

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。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-024-4-2 改3
提出年月日	2020年7月9日

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について  
(機器・配管系) (津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備)

2020年7月

東京電力ホールディングス株式会社

## 目 次

  今回説明範囲

1. 検討の目的	1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる地震動	1
3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	
3.1 建物・構築物	
3.1.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	
3.1.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	
3.2 機器・配管系	1
3.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	1
3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	2
3.2.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	3
3.2.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出	5
3.2.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果	8
3.2.6 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価	8
3.2.7 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果	9
3.2.8 まとめ	10
3.3 屋外重要土木構造物	
3.3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	
3.3.2 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	
3.3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	
3.4 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備	22

別紙1 評価部位の抽出に関する説明資料

別紙2 3次元FEMモデルを用いた精査

別紙3 3次元FEMモデルによる地震応答解析

別紙4 機器・配管系に関する説明資料

## 別紙 4 機器・配管系に関する説明資料

目 次

  今回説明範囲

別紙 4.1	機器・配管系の耐震評価における水平 2 方向入力の影響有無整理結果…	別紙 4.1-1
別紙 4.2	水平 2 方向の地震による代表設備の増分影響結果…	別紙 4.2-1
別紙 4.3	水平 2 方向の地震による発生値と許容値の比較…	別紙 4.3-1
別紙 4.4	個別設備に関する補足説明…	別紙 4.4-1
別紙 4.5	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価における代表性について…	別紙 4.5-1
別紙 4.6	水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ方法の検討について…	別紙 4.6-1
別紙 4.7	原子炉建屋 3 次元 FEM モデルの応答解析結果に係る機器・配管系への 影響について…	別紙 4.7-1
別紙 4.8	原子炉建屋 3 次元 FEM モデルの面外加速度に係る機器・配管系への 影響について…	別紙 4.8-1

原子炉建屋 3次元 FEM モデルの応答解析結果に係る機器・配管系への影響について

### 1. はじめに

「別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.4 床応答への影響検討」の結果より、NS 方向の固有周期 0.2 秒付近において 3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示したことから、機器・配管系への影響検討を実施する。

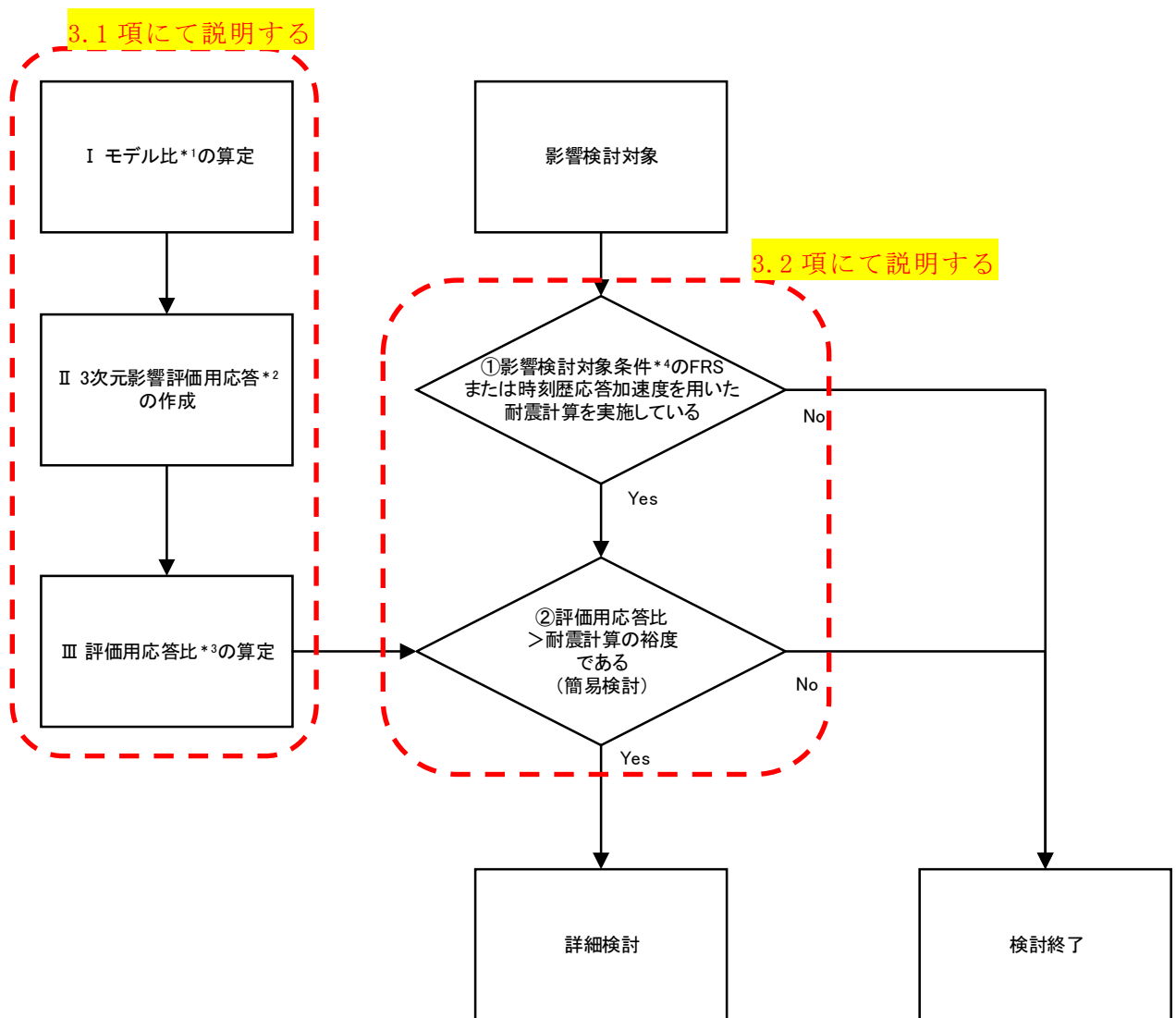
### 2. 影響検討対象

原子炉建屋に設置される以下の機器・配管系を影響検討の対象とする。

- ・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

### 3. 影響検討方法

影響検討フローを図 1 に示す。



- 注記 \* 1: Sdに対する3次元FEMモデルの応答/Sdに対する質点系モデルの応答の比  
 \* 2: 質点系モデル基本ケースのSsに対する応答にモデル比を乗算した応答  
 \* 3: 3次元影響評価用応答/耐震計算で使用しているSsに対する応答の比  
 \* 4: 3次元FEMモデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示した条件

