

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6
提出年月日	2020年8月18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8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。なお、影響検討は、本文の「3.2 機器・配管系」の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果を基に実施する。

2. 検討方針

「2.1 検討対象」について、評価用応答比（詳細は 2.3.1 項にて説明）と各検討対象の裕度（許容値／発生値）を用いた簡易評価及び 3 次元影響評価用応答（詳細は 2.3.1 項にて説明）を用いた詳細評価を行う。影響検討フローを図 1 に示す。

2.1 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。

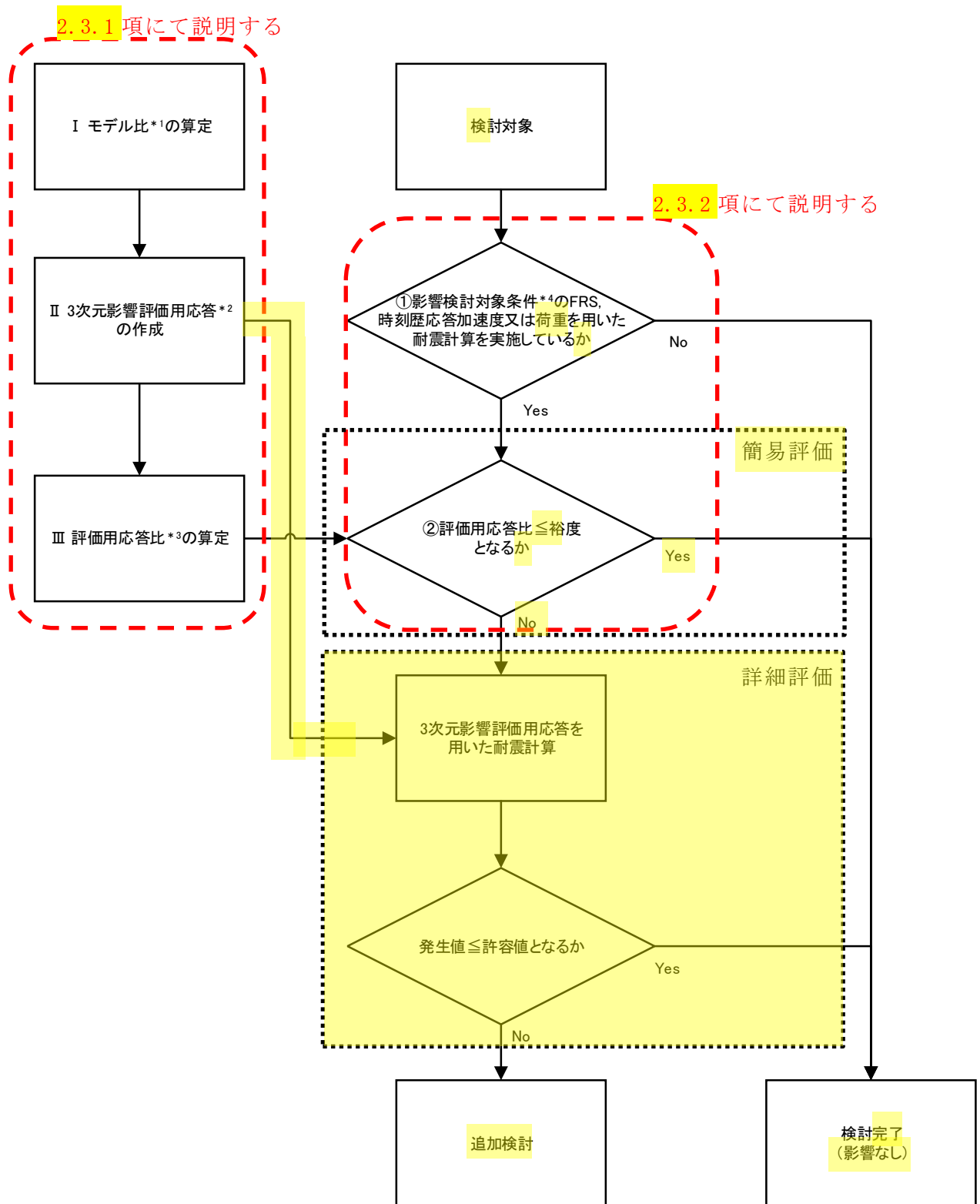
- ・設計基準対象施設のうち、耐震重要度分類の S クラスに属する機器・配管系
- ・重大事故等対処施設のうち、常設耐震重要重大事故防止設備、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）及び常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）に属する機器・配管系
- ・波及的影響防止のために耐震評価を実施する機器・配管系

2.2 影響検討における耐震条件の考え方

機器・配管系の耐震計算に用いる耐震条件としては、設計用床応答曲線 I 及び設計用地震力 I（以下「設計用 I」という。）並びに設計用床応答曲線 II 及び設計用地震力 II（以下「設計用 II」という。）を設定している。なお、設計用床応答曲線 I 及び設計用床応答曲線 II は V-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に、設計用地震力 I 及び設計用地震力 II は V-2-2-4「原子炉本体の基礎の地震応答計算書」及び V-2-3-1「炉心、原子炉圧力容器及び圧力容器内部構造物の地震応答計算書」に示される。

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。

これを踏まえて本影響検討においては、設計用 I を用いた耐震計算の裕度とは設計用 I を基に作成した評価用応答比を、設計用 II を用いた耐震計算の裕度とは設計用 II を基に作成した評価用応答比をそれぞれ比較して簡易評価を実施する。



- 注記 * 1: モデル比 = 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
 * 2: 3次元影響評価用応答 = 質点系モデル基本ケースの Ss に対する 応答 × モデル比
 * 3: 評価用応答比 = 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
 * 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

2.3 検討内容

2.3.1 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（「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。なお、建屋 3次元 FEM モデルの応答による機器・配管系の耐震評価結果へ与える影響を検討するものであるため、 1.0 を下回るモデル比についてもそのまま考慮する。

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（「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（「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 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 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。

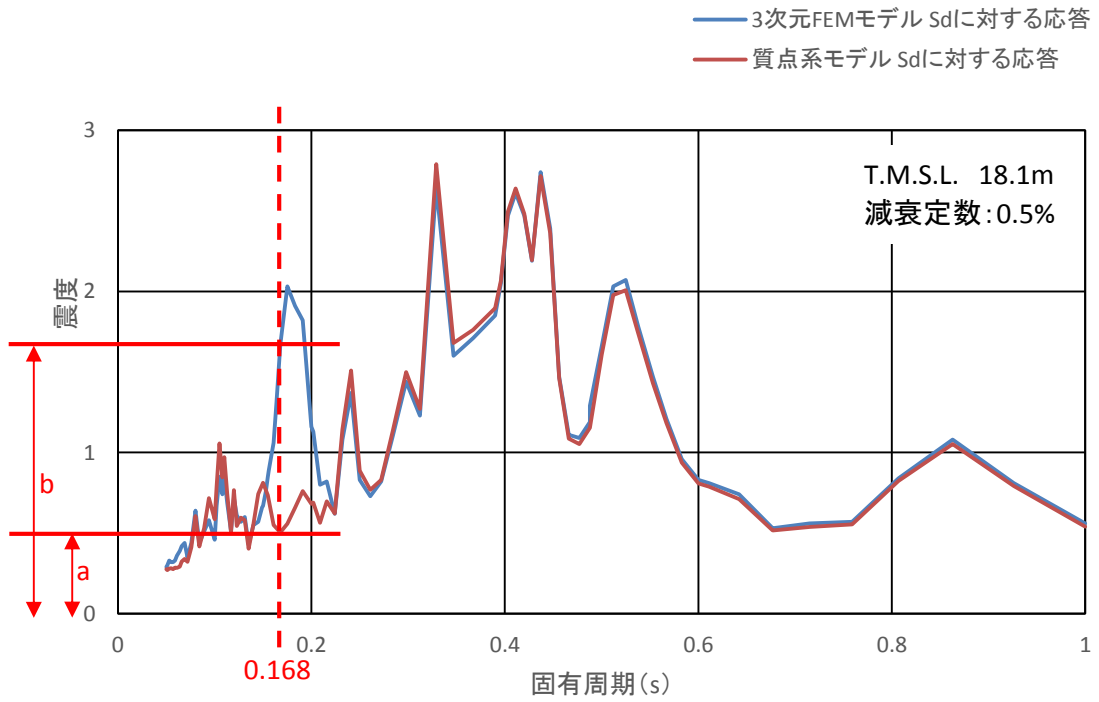


図2 モデル比の算定例

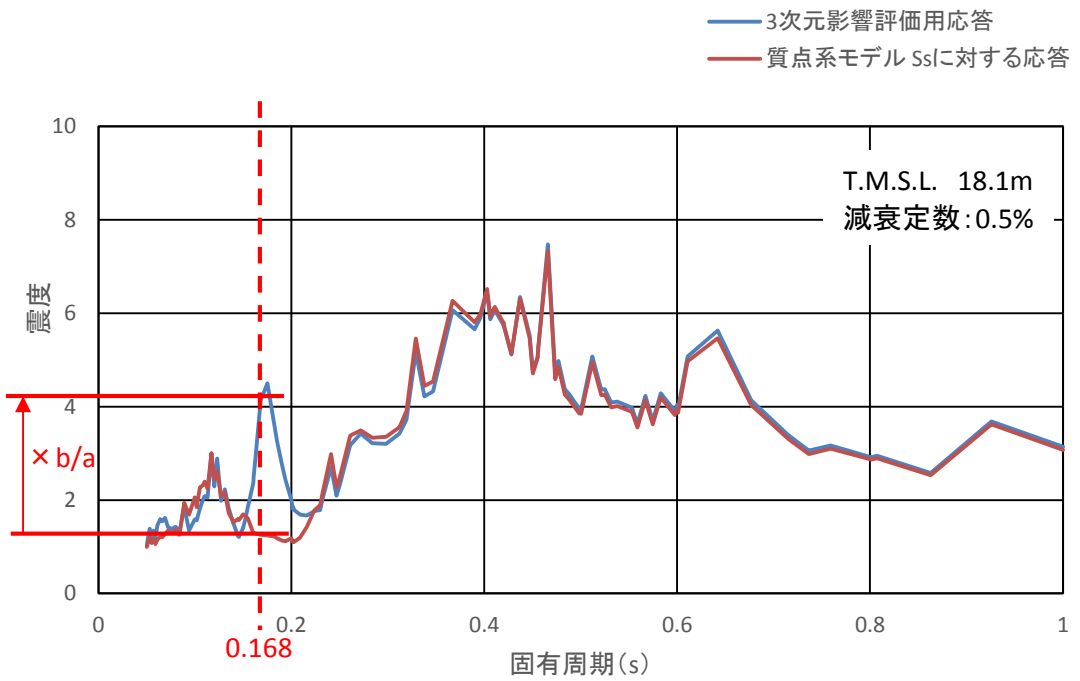
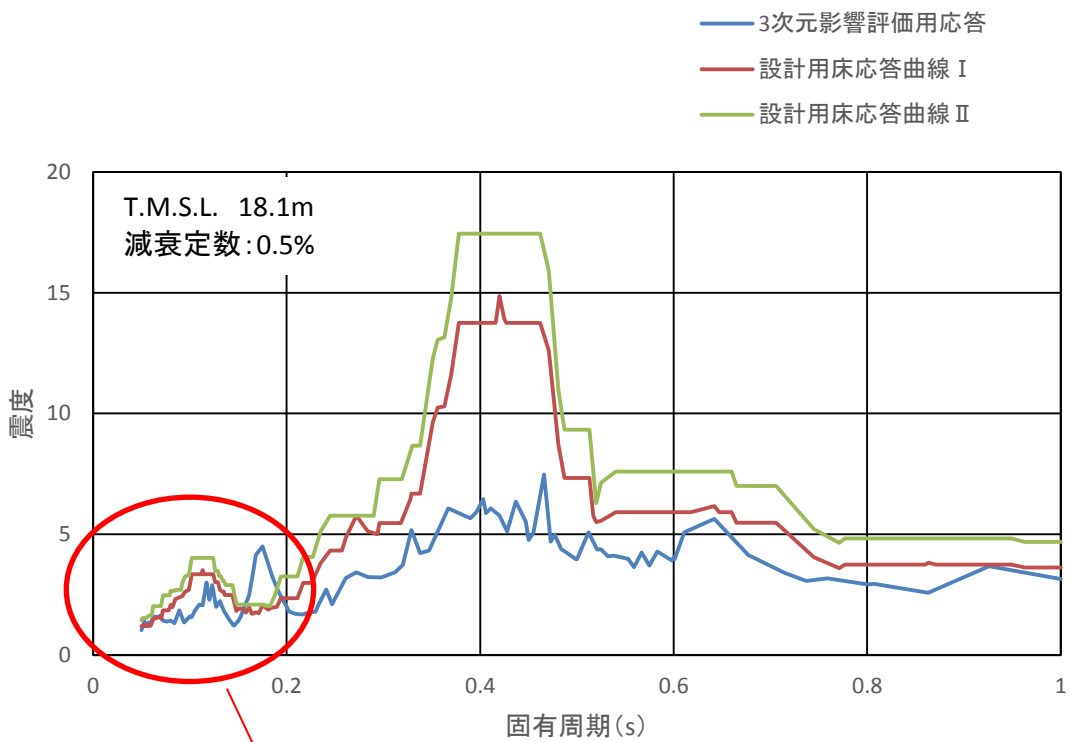
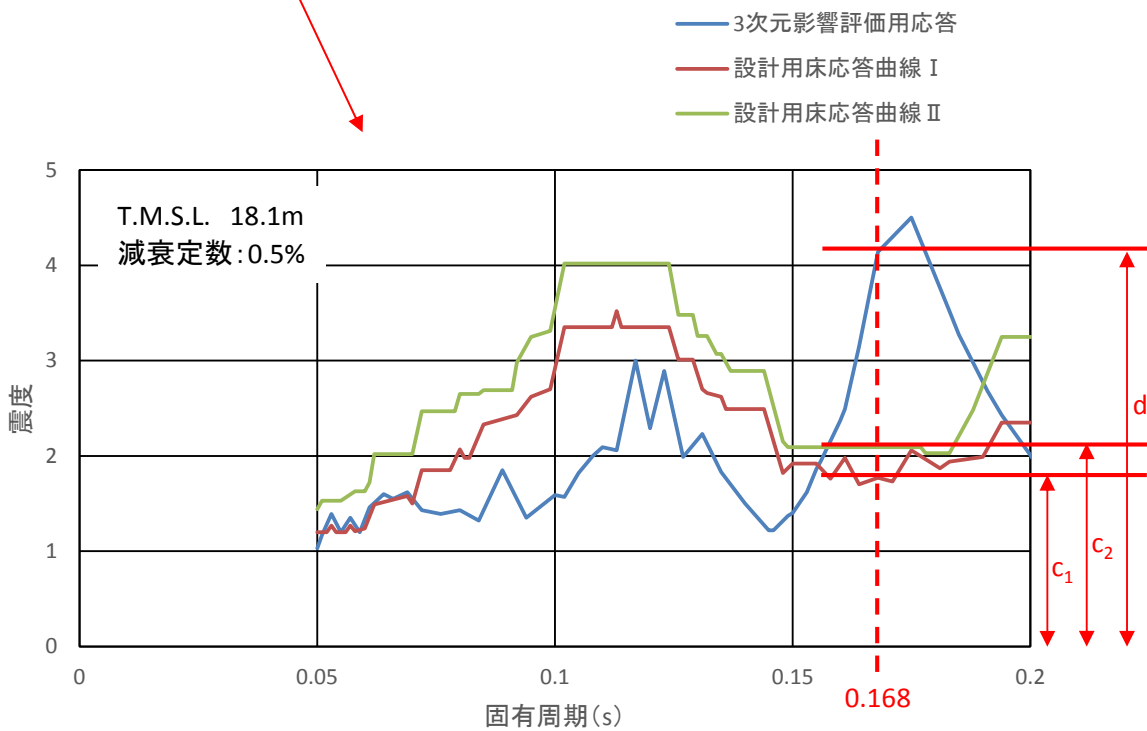


