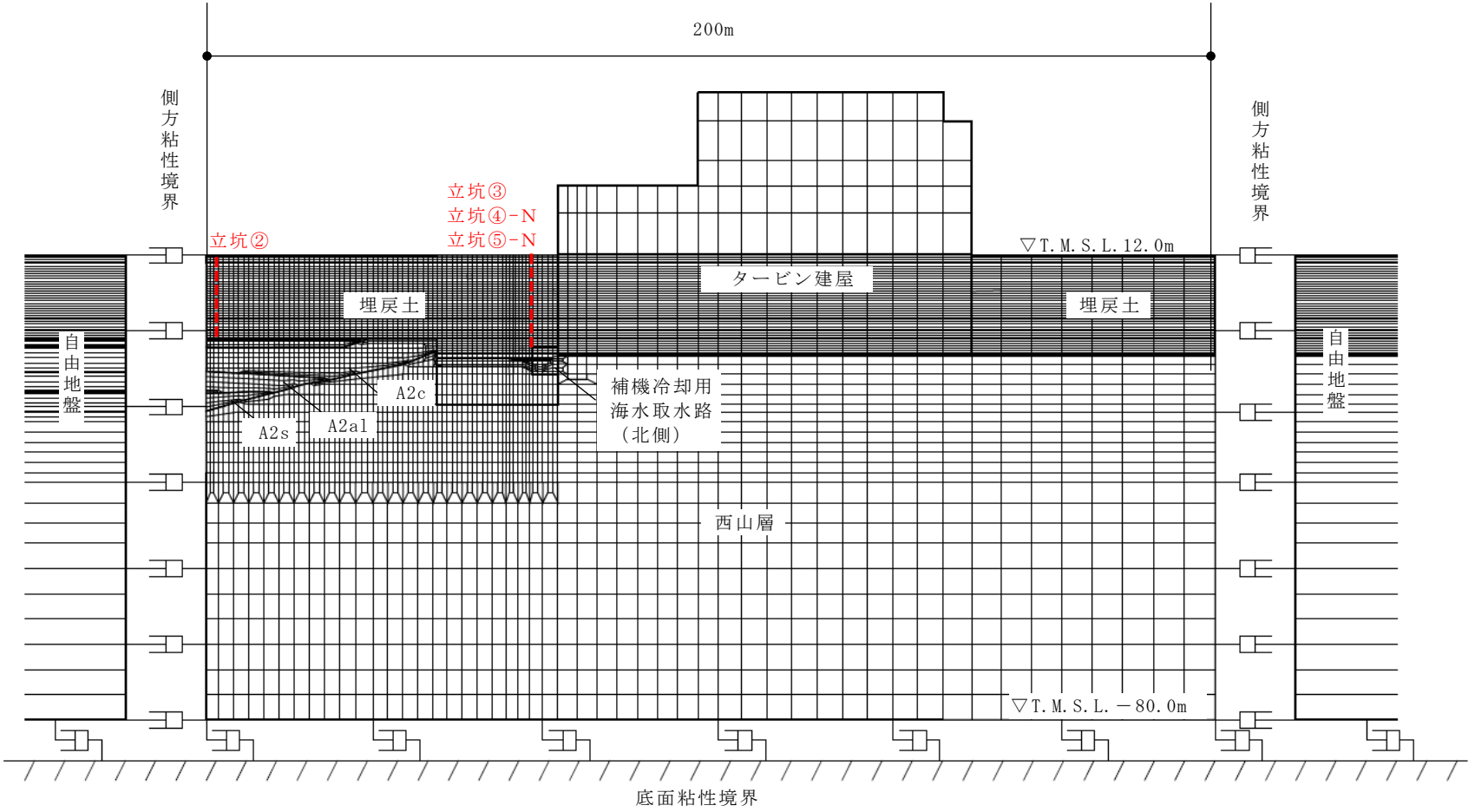
（A－A断面）

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Ｓｓ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。

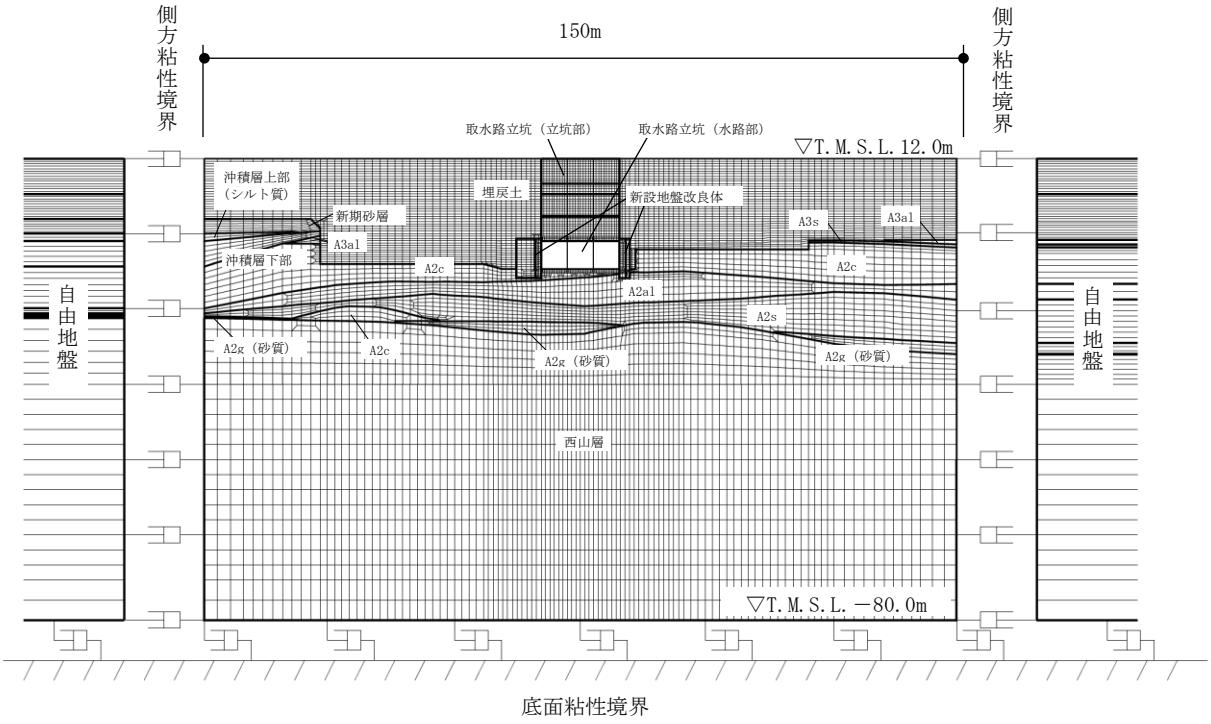


図 4－1　NS 断面の地震応答解析モデル

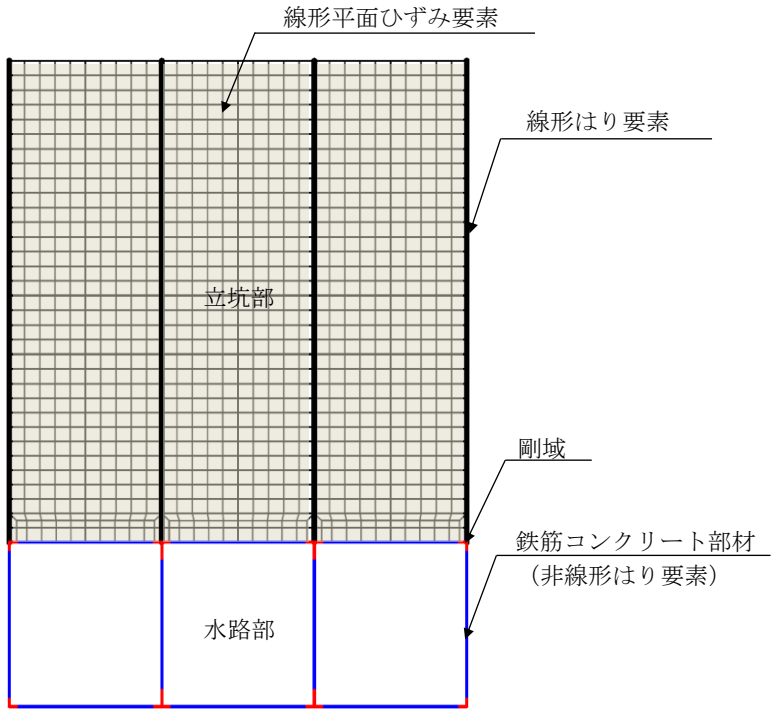


図 4－2　NS 断面における構造物のモデル化方法

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。

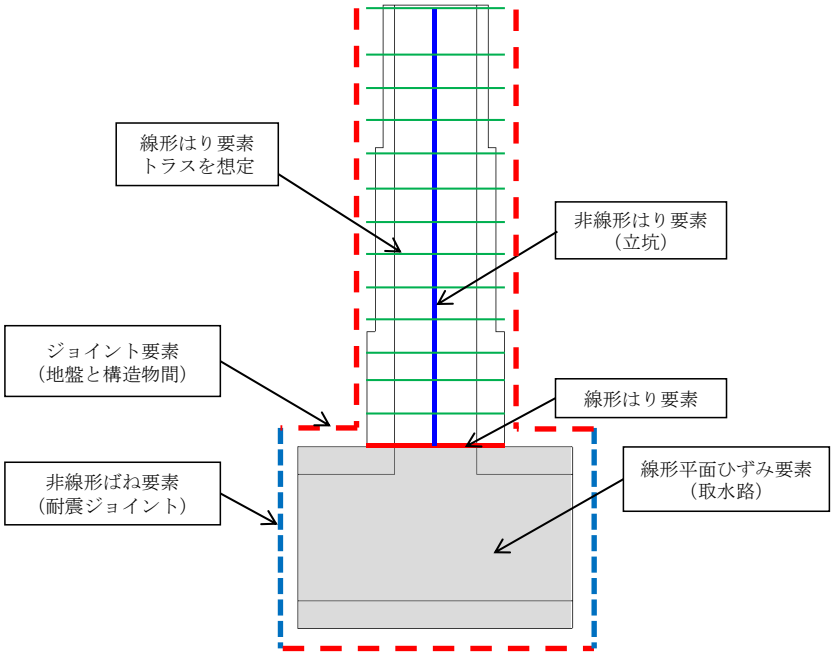


図 4－3　立坑部の解析モデルの概念図

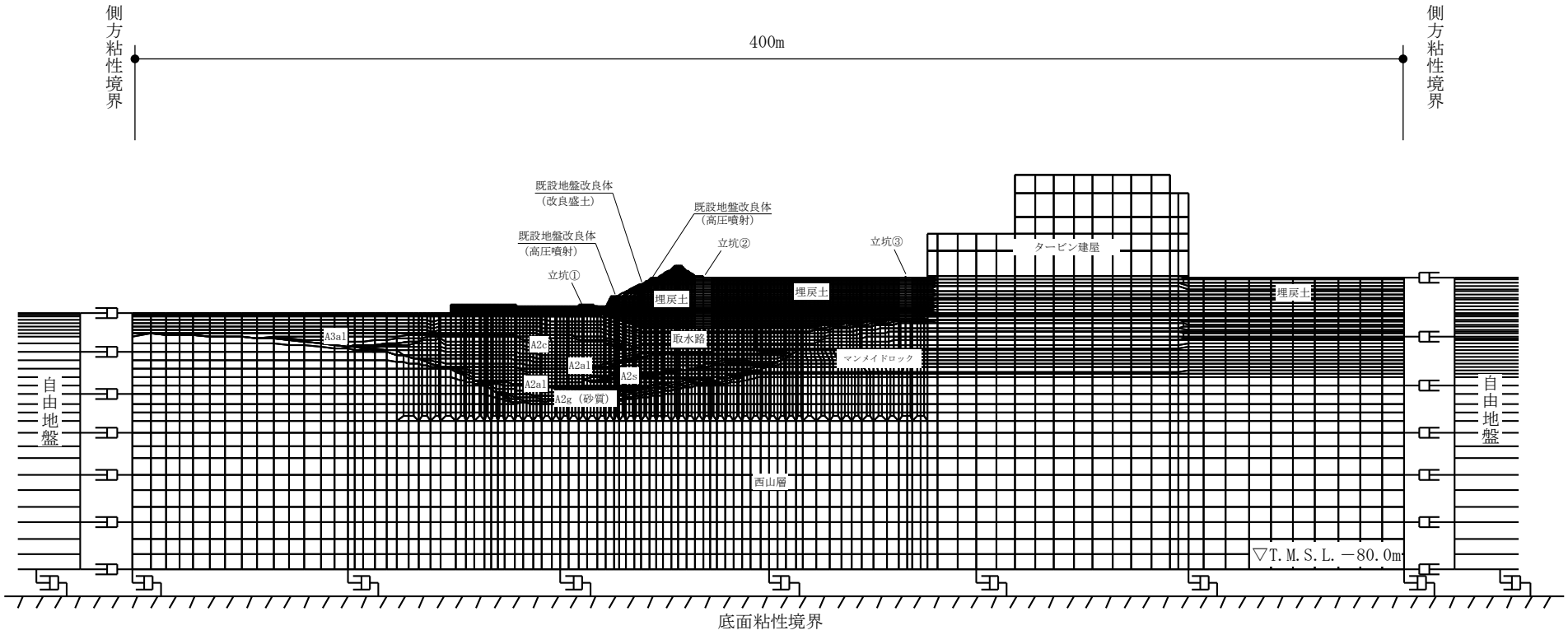


図 4－4　EW 断面の地震応答解析モデル

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，それぞれを組み合せて設定する。地震荷重には，地震時土圧及び動水圧の反力による荷重が含まれるものとする。なお，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Ｓｓによる水平・鉛直同時加振を考慮する ・躯体，動土圧を考慮する
		鉛直地震動	○	
		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，1.00g/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，1.03g/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。

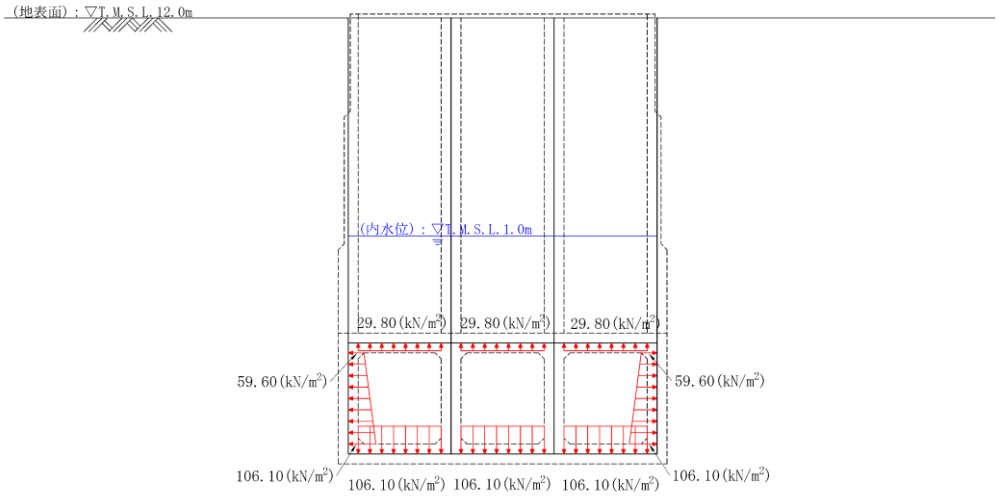
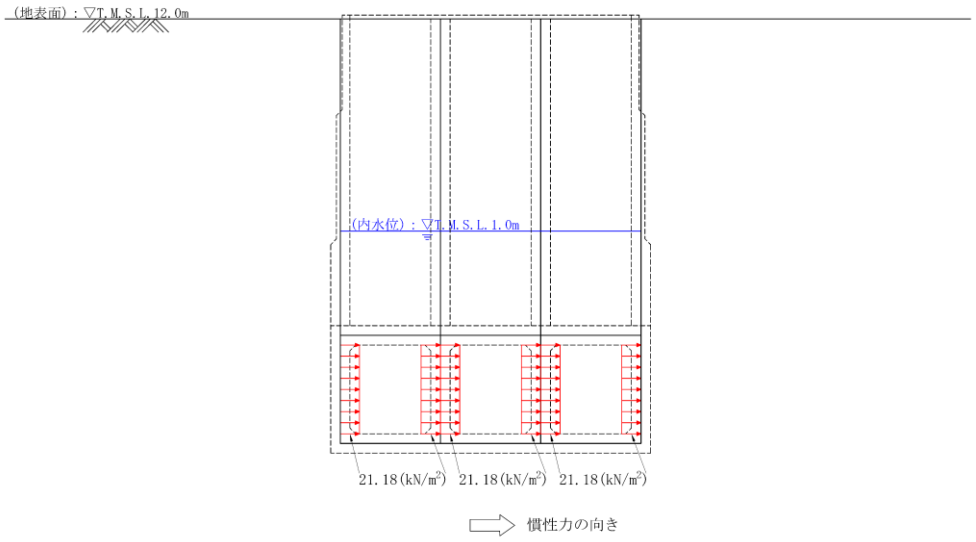


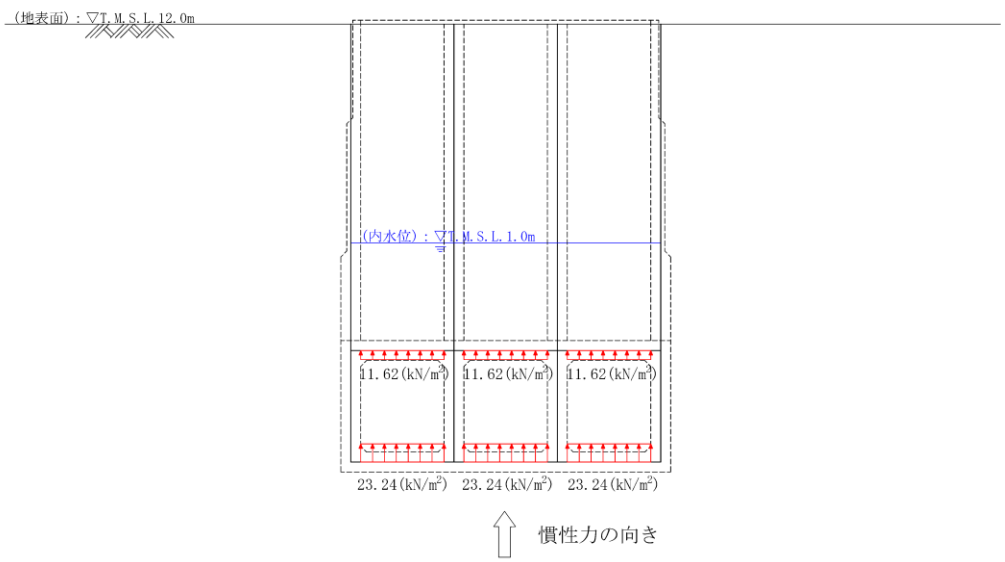
図 4－5　内水圧図（NS 断面）

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 1.03g/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。



（a）水平方向



（b）鉛直方向

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Ｓｓ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。

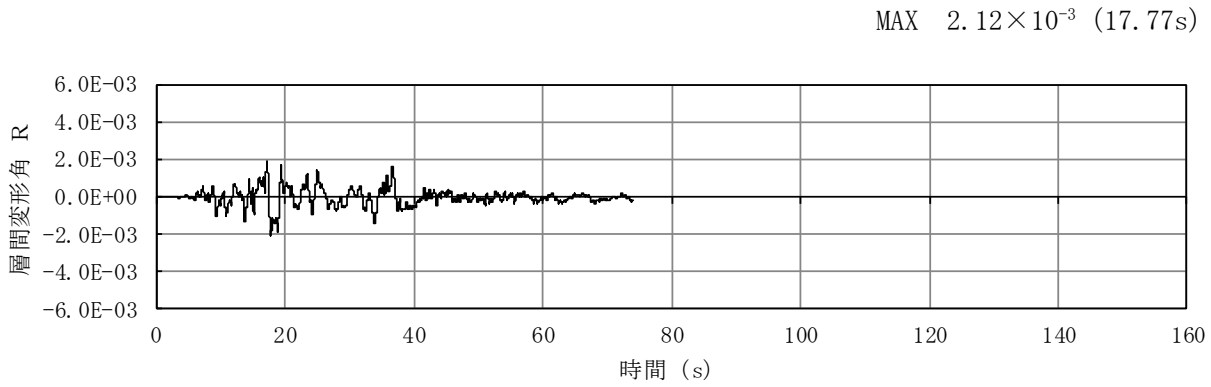
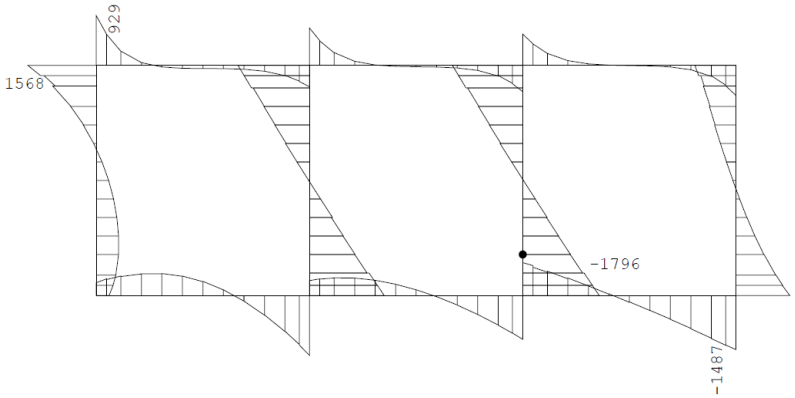


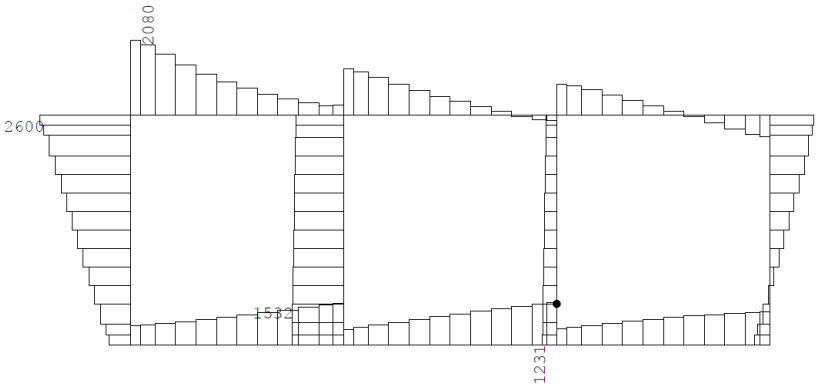
図 4－7　層間変形角の時刻歴波形

（NS 断面，解析ケース①，Ss-3－－）



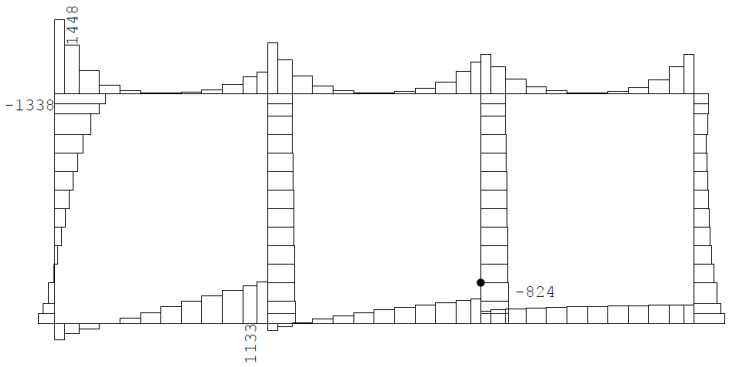
数値：各部材の最大断面力
● ：せん断照査最大位置 = -1430 (kN・m)

(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

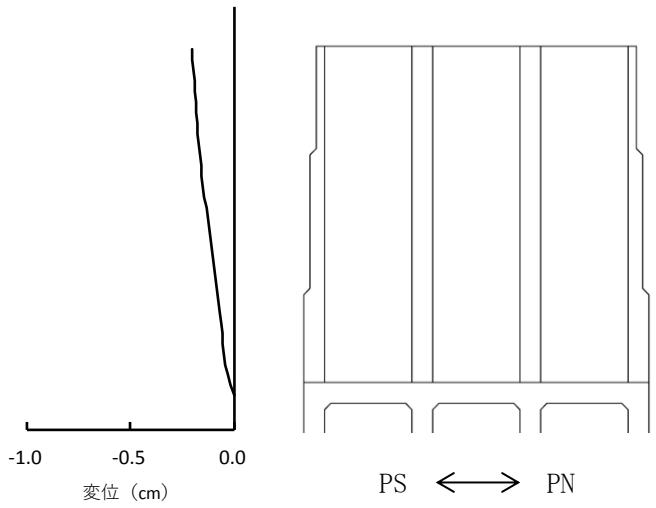


図 4－9　相対水平変位分布図（NS 断面）
（解析ケース①，Ss-1－＋，t＝10.58s）

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

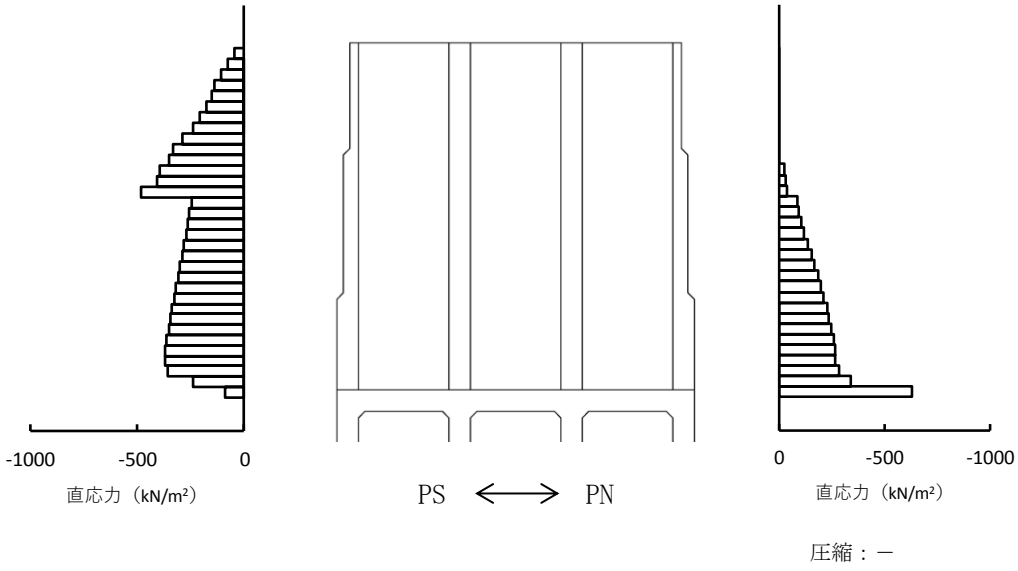


図 4－10　土水圧分布図（NS 断面）
（解析ケース①，Ss-1＋＋，t＝10.64s）

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

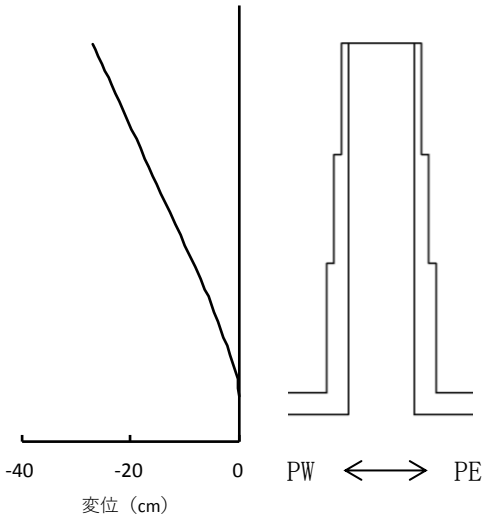


図 4－11　相対水平変位分布図（EW 断面）
（解析ケース①，Ss-7，t＝58.47s）

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

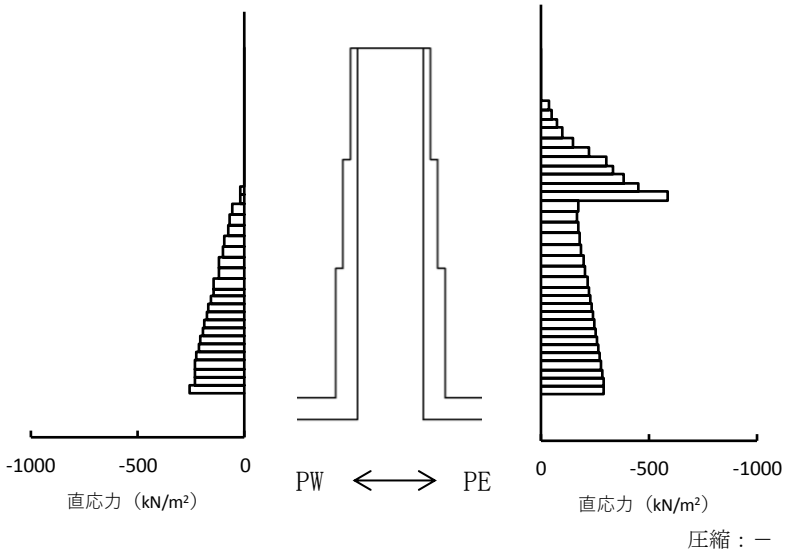


図 4－12　土水圧分布図（EW 断面）
（解析ケース①，Ss-5，t＝60.42s）

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

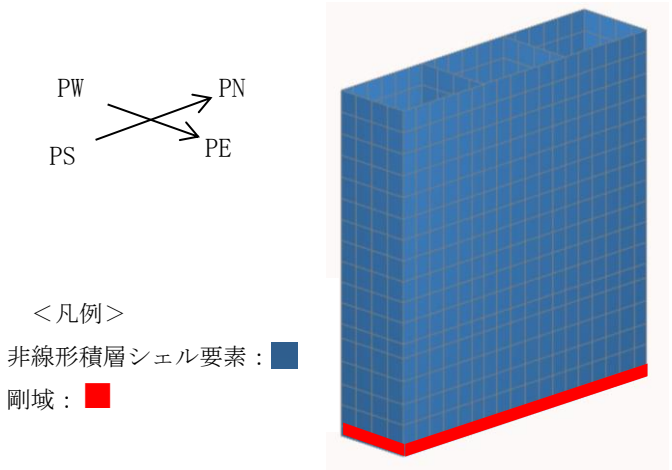
立坑部の評価は，構造物の 3 次元的な形状の影響を考慮するため，非線形積層シェル要素でモデル化し，水平 2 方向及び鉛直方向の荷重に対する評価を，3 次元構造解析を用いて行う。

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。

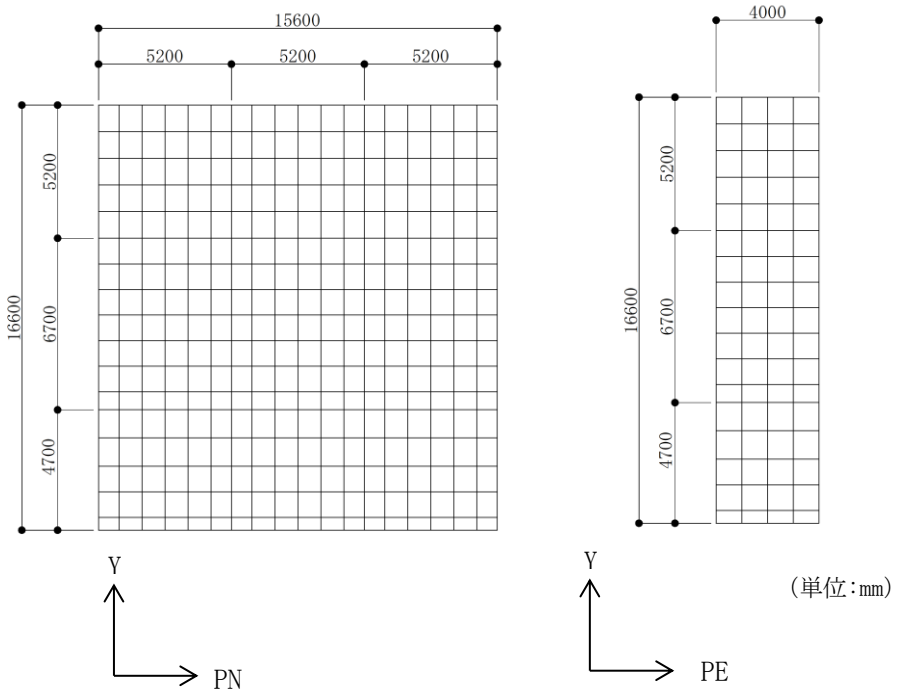
解析コードの検証及び妥当性確認の概要については，Ⅴ-2 別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

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。



（鳥瞰図）



（要素分割図）

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	載荷位置
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ＪＥＡＧ４６０１－1987（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 V_d *1 (kN)	せん断耐力 V_{yd} (kN)	照査値 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×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 V_d＊（kN）	せん断耐力 V_{yd}（kN）	照査値 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×構造解析係数γ_a

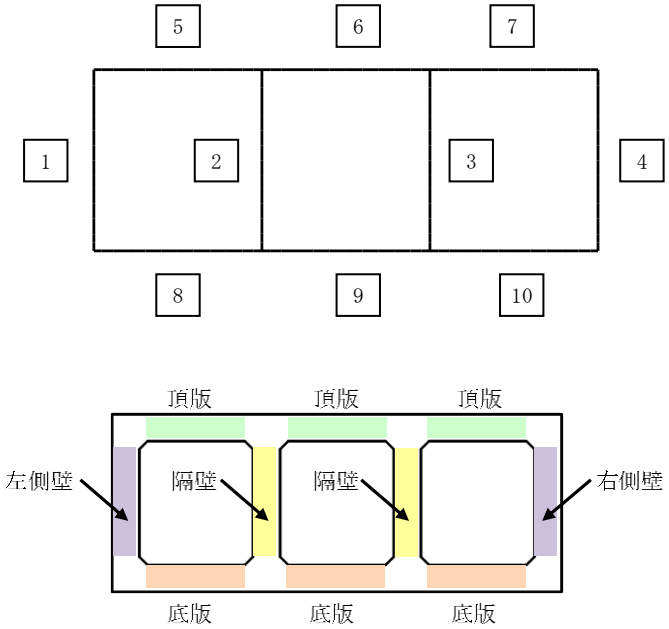
表 6－3　せん断力照査値が最大となる解析ケースの照査結果（水路部）

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×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。

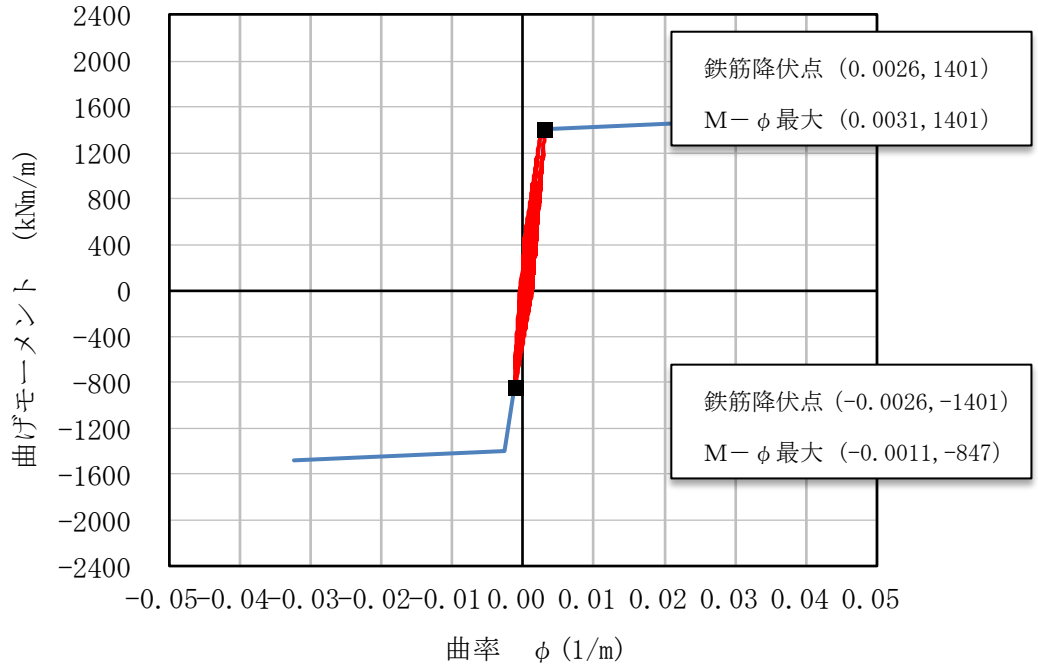


図 6－1　水路部のM－φ曲線を用いた貯水機能の確認

（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。

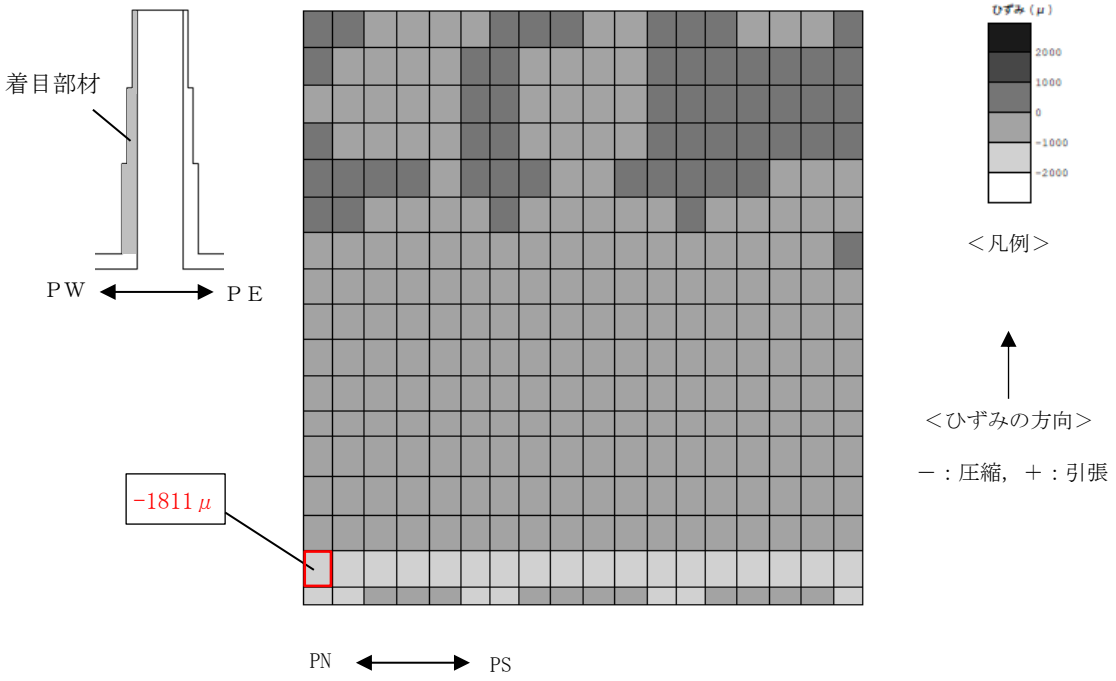
表 6－4，表 6－5 及び表 6－6 より，取水路の点検用に設置された構造部位である立坑部について屋外重要土木構造物と同等に各種安全係数を考慮することで安全余裕を見込んだ評価を実施した場合においても，照査用ひずみ，照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界以下であることを確認した。

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。

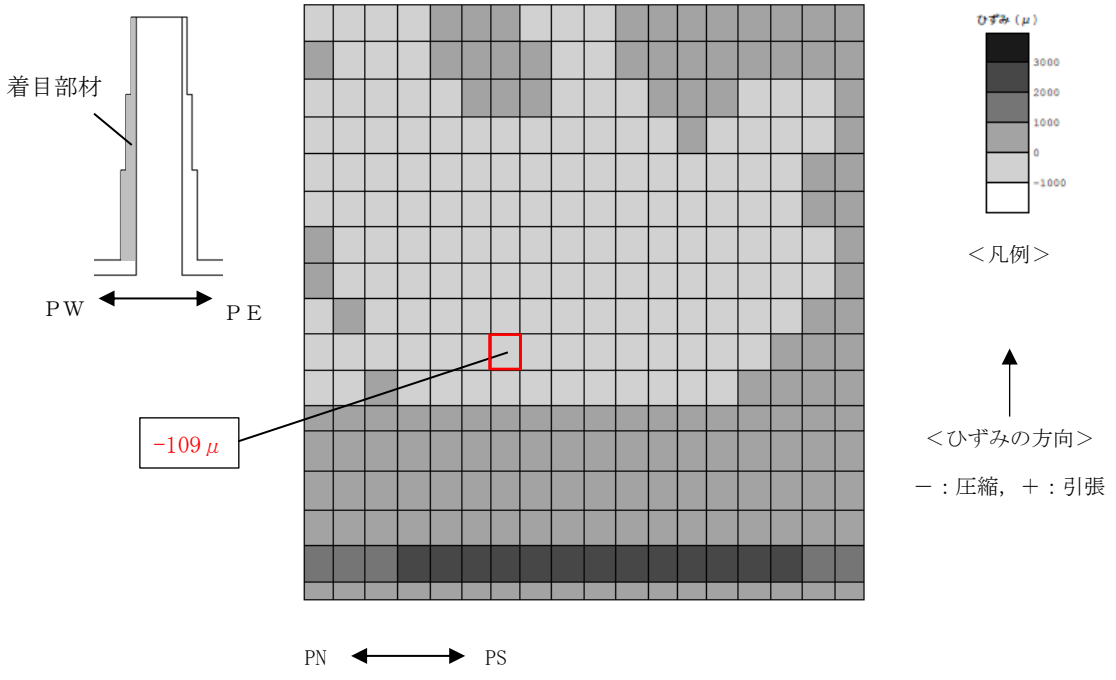
表 6－4　曲げ軸力に対する照査結果（立坑部）

照査時刻	解析ケース	地震動	評価位置	照査用ひずみ* ε_d（μ）	限界ひずみ ε_r（μ）	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_r$
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）

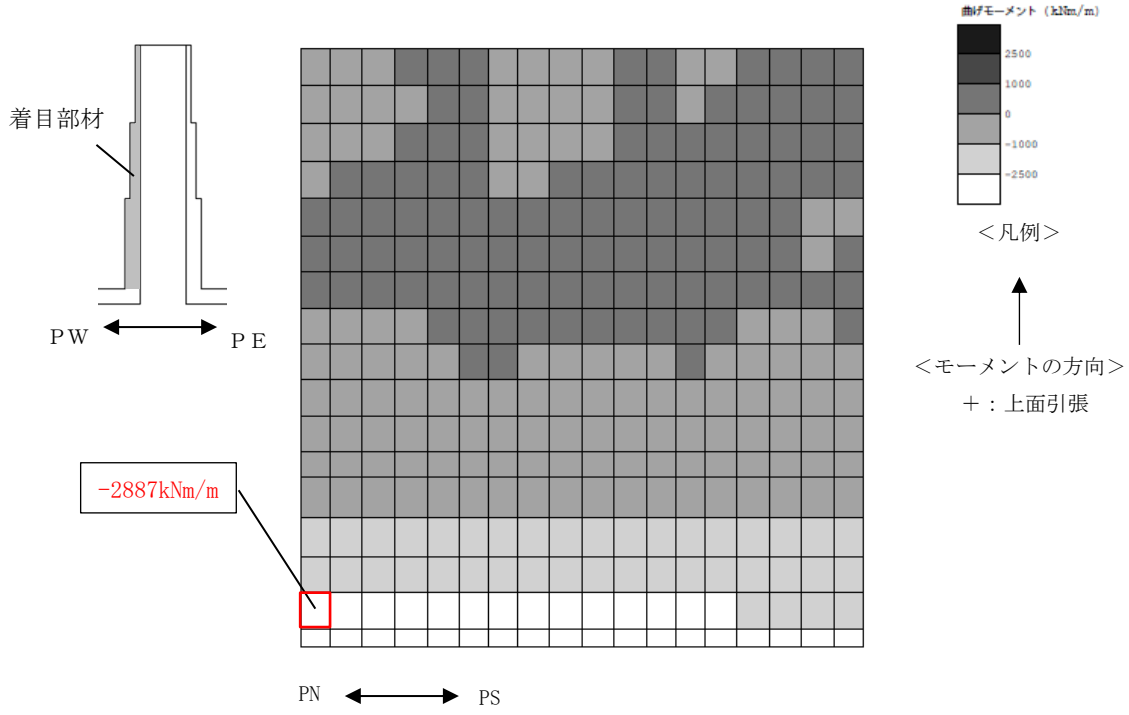
表 6－5　せん断力に対する照査結果（立坑部）

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

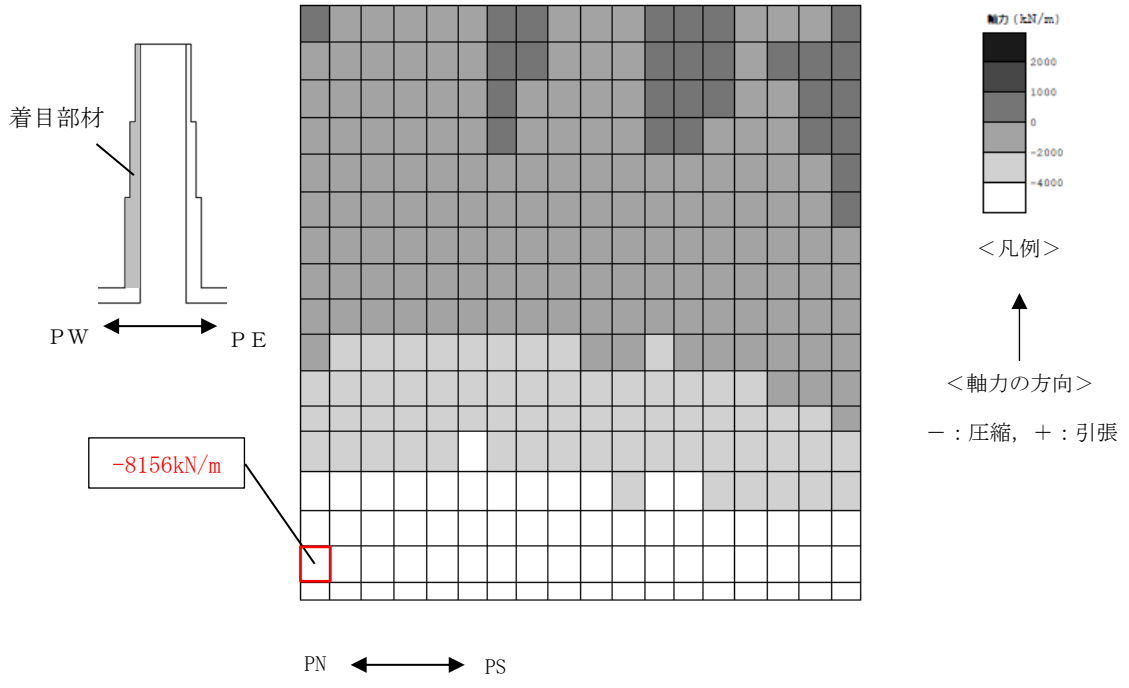
注記＊1　：照査用せん断力V_d＝発生せん断力Ｖ×構造解析係数γ_a

＊2　：材料非線形解析を用いた方法による数値

＊3　：部材係数γ_{b2}を考慮



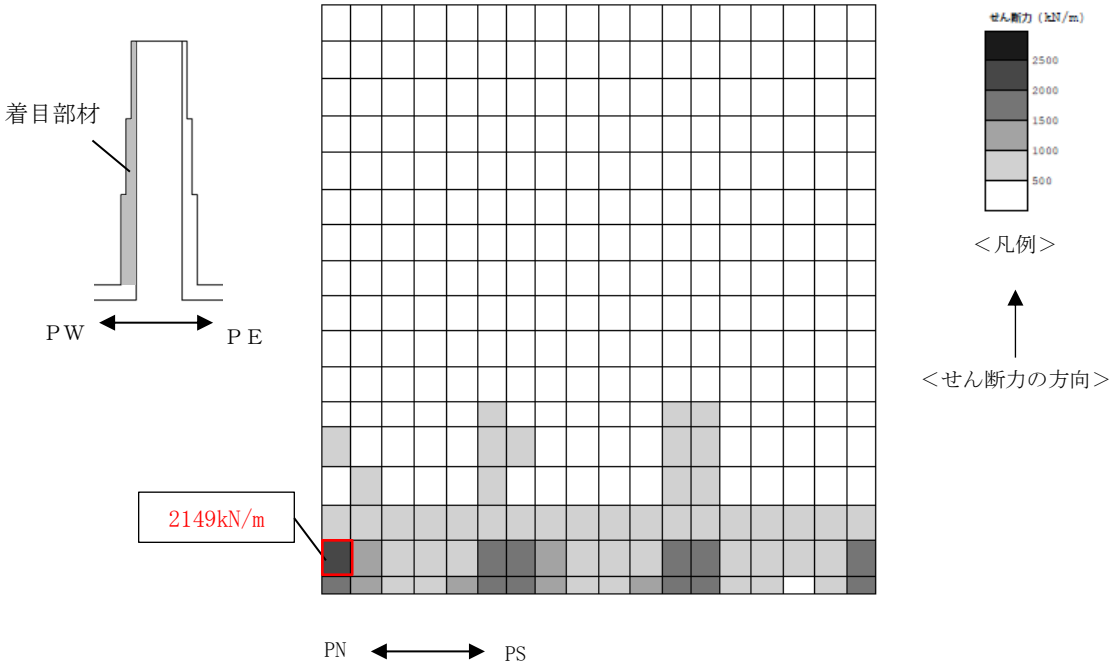
(a)　曲げモーメント分布



(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，Ss-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×構造解析係数γ_a

Ⅴ-2-10-3-1-7　取水路（6 号機設備）の耐震性についての計算書

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

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（6 号機設備）が基準地震動Ｓｓ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（6 号機設備）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（6 号機設備）の位置図を図 2－1 に示す。

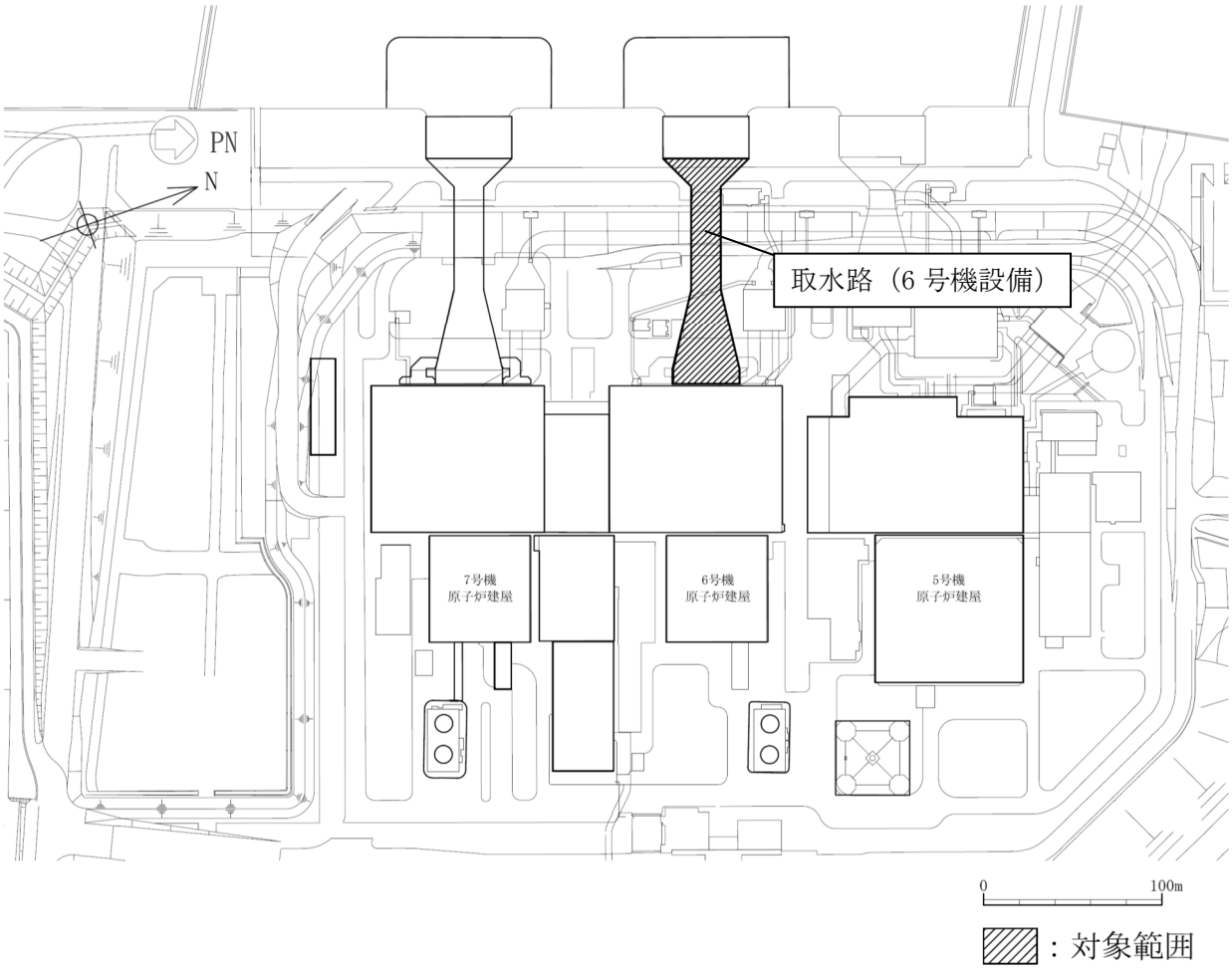


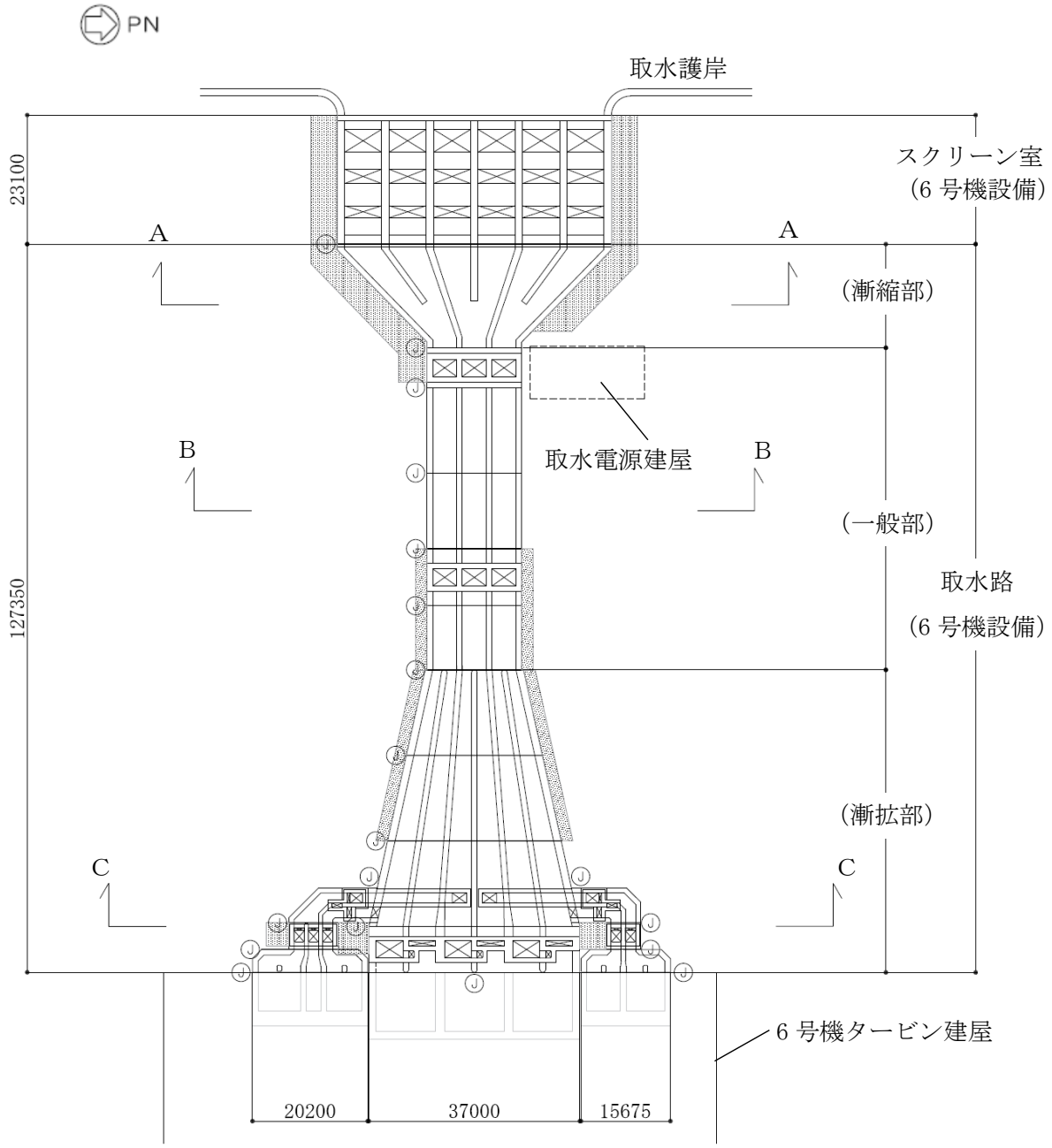
図 2－1　取水路（6 号機設備）の位置図（全体平面図）

2.2　構造概要

取水路（6 号機設備）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。

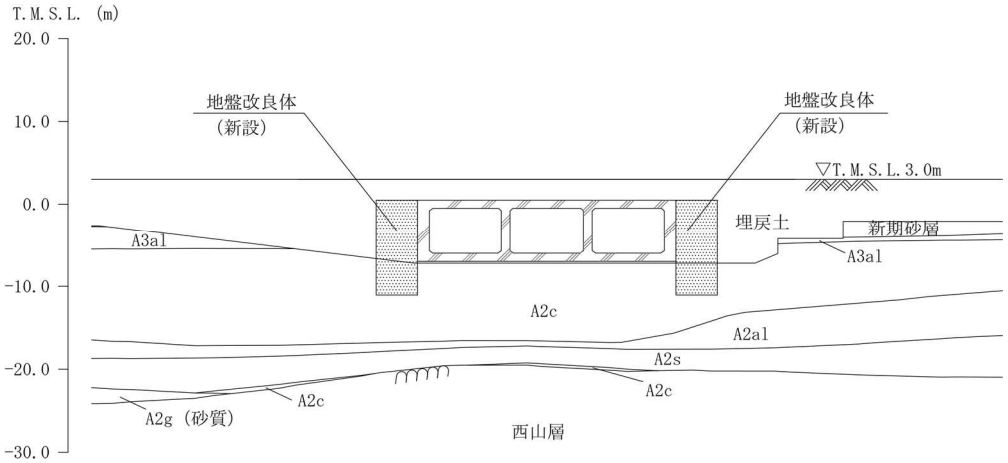
取水路（6 号機設備）は，非常時における海水の通水機能を求められる延長約 127m の鉄筋コンクリート造の地中埋設構造物であり，取水方向に複数の断面形状を示し，海側から漸縮部，一般部，漸拡部に分けられる。取水路（6 号機設備）は，十分な支持性能を有する古安田層*，又はマンメイドロックを介して西山層に支持される。

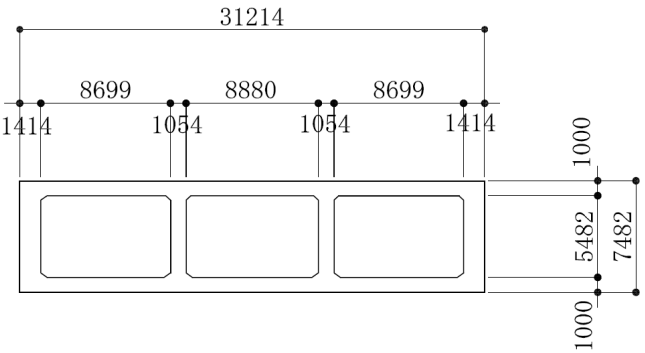
注記＊ ：本資料では，安田層下部層の MIS10～MIS7 と MIS6 の境界付近の堆積物を「古安田層」と仮称する。



（単位：mm）

図 2－2　取水路（6 号機設備）の平面図

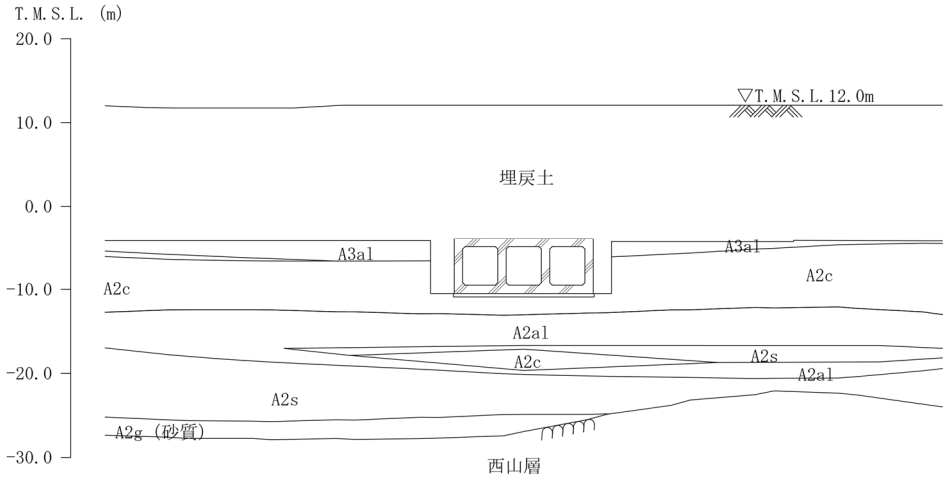


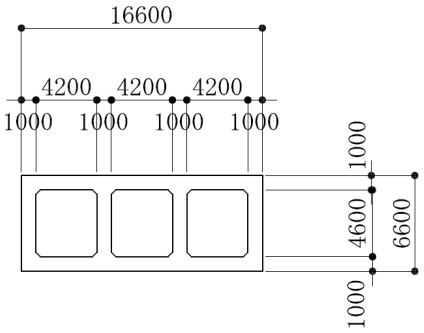


(単位：mm)

注 ：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2－3（1） 取水路（6 号機設備）の断面図（漸縮部 Ａ－Ａ断面）





（単位：mm）

図 2－3（2） 取水路（6 号機設備）の断面図（一般部 Ｂ－Ｂ断面）

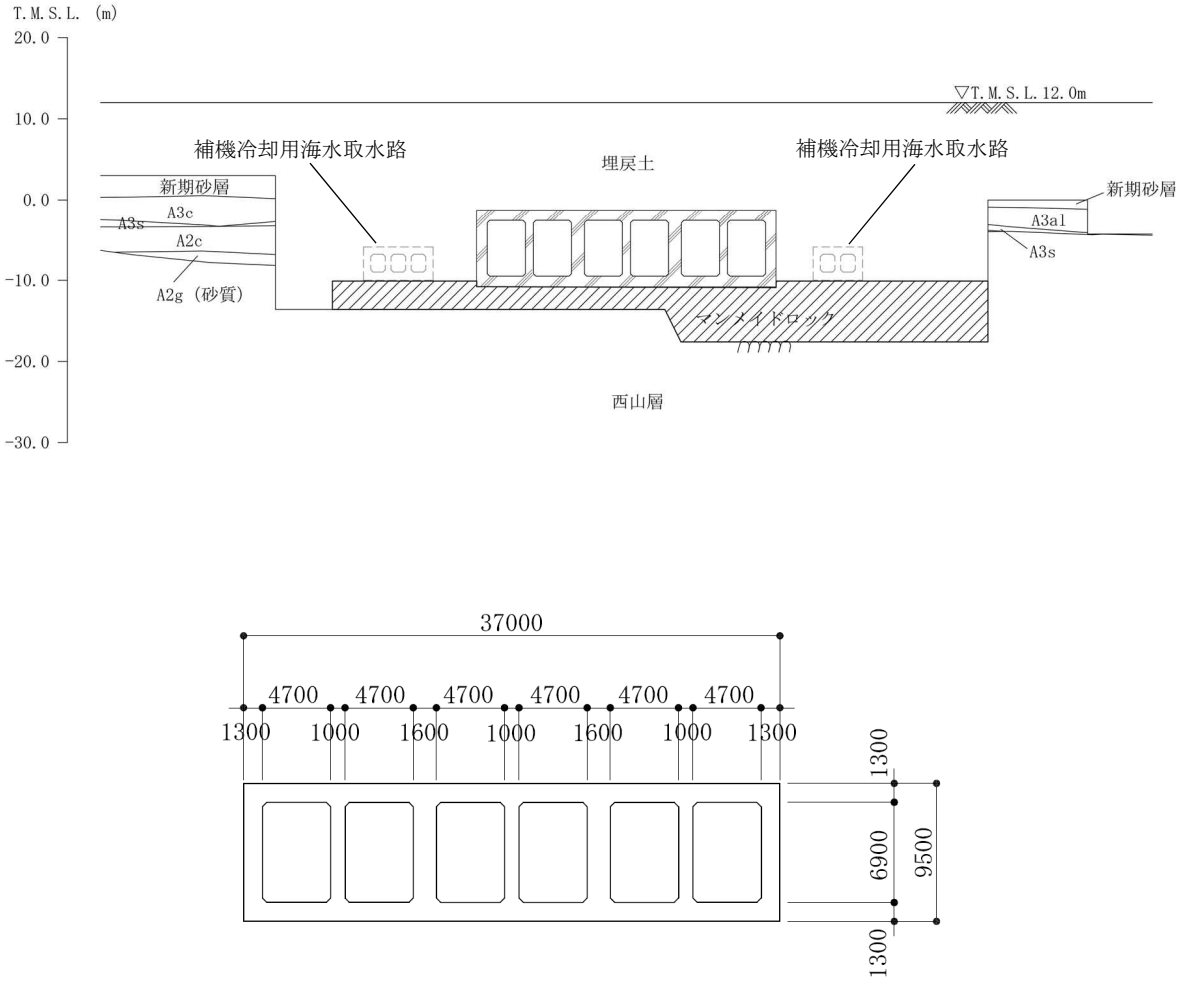
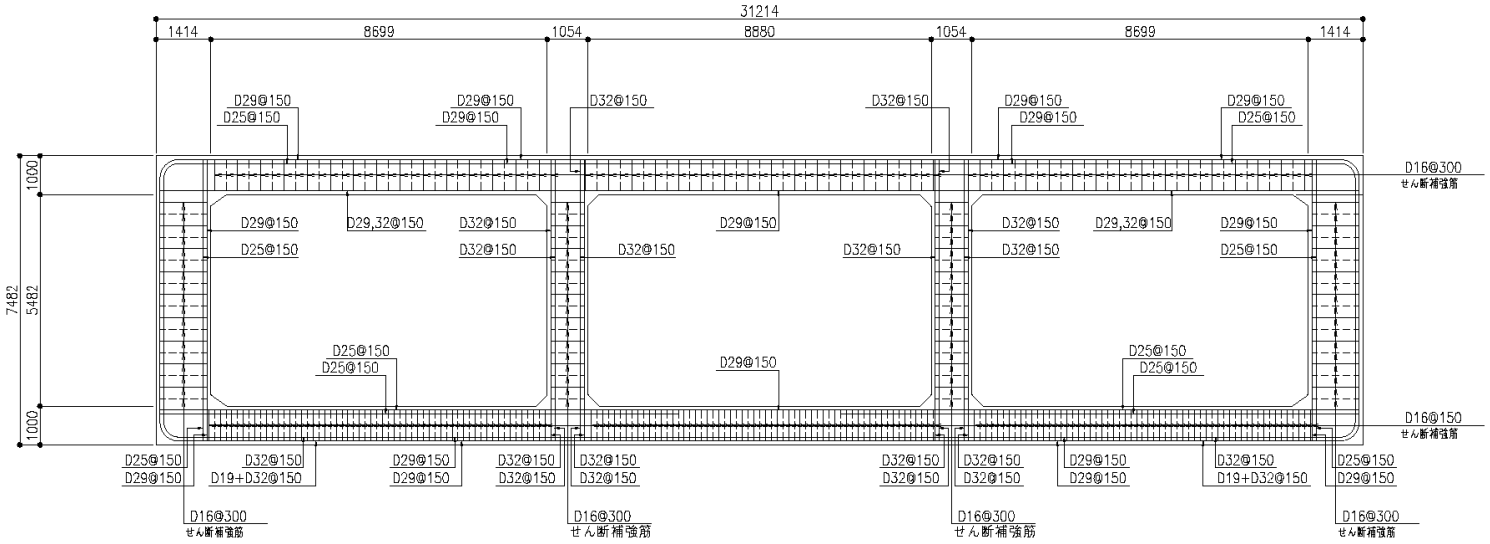
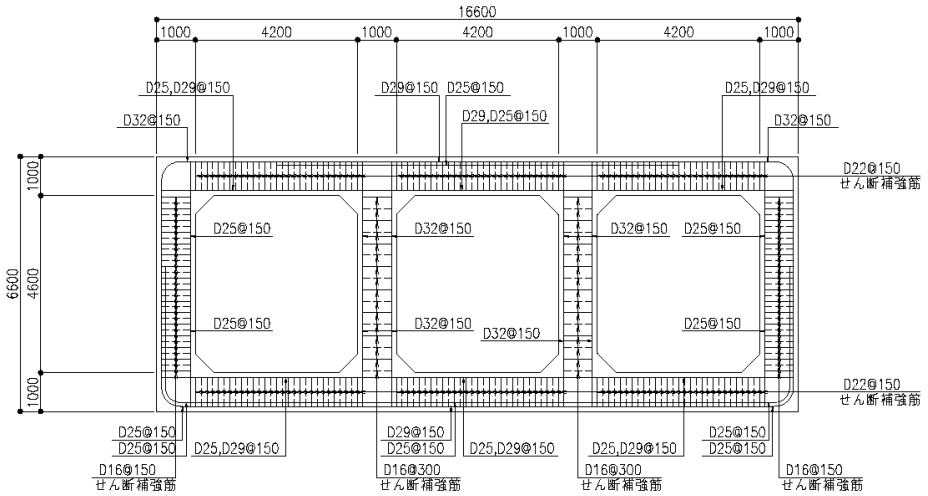


図 2－3（3） 取水路（6 号機設備）の断面図（漸拡部 C－C断面）



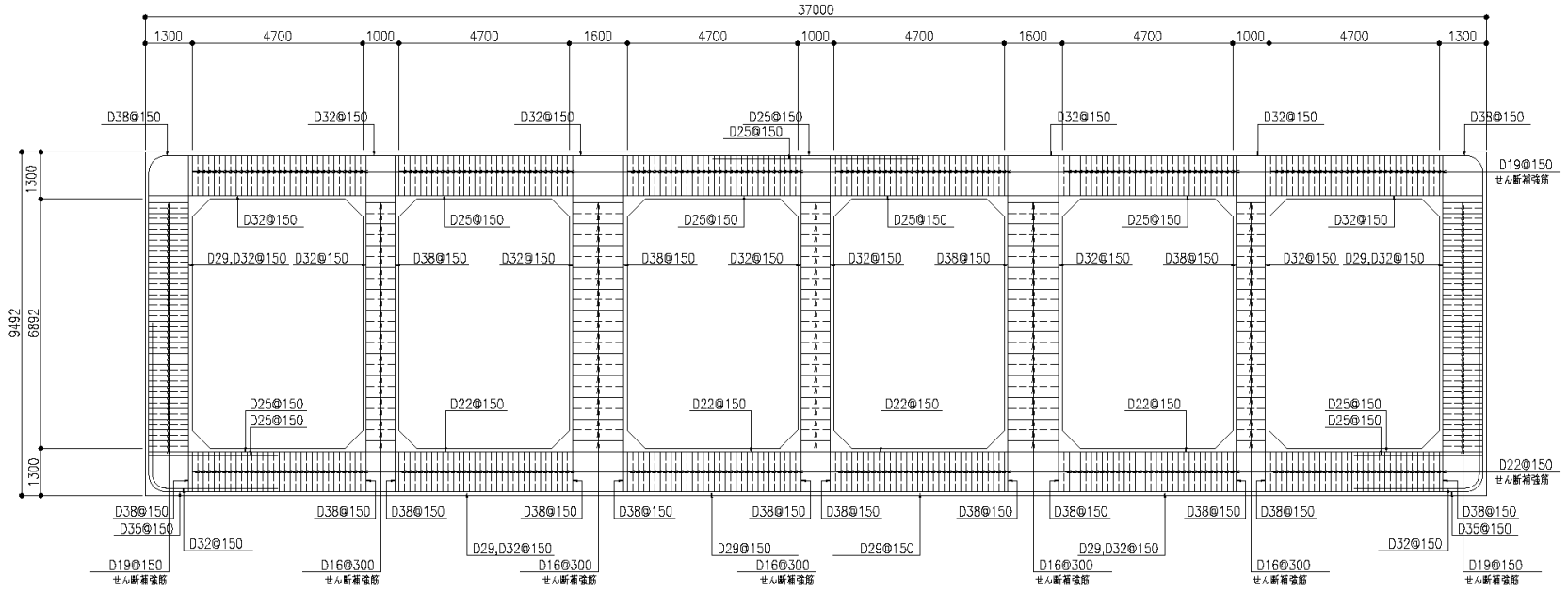
（単位：mm）

図 2－4（1） 取水路（6 号機設備）の概略配筋図（漸縮部 Ａ－Ａ断面）



（単位：mm）

図 2－4（2） 取水路（6 号機設備）の概略配筋図（一般部 Ｂ－Ｂ断面）



（単位：mm）

図 2－4 (3) 取水路（6 号機設備）の概略配筋図（漸拡部 C－C断面）

2.3 評価方針

取水路（6 号機設備）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（6 号機設備）の耐震評価は，地震応答解析の結果に基づき，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（6 号機設備）の耐震評価フローを図 2－4 に示す。

表 2－1　取水路（6 号機設備）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	極限支持力度* 又は極限支持力度*	

注記＊　：妥当な安全余裕を考慮する。

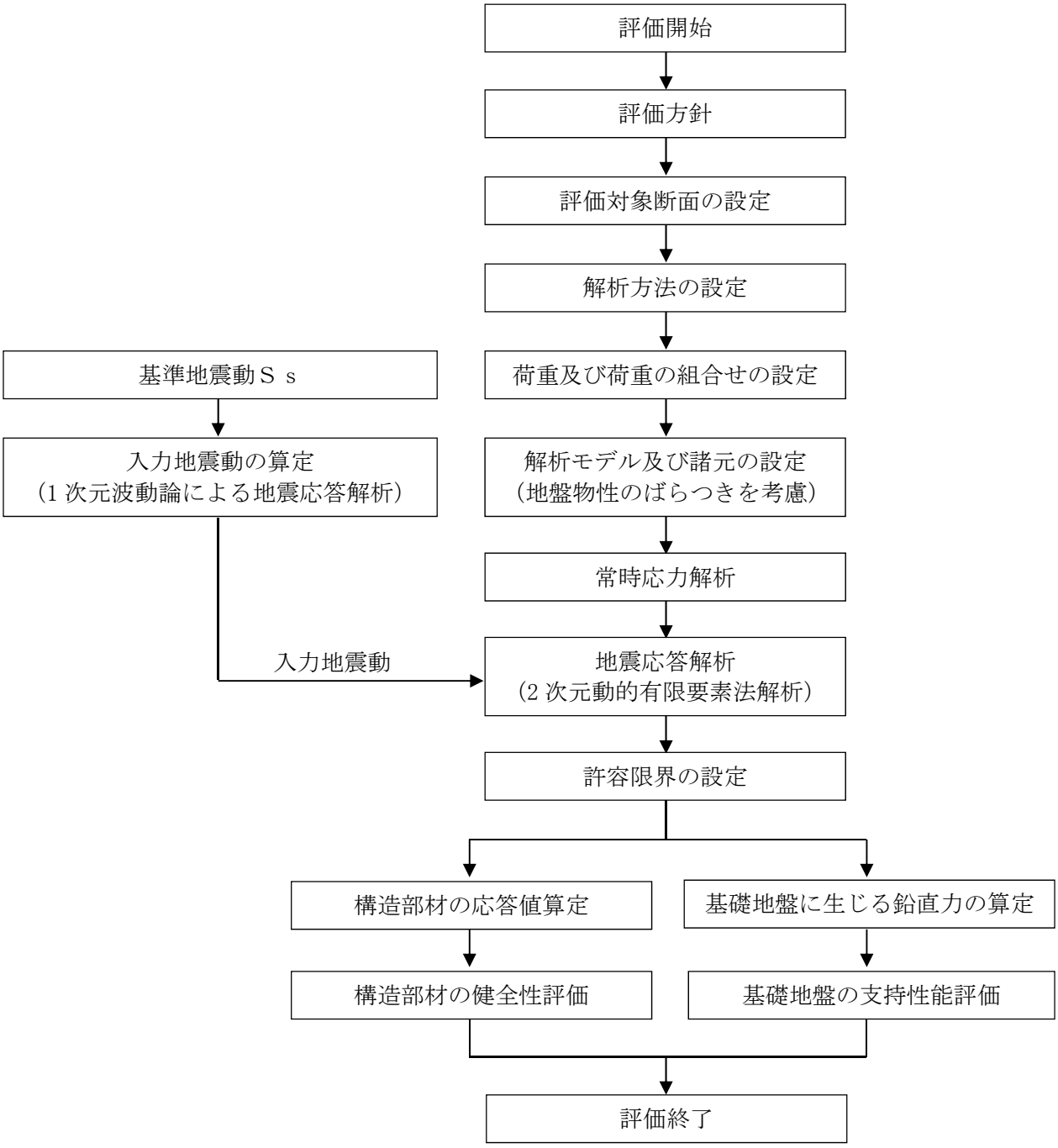


図 2－4　取水路（6 号機設備）の耐震評価フロー

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）

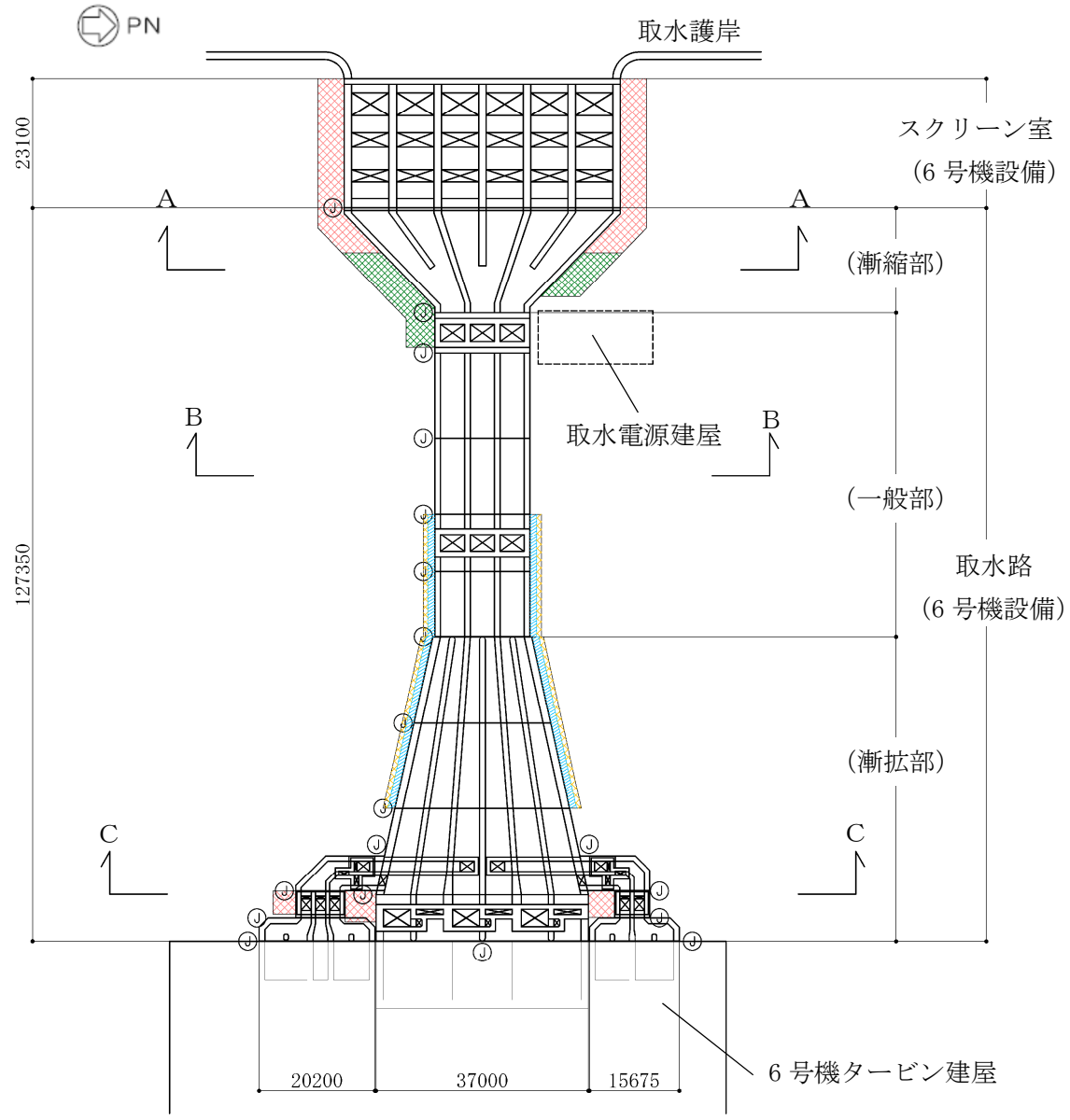
・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（日本電気協会）

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

取水路（6 号機設備）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。

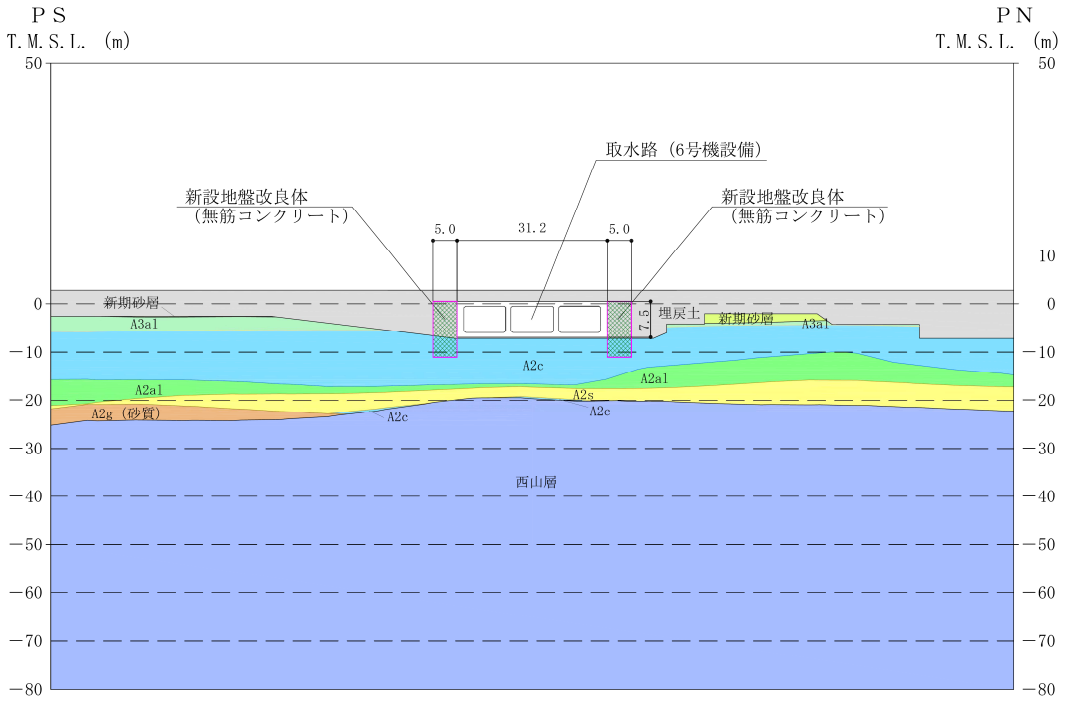


既設／新設	凡例	地 盤 改 良 工 法
新設地盤改良体		高圧噴射
		無筋コンクリート
		置換（地中連続壁）
		機械攪拌

（単位：mm）

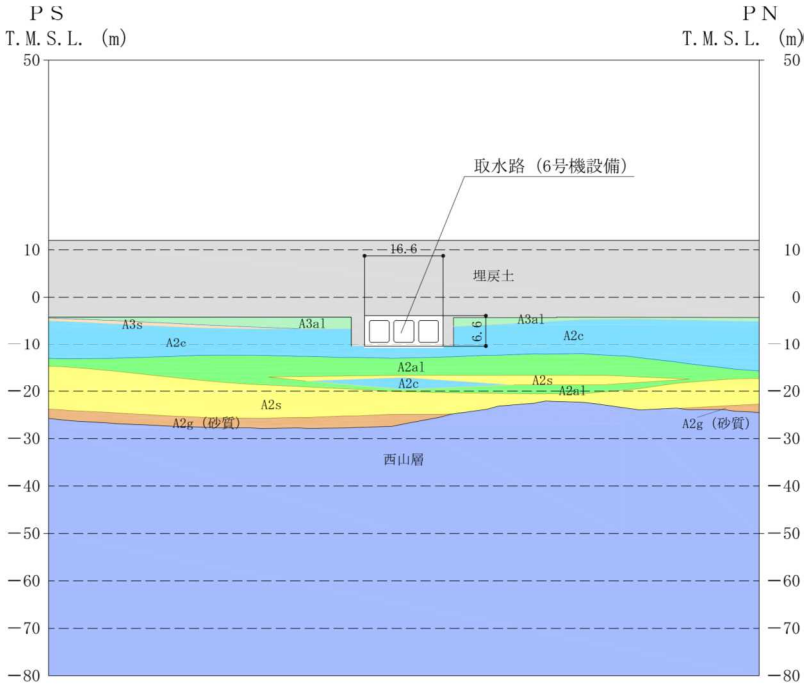
注：置換工法（地中連続壁），機械攪拌工法の施工範囲の内，地上構造物及び埋設構造物がある箇所では，高圧噴射を適用

図 3－1　取水路（6 号機設備）の評価対象断面位置図



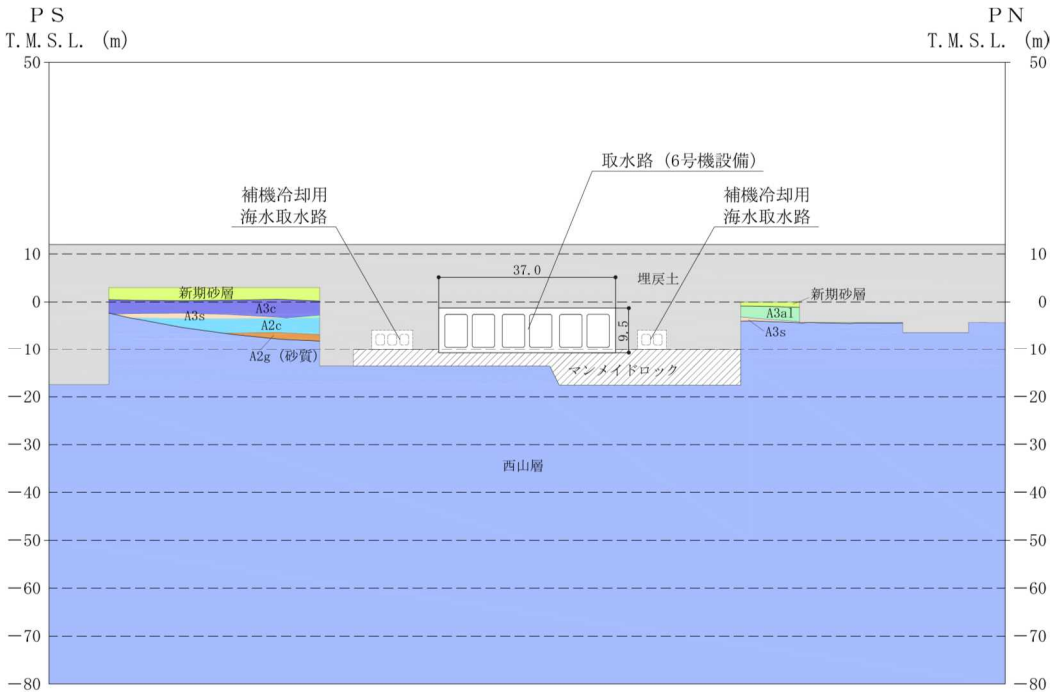
（単位：m）

図 3－2（1） 取水路（6 号機設備）の評価対象断面図（Ａ－Ａ断面）



（単位：m）

図 3－2（2） 取水路（6 号機設備）の評価対象断面図（Ｂ－Ｂ断面）



（単位：m）

図 3－2（3） 取水路（6 号機設備）の評価対象断面図（Ｃ－Ｃ断面）

3.2　解析方法

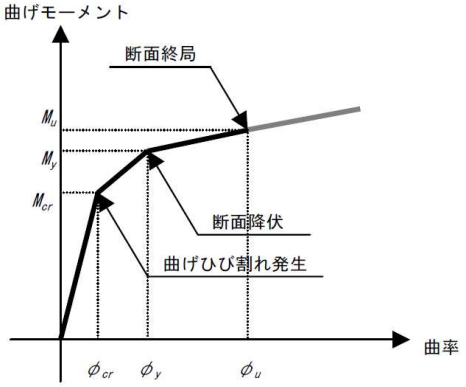
取水路（6 号機設備）の地震応答解析は，Ⅴ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち，「2.3 屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

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Ｓｓ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－φ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。

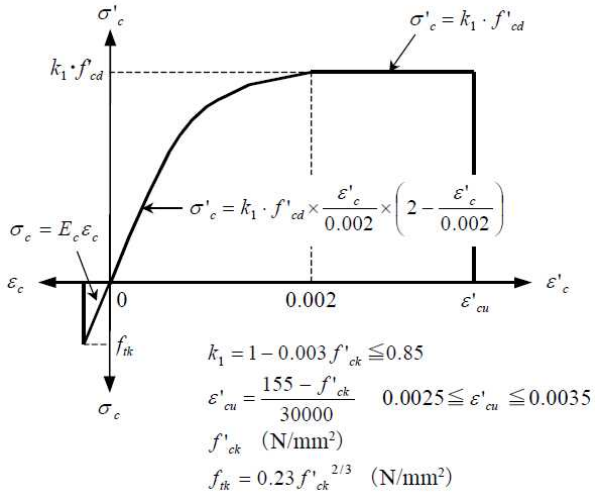
3.2.1　構造部材

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。



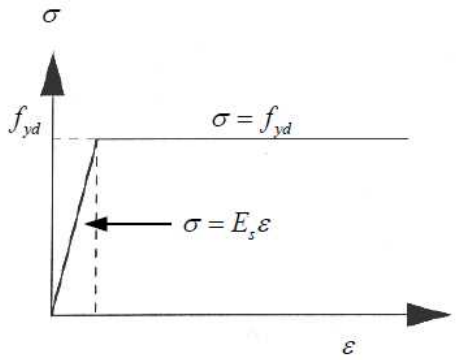
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005 年）より引用）

図 3－3　鉄筋コンクリート部材のＭ－φ関係



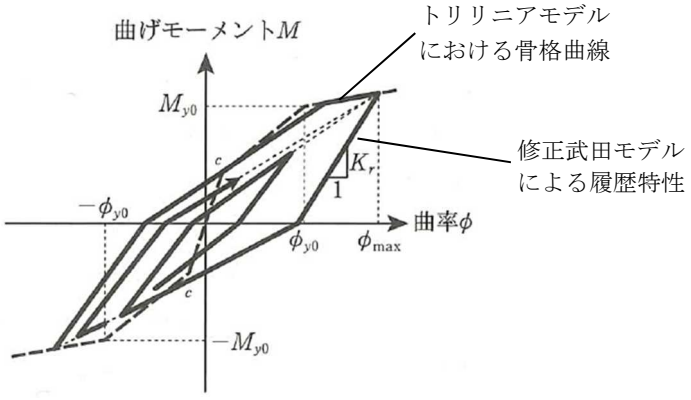
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005 年）より引用）

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，α＝0，β＝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Ｓｓ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（6 号機設備）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（6 号機設備）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（Ｓｓ）

基準地震動Ｓｓ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（Ｓｓ）	Ｇ＋Ｐ＋Ｓｓ

Ｇ　：固定荷重

Ｐ　：積載荷重

Ｓｓ：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Ｓｓ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。

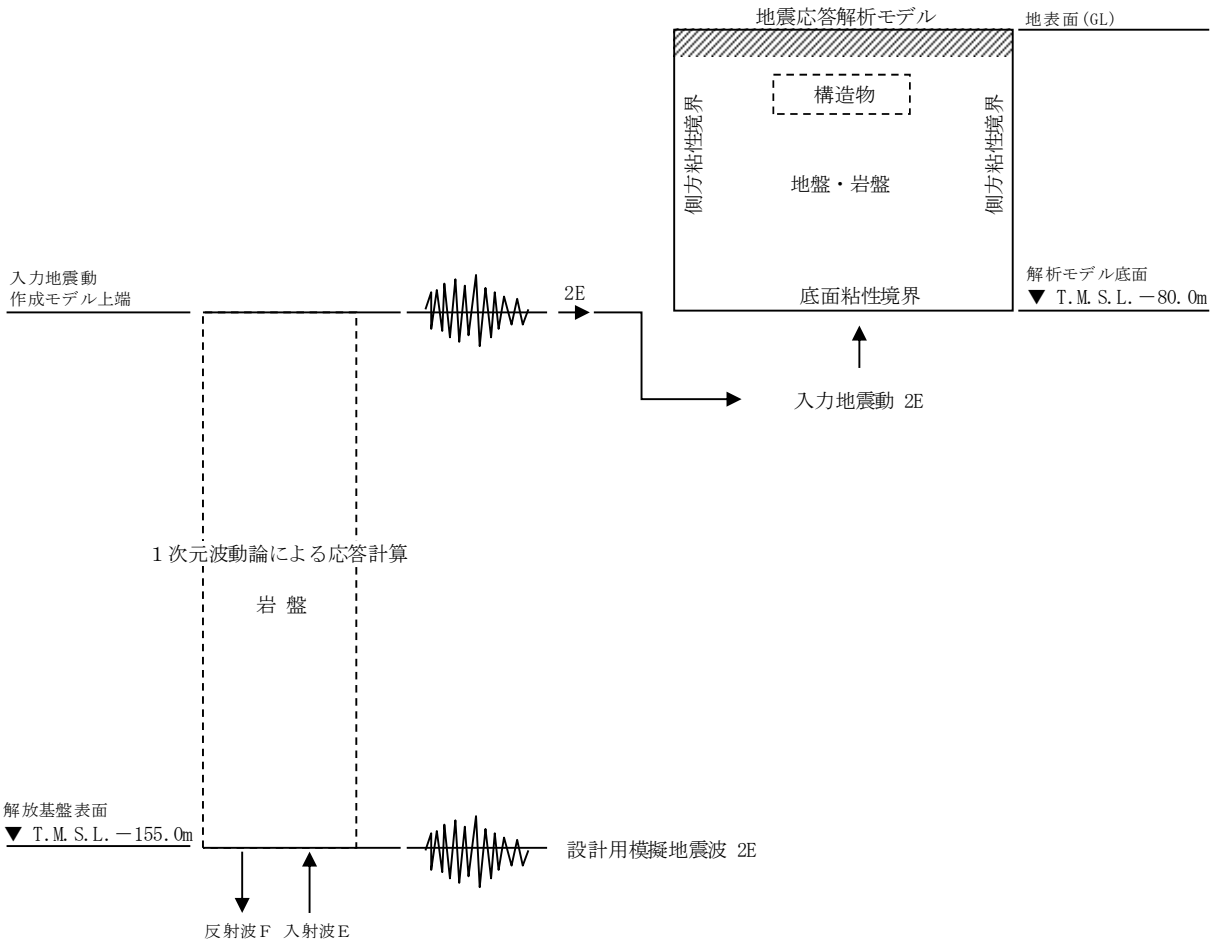
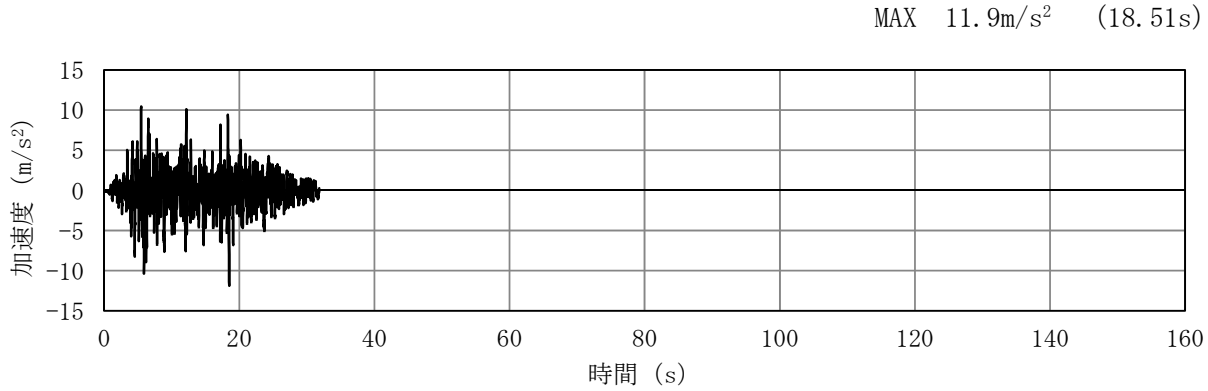
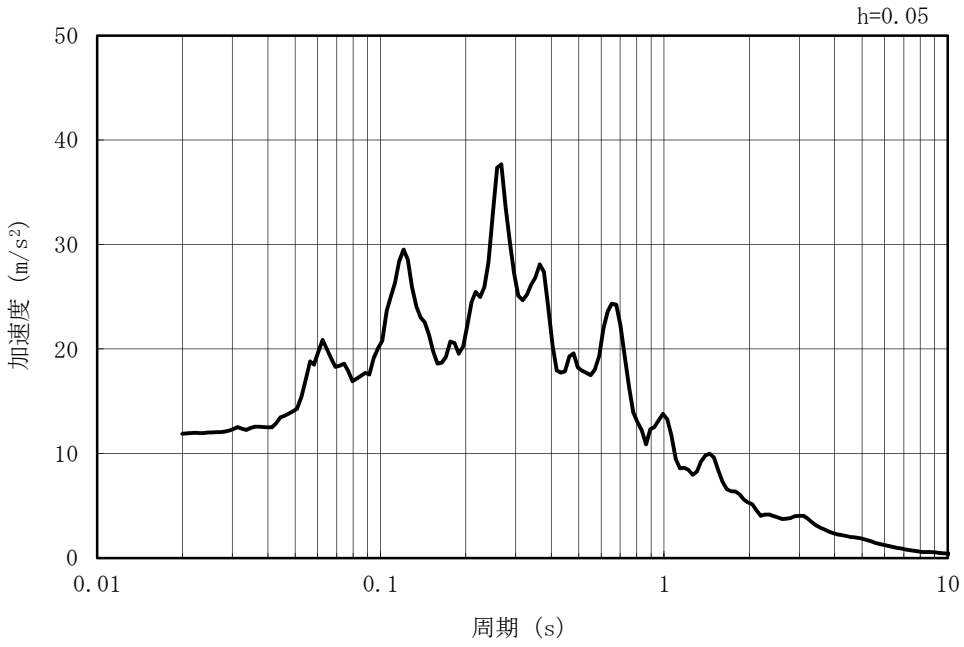