図 1 影響検討フロー

### 3.1 3次元 FEM モデルによる影響を評価するための応答の作成

3次元 FEM モデルでは、弾性設計用地震動  $S_d$  に対する地震応答解析を行っていることから、質点系モデルの基準地震動  $S_s$  に対する応答を補正し、3次元 FEM モデルによる影響を評価できる応答を作成する。

- I 弾性設計用地震動  $S_d$  に対する 3次元 FEM モデルの応答／弾性設計用地震動  $S_d$  に対する質点系モデルの応答の比（以下「モデル比」という。）を、全周期において算定する。モデル比の例を図 2 に示す。モデル比は、固有周期 0.168s を例とすると、 $(b/a)$  となる。
- II 質点系モデル基本ケースの基準地震動  $S_s$  に対する固有周期毎の応答に、モデル比を乗算した応答（以下「3次元影響評価用応答」という。）を算定する。3次元影響評価用応答の例を図 3 に示す。3次元影響評価用応答は、固有周期 0.168s を例とすると、0.168s の質点系モデル基本ケースの基準地震動  $S_s$  に対する応答に 0.168s のモデル比を乗算した値となる。
- III 3次元影響評価用応答／耐震計算で使用している基準地震動  $S_s$  に対する応答の比（以下「評価用応答比」という。）を算定する。評価用応答比の算定例を図 4 に示す。評価用応答比は、仮に固有周期が 0.168s の機器・配管系とすると、設計用床応答曲線 I <sup>\*1</sup> による耐震計算を実施している場合 ( $d/c_1$ ) となり、設計用床応答曲線 II <sup>\*2</sup> による耐震計算を実施している場合 ( $d/c_2$ ) となる。なお、配管貫通部のように配管反力等を用いて評価している機器・配管系は、反力等を算定している配管の評価用応答比を考慮して評価する。

注記\*1：V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示されるものであり、地震応答解析（基本ケース）から得られる応答波を用いて作成した床応答スペクトルに基礎地盤の傾斜の影響を加味し、 $\pm 10\%$  拡幅したものと地震応答解析（不確かさケース）から得られる応答波を用いて作成した床応答スペクトルを包絡させたもの

\*2：V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示されるものであり、設計用床応答曲線 I 以上となるように作成したもの

