

本資料のうち、枠囲みの内容は機密事項に属しますので公開できません。

補足説明

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機
設計及び工事計画認可申請に係る論点整理について

2020年8月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料	3
隣接建屋の影響に関する検討	40

浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料

□: は、今回提出資料を示す。

補足説明資料目次

I. はじめに

1. 浸水防護施設の設計における考慮事項

1.1 地震と津波の組合せで考慮する荷重について

1.2 海水貯留堰における津波波力の設定方針について

1.3 自然現象を考慮する浸水防護施設の選定について

1.4 津波防護に関する施設の機能設計・構造設計に係る許容限界について

1.5 津波防護施設の強度計算における津波荷重、余震荷重及び漂流物荷重の組合せについて

1.6 津波に対する止水性能を有する施設の評価について

1.7 強度計算に用いた規格・基準について

1.8 アンカー設計に用いる規格・基準類の適用について

1.9 浸水防護施設の評価における風荷重・積雪荷重の設定について

2. 浸水防護施設の耐震、強度計算に関する補足説明

2.1 海水貯留堰の耐震計算書に関する補足説明

2.2 海水貯留堰（6号機設備）の耐震計算書に関する補足説明

2.3 海水貯留堰の強度計算書に関する補足説明

2.4 海水貯留堰（6号機設備）の強度計算書に関する補足説明

2.5 取水護岸の耐震計算書に関する補足説明

2.6 取水護岸（6号機設備）の耐震計算書に関する補足説明

2.7 津波荷重（突き上げ）の強度評価における鉛直方向荷重の考え方について

2.8 止水堰の設計に関する補足説明

2.9 床ドレンライン浸水防止治具を構成する各部材の評価及び機能維持の確認方法について

2.10 津波監視カメラに関する補足説明

2.11 取水槽水位計に関する補足説明

2.12 加振試験の条件について

2.13 水密扉の設計に関する補足説明

2.14 浸水防護施設の耐震計算における「土木構築物、建物・構築物、機器・配管系」の分類について

2.15 地下水排水設備 サブドレンポンプの加振試験に関する補足説明

2.16 フラップゲートの加振試験に関する補足説明

1.2 海水貯留堰における津波波力の設定方針について

1.2 海水貯留堰における津波波力の設定方針について

(1) 設定方針の概要

図 1.2-1 に海水貯留堰の平面図を、図 1.2-2 に断面図を示す。海水貯留堰は連結した鋼管矢板を海底面に設置することにより、引き波時に海底面から突出した鋼管矢板頂部（突出長 2～2.5m）で海水を貯留する設備である。

海水貯留堰に津波波力が作用するのは、図 1.2-3 に、海水貯留堰の内外水位概念図を示すとおり、引き波により海水貯留堰が海面から露出し、その後、押し波が海水貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定される。

「防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局)」(平成 25 年 9 月(平成 27 年 12 月一部改訂))¹⁾によれば、津波が構造物を越流する場合の津波荷重の算定にあたっては、若干越流している状態に静水圧差による算定式を適用する場合、それより水位の低い越流直前の状態の方が高い波力となる可能性があるため、両者を比較して高い方を採用する必要があるとしている。

図 1.2-4 に「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に示されている防波堤に対する津波荷重算定手順のフローを示す。

波状段波の発生の有無にあたっては、KK7 補足-019-2「津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料 4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計について」に示すとおり、柏崎刈羽原子力発電所の敷地前面では、津波の水面勾配が最大でも 2.57° と十分に小さく、津波のソリトン分裂及び砕波は発生しないことを確認している。

従って、海水貯留堰は、図 1.2-2 に示すとおり、常時没水している構造物であり、基準津波による引き波によって海水貯留堰頂部が露出し、その後の押し波によって海水貯留堰天端高さ以上に水位が上昇すると瞬時に越流するため、内外の津波水位差はつきにくく同程度の水位となるものの、設計の保守性の観点から、越流が発生しない場合(越流直前の津波波力)、越流が発生する場合(越流時の津波波力)の津波波力をそれぞれ算定し、両者のうち保守的な津波波力を用いることとする。

津波波力の算定に用いる津波は、設置変更許可申請書の津波水位評価で示した基準津波 1～3 とする。基準津波は、平面 2 次元モデルによる津波シミュレーション解析により得られる津波水位であり、敷地前面に海水貯留堰や護岸などをモデル化し、構造物等の反射の影響を含めたものである。

なお、対象とする津波は、評価対象となる海水貯留堰が最も海面から露出し、その後の押し波が作用するまでの間に作用する津波波力による影響が大きいと考えられることから、基準津波 1～3 のうち、海水貯留堰の前面の水位が最も低くなる基準津波 2 を用いて検討する。

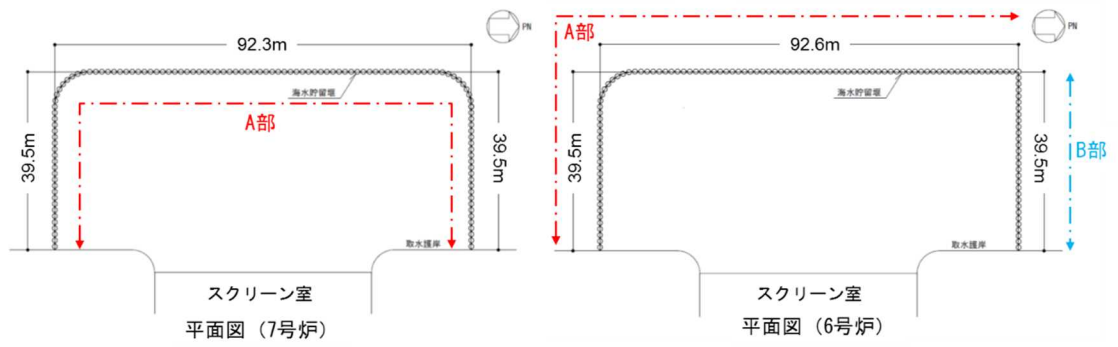


図 1.2-1 海水貯留堰の平面図

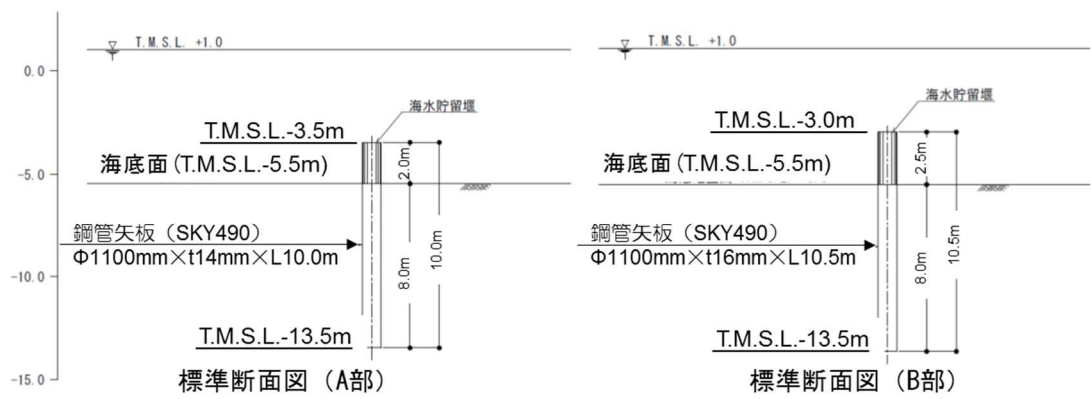


図 1.2-2 海水貯留堰の断面図

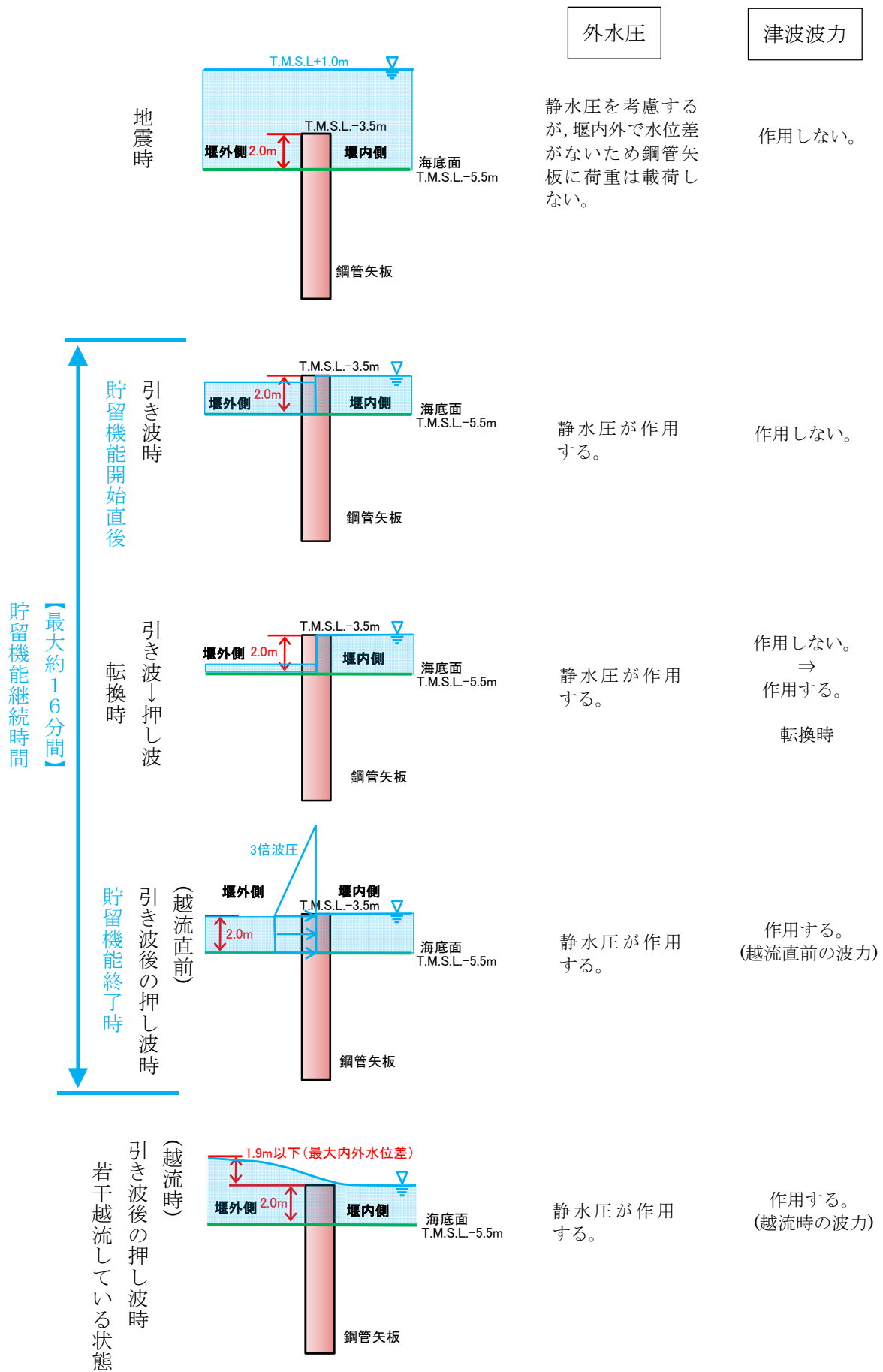
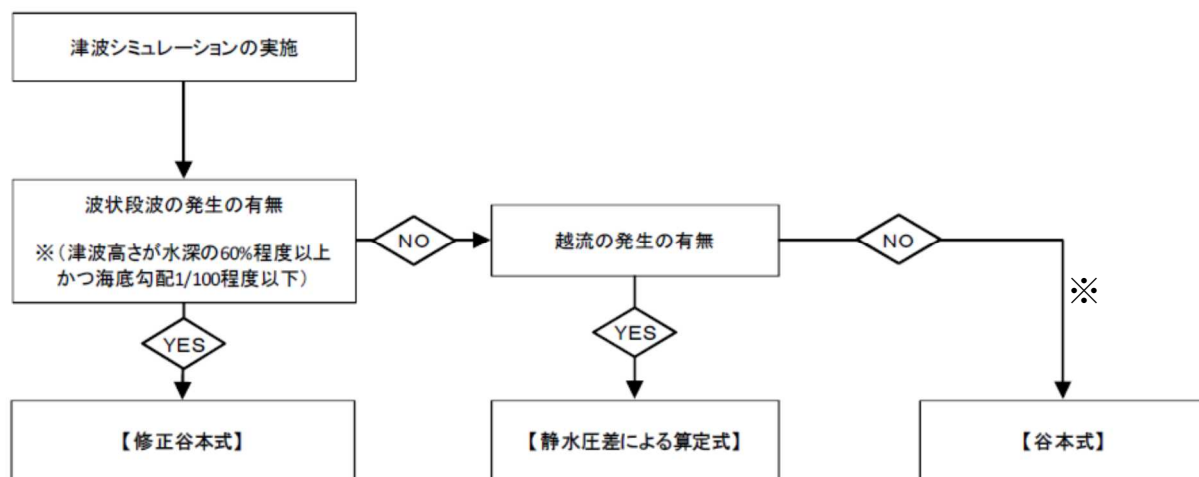


図 1.2-3 海水貯留堰の内外水位概念図



(※ 海水貯留堰に津波波力が作用するのは、引き波により海水貯留堰が海面から露出し、その後押し波が海水貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定されることから、遡上波として取り扱う。)

図 1.2-4 防波堤に対する津波荷重算定手順 (1)に一部加筆)

(2) 越流直前の津波波力の設定方針

越流直前の津波波力の算定にあたっては、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づき、若干越流した状態より水位の低い越流直前の状態として、進行波の高さの最大水位となる海水貯留堰天端高さまでを考慮することとし、津波波力が作用するのは、引き波により海水貯留堰が海面から露出し、その後押し波が海水貯留堰に作用してから越流するまでの間に限定されることから、遡上波として取り扱う。

図 1.2-5 に基準津波 2 における最低水位分布を示す。海水貯留堰前面は、若干の水位があるが、周囲の海域は海底面が露出しているため、越流直前の津波波力の設定においては、引き波時に海水貯留堰前面の海底が露出したと仮定し、その後の押し波を遡上波として津波波力を設定する。

具体的には、津波高さは、海水貯留堰に作用する津波波力が保守的になるように海水貯留堰前面の海底面 (T.M.S.L. -5.5m) まで水位が低下した後に襲来する津波を考慮することとし、海水貯留堰に津波が越流する直前の状態として、進行波の高さの最大水位となる海水貯留堰天端 (T.M.S.L. -3.5m 及び T.M.S.L. -3.0m) までを想定する。津波波力は、「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」²⁾ の考え方に従って、津波高さの 3 倍の高さまでの静水圧荷重を考慮する。なお、図 1.2-6 に津波波力の作用イメージを示す。海水貯留堰の堰高 2.0m に対する合力を算出すると、海水貯留堰延長 1m 当たりの津波波力は下記のとおり求められる。

$$(60.60 - 20.20)kN/m^2 \times 2.0m = 80.8 \text{ kN/m}$$

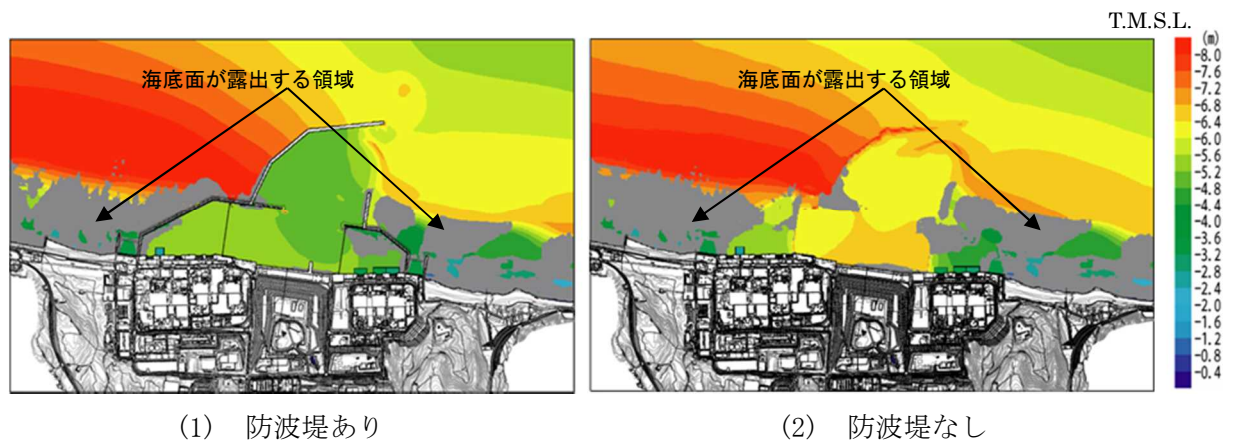


図 1.2-5 最低水位分布 (基準津波 2)

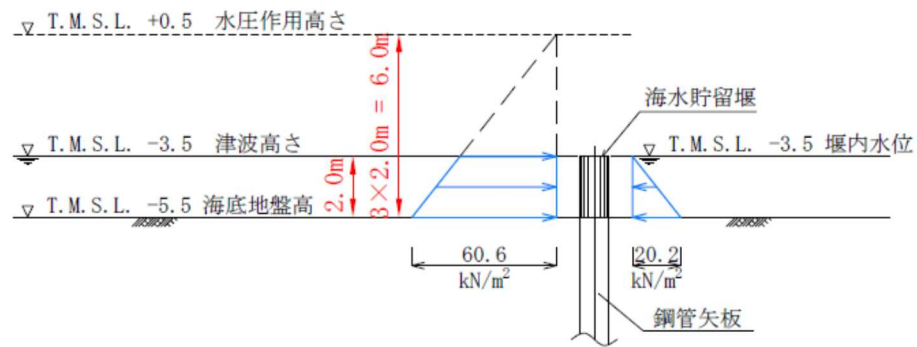


図 1.2-6 津波波力の作用イメージ
(海水貯留堰天端高さ T.M.S.L. -3.5m の場合)

(3) 越流時の津波波力の設定方針

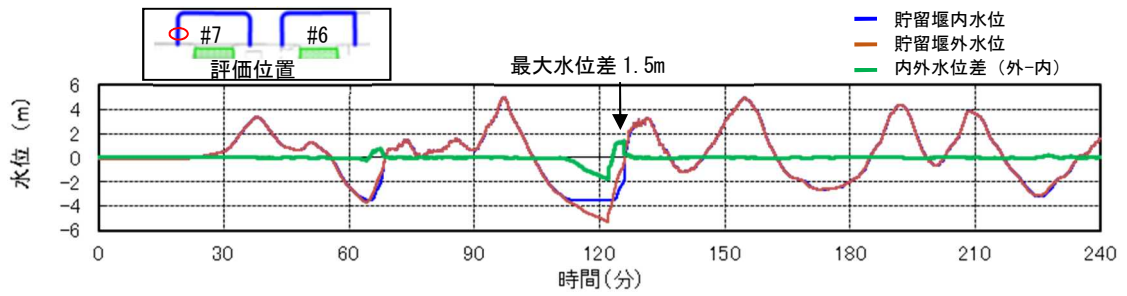
越流時の津波波力の算定にあたっては、設置変更許可申請書での津波水位評価で用いた平面 2 次元モデルによる津波シミュレーション解析により得られる津波水位のうち、海水貯留堰内外の水位差の最大値を抽出したものを静水圧差として考慮する。

平面 2 次元モデルによる津波シミュレーション解析は、敷地前面に海水貯留堰や護岸などをモデル化し、構造物等の反射の影響を含めたものである。したがって、海水貯留堰内外の水位差の最大値は、構造物による反射の影響を含んだ津波水位より算出されたものであり、津波の進行波に伴う津波高さとは異なるものである。

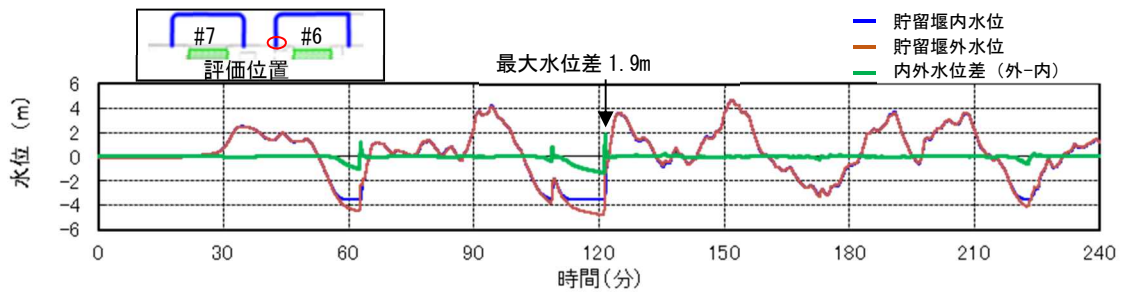
越流する場合の静水圧差による算定にあたっては、構造物による反射等の影響を含んだ津波水位高さの内外水位差の最大値を保守的に考慮することとする。

図 1.2-7 に海水貯留堰の内外水位差のうち内外水位差が最大となる箇所の津波水位の時刻歴波形を示す。引き波後に襲来する津波が海水貯留堰を越流する際に、基準津波 2 において最大 1.9m の水位差が発生する。このため、津波高さとしては海水貯留堰天端 (T. M. S. L. - 3.5m 及び T. M. S. L. - 3.0m) から 2m の高さの越流を考慮して、「防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局)」(平成 25 年 9 月 (平成 27 年 12 月一部改訂))¹⁾による静水圧差による算定式を参考に設定する。図 1.2-8 に津波波力の作用イメージを示す。なお、海水貯留堰の最大内外水位差は、基準津波 1~3 のうち、基準津波 2 が最も大きい。表 1.2-1 及び表 1.2-2 に、各ケースの最大内外水位差一覧表を示す。海水貯留堰の堰高 2.0m に対する合力を算出すると、海水貯留堰延長 1m 当たりの津波波力は下記のとおり求められる。

$$(40.40 - 20.20)kN/m^2 \times 2.0m = 40.4 \text{ kN/m}$$



(1) 防波堤あり



(2) 防波堤なし

図 1.2-7 海水貯留堰内外の津波水位の時刻歴波形
(内外水位差最大箇所)

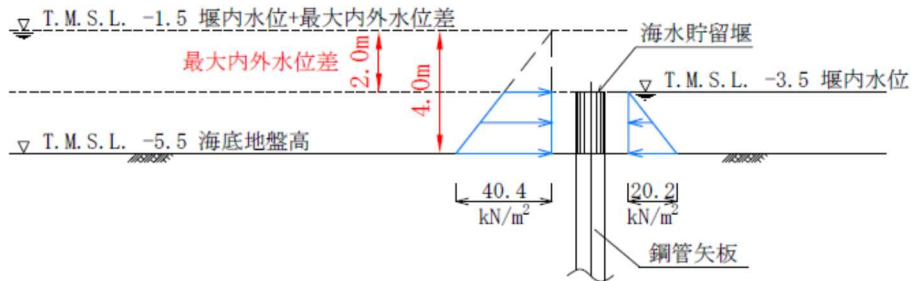


図 1.2-8 津波波力の作用イメージ
(海水貯留堰天端高さ T.M.S.L. -3.5m の場合)

表 1.2-1 最大内外水位差一覧表 (7号機海水貯留堰)

	基準津波 1	基準津波 2	基準津波 3
防波堤あり	0.8m	1.5m	0.5m
防波堤なし	1.1m	1.6m	0.8m

表 1.2-2 最大内外水位差一覧表 (6号機海水貯留堰)

	基準津波 1	基準津波 2	基準津波 3
防波堤あり	0.5m	1.0m	0.3m
防波堤なし	0.8m	1.9m	1.3m

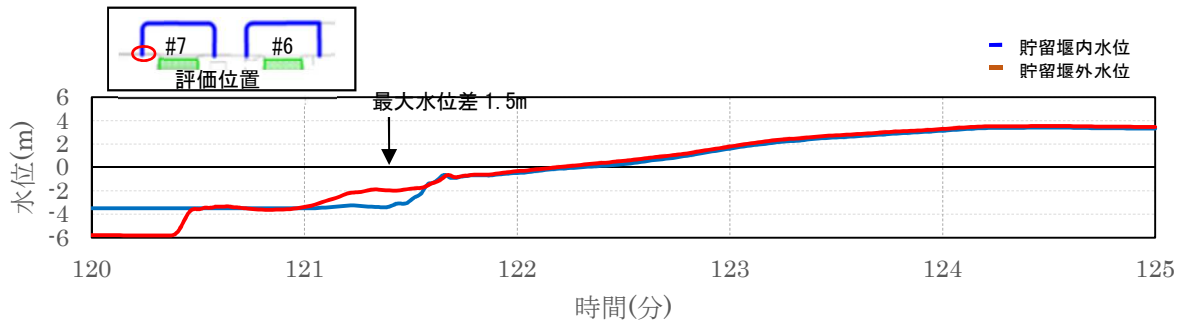


図 1.2-9 海水貯留堰内外の津波水位の時刻歴波形 (海水貯留堰南側接続部)
(防波堤なし 基準津波 2)

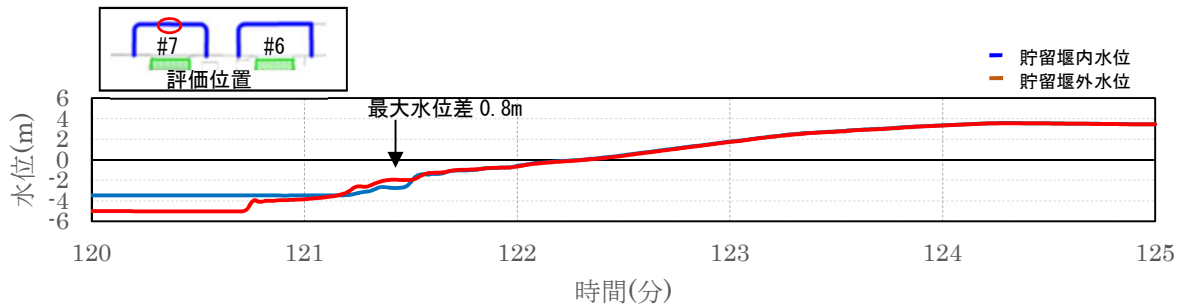


図 1.2-10 海水貯留堰内外の津波水位の時刻歴波形 (海水貯留堰中央部)
(防波堤なし 基準津波 2)

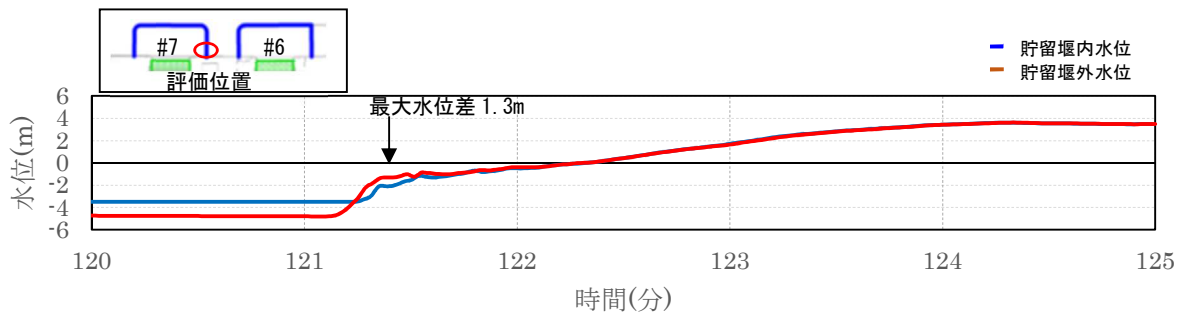


図 1.2-11 海水貯留堰内外の津波水位の時刻歴波形 (海水貯留堰北側接続部)
(防波堤なし 基準津波 2)

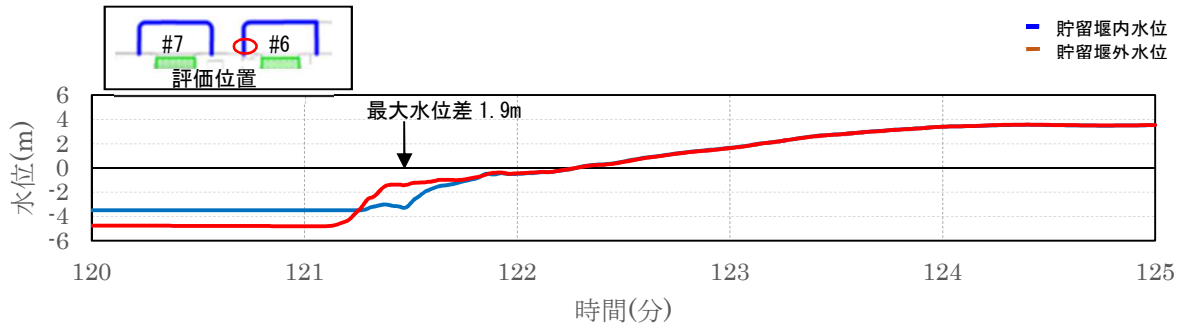


図 1.2-12 海水貯留堰内外の津波水位の時刻歴波形（6号機海水貯留堰南側接続部）
（防波堤なし 基準津波 2）

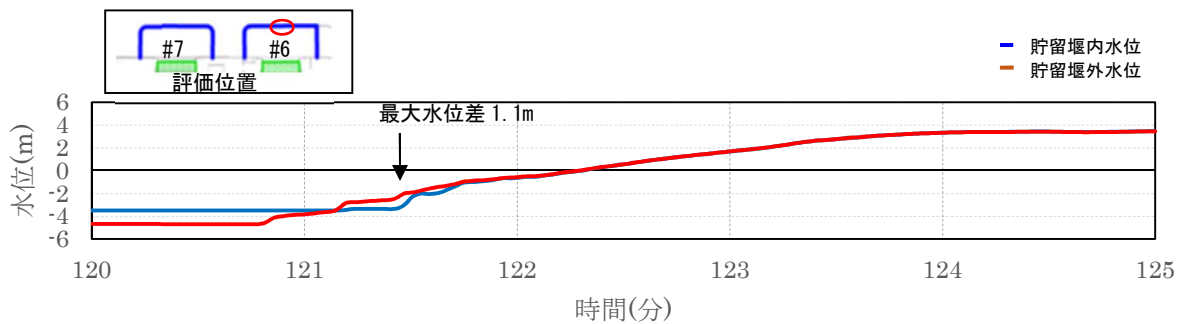


図 1.2-13 海水貯留堰内外の津波水位の時刻歴波形（6号機海水貯留堰中央部）
（防波堤なし 基準津波 2）

図 1.2-9～図 1.2-13 に海水貯留堰内外水位差の最大値を示したケース（基準津波 2 防波堤なし）における津波水位時刻歴波形の拡大図を示す。

引き波後の押し波により海水貯留堰天端高さ以上に水位が上昇すると瞬時に越流し、その後の内外の津波水位差は同程度の水位となることを確認した。

また、海水貯留堰外水位の水位時刻歴波形は、階段上に水位が上昇しており、海水貯留堰や護岸の構造物の反射による影響が現れていることがわかる。7号機海水貯留堰の内外水位差の最大値は、接続部では1.3m～1.5mを示しているのに対し、中央部では0.8mを示している。これは、接続部では海水貯留堰と護岸の両構造物の反射影響により、水位上昇量がより顕著であることを示している。なお、構造物による反射により海水貯留堰方向とは逆向きの流れが発生するものの、ここでは流向を考慮せず、内外水位差を算出している。

越流する場合の静水圧差による算定にあたっては、流向を考慮せず、構造物による反射による影響を含んだ津波水位高さの内外水位差のうち最大値を評価に用いており、保守的な水位差により算定されているものである。

(4) まとめ

海水貯留堰における津波波力について、越流直前の波力及び越流時の静水圧差について検討した。この結果、表 1.2-3 に示すように越流直前の波力の方が越流時の静水圧差を上回る結果となった。このため、海水貯留堰における津波波力として、保守的に越流直前の波力を考慮することとする。

表 1.2-3 津波波力の比較

	海水貯留堰の設計で考慮している津波波力
	(kN/m)
越流直前	80.8
越流時	40.4

津波波力の算定式に関する文献

a. 防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省 港湾局)

(平成 25 年 9 月 (平成 27 年 12 月一部改訂))¹⁾

- ① 波状段波が発生しない場合で、かつ越流が発生しない場合には、「基準・同解説」に記載されている谷本式を適用する。谷本式に用いる a_r (入射津波の静水面からの高さ) は、数値シミュレーション等による津波高さ (基準面からの高さ) の 1/2 を入射津波高さとして定義し、波力算定にはこれを用いるものとする。
- ② 波状段波が発生しない場合で、かつ越流発生の場合は、静水圧差による算定式を適用。

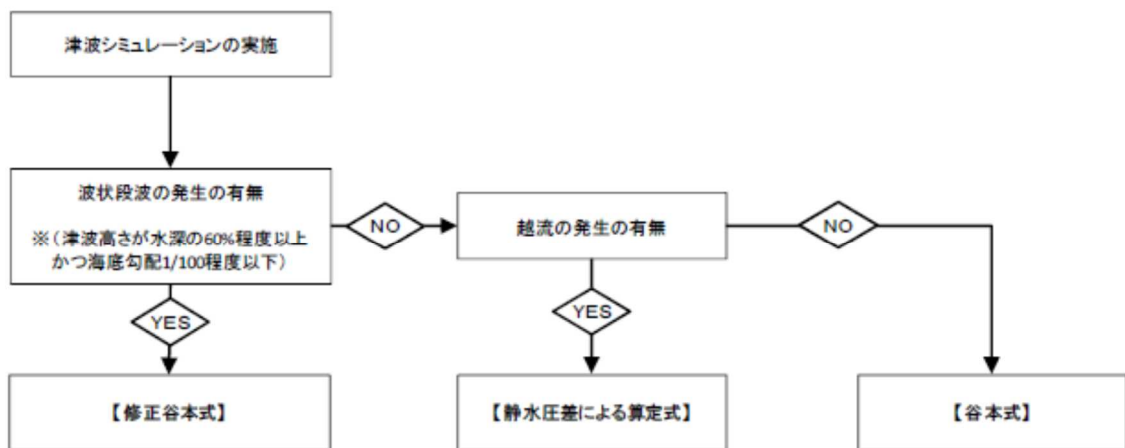


図 1 防波堤に対する津波荷重算定手順

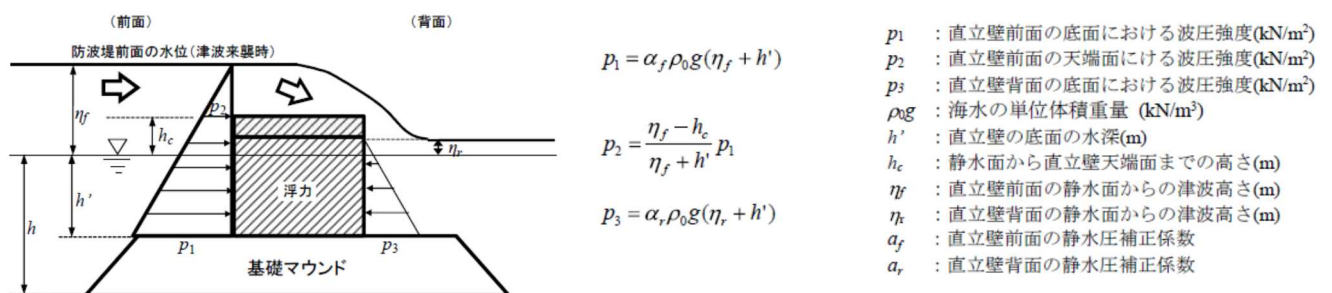


図 2 越流する場合の静水圧差による算定式

- b. 東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る
暫定指針（平成 23 年）²⁾

構造設計用の進行方向の津波波圧は、次式により算定する。

構造設計用の進行方向の津波波圧 $qz = \rho g (ah - z)$

h : 設計用浸水深

Z : 当該部分の地盤面からの高さ ($0 \leq Z \leq ah$)

a : 水深係数。3 とする。

ρg : 海水の単位体積重量

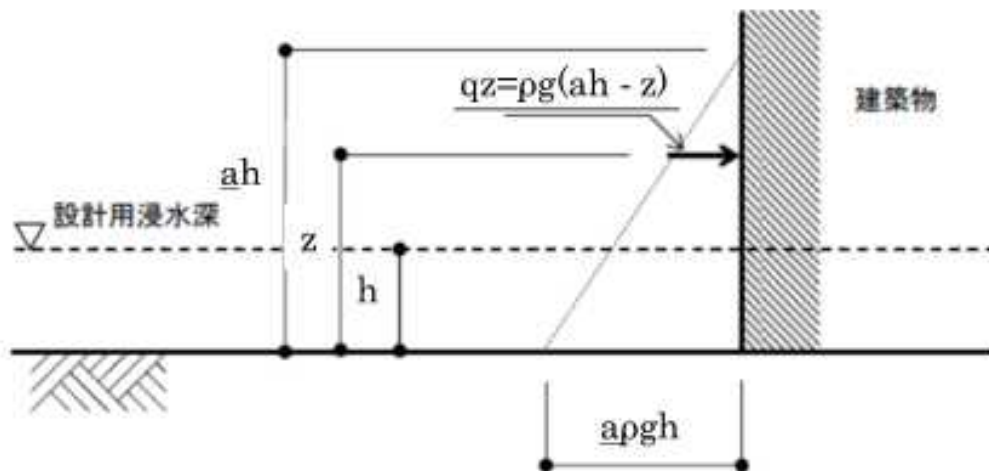


図 3 津波波圧算定の概念図

- c. 港湾の施設の技術上の基準・同解説（平成 19 年）³⁾

直立壁に作用する津波力は、静水面上 $\eta^* = 3.0a_1$ の高さで $p=0$ 、静水位で $p=2.2\rho_0ga_1$ となる直線分布で、静水位以下は、一様な波圧分布とする。非砕波の津波の場合には、入射津波の波高 H_1 とすれば、 $H_1=2a_1$ である。

静水面上の波圧作用高さ $\eta^* = 3.0a_1$

静水面における波圧強度 $p_1 = 2.2\rho_0ga_1$

a_1 : 入射津波の静水面上の高さ（振幅）

ρ_0g : 海水の単位体積重量

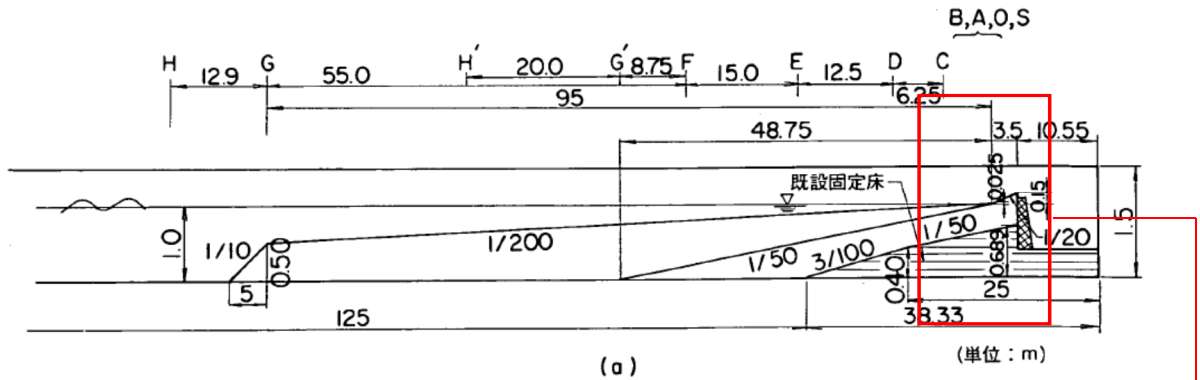
- d. 谷本ら(1983)：1983 年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察、

港湾技研資料, No. 470 ⁴⁾

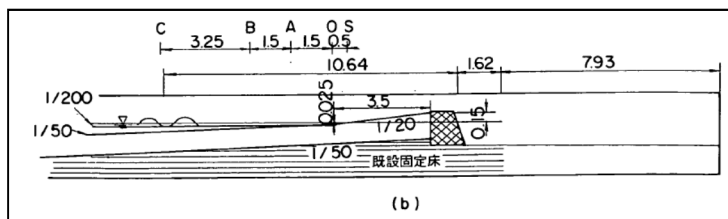
能代港の埋立地ケーソン護岸を想定した直立壁に作用する津波波力について検討している。

[実験水路]

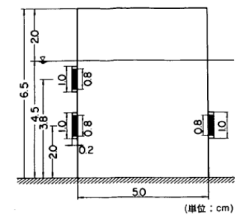
- ・長さ 163m, 幅 1m, 深さ 1.5m
- ・模型床勾配 水深 100m～水深 5m : 1/200, 水深 5m 以浅 : 1/20
- ・縮尺 : 1/200



水深 9m の位置に防波堤の模型を設置し、構造物に働く波圧を計測



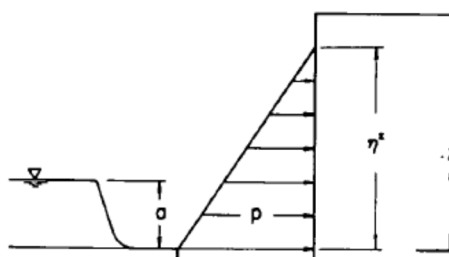
防波堤模型(水深 9m の位置に設置)



[実験条件]

周期 T (s)	波長 L (m)	振幅 a0	2a0/L
60	187.86	9 種類	$3.23 \times 10^{-5} \sim 8.52 \times 10^{-5}$
40	125.21	同上	$5.91 \times 10^{-5} \sim 2.40 \times 10^{-4}$
35	109.54	同上	$1.20 \times 10^{-4} \sim 3.22 \times 10^{-4}$

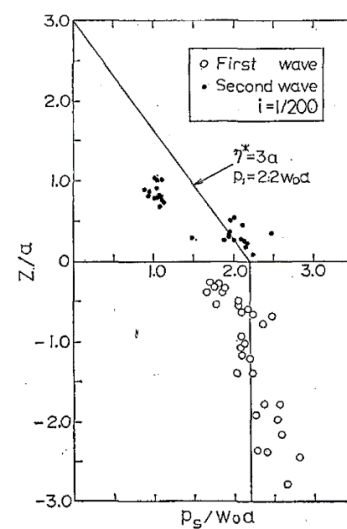
[実験結果]



波圧分布と座標軸
a は Z=0 からの段波の高さ

- 津波波圧 $P_1 = 2.2w_0a_1$
- 作用高さ $\eta^* = 3.0a_1$
- a_1 : 入射津波の静水面上の高さ (振幅)
- w_0 : 流体の単位体積重量

無次元最大波圧分布



- e. 朝倉ら(2000)：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，
海岸工学論文集，第47巻，土木学会，911-915⁵⁾

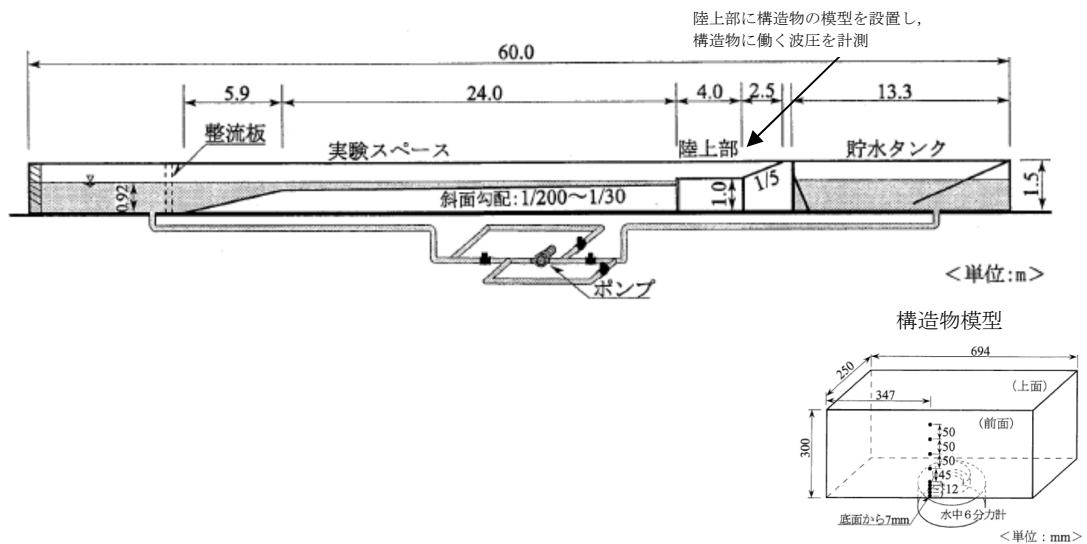
直立護岸を越流した津波の遡上特性から護岸背後の陸上構造物に作用する津波波力について検討している。

[実験水路]

- ・長さ60m，幅0.7m，深さ1.5m
- ・模型床勾配 前面海域：1/200～1/30，陸上：フラット（背後斜面：1/5）
- ・縮尺：1/50*

注記*：秋山ら(2013)の類似の実験より類推。

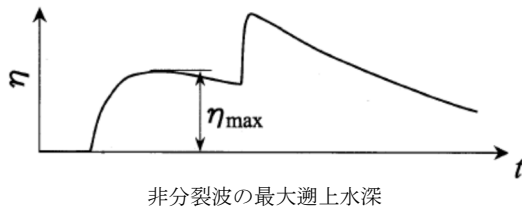
秋山義信，岩前伸幸，池谷毅：盛土上の防潮施設に作用する津波波力，土木学会論文
文集B3(海洋開発)，Vol.69，No.2，2013



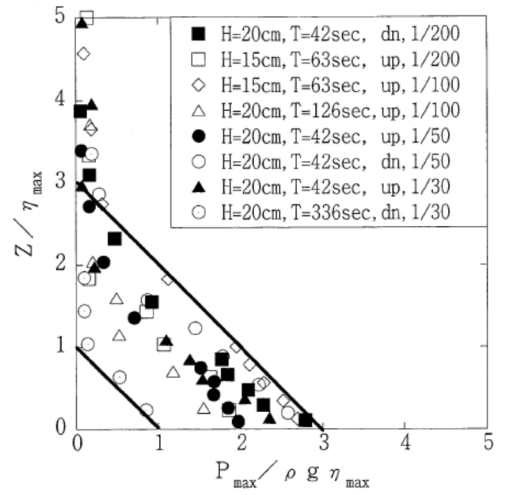
[実験条件]

波条件 (正弦波)	波高(cm)	10, 15, 20
	周期(秒)	42, 63, 126, 336
	初期位相	押し初動, 引き初動
構造物位置	護岸先端からの距離(cm)	50, 100, 150, 200
護岸前面の水深		11.0cm
護岸の天端高		静水面から8.0cm

[実験結果]



- 津波波圧 $P_1 = 3.0 \rho g \eta_{max}$
- 作用高さ $Z = 3.0 \eta_{max}$
- η_{max} : 最大遡上水深 (振幅)
- ρg : 海水の単位体積重量



越流直前の津波波力の水深係数について

NRA 技術報告「防潮堤に作用する津波波圧評価に用いる水深係数の適用範囲について」⁶⁾において、フルード数が 1.5 程度を越える領域で、国土交通省の暫定指針等における水深係数 3 を超える場合があることが確認されていることから、海水貯留堰の前面海域におけるフルード数を確認した。

図 1 に海水貯留堰に対して引き波後に越流する直前の時刻における海水貯留堰前面海域の流向・流速図を示す。図 1 における最大流速箇所においてフルード数を評価した結果を表 1 に示す。海水貯留堰の前面海域におけるフルード数は 1.5 以下であり、越流直前の津波波力の評価において、水深係数 3 を用いることとした。

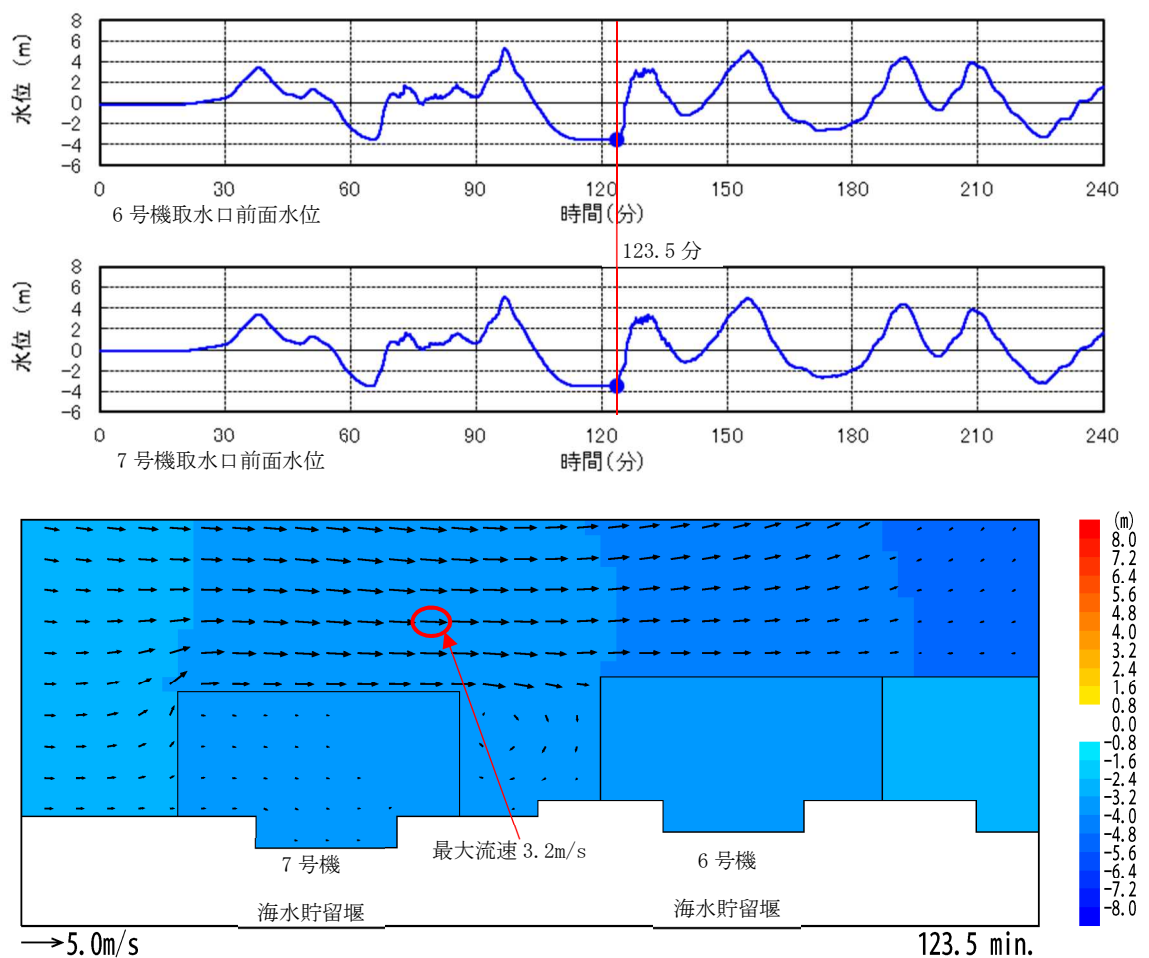


図 1 海水貯留堰越流直前の流向・流速分布 (1) 防波堤あり

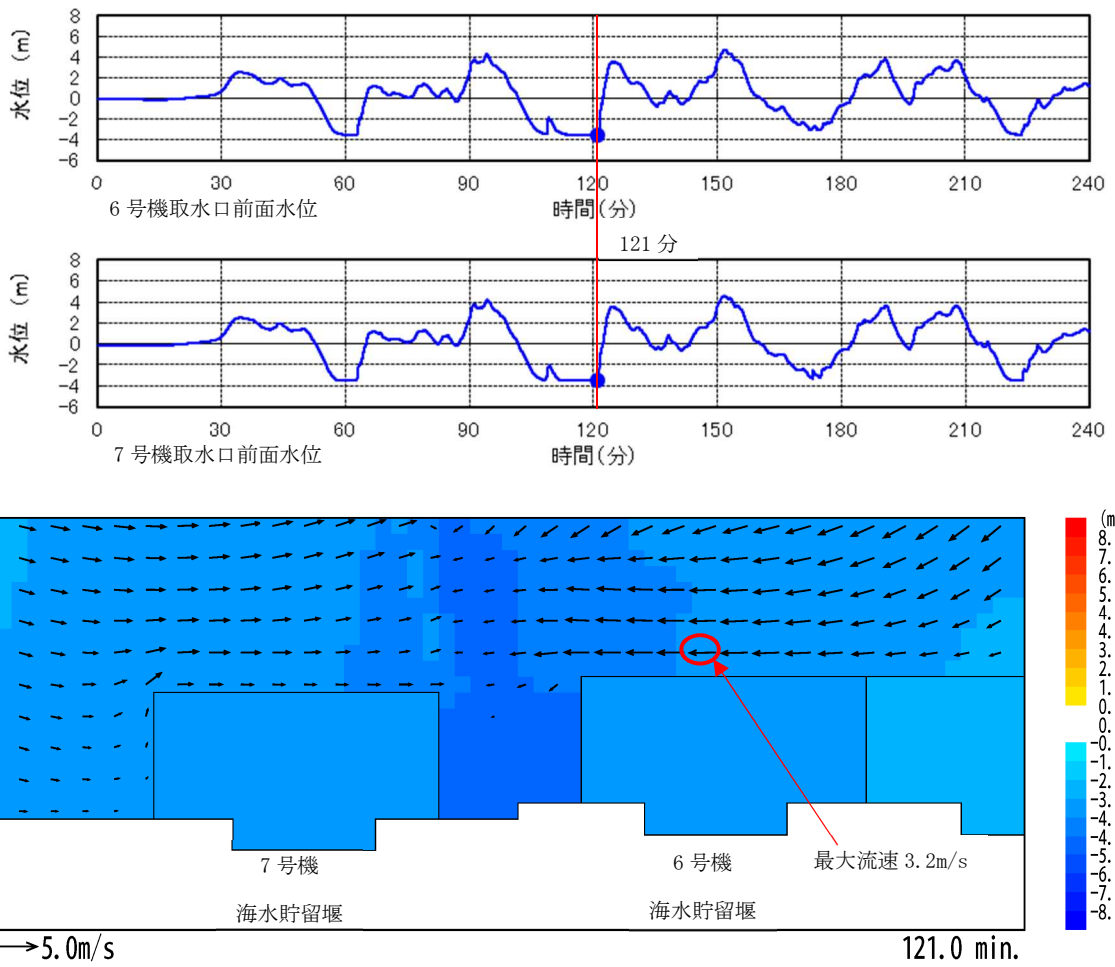


図1 海水貯留堰越流直前の流向・流速分布 (2) 防波堤なし

表1 海水貯留堰越流時のフルード数

	流速 (m/s)	水深 (m)	フルード数
防波堤あり	3.2	2.0	0.8
防波堤なし	3.2	1.9	0.8

浮遊砂濃度を考慮した場合の影響について

(1) 概要

引き波により海水貯留堰が海面から露出し、その後の押し波で海底土砂を巻き上げて襲来する可能性を考慮し、保守的に浮遊砂体積濃度が上限値(1%)のときの、浮遊砂が混じった海水の密度から津波波力及び衝突荷重等を算定した場合の構造物評価への影響について確認する。

(2) 浮遊砂濃度を考慮した場合の海水密度の算定

浮遊砂体積濃度の上限値は、設置変更許可申請書 審査資料「第5条：津波による損傷の防止 別添1：柏崎刈羽原子力発電所6号及び7号炉耐津波設計方針について」及びKK7 補足-019-2「津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料 3.1 砂移動による影響確認について」と同様に、高橋ほか(1999)⁷⁾において示される浮遊砂体積濃度の上限値1%とした。

設置変更許可申請書 審査資料添付資料六まとめ資料「資料4-4-1 柏崎刈羽原子力発電所における津波評価について 9. 基準津波による安全性評価」では、論文整理に基づく浮遊砂体積濃度上限値に関する評価を実施している。表-1 に高橋ほか(1999)の検証事例を示す。検証結果から、浮遊砂体積濃度の上限値5%は過大評価であり、浮遊砂体積濃度の上限値は1%が妥当な設定値であると考え、砂移動評価を行っている。

また、FEMA(2012)の静水圧等の算定にあたっては、浮遊砂体積濃度を5%とした時の海水密度と仮定して、 1.10g/cm^3 を計算事例に用いているが、柏崎刈羽原子力発電所の浮遊砂体積濃度とは異なる仮定の下での設定となっている。

ここでは、津波が海底土砂を巻き上げて襲来する際の浮遊砂体積濃度の上限値は、設置変更許可申請書にて妥当な設定値として評価を実施した1%と仮定し、海水密度を算定した場合の影響について確認する。表2に海水密度の算定結果を示す。浮遊砂が混じった海水の密度は 1.05g/cm^3 である。

表1 高橋ほか(1999)の検証事例

実規模検証	文献	計算使用砂粒径	計算格子間隔	浮遊砂濃度上限	浮遊砂濃度上限に関する評価
気仙沼湾 (1960年 チリ地震津波)	玉田ほか (2009)	0.001~ 1mm	25m, 5m	1%, 5%	・ 計算格子間隔が5mの場合、浮遊砂濃度上限5%では実績値より侵食深を過大に評価
八戸港 (1960年 チリ地震津波)	藤田ほか (2010)	0.26mm	10.3m	1%, 2%, 5%	・ 浮遊砂濃度上限5%は過大に評価 ・ 浮遊砂濃度上限1~2%の場合の再現性が良好
宮古港 (2011年東北地方 太平洋沖地震津波)	近藤ほか (2012)	0.08mm	10m	1%	・ 土砂移動の全体的な傾向は良く一致 ・ 防波堤堤頭部の最大洗掘深や断面地形も定量的に概ね良い一致
気仙沼湾 (2011年東北地方 太平洋沖地震津波)	森下ほか (2014)	0.3mm	10m	1% $C_{surr} = \alpha \times \sqrt{U^2 \times V^2}$	・ 砂移動評価に影響を及ぼす因子として、無次元掃流力、流砂量式係数、飽和浮遊砂濃度の3つを抽出 ・ 上記の3つの因子を同時に変えたモデルにより、再現性が向上する可能性を示唆 ・ 飽和浮遊砂濃度については、摩擦速度の関数とすることで再現性向上につながることを示唆

C_{surr} : 飽和浮遊砂濃度 U, V : 断面平均流速成分 α : 係数 (0.01)

表 2 海水密度の算定結果

	密度 [g/cm ³]
海水	1.03
砂	2.69
海水+砂 1%	1.05

(3) 構造物評価への影響検討

表 2 に示す海水密度算定結果を用いたときの荷重を算定する。荷重の算定にあたっては、「V-3-別添 3-1-2 海水貯留堰の強度計算書」に示す 7 号機海水貯留堰鋼管矢板の照査値がもっとも厳しいケース（重畳時 2）の条件に基づき算定した。図 1 に荷重作用図を、表 3 に荷重の算定結果を示す。

衝突荷重の算定にあたっては、KK7 補足-019-2「津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料 4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計について」に示すとおり、海水貯留堰への漂流物衝突荷重のうち最も大きい算出値として、軽自動車-FEMA（2012）より算出された値（499kN）を用いる。適用した FEMA（2012）を式（1）に示す。なお、衝突力 F_i は、漂流物の質量、有効軸剛性及び漂流物を運ぶ流体の最大流速から算出されることから、海水密度による影響はない。

浮遊砂濃度を考慮した場合に構造物の照査結果の影響を把握するため、津波波力算定時と同様に「V-3-別添 3-1-2 海水貯留堰の強度計算書」に示す 7 号機海水貯留堰鋼管矢板の照査値がもっとも厳しいケース（重畳時 2）について照査結果を比較した。表 4 及び表 5 に照査結果を示す。引き波後の押し波による海底土砂の巻き上げにより、海水密度が上昇したとしても、構造物の評価に影響がないことを確認した。

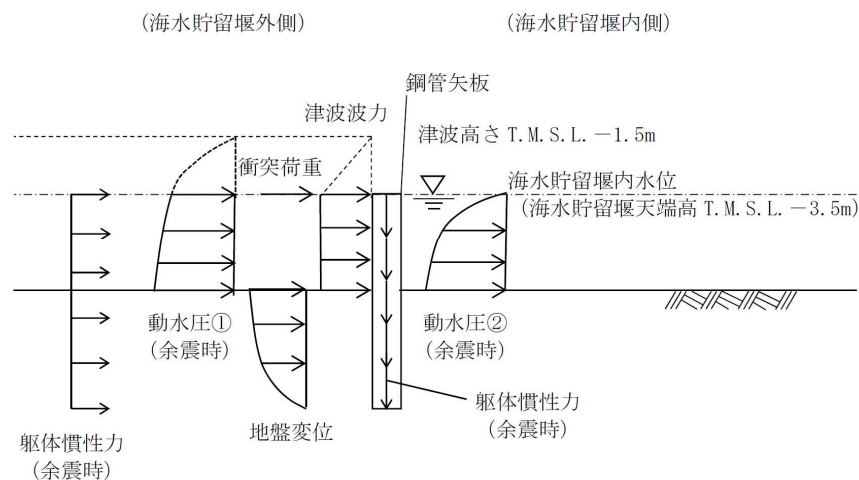


図 1 荷重作用図（鋼管矢板 重畳時 2）

表3 荷重の算定結果

ケース名		海水密度 [g/cm ³]	津波波力 [kN/m ²]	動水圧※ [kN/m ²]	(参考)	
					衝突荷重 [kN]	水平方向 慣性力 [kN/m ²]
基本 ケース	浮遊砂濃度を考 慮しない場合	1.03	20.2	27.0	499	8.6
影響検討 ケース	浮遊砂濃度を考 慮した場合	1.05	20.6	27.6		

※ 海水貯留堰の底面位置における動水圧

$$F_i = 1.3u_{max}\sqrt{km_d(1+c)} \dots \dots \text{式 (1)}$$

ここに、

F_i : 衝突力[kN]

u_{max} : 漂流物を運ぶ流体の最大流速 (=6.0 m/s)

k : 漂流物の有効軸剛性[N/m] (保守的に高畠ら (2015) により求められる k_3 (2.04×10^6 [N/m]) を用いる。)

m_d : 漂流物の質量 (=1000 kg)

c : 付加質量係数 (=1.0)

表4 曲げ軸力に対する照査結果 (重畳時2 断面②: 鋼管矢板端部)

ケース名		曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
基本 ケース	浮遊砂濃度を考慮 しない場合	1485	80	171	277	0.62
影響検討 ケース	浮遊砂濃度を考慮 した場合	1490	80	172	277	0.63

表5 せん断力に対する照査結果 (重畳時2 断面②: 鋼管矢板端部)

ケース名		せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm ²)	短期許容 応力度 (N/mm ²)	照査値
基本 ケース	浮遊砂濃度を考慮 しない場合	557	34	157	0.22
影響検討 ケース	浮遊砂濃度を考慮 した場合	560	35	157	0.23

(4) まとめ

以上より、引き波後の押し波による海底土砂の巻き上げに伴う浮遊砂濃度の影響を考慮した場合、海水貯留堰に作用する荷重の増分は少なく、照査結果も余裕があり、海水貯留堰鋼管矢板の評価に影響がないことを確認した。

なお、参考として浮遊砂体積濃度を 5%とした時の海水密度と仮定して、 1.10g/cm^3 を算定した場合の構造物評価への影響（影響検討ケース②）を確認する。表 6～表 8 に算定結果を示す。海水貯留堰に作用する荷重の増分は少なく、照査結果も余裕があり、海水貯留堰鋼管矢板の評価に影響がないことを確認した。

表 6 荷重の算定結果

ケース名		海水密度 (g/cm^3)	津波波力 (kN/m^2)	動水圧※ (kN/m^2)	(参考)	
					衝突荷重 (kN)	水平方向 慣性力 (kN/m^2)
影響検討 ケース②	浮遊砂濃度を 5% と仮定した場合	1.10	21.6	28.9	499	8.6

※ 海水貯留堰の底面位置における動水圧

表 7 曲げ軸力に対する照査結果（重畳時 2 断面②：鋼管矢板端部）

ケース名		海水密度 (g/cm^3)	曲げ モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	軸力 (kN)	曲げ軸 応力 (N/mm^2)	短期許容 応力度 (N/mm^2)	照査値
影響検討 ケース②	浮遊砂濃度を 5% と仮定した場合	1.10	1504	80	174	277	0.63

表 8 せん断力に対する照査結果（重畳時 2 断面②：鋼管矢板端部）

ケース名		海水密度 (g/cm^3)	せん断力 (kN)	せん断応力 (N/mm^2)	短期許容 応力度 (N/mm^2)	照査値
影響検討 ケース②	浮遊砂濃度を 5%と 仮定した場合	1.10	567	35	157	0.23

静水圧による津波波力算定方法の適用性確認

(1) 概要

海水貯留堰に作用する津波波力にあたっては、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づいて、「1.2 津波波力における津波波力の設定方針について (1) 設定方針の概要」に示すように、海水貯留堰の構造上の特徴や津波シミュレーションによる津波水位を基に、静水圧による津波波力を考慮している。本資料では、津波の流速を用いて、海水貯留堰に作用する流体力を算定する方法を整理し、流体力と静水圧による津波波力とを比較することにより、「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づく静水圧による津波波力の算定方法の適用性を確認する。

(2) 検討方針

本資料では、図1に示す検討フローに従って検討を行う。

流体力の算定方法には、複数の規格・基準類の算定式があるため、津波への適用を踏まえて整理し、流体力の評価に用いる算定式を選定する。選定した式によって、津波波力と同様に、津波の越流直前の場合と越流時の場合で流体力を算定し、静水圧による津波波力と比較する。

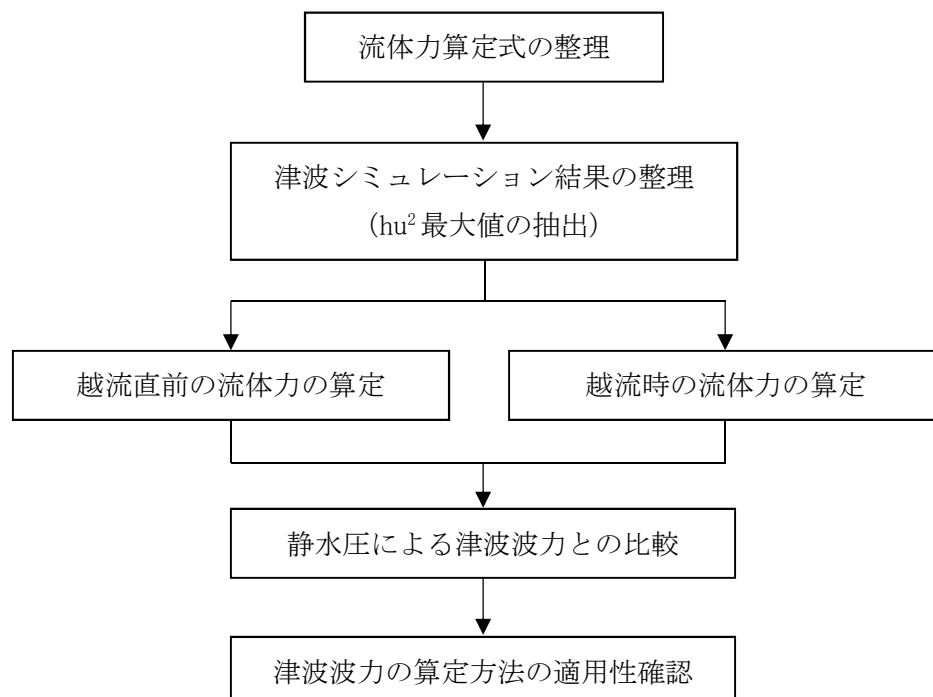


図1 検討フロー

(3) 流体力算定方法の整理

1) 規格・基準類の流体力算定式の整理

規格・基準類の流体力算定式を表1に示す。

表1 規格・基準類の流体力算定式の整理

No.	出典	種類	概要及び算定式	適用範囲及び適用実績など
①	港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年	流れに伴う流体力算定式 (潮流に伴う流体力)	流れによる力を流速の2乗に比例する力で算定 $F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_0 A U^2 \quad \dots \text{式(1)}$ F_D : 物体に作用する流れの方向の抗力, C_D : 抗力係数, ρ_0 : 水の密度, A : 流れの方向の物体の投影面積, U : 流速	栈橋などの杭式構造物の杭やパイプライン等
②	港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年	海中部材に作用する波力算定式 (波浪に伴う流体力)	波力を波による水粒子速度の2乗に比例する抗力と、水粒子加速度に比例する慣性力の和で算定 $f_n = \frac{1}{2} C_D \rho_0 u^2 D \Delta S + C_M \rho_0 a A \Delta S \quad \dots \text{式(2)}$ f_n : 部材軸方向の微小長さ, ΔS に作用する部材軸直角方向の力, C_D : 抗力係数, ρ_0 : 海水の密度, A : 部材軸に垂直な面で切った部材断面積, u : 水粒子速度, D : 荷重作用方向から見た部材軸直角方向の部材幅, C_M : 慣性力係数, a : 水粒子加速度	海中の杭のように波長に比してその径が小さいもの
③	道路橋示方書 I 共通編 平成14年	流水圧算定式 (河川流に伴う流体力)	流水圧を最大流速の2乗に比例する力として算定 $P = K v^2 A \quad \dots \text{式(3)}$ P : 流水圧, K : 橋脚の形状で定まる定数, v : 最大流速, A : 橋脚の鉛直投影面積	橋脚
④	Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis Second Edition (FEMA2012)	津波による流体力 (津波に伴う流体力)	流体力を構造物位置での流速の2乗に比例する力として算定 $F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_s B (hu^2)_{max} \quad \dots \text{式(4)}$ F_D : 流体力 ρ_s : 堆積物を含む流体密度, C_D : 抗力係数, B : 構造物の幅, h : 浸水深, u : 構造物位置での流速	津波避難ビル

2) 津波に対する流体力算定式の適用性

表1に示した各規格・基準類の流体力算定式について、津波への適用を踏まえて変換した結果を表2に示す。変換した算定式はいずれも一般的な流体力算定式となっており、同一のものと整理できる。本資料では、津波による流体力を評価しており、時々刻々と変化する水深と流速の関係を考慮している FEMA (2012) による算定式 (式(4)) を適用することとした。ここで、FEMA (2012) の流体力算定式では、水深 h と流速 u の2乗の積を流束とし、流束の時刻歴最大値を適用していることから、津波シミュレーション結果より流束の最大値を抽出した上で、以降の流体力の検討を行う。

表2 津波への適用を踏まえた各流体力算定式の整理

No.	概要及び算定式
①	<p>一般的な流れを伴う流体力の算定式である</p> <p>式(1) $= \frac{1}{2} C_D \rho_0 A U^2$</p>
②	<p>津波のように緩やかに流速が変化する現象では、加速度が微小であることから加速度項を無視することができ、一般的な流体力の算定式となる</p> <p>式(2) $= \frac{1}{2} C_D \rho_0 u^2 D \Delta S = \frac{1}{2} C_D \rho_0 A u^2$</p> <p>ここに、 $A = D \Delta S$ A : 流体力の作用面積, D : 荷重作用方向から見た部材軸直角方向の部材幅, ΔS : 部材軸方向の微小長さ</p>
③	<p>表1の式(3)に示した橋脚の形状で定まる係数 K は、以下のように表される (道路橋示方書 I 共通編 H14 p. 44)</p> <p>$K = K' \frac{w_0}{2g}$</p> <p>ここに、 K' : 物体の形状によって定まる係数, w_0 : 水の単位体積重量, g : 重力加速度</p> <p>表-1の式(3)を変換すると、一般的な流体力の算定式となる</p> <p>式(3) $= K' \frac{w_0}{2g} v^2 A = \frac{1}{2} C_D \rho_0 v^2 A$</p> <p>ここに、 $\rho_0 = \frac{w_0}{g}$, $K' = C_D$</p>
④	<p>津波に対する流体力の算定式であり、一般的な流体力の算定式である</p> <p>式(4) $= \frac{1}{2} C_D \rho_s B (hu^2)_{max} = \frac{1}{2} C_D \rho_s u^2 A$</p> <p>ここに、 $A = Bh$, B : 構造物の幅, h : 浸水深 ただし、浸水深 h と流速 u の2乗の積 (流束) の時刻歴最大値を用いる A は、津波による流体力が作用する構造物の受圧面積に相当する面積である 浸水深 h は、津波による流体力が構造物に作用する際の、構造物への作用高さのことを示している</p>

(4) 流体力算定における設計上の考え方

1) 流体力算定で用いる流速

海水貯留堰へ作用する流体力の算定にあたっては、設置変更許可申請書の津波水位評価で示した平面2次元モデルによる津波シミュレーション解析結果のうち、海水貯留堰の前面の水位が最も低くなることや海水貯留堰の最大内外水位差が最も大きくなること等を考慮し、基準津波2の結果を抽出した。津波流速の設定にあたっては、図2に示す海水貯留堰外側の各格子における流向ベクトル及び流速の時刻歴を算出し、全時刻歴における海水貯留堰方向の流速を確認する。ここで、海水貯留堰方向とはそれぞれの格子において評価した流向ベクトルについて、それを延長したときに6号機または7号機海水貯留堰に交差する方向としており、流速の大きさは、海水貯留堰に直交する向き等による分解を考慮していないものである。

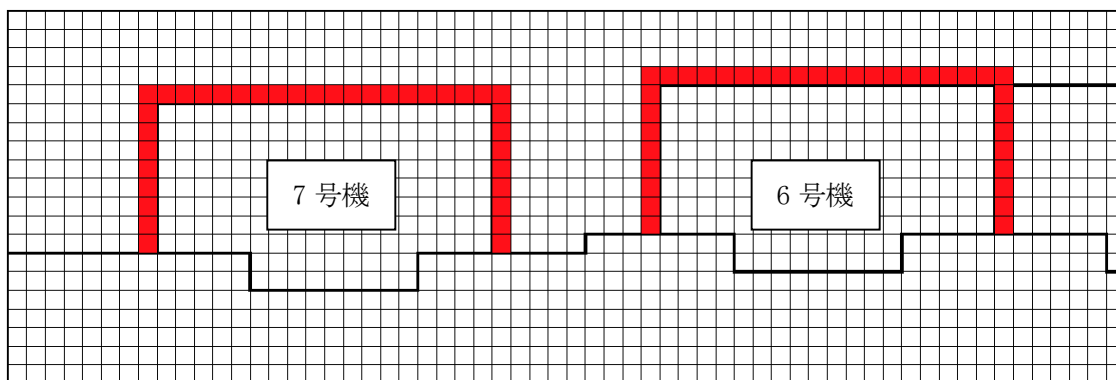


図2 流速及び水深の評価位置

2) 流体力算定で用いる水深

流体力算定に用いる水深は、津波流速の算定と同様に基準津波2の津波シミュレーション解析結果を用い、図2に示す海水貯留堰外側の各格子で算出した水位時刻歴から、全時刻歴における各流速に対応する水深を確認する。算定に用いる水深は、津波による流体力が構造物に作用する際の、作用高さに該当することから、以下とする。

越流直前においては、引き波により海水貯留堰が海面から露出し、その後押し波が海水貯留堰に作用してから、越流するまでの津波水位を抽出する。

越流時においては、津波波力の算定では「1.2 津波波力における津波波力の設定方針について (3) 越流時の津波波力の設定方針」に示すように海水貯留堰内外水位差が生じる時間は瞬時であるものの、海水貯留堰内外の水位差の最大値を抽出したものを静水圧差として考慮している。流体力の算定では、津波水位が海水貯留堰高さを上回っていることから、津波による流体力が海水貯留堰に作用する高さとして、構造物の高さと等しく水深 $h=2.0\text{m}$ とする。

