

本資料のうち、枠囲みの内容は、機密事項に属しますので公開できません。

柏崎刈羽原子力発電所第7号機 工事計画審査資料	
資料番号	KK7補足-024-4-1改2
提出年月日	2020年5月20日

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する検討について
(建物・構築物)

2020年5月

東京電力ホールディングス株式会社

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	1
2.1 柏崎刈羽 7 号機原子力発電所の基準地震動	1
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	4
3. 各施設における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対する検討結果	4
3.1 建物・構築物	4
3.1.1 水平 2 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	4
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	6
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	11
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	26
3.1.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価方針	28
3.1.6 主排気筒の検討	30
3.1.7 使用済燃料貯蔵プールの壁の検討	40
3.1.8 原子炉建屋の基礎スラブの検討	61
3.2 機器・配管系	
3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	
3.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	
3.3 屋外重要土木構造物	
3.2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方	
3.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方針	
3.2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法	
3.4 津波防護施設, 浸水防止設備及び津波監視設備	
3.4.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価対象構造物の抽出	
別紙 1 評価部位の抽出に関する説明資料	
別紙 2 3次元 FEM モデルを用いた精査	
別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析	
別紙 4 機器・配管系に関する説明資料	
別紙 5 方向性を考慮しない水平方向地震動における模擬地震波の作成方針	

下線部：今回ご提出資料

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付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 柏崎刈羽原子力発電所の基準地震動

柏崎刈羽原子力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-1} 及び S_{s-3} 、断層モデルを用いた地震動として S_{s-2} 、 S_{s-4} ～ S_{s-7} 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-8} を策定している。

基準地震動 S_{s-1} ～ S_{s-8} のスペクトル図（水平方向）を図 2-1-1 に、基準地震動 S_{s-1} ～ S_{s-8} のスペクトル図（鉛直方向）を図 2-1-2 に示す。

- 基準地震動Ss-1H
- 基準地震動Ss-2NS
- - 基準地震動Ss-2EW
- 基準地震動Ss-3H
- 基準地震動Ss-4NS
- - 基準地震動Ss-4EW
- 基準地震動Ss-5NS
- - 基準地震動Ss-5EW
- 基準地震動Ss-6NS
- - 基準地震動Ss-6EW
- 基準地震動Ss-7NS
- - 基準地震動Ss-7EW
- 基準地震動Ss-8H

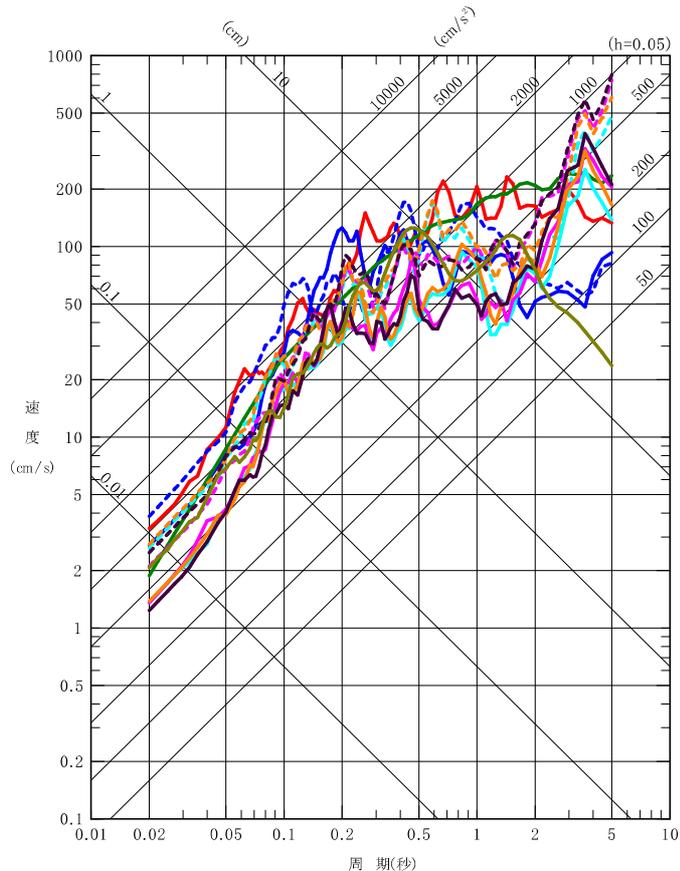


図 2-1-1 基準地震動の応答スペクトル（水平方向）（大湊側）

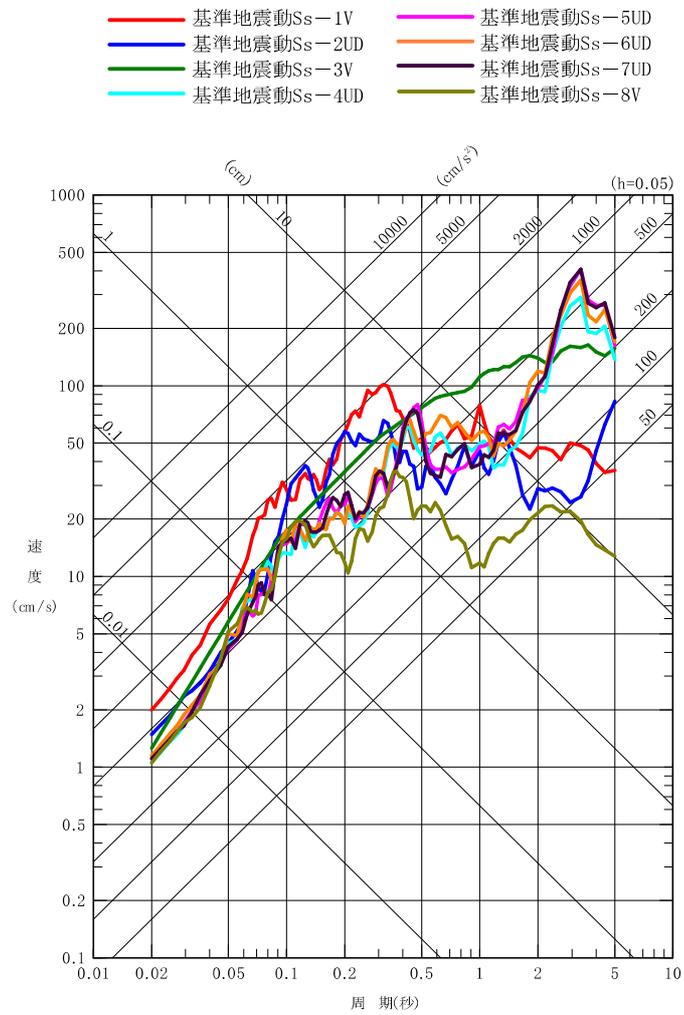


図 2-1-2 基準地震動の応答スペクトル（鉛直方向）（大湊側）

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組合せに対する検討結果

3.1 建物・構築物

3.1.1 水平 2 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

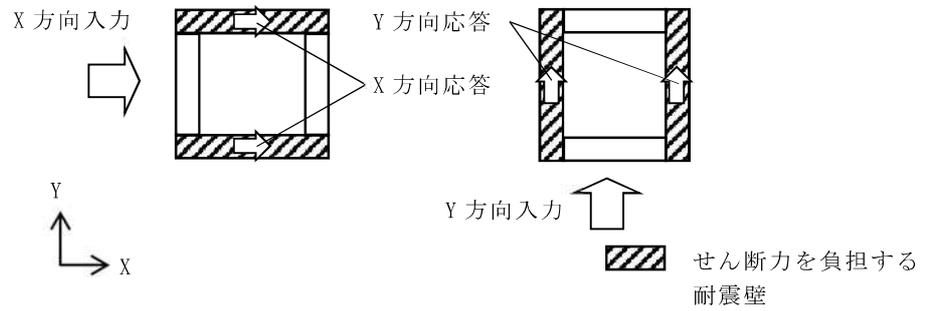
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、各水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルにそれぞれの方向ごとに入力し解析を行っている。また、原子炉施設における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

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・構築物に作用するせん断力は、地震時に生じる力の流れが明解になるように、直交する 2 方向に釣合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。したがって、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。

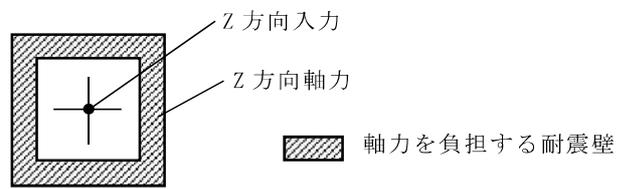
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に作用する軸力は、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

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、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・構築物の局部評価は、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。

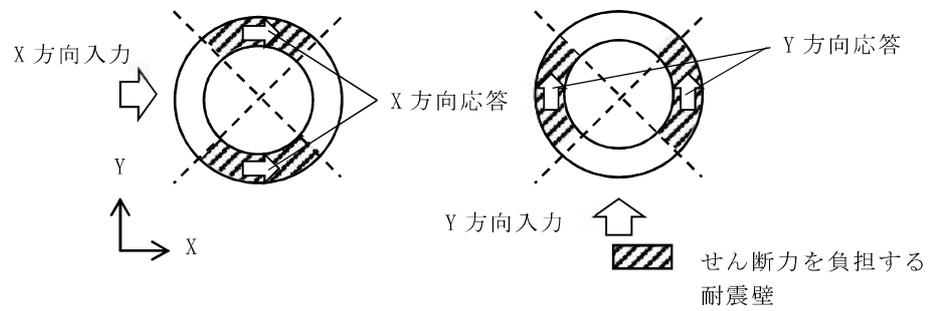


(a) 水平方向

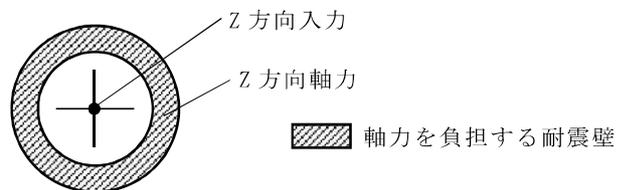


(b) 鉛直方向

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、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ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、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類が S クラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）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施設の部位とする。

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がある部位は、従来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) 影響評価部位の抽出

① 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物における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 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組合せの影響が想定される応答特性を整理する。

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の有無の判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱、はり）を主たる評価対象部位とし、その他の構成部位については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を検討する。水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対し、荷重の組合せによる応答

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

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された部位について、3次元 FEM 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、有する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 FEM 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、有する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 FEM モデルによる精査は、施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、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 FEM モデルの概要図を図3-1-4に示す。

(2) 影響評価手法

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方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価において、水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局所評価の荷重又は応力の算出結果を組み合わせるにより評価を行う場合は、米国 REGULATORY GUIDE 1.92*の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、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等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、各部位が有する耐震性への影響を評価する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

③及び⑤で、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、常設重大事故緩和設備、常設重大事故防止設備（設計基準拡張）（当該設備が属する耐震重要度分類がSクラスのもの）又は常設重大事故緩和設備（設計基準拡張）が設置される重大事故等対処施設の機器・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 FEM 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。

注記* : REGULATORY GUIDE 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

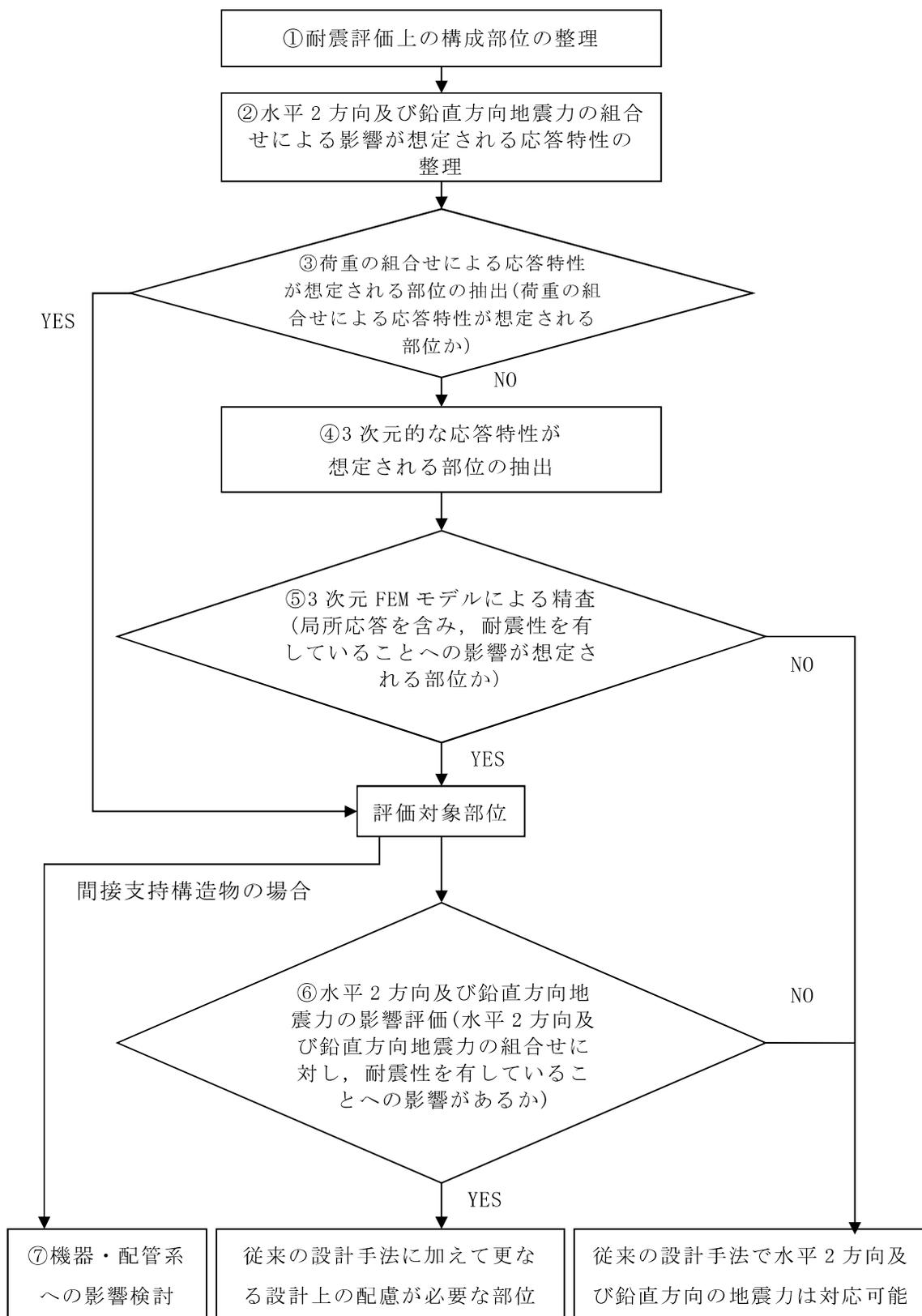
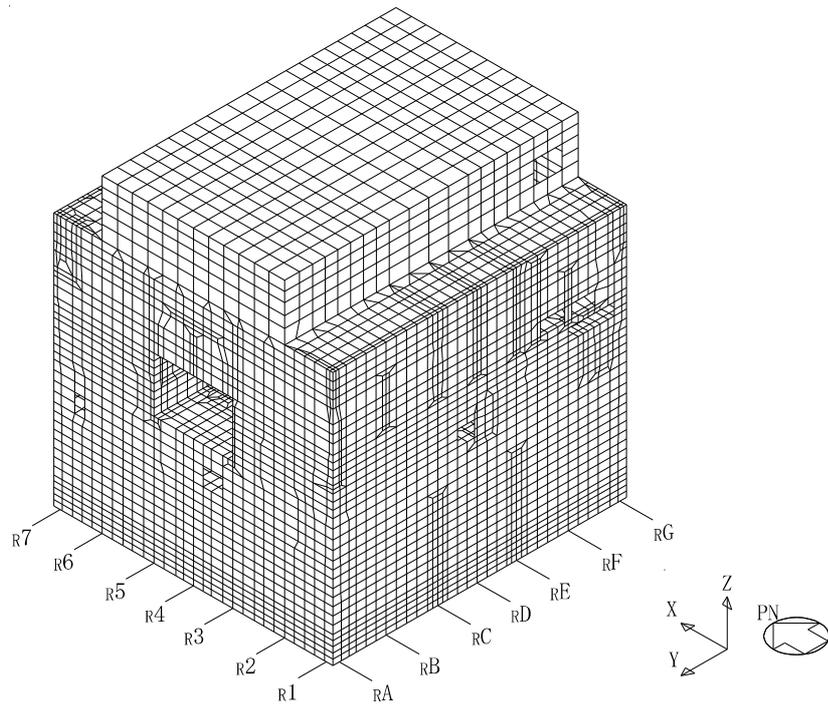
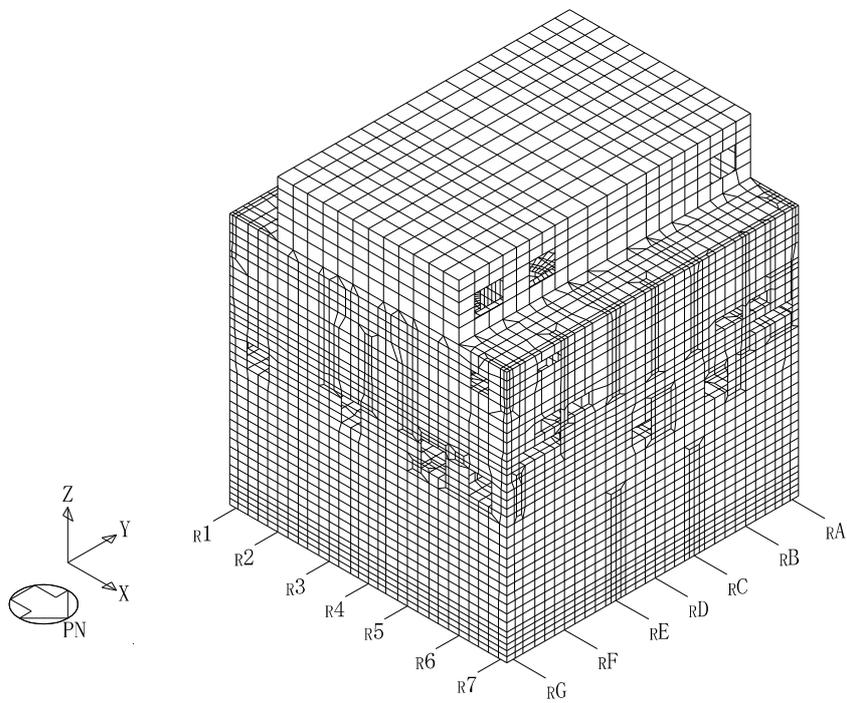