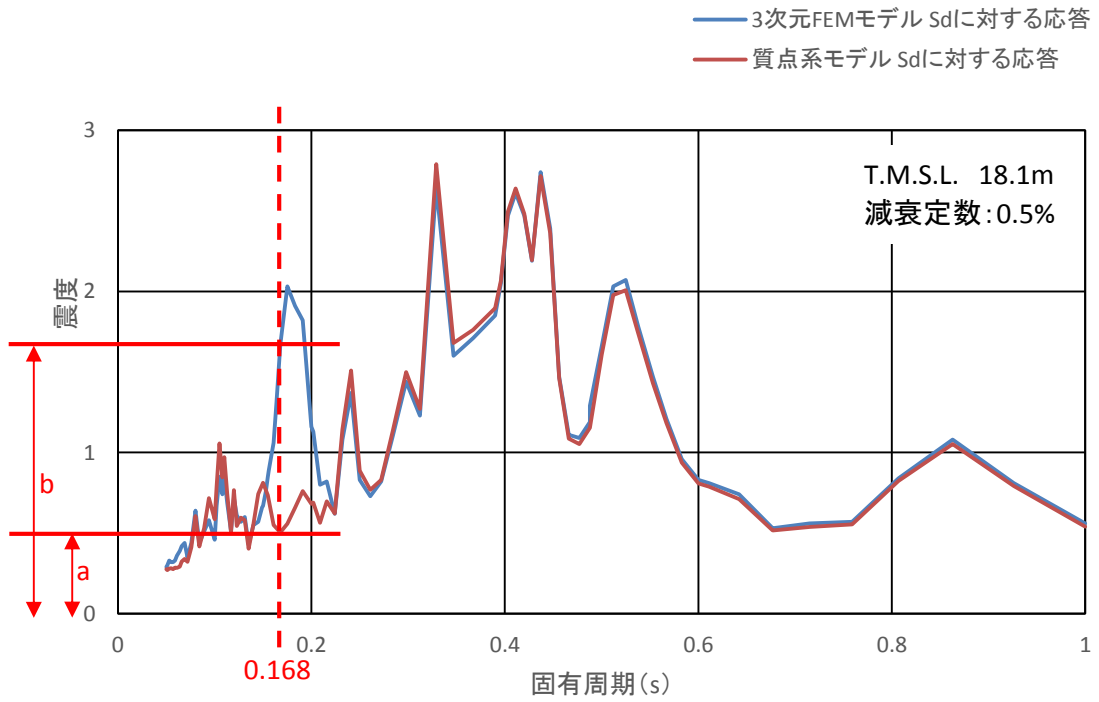


図2 モデル比の算定例

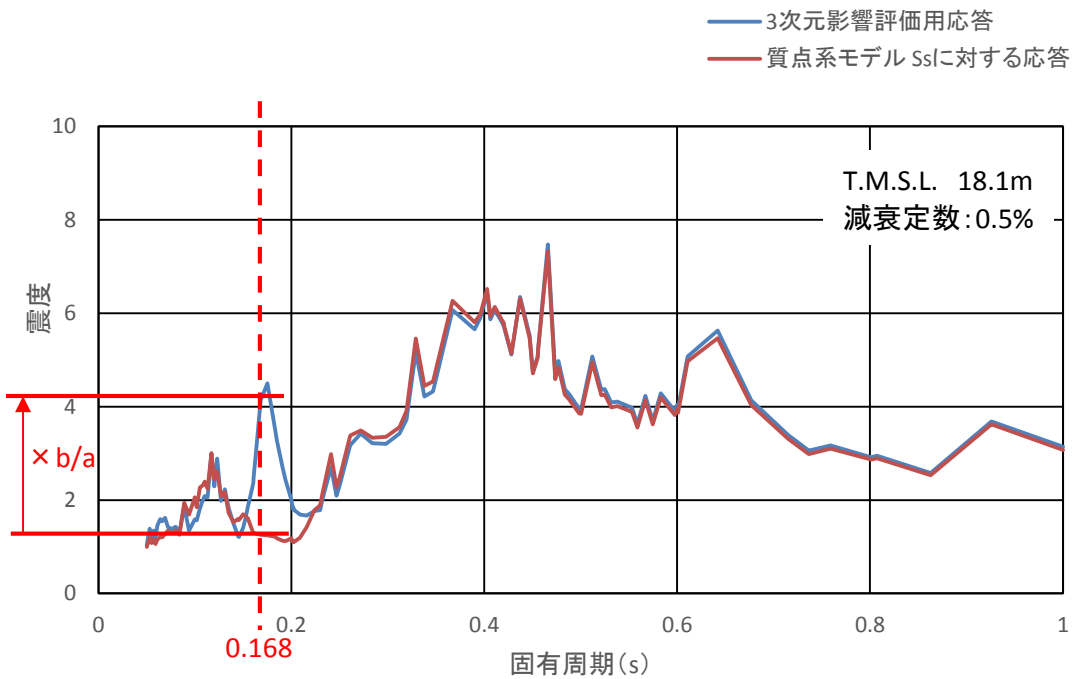
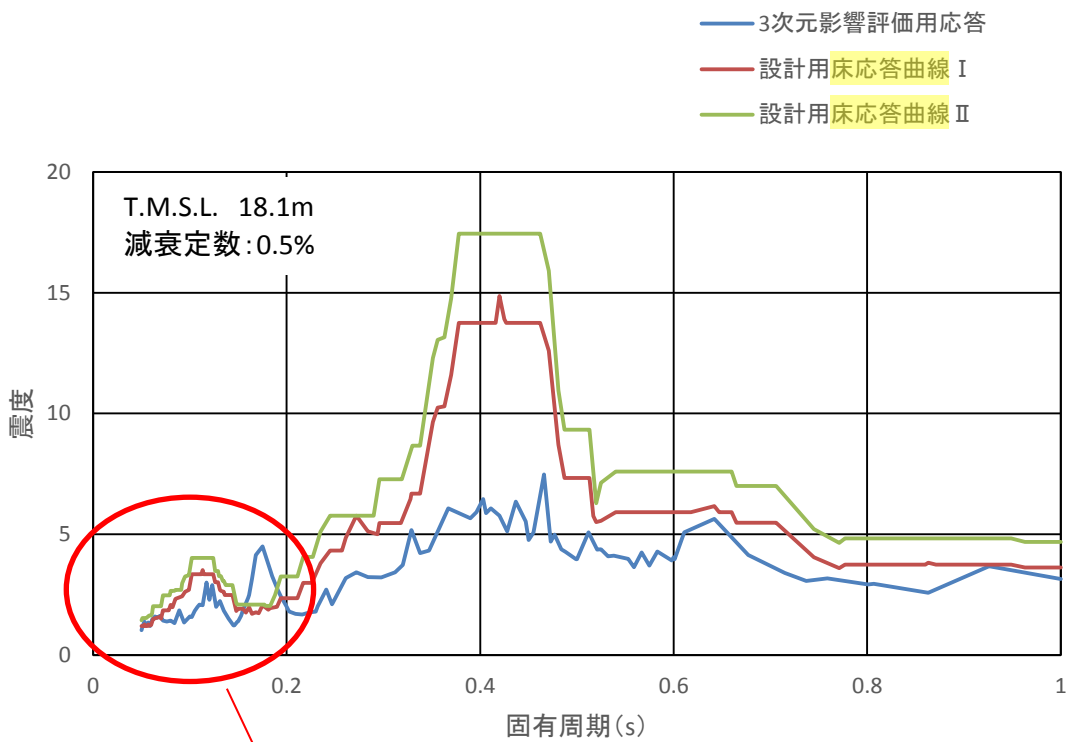
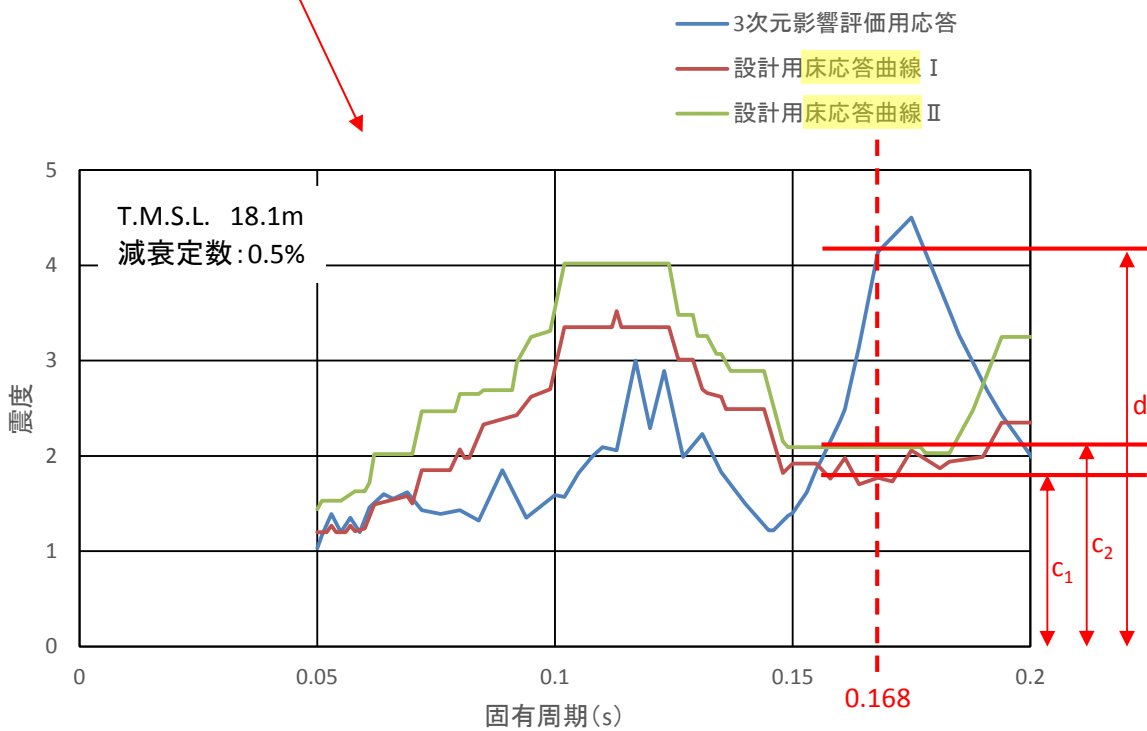