図 3－5　入力地震動算定の概念図

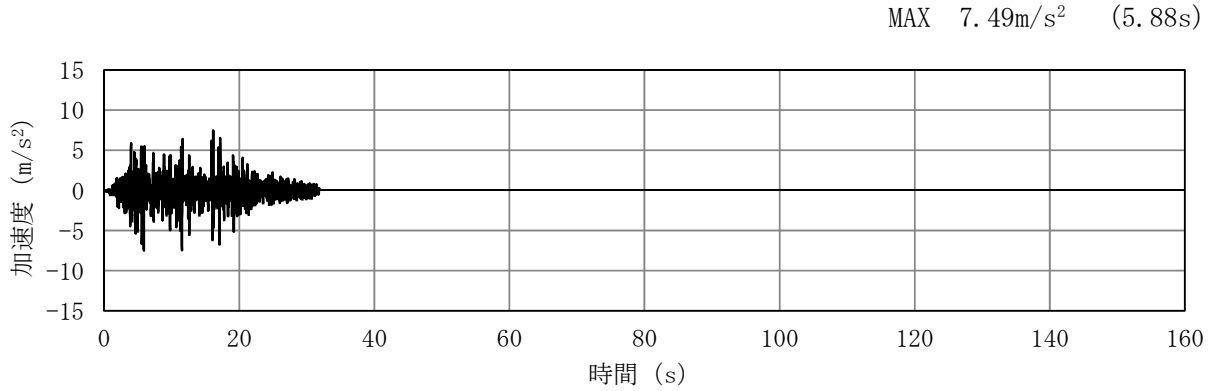


(a)　加速度時刻歴波形

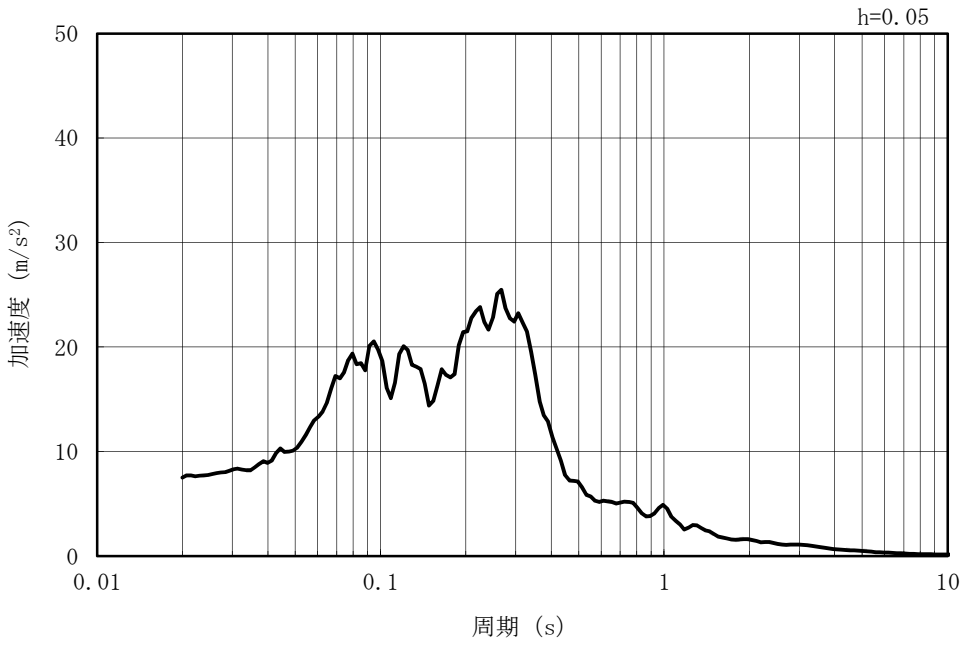


(b)　加速度応答スペクトル

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）

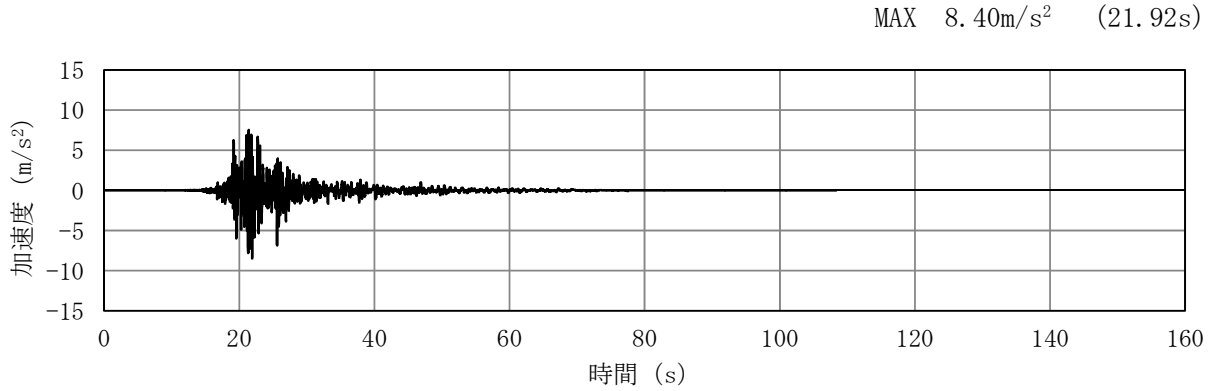


(a)　加速度時刻歴波形

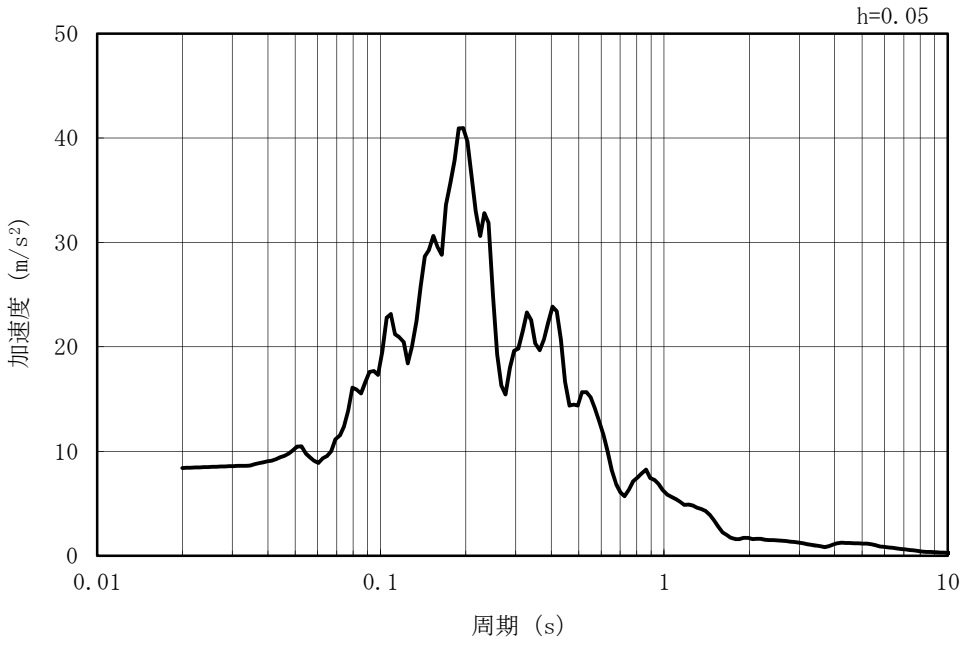


(b)　加速度応答スペクトル

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）

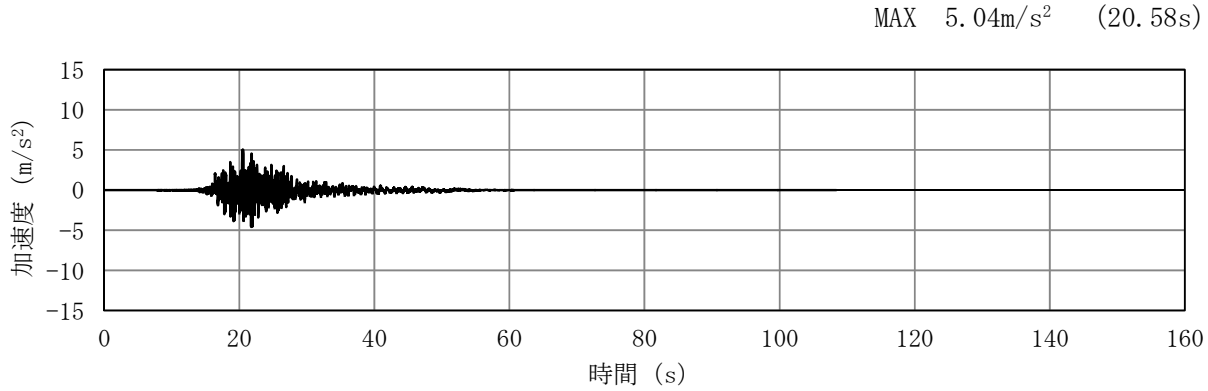


(a)　加速度時刻歴波形

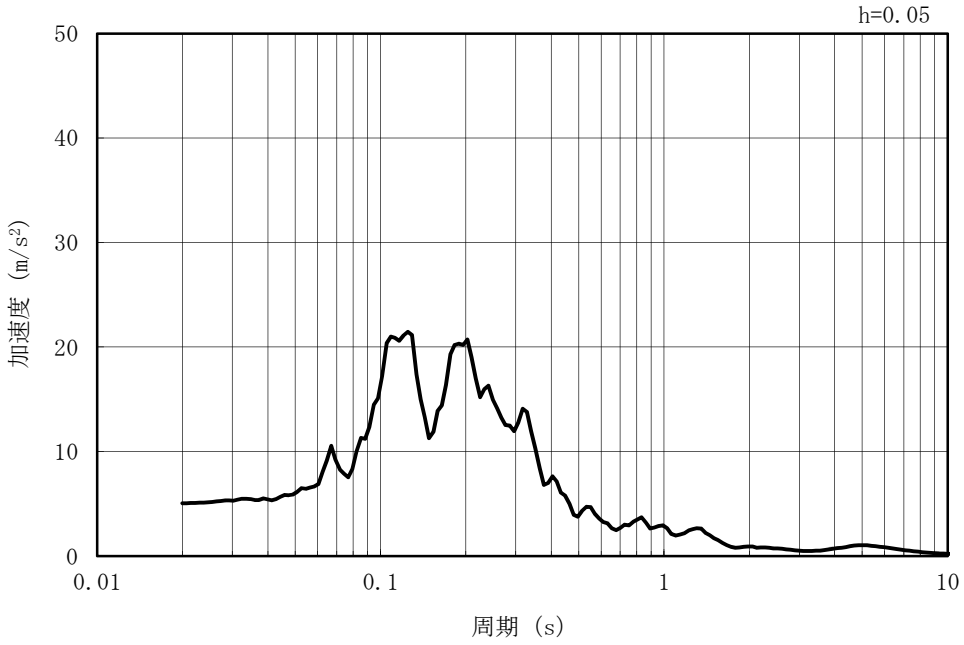


(b)　加速度応答スペクトル

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)

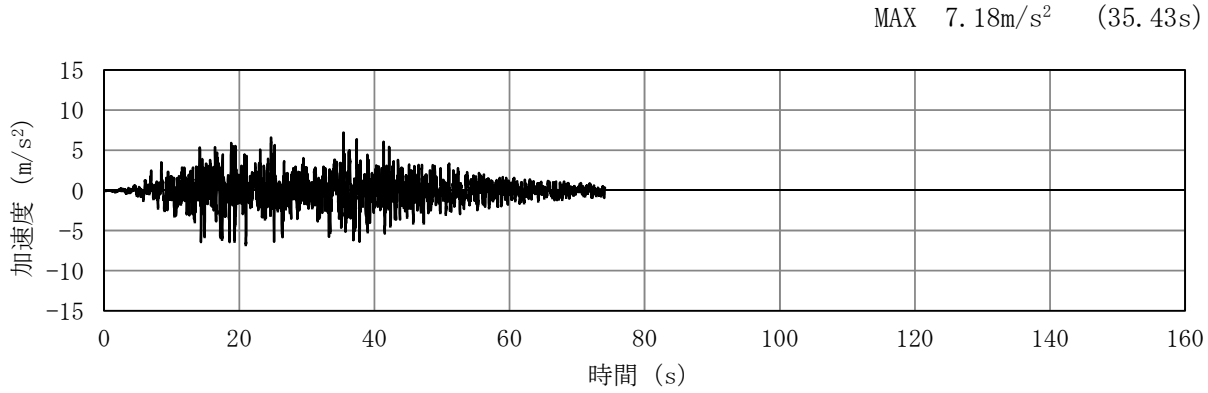


(a)　加速度時刻歴波形

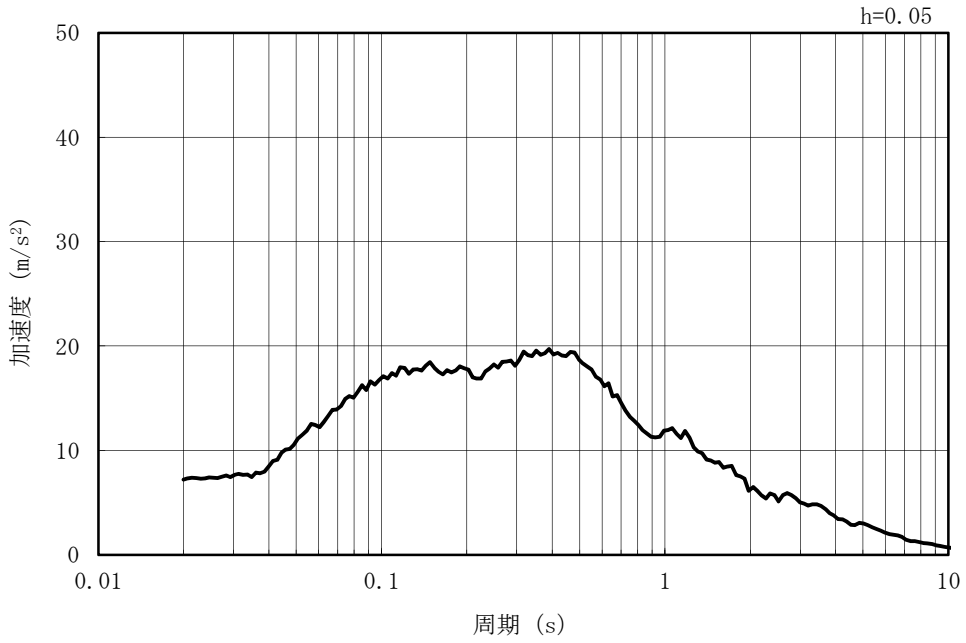


(b)　加速度応答スペクトル

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）

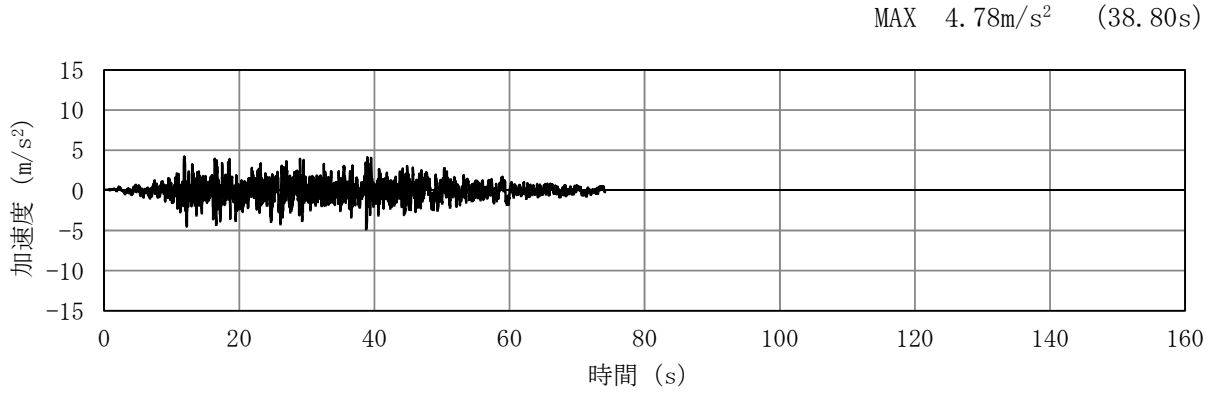


(a)　加速度時刻歴波形

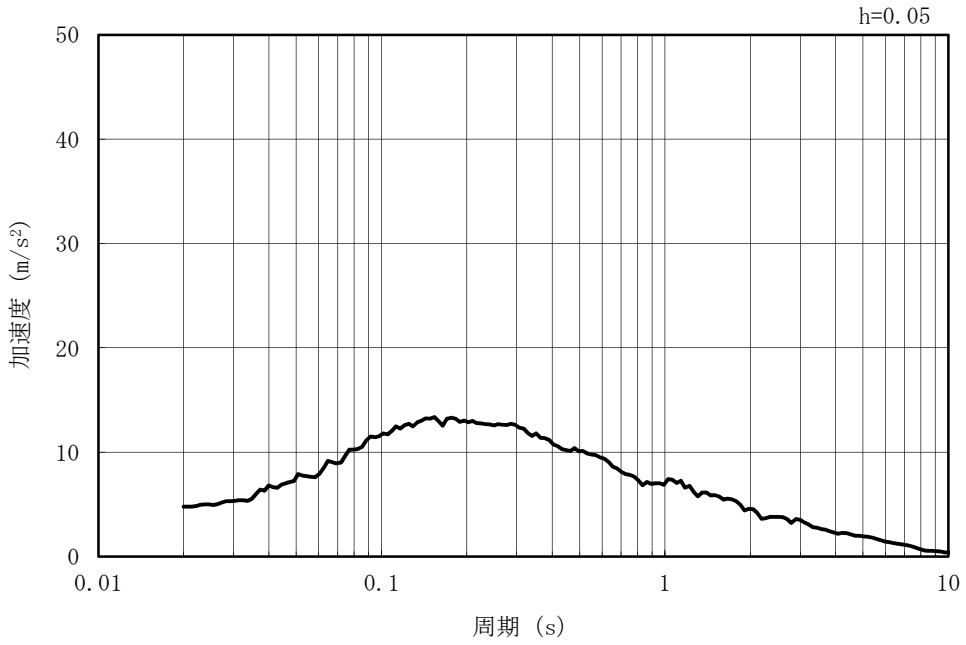


(b)　加速度応答スペクトル

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）

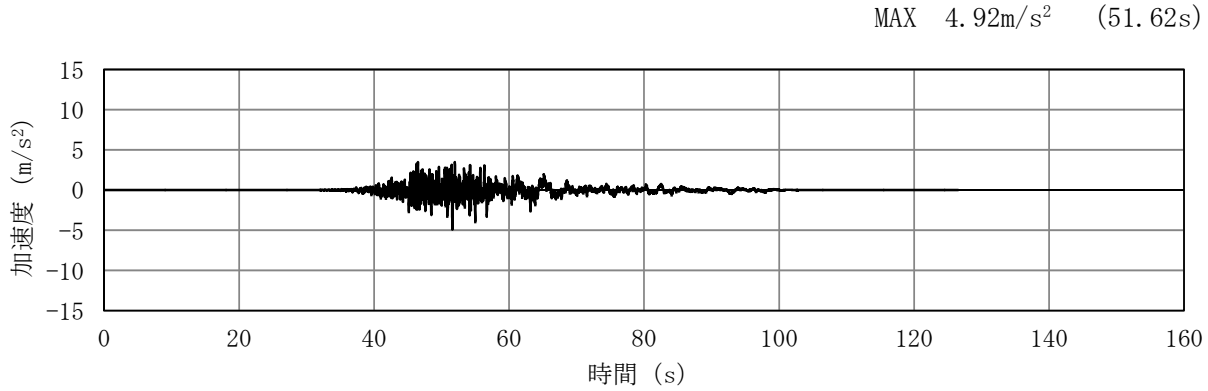


(a)　加速度時刻歴波形

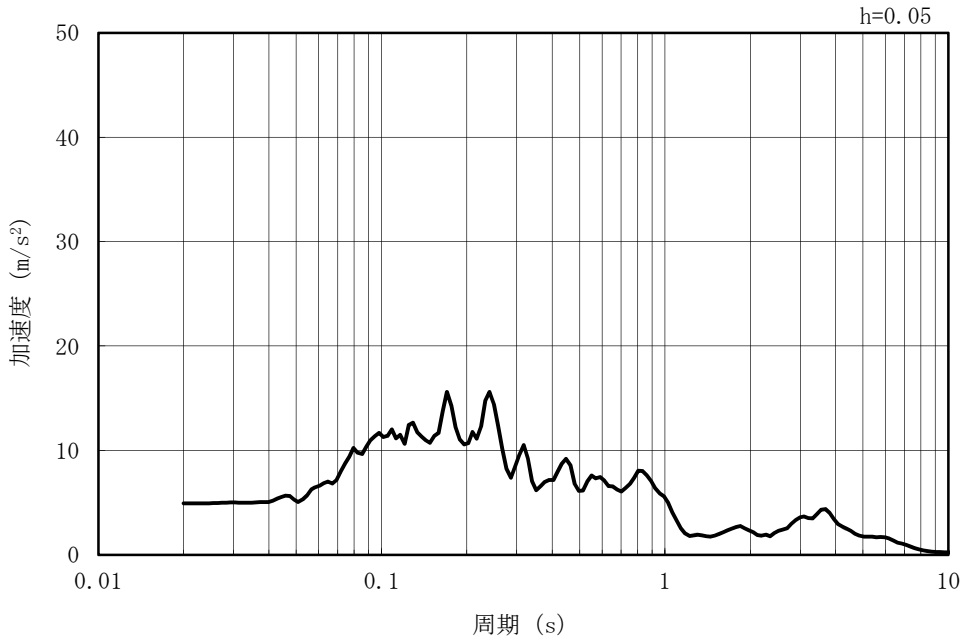


(b)　加速度応答スペクトル

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）

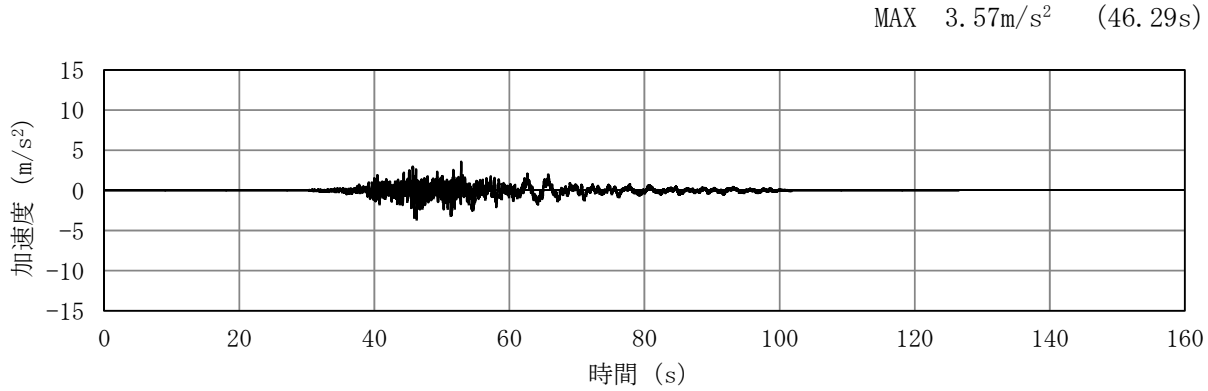


(a)　加速度時刻歴波形

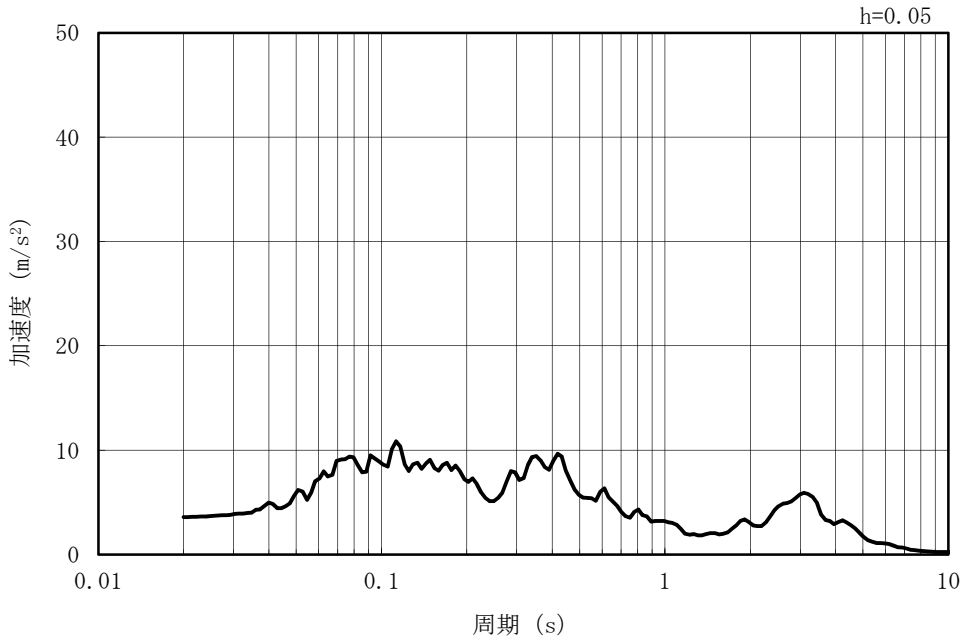


(b)　加速度応答スペクトル

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）

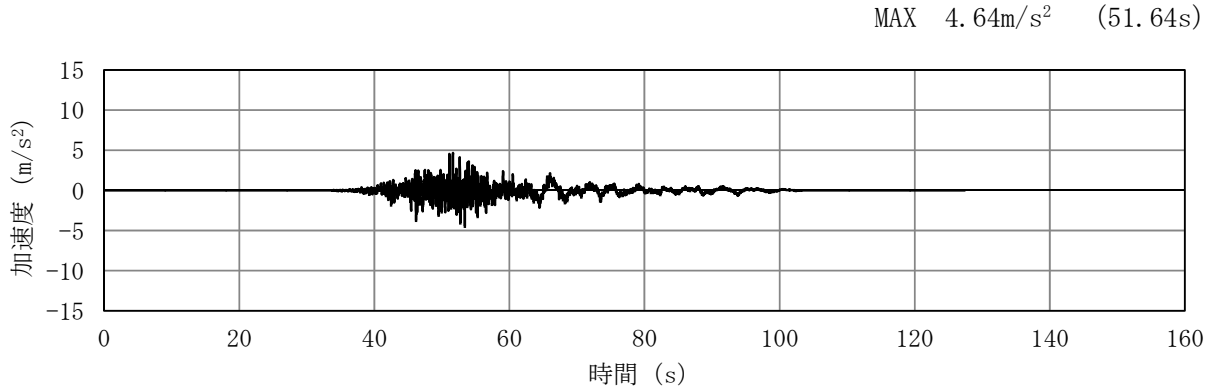


(a)　加速度時刻歴波形

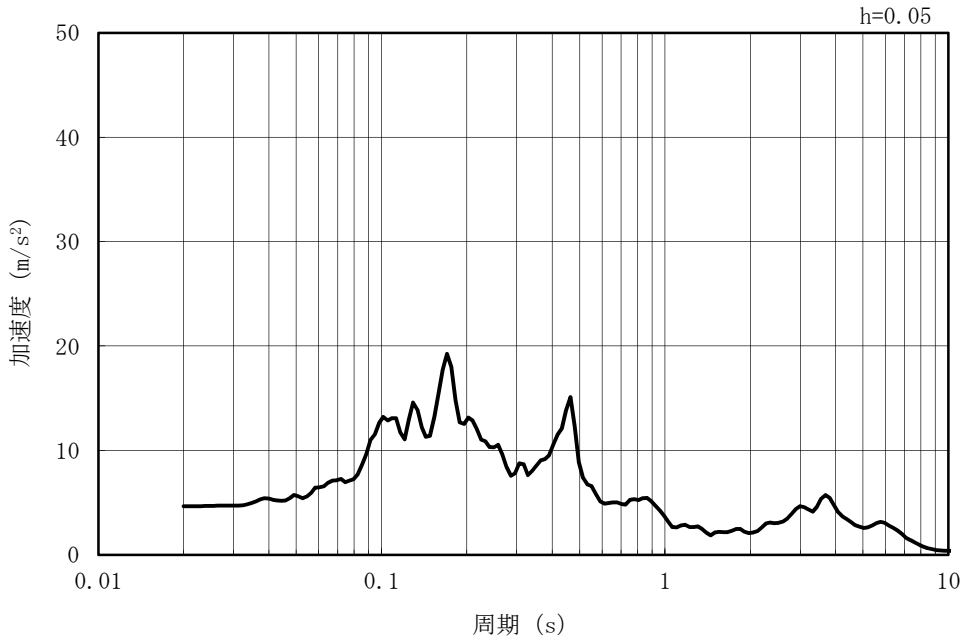


(b)　加速度応答スペクトル

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)

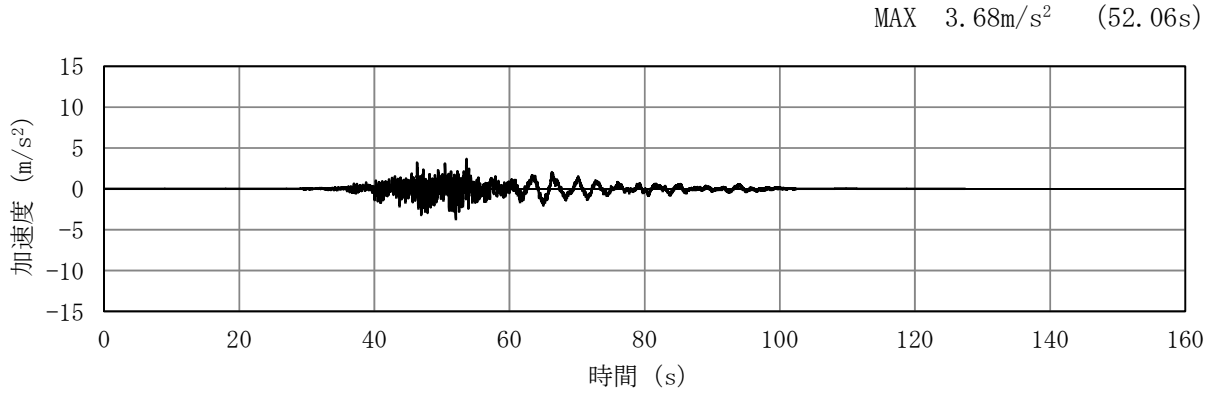


(a)　加速度時刻歴波形

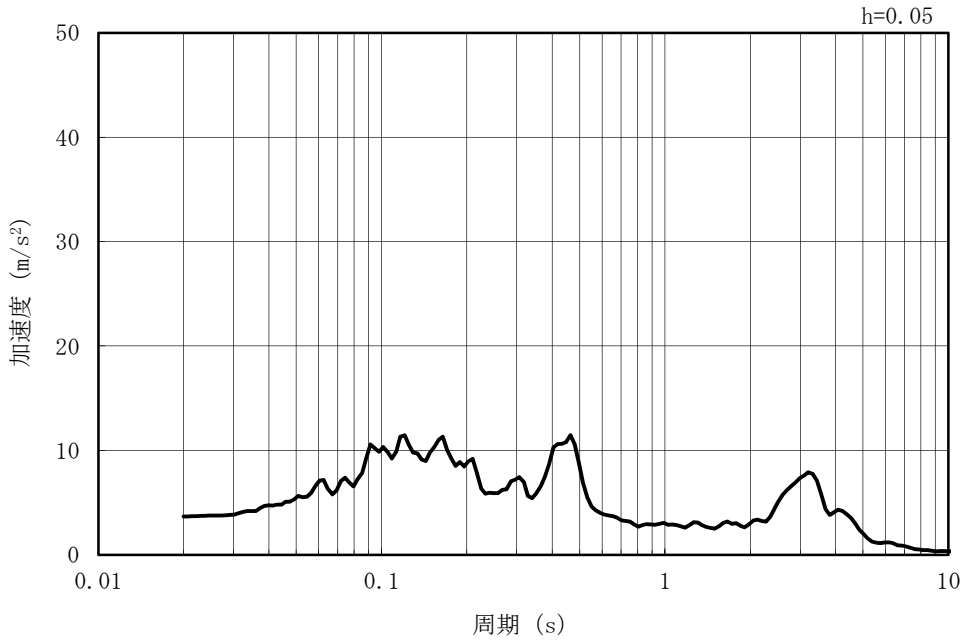


(b)　加速度応答スペクトル

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)

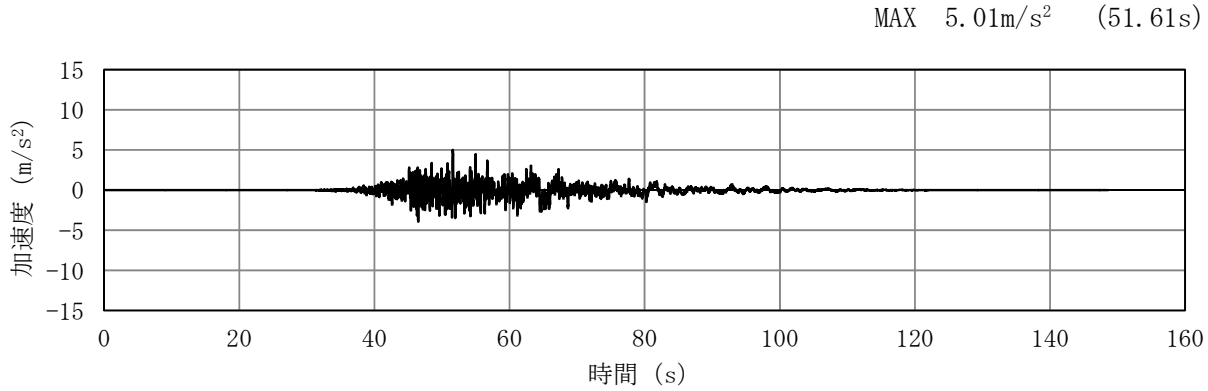


(a)　加速度時刻歴波形

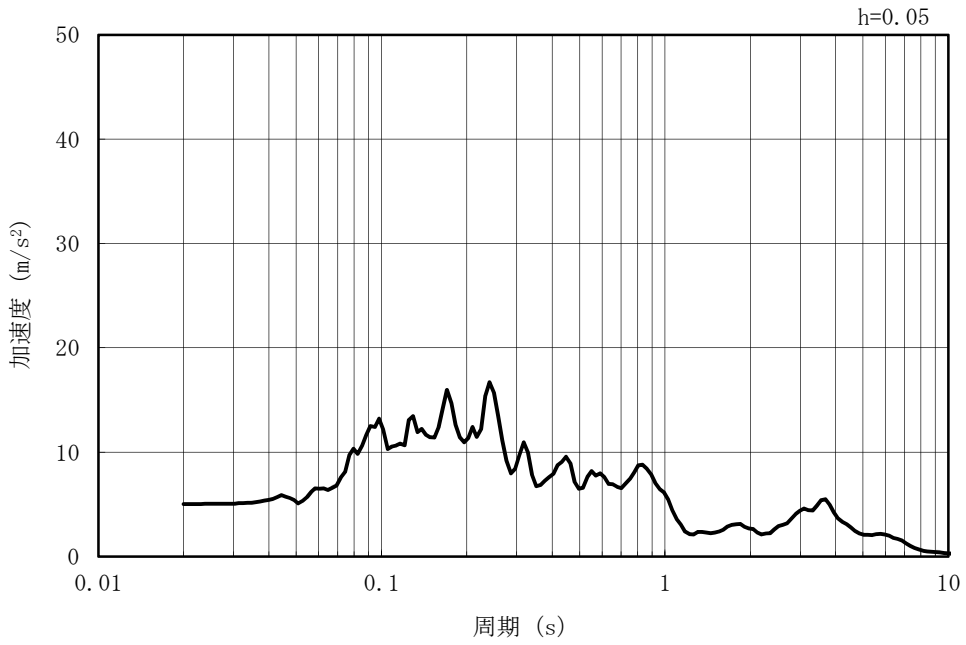


(b)　加速度応答スペクトル

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）

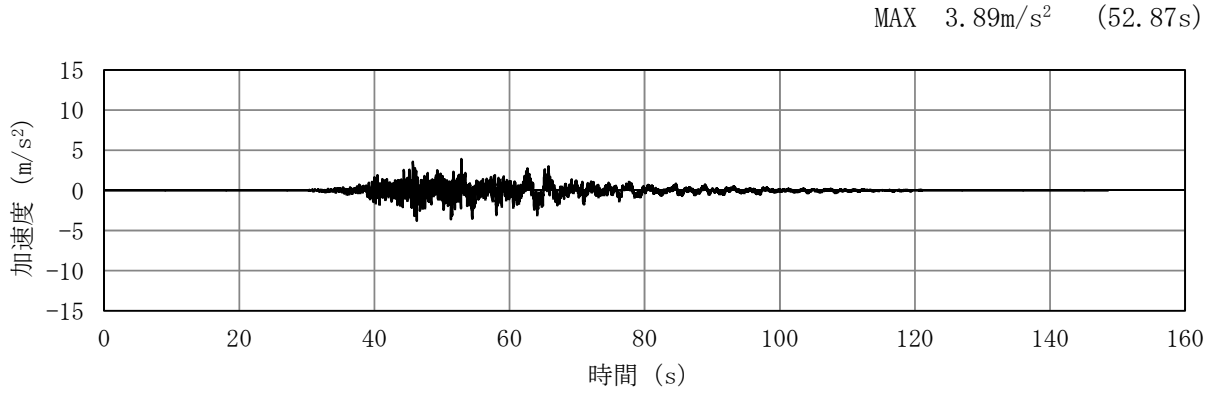


(a)　加速度時刻歴波形

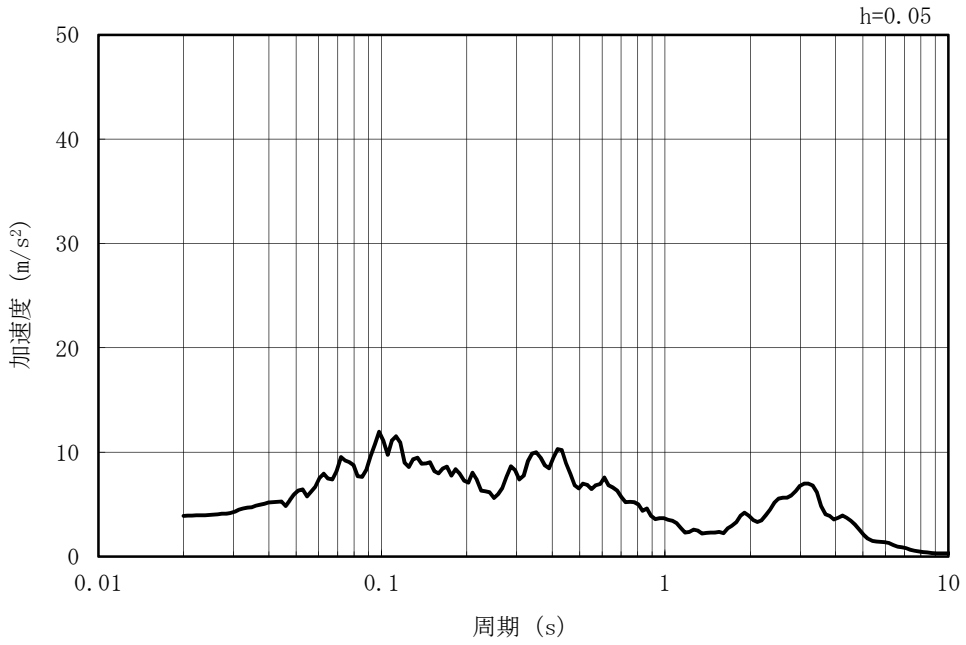


(b)　加速度応答スペクトル

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）

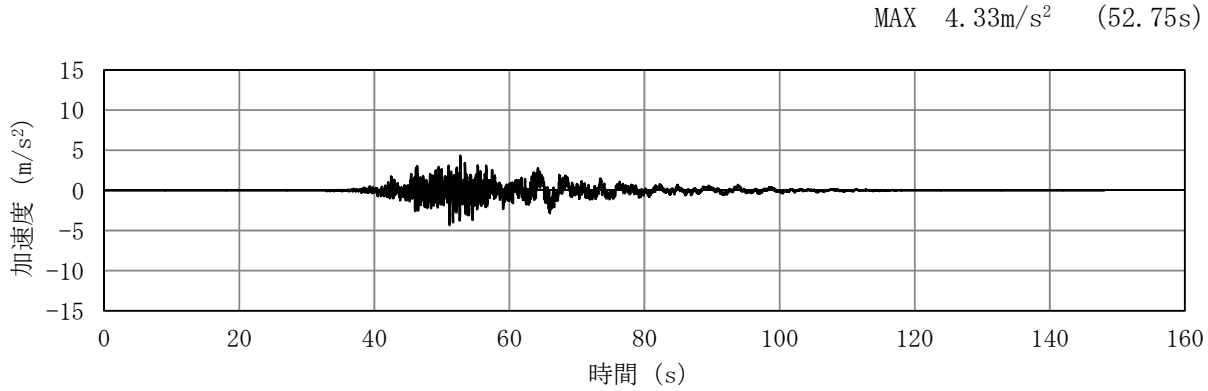


(a)　加速度時刻歴波形

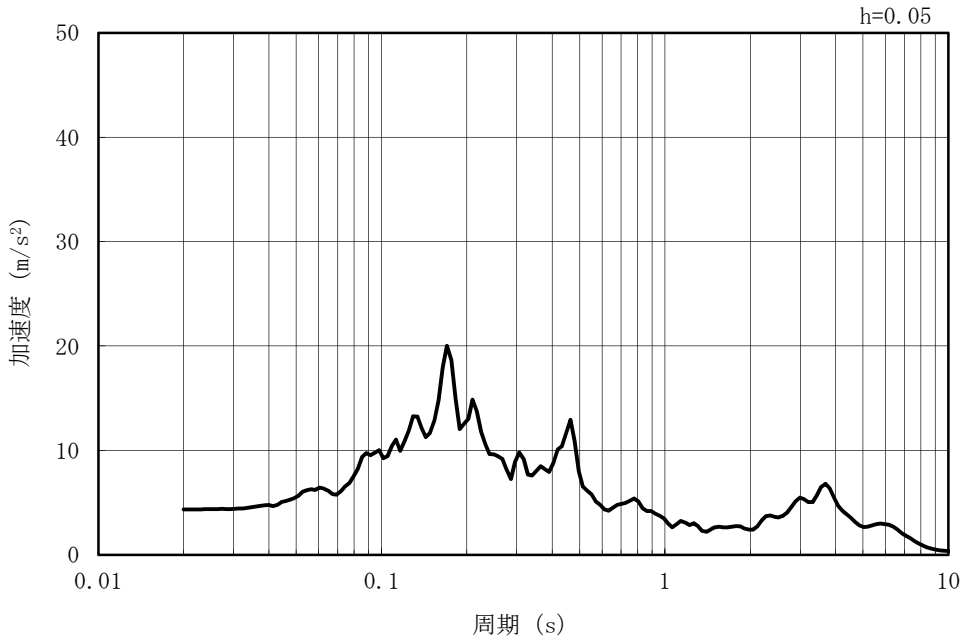


(b)　加速度応答スペクトル

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）

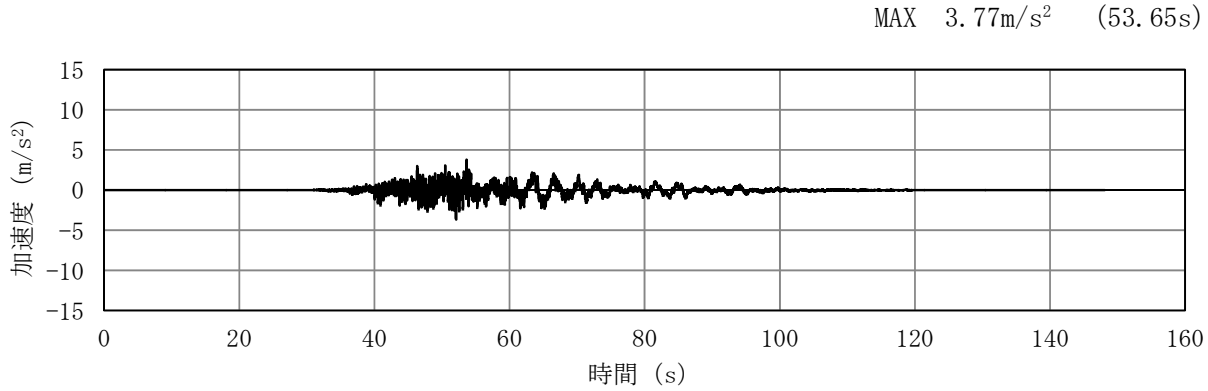


(a)　加速度時刻歴波形

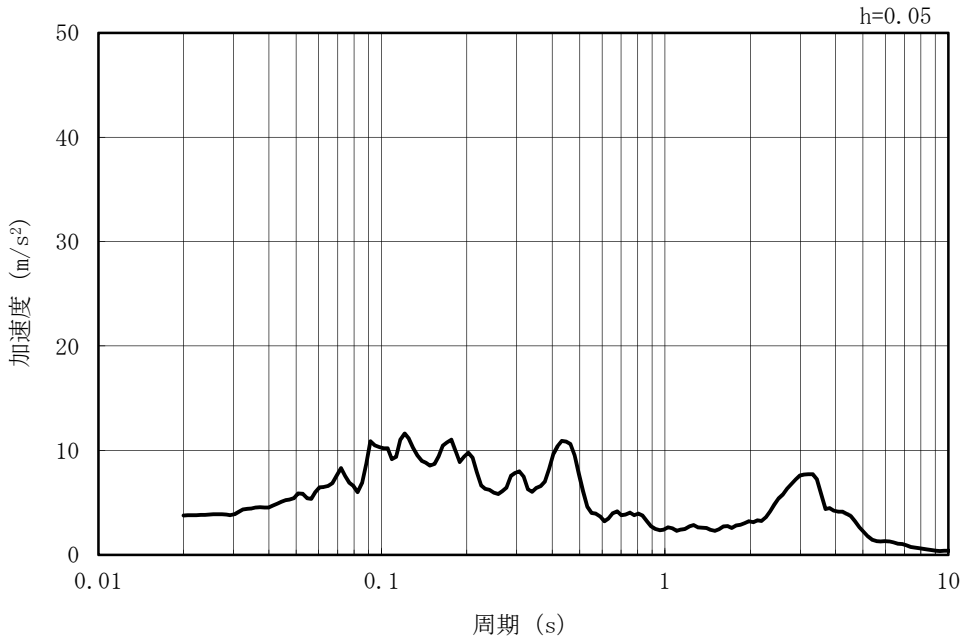


(b)　加速度応答スペクトル

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）

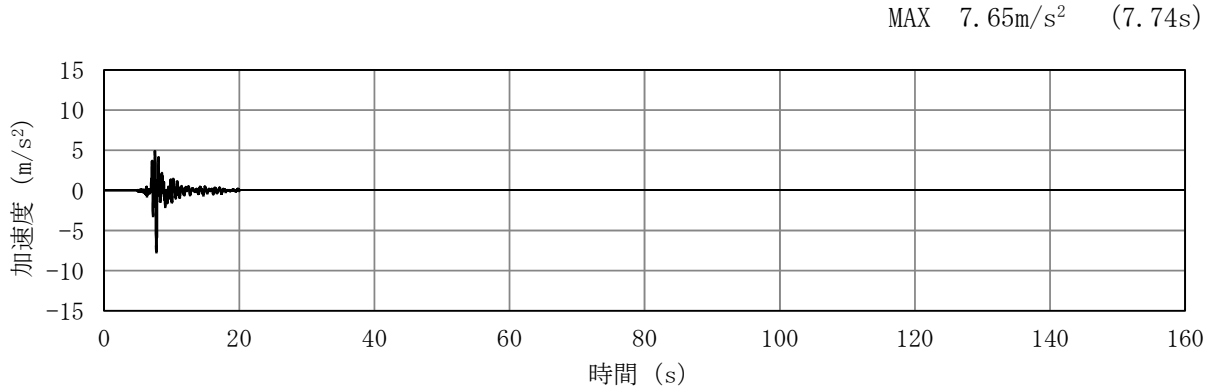


(a)　加速度時刻歴波形

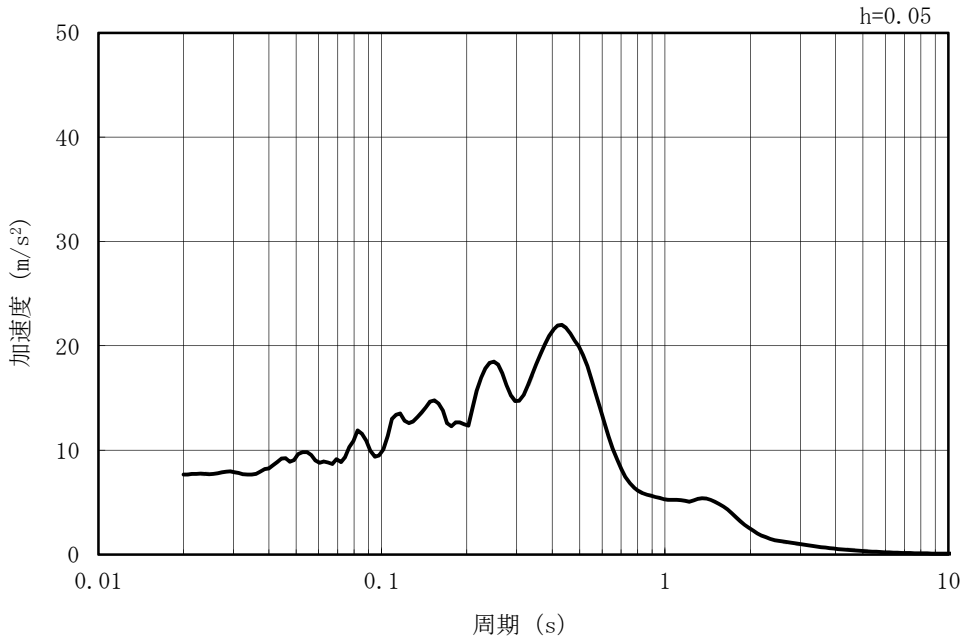


(b)　加速度応答スペクトル

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）

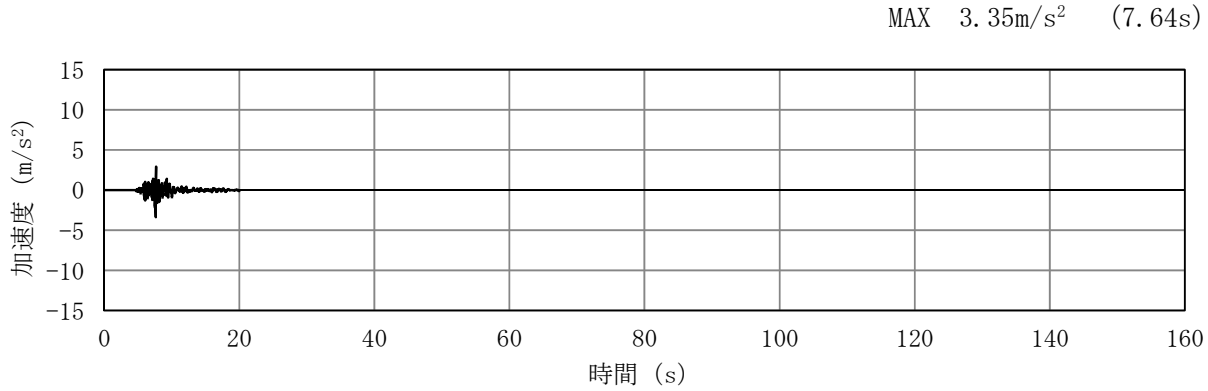


(a)　加速度時刻歴波形

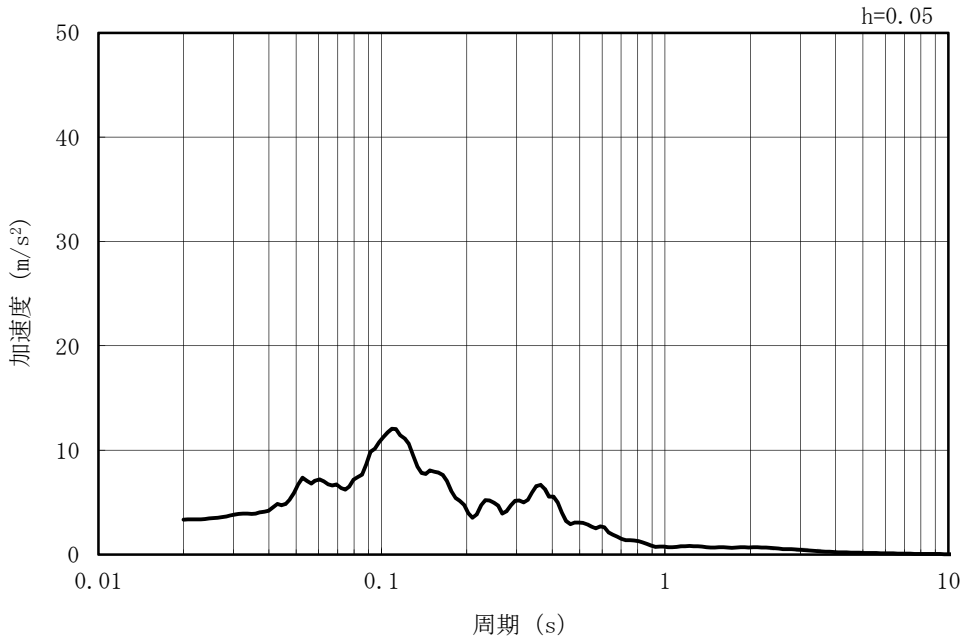


(b)　加速度応答スペクトル

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（6 号機設備）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（6 号機設備）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。

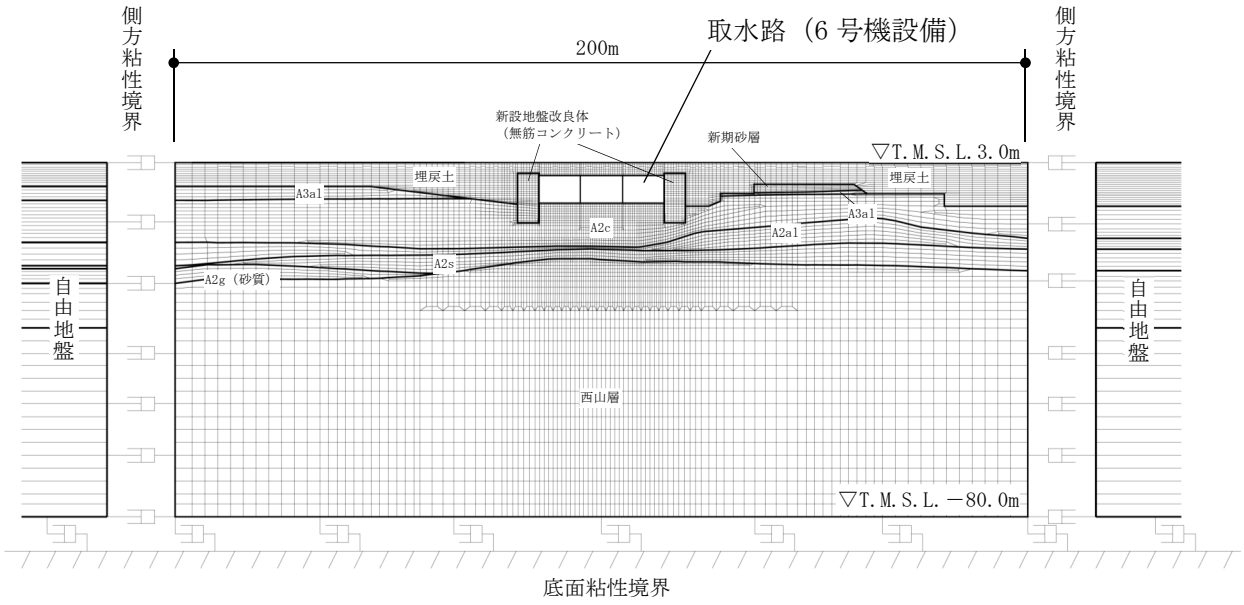


図 3－7（1） 取水路（6 号機設備）の地震応答解析モデル（Ａ－Ａ断面）

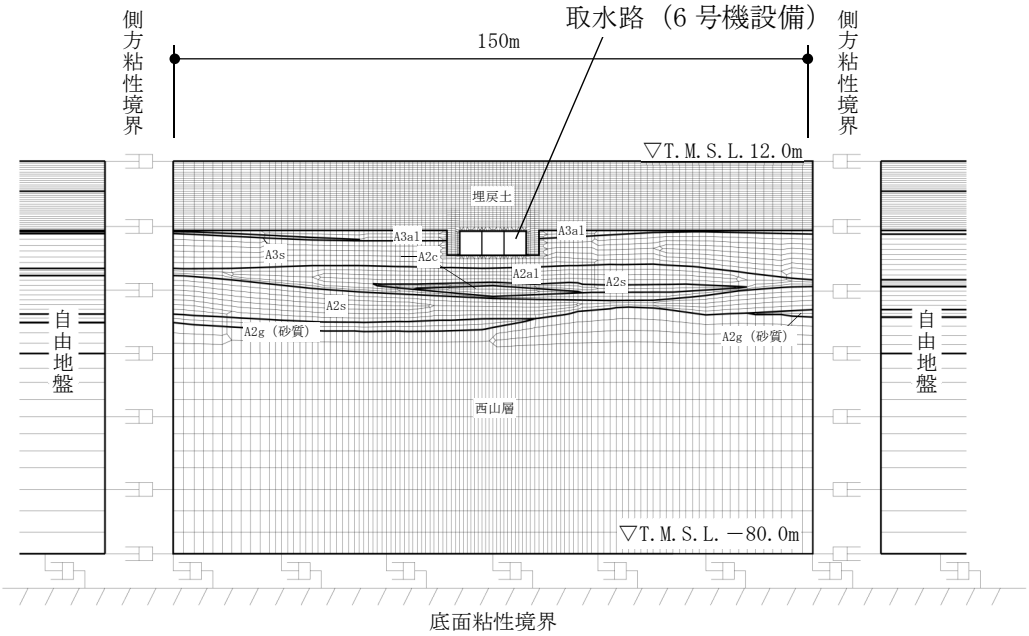


図 3－7（2） 取水路（6 号機設備）の地震応答解析モデル（Ｂ－Ｂ断面）

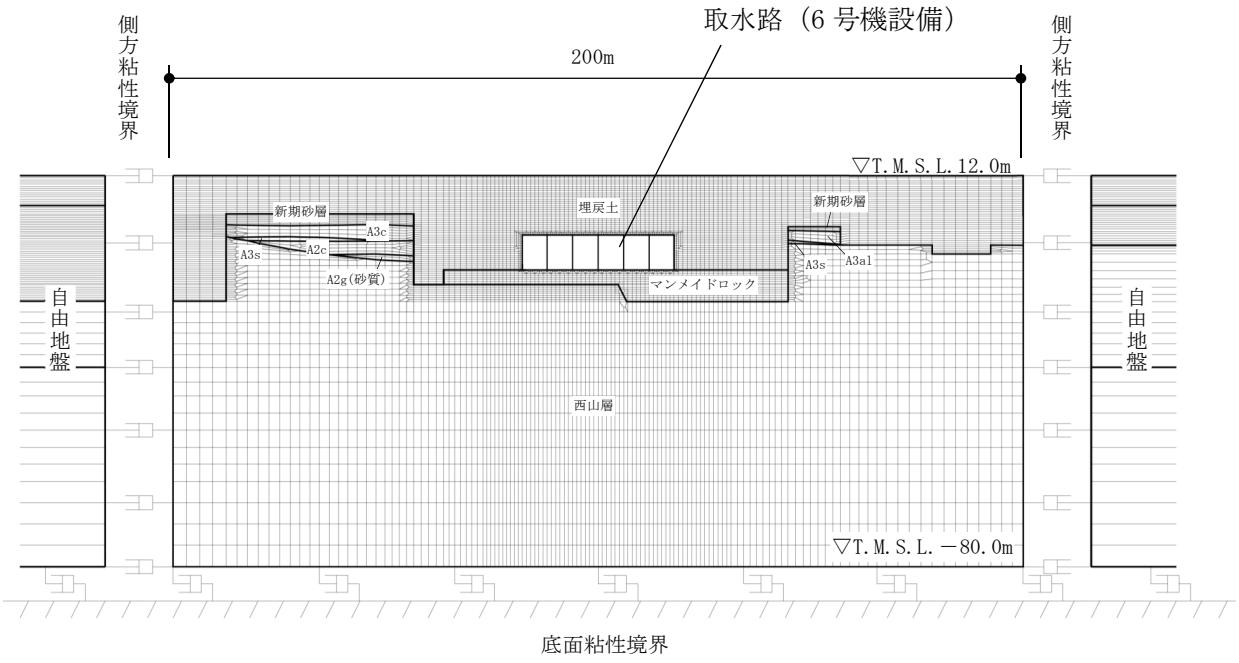


図 3－7（3） 取水路（6 号機設備）の地震応答解析モデル（Ｃ－Ｃ断面）

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「ＷＣＯＭＤ－ＳＪ」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 3－6 に示す。

表 3－6　基礎地盤（西山層）の支持性能に対する許容限界

項目	許容限界（N/mm^2）
	Ｃ－Ｃ断面
極限支持力度	5.98

K7 ① Ⅴ-2-10-3-1-7 R1

3.7　評価方法

取水路（6 号機設備）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。

曲げ軸力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。

MAX　3.70×10^{-3}（17.81s）

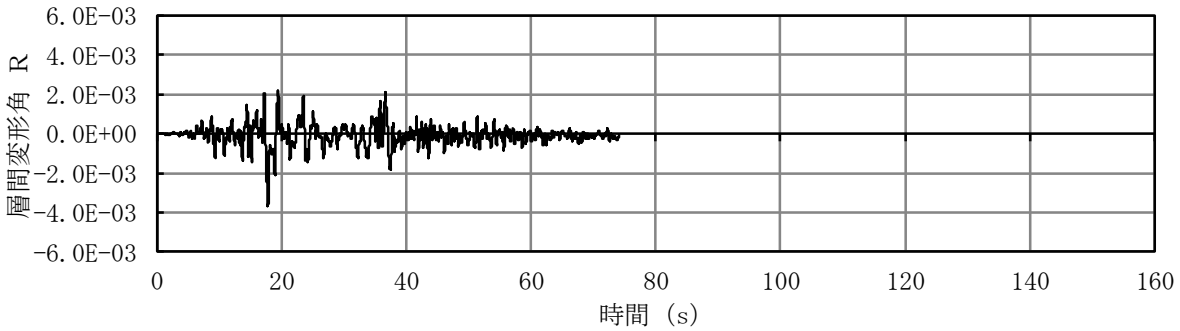


図 3－8（1）　Ａ－Ａ断面における層間変形角の時刻歴波形

（解析ケース③，Ss-3－－）

MAX　1.88×10^{-3}（8.13s）

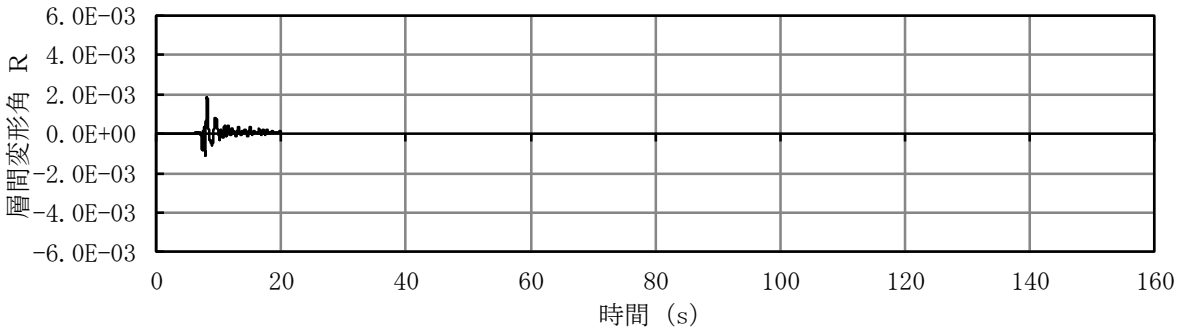


図 3－8（2）　Ｂ－Ｂ断面における層間変形角の時刻歴波形

（解析ケース⑤，Ss-8＋＋）

MAX　4.09×10^{-3}（6.54s）

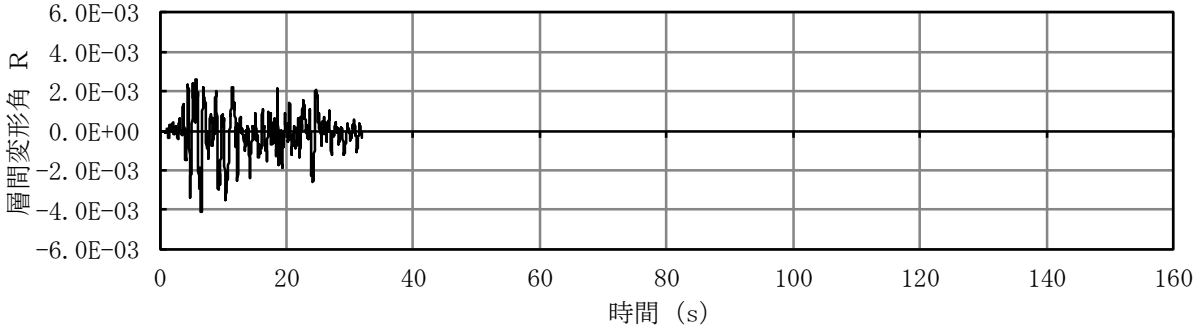
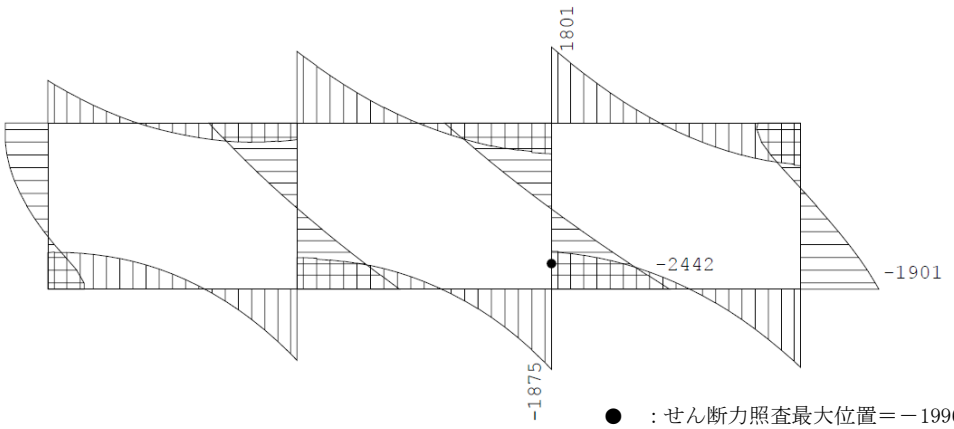


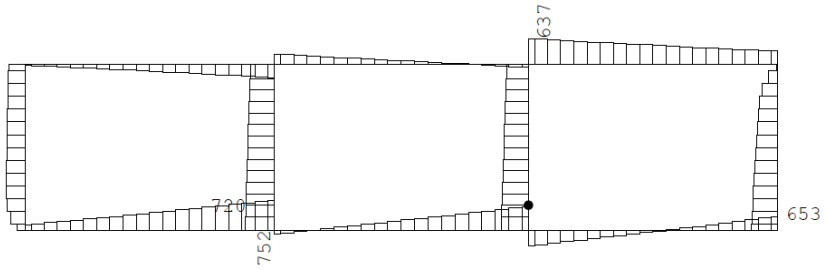
図 3－8（3）　Ｃ－Ｃ断面における層間変形角の時刻歴波形

（解析ケース⑤，Ss-1－＋）



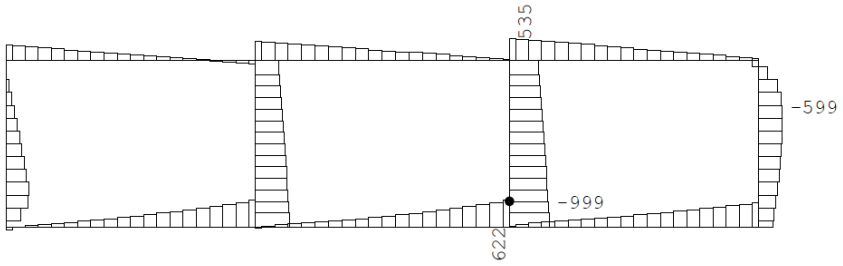
● ：せん断力照査最大位置＝－1996(kN・m)

曲げモーメント(kN・m)



● ：せん断力照査最大位置＝675(kN)

軸力(kN)　（＋：圧縮，－：引張）

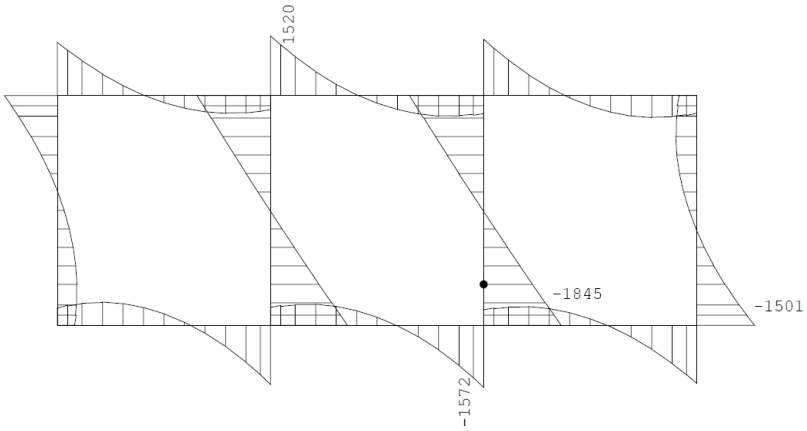


● ：せん断力照査最大位置＝－989(kN)

せん断力(kN)

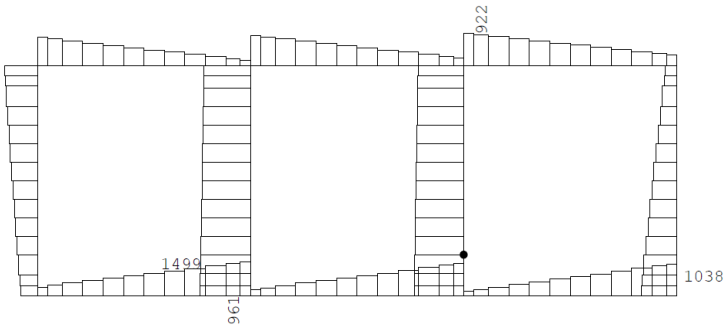
数値：各評価位置の最大断面力

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＝17.80s）



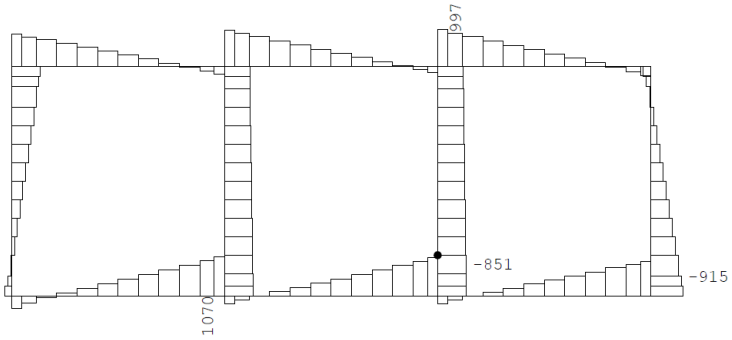
● ：せん断力照査最大位置＝－1464(kN・m)

曲げモーメント(kN・m)



● ：せん断力照査最大位置＝1466(kN)

軸力(kN)　（＋：圧縮，－：引張）

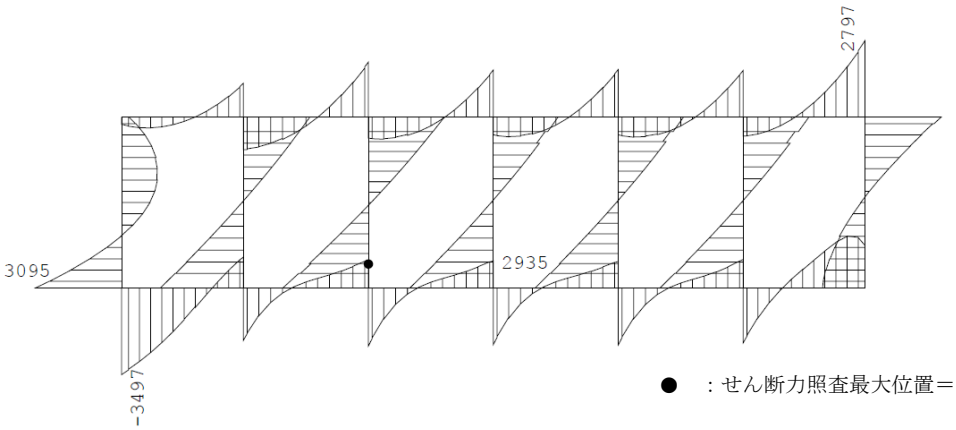


● ：せん断力照査最大位置＝－847(kN)

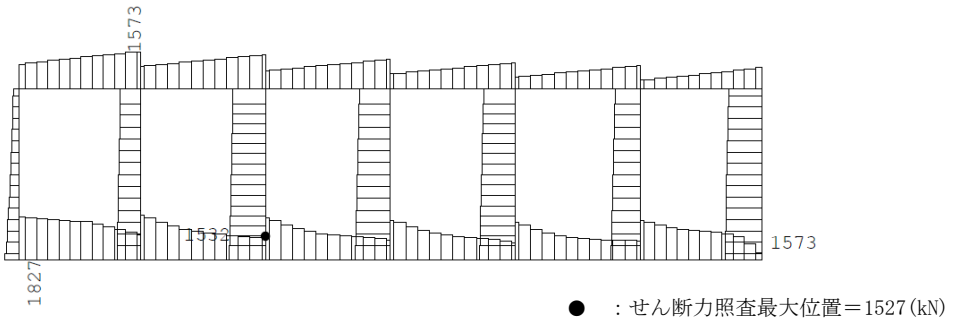
せん断力(kN)

数値：各評価位置の最大断面力

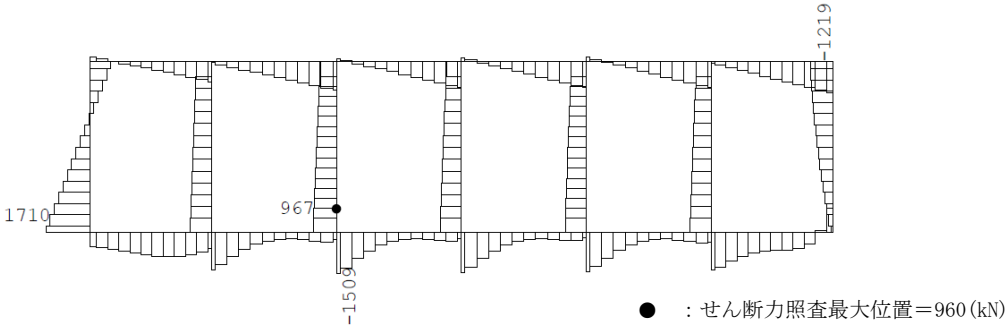
図 3－9（2）　Ｂ－Ｂ断面（隔壁）のせん断力に対して照査値が最大となる時刻の断面力分布図
（解析ケース⑤，Ss-3－－，ｔ＝37.43s）



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，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。

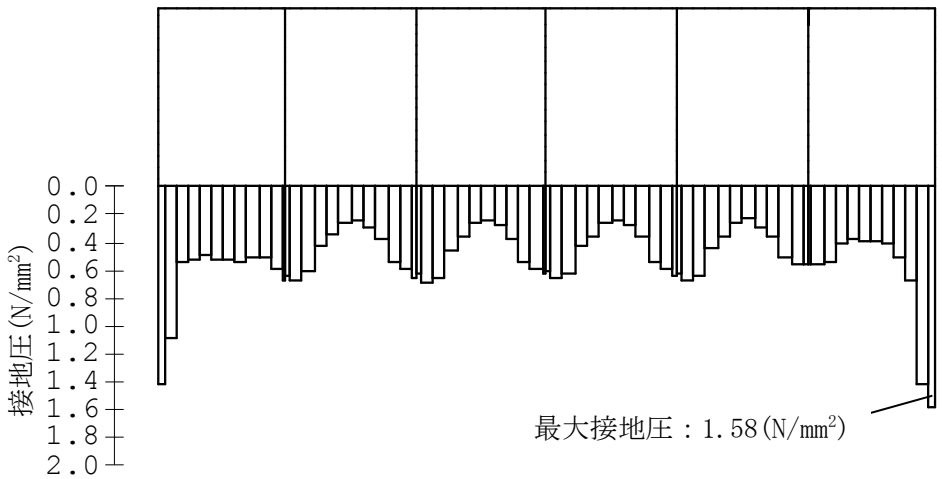


図 3－10　Ｃ－Ｃ断面の最大接地圧分布図
（解析ケース②，Ss-1－＋）

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（6 号機設備）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－－	4.43×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.45

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 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 $R_d／R_u$
⑤	Ss-8＋＋	2.26×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.23

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 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－＋	4.90×10^{-3}	1.0×10^{-2}	0.49

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

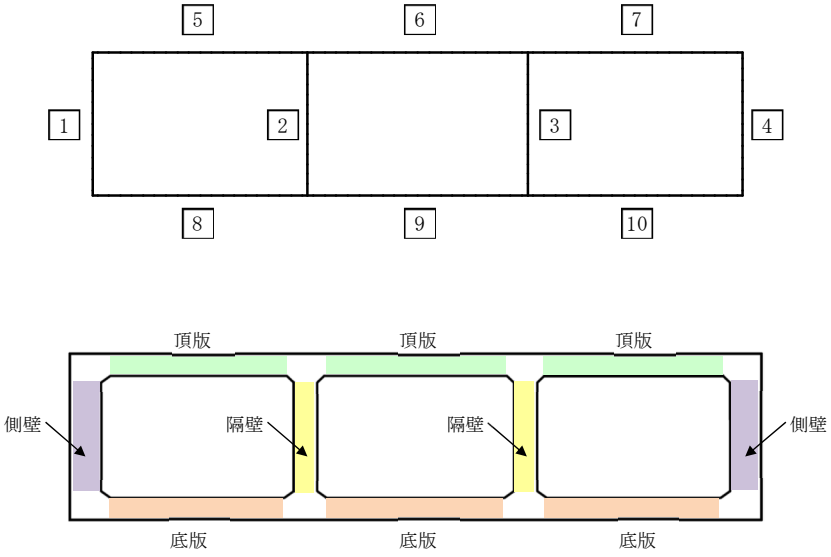
表 4－2（1）　せん断力照査における最大照査値（Ａ－Ａ断面）

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_{yd}（kN）	照査値 V_d / V_{yd}
頂版	7	①	Ss-1＋＋	817*2	2291*2	0.36*2
側壁	4	①	Ss-1＋＋	920*2	2454*2	0.38*2
隔壁	3	③	Ss-3－－	1054*2	2450*2	0.44*2
底版	10	①	Ss-1＋＋	720	1549	0.47

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

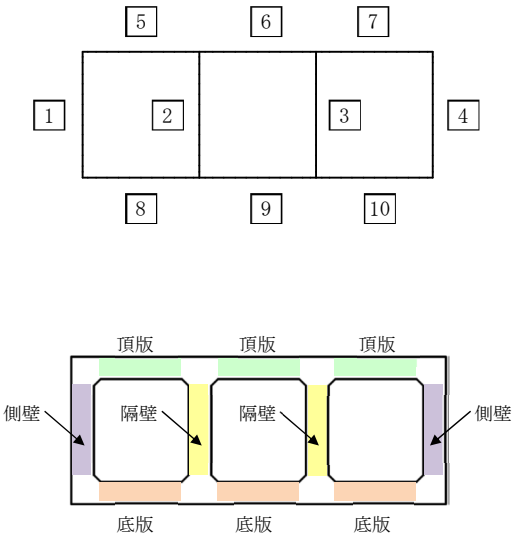
表４－２（2）　せん断力照査における最大照査値（Ｂ－Ｂ断面）

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_{yd}（kN）	照査値 V_d / V_{yd}
頂版	6	①	Ss-1＋＋	1080	2800	0.39
側壁	1	①	Ss-1－－	1189	1994	0.60
隔壁	1	⑤	Ss-3－－	896*2	2331*2	0.39*2
底版	8	①	Ss-1＋＋	1187	2940	0.41

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

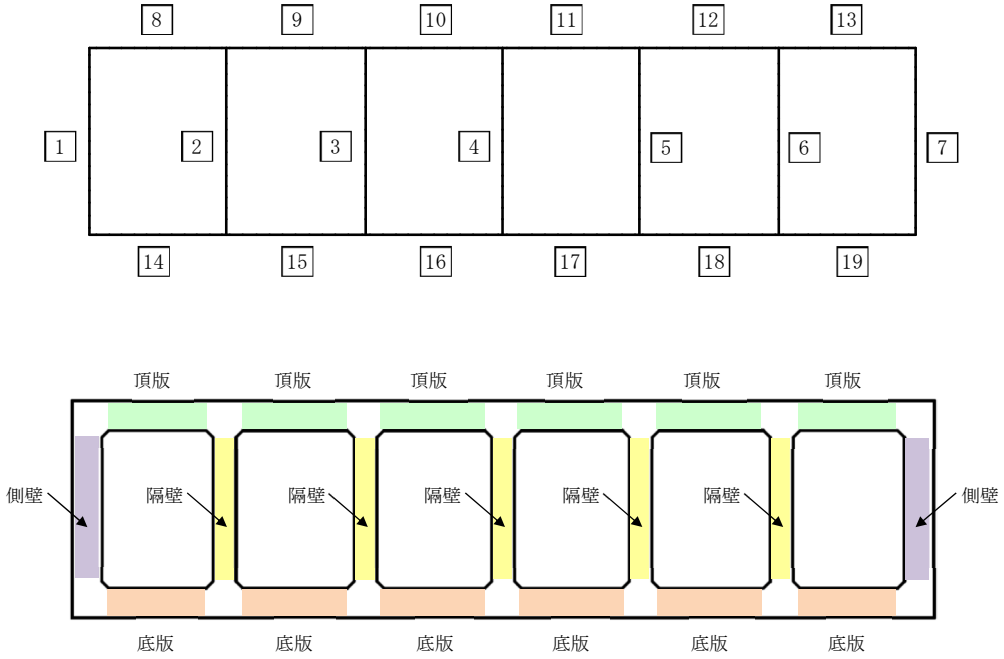
表 4－2（3）　せん断力照査における最大照査値（Ｃ－Ｃ断面）

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_{yd}（kN）	照査値 V_d / V_{yd}
頂版	8	⑤	Ss-1－＋	1298	2813	0.47
側壁	7	①	Ss-1＋－	2683*2	4029*2	0.67*2
隔壁	3	②	Ss-1－＋	1020*2	2493*2	0.41*2
底版	19	①	Ss-1＋－	1686	3528	0.48

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（6 号機設備）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（6 号機設備）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-6	2160	49900	0.05

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 $V／Q_u$
①	Ss-1＋－	4420	32800	0.14

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 $\sigma／q_u$
②	Ss-1－＋	1.58	5.98	0.27

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

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Ｓｓ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。

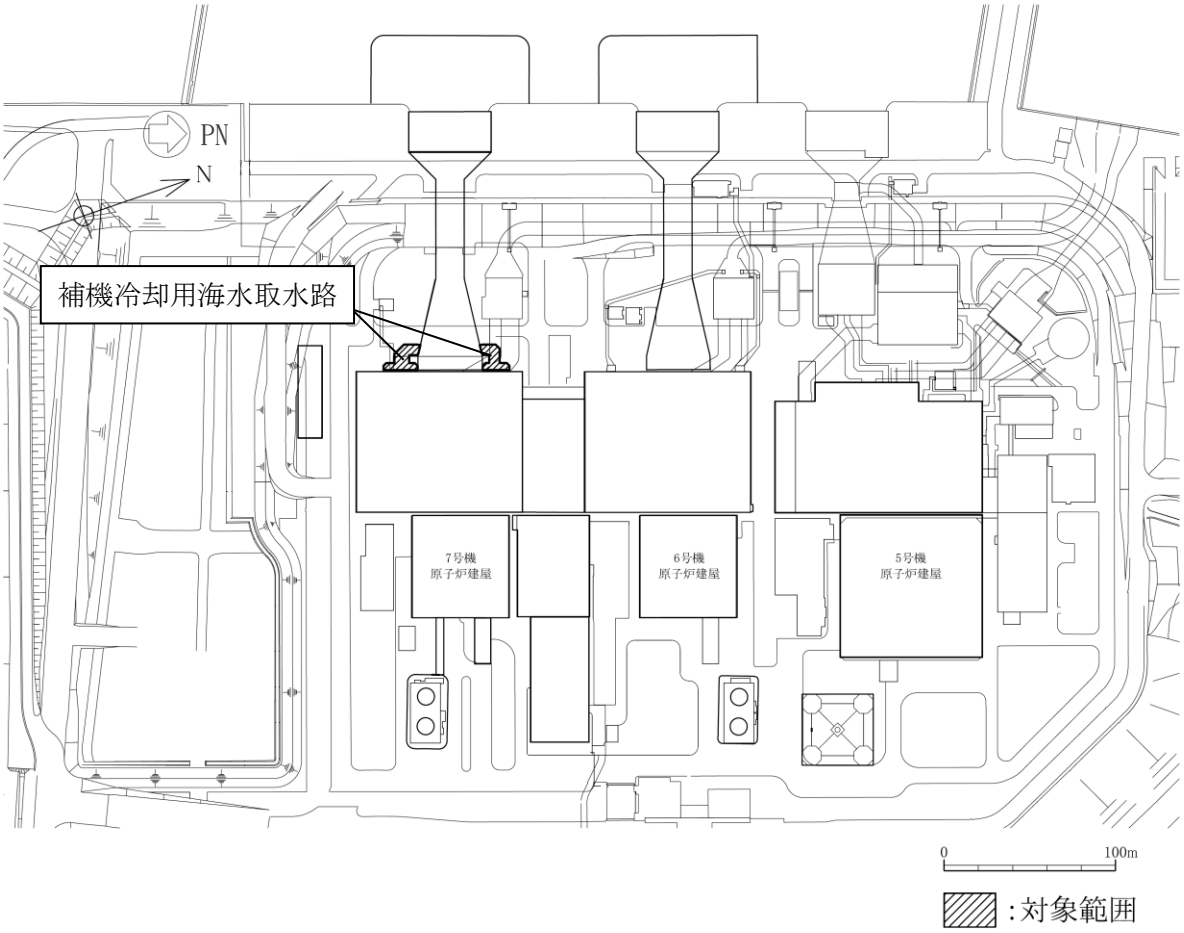


図 2－1　補機冷却用海水取水路の位置図（全体平面図）

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。

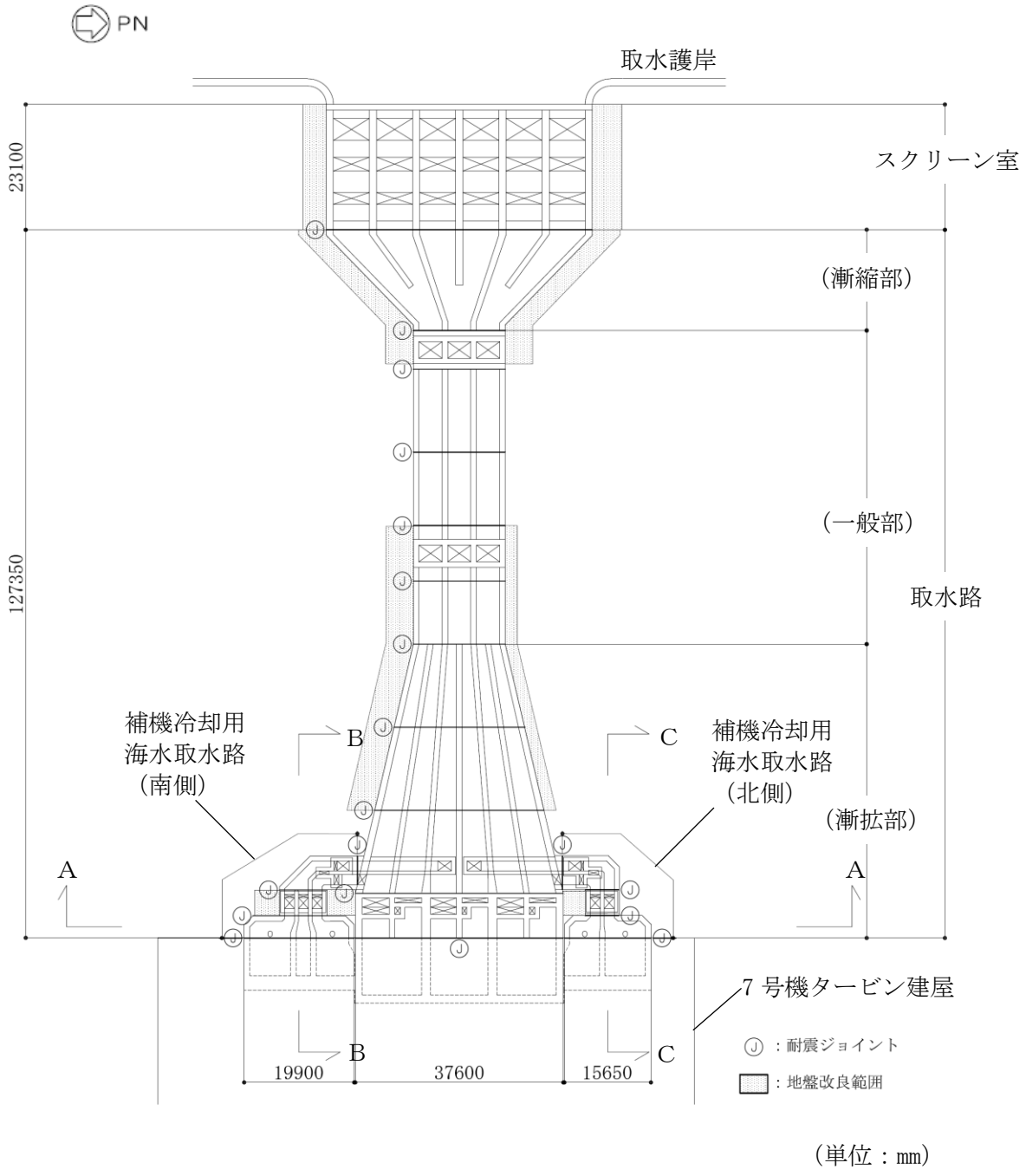
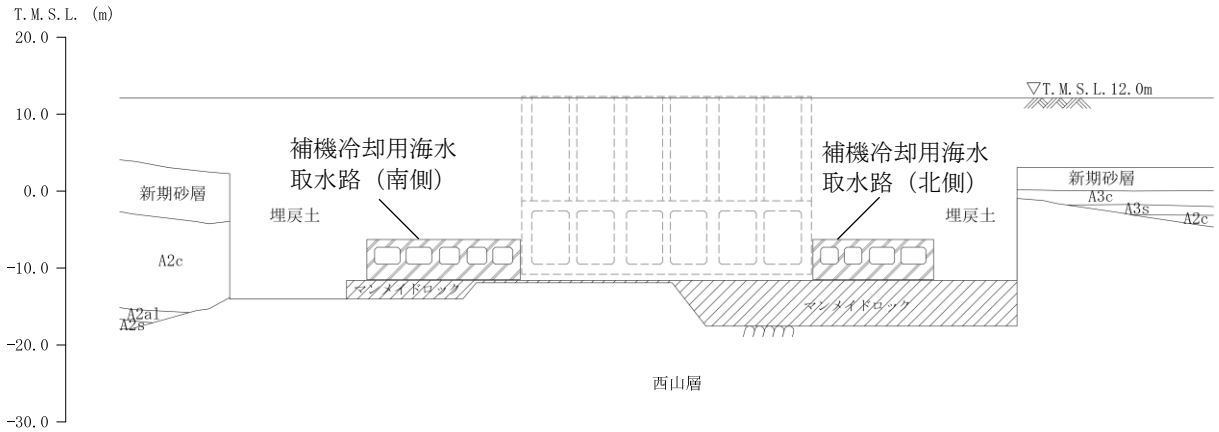
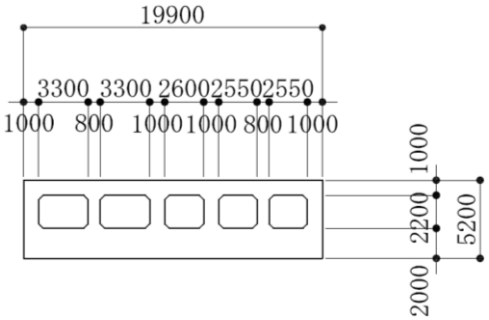


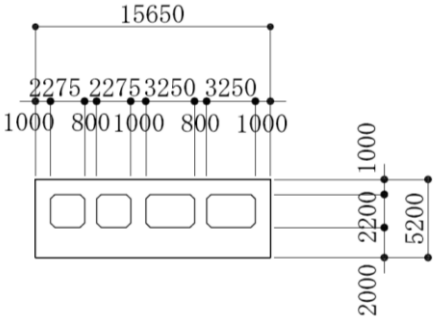
図 2－2　補機冷却用海水取水路の平面図



(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）

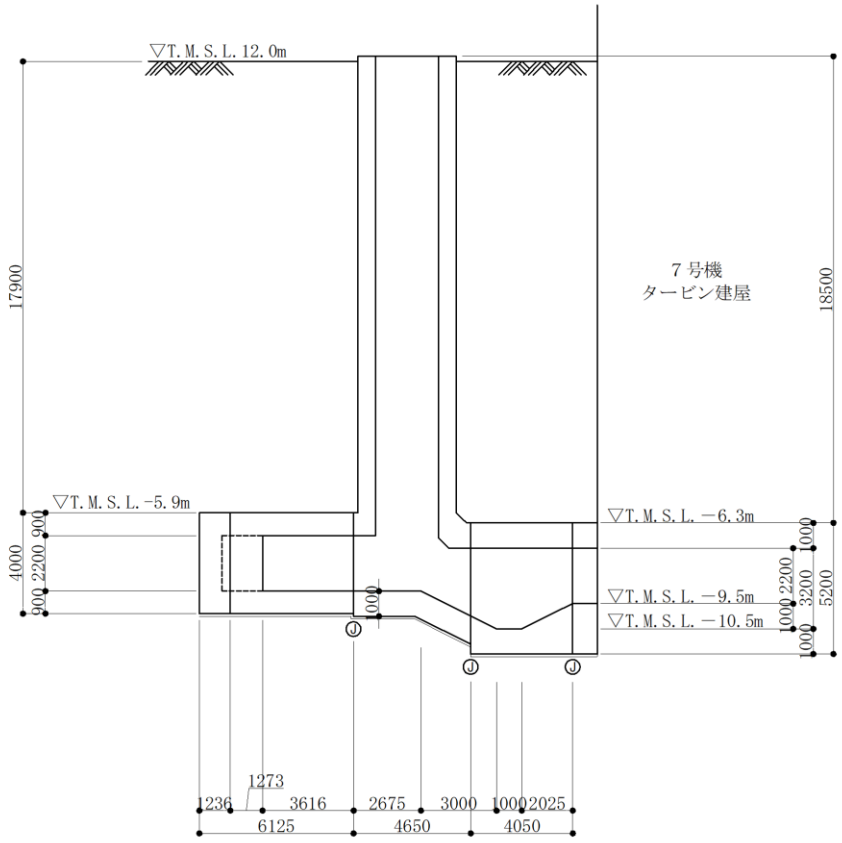


(c)　補機冷却用海水取水路（北側）

（単位：mm）

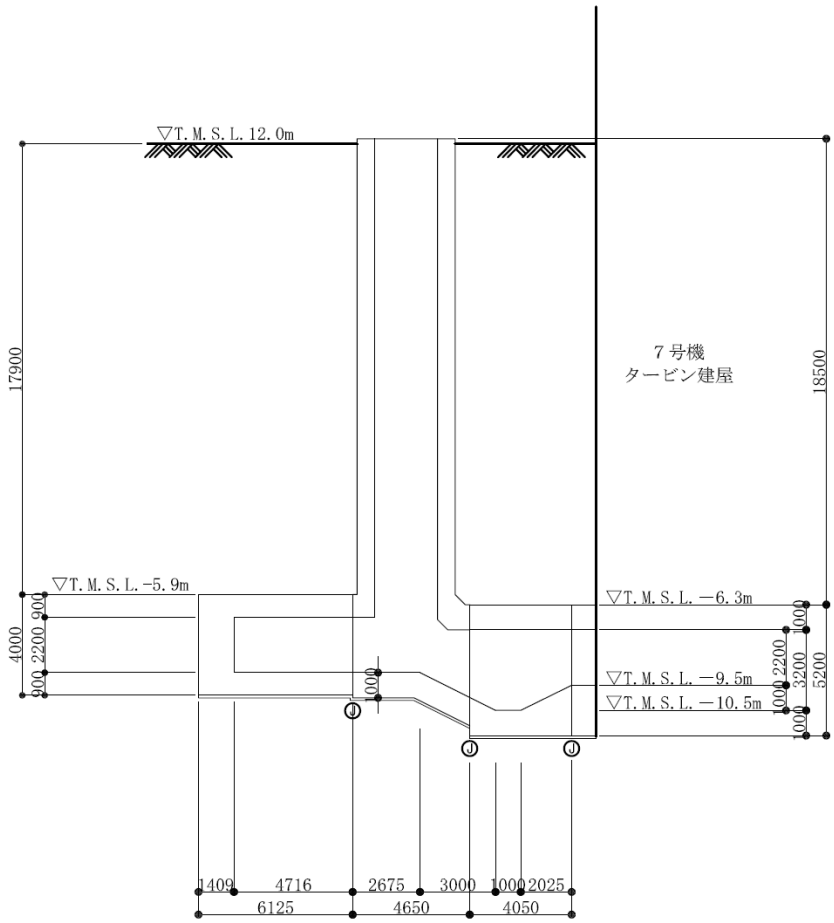
注　：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2－3（1）　補機冷却用海水取水路の断面図（Ａ－Ａ断面）