3) 流速と水深から求められる流束最大値の抽出結果

算定に用いる FEMA (2012) では、津波による流体力を算定する際に流束 hu^2 (水深 h と流速 u の 2 乗の積) の最大値を適用することとしている。津波シミュレーションによる全時刻歴における、流速と水深により求められる流束 hu^2 の最大値の抽出結果を表 3 及び表 4 に示す。また、最大値を示した位置を図 3 に示す。

越流直前及び越流時ともに防波堤なしケースの 6 号機海水貯留堰西側前面で流束 hu^2 が最大となっている。

表 3 流束 hu^2 抽出結果 (海水貯留堰越流直前)

抽出ケース		hu^2 (m ³ /s ²)	Time (s)	出力点座標
7 号機	防波堤あり	18.420	7417	(i, j) = (176, 506)
	防波堤なし	14.689	7274	(i, j) = (172, 507)
6 号機	防波堤あり	22.124	7448	(i, j) = (177, 530)
	防波堤なし	28.605	7269	(i, j) = (177, 516)

※流束 hu^2 が 28.605 のときの流速 u は 3.688 (m/s)

表 4 流束 hu^2 抽出結果 (海水貯留堰越流時)

抽出ケース		hu^2 (m ³ /s ²)	Time (s)	出力点座標
7 号機	防波堤あり	24.165	7550	(i, j) = (175, 488)
	防波堤なし	14.667	7282	(i, j) = (176, 491)
6 号機	防波堤あり	24.151	7478	(i, j) = (177, 533)
	防波堤なし	35.079	7275	(i, j) = (177, 516)

※流束 hu^2 が 35.079 のときの流速 u は 4.188 (m/s)

hu^2 最大値抽出位置 (越流直前及び越流時共通)

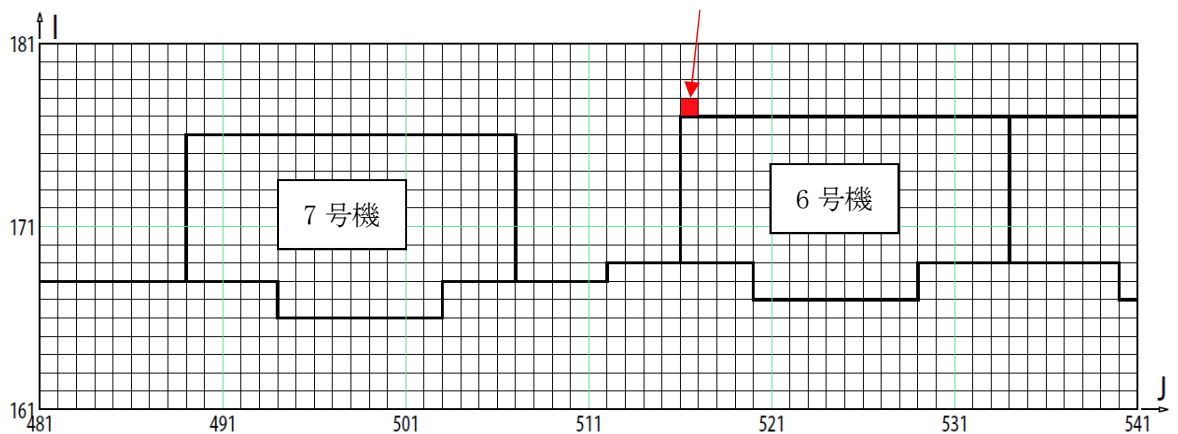


図 3 流束 hu^2 最大値抽出位置

(5) 流体力の算定結果と津波波力との比較

津波シミュレーションによる流束 hu^2 の最大値より流体力を算定する。

1) 越流直前の流体力算定結果

越流直前における，流速を考慮した海水貯留堰延長 1m 当たりの流体力は下記のとおり求められる。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_0 B (hu^2)_{max} = \frac{1}{2} \times 2.0 \times 1.030 \times 1.000 \times 28.605 = 29.463 \quad (\text{kN/m})$$

2) 越流時の流体力算定結果

越流時における，流速を考慮した海水貯留堰延長 1m 当たりの流体力は下記のとおり求められる。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho_0 B (hu^2)_{max} = \frac{1}{2} \times 2.0 \times 1.030 \times 1.000 \times 35.079 = 36.131 \quad (\text{kN/m})$$

3) 流体力と津波波力との比較結果

海水貯留堰延長 1m 当たりの流体力と津波波力の比較を表 5 に示す。津波による流体力は，海水貯留堰の設計で考慮している「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づく津波波力より，小さいことを確認した。

表 5 流体力と津波波力の比較

	津波による流体力	海水貯留堰の設計 で考慮している津波波力
	(kN/m)	(kN/m)
越流直前	29.5	80.8 ^{※1}
越流時	36.1	40.4 ^{※2}

※1 越流直前の津波波力設定については，図 4 に示すように「東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針」²⁾の考え方に従って，津波高さの 3 倍の高さまでの静水圧荷重を考慮している。海水貯留堰の堰高 2.0m に対する合力を算出すると，海水貯留堰延長 1m 当たりの津波波力は下記のとおり求められる。

$$(60.60 - 20.20) \text{kN/m}^2 \times 2.0 \text{m} = 80.8 \text{ kN/m}$$

※2 越流時の津波波力設定については，図 5 に示すように「防波堤の耐津波設計ガイドライン(国土交通省港湾局)」(平成 25 年 9 月(平成 27 年 12 月一部改訂))¹⁾による静水圧差による算定式より算定している。海水貯留堰の堰高 2.0m に対する合力を算出すると，海水貯留堰延長 1m 当たりの津波波力は下記のとおり求められる。

$$(40.40 - 20.20) \text{kN/m}^2 \times 2.0 \text{m} = 40.4 \text{ kN/m}$$

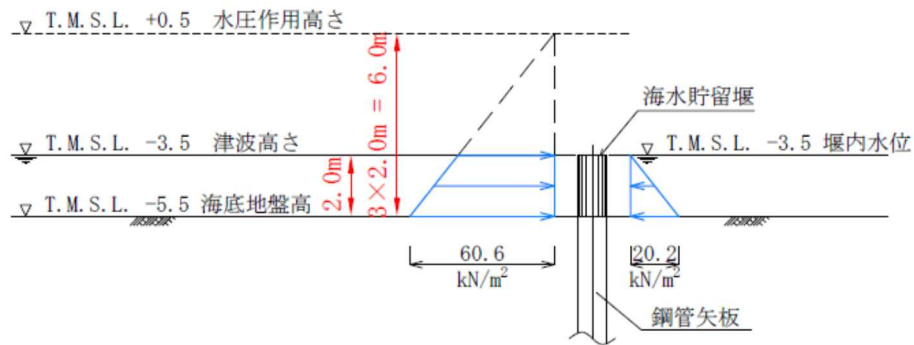


図4 津波波力の作用イメージ（越流直前）【再掲】
（海水貯留堰天端高さ T.M.S.L. -3.5m の場合）

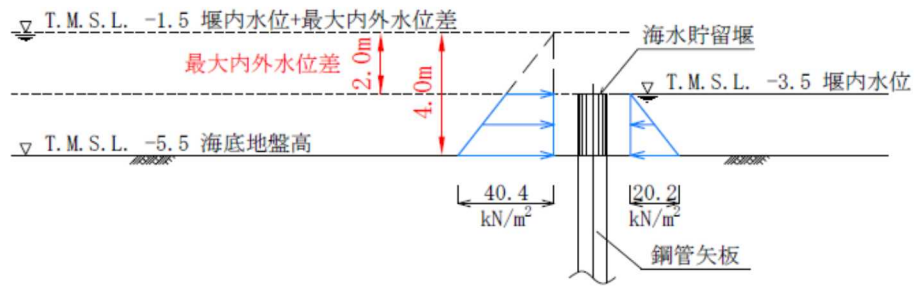


図5 津波波力の作用イメージ（越流時）【再掲】
（海水貯留堰天端高さ T.M.S.L. -3.5m の場合）

(6) まとめ

以上より，海水貯留堰に作用する津波波力の算定について，津波による流体力と海水貯留堰の設計で考慮している「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づく津波波力を比較した結果，越流直前及び越流時のいずれの場合も，「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づく静水圧による津波波力の方が大きくなることから，その適用性を確認した。

海水貯留堰における津波波力算定方法の妥当性について

(1) 概要

本資料では、海水貯留堰に作用する津波波力に関する検討項目を整理し、それぞれの検討目的と検討方法、波力評価のプロセスについて整理する。その上で、海水貯留堰における津波波力算定にあたり、平面 2 次元解析の結果を「防波堤の耐津波設計ガイドライン 平成 25 年国土交通省 港湾局」(以下、ガイドラインと称す)に示される津波波力の算定方法を適用することの妥当性について確認する。

(2) 津波解析の基礎理論の整理について

海水貯留堰に作用する津波波力の検討には、津波解析の結果から抽出した水位や流速を用いて評価していることから、ここでは津波解析の基礎理論について表 1 のように整理した。なお、津波解析で用いられる理論は三次元の基礎方程式を水底から水面まで鉛直方向に積分して導かれた平面 2 次元場の基礎方程式であり、いずれも水深方向の流速を一定と仮定している。

柏崎刈羽原子力発電所の津波評価では、基準津波の策定に対しては非線形長波理論を適用し、ソリトン分裂発生の判断に対しては非線形分散波理論を適用している。

KK7 補足-019-2「津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料 4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計について」に示す通り、柏崎刈羽原子力発電所の敷地前面海域においては、ソリトン分裂が発生しないことを確認している。そのため、非線形長波理論に基づく水位及び流速を津波波力算定に用いることで、適切な波力評価が可能と判断している。

非線形長波理論に基づく平面 2 次元解析と非線形分散波理論に基づく 1 次元解析の結果を図 1 に比較する。津波波力の算定において最も着目すべき時間である約 120 分付近までの時間帯においては、両者は概ね一致している。したがって、津波の特性を考慮すると、非線形長波理論に基づく解析結果から得られる水位及び流速を津波波力の算定に用いることができるものとする。

表 1 津波解析の基礎理論 (原子力発電所の津波評価技術 2016⁸⁾より抜粋)

理論	特性
非線形長波理論 (浅水理論)	波高と水深の比が小さくない(非線形性が無視できない)場合に適用する。運動方程式は非定常項、移流項及び圧力項からなり、浅海域における波の前傾化を考慮することができる。
非線形分散波理論	伝播に伴い津波波形の曲率が大きくなり水粒子の鉛直歩行加速度が無視できず、波の分散性が現れる場合に適用する。運動方程式は非定常項、移流項、圧力項及び分散項からなり、ソリトン分裂の発生の有無を評価することができる。

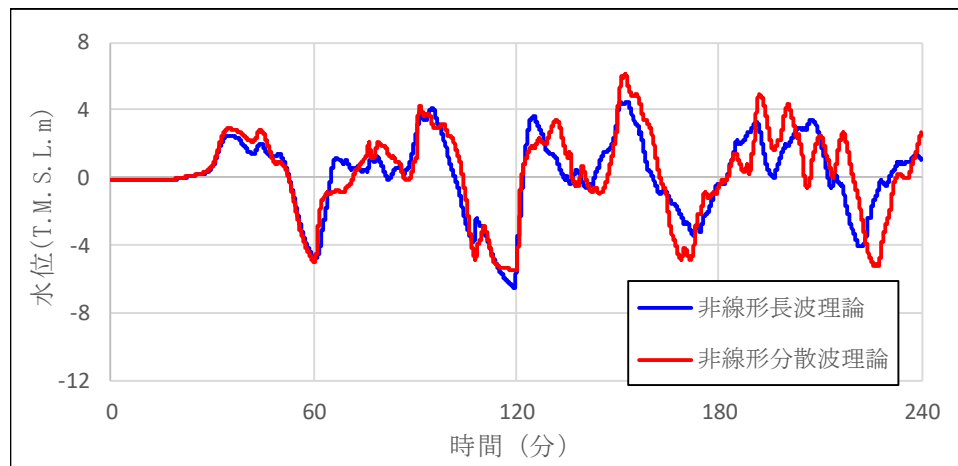


図1 津波解析結果の比較（貯留堰設置位置）

(3) 検討項目の整理

海水貯留堰を対象とした津波波力の検討項目を表2に整理する。

津波波力の検討に先立ち、柏崎刈羽原子力発電所の敷地前面海域では、津波のソリトン分裂が発生しないことを確認している。その結果を踏まえ、非線形長波理論に基づいた平面2次元解析の結果を用いてガイドラインの津波波力算定式に基づいて評価している。また、フルード数の観点からの水深係数の検討、浮遊砂濃度による海水の単位体積重量の増大を考慮した検討や、流体力式による波力の算定などの観点からも検討を行い、その影響を評価している。

KK7 補足-019-2「津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料 4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設の設計について」から、当該サイトに襲来する津波は水面勾配が最大で 2.57° と緩やかであり、フルード数も0.8以下であることから、ゆっくりとした水位上昇と下降を繰り返す特性を有することから、海水貯留堰の内外の静水圧差により津波波力を算定することが適切であると判断している。

また、対象となる海水貯留堰の高さは2m程度であり受圧面積も小さいが、平面2次元解析から得られる水深と流速を用いて津波の流体力についても算定し、静水圧差による津波波力の方が大きくなることを確認した。

以上の検討から、ガイドラインに示される静水圧差に基づいた津波波力の算定方法によって、海水貯留堰に作用する津波波力を算定することの妥当性を確認した。

表2 海水貯留堰を対象とした津波波力の検討内容

検討項目	確認内容	資料名
ソリトン分裂の有無	ソリトン分裂が発生する場合、波力の評価式が異なることから、非線形分散波理論に基づいた解析を実施し、ソリトン分裂の発生有無を検討した。その結果、柏崎刈羽原子力発電所前面海域においてはソリトン分裂が発生しないことを確認し、以降の検討では津波の分散性については考慮しないものとした。	KK7 補足-019-2「津波への配慮に関する説明書に係る補足説明資料 4.7 漂流物衝突を考慮した津波防護施設的设计について」
静水圧差による津波波力の算定	「防波堤の耐津波設計ガイドライン」に基づき、越流直前と越流時で津波波力をそれぞれ算定した。越流直前では押波を遡上波として捉え、津波高さの3倍の高さの静水圧荷重を考慮して算定した。越流時は海水貯留堰の内外水位差から静水圧差により算定した。なお、波力算定に用いた津波水位は非線形長波理論に基づいた平面2次元津波解析結果から抽出した。	KK7 補足-028-08 「浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料 1.2 海水貯留堰における津波波力の設定方針について」
水深係数の整理	平成26年12月 NRA 技術報告において、フルード数が1.5程度を越える領域で、国土交通省の暫定指針等における水深係数3を超える場合があることが確認されていることから、海水貯留堰の前面海域におけるフルード数を確認した。なお、フルード数は非線形長波理論に基づいた平面2次元津波解析結果から抽出した流速及び水深を用いて算出し、値が0.8以下であったため、水深係数は3とした。	KK7 補足-028-08 「浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料 1.2 海水貯留堰における津波波力の設定方針について」
浮遊砂濃度を考慮した場合の津波波力の確認	津波が海底土砂を巻き上げて襲来する可能性を考慮し、浮遊砂が混じった海水の密度で津波波力を確認した。その結果、海水貯留堰鋼管矢板の評価に影響がないことを確認した。	KK7 補足-028-08 「浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料 1.2 海水貯留堰における津波波力の設定方針について」
流体力による津波波力の確認	非線形長波理論に基づいた平面2次元津波解析結果から抽出した水位及び流速を用いて、流体力による津波波力を算定した。また、静水圧差から算定した津波波力と比較し、静水圧差から算定した津波波力の方が大きくなることを確認した。	KK7 補足-028-08 「浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料 1.2 海水貯留堰における津波波力の設定方針について」

(4) まとめ

本資料では、柏崎刈羽原子力発電所の敷地前面海域において、非線形長波理論に基づく解析結果を用いて津波波力を算定することの妥当性及び、ガイドラインに基づき静水圧差より津波波力を算定することの妥当性について確認した。

- ・ 柏崎刈羽原子力発電所の敷地前面海域では、非線形分散波理論による解析結果にソリトン分裂は認められないことから、非線形長波理論に基づく解析結果を用いることは妥当と考えられる。
- ・ 当該サイトに襲来する津波は、海水貯留堰近傍でゆっくりとした水位上昇と下降を繰り返す特性を有することから、海水貯留堰の内外の静水圧差より津波波力を算定することは妥当であると考えられ、流体力式による波力と比較しても静水圧差による津波波力の方が大きくなることが確認される。

なお、以上の検討は、当該サイトの地形や構造物による津波の反射の影響、港湾構造物（防波堤）の有無や地震による敷地の変動などもパラメータとした各種ケースについて行ったものであり、津波の事象として網羅的な検討を行った結論となっている。

【参考文献】

- 1) 国土交通省 港湾局：防波堤の耐津波設計ガイドライン，平成 25 年 9 月。
- 2) 国土交通省住宅局長：東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針，平成 23 年 11 月 17 日。
- 3) 社団法人 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成 19 年 7 月。
- 4) 谷本勝利，高山知司，村上和男，村田繁，鶴谷広一，高橋重雄，森川雅行，吉本靖俊，中野晋，平石哲也：1983 年日本海中部地震津波の実態と二・三の考察，港湾技研資料（運輸省港湾技術研究所），No. 470，Nov. 1983.
- 5) 朝倉良介，岩瀬浩二，池谷毅，高尾誠，金戸俊道，藤井直樹，大森政則：護岸を越流した津波による波力に関する実験的研究，海外工学論文集，第 47 巻，pp.911-915，2000.
- 6) 石田暢生，森谷寛，中村英孝，飯島亨，川内英史：防潮堤に作用する津波波圧評価に用いる水深係数の適用範囲について，NRA 技術報告（原子力規制委員会），NTEC-2014-4001，平成 26 年 12 月。
- 7) 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔：掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発，海岸工学論文集，46，606-610，1999.
- 8) 土木学会原子力土木委員会 津波評価小委員会：原子力発電所の津波評価技術 2016，平成 28 年 9 月。

隣接建屋の影響に関する検討

目 次

1. 概要	1
1.1 隣接建屋の概要	1
1.2 検討概要	2
2. 既往の知見に基づく検討	3
2.1 既往の文献に基づく検討	3
2.1.1 試験概要	3
2.1.2 地盤物性	7
2.1.3 地震観測記録	9
2.1.4 建屋応答の比較	10
2.1.5 検討結果	11
2.2 3次元 FEM モデルを用いた検討	12
2.2.1 検討概要	12
2.2.2 地盤のモデル化	14
2.2.3 隣接建屋のモデル化	15
2.2.4 検討用地震動及び解析条件	16
2.2.5 検討結果	17
2.3 既往の知見に基づく検討のまとめ	21
3. 柏崎刈羽原子力発電所 第7号機における隣接建屋の影響検討	22
3.1 建物・構築物への影響検討	22
3.1.1 検討概要	22
3.1.2 解析ケース	23
3.1.3 建屋のモデル化	27
3.1.4 地盤のモデル化	39
3.1.5 検討用地震動	43
3.1.6 解析結果	44
3.1.7 床応答スペクトル	68
3.2 機器への影響検討	83
4. まとめ	84
4.1 既往の知見に基づく検討結果	84
4.2 柏崎刈羽原子力発電所 第7号機における隣接建屋の影響検討結果	85
4.2.1 建物・構築物への影響	85
4.2.2 機器への影響	85

- 別紙 1 建屋構造特性の整理
- 別紙 2 応答増幅の影響について
- 別紙 3 建屋付帯設備（建物・構築物）の応答増幅について
- 別紙 4 機器への影響検討

1. 概要

1.1 隣接建屋の概要

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機は、耐震安全上重要な建物・構築物（原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋及び廃棄物処理建屋）及び屋外重要土木構築物が隣接して配置される構成となっている。

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の配置図を図1-1に示す。各建屋は隣接しているため、隣接建屋が耐震性評価に及ぼす影響について検討する。各建屋の平面規模，質量等の構造特性については、「別紙1 建屋構造特性の整理」において整理している。

建物・構築物の主要構造部は、原則として耐震壁を主たる耐震要素とする鉄筋コンクリート造である。また、建物・構築物に隣接する屋外重要土木構築物については、すべて地中に埋設された鉄筋コンクリート構築物である。各建物・構築物及び屋外重要土木構築物は、硬質な岩盤に直接支持されている。

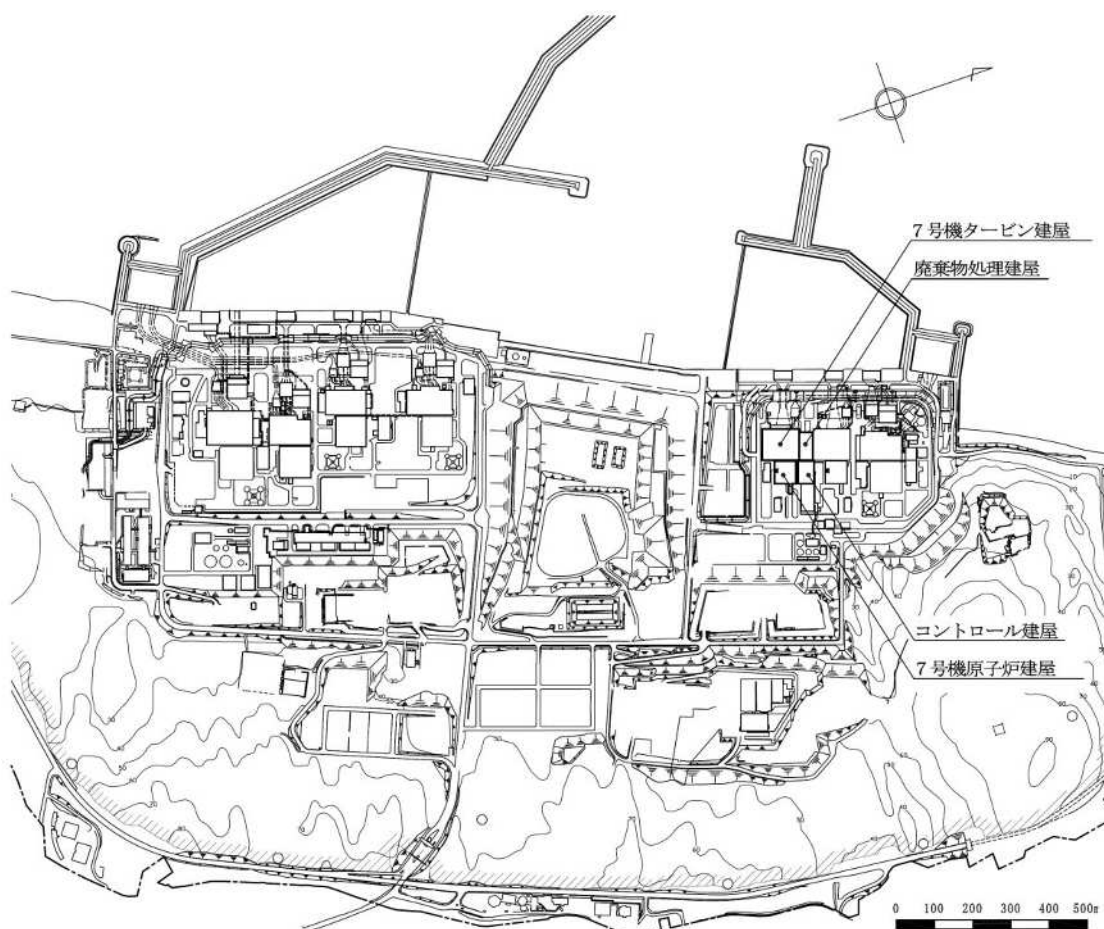


図1-1 柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の配置図

1.2 検討概要

建物・構築物の地震応答解析は、構造的に一体となっている建屋ごとに独立して構築した質点系モデルを用いて実施しており、耐震評価においては、隣接建屋の影響は考慮していない。

建物・構築物に隣接する屋外重要土木構造物については、すべて地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物であるため、建物・構築物の応答に与える影響は小さいと考えられる。

本資料では、既往の知見に基づく検討結果から一般論として隣接建屋の影響を考察したうえで、柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の隣接建屋の影響検討を実施することにより、隣接建屋の影響が原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋の構造健全性に与える影響を確認する。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものであり、使用する計算機プログラムについても以下の資料に準ずる。

- ・ V-2-2-2 「原子炉建屋の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-2-6 「タービン建屋の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-2-10 「コントロール建屋の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-2-12 「廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-4-2-1 「使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐震性についての計算書」
- ・ V-2-5-5-1-2 「復水貯蔵槽の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-7-2-1 「主排気筒の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-8-4-3 「中央制御室遮蔽の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-8-4-4 「中央制御室待避室遮蔽の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-9-2-1 「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-9-3-1 「原子炉建屋原子炉区域（二次格納施設）の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-9-3-1-1 「燃料取替床ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」
- ・ V-2-9-3-1-2 「主蒸気系トンネル室ブローアウトパネルの耐震性についての計算書」
- ・ V-2-9-3-3 「原子炉建屋エアロックの耐震性についての計算書」
- ・ V-2-9-3-4 「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」
- ・ V-2-9-5-5 「燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-10-2-2-1 「取水槽閉止板の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-10-2-3-1 「水密扉の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-10-2-3-2 「水密扉付止水堰の耐震性についての計算書」
- ・ V-2-10-2-3-3 「止水堰の耐震性についての計算書」

2. 既往の知見に基づく検討

本章では、既往の知見に基づく検討として、「2.1 既往の文献に基づく検討」及び「2.2 3次元 FEM モデルを用いた検討」を実施し、隣接建屋の影響について考察する。

2.1 既往の文献に基づく検討

(財)原子力発電技術機構において、建屋の隣接効果を明らかにすることを目的とした「原子炉建屋の隣接効果試験¹⁾」(以下「NUPEC 試験」という。)の一環として、原子炉施設の実際の建屋配置状況に則して実地盤上に建設された鉄筋コンクリート製試験体を用いた検討が実施されている²⁾。この試験では、地盤及び試験体に設置された加速度計により地震観測を実施し、建屋が隣接状態にある場合の振動性状について検討が実施されている。ここでは、地震観測に基づく検討結果から隣接効果が建屋応答に及ぼす影響について検討する。

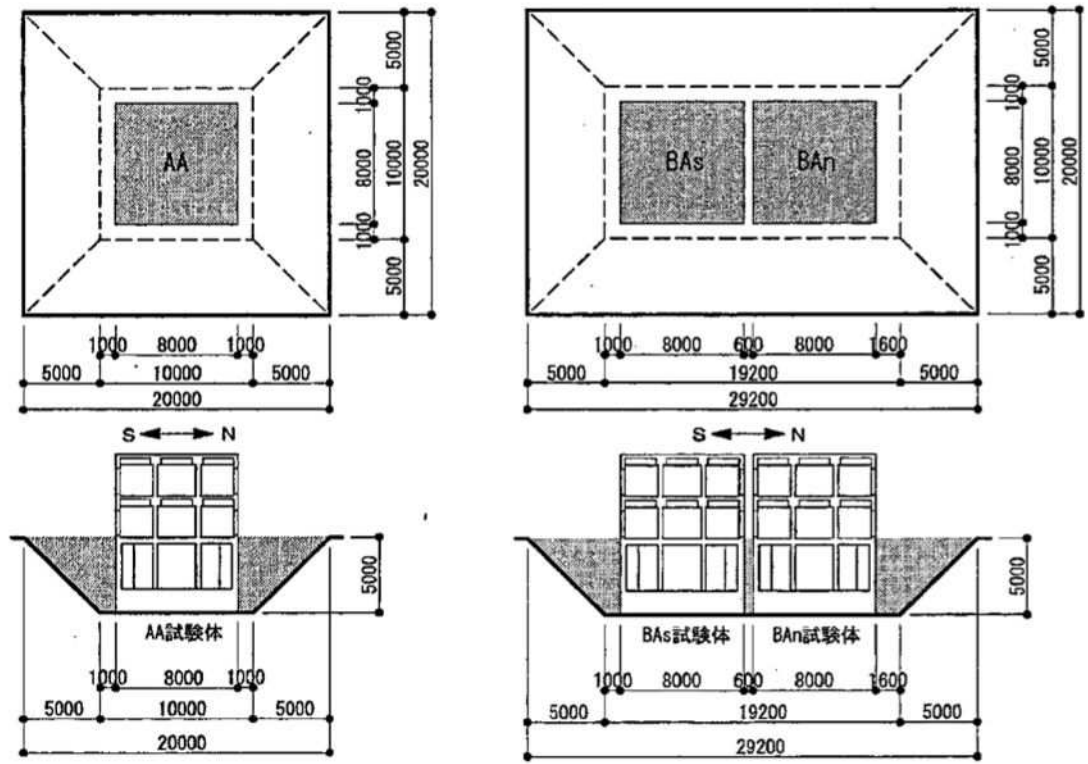
2.1.1 試験概要

「NUPEC 試験」の中では、原子炉建屋に対して、原子炉建屋あるいは制御建屋等の振動特性が同種の建屋が隣接する場合について、検討を実施している。ここでは、その検討結果を示す。

試験においては、単独で設置された建屋試験体及び同種 2 棟の建屋を隣接させた試験体(以下「試験体(単独)」及び「試験体(同種 2 棟隣接)」という)を用いて、地震観測が実施されている。

試験体(単独)(AA 建屋)及び試験体(同種 2 棟隣接)(BAS 建屋及び BAN 建屋)の各建屋は、8m×8m のほぼ正方形の平面を成し、基礎下端から建屋頂部までの高さは 10.5m である。埋込みの有無が隣接効果に及ぼす影響を把握するため、埋込みのない状態で試験が開始されており、後に試験体下部 5m を埋込んだ状態で地震観測が実施されている。地盤及び建屋各部には加速度計が配置されており、自由地盤及び建屋の応答加速度が計測されている。

試験体の概要を図 2-1 に、試験体配置図を図 2-2 に、試験体建屋諸元を図 2-3 に、試験体内の加速度計配置図を図 2-4 に、検討ケースを表 2-1 にそれぞれ示す。



(単独)

(同種 2 棟隣接)

図 2-1 試験体の概要¹⁾

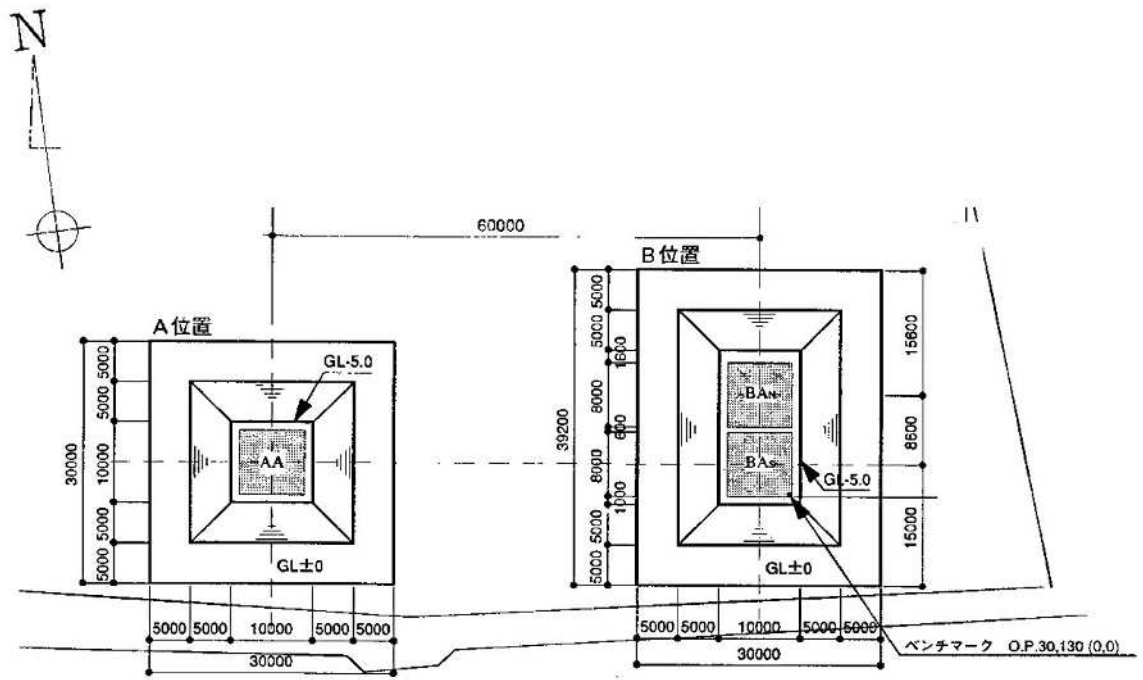


図 2-2 試験体の配置図¹⁾

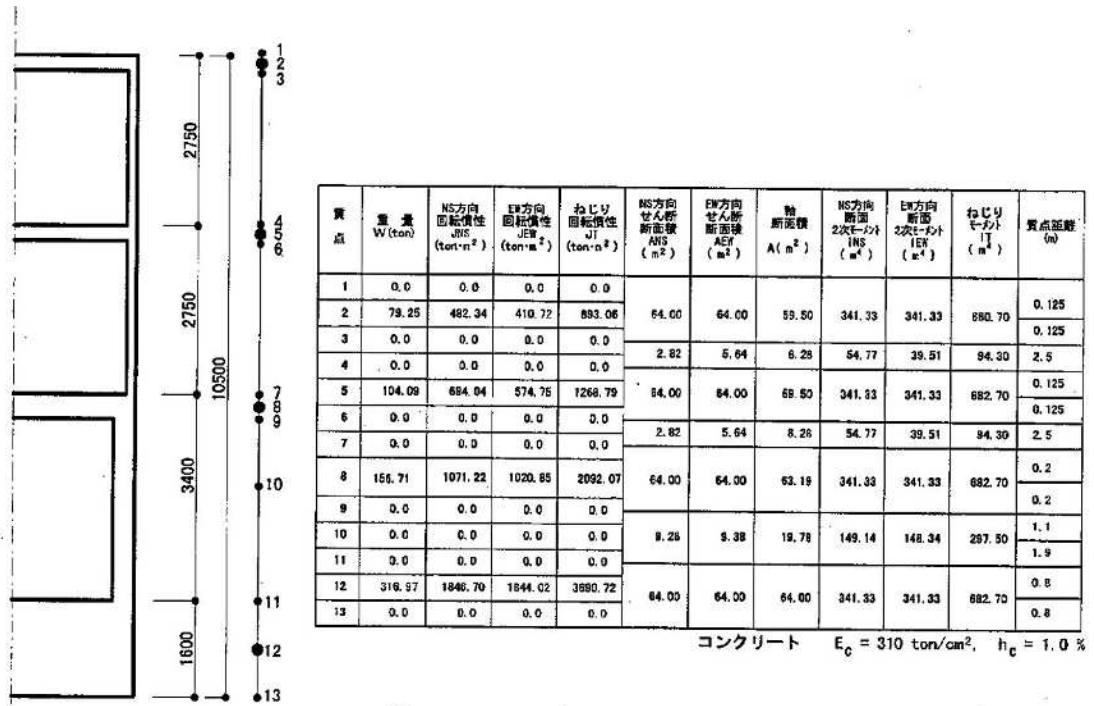
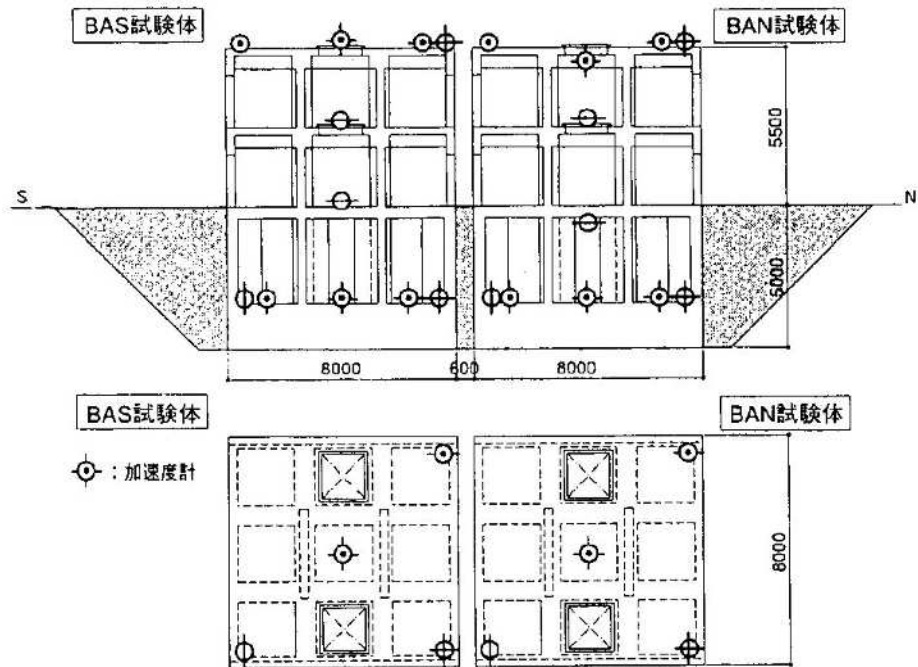


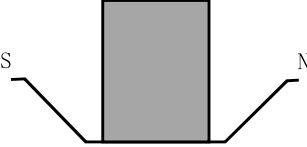
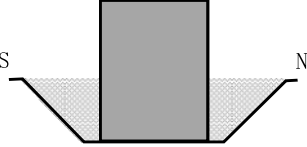

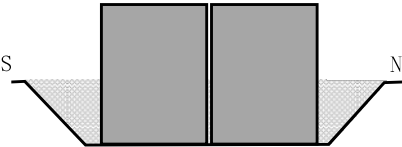
図 2-3 試験体建屋諸元¹⁾



注：AA 試験体内の加速度計も，上記試験体の配置に準ずる。

図 2-4 試験体内の加速度計配置図 (BAS, BAN 試験体)¹⁾

表 2-1 検討ケース

試験体	埋込み無し	埋込み有り
単独		
同種 2 棟隣接		

2.1.2 地盤物性

試験体設置地盤の概要を表 2-2 及び図 2-5 に示す。表 2-2 中の①～⑦層は埋込み無しと、埋込み有りの試験体に共通で、⑧～⑫層は埋め戻し土のため、埋込み有りの試験にのみ適用される。

表 2-2 地盤物性値¹⁾

層No.	深度(m)	層厚(m)	S波速度 Vs(m/sec)	P波速度 Vp(m/sec)	ポアソン比	単位体積重量 (t/m ³)	減衰定数 h(%)
①	-5.0~-5.5 (緩み層)	0.5	150	228	0.120	1.94	5
②	-5.5~-8.0	2.5	340	750	0.371	1.94	5
③	-8.0~-11.0	3.0	430	1130	0.415	1.94	2
④	-11.0~ 25.0	14.0	1290	2990	0.386	2.21	2
⑤	-25.0~-52.75	27.75	1590	3250	0.343	2.21	2
⑥	0.0~-3.8	3.8	(160)	(380)	(0.392)	(1.64)	-
⑦	-3.8~-5.0	1.2	(320)	(650)	(0.340)	(1.85)	-
⑧	0.0~-1.0	1.0	155	360	0.386	1.77	5
⑨	-1.0~-2.0	1.0	205	370	0.279	1.77	5
⑩	-2.0~-3.0	1.0	215	380	0.265	1.77	5
⑪	-3.0~-4.0	1.0	225	390	0.251	1.77	5
⑫	-4.0~-5.0	1.0	235	420	0.272	1.77	5

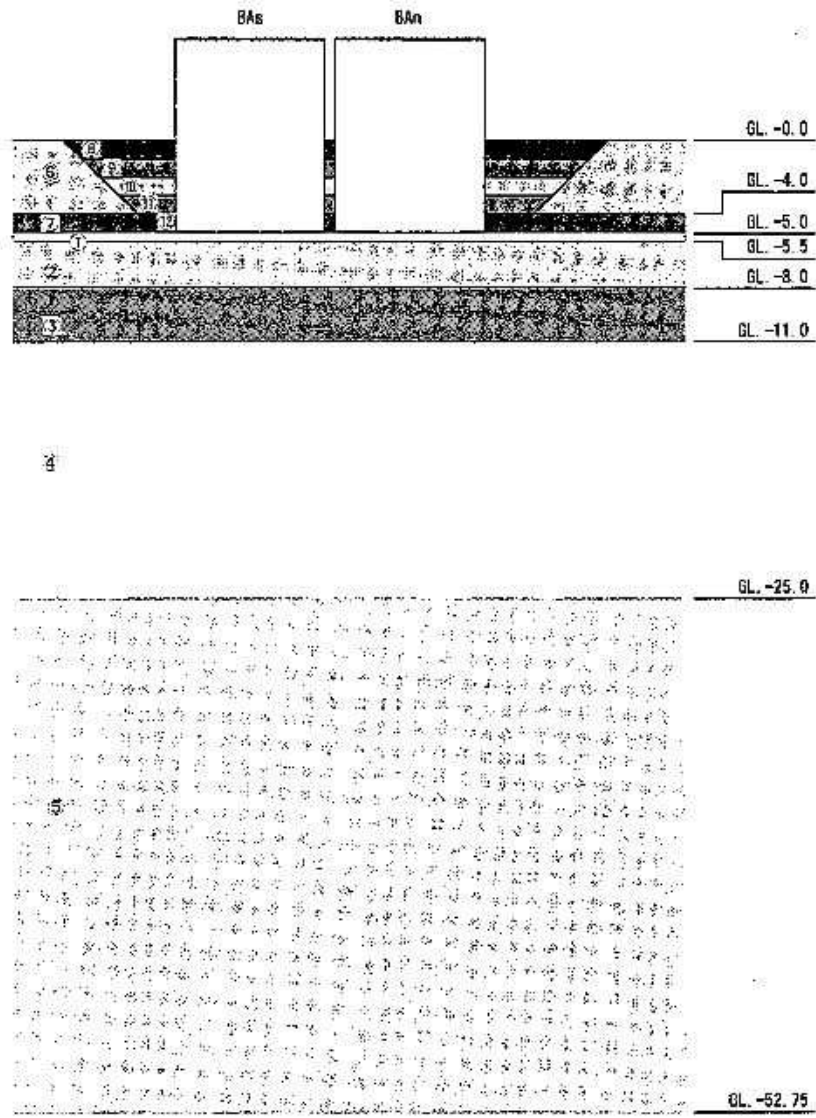


图 2-5 地盤層番号图¹⁾

2.1.3 地震観測記録

本検討に使用した地震観測記録（観測番号：No.157, No.164）の概要を表 2-3 に示す。観測記録 No.157 は、試験体の建屋下部を埋め込んでいない状態のときの観測記録であり、観測記録 No.164 は、埋め込んだ状態のときの観測記録である。

また、図 2-6 に自由地盤（GL. -3.0m）の加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトルを示す。両地震ともに震央位置及び震源深さが近接し、観測波形の形状は類似している。鈴木ら²⁾は、表層ではスペクトルに見られる明瞭なピークから、水平の1次卓越振動数は6Hz前後としており、これは表層地盤の卓越振動数に対応するものと考察している。

表 2-3 地震観測記録²⁾

観測番号	観測日	M	震央	震央距離 (km)	震源距離 (km)
No. 157	H10.1.31	5.1	青森県東方沖	66	89
No. 164	H10.11.7	4.6	浦賀沖	71	95

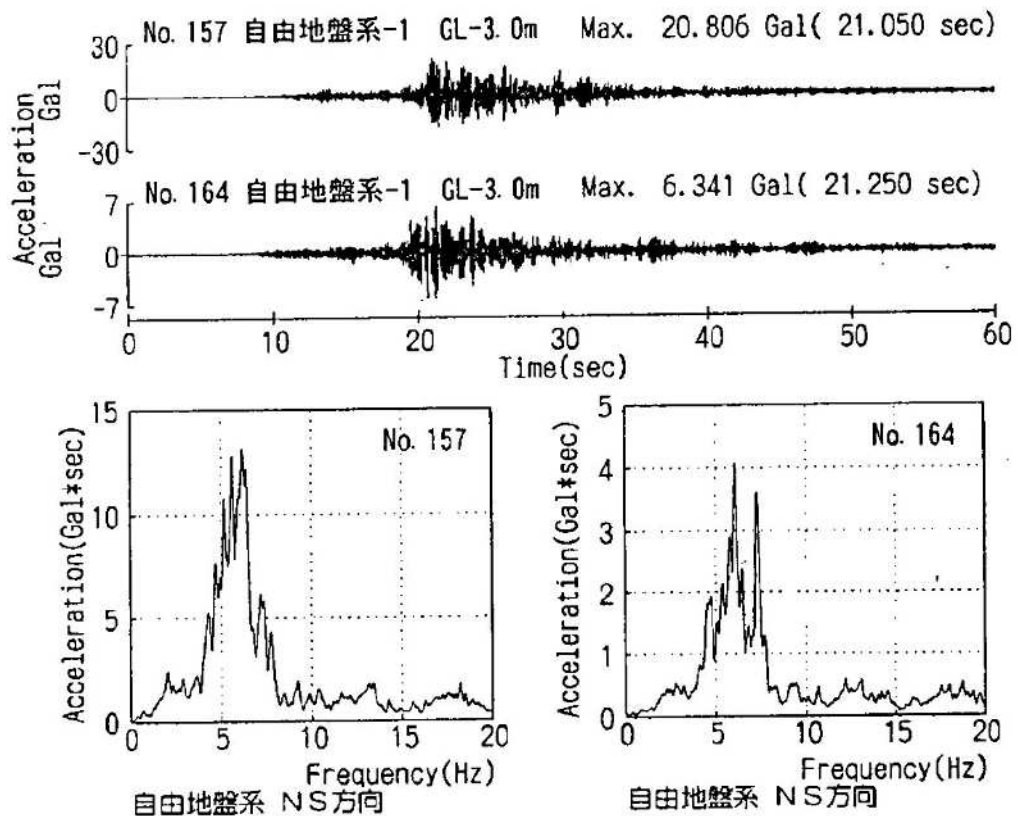


図 2-6 地震観測記録の自由地盤での加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトル²⁾

2.1.4 建屋応答の比較

鈴木ら²⁾は、表 2-3 の観測記録による試験体（単独）及び試験体（同種 2 棟隣接）の水平方向の最大加速度は、試験体の建屋下部を埋め込まない状態で計測した観測記録 No. 157 の場合、両試験体の観測結果に明瞭な差が認められないと考察している。

一方、試験体の建屋下部を埋め込んだ状態で計測した観測記録 No. 164 の場合、NS 方向、EW 方向ともに隣接配置された試験体（同種 2 棟隣接）の最大加速度が単独に比べ小さくなり、建屋が隣接する方向（NS 方向）では単独に比べ、80%～90%程度、建屋隣接方向に直交する方向（EW 方向）では、70%前後の低下率になると考察している。

また、両地震による建屋頂部での加速度記録のフーリエスペクトルを図 2-7 のとおり整理し、単独と同種 2 棟隣接の比較において、埋込み無しの状態では水平、上下ともに類似のスペクトル形状であるのに対し、埋込み有りの状態では同種 2 棟隣接の方が水平方向のピーク振幅が明らかに低下する傾向が見られると考察している。

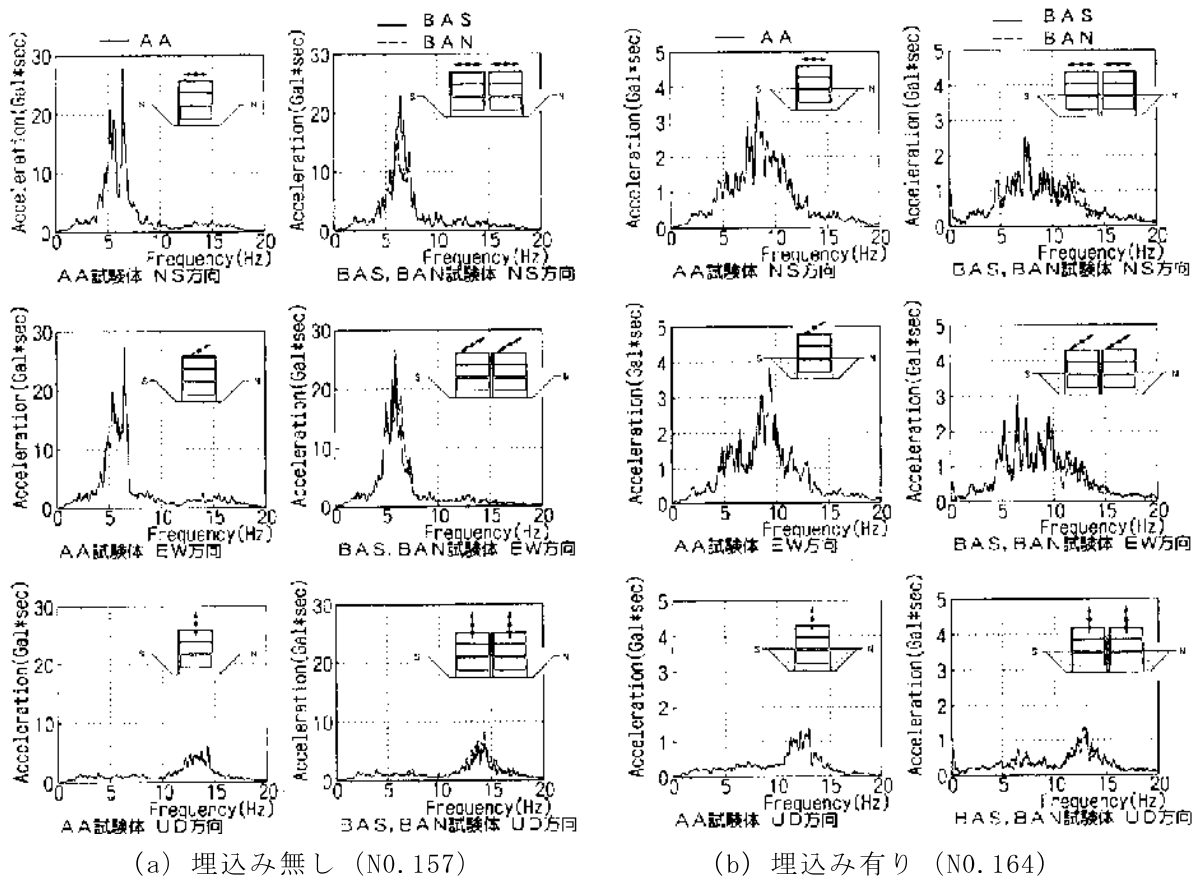


図 2-7 建屋観測結果の比較（単独と同種 2 棟隣接）²⁾

2.1.5 検討結果

「NUPEC 試験」の一環として実地盤上に建設された鉄筋コンクリート製試験体における地震観測による検討について、単独で設置された建屋試験体と同種 2 棟の建屋を隣接させた試験体の建屋応答の比較をまとめたものを表 2-4 に示す。

建屋が隣接する場合の地震応答は、単独の場合と比較してほぼ同等又は低減される傾向となることが確認されている。

また、本検討では、平成 6 年度から平成 13 年度までの 8 年間にわたる「NUPEC 試験」結果の一例を示したが、一連の試験の中では、ほかに試験体（単独）と試験体（異種 2 棟隣接）の地震観測、起振試験及び室内試験、並びにそれらの確認シミュレーションを通して、様々な条件下における隣接効果について検討が実施されている。これらの検討により、隣接効果は、隣接する建屋が、建屋と地盤との相互作用である「地盤ばね」及び「基礎入力動」に与える影響によるものであることが確認されている。

更に、隣接効果による建屋応答の性状変化は、建屋条件により固有のものとなることが明らかにされているが、定性的には、建屋が隣接した状態と単独の状態を比較した場合、隣接した状態の方が建屋応答が低減される傾向にあることが確認されている。

表 2-4 建屋応答の比較

	試験体（単独）と試験体（同種 2 棟隣接）	
	建屋並び方向 (NS 方向)	建屋の並びに直角な方向 (EW 方向)
埋込み無し	ほぼ同等	ほぼ同等
埋込み有り	単独に比べ、同種 2 棟隣接は 80%~90%程度の低下	単独に比べ、同種 2 棟隣接は 70%前後の低下

2.2 3次元 FEM モデルを用いた検討

中村ら³⁾は隣接建屋が建屋応答に与える影響を把握するため、3次元 FEM モデルを用いた検討を実施している。

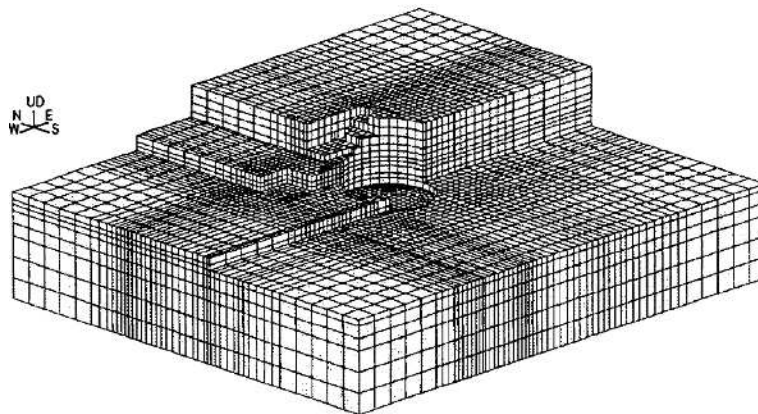
2.2.1 検討概要

本検討では、図 2-8 に示すような隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））を考慮しないモデルと隣接建屋を考慮したモデルの 2 種類の 3 次元 FEM モデルを構築し、評価対象である原子炉建屋（R/B）の基礎底面における地盤インピーダンス*及び基礎入力動の加速度応答スペクトルを比較することで、隣接建屋が地震応答解析に用いる建屋－地盤連成モデル及び入力地震動に与える影響を確認している。

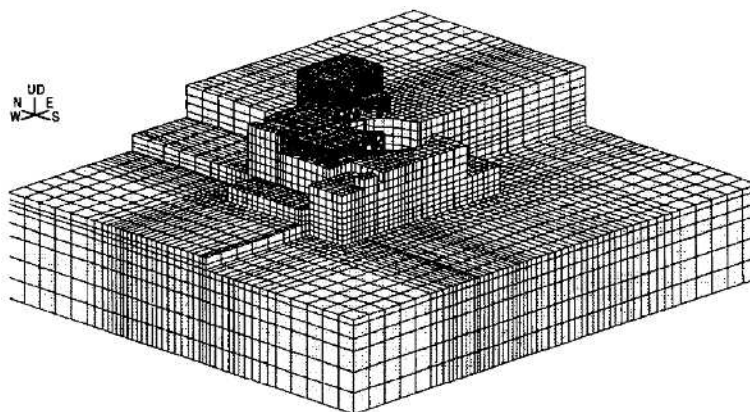
なお、本検討は $V_s = 1,650 \text{ m/s}$ の硬質な岩盤に直接支持される原子力施設を対象に実施されている。

注記* : 地盤インピーダンス

地盤－建物間の相互作用を考慮した、基礎底面における動的地盤ばね（剛性と減衰）であり、振動数依存性を有する複素数となる。（図 2-9）

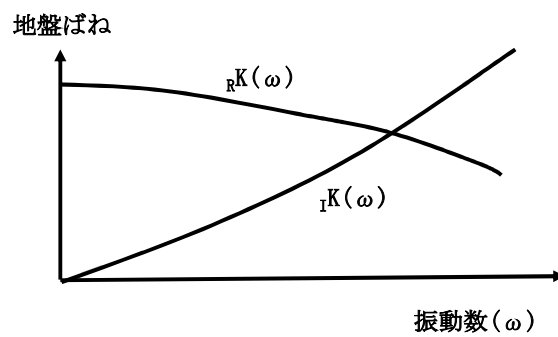


(a) 隣接建屋非考慮



(b) 隣接建屋考慮

図 2-8 3次元 FEM モデル³⁾



$rK(\omega)$: 実数部, $iK(\omega)$: 虚数部

図 2-9 地盤ばねの近似

2.2.2 地盤のモデル化

本検討で使用する地盤 FEM モデルの形状を図 2-10 に示す。地盤はソリッド要素でモデル化されている。地盤は硬質で一様な物性の岩盤とし、本検討で想定する地震動に対して弾性状態と考えられることから、線形材料とされている。地盤物性を表 2-5 に示す。

地盤の境界条件については、底面及び側面ともに粘性境界とされている。このとき、粘性境界付近での解析精度の低下が、評価対象である R/B の基礎底面の応答に与える影響を低減させるために、評価対象である R/B の基礎底面に比べて地盤 FEM モデルの平面サイズを十分に大きく設定されている（約 5~6 倍）。

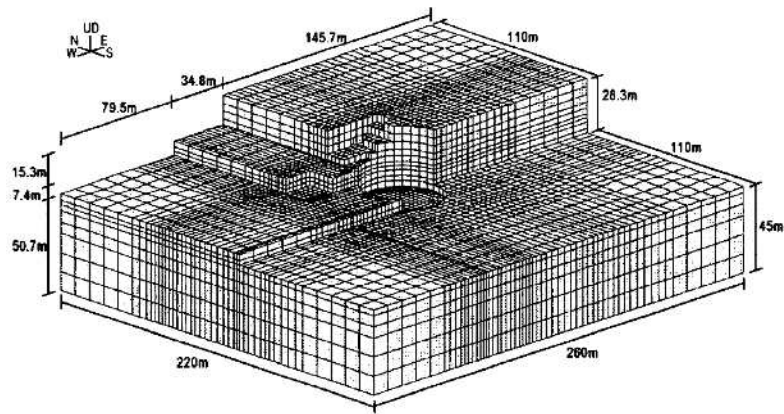


図 2-10 地盤 FEM モデル³⁾

表 2-5 地盤物性一覧³⁾

せん断波速度 V_s (m/s)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)	単位体積重量 γ (t/m^3)
1650	0.40	3.0	2.6

2.2.3 隣接建屋のモデル化

本検討で使用されている隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））のモデル形状を図2-11に、隣接建屋の各部材のモデル化について表2-6に示す。なお、A/Bの基礎浮上りは考慮されていない。

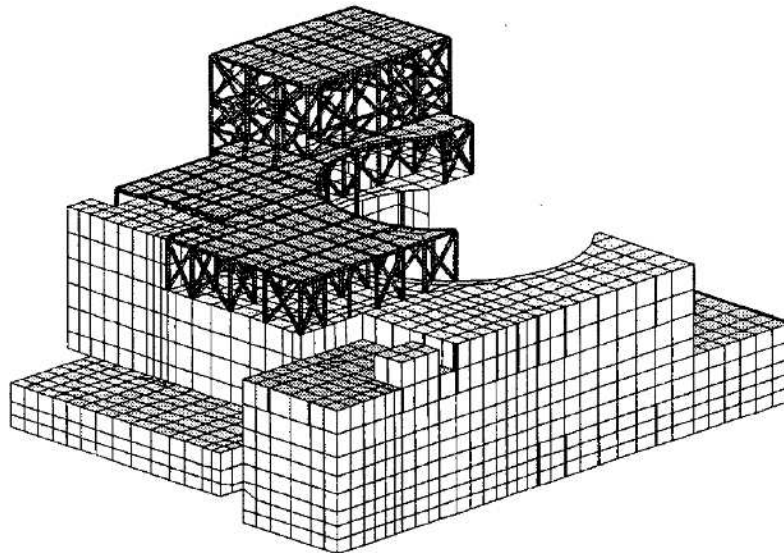


図2-11 隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））のモデル形状図³⁾

表2-6 原子炉補助建屋（A/B）の各部材のモデル化について

名称	部材	構成要素
原子炉補助建屋 (A/B)	壁	積層シェル要素
	スラブ	線形シェル要素
	鉄骨部	梁要素 トラス要素

2.2.4 検討用地震動及び解析条件

検討用地震動として、水平最大加速度 750 Gal の模擬地震動（図 2-12）が用いられており、入力にあたっては、地盤 FEM モデル（隣接建屋無し）の R/B 基礎底面位置の応答が検討用地震動と等価となるような補正波を作成し、地盤 FEM モデル底面に入力されている。

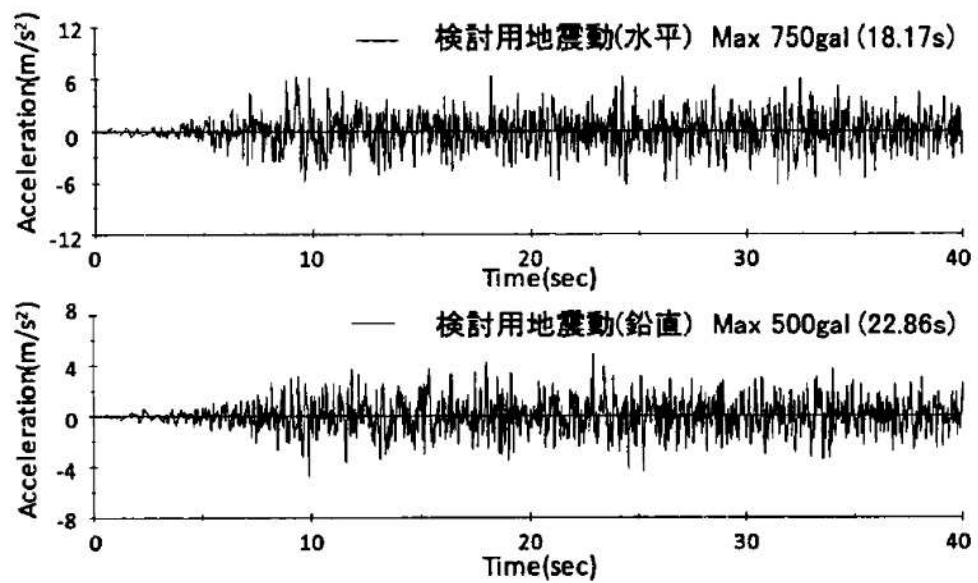


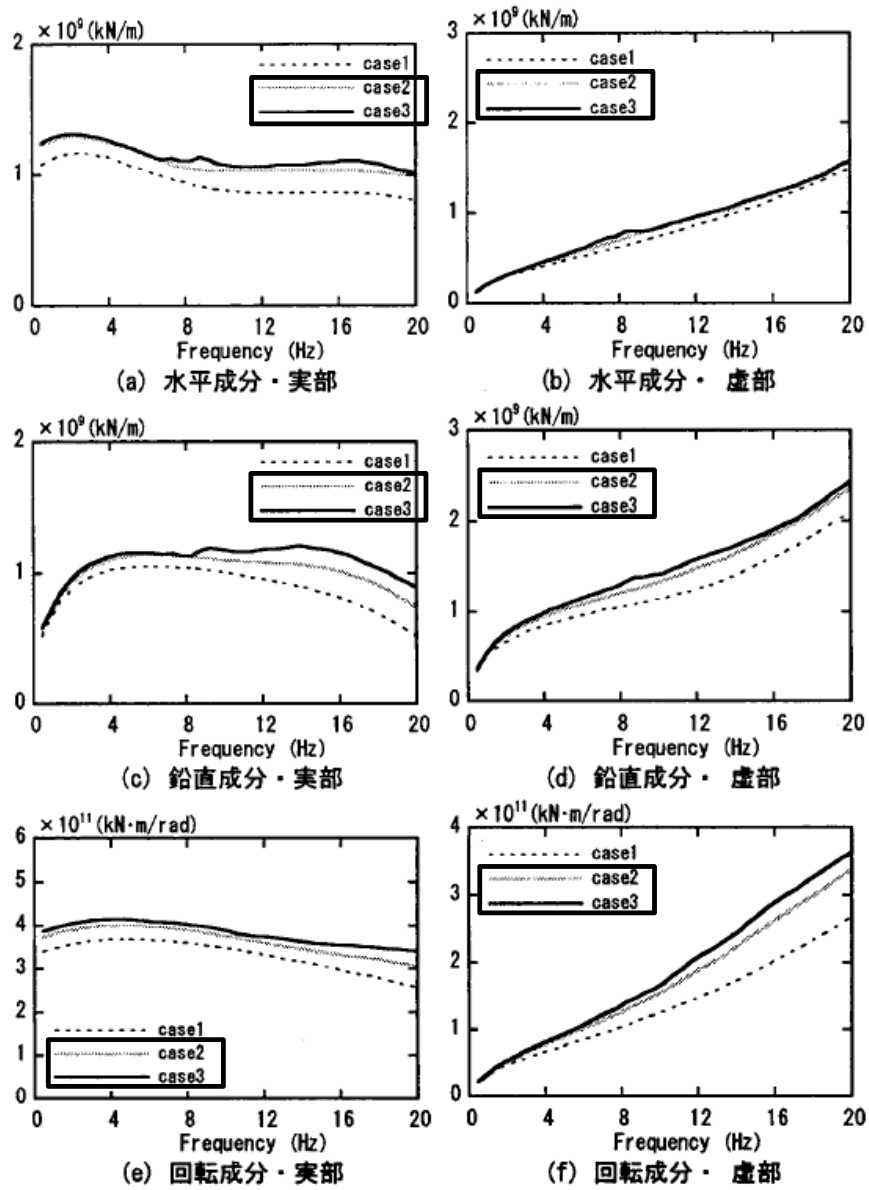
図 2-12 検討用地震動³⁾

2.2.5 検討結果

(1) 地盤インピーダンス（動的地盤ばね）の比較

検討では解析モデル間の地盤インピーダンス（動的地盤ばね）の比較が行われている。解析モデルは図 2-8 に示したモデルであり、隣接建屋を考慮しないモデルを Case2、隣接建屋を考慮するモデルを Case3 と呼称されている。検討は、水平（EW）、鉛直（UD）、回転（NS 方向周り）の 3 成分について行われている。インピーダンス算定においては、R/B の基礎底面位置の地盤表面を剛とし、インパルス加振が行われている。インパルス加振の時刻歴波と剛板の応答変位時刻歴波をフーリエ変換し、振動数領域で除算を行うことにより、地盤インピーダンスが算定されている。

図 2-13 に入力成分ごとの各ケースの地盤インピーダンスの比較を示す。Case2 及び Case3 の地盤インピーダンスは、8 Hz 近傍で隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））の固有振動数の影響と考えられる励起が見られ、8 Hz 以上で若干差異が見られるが、全体としては良く対応しており、地盤インピーダンス（動的地盤ばね）における隣接建屋の影響は比較的小さいといえると考察している。



□ : 比較するケースを示す。

(Case2: 隣接建屋を考慮しない, Case3: 隣接建屋を考慮する)

図 2-13 地盤インピーダンスの比較³⁾

(2) 基礎入力動の加速度応答スペクトルの比較

検討では、検討用地震動による基礎入力動の評価が行われている。基礎入力動は、図 2-8 に示したモデルにおいて R/B の基礎底面に入力される地震動として定義されている。

図 2-10 の地盤 FEM モデルの底面から、「2.2.4 検討用地震動及び解析条件」の補正波を入力し、R/B の基礎底面位置の応答が比較されている。検討において設定されている解析ケースを表 2-7 に示す。水平単独入力と水平鉛直同時入力でケース分けされている。

基礎底面位置における最大加速度の比較を表 2-8 に、加速度応答スペクトルの比較を図 2-14 に示す。

検討では、比較の結果、水平・鉛直ともに Case2 と Case3 の差異は小さく、隣接建屋による基礎入力動への影響は小さいといえたと考察している。

表 2-7 解析ケース

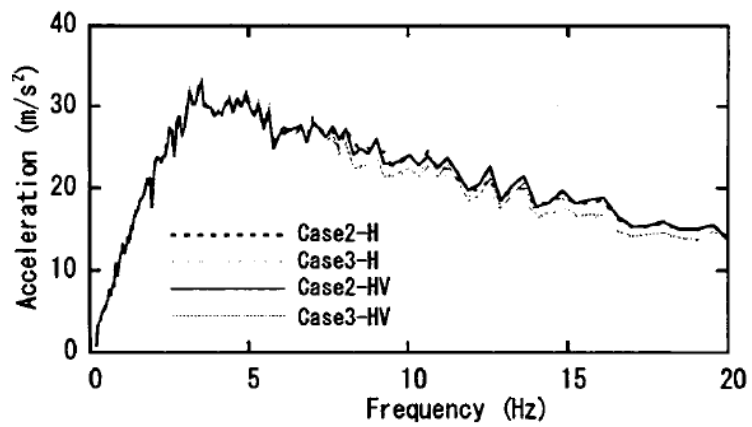
ケース名* ¹	隣接建屋考慮の有無	入力地震* ²
Case2-H	無し	H
Case3-H	有り	H
Case2-HV	無し	H+V
Case3-HV	有り	H+V

注記 *1：隣接建屋の検討に用いているケースを示す。

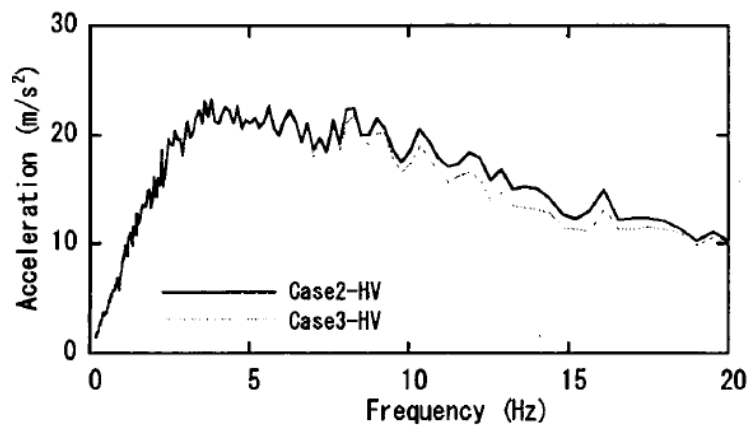
*2：H は水平単独入力，H+V は水平鉛直同時入力を意味する。

表 2-8 基礎底面位置における最大加速度 (cm/s²)

ケース名	水平加速度	鉛直加速度
Case2-H	609	—
Case3-H	601	—
Case2-HV	621	454
Case3-HV	618	448



(a) 水平加速度応答スペクトル



(b) 鉛直加速度応答スペクトル

図 2-14 基礎底面位置の加速度応答スペクトルの比較 (h=1%)³⁾

2.3 既往の知見に基づく検討のまとめ

既往の知見に基づく検討（「2.1 既往の文献に基づく検討」及び「2.2 3次元 FEMモデルを用いた検討」）結果より，一般論として隣接建屋が建屋応答に与える影響が小さいことを確認した。

「2.1 既往の文献に基づく検討」は今回の検討とは隣接する各建屋の配置状況，建屋重量，基礎形状などの条件が異なることから，隣接影響効果を単純に比較できないため，本章は参考として記載している。

「2.2 3次元 FEMモデルを用いた検討」では，隣接建屋が建屋応答に与える影響は少ないが，隣接建屋の固有振動数の影響で地盤インピーダンスに励起が見られた。この文献³⁾の結びにも記載されているが， $V_s = 1,650 \text{ m/s}$ の硬質な岩盤に直接支持される原子力施設といった，極めて限定された解析条件での結果であり，柏崎刈羽原子力発電所 第7号機における軟岩サイトでは検討条件が異なるため，文献³⁾の結果同様，隣接影響が小さくなるとは限らない。

次章では，柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の詳細検討を実施することで隣接建屋が建物・構築物の耐震評価に与える影響を詳細に確認する。

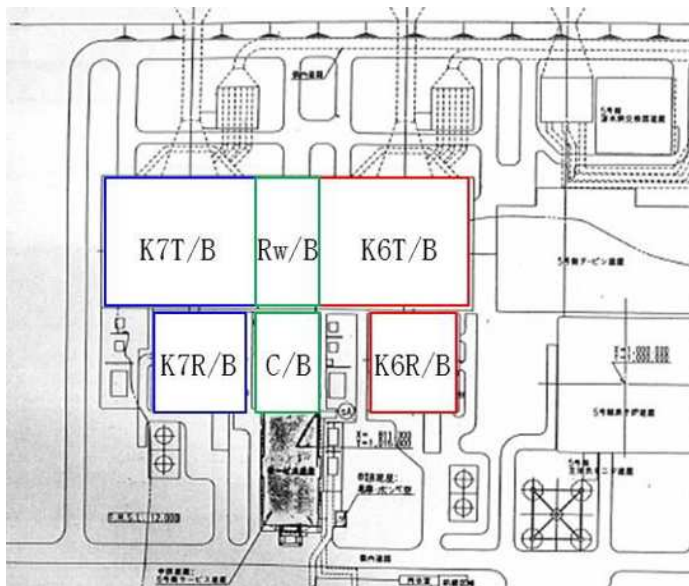
3. 柏崎刈羽原子力発電所 第7号機における隣接建屋の影響検討

3.1 建物・構築物への影響検討

3.1.1 検討概要

本検討では、柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合と各建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較することで隣接建屋が建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認する。

検討に当たっては、解析コード「NAPIS0S Ver.2.0」を用いる。モデル化対象建屋の配置を図3-1に示す。柏崎刈羽原子力発電所 第7号機は第6号機と隣接しているため、6号機原子炉建屋及び6号機タービン建屋をモデル化対象建屋に含む。



【建物・構築物】

K7R/B：7号機原子炉建屋

C/B：コントロール建屋

K7T/B：7号機タービン建屋

Rw/B：廃棄物処理建屋

K6R/B：6号機原子炉建屋

K6T/B：6号機タービン建屋

図3-1 モデル化対象建屋の配置

3.1.2 解析ケース

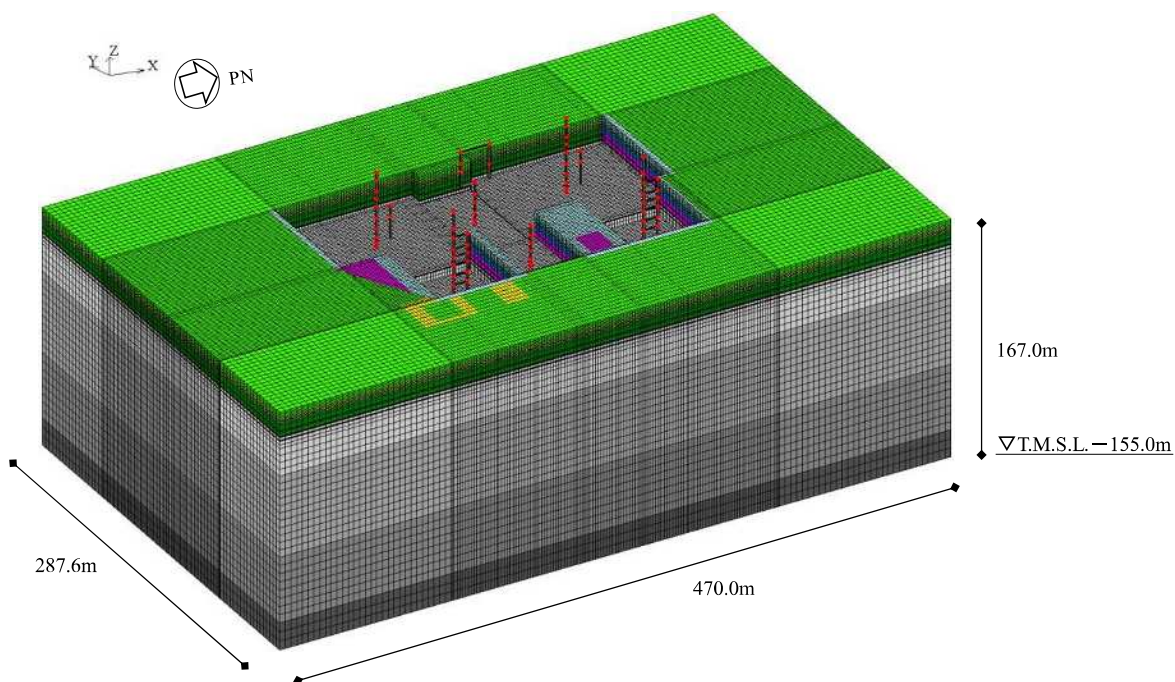
本検討における解析ケースの一覧を表 3-1 に示す。解析ケース「ALL」については、7 号機原子炉建屋（以下「K7R/B」という。）、コントロール建屋（以下「C/B」という。）、7 号機タービン建屋（以下「K7T/B」という。）、廃棄物処理建屋（以下「Rw/B」という。）、6 号機原子炉建屋（以下「K6R/B」という。）、6 号機タービン建屋（以下「K6T/B」という。）及び建屋周辺のマンメイドロック、地盤改良をモデル化して解析を実施する。解析ケース「S1」～「S4」については、K7R/B、C/B、K7T/B 及び Rw/B を単独でモデル化して解析を実施する。