図3 3次元影響評価用応答の算定例





(全体図 (固有周期 0~1.0 s))



(拡大図 (固有周期 0~0.2 s))

図4 評価用応答比の算定例

### 3.2 3次元 FEM モデルによる影響の評価

① 3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示した条件（以下「影響検討対象条件」という。）の床応答曲線または時刻歴応答加速度を用いて耐震計算を実施している機器・配管系を抽出する。影響検討対象条件は、下記(a)～(d)の観点から、表1の通りとする。

(a) 床応答曲線を用いて評価する機器・配管系については、「別紙3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.4 床応答への影響検討」の結果より、NS方向の固有周期0.2秒付近において3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示したことから、NS方向の影響を確認する。

(b) 最大応答加速度を用いて評価する設備については、「別紙3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.3 建屋耐震性評価への影響検討」より、3次元 FEM モデルと質点系モデルの最大応答加速度に大きな差がないことから、本影響検討の対象外とする。

(c) 「別紙3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.4 床応答への影響検討」の表3-15における3次元 FEM モデルのNS方向応答と弾性設計用地震動Sdの設計用床応答曲線Iとの比較を図5に示す。18.1mと12.3m以外の標高については、3次元 FEM モデルの応答が設計用床応答曲線Iに概ね包絡されていることから、18.1mと12.3mの標高を影響検討の対象とする。

(d) 原子炉压力容器等の原子炉建屋と連成させた質点系モデルにより算定される耐震性評価条件を用いる設備については、主に剛結された原子炉建屋基礎版を介して地震動が伝わる（図6）が、図5より、原子炉建屋基礎版位置であるT.M.S.L.-8.2mの標高については、3次元 FEM モデルの応答が設計用床応答曲線Iに概ね包絡されていることから、本影響検討の対象外とする。

② 評価用応答比が耐震計算の裕度を上回る機器・配管系を抽出する。なお、評価用応答比は0.05sを超える全ての固有周期を考慮している。抽出された機器・配管系に対して詳細検討を実施する。