図3 3次元影響評価用応答の算定例



(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

2.3.2 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S_d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) 原子炉圧力容器等の原子炉建屋と連成させた質点系モデル（以下「連成モデル」という。）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、原子炉建屋と結合している T.M.S.L. 23.5m、12.3m 及び-8.2m の地震動が伝わる（図6）。図5より、原子炉建屋基礎版位置である T.M.S.L. -8.2m と燃料取替用ベローズ位置である T.M.S.L. 23.5m 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及び原子炉建屋と連成させる原子炉圧力容器等は3次元 FEM モデルではモデル化されておらず、3次元影響評価用応答を直接作成できないことから、連成モデルにより算定される耐震評価条件を用いる設備については、T.M.S.L. 12.3m のモデル比を用いて検討する。なお、連成モデルにモデル化されている設備は連成モデルの固有周期を考慮する。

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する。具体的な考慮方法を図7及び図8に示す。

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	標高等
Sd-2	NS	床応答曲線, 時刻歴応答加速度, 荷重	18.1m
			12.3m
			連成モデルにモデル化*1 されている全質点

注記*1 : T.M.S.L. 12.3m のモデル比を用いて検討する

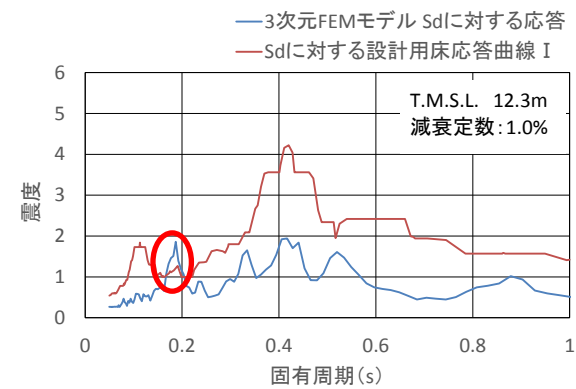
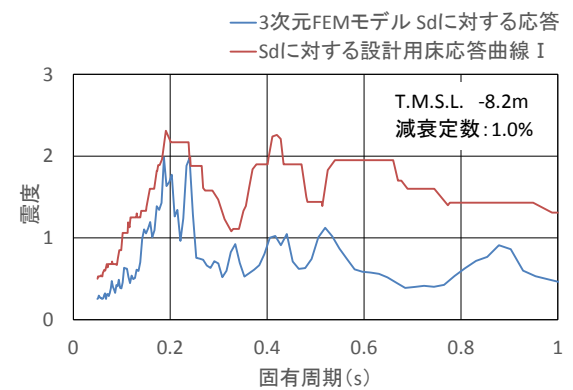
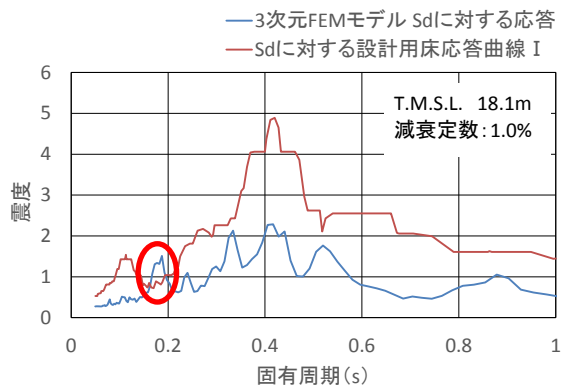
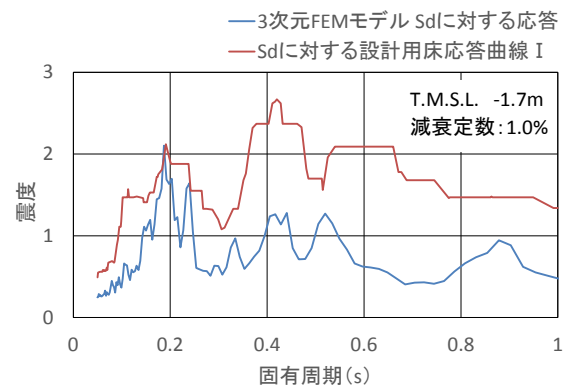
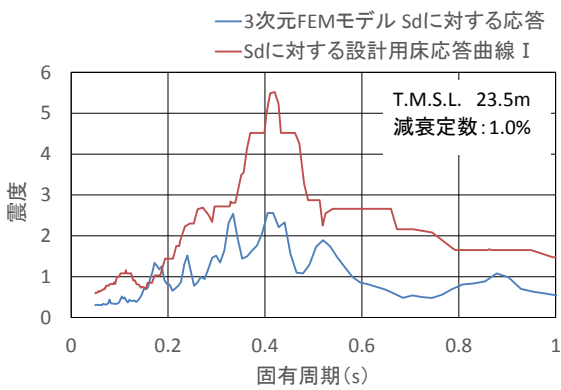
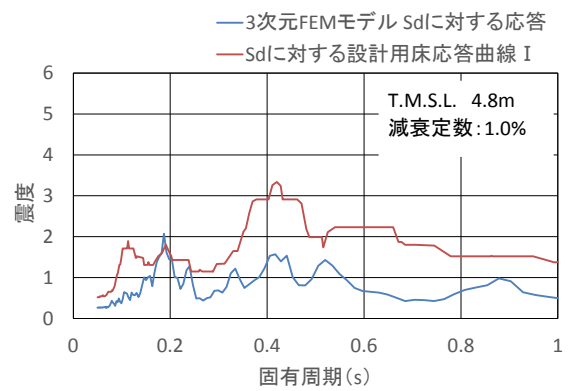
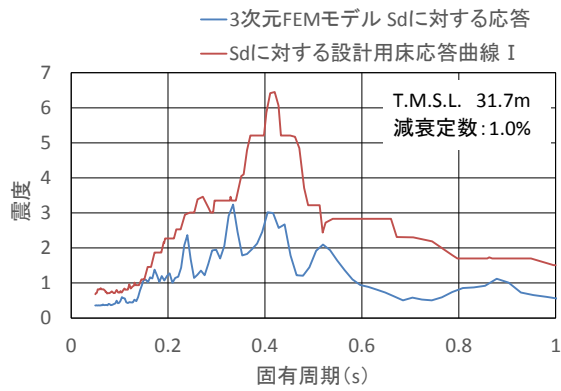


図5 3次元FEMモデルの応答と設計用床応答曲線Iとの比較

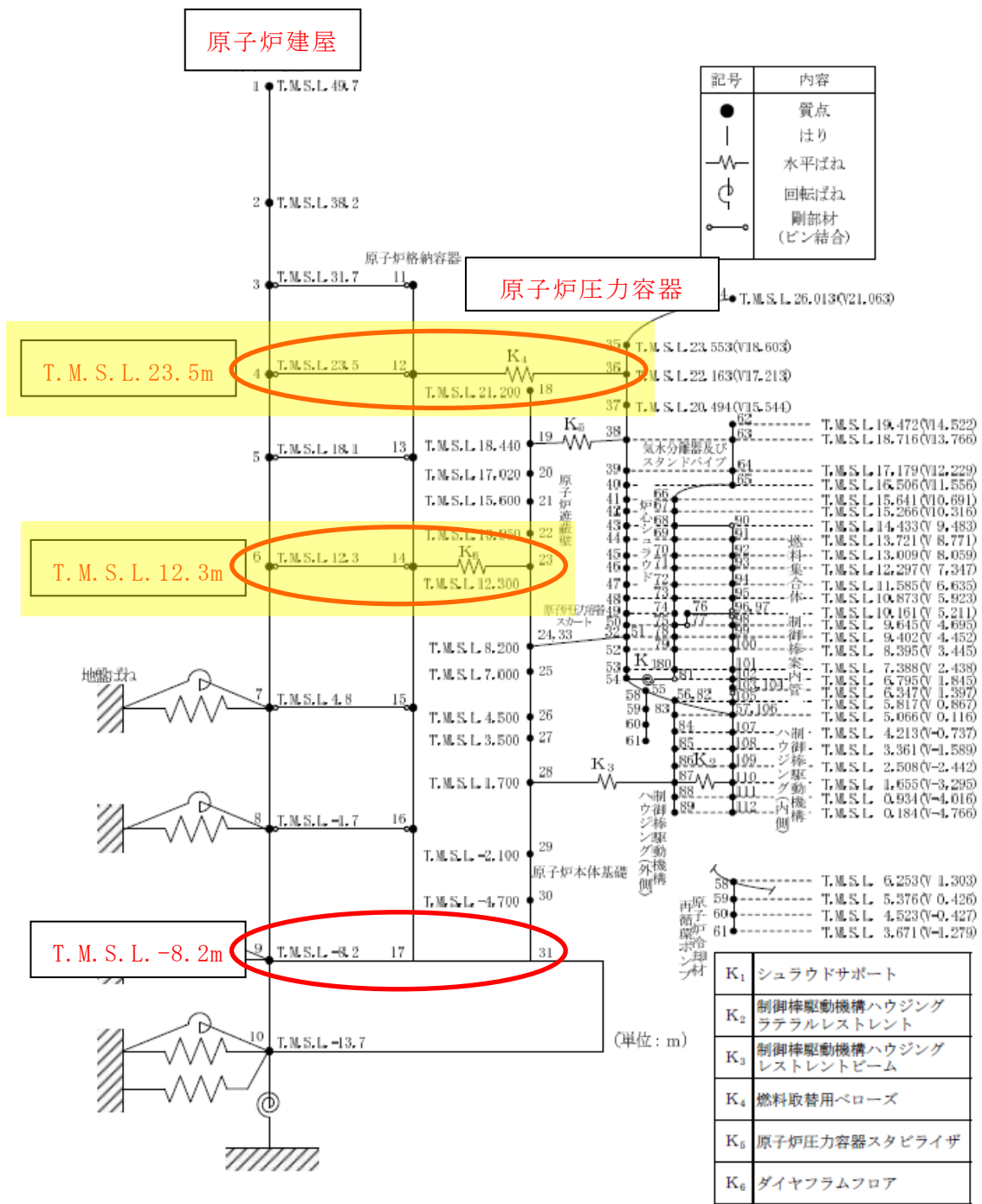


図 6 原子炉本体地震応答解析モデル (NS 方向)