図 3-2～図 3-6 に各解析モデルの概要を示す。各解析モデルは、ソリッド要素でモデル化した地盤上に、各建屋を質点系モデルとしてモデル化する。解析は線形とし、時刻歴応答解析を実施する。

検討は、各ケースそれぞれについて水平（NS 方向，EW 方向）2 成分について行う。

表 3-1 解析ケース一覧

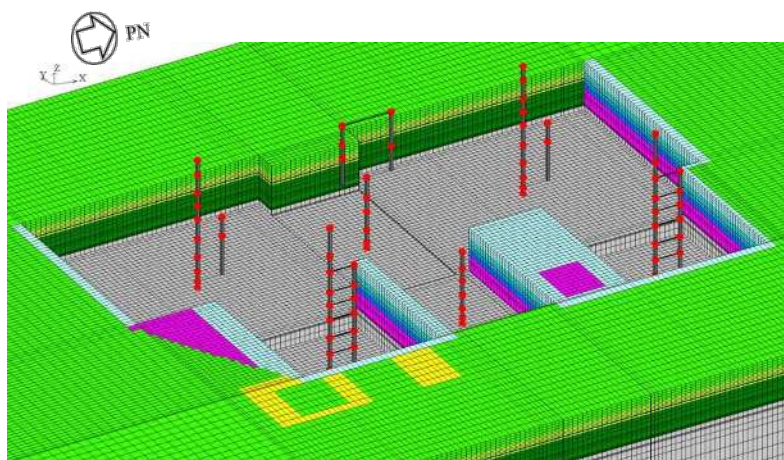
解析 ケース	モデル化する建屋
ALL	K7R/B C/B K7T/B Rw/B K6R/B K6T/B
S1	K7R/B
S2	C/B
S3	K7T/B
S4	Rw/B



注：東京湾平均海面（以下、「T.M.S.L.」という。）

(a) 鳥観図：全体図

	新期砂層	表層1
		表層2
	古安田層	古安田層
	西山層	西山層1
		西山層2
		西山層3
		西山層4
	マンメイドロック	マンメイドロック
	地盤改良体	地盤改良体
	埋戻土層	埋戻土層1
		埋戻土層2
		埋戻土層3
		埋戻土層4



(b) 鳥観図：建屋部分拡大図

図 3-2 解析モデルの概要：解析ケース ALL

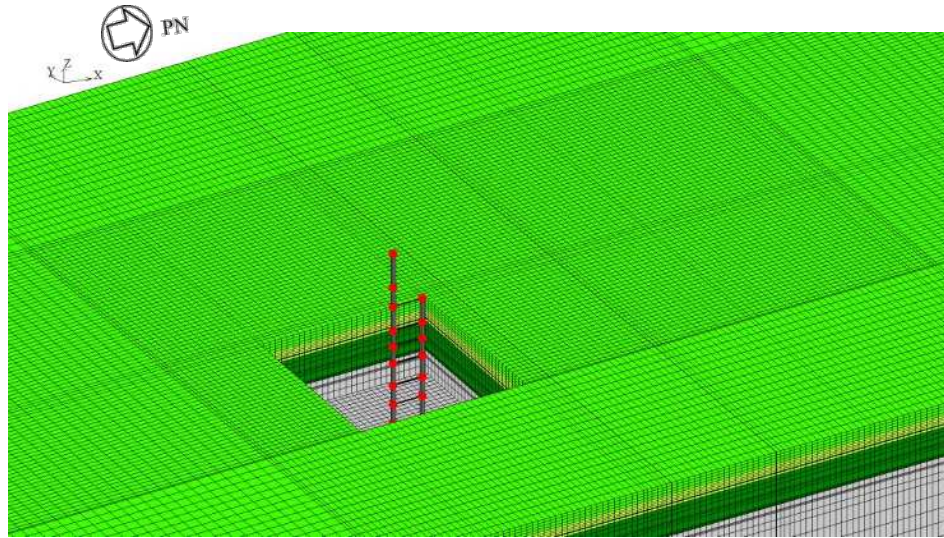


図 3-3 解析モデルの概要：解析ケース S1 (K7R/B 単独)

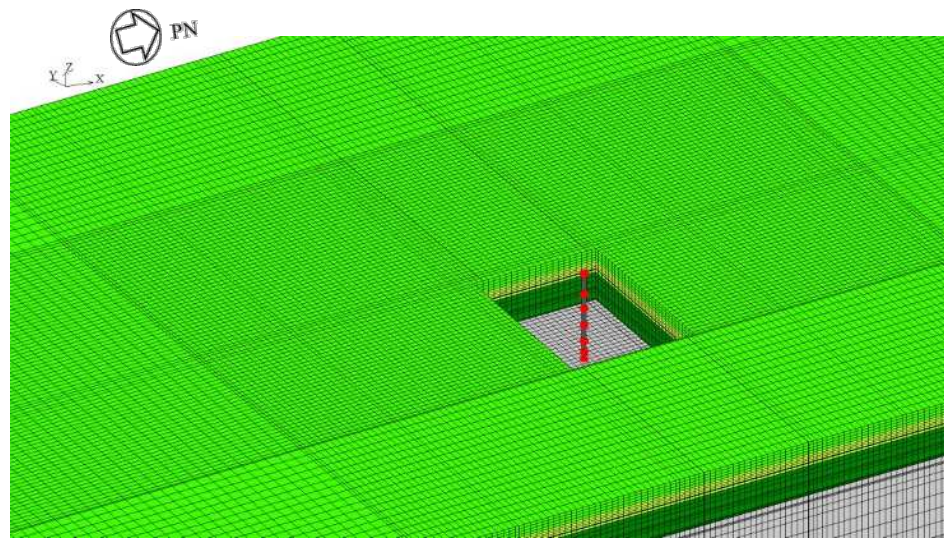


図 3-4 解析モデルの概要：解析ケース S2 (C/B 単独)

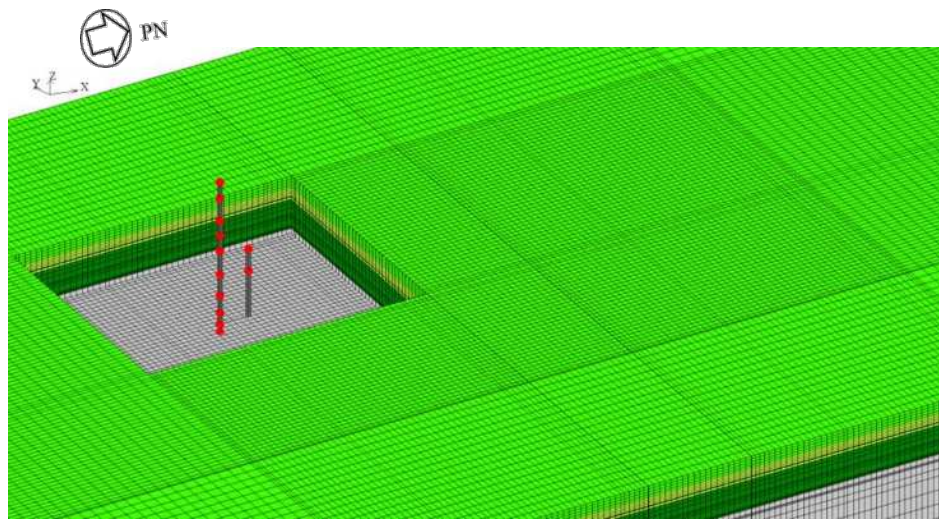


図 3-5 解析モデルの概要：解析ケース S3 (K7T/B 単独)

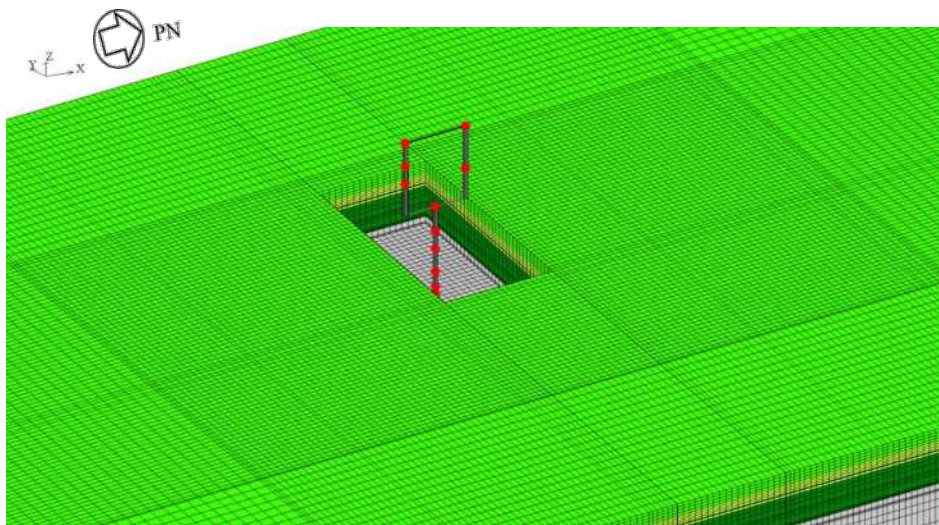


図 3-6 解析モデルの概要：解析ケース S4 (Rw/B 単独)

3.1.3 建屋のモデル化

建屋モデルは、柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の各地震応答計算書（「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」，「V-2-2-9 コントロール建屋の地震応答計算書」，「V-2-2-5 タービン建屋の地震応答計算書」，「V-2-2-11 廃棄物処理建屋の地震応答計算書」）に記載のモデルの諸元に基づく。なお，タービン建屋については図3-10に示すモデル（隣接影響評価用に質点を単軸に集約したモデル）及び表3-4に示すモデル諸元とする。ただし，「3.1.5 検討用地震動」に示す入力レベルでは建屋はほぼ弾性状態と考えられることから，部材の非線形特性は考慮しない。

各モデルは基礎の中心に各建屋モデルを配置する。

各建屋の解析モデルの基礎寸法を，全体配置とともに図3-7に示す。

図3-8～図3-11に各建屋の建屋モデル図を，表3-2～表3-5にモデル諸元を示す。

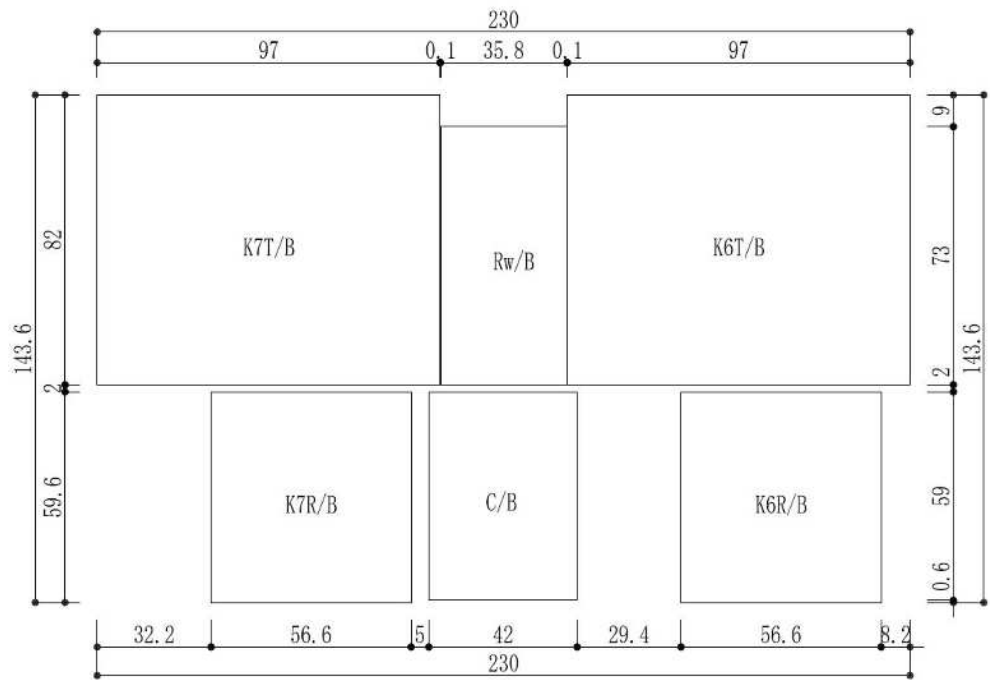
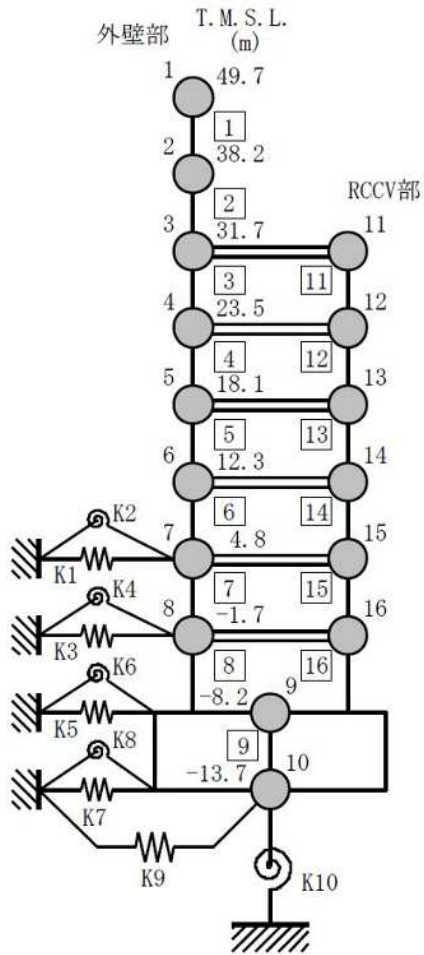
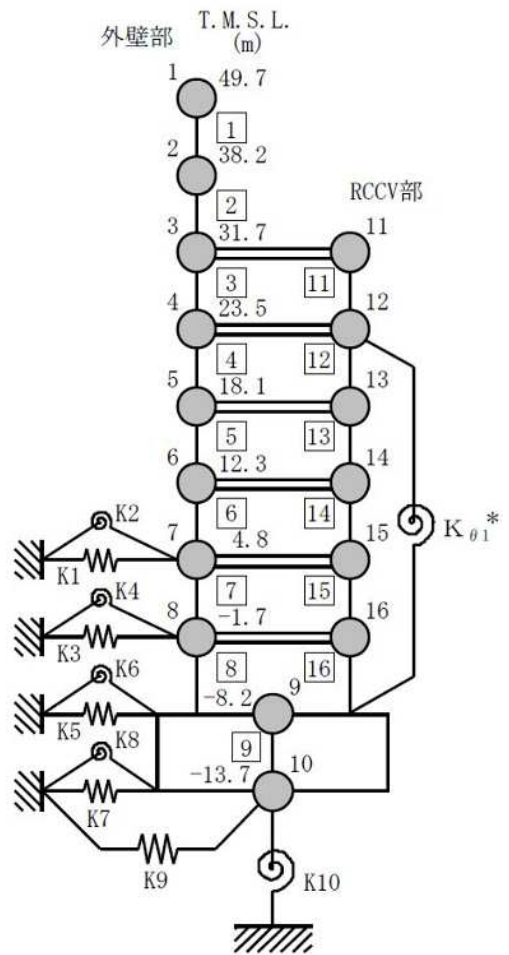


図 3-7 各建屋の解析モデルの基礎寸法及び全体配置図 (単位 : m)



(a) NS 方向



(b) EW 方向

注記* : RCCV 回転ばね

図 3-8 K7R/B の建屋モデル

表 3-2 K7R/B の建屋モデル諸元

(a) NS 方向

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材番号	せん断断面積 A_s (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材番号	せん断断面積 A_s (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
1	39490	70.6									
2	80520	410.9	1	41.0	13700						
3	84470	473.7	2	83.0	51100						
4	84770	293.2	3	188.0	70600	11	91400	32.4	11	119.6	7200
5	55380	198.1	4	132.5	69000	12	155040	371.7	12	113.0	23300
6	81140	289.3	5	149.4	84700	13	102870	305.0	13	137.6	23500
7	80120	296.2	6	180.5	105000	14	199270	408.9	14	139.2	23400
8	81300	298.1	7	183.2	112800	15	124050	387.4	15	132.4	23600
9	342450	945.4	8	223.5	119000	16	136800	369.7	16	186.4	29600
10	216040	581.5	9	3373.4	900600						
合計	1955110										

①建屋部

ヤング係数 E 2.88×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.20×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰定数 h 5%
 基礎形状 56.6m(NS方向) \times 59.6m(EW方向)

②基礎スラブ

ヤング係数 E 2.79×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.16×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰定数 h 5%

(b) EW 方向

質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材番号	せん断断面積 A_s (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)	質点番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材番号	せん断断面積 A_s (m^2)	断面二次モーメント I (m^4)
1	39490	147.1									
2	80520	300.1	1	54.7	30000						
3	89570	299.1	2	122.9	62600						
4	67270	275.6	3	172.7	87900	11	86300	267.7	11	219.0	6700
5	50210	210.8	4	131.8	81900	12	172540	474.6	12	222.8	23300
6	78630	320.7	5	166.7	92800	13	108040	340.3	13	207.4	23100
7	76690	316.8	6	179.3	114600	14	201780	453.1	14	152.1	23400
8	79240	324.6	7	211.5	124000	15	127480	432.5	15	180.1	21200
9	342450	1039.5	8	259.5	131000	16	138860	409.9	16	164.4	23800
10	216040	644.3	9	3373.4	998600						
合計	1955110										

①建屋部

ヤング係数 E 2.88×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.20×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰定数 h 5%
 基礎形状 56.6m(NS方向) \times 59.6m(EW方向)
 回転ばね $K_{\theta 1}$ 1.97×10^{10} (kN \cdot m/rad)

②基礎スラブ

ヤング係数 E 2.79×10^4 (N/mm²)
 せん断弾性係数 G 1.16×10^4 (N/mm²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰定数 h 5%

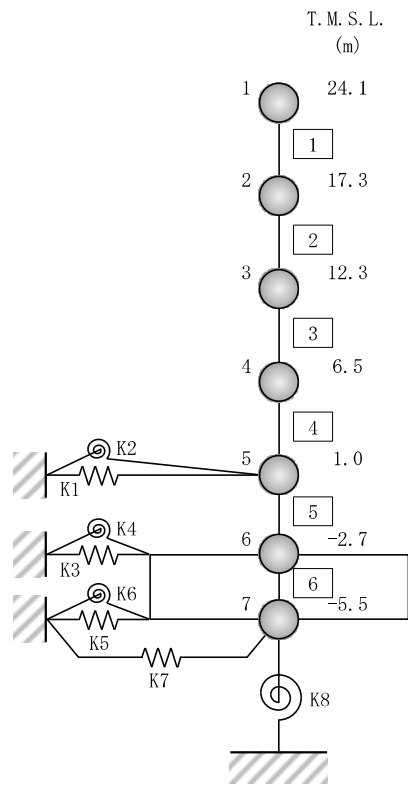


図 3-9 C/B の建屋モデル

表 3-3 C/B の建屋モデル諸元 (1/2)

(a) NS 方向

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材 番号	せん断断面積 A_s (m ²)	断面二次モーメント I (m ⁴)
1	68160	10.9			
			①	76.7	24000
2	92410	14.8			
			②	112.1	27400
3	103900	18.6			
			③	151.7	41700
4	120780	22.6			
			④	156.8	53200
5	65170	13.9			
			⑤	153.6	53200
6	124330	19.9			
			⑥	2478.0	364300
7	81650	12.0			
合計	656400				

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 42.0m(NS 方向)×59.0m(EW 方向)

表 3-3 C/B の建屋モデル諸元 (2/2)

(b) EW 方向

質点 番号	質点重量 W (kN)	回転慣性重量 I_G ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	部材 番号	せん断断面積 $A_s (\text{m}^2)$	断面二次モーメント I (m^4)
1	68160	22.6			
			①	68.9	38100
2	92410	30.1			
			②	129.8	61100
3	103900	33.2			
			③	151.7	84100
4	120780	37.4			
			④	204.1	109100
5	65170	24.9			
			⑤	202.3	107800
6	124330	38.7			
			⑥	2478.0	718800
7	81650	23.7			
合計	656400				

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 42.0m(NS 方向) × 59.0m(EW 方向)

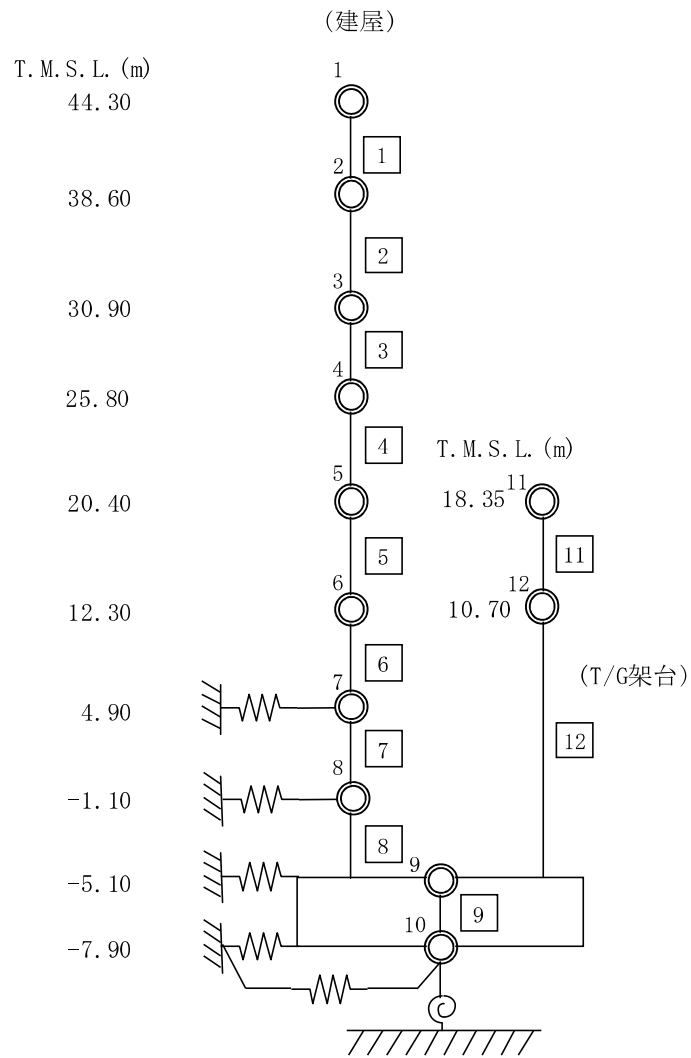


図 3-10 K7T/B の建屋モデル

表 3-4 K7T/B の建屋モデル諸元

(a) NS 方向

質点 番号	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)	せん断 断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)	質点 番号	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)	せん断 断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)
1	55140	31293.0							
2	52320	11346.0	6.70	-					
3	156500	107098.0	8.50	-					
4	64580	688946.0	300.6	149000					
5	284230	738323.0	329.1	134600	11	103470	-		
6	376070	1108838.0	319.6	154600	12	70210	-	13.9	-
7	370000	1317975.0	530.0	256600					
8	264280	1406166.0	645.1	307900				10.2	-
9	494300	3783700.0	665.8	317200					
10	264930	1487022.0	7954.0	-					

(b) EW 方向

質点 番号	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)	せん断 断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)	質点 番号	重量 (kN)	回転慣性 重量 ($\times 10^3 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)	せん断 断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)
1	55140	22398.0							
2	52320	21329.0	4.51	-					
3	156500	48495.0	5.87	-					
4	64580	14357.0	207.2	17100					
5	284230	253169.0	238.2	30100	11	103470	-		
6	376070	826798.0	346.3	81600	12	70210	-	25.3	-
7	370000	1212837.0	471.3	142200					
8	264280	773715.0	555.8	154800				11.4	-
9	494300	5278312.0	650.6	159000					
10	264930	2079794.0	7954.0	-					

①コンクリート部 建屋

ヤング係数 E_c 2.88×10^7 (kN/m²)
 せん断弾性係数 G 1.20×10^7 (kN/m²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

②コンクリート部 基礎スラブ

ヤング係数 E_c 2.79×10^7 (kN/m²)
 せん断弾性係数 G 1.16×10^7 (kN/m²)
 ポアソン比 ν 0.20
 減衰 h 5%

③鉄骨部 建屋 (30.9m より上部 (設計時 RC 等価))

ヤング係数 E_s 2.65×10^7 (kN/m²)
 せん断弾性係数 G 1.13×10^7 (kN/m²)
 ポアソン比 ν 0.167
 減衰 h 2%

基礎形状

97.0m (NS 方向) \times 82.0m (EW 方向)

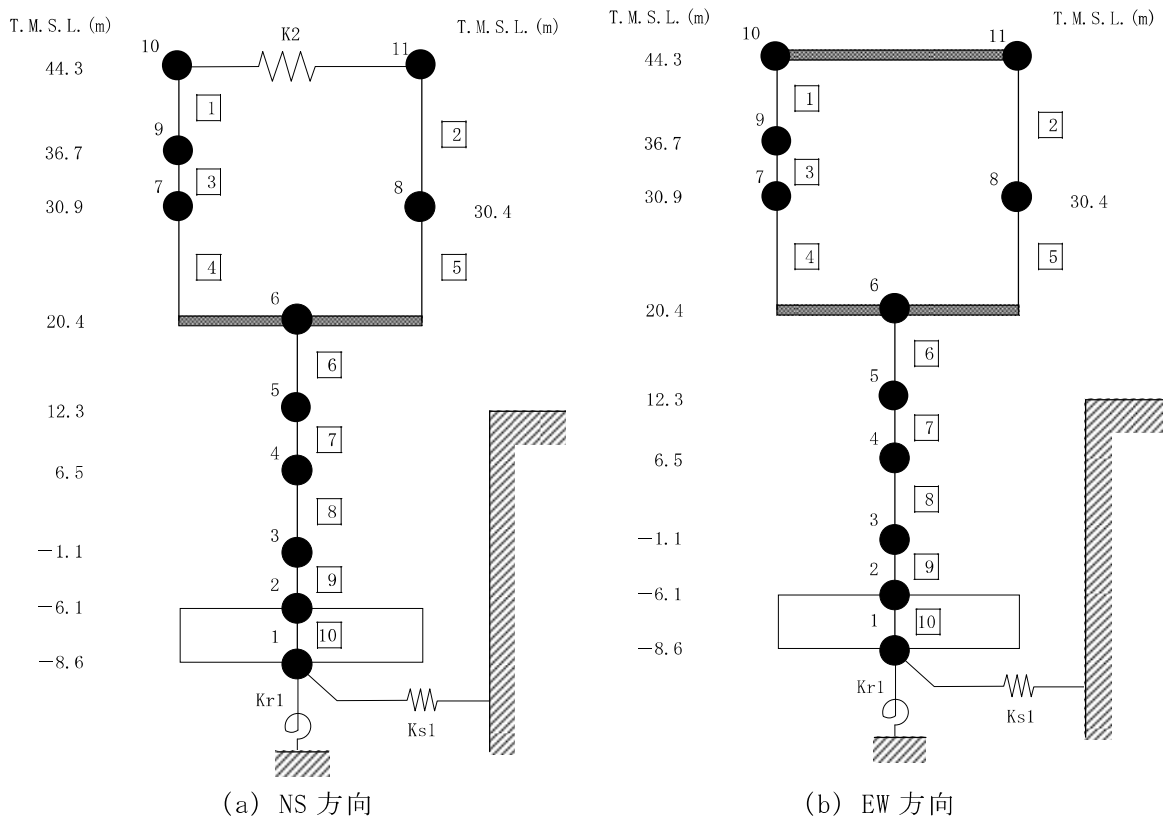


図 3-11 R_w/B の建屋モデル

表 3-5 Rw/B の建屋モデル諸元 (1/2)

(a) NS 方向

(i) 重量・回転慣性重量

T. M. S. L. (m)	建屋	
44.3	10	11
	24620	8400
	3.1	1.1
36.7	9	-
	21950	
	2.7	
30.9	7	-
	33800	
	4.0	
30.4	-	8
	-	19940
	-	2.3
20.4	6	-
	125570	
	15.4	
12.3	5	-
	167720	
	19.3	
6.5	4	-
	185670	
	21.7	
-1.1	3	-
	209330	
	23.0	
-6.1	2	-
	138300	
	15.7	
-8.6	1	-
	76880	
	8.2	

質点番号
重量(kN)
回転慣性重量 (×10 ⁴ kN・m)

(ii) セン断断面積・断面二次モーメント

T. M. S. L. (m)	建屋		
44.3	1	2	0.19
	0.31		
	-		
36.7	3	-	-
	0.55		
	-		
30.9	4	-	-
	36.5		
	-		
30.4	4990	5	-
	-	35.8	
	-	4230	
20.4	6	-	-
	192.0		
	25540		
12.3	7	-	-
	271.4		
	44580		
6.5	8	-	-
	305.1		
	49890		
-1.1	9	-	-
	301.3		
	50620		
-6.1	10	-	-
	2613.4		
	279100		

①コンクリート部 建屋
ヤング係数 E 2.88 × 10⁴ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.20 × 10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%

②コンクリート部 基礎スラブ
ヤング係数 E 2.79 × 10⁴ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.16 × 10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%

③鉄骨部
ヤング係数 E 2.05 × 10⁵ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 7.90 × 10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.30
減衰定数 h 2%

基礎形状 35.8m(NS方向) × 73.0m(EW方向)

K₂ : 屋根トラス部せん断ばね 2.96 × 10⁵ (kN/m)
K_{r,2} : 屋根トラス端部回転拘束ばね(G通り) 1.71 × 10⁷ (kN・m/rad)
K_{r,3} : 屋根トラス端部回転拘束ばね(C通り) 1.15 × 10⁷ (kN・m/rad)

部材番号
せん断断面積(m ²)
断面二次モーメント(m ⁴)

表 3-5 Rw/B の建屋モデル諸元 (2/2)

(b) EW 方向

(i) 重量・回転慣性重量

T. M. S. L. (m)	建屋	
44.3	10	11
	33020	
36.7	9	—
	21950	
30.9	7	—
	33800	
30.4	—	8
	19940	
20.4	6	—
	125570	
12.3	5	—
	167720	
6.5	4	—
	185670	
-1.1	3	—
	209330	
-6.1	2	—
	138300	
-8.6	1	—
	76880	

質量番号
重量 (kN)
回転慣性重量 (×10 ⁴ kN・m)

(ii) せん断面積・断面二次モーメント

T. M. S. L. (m)	建屋	
44.3	1	2
	0.40	
36.7	3	—
	0.49	
30.9	4	—
	47.9	
30.4	5	—
	1775	
20.4	6	—
	187.7	
12.3	7	—
	329.8	
6.5	8	—
	381.7	
-1.1	9	—
	416.2	
-6.1	10	—
	2613.4	

部材番号
せん断面積 (m ²)
断面二次モーメント (m ⁴)

①コンクリート部 建屋
ヤング係数 E 2.88 × 10⁴ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.20 × 10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%

②コンクリート部 基礎スラブ
ヤング係数 E 2.79 × 10⁴ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 1.16 × 10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.20
減衰定数 h 5%

③鉄骨部
ヤング係数 E 2.05 × 10⁵ (N/mm²)
せん断弾性係数 G 7.90 × 10⁴ (N/mm²)
ポアソン比 ν 0.30
減衰定数 h 2%

基礎形状 35.8m (NS方向) × 73.0m (EW方向)

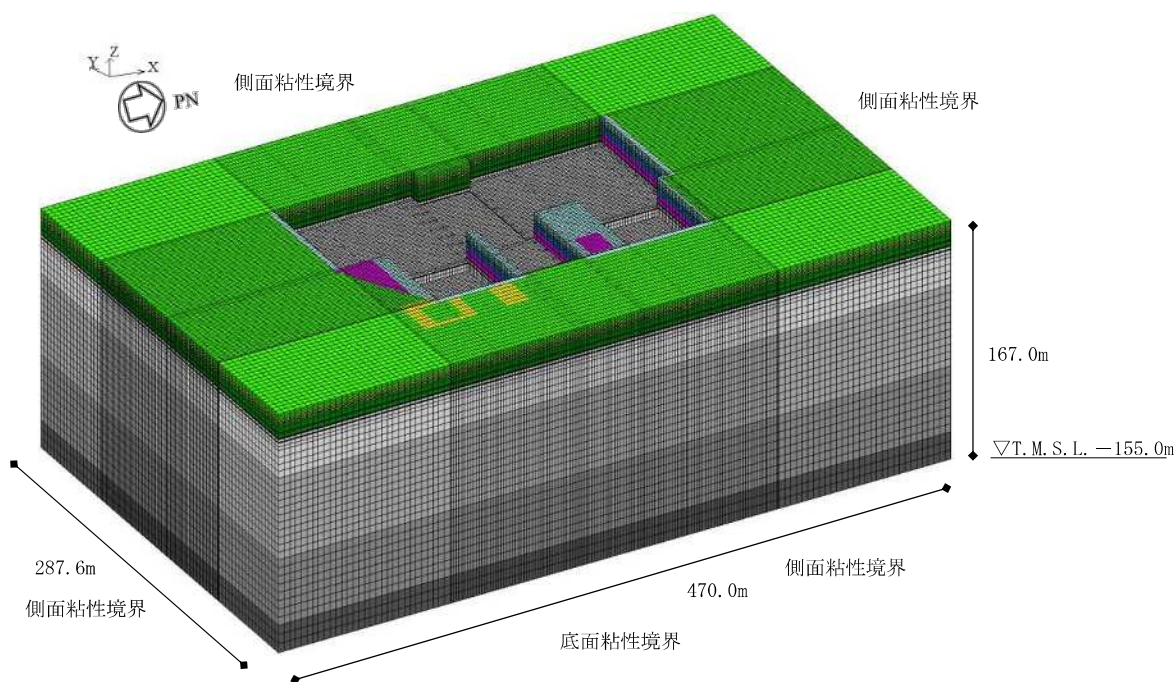
3.1.4 地盤のモデル化

地盤モデルを図 3-12 に示す。地盤はソリッド要素でモデル化する。NS 方向 470m, EW 方向 287.6m の領域をモデル化し, 地盤モデル底面は解放基盤位置 (T. M. S. L. -155.0m) とする。

弾性設計用地震動 Sd-1 における地盤物性を表 3-6~表 3-8 に示す。自然地盤と埋戻土層の地盤物性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。マンメイドロックと地盤改良体の地盤物性は, 本検討で想定する地震動に対して弾性状態と考えられることから, 線形材料とする。地盤の減衰はレーリー型とし, 各層の減衰定数において 1.0 Hz 及び 10.0 Hz を採用振動数とする。

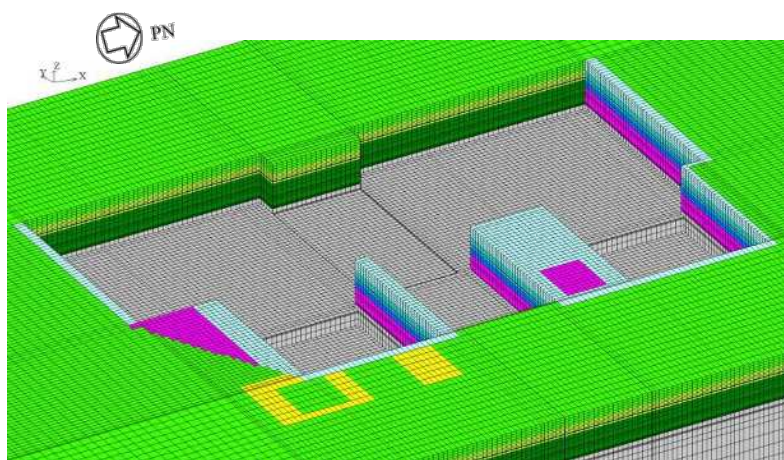
地盤モデルの境界は, 底面粘性境界, 側面粘性境界かつ繰り返し境界とする。このとき, 粘性境界付近での解析精度の低下が評価対象である各建屋の基礎底面の応答に与える影響を低減させるために, 「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987 ((社) 日本電気協会)」を参考に評価対象である各建屋群の包絡面積に比べて地盤 FEM モデルの平面サイズを十分に大きく設定している (約 2 倍以上)。

建屋の基礎は剛体として考慮し, 浮き上がりは考慮せず, 底面ばねについては完全固着とし, 基礎底面と支持基盤が同一に挙動するように結合する。また, 建屋側面と側面地盤間について, 表層及び埋戻土層を除いた範囲で建屋質点と同じ高さの地盤節点は剛接とし, 地震応答解析モデルで側面水平地盤ばねが定義してある建屋については地盤の水平自由度を拘束し, 側面回転地盤ばねが定義してある建屋については地盤の上下自由度を拘束する。図 3-13 に建屋と地盤間の結合イメージを示す。



(a) 全体図

	新期砂層	表層1
		表層2
	古安田層	古安田層
	西山層	西山層1
		西山層2
		西山層3
		西山層4
	マンメイドロック	マンメイドロック
	地盤改良体	地盤改良体
	埋戻土層	埋戻土層1
		埋戻土層2
		埋戻土層3
		埋戻土層4



(b) 基礎底面部拡大図

図 3-12 地盤モデル (ALL)

表 3-6 地盤物性（自然地盤，Sd-1）

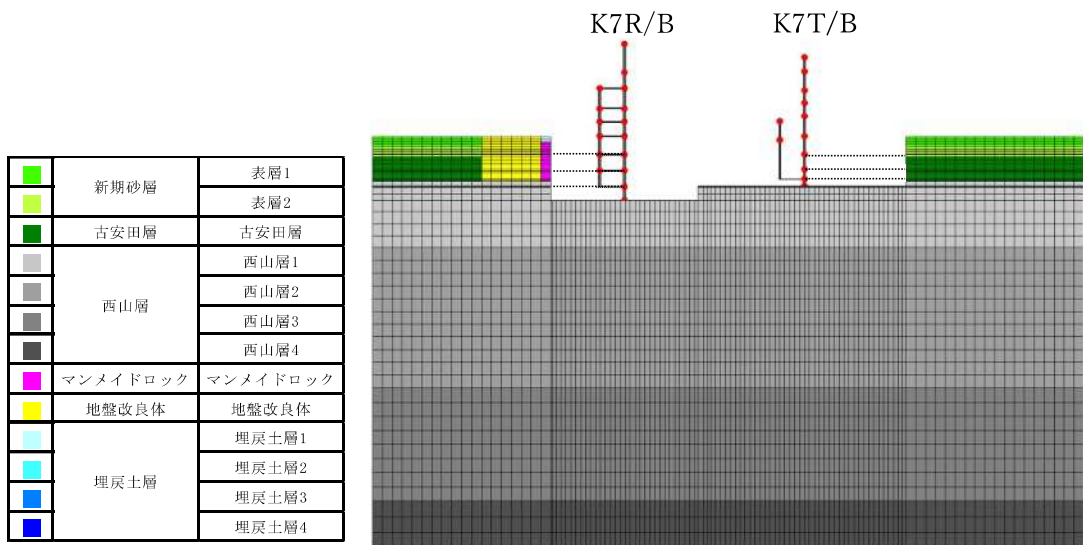
標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 (%)
+12.0	新期砂層	150	16.1	0.347	0.140	0.369	0.38	19
+8.0		200	16.1	0.308	0.170	0.657	0.26	23
+4.0	古安田層	330	17.3	0.462	1.26	1.92	0.66	4
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.03	4.16	0.97	3
-33.0		530	16.6	0.446	4.51	4.75	0.95	3
-90.0		590	17.3	0.432	5.83	6.14	0.95	3
-136.0		650	19.3	0.424	7.90	8.32	0.95	3
-155.0 ∞	椎谷層	720	19.9	0.416	10.5	10.5	1.00	-

表 3-7 地盤物性（埋戻土層，Sd-1）

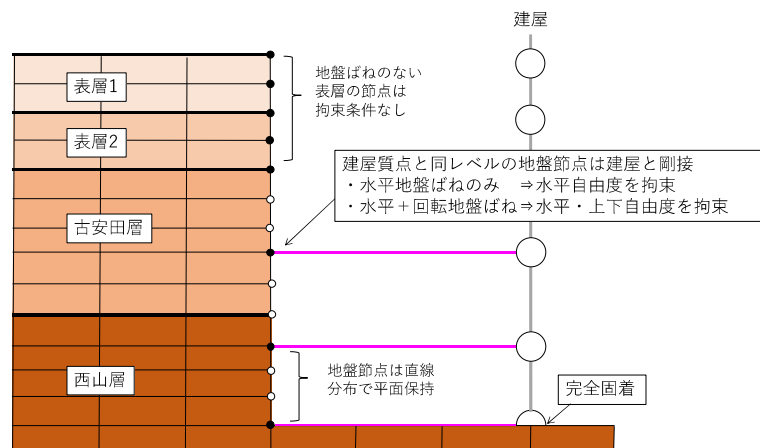
標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波 速度 V_s (m/s)	単位体積 重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	初期せん断 弾性係数 G_0 ($\times 10^5$ kN/m ²)	剛性 低下率 G/G_0	減衰 定数 (%)
+12.0	埋戻土層	176	17.6	0.415	0.292	0.562	0.52	9
+8.0		224	17.6	0.415	0.297	0.902	0.33	13
+4.0		247	17.6	0.415	0.319	1.10	0.29	14
+1.0		263	17.6	0.415	0.362	1.25	0.29	14
-2.7								

表 3-8 地盤物性 (マンメイドロック, 地盤改良体)

地層	せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰定数 (%)
マンメイドロック	1040	17.2	0.360	19.1	2.00
地盤改良体	840	18.1	0.302	13.1	0.401



(a) K7R/B 及び K7T/B の建屋側面と側面地盤間の結合イメージ



(b) 建屋と地盤間の結合イメージ

図 3-13 建屋と地盤間の結合イメージ

3.1.5 検討用地震動

検討用地震動として、「V-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d 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、全周期帯の応答が大きく、耐震評価への影響も大きい弾性設計用地震動 S_d-1 （水平最大応答加速度 -5.25m/s^2 ，図 3-14）を代表波として影響検討を行う。K7R/B の基礎下位置における自由地盤の応答が、検討用地震動 S_d-1 が入射した時の一次元波動論による応答計算と等価となるような補正波を作成し、地盤 FEM モデル底面に入力する。

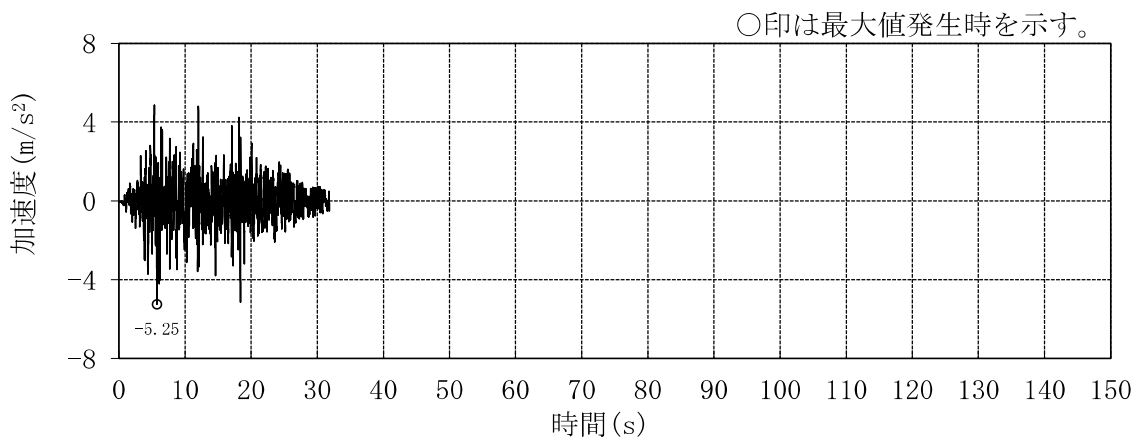


図 3-14 検討用地震動 S_d-1H

3.1.6 解析結果

地震応答解析より得られた各建屋の最大応答値について、全建屋を考慮したケース（ALL）と各建屋単独でモデル化したケース（S1～S4）の比較結果を図 3-15～図 3-38 に示す。

各建屋の最大応答値について確認した結果、応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）は、K7R/B では 0.56（部材番号 8, EW 方向の曲げモーメント）～1.31（部材番号 5, EW 方向のせん断力）、C/B では 0.55（部材番号 5, NS 方向の曲げモーメント）～1.45（部材番号 1, NS 方向の曲げモーメント）、K7T/B では 0.84（部材番号 1, NS 方向の曲げモーメント）～1.15（部材番号 4, EW 方向のせん断力）、Rw/B では 0.66（部材番号 2, NS 方向の曲げモーメント）～1.19（質点番号 10, NS 方向の加速度）であり、応答が増幅又は減少する効果があることを確認した。以下に、建屋ごとの傾向を示す。

影響が見られる応答成分や方向に違いが見られることから、K7R/B、C/B、K7T/B 及び Rw/B ではこれらの効果を個別に確認する。

(1) 7号機原子炉建屋の傾向

7号機原子炉建屋の加速度については、地上部（T.M.S.L. 12.3m）より上層において、隣接建屋を考慮した場合、応答が大きくなる傾向が見られる。せん断力については、建屋下層（T.M.S.L. -1.7m以下）において、応答が小さくなる傾向が見られるものの、建屋中間層（T.M.S.L. 4.8m～T.M.S.L. 31.7m）では応答が大きくなる傾向が見られる。曲げモーメントについては、建屋下層（T.M.S.L. -1.7m以下）において、応答が小さくなる傾向が見られる。

(2) コントロール建屋の傾向

コントロール建屋の加速度について、NS 方向では、全体的に応答が小さくなる傾向が見られるものの、EW 方向では建屋上層（T.M.S.L. 12.3m以上）の応答が若干大きくなる傾向が見られる。せん断力及び曲げモーメントについては、建屋下層（T.M.S.L. 1.0m以下）において、応答が小さくなる傾向が見られる。

(3) 7号機タービン建屋の傾向

7号機タービン建屋の加速度については、建屋上層の鉄骨部（T.M.S.L. 30.90m以上）において、隣接建屋を考慮した場合、応答が大きくなる傾向が見られる。せん断力については、建屋下層（T.M.S.L. -1.10m以下）において、応答が小さくなる傾向が見られるものの、建屋中間層（T.M.S.L. 4.90m～T.M.S.L. 30.90m）において、NS 方向は小さく、EW 方向は大きくなる傾向が見られる。曲げモーメントについては、NS 方向では全体的に小さく、EW 方向では全体的に大きくなる傾向が見られる。

(4) 廃棄物処理建屋の傾向

廃棄物処理建屋の加速度については、建屋下層（T.M.S.L. 20.4m 以下）においては、小さくなる傾向が見られるものの、建屋上層の鉄骨部（T.M.S.L. 30.9m 以上）において、一部応答が大きくなる傾向が見られる。せん断力については、全体的に変動は小さいものの、一部応答が大きくなる傾向が見られる。

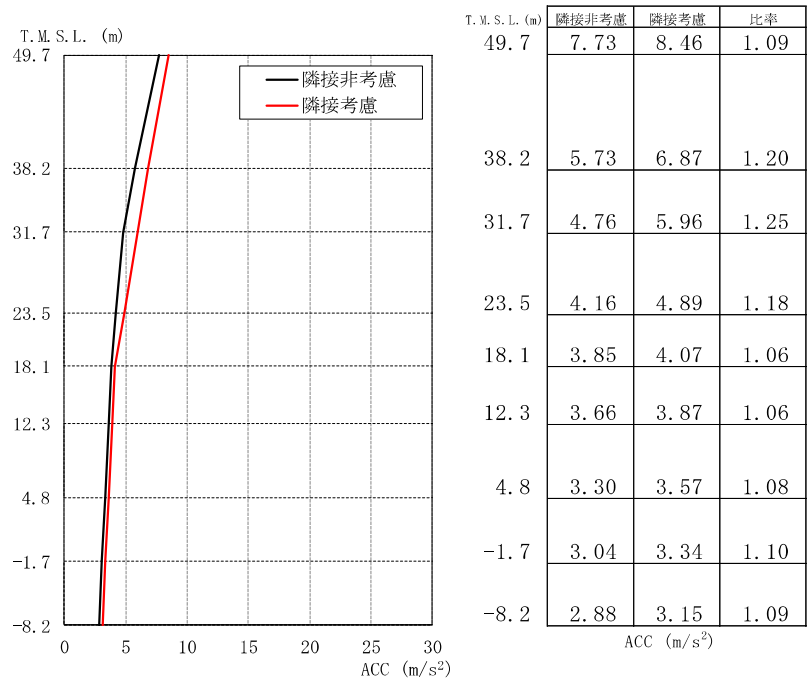
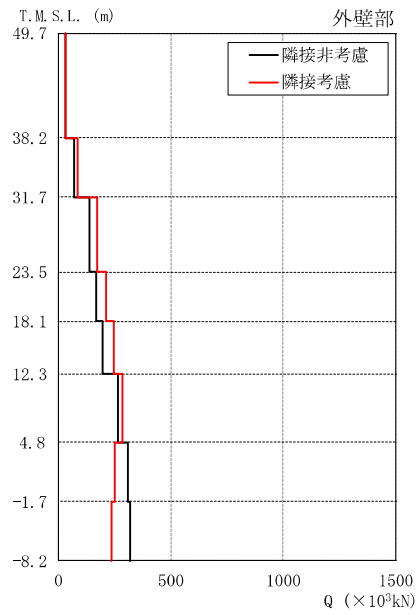
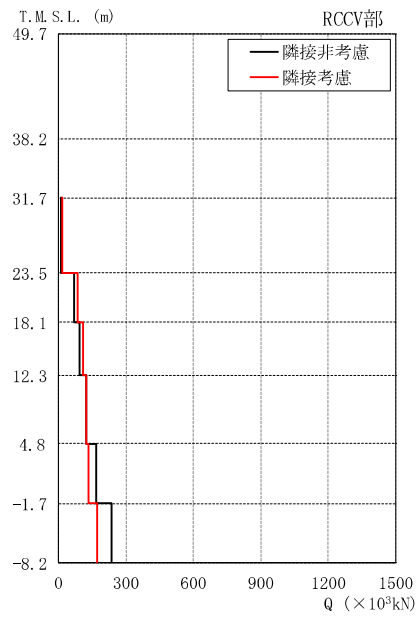


図 3-15 最大応答加速度の比較 (K7R/B, NS 方向)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	29.9	32.8	1.10
38.2	72.2	86.3	1.20
31.7	140	172	1.23
23.5	167	212	1.27
18.1	199	247	1.24
12.3	263	284	1.08
4.8	310	252	0.81
-1.7	318	237	0.75
-8.2			

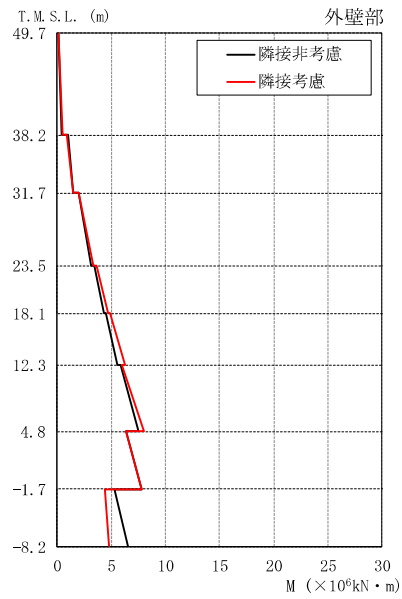
Q ($\times 10^3\text{kN}$)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
31.7	14.0	17.7	1.26
23.5	69.6	84.4	1.21
18.1	95.3	109	1.14
12.3	125	122	0.98
4.8	170	132	0.78
-1.7	236	175	0.74
-8.2			

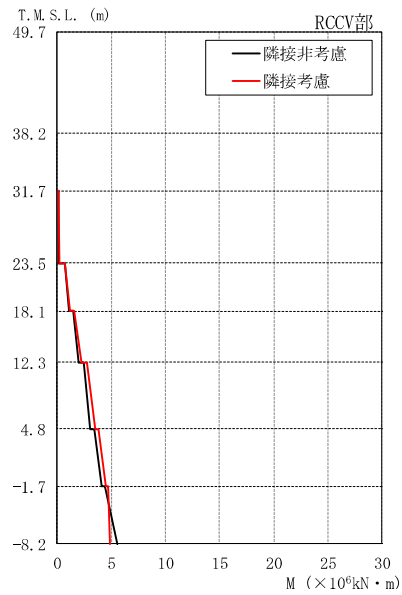
Q ($\times 10^3\text{kN}$)

図 3-16 最大応答せん断力の比較 (K7R/B, NS 方向)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	0.0986	0.0853	0.87
38.2	0.442	0.463	1.05
	0.960	0.915	0.95
31.7	1.43	1.45	1.01
	1.99	1.95	0.98
23.5	3.11	3.31	1.06
	3.42	3.57	1.04
18.1	4.30	4.71	1.10
	4.49	4.87	1.08
12.3	5.57	6.28	1.13
	5.83	5.92	1.02
4.8	7.55	8.00	1.06
	6.30	6.33	1.00
-1.7	7.77	7.76	1.00
	5.31	4.38	0.82
-8.2	6.55	4.80	0.73

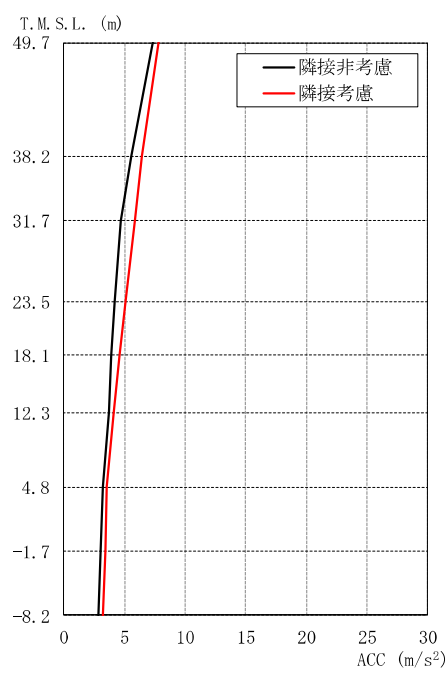
M (×10⁶kN·m)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
31.7	0.0561	0.0535	0.95
23.5	0.123	0.158	1.28
	0.722	0.728	1.01
18.1	1.04	1.17	1.13
	1.49	1.60	1.07
12.3	1.91	2.20	1.15
	2.43	2.69	1.11
4.8	3.06	3.51	1.15
	3.43	3.85	1.12
-1.7	4.10	4.45	1.09
	4.39	4.69	1.07
-8.2	5.51	4.87	0.88

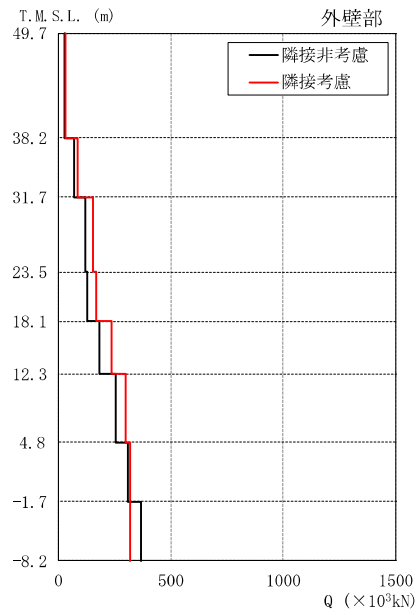
M (×10⁶kN·m)

図 3-17 最大応答曲げモーメントの比較 (K7R/B, NS 方向)



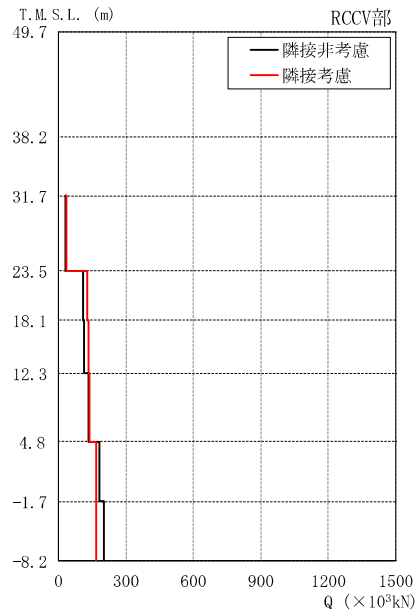
T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	7.31	7.82	1.07
38.2	5.55	6.47	1.17
31.7	4.71	5.83	1.24
23.5	4.22	5.05	1.20
18.1	3.95	4.57	1.16
12.3	3.70	4.06	1.10
4.8	3.27	3.53	1.08
-1.7	3.03	3.40	1.12
-8.2	2.83	3.26	1.15

図 3-18 最大応答加速度の比較 (K7R/B, EW 方向)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	27.6	31.0	1.12
38.2	69.4	83.4	1.20
31.7	121	151	1.25
23.5	130	170	1.31
18.1	181	238	1.31
12.3	257	302	1.18
4.8	310	317	1.02
-1.7	369	318	0.86
-8.2			

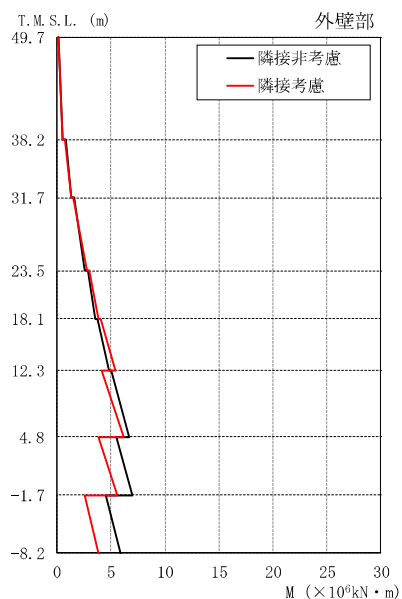
Q (×10³kN)



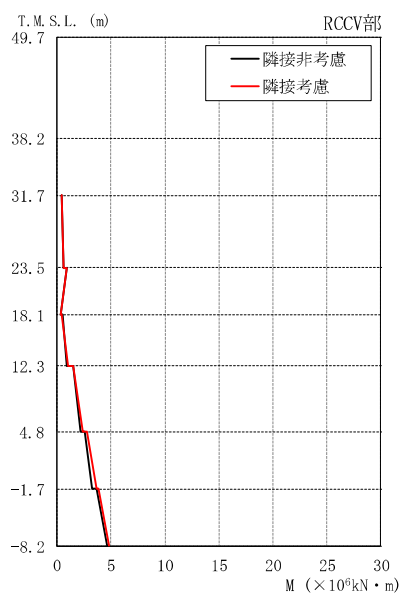
T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
31.7	33.1	36.4	1.10
23.5	108	131	1.21
18.1	113	134	1.19
12.3	135	141	1.04
4.8	183	167	0.91
-1.7	204	167	0.82
-8.2			

Q (×10³kN)

図 3-19 最大応答せん断力の比較 (K7R/B, EW 方向)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	0.174	0.136	0.78
	0.491	0.492	1.00
38.2	0.825	0.751	0.91
	1.28	1.28	1.00
31.7	1.59	1.52	0.96
	2.59	2.75	1.06
23.5	2.86	2.95	1.03
	3.55	3.87	1.09
18.1	3.74	4.01	1.07
	4.77	5.37	1.13
12.3	5.03	4.13	0.82
	6.71	6.22	0.93
4.8	5.48	3.81	0.70
	6.96	5.56	0.80
-1.7	4.48	2.53	0.56
-8.2	5.87	3.89	0.66



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
31.7	0.463	0.410	0.89
	0.628	0.607	0.97
23.5	0.899	0.960	1.07
	0.336	0.286	0.85
18.1	0.481	0.472	0.98
	0.898	1.01	1.12
12.3	1.46	1.52	1.04
	2.16	2.40	1.11
4.8	2.59	2.78	1.07
	3.30	3.60	1.09
-1.7	3.62	3.85	1.06
-8.2	4.64	4.80	1.03

図 3-20 最大応答曲げモーメントの比較 (K7R/B, EW 方向)

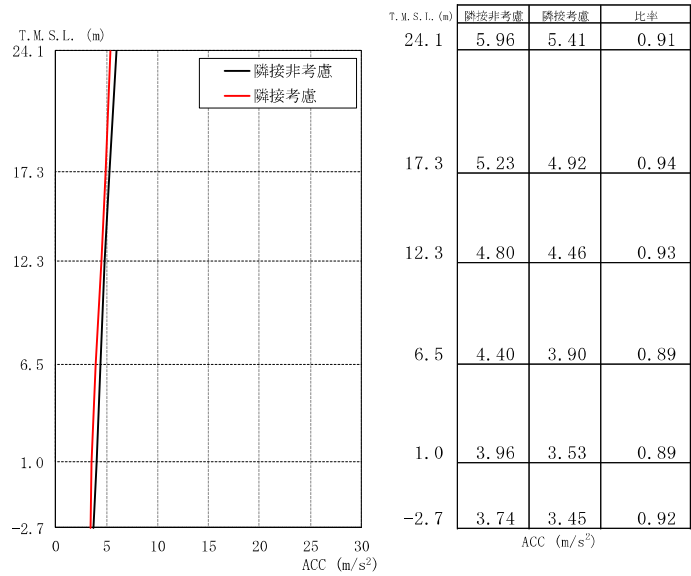


図 3-21 最大応答加速度の比較 (C/B, NS 方向)

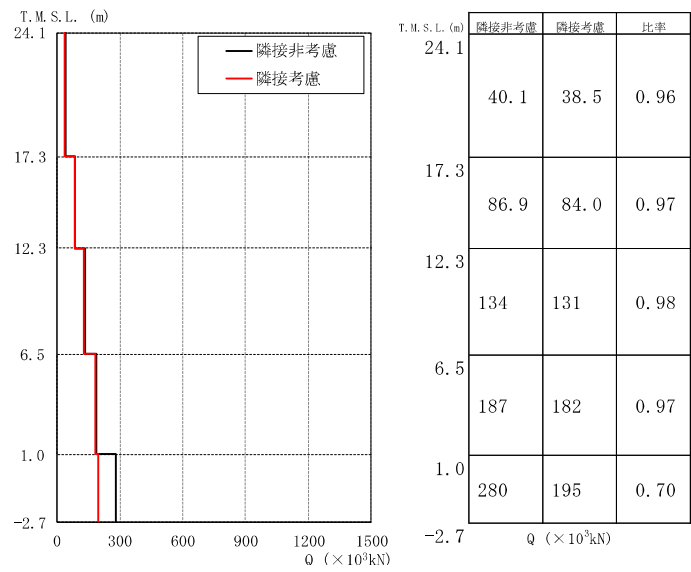


図 3-22 最大応答せん断力の比較 (C/B, NS 方向)

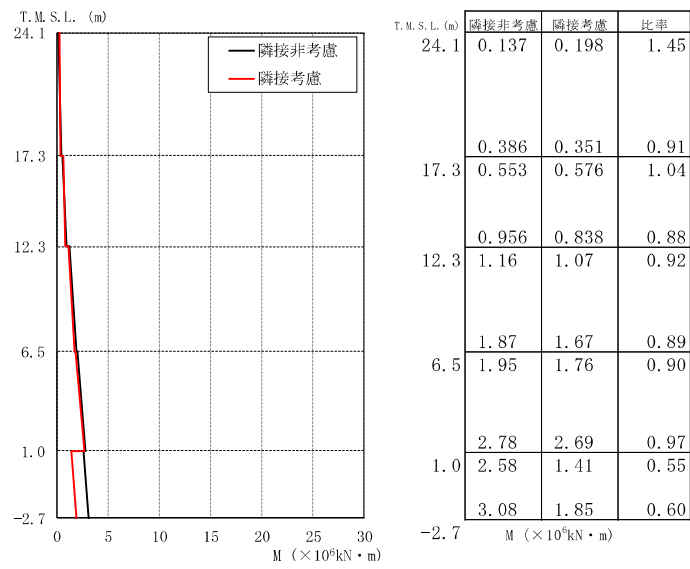


図 3-23 最大応答曲げモーメントの比較 (C/B, NS 方向)

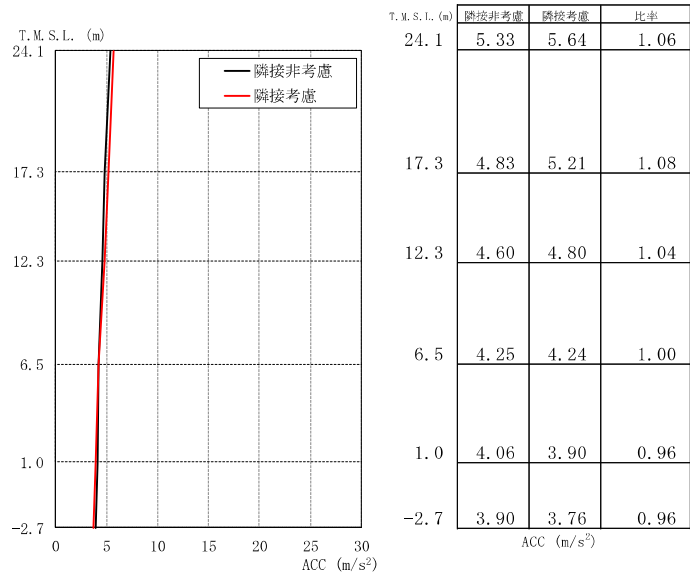


図 3-24 最大応答加速度の比較 (C/B, EW 方向)

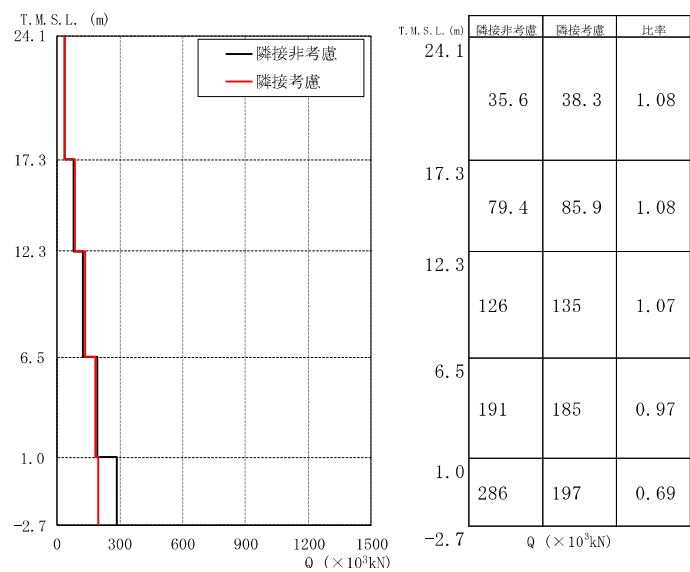


図 3-25 最大応答せん断力の比較 (C/B, EW 方向)

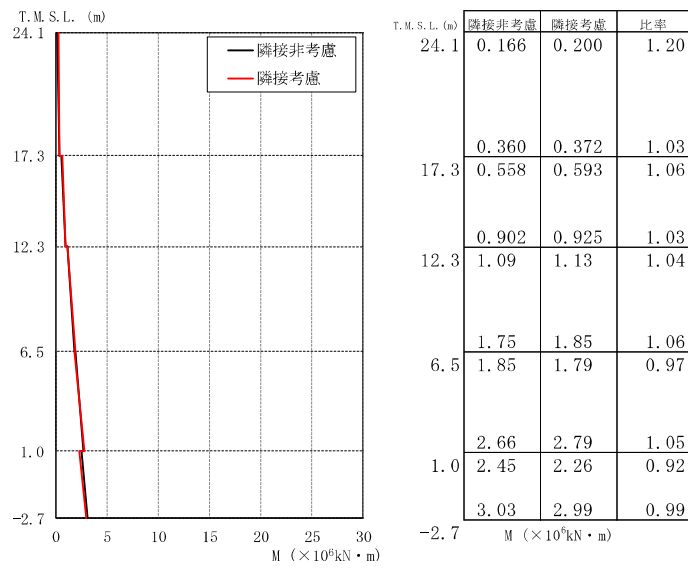
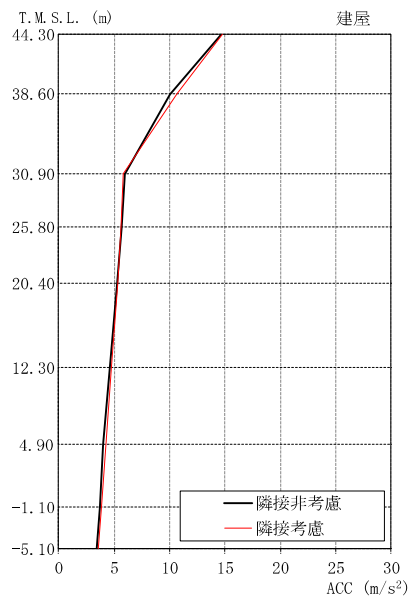
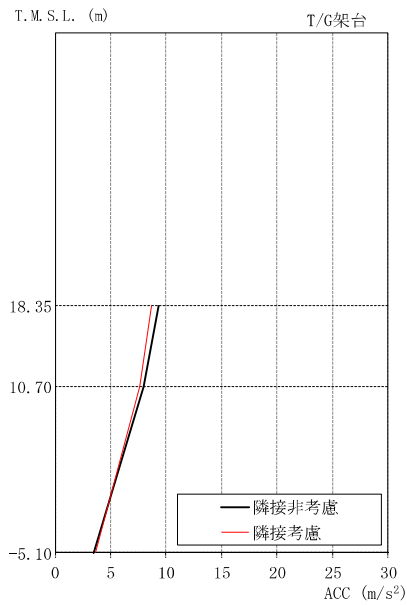


図 3-26 最大応答曲げモーメントの比較 (C/B, EW 方向)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	14.6	14.8	1.01
38.60	10.1	10.7	1.06
30.90	5.96	5.83	0.98
25.80	5.62	5.60	1.00
20.40	5.25	5.32	1.01
12.30	4.56	4.73	1.04
4.90	4.05	4.23	1.04
-1.10	3.68	3.86	1.05
-5.10	3.45	3.59	1.04

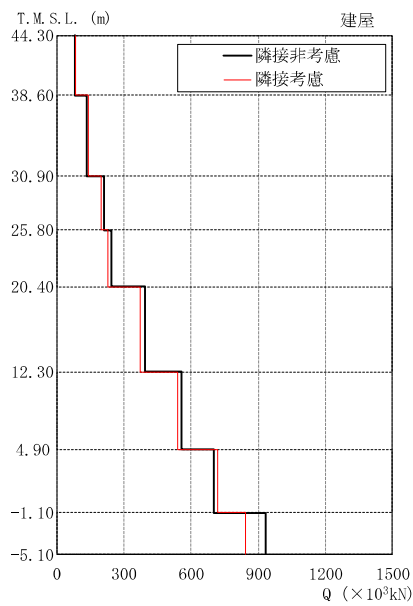
ACC (m/s²)



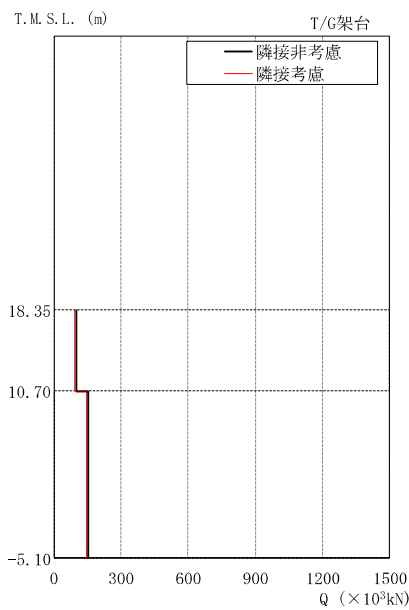
T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	9.34	8.71	0.93
10.70	8.00	7.60	0.95
-5.10	3.45	3.59	1.04

ACC (m/s²)

図 3-27 最大応答加速度の比較 (K7T/B, NS 方向)

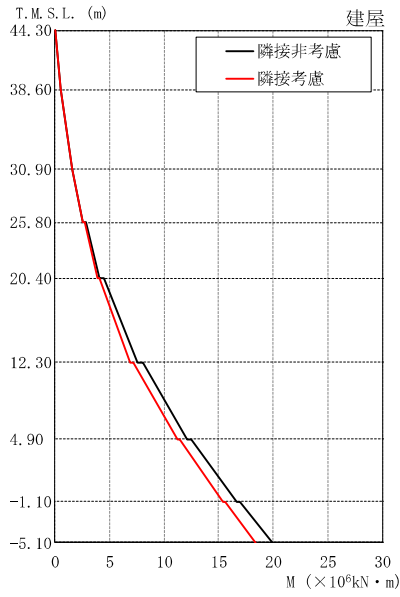


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	82.1	82.6	1.01
38.60	135	139	1.03
30.90	210	197	0.94
25.80	246	230	0.93
20.40	396	374	0.94
12.30	557	540	0.97
4.90	704	720	1.02
-1.10	931	842	0.90



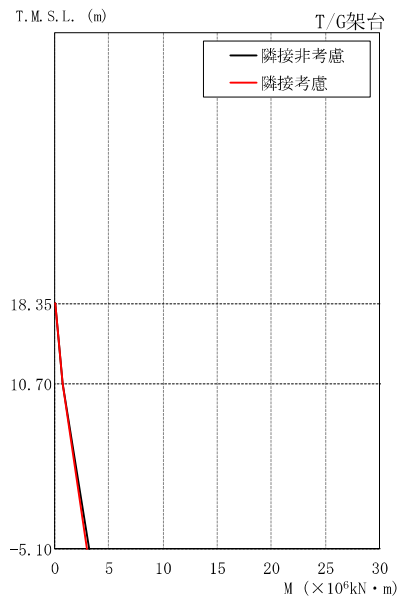
T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	98.5	91.4	0.93
10.70	153	145	0.95

図 3-28 最大応答せん断力の比較 (K7T/B, NS 方向)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	0.0250	0.0210	0.84
	0.475	0.477	1.00
38.60	0.478	0.479	1.00
	1.52	1.55	1.02
30.90	1.54	1.57	1.02
	2.50	2.55	1.02
25.80	2.78	2.72	0.98
	4.06	3.92	0.97
20.40	4.46	4.11	0.92
	7.54	6.91	0.92
12.30	8.05	7.18	0.89
	12.1	11.2	0.93
4.90	12.5	11.4	0.91
	16.6	15.4	0.93
-1.10	16.9	15.6	0.92
-5.10	19.9	18.4	0.92