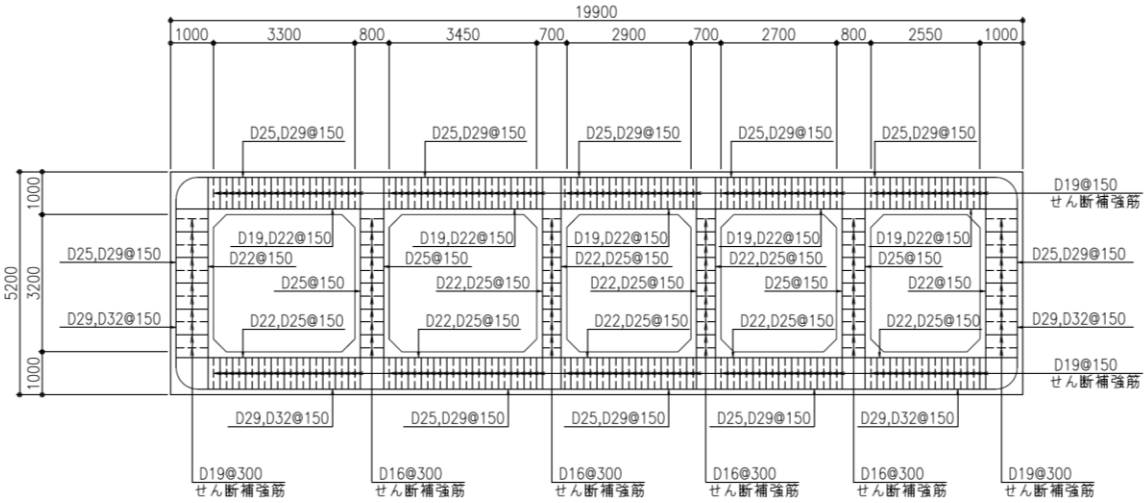
（単位：mm）

図２－３（2） 補機冷却用海水取水路の断面図（南側，Ｂ－Ｂ断面）



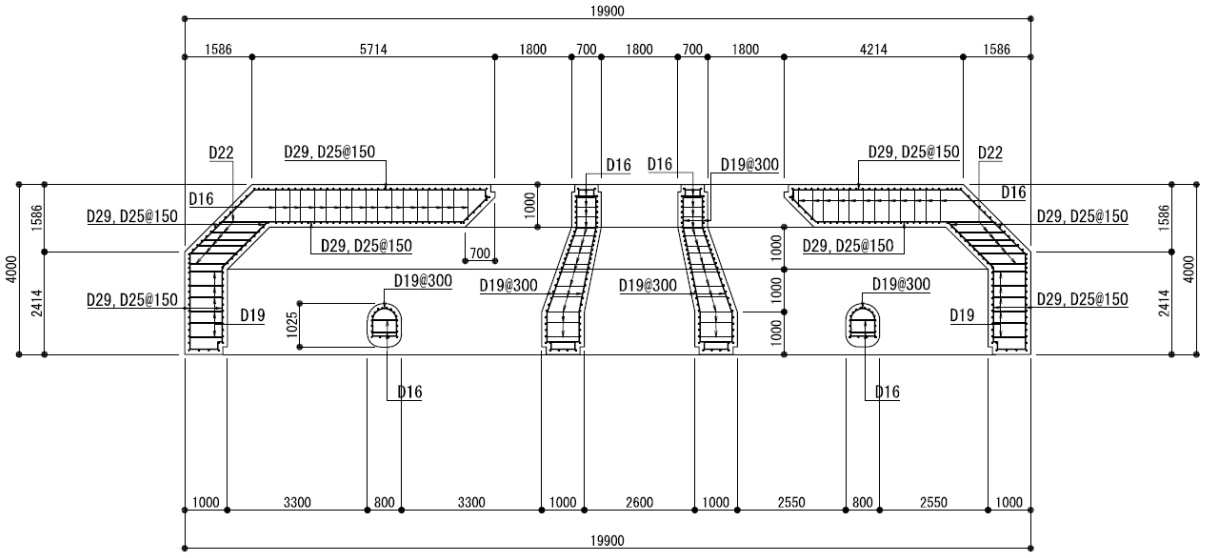
（単位：mm）

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

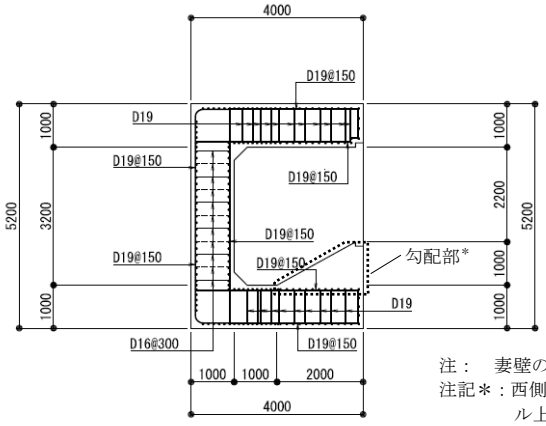
（断面図）



（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）

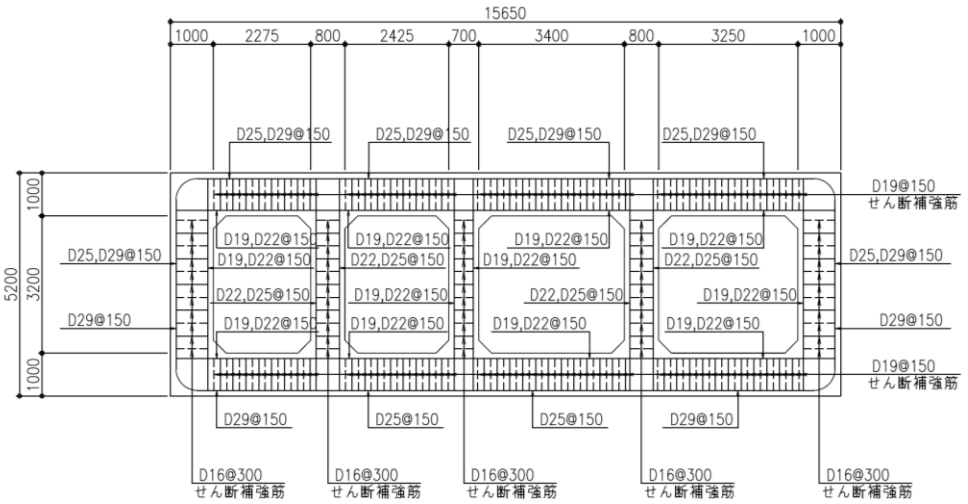


注： 妻壁の配力筋方向鉄筋：D25,D29@150
注記＊：西側及び東側の勾配部は，解析モデル上，構造部材として扱わないことから，配筋は非表示とした。

（断面図）

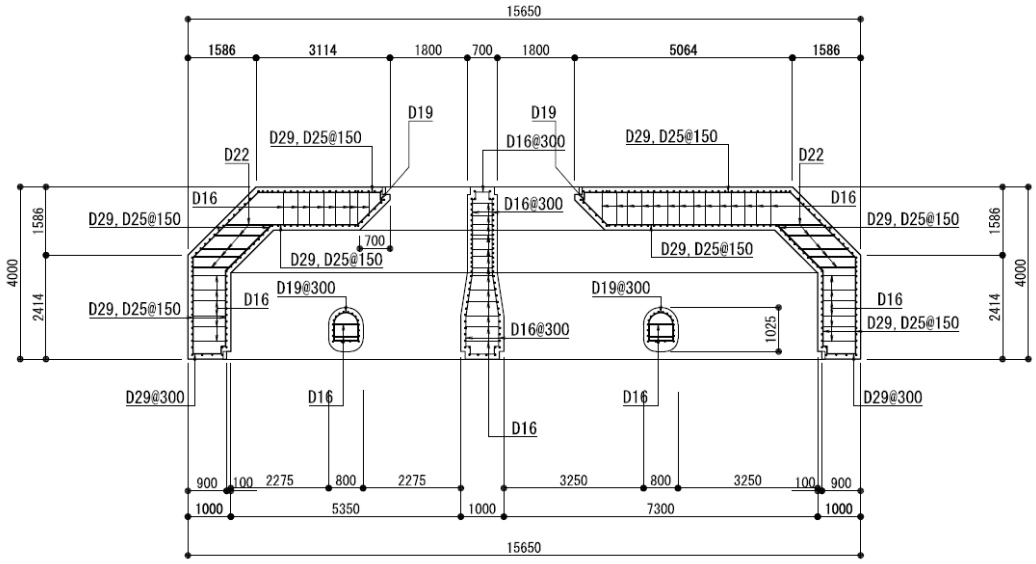
（単位：mm）

図 2－4（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

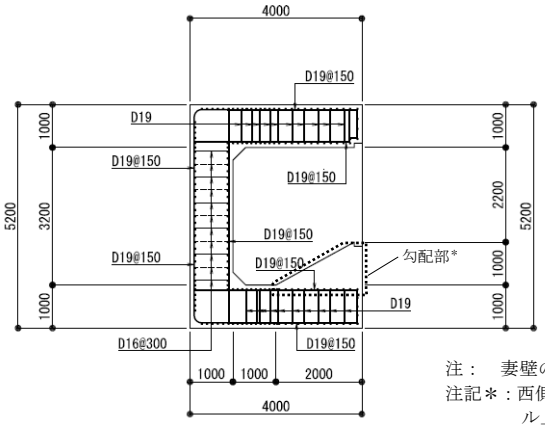
（断面図）



（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。

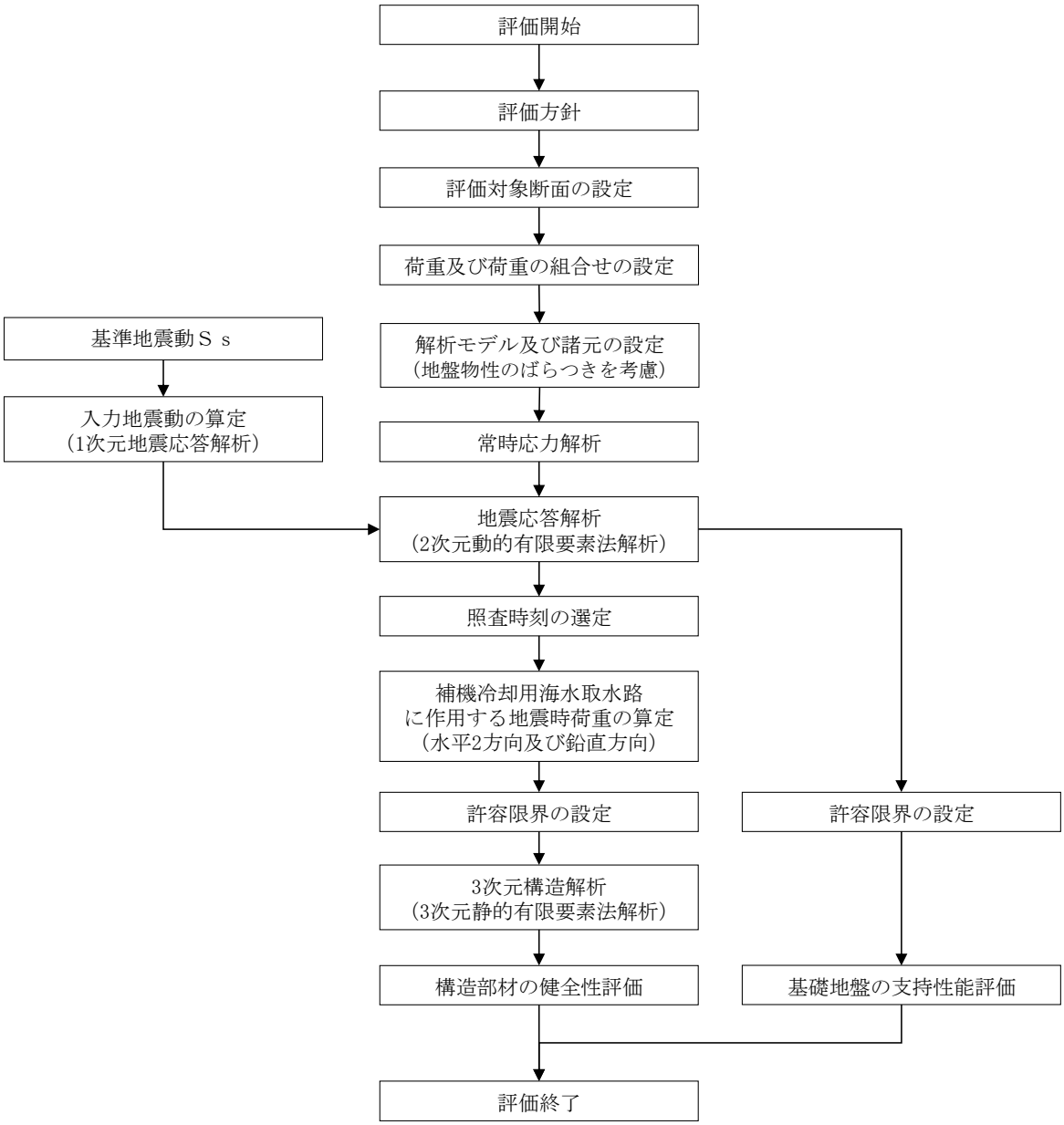


図２－５　補機冷却用海水取水路の耐震評価フロー

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　ＪＥＡＧ４６０１-1987（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。

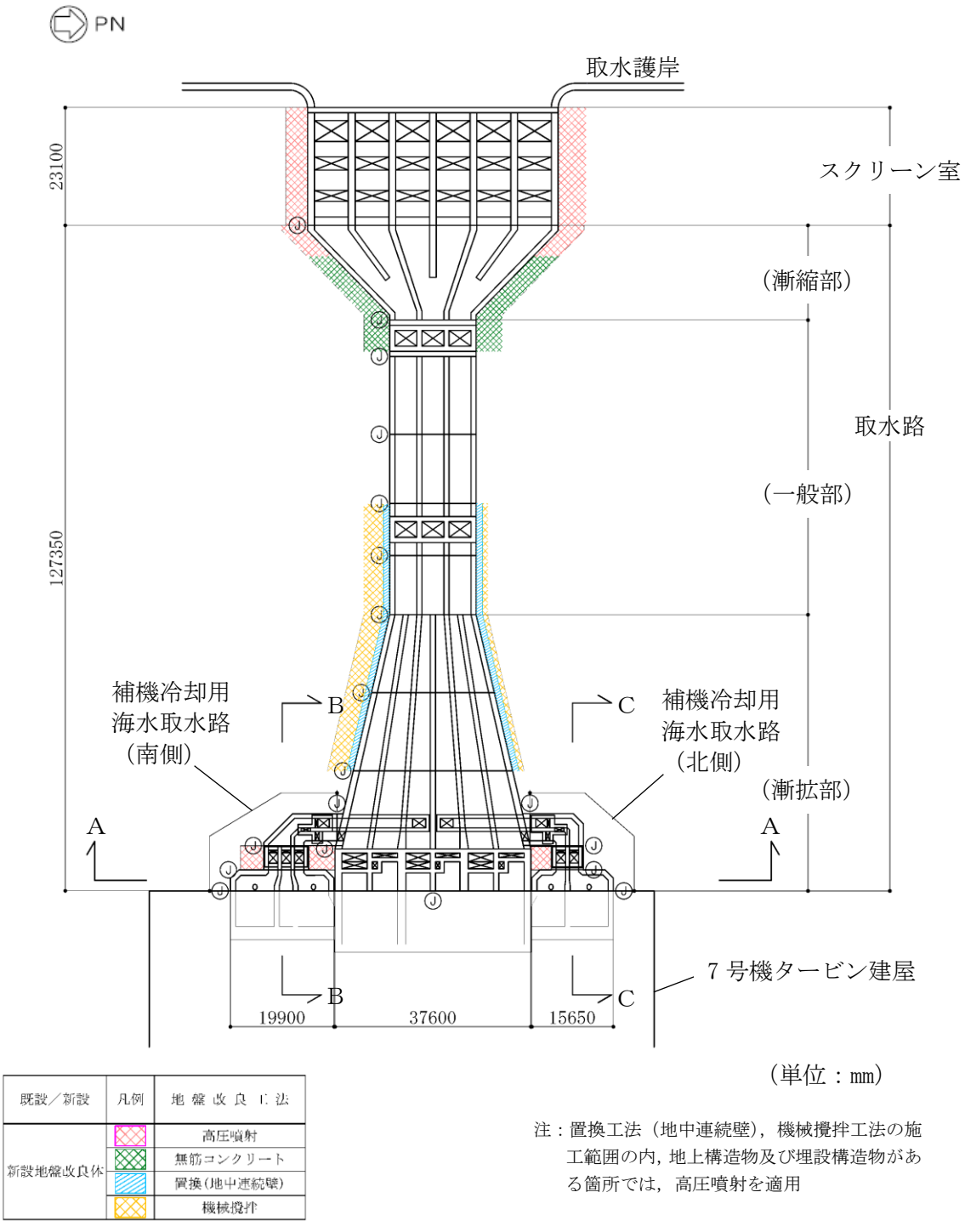
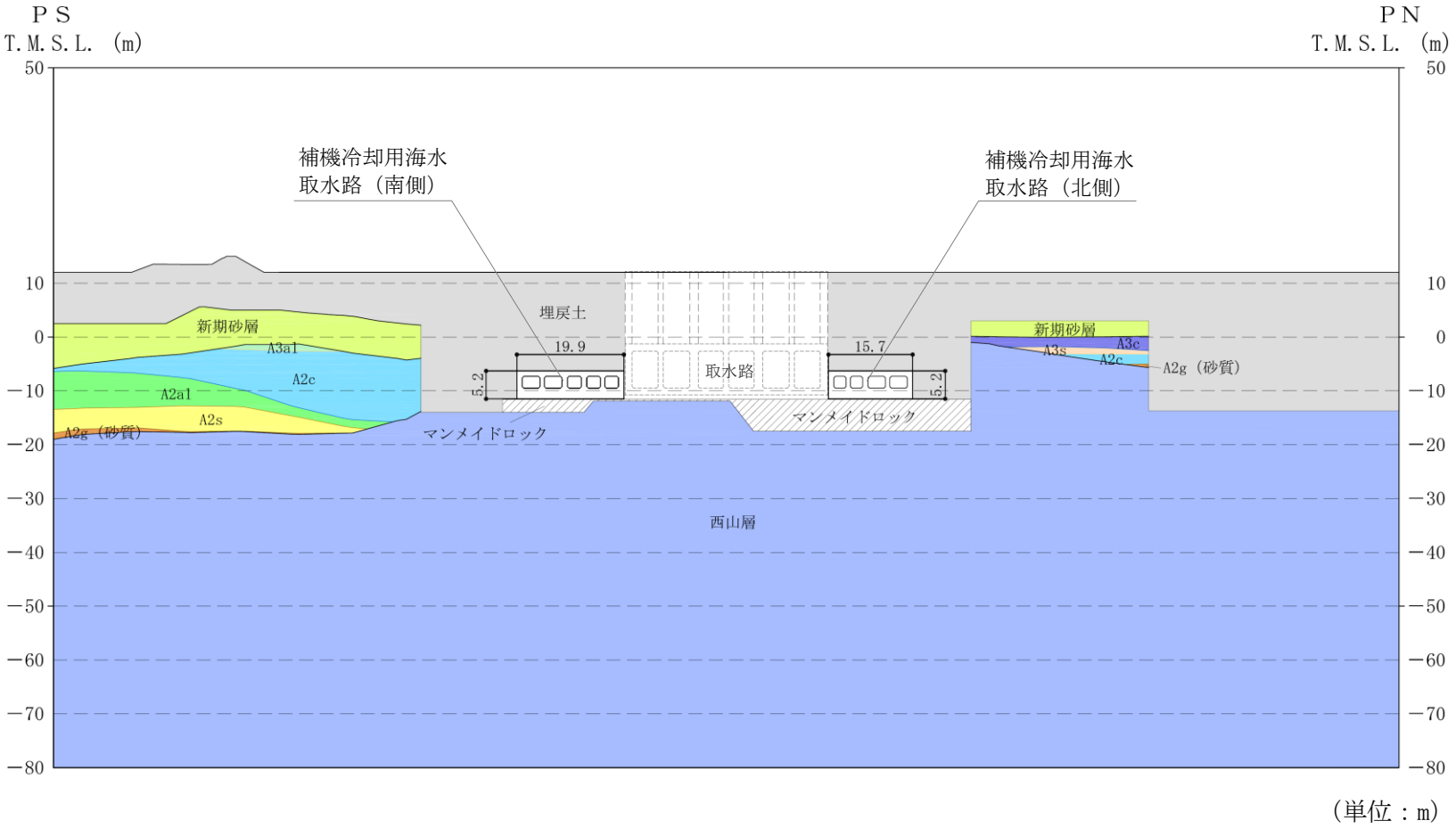
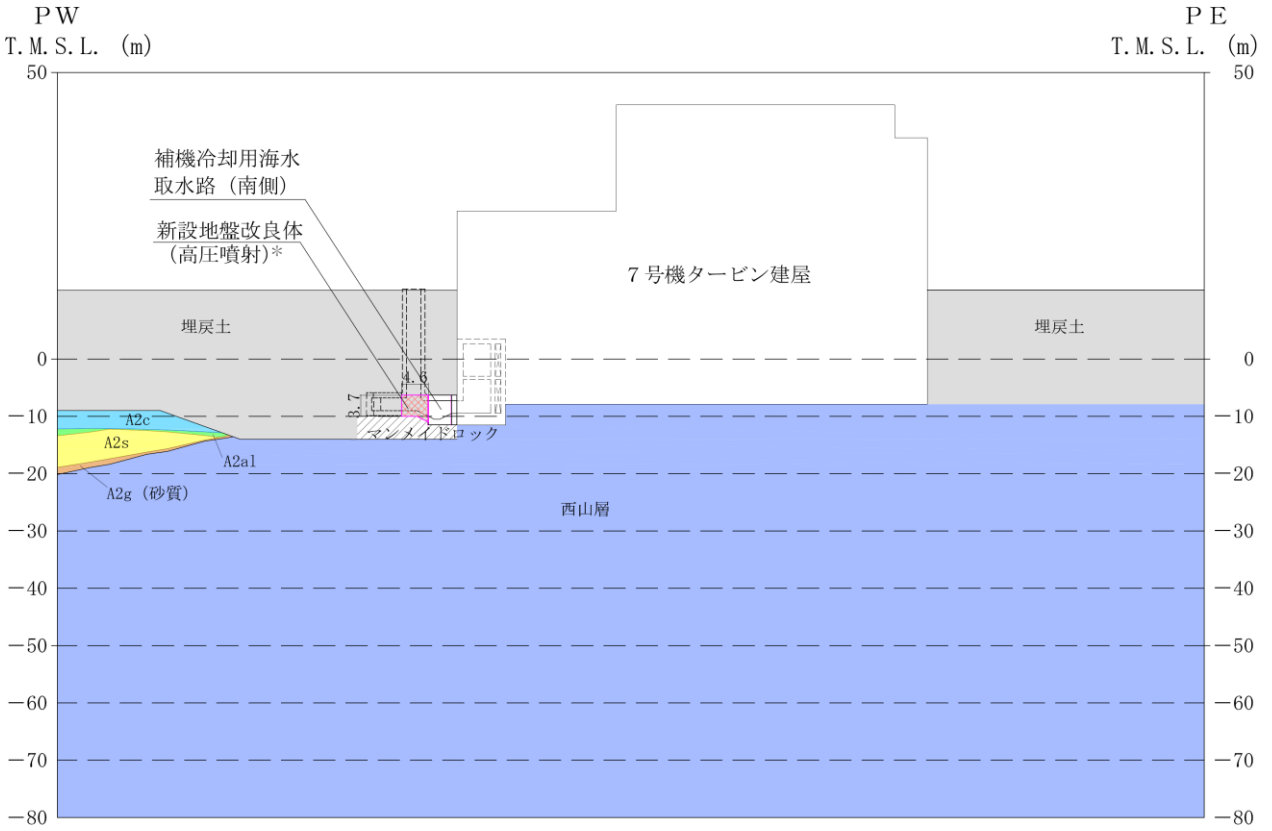


図 3－1　補機冷却用海水取水路の評価対象断面位置図



（単位：m）

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）

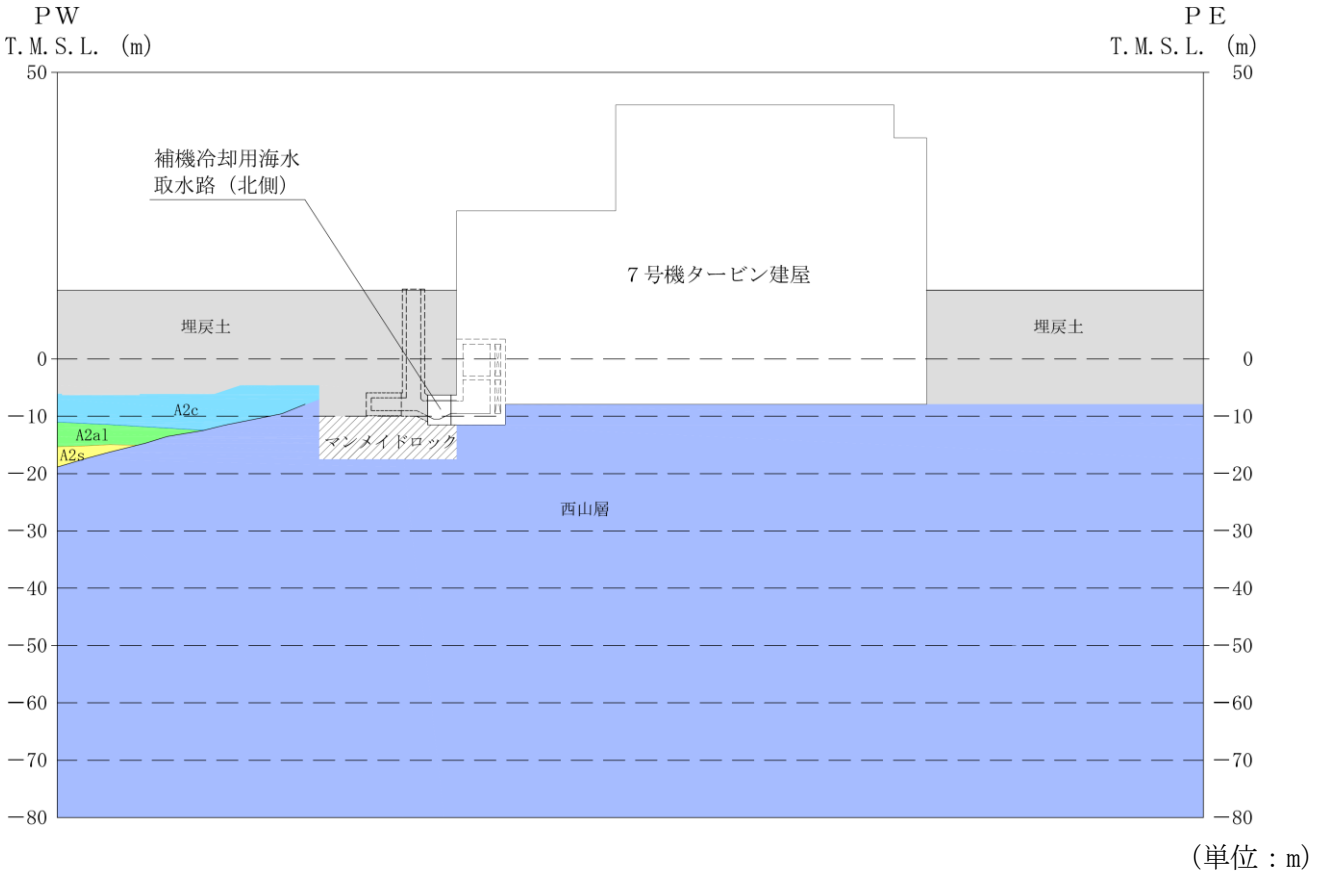


図３－２（３） 補機冷却用海水取水路の評価対象断面図（北側，Ｃ－Ｃ断面）

3.2　解析方法

3.2.1　地震応答解析

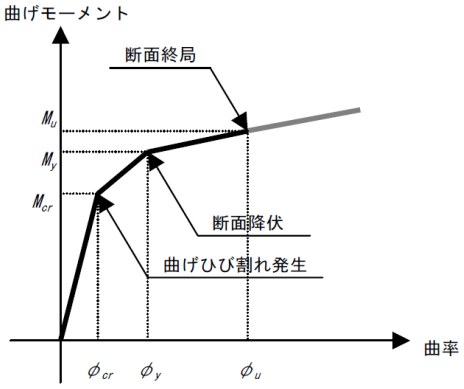
補機冷却用海水取水路の地震応答解析は，Ⅴ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち，「2.3　屋外重要土木構造物」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

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Ｓｓ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－φ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。

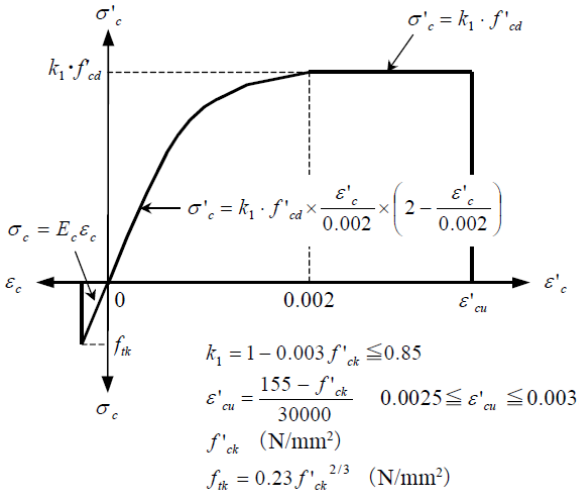
3.2.2　構造部材

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。



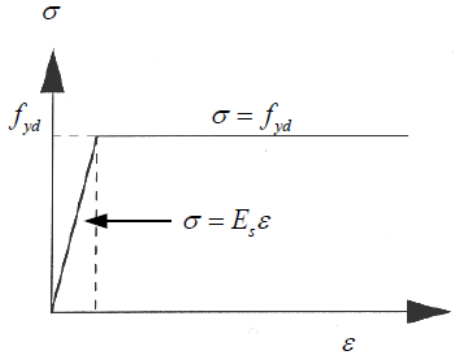
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005年）より引用）

図3－3　鉄筋コンクリート部材のＭ－φ関係



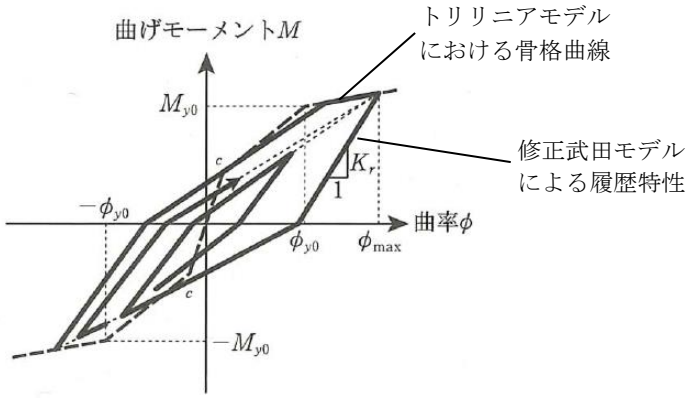
（原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（土木学会，2005 年）より引用）

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（＋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。

3.2.4　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，α＝0，β＝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Ｓｓ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（Ｓｓ）

基準地震動Ｓｓ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（Ｓｓ）	Ｇ＋Ｐ＋Ｓｓ

Ｇ　：固定荷重

Ｐ　：積載荷重

Ｓｓ：地震荷重

K7 ① Ⅴ-2-10-3-1-8 R1

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Ｓｓ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。

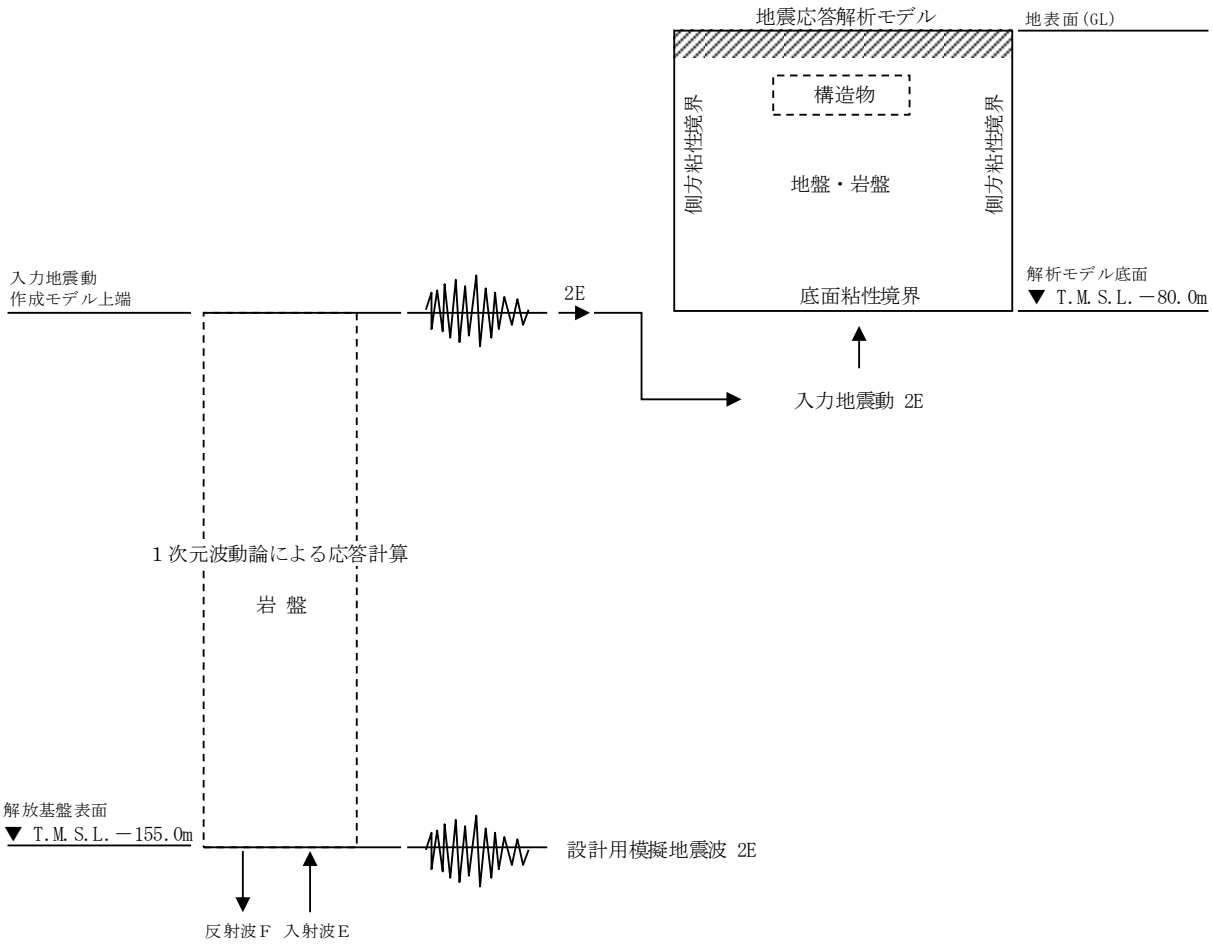
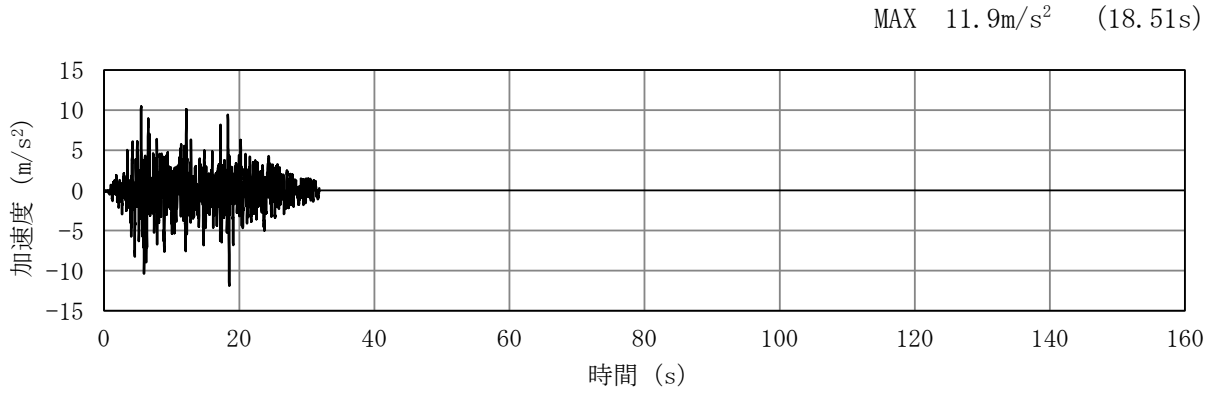
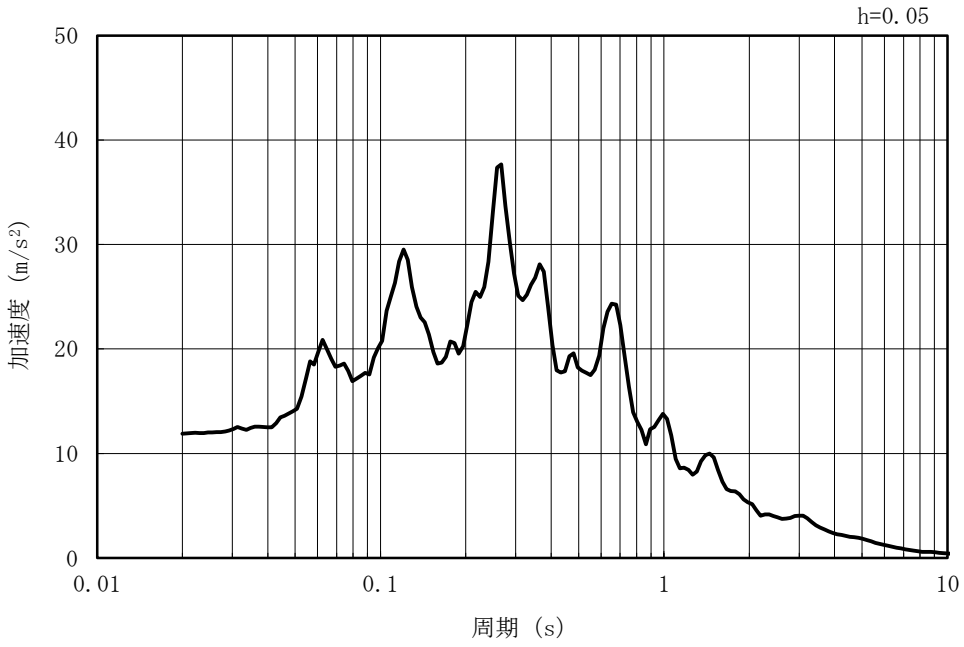


図3－6　入力地震動算定の概念図

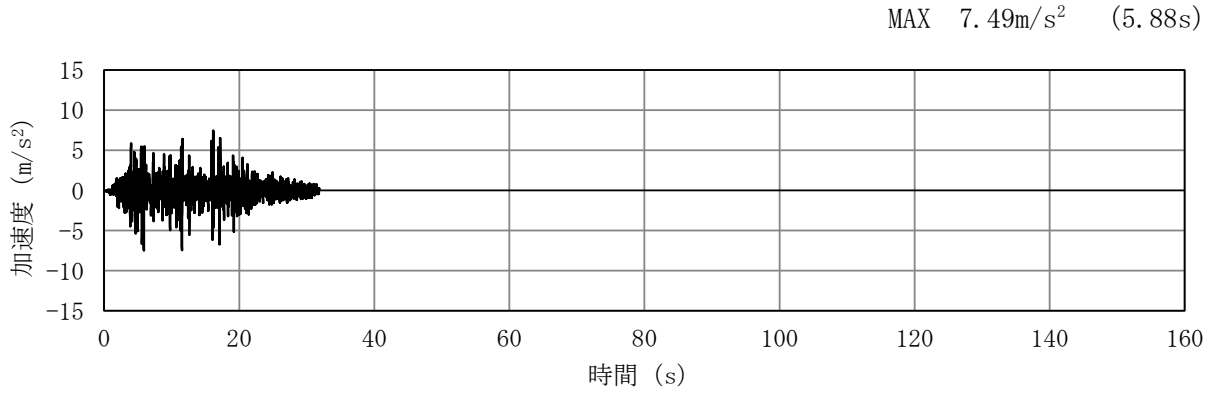


(a) 加速度時刻歴波形

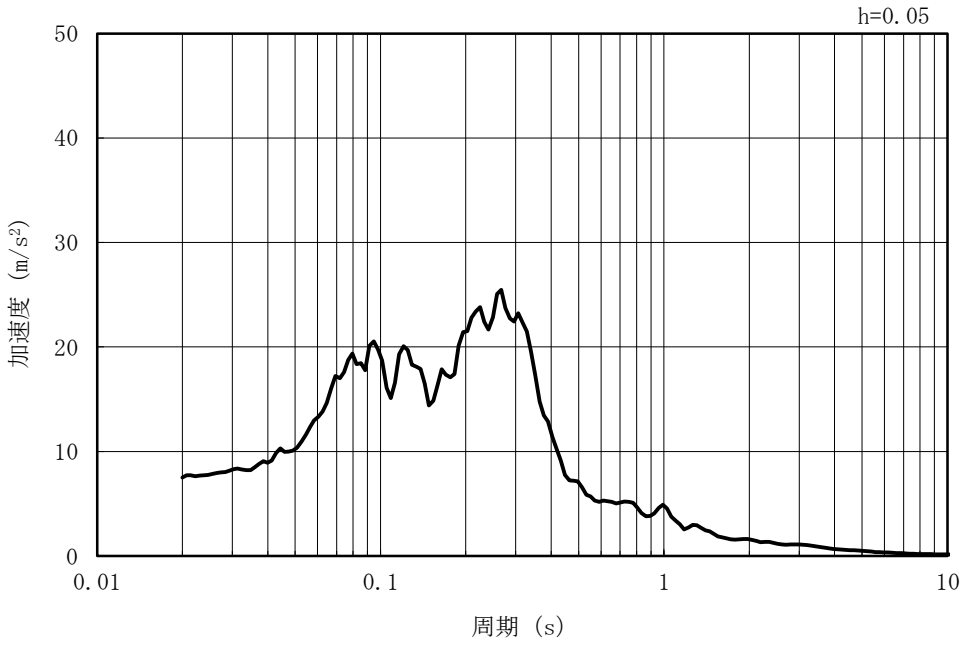


(b) 加速度応答スペクトル

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）

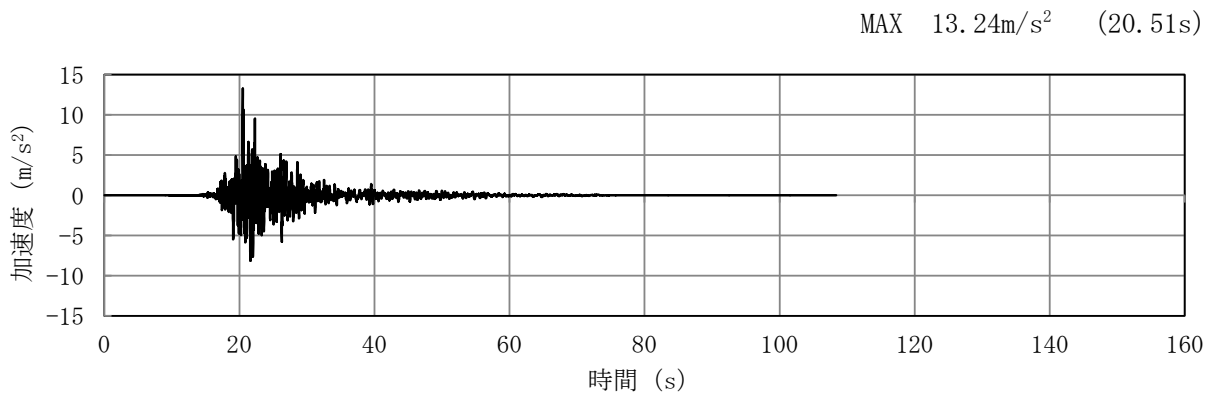


(a) 加速度時刻歴波形

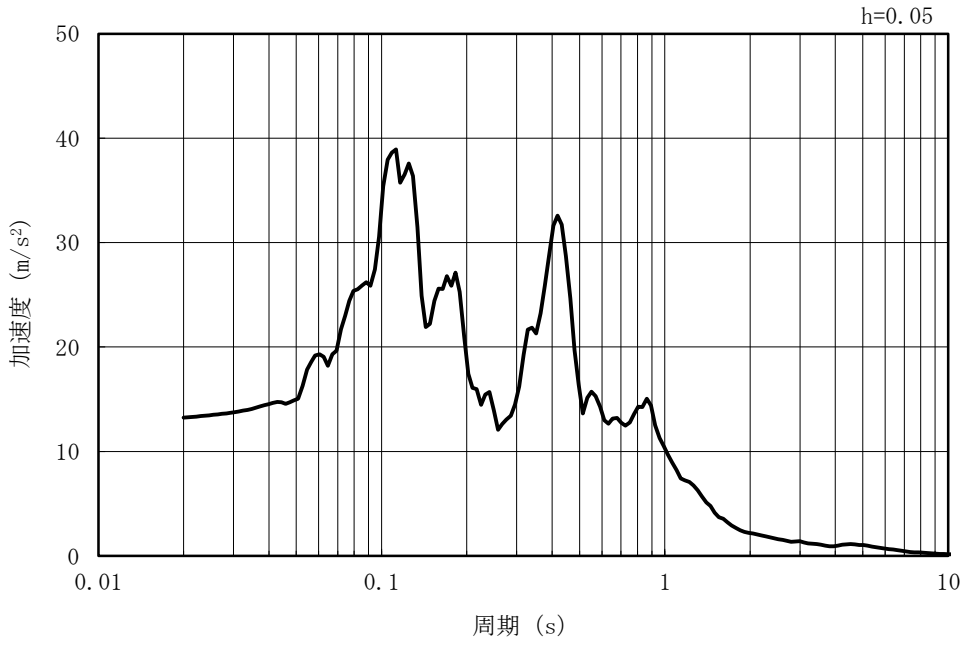


(b) 加速度応答スペクトル

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)

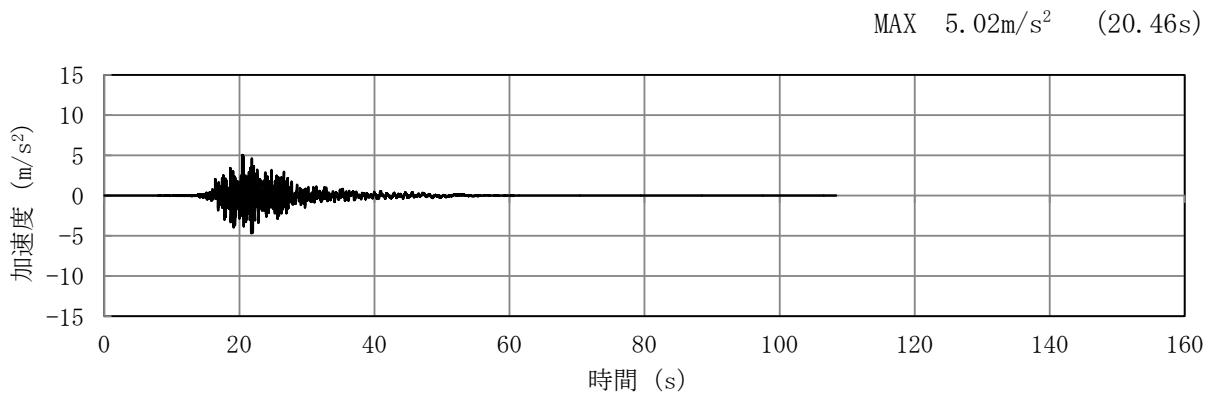


(a)　加速度時刻歴波形

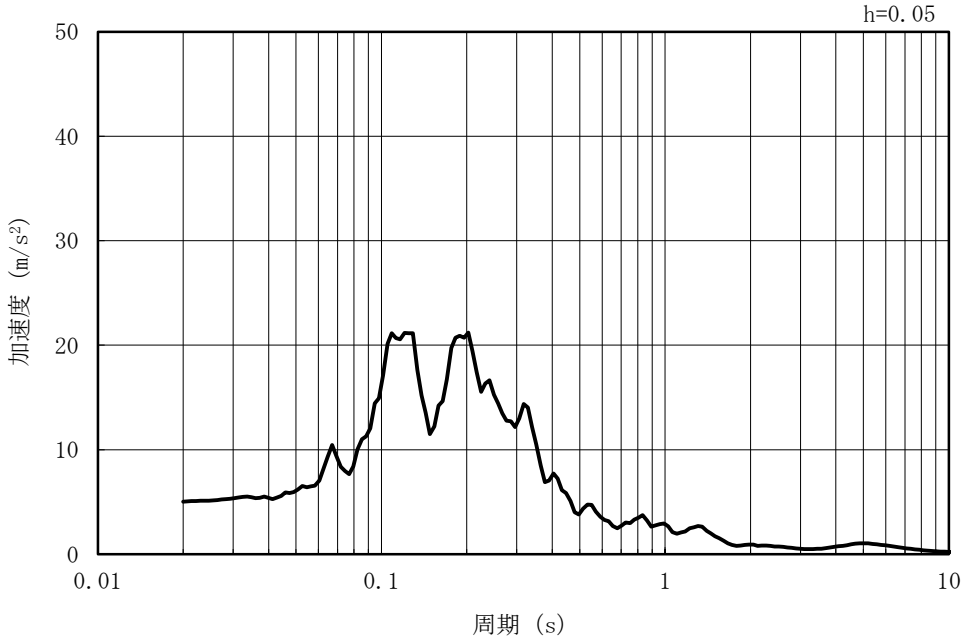


(b)　加速度応答スペクトル

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)

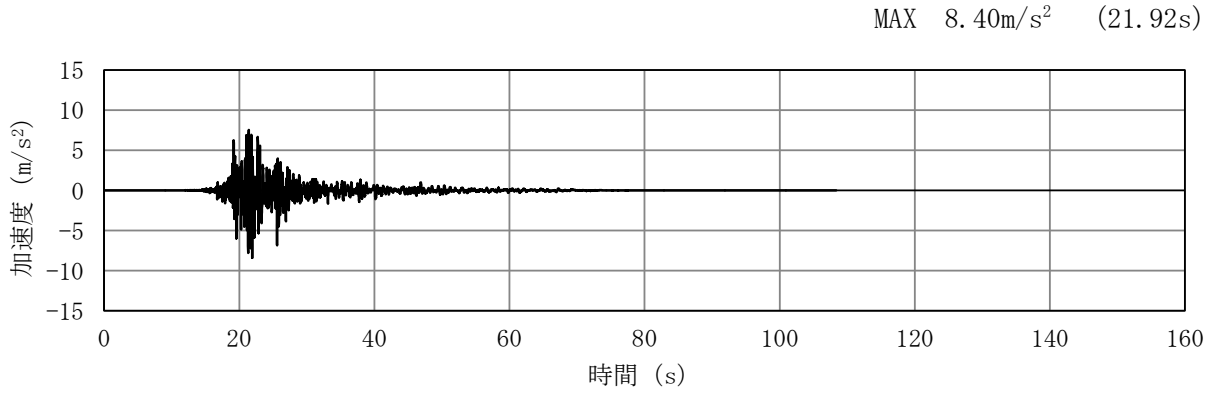


(a)　加速度時刻歴波形

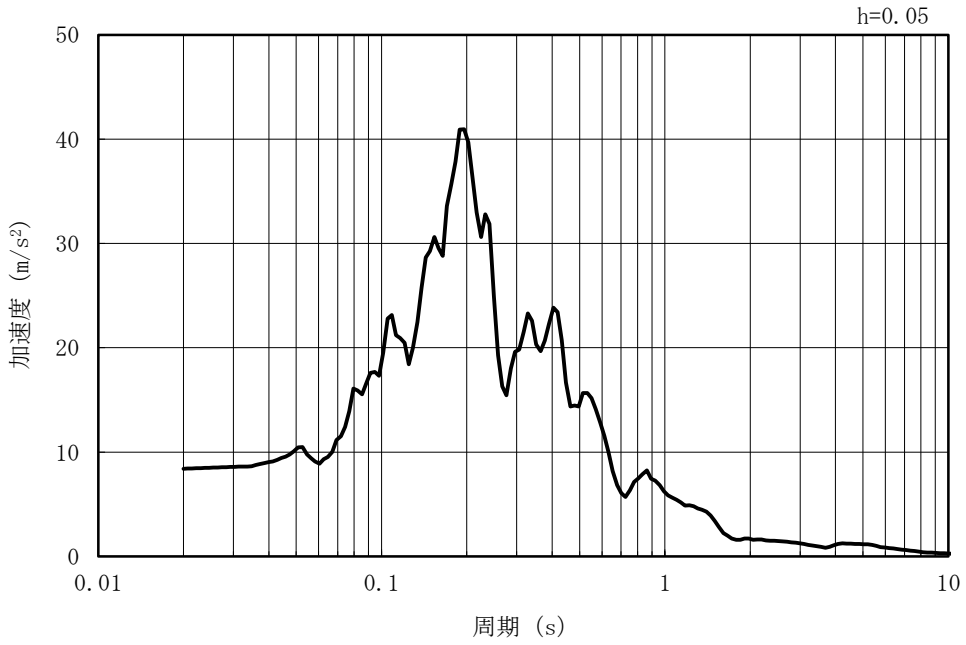


(b)　加速度応答スペクトル

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）

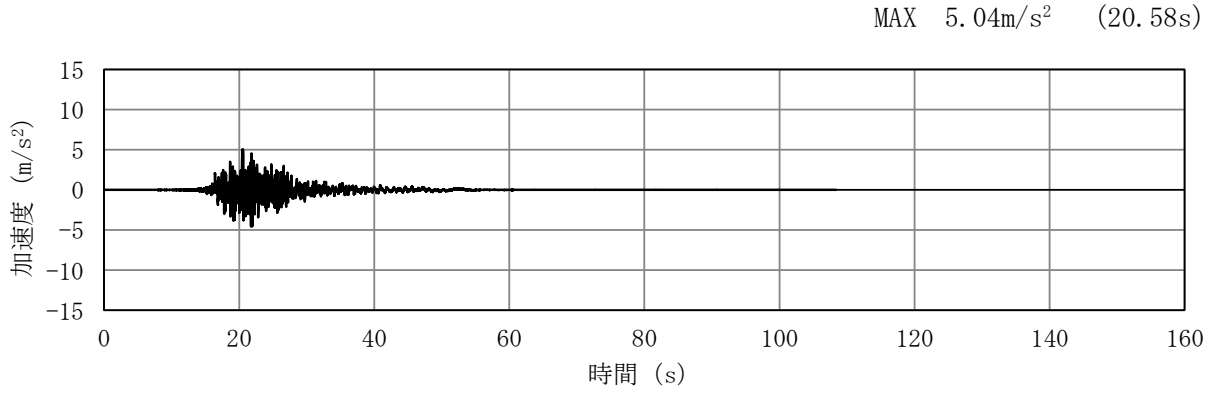


(a) 加速度時刻歴波形

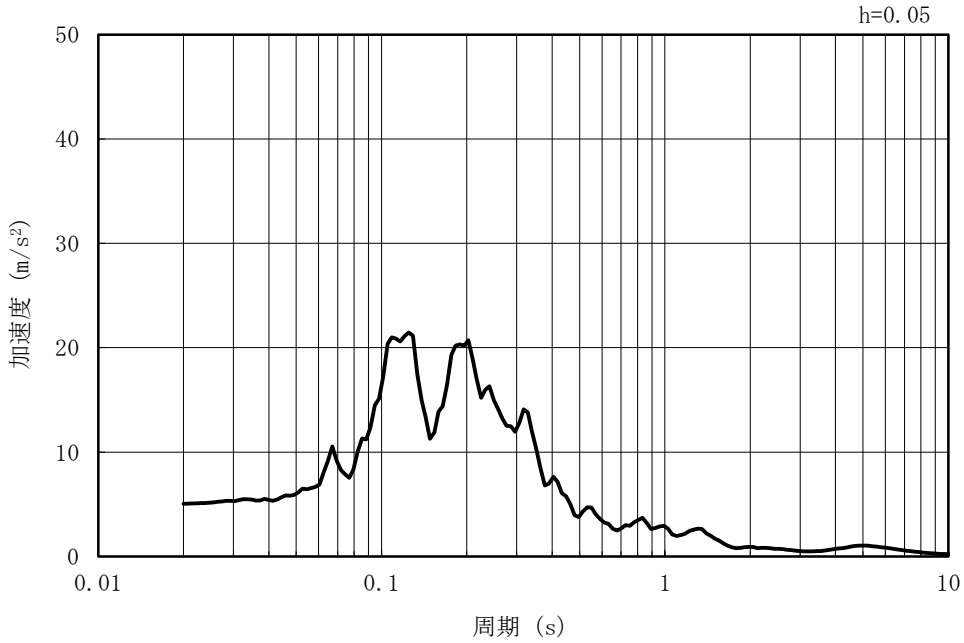


(b) 加速度応答スペクトル

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)

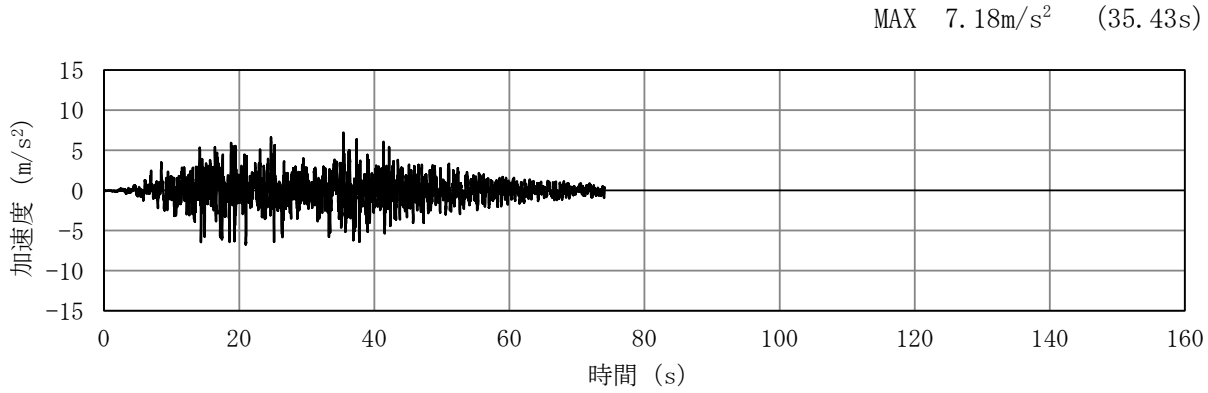


(a)　加速度時刻歴波形

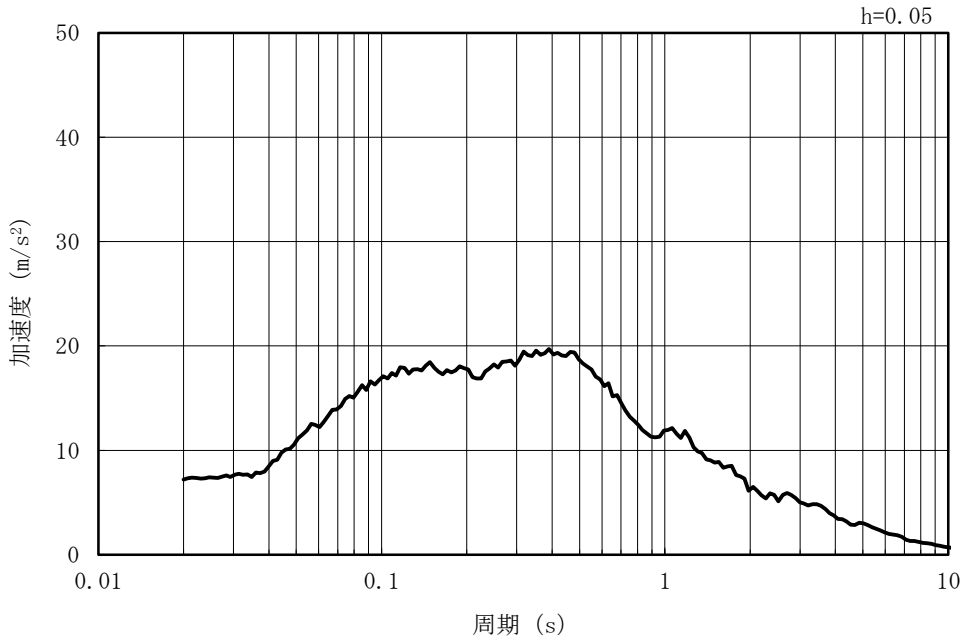


(b)　加速度応答スペクトル

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)

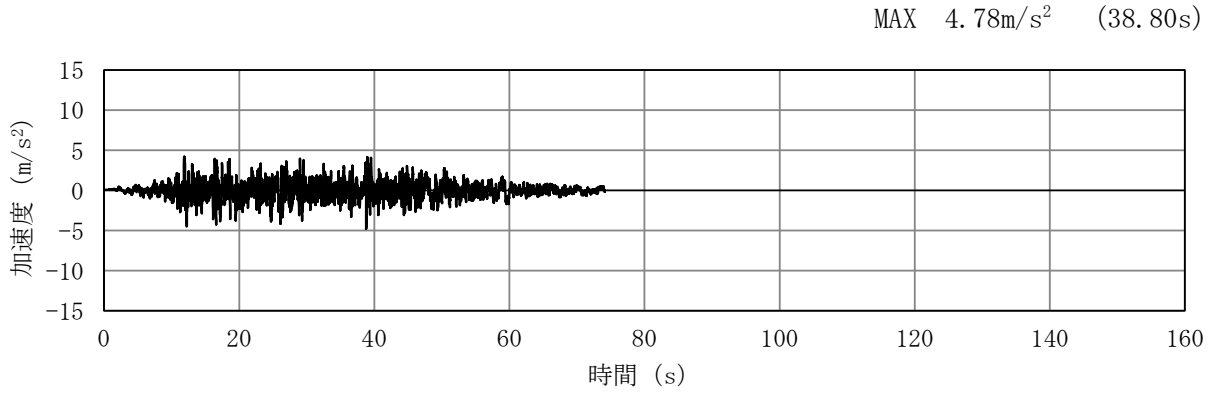


(a) 加速度時刻歴波形

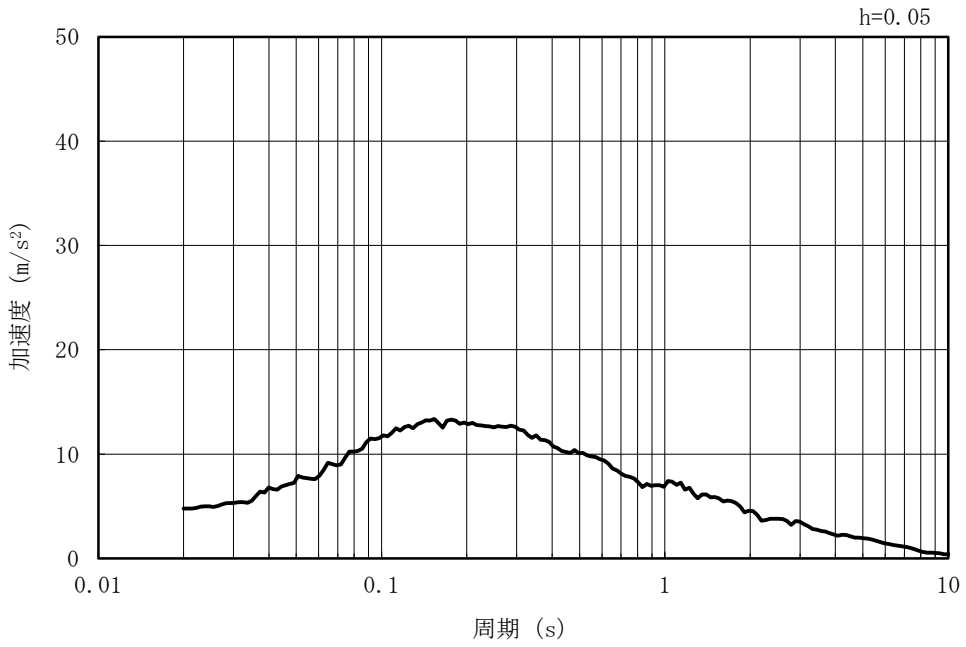


(b) 加速度応答スペクトル

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）

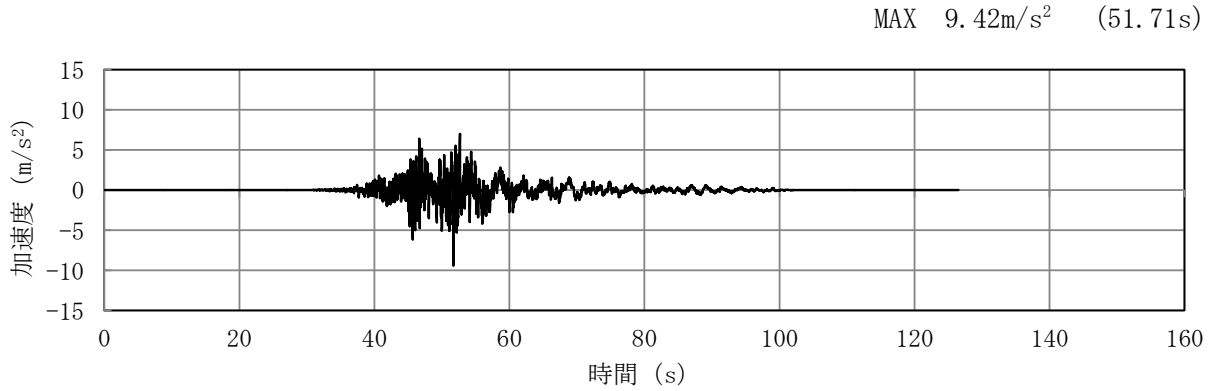


(a) 加速度時刻歴波形

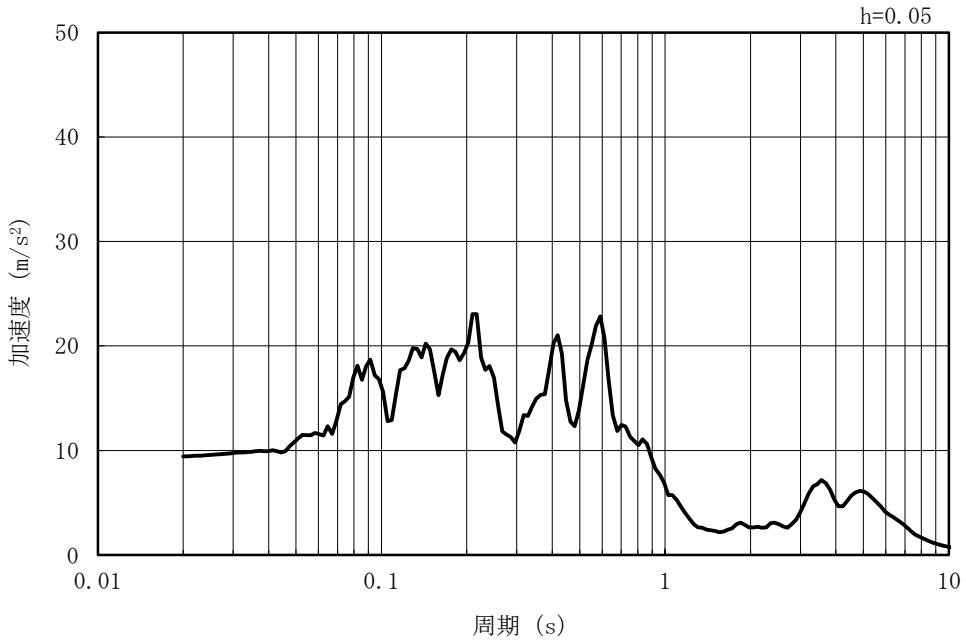


(b) 加速度応答スペクトル

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）

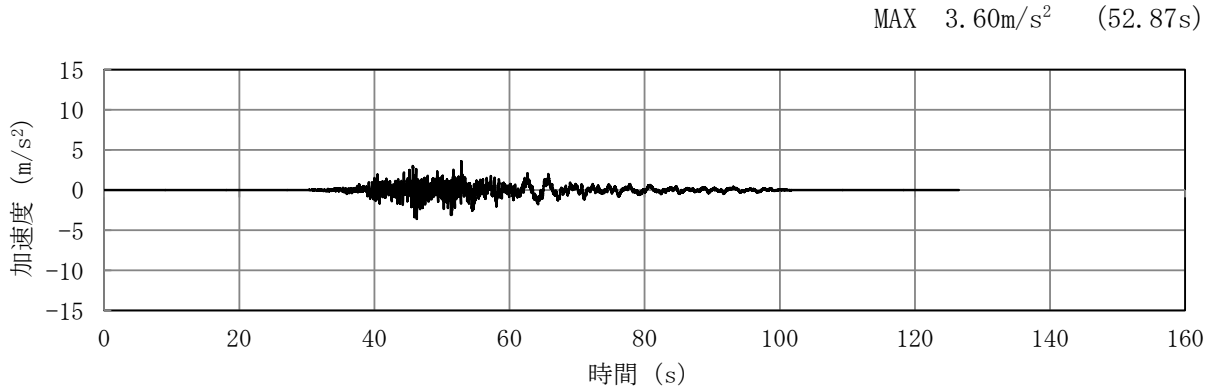


(a) 加速度時刻歴波形

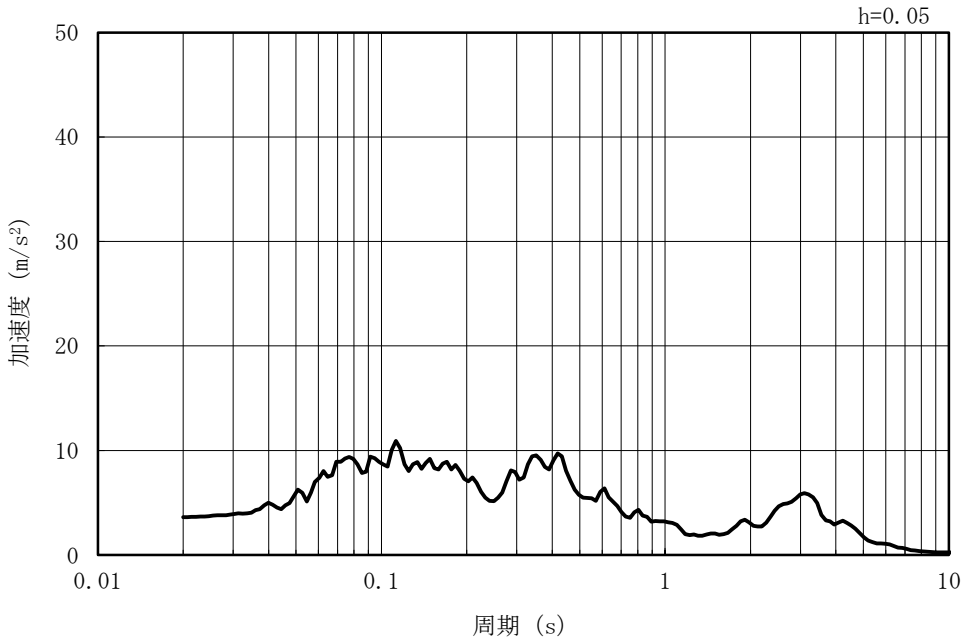


(b) 加速度応答スペクトル

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)