表1 影響検討対象条件

地震動	方向	地震力	標高 (m)
Sd-2	NS	床応答曲線, 時刻歴応答加速度	18.1
			12.3

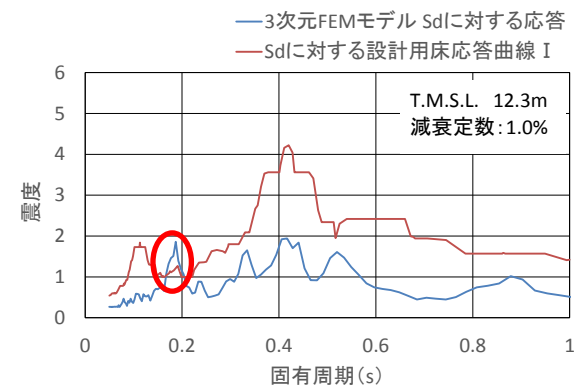
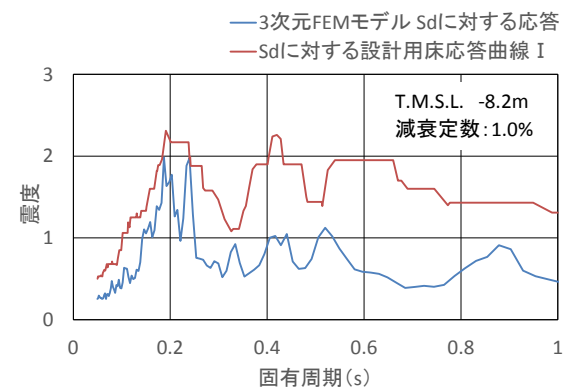
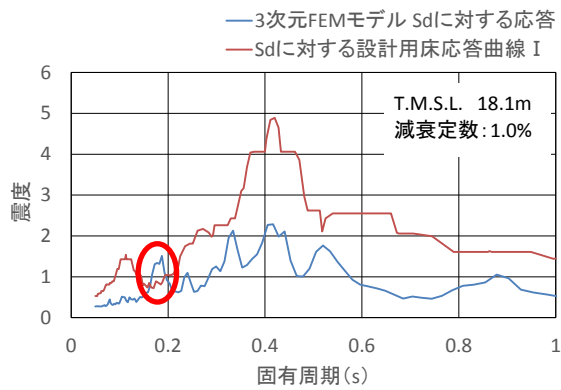
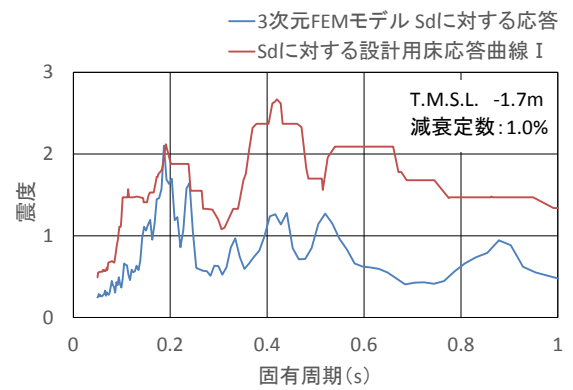
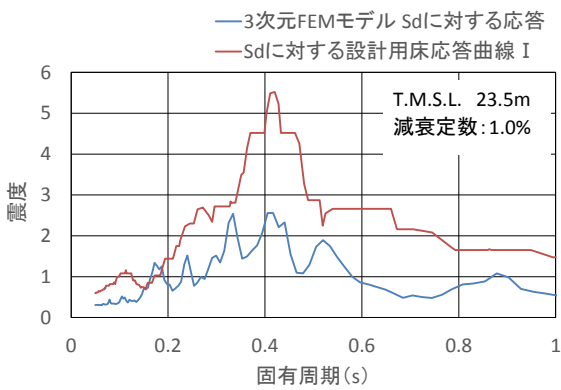
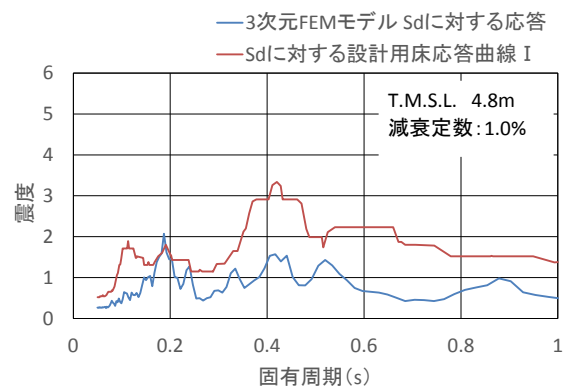
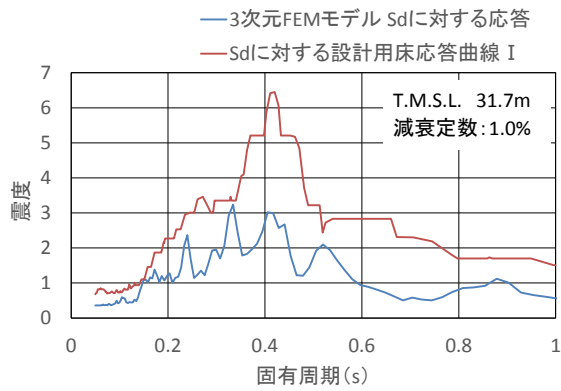


