

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-340-7 改 13
提出年月日	平成 30 年 10 月 1 日

工事計画に係る補足説明資料

耐震性に関する説明書のうち

補足-340-7 【水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組合せに
関する検討について】

平成 30 年 10 月

日本原子力発電株式会社

目次

1. 検討の目的	1
2. 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	2
2.1 東海第二発電所の基準地震動	2
2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動	6
3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価	7
3.1 建物・構築物	7
3.2 機器・配管系	74
3.3 屋外重要土木構造物	
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	

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

下線：本日まで提出資料

1. 検討の目的

平成 25 年に制定された「実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（平成 25 年 6 月 28 日原子力規制委員会規則第 6 号）」（以下「技術基準」という。）は、従前の耐震設計審査指針から充実が図られている。

そのうち、新たに要求された水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せについて、耐震設計に係る工認審査ガイドにおいて、以下の内容が示されている。

耐震設計に係る工認審査ガイド（抜粋）

3.5.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ（4.4.2 及び 5.5.2 も同様）

水平方向及び鉛直方向地震力の組合せを適切に行っていることを確認する。

(1) 動的な地震力の組合せ

水平 2 方向及び鉛直方向の地震力による応力の組合せを簡易的に行う際には、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の構造、応答特性に留意し、非安全側の評価にならない組合せ方法を適用していること。

なお、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の二次元応答特性により応答の同時性を考慮する必要がある場合は、各方向の各時刻歴での応答を逐次重ね合わせる等の方法により、応答の同時性を考慮していること。

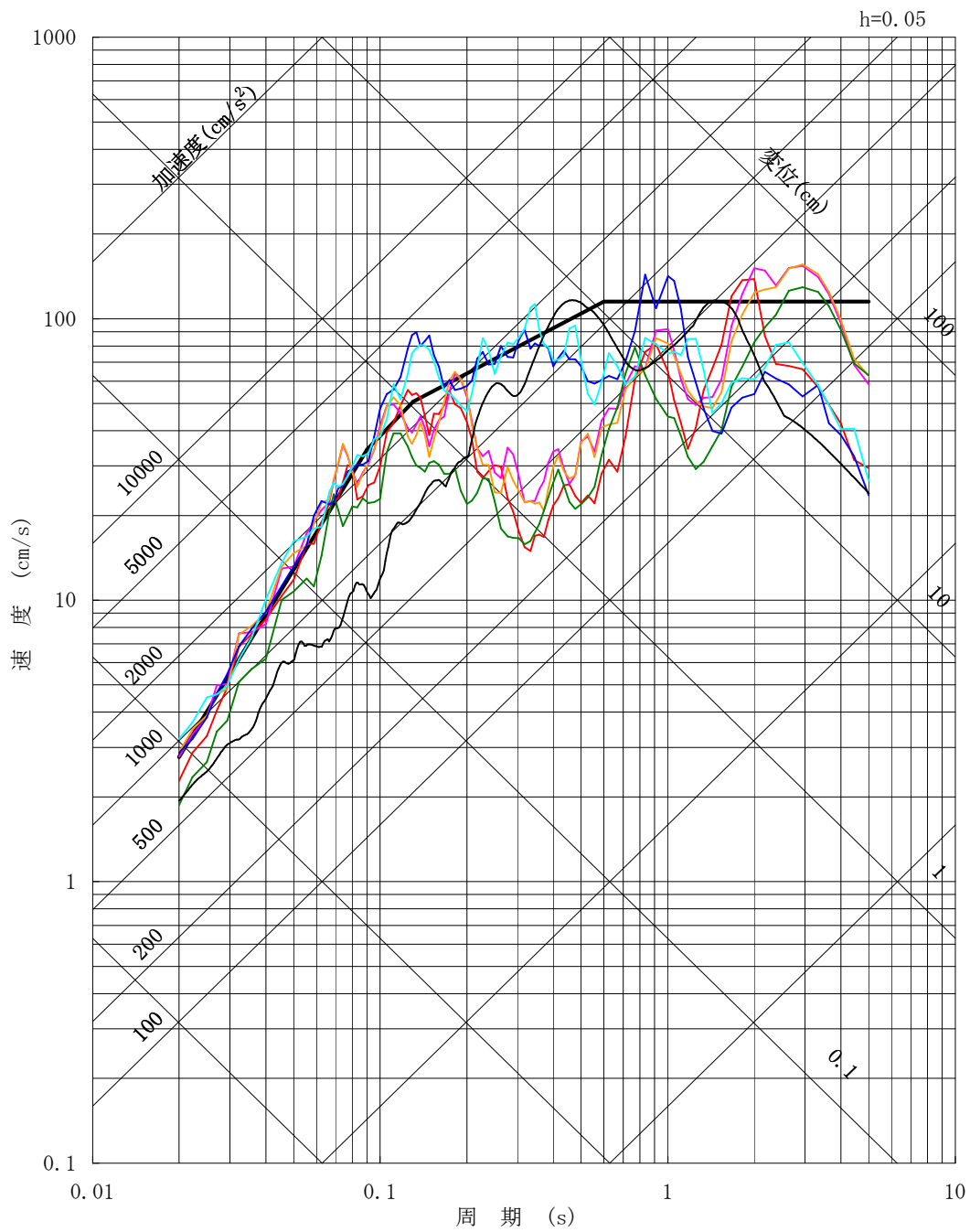
上記審査ガイドを踏まえ、従来の設計手法における水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。

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

2.1 東海第二発電所の基準地震動

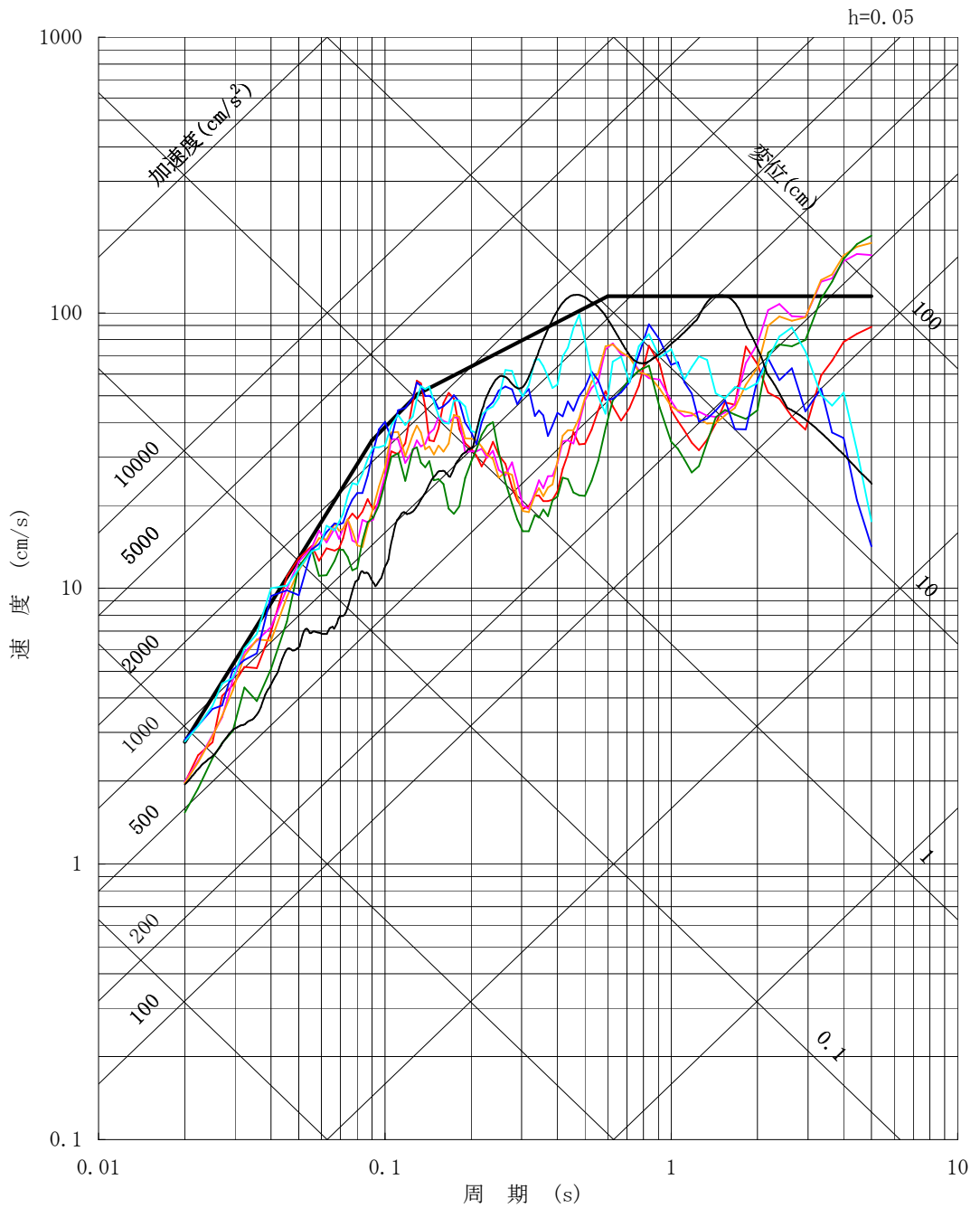
東海第二発電所の基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を評価して、これらの評価結果に基づき策定している。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」としては、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施し、その結果を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動として基準地震動 S_s-D1 、断層モデルを用いた地震動として $S_s-11 \sim S_s-14$ 、 S_s-21 、 S_s-22 を策定している。また、「震源を特定せず策定する地震動」として基準地震動 S_s-31 を策定している。

基準地震動 S_s のスペクトルを図 2-1 に示す。



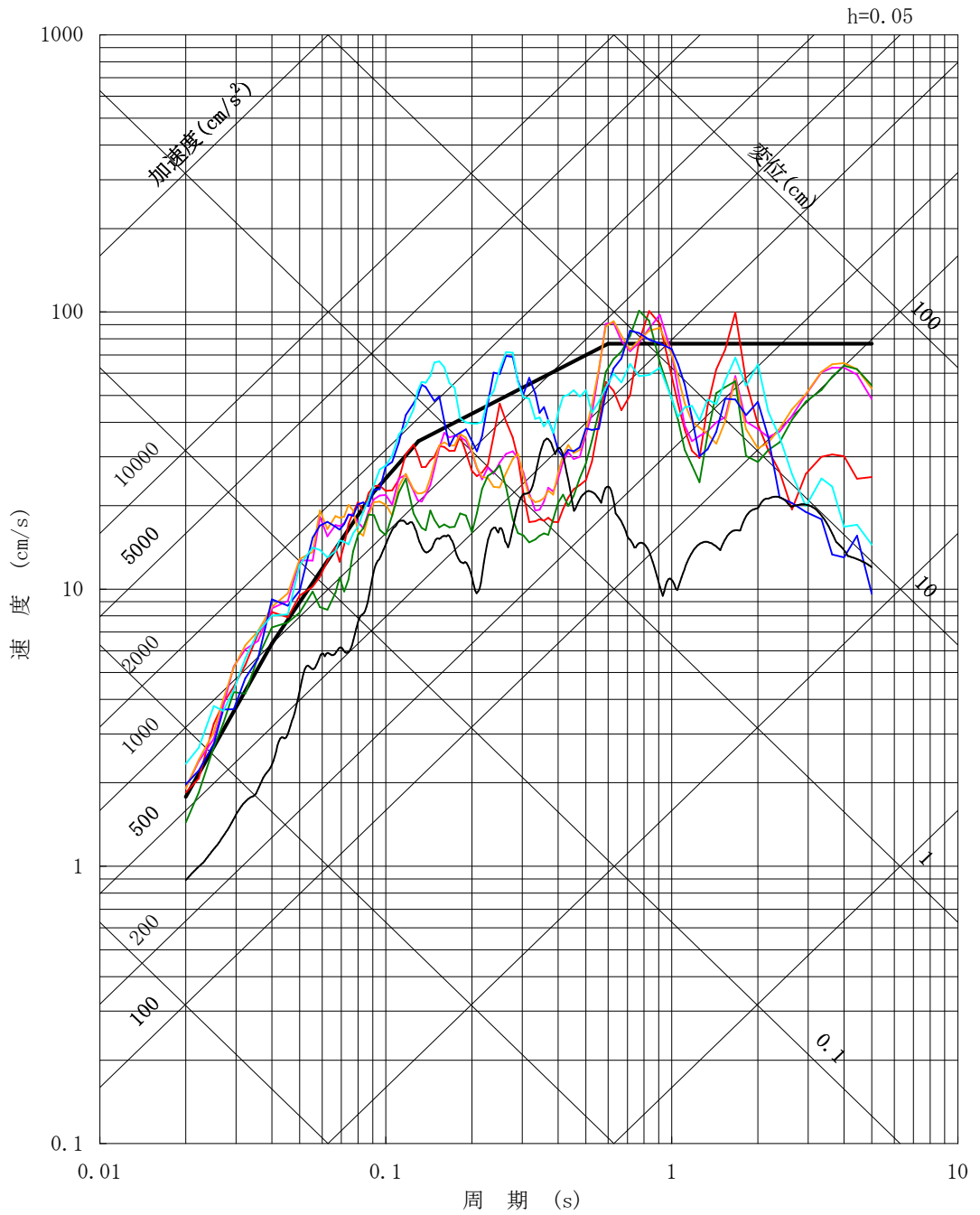
- S_s-D 1
- S_s-1 1 F 1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点 1)
- S_s-1 2 F 1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点 2)
- S_s-1 3 F 1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点 3)
- S_s-1 4 F 1 断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点 2)
- S_s-2 1 2011 年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)
- S_s-2 2 2011 年東北地方太平洋沖型地震 (SMG A位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- S_s-3 1 2004 年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

図 2-1 (1/3) 基準地震動 S_s の応答スペクトル (NS 方向)



- S_s-D1
- S_s-11 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点1）
- S_s-12 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点2）
- S_s-13 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震（短周期レベルの不確かさ，破壊開始点3）
- S_s-14 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震（断層傾斜角の不確かさ，破壊開始点2）
- S_s-21 2011年東北地方太平洋沖型地震（短周期レベルの不確かさ）
- S_s-22 2011年東北地方太平洋沖型地震（SMG A位置と短周期レベルの不確かさの重畳）
- S_s-31 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

図2-1 (2/3) 基準地震動 S_s の応答スペクトル (EW 方向)



- S_s-D1
- S_s-1 1 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-1 2 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-1 3 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-1 4 F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-2 1 2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)
- S_s-2 2 2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- S_s-3 1 2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動

図2-1 (3/3) 基準地震動 S_s の応答スペクトル (UD 方向)

2.2 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

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基準地震動は、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、本影響評価に用いる。

3. 各施設における水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

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

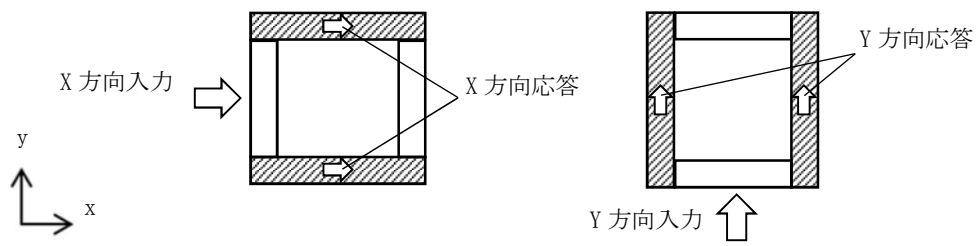
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルに方向ごとに入力し、解析を行っている。また、原子炉施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平2方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。従って、建物・構築物に対し、水平2方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平2方向の入力がある場合の評価は、水平1方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

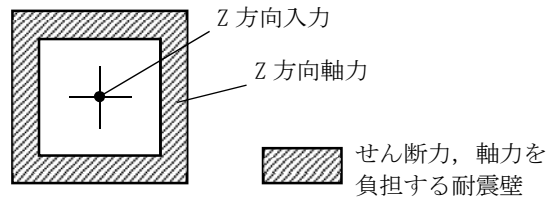
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に作用する軸力は、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、図3-1-1及び図3-1-2に示す。

また、添付書類「V-2-2 耐震設計上重要な設備を設置する施設の耐震性についての計算書」、V-2-3～V-2-10の申請設備の耐震計算書及び添付書類「V-2-11 波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書」のうち建物・構築物の応力解析による評価は、上記の考え方を踏まえた地震応答解析により算出された応答を、水平1方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

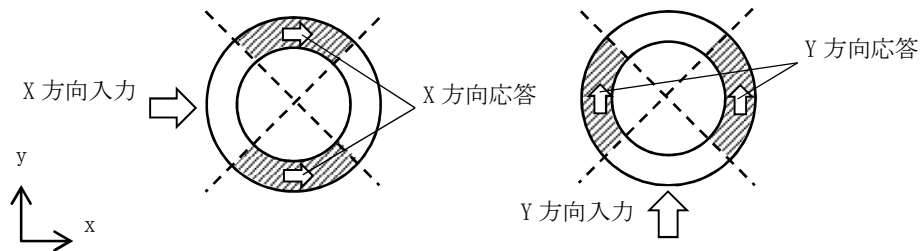


(a) 水平方向

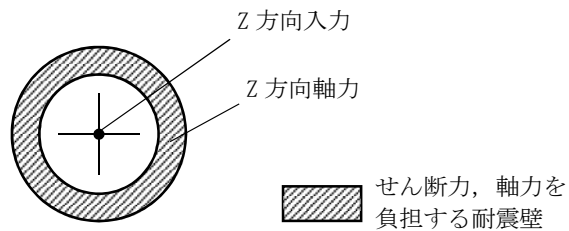


(b) 鉛直方向

図 3-1-1 入力方向ごとの耐震要素 (矩形)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 3-1-2 入力方向ごとの耐震要素 (円筒形)

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

建物・構築物において、従来設計手法に対して水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する部位とする。

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性から、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。

応答特性から抽出された水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位は、既往の評価結果の荷重又は応力の算出結果等を水平2方向及び鉛直方向に組み合わせ、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

各部位が有する耐震性への影響があると確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

影響評価のフローを図3-1-3に示す。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理する。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理する。

なお、隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突可否判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、耐震壁を主たる評価対象部位としている。また、波及的影響評価において杭及びケーソンについては損傷を想定した評価をしている。そのため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対しても、耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

整理した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性のうち、荷重の組合せによる応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3 次元的な応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(5) 3 次元 F E Mモデルによる精査

3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3 次元 F E Mモデルを用いた精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

また、3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所応答の観点から、3 次元 F E Mモデルによる精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する 3 次元 F E Mモデルによる精査を行う建物・構築物は、その重要性、規模、構造特性及び機器評価確認への適用性を考慮し、原子炉建屋について、地震応答解析を行う。

原子炉建屋の 3 次元 F E Mモデルの概要図を図 3-1-4 に示す。

(6) 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

水平 2 方向及び鉛直方向同時入力による評価を行わない部位における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価においては、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果を用い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組合せる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 (注) の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて地震力を設定する。

評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力を適切に組み合わせることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位の耐震性への影響を評価する。

注 : REGULATORY GUIDE (RG) 1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

(7) 機器・配管系への影響検討

(3) 及び (5) にて、施設が有する耐震性への影響が想定され、評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合には、機器・配管系に対し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系の影響評価に反映する。

なお、(5) の精査にて、建物・構築物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、3 次元 F E Mモデルによる地震応答解析結果から、機器・配管系への影響の可能性が想定される部位について検討対象として抽出する。

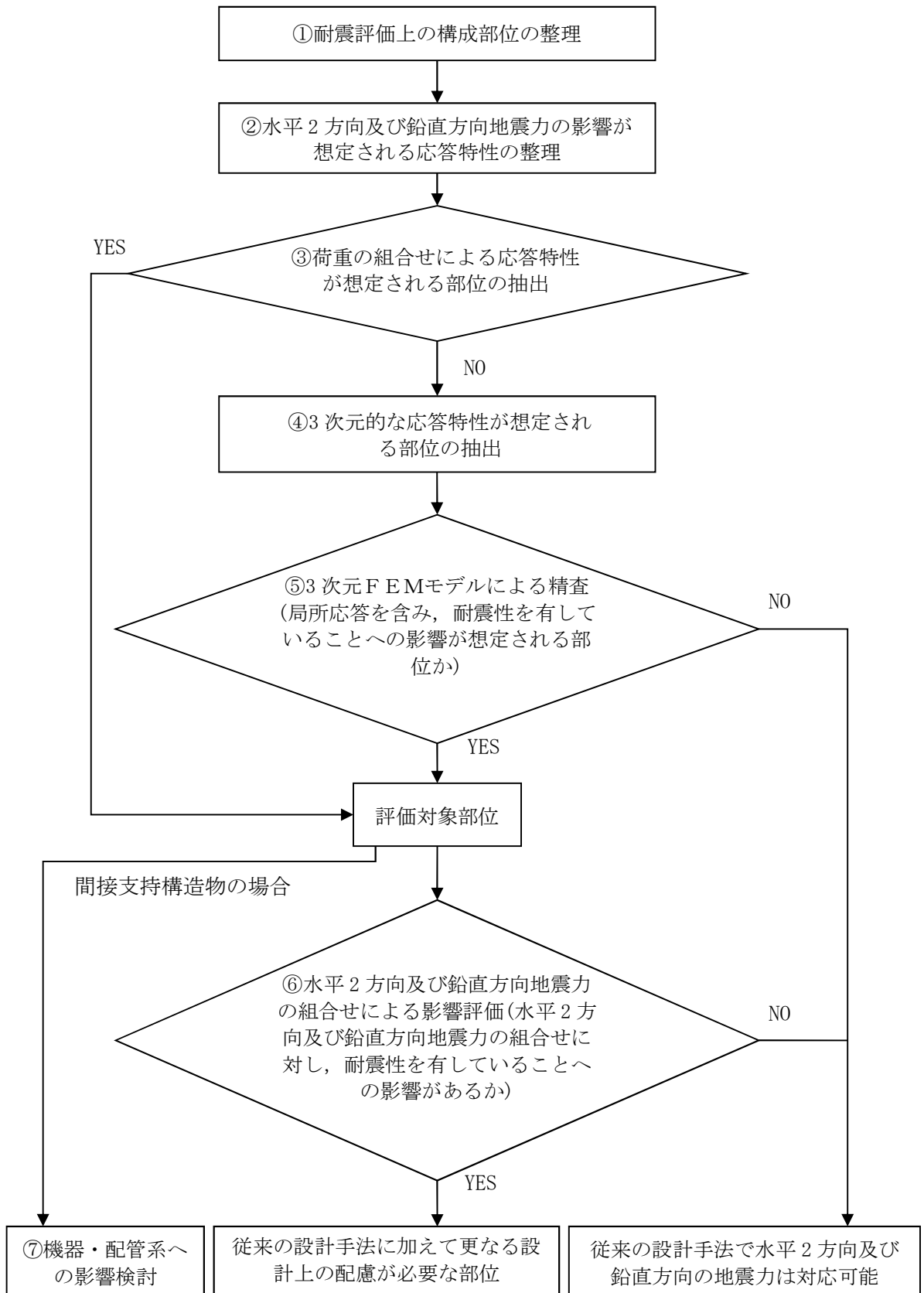


図 3-1-3 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

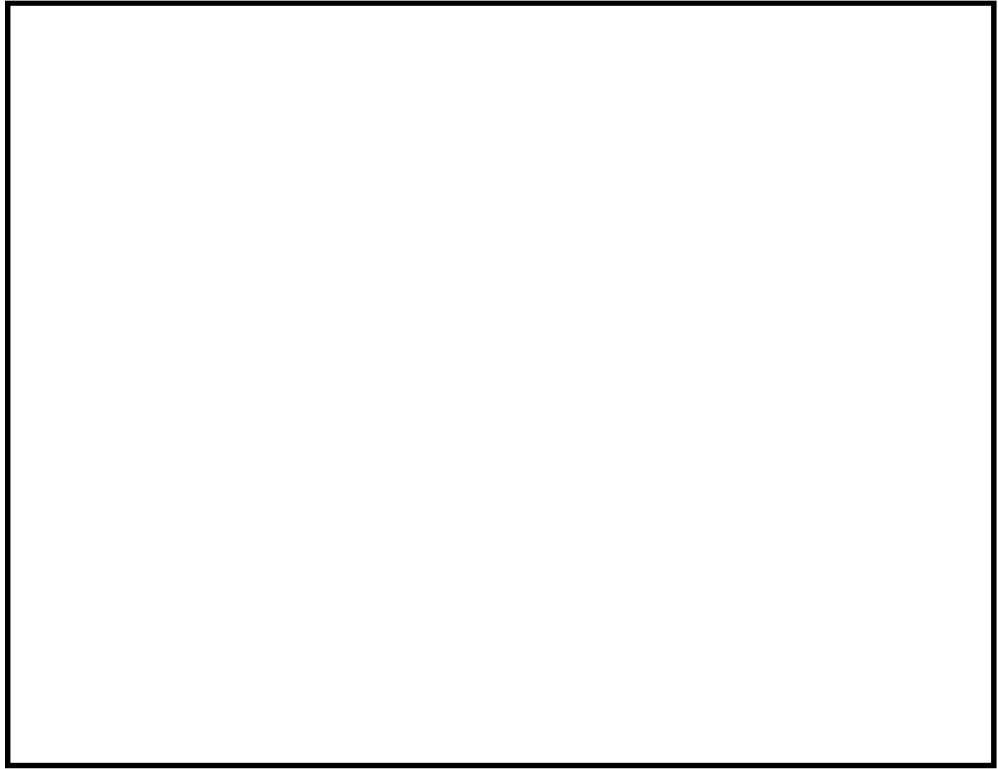


図 3-1-4 原子炉建屋の 3 次元モデルの概要図

3.1.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

対象とする部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される応答特性から、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位を抽出する。影響評価部位の抽出の詳細については別紙1に示す。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を表3-1-1に示す。

表 3-1-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC造 及びS造	S造	S造	RC造 及びS造	RC造	RC造	RC造 及びS造	RC造 及びS造
柱	一般部	○	—	—	○	—	○	○	○
	隅部	○	○	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	—	—	○	—
	筒身	—	○	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	○	○	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	—	—	○	—
	鉄骨トラス	○	—	—	○	—	—	○	—
壁	一般部	○	—	—	○	○	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	○	—
	鉄骨ブレース	—	○	○	—	—	—	—	○
床 屋根	一般部	○	—	—	○	○	○	○	○
基礎	基礎スラブ	○	—	○	○	○	○	○	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	○	—
	基礎梁	—	○	—	—	—	—	—	○
	杭	—	○	○	○	—	○	○	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表3-1-2及び表3-1-3に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力のかえ方を表3-1-4に示す。

表 3-1-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

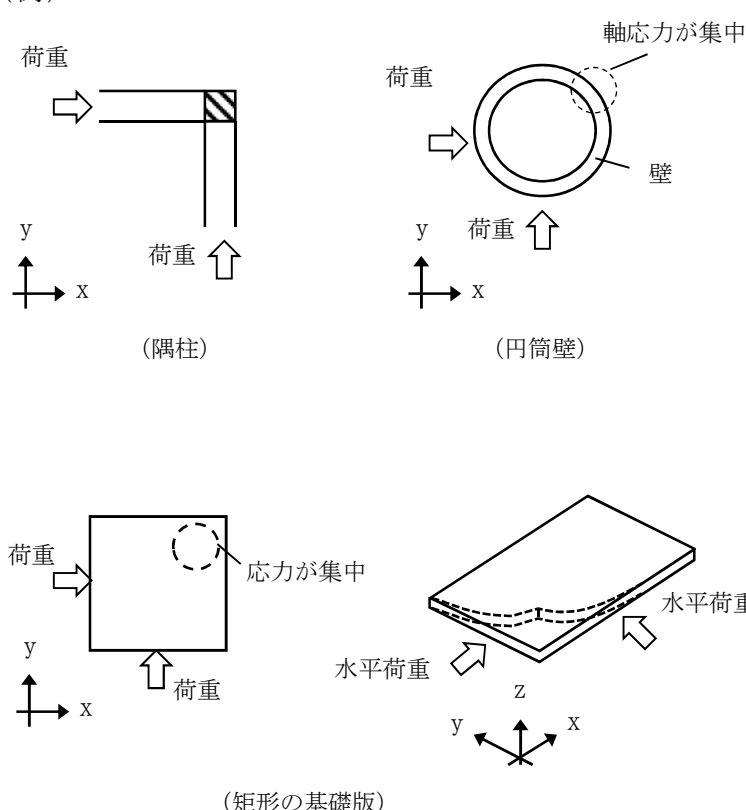
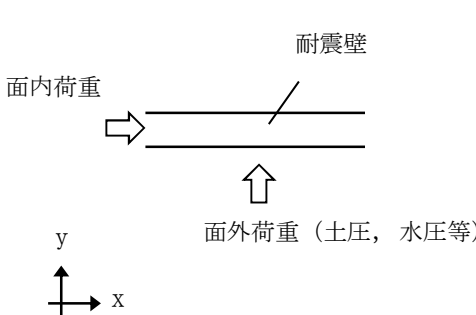
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 → (隅柱)</p> <p>荷重 → (円筒壁)</p> <p>軸応力が集中</p> <p>壁</p> <p>荷重 ↑</p> <p>荷重 → (矩形の基礎版)</p> <p>応力が集中</p> <p>水平荷重</p> <p>水平荷重</p>
①-2	面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> <p>面内荷重 →</p> <p>↑</p> <p>面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

表 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

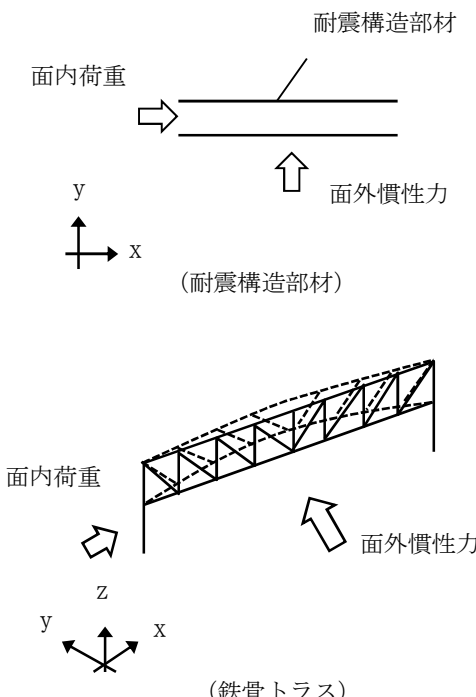
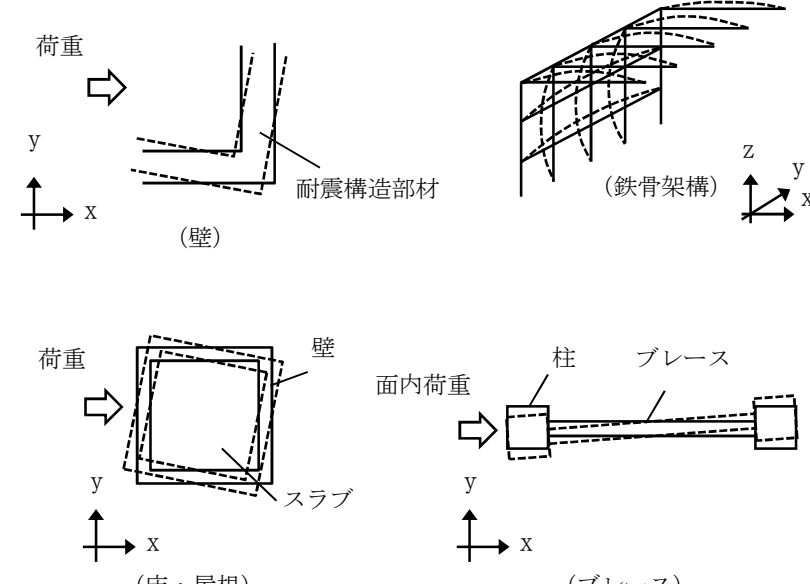
3 次元的な 応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>耐震構造部材</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(耐震構造部材)</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力</p> <p>(鉄骨トラス)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方に励起される振動</p>	<p>塔状構造物などを含む，ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重</p> <p>耐震構造部材</p> <p>(壁)</p> <p>(鉄骨架構)</p> <p>荷重</p> <p>壁</p> <p>スラブ</p> <p>(床・屋根)</p> <p>面内荷重</p> <p>柱</p> <p>ブレース</p> <p>(ブレース)</p>

表 3-1-4 (1/3) 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力による影響の考え方

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の影響
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部を含む)	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで影響は小さい。</p>
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向（土圧）の荷重が作用する。ただし、外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にある梁及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p>
梁	一般部	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床及び壁の拘束により面外地震荷重負担による影響は小さい。</p>
	地下部	<p>地下外周梁は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向（土圧）の荷重が作用する。ただし、1方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床及び壁の拘束により面外地震荷重負担による影響は小さい。</p>
	鉄骨トラス	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。ただし、1方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、また、床による拘束があるため、面外地震荷重負担による影響は小さい。</p>

表 3-1-4 (2/3) 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力による影響の考え方

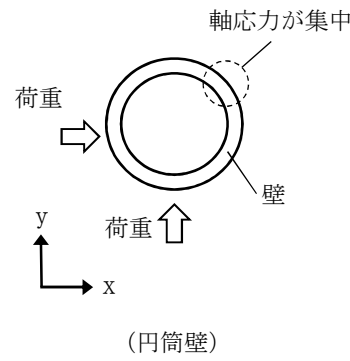
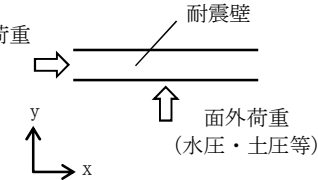
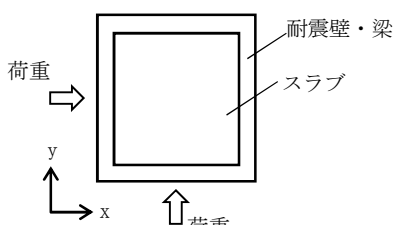
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の影響
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本である。 円筒壁は直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p>  <p>(円筒壁)</p>
	地下部 プール壁	<p>地下部分の耐震壁は、直交する方向からの地震時面外土圧荷重も受ける。同様にプール部の壁については水圧を面外方向から受ける。</p>  <p>面外荷重 (水圧・土圧等)</p>
	鉄骨 ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。</p>
床 屋根	一般部	<p>スラブは四辺が壁及び梁で拘束されており、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。</p>  <p>耐震壁・梁 スラブ</p>

表 3-1-4 (3/3) 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力による影響の考え方

耐震評価上の構成部材		水平 2 方入力の影響
基礎	基礎スラブ ・ ケーソン ・ 杭	<p>直交する水平 2 方向の地震力により，集中応力が作用する。</p> <p>(矩形基礎) (杭基礎)</p>
	基礎梁	<p>面内方向の荷重に加え，面外慣性力が作用する。また，面外地震荷重負担による影響は小さい。</p>

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

表 3-1-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 3-1-2 に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 3-1-5 に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中する部位」として、主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構の隅柱、原子炉建屋、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋、格納容器圧力逃がし装置格納槽及び緊急時対策所建屋の基礎スラブ並びに主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の杭を抽出した。

また、応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」として、原子炉建屋の地下外壁及びプール側壁、格納容器圧力逃がし装置格納槽及びタービン建屋の地下外壁を抽出した。

a. 柱

柱は、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、隅部（端部柱を含む）が考えられ、中柱の一般部は、応力が集中することはない。また、主排気筒の筒身については、鉄塔の中央で支持されており、応力が集中することはない。

主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構の隅柱は①-1 に該当するものとして抽出した。サービス建屋の隅柱については、サービス建屋が隣接する上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋であり、隣接する原子炉建屋への衝突方向には耐震壁追設補強により、隅柱に軸応力が集中しても波及的影響評価に影響がないため、抽出しない。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位としては、土圧が作用する地下外周柱が考えられるが、原子炉建屋及びタービン建屋の地下外周柱は、耐震壁に囲まれており、耐震壁が面内の荷重を負担し、地下外周柱は面内の荷重を負担しないため、該当しない。また、対象の建物・構築物の地下外周柱はすべて梁等に接続しており、土圧はそのまま梁等に伝達されるため、該当しない。

b. 梁

梁の一般部、地下部及び鉄骨トラス部については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」の部位に該当しない。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位としては、土圧が作用する地下外周部が考えられるが、原子炉建屋及びタービン建屋の地下外周梁は直交する床及び壁が存在し、これらによる面外方向の拘束があるため、該当しない。

c. 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」の部位は存在しない。独立した円筒壁は応力の集中が考えられる。ただし、原子炉建屋の一次格納容器を囲む円筒遮蔽壁のように、建屋の中央付近に位置し、その外側にあるボックス型の壁とスラブで一体化されている場合は、①-

1 「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」の部位に該当しない。

①-2 「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位としては、土圧や水圧が作用するプール部や地下部が考えられ、原子炉建屋の地下外壁及びプール側壁、格納容器圧力逃がし装置格納槽及びタービン建屋の地下外壁を、①-2 に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1 「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」及び①-2 「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位に該当しない。

e. 基礎

①-1 「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」の部位としては、基礎スラブ及び杭が考えられる。

原子炉建屋、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋、格納容器圧力逃がし装置格納槽及び緊急時対策所建屋の基礎スラブ並びに主排気筒、非常用ガス処理系配管支持架構、使用済燃料乾式貯蔵建屋及び緊急時対策所建屋の杭は隅部への応力集中が考えられるため、①-1 に該当するものとして抽出した。

①-2 「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」の部位としては、基礎主排気筒の基礎梁が考えられるが、主排気筒の基礎梁は地震時の面外荷重が、直近の直交部材にて受ける構造としているため該当しない。

表 3-1-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出（荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング）

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC 造 及び S 造	S 造	S 造	RC 造 及び S 造	RC 造	RC 造	RC 造 及び S 造	RC 造 及び S 造
柱	一般部	該当なし	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	①-1 要	①-1 要	該当なし	—	該当なし	該当なし	不要 ^(*1)
	地下部	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
	筒身	—	該当なし	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
	鉄骨トラス	該当なし	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—
壁	一般部	①-2 要（フール側壁）	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	①-2 要	—	—	—	①-2 要	—	①-2 要	—
	鉄骨ブレース	—	該当なし	該当なし	—	—	—	—	不要 ^(*2)
床 屋根	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	基礎スラブ	①-1 要	—	①-1 要	①-1 要	①-1 要	①-1 要	不要 ^(*2)	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	不要 ^(*2)	—
	基礎梁	—	該当なし	—	—	—	—	—	不要 ^(*2)
	杭	—	①-1 要	①-1 要	①-1 要	—	①-1 要	不要 ^(*2)	不要 ^(*2)

凡例 要：評価必要，不要：評価不要，①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」，①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」

注記 *1: 上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋であり，隣接する原子炉建屋への衝突方向には耐震壁追設補強により，隅柱に軸応力が集中しても波及的影響評価に影響がないため，不要とする。

*2: 上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋は，衝突可否判断が基本となるため，せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり，耐震壁を主たる評価対象部位としている。また，波及的影響評価において杭及びケーソンについては損傷を想定した評価をしている。そのため，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対しても，耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表3-1-1に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、表3-1-3に示す3次元的な応答特性により、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表3-1-6に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい可能性がある部位」として、原子炉建屋の燃料取替フロアの壁を抽出した。

また、応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生する可能性がある部位」として、非常用ガス処理系配管支持架構の梁一般部（水平材）及び鉄骨ブレース（斜材）を抽出した。

a. 柱

主排気筒及び非常用ガス処理系配管支持架構の隅柱は(3)で抽出されているため、その他の柱について②-1「面外方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の発生する部位への該当を検討する。

原子炉建屋、主排気筒、使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所建屋、タービン建屋、サービス建屋の柱は各部とも、両方向に対して断面算定を実施しており、面外慣性力の影響も考慮済であるため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位には該当しない。また、対象の建物・構築物は、鉄筋コンクリート造耐震壁又は鉄骨ブレースを主な耐震要素として扱っており、地震力のほとんどを耐震壁又は鉄骨ブレースが負担する。ねじれ振動の影響が想定される部位についても、ねじれを加味した構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位にも該当しない。

主排気筒は地震力のほとんどを鉄塔が負担しており、筒身は②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位には該当しない。また、釣り合いよく鉄塔に支持される構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位にも該当しない。

b. 梁

原子炉建屋、使用済燃料乾式貯蔵建屋、緊急時対策所建屋、タービン建屋、サービス建屋の梁一般部及び地下部は、剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位には該当しない。

鉄骨トラス部は、1方向トラスの場合には、面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられるが、各建屋の鉄骨トラスは直交方向にもトラスや繋ぎ梁が存在し、面外慣性力を負担するため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位に該当しない。また、非常用ガス処理系配管支持架構については対称構造でないためにねじれ挙動が想定されることから、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位に該当する。

c. 壁

(3)で抽出されている以外の各建屋の壁について、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の発生する部位の検討を行う。

原子炉建屋の上部階の壁は複数スパンにまたがって直交方向に壁及び大梁がなく、面内方向荷重に加え、面外慣性力の影響が大きいと考えられることから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位に該当する。

非常用ガス処理系配管支持架構については対称構造でないためにねじれ挙動が想定されるため、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位に該当する。

d. 床及び屋根

各建屋の床及び屋根については、釣合いよく壁が配置されているため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位に該当しない。

e. 基礎

基礎スラブ及び杭は、(3)の荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニングで既に抽出されている。

②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」の部位としては、主排気筒の基礎梁が考えられるが、主排気筒の基礎梁は短スパンであり影響は少ないと考えられるため、該当しない。

表 3-1-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC 造 及び S 造	S 造	S 造	RC 造 及び S 造	RC 造	RC 造	RC 造 及び S 造	RC 造 及び S 造
柱	一般部	不要	—	—	不要	—	不要	不要	不要
	隅部	不要	要	要	不要	—	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	不要	—
	筒身	—	不要	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	不要	不要	②-2	不要	—	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	不要	—
	鉄骨トラス	不要	—	—	不要	—	—	不要	—
壁	一般部	要 (プール側壁) ②-1 (燃料取替フロア壁)	—	—	不要	不要	不要	不要 (*)	不要
	地下部	要	—	—	—	要	—	要	—
	鉄骨ブレース	—	不要	②-2	—	—	—	—	不要
床 屋根	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	不要	不要
基礎	基礎スラブ	要	—	要	要	要	要	不要	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	不要	—
	基礎梁	—	不要	—	—	—	—	—	不要
	杭	—	要	要	要	—	要	不要	不要

凡例 要：荷重の組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み，不要：評価不要，②-1：応答特性「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」，②-2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記 *：上部階の壁は複数スパンにまたがって直交方向に壁及び大梁がなく，面内方向荷重に加え，面外慣性力の影響が大きいと考えられるが下部に上位クラス施設がないため不要とする。

(5) 3次元FEMモデルによる精査

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出した部位について、3次元FEMモデルにより精査を行った。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい部位」については、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、下部に上位クラス施設がある原子炉建屋の燃料取替フロアの壁を代表として3次元FEMモデルによる精査を行った。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動の影響が大きい部位」については、ねじれ応答の影響が懸念されるとともに、重要施設である非常用ガス処理系配管支持架構の梁一般部（水平材）及び鉄骨ブレース（斜材）を代表として3次元FEMモデルによる精査を行った。

また、原子炉建屋の耐震評価部位全般に対し、局所的な応答について、3次元FEMモデルによる精査を行う。精査は、地震応答解析により水平2方向及び鉛直方向入力時の影響を評価することで行った。局所的な応答と併せて振れ挙動についても確認を行った。

3次元FEMモデルを用いた精査の結果、有している耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価を実施する部位は抽出されなかった。

3次元FEMモデルを用いた精査の結果を表3-1-6に示す。また、3次元FEMモデルによる精査の詳細については別紙2に示す。

表 3-1-6 3次元モデルを用いた精査

耐震評価部位		対象 建物・構築物	3次元的な応答特性	3次元モデルを用いた精査方法	3次元モデルを用いた精査結果
梁	一般部	<u>非常用ガス処理系</u> <u>配管支持架構</u>	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	水平2方向及び鉛直方向入力時の応答の水平1方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	・水平2方向及び鉛直方向地震力による左記の対象に有する耐震性への影響は想定されないため抽出しない。
壁	一般部	<u>原子炉建屋</u> (<u>燃料取替フロア</u>)	②-1 (面内方向の荷重に加え面外慣性力の影響が大きい)	同上	・同上
	鉄骨 ブレース	<u>非常用ガス処理系</u> <u>配管支持架構</u>	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	同上	・同上
耐震評価 部位全般		<u>原子炉建屋</u>	局所的な応答	同上	・同上

注：下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

3.1.4 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を表3-1-7に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中する部位」のうち、重要施設である非常用ガス処理系排気筒を支持する、主排気筒鉄塔部の支柱材を代表として、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を行う。また、建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎スラブを代表として、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を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」として、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する原子炉建屋使用済燃料プールの壁を代表して、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を行う。

(2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出結果

建物・構築物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から、機器・配管系への影響の可能性のある部位について検討した。

主排気筒の支柱材については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が集中する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建屋の基礎については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が集中する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建屋（使用済燃料プール）の壁については、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

原子炉建屋の局所的な応答については、機器・配管系への影響の可能性が想定される事象として、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が増幅する傾向が確認されたため、「別紙4 機器・配管系に関する説明資料」で影響検討を行う。

表 3-1-7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価部位の抽出結果

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>主排気筒</u> ・ 非常用ガス処理系配管支持架構 	重要設備である非常用ガス処理系排気筒を支持する、主排気筒鉄塔部の支柱材を代表として評価する。
	基礎	基礎スラブ ・ 杭	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋</u> ・ 主排気筒 ・ 非常用ガス処理系配管支持架構 ・ 使用済燃料乾式貯蔵建屋 ・ 格納容器圧力逃がし装置格納層 ・ 緊急時対策所建屋 	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。
①-2	壁	水圧作用部 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋（使用済燃料プール）</u> ・ 原子炉建屋（壁地下部） ・ 格納容器圧力逃がし装置格納槽（壁地下部） ・ タービン建屋（壁地下部） 	施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料プールの壁を評価する。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

注：下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

3.1.5 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる影響評価部位として抽出された部位について、基準地震動 S_s を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合わせの影響を評価した。評価は従来設計手法による各部位の解析モデル及び鉛直方向地震力の組合わせによる評価結果を用いた。評価に用いる地震動を表3-1-8に示す。

また、影響評価は、水平2方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価、または、基準地震動 S_s の各方向地震力成分により、個別に計算した最大応答地を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 (注) の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいた評価により実施した。

表 3-1-8 評価に用いる地震動

耐震評価部位		対象建物・構築物	評価に用いる地震動	評価に用いる理由
柱	隅部	主排気筒	基準地震動 S_s-D1 $S_s-11 \sim S_s-14$ S_s-21, S_s-22 S_s-31	添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」の評価結果を用いるため、 S_s-D1 、 $S_s-11 \sim S_s-14$ 、 S_s-21 、 S_s-22 及び S_s-31 による動的地震力を各レベルで包絡した地震力とする。
基礎	矩形	原子炉建屋	基準地震動 S_s-D1 $S_s-11 \sim S_s-14$ S_s-21, S_s-22 S_s-31	添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」の評価結果を用いるため、 S_s-D1 、 $S_s-11 \sim S_s-14$ 、 S_s-21 、 S_s-22 及び S_s-31 による動的地震力を各レベルで包絡した地震力とする。
壁	水圧作用部	原子炉建屋（使用済燃料プール）	基準地震動 S_s-D1 $S_s-11 \sim S_s-14$ S_s-21, S_s-22 S_s-31	添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の評価結果を用いるため、 S_s-D1 、 $S_s-11 \sim S_s-14$ 、 S_s-21 、 S_s-22 及び S_s-31 による動的地震力を各レベルで包絡した地震力とする。

3.1.6 主排気筒

3.1.6.1 検討の概要

隅柱は、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である。検討は応力集中の影響が大きいと想定される主排気筒の支柱材について、3次元FEMモデルを用いて、地震動を水平2方向及び鉛直方向から入力した場合の検討を実施する。

主排気筒は、原子炉建屋の東側に位置し、中央の内径4.5 m、高さ140 mの筒身にかかる水平力を周囲の根開き28 m、高さ130 mの鋼管トラスの4脚支持鉄塔で分担する鉄骨骨組構造であり、筒身と鉄塔は7箇所で接続され、筒身と鉄塔の脚部はアンカーボルトで締結されている。主排気筒の構造概要図を図3.1.6-1に示す。

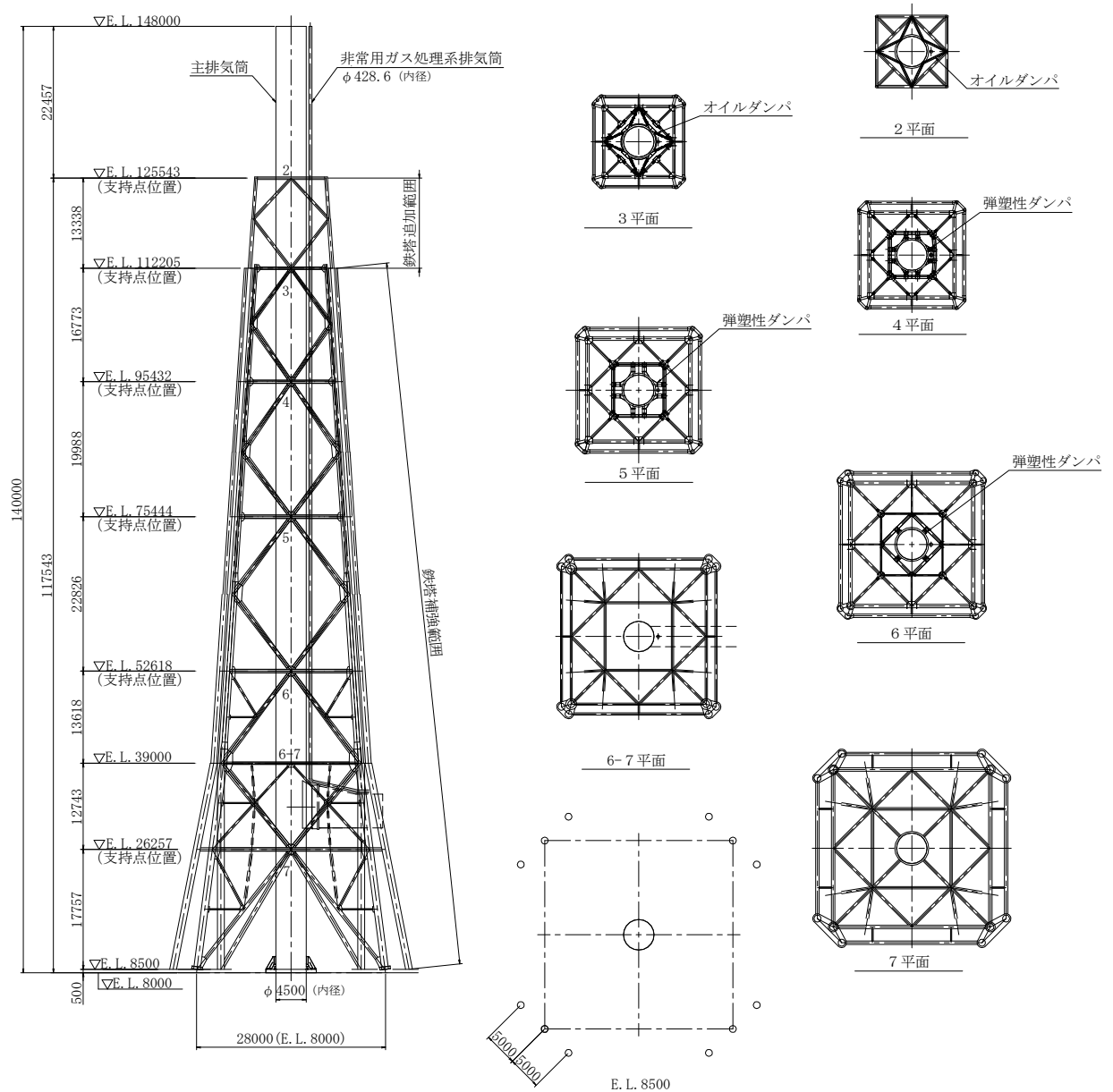


図 3.1.6-1 主排気筒の構造概要図 (単位: mm)

3.1.6.2 検討方針

主排気筒の鉄塔のうち、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である主柱材を対象に評価を行う。

評価に当たっては、基準地震動 S_s による地震力（以下「 S_s 地震時」という。）に対して、3次元FEMモデルによる弾性応力解析を行い、各主柱材に対する水平2方向及び鉛直方向入力時と水平1方向及び鉛直方向入力時の軸力及び曲げによる応力度比の比率を求め、これらの比率を考慮した各主柱材の応力度比が、1.0を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」に示すものと同一である。

3.1.6.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき、設定する。荷重の組合せを表3.1.6-1に示す。

荷重の詳細は、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」に示す固定荷重（G）、地震荷重（K）及び風荷重（W）と同一である。

表 3.1.6-1 荷重の組合せ

外力の状態	水平荷重の入力方向	荷重の組合せ
S_s 地震時	0°	G + K + W
S_s 地震時	45°	G + K + W

G : 固定荷重

K : 地震荷重

W : 風荷重

3.1.6.4 使用材料の許容応力度

主柱材の許容応力度及び終局強度は、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」の「3.3 許容限界」にて示すものと同一である。

3.1.6.5 地震応答解析

(1) 解析モデル

鉄塔の応力解析モデル図を図3.1.6-2に、部材リストを表3.1.6-2に示す。

解析モデルの詳細は、添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」の「3.4.1 応力評価方法」に示す内容と同一である。

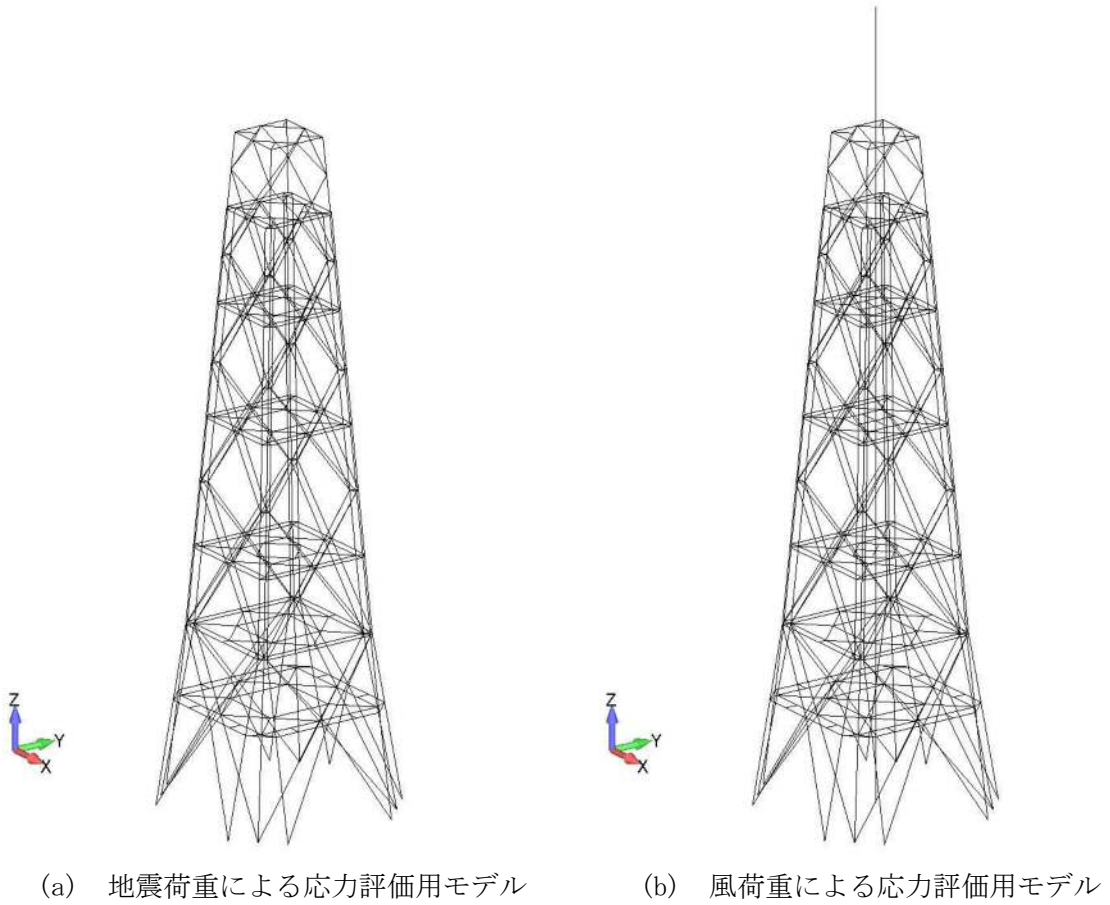


図 3. 1. 6-2 鉄塔の応力解析モデル

表 3. 1. 6-2 部材リスト

部位	EL. (m)	使用部材	材質
主柱材	112. 205	$\Phi 406. 4 \times 6. 4$	STK400
	95. 432	$\Phi 406. 4 \times 12. 7$	STK400
	75. 444	$\Phi 558. 8 \times 12. 7$	STK400
	52. 618	$\Phi 812. 8 \times 12. 7$	STK400
	26. 257	$\Phi 1016. 0 \times 12. 7$	STK400

(2) 解析諸元

使用材料（主柱材）の物性値を表 3.1.6-3 に示す。

表 3.1.6-3 材料物性値

使用材料	ヤング係数	ポアソン比
主柱材 (STK400)	205000 N/mm ²	0.3

(3) 評価方法

3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、地震荷重及び風荷重を組み合わせ、各主柱材に対する水平2方向及び鉛直方向入力時各主柱材の最大検定比が、1.0を超えないことを確認する。

a. 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースを表 3.1.6-4 に示す。

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認するため、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せについても検討を行い、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる結果と比較し、その影響を評価する。

表 3.1.6-4 荷重の組合せケース

ケース No.	荷重の組合せ
1	$G + 1.0K_{H0^\circ} + 0.4K_{H0^\circ} + 0.4K_V + W_{0^\circ}$
2	$G + 0.4K_{H0^\circ} + 1.0K_{H0^\circ} + 0.4K_V + W_{0^\circ}$
3	$G + 0.4K_{H0^\circ} + 0.4K_{H0^\circ} + 1.0K_V + W_{0^\circ}$
4	$G + 1.0K_{H45^\circ} + 0.4K_{H45^\circ} + 0.4K_V + W_{45^\circ}$
5	$G + 0.4K_{H45^\circ} + 1.0K_{H45^\circ} + 0.4K_V + W_{45^\circ}$
6	$G + 0.4K_{H45^\circ} + 0.4K_{H45^\circ} + 1.0K_V + W_{45^\circ}$

G : 固定荷重

K_{H0° : 0° 方向の水平方向地震荷重

K_{H45° : 45° 方向の水平方向地震荷重

K_V : 鉛直方向地震荷重

W_{0° : 0° 方向の風荷重

W_{45° : 45° 方向の風荷重

b. 荷重の入力方法

添付書類「V-2-2-15-1 主排気筒の耐震性についての計算書」の「3.4.1 応力評価方法」に倣い、地震荷重については、基準地震動 S_s の地震応答解析により得られた地震荷重を、地震荷重による応力評価用モデルに入力し、風荷重については、

建築基準法施行令第 87 条に規定される算出法に基づいた風荷重を、風荷重による応力評価用モデルに入力する。

(4) 評価結果

水平 2 方向及び鉛直方向入力時並びに水平 1 方向及び鉛直方向入力時の主柱材の最大応力度比を表 3.1.6-5 に示す。

評価の結果, 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる最大応力度比と比較し, 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる最大応力度比は増加傾向であるものの, これらの最大応力度比の比率を考慮しても検定比が 1.0 を超えていないことを確認した。

以上より, 水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対し, 主排気筒が有する耐震性への影響がないことを確認した。

表 3.1.6-5 主柱材の最大応力度比
(水平 2 方向と鉛直方向の組合せ及び水平 1 方向と鉛直方向の組合せ)

EL. (m)	使用部材	材質	判定結果		比率 ②/①
			① 水平 1 方向及び 鉛直方向入力時	② 水平 2 方向及び 鉛直方向入力時	
112.205	Φ406.4×6.4	STK400	0.48 ≤ 1.00	0.52 ≤ 1.00	1.09
95.432	Φ406.4×12.7	STK400	0.53 ≤ 1.00	0.65 ≤ 1.00	1.23
75.444	Φ558.8×12.7	STK400	0.73 ≤ 1.00	0.87 ≤ 1.00	1.20
52.618	Φ812.8×12.7	STK400	0.71 ≤ 1.00	0.73 ≤ 1.00	1.03
26.257	Φ1016.0×12.7	STK400	0.55 ≤ 1.00	0.57 ≤ 1.00	1.04

3.1.6.6 検討のまとめ

隅柱は直交する水平 2 方向の荷重が, 応力として集中する部位である。

応力集中の影響が大きいと考えられる主排気筒の鉄塔の各主柱材について, 3 次元 FEM モデルを用いて, 基準地震動 S₀ に対して水平 2 方向及び鉛直方向から入力した場合の検討を行った。

検討の結果, 最大応力度比は増加傾向であるものの, これらの最大応力度比の比率を考慮しても検定比が 1.0 を超えないことを確認した。

以上のことから, 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し, 鉄骨骨組構造の隅柱が有する耐震性への影響がないことを確認した。

3.1.7 原子炉建屋基礎盤の検討

3.1.7.1 検討の概要

矩形の基礎は、直交する水平 2 方向の荷重が隅部に応力集中する可能性があることから、S_s地震時を対象として、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を検討する。

原子炉建屋基礎盤は、原子炉格納容器の底部に該当する部分（以下「原子炉格納容器底部コンクリートマット」という。）並びに、二次格納施設にあたる原子炉建屋原子炉棟のうち、原子炉格納容器底部コンクリートマット以外の基礎（以下「原子炉棟基礎」という。）及び原子炉建屋付属棟の基礎（以下「付属棟基礎」という。）で構成される。

原子炉建屋基礎盤の底面における平面規模は、南北方向 68.5 m、東西方向 68.25 m、厚さ 5.0 m の矩形である。原子炉建屋基礎盤の概略平面図及び概略断面図を図 3.1.7-1 及び図 3.1.7-2 に示す。

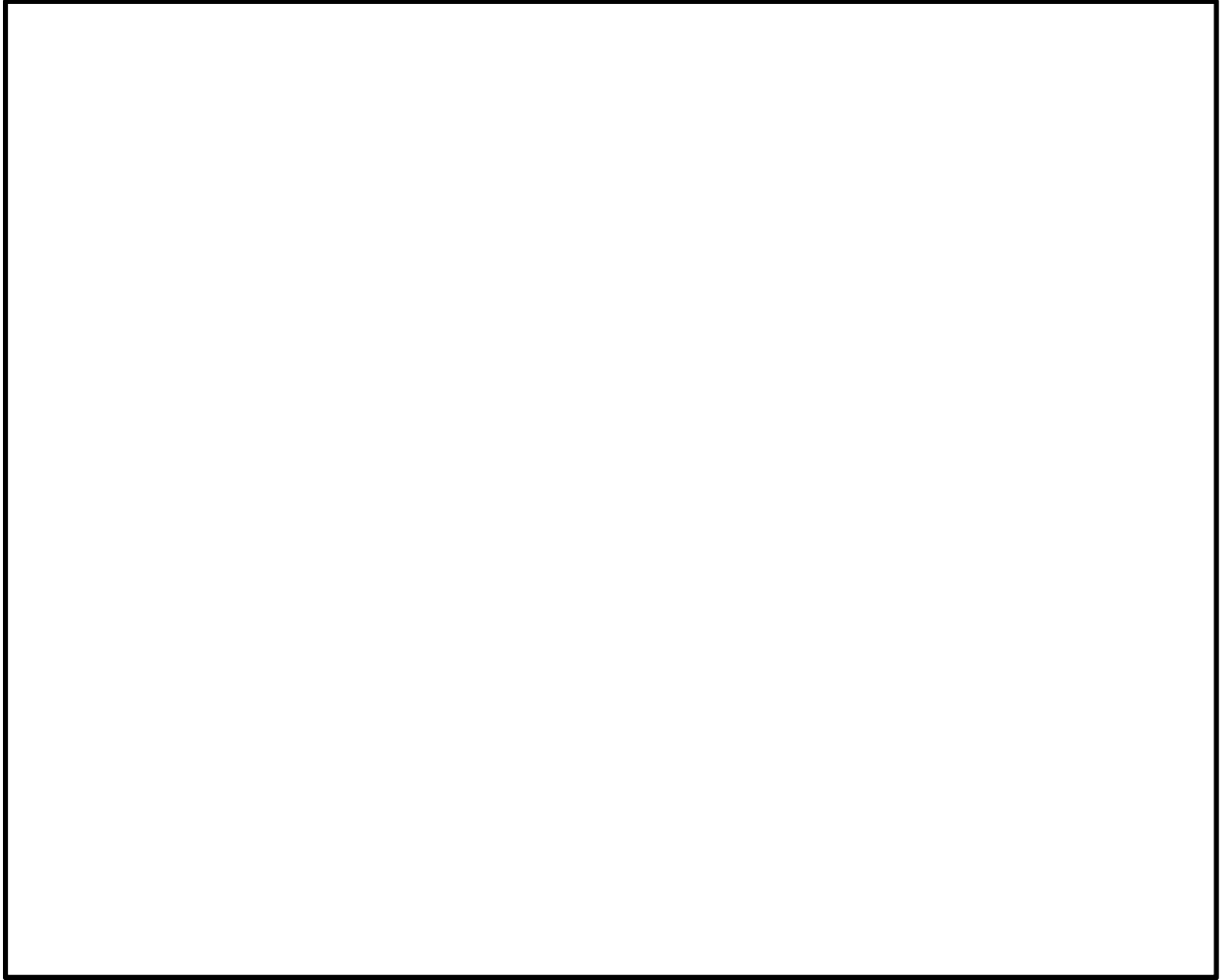


図 3. 1. 7-1 の概略平面図 (EL. -4.0 m)

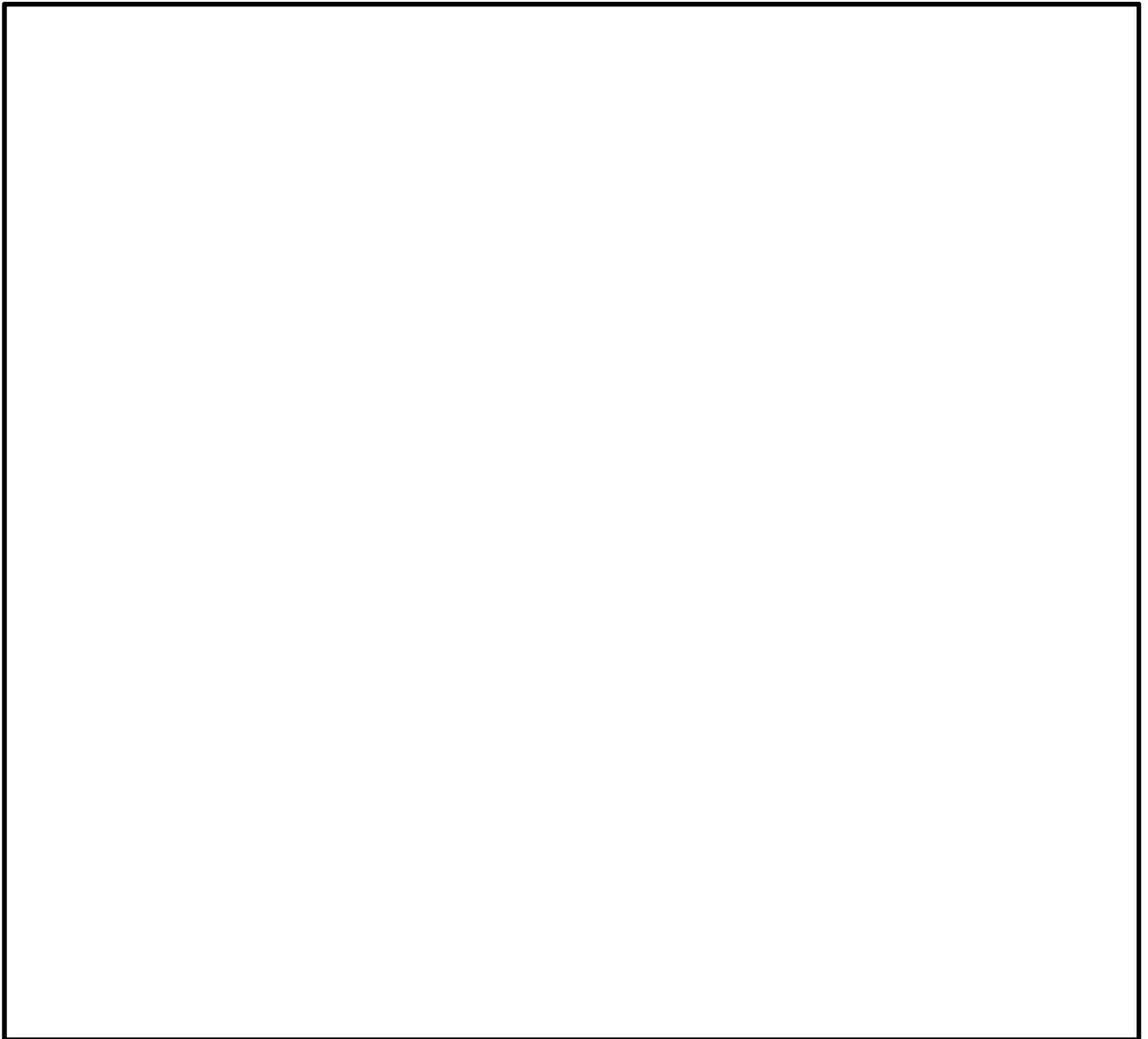


図 3.1.7-2 原子炉建屋基礎盤の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

3.1.7.2 検討方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、直交する水平2方向の荷重が応力として集中する部位である原子炉棟基礎及び付属棟基礎について、評価を行う。

評価に当たっては、 S_s 地震時に対して、3次元FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」に示すものと同一である。

3.1.7.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。荷重の組合せを表3.1.7-1に示す。

荷重の詳細は、添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」の「4.2.1 荷重」に示す死荷重(D)、活荷重(L)、運転時圧力(P_1)、逃がし安全弁作動時荷重(H_1)、常時土圧荷重(E_0)、地震時土圧荷重(E_s)及び地震荷重(K_s)と同一である

表 3.1.7-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$D+L+E_0+P_1+H_1+K_s+E_s$

- D : 死荷重
- L : 活荷重 (地震時の積雪荷重 $S_{地震時}$ を含む)
- E_0 : 常時土圧荷重
- E_s : 地震時増分土圧荷重
- K_s : S_s 地震荷重
- P_1 : 運転時圧力*
- H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重*

注 * : 原子炉格納容器底部コンクリートマットに作用

3.1.7.4 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容応力度は、添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

3.1.7.5 応力解析

(1) 解析モデル

解析モデル図を図 3.1.7-3 に示す。

解析モデルの詳細は、添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

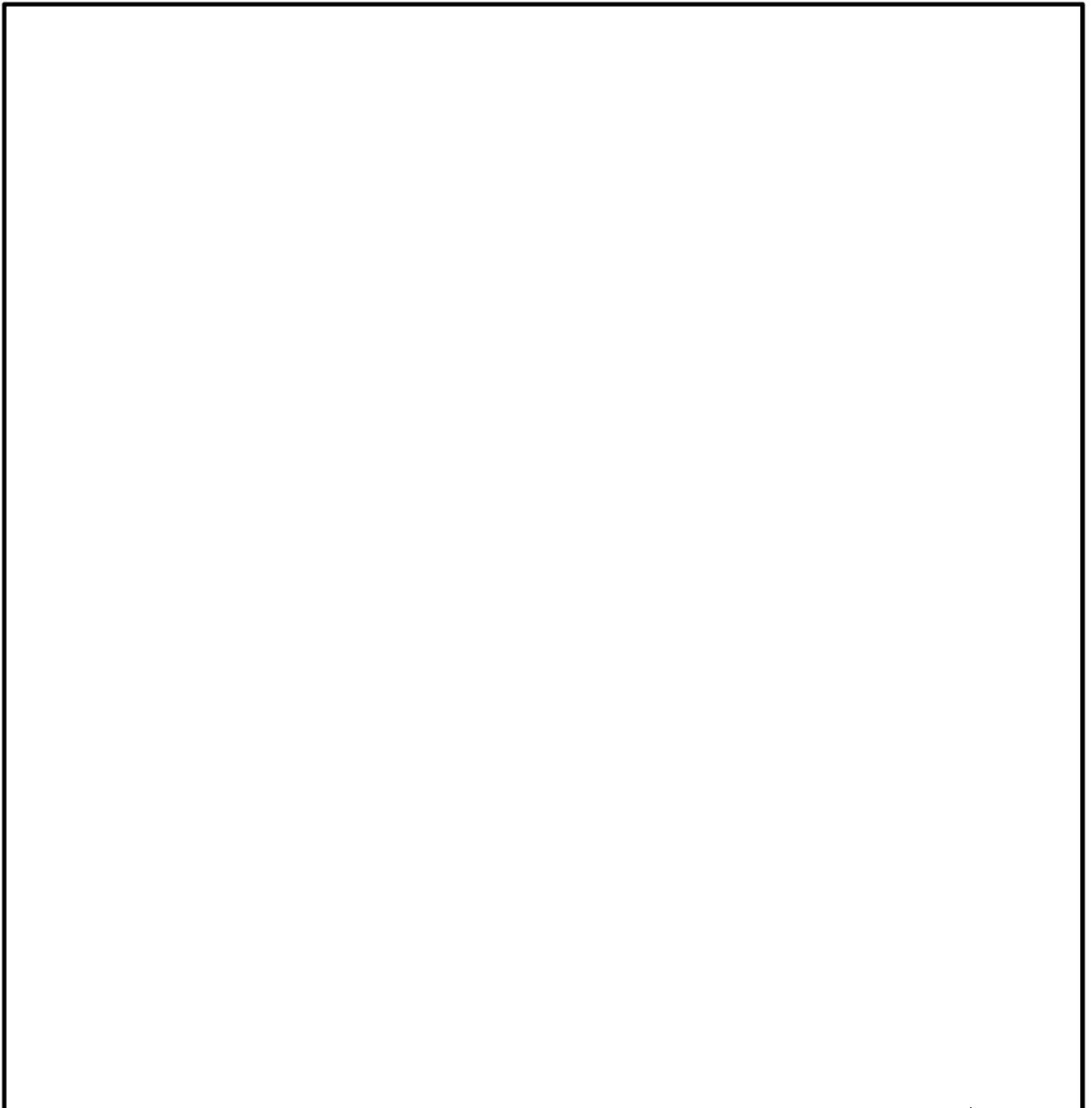


図 3.1.7-3 解析モデル

(2) 荷重ケース

S_s 地震時の応力は、添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」の「4.5.1 応力解析方法」に示す、次の荷重ケースによる応力を組み合わせて求める。

DL	: 死荷重+活荷重
E_0	: 常時土圧荷重
E_{sNS}^{*1}	: NS 方向 S_s 地震時増分土圧
E_{sEW}^{*1}	: EW 方向 S_s 地震時増分土圧
K_{sSN}^{*1}	: S→N 方向 S_s 地震荷重
K_{sWE}^{*1}	: W→E 方向 S_s 地震荷重
K_{sDU}^{*1}	: 鉛直方向 S_s 地震荷重
P_1^{*2}	: 運転時圧力
H_1^{*2}	: 逃がし安全弁作動時荷重

注記 *1: 計算上の座標軸を基本として、EW 方向は W→E 方向加力、NS 方向は S→N 方向加力、鉛直方向は上向き加力を記載している。

*2: 原子炉格納容器底部コンクリートマットに作用する。

(3) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースは、 S_s 地震時の単独荷重を、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Casused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて評価する。なお、水平 2 方向と鉛直方向の組合せにおいては、水平 1 方向と鉛直方向の組合せの結果を考慮して鉛直方向地震力に 0.4 を乗じるケースに対して実施する。

荷重の組合せケースを表 3.1.7-2 に示す。

表 3.1.7-2 (1/2) 荷重の組合せケース
(a) 水平 2 方向及び鉛直方向の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _s 地震時	2-1	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sNS} + 0.4K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-2	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sNS} + 1.0K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-3	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sNS} + 1.0K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sNS} + 0.4K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sNS} - 0.4K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sNS} - 1.0K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sNS} - 1.0K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sNS} - 0.4K_{sEW} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sNS} + 0.4K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sNS} + 1.0K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sNS} + 1.0K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sNS} + 0.4K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sNS} - 0.4K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$
	2-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sNS} - 1.0K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sNS} - 1.0K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 0.4E_{sNS} + 1.0E_{sEW}$
	2-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sNS} - 0.4K_{sEW} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS} + 0.4E_{sEW}$

表 3.1.7-2 (2/2) 荷重の組合せケース
(b) 水平 1 方向及び鉛直方向の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せ
S _s 地震時	1-1	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	1-2	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	1-3	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	1-4	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} + 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	1-5	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	1-6	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	1-7	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sSN} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sNS}$
	1-8	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 1.0K_{sWE} - 0.4K_{sDU} + 1.0E_{sEW}$
	1-9	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	1-10	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	1-11	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	1-12	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} + 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	1-13	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	1-14	$DL + E_0 + P_1 + H_1 + 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$
	1-15	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sSN} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sNS}$
	1-16	$DL + E_0 + P_1 + H_1 - 0.4K_{sWE} - 1.0K_{sDU} + 0.4E_{sEW}$

3.1.7.6 評価方法

基礎の断面の評価は、添付書類「V-2-9-3-4 原子炉建屋基礎盤の耐震性についての計算書」の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

3.1.7.7 評価結果

断面の評価結果を以下に示す。また、原子炉建屋基礎盤の配筋領域図及び配筋一覧を図 3.1.7-4 及び表 3.1.7-3 に示す。

断面の評価結果を記載する要素は、軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3.1.7-5 に、評価結果を表 3.1.7-4 に示す。

S₀地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により解析結果の値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価における発生値は各許容値を超えないことを確認した。

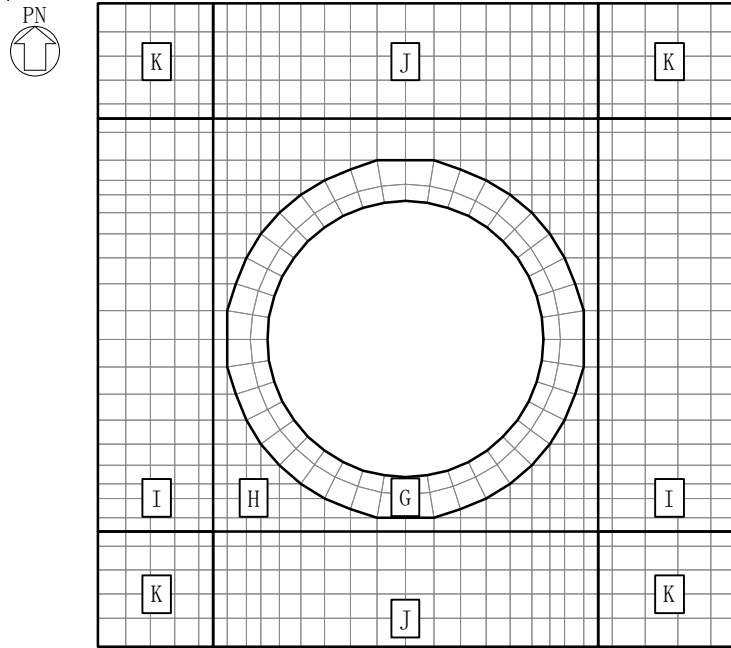


図 3.1.7-4 配筋領域図

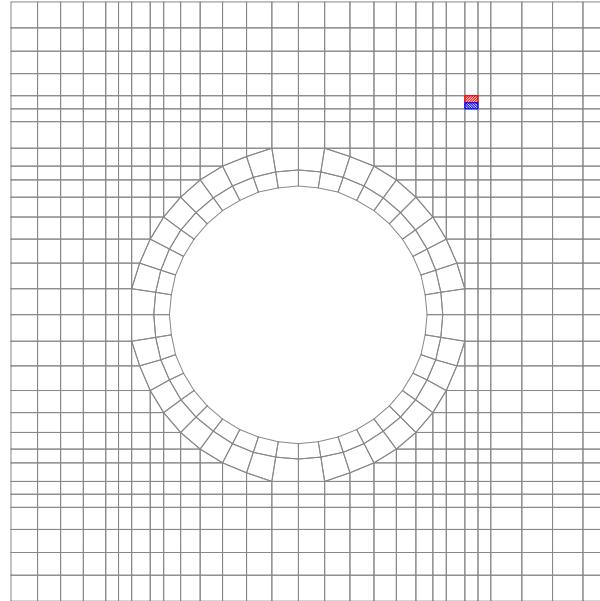
表 3.1.7-3 配筋一覧

(a) 格子配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
H	EW	3-D38@200	3-D38@200
	NS	3-D38@200	3-D38@200
I	EW	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
	NS	3-D38@200	3-D38@200
J	EW	3-D38@200	3-D38@200
	NS	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
K	EW	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400
	NS	D38@200+2-D38@400	D38@200+2-D38@400

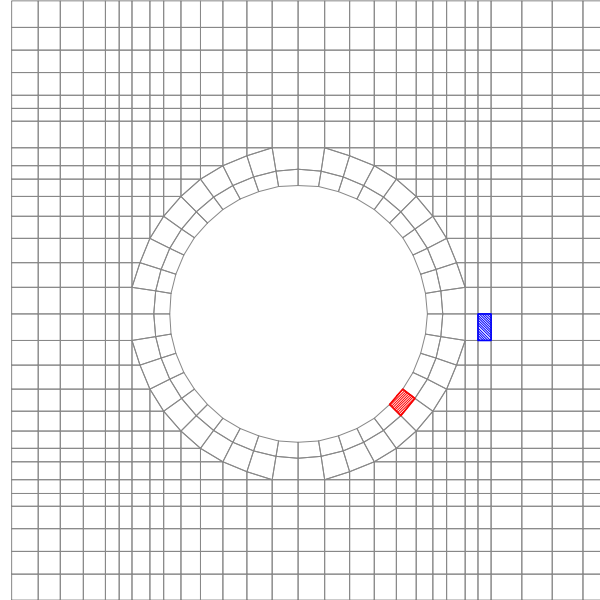
(b) $r - \theta$ 方向配筋

領域	方向	上端筋	下端筋
G	半径	68-D38/45° (4 段)	68-D38/45° (4 段)
	円周	4-D38@200	4-D38@200



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

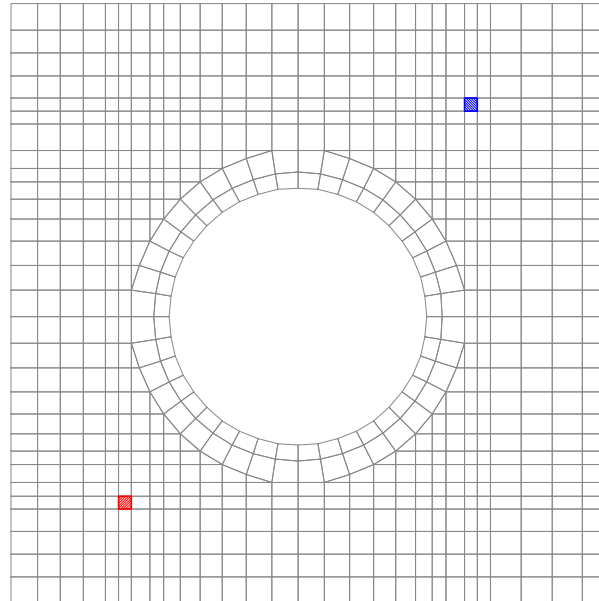
(a) 軸力+曲げモーメント (NS 方向または円周方向)



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

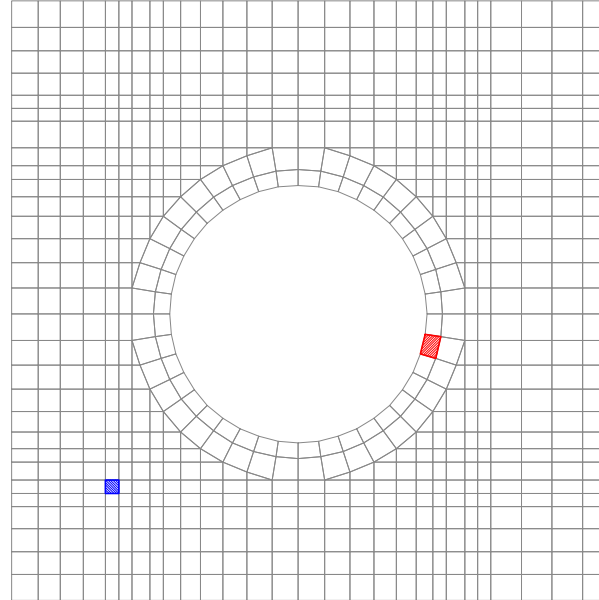
(b) 軸力+曲げモーメント (EW 方向または半径方向)

図 3.1.7-5 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

(c) 面外せん断力 (NS 方向または円周方向)



■は、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。
■は、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる断面算定部位を示す。

(d) 面外せん断力 (EW 方向または半径方向)

図 3.1.7-5 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置

表 3.1.7-4 原子炉棟基礎及び付属棟基礎の評価結果 (S_s地震時)

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3$ kN \cdot m/m)	NS	851	2-12	10.7	11.8
		半径	276	2-3	43.6	49.8
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	2-6	1.45*	2.12
		半径	279	2-3	1.96*	2.12

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) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	発生値	許容値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3$ kN \cdot m/m)	NS	851	1-7	10.9	12.2
		EW	626	1-6	23.2	32.4
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	851	1-1	1.60	2.19
		EW	465	1-4	1.90	2.19

3.1.7.8 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討

3.1.7.7 項の評価結果に対して、設備の補強や追加等の改造工事に伴い重量が増加することの影響についての検討を行う。

(1) 検討方針

「3.1.7.2 検討方針」に示す検討方針と同様である。ただし、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を3.1.7.7項の評価結果に乗じて構造健全性の検討を行う。

(2) 検討結果

原子炉建屋基礎盤については、1次遮蔽壁（以下「シェル壁 (S/W)」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁 (I/W)」という。）及び原子炉建屋付属棟（以下、「付属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁 (O/W)」という。）からの基礎への地震時せん断力、軸力を地震荷重として考慮することから、原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)、EL. -4.0 m～EL. 2.0 m）の最大応答せん断力及び軸力の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)）の最大応答せん断力及び軸力の各方向の応答比率と割増係数を表3.1.7-5に示す。

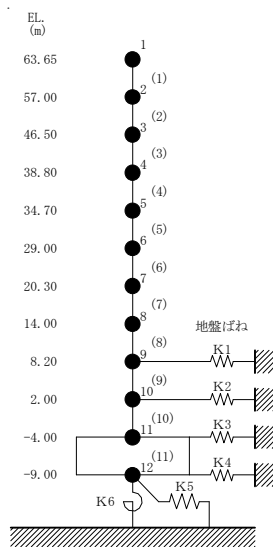
原子炉建屋基礎盤の断面評価結果を表3.1.7-6に示す。重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないことを確認した。

表 3.1.7-5 重量増加を考慮した割増係数：原子炉建屋基礎盤

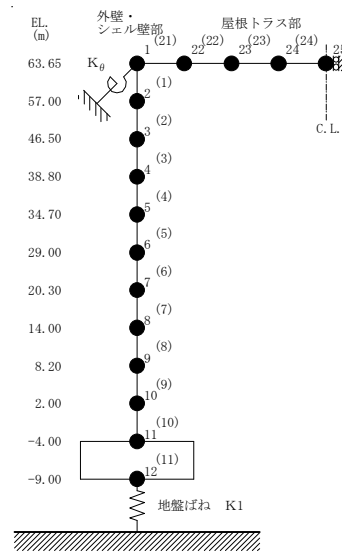
	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号 (10)	1.02* ¹	1.02* ¹	1.02* ¹
割増係数	1.02* ²		

注記 *1：添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」別紙1に示す原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)）の最大応答せん断力及び軸力の応答比率

*2：各方向の応答比率の最大値



NS, EW 方向



UD 方向

表 3.1.7-6 重量増加を考慮した評価結果 (S_s地震時)

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

評価項目		方向	要素 番号	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモー メント	曲げモーメント (×10 ³ kN・m/m)	NS	851	10.7	1.02	11.0	11.8
		半径	276	43.6	1.02	44.5	49.8
面外せん 断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	1.45*	1.02	1.48	2.12
		半径	279	1.96*	1.02	2.00	2.12

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

3.1.7.9 検討のまとめ

矩形の基礎は、直交する水平2方向の荷重が隅部に応力集中する可能性があることから、原子炉建屋基礎盤（原子炉棟基礎及び付属棟基礎）について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施した。

検討の結果、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向の地震力の影響により解析結果の値は増加傾向にあり、一部最大となる要素位置が変わるものもあるが、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価における発生値は各許容値を超えないことを確認した。

また、原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響について検討を行い、重量増加を考慮した場合においても安全上問題とならないことを確認した。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、原子炉建屋基礎盤（原子炉棟基礎及び付属棟基礎）が有する耐震性への影響はないことを確認した。

3.1.8 使用済燃料プールの検討

3.1.8.1 検討の概要

使用済燃料プールの耐震壁は面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の水圧等の荷重が作用する部位であり、水平2方向の地震力を受ける。

使用済み燃料プールは、原子炉建屋の原子炉棟の燃料取替床 (EL.46.50 m) 付近に位置する鉄筋コンクリート構造物で、使用済燃料、制御棒及び使用済燃料輸送容器が収容される。使用済燃料プール内には、収容される機器の遮蔽及び冷却のため常時水が張られている。使用済燃料プール内面はステンレス鋼でライニングされており、漏水を防ぐと共に、保守、点検についても考慮されている。

使用済燃料プールはほぼ長方形で、その大きさは、内面寸法で 12.192 m×10.363 m、壁厚 2.154 m、底面スラブ厚 1.599 m である。

使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 3.1.8-1 及び図 3.1.8-2 に、使用済燃料プール周りの概略平面図及び概略断面図を図 3.1.8-3 及び図 3.1.8-4 に示す。

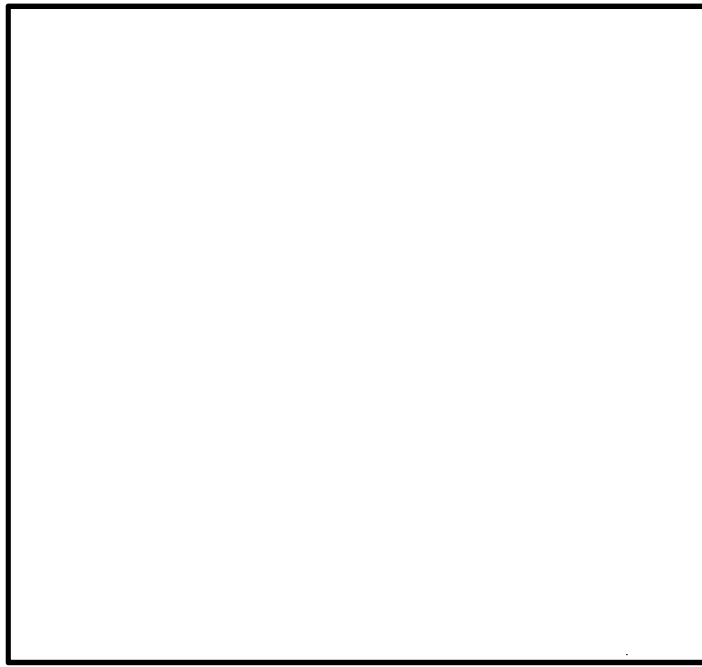


図 3.1.8-1  の概略平面図 (EL. 46.5 m)

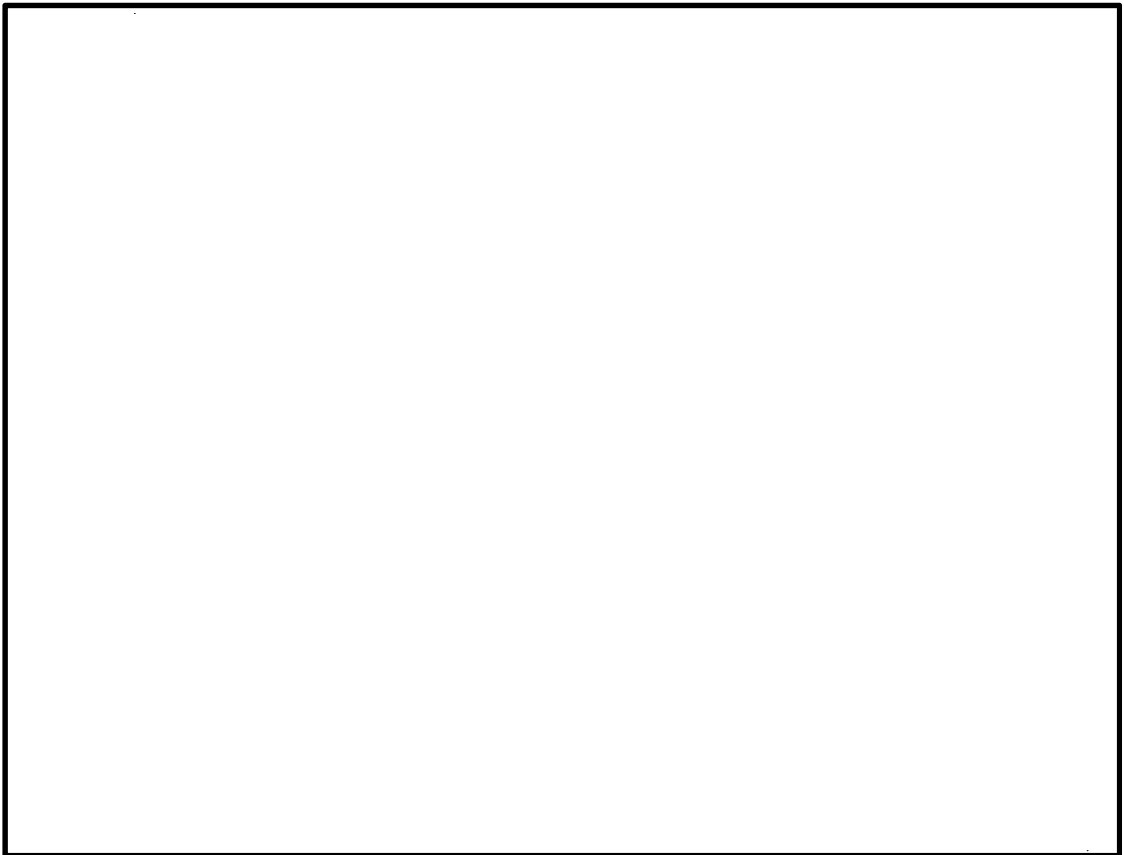


図 3.1.8-2 使用済燃料プールを含む原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面)

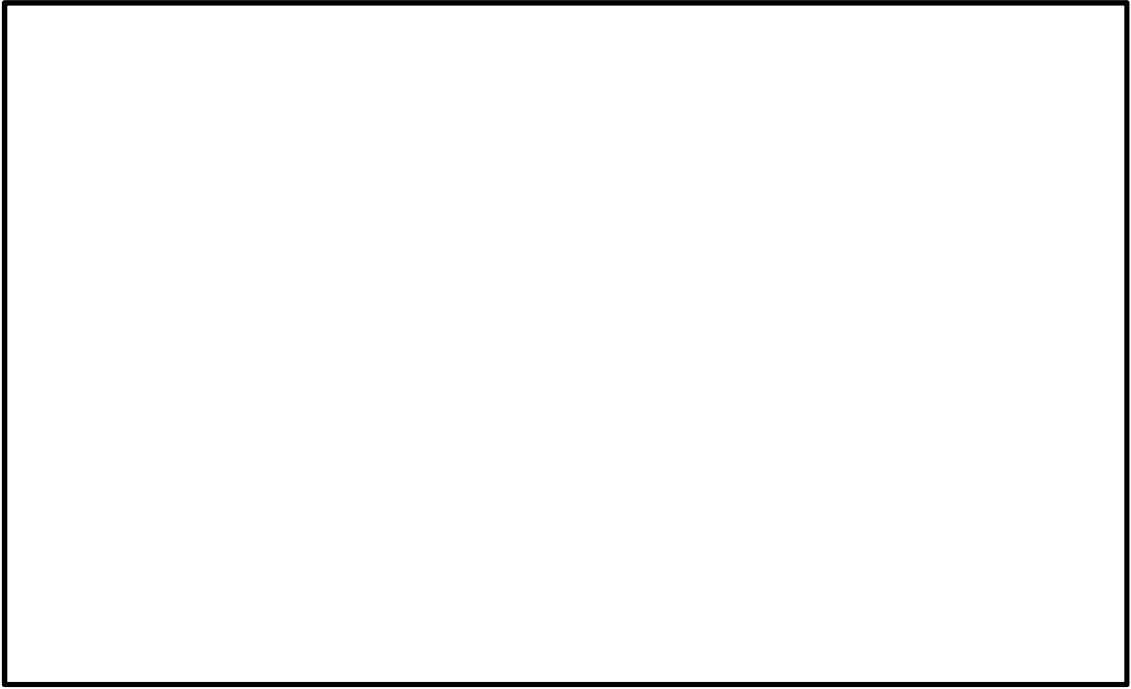


図 3.1.8-3 の概略平面図 (EL. 38.80 m)



図 3.1.8-4 使用済燃料プール周りの概略断面図 (A-A 断面)

3.1.8.2 検討方針

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価として、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する使用済燃料プールの壁について、評価を行う。

評価に当たっては、 S_s 地震時に対して、3次元FEMモデルの応力解析結果を用いた断面の評価について、許容値を超えないことを確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」に示すものと同一である。

3.1.8.3 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」に基づき設定する。荷重の組合せを表3.1.8-1に示す。

荷重の詳細は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「3.2.1 荷重」に示す固定荷重(G)、積載荷重(P)、静水圧荷重(H_s)、長期ラック荷重(R_0)、動水圧荷重(H_s)及び地震荷重(S_s)と同一である。

表 3-1 荷重の組合せケース (S_s 地震時)

外力の状態	荷重の組合せ
S_s 地震時	$G+P+H_s+R_0+H_s+S_s$

G	: 固定荷重
P	: 積載荷重
H_s	: 静水圧荷重
R_0	: 長期ラック荷重
H_s	: 動水圧荷重
S_s	: S_s 地震荷重

3.1.8.4 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容応力度は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

3.1.8.5 応力解析

(1) 解析モデル

解析モデル図を図3.1.8-5に示す。

解析モデルの詳細は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

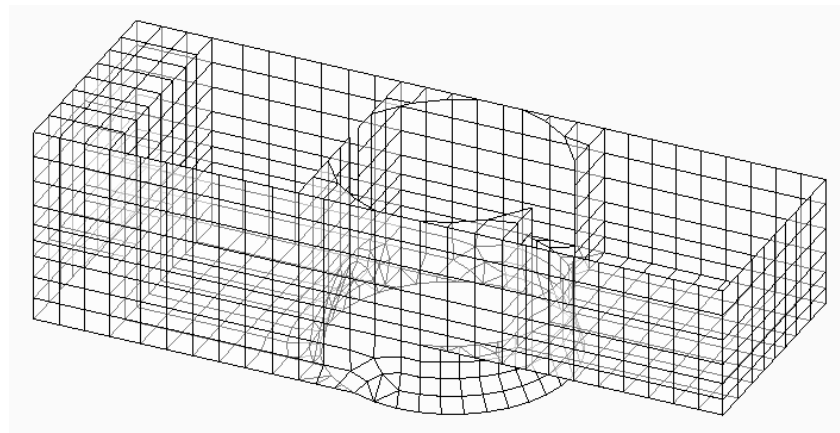


図 3.1.8-5 解析モデル概要図

(2) 荷重ケース

S_d 地震時， S_d 地震時+温度及び S_s 地震時の応力は，単独荷重による解析で求まる応力を組合せて求める。

単独荷重の記号を以下に示す。

GP	:	固定荷重及び積載荷重		
H_s	:	静水圧荷重		
R_0	:	長期ラック荷重		
SS_{WE}^*	:	S_s 地震荷重	W→E 方向	GP 及び R_0 による慣性力
SS_{SN}^*	:	S_s 地震荷重	S→N 方向	GP 及び R_0 による慣性力
SS_{DU}^*	:	S_s 地震荷重	鉛直方向	GP 及び R_0 による慣性力
HS_{WE}^*	:	S_s 地震荷重	W→E 方向	水平地震力による動水圧荷重
HS_{SN}^*	:	S_s 地震荷重	S→N 方向	水平地震力による動水圧荷重
HS_{DU}^*	:	S_s 地震荷重	鉛直方向	鉛直地震力による動水圧荷重

注記 * : 加力方向により絶対値の差異はないため，計算上の座標軸を基本として，EW 方向は W→E 方向加力，NS 方向は S→N 方向加力，鉛直方向は上向き加力を記載している。

(3) 荷重の組合せケース

荷重の組合せケースは、 S_s 地震時の単独荷重を、米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Casused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいて評価する。なお、水平2方向と鉛直方向の組み合わせにおいては、水平1方向と鉛直方向の組合せの結果を考慮して鉛直方向地震力に0.4を乗じるケースに対して実施する。

荷重の組合せケースを表 3.1.8-2 に示す。

表 3.1.8-2 (1/2) 荷重の組合せケース
(a) 水平2方向及び鉛直方向の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せケース
S_s 地震時	4 - 1	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SEW} + 0.4S_{SDU} + 1.0H_{SNS} + 0.4H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4 - 2	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SNS} + 1.0H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4 - 3	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SNS} + 1.0H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4 - 4	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SEW} + 0.4S_{SDU} - 1.0H_{SNS} + 0.4H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4 - 5	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SEW} + 0.4S_{SDU} - 1.0H_{SNS} - 0.4H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4 - 6	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SNS} - 1.0H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4 - 7	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SEW} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SNS} - 1.0H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4 - 8	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SEW} + 0.4S_{SDU} + 1.0H_{SNS} - 0.4H_{SEW} + 0.4H_{SDU}$
	4 - 9	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SEW} - 0.4S_{SDU} + 1.0H_{SNS} + 0.4H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4 - 10	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SNS} + 1.0H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4 - 11	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SNS} + 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SNS} + 1.0H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4 - 12	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SNS} + 0.4S_{SEW} - 0.4S_{SDU} - 1.0H_{SNS} + 0.4H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4 - 13	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SEW} - 0.4S_{SDU} - 1.0H_{SNS} - 0.4H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4 - 14	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SNS} - 1.0H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4 - 15	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SNS} - 1.0S_{SEW} - 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SNS} - 1.0H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$
	4 - 16	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SNS} - 0.4S_{SEW} - 0.4S_{SDU} + 1.0H_{SNS} - 0.4H_{SEW} - 0.4H_{SDU}$

表 3.1.8-2 (2/2) 荷重の組合せケース

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向の組合せ

外力の状態	ケース No.	荷重の組合せケース
S _s 地震時	3 - 1	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SWE} + 1.0H_{SWE} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SDU}$
	3 - 2	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SWE} - 1.0H_{SWE} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SDU}$
	3 - 3	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SSN} + 1.0H_{SSN} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SDU}$
	3 - 4	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SSN} - 1.0H_{SSN} + 0.4S_{SDU} + 0.4H_{SDU}$
	3 - 5	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SWE} + 1.0H_{SWE} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SDU}$
	3 - 6	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SWE} - 1.0H_{SWE} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SDU}$
	3 - 7	$GP + H_s + R_0 + 1.0S_{SSN} + 1.0H_{SSN} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SDU}$
	3 - 8	$GP + H_s + R_0 - 1.0S_{SSN} - 1.0H_{SSN} - 0.4S_{SDU} - 0.4H_{SDU}$
	3 - 9	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SWE} + 0.4H_{SWE} + 1.0S_{SDU} + 1.0H_{SDU}$
	3 - 10	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SWE} - 0.4H_{SWE} + 1.0S_{SDU} + 1.0H_{SDU}$
	3 - 11	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SSN} + 0.4H_{SSN} + 1.0S_{SDU} + 1.0H_{SDU}$
	3 - 12	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SSN} - 0.4H_{SSN} + 1.0S_{SDU} + 1.0H_{SDU}$
	3 - 13	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SWE} + 0.4H_{SWE} - 1.0S_{SDU} - 1.0H_{SDU}$
	3 - 14	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SWE} - 0.4H_{SWE} - 1.0S_{SDU} - 1.0H_{SDU}$
	3 - 15	$GP + H_s + R_0 + 0.4S_{SSN} + 0.4H_{SSN} - 1.0S_{SDU} - 1.0H_{SDU}$
	3 - 16	$GP + H_s + R_0 - 0.4S_{SSN} - 0.4H_{SSN} - 1.0S_{SDU} - 1.0H_{SDU}$

3.1.8.6 評価方法

使用済燃料プールの壁の評価は、添付書類「V-2-4-2-1 使用済燃料プールの耐震性についての計算書」の「3.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

3.1.8.7 評価結果

断面の評価結果を以下に示す。また、使用済燃料プールの壁の配筋一覧を表 3.1.8-3 に示す。

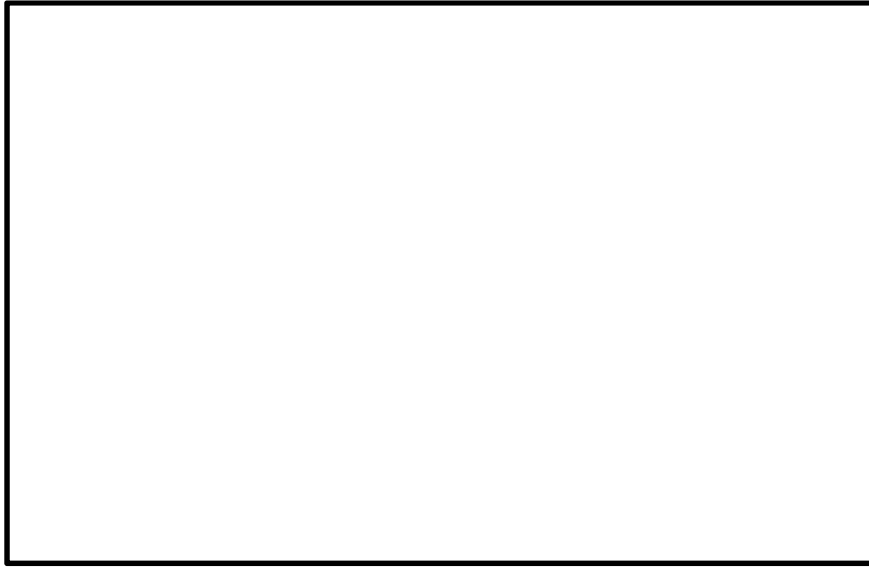
断面の評価結果を記載する要素は、軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3.1.8-6 及び図 3.1.8-7 に、評価結果を表 3.1.8-4 に示す。

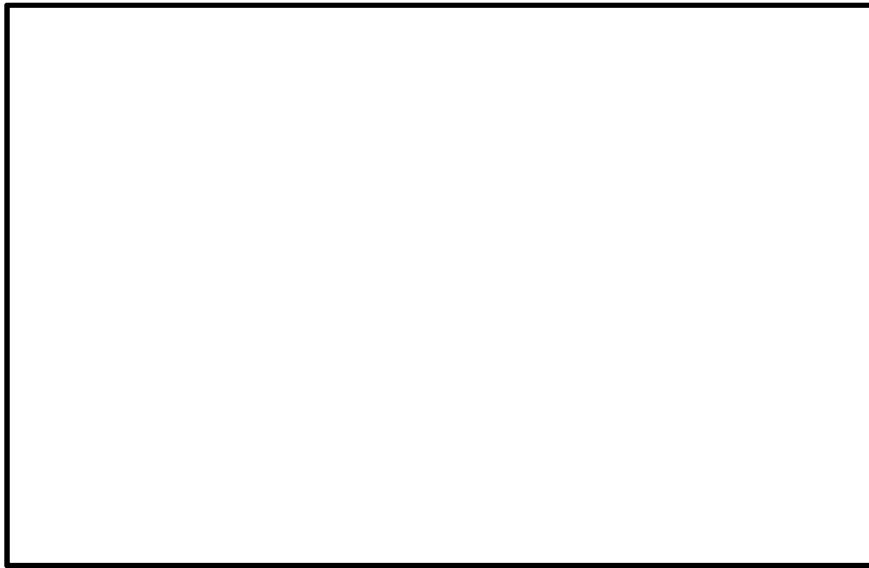
S₀地震時における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにおいて、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平 2 方向の地震力の影響により解析結果の値は増加傾向にあり、一部最大となる要素が変わるものもあるが、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する評価における発生値は各許容値を超えないことを確認した。

表 3.1.8-3 配筋一覧

部位	レベル EL. (m)	壁厚 (cm)	配筋	
			縦筋	横筋
北側壁	34.689～ 39.191	200	D35@200 2段 内 D29@200 2段 外	D29@200 2段 内外共
	39.191～ 46.5	200	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
東側壁	34.689～ 39.191	215.4	D35@200 2段 内 D29@200 2段 外	D29@200 2段 内外共
	39.191～ 46.5	215.4	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
南側壁	34.689～ 46.5	157.6	D38@200 2段 内外共	D38@200 2段 内外共
西側壁	34.689～ 39.191	215.4	D35@200 2段 内 D29@200 2段 外	D29@200 2段 内外共
	39.191～ 41.547	215.4	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
	41.547～ 43.198	137.2	D29@200 2段 内外共	D29@200 2段 内外共
	43.198～ 46.5	137.2	D29@200 2段 内外共	D29@150 2段 内外共



(a) 北側壁

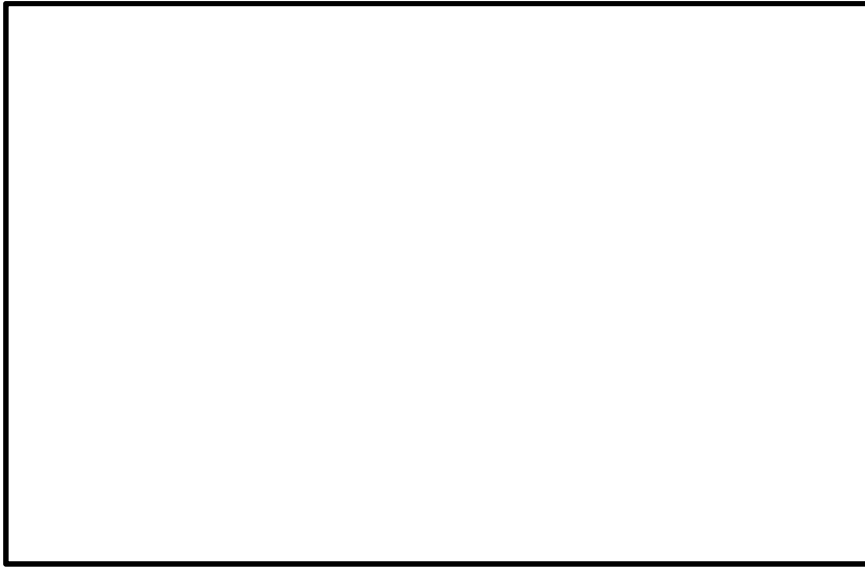


(b) 東側壁

図 3.1.8-6 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)

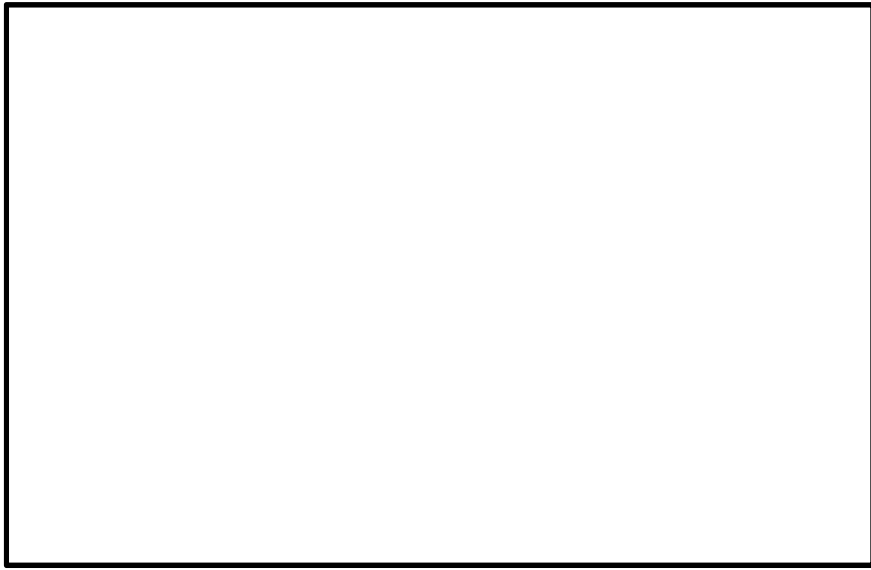


(c) 南側壁

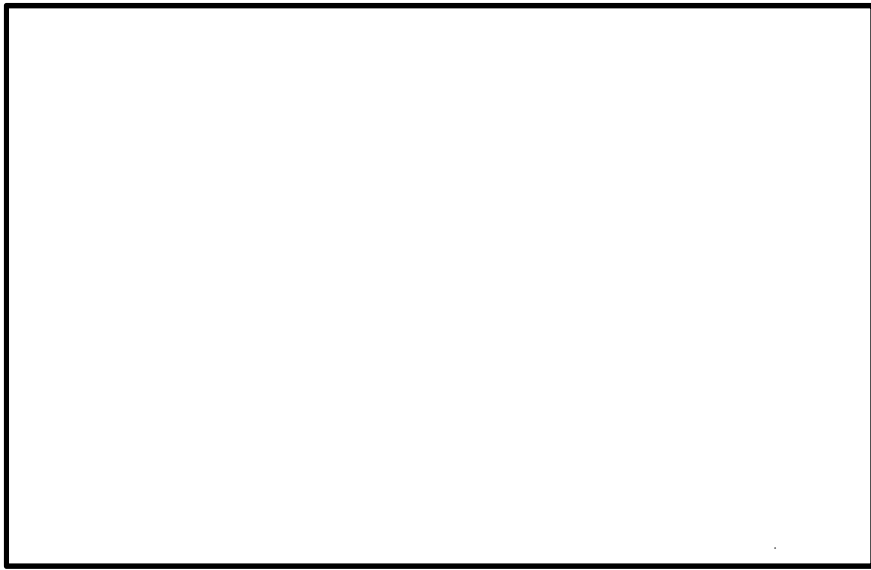


(d) 西側壁

図 3.1.8-6 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 2 方向)

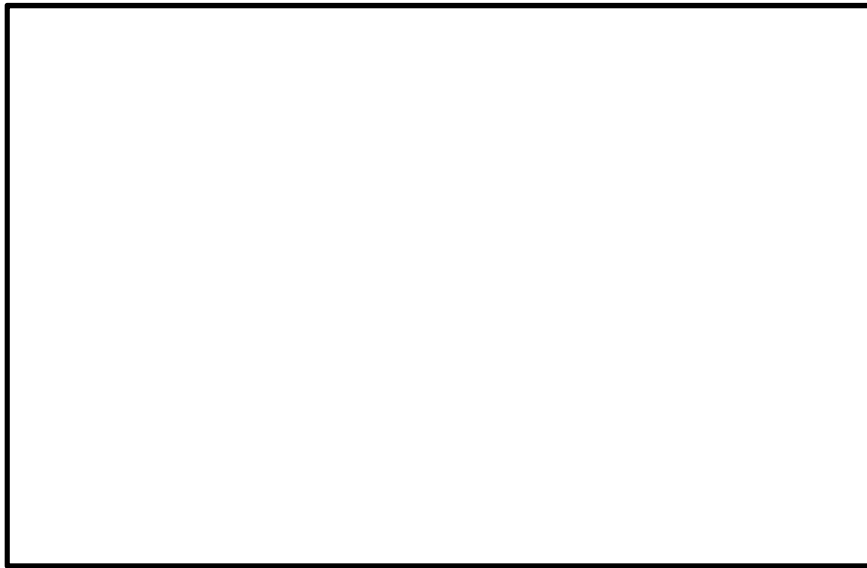


(a) 北側壁



(b) 東側壁

図 3.1.8-7 (1/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 1 方向)



(c) 南側壁



(d) 西側壁

図 3.1.8-7 (2/2) 解析結果を記載する要素の位置 (水平 1 方向)

表 3.1.8-4 (1/2) 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S_s地震時)

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

		評価項目	要素位置	組合せケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	北側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	2219	4 - 9	0.135	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	4 - 15	1.78	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1590	4 - 4	0.148	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	4 - 16	1.93	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	4 - 16	0.337	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	4 - 14	1.60	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1090	4 - 1	0.159	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	4 - 9	1.69	5.00	引張側
軸力	北側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	2272	4 - 3	0.716	14.7	
	東側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1581	4 - 12	1.36	14.7	
	南側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	3043	4 - 10	3.22	14.7	
	西側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1090	4 - 9	1.55	14.7	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2209	4 - 10	0.483	1.61	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	4 - 16	1.15	1.47	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	4 - 14	2.11	3.81	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	4 - 13	1.13	1.86	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	2228	4 - 9	0.621	1.31	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1536	4 - 15	0.439	1.37	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7801	4 - 11	1.11	2.05	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	4 - 10	0.470	1.32	

表 3.1.8-4 (2/2) 使用済燃料プールの壁の評価結果 (S_s地震時)

(b) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

		評価項目	要素位置	組合せケース	解析結果	許容値	備考
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	北側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	2219	3 - 16	0.142	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	3 - 5	1.77	5.00	引張側
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1535	3 - 5	0.135	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	3 - 7	1.78	5.00	引張側
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	3 - 15	0.393	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	3 - 5	1.46	5.00	引張側
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1035	3 - 6	0.145	3.00	圧縮側
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	3 - 8	1.58	5.00	引張側
軸力	北側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	2272	3 - 2	0.701	14.7	
	東側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1581	3 - 8	1.36	14.7	
	南側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	3055	3 - 15	3.15	14.7	
	西側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1090	3 - 8	1.54	14.7	
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2268	3 - 13	0.648	1.97	
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	3 - 7	1.06	1.50	
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	3 - 5	2.08	3.93	
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	3 - 7	1.10	1.90	
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	2228	3 - 16	0.666	1.28	
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1546	3 - 13	0.424	1.27	
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7803	3 - 15	0.895	1.60	
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	3 - 6	0.457	1.32	

3.1.8.8 原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した検討

3.1.8.7 項の評価結果に対して、設備の補強や追加等の改造工事に伴い重量が増加することの影響についての検討を行う。

(1) 検討方針

「3.1.8.2 検討方針」に示す検討方針と同様である。ただし、設備の補強や追加等の改造工事に伴う重量増加を考慮した割増係数を3.1.8.7項の評価結果に乗じて構造健全性の検討を行う。

(2) 検討結果

使用済燃料プールは、主たる水平地震時荷重として、せん断力分配解析による内部ボックス壁 (I/W) の EL. 46.5 m～EL. 34.7 m 位置 (要素番号 (3), (4)) でのせん断力を考慮し、鉛直震度として EL. 46.5 m～EL. 34.7 m 位置 (質点番号 3, 4, 5) の鉛直方向最大応答加速度より算出した値を考慮することから、NS 方向及び EW 方向は要素番号 (3), (4) の最大応答せん断力の応答比率の最大値を、UD 方向は質点番号 3, 4, 5 の最大応答加速度の応答比率の最大値を応答比率とし、各方向の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

要素番号 (3), (4) の最大応答せん断力の応答比率及び質点番号 3, 4, 5 の最大応答加速度の応答比率、並びに割増係数を表 3.1.8-5 に示す。

表 3.1.8-6 に評価結果を示す。重量増加を考慮した割増係数を乗じた結果においても、各許容値を超えないことを確認した。

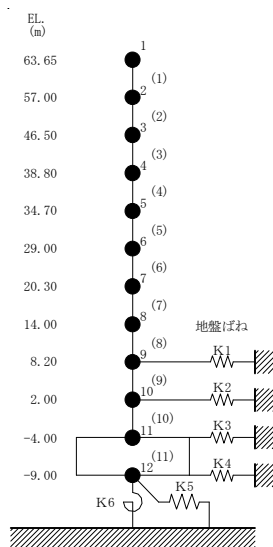
表 3.1.8-5 重量増加を考慮した割増係数：使用済燃料プール

	NS 方向	EW 方向	UD 方向
要素番号 (3), (4) の最大値	1.03 ^{*1}	1.04 ^{*1}	—
質点番号 3, 4, 5 の最大値	—	—	1.00 ^{*2}
割増係数	1.04 ^{*3}		

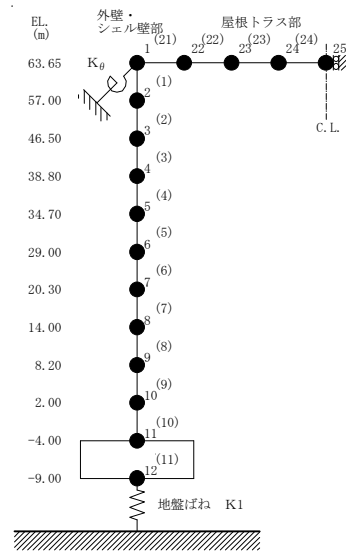
注記 *1：添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」別紙1に示す要素番号 (3), (4) の最大応答せん断力の応答比率の最大値

*2：添付書類「V2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」別紙1に示す質点番号 3, 4, 5 の最大応答加速度の応答比率の最大値

*3：各方向の応答比率の最大値



NS, EW 方向



UD 方向

表 3.1.8-6 重量増加を考慮した評価結果 (S_s地震時)

(a) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ

		評価項目	要素位置	解析結果 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力*	北側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	2219	0.135	1.04	0.141	3.00
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	2272	1.78	1.04	1.86	5.00
	東側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1590	0.148	1.04	0.154	3.00
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1590	1.93	1.04	2.01	5.00
	南側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	3055	0.337	1.04	0.351	3.00
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	3037	1.60	1.04	1.67	5.00
	西側壁	コンクリート ($\times 10^{-3}$)	1090	0.159	1.04	0.166	3.00
		鉄筋 ($\times 10^{-3}$)	1046	1.69	1.04	1.76	5.00
軸力	北側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	2272	0.716	1.04	0.745	14.7
	東側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1581	1.36	1.04	1.42	14.7
	南側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	3043	3.22	1.04	3.35	14.7
	西側壁	圧縮応力度 (N/mm ²)	1090	1.55	1.04	1.61	14.7
面内せん断力	北側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	2209	0.483	1.04	0.502	1.61
	東側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1590	1.15	1.04	1.20	1.47
	南側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	3037	2.11	1.04	2.20	3.81
	西側壁	面内せん断応力度 (N/mm ²)	1087	1.13	1.04	1.18	1.86
面外せん断力	北側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	2228	0.621	1.04	0.646	1.31
	東側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1536	0.439	1.04	0.457	1.37
	南側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	7801	1.11	1.04	1.16	2.05
	西側壁	面外せん断応力度 (N/mm ²)	1033	0.470	1.04	0.489	1.32

3.1.8.9 検討のまとめ

使用済燃料プールの壁は、面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の水圧等の荷重が作用する部位であるため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、3次元FEMモデルを用いた弾性応力解析を実施した。

検討の結果、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果と水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する評価結果を比較すると、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、許容値に対する解析結果の割合は、水平2方向の地震力の影響により割合が最大となる要素位置が変わり、解析結果の値は増加傾向であるものの、S₃地震時における水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して、軸力、曲げモーメント及び面外せん断力に対する鉄筋及びコンクリートのひずみ、軸力による圧縮応力度、面内せん断力並びに面外せん断力が、各許容値を超えないことを確認した。

また、原子炉建屋における改造工事に伴う重量増加を反映した地震応答解析に基づき影響について検討を行い、重量増加を考慮した場合においても安全上問題とならないことを確認した。

以上のことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、使用済燃料プールの壁が有する耐震性への影響はないことを確認した。

3.2 機器・配管系

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の考え方

機器・配管系における従来の水平方向及び鉛直方向の組合せによる設計手法では、建物・構築物の振動特性を考慮し、変形するモードが支配的となり応答が大きくなる方向（応答軸方向）に基準地震動 S_0 を入力して得られる各方向の地震力（床応答）を用いている。

応答軸（強軸・弱軸）が明確となっている設備の耐震評価においては、水平各方向の地震力を包絡し、変形モードが支配的となる応答軸方向に入力するなど、従来評価において保守的な取り扱いを基本としている。

一方、応答軸が明確となっていない設備で3次元的な広がりを持つ設備の耐震評価においては、基本的に3次元のモデル化を行っており、建物・構築物の応答軸方向の地震力をそれぞれ入力し、この入力により算定される荷重や応力のうち大きい方を用いて評価を実施している。設備配置及び応答軸の概念図を図 3-2-1 に示す。

さらに、応答軸以外の振動モードが生じ難い構造の採用、応答軸以外の振動モードが生じ難いサポート設計の採用といった構造上の配慮など、水平方向の入力に対して配慮した設計としている。

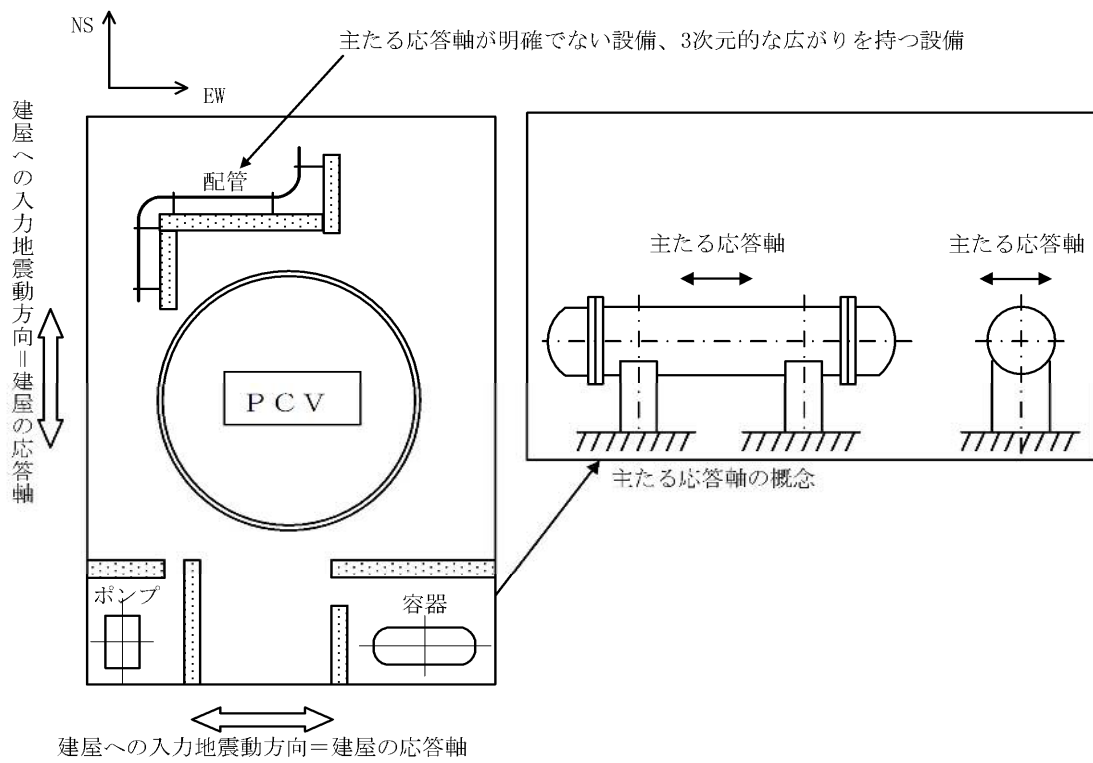


図 3-2-1 設備配置及び応答軸の概念図

3.2.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある設備（部位）の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故対処施設の機器・配管系、並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備とする。

対象とする設備を機種ごとに分類し、それぞれの構造上の特徴により荷重の伝達方向、その荷重を受ける構造部材の配置及び構成等により水平2方向の地震力による影響を受ける可能性のある設備（部位）を抽出する。

構造上の特徴により影響を受ける可能性がある設備（部位）は、水平2方向及び鉛直方向地震力による影響の検討を実施する。水平各方向の地震力が1：1で入力された場合の発生値を、従来の評価結果の荷重又は算出応力等を水平2方向及び鉛直方向に整理して組み合わせる、又は新たな解析等により高度化した手法を用いる等により、水平2方向の地震力による設備（部位）に発生する荷重や応力を算出する。

これらの検討により、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた荷重や応力の結果が、従来の発生値と同等である場合は影響がある設備として抽出せず、従来の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される場合は、設備が有する耐震性への影響を確認する。

設備が有する耐震性への影響が確認された場合は、詳細な手法を用いた検討等、新たに設計上の対応策を講じる。

水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 S_s を対象とするが、複数の基準地震動 S_s における地震動の特性及び包絡関係、地震力の包絡関係を確認し、代表可能である場合は代表の基準地震動 S_s にて評価する。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法を用いる場合もある。

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

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な設備について、構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを図3-2-2に示す。

なお、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法（以下「最

大応答の非同時性を考慮した SRSS 法」という。) 又は組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) を適用する。この組合せ方法については、現状の耐震評価は基本におおむね弾性範囲でとどまる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平 2 方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考としているものである。

① 評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備を評価対象とし、代表的な機種ごとに分類し整理する (図 3-2-2 ①)。

② 構造上の特徴による抽出

機種ごとに構造上の特徴から水平 2 方向の地震力が重畳する観点、もしくは応答軸方向以外の振動モード (ねじれ振動等) が生じる観点にて検討を行い、水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する (図 3-2-2 ②)。

③ 発生値の増分による抽出

水平 2 方向の地震力による影響の可能性がある設備に対して、水平 2 方向の地震力が各方向 1 : 1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した発生値の増分を用いて影響を検討し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

また、建物・構築物及び屋外重要土木構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性がある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。この際、機器・配管系の構造上の特徴と異なる観点が抽出された場合、図 3-2-2 のフローの適用ができないことから、図 3-2-2 とは別のフローを用いることとする。想定される観点として、3.1 項の原子炉建屋の影響評価において、従来評価で用いている質点系モデルと 3 次元 FEM モデルによる応答解析結果を比較し、局所的な応答の有無を確認することから、機器・配管系の耐震評価に用いる応答が増幅する部位が抽出される可能性がある。この場合には、図 3-2-3 に示す建屋応答の増幅を考慮した影響評価フローに基づき、設備の耐震性への影響を確認する。

影響の検討は、機種ごとの分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小

さい設備（部位）を対象とする（図 3-2-2 ③）。

④ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて，設備の耐震性への影響を確認する（図 3-2-2 ④）。

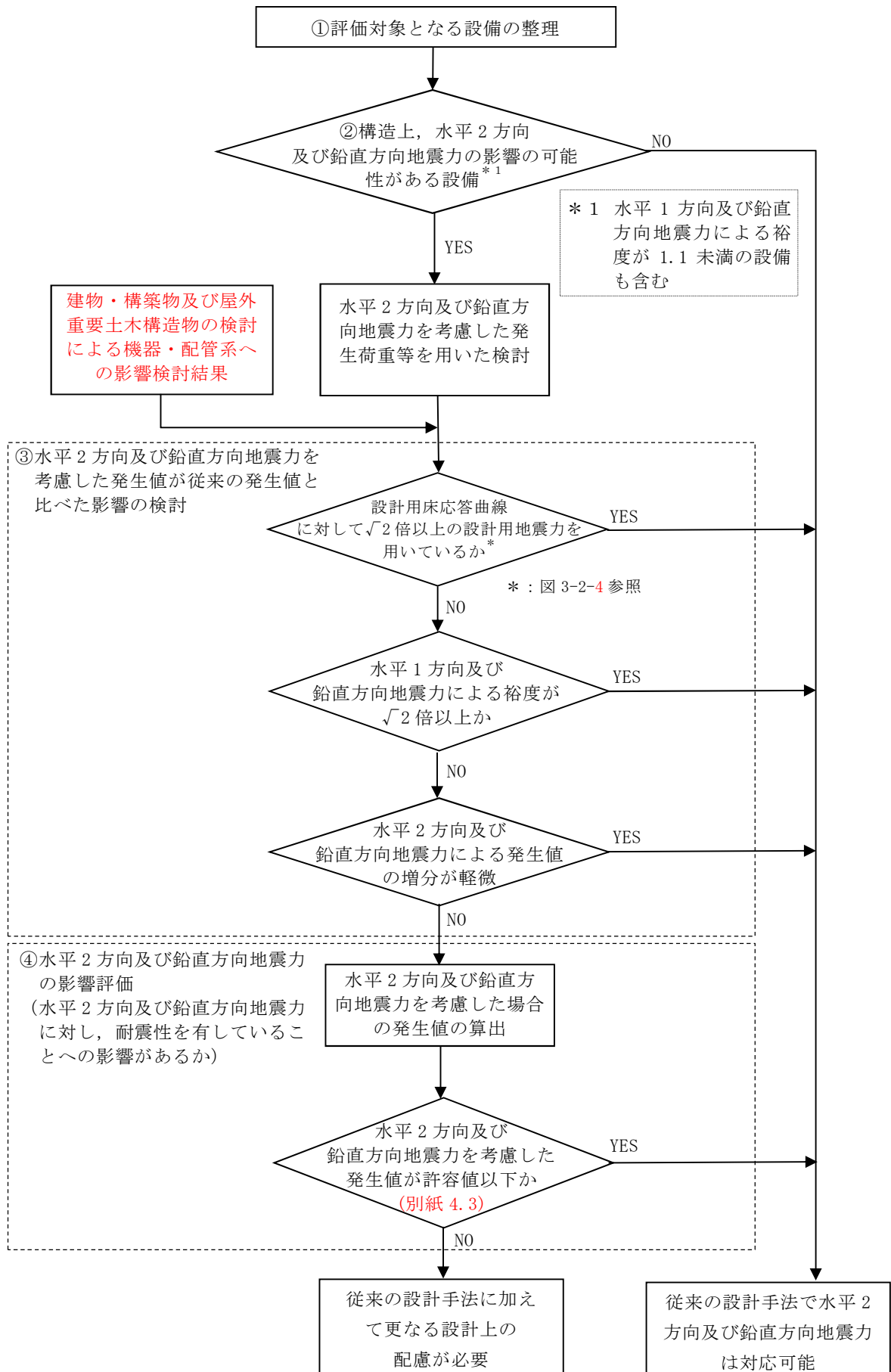


図 3-2-2 水平2方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

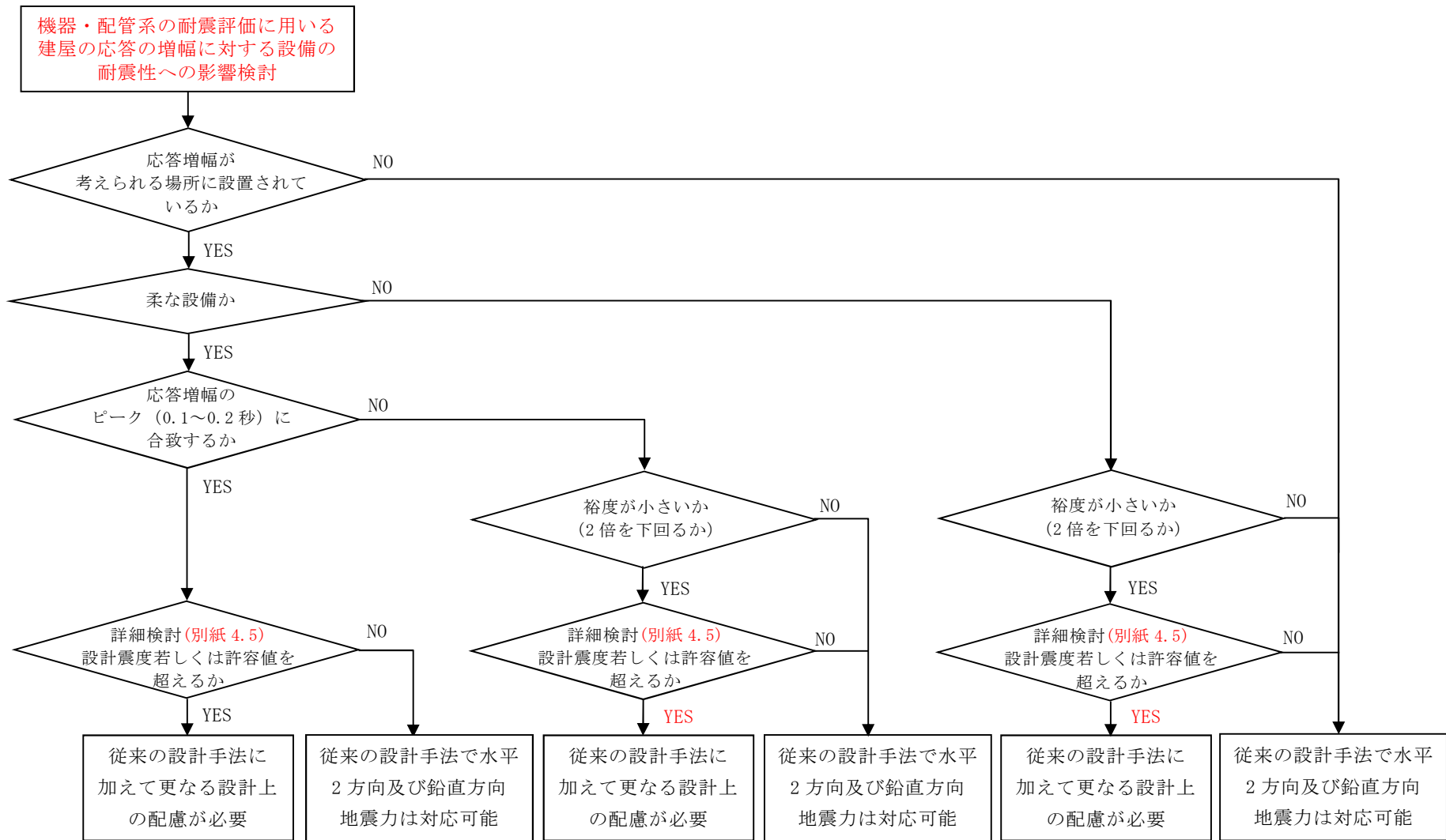


図 3-2-3 建屋応答の増幅を考慮した影響評価フロー

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

評価対象設備を機種ごとに分類した結果を、表 3-2-1 に示す。機種ごとに分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平2方向の地震力による影響を水平2方向の地震力が重畳する観点より検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

(1) 水平2方向の地震力が重畳する観点

水平1方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重畳した場合、水平2方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合には、水平2方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理した（別紙 4.1 参照）。なお、ここでの影響が軽微な設備とは、構造上の観点から発生応力への影響に着目し、その増分が1割程度以下となる機器を分類しているが、水平1方向地震力による裕度（許容応力／発生応力）が1.1未満の機器については個別に検討を行うこととする。

a. 水平2方向の地震力を受けた場合でも、その構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの

横置きの容器等は、水平2方向の地震力を想定した場合、水平1方向を拘束する構造であることや水平各方向で振動特性及び荷重の負担断面が異なる構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平1方向の地震力しか負担しないものとして分類した

b. 水平2方向の地震力を受けた場合、その構造により最大応力の発生箇所が異なるもの

一様断面を有する容器類の胴板等は、水平2方向の地震力を想定した場合、それぞれの水平方向地震力に応じて応力が最大となる箇所があることから、最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。その他の設備についても同様の理由から最大応力の発生箇所が異なり、水平2方向の地震力を組み合わせても影響が軽微であるものとして分類した。

c. 水平2方向の地震力を組み合わせても水平1方向の地震による応力と同等と言えるもの

原子炉圧力容器スタビライザ及び格納容器スタビライザは、周方向8箇所を支持する構造で配置されており、水平1方向の地震力を6体で支持する設計と

しており、水平 2 方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平 1 方向の地震力による荷重と水平 2 方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。

スタビライザと同様の支持方式を有するその他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同様のものと分類した。

d. 従来評価において、水平 2 方向の考慮をした評価を行っているもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。

(2) 水平方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点

水平方向とその直交方向が相関する振動モードが生じることで優位な影響が生じる可能性のある設備を抽出する。

機器・配管系設備のうち、水平方向の各軸方向に対して均等な構造となっている機器は、評価上有意なねじれ振動は生じない。

一方、3 次元的な広がりを持つ配管系等は、系全体として考えた場合、有意なねじれ振動が発生する可能性がある。しかし、水平方向とその直交方向が相関する振動が想定される設備は、従来設計より 3 次元のモデル化を行っており、その振動モードは適切に考慮した評価としているため、この観点から抽出される機器は無かった。

(3) 水平 1 方向及び鉛直方向地震力に対する水平 2 方向及び鉛直方向地震力の増分の観点

(1) 及び (2) にて影響の可能性のある設備について、水平 2 方向の地震力が各方向 1:1 で入力された場合に各部にかかる荷重や応力を求め、従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力の設計手法による発生値と比較し、その増分により影響の程度を確認し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出した。

水平 1 方向に対する水平 2 方向の地震力による発生値の増分の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備（部位）を対象とする。別紙 4.4 に対象の考え方を示し、別紙 4.2 表 1 に (1) 及び (2) において抽出された設備のうち対象とした部位や応力分類の詳細を示す。水平 2 方向

の地震力の組合せは米国 Regulatory Guidel.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した SRSS 法により組合せ，発生値の増分を算出する。増分の算出は，従来の評価で考慮している保守性により増分が低減又は包絡されることも考慮する。算出の方法を以下に示す。

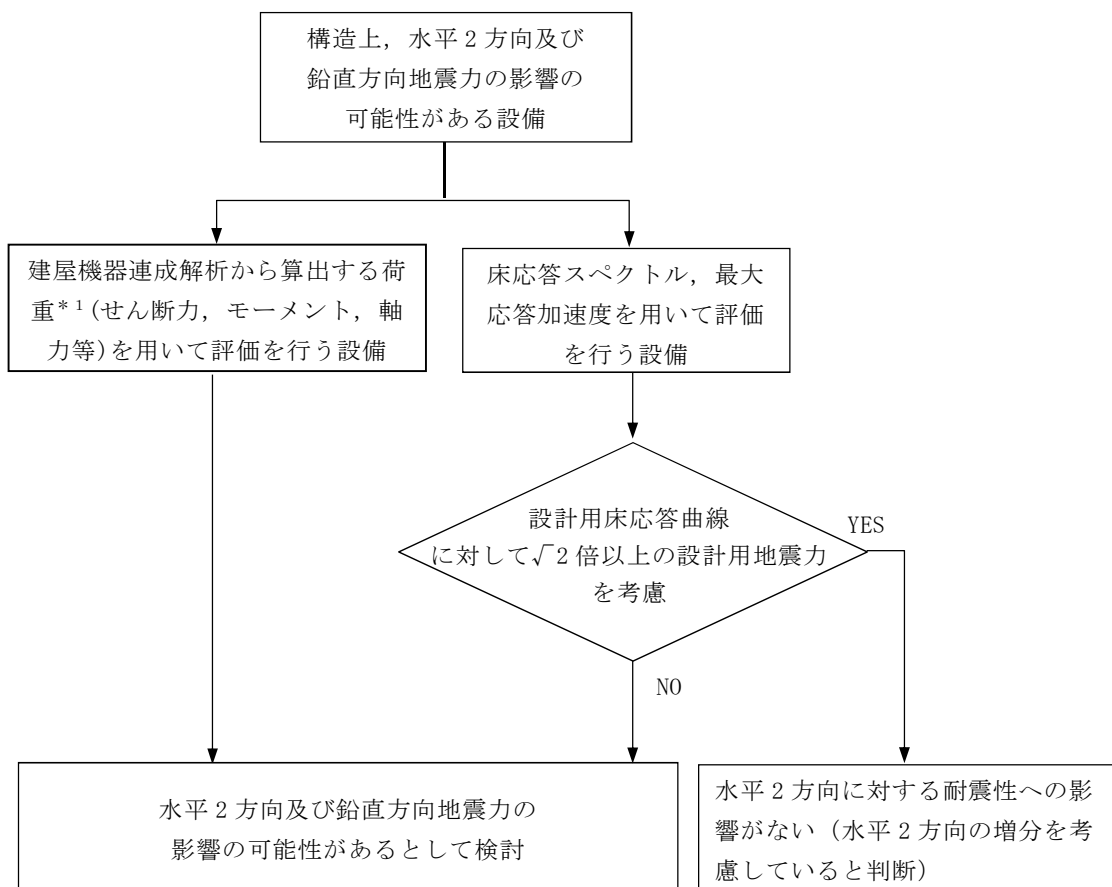
- ・従来の評価データを用いた簡易的な算出では，地震・地震以外の応力に分離可能なものは地震による発生値のみを組み合わせた後，地震以外による応力と組み合わせで算出する。
- ・設備（部位）によっては解析等で求められる発生荷重より大きな設計荷重を用いているものもあるため，設計荷重が上記組合せによる発生値を上回ることを確認したものは，水平 2 方向の地震力による発生値の増分はないものとして扱う。
- ・応答軸が明確な設備で，設備の応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きへ地震力を入力している場合は，耐震性への影響が懸念されないものとして扱う。

今回工認の耐震計算では，一部設備については，設計上の配慮として，建物・構築物，土木構造物及び建屋－機器連成解析モデルにおける地震応答解析から得られる最大応答加速度（ZPA），設計用床応答曲線*に 1.5 倍した耐震評価条件（以下，本資料では「設計用地震力」という。）を用いている。水平 2 方向の地震力は，水平方向の地震力に対する方向性を踏まえれば，水平 1 方向の地震力を $\sqrt{2}$ 倍以上した地震力を耐震評価条件とすれば，水平 2 方向の地震力による増分を考慮したといえる。これより，1.5 倍した設計用地震力を適用した設備については，水平 2 方向及び鉛直方向による地震力に対する影響の懸念はないと整理する。

一方，建屋－機器連成解析から算出する荷重（せん断力，モーメント，軸力等）を用いて評価を行う設備も 1.5 倍の地震力を耐震条件としているが，これは時刻歴応答解析を適用することによる配慮（材料物性のばらつきの考慮）として 1.5 倍しているため，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響の可能性があると検討を行う。

対応方針を図 3-2-4 に示す。

注記 *：添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における「3.1 地震応答解析モデル」に示す物性値及び定数を用いた地震応答解析ケース（基本ケース）であり，材料物性のばらつき等の考慮として床応答曲線を周期軸方向に $\pm 10\%$ 拡幅している。



注記 *1：時刻歴応答解析を適用することによる配慮として1.5倍している。

図 3-2-4 設計用地震力の水平2方向に対する耐震性への影響判断フロー

3.2.5 建物・構築物及び屋外重要土木建造物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出

3.1 項における建物・構築物の影響評価において、原子炉建屋の3次元FEMモデルによる解析結果を基に機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される部位として、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなる傾向が確認された。建屋の応答が増幅することに対する機器・配管系の影響評価は、図3-2-2のフローを適用できないことから、図3-2-3に示すフローに基づき機器・配管系への影響を検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。なお、図3-2-2のフローにおいて、建物・構築物の検討による機器・配管系の耐震性への影響が懸念される部位は抽出されなかった。

3.3 項における屋外重要土木建造物の影響評価において、機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される部位は抽出されなかった。

(1) 評価対象設備抽出の考え方

影響評価においては、応答増幅の影響が小さい位置に設置されている設備や、耐震裕度が大きい設備も含まれていることから、3次元FEMモデルによる影響評価として詳細検討（加速度比率と耐震裕度の比較等）を行う対象設備を、図3-2-3に示すフローに基づき抽出する。フローの考え方を以下に示す。

a. 応答増幅の有無

応答の増幅が顕著に見られるのは、壁及び床の中央付近であり、壁の端部や床の端部、耐震壁直上の床については応答増幅が小さい。このため、応答増幅が小さい場所に設置される設備については、3次元FEMモデルによる応答増幅の影響が小さいものとして影響評価の対象から除外する。

b. 耐震裕度の大小関係

(a) 柔な設備

質点系モデルと3次元FEMモデルの床応答スペクトル（以下「FRS」という。）を比較すると、3次元FEMモデルの応答の増幅が大きくなる周期帯は、概ね0.1～0.2秒の領域にあることから、この領域に固有周期を有する設備については、全て詳細検討の対象とする。

FRSの周期が0.1秒以下の領域では、質点系モデルに対する3次元FEMモデルの応答比率が概ね2倍を下回り、応答増幅の影響が比較的小さいことから、この領域に固有周期を有する設備について、耐震裕度が大きい（2倍以上）設備は詳細検討の対象から除外し、耐震裕度が小さい（2倍を下回る）設備は詳細検討の対象とする。

(b) 剛な設備

剛な設備については、質点系モデルに対する3次元FEMモデルの応答

比率が概ね 2 倍を下回り，応答増幅の影響が比較的小さいことから，上述の 0.1 秒以下に固有周期を有する設備と同様に，耐震裕度が大きい（2 倍以上）設備は詳細検討の対象から除外し，耐震裕度が小さい（2 倍を下回る）設備は詳細検討の対象とする。

3.2.6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.2.4(1)及び(2)による影響を整理した結果を別紙 4.2 に，3.2.4(3) による影響を整理した結果を別紙 4.3 に示す。なお，別紙 4.3 では，別紙 4.2 にて影響ありとされた設備，又は裕度が 1.1 未満の設備を抽出して記載しているが，応答軸が明確な設備，設計上の配慮として $\sqrt{2}$ 倍以上の設計用地震力を適用している設備については耐震性への影響が懸念されないものとして整理している。また，水平 2 方向の地震力を組み合わせる場合，発生応力は最大応答の非同時性を考慮した SRSS 法では最大 $\sqrt{2}$ 倍，組合せ係数法で最大 1.4 倍となるため，裕度（＝許容値／発生値）が $\sqrt{2}$ 以上ある設備については，水平 2 方向の地震力による影響の評価は不要とし，別紙 4.3 には記載していない。

また，3.2.5 項において整理した，建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出結果を表 3-2-2 に示す。ここでは，原子炉建屋 6 階の壁及び床の応答が大きくなる影響を踏まえ，詳細検討を実施する評価対象設備を抽出した結果を整理している。

3.2.7 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価

別紙 4.2 において抽出された設備について，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値（発生荷重，発生応力，応答加速度）を以下の方法により算出する。発生値の算出における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せは，米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として非同時性を考慮した SRSS 法を適用する。

(1) 従来評価データを用いた算出

従来の水平 1 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた評価結果を用いて，以下の条件により水平 2 方向及び鉛直方向の地震力に対する発生値を算出することを基本とする。

- ・水平各方向及び鉛直方向地震力をそれぞれ個別に用いて従来の発生値を算出している設備は，水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。

$$\text{水平 2 方向発生値} = \sqrt{(\text{NS 方向発生値})^2 + (\text{EW 方向発生値})^2 + (\text{UD 方向発生値})^2}$$

- ・ 水平 1 方向と鉛直方向の地震力を組合せた上で従来の発生値を各方向で算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向別の発生値を組み合わせることで水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。

水平 2 方向発生値

$$= \sqrt{(\text{NS + UD 方向地震力による発生値})^2 + (\text{EW + UD 方向地震力による発生値})^2}$$

- ・ 水平各方向を包絡した床応答曲線による地震力と鉛直方向の地震力を組み合わせた上で従来の発生値を算出している設備は、鉛直方向を含んだ水平各方向同一の発生値を組み合わせることで水平 2 方向を考慮した発生値の算出を行う。

水平 2 方向発生値

$$= \sqrt{(\text{NS + UD 方向地震力による発生値})^2 + (\text{NS + UD 方向地震力による発生値})^2}$$

または、

$$= \sqrt{(\text{EW + UD 方向地震力による発生値})^2 + (\text{EW + UD 方向地震力による発生値})^2}$$

また、算出にあたっては必要に応じて以下も考慮する。

- ・ 発生値が地震以外の応力成分を含む場合、地震による応力成分と地震以外の応力成分を分けて算出する。
- ・ 建屋－機器連成解析において、1.5 倍の地震力を用いて発生値を算出しており、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を想定した際に発生値が増加する場合は、材料物性のばらつきを考慮した地震応答解析ケースにて建屋－機器連成解析を行った結果を適用して発生値を算出する。

3.2.5 項の観点から 3.2.6 項で抽出した設備の影響評価では、以下のいずれかの方法を用いて評価を行う。評価の詳細については、別紙 4.5 に示す。

- ① 3次元 FEMモデルにより得られた $S_d - D1$ の震度に係数を掛け、「基準地震動 S_8 波による応答」及び「地盤物性等のばらつき」を考慮した震度を推定し、質点系モデルの震度に包絡されること若しくは耐震裕度に包絡されることを確認する。
- ② $S_d - D1$ を入力とした質点系モデルに対する 3次元 FEMモデルの震度