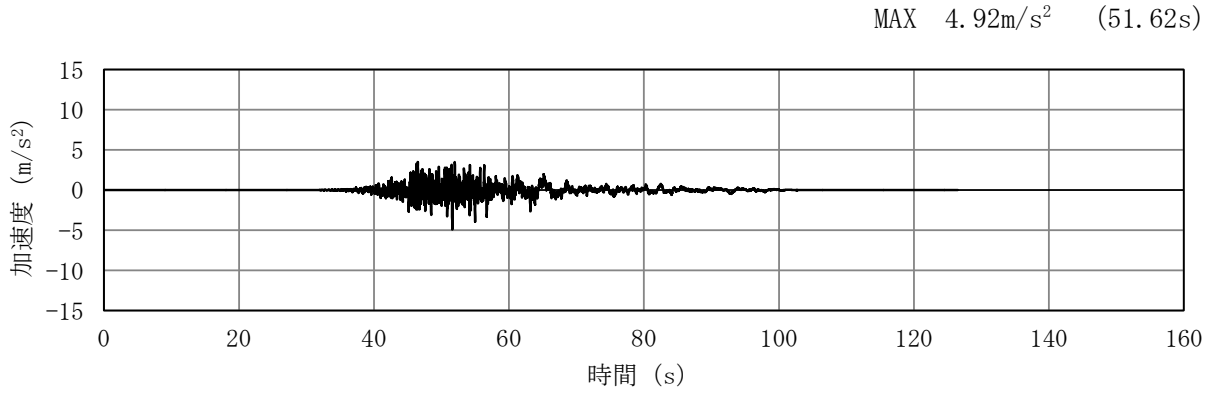


(a) 加速度時刻歴波形

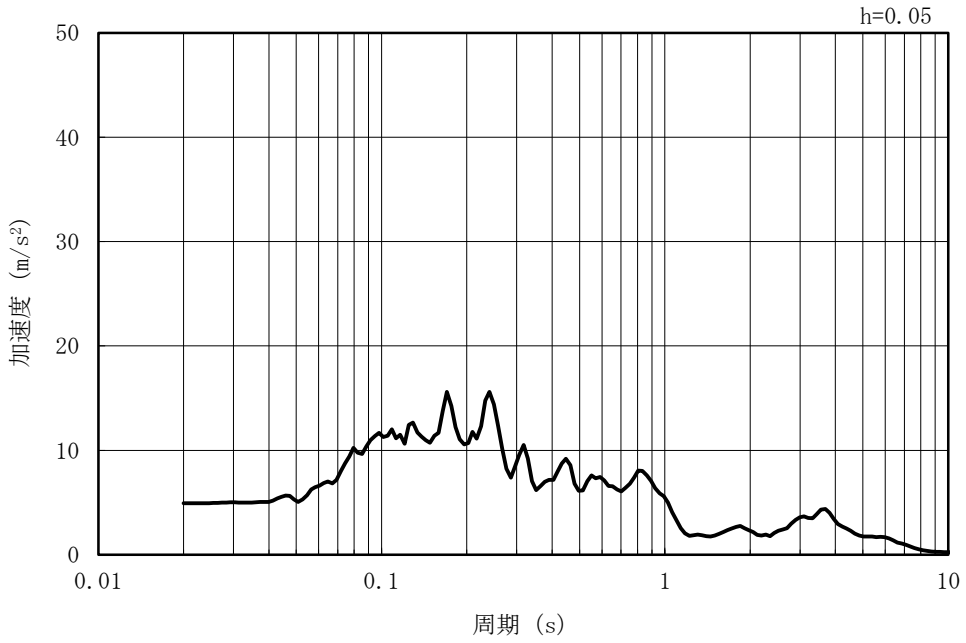


(b) 加速度応答スペクトル

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）

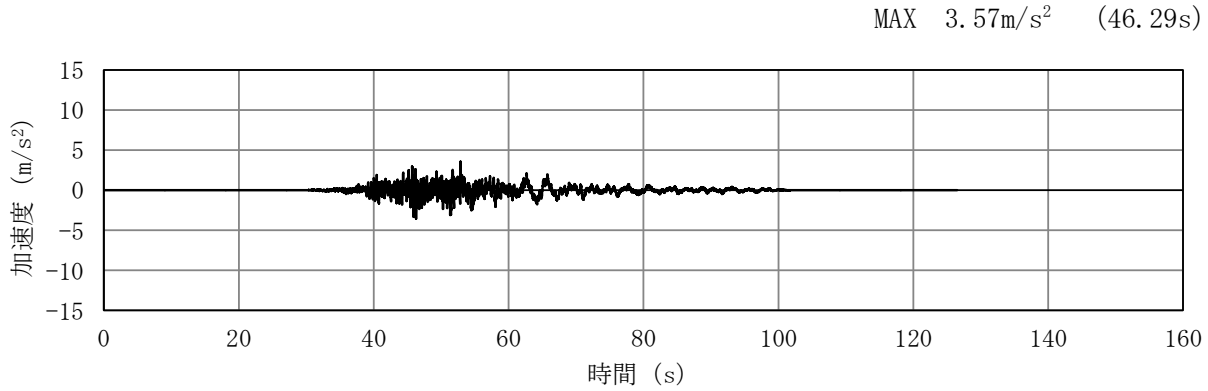


(a) 加速度時刻歴波形

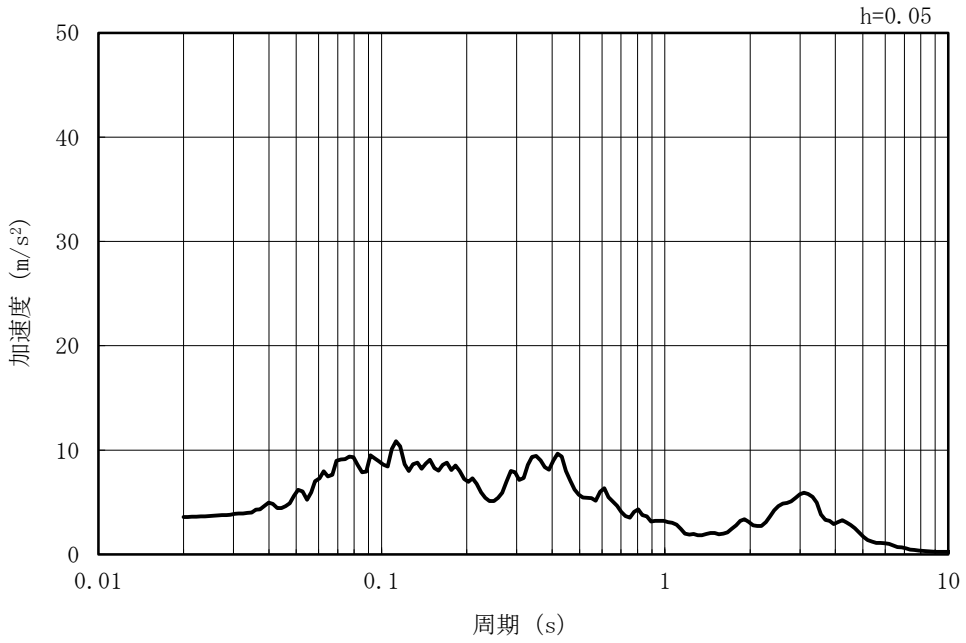


(b) 加速度応答スペクトル

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）

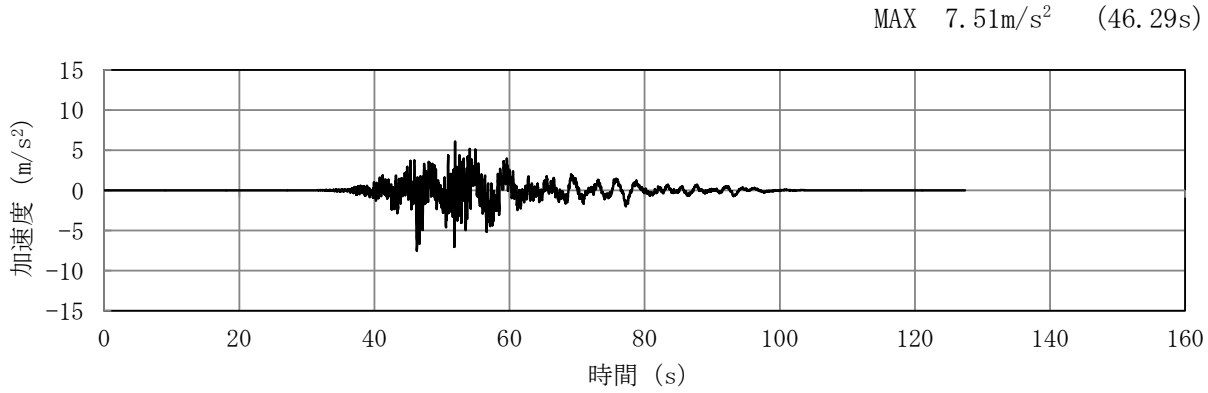


(a) 加速度時刻歴波形

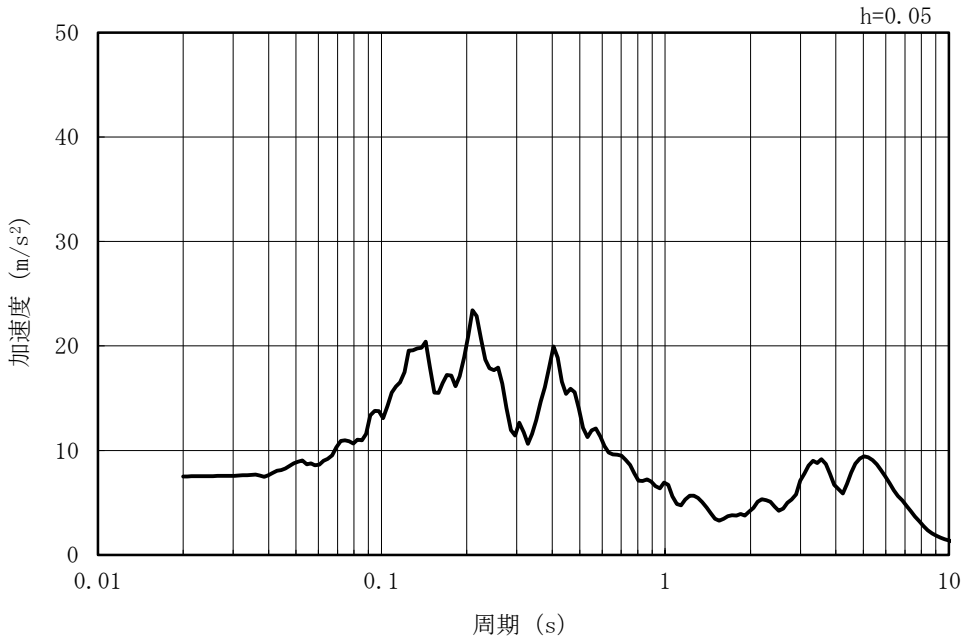


(b) 加速度応答スペクトル

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）

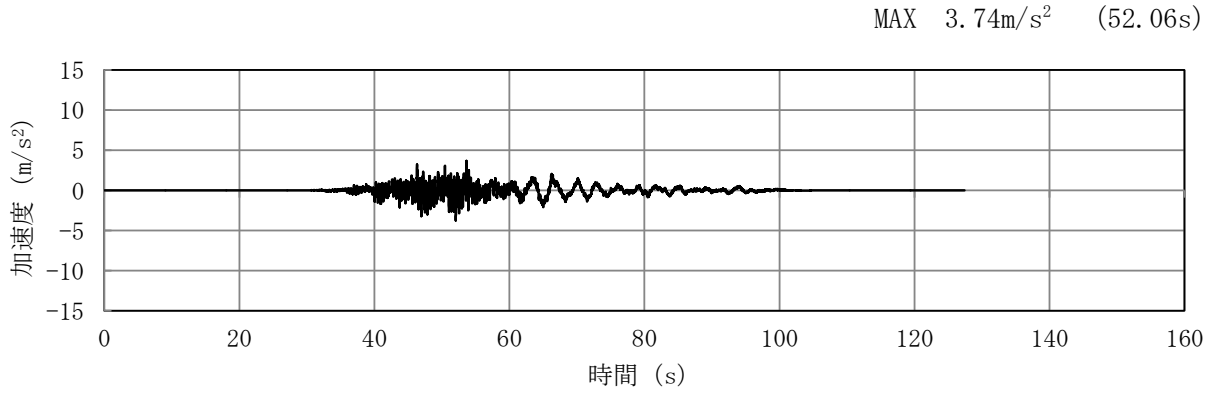


(a) 加速度時刻歴波形

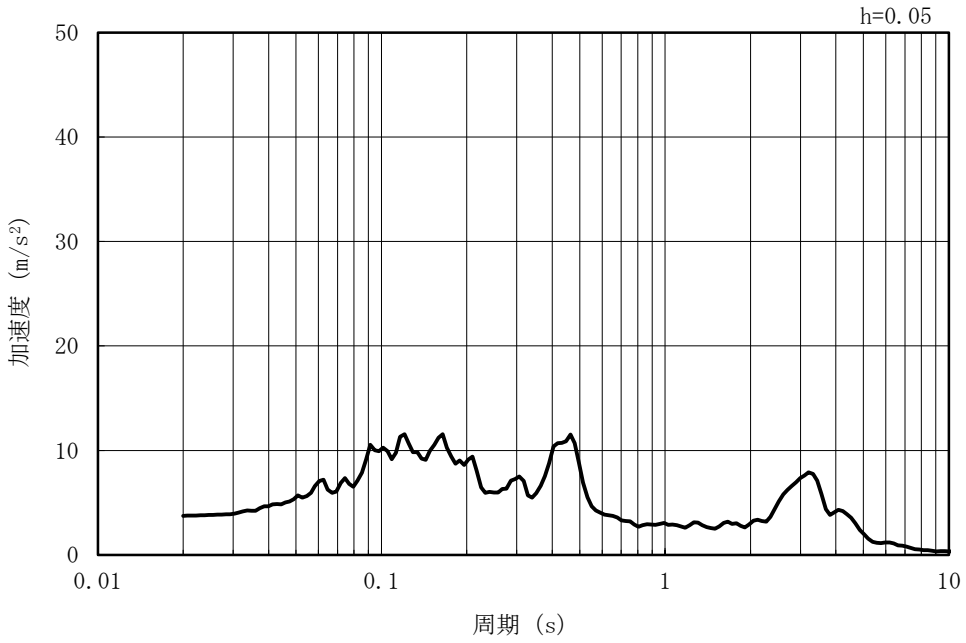


(b) 加速度応答スペクトル

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）

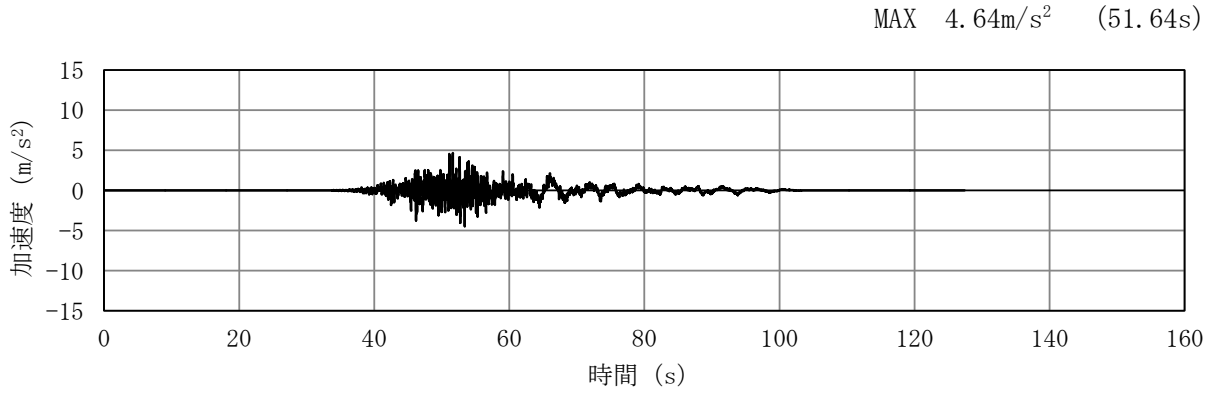


(a) 加速度時刻歴波形

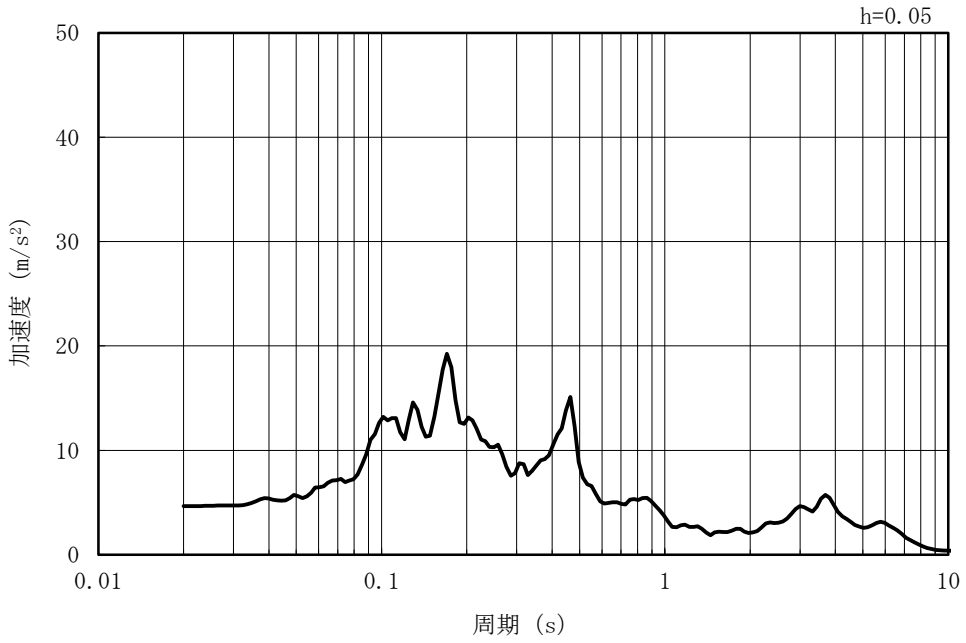


(b) 加速度応答スペクトル

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）

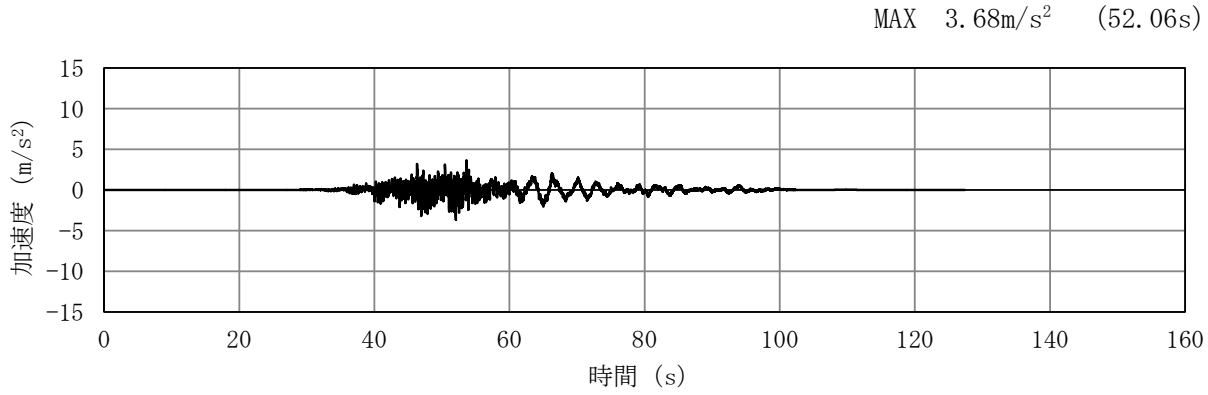


(a) 加速度時刻歴波形

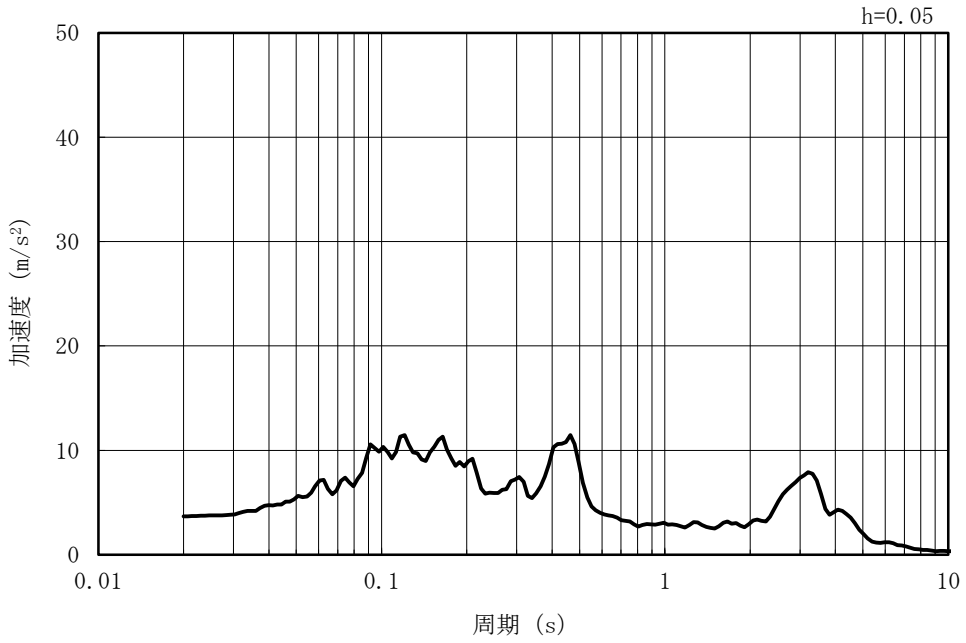


(b) 加速度応答スペクトル

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）

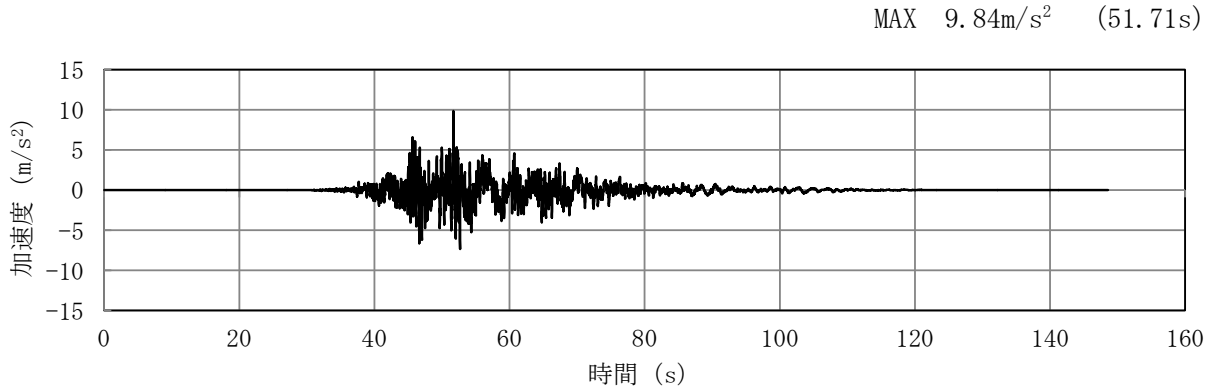


(a) 加速度時刻歴波形

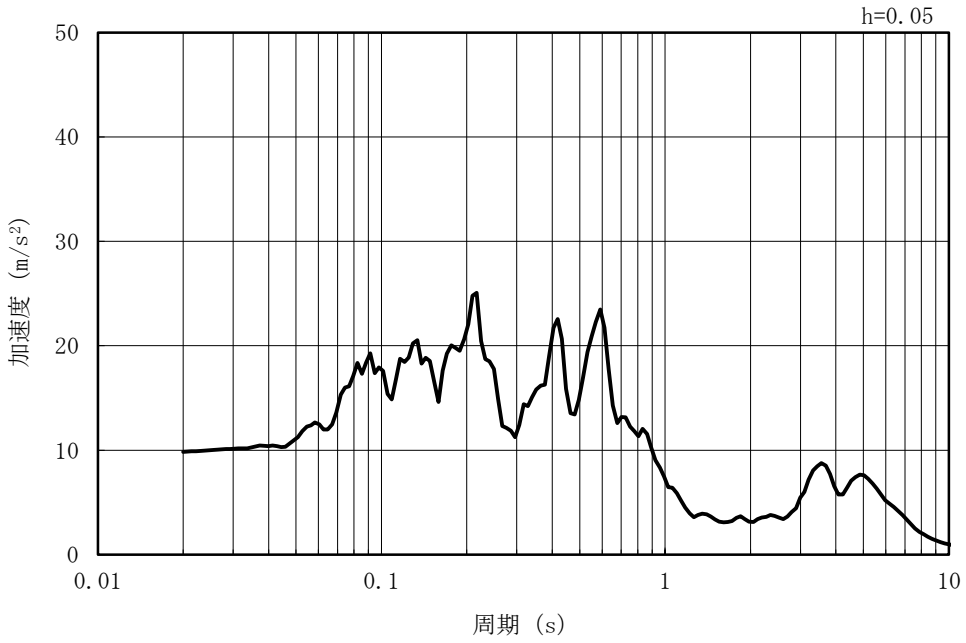


(b) 加速度応答スペクトル

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）

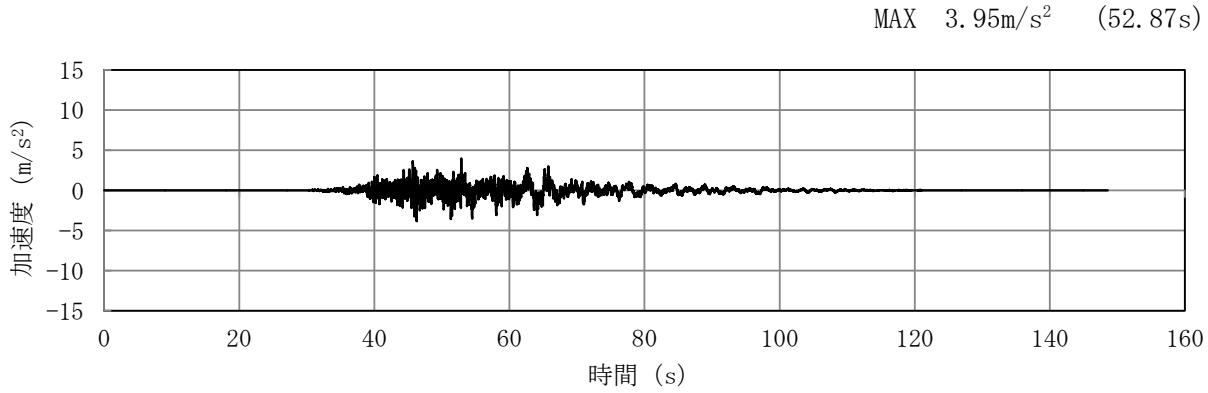


(a) 加速度時刻歴波形

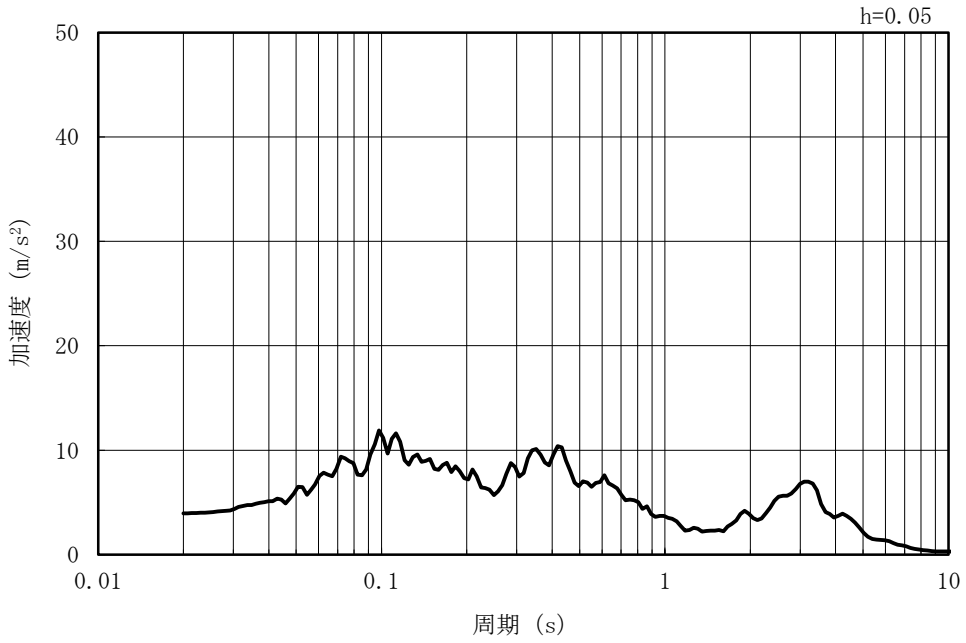


(b) 加速度応答スペクトル

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）

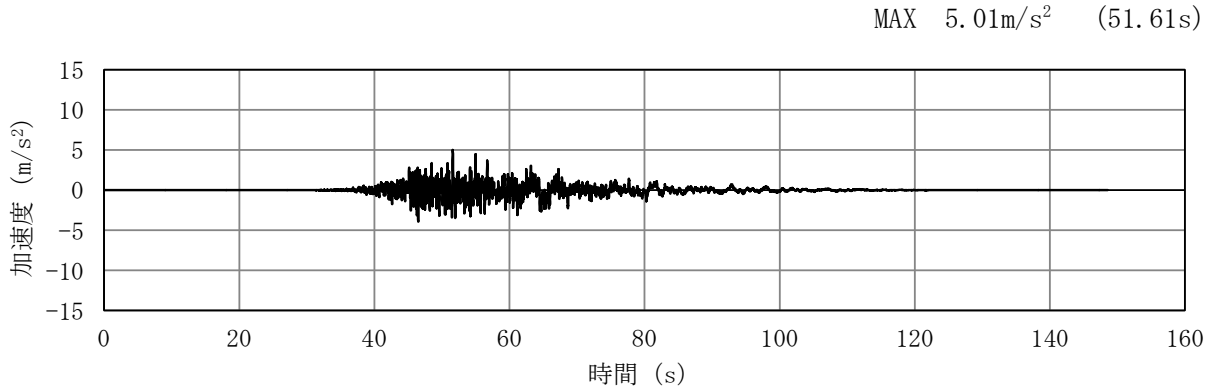


(a) 加速度時刻歴波形

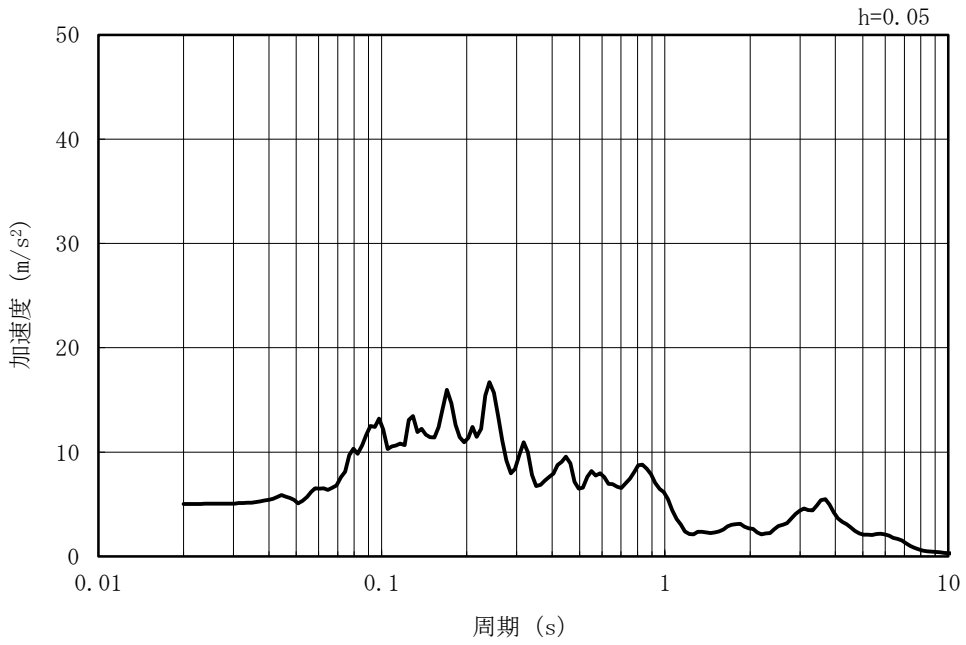


(b) 加速度応答スペクトル

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）

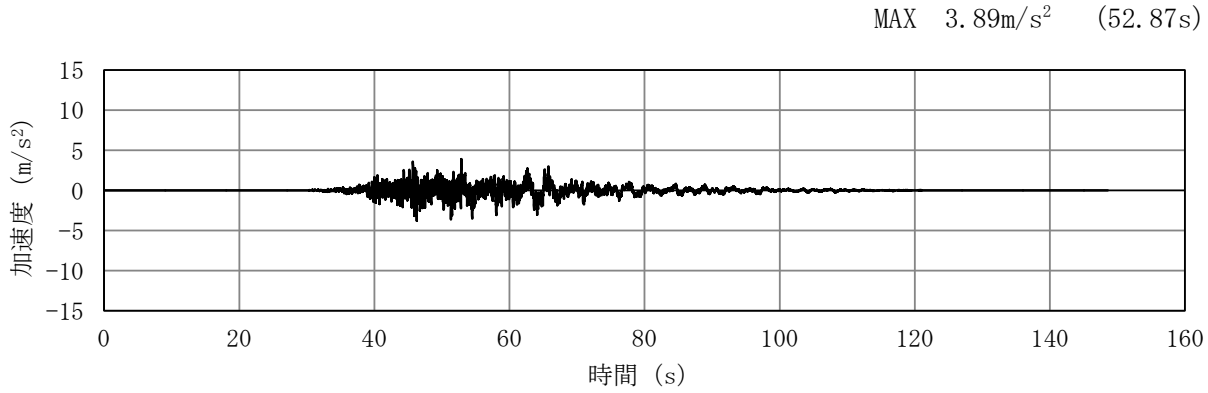


(a) 加速度時刻歴波形

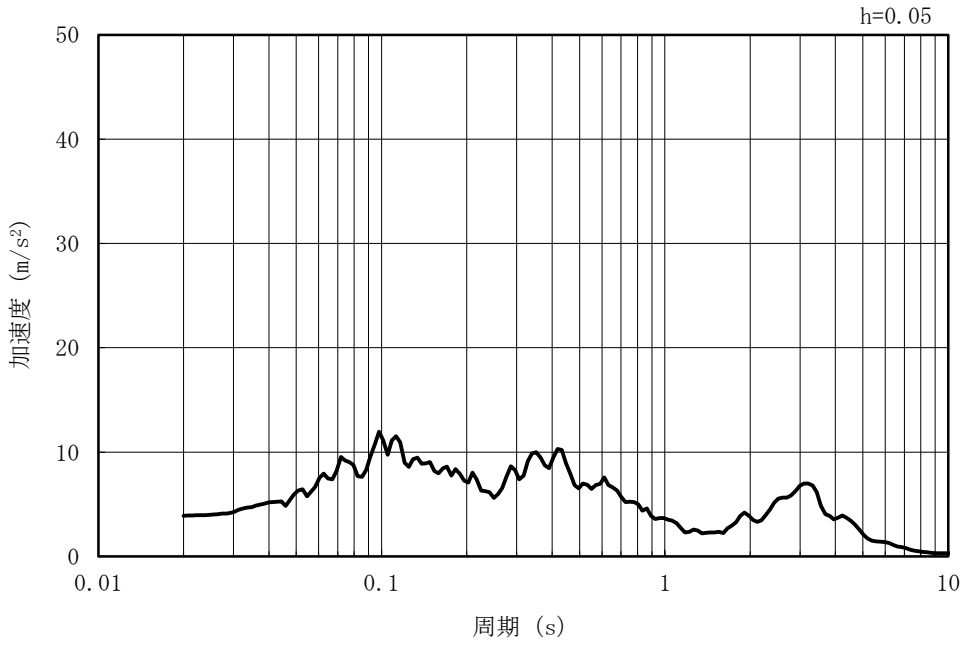


(b) 加速度応答スペクトル

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）

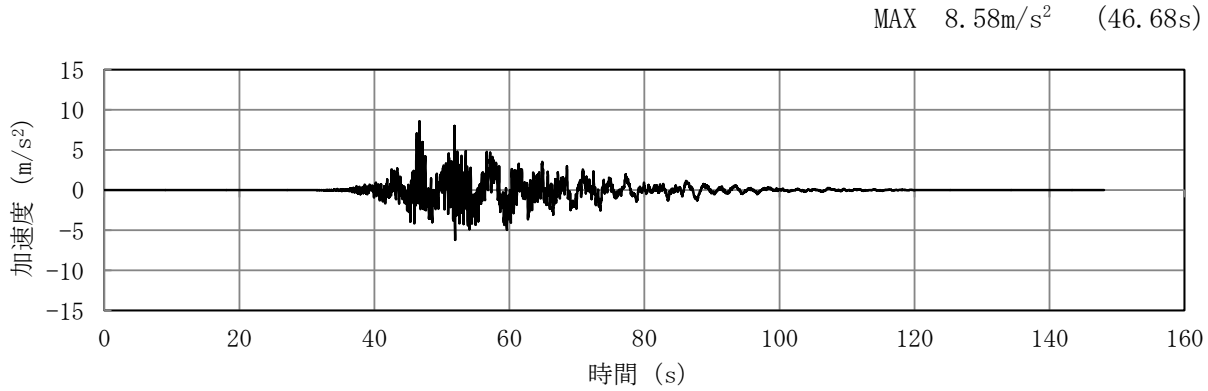


(a) 加速度時刻歴波形

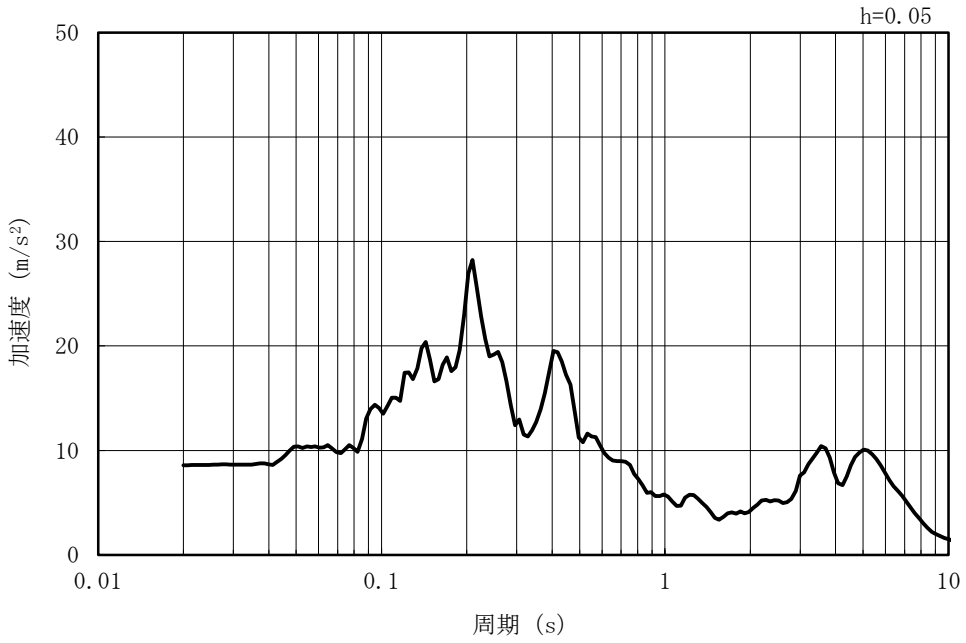


(b) 加速度応答スペクトル

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）

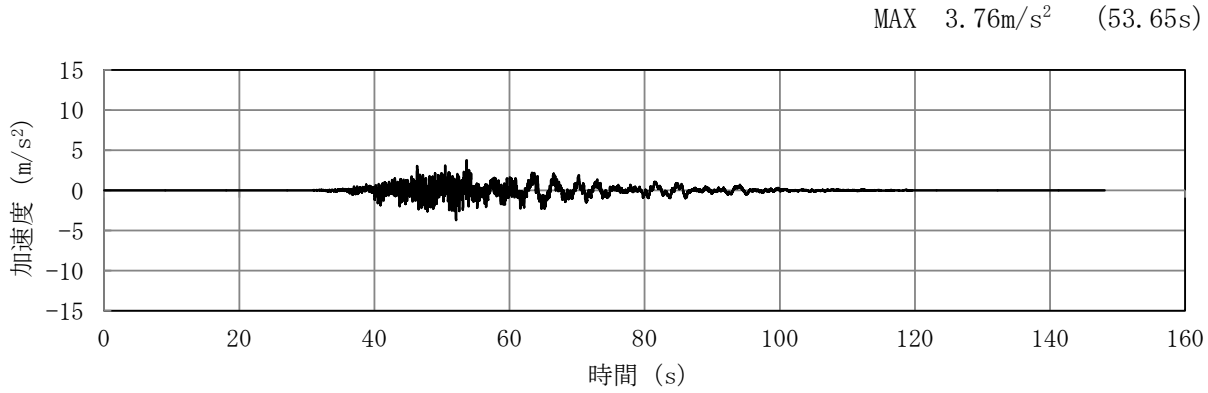


(a) 加速度時刻歴波形

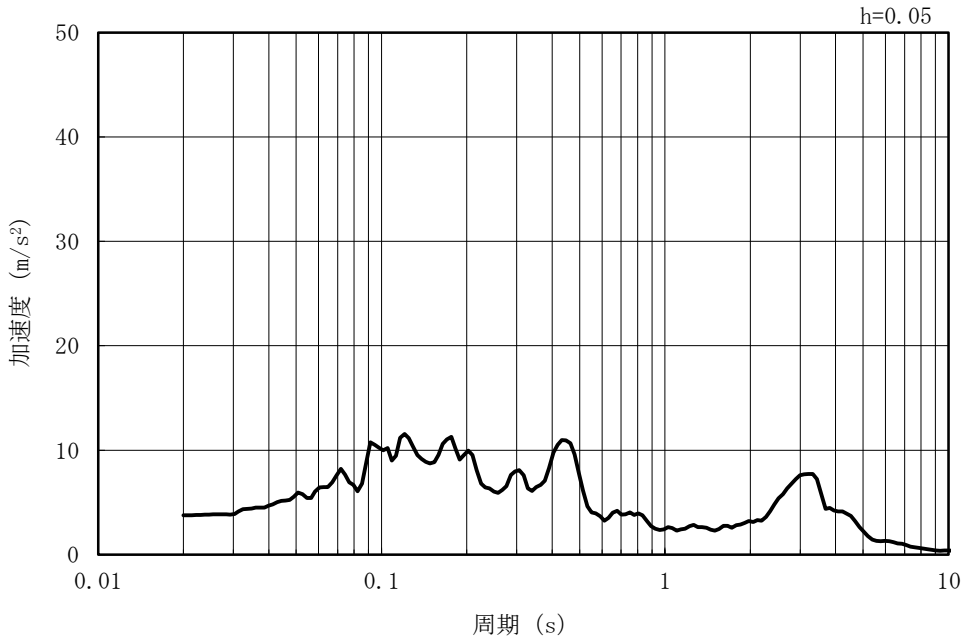


(b) 加速度応答スペクトル

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）

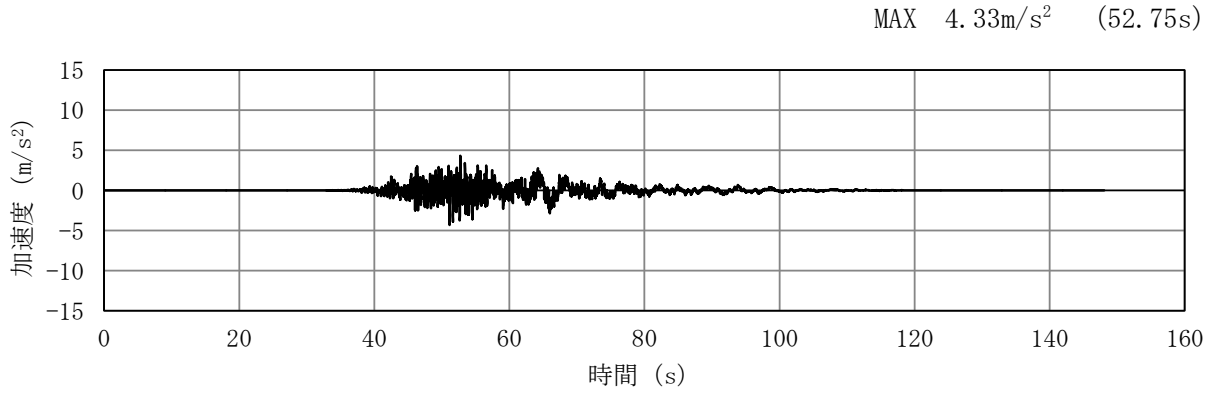


(a) 加速度時刻歴波形

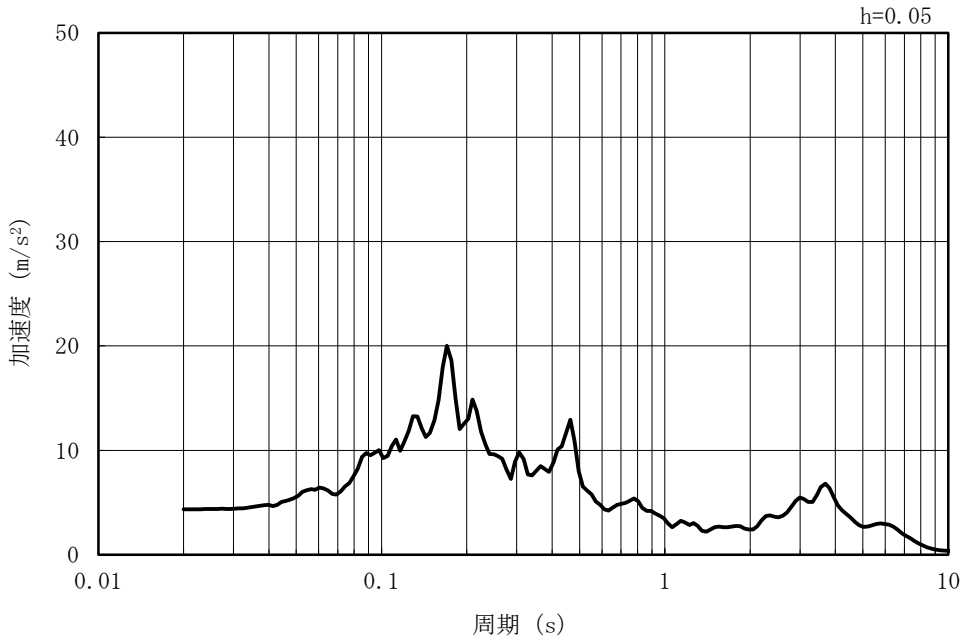


(b) 加速度応答スペクトル

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）

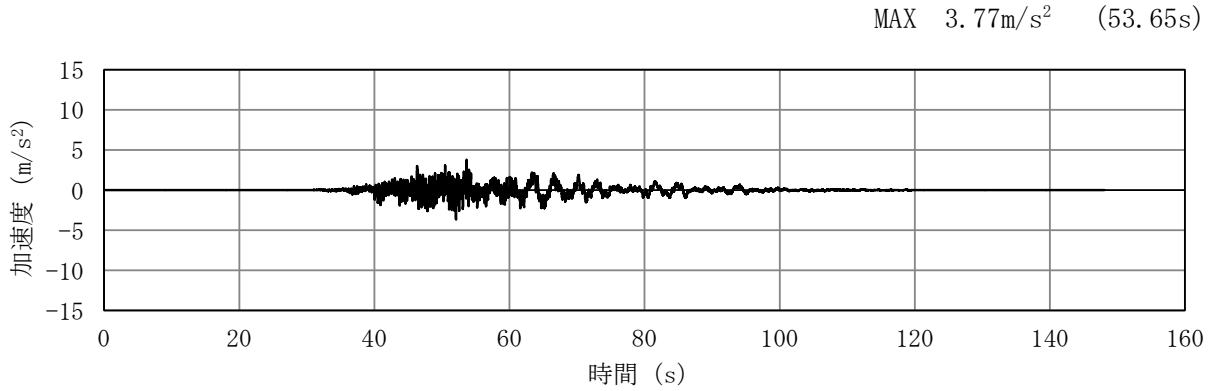


(a) 加速度時刻歴波形

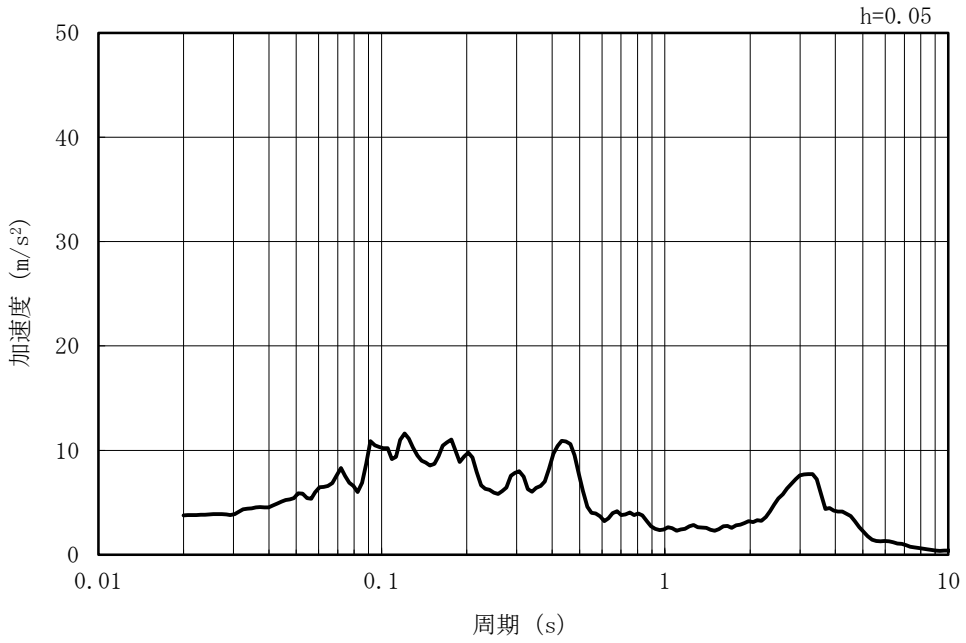


(b) 加速度応答スペクトル

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）

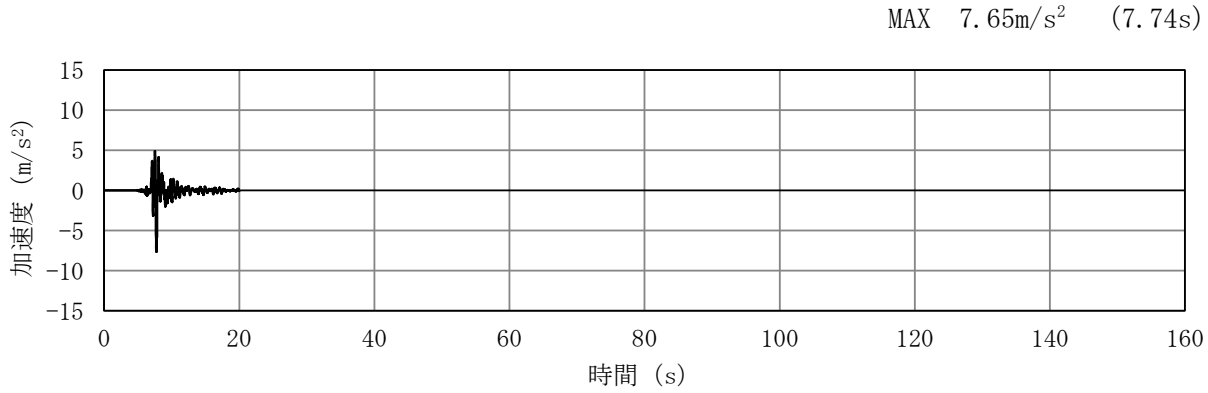


(a) 加速度時刻歴波形

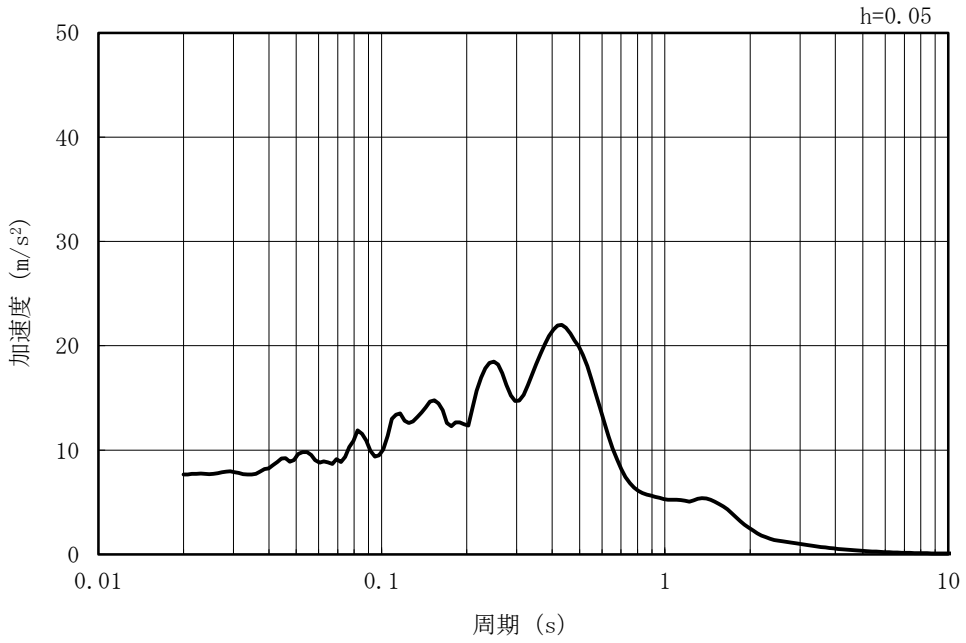


(b) 加速度応答スペクトル

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）

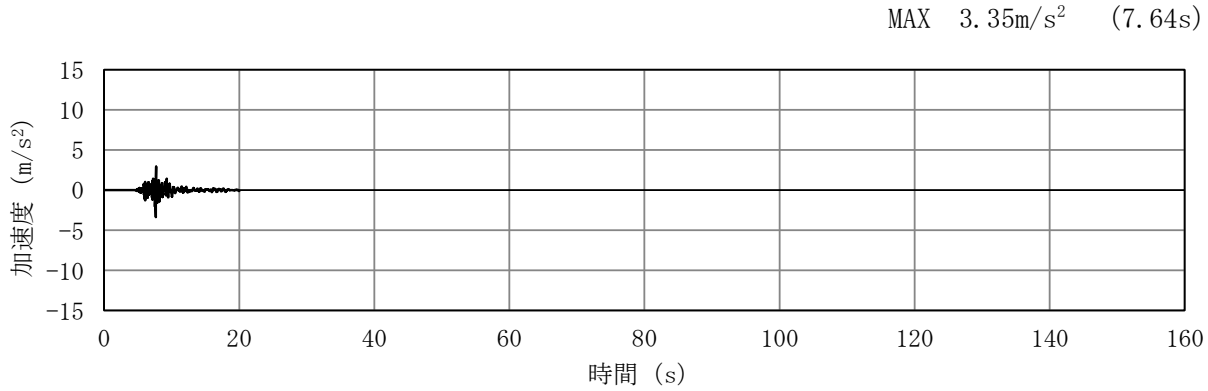


(a) 加速度時刻歴波形

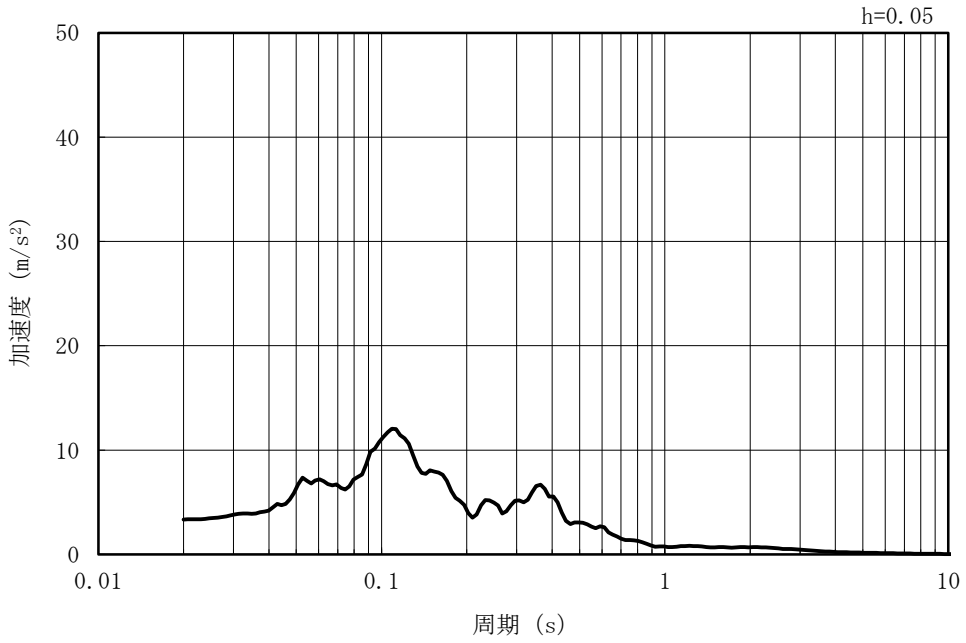


(b) 加速度応答スペクトル

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。

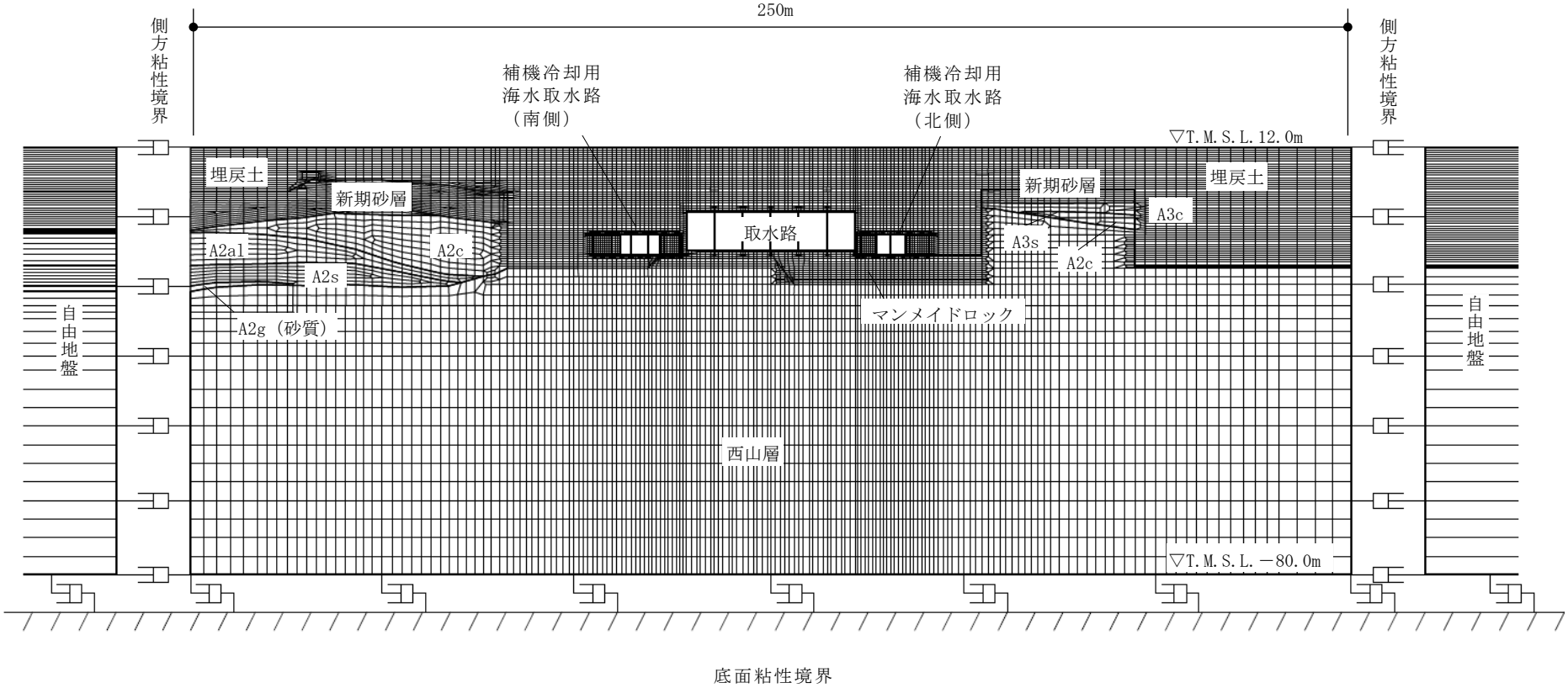


図３－８（1）　補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル（Ａ－Ａ断面）

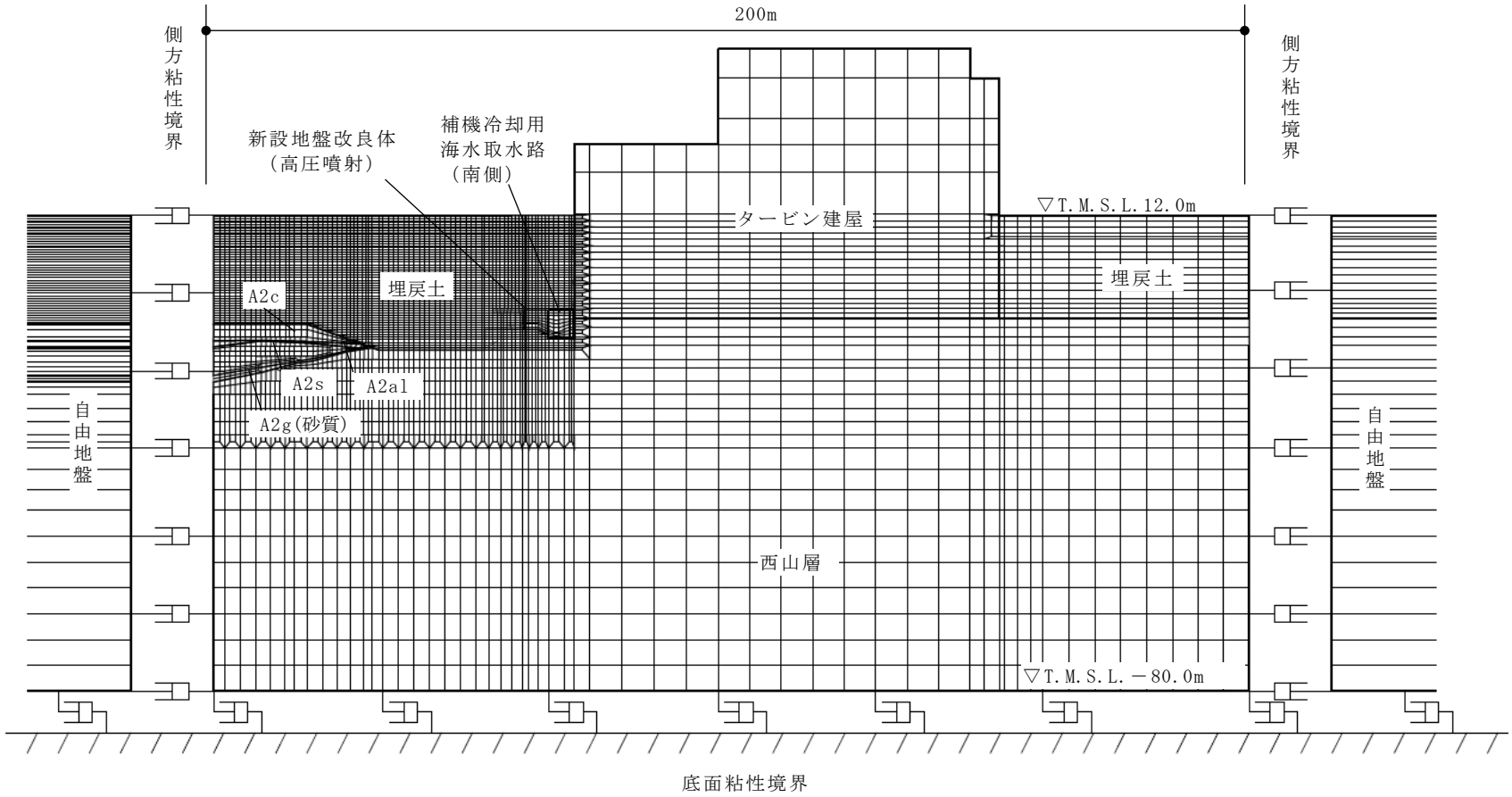
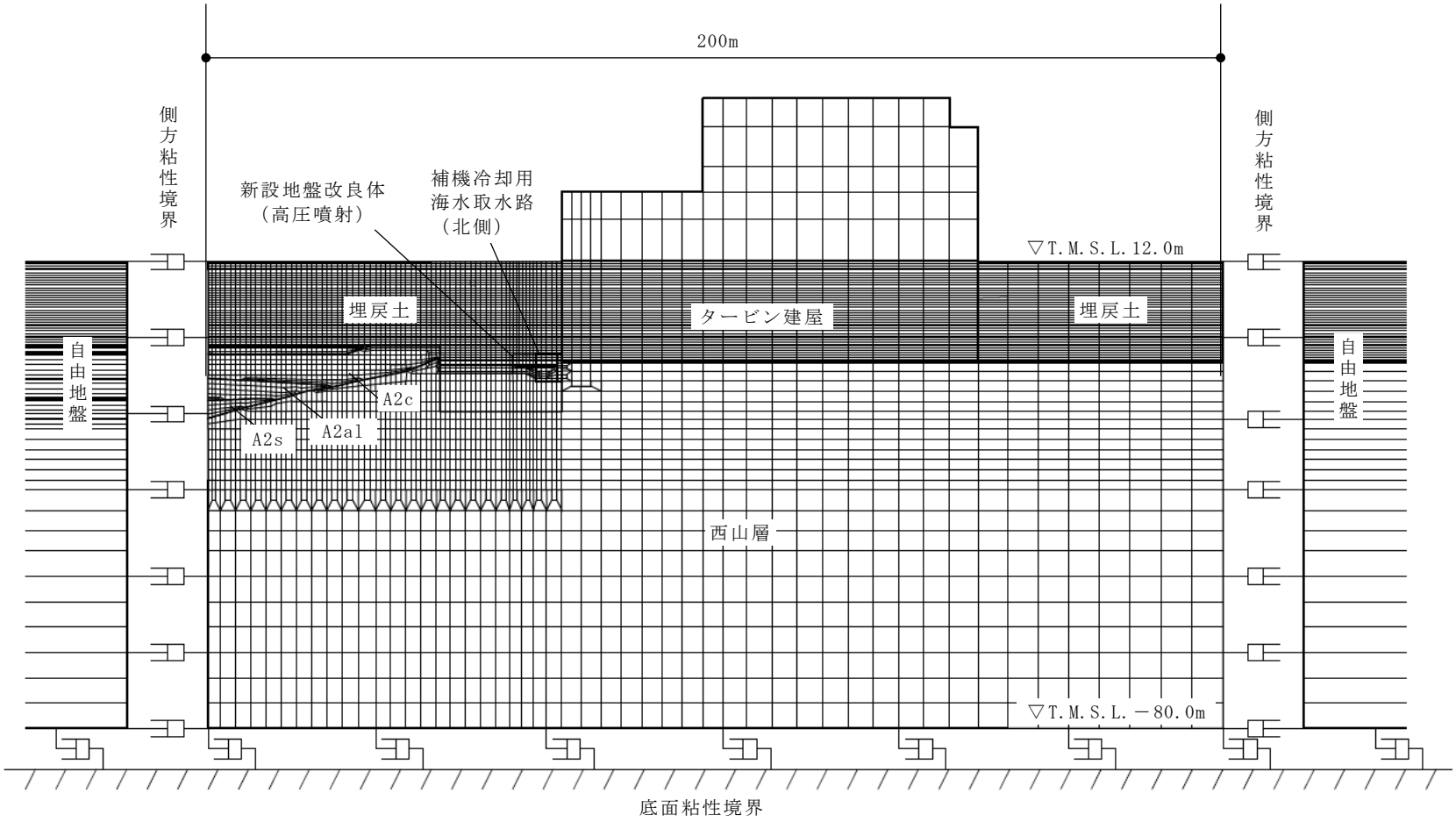
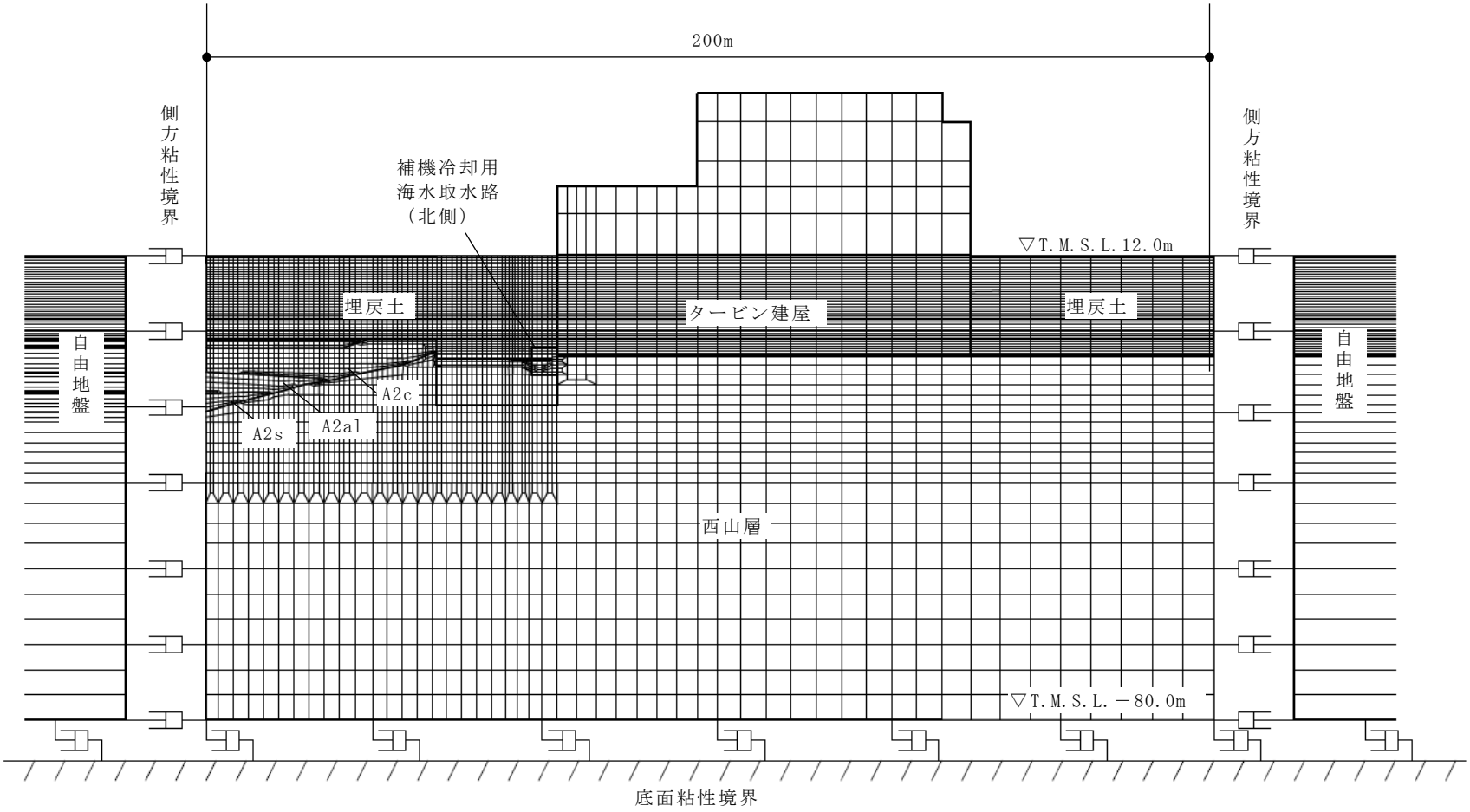


図３－８（２）　補機冷却用海水取水路の地震応答解析モデル（南側，Ｂ－Ｂ断面）



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

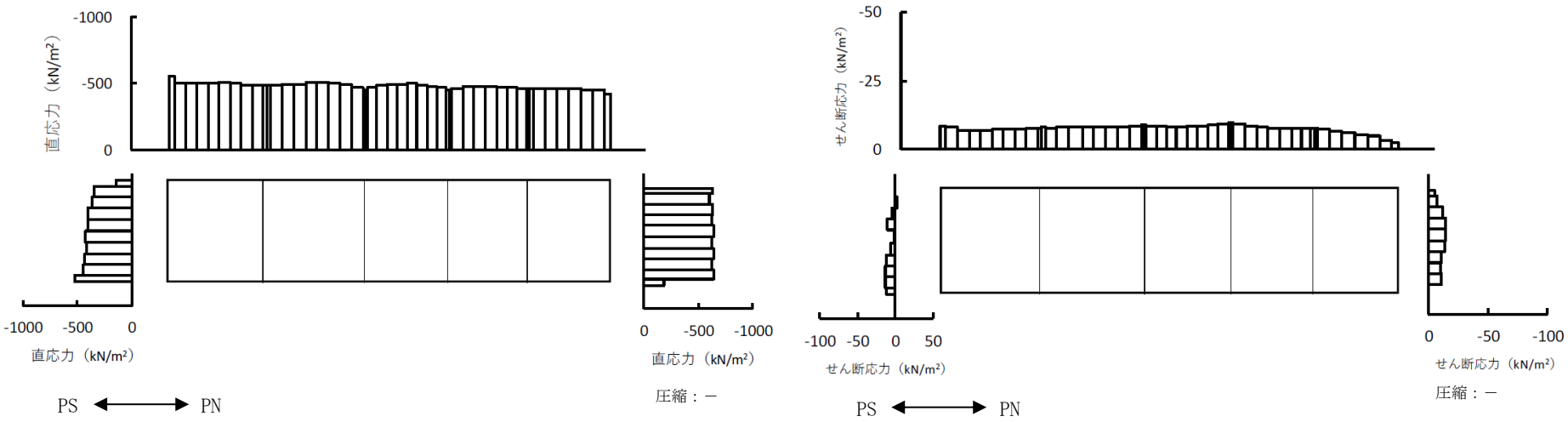
地盤及びマンメイドロックについては，Ⅴ-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。地盤改良体については，Ⅴ-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値に基づき，地盤改良体の配置を考慮した物性値を設定する。地盤改良体の配置を考慮した物性値を表 3－5 に示す。

表 3－5　地盤改良体の配置を考慮した物性値

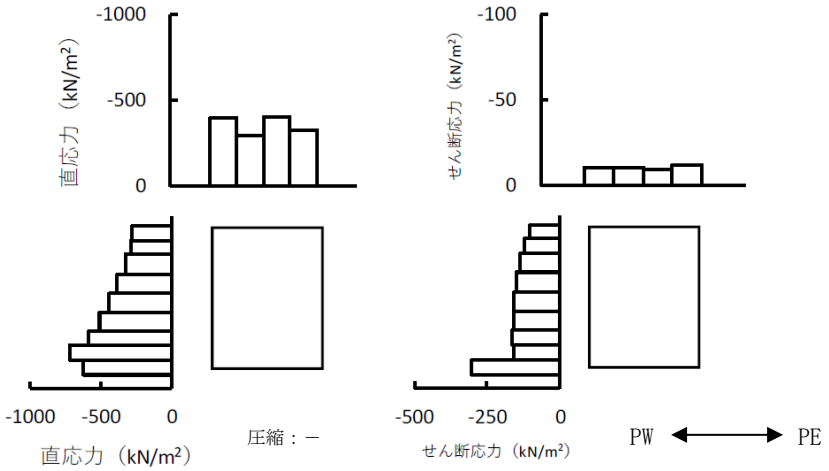
既設／新設				新設地盤改良体
種別（地盤種別）				高圧噴射（砂質土）
物理特性	密度	ρ	(g/cm^3)	1.94
	間隙率	n		0.49
変形特性	動せん断弾性係数	G_{ma}	(kN/m^2)	2.51×10^5
	基準平均有効拘束圧	σ_{ma}'	(kN/m^2)	98.0
	ポアソン比	ν		0.33
	減衰定数の上限値	h_{max}		0.050
強度特性	粘着力	c	(kN/m^2)	500

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。

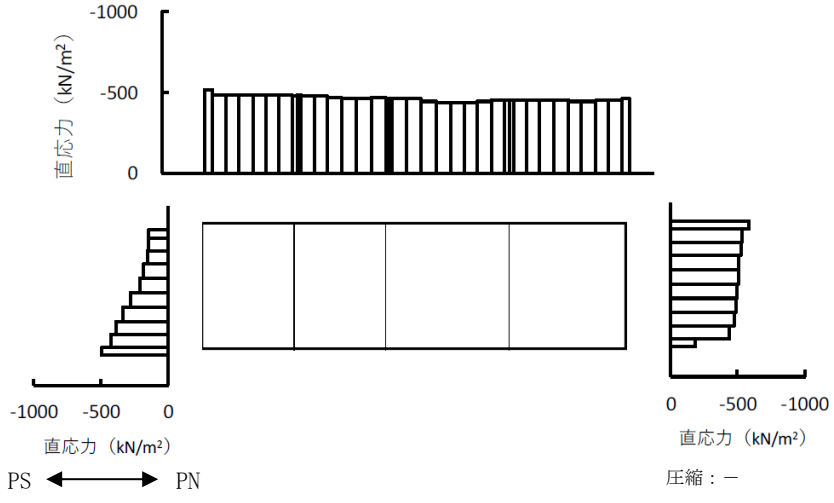


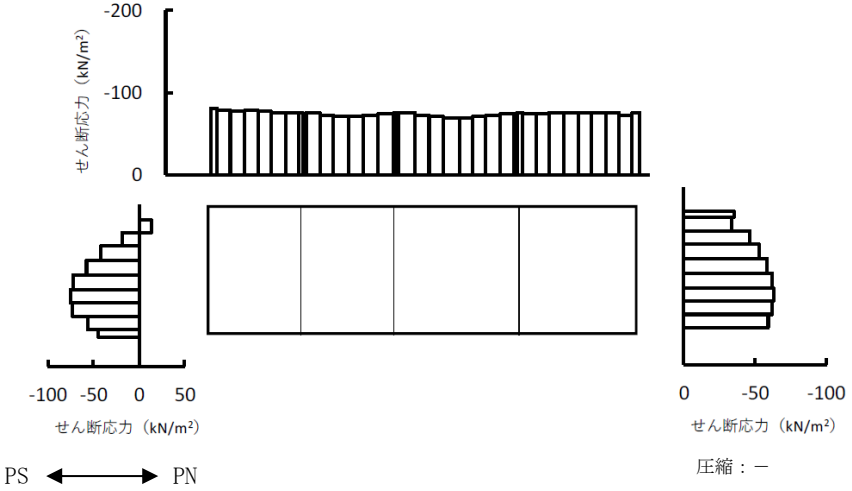
(a)　Ａ－Ａ断面の作用荷重分布



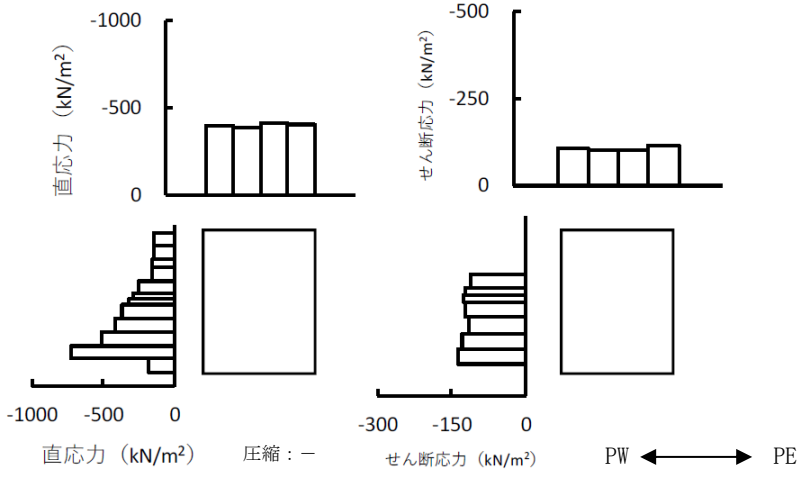
(b)　Ｂ－Ｂ断面の作用荷重分布

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＋－）

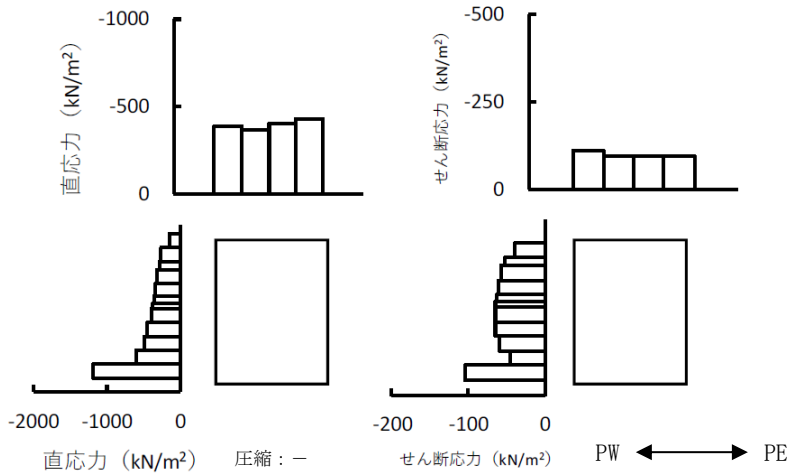




(a)　A－A断面の作用荷重分布



(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＋－）

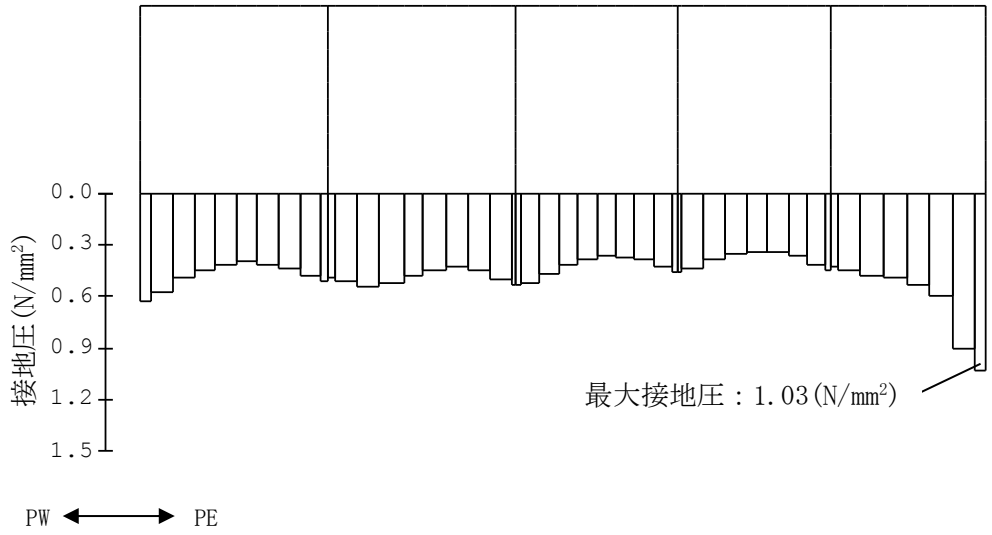


図 3－10（1） 補機冷却用海水取水路の最大接地圧分布図
（南側，解析ケース①，Ss-1－－）

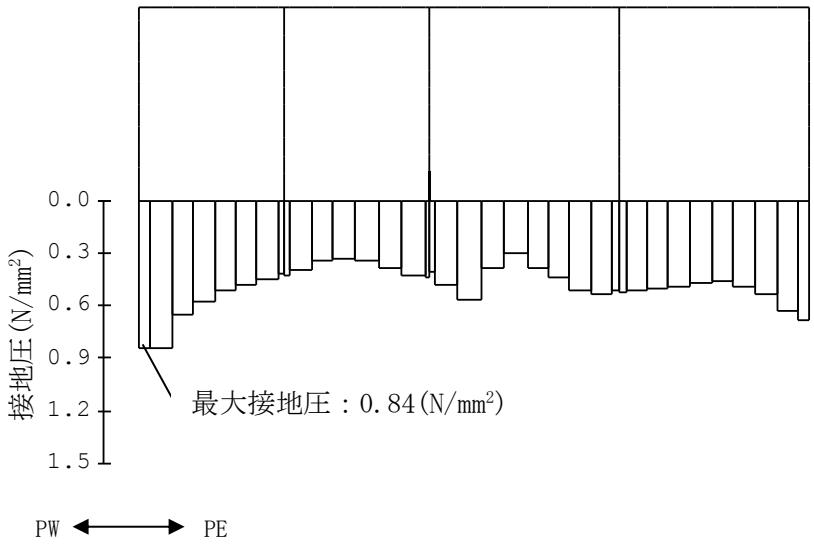


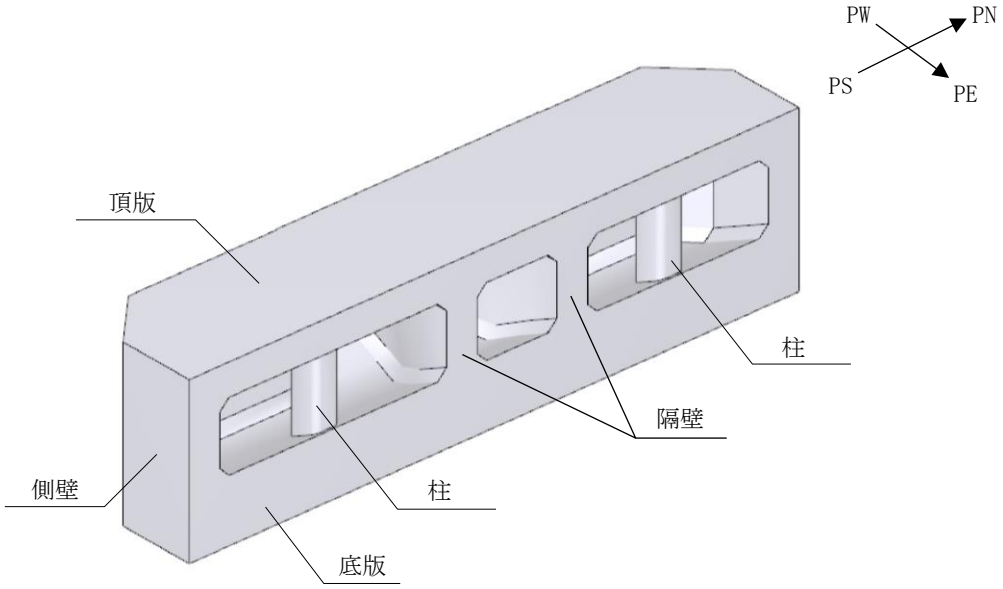
図 3－10（2） 補機冷却用海水取水路の最大接地圧分布図
（北側，解析ケース②，Ss-1＋－）

4.　3 次元構造解析

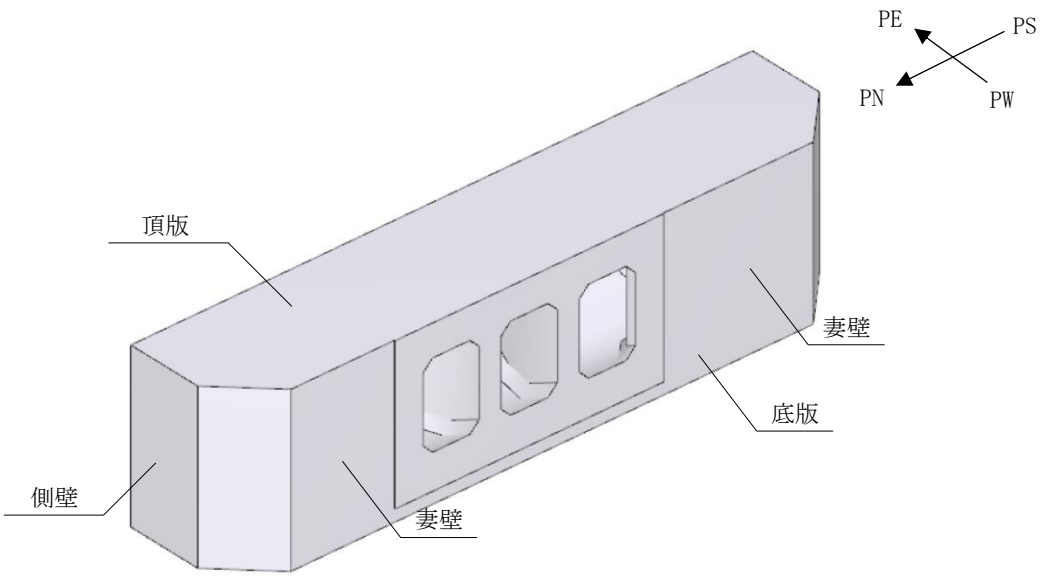
4.1　評価対象部材

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。



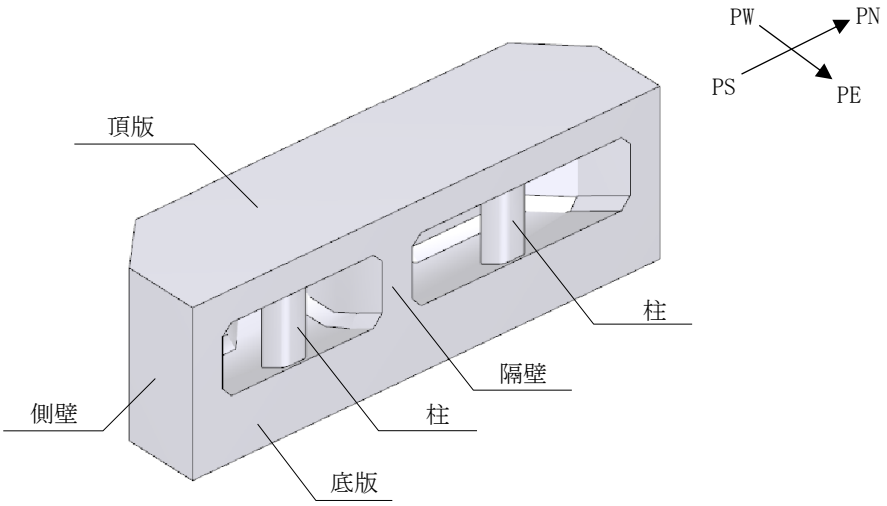
(a)　鳥瞰図（東側視点）



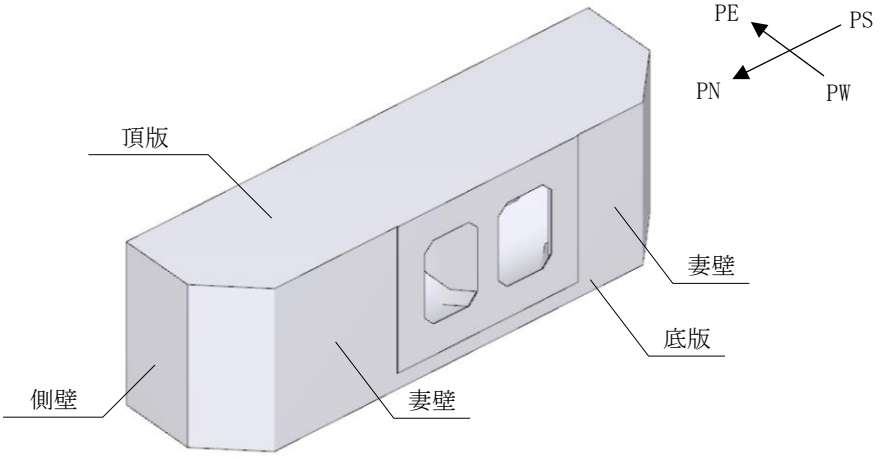
(b)　鳥瞰図（西側視点）

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。

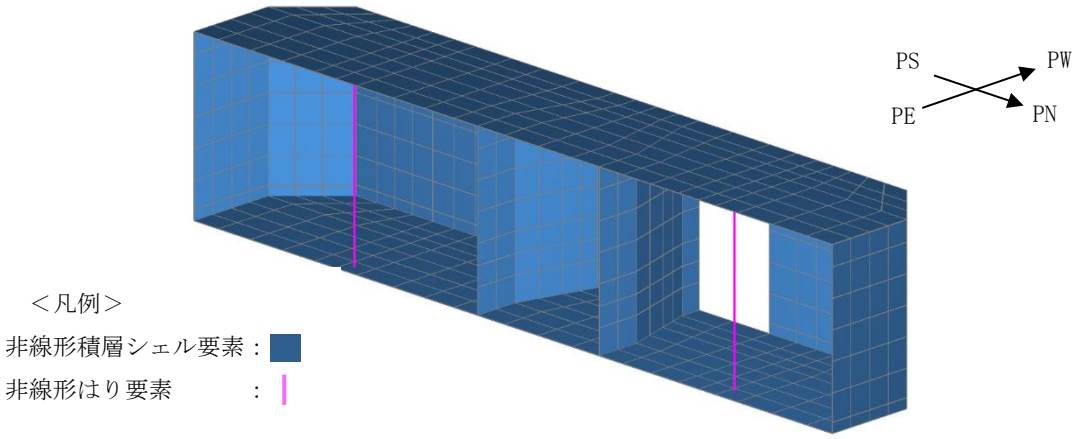


図 4－2（1）　補機冷却用海水取水路のモデル概念図（南側）

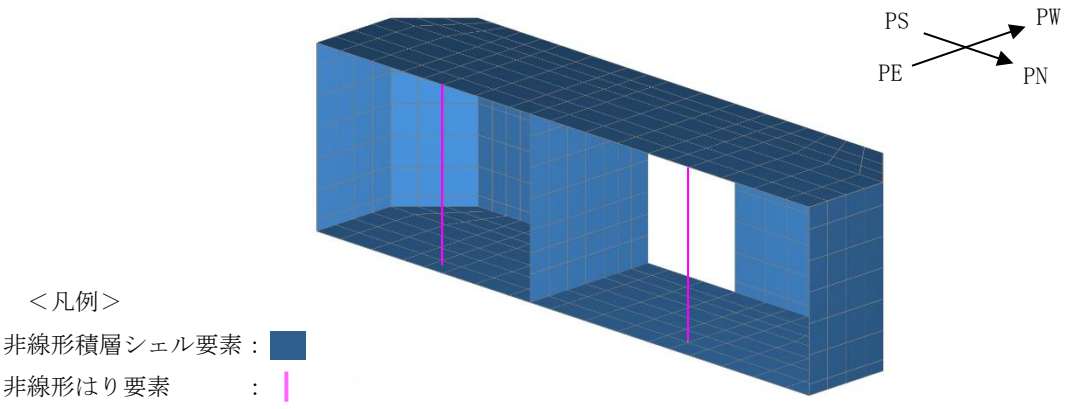
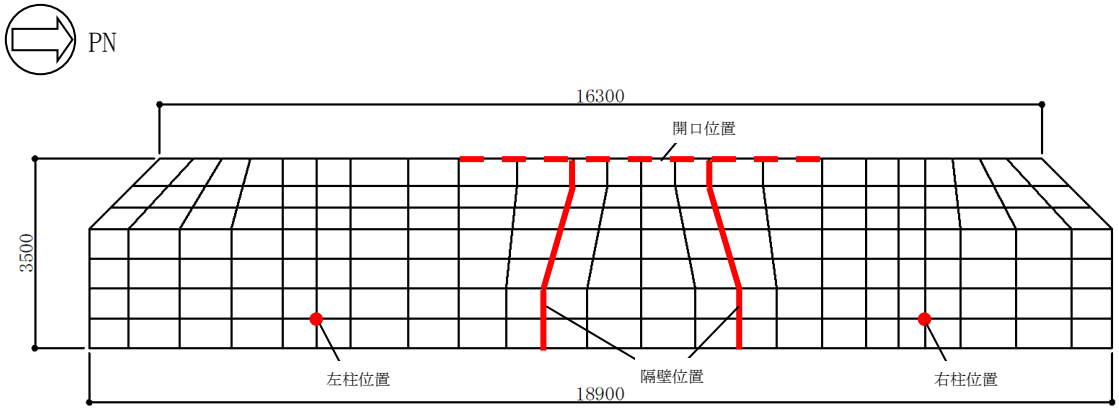
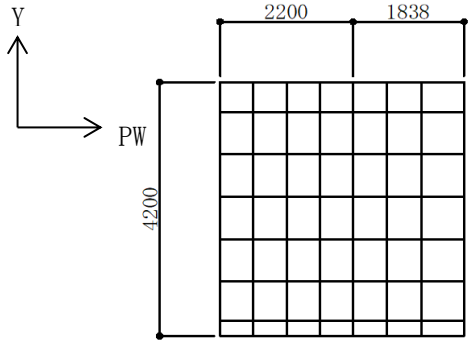


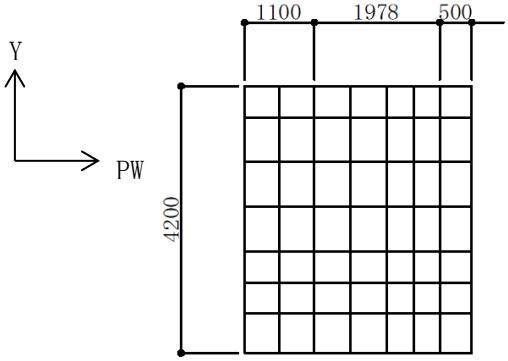
図 4－2（2）　補機冷却用海水取水路のモデル概念図（北側）



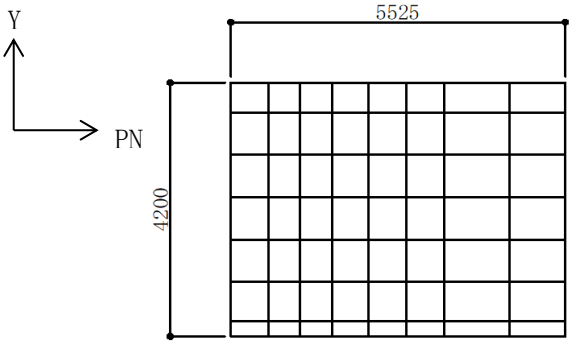
(a)　頂版及び底版



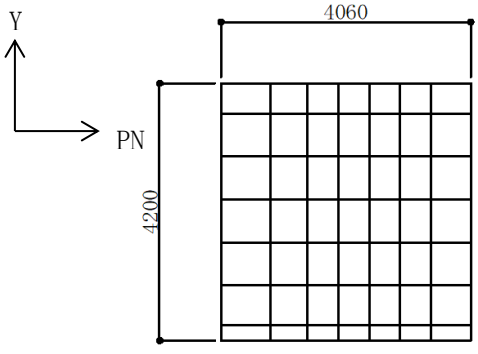
(b)　南側壁及び北側壁



(c)　隔壁



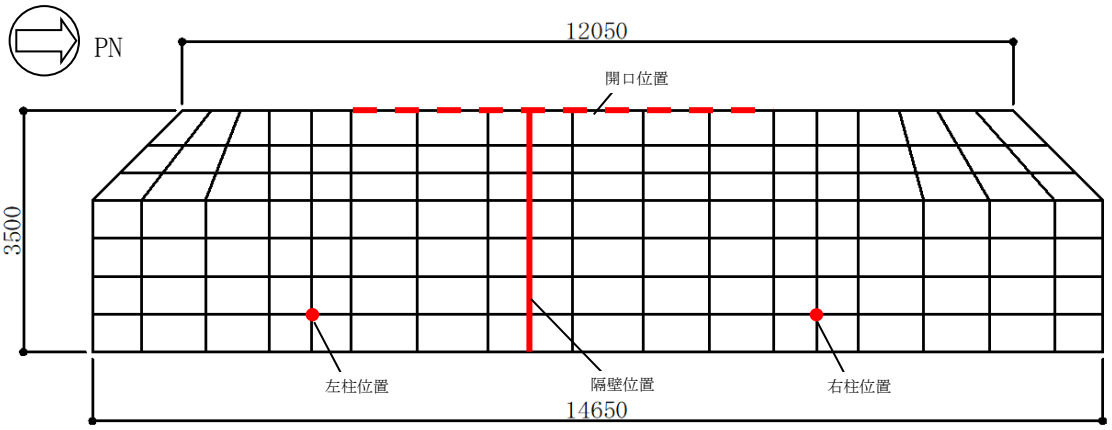
(d)　南妻壁



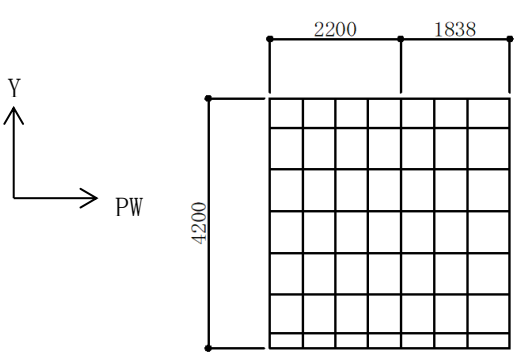
(e)　北妻壁

(単位：mm)

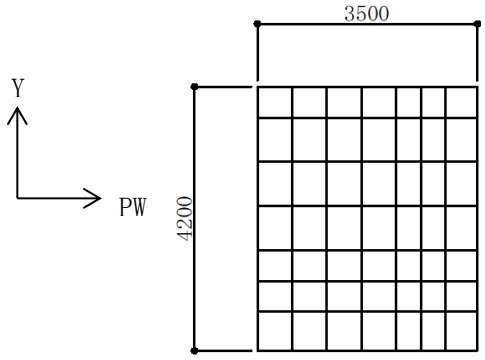
図 4－3 (1)　要素分割図（補機冷却用海水取水路（南側））



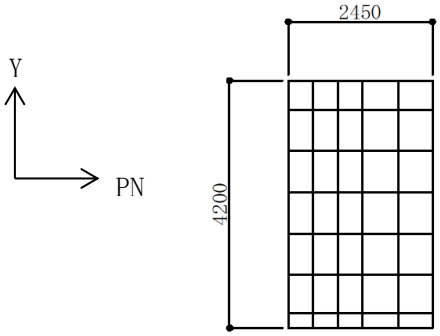
(a)　頂版及び底版



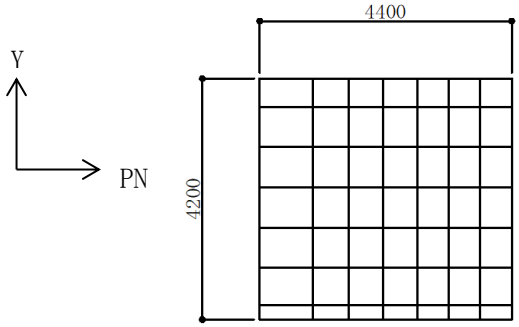
(b)　南側壁及び北側壁



(c)　隔壁



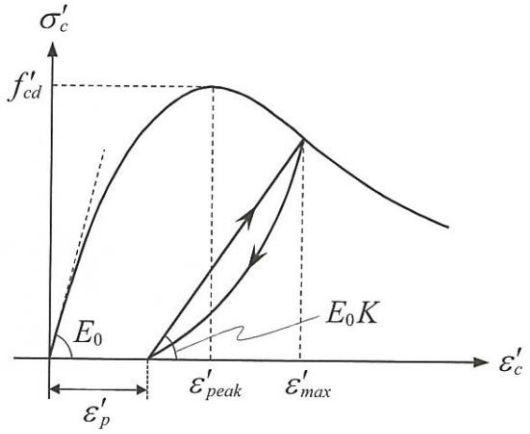
(d)　南妻壁



(e)　北妻壁

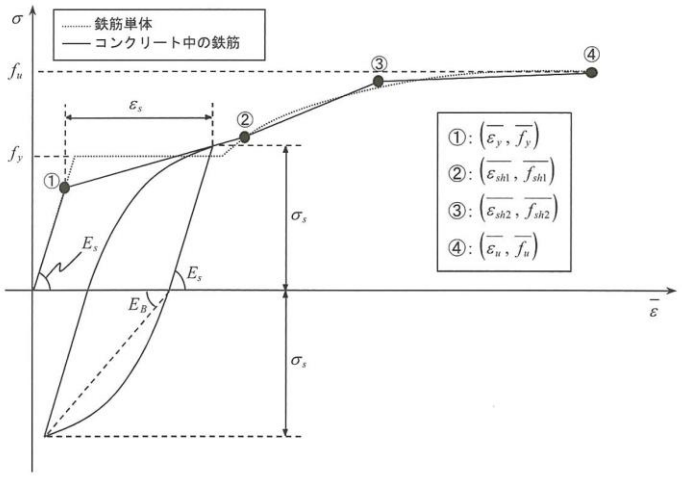
(単位：mm)

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。

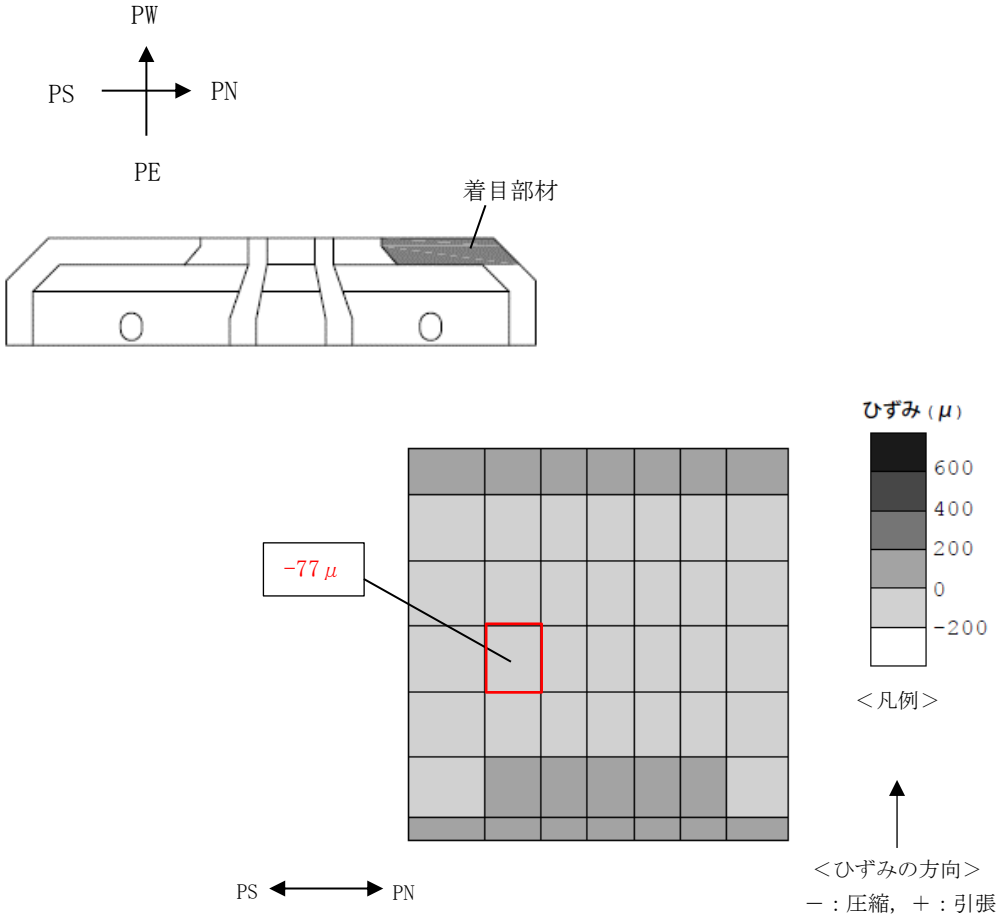
表 4－1　3 次元構造解析における入力荷重

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

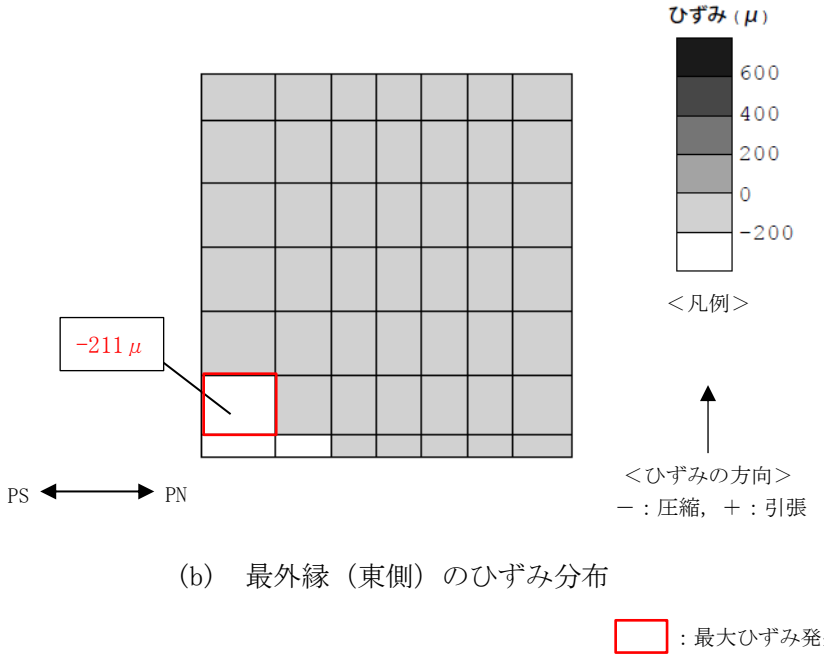
注記＊　：動水圧は，地震応答解析から抽出した応答加速度に基づき算定する。

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。



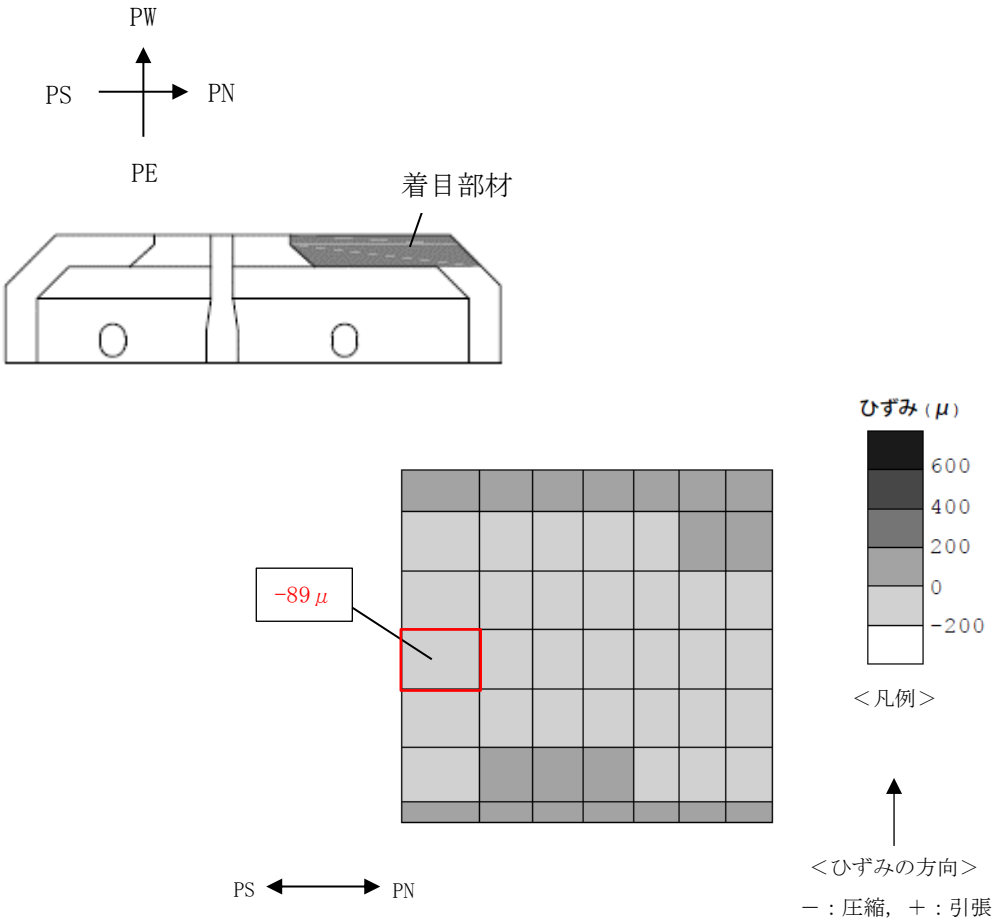
(a)　最外縁（西側）のひずみ分布



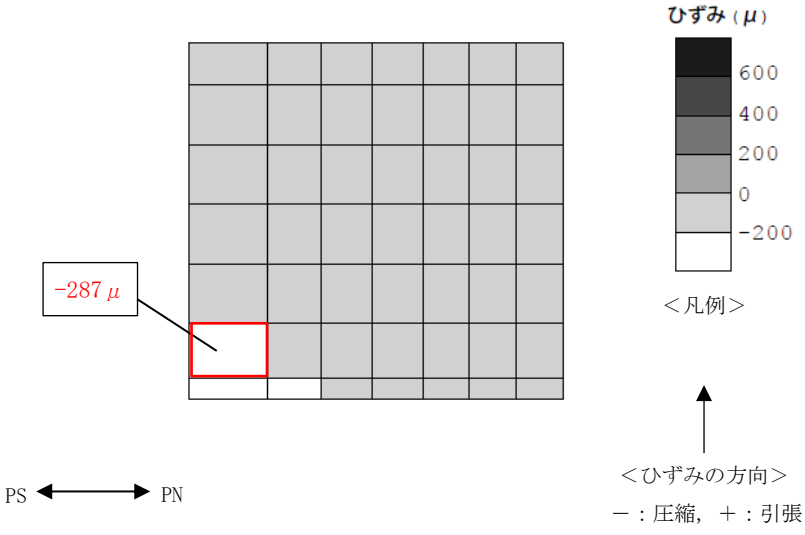
(b)　最外縁（東側）のひずみ分布

：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）



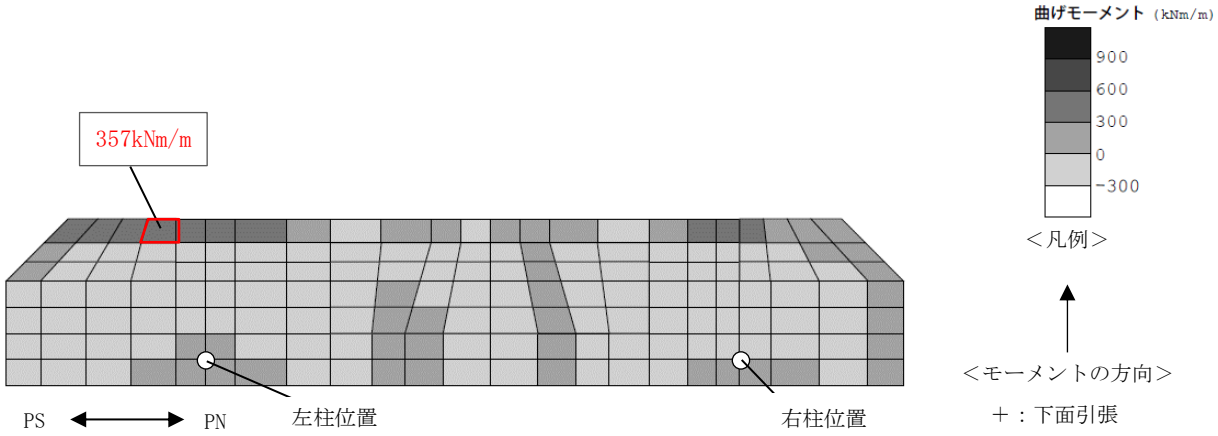
(a)　最外縁（西側）のひずみ分布



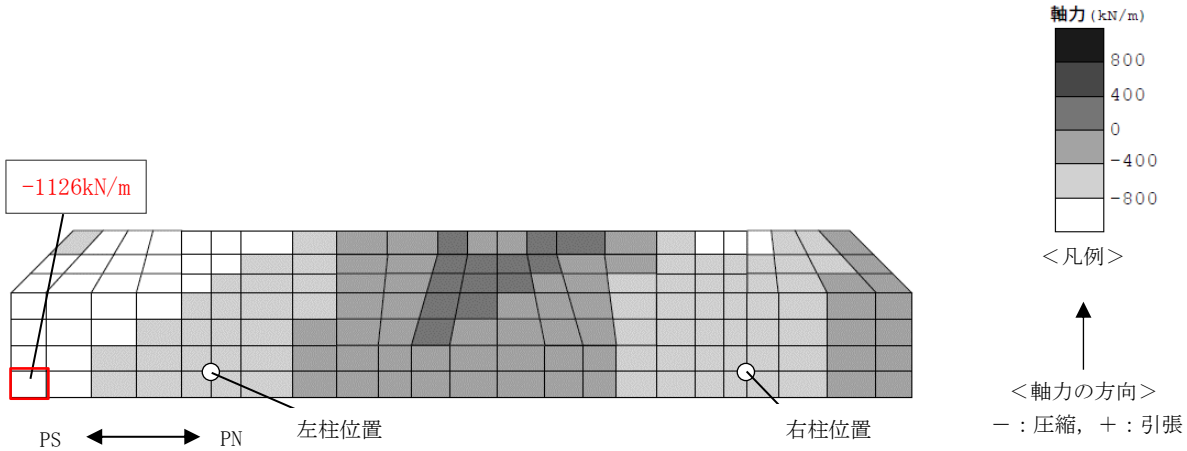
(b)　最外縁（東側）のひずみ分布

：最大ひずみ発生箇所

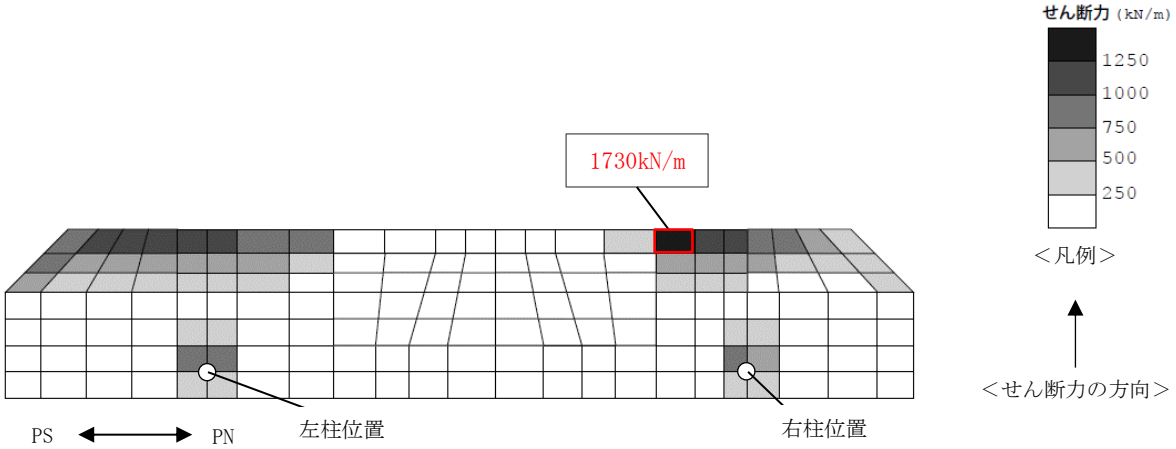
図 4－6（2）　曲げ軸力照査における照査値最大時のひずみ分布図
（補機冷却用海水取水路（北側），部材：妻壁，解析ケース④，Ss-1＋－，t＝5.70s）



(a)　曲げモーメント分布



(b)　軸力分布

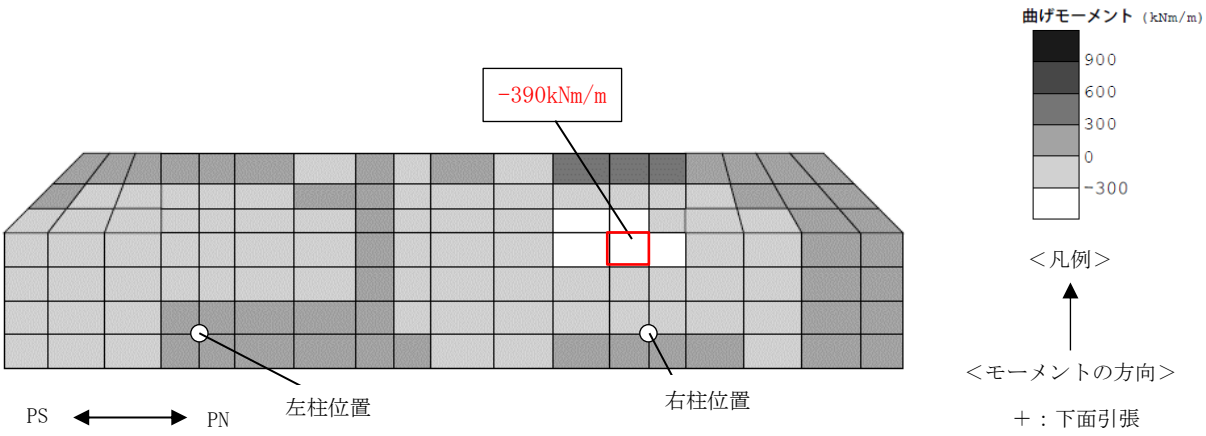


(c)　せん断力分布

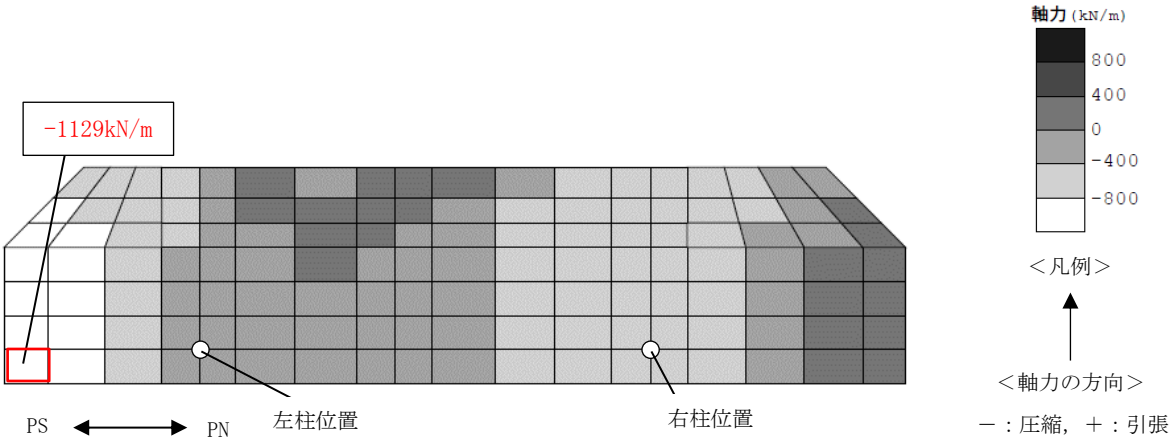
：最大断面力発生箇所

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

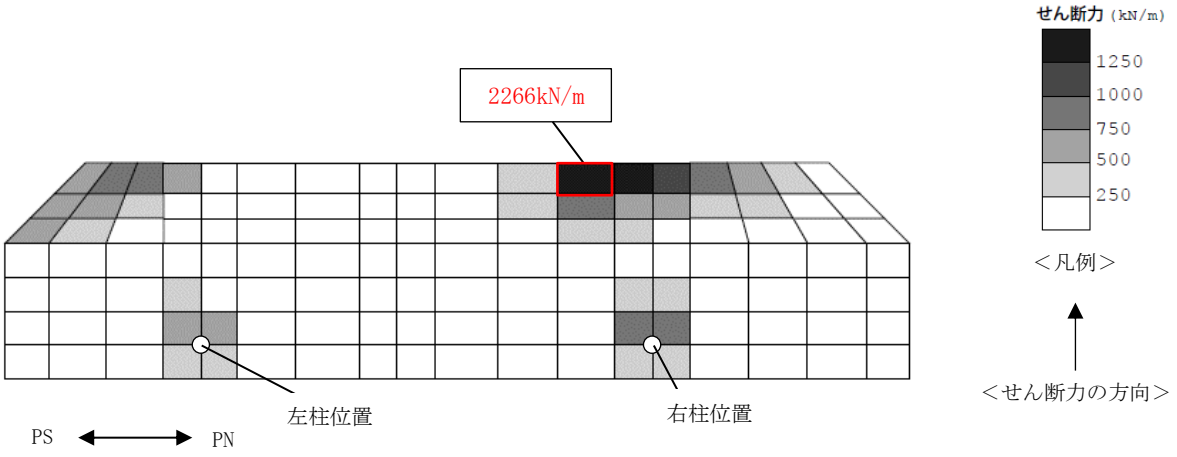
（補機冷却用海水取水路（南側），部材：底版，解析ケース②，Ss-1＋－，t＝5.67s）



(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ＪＥＡＧ４６０１－1987（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。

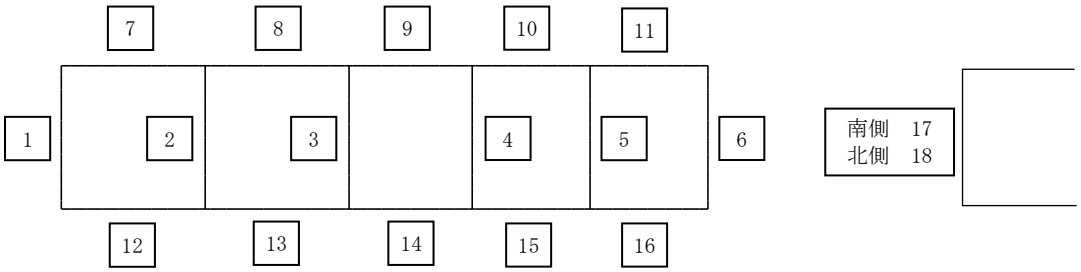
補機冷却用海水取水路の構造部材の照査用圧縮ひずみ，照査用せん断力及び照査用面内せん断ひずみが許容限界以下であることを確認した。