図5 3次元FEMモデルの応答と設計用床応答曲線Iとの比較

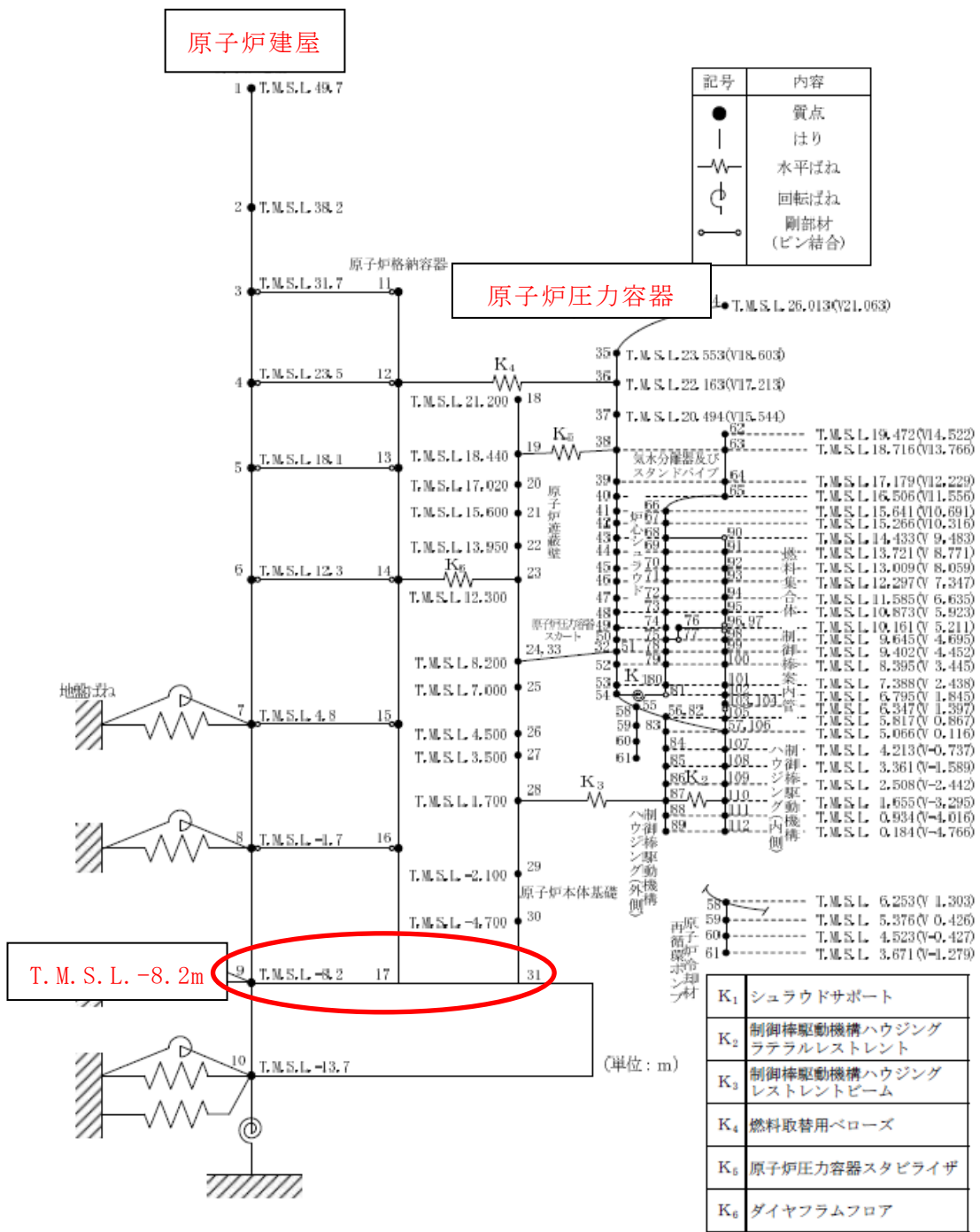


図 6 原子炉本体地震応答解析モデル (NS 方向)

#### 4. 評価結果

##### 4.1 簡易検討結果

簡易検討の結果，詳細検討が必要となった機器・配管系について表 2 に示す。

表 2 簡易検討結果

No	設備名称	耐震計算条件の標高 (m)	減衰 (%)	固有周期*1 (s)	評価用応答比	耐震*2 裕度
1	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)	31.7, 23.5, 18.1	1.0		1.10	1.01
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-4)	38.2, 31.7, 23.5, 18.1, 12.3	2.0	0.181	2.13	1.81
3	配管貫通部 (X-11)	18.1	2.0	0.350	1.73	1.22
4	配管貫通部 (X-30B, C)	23.5, 18.1, 12.3	2.0	0.164	1.35	1.03
5	配管貫通部 (X-63)	12.3	2.0	0.393	1.47	1.02
6	配管貫通部 (X-64)	12.3	2.0	0.307	1.36	1.02
7	配管貫通部 (X-200B, C)	12.3	2.0	0.186	1.26	1.12
8	耐圧強化ベント系配管 (HCVS-R-1)	31.7, 23.5, 18.1, 12.3	2.0	0.165	2.06	1.22
9	可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-R-1)	18.1	2.0	0.169	2.06	1.51
10	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-3)	23.5, 18.1	2.0	0.171	2.77	2.03
11	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-5)	31.7, 23.5, 18.1	2.0	0.164	1.90	1.40
12	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-6)	31.7, 23.5, 18.1	2.0	0.175	2.58	1.56

注記\*1：1次固有周期を代表して記載

\*2：耐震裕度は各設備の全ての評価結果のうち，最小値を記載

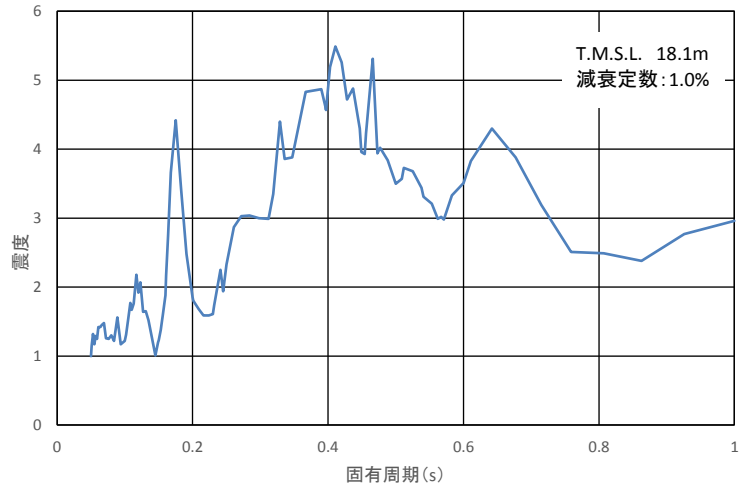
## 4.2 詳細検討結果

詳細検討が必要となった機器・配管系について、NS 方向は 3 次元影響評価用応答を用いて、EW 及び UD 方向は、影響検討であることから、Ss-1～8 の基本ケースを包絡した床応答曲線を用いて、耐震計算を実施した。その結果を表 3 に示す。また、評価に用いた 3 次元影響評価用応答を図 7 に、Ss-1～8 の基本ケースを包絡した床応答曲線を図 9 及び図 10 に示す。なお、床応答曲線以外の圧力、温度等の条件は、耐震計算書と同一の条件である。