比率を求め、設備の耐震裕度（地盤物性等のばらつきを考慮した裕度）に包絡されること若しくは許容値内に収まることを確認する。

3.2.8 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価結果

別紙4.3において、水平2方向での発生値の増分の影響が無視できないと整理した設備について、3.2.7項の影響評価条件において算出した発生値に対して設備の耐震性への影響を確認する。評価した内容を設備（部位）毎に示し、その影響評価結果については重大事故等の状態も考慮した結果について別紙4.4に示す。

3.2.5項の観点から3.2.6項で抽出した設備について、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなる影響を考慮した場合の設備の耐震性への影響を評価し、設備の健全性が確保できることを確認した。評価結果については、別紙4.5に示す。なお、別紙4.5で詳細評価を行った設備について、図3-2-2に示すフロー（機器・配管系の構造及び発生値の増分の観点から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価するフロー）に従い影響評価を実施した結果、応力評価が必要な設備として抽出されなかったことから、この観点での影響はなく、設備の健全性を確保できることを確認した。

3.2.9 まとめ

機器・配管系において、水平2方向の地震力の影響を受ける可能性がある設備（部位）について、従来設計手法における保守性も考慮した上で抽出し、従来の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる設計に対して影響を評価した。その結果、従来設計の発生値を超えて耐震性への影響が懸念される設備については、水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値が許容値を満足し、設備が有する耐震性に影響のないことを確認した。

本影響評価は、水平2方向及び鉛直方向地震力により設備が有する耐震性への影響を確認することを目的としている。そのため、従来設計の発生値をそのまま用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、以下に示す保守側となる要因を含んでいる。

- ・従来設計の発生値（水平1方向及び鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分の組合せ）に対して、係数を乗じて水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出しているため、係数倍不要な鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分についても係数倍されている。
- ・従来設計において水平各方向を包絡した床応答曲線を各方向に入力している設備は各方向の大きい方の地震力が水平2方向に働くことを想定した発生値として算出している。

また、建物・構築物の影響評価において、原子炉建屋3次元FEMモデルによる解析結果を基に機器・配管系への影響を検討した結果、耐震性への影響が懸念される部位として、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなる傾向が確認さ

れたが、当該応答の増幅を考慮しても、設備の健全性が確保できることを確認した。

以上のことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力については、機器・配管系が有する耐震性に影響がないことを確認した。

表 3-2-1 ①水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設 備		部 位
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴 中間胴 下部胴
	シュラウドサポート	レグ シリンダ プレート 下部胴
	上部格子板	グリッドプレート
	炉心支持板	補強ビーム 支持板
	燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具
	制御棒案内管	長手中央部 下部溶接部
原子炉压力容器	胴板 下部鏡板	胴板 下部鏡板 下部鏡板と胴板の結合部 下部鏡板とスカートの結合部
	制御棒駆動機構ハウジング貫通部	スタブチューブ ハウジング
	ノズル	各部位
	ブラケット類	スタビライザブラケット スチームドライヤサポートブラケット 炉心スプレイブラケット 給水スパーチャブラケット
原子炉压力容器 支持構造物	原子炉压力容器スカート	スカート
	原子炉压力容器基礎ボルト	基礎ボルト

設 備		部 位
原子炉圧力容器 付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ 原子炉格納容器スタビライザ	各部位
	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレイントビーム ボルト
原子炉圧力容器 内部構造物	蒸気乾燥器	ユニットサポート 耐震サポート
	気水分離器及びスタンドパイプ	各部位
	シュラウドヘッド 中性子計測案内管	各部位
	スパージャ 炉内配管	各部位
	ジェットポンプ	ライザ ディフューザ ライザブレース
	使用済燃料貯蔵ラック (共通ベース含む)	ラック部材 基礎ボルト ラック取付ボルト
使用済燃料乾式貯蔵容器	各部位	
四脚たて置円筒形容器	胴板	
	脚	
横置円筒形容器	胴板	
	脚	
	基礎ボルト	
たて軸ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	
	基礎ボルト 取付ボルト	
ECCS ストレーナ	各部位	

設 備		部 位
横軸ポンプ ポンプ駆動用タービン 海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機		基礎ボルト 取付ボルト
制御棒駆動機構		各部位
水圧制御ユニット		フレーム
		取付ボルト
平底たて置円筒形容器		胴板
		基礎ボルト
核計装設備		各部位
伝送ラック		取付ボルト
制御盤		取付ボルト
原子炉格納容器	サプレッション・チェンバ底部ライナ部	中央部 周辺部
	原子炉格納容器胴	各部位
	上部シアラグ及びスタビライザ 下部シアラグ及びダイヤフラムブラケット	各部位
		上部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部 下部シアラグと原子炉格納容器胴との結合部
	機器搬入用ハッチ 所員用エアロック サプレッション・チェンバアクセスハッチ	本体と補強板との結合部 補強板と原子炉格納容器胴一般部との結合部
	胴アンカ部	各部位
		コンクリート
	配管貫通部	原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部 原子炉格納容器胴と補強板との結合部
		原子炉格納容器胴とスリーブとの結合部 補強板結合部

設 備	部 位
ダイヤフラム・フロア	R Cスラブ
	大梁
	小梁
	柱
ベント管	シヤークネクタ
	上部 ブレーシング部
格納容器スプレイヘッダ	上部ドライウエルススプレイヘッダ案内管 下部ドライウエルススプレイヘッダ案内管 スプレイヘッダ（サブプレッション・チェンバ側）
ブローアウトパネル	ブローアウトパネル
ブローアウトパネル閉止装置	各部位
原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設	各部位
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース
	ベース取付溶接部
非常用ガス処理系排気筒	筒身
	サポート
ディーゼル発電機	基礎ボルト
	取付ボルト
プレート式熱交換器	側板
	脚
	取付ボルト
ラグ支持たて置き円筒形容器	胴板
	振れ止め
	シアラグ
	取付ボルト 基礎ボルト
その他電源設備	取付ボルト
配管本体，サポート（多質点梁モデル解析）	配管，サポート
矩形構造の架構設備（静的触媒式水素再結合器，架台を含む）	各部位
通信連絡設備（アンテナ）	基礎ボルト

設 備	部 位
水位計	取付ボルト
温度計	溶接部
監視カメラ	基礎ボルト
	据付部材
貫通部止水処置	モルタル
浸水防止蓋	蓋
	固定ボルト
逆流防止逆止弁	各部位
原子炉ウェル遮蔽ブロック	本体
	支持部
原子炉本体の基礎	円筒部
	脚部アンカー部
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト) トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)
	吊具
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ
	落下防止金具
	トロリストoppa
	トロリ
	吊具
使用済燃料乾式貯蔵建屋天井クレーン	ガーダ
	浮上防止装置 (つめ)
	浮上防止装置 (取付ボルト)
	車輪
	走行レール (取付ボルト)
	横行レール (溶接部)
横行レール (取付ボルト)	
原子炉遮蔽	一般胴部
	開口集中部
	アンカーボルト
	シアプレート

表 3-2-2 建物・構築物の検討結果を踏まえた機器・配管系の設備の抽出結果

設 備		部 位
ブローアウトパネル閉止装置		ガイドレール
		動的機能維持
原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設		構造部材
原子炉建屋クレーン		落下防止金具
		ワイヤロープ
使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）		電氣的機能維持
原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ		電氣的機能維持
燃料取替機		横行レール
使用済燃料貯蔵ラック	70 体ラック	ラック取付ボルト
	110 体ラック	ラック取付ボルト
	共通ベース	基礎ボルト

S_s-D1 の直交方向の模擬地震波について

1. 検討概要

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う際に 3 次元 FEM による地震応答解析には弾性設計用地震動 S_d-D1 を代表波として用いている。この際、水平 1 方向には S_d-D1 を用いるが、その直交方向には S_d-D1 とは位相特性の異なる模擬地震波を用いている。

震源を特定せず策定する地震動として策定された基準地震動 S_s-31 も水平方向には方向性を考慮していないが、 S_d-D1 を 3 次元 FEM による地震応答解析の代表波として選定している。

ここでは、 S_d-D1 の直交方向の模擬地震波について示すとともに、 S_d-31 ではなく S_d-D1 を代表波として選定した妥当性を示す。

2. 位相特性の異なる模擬地震波

弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s に係数 0.5 を乗じて設定しており、ここでは S_s-D1 及び S_s-31 と新たに作成されたそれぞれの直交波について示す。

2.1 S_s-D1 の直交波について

S_s-D1 と位相特性の異なる模擬地震波は、 S_s-D1 とは異なる乱数の位相を持つ正弦波の重ね合わせによって、 S_s-D1 と同じコントロールポイント及び振幅包絡線の経時変化にて作成する。応答スペクトルのコントロールポイントを表 1 に、振幅包絡線の経時変化を表 2 に示す。

S_s-D1 及び S_s-D1 と位相特性の異なる模擬地震波の応答スペクトルをそれぞれ図 1 及び図 2 に、加速度時刻歴波形を図 3 及び図 4 に示す。また、それぞれの地震波を 2 方向入力した場合のオービットを図 5 に示す。 S_s-D1 と位相特性の異なる模擬地震波の S I 比は 1.0 以上であり、応答スペクトル比は 0.85 以上である。応答スペクトル比を図 6 に示す。

図 1 及び図 2 に示す様に、 S_s-D1 と新たに作成した S_s-D1 と位相特性の異なる模擬地震波はほぼ同じ応答スペクトル及び時刻歴波形をしている。また図 3 に示すとおり、オービットは偏りが無い。

2.2 S_s-31 の直交波について

S_s-31 については、2004 年北海道留萌支庁南部地震の観測記録より策定された地震動である。水平方向の地震動は、EW 方向の観測記録から推定される基盤相当位置の地震動に基づき敷地地盤の物性等を踏まえて作成されている。そのため S_s-31 の直交方向の地震波については、NS 方向の観測記録から推定される基盤相当位置の地震動に基づき敷地地盤の物性等を踏まえて作成する。

S_s-31 及び S_s-31 の直交波の加速度時刻歴波形をそれぞれ図 7 及び図 8 に示す。また、それぞれの地震波を 2 方向入力した場合のオービットを図 9 に示す。

図8に示すように、NS方向の観測記録を用いて作成された地震波は S_s-31 と比較して小さく、図9に示す様に応答の軌道もEW方向に偏っている。

3. 検討結果

S_s-D1 の直交方向の模擬地震波について示した。

また S_s-31 とその直交波のオービットには偏りがあり、 S_s-D1 とその直交波のオービットは偏りがないことを確認した。以上より、 S_d-D1 を水平2方向及び鉛直方向地震力の同時入力による影響検討を行う地震動として選定することの妥当性を確認した。

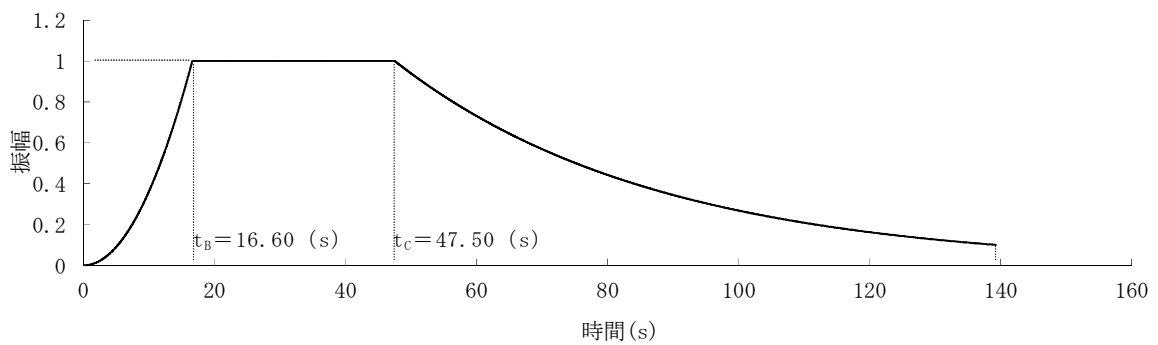
表1 応答スペクトルのコントロールポイント

応答スペクトル		コントロールポイント				
		T _A	T _B	T _C	T _D	T _E
S _S -D _{1H}	周期 (s)	0.02	0.09	0.13	0.60	5.00
	速度 (cm/s)	2.77	34.38	50.69	115.00	115.00

注 : T_A~T_Eは周期 (s)

表2 振幅包絡線の経時変化

種別	継続時間 (s)	振幅包絡線の経時変化 (s)		
		t _B	t _C	t _D
S _S -D _{1H}	139.28	16.60	47.50	139.28
S _S -D _{1V}	139.28	16.60	47.50	139.28



M=8.3, X_{eq}=135.8km として評価

$$t_B = 10^{0.5M-2.93}$$

$$t_C - t_B = 10^{0.3M-1.0}$$

$$t_D - t_C = 10^{0.17M+0.541\log X_{eq}-0.6}$$

$$E(t) = \begin{cases} (t/t_B)^2 & 0 \leq t \leq t_B \\ 1 & t_B \leq t \leq t_C \\ \exp[(\ln 0.1)(t-t_C)/(t_D-t_C)] & t_C \leq t \leq t_D \end{cases}$$

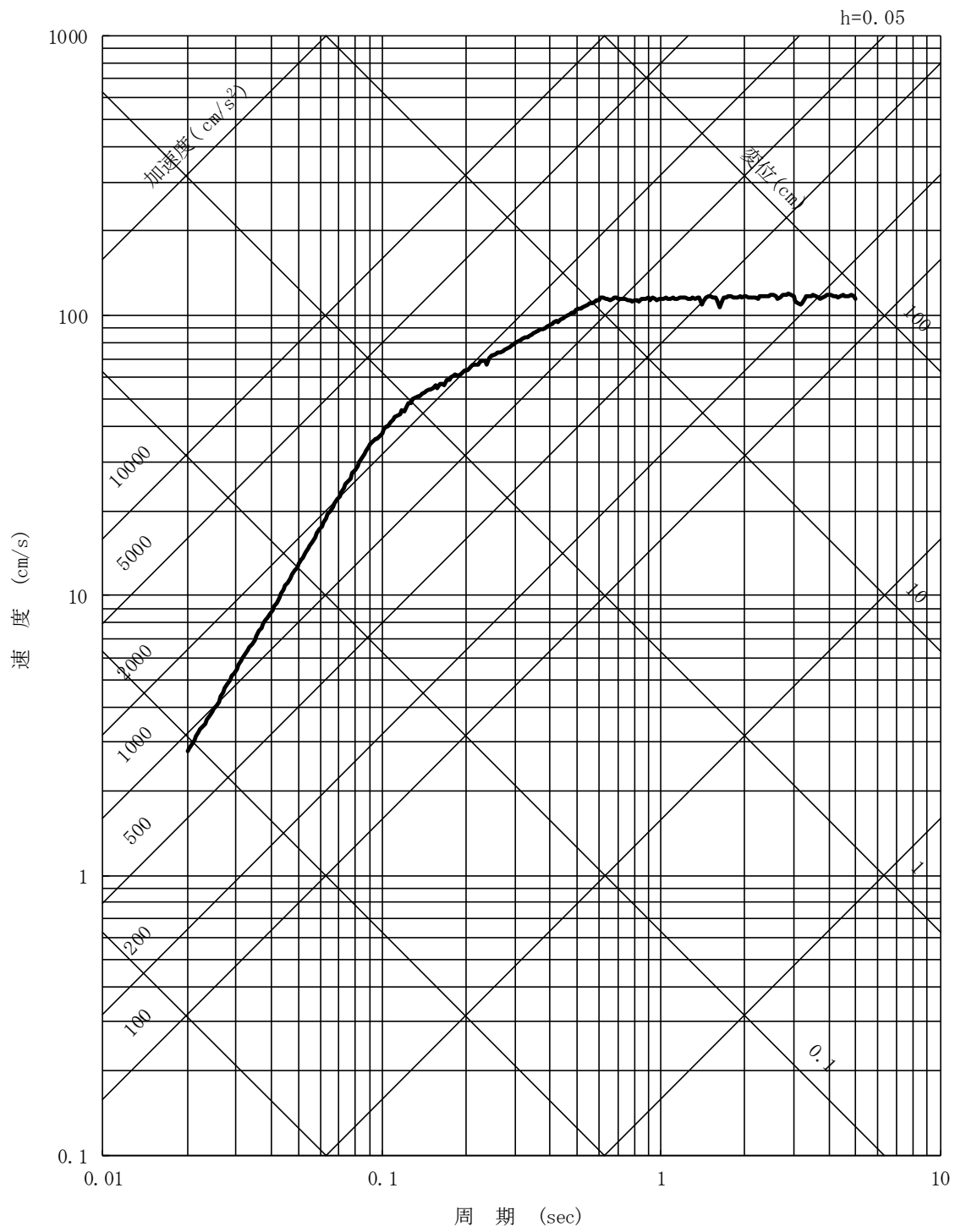


図1 $S_s - D1$ の応答スペクトル

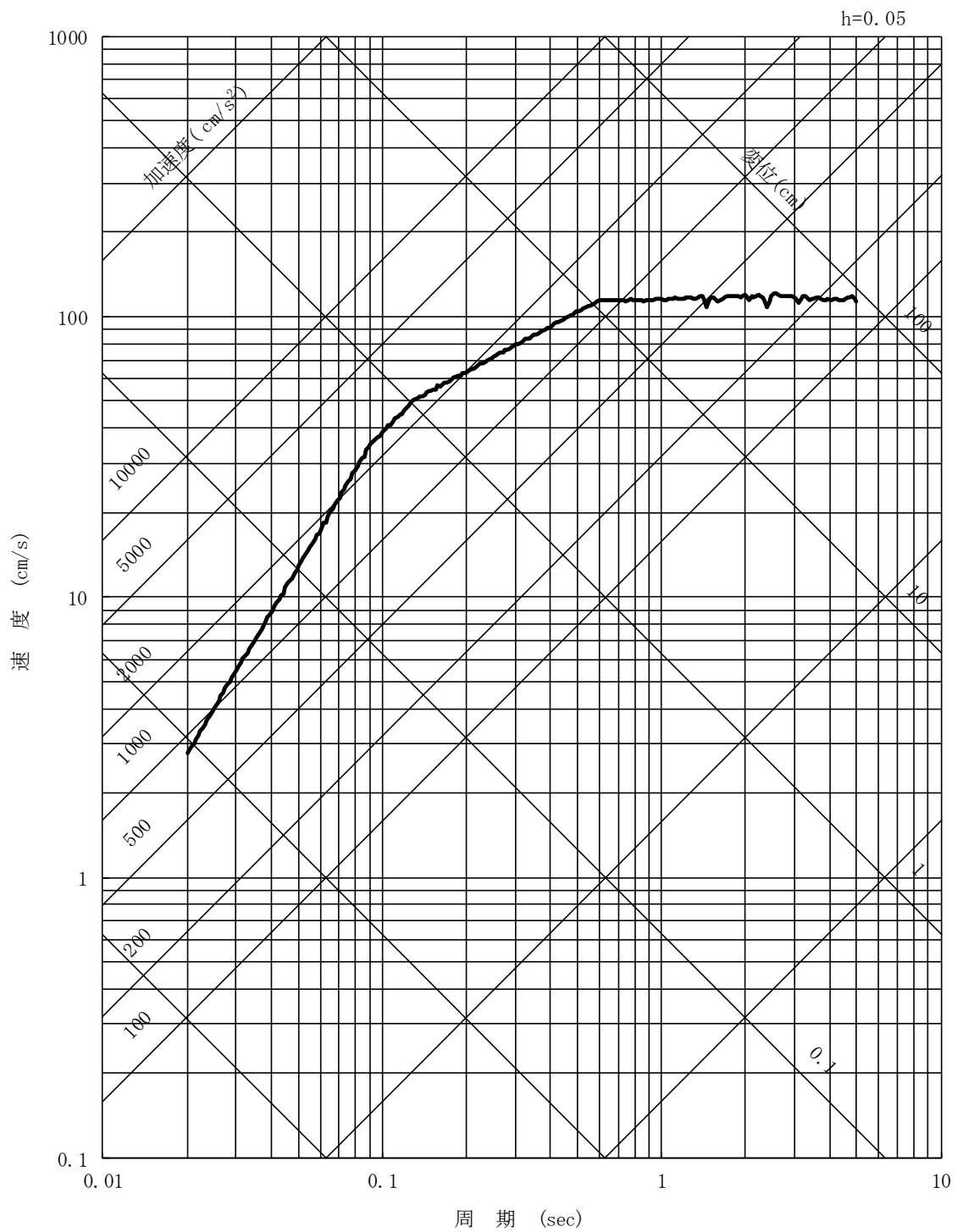


図2 $S_s - D1$ と位相特性の異なる模擬地震波の応答スペクトル

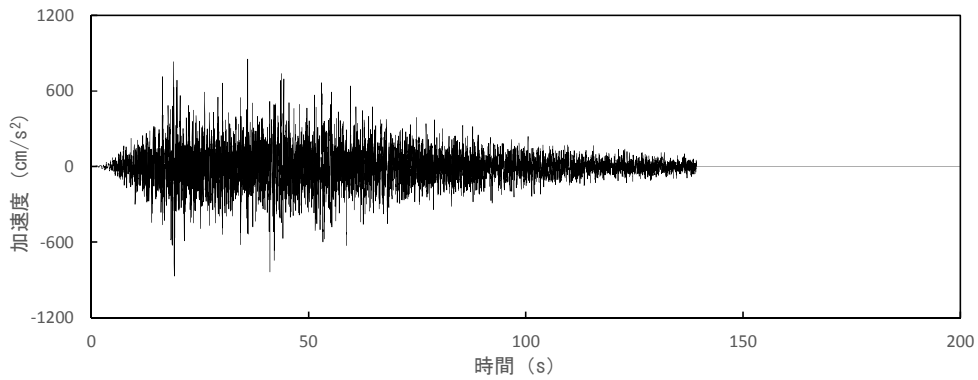


図3 $S_s - D 1$ の加速度時刻歴波形

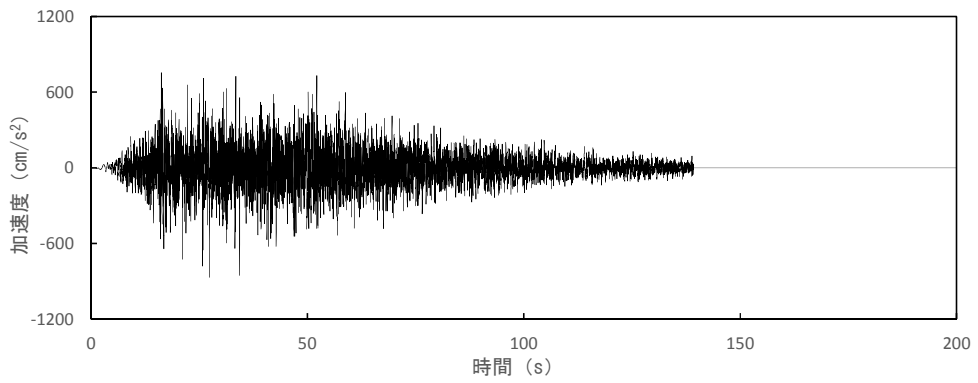


図4 $S_s - D 1$ と位相特性の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形

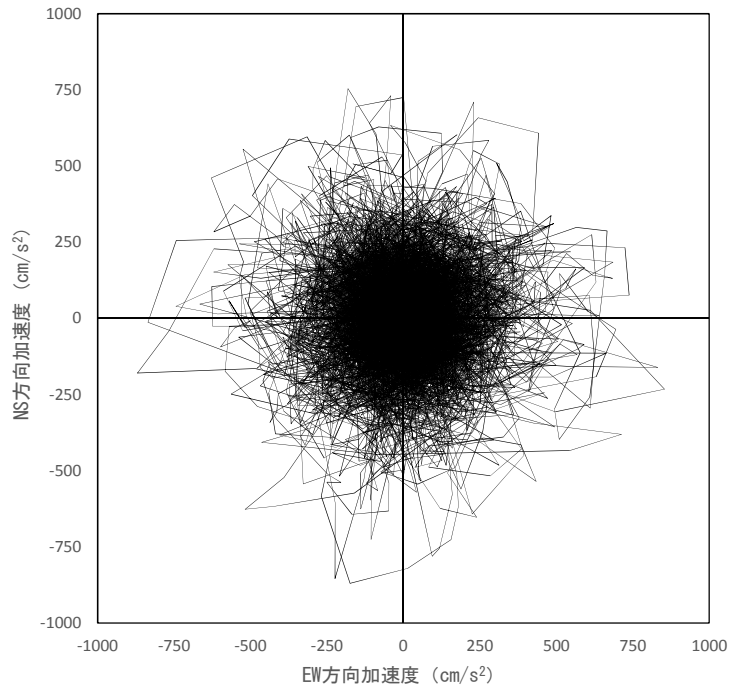


図5 $S_s - D 1$ のオービット
(位相が異なる地震波を2方向入力した場合)

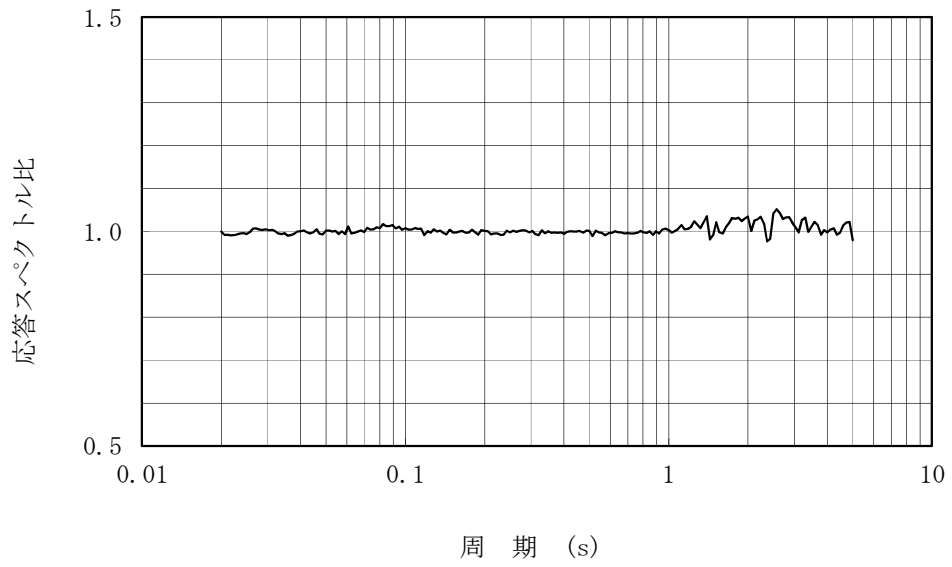


図6 $S_s - D 1$ と位相特性の異なる模擬地震波の応答スペクトル比

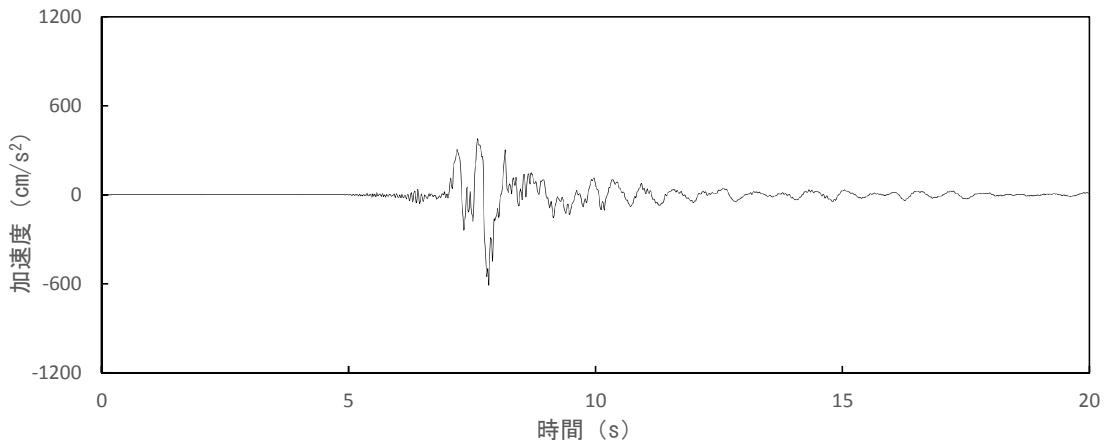


図7 $S_s - 3 1$ の加速度時刻歴波形

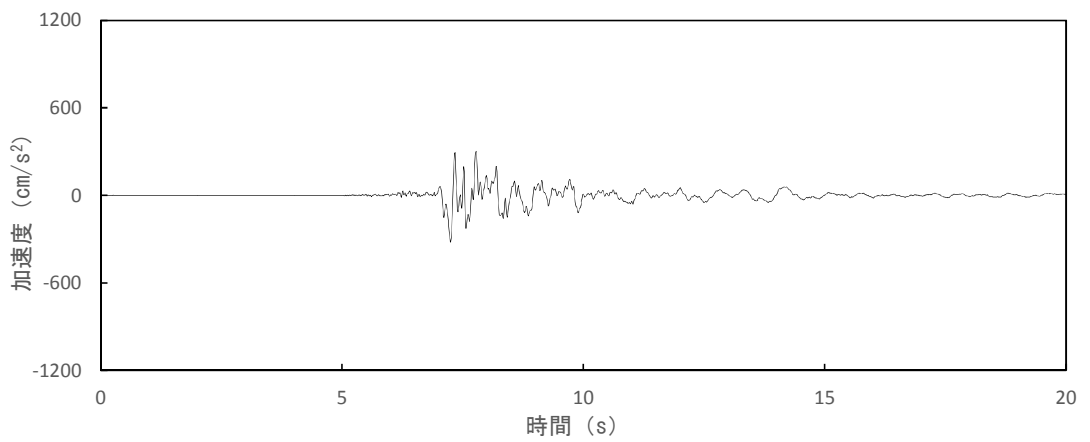


図8 $S_s - 3 1$ の直交波の加速度時刻歴波形

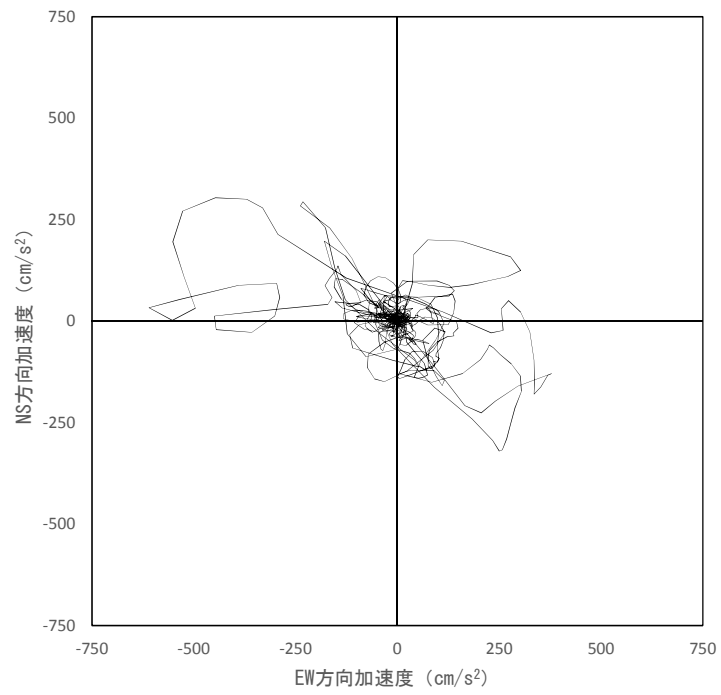


図9 S_s-31のオービット
 (それぞれの地震波を2方向入力した場合)

別紙 1 評価部位の抽出に関する説明資料

目次

1. 構成部位の整理及び水平 2 方向及び鉛直地震力による影響確認が必要な部位の抽出に関する整理表.....	別紙 1-1
2. 対象建屋の図面.....	別紙 1-5
2.1 原子炉建屋.....	別紙 1-6
2.2 主排気筒.....	別紙 1-17
2.3 非常用ガス処理系配管支持架構.....	別紙 1-19
2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋.....	別紙 1-22
2.5 格納容器圧力逃がし装置格納槽.....	別紙 1-24
2.6 緊急時対策所建屋.....	別紙 1-26
2.7 タービン建屋.....	別紙 1-30
2.8 サービス建屋.....	別紙 1-36
3. 代表部位の選定プロセス.....	別紙 1-44

1. 構成部位の整理及び水平 2 方向及び鉛直地震力による影響確認が必要な部位の抽出に関する整理表

抽出に関する整理表を表 1-1～表 1-3 に示す。

表 1-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC造 及びS造	S造	S造	RC造 及びS造	RC造	RC造	RC造 及びS造	RC造 及びS造
柱	一般部	○	—	—	○	—	○	○	○
	隅部	○	○	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	—	—	○	—
	筒身	—	○	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	○	○	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	—	—	○	—
	鉄骨トラス	○	—	—	○	—	—	○	—
壁	一般部	○	—	—	○	○	○	○	○
	地下部	○	—	—	—	○	—	○	—
	鉄骨ブレース	—	○	○	—	—	—	—	○
床 屋根	一般部	○	—	—	○	○	○	○	○
基礎	基礎スラブ	○	—	○	○	○	○	○	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	○	—
	基礎梁	—	○	—	—	—	—	—	○
	杭	—	○	○	○	—	○	○	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

表 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の確認が必要な部位の抽出（荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング）

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC 造 及び S 造	S 造	S 造	RC 造 及び S 造	RC 造	RC 造	RC 造 及び S 造	RC 造 及び S 造
柱	一般部	該当なし	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	①-1 要	①-1 要	該当なし	—	該当なし	該当なし	不要 ^{(*)1}
	地下部	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
	筒身	—	該当なし	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	該当なし	—	—	—	—	—	該当なし	—
	鉄骨トラス	該当なし	—	—	該当なし	—	—	該当なし	—
壁	一般部	①-2 要（プール側壁）	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	①-2 要	—	—	—	①-2 要	—	①-2 要	—
	鉄骨ブレース	—	該当なし	該当なし	—	—	—	—	不要 ^{(*)2}
床 屋根	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし
基礎	基礎スラブ	①-1 要	—	①-1 要	①-1 要	①-1 要	①-1 要	不要 ^{(*)2}	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	不要 ^{(*)2}	—
	基礎梁	—	該当なし	—	—	—	—	—	不要 ^{(*)2}
	杭	—	①-1 要	①-1 要	①-1 要	—	①-1 要	不要 ^{(*)2}	不要 ^{(*)2}

凡例 要：評価必要，不要：評価不要，①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が応力として集中」，①-2：応答特性「面内荷重を負担しつつ，面外方向の荷重が作用」

注記 *1: 上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋であり，隣接する原子炉建屋への衝突方向には耐震壁追設補強により，隅柱に軸応力が集中しても波及的影響評価に影響がないため，不要とする。

*2: 上位クラス建物・構築物への波及的影響防止のための評価対象建屋は，衝突可否判断が基本となるため，せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり，耐震壁を主たる評価対象部位としている。また，波及的影響評価において杭及びケーソンについては損傷を想定した評価をしている。そのため，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対しても，耐震評価への影響が想定される部位として抽出対象に該当しない。

表 1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋	主排気筒	非常用ガス 処理系配管 支持架構	使用済燃料 乾式貯蔵 建屋	格納容器 圧力逃がし 装置格納槽	緊急時 対策所建屋	タービン 建屋	サービス 建屋
		RC 造 及び S 造	S 造	S 造	RC 造 及び S 造	RC 造	RC 造	RC 造 及び S 造	RC 造 及び S 造
柱	一般部	不要	—	—	不要	—	不要	不要	不要
	隅部	不要	要	要	不要	—	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	不要	—
	筒身	—	不要	—	—	—	—	—	—
梁	一般部	不要	不要	②-2	不要	—	不要	不要	不要
	地下部	不要	—	—	—	—	—	不要	—
	鉄骨トラス	不要	—	—	不要	—	—	不要	—
壁	一般部	要 (7° 側壁) ②-1 (燃料取替フロア壁)	—	—	不要	不要	不要	不要 ^(*)	不要
	地下部	要	—	—	—	要	—	要	—
	鉄骨ブレース	—	不要	②-2	—	—	—	—	不要
床 屋根	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	不要	不要
基礎	基礎スラブ	要	—	要	要	要	要	不要	—
	ケーソン	—	—	—	—	—	—	不要	—
	基礎梁	—	不要	—	—	—	—	—	不要
	杭	—	要	要	要	—	要	不要	不要

凡例 要：荷重の組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み，不要：評価不要，②-1：応答特性「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」，②-2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

注記 *：上部階の壁は複数スパンにまたがって直交方向に壁及び大梁がなく，面内方向荷重に加え，面外慣性力の影響が大きいと考えられるが下部に上位クラス施設がないため不要とする。

2. 対象建屋の図面

「水平 2 方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する影響評価結果」において、「建物・構築物における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価部位の抽出」のプロセスに用いた対象建屋の図面を図 2-1～図 2-45 に記載する。

なお、上記にて評価部位として抽出されなかった部位の考え方を表 2-1 に示す。

2.1 原子炉建屋

原子炉建屋の図面を図 2-1～図 2-11 に記載する。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

茶字：3次元FEMモデルによる精査

青字：抽出されなかった部位及びその理由

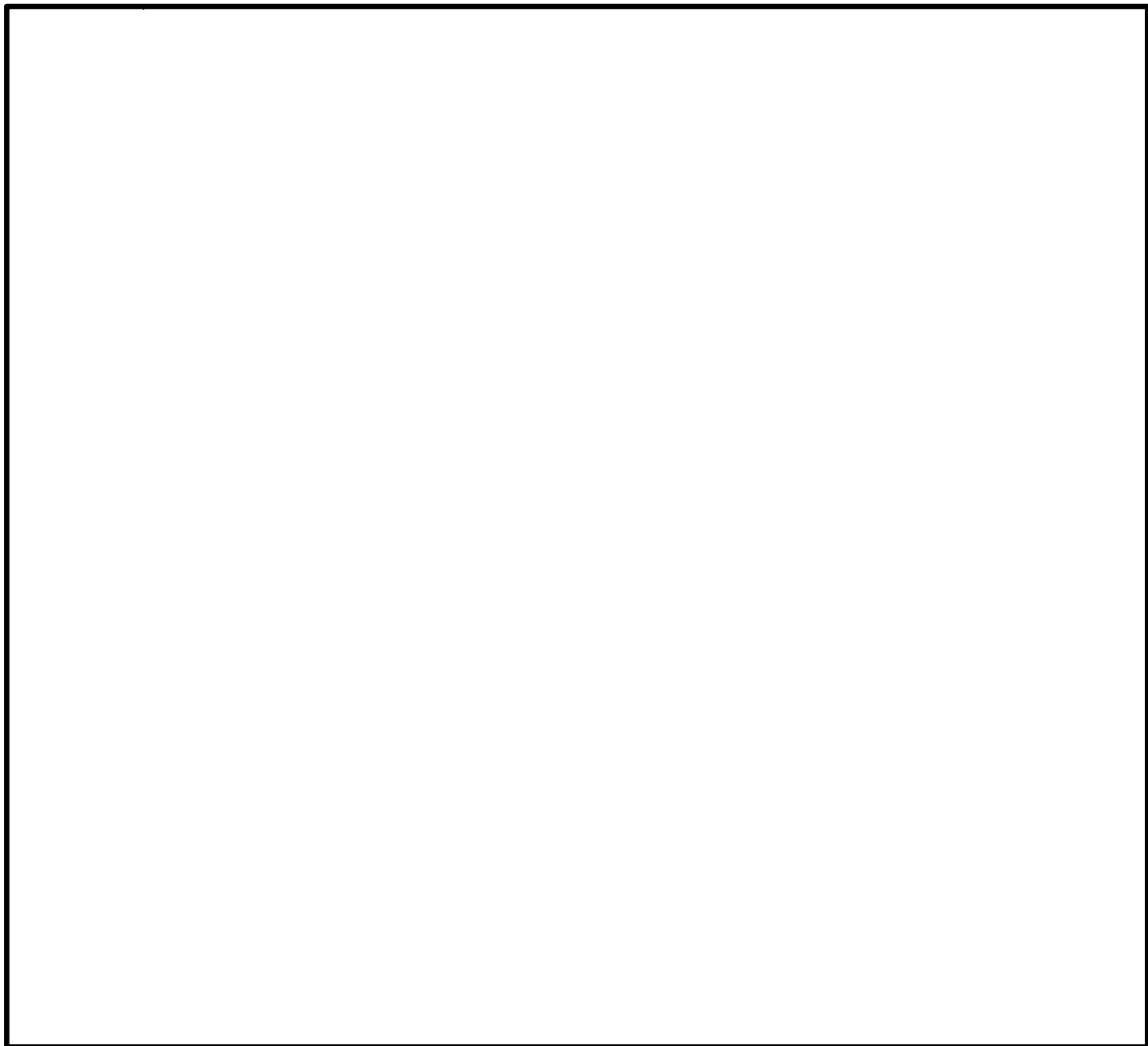


図 2-1 の概略平面図 (EL. -4.00 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

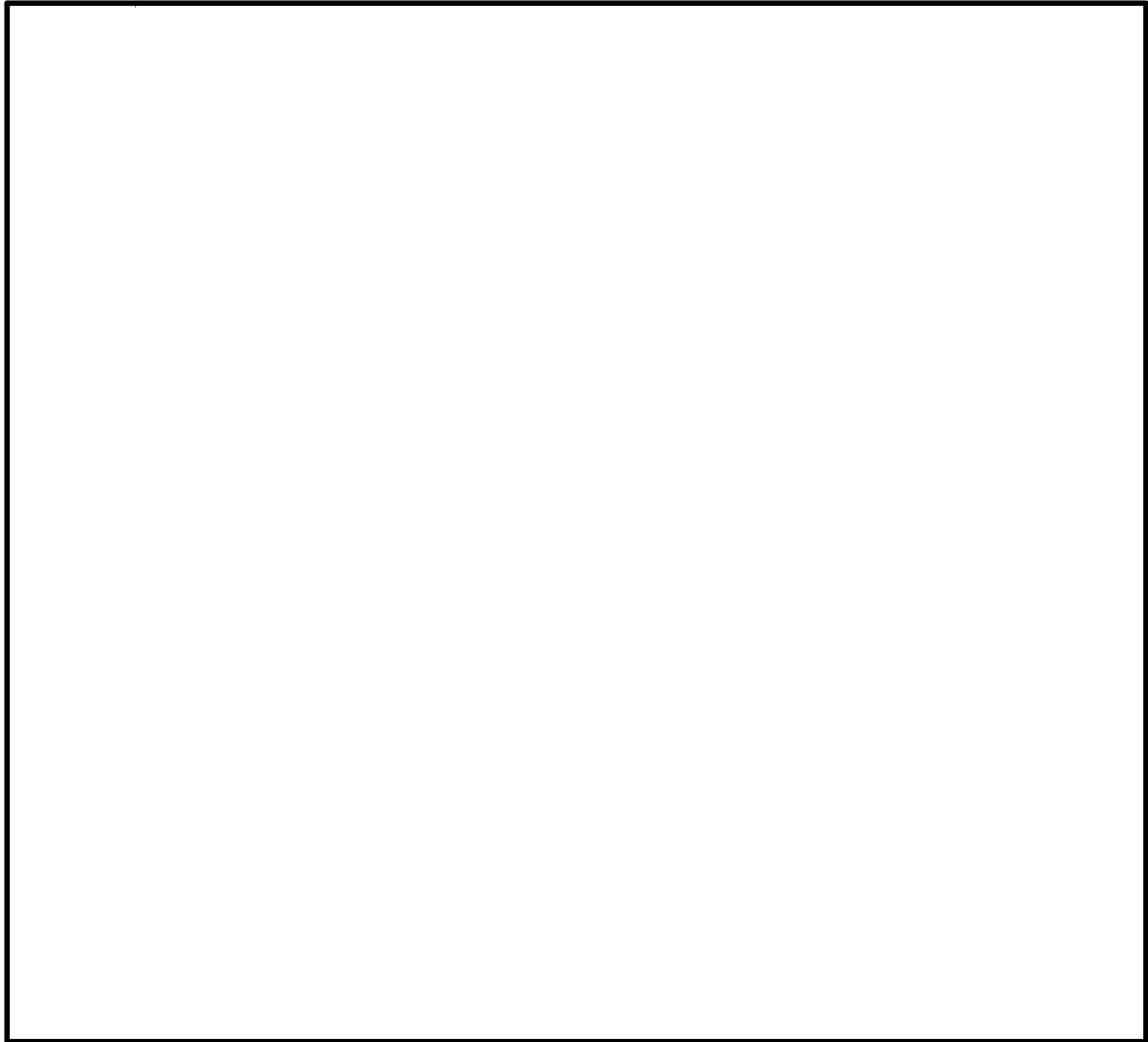


図 2-2 の概略平面図 (EL. -2.00 m)

赤字：①-1で抽出された部位
橙字：①-2で抽出された部位
緑字：②-1で抽出された部位
紫字：②-2で抽出された部位
茶字：3次元FEMモデルによる精査
青字：抽出されなかった部位及びその理由

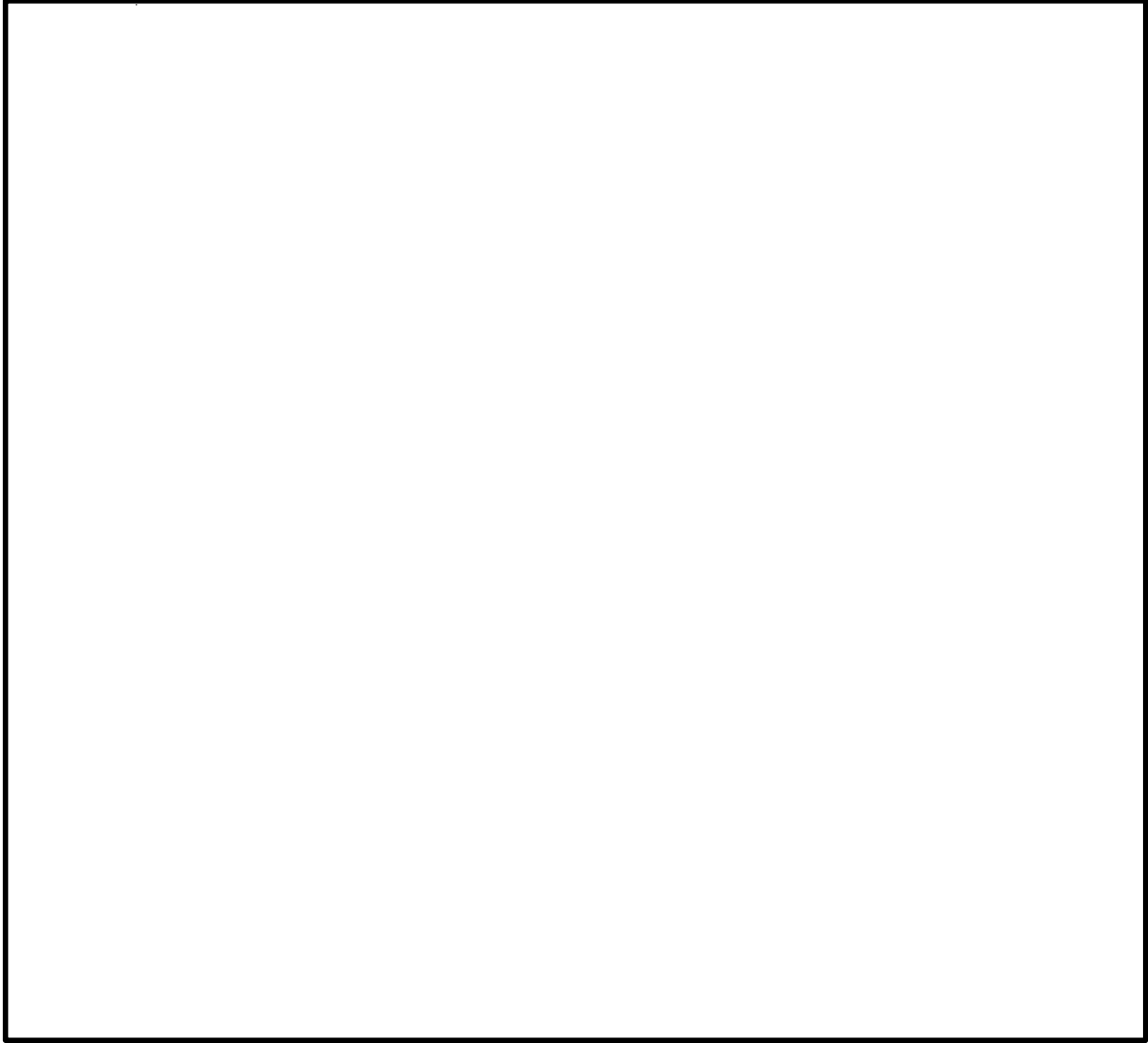


図 2-3 の概略平面図 (EL. 8.20 m)

赤字：①-1で抽出された部位
橙字：①-2で抽出された部位
緑字：②-1で抽出された部位
紫字：②-2で抽出された部位
茶字：3次元FEMモデルによる精査
青字：抽出されなかった部位及びその理由

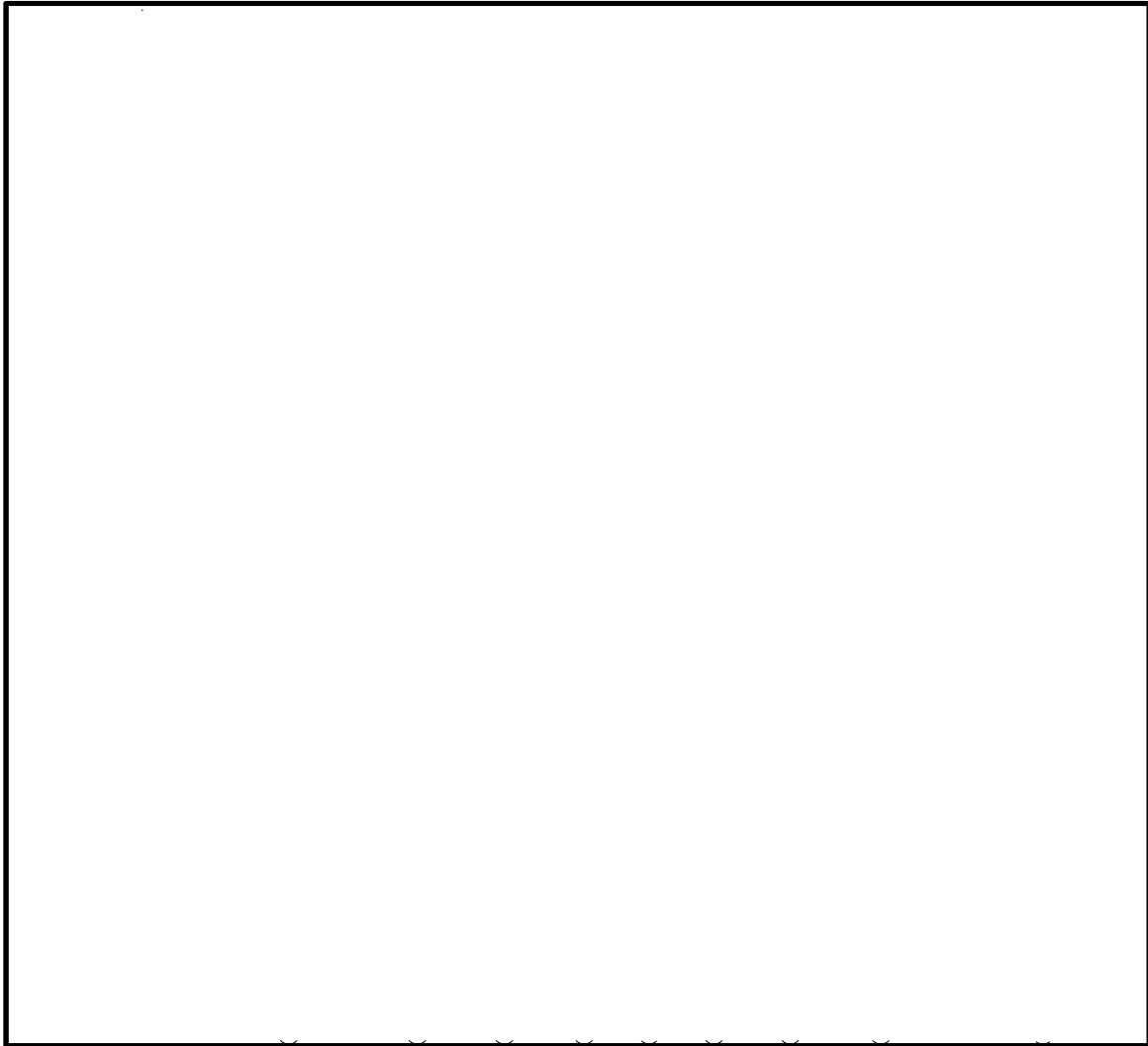


図 2-4 の概略平面図 (EL. 14.00 m)

赤字：①-1で抽出された部位
橙字：①-2で抽出された部位
緑字：②-1で抽出された部位
紫字：②-2で抽出された部位
茶字：3次元FEMモデルによる精査
青字：抽出されなかった部位及びその理由

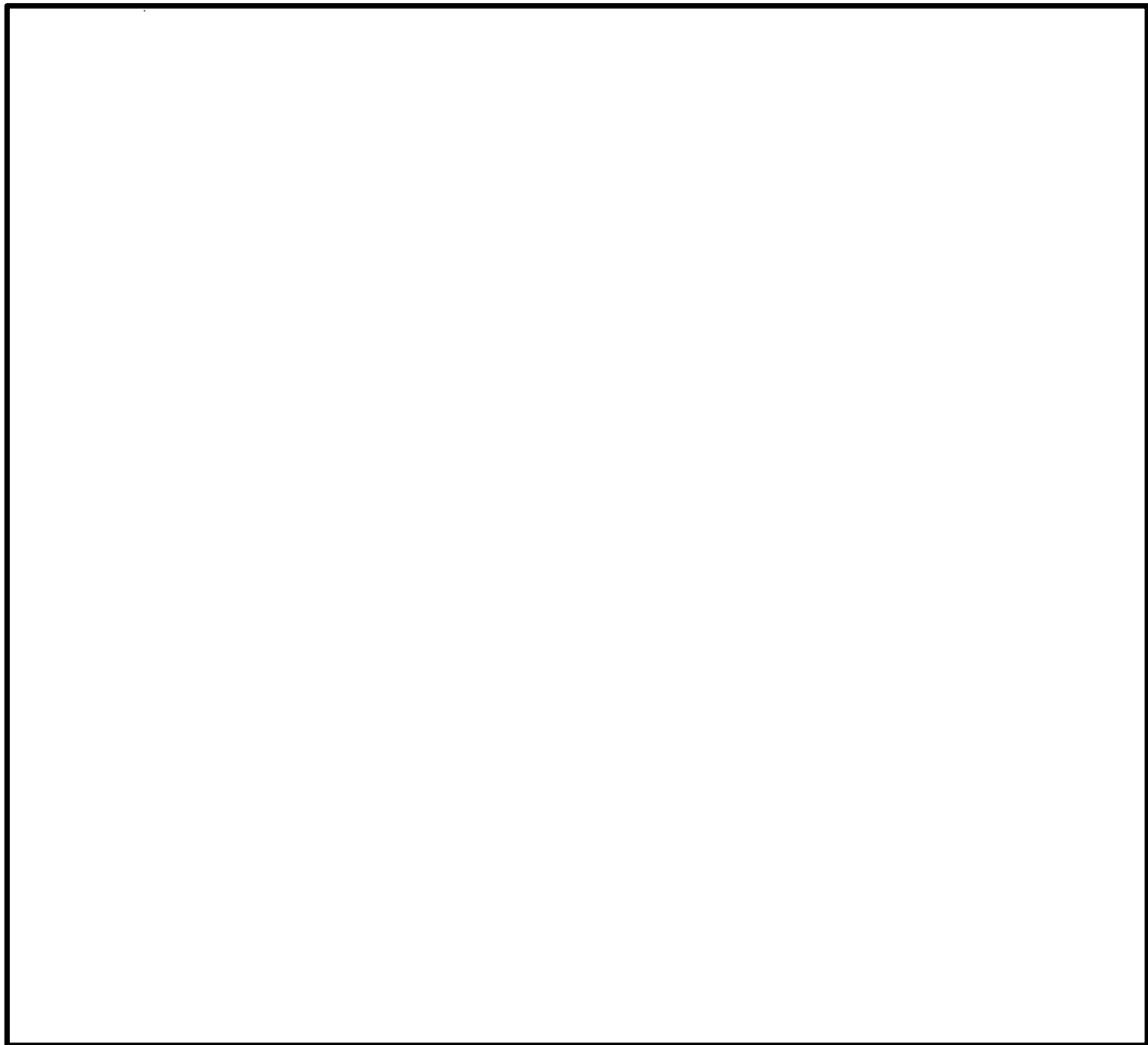


図 2-5 の概略平面図 (EL. 20.30 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

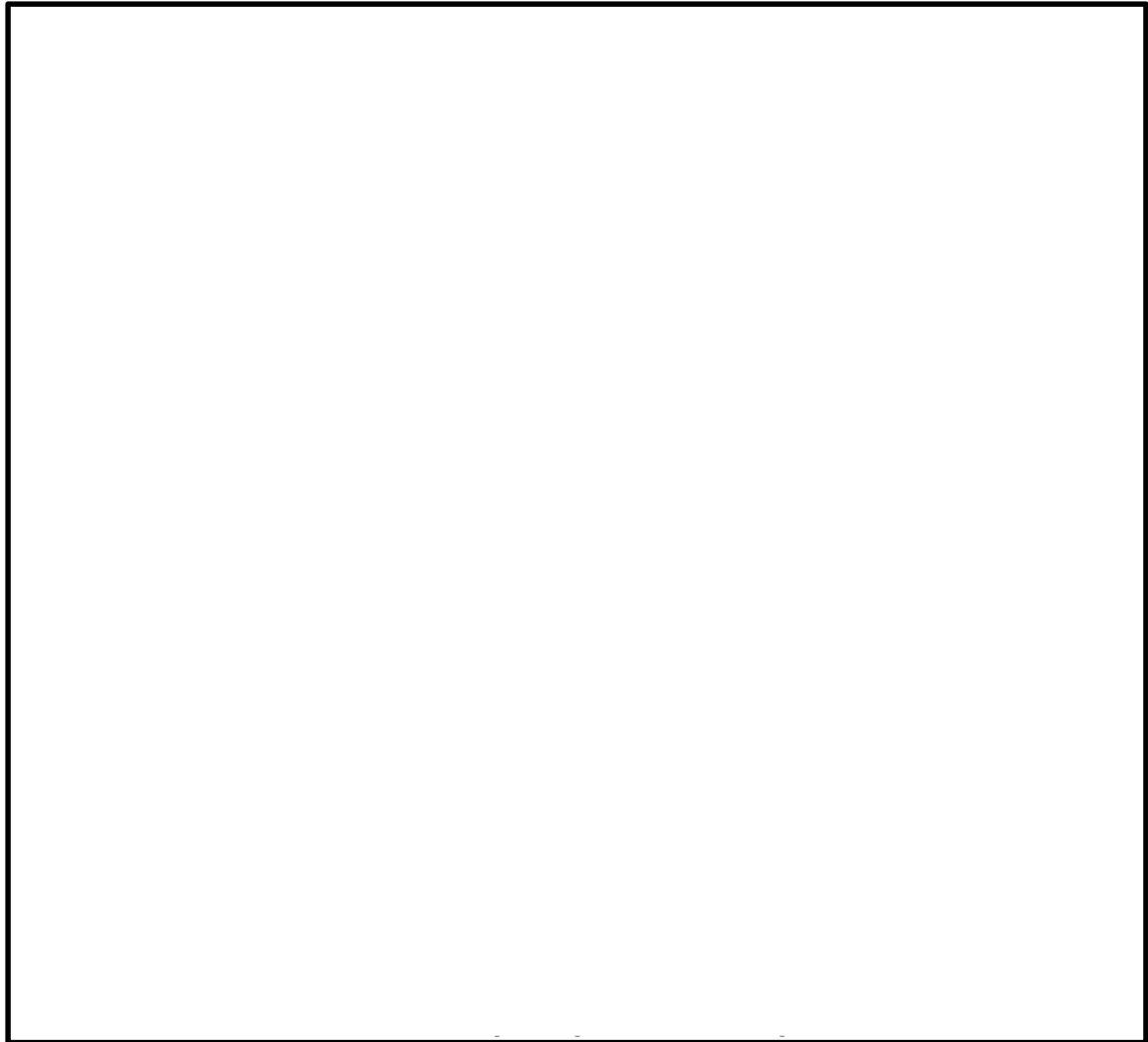


図 2-6 の概略平面図 (EL. 29.00 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

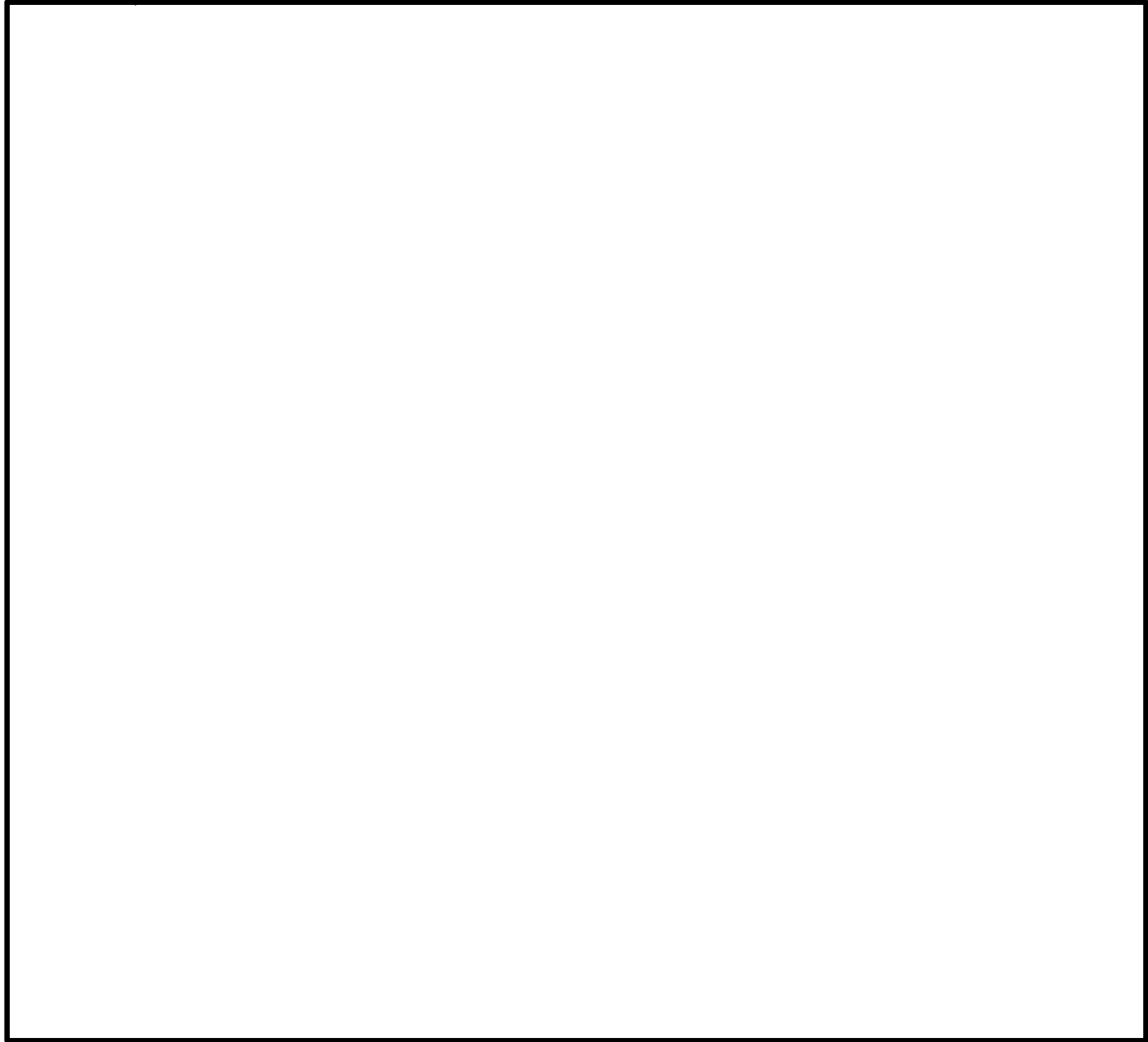


図 2-7 の概略平面図 (EL. 38.80 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

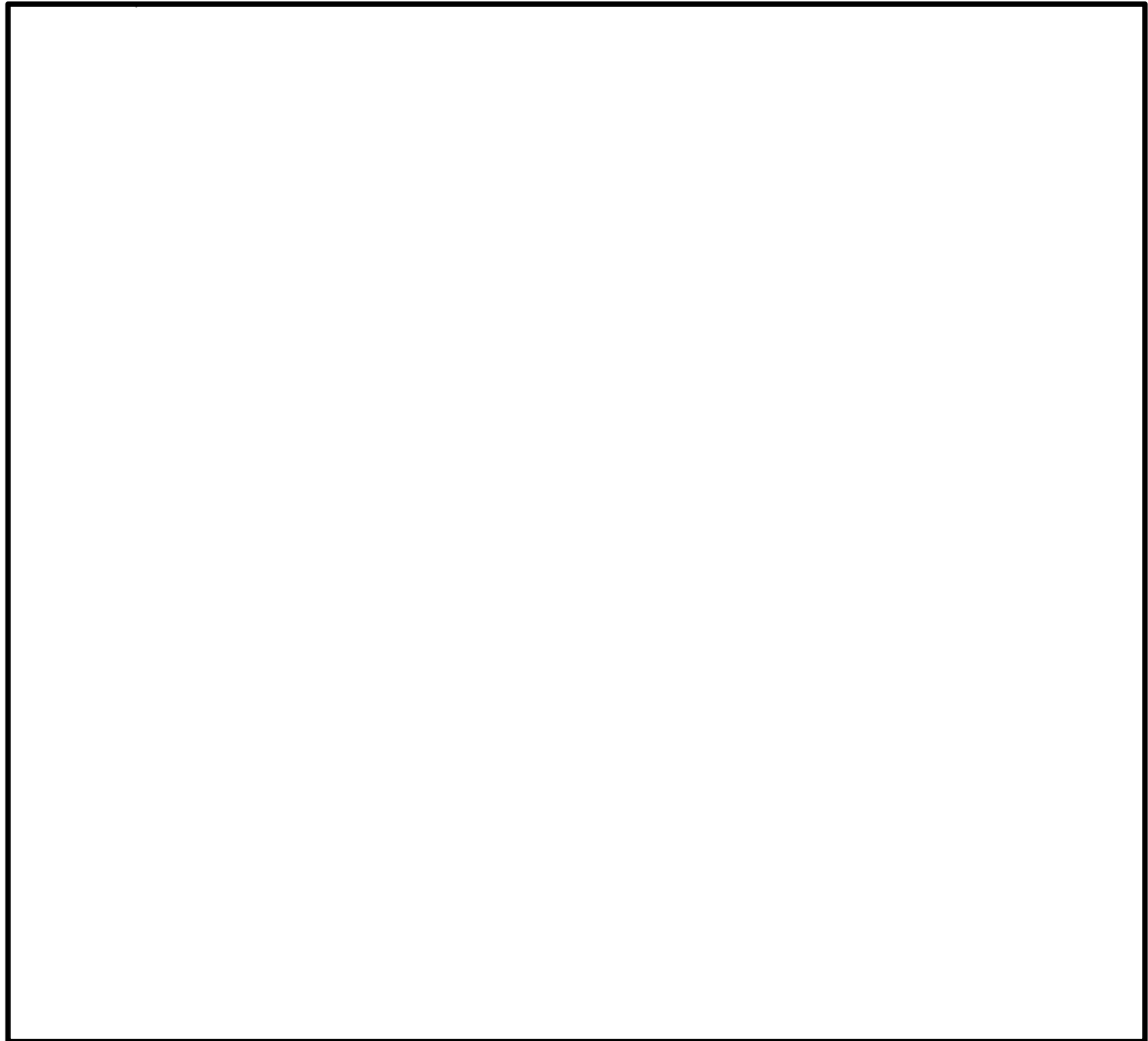


図 2-8 の概略平面図 (EL. 46.50 m)

赤字：①-1で抽出された部位
橙字：①-2で抽出された部位
緑字：②-1で抽出された部位
紫字：②-2で抽出された部位
茶字：3次元FEMモデルによる精査
青字：抽出されなかった部位及びその理由

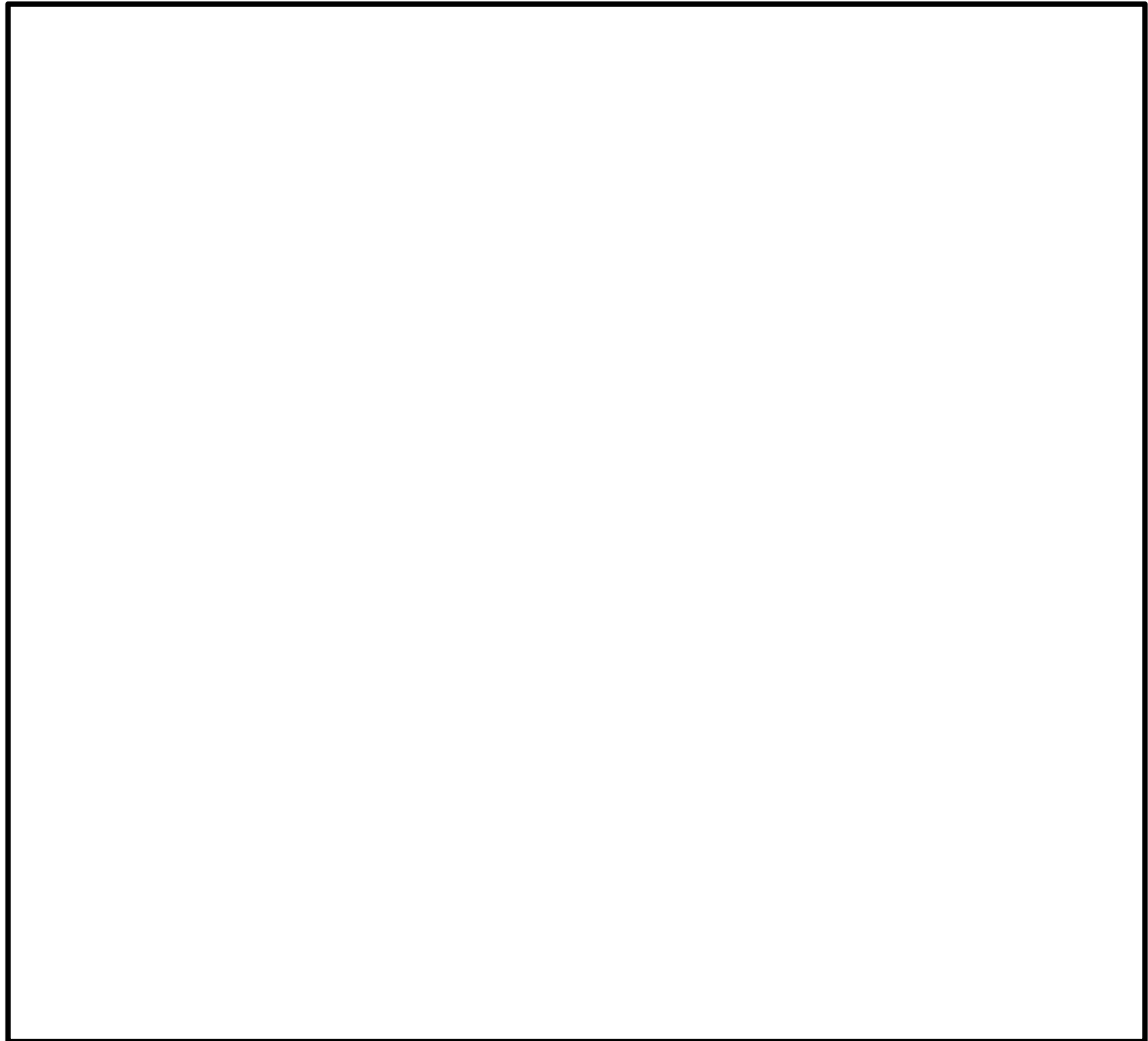


図 2-9 概略平面図 (EL. 57.00 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

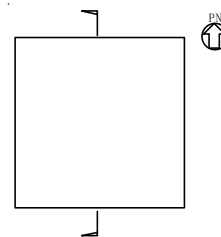


図 2-10 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

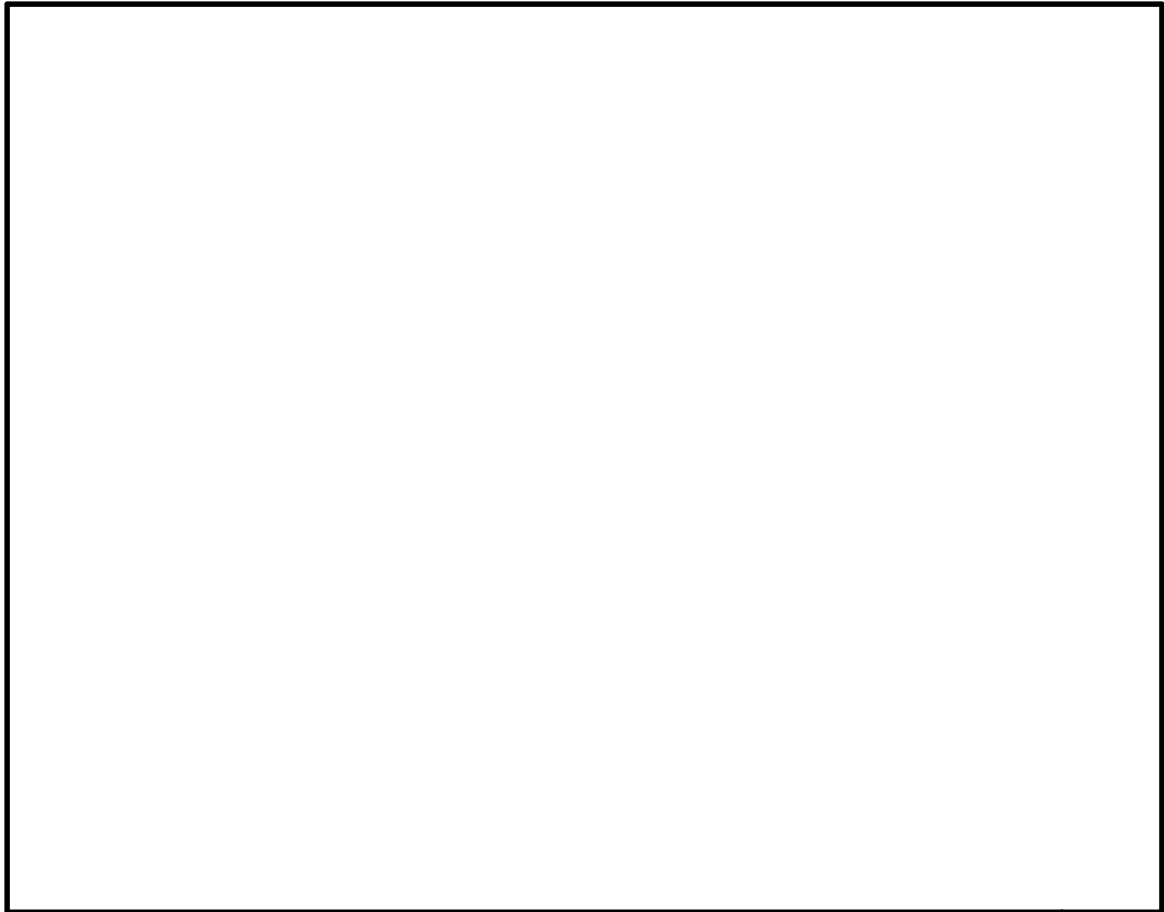
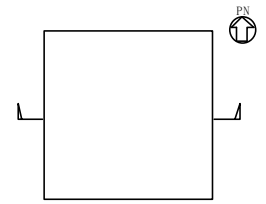


図 2-11 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向)

2.2 主排気筒

主排気筒の図面を図 2-12～図 2-13 に記載する。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

茶字：3次元FEMモデルによる精査

青字：抽出されなかった部位及びその理由

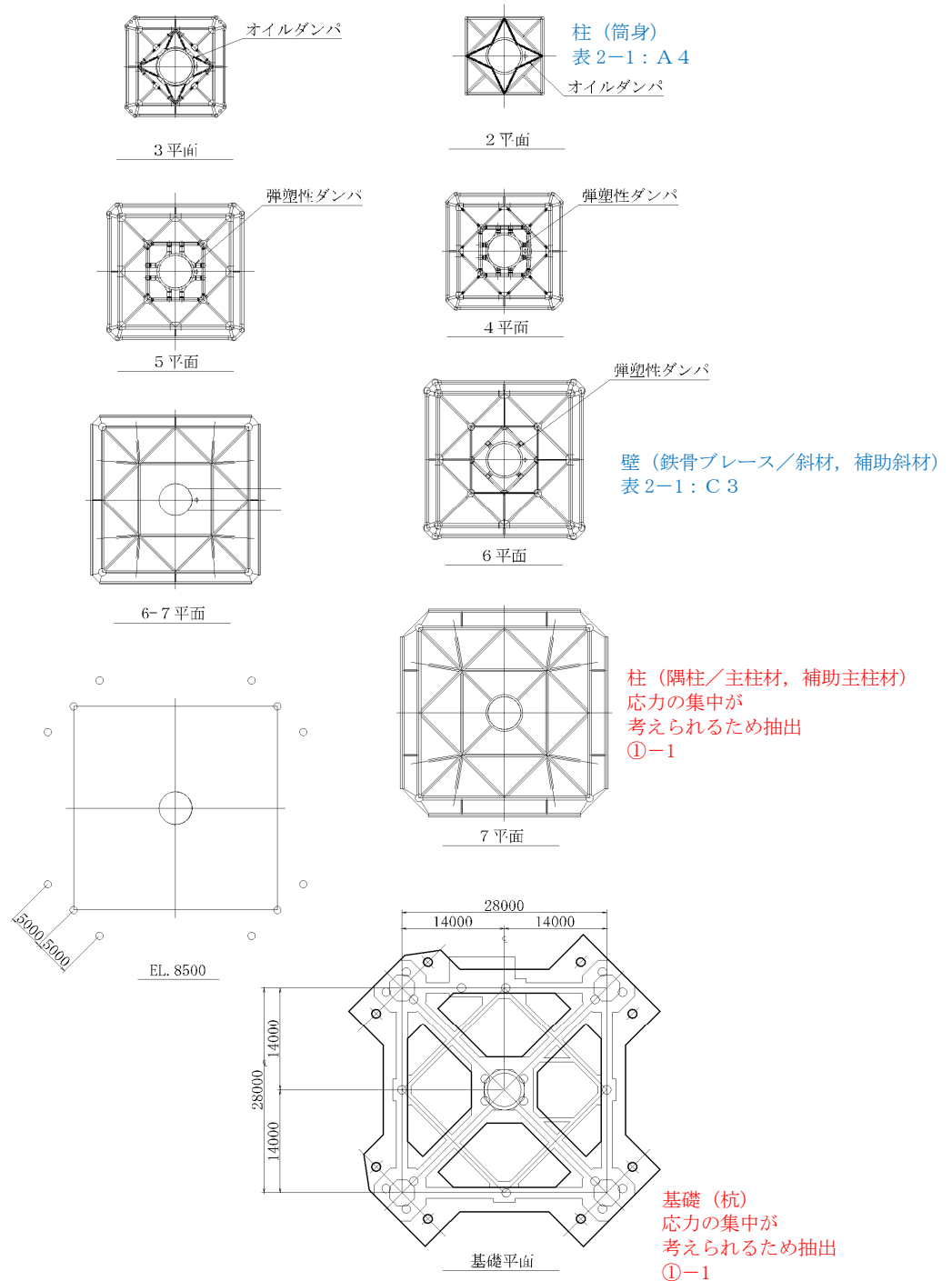


図 2-12 主排気筒の概略平面図

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

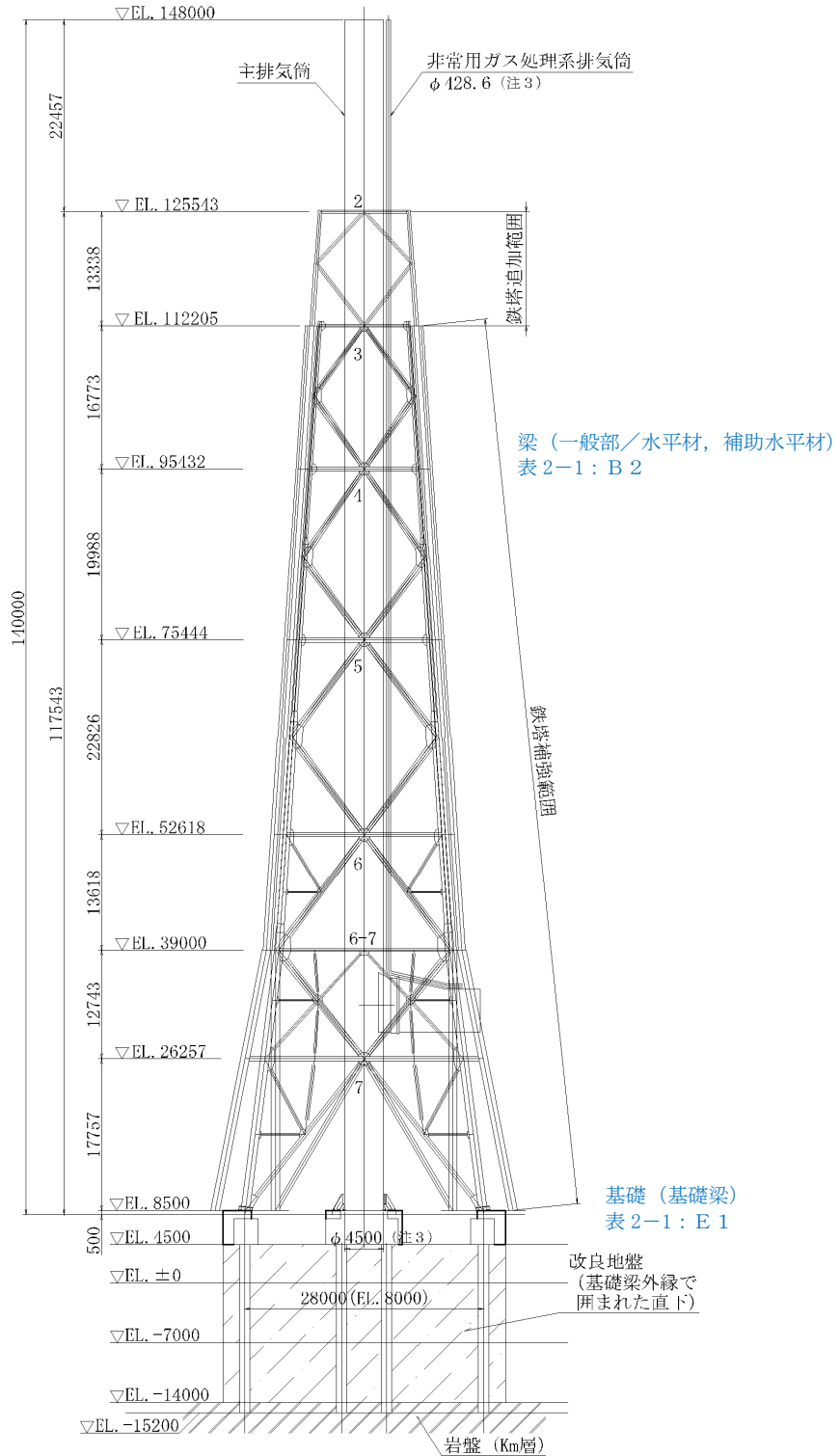


図 2-13 主排気筒の概略側面図

2.3 非常用ガス処理系配管支持架構

非常用ガス処理系配管支持架構の図面を図 2-14～図 2-19 に記載する。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

茶字：3次元FEMモデルによる精査

青字：抽出されなかった部位及びその理由

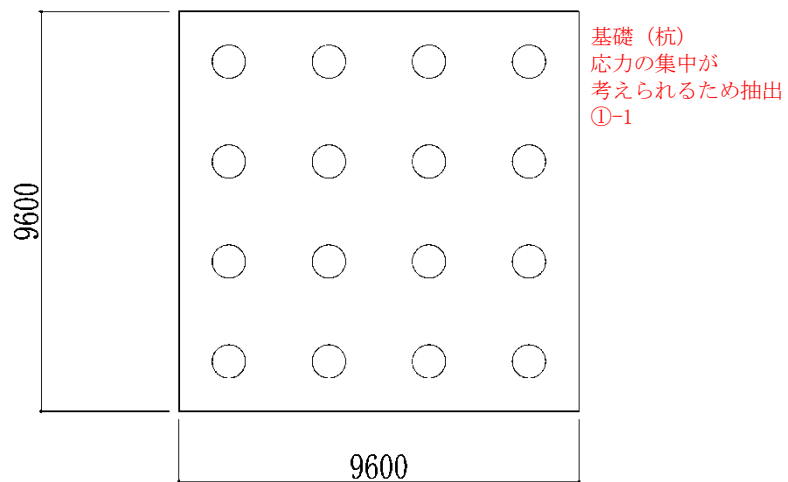


図 2-14 非常用ガス処理系配管支持架構の杭伏図 (EL. 5.2 m)

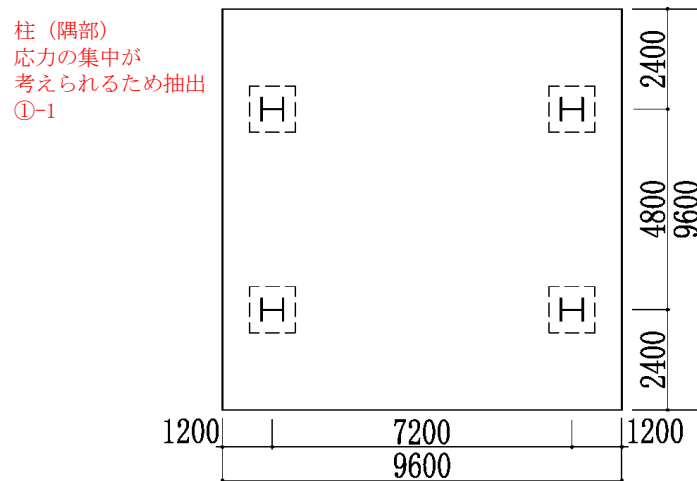


図 2-15 非常用ガス処理系配管支持架構の概略平面図 (EL. 7.7 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

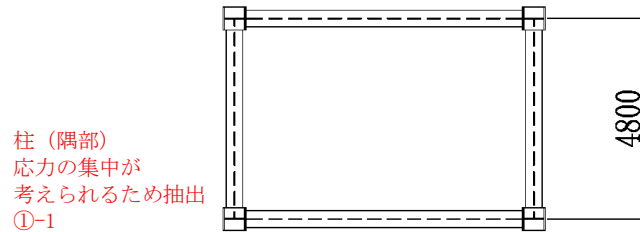


図 2-16 非常用ガス処理系配管支持架構の概略平面図 (EL. 14.2 m)

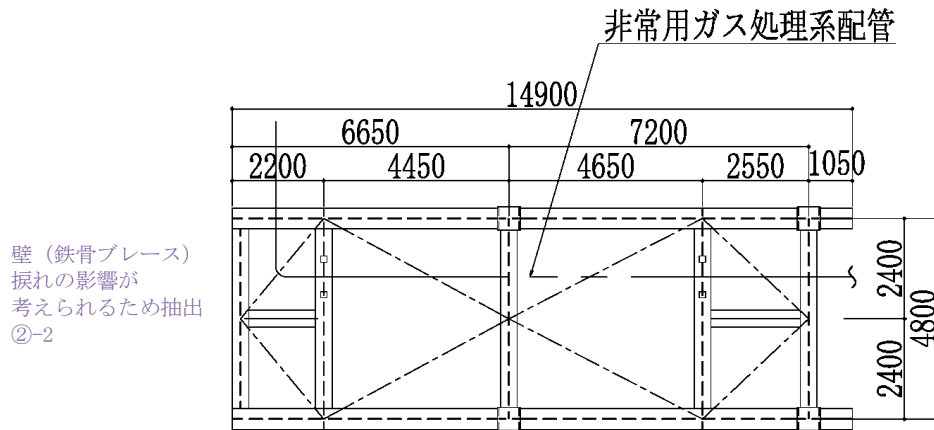


図 2-17 非常用ガス処理系配管支持架構の概略平面図 (EL. 20.8 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

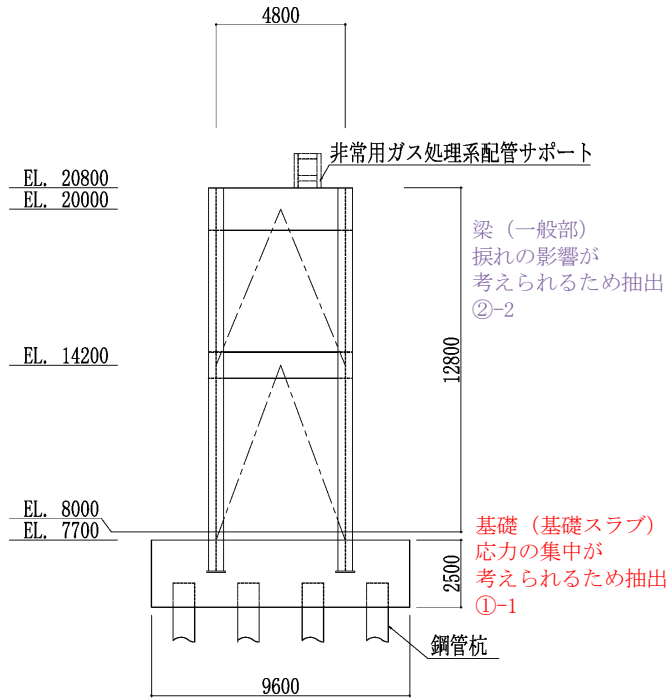


図 2-18 非常用ガス処理系配管支持架構の概略軸組図 (NS 方向)

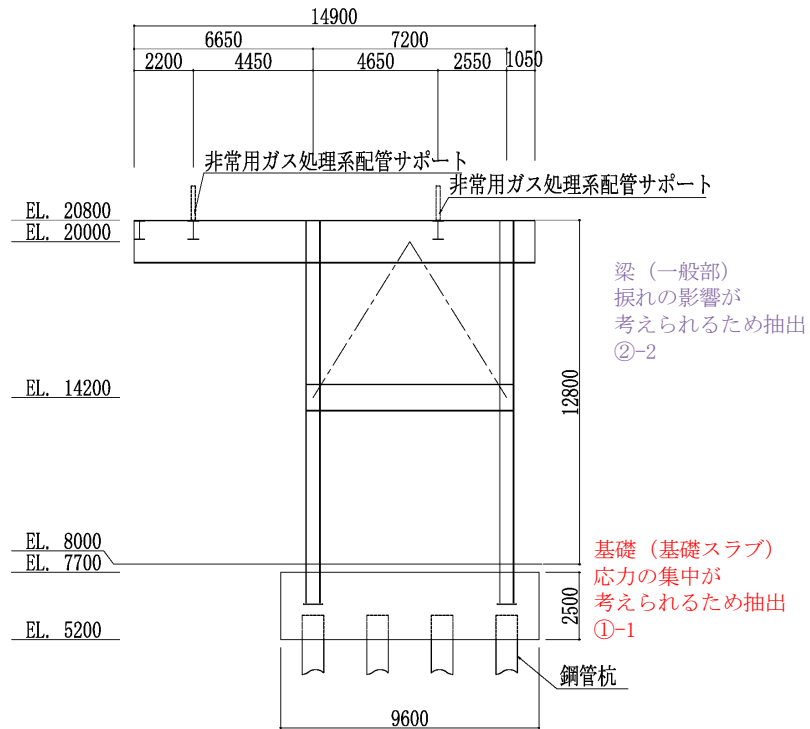


図 2-19 非常用ガス処理系配管支持架構の概略軸組図 (EW 方向)

2.4 使用済燃料乾式貯蔵建屋

使用済燃料乾式貯蔵建屋の図面を図 2-20～図 2-23 に記載する。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

茶字：3次元FEMモデルによる精査

青字：抽出されなかった部位及びその理由

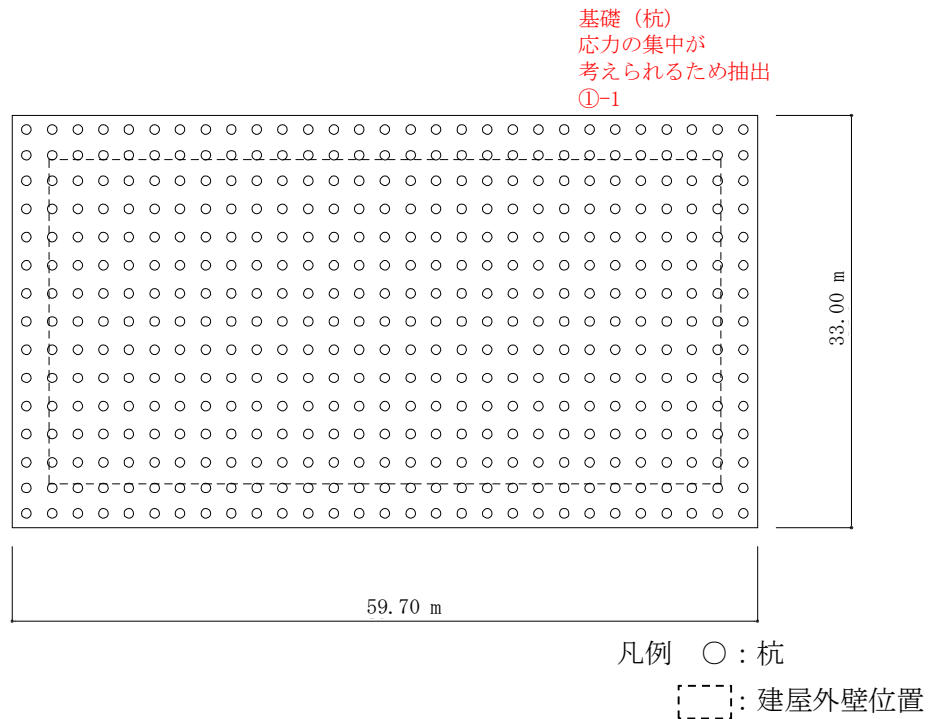


図 2-20 使用済燃料乾式貯蔵建屋の杭伏図 (EL. 5.8 m)

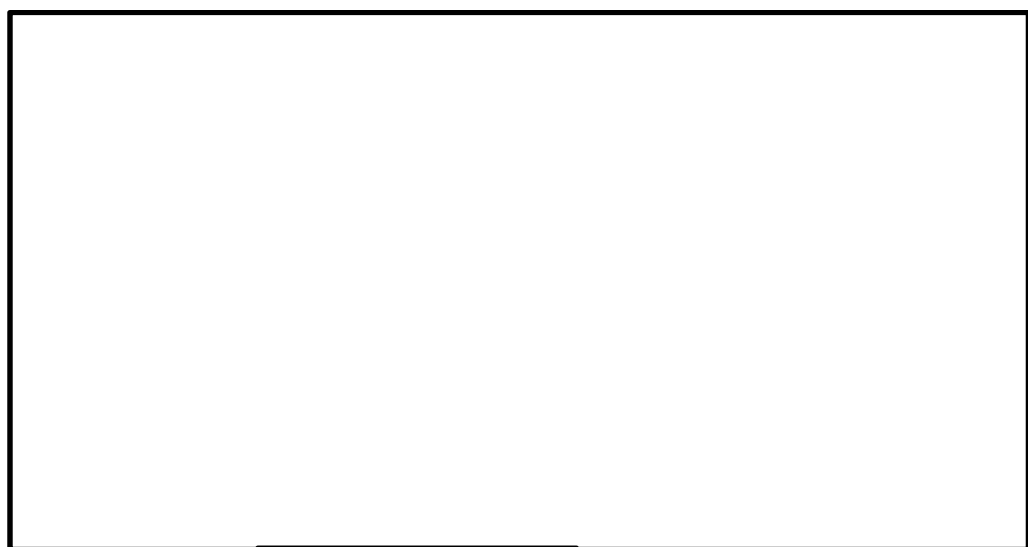


図 2-21 [] の概略平面図 (EL. 8.3 m)

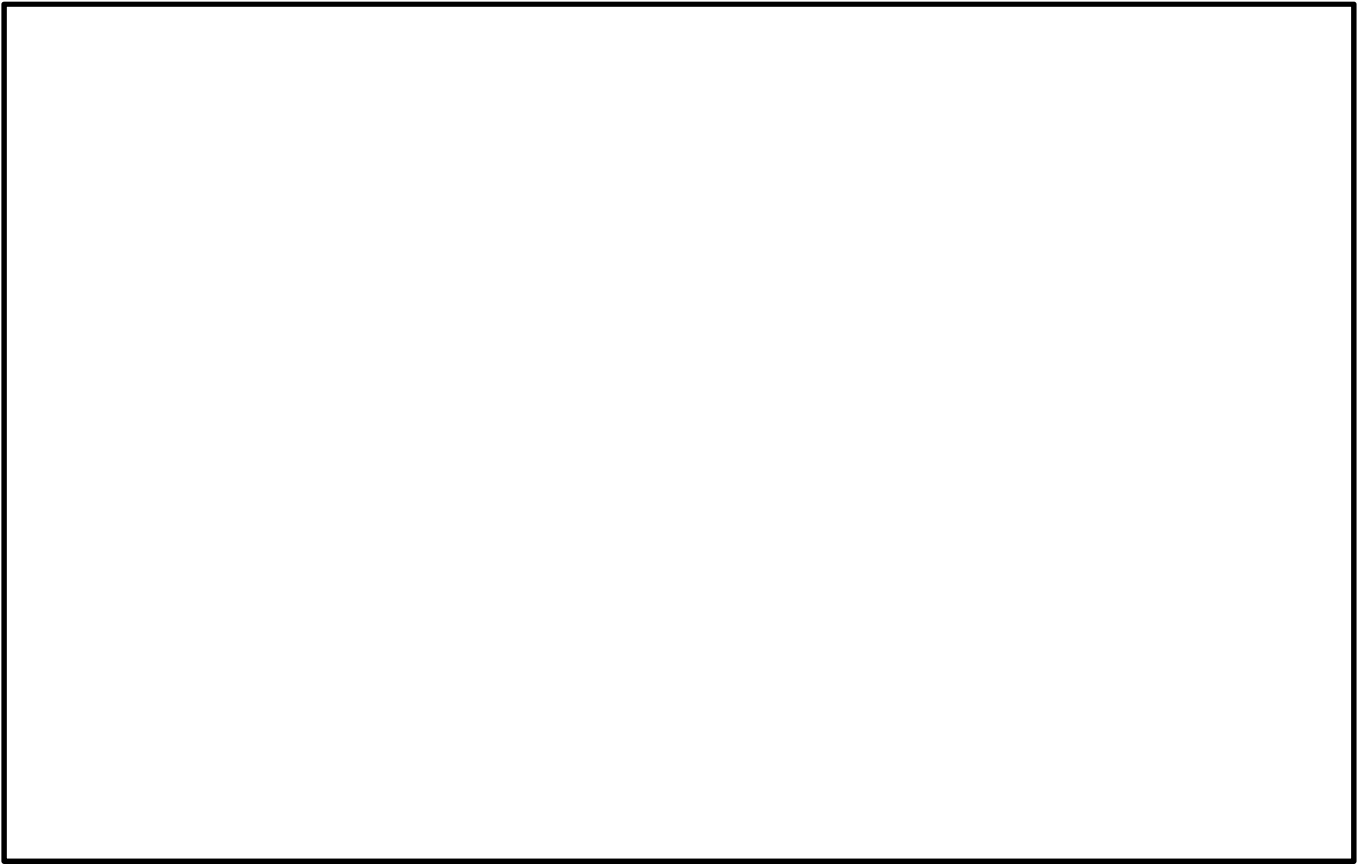


図 2-22 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (NS 方向, A-A 断面)

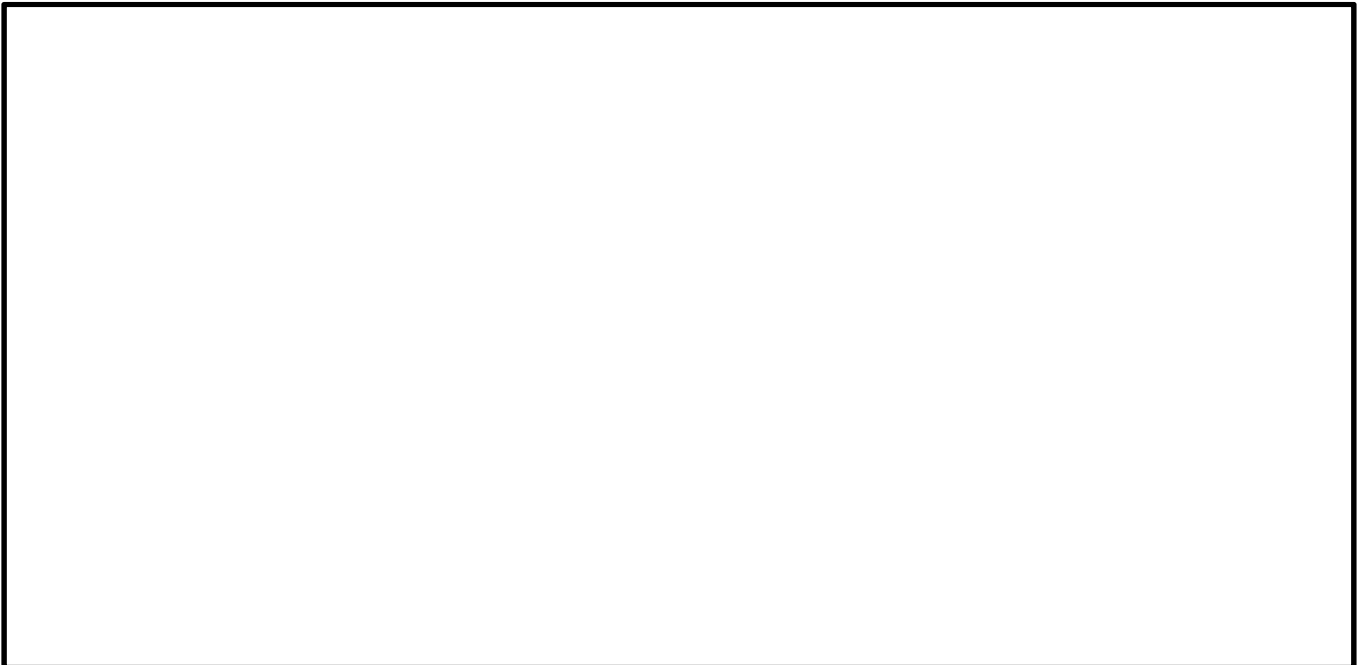


図 2-23 使用済燃料乾式貯蔵建屋の概略断面図 (EW 方向, B-B 断面)

2.5 格納容器圧力逃がし装置格納槽

格納容器圧力逃がし装置格納槽の図面を図 2-24～図 2-26 に記載する。

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

茶字：3次元FEMモデルによる精査

青字：抽出されなかった部位及びその理由

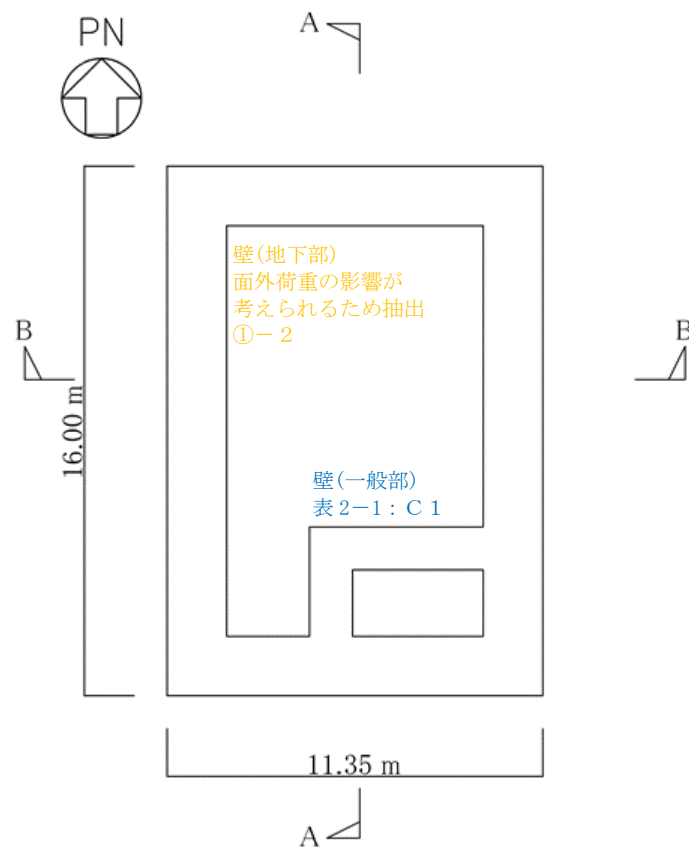


図 2-24 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略平面図 (EL. -12.8 m)

赤字：①-1で抽出された部位
 橙字：①-2で抽出された部位
 緑字：②-1で抽出された部位
 紫字：②-2で抽出された部位
 茶字：3次元FEMモデルによる精査
 青字：抽出されなかった部位及びその理由

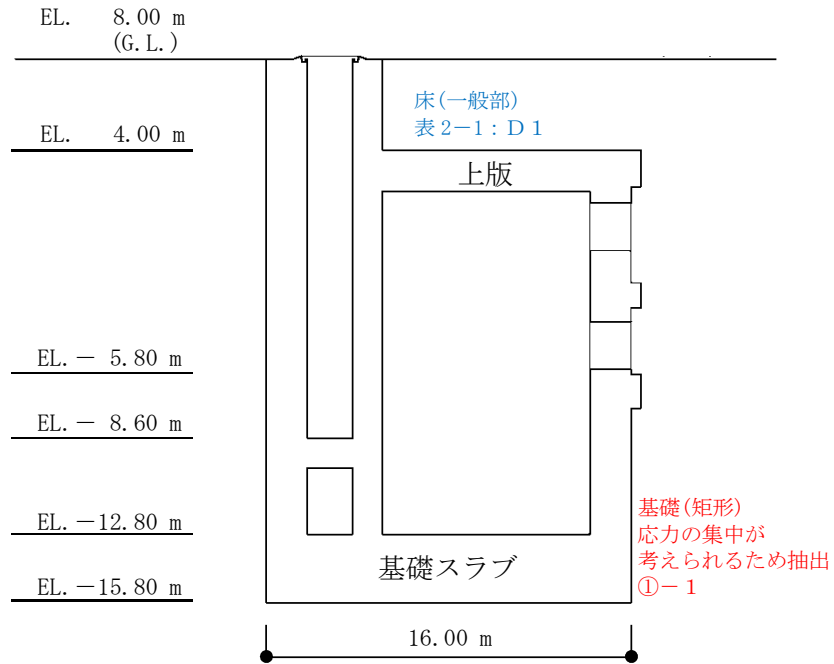


図 2-25 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略断面図 (NS 方向, A-A 断面)

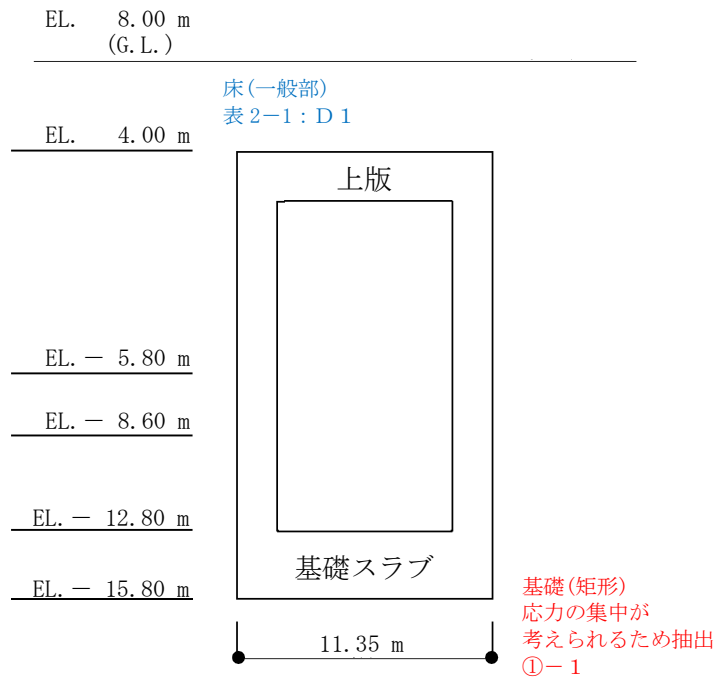


図 2-26 格納容器圧力逃がし装置格納槽の概略断面図 (EW 方向, B-B 断面)

2.6 緊急時対策所建屋

緊急時対策所建屋の図面を図 2-27～図 2-33 に記載する。

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

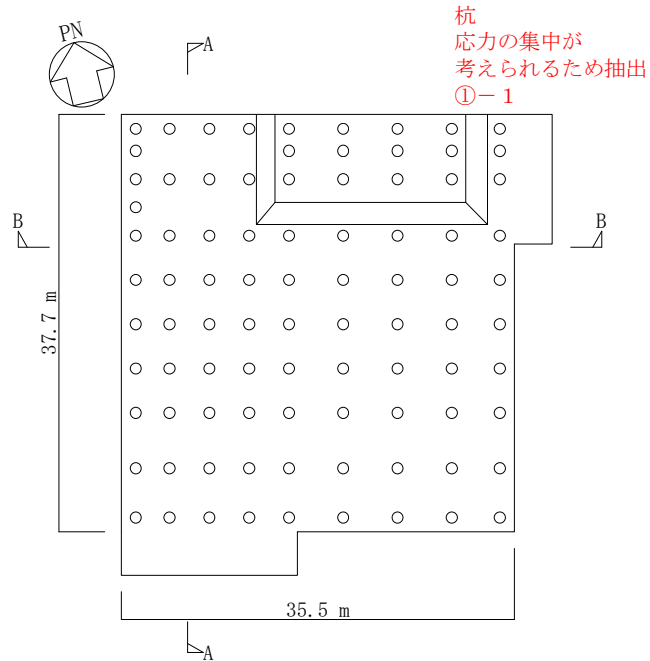


図 2-27 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 20.8 m)

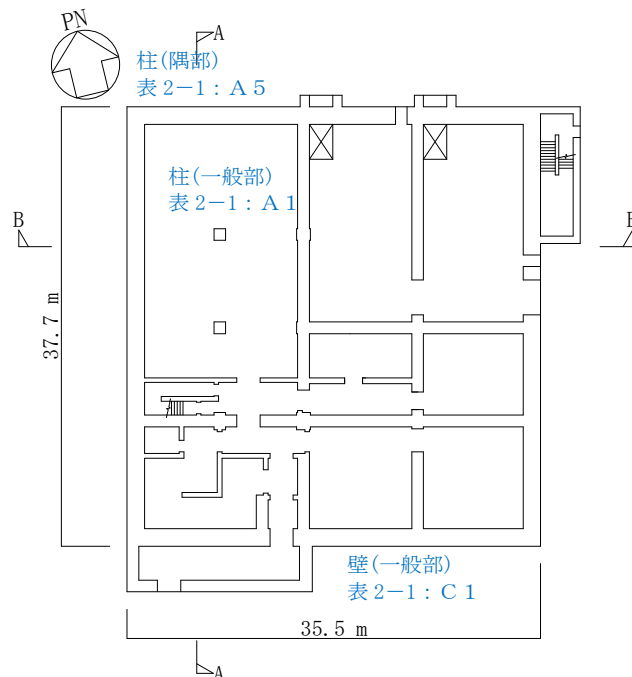


図 2-28 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 23.3 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

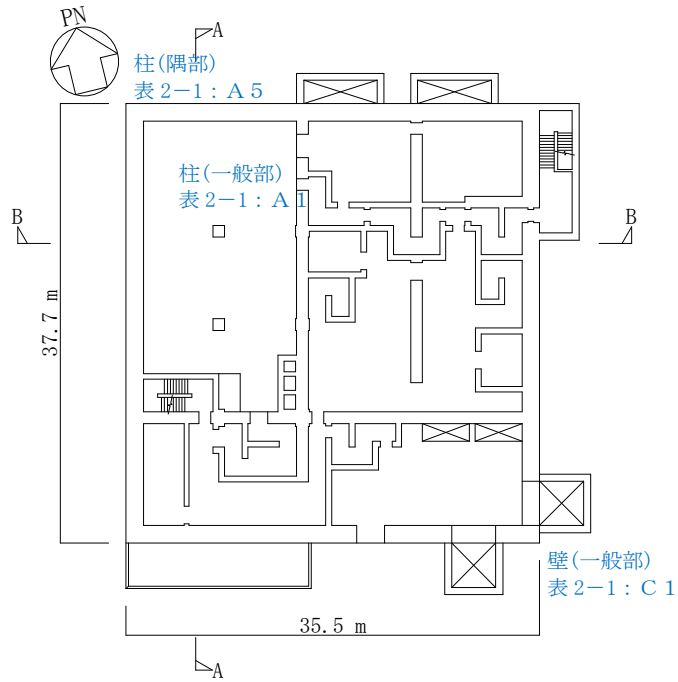


図 2-29 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 30.3 m)

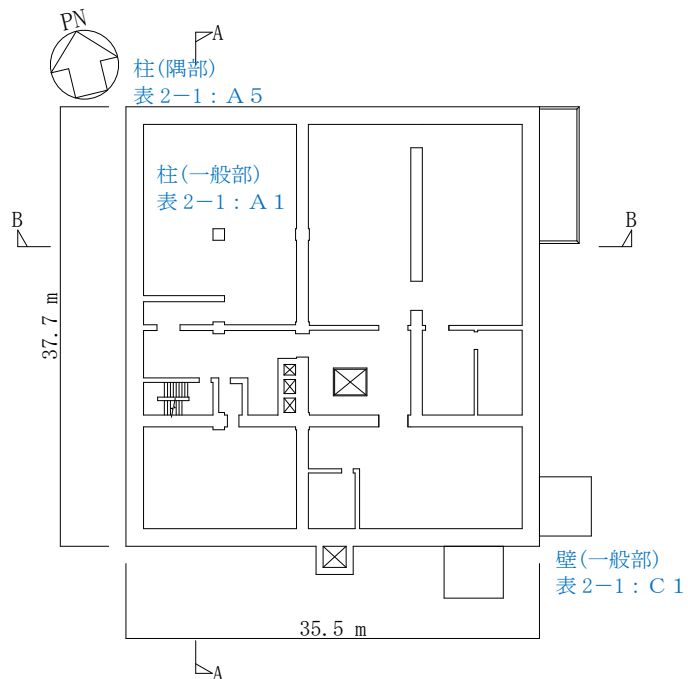


図 2-30 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 37.0 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

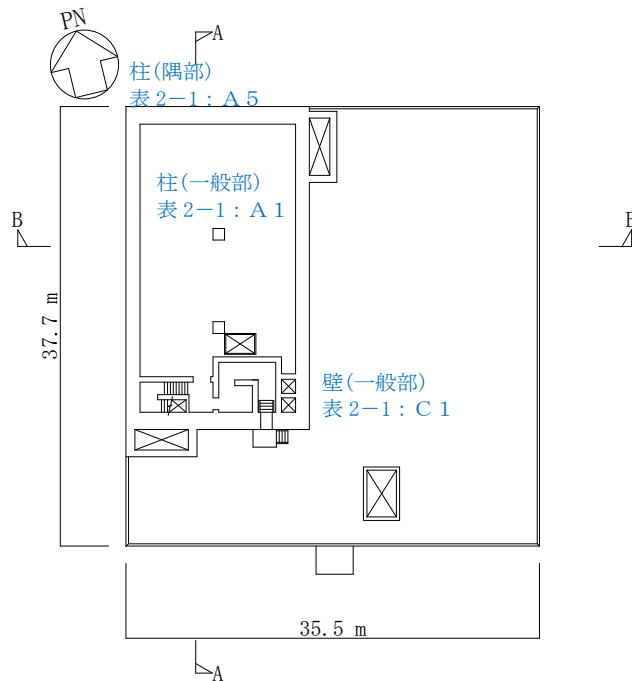


図 2-31 緊急時対策所建屋の概略平面図 (EL. 43.5 m)

- 赤字：①-1で抽出された部位
- 橙字：①-2で抽出された部位
- 緑字：②-1で抽出された部位
- 紫字：②-2で抽出された部位
- 茶字：3次元FEMモデルによる精査
- 青字：抽出されなかった部位及びその理由

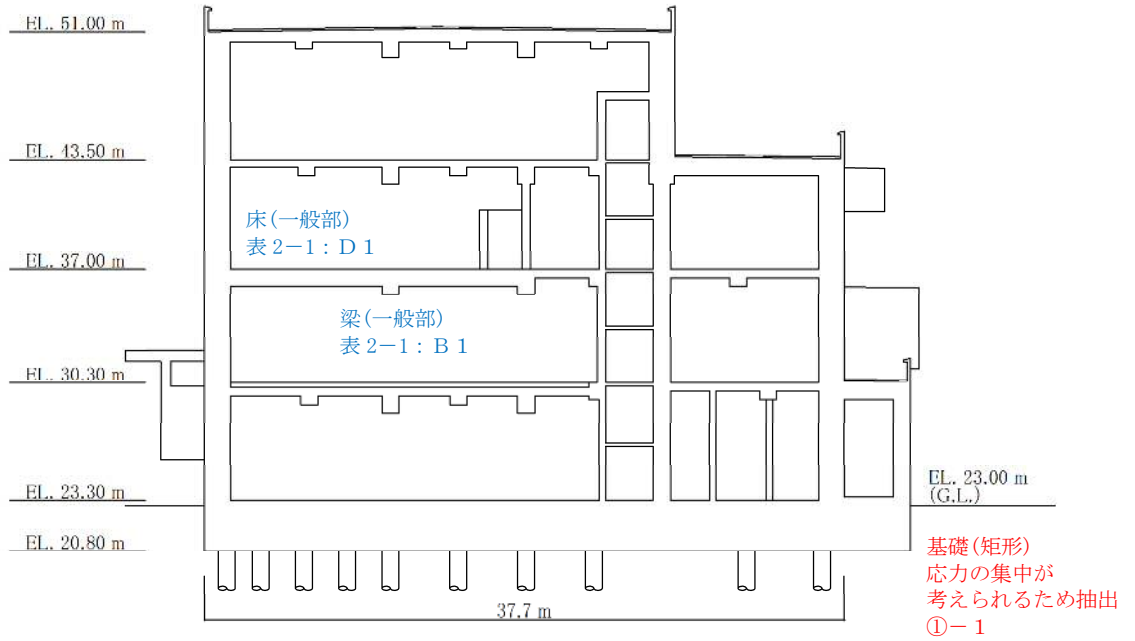


図 2-32 緊急時対策所建屋の概略断面図(NS 方向, A-A 断面)

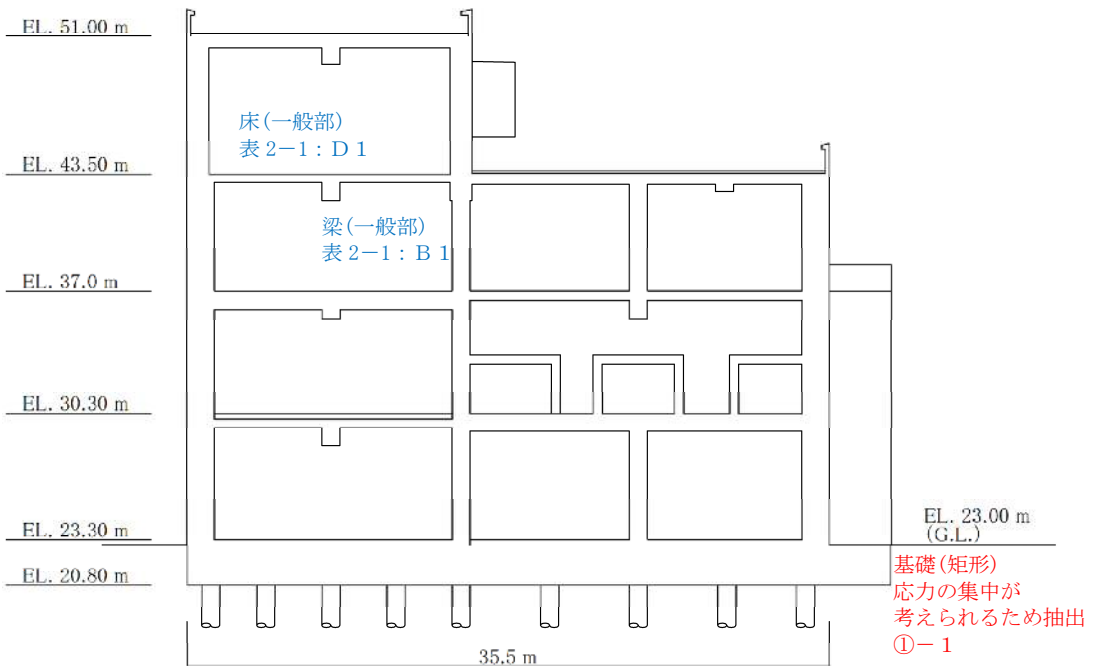


図 2-33 緊急時対策所建屋の概略断面図(EW 方向, B-B 断面)

2.7 タービン建屋

タービン建屋の図面を図 2-34～図 2-39 に記載する。

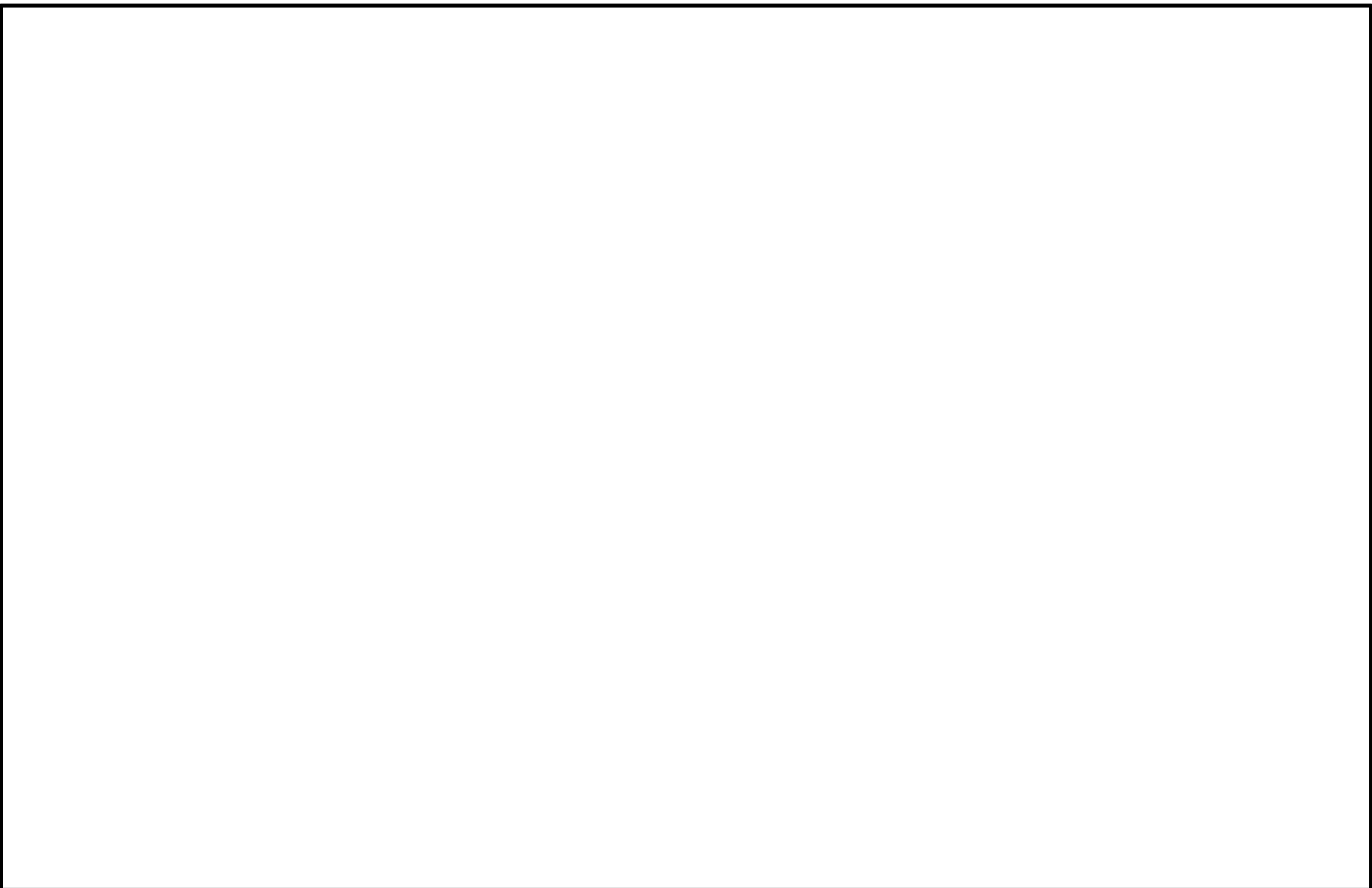


図 2-34 概略平面図 (EL. -4.00 m)

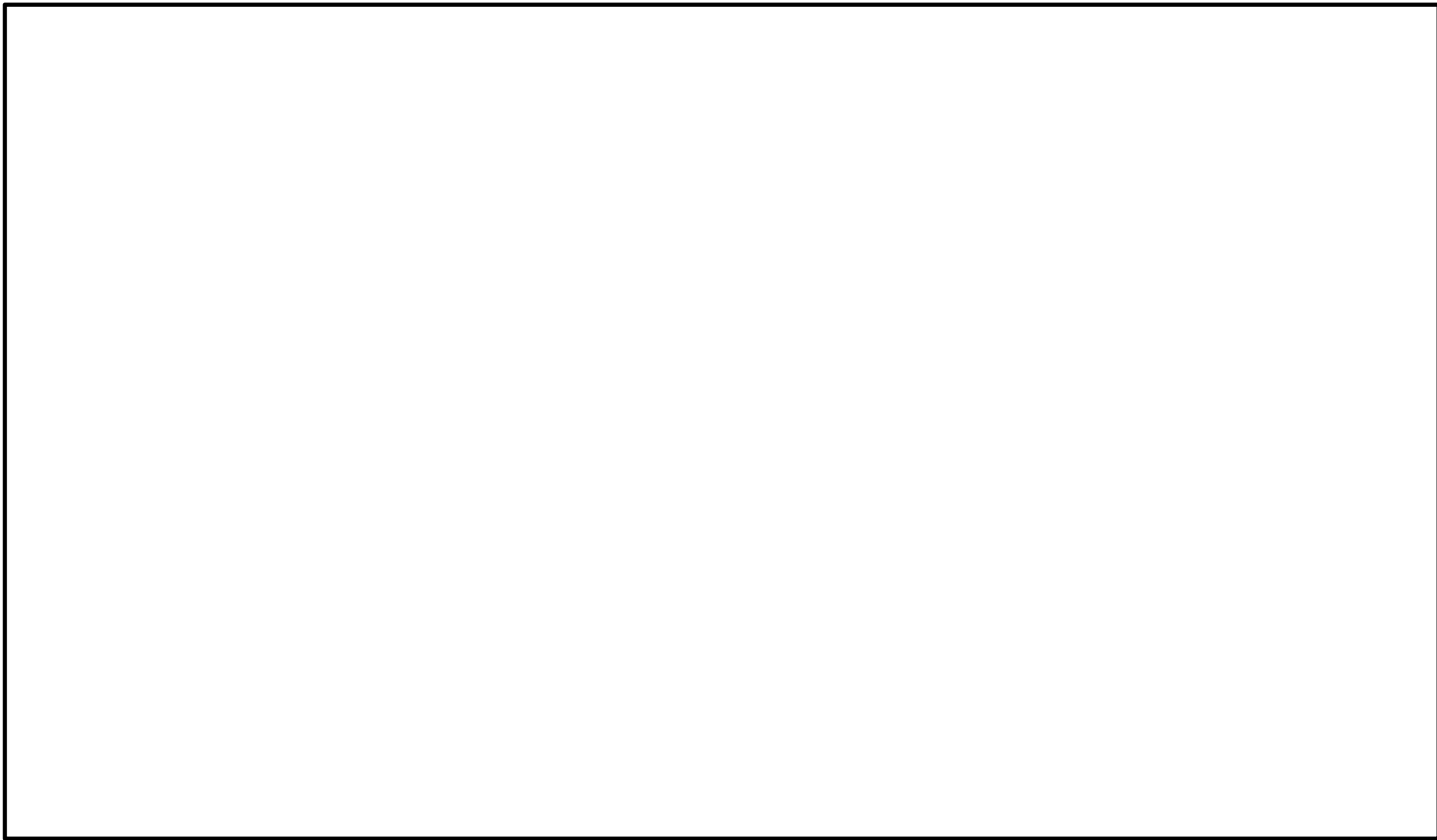


図 2-35 の概略平面図 (EL. 8.20 m)

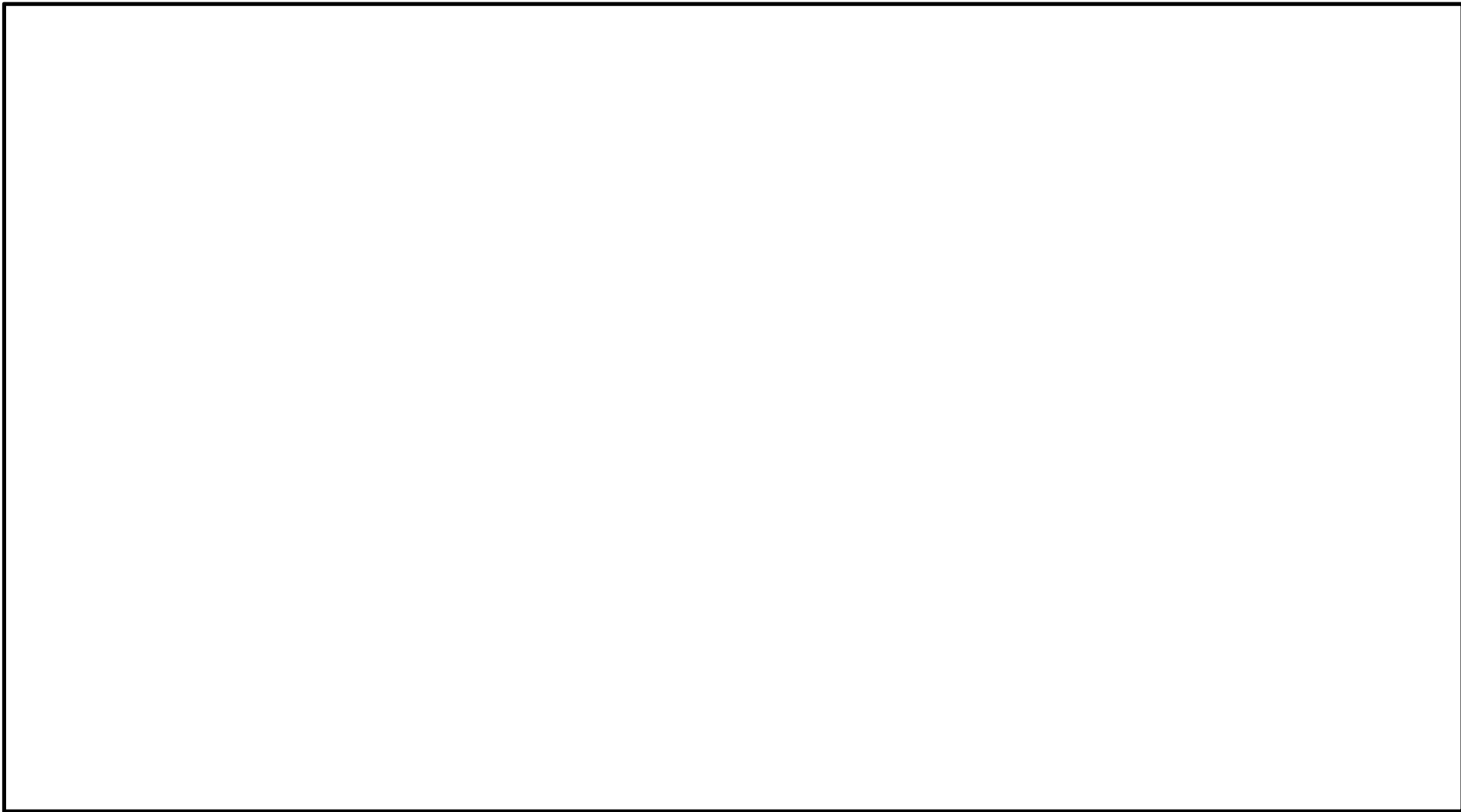


図 2-36 の概略平面図 (EL. 18.00 m)

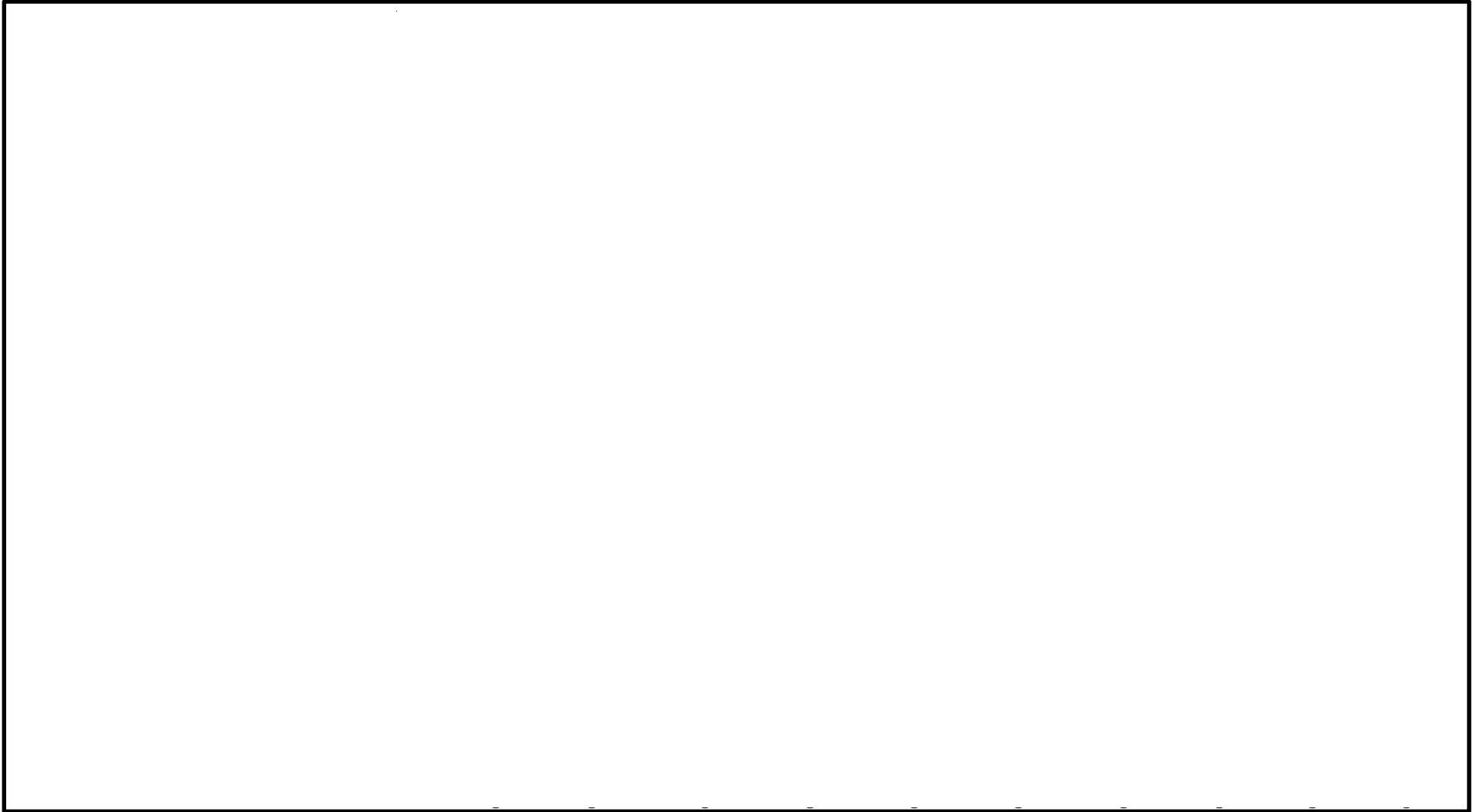


図 2-37 の概略平面図 (EL. 28.00 m)

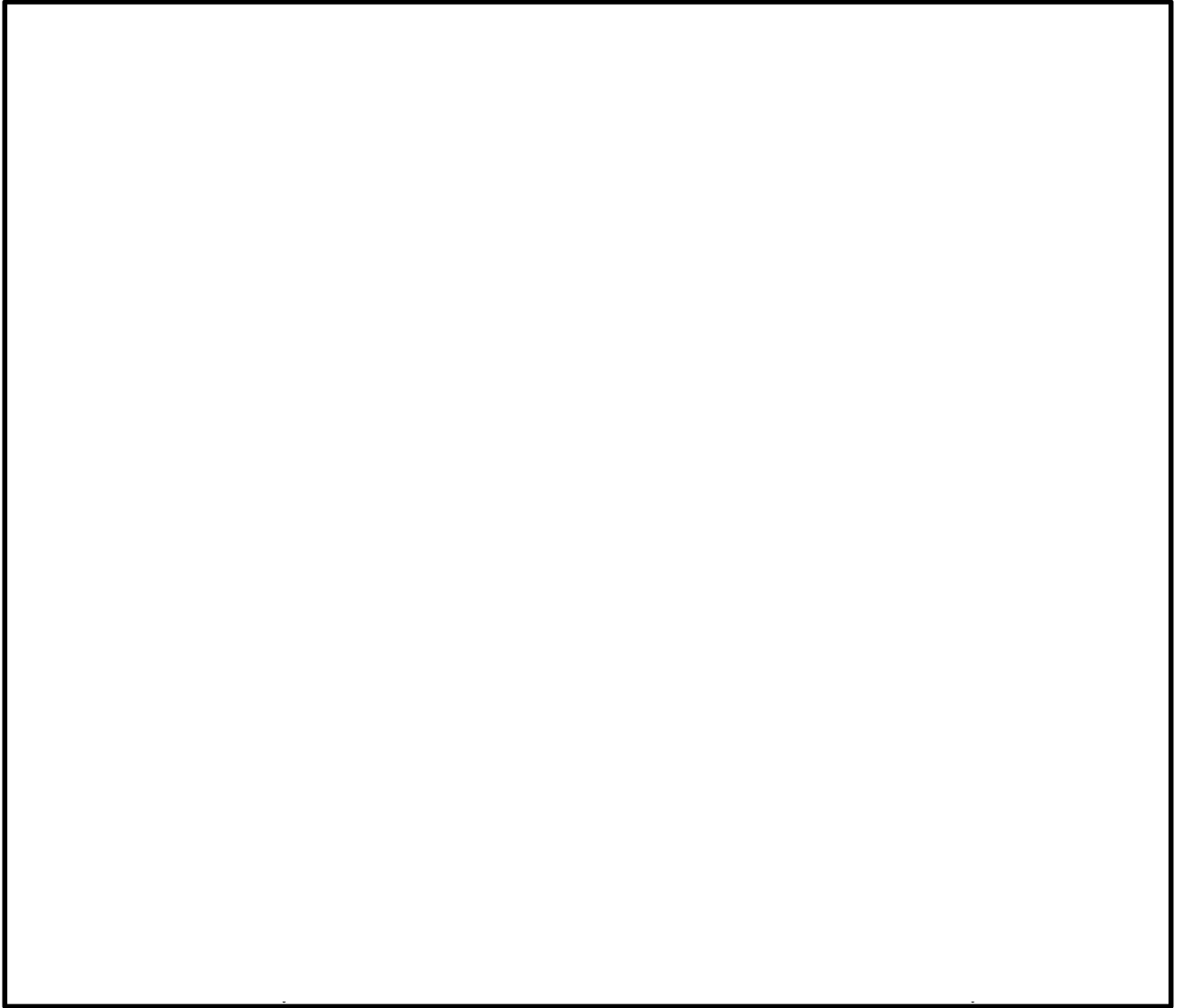


図 2-38 タービン建屋の概略断面図 (NS 方向)



図 2-39 タービン建屋の概略断面図 (EW 方向)

2.8 サービス建屋

サービス建屋の図面を図 2-40～図 2-45 に記載する。

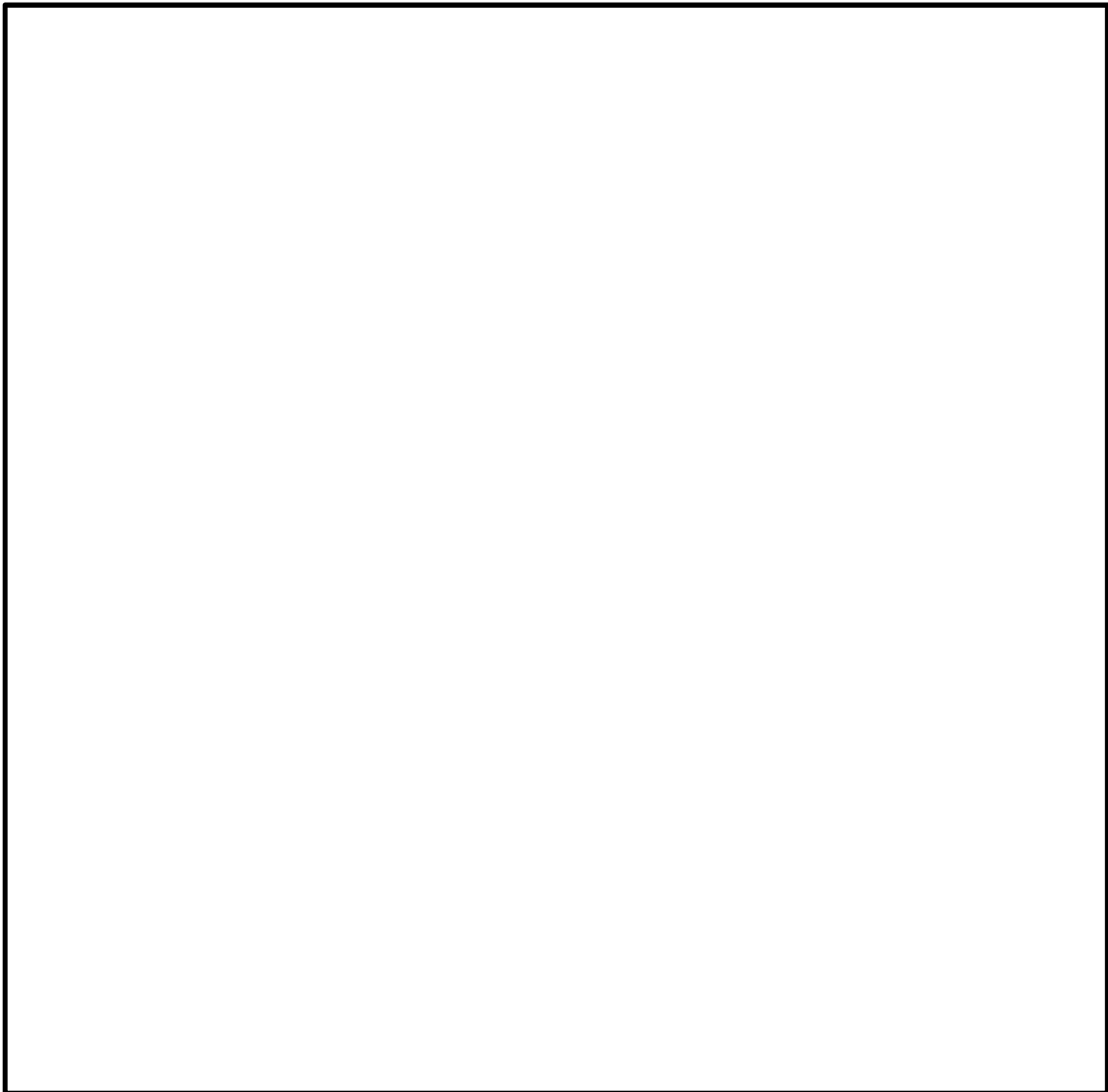


図 2-40 の概略平面図 (EL. 8.20 m)



図 2-41 の概略平面図 (EL. 11.20 m)



図 2-42 の概略平面図 (EL. 14.00 m)



図 2-43 の概略平面図 (EL. 18.00 m)

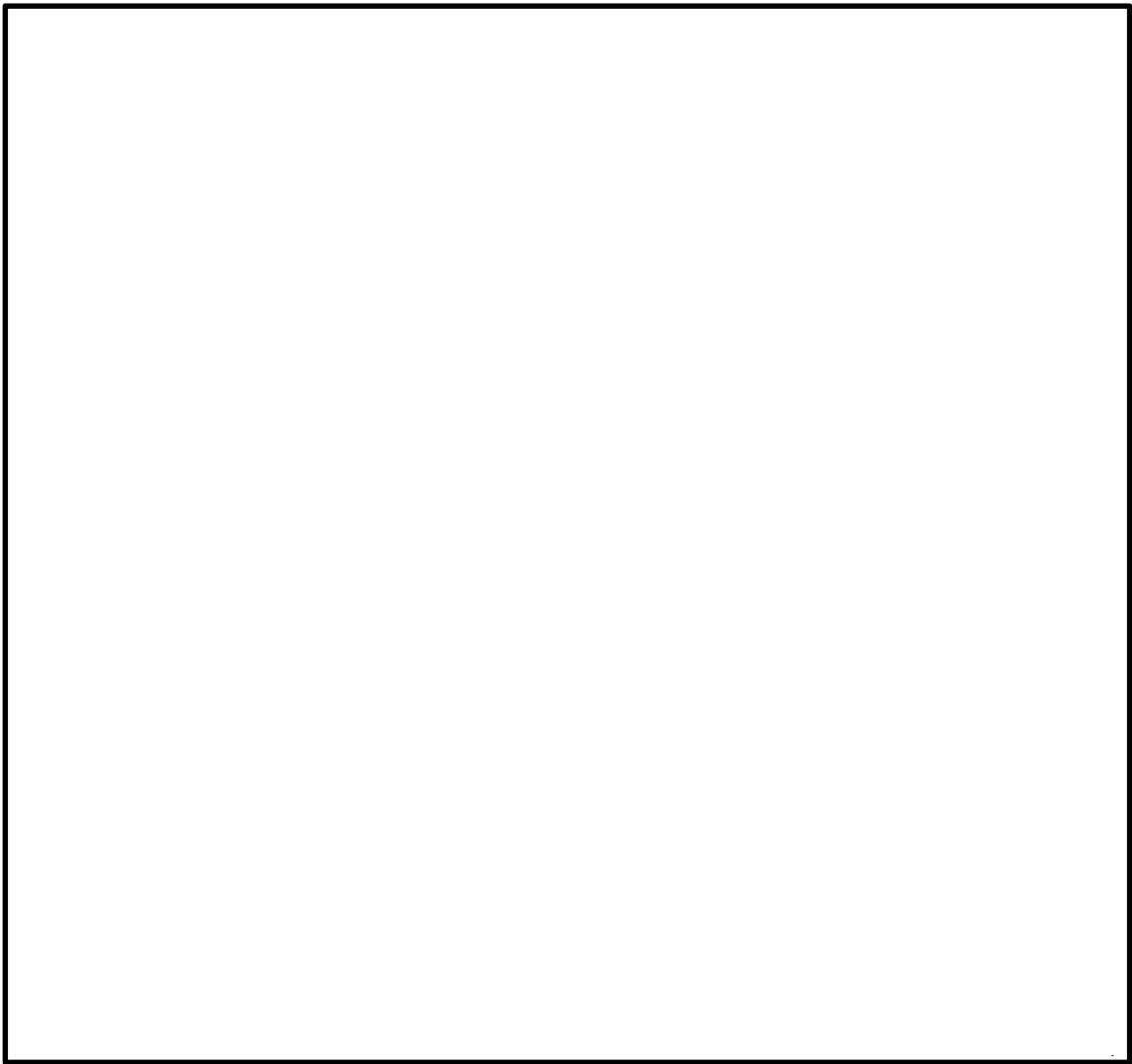


図 2-44 の概略平面図 (EL. 22.00 m)

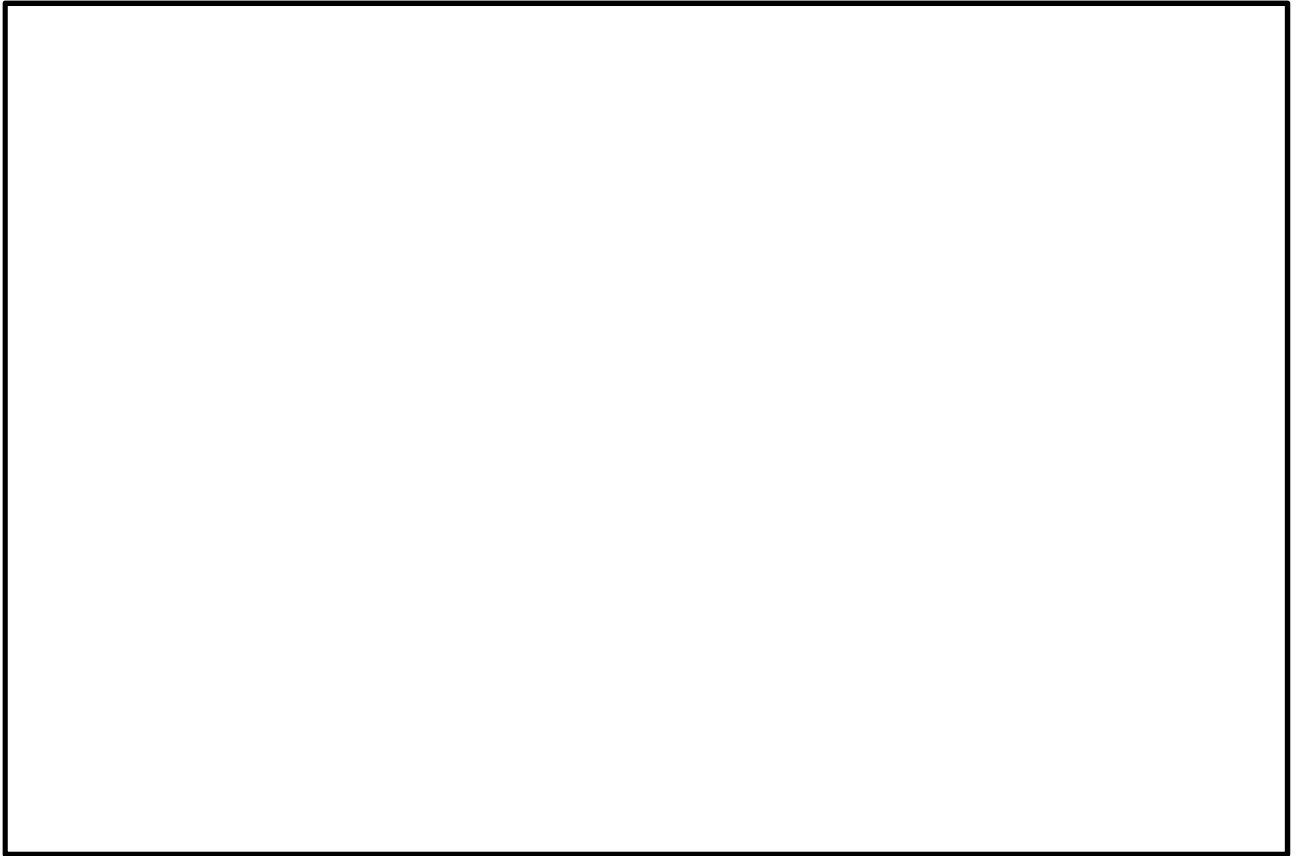


図 2-45 サービス建屋の概略断面図 (EW 方向)

。・

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方 (1/2)