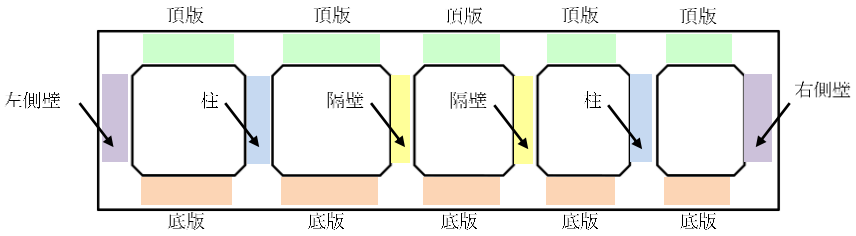
表 6－1（1） 曲げ軸力照査における最大照査値（補機冷却用海水取水路（南側））

評価位置*1		解析ケース	地震動	照査用圧縮ひずみ ε_d*2（μ）	限界ひずみ ε_r（μ）	照査値 $\varepsilon_d / \varepsilon_r$
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

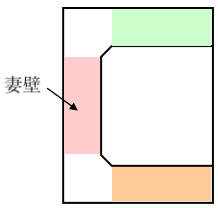
注記＊1 ：評価位置は下図に示す。

＊2 ：照査用圧縮ひずみ ε_d＝圧縮縁の発生ひずみ ε ×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）

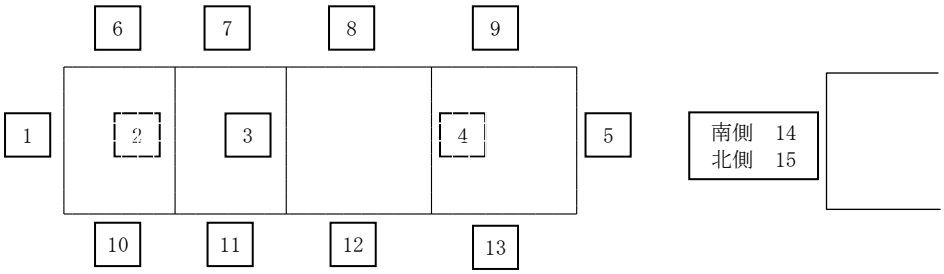
評価位置

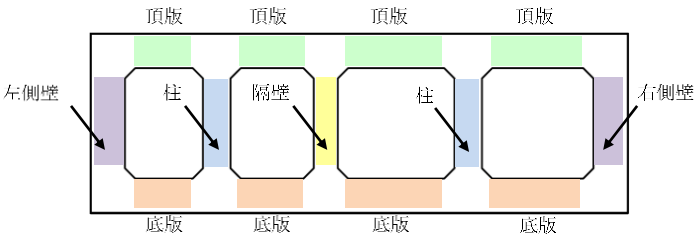
表 6－1（2） 曲げ軸力照査における最大照査値（補機冷却用海水取水路（北側））

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 $\varepsilon_d / \varepsilon_r$
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
底版	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

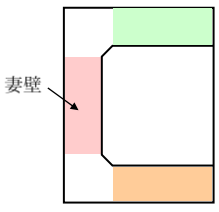
注記＊1 ：評価位置は下図に示す。

＊2 ：照査用圧縮ひずみ ε_d＝圧縮縁の発生ひずみ ε ×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）

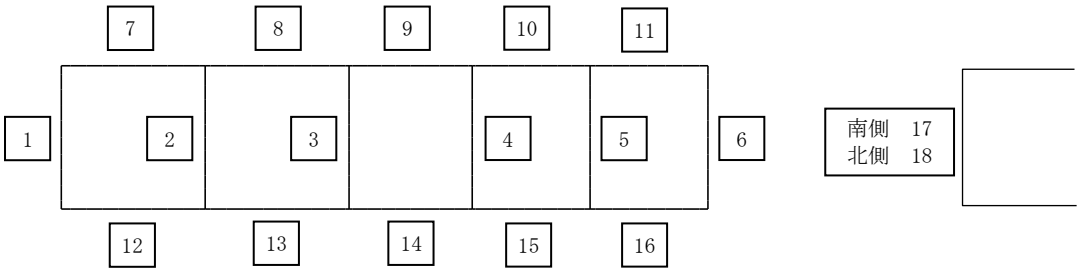
評価位置

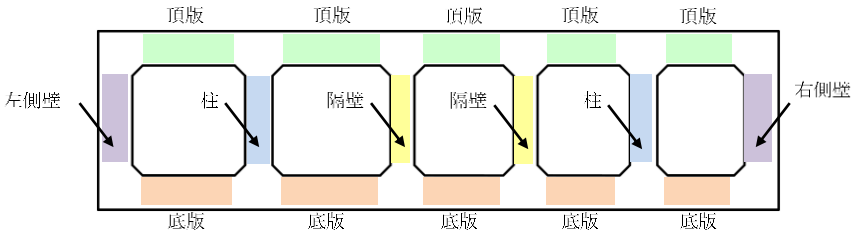
表 6－2（1） せん断力照査における最大照査値（補機冷却用海水取水路（南側））

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

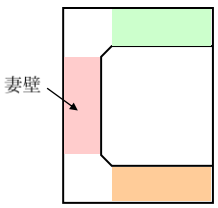
注記＊1 ：評価位置は下図に示す。

＊2 ：照査用せん断力V_d＝発生せん断力×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）

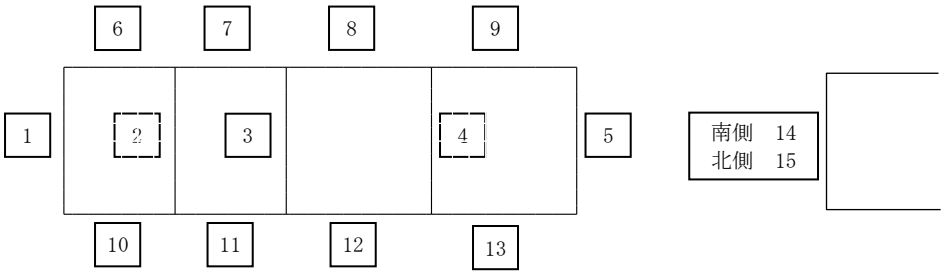
評価位置

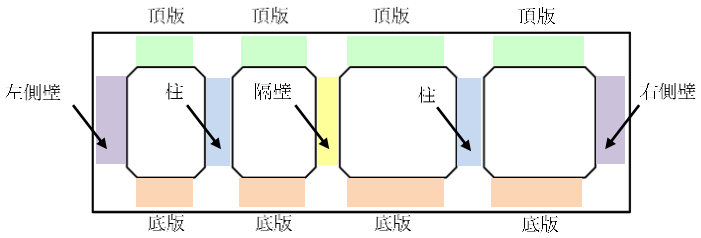
表 6－2（2） せん断力照査における最大照査値（補機冷却用海水取水路（北側））

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

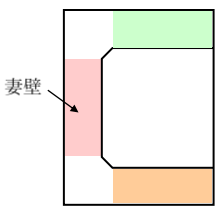
注記＊1 ：評価位置は下図に示す。

＊2 ：照査用せん断力V_d＝発生せん断力×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×構造解析係数 γ_a

表 6－3（2） 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×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

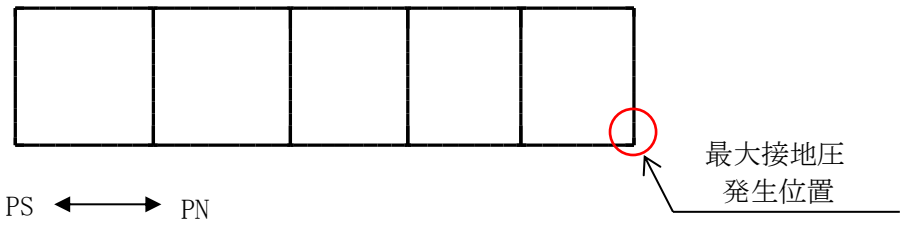
基礎地盤の支持性能に対する照査結果を表 6－4 に示す。

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。

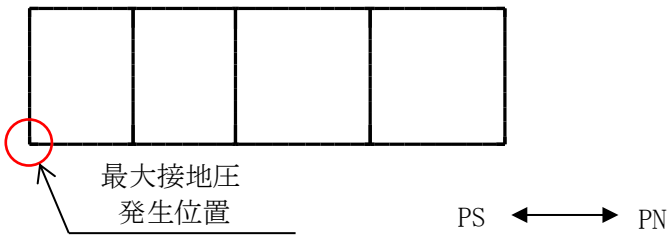


補機冷却用海水取水路（南側）の最大接地圧発生位置

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。



補機冷却用海水取水路（北側）の最大接地圧発生位置

Ⅴ-2-10-3-1-9　補機冷却用海水取水槽の耐震性についての計算書

補機冷却用海水取水槽に関しては，Ⅴ-2-2-6「タービン建屋の耐震性についての計算書」で説明する。

K7 ① Ⅴ-2-10-3-1-9 R1E

Ⅴ-2-10-4　緊急時対策所の耐震性に関する説明書

Ⅴ－2-10-4-1　緊急時対策所の耐震計算結果

目　　次

1. 概要 ····· 1
2. 耐震評価条件整理 ····· 1

1. 概要

本資料は，緊急時対策所の設備の耐震計算の手法及び条件の整理について説明するものである。

2. 耐震評価条件整理

緊急時対策所の設備に対して，設計基準対象施設の耐震クラス，重大事故等対処施設の設備分類を整理した。既設の設計基準対象施設については，耐震評価における手法及び条件について，既に認可を受けた実績との差異の有無を整理した。また，重大事故等対処施設のうち，設計基準対象施設であるものについては，重大事故等対処施設の評価条件と設計基準対象施設の評価条件との差異の有無を整理した。結果を表 2－1 に示す。

緊急時対策所の設備の耐震計算は表 2－1 に示す計算書に記載することとする。

表 2－1　耐震評価条件整理一覧表（1/2）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処施設		
			耐震重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
緊急時対策所	緊急時対策所機能	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所（6,7 号機共用）	C	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	Ⅴ-2-2*3
	その他の緊急時対策所機能	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置（6,7 号機共用）	—	—*2	—	常設耐震／防止 常設／緩和	—	Ⅴ-2-10-4-2-1
		安全パラメータ表示システム（SPDS）	C	—*2	—	常設／緩和	—	Ⅴ-2-6-7*4
		安全パラメータ表示システム(SPDS)(6,7 号機共用)	C	—*2	—	常設／緩和	—	Ⅴ-2-6-7*4
		統合原子力防災ネットワークを用いた通信連絡設備（テレビ会議システム，IP-電話機及び IP-FAX）（6,7 号機共用）	C	—*2	—	常設／その他	—	Ⅴ-2-6-7*4

表 2－1　耐震評価条件整理一覧表（2/2）

評価対象設備			設計基準対象施設			重大事故等対処施設		
			耐震重要度分類	新規制基準施行前に認可された実績との差異	耐震計算の記載箇所	設備分類*1	設計基準対象施設との評価条件の差異	耐震計算の記載箇所
緊急時対策所	その他の緊急時対策所機能	データ伝送設備（6,7 号機共用）	C	—*2	—	常設／その他	—	Ⅴ-2-6-7*4
		衛星電話設備（常設）（6,7 号機共用）	C	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	Ⅴ-2-6-7*4
		無線連絡設備（常設）（6,7 号機共用）	C	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	Ⅴ-2-6-7*4
		5 号機屋外緊急連絡用インターフォン（インターフォン）（6,7 号機共用）	—	—*2	—	常設／防止 常設／緩和	—	Ⅴ-2-6-7*4

注記＊1 ：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備，「常設／その他」は常設重大事故等対処設備（防止でも緩和でもない設備）を示す。

＊2 ：本工事計画で新規に申請する設備であることから，差異比較の対象外。

＊3 ：建物・構築物の耐震評価は，添付書類Ⅴ-2-2「耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震計算書」に記載する。

＊4 ：計測制御系統施設と兼用の設備であり，評価内容が共通であるため，耐震評価は，添付書類Ⅴ-2-6-7「その他の計測制御系統施設の耐震性についての計算書」に記載する。

Ⅴ-2-10-4-2　その他の緊急時対策所の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-10-4-2-1　5 号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）

二酸化炭素吸収装置の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 1
2.1　構造計画 ····· 1
3.　固有周期 ····· 3
3.1　固有周期の確認 ····· 3
4.　構造強度評価 ····· 4
4.1　構造強度評価方法 ····· 4
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 4
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 4
4.2.2　許容応力 ····· 4
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 4
4.3　計算条件 ····· 4
5.　機能維持評価 ····· 8
5.1　電気的機能維持評価方法 ····· 8
6.　評価結果 ····· 9
6.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 9

1. 概要

本計算書は，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，5 号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置（以下「二酸化炭素吸収装置」という。）が設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを説明するものである。

二酸化炭素吸収装置は，重大事故等対処設備においては常設耐震重要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。以下，重大事故等対処設備としての構造強度評価及び電気的機能維持評価を示す。

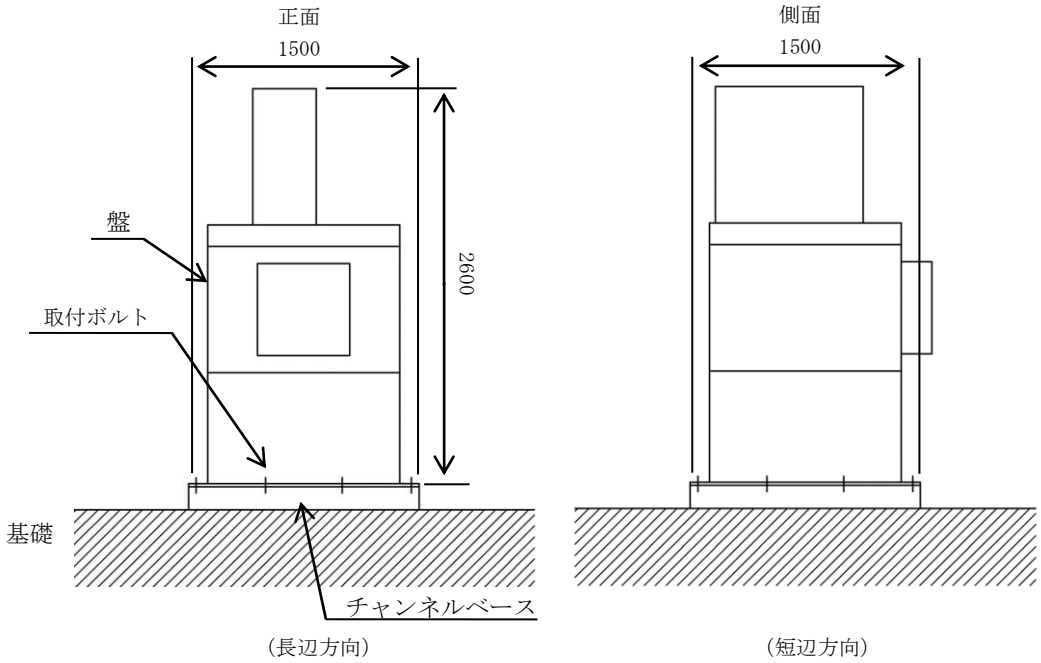
なお，二酸化炭素吸収装置は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法」に記載の直立形盤であるため，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に基づき評価を実施する。

2. 一般事項

2.1 構造計画

二酸化炭素吸収装置の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
二酸化炭素吸収装置は，基礎に固定されたチャンネルベースに取付ボルトで設置する。	直立形 （鋼材及び鋼板を組み合わせた自立閉鎖形の盤）	【二酸化炭素吸収装置】  （単位：mm）

3.　固有周期

3.1　固有周期の確認

振動試験装置により固有振動数を測定する。測定の結果，固有周期は 0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。固有周期の確認結果を表 3－1 に示す。

表 3－1　固有周期　　（単位：s）

水平	0.037
鉛直	0.05 以下

4.　構造強度評価

4.1　構造強度評価方法

二酸化炭素吸収装置の構造強度評価は，Ⅴ-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-9　盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の耐震計算方法に基づき行う。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

二酸化炭素吸収装置の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－1 に示す。

4.2.2　許容応力

二酸化炭素吸収装置の許容応力は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき表 4－2 のとおりとする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

二酸化炭素吸収装置の使用材料の許容応力評価条件のうち重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－3 に示す。

4.3　計算条件

応力計算に用いる計算条件は，本計算書の【二酸化炭素吸収装置の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分		機器名称	設備分類*1	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他発電用原子炉の附属施設	緊急時対策所	5 号機原子炉建屋内緊急時対策所（対策本部）二酸化炭素吸収装置	常設耐震／防止 常設／緩和	－*2	D＋P_D＋M_D＋Ｓｓ*3	$Ⅳ_AS$
					D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	V_AS （V_ASとして$Ⅳ_AS$の許容限界を用いる。）

注記＊1：「常設耐震／防止」は常設耐震重要重大事故防止設備，「常設／緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

＊2：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力を適用する。

＊3：「D＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ」の評価に包絡されるため，評価結果の記載を省略する。

表4－2　許容応力（重大事故等その他の支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1, *2 （ボルト等）	
	一次応力	
	引張り	せん断
ⅣＡＳ	1.5・ｆｔ*	1.5・ｆｓ*
ＶＡＳ （ＶＡＳとしてⅣＡＳの許容限界を用いる。）		

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

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

表 4－3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
取付ボルト	SS400 (40mm＜径)	周囲環境温度	40	215	400	―

5. 機能維持評価

5.1 電気的機能維持評価方法

二酸化炭素吸収装置の電気的機能維持評価は，V-2-1-14「計算書作成の方法　添付資料-9 盤の耐震性についての計算書作成の基本方針」に記載の評価方法に基づき行う。

二酸化炭素吸収装置に設置される器具の機能確認済加速度は，V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき，当該機器が設置される床における設計用床応答曲線を包絡する模擬地震波による加振試験において，電気的機能の健全性を確認した評価部位の最大加速度を適用する。

機能確認済加速度を表5－1に示す。

表5－1　機能確認済加速度　　(×9.8m/s^2)

評価部位	方向	機能確認済加速度
二酸化炭素吸収装置	水平	2.01
	鉛直	1.77

6. 評価結果

6.1 重大事故等対処設備としての評価結果

二酸化炭素吸収装置の重大事故等時の状態を考慮した場合の耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度及び電気的機能を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

(2) 機能維持評価結果

電気的機能維持評価の結果を次頁以降の表に示す。

【二酸化炭素吸収装置の耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	設備分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ		周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度	
二酸化炭素吸収装置	常設耐震／防止 常設／緩和	緊急時対策所 T.M.S.L.28.450 (T.M.S.L.27.800*)	0.037	0.05以下	—	—	C_H=1.67	C_V=1.45	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

部材	m_i (kg)	h_i (mm)	d_i (mm)	A_{bi} (mm^2)	n_i	S_{yi} (MPa)	S_{ui} (MPa)
取付ボルト (i=2)	1660	956	16 (M16)	201.1	12	215 (40mm＜径)	400 (40mm＜径)

部材	ℓ_{1i}* (mm)	ℓ_{2i}* (mm)	n_{fi}*	F_i (MPa)	F_i* (MPa)	転倒方向	
						弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト (i=2)	697	703	4	—	258	—	長辺方向
	678	722	4				

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

1.3 計算数値

1.3.1 ボルトに作用する力 (単位：N)

部材	F_{bi}		Q_{bi}	
	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度	基準地震動Ｓｓ
取付ボルト（ｉ＝2）	—	5.586×10^{3}	—	2.719×10^{4}

1.4 結論

1.4.1 ボルトの応力 (単位：MPa)

部材	材料	応力	弾性設計用地震動Ｓｄ又は静的震度		基準地震動Ｓｓ	
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力
取付ボルト（ｉ＝2）	SS400	引張り	—	—	$\sigma_{b1}=28$	$f_{ts1}=193^{*}$
		せん断	—	—	$\tau_{b1}=12$	$f_{sb1}=148$

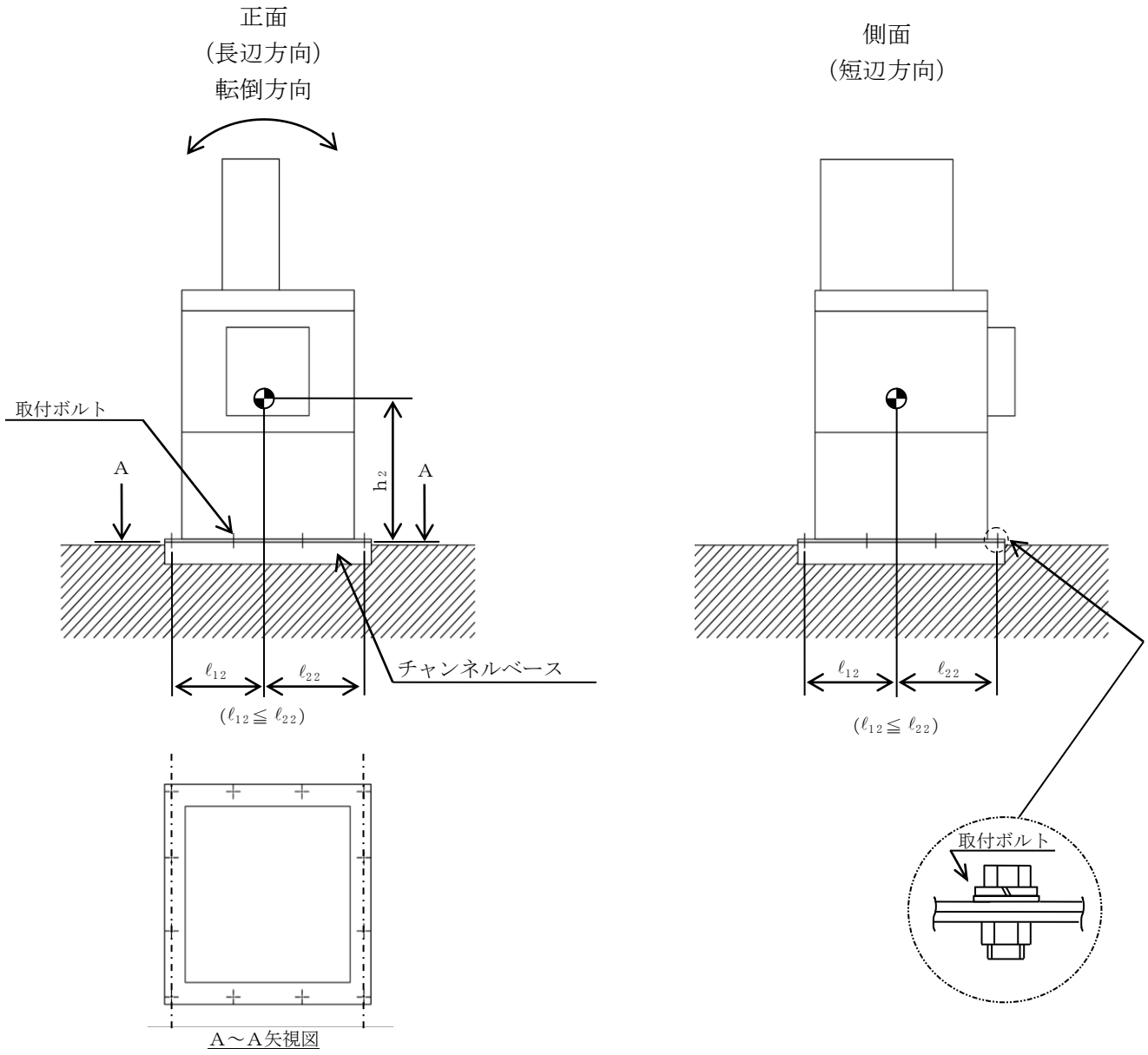
すべて許容応力以下である。

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

1.4.2 電気的機能の評価結果 ($\times9.8\mathrm{m/s^2}$)

		機能維持評価用加速度	機能確認済加速度
二酸化炭素吸収装置	水平方向	1.39	2.01
	鉛直方向	1.21	1.77

機能維持評価用加速度（1.0・ZPA）はすべて機能確認済加速度以下である。


正面
(長辺方向)
転倒方向
取付ボルト
A
A
h2
チャンネルベース
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
A～A矢視図
側面
(短辺方向)
ℓ12
ℓ22
(ℓ12≦ℓ22)
取付ボルト

Ⅴ-2-11　波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-11-1　波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　基本方針 ····· 1
3.　耐震評価方針 ····· 2
3.1　耐震評価部位 ····· 2
3.1.1　不等沈下又は相対変位の観点 ····· 2
3.1.2　接続部の観点 ····· 2
3.1.3　建屋内施設の損傷，転倒及び落下等の観点 ····· 2
3.1.4　建屋外施設の損傷，転倒及び落下等の観点 ····· 4
3.2　地震応答解析 ····· 4
3.3　設計用地震動又は地震力 ····· 5
3.4　荷重の種類及び荷重の組合せ ····· 5
3.5　許容限界 ····· 5
3.5.1　建物・構築物 ····· 5
3.5.2　機器・配管系 ····· 5
3.5.3　土木構造物 ····· 6
3.6　まとめ ····· 6

1. 概要

本資料は，設計基準対象施設及び重大事故等対処施設を設計する際に，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」にて選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針を説明するものである。

2. 基本方針

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設は，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震設計方針」に基づき，以下「3. 耐震評価方針」に示すとおり，耐震評価部位，地震応答解析，設計用地震動又は地震力，荷重の種類及び荷重の組合せ並びに許容限界を定めて耐震評価を実施する。この耐震評価を実施するものとして，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「4. 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設」にて選定した波及的影響の設計対象とする下位クラス施設を，建物・構築物，機器・配管系及び土木構造物に分けて表 2－1 に示す。

表 2－1 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設

建物・構築物	サービス建屋 原子炉ウェル遮蔽プラグ
機器・配管系	原子炉遮蔽壁 原子炉建屋クレーン 燃料取替機 中央制御室天井照明 換気空調系ダクト防護壁 原子炉補機冷却海水系配管防護壁 耐火隔壁 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板 竜巻防護鋼製フード
土木構造物	非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

3. 耐震評価方針

耐震評価部位については，対象設備の構造及び波及的影響の観点を考慮し，ＪＥＡＧ４６０１を含む工事計画での実績を参照した上で，耐震評価上厳しい箇所を選定する。

3.1 耐震評価部位

3.1.1 不等沈下又は相対変位の観点

(1) 地盤の不等沈下による影響

a. サービス建屋

サービス建屋は，地盤の不等沈下によりコントロール建屋に衝突する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，サービス建屋の不等沈下による衝突の有無の確認を行い，衝突する場合には衝突時にコントロール建屋に影響がないことを確認する。

(2) 建屋間の相対変位による影響

a. サービス建屋

サービス建屋は，相対変位によりコントロール建屋に衝突する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，サービス建屋の相対変位による衝突の有無の確認を行い，衝突する場合には衝突時にコントロール建屋に影響がないことを確認する。

3.1.2 接続部の観点

接続部における影響は，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「4.2 接続部の観点」に示すように，接続部における相互影響の観点で波及的影響を及ぼす下位クラス施設はない。

3.1.3 建屋内施設の損傷，転倒及び落下等の観点

(1) 施設の損傷，転倒及び落下等による影響

a. 原子炉遮蔽壁

原子炉遮蔽壁は，損傷により原子炉圧力容器等に衝突し，原子炉圧力容器等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材の評価を実施する。

b. 原子炉建屋クレーン

原子炉建屋クレーンは，本体及び吊荷の落下により，使用済燃料貯蔵プール，使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し，使用済燃料貯蔵プール，使用済燃料貯蔵ラック等が損

傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材，支持部及び吊具の評価を実施する。

c. 燃料取替機

燃料取替機は，本体及び吊荷の転倒又は落下により，使用済燃料貯蔵プール，使用済燃料貯蔵ラック等に衝突し，使用済燃料貯蔵プール，使用済燃料貯蔵ラック等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材，支持部及び吊具の評価を実施する。

d. 原子炉ウェル遮蔽プラグ

原子炉ウェル遮蔽プラグは，落下により原子炉格納容器に衝突し，原子炉格納容器が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材の評価を実施する。

e. 中央制御室天井照明

中央制御室天井照明は，落下により中央運転監視盤等に衝突し，中央運転監視盤等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

f. 換気空調系ダクト防護壁

換気空調系ダクト防護壁は，転倒又は落下によりコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト・配管等に衝突し，コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト・配管等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

g. 原子炉補機冷却海水系配管防護壁

原子炉補機冷却海水系配管防護壁は，転倒又は落下により原子炉補機冷却海水系配管に衝突し，原子炉補機冷却海水系配管が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

h. 耐火隔壁

耐火隔壁は，転倒により非常用ガス処理系排風機等に衝突し，非常用ガス処理系排風機等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する

地震動又は地震力に対して，主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

3.1.4　建屋外施設の損傷，転倒及び落下等の観点

(1)　施設の損傷，転倒及び落下等による影響

a.　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は，転倒により上位クラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ等に衝突し，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ等が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材の評価を実施する。

b.　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は，転倒又は落下により上位クラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管に衝突し，非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

c.　竜巻防護鋼製フード

竜巻防護鋼製フードは，落下により上位クラス施設である格納容器圧力逃がし装置配管に衝突し，格納容器圧力逃がし装置配管が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材及び支持部の評価を実施する。

d.　サービス建屋

サービス建屋は，損傷により上位クラス施設であるコントロール建屋に衝突し，コントロール建屋が損傷する可能性が否定できないことから，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力に対して，主要構造部材の評価を実施する。

各施設の評価に必要な詳細構造計画は各計算書に示す。

3.2　地震応答解析

地震応答解析については，V-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.2　地震応答解析」に基づき，下位クラス施設に適用する方法として，V-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に記載の建物・構築物，機器・配管系又は屋外重要土木構造物それぞれの地震応答解析の方針に従い実施する。

3.3　設計用地震動又は地震力

設計用地震動又は地震力については，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.3　設計用地震動又は地震力」に基づき，上位クラス施設の設計に適用する地震動又は地震力として，基準地震動Ｓｓを適用する。

3.4　荷重の種類及び荷重の組合せ

荷重の種類及び組合せについてはⅤ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.4　荷重の種類及び荷重の組合せ」に基づき，波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設の運転状態において下位クラス施設に発生する荷重として，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」の設計基準対象施設又は常設重大事故等対処施設の荷重の組合せを適用し，上位クラス施設が設計基準対象施設のうち耐震重要度分類のＳクラスに属する施設（以下「Ｓクラス施設」という。）の場合は運転状態Ⅰ～Ⅳとして，重大事故等対処施設のうち常設耐震重要重大事故防止設備，常設重大事故緩和設備及び常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がＳクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）並びにこれらが設置される常設重大事故等対処施設（以下「ＳＡ施設」という。）の場合は運転状態Ⅴとして発生する荷重を設定する。また，建屋外に設置されている施設については，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」の積雪荷重の組合せの考え方に基づき設定する。

3.5　許容限界

波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の評価に用いる許容限界については，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5　許容限界」に基づき，波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設と同じ運転状態において，下位クラス施設が波及的影響を及ぼすおそれがないよう，また，上位クラス施設の機能に影響がないよう，以下，建物・構築物，機器・配管系及び土木構造物に分けて設定する。

3.5.1　建物・構築物

建物・構築物については，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5　許容限界」に基づき，距離，許容応力度及び層間変形角を許容限界とする。

許容応力度においては「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」に基づき，許容応力度を設定する。層間変形角においては，「建築基準法及び同施行令」に基づく評価基準値を許容限界として設定する。

3.5.2　機器・配管系

機器・配管系については，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5　許容限界」に基づき，下位クラス施設が破断延性限界に十分な余裕を有していることに相当す

る許容限界として，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示す許容応力状態$\mathrm{IV_AS}$を設定する。

3.5.3　土木構造物

土木構造物については，Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」の「5.5　許容限界」に基づき，構造部材の短期許容応力度又は終局耐力並びに構造物の層間変形角に対して妥当な安全余裕を考慮して設定する。

3.6　まとめ

以上を踏まえ，波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針を表3－1に示す。評価条件の欄については，波及的影響を受けるおそれのある上位クラス施設と同じ運転状態を想定することから，上位クラス施設がＳクラス施設の場合は「ＤＢ」，ＳＡ施設の場合は「ＳＡ」と評価条件に明記する。また，荷重の種類及び荷重の組合せに用いている記号はⅤ-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づく。

各施設の詳細な評価は，Ⅴ-2-11-2「波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書」以降の各計算書に示す。

表 3－1　波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（1/5）

（建物・構築物）

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
サービス建屋	① （不等沈下） ① （相対変位） ④	主要構造部材	Ｓｓ	Ｇ＋Ｐ＋Ｓｓ	ＤＢ ＳＡ	「建築基準法及び同施行令」に基づく層間変形角の評価基準値を許容限界として設定する。
原子炉ウェル遮蔽プラグ	③	主要構造部材	Ｓｓ	Ｇ＋Ｐ＋Ｓｓ	ＤＢ ＳＡ	「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」等に基づき，許容応力度を設定する。

注記＊：Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」にて設定した 4 つの設計の観点を記載

表 3－1　波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（2/5）

（機器・配管系）

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
原子炉遮蔽壁	③	主要構造部材	Ｓｓ	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ＤＢ	「鋼構造設計規準」に基づく短期許容応力度を適用する。
				Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＳＡ	
原子炉建屋クレーン	③	主要構造部材支持部 吊具	Ｓｓ	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ＤＢ	Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他支持構造物の許容応力（許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓ）を適用する。 吊具については，クレーン構造規格及び日本クレーン協会規格に定められた安全率を上回るように設定された許容荷重を適用する。
				Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＳＡ	
燃料取替機	③	主要構造部材 支持部 吊具	Ｓｓ	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ＤＢ	Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他支持構造物の許容応力（許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓ）を適用する。 吊具については，クレーン構造規格及び日本クレーン協会規格に定められた安全率を上回るように設定された許容荷重を適用する。
				Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＳＡ	

注記＊：Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」にて設定した 4 つの設計の観点を記載

表 3－1　波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（3/5）

（機器・配管系）

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
中央制御室天井照明	③	主要構造部材 支持部	Ｓｓ	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ＤＢ	Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他支持構造物の許容応力（許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓ）を適用する。
				Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＳＡ	
換気空調系ダクト 防護壁	③	主要構造部材 支持部	Ｓｓ	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ＤＢ	Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他支持構造物の許容応力（許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓ）を適用する。
				Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＳＡ	
原子炉補機冷却 海水系配管防護壁	③	主要構造部材 支持部	Ｓｓ	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ＤＢ	Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他支持構造物の許容応力（許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓ）を適用する。
				Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＳＡ	

注記＊：Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」にて設定した 4 つの設計の観点を記載

表 3－1　波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（4/5）

（機器・配管系）

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
耐火隔壁	③	主要構造部材 支持部	Ｓｓ	Ｄ＋P_D＋M_D＋Ｓｓ	ＤＢ	Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他支持構造物の許容応力（許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓ）を適用する。
				Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD}＋Ｓｓ	ＳＡ	
非常用ディーゼル 発電設備燃料移送 配管防護板	④	主要構造部材 支持部	Ｓｓ	Ｄ＋P_D＋M_D ＋Ｓｓ＋Ｐｓ	ＤＢ	Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他支持構造物の許容応力（許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓ）を適用する。
				Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD} ＋Ｓｓ＋Ｐｓ	ＳＡ	
竜巻防護鋼製フード	④	主要構造部材 支持部	Ｓｓ	Ｄ＋P_{SAD}＋M_{SAD} ＋Ｓｓ＋Ｐｓ	ＳＡ	Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」に示すその他支持構造物の許容応力（許容応力状態$Ⅳ_A$Ｓ）を適用する。

注記＊：Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」にて設定した 4 つの設計の観点を記載

表 3－1　波及的影響の設計対象とする下位クラス施設の耐震評価方針（5/5）

（土木構造物）

設計対象 下位クラス施設	評価の観点*	耐震評価部位	設計用 地震動	荷重の種類 荷重の組合せ	評価 条件	許容限界設定の考え方
非常用ディーゼル 発電設備燃料移送 ポンプ防護板	④	主要構造部材	Ｓｓ	Ｇ＋Ｐ＋Ｓｓ	ＤＢ ＳＡ	「建築基準法及び同施行令」に基づく層間変形角の評価基準値を許容限界として設定する。

注記＊：Ⅴ-2-1-5「波及的影響に係る基本方針」にて設定した 4 つの設計の観点を記載

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

Ⅴ-2-11-2-1　サービス建屋の耐震性についての計算書

目　次

1.　概要 ····· 1
2.　基本方針 ····· 1
2.1　位置 ····· 1
2.2　構造概要 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 12
2.4　適用規格・基準等 ····· 14
3.　評価方法 ····· 15
3.1　評価対象部位及び評価方針 ····· 15
3.2　設計用模擬地震波 ····· 15
3.3　荷重及び荷重の組合せ ····· 20
3.4　許容限界 ····· 21
3.5　解析方法 ····· 22
3.5.1　地震応答解析モデル ····· 22
3.5.2　解析方法 ····· 34
3.5.3　解析条件 ····· 34
3.5.4　材料物性の不確かさ ····· 42
3.6　評価方法 ····· 43
3.6.1　地盤の支持性能の評価方法 ····· 43
3.6.2　構造物全体としての変形性能の評価方法 ····· 43
3.6.3　相対変位による評価方法 ····· 43
4.　評価結果 ····· 44
4.1　地盤の支持性能の評価結果 ····· 44
4.2　構造物全体としての変形性能の評価結果 ····· 44
4.3　相対変位による評価結果 ····· 45

1. 概要

本資料は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき，サービス建屋がコントロール建屋に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価は，コントロール建屋の有する機能が保持されることを確認するために，地盤の不等沈下による影響では，下位クラス施設であるサービス建屋の地盤の支持性能の評価を，施設の損傷，転倒及び落下等による影響では，サービス建屋の構造物全体としての変形性能の評価を行う。更に，建屋間の相対変位による影響では，コントロール建屋への衝突の有無を確認する。

2. 基本方針

2.1 位置

サービス建屋の設置位置を図 2－1 に示す。

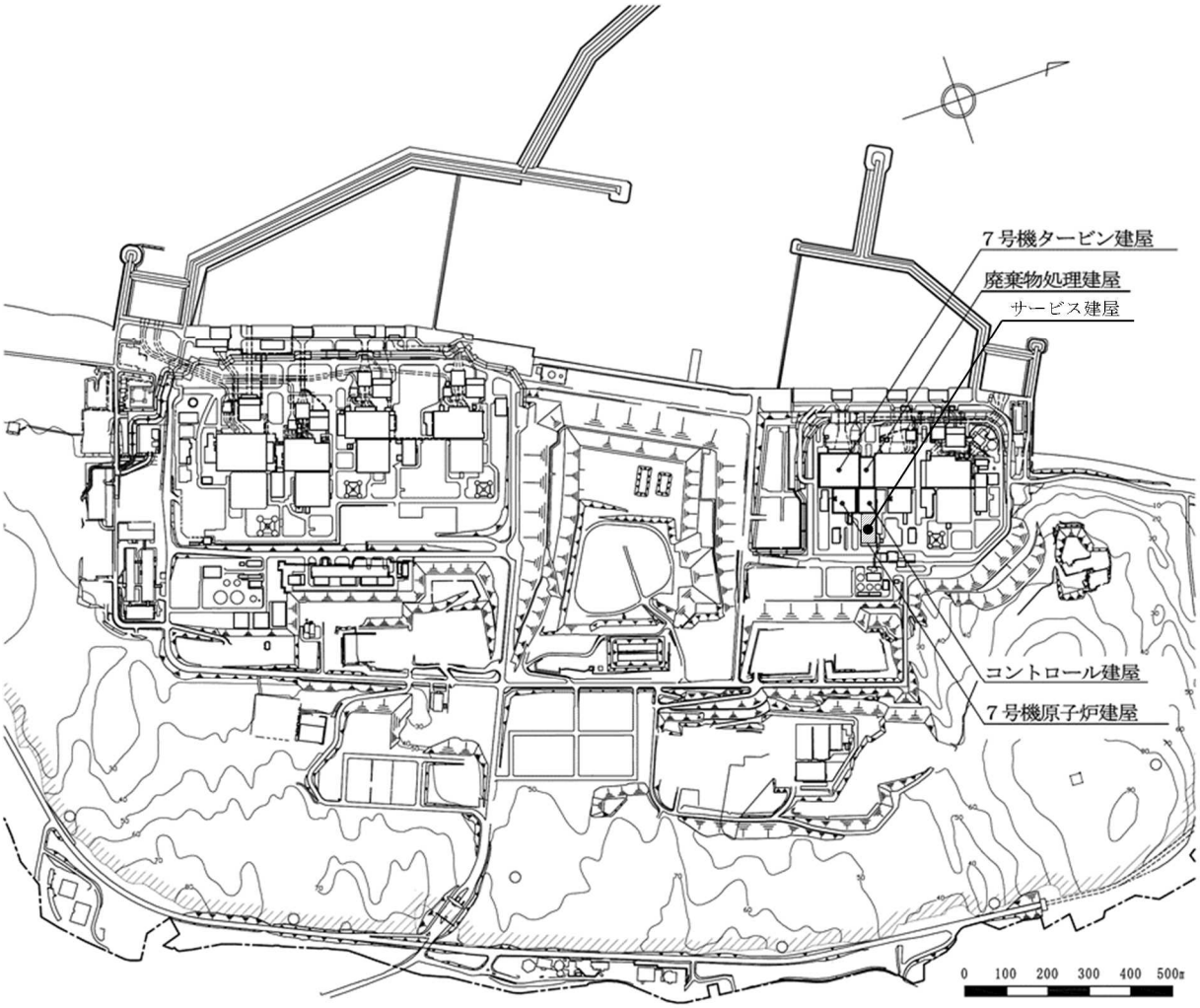


図 2－1　サービス建屋の設置位置

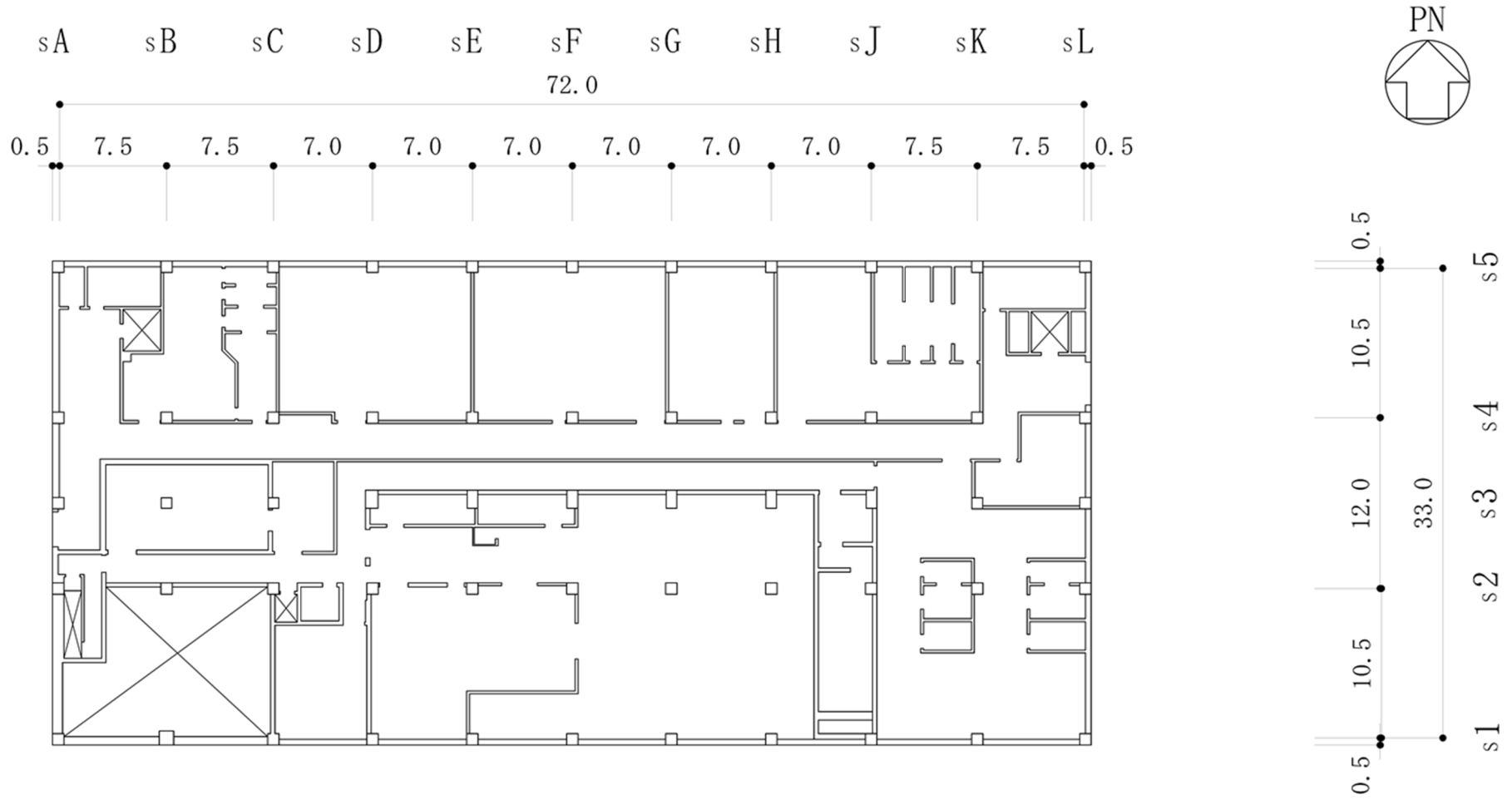
2.2　構造概要

サービス建屋は，地上 3 階（屋上機械室含む。），地下 1 階建ての鉄筋コンクリート造の建物であり，隣接するコントロール建屋と構造的に分離している。サービス建屋の概略平面図を図 2－2 に，概略断面図を図 2－3 に，建屋配置図を図 2－4 に，コントロール建屋とサービス建屋のクリアランスを図 2－5 に示す。また，サービス建屋の支持地盤への設置概況を図 2－6 に示す。

サービス建屋の平面は，34.0m（NS 方向）×73.0m（EW 方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 20.9m であり，地上高さは 14.0m である。

サービス建屋の基礎は厚さ 1.4m のべた基礎で，支持地盤である西山層（一部，古安田層）上に設置している。

なお，サービス建屋については，耐震性向上の観点から，耐震補強を行うこととし，耐震補強を考慮した評価を行う。耐震補強は，1 階及び 2 階に耐震壁の新設若しくは既存耐震壁の増厚により行う。



（単位：m）

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2－2　サービス建屋の概略平面図（B1F，T.M.S.L. 6.50m）（1/4）

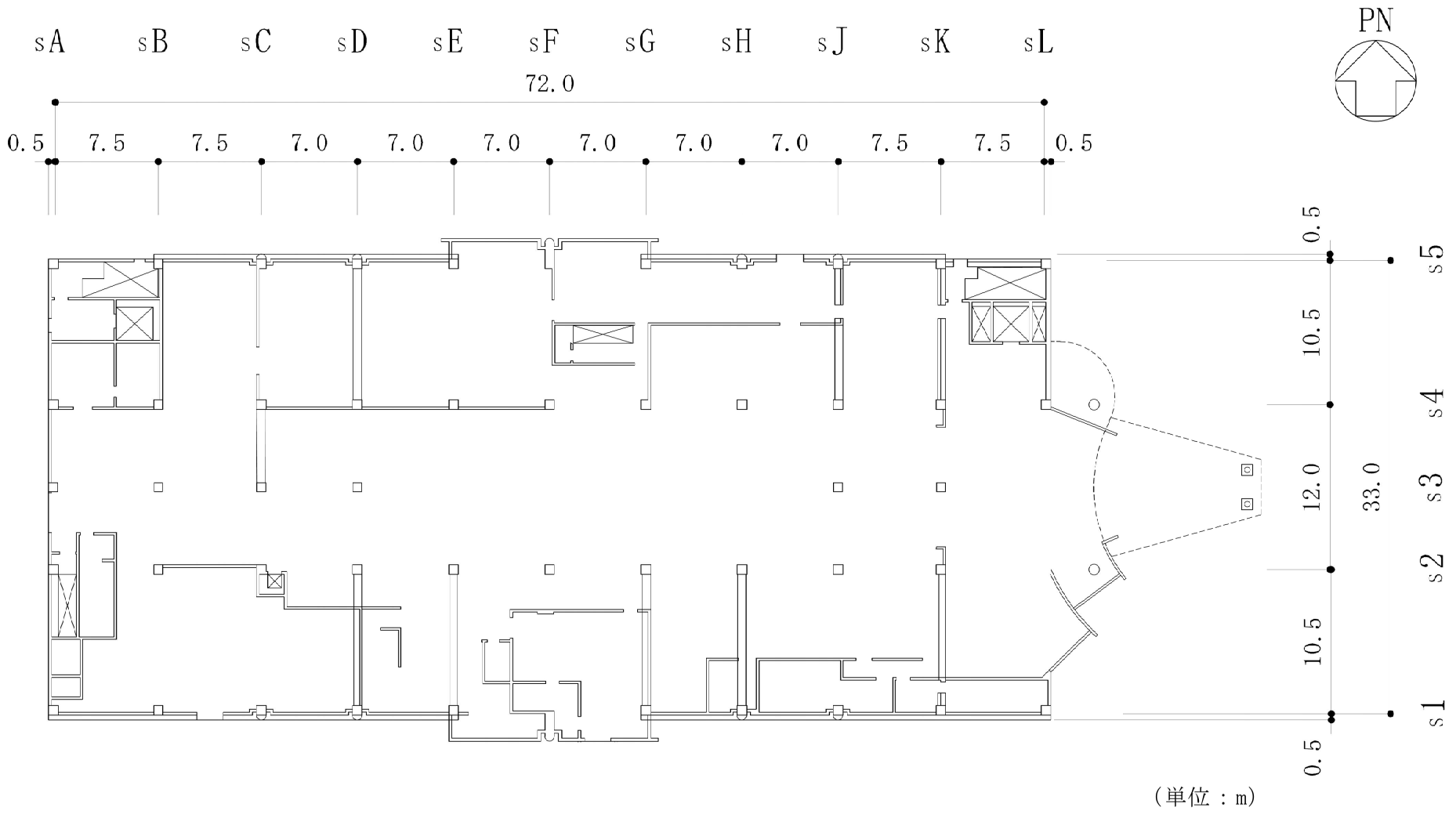


図 2－2　サービス建屋の概略平面図（1F，T.M.S.L. 12.30m）(2/4)

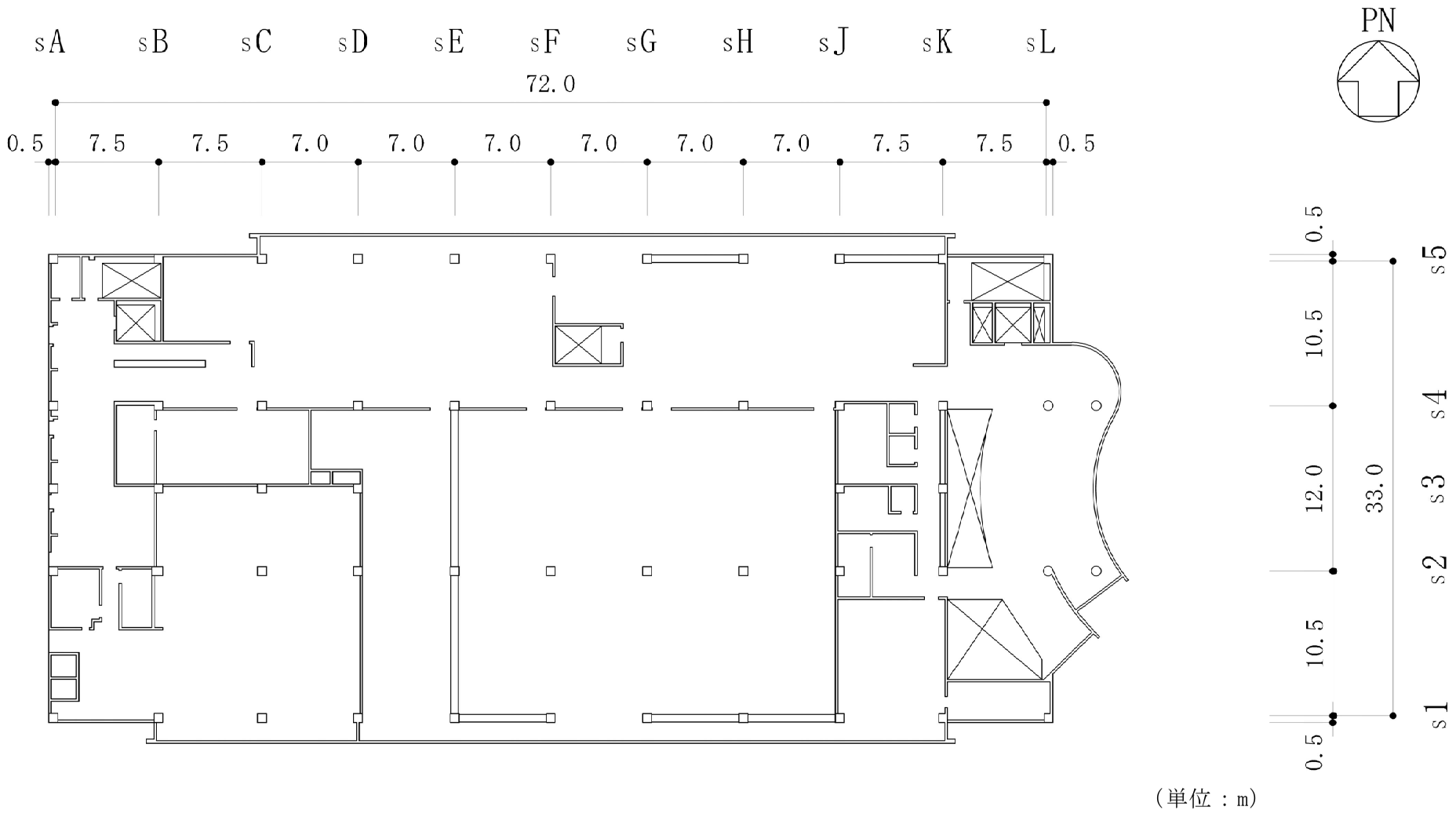


図２－２　サービス建屋の概略平面図（2F，T.M.S.L. 17.30m）(3/4)

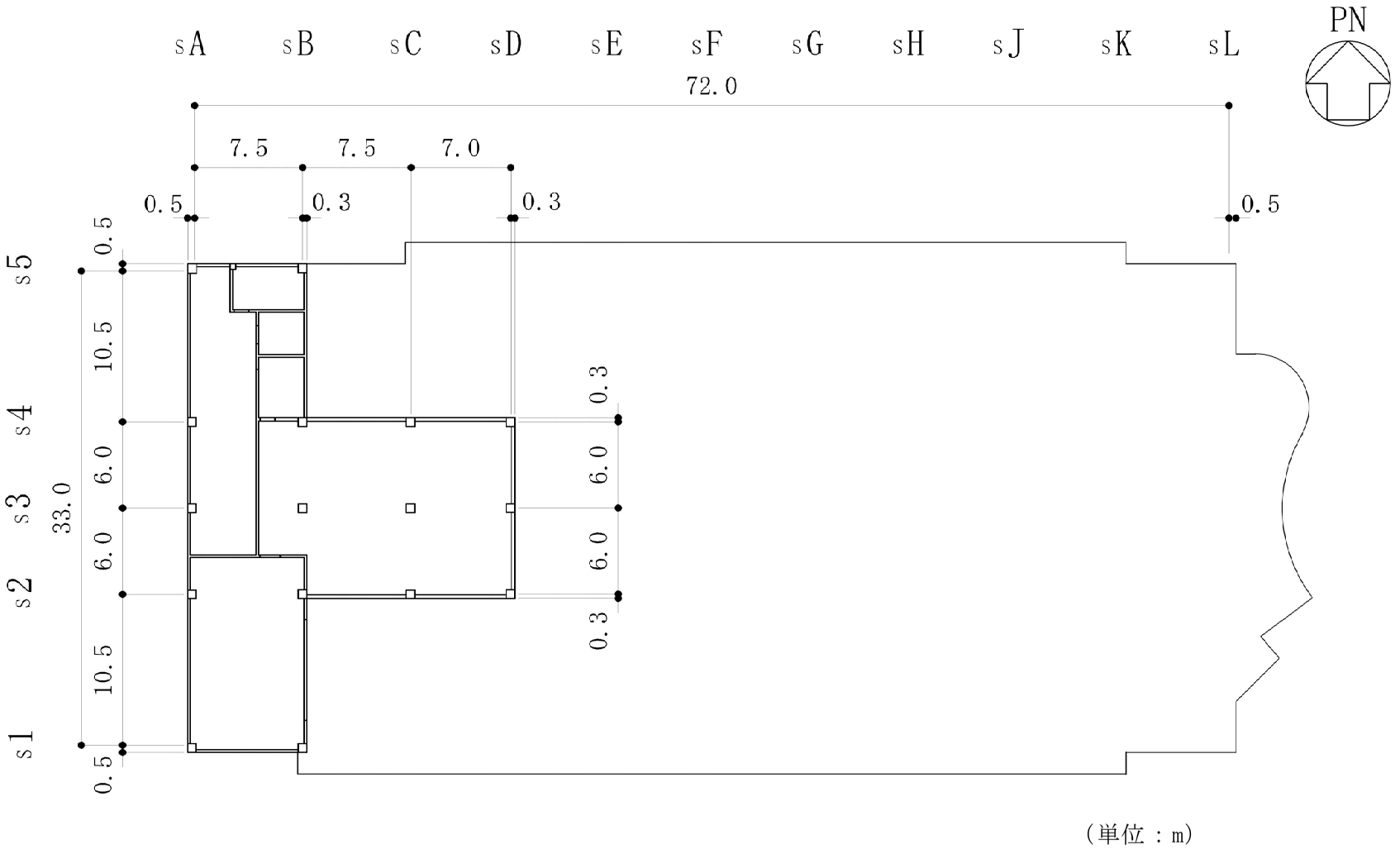
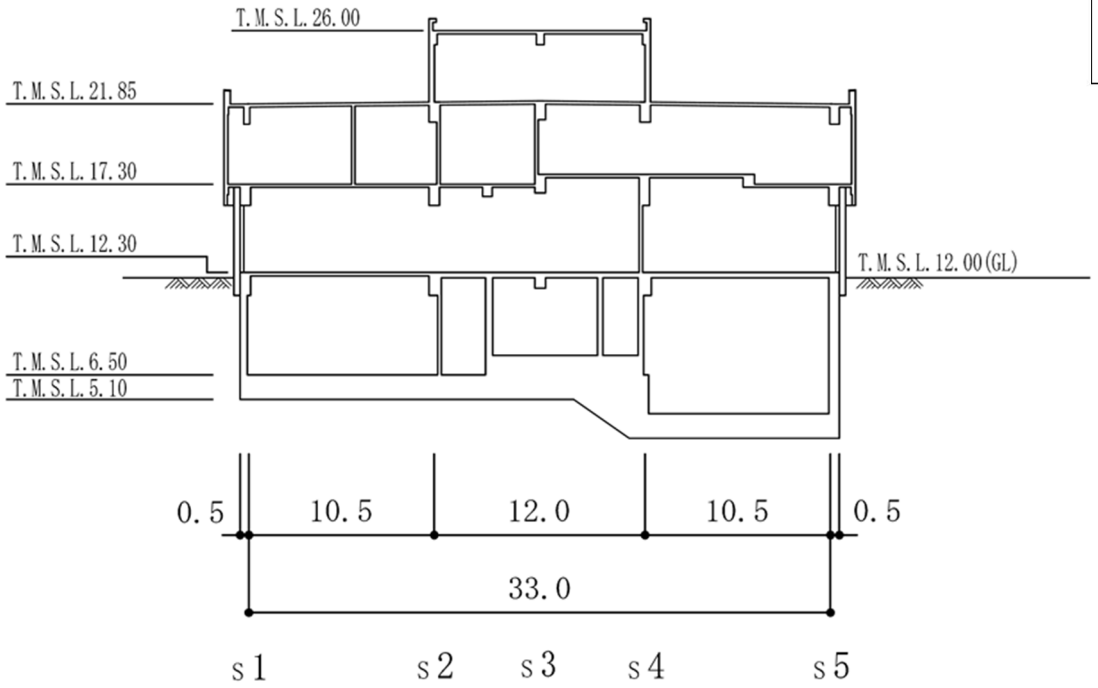
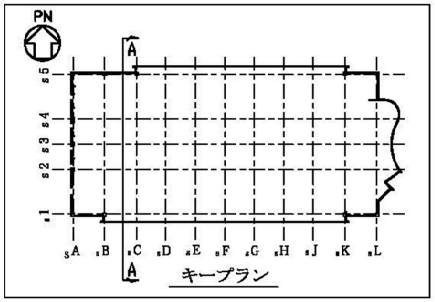


図 2－2　サービス建屋の概略平面図（3F，T.M.S.L. 21.85m）（4/4）





（単位：m）

図 2－3　サービス建屋の概略断面図（NS 方向）（1/2）



図 2－3　サービス建屋の概略断面図（EW 方向）(2/2)

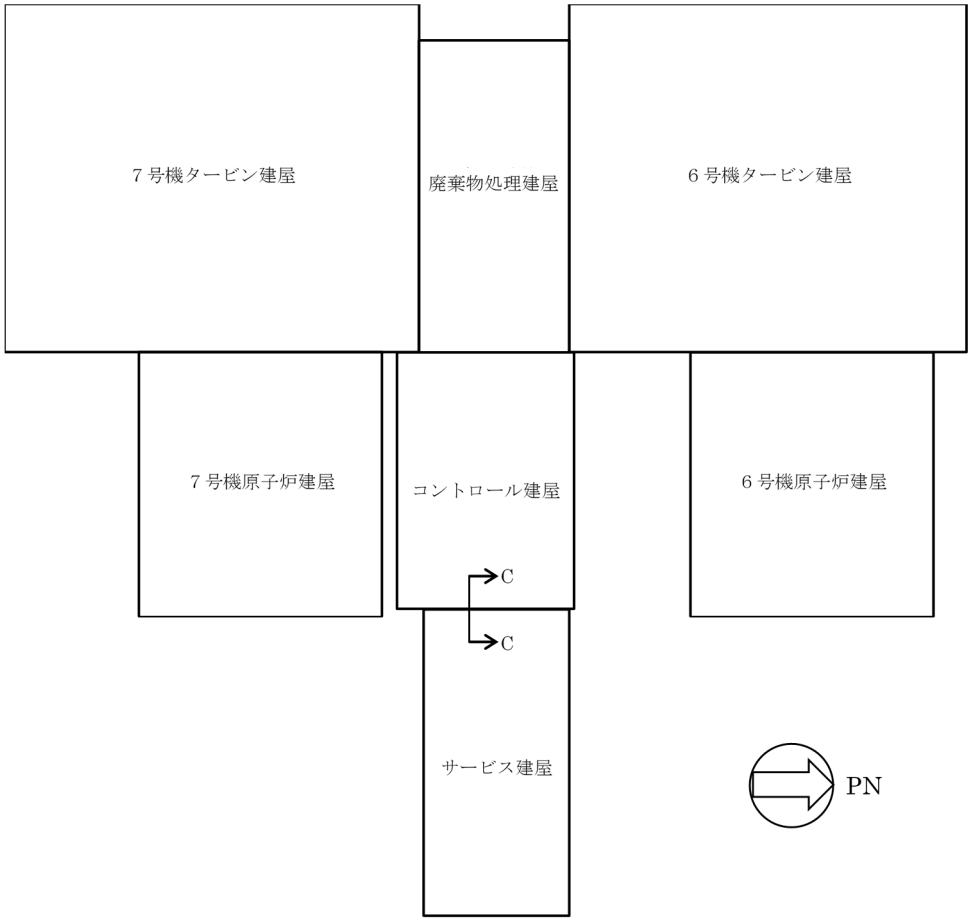

7号機タービン建屋
廃棄物処理建屋
6号機タービン建屋
7号機原子炉建屋
コントロール建屋
6号機原子炉建屋
C
C
サービス建屋
PN

図 2－4　建屋配置図

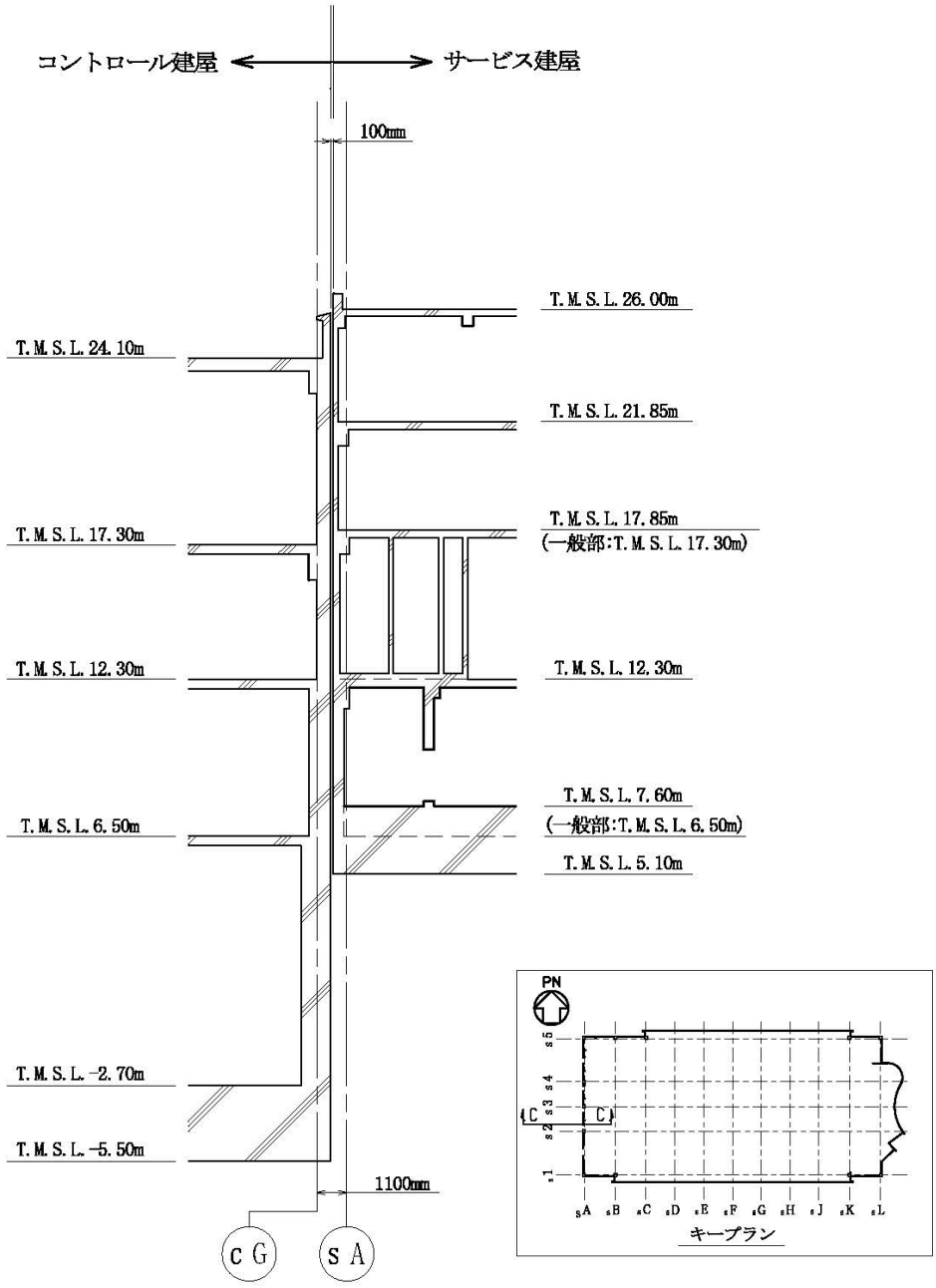


図 2－5　コントロール建屋とサービス建屋のクリアランス

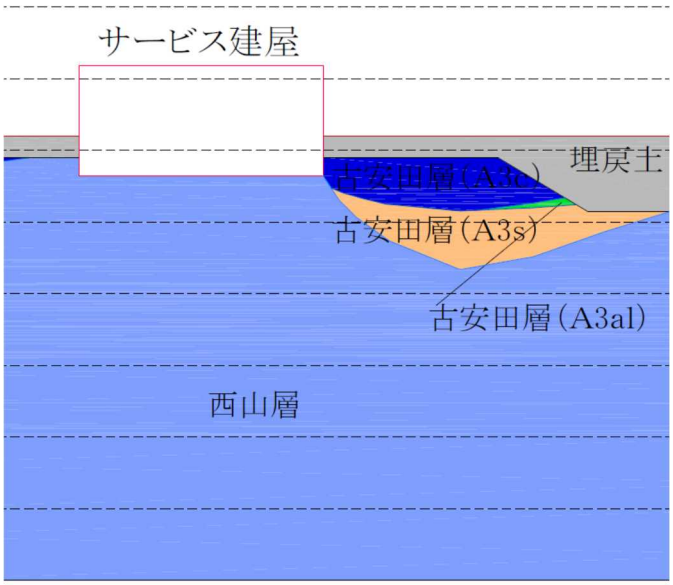


図 2－6　サービス建屋の支持地盤への設置概況

2.3　評価方針

サービス建屋は，コントロール建屋と同じ運転状態を想定することから，設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価を行う。

サービス建屋の設計基準対象施設に対する波及的影響の評価においては，基準地震動Ｓｓに対する評価（以下「Ｓｓ地震時に対する評価」という。）を行うこととする。サービス建屋の波及的影響の評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき，地震応答解析による評価において，地盤の不等沈下による影響では，図2－6に示すとおり，サービス建屋は，コントロール建屋と同一の支持地盤に設置しているが，一部が異なる地盤に接地していることから，その地盤の支持性能の評価を行い，不等沈下の影響がないことの確認を行う。施設の損傷，転倒及び落下等による影響では，構造物全体としての変形性能の評価を行う。建屋間の相対変位による影響では，コントロール建屋との相対変位による評価を行うことで，コントロール建屋への衝突の有無の確認を行う。この相対変位による評価では，サービス建屋の最大応答変位に加えて，Ⅴ-2-2-9「コントロール建屋の地震応答計算書」に基づく最大応答変位を用いる。評価にあたっては，材料物性の不確かさを考慮する。

なお，サービス建屋は，その配置上，コントロール建屋と接触する可能性が高いEW方向に対して波及的影響の評価を行う。

また，重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては，Ｓｓ地震時に対する評価を行う。ここで，サービス建屋では，設計基準事故時及び重大事故等時の状態における圧力，温度等の条件に有意な差異がないことから，重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価は，設計基準対象施設に対する波及的影響の評価と同一となる。

図2－7に波及的影響の評価フローを示す。

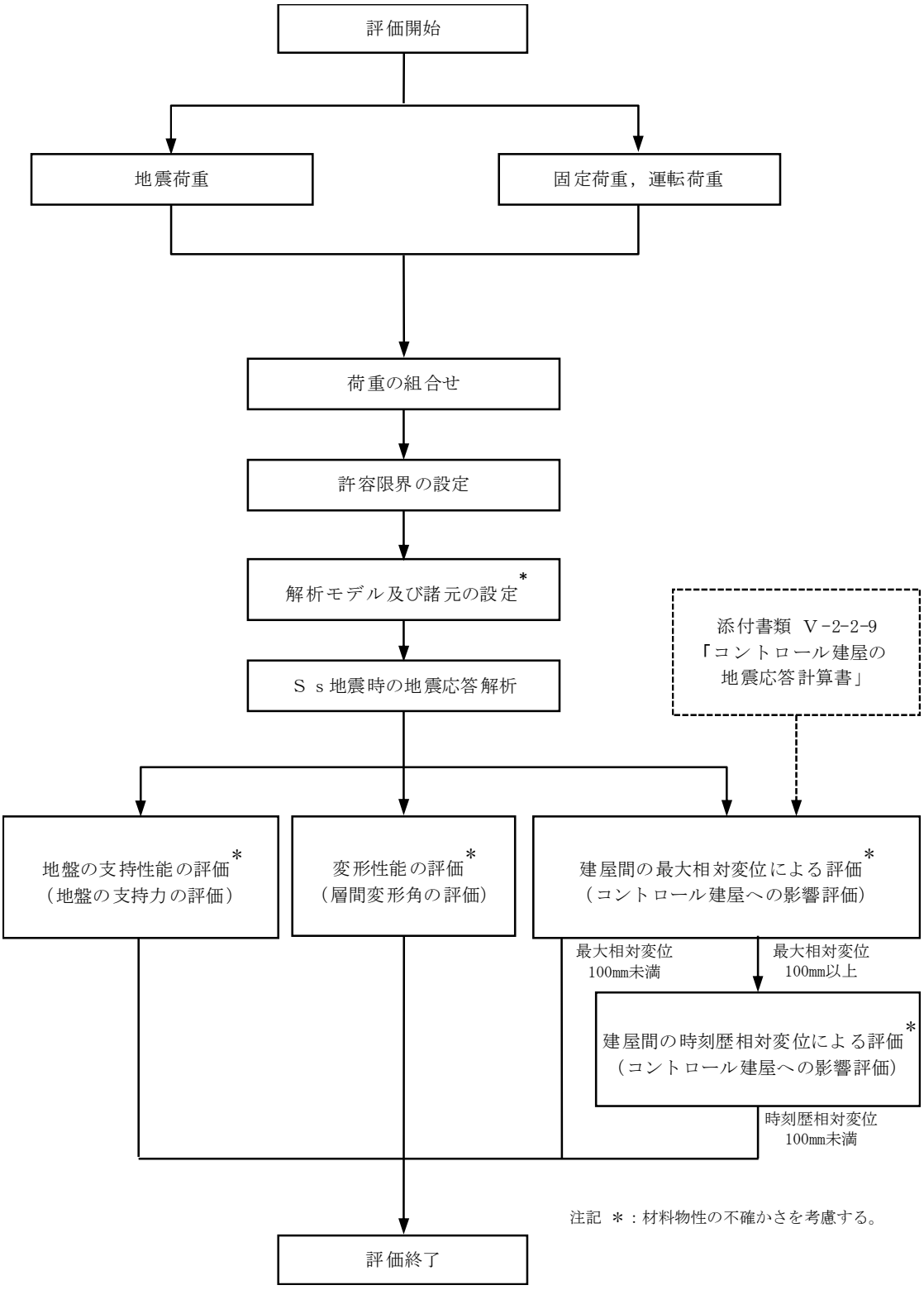


図２－７　サービス建屋の波及的影響の評価フロー

2.4　適用規格・基準等

サービス建屋の波及的影響の評価を行う際に適用する規格・基準等を以下に示す。

・建築基準法・同施行令

・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説　－許容応力度設計法－（(社) 日本建築学会，1999 改定）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（(社) 日本電気協会）

・建築基礎構造設計指針（(社) 日本建築学会，2001 改定）

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

サービス建屋の波及的影響の評価は，以下の方針に基づき行う。

地盤の支持性能の評価では，サービス建屋の一部が古安田層に接地していることから，質点系モデルを用いた地震応答解析結果から求められる建屋基礎底面の最大接地圧が，古安田層の極限支持力を超えないことを確認する。

構造物全体としての変形性能の評価では，質点系モデルを用いた地震応答解析結果により求められる層間変形角が，建築基準法施行令第 82 条の 2（層間変形角）により設定した許容限界を超えないことを確認する。

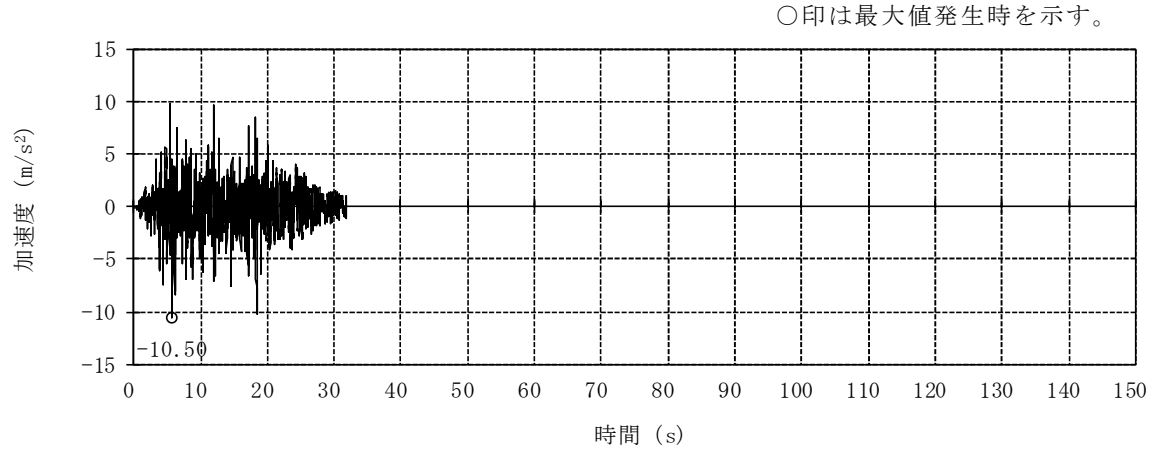
コントロール建屋との相対変位による評価では，両建屋の最大応答変位の絶対値和（以下「最大相対変位」という。）と建屋間のクリアランスの大小関係により，隣接するコントロール建屋への衝突の有無を確認する。なお，最大相対変位が許容限界を超過する場合には，両建屋の時刻歴上の相対変位から衝突の有無を確認する。

以上の評価では，材料物性の不確かさを考慮する。

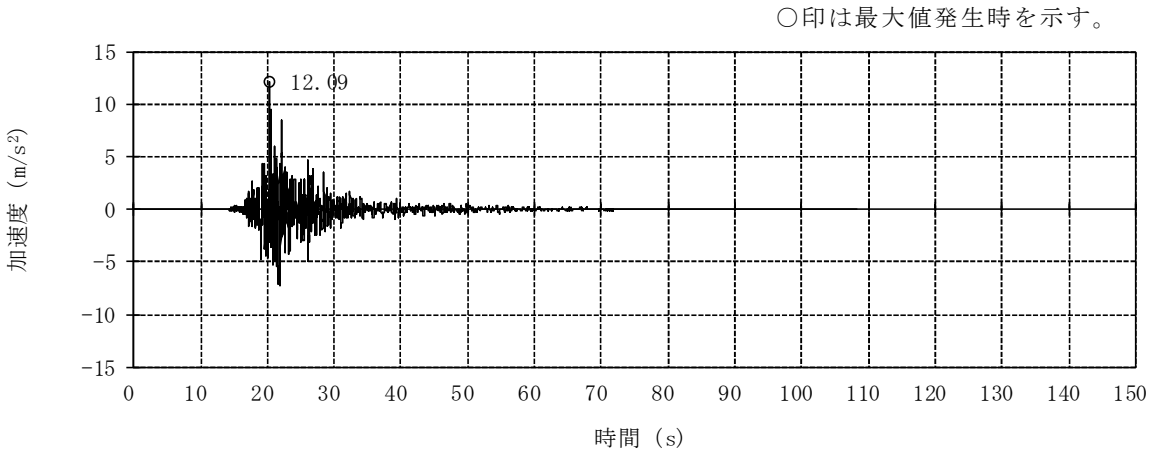
3.2 設計用模擬地震波

サービス建屋の地震応答解析に用いる設計用模擬地震波は，上位クラス施設であるコントロール建屋の評価に適用したⅤ-2-1-2「基準地震動Ｓｓ及び弾性設計用地震動Ｓｄの策定概要」に示す解放基盤表面レベルに想定する設計用模擬地震波のうち，基準地震動Ｓｓを用いることとする。

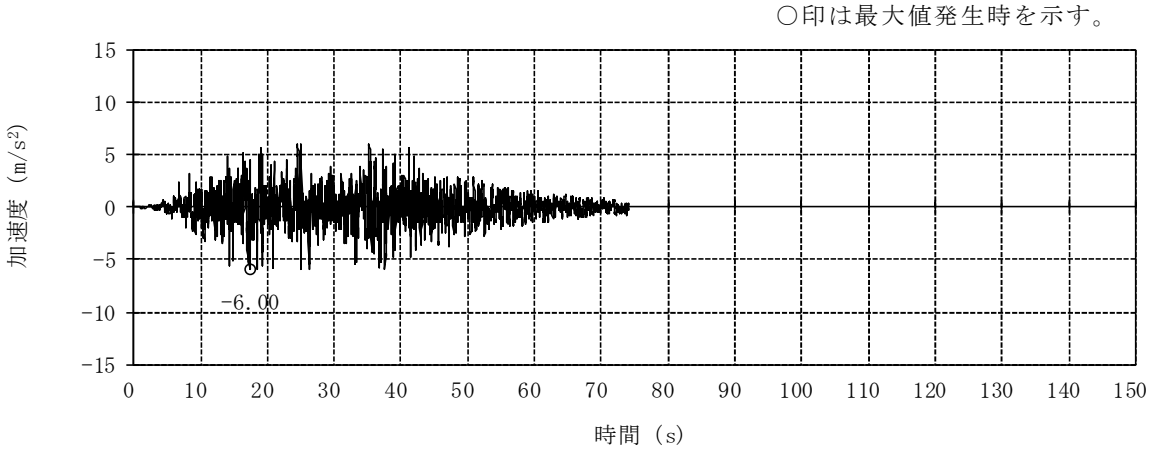
地震応答解析に用いる設計用模擬地震波の加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトルのうち，波及的影響の評価の対象方向である EW 方向について，図 3－1 及び図 3－2 に示す。



(a)　Ss-1H



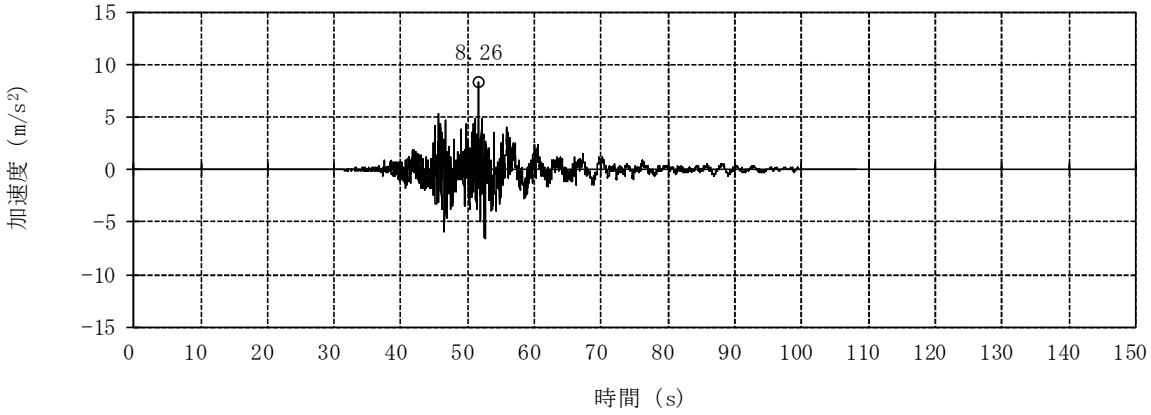
(b)　Ss-2EW



(c)　Ss-3H

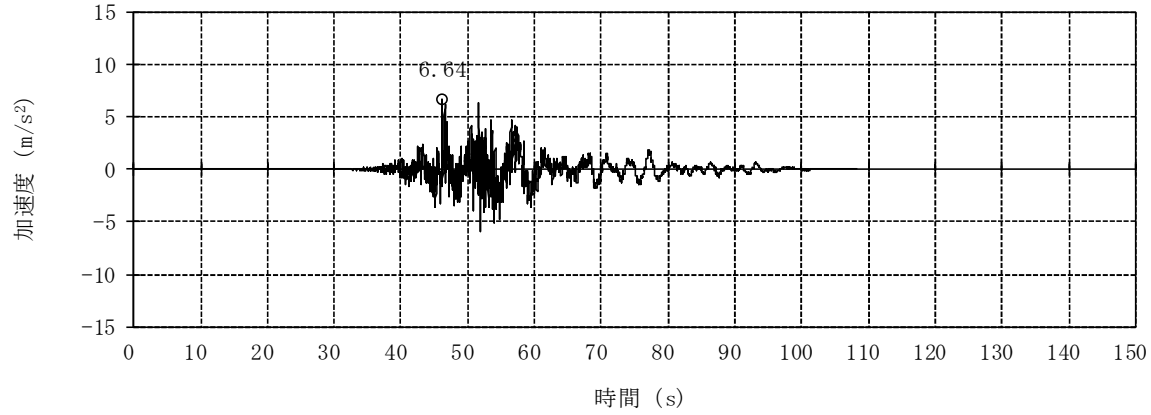
図 3－1　加速度時刻歴波形（基準地震動Ｓｓ，EW 方向）(1/3)

○印は最大値発生時を示す。



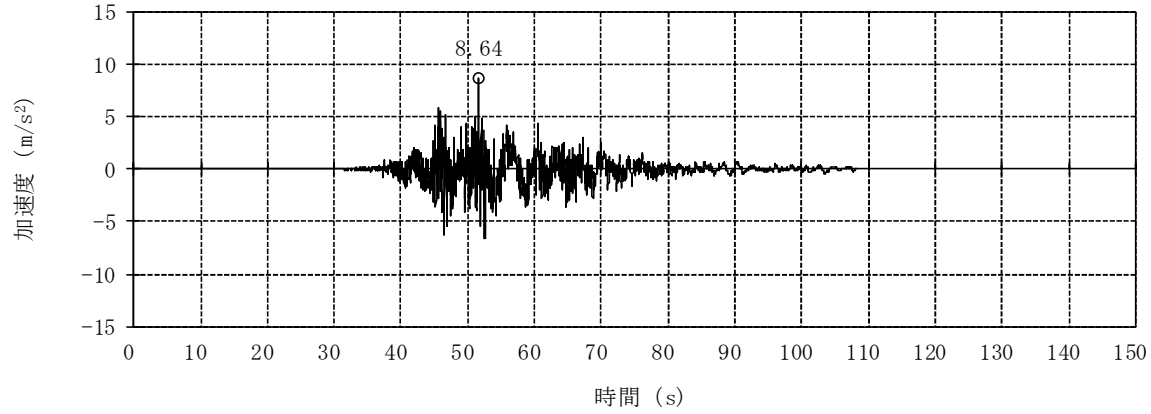
(d)　Ss-4EW

○印は最大値発生時を示す。



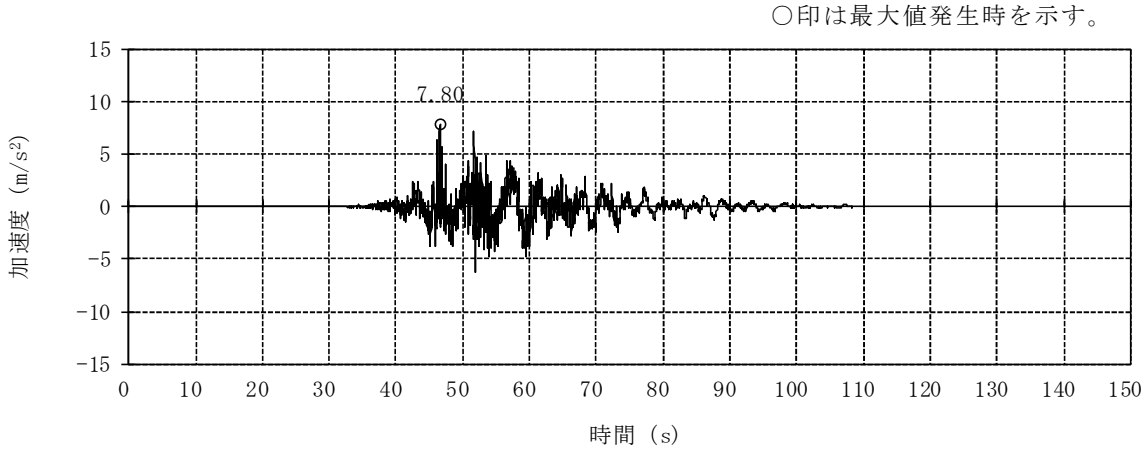
(e)　Ss-5EW

○印は最大値発生時を示す。

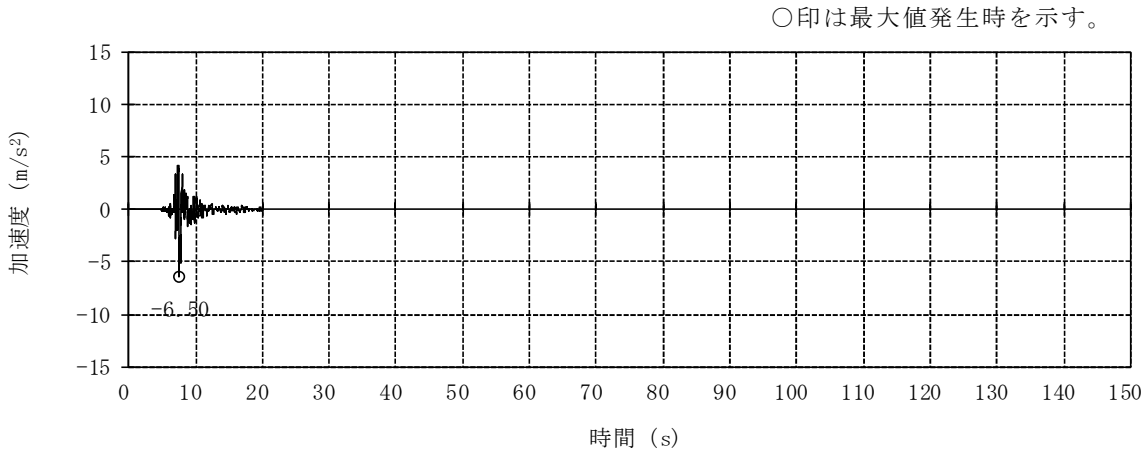


(f)　Ss-6EW

図 3－1　加速度時刻歴波形（基準地震動Ｓｓ，EW 方向）(2/3)



(g)　Ss-7EW



(h)　Ss-8H

図 3－1　加速度時刻歴波形（基準地震動Ｓｓ，EW 方向）(3/3)

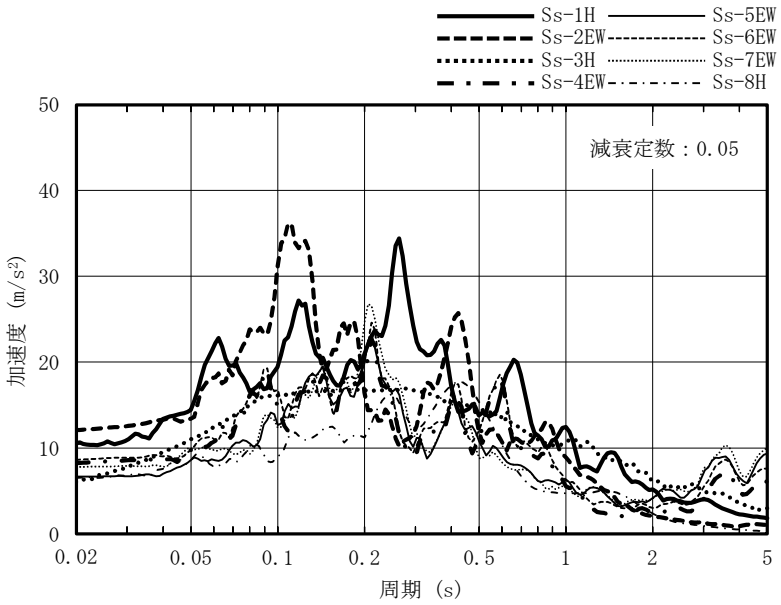


図 3－2　加速度応答スペクトル（基準地震動Ｓｓ，EW 方向）

3.3　荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している荷重及び荷重の組合せを用いる。その荷重の組合せを表 3－1 に示す。

表 3－1　荷重の組合せ

外力の状態	荷重組合せ
Ｓｓ地震時	Ｇ＋Ｐ＋Ｓｓ

［記号の説明］

Ｇ　：固定荷重

Ｐ　：地震と組み合わすべきプラントの運転状態における運転荷重

Ｓｓ：基準地震動Ｓｓにより定まる地震力

3.4　許容限界

サービス建屋のコントロール建屋に対する波及的影響の評価における許容限界は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき，表 3－2 及び表 3－3 のとおり設定する。

表 3－2　波及的影響の評価における許容限界
（設計基準対象施設に対する評価）

機能設計上の性能目標	地震力	部　位	機能維持のための考え方	許容限界
コントロール建屋に波及的影響を及ぼさない	基準地震動Ｓｓ	地　盤（古安田層）	最大接地圧が地盤の許容限界を超えないことを確認	極限支持力度 1530kN/m^2 *1
		耐震壁付きの柱・はりのフレーム	最大層間変形角が構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/120 *2
		サービス建屋及びコントロール建屋	建屋間の相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 100mm

注記　＊1：Ⅴ-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示される強度特性を用い，建築基礎構造設計指針（(社) 日本建築学会，2001 改定）に基づき算定。

＊2：建築基準法施行令第 82 条の 2(層間変形角)により設定。

表 3－3　波及的影響の評価における許容限界
（重大事故等対処施設に対する評価）

機能設計上の性能目標	地震力	部　位	機能維持のための考え方	許容限界
コントロール建屋に波及的影響を及ぼさない	基準地震動Ｓｓ	地　盤（古安田層）	最大接地圧が地盤の許容限界を超えないことを確認	極限支持力度 1530kN/m^2 *1
		耐震壁付きの柱・はりのフレーム	最大層間変形角が構造物全体としての構造強度の確認のための許容限界を超えないことを確認	層間変形角 1/120 *2
		サービス建屋及びコントロール建屋	建屋間の相対変位が波及的影響を及ぼさないための許容限界を超えないことを確認	相対変位 100mm

注記　＊1：Ⅴ-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示される強度特性を用い，建築基礎構造設計指針（(社) 日本建築学会，2001 改定）に基づき算定。

＊2：建築基準法施行令第 82 条の 2(層間変形角）により設定。

3.5　解析方法

3.5.1　地震応答解析モデル

地震応答解析モデルは，Ⅴ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，水平方向について設定する。その水平剛性には，水平方向の静的荷重漸増解析モデル（以下「荷重漸増解析モデル」という。）により求まる水平方向の変位量が等価となるせん断断面積を採用する。地震応答解析モデルの設定に用いた建物・構築物の物性値を表3－4に示す。

ここで，コンクリート剛性については，実現象に近い応答を模擬するという観点から，建設時コンクリートの91日強度データを基に設定した実強度を用いて算定する。なお，地震応答解析モデルに用いる補強部の剛性を考慮した振動モデルを設定するにあたっては，耐震補強を行う部分に係わる耐震壁並びにそれらに付属した柱・はり（以下「補強部」という。）については，剛性・強度及び変形に保守性を確保する観点から，設計基準強度F_Cを採用し，一方，既存部については，コンクリート実強度を採用して荷重漸増解析を行い，層単位の荷重－変形関係を求め，せん断スケルトン曲線を設定している。このスケルトン曲線を振動モデルに適用する際の等価なせん断断面積は，層の過半を占める既存部の実強度に基づくせん断弾性係数で代表させている。

表3－4　建物・構築物の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート*： σ_C=43.1(N/mm^2) (σ_C=440kgf/cm^2) 鉄筋：SD345	2.88×10^4	1.20×10^4	5
基礎スラブ	コンクリート*： σ_C=39.2(N/mm^2) (σ_C=400kgf/cm^2) 鉄筋：SD345	2.79×10^4	1.16×10^4	5

注記　＊：実強度に基づくコンクリート強度。

地震応答解析モデルは，地盤との相互作用を考慮し，等価せん断要素で構成される質点系モデルとし，弾塑性時刻歴応答解析を行う。なお，せん断剛性及びスケルトン曲線は，３次元モデルによる荷重漸増解析に基づき設定する。地震応答解析モデルを図 3－3 に，地震応答解析モデルの諸元を表 3－5 に示す。

地盤は，地盤調査に基づき水平成層地盤とし，基礎底面地盤ばねについては，「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（(社）日本電気協会)」（以下「ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版」という。）により，成層補正を行ったのち，振動アドミッタンス理論に基づき求めたスウェイ及びロッキングの地盤ばねを，近似法により定数化して用いる。このうち，基礎底面のロッキング地盤ばねには，基礎浮上りによる幾何学的非線形性を考慮する。基礎底面地盤ばねの評価には解析コード「ＳＴ－ＣＲＯＳＳ」を用いる。

また，埋込み部分の建屋側面地盤ばねについては，建屋側面位置の地盤定数を用いて，「ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版」により，Novak の方法に基づき求めた水平ばねを，基礎底面地盤ばねと同様に，近似法により定数化して用いる。建屋側面の水平ばねの評価には，解析コード「ＮＯＶＡＫ」を用いる。

解析モデルへの入力地震動は，一次元波動論に基づき，解放基盤表面レベルに想定する基準地震動Ｓｓに対する地盤の応答として評価する。また，基礎底面レベルにおけるせん断力（以下「切欠き力」という。）を入力地震動に付加することにより，地盤の切欠き効果を考慮する。地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図を図 3－4 に示す。入力地震動の算定には，解析コード「ＴＤＡＳ」を用いる。

基準地震動Ｓｓに対する地盤定数を表 3－6～表 3－13 に示す。なお，地盤定数は地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた等価地盤物性値を用いる。ひずみ依存特性については，Ⅴ-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づく。設定した地盤定数に基づき算定した基礎底面位置（T.M.S.L.　5.1m）における入力地震動の加速度応答スペクトルを図 3－5 に示す。地震応答解析に用いる地盤のばね定数と減衰係数を表 3－14～表 3－21 に示す。