図 3-1-3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響検討フロー



(a) 建屋全景（南西面）



(b) 建屋全景（北東面）

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位の整理

耐震評価部位		原子炉建屋	コントロール建屋	タービン建屋	緊急時対策所	廃棄物処理建屋	主排気筒	格納容器圧力逃がし装置基礎	サービス建屋	5号機タービン建屋
		RC造, S造及びSRC造	RC造及びSRC造	RC造, S造及びSRC造	RC造, S造及びSRC造	RC造, S造及びSRC造	S造及びRC造	RC造	RC造	RC造, S造及びSRC造
柱	一般部	○	○	○	○	○	○*1	—	○	○
	隅部	○	○	○	○	○	○*2	—	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	—	—	○	○
はり	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	○	○	○	○	○	—	○	○	○
	杭基礎	○	—	—	—	—	—	○	—	—

凡例 ○：対象の構造部材あり

—：対象の部材なし

注記*1：筒身を示す。

*2：基礎立上り部を含む。

(2) 応答特性の整理

建物・構築物の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 方向入力のを考え方を表 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)

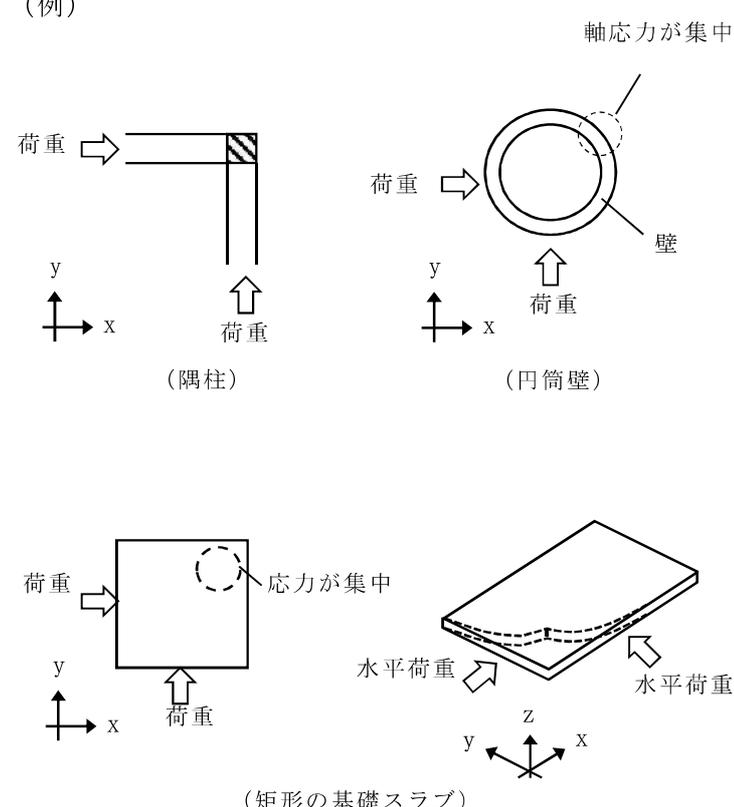
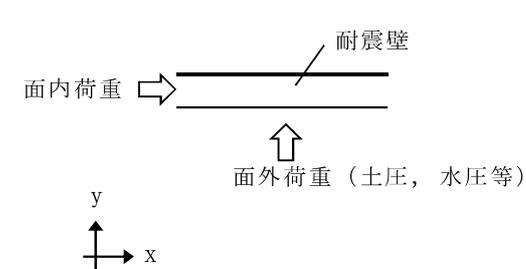
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>軸応力が集中</p> <p>荷重</p> <p>壁</p> <p>荷重</p> <p>荷重</p> <p>応力が集中</p> <p>水平荷重</p> <p>水平荷重</p> <p>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</p> <p>(矩形の基礎スラブ)</p>
①-2	面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>耐震壁</p> 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

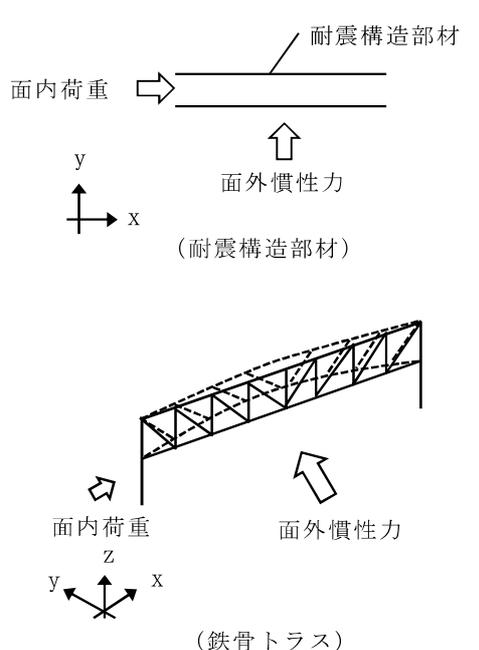
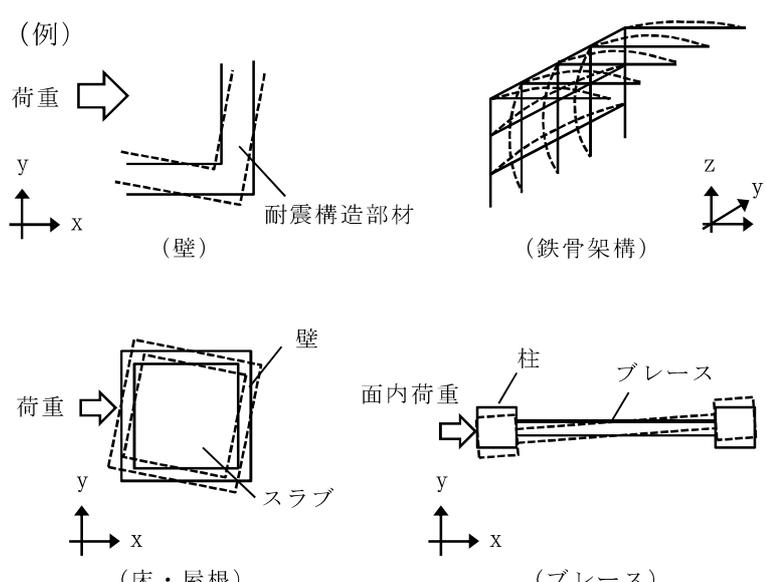
3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> 
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物等含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> 

表 3-1-4 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力の方 (1/2)

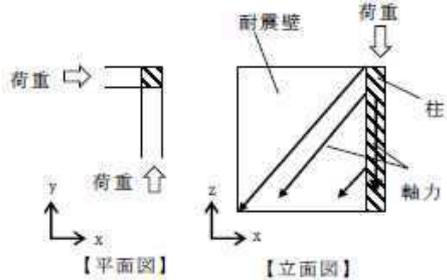
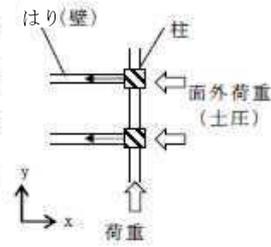
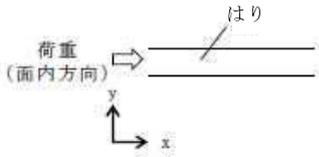
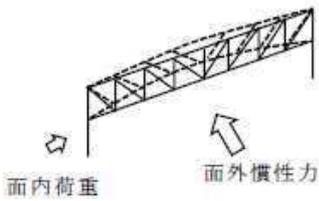
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の方
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることで影響は小さい。</p> 
	地下部	<p>地下外周柱は面内方向の荷重を負担しつつ面外方向 (土圧) の荷重が作用する。ただし、外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。また、土圧が作用する方向にあるはり及び壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
はり	一般部	<p>大スパンや吹抜け部では面内方向の荷重に加え、面外慣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

表 3-1-4 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 (2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本。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>(耐震壁)</p> <p>面内荷重</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はりで拘束されており、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)</p> <p>(スラブ)</p>
基礎	矩形 杭基礎	<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)</p> <p>(杭基礎)</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、主排気筒の柱（隅部）、原子炉建屋、原子炉建屋（大物搬入建屋）、コントロール建屋、タービン建屋、緊急時対策所、廃棄物処理建屋及び格納容器圧力逃がし装置基礎の基礎スラブ並びに原子炉建屋（大物搬入建屋）、格納容器圧力逃がし装置基礎の杭基礎を抽出した。

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（使用済燃料貯蔵プール）、廃棄物処理建屋（復水貯蔵槽）の壁（一般部）並びに原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋、緊急時対策所、廃棄物処理建屋、サービス建屋及び 5 号機タービン建屋の壁（地下部）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柱が考えられ、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。

対象の建物・構築物の鉄筋コンクリート造部（以下「RC 造部」という。）並びに原子炉建屋の上部鉄骨の隅柱は、耐震壁付きの隅柱であり、軸力が耐震壁に分散されることから応力が集中することはない。また、タービン建屋及び廃棄物処理建屋の上部鉄骨部の隅柱については、下部に上位クラス施設がないため、抽出しない。

主排気筒の柱（隅部）が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」する部位としては、土圧が作用する地下外周柱が考えられるが、対象の建物・構築物の地下外周柱は、耐震壁に囲まれており、面内の荷重を負担しないこと、また、地下外周柱はすべてはりに接続しており、土圧はそのままはりに伝達されることから、該当しない。

b. はり

はりの一般部、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」

する部位に該当しない。

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」する部位としては、土圧が作用する地下外周部が考えられるが、対象の建物・構築物の地下外周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」する部位に該当しない。独立した円筒壁は応力の集中が考えられる。ただし、原子炉格納容器の円筒壁のように、建屋の中央付近に位置し、その外側にあるボックス型の耐震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」する部位に該当しない。

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」する部位としては、土圧や水圧が作用するプール部や地下部が考えられ、対象の建物・構築物の地下外壁、原子炉建屋の使用済燃料貯蔵プールの壁及び廃棄物処理建屋の復水貯蔵槽の壁を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、軸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」する部位及び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」する部位に該当しない。

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」する部位としては、基礎スラブ及び杭が考えられる。原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋、緊急時対策所、廃棄物処理建屋及び格納容器圧力逃がし装置基礎の基礎スラブ並びに大物搬入建屋及び格納容器圧力逃がし装置基礎の杭を①-1 に該当するものとして抽出した。

また、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」する部位としては、基礎は該当しない。

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を踏まえたスクリーニング)

耐震評価部位		原子炉建屋	コントロール 建屋	タービン 建屋	緊急時 対策所	廃棄物処理 建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	サービス 建屋	5号機 タービン 建屋
		RC造, S造 及びSRC造	RC造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	S造 及びRC造	RC造	RC造	RC造, S造 及びSRC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	該当なし	—	該当なし	該当なし
	隅部	該当なし	該当なし	不要*1	該当なし	不要*1	①-1要	—	該当なし	不要*1
	地下部	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
はり	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	該当なし
	地下部	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
	鉄骨トラス	該当なし	—	該当なし	該当なし	該当なし	—	—	—	該当なし
壁	一般部	①-2要 (使用済燃料貯蔵プール)	該当なし	該当なし	該当なし	①-2要 (復水貯蔵槽)	—	該当なし	該当なし	該当なし
	地下部	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	—	—	①-2要	①-2要
	鉄骨ブレース	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
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	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	—	①-1要	不要*2	不要*2
	杭基礎	①-1要 (大物搬入建屋)	—	—	—	—	—	①-1要	—	—

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：鉄骨造部の隅柱については、応力の集中が考えられるが、下部に上位クラス施設がないため不要とする。

*2：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、衝突の有無の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。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、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」可能性のある部位として、原子炉建屋（燃料取替床レベル）の壁（一般部）を抽出した。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性のある部位として、抽出する部位はなかった。

a. 柱

(3)で抽出されている以外の各建物・構築物の柱は各部とも、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」可能性のある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の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」が発生する可能性がある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」可能性のある部位には該当しない。また、釣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」が発生する可能性がある部位にも該当しない。

b. はり

対象の建物・構築物のはり一般部や地下部は、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」可能性のある部位及び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つなぎばりが存在し、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」可能性のある部位には該当しない。

c. 壁

(3)で抽出されている以外の建物・構築物の壁について②-1「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位及び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ばりがなく（以下「大スパン部」という。），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」可能性がある部位として抽出する。タービン建屋及び緊急時対策所が設置される5号機原子炉建屋の上部階の大スパン部については，下部に上位クラス施設がないため，抽出しない。

d. 床及び屋根

各建物・構築物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」可能性がある部位及び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には該当しない。

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。

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)

耐震評価部位		原子炉建屋	コントロール 建屋	タービン 建屋	緊急時 対策所	廃棄物処理 建屋	主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	サービス 建屋	5号機 タービン 建屋
		RC造, S造 及びSRC造	RC造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	RC造, S造 及びSRC造	S造 及びRC造	RC造	RC造	RC造, S造 及びSRC造
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要
	隅部	不要	不要	不要	不要	不要	要	—	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
はり	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
	鉄骨トラス	不要	—	不要	不要	不要	—	—	—	不要
壁	一般部	要 (使用済燃料貯蔵プール) ②-1 (燃料取替床レベル)	不要	不要*	不要*	要 (復水貯蔵槽)	—	不要	不要	不要
	地下部	要	要	要	要	要	—	—	要	要
	鉄骨ブレース	—	—	不要*	—	不要*	不要	—	—	不要*
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
基礎	基礎スラブ	要	要	要	要	要	—	要	不要	不要
	杭基礎	要 (大物搬入建屋)	—	—	—	—	—	要	—	—

凡例 要：荷重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*：大スパン部については、面内荷重方向に加え、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。

②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位については、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁に対して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った。局所的な応答と併せてねじれ挙動についても確認を行った。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。その結果、原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁の応答が増幅する傾向が確認されたため、燃料取替床レベルの壁の面外応答増幅による影響検討を行った。応答増幅を考慮しても燃料取替床レベルの壁の耐震性への影響は小さい事を確認した。

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3-1-7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 3-1-7 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

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
壁	一般部	・原子炉建屋 (燃料取替床レベル)	②-1 (面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい)	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が想定されないため抽出しない。
耐震評価 部位全般		・原子炉建屋	局所的な応答	同上	原子炉建屋の燃料取替床レベルの壁では、面外方向に応答が増幅する傾向が確認されたものの、保守的な静的応力解析モデルを用いた評価により面外慣性力によって生じる応力が、許容値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による耐震性への影響は想定されないため抽出しない。

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による影響が想定されるとして抽出した部位を表 3-1-8 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、主排気筒の支柱材（基礎立上り部を含む）及び建屋規模が大きく、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、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール）の壁（一般部）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。

(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（基礎立上り部を含む）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（使用済燃料貯蔵プール）の壁（一般部）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。

表 3-1-8 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	・ <u>主排気筒</u>	主柱材（基礎立上り部を含む）を評価する。
	基礎	基礎スラブ ・ 杭基礎	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋</u> ・ 原子炉建屋（大物搬入建屋） ・ コントロール建屋 ・ タービン建屋 ・ 緊急時対策所 ・ 廃棄物処理建屋 ・ 格納容器圧力逃がし装置基礎 	
①-2	壁	水圧作用部 ・ 地下部	<ul style="list-style-type: none"> ・ 原子炉建屋（壁地下部） ・ <u>原子炉建屋（使用済燃料貯蔵プール）</u> ・ コントロール建屋（壁地下部） ・ タービン建屋（壁地下部） ・ 緊急時対策所（壁地下部） ・ 廃棄物処理建屋（壁地下部） ・ 廃棄物処理建屋（復水貯蔵槽） ・ サービス建屋（壁地下部） ・ 5号機タービン建屋（壁地下部） 	施設の重要性、建屋規模及び構造特性を考慮し、上部に床等の拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料貯蔵プールの壁を代表として評価する。

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

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せによる評価結果を用いることとする。評価に用いる地震動を表 3-1-9 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、又は、基準地震動 S_s の各方向地震成分により、個別に計算した最大応答値を用い、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*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。