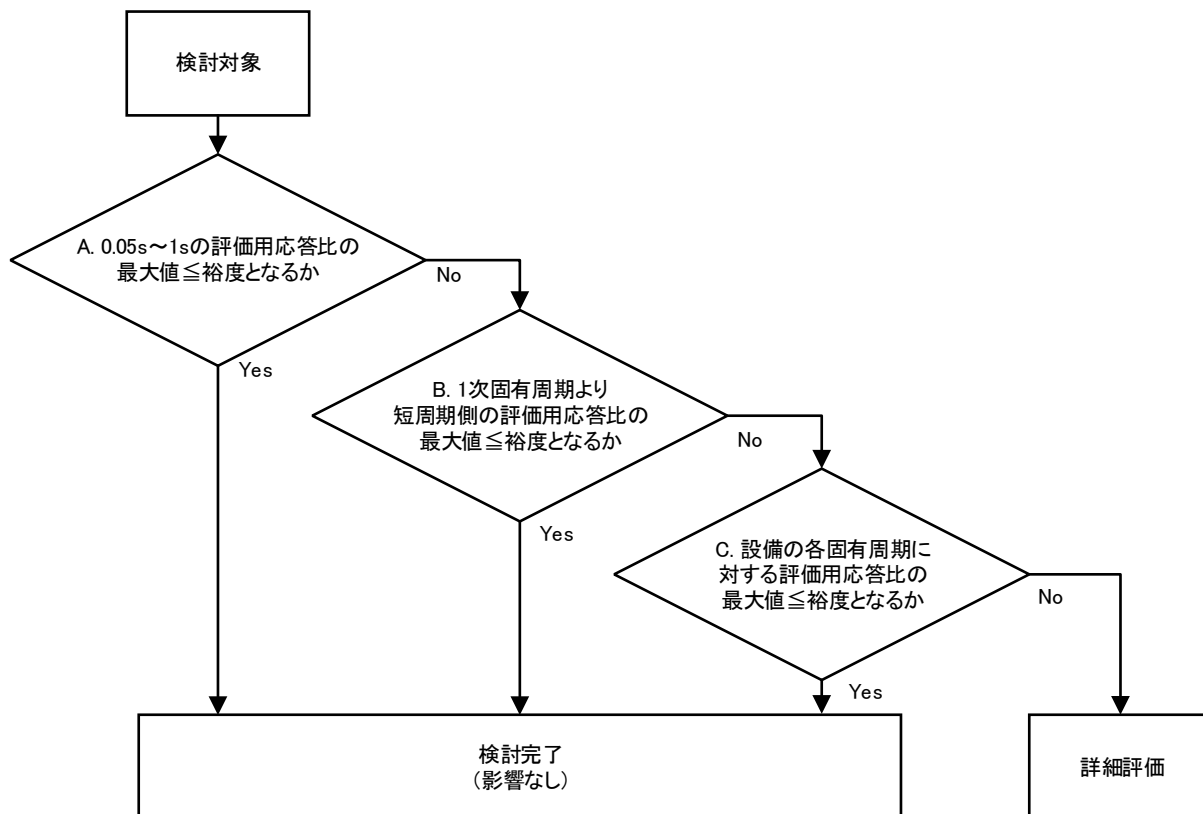
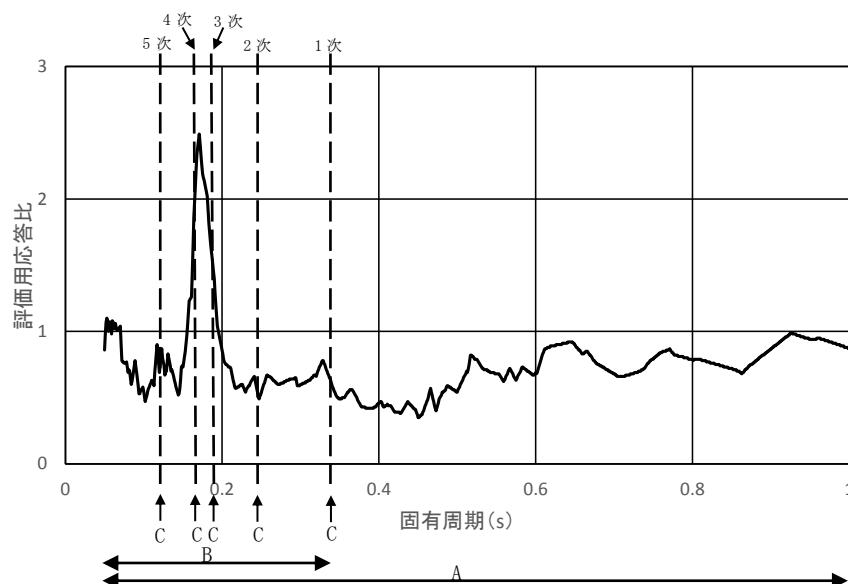


図7 機器・配管系の固有周期における評価用応答比の考慮方法



注：A, B, Cは図7のフローと対応

図8 評価用応答比の算定例

3. 評価結果

3.1 簡易評価結果

簡易評価の結果，詳細評価が必要となった機器・配管系について表2に示す。

表2 簡易評価結果でNGとなった設備

No	設備名称	耐震計算*1 条件の標高 (m)	減衰 (%)	固有周期*2 (s)	評価用 応答比	耐震*3 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	主蒸気系配管 (MS-PD-28)	18.44	2.0	0.228	1.14	1.11
4	配管貫通部 (X-11)	18.1	2.0	0.350	1.73	1.22
5	配管貫通部 (X-30B, C)	23.5, 18.1, 12.3	2.0	0.164	1.35	1.03
6	配管貫通部 (X-63)	12.3	2.0	0.393	1.47	1.02
7	配管貫通部 (X-64)	12.3	2.0	0.307	1.36	1.02
8	配管貫通部 (X-200B, C)	12.3	2.0	0.186	1.26	1.12
9	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
10	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
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-3)	23.5, 18.1	2.0	0.171	2.77	2.03
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-5)	31.7, 23.5, 18.1	2.0	0.164	1.90	1.40
13	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：No. 3 以外は原子炉建屋，No. 3 は原子炉遮蔽壁の標高を記載

*2：1次固有周期を代表して記載

*3：耐震裕度は各設備の耐震計算書の全評価結果のうち，最小値を記載

3.2 詳細評価結果

詳細評価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。評価に用いた地震力を表 3 に、評価結果を表 4 に示す。また、評価に用いた 3 次元影響評価用応答を図 9 に、Ss-1～8 の基本ケースを包絡した床応答曲線を図 10 及び図 11 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。

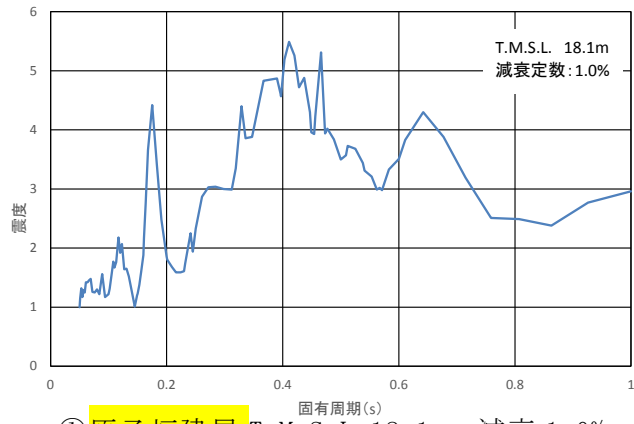
表 3 詳細評価に用いた地震力

方向	地震動	解析ケース	拡幅	倍率
NS 方向	Ss-1～8	基本ケース	なし	モデル比
EW 方向 UD 方向	Ss-1～8	基本ケース	なし	1.0

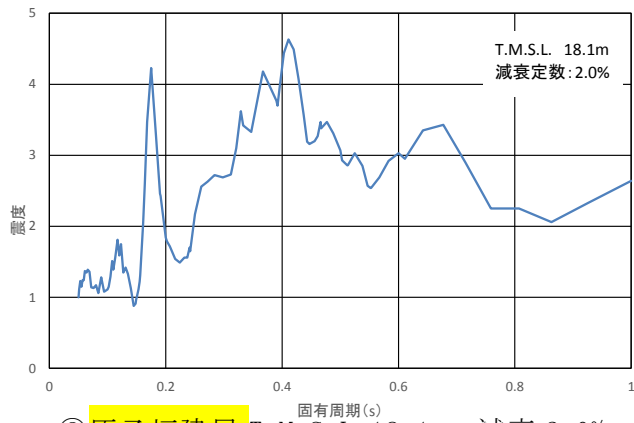
表 4 詳細評価結果

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	主蒸気系配管 (MS-PD-28)	④	—	一次＋二次応力	185MPa	300MPa
4	配管貫通部 (X-11)	②	端板	疲労評価	0.3419	1.0000
5	配管貫通部 (X-30B, C)	②, ③	スリーブ	一次＋二次応力	292MPa	393MPa
6	配管貫通部 (X-63)	③	スリーブ	一次＋二次応力	310MPa	393MPa
7	配管貫通部 (X-64)	③	スリーブ	一次＋二次応力	362MPa	393MPa
8	配管貫通部 (X-200B, C)	③	スリーブ	一次＋二次応力	254MPa	393MPa
9	耐圧強化ベント系配管 (HCVS-R-1)	②, ③	—	一次＋二次応力	273MPa	300MPa
10	可燃性ガス濃度制御系配管 (FCS-R-1)	②	—	一次＋二次応力	181MPa	422MPa
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-3)	②	—	一次＋二次応力	168MPa	342MPa
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-5)	②	—	疲労評価	0.1875	1.0000
13	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