なお，地震応答解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

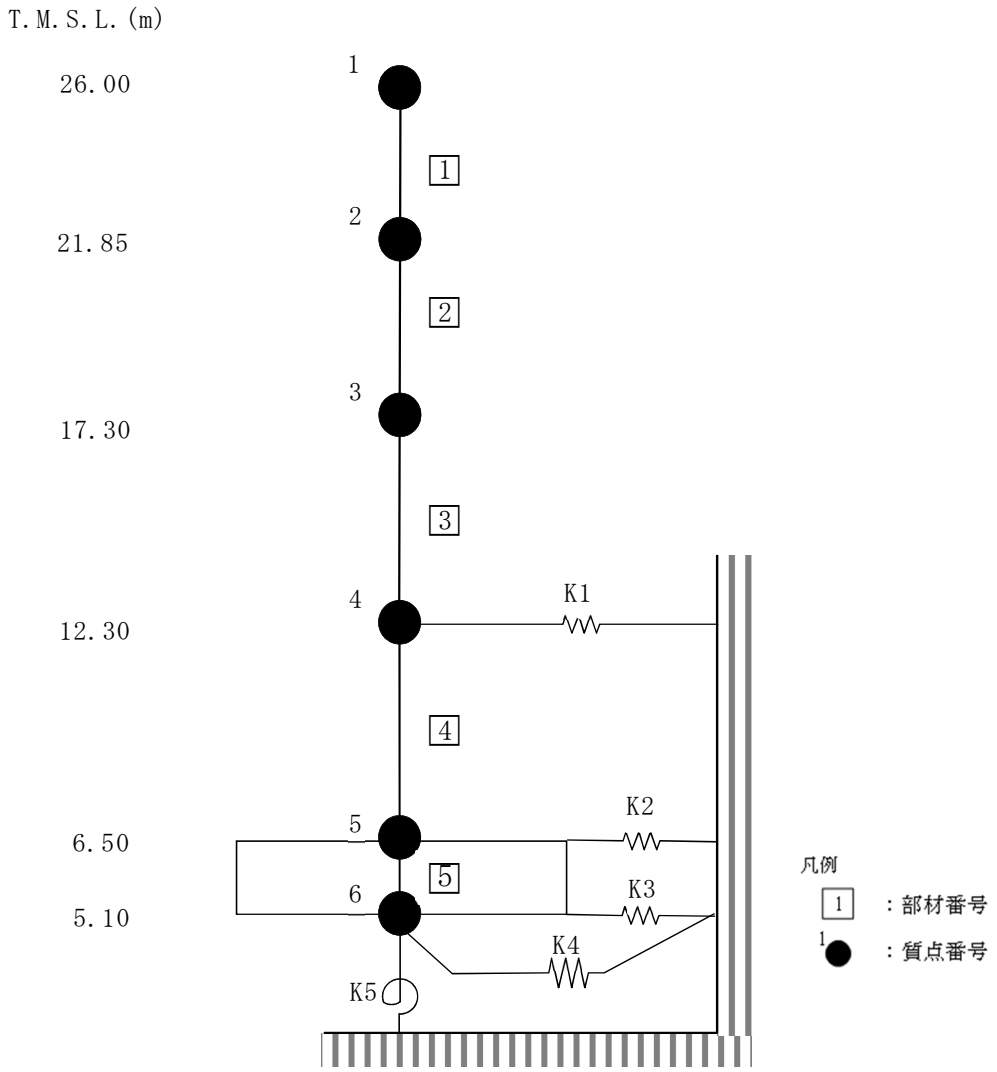


図 3－3　地震応答解析モデル

表 3－5　地震応答解析モデル諸元（EW 方向）

質点番号	質点重量 W(kN)	回転慣性重量 I_G(×10^5kN・m^2)	部材番号	等価せん断断面積 A_S(m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
1	9970	4.3			
			1	4.2	－
2	49470	219.7			
			2	23.7	－
3	52630	233.8			
			3	42.1	－
4	64940	288.5			
			4	53.3	－
5	86130	382.6			
			5	2482.0	1102000
6	41700	185.2			
合計	304840	1314.1			

①建屋部

ヤング係数Ｅ　　2.88×10^4 (N/mm^2)

せん断弾性係数Ｇ　　1.20×10^4 (N/mm^2)

ポアソン比ν　　0.20

減衰定数ｈ　　5 %

②基礎スラブ

ヤング係数Ｅ　　2.79×10^4 (N/mm^2)

せん断弾性係数Ｇ　　1.16×10^4 (N/mm^2)

ポアソン比ν　　0.20

減衰定数ｈ　　5 %

基礎形状　　34.0m(NS 方向)×73.0m(EW 方向)
×1.4m(厚さ)

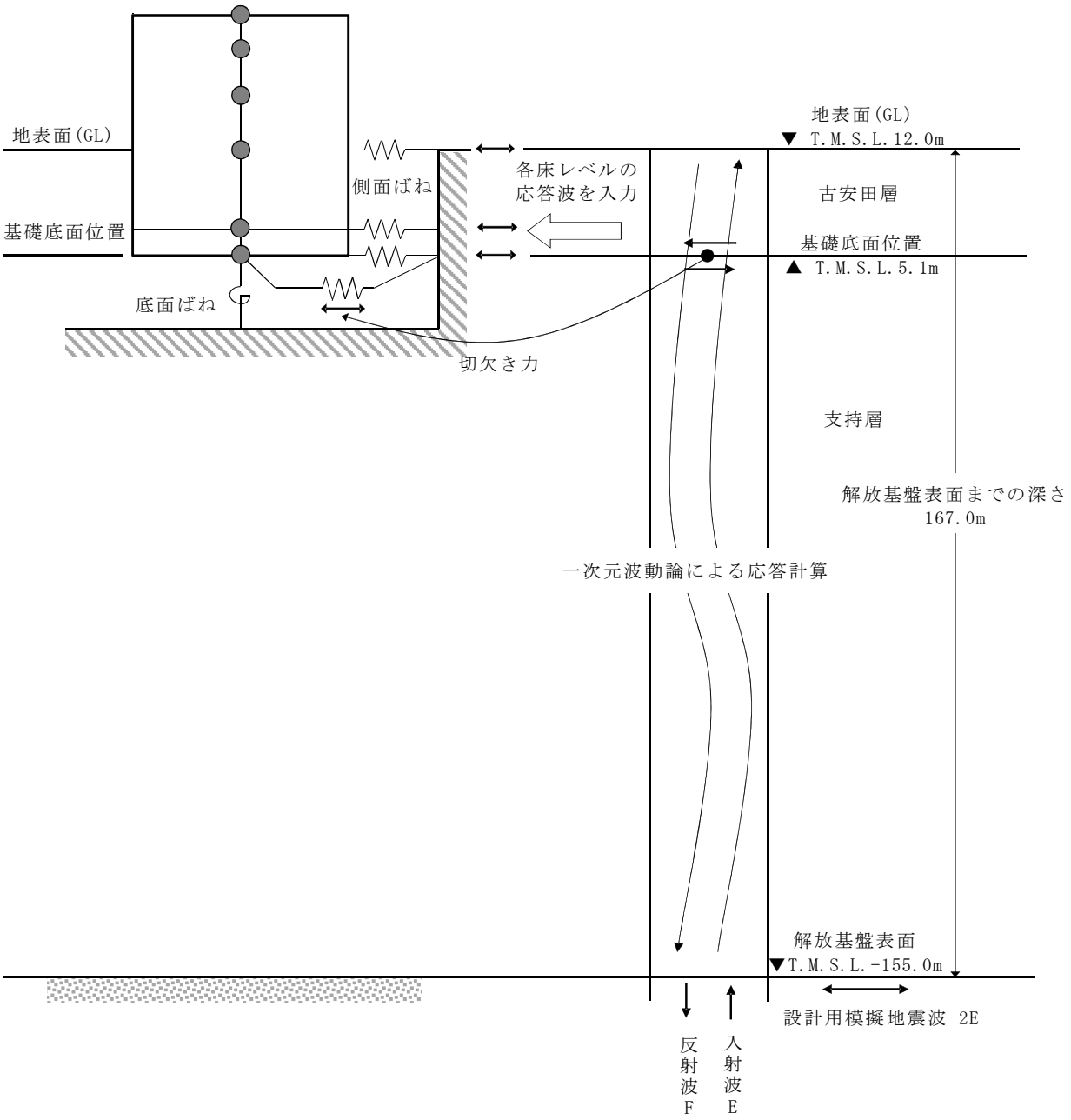


図 3－4　地震応答解析モデルに入力する地震動の概念図

表 3－6　地盤定数（Ss-1）

標　高 T.M.S.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単体体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 Go (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/Go	減衰 定数 h (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.36	1.92	0.71	4
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.82	4.16	0.92	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.18	4.75	0.88	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.21	6.14	0.85	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

表 3－7　地盤定数（Ss-2）

標　高 T.M.S.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単体体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 Go (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/Go	減衰 定数 h (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.34	1.92	0.70	3
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.78	4.16	0.91	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.27	4.75	0.90	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.64	6.14	0.92	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.82	8.32	0.94	3
∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

表 3－8　地盤定数（Ss-3）

標　高 T.M.S.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単体体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 Go (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/Go	減衰 定数 h (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.49	1.92	0.78	3
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.86	4.16	0.93	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.03	4.75	0.85	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.15	6.14	0.84	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.23	8.32	0.87	3
∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

表 3－9　地盤定数（Ss-4）

標　高 T.M.S.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単体体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 Go (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/Go	減衰 定数 h (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.47	1.92	0.77	3
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.95	4.16	0.95	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.37	4.75	0.92	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.64	6.14	0.92	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.82	8.32	0.94	3
∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

表 3－10　地盤定数（Ss-5）

標　高 T.M.S.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単体体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 Go (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/Go	減衰 定数 h (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.51	1.92	0.79	3
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.91	4.16	0.94	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.32	4.75	0.91	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.40	6.14	0.88	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.48	8.32	0.90	3
∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

表 3－11　地盤定数（Ss-6）

標　高 T.M.S.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単体体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 Go (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/Go	減衰 定数 h (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.45	1.92	0.76	3
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.95	4.16	0.95	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.32	4.75	0.91	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.52	6.14	0.90	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.65	8.32	0.92	3
∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

表 3－12　地盤定数（Ss-7）

標　高 T.M.S.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単体体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 Go (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/Go	減衰 定数 h (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.47	1.92	0.77	3
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.86	4.16	0.93	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.27	4.75	0.90	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.34	6.14	0.87	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.40	8.32	0.89	3
∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

表 3－13　地盤定数（Ss-8）

標　高 T.M.S.L. (m)	地質	せん断波 速度 Vs (m/s)	単体体積 重量 γ_t (kN/m^3)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10^{5}kN/m^2)	初期せん断 弾性係数 Go (×10^{5}kN/m^2)	剛性 低下率 G/Go	減衰 定数 h (%)
12.0 5.1	古安田層	330	17.3	0.462	1.51	1.92	0.79	3
-33.0	西山層	490	17.0	0.451	3.86	4.16	0.93	3
-90.0		530	16.6	0.446	4.18	4.75	0.88	3
-136.0		590	17.3	0.432	5.64	6.14	0.92	3
-155.0		650	19.3	0.424	7.90	8.32	0.95	3
∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	－

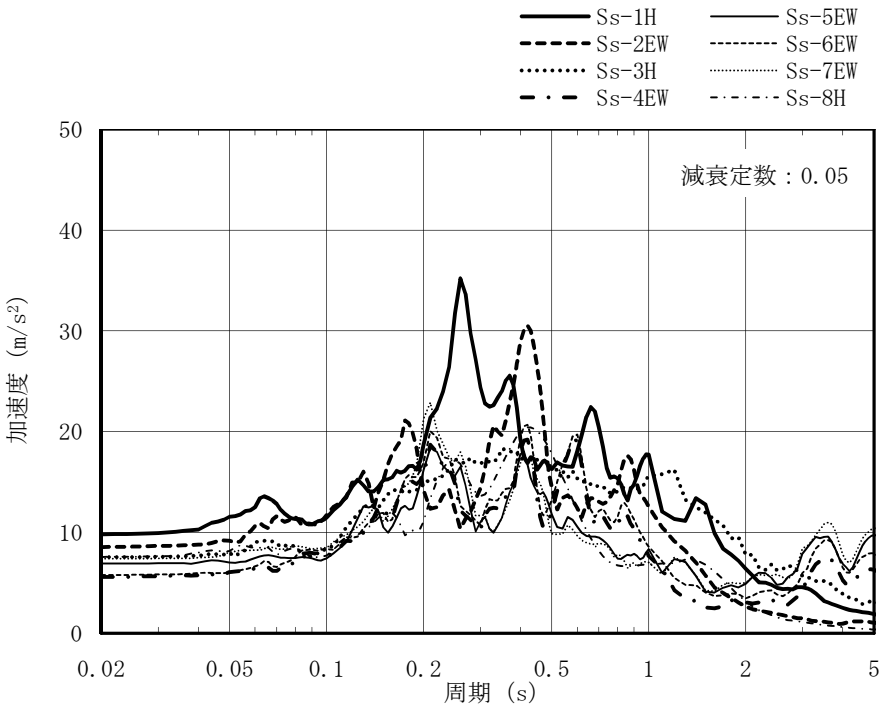


図 3－5　入力地震動の加速度応答スペクトル
（基準地震動Ｓｓ，EW 方向，T.M.S.L. 5.1m）

表 3－14　地盤のばね定数と減衰係数（Ss-1，EW 方向）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	4	側面・並進	1.53×10^{6}	5.06×10^{5}
K2	5	側面・並進	2.12×10^{6}	7.01×10^{5}
K3	6	側面・並進	4.11×10^{5}	1.36×10^{5}
K4	6	底面・並進	5.86×10^{7}	1.97×10^{6}
K5	6	底面・回転	8.09×10^{10}	1.61×10^{9}

注記*1：K1,K2,K3,K4はkN/m　K5はkN･m/rad
　　*2：K1,K2,K3,K4はkN･s/m　K5はkN･m･s/rad

表 3－15　地盤のばね定数と減衰係数（Ss-2，EW 方向）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	4	側面・並進	1.51×10^{6}	5.03×10^{5}
K2	5	側面・並進	2.09×10^{6}	6.97×10^{5}
K3	6	側面・並進	4.05×10^{5}	1.36×10^{5}
K4	6	底面・並進	5.84×10^{7}	1.97×10^{6}
K5	6	底面・回転	8.09×10^{10}	1.61×10^{9}

注記*1：K1,K2,K3,K4はkN/m　K5はkN･m/rad
　　*2：K1,K2,K3,K4はkN･s/m　K5はkN･m･s/rad

表 3－16　地盤のばね定数と減衰係数（Ss-3，EW 方向）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	4	側面・並進	1.67×10^{6}	5.26×10^{5}
K2	5	側面・並進	2.32×10^{6}	7.29×10^{5}
K3	6	側面・並進	4.51×10^{5}	1.42×10^{5}
K4	6	底面・並進	5.86×10^{7}	1.97×10^{6}
K5	6	底面・回転	8.06×10^{10}	1.61×10^{9}

注記*1：K1,K2,K3,K4はkN/m　K5はkN･m/rad
　　*2：K1,K2,K3,K4はkN･s/m　K5はkN･m･s/rad

表 3－17　地盤のばね定数と減衰係数（Ss-4，EW 方向）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	4	側面・並進	1.65×10^{6}	5.24×10^{5}
K2	5	側面・並進	2.29×10^{6}	7.26×10^{5}
K3	6	側面・並進	4.45×10^{5}	1.41×10^{5}
K4	6	底面・並進	6.08×10^{7}	2.01×10^{6}
K5	6	底面・回転	8.40×10^{10}	1.64×10^{9}

注記*1：K1,K2,K3,K4はkN/m　K5はkN･m/rad
　　*2：K1,K2,K3,K4はkN･s/m　K5はkN･m･s/rad

表 3－18　地盤のばね定数と減衰係数（Ss-5，EW 方向）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	4	側面・並進	1.70×10^{6}	5.30×10^{5}
K2	5	側面・並進	2.35×10^{6}	7.34×10^{5}
K3	6	側面・並進	4.57×10^{5}	1.43×10^{5}
K4	6	底面・並進	6.01×10^{7}	1.99×10^{6}
K5	6	底面・回転	8.30×10^{10}	1.63×10^{9}

注記*1：K1,K2,K3,K4はkN/m　K5はkN･m/rad
　　*2：K1,K2,K3,K4はkN･s/m　K5はkN･m･s/rad

表 3－19　地盤のばね定数と減衰係数（Ss-6，EW 方向）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	4	側面・並進	1.63×10^{6}	5.21×10^{5}
K2	5	側面・並進	2.26×10^{6}	7.22×10^{5}
K3	6	側面・並進	4.38×10^{5}	1.40×10^{5}
K4	6	底面・並進	6.06×10^{7}	2.00×10^{6}
K5	6	底面・回転	8.37×10^{10}	1.64×10^{9}

注記*1：K1,K2,K3,K4はkN/m　K5はkN･m/rad
　　*2：K1,K2,K3,K4はkN･s/m　K5はkN･m･s/rad

表 3－20　地盤のばね定数と減衰係数（Ss-7，EW 方向）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	4	側面・並進	1.65×10^{6}	5.24×10^{5}
K2	5	側面・並進	2.29×10^{6}	7.25×10^{5}
K3	6	側面・並進	4.45×10^{5}	1.41×10^{5}
K4	6	底面・並進	5.93×10^{7}	1.98×10^{6}
K5	6	底面・回転	8.20×10^{10}	1.62×10^{9}

注記*1：K1,K2,K3,K4はkN/m　K5はkN･m/rad
　　*2：K1,K2,K3,K4はkN･s/m　K5はkN･m･s/rad

表 3－21　地盤のばね定数と減衰係数（Ss-8，EW 方向）

ばね番号	質点番号	地盤ばね成分	ばね定数*1	減衰係数*2
K1	4	側面・並進	1.70×10^{6}	5.29×10^{5}
K2	5	側面・並進	2.35×10^{6}	7.33×10^{5}
K3	6	側面・並進	4.57×10^{5}	1.43×10^{5}
K4	6	底面・並進	5.91×10^{7}	1.98×10^{6}
K5	6	底面・回転	8.16×10^{10}	1.62×10^{9}

注記*1：K1,K2,K3,K4はkN/m　K5はkN･m/rad
　　*2：K1,K2,K3,K4はkN･s/m　K5はkN･m･s/rad

3.5.2　解析方法

サービス建屋の地震応答解析には，解析コード「ＴＤＡＳ」を用いる。

建物・構築物の地震応答解析は，Ⅴ-2-1-6「地震応答解析の基本方針」に基づき，時刻歴応答解析により実施する。

なお，地震応答解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.5.3　解析条件

(1)　建物・構築物の復元力特性

サービス建屋の地震応答解析に用いるモデルは，それらの構造要素の等価剛性と非線形特性を考慮する。この等価剛性と非線形特性は，構造物全体をそれぞれ耐震壁及び柱・はりの立体フレームにモデル化し，荷重漸増解析に基づき設定する。荷重漸増解析モデルに考慮した耐震壁を図 3－6 に示す。サービス建屋の荷重漸増解析には，解析コード「Ｈｙｐｅｒ　Ｓｔａｔｉｃｓ　ａｎｄ　Ｄｙｎａｍｉｃｓ」を用いる。なお，地震応答解析に用いる解析コードの検証，妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

以下に荷重漸増解析の条件を示す。

・外力分布は，保有水平耐力の外力分布形状を用いる。
・加力方向は正負方向について実施し，1 階の耐力が低くなる加力方向を採用する。
・加力方向におけるいずれかの層の最大層間変形角が 1/25 に達した時点で解析を終了する。
・初期応力として長期応力を考慮する。
・Ｑ－δ における層間変位計算用節点位置は重心位置とする。

以上の荷重漸増解析より求めた荷重－変形関係から図 3－7 に示す方法により，各階の非線形特性を算出する。なお，せん断力－せん断ひずみ関係の履歴特性は，「ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版」に基づき，最大点指向型モデルとする。そのせん断力－せん断ひずみ関係の履歴特性を図 3－8 に示す。

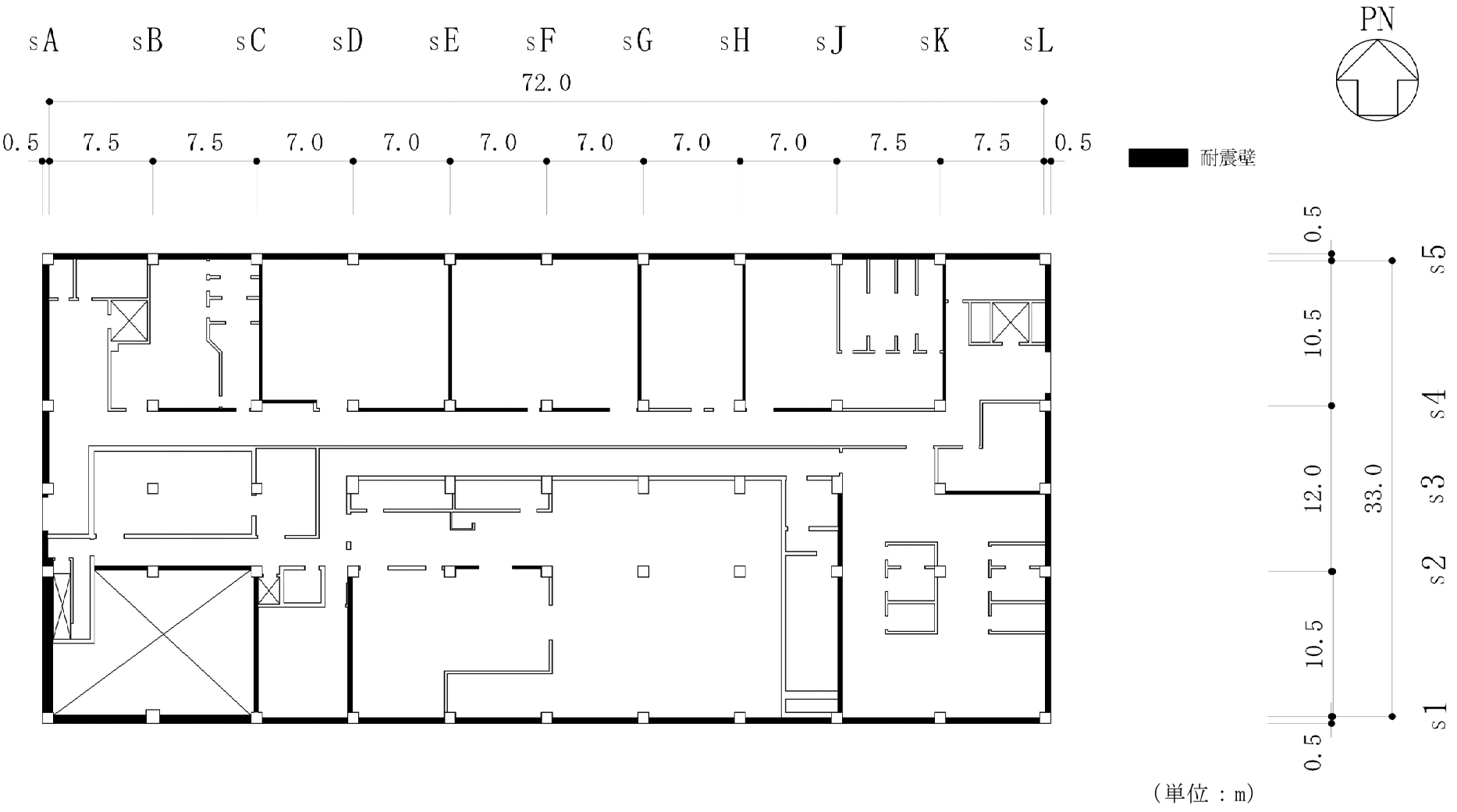


図 3－6　荷重漸増解析モデルに考慮した耐震壁（B1F，T.M.S.L. 6.50m）（1/4）



図 3－6　荷重漸増解析モデルに考慮した耐震壁（1F，T.M.S.L. 12.30m）（2/4）

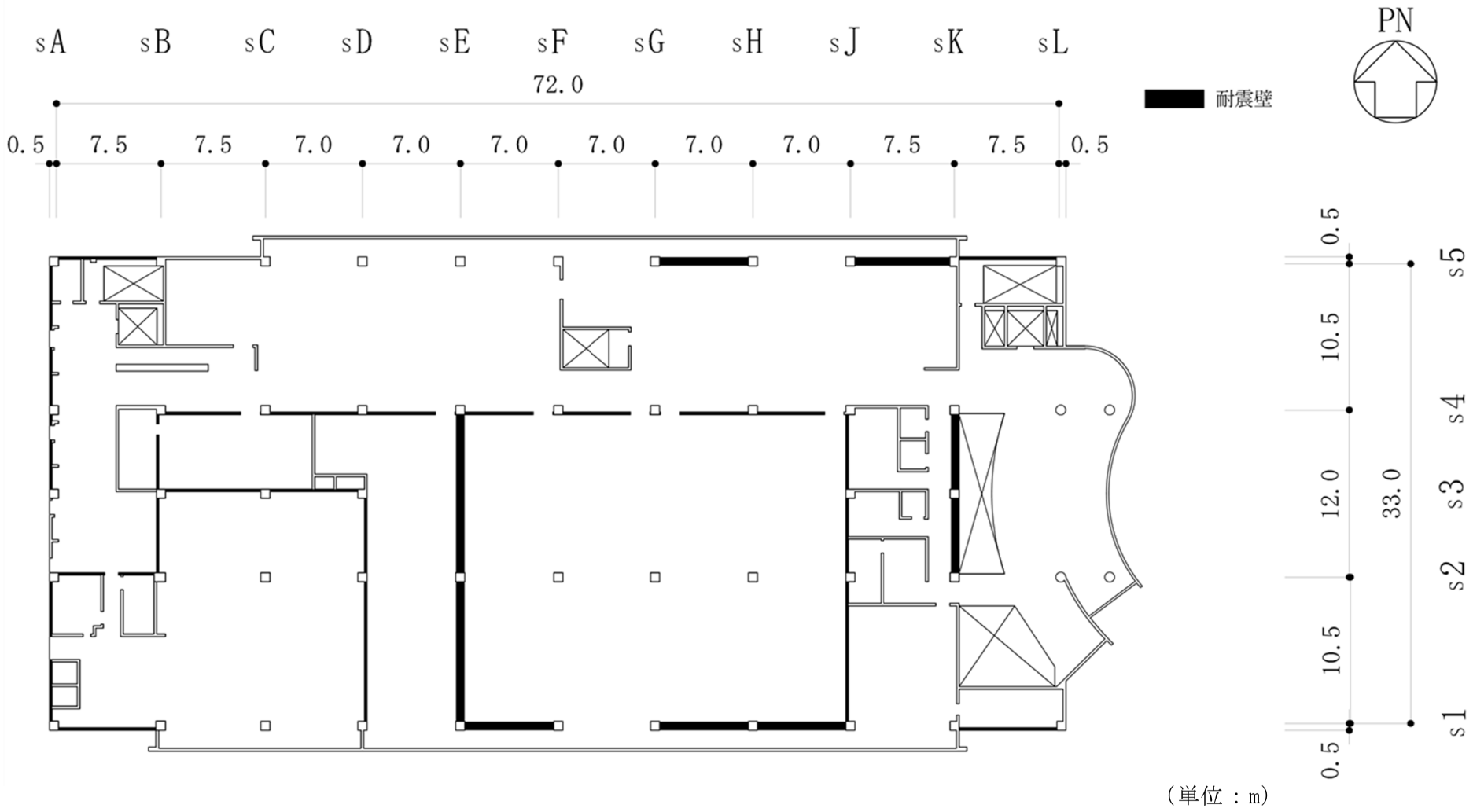
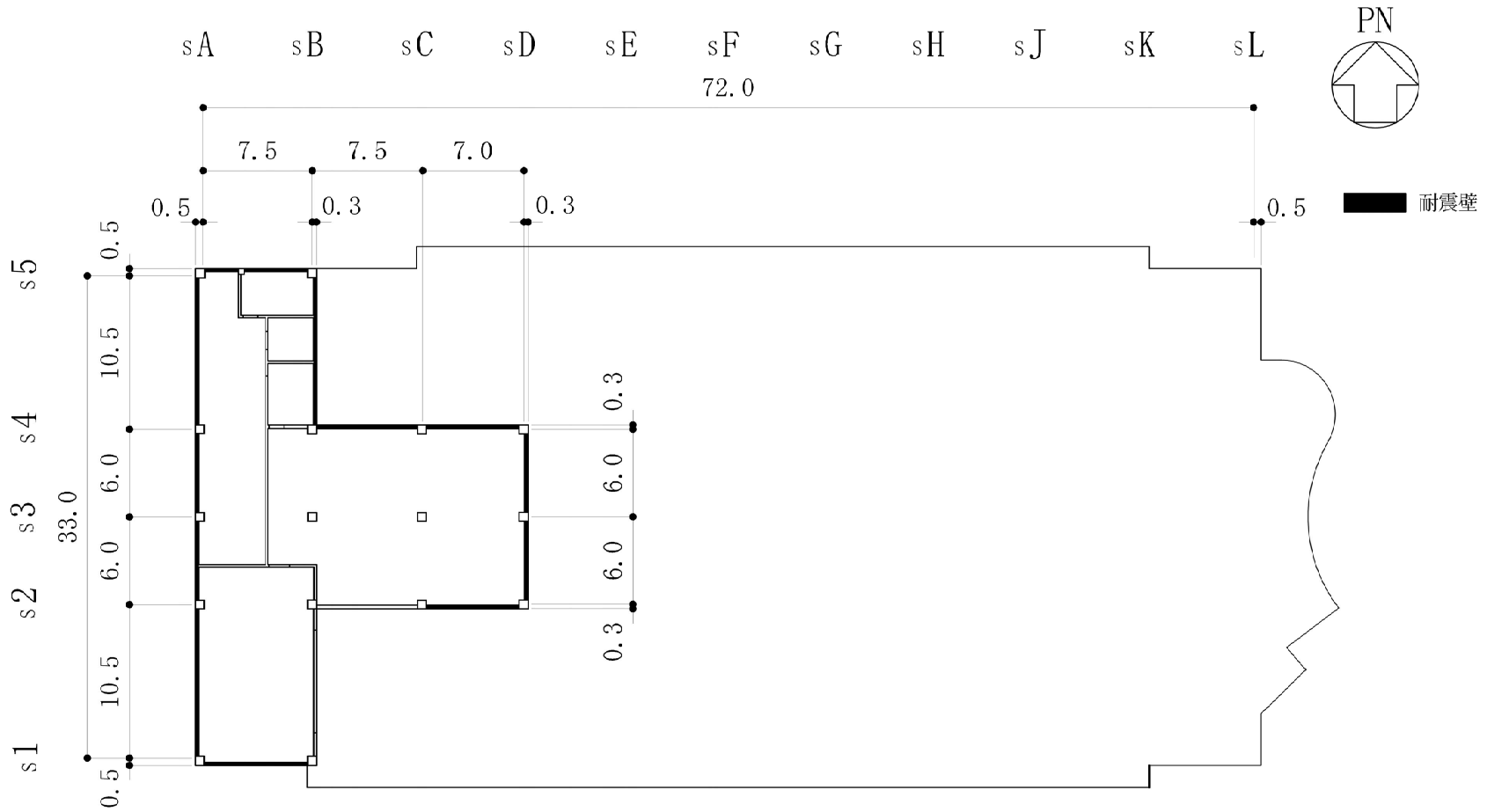


図 3－6　荷重漸増解析モデルに考慮した耐震壁（2F，T.M.S.L. 17.30m）(3/4)



（単位：m）

図 3－6　荷重漸増解析モデルに考慮した耐震壁（3F，T.M.S.L. 21.85m）(4/4)

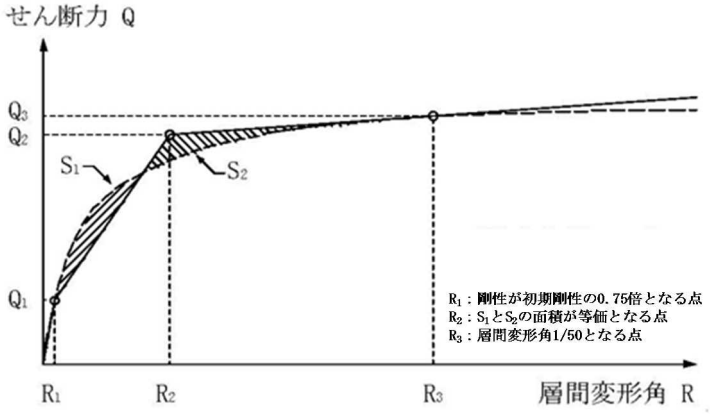
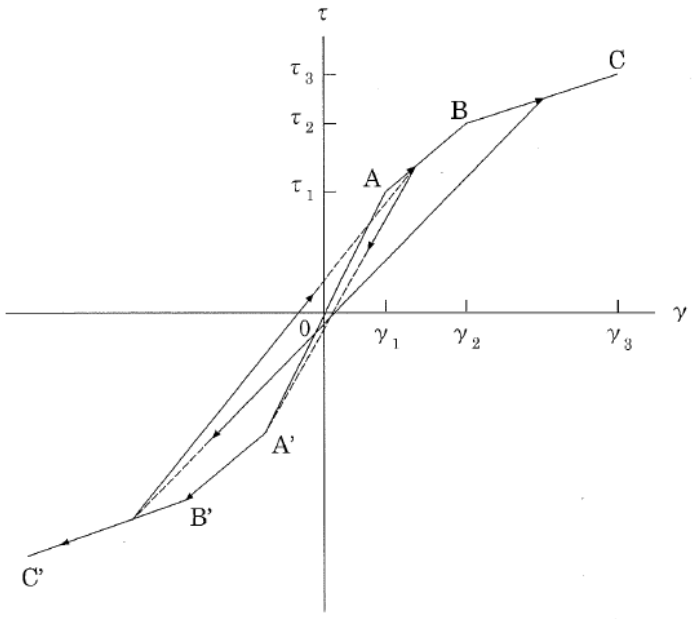


図 3－7　せん断力－層間変形角の関係（層単位）



a．0－A 間　：弾性範囲。

b．A－B 間　：負側スケルトンが経験した最大点に向う。ただし，負側最大点が第 1 折点を超えていなければ，負側第 1 折点に向う。

c．B－C 間　：負側最大点指向。

d．各最大点は，スケルトン上を移動することにより更新される。

e．安定ループは面積を持たない。

図 3－8　せん断力－せん断ひずみ関係の履歴特性（層単位）

(2)　荷重漸増解析モデルに用いる建物・構築物の物性値

荷重漸増解析モデルに用いる建物・構築物の物性値を表 3－22 に示す。

なお，補強部については，剛性・強度及び変形に保守性を確保する観点から，設計基準強度Ｆ$_C$を採用する。

表 3－22　荷重漸増解析モデルに用いる建物・構築物の物性値

部位		使用材料	ヤング係数 E (N/mm^2)	せん断弾性係数 G (N/mm^2)
建屋部	既存部	コンクリート＊： σ_C=43.1(N/mm^2) (σ_C=440kgf/cm^2) 鉄筋：SD345	2.88×10^4	1.20×10^4
	補強部	コンクリート： Ｆ$_C$=32.3(N/mm^2) (Ｆ$_C$=330kgf/cm^2) 鉄筋：SD345	2.50×10^4	1.04×10^4
基礎スラブ		コンクリート＊： σ_C=39.2(N/mm^2) (σ_C=400kgf/cm^2) 鉄筋：SD345	2.79×10^4	1.16×10^4

注記＊：実強度に基づくコンクリート強度。

(3)　スケルトン曲線の諸数値

サービス建屋の層単位のせん断力のスケルトン曲線の諸数値を表 3－23 に示す。また，それらのせん断力－変位曲線を図 3－9 に示す。

表 3－23　せん断力－変位曲線（Q－δ関係，EW 方向）

階	第 1 折点		第 2 折点		終局点	
	Q_1 ($\times 10^4$kN)	δ_1* (mm)	Q_2 ($\times 10^4$kN)	δ_2* (mm)	Q_3 ($\times 10^4$kN)	δ_3* (mm)
3F	1.25	1.03 (0.247)	3.10	13.1 (3.16)	3.28	83.0 (20.0)
2F	5.55	0.887 (0.195)	13.2	11.6 (2.56)	13.9	91.0 (20.0)
1F	8.68	0.860 (0.172)	19.2	9.56 (1.91)	20.5	100 (20.0)
B1F	12.8	1.16 (0.200)	31.0	14.4 (2.48)	32.6	116 (20.0)

注記　＊：（　）内の値は層せん断ひずみ（単位：$\times 10^{-3}$）を示す。

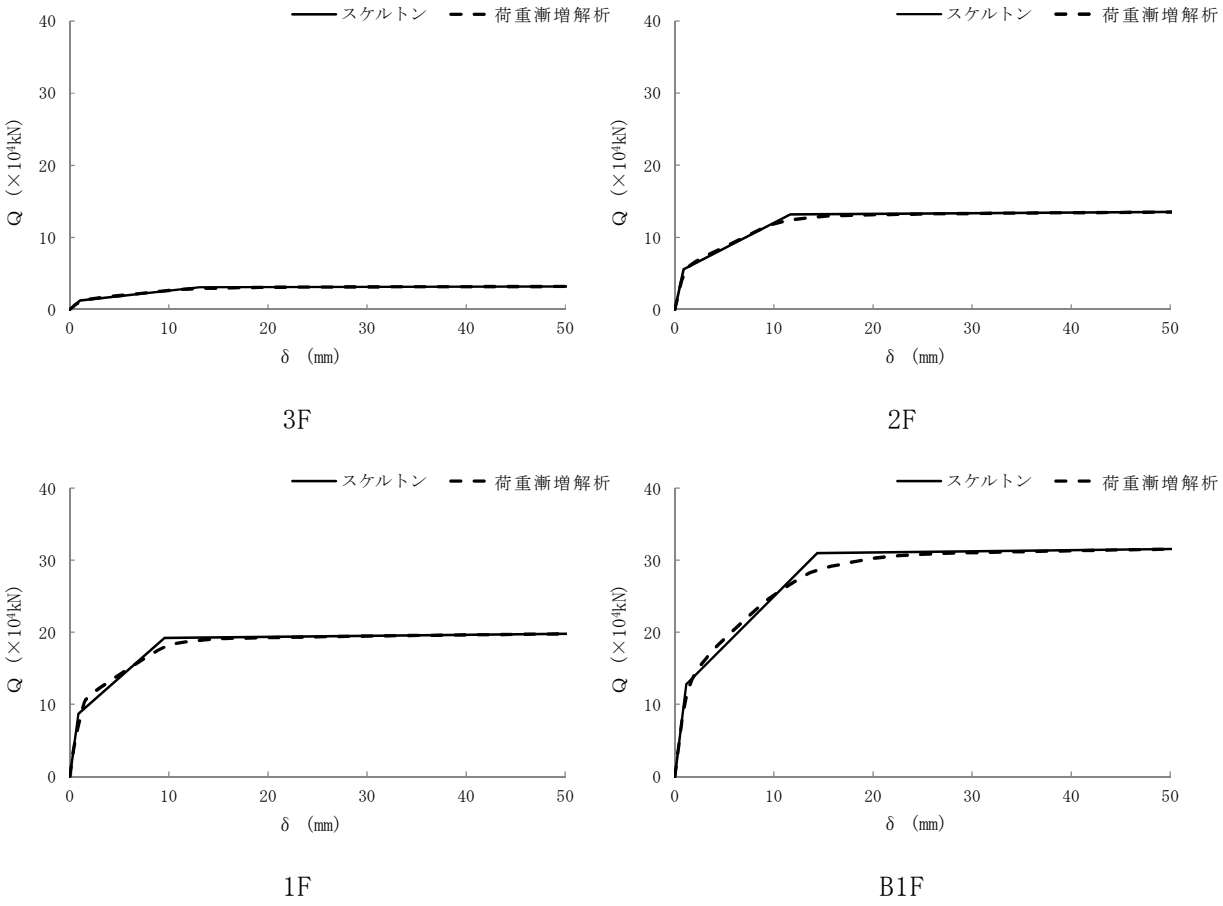


図 3－9　せん断力－変位曲線（EW 方向）

3.5.4　材料物性の不確かさ

解析においては，「3.5.1　地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を基本ケースとし，材料物性の不確かさを考慮する。材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析は，建屋応答への影響の大きい地震動に対して実施することとし，基本ケースの地震応答解析の応答値のいずれかが最大となる地震動（基準地震動 Ss-1 及び Ss-2）に対して実施することとする。

材料物性の不確かさのうち，建屋剛性については，建設時コンクリートの 91 日強度の平均値程度の 43.1N/mm^2 を基本とし，91 日強度の±1σを考慮する。更にマイナス側については，91 日強度の値として 95%信頼区間の下限値に相当する値を考慮する。プラス側については，実機の経年後のコア強度の平均値を考慮する。

地盤剛性については，地盤調査結果の平均値を基に設定した数値を基本ケースとし，地盤剛性の不確かさ検討にあたっては，初期せん断波速度に対して標準偏差に相当するばらつき（±1σ）を考慮する。

材料物性の不確かさを考慮する解析ケースを表 3－24 に示す。

表 3－24　材料物性の不確かさを考慮する解析ケース

検討ケース	コンクリート剛性	地盤剛性	備考
①ケース 1 （工認モデル）	実強度 (43.1N/mm^2)	標準地盤	基本ケース
②ケース 2 （建屋剛性＋σ， 地盤剛性＋σ）	実強度＋σ (46.0N/mm^2)	標準地盤＋σ （古安田層＋25%， 西山層＋10%）	
③ケース 3 （建屋剛性－σ， 地盤剛性－σ）	実強度－σ (40.2N/mm^2)	標準地盤－σ （古安田層－25%， 西山層－10%）	
④ケース 4 （建屋剛性コア平均）	実強度 （コア平均） (55.7N/mm^2)	標準地盤	
⑤ケース 5 （建屋剛性－2σ）	実強度－2σ (37.2N/mm^2)	標準地盤	

3.6　評価方法

サービス建屋の波及的影響の評価は，基準地震動Ｓｓにおける質点系モデルの地震応答解析結果を用い，以下のとおり評価する。

なお，以下の評価には，材料物性の不確かさを考慮する。

3.6.1　地盤の支持性能の評価方法

地盤の支持性能の評価は，鉛直力（建物総重量とする）と質点系モデルによる水平方向の地震応答解析結果（転倒モーメント）から求まる建屋基礎底面の最大接地圧が，古安田層の極限支持力度を超えないことを確認する。

3.6.2　構造物全体としての変形性能の評価方法

構造物全体としての変形性能の評価は，質点系モデルによる地震応答解析を行い，層間変形角を算出し，最大層間変形角が許容限界を超えないことを確認する。

3.6.3　相対変位による評価方法

相対変位による評価は，「3.5　解析方法」に示すサービス建屋の地震応答解析モデルによる解析結果とⅤ-2-2-9「コントロール建屋の地震応答計算書」における地震応答解析結果から，地震動毎に最大応答変位の和を算出し，その値が許容限界を超えないことを確認する。最大相対変位を算出する際の基準点は，両建屋ともに，7号機原子炉建屋の基礎底面レベルの地盤面とする。

また，衝突のおそれのある床レベルに地震応答解析モデルの質点がない場合には，当該床レベルの上下質点の応答変位を用いた線形補間により，当該床レベルの変位を算出する。

更に，上記の最大相対変位が許容限界を超える場合には，両建屋の時刻歴応答変位による相対変位が，許容限界を超えないことを確認する。

4. 評価結果

4.1 地盤の支持性能の評価結果

基準地震動Ｓｓに対する建屋基礎底面の最大接地圧（EW 方向）を表 4－1 に示す。

その結果，ケース 1（工認モデル）において，最大接地圧は 235kN/m^2（Ss-1）である。また，材料物性の不確かさを考慮した場合の最大接地圧は 244kN/m^2（ケース 3，建屋剛性－σ，地盤剛性－σ）であり，いずれの場合においても許容限界（1530kN/m^2）を超えないことを確認した。

表 4－1 建屋基礎底面の最大接地圧（EW 方向）

（単位：kN/m^2）

ケース / 方向	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	許容限界
EW	235 (Ss-1)	221 (Ss-1)	244 (Ss-1)	231 (Ss-1)	237 (Ss-1)	1530

注：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は，基準地震動 Ss-1 及び Ss-2 に対して実施。

4.2 構造物全体としての変形性能の評価結果

基準地震動Ｓｓに対する最大層間変形角（EW 方向）を表 4－2 に示す。

その結果，ケース 1（工認モデル）において，最大層間変形角は 1/557（2 階）である。また，材料物性の不確かさを考慮した場合の最大層間変形角は，最大で 1/437（3 階，ケース 5，建屋剛性－2σ，標準地盤剛性）であり，いずれの場合においても許容限界（1/120）を超えないことを確認した。

表 4－2 建屋の最大層間変形角（EW 方向）

ケース / 方向	ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	許容限界
EW	1/557 (Ss-1)	1/738 (Ss-1)	1/478 (Ss-1)	1/590 (Ss-1)	1/437 (Ss-1)	1/120

注：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は，基準地震動 Ss-1 及び Ss-2 に対して実施。

4.3　相対変位による評価結果

基準地震動Ｓｓに対する建屋間の最大相対変位（EW 方向）を表 4－3 に示す。

その結果，ケース 1（工認モデル）において，最大相対変位は，コントロール建屋質点レベル T.M.S.L.24.10m（サービス建屋質点レベル T.M.S.L. 26.00m～21.85m の中間レベル）で 56.3mm（Ss-1）である。また，材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は，ケース 1 と同一の床レベルで 70.9mm（ケース 3，建屋剛性－σ，地盤剛性－σ）であり，いずれの場合においても許容限界（100mm）を超えないことを確認した。

表 4－3　サービス建屋とコントロール建屋の最大相対変位（EW 方向，絶対値和）

（単位：mm）

コントロール建屋		サービス建屋		ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5	許容限界
質点番号	T.M.S.L.(m)	質点番号	T.M.S.L.(m)						
①	24.10	＊	26.00～21.85	56.3 (Ss-1)	42.3 (Ss-1)	70.9 (Ss-1)	53.1 (Ss-1)	60.9 (Ss-1)	100
②	17.30	③	17.30	42.6 (Ss-1)	32.8 (Ss-1)	54.7 (Ss-1)	40.8 (Ss-1)	43.8 (Ss-1)	
③	12.30	④	12.30	32.6 (Ss-1)	24.8 (Ss-1)	44.5 (Ss-1)	31.4 (Ss-1)	33.4 (Ss-1)	
④	6.50	⑤	6.50	25.2 (Ss-1)	19.5 (Ss-1)	33.1 (Ss-1)	25.1 (Ss-1)	25.3 (Ss-1)	

注　　：（ ）内は各ケースにおいて応答が最大となる地震動を示す。材料物性の不確かさを考慮した場合の最大相対変位は，基準地震動 Ss-1 及び Ss-2 に対して実施。

注記＊：コントロール建屋（T.M.S.L.24.10m）の質点①の相対変位に加算するサービス建屋の相対変位は，サービス建屋の上下階の質点間（T.M.S.L.26.00m～21.85m）で線形補間して算定。

Ⅴ-2-11-2-2　竜巻対策設備の耐震性についての計算書

Ⅴ-2-11-2-2-1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震性についての計算書

目　次

1. 概要 …… 1
2. 一般事項 …… 2
2.1 配置概要 …… 2
2.2 構造概要 …… 4
2.3 評価方針 …… 11
2.4 適用基準 …… 14
3. 評価部位 …… 15
4. 許容限界 …… 29
4.1 構造物全体の変形性能に対する許容限界 …… 29
4.2 構造部材の健全性に対する許容限界 …… 29
4.3 使用材料の許容限界評価条件 …… 30
5. 耐震評価 …… 31
5.1 耐震評価方法 …… 31
5.2 荷重の組合せ …… 32
5.3 解析モデル …… 34
5.4 固有周期 …… 36
5.5 設計用地震力 …… 37
5.6 計算方法 …… 38
5.6.1 構造物全体の変形性能評価 …… 38
5.6.2 構造部材の健全性評価 …… 39
5.7 変形及び応力の評価 …… 40
5.7.1 変形評価 …… 40
5.7.2 応力評価 …… 40
6. 評価結果 …… 42
6.1 構造物全体の変形性能評価 …… 42
6.2 構造部材の健全性評価 …… 43

1. 概要

本資料は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板が基準地震動Ｓｓに対して十分な構造強度を有していることを確認することで，内部に設置された上位クラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ等に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　配置概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の位置図を図 2－1 に，配置図を図 2－2 に示す。

図 2－2 に示すとおり，非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板内部に上位クラス施設である燃料移送ポンプ等が設置されており，本施設の転倒時に燃料移送ポンプ等に波及的影響を及ぼすおそれがある。

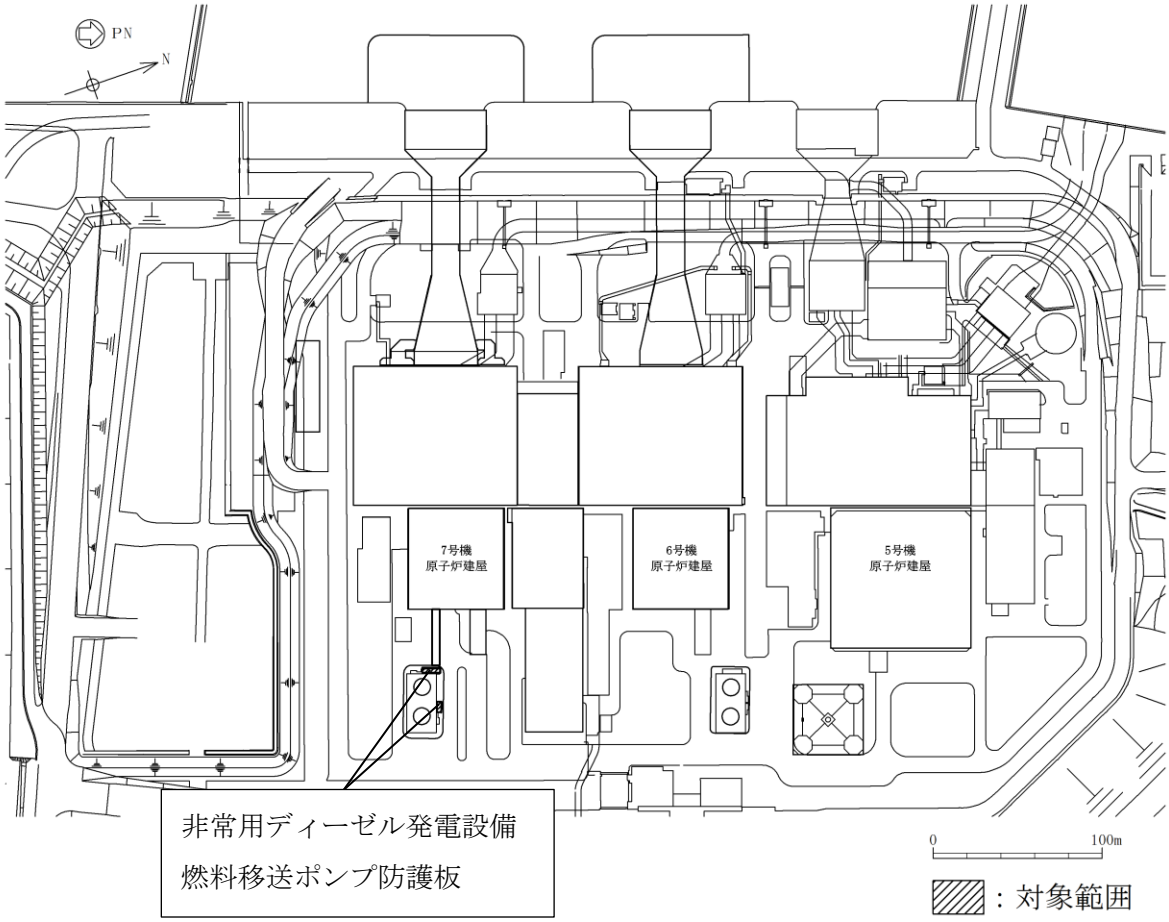


図 2－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の位置図

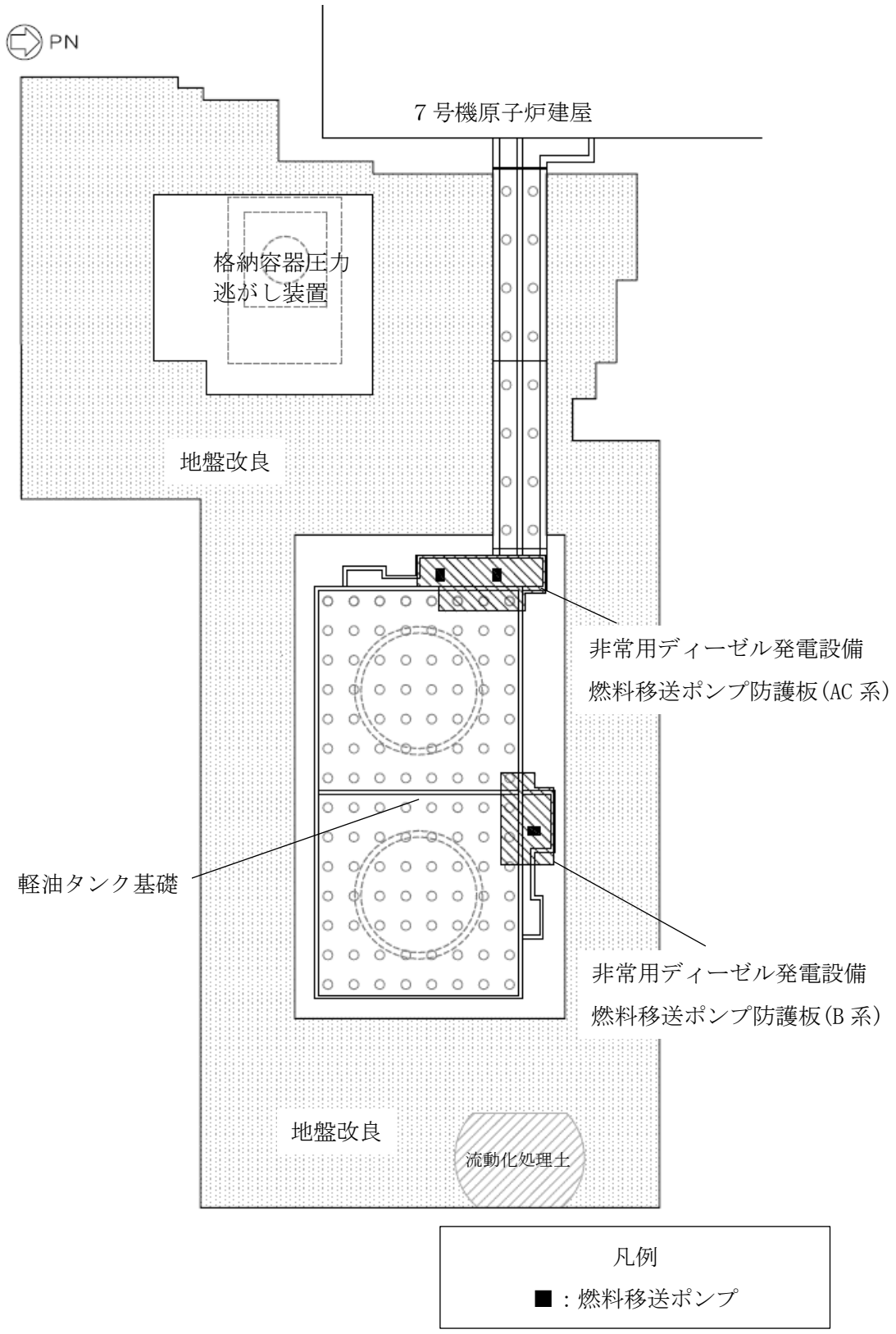
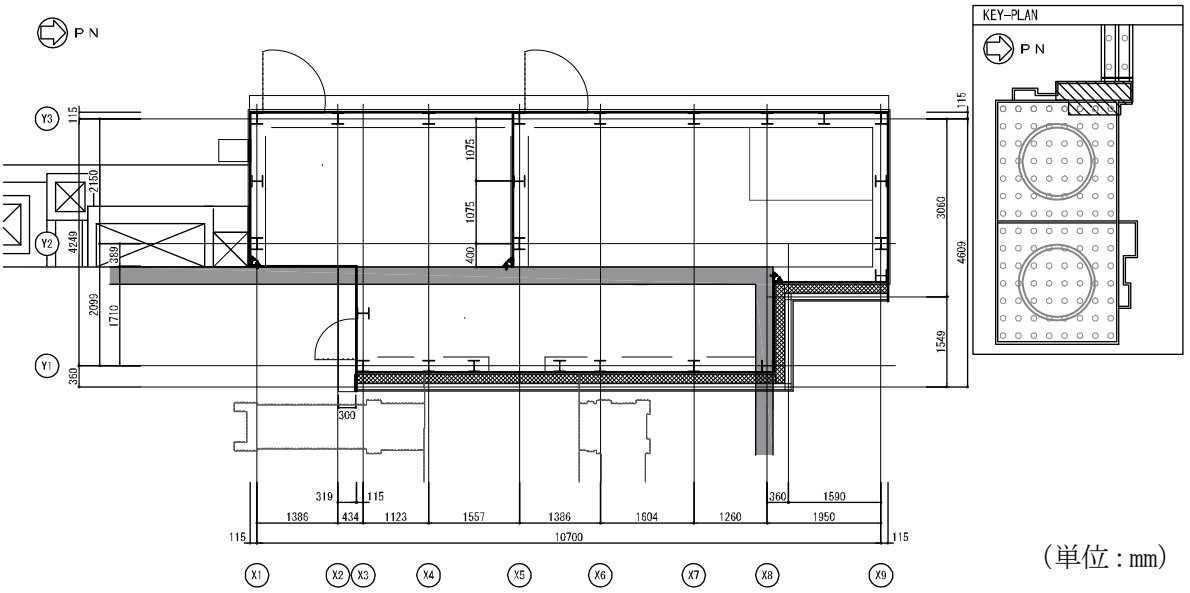


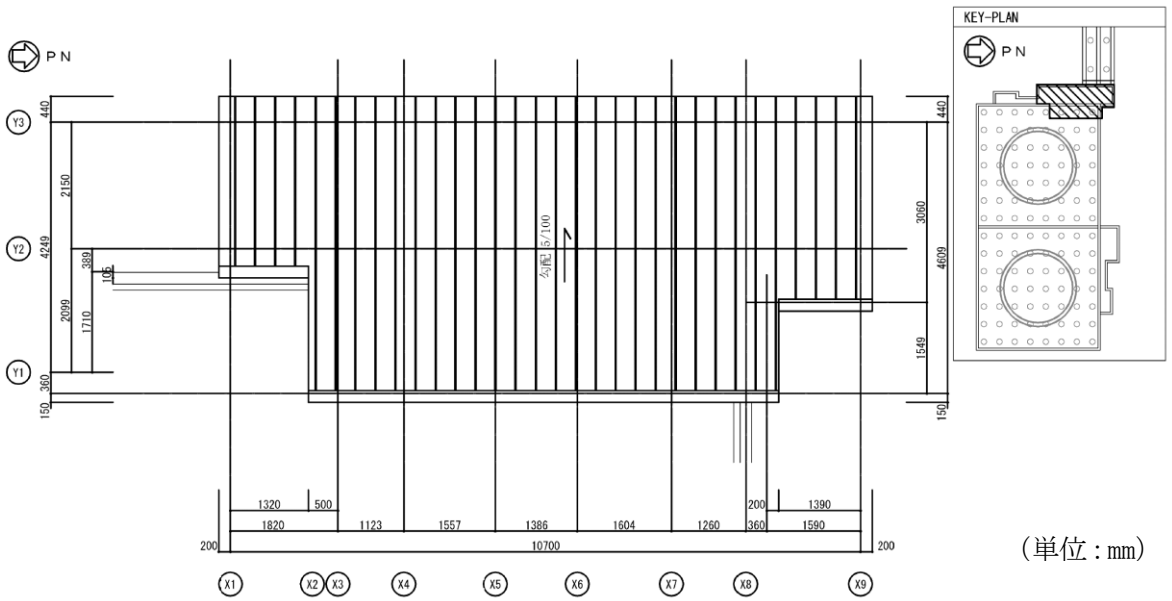
図 2－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の配置図

2.2　構造概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板は，防護鋼板，防護鋼板を支持する架構(はり，柱，ブレース)，及び架構を鉄筋コンクリート造の基礎に固定する柱脚(ベースプレート，基礎ボルト)から構成される。平面図を図 2－3 及び図 2－4 に，立面図を図 2－5 及び図 2－6 に，断面図を図 2－7 及び図 2－8 に，柱とはりの接合部の詳細図を図 2－9 に示す。

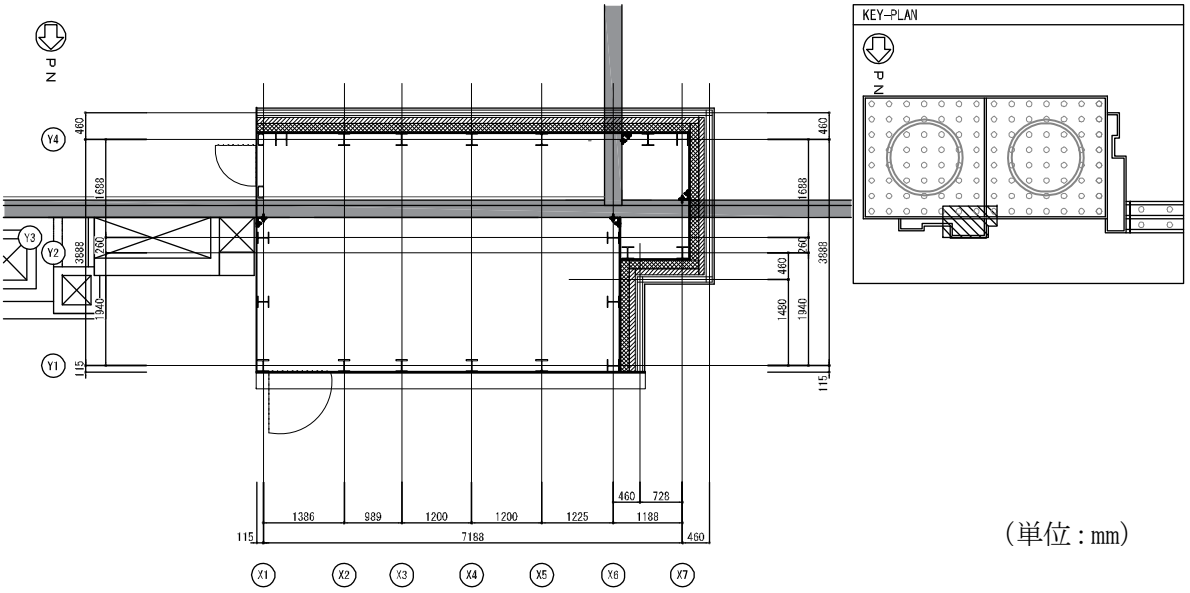


(1) 平面図



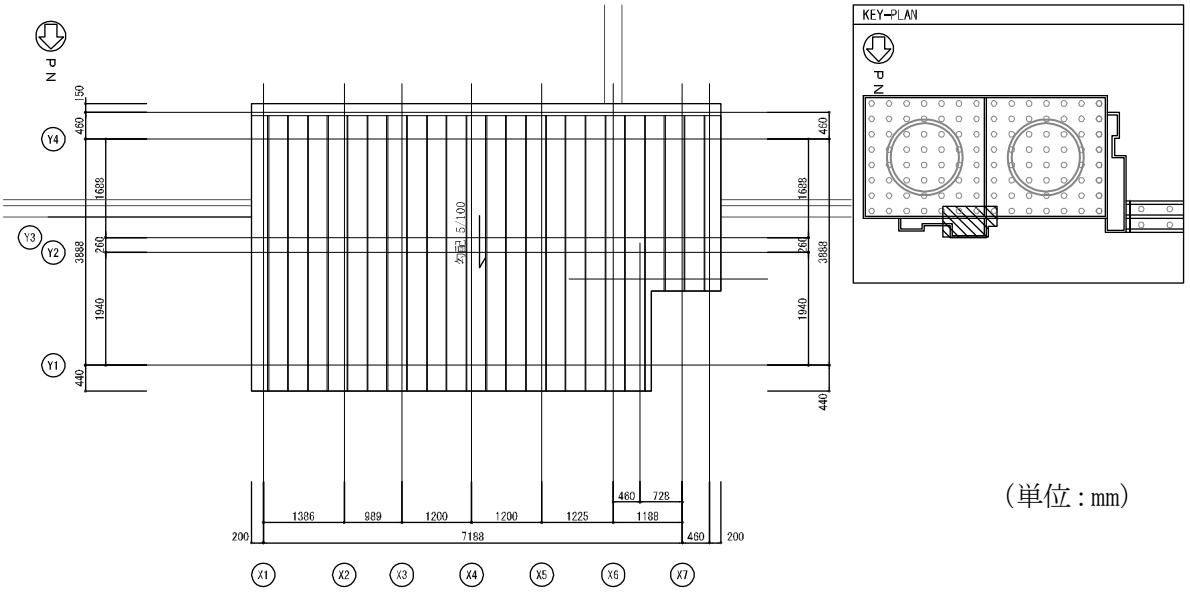
(2) 屋根伏図

図 2－3　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の平面図（AC 系）



(単位：mm)

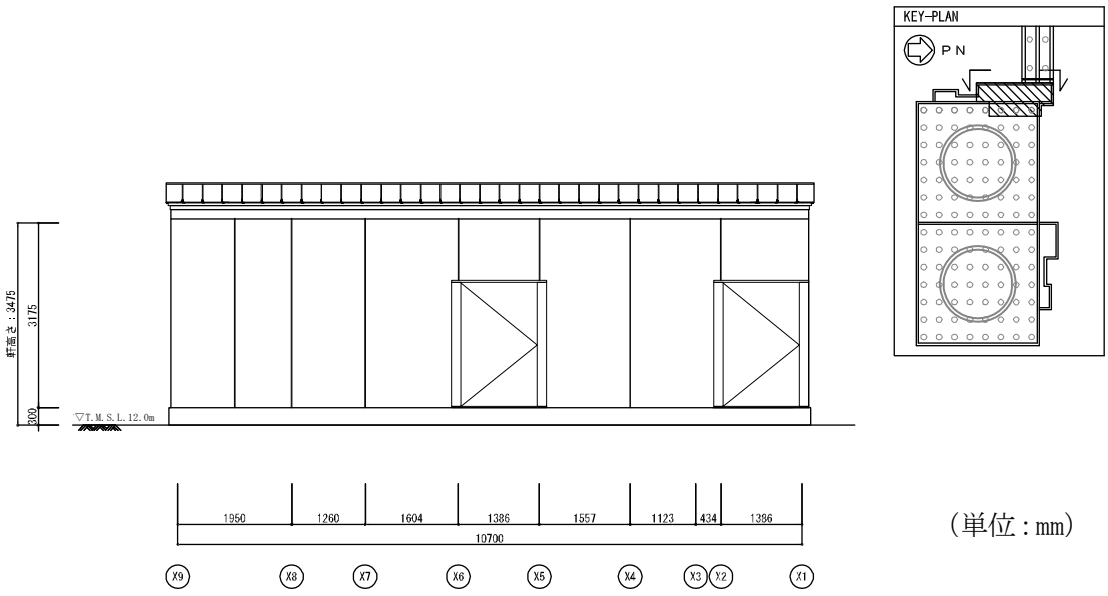
(1) 平面図



(単位：mm)

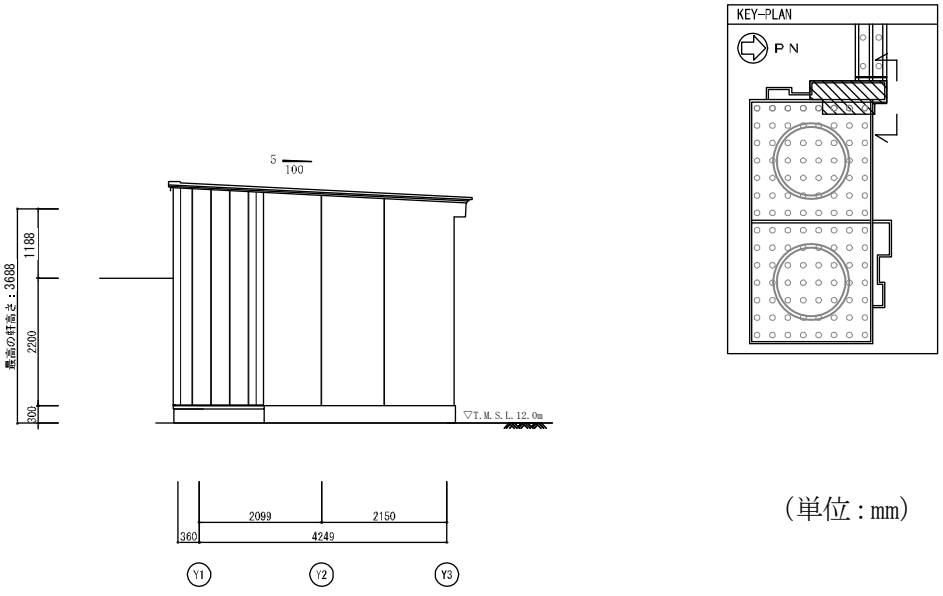
(2) 屋根伏図

図 2－4　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の平面図（B 系）



（単位：mm）

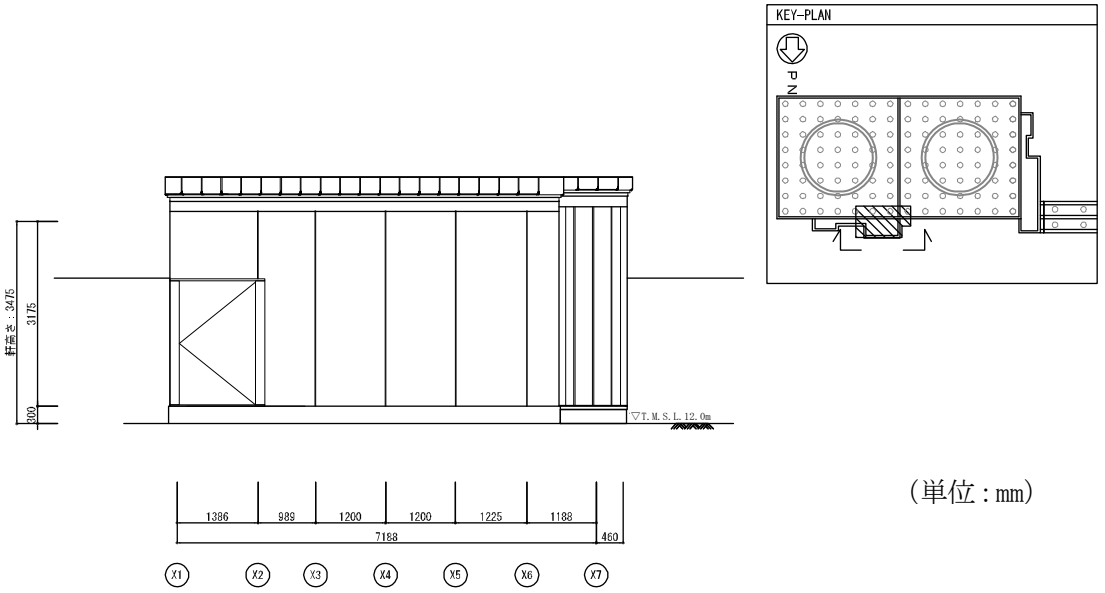
(1) 西面立面図



（単位：mm）

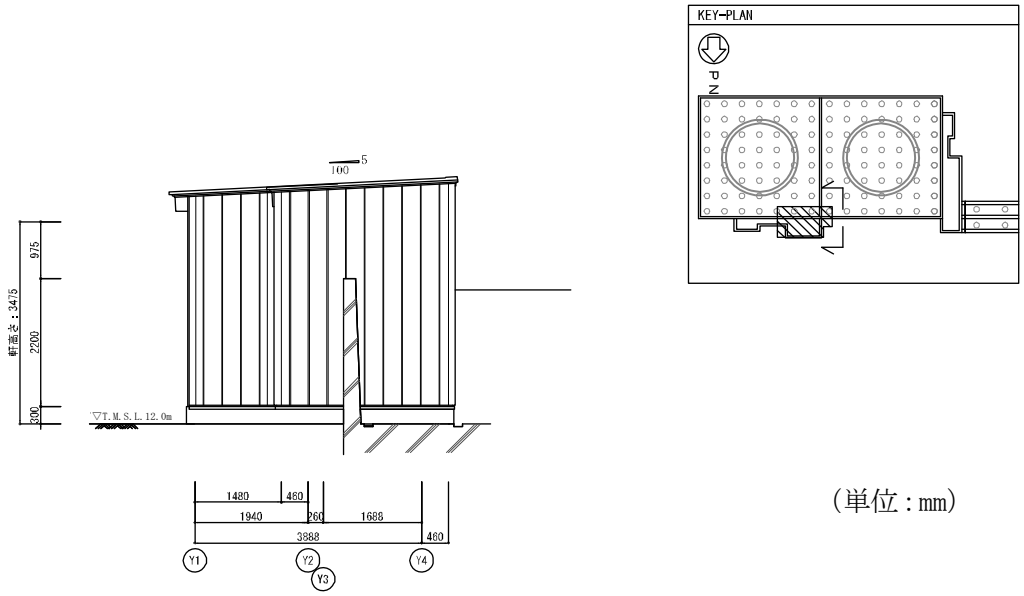
(2) 北面立面図

図 2－5　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の立面図(AC 系)



（単位：mm）

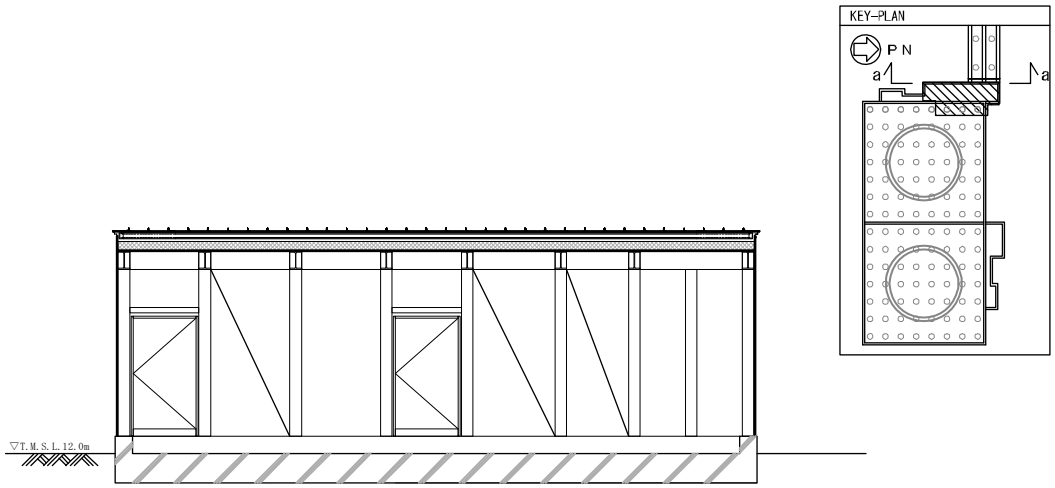
(1) 北面立面図



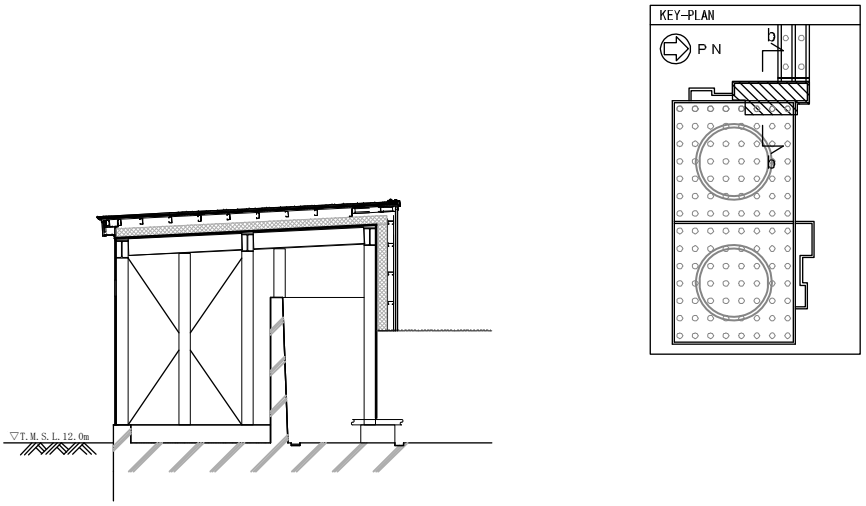
（単位：mm）

(2) 西面立面図

図 2－6　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の立面図(B 系)

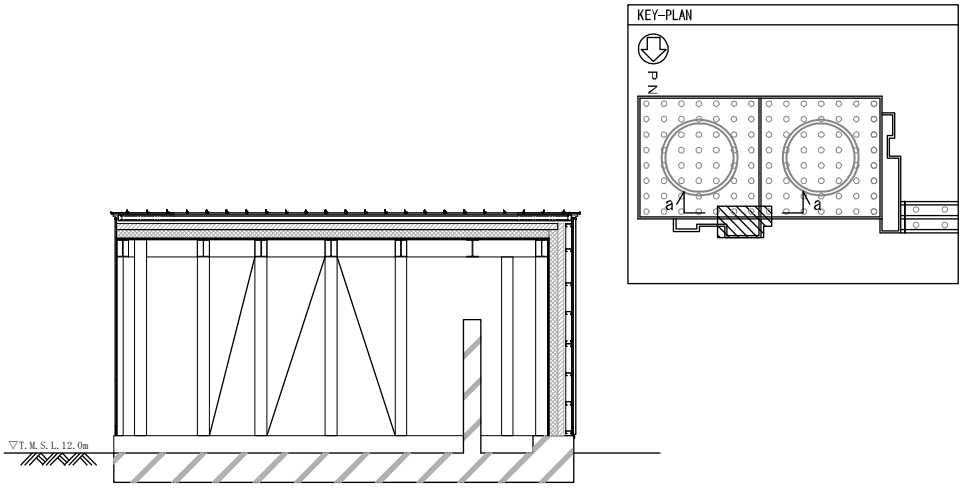


(1) a－a 断面図

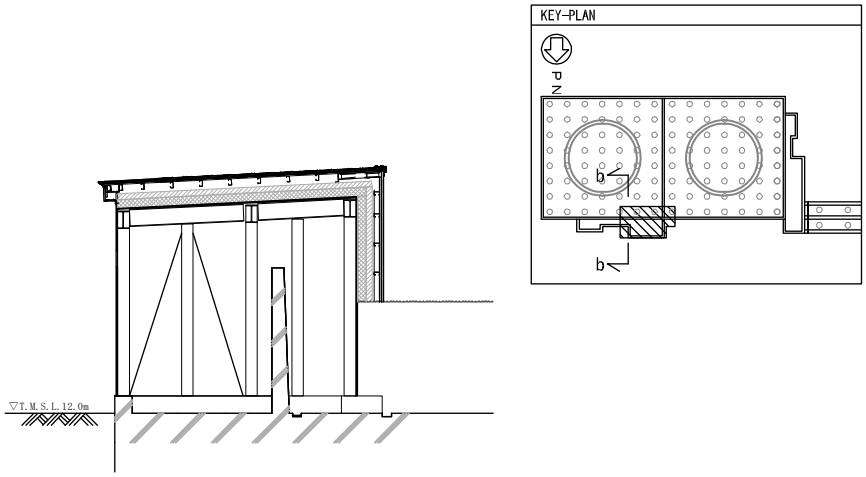


(2) b－b 断面図

図 2－7　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の断面図(AC 系)



(1) a－a 断面図



(2) b－b 断面図

図 2－8　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の断面図(B 系)

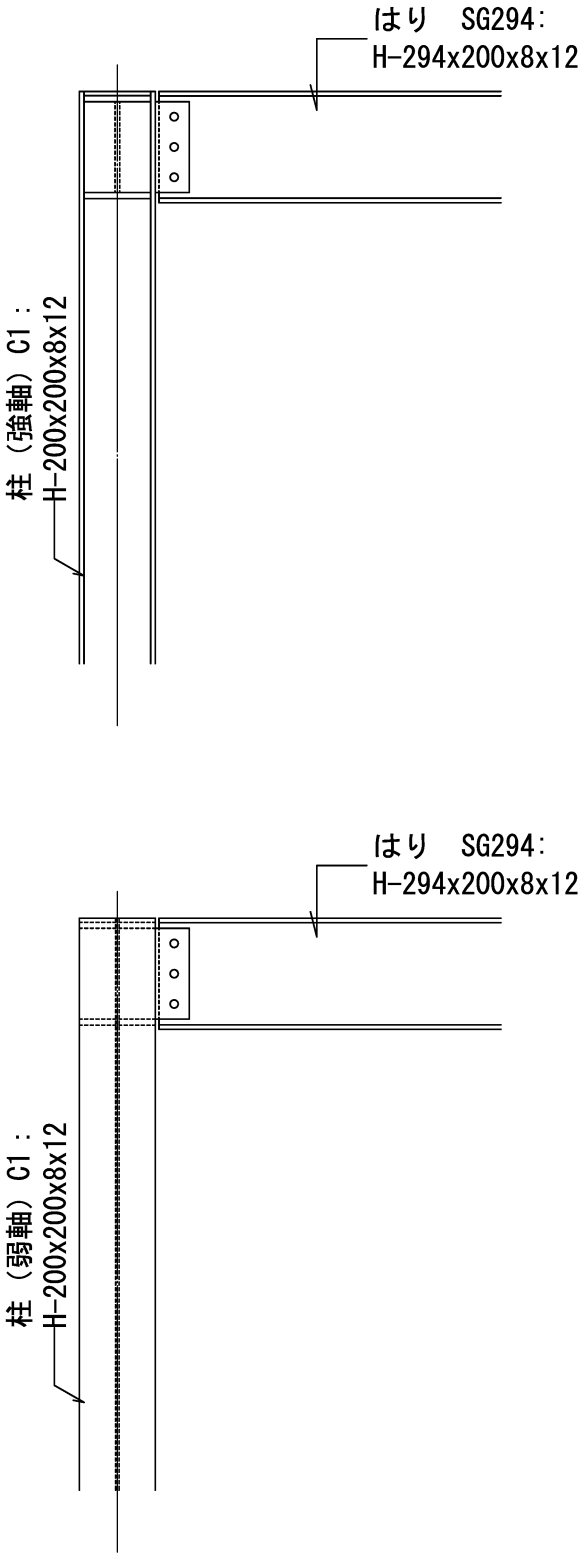


図 2－9　接合部詳細図（一般図，上段：柱強軸，下段：柱弱軸）

2.3　評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」の「3.　耐震評価方針」に基づき実施する。評価については，Ⅴ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」における軽油タンク基礎の設計用床応答曲線Ⅰに基づき，静的応力解析による構造物全体の変形性能評価及び構造部材の健全性評価を行う。表 2－1 に非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価項目を示す。

構造物全体の変形性能評価は，構造物全体の層間変形角が許容限界以下であることを確認する。また，構造部材の健全性評価は，構造部材の応力が許容限界以下であることを確認する。各評価項目の許容限界は終局応力度とすることを基本とするが，はり，柱のせん断応力及び基礎ボルトの評価項目については，構造物の脆性崩壊を避けるため，保守的に短期許容応力度を許容限界とする。構造物全体の変形性能評価及び構造部材の健全性評価を実施することで，基準地震動Ｓｓに対して十分な構造強度を有し，内部に設置された上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないことを確認する。

構造物全体の層間変形角及び構造部材の応力は，解析コード「Ｓｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ３」を用いた 3 次元静的線形応力解析により算定する。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。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震評価フローを図 2－10 に示す。

表 2－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の評価項目

評価方針	評価項目	評価部位		評価方法	許容限界	
内部に設置された上位クラス施設に波及的影響を及ぼさないこと	構造物全体としての変形性能	構造物全体		構造物全体の層間変形角が許容限界以下であることを確認	構造物全体の層間変形角	層間変形角 1/200*1
	構造部材の健全性	架構	はり，柱	部材に生じる応力が許容限界以下であることを確認	曲げ応力	終局曲げ応力度*3
					軸応力	終局軸応力度*3
					せん断応力	短期許容せん断応力度*2
			ブレース	部材に生じる応力が許容限界以下であることを確認	軸応力	終局軸応力度*3
		柱脚	ベースプレート	部材に生じる応力が許容限界以下であることを確認	曲げ応力	終局曲げ応力度*3
			基礎ボルト	部材に生じる応力が許容限界以下であることを確認	軸応力	短期許容軸応力度*2
					せん断応力	短期許容せん断応力度*2

注記＊1　:「建築基準法施行令第 82 条の 2(層間変形角)」に基づく。
＊2　:「鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－」(日本建築学会，2005 年改定）に基づく。
＊3　:「建築基準法及び同施行令」及び「鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－」(日本建築学会，2005 年改定）に基づく。

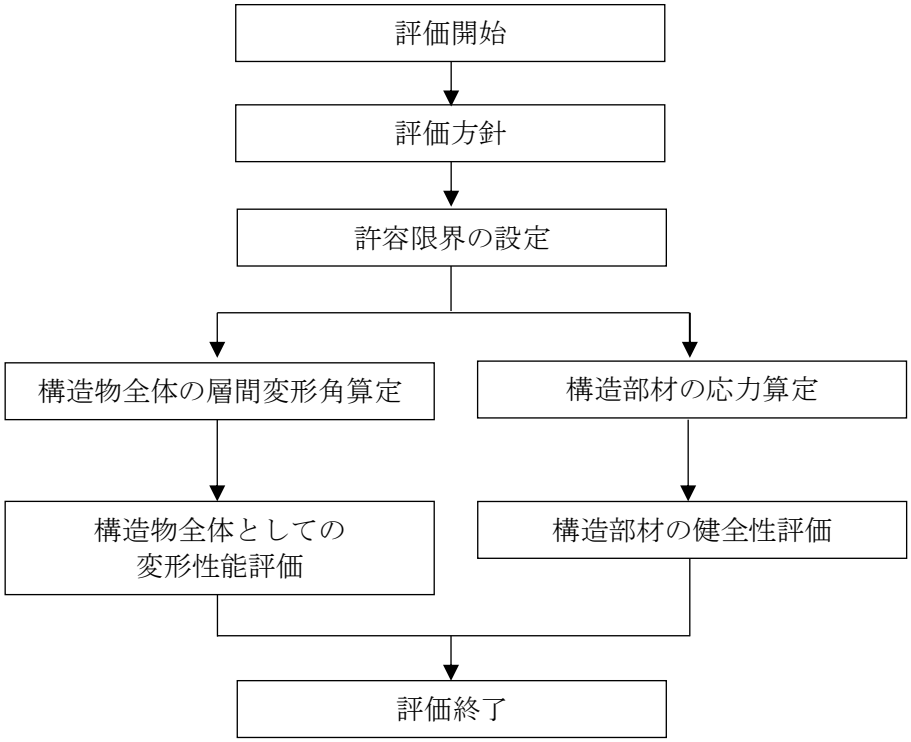


図 2－10　非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震評価フロー

2.4 適用基準

適用する規格，規準等を以下に示す。

・建築基準法及び同施行令

・新潟県建築基準法施行細則（昭和 35 年 12 月 30 日新潟県規則第 82 号）

・鋼構造設計規準　－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年改定）

・2015 年版　建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）

・挿入型鉄筋定着工法「Post-Head-Anchor 工法」（ＢＣＪ評定-SS0030-03）（日本建築センター）

・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，1999 年）

・各種合成構造設計指針・同解説（日本建築学会，2010 年改定）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1987（日本電気協会）

3. 評価部位

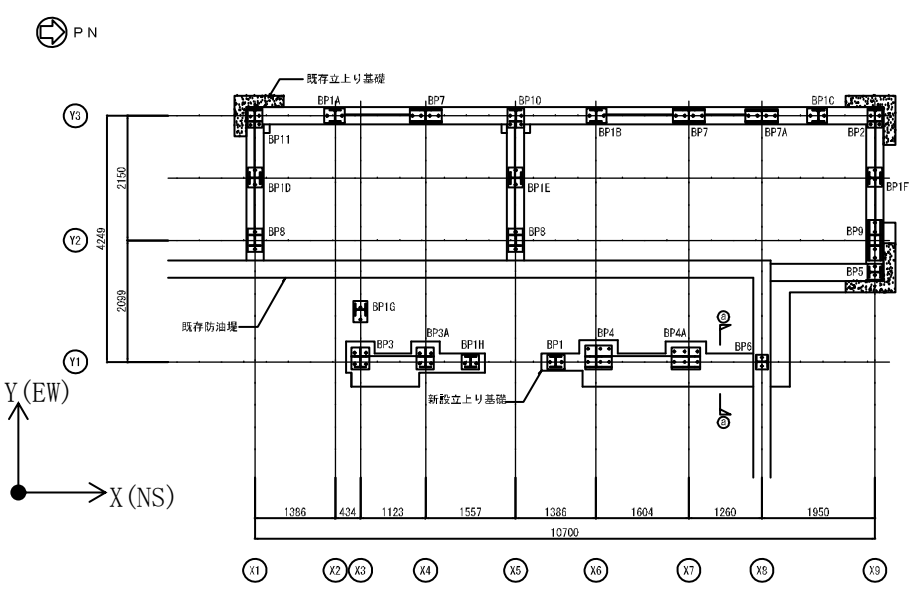
非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の耐震評価では，構造物全体の変形性能評価及び構造部材の健全性評価を行う。構造部材の健全性評価については，架構（はり，柱，ブレース）及び柱脚（ベースプレート，基礎ボルト）を評価対象部位とする。評価対象部位の一覧を表3－1及び表 3－2に，評価対象部位の位置図を図 3－1及び図 3－2に示す。

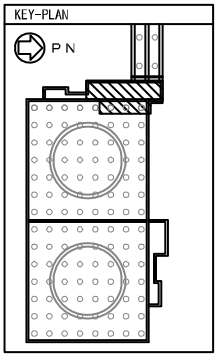
表 3－1　評価対象部位一覧（AC系）

部位	記号	部材		鋼種
架構	SG294	はり	H-294×200×8×12	SS400
	SG294A		H-294×200×8×12	SS400
	C1	柱	H-200×200×8×12	SS400
	C2		BH-200×200×9×16	SS400
	HV1	水平ブレース	L-100×100×13	SS400
	V1	鉛直ブレース	2［-150×75×6.5×10	SS400
柱脚	BP1,BP5, BP6,BP8, BP1A～H	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	2-D29	SD390
	BP2,BP3,BP3A BP7,BP7A, BP9～11	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	4-D29	SD390
	BP4,BP4A	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	6-D29	SD390

表 3－2　評価対象部位一覧（B 系）

部位	記号	部材		鋼種
架構	SG294	はり	H-294×200×8×12	SS400
	SG294A		H-294×200×8×12	SS400
	C1	柱	H-200×200×8×12	SS400
	C2		BH-200×200×9×16	SS400
	HV1	水平ブレース	L-100×100×13	SS400
	V1	鉛直ブレース	2 [-150×75×6.5×10	SS400
	V2		2 [-150×75×9×12.5	SS400
柱脚	BP1,BP6 BP7,BP8	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	2-D29	SD390
	BP2A	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	3-D29	SD390
	BP2,BP3,BP5	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	4-D29	SD390
	BP4	ベースプレート	BPL-36	SN490B
		基礎ボルト	6-D29	SD390

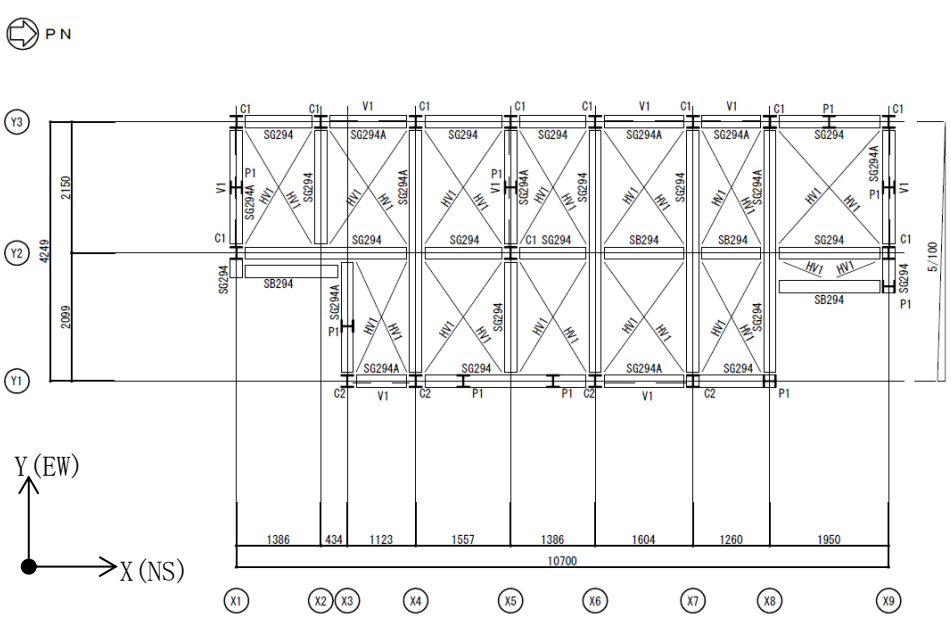


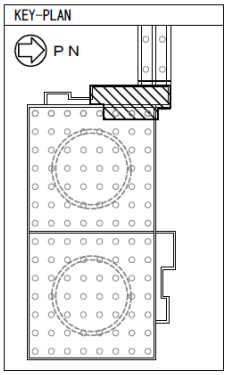


（単位：mm）

（1） 基礎伏図

注：図中の BP はベースプレートを示す。

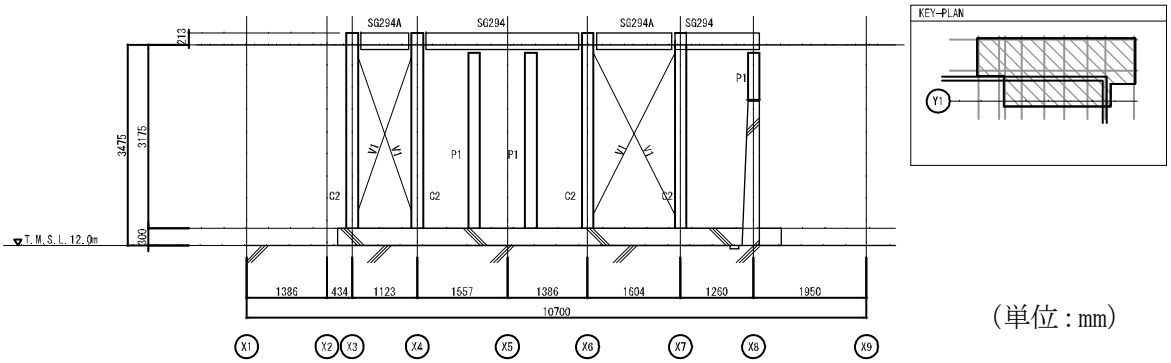




（単位：mm）

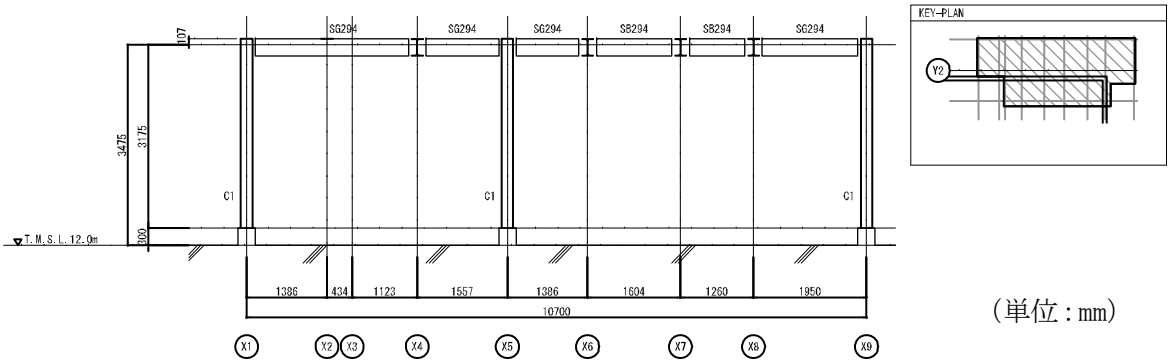
（2） 屋根伏図（見下げ）

図 3－1　評価対象部位位置図（AC 系）（1/6）



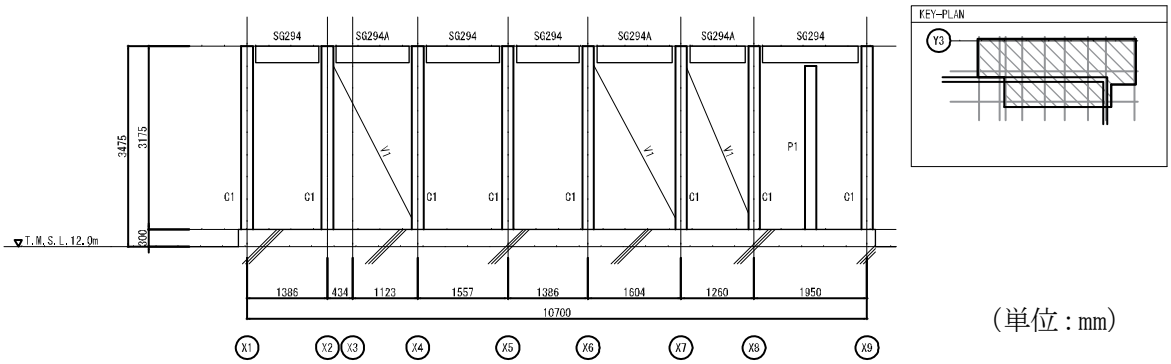
（単位：mm）

(1) Y1 通り軸組図



（単位：mm）

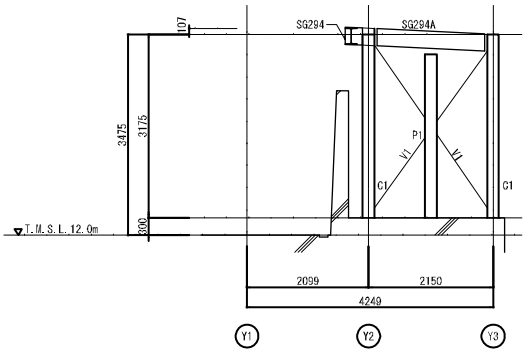
(2) Y2 通り軸組図

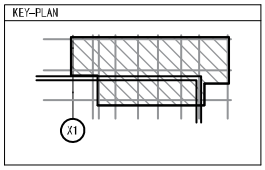


（単位：mm）

(3) Y3 通り軸組図

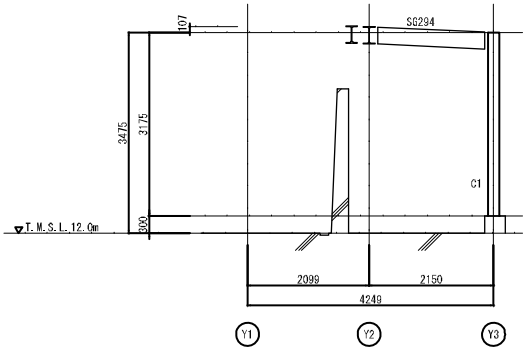
図 3－1　評価対象部位位置図(AC 系) (2/6)

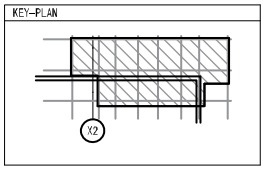




(単位：mm)