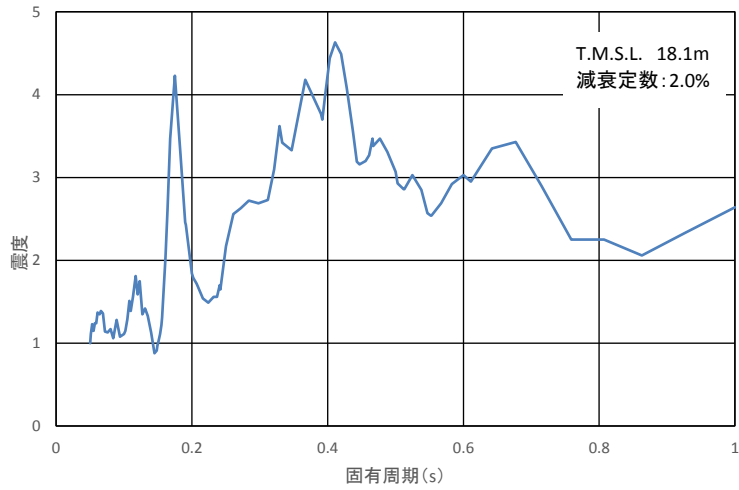
表 3 詳細検討結果

No	設備名称	適用*1 条件	評価部位等	応力 分類等	計算 応力等	許容 応力等
1	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)	①	検出器架台	組合せ	145MPa	205MPa
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-4)	②, ③	—	一次＋ 二次応力	32MPa	410MPa
3	配管貫通部 (X-11)	②	端板	疲労評価	0.3419	1.0000
4	配管貫通部 (X-30B, C)	②, ③	スリーブ	一次＋ 二次応力	292MPa	393MPa
5	配管貫通部 (X-63)	③	スリーブ	一次＋ 二次応力	310MPa	393MPa
6	配管貫通部 (X-64)	③	スリーブ	一次＋ 二次応力	362MPa	393MPa
7	配管貫通部 (X-200B, C)	③	スリーブ	一次＋ 二次応力	254MPa	393MPa
8	耐圧強化ベント系配管 (HCVS-R-1)	②, ③	—	一次＋ 二次応力	273MPa	300MPa
9	可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-R-1)	②	—	一次＋ 二次応力	181MPa	422MPa
10	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-3)	②	—	一次＋ 二次応力	168MPa	342MPa
11	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-5)	②	—	疲労評価	0.1875	1.0000
12	格納容器圧力逃がし装置 (遠隔空気駆動弁操作設備) 配管 (FCVS-R-6)	②	—	一次＋ 二次応力	284MPa	342MPa

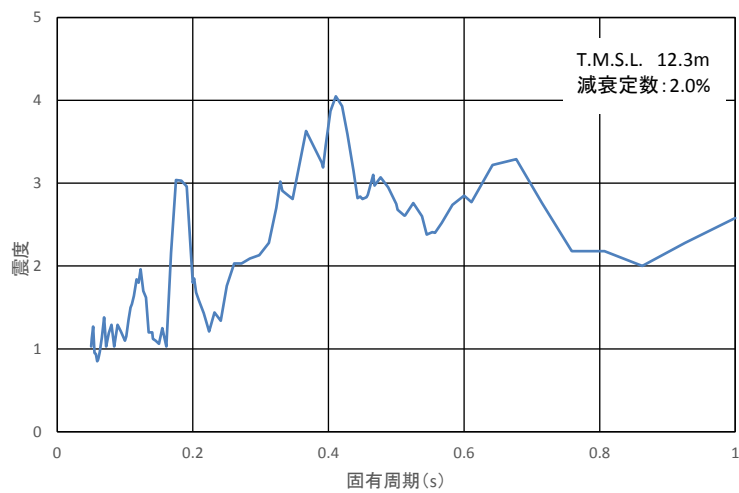
注記\*1：図 7～図 9 に示す番号と対応する



① T.M.S.L. 18.1m 減衰 1.0%



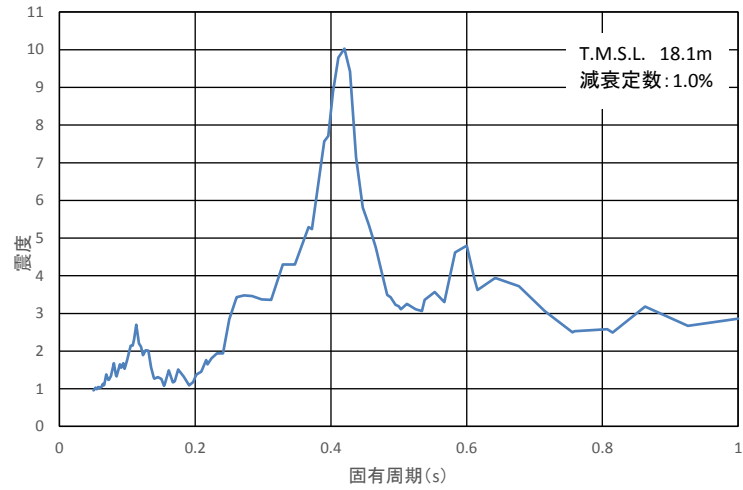
② T.M.S.L. 18.1m 減衰 2.0%



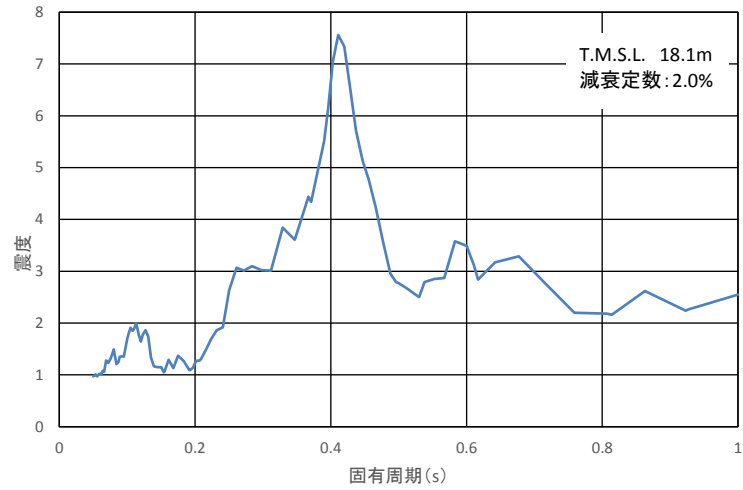
③ T.M.S.L. 12.3m 減衰 2.0%

図 7 3次元影響評価用応答 (NS 方向)