注記* : REGULATORY GUIDE 1.92 “Combining modal responses and spatial components in seismic response analysis”

表 3-1-9 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 Ss-1	全周期帯の応答が大きく、主排気筒への影響も大きい基準地震動 Ss-1 を用いる。
基礎	矩形	原子炉建屋	基準地震動 Ss-1～Ss-8	V-2-9-3-4 の評価結果を用いるため、Ss-1～Ss-8 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 燃料貯蔵プール）	基準地震動 Ss-1～Ss-8	V-2-4-2-1 の評価結果を用いるため、Ss-1～Ss-8 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 主排気筒の検討

(1) 検討の概要

隅柱（基礎立上り部を含む）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。主排気筒の鉄塔部支柱材及び基礎立上り部は、応力集中の影響が大きいと想定されるため、3次元 FEM モデルを用いて、基準地震動 S_s を水平 2 方向及び鉛直方向に同時入力した場合の検討を実施する。

主排気筒は、原子炉建屋 $R1 \sim R2$, $RC \sim RD$ 間の屋上（T.M.S.L.* 38.2m）に位置し、内径 2.4m の鋼板製筒身（換気空調系用排気筒）を鋼管四角形鉄塔（制震装置付）で支えた鉄塔支持形排気筒である。また、筒身内部には、非常用ガス処理系用排気筒が筒身に支持されている。

主排気筒の基礎は、原子炉建屋と一体となった鉄骨鉄筋コンクリート造の立上り部である。ただし、基礎は鉄筋コンクリート造として評価する。

主排気筒の配置図を図 3-1-5 に、概要図を図 3-1-6 及び図 3-1-7 に示す。

注記*：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

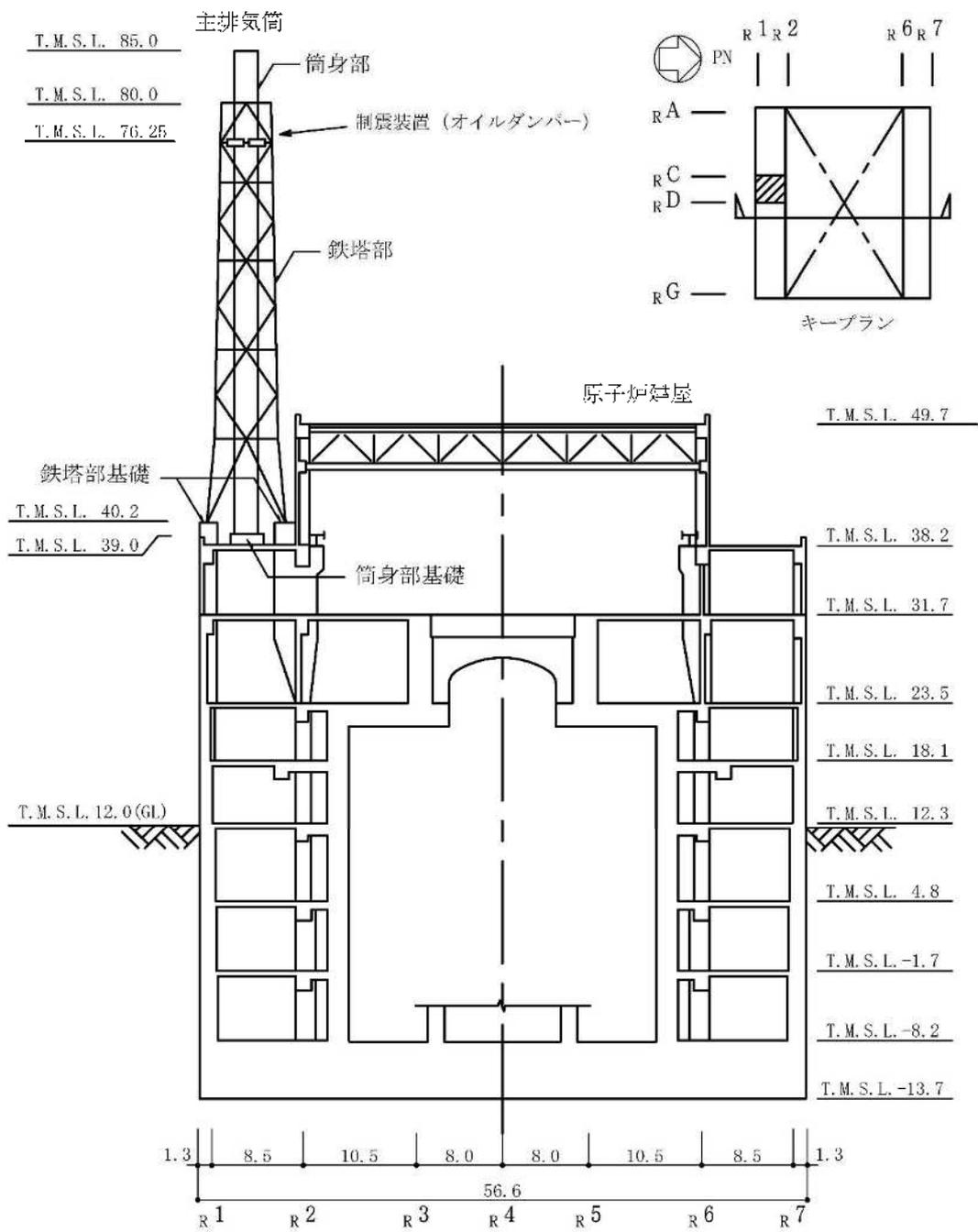
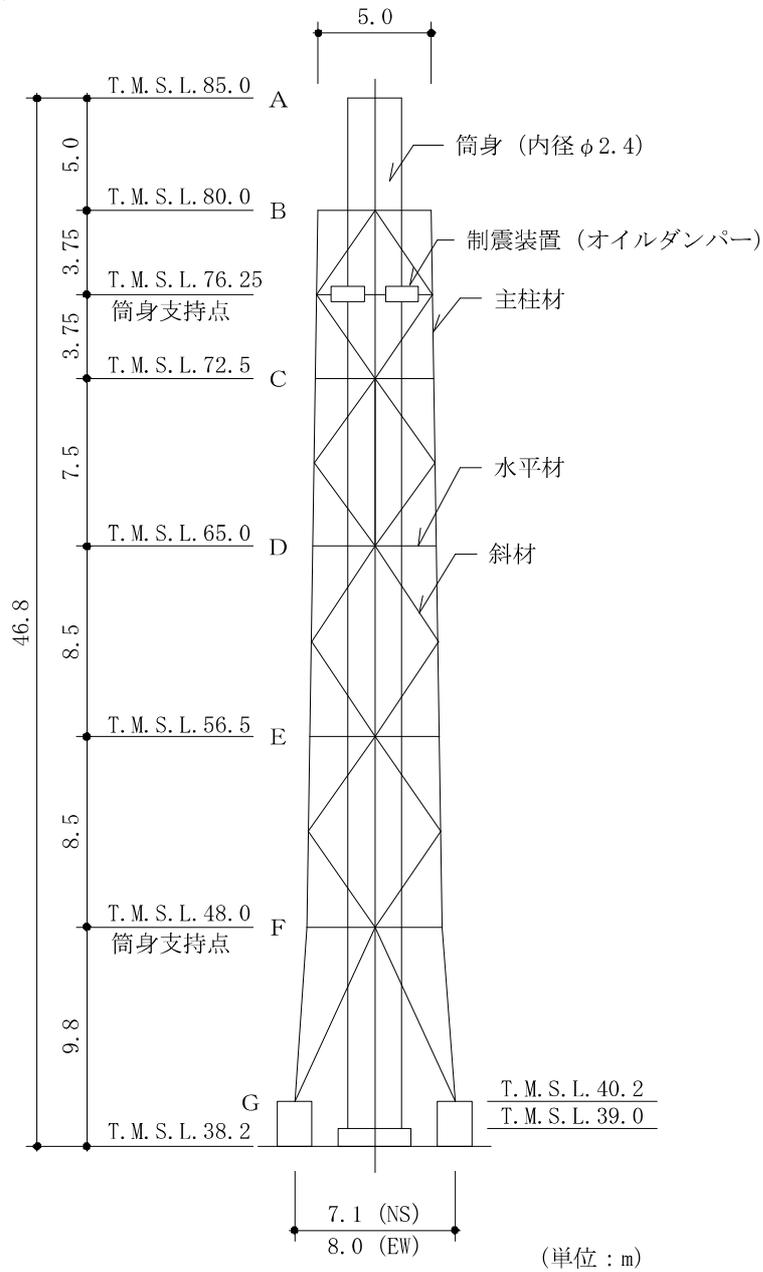


図 3-1-5 主排気筒配置図 (単位 : m)



	$\phi 318.5 \times 6$	$\phi 406.4 \times 6.4$	$\phi 508.0 \times 7.9$	$\phi 609.6 \times 16$	$\phi 711.2 \times 19$	STK490 [STK50]*	支柱材
	$\phi 216.3 \times 4.5$	$\phi 267.4 \times 6$	$\phi 318.5 \times 6$	$\phi 355.6 \times 7.9$	$\phi 406.4 \times 6.4$	STK400 [STK41]	水平材
	$\phi 216.3 \times 4.5$	$\phi 267.4 \times 6$	$\phi 355.6 \times 7.9$	$\phi 406.4 \times 12.7$	$\phi 558.8 \times 16$	STK490 [STK50]	斜材
	t=6	t=8	t=8	t=12	SMA400A [SMA41A]	筒身板厚	
部材リスト (単位 : mm)							

注記* : [] 内は従来標記を示す。

図 3-1-6 主排気筒概要図

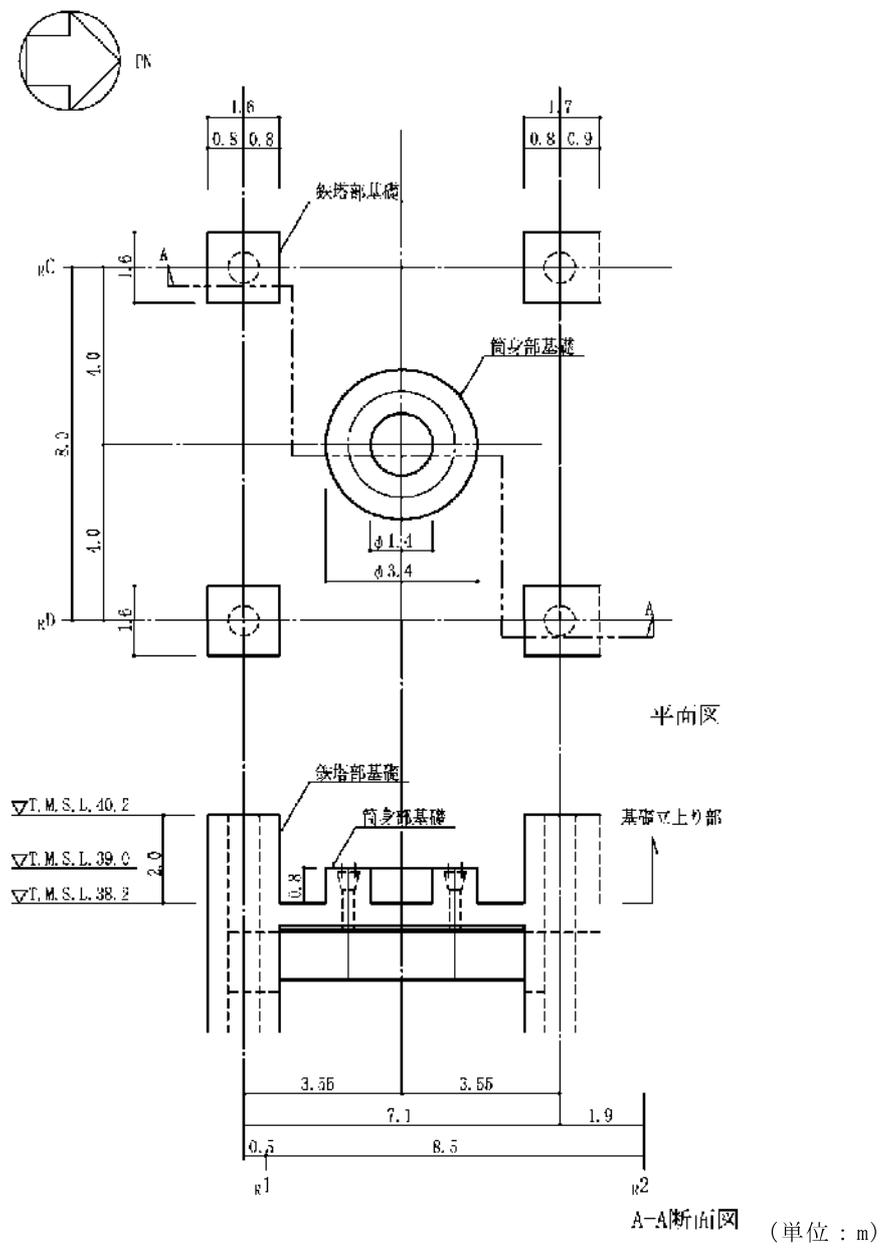


図 3-1-7 主排気筒の基礎の概要図

(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鉄塔部支柱材及び基礎立上り部を対象に評価を行う。

評価に当たっては，基準地震動 S_s を用い，水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力（以下「3 方向同時入力」という。）する時刻歴応答解析を行い，主排気筒が有する耐震性に影響しないことを確認する。鉄塔部支柱材及び基礎（鉄塔部基礎ボルト及び鉄塔部基礎立上り部）の耐震性への影響については，基準地震動 S_s を 3 方向同時入力した地震応答解析の結果による各断面算定結果（検定値）が，1.0 を超えないことにより確認する。

解析モデルの詳細及び許容値については，V-2-7-2-1「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。

解析モデルを図 3-1-8 に示す。

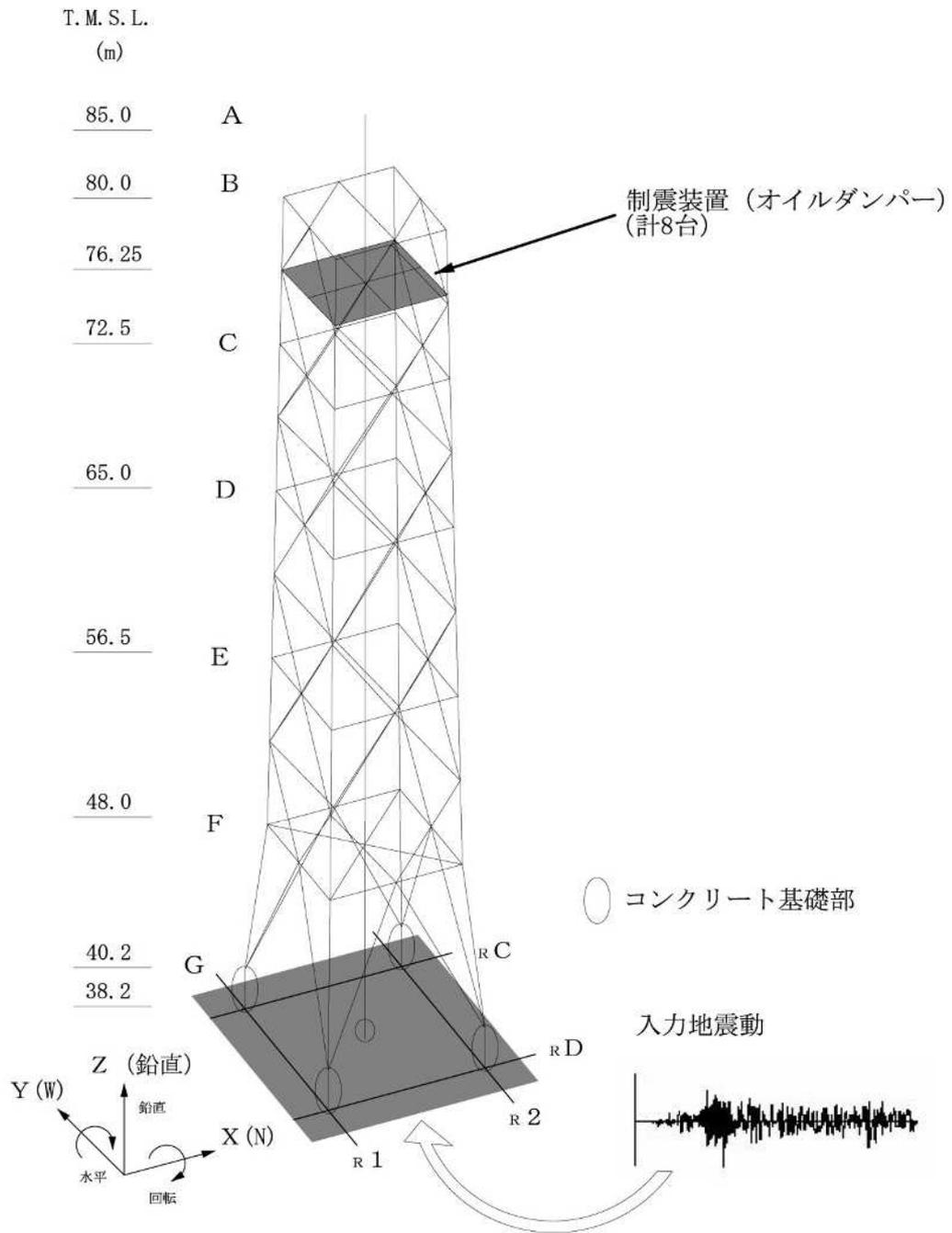


図 3-1-8 主排気筒の解析モデル

(3) 入力地震動

主排気筒の地震応答解析モデルへの入力地震動は、Ss-1 による原子炉建屋全体の地震応答解析から得られる屋上レベル (T. M. S. L. 38.2m) における応答値を用いる。