記号	部位	①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 捩じれ	除外する部位	
A 1	柱	一般部 (RC 部)	・中柱は応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・壁付き柱は地震力のほとんどを耐震壁が負担しており、該当しない。 ・独立柱自身の慣性力により影響が生じるような階高を有する柱はないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策所建屋 タービン建屋 サービス建屋
A 2		一般部 (S 部) ブレース構造	・中柱は応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどをブレースが負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	サービス建屋
A 3		一般部 (S 部) ラーメン構造	・中柱は応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・柱自身の慣性力により影響が生じるような階高を有する柱はないため、該当しない。	・整形な建屋で捩れによる影響のおそれがない構造計画を行っており、該当しない。	サービス建屋
A 4		筒身	・筒身は鉄塔の中央で支持されており、応力が集中することなく該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどを鉄塔が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく鉄塔に支持される構造計画を行っており、該当しない。	主排気筒
A 5		隅部	・耐震壁付きの柱は、応力集中が懸念される軸力が耐震壁に分散されることで影響が小さいと考えられるため、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・地震力のほとんどを耐震壁が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策所建屋 タービン建屋 サービス建屋
A 6		地下部 (一般部、隅部)	・中柱は応力が集中することなく該当しない。 ・耐震壁付きの隅柱は、応力集中が懸念される軸力が耐震壁に分散されることで影響が小さいと考えられるため、該当しない。	・地下外周部が考えられるが、外周部柱はすべて梁等に接続しており、土圧はそのまま梁等に伝達されるため、該当しない。	・地震力のほとんどを耐震壁が負担しており、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 タービン建屋
B 1	梁	一般部 (RC 部)	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向の変形を抑制することから該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策所建屋 タービン建屋 サービス建屋
B 2		一般部 (S 部：水平材、補助水平材)	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・軽量のトラス部材で構成されており、該当しない。	・釣り合いよく水平材、補助水平材が配置された構造計画を行っており、該当しない。	主排気筒
B 3		地下部	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・地下外周部が考えられるが、吹抜けがないことから、外周部梁は全て剛性が高いスラブに接続しており、土圧はそのままスラブに伝達されるため、該当しない。	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面内方向の変形を抑制することから該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 タービン建屋
B 4		鉄骨トラス	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・上弦材を屋根床に、下弦材は振れ止めにより拘束されており、面外方向への変形を抑制しているため、該当しない。	・剛性の大きい床が付帯しているため該当部位は存在しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 タービン建屋

表 2-1 評価部位から除外する基本的な考え方（2/2）

記号	部位		①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 振じれ	除外する部位
C 1	壁	一般部 (矩形)	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・水平及び鉛直方向に大スパンの壁がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。*	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策所建屋 格納容器圧力逃がし装置格納槽 タービン建屋 サービス建屋
C 2		一般部 (円筒)	・建屋の中心付近に位置し、その外側にあるボックス型の壁とスラブで一体化されている壁は、応力集中が懸念される軸力がスラブ等に分散されることで影響が小さいと考えられるため、該当しない。	・地震による面外荷重が作用する地下部ではない。	・水平及び鉛直方向に大スパンの壁がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋
C 3		鉄骨ブレース	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・面外荷重が作用する地下部ではない。	・軽量なトラス部材で構成されており、該当しない。	・釣り合いよく斜材、補助斜材が配置された構造計画を行っており、該当しない。	主排気筒 サービス建屋
D 1		一般部	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・積載荷重等従来から面外荷重を考慮しており、今回の抽出プロセスで該当しない。	・大スパンの床及び屋根がないため、該当しない。	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	原子炉建屋 使用済燃料乾式貯蔵建屋 緊急時対策所建屋 タービン建屋 格納容器圧力逃がし装置格納槽 サービス建屋
E 1	基礎	基礎梁	・地震力の負担について方向性を持っており、該当しない。	・地震時の面外荷重は、直近の直交部材にて受ける構造としているため該当しない。	・基礎梁は短スパンであり影響は少ないと考えられるため、該当しない。	・概ね対称構造であり、釣り合いよく基礎梁が配置された構造計画を行っており、該当しない。	主排気筒

注記 * : 原子炉建屋は局所評価と併せて振れ挙動の影響について確認する。

3. 代表部位の選定プロセス

(a) 柱-隅部

応力集中が考えられる隅柱を有する鉄骨部の規模等を表 3-1 に示す。

重要設備である非常用ガス処理系排気筒を支持する，主排気筒鉄塔部の支柱材を代表として評価する。

表 3-1 隅柱を有する鉄骨部の規模等

項目	部位	対象*	平面形状 (m)		スパン (m)
①-1	柱	<u>主排気筒</u>	28.0	28.0	28.0
		非常用ガス処理系配管支持架構	7.2	4.8	7.2

注記 * : 下線部は代表を示す。

(b) 基礎

応力集中が考えられる矩形基礎の規模を表 3-2 に示す。

建物規模が比較的大きく，重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を代表として評価する。

表 3-2 建屋の規模等

項目	部位	対象*	平面形状 (m)	
①-1	基礎	<u>原子炉建屋</u>	68.5	68.25
		主排気筒	33.1	33.1
		非常用ガス処理系配管支持架構	9.6	9.6
		使用済燃料乾式貯蔵建屋	59.70	33.00
		格納容器圧力逃がし装置格納槽	16.00	11.35
		緊急時対策所建屋	37.70	35.50

注記 * : 下線部は代表を示す。

(c) 壁（面外荷重）

面外荷重の影響が考えられる部位について、面外荷重が作用する壁の高さ及び床等の拘束有無を表 3-3 に示す。

施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料プールの壁を評価する。

表 3-3 壁の規模等

項目	部位	対象*	高さ (m)	床等の 拘束有無
①-2	壁	<u>原子炉建屋（使用済燃料プール）</u>	11.811	無
		原子炉建屋（壁地下部）	12.2	有
		格納容器圧力逃がし装置格納槽（格納槽部）	15.0	有
		タービン建屋（壁地下部）	12.2	有

注記 *：下線部は代表を示す。

別紙 2 3次元FEMモデルを用いた精査

目次

1. 3次元FEMモデルを用いた精査の概要	別紙 2-1
2. 非常用ガス処理系配管支持架構のねじれによる影響検討	別紙 2-3
2.1 構造概要	別紙 2-3
2.2 検討方針	別紙 2-5
2.3 解析モデル	別紙 2-7
2.4 地震応答解析	別紙 2-8
2.5 地震応答解析結果	別紙 2-9
2.5.1 補正比率の算出	別紙 2-9
2.5.2 地震応答解析結果	別紙 2-9
2.6 評価結果	別紙 2-11
3. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討	別紙 2-14
3.1 検討の概要	別紙 2-14
3.2 検討方針	別紙 2-18
3.3 解析モデル	別紙 2-20
3.4 地震応答解析の概要	別紙 2-22
3.5 地震応答解析結果	別紙 2-28
3.6 面外慣性力に対する壁の断面算定	別紙 2-34
3.6.1 解析モデル及び荷重条件	別紙 2-34
3.6.2 応答補正比率の算出	別紙 2-36
3.6.3 断面の評価部位の選定	別紙 2-37
3.6.4 断面算定方法	別紙 2-39
3.6.5 断面算定結果	別紙 2-40
3.7 検討のまとめ	別紙 2-42
4. 局所応答による影響検討	別紙 2-43
5. 3次元FEMモデルを用いた精査のまとめ	別紙 2-44

補 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討についての補足説明

1. 3次元FEMモデルを用いた精査の概要

3次元的な応答特性が想定される部位として、添付書類「V-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」において、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい可能性がある部位」、応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動の影響が大きい可能性がある部位」、3次元的な応答特性に伴う影響が考えられる部位をそれぞれ抽出し、3次元FEMモデルによる精査を行うこととした。

本資料では、精査の概要及び精査の結果を以降に示す。

3次元FEMモデルによる精査に用いる地震動を表1-1に示す。

表 1-1 評価に用いる地震動

対象		建物・構築物	評価に用いる地震動	評価に用いる理由
耐震評価部位				
梁	一般部	非常用ガス処理系配管支持架構	基準地震動 S_s-D1^{*1}	全周期帯の応答が大きく、架構への影響も大きい基準地震動 S_s-D1 を用いる。
壁	一般部	原子炉建屋 (燃料取替フロア)	基準地震動 S_s-D1^{*2}	全周期帯の応答が大きく、建屋への影響も大きい基準地震動 S_s-D1 を用いる。
	鉄骨ブレース	非常用ガス処理系配管支持架構	基準地震動 S_s-D1^{*1}	全周期帯の応答が大きく、架構への影響も大きい基準地震動 S_s-D1 を用いる。
耐震評価部位全般		原子炉建屋	基準地震動 S_s-D1^{*2}	全周期帯の応答が大きく、建屋への影響も大きい基準地震動 S_s-D1 を用いる。

注記 *1: 水平方向の地震動のうち片方は、同時性を考慮し、模擬地震波を用いる。なお、模擬地震波は、 S_s-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_s-D1 とは位相特性が異なる模擬地震波である。

*2: 3次元FEMモデルによる応答補正比率の算出は、線形解析のため S_d-D1 を用いる。水平方向の地震動のうち片方は、同時性を考慮し、模擬地震波を用いる。なお、模擬地震波は、 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_d-D1 とは位相特性が異なる模擬地震波である。

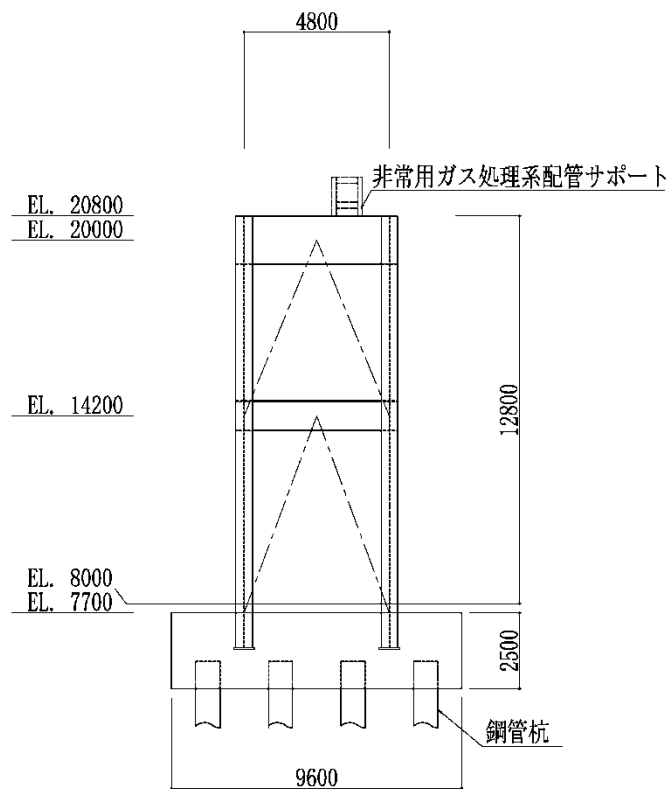
2. 非常用ガス処理系配管支持架構のねじれによる影響検討

2.1 構造概要

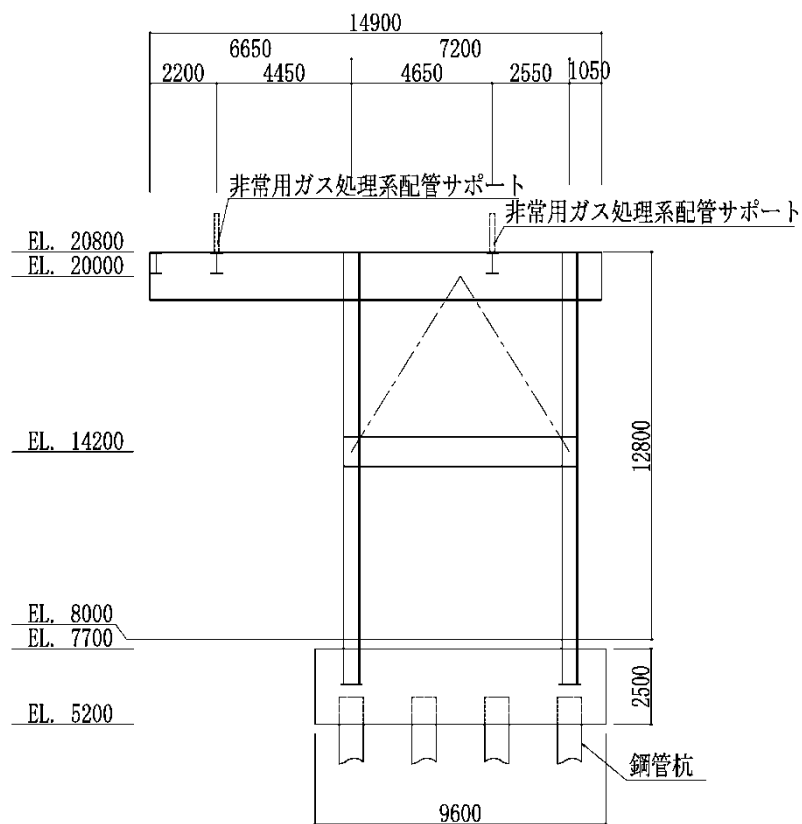
非常用ガス処理系配管支持架構は、片持ち梁のスペンが東側より西側の方が長く、上部の重心が4本の柱の中心から西側にずれている。このため、ねじれ応答が発生する可能性があることから、地震動を水平2方向及び鉛直方向に入力した場合の影響検討を実施する。

非常用ガス処理系配管支持架構は、非常用ガス処理系配管を原子炉建屋から主排気筒へ導くための架構であり、平面が南北方向4.8 m、東西方向14.9 m、地上高さ12.8 mの鉄骨造の架構である。

非常用ガス処理系配管支持架構の軸組図を図2-1に示す。



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 2-1 非常用ガス処理系配管支持架構軸組図 (単位: mm)

2.2 検討方針

非常用ガス処理系配管支持架構について、基準地震動 S_s に対する水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3次元FEMモデルによる地震応答解析を実施し、架構全体系のねじれの影響を把握し、その影響を考慮しても耐震性に問題のないことを確認する。具体的には、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せにより評価した基準地震動 S_s に対する評価結果に対して応答の補正を行い、応答補正した結果、各部材に発生する応力が評価基準値内に収まっていることを確認する。

なお、非常用ガス処理系配管支持架構については、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価において、3次元FEMモデルを使用していることから、架構全体のねじれの影響についてはすでに考慮されている。しかし、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにおける3方向同時入力の影響については、評価に与える影響を確認できていないことから、本検討では、この観点に着目し、検討を行うこととする。

具体的には、梁及びブレースの応答に影響がある節点において、基準地震動 S_s に対する最大応答加速度をもとに、3次元的な応答補正比率 ζ を算出し、1方向入力の応答補正を行い、耐震性評価への影響検討を行う。応答補正の方法としては、梁及びブレースの断面評価値（発生応力/許容値）に応答補正比率 ζ を乗じて、断面評価値が1.0以下であることを確認する。図2-2に検討フローを示す。

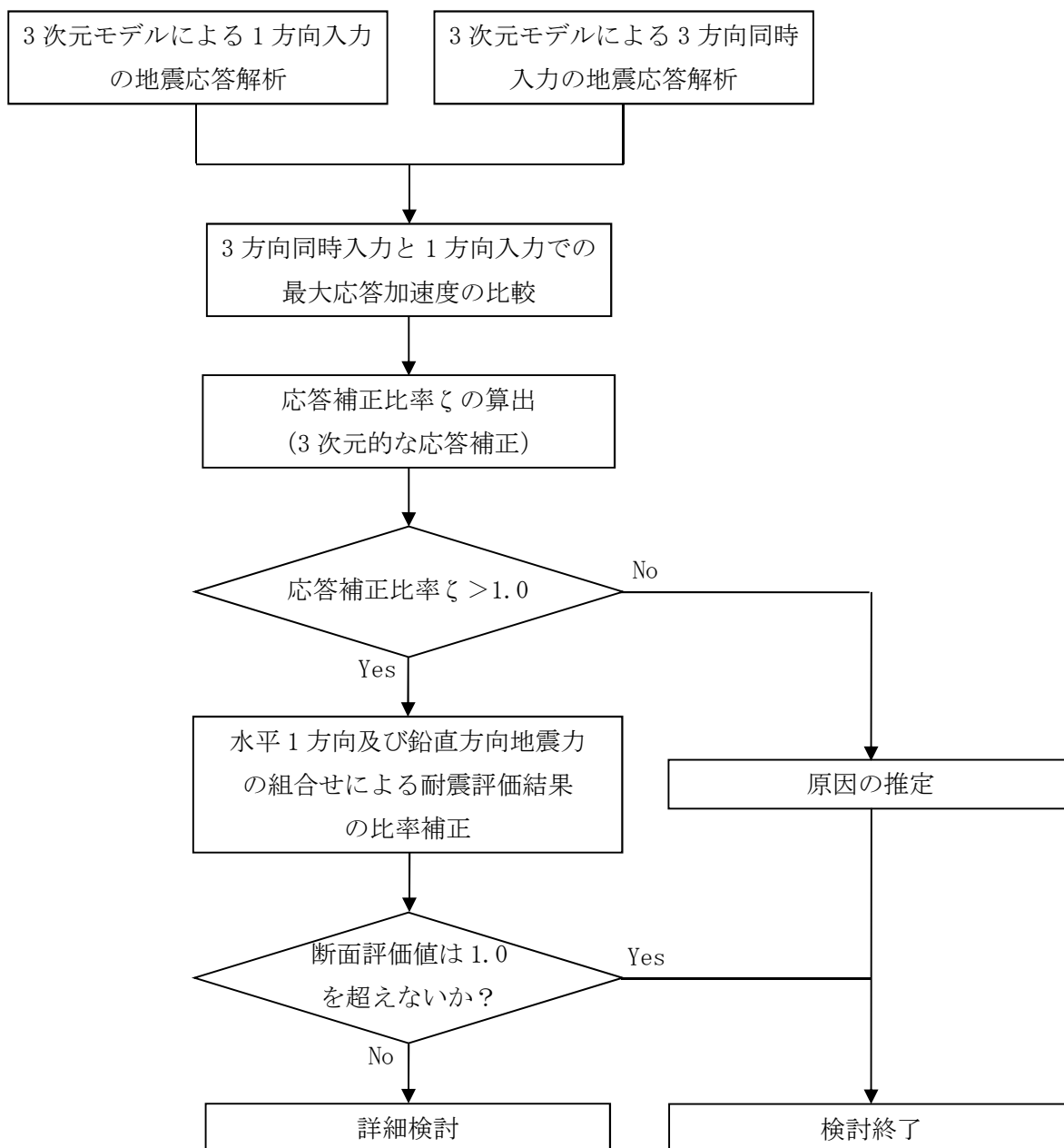


図 2-2 検討フロー図

2.3 解析モデル

非常用ガス処理系配管支持架構については、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価において、3次元FEMモデルを使用していることから、本検討に用いる解析モデルについても同様の解析モデルを用いることとする。非常用ガス処理系配管支持架構の解析モデル図を図2-3に示す。

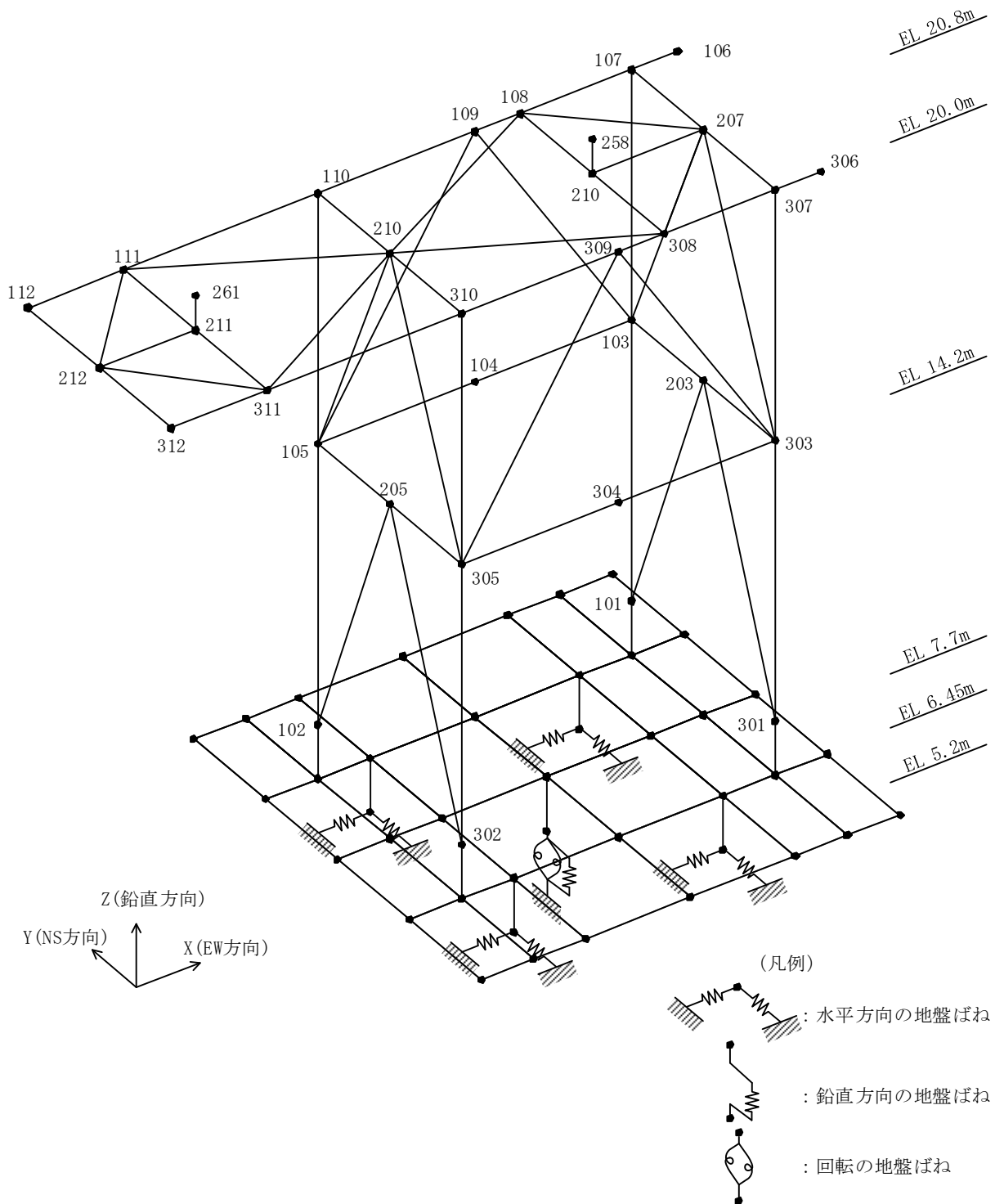


図 2-3 非常用ガス処理系配管支持架構の解析モデル図及び評価節点

2.4 地震応答解析

「2.3 解析モデル」に記載する 3 次元 FEM モデルを用いて、基準地震動 S_s のうち、「別紙 2 表 1-1 評価に用いる地震動」で整理したとおり、 S_s -D1 に対する地震応答解析を実施する。

3 次元 FEM モデルによる地震応答解析は、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の各々に対して行う。また、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認のための応答補正比率 ζ を算出するため、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力による応答評価も併せて実施する。

3 次元 FEM モデルの応答評価に用いる節点の位置（番号）を図 2-3 に示す。

2.5 地震応答解析結果

2.5.1 補正比率の算出

3次元モデルによる3次元的な応答性状を踏まえた定量的な耐震評価を行うため、1方向入力への応答を補正する応答補正比率 ζ を算出する。

1方向入力及び3方向同時入力の最大応答加速度を比較し、応答補正比率 α を算出する。

また、非常用ガス処理系配管支持架構については、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価において、3次元モデルを用いて評価しており、ねじれ振動が考慮されていることから、ねじれ振動の補正係数 β を1.0とする。

応答補正比率 ζ は以下のように算出する。

- ① 応答補正比率 α は評価点ごとに定める。
- ② 応答補正比率 α は保守的な評価を実施するため、1.0以上とする。
- ③ 応答補正比率 ζ は、層ごとの各評価点の α の最大値を用いて定め、局所的な応答を踏まえたものとなるよう設定する。

応答補正比率 ζ の算出式を以下に示す。

$$\text{評価用の応答補正比率 } \zeta = \text{Max}(\alpha) \times \beta \quad \dots \dots \dots (1)$$

(Max(α): 層ごとの各評価点の α の最大値)

ここで、

$$\text{3方向同時入力の応答補正比率 } \alpha = \frac{\text{3方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1方向入力による最大応答加速度}} \quad \dots (2)$$

(但し、 ζ を算出する場合は、 $\alpha \geq 1.0$)

$$\text{ねじれ振動の応答補正比率 } \beta = 1.0 \quad \dots \dots \dots (3)$$

2.5.2 地震応答解析結果

地震応答解析で応答値が大きい S_s-D1 に対し、地盤物性の諸元のばらつきを基本ケースとした場合の応答補正比率 ζ の算定を行う。算定結果を表2-1に示す。 S_s-D1 の応答補正比率 ζ は、1.00~1.05の範囲にある。

表 2-1 応答補正比率 α 及び ζ の算定 ($S_s - D1$: 基本ケース)

レベル	節点 番号	NS 方向			EW 方向			ζ
		最大加速度応答 (cm/s^2)		α (②/①)	最大加速度応答 (cm/s^2)		α (②/①)	
		①	②		①	②		
		1 方向入力	3 方向同時入力		1 方向入力	3 方向同時入力		
EL. 20.8 m	258	1046	1042	1.00	1602	1575	0.98	1.04
	261	1333	1385	1.04	1611	1621	1.01	
EL. 20.0 m	106	1326	1288	0.97	1557	1597	1.03	1.05
	107	1229	1201	0.98	1557	1597	1.03	
	108	1029	1025	1.00	1556	1596	1.03	
	109	958	964	1.01	1555	1595	1.03	
	110	861	842	0.98	1559	1602	1.03	
	111	1323	1375	1.04	1561	1609	1.03	
	112	1652	1731	1.05	1561	1609	1.03	
	207	1227	1200	0.98	1586	1567	0.99	
	208	1030	1027	1.00	1588	1570	0.99	
	210	860	841	0.98	1582	1562	0.99	
	211	1324	1375	1.04	1592	1574	0.99	
	212	1651	1731	1.05	1590	1572	0.99	
	306	1326	1292	0.97	1599	1622	1.01	
	307	1229	1202	0.98	1599	1622	1.01	
	308	1029	1025	1.00	1598	1621	1.01	
	309	958	964	1.01	1597	1620	1.01	
	310	861	842	0.98	1601	1624	1.01	
	311	1323	1374	1.04	1604	1626	1.01	
312	1652	1732	1.05	1605	1626	1.01		
EL. 14.2 m	103	855	840	0.98	1376	1418	1.03	1.03
	104	717	721	1.00	1377	1418	1.03	
	105	597	592	0.99	1377	1417	1.03	
	203	848	833	0.98	1423	1384	0.97	
	205	592	588	0.99	1428	1386	0.97	
	303	855	839	0.98	1415	1437	1.02	
	304	717	724	1.01	1415	1437	1.02	
	305	597	592	0.99	1415	1437	1.02	
EL. 7.7 m	101	490	490	1.00	491	491	1.00	1.00
	102	491	491	1.00	491	491	1.00	
	301	490	490	1.00	491	491	1.00	
	302	491	491	1.00	491	491	1.00	

2.6 評価結果

各層の応答補正比率 α を、添付書類「V-2-2-17 非常用ガス処理系配管支持架構の耐震性についての計算書」で求めた断面評価値（許容値に対する発生応力の比）に乗じて、補正後の断面評価値を算出した。なお、評価結果は、梁及びブレースの全部材において、断面評価値が最大になる部材を代表部位として記載することとし、梁及びブレースの断面の評価部位を図 2-4 及び図 2-5 に示す。

S_s-D1 より算定した各層の応答補正比率 α を用いて補正した断面評価値を表 2-2 に示す。評価の結果、断面評価値が 1.0 を超えないことを確認した。

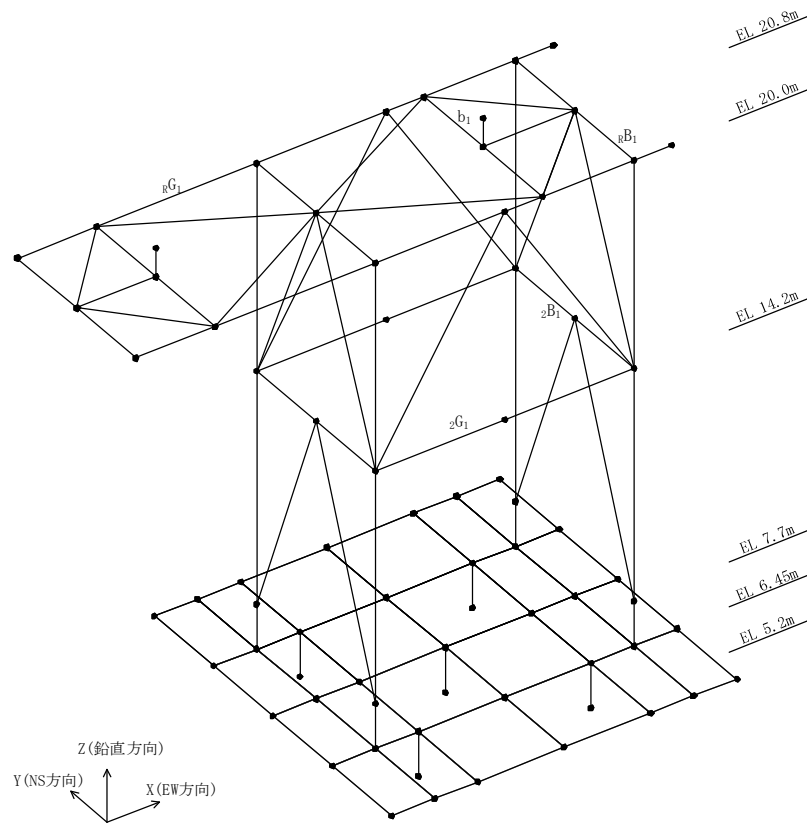


図 2-4 梁の断面の代表部位

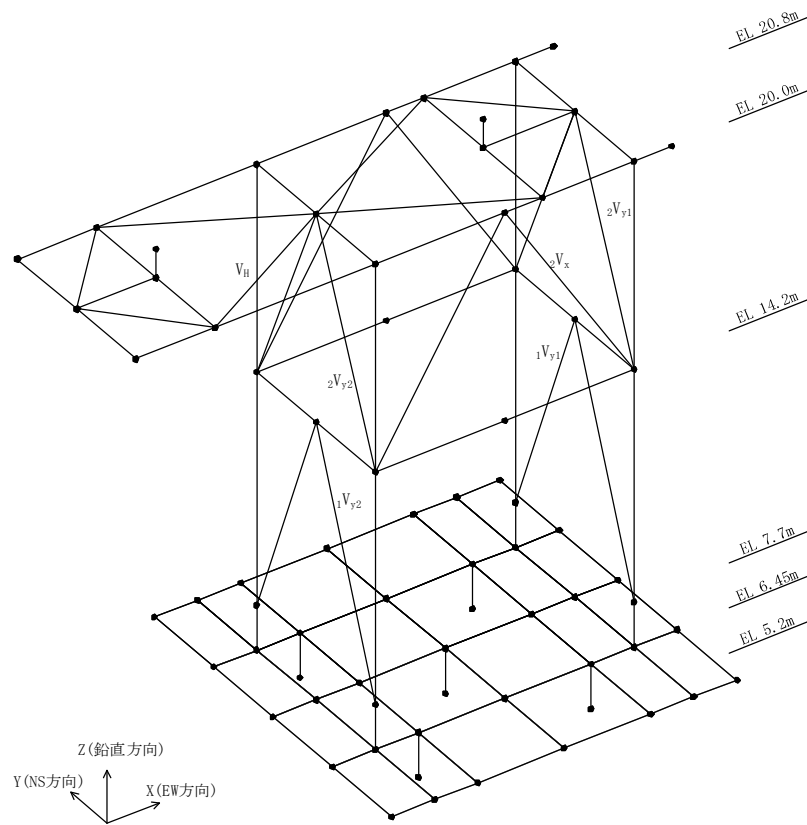


図 2-5 ブレースの断面の代表部位

表 2-2 3次元的な応答特性を踏まえた断面評価：S_s-D1

(a) 梁

部材符号	断面評価値		応答補正比率 ζ	応答補正後 (断面評価値 $\times\zeta$)	
	フランジ	ウェブ		フランジ	ウェブ
${}_R G_1$	0.191	0.045	1.05	0.201	0.048
${}_R B_1$	0.034	0.010	1.05	0.036	0.011
${}_2 G_1$	0.329	0.083	1.03	0.339	0.086
${}_2 B_1$	0.125	0.039	1.03	0.129	0.041
b_1	0.109	0.059	1.05	0.115	0.062

(b) ブレース

部材符号	断面評価値	応答補正比率 ζ	応答補正後 (断面評価値 $\times\zeta$)
${}_2 V_x$	0.222	1.05	0.234
${}_2 V_{y1}$	0.204	1.05	0.215
${}_1 V_{y1}$	0.358	1.03	0.369
${}_2 V_{y2}$	0.200	1.05	0.210
${}_1 V_{y2}$	0.298	1.03	0.307
V_H	0.076	1.05	0.080

2.7 まとめ

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、加振方向以外の方向に励起される振動が影響する可能性のある非常用ガス処理系配管支持架構について、評価を行った。

評価の結果、3次元的な応答性状である応答補正を考慮しても、非常用ガス処理系配管支持架構の断面評価値は1.0を超えないことを確認した。よって、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、非常用ガス処理系配管支持架構が有する耐震性への影響はない。

以上のことから、ねじれ応答が発生する可能性がある非常用ガス処理系配管支持架構については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行う部位として抽出しない。

3. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討

3.1 検討の概要

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の評価として、面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響の可能性がある原子炉建屋の壁の検討を実施する。

検討は、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁について、地震動を水平2方向及び鉛直方向に入力した場合の検討を実施する。

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が南北方向45.5m、東西方向42.5mの原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり、その周囲には原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

原子炉棟と付属棟は、同一基礎版上に配置した一体構造であり、原子炉建屋の平面は、下部で南北方向68.5m、東西方向68.25mのほぼ正方形となっている。基礎底面からの高さは73.08mであり、地上高さは56.08mである。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離されている。

原子炉建屋の基礎は、厚さ5.0mのべた基礎で、支持地盤である砂質泥岩上に人工岩盤を介して設置されている。

原子炉棟の中央部には原子炉圧力容器を収容している原子炉格納容器があり、その周囲の一時遮蔽壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）は上部が円錐台形、下部は円筒形で基礎版から立ち上がっている。シェル壁（S/W）の壁厚は上部で1.9m、下部で1.8mである。

原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）は基礎版から屋根面まで連続しており、壁厚は地下部分で1.5m、地上部分では1.5m～0.3mである。また、付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）の壁厚は地下部分で1.5m、地上部分では1.5m～0.9mである。建屋は全体として非常に剛性が高く、建屋に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

なお、燃料取替床（EL. 46.5m）には使用済燃料プールが設置されている。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図3-1及び図3-2に示す。

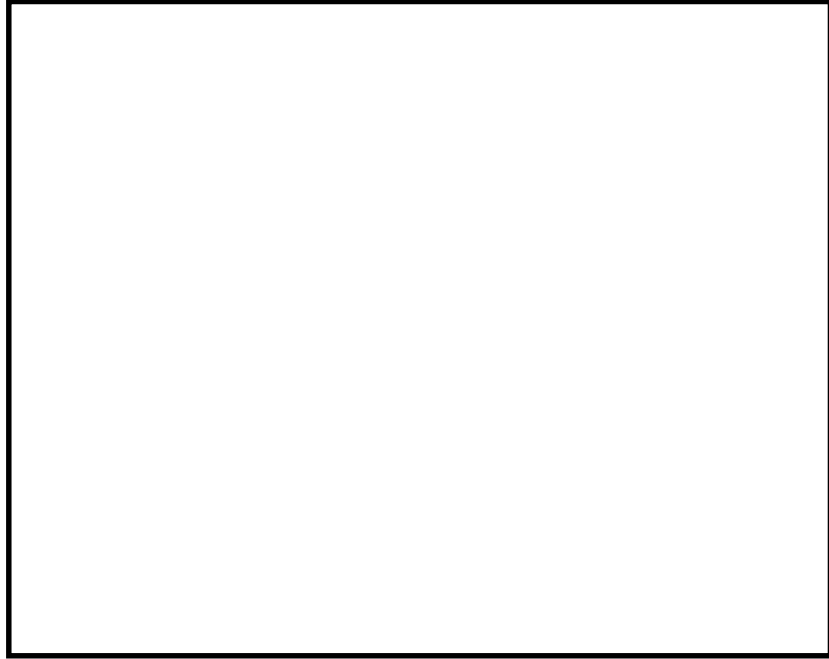


図 3-1 (1/2) 概略平面図 (EL. 46.5 m)

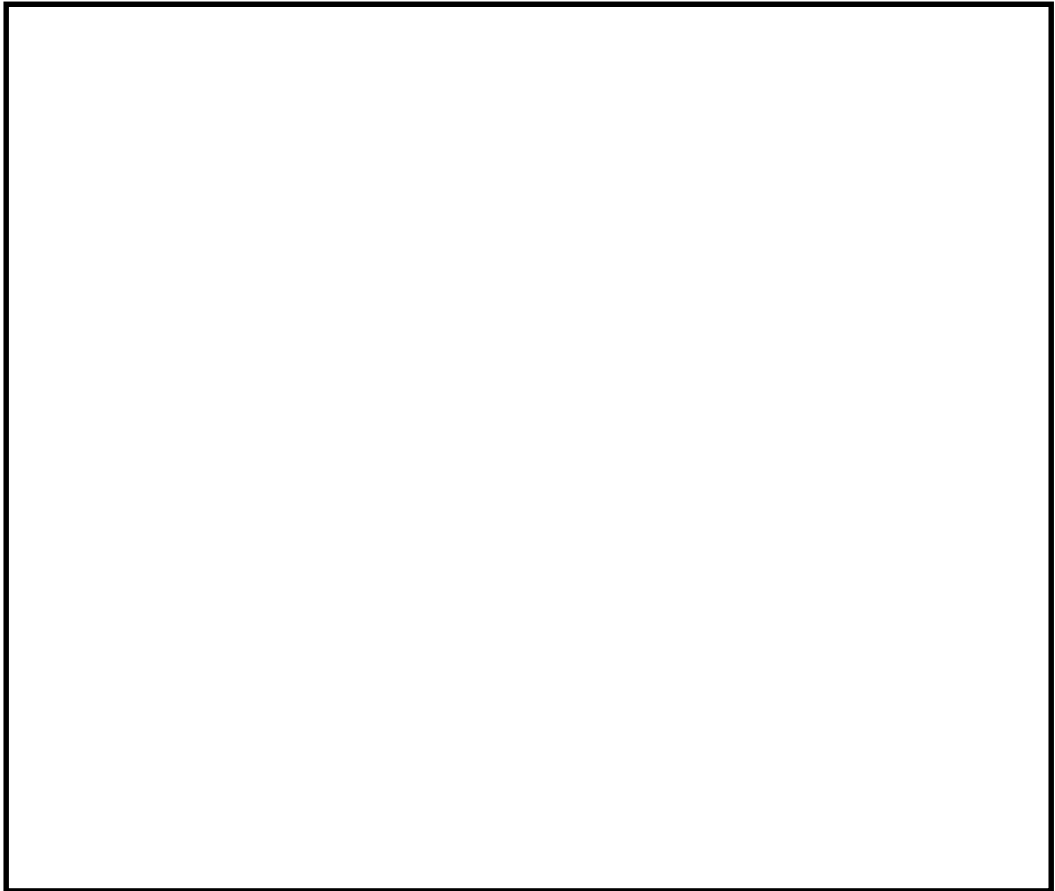


図 3-1 (2/2) の概略平面図 (EL. -4.0 m)

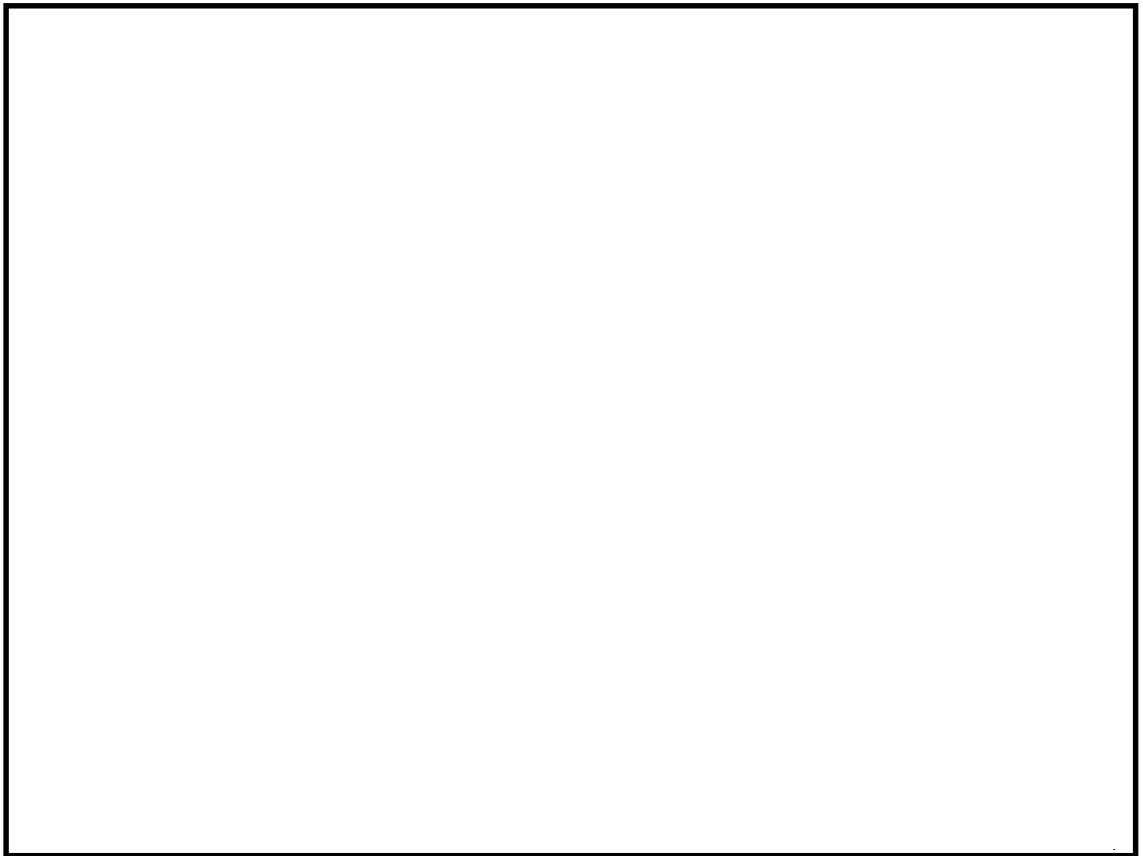


図 3-2 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

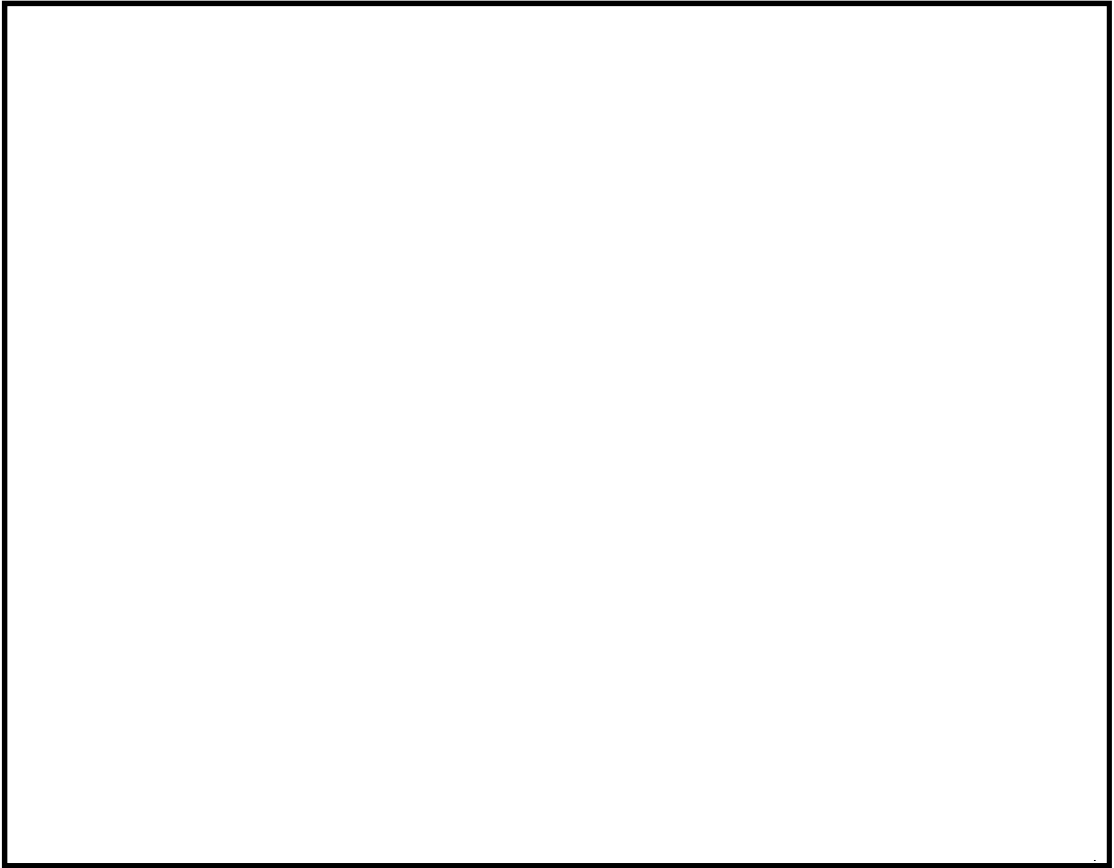


図 3-2 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

3.2 検討方針

原子炉建屋について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を実施する。

複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した原子炉建屋の壁について、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析により得られた最大応答加速度の分布から、面外慣性力の影響を確認する。また、水平 1 方向の入力に対する最大応答加速度と 3 方向同時入力による最大応答加速度を比較し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する。

3 次元 FEM モデルによる最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を把握した上で、原子炉建屋の壁を部分的に抽出し、保守的な静的解析モデルに置き換える。面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行い、面外慣性力の影響を評価する。

図 3-3 に検討フローを示す

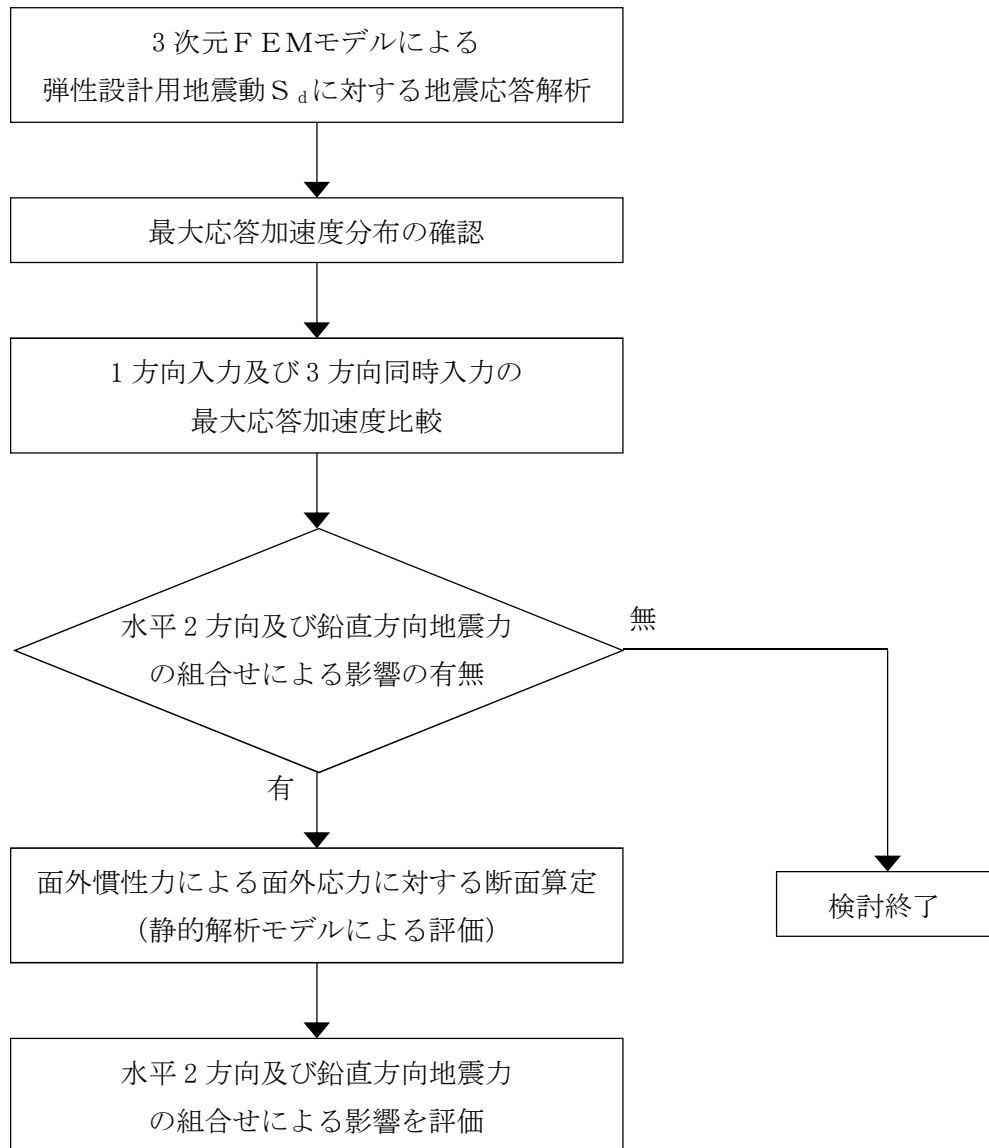


図 3-3 検討フロー

3.3 解析モデル

原子炉建屋の3次元FEMモデルを構築する。解析モデルを図3-4に示す。

モデル化の範囲は、原子炉棟、付属棟及び基礎とする。

耐震壁、補助壁及び床スラブはシェル要素（約7500要素）、柱及び梁はバー要素（約1500要素）、屋根面の鉄骨ブレースはロッド要素（約50要素）、基礎はソリッド要素（約2800要素）とする。要素の大きさは、各床スラブレベルと対応する位置に節点を設け、高さ方向及び水平方向に2m～3m程度とする。（解析モデルの詳細は、別紙3「3次元FEMモデルによる地震応答解析」に示す。）

検討に用いる解析モデルのケースを表3-1、使用材料の物性値を表3-2に示す。

検討に用いる解析モデルのケースは、質点系モデルと、表3-1に示す諸条件を対応させた建屋模擬モデルとする。

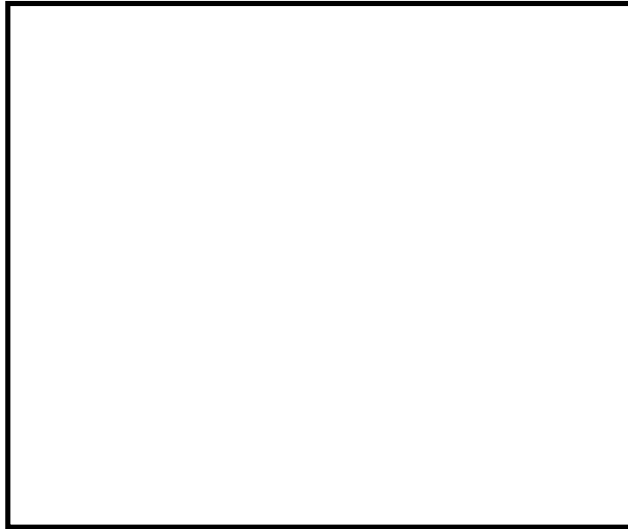
地震応答解析には、解析コード「MSC NASTRAN ver.2016.1」を用いる。

表3-1 解析モデルの検討ケース

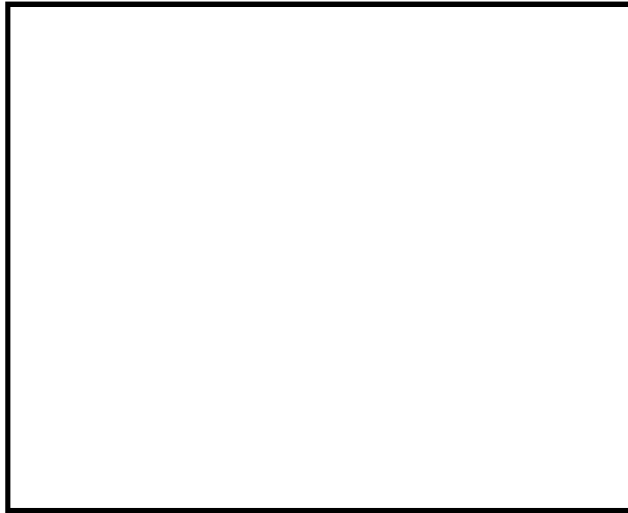
モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	設計基準強度

表3-2 使用材料の物性値

部位	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	2.21×10 ⁴	5
鉄骨部	2.05×10 ⁵	2



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(c) NS 断面図

図 3-4 解析モデル

3.4 地震応答解析の概要

3次元FEMモデル（建屋模擬モデル）を用いて、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施する。地震応答解析は線形解析とし、周波数応答解析を用いる。

応答評価位置は、原子炉建屋のEL.46.5 m～EL.63.65 mとする。応答評価部位を図3-5、応答評価対象位置及び節点番号図を図3-6に示す。

地震動の組合せを表3-3に示す。

入力地震動については、線形解析であることから、水平2方向の地震力による影響評価は、弾性設計用地震動 S_d を水平2方向に組合せた地震力を算定し実施する。具体的には、弾性設計用地震動 S_d-D1 を水平2方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

したがって、本検討において北面及び南面の応答評価を行う際には、NS方向に対しては弾性設計用地震動 S_d-D1 の水平成分を、EW方向に対しては模擬地震波（基準地震動 S_d-D1 の水平成分の設計用応答スペクトルに適合するよう、位相を変えたもの）をそれぞれ同時入力する。東面及び西面の応答評価を行う際には、その反対で、EW方向に対しては弾性設計用地震動 S_d-D1 の水平成分を、NS方向に対しては模擬地震波をそれぞれ同時入力する。また、鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動 S_d-D1 の鉛直成分を水平2方向と同時入力する。

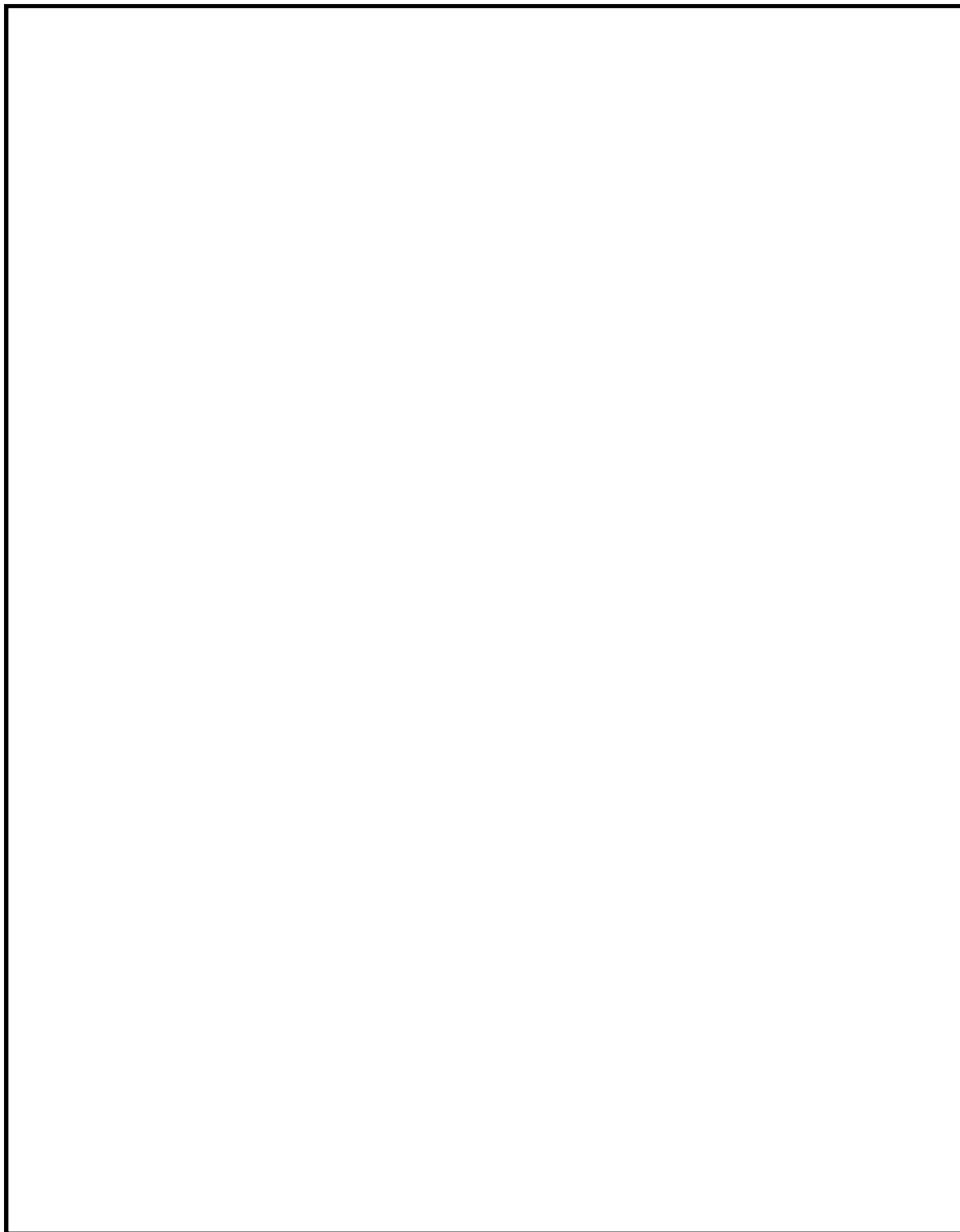
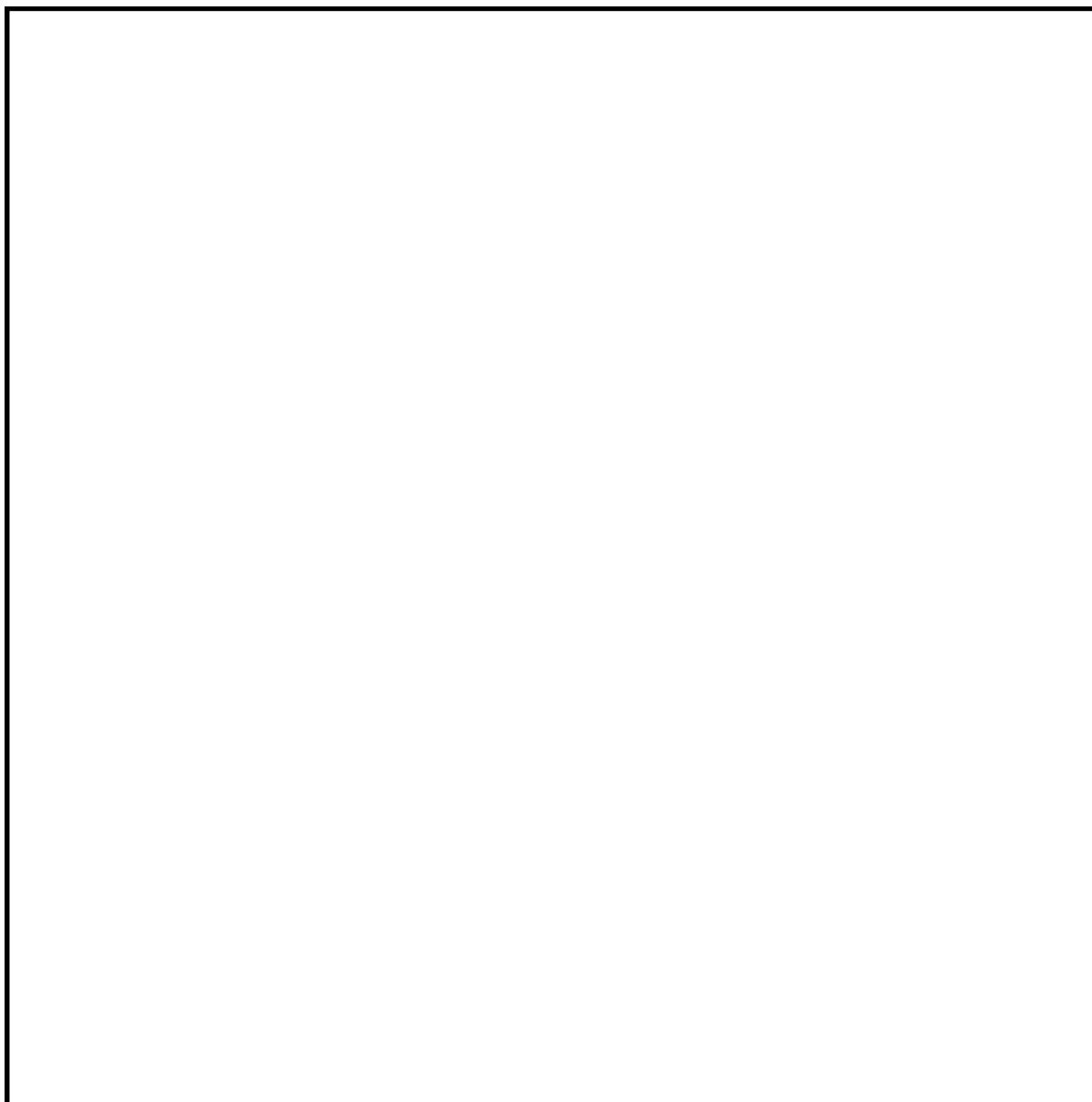
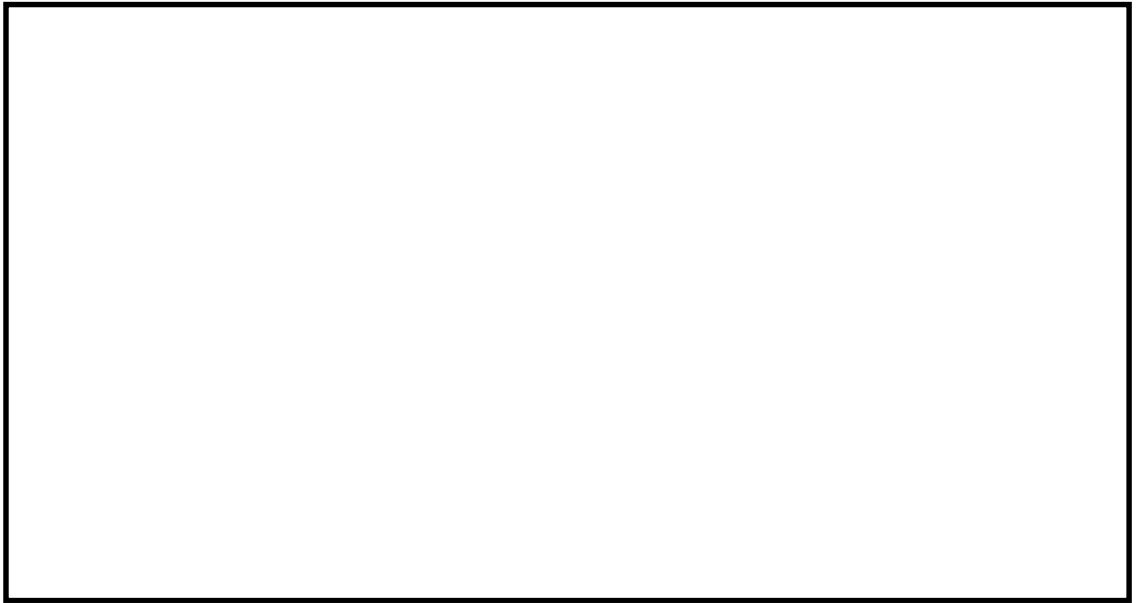


図 3-5 (1/2) 応答評価部位

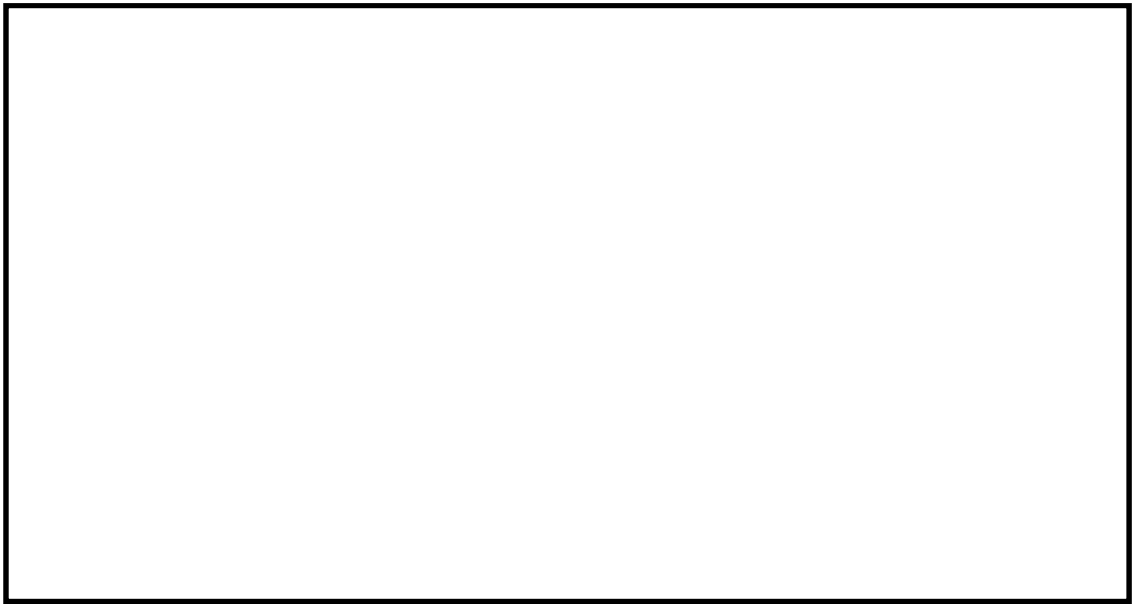


(b) 3次元FEMモデル

図 3-5 (2/2) 応答評価部位

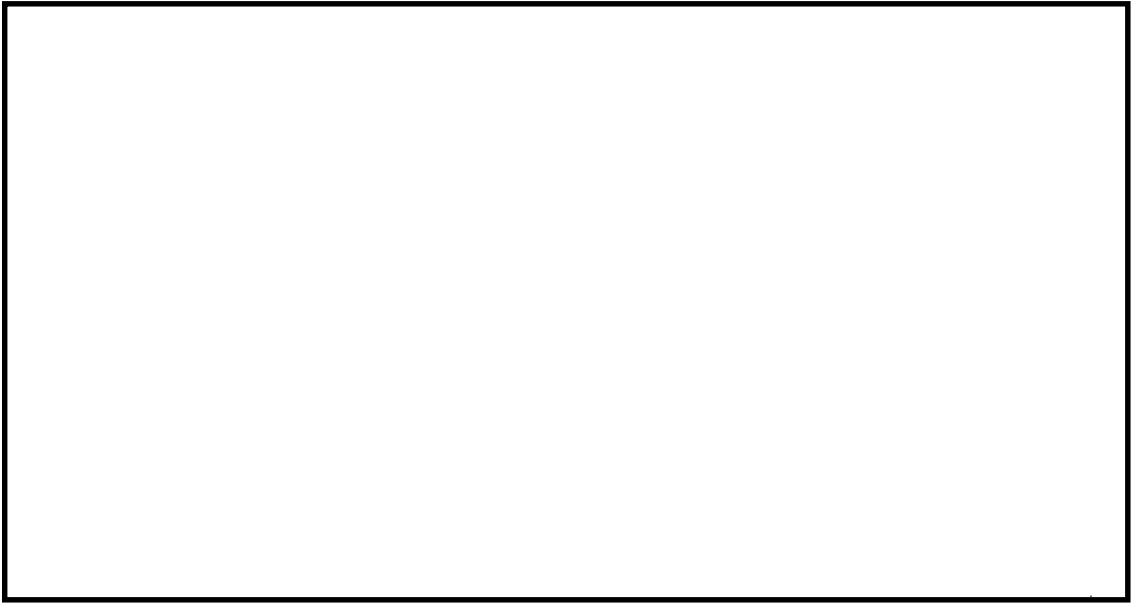


(a) 北面

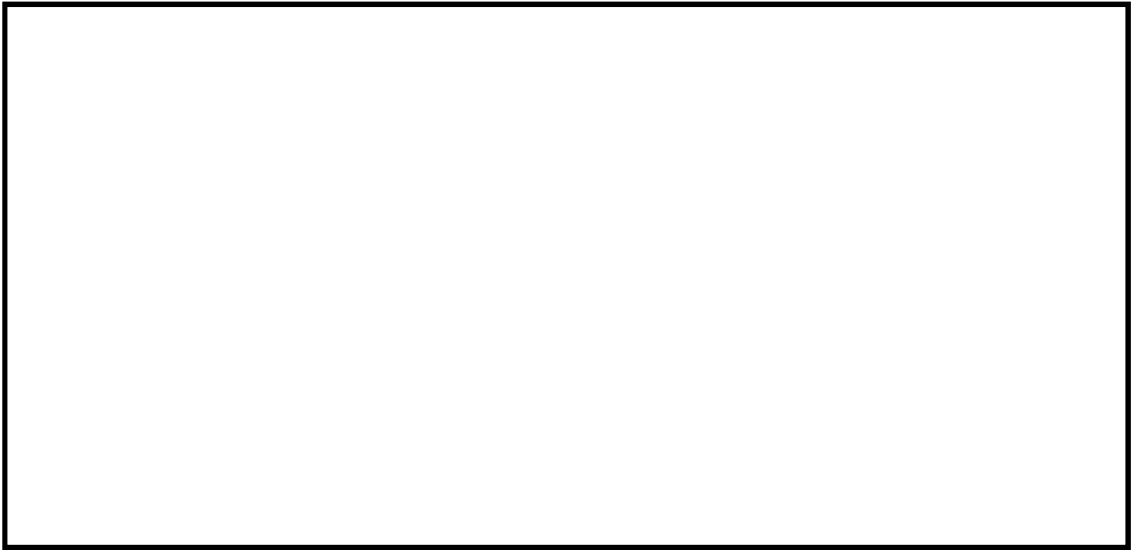


(b) 南面

図 3-6 (1/2) 応答評価対象位置及び節点番号図



(c) 東面



(d) 西面

図 3-6 (2/2) 応答評価対象位置及び節点番号図

表 3-3 地震動の組合せ

(a) 北面及び南面の応答評価時

地震動の入力方法	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
水平 1 方向入力	S_d-D1	—	—
3 方向同時入力	S_d-D1	模擬地震波*	S_d-D1

注記 * : 弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_d-D1 とは位相特性が異なる地震波。

(b) 東面及び西面の応答評価時

地震動の入力方法	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
水平 1 方向入力	—	S_d-D1	—
3 方向同時入力	模擬地震波*	S_d-D1	S_d-D1

注記 * : 弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_d-D1 とは位相特性が異なる地震波。

3.5 地震応答解析結果

3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施した。

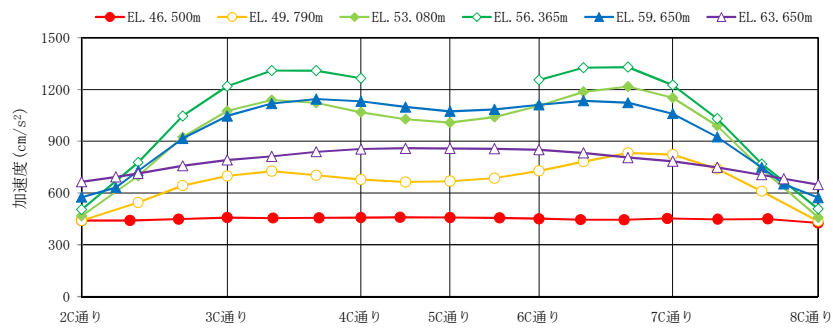
原子炉建屋の壁について、3方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布を図3-7及び図3-8に示す。

3方向同時入力における壁面外方向最大応答加速度は、平面的に中央部で面外にはらむような加速度分布となっており、高さ方向ではEL. 56.365 mが最大となるような加速度分布となっている。

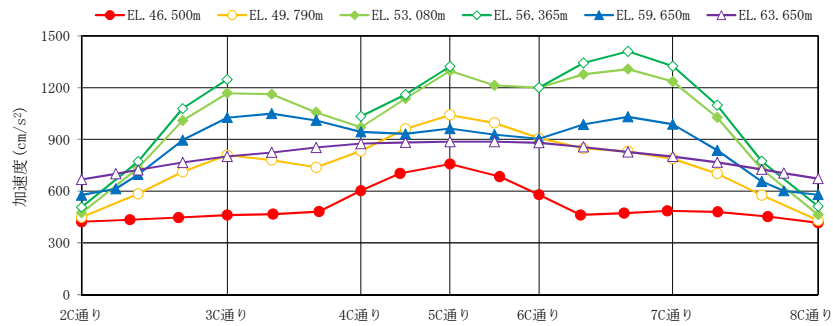
水平1方向入力における最大応答加速度の分布図を図3-9及び図3-10に示す。また、水平1方向入力及び3方向同時入力の最大応答加速度の比較を図3-11に示す。

水平1方向についても、3方向同時入力と同様に、平面的に中央部で面外にはらむような加速度分布となっており、高さ方向ではEL. 56.365 mが最大となるような加速度分布となっている。

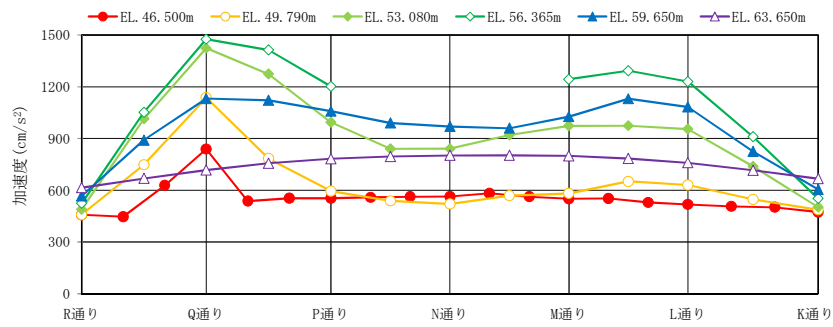
また、3方向同時入力は、水平1方向入力と比べ概ね同等の最大加速度を示し、多少の大小はあるものの概ね同様の最大応答加速度分布を示している。この結果は壁面外方向の地震動が主な影響を与えており、水平直交方向及び鉛直方向地震動は面外応答に与える影響が小さい事を示している。3方向同時入力の最大応答加速度は水平1方向入力に対して、0.92~1.19倍程度である。



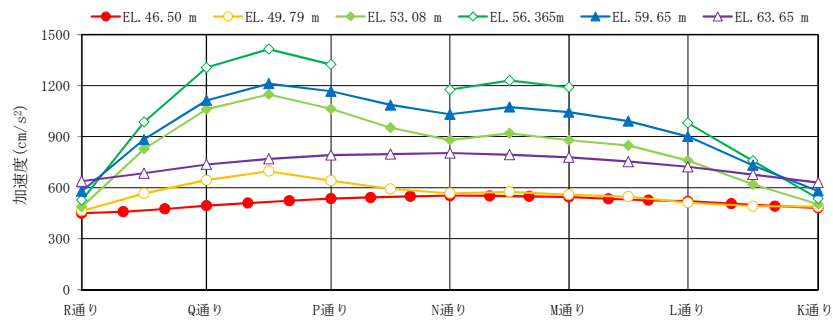
(a) 北面



(b) 南面

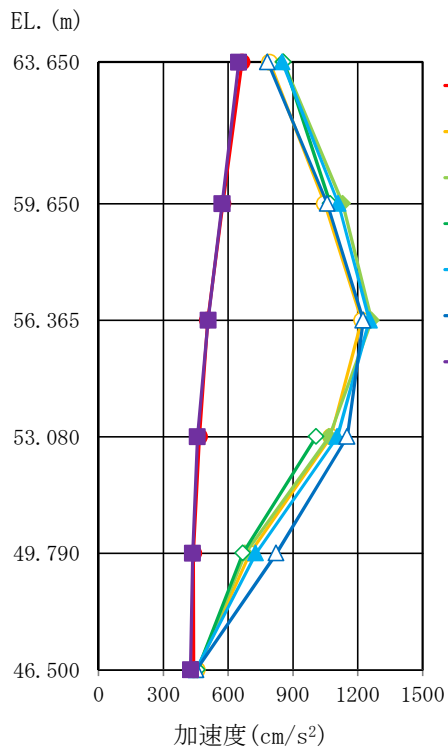


(c) 東面

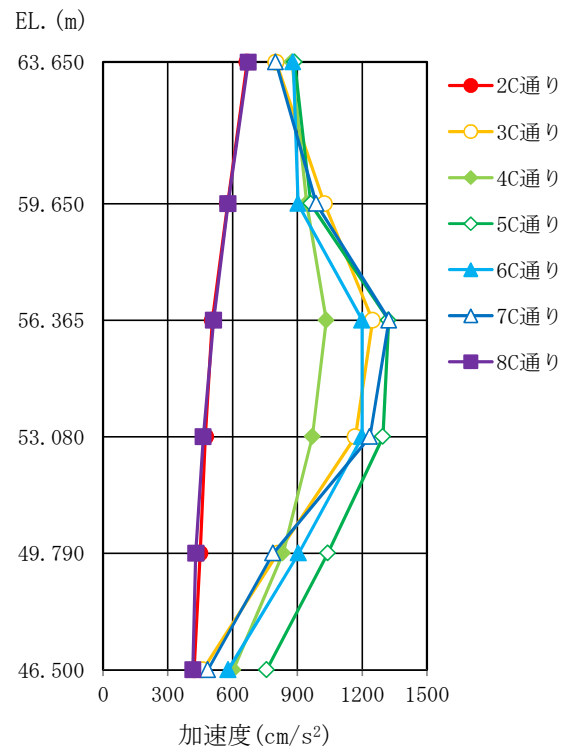


(d) 西面

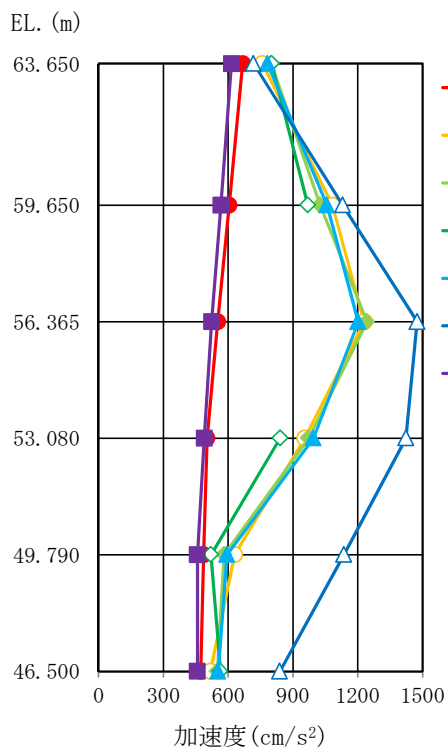
図 3-7 3 方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (平面分布)



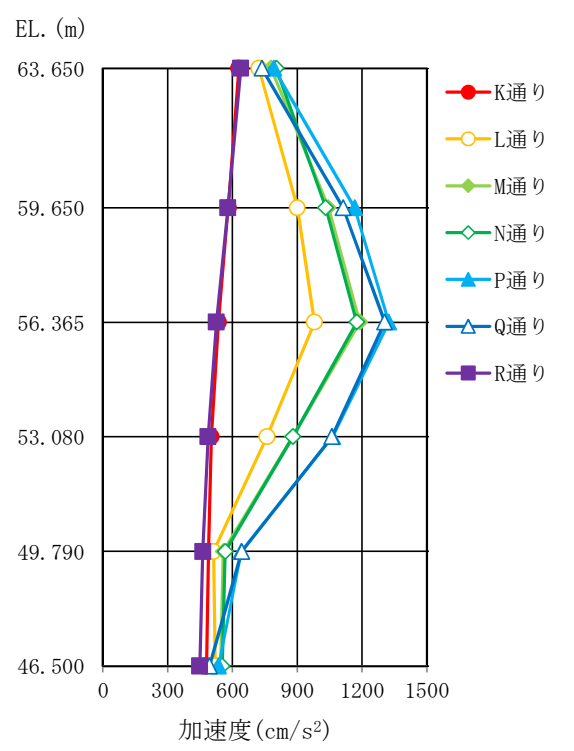
(a) 北面



(b) 南面

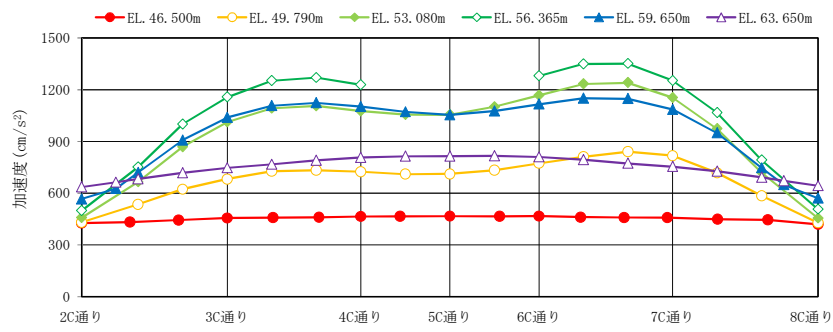


(c) 東面

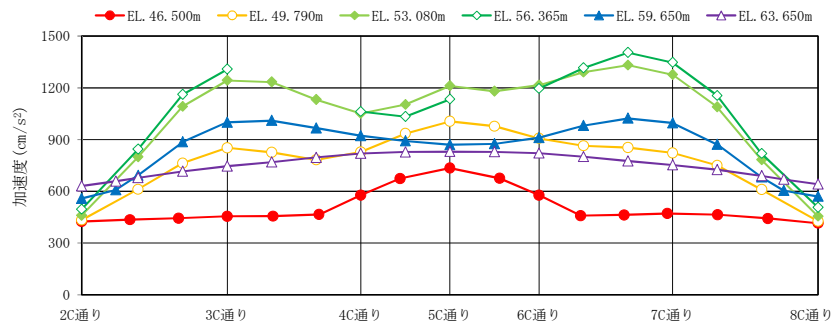


(d) 西面

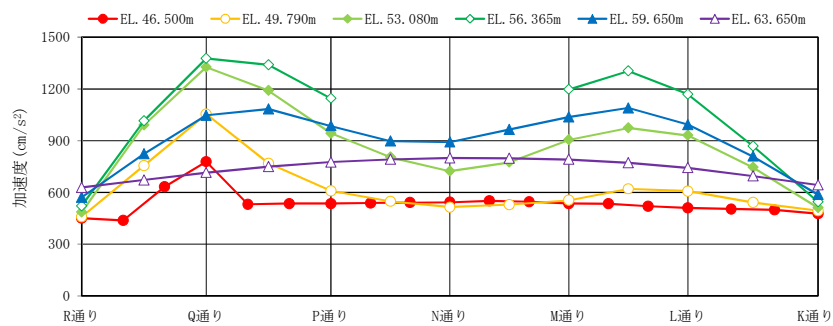
図 3-8 3方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (断面分布)



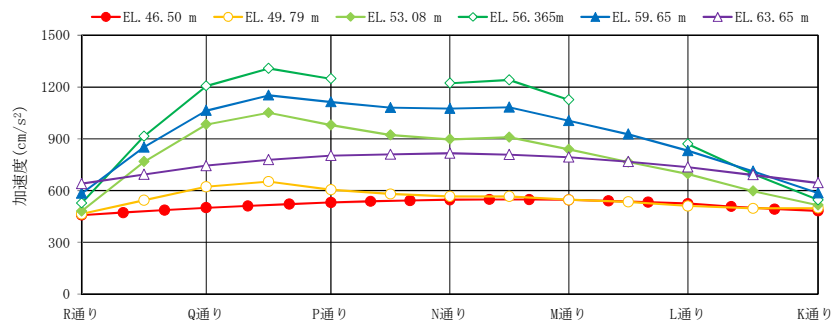
(a) 北面



(b) 南面

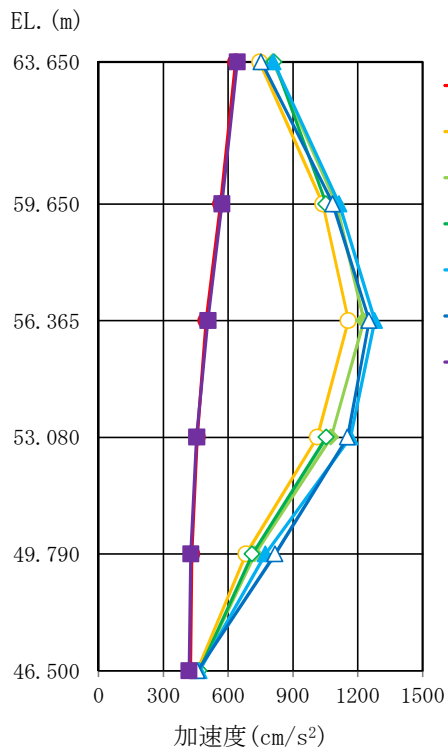


(c) 東面

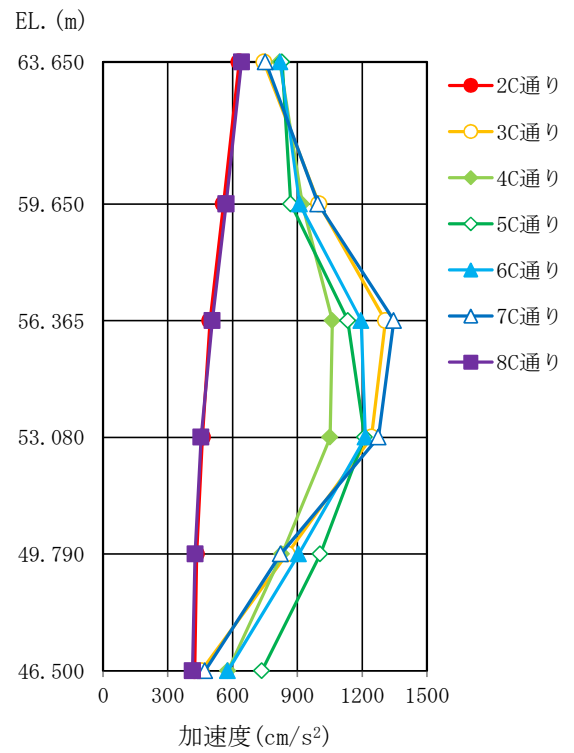


(d) 西面

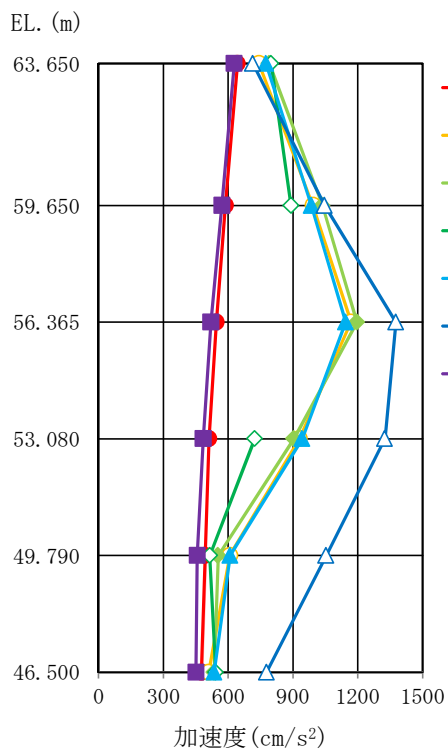
図 3-9 水平 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (平面分布)



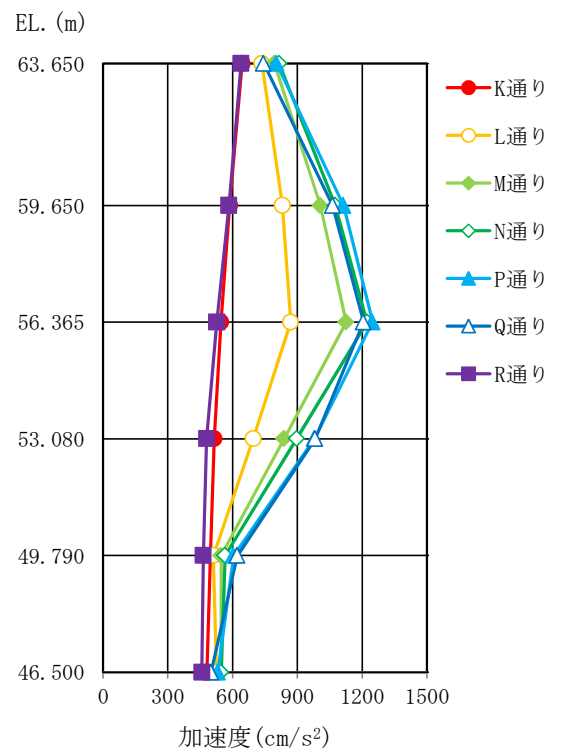
(a) 北面



(b) 南面

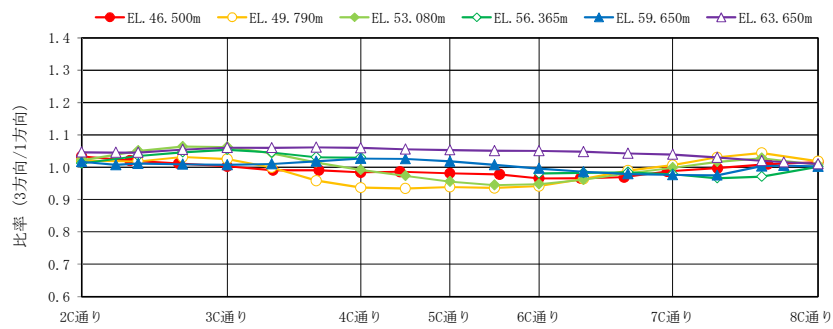


(c) 東面

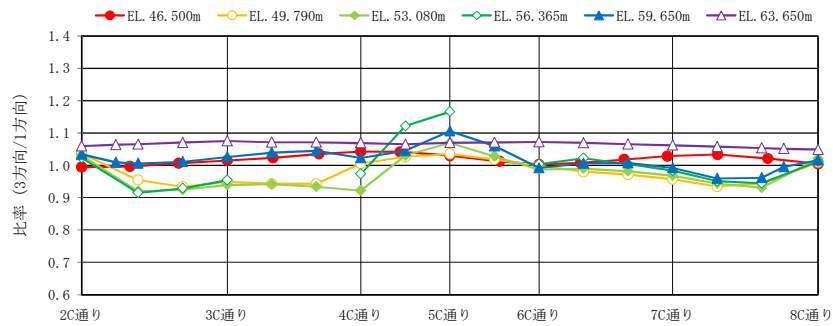


(d) 西面

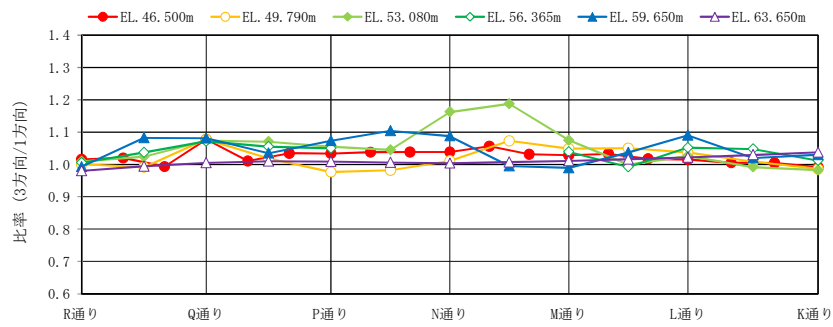
図 3-10 水平 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (断面分布)



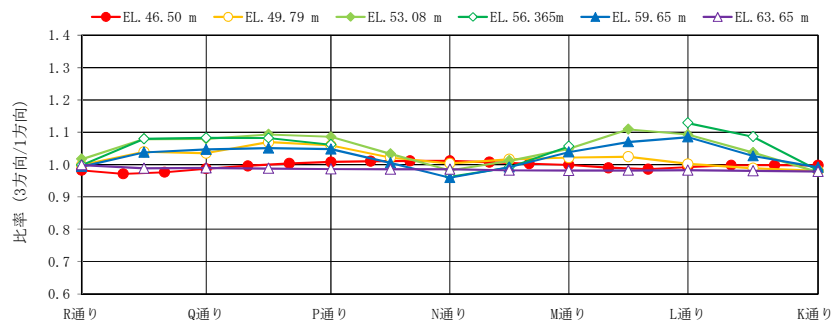
(a) 北面



(b) 南面



(c) 東面



(d) 西面

図 3-11 3方向同時入力と水平1方向入力の壁面方向の最大応答加速度比較
(水平1方向入力に対する3方向同時入力の最大応答加速度の比率)

3.6 面外慣性力に対する壁の断面算定

複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁について、面外慣性力の影響として、原子炉建屋の壁を部分的に抽出し、面外慣性力に対する検討を行う。検討は、静的解析モデルに置き換えて、面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行い、面外慣性力の影響を評価する。

評価結果を記載する部位は、面外慣性力によって生じる曲げモーメント及び面外せん断力が最大となる部位とする。

3.6.1 解析モデル及び荷重条件

解析モデルを図 3-12 に示す。解析モデルは静的解析モデルとし、スパン端部の柱を境界条件として、単位幅の両端固定梁に置き換える。荷重としては、弾性設計用地震動 S_d （以下「 S_d 地震時」という。）及び基準地震動 S_s （以下「 S_s 地震時」という。）による面外慣性力を等分布荷重として考慮する。 S_d 地震時は、 S_d-D1 による面外方向の最大応答加速度（絶対加速度）を用いて静的震度に換算し保守的に評価する。なお、静的震度を算定する際には、地震波による影響及び地盤のばらつきによる影響を考慮するため質点系モデルによる地震応答解析における最大応答加速度より算出した応答補正比率を乗じる。 S_s 地震時は、 S_d 地震時の面外慣性力を、質点系モデルによる地震応答解析における最大応答加速度比で係数倍して定める。面外慣性力の算出方法は以下の通りである。

$$w_d = \frac{a_{\max}}{g} W$$

$$w_s = \alpha \cdot w_d$$

- ここで、 w_d : S_d 地震時の面外慣性力 (kN/m)
 w_s : S_s 地震時の面外慣性力 (kN/m)
 a_{\max} : S_d 地震時の3方向同時入力における最大応答加速度 (kN/m)
 g : 重力加速度 (cm/s^2)
 W : 壁自重 ($= \gamma \cdot t$) (kN/m)
 γ : 単位体積重量 ($=24 \text{ kN/m}^3$)
 t : 壁厚 ($=0.3 \text{ m}$)
 α : 入力地震動の最大加速度比 ($870/435=2.0$)

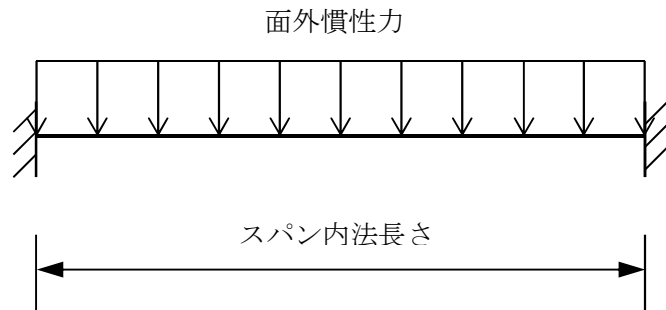


図 3-12 静的解析モデル

3.6.2 応答補正比率の算出

応答補正比率は、添付資料「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における質点系モデルを用いた地震応答解析のうち、EL. 46.5 m～EL. 63.65 m の質点（質点番号(1)～(3)）の最大応答加速度により算出する。地震波による影響は基本ケースでの S_d-D1 による最大応答加速度に対する、その他の弾性設計用地震動 S_d による最大応答加速度の比、地盤のばらつきによる影響は基本ケースに対するばらつきケースの比により算出する。

算出した応答補正比率を表 3-4 に示す。

表 3-4 応答補正比率

	NS 方向	EW 方向	備 考
① 地震波による影響	1.12	1.11	S_d-31 / S_d-D1
② ばらつきによる影響	1.06	1.06	地盤+ σ / 基本ケース S_d-31
①×② 応答補正比率	1.19	1.18	NS 方向は北面及び南面, EW 方向は東面及び西面に考慮する。
S_s 地震時 / S_d 地震時	1.75	1.86	S_s-31 / S_d-31 NS 方向は北面及び南面, EW 方向は東面及び西面に考慮する。

3.6.3 断面の評価部位の選定

応答補正比率を考慮し算出した S_d 地震時の面外慣性力によって生じる面外応力の一覧を表3-5に示す。

表3-5より面外慣性力によって生じる面外応力は南面（R通り）の7C-8C通り間の壁で最大となる。

表 3-5 発生面外応力

位置		スパン (mm)	震度	面外慣性力 (kN/m)	発生値	
					曲げモーメント (kN・m)	面外せん断力 (kN)
北面	2C-3C	6750	1.48	10.6	40.4	35.9
	3C-4C	5600	1.59	11.4	29.9	32.0
	4C-5C	4250	1.53	11.0	16.6	23.5
	5C-6C	4250	1.52	11.0	16.5	23.3
	6C-7C	5300	1.61	11.6	27.2	30.8
	7C-8C	7050	1.49	10.7	44.3	37.7
南面	2C-3C	6750	1.51	10.9	41.4	36.8
	3C-4C	5600	1.51	10.9	28.5	30.5
	4C-5C	4250	1.60	11.5	17.4	24.5
	5C-6C	4250	1.60	11.5	17.4	24.5
	6C-7C	5300	1.71	12.3	28.8	32.6
	7C-8C	7300	1.61	11.6	51.4	42.2
東面	K-L	6200	1.48	10.7	34.1	33.0
	L-M	5850	1.56	11.2	31.9	32.8
	M-N	5850	1.50	10.8	30.7	31.5
	N-P	5850	1.45	10.4	29.7	30.5
	P-Q	6200	1.78	12.8	41.0	39.6
	Q-R	5850	1.78	12.8	36.5	37.4
西面	K-L	6200	1.18	8.49	27.2	26.3
	L-M	5850	1.43	10.3	29.4	30.2
	M-N	5850	1.48	10.7	30.4	31.2
	N-P	5850	1.59	11.5	32.7	33.6
	P-Q	6200	1.70	12.3	39.3	38.0
	Q-R	5850	1.57	11.3	32.3	33.1

注 : は最大値を示す。

3.6.4 断面算定方法

「RC-N規準」に基づき、曲げモーメント及びせん断力が、短期許容応力度に基づく許容値を超えないことを確認する。

曲げモーメントについては、評価対象部位に生じる曲げモーメント M が次式で算出する短期許容曲げモーメント M_A を超えないことを確認する。

$$M_A = a_t \cdot f_t \cdot j$$

ここで、

- M_A : 短期許容曲げモーメント (N・mm)
- a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)
- f_t : 引張鉄筋の短期許容引張応力度 (N/mm²)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)

面外せん断力については、面外せん断力 Q が次式で算出する許容面外せん断力 Q_A を超えないことを確認する。

$$Q_A = b \cdot j \cdot \alpha \cdot f_s$$

ここで、

- Q_A : 許容面外せん断力 (N)
- b : 断面の幅 (mm)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの 7/8 倍の値 (mm)
- α : 許容せん断力の割り増し係数 (1.0)
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度

3.6.5 断面算定結果

断面算定結果を表 3-6 に示す。

S_d地震時において、曲げモーメントに対する検定値が 0.540、せん断力に対する検定値が 0.207 となり、短期許容応力度を超えないことを確認した。

S_s地震時において、曲げモーメントに対する検定値が 0.945、せん断力に対する検定値が 0.363 となり、短期許容応力度を超えないことを確認した。

面外慣性力として、最大応答加速度の絶対値を用いていることや応答補正比率を乗じていること、解析モデルとして保守的なモデルを用いていることなど、保守的な検討をしていることも勘案すれば、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、原子炉建屋の壁が有する耐震性への影響はない。

表 3-6 断面算定結果

検討ケース	S _d 地震時	S _s 地震時
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)	300 × 1000	
有効せい d (mm)	220	
配筋	D19@200 (1433 mm ²)	
鉄筋の許容引張応力度 f _t (N/mm ²)	345	
コンクリートの許容せん断応力度 f _s (N/mm ²)	1.06	
発生曲げモーメント M (kN・m)	51.4	89.9
許容値 M _A (kN・m)	95.2	95.2
検定値 M/M _A	0.540	0.945
発生せん断力 Q (kN)	42.2	73.9
許容値 Q _A (kN)	204	204
検定値 Q/Q _A	0.207	0.363
判定	可	可

3.7 検討のまとめ

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁に対し、面外慣性力の影響について検討を行った。

3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施し、壁の面外方向の最大応答加速度分布を確認した結果、面外にはらむような加速度分布となっており、面外慣性力が発生していることを確認したが、水平1方向入力による最大応答加速度分布に対し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる最大応答加速度分布は概ね同傾向であることを確認した。この結果は壁の面外応答に与える影響は、面外方向の地震動が支配的であり、水平直交方向及び鉛直方向地震動は面外応答に与える影響が小さい事を示している。

面外慣性力が発生していることから、原子炉建屋の壁を部分的に抽出し、保守的な静的モデルに置き換えて、面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行った。その結果、 S_d 地震時及び S_s 地震時における応力が、短期許容応力を超えないことを確認した。面外慣性力として、最大応答加速度の絶対値を用いていることや応答補正比率を乗じていること、解析モデルとして保守的なモデルを用いていることも踏まえると、面外慣性力により原子炉建屋の壁が有する耐震性への影響はない。

以上のことから、複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行う部位として抽出しない。

4. 局所応答による影響検討

応答特性②-1 及び②-2 により抽出されなかった耐震評価部位全般に対して、局所的な応答について、弾性設計用地震動 S_d-D1 及び模擬地震波を用いて、3次元FEMモデルによる精査を行った。

精査に当たっては、3次元FEMモデルで構築した原子炉建屋の地震応答解析モデルを用いて、水平2方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し評価することで行った。精査の内容は、別紙3「3次元FEMモデルによる地震応答解析」に示す。

3次元FEMモデルを用いた精査の結果、原子炉建屋が有する耐震性への影響が小さいことから、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が必要な部位は抽出されなかった。

したがって、水平2方向及び鉛直方向地震力を適切に算定するにあたっては、質点系モデルの地震応答解析結果を用いることで、簡易的かつ保守的に評価を行うことが可能であることを確認した。

5. 3次元FEMモデルを用いた精査のまとめ

3次元的な応答特性が想定される部位について、3次元FEMモデルにより精査を行った。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位として、原子炉建屋の壁（燃料取替フロア）について、精査を行った。

応答特性②-2「加振方向遺骸の方向に励起される振動の影響が大きい」部位として、ねじれ応答の影響が懸念される非常用ガス処理系配管支持架構の梁及び壁（鉄骨ブレース）について、精査を行った。

3次元FEMモデルを用いた精査の結果、いずれの評価対象部位においても、有している耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が必要な部位は抽出されなかった。

更に、建屋評価部位全般に対し、局所的な応答について、原子炉建屋を対象として、3次元モデルより、水平2方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し検討することで精査を行った。精査の結果、有している耐震性への影響が小さいと判断できることから、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が必要な部位は抽出されなかった。

以上のことから、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位については、有する耐震性への影響が小さいと判断できることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価を行う部位として抽出しない。

補 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討についての補足

1. 概要

本資料では、別紙 2「3. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討」で行った原子炉建屋の壁の面外慣性力に対する検討で記載した評価位置の壁に生じる鉛直方向の加速度を示すものである。

2. 鉛直方向加速度分布

3次元FEMモデルを用いた、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析による鉛直方向入力における鉛直方向の最大応答加速度分布を図 2-1 に示す。

図 2-1 に示すように、鉛直方向加速度は壁の面内方向であり、面内での局所的な増幅はなく、別紙 2「3. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討」において、面外慣性力に対する影響検討において、局所的な鉛直方向の増幅を考慮しない。

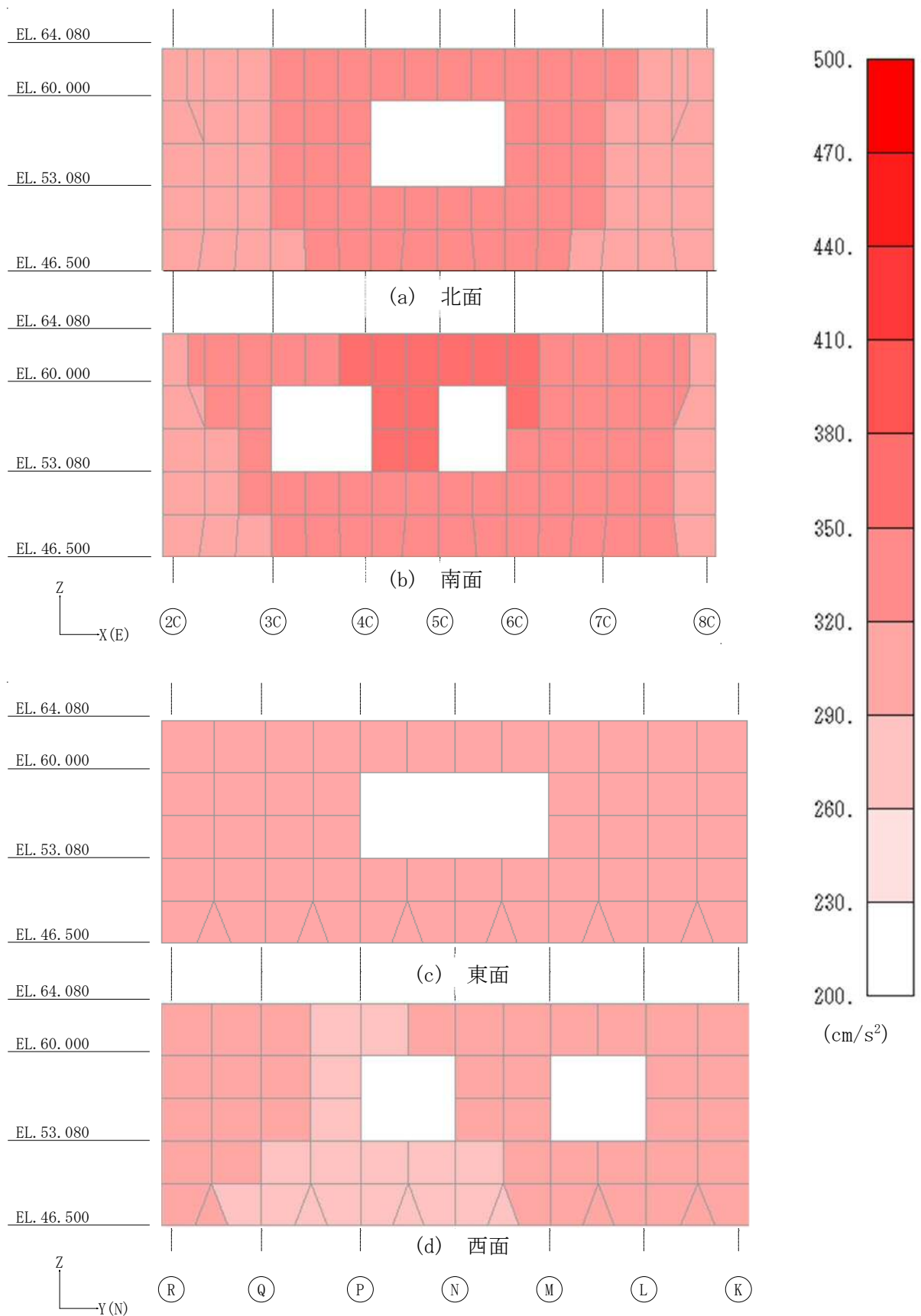


図 2-1 鉛直方向入力における鉛直方向の最大応答加速度分布

別紙3 3次元FEMモデルによる地震応答解析

目次

1. 検討概要.....	別紙 3-1
1.1 構造概要.....	別紙 3-1
1.2 3次元FEMモデルによる耐震性評価の方針.....	別紙 3-5
2. 3次元FEMモデルの構築.....	別紙 3-7
2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル.....	別紙 3-7
2.1.1 モデル化の基本方針.....	別紙 3-7
2.1.2 荷重.....	別紙 3-15
2.1.3 建屋-地盤の相互作用.....	別紙 3-15
2.2 固有値解析.....	別紙 3-18
2.3 観測記録を用いた検討.....	別紙 3-21
2.3.1 観測記録を用いた検討の概要.....	別紙 3-21
2.3.2 観測記録による解析結果.....	別紙 3-28
2.3.3 観測記録と解析結果の比較及び考察.....	別紙 3-28
2.3.4 結論.....	別紙 3-29
3. 3次元FEMモデルによる評価.....	別紙 3-36
3.1 地震応答解析の概要.....	別紙 3-36
3.2 建屋応答性状の把握.....	別紙 3-41
3.3 建屋耐震評価への影響検討.....	別紙 3-62
3.4 床応答への影響検討.....	別紙 3-95
3.5 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響検討.....	別紙 3-100
3.5.1 検討概要.....	別紙 3-100
3.5.2 評価方針.....	別紙 3-100
3.5.3 評価結果.....	別紙 3-105
3.5.4 入力地震動の代表性について.....	別紙 3-108
4. まとめ.....	別紙 3-110
補 1 観測記録とシミュレーション解析の床応答スペクトル (h=1%) の比較	
補 2 実剛性を用いたシミュレーション解析結果	
補 3 3次元FEMモデルによるシミュレーション解析結果	
補 4 検討に用いる地震動の代表性について	
補 5 3次元FEMモデルによるSd-D1の地震応答解析結果	
補 6 3次元FEMモデルによる応答結果の整理	
補 7 機器設置位置付近における応答	

1. 検討概要

建屋の3次元応答性状の把握及び質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認の観点から、原子炉建屋について3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、建屋の局所的な応答を検討する。また、3次元FEMモデルによる挙動が、建屋及び機器・配管系の有する耐震性に及ぼす影響を検討する。

1.1 構造概要

原子炉建屋は、主体構造が鉄筋コンクリート造で鉄骨造陸屋根をもつ地下2階、地上6階の建物である。中央部には、平面が南北方向45.5m、東西方向42.5mの原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）があり、その周囲には原子炉建屋付属棟（以下「付属棟」という。）を配置している。

原子炉棟と付属棟は、同一基礎版上に配置した一体構造であり、原子炉建屋の平面は、下部で南北方向68.5m、東西方向68.25mのほぼ正方形となっている。基礎底面からの高さは73.08mであり、地上高さは56.08mである。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離されている。

原子炉建屋の基礎は、厚さ5.0mのべた基礎で、支持地盤である砂質泥岩上に人工岩盤を介して設置されている。

原子炉棟の中央部には原子炉圧力容器を収容している原子炉格納容器があり、その周囲の壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）は上部が円錐台形、下部は円筒形で基礎版から立ち上がっている。シェル壁（S/W）の壁厚は上部で1.9m、下部で1.8mである。

原子炉棟の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）は基礎版から屋根面まで連続しており、壁厚は地下部分で1.5m、地上部分では1.5m～0.3mである。また、付属棟の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）の壁厚は地下部分で1.5m、地上部分では1.5m～0.9mである。建屋は全体として非常に剛性が高く、建屋に加わる地震時の水平力はすべてこれらの耐震壁で負担する。

なお、燃料取替床（EL. 46.5m）には使用済燃料プールが設置されている。

原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図1-1及び図1-2に示す。

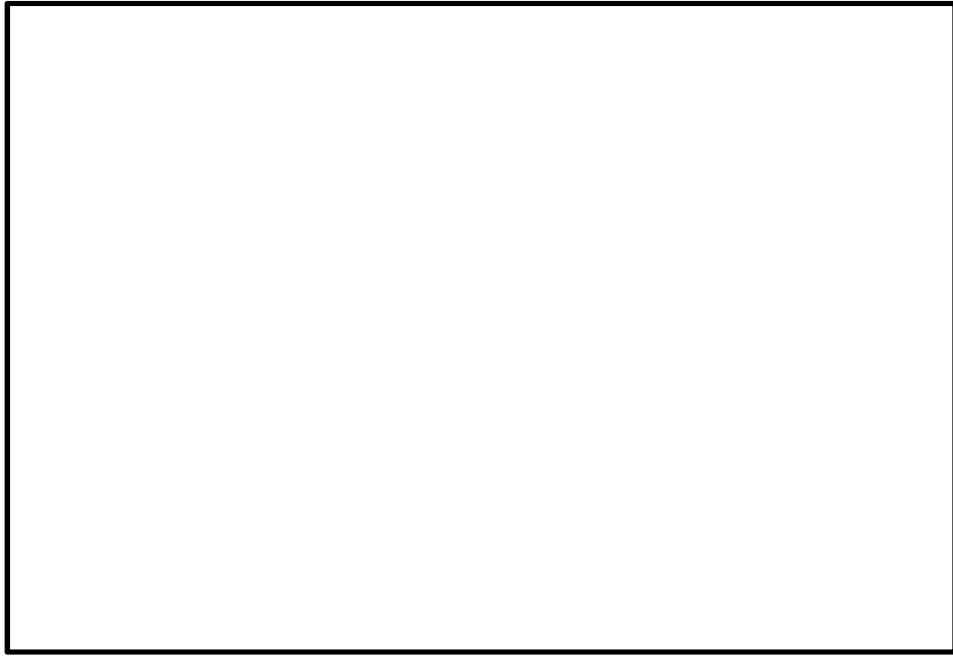


図 1-1 (1/2) の概略平面図 (EL. 46.5 m)

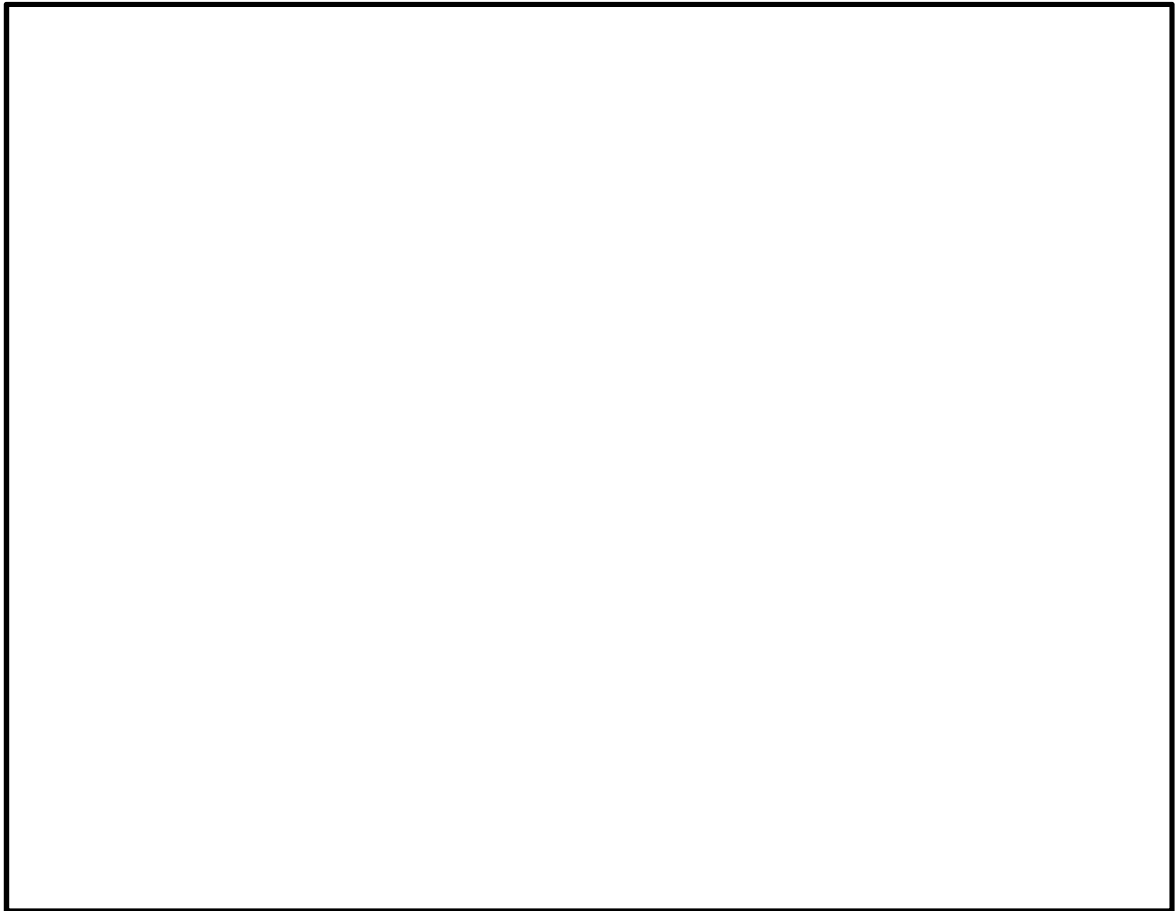


図 1-1 (2/2) の概略平面図 (EL. -4.0 m)

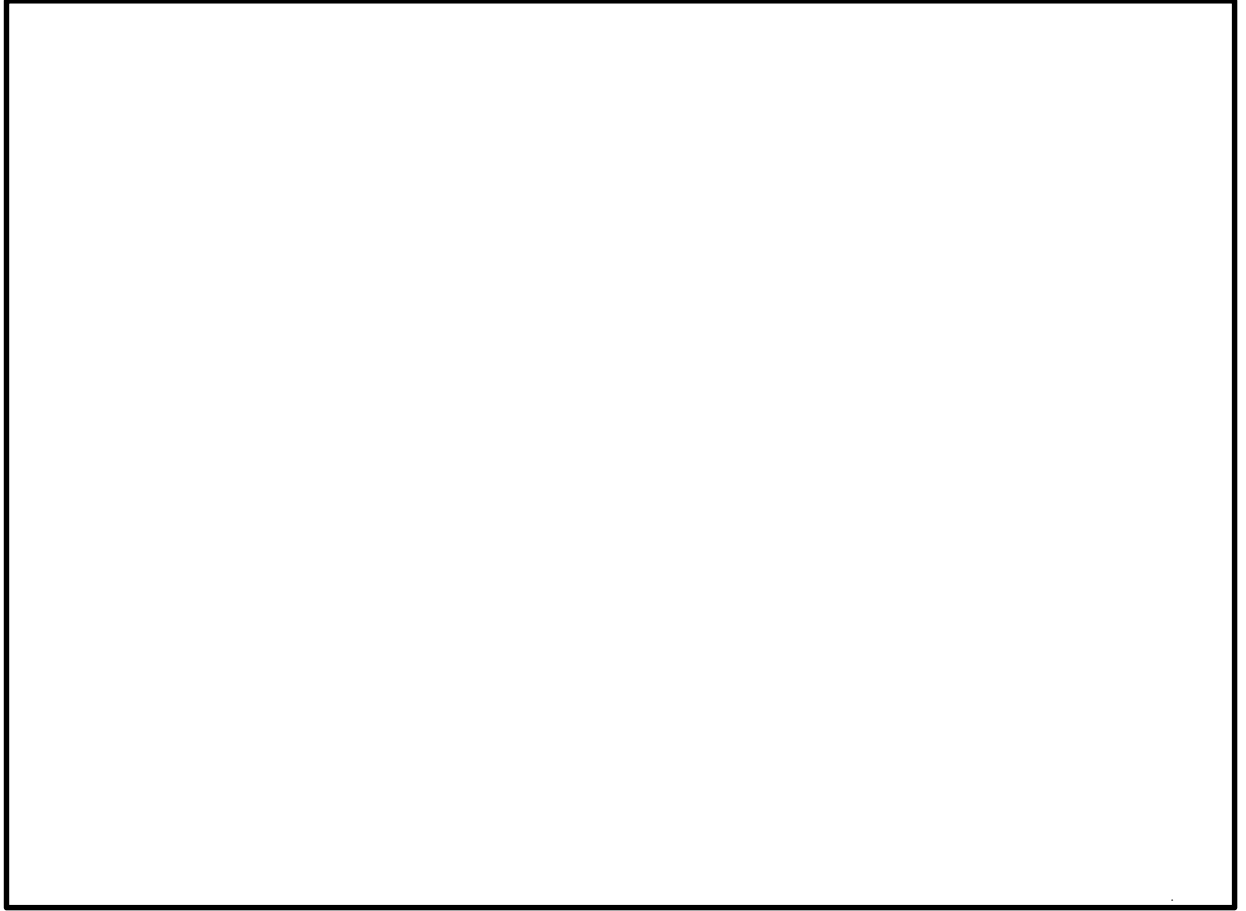


図 1-2 (1/2) 原子炉建屋の概略断面図 (A-A 断面 EW 方向)

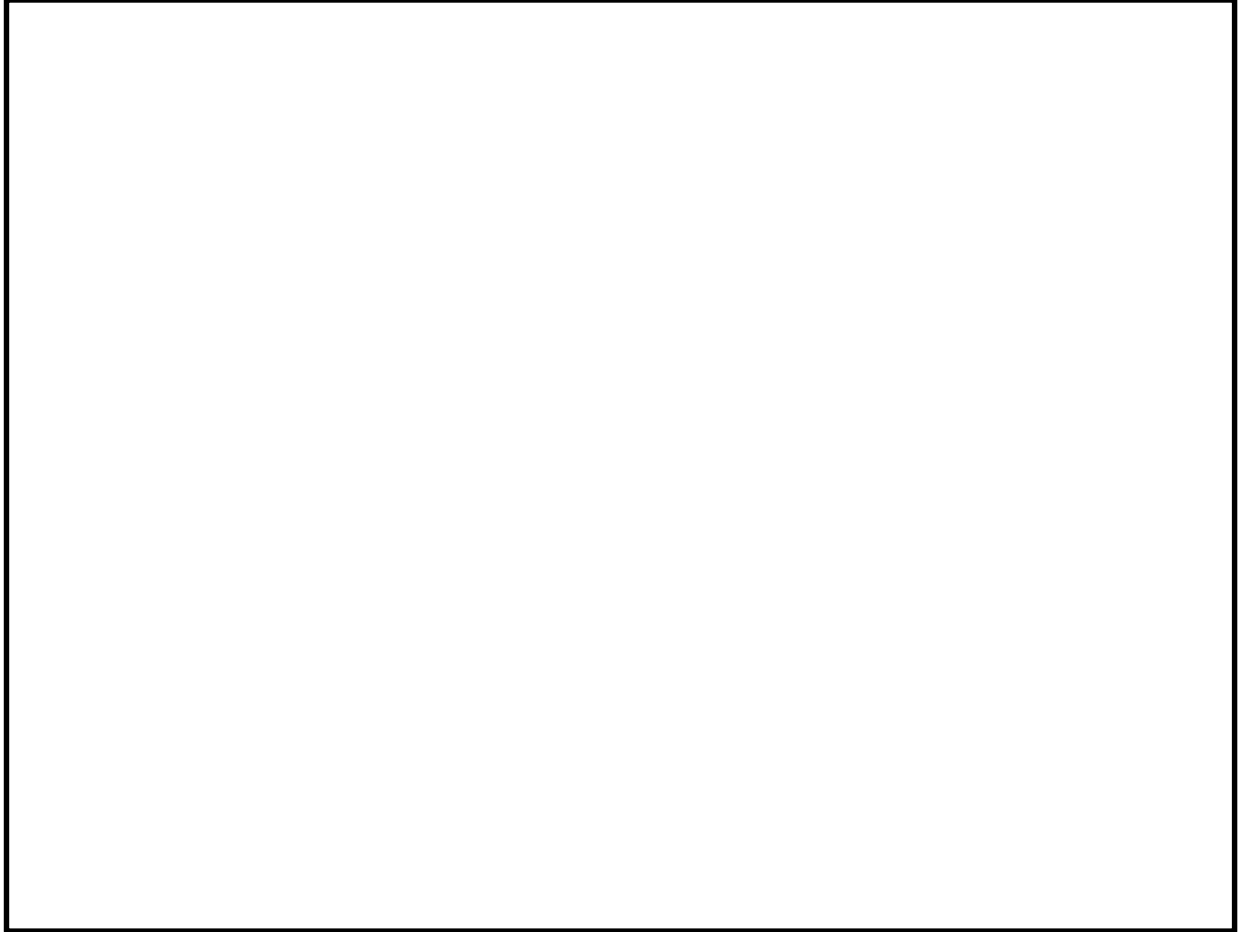


図 1-2 (2/2) 原子炉建屋の概略断面図 (B-B 断面 NS 方向)

1.2 3次元FEMモデルによる耐震性評価の方針

原子炉建屋について3次元FEMモデルを構築し、固有値解析や観測記録を用いた解析結果から、同モデルの妥当性を確認する。その上で、3次元的な応答特性を把握する。また、弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析を行い、建屋の平均的な応答や局所的な応答を把握する。更に、3次元的な応答特性から建屋及び機器・配管系の耐震評価への影響を確認する。

解析モデルのケースを表1-1に示す。解析モデルのケースは、床の柔性、地盤のモデル化を変動要因とする以下の3ケースとした。

表 1-1 解析モデルのケース

モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	設計基準強度
比較用モデル	床柔	底面鉛直方向固定	設計基準強度
質点系対応モデル	床剛	相互作用考慮	設計基準強度

建屋模擬モデルは、床の柔性を考慮し、地盤のモデル化に相互作用を考慮することで、建屋の実状を模擬したモデルとしている。

比較用モデルは建屋模擬モデルにおける地盤のモデル化「相互作用考慮」を「底面鉛直方向固定」に変更している。

質点系対応モデルは建屋模擬モデルにおける「床柔」を「床剛」に変更することにより、「床剛、相互作用考慮」の組合せとなり、質点系モデルに対応したモデルとなっている。

これら3ケースについて、固有値解析及び地震応答解析を実施し、その結果を比較することにより、全体的な3次元的な応答特性、ロッキング振動の影響、ねじれの影響及び床の剛性の影響について検討を実施する。

3次元FEMモデルによる耐震性評価フローを図1-3に示す。

解析には解析コード「MSC NASTRAN ver. 2016.1」を用いる。

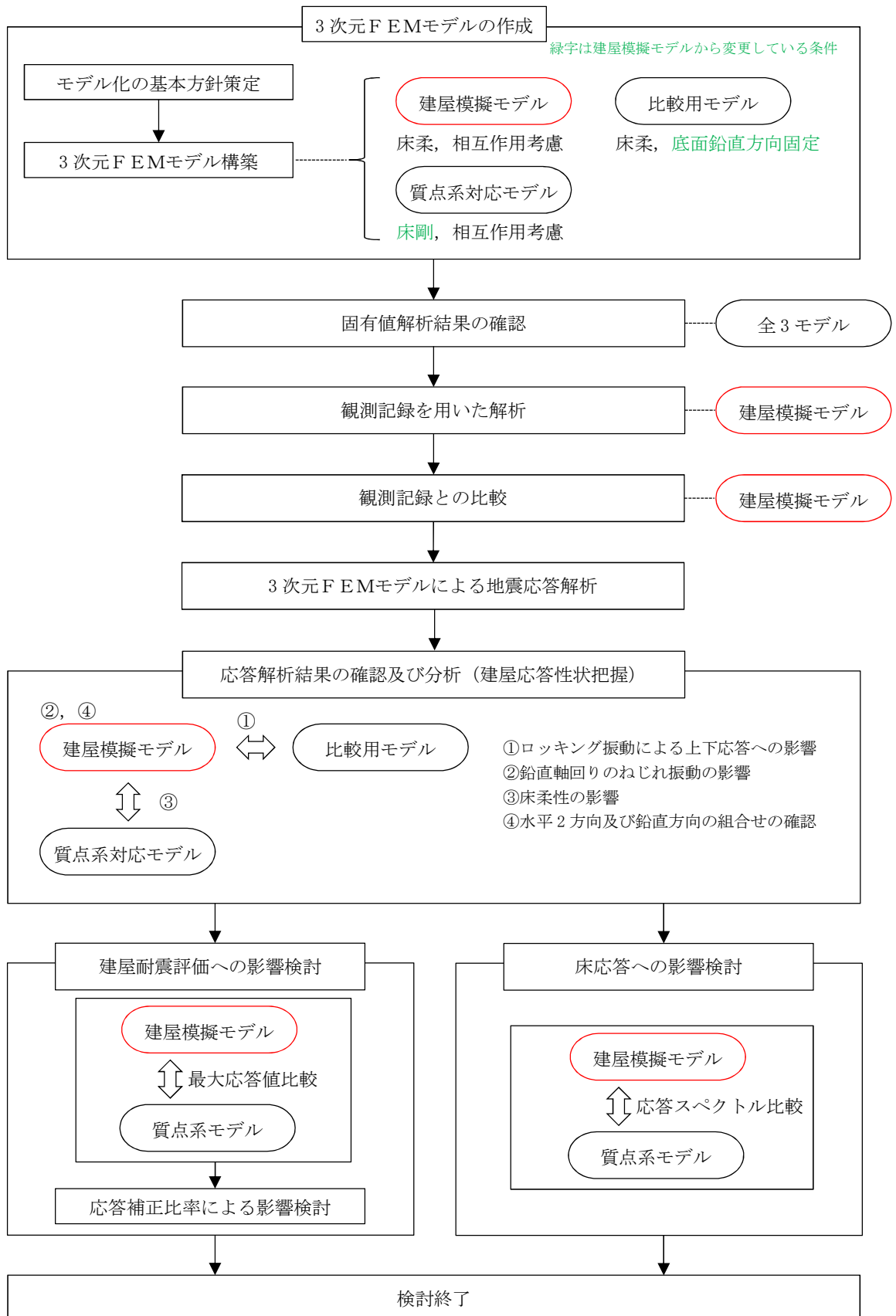


図 1-3 3次元FEMモデルによる耐震性評価フロー

2. 3次元FEMモデルの構築

2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル

2.1.1 モデル化の基本方針

原子炉建屋の3次元FEMモデルを構築する。解析モデルを図2-1に示す。また、各階のモデル図を図2-2に示す。

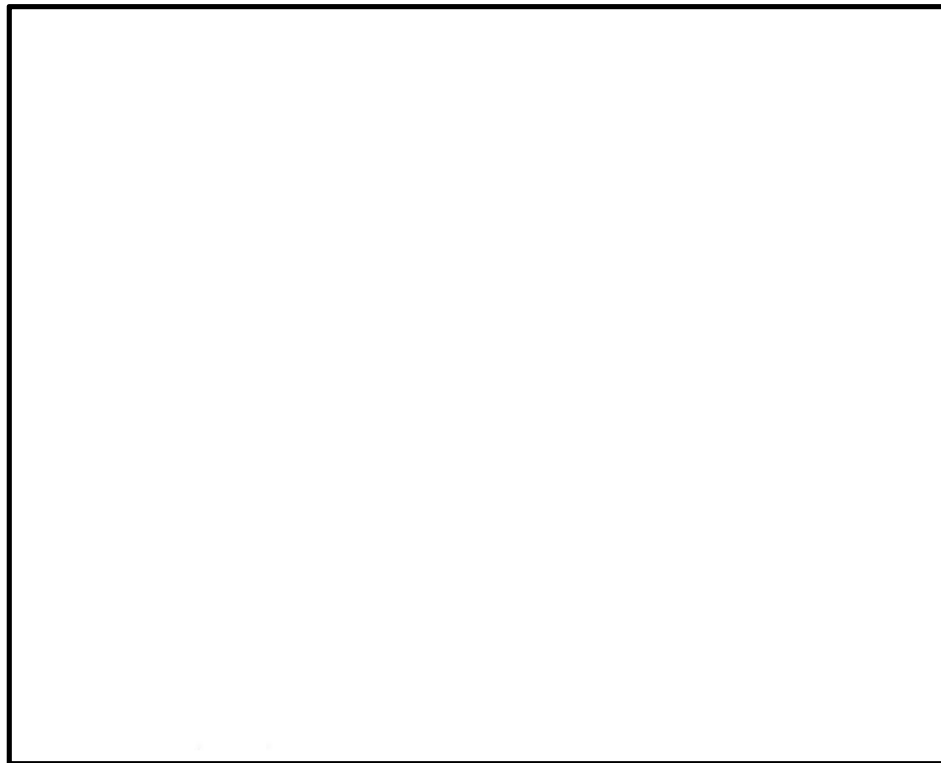
モデル化の範囲は、原子炉棟、付属棟及び基礎とする。

耐震壁、補助壁及び床スラブはシェル要素(約7500要素)、柱及び梁はバー要素(約1500要素)、屋根面の鉄骨ブレースはロッド要素(約50要素)、基礎はソリッド要素(約2800要素)とする。

要素の大きさは、各床スラブレベルと対応する位置に節点を設け、高さ方向及び水平方向に2m～3m程度とする。

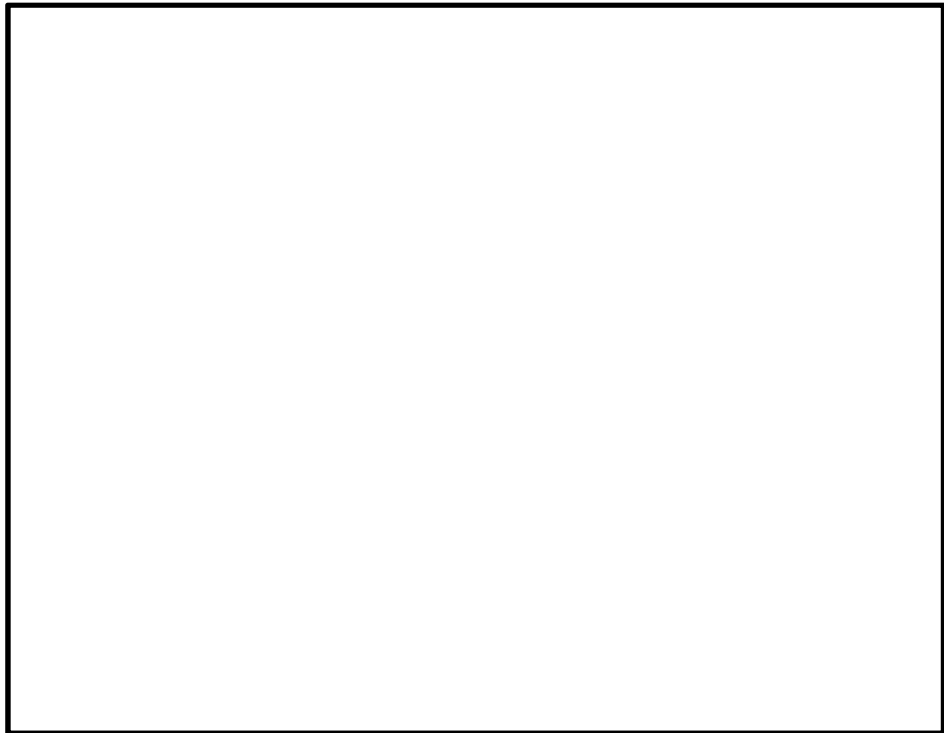
部材の接合部における剛域及びモデル化位置のオフセットの設定は行わない。また、バー要素は柱・梁の壁・床と重複する部分の断面も含めた断面性能としてモデル化している。

使用材料及び地盤の物性値をそれぞれ表2-1及び表2-2に、地盤のひずみ依存性を図2-3～図2-6に示す。コンクリート強度は、設計基準強度を用いるものとする。

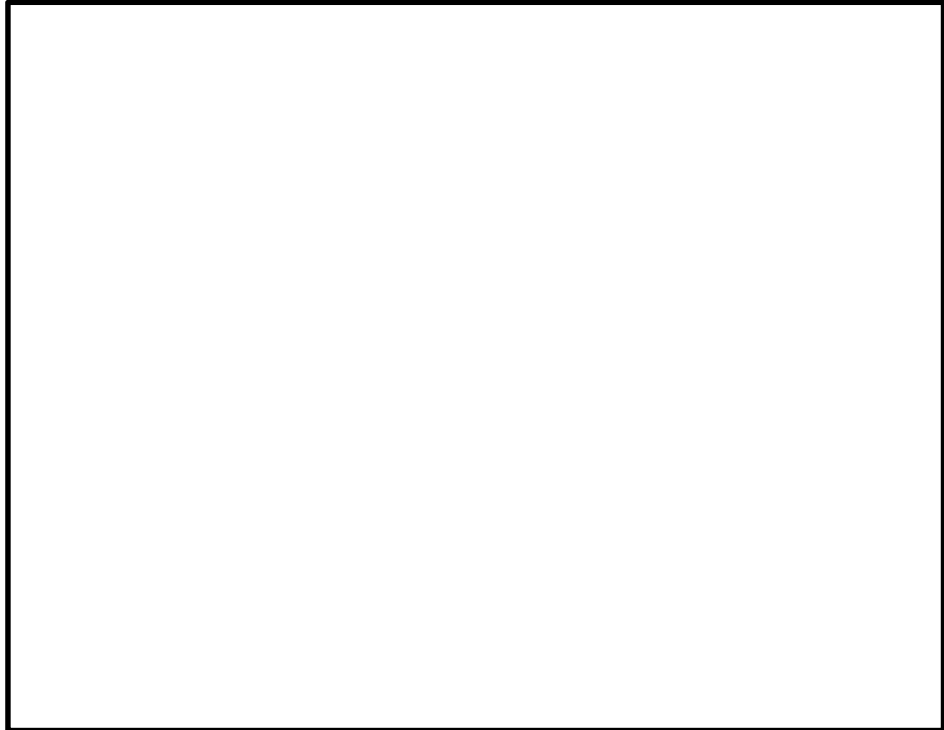


(a) 建屋全景

図2-1 (1/2) 解析モデル

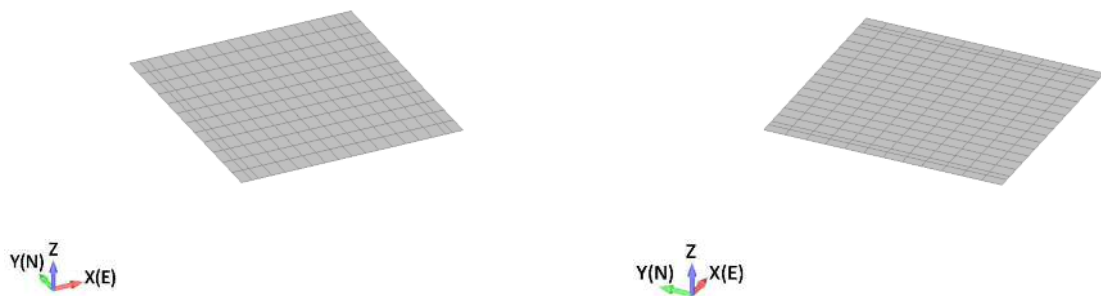


(b) EW 断面図

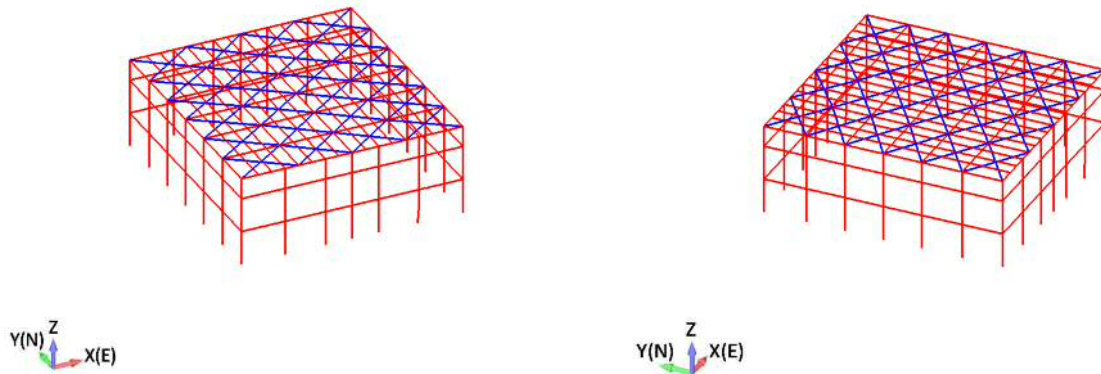


(c) NS 断面図

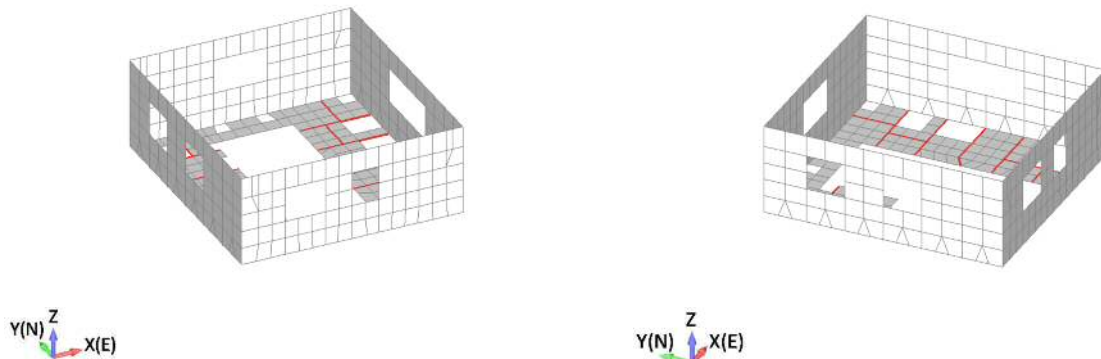
図 2-1 (2/2) 解析モデル



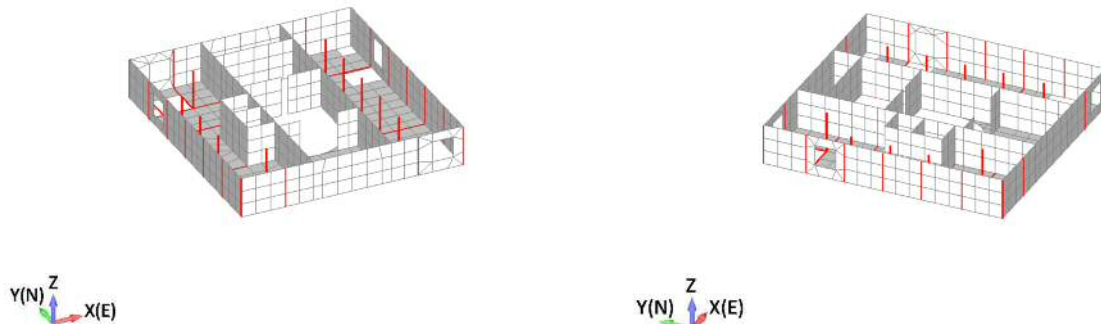
(a) EL. 63.65 m (屋根スラブ)



(b) EL. 46.5 m~EL. 63.65 m (柱, 梁及び屋根トラス)

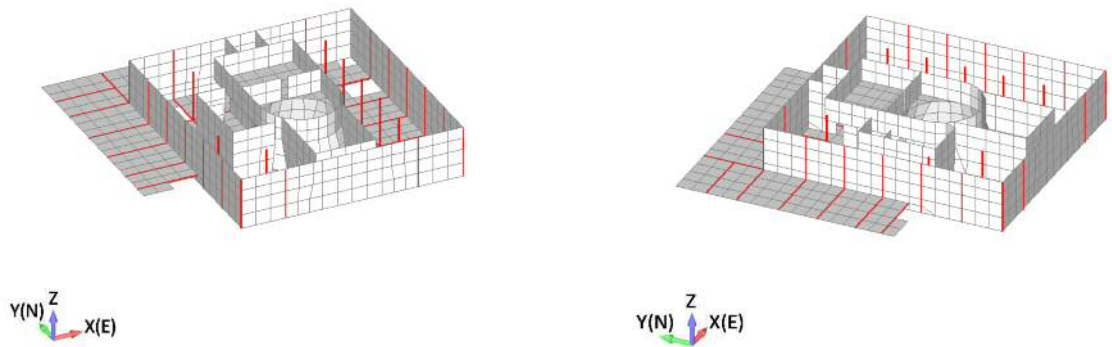


(c) EL. 46.5 m~EL. 63.65 m

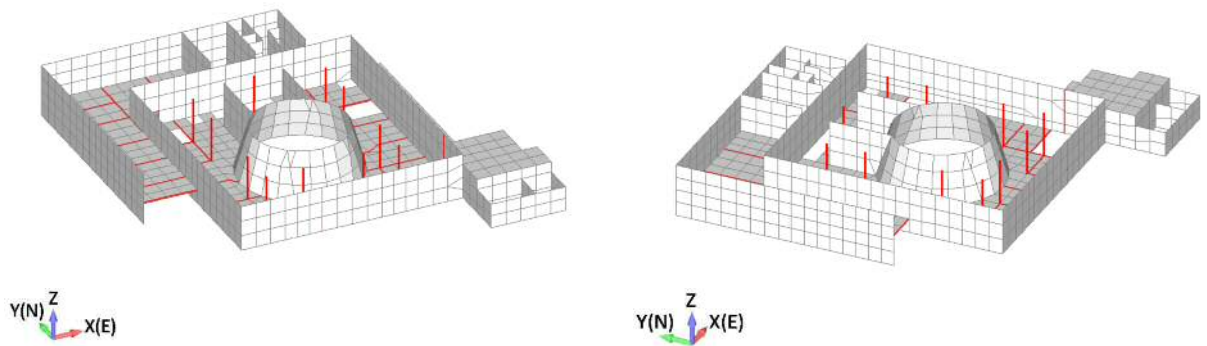


(d) EL. 38.8 m~EL. 46.5 m

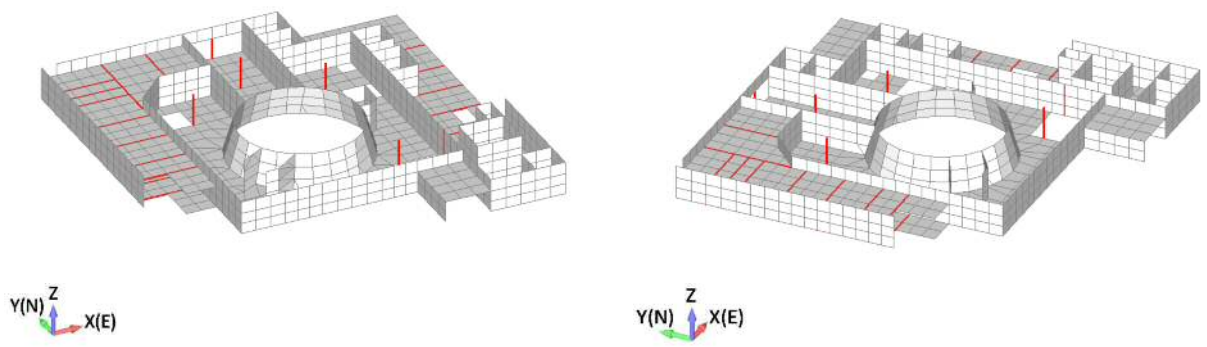
図 2-2 (1/3) 各部材のモデル図



(e) EL. 29.0 m~EL. 38.8 m

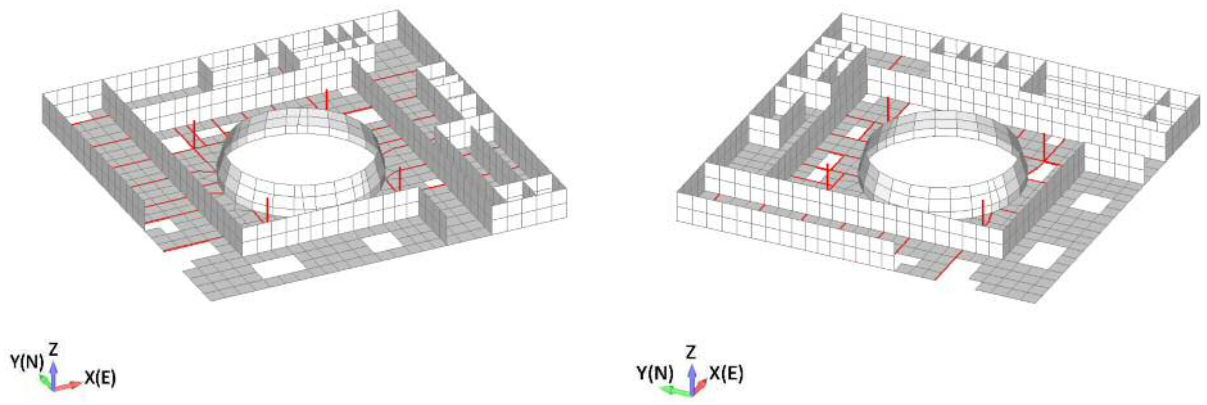


(f) EL. 20.3 m~EL. 29.0 m

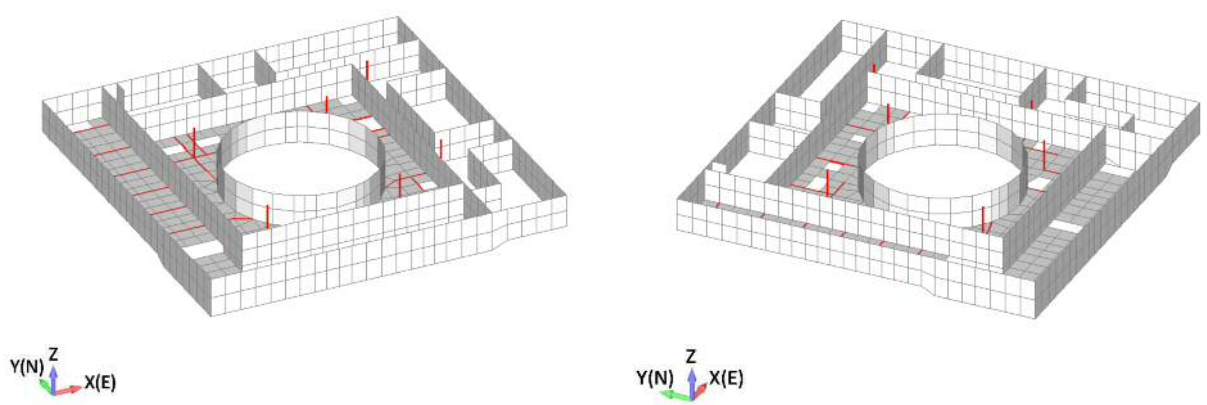


(g) EL. 14.0 m~EL. 20.3 m

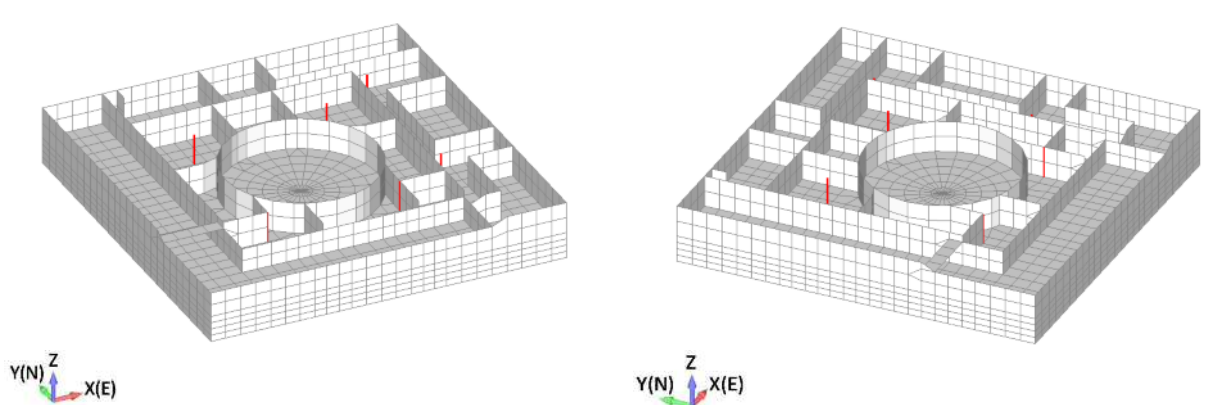
図 2-2 (2/3) 各部材のモデル図



(h) EL. 8.2 m ~ EL. 14.0 m



(i) EL. 2.0 m ~ EL. 8.2 m



(j) EL. -9.0 m ~ EL. 2.0 m

図 2-2 (3/3) 各部材のモデル化

表 2-1 使用材料の物性値

部位	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	2.21×10 ⁴	5
鉄骨部	2.05×10 ⁵	2

表 2-2 地盤の物性値

(a) 地盤物性

標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 ρ t/m ³	S波速度 Vs m/s	ポアソン比 ν
8.0	du*	5.0	1.82	210	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	240	0.286
2.0		4.7	2.01	240	0.491
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	500	0.462
-14.4	Km	5.6	1.72	446	0.461
-20.0		20.0	1.72	456	0.460
-40.0		20.0	1.73	472	0.458
-60.0		30.0	1.73	491	0.455
-90.0		30.0	1.73	514	0.452
-120.0		30.0	1.73	537	0.449
-150.0		40.0	1.74	564	0.445
-190.0		40.0	1.74	595	0.441
-230.0		40.0	1.75	626	0.437
-270.0		50.0	1.75	660	0.433
-320.0		50.0	1.76	699	0.427
-370.0		解放基盤	—	1.76	718