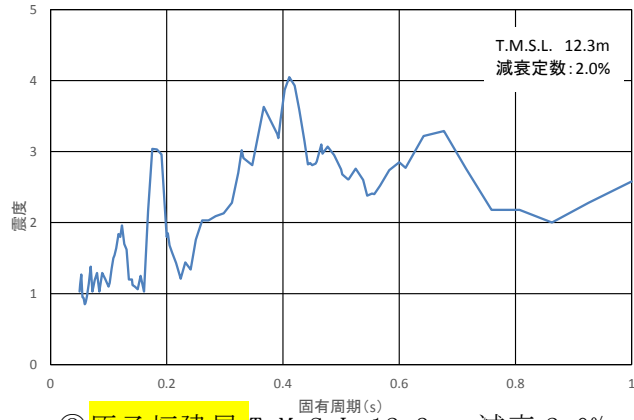
注記*1：図 7～図 9 に示す番号と対応する



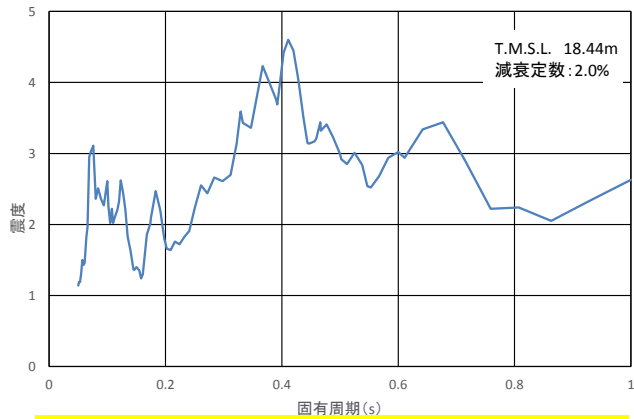
① 原子炉建屋 T.M.S.L. 18.1m 減衰 1.0%



② 原子炉建屋 T.M.S.L. 18.1m 減衰 2.0%

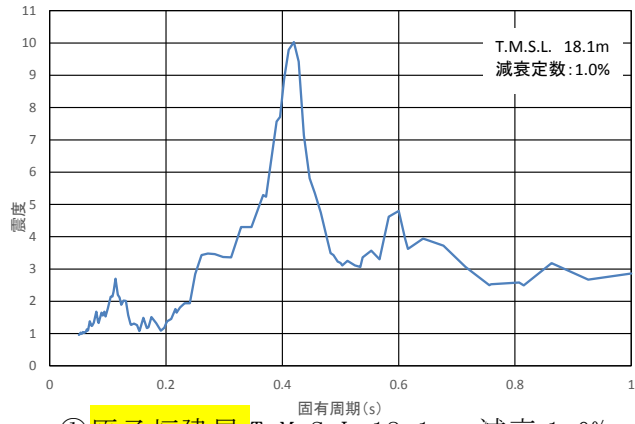


③ 原子炉建屋 T.M.S.L. 12.3m 減衰 2.0%

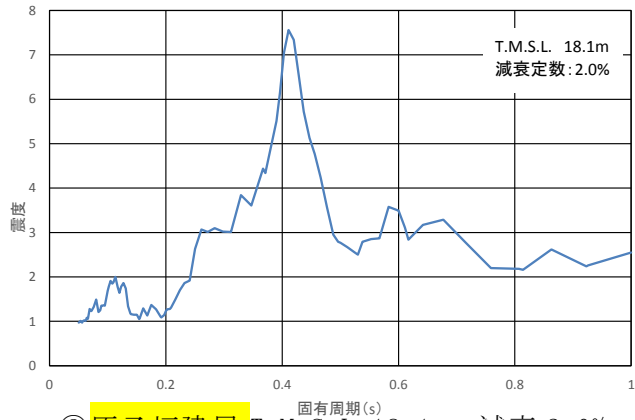


④ 原子炉遮蔽壁 T.M.S.L. 18.44m 減衰 2.0%

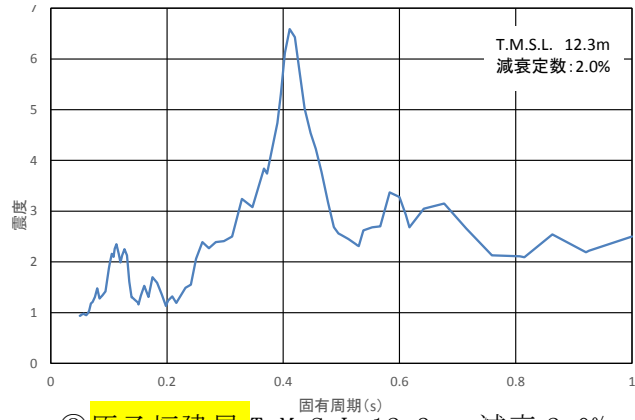
図 9 3次元影響評価用応答 (NS 方向)



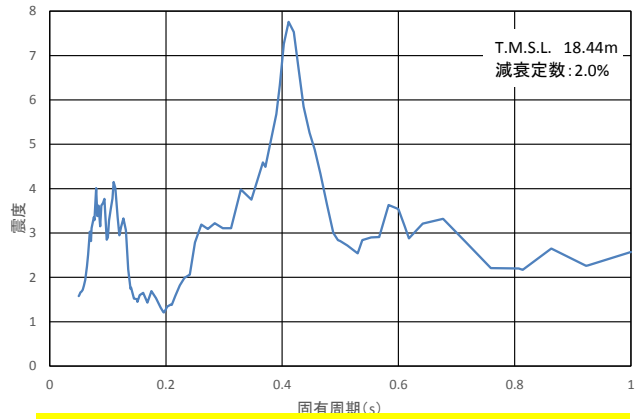
① 原子炉建屋 T.M.S.L. 18.1m 減衰 1.0%



② 原子炉建屋 T.M.S.L. 18.1m 減衰 2.0%

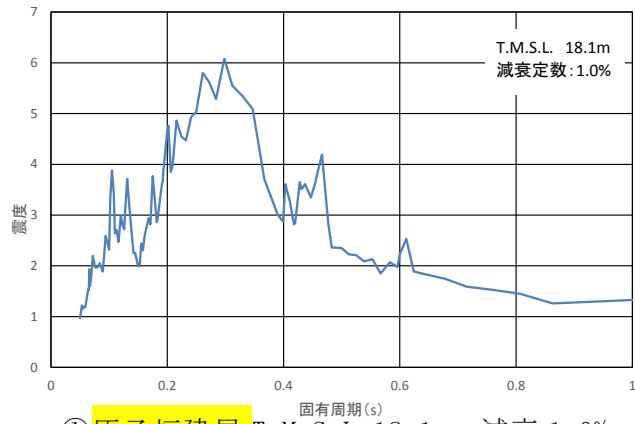


③ 原子炉建屋 T.M.S.L. 12.3m 減衰 2.0%

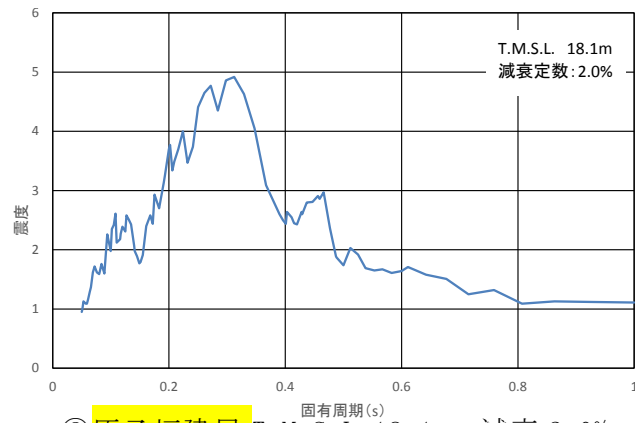


④ 原子炉遮蔽壁 T.M.S.L. 18.44m 減衰 2.0%

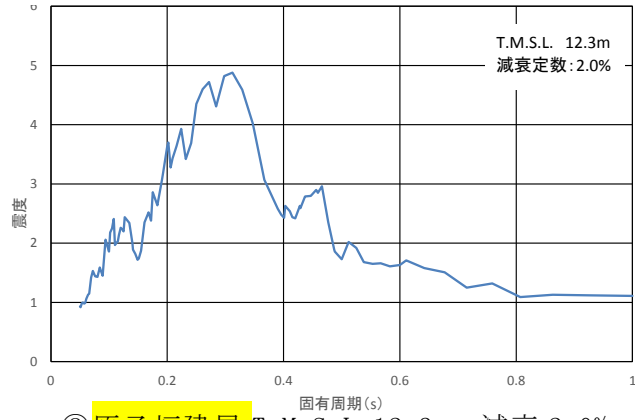
図 10 Ss-1~8 の基本ケースを包絡した床応答曲線 (EW 方向)



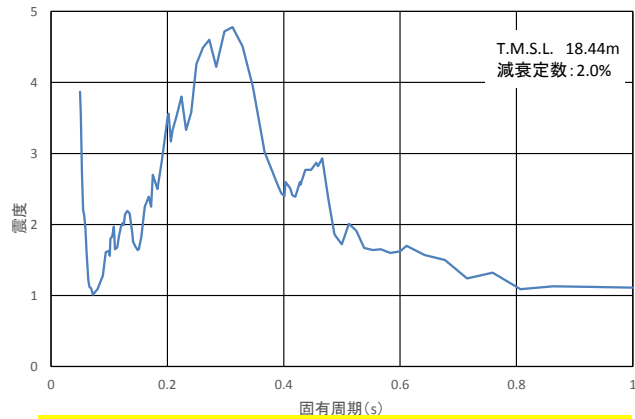
① 原子炉建屋 T. M. S. L. 18. 1m 減衰 1. 0%



② 原子炉建屋 T. M. S. L. 18. 1m 減衰 2. 0%



③ 原子炉建屋 T. M. S. L. 12. 3m 減衰 2. 0%



④ 原子炉遮蔽壁 T. M. S. L. 18. 44m 減衰 2. 0%

図 11 Ss-1~8 の基本ケースを包絡した床応答曲線 (UD 方向)

4. 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。

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

1. はじめに

「別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査」の「2.5 地震応答解析結果」より、壁の中央部で面外にはらむような最大応答加速度分布となっていることから、面外加速度の機器・配管系への影響検討を実施する。なお、影響検討は、本文の「3.2 機器・配管系」の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価結果を基に実施する。

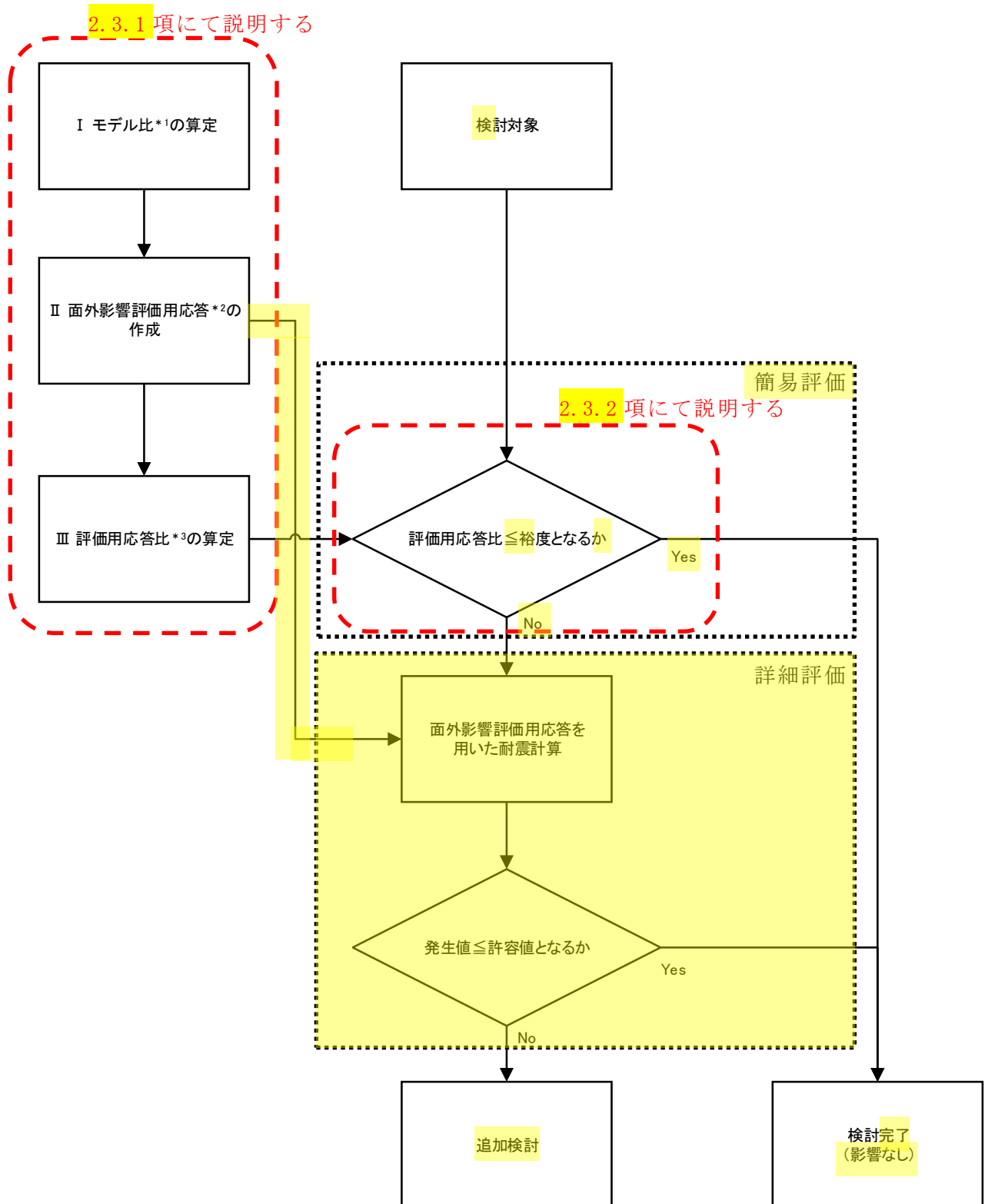
2. 検討方針

「2.1 検討対象」について、評価用応答比（詳細は 2.3.1 項にて説明）と各検討対象の裕度（許容値／発生値）を用いた簡易評価及び 3次元影響評価用応答（詳細は 2.3.1 項にて説明）を用いた詳細評価を行う。影響検討フローを図 1 に示す。