地震動の組合せを表 3-1-10 に示す。

V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」による評価では、3次元 FEM モデルを用いた上で、一部の地震動 (Ss-1~Ss-8 のうち、Ss-2 及び Ss-4~Ss-7 が該当) については 3 方向同時入力を行っている。そのため、3 方向同時入力を行っていない基準地震動 S s のうち、鉄塔部支柱材及び基礎への影響が大きい Ss-1 を検討に採用する。

地震動の入力方法は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に基づくものとする。

表 3-1-10 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
2 方向同時入力*1	Ss-1H による応答 (Ss-1NS)	—	Ss-1V による応答 (Ss-1UD)
	—	Ss-1H による応答 (Ss-1EW)	Ss-1V による応答 (Ss-1UD)
3 方向同時入力	Ss-1H による応答 (Ss-1NS)	模擬地震波*2 による応答	Ss-1V による応答 (Ss-1UD)

注記*1: 2 方向同時入力 (水平 1 方向及び鉛直方向同時入力) については、V-2-7-2-1「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。

*2: Ss-1H の設計用応答スペクトルに適合するが、Ss-1H とは位相特性が異なる模擬地震波である。位相特性が異なる模擬地震波の作成方針については、別紙 5「方向性を考慮しない水平方向地震動における模擬地震波の作成方針」に示す。

(4) 使用材料の許容応力度

鋼材、コンクリート及び鉄筋の許容応力度は、V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に示す内容と同一である。

(5) 解析諸元

使用材料の物性値はV-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に示す内容と同一である。

(6) 評価方法

Ss-1 を 3 方向同時入力した，3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行い，各鉄塔部支柱材及び基礎（鉄塔部基礎ボルト及び基礎立上り部）の断面算定結果（検定値）が 1.0 を超えないことを確認する。

断面算定の方法は，V-2-7-2-1「主排気筒の耐震性についての計算書」に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

3 方向同時入力時及び 2 方向同時入力時の鉄塔部支柱材の検定値を表 3-1-11 に，鉄塔部基礎ボルトの検定値を表 3-1-12 に，鉄塔部基礎立上り部の検定値を表 3-1-13 に示す。

評価の結果，2 方向同時入力時の検定値と比較し，3 方向同時入力時の検定値は増加傾向であるものの，各鉄塔部支柱材及び基礎の検定値が 1.0 を超え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，主排気筒の鉄塔部支柱材及び基礎が有する耐震性への影響が無いことを確認した。

表 3-1-11 鉄塔部支柱材の検定値

部材間	使用部材 (STK490)	2 方向同時入力		3 方向 同時入力
		NS 方向	EW 方向	
B - C	φ 318.5 × 6	0.14	0.13	0.17
C - D	φ 406.4 × 6.4	0.54	0.50	0.69
D - E	φ 508.0 × 7.9	0.62	0.60	0.79
E - F	φ 609.6 × 16	0.62	0.55	0.80
F - G	φ 711.2 × 19	0.52	0.50	0.67

表 3-1-12 鉄塔部基礎ボルトの検定値

評価 対象部位	評価項目	2 方向同時入力		3 方向 同時入力
		NS 方向	EW 方向	
鉄塔部 基礎ボルト	引張応力度	0.55	0.48	0.74
	せん断応力度	0.18	0.15	0.23

表 3-1-13 鉄塔部基礎立上り部の検定値

評価 対象部位	評価項目	2 方向同時入力		3 方向 同時入力
		NS 方向	EW 方向	
コンクリート (1.6m × 1.6m*)	鉄筋コンクリート部 主筋の応力度	0.60	0.49	0.75
	コンクリートの せん断応力度	0.49	0.41	0.62
鉄骨柱 (φ 711.2 × 22)	鉄骨柱の応力度	0.36	0.32	0.48

注記* : 基礎寸法は 2 種類 (1.6m × 1.6m 及び 1.6m × 1.7m) あるが,
ここでは断面性能の低い基礎 (1.6m × 1.6m) を評価対象とする。

(8) 検討のまとめ

隅柱（基礎立上り部を含む）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部支柱材及び基礎立上り部について、主排気筒の 3 次元 FEM モデルに対し、基準地震動 S_s を水平 2 方向及び鉛直方向に同時入力した場合の検討を行った。

検討の結果、水平 1 方向及び鉛直方向入力時の検定値と比較し、水平 2 方向及び鉛直方向入力時の検定値は増加傾向であるものの、これらの検定値が 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、隅柱（基礎立上り部を含む）が有する耐震性への影響が無いことを確認した。

3.1.7 使用済燃料貯蔵プールの壁の検討

(1) 検討の概要

使用済燃料貯蔵プールの壁は、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り、水平 2 方向の地震力を受けることから、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。

使用済燃料貯蔵プールは、原子炉建屋の燃料取替床 (T.M.S.L. 31.7m) 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。使用済燃料貯蔵プール内には、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。使用済燃料貯蔵プール内面はステンレス鋼でライニングされており、漏水を防ぐとともに、保守、点検についても考慮されている。

使用済燃料貯蔵プールの大きさは、内面寸法で平面 17.9m×14.0m、深さ 11.82m、壁厚 2.0m、底面スラブ厚 2.3m である。

使用済燃料貯蔵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 3-1-9 及び図 3-1-10 に、使用済燃料貯蔵プール周りの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-11 及び図 3-1-12 に示す。

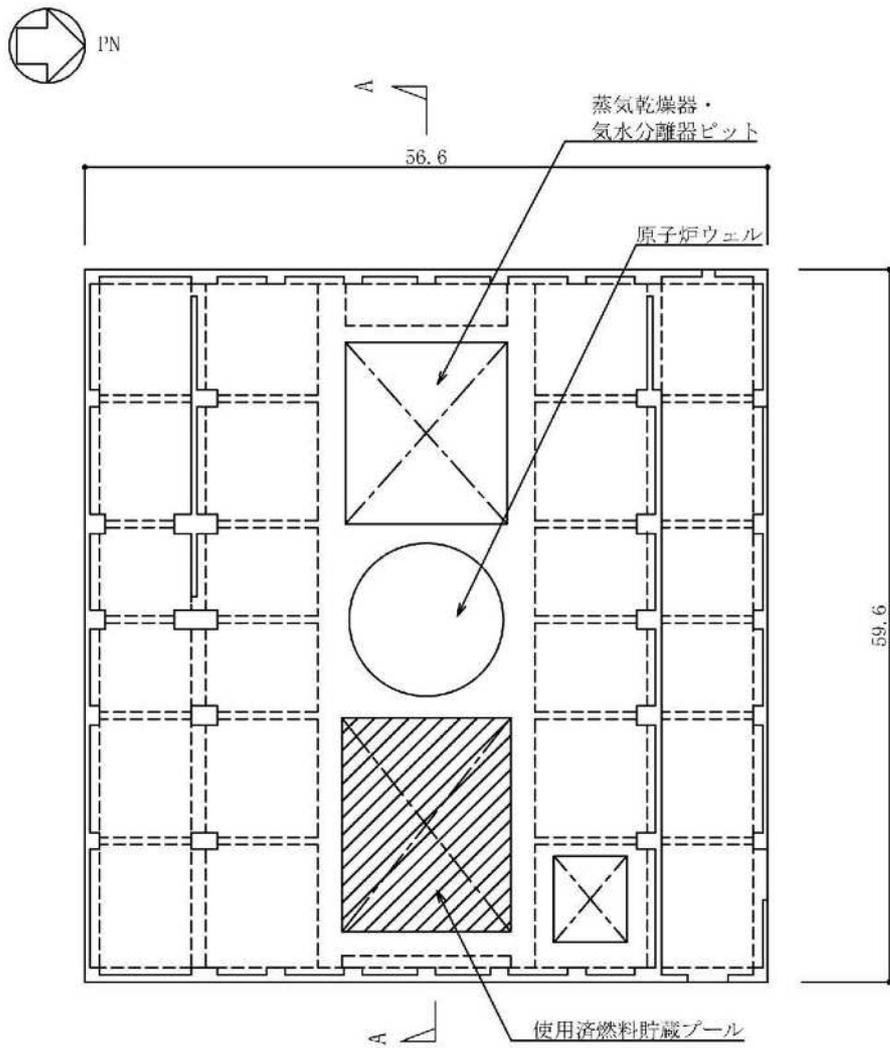
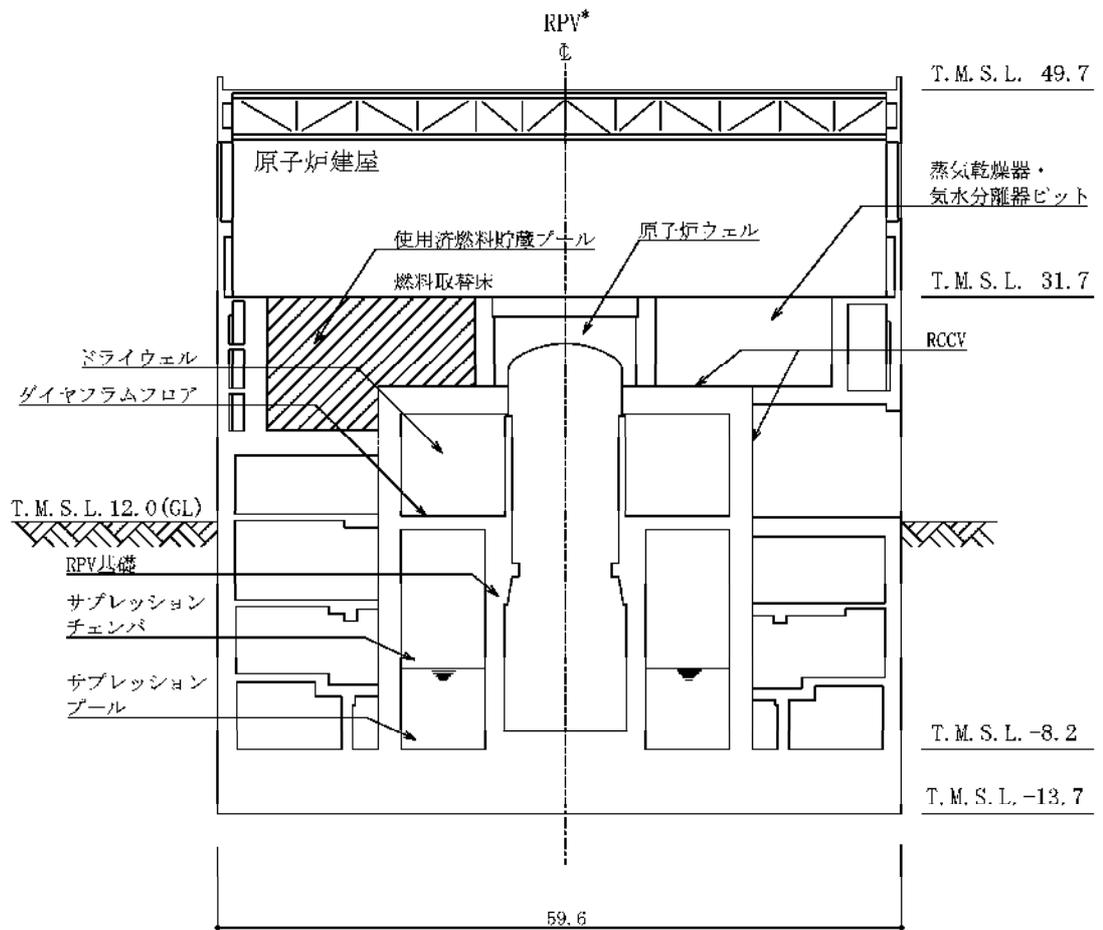


図 3-1-9 使用済燃料貯蔵プールを含む原子炉建屋の概略平面図 (T.M.S.L. 31.7m)
(単位 : m)



注記*：原子炉压力容器（以下「RPV」という。）

図 3-1-10 使用済燃料貯蔵プールを含む原子炉建屋の概略断面図
(A-A 断面) (単位：m)

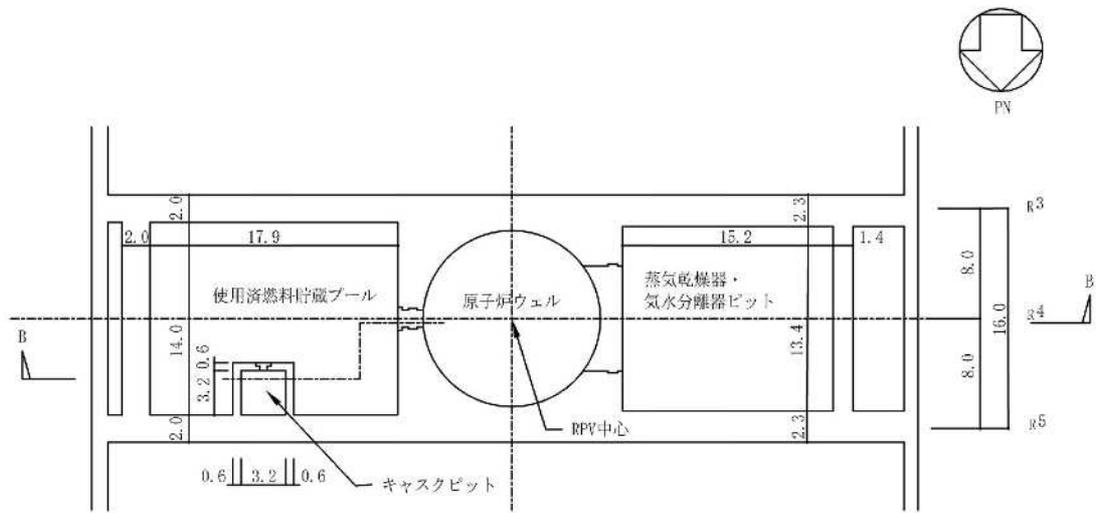


図 3-1-11 使用済燃料貯蔵プール周りの概略平面図（単位：m）

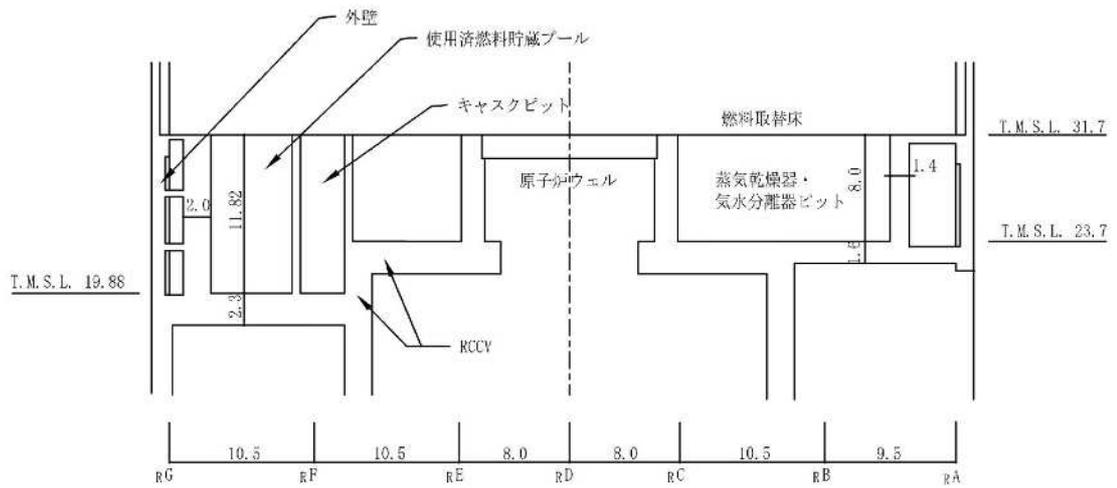


図 3-1-12 使用済燃料貯蔵プール周りの概略断面図
（B-B 断面）（単位：m）

(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貯蔵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、V-2-4-2-1「使用済燃料貯蔵プール及びキャスクピットの耐震性についての計算書」（以下「SFP の耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。荷重の組合せを表 3-1-14 に示す。荷重の詳細は、SFP の耐震計算書の「3.2.1 荷重」に示す死荷重及び活荷重 (DL)、運転時圧力 (P_1)、逃がし安全弁作動時荷重 (H_1)、地震荷重 (K_s)、地震時配管荷重 (R_s) 及び地震時動水圧荷重 (KH_s) と同一である。

表 3-1-14 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	$DL + P_1 + H_1 + K_s + R_s + KH_s$

- DL : 死荷重及び活荷重
- P_1 : 運転時圧力
- H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重
- K_s : 地震荷重
- R_s : 地震時配管荷重
- KH_s : 地震時動水圧荷重

(4) 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、SFP の耐震計算書の「3.3 許容限界」に示す内容と同一である。