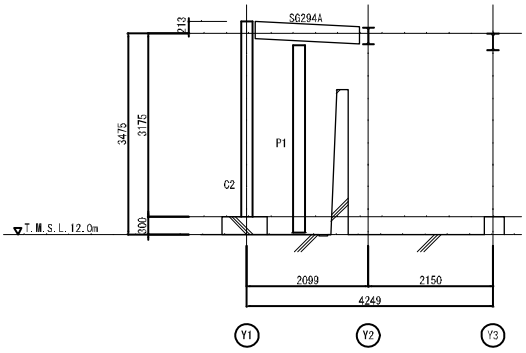
(1) X1 通り軸組図

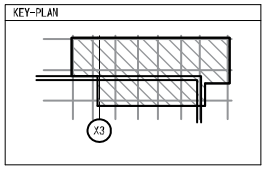




(単位：mm)

(2) X2 通り軸組図

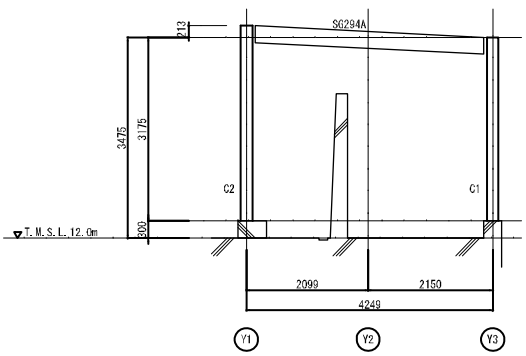


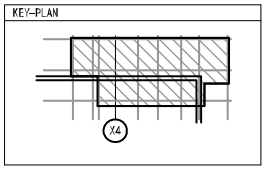


(単位：mm)

(3) X3 通り軸組図

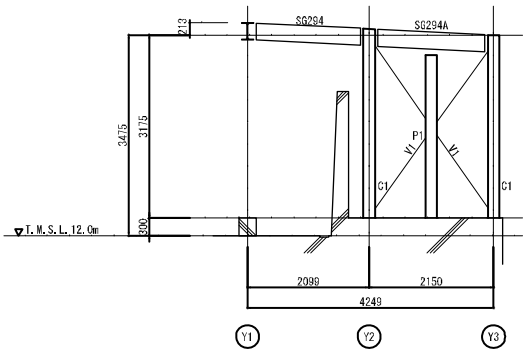
図 3－1　評価対象部位位置図(AC 系) (3/6)

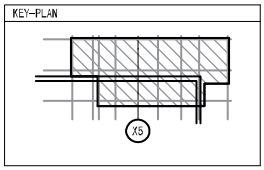




（単位：mm）

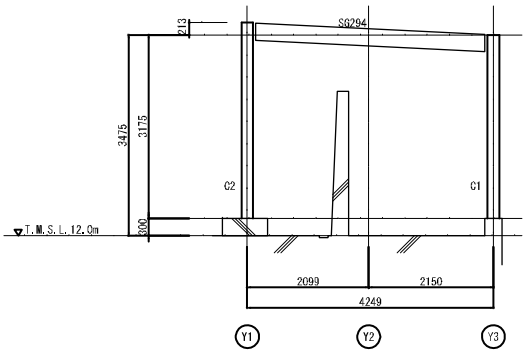
(1) X4 通り軸組図

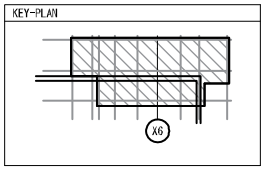




（単位：mm）

(2) X5 通り軸組図

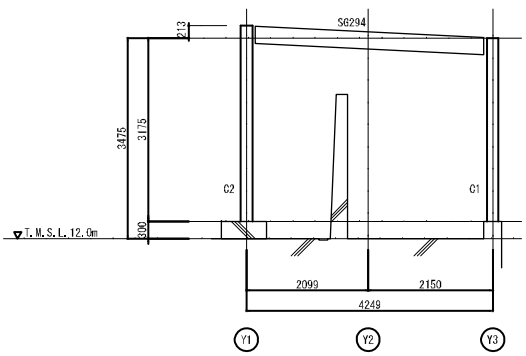


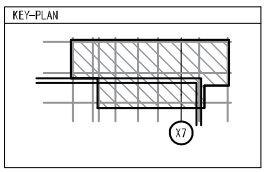


（単位：mm）

(3) X6 通り軸組図

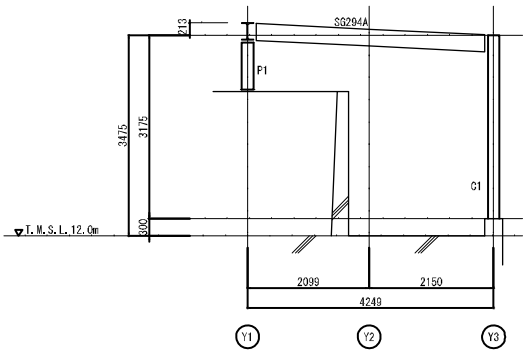
図 3－1　評価対象部位位置図(AC 系) (4/6)

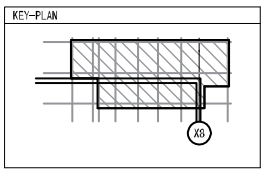




（単位：mm）

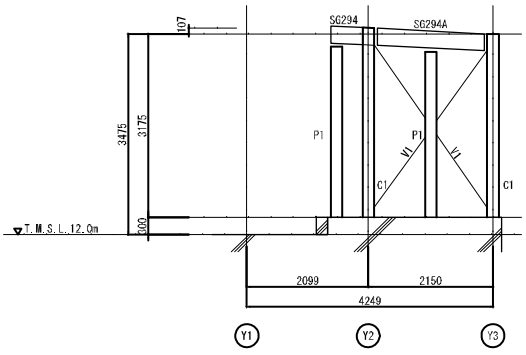
（1） X7 通り軸組図

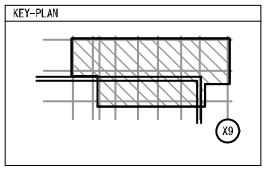




（単位：mm）

（2） X8 通り軸組図

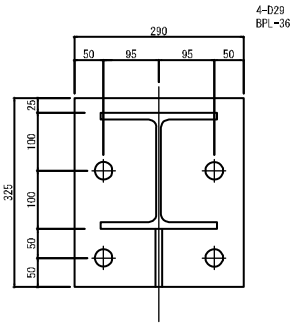


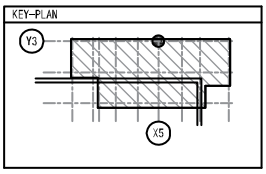


（単位：mm）

（3） X9 通り軸組図

図 3－1　評価対象部位位置図(AC 系) (5/6)

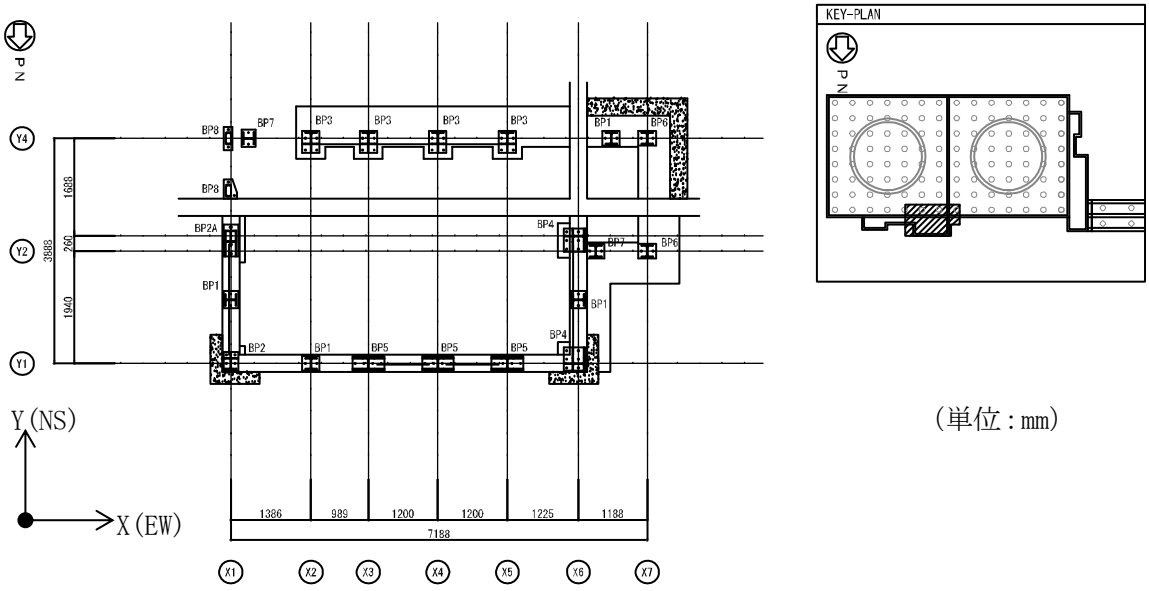




（単位：mm）

BP10 詳細図

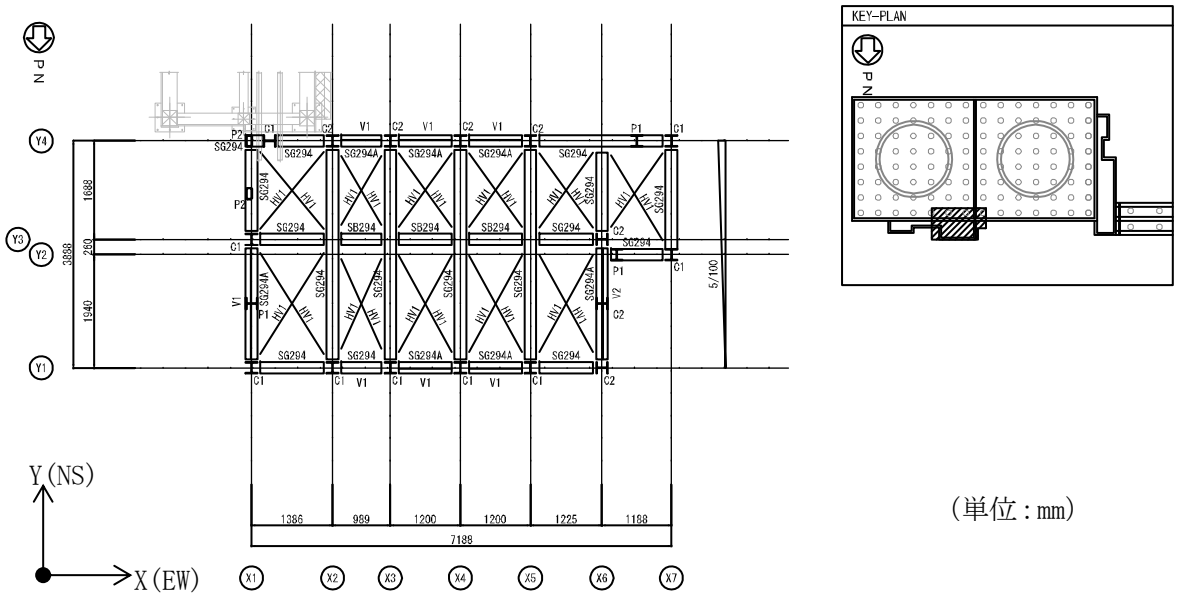
図 3－1　評価対象部位位置図(AC 系) (6/6)



（単位：mm）

(1) 基礎伏図

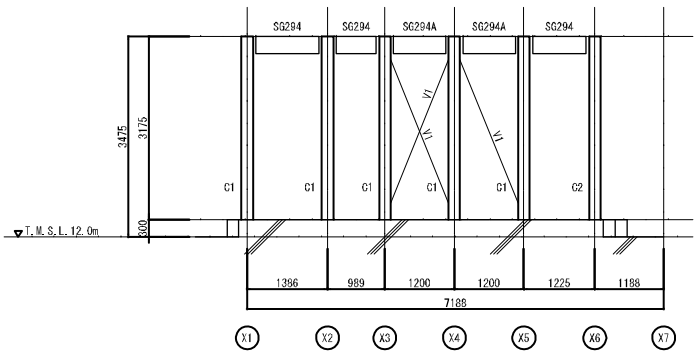
注：図中の BP はベースプレートを示す。

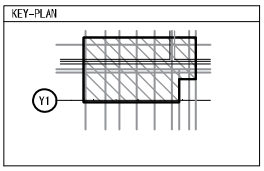


（単位：mm）

(2) 屋根伏図(見下げ)

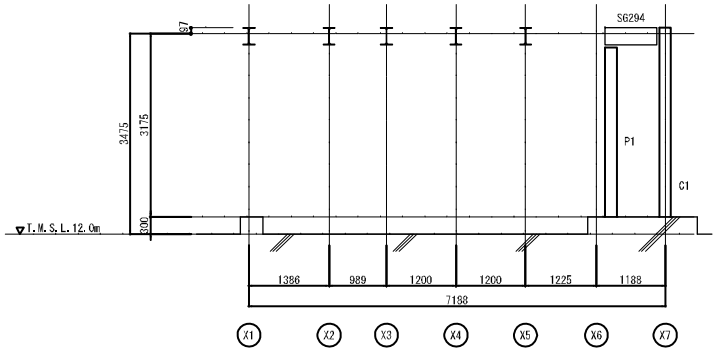
図 3－2　評価対象部位位置図(B 系) (1/6)

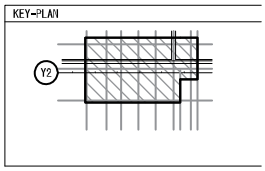




（単位：mm）

(1) Y1 通り軸組図

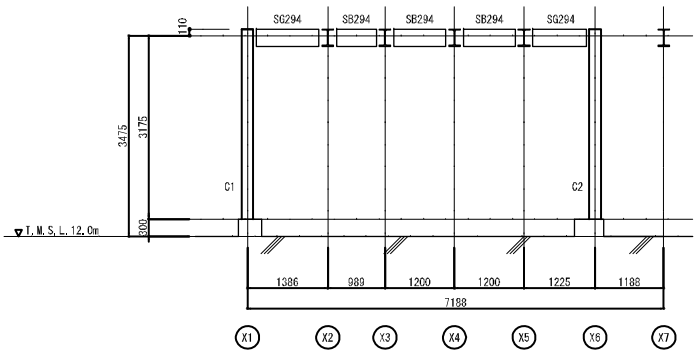


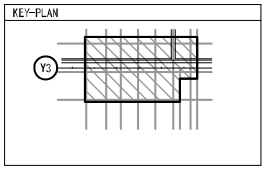


（単位：mm）

(2) Y2 通り軸組図

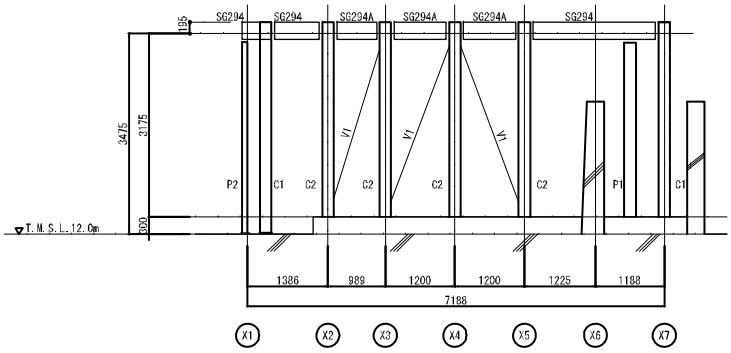
図 3－2　評価対象部位位置図(B 系) (2/6)

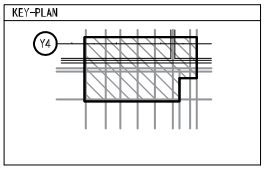




（単位：mm）

(1) Y3 通り軸組図

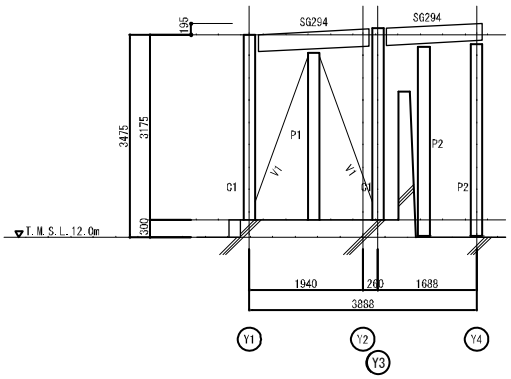


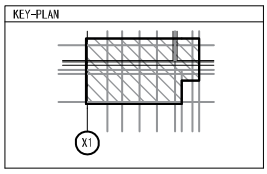


（単位：mm）

(2) Y4 通り軸組図

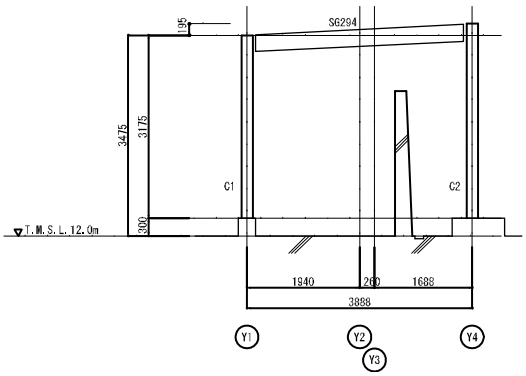
図 3－2　評価対象部位位置図(B 系) (3/6)

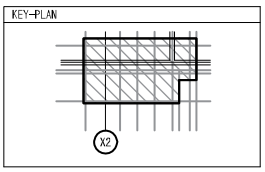




（単位：mm）

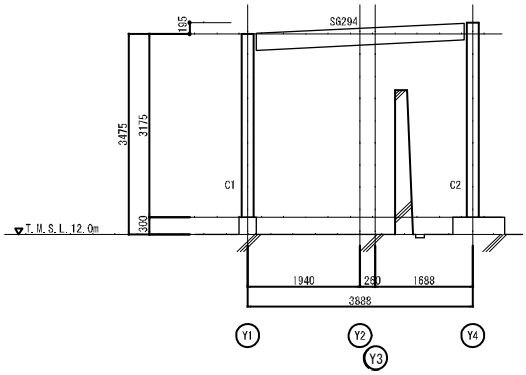
(1) X1 通り軸組図

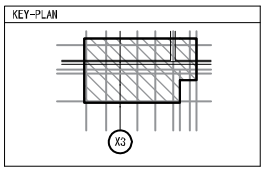




（単位：mm）

(2) X2 通り軸組図

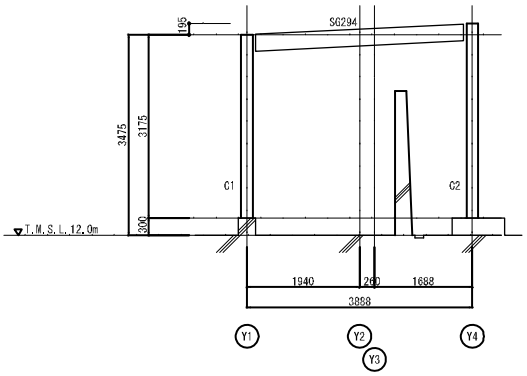


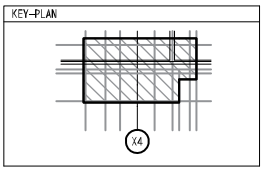


（単位：mm）

(3) X3 通り軸組図

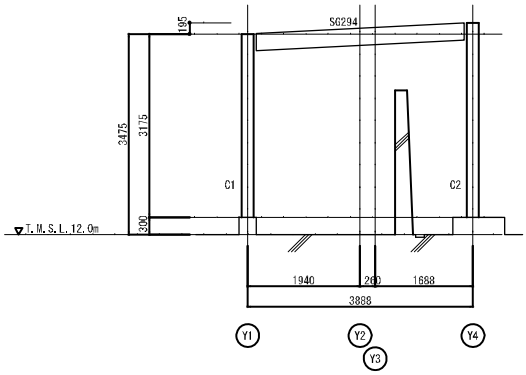
図 3－2　評価対象部位位置図(B 系) (4/6)

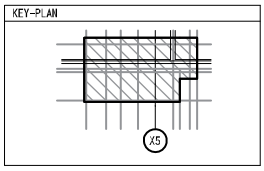




（単位：mm）

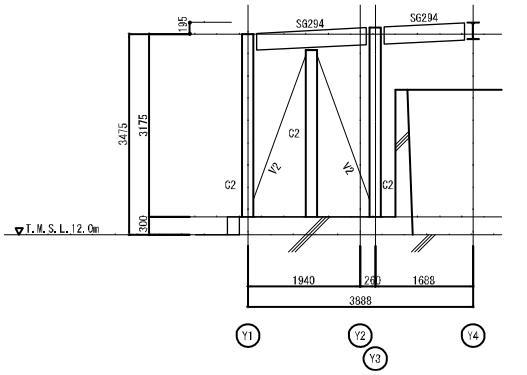
(1) X4 通り軸組図

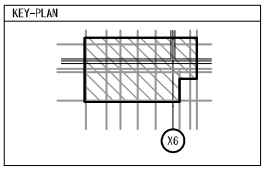




（単位：mm）

(2) X5 通り軸組図

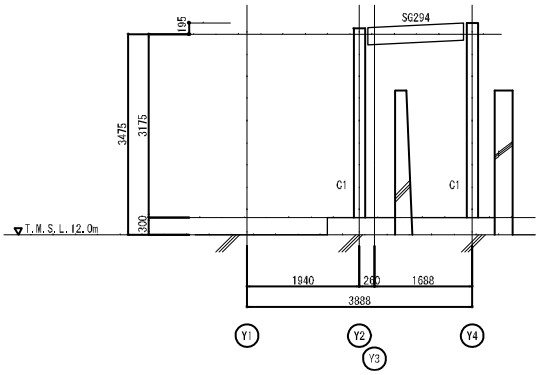


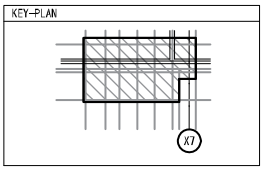


（単位：mm）

(3) X6 通り軸組図

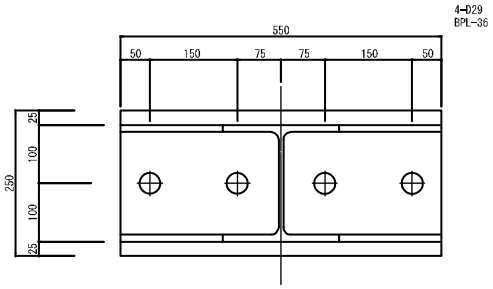
図 3－2　評価対象部位位置図(B 系) (5/6)

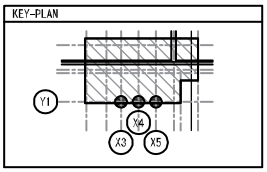




（単位：mm）

（1） X7 通り軸組図





（単位：mm）

（2） BP5 詳細図

図 3－2　評価対象部位位置図(B 系) (6/6)

4. 許容限界

4.1 構造物全体の変形性能に対する許容限界

構造物全体の変形性能に対する許容限界は，構造物全体の層間変形角が建築基準法施行令第82条の2に基づく層間変形角1/200以下とする。

4.2 構造部材の健全性に対する許容限界

評価対象部材の許容限界における応力度算出式を表 4－1に示す。

表 4－1 評価対象部材の許容限界における応力度*1

部材	応力	応力度の種類	単位	許容応力度計算式
架構（はり，柱，ブレース），柱脚（ベースプレート）	曲げ	終局曲げ応力度 ${}_{S}f_{bu}$	N/mm^2	${}_{S}f_{bu} = f_b \times 1.1$
	軸力	終局軸応力度 ${}_{S}f_{cu}$（圧縮時） ${}_{S}f_{tu}$（引張り時）	N/mm^2	${}_{S}f_{cu} = f_c \times 1.1$（圧縮時） ${}_{S}f_{tu} = F \times 1.1$（引張り時）
	せん断	短期許容せん断応力度 ${}_{S}f_{s}$	N/mm^2	${}_{S}f_{s} = F/\sqrt{3}$
柱脚（基礎ボルト）	引張り	短期許容引張り応力度 ${}_{B}f_{t}$	N/mm^2	${}_{B}f_{t} = F$
	せん断*2	短期許容せん断応力度 ${}_{B}f_{s}$	N/mm^2	${}_{B}f_{s} = F/\sqrt{3}$

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

＊2 ：基礎ボルトのせん断は，鉄筋コンクリートの支圧によるせん断破壊に対しても評価を行う。

ここで，

f_b ：短期許容曲げ応力度(N/mm^2)

f_c ：短期許容圧縮応力度(N/mm^2)

F ：鋼材の基準強度(N/mm^2)

4.3　使用材料の許容限界評価条件

架構（はり，柱，ブレース）及び柱脚(ベースプレート，基礎ボルト)の使用材料の許容限界評価条件を表 4－2 から表 4－4 に示す。

表 4－2　使用材料の許容限界評価条件(鋼材)*1

評価部材	材料 (寸法:mm)	基準強度 F (N/mm^2)	短期	
			引張り (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
架構 (はり，柱，ブレース)	SS400 (t≦40)	235	235	135
柱脚 (ベースプレート)	SN490B (t≦40)	325	325	187

表 4－3　使用材料の許容限界評価条件(鉄筋)*2

評価部材	材料 (寸法:mm)	短期	
		引張り及び 圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)
柱脚 (基礎ボルト)	SD390	390	390

表 4－4　使用材料の許容限界評価条件(コンクリート)*2

評価部材	材料	短期		
		圧縮 (N/mm^2)	せん断 (N/mm^2)	付着 (N/mm^2)
柱脚 (基礎ボルト)	F_c23.5	15.6	1.08	1.48

注記＊1 ：鋼構造設計規準－許容応力度設計法－（日本建築学会，2005 年改定）に基づく

＊2 ：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（日本建築学会，1999 年）に基づく

5.　耐震評価

5.1　耐震評価方法

耐震評価は，「5.3　解析モデル」に示す評価部位全体を対象とした解析モデルを用いた3次元静的線形応力解析に基づき行う。本応力解析により得られた架構全体の変形性能を評価するとともに，個々の部材に生じる応力が許容値以下であり十分な強度を有していることを確認する。応力解析は以下の方針に基づく。

(1)モデルに作用する荷重及び荷重の組合せは，「5.2　荷重の組合せ」による。本解析は線形解析であることから，個々の荷重による変形及び応力を求め，それらを「5.6　計算方法」に示す方法により評価することで，荷重組合せ時の結果として検討を行う。

(2)地震荷重は，水平2方向（NS方向及びEW方向）と鉛直方向（UD方向）を考慮する。3方向地震荷重の組合せは，組合せ係数法（1.0，0.4，0.4）による。

(3)屋根面は剛床としてモデル化を行うが，屋根面勾配および水平ブレースによりはりに生じる軸力は別途考慮の上，部材検討を行う。

(4)応力解析には，一貫構造計算プログラム「Ｓｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ３」を用いる。

5.2　荷重の組合せ

応力解析において，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，積雪荷重を考慮する。

(3)　地震荷重（S_{sNS}，S_{sEW}，S_{sUD}）

基準地震動Ｓｓによる水平 2 方向(NS 方向及び EW 方向)と鉛直(UD 方向)の荷重を考慮する。3 方向地震荷重の組合せは，組合せ係数法（1.0，0.4，0.4）による。荷重の組合せの一覧を表 5－1 に示す。

表 5－1　荷重の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
地震時（Ｓｓ）	1	Ｇ＋Ｐ＋1.0Ｓｓ$_{NS}$＋0.4Ｓｓ$_{EW}$＋0.4Ｓｓ$_{UD}$
	2	Ｇ＋Ｐ＋1.0Ｓｓ$_{NS}$＋0.4Ｓｓ$_{EW}$－0.4Ｓｓ$_{UD}$
	3	Ｇ＋Ｐ－1.0Ｓｓ$_{NS}$＋0.4Ｓｓ$_{EW}$＋0.4Ｓｓ$_{UD}$
	4	Ｇ＋Ｐ－1.0Ｓｓ$_{NS}$＋0.4Ｓｓ$_{EW}$－0.4Ｓｓ$_{UD}$
	5	Ｇ＋Ｐ＋1.0Ｓｓ$_{NS}$－0.4Ｓｓ$_{EW}$＋0.4Ｓｓ$_{UD}$
	6	Ｇ＋Ｐ＋1.0Ｓｓ$_{NS}$－0.4Ｓｓ$_{EW}$－0.4Ｓｓ$_{UD}$
	7	Ｇ＋Ｐ－1.0Ｓｓ$_{NS}$－0.4Ｓｓ$_{EW}$＋0.4Ｓｓ$_{UD}$
	8	Ｇ＋Ｐ－1.0Ｓｓ$_{NS}$－0.4Ｓｓ$_{EW}$－0.4Ｓｓ$_{UD}$
	9	Ｇ＋Ｐ＋0.4Ｓｓ$_{NS}$＋1.0Ｓｓ$_{EW}$＋0.4Ｓｓ$_{UD}$
	10	Ｇ＋Ｐ＋0.4Ｓｓ$_{NS}$＋1.0Ｓｓ$_{EW}$－0.4Ｓｓ$_{UD}$
	11	Ｇ＋Ｐ－0.4Ｓｓ$_{NS}$＋1.0Ｓｓ$_{EW}$＋0.4Ｓｓ$_{UD}$
	12	Ｇ＋Ｐ－0.4Ｓｓ$_{NS}$＋1.0Ｓｓ$_{EW}$－0.4Ｓｓ$_{UD}$
	13	Ｇ＋Ｐ＋0.4Ｓｓ$_{NS}$－1.0Ｓｓ$_{EW}$＋0.4Ｓｓ$_{UD}$
	14	Ｇ＋Ｐ＋0.4Ｓｓ$_{NS}$－1.0Ｓｓ$_{EW}$－0.4Ｓｓ$_{UD}$
	15	Ｇ＋Ｐ－0.4Ｓｓ$_{NS}$－1.0Ｓｓ$_{EW}$＋0.4Ｓｓ$_{UD}$
	16	Ｇ＋Ｐ－0.4Ｓｓ$_{NS}$－1.0Ｓｓ$_{EW}$－0.4Ｓｓ$_{UD}$
	17	Ｇ＋Ｐ＋0.4Ｓｓ$_{NS}$＋0.4Ｓｓ$_{EW}$＋1.0Ｓｓ$_{UD}$
	18	Ｇ＋Ｐ＋0.4Ｓｓ$_{NS}$＋0.4Ｓｓ$_{EW}$－1.0Ｓｓ$_{UD}$
	19	Ｇ＋Ｐ－0.4Ｓｓ$_{NS}$＋0.4Ｓｓ$_{EW}$＋1.0Ｓｓ$_{UD}$
	20	Ｇ＋Ｐ－0.4Ｓｓ$_{NS}$＋0.4Ｓｓ$_{EW}$－1.0Ｓｓ$_{UD}$
	21	Ｇ＋Ｐ＋0.4Ｓｓ$_{NS}$－0.4Ｓｓ$_{EW}$＋1.0Ｓｓ$_{UD}$
	22	Ｇ＋Ｐ＋0.4Ｓｓ$_{NS}$－0.4Ｓｓ$_{EW}$－1.0Ｓｓ$_{UD}$
	23	Ｇ＋Ｐ－0.4Ｓｓ$_{NS}$－0.4Ｓｓ$_{EW}$＋1.0Ｓｓ$_{UD}$
	24	Ｇ＋Ｐ－0.4Ｓｓ$_{NS}$－0.4Ｓｓ$_{EW}$－1.0Ｓｓ$_{UD}$

ここで，

Ｇ　：固定荷重

Ｐ　：積載荷重

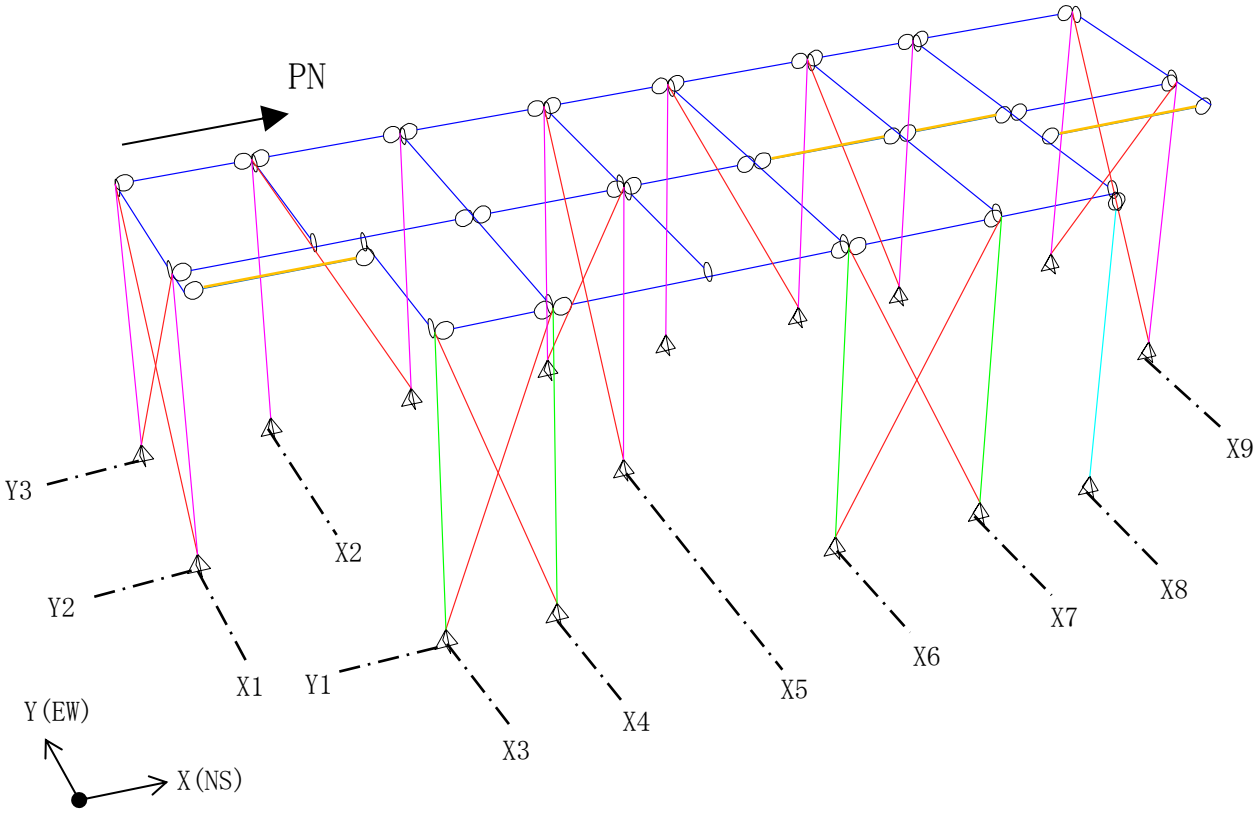
Ｓｓ$_{NS}$：地震荷重(NS 方向)

Ｓｓ$_{EW}$：地震荷重(EW 方向)

Ｓｓ$_{UD}$：地震荷重(UD 方向)

5.3　解析モデル

3 次元静的線形応力解析に用いる解析モデルを図 5－1 及び図 5－2 に示す。解析モデルは，架構（はり，柱，ブレース）をはりでモデル化し，はりと柱の接合部はピン接合とする。柱脚(ベースプレート，基礎ボルト)は，ピン支点としてモデル化する。



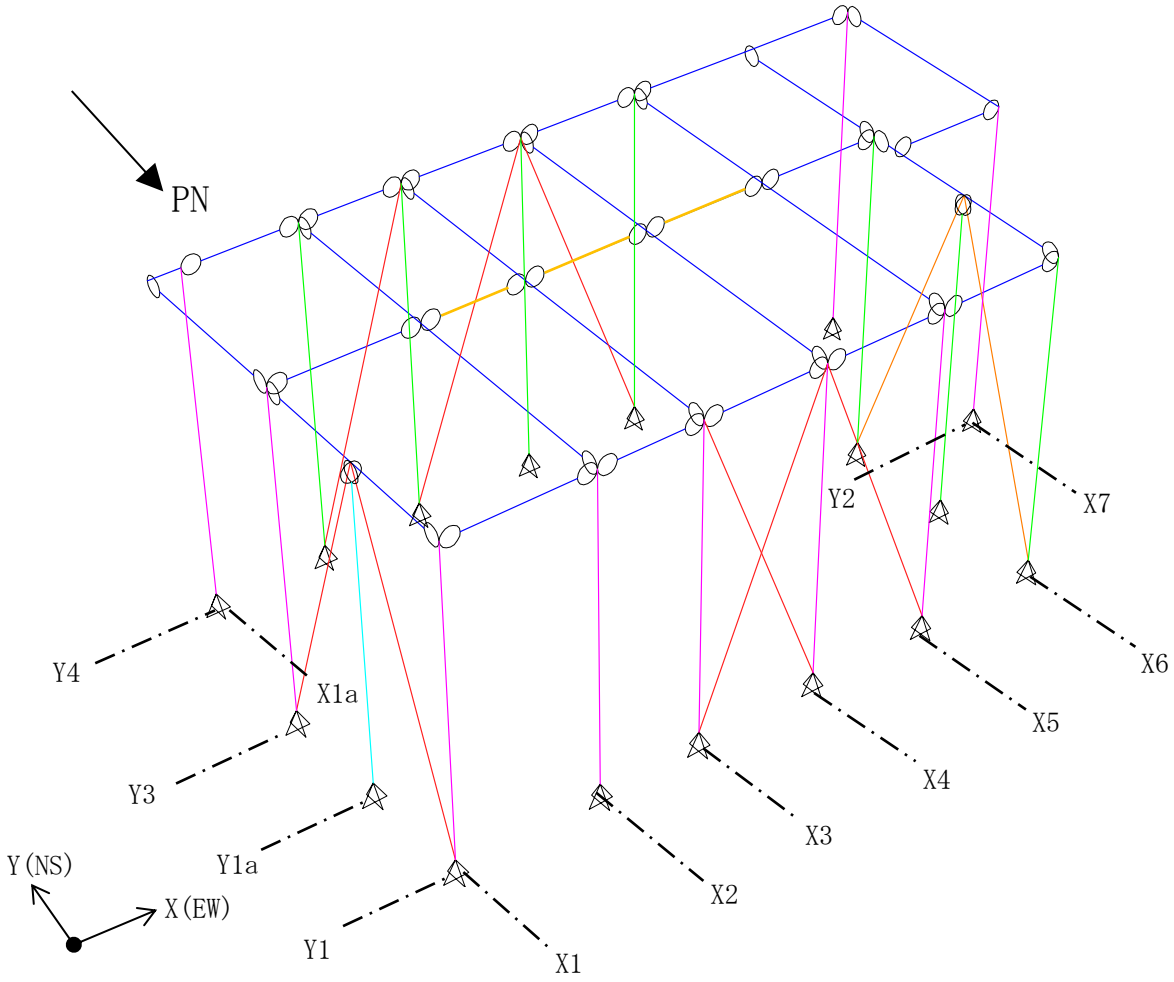
部位	凡例	記号	部材	鋼種
大ばり		SG294, SG294A	H-294×200×8×12	SS400
小ばり		SB294	H-294×200×8×12	SS400
主柱		C1	H-200×200×8×12	SS400
		C2	BH-200×200×9×16	SS400
間柱		P1	H-200×200×8×12	SS400
鉛直ブレース		V1	2 [-150×75×6.5×10	SS400

注：床面は剛床としてモデル化する。

条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

注：鉛直ブレースの両端部はピン接合とする。

図 5－1　解析モデル(AC 系)



部位	凡例	記号	部材	鋼種
大ばり		SG294, SG294A	H-294×200×8×12	SS400
小ばり		SB294	H-294×200×8×12	SS400
主柱		C1	H-200×200×8×12	SS400
		C2	BH-200×200×9×16	SS400
間柱		P1	H-200×200×8×12	SS400
鉛直ブレース		V1	2 [-150×75×6.5×10	SS400
		V2	2 [-150×75×9×12.5	SS400

注：床面は剛床としてモデル化する。

条件	記号	備考
部材接合条件	○	ピン接合
支点境界条件	△	ピン支点

注：鉛直ブレースの両端部はピン接合とする。

図 5－2　解析モデル(B 系)

5.4　固有周期

地震力の算出においては，屋根面レベルにおける構造物の固有周期による応答値の増幅を考慮する。固有周期算定の概念図を図 5－3 に示す。当構造物は一層で成り立つ平屋構造であり，屋根面が剛床であることから，構造物の振動は質量及び層剛性から決まる一質点系の振動となる。よって当構造物に対する固有値解析は，次式により固有周期を算定することと同義である。

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{m/k}$$

ここで，

m　：非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板の重量(kg)

k　：各方向における層剛性(N/m)

各方向における層剛性は，水平方向については応力解析モデルの地震荷重と変形の関係から，鉛直方向については応力解析モデルの柱鉛直剛性の集計により算出する。一質点系の振動であることから，生じる振動モードは一次モードのみである。以上の固有周期の算定手法は，一般建築分野の構造計算及び建築確認申請で広く使用される方法である。

固有周期の算定結果を表 5－2 に示す。

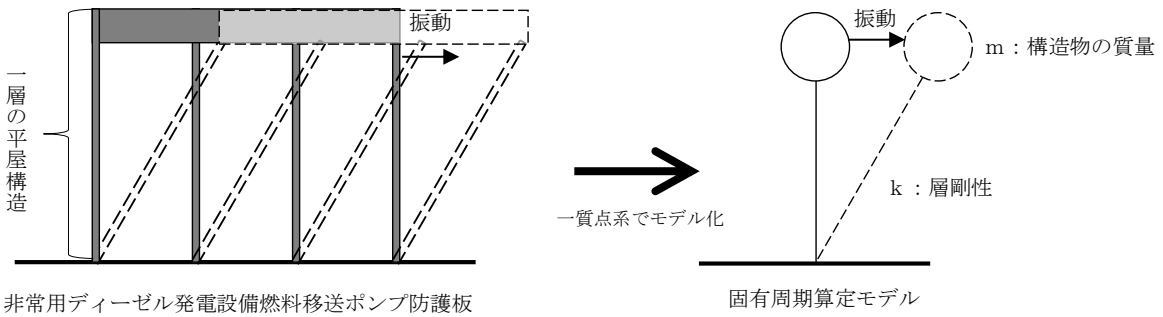


図 5－3　固有周期算定の概念図

表 5－2　固有周期算定結果

系統	方向		固有周期 T (s)	固有振動数 f＊ (Hz)
AC系	水平方向	X方向	0.1039	9.62
		Y方向	0.0816	12.25
	鉛直方向		0.0148	67.38
B系	水平方向	X方向	0.0975	10.26
		Y方向	0.1086	9.21
	鉛直方向		0.0142	70.37

注記＊　：固有振動数 f は次式にて算出する。

$$f = 1/T$$

5.5　設計用地震力

適用する設計用地震力は，Ｖ-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方法」における軽油タンク基礎の設計用床応答曲線Ⅰについて，表 5－2 に示す固有周期に対応した震度を上回るように設定する。減衰定数は，「原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ　４６０１-1987」（日本電気協会）の鉄骨構造物に適用される減衰定数の値より，2%を用いる。

評価に用いる設計用地震力を表 5－3 に示す。

表 5－3　設計用地震力

系統	固有周期(s)			基準地震動Ｓｓ			減衰定数(%)	
	水平方向		鉛直方向	水平方向 設計震度		鉛直方向 設計震度	水平	鉛直
	X方向	Y方向		X方向	Y方向			
AC系	0.1039	0.0816	0.0148	1.30	0.90	1.00	2	2
B系	0.0975	0.1086	0.0142	1.30	1.30	1.00	2	2

5.6　計算方法

5.6.1　構造物全体の変形性能評価

構造物全体の変形性能評価は「Ｓｕｐｅｒ　Ｂｕｉｌｄ／ＳＳ３」を用いた3次元静的線形応力解析の結果より,構造物全体の層間変形角を算出する。なお，水平 2 方向の地震力を組み合わせる際の変形性能評価は「Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「SRSS」という。)」により行う。構造物全体の層間変形角の計算式を表 5－4 に示す。

表 5－4　構造物全体の層間変形角の計算式

種別		変形計算式
層間変形角	X 方向	γ_X
	Y 方向	γ_Y
	2 方向	$\sqrt{\gamma_X^2+\gamma_Y^2}$

ここで,

γ_X：層間変形角(X 方向)

γ_Y：層間変形角(Y 方向)

5.6.2　構造部材の健全性評価

構造部材の健全性評価のうち，架構(はり，柱，ブレース)の応力評価は3次元静的線形応力解析の結果より評価部位の応力を算出する。柱脚(ベースプレート，基礎ボルト)の応力評価は3次元静的線形応力解析の結果より支点反力を算出する。構造部材の応力度の計算式を表 5−5 に示す。

表 5−5　構造部材の応力度の計算式

評価部位		応力度の種類	単位	応力度計算式
架構	はり	曲げ応力度 σ_b	N/mm^2	$\sigma_b = M_X / Z_{px}$
		軸応力度 $\sigma_{c(t)}$	N/mm^2	$\sigma_{c(t)} = Nc(t) / A_g$
		せん断応力度 τ	N/mm^2	$\tau = Q1 / A_w$
	柱	曲げ応力度 σ_{bx}，σ_{by}	N/mm^2	$\sigma_{bx} = M_X / Z_{px}$，$\sigma_{by} = M_Y / Z_{py}$
		軸応力度 $\sigma_{c(t)}$	N/mm^2	$\sigma_{c(t)} = Nc(t) / A_g$
		せん断応力度 τ_1，τ_2	N/mm^2	$\tau_1 = Q1 / A_w$，$\tau_2 = Q2 / A_f$
	ブレース	軸応力度 $\sigma_{c(t)}$	N/mm^2	$\sigma_{c(t)} = Nc(t) / A_g$
柱脚	ベースプレート	曲げ応力度 σ_b	N/mm^2	$\sigma_b = M_B / Z_p$
	基礎ボルト	せん断応力度 τ_{ts}	N/mm^2	$\tau_{ts} = Q_{DS} / a_s$
		引張り応力度 σ_{ts}	N/mm^2	$\sigma_{ts} = T_{DS} / a_s$

ここで,

M_X, M_Y　：強軸及び弱軸回りの曲げモーメント(N・mm)

M_B　：ベースプレートに作用する曲げモーメント(N・mm)

$M_B = Pb \times L$

Ｐｂ：各柱脚部の支点反力より得られる基礎ボルト1本あたりの軸力

Ｌ：基礎ボルトと柱軸芯間の距離

Ｎｃ（ｔ）：圧縮及び引張り軸力(N)

Ｑ１,Ｑ２　：強軸及び弱軸方向のせん断力(N)

Z_p　：塑性断面係数(mm^3)

A_g　：部材の断面積(mm^2)

A_W　：部材のウェブ断面積(mm^2)

A_f　：部材のフランジ断面積(mm^2)

$Z_{px(py)}$　：強軸及び弱軸回りの塑性断面係数(mm^3)

Q_{DS}　：基礎ボルト1 本に負担させるせん断力(N)
T_{DS}　：基礎ボルト1 本に負担させる引張り力(N)
a_s　：基礎ボルトの断面積(mm²)

5.7　変形及び応力の評価

5.7.1　変形評価

「5.6.1　構造物全体の変形性能評価」で算定した構造物全体の層間変形角が「4.1　構造物全体の変形性能に対する許容限界」で定める許容限界以下であることを確認する。

5.7.2　応力評価

「5.6.2　構造部材の健全性評価」で算定した応力度が表 5−6, 表 5−7 及び表 5−8 に示す応力評価式を満たすことを確認する。

表 5−6　構造部材の応力評価式（架構）

評価部位	応力	応力の種類	単位	検定方法
はり	曲げ	曲げ応力度	N/mm²	$\sigma_b \leqq {}_Sf_{bu}$
	圧縮	圧縮応力度	N/mm²	$\sigma_c \leqq {}_Sf_{cu}$
	せん断	せん断応力度	N/mm²	$\tau \leqq {}_Sf_s$
	組合せ応力	曲げ＋軸力	−	$\dfrac{\sigma_b}{{}_sf_{bu}}+\dfrac{\sigma_{c(t)}}{{}_sf_{c(t)u}} \leqq 1.0$
		曲げ＋せん断＋軸力	N/mm²	$\sqrt{\sigma_b^2+\sigma_{c(t)}^2+3\tau^2} \leqq {}_Sf_{tu}$
柱	曲げ	曲げ応力度	N/mm²	$\sigma_b \leqq {}_Sf_{bu}$
	圧縮/引張り	軸応力度	N/mm²	$\sigma_c \leqq {}_Sf_{cu}$（圧縮時） $\sigma_t \leqq {}_Sf_{tu}$（引張り時）
	せん断	せん断応力度	N/mm²	$\tau_{1(2)} \leqq {}_Sf_s$
	組合せ応力	曲げ＋軸力	−	$\dfrac{\sigma_{bx}}{{}_sf_{bxu}}+\dfrac{\sigma_{by}}{{}_sf_{byu}}+\dfrac{\sigma_{c(t)}}{{}_sf_{c(t)u}} \leqq 1.0$
		曲げ＋せん断＋軸力	N/mm²	$\max\left\{\sqrt{\sigma_{bx}^2+\sigma_{c(t)}^2+3\tau_1^2},\ \sqrt{\sigma_{by}^2+\sigma_{c(t)}^2+3\tau_2^2}\right\} \leqq {}_Sf_{tu}$
ブレース	引張り/圧縮	軸応力度	N/mm²	$\sigma_c \leqq {}_Sf_{cu}$（圧縮時） $\sigma_t \leqq {}_Sf_{tu}$（引張り時）

表 5－7　構造部材の応力評価式（ベースプレート）

評価部位	応力	応力の種類	単位	検定方法
ベース プレート	曲げ	曲げ応力度	N/mm^2	$\sigma_b \leqq {}_S f_{bu}$

表 5－8　構造部材の応力評価式（基礎ボルト）

評価部位	評価対象	応力	応力の種類	単位	検定方法
基礎 ボルト	鋼材	引張り	引張り応力度	N/mm^2	$\sigma_{ts} \leqq {}_B f_t$
		せん断	せん断応力度	N/mm^2	$\tau_{ts} \leqq {}_B f_s$
		引張り ／ せん断	引張り応力度 （引張り ＋せん断）	N/mm^2	$\sigma_{ts} \leqq 1.2 \cdot f_{ts} - \sqrt{3} \cdot \tau_{ts}$
	定着部 コンク リート	せん断	せん断力	kN	$Q_{DS} \leqq Q_{ac}$
		引張り ／ せん断	せん断力 （引張り ＋せん断）	kN	$Q_{DS} \leqq (1.2 - \sigma_{ts} / f_{ts}) \cdot Q_{ac}$

ここで,

Q_{ac}：定着筋 1 本あたりの許容せん断力(N)

許容せん断力Q_{ac}は，下式により求める。

$$Q_{ac} = \mathrm{min}\left(Q_{ac1}, Q_{ac2}\right)$$

$$Q_{ac1} = \phi \cdot 0.5 \cdot a_s \cdot \sqrt{F_c \cdot E_c}$$

$$Q_{ac2} = \phi \cdot 0.31 \cdot \sqrt{F_c} \cdot A_{qc}$$

ϕ　：低減係数(短期設計用＝2/3)

a_s：定着筋の断面積（mm^2）

F_c：コンクリートの設計基準強度(N/mm^2)

E_c：コンクリートのヤング係数(N/mm^2)

A_{qc}：せん断力に対するコーン状破壊の有効投影面積(mm^2)

6. 評価結果

6.1 構造物全体の変形性能評価

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板における構造物全体の変形性能評価結果を表 6－1 に示す。

構造物全体の変形性能評価の結果，構造物全体の最大層間変形角が許容限界以下であることを確認した。

表 6－1 構造物全体の変形性能評価結果

系統	方向	最大層間変形角	許容限界
AC 系	X 方向	1/898	1/200
	Y 方向	1/2007	
	2 方向 (SRSS)	1/798	
B 系	X 方向	1/1013	
	Y 方向	1/813	
	2 方向 (SRSS)	1/707	

6.2　構造部材の健全性評価

非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ防護板における構造部材の健全性評価結果を表 6－2 及び表 6－3 に示す。また最大応力発生箇所を図 6－1 及び図 6－2 に示す。

発生応力度は許容限界以下であり，また，座屈の評価の条件式を満足していることから，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

表 6－2　構造部材の健全性評価結果（AC 系）(1/2)

評価部材		材料	応力	発生応力度 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)	発生箇所
架構	はり	SS400	曲げ	79	258	X4/Y1-3
			圧縮	36	228	X8/Y1-2
			せん断	29	135	X8/Y1-2
			組合せ*（曲げ＋軸力）	0.44	1.0	X8/Y1-2
			組合せ（曲げ＋せん断＋軸力）	95	258	X8/Y1-2
	柱	SS400	曲げ	35	258	X9/Y2
			圧縮	51	203	X6/Y3
			せん断	5	135	X9/Y2
			組合せ*（曲げ＋軸力）	0.25	1.0	X7/Y1
			組合せ（曲げ＋せん断＋軸力）	51	258	X6/Y3
	水平ブレース	SS400	引張り	98	258	X9/Y2-3
	鉛直ブレース	SS400	圧縮	69	157	Y3/X6-7

注記＊：組合せ（曲げ＋軸力）は検定比による結果を示す。

表 6－2　構造部材の健全性評価結果（AC 系）(2/2)

評価部材		材料	応力	発生応力度 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)	発生箇所
柱脚	ベースプレート	SN490	曲げ	193	357	X5/Y3
	基礎ボルト	SD390	引張り	241	390	X5/Y2
			せん断応力度	63	225	X5/Y2
			組合せ（引張り応力度）	241	358	X5/Y2
		定着部コンクリート	せん断力*	24	77	X9/Y2
			組合せ*（せん断力）	41	90	X5/Y2

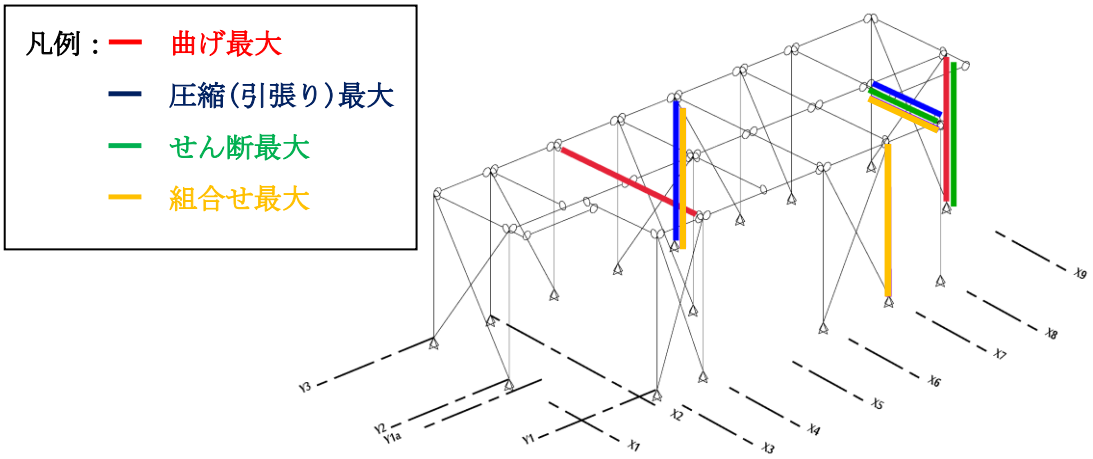
注記＊：単位は kN とする。

表 6－3　構造部材の健全性評価結果（B 系）

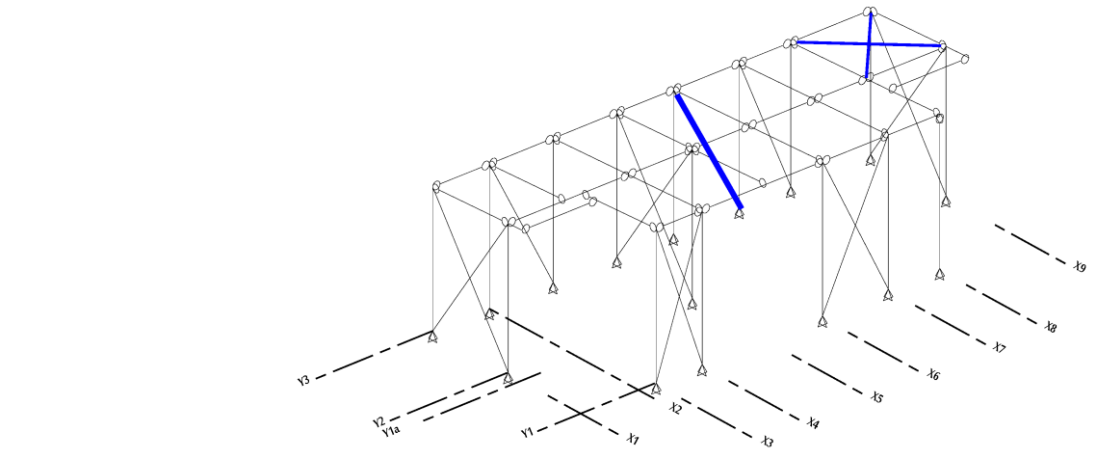
評価部材		材料	応力	発生応力度 (N/mm^2)	許容限界 (N/mm^2)	発生箇所
架構	はり	SS400	曲げ	39	258	X5/Y1-4
			圧縮	47	227	X6/Y3-4
			せん断	19	135	Y4/X6-7
			組合せ*1 (曲げ＋軸力)	0.24	1.0	X6/Y1-2
			組合せ (曲げ＋せん断)	50	258	X6/Y1-2
	柱	SS400	曲げ	23	258	X7/Y2
			圧縮	33	203	X3/Y1
			せん断	3	135	X7/Y2
			組合せ*1 (曲げ＋軸力)	0.17	1.0	X3/Y1
			組合せ (曲げ＋せん断)	33	258	X3/Y1
	水平ブレース	SS400	引張り	123	258	X6/Y1-3
	鉛直ブレース	SS400	圧縮	126	165	Y1/X3-4
柱脚	ベースプレート	SN490	曲げ	152	357	X3/Y1
	基礎ボルト	SD390	引張り	243	390	X1/Y3
			せん断応力度	62	225	X1/Y3
			組合せ (引張り応力度)	243	360	X1/Y3
		定着部コンクリート	せん断力*2	40	155	X1/Y3
			組合せ*2 (せん断力)	40	90	X1/Y3

注記＊1 ：組合せ（曲げ＋軸力）は検定比による結果を示す。

＊2 ：単位は kN とする。

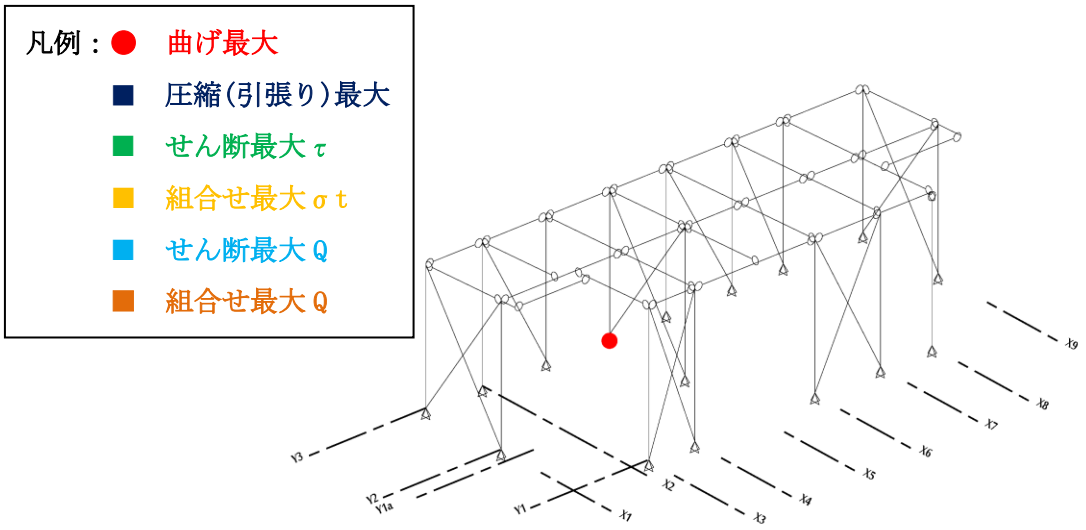


(1)　架構(はり，柱)の最大応力度発生箇所

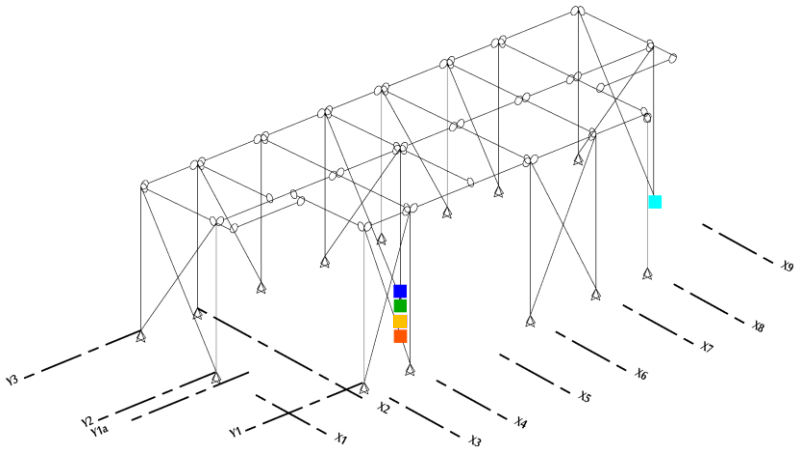


(2)　架構(ブレース)の最大応力度発生箇所

図 6－1　最大応力度発生箇所（AC 系）(1/2)

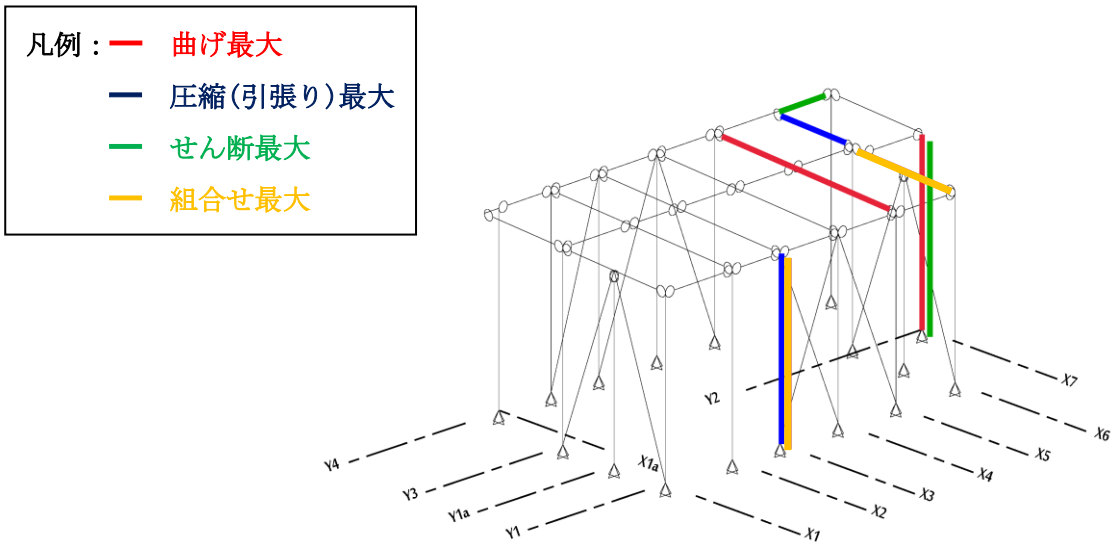


(3)　ベースプレートの最大応力度発生箇所

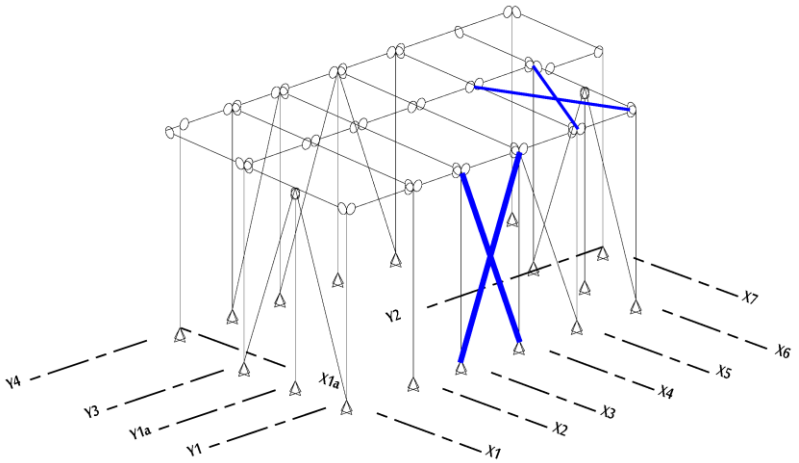


(4)　基礎ボルトの最大応力度発生箇所

図 6－1　最大応力度発生箇所（AC 系）(2/2)

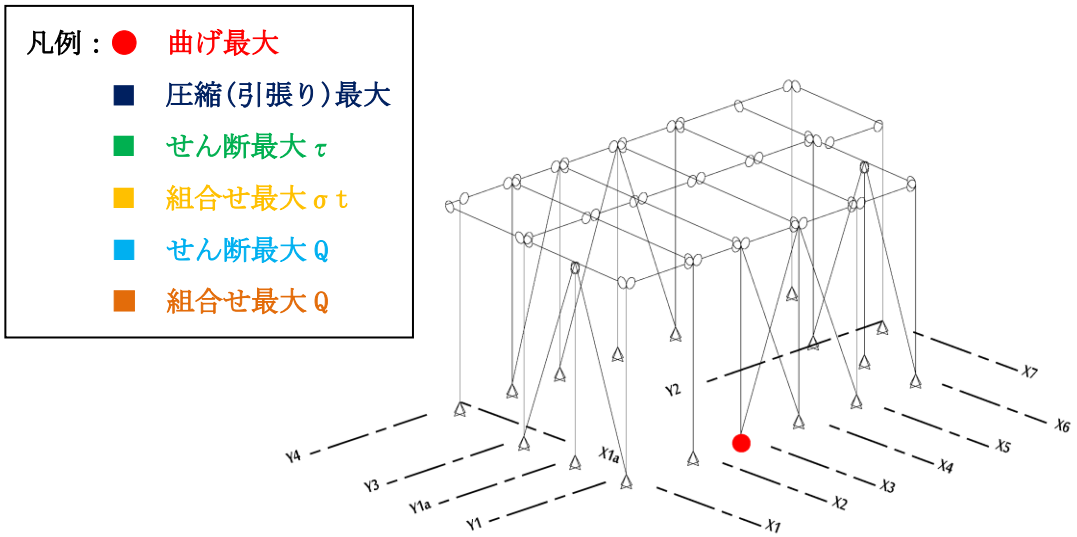


(1)　架構(はり・柱)の最大応力度発生箇所

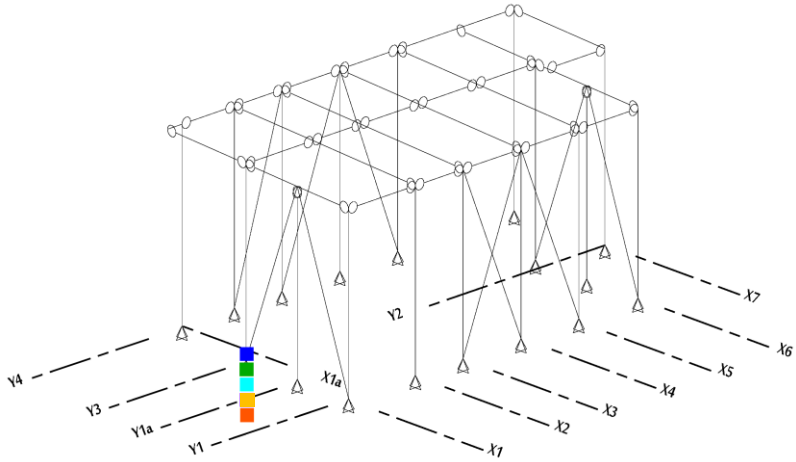


(2)　架構(ブレース)の最大応力度発生箇所

図 6－2　最大応力度発生箇所（B 系）(1/2)



(3)　ベースプレートの最大応力度発生箇所



(4)　基礎ボルトの最大応力度発生箇所

図 6－2　最大応力度発生箇所（B 系）(2/2)

Ⅴ-2-11-2-2-2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 5
2.5　記号の説明 ····· 6
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 9
3.　評価部位 ····· 10
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 10
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
4.2.2　許容応力 ····· 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 14
4.4　固有周期 ····· 15
4.5　設計用地震力 ····· 16
4.6　計算方法 ····· 17
4.6.1　応力の計算方法 ····· 17
4.7　計算条件 ····· 19
4.8　応力の評価 ····· 19
4.8.1　防護鋼板の応力評価 ····· 19
4.8.2　架構の応力評価 ····· 19
4.8.3　アンカボルトの評価 ····· 20
5.　評価結果 ····· 21
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 21
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 21

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，下部に設置された上位クラスである非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2. 一般事項

2.1 配置概要

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の設置位置を図2－1に示す。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は，上位クラス施設である非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管の上部に設置されており，落下時に非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

本資料では，図2－1に示す施設のうち，代表として非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)について示す。なお，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(A･C 及びドレンノズル）の評価結果については，「【非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震性についての計算結果】1.4.3 A･C 及びドレンノズルの評価結果」にて示す。

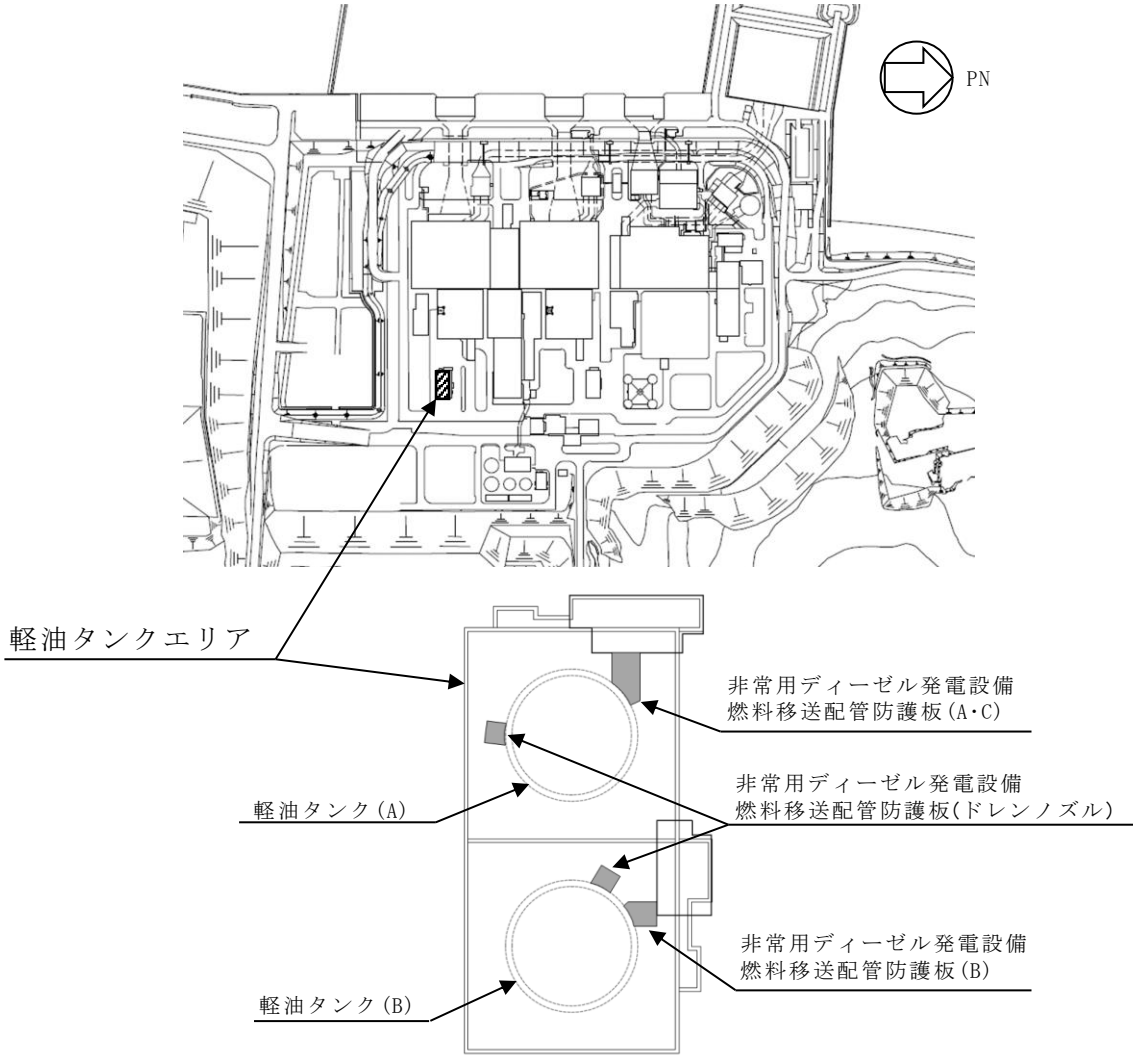
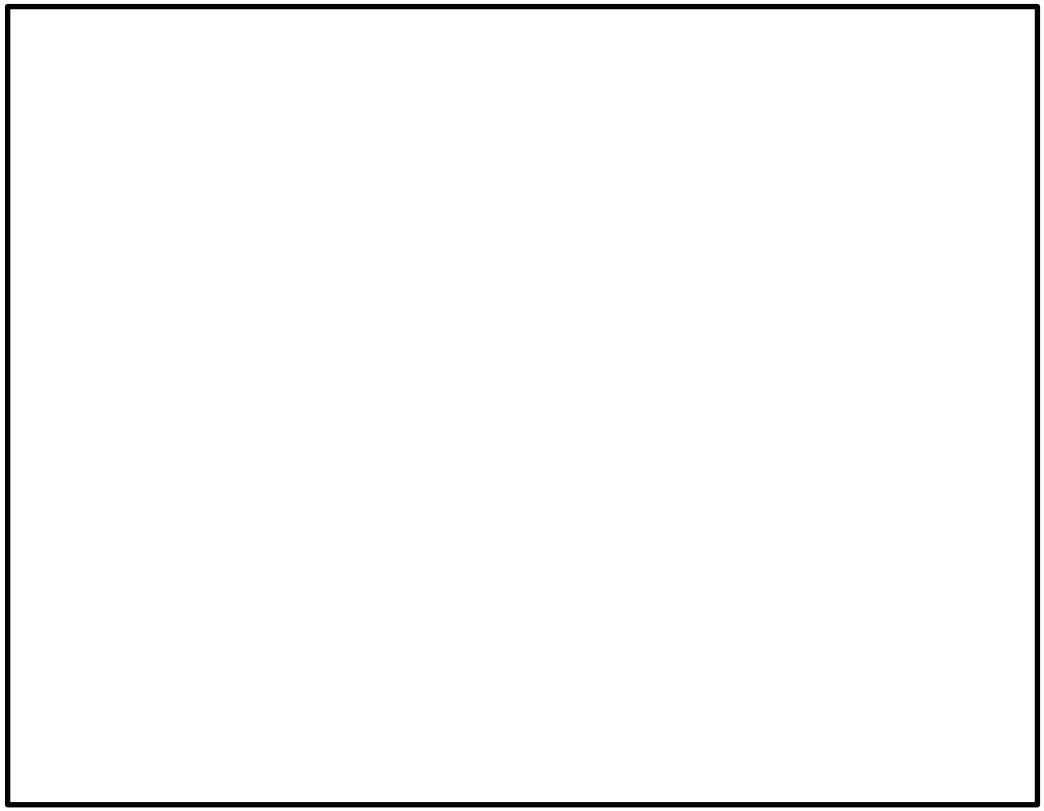


図2－1 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の設置位置図

2.2 構造計画

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の構造計画を表2－1に示す。

表2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板は，アンカボルトにより軽油タンク基礎に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 （単位：mm） 非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)

2.3　評価方針

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の応力評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については，「2.2　構造計画」にて示す非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4　固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震評価フローを図2－2に示す。

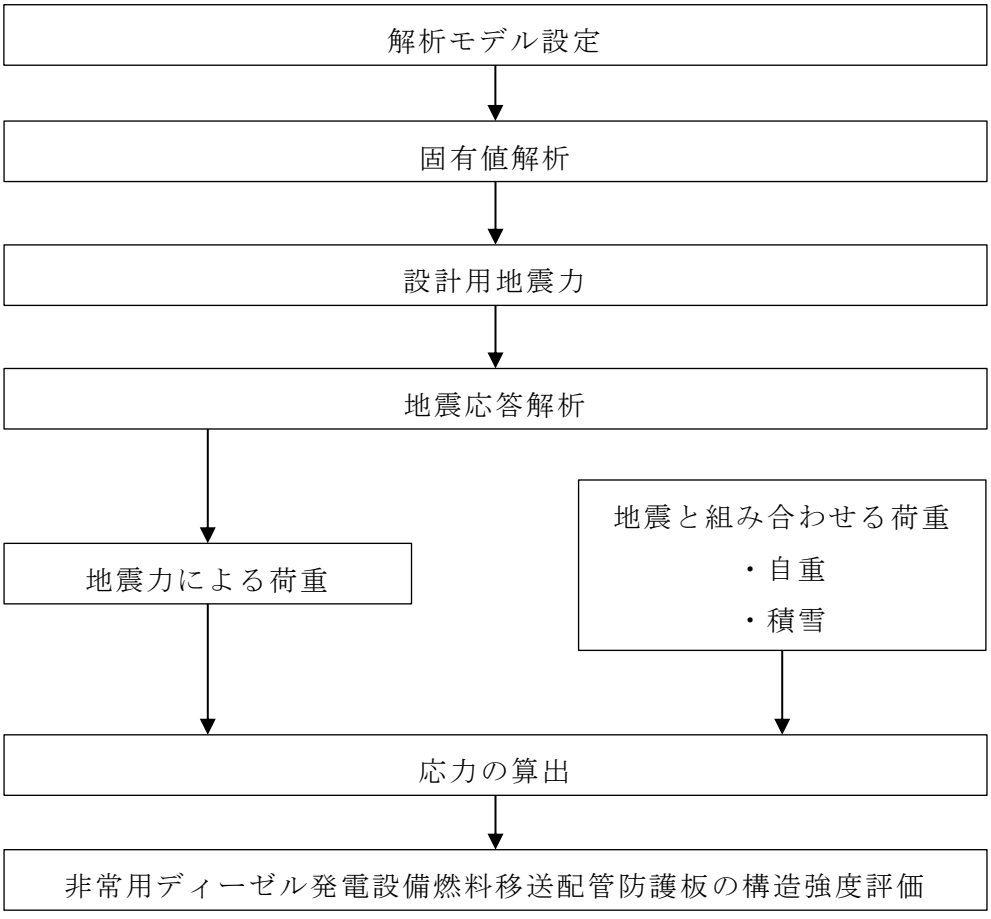


図2－2　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（(社) 日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（(社) 日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

・各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010 年改定）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
$_{sc}a$	接着系アンカボルトの断面積	mm^2
A	架構の断面積	mm^2
A_{qc}	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm^2
A_s	鋼板の単位長さ当たりの断面積	mm^2
A_{sy}	架構のせん断断面積（ｙ軸）	mm^2
A_{sz}	架構のせん断断面積（ｚ軸）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	―
C_V	鉛直方向設計震度	―
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1（1）に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{sx}	防護鋼板の膜力（ｘ軸）	N
F_{sy}	防護鋼板の膜力（ｙ軸）	N
F_{sxy}	防護鋼板のせん断力	N
f_b	架構の許容曲げ応力	MPa
f_c	架構の許容圧縮応力	MPa
f_s	架構の許容せん断応力	MPa
f_t	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
L_{ce}	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
L_e	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
M_y	架構の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_z	架構の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_{sx}	防護鋼板の曲げモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_{sy}	防護鋼板の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_{sxy}	防護鋼板のねじりモーメント	N･mm

記号	記号の説明	単位
m	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
n	架構と軽油タンク基礎の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するアンカボルトの本数	—
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
X,Y,Z	絶対（節点）座標軸	—
x,y,z	局所（要素）座標軸	—
Z_b	鋼板の断面係数	mm^3
Z_y	架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	架構の断面係数（z軸）	mm^3
Z_t	鋼板のねじり断面係数	mm^3
Λ	架構の限界細長比	—
λ	架構の有効細長比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ	防護鋼板の組合せ応力	MPa
σ_x，σ_y	互いに直交する垂直応力	MPa
N_c	架構の軸力（圧縮）	N
N_t	架構の軸力（引張り）	N
R_x	ベースプレート部の反力（x軸）	N
R_y	ベースプレート部の反力（y軸）	N
R_z	ベースプレート部の反力（z軸）	N
p	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの引張力	N
p_a	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容引張力	N
p_{a1}	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N
p_{a3}	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
q	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトのせん断力	N
q_a	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容せん断力	N
q_{a1}	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a2}	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a3}	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
Q_y	架構のせん断力（ｙ軸）	N
Q_z	架構のせん断力（ｚ軸）	N
ϕ_1	低減係数　長期：2/3　短期：1.0	—
ϕ_2	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
ϕ_3	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
α_n	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数（ｎ＝1,2,3）	—
c_n	へりあき及びボルトピッチの1/2（ｎ＝1,2,3）	—
${}_c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
${}_c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{pa}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{qa}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
σ_b	架構に生じる曲げ応力	MPa
σ_{by}	架構に生じる曲げ応力（ｙ軸）	MPa
σ_{bz}	架構に生じる曲げ応力（ｚ軸）	MPa
σ_c	架構に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	架構に生じる引張応力	MPa
τ	防護鋼板に生じるせん断応力	MPa
τ_a	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
τ_{bavg}	ボルトの基本平均付着強度	MPa
τ_k	架構に生じるせん断応力	MPa
τ_y	架構に生じるせん断応力（ｙ軸）	MPa
τ_z	架構に生じるせん断応力（ｚ軸）	MPa

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりとする。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

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

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

＊4　：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3.　評価部位

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，落下により，非常用ディーゼル発電設備燃料油系配管が損傷することを防止するため，防護鋼板，架構及びアンカボルトについて実施する。非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震評価部位については，表2－1の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の架構は，アンカボルトにより鉄筋コンクリート造である軽油タンク基礎に固定されるものとする。

(2)　地震力は，非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4－1に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4－2に示す。

4.2.2　許容応力

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の許容応力は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表4－3に示す。

アンカボルトの許容応力は，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010年改定)」に基づき，算出したものを許容応力とする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表4－4に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表4－5に示す。

表4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s+P_s$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_s$	$\mathrm{IV_AS}$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表4－3　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 （ボルト等以外）			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

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

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

表4－4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
防護鋼板	SS400	周囲環境温度	40	－			－
架構	STKR400	周囲環境温度	40	－			－
アンカボルト	SS400	周囲環境温度	40	－			－

表4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件（℃）		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
防護鋼板	SS400	周囲環境温度	40	－			－
架構	STKR400	周囲環境温度	40	－			－
アンカボルト	SS400	周囲環境温度	40	－			－

4.3　解析モデル及び諸元

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の解析モデルを図4－1に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板を構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化したFEMモデルによって求める。

(2)　拘束条件として，基礎部の各軸方向を固定する。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。

(3)　解析コード「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

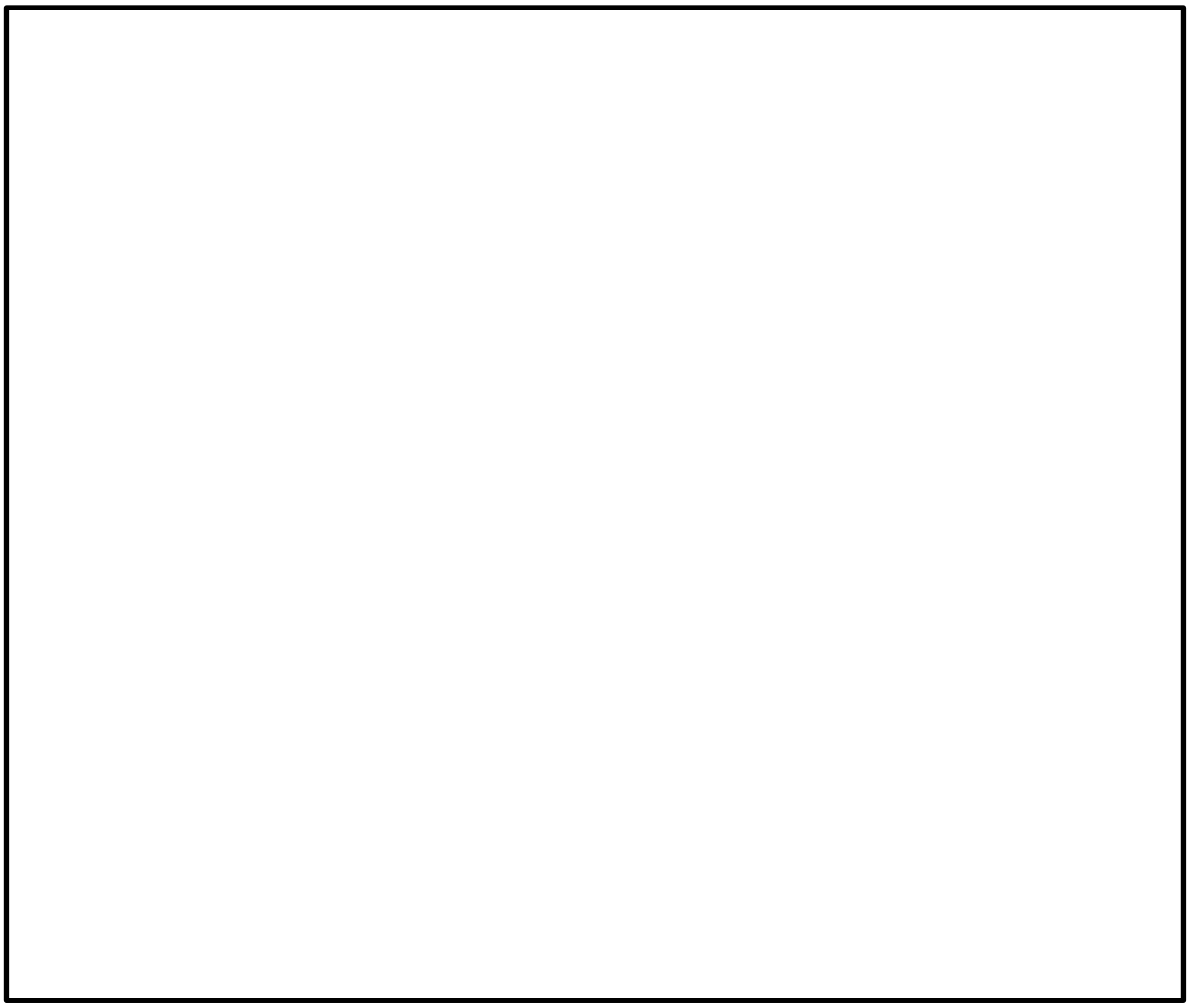


図4－1　非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)の解析モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表4－6に示す。固有周期は，0.05秒以下であり，剛であることを確認した。

表4－6　固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1	水平	0.033	―	―	―
3	鉛直	0.017	―	―	―

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表4－7及び表4－8に示す。

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

表4－7　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
7号機軽油タンク基礎 T.M.S.L.12.0	0.033	0.017	C_H＝1.69	C_V＝1.33

表4－8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
7号機軽油タンク基礎 T.M.S.L.12.0	0.033	0.017	C_H＝1.69	C_V＝1.33

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

(1)　防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は，解析による計算で得られる各要素での膜力F_{sx}，F_{sy}，せん断力F_{sxy}，曲げモーメントM_{sx}，M_{sy}及びねじりモーメントM_{sxy}により組合せ応力を次のように求める。

a.　組合せ応力

$$\sigma=\sqrt{\sigma_x^{\,2}+\sigma_y^{\,2}-\sigma_x\cdot\sigma_y+3\tau^2}$$

ここで，

$$\sigma_x=\frac{F_{sx}}{A_S}\pm\frac{M_{sx}}{Z_b},\quad \sigma_y=\frac{F_{sy}}{A_S}\pm\frac{M_{sy}}{Z_b}$$

$$\tau=\frac{F_{sxy}}{A_S}\pm\frac{M_{sxy}}{Z_t}$$

(2)　架構の応力

架構の応力は，解析による計算で得られる各要素端での軸力N_t，N_c，せん断力Q_y，Q_z及び曲げモーメントM_y，M_zにより各応力を次のように求める。

a.　引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t=\frac{N_t}{A},\quad \sigma_c=\frac{N_c}{A}$$

b.　せん断応力

$$\tau_k=\max(\tau_y,\ \tau_z)$$

$$\tau_y=\frac{Q_y}{A_{sy}},\quad \tau_z=\frac{Q_z}{A_{sz}}$$

c.　曲げ応力

$$\sigma_b=\sigma_{by}+\sigma_{bz}$$

$$\sigma_{by}=\frac{M_y}{Z_y},\quad \sigma_{bz}=\frac{M_z}{Z_z}$$

d.　組合せ応力

(a)　圧縮＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*}+\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_b^*}\quad,\quad\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_c}{1.5f_t^*}\right)$$

(b)　引張り＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_t+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_t^*}\quad,\quad\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_t}{1.5f_b^*}\right)$$

(c)　曲げ＋せん断

$$\max\left(\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_z^2}}{1.5f_t^*}\quad,\quad\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_y^2}}{1.5f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合はσ_cをσ_tとする。

(3)　アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は，解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端の反力R_x，R_y及びR_zにより各荷重を次のように求める。

a.　引張荷重

$$p=R_x$$

b.　せん断荷重

$$q=\sqrt{R_y^2+R_z^2}$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力f_t以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\dfrac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.2　架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力は1以下であること。

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

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i}$$

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

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

4.8.3　アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重ｐ及びせん断荷重ｑが許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が1以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張力 p_a	$\min[p_{a1}, p_{a3}] \cdot n_f$
許容せん断力 q_a	$\min[q_{a1}, q_{a2}, q_{a3}] \cdot n$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2 + \left(\frac{q}{q_a}\right)^2 \leqq 1$

ただし，

$p_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s\sigma_{pa} \cdot {}_{sc}a$

$p_{a3} = \phi_3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot d \cdot L_{ce}$

$q_{a1} = \phi_1 \cdot {}_s\sigma_{qa} \cdot {}_{sc}a$

$q_{a2} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_{qa} \cdot {}_{sc}a$

$q_{a3} = \phi_2 \cdot {}_c\sigma_t \cdot A_{qc}$

ここで，

低減係数 ϕ_1，ϕ_2，ϕ_3は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，以下の表のとおり。

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$\tau_a = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \tau_{bavg}$

$\alpha_n = 0.5\left(\frac{c_n}{L_e}\right) + 0.5$　（ｎ＝1,2,3）

なお，（c_n／L_e）≧1.0の場合は，（c_n／L_e）＝1.0，L_e≧10ｄの場合は，L_e＝10ｄとする。

ボルトの基本平均付着強度 τ_{bavg}は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，カプセル方式・有機系の$10\sqrt{F_c/21}$とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さL_eは以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geqq \frac{{}_s\sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板(B)の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため，記載を省略する。

【非常用ディーゼル発電設備燃料移送配管防護板の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ss		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
非常用ディーゼル発電設備 燃料移送配管防護板	C	7号機軽油タンク基礎 T.M.S.L.12.0	0.033	0.017	C_H=1.69	C_V=1.33	—	40

1.2 機器要目

m (kg)	d (mm)	$_{sc}a$ (mm^2)	n	n_f

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
防護鋼板	SS400					—	—
架構	STKR400					—	—
アンカボルト	SS400			—	—		

材料	E (MPa)	ν '	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	要素番号
STKR400	201667	0.3				64,1

	要素番号
	64,1
材料	
A (mm^2)	
Z_y (mm^3)	
Z_z (mm^3)	

1.3 計算数値

1.3.1 鋼板の荷重 (単位：N)

要素番号	節点番号	F_{sx}	F_{sy}	F_{sxy}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
1964	－			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.2 鋼板のモーメント (単位：N･mm)

要素番号	節点番号	M_{sx}	M_{sy}	M_{sxy}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
1964	－			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構の荷重 (単位：N)

要素番号	節点番号	N_t	N_c	Q_y	Q_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
1	－				
64	－				

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.4 架構のモーメント (単位：N･mm)

要素番号	節点番号	M_y	M_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
1	－		
64	－		

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.5　アンカボルトの荷重　　(単位：N)

要素番号	節点番号	R_x	R_y	R_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	1			
－	37			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.6　アンカボルトに作用する力　　(単位：N)

要素番号	節点番号	p	q
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	1		
－	37		

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　(単位：s)

モード	方向	固有周期
1	水平	0.033
3	鉛直	0.017

1.4.2　応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動Ｓｓ		備考
					算出応力	許容応力	
防護鋼板	SS400	組合せ	1964	－			
架構	STKR400	引張り	1	－			
		圧縮	64	－			
		せん断	1	－			
		曲げ	1	－			
		組合せ（圧縮＋曲げ）	1	－			単位：なし
		組合せ（引張り＋曲げ）	1	－			単位：なし
		組合せ（曲げ＋せん断）	1	－			単位：なし
アンカボルト	SS400	引張り	－	37			単位：N
		せん断	－	1			単位：N
		組合せ（引張り＋せん断）	－	1			単位：なし

すべて許容応力以下である。

1.4.3　A･C及びドレンノズルの評価結果　　(単位：MPa)

部材	材料	応力	A･C		ドレンノズル		備考
			基準地震動Ｓｓ		基準地震動Ｓｓ		
			算出応力	許容応力	算出応力	許容応力	
防護鋼板	SS400	組合せ					
架構	STKR400	引張り					
		圧縮					
		せん断					
		曲げ					
		組合せ（圧縮＋曲げ）					単位：なし
		組合せ（引張り＋曲げ）					単位：なし
		組合せ（曲げ＋せん断）					単位：なし
アンカボルト	SS400	引張り					単位：N
		せん断					単位：N
		組合せ（引張り＋せん断）					単位：なし

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-11-2-2-3　竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算書

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 5
2.5　記号の説明 ····· 6
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 9
3.　評価部位 ····· 10
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 10
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
4.2.2　許容応力 ····· 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 14
4.4　固有周期 ····· 15
4.5　設計用地震力 ····· 16
4.6　計算方法 ····· 17
4.6.1　応力の計算方法 ····· 17
4.7　計算条件 ····· 19
4.8　応力の評価 ····· 19
4.8.1　防護鋼板の応力評価 ····· 19
4.8.2　架構の応力評価 ····· 19
4.8.3　アンカボルトの評価 ····· 20
5.　評価結果 ····· 21
5.1　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 21

1. 概要

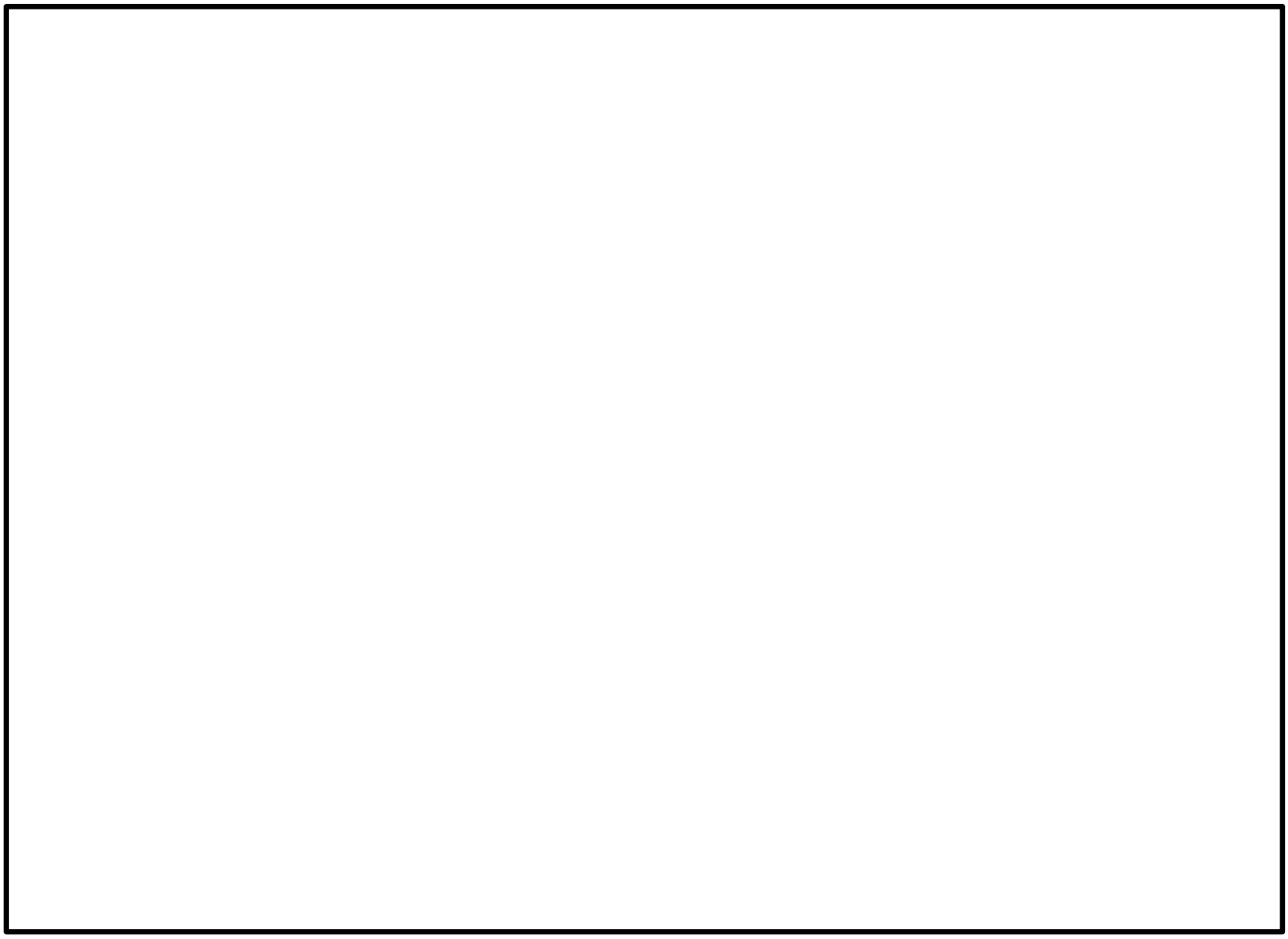
本計算書は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，竜巻防護鋼製フードが設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，下部に設置された上位クラスである格納容器圧力逃がし装置配管に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　配置概要

竜巻防護鋼製フードの設置位置を図 2－1 に示す。

竜巻防護鋼製フードは，上位クラス施設である格納容器圧力逃がし装置配管の上部に設置されており，落下時に格納容器圧力逃がし装置配管に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。