2.1 検討対象

原子炉建屋に設置され、最大応答加速度、床応答曲線及び時刻歴応答加速度を用いて評価する以下の機器・配管系を影響検討の対象とする。なお、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床の無い連続した壁に対して、面外加速度の影響は大きいことから、オペフロに設置される設備を代表とする。また、オペフロの床についてもオペフロの壁と同様であることから、機器・配管系に対する面外加速度の影響を併せて検討する。影響検討対象の機器・配管系について表 1 に示す。

- ・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



注記 *1: モデル比 = S_d に対する 3次元 FEM モデルの応答 / S_d に対する 質点系モデルの応答
 *2: 面外影響評価用応答 = 質点系モデル基本ケースの S_s に対する応答 \times モデル比
 *3: 評価用応答比 = 面外影響評価用応答 / 耐震計算で使用している S_s に対する応答

図 1 影響検討フロー

表 1 影響検討対象設備 (1/2)

No	設備名称
1	制御棒・破損燃料貯蔵ラック
2	使用済燃料貯蔵ラック
3	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA) (G41-TE-103-3)
4	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA) (G41-TE-102-1~8)
5	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)
6	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ
7	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用サポート
8	使用済燃料貯蔵プール監視カメラ用空冷装置 (エアクーラ)
9	燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-1)
10	燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-2)
11	燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-3)
12	燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-4)
13	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-2)
14	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-3)
15	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-4)
16	燃料プール代替注水系配管サポート (SFPOP-67R)
17	原子炉建屋水素濃度 (P91-H2E-001A)
18	原子炉建屋水素濃度 (P91-H2E-001B)
19	原子炉建屋水素濃度 (P91-H2E-001C)
20	高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-R-6)
21	高圧窒素ガス供給系配管 (HPIN-R-9)
22	静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001A)

表 1 影響検討対象設備 (2/2)

No	設備名称
23	静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-001B)
24	静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002A)
25	静的触媒式水素再結合器動作監視装置 (T71-TE-002B)
26	燃料取替エリア排気放射線モニタ
27	フィルタ装置出口放射線モニタ (D11-RE-099A)
28	フィルタ装置出口放射線モニタ (D11-RE-099B)
29	耐圧強化ベント系放射線モニタ
30	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (低レンジ)
31	使用済燃料貯蔵プール放射線モニタ (高レンジ)
32	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-1)
33	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-3)
34	静的触媒式水素再結合器
35	格納容器圧力逃がし装置配管 (FCVS-Y-6)
36	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置
37	止水堰
38	原子炉建屋クレーン
39	燃料取替機

2.2 影響検討における耐震条件の考え方

機器・配管系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。）並びに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。なお、設計用最大応答加速度Ⅰ及び設計用床応答曲線Ⅰ並びに設計用最大応答加速度Ⅱ及び設計用床応答曲線ⅡはV-2-1-7「設計用床応答曲線の作成方針」に示される。

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。

これを踏まえて本影響検討においては、設計用Ⅰを用いた耐震計算の裕度とは設計用Ⅰを基に作成した評価用応答比を、設計用Ⅱを用いた耐震計算の裕度とは設計用Ⅱを基に作成した評価用応答比をそれぞれ比較して簡易評価を実施する。

2.3 検討内容

2.3.1 面外加速度の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、面外加速度による影響を評価できる応答を作成する。

応答の作成については、「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」の「2.3.1 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」と同様の方法とし、「2.3.1 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」における「3次元影響評価用応答」を「面外影響評価用応答」と読み替える。

ここで、弾性設計用地震動 S_d に対する 3次元 FEM モデルの応答は、機器・配管系の設置箇所に対応する節点の応答を用いる。図 2～11 に影響検討に用いた節点を示す。

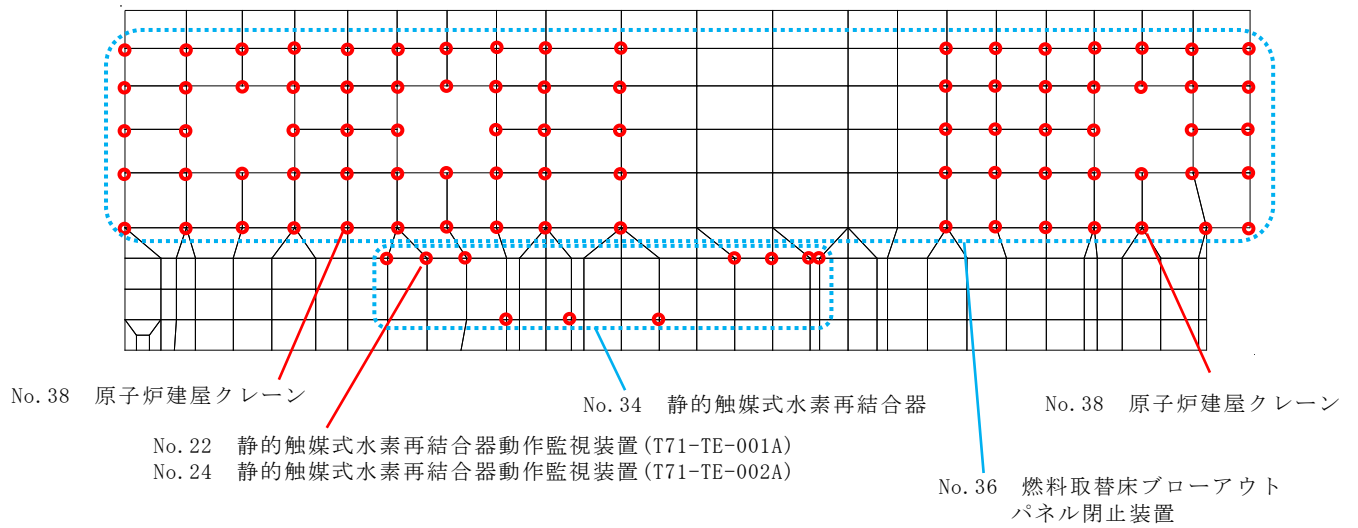


図2 オペフロ北面壁 (R6)

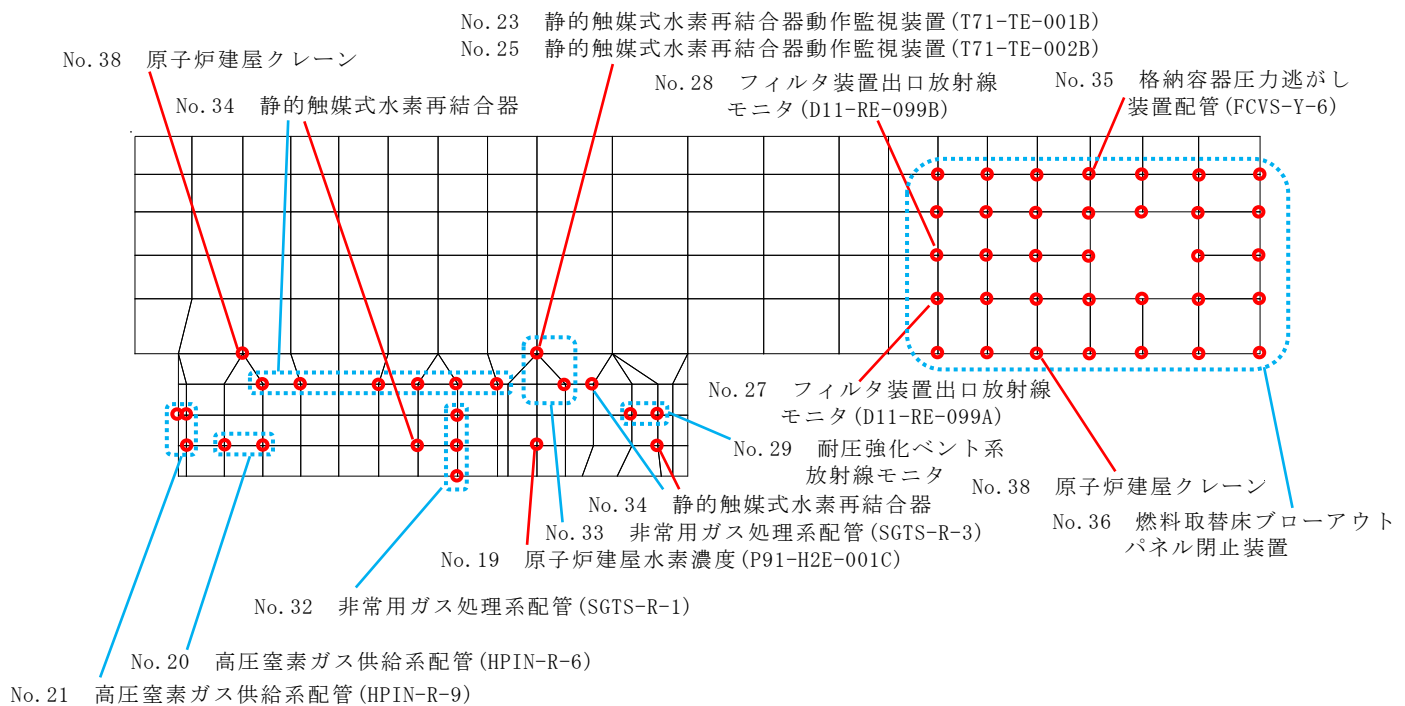


図3 オペフロ南面壁 (R2)

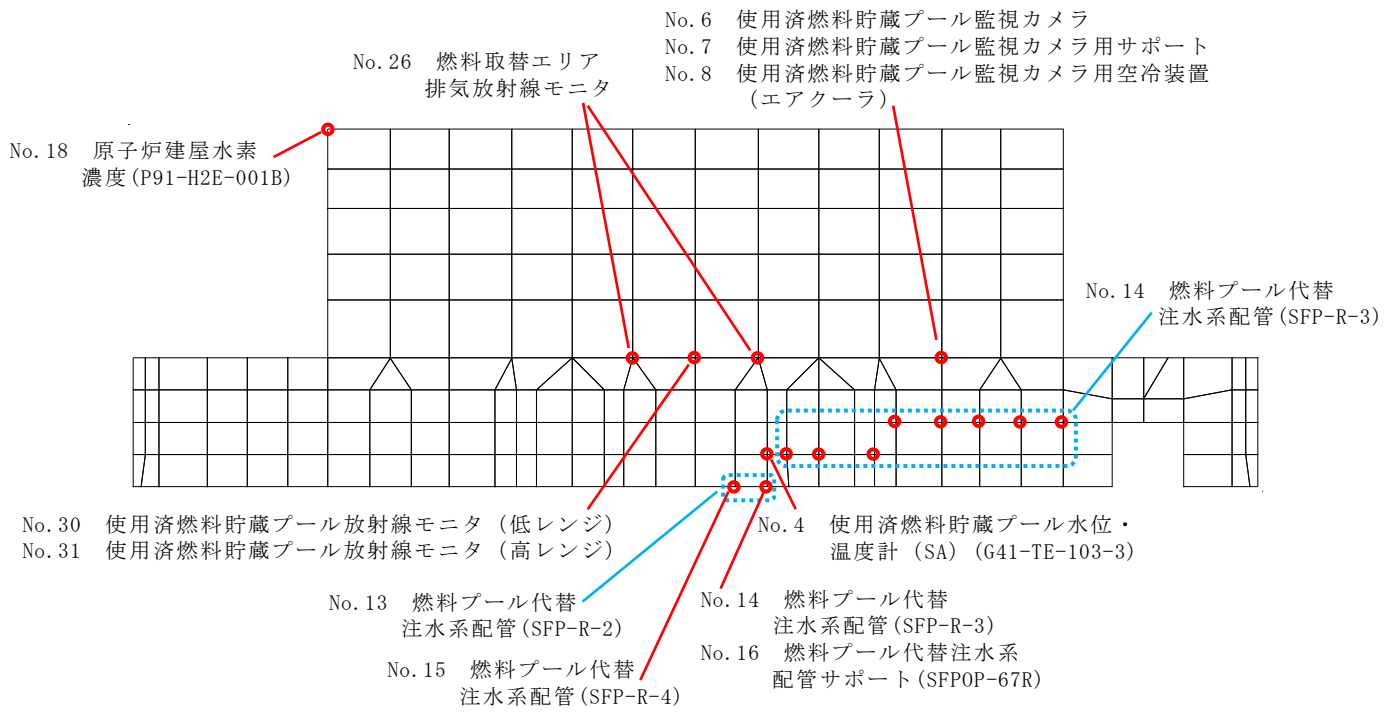


図4 オペフロ東面壁 (RG)