(5) 応力解析

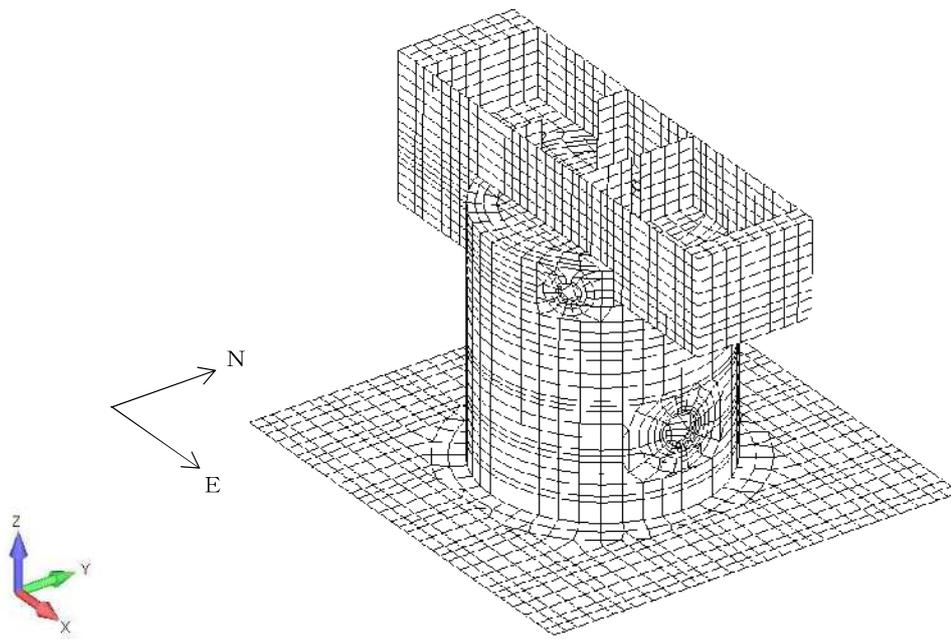
解析モデル概要図を図 3-1-13 に示す。解析モデルの詳細は、SFP の耐震計算書の「3.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s地震時の応力は、SFP の耐震計算書の「3.5.1 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。

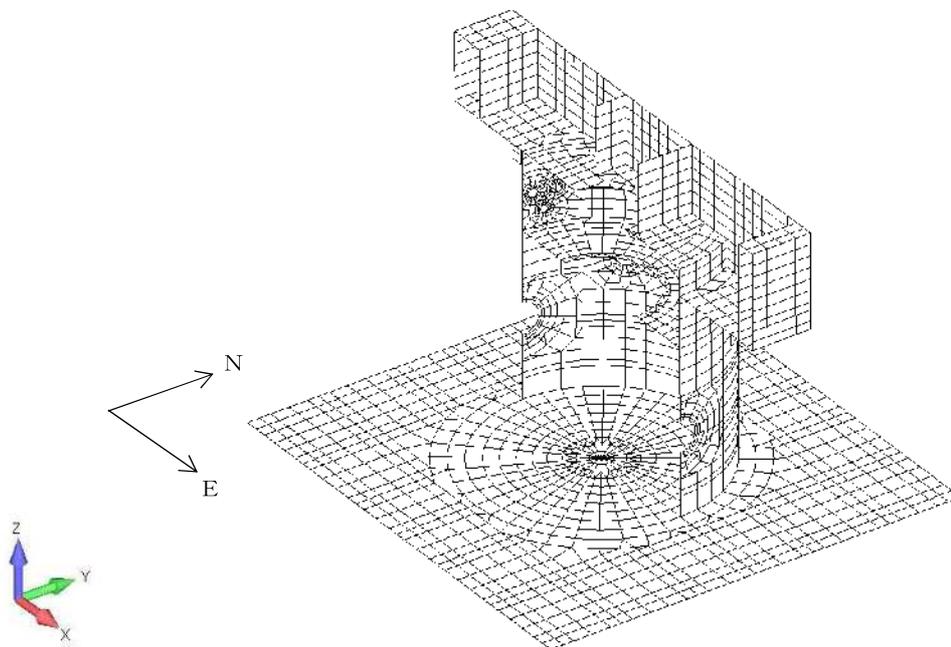
DL	: 死荷重及び活荷重
P ₁	: 運転時圧力
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
K _{s_{SN}} *	: S→N 方向 S _s 地震荷重
K _{s_{WE}} *	: W→E 方向 S _s 地震荷重
K _{s_{DU}} *	: 鉛直方向 S _s 地震荷重
R _s	: S _s 地震時配管荷重
KH _{s_{WE}} *	: W→E 方向 S _s 地震時動水圧荷重
KH _{s_{SN}} *	: S→N 方向 S _s 地震時動水圧荷重

注記* : 計算上の座標軸を基準として、EW 方向は W→E 方向の加力、NS 方向は S→N 方向の加力、鉛直方向は上向きの加力を記載している。

水平地震力と鉛直地震力による応力の組合せは、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 3-1-15 及び表 3-1-16 に示す。

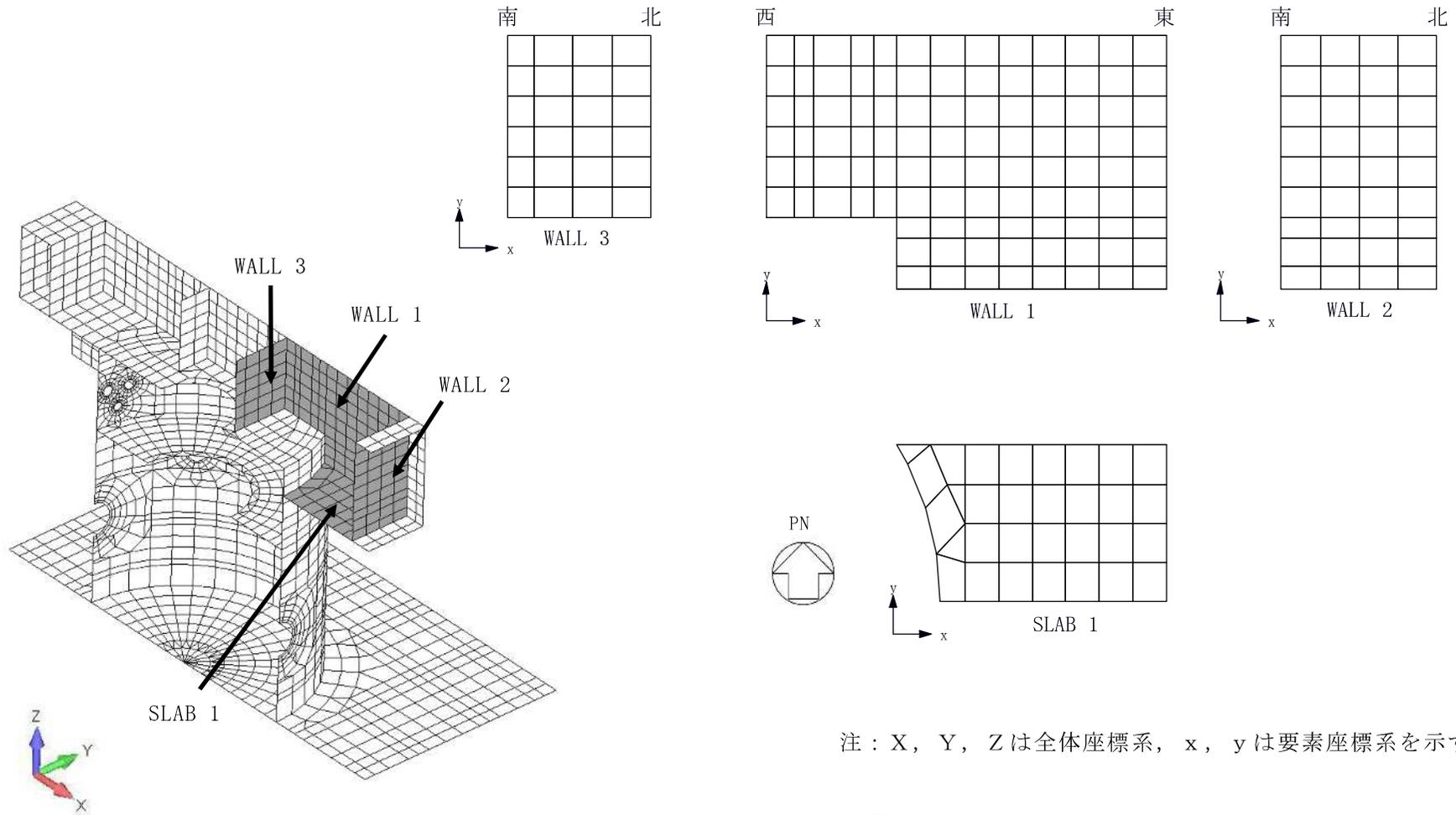


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体断面図 (EW 方向断面)

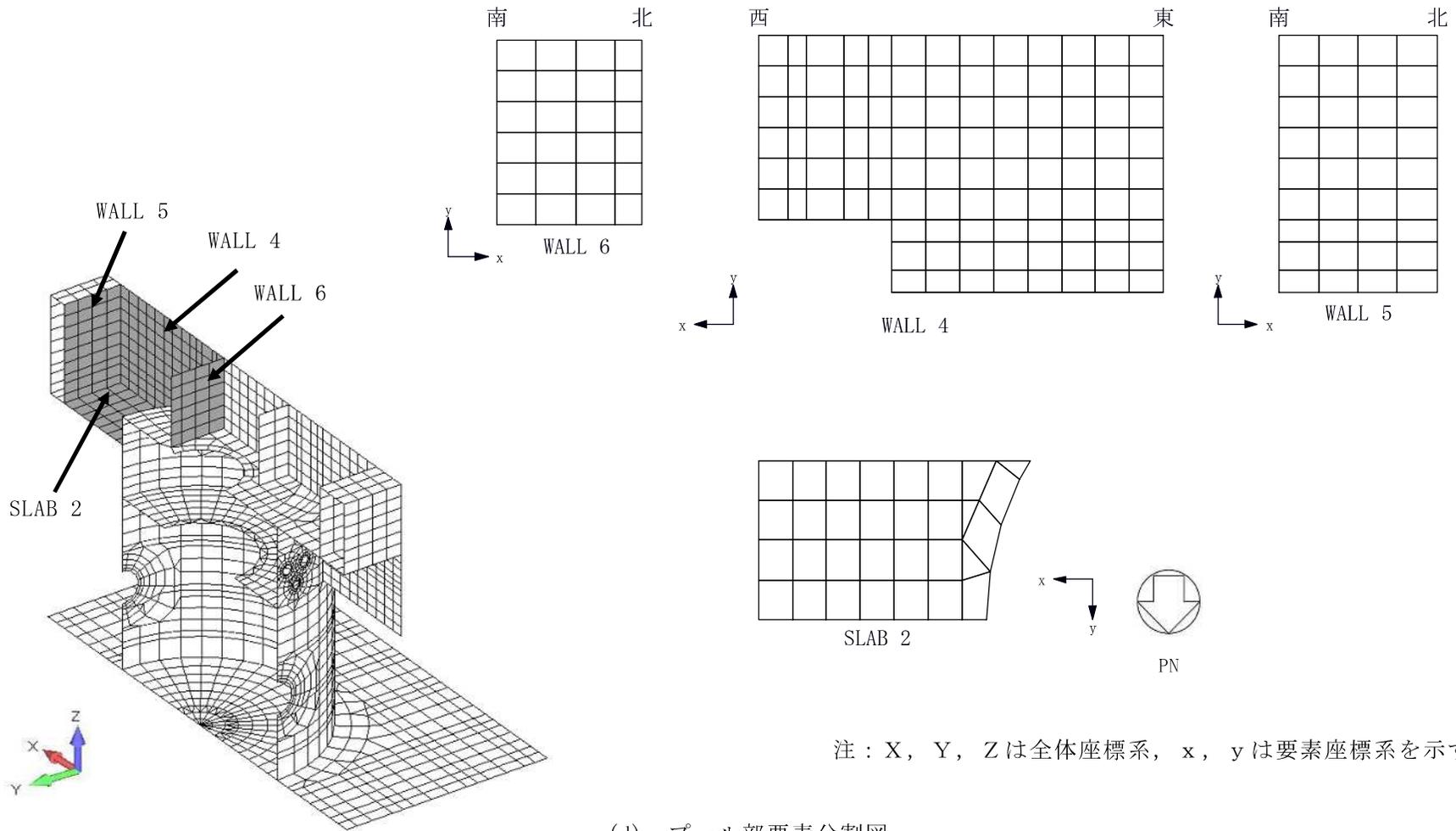
図 3-1-13 解析モデル概要図 (1/3)



注：X，Y，Zは全体座標系，x，yは要素座標系を示す。

(c) プール部要素分割図

図 3-1-13 解析モデル概要図 (2/3)



注：X，Y，Zは全体座標系，x，yは要素座標系を示す。

(d) プール部要素分割図

図 3-1-13 解析モデル概要図 (3/3)

表 3-1-15 荷重の組合せケース（水平 2 方向）

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

表 3-1-16 荷重の組合せケース（水平 1 方向）

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

(6) 評価方法

使用済燃料貯蔵プールの壁の評価は、SFP の耐震計算書の「3.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

断面の評価結果を以下に示す。また、3次元 FEM モデルの配筋領域図を図 3-1-14 に、配筋一覧を表 3-1-17 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内せん断力によ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、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度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 3-1-15 及び図 3-1-16 に、評価結果を表 3-1-18 及び表 3-1-19 に示す。

S s 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発生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、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力によ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、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。

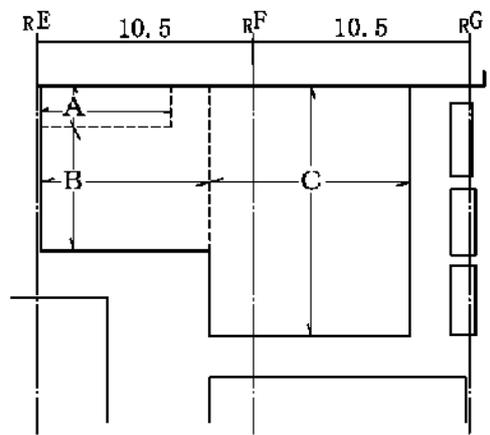
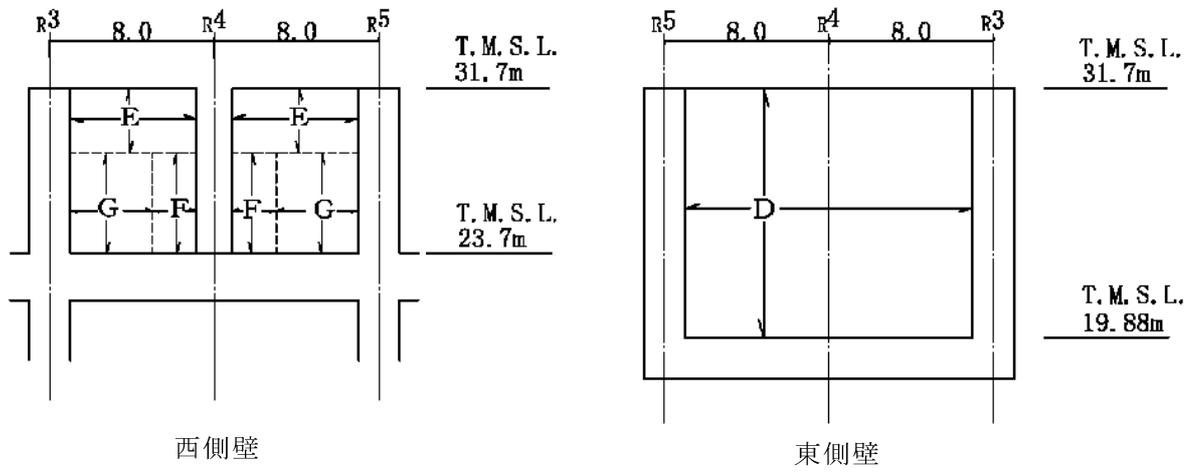


図 3-1-14 配筋領域図

表 3-1-17 配筋一覧

(a) 北側及び南側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
A	2-D38@200	5-D38@200
B		3-D38@200
C	3-D38@200	

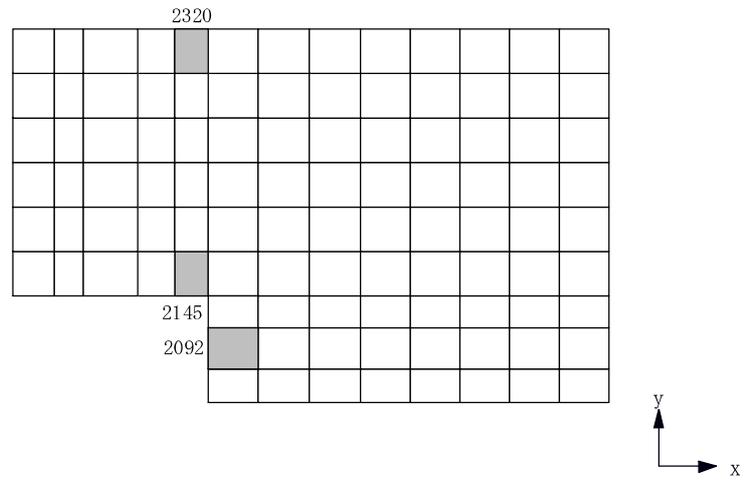
(b) 東側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
D	2-D38@200	2-D38@200