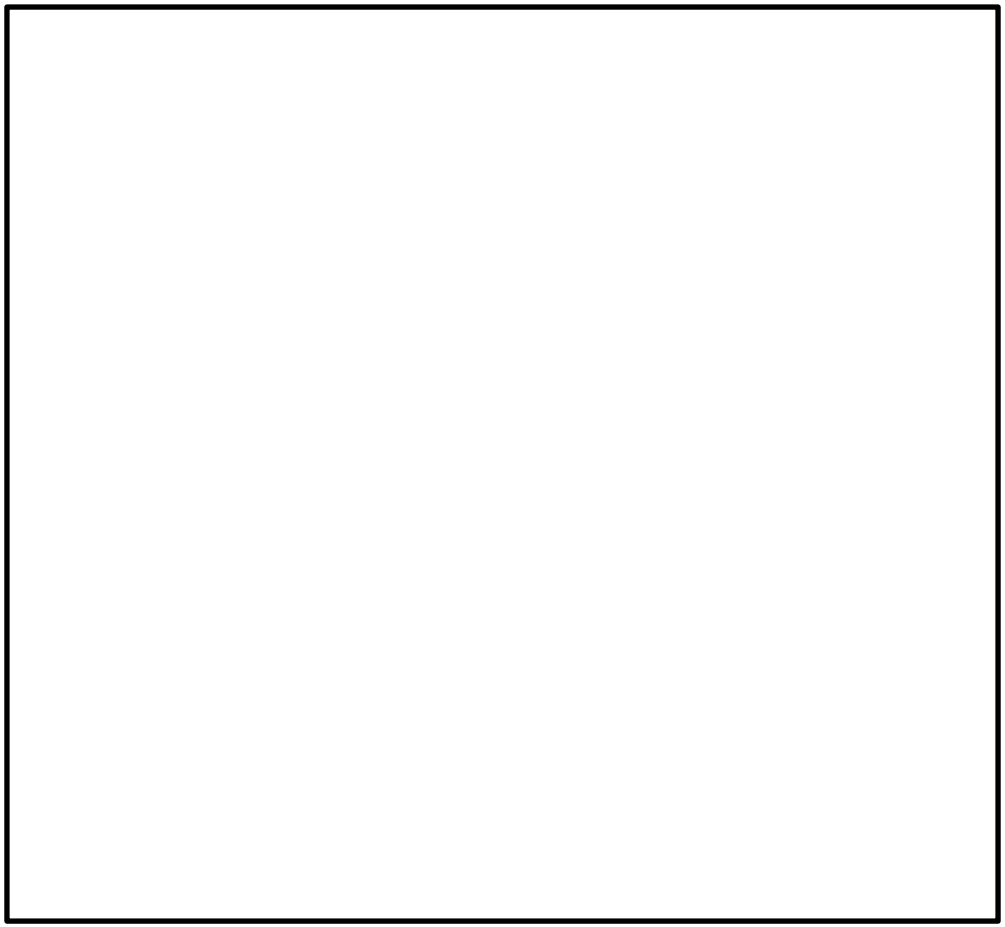
原子炉建屋　T.M.S.L.27.2m

図 2－1　竜巻防護鋼製フードの設置位置図

2.2　構造計画

竜巻防護鋼製フードの構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
竜巻防護鋼製フードは，アンカボルトにより建屋躯体である壁に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 （単位：mm） 竜巻防護鋼製フード（No.75）

2.3　評価方針

竜巻防護鋼製フードの応力評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については，「2.2　構造計画」にて示す竜巻防護鋼製フードの部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

竜巻防護鋼製フードの耐震評価フローを図 2－2 に示す。

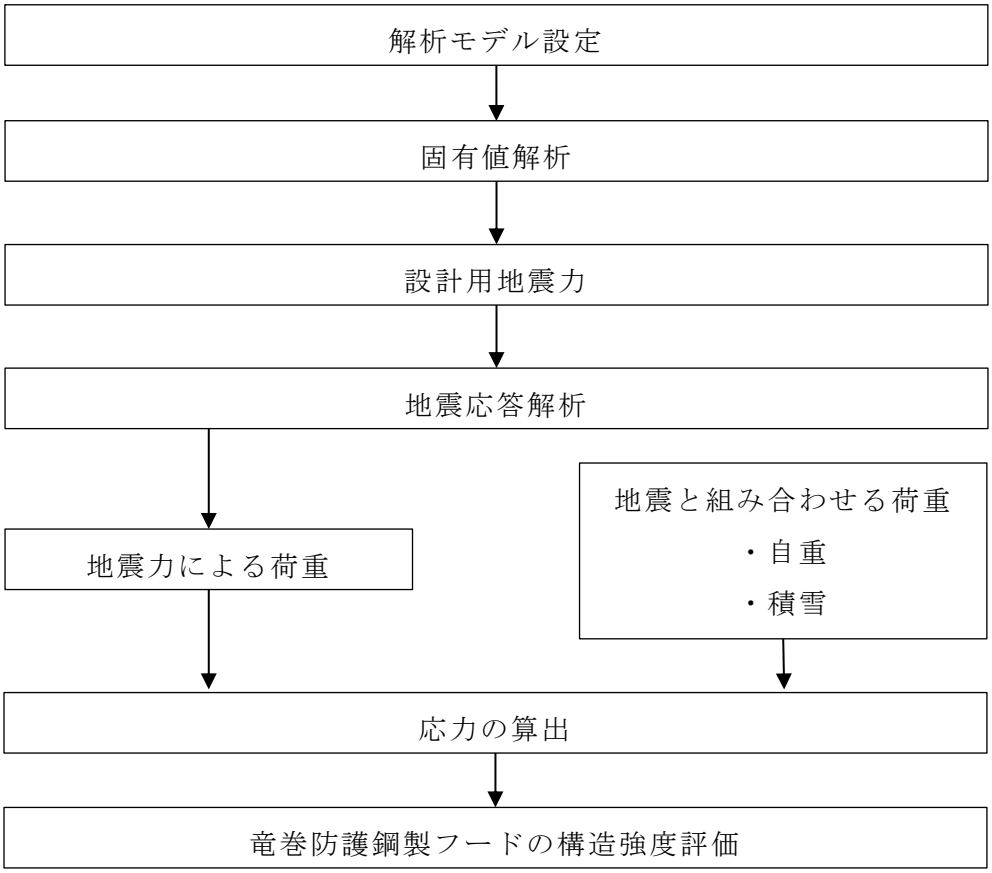


図 2－2　竜巻防護鋼製フードの耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（(社) 日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（(社) 日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

・各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010 年改定）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
$_{sc}a$	接着系アンカボルトの断面積	mm^2
A	架構の断面積	mm^2
A_{qc}	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm^2
A_{sy}	架構のせん断断面積（ｙ軸）	mm^2
A_{sz}	架構のせん断断面積（ｚ軸）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1（1）に定める値	MPa
F *	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_b	架構の許容曲げ応力	MPa
f_c	架構の許容圧縮応力	MPa
f_s	架構の許容せん断応力	MPa
f_t	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
J	架構の極断面係数	mm^3
j_y	脚部の応力中心間距離（ｙ軸）	mm
j_z	脚部の応力中心間距離（ｚ軸）	mm
L	アンカボルト中心と架構の離隔距離	mm
L_{ce}	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
L_e	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
M_x	架構の曲げモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_y	架構の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_z	架構の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_{bx}	脚部のねじりモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_{by}	脚部の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_{bz}	脚部の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm

記号	記号の説明	単位
m	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
n	架構と壁及び床の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
X,Y,Z	絶対（節点）座標軸	—
x,y,z	局所（要素）座標軸	—
Z_y	架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	架構の断面係数（z軸）	mm^3
Λ	架構の限界細長比	—
λ	架構の有効細長比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ	防護鋼板のミーゼス応力	MPa
n_{fy}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（y軸）	—
n_{fz}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（z軸）	—
N_c	架構の軸力（圧縮）	N
N_t	架構の軸力（引張り）	N
R_x	ベースプレート部の荷重（x軸）	N
R_y	ベースプレート部の荷重（y軸）	N
R_z	ベースプレート部の荷重（z軸）	N
p	接着系アンカボルト1本当たりの引張力	N
p_a	接着系アンカボルト1本当たりの許容引張力	N
p_{a1}	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N
p_{a3}	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
q	接着系アンカボルト1本当たりのせん断力	N
q_a	接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a1}	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a2}	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a3}	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
Q_y	架構のせん断力（ｙ軸）	N
Q_z	架構のせん断力（ｚ軸）	N
ϕ_1	低減係数　長期：2/3　短期：1.0	—
ϕ_2	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
ϕ_3	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
α_n	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数（ｎ＝1,2,3）	—
c_n	へりあき及びボルトピッチの1/2（ｎ＝1,2,3）	—
${}_c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
${}_c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{pa}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{qa}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
σ_b	架構に生じる曲げ応力	MPa
σ_{by}	架構に生じる曲げ応力（ｙ軸）	MPa
σ_{bz}	架構に生じる曲げ応力（ｚ軸）	MPa
σ_c	架構に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	架構に生じる引張応力	MPa
τ_a	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
τ_{bavg}	ボルトの基本平均付着強度	MPa
τ_k	架構に生じるせん断応力	MPa
τ_y	架構に生じるせん断応力（ｙ軸）	MPa
τ_z	架構に生じるせん断応力（ｚ軸）	MPa

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりとする。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

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

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

＊4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3.　評価部位

竜巻防護鋼製フードの耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，落下により，格納容器圧力逃がし装置配管が損傷することを防止するため，防護鋼板，架構及びアンカボルトについて実施する。竜巻防護鋼製フードの耐震評価部位については，表 2－1 の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　竜巻防護鋼製フードの架構は，アンカボルトにより建屋躯体である壁に固定されるものとする。

(2)　地震力は，竜巻防護鋼製フードに対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

竜巻防護鋼製フードの荷重の組合せ及び許容応力状態を表 4－1 に示す。

4.2.2　許容応力

竜巻防護鋼製フードの許容応力は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4－2 に示す。

アンカボルトの許容応力は，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010 年改定)」に基づき，算出したものを許容応力とする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

竜巻防護鋼製フードの使用材料の許容応力評価条件を表 4－3 に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	竜巻防護鋼製フード	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s+P_s$	IV_AS

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4－2　許容応力（その他支持構造物）

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

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

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

表 4－3　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	S_y (MPa)	S_u (MPa)	S_y（RT） (MPa)
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SUS304	周囲環境温度	40	—			—

4.3　解析モデル及び諸元

竜巻防護鋼製フードの解析モデルを図 4－1 に，解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　竜巻防護鋼製フードを構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。

(2)　拘束条件は，架構の壁への取付部を完全固定とする。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。

(3)　解析コード「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

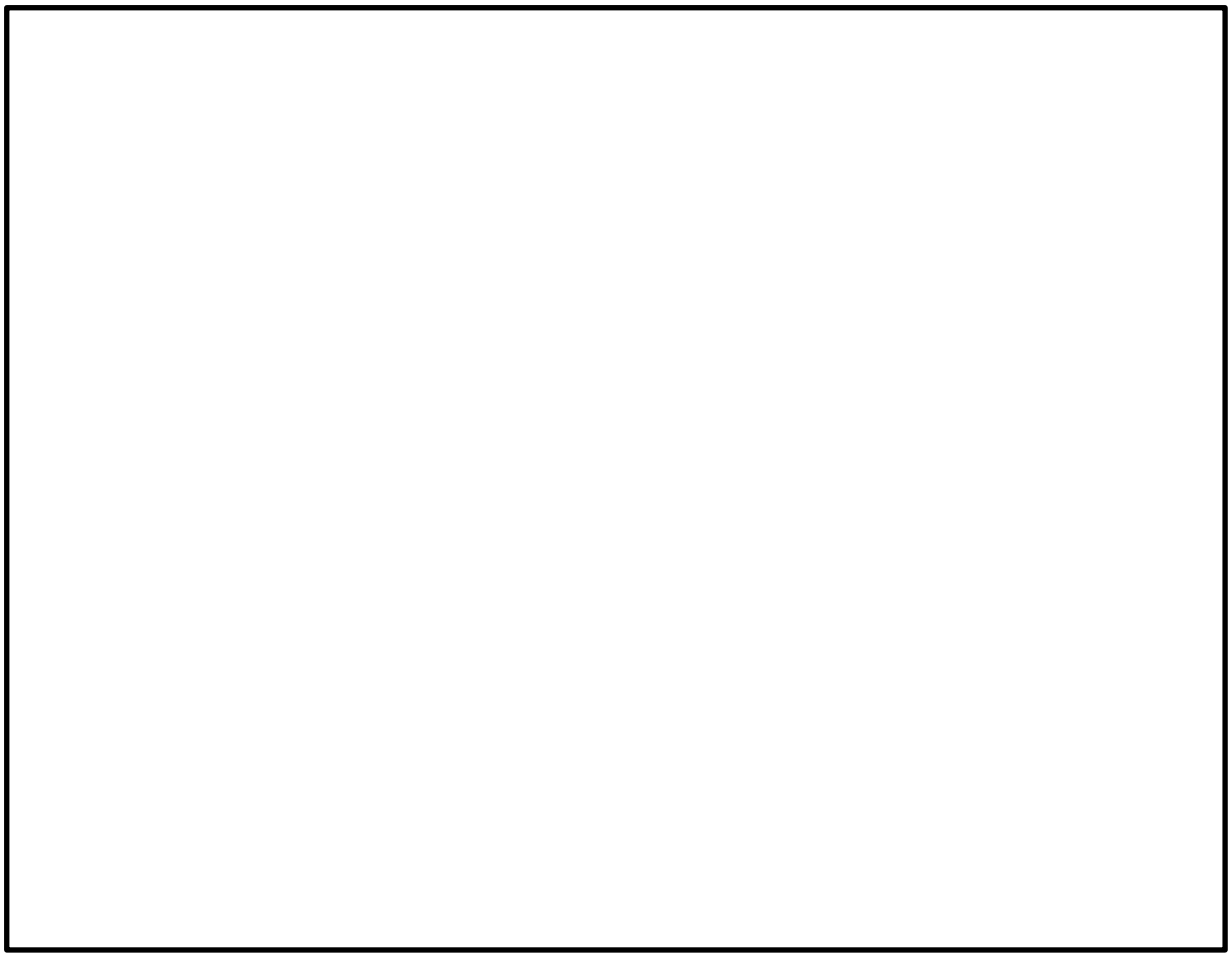


図 4－1　竜巻防護鋼製フードの解析モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－4 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4－4　固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Y方向	
1	鉛直	0.033	―	―	―
2	水平	0.032	―	―	―

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－5 に示す。

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

表 4－5　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
7 号機原子炉建屋 T.M.S.L.31.7 (T.M.S.L. 23.5*)	0.032	0.033	C_H＝1.38	C_V＝1.15

注記＊：基準床レベルを示す。

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

(1)　防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は，解析による計算で得られる各要素でのミーゼス応力σとする。

(2)　架構の応力

架構の応力は，解析による計算で得られる各要素端での軸力N_t，N_c，せん断力Q_y，Q_z及び曲げモーメントM_x，M_y，M_zにより各応力を次のように求める。

a.　引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

b.　せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \ \tau_z)$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{sy}} + \frac{M_x}{J}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{sz}} + \frac{M_x}{J}$$

c.　曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{by} + \sigma_{bz}$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

d.　組合せ応力

(a)　圧縮又は引張り＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5f_b^*} \ , \ \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合はσ_cを$-\sigma_t$に，f_c^*をf_b^*とする。

(b)　圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断

$$\max\left(\sqrt{\left(\sigma_c + \sigma_{by} + \sigma_{bz}\right)^2 + 3\tau_y^2} \ , \ \sqrt{\left(\sigma_c + \sigma_{by} + \sigma_{bz}\right)^2 + 3\tau_z^2}\right)$$

引張軸力の場合はσ_cをσ_tとする。

(3)　アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は，解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端に生じる荷重R_x，R_y，R_z，ねじりモーメントM_{bx}及び曲げモーメントM_{by}，M_{bz}により各荷重を次のように求める。

a.　引張荷重

$$p = R_x/n + M_{by}/\left(j_y \cdot n_{fy}\right) + M_{bz}/\left(j_z \cdot n_{fz}\right)$$

b.　せん断荷重

$$q = \sqrt{R_y^{\,2} + R_z^{\,2}} + M_{bx}/\left(L \cdot n\right)$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.2　架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力は f_t 以下，又は，応力比の場合は 1 以下であること。

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

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i}$$

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

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

4.8.3　アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重ｐ及びせん断荷重ｑが許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が１以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張力 p_a	$\min[p_{a1},\ p_{a3}]$
許容せん断力 q_a	$\min[q_{a1},\ q_{a2},\ q_{a3}]$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2\leqq 1$

ただし，

$p_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{pa}\cdot {}_{sc}a$

$p_{a3}=\phi_3\cdot \tau_a\cdot \pi\cdot d\cdot L_{ce}$

$q_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{qa}\cdot {}_{sc}a$

$q_{a2}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_{qa}\cdot {}_{sc}a$

$q_{a3}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_t\cdot A_{qc}$

ここで，

低減係数 ϕ_1，ϕ_2，ϕ_3は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，以下の表のとおり。

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$\tau_a=\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3\cdot\tau_{bavg}$

$\alpha_n=0.5\left(\frac{c_n}{L_e}\right)+0.5$　（ｎ＝1,2,3）

なお，（c_n／L_e）≧1.0の場合は，（c_n／L_e）＝1.0，L_e≧10ｄの場合は，L_e＝10ｄとする。

ボルトの基本平均付着強度 τ_{bavg}は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，カプセル方式・有機系の$10\sqrt{F_c/21}$とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さL_eは以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geqq \frac{{}_s\sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

5. 評価結果

5.1 重大事故等対処設備としての評価結果

竜巻防護鋼製フード(No.75)の重大事故等対処設備としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

【竜巻防護鋼製フードの耐震性についての計算結果】

1. 重大事故等対処設備

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
竜巻防護鋼製フード	C	原子炉建屋 T.M.S.L.31.7 (T.M.S.L. 23.5*)	0.032	0.033	C_H=1.38	C_V=1.15	—	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)	d (mm)	$_{sc}a$ (mm^2)	n	n_{fy}	n_{fz}	L	j_x	j_y

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
防護鋼板	SUS304					—	—
架構	SUS304					—	—
アンカボルト	SUS304			—	—		

材料	E (MPa)	ν '	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	要素番号
SUS304	194000	0.3				30003, 30004, 30016

	要素番号
	30003, 30004, 30016
材料	
A (mm^2)	
A_{sy} (mm^2)	
A_{sz} (mm^2)	
Z_y (mm^3)	
Z_z (mm^3)	
J (mm^3)	

1.3 計算数値

1.3.1 防護鋼板の応力 （単位：MPa）

要素番号	節点番号	σ
		基準地震動Ｓｓ
44431	－	

1.3.2 架構の荷重 （単位：N）

要素番号	節点番号	N_t	N_c	Q_y	Q_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
30003	－				
30004	－				
30016	－				

注：添字ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構のモーメント （単位：N･mm）

要素番号	節点番号	M_x	M_y	M_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
30004	－			
30016	－			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.4 アンカボルトの荷重 （単位：N）

要素番号	節点番号	R_x	R_y	R_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	2			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.5　脚部のモーメント　　（単位：N･mm）

要素番号	節点番号	M_{bx}	M_{by}	M_{bz}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	2			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.6　アンカボルトに作用する力　　（単位：N）

要素番号	節点番号	p	q
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	2		

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　（単位：s）

モード	方向	固有周期
1	鉛直	0.033
2	水平	0.032

1.4.2 応力

(単位：MPa)

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動Ｓｓ		備考
					算出応力	許容応力	
防護鋼板	SUS304	組合せ	44431	－			
架構	SUS304	引張り	30003	－			
		圧縮	30003	－			
		せん断	30004	－			
		曲げ	30016	－			
		組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ）	30016	－			単位：なし
		組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断）	30004	－			
アンカボルト	SUS304	引張り	－	2			単位：N
		せん断	－	2			単位：N
		組合せ（引張り＋せん断）	－	2			単位：なし

すべて許容応力以下である。

Ⅴ-2-11-2-2-4　換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算書

(1)　換気空調系ダクト防護壁（タービン建屋）

(2)　換気空調系ダクト防護壁（コントロール建屋）

(1)　換気空調系ダクト防護壁（タービン建屋）

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 3
2.3　評価方針 ····· 7
2.4　適用規格・基準等 ····· 8
2.5　記号の説明 ····· 9
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 12
3.　評価部位 ····· 13
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 13
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 13
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 13
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 13
4.2.2　許容応力 ····· 13
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 13
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 17
4.4　固有周期 ····· 19
4.5　設計用地震力 ····· 20
4.6　計算方法 ····· 21
4.6.1　応力の計算方法 ····· 21
4.7　計算条件 ····· 23
4.8　応力の評価 ····· 23
4.8.1　防護鋼板の応力評価 ····· 23
4.8.2　架構の応力評価 ····· 23
4.8.3　アンカボルトの評価 ····· 24
5.　評価結果 ····· 25
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 25
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 25

1. 概要

本計算書は，V-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，換気空調系ダクト防護壁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，下部に設置された上位クラスである海水熱交換器区域換気空調系ダクトに対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

2.　一般事項

2.1　配置概要

換気空調系ダクト防護壁の設置位置を図 2－1 に示す。

換気空調系ダクト防護壁は，上位クラス施設である海水熱交換器区域換気空調系ダクトの上部に設置されており，落下時に海水熱交換器区域換気空調系ダクトに対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

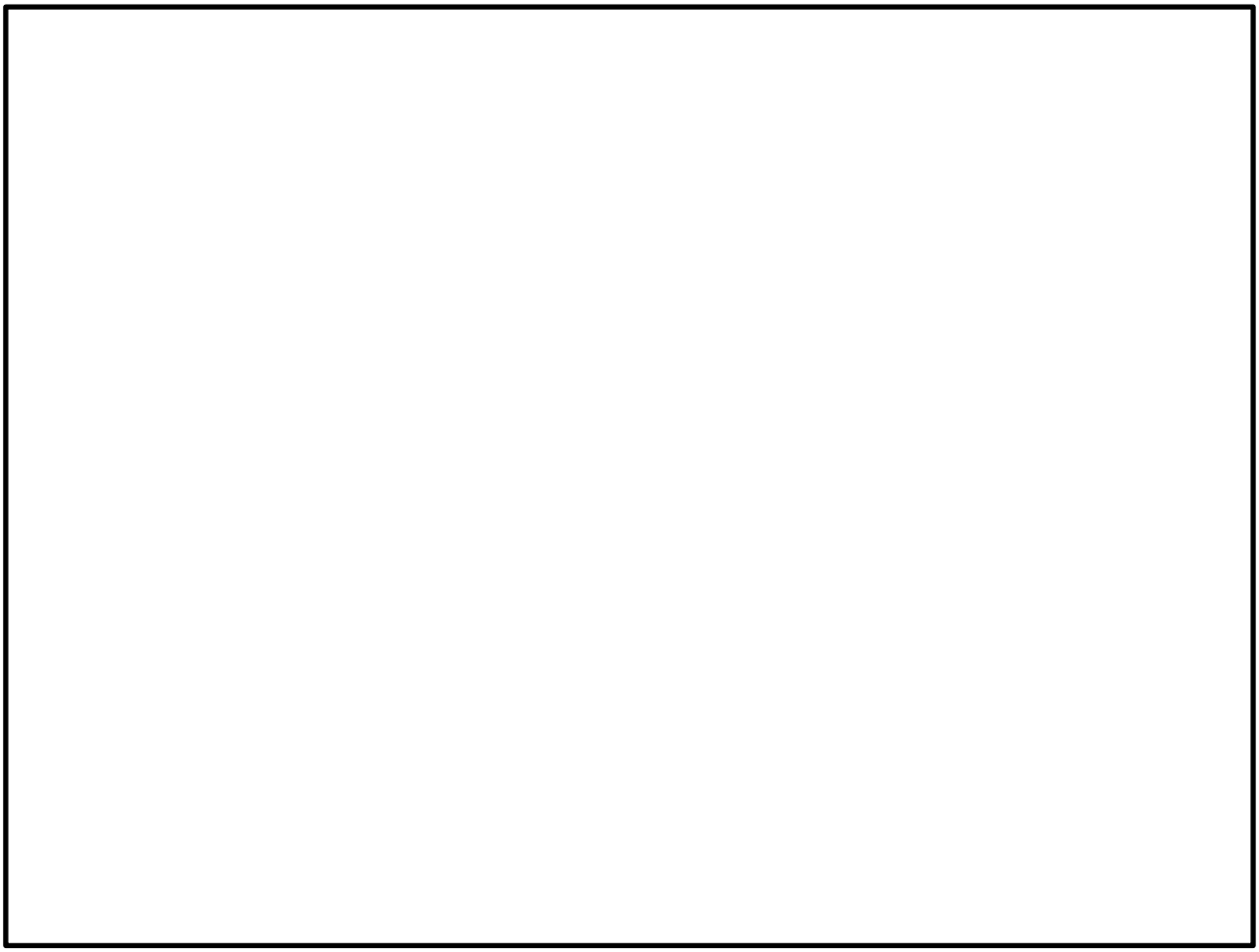
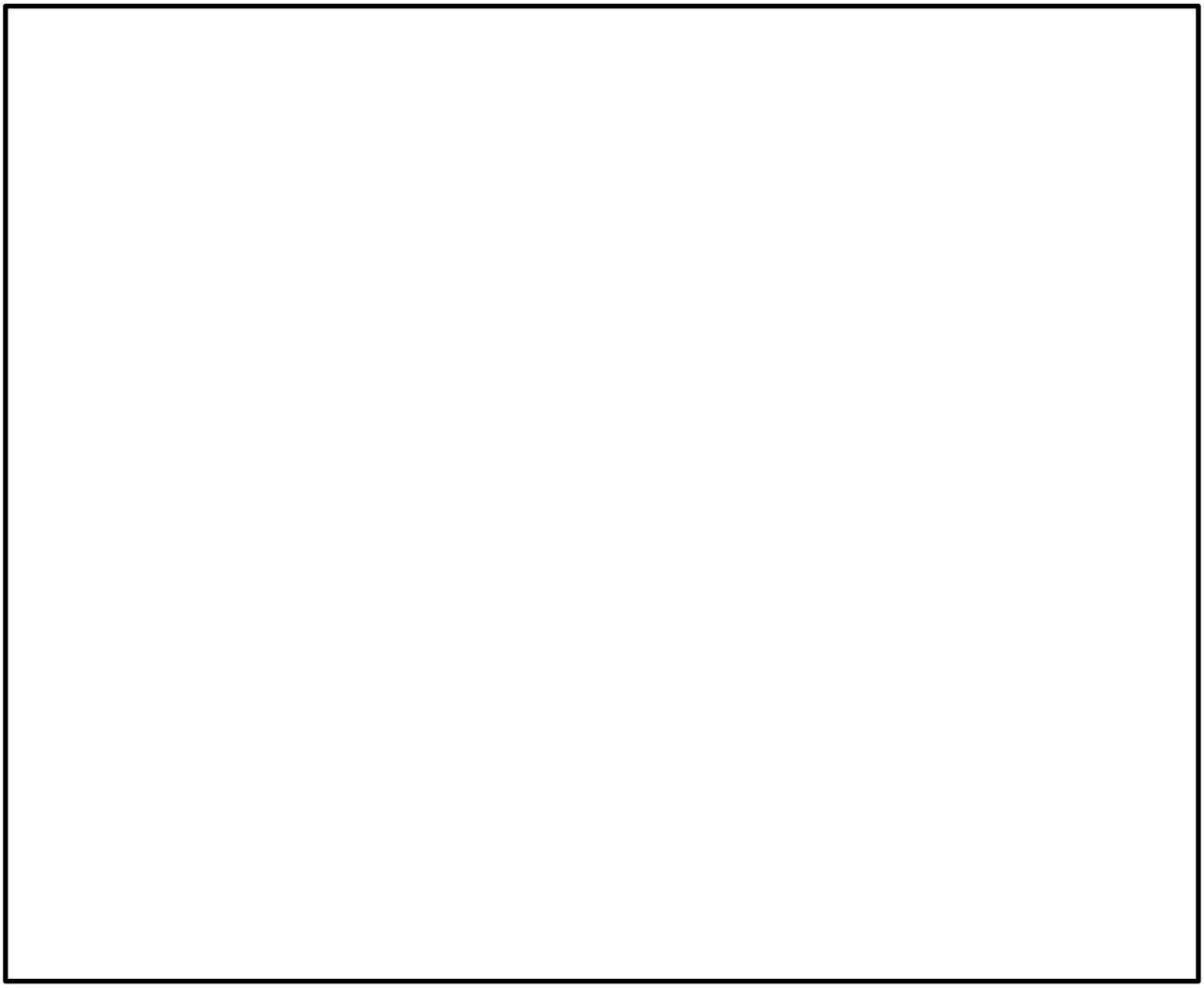


図 2－1（1/2）　換気空調系ダクト防護壁の設置位置図



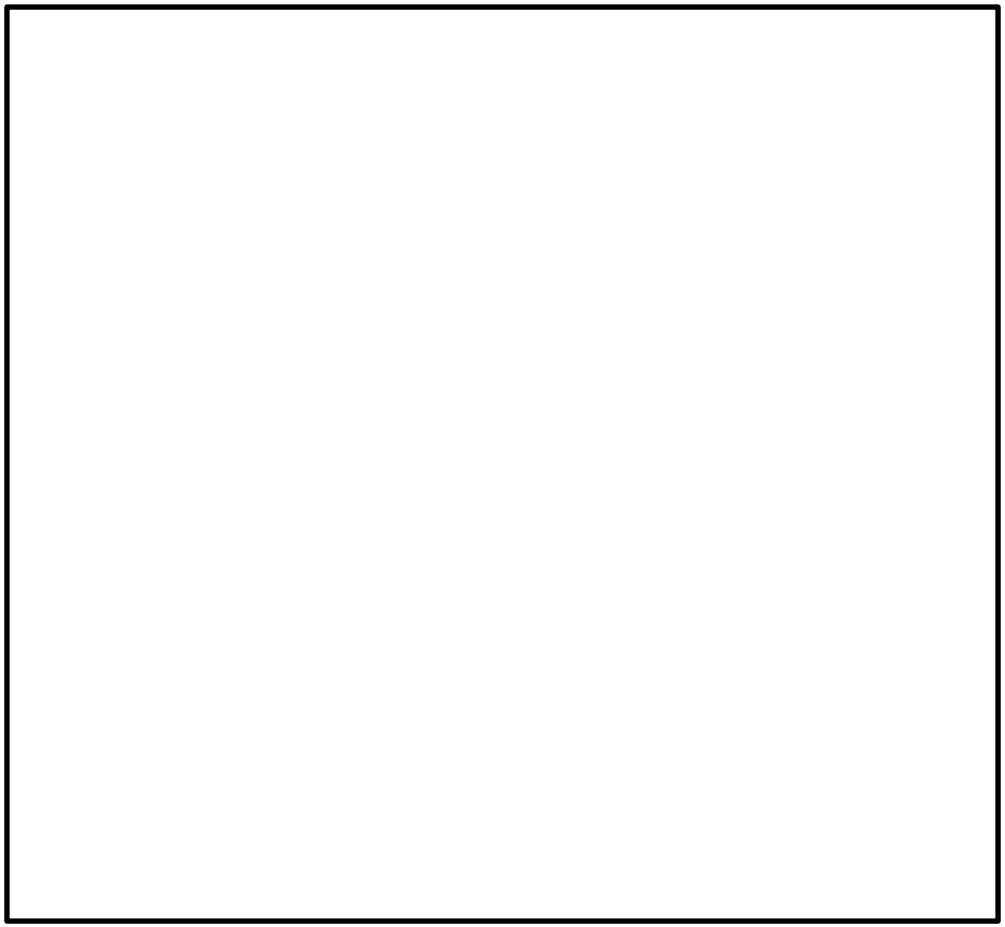
タービン建屋　T.M.S.L.30.9m

図 2－1（2/2）　換気空調系ダクト防護壁の設置位置図

2.2　構造計画

換気空調系ダクト防護壁の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1（1/3）　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は，アンカボルトにより建屋躯体である壁，床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	

（単位：mm）

換気空調系ダクト防護壁（No.66）

表 2－1（2/3）　構造計画

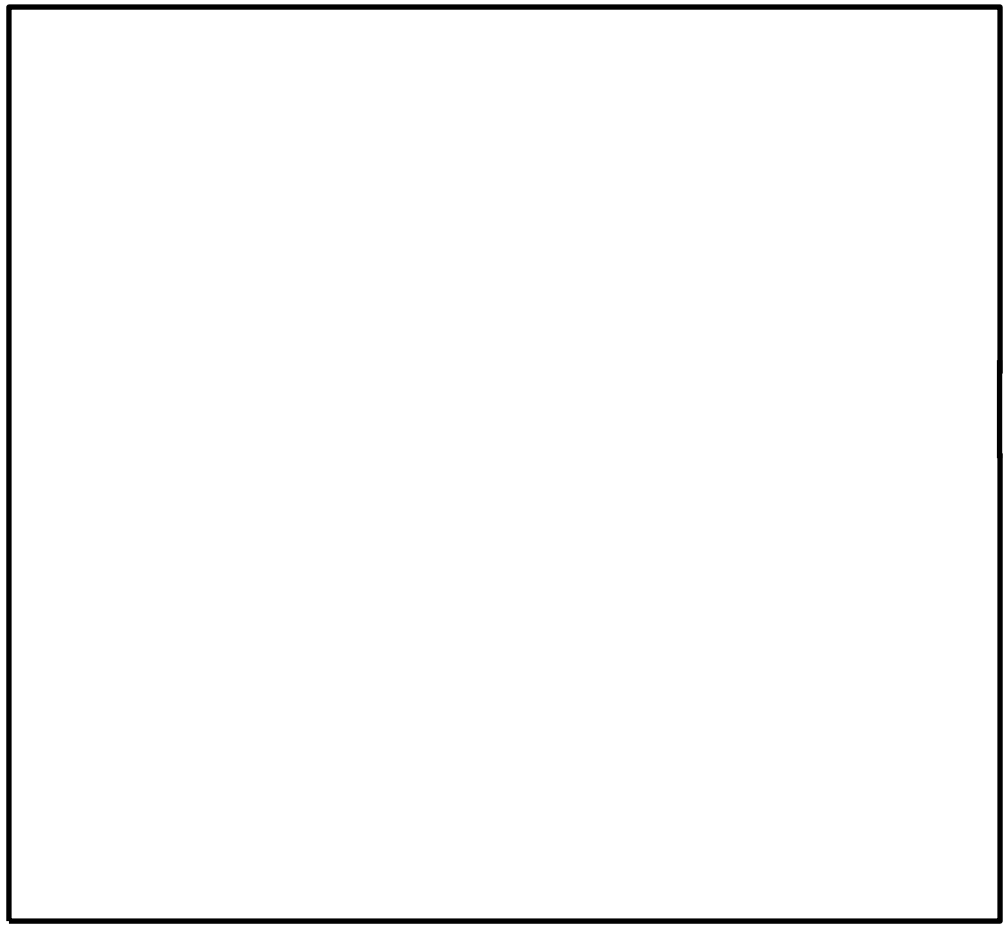
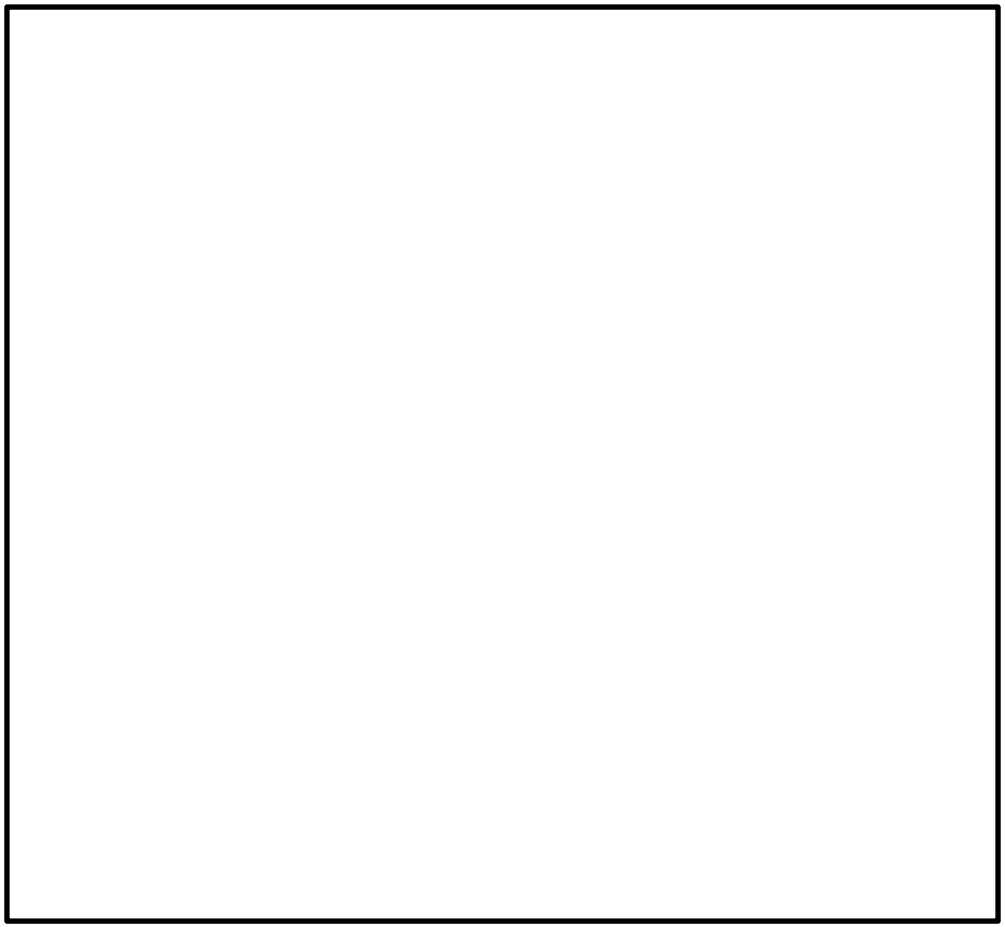
計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は，アンカボルトにより建屋躯体である壁，床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 （単位：mm） 換気空調系ダクト防護壁（No.67）

表 2－1（3/3）　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は，アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 （単位：mm） 換気空調系ダクト防護壁（No.74）

2.3　評価方針

換気空調系ダクト防護壁の応力評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については，「2.2　構造計画」にて示す換気空調系ダクト防護壁の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フローを図 2－2 に示す。

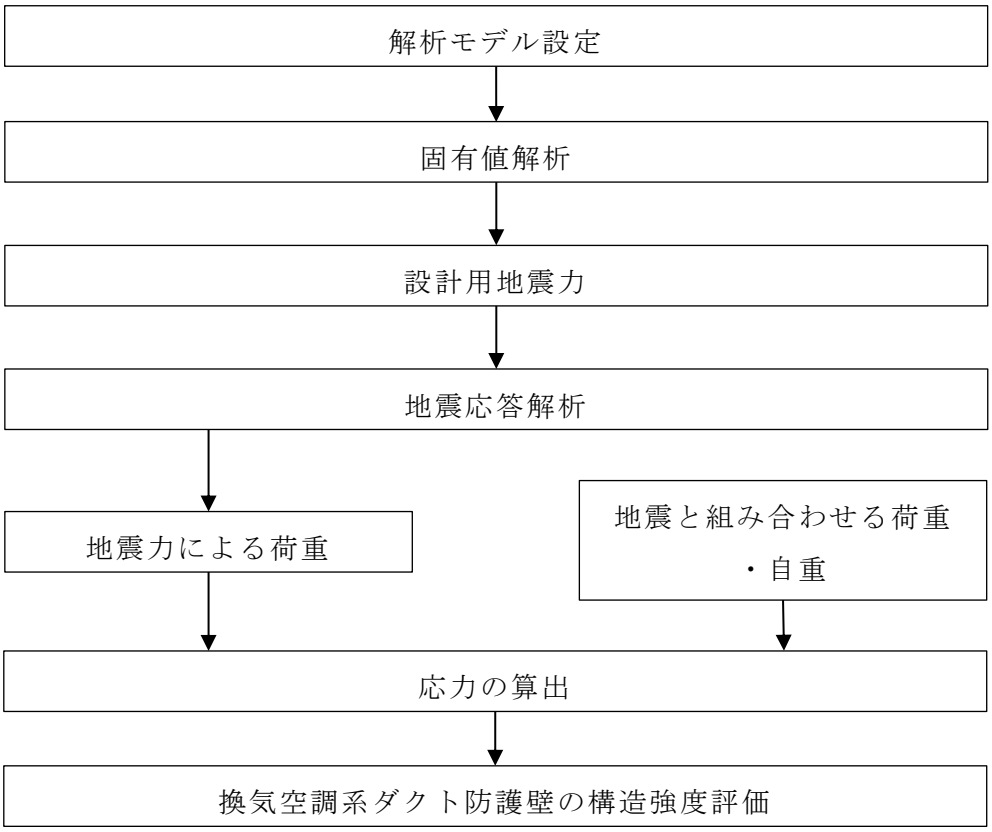


図 2－2　換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（(社) 日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（(社) 日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

・各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010 年改定）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
$_{sc}a$	接着系アンカボルトの断面積	mm^2
A	架構の断面積	mm^2
A_{qc}	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm^2
A_{sy}	架構のせん断断面積（ｙ軸）	mm^2
A_{sz}	架構のせん断断面積（ｚ軸）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1（1）に定める値	MPa
F *	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
f_b	架構の許容曲げ応力	MPa
f_c	架構の許容圧縮応力	MPa
f_s	架構の許容せん断応力	MPa
f_t	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
J	架構の極断面係数	mm^3
j_y	脚部の応力中心間距離（ｙ軸）	mm
j_z	脚部の応力中心間距離（ｚ軸）	mm
L	アンカボルト中心と架構の離隔距離	mm
L_{ce}	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
L_e	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
M_x	架構の曲げモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_y	架構の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_z	架構の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_{bx}	脚部のねじりモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_{by}	脚部の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_{bz}	脚部の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm

記号	記号の説明	単位
m	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
n	架構と壁及び床の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
X,Y,Z	絶対（節点）座標軸	—
x,y,z	局所（要素）座標軸	—
Z_y	架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	架構の断面係数（z軸）	mm^3
Λ	架構の限界細長比	—
λ	架構の有効細長比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ	防護鋼板のミーゼス応力	MPa
n_{fy}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（y軸）	—
n_{fz}	引張偶力を受けるアンカボルトの本数（z軸）	—
N_c	架構の軸力（圧縮）	N
N_t	架構の軸力（引張り）	N
R_x	ベースプレート部の荷重（x軸）	N
R_y	ベースプレート部の荷重（y軸）	N
R_z	ベースプレート部の荷重（z軸）	N
p	接着系アンカボルト1本当たりの引張力	N
p_a	接着系アンカボルト1本当たりの許容引張力	N
p_{a1}	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N
p_{a3}	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
q	接着系アンカボルト1本当たりのせん断力	N
q_a	接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a1}	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a2}	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a3}	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
Q_y	架構のせん断力（ｙ軸）	N
Q_z	架構のせん断力（ｚ軸）	N
ϕ_1	低減係数　長期：2/3　短期：1.0	—
ϕ_2	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
ϕ_3	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
α_n	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数（ｎ＝1,2,3）	—
c_n	へりあき及びボルトピッチの1/2（ｎ＝1,2,3）	—
${}_c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
${}_c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{pa}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{qa}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
σ_b	架構に生じる曲げ応力	MPa
σ_{by}	架構に生じる曲げ応力（ｙ軸）	MPa
σ_{bz}	架構に生じる曲げ応力（ｚ軸）	MPa
σ_c	架構に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	架構に生じる引張応力	MPa
τ_a	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
τ_{bavg}	ボルトの基本平均付着強度	MPa
τ_k	架構に生じるせん断応力	MPa
τ_y	架構に生じるせん断応力（ｙ軸）	MPa
τ_z	架構に生じるせん断応力（ｚ軸）	MPa

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりとする。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

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

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

＊4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3.　評価部位

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，落下により，海水熱交換器区域換気空調系ダクトが損傷することを防止するため，防護鋼板，架構及びアンカボルトについて実施する。換気空調系ダクト防護壁の耐震評価部位については，表 2－1 の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　換気空調系ダクト防護壁の架構は，アンカボルトにより建屋躯体である壁，床に固定されるものとする。

(2)　地震力は，換気空調系ダクト防護壁に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

換気空調系ダクト防護壁の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－2 に示す。

4.2.2　許容応力

換気空調系ダクト防護壁の許容応力は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4－3 に示す。

アンカボルトの許容応力は，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010 年改定)」に基づき，算出したものを許容応力とする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

換気空調系ダクト防護壁の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－5 に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4－3　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 （ボルト等以外）			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

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

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

表 4－4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
防護鋼板	SS400	周囲環境温度	40	—			—
架構	SS400	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400	周囲環境温度	40	—			—

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
防護鋼板	SS400	周囲環境温度	40	—			—
架構	SS400	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SS400	周囲環境温度	40	—			—

4.3　解析モデル及び諸元

換気空調系ダクト防護壁の解析モデルを図 4－1 に,解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　換気空調系ダクト防護壁を構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。

(2)　拘束条件は，架構の壁及び床への取付部を完全固定とする。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。

(3)　解析コード「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

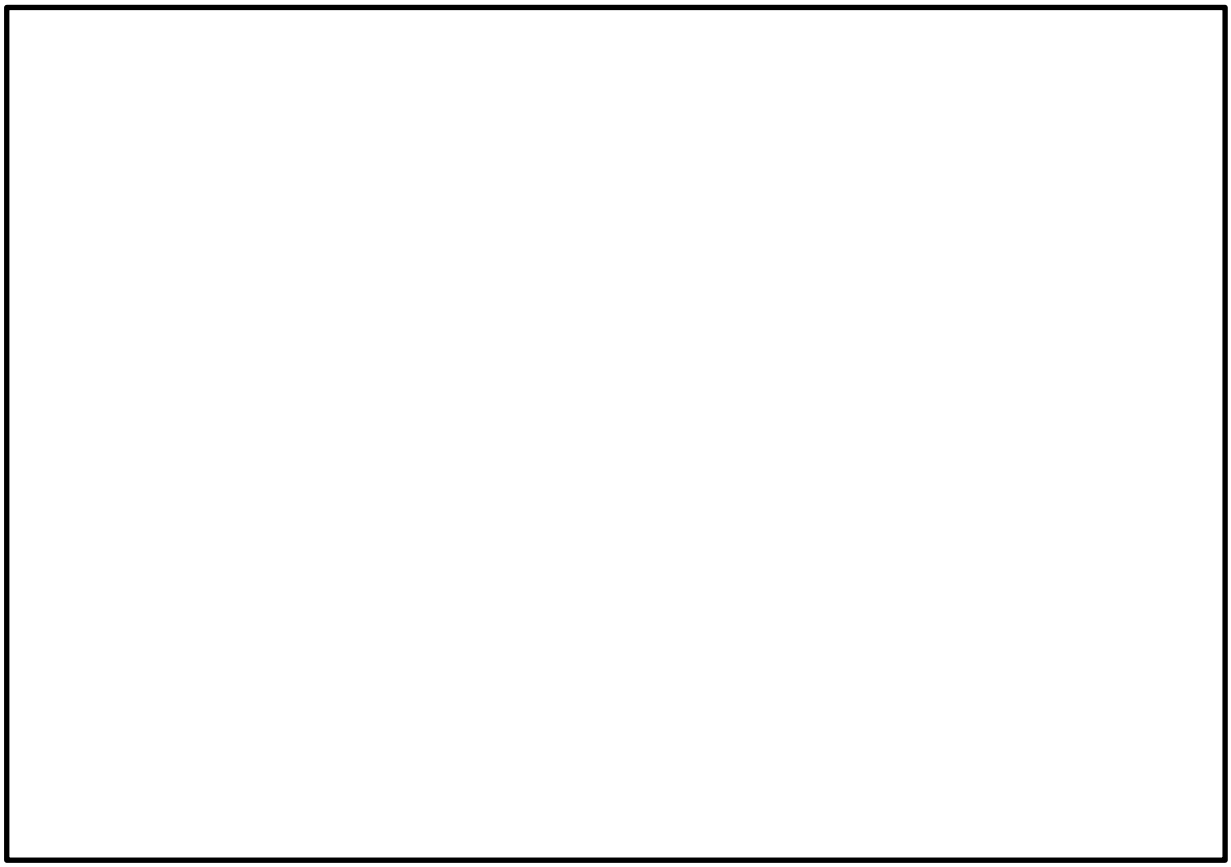


図 4－1（1/3）　換気空調系ダクト防護壁（No.66）の解析モデル

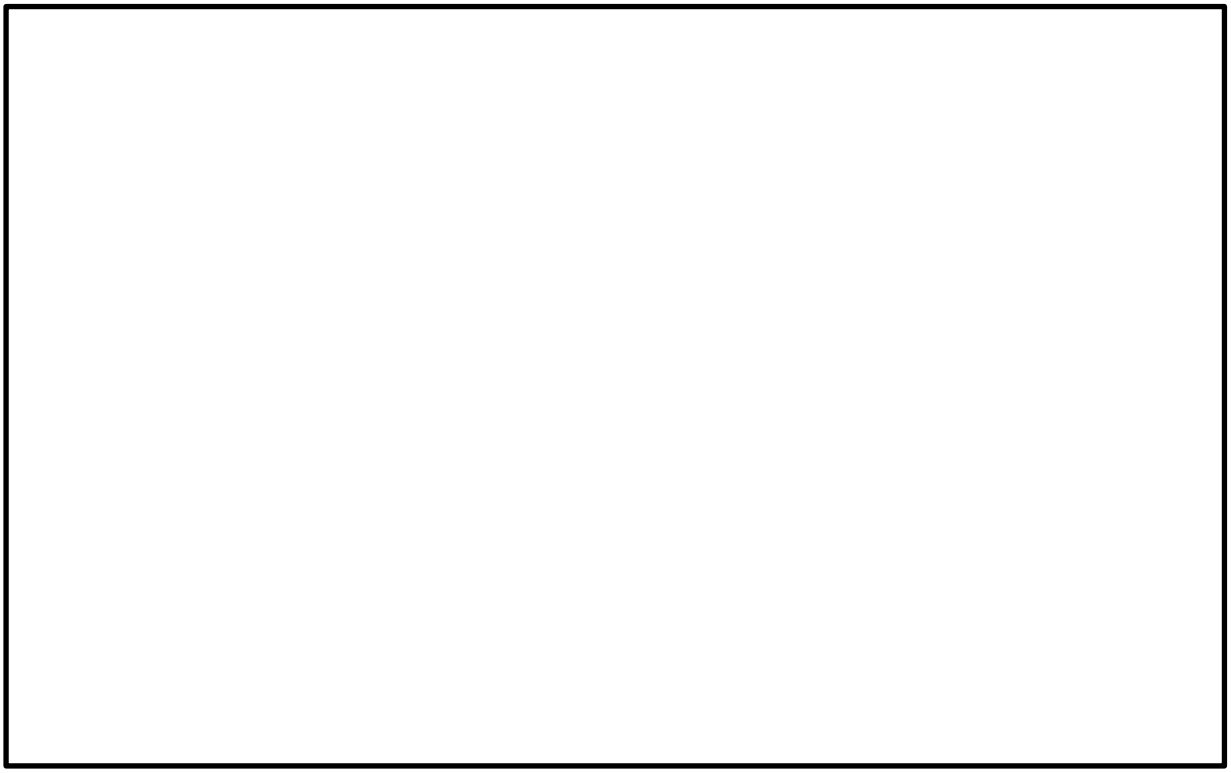


図 4－1（2/3）　換気空調系ダクト防護壁（No.67）の解析モデル

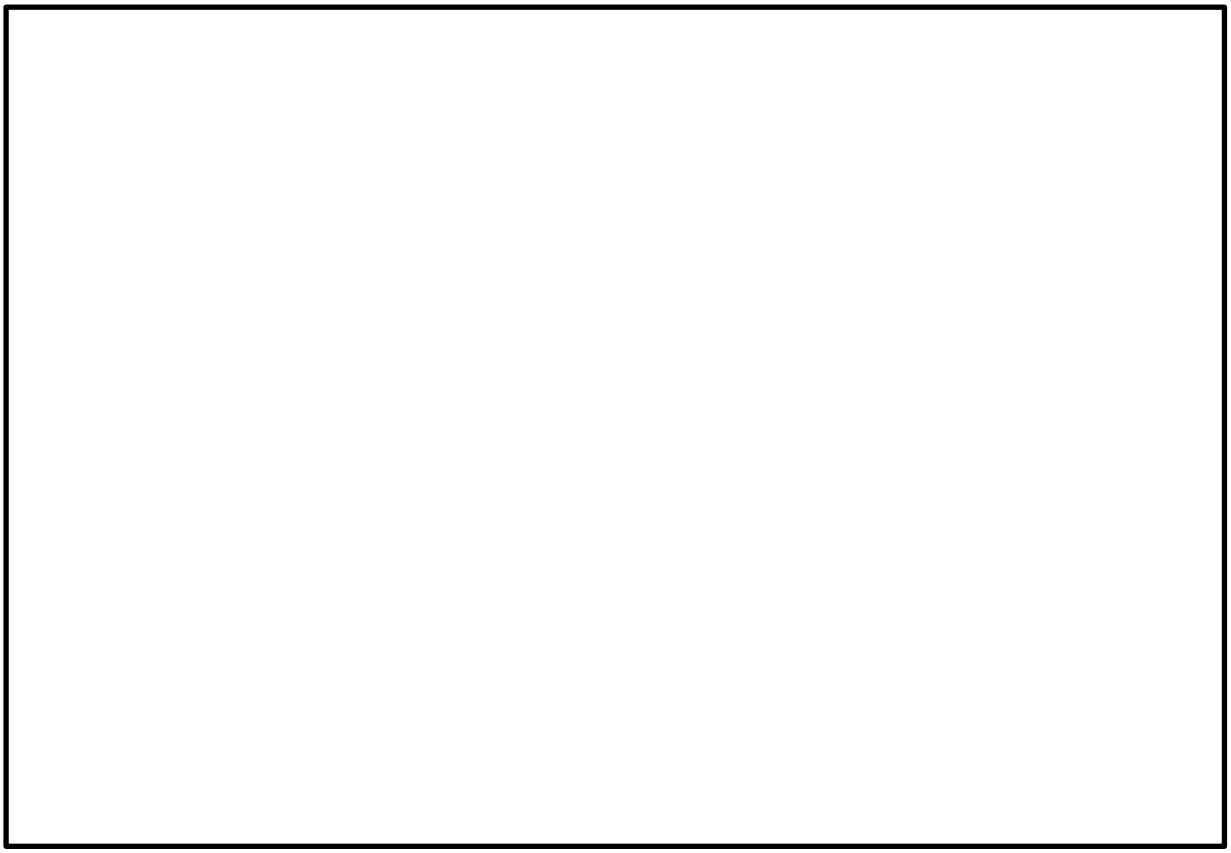


図 4－1（3/3）　換気空調系ダクト防護壁（No.74）の解析モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－6 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4－6（1/3）　固有値解析結果（No.66）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Y方向	
1	水平	0.036	―	―	―
4	鉛直	0.032	―	―	―

表 4－6（2/3）　固有値解析結果（No.67）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Y方向	
1	鉛直	0.022	―	―	―
5	水平	0.018	―	―	―

表 4－6（3/3）　固有値解析結果（No.74）

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Y方向	
1	水平	0.033	―	―	―
2	鉛直	0.031	―	―	―

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－7 及び表 4－8 に示す。

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

表 4－7　設計用地震力（設計基準対象施設）

No.	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
		水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
66	7 号機タービン建屋 T.M.S.L.38.6 (T.M.S.L.31.7*)	0.036	0.032	C_H＝3.26	C_V＝1.94
67	7 号機タービン建屋 T.M.S.L.38.6 (T.M.S.L.31.7*)	0.018	0.022	C_H＝3.26	C_V＝1.94
74	7 号機タービン建屋 T.M.S.L.12.3 (T.M.S.L.12.3*)	0.033	0.031	C_H＝1.23	C_V＝0.95

注記＊：基準床レベルを示す。

表 4－8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

No.	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
		水平方向	鉛直方向	水平方向設計震度	鉛直方向設計震度
66	7 号機タービン建屋 T.M.S.L.38.6 (T.M.S.L.31.7*)	0.036	0.032	C_H＝3.26	C_V＝1.94
67	7 号機タービン建屋 T.M.S.L.38.6 (T.M.S.L.31.7*)	0.018	0.022	C_H＝3.26	C_V＝1.94
74	7 号機タービン建屋 T.M.S.L.12.3 (T.M.S.L.12.3*)	0.033	0.031	C_H＝1.23	C_V＝0.95

注記＊：基準床レベルを示す。

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

(1)　防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は，解析による計算で得られる各要素でのミーゼス応力σとする。

(2)　架構の応力

架構の応力は，解析による計算で得られる各要素端での軸力N_t，N_c，せん断力Q_y，Q_z及び曲げモーメントM_x，M_y，M_zにより各応力を次のように求める。

a.　引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

b.　せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \ \tau_z)$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{sy}} + \frac{M_x}{J}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{sz}} + \frac{M_x}{J}$$

c.　曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{by} + \sigma_{bz}$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

d.　組合せ応力

(a)　圧縮又は引張り＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*} + \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by}}{1.5f_b^*} \ , \ \frac{\sigma_{bz} + \sigma_{by} - \sigma_c}{1.5f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合はσ_cを$-\sigma_t$に，f_c^*をf_b^*とする。

(b)　圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断

$$\max\left(\sqrt{\left(\sigma_c + \sigma_{by} + \sigma_{bz}\right)^2 + 3\tau_y^2} \ , \ \sqrt{\left(\sigma_c + \sigma_{by} + \sigma_{bz}\right)^2 + 3\tau_z^2}\right)$$

引張軸力の場合はσ_cをσ_tとする。

(3)　アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は，解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端に生じる荷重R_x，R_y，R_z，ねじりモーメントM_{bx}及び曲げモーメントM_{by}，M_{bz}により各荷重を次のように求める。

a.　引張荷重

$$p = R_x/n + M_{by}/(j_y \cdot n_{fy}) + M_{bz}/(j_z \cdot n_{fz})$$

b.　せん断荷重

$$q = \sqrt{R_y^2 + R_z^2} + M_{bx}/(L \cdot n)$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.2　架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力は f_t 以下，又は，応力比の場合は 1 以下であること。

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

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i}$$

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

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

4.8.3　アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重ｐ及びせん断荷重ｑが許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が１以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張力 p_a	$\min[p_{a1},\ p_{a3}]$
許容せん断力 q_a	$\min[q_{a1},\ q_{a2},\ q_{a3}]$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2\leqq 1$

ただし，

$p_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{pa}\cdot {}_{sc}a$

$p_{a3}=\phi_3\cdot \tau_a\cdot \pi\cdot d\cdot L_{ce}$

$q_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{qa}\cdot {}_{sc}a$

$q_{a2}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_{qa}\cdot {}_{sc}a$

$q_{a3}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_t\cdot A_{qc}$

ここで，

低減係数 ϕ_1，ϕ_2，ϕ_3は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，以下の表のとおり。

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$\tau_a=\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3\cdot\tau_{bavg}$

$\alpha_n=0.5\left(\frac{c_n}{L_e}\right)+0.5$　（ｎ＝1,2,3）

なお，（c_n／L_e）≧1.0の場合は，（c_n／L_e）＝1.0，L_e≧10ｄの場合は，L_e＝10ｄとする。

ボルトの基本平均付着強度 τ_{bavg}は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，カプセル方式・有機系の$10\sqrt{F_c/21}$とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さL_eは以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geqq \frac{{}_s\sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

換気空調系ダクト防護壁（No.66,No.67,No.74）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため，記載を省略する。

【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ss		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
換気空調系ダクト防護壁 (No.66)	C	タービン建屋 T.M.S.L.38.6 (T.M.S.L. 31.7*)	0.036	0.032	C_H=3.26	C_V=1.94	—	40
換気空調系ダクト防護壁 (No.67)	C	タービン建屋 T.M.S.L.38.6 (T.M.S.L. 31.7*)	0.018	0.022	C_H=3.26	C_V=1.94	—	40
換気空調系ダクト防護壁 (No.74)	C	タービン建屋 T.M.S.L.12.3 (T.M.S.L. 12.3*)	0.033	0.031	C_H=1.23	C_V=0.95	—	40

注記＊：基準床レベルを示す。

1.2 機器要目

m (kg)			d (mm)	$_{sc}a$ (mm^2)	n	n_{fy}		n_{fz}		L	j_x			j_y		
No.66	No.67	No.74				No.66	No.67,74	No.66	No.67,74		No.66	No.67	No.74	No.66	No.67	No.74

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
防護鋼板	SS400					—	—
架構	SS400					—	—
アンカボルト	SS400			—	—		

No.	材料	E (MPa)	ν ,	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	要素番号
No. 66	SS400	202000	0.3				30001, 30102
No. 67	SS400	202000	0.3				30029, 30108
No. 74	SS400	202000	0.3				30004
							30298

	No. 66	No. 67	No. 74	
	要素番号	要素番号	要素番号	
	30001, 30003, 30102	30029, 30107, 30108	30002, 30004	30298, 30301
材料				
A (mm^2)				
A_{sy} (mm^2)				
A_{sz} (mm^2)				
Z_y (mm^3)				
Z_z (mm^3)				
J (mm^3)				

1.3 計算数値

1.3.1 防護鋼板の応力 (単位：MPa)

No.	要素番号	節点番号	σ
			基準地震動Ｓｓ
66	44012	－	
67	41226	－	
74	48015	－	

1.3.2 架構の荷重 (単位：N)

No.	要素番号	節点番号	N_t	N_c	Q_y	Q_z
			基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
66	30001	－				
	30003	－				
	30102	－				
67	30002	－				
	30029	－				
	30107	－				
	30108	－				
74	30002	－				
	30004	－				
	30298	－				
	30301	－				

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構のモーメント （単位：N･mm）

No.	要素番号	節点番号	M_x	M_y	M_z
			基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
66	30001	－			
	30003	－			
	30102	－			
67	30002	－			
	30029	－			
	30107	－			
	30108	－			
74	30002	－			
	30004	－			
	30298	－			
	30301	－			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.4 アンカボルトの荷重 （単位：N）

No.	要素番号	節点番号	R_x	R_y	R_z
			基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
66	－	5,6			
67	－	1			
74	－	2			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.5　脚部のモーメント　　(単位：N･mm)

No.	要素番号	節点番号	M_{bx}	M_{by}	M_{bz}
			基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
66	－	5,6			
67	－	1			
74	－	2			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.6　アンカボルトに作用する力　　(単位：N)

No.	要素番号	節点番号	p	q
			基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
66	－	5,6		
67	－	1		
74	－	2		

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　(単位：s)

No.	モード	方向	固有周期
66	1	水平	0.036
	4	鉛直	0.032
67	1	鉛直	0.022
	5	水平	0.018
74	1	水平	0.033
	2	鉛直	0.031

1.4.2 応力

（単位：MPa）

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動Ｓｓ		備考
						算出応力	許容応力	
No.66	防護鋼板	SS400	組合せ	44012	－			
	架構	SS400	引張り	30102	－			
			圧縮	30102	－			
			せん断	30003	－			
			曲げ	30001	－			
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ）	30001	－			単位：なし
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断）	30001	－			
	アンカボルト	SS400	引張り	－	5,6			単位：N
			せん断	－	5,6			単位：N
			組合せ（引張り＋せん断）	－	5,6			単位：なし

すべて許容応力以下である。

（単位：MPa）

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動Ｓｓ		備考
						算出応力	許容応力	
No.67	防護鋼板	SS400	組合せ	41226	－			
	架構	SS400	引張り	30029	－			
			圧縮	30029	－			
			せん断	30002	－			
			曲げ	30107	－			
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ）	30108	－			単位：なし
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断）	30108	－			
	アンカボルト	SS400	引張り	－	1			単位：N
			せん断	－	1			単位：N
			組合せ（引張り＋せん断）	－	1			単位：なし

すべて許容応力以下である。

（単位：MPa）

	部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動Ｓｓ		備考
						算出応力	許容応力	
No.74	防護鋼板	SS400	組合せ	48015	－			
	架構	SS400	引張り	30298	－			
			圧縮	30298	－			
			せん断	30004	－			
			曲げ	30002	－			
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ）	30301	－			単位：なし
			組合せ（圧縮又は引張り＋曲げ＋せん断）	30004	－			
	アンカボルト	SS400	引張り	－	2			単位：N
			せん断	－	2			単位：N
			組合せ（引張り＋せん断）	－	2			単位：なし

すべて許容応力以下である。

(2)　換気空調系ダクト防護壁（コントロール建屋）

目　　次

1.　概要 ····· 1
2.　一般事項 ····· 2
2.1　配置概要 ····· 2
2.2　構造計画 ····· 2
2.3　評価方針 ····· 4
2.4　適用規格・基準等 ····· 5
2.5　記号の説明 ····· 6
2.6　計算精度と数値の丸め方 ····· 9
3.　評価部位 ····· 10
4.　地震応答解析及び構造強度評価 ····· 10
4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法 ····· 10
4.2　荷重の組合せ及び許容応力 ····· 10
4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態 ····· 10
4.2.2　許容応力 ····· 10
4.2.3　使用材料の許容応力評価条件 ····· 10
4.3　解析モデル及び諸元 ····· 14
4.4　固有周期 ····· 15
4.5　設計用地震力 ····· 16
4.6　計算方法 ····· 17
4.6.1　応力の計算方法 ····· 17
4.7　計算条件 ····· 19
4.8　応力の評価 ····· 19
4.8.1　防護鋼板の応力評価 ····· 19
4.8.2　架構の応力評価 ····· 19
4.8.3　アンカボルトの評価 ····· 20
5.　評価結果 ····· 21
5.1　設計基準対象施設としての評価結果 ····· 21
5.2　重大事故等対処設備としての評価結果 ····· 21

1. 概要

本計算書は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」にて設定している耐震評価方針に基づき，換気空調系ダクト防護壁が設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認することで，下部に設置された上位クラスであるコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等に対して，波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

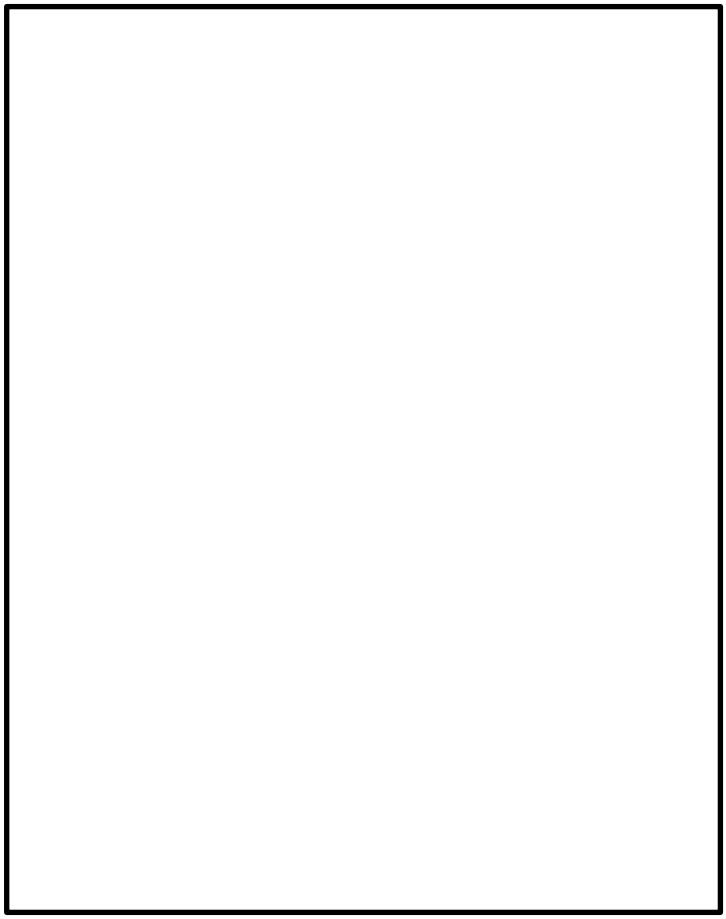
2.　一般事項

2.1　配置概要

換気空調系ダクト防護壁の設置位置を図 2－1 に示す。

換気空調系ダクト防護壁は，上位クラス施設であるコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等の上部に設置されており，落下時にコントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等に対して波及的影響を及ぼすおそれがある。

本資料では，図2－1に示す施設のうち，代表として換気空調系ダクト防護壁（No.9）について示す。なお，換気空調系ダクト防護壁（No.10）の評価結果については，「【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】1.4.3　No.10の評価結果」にて示す。



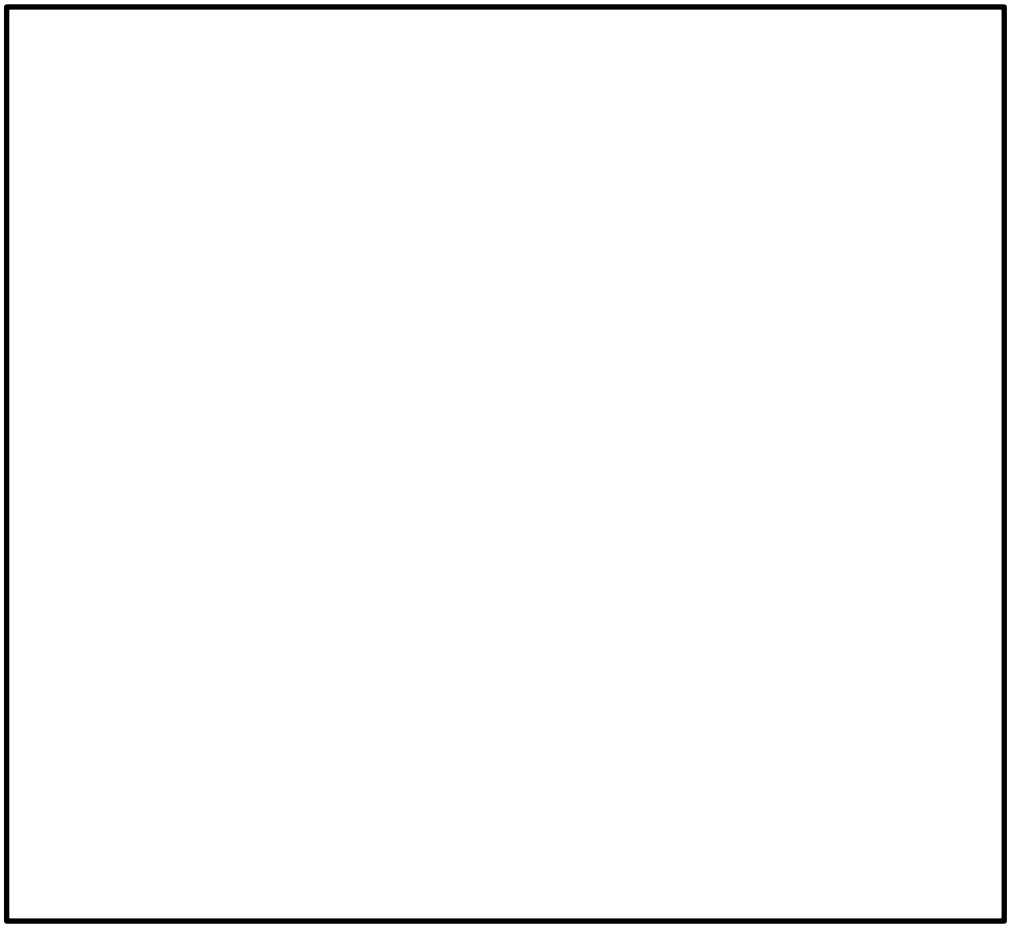
コントロール建屋　T.M.S.L.24.1m

図 2－1　換気空調系ダクト防護壁の設置位置図

2.2　構造計画

換気空調系ダクト防護壁の構造計画を表 2－1 に示す。

表 2－1　構造計画

計画の概要		概略構造図
基礎・支持構造	主体構造	
換気空調系ダクト防護壁は，アンカボルトにより建屋躯体である床に固定される。	防護鋼板及び架構により構成する。	 （単位：mm） 換気空調系ダクト防護壁（No.9）

2.3　評価方針

換気空調系ダクト防護壁の応力評価は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に従い実施する。

評価については，「2.2　構造計画」にて示す換気空調系ダクト防護壁の部位を踏まえ，「3.　評価部位」にて設定する箇所において，「4.3　解析モデル及び諸元」及び「4.4 固有周期」で算出した固有周期に基づく設計用地震力による応力等が許容限界内に収まることを，「4.　地震応答解析及び構造強度評価」にて示す方法にて確認することで実施する。確認結果を「5.　評価結果」に示す。

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フローを図 2－2 に示す。

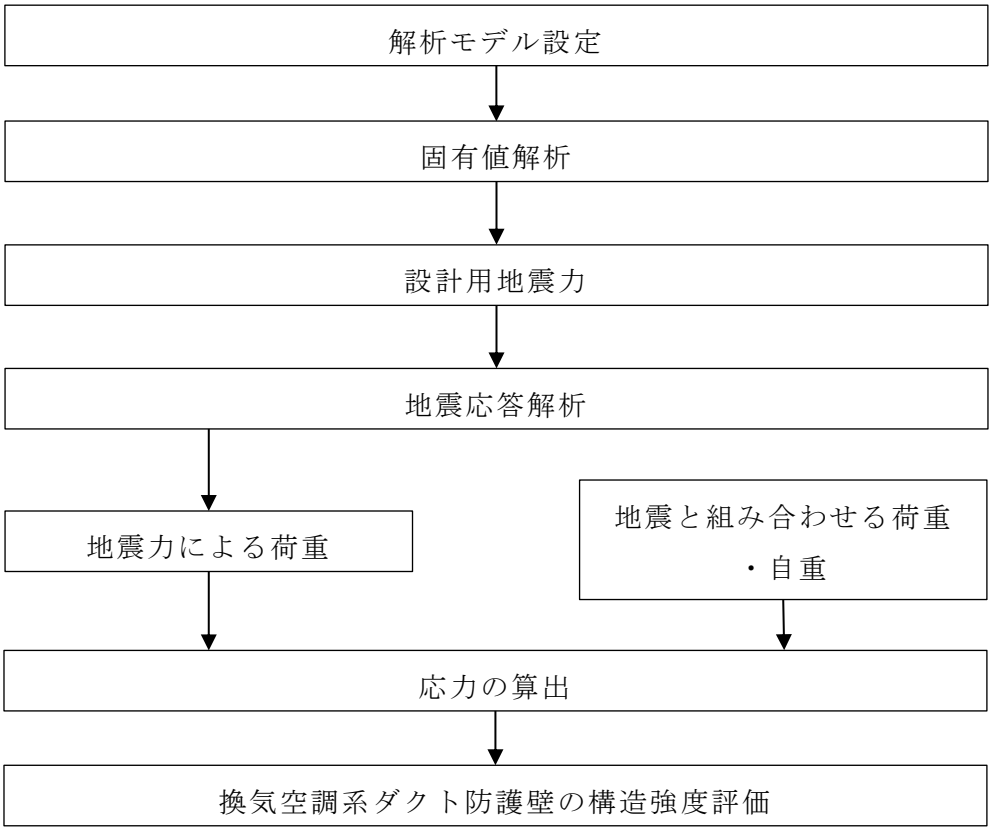


図 2－2　換気空調系ダクト防護壁の耐震評価フロー

2.4　適用規格・基準等

本評価において適用する規格・基準等を以下に示す。

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

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1987（(社) 日本電気協会）

・原子力発電所耐震設計技術指針　ＪＥＡＧ４６０１-1991　追補版（(社) 日本電気協会）

・発電用原子力設備規格　設計・建設規格（(社) 日本機械学会，2005/2007）（以下「設計・建設規格」という。）

・各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010 年改定）

2.5　記号の説明

記号	記号の説明	単位
$_{sc}a$	接着系アンカボルトの断面積	mm^2
A	架構の断面積	mm^2
A_{qc}	せん断力に対するコーン状破壊面の有効投影面積	mm^2
A_s	鋼板の単位長さ当たりの断面積	mm^2
A_{sy}	架構のせん断断面積（ｙ軸）	mm^2
A_{sz}	架構のせん断断面積（ｚ軸）	mm^2
C_H	水平方向設計震度	—
C_V	鉛直方向設計震度	—
d	接着系アンカボルトの径	mm
E	縦弾性係数	MPa
F	設計・建設規格　SSB-3121.1（1）に定める値	MPa
F^*	設計・建設規格　SSB-3121.3又はSSB-3133に定める値	MPa
F_{sx}	防護鋼板の膜力（ｘ軸）	N
F_{sy}	防護鋼板の膜力（ｙ軸）	N
F_{sxy}	防護鋼板のせん断力	N
f_b	架構の許容曲げ応力	MPa
f_c	架構の許容圧縮応力	MPa
f_s	架構の許容せん断応力	MPa
f_t	架構又は防護鋼板の許容引張応力	MPa
i	断面二次半径	mm
ℓ_k	座屈長さ	mm
L_{ce}	接着系アンカボルトの強度算定用埋込み長さ	mm
L_e	接着系アンカボルトの有効埋込み長さ	mm
M_y	架構の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_z	架構の曲げモーメント（ｚ軸）	N･mm
M_{sx}	防護鋼板の曲げモーメント（ｘ軸）	N･mm
M_{sy}	防護鋼板の曲げモーメント（ｙ軸）	N･mm
M_{sxy}	防護鋼板のねじりモーメント	N･mm

記号	記号の説明	単位
m	解析モデル各節点の付加質量の合計	kg
n	架構と床の取付部1箇所当たりのアンカボルトの本数	—
n_f	評価上引張力を受けるとして期待するアンカボルトの本数	—
S	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表5に定める値	MPa
S_u	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表9に定める値	MPa
S_y	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める値	MPa
S_y（RT）	設計・建設規格　付録材料図表　Part5　表8に定める材料の40℃における値	MPa
X,Y,Z	絶対（節点）座標軸	—
x,y,z	局所（要素）座標軸	—
Z_b	鋼板の断面係数	mm^3
Z_y	架構の断面係数（y軸）	mm^3
Z_z	架構の断面係数（z軸）	mm^3
Z_t	鋼板のねじり断面係数	mm^3
Λ	架構の限界細長比	—
λ	架構の有効細長比	—
ν'	座屈に対する安全率	—
π	円周率	—
σ	防護鋼板の組合せ応力	MPa
σ_x，σ_y	互いに直交する垂直応力	MPa
N_c	架構の軸力（圧縮）	N
N_t	架構の軸力（引張り）	N
R_x	ベースプレート部の反力（x軸）	N
R_y	ベースプレート部の反力（y軸）	N
R_z	ベースプレート部の反力（z軸）	N
p	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの引張力	N
p_a	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容引張力	N
p_{a1}	接着系アンカボルトの降伏により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N
p_{a3}	接着系アンカボルトの付着力により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容引張応力	N

記号	記号の説明	単位
q	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトのせん断力	N
q_a	ベースプレート1枚当たりの接着系アンカボルトの許容せん断力	N
q_{a1}	接着系アンカボルトのせん断強度により決まる場合のアンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a2}	定着した躯体の支圧強度により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
q_{a3}	定着した躯体のコーン状破壊により決まる場合の接着系アンカボルト1本当たりの許容せん断力	N
Q_y	架構のせん断力（ｙ軸）	N
Q_z	架構のせん断力（ｚ軸）	N
ϕ_1	低減係数　長期：2/3　短期：1.0	—
ϕ_2	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
ϕ_3	低減係数　長期：1/3　短期：2/3	—
α_n	へりあき及びボルトピッチによる付着強度の低減係数（ｎ＝1,2,3）	—
c_n	へりあき及びボルトピッチの1/2（ｎ＝1,2,3）	—
${}_c\sigma_{qa}$	コンクリートの支圧強度	MPa
${}_c\sigma_t$	コーン状破壊に対するコンクリートの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{pa}$	接着系アンカボルトの引張強度	MPa
${}_s\sigma_{qa}$	接着系アンカボルトのせん断強度	MPa
σ_b	架構に生じる曲げ応力	MPa
σ_{by}	架構に生じる曲げ応力（ｙ軸）	MPa
σ_{bz}	架構に生じる曲げ応力（ｚ軸）	MPa
σ_c	架構に生じる圧縮応力	MPa
σ_t	架構に生じる引張応力	MPa
τ	防護鋼板に生じるせん断応力	MPa
τ_a	へりあき及びアンカボルトのピッチを考慮した接着系アンカボルトの引張力に対する付着力	MPa
τ_{bavg}	ボルトの基本平均付着強度	MPa
τ_k	架構に生じるせん断応力	MPa
τ_y	架構に生じるせん断応力（ｙ軸）	MPa
τ_z	架構に生じるせん断応力（ｚ軸）	MPa

2.6　計算精度と数値の丸め方

精度は，有効数字6桁以上を確保する。

表示する数値の丸め方は表2－2に示すとおりとする。

表2－2　表示する数値の丸め方

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

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

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

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

＊4：絶対値が1000以上のときはべき数表示とする。

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

3.　評価部位

換気空調系ダクト防護壁の耐震評価は，「4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法」に示す条件に基づき，落下により，コントロール建屋計測制御電源盤区域換気空調系ダクト等が損傷することを防止するため，防護鋼板，架構及びアンカボルトについて実施する。換気空調系ダクト防護壁の耐震評価部位については，表 2－1 の概略構造図に示す。

4.　地震応答解析及び構造強度評価

4.1　地震応答解析及び構造強度評価方法

(1)　換気空調系ダクト防護壁の架構は，アンカボルトにより建屋躯体である床に固定されるものとする。

(2)　地震力は，換気空調系ダクト防護壁に対して水平方向及び鉛直方向から個別に作用するものとし，作用する荷重の算出において組み合わせるものとする。

(3)　耐震計算に用いる寸法は，公称値を使用する。

4.2　荷重の組合せ及び許容応力

4.2.1　荷重の組合せ及び許容応力状態

換気空調系ダクト防護壁の荷重の組合せ及び許容応力状態のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－1 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－2 に示す。

4.2.2　許容応力

換気空調系ダクト防護壁の許容応力は，Ⅴ-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき表 4－3 に示す。

アンカボルトの許容応力は，「各種合成構造設計指針・同解説（(社) 日本建築学会　2010 年改定)」に基づき，算出したものを許容応力とする。

4.2.3　使用材料の許容応力評価条件

換気空調系ダクト防護壁の使用材料の許容応力評価条件のうち設計基準対象施設の評価に用いるものを表 4－4 に，重大事故等対処設備の評価に用いるものを表 4－5 に示す。

表 4－1　荷重の組合せ及び許容応力状態（設計基準対象施設）

施設区分	機器名称	耐震重要度分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	C	—*	$D+P_D+M_D+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4－2　荷重の組合せ及び許容応力状態（重大事故等対処設備）

施設区分	機器名称	設備分類	機器等の区分	荷重の組合せ	許容応力状態
その他	換気空調系ダクト防護壁	—	—*	$D+P_{SAD}+M_{SAD}+S_s$	$Ⅳ_AS$

注記＊：その他の支持構造物の荷重の組合せ及び許容応力状態を適用する。

表 4－3　許容応力（その他支持構造物）

許容応力状態	許容限界*1,*2 （ボルト等以外）			
	一次応力			
	引張り	せん断	圧縮	曲げ
$\mathrm{IV_AS}$	$1.5 \cdot f_t^*$	$1.5 \cdot f_s^*$	$1.5 \cdot f_c^*$	$1.5 \cdot f_b^*$

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

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

表 4－4　使用材料の許容応力評価条件（設計基準対象施設）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SUS304	周囲環境温度	40	—			—

表 4－5　使用材料の許容応力評価条件（重大事故等対処設備）

評価部材	材料	温度条件 (℃)		S (MPa)	Ｓｙ (MPa)	Ｓｕ (MPa)	Ｓｙ（ＲＴ） (MPa)
防護鋼板	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
架構	SUS304	周囲環境温度	40	—			—
アンカボルト	SUS304	周囲環境温度	40	—			—

4.3　解析モデル及び諸元

換気空調系ダクト防護壁の解析モデルを図 4－1 に,解析モデルの概要を以下に示す。また，機器の諸元を本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の機器要目に示す。

(1)　換気空調系ダクト防護壁を構成する架構をはり要素，防護鋼板をシェル要素でモデル化した FEM モデルによって求める。

(2)　拘束条件として，基礎部の各軸方向を固定する。なお，アンカボルト部は剛体として評価する。

(3)　解析コード「ＮＸ　ＮＡＳＴＲＡＮ」を使用し，固有値と各要素に発生する荷重及びモーメントを求める。なお，評価に用いる解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については，別紙「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

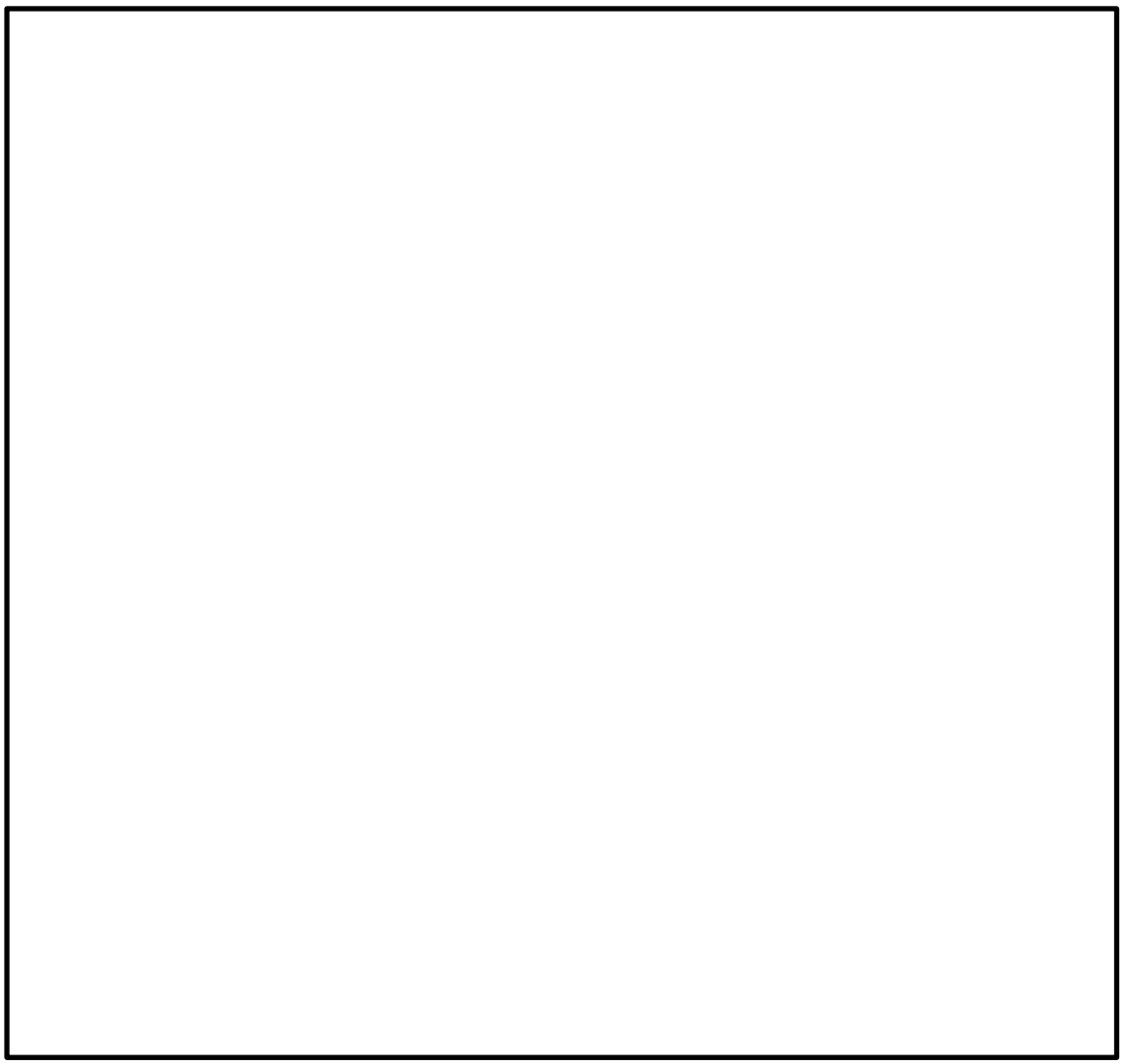


図 4－1　換気空調系ダクト防護壁（No.9）の解析モデル

4.4　固有周期

固有値解析の結果を表 4－6 に示す。固有周期は，0.05 秒以下であり，剛であることを確認した。

表 4－6　固有値解析結果

モード	卓越方向	固有周期 (s)	水平方向刺激係数		鉛直方向刺激係数
			X方向	Z方向	
1	水平	0.034	—	—	—
4	鉛直	0.014	—	—	—

4.5　設計用地震力

評価に用いる設計用地震力を表 4－7 及び表 4－8 に示す。

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

表 4－7　設計用地震力（設計基準対象施設）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
6，7 号機 コントロール建屋 T.M.S.L.24.1	0.034	0.014	C_H＝1.88	C_V＝1.15

表 4－8　設計用地震力（重大事故等対処設備）

据付場所 及び 床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ｓｓ	
	水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度
6，7 号機 コントロール建屋 T.M.S.L.24.1	0.034	0.014	C_H＝1.88	C_V＝1.15

4.6　計算方法

4.6.1　応力の計算方法

(1)　防護鋼板の応力

防護鋼板の応力は，解析による計算で得られる各要素での膜力F_{sx}，F_{sy}，せん断力F_{sxy}，曲げモーメントM_{sx}，M_{sy}及びねじりモーメントM_{sxy}により組合せ応力を次のように求める。

a.　組合せ応力

$$\sigma = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \cdot \sigma_y + 3\tau^2}$$

ここで，

$$\sigma_x = \frac{F_{sx}}{A_S} \pm \frac{M_{sx}}{Z_b}, \quad \sigma_y = \frac{F_{sy}}{A_S} \pm \frac{M_{sy}}{Z_b}$$

$$\tau = \frac{F_{sxy}}{A_S} \pm \frac{M_{sxy}}{Z_t}$$

(2)　架構の応力

架構の応力は，解析による計算で得られる各要素端での軸力N_t，N_c，せん断力Q_y，Q_z及び曲げモーメントM_y，M_zにより各応力を次のように求める。

a.　引張応力又は圧縮応力

$$\sigma_t = \frac{N_t}{A}, \quad \sigma_c = \frac{N_c}{A}$$

b.　せん断応力

$$\tau_k = \max(\tau_y, \ \tau_z)$$

$$\tau_y = \frac{Q_y}{A_{sy}}, \quad \tau_z = \frac{Q_z}{A_{sz}}$$

c.　曲げ応力

$$\sigma_b = \sigma_{by} + \sigma_{bz}$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y}, \quad \sigma_{bz} = \frac{M_z}{Z_z}$$

d. 組合せ応力

(a) 圧縮＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_c}{1.5f_c^*}+\frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_b^*}\ ,\ \frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_c}{1.5f_t^*}\right)$$

(b) 引張り＋曲げ

$$\max\left(\frac{\sigma_t+\sigma_{bz}+\sigma_{by}}{1.5f_t^*}\ ,\ \frac{\sigma_{bz}+\sigma_{by}-\sigma_t}{1.5f_b^*}\right)$$

(c) 曲げ＋せん断

$$\max\left(\frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_z^2}}{1.5f_t^*}\ ,\ \frac{\sqrt{\left(\sigma_c+\sigma_{bz}+\sigma_{by}\right)^2+3\tau_y^2}}{1.5f_t^*}\right)$$

引張軸力の場合はσ_cをσ_tとする。

(3) アンカボルトの荷重

アンカボルトの荷重は，解析による計算で得られるベースプレート部の各要素端の反力R_x，R_y及びR_zにより各荷重を次のように求める。

a. 引張荷重

$$p = R_x$$

b. せん断荷重

$$q = \sqrt{R_y^2+R_z^2}$$

4.7　計算条件

応力解析に用いる自重及び荷重（地震荷重）は，本計算書の【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】の設計条件及び機器要目に示す。

4.8　応力の評価

4.8.1　防護鋼板の応力評価

4.6.1(1)項で定めた組合せ応力が許容引張応力 f_t 以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張応力 f_t	$\frac{F^*}{1.5}\cdot 1.5$

4.8.2　架構の応力評価

4.6.1(2)項で求めた各応力が下表で定めた許容応力以下であること。ただし，組合せ応力は１以下であること。

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

ただし，

$$\lambda=\frac{\ell_k}{i}$$

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

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

4.8.3　アンカボルトの評価

4.6.1(3)項で求めたアンカボルトの引張荷重ｐ及びせん断荷重ｑが許容値以下であること。また，引張応力比とせん断応力比の二乗和が１以下であること。

	基準地震動Ｓｓによる荷重との組合せの場合
許容引張力 p_a	$\min[p_{a1},\ p_{a3}]\cdot n_f$
許容せん断力 q_a	$\min[q_{a1},\ q_{a2},\ q_{a3}]\cdot n$
組合せ	$\left(\frac{p}{p_a}\right)^2+\left(\frac{q}{q_a}\right)^2\leqq 1$

ただし，

$p_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{pa}\cdot {}_{sc}a$

$p_{a3}=\phi_3\cdot \tau_a\cdot \pi\cdot d\cdot L_{ce}$

$q_{a1}=\phi_1\cdot {}_s\sigma_{qa}\cdot {}_{sc}a$

$q_{a2}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_{qa}\cdot {}_{sc}a$

$q_{a3}=\phi_2\cdot {}_c\sigma_t\cdot A_{qc}$

ここで，

低減係数 ϕ_1，ϕ_2，ϕ_3は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，以下の表のとおり。

	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3
短期荷重用	1.0	2/3	2/3

$\tau_a=\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\alpha_3\cdot\tau_{bavg}$

$\alpha_n=0.5\left(\frac{c_n}{L_e}\right)+0.5$　（ｎ＝1,2,3）

なお，（c_n／L_e）≧1.0の場合は，（c_n／L_e）＝1.0，L_e≧10ｄの場合は，L_e＝10ｄとする。

ボルトの基本平均付着強度 τ_{bavg}は，Ⅴ-2-1-9「機能維持の基本方針」より，カプセル方式・有機系の$10\sqrt{F_c/21}$とする。

短期許容せん断力を確保するためのアンカ鉄筋埋め込み長さL_eは以下の式を満たすように算定するものとする。

$$L_e \geqq \frac{{}_s\sigma_{pa} \cdot d}{4 \cdot \tau_a}$$

5. 評価結果

5.1 設計基準対象施設としての評価結果

換気空調系ダクト防護壁（No.9）の設計基準対象施設としての耐震評価結果を以下に示す。発生値は許容限界を満足しており，設計用地震力に対して十分な構造強度を有していることを確認した。

(1) 構造強度評価結果

構造強度評価の結果を次頁以降の表に示す。

5.2 重大事故等対処設備としての評価結果

設計基準対象施設における評価と条件が同じであるため，記載を省略する。

【換気空調系ダクト防護壁の耐震性についての計算結果】

1. 設計基準対象施設

1.1 設計条件

機器名称	耐震重要度分類	据付場所及び床面高さ (m)	固有周期(s)		基準地震動Ss		最高使用温度 (℃)	周囲環境温度 (℃)
			水平方向	鉛直方向	水平方向 設計震度	鉛直方向 設計震度		
換気空調系ダクト防護壁 (No.9)	C	コントロール建屋 T.M.S.L.24.1	0.034	0.014	C_H=1.88	C_V=1.15	—	40

1.2 機器要目

m (kg)	d (mm)	$_{sc}a$ (mm^2)	n	n_f

部材	材料	S_y (MPa)	S_u (MPa)	F (MPa)	F* (MPa)	p_a (N)	q_a (N)
防護鋼板	SUS304					—	—
架構	SUS304					—	—
アンカボルト	SUS304			—	—		

材料	E (MPa)	ν '	ℓ_k (mm)	i (mm)	λ	要素番号
SUS30	193667	0.3				1,19

	要素番号
	1,19
材料	
A (mm^2)	
Z_y (mm^3)	
Z_z (mm^3)	

1.3 計算数値

1.3.1 鋼板の荷重 (単位：N)

要素番号	節点番号	F_{sx}	F_{sy}	F_{sxy}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
2119	－			

注：添字ｘ，ｙは要素に与えられた座標軸。

1.3.2 鋼板のモーメント (単位：N･mm)

要素番号	節点番号	M_{sx}	M_{sy}	M_{sxy}
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
2119	－			

注：添字ｘ，ｙは要素に与えられた座標軸。

1.3.3 架構の荷重 (単位：N)

要素番号	節点番号	N_t	N_c	Q_y	Q_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
1	－				
19	－				
229	－				
790	－				

注：添字ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.4 架構のモーメント (単位：N･mm)

要素番号	節点番号	M_y	M_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
1	－		
19	－		
229	－		
790	－		

注：添字ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.5　アンカボルトの荷重　　(単位：N)

要素番号	節点番号	R_x	R_y	R_z
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	1			
－	47			
－	109			

注：添字ｘ，ｙ，ｚは要素に与えられた座標軸。

1.3.6　アンカボルトに作用する力　　(単位：N)

要素番号	節点番号	p	q
		基準地震動Ｓｓ	基準地震動Ｓｓ
－	1		
－	47		
－	109		

1.4　結論

1.4.1　固有周期　　(単位：s)

モード	方向	固有周期
1	水平	0.034
4	鉛直	0.014

1.4.2 応力

（単位：MPa）

部材	材料	応力	要素番号	節点番号	基準地震動Ｓｓ		備考
					算出応力	許容応力	
防護鋼板	SUS304	組合せ	2119	－			
架構	SUS304	引張り	790	－			
		圧縮	1	－			
		せん断	229	－			
		曲げ	19	－			
		組合せ（圧縮＋曲げ）	19	－			単位：なし
		組合せ（引張り＋曲げ）	19	－			単位：なし
		組合せ（曲げ＋せん断）	19	－			単位：なし
アンカボルト	SUS304	引張り	－	1			単位：N
		せん断	－	47			単位：N
		組合せ（引張り＋せん断）	－	109			単位：なし

すべて許容応力以下である。

1.4.3　No.10 の評価結果　　（単位：MPa）

部材	材料	応力	基準地震動Ｓｓ		備考
			算出応力	許容応力	
防護鋼板	SUS304	組合せ			
架構	SUS304	引張り			
		圧縮			
		せん断			
		曲げ			
		組合せ（圧縮＋曲げ）			単位：なし
		組合せ（引張り＋曲げ）			単位：なし
		組合せ（曲げ＋せん断）			単位：なし
アンカボルト	SUS304	引張り			単位：N
		せん断			単位：N
		組合せ（引張り＋せん断）			単位：なし

すべて許容応力以下である。