注記 * : 地下水位より浅いことを示す。

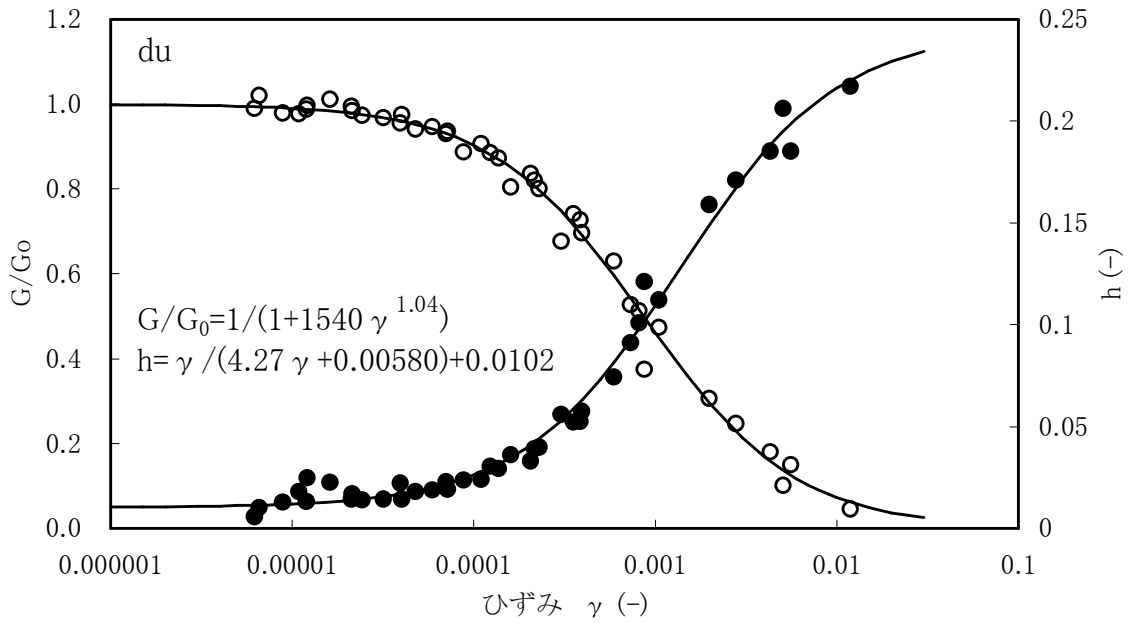


図 2-3 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (du 層)

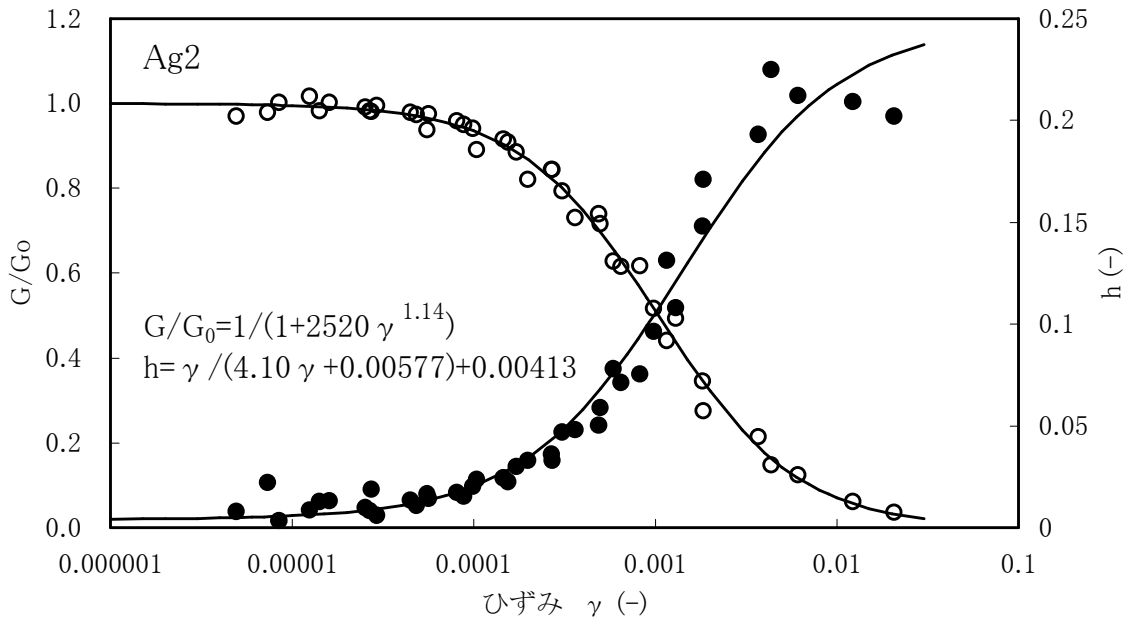


図 2-4 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Ag2 層)

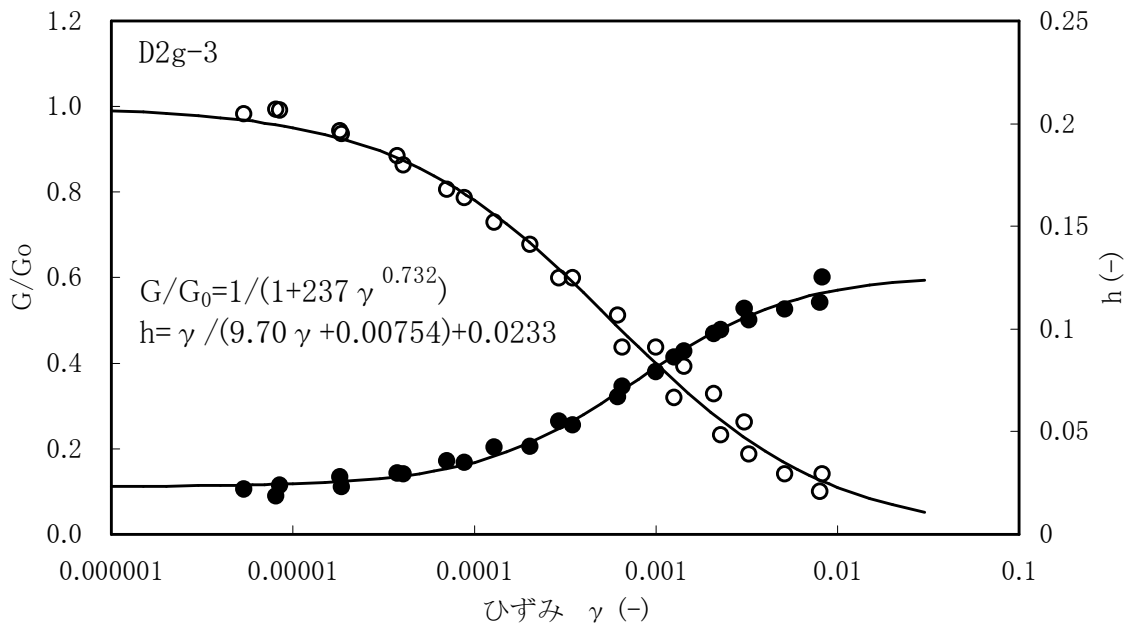


図 2-5 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (D2g-3層)

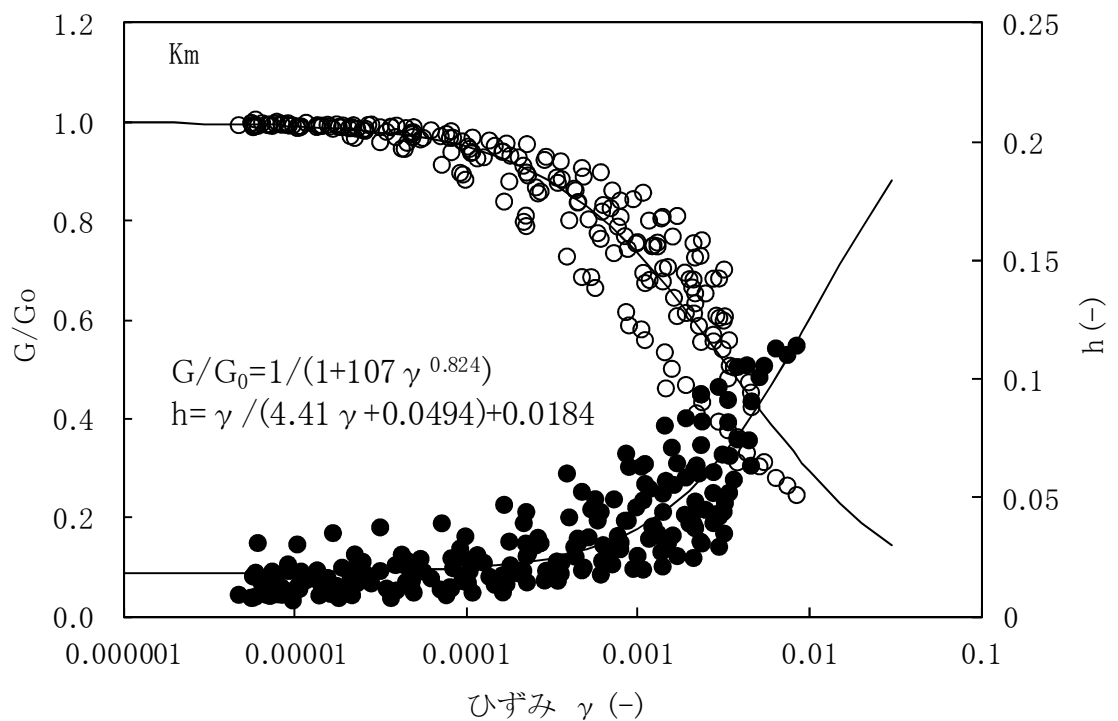


図 2-6 動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性 (Km層)

2.1.2 荷重

固定荷重，積載荷重，積雪荷重及び機器・配管荷重を考慮する。各部について，質点系モデルの質量と整合するよう質量を調整する。

このうち，炉内構造物については，質点系モデルで質量として考慮しており，建屋の 3 次元 FEM モデルについても質量として考慮する。

2.1.3 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は，添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの S_d-D1 での基礎底面地盤ばね及び側面地盤ばねと整合するよう，地盤をばね要素でモデル化することで考慮する。

基礎底面地盤ばねについては，質点系モデルで考慮したスウェイ，ロッキング及び鉛直ばねの値を元に，3 次元 FEM モデルの基礎底面の各節点位置に要素面積に応じて離散化する。ただし，鉛直ばねのうち，水平方向加振用は，基礎底面ロッキングばねを元に NS 方向と EW 方向の平均値として設定する。

基礎側面の地盤ばねについては，質点系モデルで考慮している側面水平ばねの値を元に，各質点レベルに対応する各節点位置に要素面積に応じて離散化する。

なお，用いるばね値は，質点系モデルにおける S_d-D1 に対する値とする。

各地盤ばね諸元については表 2-3～表 2-5 に，底面地盤ばねと側面地盤ばね設置図について図 2-7 に示す。

表 2-3 底面地盤ばね定数と減衰係数（水平方向）

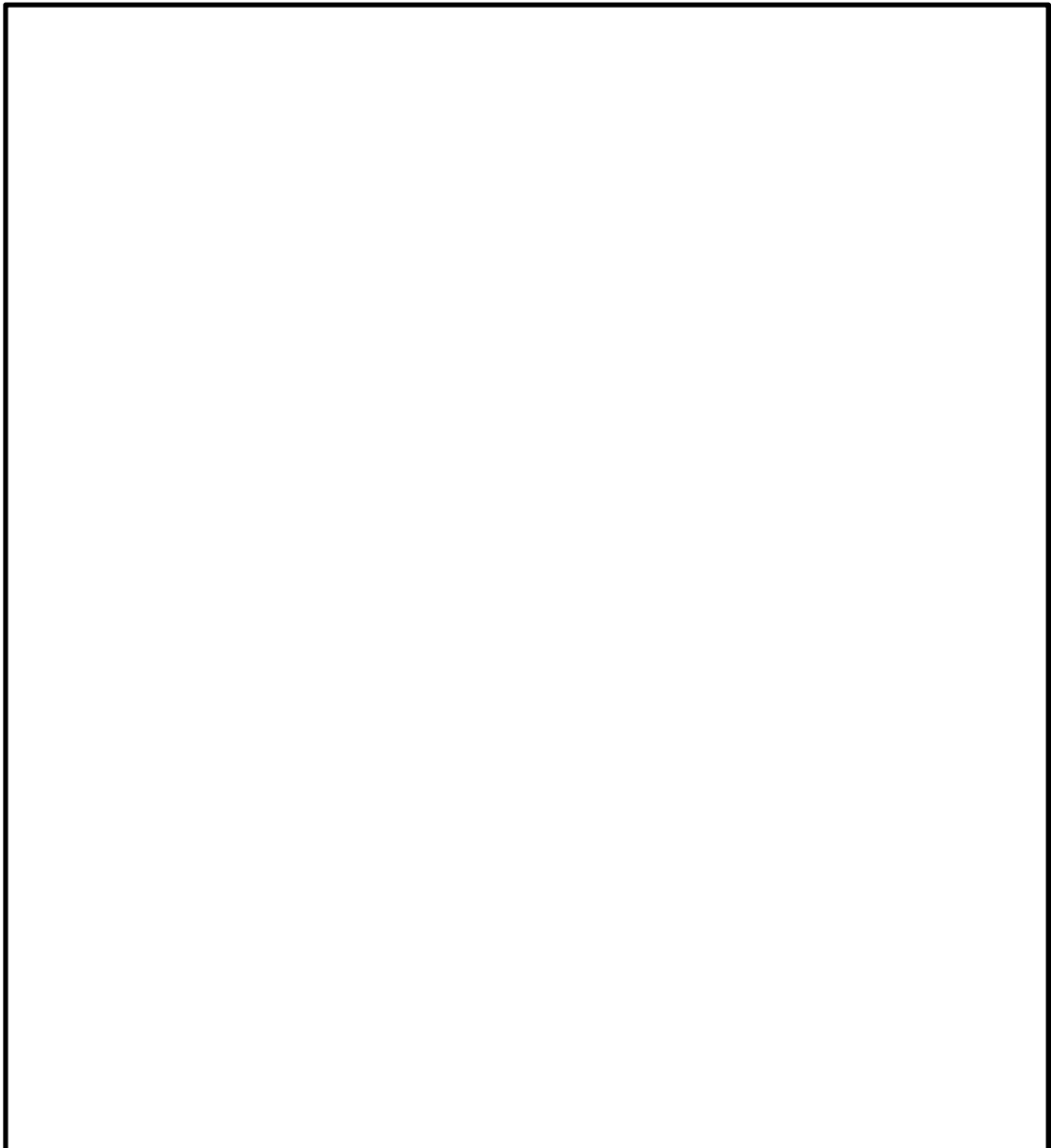
地盤ばね	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平底面ばね	6.95×10^7 kN/m	3.58×10^6 kN・s/m	6.95×10^7 kN/m	3.59×10^6 kN・s/m

表 2-4 底面地盤ばね定数と減衰係数（上下方向）

地盤ばね		UD 方向	
		ばね定数	減衰係数
上下底面ばね	水平方向加振時	2.56×10^8 kN/m	4.20×10^6 kN・s/m
	鉛直方向加振時	1.16×10^8 kN/m	8.50×10^6 kN・s/m

表 2-5 側面地盤ばね定数と減衰係数（水平方向）

地盤ばね	EL. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平側面ばね	8.0	6.67×10^5 kN/m	3.01×10^5 kN・s/m	6.67×10^5 kN/m	3.03×10^5 kN・s/m
	2.0	1.76×10^6 kN/m	6.71×10^5 kN・s/m	1.76×10^6 kN/m	6.67×10^5 kN・s/m
	-4.0	8.58×10^6 kN/m	9.76×10^5 kN・s/m	8.58×10^6 kN/m	9.76×10^5 kN・s/m
	-9.0	2.18×10^7 kN/m	9.56×10^5 kN・s/m	2.18×10^7 kN/m	9.56×10^5 kN・s/m



青 : 底面地盤ばね
ピンク : 側面地盤ばね
注1 : 底面地盤ばねは3方向軸ばねとする。
注2 : 側面地盤ばねは法線方向軸ばねとする。

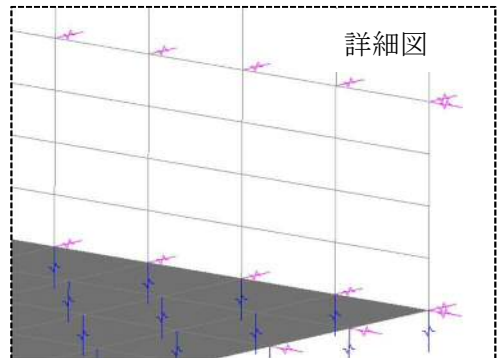


図 2-7 地盤ばねの設置図

2.2 固有値解析

建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮），比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定），質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の3つの解析モデルケースについて，固有値解析を実施した。

各モデルの建屋－地盤連成の1次モードにおける固有振動数を表2-6に示す。モード図を表2-7に示す。なお，質点系モデルの固有値解析結果は， S_d-D1 に対する結果とする。

建屋模擬モデルと比較用モデルとでは，モデル設定において，鉛直方向の建屋－地盤相互作用の考慮の有無に差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，建屋－地盤相互作用を考慮した建屋模擬モデルの方が，比較用モデルよりも固有振動数が小さくなる傾向である。

建屋模擬モデルと質点系対応モデルとでは，モデル設定において，床を柔とするか剛とするかに差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，床を剛とした質点系対応モデルの方が建屋模擬モデルよりも固有振動数が大きくなる傾向である。

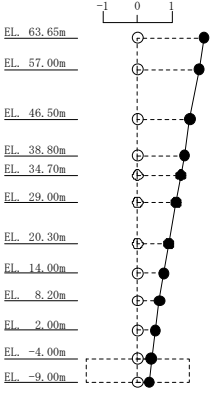

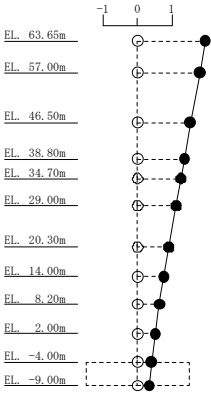
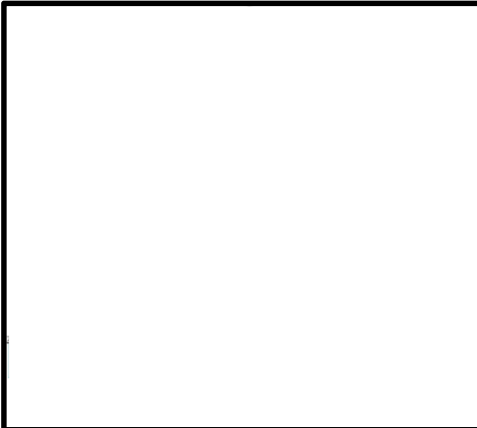
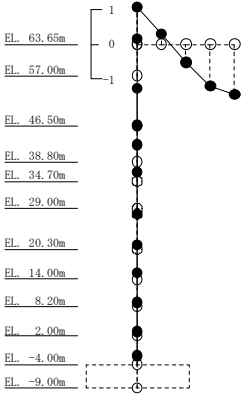

質点系対応モデルと質点系モデルとでは，補助壁のモデル化に差異がある。質点系対応モデルでは，補助壁をモデル化しているが，質点系モデルではモデル化していない。両モデルの固有値解析結果を比較すると，補助壁をモデル化した質点系対応モデルで剛性が質点系モデルより大きくなり，固有振動数も大きくなる傾向が見られる。

上記のモデル設定の差と固有値解析結果で得られた固有振動数の関係については，工学的に類推される結果と対応しており，各モデルの設定は妥当なものと考えられる。

表 2-6 固有値解析結果

方向	振動数 (Hz)			
	建屋模擬 モデル	比較用 モデル	質点系対応 モデル	質点系 モデル
NS	2.45	3.08	2.63	2.54
EW	2.38	2.95	2.60	2.53
UD	3.72	9.04	3.81	3.78

表 2-7 質点系モデル及び3次元FEMモデルのモード比較

方向	質点系	建屋模擬モデル
NS	<p>1次モード 固有周期 : 0.394 (s) 固有振動数 : 2.54 (Hz) 刺激係数 : 1.936</p>  <p>2.54 Hz</p>	 <p>2.45 Hz</p>
EW	<p>1次モード 固有周期 : 0.396 (s) 固有振動数 : 2.53 (Hz) 刺激係数 : 1.962</p>  <p>2.53 Hz</p>	 <p>2.38 Hz</p>
UD	<p>2次モード 固有周期 : 0.265 (s) 固有振動数 : 3.78 (Hz) 刺激係数 : 1.465</p>  <p>3.78 Hz</p>	 <p>3.72 Hz</p>

2.3 観測記録を用いた検討

2.3.1 観測記録を用いた検討の概要

2011年東北地方太平洋沖地震に対して、3次元FEMモデルを用いて解析を実施する。解析には前述の建屋模擬モデルを用いる。観測記録を用いた検討に用いる使用材料の物性値及び地盤ばねの物性値を表2-8～表2-11に示す。

解析に用いる地震の諸元を図2-9に、地震計位置を図2-10に示す。また、観測記録を元に作成された、解放基盤表面レベル(EL. -370 m)で定義される解放基盤波を図2-11に、解放基盤波を用いて算出した地盤の最大加速度分布と観測記録の比較を図2-12に示す。

観測記録を用いた解析は、はじめに、3次元FEMモデルに地盤ばねを介してホワイトノイズを入力し、周波数応答解析により、基礎底面レベル(EL. -9.0 m)に対する各節点の伝達関数を算定する。次に、次元波動論に基づき、解放基盤波を用いて算出した基礎底面レベルでの地盤の応答波と周波数応答解析より得られた伝達関数を用いて各節点での応答を評価する。また、3方向同時入力による応答は、水平2方向及び鉛直方向の1方向入力による地震応答解析で算出された各成分の応答を、時刻歴で足し合わせることで算出する。応答の算出方法の概要を図2-8に示す。

検討は、地震計を設置しているEL. 46.5 m, EL. 29.0 m, EL. 14.0 m及びEL. -4.0 mの位置での応答解析結果と観測記録とを比較することにより行う。なお、観測記録を用いた解析は、鉄筋コンクリート部の減衰定数を5%、鉄骨部の減衰定数を2%として行う。

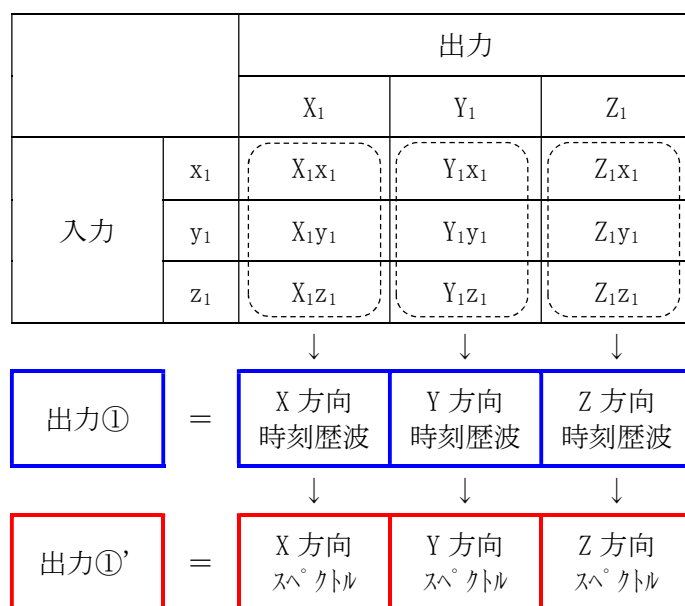


図2-8 3方向同時入力による応答の算出方法

表 2-8 使用材料の物性値

部位	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	2.21×10^4	5
鉄骨部	2.05×10^5	2

表 2-9 底面地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

地盤ばね	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平底面ばね	6.95×10^7 kN/m	3.58×10^6 kN・s/m	6.95×10^7 kN/m	3.59×10^6 kN・s/m

表 2-10 底面地盤ばね定数と減衰係数 (鉛直方向)

地盤ばね		UD 方向	
		ばね定数	減衰係数
上下底面ばね	水平方向加振時	2.55×10^8 kN/m	4.18×10^6 kN・s/m
	鉛直方向加振時	1.16×10^8 kN/m	8.49×10^6 kN・s/m

表 2-11 側面地盤ばね定数と減衰係数 (水平方向)

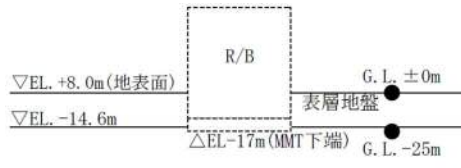
地盤ばね	EL. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数	減衰係数	ばね定数	減衰係数
水平側面ばね	8.0	6.28×10^5 kN/m	2.74×10^5 kN・s/m	6.28×10^5 kN/m	2.74×10^5 kN・s/m
	2.0	1.59×10^6 kN/m	5.98×10^5 kN・s/m	1.59×10^6 kN/m	6.03×10^5 kN・s/m
	-4.0	8.27×10^6 kN/m	9.58×10^5 kN・s/m	8.27×10^6 kN/m	9.56×10^5 kN・s/m
	-9.0	2.14×10^7 kN/m	9.49×10^5 kN・s/m	2.14×10^7 kN/m	9.48×10^5 kN・s/m

地震名	2011年東北地方太平洋沖地震
発生日時	2011年3月11日 14時46分頃*
マグニチュード	9.0*
震源深さ	24 km*
震央距離	270
震源距離	271

注記 * : 気象庁発表値



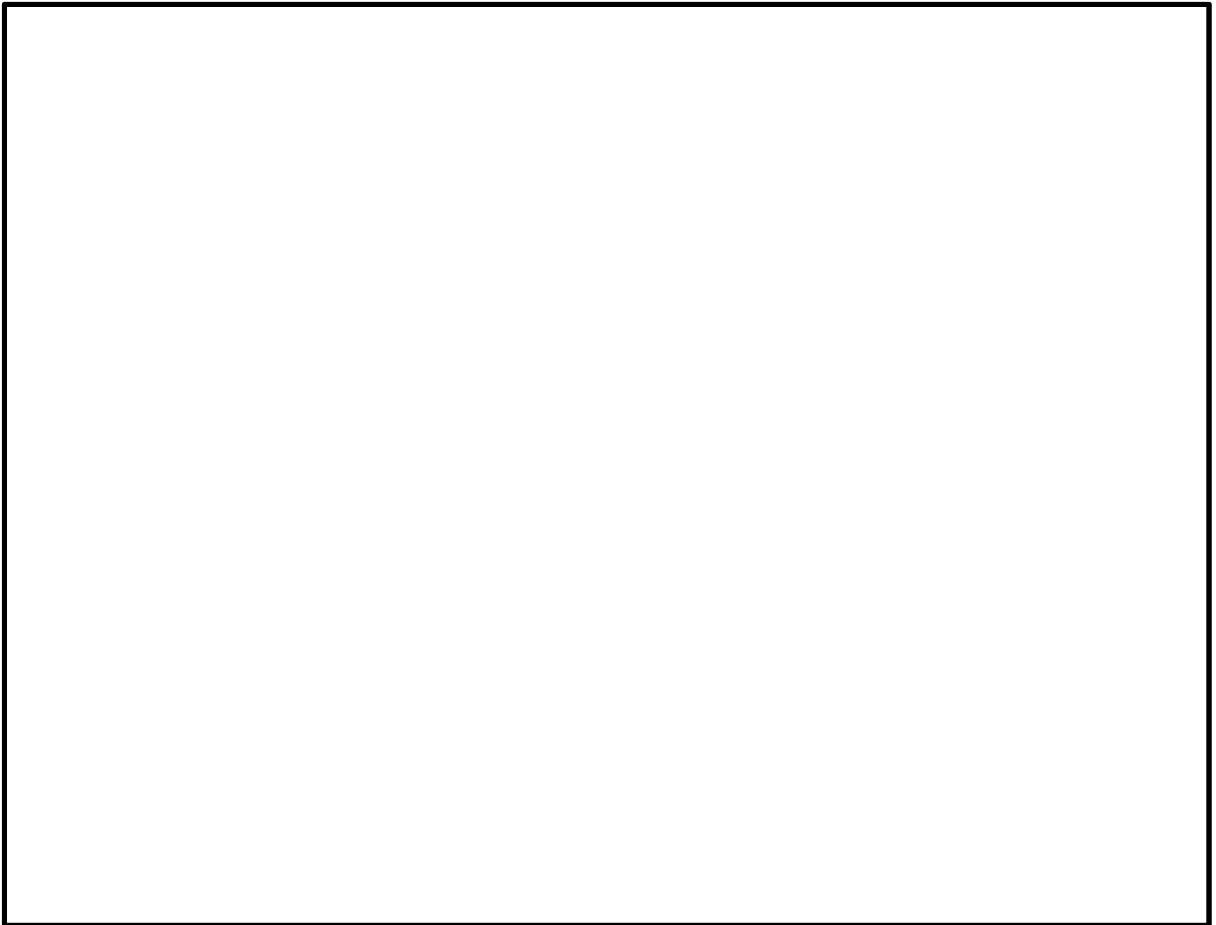
図 2-9 東北地方太平洋沖地震の震央位置



G. L. -200m

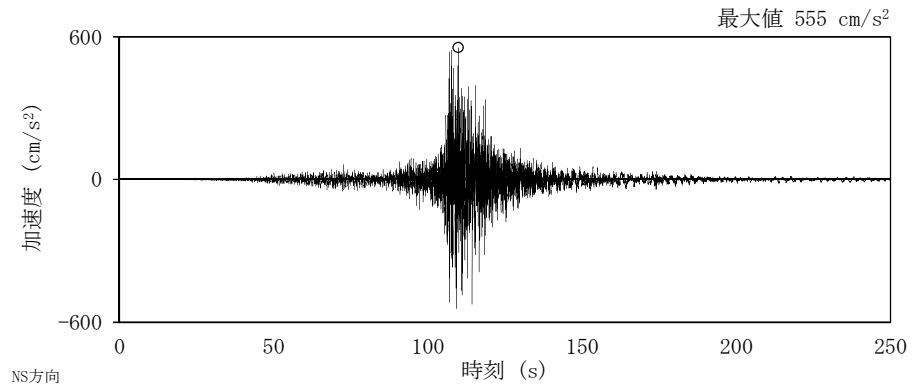


(a) 地盤観測点

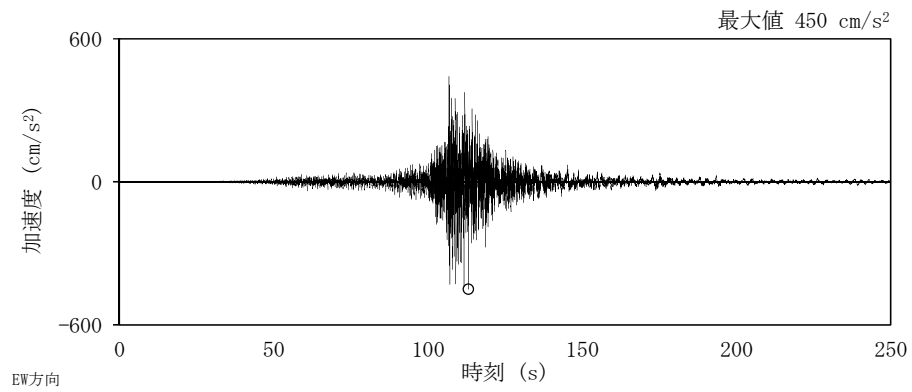


(b) 建屋観測点

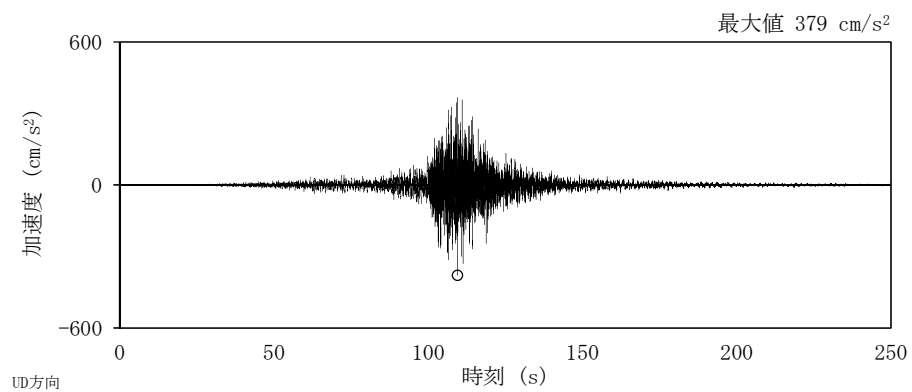
図 2-10 地震計位置



(a) 加速度波形 NS 方向

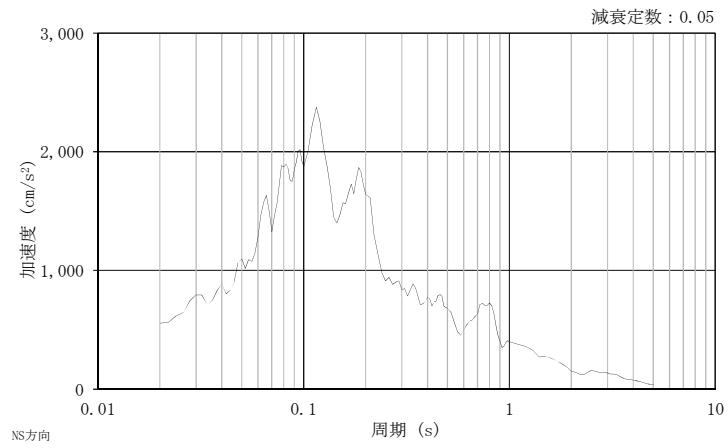


(b) 加速度波形 EW 方向

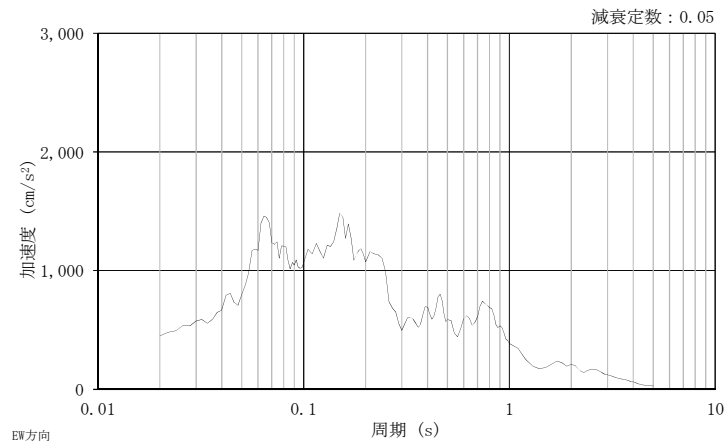


(c) 加速度波形 UD 方向

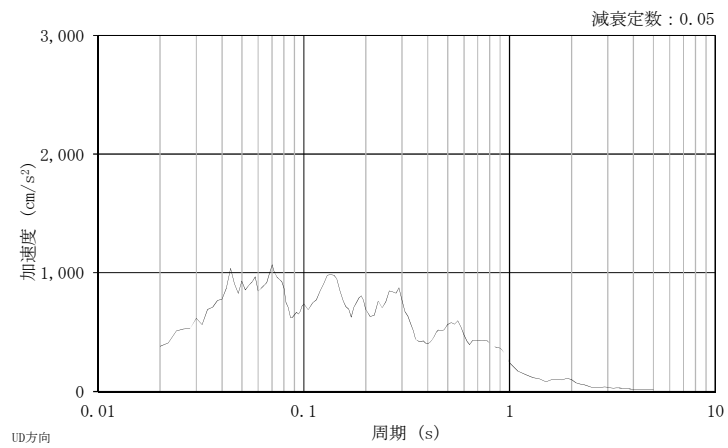
図 2-11 (1/2) 解放基盤表面レベル (EL. -370 m) での解放基盤波



(d) 加速度応答スペクトル NS 方向

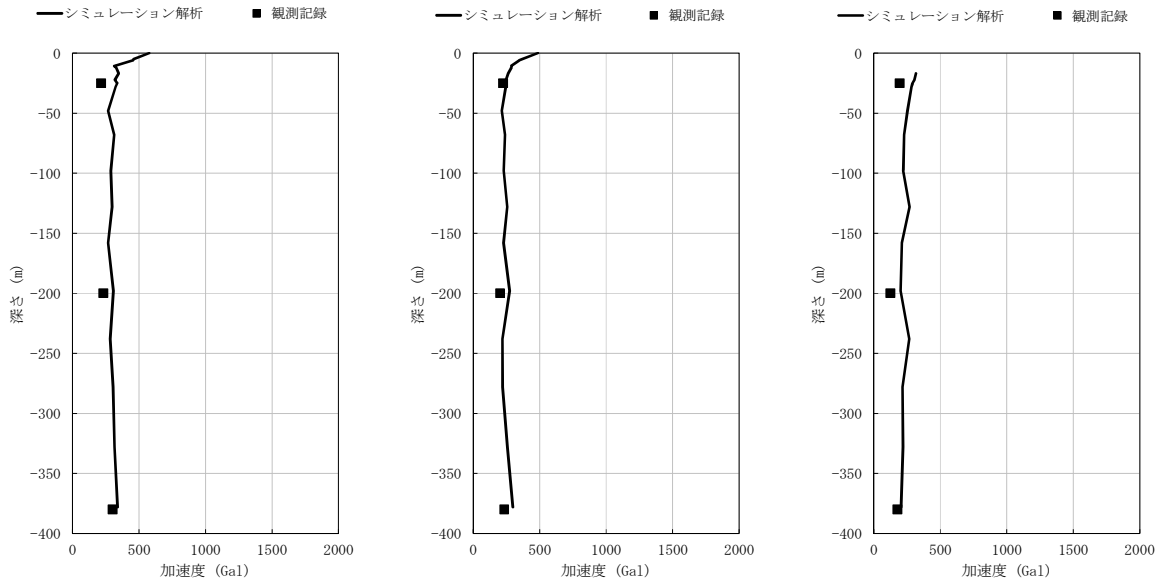


(e) 加速度応答スペクトル EW 方向



(f) 加速度応答スペクトル UD 方向

図 2-11 (2/2) 解放基盤表面レベル (EL. -370 m) での解放基盤波



(a) NS 方向

(b) EW 方向

(c) UD 方向*

注記 * : UD 方向の G. L. -17 m (EL. -9 m) の観測記録は E+F, シミュレーション解析は 2E を示す。

図 2-12 地中の最大応答加速度分布

2.3.2 観測記録による解析結果

2011年東北地方太平洋沖地震の解放基盤波を用いて3次元FEMモデル（建屋模擬モデル）による解析を実施する。

EL. 46.5 m, EL. 29.0 m, EL. 14.0 m 及び EL. -4.0 m の地震計位置での観測記録及び解析結果の加速度応答スペクトルの比較を表 2-12 に示す。なお、観測記録と比較するための解析結果は3方向同時入力による結果とし、地震計位置近傍の節点のものを用いる。また、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」で用いた質点系モデルによるシミュレーション解析結果も併せて示す。

2.3.3 観測記録と解析結果の比較及び考察

観測記録、質点系モデルによるシミュレーション解析結果、3次元FEMモデルによる解析結果を比較すると、NS方向については、やや3次元FEMモデルによる解析結果が他に比べ大きめとなる傾向にあるが、質点系モデルによるシミュレーション解析結果及び3次元FEMモデルによる解析結果は観測記録のスペクトル形状と概ね対応している。

EW方向について、3次元FEMモデルによる解析結果は0.4秒～0.5秒付近におけるピークを大きく評価しているが、その他の周期帯においては比較的よく整合している。EL. 46.5 m では、0.1秒付近より短周期側の周期帯において、質点系モデルによるシミュレーション解析結果に比べ観測記録が大きくなっている。3次元FEMモデルの解析結果については、若干小さめではあるものの応答スペクトルの傾向は再現できている。

鉛直方向について、全体的に3次元FEMモデルによる解析結果が大きくなる傾向にはあるが、両モデルでの解析結果は観測記録のスペクトル形状と概ね対応している。

EW方向において、解析結果と観測記録とで差異が生じる要因としては、以下が考えられる。

① 0.4～0.5秒付近の周期帯において大きなピークが生じる要因

- ・0.4～0.5秒付近の周期帯は、建屋—地盤連成系における1次固有周期付近の周期帯である。原子炉建屋の地震応答解析モデルは、補足説明資料「地震応答解析における既工認との比較」の別紙「原子炉建屋の地震応答解析モデルについて」で示すように、①人工岩盤を解析モデルに反映していないことにより、短周期成分を中心にやや大きくなっていること、②側面の地盤回転ばねを無視していることの影響は軽微であることを確認しており、③その他の要因としては、ばらつきをもつ不均質な地盤を平均的な成層モデルに仮定していることが差異の生じる要因と考えられる。

② 0.1秒付近より短周期側の周期帯で観測記録が大きくなる要因

- ・3次元FEMモデルにおける水平及び鉛直の各方向の入力によるEL. 46.5 mでのEW方向成分の床応答スペクトルを表 2-13 に示す。NS方向入力によるEW方向成分の応答はいずれの位置でも比較的小さく、位置による差はほとんどない。また、EW方向入力によるEW方向成分の応答についても、位置によって大きな差はなく、

質点系モデルによる結果ともよく整合している。しかし、UD 方向入力による EW 方向成分の応答は、応答評価点①及び②では比較的小さいが、応答評価点③～⑤においては 0.1 秒付近で大きな応答が生じている。各方向の入力による EW 方向成分の応答を時刻歴で足し合わせた 3 方向入力による応答は、応答評価点①及び②では、EW 方向入力及び質点系モデルによるシミュレーション解析結果と大きな差は生じていないが、応答評価点③～⑤では、短周期側で増幅しており、観測記録に近いスペクトル形状を示している。

- ・観測記録において短周期側で応答の増幅が生じている EL. 46.5 m の下階の EL. 38.8 m における 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルによるシミュレーション解析の床応答スペクトルを表 2-14 に示す。EL. 38.8 m では、位置によるスペクトル形状の差はほとんどなく、1 方向入力と 3 方向入力による結果も差はわずかであり、EL. 46.5m で見られるような局所的な応答は生じていない。
- ・以上より、観測記録で見られる短周期側の増幅は、鉛直方向の入力により生じる EW 方向の応答によるものであり、EL. 46.5 m において生じているものであると考えられる。質点系モデルによるシミュレーション解析結果においては他方向からの入力による応答を評価することができないため、観測記録と差異が生じたと考えられる。
- ・原子炉建屋 3 次元 FEM モデルのモード図（EW 方向断面図）を図 2-13 に示す。地震計位置及び西面中央付近において、鉛直方向入力による EW 方向応答の励起が生じる 0.1 秒付近に、東西のオペフロ面が外側にはらみ出すようなモード（10.06 Hz）があり、EW 方向の応答が大きくなる要因の一つと考えられる

2.3.4 結論

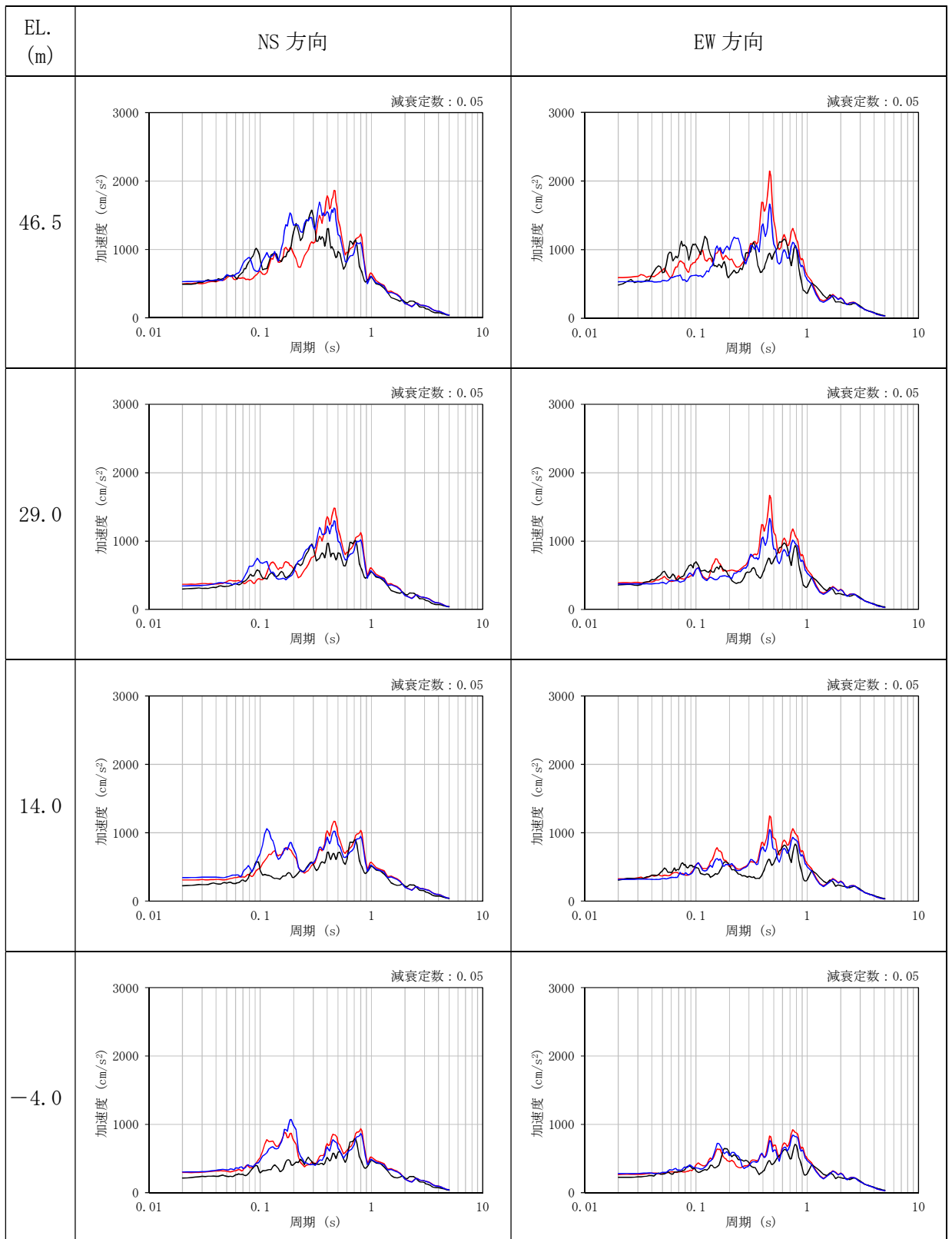
以上から、建屋模擬モデルによる解析結果は、一部の周期帯に差異が認められるものの、観測記録と概ね対応しており、スペクトル形状を再現できている。

この結果は、加速度計位置周辺である I/W 位置の北西部を中心とした比較であることから、「補 3 3 次元 FEM モデルによるシミュレーション解析結果」にて各階の評価点を増し、内部ボックス壁、外部ボックス壁及びシェル壁の壁隅部及び中間部も対象とし 3 方向同時入力時の応答性状の把握の観点から加速度応答スペクトルを示し、建屋応答性状の分析を行った。その結果、NS 方向、EW 方向ともに、耐震壁が I/W のみとなる 6 階（オペフロ/EL. 46.50 m）以上では、壁中央の節点では、面外方向の加速度応答が大きくなるが、6 階より下の階では面外方向の加速度応答も含め、3 次元 FEM の出力位置による結果に大きな違いはなく、各階で概ね一致した応答スペクトルとなっている。

3 次元 FEM 応答の質点系モデル応答との比較においても面内方向の加速度応答に大きな違いはなく、中央の節点の面外方向の加速度応答についても重要施設のある 6 階より下の階では質点系モデル応答と整合が取れている。

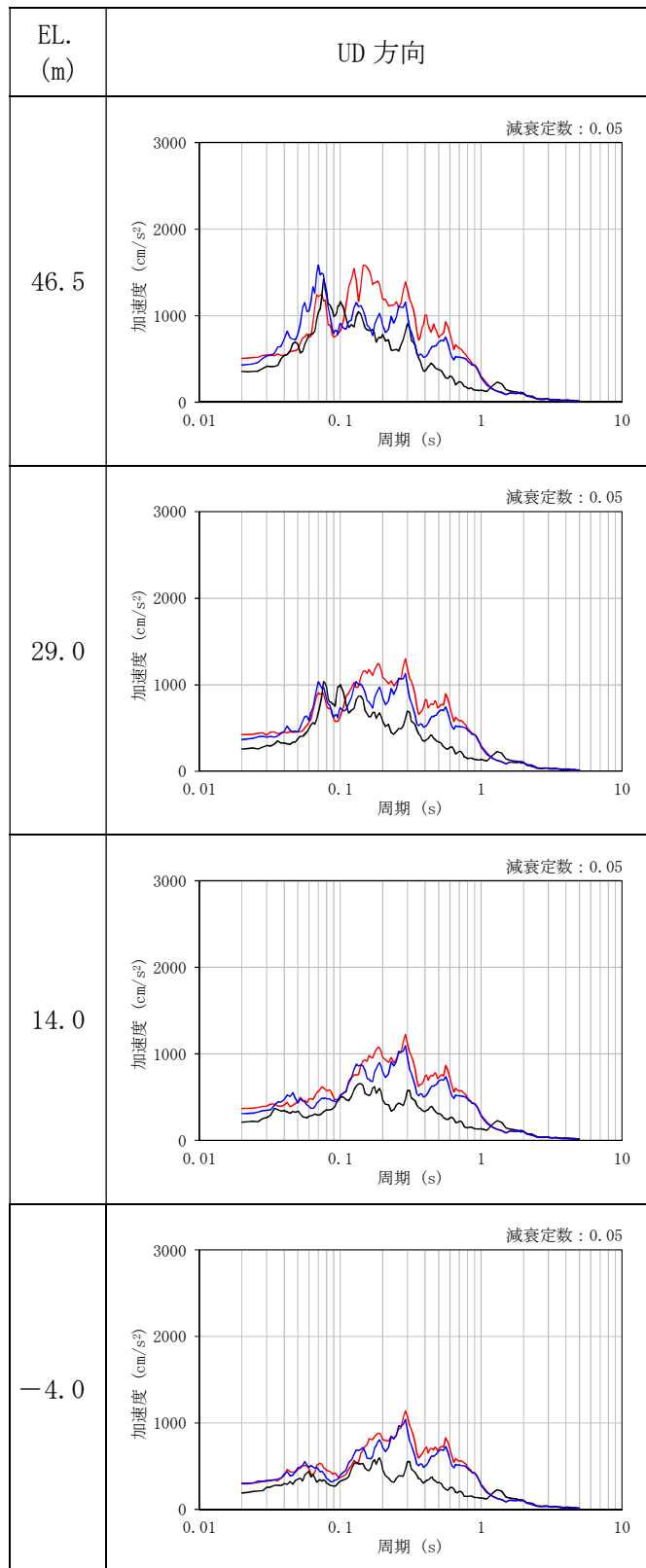
よって、以降の原子炉建屋の 3 次元応答性状の影響検討については、建屋模擬モデルを用いることとする。また、観測記録と質点系モデルの結果の比較で確認した局所的な応答と考えられる応答の影響については、以降で検討する。

表 2-12 (1/2) 観測記録と解析結果の比較 (h=5%)



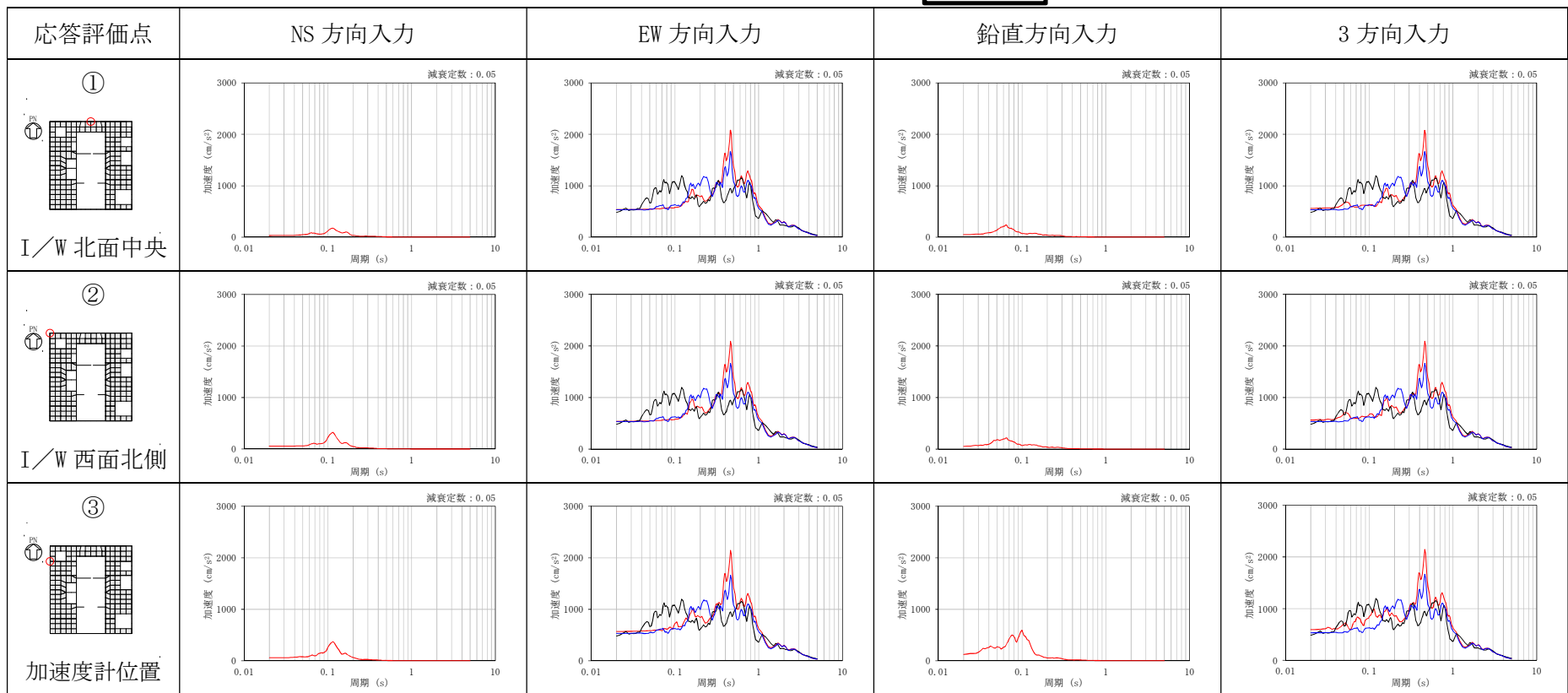
— 観測記録 — 3次元FEM — 質点系

表 2-12 (2/2) 観測記録と解析結果の比較 (h=5%)



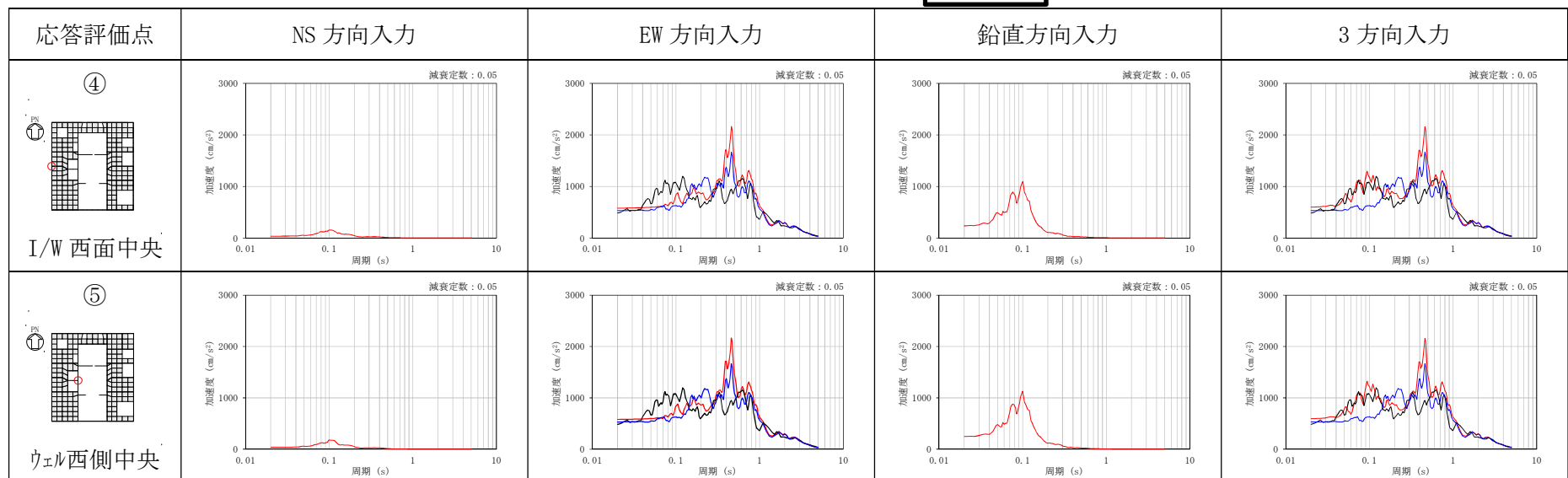
— 観測記録 — 3次元FEM — 質点系

表 2-13 (1/2) EW 方向の床応答スペクトル (h=5%)



— 観測記録 — 3次元FEM — 質点系

表 2-13 (2/2) EW 方向の床応答スペクトル h=5%)



— 観測記録 — 3次元FEM — 質点系

表 2-14 EW 方向の床応答スペクトル (減衰定数: 0.05) h=5%)

応答評価点	NS 方向入力	EW 方向入力	鉛直方向入力	3 方向入力
⑥ I/W 北面中央				
⑦ I/W 西面北側				
⑧ I/W 西面中央				
⑨ ウエル西側中央				

— 3次元FEM — 質点系

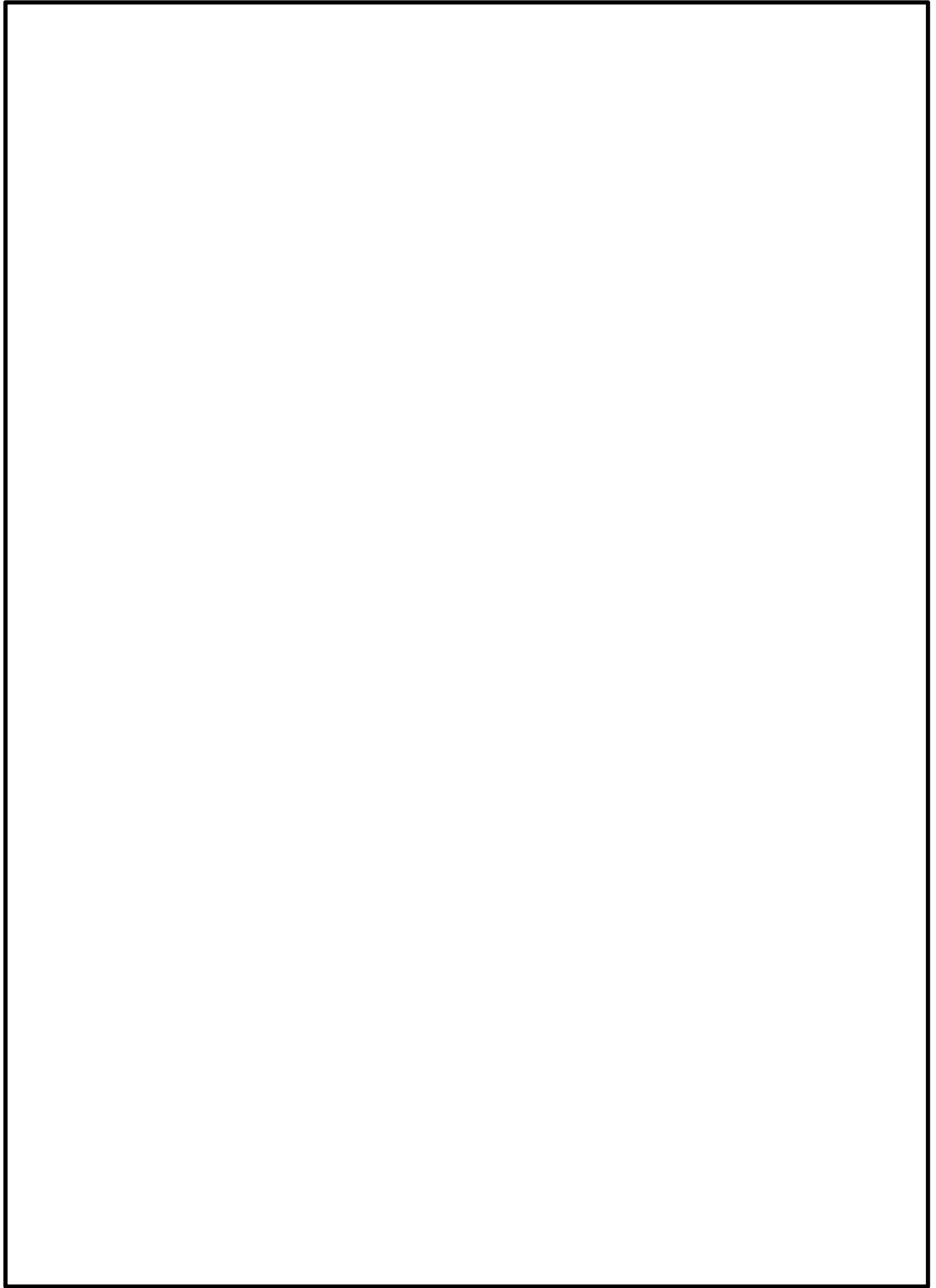


図 2-13 原子炉建屋 3 次元 F E Mモデルのモード図 (EW 方向断面図)

3. 3次元FEMモデルによる評価

3.1 地震応答解析の概要

原子炉建屋の3次元的な応答性状を把握し、それらが建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討するため、建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮）、比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定）及び質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の3つの3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施する。

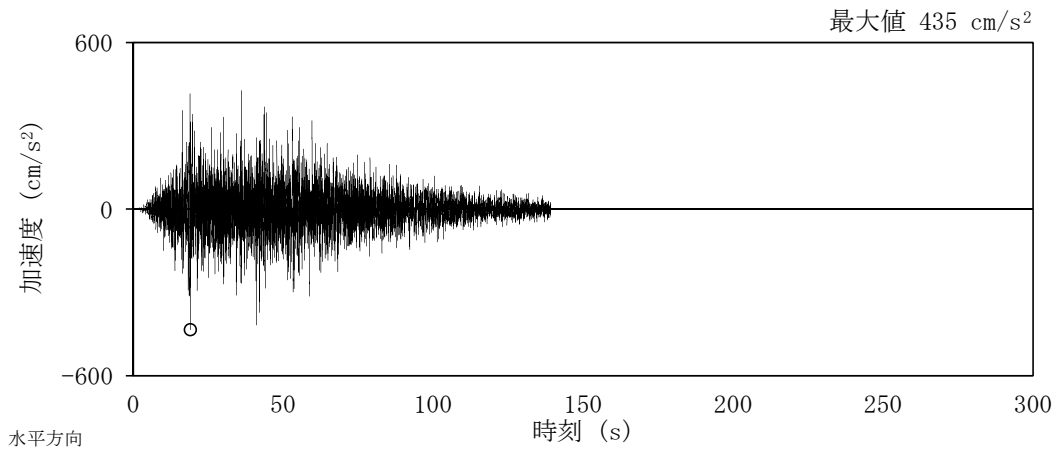
3次元FEMモデルによる地震応答解析は弾性応答解析としていることから、地震動は一次元波動論に基づき、解放基盤表面レベル（EL. -370 m）で定義される弾性設計用地震動 S_d-D1 に対する建屋基礎底面及び側面地盤ばねレベルでの地盤の応答を、地盤ばねを介して入力し、3次元的な応答性上の把握を行う。

入力地震動 S_d-D1 を図3-1に示す。

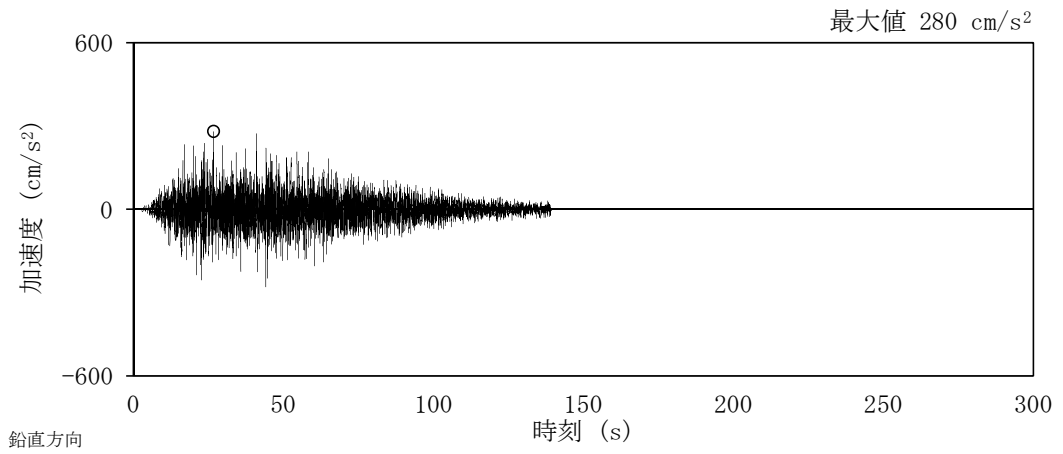
3次元FEMモデルによる地震応答解析は、NS方向、EW方向及び鉛直方向の各々に対して行う。また、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、NS方向、EW方向及び鉛直方向の3方向同時入力による応答評価も併せて実施する。

3次元FEMモデルの応答評価位置を図3-2、3次元FEMモデルの評価点に対応する質点系モデルの質点を図3-3に示す。

3次元FEMモデルの応答評価位置は、地震計設置階に対応する床における耐震壁位置（O/W, I/W及びS/W）の点のうち、対称性及び建屋形状を考慮した代表点を抽出した。



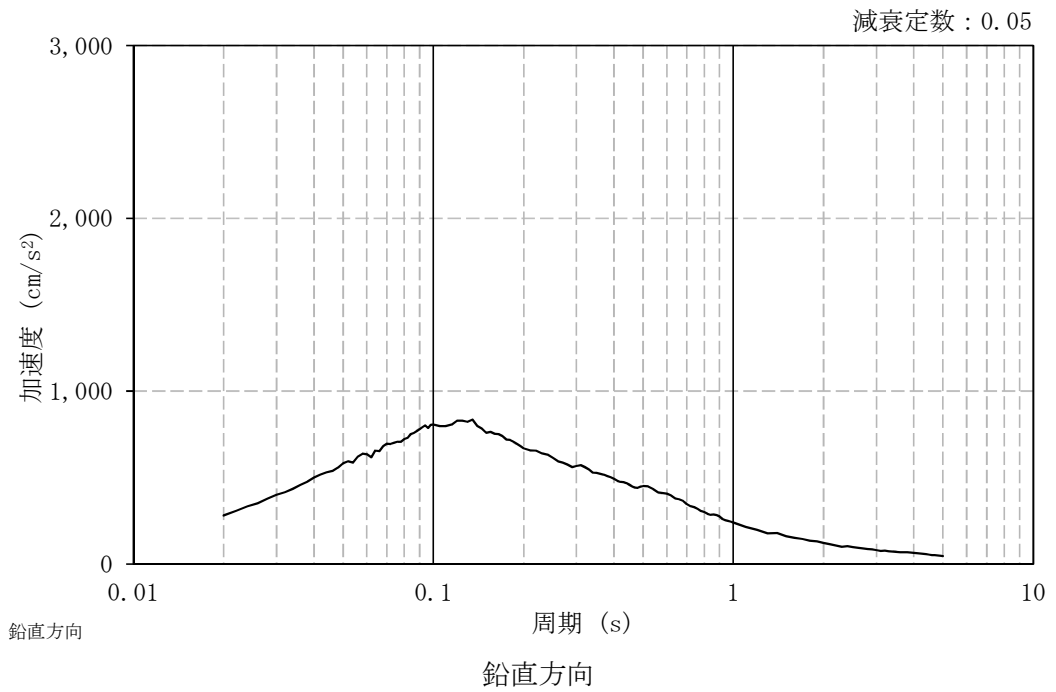
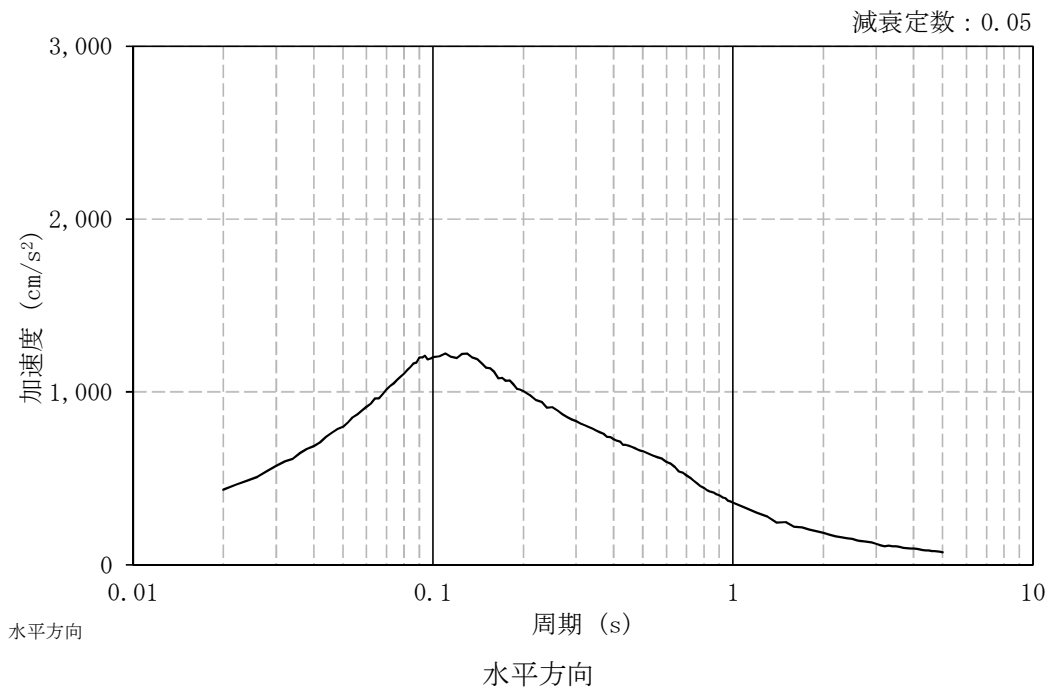
水平方向



鉛直方向

(a) 加速度波形

図 3-1 (1/2) 入力地震動 (S_a-D 1)



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-1 (2/2) 入力地震動 (S_a-D1)

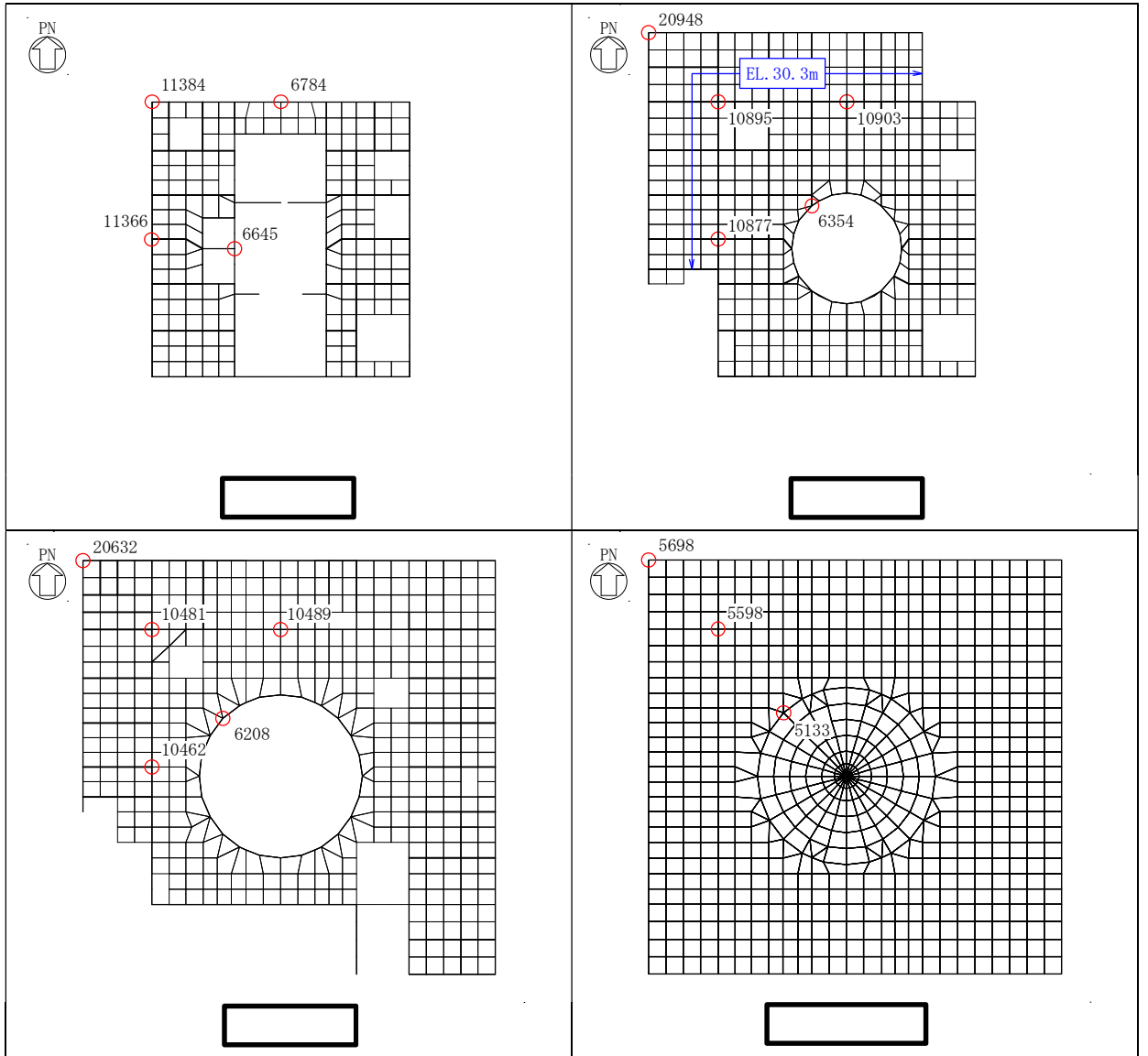


図 3-2 応答評価位置

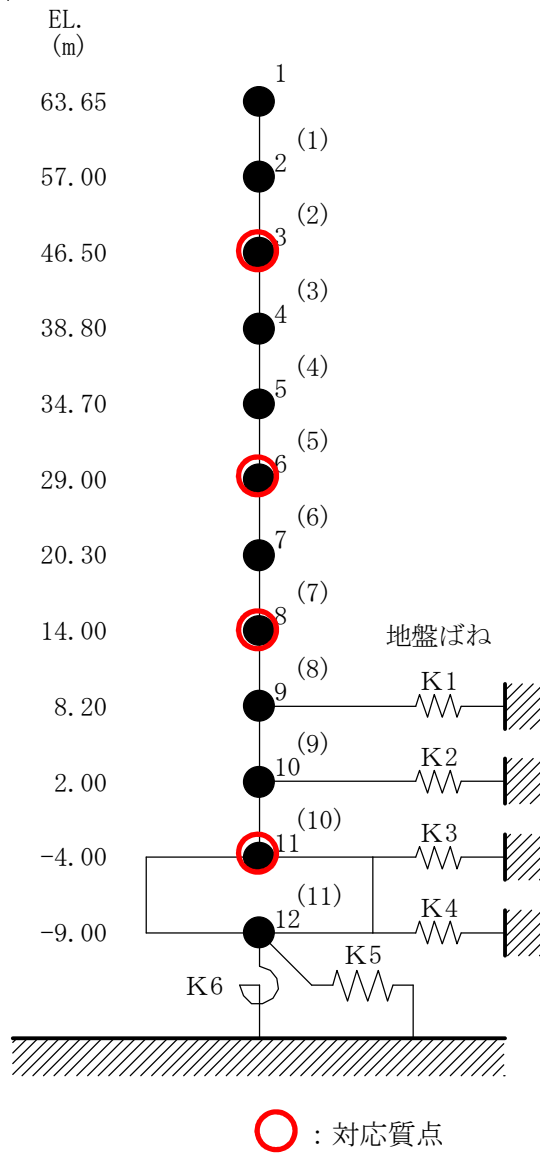


図 3-3 3次元FEMモデルの評価点に対応する質点系モデルの質点（水平方向）

3.2 建屋応答性状の把握

建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮），比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定）及び質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の3つの3次元FEMモデルを用いて，図1-3の評価フローに基づき，建屋応答特性の把握を行う。

具体的には，以下の(1)～(4)の応答特性について，分析・考察する。

- (1) 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響：建屋模擬モデル－比較用モデル間で比較。
- (2) 鉛直軸回りのねじれ振動の影響：建屋模擬モデルの加振方向及び直交方向の応答で比較。
- (3) 床柔性の影響：建屋模擬モデル－質点系対応モデル間で比較。
- (4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響：建屋模擬モデルの水平1方向入力と3方向同時入力で比較。

(1) 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響

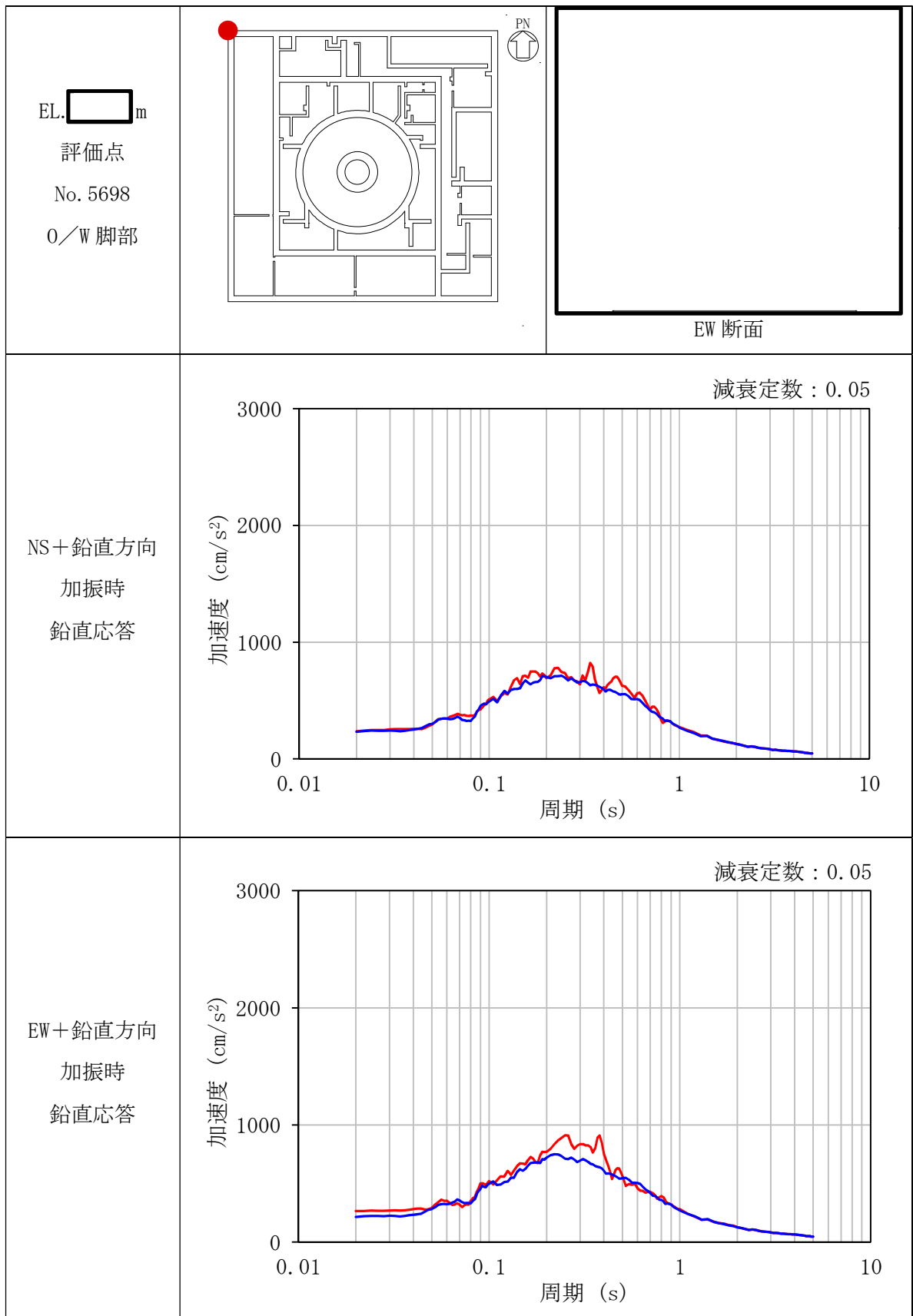
基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響は，相互作用を考慮している建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮）及び相互作用を考慮していない比較用モデル（床柔，底面鉛直方向固定）の水平方向の入力による鉛直方向応答を比較することで検討する。なお，鉛直方向応答は，水平加振時の鉛直方向応答＋鉛直加振時の鉛直方向応答により求めるが，水平方向の入力による鉛直方向応答を比較するため，鉛直加振時の鉛直方向応答はいずれのモデルも建屋模擬モデルによる結果を用いる。

応答比較に用いる評価点は，ロッキング振動の影響が出やすいと考えられる建屋端部の評価点 No. 5698 (EL. -4.0 m)，No. 20632 (EL. 14.0 m) 及び No. 20948 (EL. 29.0 m) を抽出した。

検討結果を表3-1に示す。

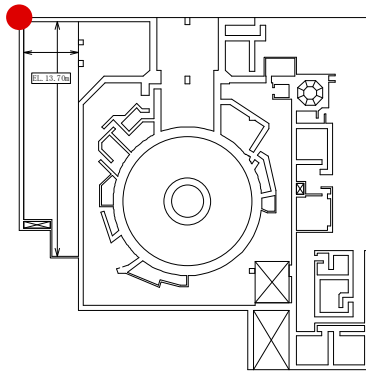
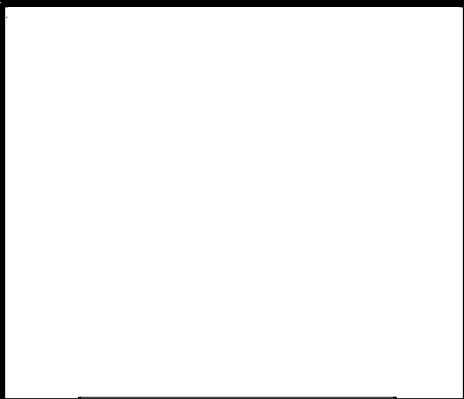
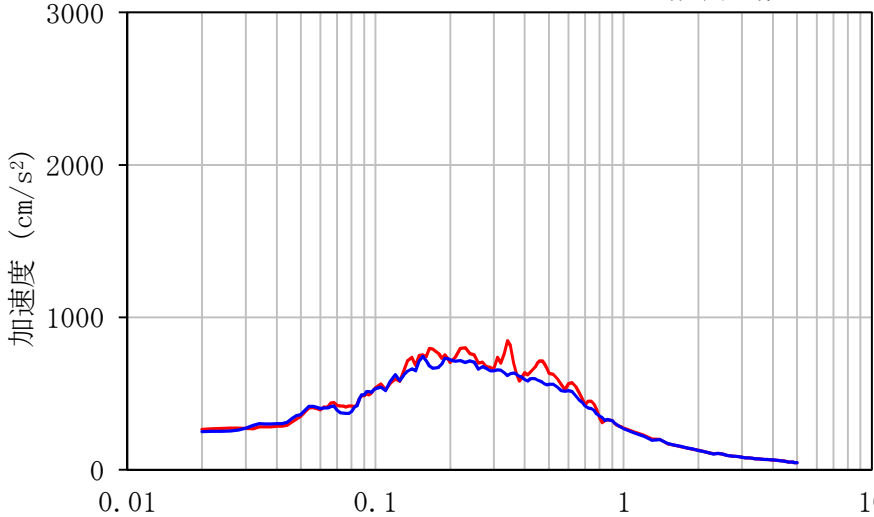
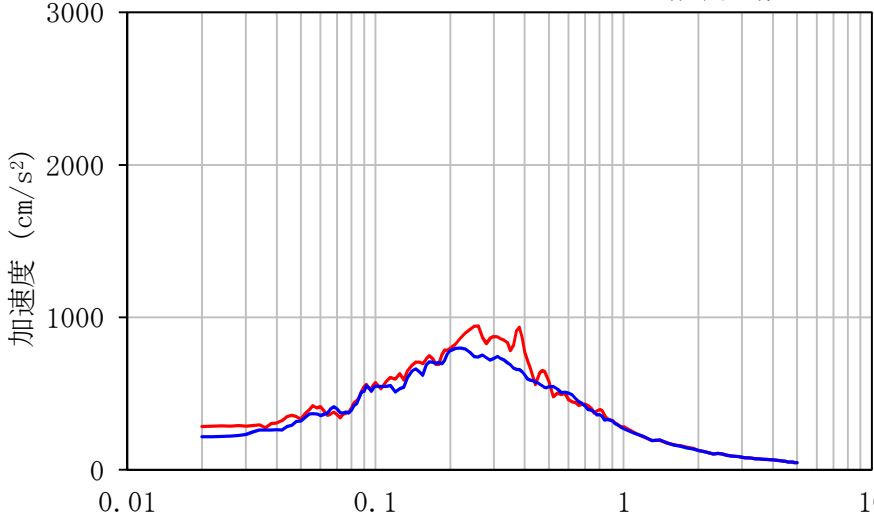
表3-1より，全ての評価点において，建屋模擬モデル及び比較用モデルの応答を比較すると，モデル間の差分は小さく，基礎のロッキング振動による影響は小さい。また，建屋模擬モデルの応答がやや大きいことから，建屋模擬モデルを検討対象モデルとすることは保守的である。

表 3-1 (1/3) 建屋模擬モデル及び比較用モデルの鉛直方向応答



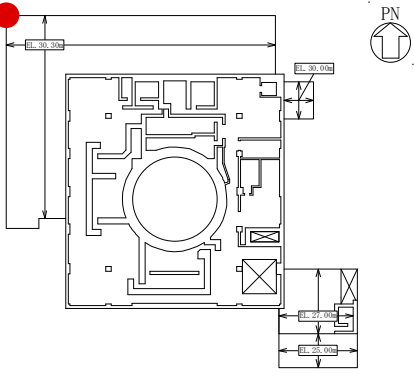

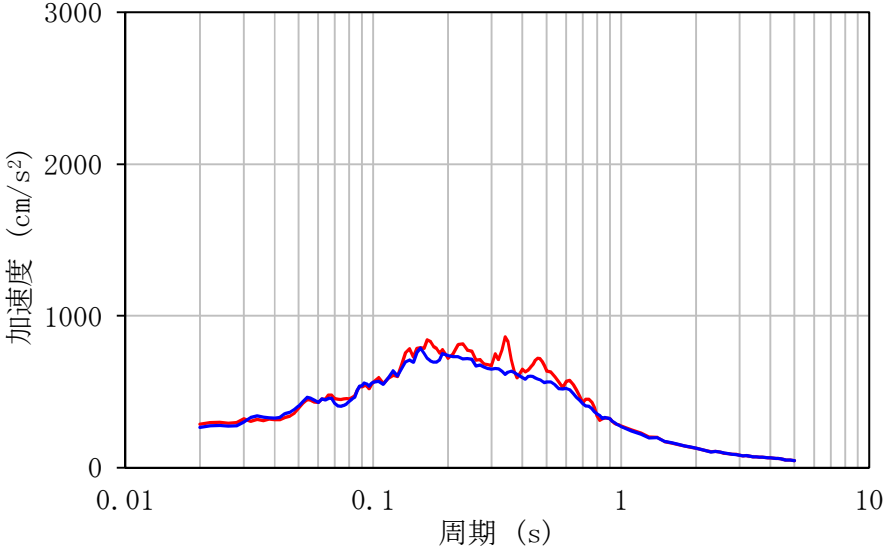
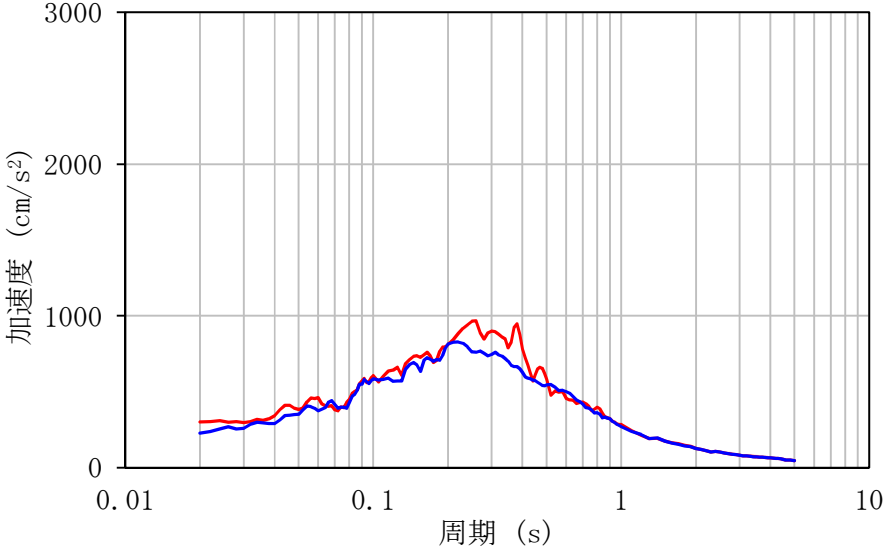
— 建屋模擬モデル — 比較用モデル

表 3-1 (2/3) 建屋模擬モデル及び比較用モデルの鉛直方向応答

<p>El m 評価点 No. 20632 O/W 脚部</p>		 <p style="text-align: center;">EW 断面</p>
<p>NS+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p>  <p style="text-align: center;">周期 (s)</p>	
<p>EW+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p>  <p style="text-align: center;">周期 (s)</p>	

— 建屋模擬モデル — 比較用モデル

表 3-1 (3/3) 建屋模擬モデル及び比較用モデルの鉛直方向応答

<p>EL. m 評価点 No. 20948 O/W 脚部</p>		 <p style="text-align: center;">EW 断面</p>
<p>NS+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p> 	
<p>EW+鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: right;">減衰定数 : 0.05</p> 	

— 建屋模擬モデル — 比較用モデル

(2) 鉛直軸回りのねじれの影響

鉛直軸回りのねじれの影響は、建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮）の地震応答解析により確認する。

応答評価点は、平面形状よりねじれの影響が出やすいと考えられる No. 20632 (EL. 14.0 m) 及び No. 20948 (EL. 29.0 m) について抽出し、加振方向と加振直交方向の応答を比較する。

水平加振時の応答比較を表 3-2 に示す。

表 3-2 より、選定した評価点において、加振直交方向の応答は発生しているものの加振方向の応答と比較して十分に小さくなっている。したがって、水平 1 方向入力を考慮する場合、加振方向の応答に対して設計を行えば、耐震安全性上問題にはならないと考えられるが、水平 2 方向の入力を考えた場合、ねじれ応答の影響による応答が増幅する可能性がある。

以上より、水平 2 方向の入力によるねじれ応答の影響は「(4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響」において確認する。

表 3-2 (1/2) 建屋模擬モデルの水平加振時の応答比較

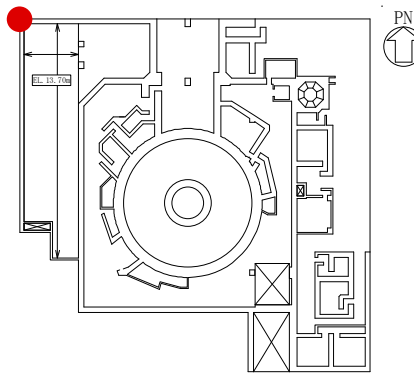
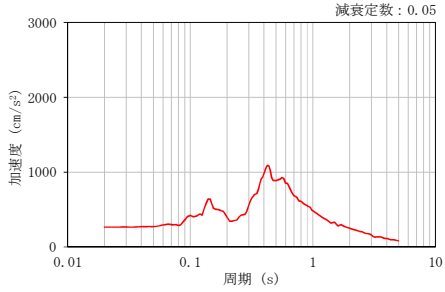
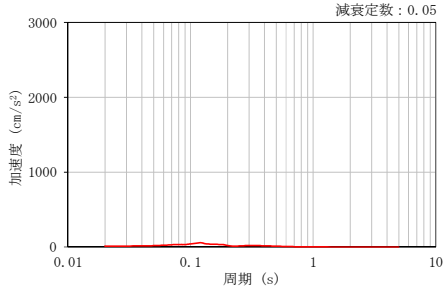
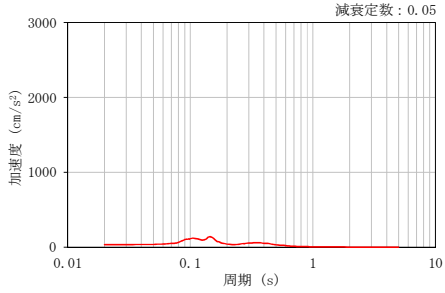
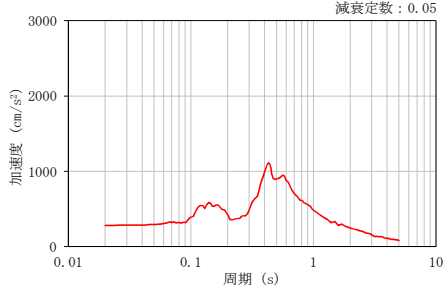
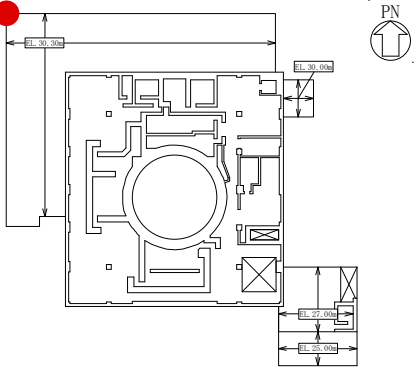
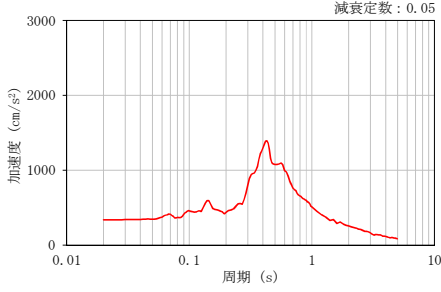
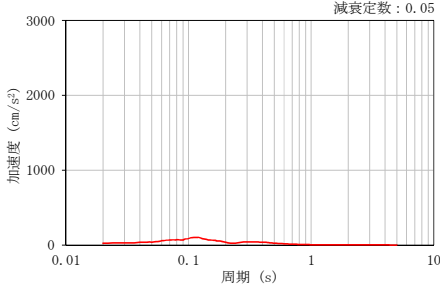
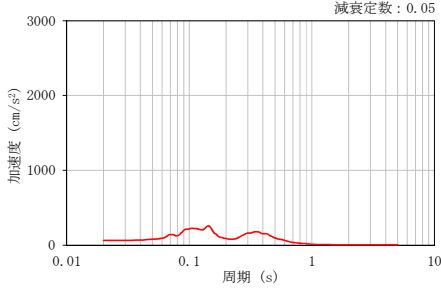
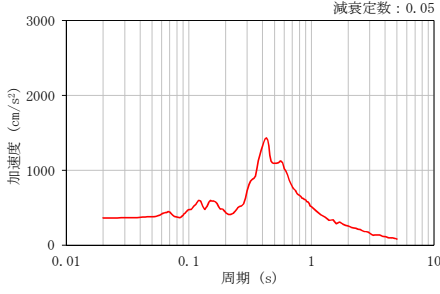
<p>EL. m 評価点 No. 20632 0/W 脚部</p>		<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">EW 断面</p>
<p style="text-align: center;">方向</p>	<p style="text-align: center;">NS 方向応答</p>	<p style="text-align: center;">EW 方向応答</p>
<p style="text-align: center;">NS 方向 加振時</p>		
<p style="text-align: center;">EW 方向 加振時</p>		

表 3-2 (2/2) 建屋模擬モデルの水平加振時の応答比較

<p>EL m 評価点 No. 20948 O/W 脚部</p>		<div style="border: 2px solid black; width: 100%; height: 100%;"></div> <p style="text-align: center;">EW 断面</p>
<p style="text-align: center;">方向</p>	<p style="text-align: center;">NS 方向応答</p>	<p style="text-align: center;">EW 方向応答</p>
<p style="text-align: center;">NS 方向 加振時</p>		
<p style="text-align: center;">EW 方向 加振時</p>		

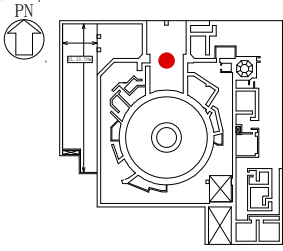
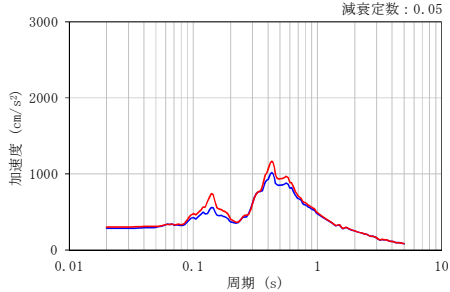
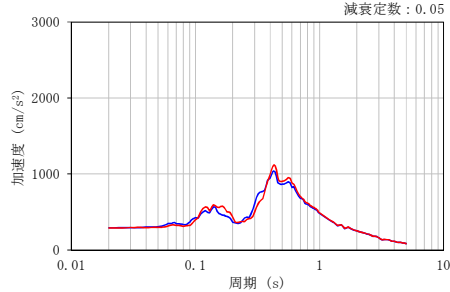
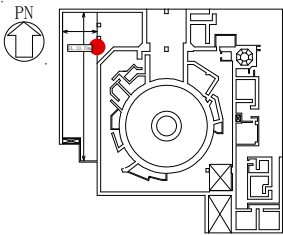
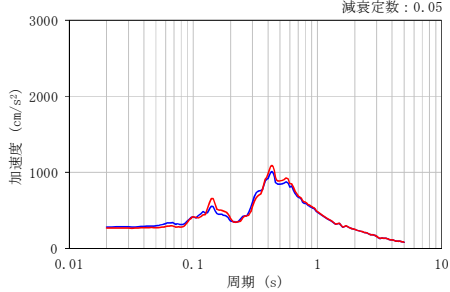
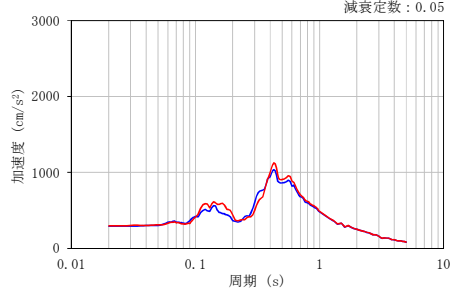
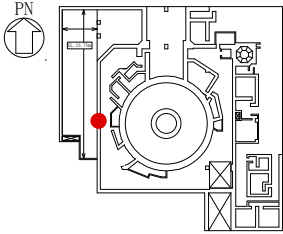
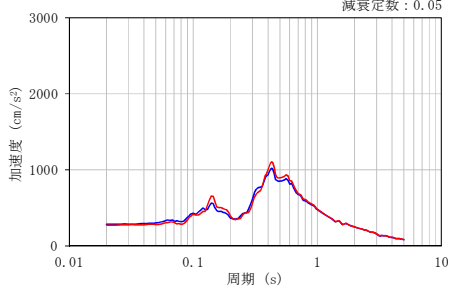
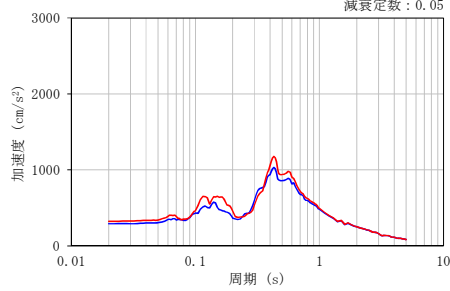
(3) 床柔性の影響

床柔性の影響は、床の柔性を考慮した建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮）と床を剛とした比較用モデル（床剛，相互作用考慮）を比較することにより確認する。応答を比較する評価点は，平面的に広い EL. 14.0 m の評価点 No. 10462, No. 10481 の建屋端部及び中心部とする。

建屋模擬モデル及び質点系対応モデルの比較結果を表 3-3 に示す。

表 3-3 より，建屋模擬モデル及び質点系対応モデルを比較すると，概ね同等もしくは質点系対応モデルにおいてピーク値がやや低減されることから，建屋模擬モデルを検討対象とすることは保守的である。

表 3-3 建屋模擬モデルと質点系対応モデルの応答比較

評価点	NS 方向加振時 NS 応答	EW 応答方向加振時 EW 応答
 <p>EL. m No. 10489</p>		
 <p>EL. m No. 10481</p>		
 <p>EL. m No. 10462</p>		

— 建屋模擬モデル — 質点系対応モデル

(4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響

a. 地震動の入力方法

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、建屋模擬モデルに弾性設計用地震動 S_d を水平 2 方向及び鉛直方向に同時に入力（3 方向同時入力）した場合について検討する。

地震動の組合せを表 3-4 に示す。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響検討は、弾性設計用地震動 S_d を水平 2 方向及び鉛直方向に組合せた地震力に対して実施する。具体的には、弾性設計用地震動 S_d-D1 を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

ただし、全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的ではないことから、弾性設計用地震動 S_d-D1 については、水平 2 方向の地震動のうち NS 方向には弾性設計用地震動 S_d-D1 の水平方向成分を入力し、直交する EW 方向は弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_d-D1 の水平方向成分とは位相特性の異なる模擬地震波を入力する。また、鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動 S_d-D1 の鉛直方向成分を入力する。

したがって、本検討においては、NS 方向に対しては弾性設計用地震動 S_d-D1 の水平成分を、EW 方向に対しては模擬地震波（基準地震動 S_d-D1 の水平成分の設計用応答スペクトルに適合するよう、位相を変えたもの）をそれぞれ入力する。また、鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動 S_d-D1 の鉛直方向成分を入力する。3 方向同時入力による応答は、水平 2 方向及び鉛直方向の 1 方向入力による地震応答解析で算出された各成分の応答を、時刻歴で足し合わせるにより算出する。応答算出の考え方を図 3-4 に示す。

表 3-1 地震動の組合せ

地震動の入力方法		NS 方向	EW 方向	鉛直方向
1 方向入力	NS 方向	$S_d - D 1$	—	—
	EW 方向	—	模擬地震波*	—
3 方向同時入力		$S_d - D 1$	模擬地震波*	$S_d - D 1$

注記 * : 弾性設計用地震動 $S_d - D 1$ の設計用応答スペクトルに適合するが, $S_d - D 1$ とは位相特性が異なる地震波。

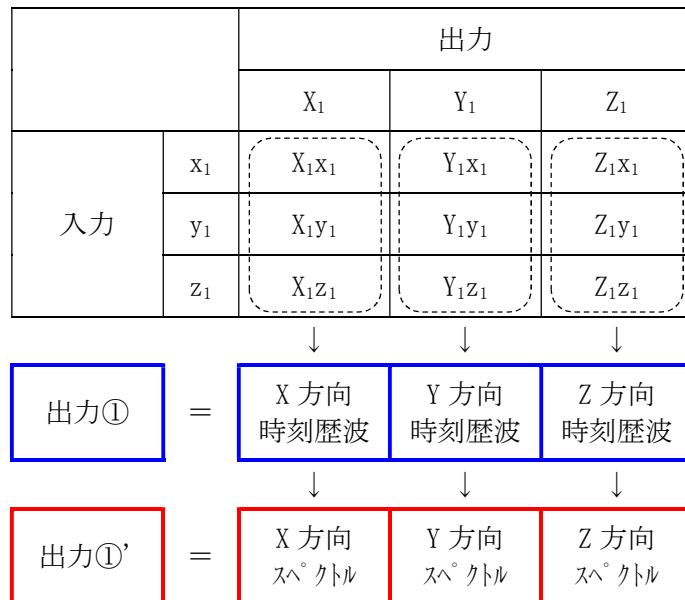


図 3-1 3次元 FEMモデルによる応答算出の考え方

b. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認は、表 3-4 の地震動を対象に、NS 方向に入力した場合及び EW 方向に入力した場合の応答と、3 方向同時入力した場合の応答とを比較することにより実施する。

応答を比較する評価点は、地震計設置階である EL. -4.0 m, EL. 14.0 m, EL. 29.0 m 及び EL. 46.5 m の床における耐震壁位置 (O/W, I/W 及び S/W) の点のうち、対称性及び建屋形状を考慮した代表点を抽出した。

比較した結果を表 3-5 に示す。

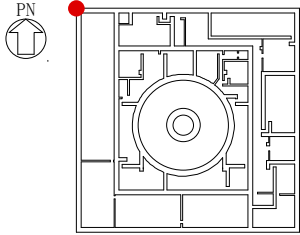
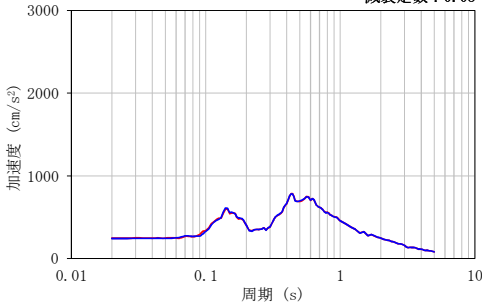
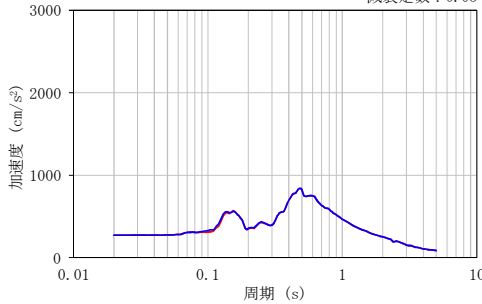
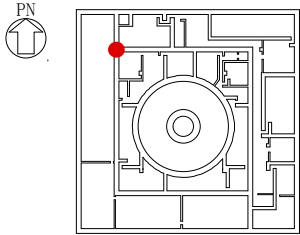
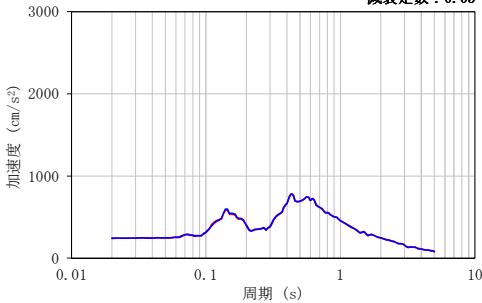
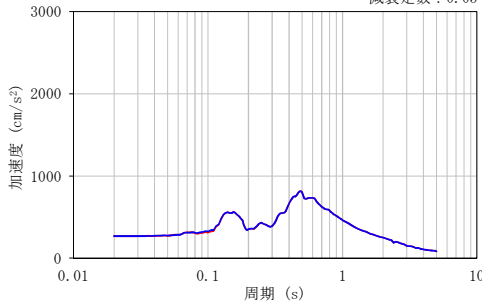
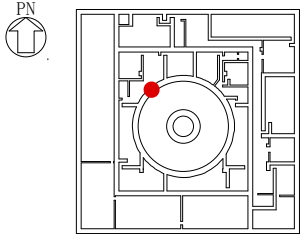
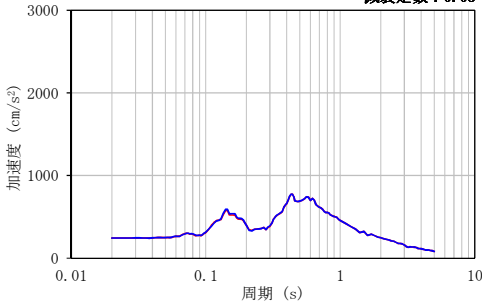
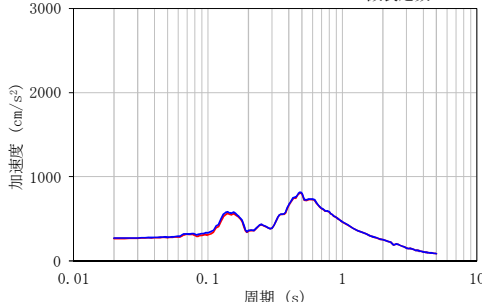
表 3-5 より、EL. 46.5 m の評価点 No. 6645 及び 11366 を除く評価点においては、3 方向同時入力時の方が若干応答が大きくなる点もあるものの、1 方向入力時及び 3 方向入力時の応答の差は小さく、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響はほとんどないことを確認した。

EL. 46.5 m の評価点 No. 6645 及び 11366 では、NS 方向については 1 方向入力時及び 3 方向入力時の応答は概ね一致しているが、EW 方向では「2.3 観測記録を用いた検討」で見られた 0.1 秒付近の周期帯における応答増幅が生じている。また、表 3-6 に示す直下階である EL. 38.8 m やその他の床レベルでは、EL. 46.5 m で見られるような増幅はほとんど生じていない。したがって、EW 方向における 0.1 秒付近の応答増幅は、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる EL. 46.5 m における局所的な応答であると考えられる。EL. 46.5 m における影響検討は「別紙 4 機器・配管系に関する説明資料」で行う。

「(2) 鉛直軸回りのねじれの影響」では、水平 2 方向の入力を考えた場合に、ねじれの影響によって相互に応答増幅する可能性が示唆されたが、ねじれ振動の影響による応答増幅は見られなかった。

原子炉建屋の質点系モデルを用いた耐震検討では、ねじれ振動を考慮せず、水平 1 方向入力時の入力方向の応答に対する検討を行っているが、本検討により、ねじれを考慮しないことは妥当と考えられる。

表 3-5 (1/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. m No. 5698</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. m No. 5598</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. m No. 5133</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

— 3方向 — 1方向

表 3-5 (2/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

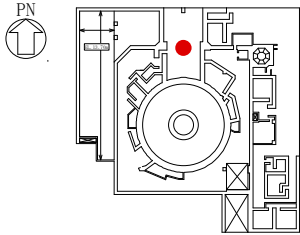
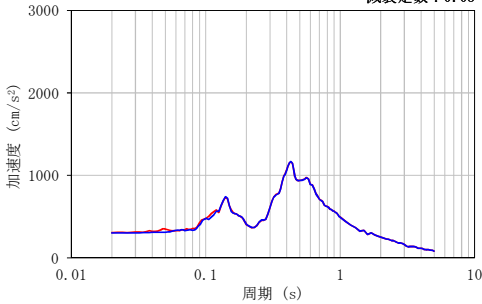
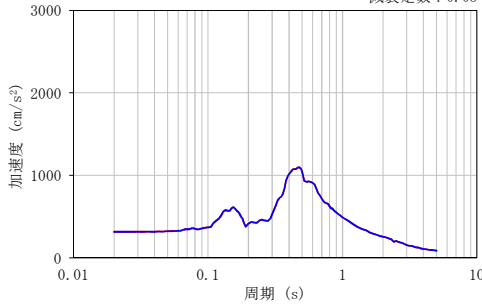
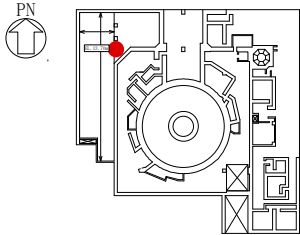
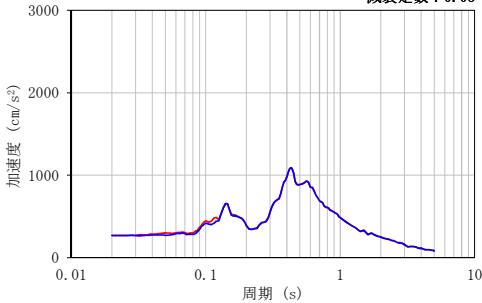
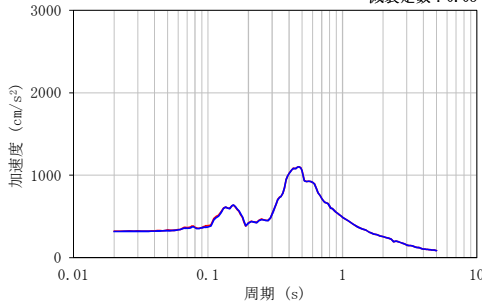
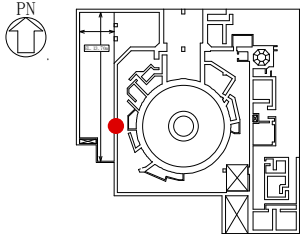
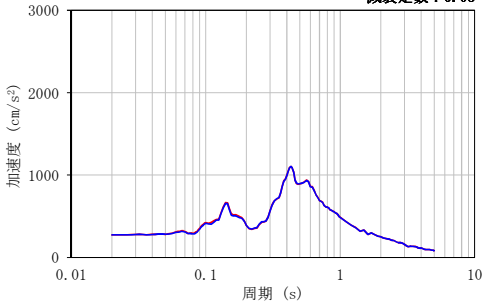
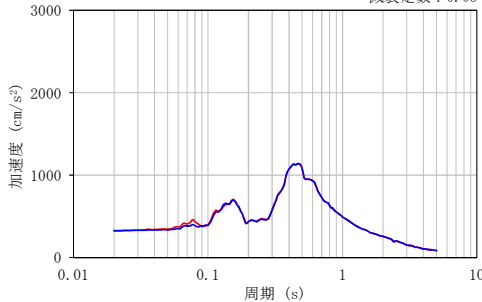
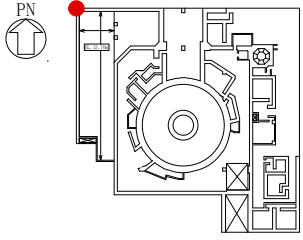
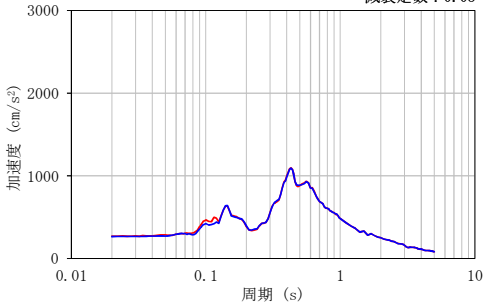
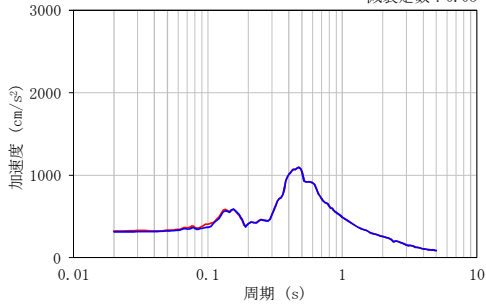
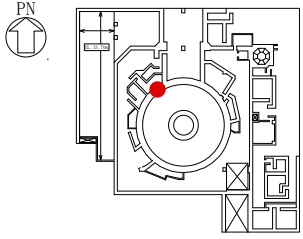
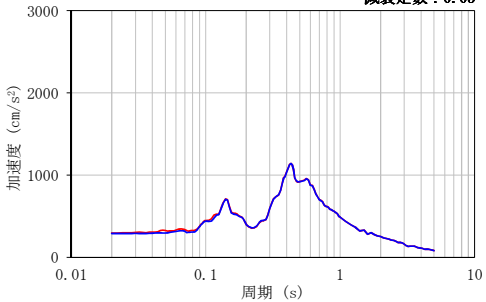
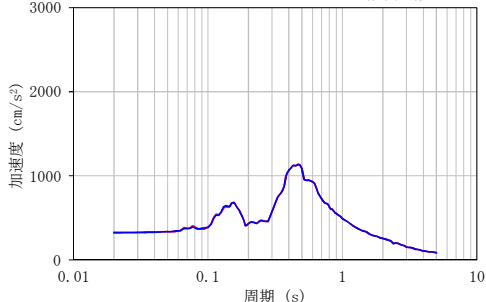
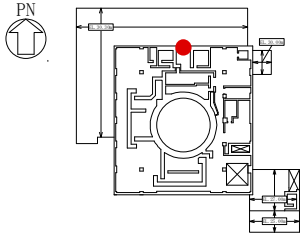
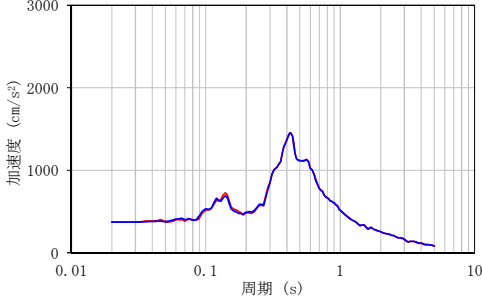
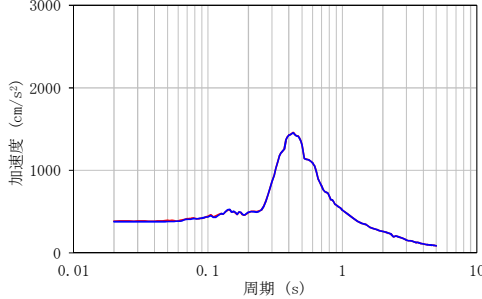
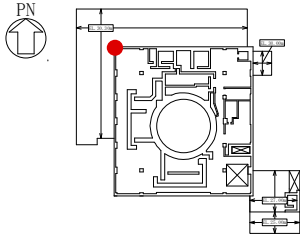
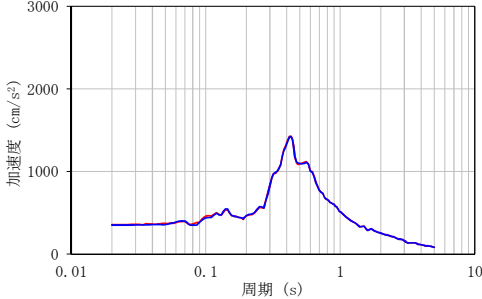
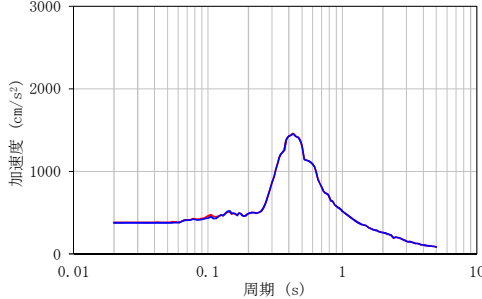
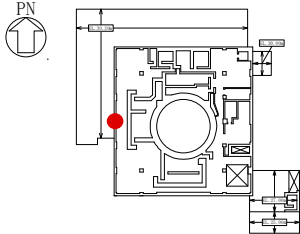
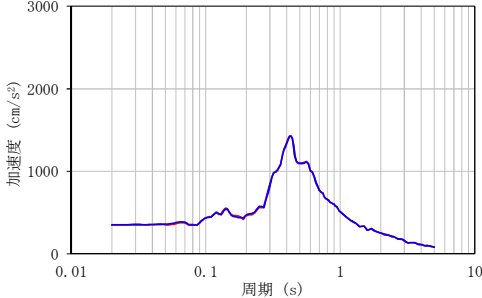
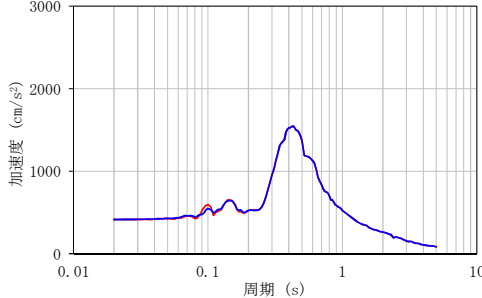
評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. <input type="text"/> m No. 10489</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. <input type="text"/> m No. 10481</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. <input type="text"/> m No. 10462</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

表 3-5 (3/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. m No. 20632</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. m No. 6208</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

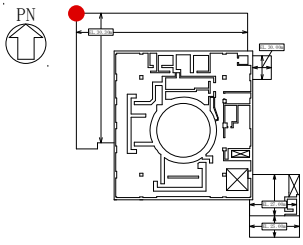
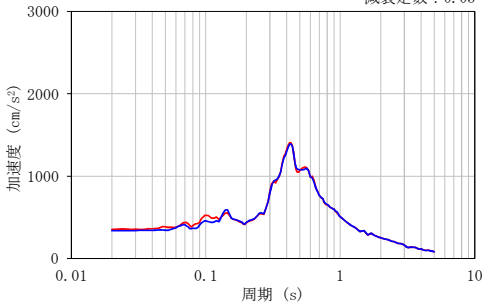
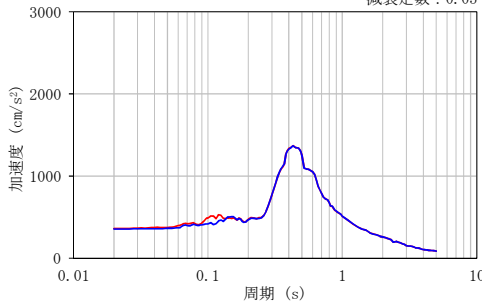
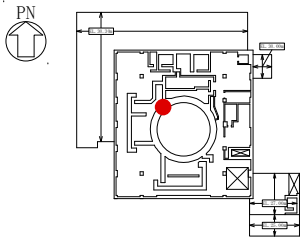
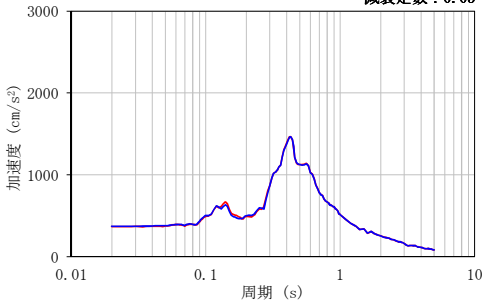
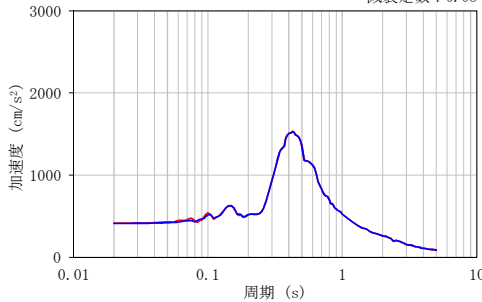
— 3方向 — 1方向

表 3-5 (4/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. m No. 10903</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. m No. 10895</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. m No. 10877</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

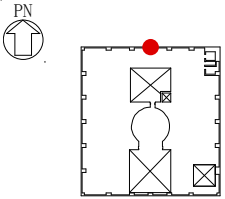
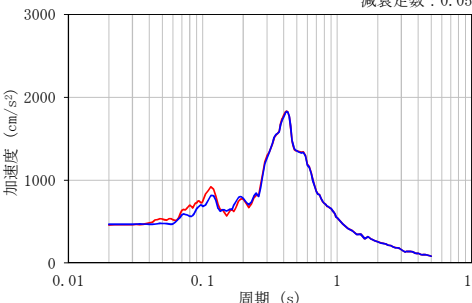
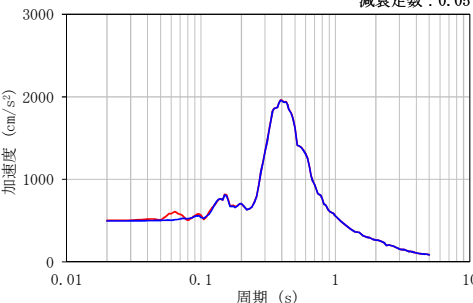
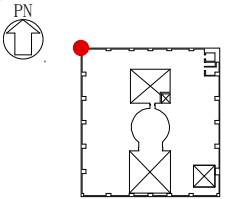
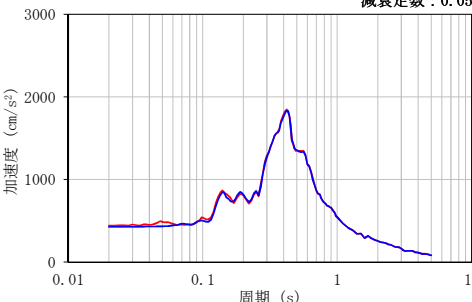
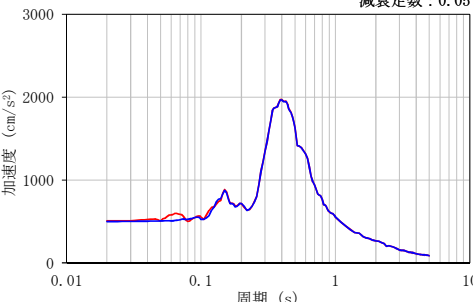
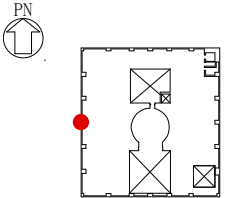
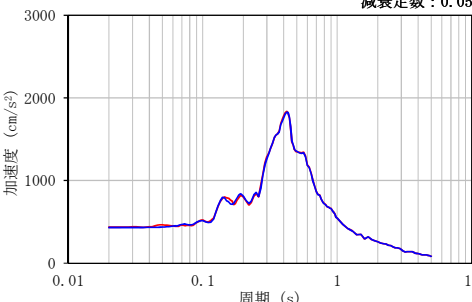
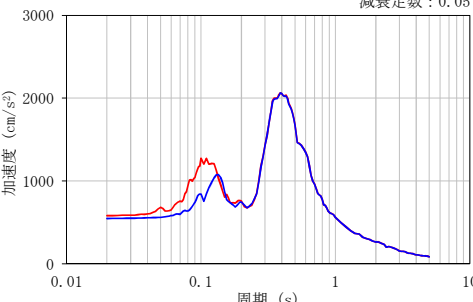
— 3方向 — 1方向

表 3-5 (5/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL. m No. 20948</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL. m No. 6354</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

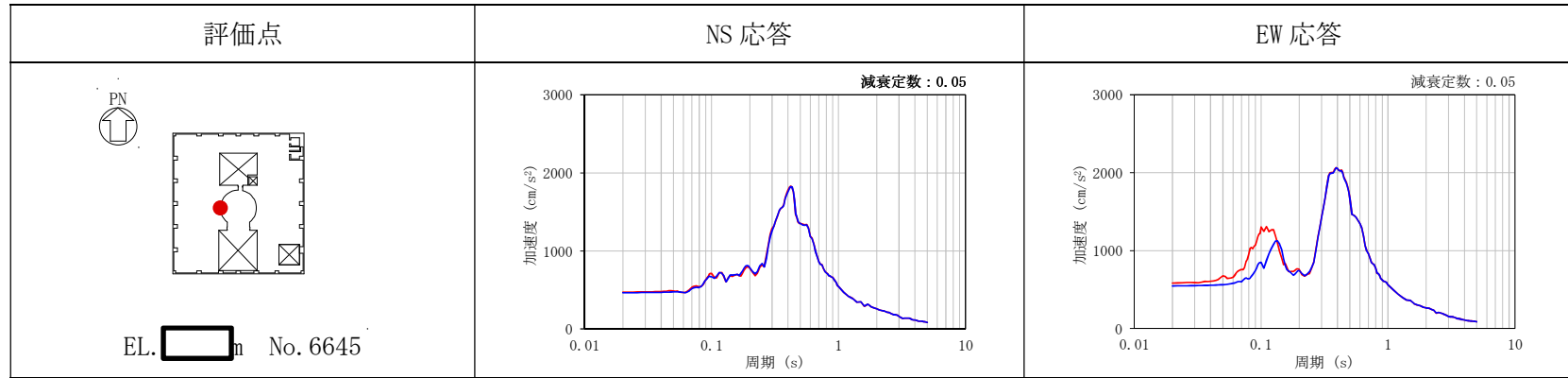
— 3方向 — 1方向

表 3-5 (6/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答
 <p>EL m No. 6784</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL m No. 11384</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>EL m No. 11366</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 


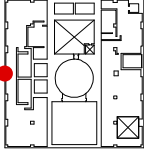
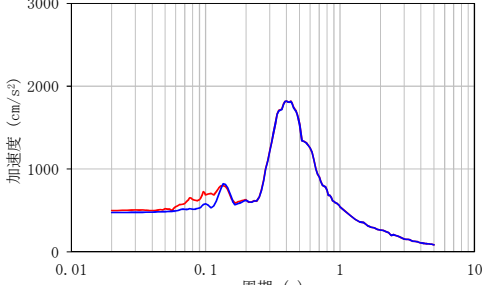

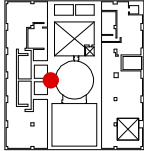
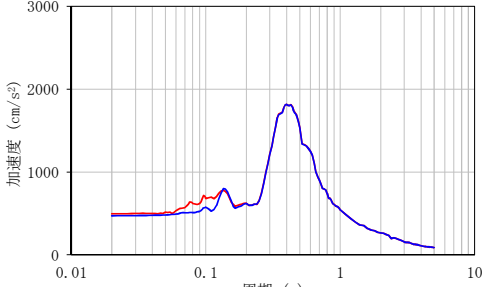
— 3方向 — 1方向

表 3-5 (7/7) 3次元FEMモデルの3方向同時入力及び1方向入力の応答比較



— 3方向 — 1方向

表 3-6 EL. 38.8 m における EW 方向の応答

評価点	EW 応答
<p>PN </p>  <p>EL. m No. 11182</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>PN </p>  <p>EL. m No. 6431</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>

— 3 方向 — 1 方向

(5) まとめ

建屋模擬モデル，比較用モデル及び質点系対応モデルを用いて地震応答解析を実施し，応答性状について分析・考察を行った。

基礎のロッキング振動による鉛直方向への影響について，建屋模擬モデルと比較用モデルでの応答比較をした結果，ロッキング振動の影響はほとんど見られないこと，及び建屋模擬モデルにより保守的な評価が可能であることを確認した。

床柔性の影響について，建屋模擬モデルと比較用モデルでの応答比較をした結果，建屋模擬モデルにより保守的な評価が可能であることを確認した。

鉛直軸回りのねじれ振動の影響及び水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響について，建屋模擬モデルを用いて検討した結果，3 方向同時入力と 1 方向入力時での応答の差異がほとんどないことから，1 方向入力時の応答に対し，これらの影響がほとんどないことを確認した。ただし，EL. 46.5 m の EW 方向においては，水平 2 方向及び鉛直方向の組合せによる影響と考えられる局所的な応答が生じるため，「別紙 4 機器・配管系に関する説明資料」で影響検討を行う。

以上の 3 次元的な応答特性に関する分析・考察を踏まえて，次節以降では建屋模擬モデルを用いて，局所的な応答による建屋耐震評価及び床応答への影響を検討する。

3.3 建屋耐震評価への影響検討

(1) 検討方針

建屋耐震評価への影響検討として、3次元FEMモデルの応答及び質点系モデルの応答を比較する。

検討において、両モデルともに弾性設計用地震動 S_d に対する地震応答解析を実施し、以下の2項目について検討を行う。

- ①建屋模擬モデル（3次元FEMモデル）及び質点系モデルの最大応答値（最大応答加速度）の比較検討
- ②3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討

なお、質点系モデルは添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に記載の原子炉建屋の地震応答解析モデルと同じである。

(2) 建屋模擬モデル（3次元FEMモデル）及び質点系モデルの最大応答値（最大応答加速度）の比較検討

建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答加速度の比較を行い、3次元的な影響について確認する。

評価にあたっては、質点系モデルの全質点での応答を評価対象とし、質点系モデルの各質点に対応する3次元FEMモデルの節点としては、図3-5に示す節点とした。

比較検討結果を図3-6に示す。

両モデル間で、最大応答加速度は概ね対応しているが、建屋模擬モデルは3次元的な応答性状が考慮されているため、完全には一致しない。

したがって、以降の「3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討」により、建屋への影響検討を実施する。

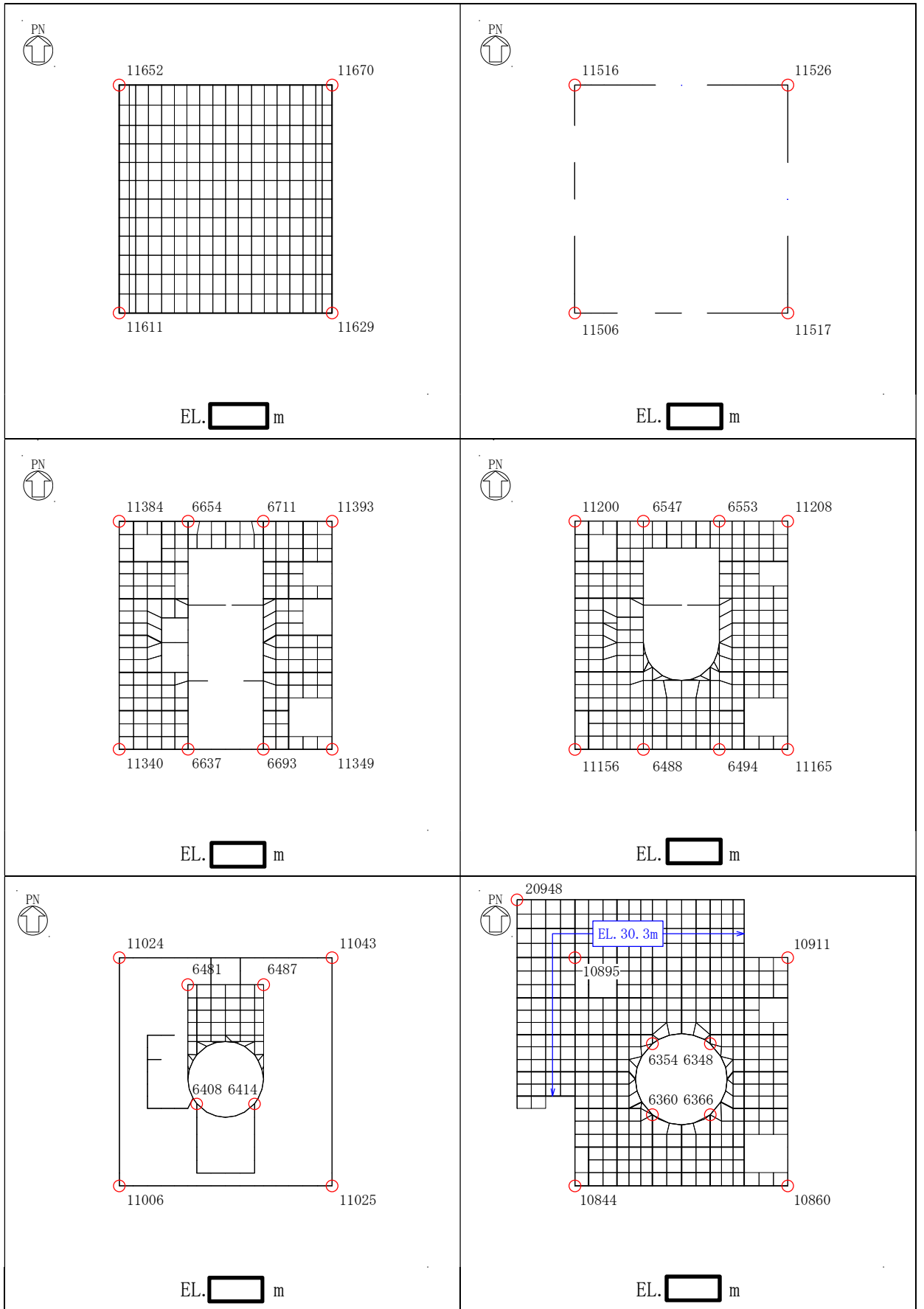


図 3-5 (1/2) 応答評価位置

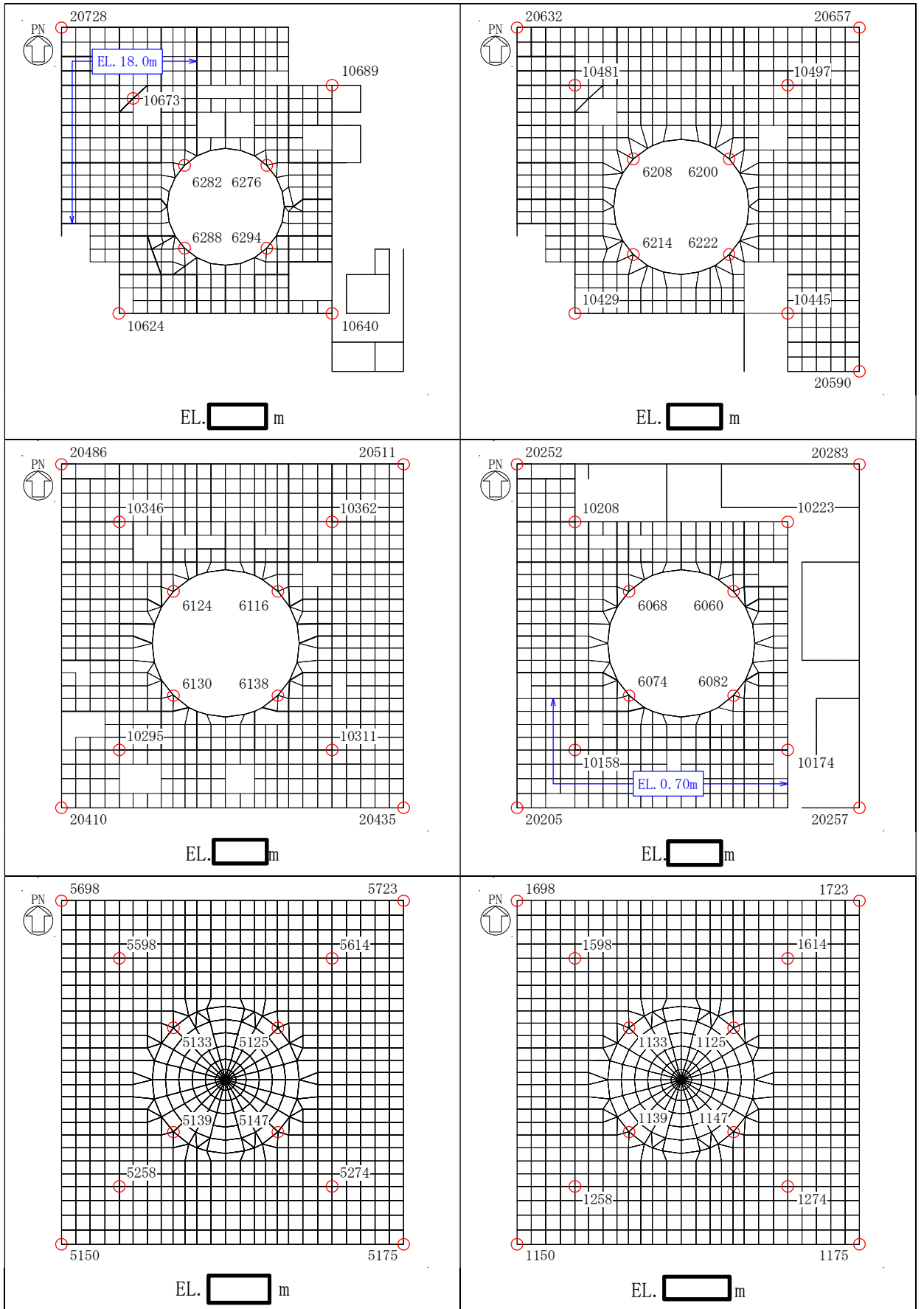
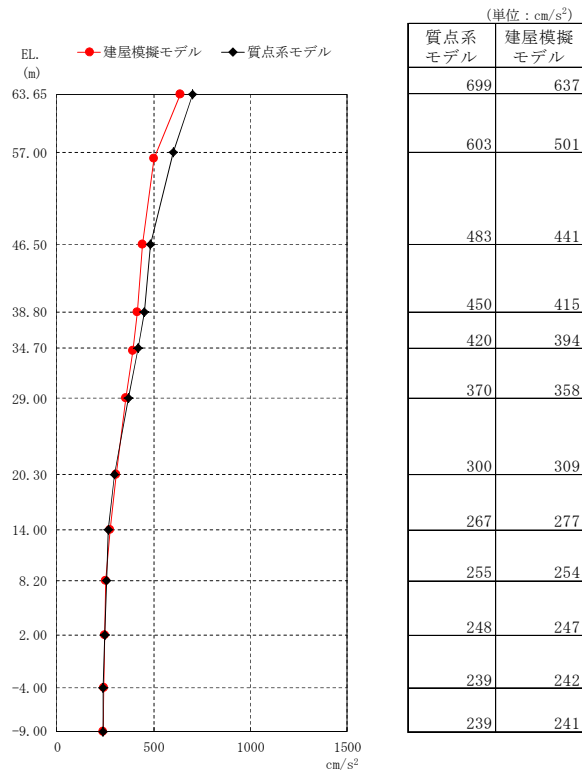
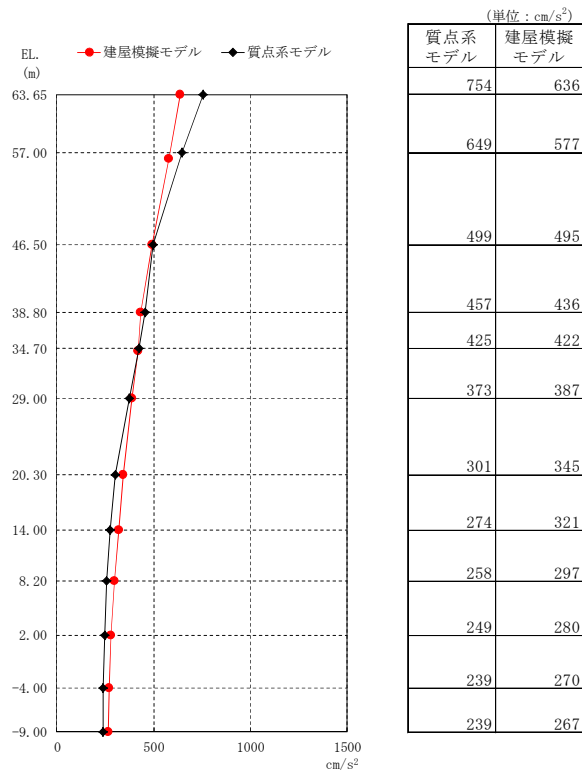


图 3-5 (2/2) 応答評価位置



(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 3-6 最大応答加速度の比較

(3) 3次元的な応答特性（応答補正率）を考慮した建屋影響検討

(2)の結果を踏まえて、質点系モデルに対して、3次元FEMモデルを用いて3次元的な応答補正を考慮し、建屋耐震評価への影響検討を実施する。

評価に当たっては、質点系モデルにおいて、基準地震動 S_s に対する層レベルでの評価を行う部位を対象とし、3次元FEMモデルにおける当該部での代表的な節点を複数節点選定する。

図3-7に検討フローを示す。

選定した3次元FEMモデルでの評価点において、弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答加速度をもとに、3次元的な応答補正比率 ξ を算出し、質点系モデルの基準地震動 S_s に対する応答補正を行い、耐震評価への影響検討を行う。

具体的には、質点系モデルの基準地震動 S_s に対する最大応答せん断力 Q に応答補正比率 ξ を乗じて、3次元的な応答特性を踏まえたせん断力を算定する。得られたせん断力を質点系モデルの各層のせん断スケルトンカーブ上にプロットし、せん断ひずみが評価基準値(2.0×10^{-3})を超えないことを確認する。ここで、第1折点を超える場合は、エネルギー一定則によりせん断ひずみを評価する。エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法を図3-8に示す。せん断ひずみを確認した結果、せん断ひずみが評価基準値を超えるものは詳細検討を実施する。

評価において用いた3次元FEMモデルにおける応答評価位置を図3-5に、質点系モデルでの評価部位を図3-9に示す。

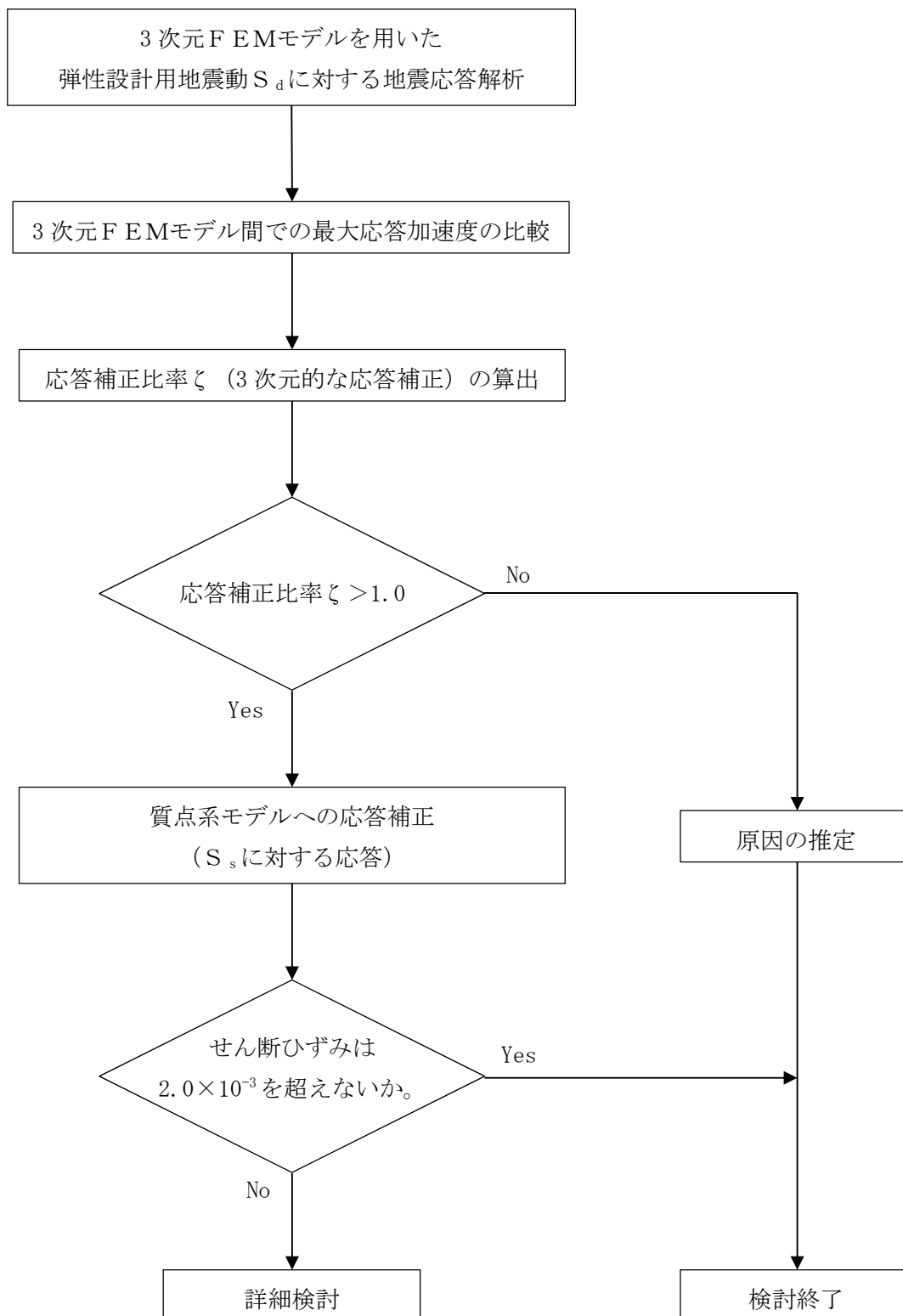
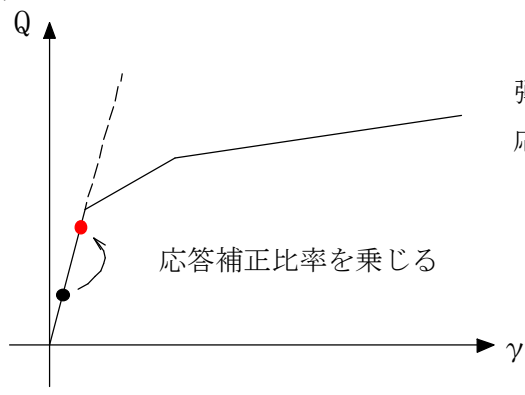
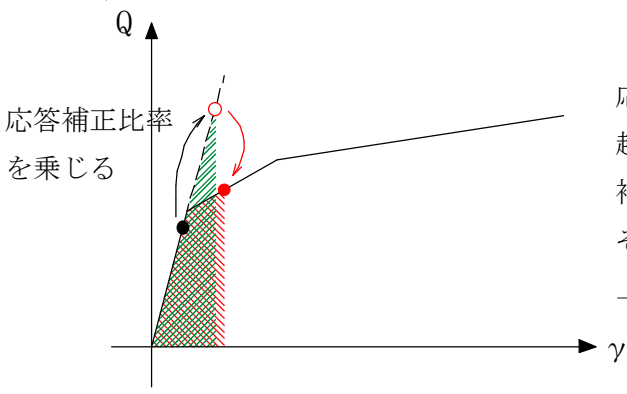


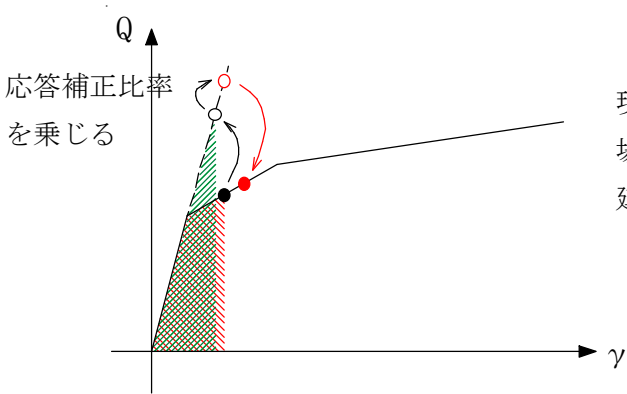
図 3-7 検討フロー



弾性直線状において，現設計による
応答結果に応答補正比率を乗じる。



応答補正比率を乗じた際，第一折点を
超える場合，弾性直線の延長線上に
補正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。



現設計において第一折点を超えている
場合は，エネルギー一定則で弾性直線の
延長に戻した後，補正比率を乗じる。
(以下，上記に準じる。)

図 3-8 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

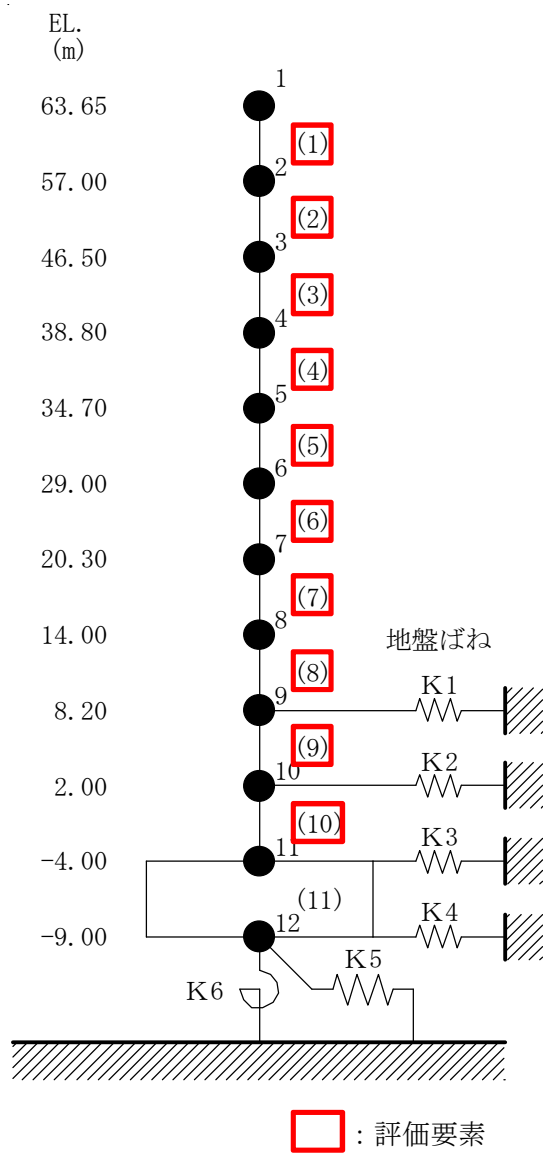


図 3-9 質点系モデルの評価部位

a. 応答補正比率の算出

3次元FEMモデルによる3次元的な応答性状を踏まえた定量的な耐震評価を行うため、質点系モデルの応答を補正する応答補正比率 ζ を算出する。

原子炉建屋については、質点系モデルにおいて、3次元的な応答性状を考慮した3方向同時入力の解析ができないことから、建屋模擬モデルにおいて、1方向入力及び3方向同時入力の最大応答加速度を比較し、応答補正比率 α を算出する。

また、質点系モデルにおいて、ねじれ振動を考慮していないことから、建屋模擬モデル及び質点系モデルと諸条件を整合させた質点系対応モデルの最大応答加速度を比較し、応答補正比率 β を算出する。

得られた α 及び β を乗じて、建屋評価用の応答補正比率 ζ を以下のように算出する。

- ① 応答補正比率 α 及び β はそれぞれ評価点ごとに定める。
- ② 応答補正比率 α 及び β は保守的な評価を実施するため、それぞれ1.0以上とする
- ③ 応答補正比率 ζ は、層ごとの各評価点の $\alpha \times \beta$ の最大値を用いる。