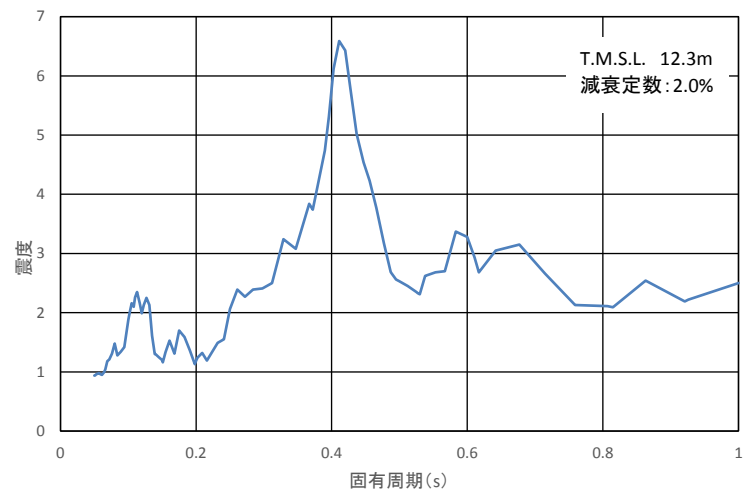




① T.M.S.L. 18.1m 減衰 1.0%

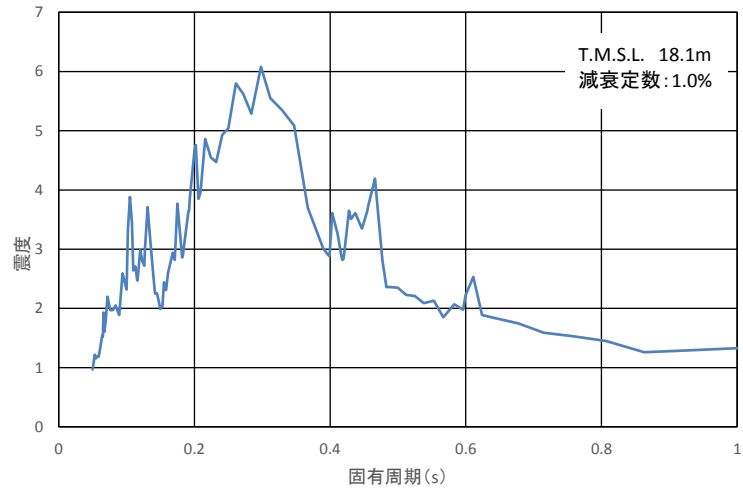


② T.M.S.L. 18.1m 減衰 2.0%

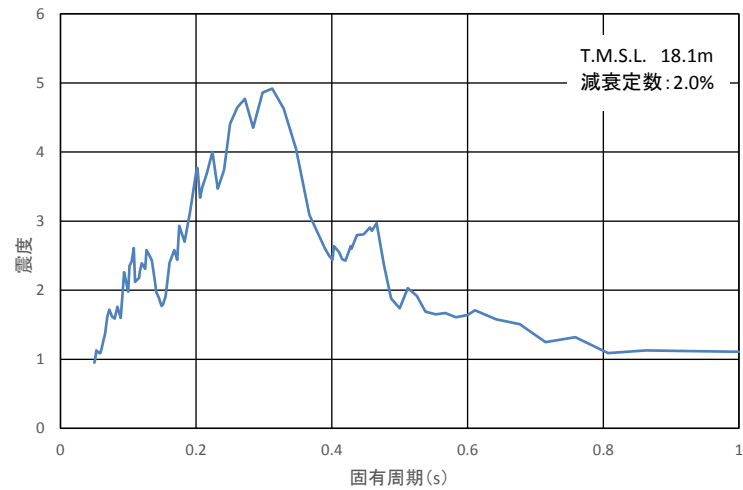


③ T.M.S.L. 12.3m 減衰 2.0%

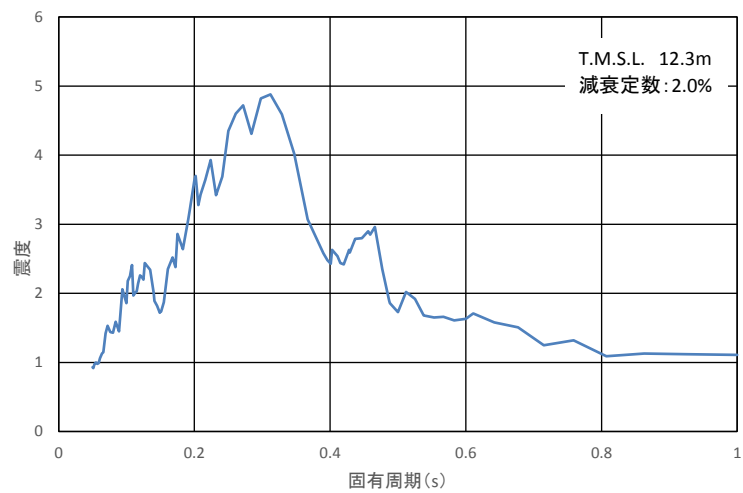
図8 S<sub>s</sub>-1~8の基本ケースを包絡した床応答曲線 (EW方向)



① T. M. S. L. 18.1m 減衰 1.0%



② T. M. S. L. 18.1m 減衰 2.0%



③ T. M. S. L. 12.3m 減衰 2.0%

図9 S<sub>s</sub>-1~8の基本ケースを包絡した床応答曲線 (UD方向)

## 5. まとめ

「別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析」の「3.4 床応答への影響検討」の結果より、NS 方向の固有周期 0.2 秒付近において 3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルの応答より大きくなる傾向を示したことから、機器・配管系への影響検討を実施し、その結果、3次元 FEM モデルによる影響を考慮しても、機器・配管系の耐震性に影響がないことを確認した。