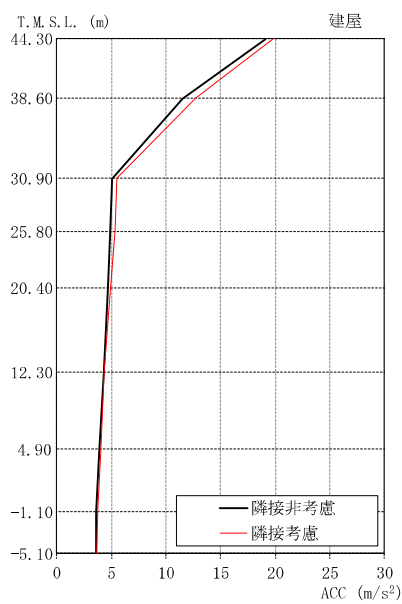
M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	0.00	0.00	-
	0.753	0.699	0.93
10.70	0.753	0.699	0.93
	3.18	3.00	0.94

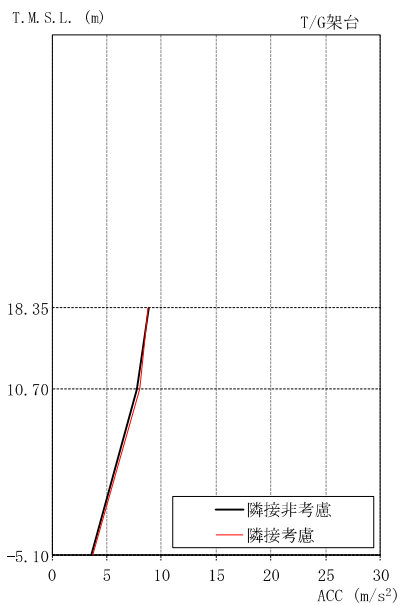
M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)

図 3-29 最大応答曲げモーメントの比較 (K7T/B, NS 方向)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	19.1	19.9	1.04
38.60	11.5	12.7	1.10
30.90	5.06	5.49	1.08
25.80	4.92	5.27	1.07
20.40	4.71	4.97	1.06
12.30	4.25	4.36	1.03
4.90	3.88	4.02	1.04
-1.10	3.66	3.80	1.04
-5.10	3.57	3.70	1.04

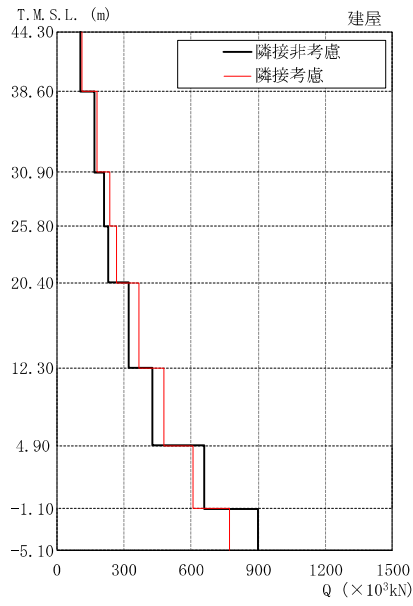
ACC (m/s²)



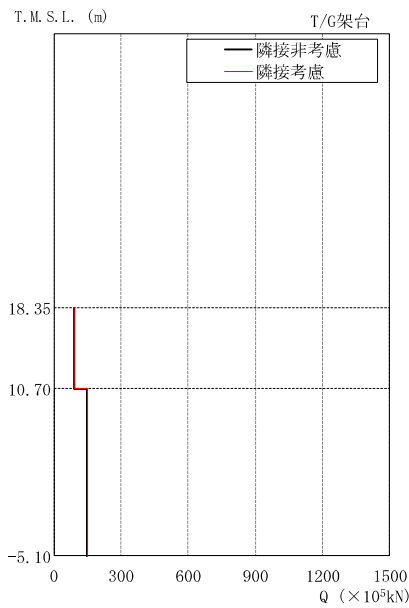
T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	8.84	8.78	0.99
10.70	7.81	7.99	1.02
-5.10	3.57	3.70	1.04

ACC (m/s²)

図 3-30 最大応答加速度の比較 (K7T/B, EW 方向)

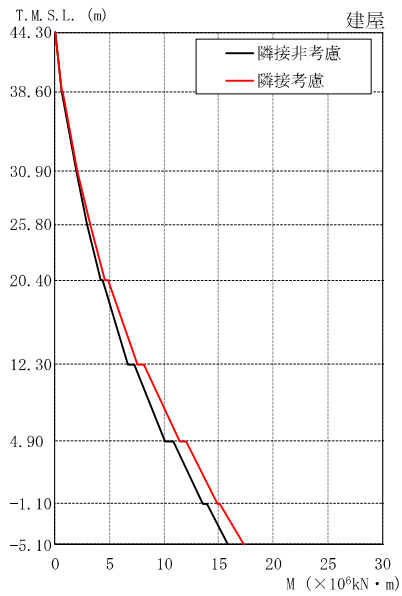


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	107	112	1.05
38.60	168	178	1.06
30.90	212	238	1.12
25.80	231	265	1.15
20.40	321	368	1.15
12.30	426	480	1.13
4.90	661	610	0.92
-1.10	898	773	0.86

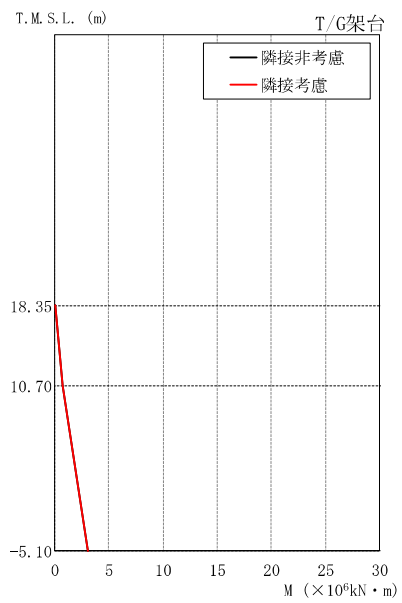


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	92.6	92.0	0.99
10.70	148	149	1.01

図 3-31 最大応答せん断力の比較 (K7T/B, EW 方向)



T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	0.0297	0.0273	0.92
38.60	0.614	0.635	1.03
30.90	1.91	2.01	1.05
25.80	2.94	3.17	1.08
20.40	4.14	4.60	1.11
12.30	6.70	7.59	1.13
4.90	10.1	11.4	1.13
-1.10	13.9	15.1	1.09
-5.10	15.9	17.3	1.09



T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	0.00	0.00	-
10.70	0.709	0.704	0.99
-5.10	3.05	3.05	1.00

図 3-32 最大応答曲げモーメントの比較 (K7T/B, EW 方向)

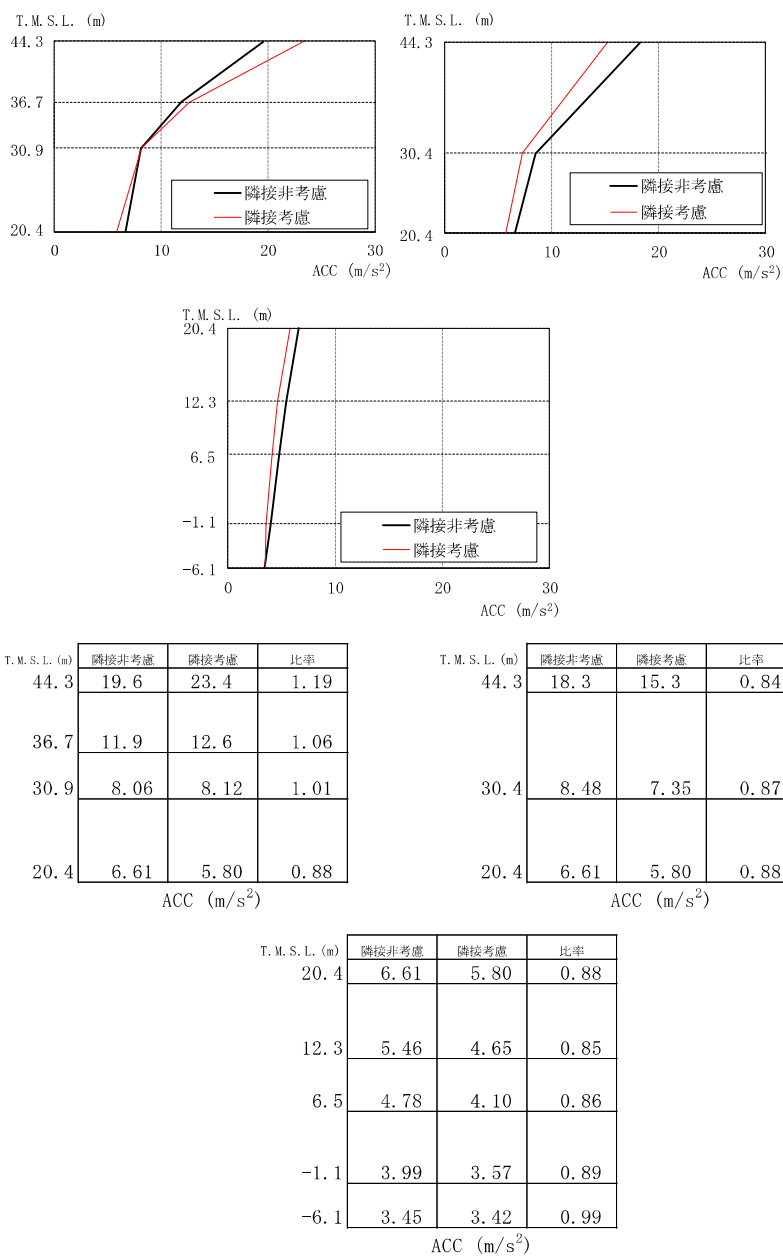


図 3-33 最大応答加速度の比較 (Rw/B, NS 方向)

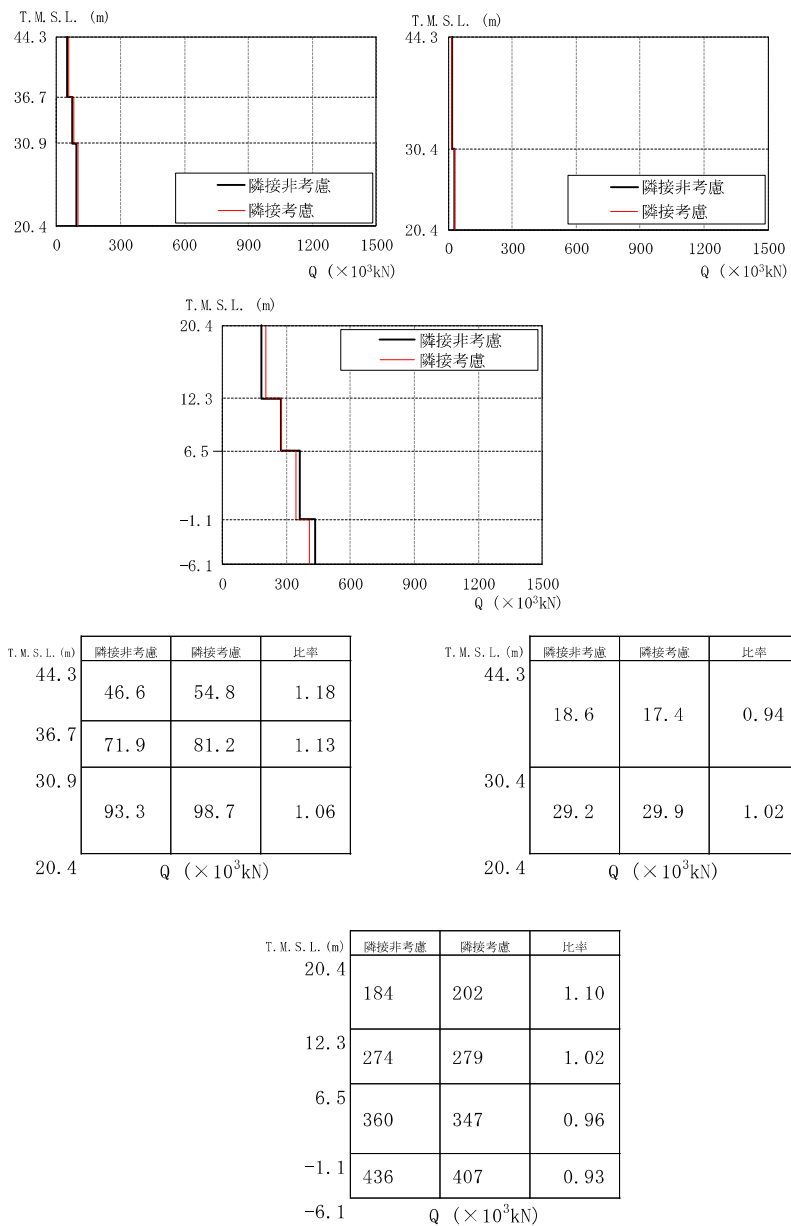
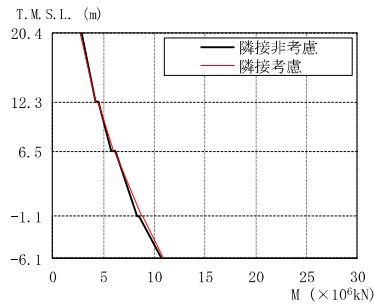
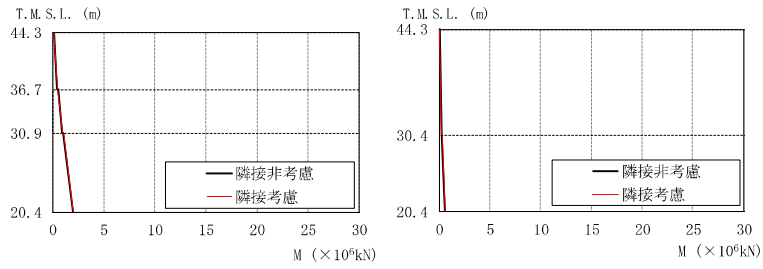


図 3-34 最大応答せん断力の比較 (Rw/B, NS 方向)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	0.0902	0.0654	0.73
	0.402	0.460	1.14
36.7	0.477	0.501	1.05
	0.870	0.972	1.12
30.9	0.982	1.04	1.06
	1.96	2.05	1.05
20.4			

M (×10⁶kN)

T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	0.0283	0.0187	0.66
30.4	0.266	0.253	0.95
	0.303	0.275	0.91
20.4	0.595	0.557	0.94

M (×10⁶kN)

T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
20.4	2.80	2.70	0.96
	4.19	4.26	1.02
12.3	4.51	4.43	0.98
	5.77	5.98	1.04
6.5	6.12	6.15	1.00
	8.30	8.76	1.06
-1.1	8.54	8.88	1.04
	10.7	10.9	1.02
-6.1			

M (×10⁶kN)

図 3-35 最大応答曲げモーメントの比較 (Rw/B, NS 方向)

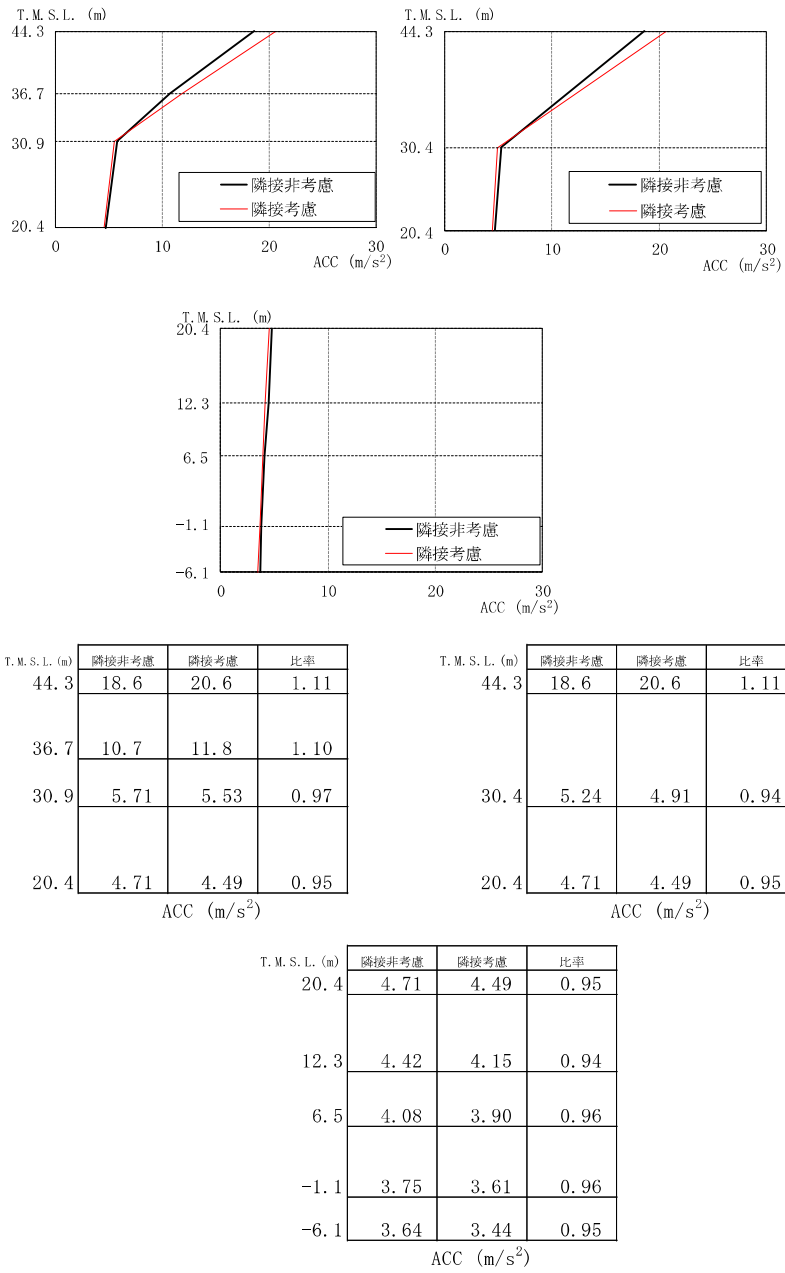


図 3-36 最大応答加速度の比較 (Rw/B, EW 方向)

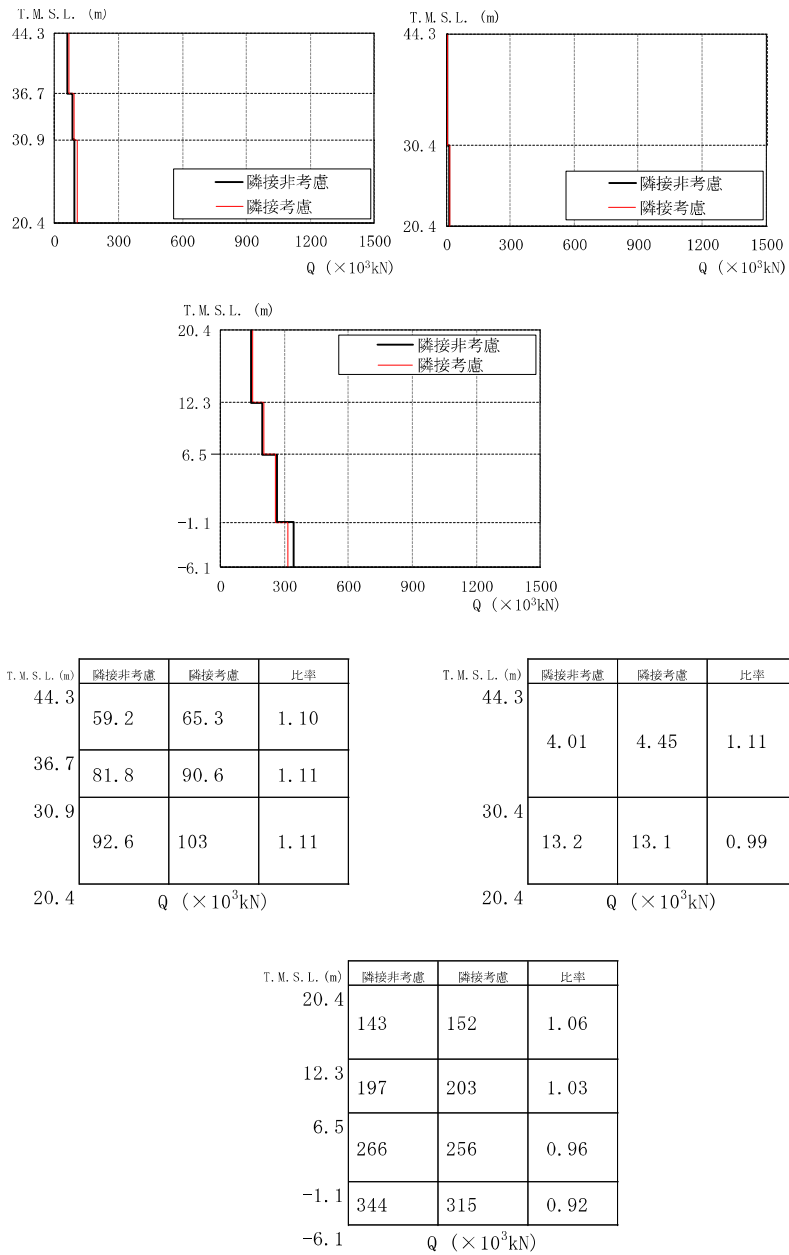
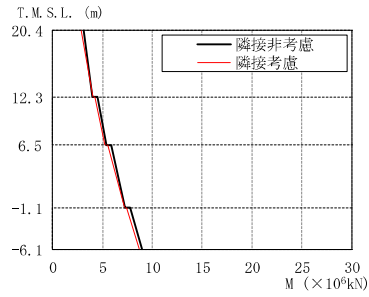
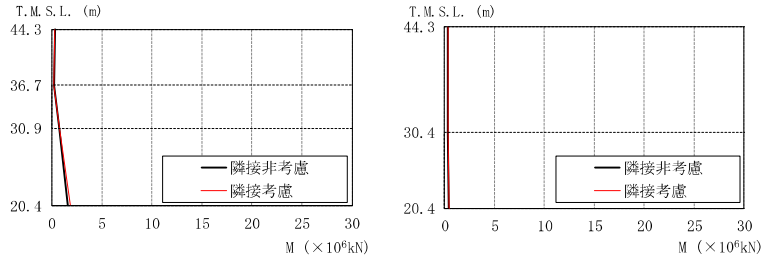


図 3-37 最大応答せん断力の比較 (Rw/B, EW 方向)



T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	0.270	0.297	1.10
	0.181	0.200	1.10
36.7	0.188	0.209	1.11
	0.662	0.735	1.11
30.9	0.686	0.762	1.11
	1.64	1.85	1.13
20.4			

T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	0.274	0.304	1.11
	0.329	0.366	1.11
30.4	0.332	0.369	1.11
	0.421	0.470	1.12
20.4			

T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
20.4	3.05	2.86	0.94
	4.02	4.02	1.00
12.3	4.49	4.28	0.95
	5.39	5.27	0.98
6.5	5.91	5.53	0.94
	7.29	7.16	0.98
-1.1	7.80	7.38	0.95
	8.93	8.70	0.97
-6.1			

図 3-38 最大応答曲げモーメントの比較 (Rw/B, EW 方向)

3.1.7 床応答スペクトル

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋及び廃棄物処理建屋について，隣接考慮モデル（ALL）と隣接非考慮モデル（S1～S4）による床応答スペクトルの比較を行い，隣接影響について確認した。図3-39～図3-46に各建屋の隣接考慮モデルと隣接非考慮モデルによる床応答スペクトルの比較結果（減衰定数5.0%）を示す。

図3-43及び図3-44に示すように建屋規模の大きいK7T/Bでは比較的隣接影響は小さいが，各建屋で隣接非考慮モデルとは異なった応答が生じており，各建屋において，隣接考慮モデルでは6棟連成の影響による複雑な応答性状となっている。

図3-40に示すK7R/BのEW方向については，加振方向に隣接するK7T/Bの固有周期付近で隣接影響と推測される応答増幅が伺える。また，図3-45に示すRw/BのNS方向についても，加振方向に隣接するK7T/Bの固有周期の隣接影響と思われる応答が伺える。

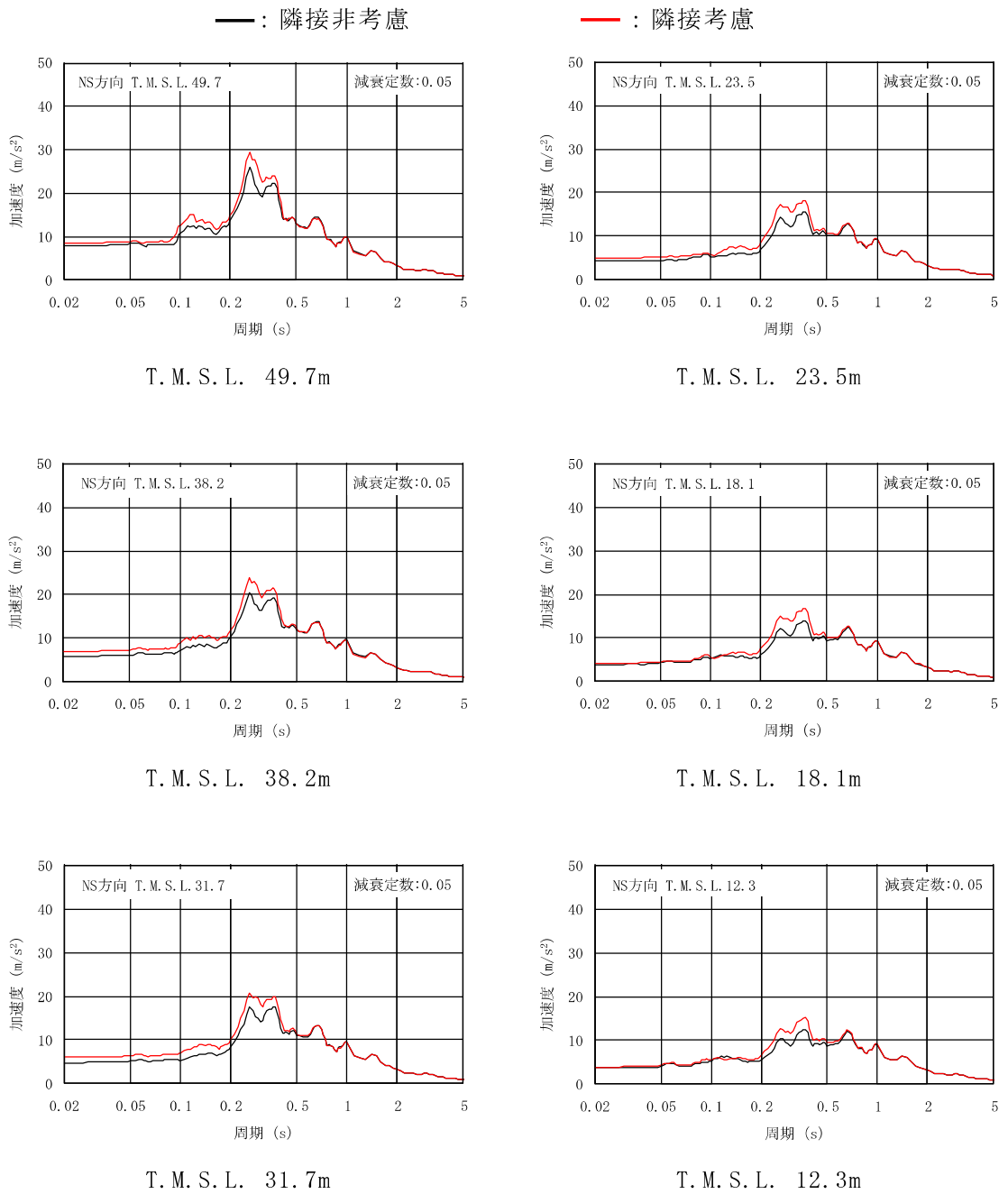
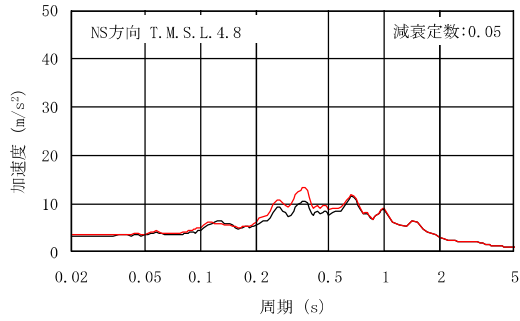


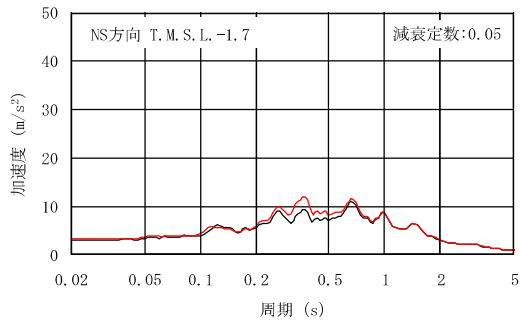
図 3-39 床応答スペクトルの比較 (K7R/B, NS 方向, 減衰定数 5.0%) (1/2)

— : 隣接非考慮

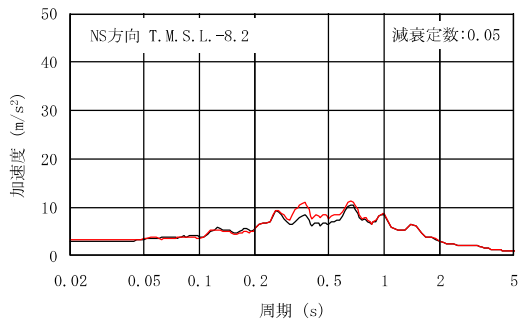
— : 隣接考慮



T. M. S. L. 4.8m



T. M. S. L. -1.7m



T. M. S. L. -8.2m

図 3-39 床応答スペクトルの比較 (K7R/B, NS 方向, 減衰定数 5.0%) (2/2)

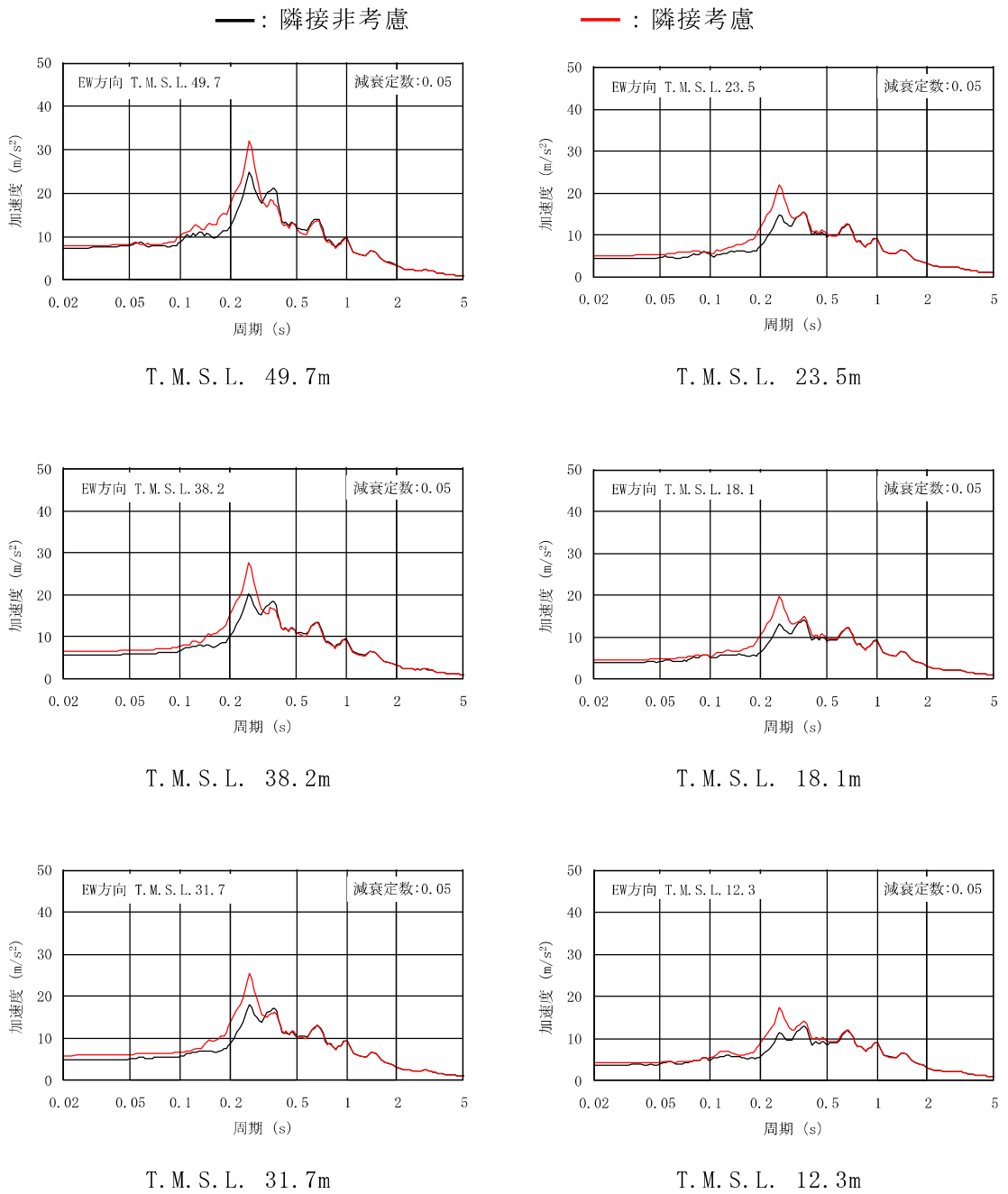
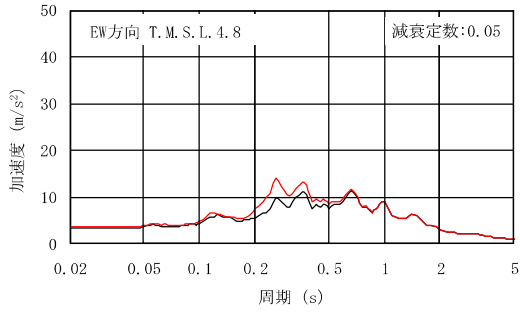


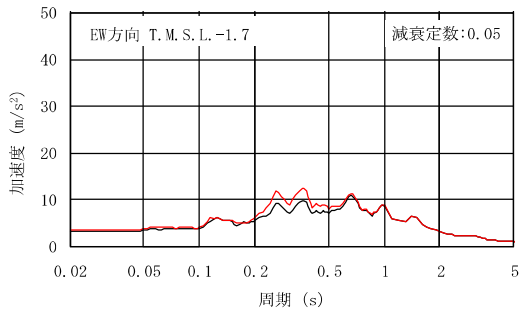
図 3-40 床応答スペクトルの比較 (K7R/B, EW 方向, 減衰定数 5.0%) (1/2)

— : 隣接非考慮

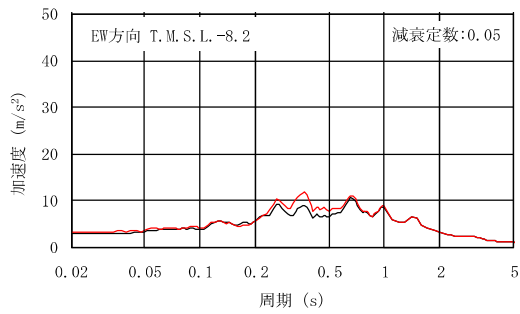
— : 隣接考慮



T. M. S. L. 4.8m



T. M. S. L. -1.7m

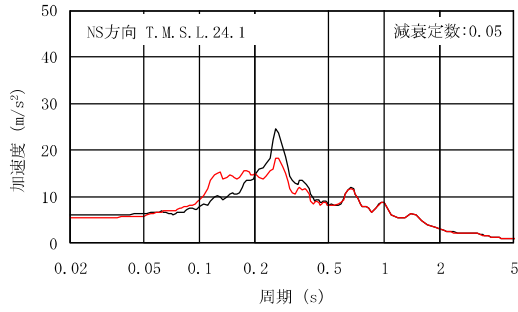


T. M. S. L. -8.2m

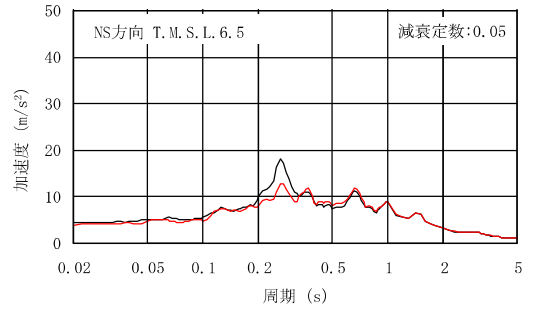
図 3-40 床応答スペクトルの比較 (K7R/B, EW 方向, 減衰定数 5.0%) (2/2)

— : 隣接非考慮

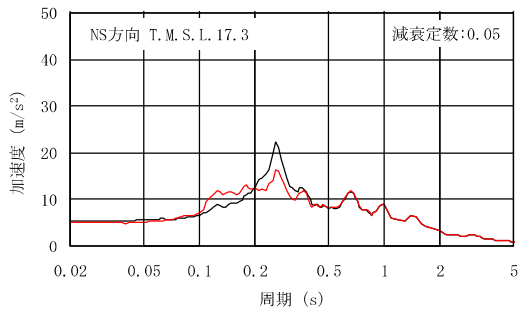
— : 隣接考慮



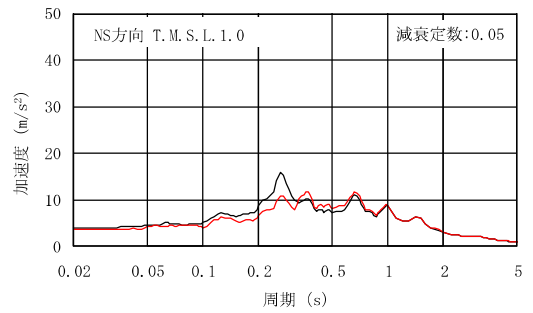
T. M. S. L. 24.1m



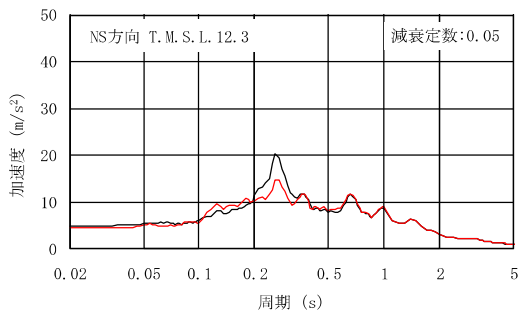
T. M. S. L. 6.5m



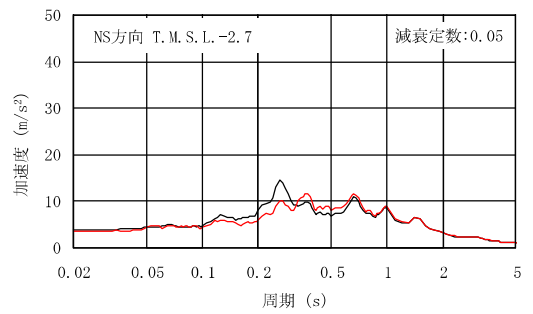
T. M. S. L. 17.3m



T. M. S. L. 1.0m



T. M. S. L. 12.3m

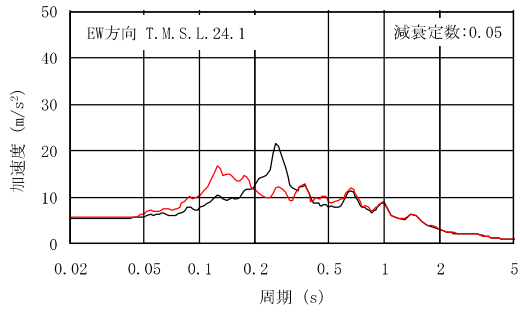


T. M. S. L. -2.7m

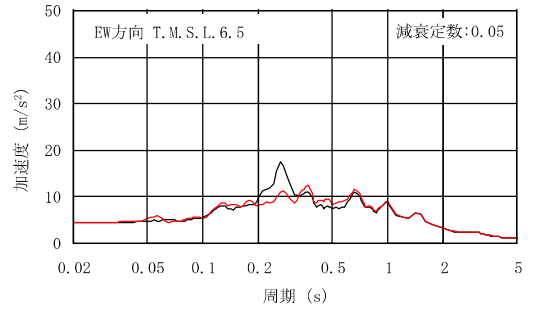
図 3-41 床応答スペクトルの比較 (C/B, NS 方向, 減衰定数 5.0%)

— : 隣接非考慮

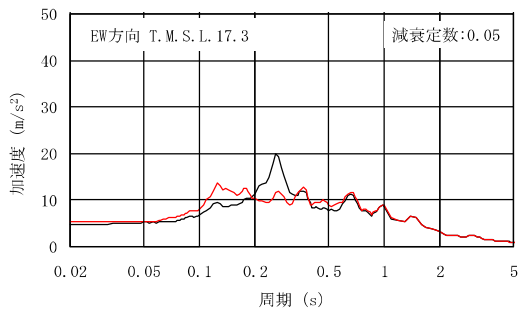
— : 隣接考慮



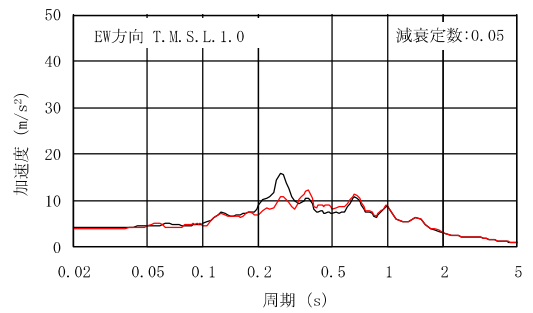
T. M. S. L. 24.1m



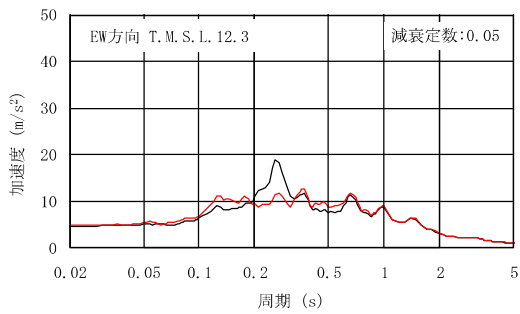
T. M. S. L. 6.5m



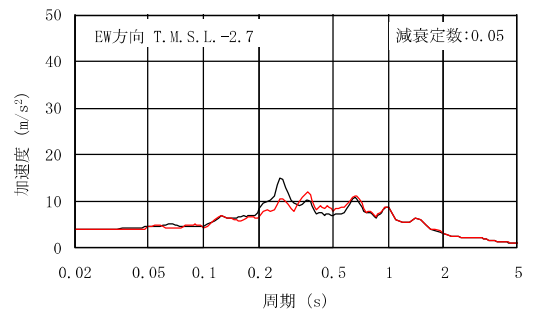
T. M. S. L. 17.3m



T. M. S. L. 1.0m



T. M. S. L. 12.3m

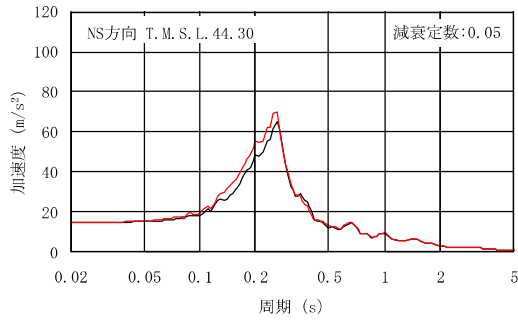


T. M. S. L. -2.7m

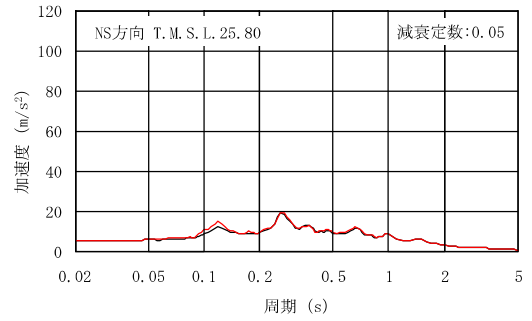
図 3-42 床応答スペクトルの比較 (C/B, EW 方向, 減衰定数 5.0%)

— : 隣接非考慮

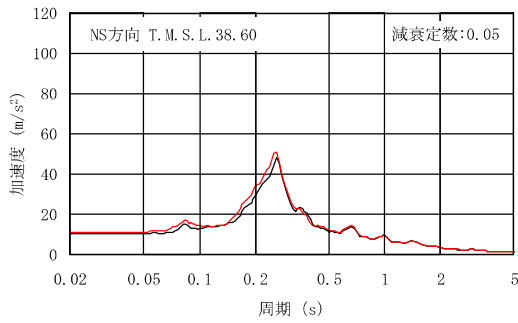
— : 隣接考慮



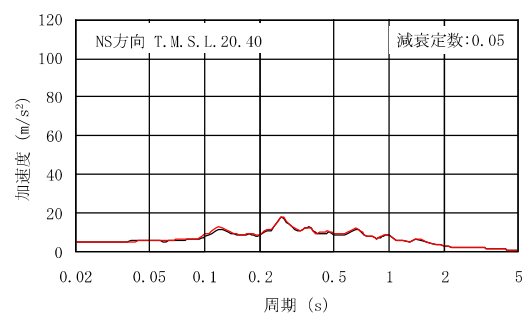
T. M. S. L. 44.30m



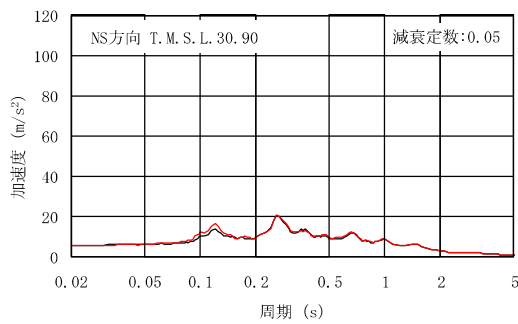
T. M. S. L. 25.80m



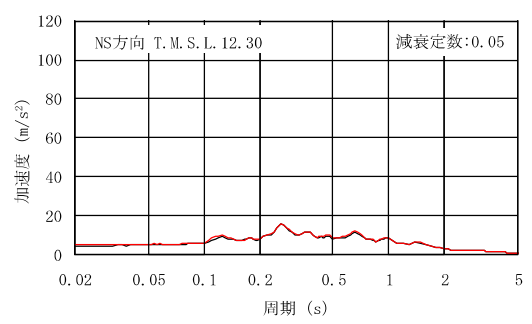
T. M. S. L. 38.60m



T. M. S. L. 20.40m



T. M. S. L. 30.90m

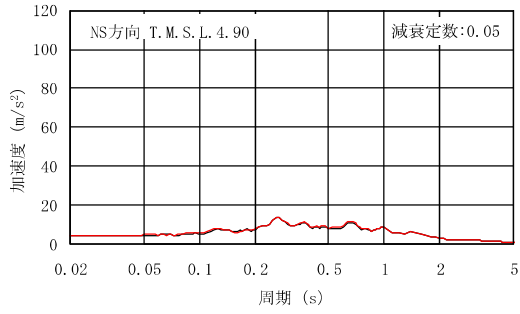


T. M. S. L. 12.30m

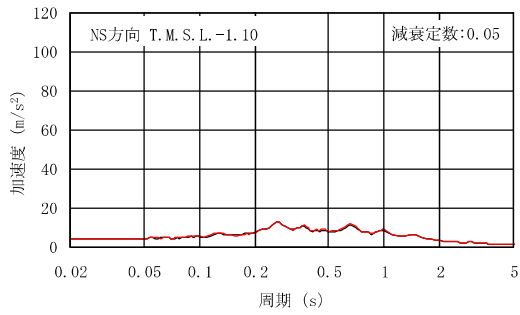
図 3-43 床応答スペクトルの比較 (K7T/B, NS 方向, 減衰定数 5.0%) (1/2)

— : 隣接非考慮

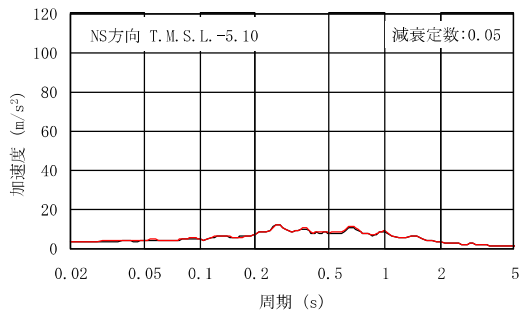
— : 隣接考慮



T. M. S. L. 4.90m



T. M. S. L. -1.10m

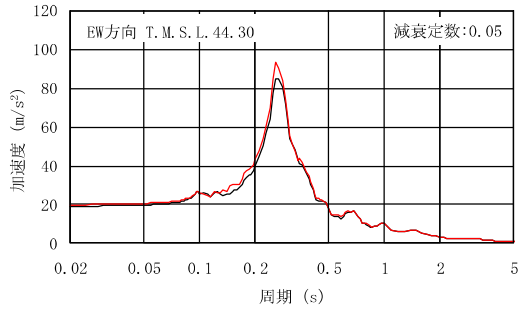


T. M. S. L. -5.10m

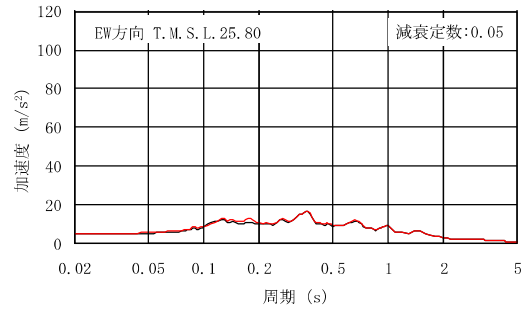
図 3-43 床応答スペクトルの比較 (K7T/B, NS 方向, 減衰定数 5.0%) (2/2)

— : 隣接非考慮

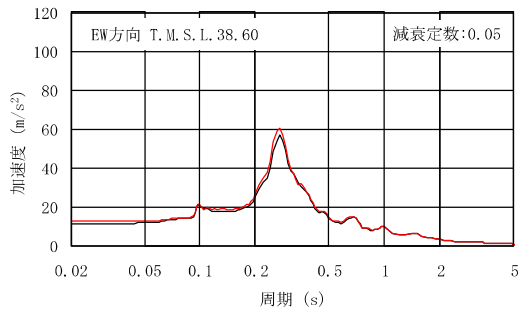
— : 隣接考慮



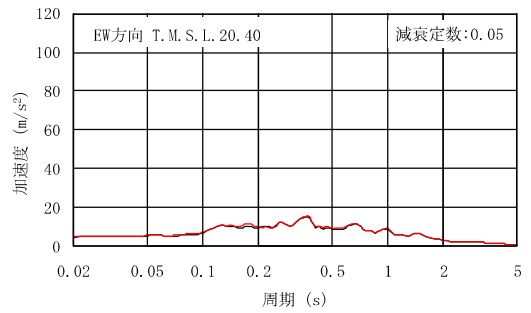
T. M. S. L. 44.30m



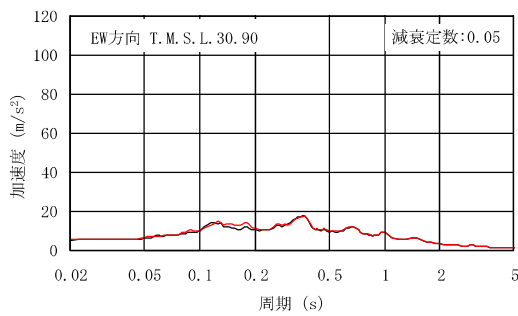
T. M. S. L. 25.80m



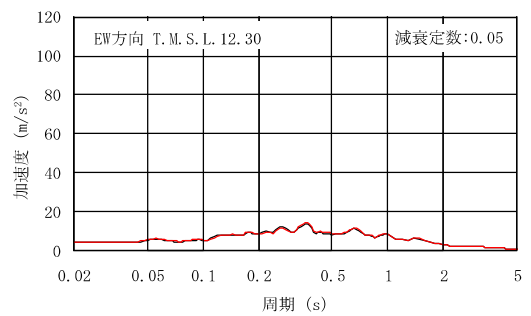
T. M. S. L. 38.60m



T. M. S. L. 20.40m



T. M. S. L. 30.90m

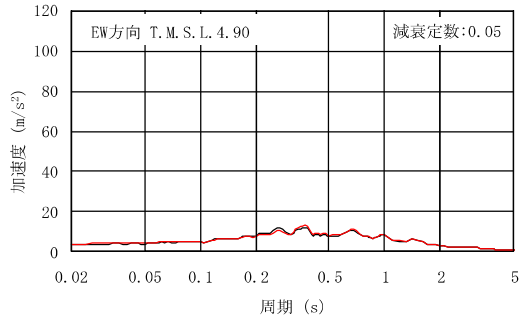


T. M. S. L. 12.30m

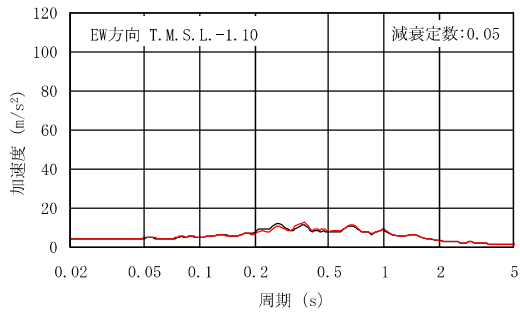
図 3-44 床応答スペクトルの比較 (K7T/B, EW 方向, 減衰定数 5.0%) (1/2)

— : 隣接非考慮

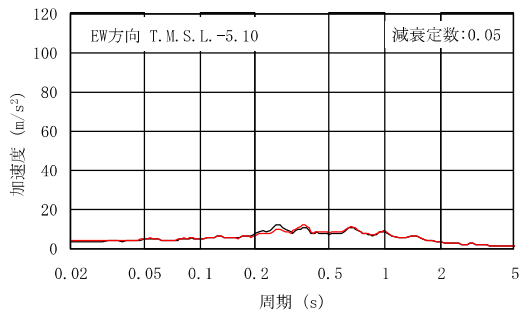
— : 隣接考慮



T. M. S. L. 4.90m



T. M. S. L. -1.10m

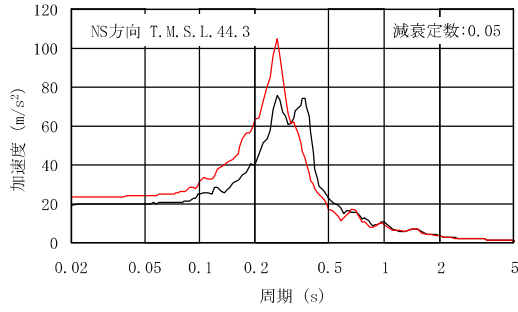


T. M. S. L. -5.10m

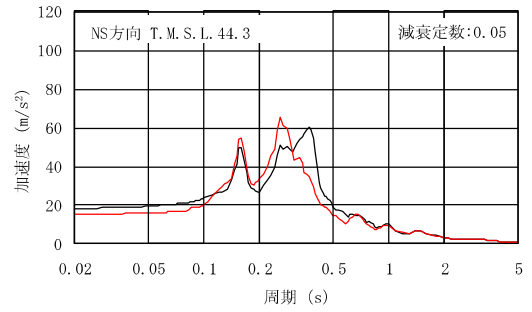
図 3-44 床応答スペクトルの比較 (K7T/B, EW 方向, 減衰定数 5.0%) (2/2)

— : 隣接非考慮

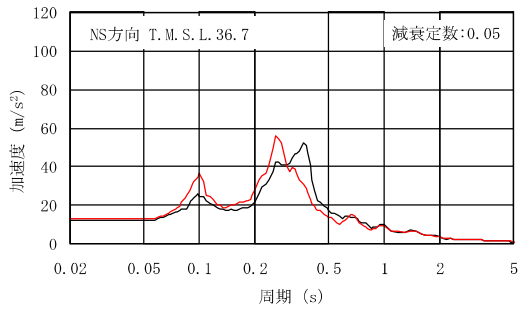
— : 隣接考慮



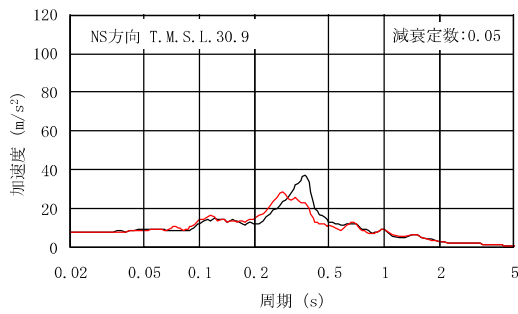
T.M.S.L. 44.3m(質点 10)



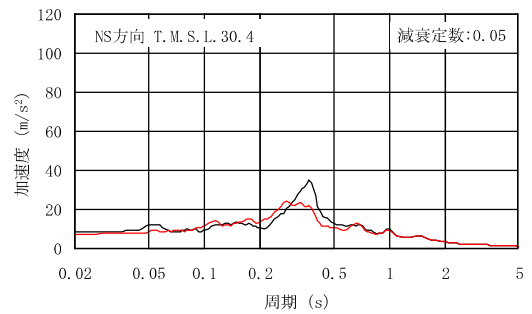
T.M.S.L. 44.3m(質点 11)



T.M.S.L. 36.7m



T.M.S.L. 30.9m

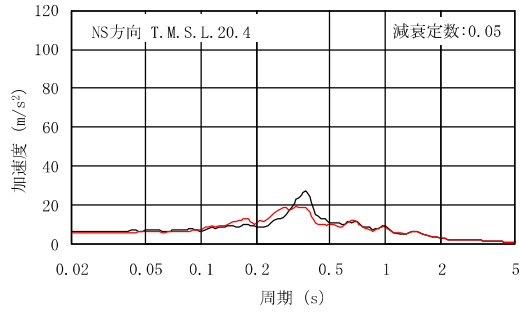


T.M.S.L. 30.4m

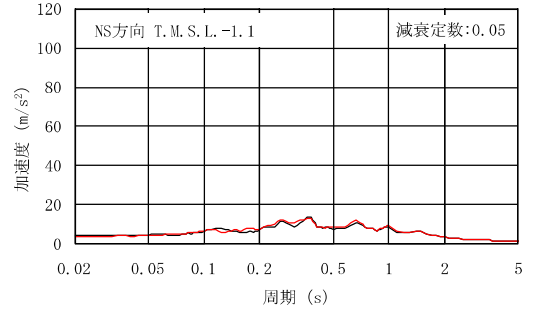
図 3-45 床応答スペクトルの比較 (Rw/B, NS 方向, 減衰定数 5.0%) (1/2)

— : 隣接非考慮

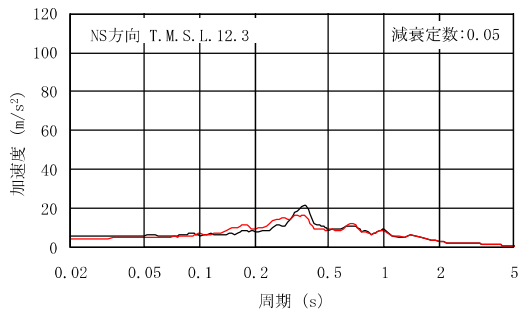
— : 隣接考慮



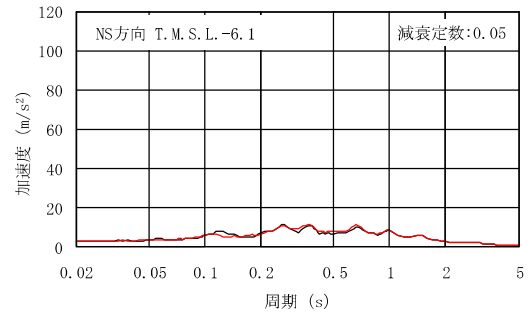
T.M.S.L. 20.4m



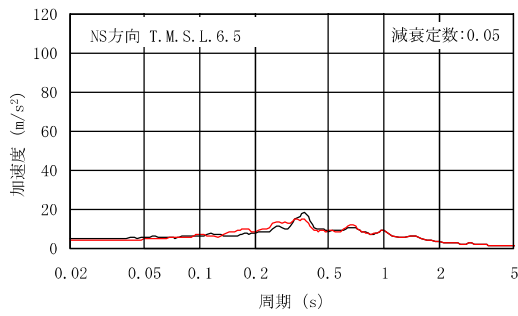
T.M.S.L. -1.1m



T.M.S.L. 12.3m



T.M.S.L. -6.1m

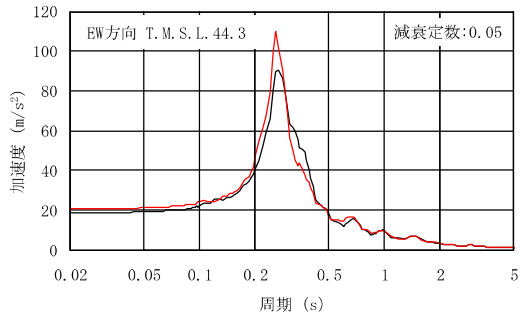


T.M.S.L. 6.5m

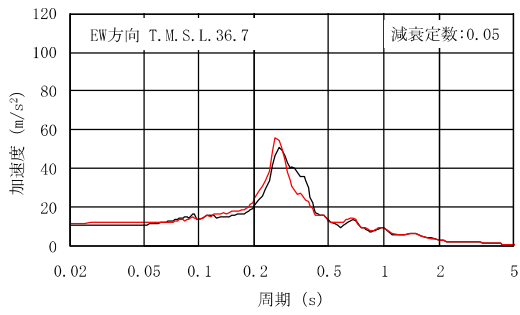
図 3-45 床応答スペクトルの比較 (Rw/B, NS 方向, 減衰定数 5.0%) (2/2)

— : 隣接非考慮

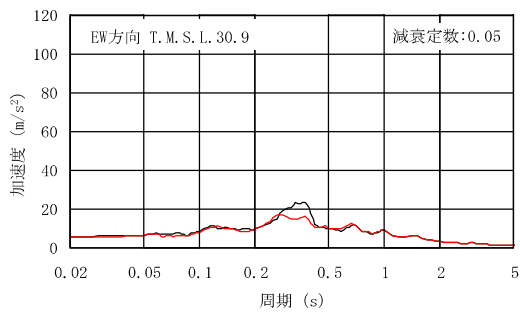
— : 隣接考慮



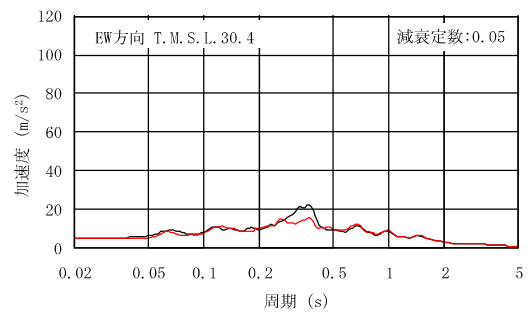
T.M.S.L. 44.3m(質点 10, 11)



T.M.S.L. 36.7m



T.M.S.L. 30.9m

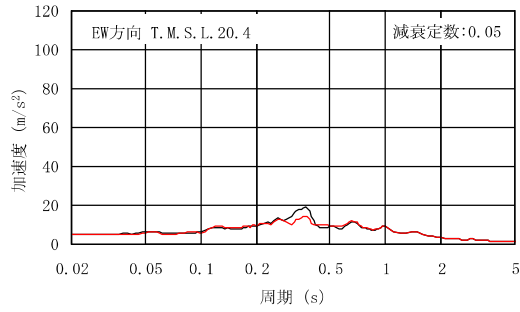


T.M.S.L. 30.4m

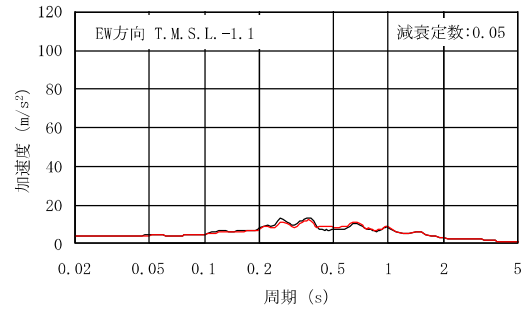
図 3-46 床応答スペクトルの比較 (Rw/B, EW 方向, 減衰定数 5.0%) (1/2)

— : 隣接非考慮

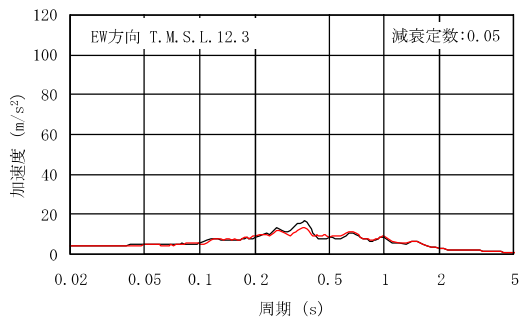
— : 隣接考慮



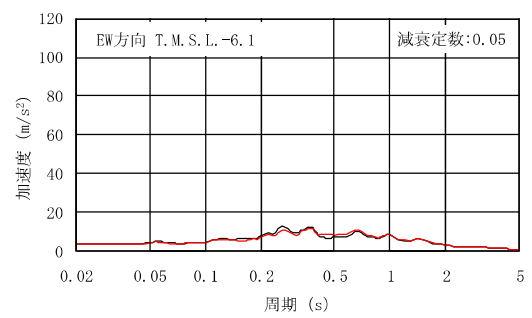
T. M. S. L. 20.4m



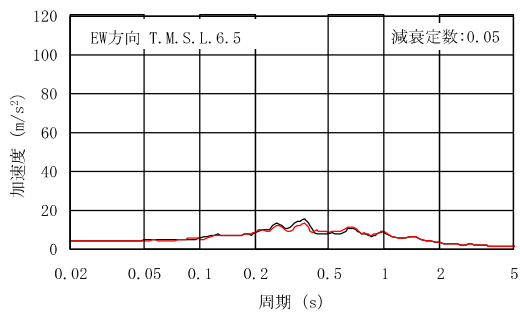
T. M. S. L. -1.1m



T. M. S. L. 12.3m



T. M. S. L. -6.1m



T. M. S. L. 6.5m

図 3-46 床応答スペクトルの比較 (Rw/B, EW 方向, 減衰定数 5.0%) (2/2)

3.2 機器への影響検討

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の原子炉建屋，コントロール建屋，タービン建屋及び廃棄物処理建屋について，「3.1.7」に示す通り，隣接考慮モデルによる床応答スペクトルが隣接非考慮モデルによる床応答スペクトルより大きくなる部分があるため，機器への影響検討を行い，機器の裕度を考慮すると耐震性への影響が無いことを確認した。影響検討の詳細については，別紙4に示す。

4. まとめ

4.1 既往の知見に基づく検討結果

「2.1 既往の文献に基づく検討」及び「2.2 3次元 FEM モデルを用いた検討」により，以下の知見を得た。

(1) 既往の文献に基づく検討

「NUPEC 試験」では，実地盤上に建設された鉄筋コンクリート製試験体における地震観測による検討において，同種 2 棟の建屋が隣接する場合の地震応答は，単独の場合と比較してほぼ同等又は低減される傾向となることが確認されている。

更に，同試験におけるその他各種試験結果から，隣接効果による建屋応答の性状変化は，建屋条件により固有のものとなることが明らかにされているが，定性的には，建屋が隣接した状態と単独の状態を比較した場合，隣接した状態の方が建屋応答が低減される傾向にあることが確認されている。

「NUPEC 試験」は今回の検討とは隣接する各建屋の配置状況，重量及び基礎形状などの条件が異なることから，隣接影響効果を単純に比較できないため，「NUPEC 試験」は参考として記載している。

(2) 3次元 FEM モデルを用いた検討

3次元 FEM モデルを用いた検討により，硬質岩盤においては，隣接建屋が地震応答解析に用いる建屋－地盤連成モデル及び入力地震動に与える影響が小さいことを確認することで，隣接建屋が検討対象建屋の建屋応答に与える影響が小さいことを確認した。

一方で，隣接建屋が建屋応答に与える影響は少ないが，隣接建屋の固有振動数の影響で地盤インピーダンスに励起が見られた。この文献³⁾の結びにも記載されているが， $V_s = 1,650 \text{ m/s}$ の硬質な岩盤に直接支持される原子力施設といった，極めて限定された解析条件での結果であり，柏崎刈羽原子力発電所 第7号機における軟岩サイトでは検討条件が異なるため，文献³⁾の結果同様，隣接影響が小さくなるとは限らない。

4.2 柏崎刈羽原子力発電所 第7号機における隣接建屋の影響検討結果

4.2.1 建物・構築物への影響

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合と各建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較した。

各建屋の最大応答値について確認した結果、応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）は、K7R/Bでは0.56（部材番号8, EW方向の曲げモーメント）～1.31（部材番号5, EW方向のせん断力）、C/Bでは0.55（部材番号5, NS方向の曲げモーメント）～1.45（部材番号1, NS方向の曲げモーメント）、K7T/Bでは0.84（部材番号1, NS方向の曲げモーメント）～1.15（部材番号4, EW方向のせん断力）、Rw/Bでは0.66（部材番号2, NS方向の曲げモーメント）～1.19（質点番号10, NS方向の加速度）であり、応答が増幅又は減少する効果があることを確認した。影響が見られる応答成分や方向に違いが見られることから、K7R/B, C/B, K7T/B及びRw/Bではこれらの効果を個別に確認する。別紙2では建物・構築物の応答増幅の評価結果を、別紙3では建物・構築物のうち、水密扉等付帯設備の応答増幅の評価結果を示す。

4.2.2 機器への影響

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合と各建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較した。

隣接考慮モデルによる床応答スペクトルが隣接非考慮モデルによる床応答スペクトルより大きくなる部分があるため、機器への影響検討を行い、機器の裕度を考慮すると耐震性への影響が無いことを確認した。

【参考文献】

- 1) 耐震安全解析コード改良試験原子炉建屋の隣接効果試験に関する報告書、(財)原子力発電技術機構、平成6年度～平成13年度
- 2) 鈴木 篤他、「地震観測に基づく構造物の隣接効果の検討」、日本建築学会学術講演梗概集、21169, P.337-338, 2000年9月
- 3) 中村 尚弘他、「原子力発電所建屋の地震応答性状に与える不整形地盤および隣接建屋の影響に関する研究」、2012年3月、構造工学論文集、日本建築学会

別紙 1 建屋構造特性の整理

1. 建屋構造特性の整理

柏崎刈羽原子力発電所 第7号機の工事計画認可申請対象である7号機原子炉建屋，コントロール建屋，7号機タービン建屋及び廃棄物処理建屋の構造特性を整理した結果を表1-1(1/2)に示す。また，第6号機の工事計画認可申請対象である6号機原子炉建屋及び6号機タービン建屋についても，6棟連成の解析モデル（解析ケース ALL）に考慮していることから，構造特性を整理した結果を表1-1(2/2)に示す。

表1-1 建屋構造特性整理表(1/2)

		7号機原子炉 建屋	コントロール 建屋	7号機タービン 建屋	廃棄物処理 建屋
基礎スラブ 幅 (m) (NS) × (EW)		56.6×59.6	42.0×59.0	97.0×82.0	35.8×73.0
重量 (kN)	基礎 スラブ	558490	205980	759230	215180
	建屋	1396620	450420	1796800	797000
	基礎 スラブ + 建屋	1955110	656400	2556030	1012180
1次固有 振動数*1 (Hz)	NS	2.28	3.85	2.74	2.54
	EW	2.33	4.08	2.56	2.94
質点高さ T.M.S.L. (m) *2	上端	49.7	24.1	44.3	44.3
	下端	-13.7	-5.5	-7.9	-8.6

注記*1 : 基準地震動 Ss-1 入力の SR モデル解析時の値。

注記*2 : 東京湾平均海面（以下，「T.M.S.L.」という。）

表 1-1 建屋構造特性整理表 (2/2)

		6号機原子炉 建屋	6号機タービン 建屋
基礎スラブ 幅 (m) (NS) × (EW)		56.6 × 59.6	97.0 × 82.0
重量 (kN)	基礎 スラブ	556720	757160
	建屋	1400020	1793070
	基礎 スラブ + 建屋	1956740	2550230
1次固有 振動数*1 (Hz)	NS	2.27	2.78
	EW	2.33	2.56
質点高さ T. M. S. L. (m) *2	上端	49.7	44.3
	下端	-13.7	-7.9

注記*1 : 基準地震動 Ss-1 入力の SR モデル解析時の値。

注記*2 : 東京湾平均海面 (以下, 「T. M. S. L.」 という。)

別紙 2 応答増幅の影響について

目 次

1. 概要	別紙 2-1
2. 検討方針	別紙 2-1
3. 検討結果	別紙 2-22

1. 概要

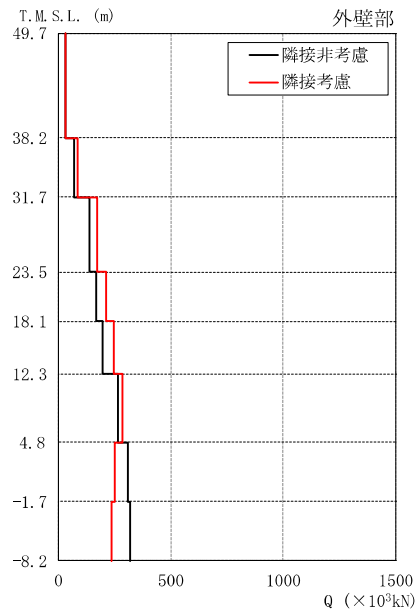
本資料は、隣接建屋の影響として、耐震評価を実施している躯体関係の応答増幅の影響検討を行うものである。

2. 検討方針

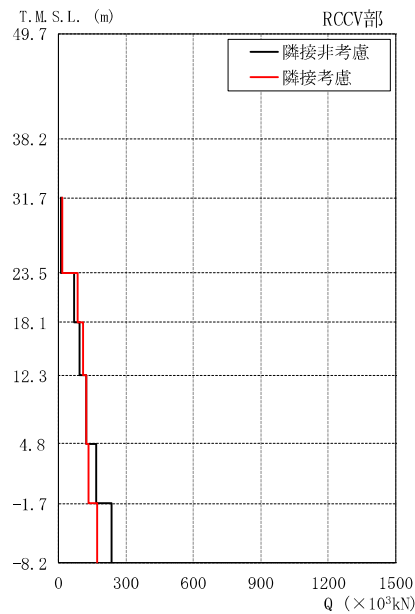
検討対象を表 2-1 に示す。隣接建屋を考慮した応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）と、各検討対象の評価結果より影響検討を行う。7号機原子炉建屋（以下「K7R/B」という。）の建屋モデル及び隣接応答倍率を図 2-1 及び図 2-2～図 2-5 に、コントロール建屋（以下「C/B」という。）の建屋モデル及び隣接応答倍率を図 2-6 及び図 2-7～図 2-10 に、7号機タービン建屋（以下「K7T/B」という。）の建屋モデル及び隣接応答倍率を図 2-11 及び図 2-12～図 2-15 に、廃棄物処理建屋（以下「Rw/B」という。）の建屋モデル及び隣接応答倍率を図 2-16 及び図 2-17～図 2-20 に示す。評価フローを図 2-21 に示す。また、評価に用いる弾性設計用地震動 S_d に基づく応答倍率の考え方を図 2-22 に示す。図 2-22 に示すとおり、線形（隣接考慮）／線形（隣接非考慮）に基づく応答倍率は、非線形（隣接考慮）／非線形（隣接非考慮）に基づく応答倍率より保守的に設定することができることから、弾性設計用地震動 S_{d-1} に基づく隣接応答倍率を用いた評価を行う。隣接応答倍率を、建屋の非線形性及び基礎の浮上り非線形性等を考慮した地震応答解析及び応力解析に基づく耐震評価結果に掛けることによって、応答増幅の影響検討を行う。