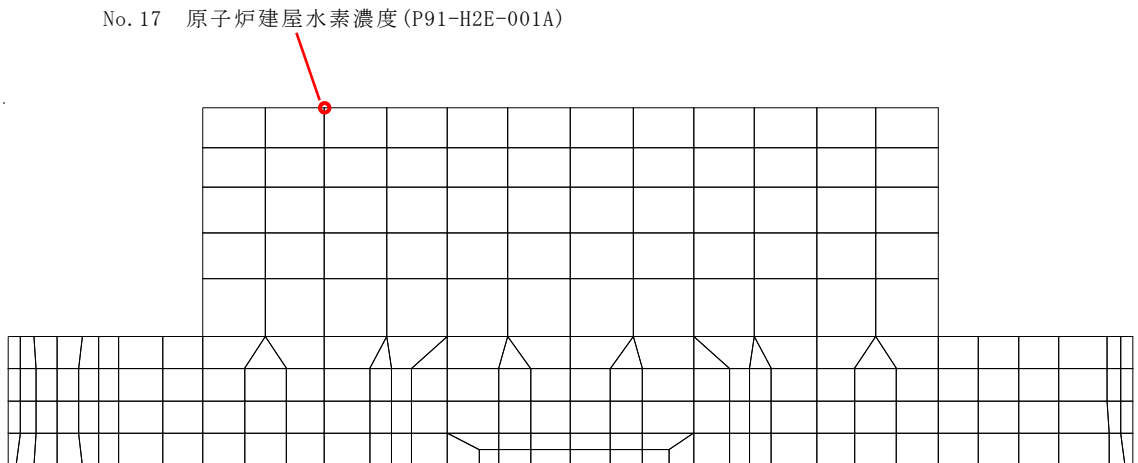


図5 オペフロ西面壁 (RA)

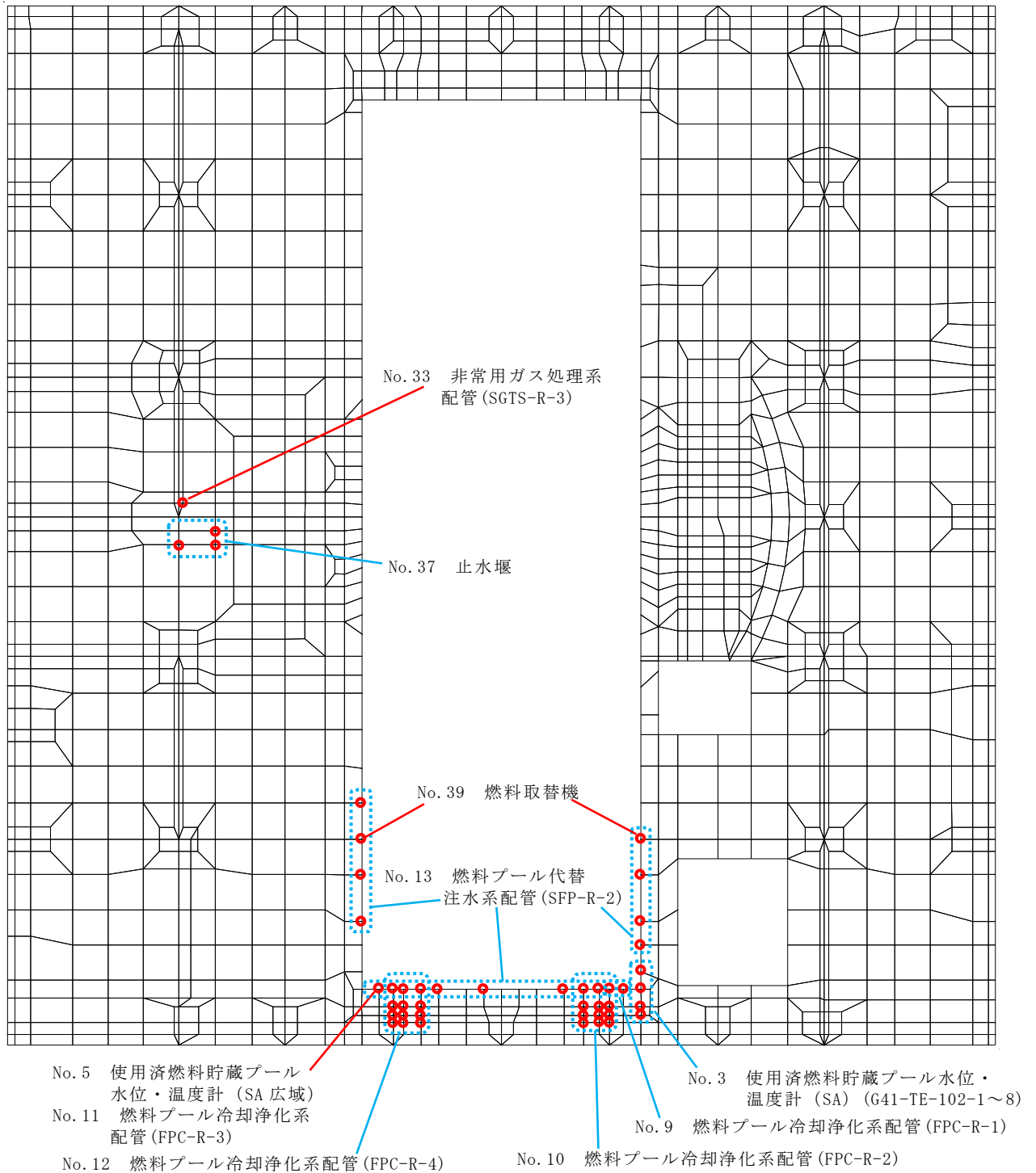
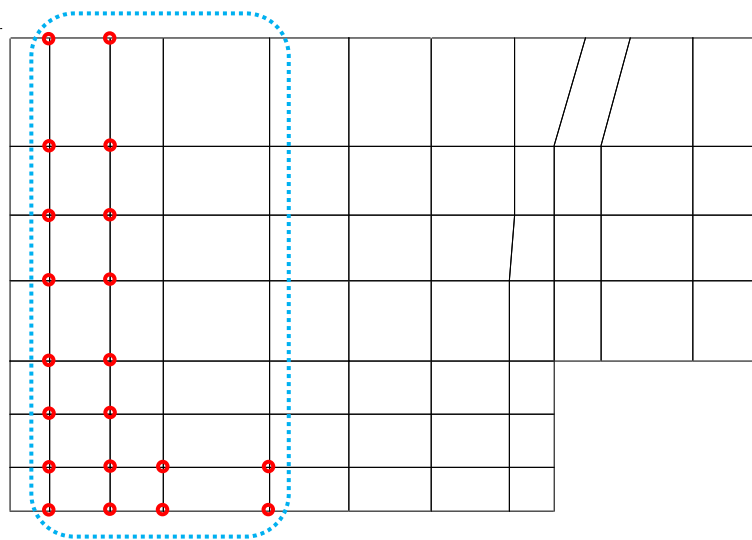
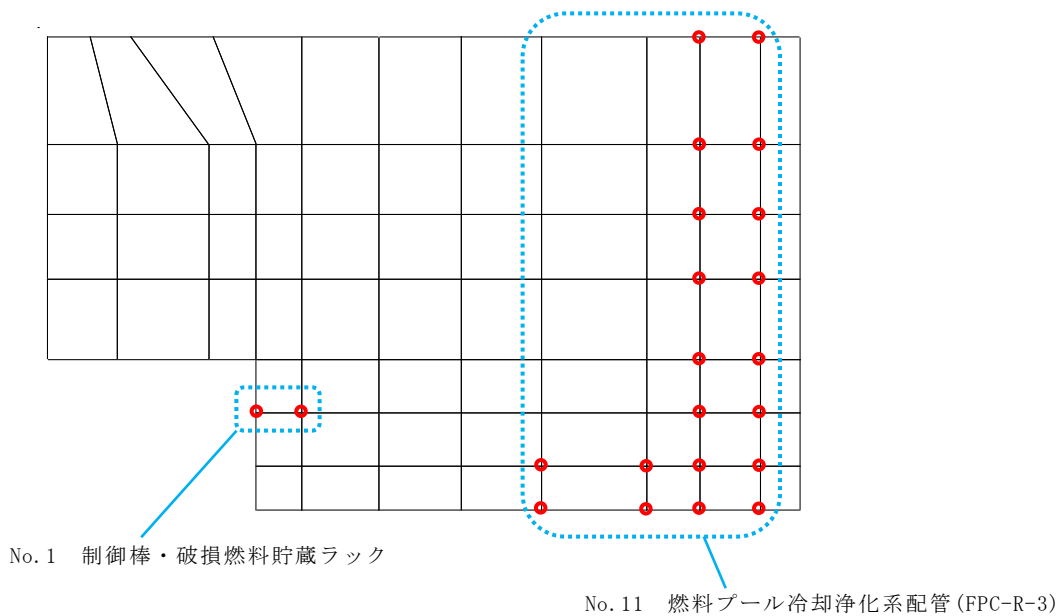


図 6 オペフロ床スラブ



No. 9 燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-1)

図 7 SFP 北面壁 (R5)



No. 1 制御棒・破損燃料貯蔵ラック

No. 11 燃料プール冷却浄化系配管 (FPC-R-3)

図 8 SFP 南面壁 (R3)

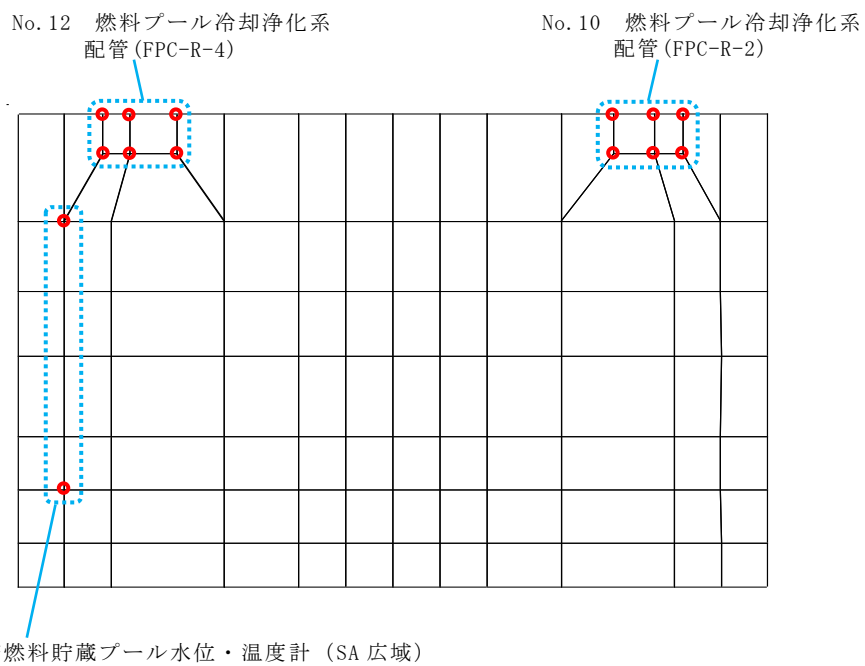


図 9 SFP 東面壁 (RG)