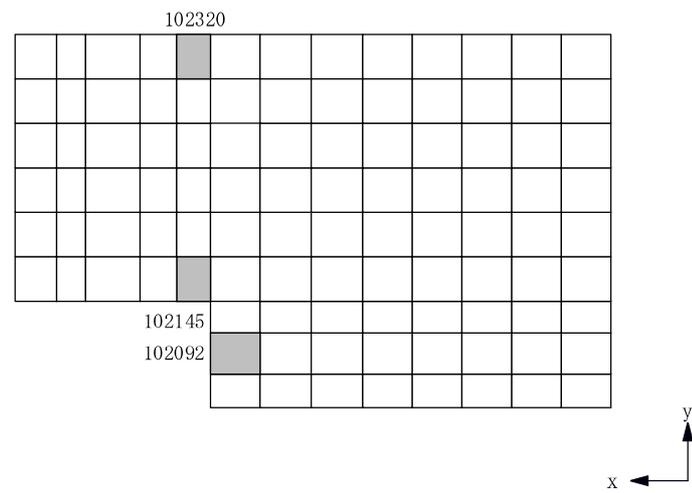
(c) 西側壁

区分	タテ方向	ヨコ方向
E	2-D38@200	2-D38@200
F	4-D38@200	3-D38@200
G	2-D38@200 +D38@400	

注：配筋は片側を示す。

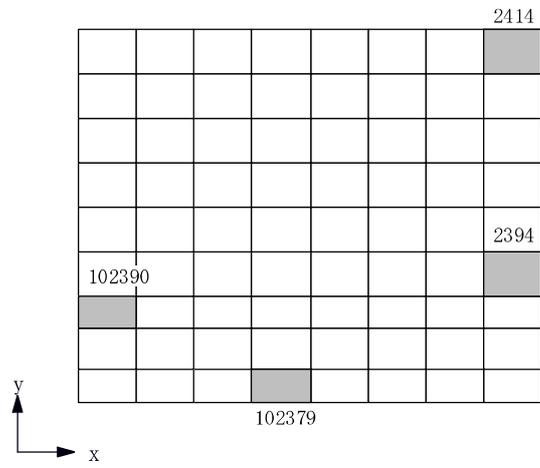


(a) 北側壁

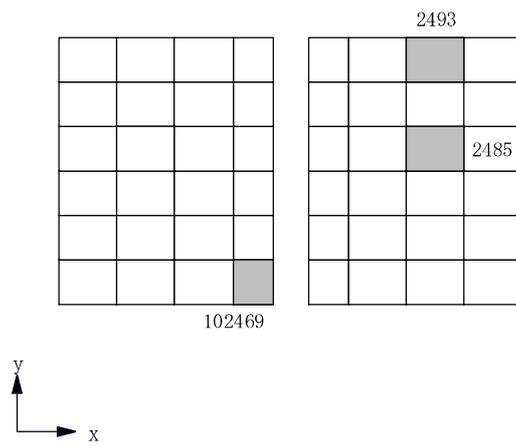


(b) 南側壁

図 3-1-15 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 2 方向) (1/2)

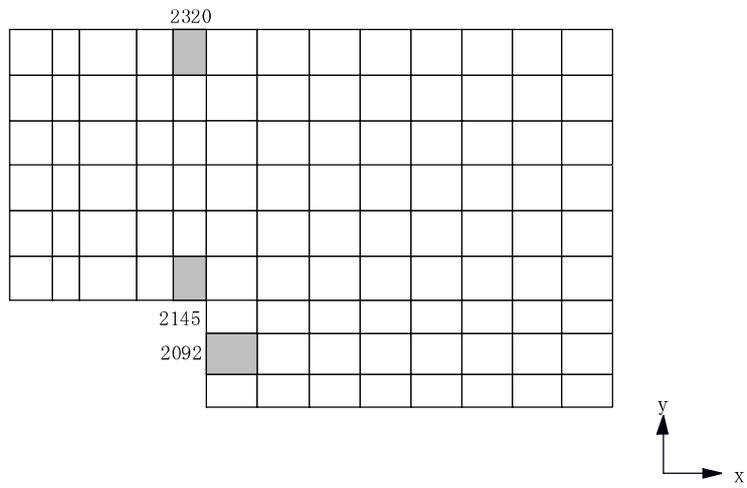


(c) 東側壁

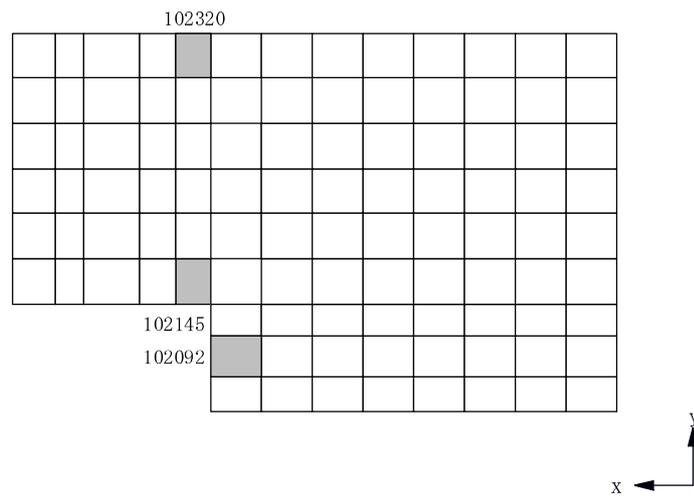


(d) 西側壁

図 3-1-15 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 2 方向) (2/2)

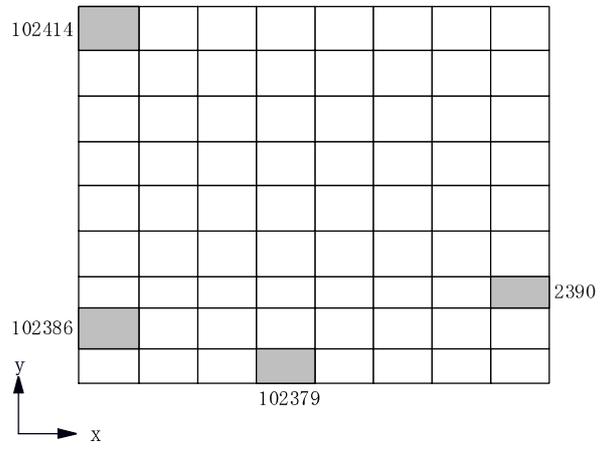


(a) 北側壁

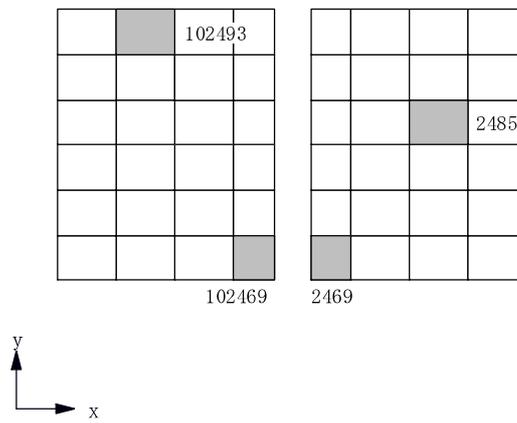


(b) 南側壁

図 3-1-16 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 1 方向) (1/2)



(c) 東側壁



(d) 西側壁

図 3-1-16 選定した要素の位置 S s 地震時 (水平 1 方向) (2/2)

表 3-1-18 使用済燃料貯蔵プールの壁の評価結果 S s 地震時 (水平 2 方向)

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	5-10	0.308	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	5-15	0.549	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2320	5-4	7.92	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	5-15	2.92	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	5-9	0.966	1.96
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	5-14	0.308	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	102320	5-16	0.548	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102320	5-3	7.92	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	5-16	2.91	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	5-13	0.965	1.96
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	5-12	0.393	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	5-12	0.748	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2414	5-14	1.22	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2394	5-10	1.00	3.74
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102390	5-12	0.940	1.73
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	5-10	0.212	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	5-5	0.547	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	102469	5-9	6.10	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2485	5-9	1.01	2.31
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	2493	5-16	0.298	1.58

表 3-1-19 使用済燃料貯蔵プールの壁の評価結果 S s 地震時 (水平 1 方向)

部位	評価項目		方向	要素番号	組合せ ケース	発生値	許容値
北側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	2145	2-5	0.282	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	2320	2-8	0.506	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	2320	2-2	7.37	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2092	2-16	2.76	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	2145	2-5	0.914	2.08
南側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102145	2-7	0.282	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	水平	102320	2-8	0.504	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102320	2-2	7.37	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	102092	2-16	2.74	4.91
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102145	2-7	0.912	2.08
東側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-6	0.391	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102379	2-6	0.742	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	水平	102414	2-5	1.13	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2390	2-5	1.00	3.87
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	鉛直	102386	2-6	0.926	1.75
西側壁	軸力 + 曲げモーメント + 面内せん断力	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	2-5	0.207	3.00
		鉄筋引張ひずみ ($\times 10^{-3}$)	鉛直	102469	2-3	0.500	5.00
	軸力	圧縮応力度 (N/mm^2)	鉛直	2469	2-7	5.90	21.4
	面内せん断力	面内せん断応力度 (N/mm^2)	-	2485	2-5	0.974	2.33
	面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	水平	102493	2-8	0.291	1.54

(8) 検討のまとめ

使用済燃料貯蔵プールの壁は、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発生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、軸力、曲げモーメント及び面内せん断力によ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、面内せん断応力度並びに面外せん断応力度が、各許容値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、使用済燃料貯蔵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。

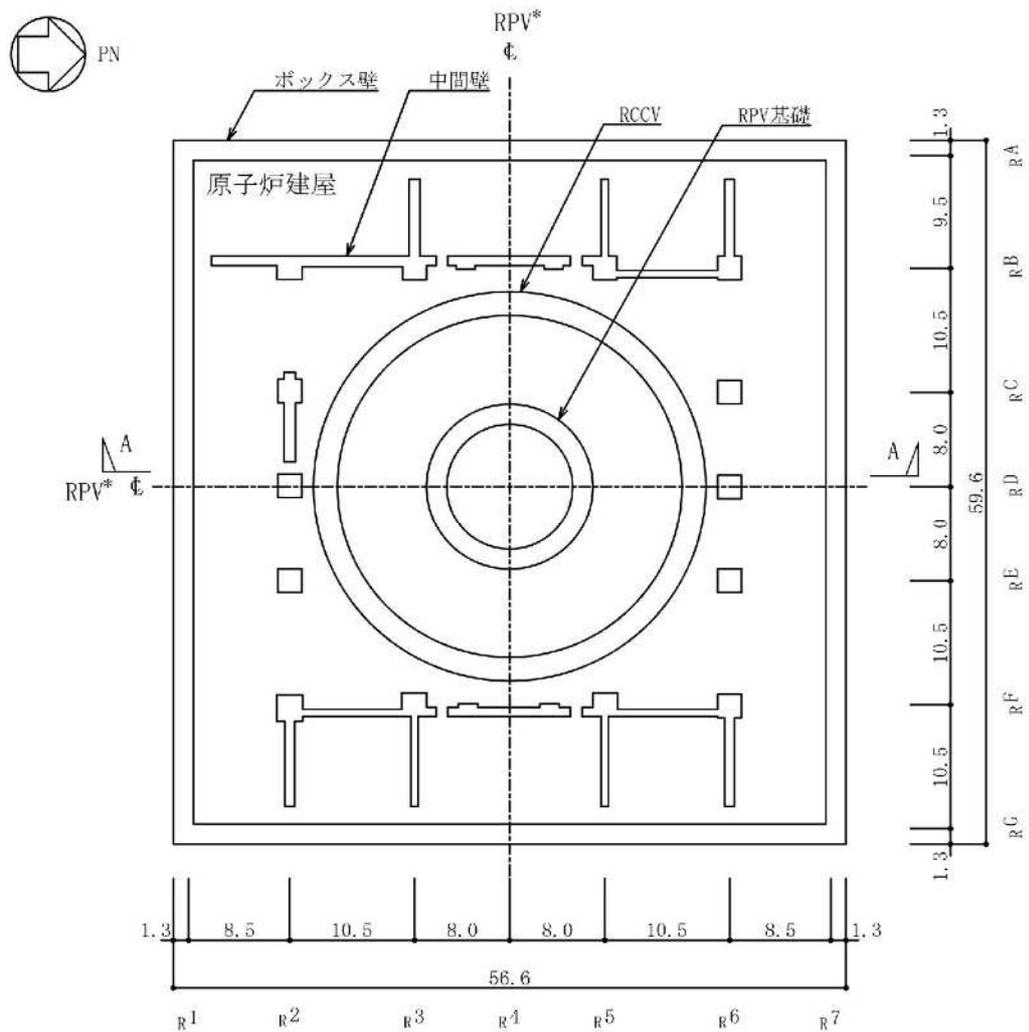
3.1.8 原子炉建屋の基礎スラブの検討

(1) 検討の概要

原子炉建屋基礎スラブは、矩形であり直交する水平 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。

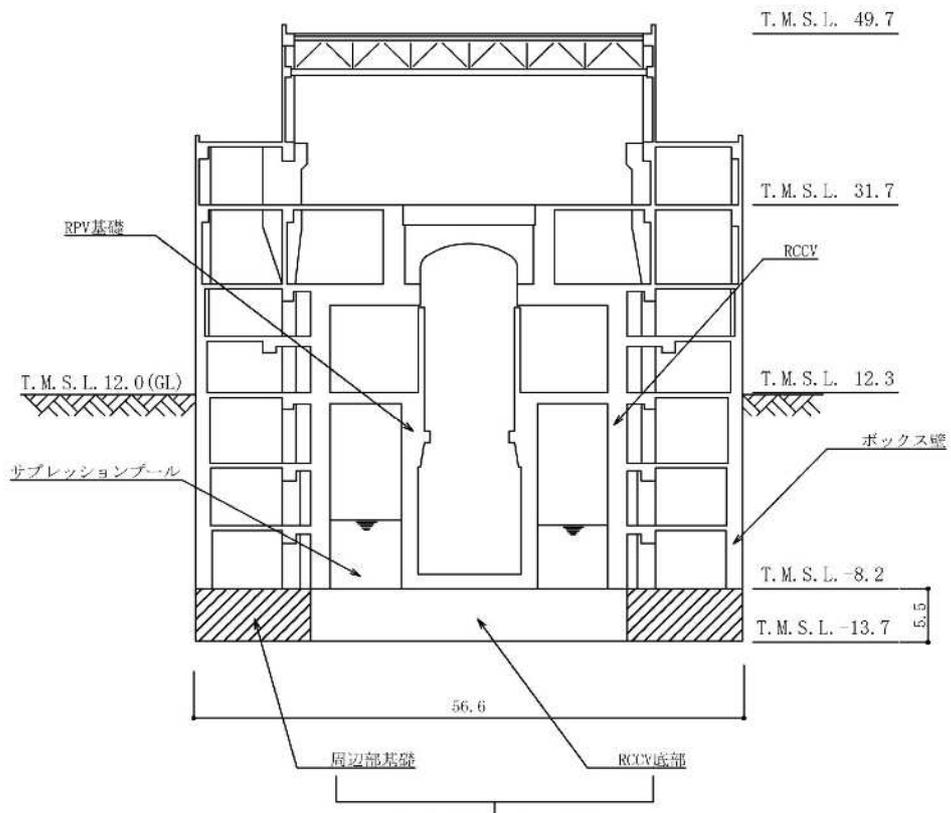
原子炉建屋基礎スラブは、原子炉格納容器の底部に該当する部分（以下「RCCV 底部」という。）及び原子炉建屋のうち RCCV 底部以外の基礎（以下「周辺部基礎」という。）で構成される。平面の形状は、NS 方向 56.6m，EW 方向 59.6m の矩形であり、厚さは 5.5m である。

原子炉建屋基礎スラブの概略平面図及び概略断面図を図 3-1-17 及び図 3-1-18 に示す。



注記*：原子炉圧力容器（以下「RPV」という。）

図 3-1-17 原子炉建屋基礎スラブの概略平面図（T.M.S.L. -8.2m）（単位：m）



原子炉建屋基礎スラブ

図 3-1-18 原子炉建屋基礎スラブの概略断面図 (A-A 断面) (単位 : m)

(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周辺部基礎について、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、V-2-9-3-4「原子炉建屋基礎スラブの耐震性についての計算書」（以下「基礎スラブの耐震計算書」という。）に示すものと同一である。

(3) 荷重及び荷重の組合せ

荷重の組合せは、V-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。また、荷重の組合せを表 3-1-20 に示す。荷重の詳細は、基礎スラブの耐震計算書に示す死荷重及び活荷重 ($D L$)、運転時圧力 (P_1)、逃がし安全弁作動時荷重 (H_1)、地震荷重 (K_s) 及び地震時土圧荷重 (E_s) と同一である。