表 2-1 検討対象

検討対象	建屋名称	説明ページ
耐震壁	K7R/B, C/B K7T/B, Rw/B	別紙 2-22
基礎スラブ	K7R/B, C/B K7T/B, Rw/B	別紙 2-25
屋根トラス	K7R/B	別紙 2-28
原子炉格納容器 コンクリート部 (RCCV)	K7R/B	別紙 2-37
使用済燃料貯蔵 プール (SFP)	K7R/B	別紙 2-51
主排気筒	K7R/B	別紙 2-63
復水貯蔵槽 (CSP)	Rw/B	別紙 2-75



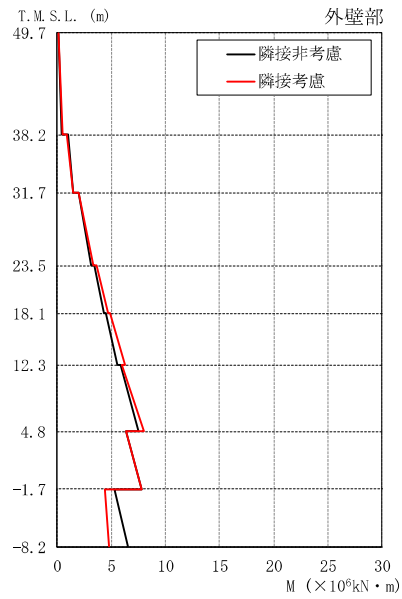
T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	29.9	32.8	1.10
38.2	72.2	86.3	1.20
31.7	140	172	1.23
23.5	167	212	1.27
18.1	199	247	1.24
12.3	263	284	1.08
4.8	310	252	0.81
-1.7	318	237	0.75



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
31.7	14.0	17.7	1.26
23.5	69.6	84.4	1.21
18.1	95.3	109	1.14
12.3	125	122	0.98
4.8	170	132	0.78
-1.7	236	175	0.74

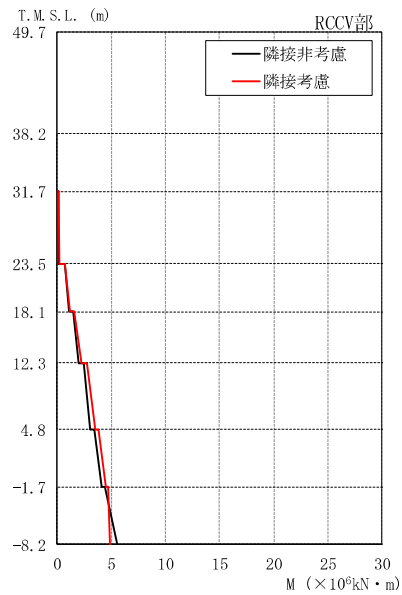
注：東京湾平均海面（以下、「T.M.S.L.」という。）

図 2-2 K7R/B の隣接応答倍率 (Sd-1, NS 方向) : せん断力



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	0.0986	0.0853	0.87
38.2	0.442	0.463	1.05
	0.960	0.915	0.95
31.7	1.43	1.45	1.01
	1.99	1.95	0.98
23.5	3.11	3.31	1.06
	3.42	3.57	1.04
18.1	4.30	4.71	1.10
	4.49	4.87	1.08
12.3	5.57	6.28	1.13
	5.83	5.92	1.02
4.8	7.55	8.00	1.06
	6.30	6.33	1.00
-1.7	7.77	7.76	1.00
	5.31	4.38	0.82
-8.2	6.55	4.80	0.73

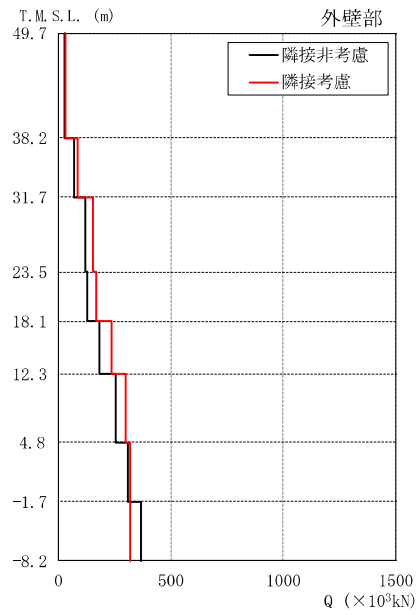
M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
31.7	0.0561	0.0535	0.95
23.5	0.123	0.158	1.28
	0.722	0.728	1.01
18.1	1.04	1.17	1.13
	1.49	1.60	1.07
12.3	1.91	2.20	1.15
	2.43	2.69	1.11
4.8	3.06	3.51	1.15
	3.43	3.85	1.12
-1.7	4.10	4.45	1.09
	4.39	4.69	1.07
-8.2	5.51	4.87	0.88

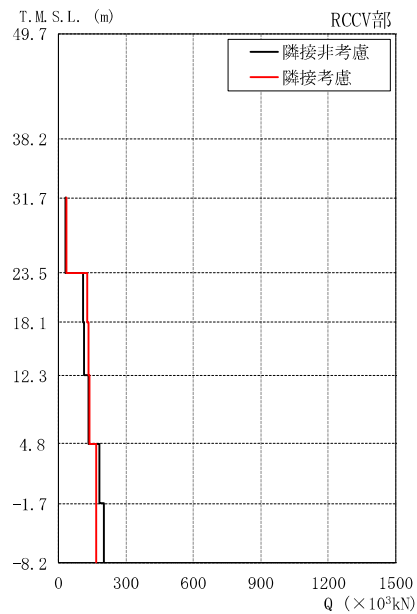
M ($\times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}$)

図 2-3 K7R/B の隣接応答倍率 (Sd-1, NS 方向) : 曲げモーメント



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	27.6	31.0	1.12
38.2	69.4	83.4	1.20
31.7	121	151	1.25
23.5	130	170	1.31
18.1	181	238	1.31
12.3	257	302	1.18
4.8	310	317	1.02
-1.7	369	318	0.86

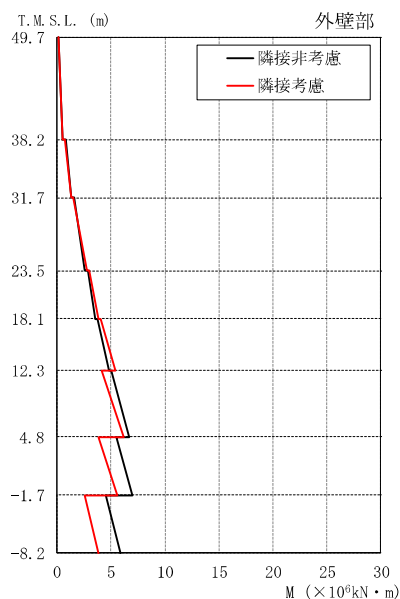
Q ($\times 10^3$ kN)



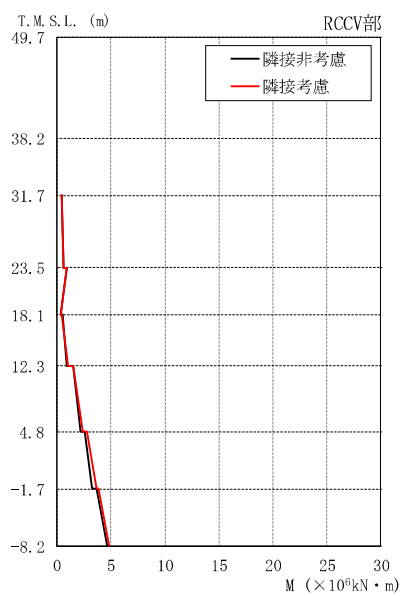
T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
31.7	33.1	36.4	1.10
23.5	108	131	1.21
18.1	113	134	1.19
12.3	135	141	1.04
4.8	183	167	0.91
-1.7	204	167	0.82

Q ($\times 10^3$ kN)

図 2-4 K7R/B の隣接応答倍率 (Sd-1, EW 方向) : せん断力



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
49.7	0.174	0.136	0.78
	0.491	0.492	1.00
38.2	0.825	0.751	0.91
	1.28	1.28	1.00
31.7	1.59	1.52	0.96
	2.59	2.75	1.06
23.5	2.86	2.95	1.03
	3.55	3.87	1.09
18.1	3.74	4.01	1.07
	4.77	5.37	1.13
12.3	5.03	4.13	0.82
	6.71	6.22	0.93
4.8	5.48	3.81	0.70
	6.96	5.56	0.80
-1.7	4.48	2.53	0.56
-8.2	5.87	3.89	0.66



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
31.7	0.463	0.410	0.89
	0.628	0.607	0.97
23.5	0.899	0.960	1.07
	0.336	0.286	0.85
18.1	0.481	0.472	0.98
	0.898	1.01	1.12
12.3	1.46	1.52	1.04
	2.16	2.40	1.11
4.8	2.59	2.78	1.07
	3.30	3.60	1.09
-1.7	3.62	3.85	1.06
-8.2	4.64	4.80	1.03

図 2-5 K7R/B の隣接応答倍率 (Sd-1, EW 方向) : 曲げモーメント

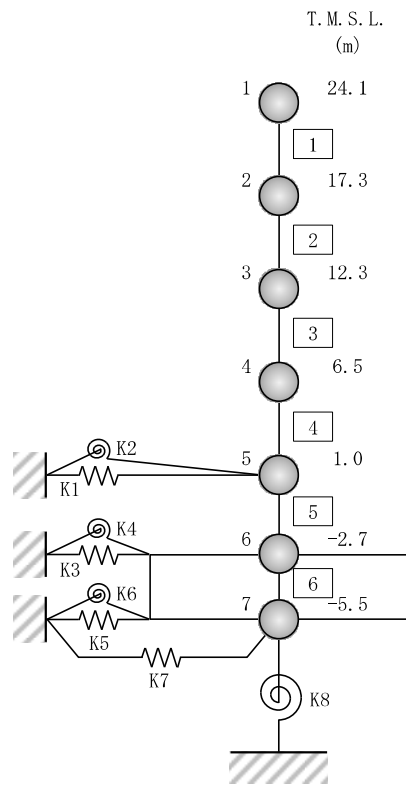


図 2-6 C/B の建屋モデル

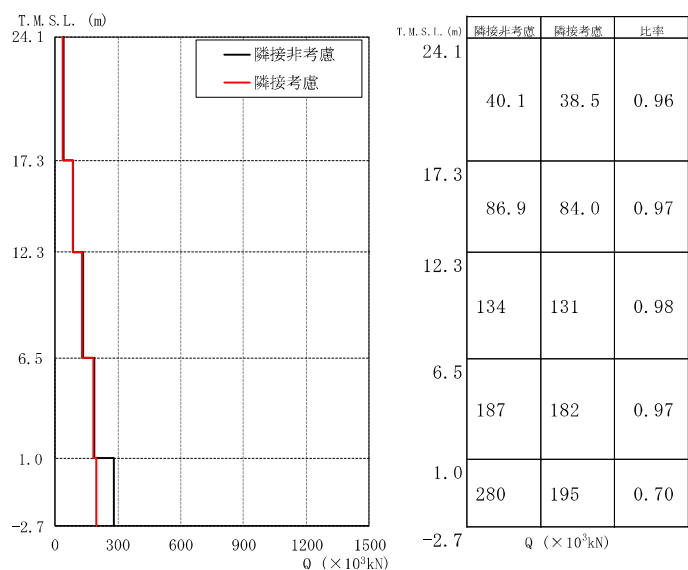


図 2-7 C/B の隣接応答倍率 (Sd-1, NS 方向) : せん断力

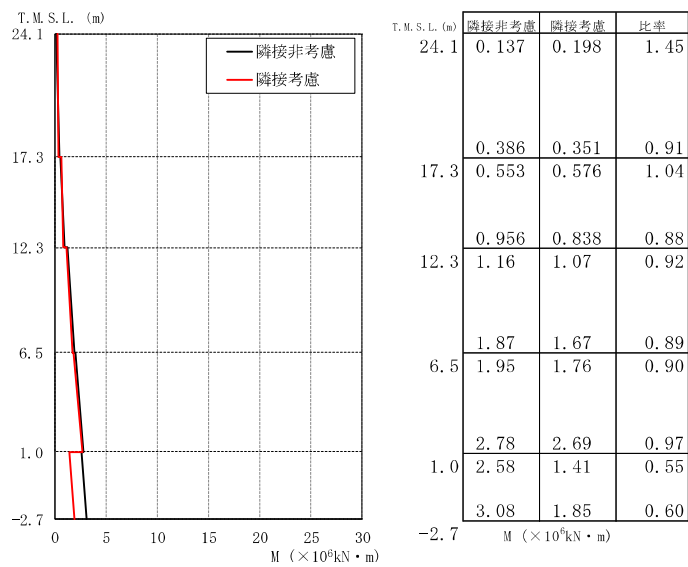


図 2-8 C/B の隣接応答倍率 (Sd-1, NS 方向) : 曲げモーメント

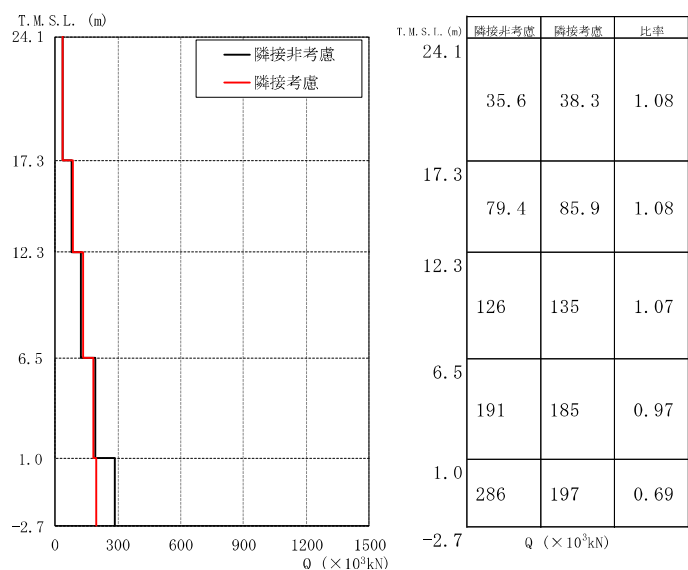


図 2-9 C/B の隣接応答倍率 (Sd-1, EW 方向) : せん断力

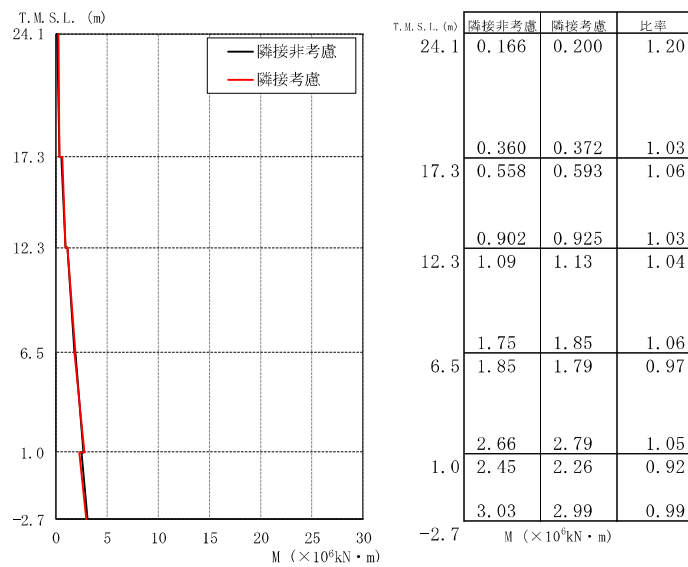


図 2-10 C/B の隣接応答倍率 (Sd-1, EW 方向) : 曲げモーメント

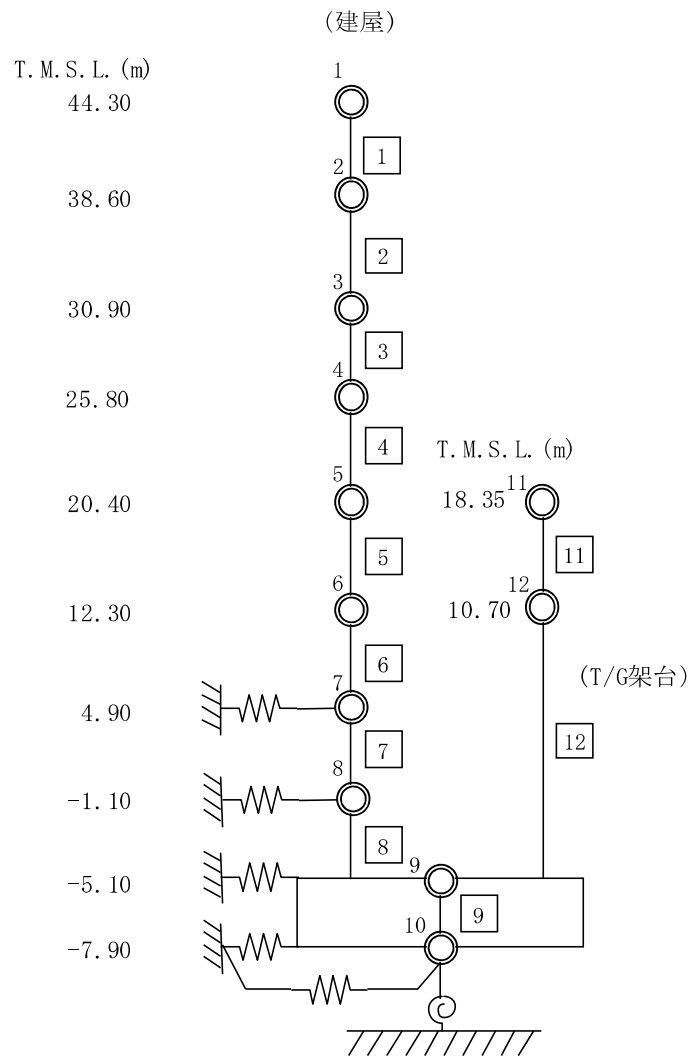
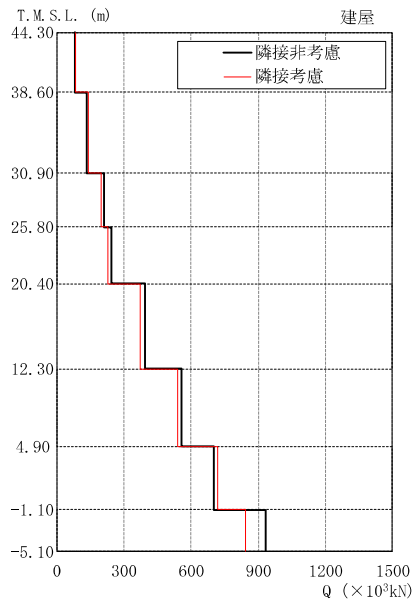
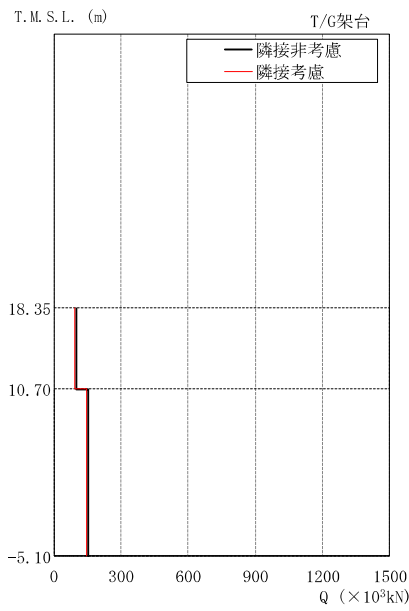


図 2-11 K7T/B の建屋モデル

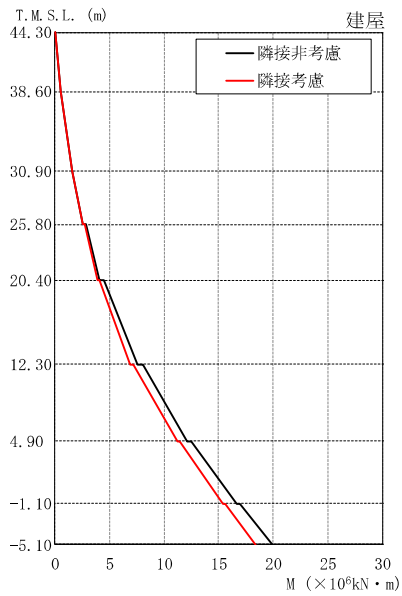


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	82.1	82.6	1.01
38.60	135	139	1.03
30.90	210	197	0.94
25.80	246	230	0.93
20.40	396	374	0.94
12.30	557	540	0.97
4.90	704	720	1.02
-1.10	931	842	0.90

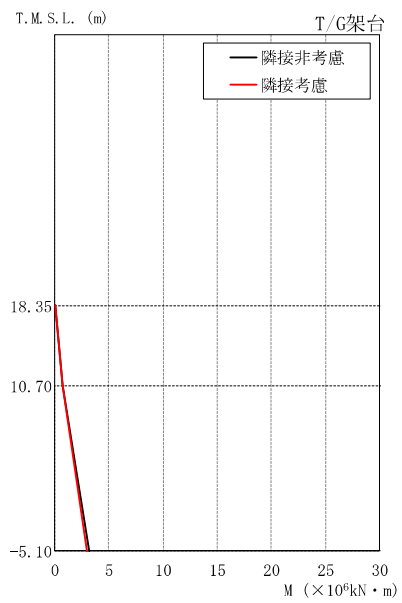


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	98.5	91.4	0.93
10.70	153	145	0.95

図 2-12 K7T/B の隣接応答倍率(Sd-1, NS 方向) : せん断力

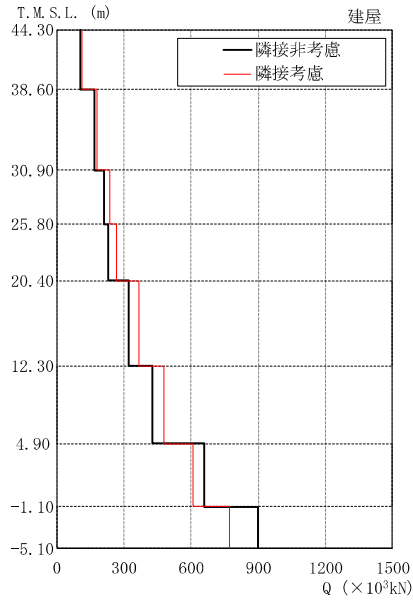


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	0.0250	0.0210	0.84
	0.475	0.477	1.00
38.60	0.478	0.479	1.00
	1.52	1.55	1.02
30.90	1.54	1.57	1.02
	2.50	2.55	1.02
25.80	2.78	2.72	0.98
	4.06	3.92	0.97
20.40	4.46	4.11	0.92
	7.54	6.91	0.92
12.30	8.05	7.18	0.89
	12.1	11.2	0.93
4.90	12.5	11.4	0.91
	16.6	15.4	0.93
-1.10	16.9	15.6	0.92
-5.10	19.9	18.4	0.92

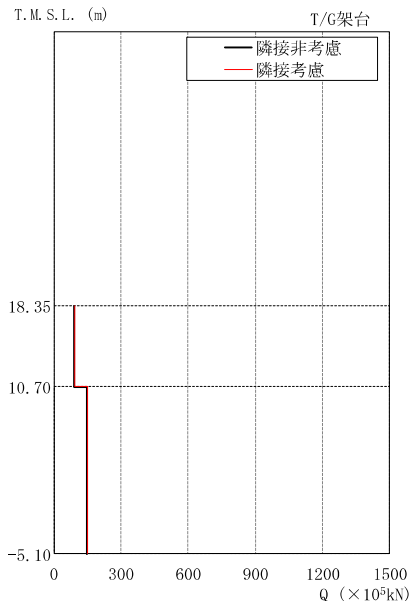


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	0.00	0.00	-
	0.753	0.699	0.93
10.70	0.753	0.699	0.93
	3.18	3.00	0.94

図 2-13 K7T/B の隣接応答倍率(Sd-1, NS 方向) : 曲げモーメント

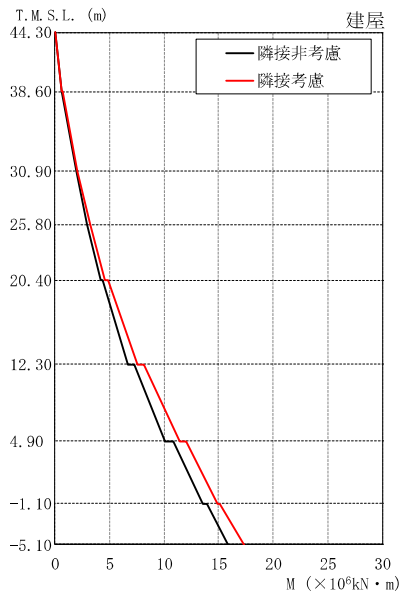


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	107	112	1.05
38.60	168	178	1.06
30.90	212	238	1.12
25.80	231	265	1.15
20.40	321	368	1.15
12.30	426	480	1.13
4.90	661	610	0.92
-1.10	898	773	0.86

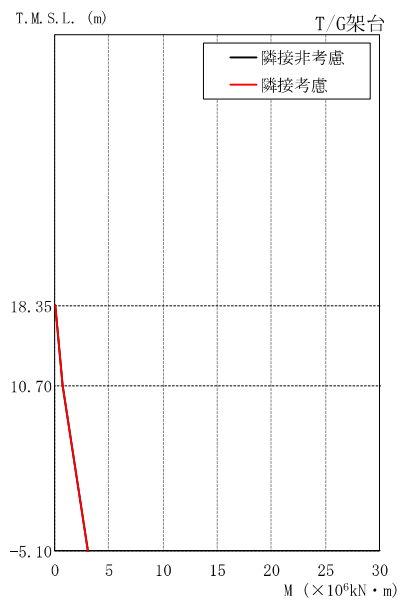


T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	92.6	92.0	0.99
10.70	148	149	1.01

図 2-14 K7T/B の隣接応答倍率 (Sd-1, EW 方向) : せん断力



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.30	0.0297	0.0273	0.92
	0.614	0.635	1.03
38.60	0.621	0.650	1.05
	1.91	2.01	1.05
30.90	1.92	2.04	1.06
	2.94	3.17	1.08
25.80	2.95	3.19	1.08
	4.14	4.60	1.11
20.40	4.37	4.80	1.10
	6.70	7.59	1.13
12.30	7.29	8.14	1.12
	10.1	11.4	1.13
4.90	10.8	12.0	1.11
	13.6	14.9	1.10
-1.10	13.9	15.1	1.09
	15.9	17.3	1.09
-5.10			



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
18.35	0.00	0.00	-
	0.709	0.704	0.99
10.70	0.709	0.704	0.99
	3.05	3.05	1.00
-5.10			

図 2-15 K7T/B の隣接応答倍率 (Sd-1, EW 方向) : 曲げモーメント

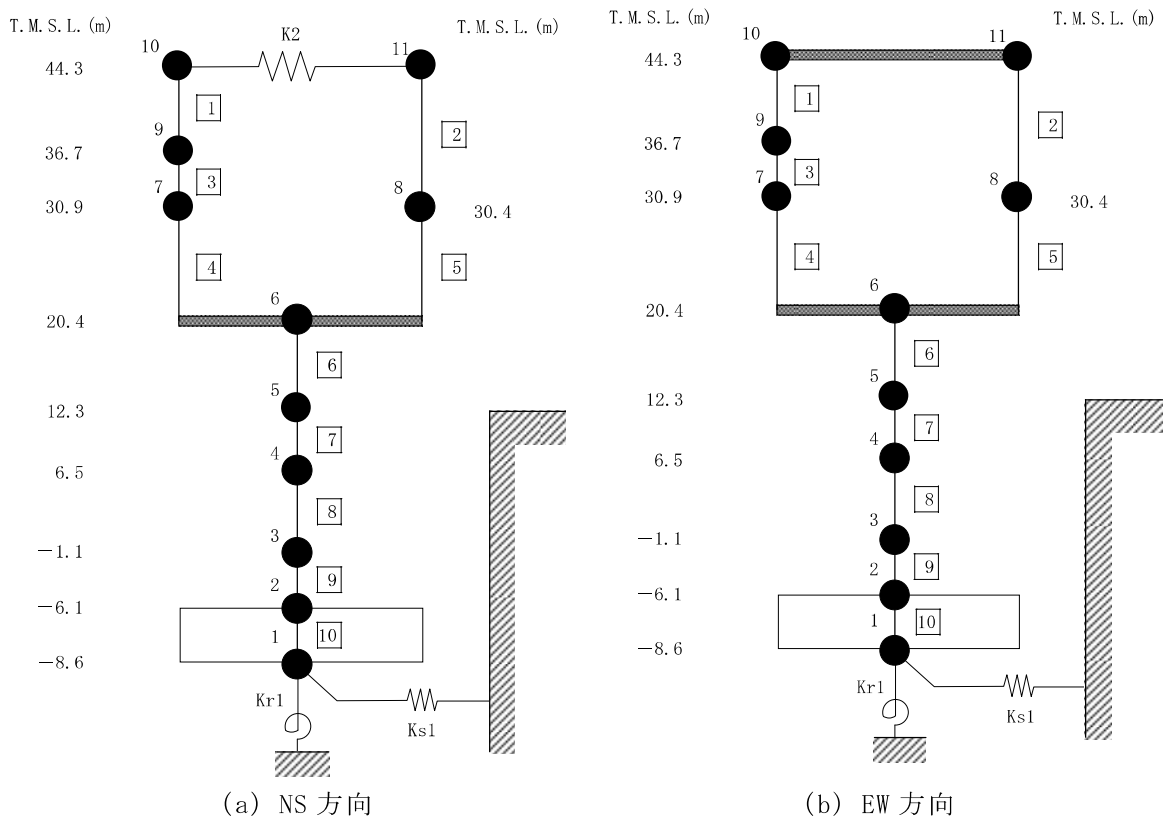


図 2-16 Rw/B の建屋モデル

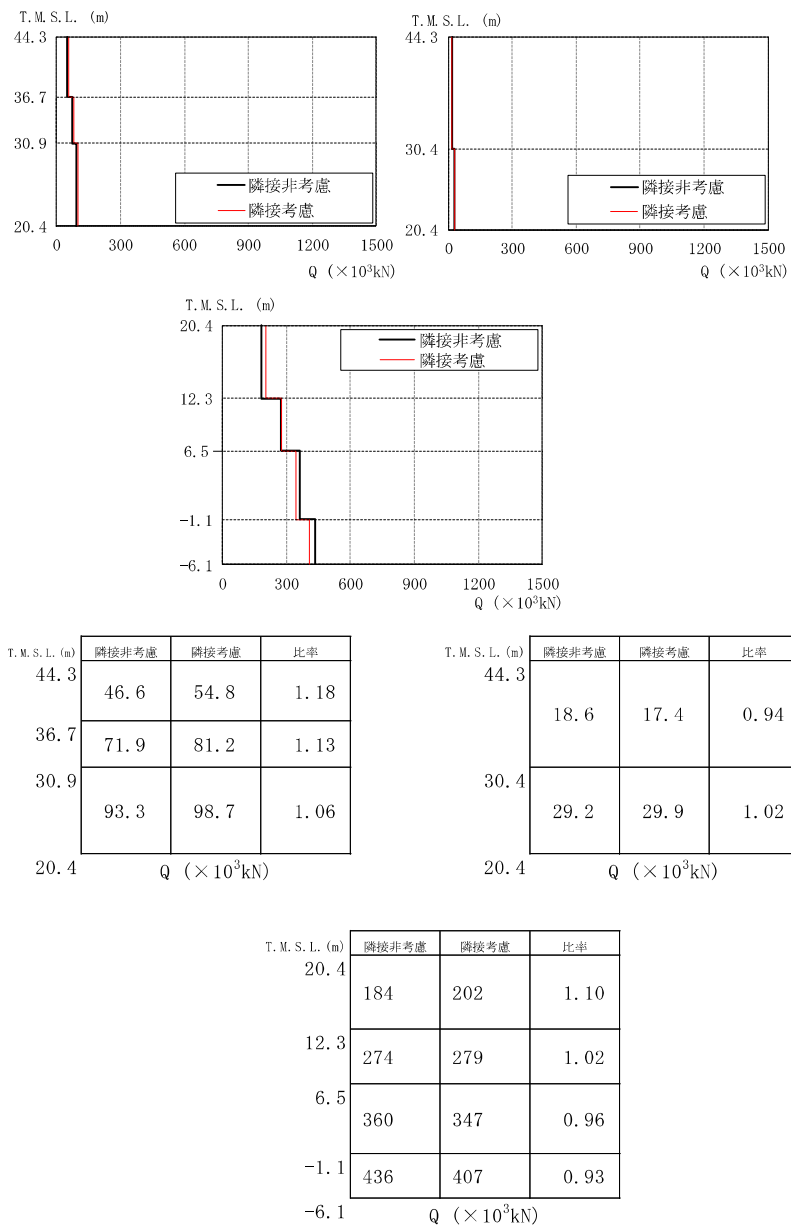
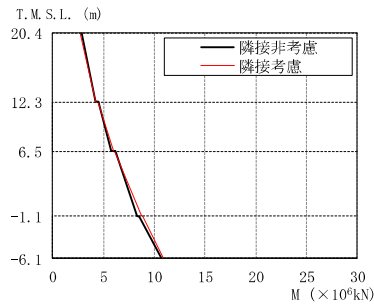
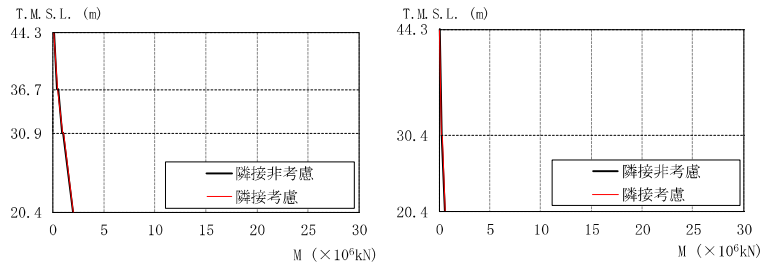


図 2-17 Rw/B の隣接応答倍率 (Sd-1, NS 方向) : せん断力

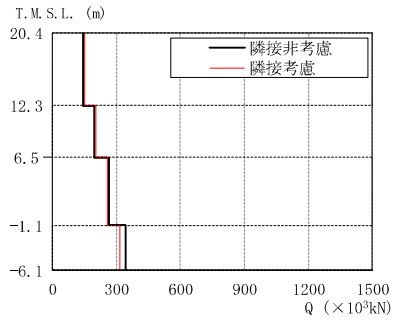
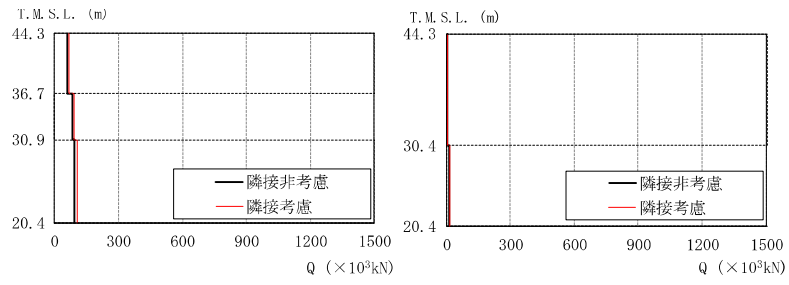


T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	0.0902	0.0654	0.73
	0.402	0.460	1.14
36.7	0.477	0.501	1.05
	0.870	0.972	1.12
30.9	0.982	1.04	1.06
	1.96	2.05	1.05
20.4			

T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	0.0283	0.0187	0.66
	0.266	0.253	0.95
30.4	0.303	0.275	0.91
	0.595	0.557	0.94
20.4			

T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
20.4	2.80	2.70	0.96
	4.19	4.26	1.02
12.3	4.51	4.43	0.98
	5.77	5.98	1.04
6.5	6.12	6.15	1.00
	8.30	8.76	1.06
-1.1	8.54	8.88	1.04
	10.7	10.9	1.02
-6.1			

図 2-18 Rw/B の隣接応答倍率 (Sd-1, NS 方向) : 曲げモーメント



T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	59.2	65.3	1.10
36.7	81.8	90.6	1.11
30.9	92.6	103	1.11
20.4			

Q (×10³kN)

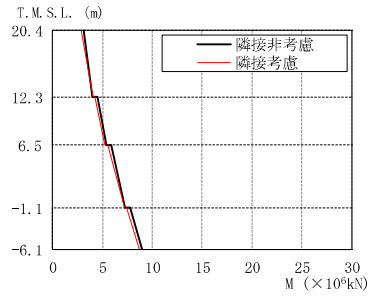
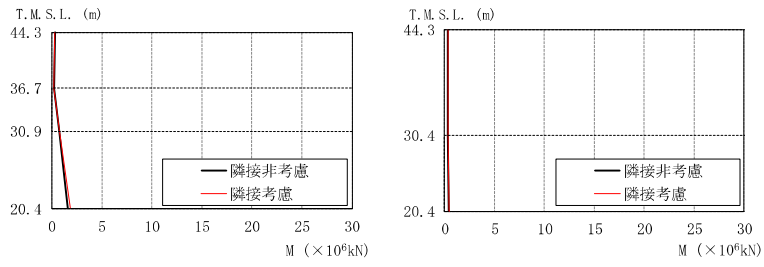
T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	4.01	4.45	1.11
30.4	13.2	13.1	0.99
20.4			

Q (×10³kN)

T.M.S.L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
20.4	143	152	1.06
12.3	197	203	1.03
6.5	266	256	0.96
-1.1	344	315	0.92
-6.1			

Q (×10³kN)

図 2-19 Rw/B の隣接応答倍率 (Sd-1, EW 方向) : せん断力

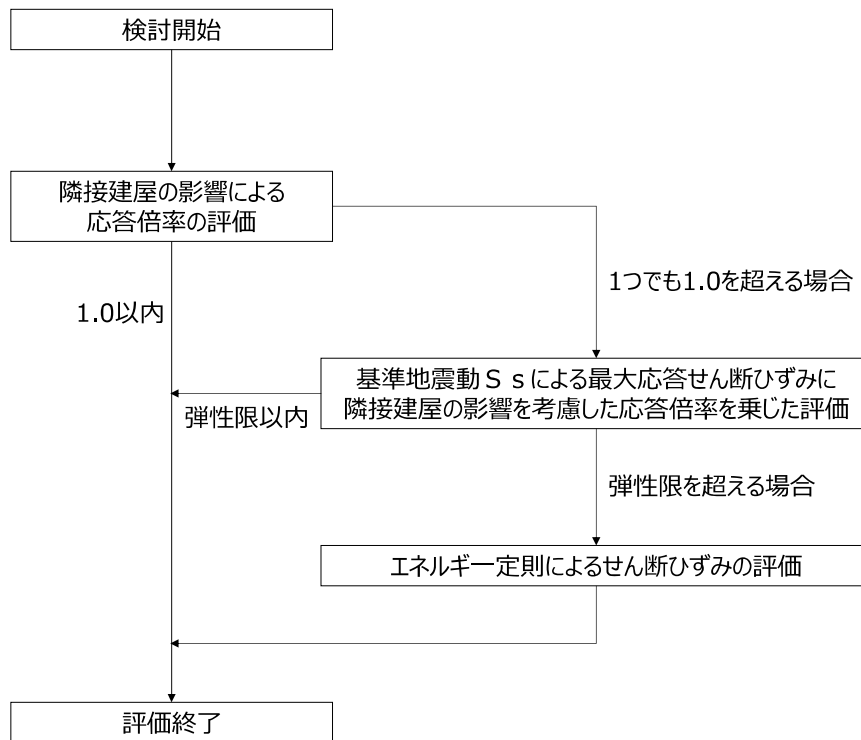


T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	0.270	0.297	1.10
	0.181	0.200	1.10
36.7	0.188	0.209	1.11
	0.662	0.735	1.11
30.9	0.686	0.762	1.11
	1.64	1.85	1.13
20.4			

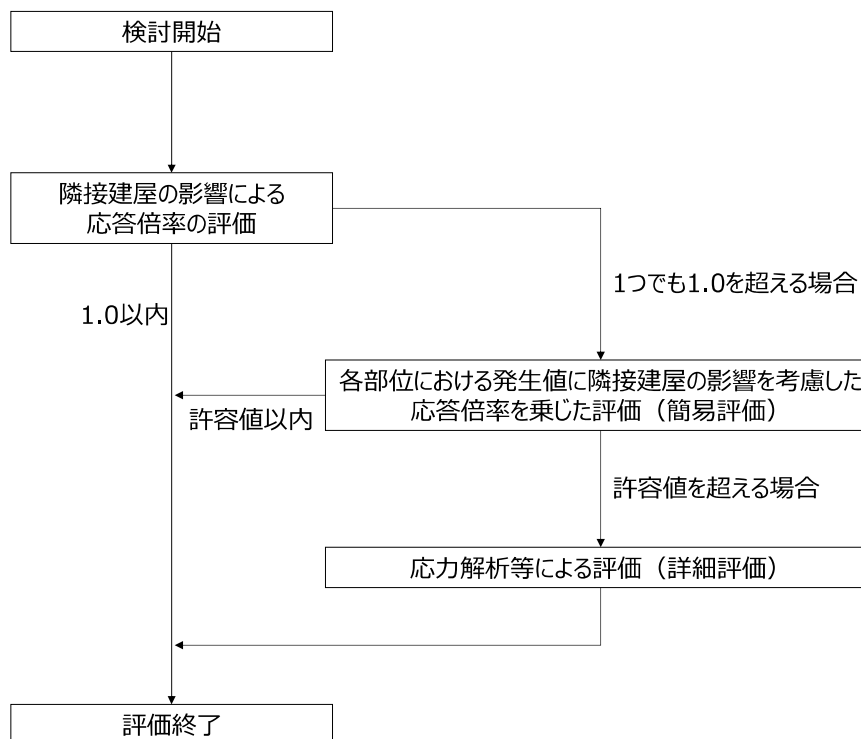
T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
44.3	0.274	0.304	1.11
	0.329	0.366	1.11
30.4	0.332	0.369	1.11
	0.421	0.470	1.12
20.4			

T. M. S. L. (m)	隣接非考慮	隣接考慮	比率
20.4	3.05	2.86	0.94
	4.02	4.02	1.00
12.3	4.49	4.28	0.95
	5.39	5.27	0.98
6.5	5.91	5.53	0.94
	7.29	7.16	0.98
-1.1	7.80	7.38	0.95
	8.93	8.70	0.97
-6.1			

図 2-20 Rw/B の隣接応答倍率 (Sd-1, EW 方向) : 曲げモーメント

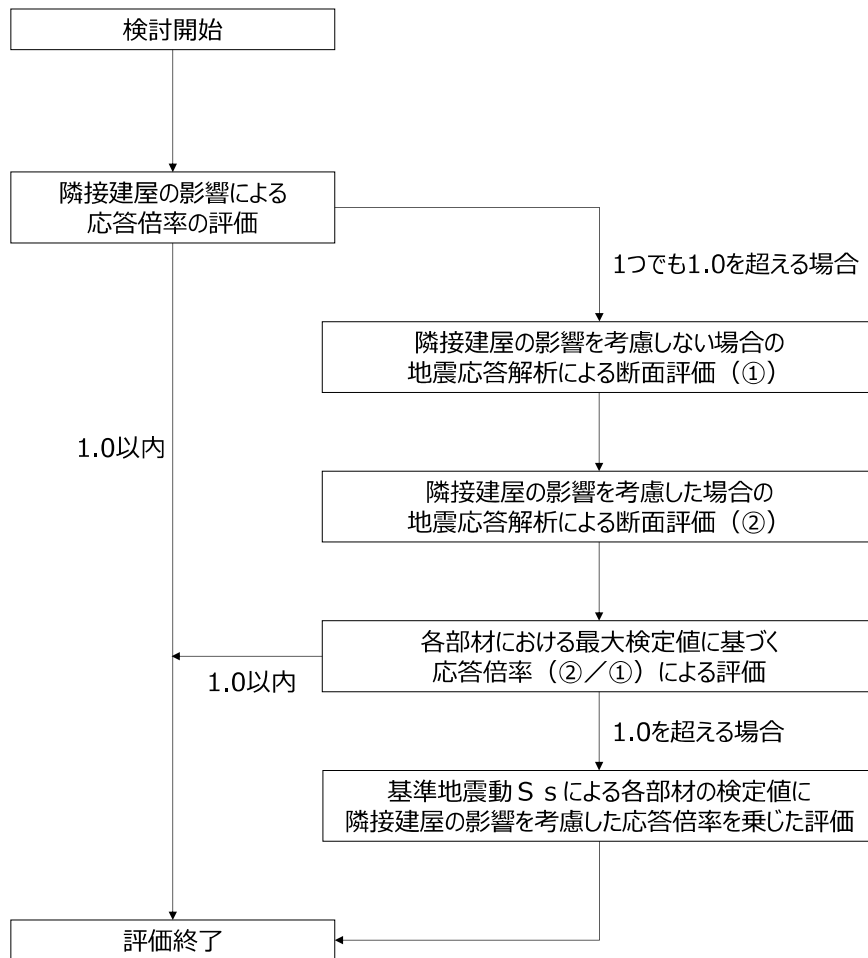


(a) 耐震壁



(b) 基礎スラブ、原子炉格納容器コンクリート部、使用済燃料貯蔵プール及び復水貯蔵槽

図 2-21 評価フロー (1/2)



(c) 屋根トラス及び主排気筒

図 2-21 評価フロー (2/2)

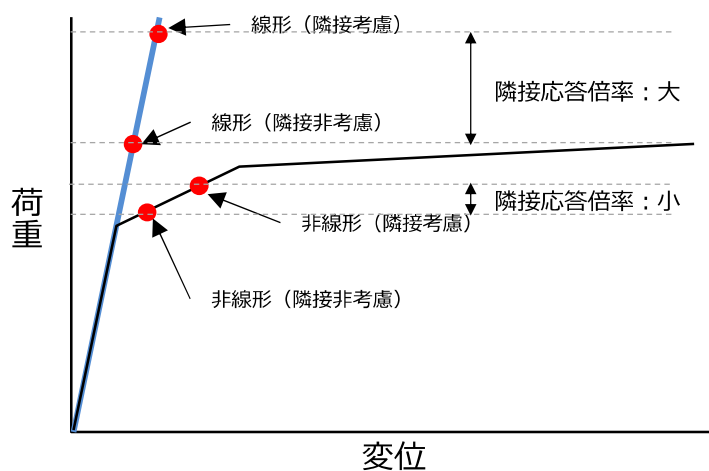


図 2-22 弾性設計用地震動 S_d に基づく応答倍率の考え方

3. 検討結果

各検討対象の隣接建屋の影響検討結果を以下に示す。

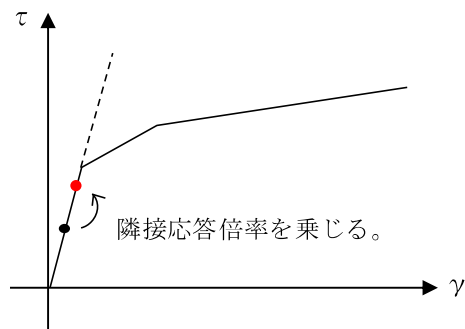
(1) 耐震壁

K7R/B, C/B, K7T/B 及び Rw/B の耐震壁については構造強度の観点から、地震応答解析による評価結果として最大せん断ひずみが許容限界 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認している。

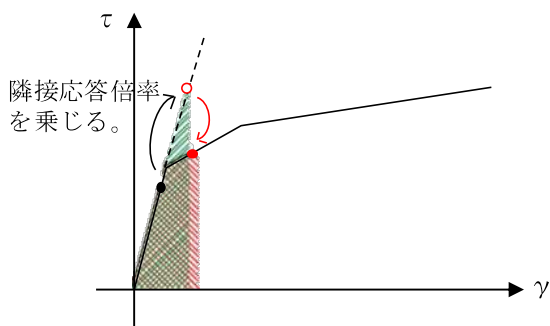
エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法について図 3-1 に示す。ここでは、各建屋の地震応答解析によって評価された材料の不確かさを考慮した最大せん断ひずみに対して、隣接建屋の影響を考慮した応答倍率を乗じて、許容限界 (2.0×10^{-3}) 以内であることを確認する。なお、最大せん断ひずみが弾性限界を超える場合は、エネルギー一定とし弾性応答に変換し、変換後の応答値に隣接応答倍率をかけて、再度エネルギー一定則によりせん断ひずみを評価する。

表 3-1 に各建屋に対する隣接建屋の影響を考慮した評価結果を示す。この際、NS 方向及び EW 方向のうち最大値を評価結果としている。

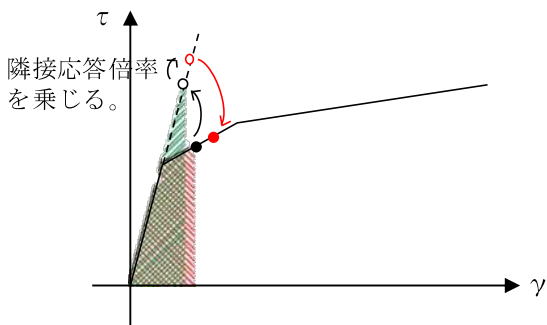
K7R/B の耐震壁における最大せん断ひずみ（エネルギー一定則に基づく）は 0.721×10^{-3} （EW 方向）、C/B の耐震壁における最大せん断ひずみは 0.676×10^{-3} （NS 方向）、K7T/B の耐震壁における最大せん断ひずみ（エネルギー一定則に基づく）は 0.823×10^{-3} （EW 方向）、Rw/B の耐震壁における最大せん断ひずみは 0.178×10^{-3} （NS 方向）で、いずれも許容限界 (2.0×10^{-3}) 以内となり、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認した。



弾性直線状において，地震応答解析による応答結果に隣接応答倍率を乗じる。



隣接応答倍率を乗じた際，第1折点を超える場合，弾性直線の延長線上に隣接影響考慮後の評価結果をプロットする。その後，エネルギー一定則で，評価線分上にプロットする。



地震応答解析による応答結果において，第1折点を超える場合は，エネルギー一定則で弾性直線の延長に戻した後，隣接応答倍率を乗じる。（以下，上記に準じる）

図 3-1 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

表 3-1 隣接建屋の影響を考慮した最大せん断ひずみ

(a) K7R/B の耐震壁 (外壁部)

方向	T. M. S. L. (m)	影響考慮の 最大せん断ひずみ	備考
EW 方向	12.3~4.8	0.721×10^{-3}	エネルギー一定則により、せん断ひずみを評価

(b) C/B の耐震壁

方向	T. M. S. L. (m)	影響考慮の 最大せん断ひずみ	備考
NS 方向	1.0~-2.7	0.676×10^{-3}	—

(c) K7T/B の耐震壁

方向	T. M. S. L. (m)	影響考慮の 最大せん断ひずみ	備考
EW 方向	20.4~12.3	0.823×10^{-3}	エネルギー一定則により、せん断ひずみを評価

(d) Rw/B の耐震壁

方向	T. M. S. L. (m)	影響考慮の 最大せん断ひずみ	備考
NS 方向	-1.1~-6.1	0.178×10^{-3}	—

(2) 基礎スラブ (RCCV 底部含む)

上部構造から伝わる基礎スラブへの地震時反力を地震荷重として考慮することから、各建屋基礎スラブ直上の部材における隣接応答倍率を用いる。隣接建屋を考慮した基礎スラブ直上の部材における隣接応答倍率（せん断力及び曲げモーメント）を表 3-2 に示す。隣接応答倍率の最大値が 1.0 を超える K7R/B, K7TB 及び R_w/B は、影響を検討する。

K7R/B の基礎スラブについては、RCCV 底部及び周辺部基礎の検定値が最大となる評価項目の検定値*に、表 3-2 の隣接応答倍率の最大値 1.07 を乗じる。なお、曲げモーメントについては、基礎スラブに直接作用する基礎スラブ直上の部材の下端における隣接応答倍率を用いることを基本とするが、保守的に上端の曲げモーメントの隣接応答倍率も考慮している。K7T/B 及び R_w/B についても K7R/B と同様に検定し、評価結果を表 3-3 に示す。隣接応答倍率を考慮した検定値が 1.0 を下回ることを確認した。

以上より、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に影響はないことを確認した。

注記*：「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の耐震性についての計算書）」のうち「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」及び「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 4「応力解析における断面の評価部位の選定」参照。

表 3-2 隣接建屋を考慮した基礎スラブ直上の部材における隣接応答倍率
(せん断力及び曲げモーメント)

(a) K7R/B

	NS 方向	EW 方向
せん断力 (建屋部)	0.75	0.86
せん断力 (RCCV 部)	0.74	0.82
曲げモーメント (建屋部)	0.82	0.66
曲げモーメント (RCCV 部)	1.07	1.06
最大値	1.07	1.06

(b) C/B

	NS 方向	EW 方向
せん断力	0.70	0.69
曲げモーメント	0.60	0.99
最大値	0.70	0.99

(c) K7T/B

	NS 方向	EW 方向
せん断力	0.90	0.86
曲げモーメント	0.92	1.09
最大値	0.92	1.09

(d) Rw/B

	NS 方向	EW 方向
せん断力	0.93	0.92
曲げモーメント	1.04	0.97
最大値	1.04	0.97

表 3-3 隣接建屋を考慮した基礎スラブの評価結果

(a) K7R/B

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	検定値 ①	倍率 ②	①×②
RCCV 底部	面外 せん断力	面外せん断 応力度	放射	10002371	3-2	0.832 (1.02)	1.07	0.891 (1.10)
周辺部 基礎	面外 せん断力	面外せん断 応力度	EW	10002411	2-2	0.785	1.07	0.840

注：() 内は、応力平均化前の値を示す。応力平均化の方法、範囲等については、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の耐震性についての計算書）」のうち「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 5「応力解析における応力平均化の考え方」参照。

(b) K7T/B

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	検定値 ①	倍率 ②	①×②
建屋部 基礎	面外 せん断力	面外せん断 応力度	NS	325	3	0.820	1.09	0.894

(c) R_w/B

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	検定値 ①	倍率 ②	①×②
基礎	面外 せん断力	面外せん断 応力度	NS	316	3	0.949 (1.53)	1.04	0.987 (1.60)

注：() 内は、応力平均化前の値を示す。応力平均化の方法、範囲等については、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の耐震性についての計算書）」のうち「廃棄物処理建屋の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 5「応力解析における応力平均化の考え方」参照。

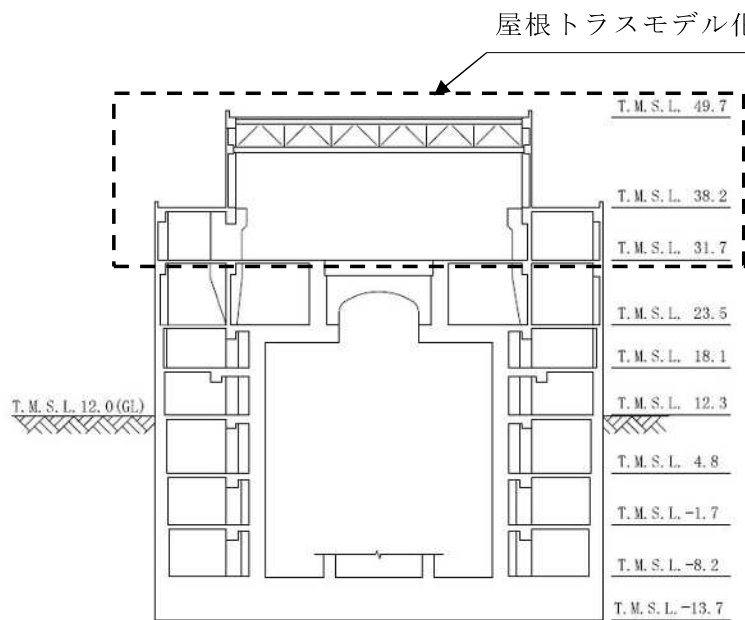
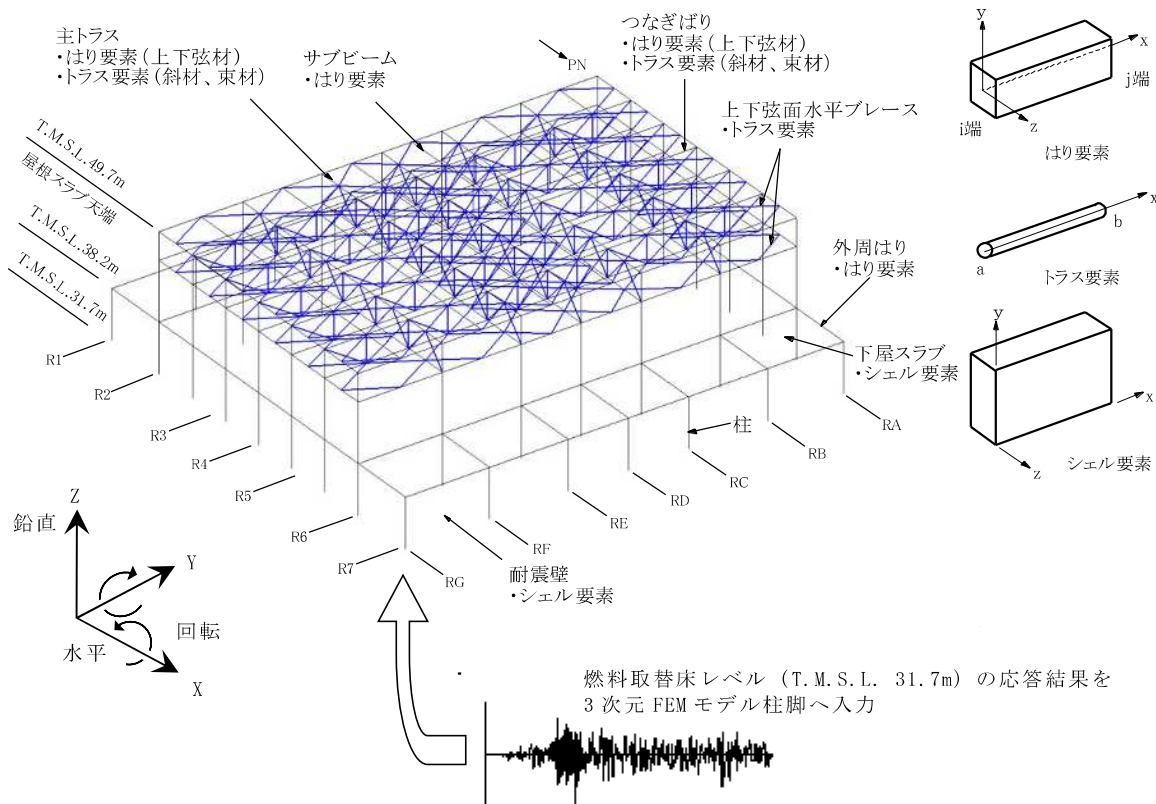
(3) 原子炉建屋屋根トラス

原子炉建屋の屋根トラスについては、屋根トラスの 3 次元 FEM モデル下端レベル (T.M.S.L. 31.7m) における時刻歴応答波形を入力地震動として耐震評価を行うことから、3 次元 FEM モデル下端レベルにおける隣接建屋を考慮しない時刻歴応答波形と、隣接建屋を考慮する時刻歴応答波形の両者を用いた地震応答解析を行い、屋根トラスの各部材における最大検定値の比 (隣接考慮/隣接非考慮) を隣接建屋の影響を考慮した応答倍率とする。図 3-2 に屋根トラス (燃料取替床上部フレーム) の解析モデル図と入力概要を示す。表 3-4 に隣接応答倍率の NS 方向及び EW 方向を包絡した値を示す。この際、隣接応答倍率が 1.00 を下回る場合は 1.00 とした。

隣接建屋を考慮しない 3 次元 FEM モデル下端レベルにおける時刻歴応答波形を図 3-3 に、隣接建屋を考慮し 3 次元 FEM モデル下端レベルにおける時刻歴応答波形を図 3-4 に、両者の応答スペクトルを図 3-5 に示す。

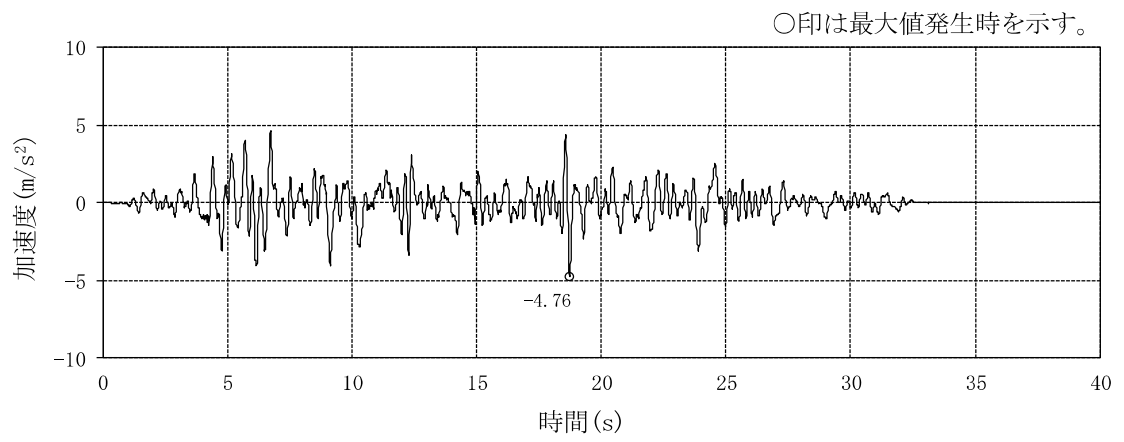
屋根トラスの断面評価結果一覧を表 3-5 に示す。最も検定値が大きいのは、つなぎばりの下弦材であり、隣接応答倍率 1.00 を乗じると 0.93 となり、1.00 を下回る。

以上より、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認した。

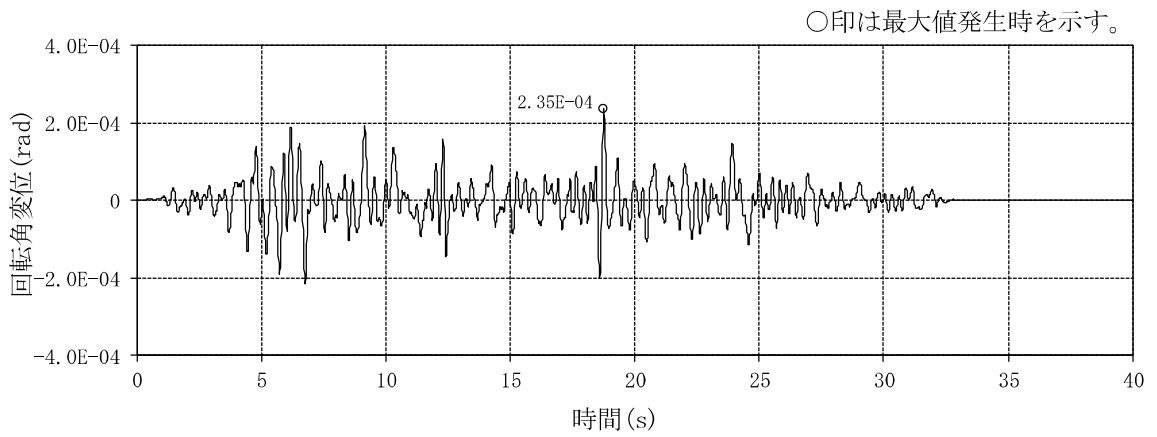


(単位 : m)

図3-2 屋根トラス (燃料取替床上部フレーム) の解析モデル図と入力概要

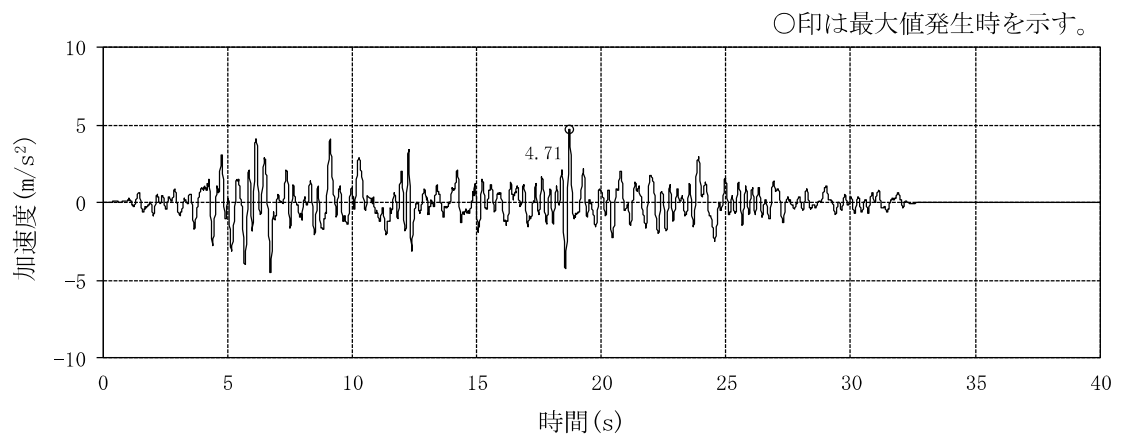


(a) 並進加速度

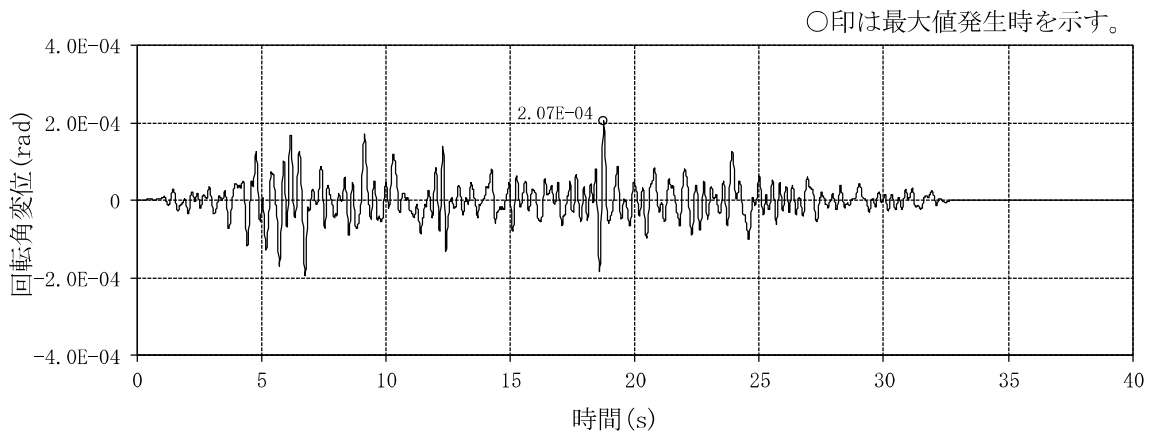


(b) 回転角変位

図 3-3 3次元 FEM モデル下端レベルにおける時刻歴応答波形
(NS 方向, 隣接非考慮, T.M.S.L. 31.7m) (1/2)

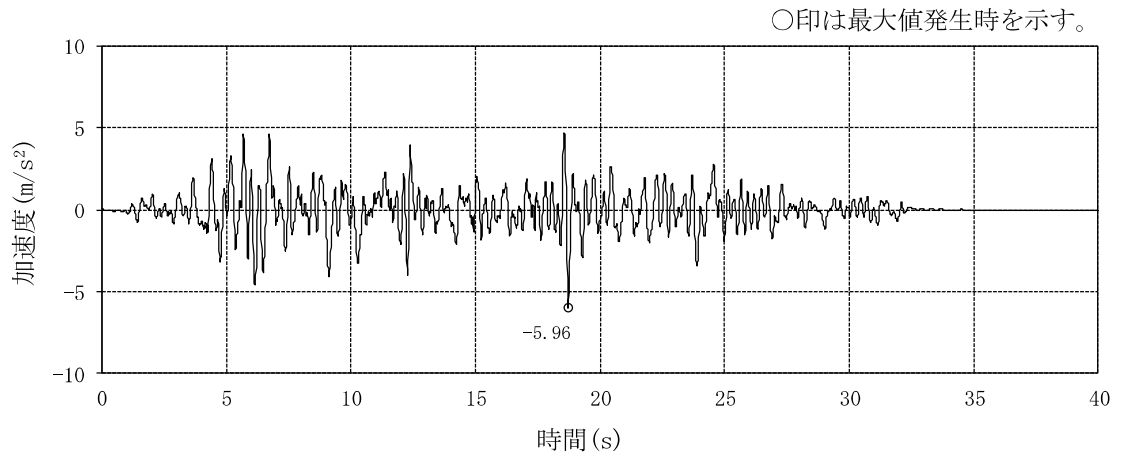


(a) 並進加速度

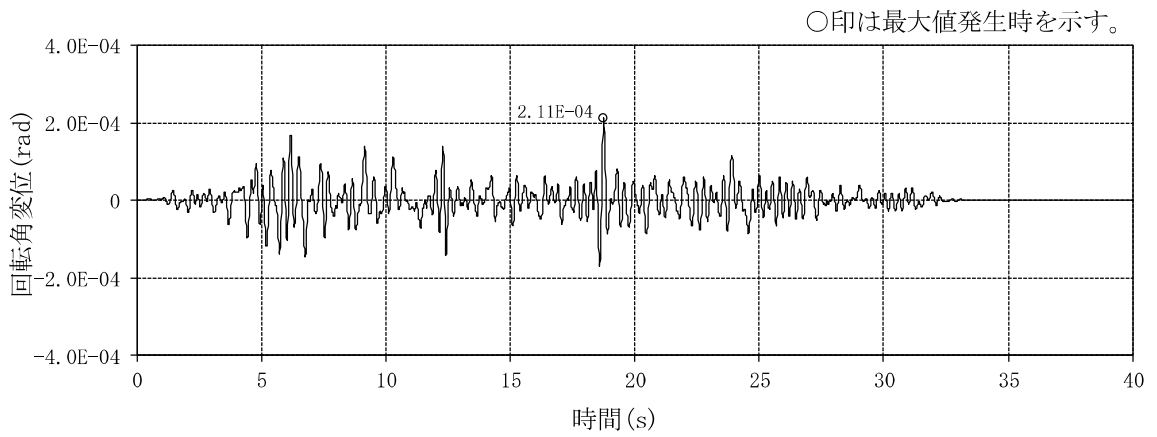


(b) 回転角変位

図 3-3 3次元 FEM モデル下端レベルにおける時刻歴応答波形
(EW 方向, 隣接非考慮, T.M.S.L. 31.7m) (2/2)

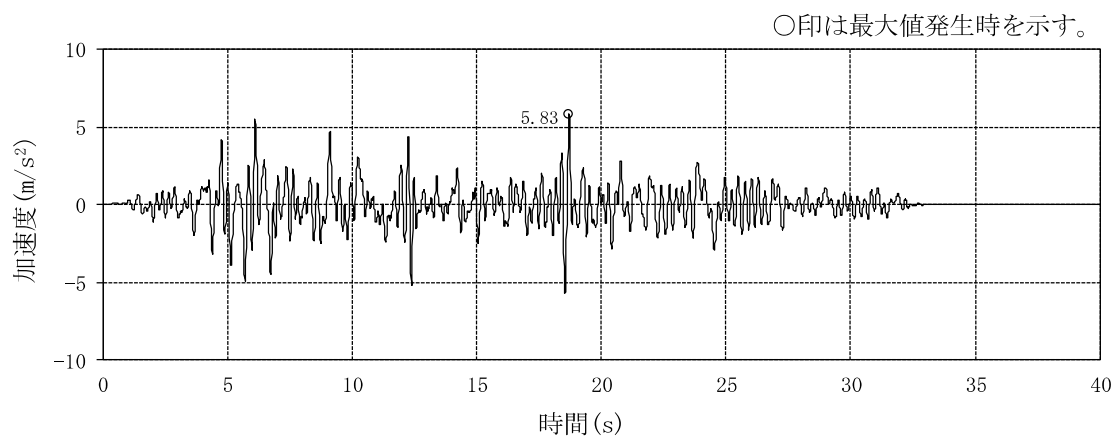


(a) 並進加速度

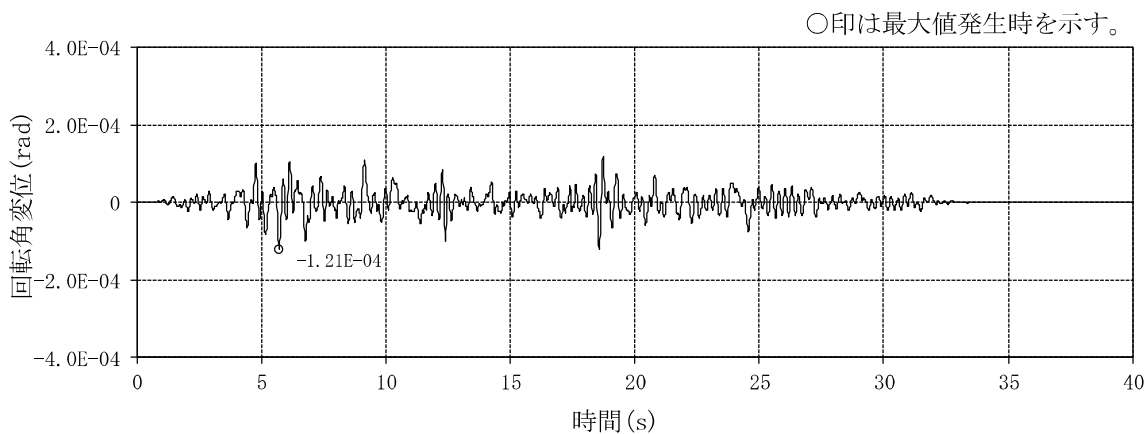


(b) 回転角変位

図 3-4 3次元 FEM モデル下端レベルにおける時刻歴応答波形
(NS 方向, 隣接考慮, T.M.S.L. 31.7m) (1/2)

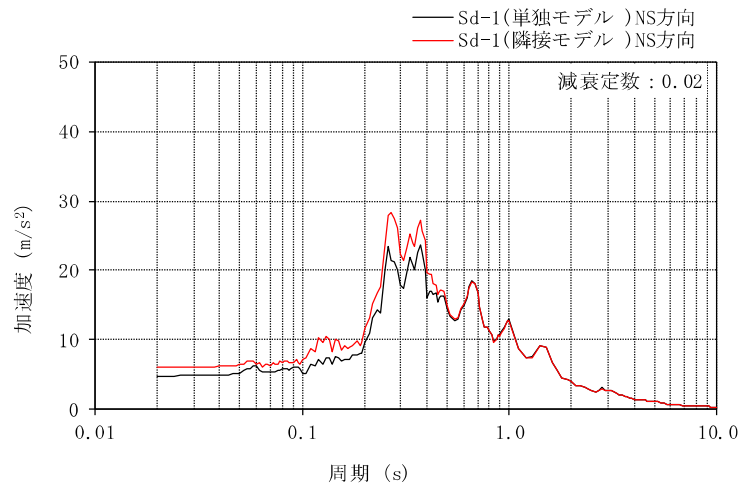


(a) 並進加速度

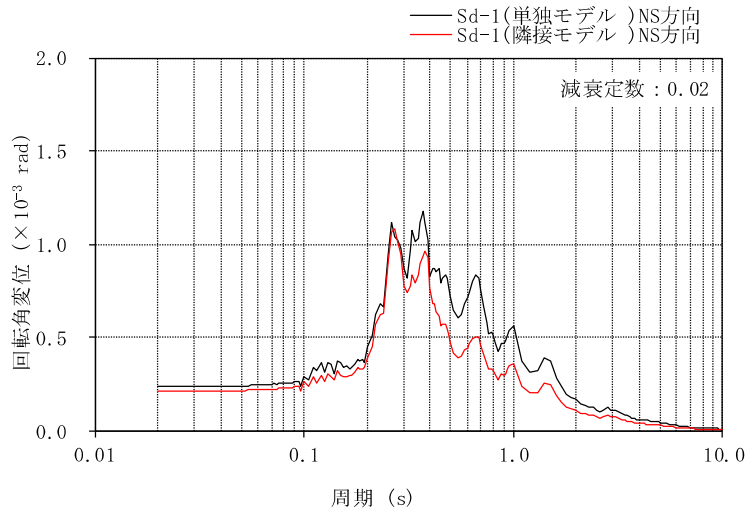


(b) 回転角変位

図 3-4 3次元 FEM モデル下端レベルにおける時刻歴応答波形
(EW 方向, 隣接考慮, T.M.S.L. 31.7m) (2/2)