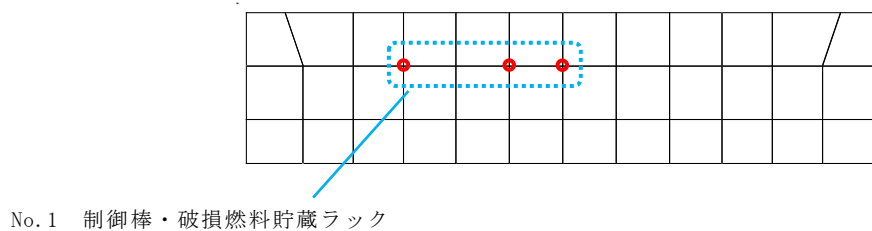
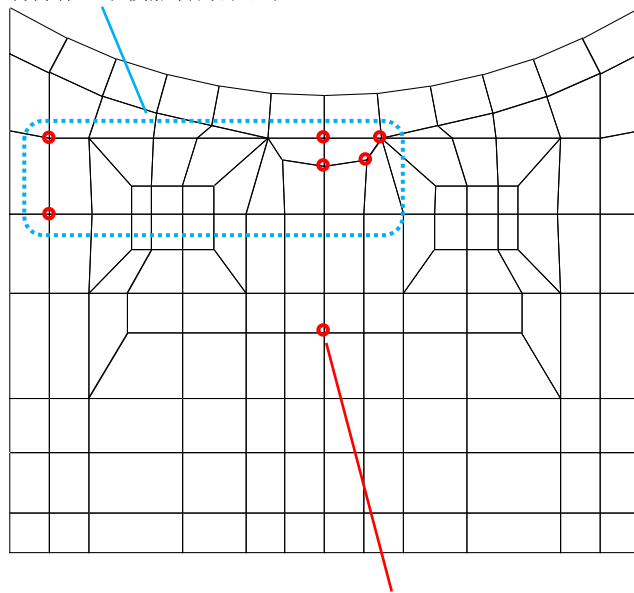


図 10 SFP 円筒壁 (RF)

No.1 制御棒・破損燃料貯蔵ラック



No.2 使用済燃料貯蔵ラック

図 11 SFP19. 7m 床スラブ

2.3.2 面外加速度による影響の評価

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、柔な設備については、評価用応答比は 0.05s を超える全ての固有周期を考慮する。具体的な考慮方法を図 12 及び図 13 に示す。

抽出された機器・配管系に対して詳細検討を実施する。

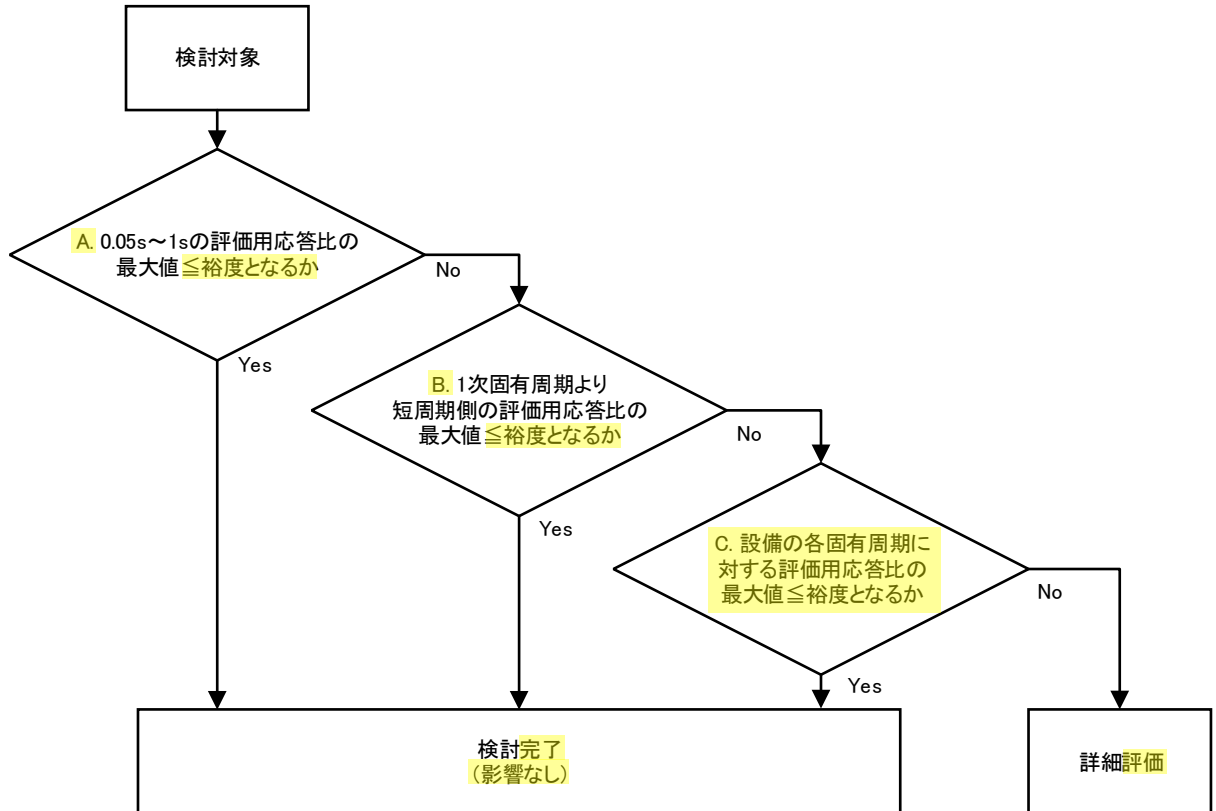
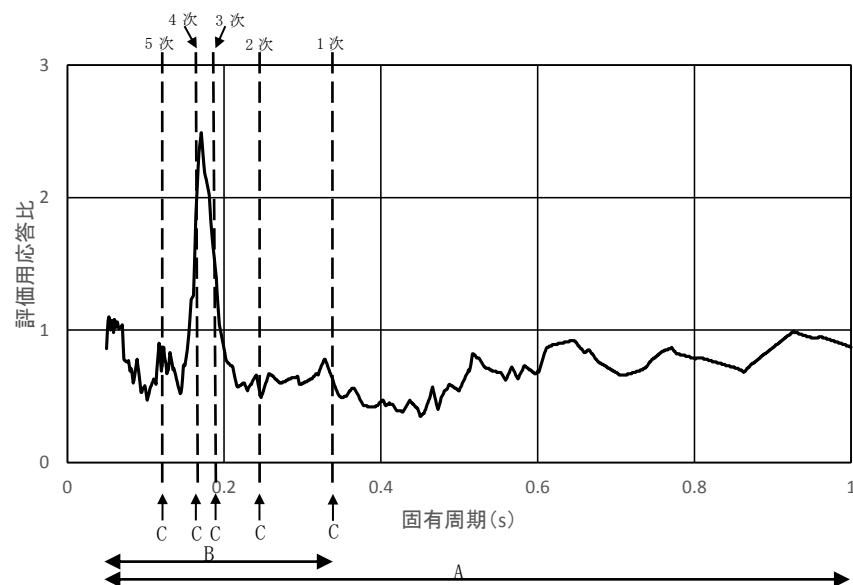


図 12 機器・配管系の固有周期における評価用応答比の考慮方法



注：A, B, C は図 12 のフローと対応

図 13 評価用応答比の算定例

3. 評価結果

3.1 簡易評価結果

簡易評価の結果，詳細評価が必要となった機器・配管系について表 2 に示す。

表 2 簡易評価結果で NG となった設備

No	設備名称	減衰* ¹ (%)	固有* ^{1,2} 周期 (s)	評価 項目	評価用 応答比	耐震* ³ 裕度
1	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)	1.0		構造 強度	1.37	1.01
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-3)	2.0	0.189	構造 強度	2.81	1.88
3	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-3)	2.0	0.160	構造 強度	1.73	1.19
4	燃料取替床ブローアウト パネル閉止装置	—	—	機能 維持	2.18	

注記*1：剛な設備は「—」として記載

*2：1次固有周期を代表して記載

*3：耐震裕度は各設備の耐震計算書の全評価結果のうち，最小値を記載

3.2 詳細評価結果

詳細評価が必要となった機器・配管系について、面外方向は面外影響評価用応答を用いて、面内方向は、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耐震条件を用いて、耐震計算を実施した。評価に用いた地震力を表 3 に、評価結果を表 4 に示す。また、評価に用いた面外評価用応答を図 14~17 及び表 5 に示す。なお、耐震条件以外の圧力、温度等の条件は、耐震計算書と同一の条件である。

表 3 詳細評価に用いた地震力

方向	地震動	解析ケース	拡幅	倍率
面外方向	Ss-1~8	基本ケース	なし	モデル比
面内方向	Ss-1~8	基本ケース	なし	1.0

表 4 詳細評価結果

No	設備名称	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)	検出器架台	組合せ	140MPa	205MPa
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-3)	—	一次＋二次応力	276MPa	410MPa
3	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-3)	—	一次＋二次応力	286MPa	422MPa
4	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置*1	電動機	機能維持評価		4.7G