応答補正比率 ζ の算出式を以下に示す。

建屋評価用の応答補正比率 $\zeta = \text{Max}(\alpha \times \beta)$ …(1)式

($\text{Max}(\alpha \times \beta)$): 層ごとの各評価点の $\alpha \times \beta$ の最大値)

ここで、

3方向同時入力の応答補正比率 $\alpha = \frac{\text{3方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1方向入力による最大応答加速度}} \dots(2)式$

(ただし、 ζ を算出する場合は、 $\alpha \geq 1.0$)

ねじれ振動の応答補正比率 $\beta = \frac{\text{建屋模擬モデルの最大応答加速度}}{\text{質点系対応モデルの最大応答加速度}} \dots(3)式$

(ただし、 ζ を算出する場合は、 $\beta \geq 1.0$)

応答補正比率 α 、 β 、 ζ の算定結果を表3-7～表3-12に示す。応答補正比率 ζ は1.02～1.32の範囲にある。

表 3-7 (1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
63.65	1	11652	635	664	1.05
		11611	630	668	1.06
		11629	641	672	1.05
		11670	642	649	1.01
57.00	2	11516	498	504	1.01
		11506	495	506	1.02
		11517	506	512	1.01
		11526	507	507	1.00
46.50	3	11384	426	441	1.03
		11340	424	422	0.995
		11349	414	416	1.00
		11393	419	426	1.02
		6654	460	456	0.991
		6637	465	482	1.04
		6693	459	462	1.01
		6711	461	445	0.966
38.80	4	11200	399	412	1.03
		11156	399	394	0.987
		11165	389	386	0.994
		11209	394	389	0.988
		6547	432	432	0.999
		6488	434	430	0.991
		6494	439	436	0.995
		6553	431	430	0.997
34.70	5	11024	377	387	1.03
		11006	379	374	0.987
		11025	368	362	0.983
		11043	375	367	0.979
		6481	414	415	1.00
		6408	412	406	0.987
		6414	412	402	0.977
		6487	415	406	0.979

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる α を示す。

表 3-7 (2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
29	6	20948	337	354	1.05
		10895	350	356	1.02
		10844	352	346	0.981
		10860	339	329	0.970
		10911	348	341	0.981
		6351	368	368	0.999
		6357	371	366	0.986
		6363	387	375	0.969
		6345	373	368	0.986
20.3	7	20728	282	286	1.01
		10673	306	310	1.01
		10624	306	304	0.992
		10640	299	289	0.967
		10689	308	304	0.988
		6279	326	332	1.02
		6285	314	314	1.00
		6291	320	316	0.986
		6273	319	318	0.999
14	8	20632	266	270	1.02
		20590	268	272	1.01
		20657	264	267	1.01
		10481	268	271	1.01
		10429	276	272	0.986
		10445	272	266	0.975
		10497	281	276	0.983
		6204	301	307	1.02
		6211	280	282	1.01
		6218	285	279	0.979
		6197	285	287	1.01

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる α を示す。

表 3-7 (3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
8.2	9	20486	251	250	0.999
		20410	245	253	1.03
		20435	253	254	1.01
		20511	251	249	0.991
		10346	253	252	0.996
		10295	252	255	1.01
		10311	254	256	1.01
		10362	256	259	1.01
		6120	263	269	1.02
		6127	255	255	0.997
		6134	257	261	1.01
		6113	256	258	1.01
2	10	20252	246	248	1.01
		20205	243	245	1.01
		20257	247	243	0.986
		20283	245	244	0.996
		10208	247	248	1.01
		10158	247	246	0.999
		10174	248	244	0.984
		10223	248	249	1.00
		6064	247	250	1.02
		6071	248	247	0.996
		6078	248	247	0.996
		6057	249	248	0.996

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる α を示す。

表 3-8 (1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α (②/①)
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
63.65	1	11652	635	671	1.06
		11611	640	652	1.02
		11629	637	682	1.07
		11670	633	648	1.02
57.00	2	11516	576	597	1.04
		11506	578	589	1.02
		11517	580	606	1.04
		11526	576	593	1.03
46.50	3	11384	497	507	1.02
		11340	496	504	1.02
		11349	501	514	1.03
		11393	494	506	1.03
		6654	495	505	1.02
		6637	490	493	1.00
		6693	492	499	1.01
		6711	494	503	1.02
38.80	4	11200	436	433	0.991
		11156	434	452	1.04
		11165	428	426	0.995
		11209	440	449	1.02
		6547	439	437	0.994
		6488	434	445	1.02
		6494	432	438	1.01
		6553	440	441	1.00
34.70	5	11024	409	410	1.00
		11006	411	421	1.02
		11025	403	399	0.991
		11043	413	418	1.01
		6481	439	453	1.03
		6408	433	435	1.00
		6414	427	424	0.992
		6487	440	456	1.04

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した FEM 節点のうち最大となる α を示す。

表 3-8 (2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (EW 方向)

評価点		最大応答加速度 (cm/s^2)			α (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
29	6	20948	356	362	1.02
		10895	376	381	1.01
		10844	383	387	1.01
		10860	377	364	0.968
		10911	380	386	1.02
		6351	406	413	1.02
		6357	413	410	0.993
		6363	397	389	0.980
		6345	397	397	1.00
20.3	7	20728	324	332	1.03
		10673	345	345	0.997
		10624	340	337	0.990
		10640	349	345	0.989
		10689	339	344	1.01
		6279	352	350	0.993
		6285	357	349	0.979
		6291	348	335	0.964
		6273	350	346	0.988
14	8	20632	314	323	1.03
		20590	319	333	1.04
		20657	308	319	1.04
		10481	318	321	1.01
		10429	313	309	0.987
		10445	334	335	1.00
		10497	317	317	1.00
		6204	325	323	0.995
		6211	329	326	0.992
		6218	320	318	0.994
		6197	331	327	0.988

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる α を示す。

表 3-8 (3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		α (②/①)
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1 方向入力	② 3 方向入力	
8.2	9	20486	298	306	1.03
		20410	284	282	0.992
		20435	297	307	1.03
		20511	294	296	1.01
		10346	300	302	1.01
		10295	292	296	1.01
		10311	292	297	1.01
		10362	298	300	1.00
		6120	302	301	0.997
		6127	305	309	1.01
		6134	298	301	1.01
		6113	306	304	0.994
2	10	20252	283	288	1.02
		20205	275	273	0.993
		20257	281	285	1.02
		20283	281	283	1.01
		10208	279	281	1.01
		10158	280	282	1.01
		10174	281	281	1.00
		10223	282	287	1.02
		6064	281	283	1.01
		6071	278	280	1.01
		6078	282	285	1.01
		6057	280	282	1.01

注 : 網掛け部分は質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる α を示す。

表 3-9 (1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		β (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
63.65	1	11652	513	635	1.24
		11611	513	630	1.23
		11629	517	641	1.24
		11670	517	642	1.24
57.00	2	11516	450	498	1.11
		11506	450	495	1.10
		11517	453	506	1.12
		11526	453	507	1.12
46.50	3	11384	369	426	1.16
		11340	369	424	1.15
		11349	368	414	1.13
		11393	368	419	1.14
		6654	369	460	1.25
		6637	369	465	1.26
		6693	368	459	1.24
		6711	368	461	1.25
38.80	4	11200	343	399	1.16
		11156	343	399	1.16
		11165	341	389	1.14
		11209	341	394	1.16
		6547	342	432	1.26
		6488	342	434	1.27
		6494	341	439	1.28
		6553	341	431	1.26
34.70	5	11024	334	377	1.13
		11006	334	379	1.14
		11025	328	368	1.12
		11043	328	375	1.14
		6481	332	414	1.25
		6408	332	412	1.24
		6414	330	412	1.25
		6487	330	415	1.26

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる β を示す。

表 3-9 (2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		β (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
29	6	20948	326	337	1.03
		10895	322	350	1.09
		10844	322	352	1.09
		10860	318	339	1.07
		10911	318	348	1.10
		6351	320	368	1.15
		6357	321	371	1.16
		6363	320	387	1.21
		6345	319	373	1.17
20.3	7	20728	299	282	0.943
		10673	303	306	1.01
		10624	303	306	1.01
		10640	300	299	0.998
		10689	300	308	1.03
		6279	301	326	1.08
		6285	302	314	1.04
		6291	301	320	1.06
		6273	301	319	1.06
14	8	20632	286	266	0.929
		20590	281	268	0.954
		20657	281	264	0.938
		10481	282	268	0.949
		10429	285	276	0.967
		10445	282	272	0.964
		10497	282	281	0.993
		6204	284	301	1.06
		6211	285	280	0.983
		6218	284	285	1.00
		6197	283	285	1.01

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる β を示す。

表 3-9 (3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (NS 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		β (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
8.2	9	20486	263	251	0.952
		20410	263	245	0.932
		20435	262	253	0.964
		20511	262	251	0.958
		10346	263	253	0.963
		10295	263	252	0.959
		10311	263	254	0.967
		10362	263	256	0.974
		6120	263	263	0.999
		6127	263	255	0.971
		6134	263	257	0.978
		6113	263	256	0.976
2	10	20252	242	246	1.01
		20205	242	243	1.00
		20257	243	247	1.01
		20283	243	245	1.01
		10208	243	247	1.02
		10158	243	247	1.02
		10174	244	248	1.02
		10223	244	248	1.02
		6064	243	247	1.01
		6071	243	248	1.02
		6078	243	248	1.02
		6057	244	249	1.02

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる α を示す。

表 3-10 (1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		β (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
63.65	1	11652	576	635	1.10
		11611	575	640	1.11
		11629	575	637	1.11
		11670	576	633	1.10
57.00	2	11516	511	576	1.13
		11506	509	578	1.14
		11517	509	580	1.14
		11526	511	576	1.13
46.50	3	11384	425	497	1.17
		11340	416	496	1.19
		11349	416	501	1.20
		11393	425	494	1.16
		6654	425	495	1.16
		6637	416	490	1.18
		6693	416	492	1.18
		6711	425	494	1.16
38.80	4	11200	389	436	1.12
		11156	384	434	1.13
		11165	384	428	1.11
		11209	389	440	1.13
		6547	389	439	1.13
		6488	384	434	1.13
		6494	384	432	1.13
		6553	389	440	1.13
34.70	5	11024	373	409	1.10
		11006	367	411	1.12
		11025	367	403	1.10
		11043	373	413	1.11
		6481	372	439	1.18
		6408	369	433	1.17
		6414	369	427	1.16
		6487	372	440	1.18

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる β を示す。

表 3-10 (2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		β (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
29	6	20948	349	356	1.02
		10895	347	376	1.01
		10844	348	383	1.01
		10860	348	377	0.968
		10911	347	380	1.02
		6351	347	406	1.02
		6357	347	413	0.993
		6363	347	397	0.980
		6345	347	397	1.00
20.3	7	20728	324	324	1.03
		10673	325	345	0.997
		10624	324	340	0.990
		10640	324	349	0.989
		10689	325	339	1.01
		6279	325	352	0.993
		6285	324	357	0.979
		6291	324	348	0.964
		6273	324	350	0.988
14	8	20632	310	314	1.03
		20590	312	319	1.04
		20657	310	308	1.04
		10481	310	318	1.01
		10429	312	313	0.987
		10445	312	334	1.00
		10497	311	317	1.00
		6204	311	325	0.995
		6211	311	329	0.992
		6218	312	320	0.994
		6197	311	331	0.988

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる β を示す。

表 3-10 (3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (EW 方向)

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		β (②/①)
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点	① 質点系対応	② 建屋模擬	
8.2	9	20486	300	298	0.992
		20410	299	284	0.950
		20435	299	297	0.993
		20511	300	294	0.980
		10346	300	300	0.999
		10295	300	292	0.975
		10311	300	292	0.976
		10362	300	298	0.995
		6120	300	302	1.01
		6127	300	305	1.02
		6134	300	298	0.995
		6113	300	306	1.02
2	10	20252	288	283	0.983
		20205	287	275	0.958
		20257	288	281	0.977
		20283	287	281	0.977
		10208	288	279	0.971
		10158	288	280	0.973
		10174	288	281	0.976
		10223	288	282	0.980
		6064	288	281	0.976
		6071	288	278	0.965
		6078	288	282	0.980
		6057	288	280	0.973

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる β を示す。

表 3-11 (1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (NS 方向)

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 ζ
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点				
63.65	1	11652	1.05	1.24	1.31	1.31
		11611	1.06	1.23	1.31	
		11629	1.05	1.24	1.31	
		11670	1.01	1.24	1.26	
57.00	2	11516	1.01	1.11	1.13	1.14
		11506	1.02	1.10	1.13	
		11517	1.01	1.12	1.14	
		11526	1.00	1.12	1.12	
46.50	3	11384	1.03	1.16	1.20	1.32
		11340	1.00	1.15	1.15	
		11349	1.00	1.13	1.13	
		11393	1.02	1.14	1.17	
		6654	1.00	1.25	1.25	
		6637	1.04	1.26	1.32	
		6693	1.01	1.24	1.26	
		6711	1.00	1.25	1.25	
38.80	4	11200	1.03	1.16	1.20	1.28
		11156	1.00	1.16	1.16	
		11165	1.00	1.14	1.14	
		11209	1.00	1.16	1.16	
		6547	1.00	1.26	1.26	
		6488	1.00	1.27	1.27	
		6494	1.00	1.28	1.28	
		6553	1.00	1.26	1.26	
34.70	5	11024	1.03	1.13	1.17	1.26
		11006	1.00	1.14	1.14	
		11025	1.00	1.12	1.12	
		11043	1.00	1.14	1.14	
		6481	1.00	1.25	1.25	
		6408	1.00	1.24	1.24	
		6414	1.00	1.25	1.25	
		6487	1.00	1.26	1.26	

注 : 網掛け部分は質点番号に対応したF E M節点のうち最大となる ζ ($=\alpha \times \beta$) を示す。

表 3-11 (2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (NS 方向)

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 ζ
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点				
29	6	20948	1.05	1.03	1.09	1.21
		10895	1.02	1.09	1.12	
		10844	1.00	1.09	1.09	
		10860	1.00	1.07	1.07	
		10911	1.00	1.10	1.10	
		6351	1.00	1.15	1.15	
		6357	1.00	1.16	1.16	
		6363	1.00	1.21	1.21	
		6345	1.00	1.17	1.17	
20.3	7	20728	1.01	1.00	1.01	1.11
		10673	1.01	1.01	1.03	
		10624	1.00	1.01	1.01	
		10640	1.00	1.00	1.00	
		10689	1.00	1.03	1.03	
		6279	1.02	1.08	1.11	
		6285	1.00	1.04	1.04	
		6291	1.00	1.06	1.06	
		6273	1.00	1.06	1.06	
14	8	20632	1.02	1.00	1.02	1.09
		20590	1.01	1.00	1.01	
		20657	1.01	1.00	1.01	
		10481	1.01	1.00	1.01	
		10429	1.00	1.00	1.00	
		10445	1.00	1.00	1.00	
		10497	1.00	1.00	1.00	
		6204	1.02	1.06	1.09	
		6211	1.01	1.00	1.01	
		6218	1.00	1.00	1.00	
		6197	1.01	1.01	1.03	

注 : 網掛け部分は質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる ζ ($=\alpha \times \beta$) を示す。

表 3-11 (3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (NS 方向)

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 ζ
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点				
8.2	9	20486	1.00	1.00	1.00	1.03
		20410	1.03	1.00	1.03	
		20435	1.01	1.00	1.01	
		20511	1.00	1.00	1.00	
		10346	1.00	1.00	1.00	
		10295	1.01	1.00	1.01	
		10311	1.01	1.00	1.01	
		10362	1.01	1.00	1.01	
		6120	1.02	1.00	1.02	
		6127	1.00	1.00	1.00	
		6134	1.01	1.00	1.01	
		6113	1.01	1.00	1.01	
2	10	20252	1.01	1.01	1.03	1.04
		20205	1.01	1.00	1.01	
		20257	1.00	1.01	1.01	
		20283	1.00	1.01	1.01	
		10208	1.01	1.02	1.04	
		10158	1.00	1.02	1.02	
		10174	1.00	1.02	1.02	
		10223	1.00	1.02	1.02	
		6064	1.02	1.01	1.04	
		6071	1.00	1.02	1.02	
		6078	1.00	1.02	1.02	
		6057	1.00	1.02	1.02	

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる ζ ($= \alpha \times \beta$) を示す。

表 3-12 (1/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (EW 方向)

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 ζ
EL. (m)	質点 番号	FEM 節点				
63.65	1	11652	1.06	1.10	1.17	1.19
		11611	1.02	1.11	1.14	
		11629	1.07	1.11	1.19	
		11670	1.02	1.10	1.13	
57.00	2	11516	1.04	1.13	1.18	1.19
		11506	1.02	1.14	1.17	
		11517	1.04	1.14	1.19	
		11526	1.03	1.13	1.17	
46.50	3	11384	1.02	1.17	1.20	1.24
		11340	1.02	1.19	1.22	
		11349	1.03	1.20	1.24	
		11393	1.03	1.16	1.20	
		6654	1.02	1.16	1.19	
		6637	1.00	1.18	1.18	
		6693	1.01	1.18	1.20	
		6711	1.02	1.16	1.19	
38.80	4	11200	1.00	1.12	1.12	1.18
		11156	1.04	1.13	1.18	
		11165	1.00	1.11	1.11	
		11209	1.02	1.13	1.16	
		6547	1.00	1.13	1.13	
		6488	1.02	1.13	1.16	
		6494	1.01	1.13	1.15	
		6553	1.00	1.13	1.13	
34.70	5	11024	1.00	1.10	1.10	1.23
		11006	1.02	1.12	1.15	
		11025	1.00	1.10	1.10	
		11043	1.01	1.11	1.13	
		6481	1.03	1.18	1.22	
		6408	1.00	1.17	1.17	
		6414	1.00	1.16	1.16	
		6487	1.04	1.18	1.23	

注 : 網掛け部分は質点番号に対応したFEM節点のうち最大となる ζ ($= \alpha \times \beta$) を示す。

表 3-12 (2/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (EW 方向)

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 ζ
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点				
29	6	20948	1.02	1.02	1.05	1.20
		10895	1.01	1.08	1.10	
		10844	1.01	1.10	1.12	
		10860	1.00	1.08	1.08	
		10911	1.02	1.10	1.13	
		6351	1.02	1.17	1.20	
		6357	1.00	1.19	1.19	
		6363	1.00	1.14	1.14	
		6345	1.00	1.14	1.14	
20.3	7	20728	1.03	1.00	1.03	1.10
		10673	1.00	1.06	1.06	
		10624	1.00	1.05	1.05	
		10640	1.00	1.08	1.08	
		10689	1.01	1.05	1.07	
		6279	1.00	1.09	1.09	
		6285	1.00	1.10	1.10	
		6291	1.00	1.07	1.07	
		6273	1.00	1.08	1.08	
14	8	20632	1.03	1.01	1.05	1.07
		20590	1.04	1.02	1.07	
		20657	1.04	1.00	1.04	
		10481	1.01	1.03	1.05	
		10429	1.00	1.00	1.00	
		10445	1.00	1.07	1.07	
		10497	1.00	1.02	1.02	
		6204	1.00	1.04	1.04	
		6211	1.00	1.06	1.06	
		6218	1.00	1.03	1.03	
		6197	1.00	1.06	1.06	

注 : 網掛け部分は質点番号に対応したF E M節点のうち最大となる $\zeta (= \alpha \times \beta)$ を示す。

表 3-12 (3/3) 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (EW 方向)

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	応答補正 比率 ζ
EL. (m)	質点 番号	F E M 節点				
8.2	9	20486	1.03	1.00	1.03	1.04
		20410	1.00	1.00	1.00	
		20435	1.03	1.00	1.03	
		20511	1.01	1.00	1.01	
		10346	1.01	1.00	1.01	
		10295	1.01	1.00	1.01	
		10311	1.01	1.00	1.01	
		10362	1.00	1.00	1.00	
		6120	1.00	1.01	1.01	
		6127	1.01	1.02	1.04	
		6134	1.01	1.00	1.01	
		6113	1.00	1.02	1.02	
2	10	20252	1.02	1.00	1.02	1.02
		20205	1.00	1.00	1.00	
		20257	1.02	1.00	1.02	
		20283	1.01	1.00	1.01	
		10208	1.01	1.00	1.01	
		10158	1.01	1.00	1.01	
		10174	1.00	1.00	1.00	
		10223	1.02	1.00	1.02	
		6064	1.01	1.00	1.01	
		6071	1.01	1.00	1.01	
		6078	1.01	1.00	1.01	
		6057	1.01	1.00	1.01	

注 : 網掛け部分は質点番号に対応した F E M 節点のうち最大となる ζ ($= \alpha \times \beta$) を示す。

b. 評価結果

各層の応答比率を乗じた最大応答せん断力及び最大せん断ひずみを表 3-13 に示す。
補正後の応答をプロットしたせん断スケルトンカーブを図 3-10 及び図 3-11 に示す。

質点系モデルの最大応答せん断力 Q に応答補正比率 ξ を乗じて、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響及び 3 次元的な応答特性を踏まえたせん断ひずみを評価した結果、NS 方向及び EW 方向ともに全ての層において、評価基準値 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認した。

以上のことから、原子炉建屋については、3 次元的な応答特性による応答補正を考慮しても、建屋が有する耐震性への影響はないことを確認した。

表 3-13 3次元的な応答特性を踏まえたせん断力及びせん断ひずみ

(a) NS 方向

要素 番号	質点系モデルの 最大応答値 (S_s)			応答補正 比率 ζ	応答補正後 (最大応答値 $\times \zeta$)	
	Q ($\times 10^5$ kN)	γ ($\times 10^{-3}$)	地震動		Q ($\times 10^5$ kN)	γ ($\times 10^{-3}$)
1	0.212	0.084	$S_s - 2\ 1$	1.31	0.278	0.110
2	0.396	0.158	$S_s - 2\ 1$	1.14	0.452	0.180
3	0.989	0.051	$S_s - 3\ 1$	1.32	1.31	0.067
4	1.83	0.169	$S_s - 3\ 1$	1.28	1.95	0.227
5	2.50	0.452	$S_s - 3\ 1$	1.26	2.67	0.637
6	3.54	0.259	$S_s - 3\ 1$	1.21	3.80	0.333
7	4.63	0.367	$S_s - 3\ 1$	1.11	4.85	0.424
8	5.96	0.164	$S_s - 3\ 1$	1.09	6.50	0.179
9	6.77	0.158	$S_s - 3\ 1$	1.03	6.97	0.163
10	7.57	0.177	$S_s - 3\ 1$	1.04	7.87	0.184

(b) EW 方向

要素 番号	質点系モデルの 最大応答値 (S_s)			応答補正 比率 ζ	応答補正後 (最大応答値 $\times \zeta$)	
	Q ($\times 10^5$ kN)	γ ($\times 10^{-3}$)	地震動		Q ($\times 10^5$ kN)	γ ($\times 10^{-3}$)
1	0.214	0.091	$S_s - 2\ 2$	1.19	0.255	0.108
2	0.398	0.169	$S_s - 2\ 2$	1.19	0.442	0.202
3	0.989	0.070	$S_s - 3\ 1$	1.24	1.23	0.086
4	1.79	0.138	$S_s - 3\ 1$	1.18	2.10	0.162
5	2.53	0.298	$S_s - 3\ 1$	1.23	2.79	0.396
6	3.56	0.259	$S_s - 3\ 1$	1.20	3.84	0.332
7	4.63	0.468	$S_s - 3\ 1$	1.10	4.83	0.535
8	6.07	0.235	$S_s - 3\ 1$	1.07	6.19	0.255
9	6.83	0.163	$S_s - 3\ 1$	1.04	7.10	0.170
10	7.71	0.184	$S_s - 3\ 1$	1.02	7.86	0.188

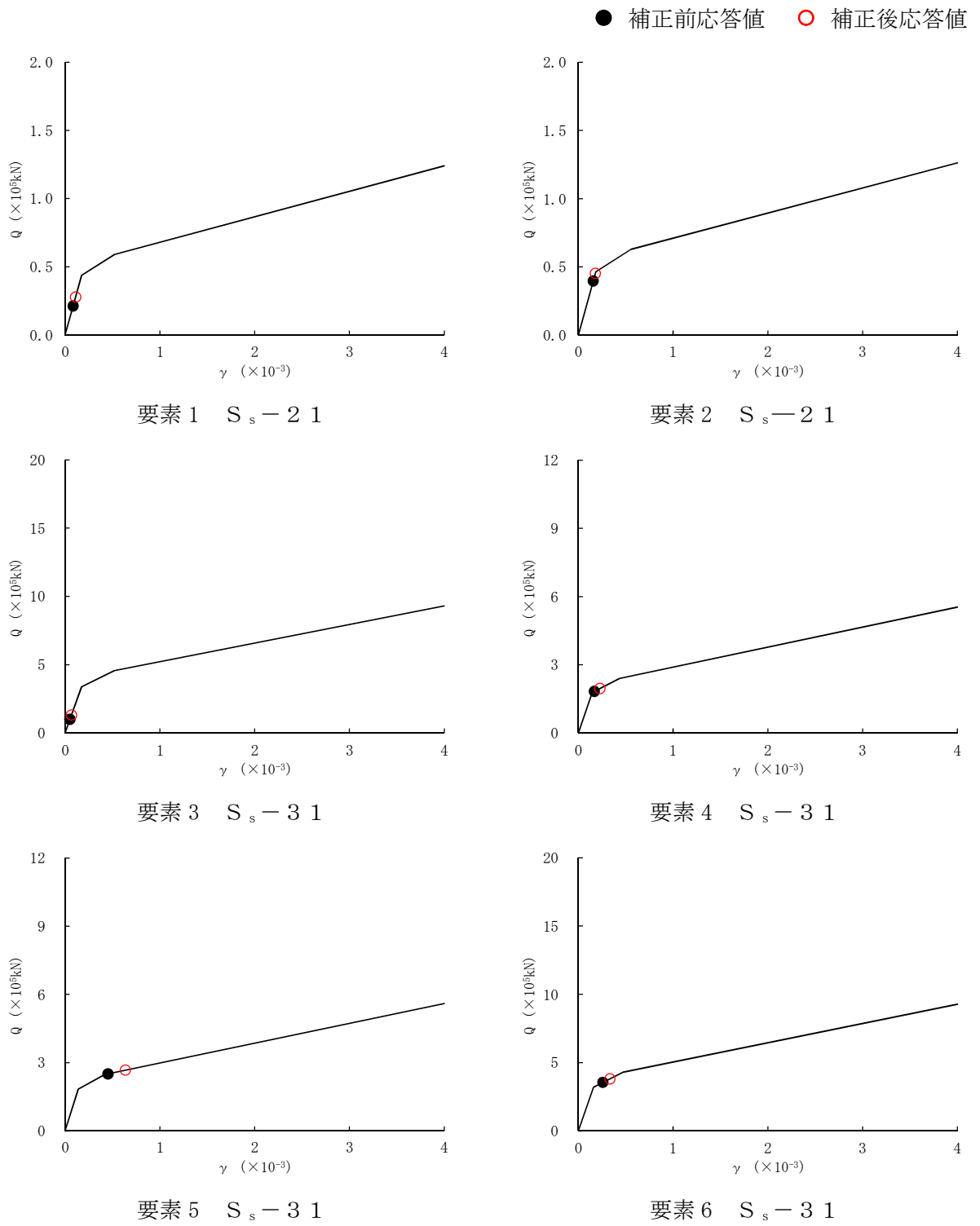


図 3-10 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向)

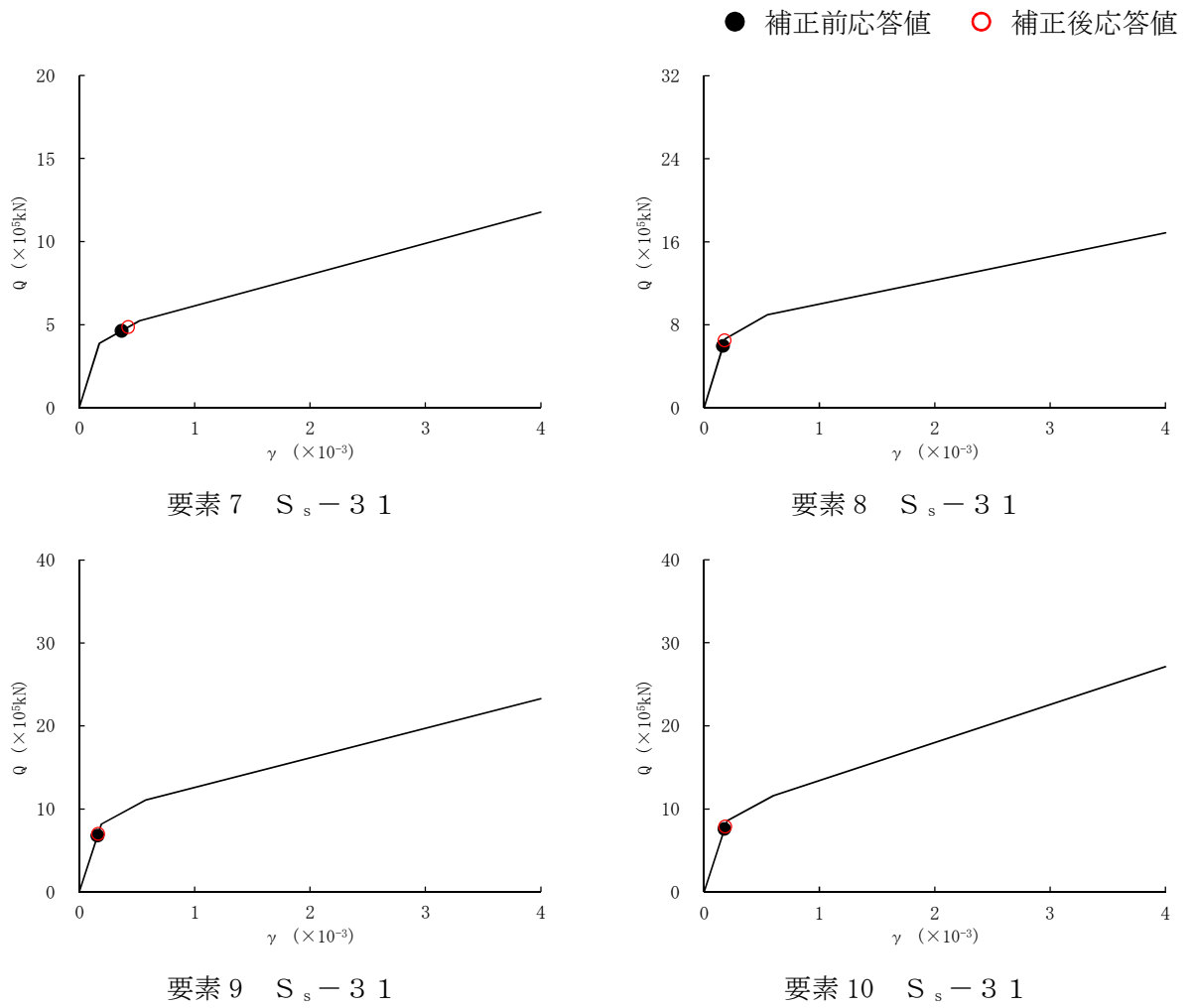


図 3-10 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (NS 方向)

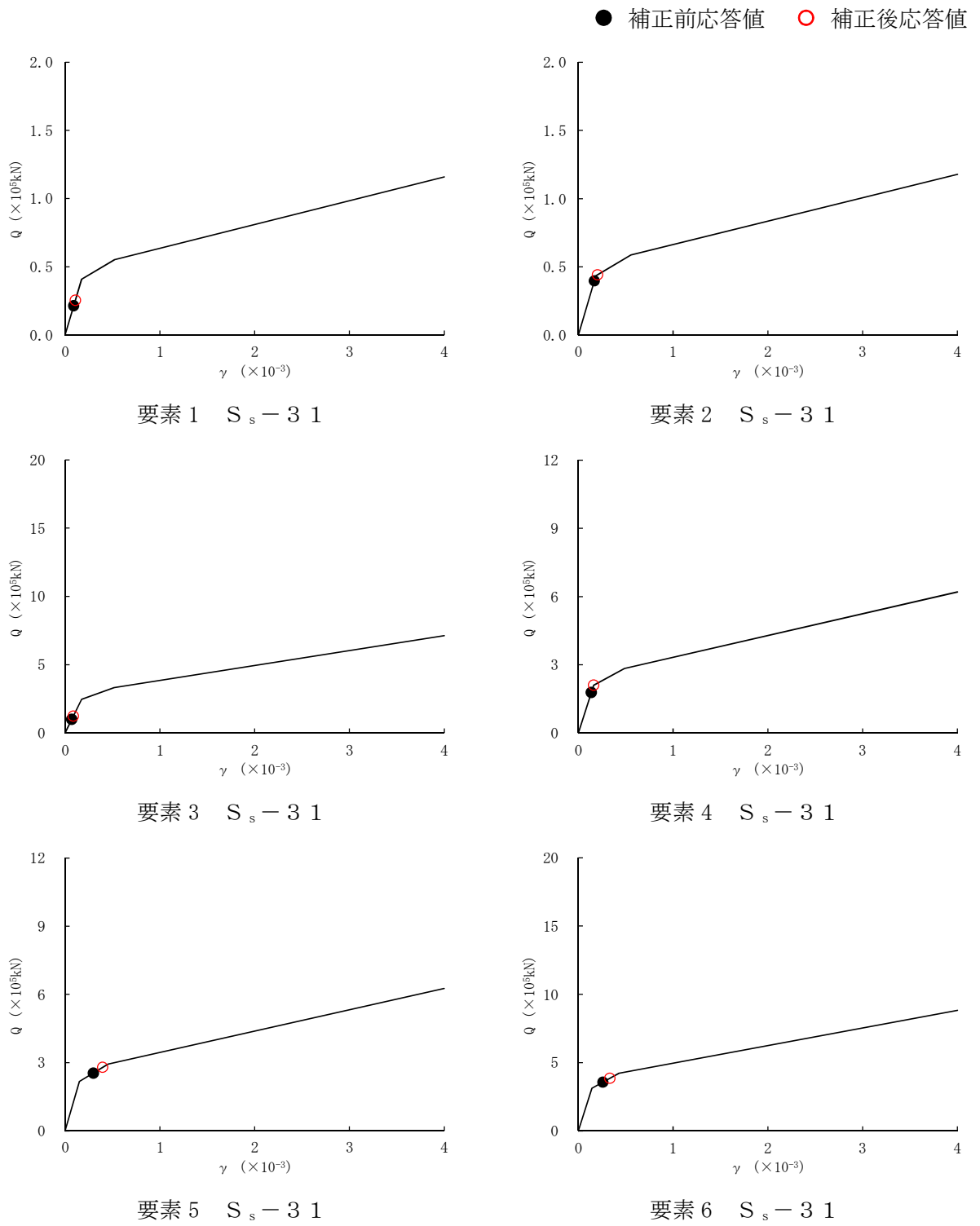


図 3-11 (1/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向)

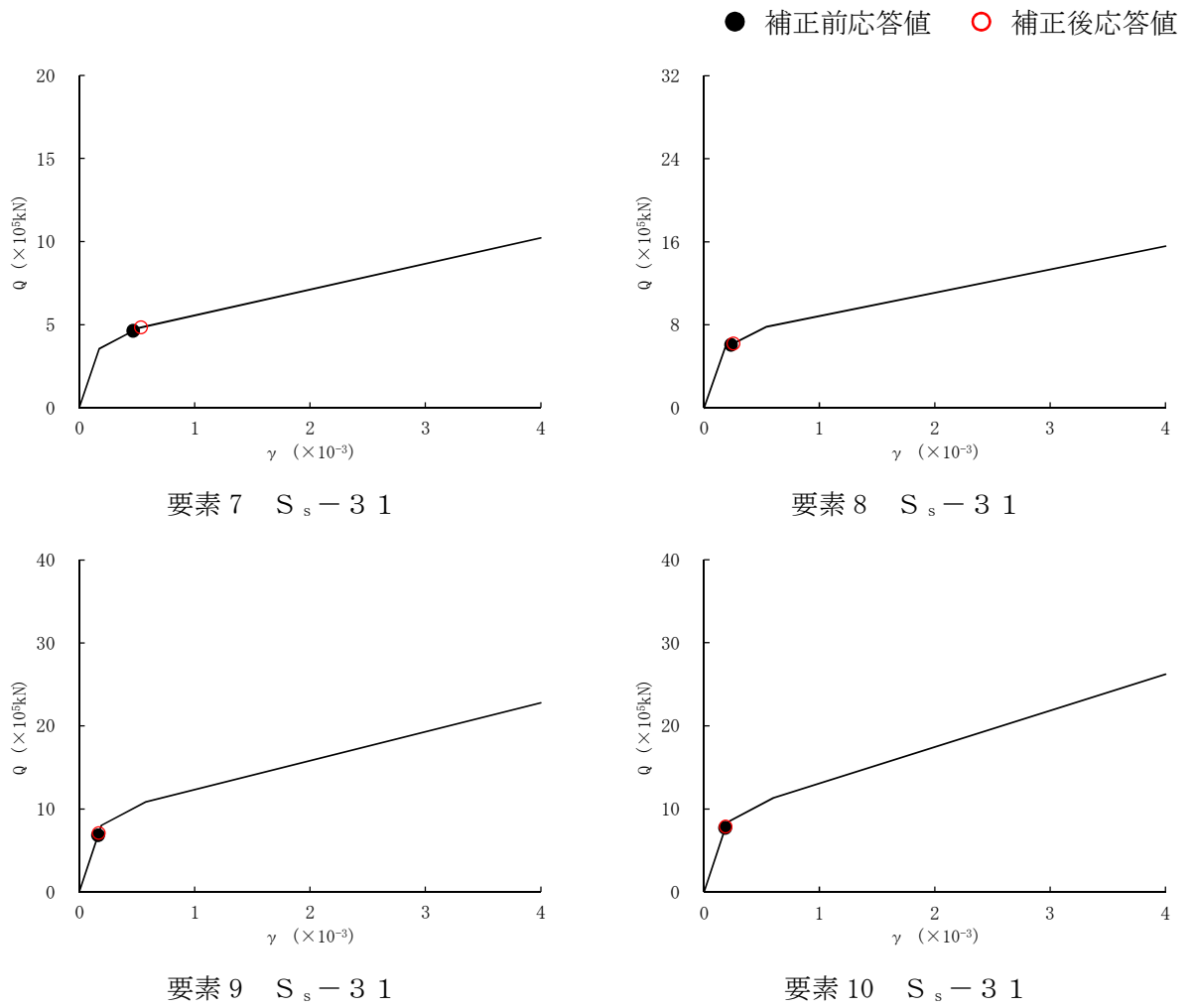


図 3-11 (2/2) せん断スケルトンカーブ上の最大応答値 (EW 方向)

3.4 床応答への影響検討

3次元FEMモデルによる地震応答解析結果から、3次元挙動が床応答に及ぼす影響について検討する。

評価部位は、図3-2における各レベルのI/W位置の北西部とする。

評価にあたっては、3次元FEMモデルにおける1方向入力及び3方向同時入力時の床応答の比較、並びに質点系モデル及び3次元FEMモデルの床応答を比較し、3次元的な応答特性の影響を確認する。

ここで、1方向入力及び3方向同時入力時の床応答の比較については、「3.2(4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響」にて検討しており、各レベルにおいて3方向同時入力による影響はほとんどないことを確認している。

質点系モデル及び3次元FEMモデルの床応答の比較について、地震動の入力は質点系モデルで1方向入力していることから、3次元FEMモデルにおいても1方向入力と比較する。

表3-14に比較結果を示す。

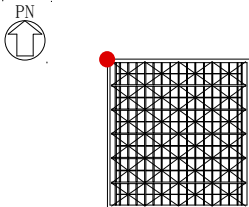

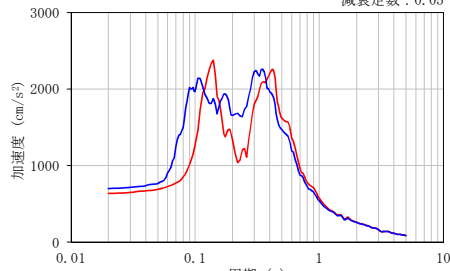
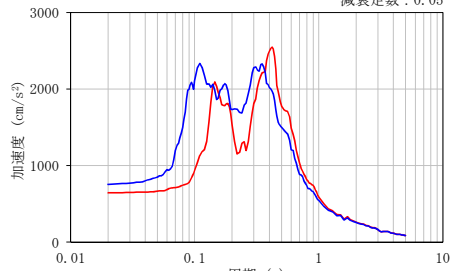
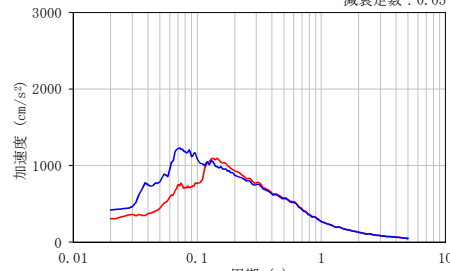
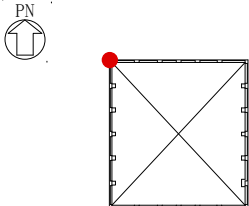

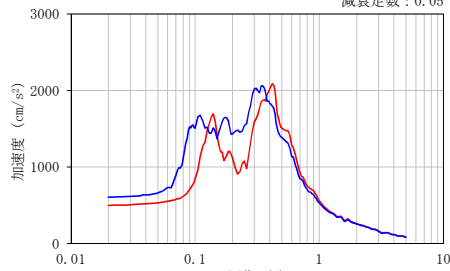
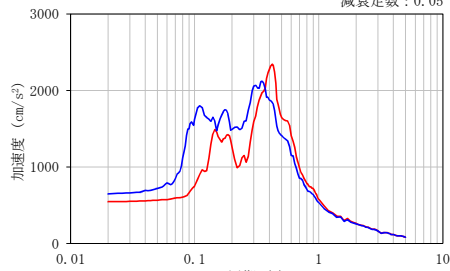
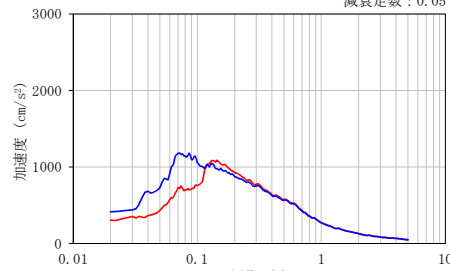
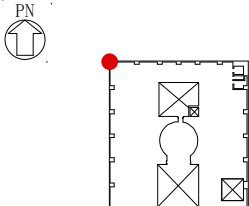

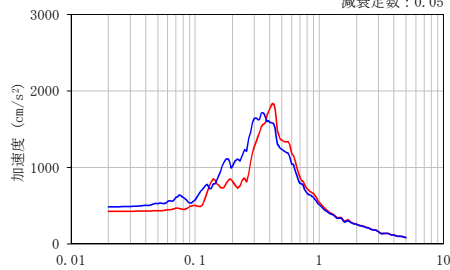
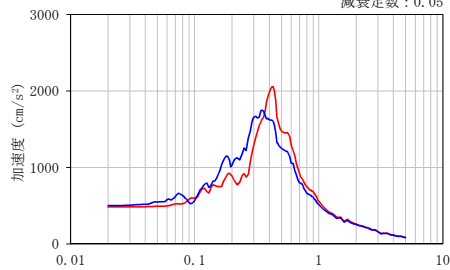
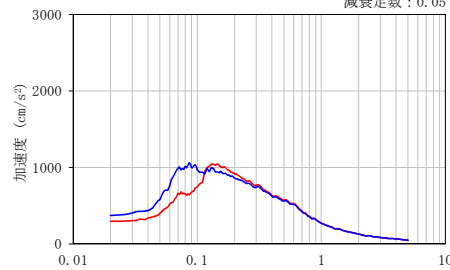
質点系モデルの応答と建屋模擬モデルの応答は概ね同等であることが確認できた。

以上のことから、3次元的な応答特性を踏まえても、原子炉建屋における質点系モデルの応答は、妥当な応答となることが確認できた。

この結果は、I/W位置の北西部での比較であり、また3次元FEMモデルにおいても1方向入力を行っていることから、「補5 S_d-D1に対する3次元FEMモデルによる地震応答解析」にて各階の評価点を増し、内部ボックス壁、外部ボックス壁及びシェル壁の壁隅部及び中間部も対象とし3方向同時入力時の応答性状の把握の観点から加速度応答スペクトルを示し、建屋応答性状の分析を行う。

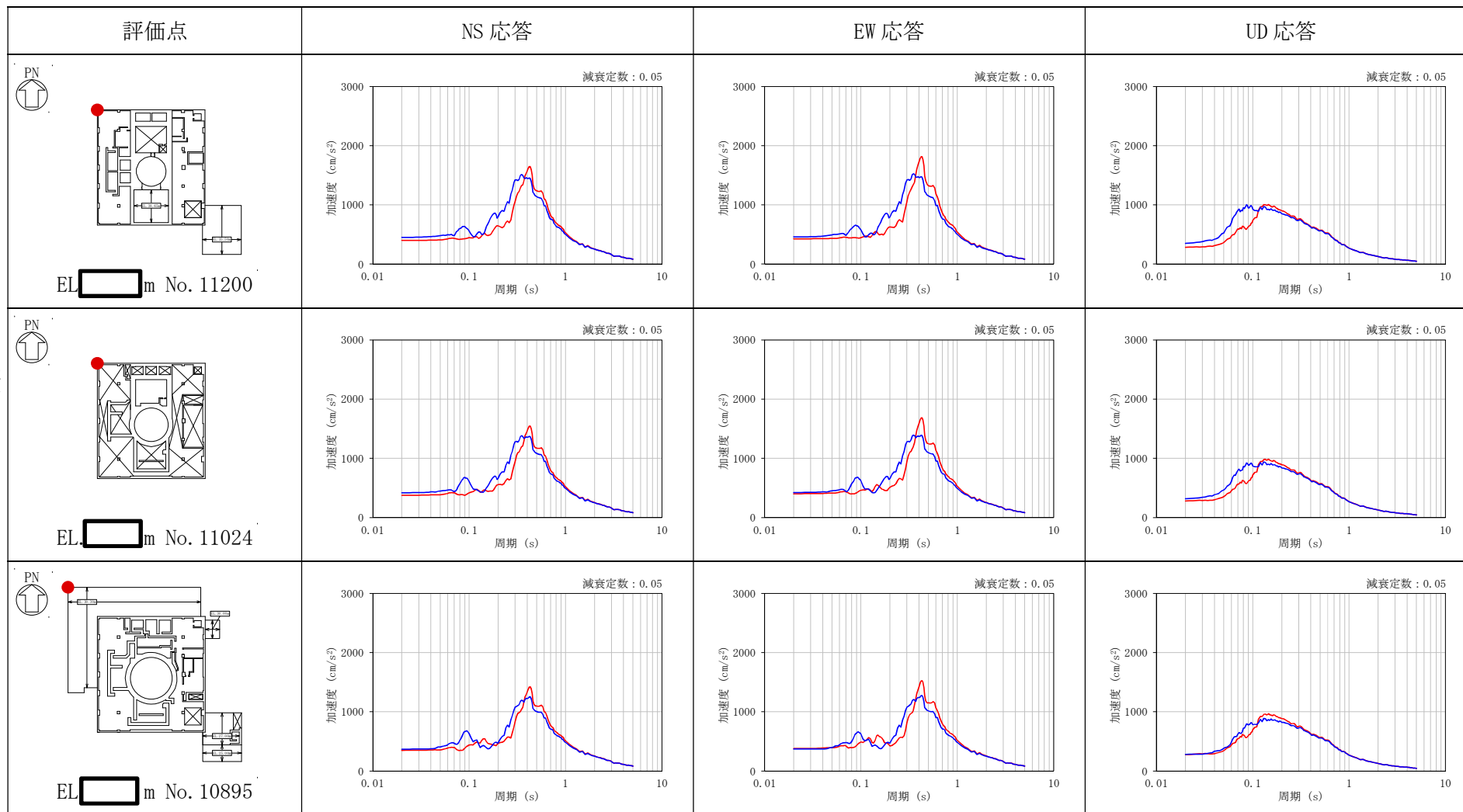
なお、「3.2 建屋応答性状の把握」で確認したように、EL.46.5mのEW方向については、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響で局所的な応答が生じるため、「別紙4 機器・配管系に関する説明資料」において、その影響について検討を行う。

表 3-14 (1/4) 3次元FEMモデル(建屋模擬モデル)及び質点系モデルの応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答	UD 応答
 <p>PN </p> <p>EL m No. 11652</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>PN </p> <p>EL m No. 11516</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 
 <p>PN </p> <p>EL m No. 11384</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 	<p>減衰定数 : 0.05</p> 

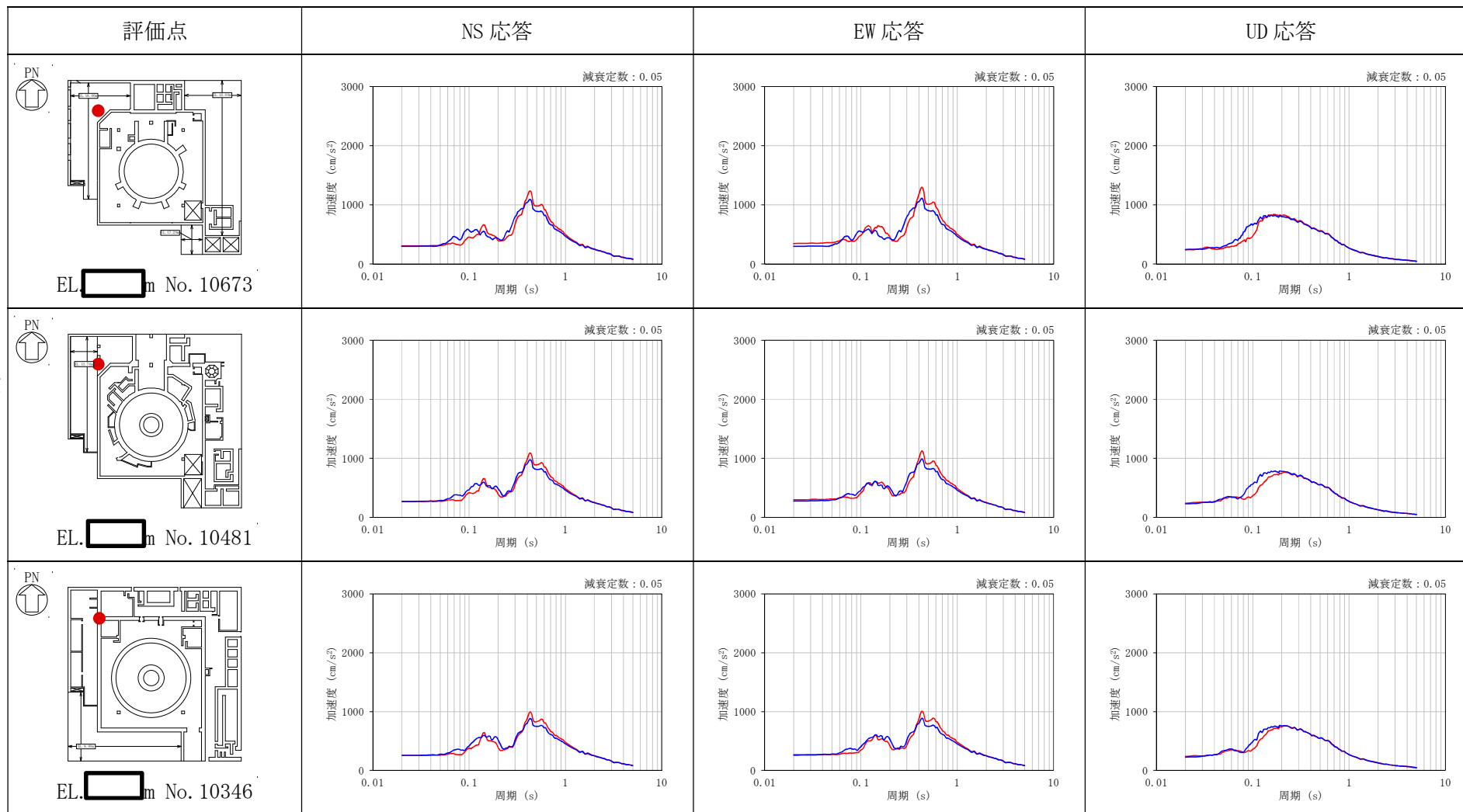
— 建屋模擬モデル — 質点系モデル

表 3-14 (2/4) 3次元FEMモデル(建屋模擬モデル)及び質点系モデルの応答比較



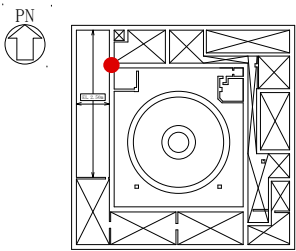

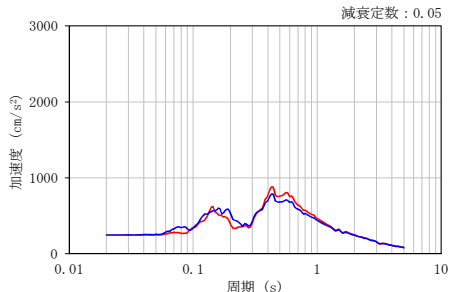
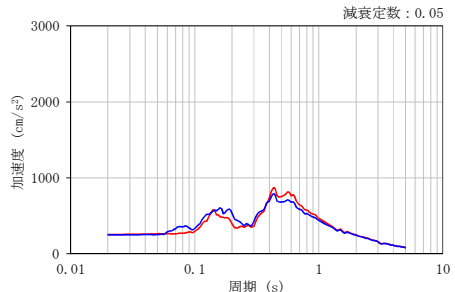
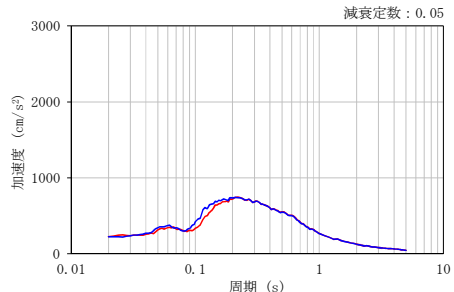
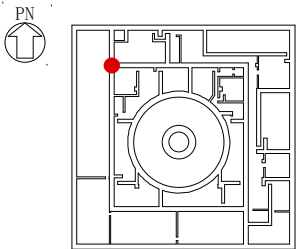

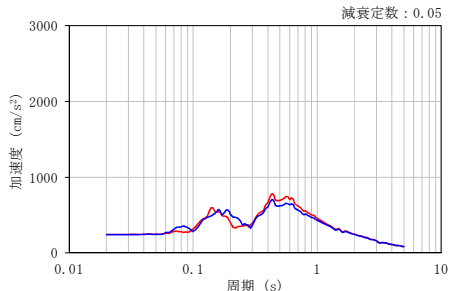
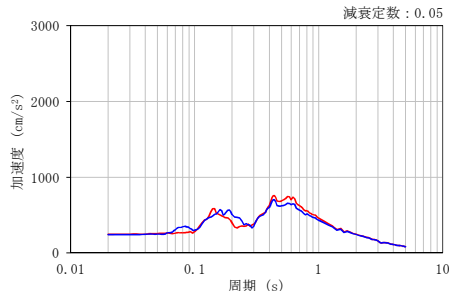
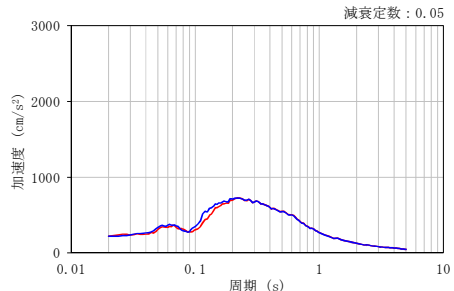
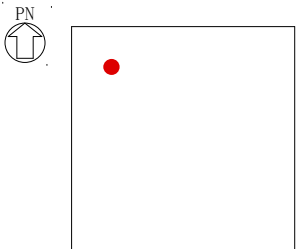

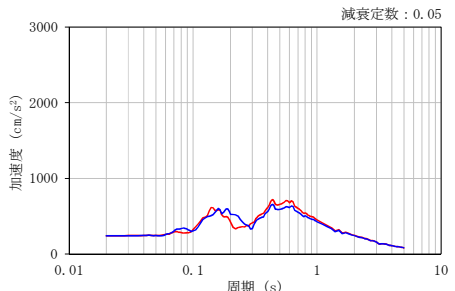
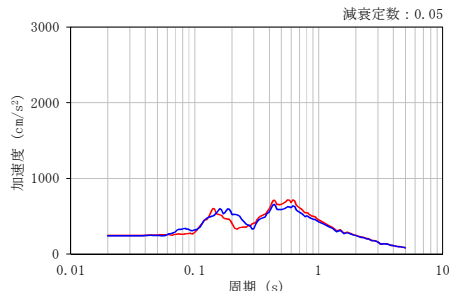
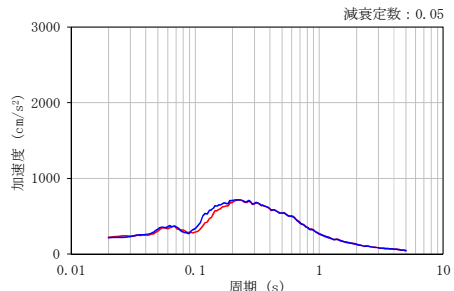
— 建屋模擬モデル — 質点系モデル

表 3-14 (3/4) 3次元FEMモデル(建屋模擬モデル)及び質点系モデルの応答比較



— 建屋模擬モデル — 質点系モデル

表 3-14 (4/4) 3次元FEMモデル(建屋模擬モデル)及び質点系モデルの応答比較

評価点	NS 応答	EW 応答	UD 応答
 <p>PN </p> <p>EL. m No. 10208</p>			
 <p>PN </p> <p>EL. m No. 5598</p>			
 <p>PN </p> <p>EL. m No. 1598</p>			

— 建屋模擬モデル — 質点系モデル

3.5 地震観測記録を踏まえた耐震評価への影響検討

3.5.1 検討概要

東北地方太平洋沖地震の地震観測記録では、オペフロにおける EW 方向の床応答加速度スペクトルの 10 Hz 付近が増幅することが確認されている。なお、建屋全体の 3次元 FEMモデル（以下「建屋全体モデル」という）を用いた建屋応答の分析より、鉛直地震力により EW 方向の 10 Hz 付近の応答が増幅することを確認している。

一方、使用済燃料プールは、水平方向と鉛直方向の地震力の組合せに対し、組合せ係数法を用いた応力解析を実施し耐震健全性を確認している。

本検討では、オペフロにある使用済燃料プールに対して、鉛直地震力による EW 方向の応答増幅に対する影響検討を実施する。

3.5.2 評価方針

(1) 評価対象部位及び応力成分

建屋全体モデルによる固有値解析により、EW 方向の応答が励起される振動モードは、ウェル壁がプールゲート部を境に東西に開閉するモードである。

ウェル壁の上部が東西方向に変形する挙動（開閉モード）により、ウェル壁には壁面内の曲げモーメントが作用し、ウェル壁下部に曲げに伴う局所応力が生じる。この局所応力は、ウェル壁のプールゲートに面した側面では曲げに伴う鉛直方向の引張力、プールゲート底部には水平方向の引張力が作用する。

本検討では、使用済燃料プールのうち鉛直地震力による EW 方向の応答増幅が与える影響の最も大きな部位としてウェル壁下部を抽出し、建屋全体モデルを用いた地震応答解析結果から、鉛直地震力によりウェル壁脚部に生じる鉛直方向引張力と水平方向引張力に与える影響について確認する。評価対象とする部位を図 3-12 に、評価する応力成分を図 3-13 に示す。

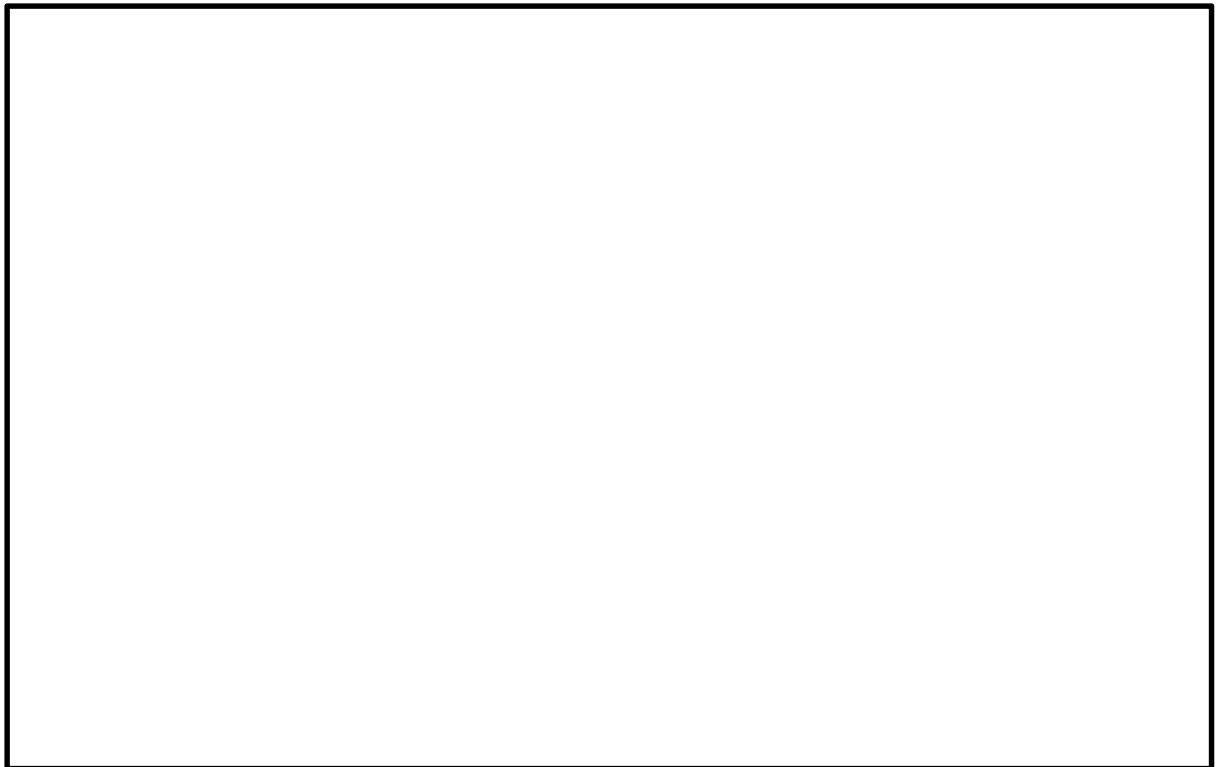


図 3-12 建屋全体モデルの評価対象要素 (EW 方向断面図)

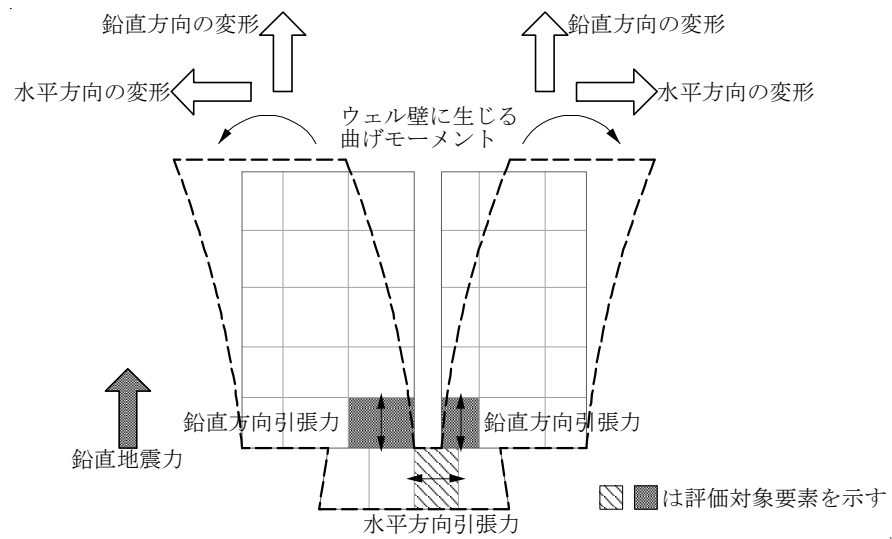


図 3-13 建屋全体モデルの評価対象部位及び応力成分

(2) 評価方法

評価は、使用済燃料プールの耐震評価に用いた応力解析モデル（以下「耐震評価モデル」という）により算出した応力に、建屋全体モデルにより求めた鉛直地震力により励起された軸方向引張力の増幅を考慮しても、発生応力が許容限界以下となることを確認する。

a. 応答増幅の確認

建屋全体モデルによる地震応答解析を行い、ウェル壁に発生する EW 方向単独入力時の応力と鉛直方向単独入力時の応力を比較し応答増幅率を算出する。なお、検討に用いる入力地震動は、対象とする短周期成分を含む地震動とし、 S_d-D1 とする。応答増幅率を算出する評価対象要素を図 3-14 に示す。

建屋全体モデルによる応答増幅率は以下により算出する。

$$\text{応答増幅率} = \frac{\text{EW 方向単独入力時の発生応力} + \text{開閉モードによる応力増分}}{\text{EW 方向単独入力時の発生応力}}$$

また、鉛直方向単独入力時の応力増分の算出方法を以下に示す。また、算出方法の概要をに示す。

1) プールゲート部側面下端

1a：各時刻における評価対象要素を含む同一高さの 3 要素の平均鉛直軸方向力を算出する。

1b：各時刻における評価対象要素の鉛直軸方向力から、「1a」の平均鉛直軸方向力を減ずる。

1c：「1b」の時刻歴最大値を、ウェル壁面内曲げモーメントによる鉛直軸方向力増分（3次元挙動による鉛直軸方向引張力）とする。

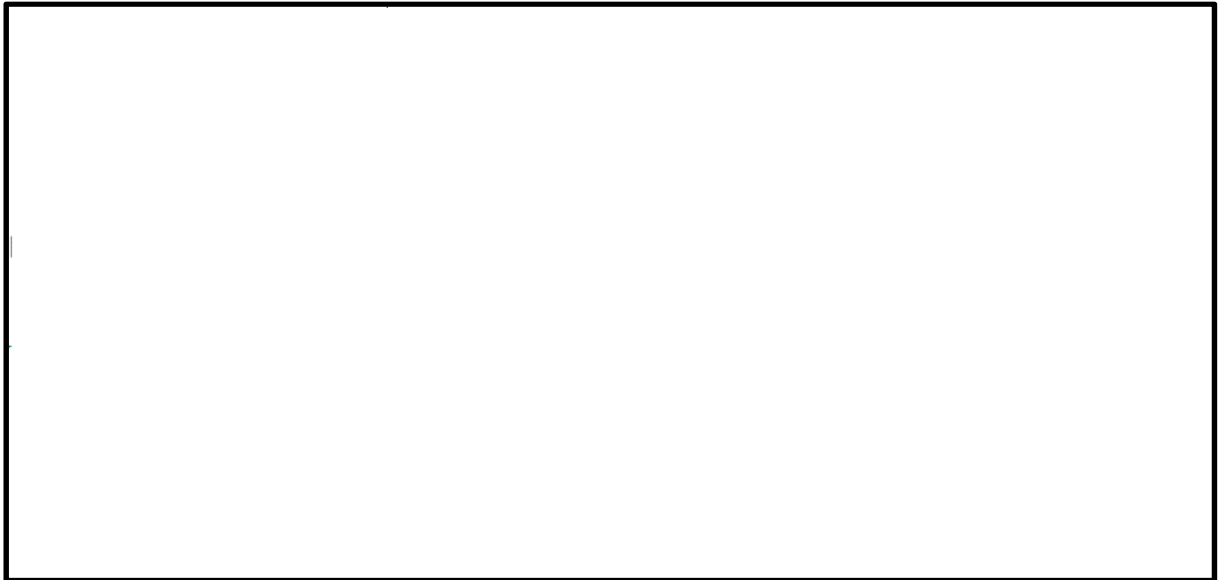
2) プールゲート部底部

2a：質点系モデルによるオペフロ (EL. 46.5 m) の鉛直方向応答加速度時刻歴より、各時刻の鉛直震度を算出する。

2b：自重による静的応力解析結果に「2a」で求めた鉛直震度を乗じて鉛直方向の慣性力による水平軸方向力を算出する。

2c：各時刻の評価対象要素の水平軸方向力から、「2b」の水平軸方向力を減じる。

2d：「2c」の時刻歴最大値を、ウェル壁面内曲げモーメントによる水平軸方向力増分（3次元挙動による水平軸方向引張力）とする。



注：数値は要素番号を示す。

図 3-14 建屋全体モデルの評価対象要素

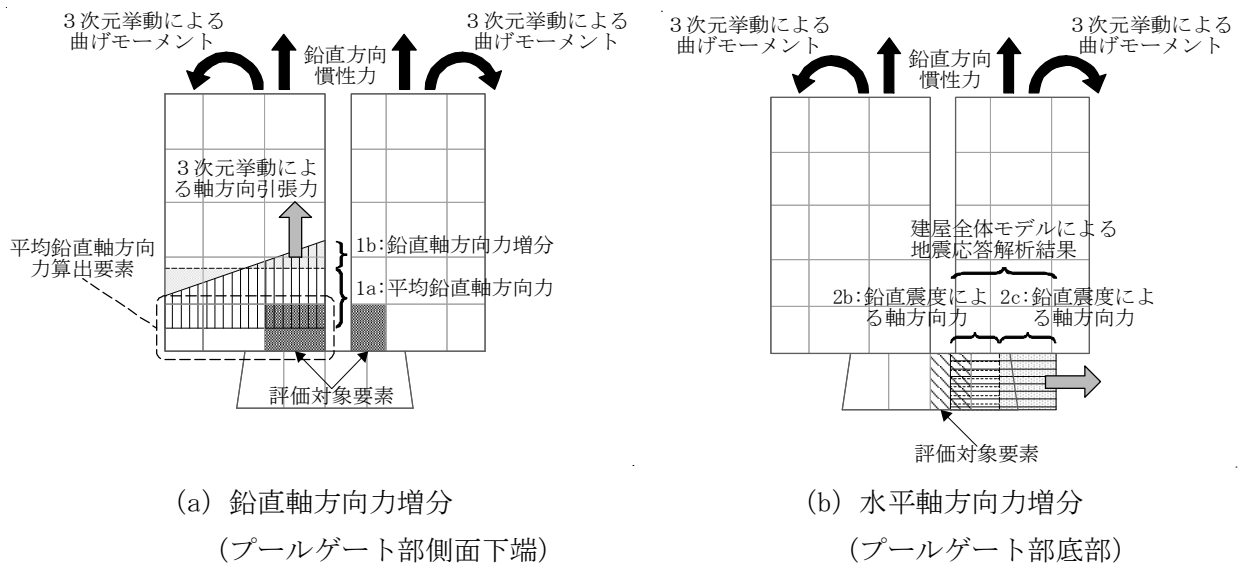


図 3-15 開閉モードによる軸方向力増分の概念図

b. 応答増幅を考慮した応力検討

使用済燃料プールの耐震評価結果である検定比に、鉛直加振時の応答増幅率による割増しを考慮する。このとき、軸方向引張力の増分は、引張側の鉄筋が負担することとする。検定比に応答増幅率を乗じる評価対象要素を図 3-16 に示す。

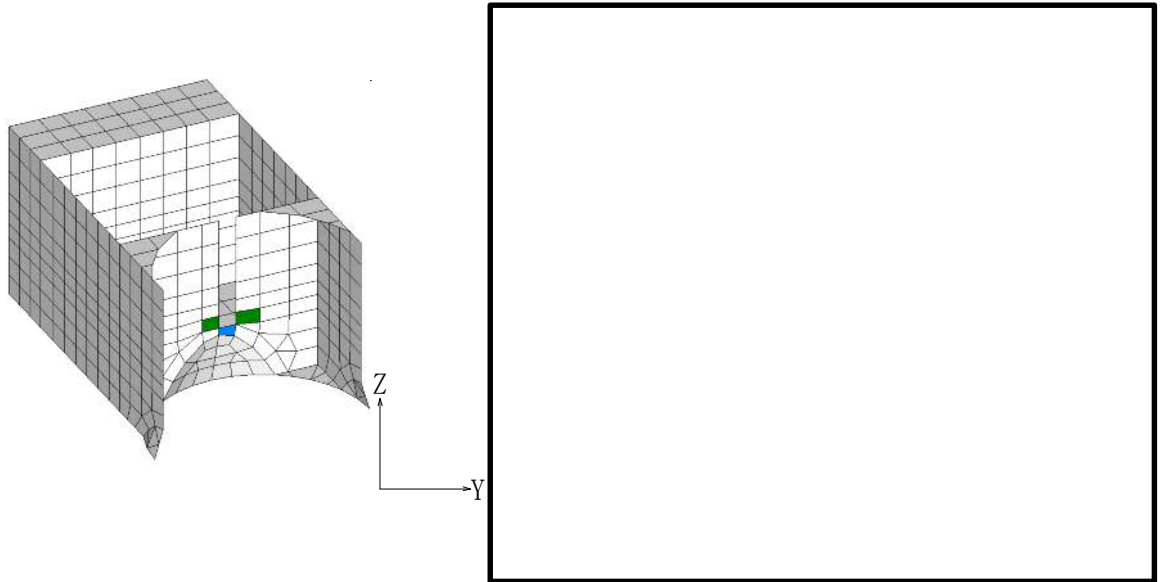


図 3-16 耐震評価モデルの評価対象要素

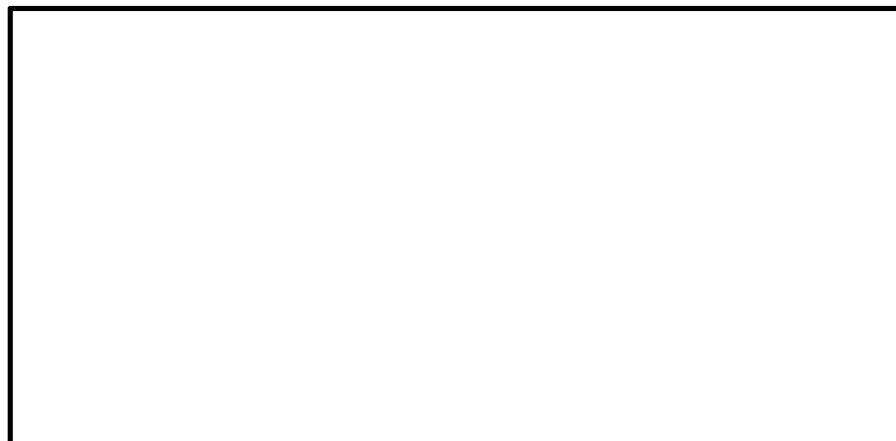
3.5.3 評価結果

(1) 応答増幅の確認

建屋全体モデルを用いて鉛直地震力（ S_d-D1 ）に対してウェル壁の開閉モードにより、プールゲート部に生じる応答増幅率を算定した。図 3-17 に軸方向力増分を、表 3-15 に応答増幅率の算定結果を示す。なお、図 3-17 に示すように、評価対象要素は水平もしくは鉛直軸方向力増分が最大となる要素を含んでいる。



(a) 鉛直軸方向力増分



(b) 水平軸方向力増分

図 3-17 開閉モードによる軸方向力増分（ S_d-D1 ）

表 3-15 応答増幅率の評価結果

要素番号	応力	UD 方向入力 による応力増分	EW 方向入力 による応力	応答増幅率 ($1.0 \text{ EW} + 0.4 \text{ UD}$) / (1.0 EW)
6141	鉛直軸方向引張力	294	1240	1.095
6142	鉛直軸方向引張力	411	1640	1.101
5378	水平軸方向引張力	253	275	1.368

(2) 応答増幅を考慮した応力検討

耐震評価モデルを用いて実施した使用済燃料プールの応力解析において、 S_0 地震時の水平 2 方向及び鉛直方向入力時の鉄筋ひずみの許容値に対する検定比を図 3-18 に、評価対象要素の検定比に応答増幅率を乗じた結果を表 3-16 に示す。表 3-16 に示すように、鉛直地震力時にウェル壁が開閉するモードによる局所的な応力を考慮しても、許容限界以下となる事を確認した。なお、図 3-18 に示すように、評価対象要素は水平もしくは鉛直軸方向の検定比が最大となる要素を含んでいる。



(a) 鉛直方向鉄筋



(b) 水平方向鉄筋

図 3-18 水平 2 方向及び鉛直方向入力時の鉄筋の検定比

表 3-16 ウェル壁の影響検討結果（S_s地震 水平2方向及び鉛直方向入力時）

要素番号	項目	応答増幅率	応力解析時 検定比	応答増幅を考慮し た検定比
3031	引張鉄筋検定比	1.095	0.264	0.290
3043	引張鉄筋検定比	1.101	0.209	0.231
3037	引張鉄筋検定比	1.368	0.321	0.440

3.5.4 入力地震動の代表性について

本検討では、ウェル壁の開閉モードによるプールゲート部に生じる応答増幅率の算定には S_d-D1 を用いた。質点系モデルのオペフロ位置における鉛直方向の加速度応答スペクトルの比較を図 3-19 に示す。なお、図 3-19 は、 S_d-D1 に対する加速度応答スペクトル比を示している。図に示すようにウェル壁の開閉モード付近を含む周期 0.05 秒～周期 0.12 秒の範囲で S_d-D1 を上回り、最大となる地震動は S_d-11 、 S_d-13 、 S_d-21 、 S_d-22 の 4 波である。

ここでは、上記 4 波に対して S_d-D1 と同様に応力増分を算出し、 S_d-D1 による応力増分と比較する。

建屋全体モデルを用いた S_d-11 、 S_d-13 、 S_d-21 、 S_d-22 による地震応答解析から求めた応力増分の包絡値を図 3-20 に示す。また、 S_d-D1 による応力増分との比較を図 3-21 に示す。 S_d-D1 による応力増分と比較すると、プールゲート部底部周辺の応力増分比は鉛直方向 1.05 倍、水平方向 1.16 倍となっている。表 3-16 に示すように評価対象要素の割増後の検定比は最大で 0.440 であり、1.05～1.16 倍しても検定比は 1.0 を超過しないことを確認した。

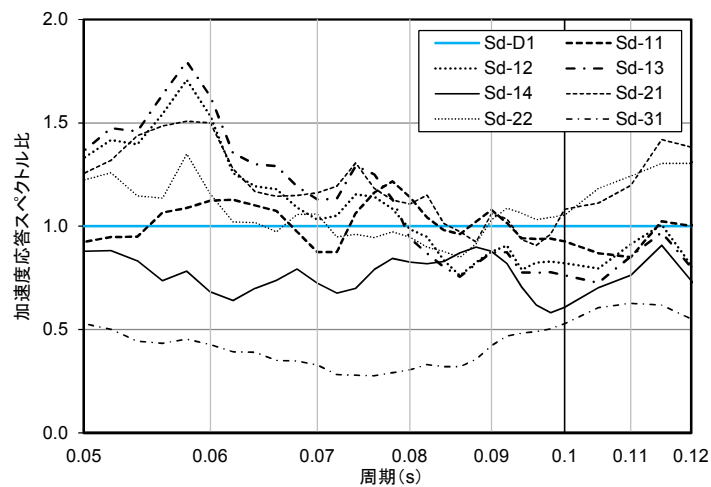
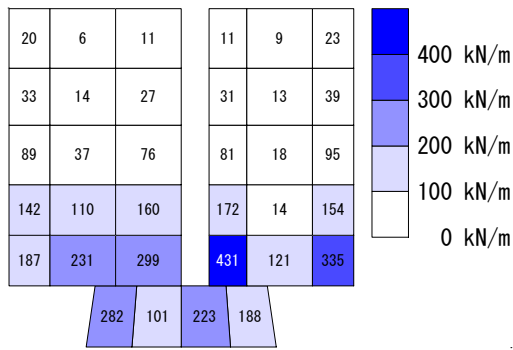
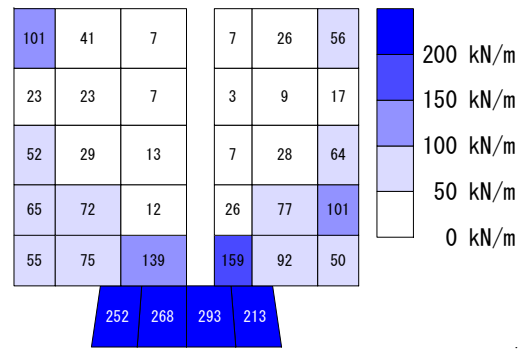


図 3-19 オペフロにおける加速度応答スペクトルの比較

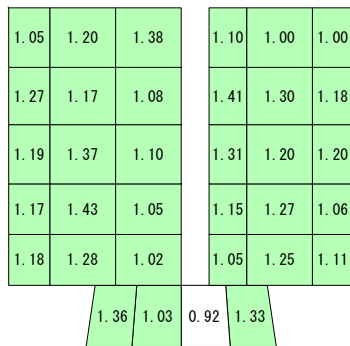


(a) 鉛直軸方向力増分

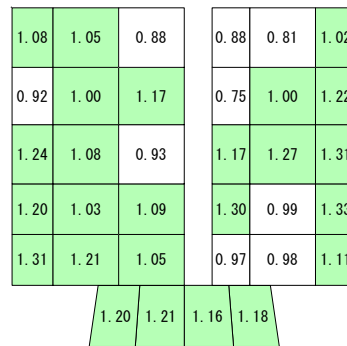


(b) 水平軸方向力増分

図 3-20 応力増分の包絡値 ($S_d-1 1$, $S_d-1 3$, $S_d-2 1$, $S_d-2 2$)



(a) 鉛直方向



(b) 水平方向

図 3-21 $S_d-D 1$ による応力増分に対する増分比

4. まとめ

原子炉建屋について、建屋の3次元応答特性の影響確認及び建屋の質点系モデルによる応答性状の検証の観点から、3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い建屋の局所的な応答を検討した。また、3次元FEMモデルによる挙動が、建屋及び機器・配管系の有する耐震性に及ぼす影響を検討した。

建屋については、3次元FEMモデルにより得られた3次元応答特性を質点系モデルに考慮して応答補正した結果、建屋が有する耐震性への影響はないことを確認した。

また、東北地方太平洋沖地震の地震観測記録に確認された、オペフロにおけるEW方向の床応答加速度スペクトルの10 Hz付近の増幅に対し、3次元FEMモデルを用いた検討を行い耐震評価上問題ないことを確認した。

機器・配管系については、3次元FEMモデルにより得られた局所的な応答（床応答）と質点系モデルより得られた応答を比較した結果、機器・配管系が有する耐震性に及ぼす影響がないことを確認した。

以上のことから、原子炉建屋の質点系モデルは、3次元応答特性による局所的な応答を考慮できないものの、3次元FEMモデルとの応答比較等の検証を踏まえて、保守的な解析モデルとなっている。

ただし、この結果は、I/W位置の北西部での比較であり、また3次元FEMモデルにおいても1方向入力を行っていることから、「補5 S_d-D1に対する3次元FEMモデルによる地震応答解析」にて各階の評価点を増し、内部ボックス壁、外部ボックス壁及びシェル壁の壁隅部及び中間部も対象とし3方向同時入力時の応答性状の把握の観点から加速度応答スペクトルを示し、建屋応答性状の分析を行う。

補 1 観測記録とシミュレーション解析の床応答スペクトル ($h=1\%$) の比較

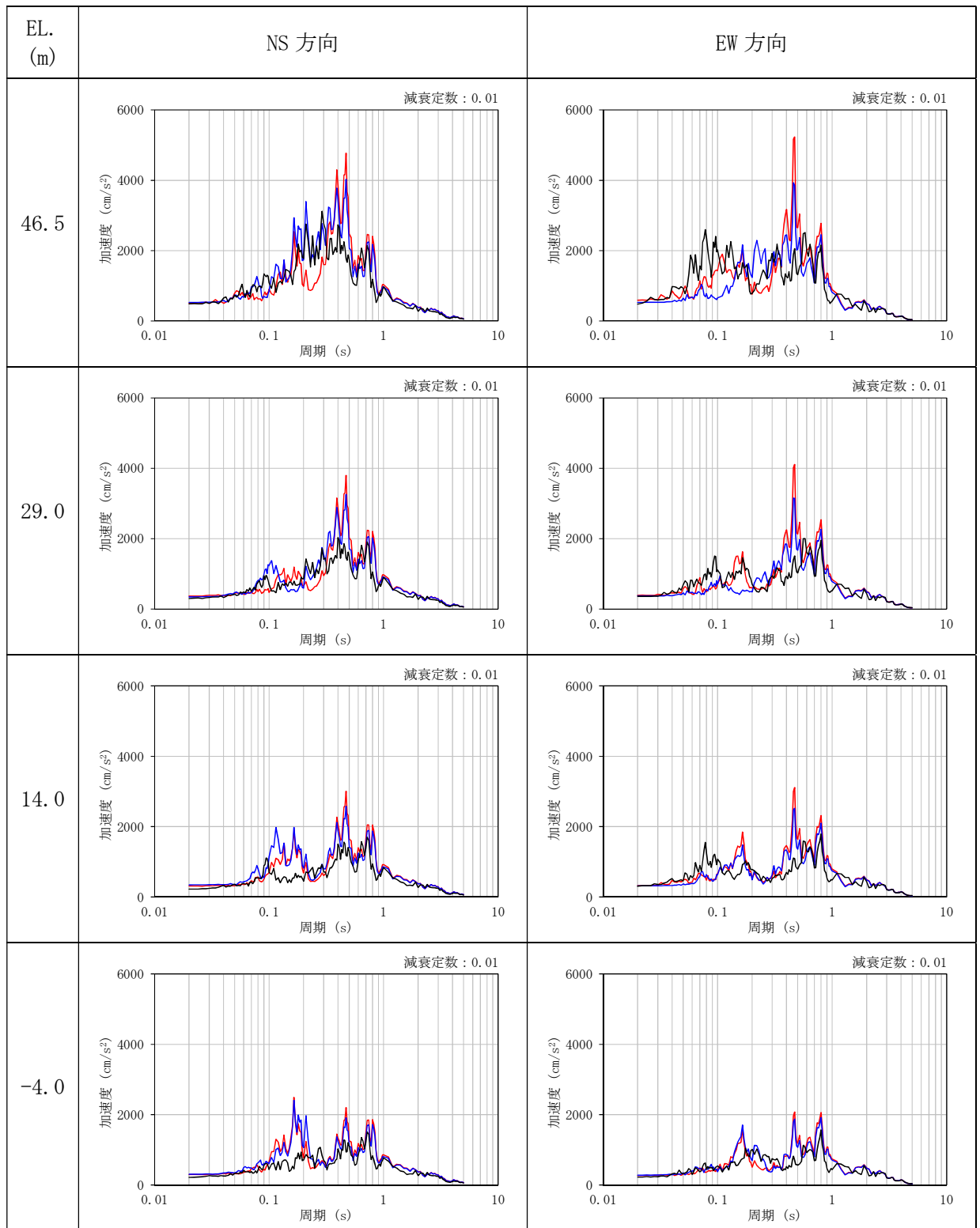
1. はじめに

本資料は、「別紙 3 2.3 観測記録を用いた検討」において示した、観測記録とシミュレーション解析結果の比較について減衰定数を 0.1 とした場合の床応答スペクトルを記載するものである。

2. 床応答スペクトル

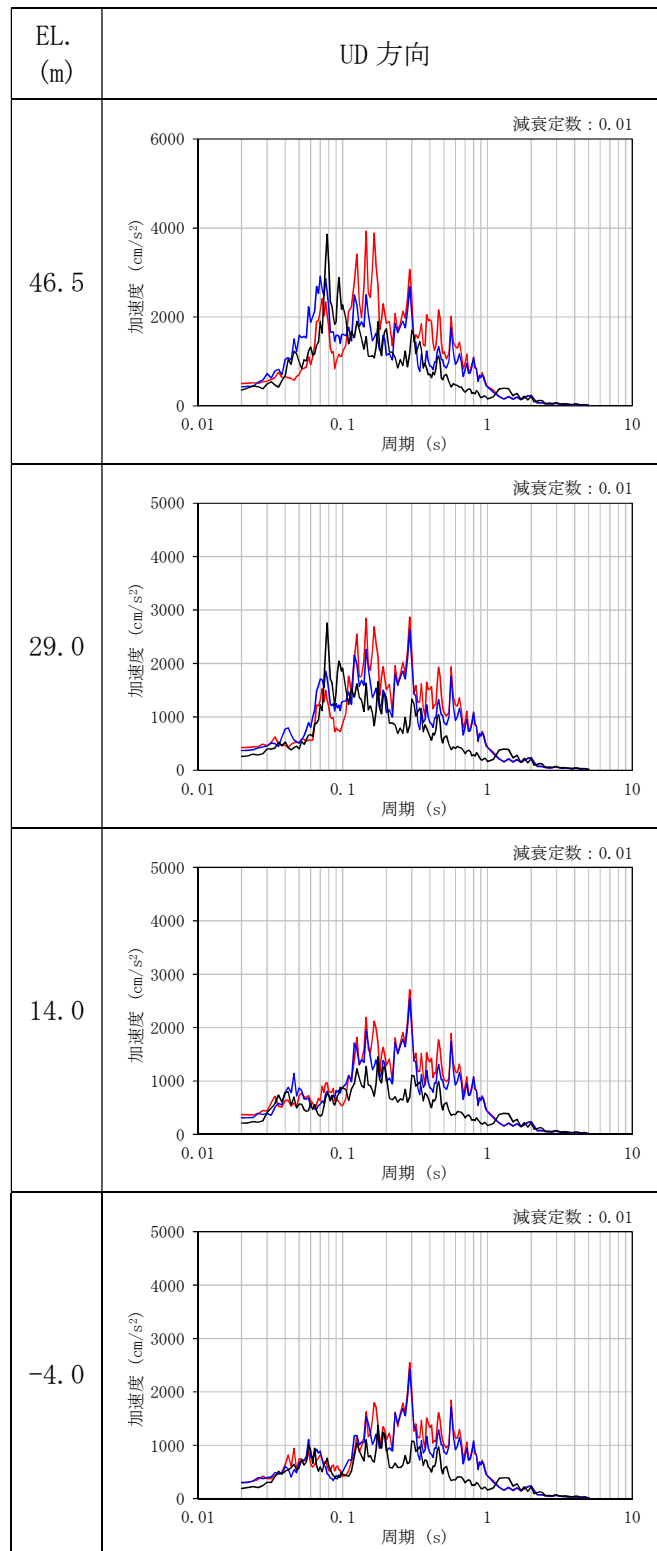
EL. 46.5 m, EL. 29.0 m, EL. 14.0 m 及び EL. -4.0 m の地震計位置での観測記録及び解析結果の加速度応答スペクトルの比較を表 2-1 に示す。なお、観測記録と比較するための解析結果は 3 方向同時入力による結果とし、地震計位置近傍の節点のものを用いる。また、添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」に用いた質点系モデルにおける解析結果も参考として併せて示す。

表 2-1 (1/2) 観測記録と解析結果の比較 (h=1%)



— 観測記録 — 3次元FEM — 質点系

表 2-1 (2/2) 観測記録と解析結果の比較 (h=1%)



— 観測記録 — 3次元FEM — 質点系

補2 実剛性を用いたシミュレーション解析結果

1. 検討概要

3次元FEMモデルによる地震応答解析において、建屋の実状を模擬したモデルとして用いている建屋模擬モデルではコンクリートの剛性として設計基準強度に基づく剛性を考慮しており、「別紙3 2.3 観測記録を用いた検討」で示したように、一部の周期帯に差異が認められるものの、観測記録と概ね対応しており、スペクトル形状を再現できている。

ここでは、コンクリートの剛性として「補足-400-3 地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」に示す実測データによる実強度に基づく剛性を設定した場合の応答に与える影響について検討する。

2. 解析モデル

解析モデルは、「別紙3 2.3 観測記録を用いた検討」において用いた建屋模擬モデル及び建屋模擬モデルのコンクリート剛性を実剛性とした実剛性モデルとする。なお、コンクリート剛性以外の条件については、同一とする。解析モデルのケースを表2-1に示す。また、コンクリートの剛性を表2-2に示す。

表2-1 解析モデルのケース

モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	設計基準強度
実剛性モデル	床柔	相互作用考慮	実強度

表2-2 コンクリートの剛性

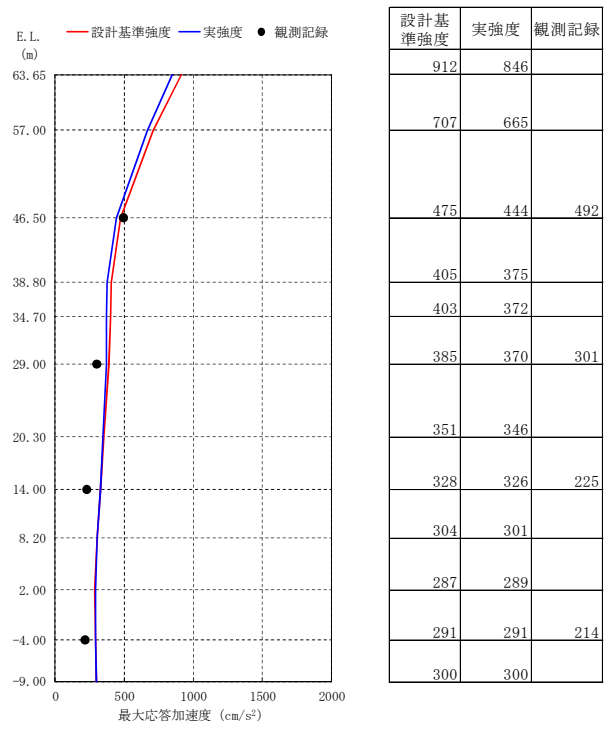
	コンクリート強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
設計基準強度	22.1	2.21×10^4
実強度	42.1	2.73×10^4

3. 検討結果

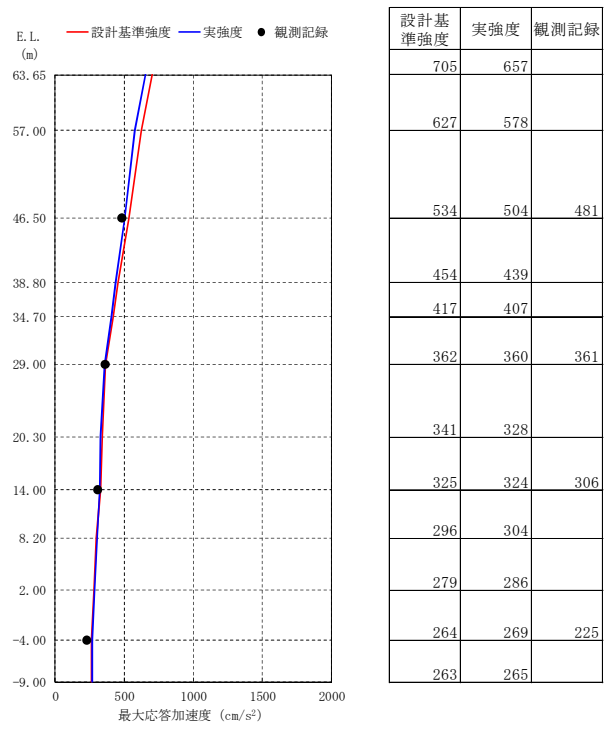
3 方向同時入力による最大応答加速度分布を図 3-1 に、加速度計を設置している EL. 46.5 m, EL. 29.0 m, EL. 14.0 m 及び EL. -4.0 m の位置での床応答スペクトルの比較を表 3-1 に示す。

建屋模擬モデル（設計基準強度）と実剛性モデルとを比較すると、最大応答加速度は概ね同等もしくは実剛性モデルの方がわずかに下回る傾向にある。また、床応答スペクトルについても、実剛性モデルを建屋模擬モデルが概ね包絡する結果となっている。

また、建屋剛性の変動は地盤物性の変動と比較し地震応答解析への感度が小さく、建屋の実剛性を考慮しても水平加速度への影響は 7%程度、鉛直加速度への影響は 9%程度である。

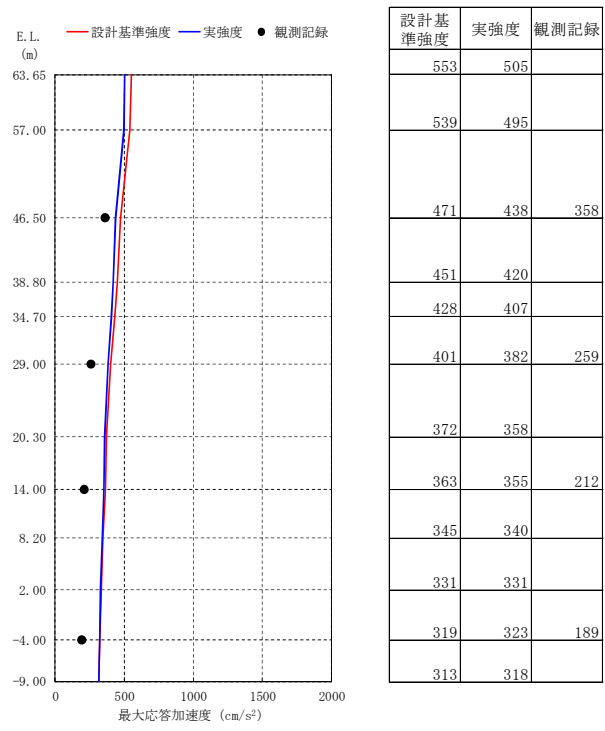


(a) NS 方向



(b) EW 方向

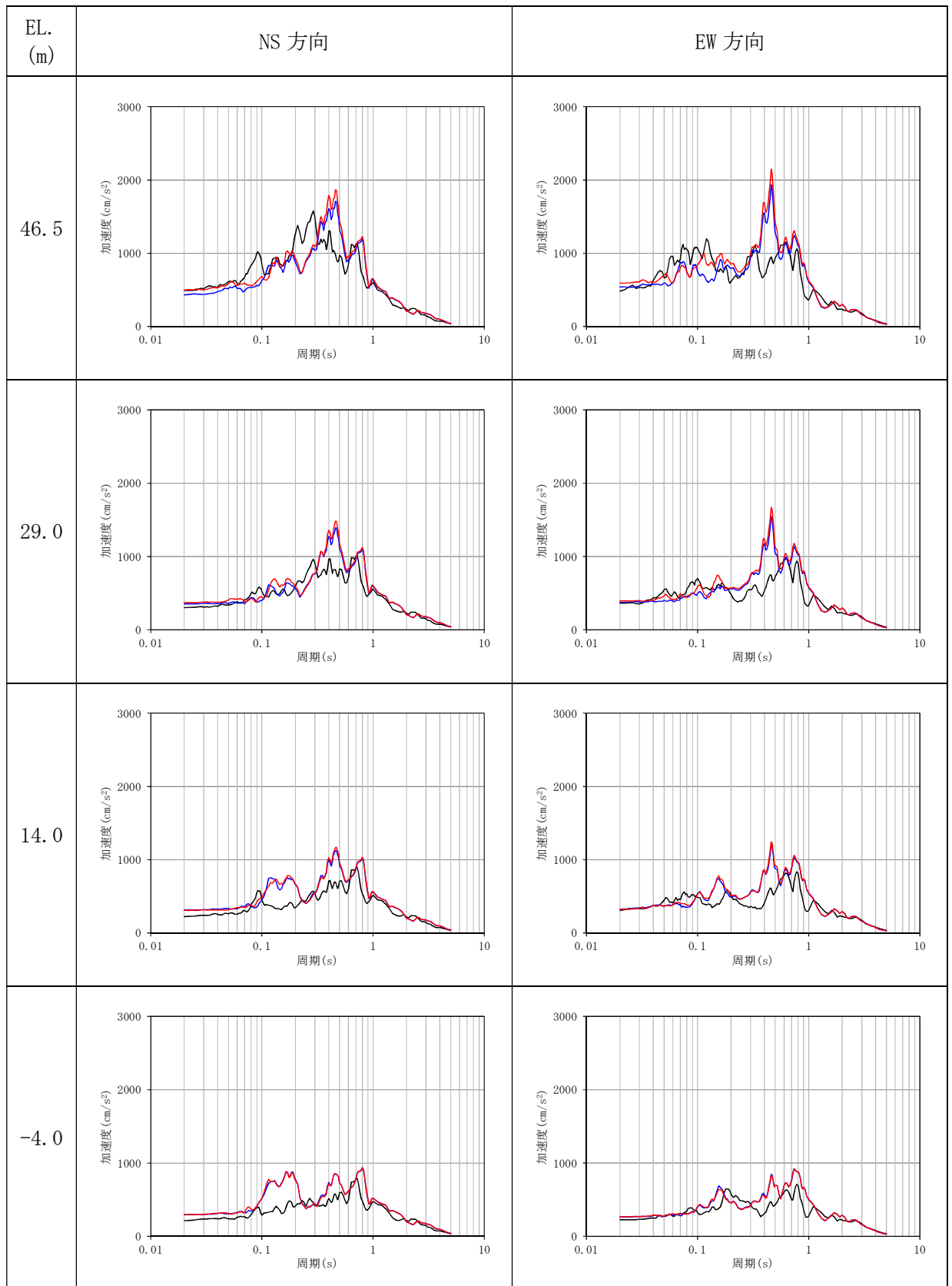
図 3-1 (1/2) 最大応答加速度分布の比較



(c) UD 方向

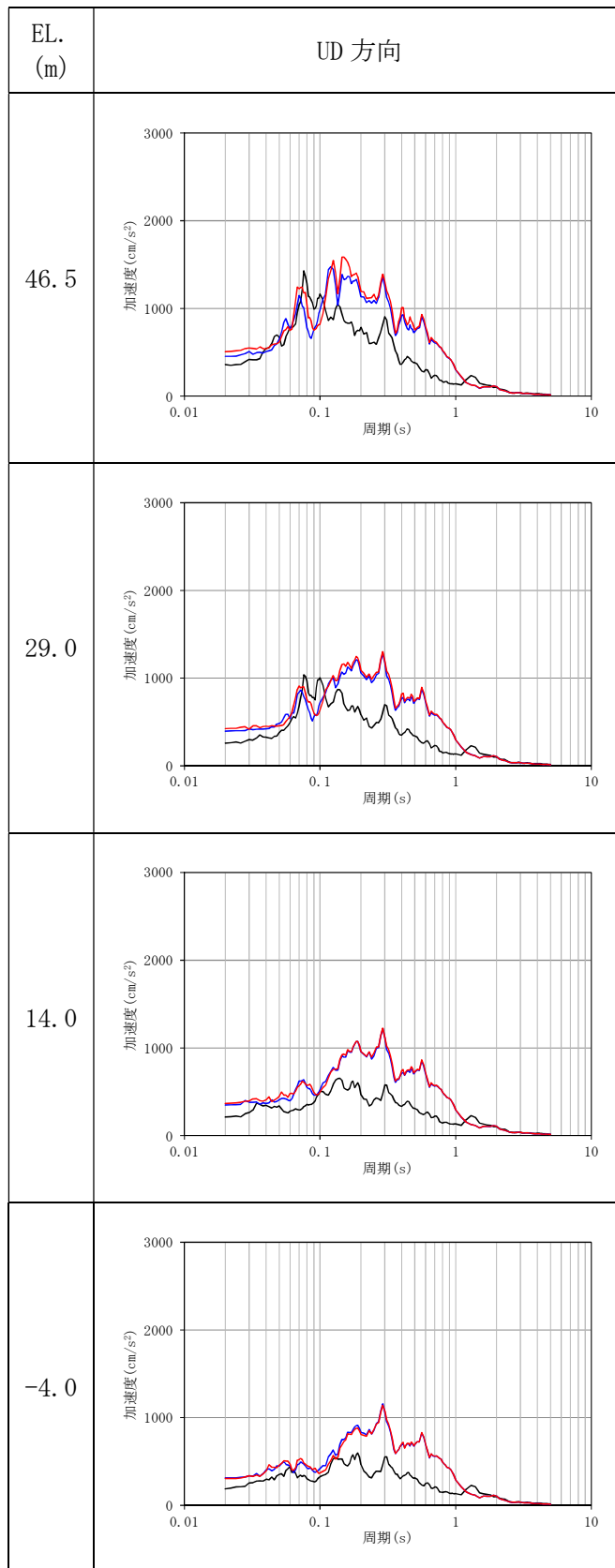
図 3-1 (2/2) 最大応答加速度分布の比較

表 3-1 (1/2) 床応答スペクトルの比較



— 観測記録 — 設計基準強度 — 実強度

表 3-1 (2/2) 床応答スペクトルの比較



— 観測記録 — 設計基準強度 — 実強度

補3 3次元 FEM モデルによるシミュレーション解析結果

1. 検討概要

「別紙 3 2.3 観測記録を用いた検討」では、観測点における観測記録と 3次元 FEM モデルを用いたシミュレーション解析による床応答スペクトルの比較を示し、一部の周期帯に差異が認められるものの、スペクトル形状を再現できていることを確認した。

ここでは、3次元 FEMモデルの観測点以外の節点における加速度応答スペクトルを示し、建屋応答性状について分析を行う。また比較として質点系モデルによるシミュレーション解析も併記する。

2. 検討条件

質点系モデルによるシミュレーション解析と比較を行う節点を図 2-1 に示す。比較は NS 方向、EW 方向、UD 方向の方向別に行う。各階の節点を外部ボックス壁（以下「O/W」という。）、内部ボックス壁（以下「I/W」という。）、及びシェル壁（以下「S/W」という。）に分類し、水平方向の、O/W と I/W については、出力方向に対して平行な両端部の壁と中央に分けて示す。

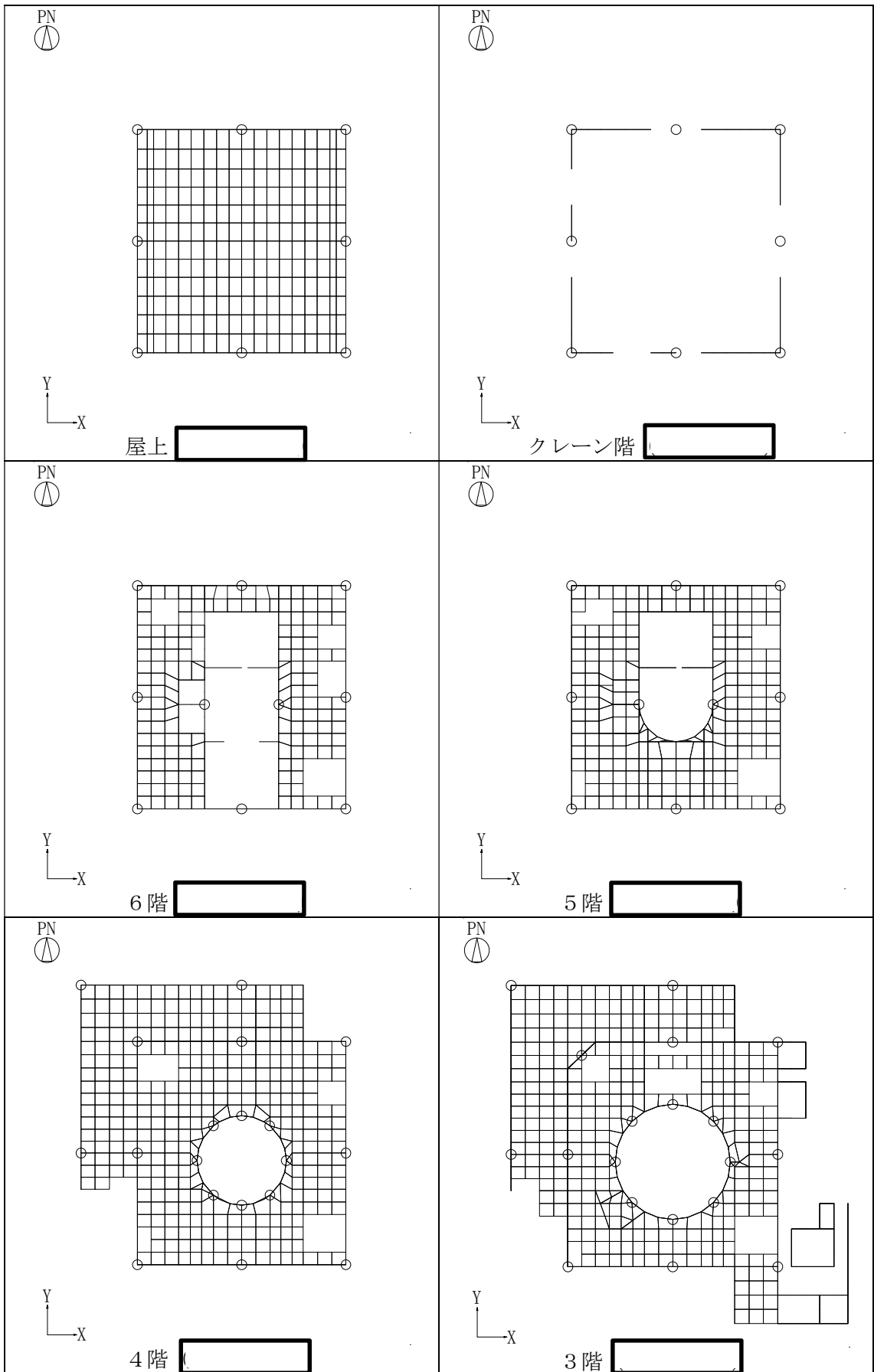


図 2-1 (1/2) 応答スペクトル評価点

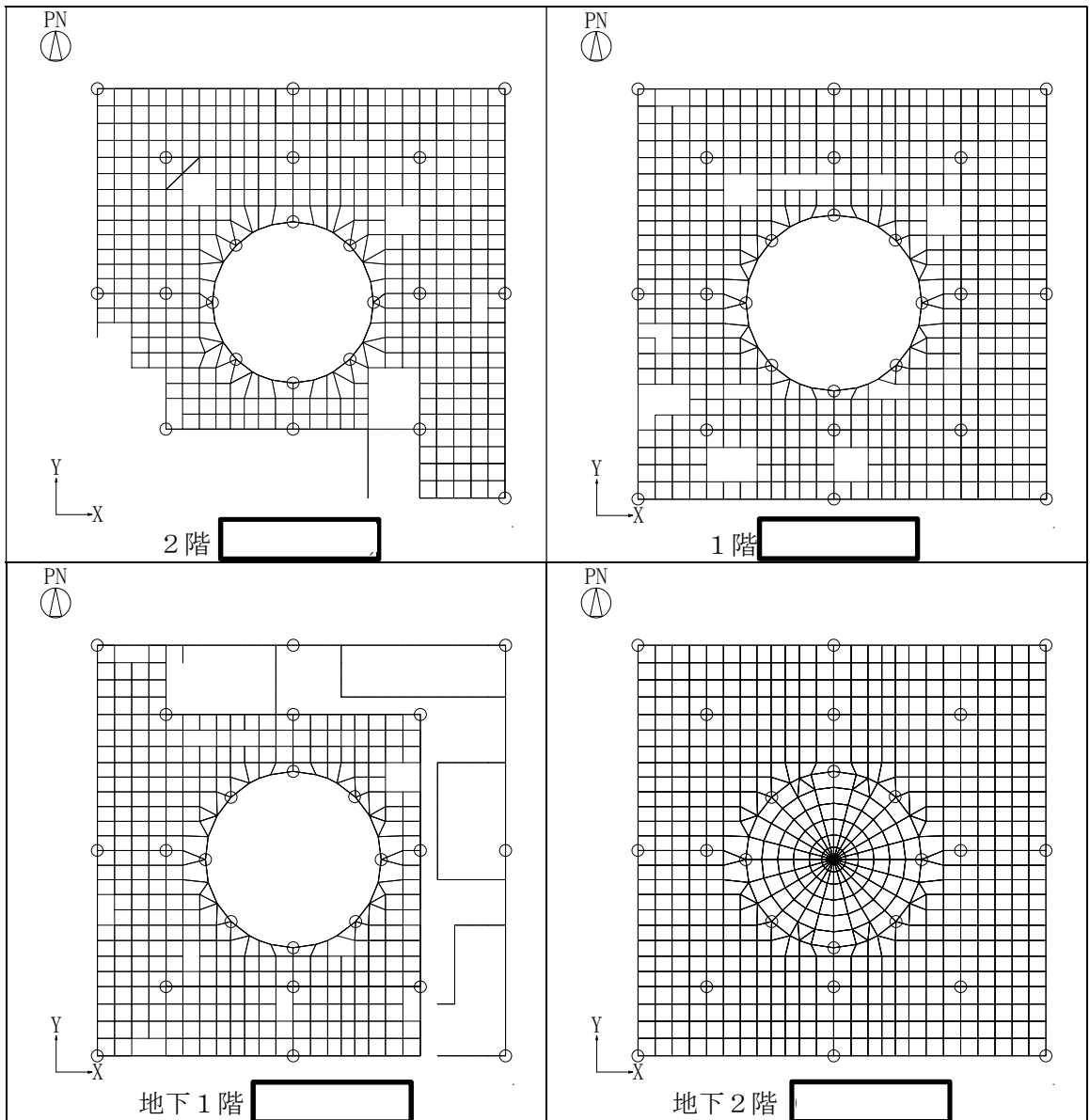


図 2-1 (2/2) 応答スペクトル評価点

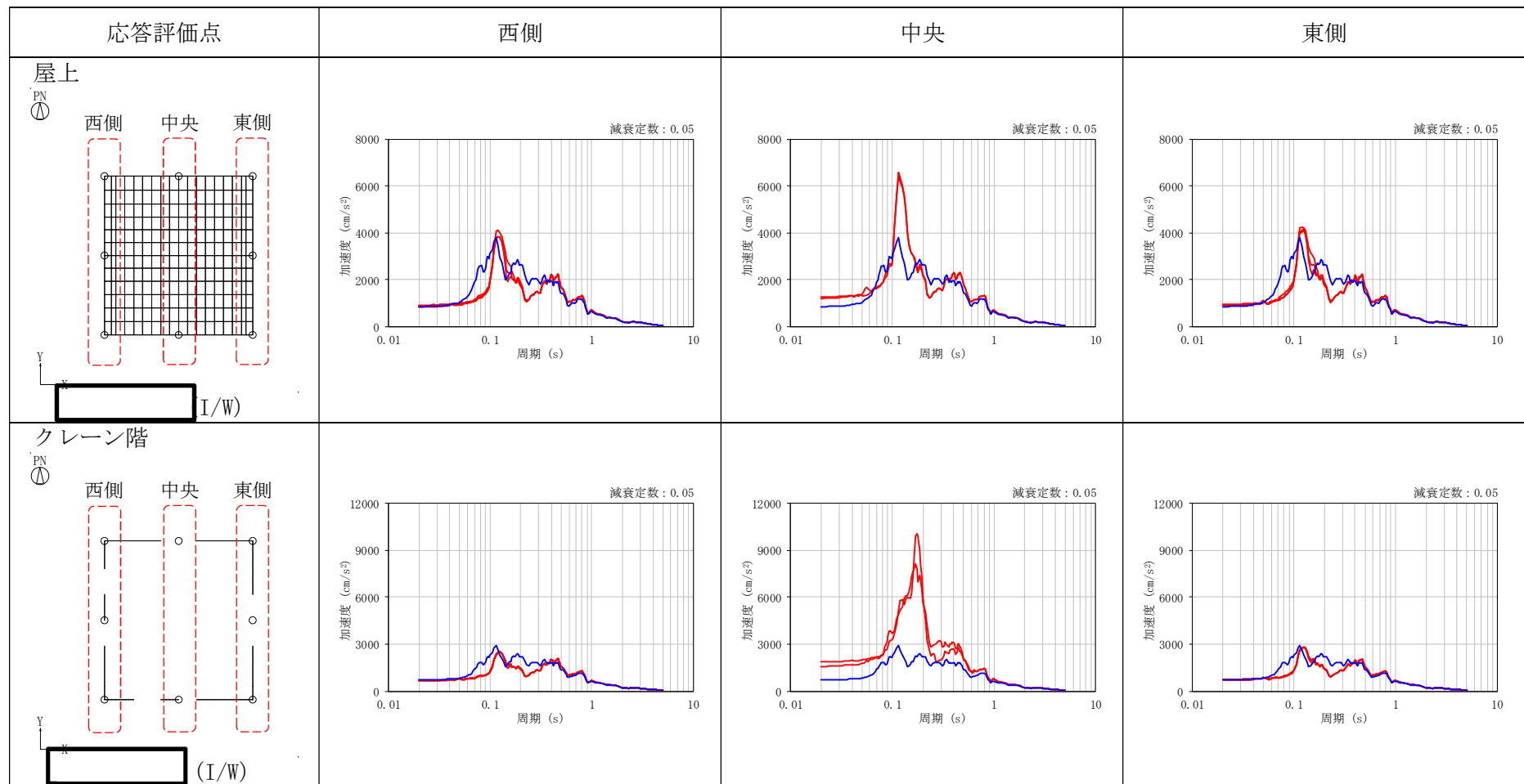
3. 検討結果

屋上 (EL. 63.65 m) から地下2階 (EL. -4.00 m) までの各階における、3方向同時入力の加速度応答スペクトルを表 3-1～表 3-7 に示す。また比較として質点系モデルによるシミュレーション解析も併記する。

NS 方向、EW 方向ともに、耐震壁が I/W のみとなる 6 階 (オペフロ / EL. 46.50 m) 以上では、壁中央の節点では、面外方向の加速度応答が大きくなる。特にクレーン階 (EL. 57.00 m) はスラブと接続していないため屋上 (EL. 63.65 m) よりも面外方向の加速度応答が大きい。しかし、6 階より下の階では面外方向の加速度応答も含め、3次元 FEM の出力位置による結果に大きな違いはなく、各階で概ね一致した応答スペクトルとなっている。

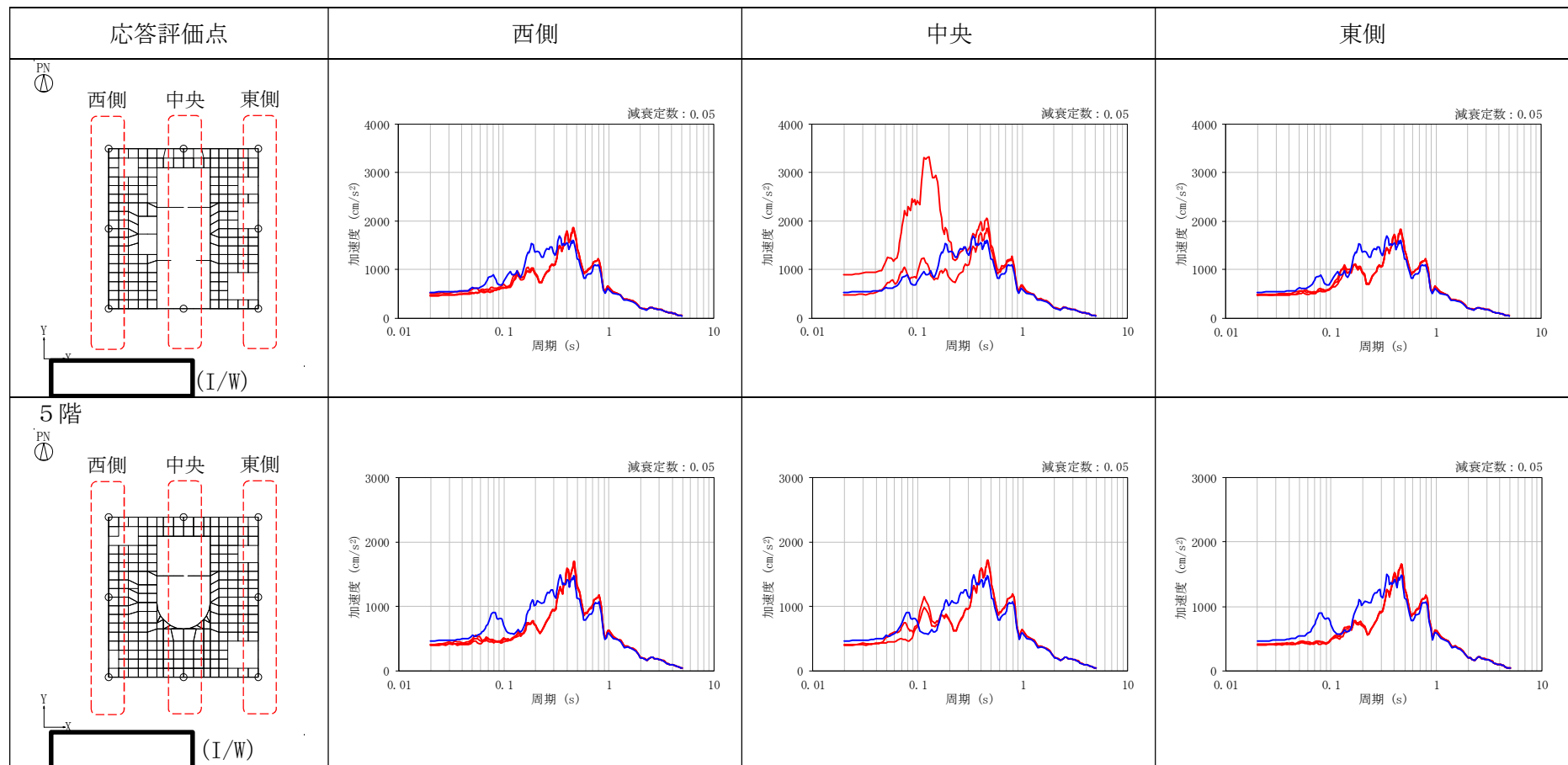
3次元 FEM 応答の質点系モデル応答との比較においても面内方向の加速度応答に大きな違いはなく、中央の節点の面外方向の加速度応答についても重要施設のある 6 階より下の階では質点系モデル応答と整合が取れている。

表 3-1 (1/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



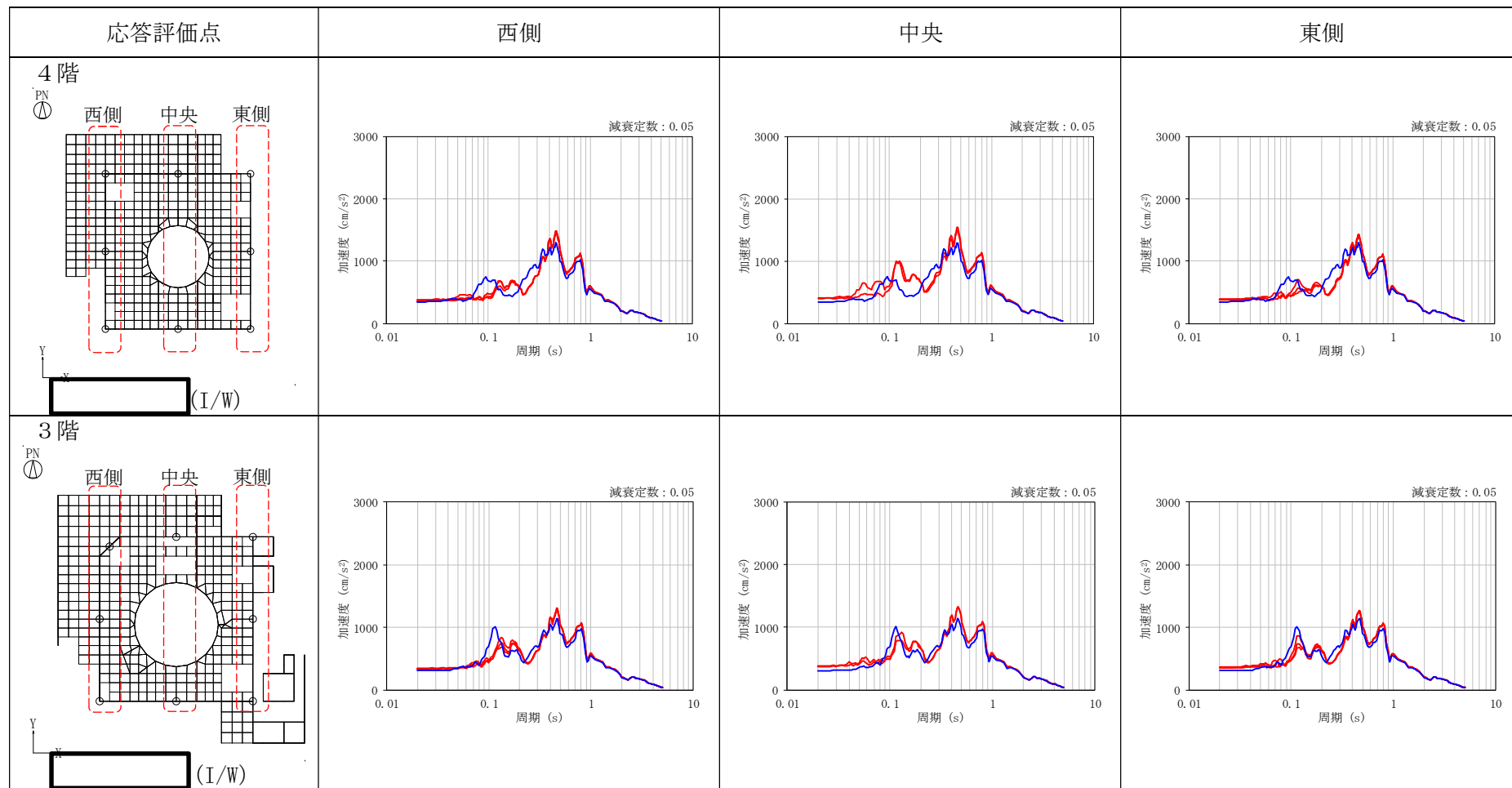
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-1 (2/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



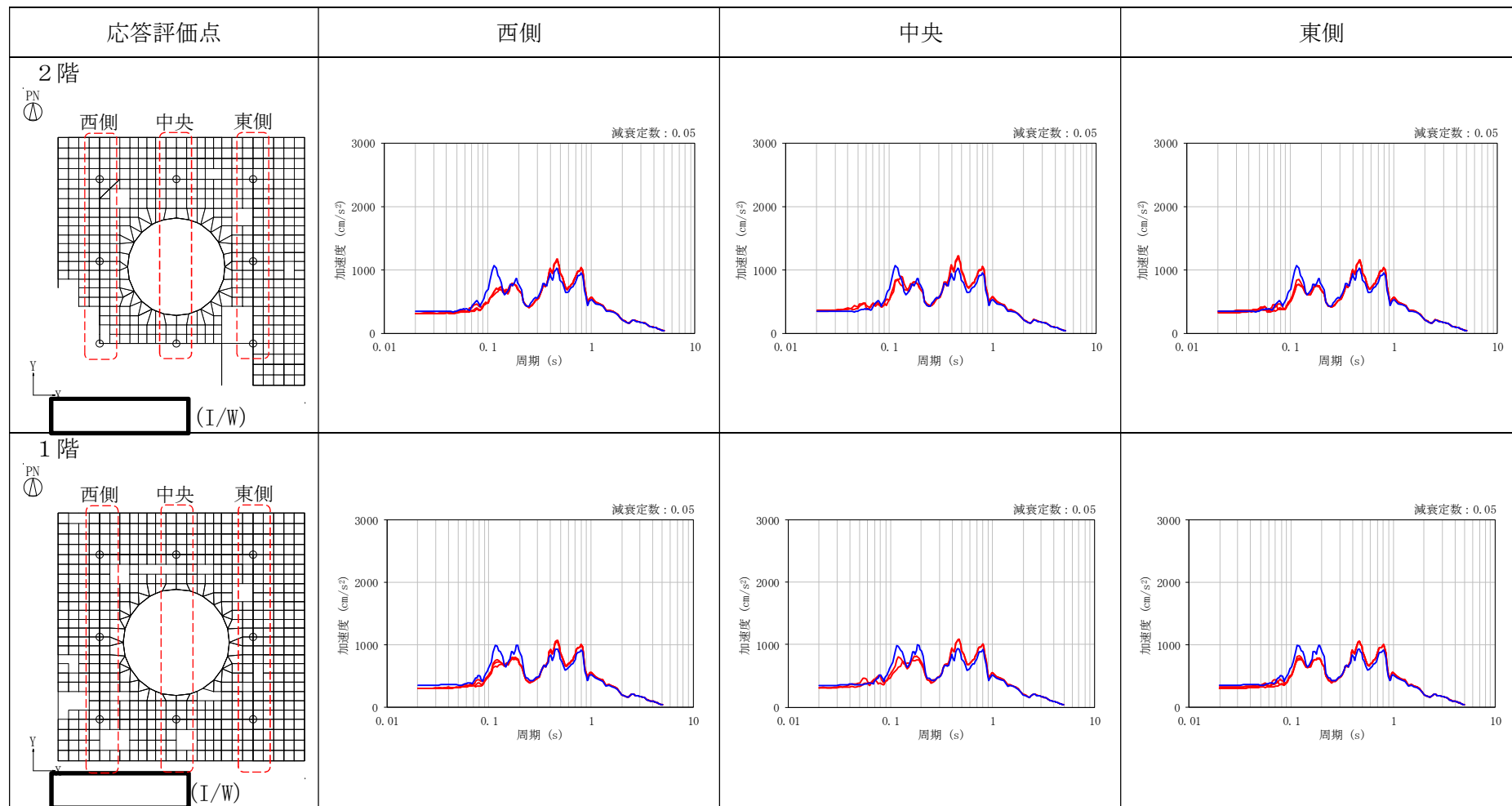
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-1 (3/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



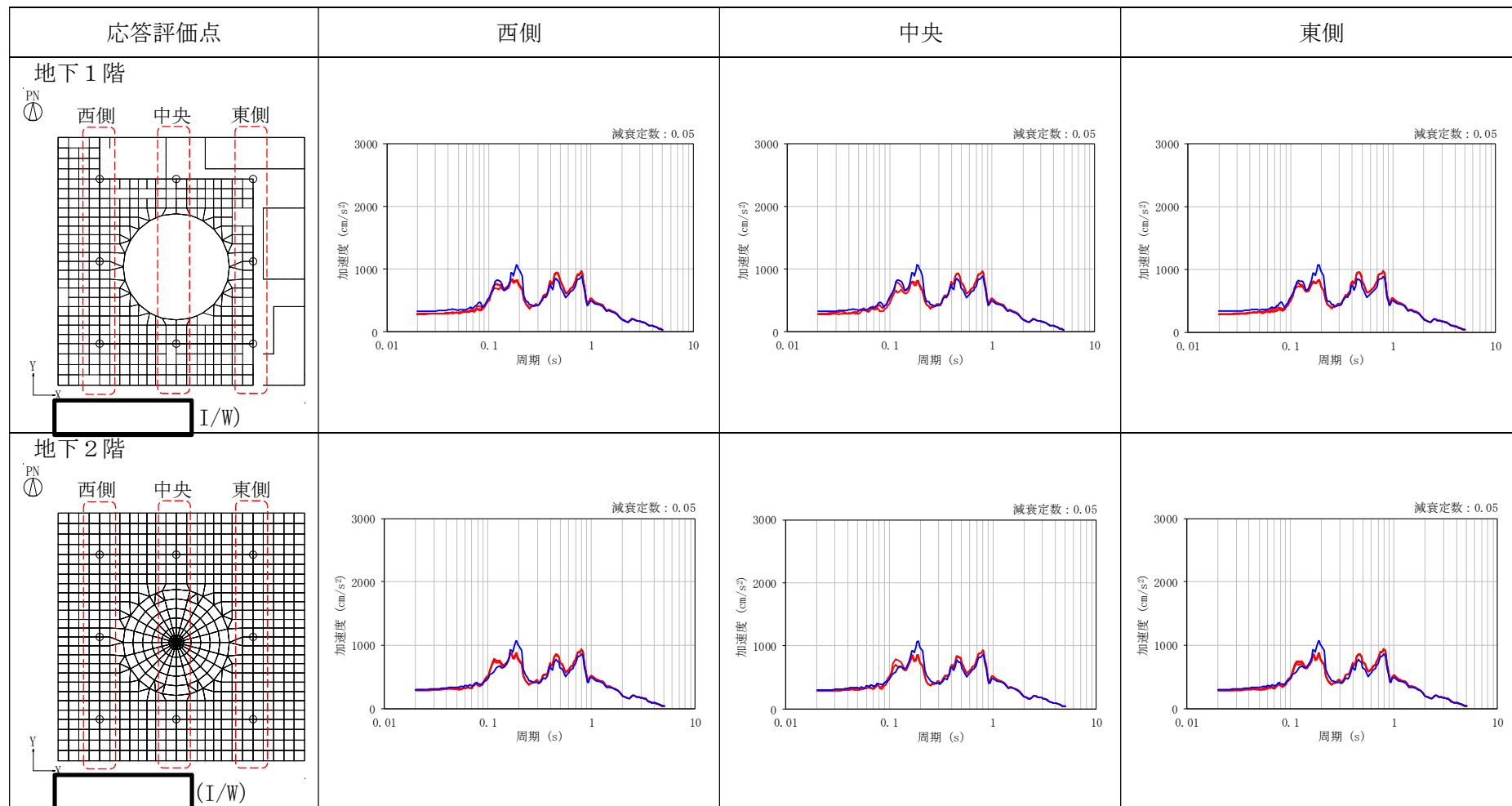
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-1 (4/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



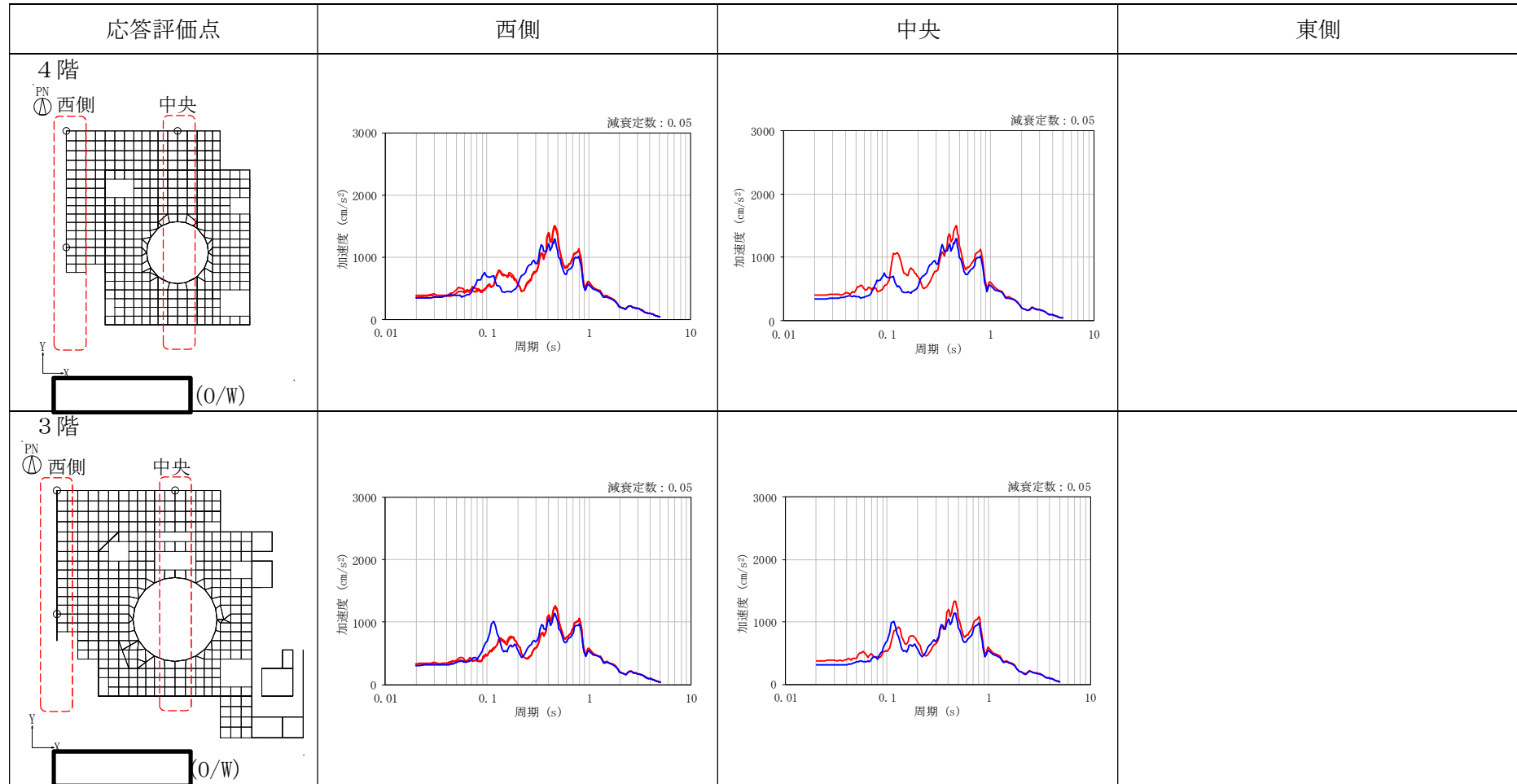
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-1 (5/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



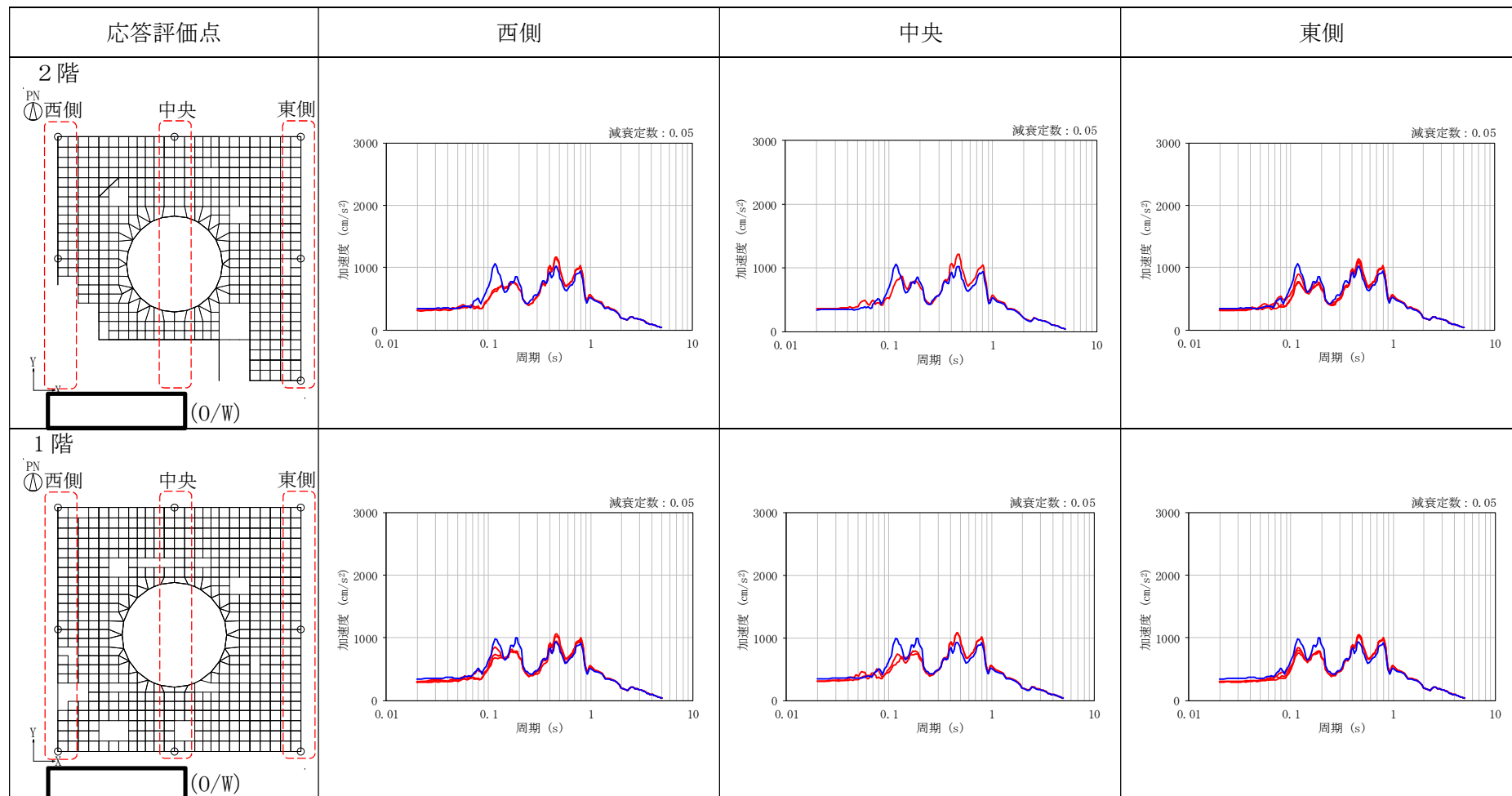
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-2 (1/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)



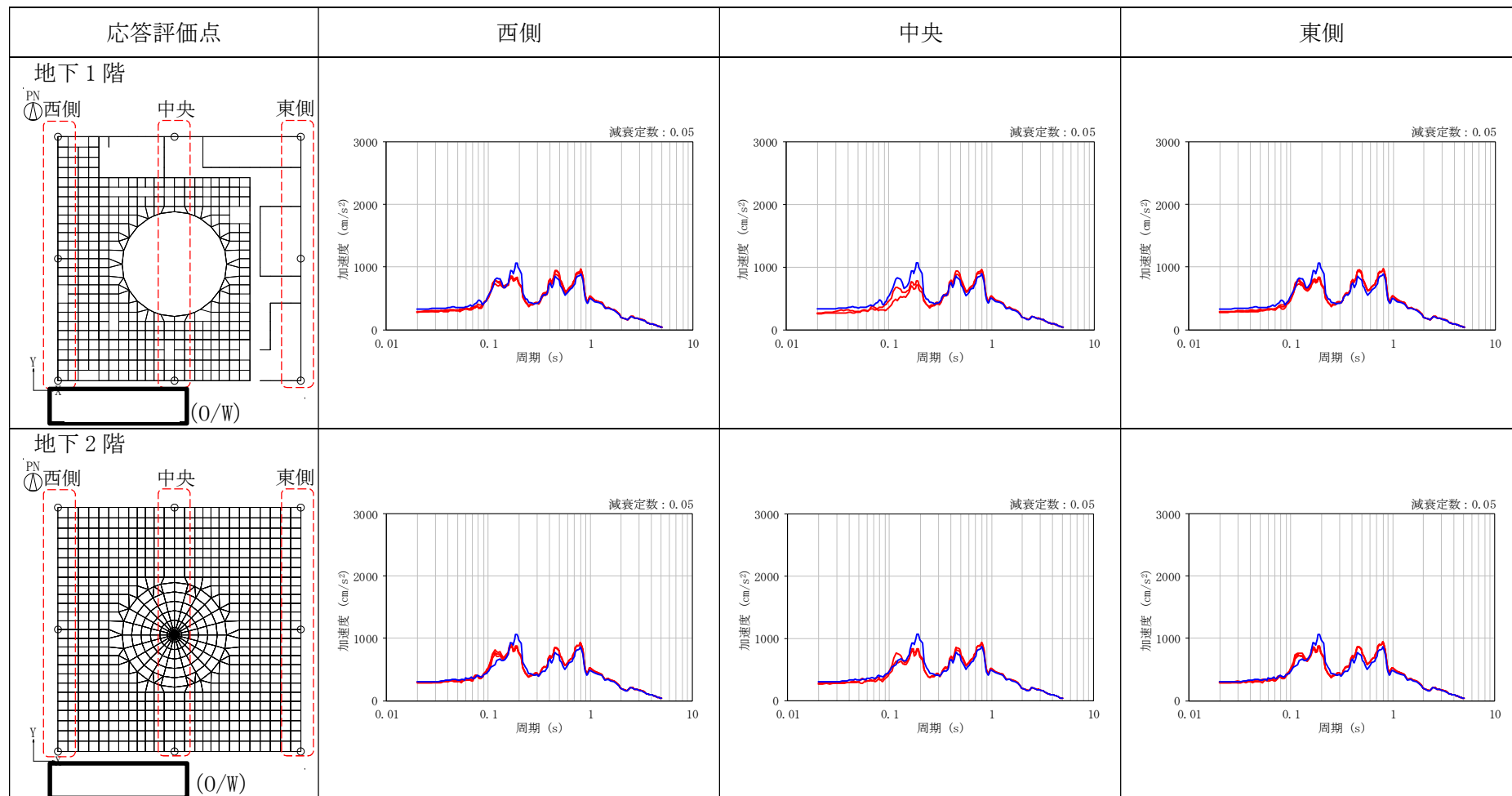
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-2 (2/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)



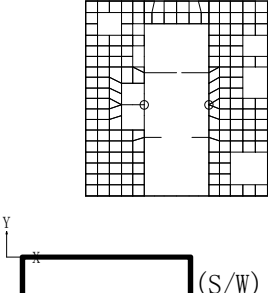
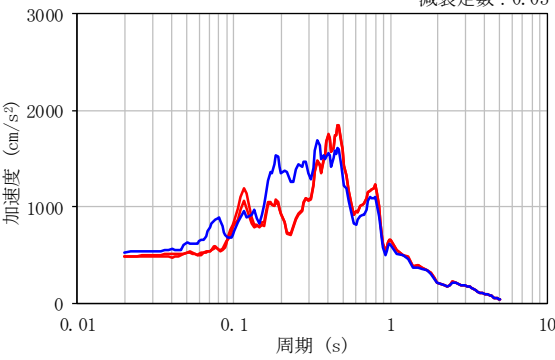
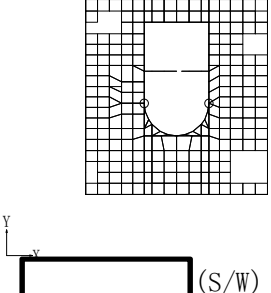
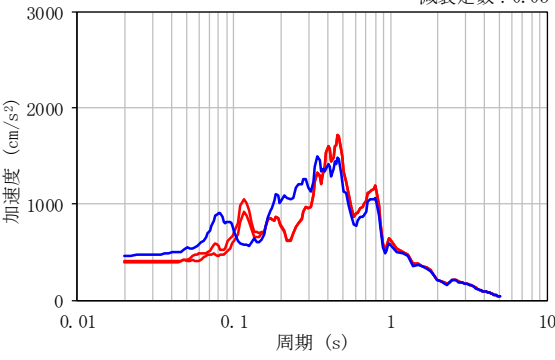
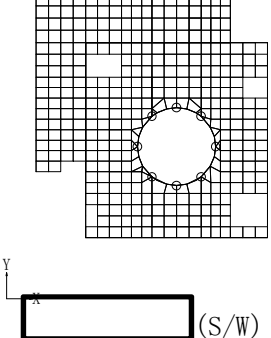
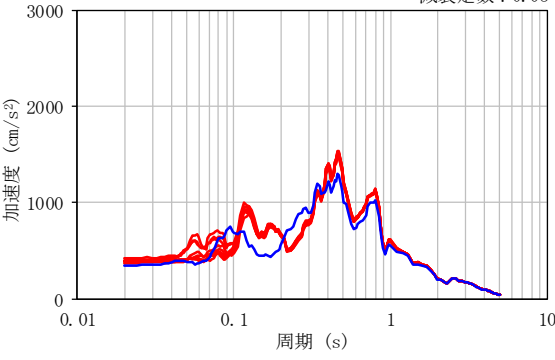
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-2 (3/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)



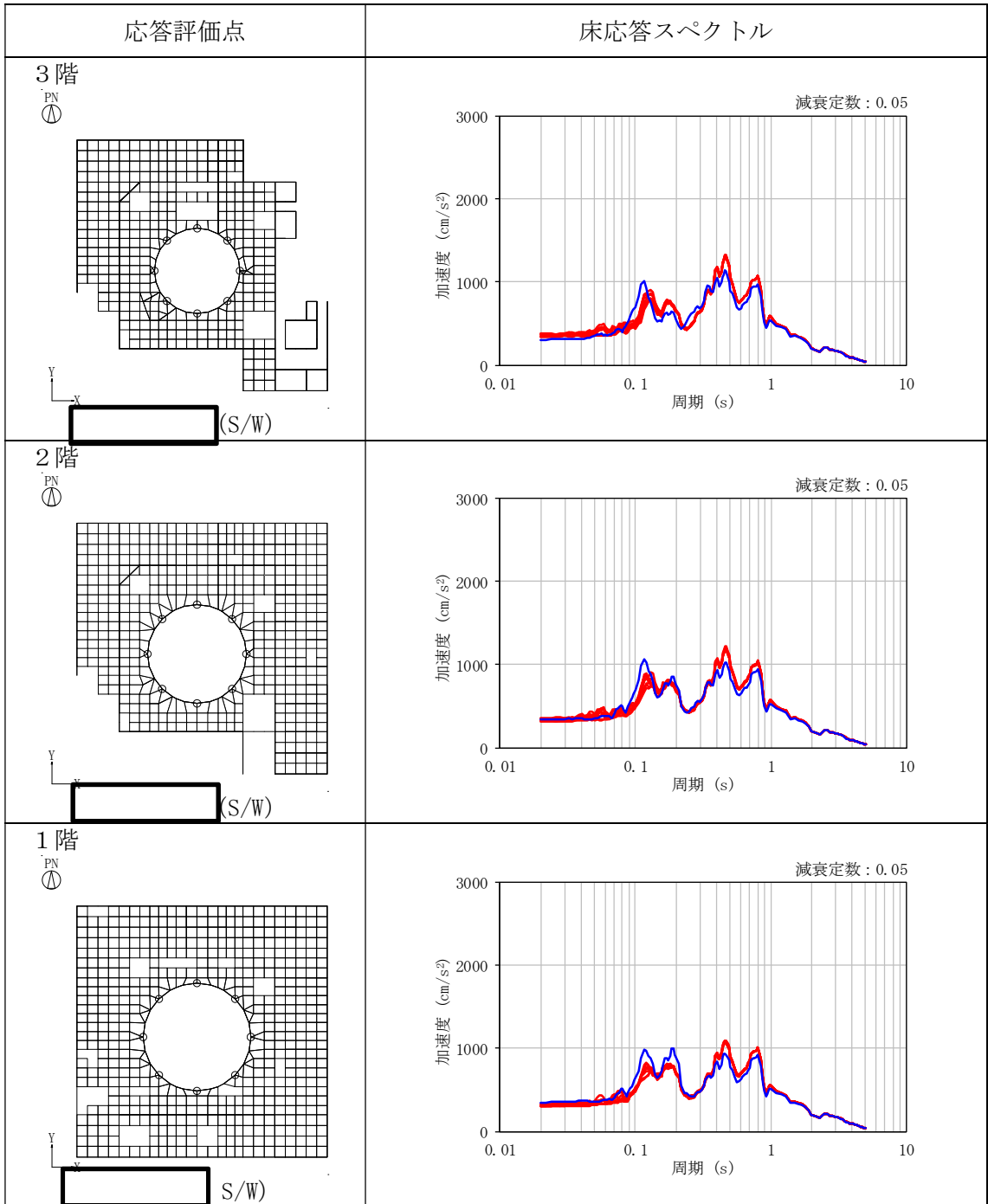
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-3 (1/3) NS 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	床応答スペクトル
<p>6階 PN ⊙</p>  <p>(S/W)</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>5階 PN ⊙</p>  <p>(S/W)</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>4階 PN ⊙</p>  <p>(S/W)</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>

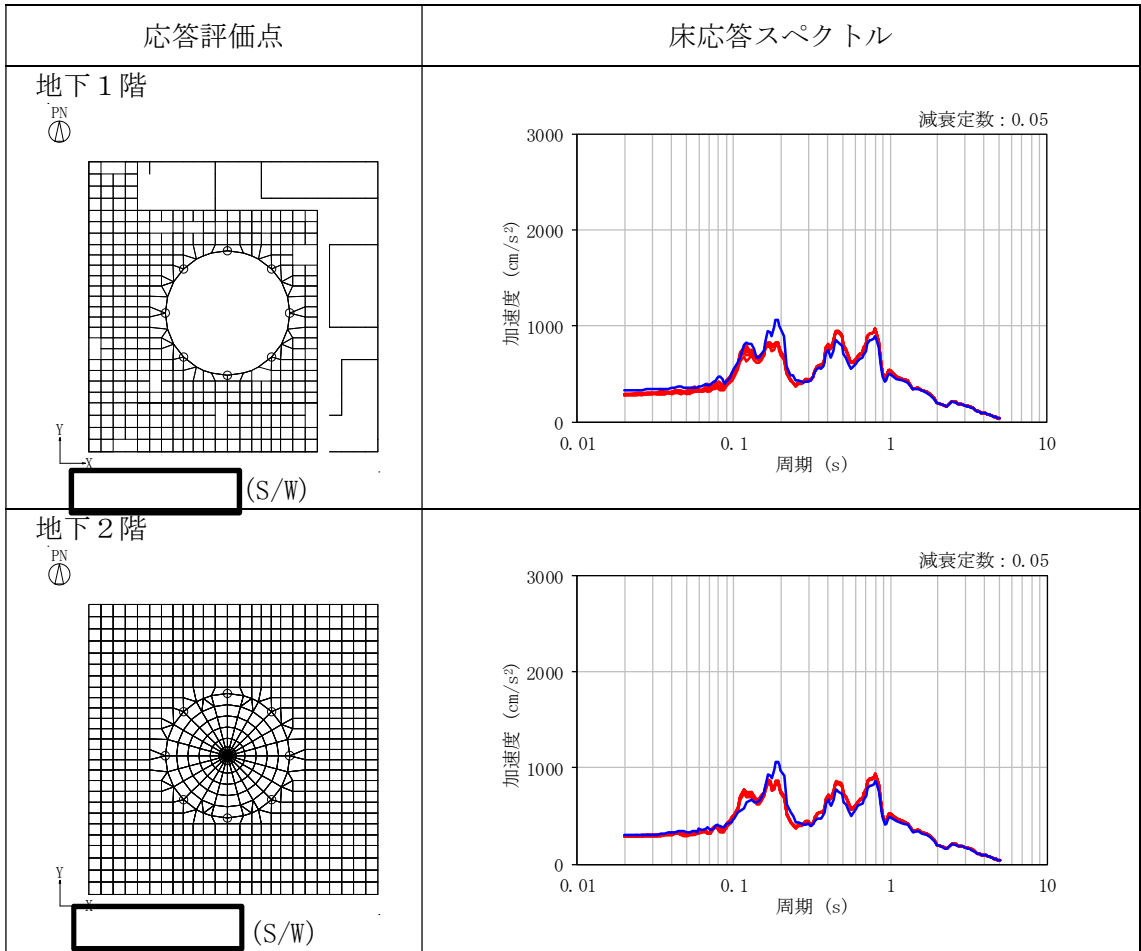
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-3 (2/3) NS 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)