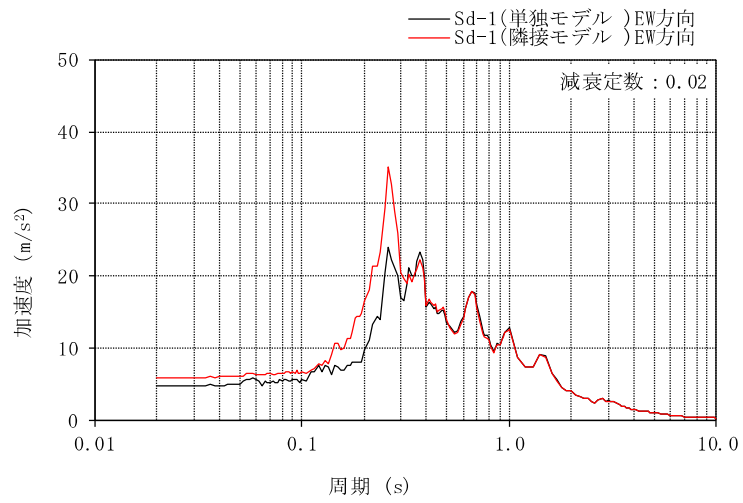


(a) 並進加速度

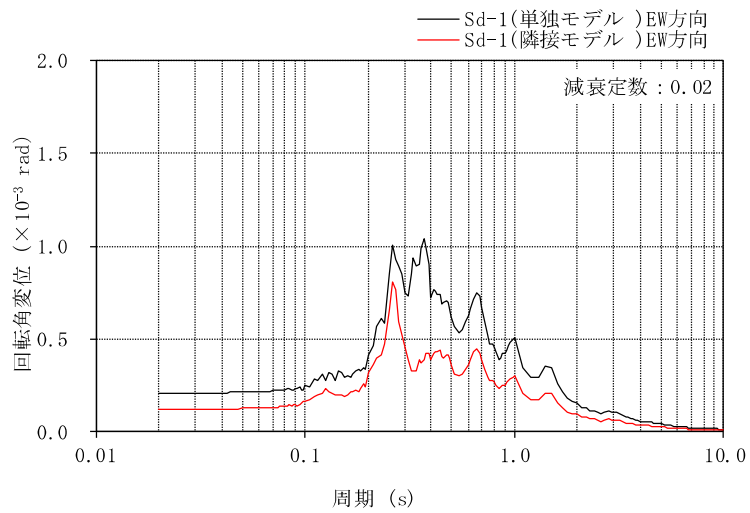


(b) 回転角変位

図 3-5 3次元 FEM モデル下端レベルにおける応答スペクトル
(Sd-1, NS 方向, T. M. S. L. 31.7m) (1/2)



(a) 並進加速度



(b) 回転角変位

図 3-5 3次元 FEM モデル下端レベルにおける応答スペクトル
(Sd-1, EW 方向, T. M. S. L. 31.7m) (2/2)

表 3-4 単独ケースに対する隣接ケースの検定値の比率及び隣接応答倍率 α

部 材		Sd-1 NS 入力	Sd-1 EW 入力	隣接応答倍率 α
主トラス	上弦材	1.05	1.07	1.07
	下弦材	1.04	1.00	1.04
	斜材	1.00	1.00	1.00
	束材	1.00	1.00	1.00
つなぎばり	上弦材	1.00	1.20	1.20
	下弦材	1.00	1.00	1.00
上弦面水平ブレース		1.14	1.07	1.14

表 3-5 隣接建屋の影響を考慮した屋根トラスの検定値

部 材		最大検定比 (S_s)	隣接応答倍率 α	最大検定値 $\times \alpha$
主トラス	上弦材	0.63	1.07	0.68
	下弦材	0.69	1.04	0.72
	斜材	0.70	1.00	0.70
	束材	0.47	1.00	0.47
つなぎばり	上弦材	0.13	1.20	0.16
	下弦材	0.93	1.00	0.93
上弦面水平ブレース		0.41	1.14	0.47

注：ハッチングは検定値のうち最も大きい値を表示

(4) 原子炉格納容器コンクリート部 (RCCV)

RCCV については、V-2-9-2-1「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書」(以下「RCCV の耐震計算書」という。)の評価結果に対して、部位に応じたせん断力の隣接応答倍率を乗じた評価(以下「簡易評価」という。)を実施する。簡易評価用の隣接応答倍率を表 3-6 に示す。

簡易評価では、RCCV の耐震計算書における荷重状態Ⅲ～Ⅴのすべての組合せケースについて、応力解析による発生値に隣接応答倍率を乗じた評価値を許容値と比較する。簡易評価結果を表 3-7～表 3-9 に示す。表 3-8 に示すとおり、MS/FDW 開口において面外せん断応力度の評価値が許容値を超えるため、より詳細な評価を実施する。これは、せん断力の隣接応答倍率は上層ほど大きいため、上層に位置する MS/FDW 開口において、RCCV の耐震計算書で発生値に対する許容値の割合が最小であった組合せケース 5-3 (荷重状態Ⅴ・(異常+地震)時(3))の面外せん断力の評価値が大きくなった結果である。なお、この評価値は、圧力等の地震と関係のない荷重による発生値にも隣接応答倍率を乗じたものとなっている。

組合せケース 5-3 について、RCCV の耐震計算書の地震荷重に部位に応じたせん断力及び曲げモーメントの隣接応答倍率を乗じた地震荷重を用いて応力解析(以下「詳細評価」という。)を実施する。詳細評価用の地震荷重を表 3-10 に示す。解析モデルの詳細、断面の評価方法等は、RCCV の耐震計算書に示すものと同一である。

詳細評価結果は、RCCV の耐震計算書と同様に、各部位の各評価項目について発生値に対する許容値の割合が最小となる要素を選定した結果として示す。選定した要素の位置を図 3-6 に、詳細評価結果を表 3-11 に示す。各部位の各評価項目について、発生値が許容値を超えないことを確認した。なお、鉄筋引張ひずみについては、降伏ひずみに達していない。

以上より、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に影響はないことを確認した。

表 3-6 簡易評価用の隣接応答倍率

部位		隣接応答倍率
トップスラブ部		1.26
シェル部 貫通部 局部	T. M. S. L. 18.1~23.5 (m)	1.21
	T. M. S. L. 12.3~18.1 (m)	1.19
	T. M. S. L. 4.8~12.3 (m)	1.04
	T. M. S. L. -1.7~4.8 (m)	0.91*
	T. M. S. L. -8.2~-1.7 (m)	0.82*

注記* : 1.00 として簡易評価を実施する。

表 3-7 簡易評価結果 (シェル部及びトップスラブ部) (1/3)

(a) 荷重状態Ⅲ・地震時 (1)

部位	評価項目	方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値	
シェル部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	515	1-21	1.21	9.74	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	子午線	9	1-3	1.00	265	390
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	21	1-23	1.00	2.58	4.68
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	100432	1-8	1.19	0.646	1.53
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	101425	1-14	1.26	10.4	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	NS	1411	1-23	1.26	267	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	101413	1-23	1.26	2.82*	4.14

注記* : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

(b) 荷重状態Ⅲ・(異常+地震)時 (1)

部位	評価項目	方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値	
シェル部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	515	2-21	1.21	9.97	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	子午線	9	2-3	1.00	300	390
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	388	2-24	1.19	2.76	4.68
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	100432	2-8	1.19	0.770	1.52
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	101425	2-14	1.26	10.9	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	NS	1411	2-23	1.26	275	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	101413	2-23	1.26	2.94*	4.14

注記* : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

表 3-7 簡易評価結果（シェル部及びトップスラブ部）（2/3）

(c) 荷重状態Ⅳ・地震時（2）

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
シェル部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	11	3-1	1.00	0.684	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	109	3-3	1.00	0.852	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	11	3-1	1.00	14.8	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	111	3-5	1.00	4.36	6.25
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	431	3-8	1.19	1.24	2.08
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101412	3-5	1.26	0.260	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101412	3-5	1.26	0.257	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1413	3-3	1.26	2.82*	3.83

注記*：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

(d) 荷重状態Ⅳ・（異常+地震）時（2）

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
シェル部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	11	4-17	1.00	0.274	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	177	4-3	1.00	0.429	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	11	4-5	1.00	6.44	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100	4-17	1.00	2.64	6.25
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	431	4-8	1.19	0.696	2.20
トップ スラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101411	4-19	1.26	0.202	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	1411	4-17	1.26	0.243	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	101413	4-17	1.26	3.87	4.14

表 3-7 簡易評価結果（シェル部及びトップスラブ部）（3/3）

(e) 荷重状態 V・（異常＋地震）時（3）

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
シェル部	等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	11	5-1	1.00	0.437	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	40	5-4	1.00	1.08	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	100011	5-7	1.00	8.39	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	111	5-5	1.00	2.52	5.88
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	326	5-8	1.19	1.17	2.03
トップ スラブ部	軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	1401	5-9	1.26	0.396	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	1413	5-12	1.26	1.02	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	1471	5-4	1.26	1.02*	1.51

注記*：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

(f) 荷重状態 V・（異常＋地震）時（4）

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
シェル部	等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	11	6-1	1.00	0.764	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	39	6-4	1.00	1.09	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	11	6-1	1.00	15.8	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	216	6-1	1.04	4.31	6.25
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	431	6-8	1.19	1.10	1.96
トップ スラブ部	軸力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101411	6-3	1.26	0.207	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1472	6-2	1.26	0.208	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1413	6-3	1.26	3.04*	3.99

注記*：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

表 3-8 簡易評価結果（貫通部）（1/2）

(a) 荷重状態Ⅲ・地震時（1）

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	MA3	1-16	1.19	10.8	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	MD4	1-17	1.19	313	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	MA5	1-9	1.19	1.24	1.40
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	LDH13	1-6	1.00	7.14	21.4
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	LDA16	1-19	1.00	206	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	LDA3	1-8	1.00	0.307	1.97

(b) 荷重状態Ⅲ・（異常+地震）時（1）

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	MA3	2-16	1.19	9.08	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	MB6	2-19	1.19	364	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	MA5	2-9	1.19	1.21	1.40
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	LDH14	2-6	1.00	8.82	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	LDA16	2-19	1.00	199	390
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	LDA16	2-17	1.00	0.246	1.32

(c) 荷重状態Ⅳ・地震時（2）

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MA5	3-8	1.19	0.434	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	MB15	3-7	1.19	0.590	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	MD13	3-13	1.19	1.64	1.93
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	3-6	1.00	0.839	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	3-4	1.00	1.42	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	子午線	LDA5	3-3	1.00	0.341	1.96

表 3-8 簡易評価結果（貫通部）（2/2）

(d) 荷重状態Ⅳ・（異常＋地震）時（2）

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MA12	4-23	1.19	0.289	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MB14	4-19	1.19	0.594	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	MA5	4-13	1.19	1.20	1.89
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	4-6	1.00	0.482	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	LDA16	4-19	1.00	0.660	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	LDA6	4-3	1.00	0.387	2.51

(e) 荷重状態Ⅴ・（異常＋地震）時（3）

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MD15	5-4	1.19	0.600	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MB13	5-3	1.19	1.37	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	FA11	5-3	1.19	2.19	2.06
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	5-6	1.00	0.885	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDA12	5-2	1.00	1.88	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	LDA3	5-16	1.00	0.783	2.38

(f) 荷重状態Ⅴ・（異常＋地震）時（4）

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MA3	6-4	1.19	0.474	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MB13	6-3	1.19	0.777	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	MA5	6-13	1.19	1.62	1.92
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	6-6	1.00	0.974	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH14	6-4	1.00	1.62	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	LDA3	6-7	1.00	0.398	1.51

表 3-9 簡易評価結果（局部）（1/2）

(a) 荷重状態Ⅲ・地震時（1）

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	401	1-24	1.19	10.6	24.2
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	361	1-17	1.19	274	390
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	404	1-23	1.19	3.26	4.68
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	100318	1-6	1.19	1.15	1.68

(b) 荷重状態Ⅲ・（異常+地震）時（1）

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	401	2-24	1.19	9.09	24.2
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	円周	361	2-17	1.19	270	390
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	435	2-21	1.19	3.11	4.68
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	100318	2-6	1.19	1.37	1.67

(c) 荷重状態Ⅳ・地震時（2）

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	401	3-8	1.19	0.332	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	円周	406	3-7	1.19	0.253	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm ²)	子午線	100284	3-15	1.04	5.55	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	100336	3-5	1.19	3.52	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	円周	100318	3-6	1.19	1.20*	2.34

注記*：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

表 3-9 簡易評価結果（局部）（2/2）

(d) 荷重状態Ⅳ・（異常＋地震）時（2）

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	303	4-21	1.19	0.223	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	100309	4-17	1.19	0.277	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	100284	4-7	1.04	3.40	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100336	4-21	1.19	2.58	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	100318	4-6	1.19	1.29	2.22

(e) 荷重状態Ⅴ・（異常＋地震）時（3）

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	401	5-4	1.19	0.564	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	305	5-3	1.19	1.05	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	278	5-8	1.04	1.15	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100375	5-3	1.19	1.76	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	395	5-12	1.19	1.59	1.98

(f) 荷重状態Ⅴ・（異常＋地震）時（4）

評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
等価膜力 ＋ 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	401	6-4	1.19	0.438	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	100284	6-1	1.04	0.389	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	284	6-8	1.04	4.89	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100284	6-3	1.04	3.40	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	円周	100283	6-6	1.04	2.93	2.99

表 3-10 詳細評価用の地震荷重 (1/2)

(a) せん断力

T. M. S. L. (m)	地震応答解析結果* ¹ における最大応答 せん断力(×10 ³ kN) ①	隣接 応答倍率 ②	①×② (×10 ³ kN)	詳細評価用の せん断力* ² (×10 ³ kN)
	S d			S d
	NS 方向			NS 方向
31.7	23.1	1.26	29.1	26.3
23.5	95.3	1.21	115	99.1
18.1	125	1.14	142	98.7
12.3	159	0.98	156	109
4.8	206	0.78	161	107
-1.7	261	0.74	193	101
-8.2				

注記*1:「工事計画に係る説明資料(建屋・構築物の地震応答計算書)」のうち「原子炉建屋の地震応答計算書に関する補足説明資料」の別紙 3-2「材料物性の不確かさを考慮した地震応答解析結果」(以下「R/Bの補足説明資料の別紙 3-2」という。)に示す材料物性の不確かさを考慮した結果。

*2:①×②を基に、「工事計画に係る説明資料(建屋・構築物の耐震性についての計算書)」のうち「原子炉格納容器コンクリート部の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 6「地震荷重の算定方法」(以下「RCCVの補足説明資料の別紙 6」という。)と同じ方法により補助壁及び中間壁の負担分を減じて算定。

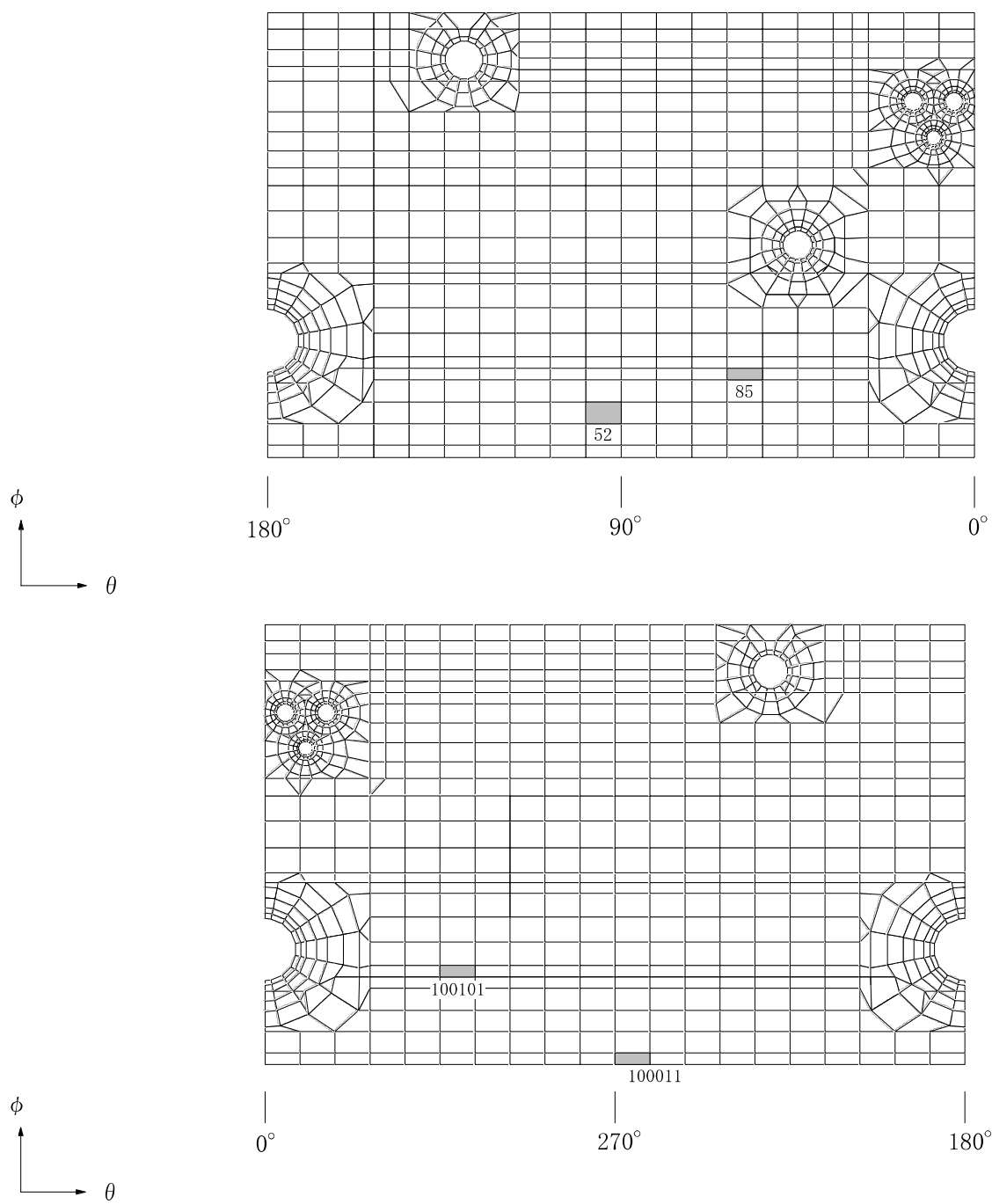
表 3-10 詳細評価用の地震荷重 (2/2)

(b) 曲げモーメント

T. M. S. L. (m)	地震応答解析結果* ¹ における最大応答 曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$) ①	隣接 応答倍率 ②	① \times ② ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)	詳細評価用の 曲げモーメント * ² ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S d			S d
	NS 方向			NS 方向
31.7	7.11	0.95	6.75	6.80
	21.3	1.28	27.3	27.3
23.5	100	1.01	101	101
	145	1.13	164	164
18.1	203	1.07	218	218
	263	1.15	302	302
12.3	328	1.11	364	364
	416	1.15	478	478
4.8	459	1.12	514	514
	543	1.09	591	575
-1.7	573	1.07	614	575
	691	0.88	608	535
-8.2				

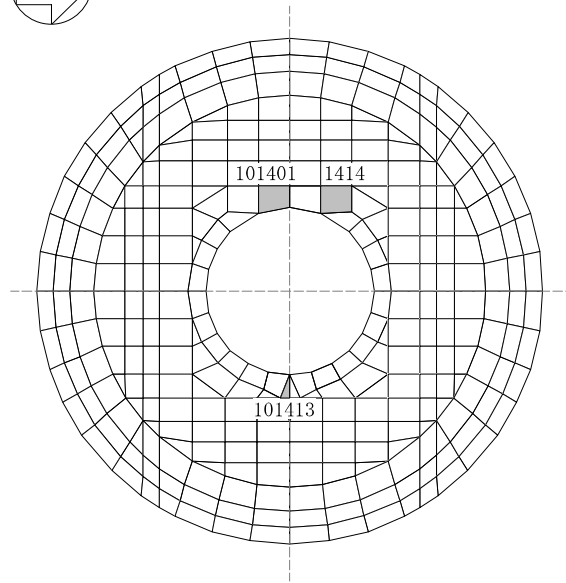
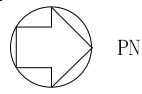
注記*1: R/B の補足説明資料の別紙 3-2 に示す材料物性の不確かさを考慮した結果。

*2: ① \times ②を基に, RCCV の補足説明資料の別紙 6 と同じ方法により中間壁の負担分を減じて算定。

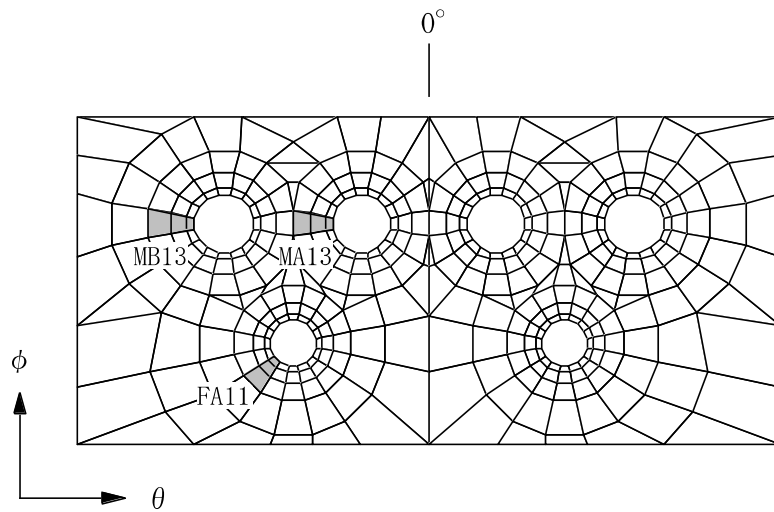


(a) シェル部

図 3-6 選定した要素の位置 (1/3)

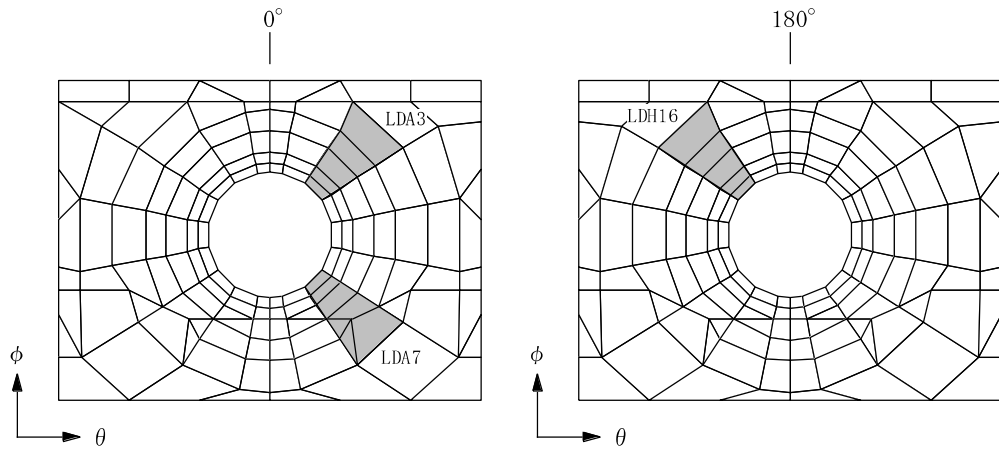


(b) トップスラブ部

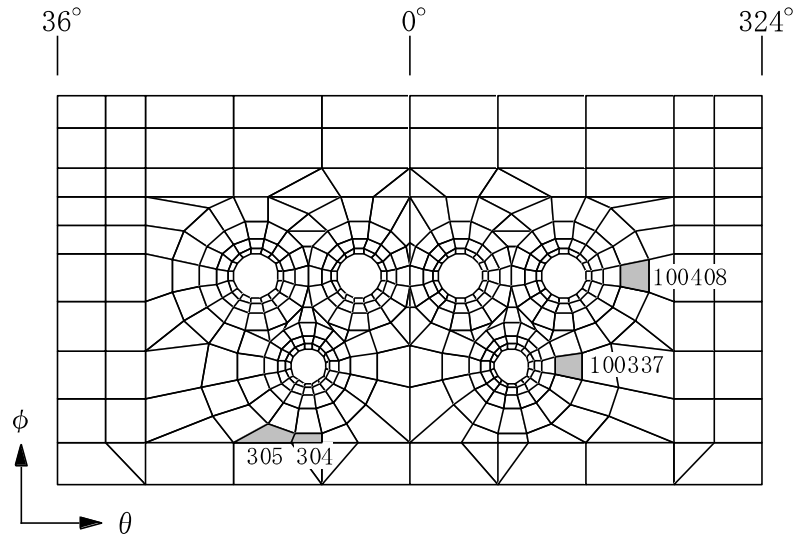


(c) 貫通部 MS/FDW 開口

図 3-6 選定した要素の位置 (2/3)



(d) 貫通部 L/D アクセストンネル開口



(e) 局部

図 3-6 選定した要素の位置 (3/3)

表 3-11 詳細評価結果

(a) シェル部及びトップスラブ部

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値
シェル部	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	100011	5-3	0.425	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	52	5-3	1.08	5.00
	膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	子午線	100011	5-3	8.50	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100101	5-3	2.15	5.73
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	85	5-3	0.788	1.73
トップスラブ部	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101401	5-3	0.314	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	101413	5-3	0.692	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1414	5-3	2.11	2.60

(b) 貫通部

部位	評価項目		方向	領域番号	組合せケース	発生値	許容値
MS/FDW 開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MA13	5-3	0.365	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	MB13	5-3	1.22	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	FA11	5-3	1.86	2.05
L/Dアクセス トンネル開口	等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDH16	5-3	0.455	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	LDA7	5-3	1.26	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	LDA3	5-3	0.666	2.09

(c) 局部

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	発生値	許容値
等価膜力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	304	5-3	0.439	3.00
	鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	子午線	305	5-3	0.902	5.00
膜力	圧縮応力度 (N/mm^2)	円周	100408	5-3	0.126	21.4
面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	100337	5-3	1.59	6.25
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	子午線	304	5-3	1.18	1.83

(5) 使用済燃料貯蔵プール (SFP)

SFP については、V-2-4-2-1「使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐震性についての計算書」(以下「SFP の耐震計算書」という。)の評価結果に対して、「(4) 原子炉格納容器コンクリート部 (RCCV)」と同様に簡易評価を実施する。簡易評価用の隣接応答倍率を表 3-12 に示す。

簡易評価では、SFP の耐震計算書の評価結果における発生値に隣接応答倍率を乗じた評価値を許容値と比較する。簡易評価結果を表 3-13 に示す。表 3-13 に示すように、底面スラブにおいて面外せん断応力度の評価値が許容値を超えるため、より詳細な評価を実施する。

表 3-13 に示す組合せケースのうち、許容値に対する評価値の割合が最大となる組合せケースについて、「(4) 原子炉格納容器コンクリート部 (RCCV)」と同様に詳細評価を実施する。詳細評価用の地震荷重は、SFP の耐震計算書の地震荷重に部位に応じた加速度、せん断力及び曲げモーメントの隣接応答倍率を乗じたものとする。詳細評価用の地震荷重を表 3-14 に示す。解析モデルの詳細、断面の評価方法等は、SFP の耐震計算書に示すものと同一である。

詳細評価結果は、SFP の耐震計算書と同様に、各部位の各評価項目について発生値に対する許容値の割合が最小となる要素を選定した結果として示す。選定した要素の位置を図 3-7 に、詳細評価結果を表 3-15 に示す。各部位の各評価項目について、発生値が許容値を超えないことを確認した。なお、鉄筋引張ひずみについては、降伏ひずみに達していない。

以上より、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に影響はないことを確認した。

表 3-12 簡易評価用の隣接応答倍率

部位	隣接応答倍率
壁及び底面スラブ	1.26

表 3-13 簡易評価結果 (1/4)

(a) S d 地震時

部位	評価項目	方向	要素番号	組合せケース	応答倍率	評価値	許容値	
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	2146	1-8	1.26	11.6	24.2
		鉄筋引張応力度 (N/mm ²)	水平	2286	1-8	1.26	281	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	2146	1-8	1.26	2.82	3.68
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	2145	1-19	1.26	0.738	0.960
	南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	102146	1-8	1.26	11.6
鉄筋引張応力度 (N/mm ²)			水平	102286	1-8	1.26	287	345
面内せん断力		面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	102146	1-8	1.26	2.87	3.68
面外せん断力		面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	102145	1-17	1.26	0.730	0.960
東側壁		軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	2379	1-6	1.26	10.8
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)		鉛直	2379	1-6	1.26	286	345
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	2382	1-21	1.26	1.27	2.94
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	鉛直	2383	1-6	1.26	0.640	1.18
	西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	鉛直	2469	1-23	1.26	7.09
鉄筋引張応力度 (N/mm ²)			水平	102493	1-23	1.26	325	345
面内せん断力		面内せん断応力度 (N/mm ²)	-	102489	1-23	1.26	1.02	1.42
面外せん断力		面外せん断応力度 (N/mm ²)	水平	102493	1-8	1.26	0.203	1.15
底面 スラブ		軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm ²)	EW	101549	1-14	1.26	10.8
	鉄筋引張応力度 (N/mm ²)		NS	1546	1-2	1.26	297	345
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	1606	1-14	1.26	0.939*	1.21

注記*：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

表 3-13 簡易評価結果 (2/4)

(b) S s 地震時

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	応答倍率	評価値	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	2-5	1.26	0.355	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	2-8	1.26	0.638	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2320	2-2	1.26	9.29	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	2-16	1.26	3.48	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	2-5	1.26	1.15	2.08
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	2-7	1.26	0.355	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	102320	2-8	1.26	0.635	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102320	2-2	1.26	9.29	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	2-16	1.26	3.45	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	2-7	1.26	1.15	2.08
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-6	1.26	0.493	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-6	1.26	0.935	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102414	2-5	1.26	1.42	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	2-5	1.26	1.26	3.87
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102386	2-6	1.26	1.17	1.75
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	2-5	1.26	0.261	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	2-3	1.26	0.630	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2469	2-7	1.26	7.43	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2485	2-5	1.26	1.23	2.33
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	102493	2-8	1.26	0.367	1.54
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	2-8	1.26	0.599	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	101548	2-6	1.26	0.549	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1607	2-14	1.26	1.30*	1.21

注記* : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

表 3-13 簡易評価結果 (3/4)

(c) (異常 + S d 地震) 時

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	応答倍率	評価値	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	3-21	1.26	0.223	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2318	3-4	1.26	0.233	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	3-8	1.26	2.82	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	3-8	1.26	2.10	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	3-21	1.26	0.942	1.87
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	3-23	1.26	0.222	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	102318	3-4	1.26	0.232	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	3-8	1.26	2.82	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	3-8	1.26	2.09	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	3-23	1.26	0.939	1.87
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	3-6	1.26	0.200	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	3-6	1.26	0.218	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2398	3-6	1.26	0.324	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2414	3-17	1.26	0.770	3.27
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2383	3-6	1.26	0.537	1.71
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	3-19	1.26	0.249	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	3-17	1.26	0.498	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	3-21	1.26	6.35	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102489	3-17	1.26	0.953	2.26
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2469	3-20	1.26	0.493	2.04
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	3-8	1.26	0.278	3.00
		鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	3-8	1.26	0.192	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1606	3-14	1.26	1.18	1.21

表 3-13 簡易評価結果 (4/4)

(d) (異常 + S s 地震) 時

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せケース	応答倍率	評価値	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	4-5	1.26	0.312	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	4-2	1.26	0.907	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2320	4-2	1.26	9.35	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	4-8	1.26	3.29	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	4-1	1.26	1.12	1.82
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	4-7	1.26	0.312	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	4-2	1.26	0.908	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102320	4-2	1.26	9.35	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	4-8	1.26	3.28	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	4-3	1.26	1.12	1.82
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	4-6	1.26	0.484	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	4-6	1.26	0.927	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2382	4-6	1.26	0.961	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	4-5	1.26	1.22	3.87
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102386	4-6	1.26	1.14	1.76
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2469	4-3	1.26	0.261	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	4-3	1.26	0.615	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	4-5	1.26	7.60	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2489	4-5	1.26	0.927	1.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	4-4	1.26	0.513	2.17
底面スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1601	4-8	1.26	0.556	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1548	4-6	1.26	0.529	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1607	4-14	1.26	1.29*	1.21

注記* : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。

表 3-14 詳細評価用の地震荷重 (1/3)

(a) せん断力

T. M. S. L. (m)	地震応答解析結果* ¹ における最大応答 せん断力(×10 ³ kN) ①	隣接 応答倍率 ②	①×② (×10 ³ kN)	詳細評価用の せん断力* ² (×10 ³ kN)
	S s			S s
	EW 方向			EW 方向
31.7	82.5	1.10	90.8	80.7
23.5	259	1.21	314	269
18.1	302	1.19	360	231
12.3	379	1.04	395	283
4.8	462	0.91	420	257
-1.7	434	0.82	356	214
-8.2				

注記*1: R/B の補足説明資料の別紙 3-2 に示す材料物性の不確かさを考慮した結果。

*2: ①×②を基に, RCCV の補足説明資料の別紙 6 と同じ方法により補助壁及び中間壁の負担分を減じて算定。

表 3-14 詳細評価用の地震荷重 (2/3)

(b) 曲げモーメント

T. M. S. L. (m)	地震応答解析結果* ² における最大応答 曲げモーメント ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$) ①	隣接 応答倍率 ②	① \times ② ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)	詳細評価用の 曲げモーメント * ³ ($\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$)
	S s			S s
	EW 方向			EW 方向
31.7	126	0.89	112	112
	163	0.97	158	158
23.5	349	1.07	374	-374
	219	0.85	186	-186
18.1	158	0.98	155	-155
	181	1.12	203	203
12.3	301	1.04	313	313
	466	1.11	518	518
4.8	573	1.07	613	613
	745	1.09	813	813
-1.7	806	1.06	855	855
	1030	1.03	1060	989
-8.2				
回転ばね* ¹	518	1.05	544	544

注記*1：プール壁が RCCV の曲げ変形を拘束する影響を考慮した回転ばね。

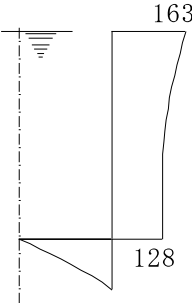
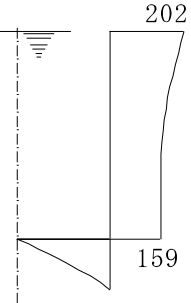
*2：R/B の補足説明資料の別紙 3-2 に示す材料物性の不確かさを考慮した結果。

*3：① \times ②を基に，RCCV の補足説明資料の別紙 6 と同じ方法により中間壁の負担分を減じて算定。

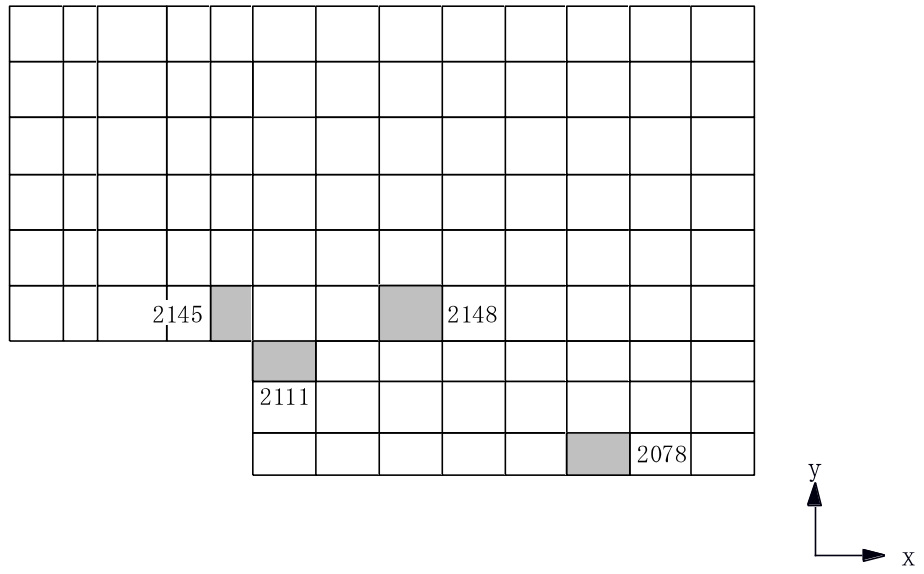
表 3-14 詳細評価用の地震荷重 (3/3)

(c) 地震時動水圧荷重 (KH)

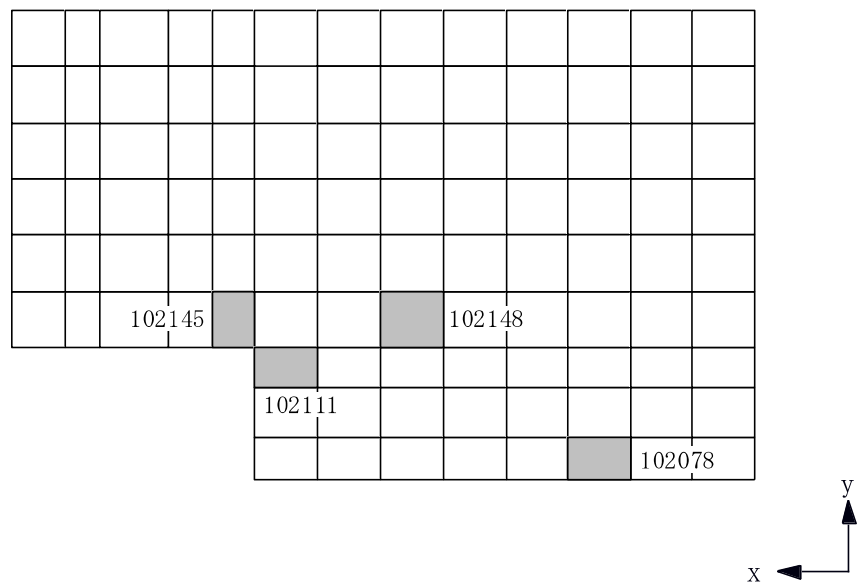
(単位 : kN/m²)

耐震計算書の KH _s *	隣接 応答倍率	詳細評価用の KH _s *
EW 方向		EW 方向
	1.24	

注記* : KH_sは, S_s地震荷重と同時に作用するものとする。

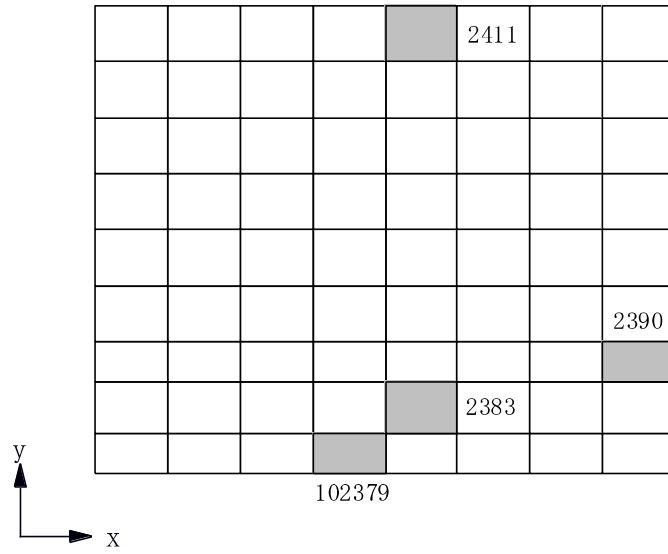


(a) 北側壁

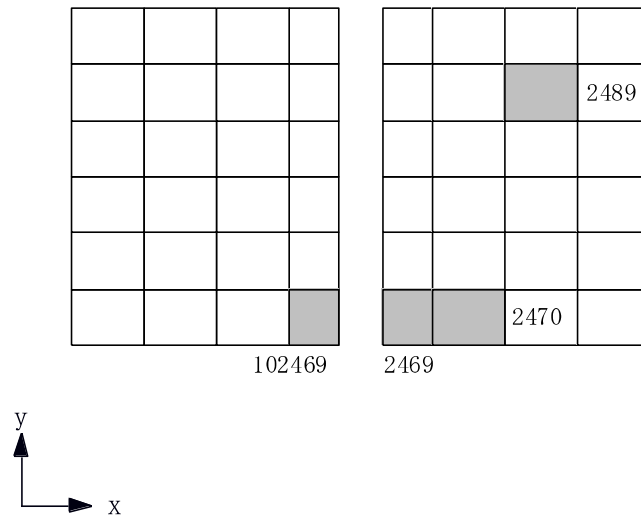


(b) 南側壁

図 3-7 選定した要素の位置 (1/3)

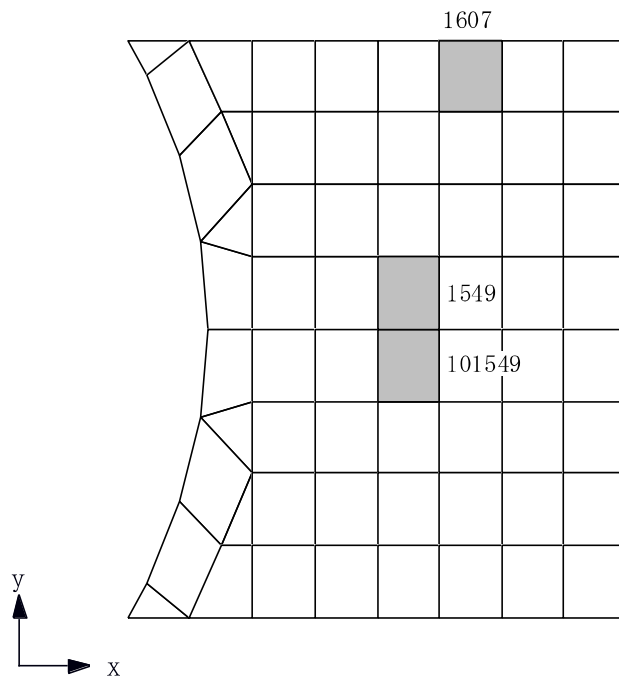


(c) 東側壁



(d) 西側壁

図 3-7 選定した要素の位置 (2/3)



(e) 底面スラブ

図 3-7 選定した要素の位置 (3/3)

表 3-15 詳細評価結果

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	2-14	0.145	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2078	2-14	0.356	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	2-14	3.30	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2111	2-14	1.67	4.55
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2148	2-14	0.487	1.91
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	2-14	0.144	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102078	2-14	0.356	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	2-14	3.28	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102111	2-14	1.65	4.55
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102148	2-14	0.487	1.91
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-14	0.258	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-14	0.435	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2411	2-14	0.744	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	2-14	0.499	3.83
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2383	2-14	0.548	1.71
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	2-14	0.0532	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2470	2-14	0.0334	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	2-14	0.393	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2489	2-14	0.278	2.19
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2469	2-14	0.117	1.33
底面 スラブ	軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	1549	2-14	0.181	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	EW	101549	2-14	0.310	5.00
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	1607	2-14	1.04*	1.21

注記* : 応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果。応力平均化の方法、範囲については、「工事計画に係る説明資料（建屋・構築物の耐震性についての計算書）」のうち「使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐震性についての計算書に関する補足説明資料」の別紙 5「応力解析における応力平均化の考え方」と同じである。

(6) 主排気筒

主排気筒については、資料V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」の評価結果に対して、主排気筒設置レベル（T.M.S.L. 38.2m）における時刻歴応答波形を入力地震動として耐震評価を行う。図3-8に主排気筒の配置図を示す。隣接建屋を考慮しない主排気筒設置レベルにおける時刻歴応答波形と、隣接建屋を考慮した主排気筒設置レベルにおける時刻歴応答波形を用いて立体フレームモデルによる地震応答解析を行う。

隣接建屋を考慮しない主排気筒設置レベルにおける時刻歴波形を図3-9に、隣接建屋を考慮した主排気筒設置レベルにおける時刻歴波形を図3-10に、両者の応答スペクトルを図3-11に示す。

隣接建屋を考慮したケースと隣接建屋を考慮しないケースから得られた断面算定結果（検定値）の比率を隣接建屋の影響による隣接応答倍率 α として設定する。隣接応答倍率 α を表3-16に示す。次に、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に示す断面算定結果（検定値）に対し、隣接応答倍率 α を乗じた値が1.0を超えないことを確認し、超過した場合については評価方法の見直しを行う。検討においては、建屋応答の不確かさを考慮するものとする。

主排気筒の断面評価結果一覧を表3-17に示す。最も検定値が大きいのは、主柱材D-E間であり、隣接応答倍率1.058を乗じると検定値は1.048となり、1.0を超過する。他部材についてはいずれも1.0を下回る。よって、主柱材については評価方法の見直しを行う。

評価方法の見直しは、実状の鉄塔部主柱材及び筒身部の断面の切り替え位置に合わせたモデル（主排気筒の耐震性についての計算書に関する補足説明資料のうち、別紙4「地震荷重と風荷重を重畳させた場合の影響検討」参照）を用い、隣接建屋を考慮したケースと隣接建屋を考慮しないケースについて再解析を行い、隣接応答倍率 α を再算定する。次に、実状の鉄塔部主柱材及び筒身部の断面の切り替え位置に合わせたモデルを用い、主柱材D-E間の検定値が最も厳しくなるSs-2（ケース6）について再解析を行い断面算定結果（検定値）に対し、隣接応答倍率 α を乗じた値が1.0を超えないことを確認する。

評価方法の見直しに基づく隣接建屋の影響評価結果を表3-18に示す。評価方法の見直しにより、主柱材D-E間の検定値0.94に対し隣接応答倍率1.053を乗じると検定値は0.990となり、1.0を下回る。なお、主柱材D-E間以外の各部材についても評価結果は1.0を下回ることを確認している。

以上より、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認した。

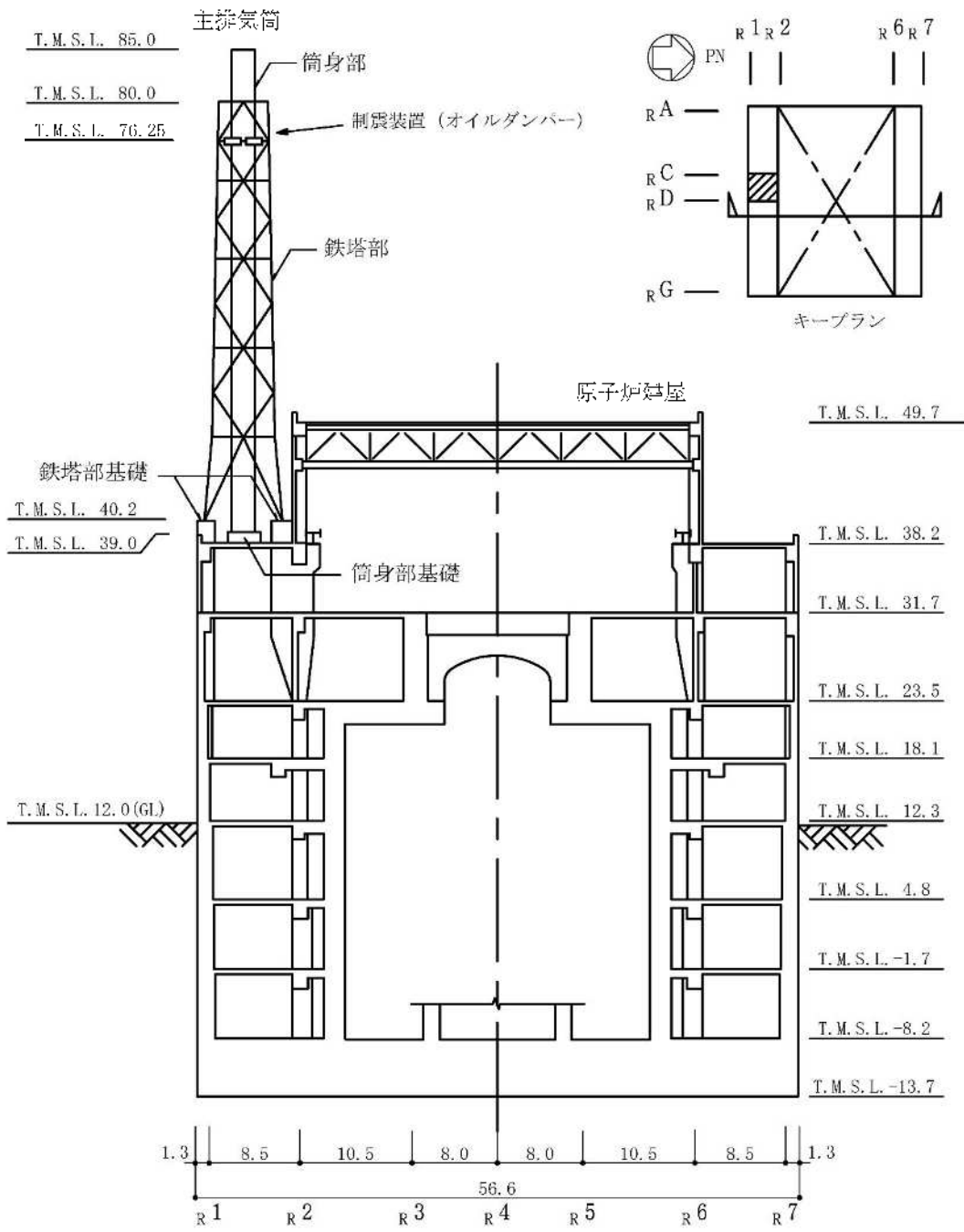
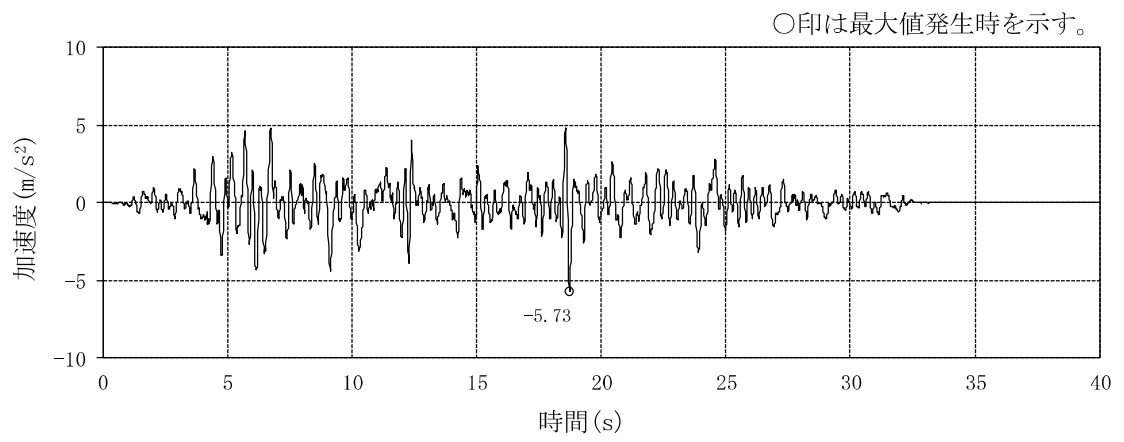
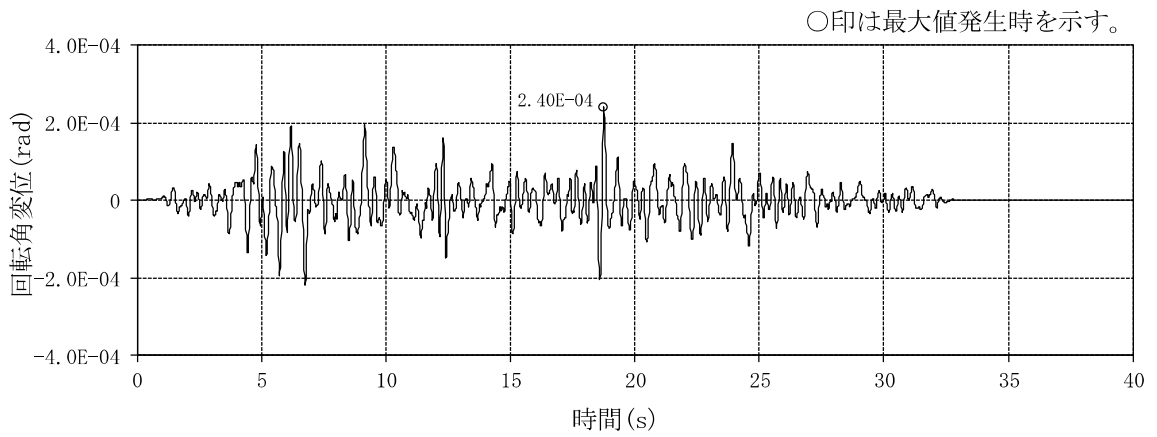


図 3-8 主排気筒配置図 (単位 : m)

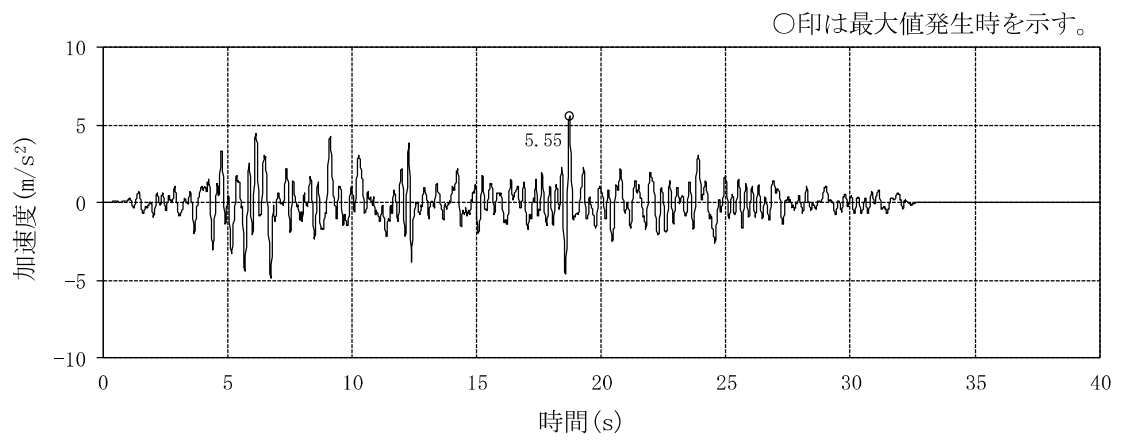


(a) 並進加速度

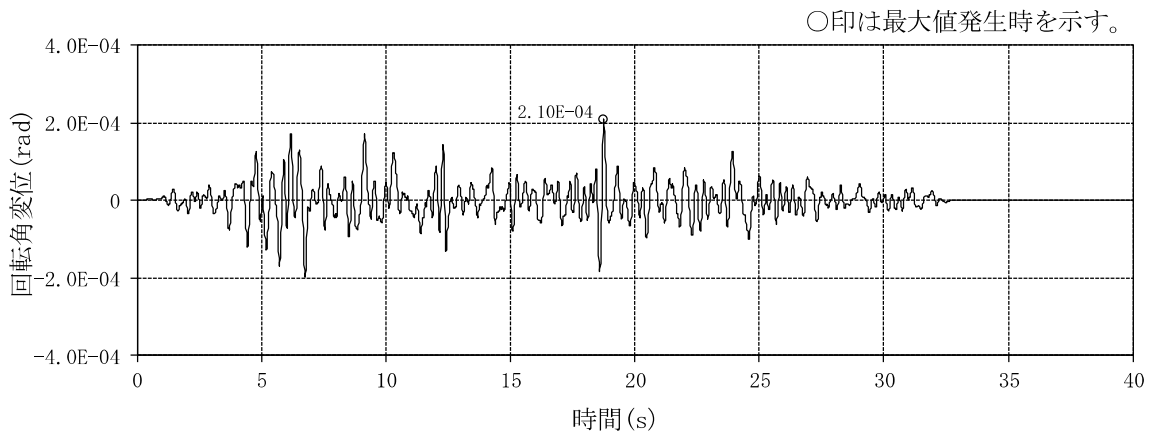


(b) 回転角変位

図 3-9 時刻歴波形 (NS 方向, 隣接非考慮, T.M.S.L. 38.2m) (1/2)

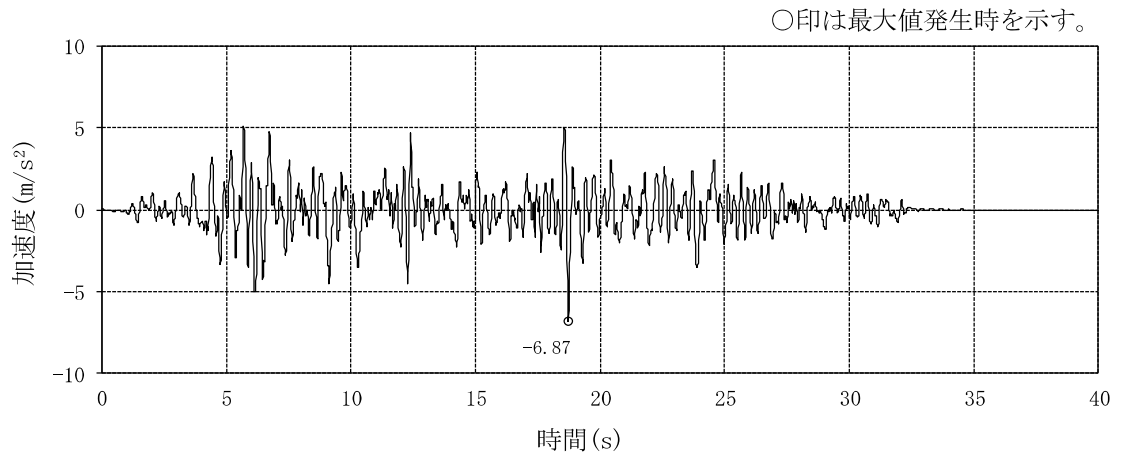


(a) 並進加速度

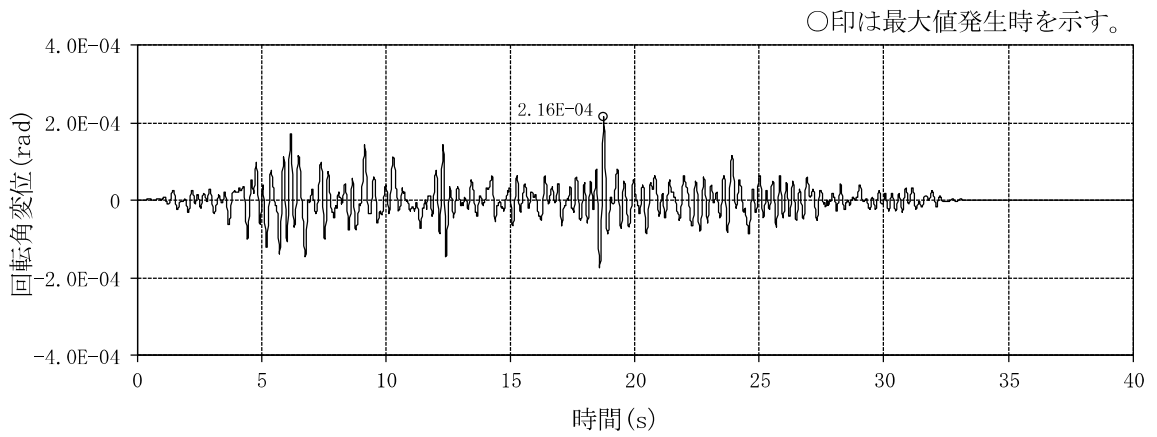


(b) 回転角変位

図 3-9 時刻歴波形 (EW 方向, 隣接非考慮, T.M.S.L. 38.2m) (2/2)

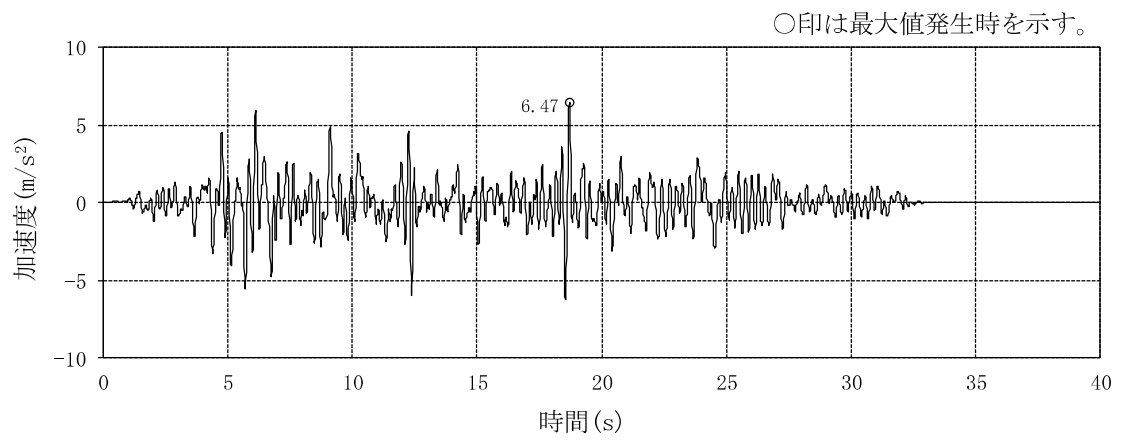


(a) 並進加速度

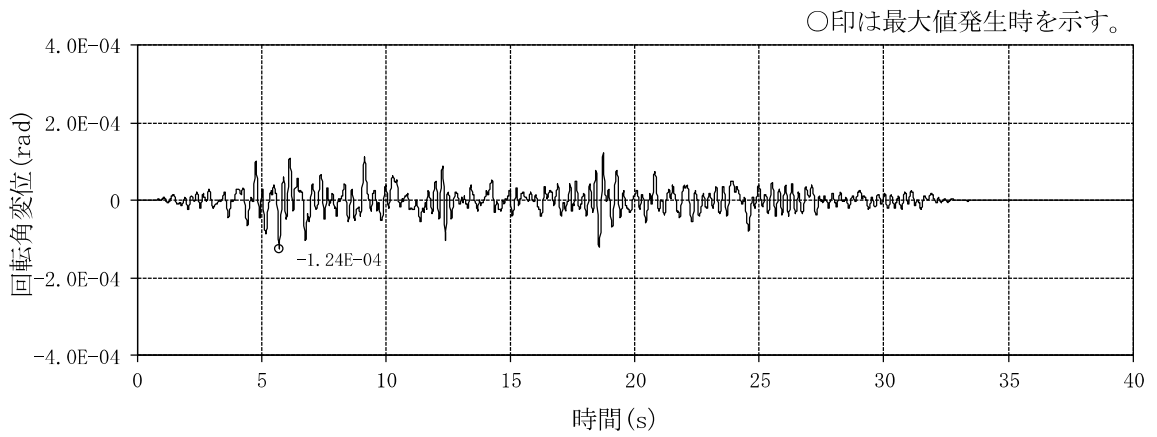


(b) 回転角変位

図 3-10 時刻歴波形 (NS 方向, 隣接考慮, T. M. S. L. 38.2m) (1/2)



(a) 並進加速度



(b) 回転角変位

図 3-10 時刻歴波形 (EW 方向, 隣接考慮, T. M. S. L. 38.2m) (2/2)

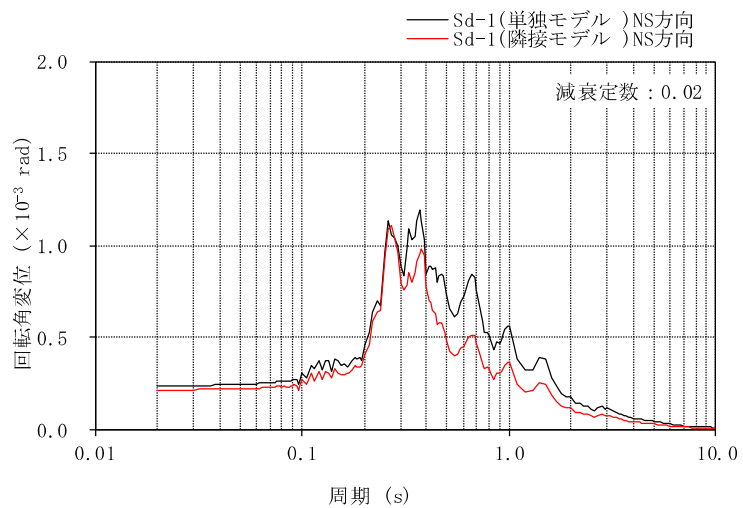
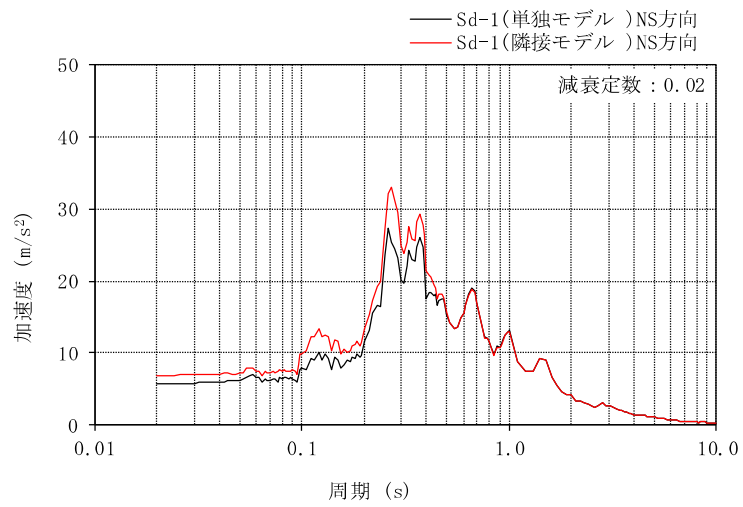
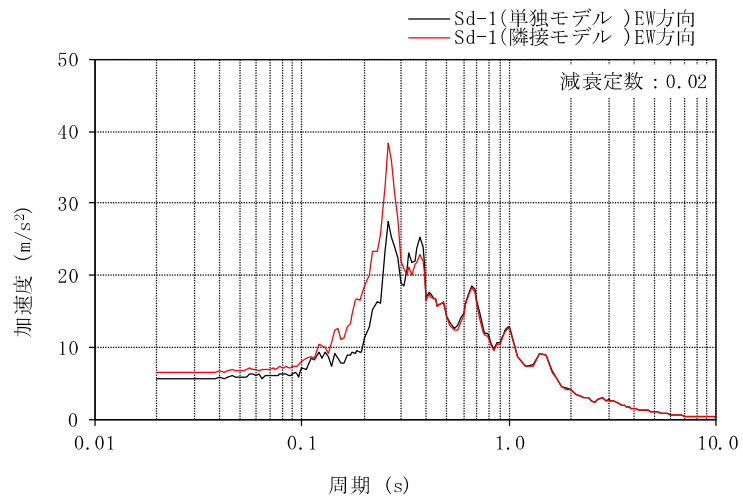
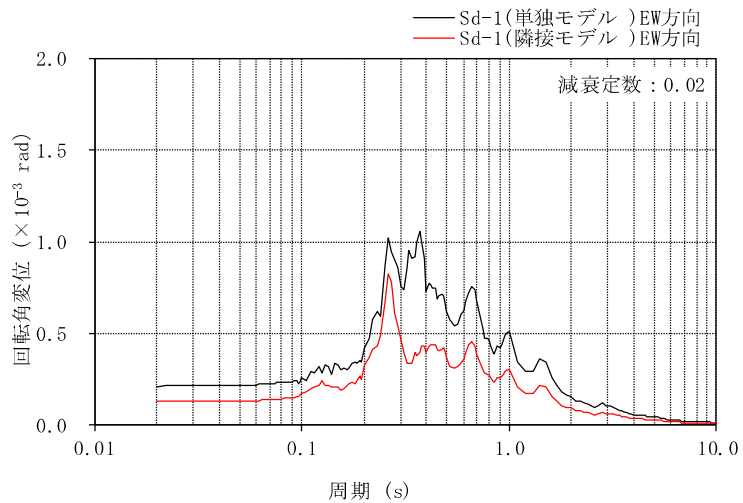


図 3-11 応答スペクトル (Sd-1, NS 方向, T. M. S. L. 38.2m) (1/2)



(a) 並進加速度



(b) 回転角変位

図 3-11 応答スペクトル (Sd-1, EW 方向, T. M. S. L. 38.2m) (2/2)

表 3-16 部材評価結果及び隣接応答倍率 α (1/2)

ケース番号		①	③	検定値 比率 ③/①	②	④	検定値 比率 ④/②		
地震動		Sd-1	Sd-1		Sd-1	Sd-1			
質点系モデル		単独	隣接		単独	隣接			
水平動の入力方向		NS	NS		EW	EW			
鉄塔部	主柱材	B-C	$\phi 318.5 \times 6$	0.046	0.049	<u>1.066</u>	0.042	0.042	1.000
		C-D	$\phi 406.4 \times 6.4$	0.194	0.205	<u>1.057</u>	0.175	0.178	1.018
		D-E	$\phi 508.0 \times 7.9$	0.228	0.241	<u>1.058</u>	0.214	0.219	1.024
		E-F	$\phi 609.6 \times 16$	0.232	0.244	<u>1.052</u>	0.202	0.196	0.971
		F-G	$\phi 711.2 \times 19$	0.191	0.202	<u>1.058</u>	0.183	0.175	0.957
	斜材	B-C	$\phi 216.3 \times 4.5$	0.284	0.299	<u>1.053</u>	0.263	0.264	1.004
		C-D	$\phi 267.4 \times 6$	0.188	0.199	<u>1.059</u>	0.175	0.176	1.006
		D-E	$\phi 355.6 \times 7.9$	0.129	0.137	<u>1.063</u>	0.120	0.114	0.950
		E-F	$\phi 406.4 \times 12.7$	0.078	0.083	<u>1.065</u>	0.073	0.064	0.877
		F-G	$\phi 558.8 \times 16$	0.055	0.054	0.982	0.030	0.033	<u>1.100</u>
	水平材	B	$\phi 216.3 \times 4.5$	0.034	0.037	1.089	0.033	0.036	<u>1.091</u>
		C	$\phi 216.3 \times 4.5$	0.046	0.048	<u>1.044</u>	0.043	0.042	0.977
		D	$\phi 318.5 \times 6$	0.035	0.036	<u>1.029</u>	0.033	0.028	0.849
		E	$\phi 318.5 \times 6$	0.061	0.064	<u>1.050</u>	0.053	0.051	0.963
		F	$\phi 406.4 \times 6.4$	0.040	0.042	1.050	0.043	0.051	<u>1.187</u>

注：下線部は隣接応答倍率 α とするケースを表示

表 3-16 部材評価結果及び隣接応答倍率 α (2/2)

ケース番号		①	③	検定値 比率 ③/①	②	④	検定値 比率 ④/②		
地震動		Sd-1	Sd-1		Sd-1	Sd-1			
質点系モデル		単独	隣接		単独	隣接			
水平動の入力方向		NS	NS		EW	EW			
筒身部	A-B	$\phi 2412 \times 6$	0.122	0.128	1.050	0.115	0.128	<u>1.114</u>	
	B-C	$\phi 2412 \times 6$	0.300	0.314	1.047	0.280	0.309	<u>1.104</u>	
	C-D	$\phi 2412 \times 6$	0.262	0.286	1.092	0.261	0.317	<u>1.215</u>	
	D-E	$\phi 2416 \times 8$	0.207	0.230	<u>1.112</u>	0.204	0.192	0.942	
	E-F	$\phi 2416 \times 8$	0.310	0.328	<u>1.059</u>	0.286	0.233	0.815	
	F-G	$\phi 2424 \times 12$	0.168	0.177	<u>1.054</u>	0.154	0.126	0.819	
基礎	鉄塔部	基礎	引張り	0.243	0.257	<u>1.058</u>	0.210	0.197	0.939
		ボルト	せん断	0.067	0.068	<u>1.015</u>	0.053	0.046	0.868
	立上り部	基礎	曲げ	0.231	0.234	<u>1.013</u>	0.180	0.160	0.889
		基礎	せん断	0.187	0.191	<u>1.022</u>	0.149	0.130	0.873
			圧縮軸力	0.130	0.137	<u>1.054</u>	0.109	0.099	0.909
	筒身部	基礎	引張り	0.138	0.134	0.972	0.096	0.103	<u>1.073</u>
		ボルト	せん断	0.047	0.051	<u>1.086</u>	0.046	0.048	1.044

注：下線部は隣接応答倍率 α とするケースを表示

表 3-17 基準地震動 S_s における隣接建屋の影響評価結果

対象部位		地震動 (ケース名)	最大 検定値	隣接応答 倍率 α	検定値 $\times \alpha$	
鉄塔部	主柱材	<u>D-E間</u>	<u>Ss-2</u> <u>(ケース 6)</u>	<u>0.99</u>	<u>1.058</u>	<u>1.048</u>
	斜材	B-C間	Ss-1(NS+鉛直) (ケース 6)	0.78	1.053	0.822
	水平材	E	Ss-2 (ケース 6)	0.24	1.050	0.252
筒身部		C-D間	Ss-1(NS+鉛直) (ケース 6)	0.79	1.215	0.960
基礎	鉄塔部 基礎ボルト	引張検討	Ss-2 (ケース 6)	0.90	1.058	0.953
		せん断検討		0.27	1.015	0.275
	鉄塔部 基礎 立上り部	曲げ検討 (主筋)	Ss-2 (ケース 6)	0.90	1.013	0.912
		せん断検討 (コンクリート)		0.75	1.022	0.767
		圧縮軸力検討 (鉄骨柱)		0.58	1.054	0.612
	筒身部 基礎ボルト	引張検討	Ss-2 (ケース 6)	0.36	1.073	0.387
		せん断検討		0.16	1.086	0.174