表 3-1-20 荷重の組合せ

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

$D L$: 死荷重及び活荷重

P_1 : 運転時圧力

H_1 : 逃がし安全弁作動時荷重

K_s : 地震荷重

E_s : 地震時土圧荷重

(4) 使用材料の許容限界

コンクリート及び鉄筋の許容限界は、基礎スラブの耐震計算書の「4.3 許容限界」に示す内容と同一である。

(5) 応力解析

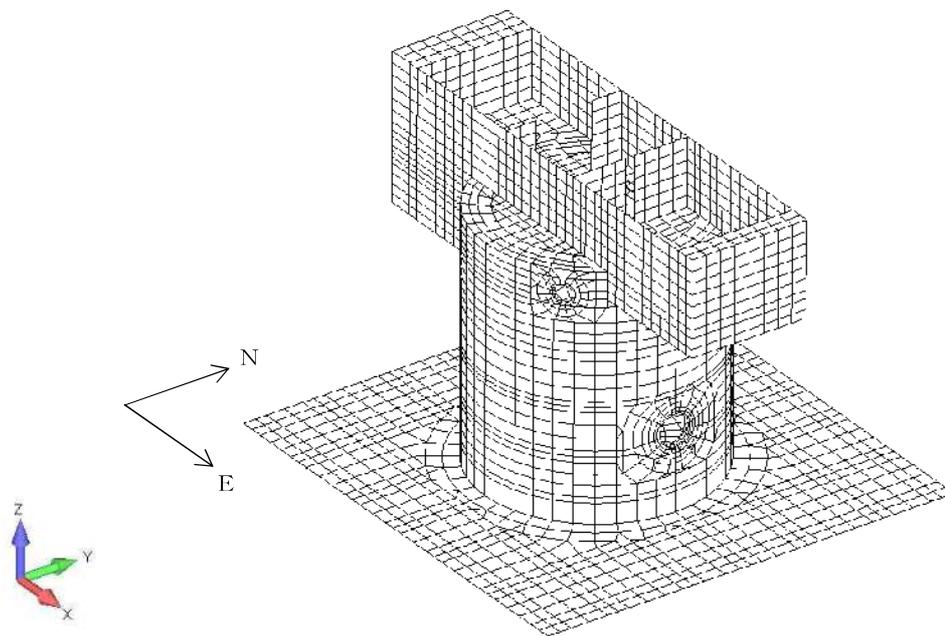
解析モデル図を図 3-1-19 に示す。解析モデルの詳細は、基礎スラブの耐震計算書の「4.4 解析モデル及び諸元」に示す内容と同一である。

S_s地震時の応力は、基礎スラブの耐震計算書の「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。

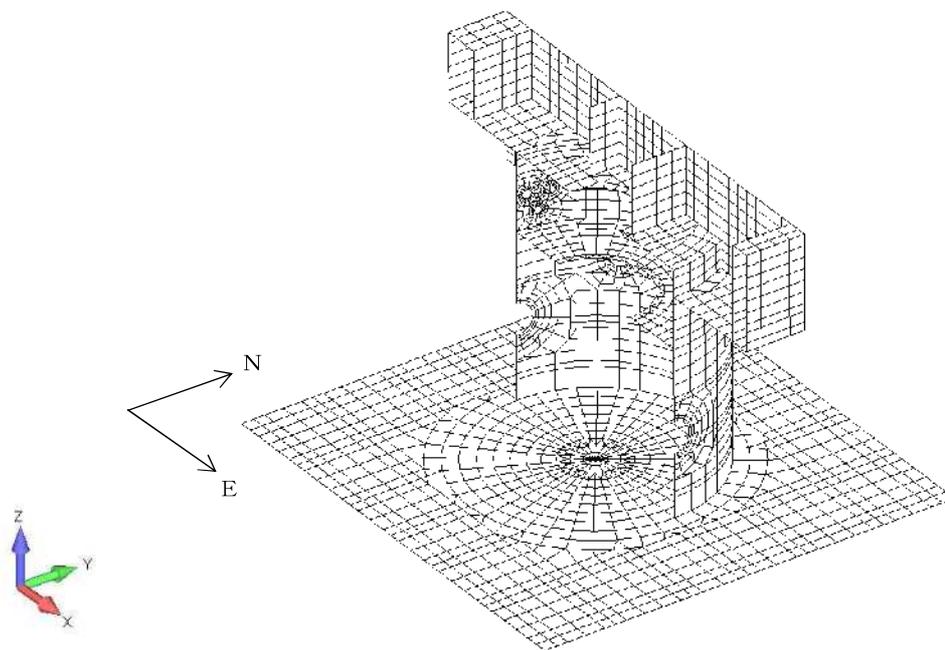
D L	: 死荷重及び活荷重
P ₁	: 運転時圧力
H ₁	: 逃がし安全弁作動時荷重
K _{s S N} *	: S→N 方向 S _s 地震荷重
K _{s W E} *	: W→E 方向 S _s 地震荷重
K _{s D U} *	: 鉛直方向 S _s 地震荷重
E _{s N S}	: NS 方向 S _s 地震時土圧荷重
E _{s E W}	: EW 方向 S _s 地震時土圧荷重

注記* : 計算上の座標軸を基準として、EW 方向は W→E 方向の加力、NS 方向は S→N 方向の加力、鉛直方向は上向きの加力を記載している

水平地震力と鉛直地震力による応力の組合せは、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 3-1-21 及び表 3-1-22 に示す。

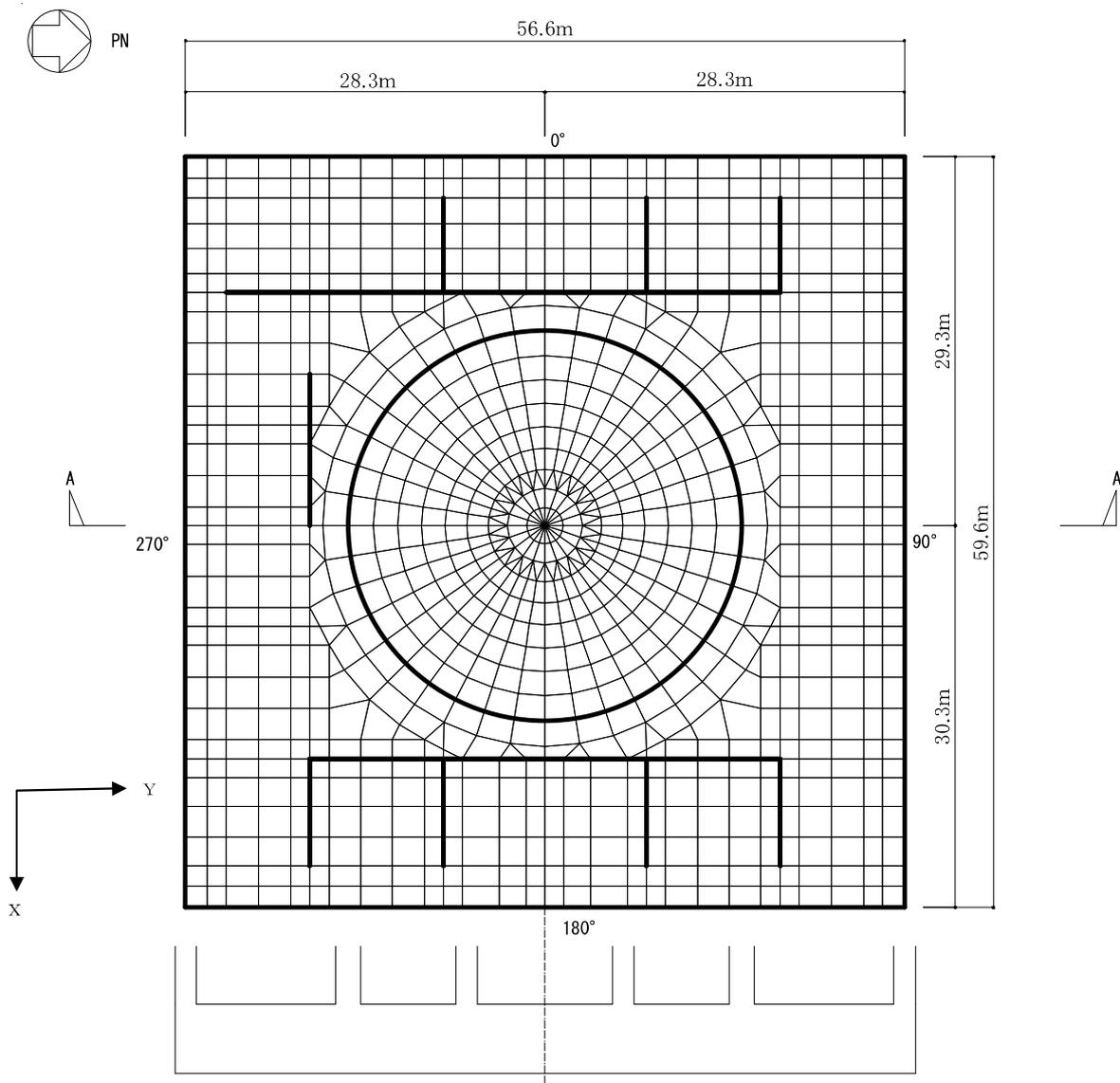


(a) 全体鳥瞰図



(b) 全体断面図

図 3-1-19 解析モデル (1/2)



(A-A) 断面図

(c) 基礎スラブ要素分割図

図 3-1-19 解析モデル (2/2)

表 3-1-21 荷重の組合せケース（水平 2 方向）

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

表 3-1-22 荷重の組合せケース（水平 1 方向）

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

(6) 評価方法

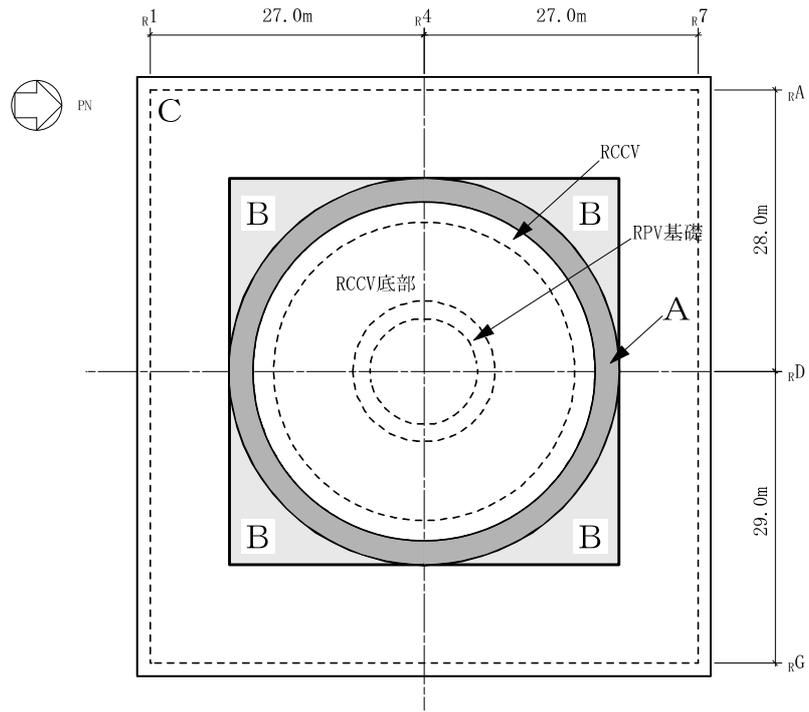
基礎の断面の評価は、基礎スラブの耐震計算書の「4.5.2 断面の評価方法」に示す方法と同一である。

(7) 評価結果

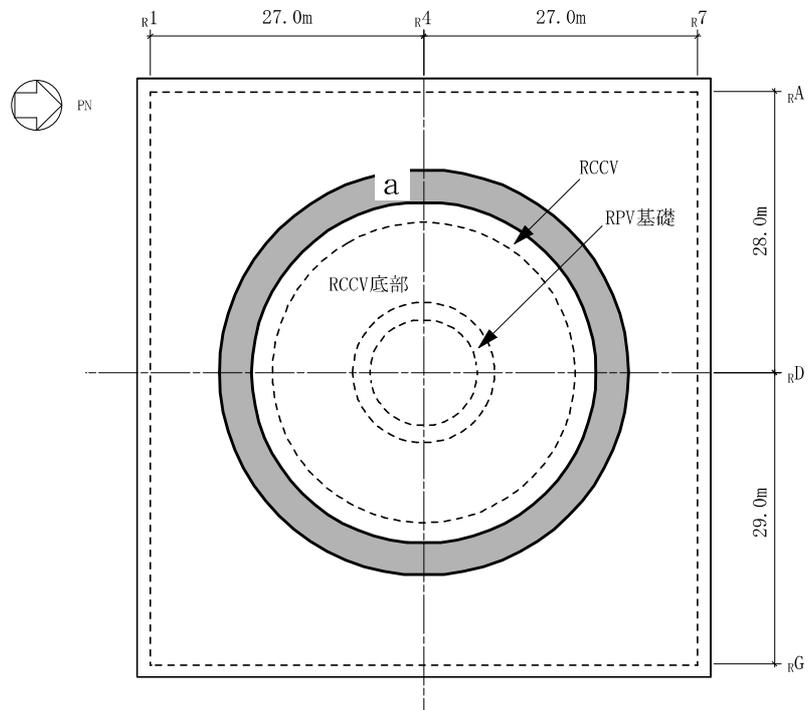
断面の評価結果を以下に示す。また、3次元 FEM モデルの配筋領域図及び配筋一覧を図 3-1-20 及び表 3-1-23 に示す。断面の評価結果を記載する要素は、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断力に対する評価において、発生値に対する許容値の割合が最小となる要素とする。

選定した要素の位置を図 3-1-21 に、評価結果を表 3-1-24 に示す。

S s 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発生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、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値を超えないことを確認した。



(a) 主筋



(b) せん断補強筋

図 3-1-20 配筋領域図

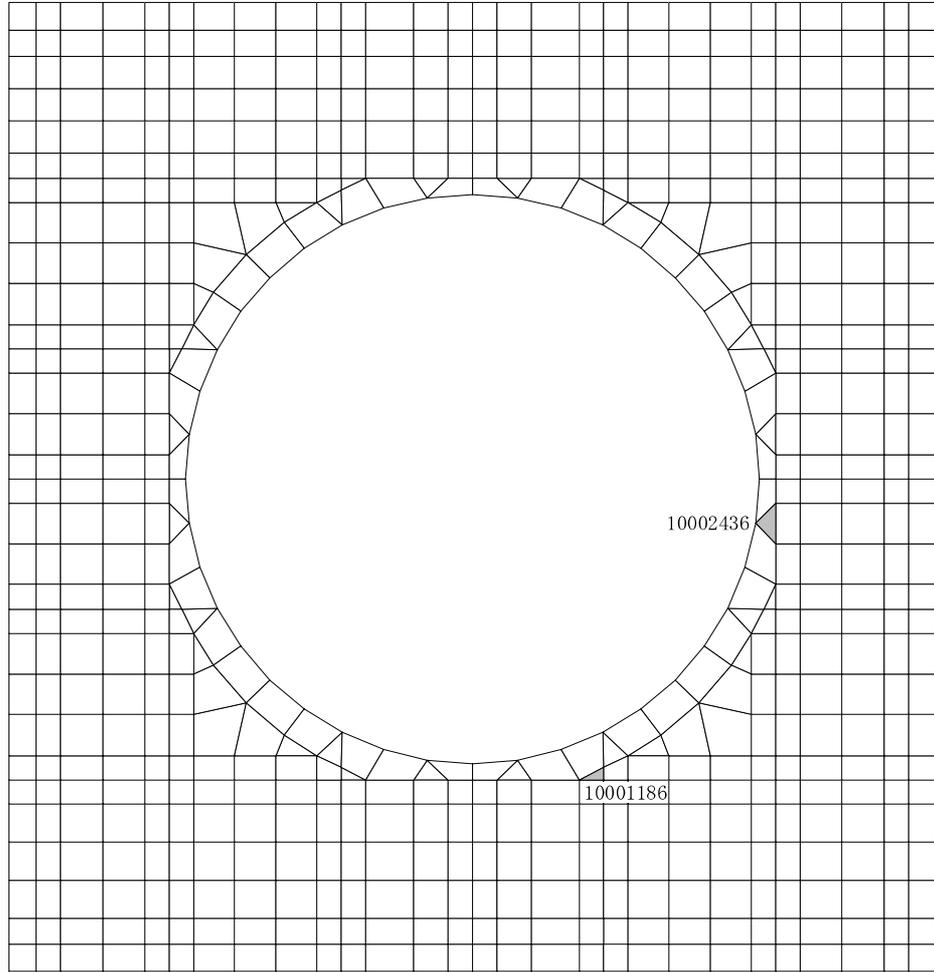
表 3-1-23 配筋一覧

(a) 主筋

領域	上ば筋		下ば筋	
	方向	配筋	方向	配筋
A	放射	5×320-D38	NS	5-D38@200
	円周	5-D38@200	EW	5-D38@200
B	NS	3-D38@200	NS	5-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	5-D38@200
C	NS	3-D38@200	NS	3-D38@200
	EW	3-D38@200	EW	3-D38@200