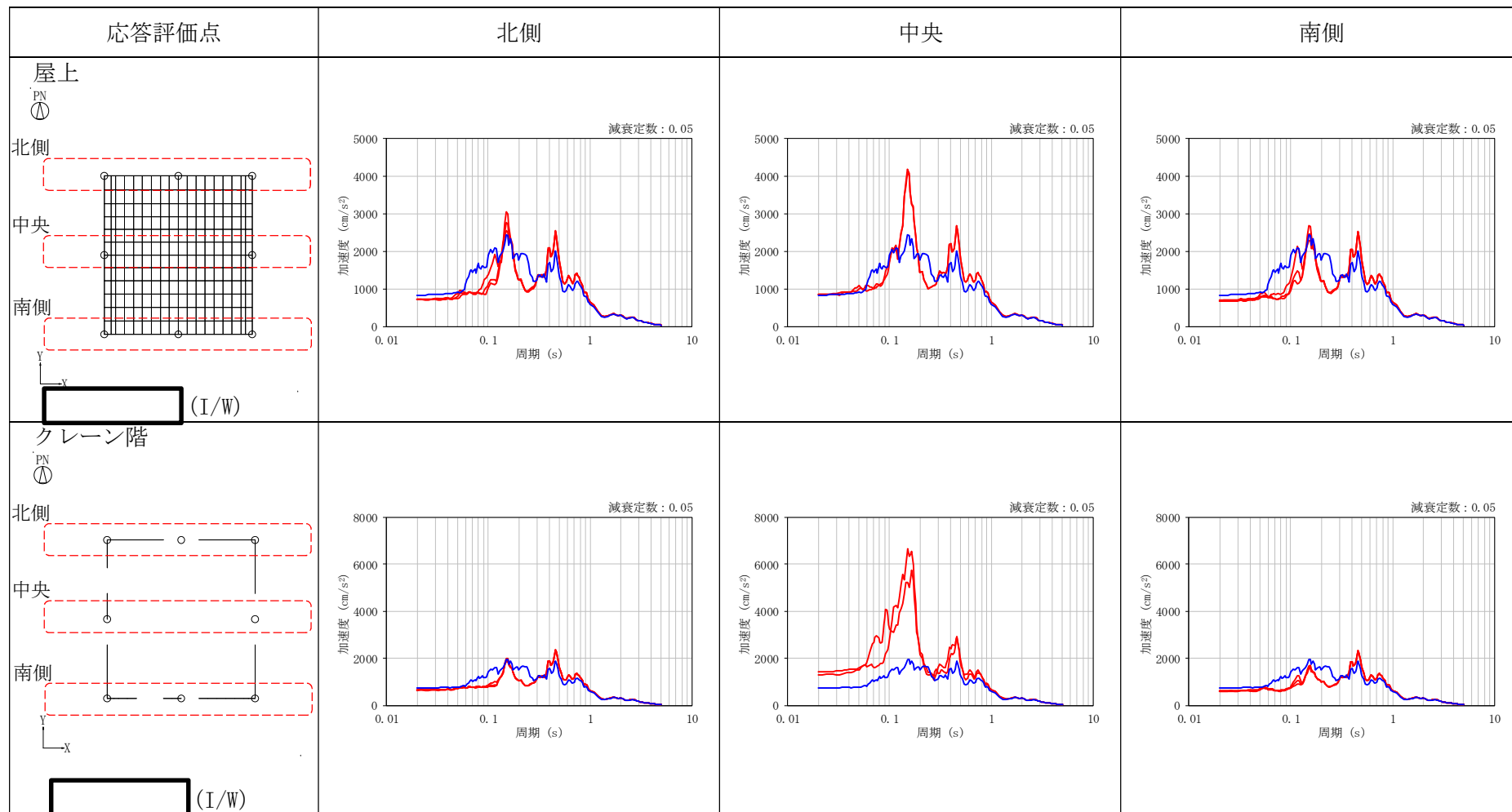
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-3 (3/3) NS 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)



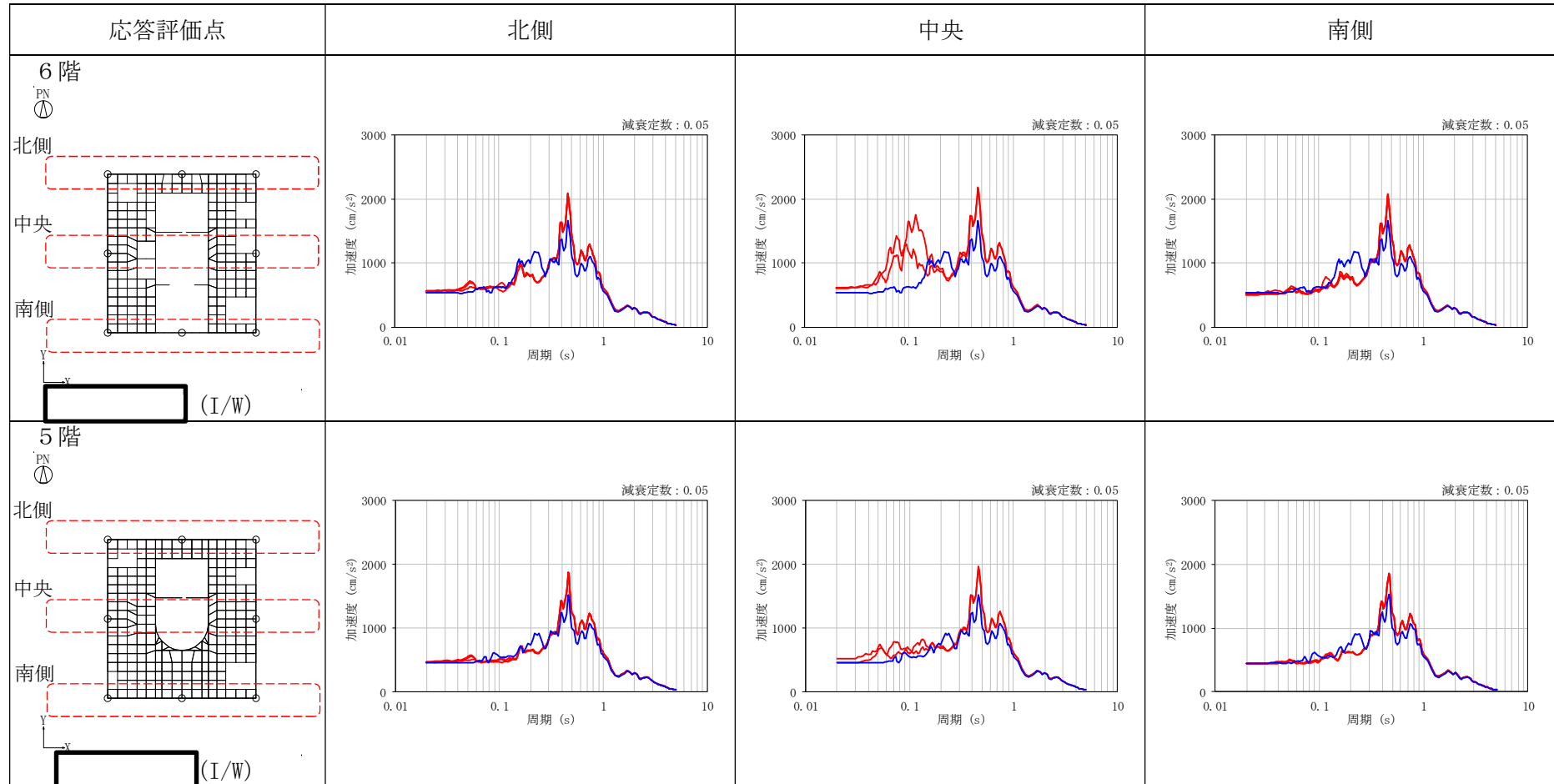
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-4 (1/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



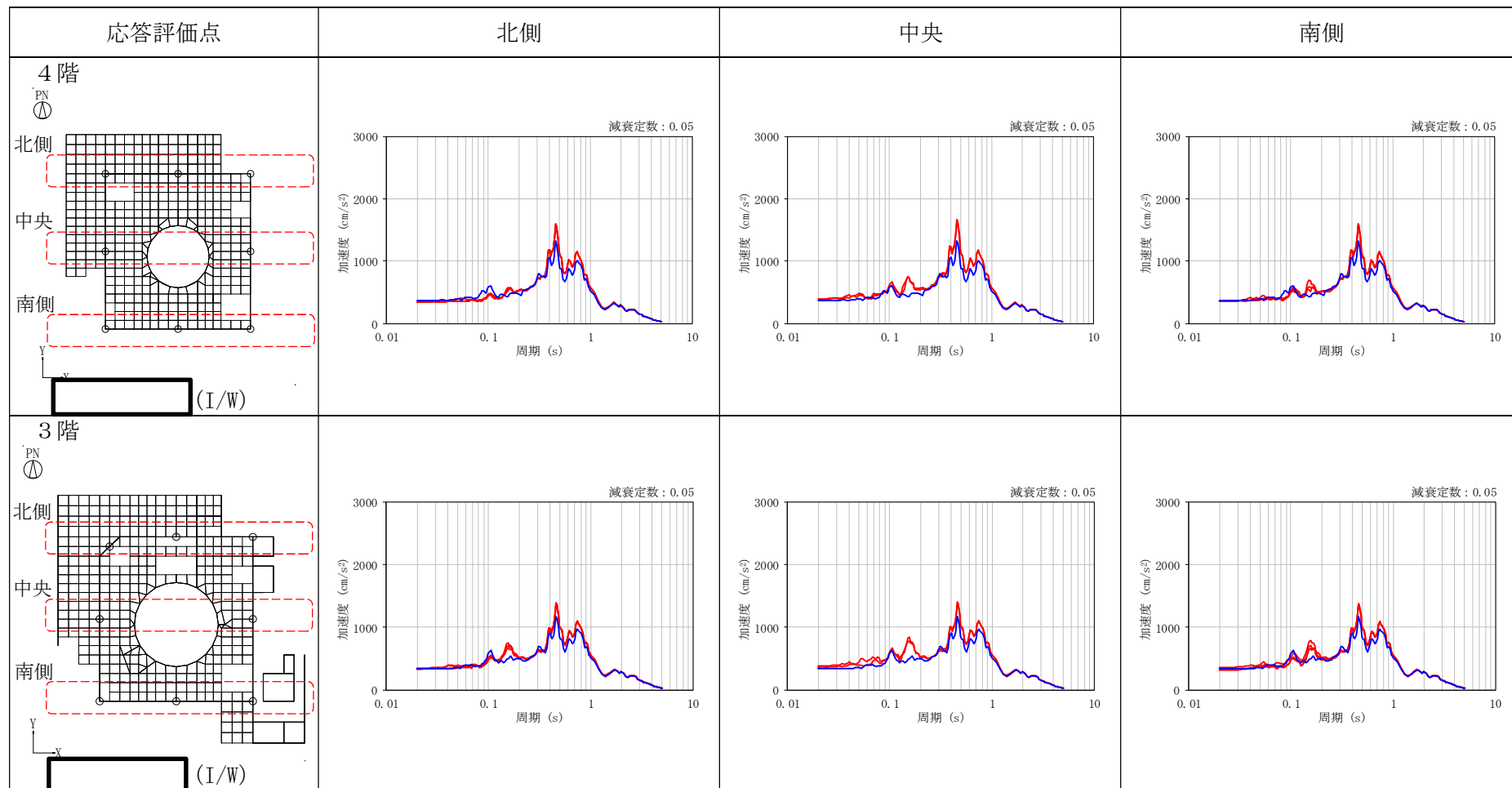
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-4 (2/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



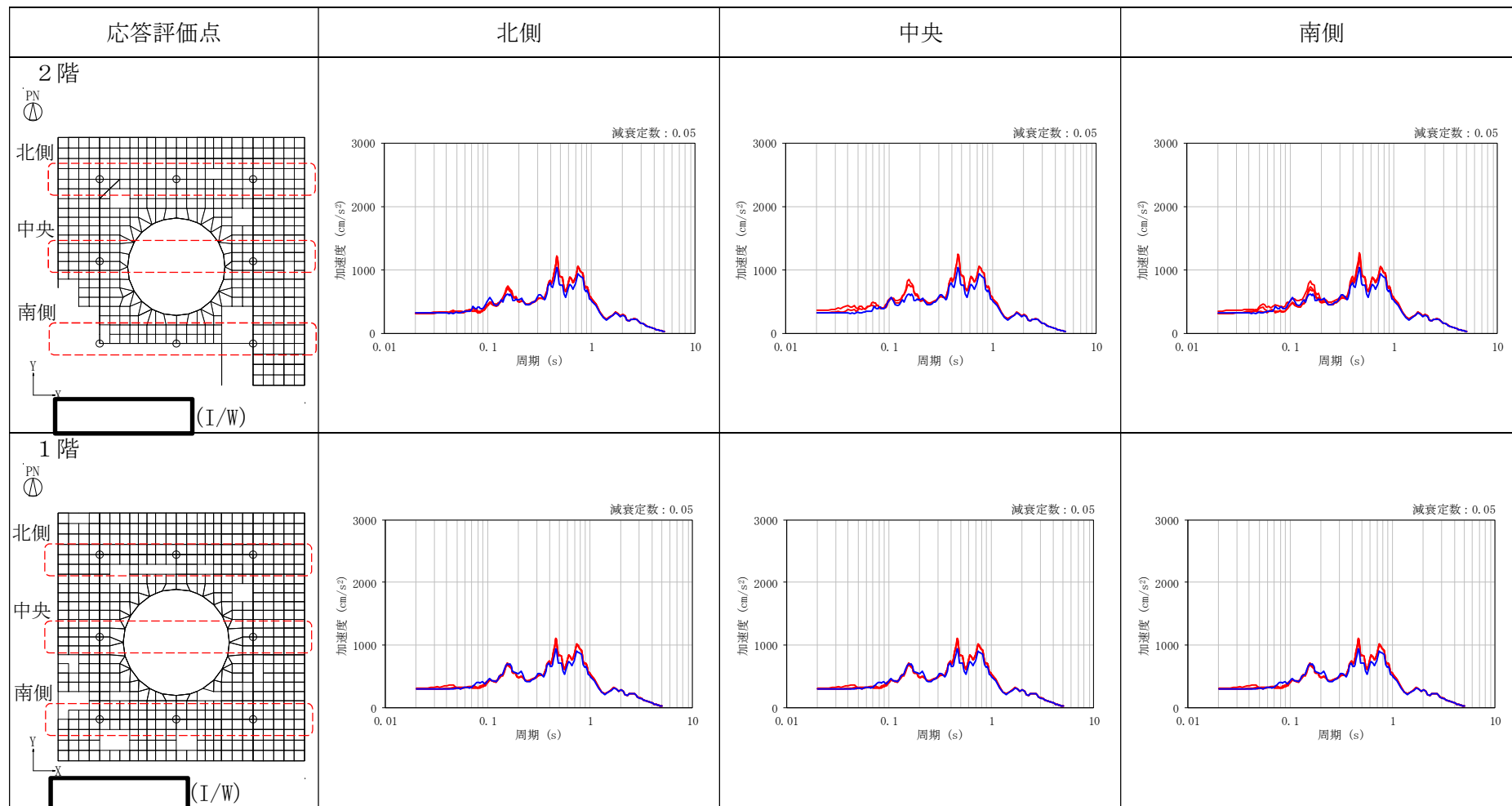
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-4 (3/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



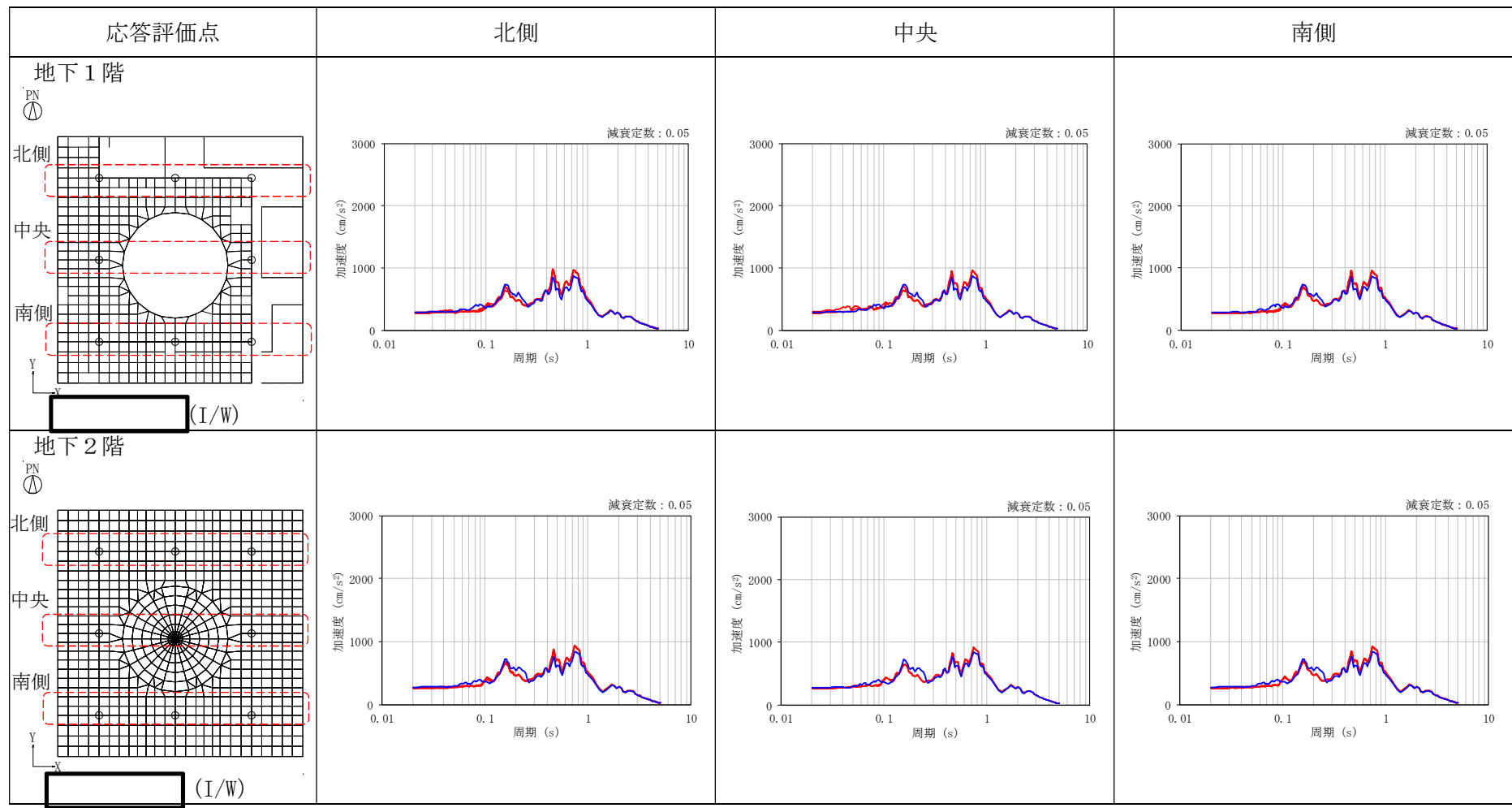
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-4 (4/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



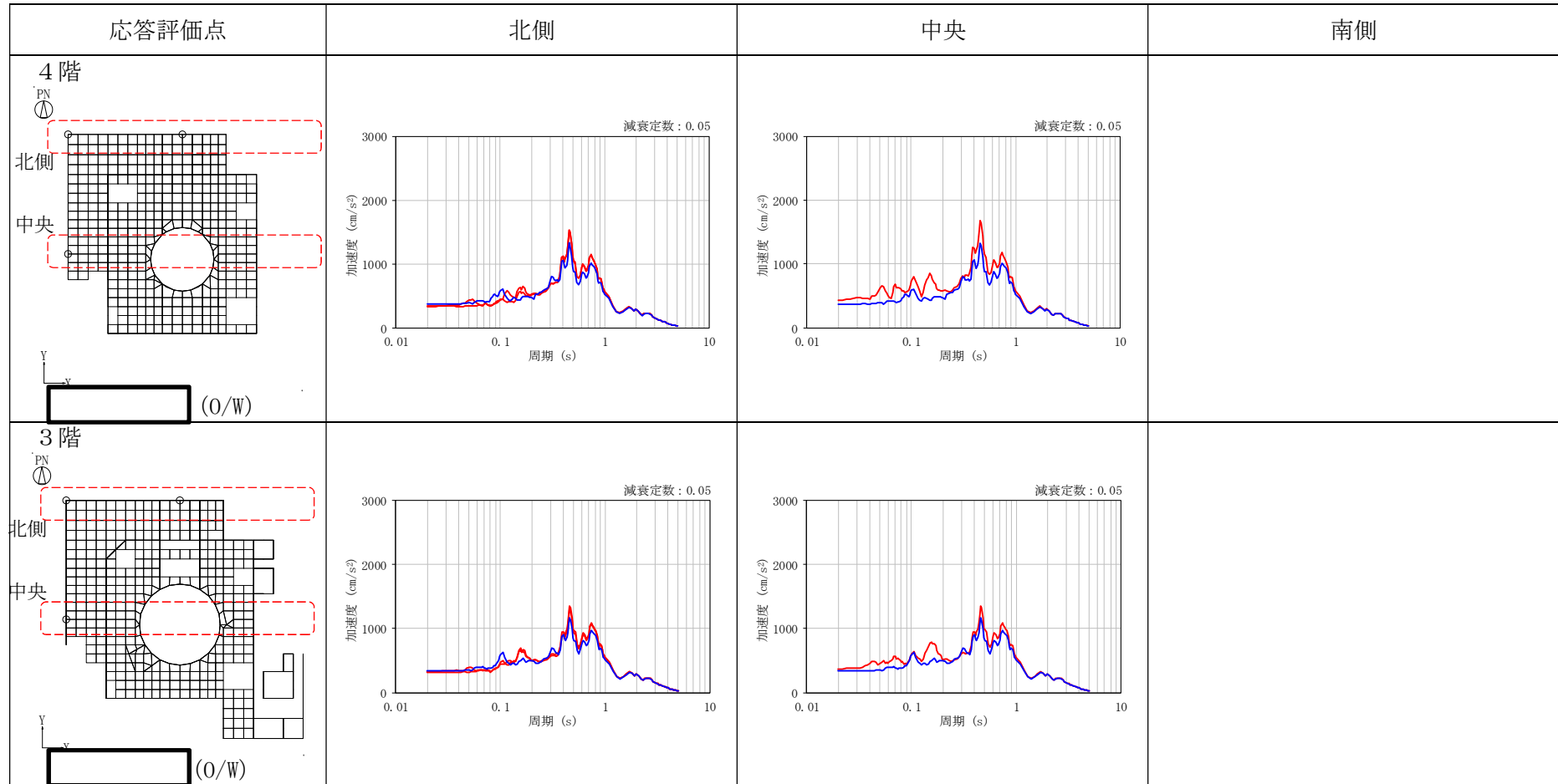
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-4 (5/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



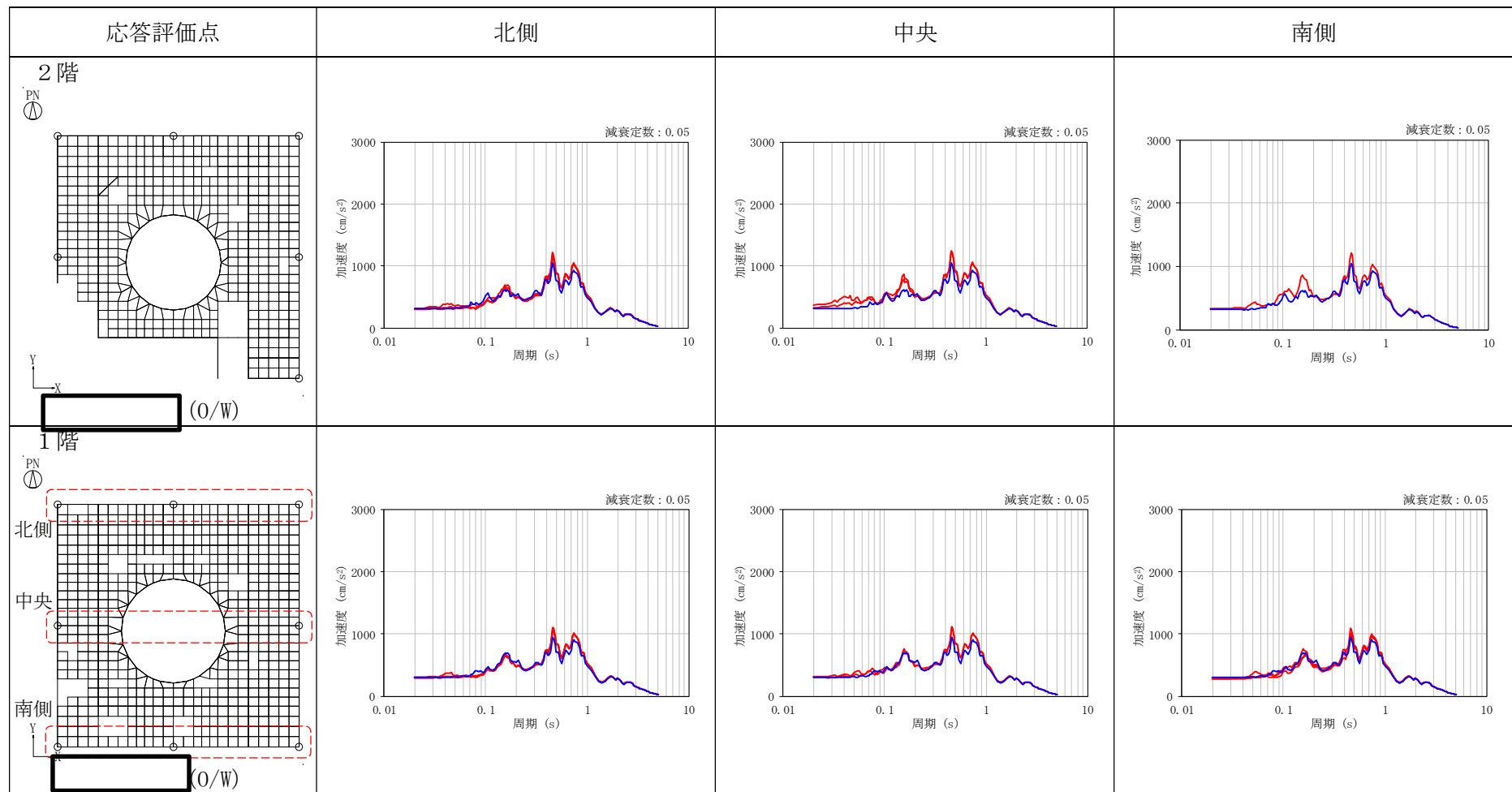
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-5 (1/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)



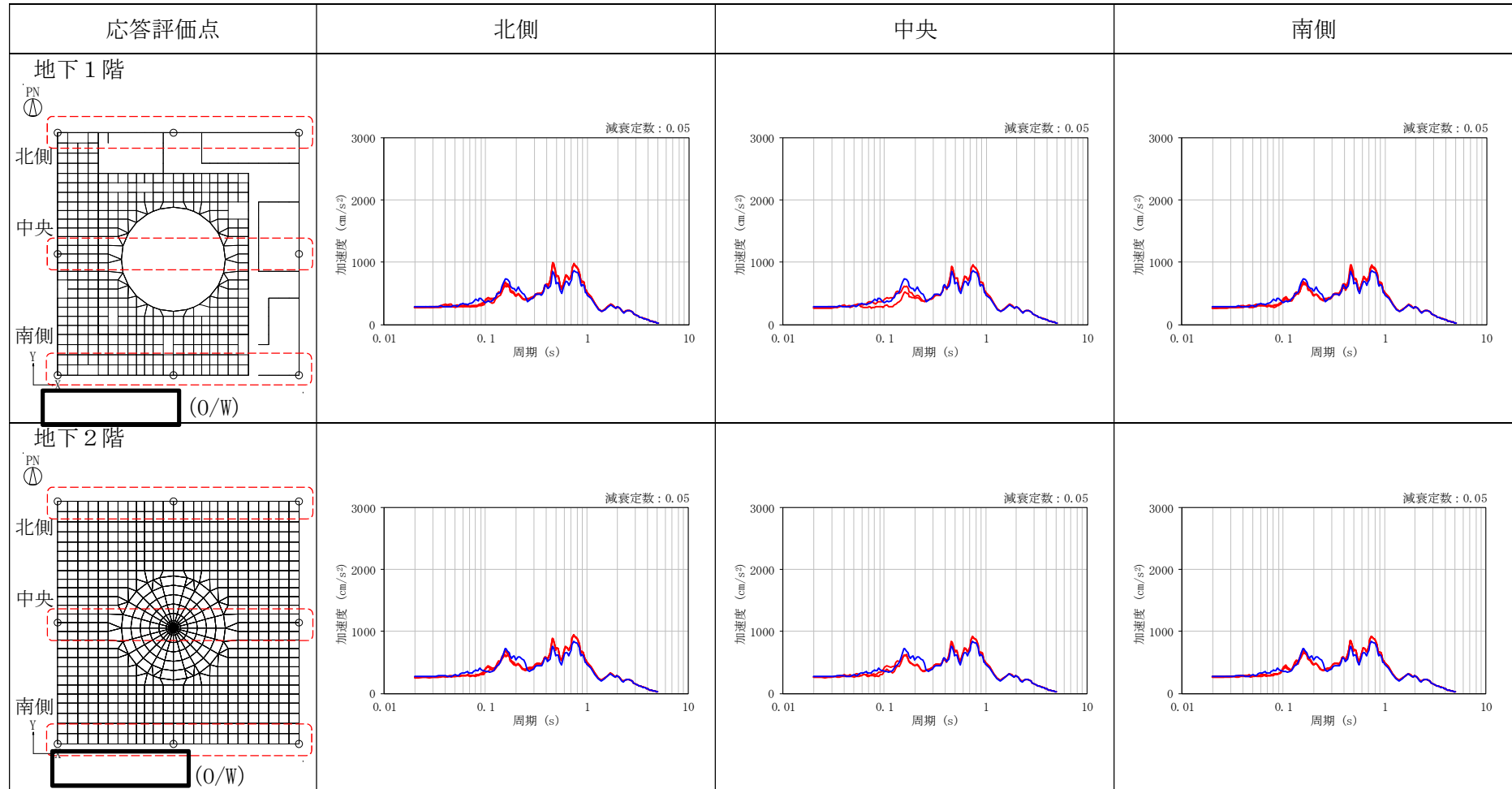
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-5 (2/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)



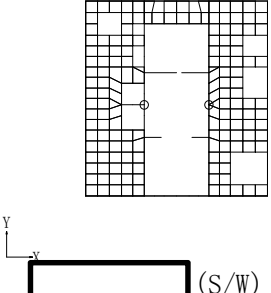
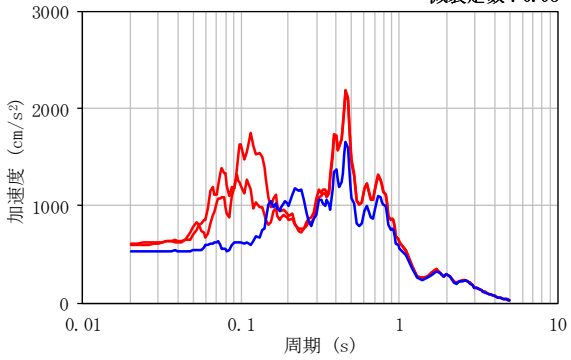
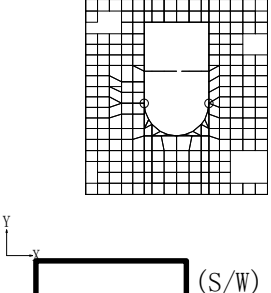
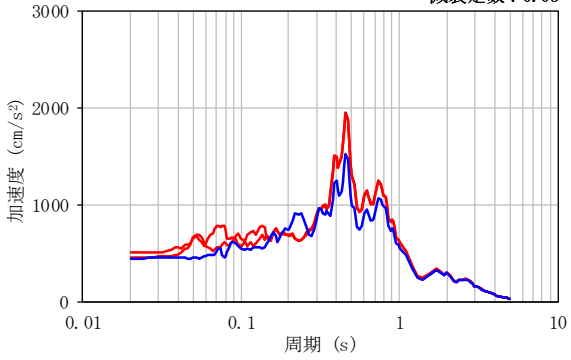
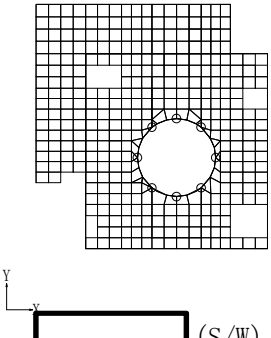
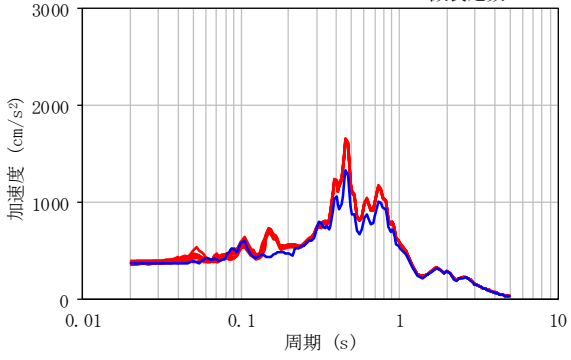
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-5 (3/3) NS 方向 (0/W) の床応答スペクトル (h=5%)



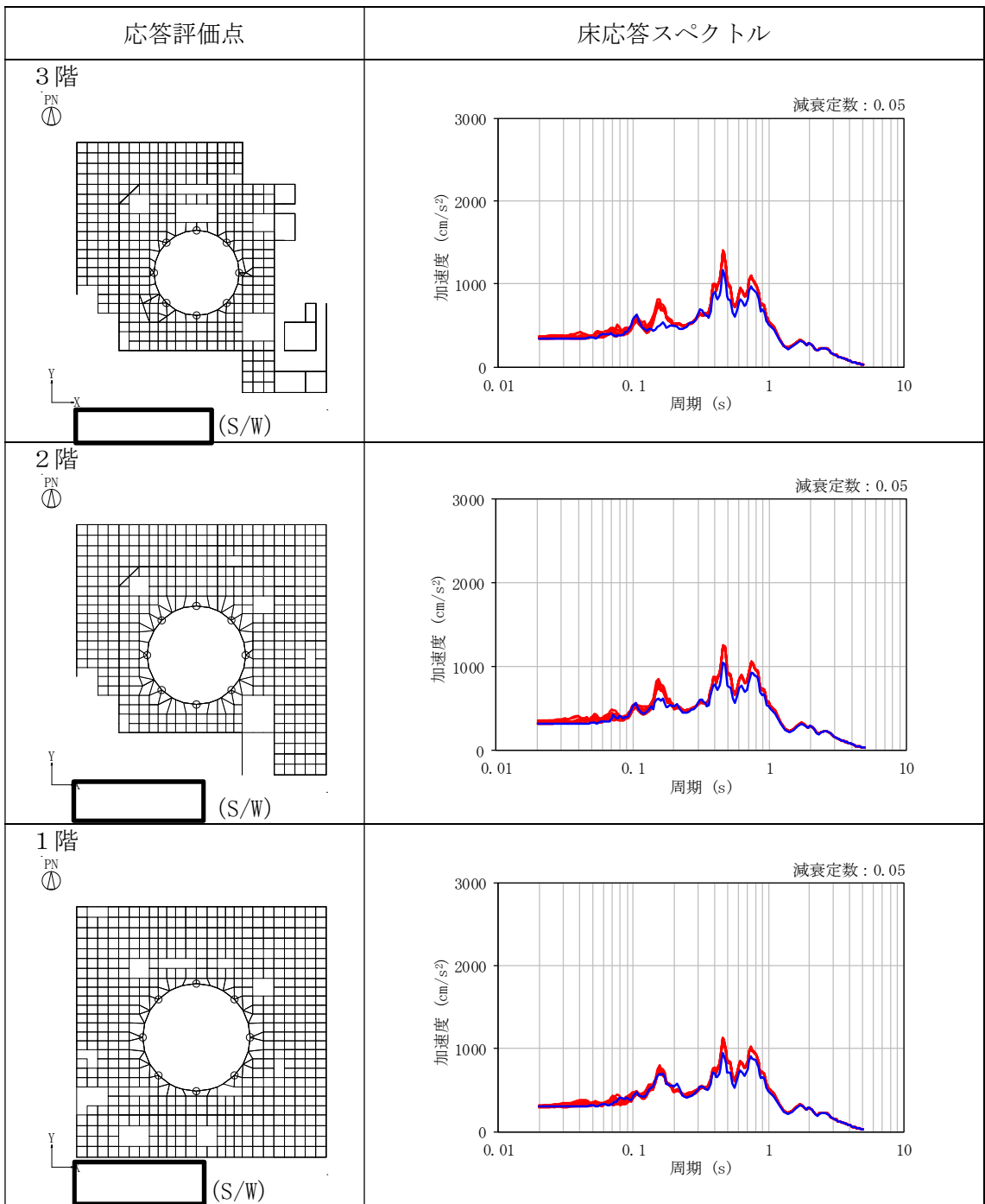
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-6 (1/3) EW 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	床応答スペクトル
<p>6階 PN ⊙</p>  <p>(S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>5階 PN ⊙</p>  <p>(S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>4階 PN ⊙</p>  <p>(S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>

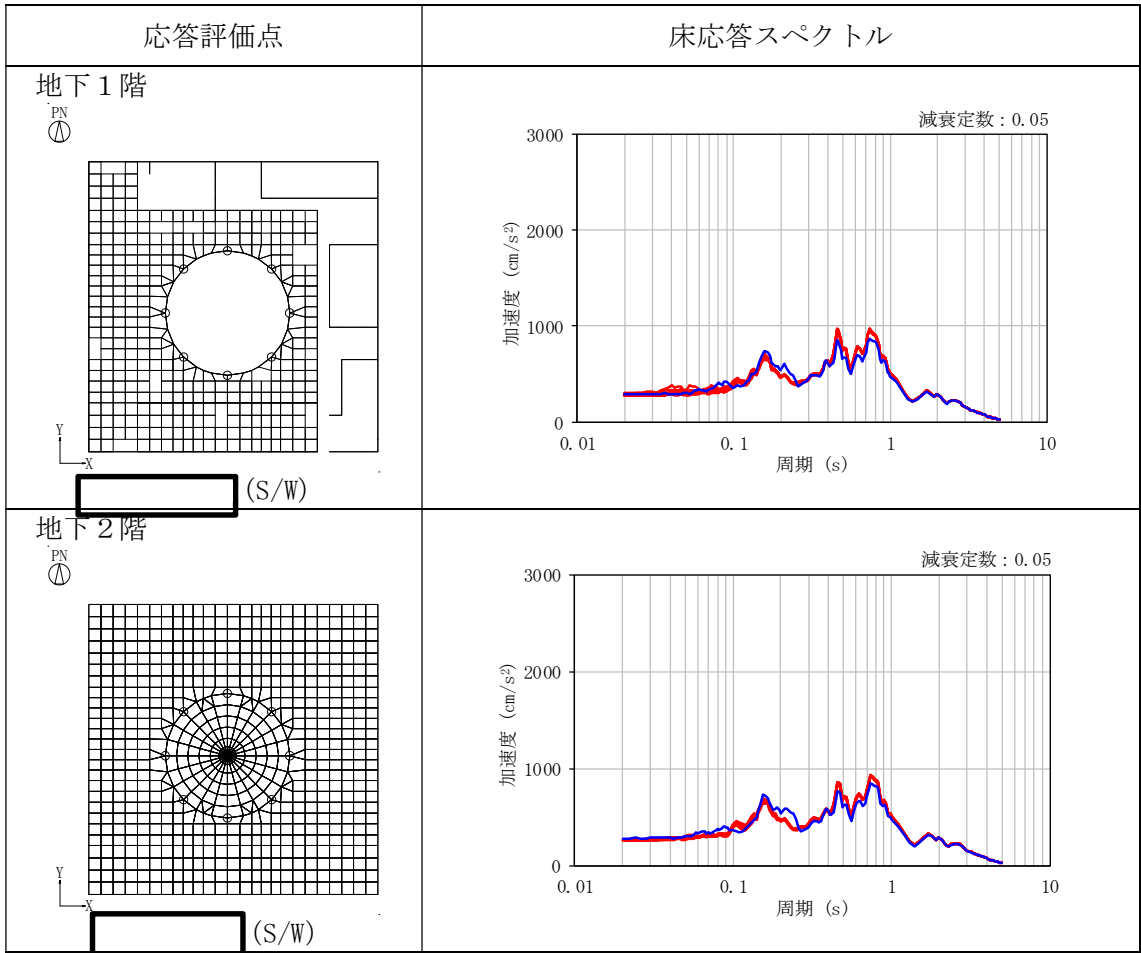
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-6 (2/3) EW 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)



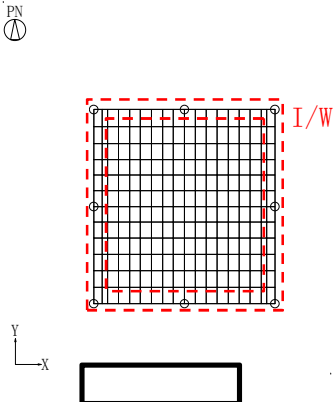
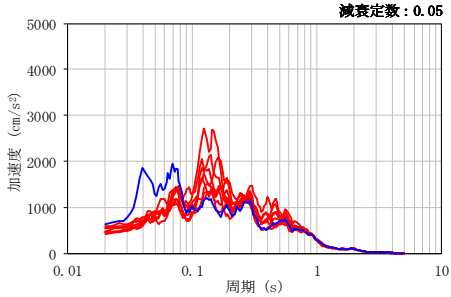
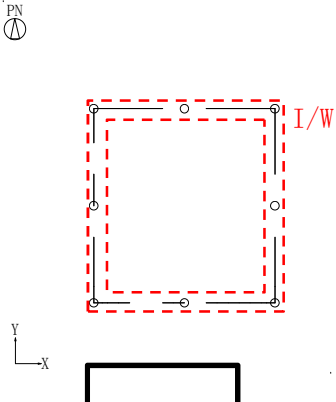
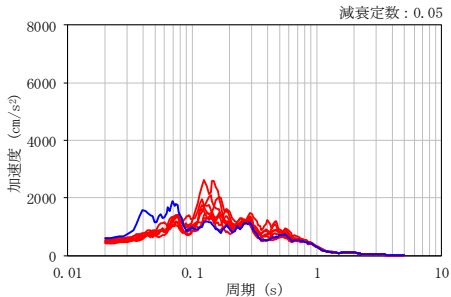
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-6 (3/3) EW 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)



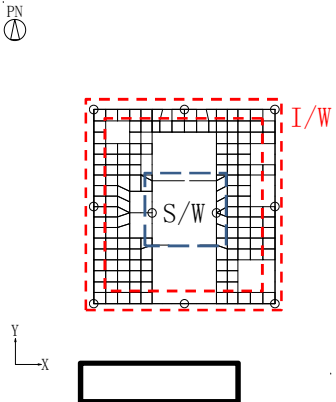
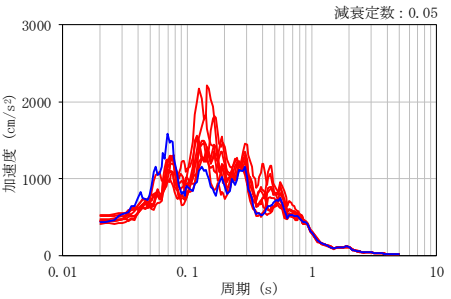
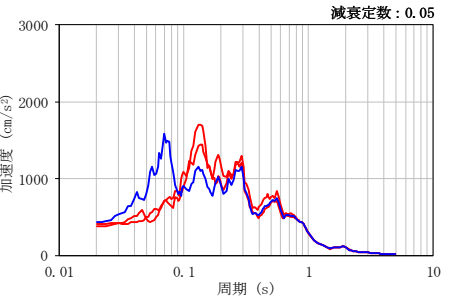
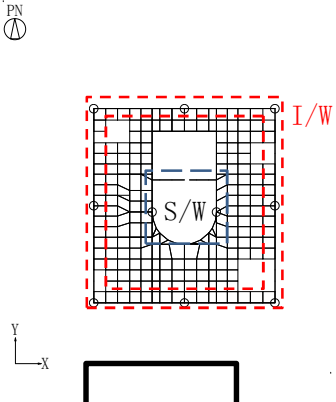
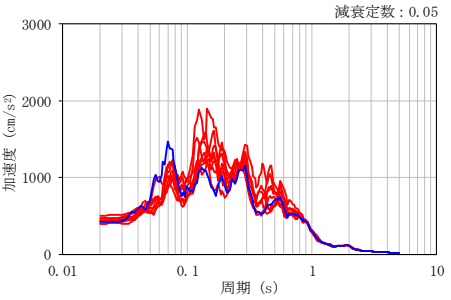
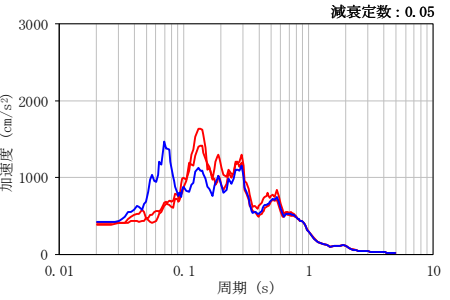
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-7 (1/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	O/W	I/W	S/W
<p>屋上</p> 			
<p>クレーン階</p> 			

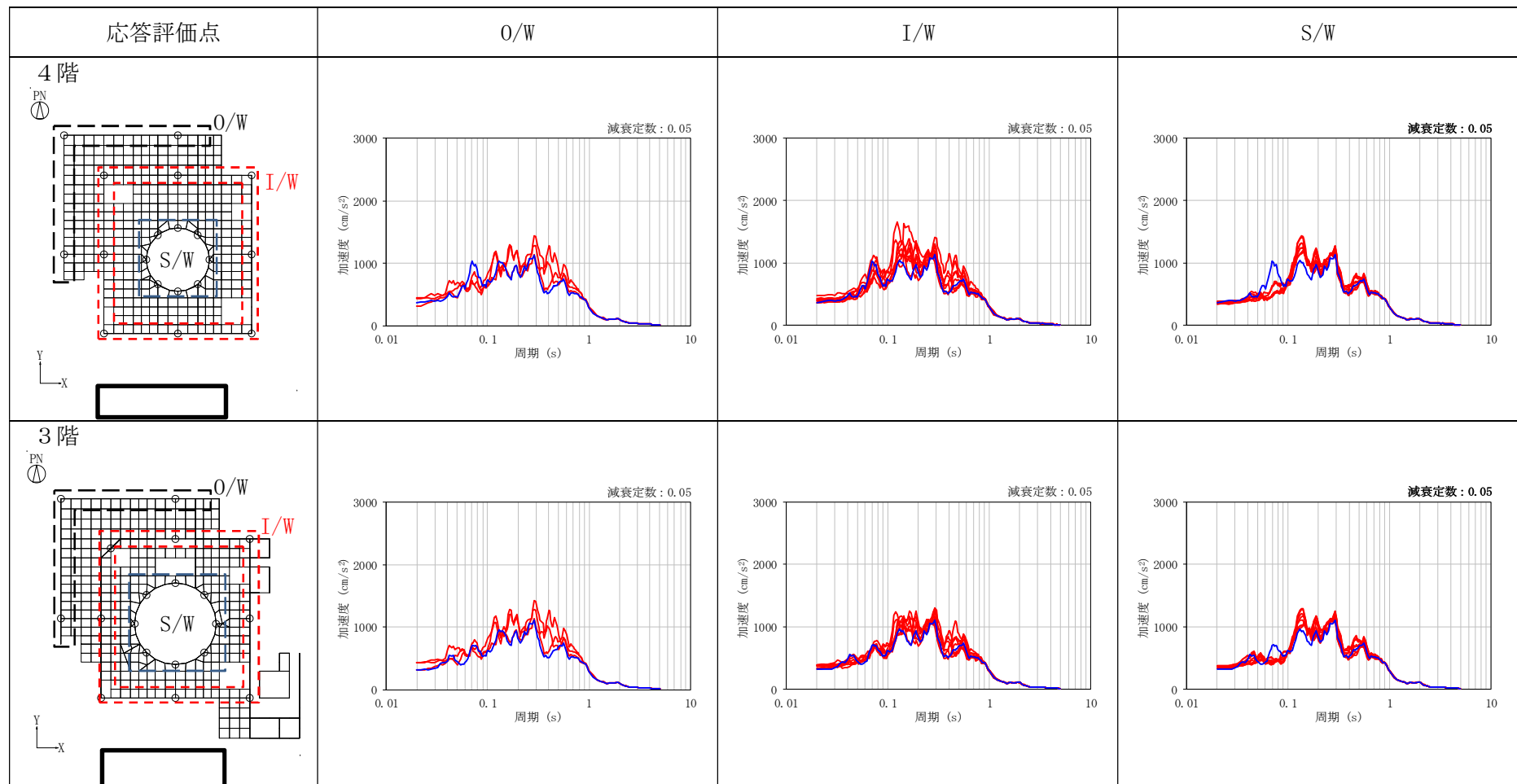
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-7 (2/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	0/W	I/W	S/W
<p>6階</p> 			
<p>5階</p> 			

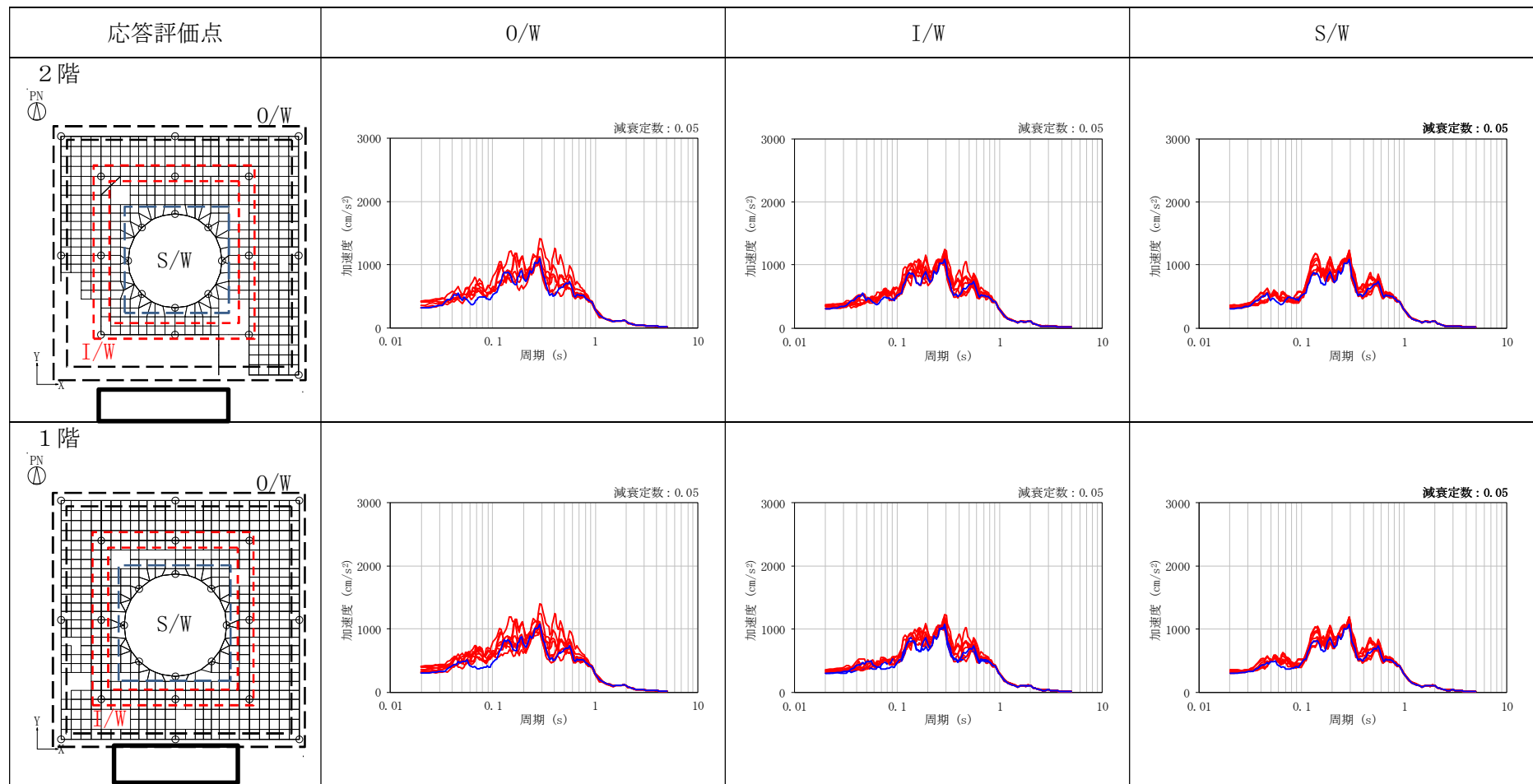
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-7 (3/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)



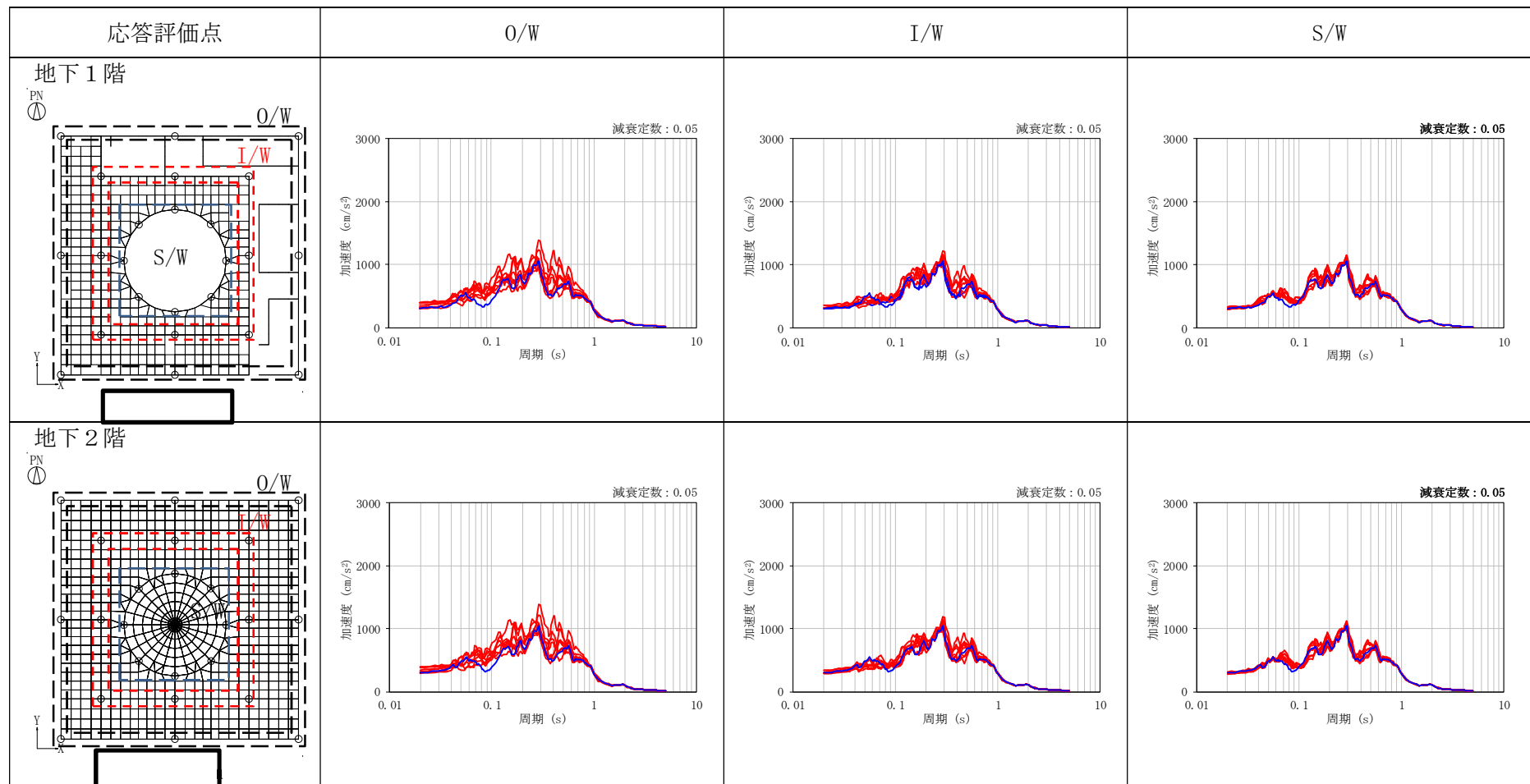
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-7 (4/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)



— 3次元FEM, — 質点系

表 3-7 (5/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)



— 3次元FEM, — 質点系

補 4 検討に用いる地震動の代表性について

1. 検討概要

3次元FEMモデルを用いた地震応答解析は、弾性設計用地震動 S_d のうち、広帯域の周期成分を含む S_d-D1 を用いて実施している。ここでは、解放基盤表面における弾性設計用地震動と基礎下端レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを比較し、弾性設計用地震動 S_d-D1 の代表性について確認する。

2. 検討結果

解放基盤表面における弾性設計用地震動と基礎下端レベルにおける入力地震動の加速度応答スペクトルを図 2-1 及び図 2-2 にそれぞれ示す。また、水平 2 方向の加速度応答スペクトルの二乗和平方根による応答スペクトルを図 2-3 に示す。なお、 S_d-D1 については、直交方向の地震動には 3 次元 FEM モデルを用いた地震応答解析の EW 方向の入力に用いた位相の異なる模擬地震波（弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_d-D1 とは位相特性が異なる地震波。）を用いた。

質点系モデルによる地盤-建屋連成系の 1 次及び 2 次の固有周期はそれぞれ 0.4 秒、0.2 秒であり、図 2-3 に示すように建屋の主要な周期帯域において、 S_d-D1 の加速度応答スペクトルは、他を包絡しており、 S_d-D1 を用いた検討により建屋の主要な応答性状を代表できることを確認した。

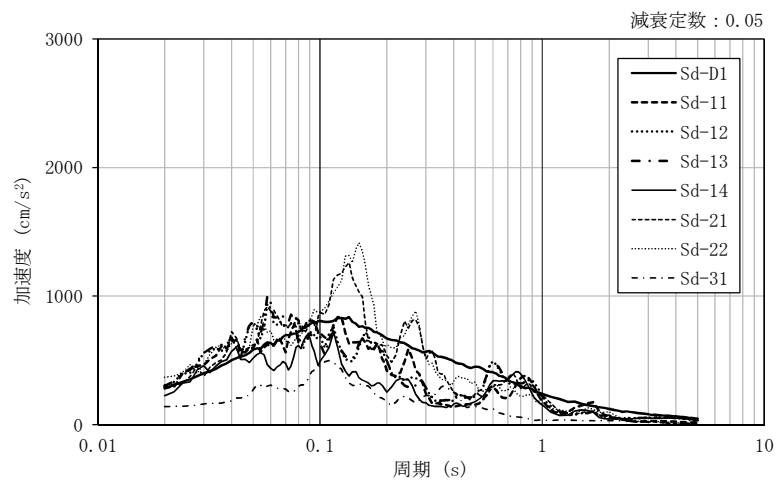
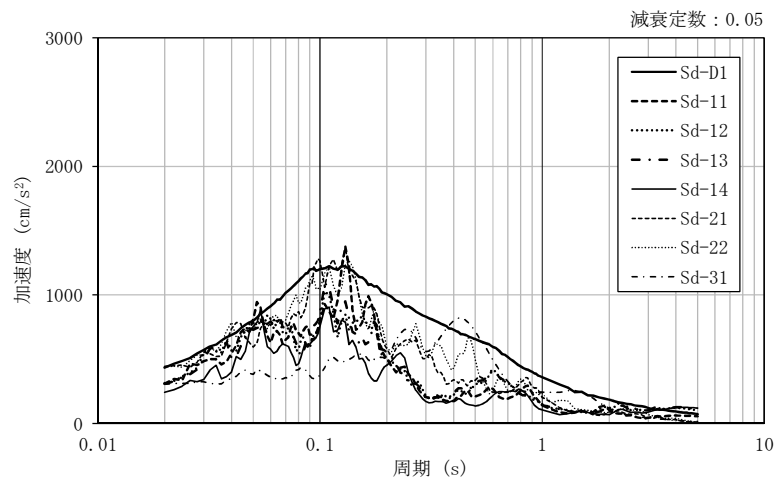
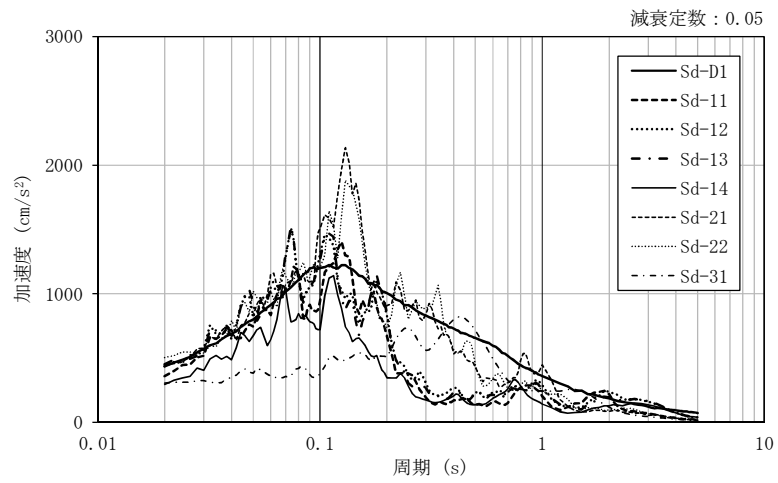


図 2-1 弾性設計用地震動の加速度応答スペクトル (解放基盤波)

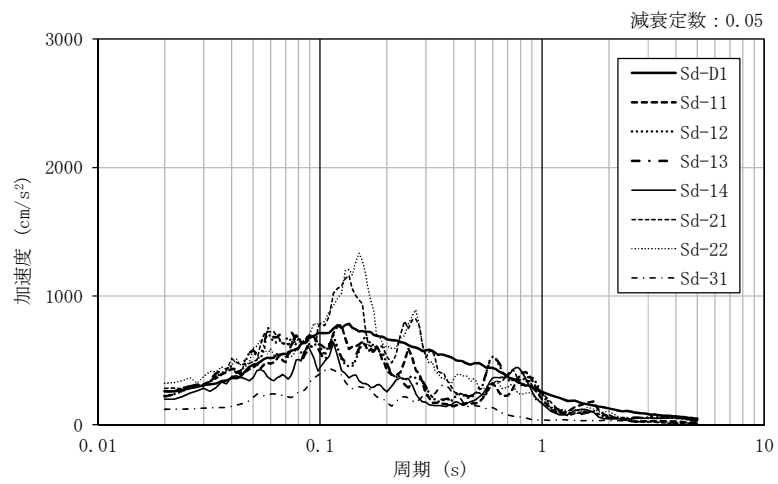
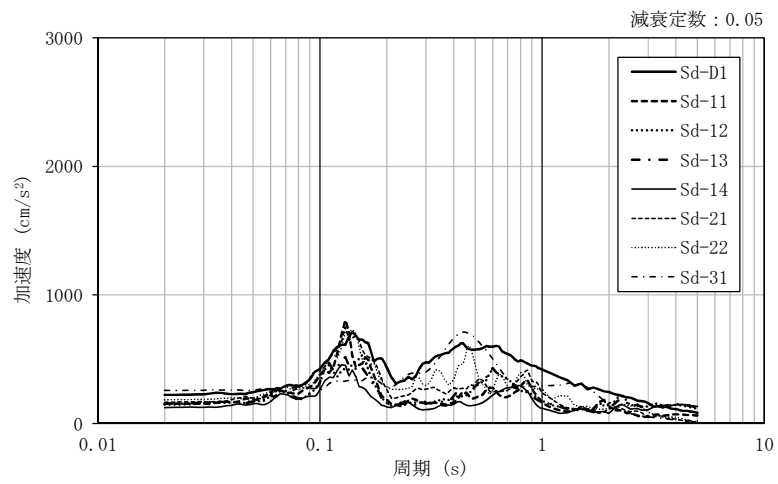
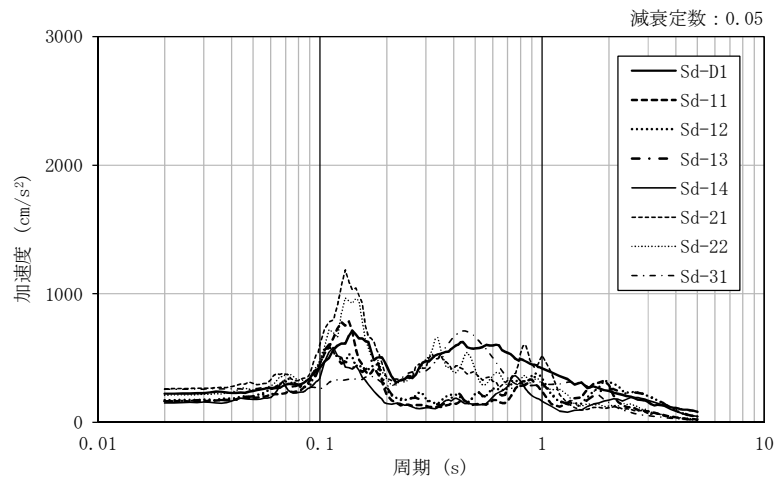
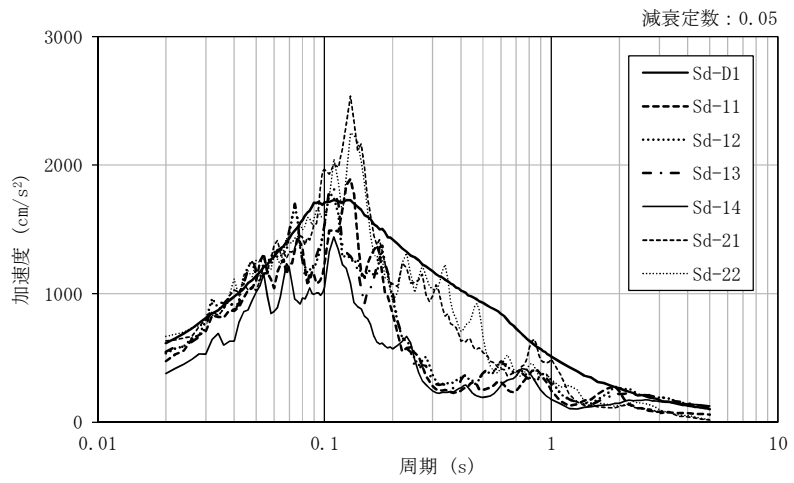
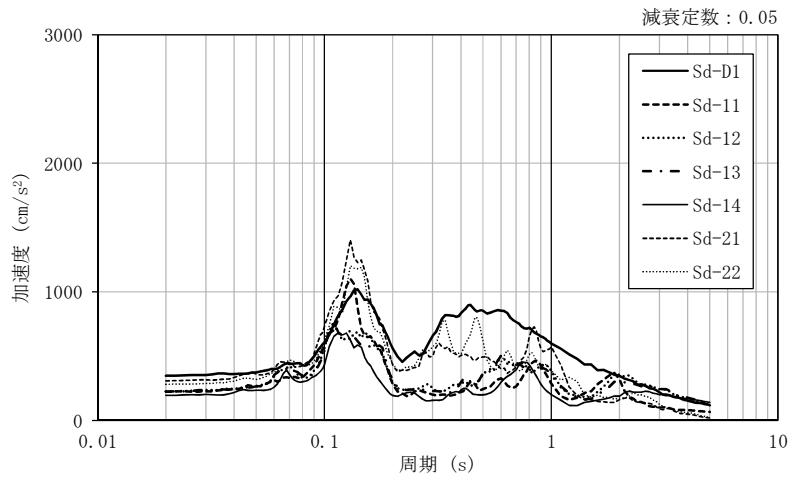


図 2-2 入力地震動の加速度応答スペクトル (EL. -9.0 m)



(a) 解放基盤波



(b) 入力動（基礎下端）

図 2-3 水平 2 方向の二乗和平方根の加速度応答スペクトル

補5 S_d-D1に対する3次元FEMモデルによる地震応答解析

1. 検討概要

「別紙3 3.2 建屋応答性状の把握」では、建屋模擬モデル、比較用モデル及び質点系対応モデルを用いて分析を行い、建屋模擬モデルを用いた検討より、3方向同時入力と1方向入力時での応答の差異がほとんどないことを確認した。

ここでは、S_d-D1に対する3次元FEMモデルによる3方向同時入力時の応答性状の把握の観点から、各階の内部ボックス壁、外部ボックス壁、シェル壁における加速度応答スペクトルを示し、建屋応答性状について分析を行う。また比較として質点系モデルによる加速度応答スペクトルも併記する。

2. 検討条件

質点系モデルによる解析結果と比較を行う節点を図2-1に示す。比較はNS方向、EW方向、UD方向の方向別に行う。各階の節点を外部ボックス壁（以下「O/W」という。）、内部ボックス壁（以下「I/W」という。）、及びシェル壁（以下「S/W」という。）に分類し、水平方向の、O/WとI/Wについては、出力方向に対して平行な両端部の壁と中央に分けて示す。

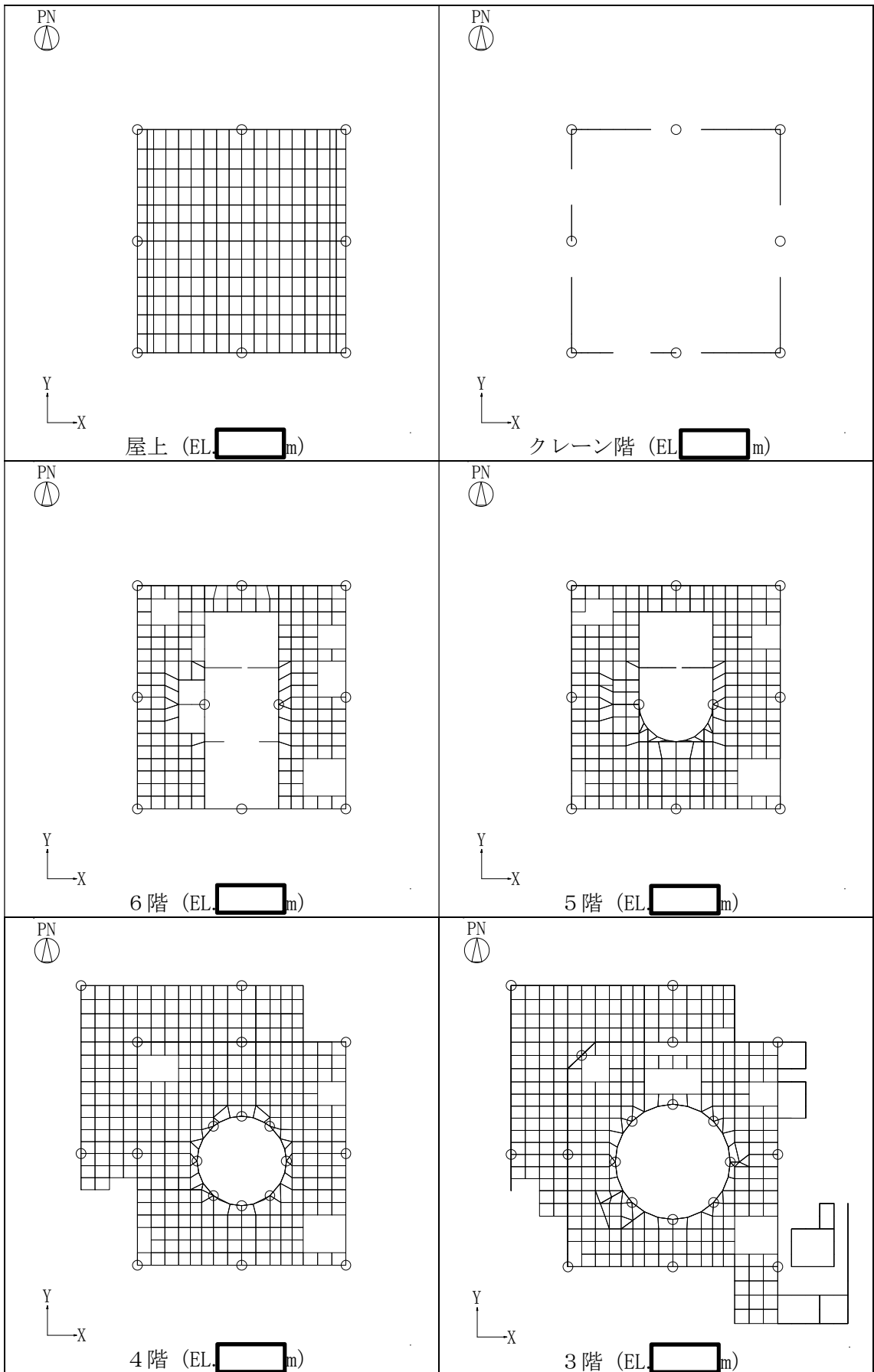


図 2-1 (1/2) 応答スペクトル評価点

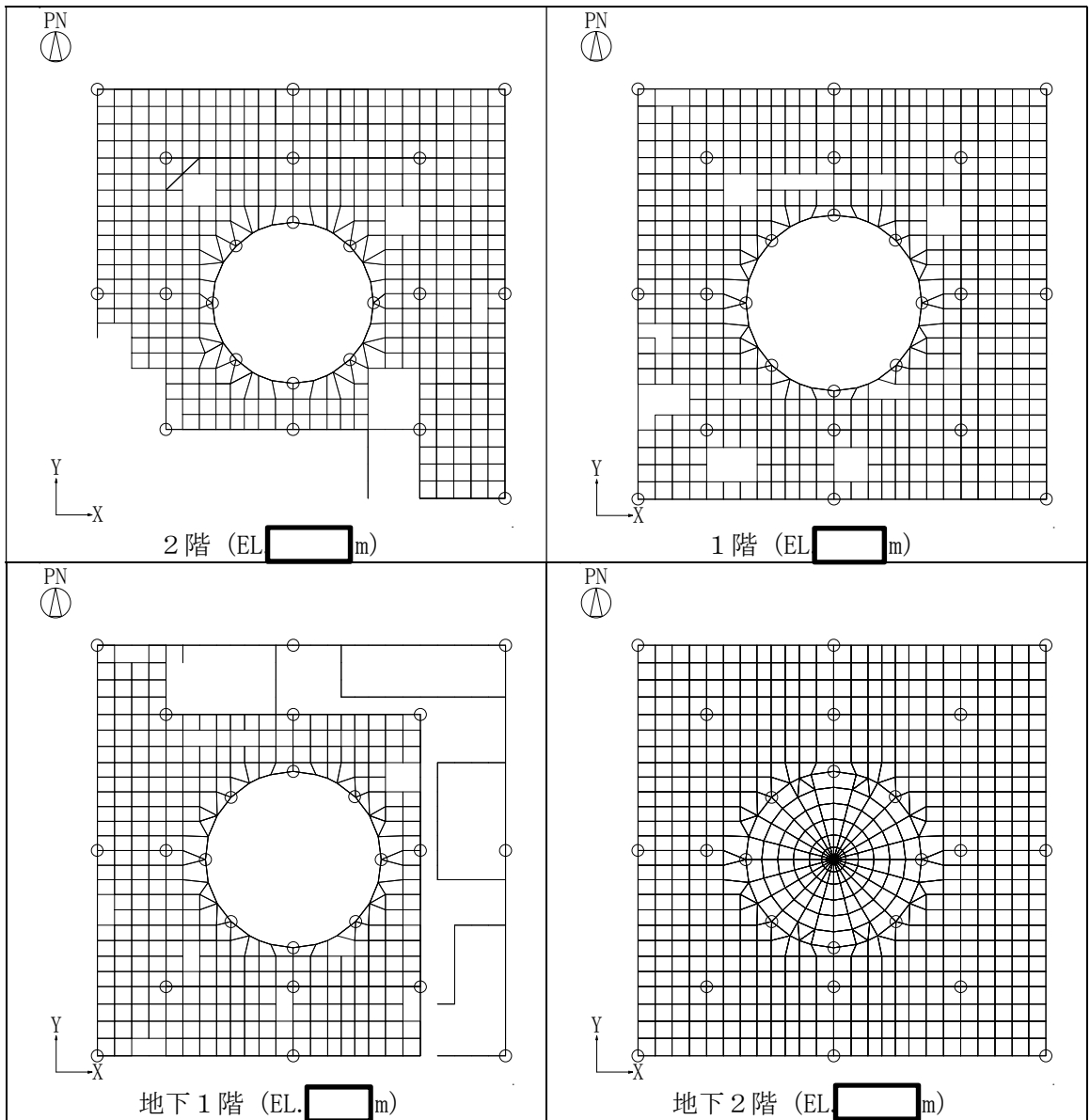


図 2-1 (2/2) 応答スペクトル評価点

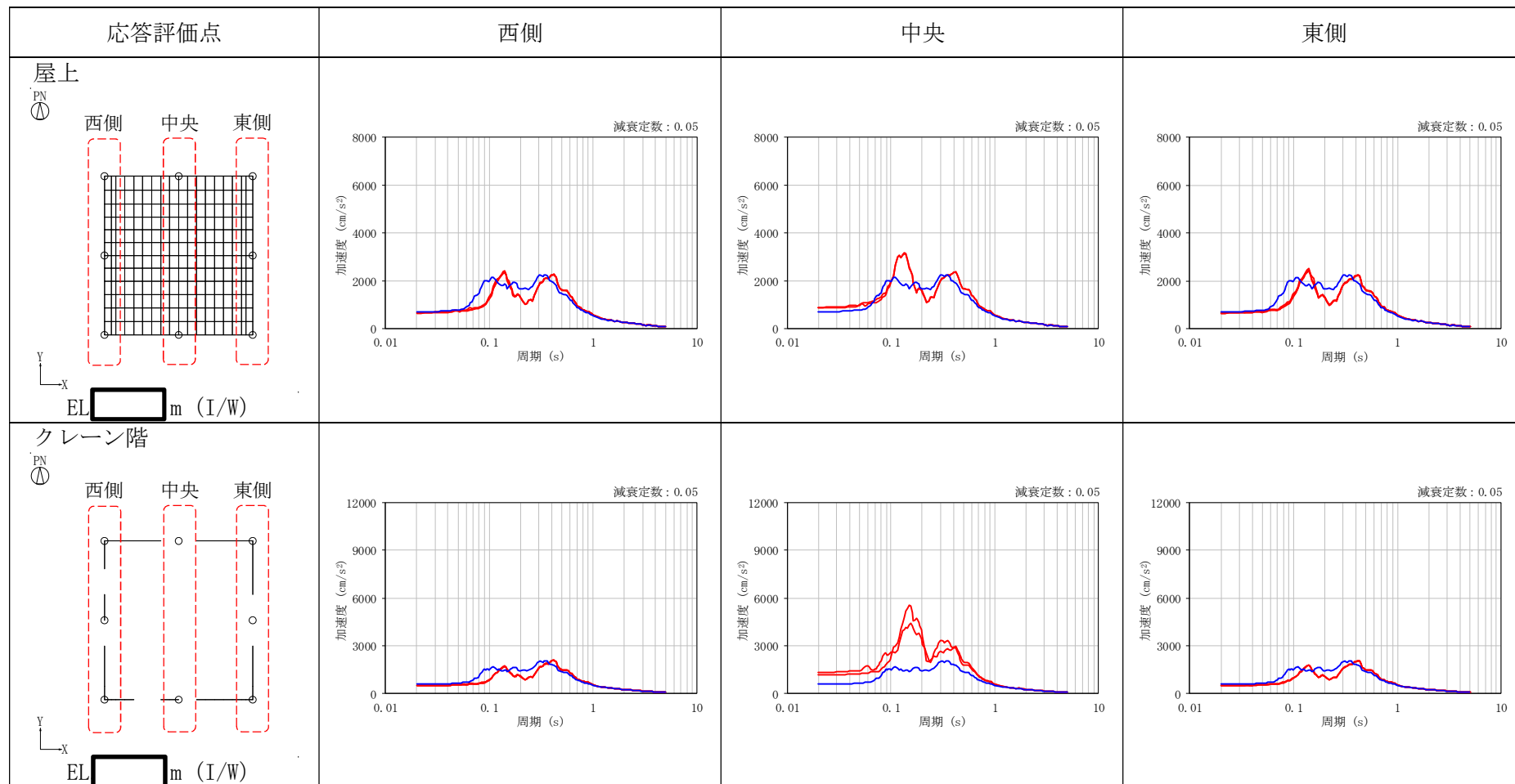
3. 検討結果

屋上 (EL. 63.65 m) から地下2階 (EL. -4.00 m) までの各階における、3方向同時入力の加速度応答スペクトルを表3-1～表3-7に示す。また比較として質点系モデルによる加速度応答スペクトルも併記する。

NS方向、EW方向ともに、耐震壁がI/Wのみとなる6階(オペフロ/EL. 46.50 m)以上では、壁中央の節点では、面外方向の加速度応答が大きくなる。特にクレーン階 (EL. 57.00 m) はスラブと接続していないため屋上 (EL. 63.65 m) よりも面外方向の加速度応答が大きい。しかし、6階より下の階では面外方向の加速度応答も含め、3次元FEMの出力位置による結果に大きな違いはなく、各階で概ね一致した応答スペクトルとなっている。

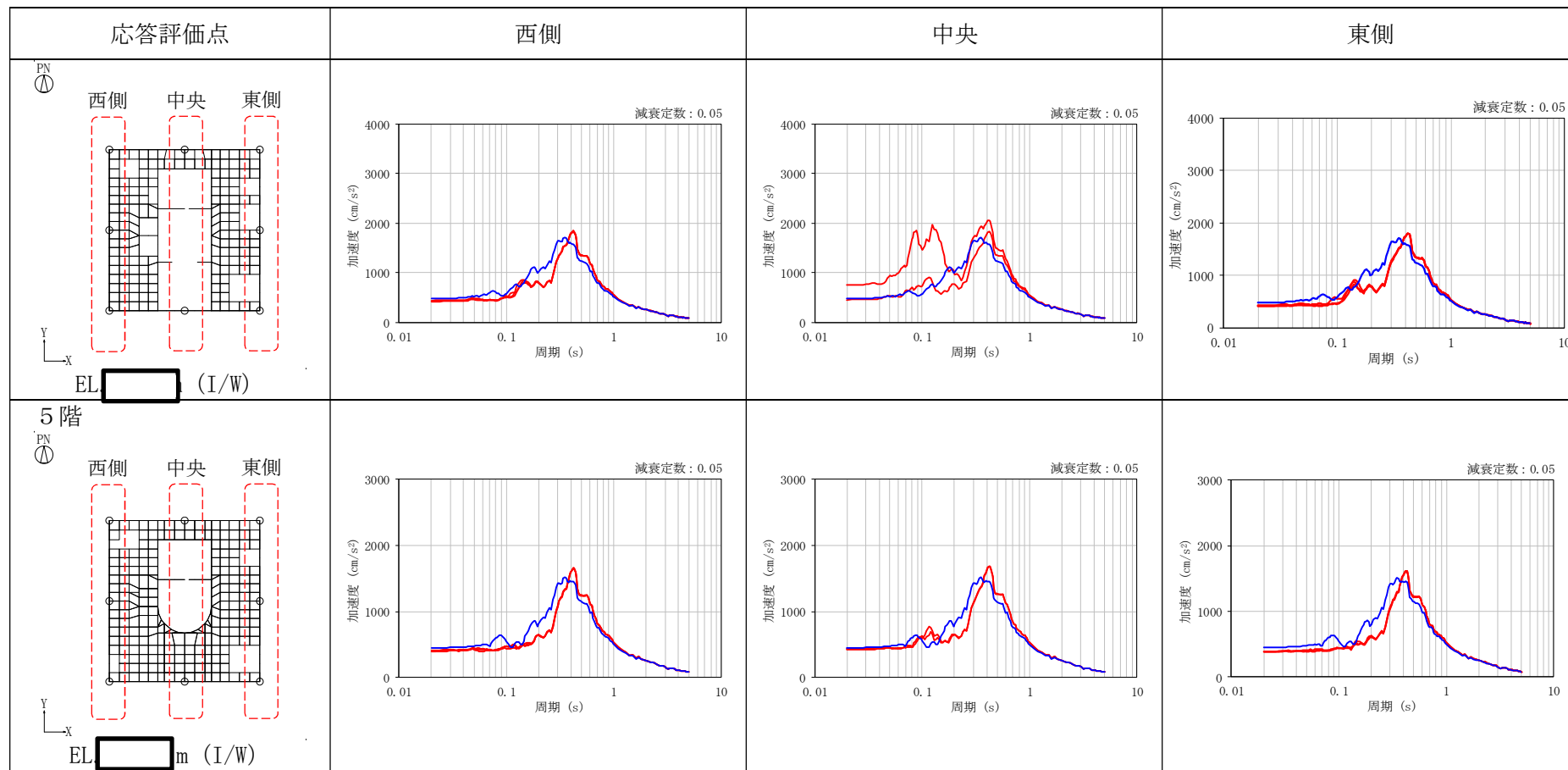
3次元FEM応答の質点系モデル応答との比較においても面内方向の加速度応答に大きな違いはなく、中央の節点の面外方向の加速度応答についても重要施設のある6階より下の階では質点系モデル応答と整合が取れている。

表 3-1 (1/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



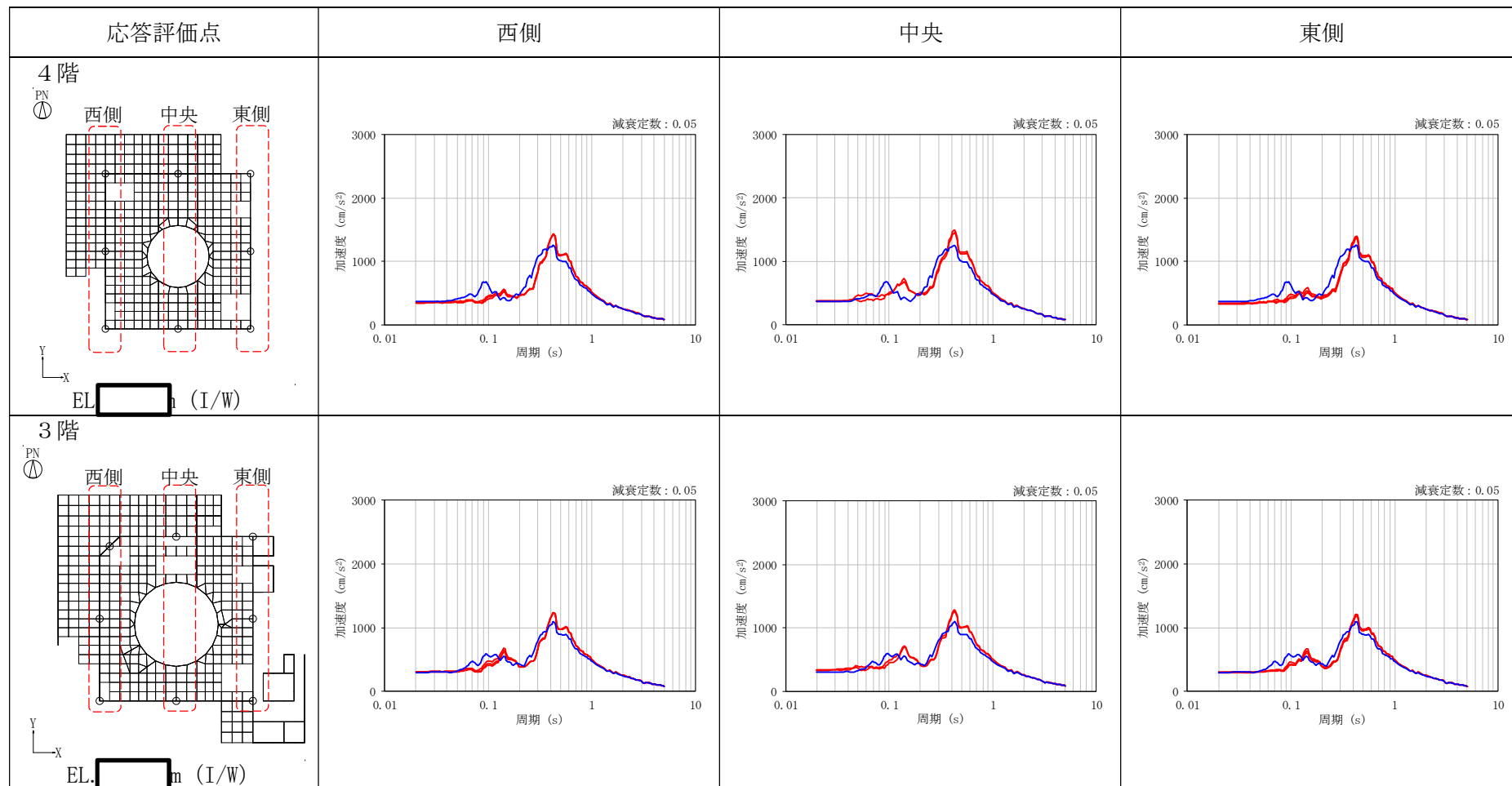
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-1 (2/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



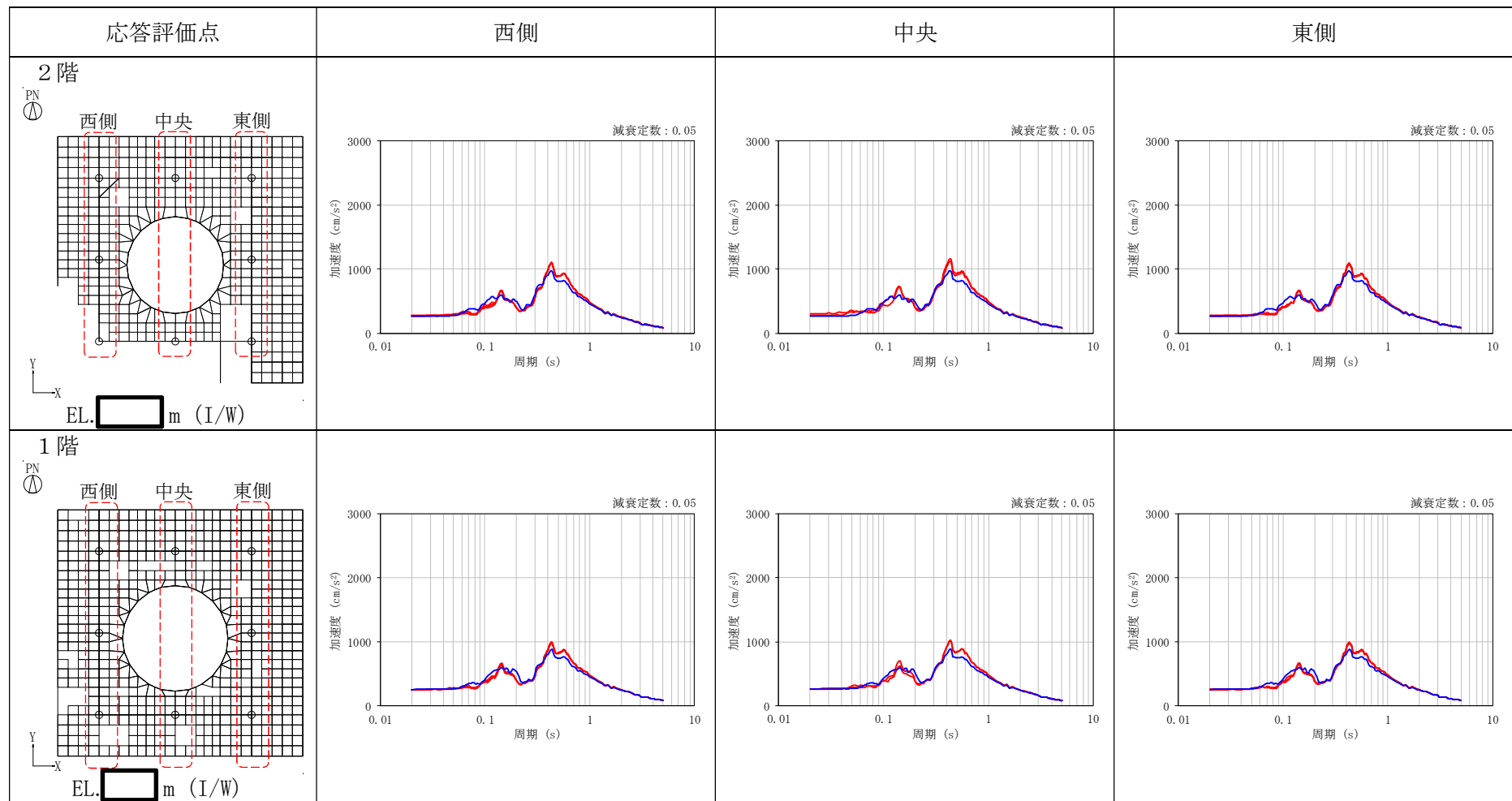
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-1 (3/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



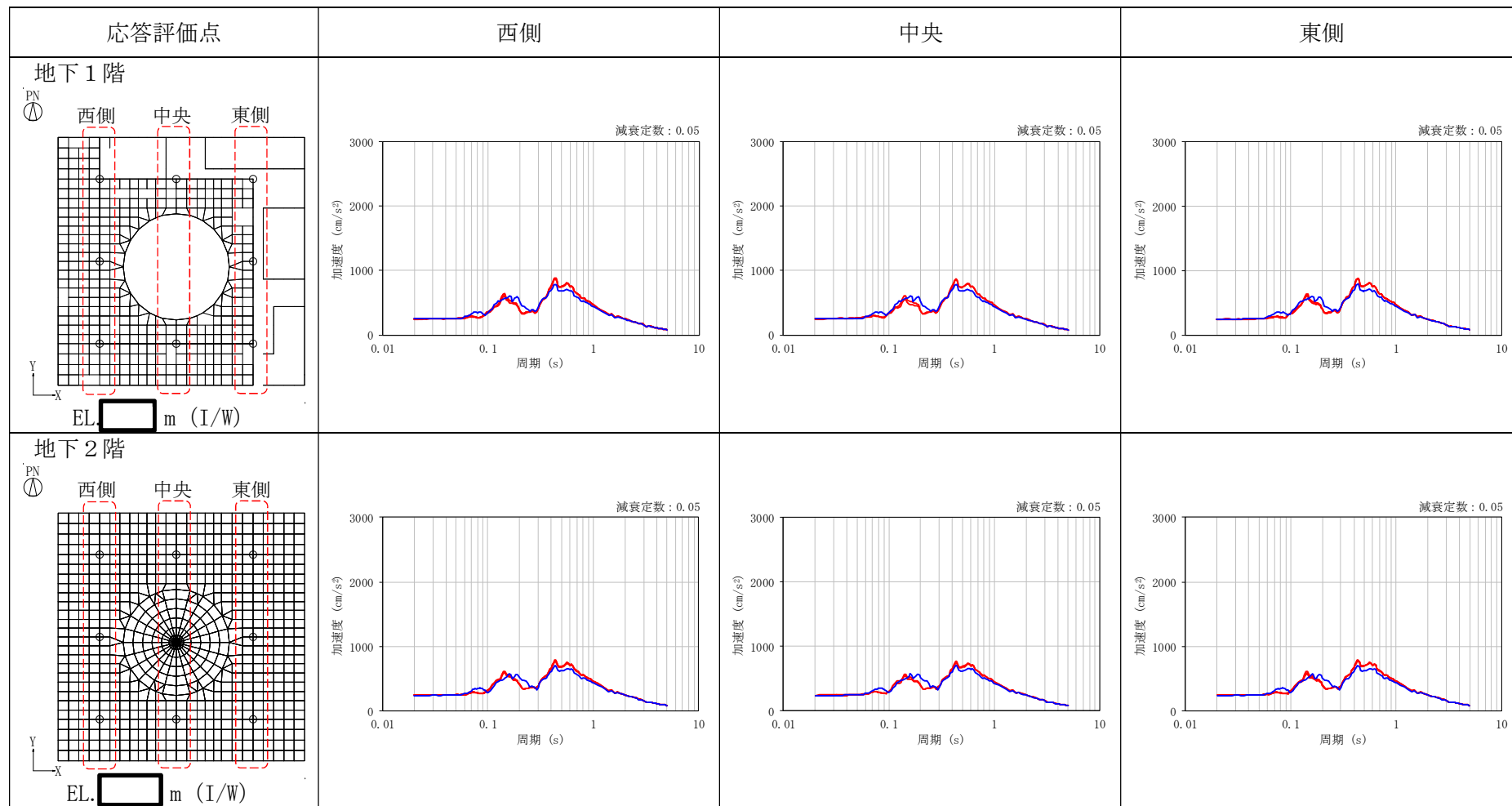
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-1 (4/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



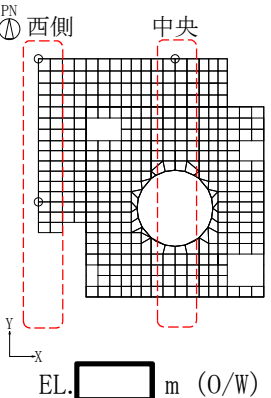
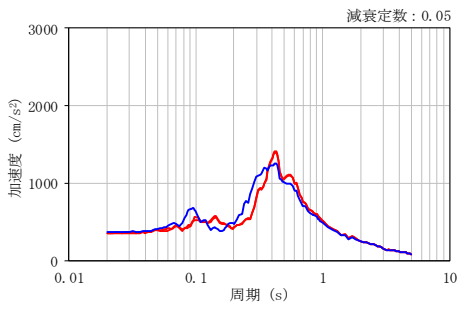
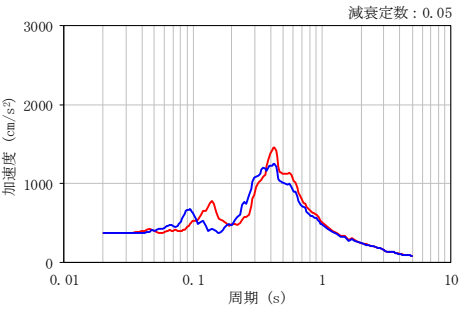
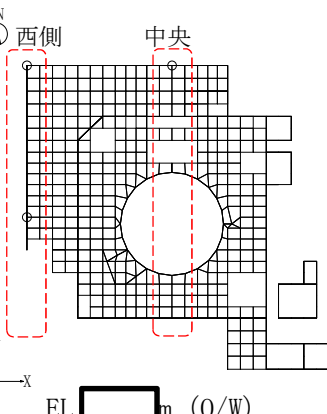
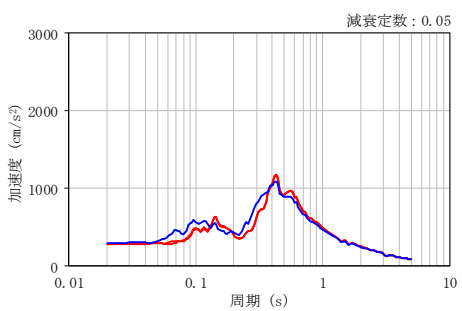
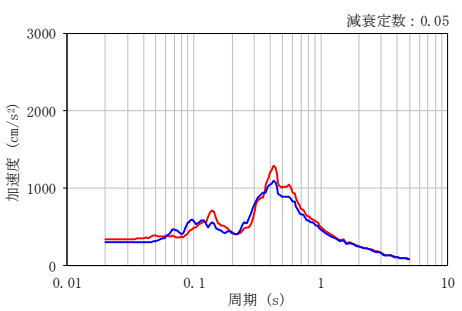
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-1 (5/5) NS 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



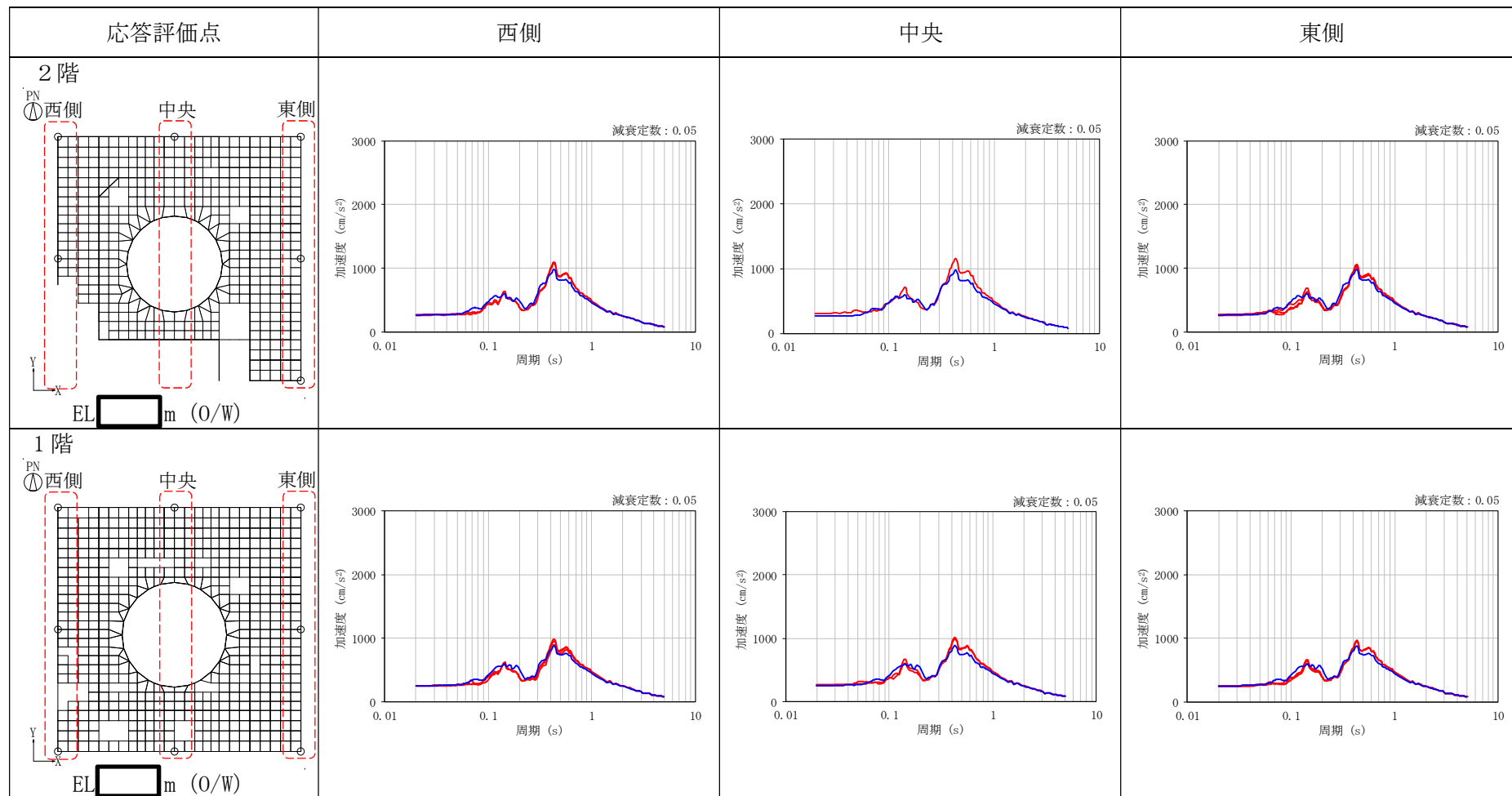
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-2 (1/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	西側	中央	東側
<p>4 階</p>  <p>EL. [] m (O/W)</p>	 <p>減衰定数: 0.05</p>	 <p>減衰定数: 0.05</p>	
<p>3 階</p>  <p>EL. [] m (O/W)</p>	 <p>減衰定数: 0.05</p>	 <p>減衰定数: 0.05</p>	

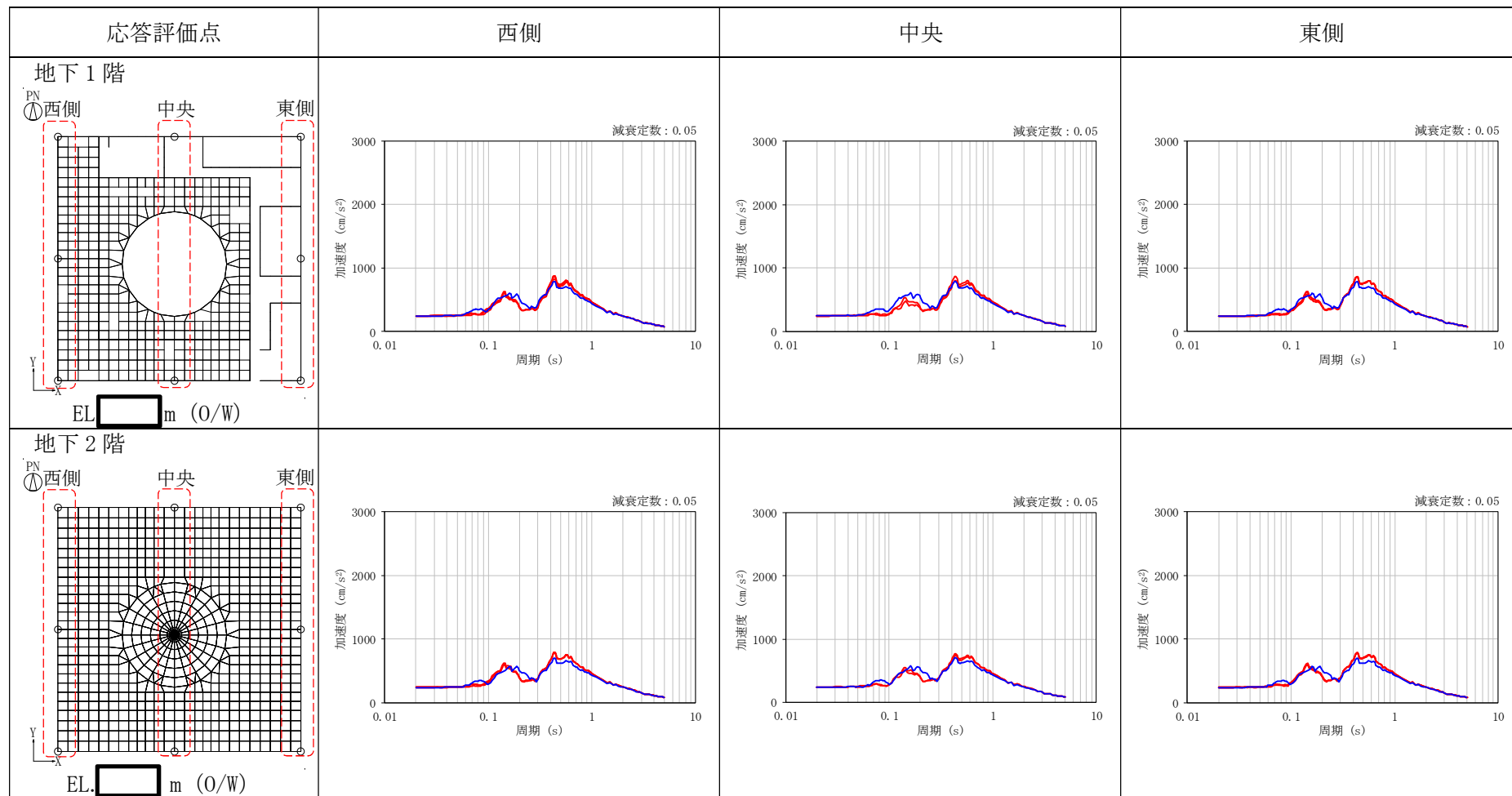
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-2 (2/3) NS 方向 (0/W) の床応答スペクトル (h=5%)



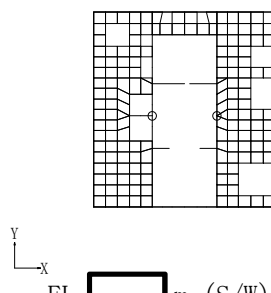
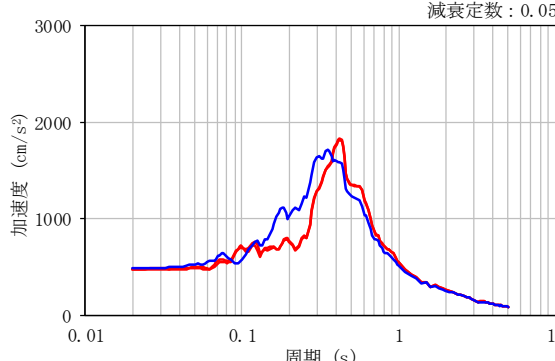
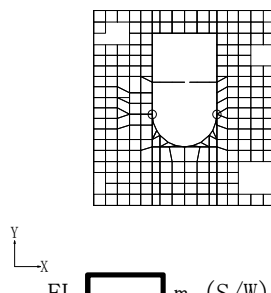
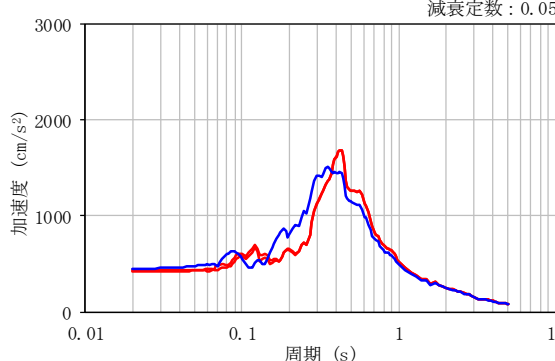
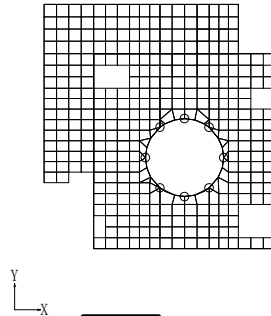
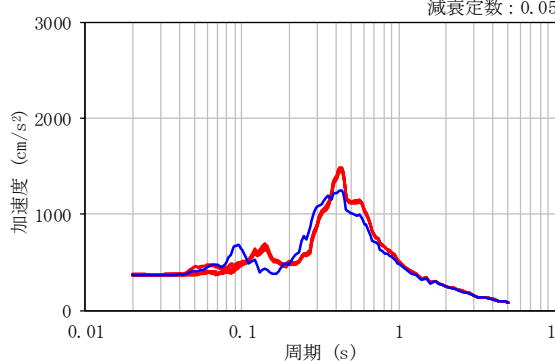
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-2 (3/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)



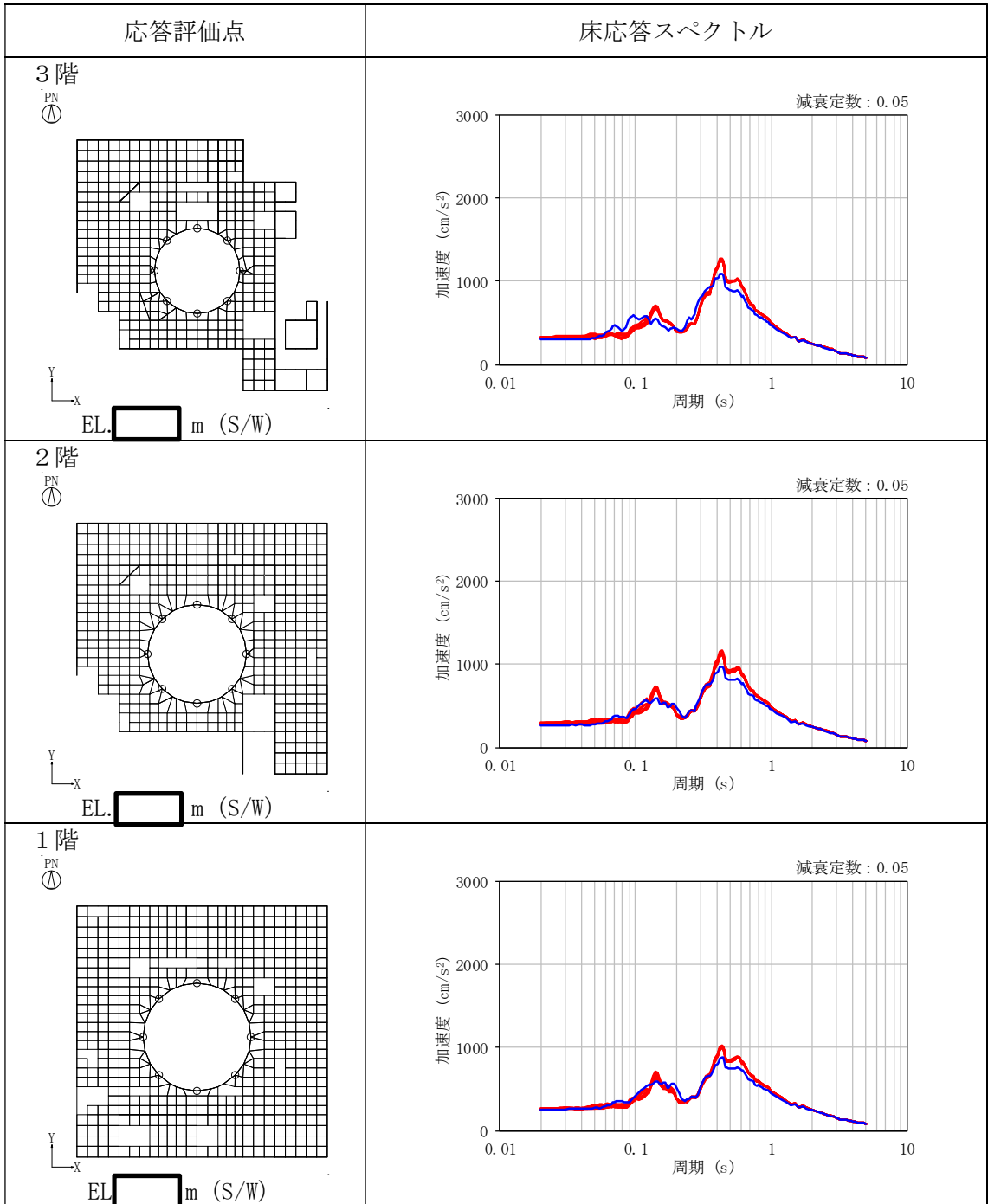
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-3 (1/3) NS 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	床応答スペクトル
<p>6階</p>  <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>5階</p>  <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>4階</p>  <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数 : 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>

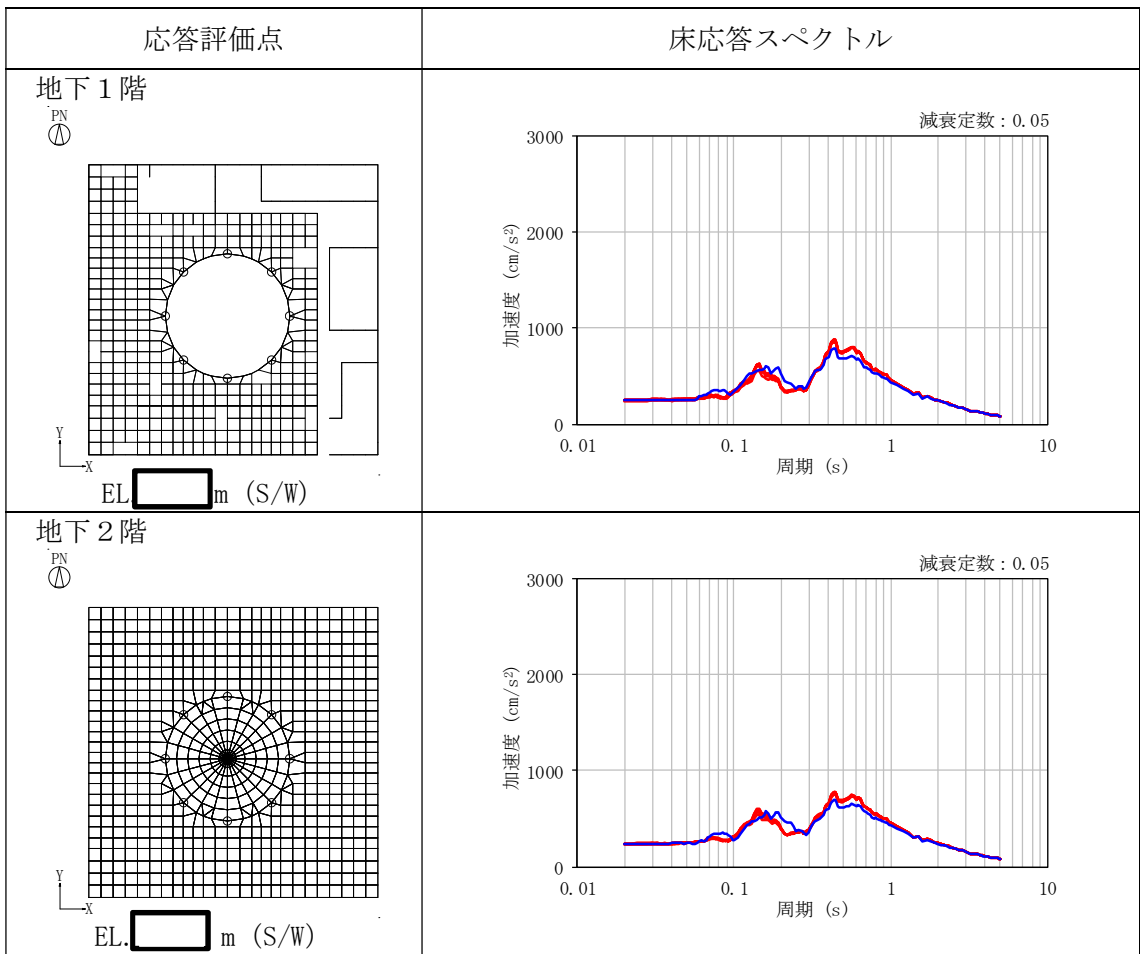
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-3 (2/3) NS 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)



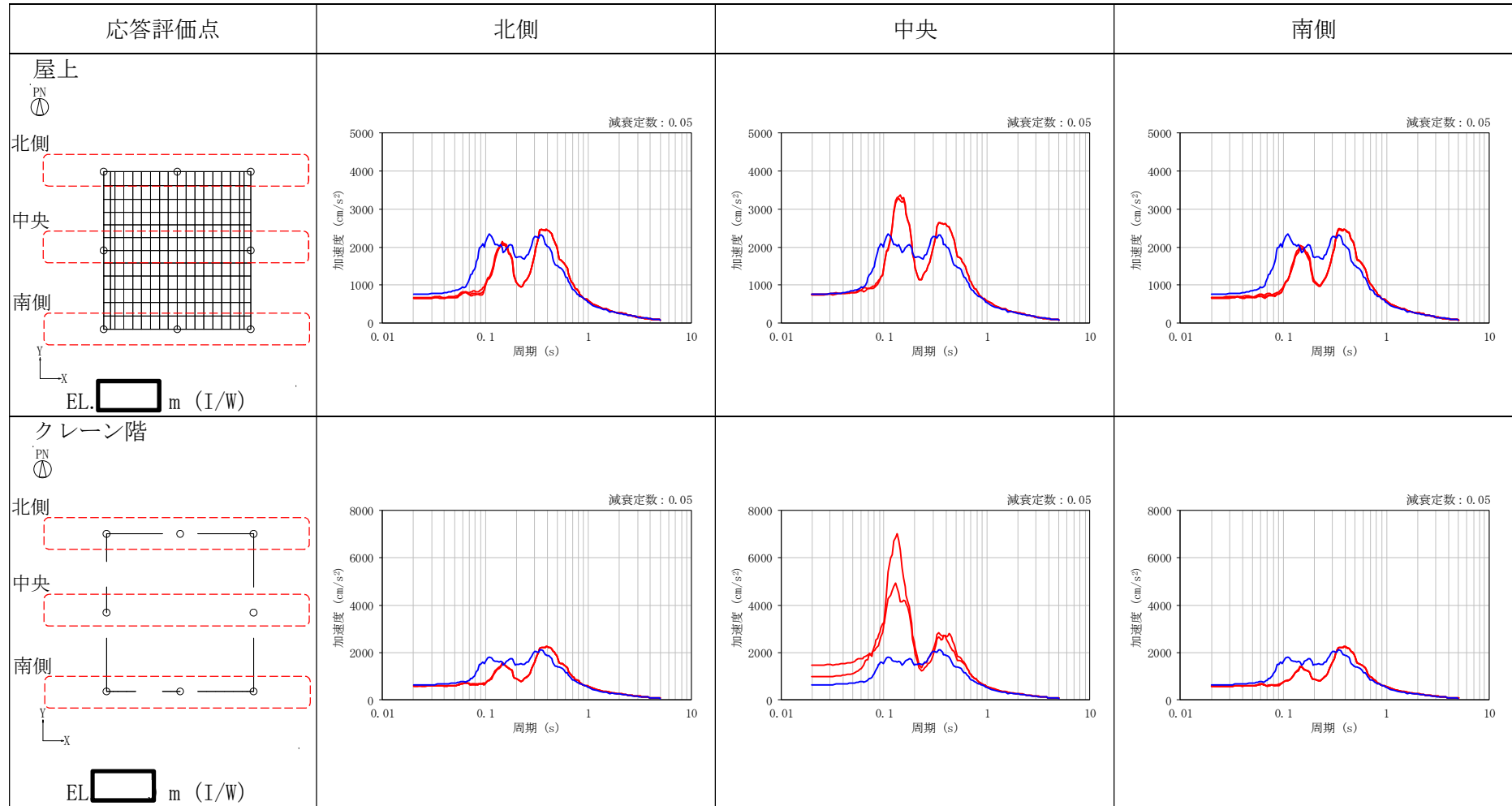
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-3 (3/3) NS 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)



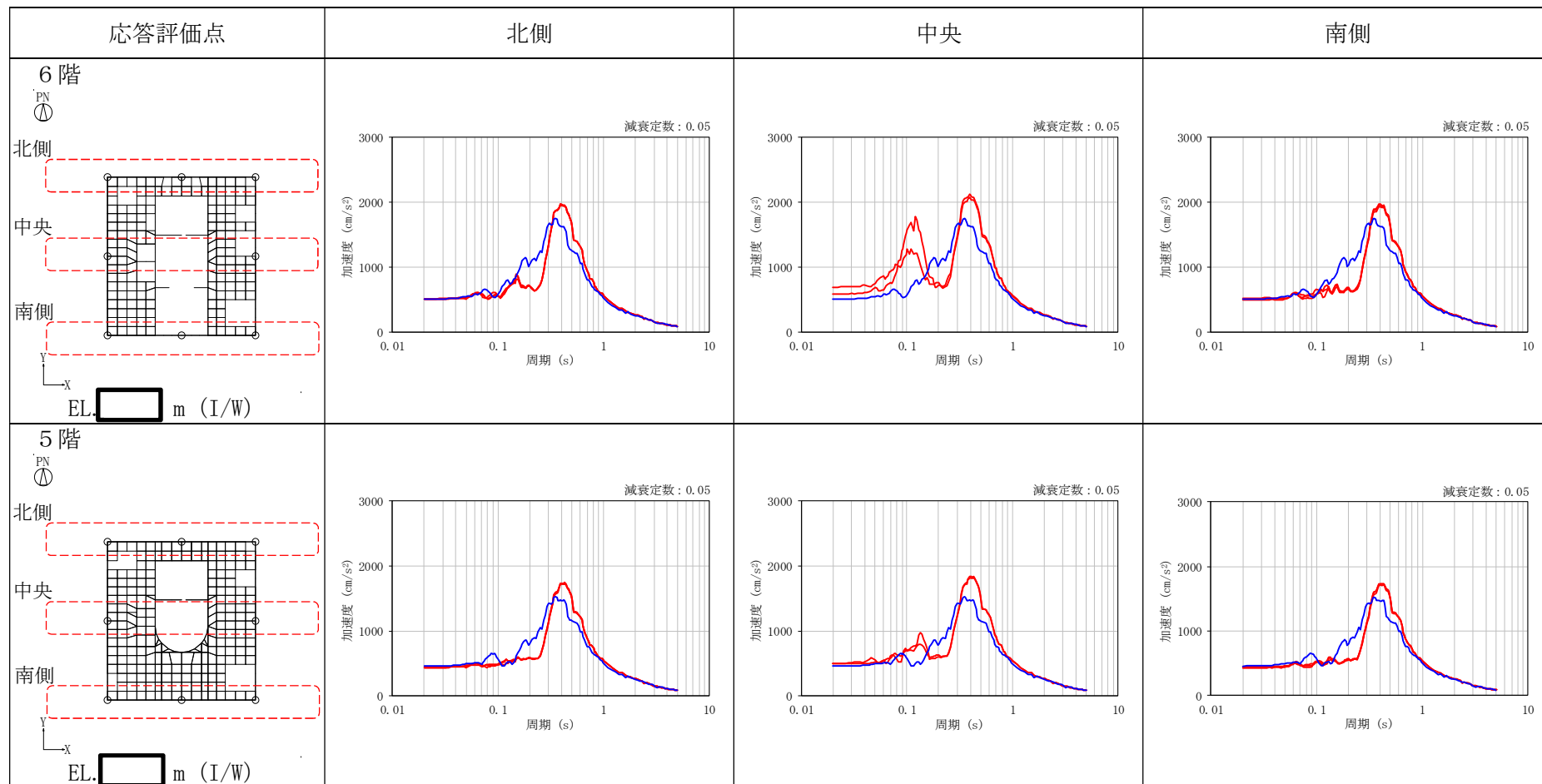
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-4 (1/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



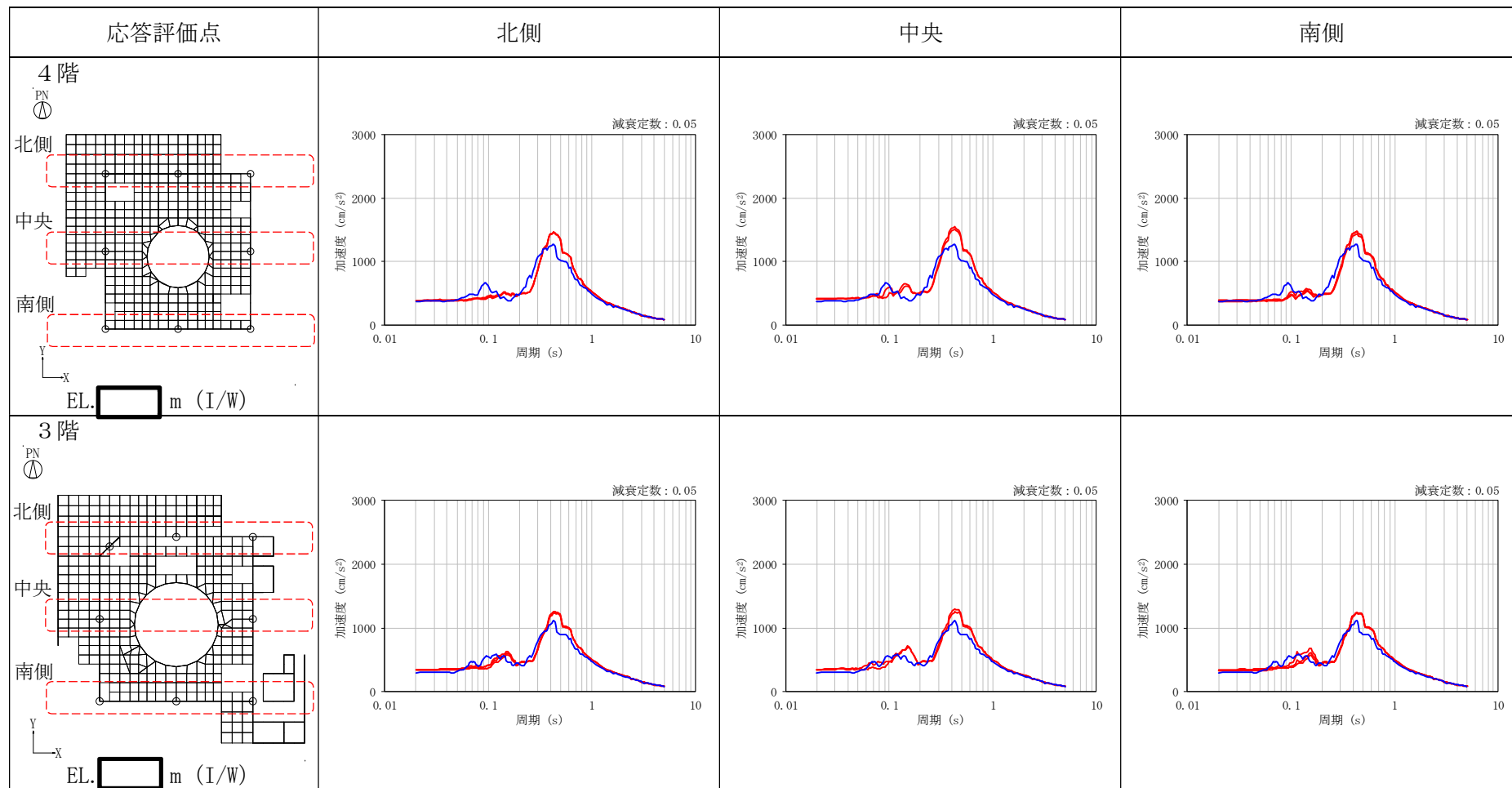
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-4 (2/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



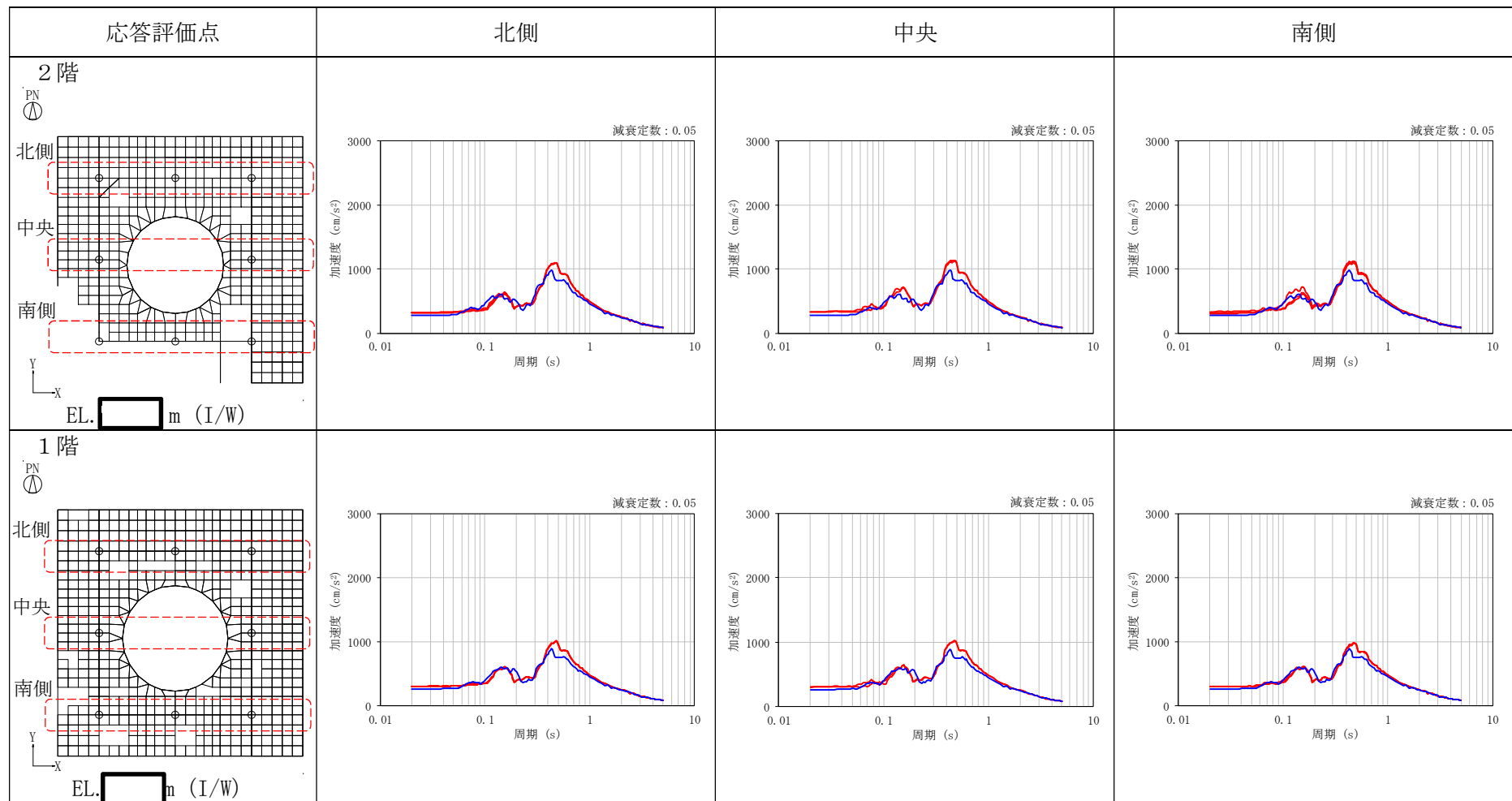
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-4 (3/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



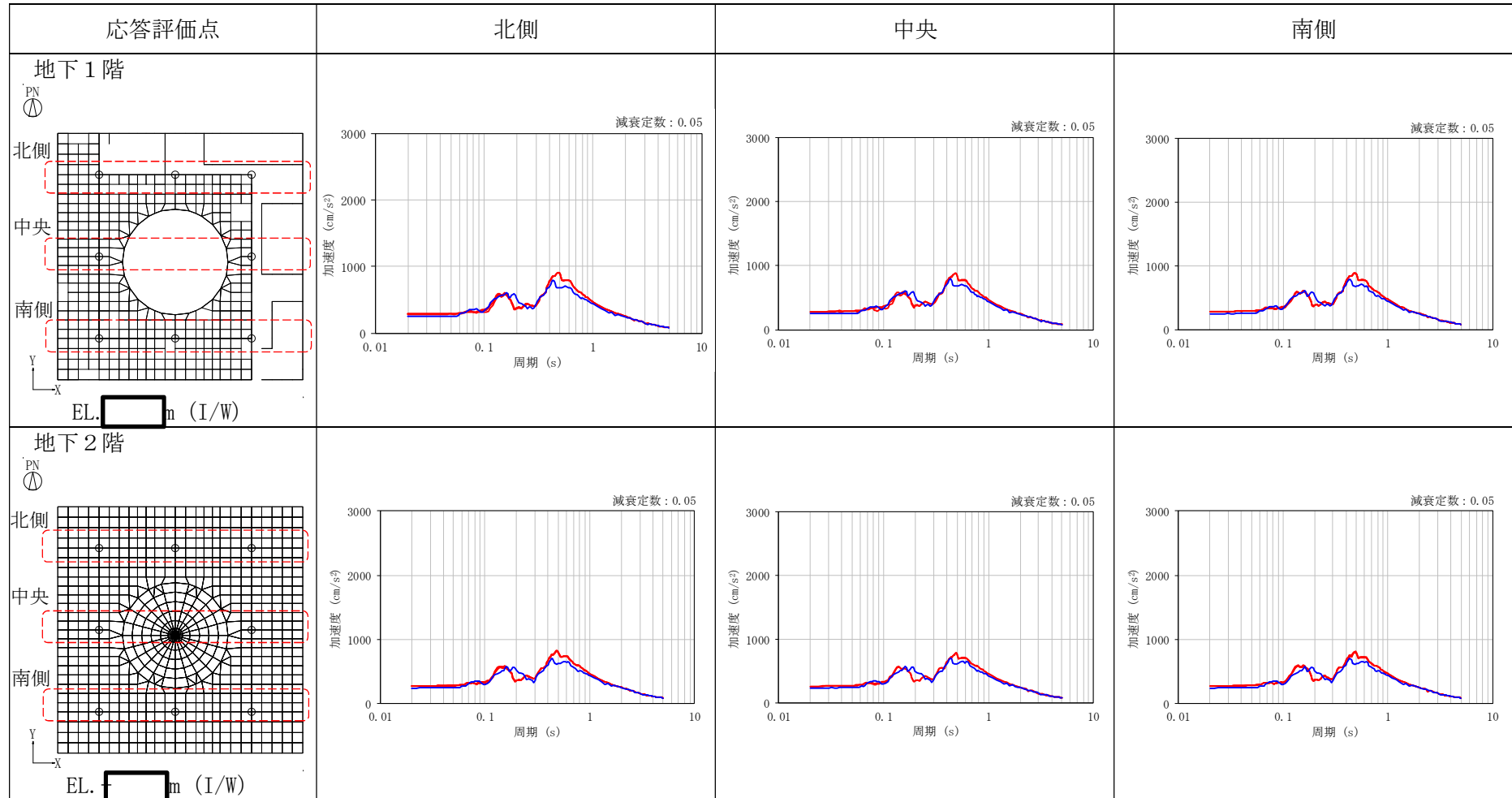
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-4 (4/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



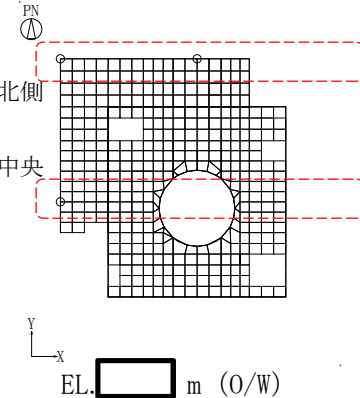
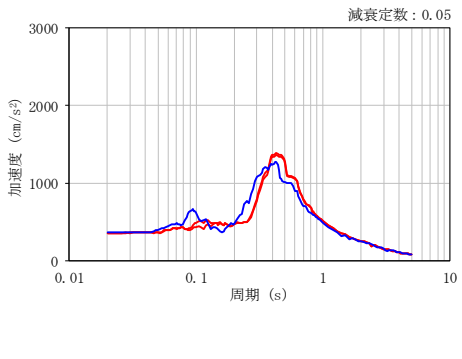
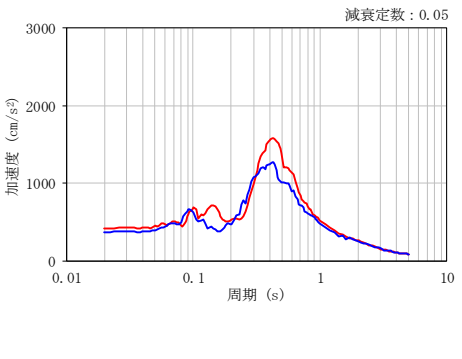
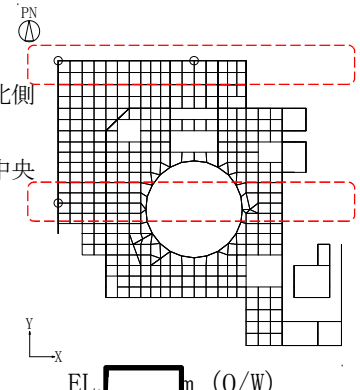
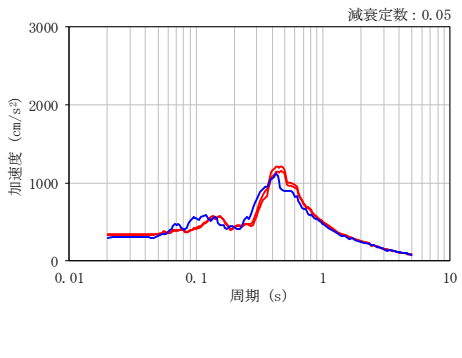
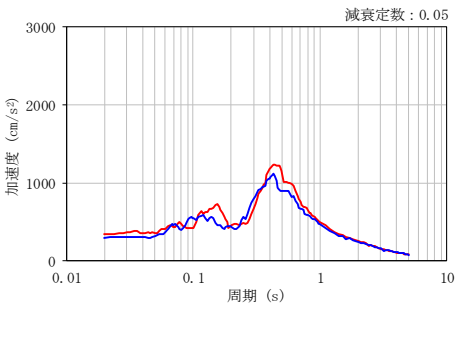
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-4 (5/5) EW 方向 (I/W) の床応答スペクトル (h=5%)



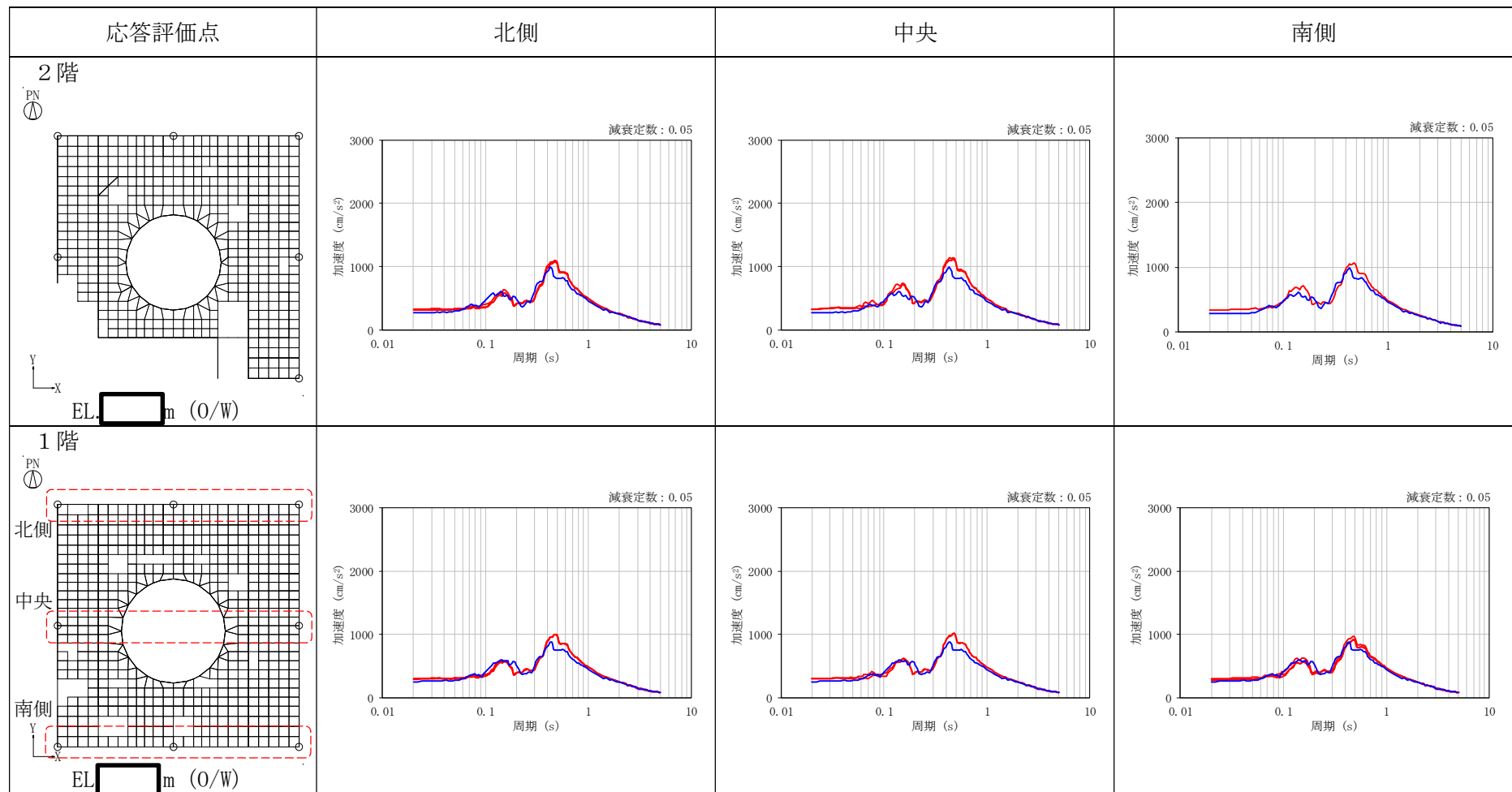
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-5 (1/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	北側	中央	南側
<p>4 階</p> 			
<p>3 階</p> 			

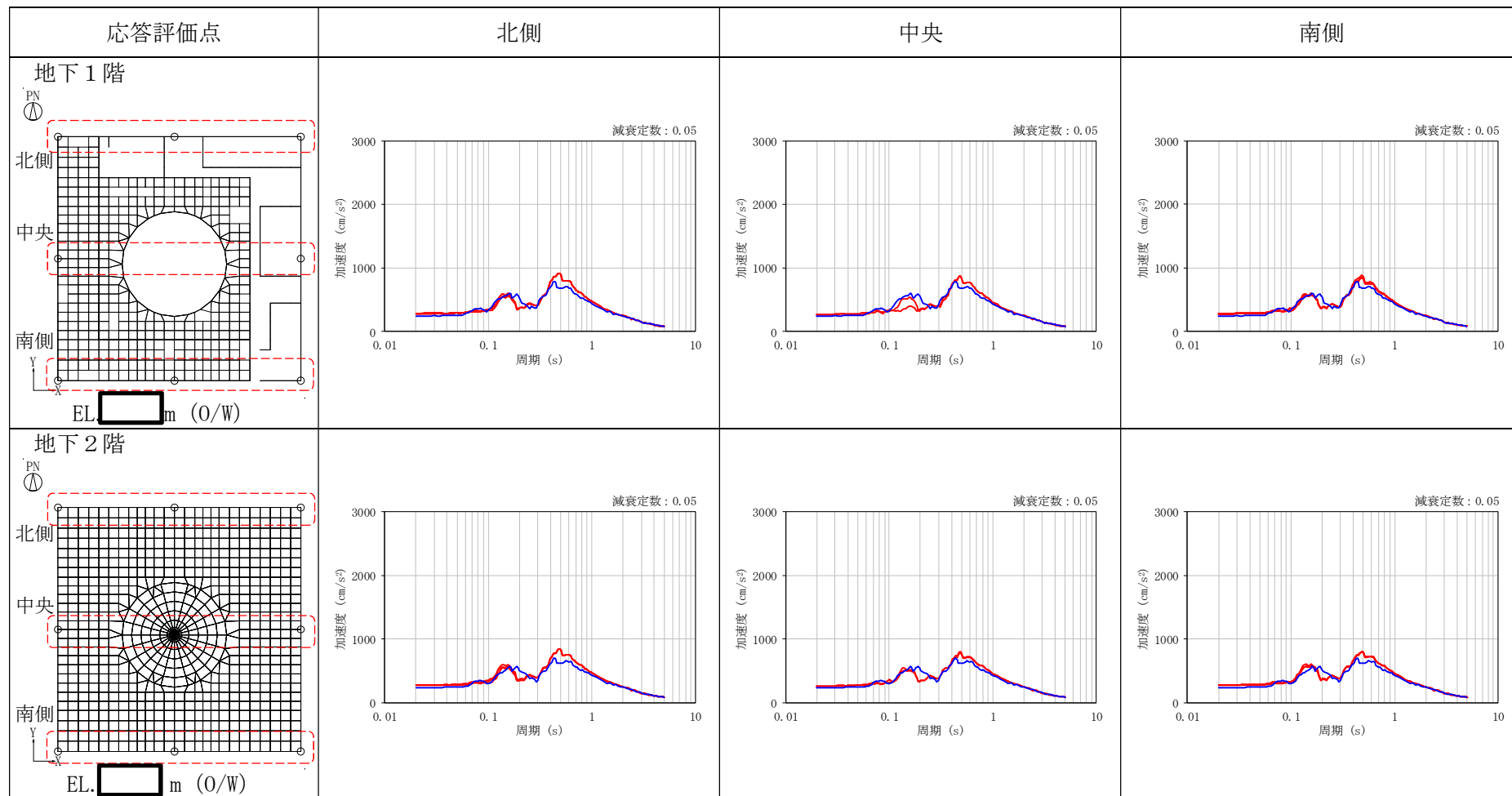
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-5 (2/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)



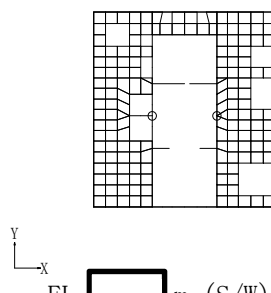
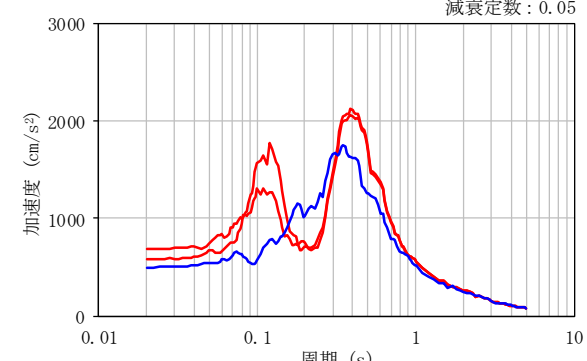
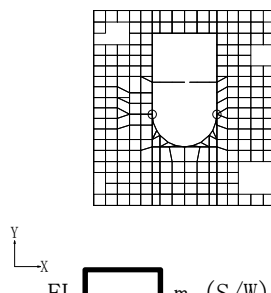
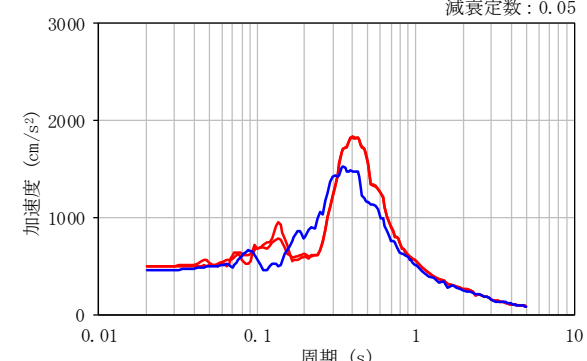
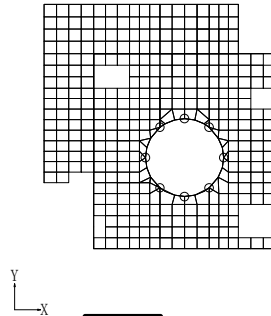
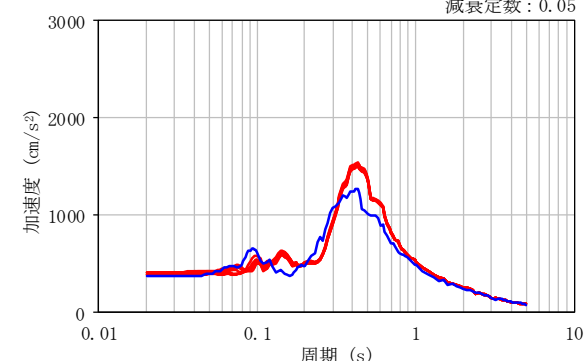
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-5 (3/3) NS 方向 (O/W) の床応答スペクトル (h=5%)