注：下線部は、検定値 $\times \alpha$ が1.0を超過したため、評価方法の見直しを行う箇所を示す。

表 3-18 評価方法の見直しに基づく隣接建屋の影響評価結果

部材評価結果及び隣接応答倍率 α							評価方法の見直しに基づく隣接建屋の影響評価結果																								
ケース番号	①	③	検定値 比率 ③/①	②	④	検定値 比率 ④/②	最大 検定値	地震動 (ケース)	隣接応答 倍率 α	検定値 $\times \alpha$																					
地震動	Sd-1	Sd-1		Sd-1	Sd-1																										
質点系モデル	単独	隣接		単独	隣接																										
水平動の入力方向	NS	NS		EW	EW																										
主柱材 D-E間 ($\phi 508.0 \times 7.9$)	0.227	0.239	<u>1.053</u>	0.212	0.219	1.034	0.94	Ss-2 (ケース 6)	1.053	0.990																					
評価方法の見直しの概要：実状の鉄塔部主柱材及び筒身部の断面の切り替え位置に合わせたモデル																															
主柱材						筒身部																									
<p>主柱材凡例</p> <table border="1"> <tr><td>B-C</td><td>■</td><td>$\phi 318.5 \times 6$</td></tr> <tr><td>C-D</td><td>■</td><td>$\phi 406.4 \times 6.4$</td></tr> <tr><td>D-E</td><td>■</td><td>$\phi 508.0 \times 7.9$</td></tr> <tr><td>E-F</td><td>■</td><td>$\phi 609.6 \times 16$</td></tr> <tr><td>F-G</td><td>■</td><td>$\phi 711.2 \times 19$</td></tr> </table>						B-C	■	$\phi 318.5 \times 6$	C-D	■	$\phi 406.4 \times 6.4$	D-E	■	$\phi 508.0 \times 7.9$	E-F	■	$\phi 609.6 \times 16$	F-G	■	$\phi 711.2 \times 19$	<p>筒身部凡例</p> <table border="1"> <tr><td>■</td><td>$\phi 2412 \times 6$</td></tr> <tr><td>■</td><td>$\phi 2416 \times 8$</td></tr> <tr><td>■</td><td>$\phi 2424 \times 12$</td></tr> </table>					■	$\phi 2412 \times 6$	■	$\phi 2416 \times 8$	■	$\phi 2424 \times 12$
B-C	■	$\phi 318.5 \times 6$																													
C-D	■	$\phi 406.4 \times 6.4$																													
D-E	■	$\phi 508.0 \times 7.9$																													
E-F	■	$\phi 609.6 \times 16$																													
F-G	■	$\phi 711.2 \times 19$																													
■	$\phi 2412 \times 6$																														
■	$\phi 2416 \times 8$																														
■	$\phi 2424 \times 12$																														
評価方法の見直し						評価方法の見直し																									
(参考) 工認モデル						(参考) 工認モデル																									

注：下線部は隣接応答倍率 α とするケースを表示

(7) 復水貯蔵槽 (CSP)

復水貯蔵槽については、V-2-5-5-1-2「復水貯蔵槽の耐震性についての計算書」の評価結果(検定値)に対して、隣接応答倍率を乗じた評価を実施する。壁の評価にはせん断力の隣接応答倍率を、底面スラブの評価にはせん断力及び曲げモーメントの隣接応答倍率を用いる。評価用の隣接応答倍率を表3-19に、評価結果を表3-20に示す。表3-20に示すように、復水貯蔵槽の壁及び底面スラブにおいて隣接応答倍率を考慮した検定値が1.0を下回ることを確認した。

以上より、隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に影響はないことを確認した。

表3-19 評価用の隣接応答倍率

部位		隣接応答倍率
壁	T. M. S. L. 16.1~12.3 (m)	1.10
	T. M. S. L. 12.3~ 6.5 (m)	1.03
	T. M. S. L. 6.5~-1.1 (m)	0.96*
底面スラブ		1.06

注記* : 1.00として簡易評価を実施する。

表3-20 評価結果

項目		評価項目	方向	要素番号	組合せケース	検定値 ①	倍率 ②	①×②
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	壁	必要 鉄筋量 (mm ² /m)	横	22858	2	0.940	1.03	0.969
	底面 スラブ		EW	10803	5	0.573	1.06	0.608
面外せん断力 (kN/m)	壁	面外せん 断力 (kN/m)	横	22468	7	0.511	1.03	0.527
	底面 スラブ		NS	10710	1	0.476	1.06	0.505

別紙 3 建物付帯設備（建物・構築物）の応答増幅について

目 次

1. 概要…………… 別紙 3-1
2. 検討方針…………… 別紙 3-1
3. 検討結果…………… 別紙 3-12

1. 概要

本資料は、隣接建屋の影響として、耐震評価を実施している建物付帯設備（建物・構築物）の応答増幅の影響検討を行うものである。

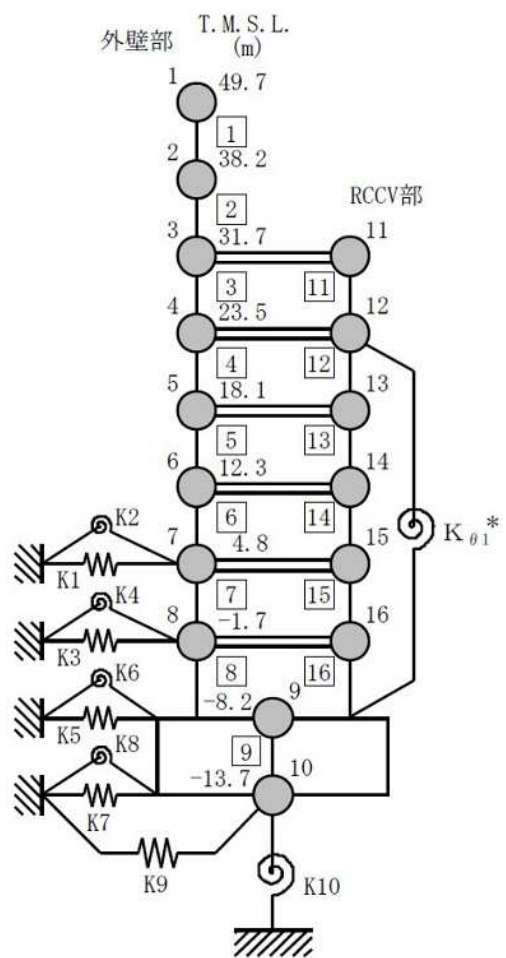
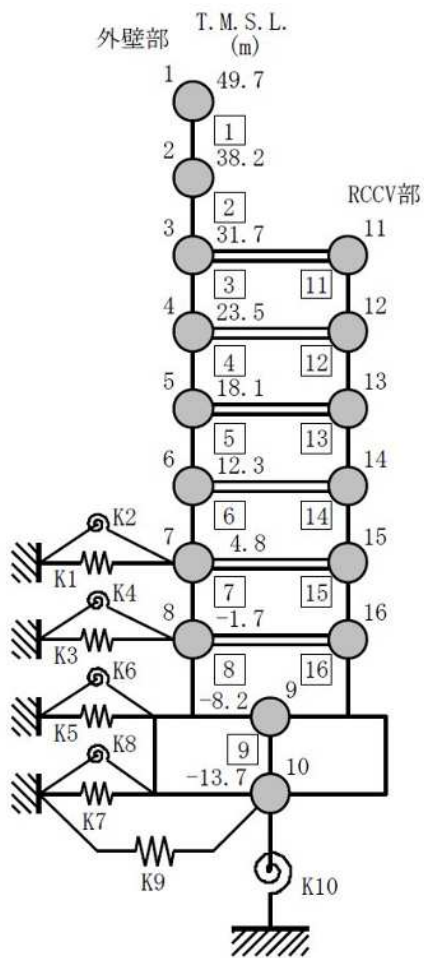
2. 検討方針

検討対象を表 2-1 に示す。隣接建屋を考慮した応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）と、各検討対象の耐震性についての計算結果により影響検討を行う。検討は、各検討対象の耐震性の計算方法に応じて最大応答加速度の比較または最大応答せん断力の比較から求まる隣接応答倍率 α を、隣接非考慮時の最大検定値に乗じて求めた各検査対象の検定値が 1 を超過しないことを確認する。

7 号機原子炉建屋（以下「K7R/B」という。）の建屋モデル及び隣接応答倍率を図 2-1～図 2-5 に、コントロール建屋（以下「C/B」という。）の建屋モデル及び隣接応答倍率を図 2-6～図 2-10 に、7 号機タービン建屋（以下「K7T/B」という。）の建屋モデル及び隣接応答倍率を図 2-11～図 2-15 に示す。評価フローを図 2-16 に示す。なお、評価に用いる隣接応答倍率は、別紙 2 の躯体関係の評価と同様に、弾性設計用地震動 Sd-1 に基づく応答倍率を用いる。

表 2-1 検討対象

検討対象	建屋名称
中央制御室待避室遮蔽	C/B
燃料取替床ブローアウトパネル	K7R/B
主蒸気系トンネル室ブローアウトパネル	K7R/B
原子炉建屋エアロック	K7R/B
取水槽閉止板	K7T/B
水密扉	K7R/B
	K7T/B
水密扉付止水堰	K7R/B
	K7T/B
止水堰	K7R/B
	K7T/B



注記* : RCCV 回転ばね

(a) NS 方向

(b) EW 方向

図 2-1 K7R/B の建屋モデル

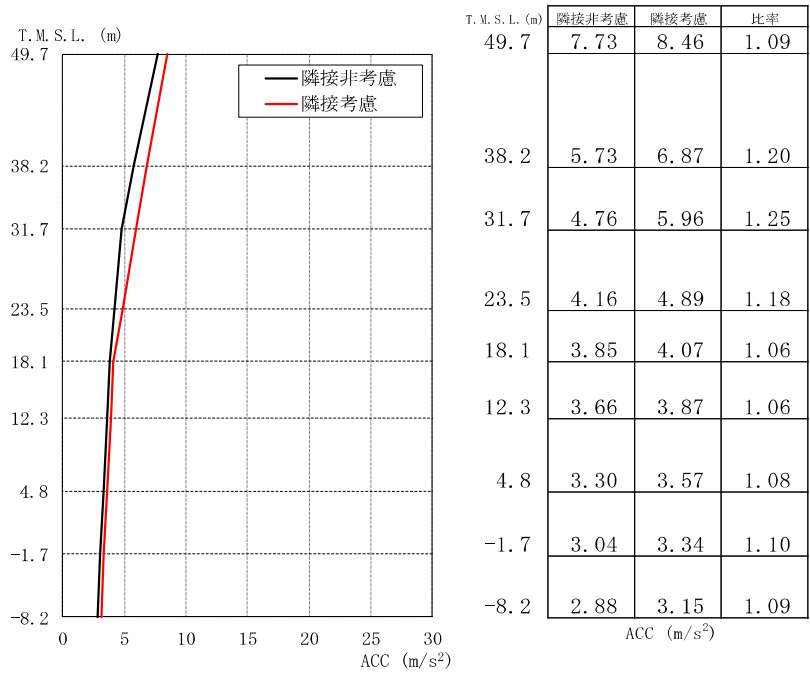


図 2-2 最大応答加速度の比較 (K7R/B, NS 方向)

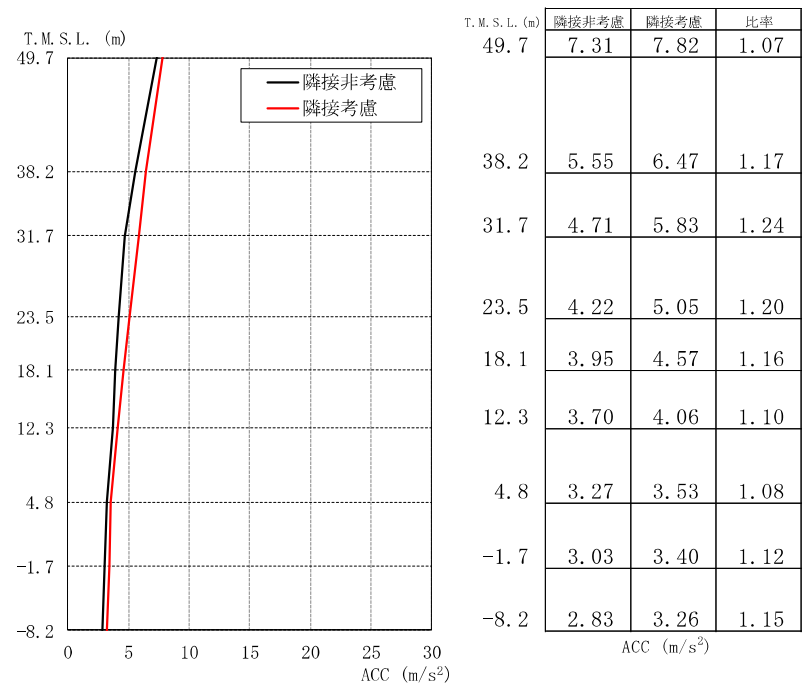


図 2-3 最大応答加速度の比較 (K7R/B, EW 方向)

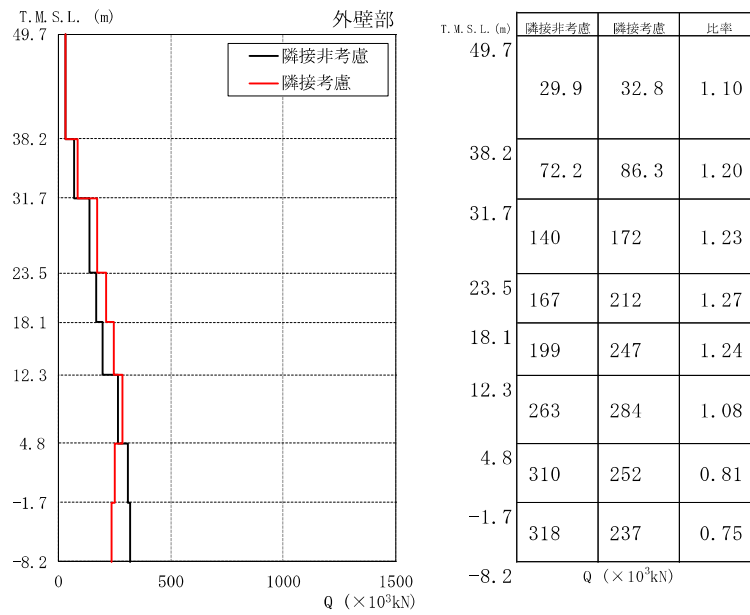


図 2-4 最大応答せん断力の比較 (K7R/B, NS 方向)

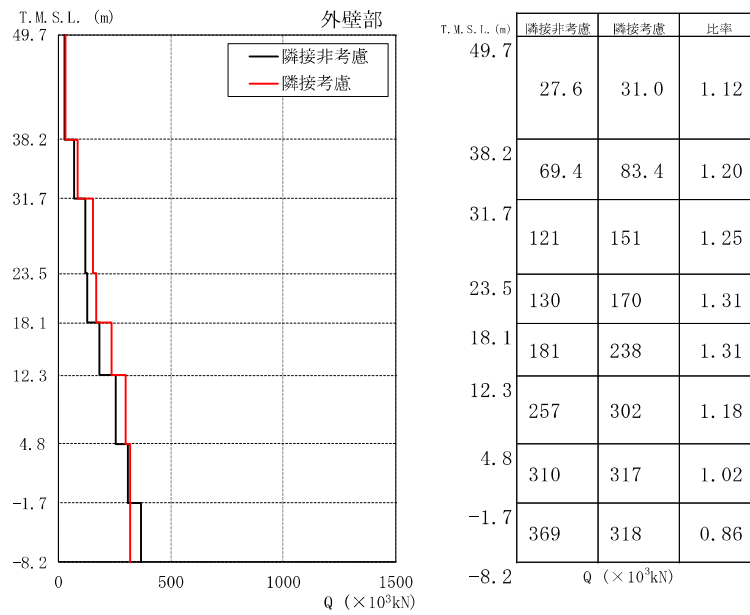


図 2-5 最大応答せん断力の比較 (K7R/B, EW 方向)

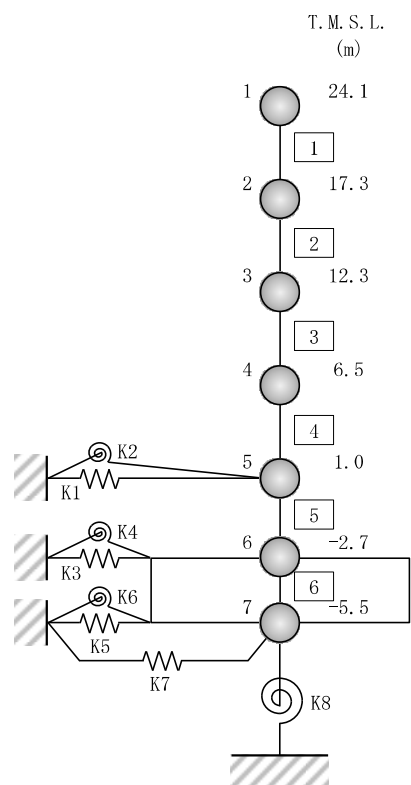


図 2-6 C/B の建屋モデル

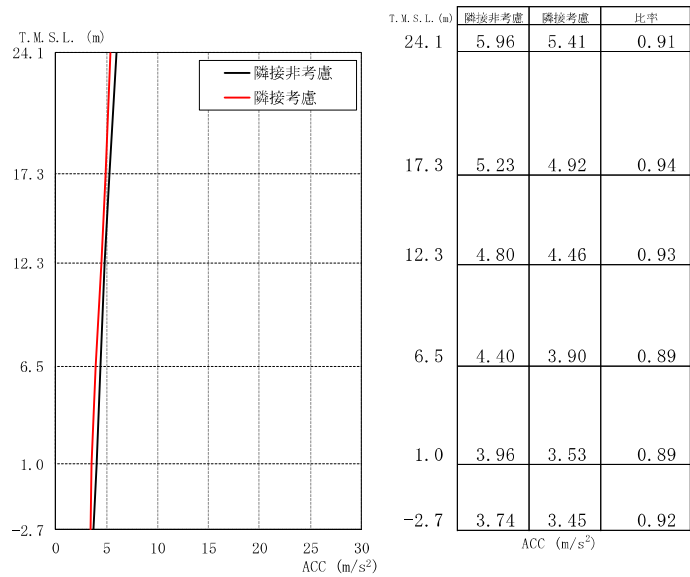


図 2-7 最大応答加速度の比較 (C/B, NS 方向)

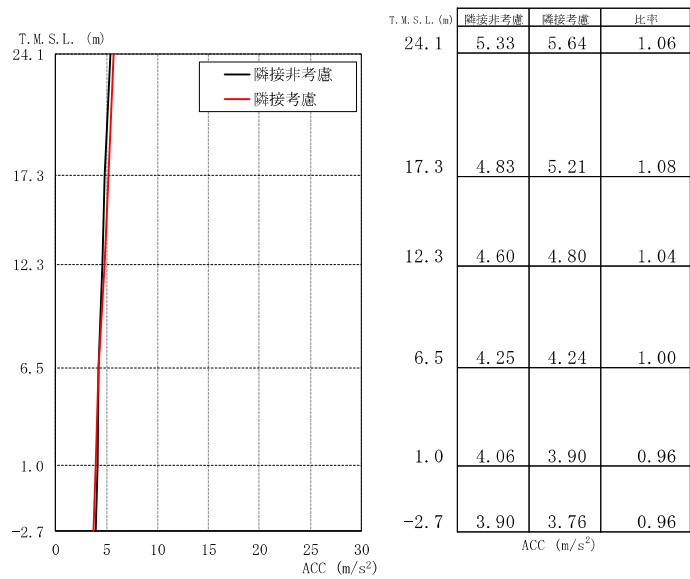


図 2-8 最大応答加速度の比較 (C/B, EW 方向)

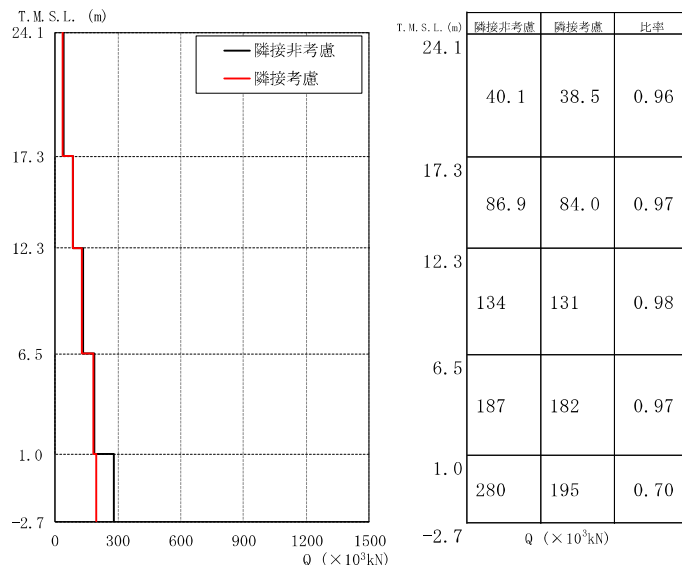


図 2-9 最大応答せん断力の比較 (C/B, NS 方向)

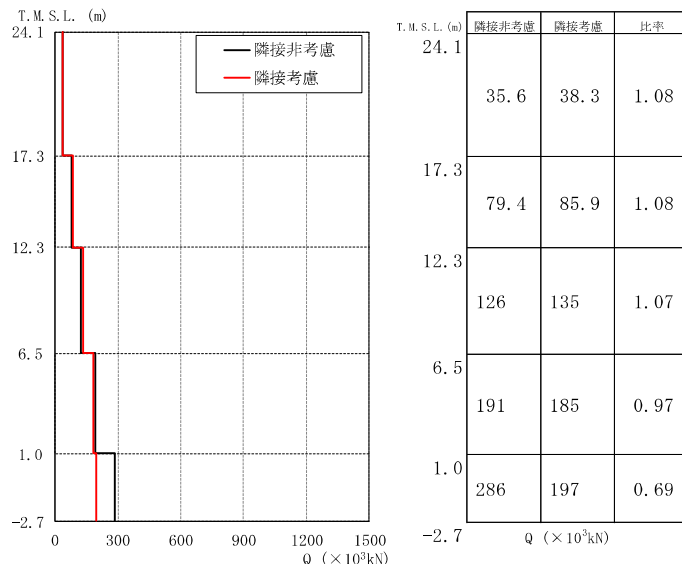


図 2-10 最大応答せん断力の比較 (C/B, EW 方向)

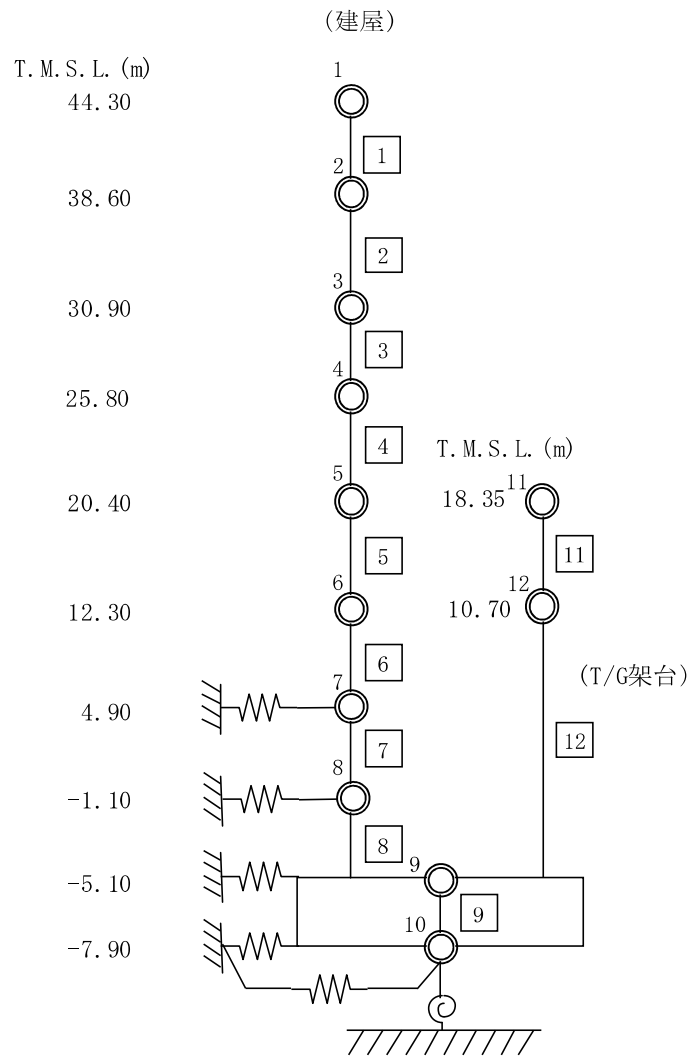


図 2-11 K7T/B の建屋モデル

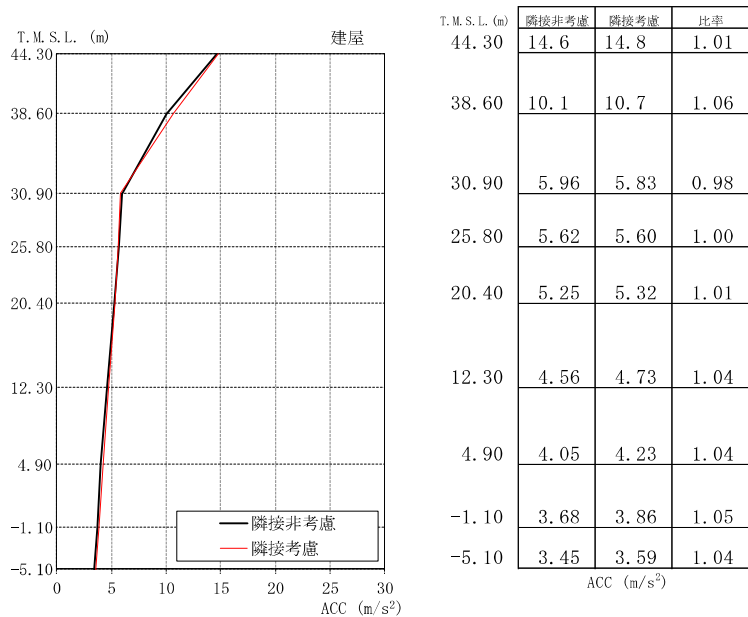


図 2-12 最大応答加速度の比較 (K7T/B, NS 方向)

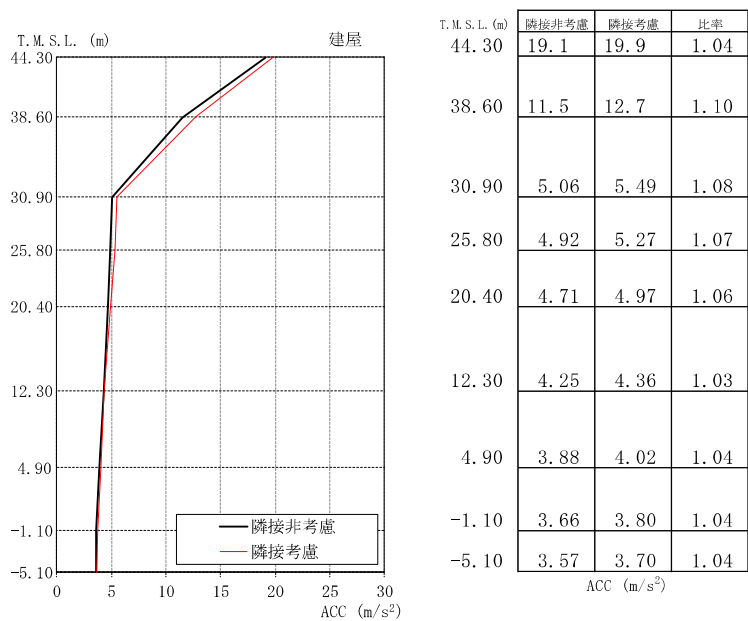


図 2-13 最大応答加速度の比較 (K7T/B, EW 方向)

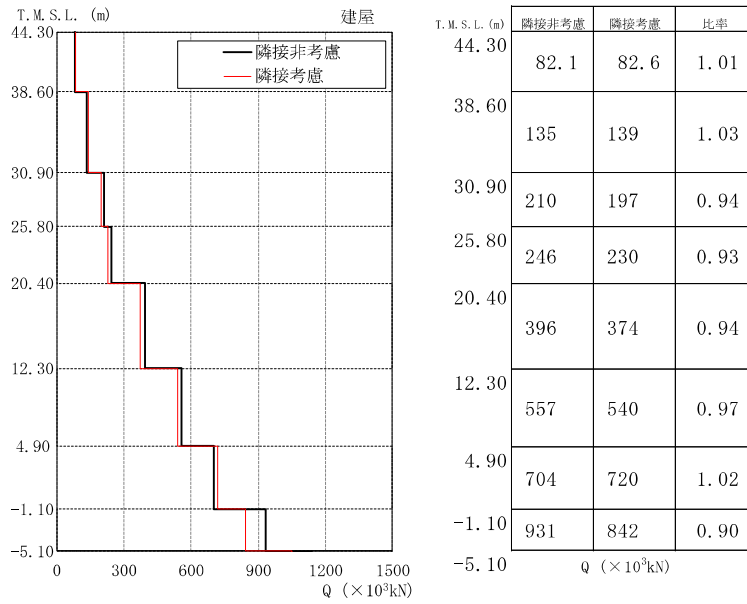


図 2-14 最大応答せん断力の比較 (K7T/B, NS 方向)

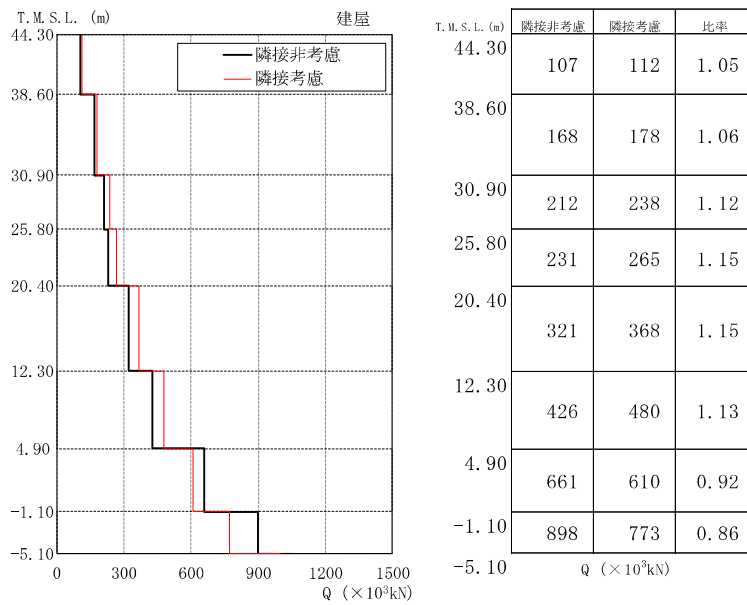


図 2-15 最大応答せん断力の比較 (K7T/B, EW 方向)

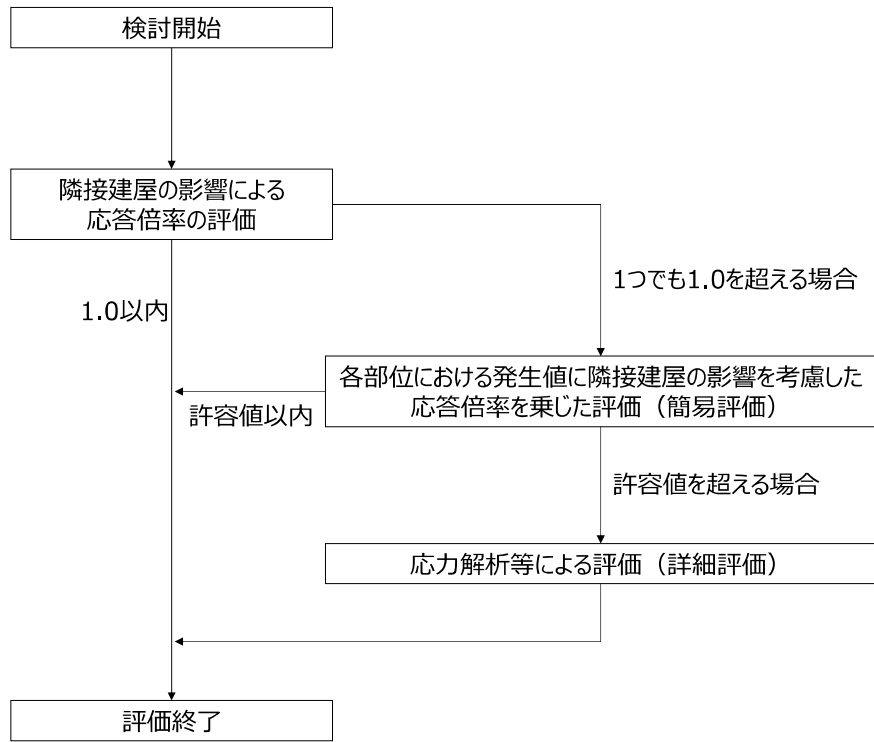


図 2-16 評価フロー

3. 検討結果

各検討対象の隣接建屋の影響検討結果を表 3-1 に示す。

隣接建屋の影響検討は、設置場所に応じた隣接応答倍率を用いるものとし、各付帯設備の中で検定値が最大となる対象を代表値として示す。

影響検討の結果、隣接建屋の影響を考慮した場合でも、検定値が 1 を下回ることから、構造健全性に問題ないことを確認した。

表 3-1 隣接建屋の影響検討結果 (1/2)

検討対象		最大 検定値	隣接応答倍率		検定値 × α
			倍率 α	応力種別 ・方向	
中央制御室待避室遮蔽 C/B 2階 T. M. S. L. 17. 3m	新設壁	0. 850	1. 00*	せん断 NS	0. 850
燃料取替床 ブローアウトパネル R/B 4階 T. M. S. L. 41. 1m~45. 18m	Sd 閉機能維持	0. 489	1. 09	加速度 NS	0. 534
	Ss 開機能維持	0. 119	1. 12	せん断 EW	0. 134
主蒸気系トンネル室 ブローアウトパネル R/B 1階 T. M. S. L. 12. 3m~23. 5m	Sd 閉機能維持	0. 001	1. 20	加速度 EW	0. 002
	Ss 開機能維持	0. 136	1. 27	せん断 NS	0. 173
原子炉建屋エアロック FCS 室エアロック R/B 1階 T. M. S. L. 12. 3m	ヒンジピン	0. 374	1. 16	組合せ (曲げ, せん断) EW	0. 434
原子炉建屋エアロック ギャラリー室エアロック R/B 4階 T. M. S. L. 34. 5m	締付ローラー	0. 123	1. 24	定格荷重 EW	0. 153
取水槽閉止板 タービン補機冷却用 海水取水槽閉止板 T/B 地下 1階 T. M. S. L. 4. 9m	戸当り	0. 05	1. 04	曲げ NS	0. 06

注記* : 隣接応答倍率は 0. 96 であり 1 を下回るため倍率 α を 1. 00 とした。

表 3-1 隣接建屋の影響検討結果 (2/2)

検討対象		最大 検定値*1	隣接応答倍率		検定値 × α
			倍率 α	応力種別 ・方向	
水密扉 残留熱除去系 <input type="checkbox"/> ポンプハッチ室水密扉 R/B 地下 2 階 T. M. S. L. -1. 7m	アンカーボルト	0. 73	1. 08	せん断*2 EW	0. 79
水密扉 <input type="checkbox"/> R/B 1 階 T. M. S. L. 12. 3m	締付装置 受けピン	0. 21 (0. 97)	1. 16	組合せ (曲げ, せん断) EW	0. 25
水密扉 建屋間連絡水密扉 (原子炉建屋地下 1 階～ タービン建屋地下 1 階) T/B 地下 1 階 T. M. S. L. 4. 9m	アンカーボルト	0. 69 (0. 99)	1. 04	せん断*2 NS	0. 72
水密扉付止水堰 R/B 4 階 T. M. S. L. 31. 7m	止水堰部 アンカーボルト	0. 51	1. 25	せん断 NS	0. 64
水密扉付止水堰 T/B 1 階 T. M. S. L. 12. 3m	止水堰部 アンカーボルト	0. 28	1. 04	せん断 NS	0. 30
鋼製落とし込み型堰 T/B 1 階 T. M. S. L. 12. 3m	アンカーボルト	0. 42	1. 04	引張 NS	0. 44
鋼板組合せ堰 R/B 4 階 T. M. S. L. 31. 7m	アンカーボルト	0. 24	1. 25	引張 NS	0. 30

注記*1：V-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」の「5. 評価結果」に記載の数値を
() 内に記載した。

注記*2：扉開放時の評価結果を記載した。

3.1 水密扉の評価方法に関する補足

3.1.1 締付装置受けピン

締付装置受けピンは、V-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」において、下記の通り評価している。即ち、締付装置と締付装置受けピンが点接触する場合において、締付装置受けピンを集中荷重が作用する両端固定梁とみなし評価している。締付装置受けピンに生じる荷重の例を図3-1に示す。

$$M = R_1 \cdot L_p \cdot 10^{-3} / 4$$

M : 締付装置受けピンの最大曲げモーメント (kN・m)

ここで、 $R_1 = k_H \cdot G / n_2$

R_1 : 締付装置受けピンに生じる地震力に伴う荷重の反力 (kN)

L_p : 締付装置受けピンの軸支持間距離 (mm)

k_H : 水平震度

G : 扉重量

n_2 : 締付装置の本数

$$Q = R_1 / 2$$

Q : 締付装置受けピンの最大せん断力 (kN)

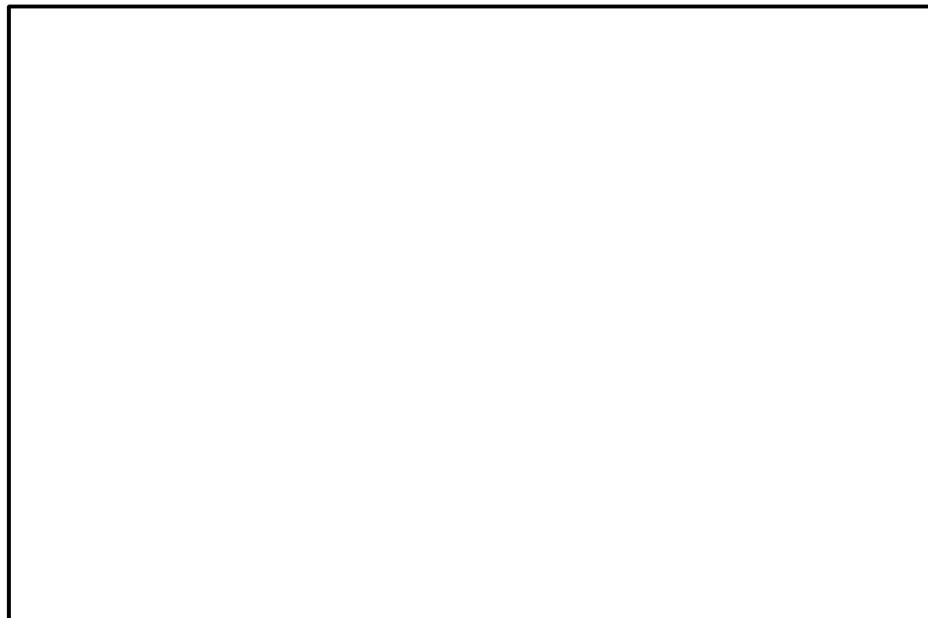


図3-1 締付装置受けピンに生じる荷重の例

本図書においては、縮付装置受けピンと一体的に取り付くカラーを考慮し、下記の通り評価を行うこととする。縮付装置受けピンに生じる荷重の例を図3-2に示す。

$$M = R_1 \cdot (L_p^3 - 8 \cdot a''^3) / (24 \cdot b'' \cdot L_p)$$

M : 縮付装置受けピンの最大曲げモーメント(kN・m)

$$a'' = (L_p - b'') / 2$$

ここで、 $R_1 = k_H \cdot G / n_2$

R_1 : 縮付装置受けピンに生じる地震力に伴う荷重の反力(kN)

L_p : 縮付装置受けピンの軸支持間距離(mm)

a'' : 縮付装置受けピンの支持点からカラー端部までの距離(mm)

b'' : 縮付装置受けピンとカラーが接する長さ(mm)

k_H : 水平震度

G : 扉重量

n_2 : 縮付装置の本数

$$Q = R_1 / 2$$

Q : 縮付装置受けピンの最大せん断力(kN)

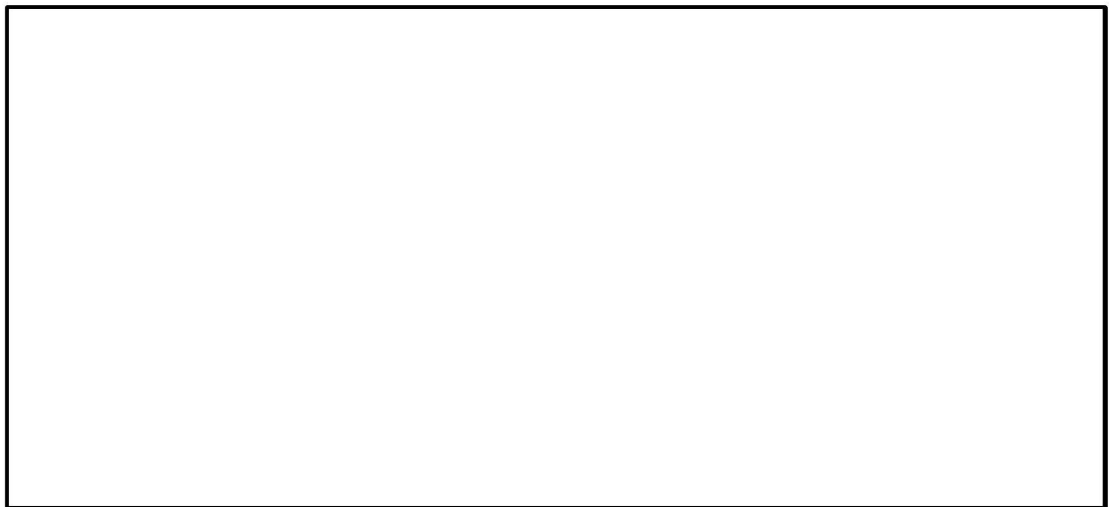


図3-2 縮付装置受けピンに生じる荷重の例

即ち、V-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」においては、カラーを考慮せずに評価を行っていたが、本図書では、縮付装置受けピンに取り付くカラーを考慮し、縮付装置受けピンとカラーが線接触することから、縮付装置受けピンとカラーが接触している部分に等分布荷重が作用する両端固定梁とみなし、評価を行うこととした。

3.1.2 アンカーボルト

アンカーボルトは、V-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」において、下記の通り評価している。アンカーボルトに生じる荷重の例を図3-3に示す。

$$F_{1a} = F_1 + k_H \cdot w_a / 4$$

F_{1a} : アンカーボルトに生じる転倒力(kN)

F_1 : ヒンジに生じる転倒力(kN)

k_H : 水平震度

w_a : 扉枠の重量(kN)

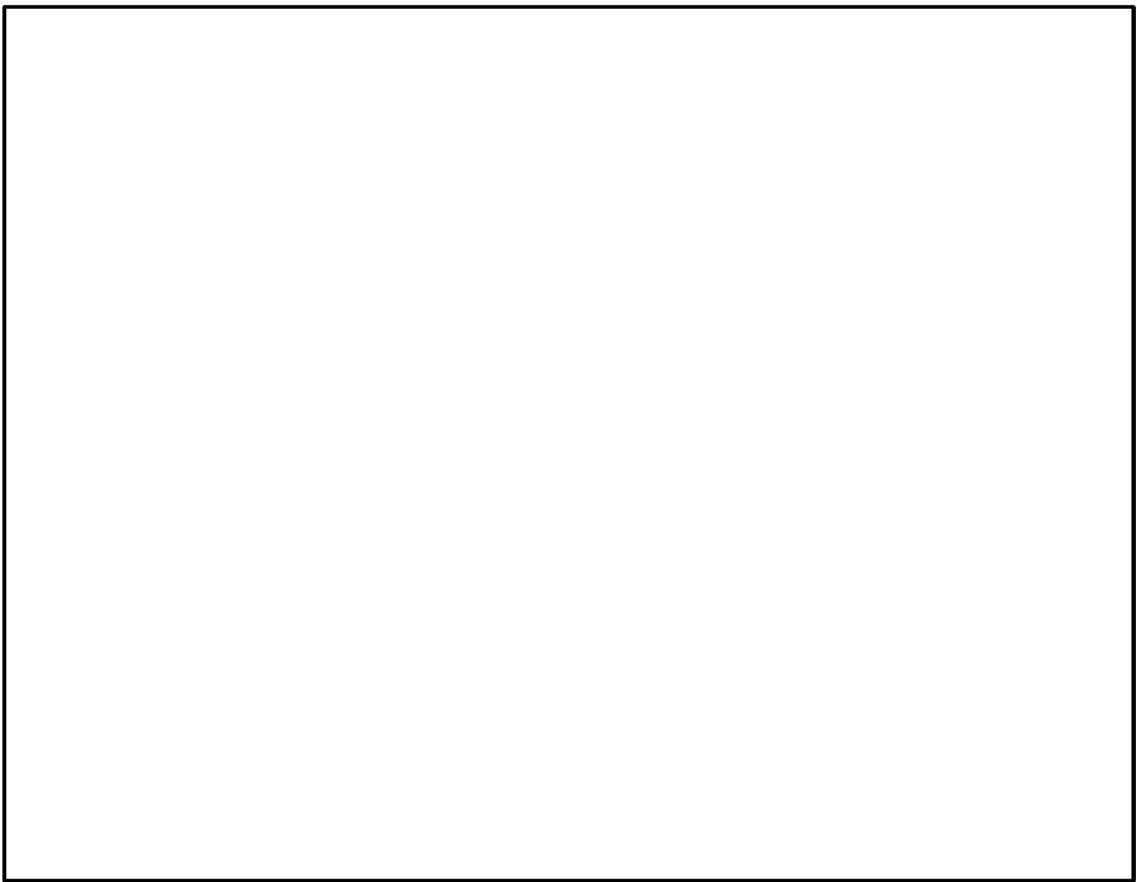


図3-3 アンカーボルトに生じる荷重の例

ここで、ヒンジに生じる転倒力 F_1 については下記の通りとし、転倒力の作用状況を図 3-4 に示す。

$$F_1 = W_1 \cdot L_1 / L_2 + k_H \cdot G / 2$$

$$W_1 = G + k_{UD} \cdot G$$

W_1 : スラスト荷重 (kN)

G : 扉重量 (kN)

k_H : 水平震度

k_{UD} : 鉛直震度

F_1 : ヒンジに生じる転倒力 (kN)

L_1 : 扉重心とヒンジ芯間距離 (mm)

L_2 : ヒンジ芯間距離 (mm)

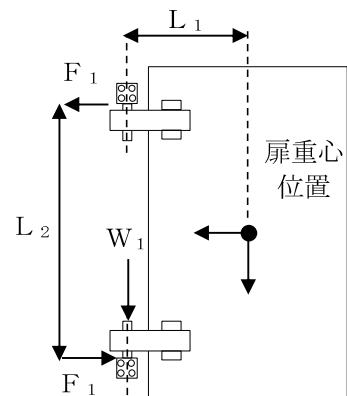


図 3-4 ヒンジに生じる
転倒力の作用状況

本図書においては、水密扉の構造から評価上期待できる要素は考慮することとし、下記の通り評価を行うこととする。アンカーボルトに生じる荷重の例を図3-5に示す。

$$F_{1a} = F_1 + k_H \cdot w_a / 4$$

$$T_d = Q_d = F_{1a} / (n_1 + n_2)$$

F_{1a} : 扉と扉枠の重量を含んだ転倒力 (kN)

n_1 : ヒンジ側アンカーボルトの本数 (本)

n_2 : 上部アンカーボルトの本数 (本)

T_d : アンカーボルトに生じる引張力 (kN)

Q_d : アンカーボルトに生じるせん断力 (kN)

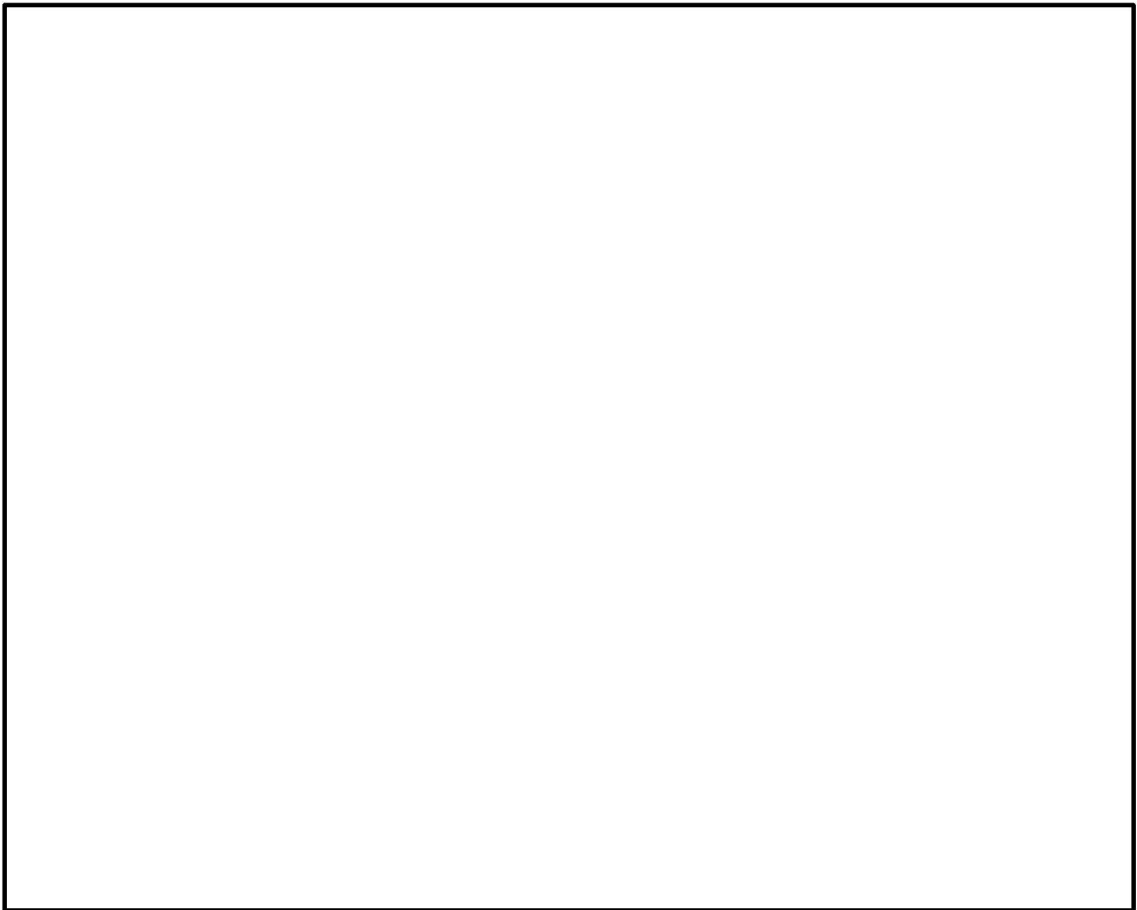


図 3-5 アンカーボルトに生じる荷重の例

即ち、扉の面内方向の変形に抵抗する要素として、V-2-10-2-3-1「水密扉の耐震性についての計算書」においてはヒンジ側のアンカーボルトのみに保守的に期待することとしたが、本図書では水密扉の構造を踏まえ上部のアンカーボルトにも転倒力の負担を期待することとした。

別紙 4 機器への影響検討

目 次

1. 概要	別紙 4-1
2. 検討方針	別紙 4-1
3. 検討結果	別紙 4-4

添付資料1 床応答スペクトルの比較

添付資料2 隣接応答倍率（床応答スペクトル）の算定

1. 概要

本資料は、隣接建屋の影響として、建屋の応答増幅に伴う機器への影響検討を行うものである。

2. 検討方針

「2.1」の検討対象に対して、「2.2」の前提条件を踏まえた「2.3」の検討内容に示す通り、隣接建屋を考慮した応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）（以下「隣接応答倍率」という。）と、各検討対象の裕度（許容値／発生値）を用いた簡易評価および隣接応答倍率を考慮した耐震条件を用いた詳細評価を行う。影響検討フローを図2-1に示す。

2.1 検討対象

検討対象は7号機原子炉建屋 (K7R/B)、コントロール建屋 (C/B)、7号機タービン建屋 (K7T/B)、廃棄物処理建屋 (Rw/B) に設置される以下の機器・配管系とする。

- ・設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類のSクラスに属する機器・配管系
- ・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、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）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に属する機器・配管系
- ・波及的影響防止のために耐震評価を実施する機器・配管系

2.2 前提条件

2.2.1 隣接応答倍率

本影響検討は、線形解析に基づく隣接応答倍率を用いて、非線形挙動を示す建屋に設置された機器・配管系に対して行う。

これについては、非線形挙動による建屋の剛性低下を考慮すると、荷重及び加速度の応答は、線形でモデル化した場合よりも非線形でモデル化した方が低減されたものとなること、及び床応答スペクトルは長周期側にシフトする周期帯があると考えられるが設計に用いる床応答スペクトルにおいて考慮する周期幅の拡幅等を考慮するとその影響は小さいと考えられることから、妥当である。

2.2.2 影響検討における耐震条件の考え方

機器の耐震計算に用いる耐震条件としては、設計用最大応答加速度Ⅰ及び設計用床応答曲線Ⅰ（以下「設計用Ⅰ」という。）及び設計用最大応答加速度Ⅱ及び設計用床応答曲線Ⅱ（以下「設計用Ⅱ」という。）を設定している。

ここで、設計用Ⅰは建物・構築物の地震応答解析により得られた応答に材料物性の不確かさ等の影響を考慮して作成したものであり、設計用Ⅱは設計用Ⅰ以上となるように作成したものである。耐震評価においては、設計用Ⅰを用いた耐震計算の結果が許容値を満たすことを、耐震性が確保されることの判断基準としている。

これを踏まえて本影響検討においては、耐震計算において設計用Ⅱを用いたものであっても、設計用Ⅰを用いた耐震計算の結果に対する影響検討により、判定基準を満足することが確認できれば、耐震性への影響が無いと判断する。

2.3 検討内容

2.3.1 隣接応答倍率の算定

影響検討に用いる隣接応答倍率の算定方法を以下に示す。

(1) 最大応答加速度

各標高について、隣接建屋非考慮モデルによる最大応答加速度に対する隣接建屋考慮モデルによる最大応答加速度の比をとったものを隣接応答倍率とする。なお、隣接応答倍率の算定にあたっては、NS方向とEW方向の最大応答加速度の包絡値を用いる。

(2) 床応答スペクトル

各標高・各減衰定数について、隣接建屋非考慮モデルによる床応答スペクトルに対する隣接建屋考慮モデルにおける床応答スペクトルの比をとったものを隣接応答倍率とする。なお、隣接応答倍率の算定にあたってはNS方向とEW方向の床応答スペクトルの包絡値を用いる。

各建屋の隣接考慮モデルによる床応答スペクトル、隣接建屋非考慮モデルによる床応答スペクトル、設計用床応答曲線Ⅰ、設計用床応答曲線Ⅱ（全標高、水平方向（NS、EW包絡）、減衰定数2.0%）の比較を添付資料1に示す。

2.3.2 簡易評価

隣接応答倍率と各検討対象の裕度の比較を行う。

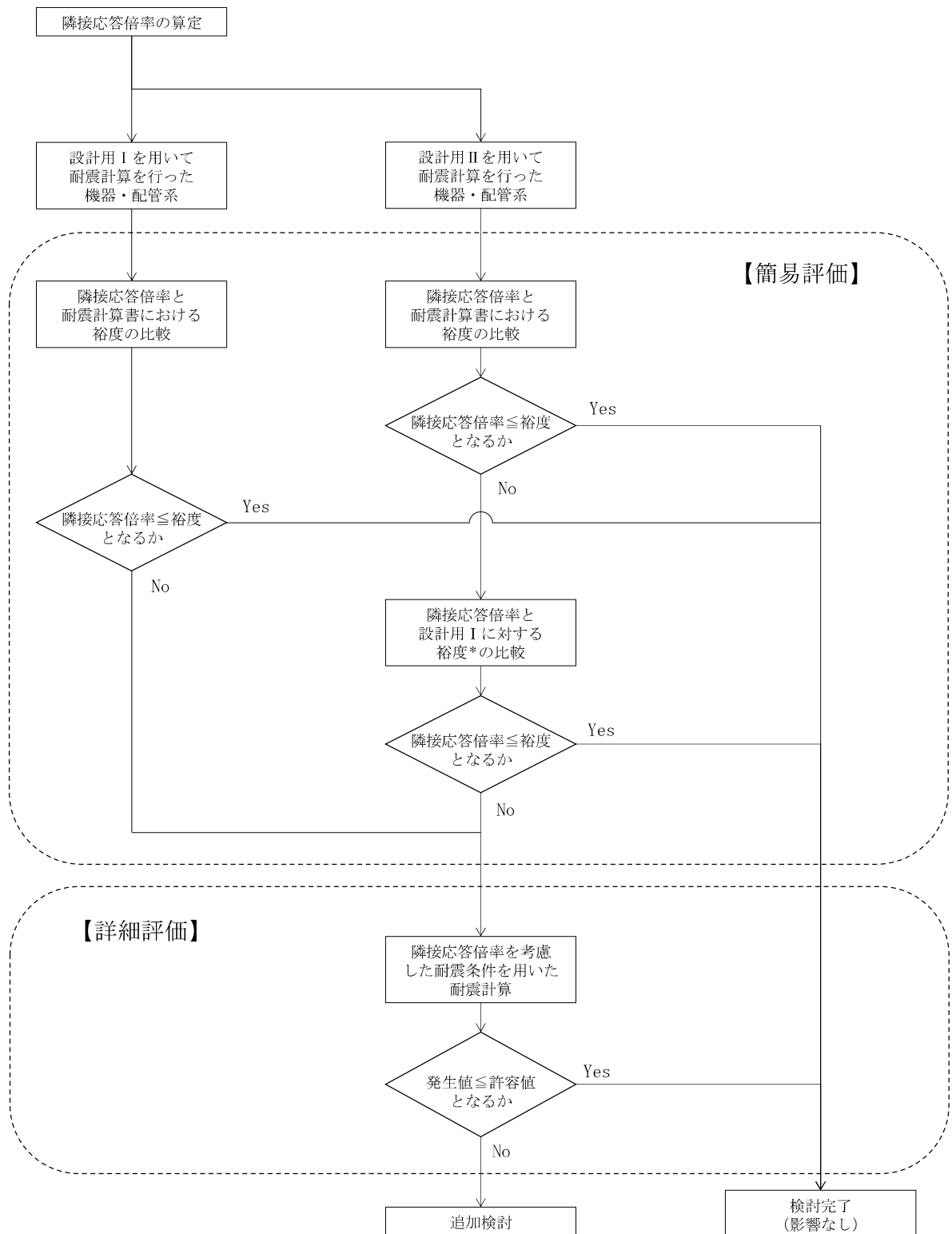
評価に用いる隣接応答倍率は、機器の耐震計算に使用する標高・減衰定数の隣接応答倍率のうち、機器の一次固有周期以下で最大となる値を用いる方法（方法A）または機器の各固有周期において最大となる値を用いる方法（方法B）により算定する。（図2-2）

評価に用いる裕度は耐震計算書における裕度とするが、「2.2.2」の考え方に従い、設計用Ⅱを用いて耐震計算を行った機器で、耐震計算書における裕度が隣接応答倍率より小さくなった場合は、設計用Ⅰに対する設計用Ⅱの比（床応答スペクトルについては機器の一次固有周期以下における比の最小値）を耐震計算書における裕度に乗じた値が隣接応答倍率以上となることを確認する。

2.3.3 詳細評価

水平方向の設計用Ⅰに隣接応答倍率を乗じて算出される最大応答加速度又は床応答スペクトルを用いた耐震計算の結果が許容値を満たすことを確認する。

評価に用いる床応答スペクトルは、設計用床応答曲線に対して、簡易評価に用いた隣接応答倍率を一律に乗じる方法（方法a）または固有周期に応じた個々の隣接応答倍率を乗じる方法（方法b）により算出する。（図2-3）

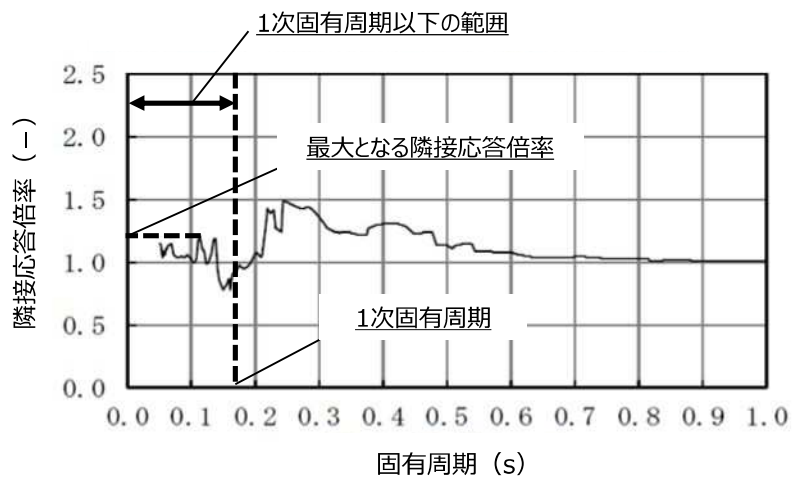


注記*： 「設計用 I に対する裕度」は、設計用 I に対する設計用 II の比（床応答スペクトルについては機器の一次固有周期以下における比の最小値）を「耐震計算書における裕度」に乘じるにより算出

図2-1 影響検討フロー

(a) 方法A

隣接応答倍率のうち、機器の一次固有周期以下で最大となる値を用いる方法



(b) 方法B

隣接応答倍率のうち、機器の各固有周期において最大となる値を用いる方法

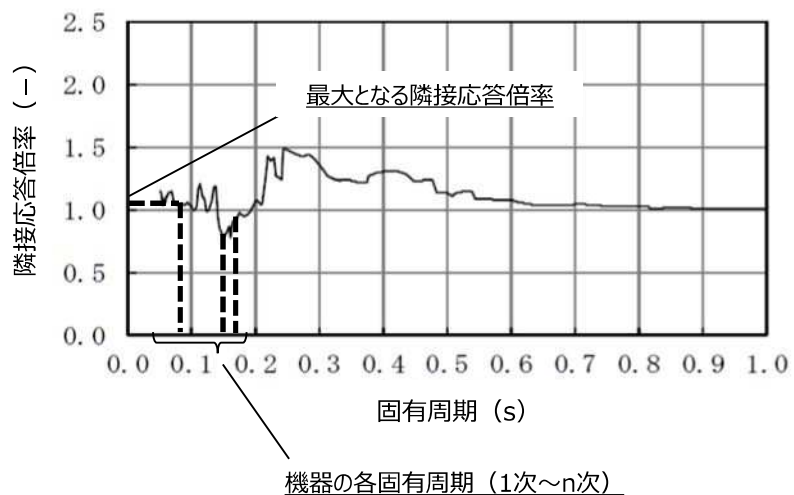
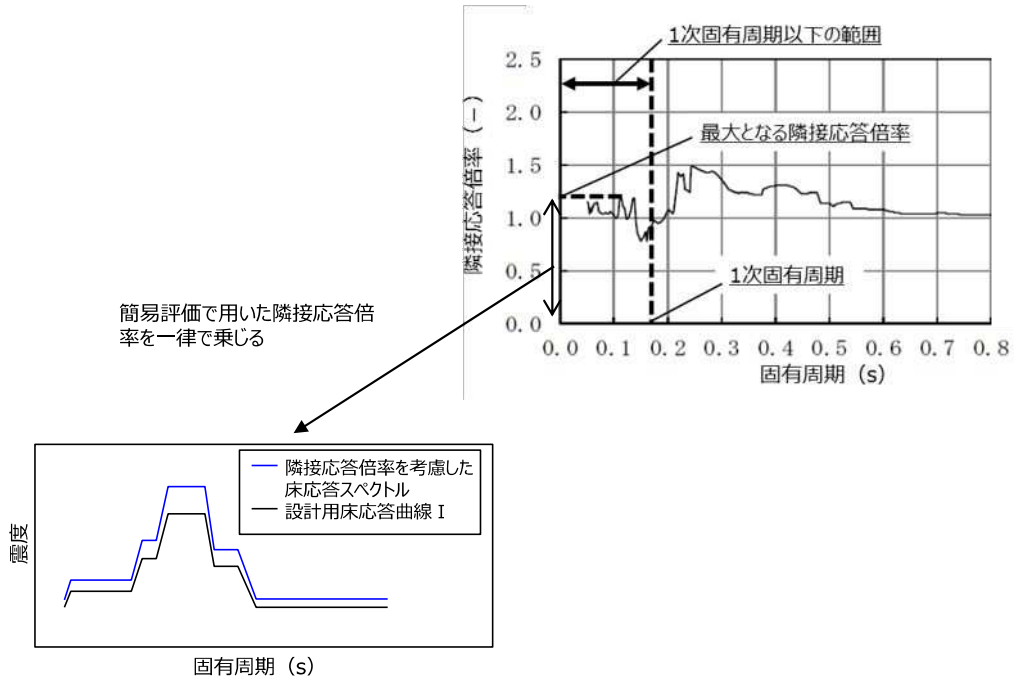


図2-2 簡易評価に用いる隣接応答倍率の算定方法 (床応答スペクトル)

(a) 方法a

簡易評価に用いた隣接応答倍率を一律に乗じる方法



(b) 方法b

固有周期に応じた個々の隣接応答倍率を乗じる方法

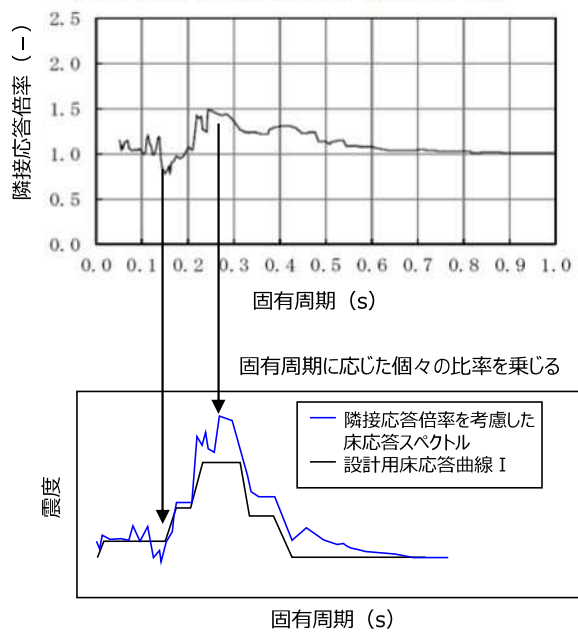


図2-3 詳細評価に用いる床応答スペクトル（水平方向）の算出方法

2.3.4 時刻歴応答解析を行っている機器・配管系に対する検討

機器・配管系のうち、時刻歴応答解析を行っているものとして、原子炉建屋クレーンがある。原子炉建屋クレーンの構造図を図2-4に示す。

原子炉建屋クレーンは、地震力に対してクレーン本体が水平方向に車輪部でのすべり挙動を示すため、時刻歴応答解析で求める計算値（クレーン本体応力、浮上り量、吊具荷重）は、鉛直入力による応答が支配的である。一方、本影響検討においては、隣接建屋による水平方向の応答増幅の影響を確認する観点から、水平方向の応答増幅の影響が考えられる部位として「脱線防止ラグ」を代表部位としているが、脱線防止ラグは最大応答加速度を用いた耐震計算を行っているため、簡易評価として最大応答加速度による隣接応答倍率を用いた簡易評価を行い、裕度が隣接応答倍率以上となることを確認している。

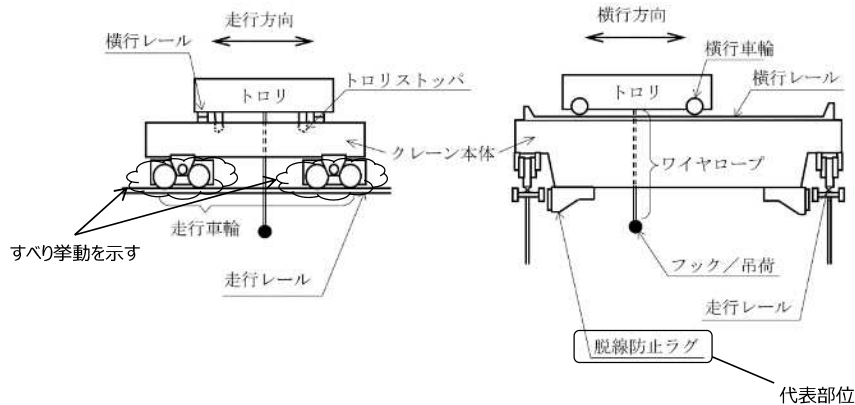


図2-4 原子炉建屋クレーンの構造図

2.3.5 連成系モデルで評価する機器・配管系に対する検討

原子炉建屋との連成系モデルで評価する機器については、原子炉建屋との接続点（ダイヤフラムフロア及び原子炉建屋基礎版）（図2-5参照）における隣接応答倍率を用いて、その他の対象設備と同じ影響検討により耐震性に影響が無いことを確認する。

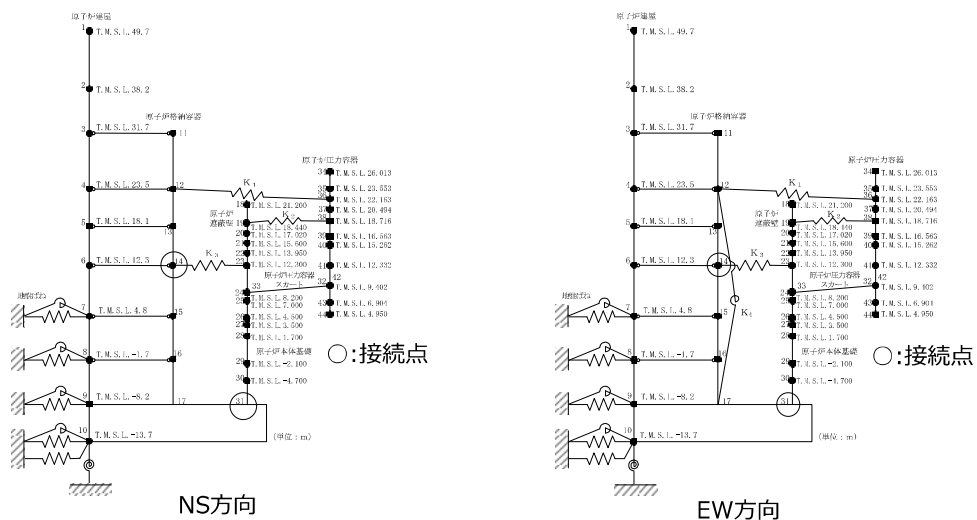


図2-5 原子炉建屋と連成系モデルの接続点

3. 検討結果

簡易評価の結果、隣接応答倍率が裕度を上回り詳細評価が必要となった機器について、評価結果を表3-1に示す。また、簡易評価に用いた隣接応答倍率の算定方法及び詳細評価に用いた床応答スペクトルの算出方法について、添付資料2に示す。

結果において、隣接応答倍率に対して簡易評価から詳細評価への裕度の減少が比較的小さい傾向が確認されるが、これは以下の要因によって生じているものである。

- ・簡易評価では耐震計算書における裕度を用いていることにより、設計用Ⅱを用いているものがあるが、詳細評価では全て設計用Ⅰに対して隣接応答倍率を考慮したもので耐震計算を行っていること。
- ・隣接応答倍率の考慮方法として、簡易評価では最大（一次固有周期以下最大または各固有周期最大）の隣接応答倍率を用いるが、詳細評価では「固有周期に応じた個々の隣接応答倍率を乗じる方法（方法b）」により床応答スペクトルを算出していること。
- ・詳細評価においては、隣接応答倍率を水平方向のみに考慮し、鉛直方向には考慮していないこと。
- ・詳細評価においては、隣接建屋の影響を地震以外の荷重には考慮していないこと。

表 3-1 評価結果 (1 / 2)

No.	機器名称	建屋	標高 T. M. S. L. (m)	減衰 定数	一次 固有 周期 (s)	使用 耐震 条件	簡易評価				詳細評価				
							評価 部位	応力 分類	裕度	隣接応答 倍率 [算定方法]	評価条件 算出方法	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度	結果
1	配管 (CUW-PD-1)	K7R/B	23.5	2.0%	0.130	II (FRS)	配管	一次 +二次	0.87* ¹ (0.0359)	1.19 [方法 A]	方法 a	360	366	1.01	○
2	配管 (HPCF-R-3)	K7R/B	-1.7	2.0%	0.173	I (FRS)	配管	一次 +二次	0.99* ¹ (0.0003)	1.19 [方法 A]	方法 a	385* ¹ (0.0004)	376	0.97	○
3	配管 (HPCF-W-1)	Rw/B	-1.1	2.0%	0.147	II (FRS)	配管	一次 +二次	1.06	1.42 [方法 A]	方法 a	338	356	1.05	○
4	配管 (MUWC-W-1)	Rw/B	-1.1	2.0%	0.172	II (FRS)	配管	一次 +二次	1.06	1.56 [方法 A]	方法 a	342	354	1.03	○
5	配管 (RCW-T-4)	K7T/B	-1.1	2.0%	0.147	I (FRS)	配管	一次 +二次	0.56* ¹ (0.2071)	1.09 [方法 A]	方法 a	827* ¹ (0.2546)	450	0.54	○
6	配管 (HPCF-R-024)	K7R/B	4.8	3.0%	0.076	II (FRS)	配管	一次 +二次	1.13	1.16 [方法 A]	方法 a	389	434	1.11	○
7	配管 (RCW-T-1)	K7T/B	-1.1	2.0%	0.139	I (FRS)	配管	一次 +二次	0.98* ¹ (0.0189)	1.09 [方法 A]	方法 a	486* ¹ (0.0202)	466	0.95	○
8	配管 (RCW-T-3)	K7T/B	-1.1	2.0%	0.098	I (FRS)	配管	一次 +二次	0.61* ¹ (0.1617)	1.09 [方法 A]	方法 a	762* ¹ (0.1628)	466	0.61	○
9	配管 (RCW-T-5)	K7T/B	-1.1	2.0%	0.161	I (FRS)	配管	一次 +二次	1.03	1.09 [方法 A]	方法 a	454	466	1.02	○
10	配管 (SGTS-R-3)	K7R/B	23.5 ~49.7	2.0%	0.160	I (FRS)	配管	一次 +二次	1.19	1.28 [方法 A]	方法 b	378	422	1.12	○
11	配管 (HCVS-R-1)	K7R/B	12.3 ~31.7	2.0%	0.165	I (FRS)	配管	一次 +二次	1.22	1.62 [方法 A]	方法 b	248	300	1.21	○
12	配管 (FCVS-R-5)	K7R/B	18.1 ~31.7	2.0%	0.164	I (FRS)	配管	一次 +二次	1.40	1.59 [方法 A]	方法 b	320	342	1.07	○