注記*1：別紙 4.8.1 にて詳細を示す

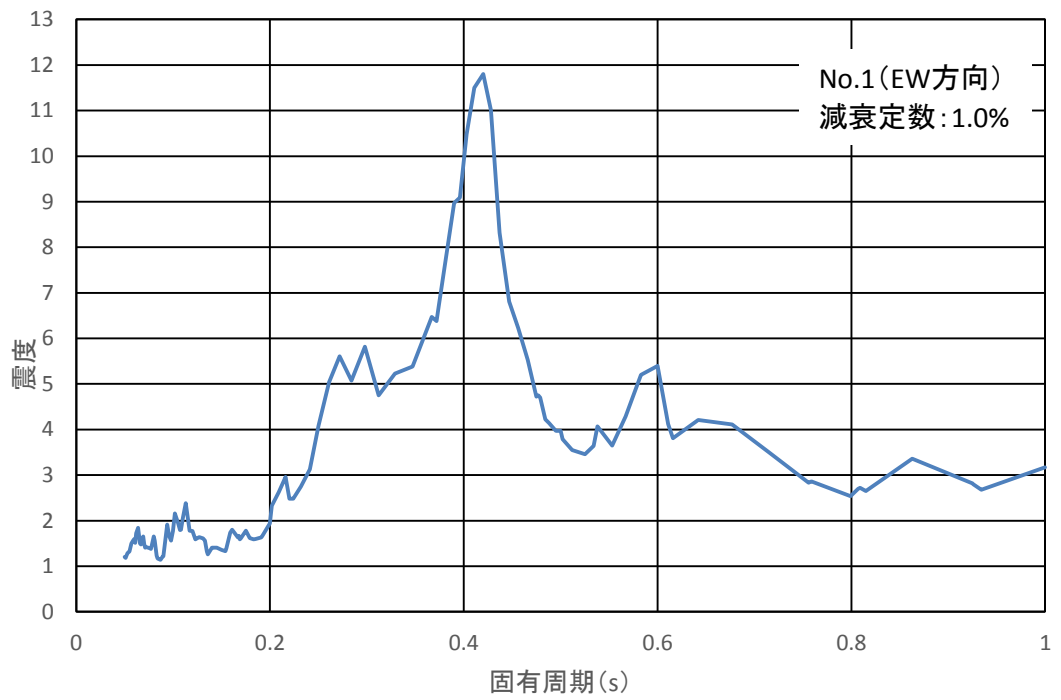


図 14 No. 1 面外影響評価用床応答曲線

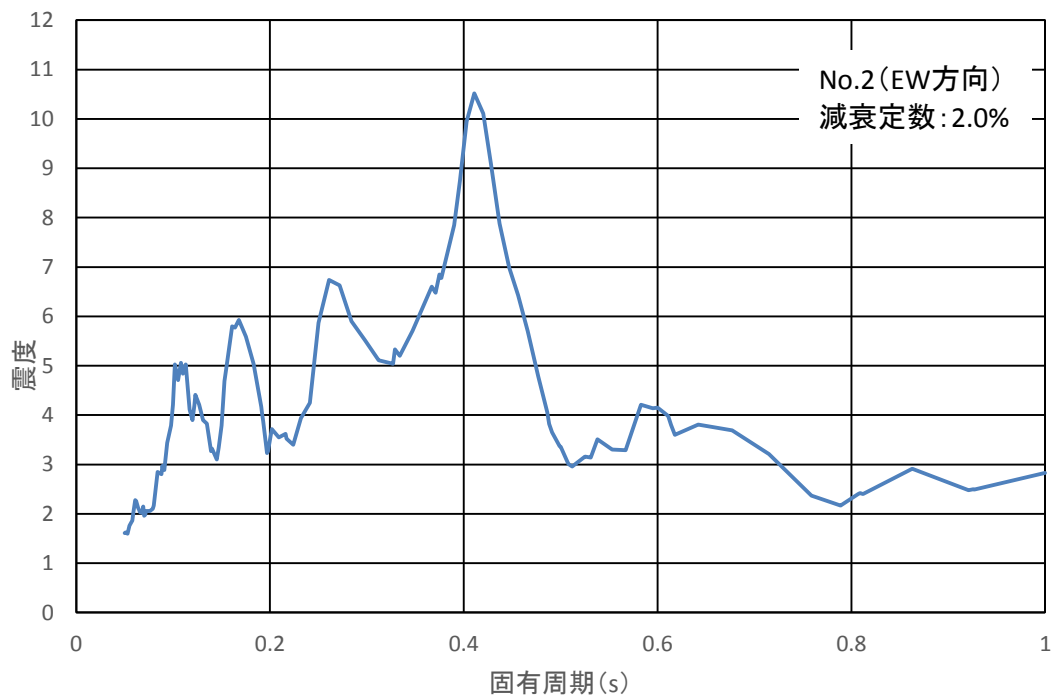


図 15 No. 2 面外影響評価用床応答曲線

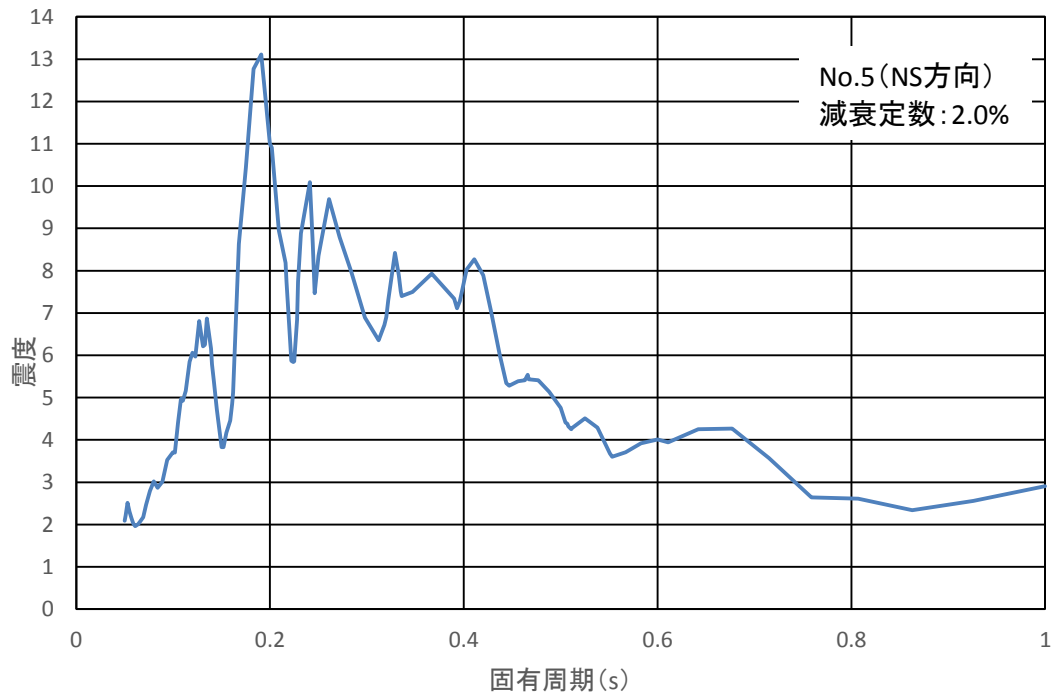


図 16 No. 3 面外影響評価用床応答曲線 (NS 方向)

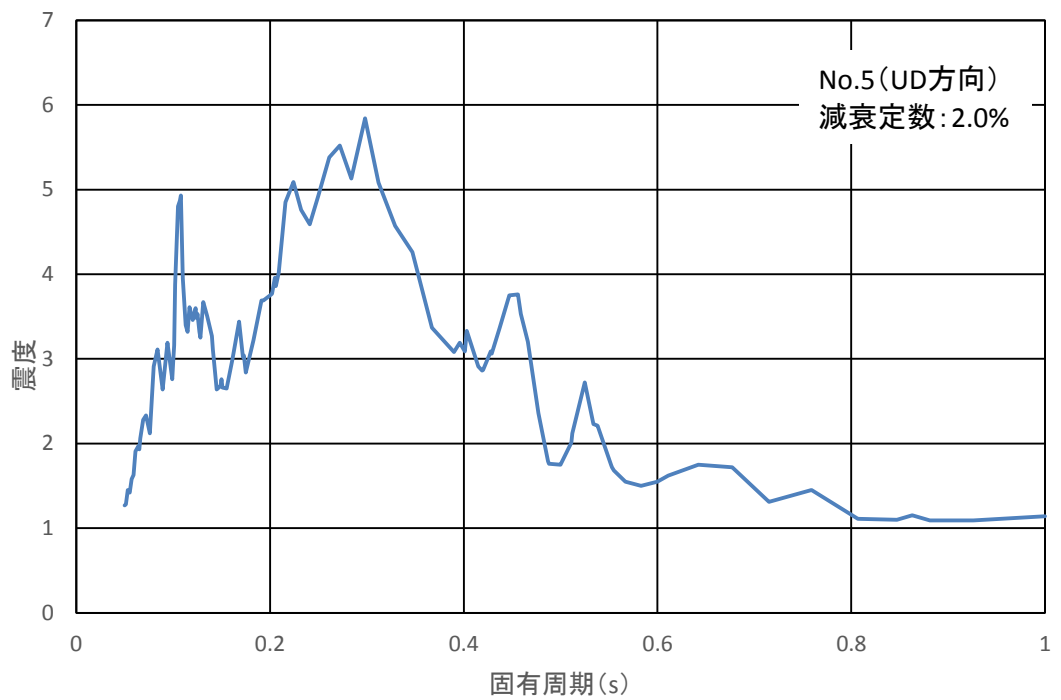


図 17 No. 3 面外影響評価用床応答曲線 (UD 方向)

表 5 面外影響評価用最大応答加速度

No	設備名称	面外方向	最大応答加速度 (G)
1	使用済燃料貯蔵プール水位・温度計 (SA 広域)	UD 方向	1.59
2	燃料プール代替注水系配管 (SFP-R-3)	EW 方向	1.85
3	非常用ガス処理系配管 (SGTS-R-3)	NS 方向	2.34
		UD 方向	1.34
4	燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置*1	NS 方向	<input type="text"/>

注記*1：別紙 4.8.1 にて詳細を示す。

4. まとめ

「別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査」の「2.5 地震応答解析結果」より，壁の中央部で面外にはらむような最大応答加速度分布となっていることから，面外加速度の機器・配管系への影響検討を実施し，その結果，面外加速度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。

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置の機能維持評価について

1. はじめに

燃料取替床ブローアウトパネル閉止装置（以下「BOP 閉止装置」という。）の機能維持評価について、簡易検討による耐震性が確認できなかったことから、詳細検討を実施した。詳細検討で用いた面外評価用最大応答加速度と機能確認済加速度について示す。

2. 動的機能維持評価対象設備

BOP 閉止装置における動的機能維持評価対象は電動機であり，その設置位置を図 1 に示す。

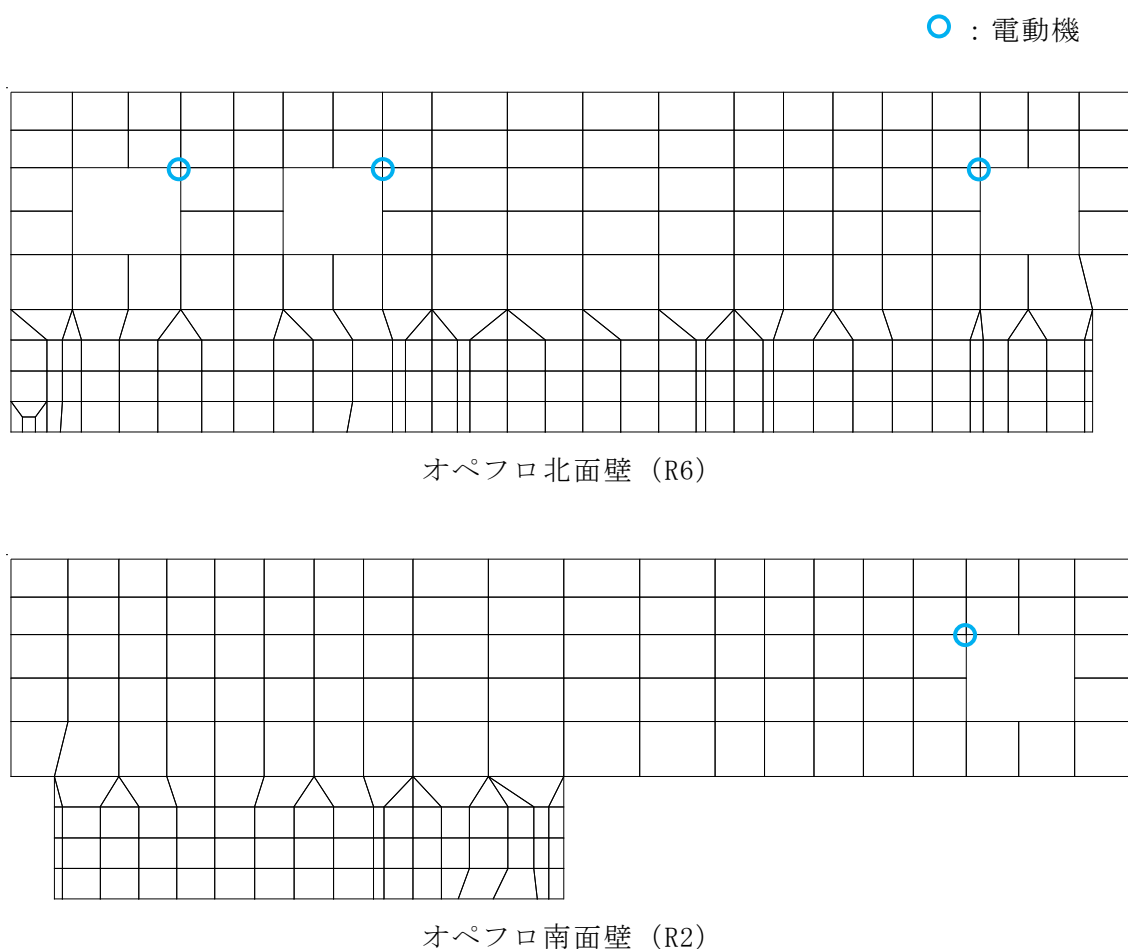


図 1 BOP 閉止装置における動的機能維持評価対象の設置位置

3. 面外評価用最大応答加速度による機能維持評価

3.1 BOP 閉止装置の機能確認済加速度による評価

評価結果を表 1 に示す。電動機の面外評価用最大応答加速度は機能確認済加速度を超えており、耐震性が確認できなかった。

表 1 加振試験による機能確認済加速度を用いた評価結果

対象	面外評価用 最大応答加速度 (G)	機能確認済加速度* ¹ (G)
電動機	<input type="text"/>	<input type="text"/>

注記*1：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」から引用

3.2 電動機の機能確認済加速度による評価

BOP 閉止装置の電動機は、出力 の横形ころがり軸受機であり、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」(以下「J E A G 4 6 0 1-1991」という。)の機能確認済加速度が適用できる。J E A G 4 6 0 1-1991 の機能確認済加速度を用いた電動機の評価結果を表 2 に示す。電動機の面外評価用最大応答加速度は機能確認済加速度以下であり、耐震性が確認できた。

表 2 J E A G 4 6 0 1-1991 の機能確認済加速度を用いた評価結果

対象	面外評価用 最大応答加速度 (G)	機能確認済加速度* ¹ (G)
電動機	<input type="text"/>	4.7

注記*1：V-2-1-9「機能維持の基本方針」から引用

4. まとめ

面外加速度による影響を考慮しても、BOP 閉止装置の機能維持評価において、耐震性に影響がないことを確認した。