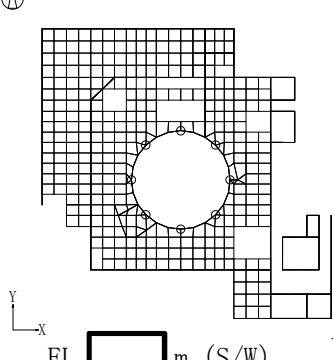
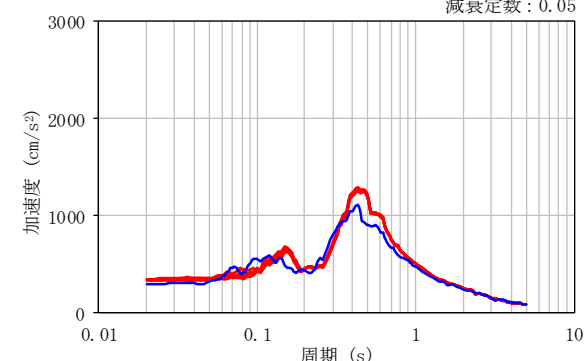
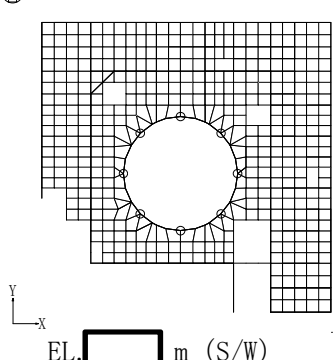
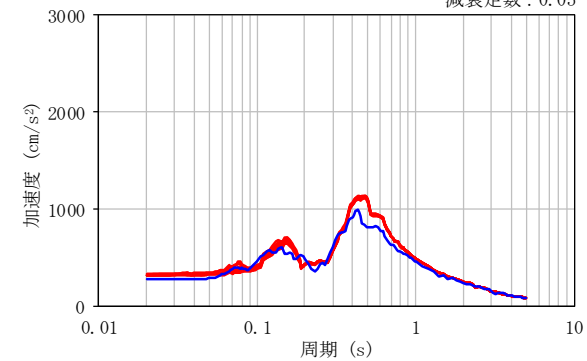
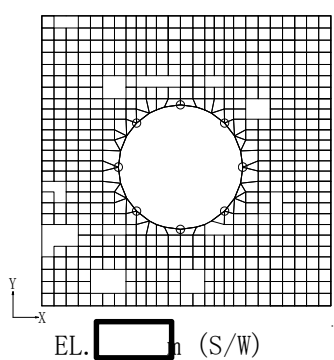
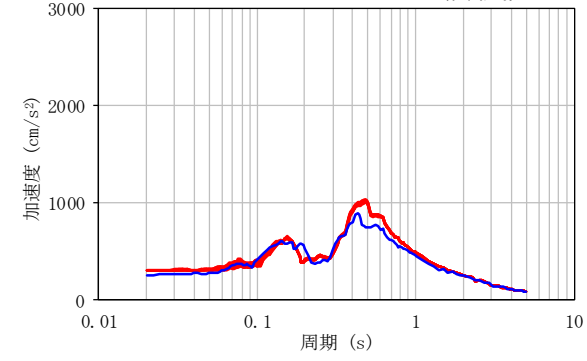
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-6 (1/3) EW 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	床応答スペクトル
<p>6階</p>  <p>PN ⊕</p> <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>5階</p>  <p>PN ⊕</p> <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>4階</p>  <p>PN ⊕</p> <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>

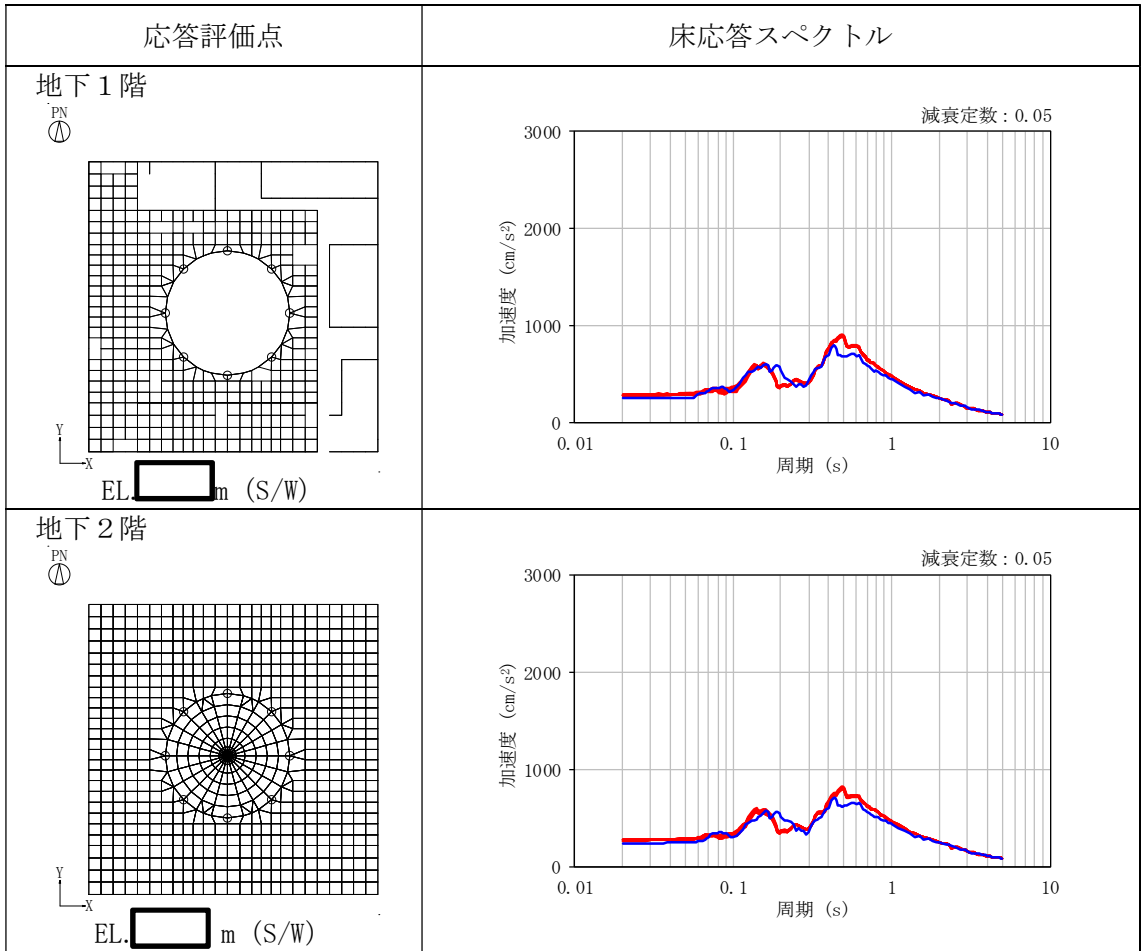
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-6 (2/3) EW 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	床応答スペクトル
<p>3階</p>  <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>2階</p>  <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>
<p>1階</p>  <p>EL. [] m (S/W)</p>	<p>減衰定数: 0.05</p>  <p>加速度 (cm/s²)</p> <p>周期 (s)</p>

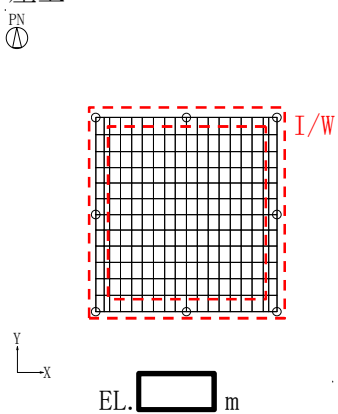
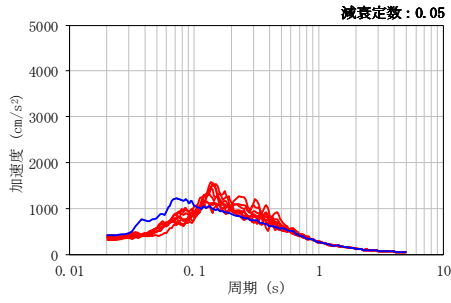
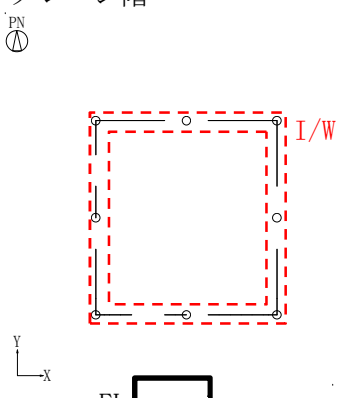
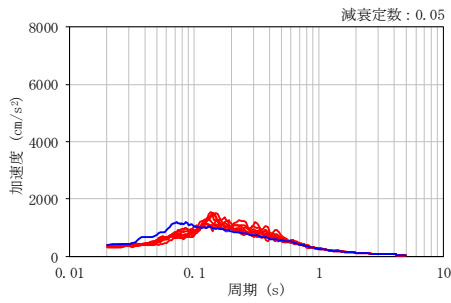
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-6 (3/3) EW 方向 (S/W) の床応答スペクトル (h=5%)



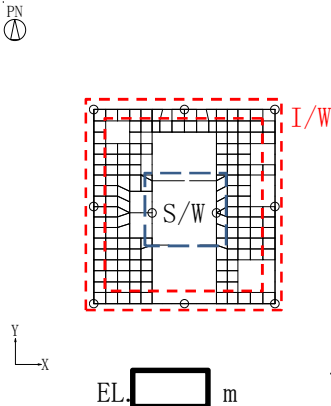
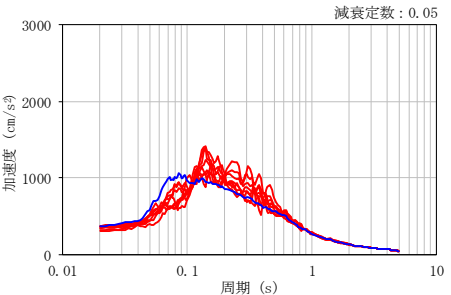
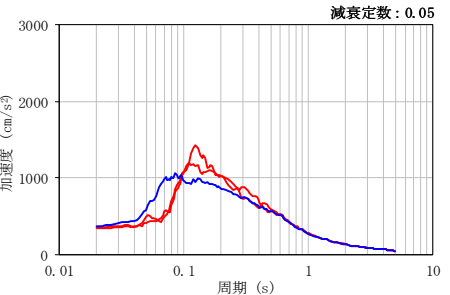
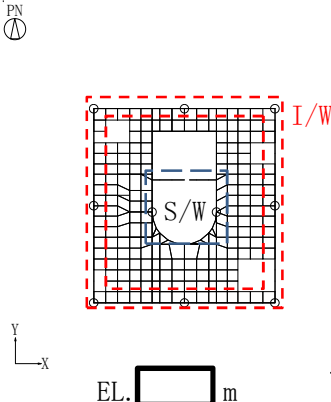
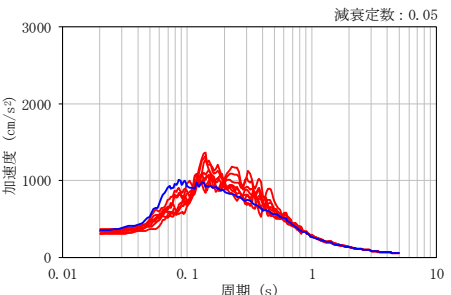
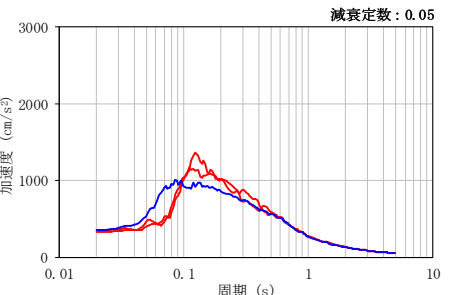
— 3次元 FEM, — 質点系

表 3-7 (1/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	O/W	I/W	S/W
<p>屋上</p> 			
<p>クレーン階</p> 			

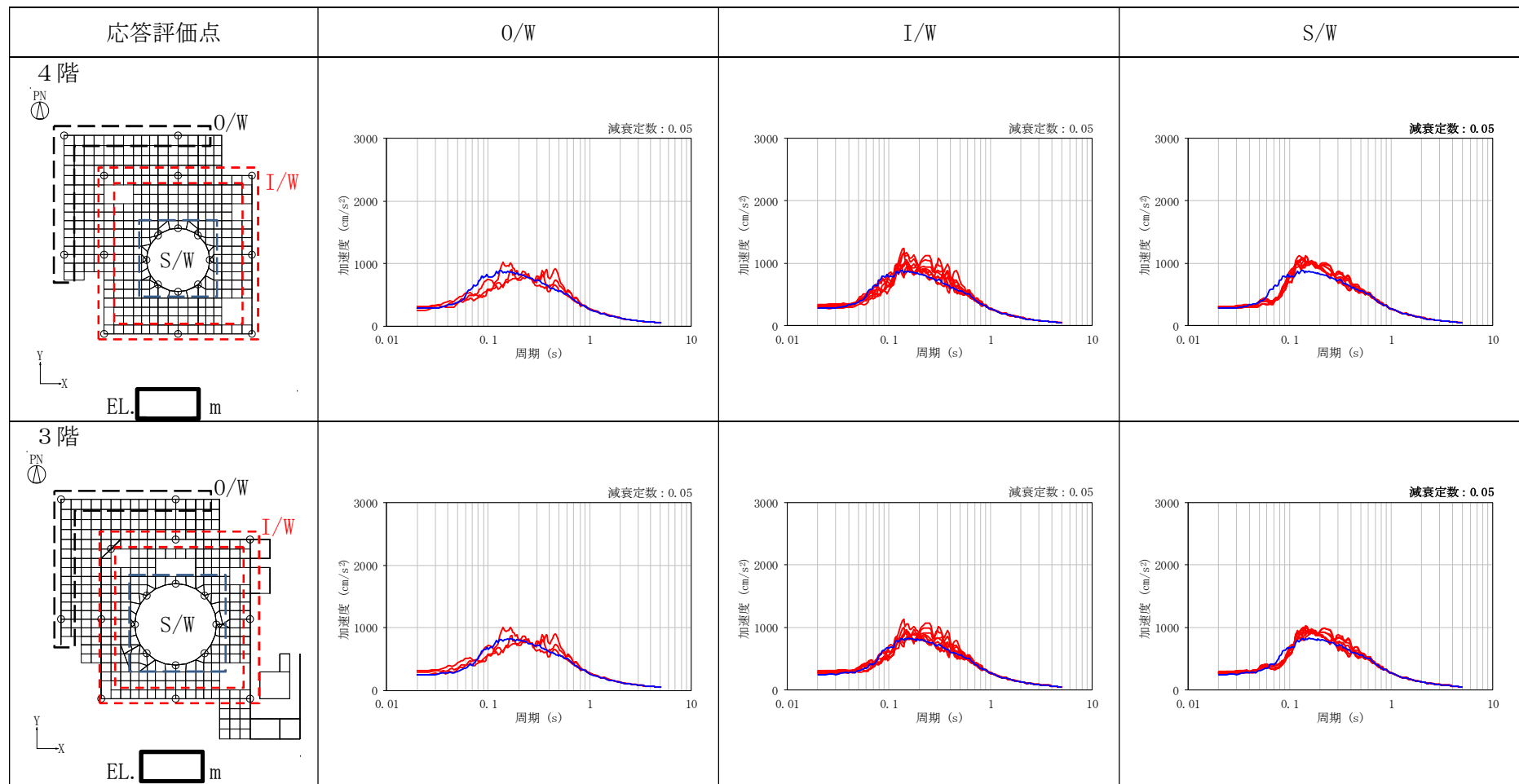
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-7 (2/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)

応答評価点	0/W	I/W	S/W
<p>6 階</p> 			
<p>5 階</p> 			

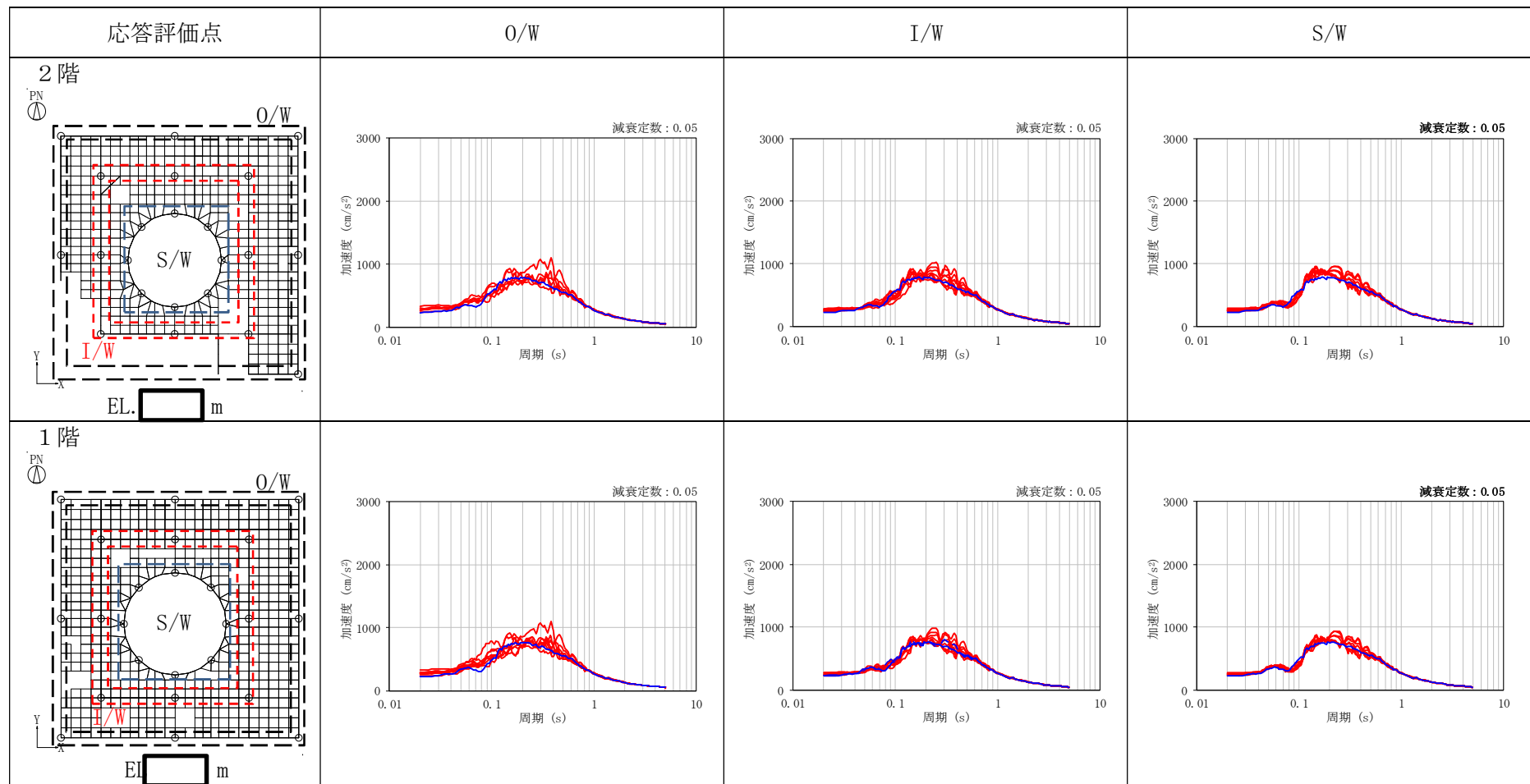
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-7 (3/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)



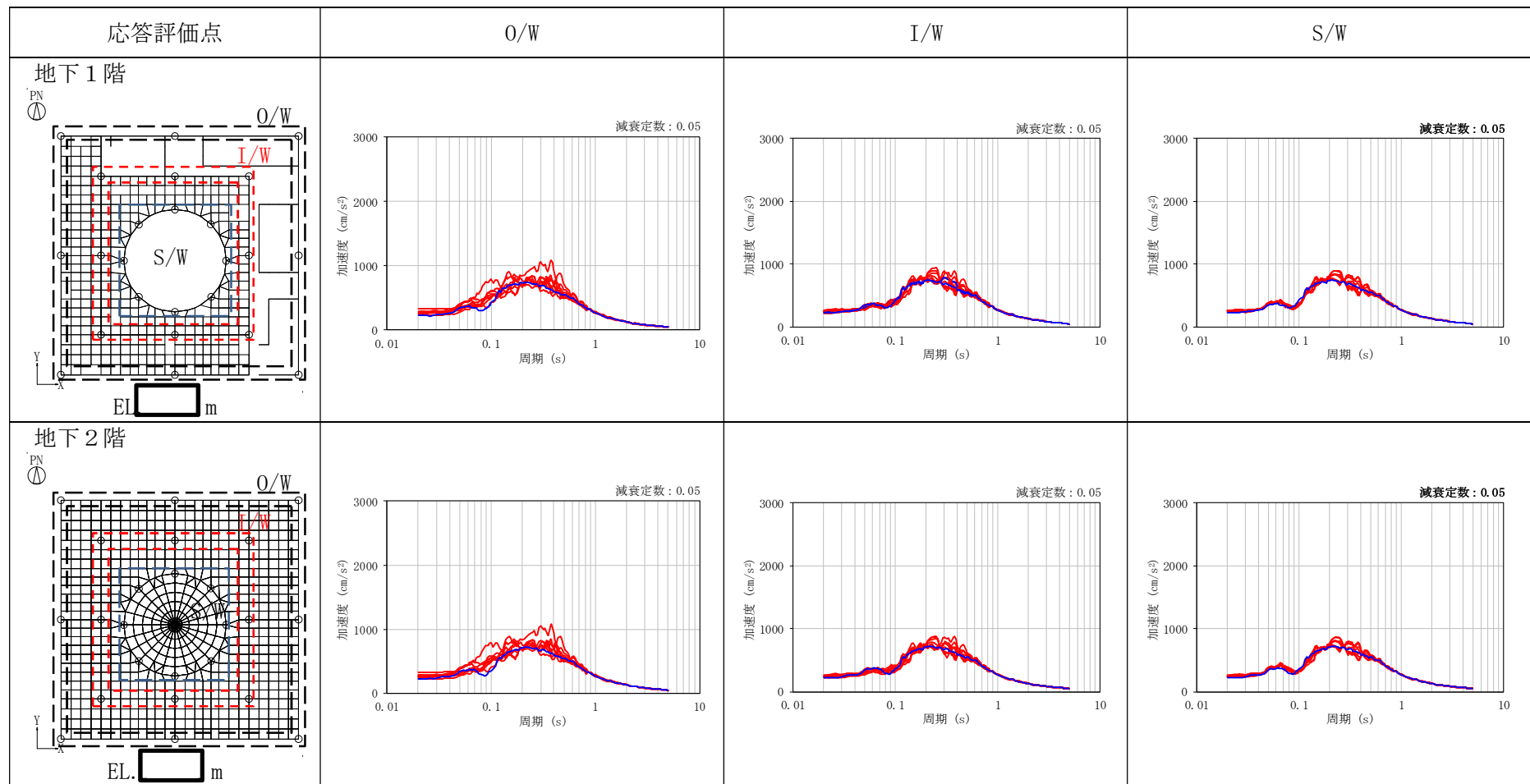
— 3次元FEM, — 質点系

表 3-7 (4/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)



— 3次元FEM, — 質点系

表 3-7 (5/5) UD 方向の床応答スペクトル (h=5%)



— 3次元FEM, — 質点系

補 6 3次元FEMモデルによる応答結果の整理

1. 検討概要

質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認及び建屋・機器の耐震性評価における建屋3次元応答の影響の把握の観点から、各部の加速度や発生応力について整理する。

整理して示す応答結果を以下に示す。

- ① 基礎上端の格納容器内における鉛直方向の応答加速度
- ② 基礎盤上の耐震壁のせん断力及び曲げモーメント
- ③ 燃料取替床及び付属棟電気室屋根の面内せん断力
- ④ 使用済燃料プールのせん断力

検討に用いる解析モデルは、別紙 3「3次元FEMモデルによる地震応答解析」で示した建屋模擬モデルとし、弾性設計用地震動 S_d-D1 を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

検討に用いる解析モデルのケースを表 1-1、地震動の組合せを表 1-2 に示す。

表 1-1 解析モデルの検討ケース

モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性の設定
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	設計基準強度

表 1-2 地震動の組合せ

地震動の入力方向	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
3 方向同時入力	S_d-D1	模擬地震波*	S_d-D1
1 方向入力	S_d-D1	—	—
	—	S_d-D1	—

*：弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_d-D1 とは位相特性が異なる地震波。

2. 基礎上端の格納容器内における鉛直方向の応答加速度

2.1 検討方針

基礎盤上の炉内構造物脚部における加速度応答スペクトルについて確認するとともに、質点系モデルによる加速度応答スペクトルと比較を行う。

質点系モデルと比較する3次元FEMモデルの加速度応答は、基礎上端(EL. -4.0 m)における格納容器内における鉛直方向の応答とし、比較として耐震壁(O/W, I/W 及び S/W)直下における鉛直方向の応答も示す。地震動の入力方向は表1-2に示す「3方向同時入力」とする。

応答評価点は、耐震壁(O/W, I/W 及び S/W)直下の節点及び格納容器内の節点とし、それぞれ東・西・南・北・北東・南東・北西・南西の8点ずつとする。応答評価点を図2-1に示す。

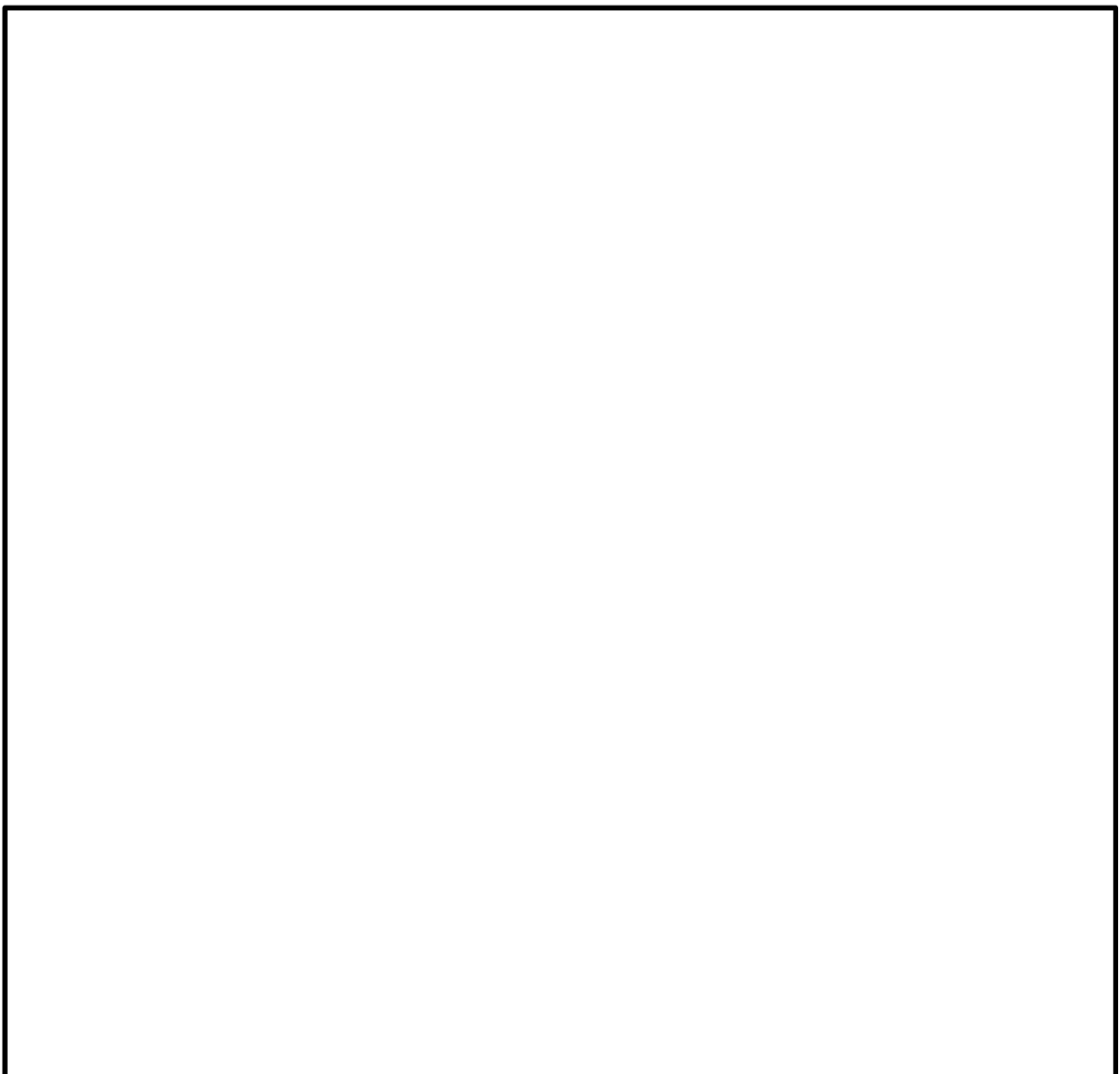


図2-1 応答評価点

2.2 検討結果

各応答評価点での鉛直方向の床応答スペクトルを図 2-2 に示す。

S/W 位置における鉛直方向の応答は質点系モデルによる応答と概ね一致しているが、基礎盤中心からの距離が長くなる I/W 及び O/W 位置ではスペクトルの概形は一致しているもののロッキングに伴う鉛直方向応答によるばらつきが若干見られる。また、格納容器内の節点においては、質点系モデルと比べて短周期側の応答が増幅している。

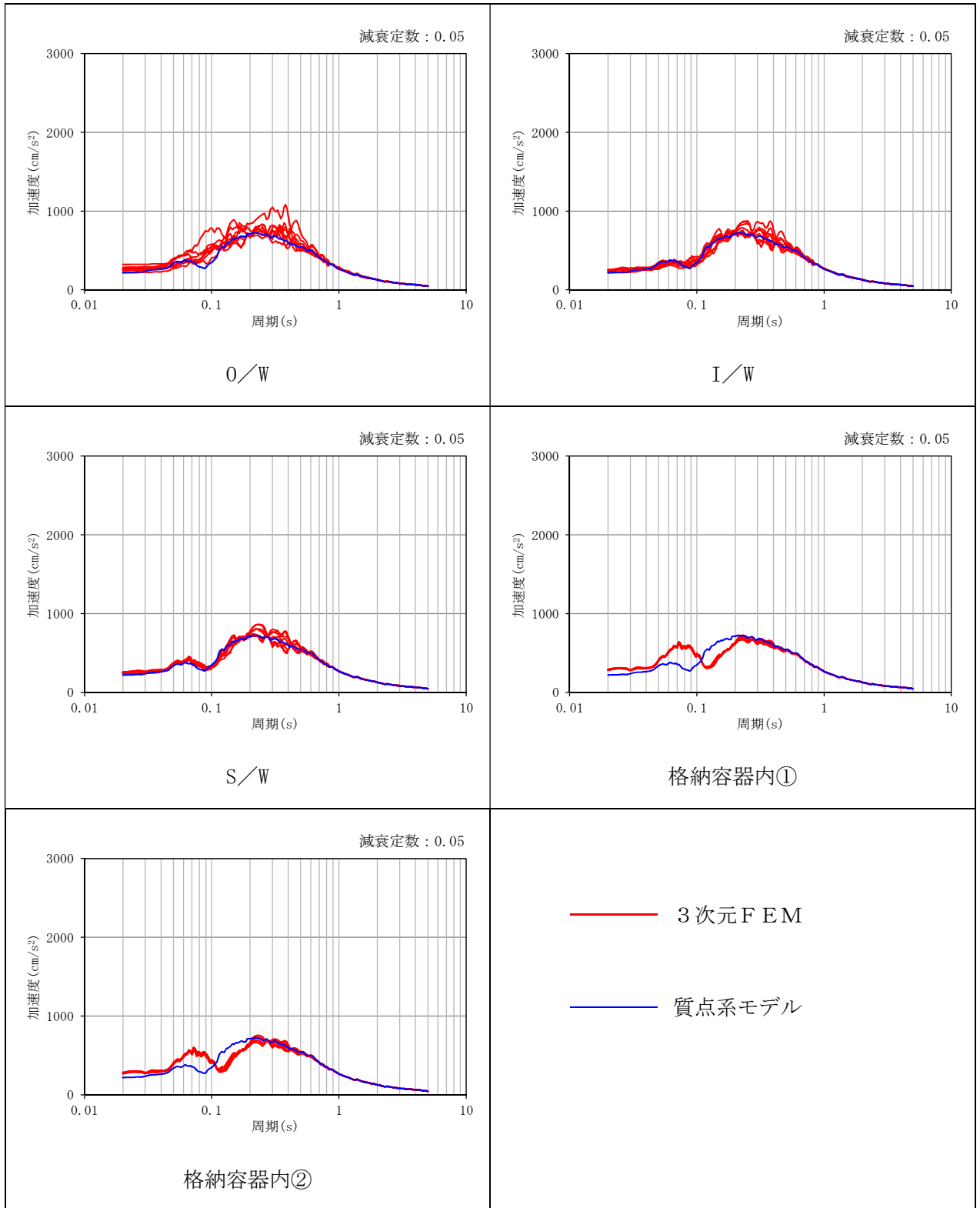


図 2-2 床応答スペクトルの比較 (鉛直方向)

3. 基礎盤上の耐震壁のせん断力及び曲げモーメント

3.1 検討方針

建屋 3 次元応答の影響の把握の観点から、3 次元 F E M モデルを用いて水平 2 方向及び鉛直方向入力時と水平 1 方向入力時の基礎盤直上の耐震壁要素に生じる地震力の比較を行う。また、これら地震力と耐震安全性検討に用いた地震力の比較を行い、耐震安全性検討に用いた地震力の検証を行う。

3 次元 F E M モデルによる地震力の算定は、3 次元 F E M モデルに水平 1 方向入力した応答結果及び水平 2 方向及び鉛直方向に同時入力した応答結果を用いることとし、地震動の入力方向は表 3-1 に示すように、NS 方向のせん断力及び曲げモーメントの比較を行う場合には、NS 方向に S_d-D1 を、EW 方向に模擬地震波を入力し、EW 方向方向のせん断力及び曲げモーメントの比較を行う場合には、その逆の組合せとする。なお、鉛直方向には S_d-D1 の鉛直方向成分を入力する。

表 3-1 地震動の組合せ

応答の方向	地震動の入力方向	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
NS 方向	3 方向同時入力	S_d-D1	模擬地震波*	S_d-D1
	1 方向入力	S_d-D1	—	—
EW 方向	3 方向同時入力	模擬地震波*	S_d-D1	S_d-D1
	1 方向入力	—	S_d-D1	—

*：弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_d-D1 とは位相特性が異なる地震波。

3.2 検討結果

3次元FEMモデルの応答結果より求めた各壁の負担する地震力を表3-2に示す。表3-2には比較として基礎盤の耐震評価時に各耐震壁から作用させたSd地震荷重を示す。また、せん断力、曲げモーメント共に、各壁の負担する地震力の合計値が最大となる時刻での3次元FEM値を示す。

I/W, O/Wのせん断力は、加振平行方向の耐震壁に生じる面内せん断力と加振直交方向の耐震壁に生じる面外せん断力を加算する。なお、加振直交方向の壁に生じる面外せん断力についてはNS方向加振時には東西の耐震壁、EW方向加振時には南北の耐震壁に等分して加算し、各耐震壁の負担するせん断力を算出した。

S/Wのせん断力は、面内せん断力及び面外せん断力の加振平行方向成分を合計した。

曲げモーメントは、各要素に生じる軸力に各耐震壁の図心位置からの距離を乗じて算出した。

表3-2に示すように、水平2方向及び鉛直方向入力時と水平1方向入力時の基礎盤直上の耐震壁要素に生じる地震力は、概ね一致しており、建屋3次元応答の基礎盤の耐震安全性評価に与える影響が小さいことを確認した。

また、3次元FEMモデルの応答結果より求めた地震力は、基礎盤の耐震評価時に用いた地震力に比べ小さいことを確認した。これは、3次元FEMモデルでは、耐震壁以外の壁もモデル化しているため、耐震壁の負担する地震力が減ったことが要因の一つとして挙げられる。

以上より、基礎盤の耐震安全性検討に用いた地震力に、建屋3次元応答の影響は無視できるとともに、地震力の設定は保守的評価となっていることを確認した。

表 3-2 地震力の比較

(a) NS 方向

部 位	せん断力 (kN)			曲げモーメント ($\times 10^3$ kN・m)		
	地震* 荷重	3次元FEM		地震* 荷重	3次元FEM	
		1方向	3方向		1方向	3方向
O/W (東側)	111500	40870	41420	2164	2198	2264
O/W (西側)	109500	44000	45790	2589	1845	1777
I/W (東側)	70200	63600	61600	3578	1425	1491
I/W (西側)	69650	63380	61840	3613	1856	1923
S/W	79280	43940	43500	2732	1247	1241

注記 * : 地震荷重は、基礎盤の耐震評価時に各耐震壁から作用させた S_d 地震荷重を示す。

(b) EW 方向

部 位	せん断力 (kN)			曲げモーメント ($\times 10^3$ kN・m)		
	地震* 荷重	3次元FEM		地震* 荷重	3次元FEM	
		1方向	3方向		1方向	3方向
O/W (北側)	120300	53210	54800	3259	2222	2273
O/W (南側)	115700	46260	48180	1441	1748	1700
I/W (北側)	70180	58670	58130	3560	1961	1999
I/W (南側)	66900	57960	56230	3742	1972	2094
S/W	81520	44530	44110	2953	1612	1603

注記 * : 地震荷重は、基礎盤の耐震評価時に各耐震壁から作用させた S_d 地震荷重を示す。

4. 燃料取替床及び付属棟電気室屋根の面内せん断力

4.1 検討方針

建屋3次元応答の影響の把握の観点から、床柔性やねじれ振動が、床に生じる面内せん断力に与える影響について検討する。検討は、床柔性の影響の確認として、「補3 3次元FEMモデルによるシミュレーション解析結果」に示す面外方向の加速度の大きくなる燃料取替床(EL. 46.5m)、ねじれ振動による影響の確認として、北西角部のみに付属棟が配置される電気室屋根(EL. 30.3 m)におけるスラブの面内せん断力について確認する。

検討に用いる解析モデルは、別紙3「3次元FEMモデルによる地震応答解析」で示した建屋模擬モデルとし、弾性設計用地震動 S_d-D1 を水平2方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。地震動の入力方向は表1-2に示す「3方向同時入力」とする。

面内せん断力の検討に用いる要素を図4-2に示す。

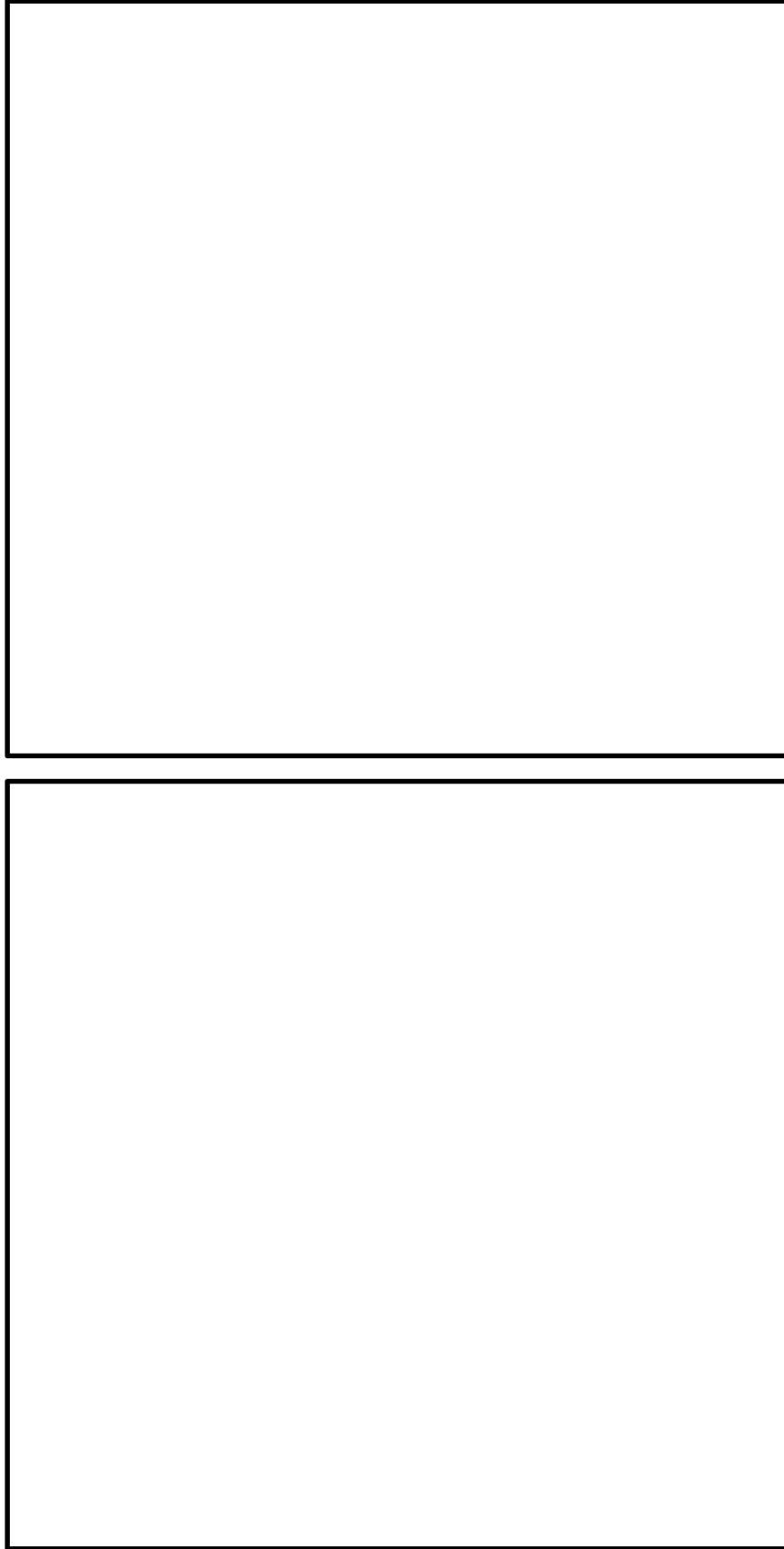


図 4-1 応答評価位置

4.2 検討結果

EL. 46.5m 及び EL. 30.3m における床の面内せん断応力度の最大値を図 4-2 に示す。

最大面内せん断応力度は、EL. 46.5m で 0.979 N/mm^2 、EL. 30.3m で 0.849 N/mm^2 であり、コンクリートの短期許容せん断応力度 1.06 N/mm^2 以下となることを確認した。

また、 S_s 地震時に対する評価として、 S_d-D1 による地震応答解析によって生じる面内せん断応力度を 2 倍した値について検討を行う。2 倍した場合の面内せん断力の最大値は、EL. 46.5m で 1.96 N/mm^2 、EL. 30.3m で 1.70 N/mm^2 であり、コンクリートの短期許容せん断応力度を超えるため、以下の式によって算出したスラブの許容せん断応力度 τ_A を超えないことを確認する。スラブの配筋を表 4-1 に示す。

$$\tau_A = p_s \cdot s f_t$$

ここで、 p_s : 各方向の鉄筋比

$s f_t$: 鉄筋の短期許容引張応力度 (345 N/mm^2)

S_s 地震時に対する評価結果を表 4-2 に示す。許容面内せん断応力度に対する発生面内せん断応力の比は EL. 46.5m で 0.422、EL. 30.3m で 0.688 となり、スラブの許容せん断応力度以下となることを確認した。

以上より、床柔性やねじれ振動が、床に生じる面内せん断力に与える影響について検討し、耐震安全性評価結果に影響を与えないことを確認した。

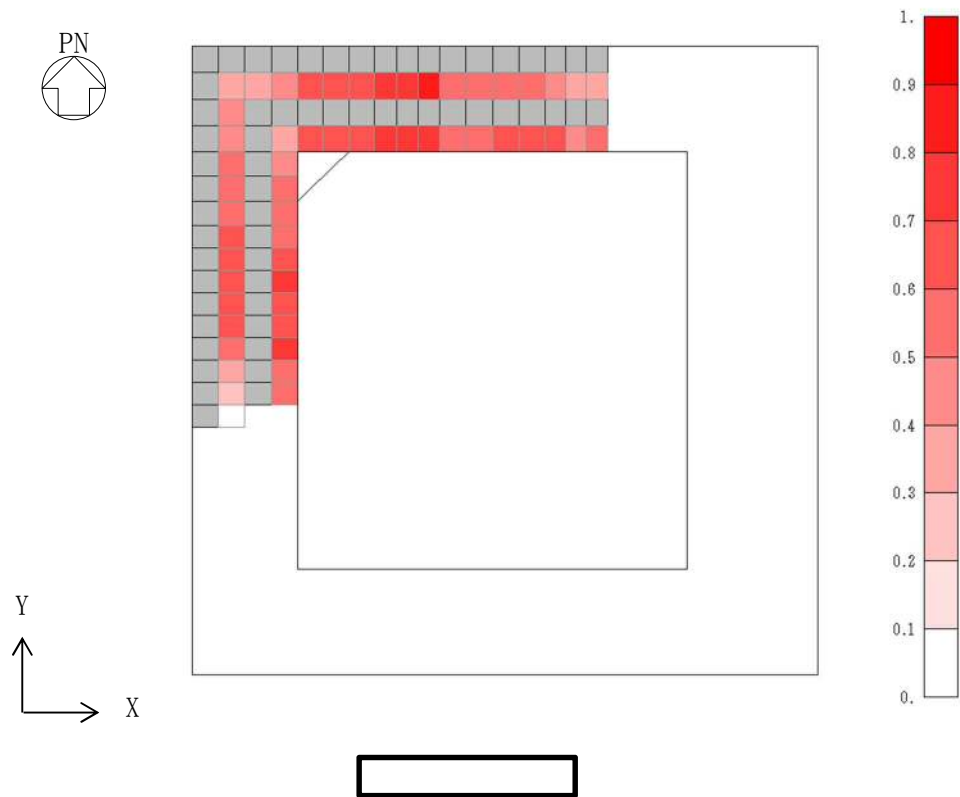
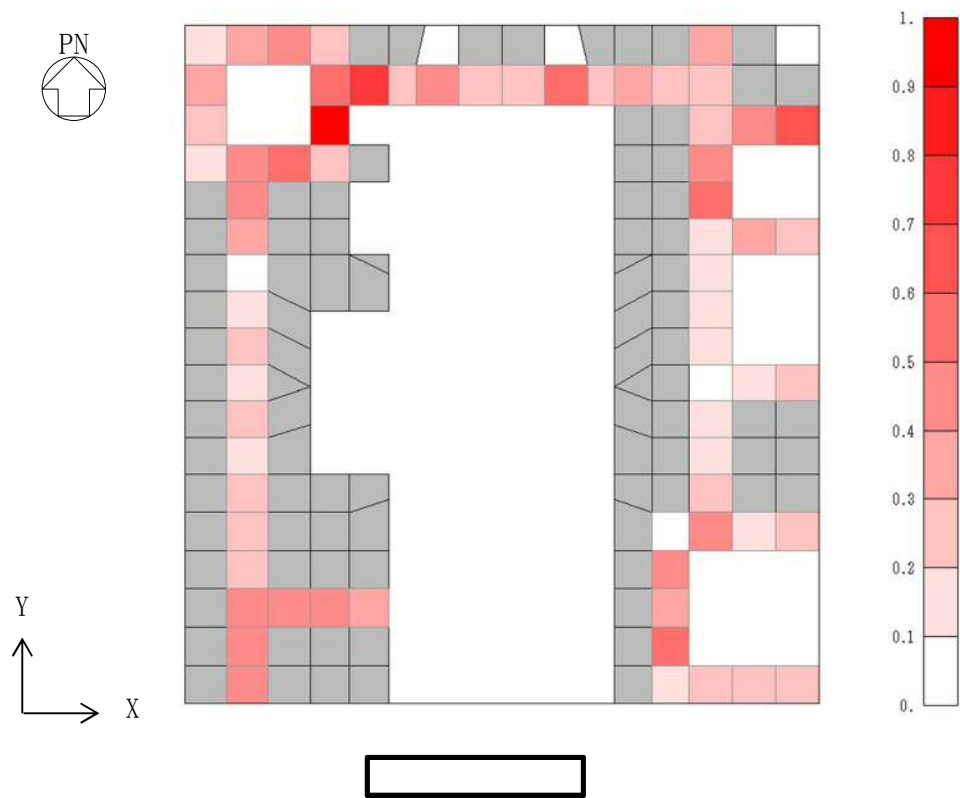


图 4-2 最大面内せん断応力度分布

表 4-1 配筋

標高 EL. (m)	スラブ厚 (mm)	方向	上端筋	下端筋
46.5m	500	NS	D25@150	D25@150
		EW	D25@150	D25@150
30.3m	400	NS	D19@200	D19@200
		EW	D19@200	D19@200

表 4-2 評価結果

標高 EL.	46.5m		30.3m	
	NS	EW	NS	EW
発生面内せん断応力度	1.96	1.96	1.70	1.70
鉄筋比	0.0135	0.0135	0.00716	0.00716
鉄筋許容引張応力度	345	345	345	345
許容面内せん断応力度	4.65	4.65	2.47	2.47
検定比	0.422	0.422	0.688	0.688
判定	可	可	可	可

5. 使用済燃料プールのせん断力

5.1 検討方針

建屋 3 次元応答の影響の把握の観点から、3 次元 FEM モデルを用いて水平 2 方向及び鉛直方向入力時と水平 1 方向入力時の使用済燃料プールの西側プール壁及び東側プール壁に生じる地震力の比較を行う。また、これら地震力と耐震安全性検討に用いた地震力の比較を行い、耐震安全性検討に用いた地震力の検証を行う。

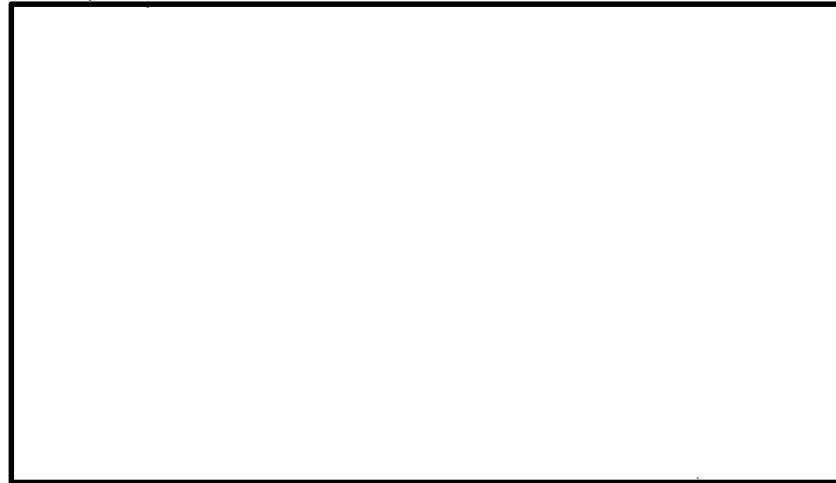
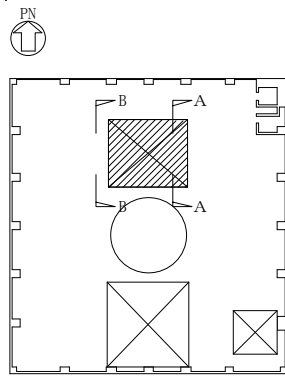
3 次元 FEM モデルによる地震力の算定は、3 次元 FEM モデルに水平 1 方向入力した応答結果及び水平 2 方向及び鉛直方向に同時入力した応答結果を用いることとし、地震動の入力方向は表 5-1 に示すように、NS 方向に S_d-D1 を、EW 方向に模擬地震波を入力する。なお、鉛直方向には S_d-D1 の鉛直方向成分を入力する。

検討に用いる解析モデルは、別紙 3「3 次元 FEM モデルによる地震応答解析」で示した建屋模擬モデルとし、面内せん断力の検討に用いる要素を図 5-1 に示す。

表 5-1 地震動の組合せ

応答の方向	地震動の入力方向	NS 方向	EW 方向	鉛直方向
NS 方向	3 方向同時入力	S_d-D1	模擬地震波*	S_d-D1
	1 方向入力	S_d-D1	—	—

*：弾性設計用地震動 S_d-D1 の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_d-D1 とは位相特性が異なる地震波。



(a) 東側プール壁 (A-A 矢視)



(b) 西側プール壁 (B-B 矢視)

図 5-1 応答評価位置

5.2 検討結果

3次元FEMモデルの応答結果より求めた西側プール壁及び東側プール壁の負担する地震力を表5-2に示す。表5-2には比較として使用済燃料プールの耐震評価時に作用させた S_d 地震荷重を示す。このとき、各プール壁の負担する地震力の合計値が最大となる時刻での3次元FEM値を示す。

せん断力は、各プール壁に生じる面内せん断力の合計値とする。

表5-2に示すように、水平2方向及び鉛直方向入力時と水平1方向入力時の使用済み燃料プールの壁要素に生じる地震力は、概ね一致しており、建屋3次元応答の基礎盤の耐震安全性評価に与える影響が小さいことを確認した。

また、3次元FEMモデルの応答結果より求めた地震力は、使用済燃料プールの耐震評価時に用いた地震力に比べ小さいことを確認した。これは、3次元FEMモデルでは、3次元FEMモデルでは、使用済燃料プールに取り付く床もモデル化しているため、プール壁の負担する地震力が減ったことが要因の一つとして挙げられる。

以上より、使用済燃料プールの耐震安全性検討に用いた地震力に、建屋3次元応答の影響は無視できるとともに、地震力の設定は保守的評価となっていることを確認した。

表5-2 地震力の比較

部 位	せん断力 (kN)		
	地震* 荷重	3次元FEM	
		1方向	3方向
使用済燃料プール	14100	10100	9910

注記 *：地震荷重は、使用済燃料プールの耐震評価時にプール壁端部から作用させた S_d 地震荷重を示す。

補 7 機器設置位置付近における応答

1. 概要

原子炉建屋 6 階における面外方向の応答が大きくなる傾向が確認されたことから、本資料では、機器等の設置位置付近の節点における応答性状を把握する目的で、以下の節点に対する床応答スペクトルを示す。

応答評価位置は、機器等が設置されている壁及び床とし、燃料取替床上部の壁 (EL. 46.5m～63.65m)、燃料取替床 (EL. 46.5m) の使用済み燃料プール周辺及びプールの床版 (EL. 38.8m) とする。応答評価位置を図 1-1 に示す。

壁について、それぞれの面外方向の 1 方向入力による面外方向の加速度応答スペクトルを図 1-2 に示す。また、プール周辺及びプールの床版について、水平 2 方向及び鉛直方向のそれぞれ 1 方向入力による加速度応答スペクトルを図 1-3～図 1-6 に示す。

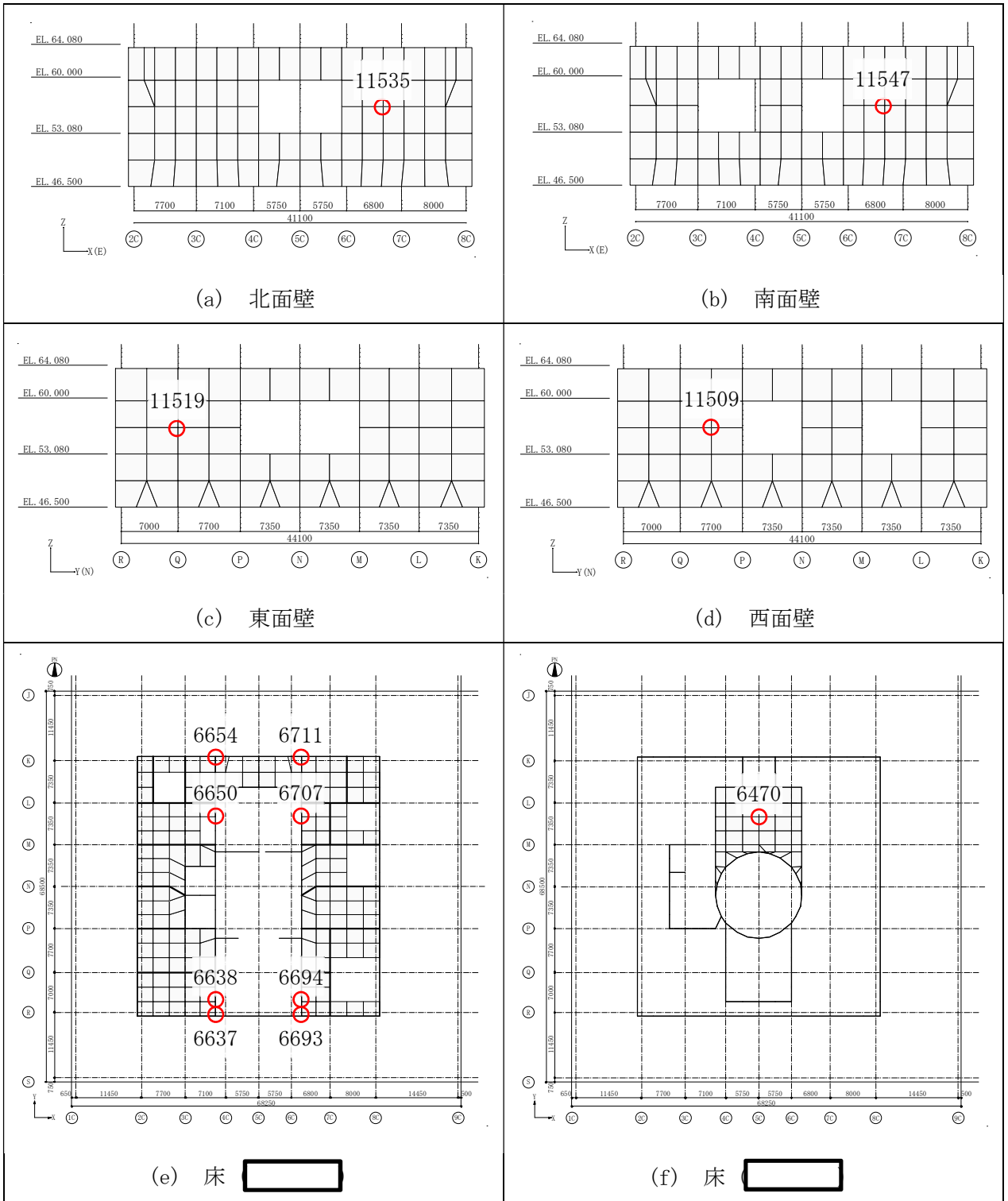


图 1-1 応答評価位置

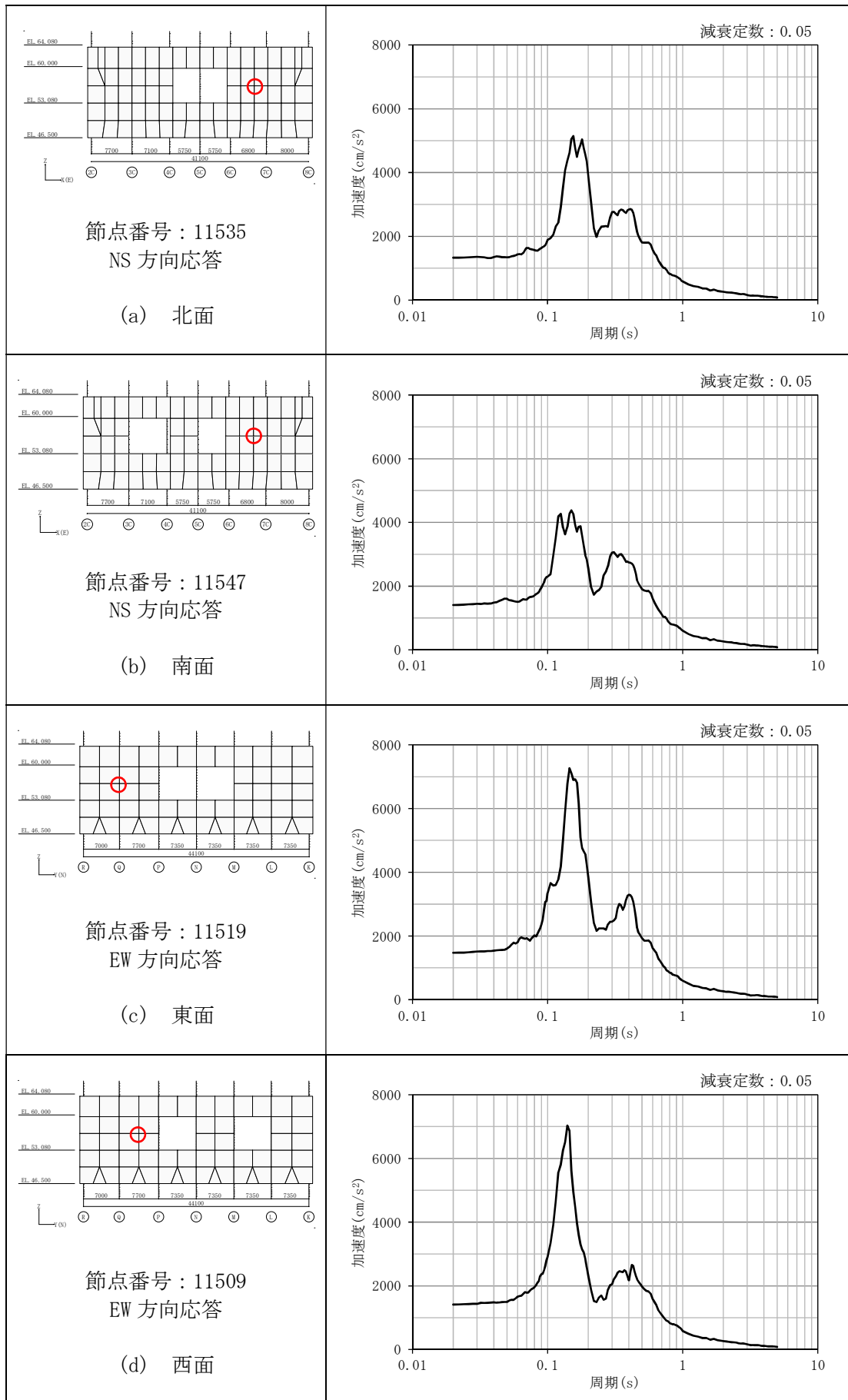


図 1-2 加速度応答スペクトル (壁)

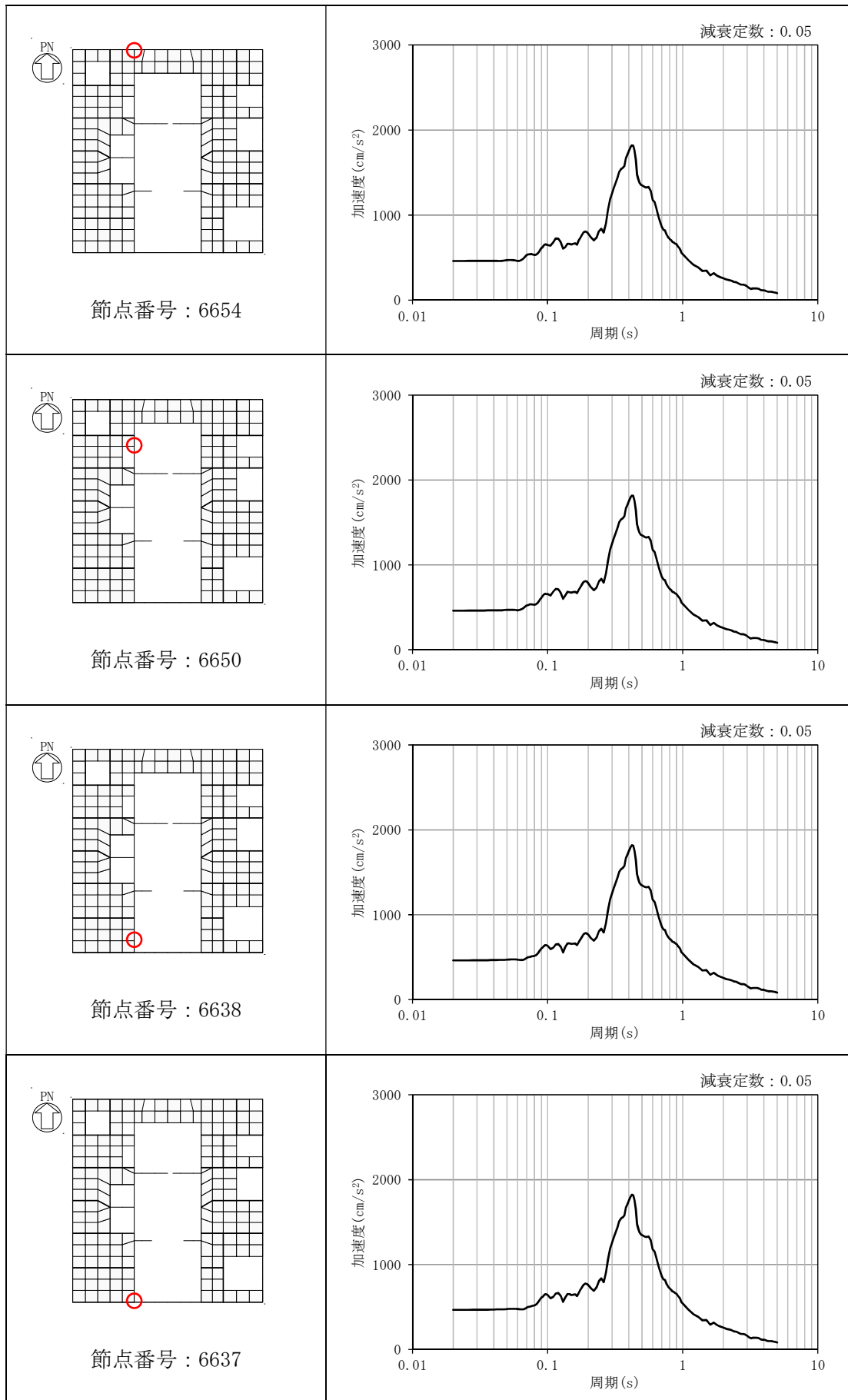


図 1-3 (1/2) 加速度応答スペクトル (プール周辺, NS 方向応答)

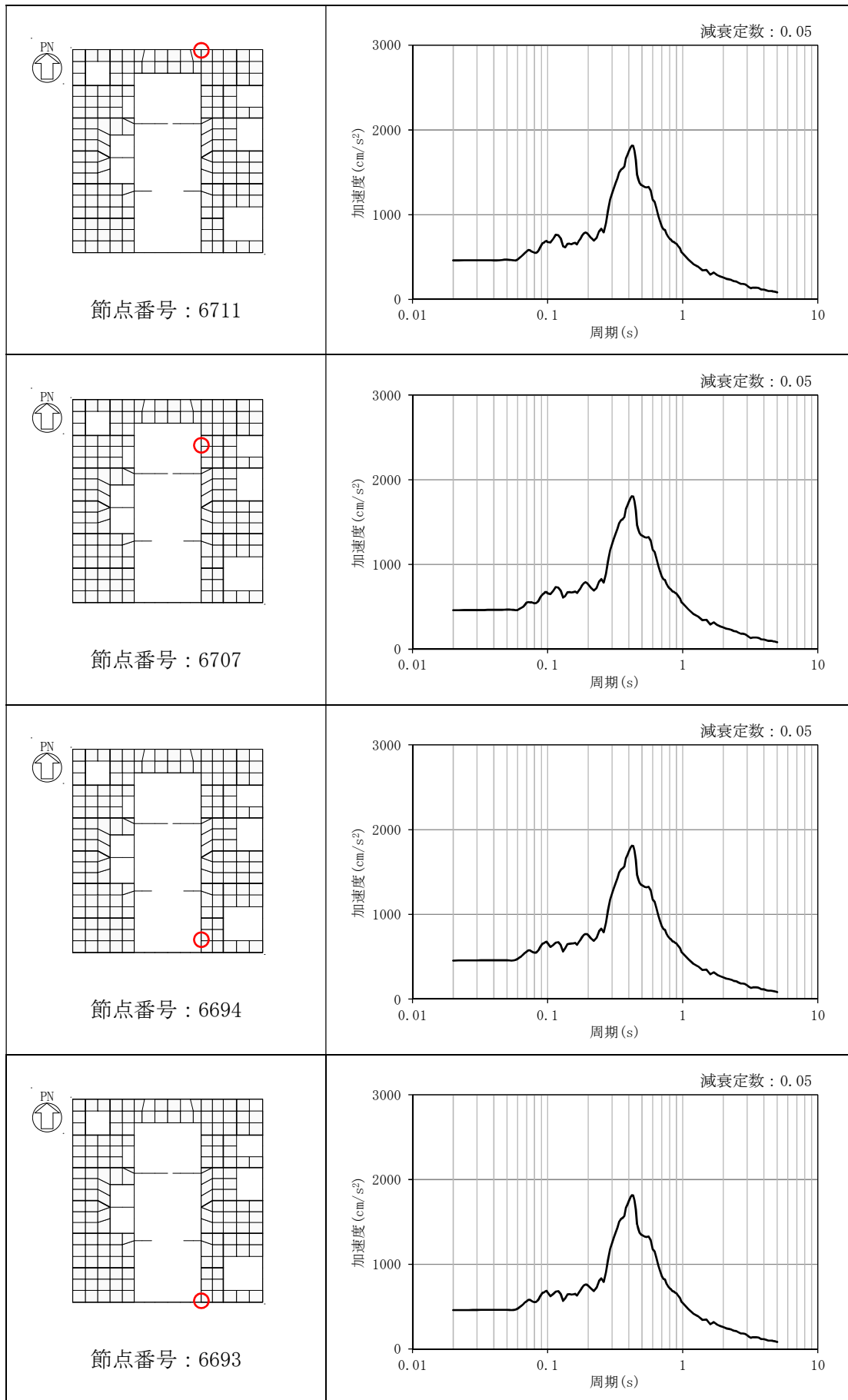


図 1-3 (2/2) 加速度応答スペクトル (プール周辺, NS 方向応答)

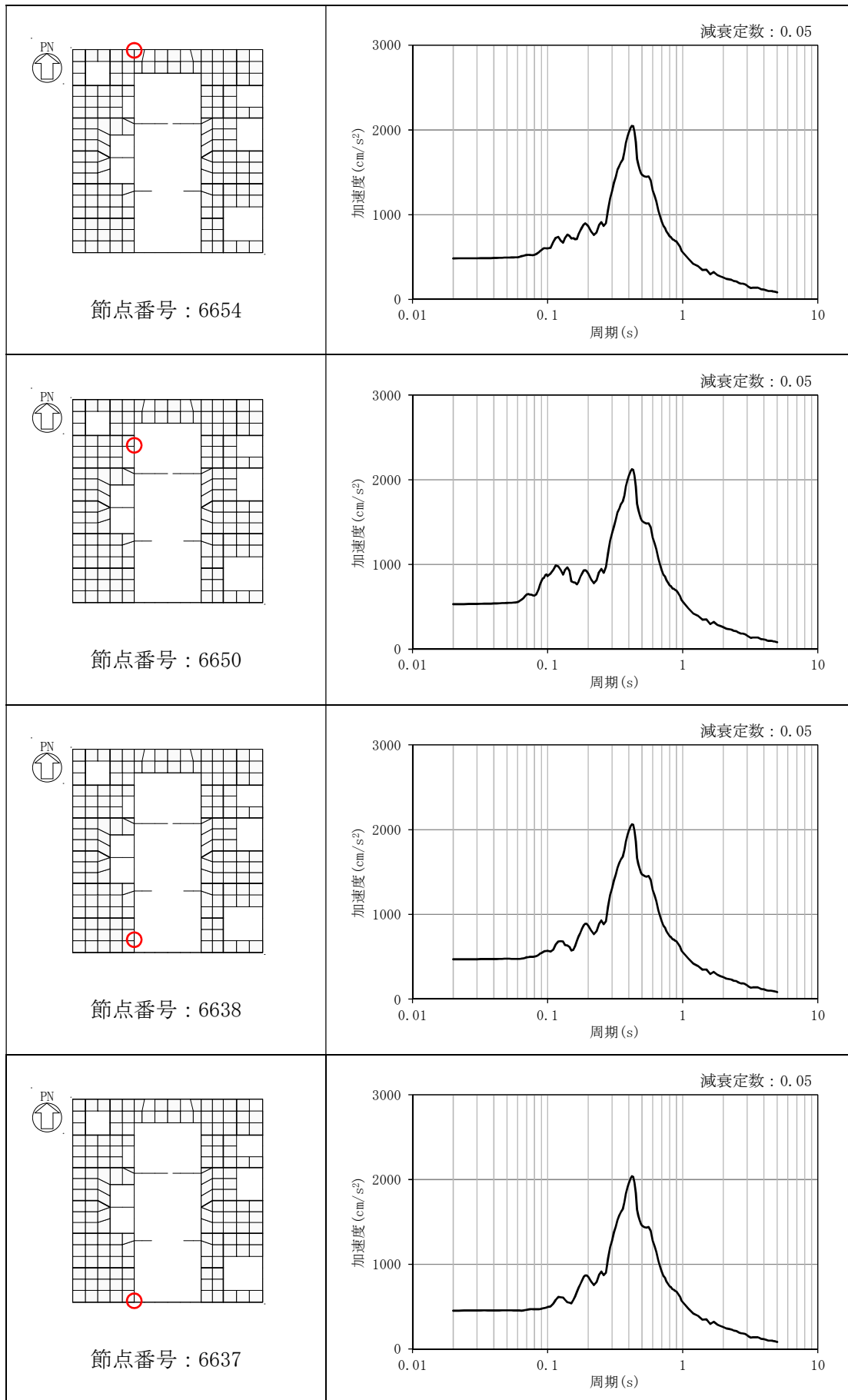


図 1-4 (1/2) 加速度応答スペクトル (プール周辺, EW 方向応答)

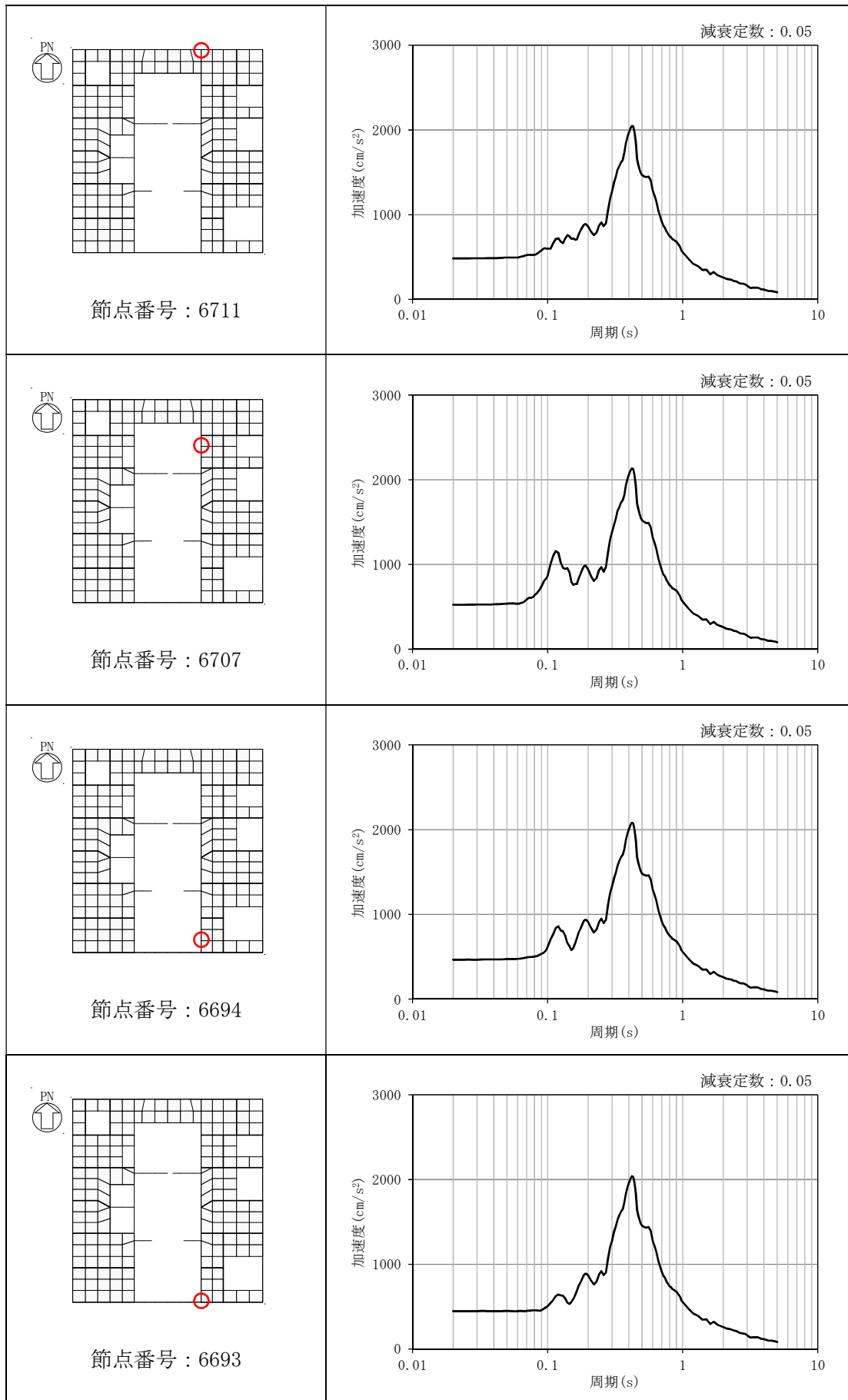


図 1-4 (2/2) 加速度応答スペクトル (プール周辺, EW 方向応答)

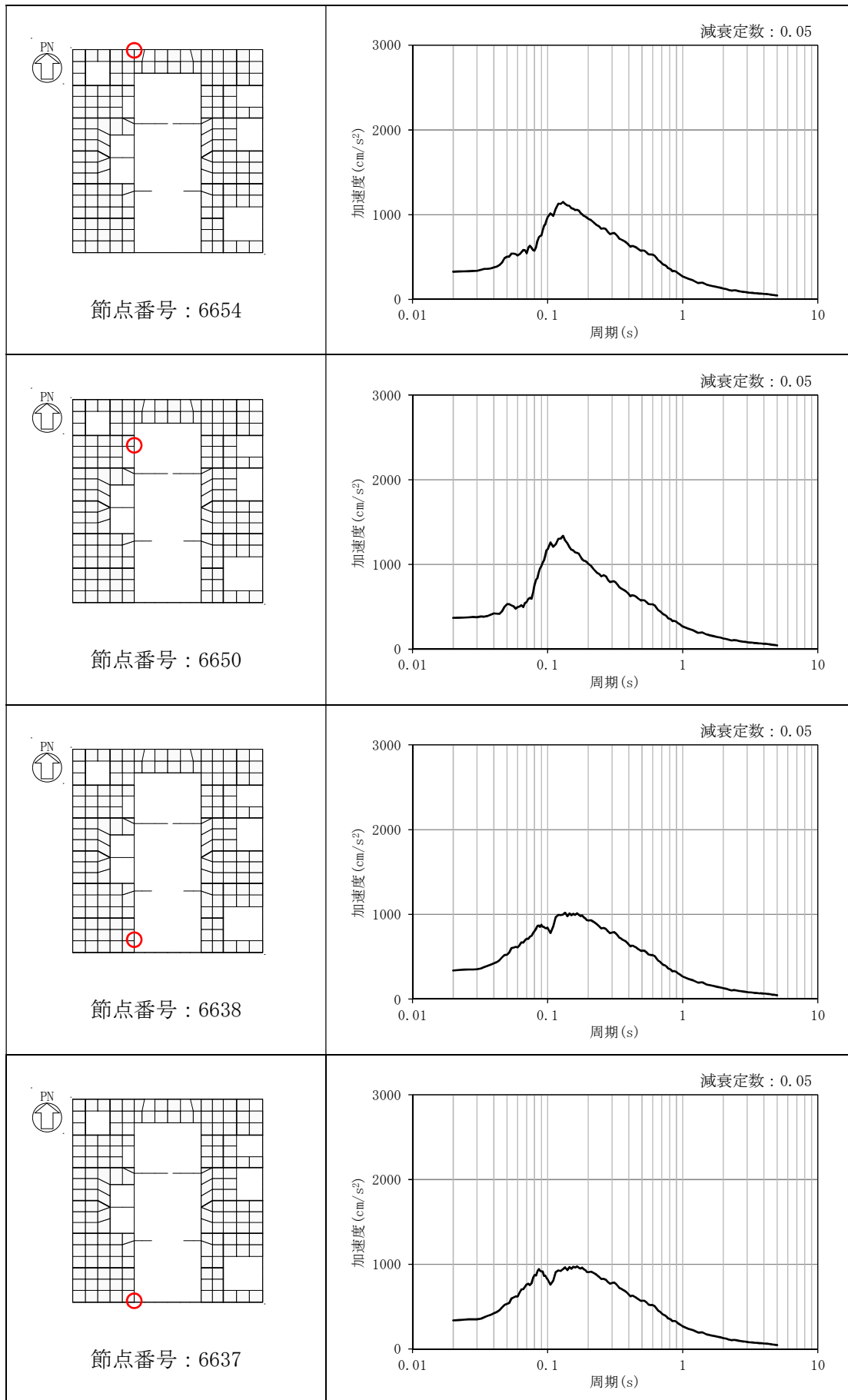


図 1-5 (1/2) 加速度応答スペクトル (プール周辺, UD 方向応答)

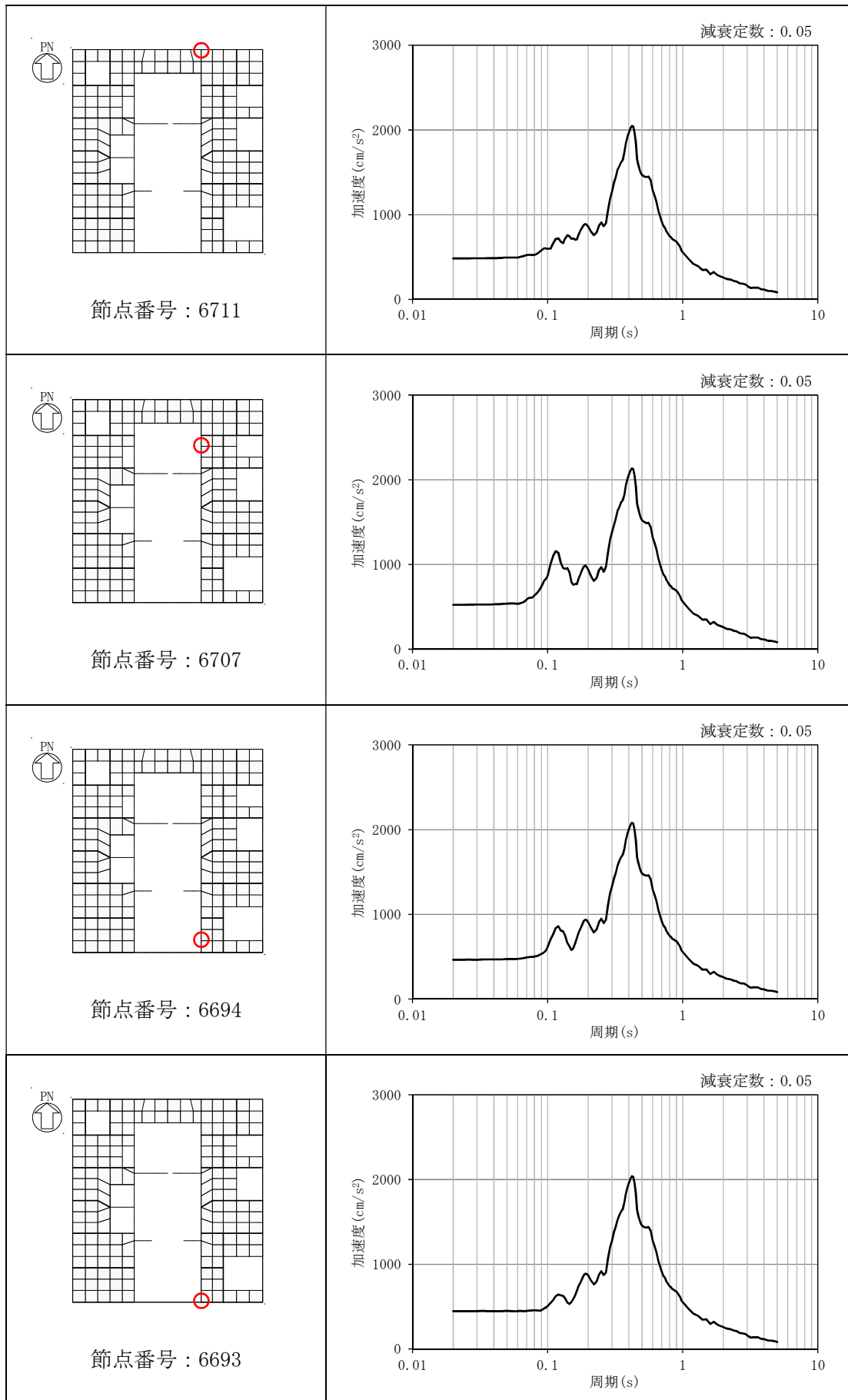


図 1-5 (2/2) 加速度応答スペクトル (プール周辺, UD 方向応答)

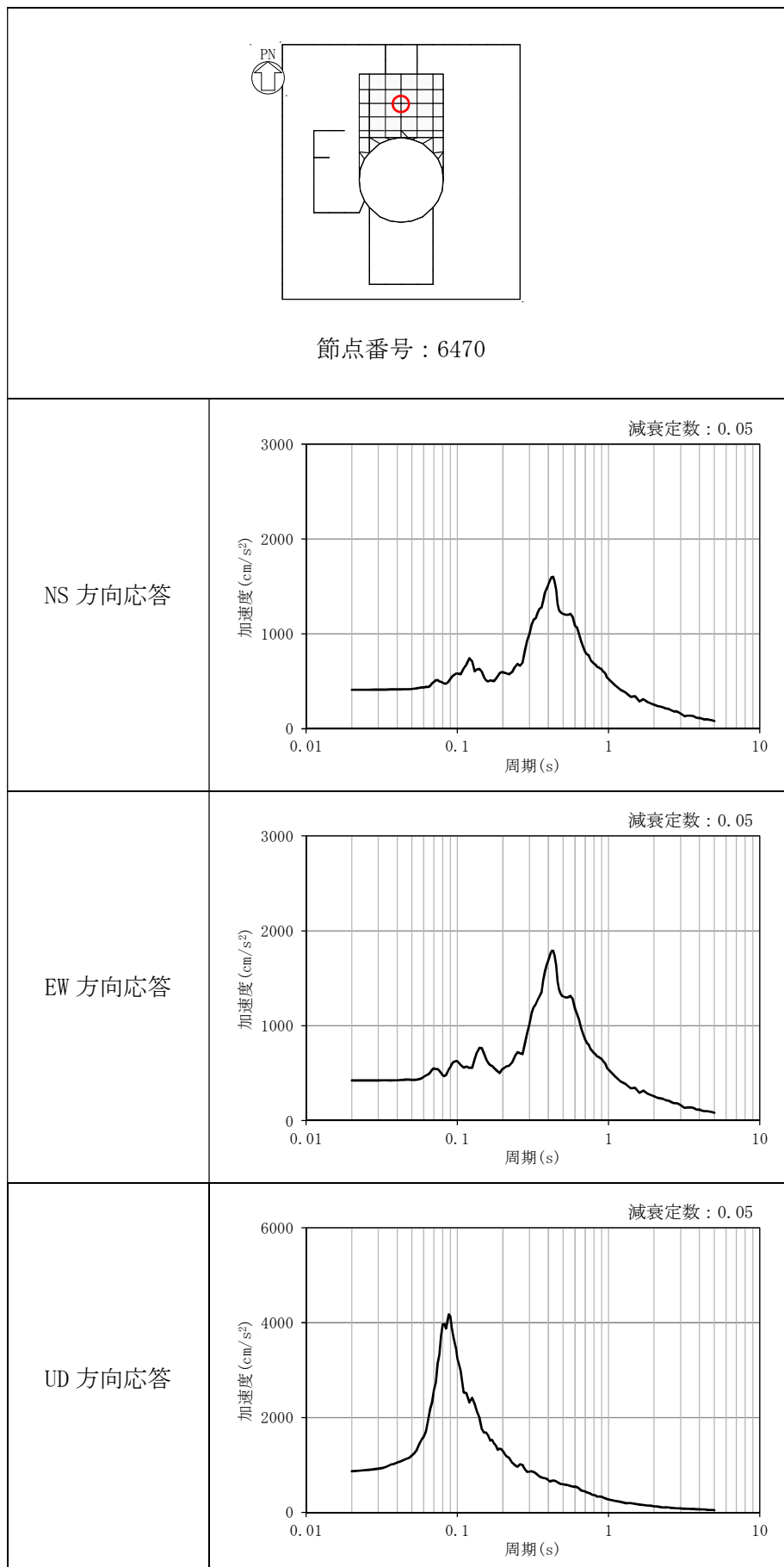


図 1-6 加速度応答スペクトル (プール床版)

別紙4.1 補足説明資料

目 次

1. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ，上部シアラグ及び下部シアラグ）
2. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉格納容器スタビライザ）
3. 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）
4. 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）
5. 水平2方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）
6. 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）
7. 水平2方向同時加振の影響評価について（矩形配置されたボルト）
8. 水平2方向同時加振の影響評価について（電気盤）
9. 水平2方向同時加振の影響評価について（動的機能維持）
10. 水平 2 方向同時加振の影響について（応答軸が明確である設備）

1. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ、上部シアラグ及び下部シアラグ）

1.1 はじめに

本項は、原子炉圧力容器スタビライザ（以下「RPVスタビライザ」という。）（第1-1図）、上部シアラグ（第1-2図）及び下部シアラグ（第1-3図）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

RPVスタビライザと上部シアラグは、地震時の水平方向荷重を周方向45° 間隔で8体の構造部材にて支持する同様の設計である。また、下部シアラグは20° 間隔で18体の構造部材にて支持する設計である。RPVシアラグ、上部シアラグと下部シアラグについても構造部材の数は異なるが、周方向に等間隔で支持する同様の設計であるため、以下水平2方向同時加振の影響については、RPVスタビライザを代表に記載する。

1.2 現行評価の手法

RPVスタビライザは、周方向45° 間隔で8体配置されており、第1-4図に地震荷重と各RPVスタビライザが分担する荷重の関係を示す。

水平方向の地震荷重に関して現行評価では、RPVスタビライザ6体に各水平方向地震力（X方向、Y方向）の最大地震力が負荷されるものとしている。

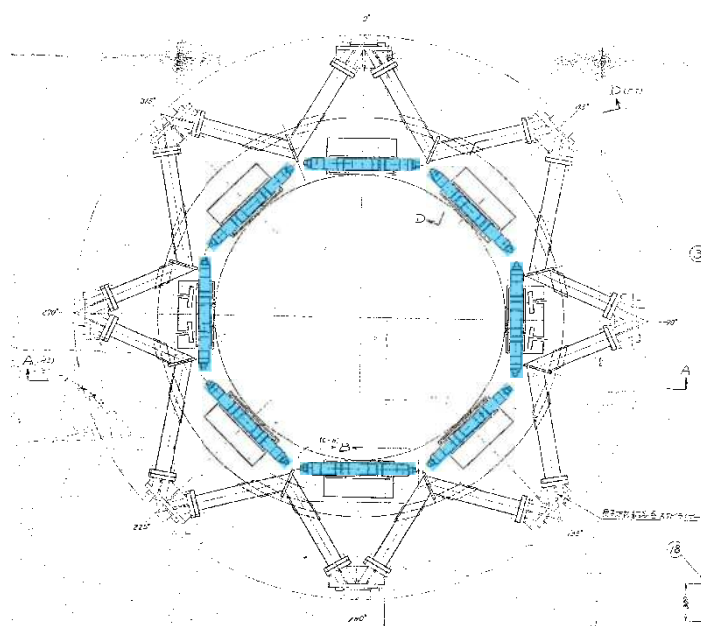
$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_X}{4}, \frac{F_Y}{4} \right)$$

ここで、

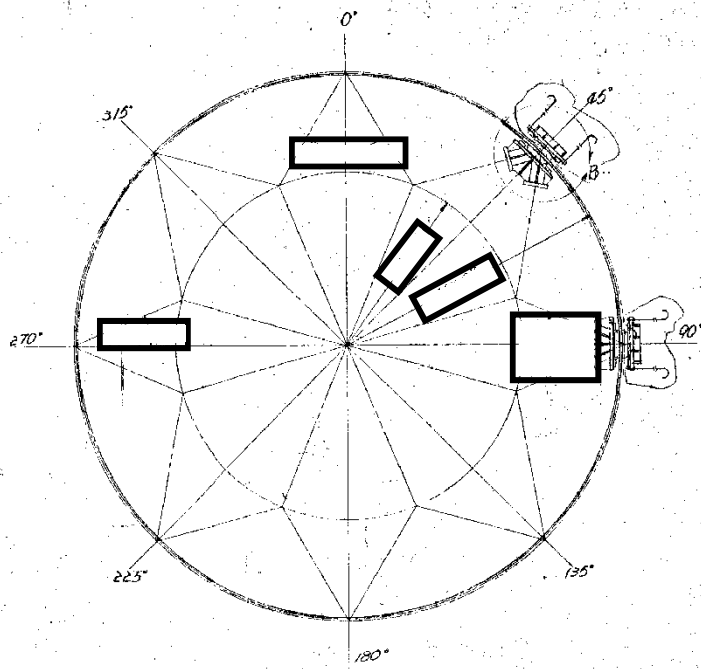
f : RPVスタビライザ1個が受けもつ最大地震荷重

F_X : X方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重

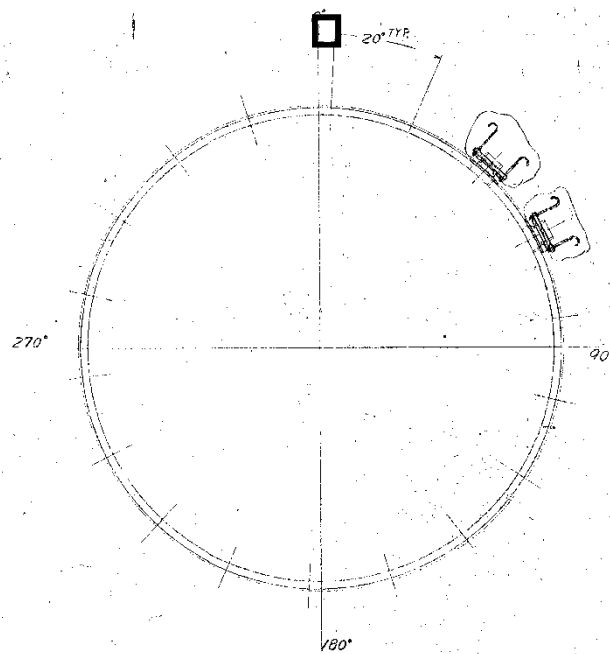
F_Y : Y方向地震によりスタビライザ全体に発生する荷重



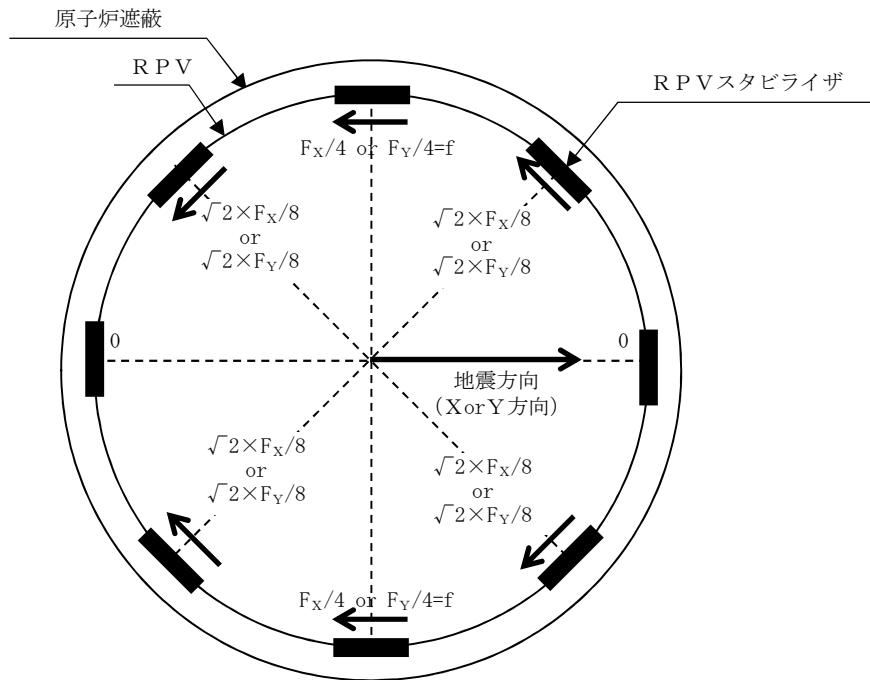
第1-1図 原子炉圧力容器スタビライザ



第1-2図 上部シアラグ



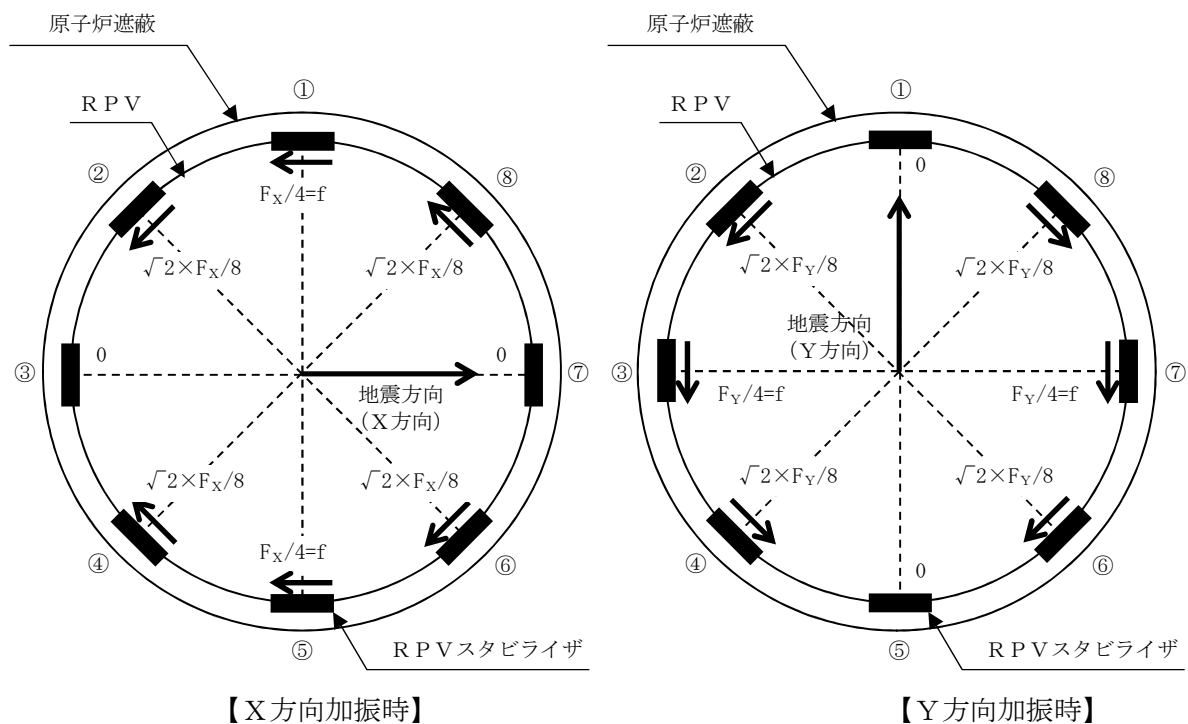
第1-3図 下部シアラグ



第1-4図 原子炉圧力容器スタビライザの水平地震荷重の分担（水平1方向）

1.3 水平2方向同時加振の影響

RPVスタビライザは、水平2方向の地震力を受けた場合における荷重分担について、第1-5図及び第1-1表に示す。第1-5図及び第1-1表に示すとおり、方向別地震荷重 F (F_x または F_y) に対する最大反力を受け持つ部位が異なることが分かる。



第1-5図 原子炉压力容器スタビライザの水平地震荷重の分担（水平2方向）

第1-1表 原子炉压力容器スタビライザ各点での分担荷重

位置		方向別地震力Fに対する反力	
		X方向	Y方向
①	0°	$F_X/4$	0
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
③	90°	0	$F_Y/4$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
⑤	180°	$F_X/4$	0
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
⑦	270°	0	$F_Y/4$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8$	$\sqrt{2} \times F_Y/8$
最大		$F_X/4$	$F_Y/4$

水平2方向地震力の組合せの考慮については、第1-1表に示した水平方向反力を用いてX方向・Y方向同時には最大の地震力が発生しないと仮定し、以下の2つの方法にて検討を行った。

- ① 組合せ係数法： $F_Y=0.4F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果を単純和する。
- ② 最大応答の非同時性を考慮したS R S S法： $F_Y=F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果をS R S S法にて合成する。

上記検討の結果を第1-2表に示す。いずれの検討方法を用いても、水平2方向反力の組合せ結果の最大値は f となり、これは水平1方向反力の最大値と同値である。

したがって、RPVスタビライザに対して水平2方向の影響はない。

第1-2表 RPVスタビライザ各点における水平2方向の考慮

		①組合せ係数法を用いた 水平2方向反力の組合せ ($F_Y=0.4F_X$)	②S R S S法を用いた 水平2方向反力の組合せ ($F_Y=F_X$)
①	0°	$F_X/4 = f$	$F_X/4 = f$
②	45°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $= F_X/4 = f$
③	90°	$F_Y/4 = 0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4 = F_X/4 = f$
④	135°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $= F_X/4 = f$
⑤	180°	$F_X/4 = f$	$F_X/4 = f$
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $= F_X/4 = f$
⑦	270°	$F_Y/4 = 0.4 \times F_X/4 < f$	$F_Y/4 = F_X/4 = f$
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_X/8 + \sqrt{2} \times F_Y/8 = \sqrt{2} \times 1.4 \times F_X/8$ $= 0.990 \times F_X/4 < f$	$\sqrt{((\sqrt{2} \times F_X/8)^2 + (\sqrt{2} \times F_Y/8)^2)}$ $= F_X/4 = f$
最大		$F_X/4 = f$	$F_X/4 = f$

2. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉格納容器スタビライザ）

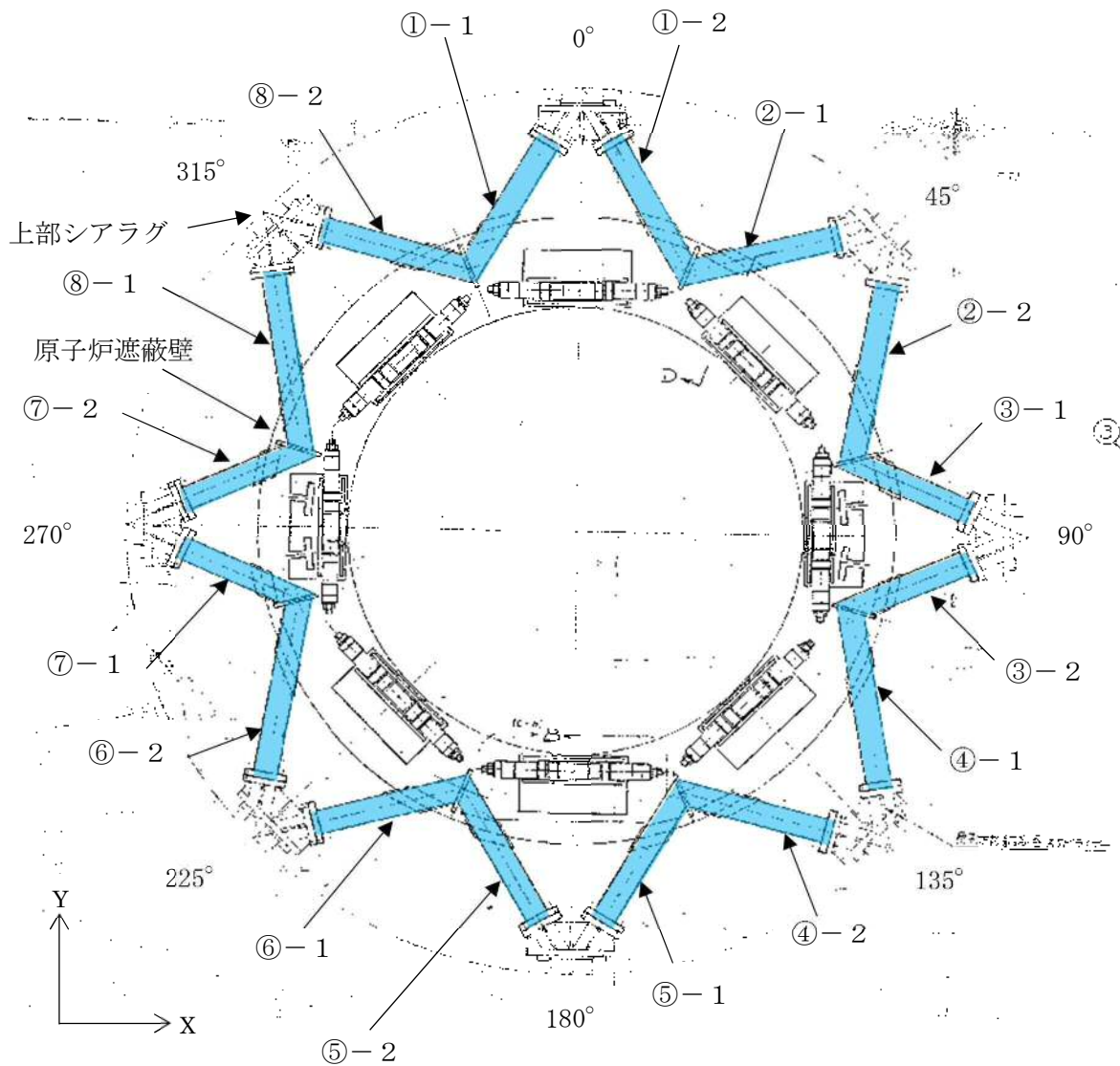
2.1 はじめに

本項は、原子炉格納容器スタビライザトラス（以下「PCVスタビライザ」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

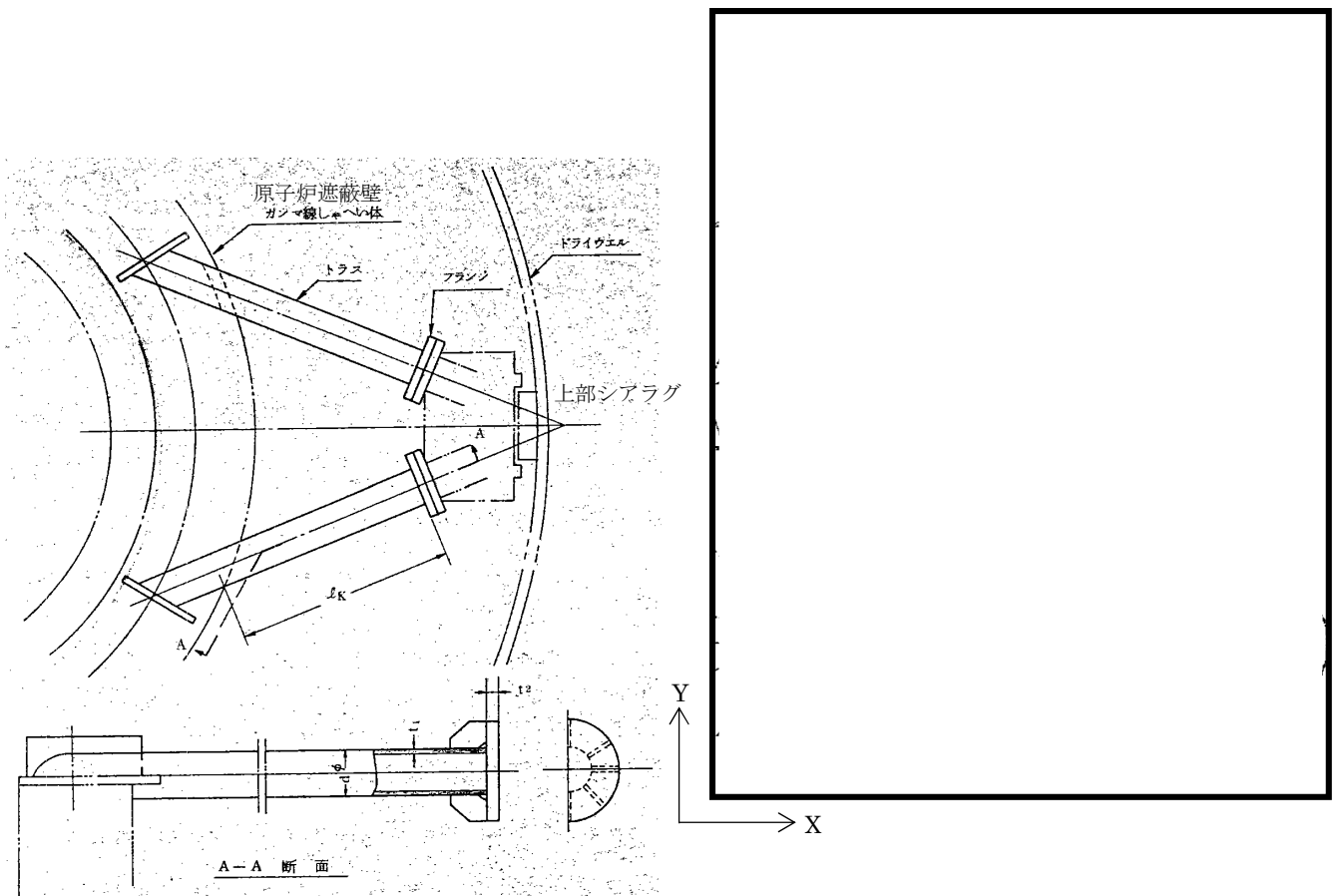
2.2 現行評価の手法

PCVスタビライザは、16体配置されており（第2-1図 参照）、原子炉遮蔽壁と上部シアラグを接続している（第2-2図 参照）。第2-3図に地震荷重と各上部シアラグが分担する荷重の関係を示す。

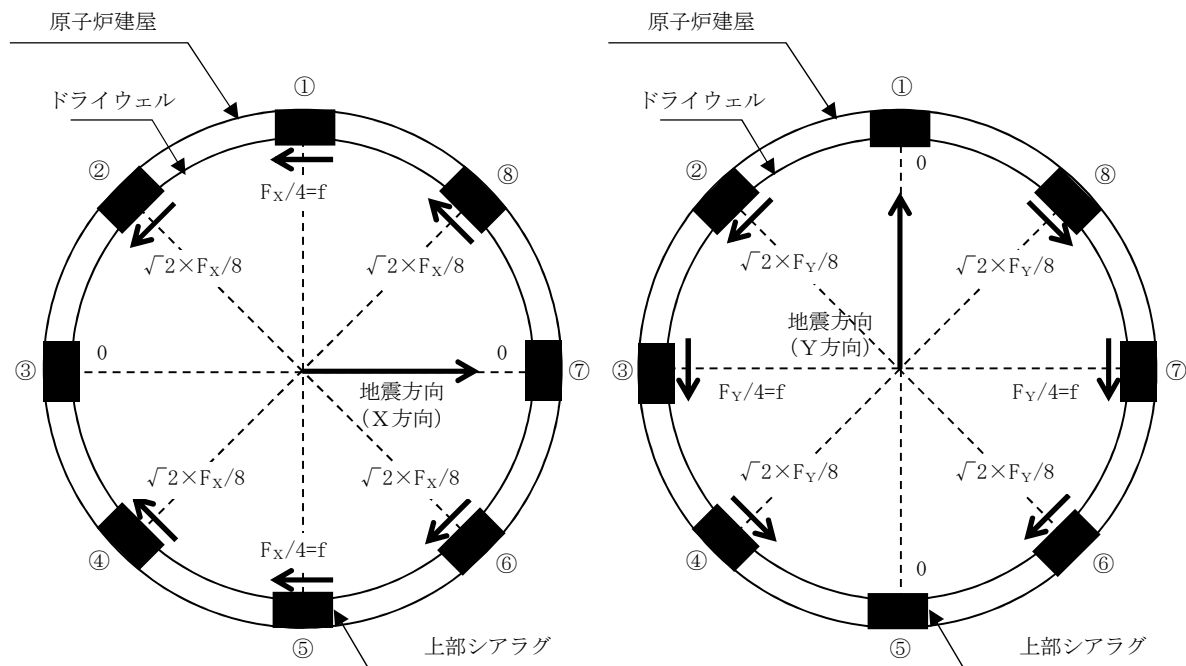
水平方向の地震荷重に関して現行評価では、上部シアラグ6体に各水平方向地震力（X方向、Y方向）の最大地震力が負荷されるものとしており、それに接続されるPCVスタビライザに荷重が作用する。



第1-1図 原子炉格納容器スタビライザ



第 2-2 図 原子炉格納容器スタビライザの形状



第 2-3 図 上部シアラグの水平地震荷重の分担 (水平 1 方向)

2.3 水平2方向同時加振の影響

PCVスタビライザが、水平2方向の地震力を受けた場合における荷重について、以下及び第2-1表に示す。第1-1表に示すとおり、方向別地震荷重F（ F_x または F_y ）に対する最大反力を受け持つ部位が異なることが分かる。

- PCVスタビライザ①-1/2, ⑤-1/2に発生する荷重について

ここで

$$\theta_1 = \boxed{}$$

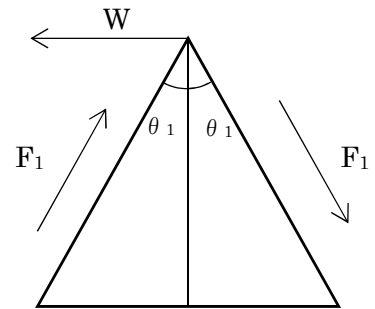
$$F_1 = \frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot W$$

方向別地震荷重 F_x がかかる場合

$$F_1 = \frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_x$$

方向別地震荷重 F_y がかかる場合

$$F_1 = 0$$



- PCVスタビライザ②-1, ④-2, ⑥-1, ⑧-2に発生する荷重について

ここで

$$\theta_2 = \boxed{}$$

$$\theta_5 = \boxed{}$$

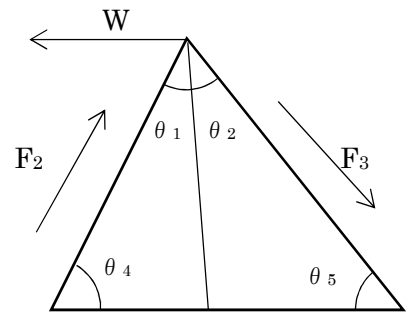
$$F_2 = \frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot W$$

方向別地震荷重 F_x がかかる場合

$$F_2 = \frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_x$$

方向別地震荷重 F_y がかかる場合

$$F_2 = \frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_y$$



- PCVスタビライザ②-2, ④-1, ⑥-2, ⑧-1に発生する荷重について

ここで

$$\theta_4 = \boxed{}$$

$$F_3 = \frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot W$$

方向別地震荷重 F_x がかかる場合

$$F_3 = \frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_x$$

方向別地震荷重 F_Y がかかる場合

$$F_3 = \frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$$

・ PCV スタビライザ③-1/2, ⑦-1/2に発生する荷重について

ここで

$$\theta_3 = \boxed{}$$

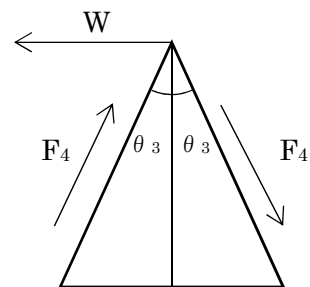
$$F_4 = \frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot W$$

方向別地震荷重 F_X がかかる場合

$$F_4 = 0$$

方向別地震荷重 F_Y がかかる場合

$$F_4 = \frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$$



第2-1表 原子炉格納容器スタビライザ各点での分担荷重

位置	方向別地震力 F に対する反力			
	X 方向		Y 方向	
①-1	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_X$		0	0
①-2	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_X$		0	0
②-1	$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
②-2	$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
③-1	0	0	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$	
③-2	0	0	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$	
④-1	$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
④-2	$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
⑤-1	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_X$		0	0
⑤-2	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_1} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_X$		0	0
⑥-1	$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
⑥-2	$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
⑦-1	0	0	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$	
⑦-2	0	0	$\frac{1}{2 \cdot \sin \theta_3} \cdot \frac{1}{4} \cdot F_Y$	
⑧-1	$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_4}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
⑧-2	$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_X$		$\frac{\sin \theta_5}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \cdot \frac{\sqrt{2}}{8} \cdot F_Y$	
最大				

水平2方向地震力の組合せの考慮については、第2-1表に示した水平方向反力を用いてX方向・Y方向同時には最大の地震力が発生しないと仮定し、以下の2つの方法にて検討を行った。

- ① 組合せ係数法： $F_Y=0.4F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果を単純和する。
- ② 最大応答の非同時性を考慮したS R S S法： $F_Y=F_X$ と仮定し、X方向・Y方向のそれぞれの水平1方向応答結果をS R S S法にて合成する。

上記検討の結果を第2-2表に示す。いずれの検討方法を用いても、水平2方向反力の組合せ結果の最大値は F_X となり、これは水平1方向反力の最大値と同値である。

したがって、PCVスタビライザに対して水平2方向の影響はない。

第2-2表 PCVスタビライザ各点における水平2方向の考慮

位置	①組合せ係数法を用いた 水平2方向反力の組合せ ($F_Y=0.4 F_X$)	②S R S S法を用いた 水平2方向反力の組合せ ($F_Y=F_X$)
①-1		
①-2		
②-1		
②-2		
③-1		
③-2		
④-1		
④-2		
⑤-1		
⑤-2		
⑥-1		
⑥-2		
⑦-1		
⑦-2		
⑧-1		
⑧-2		
最大		

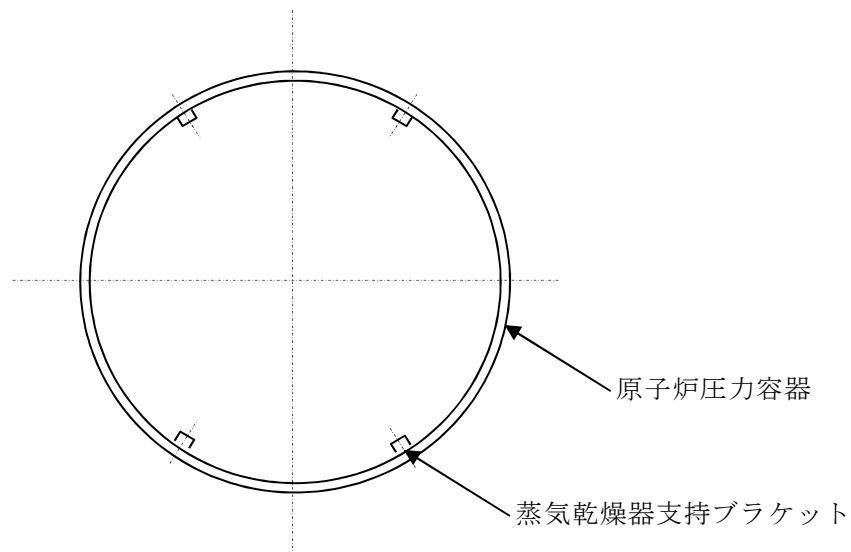
3. 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）

3.1 はじめに

本項は、蒸気乾燥器支持ブラケットに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

3.2 現行評価の手法

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体配置されており、位置関係は第2-1図の通りとなる。



第3-1図 蒸気乾燥器支持ブラケット配置図

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体で耐震用ブロックを介し蒸気乾燥器ユニットを支持する設計である。しかし、耐震用ブロックと蒸気乾燥器支持ブラケットの間にはクリアランスが存在し、水平地震動の入力方向によっては、4体のうち対角のブラケット2体のみがその荷重を負担する可能性があるため、現行評価では対角のブラケット2体により、水平2方向の地震荷重を支持するものとして評価している。

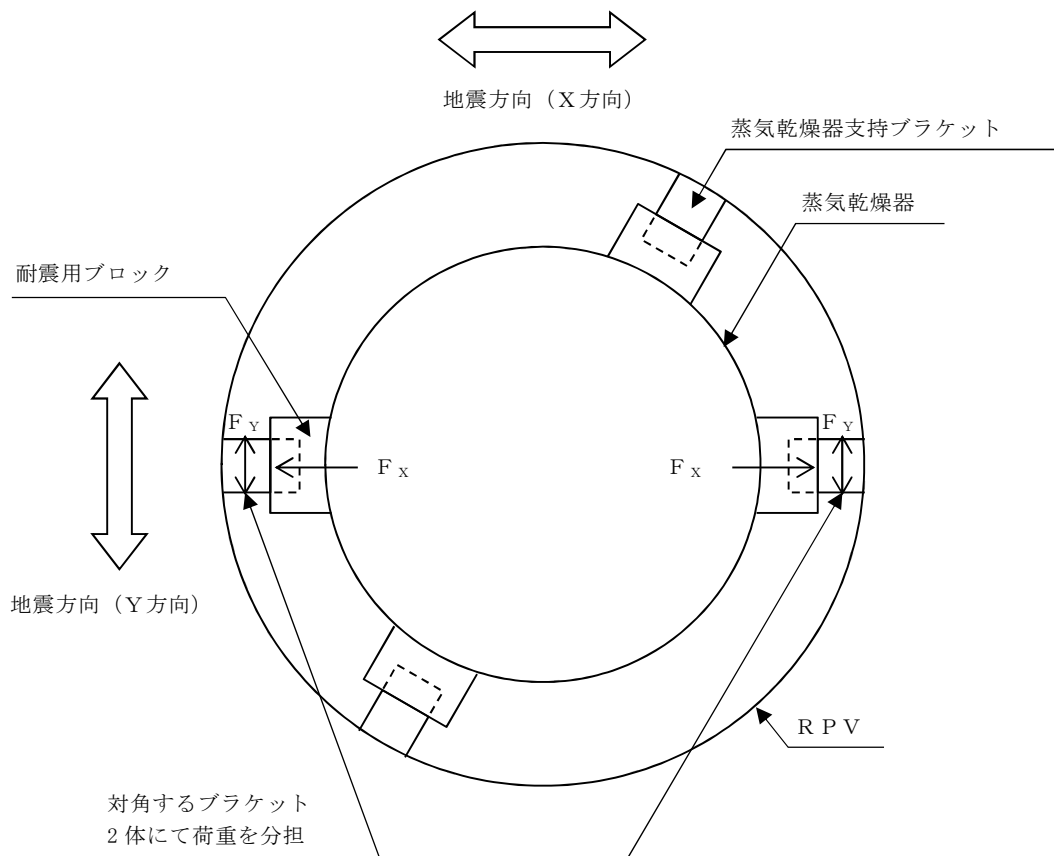
第3-2図に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$f = \text{MAX}\left(\frac{F_X}{2}, \frac{F_Y}{2}\right)$$

f：蒸気乾燥器ユニットから受ける地震荷重

F_X ：X方向地震よりブラケット全体に発生する荷重

F_Y ：Y方向地震よりブラケット全体に発生する荷重



第3-2図 評価におけるブラケットの負荷状態

3.3 水平2方向同時加振の影響

蒸気乾燥器支持ブラケットは、現行評価において、水平2方向の地震荷重を同時に考慮し、ブラケットと耐震ブロックの接触状態として想定される最も厳しい状態として、4体のブラケットのうち2体で荷重を支持すると評価しており、水平2方向同時加振による現行の評価結果への影響はない。

4. 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）

4.1 はじめに

本項は、水平地震動が水平2方向に作用した場合の円筒形容器に対する影響検討をFEMモデルを用いた解析で確認した結果をまとめたものである。

容器については、X方向地震とY方向地震とでは最大応力点が異なるため、それぞれの地震による応力を組み合わせても影響軽微としている。本項では解析にて影響確認することを目的として、円筒形容器のFEMモデルを用いた解析を実施した結果を示す。ここで、本検討は軸方向応力、周方向応力及びせん断応力の組合せにより確認を行うため、胴の組合せ一次応力を対象としたものである。

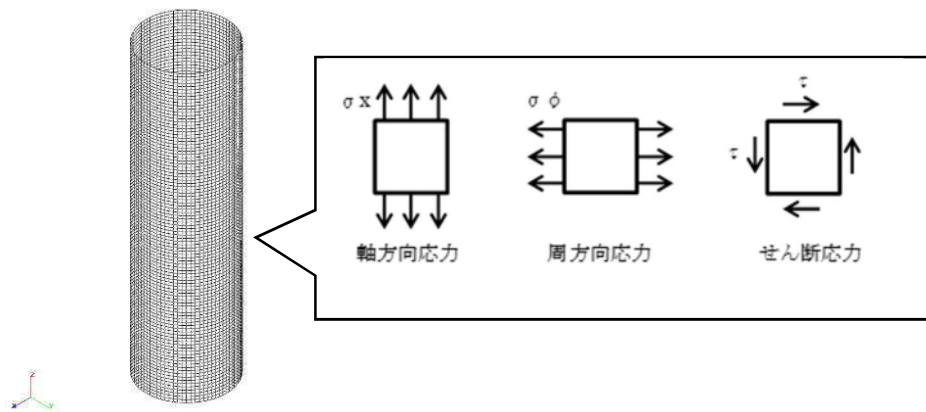
具体的な確認項目として、以下2点を確認した。

- ① X方向地震とY方向地震とで最大応力点が異なることへの確認
- ② 最大応力点以外に、X方向地震とY方向地震による応力を組み合わせた場合に影響のあるような点があるかを確認

4.2 影響評価検討

評価検討モデルを第3-1図に示す。検討方法を以下に示す

- ・ 検討方法 : 水平地震力1Gを、X方向(0°方向)へ入力し、周方向の0°方向から90°方向にかけて応力分布を確認する。また、水平1方向地震による応力を用いて水平2方向地震による応力を評価する。
- ・ 検討モデル : たて置き円筒形容器をシェル要素にてモデル化
- ・ 拘束点 : 容器基部を拘束
- ・ 荷重条件 : モデル座標のX方向に水平地震力1Gを負荷
- ・ 解析方法 : 静的解析
- ・ 対象部位及び応力 : 容器基部における応力
- ・ 水平2方向同時加振時の組合せ方法
 - 組合せ係数法(最大応答の非同時性を考慮)
 - S R S S法(最大応答の非同時性を考慮)



第4-1図 評価検討モデル

4.3 検討結果

4.3.1 軸方向応力 σ_x

容器基部における水平地震時の軸方向応力コンタ図を第4-2図に示す。

この結果により、最大応力点は $0^\circ / 180^\circ$ 位置に発生していることが分かる。円筒形容器のため評価部位が円形の一様断面であることから、Y方向から水平地震力を入力した場合においても、最大応力点は $90^\circ / 270^\circ$ 位置に発生することは明白であるため、水平方向地震動の入力方向により最大応力点は異なる。

また、第3-1表にX方向、Y方向、2方向入力時の軸方向応力分布を示す。

中間部 ($0^\circ / 90^\circ$ 方向以外) において2方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及びSRSS法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力 $\sigma_{x,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{x,s}(\theta)$ は、水平1方向入力時の軸方向応力解析結果 (X方向入力時応力 $\sigma_{x,X}(\theta)$ 、Y方向入力時応力 $\sigma_{x,Y}(\theta)$) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{x,c}(\theta) = \max(\sigma_{x,c(X)}(\theta), \sigma_{x,c(Y)}(\theta))$$

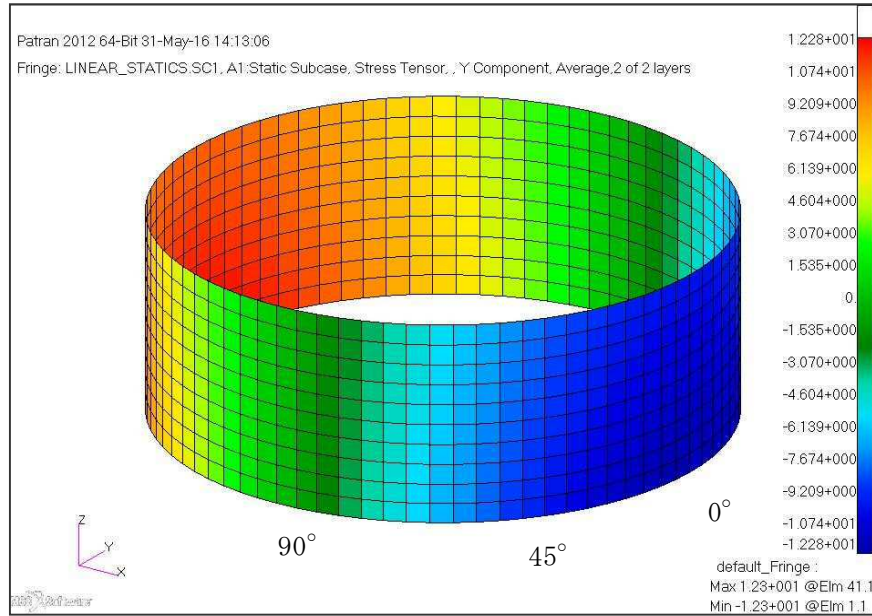
ただし、 $\sigma_{x,c(X)}(\theta)$ は $\sigma_{x,X}(\theta)$ に1、 $\sigma_{x,Y}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{x,c(Y)}(\theta)$ は $\sigma_{x,Y}(\theta)$ に1、 $\sigma_{x,X}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のよう表わされる。

$$\sigma_{x,c(X)}(\theta) = \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{x,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{x,Y}(\theta)$$

<SRSS法>

$$\sigma_{x,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{x,X}(\theta)^2 + \sigma_{x,Y}(\theta)^2}$$



第4-2図 水平地震時軸方向応力コンタ図

第4-1表 水平地震時の軸方向応力分布

角度	X方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,X}(\theta)$	Y方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{x,Y}(\theta)$	2方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{x,c}(\theta)$	SRSS法 $\sigma_{x,s}(\theta)$
0° 方向	12.28	0.00	12.28 $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ) = 12.28$ $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ) = 4.91$	12.28
22.5° 方向	11.34	4.70	13.22 $\sigma_{x,c(X)}(22.5^\circ) = 13.22$ $\sigma_{x,c(Y)}(22.5^\circ) = 9.24$	12.28
45° 方向	8.68	8.68	12.15 $\sigma_{x,c(X)}(45^\circ) = 12.15$ $\sigma_{x,c(Y)}(45^\circ) = 12.15$	12.28
67.5° 方向	4.70	11.34	13.22 $\sigma_{x,c(X)}(67.5^\circ) = 9.24$ $\sigma_{x,c(Y)}(67.5^\circ) = 13.22$	12.28
90° 方向	0.00	12.28	12.28 $\sigma_{x,c(X)}(90^\circ) = 4.91$ $\sigma_{x,c(Y)}(90^\circ) = 12.28$	12.28

4.3.2 周方向応力 σ_{ϕ}

容器基部における水平地震時の周方向応力コンタ図を第4-3図に、周方向応力分布を第4-2表に示す。軸方向応力同様に最大応力点は $0^{\circ} / 180^{\circ}$ 位置に発生しており、最大応力点が異なることについて確認できる。

また、2方向入力時の影響についても軸方向応力と同様に中間部 ($0^{\circ} / 90^{\circ}$ 方向以外) において2方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及びS R S S法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力 $\sigma_{\phi,c}(\theta)$ 及び $\sigma_{\phi,s}(\theta)$ は、水平1方向入力時の周方向応力解析結果 (X方向入力時応力 $\sigma_{\phi,X}(\theta)$), Y方向入力時応力 $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$) により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\sigma_{\phi,c}(\theta) = \max(\sigma_{\phi,c(X)}(\theta), \sigma_{\phi,c(Y)}(\theta))$$

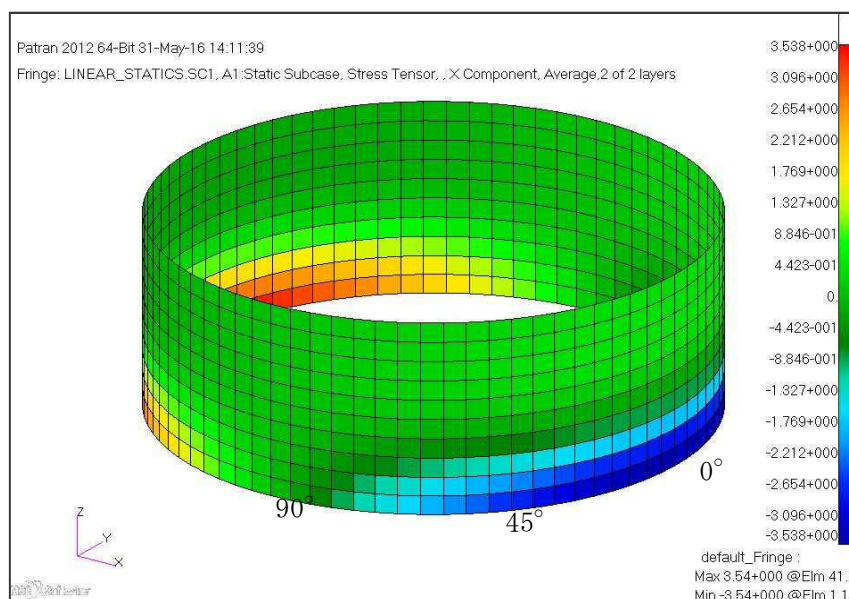
ただし、 $\sigma_{\phi,c(X)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,X}(\theta)$ に1、 $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta)$ は $\sigma_{\phi,Y}(\theta)$ に0.4、 $\sigma_{\phi,X}(\theta)$ に1の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表わされる。

$$\sigma_{\phi,c(X)}(\theta) = \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

<S R S S法>

$$\sigma_{\phi,s}(\theta) = \sqrt{\sigma_{\phi,X}(\theta)^2 + \sigma_{\phi,Y}(\theta)^2}$$



第4-3図 水平地震時周方向応力コンタ図

第4-2表 水平地震時の周方向応力分布

角度	X方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi, X}(\theta)$	Y方向入力時 応力 (MPa) $\sigma_{\phi, Y}(\theta)$	2方向入力時応力 (MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_{\phi, c}(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_{\phi, s}(\theta)$
0° 方向	3.54	0.00	3.54 $\sigma_{\phi, c(X)}(0^\circ)=3.54$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(0^\circ)=1.42$	3.54
22.5° 方向	3.27	1.35	3.81 $\sigma_{\phi, c(X)}(22.5^\circ)=3.81$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(22.5^\circ)=2.66$	3.54
45° 方向	2.50	2.50	3.50 $\sigma_{\phi, c(X)}(45^\circ)=3.50$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(45^\circ)=3.50$	3.54
67.5° 方向	1.35	3.27	3.81 $\sigma_{\phi, c(X)}(67.5^\circ)=2.66$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(67.5^\circ)=3.81$	3.54
90° 方向	0.00	3.54	3.54 $\sigma_{\phi, c(X)}(90^\circ)=1.42$ $\sigma_{\phi, c(Y)}(90^\circ)=3.54$	3.54

4.3.3 せん断応力 τ

容器基部における水平地震時のせん断応力コンタ図を第4-4図に、周方向応力分布を第4-3表に示す。せん断応力は軸方向及び周方向応力とは異なり、最大応力は90°/270°位置に生じているが、最大応力最小応力の生じる点が回転しているのみで応力の傾向として最大応力点が異なることについて確認できる。

また、2方向入力時の影響についても同様に中間部(0°/90°方向以外)において2方向入力時の影響が確認できる。なお、組合せ係数法及びS R S S法のそれぞれを用いた水平2方向入力時の応力 $\tau_c(\theta)$ 及び $\tau_s(\theta)$ は、水平1方向入力時の周方向応力解析結果(X方向入力時応力 $\tau_X(\theta)$)、Y方向入力時応力 $\tau_Y(\theta)$)により、以下のとおり算出する。

<組合せ係数法>

$$\tau_c(\theta) = \max(\tau_{c(X)}(\theta), \tau_{c(Y)}(\theta))$$

ただし、 $\tau_{c(X)}(\theta)$ は $\tau_X(\theta)$ に1、 $\tau_Y(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの軸応力を組み合わせた応力、 $\tau_{c(Y)}(\theta)$ は $\tau_Y(\theta)$ に1、 $\tau_X(\theta)$ に0.4の係数を乗じてX・Y方向入力時それぞれの応力を組み合わせた応力であり、以下のように表

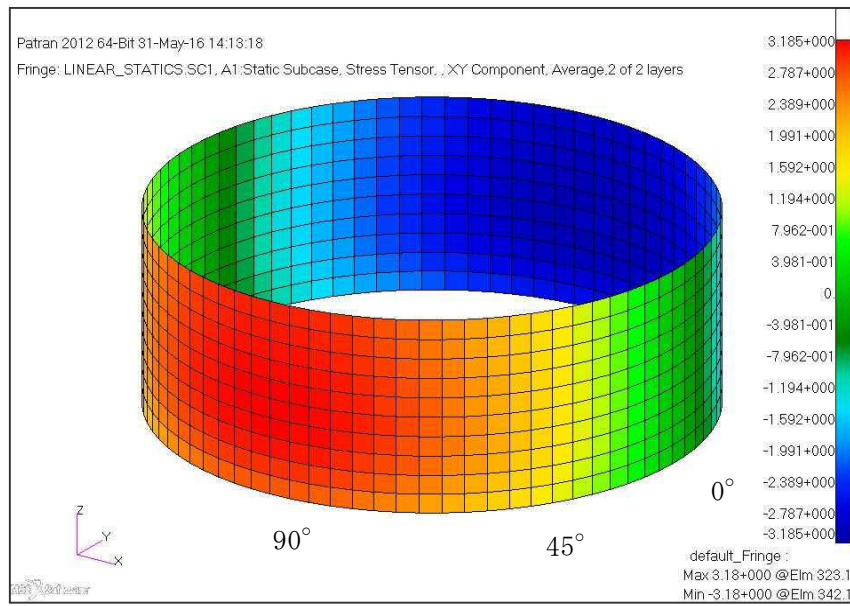
わされる。

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)$$

$$\tau_{c(Y)}(\theta) = 0.4 \times \tau_X(\theta) + \tau_Y(\theta)$$

<SRSS法>

$$\tau_s(\theta) = \sqrt{\tau_X(\theta)^2 + \tau_Y(\theta)^2}$$



第4-4図 水平地震時せん断応力コンタ図

第4-3表 水平地震時のせん断応力分布

角度	X方向入力時 応力(MPa) $\tau_x(\theta)$	Y方向入力時 応力(MPa) $\tau_y(\theta)$	2方向入力時応力(MPa)	
			組合せ係数法 $\tau_c(\theta)$	S R S S法 $\tau_s(\theta)$
0° 方向	0.00	2.70	2.70 $\tau_{c(X)}(0^\circ)=1.08$ $\tau_{c(Y)}(0^\circ)=2.70$	2.70
22.5° 方向	1.03	2.49	2.91 $\tau_{c(X)}(22.5^\circ)=2.03$ $\tau_{c(Y)}(22.5^\circ)=2.91$	2.70
45° 方向	1.91	1.91	2.67 $\tau_{c(X)}(45^\circ)=2.67$ $\tau_{c(Y)}(45^\circ)=2.67$	2.70
67.5° 方向	2.49	1.03	2.91 $\tau_{c(X)}(67.5^\circ)=2.91$ $\tau_{c(Y)}(67.5^\circ)=2.03$	2.70
90° 方向	2.70	0.00	2.70 $\tau_{c(X)}(90^\circ)=2.70$ $\tau_{c(Y)}(90^\circ)=1.08$	2.70

4.3.4 組合せ応力強さ σ

胴の組合せ応力強さ σ は、第4-1表から第4-3表に示したX方向、Y方向、2方向入力時それぞれの軸方向応力 σ_x 、周方向応力 σ_ϕ 及びせん断応力 τ を用いて算出する。

<水平1方向のうち、X方向入力時の組合せ応力強さ $\sigma_x(\theta)$ >

主応力 $\sigma_{1,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,X}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,X}(\theta)$ は以下のとおり表わされる。

$$\sigma_{1,X}(\theta) = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_x(\theta)^2} \right\}$$

$$\sigma_{2,X}(\theta) = \frac{1}{2} \left\{ \sigma_{x,X}(\theta) + \sigma_{\phi,X}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,X}(\theta) - \sigma_{\phi,X}(\theta))^2 + 4\tau_x(\theta)^2} \right\}$$

$$\sigma_{3,X}(\theta) = 0$$

各主応力により、応力強さ $\sigma_x(\theta)$ は以下のとおりとなる。

$$\sigma_x(\theta) = \max(|\sigma_{1,X}(\theta) - \sigma_{2,X}(\theta)|, |\sigma_{2,X}(\theta) - \sigma_{3,X}(\theta)|, |\sigma_{3,X}(\theta) - \sigma_{1,X}(\theta)|)$$

なお、Y方向入力時の組合せ応力強さ $\sigma_y(\theta)$ は、上記の式におけるXをYに置き換えた式により算出する。

ここで、 $\theta=0^\circ$ の場合、第4-1表より $\sigma_{x,X}(0^\circ)=12.28$ 、第4-2表より $\sigma_{\phi,X}(0^\circ)=3.54$ 、第4-3表より $\tau_x(0^\circ)=0$ であるため、

$$\sigma_{1,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2} \} = 12.28$$

$$\sigma_{2,x}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(0)^2} \} = 3.54$$

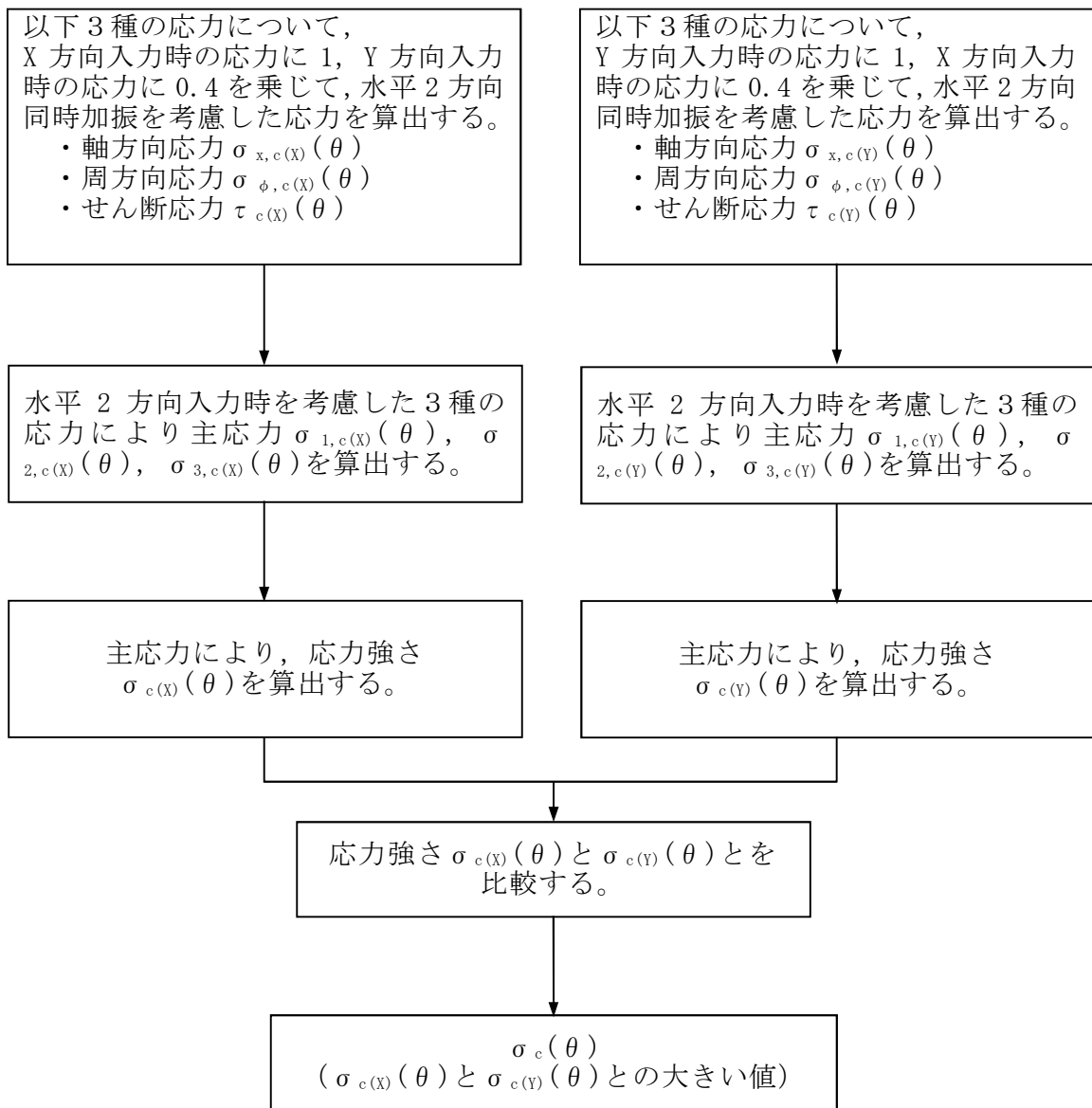
$$\sigma_{3,x}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_x(0^\circ) = \max(|12.28 - 3.54|, |3.54 - 0|, |0 - 12.28|) = 12.28$$

<組合せ係数法による水平2方向入力時の組合せ応力強さ $\sigma_c(\theta)$ >

$\sigma_c(\theta)$ の算出フローを第3-5図に示す。



第4-5図 組合せ係数法による組合せ応力算出フロー

X方向入力時の応力に1、X方向入力時の応力に0.4を乗じて組み合わせた水平2方向入力時を考慮した応力は以下の通りとする。

$$\sigma_{x,c(X)}(\theta) = \sigma_{x,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{x,Y}(\theta)$$

$$\sigma_{\phi,c(X)}(\theta) = \sigma_{\phi,X}(\theta) + 0.4 \times \sigma_{\phi,Y}(\theta)$$

$$\tau_{c(X)}(\theta) = \tau_X(\theta) + 0.4 \times \tau_Y(\theta)$$

水平2方向入力時を考慮した各応力により主応力 $\sigma_{1,c(X)}(\theta)$ 、 $\sigma_{2,c(X)}(\theta)$ 、 $\sigma_{3,c(X)}(\theta)$ は以下のとおり表わされる。

$$\begin{aligned}\sigma_{1,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \} \\ \sigma_{2,c(X)}(\theta) &= \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,c(X)}(\theta) + \sigma_{\phi,c(X)}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,c(X)}(\theta) - \sigma_{\phi,c(X)}(\theta))^2 + 4\tau_{c(X)}(\theta)^2} \} \\ \sigma_{3,c(X)}(\theta) &= 0\end{aligned}$$

各主応力により、応力強さ $\sigma_{c(X)}(\theta)$ は以下の通りとなる。

$$\sigma_{c(X)}(\theta) = \max(|\sigma_{1,c(X)}(\theta) - \sigma_{2,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{2,c(X)}(\theta) - \sigma_{3,c(X)}(\theta)|, |\sigma_{3,c(X)}(\theta) - \sigma_{1,c(X)}(\theta)|)$$

同様に、Y方向入力時の応力に1、X方向入力時の応力に0.4を乗じて組み合わせた水平2方向入力時を考慮した応力により、応力強さ $\sigma_{c(Y)}(\theta)$ を算出する。

この応力強さ $\sigma_{c(X)}(\theta)$ と $\sigma_{c(Y)}(\theta)$ とを比較し、大きいほうの値を $\sigma_c(\theta)$ とする。

$$\sigma_c(\theta) = \max(\sigma_{c(X)}(\theta), \sigma_{c(Y)}(\theta))$$

ここで、 $\theta = 0^\circ$ の場合、第4-1表より $\sigma_{x,c(X)}(0^\circ) = 12.28$ 、第4-2表より

$\sigma_{\phi,c(X)}(0^\circ) = 3.54$ 、第4-3表より $\tau_{c(X)}(0^\circ) = 1.08$ であるため、

$$\sigma_{1,c(X)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \} = 12.41$$

$$\sigma_{2,c(X)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(1.08)^2} \} = 3.41$$

$$\sigma_{3,c(X)}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ は以下のとおり算出される。

$$\sigma_{c(X)}(0^\circ) = \max(|12.41 - 3.41|, |3.41 - 0|, |0 - 12.41|) = 12.41$$

同様に、第4-1表より $\sigma_{x,c(Y)}(0^\circ) = 4.91$ 、第4-2表より $\sigma_{\phi,c(Y)}(0^\circ) = 1.42$ 、

第4-3表より $\tau_{c(Y)}(0^\circ) = 2.70$ であるため、

$$\sigma_{1,c(Y)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 4.91 + 1.42 + \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2} \} = 6.38$$

$$\sigma_{2,c(Y)}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 4.91 + 1.42 - \sqrt{(4.91 - 1.42)^2 + 4(2.70)^2} \} = -0.05$$

$$\sigma_{3,c(Y)}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、応力強さ $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ は以下のとおり算出される。

$$\sigma_{c(Y)}(0^\circ) = \max(|6.38 - (-0.05)|, |-0.05 - 0|, |0 - 6.38|) = 6.43$$

応力強さ $\sigma_{c(X)}(0^\circ)$ と $\sigma_{c(Y)}(0^\circ)$ により、組合せ係数法による水平2方向入力時を考慮した応力強さ $\sigma_c(0^\circ)$ は、

$$\sigma_c(0^\circ) = \max(12.41, 6.43) = 12.41$$

となる。

<SRSS法による水平2方向入力時を考慮した組合せ応力強さ $\sigma_s(\theta)$ >

主応力 $\sigma_{1,s}(\theta)$, $\sigma_{2,s}(\theta)$, $\sigma_{3,s}(\theta)$ は以下のとおり表わされる。

$$\sigma_{1,s}(\theta) = \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) + \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \}$$

$$\sigma_{2,s}(\theta) = \frac{1}{2} \{ \sigma_{x,s}(\theta) + \sigma_{\phi,s}(\theta) - \sqrt{(\sigma_{x,s}(\theta) - \sigma_{\phi,s}(\theta))^2 + 4\tau_s(\theta)^2} \}$$

$$\sigma_{3,s}(\theta) = 0$$

各主応力により、応力強さ $\sigma_s(\theta)$ は以下の通りとなる。

$$\sigma_s(\theta) = \max(|\sigma_{1,s}(\theta) - \sigma_{2,s}(\theta)|, |\sigma_{2,s}(\theta) - \sigma_{3,s}(\theta)|, |\sigma_{3,s}(\theta) - \sigma_{1,s}(\theta)|)$$

ここで、 $\theta = 0^\circ$ の場合、第4-1表より $\sigma_{x,s}(0^\circ) = 12.28$ 、第4-2表より

$\sigma_{\phi,s}(0^\circ) = 3.54$ 、第4-3表より $\tau_s(0^\circ) = 2.70$ であるため、

$$\sigma_{1,s}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 + \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2} \} = 13.05$$

$$\sigma_{2,s}(0^\circ) = \frac{1}{2} \{ 12.28 + 3.54 - \sqrt{(12.28 - 3.54)^2 + 4(2.70)^2} \} = 2.77$$

$$\sigma_{3,s}(0^\circ) = 0$$

となる。したがって、

$$\sigma_s(0^\circ) = \max(|13.05 - 2.77|, |2.77 - 0|, |0 - 13.05|) = 13.05$$

$\theta = 0^\circ$ の場合に、SRSS法、組合せ係数法を用いて算出した応力強さを第4-4表に示す。

第4-4表 S R S S法，組合せ係数法を用いて算出した応力強さ（ $\theta = 0^\circ$ ）

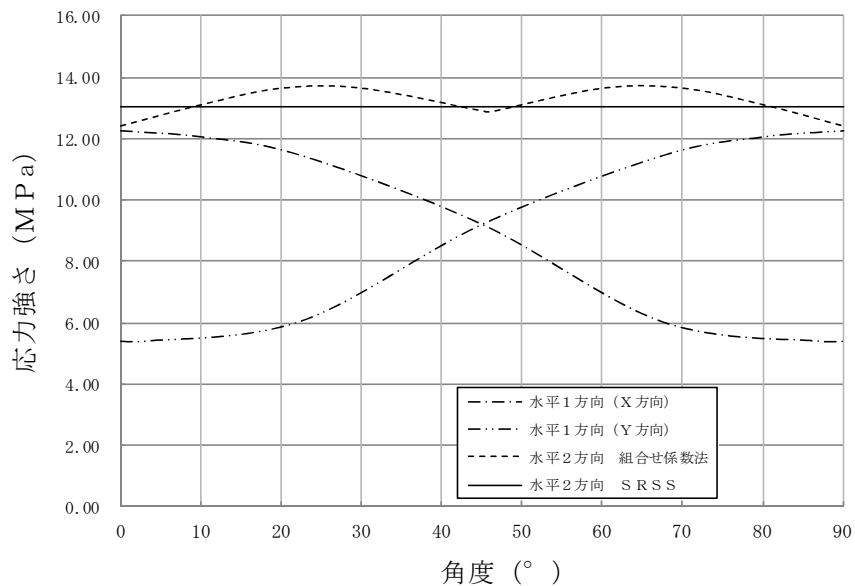
	X	Y	S R S S法	組合せ係数法	
				$1.0 \times X + 0.4 \times Y$	$0.4 \times X + 1.0 \times Y$
$\sigma_x(\theta)$	12.28	0.00	$\sqrt{(12.28^2 + 0.00^2)} =$ 12.28	$12.28 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 12.28	$12.28 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 4.91
$\sigma_\phi(\theta)$	3.54	0.00	$\sqrt{(3.54^2 + 0.00^2)} =$ 3.54	$3.54 \times 1.0 + 0.00 \times 0.4 =$ 3.54	$3.54 \times 0.4 + 0.00 \times 1.0 =$ 1.42
$\sigma_\tau(\theta)$	0.00	2.70	$\sqrt{(0.00^2 + 2.70^2)} =$ 2.70	$0.00 \times 1.0 + 2.70 \times 0.4 =$ 1.08	$0.00 \times 0.4 + 2.70 \times 1.0 =$ 2.70
$\sigma_1(\theta)$	—	—	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 13.05	$1/2 \times [12.28 + 3.54 +$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 3.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 +$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 6.38
$\sigma_2(\theta)$	—	—	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ 2.77	$1/2 \times [12.28 + 3.54 -$ $\sqrt{\{(12.28 - 3.54)^2 + 4 \times 1.08^2\}}] =$ 12.41	$1/2 \times [4.91 + 1.42 -$ $\sqrt{\{(4.91 - 1.42)^2 + 4 \times 2.70^2\}}] =$ -0.05
$\sigma_3(\theta)$	—	—	0	0	0
$\sigma(\theta)$	—	—	MAX ($ 13.05 - 2.77 $, $ 2.77 - 0 $, $ 0 - 13.05 $) = 13.05	MAX ($ 3.41 - 12.41 $, $ 12.41 - 0 $, $ 0 - 3.41 $) = 12.41	MAX ($ 6.38 - (-0.05) $, $ -0.05 - 0 $, $ 0 - 6.38 $) = 6.43
MAX (12.41, 6.43) = 12.41					