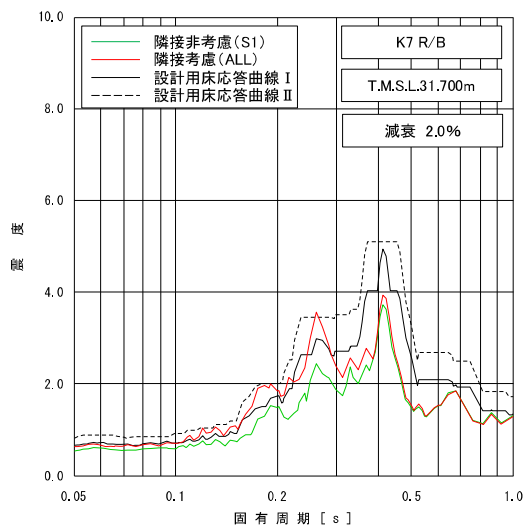
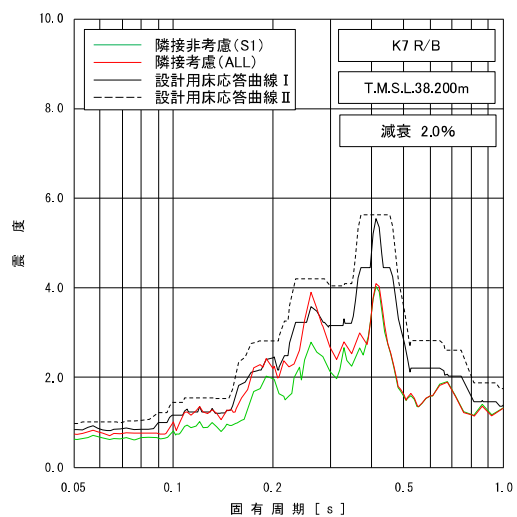
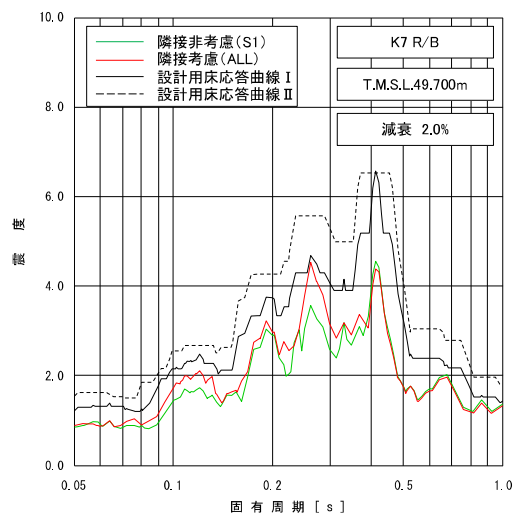
注記*1: 一次+二次応力の計算結果が許容応力を上回るが、疲労評価を実施し疲労累積係数が許容値 1 を満足することで、耐震性を有することを確認している。() 内に疲労累積係数を示す。

表 3-1 評価結果 (2 / 2)

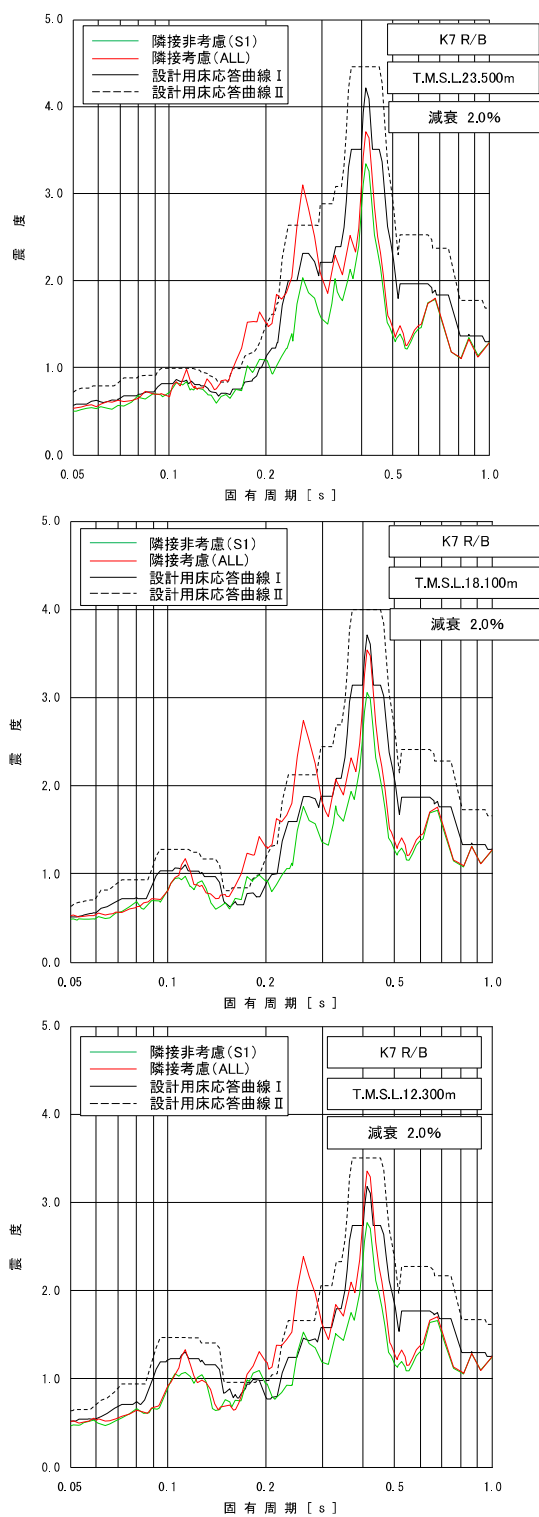
No.	機器名称	建屋	標高 T. M. S. L. (m)	減衰 定数	一次 固有 周期 (s)	使用 耐震 条件	簡易評価				詳細評価				
							評価 部位	応力 分類	裕度	隣接応答 倍率 [読取方法]	評価条件 算出方法	発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度	結果
13	使用済燃料 貯蔵プール 水位・温度 (SA)	K7R/B	31.7	1.0%	0.160	I (FRS)	架構	組合せ	1.38	1.58 [方法 A]	方法 a	160	205	1.28	○
14	使用済燃料 貯蔵プール 水位・温度 (SA 広域)	K7R/B	18.1 ~31.7	1.0%	0.151	I (FRS)	支持 架台 (部材)	組合せ	1.02	1.56 [方法 A]	方法 a	203	205	1.00	○
15	下部ドライウェ ルアクセススト ネルスリーブ及 び鏡板 (所員用 エアロック付)	K7R/B	-1.7	1.0%	0.089	I (FRS)	P3	一次 +二次	0.86* ¹ (0.266)	1.16 [方法 A]	方法 a	528* ¹ (0.509)	393	0.74	○
							P2	一次 +二次	0.88* ¹ (0.237)	1.16 [方法 A]	方法 a	518* ¹ (0.462)	393	0.75	○
16	下部ドライウェ ル所員用 エアロック	K7R/B	-1.7	1.0%	0.089	I (FRS)	P12	一次 +二次	0.80* ¹ (0.369)	1.16 [方法 A]	方法 a	570* ¹ (0.712)	393	0.68	○
17	原子炉補機 冷却系 熱交換器	K7T/B	4.9	—	—	I (ZPA)	胴板	一次 +二次	0.78* ¹ (0.827)	1.04 [-]	—	683* ¹ (0.667* ²)	497	0.72	○

注記*1: 一次+二次応力の計算結果が許容応力を上回るが、疲労評価を実施し疲労累積係数が許容値 1 を満足することで、耐震性を有することを確認している。() 内に疲労累積係数を示す。

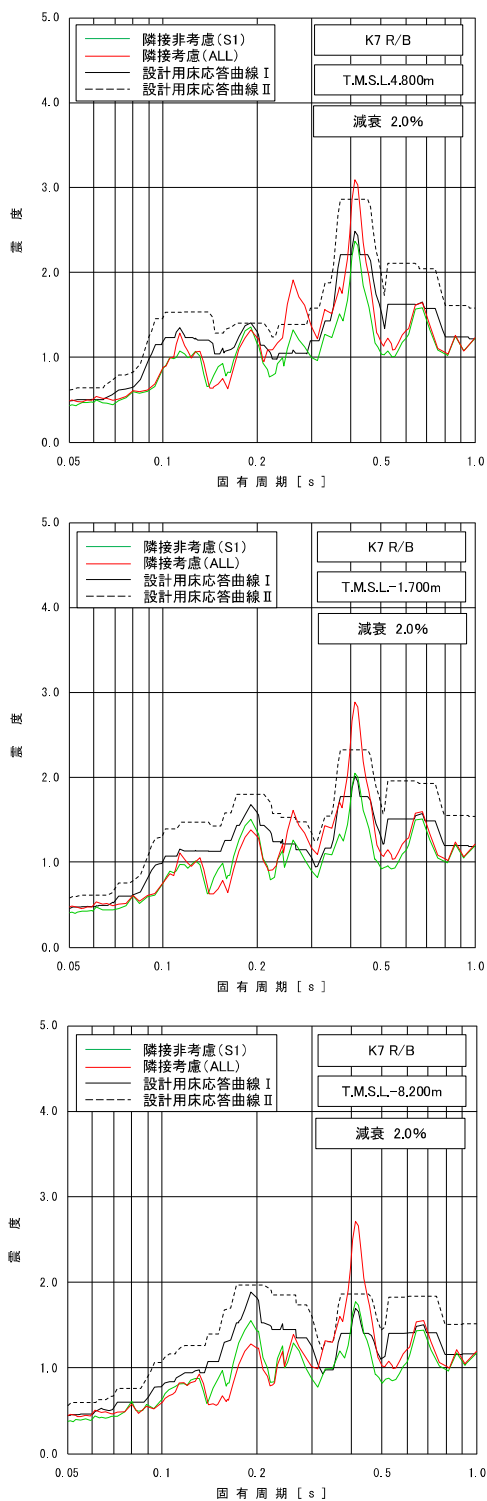
*2: 個別に設定する等価繰返し回数 (120 回) を用いて算出した値。なお、耐震計算書では一律に設定する等価繰返し回数 (200 回) を用いている。



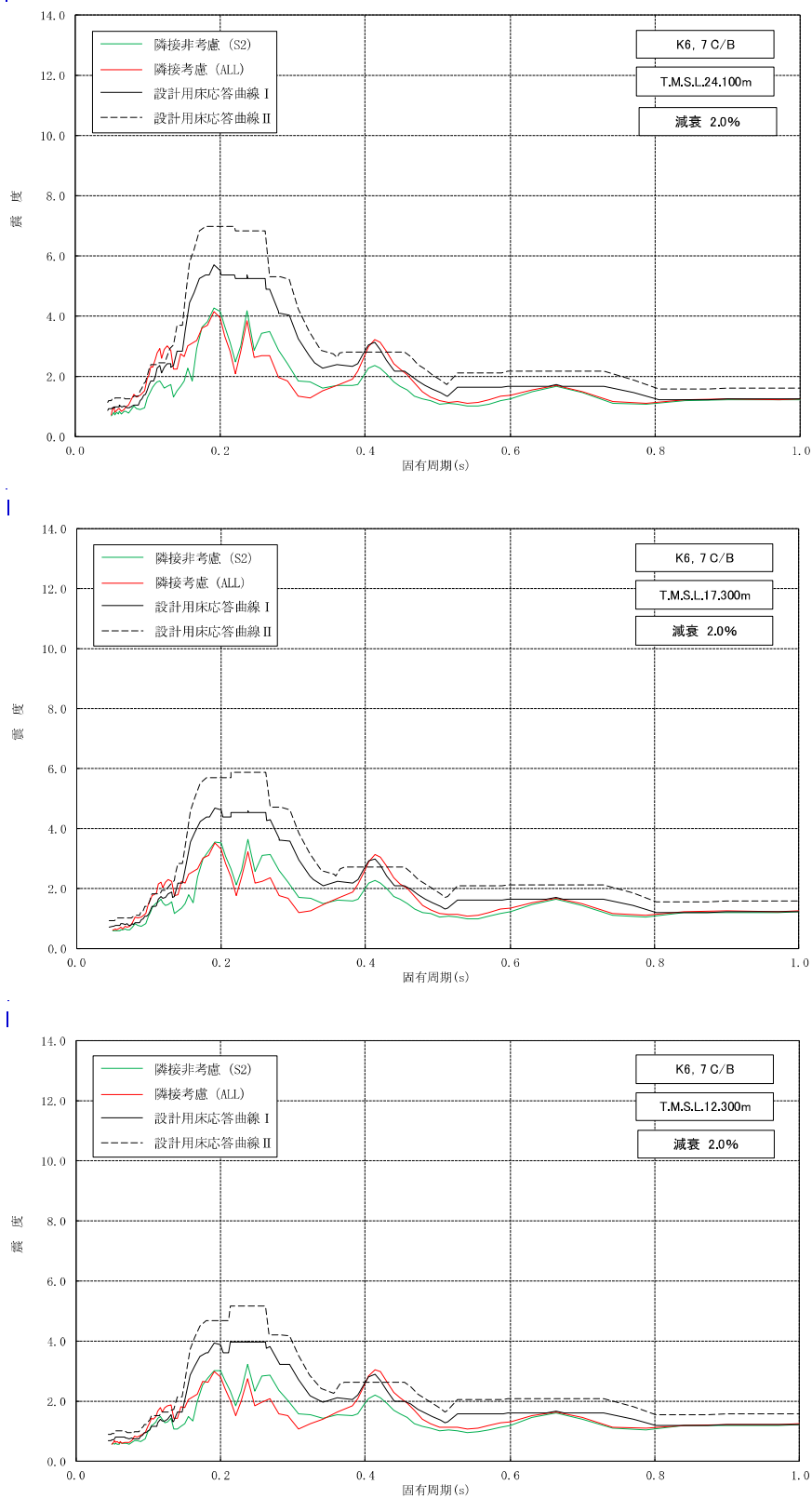
図添 1-1 床応答スペクトルの比較 (7号機原子炉建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (1/3)
別紙 4-10



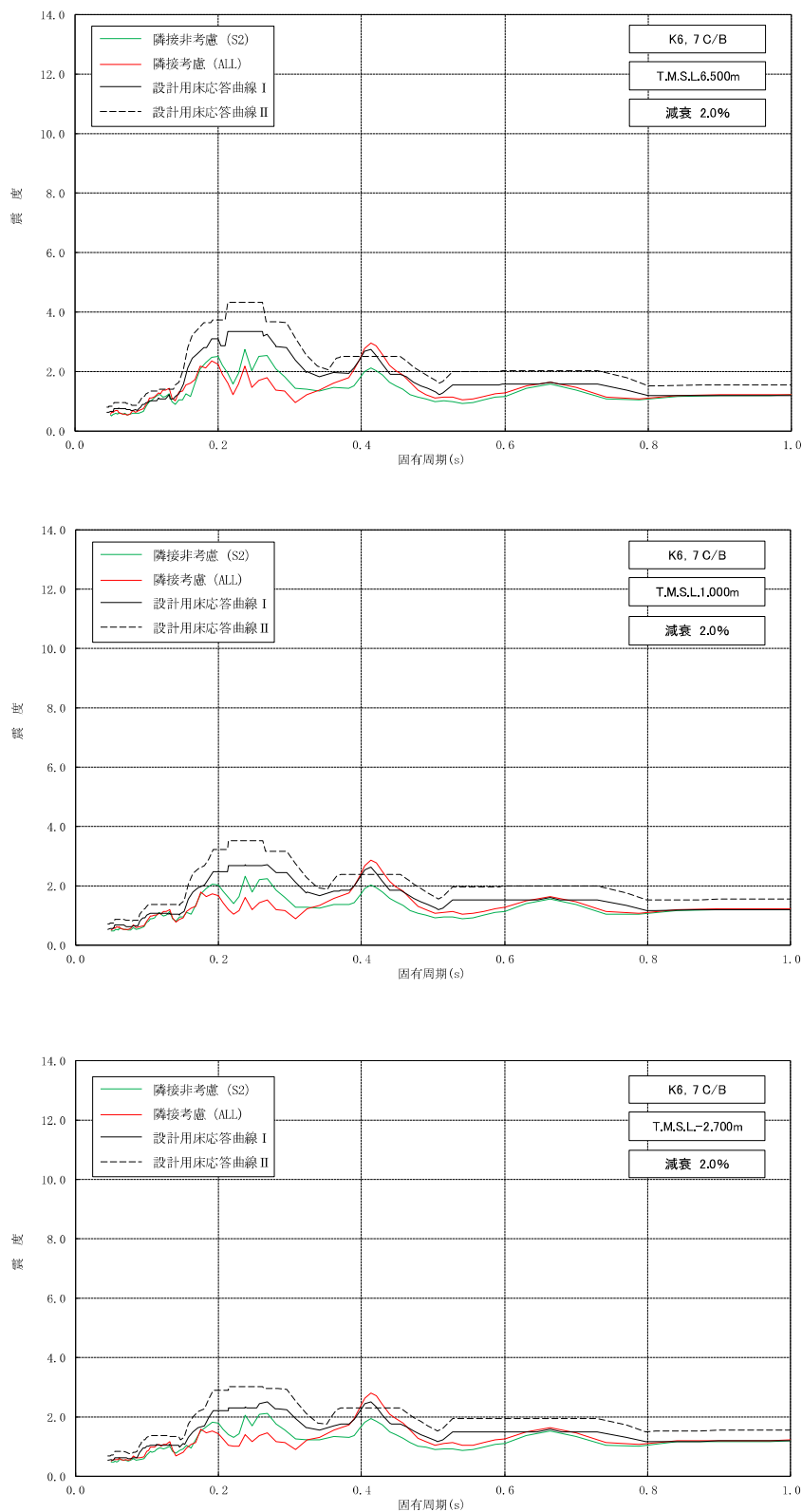
図添 1-1 床応答スペクトルの比較 (7号機原子炉建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (2/3)



図添 1-1 床応答スペクトルの比較 (7号機原子炉建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (3/3)

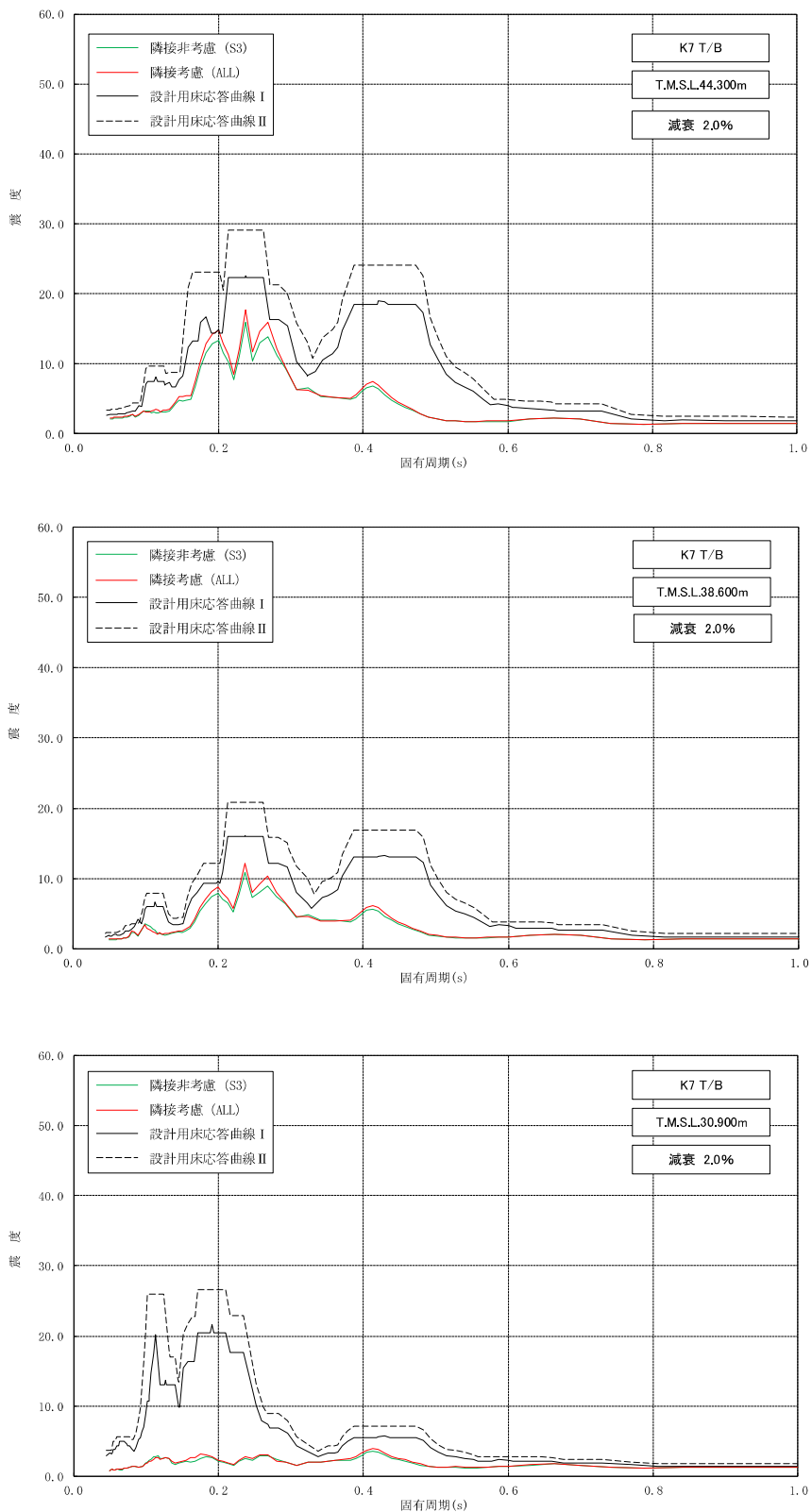


図添 1-2 床応答スペクトルの比較 (コントロール建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (1/2)
別紙 4-13

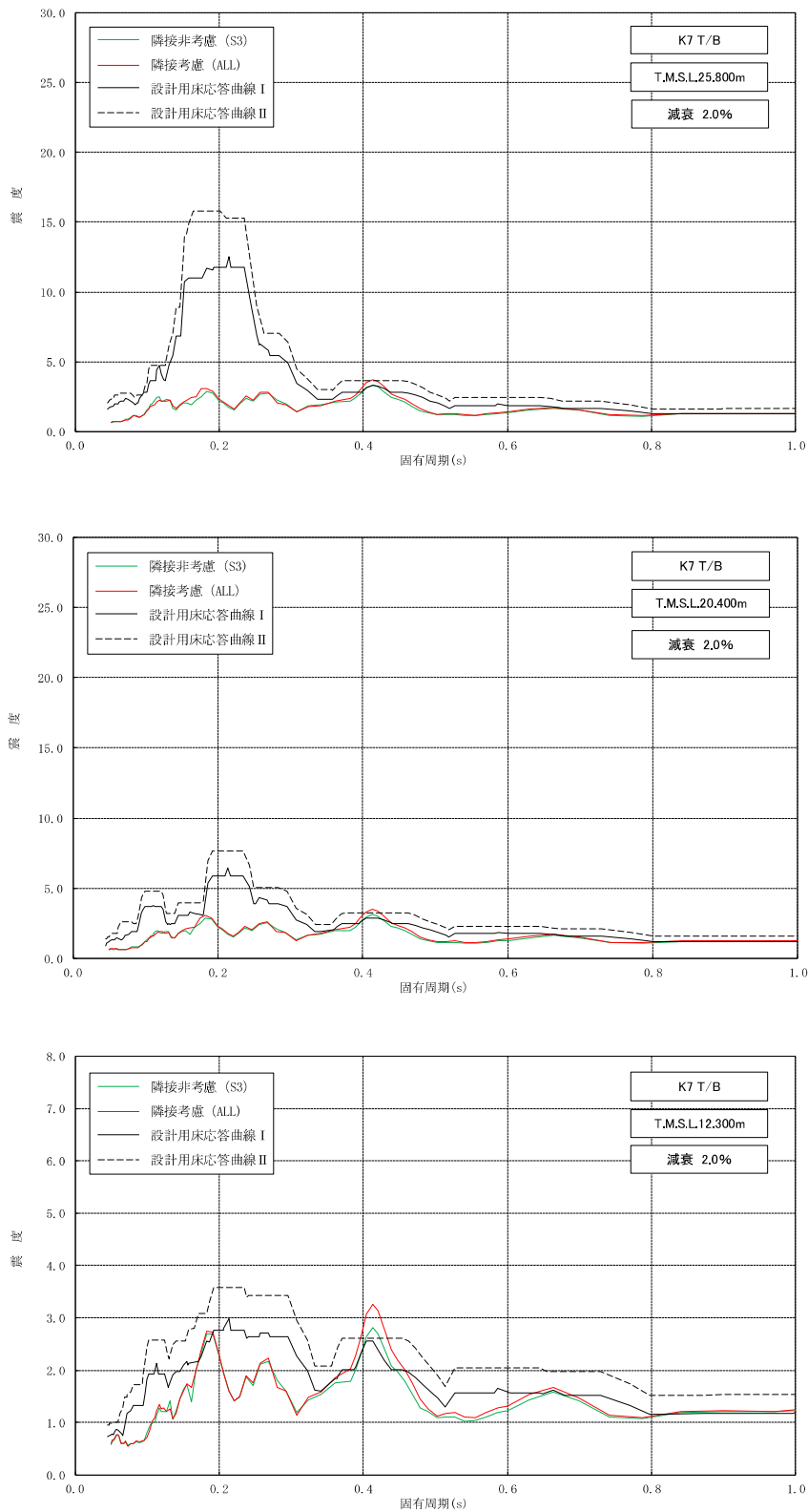


図添 1-2 床応答スペクトルの比較 (コントロール建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (2/2)

別紙 4-14

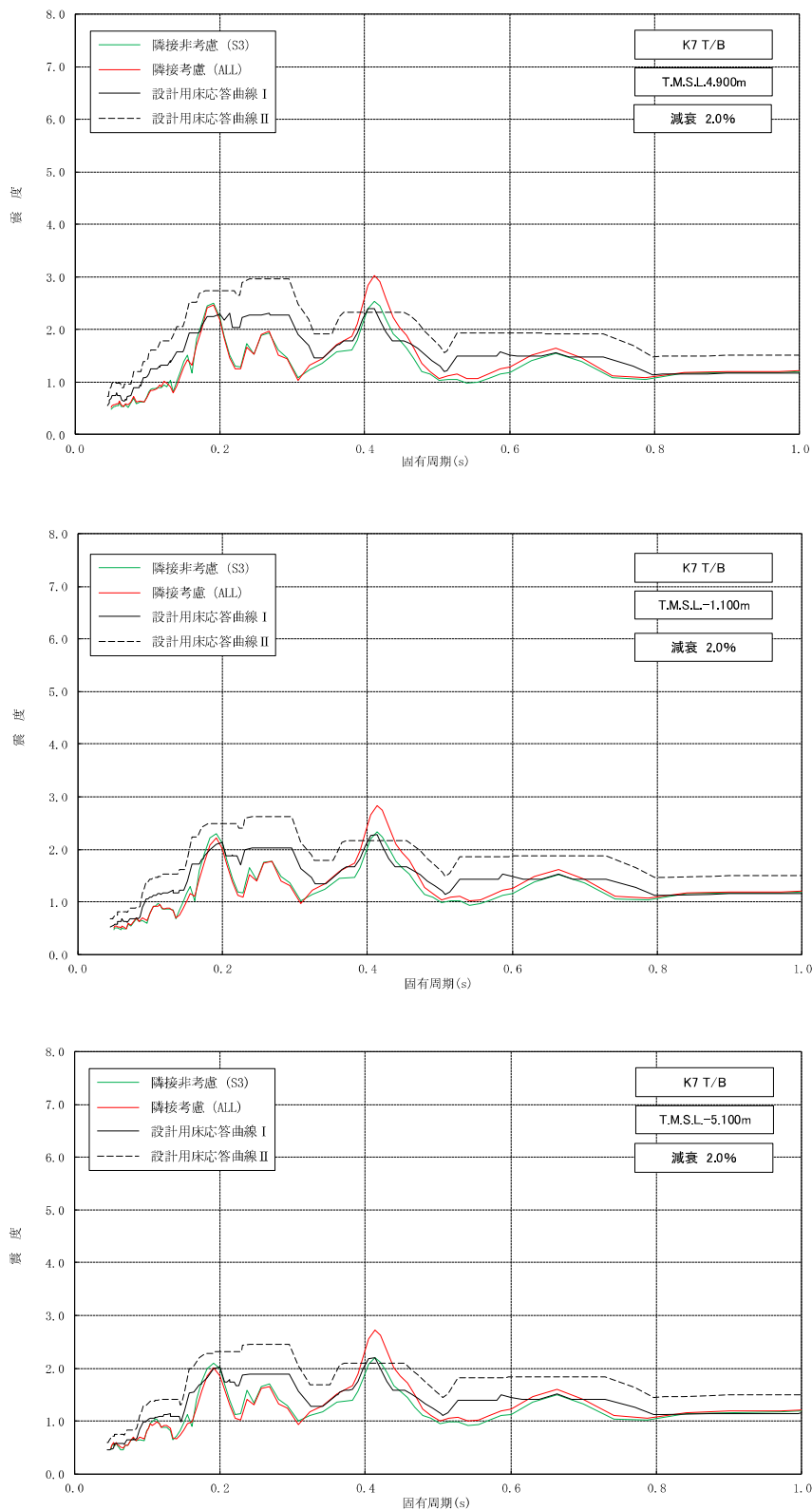


図添 1-3 床応答スペクトルの比較 (7号機タービン建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (1/3)
別紙 4-15

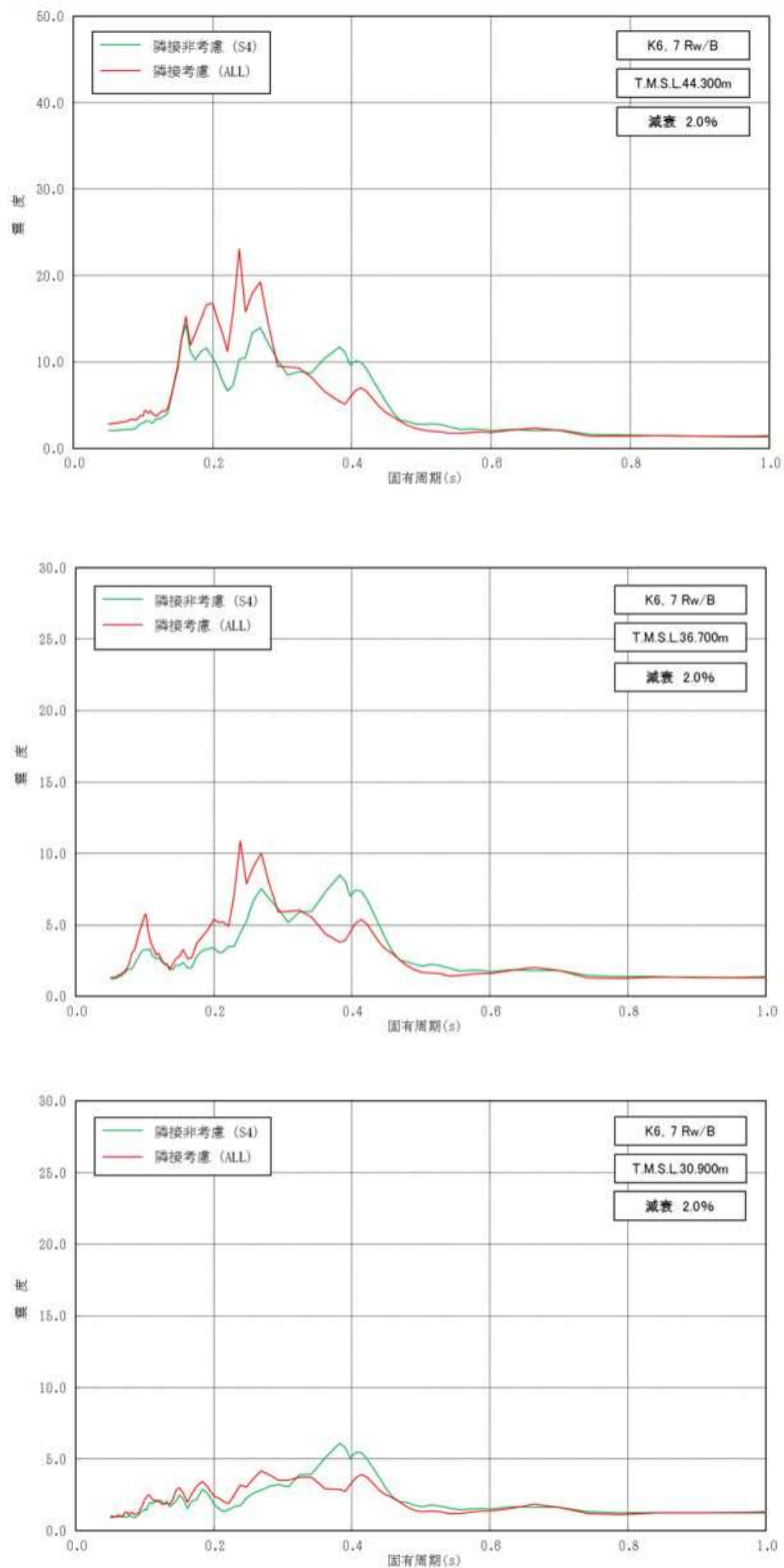


図添 1-3 床応答スペクトルの比較 (7号機タービン建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (2/3)

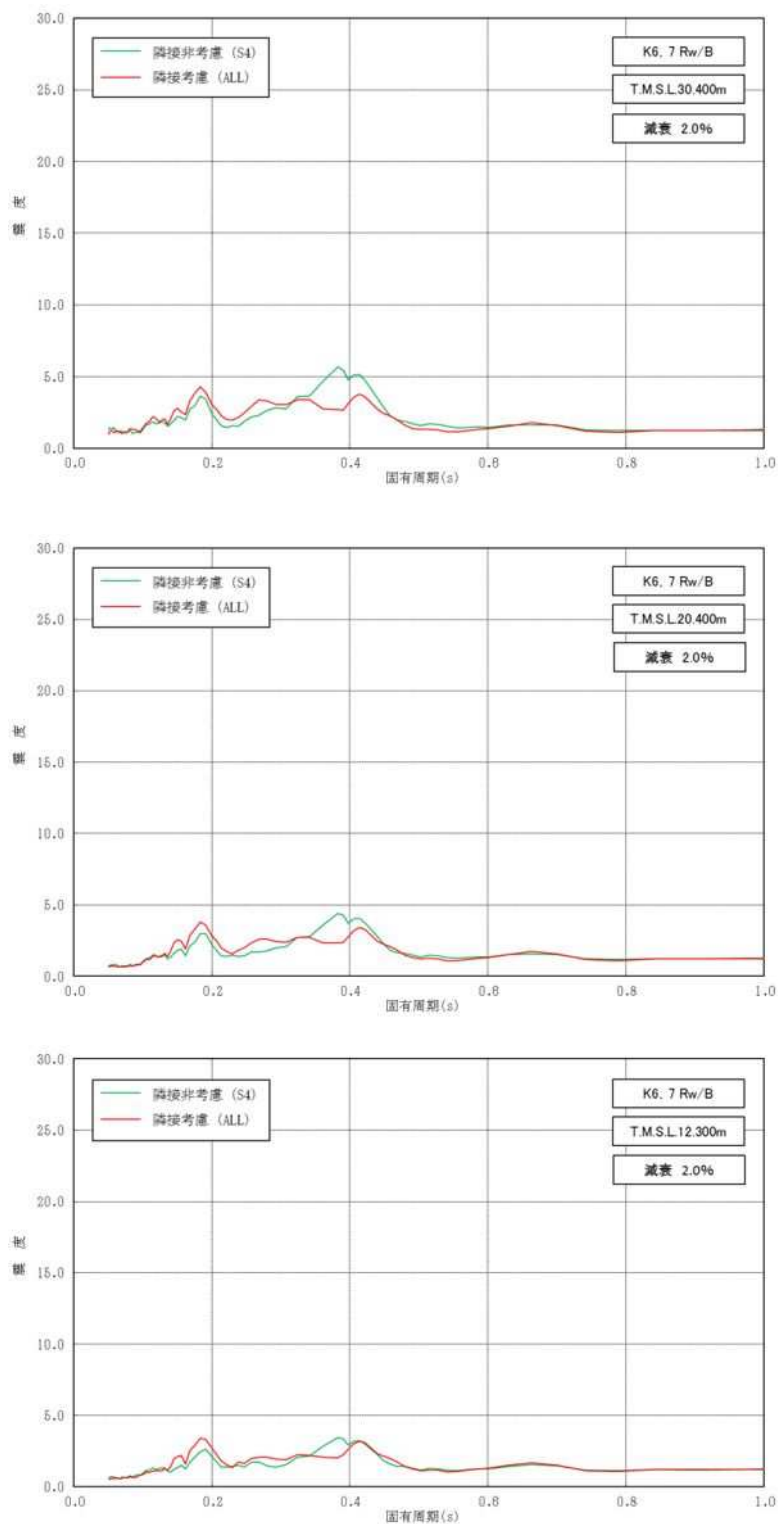
別紙 4-16



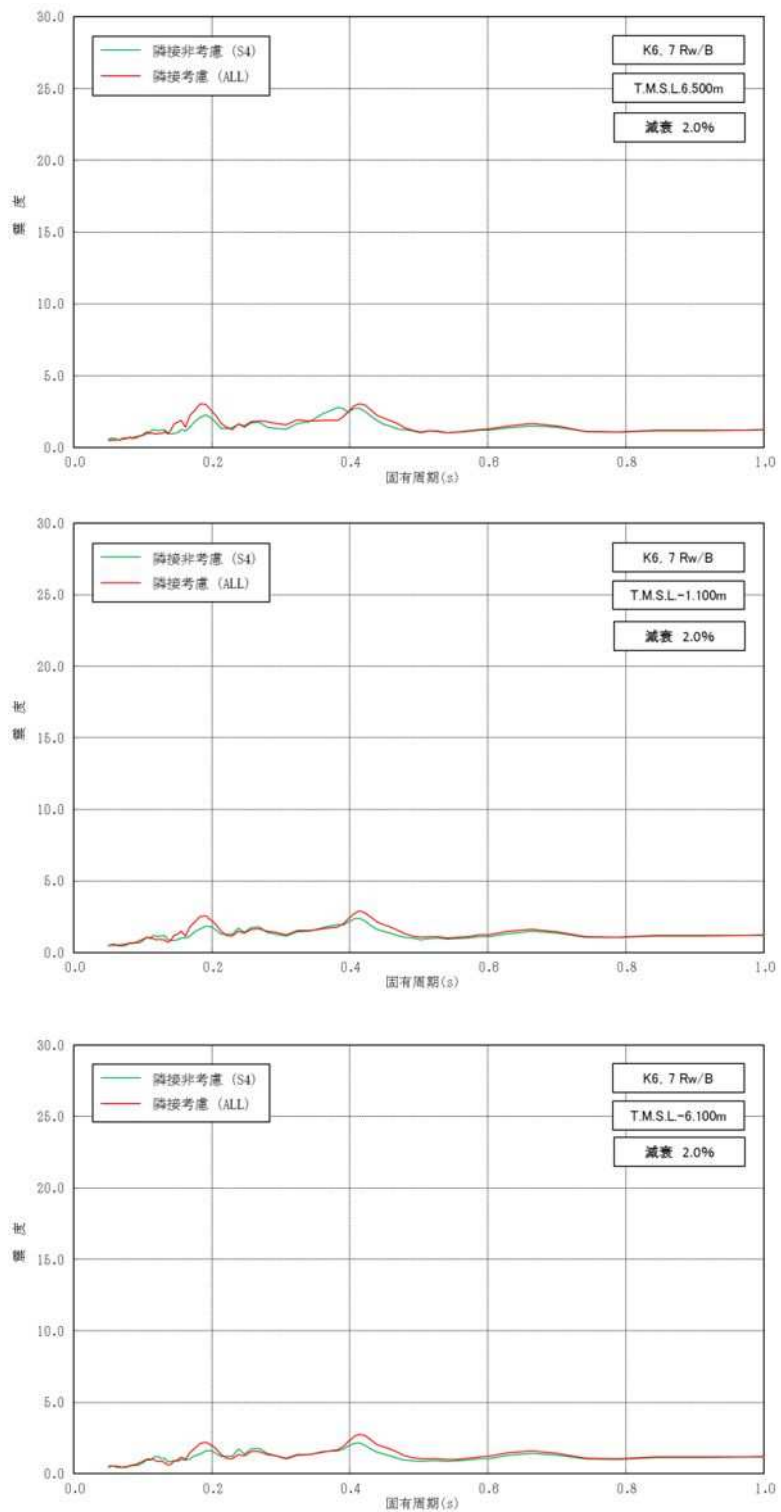
図添 1-3 床応答スペクトルの比較 (7号機タービン建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (3/3)
別紙 4-17



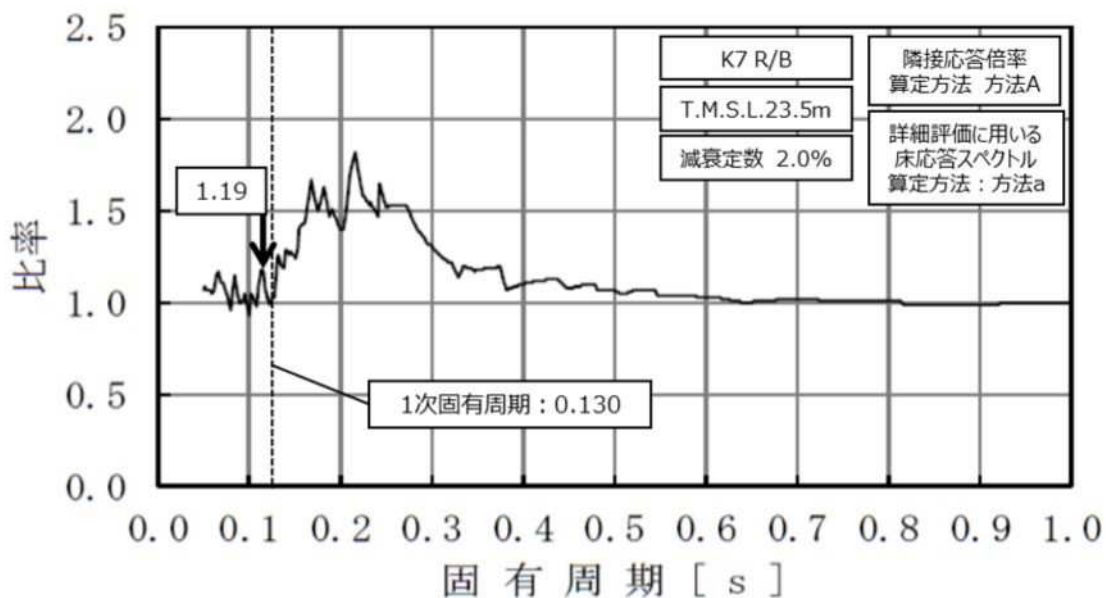
図添 1-4 床応答スペクトルの比較 (廃棄物処理建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (1/3)



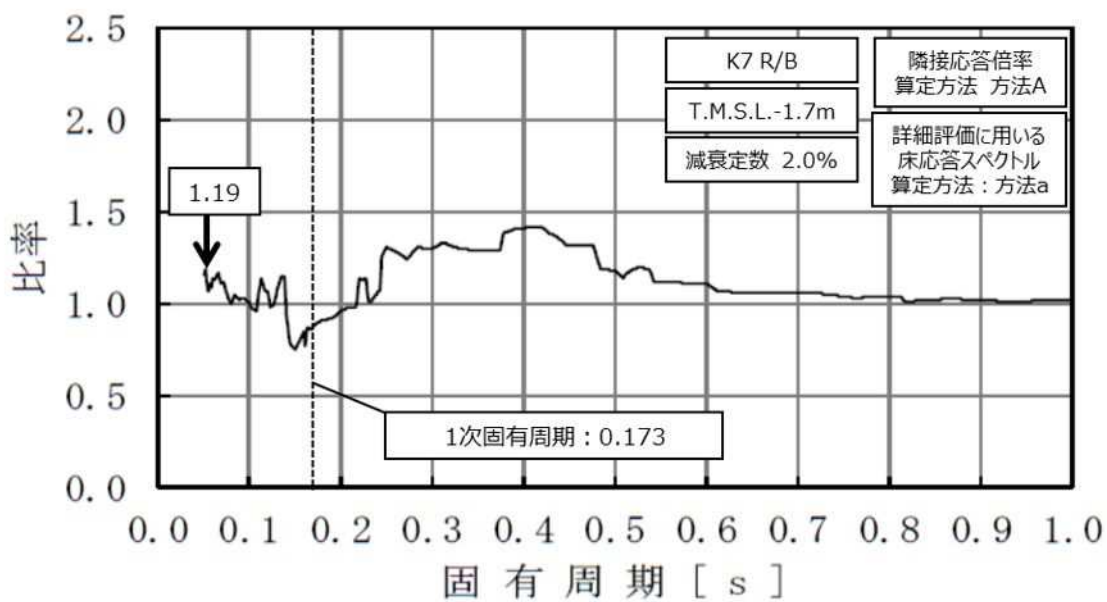
図添 1-4 床応答スペクトルの比較 (廃棄物処理建屋, 水平方向, 減衰 2.0%) (2/3)



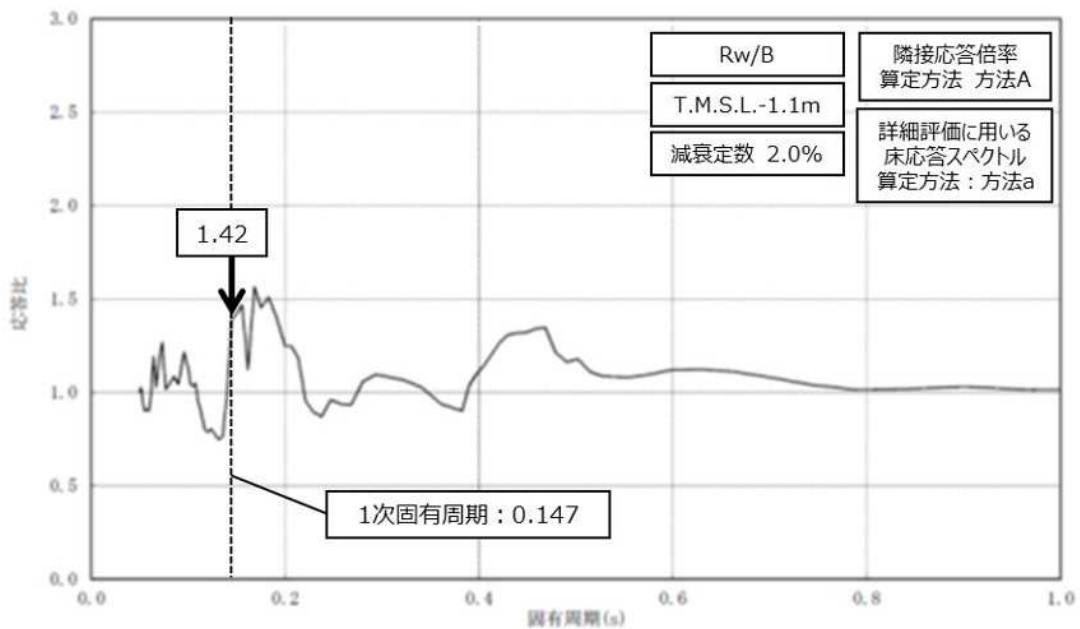
図添1-4 床応答スペクトルの比較（廃棄物処理建屋，水平方向，減衰2.0%）（3/3）



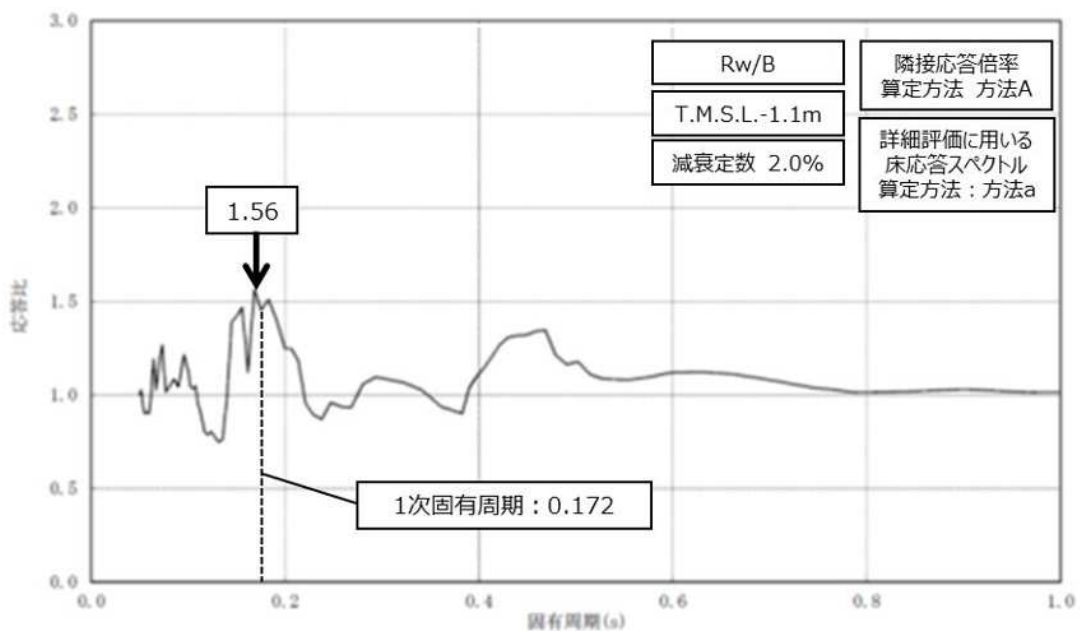
図添2-1 隣接応答倍率の算定 (CUV-PD-1)



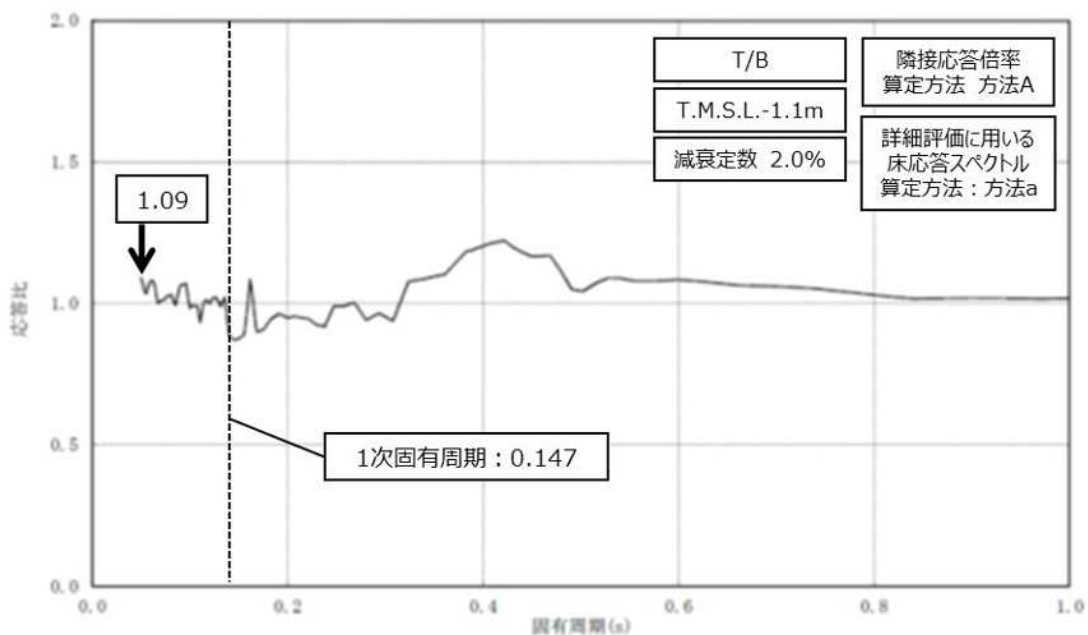
図添2-2 隣接応答倍率の算定 (HPCF-R-3)



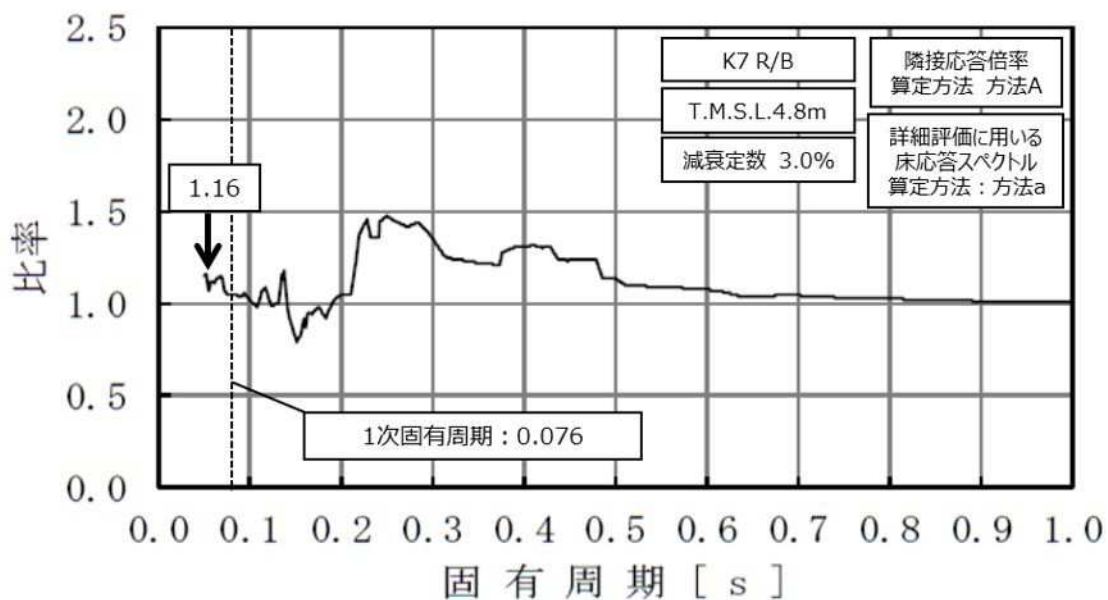
図添2-3 隣接応答倍率の算定 (HPCF-W-1)



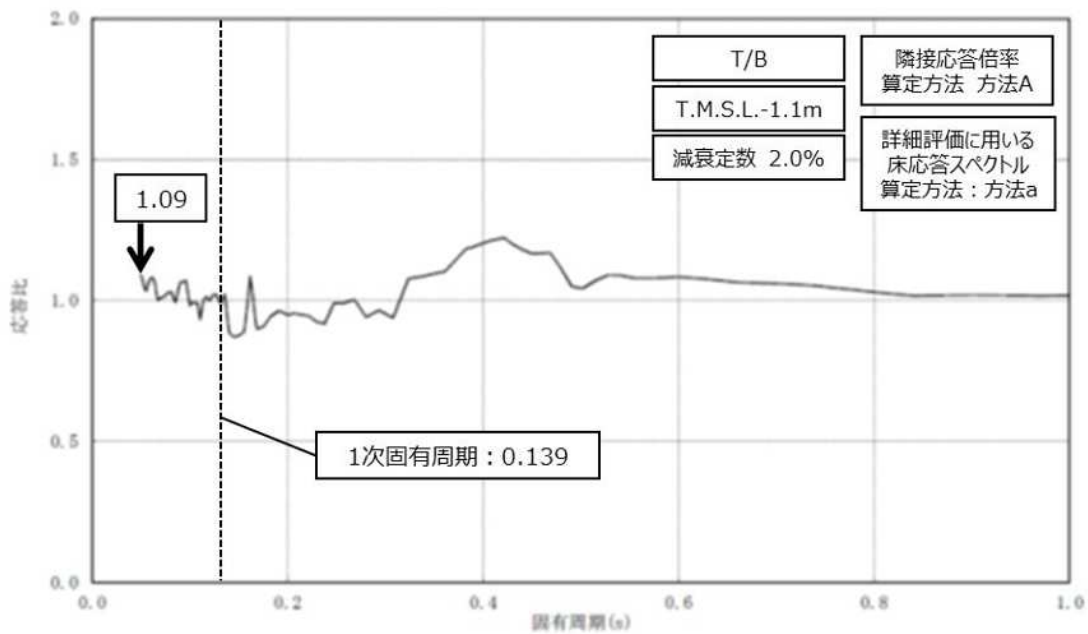
図添2-4 隣接応答倍率の算定 (MUWC-W-1)



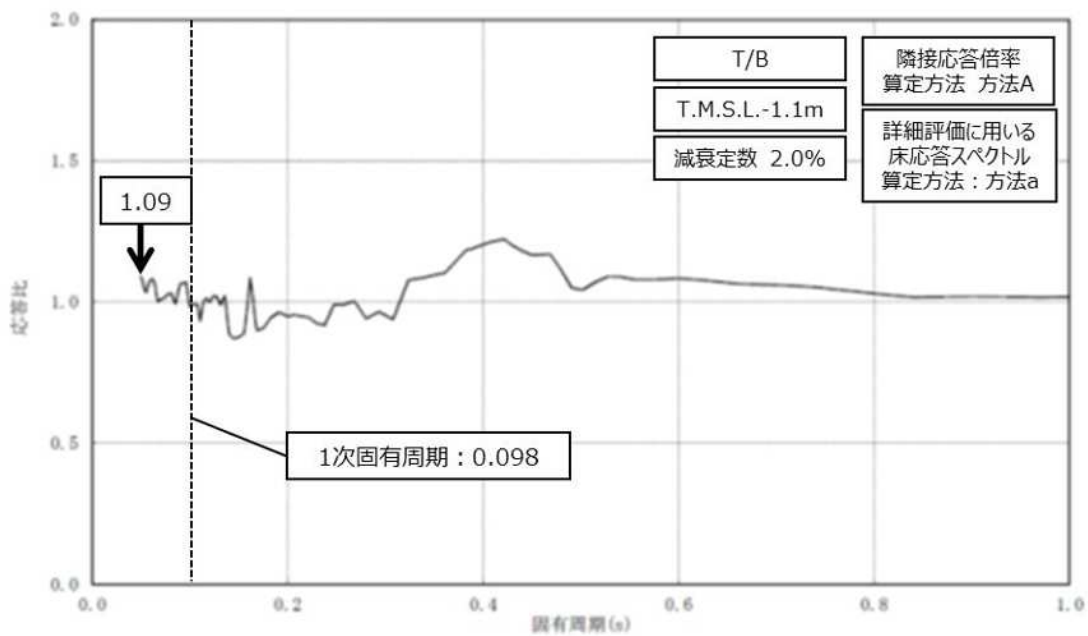
図添2-5 隣接応答倍率の算定 (RCW-T-4)



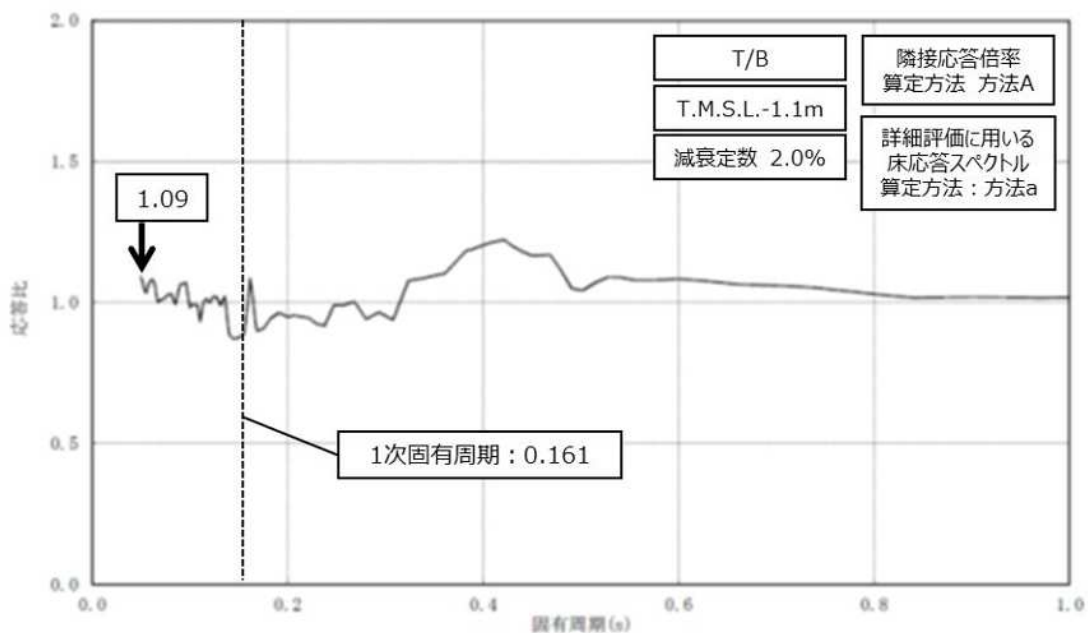
図添2-6 隣接応答倍率の算定 (HPCF-R-024)



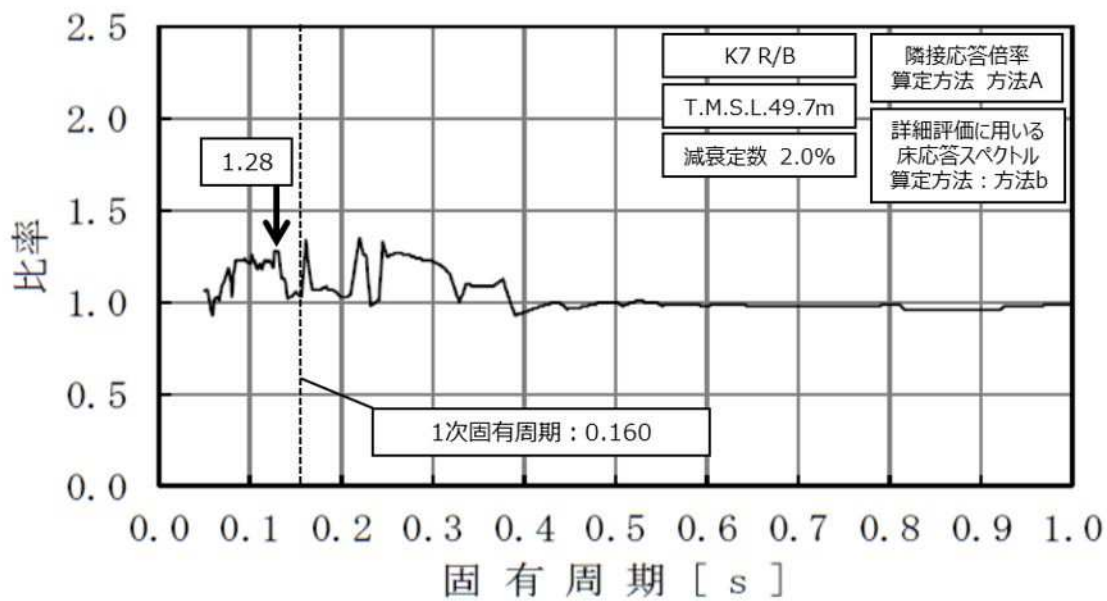
図添2-7 隣接応答倍率の算定 (RCW-T-1)



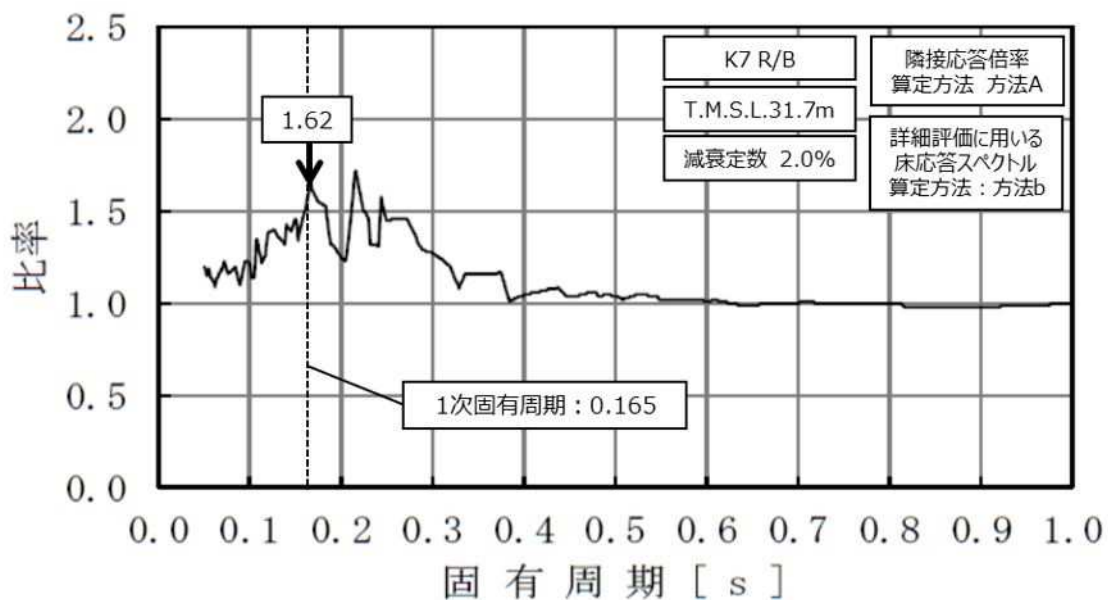
図添2-8 隣接応答倍率の算定 (RCW-T-3)



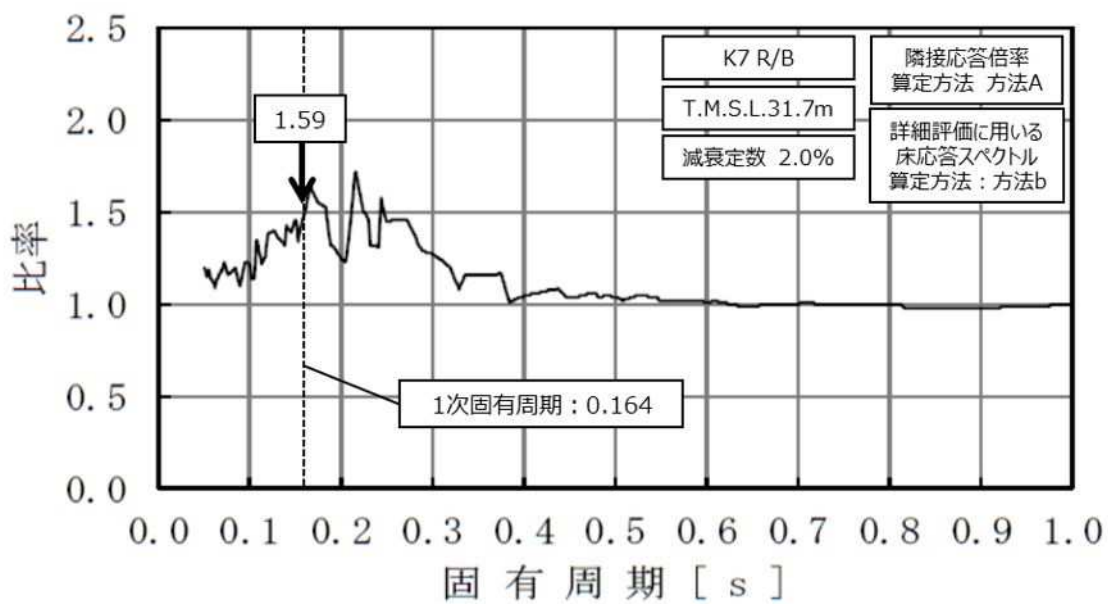
図添2-9 隣接応答倍率の算定 (RCW-T-5)



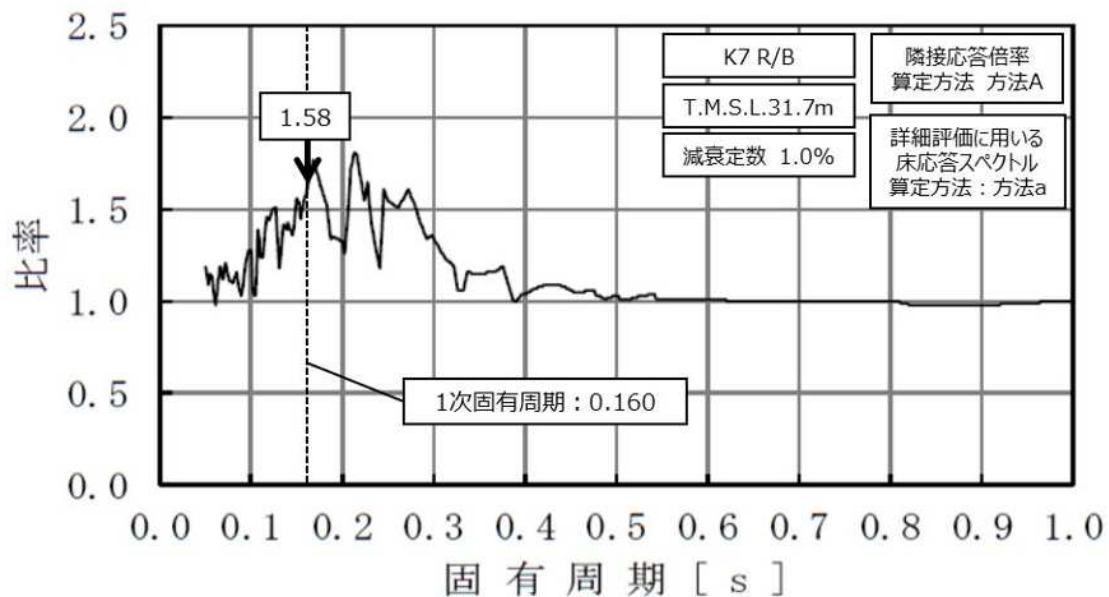
図添2-10 隣接応答倍率の算定 (SGTS-R-3)



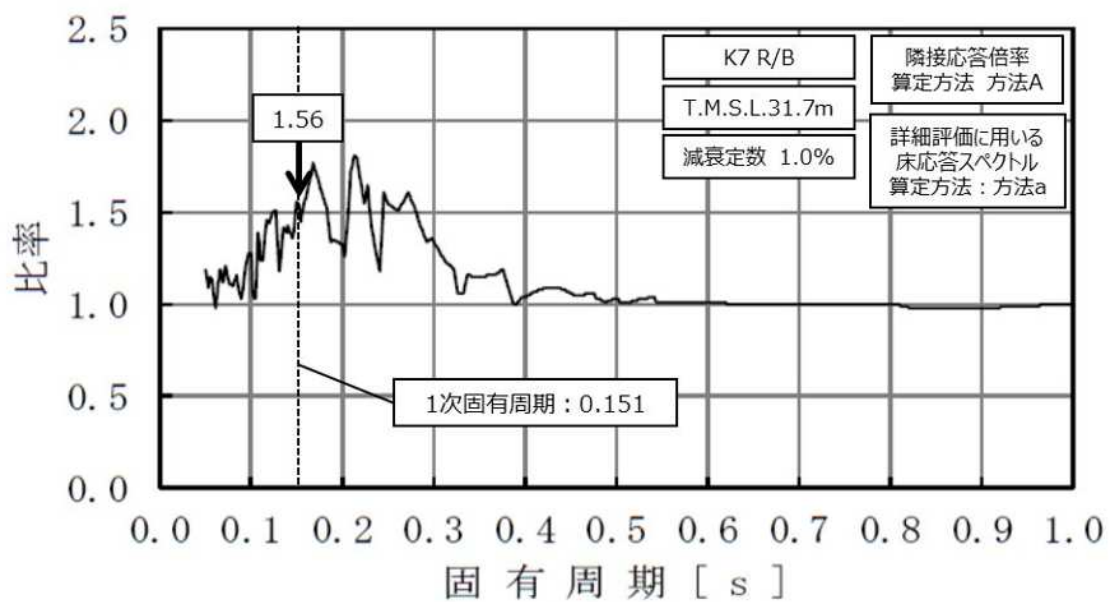
図添2-11 隣接応答倍率の算定 (HCVS-R-1)



図添2-12 隣接応答倍率の算定 (FCVS-R-5)

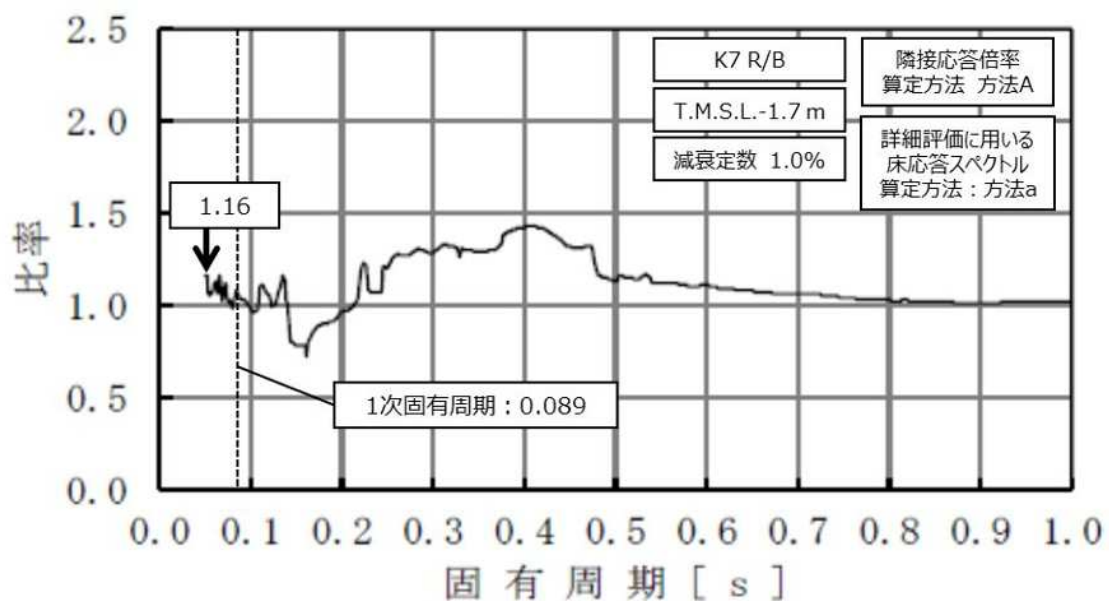


図添2-13 隣接応答倍率の算定 (使用済燃料プール水位・温度 (SA))

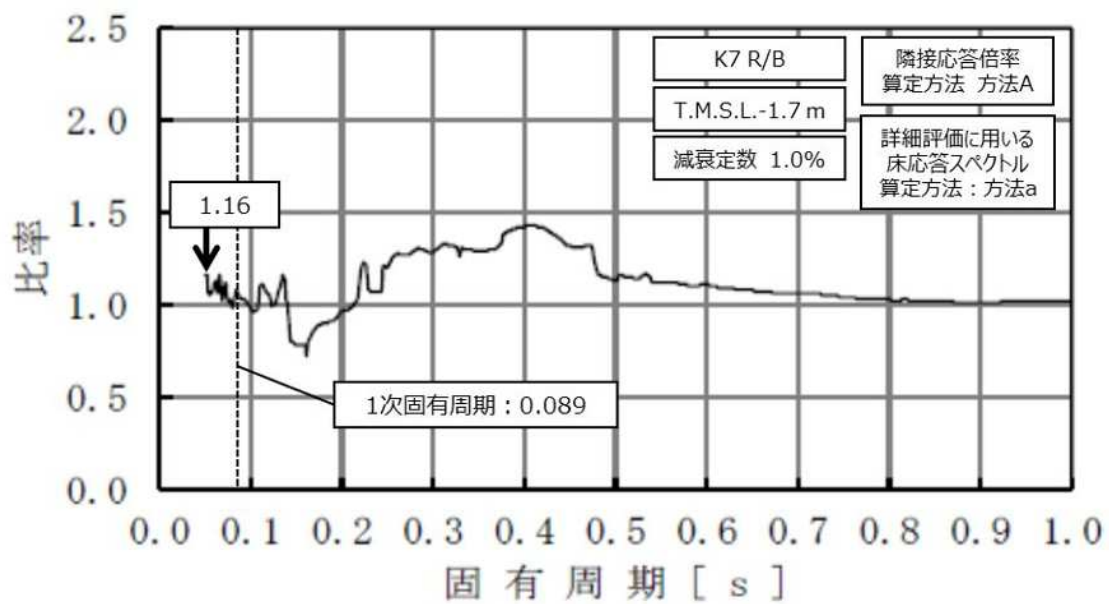


図添2-14 隣接応答倍率の算定 (使用済燃料プール水位・温度 (SA広域))

別紙 4-27



図添2-15 隣接応答倍率の算定（下部ドライウェルアクセストンネルスリーブ及び鏡板(所員用エアロック付き)）



図添2-16 隣接応答倍率の算定（下部ドライウェル所員用エアロック）