(注) 本表記載の数値は計算例を示すものであり，桁処理の関係上，他表の数値と一致しないことがある。

算出した応力強さの分布及び分布図を第4-5表及び第4-6図に示す。

第4-5表 水平地震時の組合せ応力強さ

角度	X方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_x(\theta)$	Y方向入力時 応力強さ (MPa) $\sigma_y(\theta)$	2方向入力時応力強さ(MPa)	
			組合せ係数法 $\sigma_c(\theta)$	S R S S 法 $\sigma_s(\theta)$
0° 方向	12.28	5.40	12.41	13.04
22.5° 方向	11.47	6.03	13.64	13.04
45° 方向	9.22	9.22	12.91	13.04
67.5° 方向	6.03	11.47	13.64	13.04
90° 方向	5.40	12.28	12.41	13.04



第4-6図 水平地震時組合せ応力強さ分布図

組合せ応力強さは、S R S S法では全方向において一定であるのに対して、組合せ係数法では24.75°及び65.25°にピークを持つ分布となった。組合せ応力強さは0°、45°及び90°付近ではS R S S法のほうが組合せ係数法に比べ大きな値となるのに対して、組合せ係数法がピークを持つ24.75°及び65.25°付近ではS R S S法を約5%上回る結果となった。

水平2方向入力時のS R S S法による組合せ最大応力強さは、第3-6表に示すとおり水平1方向入力時の最大応力強さに対して6%上回る程度であり、水平2方向による影響は軽微といえる。

一方、水平2方向入力時の組合せ係数法による組合せ最大応力強さについては、水平1方向入力時の最大応力強さに対して11%上回る結果となった。これは水平2方向入力時の影響軽微と判断する基準（応力の増分が1割）を超えているが、本検討においては水平地震力のみを考慮しており、実際の耐震評価においては水平地震力以外に自重、内圧及び鉛直地震力等を考慮して評価を実施することから、水平2方向を考慮した際の応力強さの増分は小さくなる。

このため、水平2方向による影響は軽微であると考えられるが、組合せ係数法による最大応力強さが11%を上回っているため、水平2方向入力時の影響を軽微と判断する場合は、個別検討を行ったうえで、影響が軽微と判断する。

第4-6表 水平地震時の最大組合せ応力強さ及び水平2方向による影響

		最大組合せ応力強さ (MPa)	水平2方向／水平1方向 最大応力強さ比
水平1方向入力		12.28	1.00
水平2方向 入力	S R S S法	13.05	1.06
	組合せ係数法	13.67	1.11

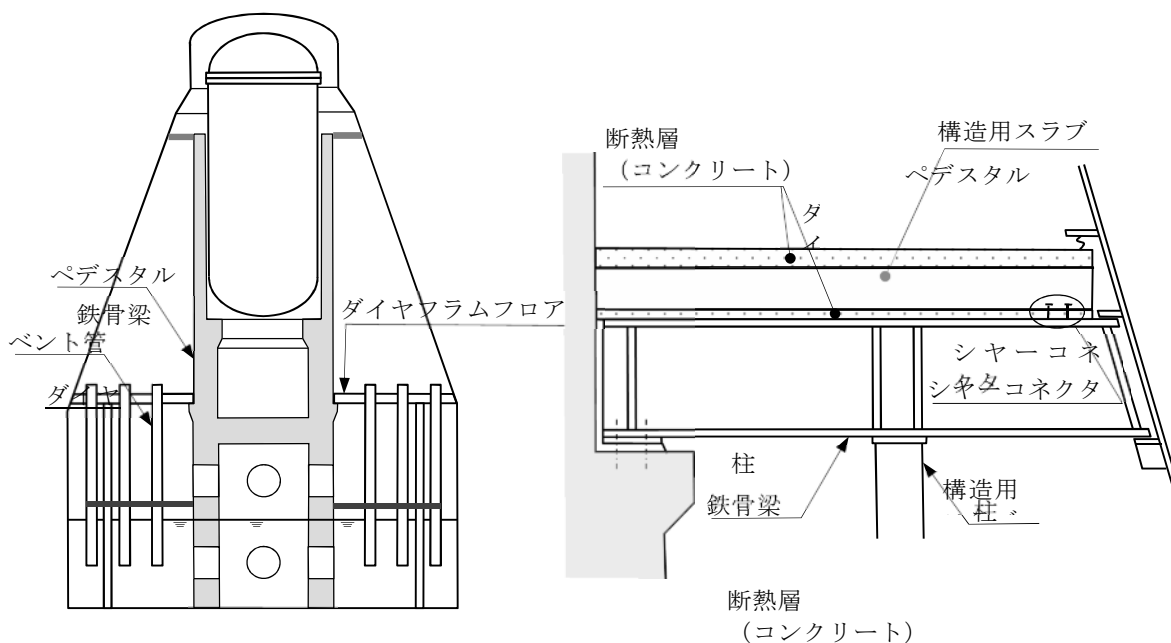
5. 水平2方向同時加振の影響評価について（ダイヤフラムフロア）

5.1 はじめに

本項は、ダイヤフラムフロアに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

5.2 ダイヤフラムフロアの構造

ダイヤフラムフロアは、格納容器をドライウェルとサプレッションチェンバとを隔離する構造物であり、上部及び下部に断熱層を持った鉄筋コンクリート製の構造用スラブで構成されている。垂直方向の荷重は、鉄筋コンクリート製スラブから鉄骨梁に伝えられ、その下部にあるペDESTアルび鉄骨の柱で支持されている。水平方向の荷重も同様に鉄骨梁から原子炉本体基礎及び格納容器周囲に設置されたシアラグを介して原子炉建屋に伝達される（第5-1図）。



第5-1図 ダイヤフラムフロアの構造

5.3 水平2方向同時加振の影響

構造用スラブ及び鉄骨梁は、水平方向に広がりを持つことから、作用する荷重は鉛直方向の荷重が支配的であり、水平2方向の地震に対して影響は軽微である。また、

同様に構造用スラブ及び鉄骨梁を支持する柱についても、各構造物からの鉛直方向の荷重を受ける構造であるため、水平2方向の地震に対する影響はない。

水平地震力を構造用スラブから鉄骨梁に伝達するシヤーコネクタに対する水平2方向の地震の影響について整理する。地震時にダイヤフラムフロア全体に加わる水平力 Q とした場合、シヤーコネクタが設置されているダイヤフラムフロア端部に加わる水平力 q は、第5-2図に示すとおり \sin 分布として与えられるため、地震方向との角度 θ が 90° の位置で最大となることから、NS、EW方向で最大となる地震力の位置は異なる(第5-3図)。

さらに、水平2方向同時加振時の水平力は、第5-4図に示すとおり水平1方向加振時の最大の水平力と比較しSRS法を用いた場合は同値、組合せ係数法を用いた場合は最大で約1.08倍の値となるため、水平2方向同時加振の影響は軽微である。

また、ダイヤフラムフロアは、水平方向に広がりを持った構造物であることから、鉛直方向の地震力に対する影響を無視できないため、水平2方向に鉛直方向を加えた影響の確認を行う。

なお、地震応答解析結果から得られたダイヤフラムフロアの評価に用いる既工認時の荷重及び今回工認の荷重の比較を第5-1表に、既工認におけるダイヤフラムフロア主要部材における地震荷重の割合を第5-2表及び第5-3表に示す。今回工認の評価用荷重に比べ既工認の評価用荷重が大きいこと、また既工認の評価結果から事故時の温度、圧力等による荷重は評価に一定の影響を与えることが分かる。以上より、水平2方向同時加振による影響は、ダイヤフラムフロアにおける実際の評価では、事故時荷重として圧力、熱荷重等を考慮して評価するため、水平方向地震力の寄与度を踏まえると水平2方向同時加振における影響は軽微であるものと考えられるが、詳細設計段階で具体的な評価結果を用いた確認を行う。

第5-1表 ダイヤフラムフロア評価用荷重の比較

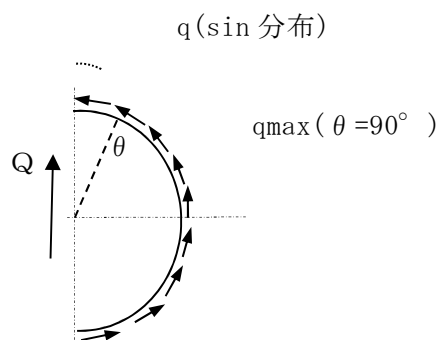
	既工認 (評価用地震 $\times 1.5$)	今回工認 (S_s 応答包絡値)
評価用荷重	9,530 kN	7,570 kN

第5-2表 ダイヤフラムフロア（構造用スラブ）の既工認の応力度割合

	自重及び鉛直地震	水平地震	事故時等
コンクリートの圧縮応力度	0.4 %	11.9 %	87.7 %
鉄筋の圧縮応力度	0.7 %	31.1 %	68.2 %
鉄筋の引張応力度	0.6 %	68.2 %	31.2 %
面外せん断	1.8 %	—	98.2 %
面内せん断	—	100 %	—

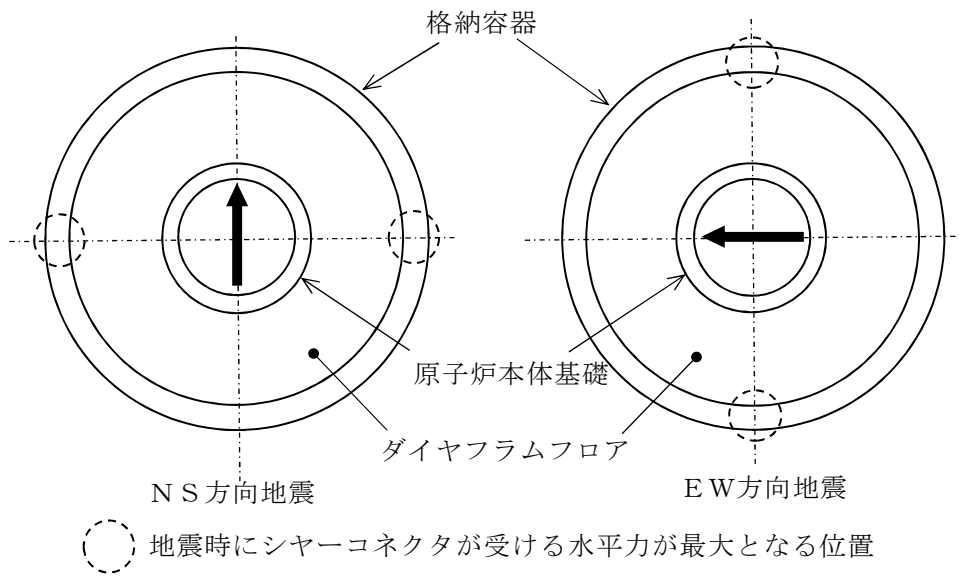
第5-3表 ダイヤフラムフロア（柱）の既工認の荷重割合

	自重	鉛直地震	事故時差圧
圧縮荷重	10.8 %	2.6 %	86.6 %

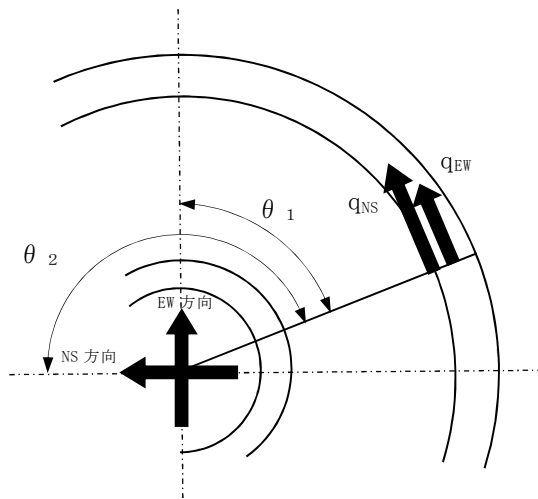


Q : 地震時にダイヤフラムフロア全体が受ける水平力
 q : ダイヤフラム端部に作用する水平力

第5-2図 ダイヤフラムフロア端部における水平力の分布



第 5-3 図 シヤーコネクタに与える水平 2 方向地震組合せの影響



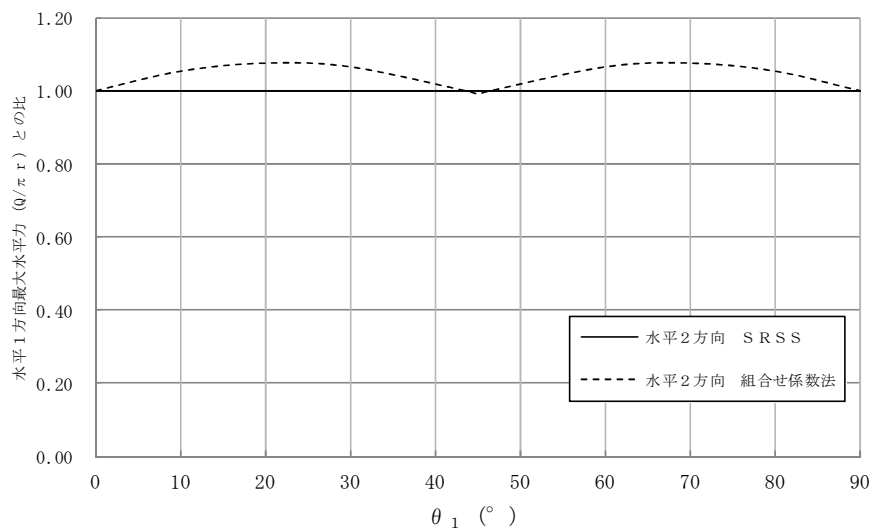
$$\begin{aligned} \text{NS 加振時水平力} &: q_{NS} = Q / \pi r \times \sin \theta_1 \\ \text{EW 加振時水平力} &: q_{EW} = Q / \pi r \times \sin \theta_2 \\ &= Q / \pi r \times \sin(\pi/2 + \theta_1) \\ &= Q / \pi r \times \cos \theta_1 \end{aligned}$$

< 組合せ係数法を用いた2方向入力時水平力 >

$$\begin{aligned} q &= \max(q_{NS} + 0.4 \times q_{EW}, 0.4 \times q_{NS} + q_{EW}) \\ &= Q / \pi r \times \max(\sin \theta_1 + 0.4 \times \cos \theta_1, 0.4 \times \sin \theta_1 + \cos \theta_1) \end{aligned}$$

< S R S S 法を用いた2方向入力時水平力 >

$$\begin{aligned} q &= \sqrt{(q_{NS}^2 + q_{EW}^2)} \\ &= \sqrt{((Q / \pi r \times \sin \theta_1)^2 + (Q / \pi r \times \cos \theta_1)^2)} \\ &= Q / \pi r \end{aligned}$$



第5-4図 水平2方向同時加振時の水平力分布について

6. 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）

6.1 はじめに

本項は、燃料取替機（以下「FHM」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

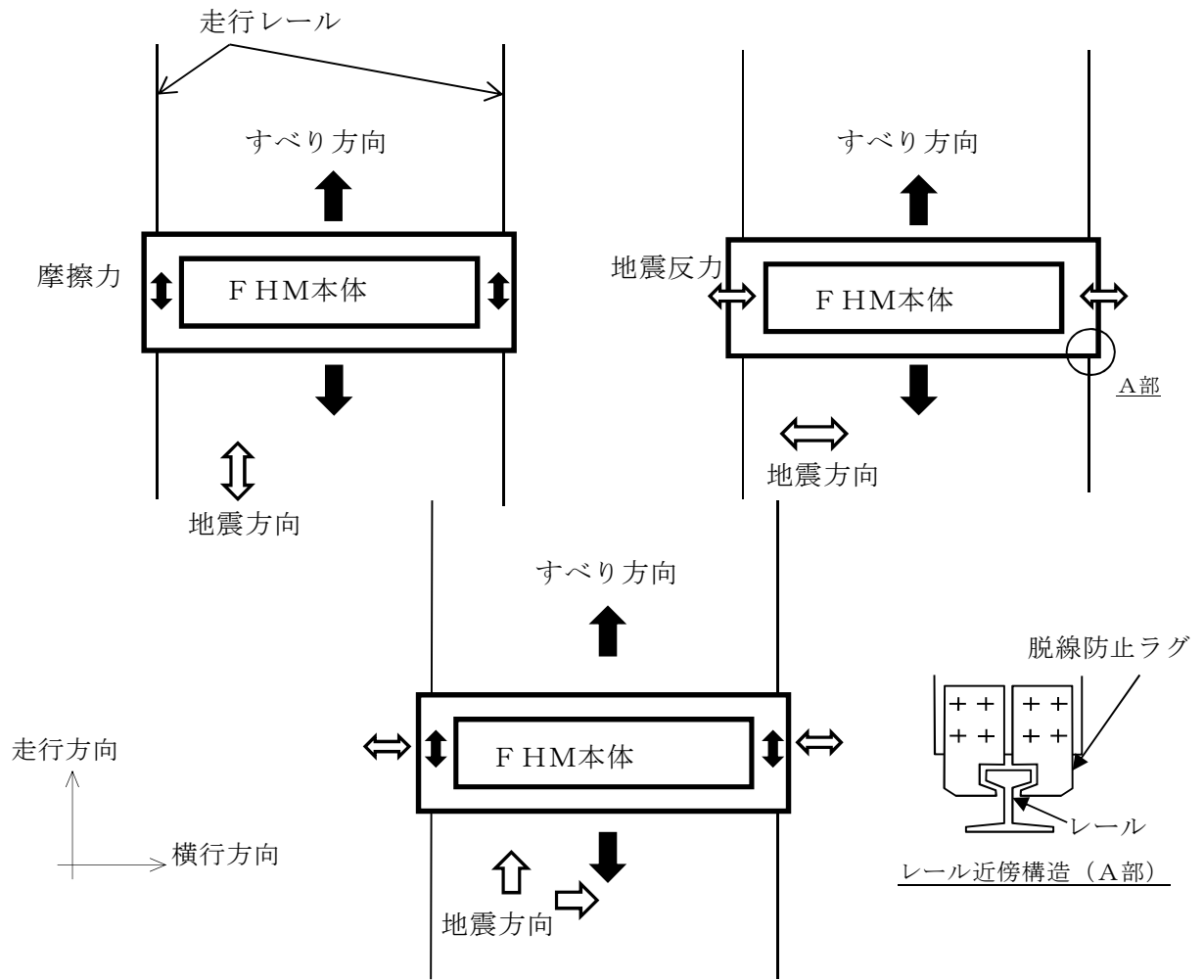
6.2 現行評価の手法

燃料取替機の負担する水平地震荷重の概念図を第6-1図に示す。

FHMはレール上を車輪で移動する構造であるため、基本的には建屋との固定はないが、地震時に横行方向（走行レールに対し直角方向）にすべりが生じた場合は、レールに沿って取り付けられている脱線防止ラグがレールの側面と接触し、FHMのすべりを制限する構造となっている。つまり、ラグとレールが接触し、FHMが横行方向に建屋と固定された体系では、地震入力もFHM本体へそのまま伝達されることが想定される。

一方、走行方向（走行レールの長手方向）については、FHMの車輪とレールの接触面(踏面)を介してFHM本体へと荷重が伝達される構造であり、その荷重は摩擦力により制限されるため、地震入力により生じる荷重は軽微（FHM本体への影響は軽微）と考えられる。

上記により、FHM本体の耐震評価では横行方向に対する地震応答が支配的であり、走行方向に対しては比較的軽微であると考えられるため、水平2方向同時加振の考慮として、耐震性評価で走行方向の地震応答を追加で組み合わせたとしても、従来評価の応答結果への影響は小さいと考えられる。



第6-1図 燃料取替機の負担する水平地震荷重

7. 水平2方向入力時の影響評価について（矩形配置されたボルト）

7.1 はじめに

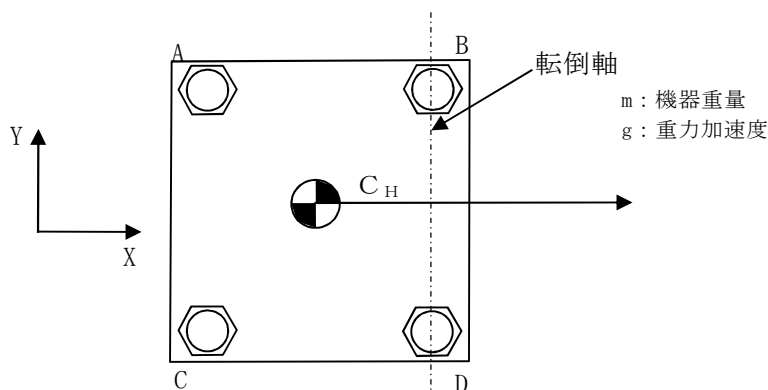
本項は、水平2方向に地震力が作用した場合の矩形配置されたボルトに対する影響検討結果をまとめたものである。強軸・弱軸が明確なものについては、弱軸方向に応答し水平2方向地震力による影響が軽微であるため、機器の形状を正方形として検討を行った。

7.2 引張応力への影響

水平1方向に地震力が作用する場合と水平2方向に地震力が作用する場合のボルトへの引張力の違いを考察する。なお、簡単のため機器の振動による影響は考えないこととする。

(1) 水平1方向に地震力が作用する場合

第7-1図のようにX方向に震度 C_H が与えられる場合を考慮する。



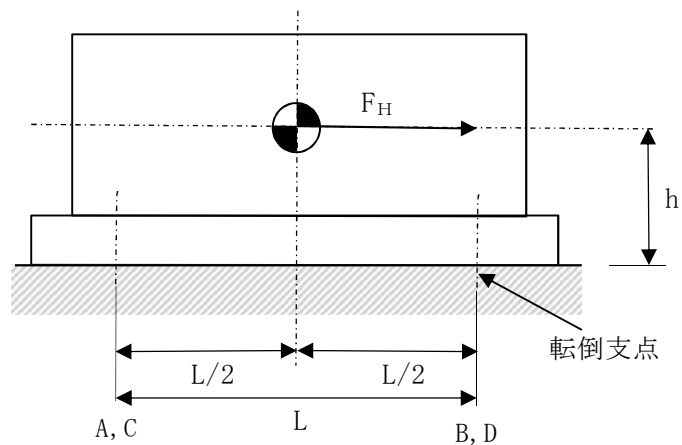
第7-1図 水平1方向の地震力による応答（概要）

この場合、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は、

$$F_H = mg C_H$$

と表せ、 F_H によるボルトBとボルトDの中心を結んだ軸を中心に転倒モーメントを生じる。この転倒モーメントはボルトA、Cにより負担される。

このとき、系の重心に生じる力は、第7-2図に示すとおりである。



第 7-2 図 水平 1 方向の地震力による力

第 7-2 図より，水平方向地震動による引張力は

$$F_b = \frac{1}{L} (mgC_H h)$$

である。

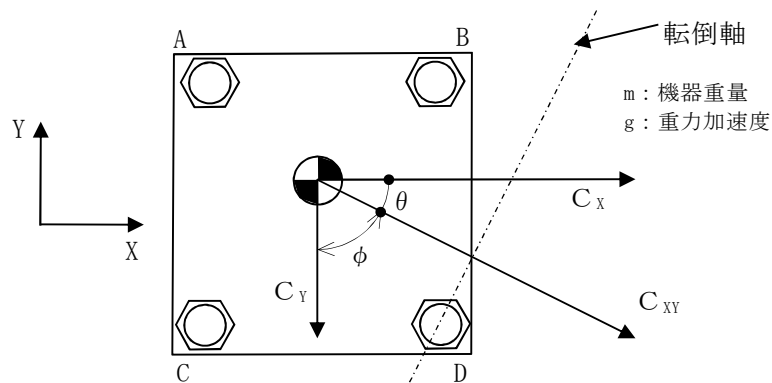
ボルトに発生する引張応力 σ_b は全引張力を断面積 A_b のボルト n_f 本で受けると考え，

$$\sigma_b = \frac{F_b}{n_f A_b}$$

となる。

(2) 水平 2 方向に地震力が作用する場合

第 7-3 図のように X 方向と Y 方向にそれぞれ震度 C_X ， C_Y が作用する場合を考慮する。 C_X ， C_Y のうち大きい方の震度と，小さい方の震度に組合せ係数を乗じたものを X 方向と Y 方向の震度とする。この方法は X 方向と Y 方向地震動による最大荷重の発生時刻の非同時性を組合せ係数により考慮したものである。そのため，本検討において，X 方向の震度と Y 方向の震度の比を 1 : 0.4 ($0.4C_X = C_Y$) と仮定する。



第7-3図 水平2方向の地震力による応答 (概要)

この時 $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{4}{10}\right)$ であることから、水平方向の震度 C_{XY} は

$$\begin{aligned} C_{XY} &= C_X \cos \theta + C_Y \cos \phi \\ &= \frac{5}{\sqrt{29}} C_X + 0.4 \times \frac{2}{\sqrt{29}} C_X \\ &= \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X \end{aligned}$$

と表される。この時、対象としている系の重心に作用する水平方向の力 F_H は、

$$F_H = mg C_{XY} = mg \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X$$

となる。この F_H により、転倒軸を中心に転倒モーメントが生じ、ボルト A, B, C により負担される。

水平2方向の地震力を受け対角方向に応答する場合、各ボルトにかかる引張力を F_A , F_B , F_C とし、第7-4図に示すようにボルト D の中心を通る直線を転倒軸とすると、転倒軸からの距離により、

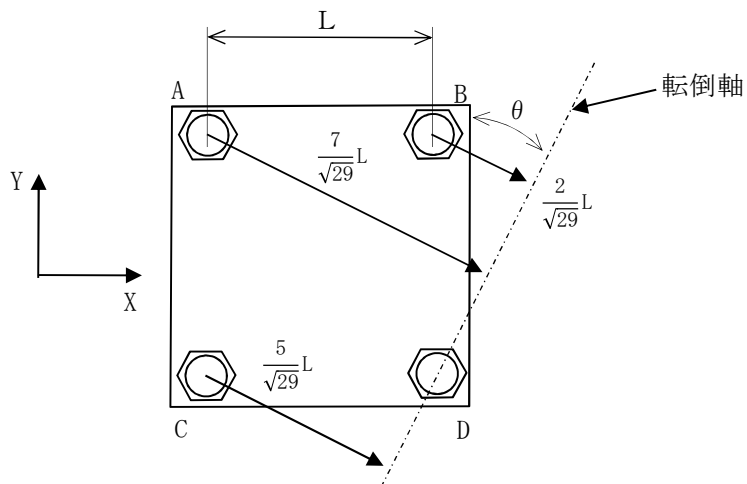
$$F_A : F_B : F_C = 7 : 2 : 5$$

であり、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメント M は、

$$\begin{aligned} M &= \frac{7}{\sqrt{29}} L F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L F_B + \frac{5}{\sqrt{29}} L F_C \\ &= \frac{7}{\sqrt{29}} L \times F_A + \frac{2}{\sqrt{29}} L \times \frac{2}{7} F_A + \frac{5}{\sqrt{29}} L \times \frac{5}{7} F_A \end{aligned}$$

$$= \frac{78}{7\sqrt{29}} LF_A$$

である。



第7-4図 対角方向に応答する場合の転倒軸から距離

転倒しない場合、転倒軸周りのボルトの軸力により発生するモーメントMと水平方向地震力モーメントが釣り合っているので、

$$mg C_{XY} h = \frac{78}{7\sqrt{29}} LF_A$$

であり、引張力 F_A は以下のとおりとなる。

$$F_A = \frac{7\sqrt{29}}{78L} (mg C_{XY} h)$$

以上より、最も発生応力の大きいボルトAに発生する応力 σ_b は

$$\sigma_b = \frac{F_A}{A_b} = \frac{7\sqrt{29}}{78A_b L} (mg C_{XY} h)$$

であり、水平1方向地震動を考慮した場合のボルトにかかる応力 σ_b

$$\sigma_b = \frac{F_b}{2A_b} = \frac{1}{2A_b L} (mg C_H L)$$

に対して、震度 $C_{XY} = \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_H$ であることから

$$\begin{aligned}
\sigma_b' &= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} (\text{mg} C_{XY} h) \\
&= \frac{7\sqrt{29}}{39 \times 2A_b L} \times \frac{5.8}{\sqrt{29}} (\text{mg} C_H h) \\
&= \frac{40.6}{39} \sigma_b \\
&= 1.04 \sigma_b
\end{aligned}$$

となる。したがって、水平2方向入力時を考慮した場合、ボルトに発生する引張応力は増加するが、その影響は軽微と考えられる。

7.3 せん断応力への影響

せん断力は全基礎ボルト断面で負担するため、全ボルトに対するせん断力 T_b は、

$$T_b = F_H$$

であり、せん断応力 τ_b は断面積 A_b のボルト本数 n でせん断力 T_b を受けるため、

$$\tau_b = \frac{T_b}{nA_b}$$

となる。

水平1方向の地震力を考慮した場合のせん断力 T_b 及び水平2方向の地震力を考慮した場合のせん断力 T_b' はそれぞれ、

$$T_b = \text{mg} C_X$$

$$\begin{aligned}
T_b' &= \text{mg} \frac{5.8}{\sqrt{29}} C_X = 1.08 \text{mg} C_X \\
&= 1.08 T_b
\end{aligned}$$

となる。水平1方向及び水平2方向地震時に断面積 A_b 及びボルト全本数 n は変わらないため、水平2方向地震を考慮した場合、ボルトに発生するせん断応力は増加するが、その影響は軽微と考えられる。

水平2方向の震度比として 1:0.4 を用いて水平2方向入力時の影響を軽微と判断する場合は、本手法を適用することの妥当性を確認した上で適用する。

8. 水平 2 方向同時加振の影響について（電気盤）

8.1 はじめに

本資料は、電気盤に取り付けられている器具に対する水平 2 方向入力の影響をまとめたものである。

8.2 水平 2 方向加振の影響について

電気盤に取り付けられている器具については、1 次元的な接点の ON-OFF に関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的にはすべて梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答もなく、水平 2 方向の加振に対しては独立に扱うことで問題ないものとする。さらに器具の誤動作モードは、水平 1 方向を起因としたモードであるため、水平 2 方向加振による影響は軽微であるとする。

なお、念のために既往研究等において、電気盤の器具取付位置の応答加速度に対し、器具の確認済加速度が十分に高いことも確認している。

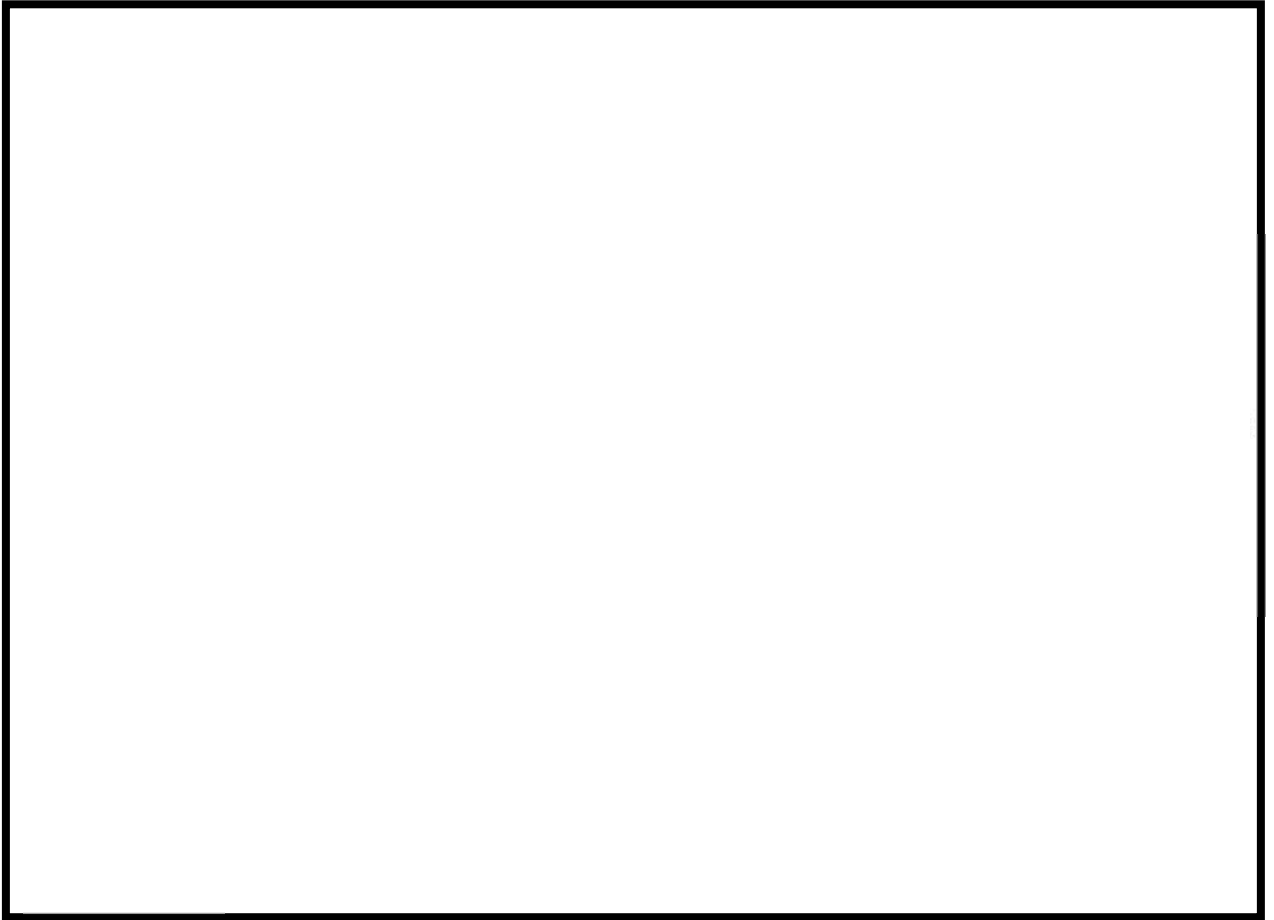
次頁より、メタクラ取付器具を代表とし、器具の構造から検討した結果をまとめる。

8.2.1 補助リレー

(1) 構造、作動機構の概要

第 8-1 図に補助リレーの構造及び作動機構を示す。補助リレーはコイルに通電されることにより生じる電磁力でアマチュア部を動作させ、接点の開閉を行うものである。

補助リレーのうち、固定鉄心、固定接点（A、B 接点）はいずれも強固に固定されており、可動鉄心は左右方向にのみ動くことのできる構造となっている。



第 8-1 図 補助リレー構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

補助リレーの誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・地震力で可動鉄心が振動することにより，接点が誤接触，又は誤開放（左右方向）

ただし，補助リレーは取付部をボルト固定していること，また，器具の可動部は左右方向にのみ振動することから，誤動作にいたる事象に多次元的な影響はないと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として，発生加速度と補助リレーの既往試験における確認済加速度及び試験結果を第 8-1 表に示す。

第 8-1 表 補助リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度(G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度(G)			

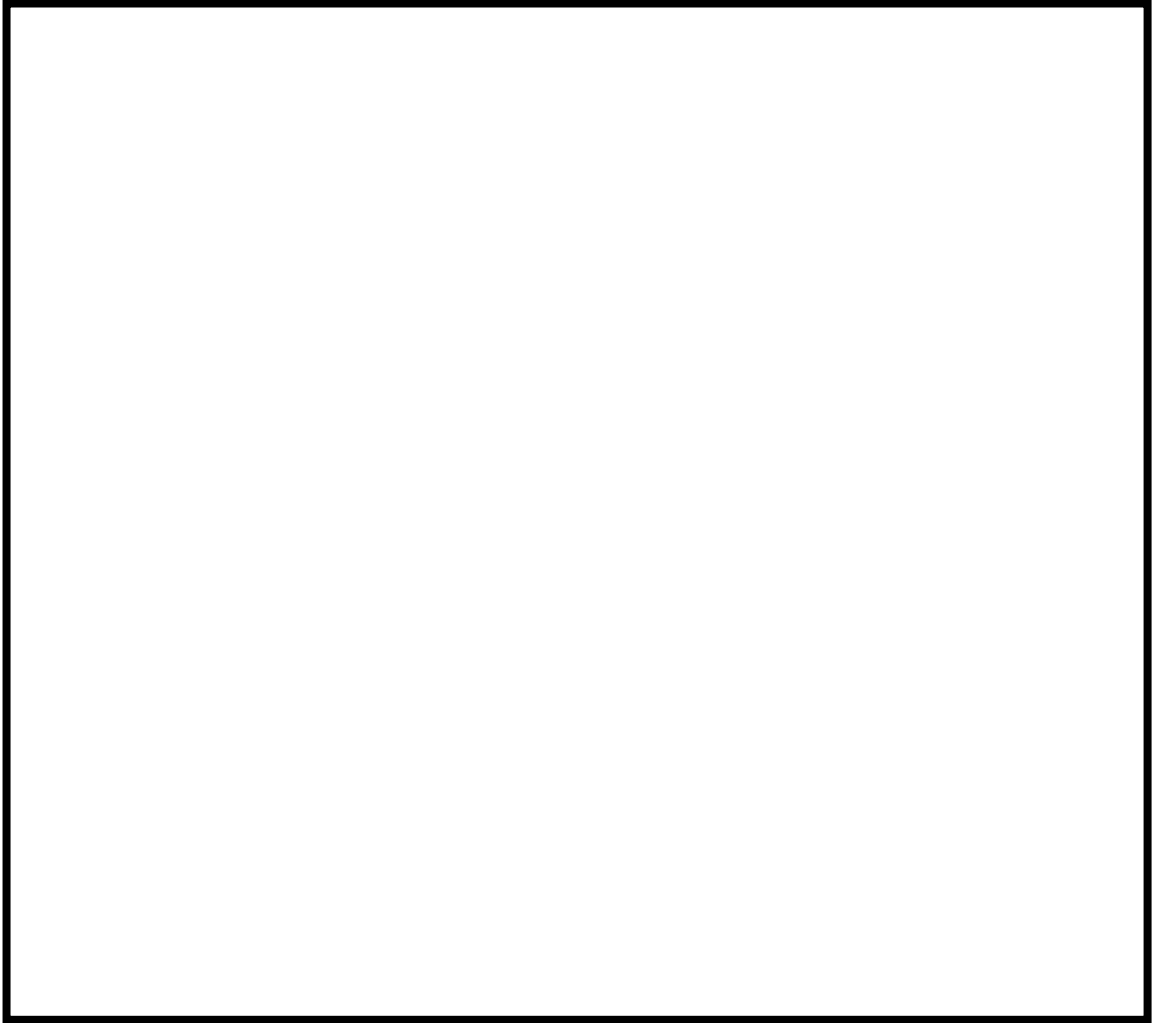
8.2.2 ノーヒューズブレーカ (MCCB)

(1) 構造, 作動機構

第 8-2 図に MCCB の構造及び作動機構を示す。配線用遮断器には熱動電磁式と完全電磁式がある。下記に代表して熱動電磁式の動作原理と内部構造を示す。

熱動電磁式は、過電流が流れるとバイメタルが湾曲し、トリップ桿によりラッチの掛け合いが外れ、キャッチがバネにより回転し、リンクに連結された可動接点が作動し回路を遮断する。

また、短絡電流等の大電流が流れた場合は、固定鉄心の電磁力で可動鉄心が吸引されトリップ桿が作動し、以降は上述と同じ動作により回路を遮断する。



第 8-2 図 MCCB 構造図

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

MCCB の誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・ハンドルが逆方向へ動作する（上下方向）
- ・接点が乖離する（前後方向，左右方向）
- ・ラッチが外れてトリップする（前後方向，上下方向）

上記より，MCCB の誤動作として 2 方向の振動の影響が考えられる。ただし，ハンドルは 1 方向にしか振動できないこと，前後－左右の接点乖離は各々独立であること（前後方向は接触－非接触，左右方向はずれによる）から，これらについては誤動作に至る事象に多次元的な影響はないものと考えられる。

ラッチ外れについては 2 軸の影響は無視できないと考えられるが，左右方向はラッチ外れに影響を与える誤動作モードではないため，水平 2 方向の影響はないものと考え

えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度とMCCBの既往試験における確認済加速度及び試験結果を第8-2表に示す。

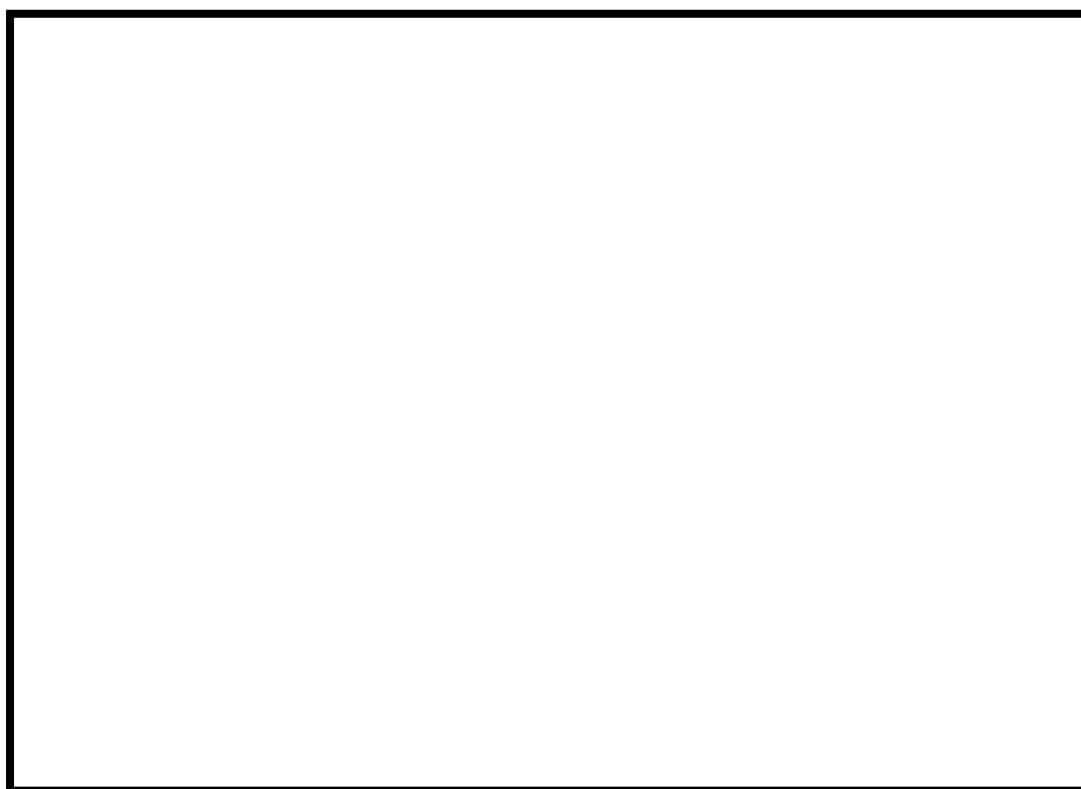
第8-2表 MCCBの発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度(G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度(G)			

8.2.3 過電流リレー（保護リレー）

(1) 構造，作動機構の概要

第8-3図に過電流リレー（保護リレー）の構造を示す。過電流リレーは、電流コイル1個を持つ電磁石が動作トルクを発生し、永久磁石の制動により限時特性を得る円板形リレーであり、タップ値以上の過電流が流れると接点が動作し、警報や遮断器引き外しを行う。なお、過電流リレーはボルトにて盤の扉面に強固に取り付けられている。



第 8-3 図 過電流リレー

(2) 水平 2 方向地震力に対する影響検討

過電流リレーの誤動作モードとして以下が考えられる。

- ・誘導円板が接触し、固渋する（上下方向）
- ・可動接点が振動し、接点の誤接触が生じる（前後、左右方向）

誘導円板の固渋については、昭和 56 年の日本機械学会講演論文集「誘導円板型リレーの地震時誤動作に関する研究」において、誘導円板が水平 2 方向入力により、回転し接点接触により、誤動作が生じることが報告されている。しかし、平成 13 年度に行われた電力共通研究「鉛直地震動を受ける設備の耐震評価手法に関する研究」において、水平 2 方向加振時に鉛直方向加振を加えた試験を実施しており、正弦波加振試験では誘導円板の回転挙動が発生したが、地震波加振試験では誘導円板の回転挙動が発生しないことを確認している。したがって、地震波による水平 2 方向の影響はないものと考えられる。

(3) 機能確認済加速度

参考として、発生加速度と過電流リレーの既往試験における確認済加速度及び試験

結果を第 8-3 表に示す。

第 8-3 表 過電流リレーの発生加速度及び機能確認済加速度

方 向	前 後	左 右	上 下
発生加速度(G)	0.97	0.97	0.84
確認済加速度(G)			

9. 水平 2 方向同時加振の影響について（動的機能維持）

9.1 はじめに

動的機器の機能維持評価における保守性の観点より、水平 2 方向同時入力を考慮した場合の影響をまとめたものである。

9.2 機能維持評価法について

動的機器の機能維持は、動的地震力を適用し、試験による評価、解析による評価により行う。試験による評価では実物モデル等の振動試験を、解析による評価では応力・変形の解析結果を用いて、要求される安全機能が維持されることを確認する。

機種毎の代表的な機器について、上記検討を実施した既往の試験・研究の成果から機能確認済加速度（以降 A_t ）が定められ、これにより、地震動により生じる加速度レベルが A_t より小さいことを確認することで、安全機能が維持されることを確認できる。

なお、この手法は全ての機器について、詳細評価を実施するまでもなく機能維持を確認するための合理的な方法として確立された手法である。

9.3 機能維持確認済加速度の保守性

動的機器の A_t については、加振台の加振限界及び機器仕様の多様性等の理由から、本来の機器の機能限界加速度ではなく、保守的な範囲内で定められている。その保守性については、代表機器の A_t での詳細評価において、機能維持に必要な各部位*の裕度が十分に高いことから確認することができる。

*：動的機器の評価項目について

解析評価における動的機器の機能維持に必要な基本評価項目（部位）は、振動特性試験により振動特性及び応答特性を把握し、機能試験の結果を踏まえ、異常要因分析に基づき抽出されている。前述のとおり A_t は保守的に定められており、地震応答加速度が A_t を上回ったとしても、個別に当該機器の基本評価項目を解析評価することで、機器の健全性が確認できる。

9.4 水平 2 方向同時入力（鉛直方向含む）の影響について

水平 2 方向同時入力による動的機能維持評価については、影響有無を整理の上、NS 方向 EW 方向の応答加速度を SRSS した結果、 A_t を満たしており耐震性に問題が無いことを確認しているが、保守的に水平 1 方向の応答加速度を $\sqrt{2}$ 倍したとしても、機能維持評価の保守性により、対象の動的機器の安全機能維持確認に問題はないと考えられる。

また、 A_t は水平・鉛直の各方向に設定されるものであるが、水平・鉛直の相関が懸念されるものは、水平・鉛直同時入力による解析評価により機能維持を確認した上で各方向の加速度を設定している。そのため、水平・鉛直ごとの個別の評価とすることで問題ない。

10. 水平 2 方向同時加振の影響について（応答軸が明確である設備）

10.1 はじめに

本資料は、応答軸が明確である設備について、水平 2 方向の地震力を考慮した場合においても設備の有する耐震性に対して影響がないことを説明するものである。

10.2 設備の有する耐震性に対して影響がないことの説明

従来設計手法として、設備の応答軸の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きを有した設備があり、このような設備については解析上の地震力の入力を NS 方向・EW 方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を用いて X 方向及び Y 方向から入力し、最も大きな評価結果を用いる等、保守的な評価を実施している場合がある。このような応答軸が明確な設備については、水平 2 方向の地震力による従来設計手法への影響が懸念されるようなことはないと考えられる。その理由を以下に示す。

● 設備の有する耐震性に対して影響がないことの理由

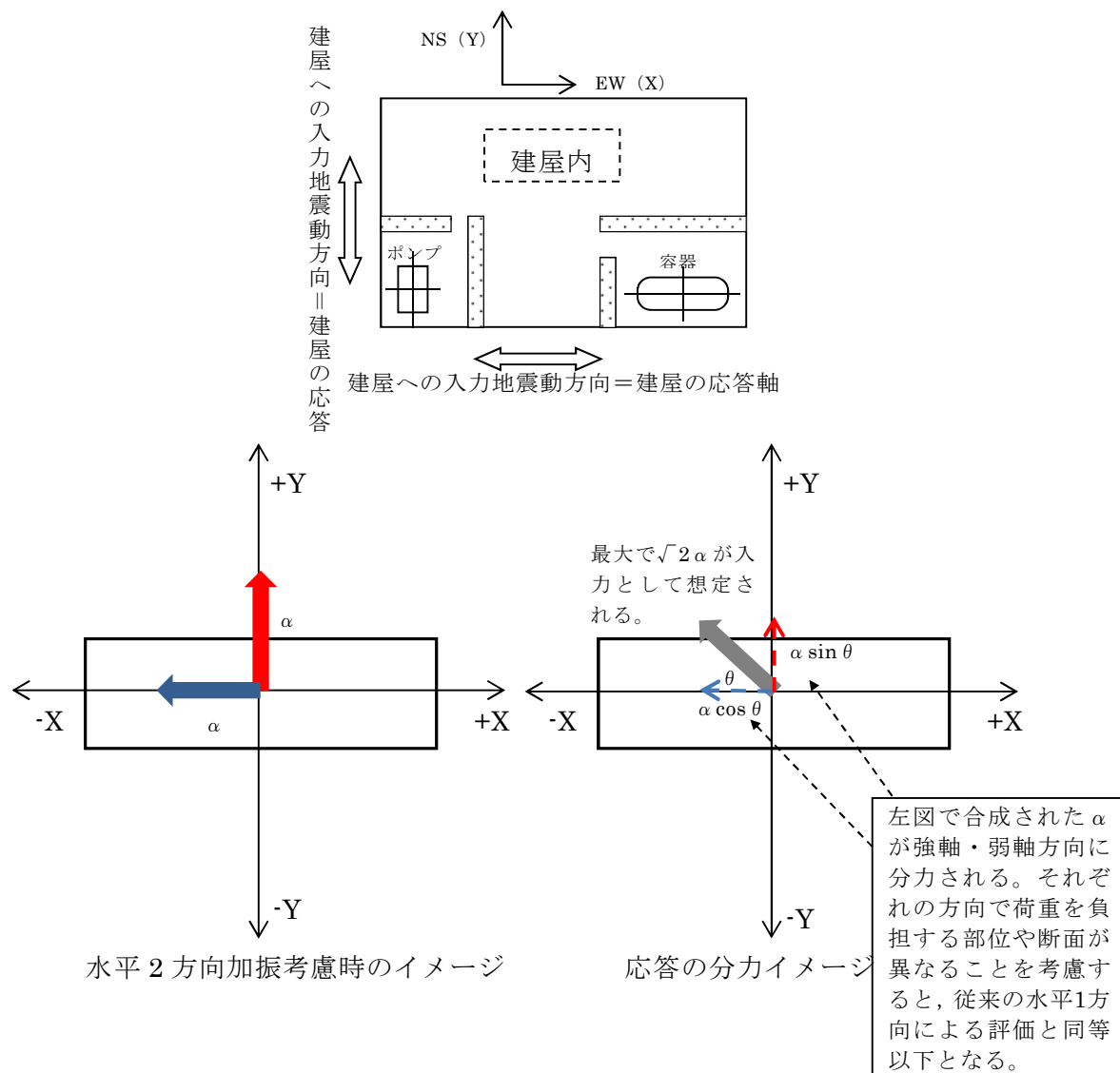
応答軸（設備の弱軸・強軸）の方向、あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備にて、建物・構築物の応答である NS・EW 方向の応答を機器の応答軸（第 10-1 図 X, Y 方向）へ入力している場合、水平 1 方向入力としては当然厳しい入力を用いた評価がなされていると考える。（さらに、機器の配置方向とは無関係に機器の応答軸へ地震力を入力している設備や水平方向を包絡した応答を用いるなどの保守性も考慮している。）

応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、水平 2 方向の地震力を想定した場合、2 方向の地震力が合成されるとすると、最大値が同時に発生する場合、最大で $\sqrt{2}$ 倍の大きさの入力となることが考えられるが、これらはそれぞれの応答軸方向に応答が分解され、強軸側の応答は十分に小さくなることから、実質的には弱軸方向に 1 方向を入力した評価で用いている応答レベルと同等となる。

さらに各方向における最大値の生起時刻の非同時性を考慮すると、さらにその影響は小さくなり、弱軸 1 方向入力による評価と大きく変わらない結果となる。

なお、3.2.1 項で述べたとおり、応答軸の方向あるいは厳しい応力が発生する向きが明確である設備について、設計手法として、地震力の入力を NS 方向・EW 方向を包絡した地震力（床応答曲線など）を用いて保守的な評価を実施している場合も考えると、応

答軸が明確な設備については，水平2方向の地震力を考慮した場合においても影響軽微であることが分かる。

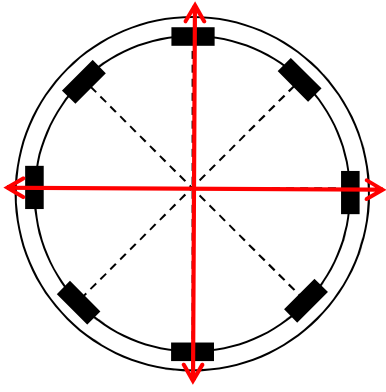
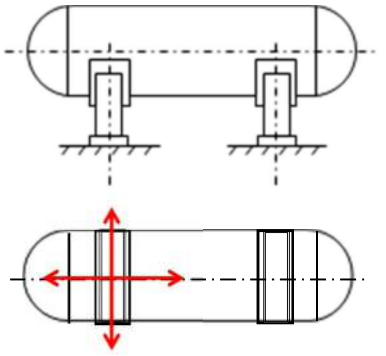
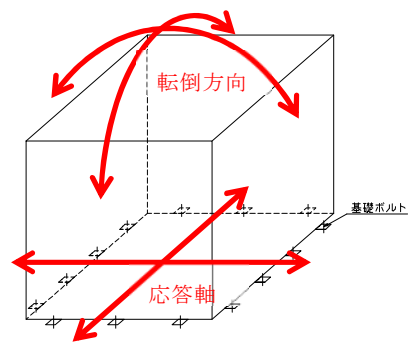


第10-1図 水平2方向加振考慮時の応答イメージ

● 本考え方が適用可能である設備（部位）例

本考え方は設備の応答軸の方向と入力方向の関係によるものであることから，部位・応力分類によらず，各設備の耐震評価における入力方法によって影響軽微か否かを判断できると考える。別紙に本考え方が適用可能である設備の例を示す。

別紙 応答軸が明確な設備について

設備	構造図	説明	備考
RPV スタビライザ, PCV スタビライザ		周方向 45° 間隔で 8 体配置されており、地震荷重は各スタビライザで分担する構造となっている。	NS・EW 包絡地震力を用いている。
横置き容器		横置き円筒形容器は矩形形状の支持脚により支持されており強軸と弱軸の関係が明確である。この応答軸の方向に地震力を入力した評価を実施している。	NS・EW 包絡FRS を用いている。
空調ファン、空調ユニット、横形ポンプ、電気盤（ボルト）、非常用ディーゼル機関・発電機（ボルト）		空調ファン及び空調ユニットは矩形に配置されたボルトにて支持されている。対角方向の剛性が高く、水平地震力に対して斜め方向へ転倒することなく、弱軸／強軸方向にしか応答せず、その方向に地震を入力した評価を実施している。	NS・EW 包絡FRS を用いている。

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由	
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部胴 中間胴 下部胴	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方 向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
			支圧応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向入力の影響は ない。		
	シュラウドサポ ート	レグ	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円周配置であるため、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方 向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
			軸圧縮応力	△	B	同上		
	シリンダプレート 下部胴	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方 向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上			
	上部格子板	グリッドプレート	一次一般膜応力	△	B	評価部位は格子構造であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方 向の影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
	炉心支持板	補強ビーム 支持板	一次一般膜応力	△	B	水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方 向の影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
	燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方 向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
制御棒案内管	長手中央部 下部溶接部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方 向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上			
原子炉圧力 容器	胴板 下鏡 下鏡と胴板の接合部 下鏡とスカート の接合部	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせる場合でも水平2方 向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上			
		一次+二次応力	△	B	同上			
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上			

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)			
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由		
原子炉圧力容器	制御棒駆動機構ハウジング貫通部	スタブチューブハウジング下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上
			一次+二次応力	△	B				同上
			一次+二次+ピーク応力	△	B				同上
			座屈(軸圧縮)	△	B				同上
	中性子計測ハウジング貫通部	ハウジング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上
			一次+二次応力	△	B				同上
			一次+二次+ピーク応力	△	B				同上
	ノズル	各部位	一次一般膜応力	○	-	評価においては3次元的に配置されている接続配管の応答を使用しており、接続配管において地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。	
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	-				同上
			一次+二次応力	○	-				同上
			一次+二次+ピーク応力	○	-				同上
	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1】	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C				同上
		スチームドライヤサポートブラケット	一次一般膜応力	△	D	水平2方向入力時の地震力を4つのブラケットのうち2つで分担した荷重を方向毎に考慮した評価を行っている。【補足説明資料3】	×	-	
一次膜応力+一次曲げ応力			△	D	同上				
炉心スプレイブラケット		炉心スプレイブラケット	一次一般膜応力	○	-	評価においては3次元的に配置されている炉内配管の応答を使用しており、炉内配管において地震入力方向に対する直交方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	-				同上

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
原子炉圧力容器	ブラケット類	給水スパーチャブラケット	一次一般膜応力	○	—	評価においては3次的に配置されている炉内配管の応答を使用しており、炉内配管において地震入力方向に対する直交方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	同上			
		純せん断応力	○	—	同上			
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器支持スカート	スカート	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
			一次+二次応力	△	B	同上		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上		
			座屈(軸圧縮)	△	B	同上		
	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	—
			せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
			組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
	原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ 原子炉格納容器スタビライザ	各部位	引張応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1, 2】	×
せん断応力				△	C	同上		
圧縮応力				△	C	同上		
曲げ応力				△	C	同上		
組合せ応力				△	C	同上		
ボルト		引張応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1, 2】			

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4項(2)に対応）			
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由		
原子炉圧力容器付属構造物	制御棒駆動機構ハウジング支持金具	レストレントビーム	せん断応力	△	B	水平方向地震が作用する際に、加振軸上に最大応力が発生する。水平2方向の地震力が同時に作用した場合においても、それぞれの方向の加振軸上に最大応力が発生する。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
			圧縮応力	△	B				同上
			曲げ応力	△	B				同上
	ボルト	引張応力	△	B	水平方向地震が作用する際に、加振軸上に最大応力が発生する。水平2方向の地震力が同時に作用した場合においても、それぞれの方向の加振軸上に最大応力が発生する。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。				
		せん断応力	△	B		同上			
		組合せ応力	△	B		同上			
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器	ユニットサポート	一次一般膜応力	△	C	従来評価で評価が厳しくなる方向に地震荷重を与えているため、水平2方向入力を考慮しても水平1方向の地震荷重と同等となる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C				同上
		耐震用ブロック	せん断応力	△	D				地震の水平力は4箇所の耐震用ブロックのうち相対する2箇所で受けるものとして評価しているが、水平2方向入力では4箇所の耐震用ブロックに荷重が分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。
	気水分離器及びスタンドパイプ	各部位	鉛直力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】			
			水平力	△	B				同上
			モーメント	△	B				同上
	シュラウドヘッド中性子束案内管	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】			
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上
	スパーージャ炉内配管	各部位	一次一般膜応力	○	-	3次元的に配置されているため、水平それぞれの方向の地震力に対し、各方向で応力が発生する。したがって、水平2方向入力の影響がある。			○
一次膜応力+一次曲げ応力			○	-	同上				

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
原子炉圧力容器内部構造物	ジェットポンプ	ライザ	○	-	非対象構造であるため3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	従来より、3次元はりモデルの応答解析結果を用い、耐震評価を実施しており、ねじれる状態についても耐震評価に用いる同種の荷重として算出される。
		ライサプレース					
貯蔵ラック(共通ベース含む)	ラック部材	引張応力	○	-	水平それぞれの方向における評価において、最大応力発生箇所は異なるものの、円形状の一樣断面でないため、発生応力は積算される。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元FEMモデルを作成し、耐震評価を実施している。
		せん断応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
	基礎ボルト ラック取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】	×	-
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
乾式貯蔵容器	各部位 (支持構造物以外)	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一樣断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
		一次+二次応力	△	B	同上		
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上		
		純せん断応力	△	B	同上		
		支圧応力	△	B	同上		
	各部位 (支持構造物(ボルト以外))	引張応力	△	B	評価部位が支持する構造物は円形の一樣断面であり、水平地震の方向毎に最大応答加速度の発生点異なる。したがって、評価部位の最大応力点も水平地震の方向毎に異なるため、水平2方向の影響は軽微である。	×	-
		せん断応力	△	B	同上		
		圧縮応力	△	B	同上		
		曲げ応力	△	B	同上		
		支圧応力	△	B	同上		
		組合せ応力	△	B	同上		

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
乾式貯蔵容器	ボルト	平均引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	-
		平均引張応力+曲げ応力	△	B	同上		
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上		
四脚たて置き円筒形容器	胴板	一次一般膜	○	-	評価点が脚付根部等の局所であり、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上		
		一次+二次応力	○	-	同上		
	脚	組合せ	○	-	評価点が脚付根部等の局所であり、1方向の地震においても軸直角方向の評価点へも影響が生じることから、2方向入力の影響がある。		
		座屈	○	-	同上		
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上		
		一次+二次応力	△	A	同上		
	脚	組合せ応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。		
	基礎ボルト	引張応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
立形ポンプ	コラムパイプ パレルケーシング	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	○	現在考慮しているX、Y方向振動モードではねじれ振動は現れない。よって、ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが、有意な応答ではないため、影響がないと考えられる。
	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
ECCSストレーナ	各部位	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	-

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】	×	-
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
制御棒駆動機構	各部位	一次応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
		一次+二次応力	△	B	同上		
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上		
水圧制御ユニット	フレーム	引張応力	○	-	非対象構造であるため3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		せん断応力	○	-	同上		
		圧縮応力	○	-	同上		
		曲げ応力	○	-	同上		
		組合せ応力	○	-	同上		
	基礎ボルト	引張応力	○	-	非対象構造であるため3次元モデルを用いた解析を行っており、水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。		
せん断応力		○	-	同上			
組合せ応力		○	-	同上			
平底たて置円筒容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
		一次+二次応力	△	B	同上		
	基礎ボルト	引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由	
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方 向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上			
伝送器(壁掛)	取付ボルト	引張応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-	
		せん断応力	△	A	水平1方向及び鉛直方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負 担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		組合せ応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。			
伝送器(円形吊下)	取付ボルト	引張応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向の影響はな い。	×	-	
制御盤	取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定 し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することに より、影響は軽微である。【補足説明資料7】	×	-	
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向 地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微とな る。【補足説明資料7】			
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ 応力も水平2方向の影響は軽微である。			
原子炉格納 容器	サブレーション チェンバ底部ライ ナ	ライナプレート リングガータ部	圧縮ひずみ	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力(ひずみ)点がり異なり影響は軽 微である。	×	-
			引張ひずみ	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力(ひずみ)点がり異なり影響は軽 微である。		
	ドライウエル円錐 部及びサブレッ ションチェンバ円 筒部シェル部及び サンドクッション 部	各部位	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方 向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
			一次+二次応力	△	B	同上		
			座屈	△	B	同上		
	ドライウエルビー ムシート	ビームシート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	多角形配置により水平地震力は分担されるため、水平2方向入力の影響は軽 微である。		
一次+二次応力			△	C	同上			

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4項(2)に対応）			
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと理由 新たな応力成分が発生しないこと理由		
原子炉格納容器	ドライウエル上部シアラグ及びスタビライザ ドライウエル下部シアラグ及びスタビライザ	各部位	引張応力	△	C	水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。 【補足説明資料1】	×	-	
			せん断応力	△	C				同上
			曲げ応力	△	C				同上
			組合せ応力	△	C				同上
		上部シアラグと格納容器胴との接合部 下部シアラグと格納容器胴との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	C				水平方向の地震荷重を分散して負担する多角形配置の構造となっているため、水平2方向の地震荷重が同時に作用した場合においても方向毎にその地震荷重は分担される。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。 【補足説明資料1】
			一次+二次応力	△	C				
	機器搬入用ハッチ所員用エアロックサプレッション・チェンバアクセスハッチ	本体と補強板との接合部 補強板と格納容器胴一般部との接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	評価部位は水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	×	-	
			一次+二次応力	○	-				同上
	原子炉格納容器胴アンカー部	各部位	引張応力	△	B	評価部位は円周上に配置されていることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。従って、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
			曲げ応力	△	B				同上
			圧縮応力	△	B				同上
			組合せ応力	△	B				同上
		コンクリート	圧縮応力度	△	B				評価部位は円周上に配置されていることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。従って、水平2方向入力の影響は軽微である。
			せん断応力度	△	B				
配管貫通部	原子炉格納容器胴とスリーブとの接合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	評価部位は水平地震力に対する発生応力が入力方向毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果（配管反力）を用い、耐震評価を実施している。		
		一次+二次応力	○	-				同上	
電気配線貫通部	スリーブ付根部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。	×	-		
	補強板付根部	一次+二次応力	△	D				同上	

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ	引張応力度	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。 【補足説明資料5】	×	-
		せん断応力度	△	C	同上		
		圧縮応力度	△	C	同上		
	大梁 小梁	曲げ応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向の影響はない。 【補足説明資料5】		
		せん断応力	△	C	同上		
	柱	圧縮応力	△	C	同上		
シアコネクタ	せん断応力	△	C	多角形配置により水平地震力は分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。 【補足説明資料5】			
ベント管	上部 ブレイジング部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点 が異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方 向の影響は軽微である。 【補足説明資料4】	×	-
		一次+二次応力	△	B	同上		
格納容器スプレイヘッド	スプレイ管部 ティー部 案内管部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	評価部位は、非対象構造であるため水平地震力に対する発生応力が入力方向 毎に異なる。したがって、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	-	同上		
ブローアウトパネル ブローアウトパネル閉止装置 原子炉建屋外側ブローアウト パネル竜巻防護対策施設	各部位	各応力分類	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、 斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形する ため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。	×	-
可燃性ガス濃度制御系再結合 装置ブロウ	ブレース	圧縮応力	△	A	ブレースはブロウの重心とサポートプレート設置位置のずれによる軸方向転 倒防止のため設置している。そのためブレースが受け持つ荷重は現在評価対 象としている軸方向の転倒モーメント分のみと考えられ、軸直方向の水平地 震荷重はベース溶接部のせん断で受け持つと考えられる。したがって、水平 2方向入力の影響は受けない。	×	-
	ベース取付溶接部	せん断応力	○	-	ベース溶接部で水平方向のそれぞれの水平荷重を負担する。したがって、水平 2方向入力の影響がある。		
ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定 し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することによ り、影響は軽微である。 【補足説明資料7】	×	-
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向 地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微とな る。 【補足説明資料7】		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ 応力も水平2方向の影響は軽微である。		

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
プレート式熱交換器	側板	一次一般膜応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上		
		一次+二次応力	△	A	同上		
	基礎ボルト	組合せ応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。		
		引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】		
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
	組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。			
ラグ支持たて置き円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
		一次+二次応力	△	B	同上		
	取付ボルト	組合せ応力	△	B	水平2方向が同時に作用した場合においても、応力評価点が区別されるため、2方向入力の影響は軽微である。		
		引張応力	△	B	ラグ構造は径方向にスライド可能であり、水平2方向が同時に作用した場合においても、応力評価点が区別されるため、2方向入力の影響は軽微である。		
		せん断応力	△	B	ラグ構造は径方向にスライド可能であり、荷重を分担する部材が地震方向により異なるため、荷重の重ね合わせが発生せず、影響は軽微である。		
	組合せ応力	△	B	上記引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組み合わせ応力も水平2方向の影響は軽微である。			
その他電源設備	取付ボルト	引張応力	△	C	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力による対角方向への転倒を想定し検討した結果、水平2方向地震力の最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。【補足説明資料7】	×	-
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微となる。【補足説明資料7】		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード（ねじれ振動等）が生じる観点（3.2.4項(2)に対応）	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
配管本体，サポート（多質点梁モデル解析）	配管，サポート	一次応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	—	同上		
矩形構造の架構設備（静的触媒式水素再結合装置，架台を含む）	各部位	各応力分類	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
通信連絡設備（アンテナ）	ボルト	引張応力	△	A	壁面に据付部材を介して支持される。構造上、壁に垂直な方向の地震入力では据付ボルトの応力成分は引張応力のみであるのに対し、壁面と平行な方向はせん断応力及び曲げモーメントによる引張応力が発生する。壁面と平行な応力が支配的であるため、水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		せん断応力	△	A	同上		
		組合せ応力	△	A	同上		
水位計	取付ボルト	引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が変わる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
温度計	溶接部	一次応力	△	D	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	—
常設代替高圧電源装置	取付ボルト	引張応力	△	C	車両に設置されており、車両の左右方向の応答が支配的であるため、影響は軽微である。	×	—
		せん断応力	△	C	同上		
		組合せ応力	△	C	同上		
監視カメラ	取付ボルト	引張応力	△	B	ボルトは円周状に配置され、水平地震の方向毎に最大応力の発生点が変わる。したがって水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
		組合せ応力	△	C	上記の引張応力及びせん断応力は、水平2方向の影響が軽微のため、組合せ応力も水平2方向の影響は軽微である。		
	据付部材	組合せ応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。		

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
貫通部止水処置	シール材	シールに生じる変位	△	C	対象となる貫通部は建屋軸に沿った配置となっていることから、シール材に加わるせん断方向及び圧縮方向の変位は、水平1方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
浸水防止蓋	蓋	曲げ応力	△	C	鉛直方向加速度のみを用いた評価であるため、水平2方向を考慮しても影響はない。	×	—
		せん断応力	△	C	同上		
		組合せ応力	△	C	同上		
	基礎ボルト	せん断応力	△	C	水平2方向入力時のボルトに発生するせん断応力を検討した結果、水平2方向地震における最大応答の非同時性を考慮することにより、影響は軽微である。		
逆流防止用逆止弁	各部位	各応力分類	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
原子炉ウエル遮へいプラグ	本体	せん断応力度	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
原子炉本体の基礎	円筒部 中間スラブ	引張応力度	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—
		圧縮応力度	△	B	同上		
		せん断応力度	△	B	同上		
	下層円筒基部	引張応力度	△	B	円周配置であり、水平地震の方向毎に最大応力の発生点異なる。したがって水平2方向の影響は軽微である。		
		せん断応力度	△	B	同上		
		曲げ応力度	△	B	同上		
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール	引張応力	△	A	すべり方向とすべり直交方向では、それぞれの水平方向地震を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料6】	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		せん断応力	△	A	同上		
		組合せ応力	△	A	同上		
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト) トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)	せん断応力	△	A	すべり方向とすべり直交方向では、それぞれの水平方向地震を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料6】		
		吊具	吊具荷重	△	C		

② 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

表1 構造強度評価

設備	部位	応力分類	②-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	②-1の影響有無の説明	②-2 水平2方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと の理由 新たな応力成分が発生しないこと の理由
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガーダ	せん断応力	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		曲げ応力	△	D	同上		
		浮上り量	△	D	同上		
	落下防止金具	圧縮応力	△	A	すべり方向とすべり直交方向では、それぞれの水平方向地震を受けた場合の挙動が異なるため、方向毎に発生応力が異なる。したがって、水平2方向の影響は軽微である。	×	-
	トロリストoppa	圧縮応力	△	A	同上		
		曲げ応力	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。		
		組合せ応力	△	D	同上		
	トロリ	浮上り量	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
	吊具	吊具荷重	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。		
	原子炉遮蔽	一般胴部 開口集中部	せん断応力	△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】	×
圧縮応力			△	C	鉛直方向荷重のみ作用し、水平方向荷重が作用しない。したがって、水平2方向入力の影響は軽微である。		
曲げ応力			△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】		
組合せ応力			△	B	評価部位は円形の一様断面であることから、水平地震の方向毎に最大応力点異なる。したがって、水平2方向の地震力を組み合わせた場合でも水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料4】		

② 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

表2 動的／電氣的機能評価

機 種	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平2方向とその直交方向が関連する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
				振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
立形ポンプ	○	—	軸受は円周に均等に地震力を受け持つため、水平2方向入力の影響を受ける。	×	—
横形ポンプ	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
ポンプ駆動用タービン	△	B	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※で最弱部である弁箱(主蒸気止め弁ヨーク部(立置き))に対して、水平2方向による最大応力の発生箇所が異なるため影響は軽微である。	×	—
立形機器用電動機	△	D	最弱部であるフレームに対して、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※において十分な裕度が確認されており、水平2方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	—
横形機器用電動機	△	D	最弱部である軸受に対して、現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※において十分な裕度が確認されており、水平2方向入力による応答増加の影響は軽微である。	×	—
空調ファン	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
非常用ディーゼル発電機(機関本体)	△	A	現行の機能維持確認済加速度における詳細評価※で最弱部である軸系に対して、曲げに対して軸直角方向の水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
非常用ディーゼル発電機(ガバナ)	○	—	ガバナについては水平2方向合成による応答増加の影響がある。ただし、JEAG4601に記載の機能維持確認済加速度は1.8Gであるが、旧JNES試験より4Gまで機能維持を確認しているため、2方向合成加速度が4G未満であれば問題ない。	×	—
弁	○	—	弁については水平2方向合成による応答増加の影響があるが、2方向合成加速度が試験にて確認した機能維持確認済加速度未満であれば問題ない。	×	—
制御棒挿入性	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—
電気盤	△	A	電気盤、制御盤等に取付けられているリレー、遮断器等の電気品は、基本的に1次元的な接点のON-OFFに関わる比較的単純な構造をしている。加えて、基本的には全て梁、扉等の強度部材に強固に固定されているため、器具の非線形応答はないと考えられる。したがって、電気品は水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
伝送器・指示計	△	A	伝送器・指示計の掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向成分にも共振点はないものと考えられる。よって、X、Y2方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
常設代替高圧電源装置	△	A	水平2方向の入力に対角方向に共振することはないため、水平2方向の入力の影響は軽微である。	×	—
水位計	△	A	掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向成分にも共振点はないものと考えられる。よって、X、Y2方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
監視カメラ	△	A	掃引試験結果において、X、Y各成分に共振点はなく、出力変動を生じないことを確認していることから、X、Y2方向成分にも共振点はないものと考えられる。よって、X、Y2方向入力に対しても応答増加は生じないものと考えられることから、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
通信連絡設備(アンテナ類)	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—

※：JEAG4601で定められた評価部位の裕度評価(原子力発電所耐震設計技術規定(JEAC4601-2008)「参考資料4.11 動的機器の地震時機能維持評価法」)

③水平2方向の地震による代表設備の増分影響検討結果(構造強度)

設備	応答軸が明確か (補足説明資料3.2.4(3項)に 対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない	設計用地震力として√2倍 以上を考慮 ○: 考慮している。 ×: 考慮していない	代表設備名	評価部位	応力分類	水平2方向の地震力の重複 による影響の有無 (別紙4.1での整理) ○: 影響あり △: 影響軽微	水平1方向での評価			水平2方向での 評価	発生値の増分 (=発生値(水平2方 向)÷既往発生値(水 平1方向))	増分の判定 ○: 影響が無視 できない △: 影響が軽微	発生値(水平2方向)の算出方法 ①: 地震・地震以外に分離し、地震による応力をSRSS ②: X・Y方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は 分離せず) ③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震 以外の応力と足し合わせ ④: 設計地震力として√2倍以上を考慮 (発生値、裕度は既往から不変) ⑤: その他(算出方法を記載)	
							発生値	許容値	裕度 (=許容値÷ 発生値)					
原子炉圧力容器	ノズル	×	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ 原子炉格納容器スタビライザ	×	×	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	引張応力	△	410	440	1.07	410	1.00	△	⑤: 別紙4.1 補足説明資料1にて増分がないことを確認
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ 原子炉格納容器スタビライザ	×	×	原子炉格納容器スタビライザ	フランジボルト	引張応力	△	509	534	1.04	509	1.00	△	⑤: 別紙4.1 補足説明資料2にて増分がないことを確認
原子炉圧力容器内部構造物	気水分離器及びスタンドパイプ	×	×	スタンドパイプ	スタンドパイプ	鉛直力(単位:kN)	△	614	626	1.01	501	0.82	△	⑤: 建屋-機器連成解析において係数1.5倍の地震力を用いており、その結果を用いて発生値を算出していたが、材料物性のばらつきを考慮し建屋-機器連成解析を行った結果を適用して算出した。水平2方向の考慮は、別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の結果を1.1倍し算出した。
原子炉圧力容器内部構造物	気水分離器及びスタンドパイプ	×	×	スタンドパイプ	スタンドパイプ	水平力(単位:kN)	△	3460	3530	1.02	3410	0.99	△	⑤: 建屋-機器連成解析において係数1.5倍の地震力を用いており、その結果を用いて発生値を算出していたが、材料物性のばらつきを考慮し建屋-機器連成解析を行った結果を適用して算出した。水平2方向の考慮は、別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の結果を1.1倍し算出した。
原子炉圧力容器内部構造物	気水分離器及びスタンドパイプ	×	×	スタンドパイプ	スタンドパイプ	モーメント(単位:kN)	△	9870	10000	1.01	9724	0.99	△	⑤: 建屋-機器連成解析において係数1.5倍の地震力を用いており、その結果を用いて発生値を算出していたが、材料物性のばらつきを考慮し建屋-機器連成解析を行った結果を適用して算出した。水平2方向の考慮は、別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の結果を1.1倍し算出した。
原子炉圧力容器内部構造物	シュラウドヘッド 中性子束案内管	×	×	シュラウドヘッド	シュラウドヘッド	一次膜応力+一次曲げ応力	△	187	254	1.35	208	1.11	○	⑤: 別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の結果を1.11倍し算出した。
原子炉圧力容器内部構造物	スパーージャ 炉内配管	×	×	炉内配管	低圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部)	一次一般膜応力	○	78	104	1.33	78	1.00	△	③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外の応力と足し合わせ
原子炉圧力容器内部構造物	スパーージャ 炉内配管	×	×	炉内配管	低圧炉心スプレイ系配管 (原子炉圧力容器内部)	一次膜応力+一次曲げ応力	○	228	261	1.14	229	1.01	○	③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外の応力と足し合わせ
使用済燃料貯蔵ラック (共通ベース含む)		○	×	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
立形ポンプ		×	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
原子炉格納容器	ドライウエル円錐部及びサブプレッションチェンバ円筒部シェル部及びサンドクッション部	×	×	円筒部(中央部)	円筒部(中央部)	一次一般膜応力	△	227	253	1.11	252	1.11	○	⑤: 別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の結果を1.11倍し算出した。
原子炉格納容器	ドライウエル上部シアラグ及びスタビライザ ドライウエル下部シアラグ及びスタビライザ	×	×	上部シアラグ及びスタビライザ	シアプレート	組合せ応力	△	254	275	1.08	254	1.00	△	⑤: 別紙4.1 補足説明資料1にて増分がないことを確認
原子炉格納容器	機器搬入用ハッチ 所員用エアロック サブプレッション・チェンバアクセスハッチ	×	×	サブプレッション・チェンバアクセスハッチ	サブプレッション・チェンバ円筒部と補強板との結合部(P6-3)	一次+二次応力	○	668	393	0.58	742	1.11	○	③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外の応力と足し合わせ
						疲労評価	○	0.428	1	2.33	0.646	1.51	○	③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外の応力と足し合わせ
ベント管		×	×	ベント管	ブレーシング部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	291	380	1.30	379	1.31	○	③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外の応力と足し合わせ
ベント管		×	×	ベント管	ブレーシング部	一次+二次応力	△	422	458	1.08	518	1.23	○	③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震以外の応力と足し合わせ
配管本体、サポート(多質点梁モデル解析)		×	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
原子炉本体の基礎		×	×	脚部アンカー部	アンカー定着部	定着力	△	1.070E+06	1.077E+06	1.00	9.73E+05	0.91	△	⑤: 水平2方向の地震力を考慮した場合、45°方向のアンカー部の定着力が最大となるため、45°方向のアンカー部の水平1方向による定着力を√2倍して算出
燃料取替機		×	×	燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム	曲げ応力	△	216	235	1.08	216	1.00	△	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
燃料取替機		×	×	燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム	組合せ応力	△	217	235	1.08	217	1.00	△	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
燃料取替機		×	×	燃料取替機	トリロ脱線防止ラグ(取付ボルト)	せん断応力	△	135	146	1.08	135	1.00	△	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン		×	×	使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン	ガーダ	組合せ応力	△	277	279	1.00	277	1.00	△	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン		×	×	使用済燃料乾式貯蔵建屋クレーン	横行レール(溶接部)	せん断	△	154	160	1.03	154	1.00	△	⑤: 別紙4.1 補足説明資料6にて増分がないことを確認
原子炉遮蔽		×	×	原子炉遮蔽	開口集中部	組合せ応力	△	204	235	1.15	227	1.11	○	⑤: 別紙4.1 補足説明資料4での検討結果を踏まえ、水平1方向の結果を1.11倍し算出した。

③水平2方向の地震による代表設備の増分影響検討結果(動的機能維持)

設備	応答軸が明確か (補足説明資料3.2.4(3項)に 対応) ○: 応答軸が明確 ×: 応答軸が明確でない	設計用地震力として√2倍以 上を考慮 ○: 考慮している。 ×: 考慮していない	代表設備名	評価部位	応力分類	水平2方向の地震力の重複 による影響の有無 (別紙4.1での整理) ○: 影響あり △: 影響軽微	水平1方向での評価			水平2方向で の評価	発生値の増分 (=発生値(水平2方 向)÷既往発生値(水 平1方向))	増分の判定 ○: 影響が無視 できない △: 影響が軽微	発生値(水平2方向)の算出方法 ①: 地震・地震以外に分離し、地震による応力をSRSS ②: X・Y方向別々の応力をSRSS(地震・地震以外は 分離せず) ③: X・Y方向別々の地震による応力をSRSSし、地震 以外の応力と足し合わせ ④: 設計地震力として√2倍以上を考慮
							発生値	許容値	裕度 (=許容値÷ 発生値)				
立形ポンプ	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
横形ポンプ	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ポンプ駆動用タービン	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
立形機器用電動機	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
横形機器用電動機	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
空調ファン	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
非常用ディーゼル発電機 (機関本体)	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
非常用ディーゼル発電機 (ガバナ)	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
弁	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
制御棒挿入性	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
電気盤	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
伝送器・指示計	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
常設代替高圧電源装置	○	×	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
水位計	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
監視カメラ	×	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
通信連絡設備(アンテナ類)	○	○	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

④水平2方向の地震による発生値と許容値の比較結果（構造強度）

設備	応答軸が明確か (補足説明資料3.2.4(3項)に 対応) ○：応答軸が明確 ×：応答軸が明確でない	設計用地震力として√2倍以 上を考慮 ○：考慮している。 ×：考慮していない	代表設備名	評価部位	応力分類	水平1方向で の評価	水平2方向での評価		
						発生値	発生値*1	許容値	判定
原子炉圧力 容器内部構 造物	×	×	シュラウドヘッド	シュラウドヘッド	一次一般膜+一次曲げ応力 強さ	187	208	254	○
原子炉圧力 容器内部構 造物	×	×	炉内配管	低圧炉心スプレイ系配管（原子 炉圧力容器内部）	一次一般膜+一次曲げ応力 強さ	228	229	261	○
原子炉格納 容器	×	×	円筒部（中央部）	円筒部（中央部）	一次一般膜応力強さ	227	252	253	○
原子炉格納 容器	×	×	サブプレッション・ チェンバアクセス ハッチ	サブプレッション・チェンバ円筒 胴と補強板との結合部（P6-3）	一次+二次応力強さ*2	668	742	393	×
					疲労評価	0.428	0.646	1	○
ベント管	×	×	ベント管	ブレーシング部	一次一般膜+一次曲げ応力 強さ	291	379	380	○
					一次+二次応力強さ*2	422	518	458	×
					疲労評価	—	0.112	1	○
原子炉遮蔽	×	×	原子炉遮蔽	開口集中部	組合せ応力	204	227	235	○

*1：従来設計の発生値をそのまま用いて水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せを評価しており、以下に示す保守側となる要因を含んでいる。

- ・鉛直方向地震力による応力成分と圧力等の地震以外の応力成分が重複されたまま水平2方向及び鉛直方向地震力を想定した発生値として算出している。
- ・従来設計において水平各方向を包絡した床応答曲線を応答軸方向に入力している設備は各方向の大きい方の地震力が水平2方向に働くことを想定した発生値として算出している。

*2：一次+二次応力評価結果は許容値を満足しないが、J E A G 4601・補-1984に基づいて疲労評価を行い、この結果より耐震性を有することを確認した。

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

1. はじめに

機器・配管系における水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価において、水平2方向の影響を考慮した場合に発生値がどの程度増分するかを検討している。その際には、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故対処設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備について、機種毎に裕度の小さい部位を代表して影響評価を実施している。

2. 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

水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価にあたっては、機種毎に裕度の小さい部位を代表として選定しているが、その代表性について説明する。

各機種のうち一部の機種については、複数の応力分類や評価部位を有していたりするものがあり、それらについては評価結果に対する地震力の寄与度がそれぞれ変わる場合がある。従って、本影響評価においては、これらの設備について、耐震裕度が小さい部位を代表とした上で、地震以外の荷重成分を地震荷重とみなし、水平1方向及び鉛直方向の組合せによる評価値を水平各方向（それぞれ鉛直方向も含む）で用いるなどの簡易的かつ保守的な方法（第1図参照）を適用することを基本とする。

この方法を適用する機種は、耐震裕度の小さい部位や応力分類で代表することができる。

また、この簡易的かつ保守的な方法を適用しない機種は、評価結果に対する地震力の寄与度に配慮した、影響評価を個別に行う場合もある。

東海第二発電所における本影響評価の代表部位一覧を別紙 4.2 表 1 に示す。

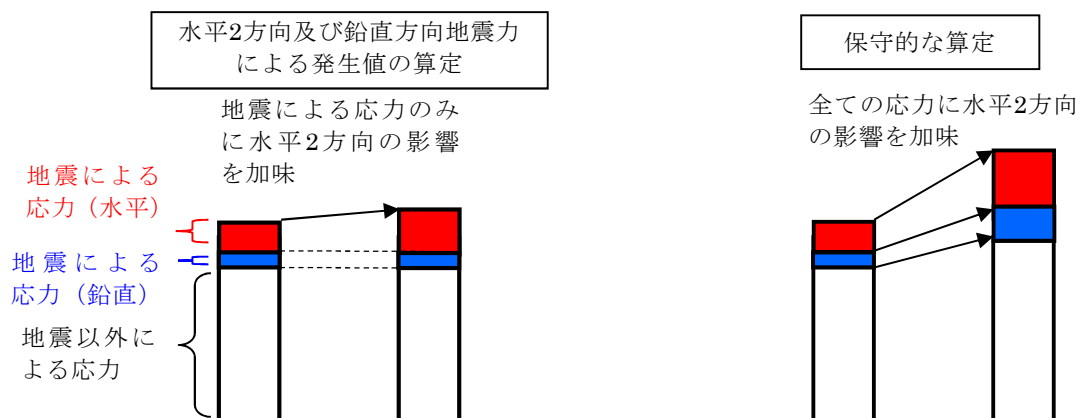


図1 地震以外の荷重成分を地震荷重とみなす場合の保守的な算定イメージ

原子炉建屋 3次元 FEM解析による応答の増幅に対する設備の影響評価について

1. 概要

原子炉建屋の3次元 FEMによる解析の結果、原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなる傾向が確認されたことから、壁及び床に設置される設備への影響評価を実施する。

2. 3次元 FEMモデルによる影響評価

2.1 評価対象設備の範囲

原子炉建屋6階の壁及び床の応答が大きくなることが確認されたことから、原子炉建屋6階に設置される耐震重要施設並びに常設耐震重要重大事故防止設備及び常設重大事故緩和設備、上位クラスの設備に波及的影響を及ぼす設備を評価対象の範囲とする。評価対象設備リストを表1に、評価対象設備の設置位置と3次元 FEMモデルの節点との関係を図1に示す。

2.2 評価対象設備のスクリーニング

影響評価においては、応答増幅の影響が小さい位置に設置されている設備や、耐震裕度が大きい設備も含まれていることから、3次元 FEMモデルによる影響評価として詳細検討（加速度比率と耐震裕度の比較等）を行う対象設備をスクリーニングにより抽出する。評価対象設備のスクリーニングのフロー図を図2に示し、フローの考え方を以下に示す。

(1) 応答増幅の有無

応答の増幅が顕著に見られるのは、壁及び床の中央付近であり、壁の端部や床の端部、耐震壁直上の床については応答増幅が小さい。このため、応答増幅が小さい場所に設置される設備については、3次元 FEMモデルによる応答増幅の影響が小さいものとして影響評価の対象から除外する。

(2) 耐震裕度の大小関係

a. 柔な設備

質点系モデルと3次元 FEMモデルの床応答スペクトル（以下「FRS」という。）を比較すると、3次元 FEMモデルの応答の増幅が大きくなる周期帯は、概ね0.1～0.2秒の領域にあることから、この領域に固有周期を有する設備については、全て詳細検討の対象とする。

F R S の周期が 0.1 秒以下の領域では、質点系モデルに対する 3 次元 F E M モデルの応答比率が概ね 2 倍を下回り、応答増幅の影響が比較的小さいことから、この領域に固有周期を有する設備について、耐震裕度が大きい（2 倍以上）設備は詳細検討の対象から除外し、耐震裕度が小さい（2 倍を下回る）設備は詳細検討の対象とする。

b. 剛な設備

剛な設備については、質点系モデルに対する 3 次元 F E M モデルの応答比率が概ね 2 倍を下回り、応答増幅の影響が比較的小さいことから、上述の 0.1 秒以下に固有周期を有する設備と同様に、耐震裕度が大きい（2 倍以上）設備は詳細検討の対象から除外し、耐震裕度が小さい（2 倍を下回る）設備は詳細検討の対象とする。

以上のスクリーニングの考え方にに基づき、詳細検討を実施する評価対象設備を抽出した結果を表 1 に示す。

詳細検討を実施する評価対象設備は、壁に設置される「ブローアウトパネル閉止装置」、「原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設」、「原子炉建屋クレーン」、「使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）」、「原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ」並びに床に設置される「燃料取替機」、「使用済燃料貯蔵ラック」とする。

2.2 評価方針

(1) 影響評価方法

影響評価においては、以下のいずれかの方法を用いて評価を行う。

- ① 3 次元 F E M モデルにより得られた S_d-D1 の震度に係数を掛け、「基準地震動 S_8 波による応答」及び「地盤物性等のばらつき」を考慮した震度を推定し、質点系モデルの震度に包絡されること若しくは耐震裕度に包絡されることを確認する。

【適用設備】 ・ブローアウトパネル閉止装置

- ・原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設
- ・使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）
- ・原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ

- ② S_d-D1 質点系モデルに対する 3 次元 F E M モデルの震度比率を求め、設備の耐震裕度（地盤物性等のばらつきを考慮した裕度）に包絡されること若しくは許容値内に収まることを確認する。

【適用設備】 ・原子炉建屋クレーン

- ・燃料取替機

- ・使用済燃料貯蔵ラック

(2) 評価節点の選定

評価対象設備の設置位置と3次元FEMモデルの節点との関係を図1に示す。評価に用いる節点の選定の考え方を以下に示す。

- ・ブローアウトパネル閉止装置及び原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設
ブローアウトパネル全体の応答性状を捉えるため、ブローアウトパネルの4隅の節点を評価用の節点とする。
- ・原子炉建屋クレーン
クレーンの通常待機位置（節点 No. 1, 2, 5, 6）と、波及的影響を考慮して使用済燃料プールの直上（節点 No. 3, 4, 7）を評価用の節点とする。
- ・使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）及び原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ
放射線モニタの設置位置に近接する節点（節点 1, 2）を評価用の節点とする。
- ・燃料取替機
燃料取替機の通常待機位置（節点 No. 3, 4）と、波及的影響を考慮して使用済燃料プールの直上（節点 No. 1, 2）を評価用の節点とする。
- ・使用済燃料貯蔵ラック
鉛直方向の面外方向の応答増幅が最も大きくなる使用済燃料プールの中央を評価用の節点とする。

(3) 評価用地震力の設定

各設備の評価に用いるFRS及び設置位置の最大応答加速度（以下「ZPA」という。）については、原子炉建屋の3次元FEMモデルによる応答解析の結果から、前項で設定した節点における加速度時刻歴を基に作成する。

3次元FEMモデルへの地震動の入力は1方向入力とし、各設備の評価において、3方向同時入力の影響を考慮するため、各方向に入力した際に得られる9成分（1方向入力に対しNS, EW, UD成分が得られ、3方向入力では合計9成分となる。）のうち、同一方向の3成分のFRS及びZPAを二乗和平方根（以下「SRSS」という。）で合成したFRS及びZPAを用いて評価する。このとき、FRS及びZPAの算定に用いる節点は、設備ごとに、1方向入力の面外応答が最大となる節点を抽出し、当該節点に対して、FRS及びZPAを算定する。

応答解析に用いる地震動は、全周期帯で応答が大きなスペクトル形状を有する弾性設計用地震動S_d-D1とする。3次元FEMモデルによる応答解析は線形解析であり、各節点の応答は、地震動の入力に対して比例するものと考えられることから、

S_d-D1による応答解析結果に基づき、影響評価に用いる応答比率を設定する。

なお、原子炉建屋の3次元FEMモデルの詳細は、補足説明資料「補足-340-7 水平2方向及び鉛直方向地震力の適切な組合せに関する検討について」の別紙3の「2.3次元FEMモデルの構築」に示すものと同一である。

2.3 影響評価結果

各設備の影響評価（詳細評価）の結果について、詳細評価①～⑥に示す。

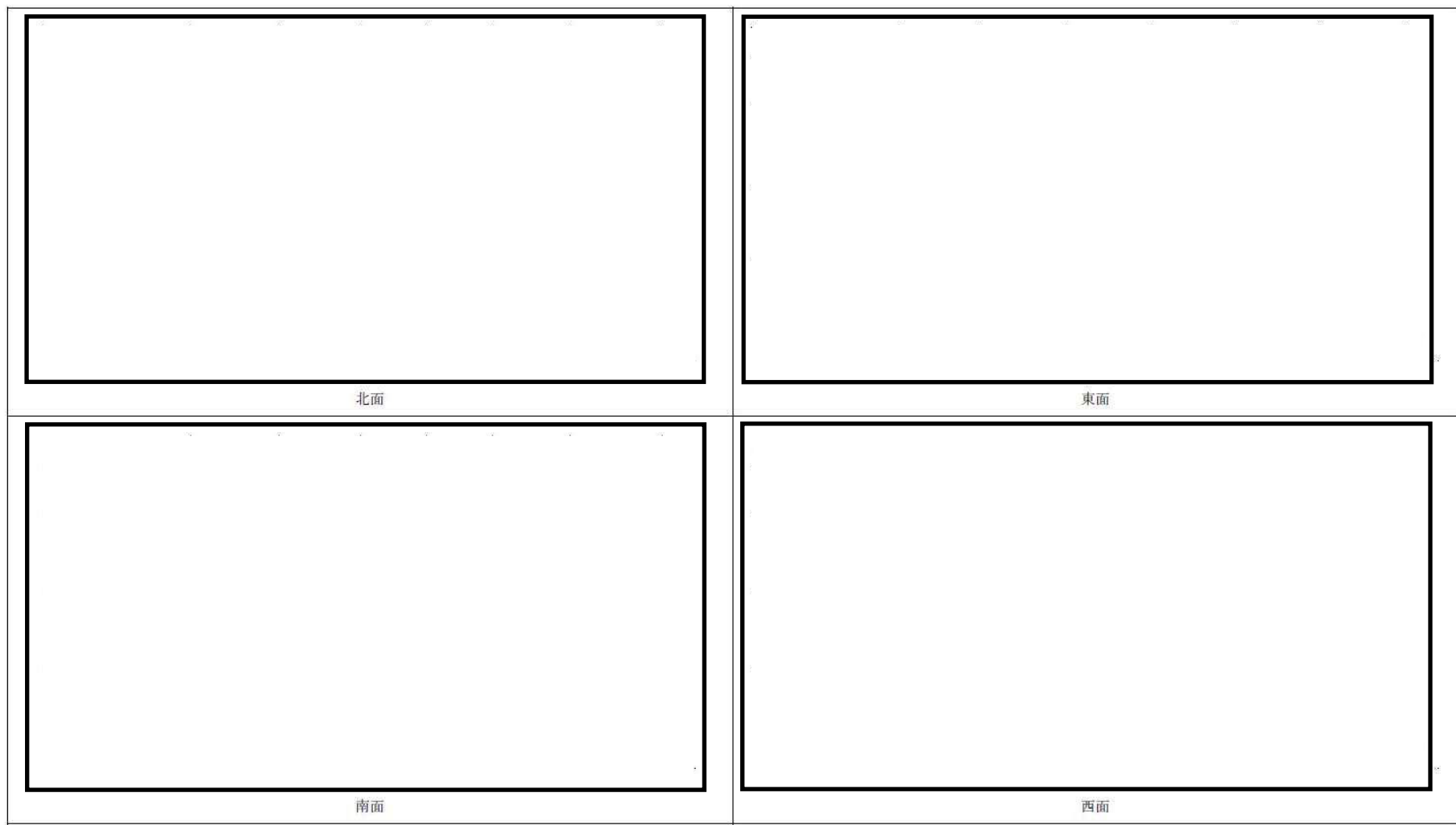
原子炉建屋の3次元FEMモデルによる応答増幅の影響評価を実施した結果、3次元FEMモデルから推定した設計用震度が、工認計算書で保守的に設定した設計用震度や機能維持確認済加速度内に包絡されるか、若しくは、質点系モデルの震度に対する3次元FEMモデルの震度比率が、工認計算書における設備の耐震裕度に包絡されることを確認した。これより、3次元FEMモデルによる応答増幅の影響を考慮しても、各設備の健全性に影響がないことを確認した。

表1 評価対象設備リスト

No.	設備名称	分類*1	設置位置	固有周期 (s)		評価部位*2	耐震裕度	フローの分類	詳細検討の要否	
1	ブローアウトパネル	Sクラス	壁	EL. 59.08m～ EL. 54.25m	0.05以下	剛	ブローアウトパネル	2.98	E	否
2	ブローアウトパネル閉止装置 (閉状態)	常設/緩和	壁	EL. 59.08m～ EL. 54.25m	面外 0.069	柔	ハンガーレール	3.01	B	要
	面外 0.05以下				剛	ガイドレール	1.35			
3	原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設	波及的影響防止	壁	EL. 59.08m～ EL. 54.25m	面外 0.092	柔	フレーム	1.44	B	要
4	原子炉建屋クレーン (DB)	波及的影響防止	壁	EL. 57.0m	面外 0.023	剛	落下防止金具	5.50	B	要
5	格納容器圧力逃がし装置配管	常設/緩和	壁	EL. 65.709m ～ EL. 48.434m	0.090	柔	配管 (1次+2次)	2.72	C	否
6	非常用ガス再循環系配管	Sクラス 常設/緩和	壁	EL. 46.5m	0.074	柔	配管 (1次+2次)	13.26	C	否
7	静的触媒式水素再結合器	常設/緩和	壁	EL. 49.5m	0.05以下	剛	取付ボルト	10.89	E	否
8	静的触媒式水素再結合器動作監視装置	常設/緩和	壁	EL. 49.5m	0.01	剛	監視装置	5.75	E	否
9	原子炉建屋水素濃度	常設/緩和	壁	EL. 61.46m	0.027	剛	水素濃度計	2.55	E	否
10	使用済燃料プールエリア放射線モニタ (低レンジ・高レンジ)	常設耐震/防止 常設/緩和	壁	EL. 51.24m	0.05以下	剛	放射線モニタ	1.72	D	要
11	使用済燃料プール監視カメラ	常設/防止 常設/緩和	壁	EL. 51.3m	0.043	剛	スタンション	2.08	E	否
12	原子炉建屋換気系 (ダクト) 放射線モニタ	Sクラス	壁	EL. 51.0m	0.05以下	剛	放射線モニタ	1.72	D	要
13	燃料取替機 (DB)	波及的影響防止	床	EL. 46.5m	鉛直 0.089	柔	横行レール	1.12	B	要
14	使用済燃料貯蔵ラック (70体ラック)	Sクラス	床	EL. 34.7m	鉛直 0.05以下	剛	取付ボルト	1.05	D	要
	使用済燃料貯蔵ラック (110体ラック)	常設耐震/防止 常設/緩和			鉛直 0.05以下	剛	基礎ボルト	1.06		
15	制御棒貯蔵ラック	波及的影響防止	床	EL. 34.7m	鉛直 0.009	剛	基礎ボルト	2.39	E	否
16	制御棒貯蔵ハンガ	波及的影響防止	床	EL. 38.8m, EL. 46.5m	鉛直 0.037	剛	ハンガ	1.90	F	否
17	代替燃料プール注水系配管	常設耐震/防止 常設/緩和	床	EL. 46.5m	0.082	柔	配管 (1次+2次)	2.06	F	否
18	使用済燃料プール温度	常設/防止 常設/緩和	床	EL. 46.5m	鉛直 0.05以下	剛	架構	1.38	F	否
19	使用済燃料プール水位・温度	常設/防止 常設/緩和	床	EL. 46.5m	鉛直 0.05以下	剛	水位・温度計	2.12	F	否

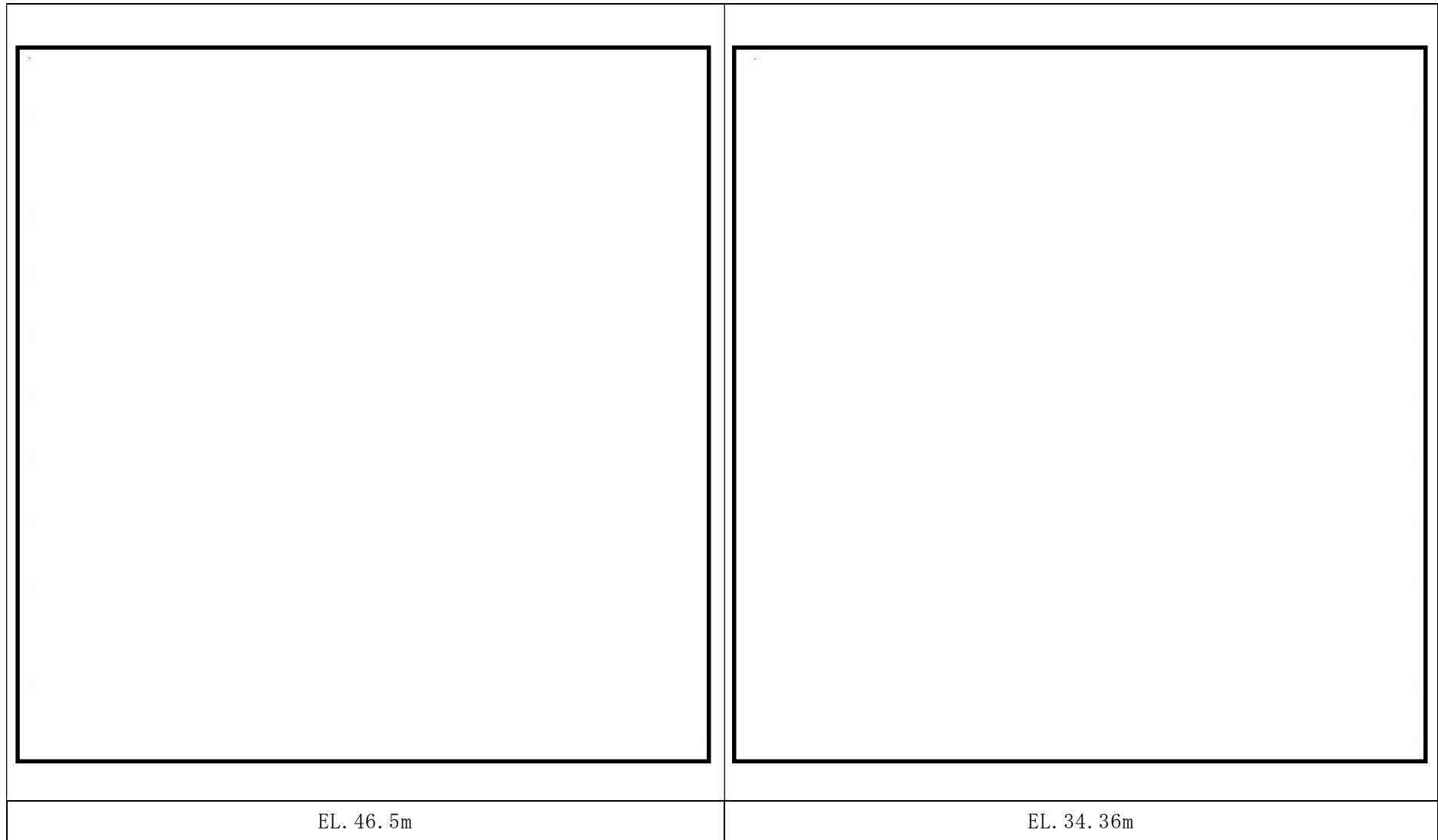
注記 *1: 「Sクラス」は耐震重要設備, 「常設耐震/防止」は常設耐震重要重大事故防止設備, 「常設/防止」は常設重大事故防止設備, 「常設/緩和」は常設重大事故緩和設備を示す。

*2: 壁及び床の面外応答が厳しくなる方向の荷重を負担する部材のうち最小裕度となる部材を記載



- : ブローアウトパネル, ブローアウトパネル閉止装置, 原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設 ○: 原子炉建屋クレーン
- : 格納容器圧力逃がし装置配管 □: 非常用ガス再循環系配管 □: 静的触媒式水素再結合器, 動作監視装置
- : 原子炉建屋水素濃度 ○: 使用済燃料プールエリア放射線モニタ (低レンジ・高レンジ)
- : 使用済燃料プール監視カメラ ○: 原子炉建屋換気系 (ダクト) 放射線モニタ

図 1 (1/2) 評価対象設備の設置位置と 3 次元 FEM モデルの節点との関係 (壁)



- : 燃料取替機 ○ : 使用済燃料貯蔵ラック □ : 制御棒貯蔵ラック □ : 制御棒貯蔵ハンガ
- : 代替燃料プール注水系配管 □ : 使用済燃料プール温度, 水位・温度

図 1 (2/2) 評価対象設備の設置位置と 3次元 FEMモデルの節点との関係 (床)

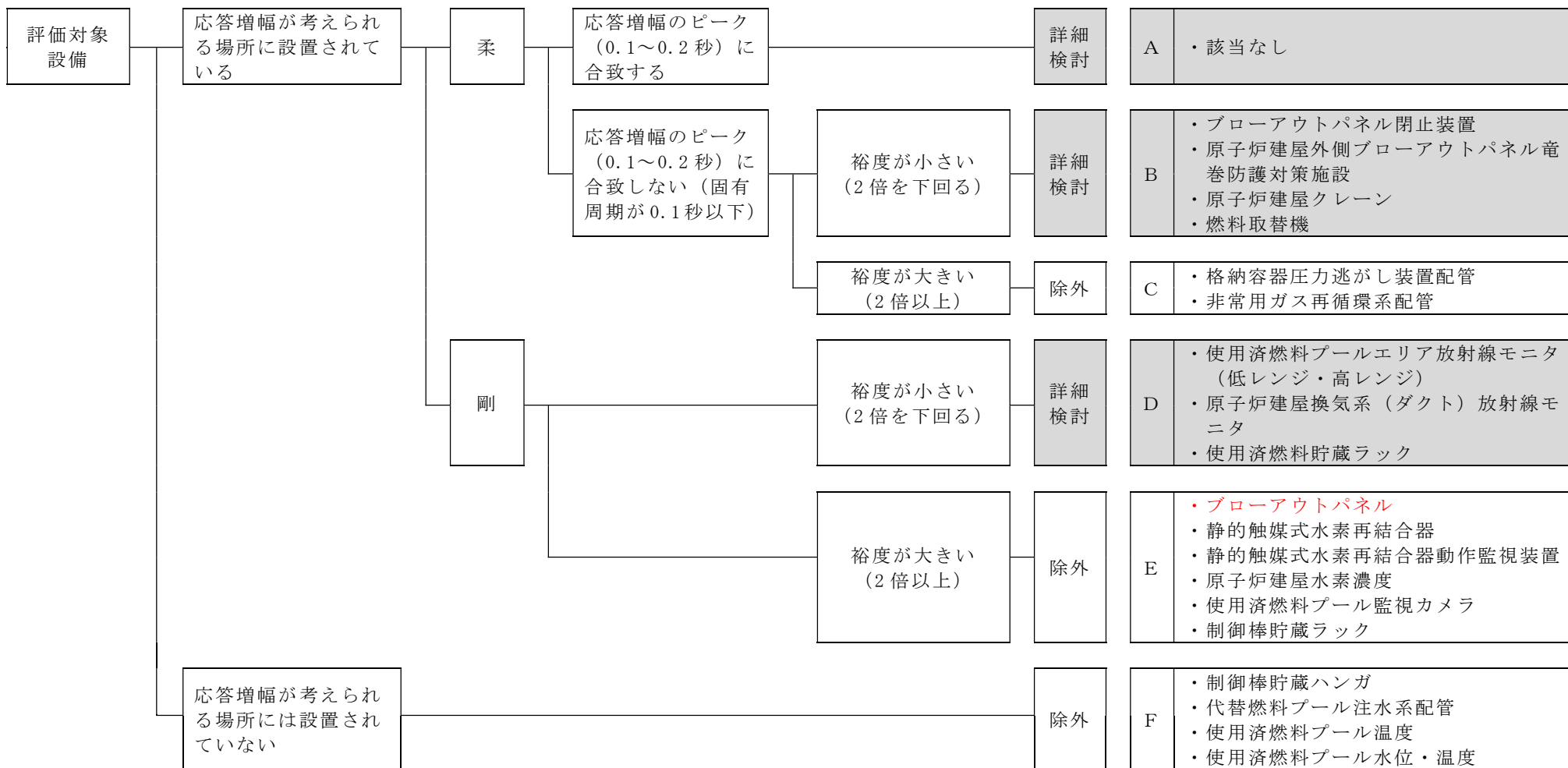


図2 評価対象設備のスクリーニングのフロー図

壁の応答増幅を踏まえたブローアウトパネル閉止装置の影響評価

1. 目的

3次元FEMモデルによる応答解析の結果、ブローアウトパネル閉止装置の設置位置における壁の面外方向（水平）の応答が大きくなる傾向が確認されたことから、応答増幅に対する影響を評価する。

2. 影響評価結果

3次元FEMモデルによる S_d-D1 の応答解析結果から推定した評価用震度と、質点系モデルを基に設定した設計震度（工認計算書記載値）を比較した結果（影響評価結果）を表1-1及び表1-2に示す。表1-1（構造強度評価）より、扉閉状態の場合には、工認計算書の設計震度が、3次元FEMモデルから推定した面外方向の設計震度を包絡し、扉開状態の場合には包絡しないものの耐震裕度には包絡されていることを確認した。表1-2（機能維持評価）より、扉閉状態及び扉開状態のどちらにおいても、機能維持確認済加速度が3次元FEMモデルから推定した面外方向の設計震度を包絡していることを確認した。以上より、閉止装置の健全性に影響ないことを確認した。

表 1-1 影響評価結果（構造強度評価）

評価項目	評価結果	
	閉 (S_d)	開 (S_s)
扉状態（評価用地震動）	閉 (S_d)	開 (S_s)
①3次元FEMモデルによる S_d-D1 の面外方向震度* ¹	1.98* ²	1.63* ³
② S_d 8波+ばらつき考慮のための補正比率* ⁴	1.98	1.32
③ S_d から S_s へ換算するための補正比率* ⁵	—	1.85
④がたの影響を考慮するための係数(2倍)* ⁶	—	2
⑤影響評価用震度* ¹ (①×②×③×④)	3.91	7.93
⑥工認計算書の設計震度* ¹	4.18* ⁷	6.33* ⁸
⑦震度比率 (⑤/⑥)	—	1.26
⑧耐震裕度	—	1.30* ⁹
⑨評価 (⑤<⑥若しくは⑦<⑧)	○	○

注記 *1：震度は、 $G=9.80665$ (m/s^2)

*2：扉閉状態の固有周期 秒における面外方向の震度（図1-1参照）

*3：扉開状態の固有周期は0.05秒以下であるため1.2ZPAの値（表1-2参照）

*4：質点系モデルのEL.63.65mにおける、「 S_d-D1 」と「 S_d 8波+ばらつき考慮」のFRSの固有周期における震度比率（「3次元FEMでの S_d 8波+ばらつき考慮」

相当」の震度を算定)

*5: 質点系モデルの EL. 63.65m における, S_d に対する S_s の最大応答加速度比率 (3次元 FEMモデルでの S_s 評価用の震度を設定するための比率)

*6: 扉開状態での面外方向は固定されていないため, がたの影響として 2 倍を考慮

*7: EL. 63.65m における S_d 8波+ばらつき考慮の応答スペクトルの固有周期 秒における震度 (閉止装置設置位置より高い EL. を適用し保守性を確保)

*8: EL. 63.65m における S_s 8波+ばらつき考慮の応答スペクトルの固有周期 秒における震度 (閉止装置設置位置より高い EL. を適用し保守性を確保, 加振試験により 0.05 秒以下であり剛であることを確認しているが, 扉閉状態では 秒に固有周期があること, 秒の震度 6.33 が 1.2ZPA の 2 倍の震度 3.38 より大きいため, 6.33 を適用することで保守性を確保)

*9: 耐震裕度が最小となるガイドレールの耐震裕度

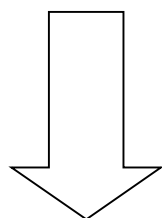
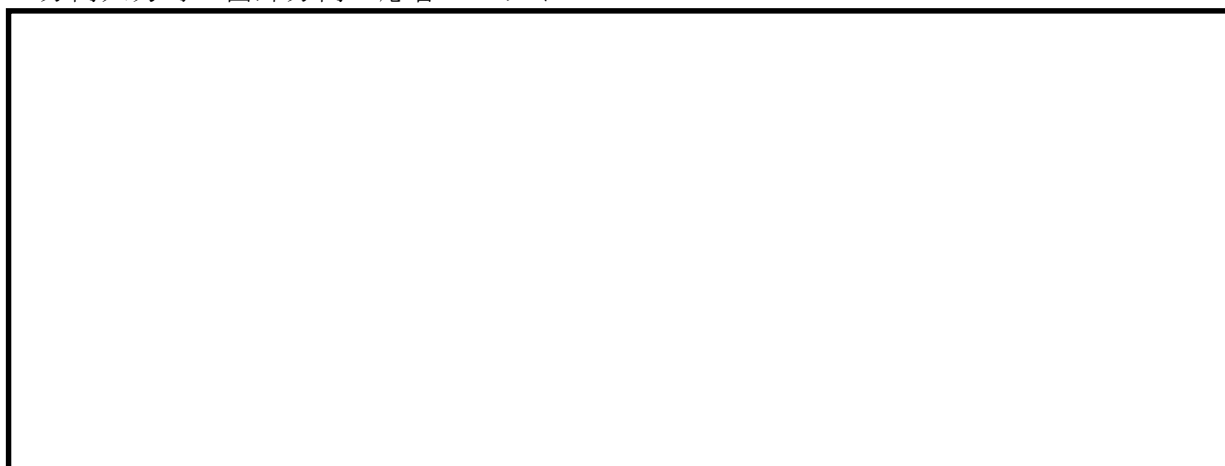
表 1-2 影響評価結果 (機能維持評価)

評価項目	評価結果	
	閉 (S_d)	開 (S_s)
扉状態 (評価用地震動)		
①3次元 FEMモデルによる S_d -D1 の面外方向震度* ¹	1.36* ¹⁰	1.36* ¹⁰
② S_d 8波+ばらつき考慮のための補正比率* ⁴	1.32	1.32
③ S_d から S_s へ換算するための補正比率* ⁵	—	1.85
④影響評価用震度* ¹ (①×②×③)	1.79	3.31
⑤工認計算書の機能維持確認済加速度 (震度) * ¹	3.96* ¹¹	3.96* ¹¹
⑥評価 (④<⑤)	○	○

注記 *10: 面外方向の 1.0ZPA (表 1-3 参照)

*11: 加振試験により得られた BOP 閉止装置上端の最大応答加速度。BOP 閉止装置の扉は, 閉止装置上部のハンガーレールから吊り下げる方式であり, 開閉するための電動機等の駆動系も装置の上部に設置されていることから, 装置上端の最大応答加速度を適用。

1 方向入力時の面外方向の応答スペクトル



【F R S の選定】

南北面の節点のうち 秒で最大応答を示す節点 (No. 3) を抽出

東西面の節点のうち 秒で最大応答を示す節点 (No. 12) を抽出

【3 方向入力の考慮】

3 方向入力による面外成分の 3 つの F R S を S R S S で合成して算出

3 方向入力時の面外方向の応答スペクトル

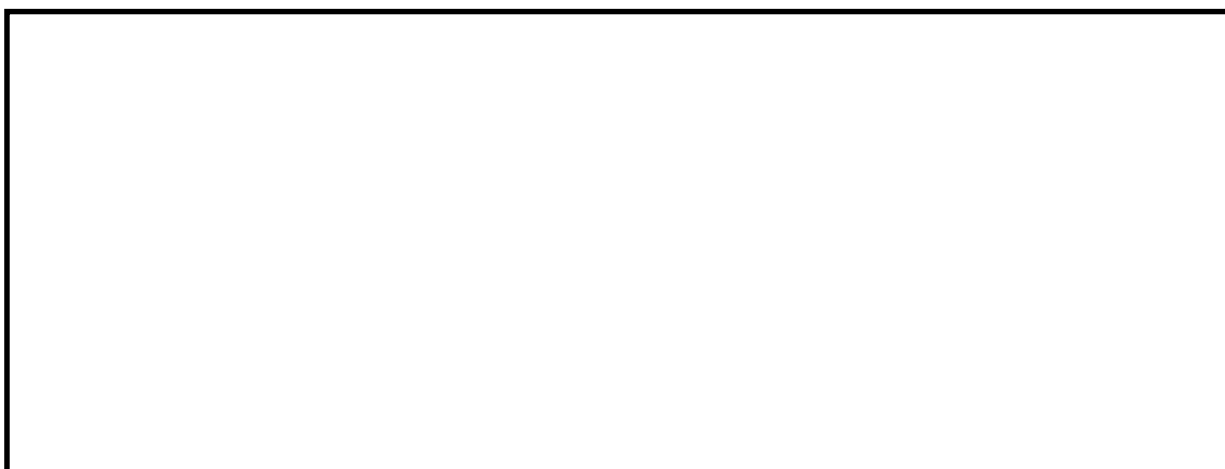


図 1-1 扉閉状態の面外方向の震度の設定方法

表 1-3 扉開状態の面外方向の震度の設定方法

評価節点	1 方向入力の ZPA	3 方向考慮の ZPA (SRSS)	3 方向考慮の 1.2ZPA (SRSS)
No. 17 1 方向入力 最大 Z P A となる節点	1. 267	1. 356	1. 627

以 上

壁の応答増幅を踏まえた原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設の影響評価

1. 目的

3次元FEMモデルによる応答解析の結果，原子炉建屋外側ブローアウトパネル竜巻防護対策施設（以下「BOP竜巻防護施設」という。）の設置位置における壁の面外方向（水平）の応答が大きくなる傾向が確認されたことから，応答増幅に対する影響を評価する。

2. 影響評価結果

3次元FEMモデルによる S_d-D1 の応答解析結果から推定した評価用震度と，質点系モデルを基に設定した設計震度（工認計算書記載値）を比較した結果（影響評価結果）を表2-1に示す。表2-1より，工認計算書の設計震度は，3次元FEMモデルから推定した面外方向の設計震度を包絡していることを確認した。これより，BOP竜巻防護施設の健全性に影響ないことを確認した。

表 2-1 影響評価結果

評価項目	評価結果
①3次元FEMモデルによる S_d-D1 の面外方向震度* ¹	3.38* ²
② S_d 8波+ばらつき考慮のための補正比率* ³	1.43
③ S_d から S_s へ換算するための補正比率* ⁴	1.85
④影響評価用震度* ² （①×②×③）	8.95
⑤工認計算書の設計震度* ²	9.43* ⁵
⑥評価（④<⑤）	○

注記 *1：震度は， $G=9.80665$ （ m/s^2 ）

*2：固有周期0.092秒における面外方向の震度（図2-1参照）

*3：質点系モデルのEL.63.65mにおける，「 S_d-D1 」と「 S_d 8波+ばらつき考慮」のFRSの固有周期における震度比率（「3次元FEMでの S_d 8波+ばらつき考慮相当」の震度を算定）

*4：質点系モデルのEL.63.65mにおける， S_d に対する S_s の最大応答加速度比率（3次元FEMモデルでの S_s 評価用の震度を設定するための比率）

*5：EL.63.65mにおける「 S_s 8波+ばらつき考慮」のFRSの固有周期0.092秒における震度（BOP竜巻防護施設設置位置より高いEL.を適用し保守性を確保）

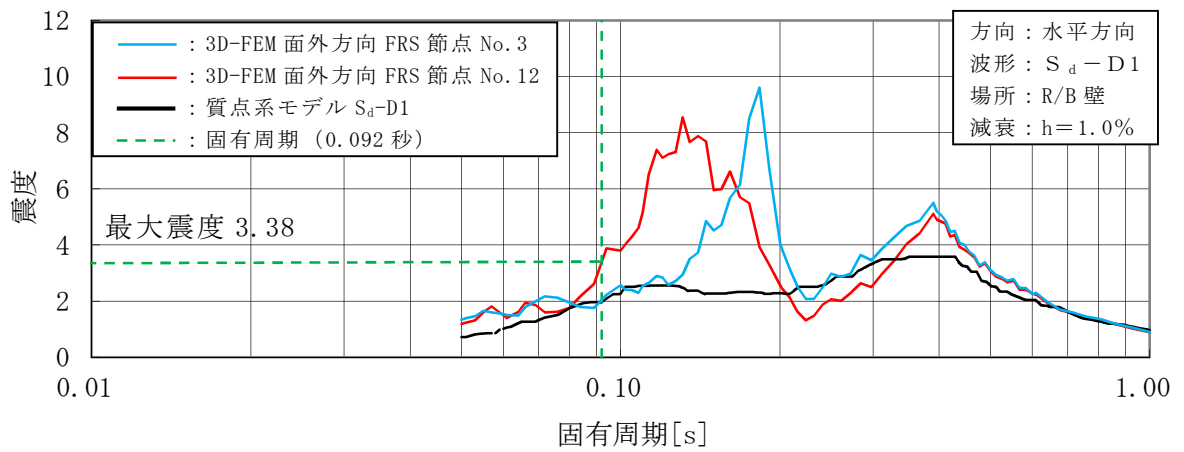


図 2-1 BOP 竜巻防護施設の面外方向の震度の設定方法

以上

壁の応答増幅を踏まえた原子炉建屋クレーンの影響評価

1. 目的

3次元FEMモデルによる応答解析の結果，原子炉建屋クレーンの設置位置における壁の面外方向（水平）の応答が大きくなる傾向が確認されたことから，応答増幅に対する影響を評価する。また，ロッキングによる鉛直動の増幅の影響についても確認する。

2. 影響評価結果

質点系モデルによる S_d-D1 の震度と，3次元FEMモデルによる面外方向の震度を整理した結果を表3-1に示す。表3-1より，工認計算書の設計震度は，3次元FEMの面外方向（EW方向）の設計震度を包絡していないことから，耐震裕度との比較を行う。

表 3-1 原子炉建屋クレーンの固有周期，固有周期における震度及び震度比率

	固有周期 (s) *1			震度 *3		
	走行方向 (NS*2)	横行方向 (EW*2)	鉛直方向 (UD*2)	走行方向	横行方向	鉛直方向
質点系モデル	—			0.075*4	0.80*5	0.83*6
3次元FEM モデル	—			0.075*4	1.80*5	1.17*6
震度比率				1.00	2.25	1.19*7

注記 *1：設計基準対象施設（DB）の評価では，クレーンのトロリが中央にある条件で，重大事故等対処設備（SA）の評価では，クレーンのトロリが端部にある状態で固有周期を算出

*2：原子炉建屋クレーンは，原子炉建屋6階の東面と西面にレールが設置されており，NS方向が走行方向，EW方向が横行方向となる。

*3：弾性設計用地震動 S_d-D1 による応答解析により得られた震度

*4：最大静止摩擦係数より求めた水平方向設計震度であり建屋応答に依存しない値

*5：固有周期が0.05秒以下の剛構造であるため，据付場所での最大応答加速度（ZPA）の1.2倍の値を記載（節点No.2）

*6：設計基準対象施設（DB）では吊荷有りの条件で評価し，重大事故等対処設備（SA）では吊荷無しの条件で評価するため，評価上厳しい設計基準対象施設（DB）での固有周期におけるFRSの震度を記載（節点No.7，図3-1参照，時刻歴解析のため±10%の拡幅考慮として，応答が厳しい側に固有周期の-10%シフト（0.423秒）を考慮した震度を適用）

*7：鉛直方向荷重を評価するため自重（+1G）を考慮して算定

評価部位は、工認計算書に記載されている評価部位のうち、水平及び鉛直方向の各々で最小裕度となる評価部位として、落下防止金具とワイヤロープを対象とした。原子炉建屋クレーンの影響評価部位を図 3-2 に示す。

評価部位の震度比率と設計裕度を比較した結果、設計裕度の方が大きいことを確認した*8。評価結果を表 3-2 に示す。以上より、面外方向の応答増幅やロッキングの影響を考慮しても、原子炉建屋クレーンの健全性に影響ないことを確認した。

注記*8：影響評価の結果、鉛直方向の震度比率がワイヤロープの設計裕度を上回ることから、強度の強い材質に変更し、健全性を確認した。

表 3-2 評価結果

方向	評価部位	震度比率	設計裕度	評価
水平（横行方向）	落下防止金具	2.45	5.23	○
鉛直	ワイヤロープ	1.19	1.47	○



図 3-1 原子炉建屋クレーンの鉛直方向の震度の設定方法

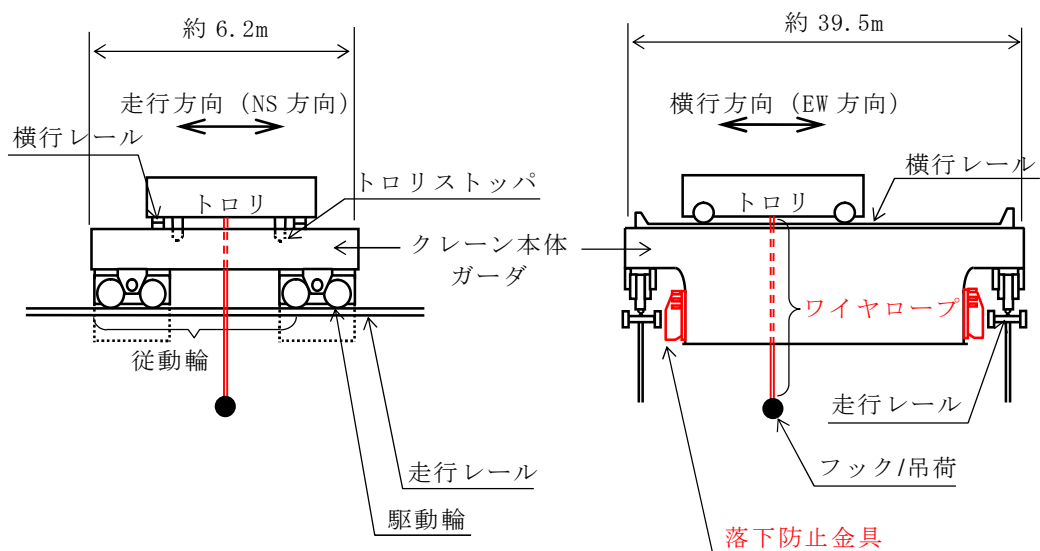


図 3-2 原子炉建屋クレーンの影響評価部位（落下防止金具，ワイヤロープ）

以上

壁の応答増幅を踏まえた使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）及び原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタの影響評価

1. 目的

3次元FEMモデルによる応答解析の結果、使用済燃料プールエリア放射線モニタ（低レンジ・高レンジ）（以下「SFPモニタ」という。）及び原子炉建屋換気系（ダクト）放射線モニタ（以下「換気系モニタ」という。）の設置位置における壁の面外方向（水平）の応答が大きくなる傾向が確認されたことから、応答増幅に対する影響を評価する。

2. 影響評価結果

3次元FEMモデルによる S_d-D1 の応答解析結果から推定した評価用震度と、各放射線モニタの機能維持確認済加速度を比較した結果（影響評価結果）を表4-1に示す。表4-1より、SFPモニタ及び換気系モニタの機能維持確認済加速度は、3次元FEMモデルから推定した面外方向の設計震度を包絡していることを確認した。これより、面外方向の応答増幅を考慮しても、SFPモニタ及び換気系モニタの健全性に影響ないことを確認した。

表 4-1 影響評価結果

評価項目	評価結果	
	SFPモニタ	換気系モニタ
①3次元FEMモデルによる S_d-D1 の面外方向震度* ¹	1.13* ²	1.14* ²
② S_d 8波+ばらつき考慮のための補正比率* ³	1.31	1.31
③ S_d から S_s へ換算するための補正比率* ⁴	1.76	1.76
④影響評価用震度* ¹ （①×②×③）	2.59	2.61
⑤工認計算書の機能維持確認済加速度（震度）* ¹		
⑥評価（④<⑤）	○	○

注記 *1：震度は、 $G=9.80665$ (m/s²)

*2：面外方向の1.0ZPA（SFPモニタ：節点No.1，換気系モニタ：節点No.1）

*3：質点系モデルのEL.57.00mにおける、「 S_d-D1 」と「 S_d 8波+ばらつき考慮」のZPAの比率（「3次元FEMでの S_d 8波+ばらつき考慮相当」の震度を算定）

*4：質点系モデルのEL.57.00mにおける、 S_d に対する S_s の最大応答加速度比率（3次元FEMモデルでの S_s 評価用の震度を設定するための比率）

以上

床の応答増幅を踏まえた燃料取替機の影響評価

1. 目的

3次元FEMモデルによる応答解析の結果、燃料取替機の設置位置における床の面外方向（鉛直）の応答が大きくなる傾向が確認されたことから、応答増幅に対する影響を評価する。

2. 影響評価結果

質点系モデルによる S_a-D1 の震度と、3次元FEMモデルによる面外方向の震度を整理した結果を表5-1に示す。表5-1より、燃料取替機の工認計算書の設計震度は、3次元FEMモデルの面外方向の設計震度を包絡していないことから、詳細評価を行う。

表 5-1 燃料取替機の固有周期，固有周期における震度及び震度比率

	固有周期 (s) *1	震度 *2
	鉛直方向	鉛直方向
質点系モデル		1.35*3
3次元FEMモデル		1.51*3
震度比率		1.12

注記 *1：設計基準対象施設（DB）の評価では、クレーンのトロリが中央にある条件で、重大事故等対処設備（SA）の評価では、クレーンのトロリが端部にある状態で固有周期を算出

*2：弾性設計用地震動 S_a-D1 による応答解析により得られた震度

*3：震度が大きくなる設計基準対象施設（DB）の固有周期0.089秒における震度を記載（図3-1参照）（節点No.2）

評価部位は、工認計算書に記載されている評価部位のうち、最小裕度となる評価部位として、横行レールを対象とした。燃料取替機の影響評価部位を図5-2に示す。

鉛直方向の震度の増分を考慮したトロリに掛かる地震時荷重を計算し、横行レールの発生応力を算出した結果、許容応力に収まることを確認した*4。評価結果を表5-2に示す。以上より、面外方向の応答増幅を考慮しても、燃料取替機の健全性に影響ないことを確認した。

注記 *4：当初は、燃料取替機のうち最小裕度となるトロリ脱線防止ラグ取付ボルトを評価対象としたが、評価の結果、算出応力が許容応力を上回ることから、ボルトを強い材質のものに変更し、健全性を確認した。これに伴い、最小裕度の部位が、トロリ脱線防止ラグ取付ボルトから横行レールに変更となった。

表 5-2 評価結果

(単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力	許容応力	評価
横行レール	組合せ (曲げ+せん断)	475	483	○

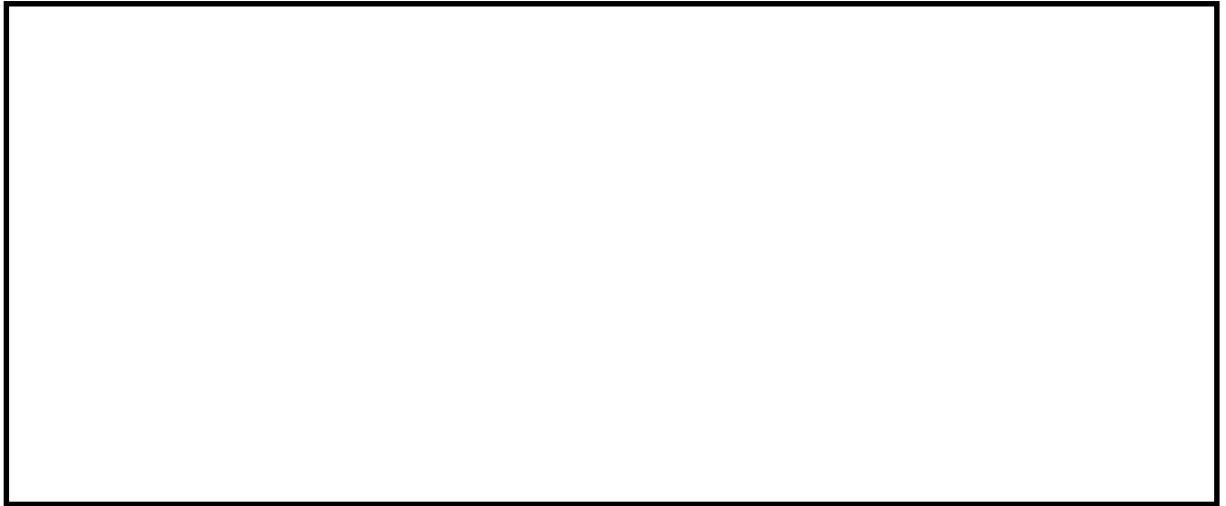


図 5-1 燃料取替機の面外方向の震度の設定方法

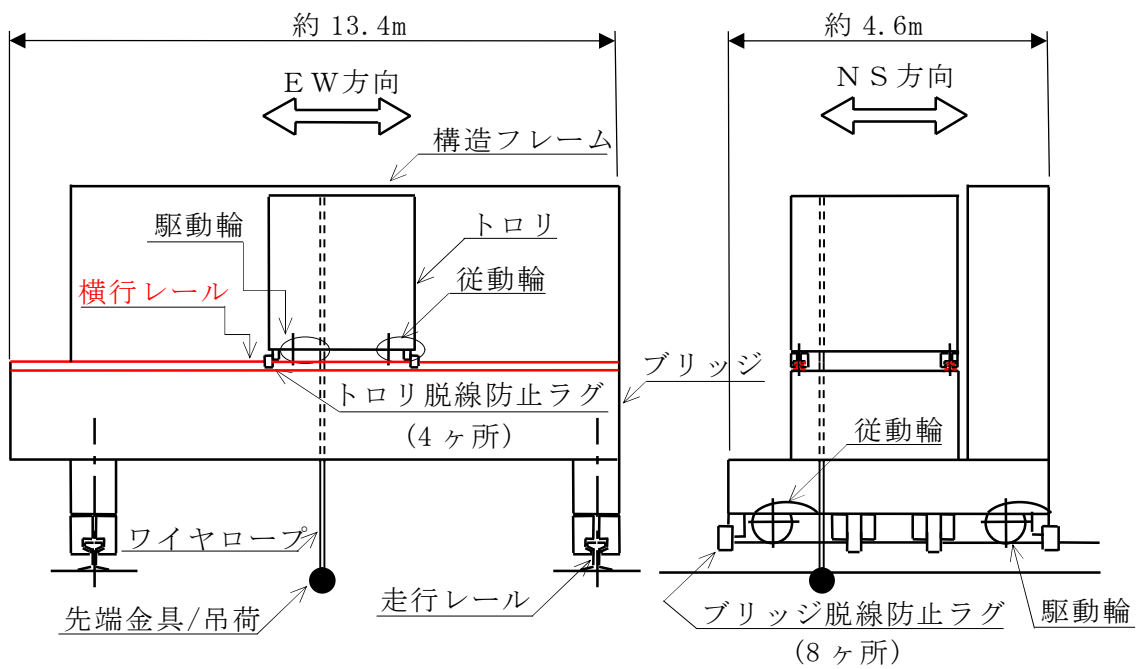


図 5-2 燃料取替機の影響評価部位 (横行レール)

以上

床の応答増幅を踏まえた使用済燃料貯蔵ラックの影響評価

1. 目的

3次元FEMモデルによる応答解析の結果、使用済燃料貯蔵ラックの設置位置における床の面外方向（鉛直）の応答が大きくなる傾向が確認されたことから、応答増幅に対する影響を評価する。

2. 影響評価結果

質点系モデルによる S_d-D1 の震度と、3次元FEMモデルによる面外方向の震度を整理した結果を表6-1に示す。表6-1より、使用済燃料貯蔵ラックの工認計算書の設計震度は、3次元FEMモデルの面外方向の設計震度を包絡していないことから、詳細評価を行う。

表 6-1 使用済燃料貯蔵ラックの固有周期，固有周期における震度及び震度比率

	固有周期 (s)	震度* ¹
	鉛直方向	鉛直方向
質点系モデル	0.05 秒以下 (70 体ラック)	0.36* ²
3次元FEMモデル		0.91* ²
震度比率		2.53

注記 *1：弾性設計用地震動 S_d-D1 による応答解析により得られた震度

*2：固有周期が0.05秒以下の剛構造であるため、据付場所での最大応答加速度（ZPA）を記載（節点No.1）

評価部位は、工認計算書に記載されている評価部位のうち、設計裕度が少ない評価部位として、ラック取付ボルト及び基礎ボルトを対象とした。使用済燃料貯蔵ラックの影響評価部位を図6-1に示す。

鉛直方向の震度の増分を考慮した使用済燃料貯蔵ラックの転倒モーメントに対するラック取付ボルト及び基礎ボルトの発生応力を算出した結果、許容応力に収まることを確認した*³。評価結果を表6-2に示す。以上より、面外方向の応答増幅を考慮しても、使用済燃料貯蔵ラックの健全性に影響ないことを確認した。

注記 *3：ボルトの応力計算において、絶対値和法を用いた評価を行ったところ、許容値を満足しないことから、応力評価の方法を絶対値和法から二乗和平方根（SRSS）に変更し、健全性を確認した。

表 6-2 評価結果

(単位：MPa)

評価部位	応力	算出応力*4	許容応力	評価
ラック取付ボルト	70体ラック	引張り	134	○
	110体ラック	引張り	105	○
基礎ボルト	共通ベース	引張り	130	○

注記 *4：NS，EW方向により評価結果が異なるため，算出応力の大きい方を記載

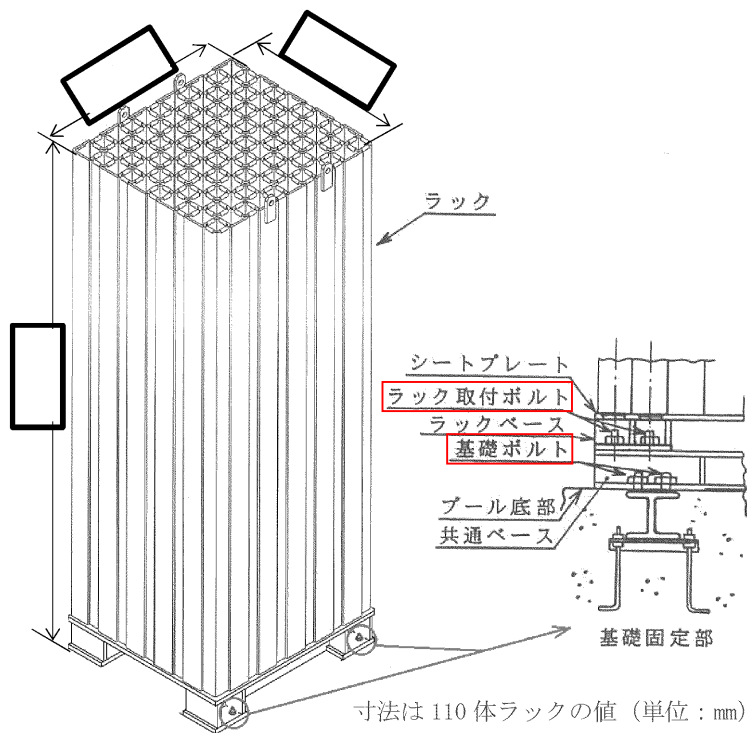


図 6-1 使用済燃料貯蔵ラックの影響評価部位（ラック取付ボルト，基礎ボルト）

以上

3 方向同時入力考慮時の面外応答成分の組合せの考え方について

1. 概要

3次元FEMモデルへの地震動の入力は1方向入力としているため、各設備の評価においては、3方向同時入力の影響を考慮するため、各方向に入力した際に得られる9成分のうち、同一方向の3成分のFRS及びZPAを組合せた地震力で評価を行う必要がある。この組合せを考慮する際、時刻歴での足し合わせを行うと、各成分の加速度の向きによっては、1方向入力時の応答を下回る場合や、ばらつき等による位相のずれを考慮すると応答が上下することが考えられる。本件の対応方針について以下に整理する。

2. 対応方針

(1) ばらつきの考慮

工認計算書に用いる地震力は、地盤や建屋剛性のばらつきを考慮した応答解析の結果を考慮するため、基本ケースのFRSに対して1.5倍の割増を行うか、基本ケースのFRSにばらつきのFRSを組合せて、設備評価用のFRSやZPAを設定している。

今回の影響評価では、これらのばらつきが考慮されたFRSやZPAを用いて耐震評価を実施した結果を用いていることから、ばらつきを考慮した影響評価となっている。具体的には、3次元FEMモデルから評価用の震度を推定する手法では、地盤物性等のばらつきを考慮した係数を適用していること、また、質点系モデルと3次元FEMモデルの震度比率と耐震裕度を比較する手法では、評価対象設備の耐震評価ですでに地盤物性等のばらつきを考慮している。

このため、3次元FEMモデルによる面外応答成分の組合せの際に、1方向入力の応答と比べて3方向入力の応答が上下するような影響についても、上記のばらつきの中で考慮がされているものと考えられる。

(2) 面外応答成分の組合せ

上述のとおり、面外応答成分を組合せる際には、時刻歴の代数和で問題ないと考えられるが、今回の影響評価では、設計上の保守性を確保するために、各成分の時刻歴の代数和を取る前に、個別にFRS及びZPAを算定し、このFRS及びZPAをSRSSにより合成する手法を適用することとする。これにより、面外方向成分の組合せの際に、1方向入力の応答より小さくなることは無く、保守性を確保できるものとする。

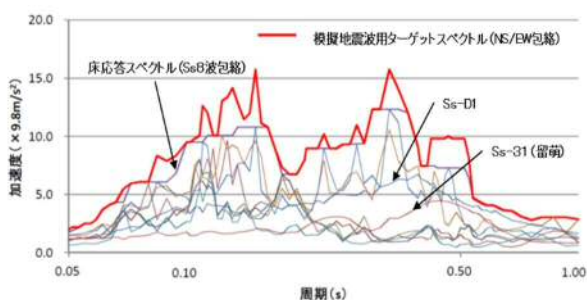
以上

ブローアウトパネル閉止装置の加振試験について

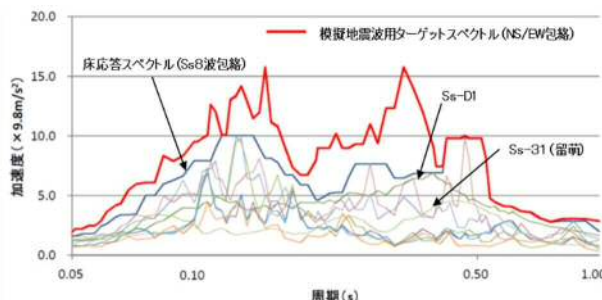
1. 加振波の作成方法

BOP閉止装置の加振試験では、BOP閉止装置の設置位置より上方の原子炉建屋EL.63.65mの質点モデルから算出されたNS方向及びEW方向の両方を包絡するFRS(参考図2-1の赤線)を作成し、これをターゲットスペクトルとして時刻歴波を作成し、加振波として用いた。

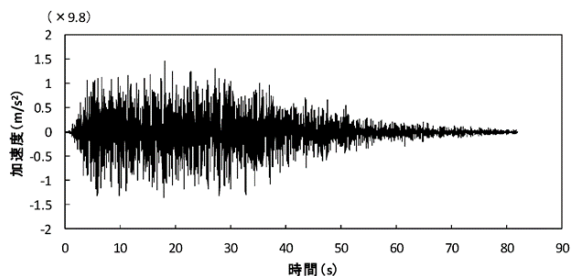
この加振波は、応答加速度が大きくなるBOP閉止装置の設置位置より上方のFRSを基に作成していることから、実際のBOP閉止装置の設置位置におけるFRSを包絡するFRSとなっており、この加振波を用いた加振試験により、閉止装置の機能を確認するための試験として成立することを確認している。



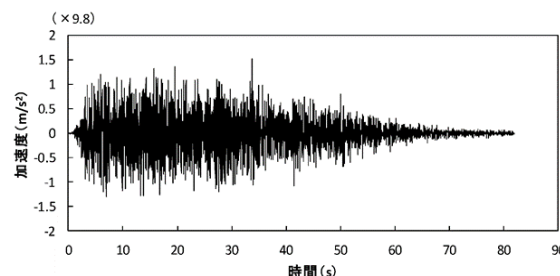
R/B E.L.63.65m 床応答スペクトル(NS方向)とターゲットスペクトル



R/B E.L.63.65m 床応答スペクトル(EW方向)とターゲットスペクトル



(1) NS方向時刻歴波



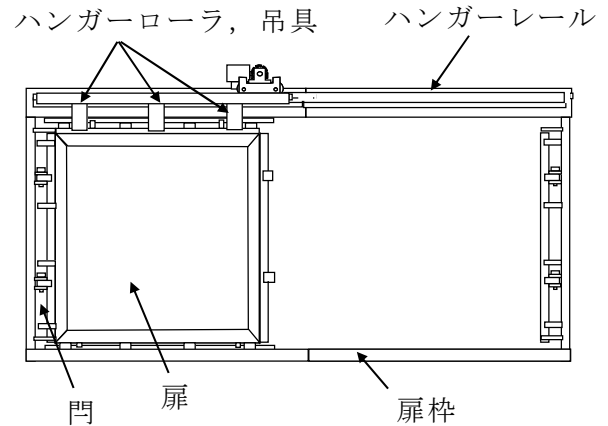
(2) EW方向時刻歴波

参考図 2-1 BOP加振試験に用いた入力波のスペクトルと時刻歴波

2. BOP閉止装置の機能維持確認済加速度

2.1 機能維持確認済加速度の設定位置

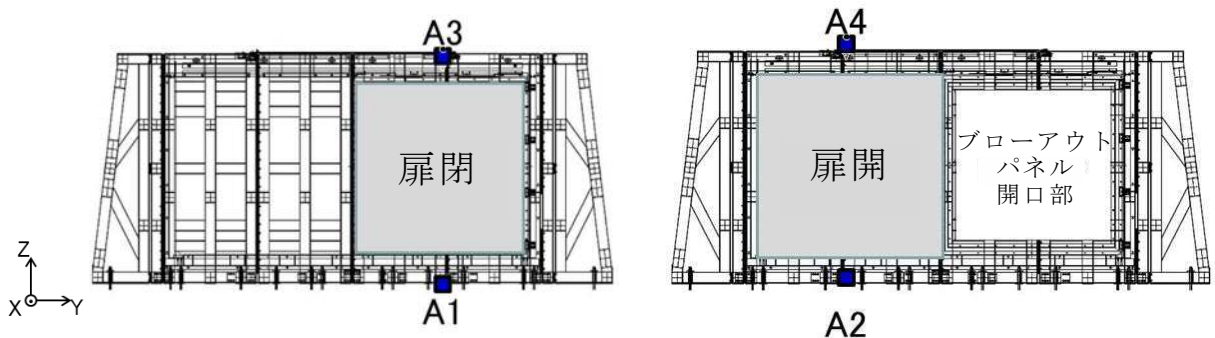
BOP閉止装置の構造概略図は、参考図 2-2 のとおり。BOP閉止装置の扉は、閉止装置上部のハンガーレールから吊り下げる方式であり、開閉するための電動機等の駆動系も装置の上部に設置されていることから、機能維持確認済加速度の設定位置は閉止装置上端の最大応答加速度とする。



参考図 2-2 BOP閉止装置の構造概略図

2.2 機能維持確認済加速度

加振試験（平成 30 年 7 月 31 日）により得られた、機能維持確認済加速度について以下に示す。



参考図 2-3 加振試験時の加速計設置位置

(1) 機能維持確認済加速度

BOP閉止装置上端での最大応答加速度は、参考表 2-1 に示す通り、扉閉状態で 扉開状態で であった。これより、 を機能維持確認済加速度と設定する。

参考表 2-1 BOP閉止装置上端での最大応答加速度（震度）

方向	扉状態	最大応答加速度 ($\times 9.8 \text{ m/s}^2$)
X方向 (面外方向)	閉	<input type="text"/> (上端 A 3)
	開	<input type="text"/> (上端 A 4)

3. 3次元FEM解析により得られた応答に対する健全性評価

工認計算書における評価内容及び3次元FEM解析により得られた応答を考慮し、BOP閉止装置の構造強度評価及び機能維持評価への影響評価を行った。

この際、構造強度評価については、設計用震度に対する各部材の応力評価を行い、発生応力が許容応力内に収まることにより、構造健全性が確保されることを確認する。また、機能維持評価については、加振試験で確認した機能維持確認済加速度が、設計用震度を包絡することを確認することで、BOP閉止装置の動的機能が維持されることを確認する。

3.1 構造強度評価

参考表 2-2 に示す通り、扉閉状態の場合には、工認計算書の設計震度が、3次元FEM解析から推定した面外方向の設計震度を包絡し、扉開状態の場合には包絡しないものの耐震裕度には包絡されていることを確認したことから、構造健全性は確保される。

参考表 2-2 影響評価結果（構造強度評価）

	扉閉	扉開
考慮する地震動	S_d	S_s
区分（固有周期）		1.2 Z P A
①3次元FEMを基にした推定震度	3.91	7.93（ガタ考慮）
②工認計算書設計用震度	4.18	6.33
③震度比率	—	1.26
④耐震裕度	—	1.30
評価（①<②若しくは③<④）	○	○

3.2 機能維持評価

参考表 2-3 に示す通り、扉閉状態及び扉開状態のどちらにおいても、機能維持確認済加速度が3次元FEM解析から推定した面外方向の設計震度を包絡していることを確認したことから、BOP閉止装置の動的機能は維持される。

参考表 2-3 影響評価結果（機能維持評価）

	扉閉	扉開
考慮する地震動	S_d	S_s
区分（固有周期）	1.0 Z P A	1.0 Z P A
①3次元FEMを基にした推定震度	1.79	3.31
②機能維持確認済加速度（震度）	3.96	3.96
評価（①<②）	○	○

以上