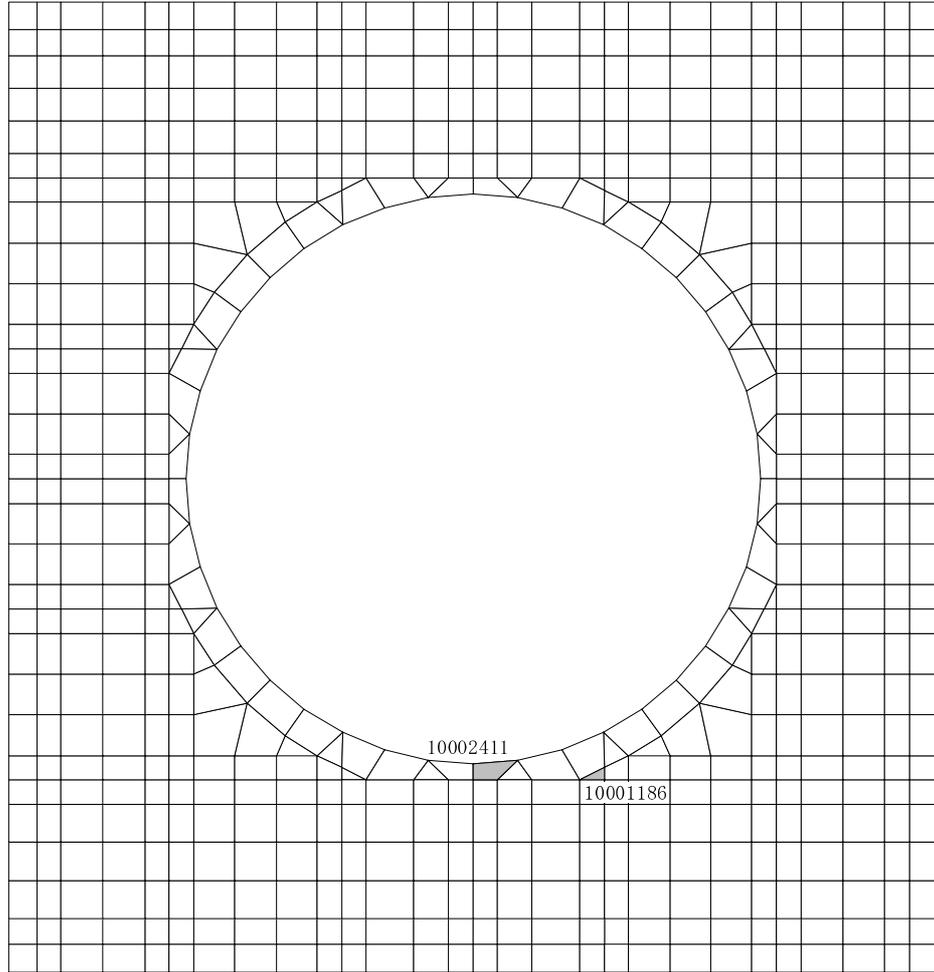
(b) せん断補強筋

領域	配筋
a	D35@400×400



(a) 水平 2 方向

図 3-1-21 選定した要素の位置 (S s 地震時) (1/2)



(b) 水平 1 方向

図 3-1-21 選定した要素の位置 S s 地震時 (2/2)

表 3-1-24 周辺部基礎の評価結果 S s 地震時

(a) 水平 2 方向

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	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	3-1	0.277	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	3-1	0.238	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	10002436	3-1	2.46	3.01

(b) 水平 1 方向

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	コンクリート圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	2-1	0.264	3.00
	鉄筋圧縮ひずみ ($\times 10^{-3}$)	NS	10001186	2-1	0.228	5.00
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	EW	10002411	2-2	2.36	3.01

(8) 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、原子炉建屋基礎スラブについて、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発生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、軸力及び曲げモーメントによる鉄筋及びコンクリートのひずみ並びに面外せん断応力度が、各許容値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、原子炉建屋基礎スラブが有する耐震性への影響はないことを確認した。

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. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討	別紙 2-3
2.1 検討の概要	別紙 2-3
2.2 検討方針	別紙 2-8
2.3 解析モデル	別紙 2-10
2.4 地震応答解析の概要	別紙 2-14
2.5 地震応答解析結果	別紙 2-20
2.6 面外慣性力に対する壁の断面算定	別紙 2-32
2.6.1 解析モデル及び荷重条件	別紙 2-32
2.6.2 応答補正比率の算出	別紙 2-34
2.6.3 断面の評価部位の選定	別紙 2-35
2.6.4 断面算定方法	別紙 2-37
2.6.5 断面算定結果	別紙 2-38
2.7 検討のまとめ	別紙 2-40
3. 局所応答による影響検討	別紙 2-41
4. 3次元 FEM モデルを用いた精査のまとめ	別紙 2-42

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、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」、応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」という特性より、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		評価に用いる地震動	評価に用いる理由
耐震評価部位	建物・構築物		
壁	一般部	基準地震動 S _s -1*, S _s -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 -1 及び断層モデルを用いた手法による地震動として NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の方向性を持つ基準地震動 S _s -2 を用いる。
耐震評価部位全般		基準地震動 S _s -1*, S _s -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 -1 及び断層モデルを用いた手法による地震動として NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の方向性を持つ基準地震動 S _s -2 を用いる。

注記* : 3次元 FEM モデルによる応答補正比率の算出は、線形解析のため弾性設計用地震動 S_d (S_d-1 及び S_d-2) を用いる。S_d-1 については、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、弾性設計用地震動 S_d-1 の設計用応答スペクトルに適合するが、弾性設計用地震動 S_d-1 とは位相特性が異なる模擬地震波である。位相特性が異なる模擬地震波の作成方針については、別紙 5「方向性を考慮しない水平方向地震動における模擬地震波の作成方針」に示す。

2. 原子炉建屋の壁の面外慣性力による影響検討

2.1 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の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。

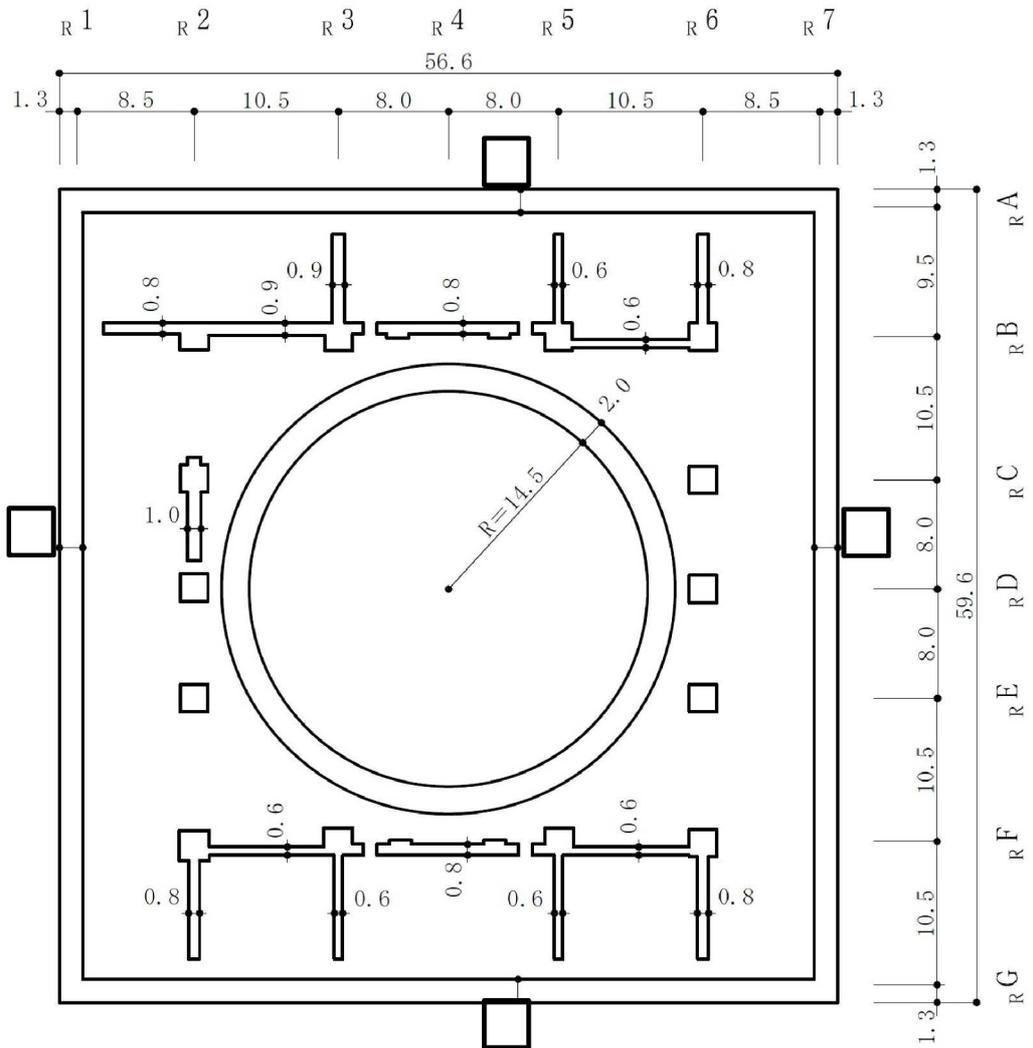
原子炉建屋は、地上 4 階、地下 3 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 2-1 及び図 2-2 に示す。

原子炉建屋の平面は、下部では 56.6m（NS方向）×59.6m（EW方向）、最上階は 39.0m（NS方向）×59.6m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 63.4m であり、地上高さは 37.7m である。なお、原子炉建屋の屋根部分には主排気筒が設置されている。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

原子炉建屋の基礎は厚さ 5.5m のべた基礎で、支持地盤である泥岩上にマンメイドロックを介して設置している。

原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）がある。RCCV は円筒形で基礎スラブ上から立ち上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。この RCCV の高さは底部上端からトップスラブ部下端まで 29.5m、内径は 29.0m であり、壁厚は 2.0m である。

原子炉建屋の主な耐震壁は、RCCV と外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。



(単位：m)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 2-1 原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. -8.2m) (1/2)

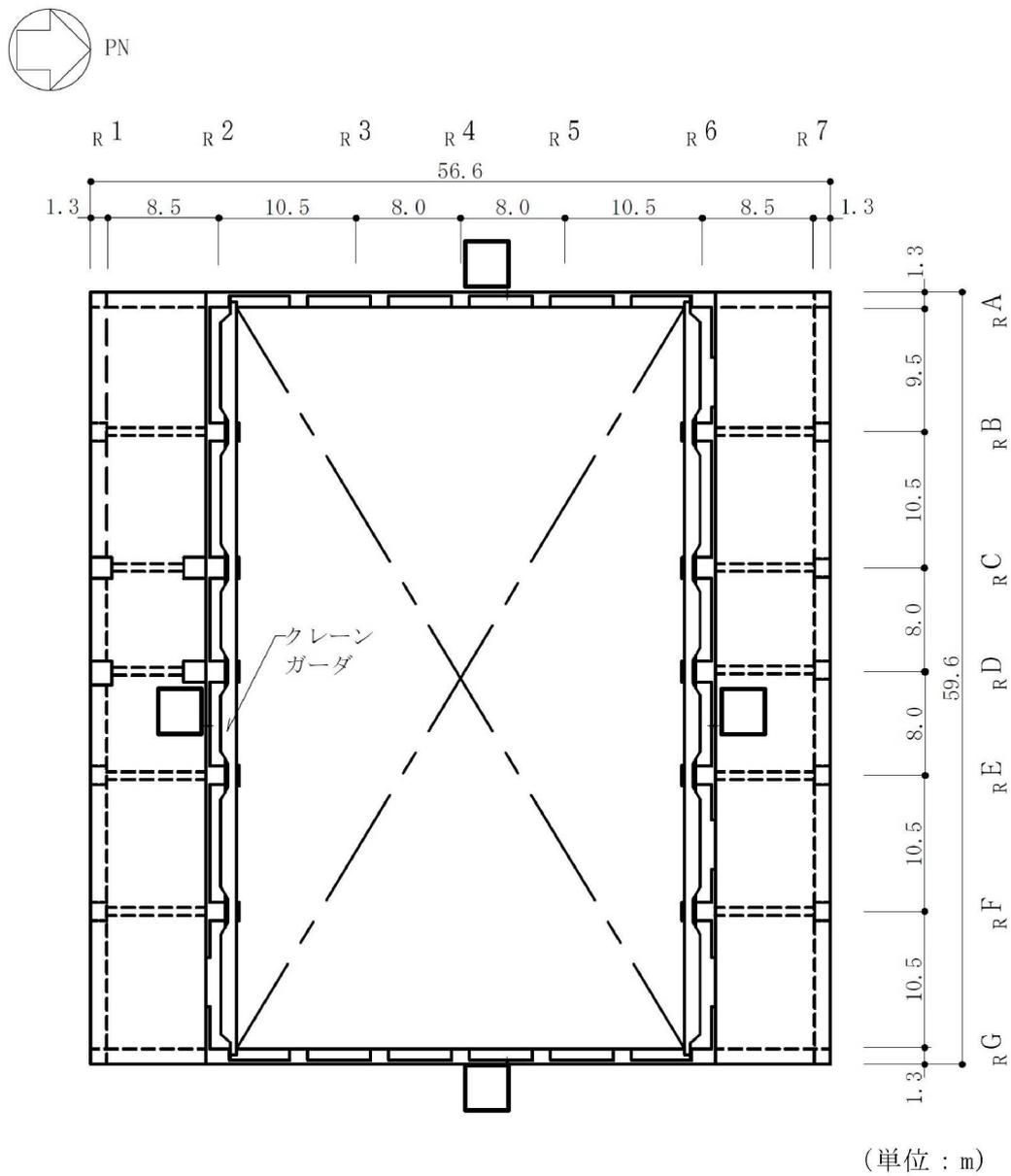
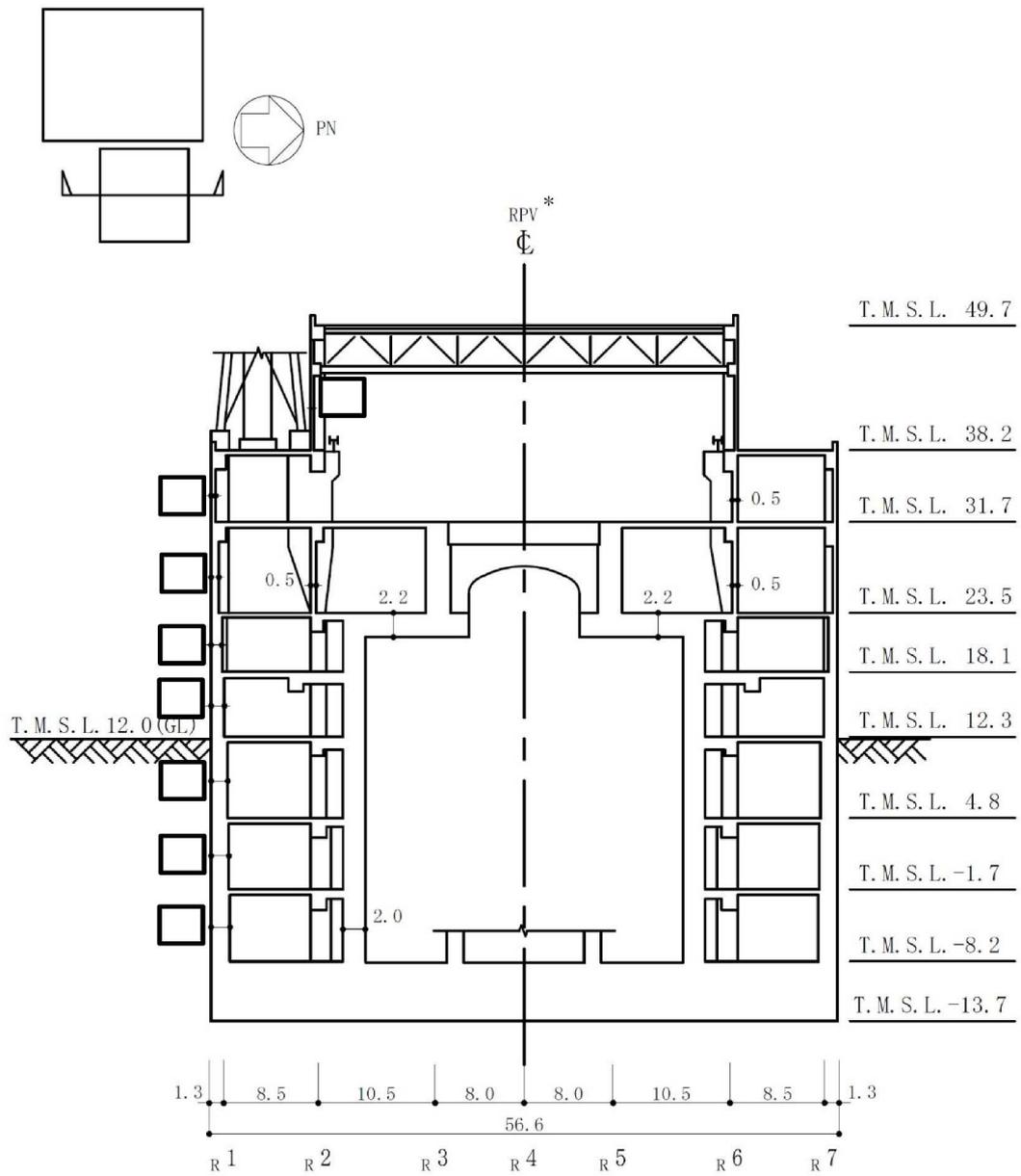


図 2-1 原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T. M. S. L. 38.2m) (2/2)



(単位 : m)

注記* : 原子炉圧力容器 (以下「RPV」という。)

図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2)

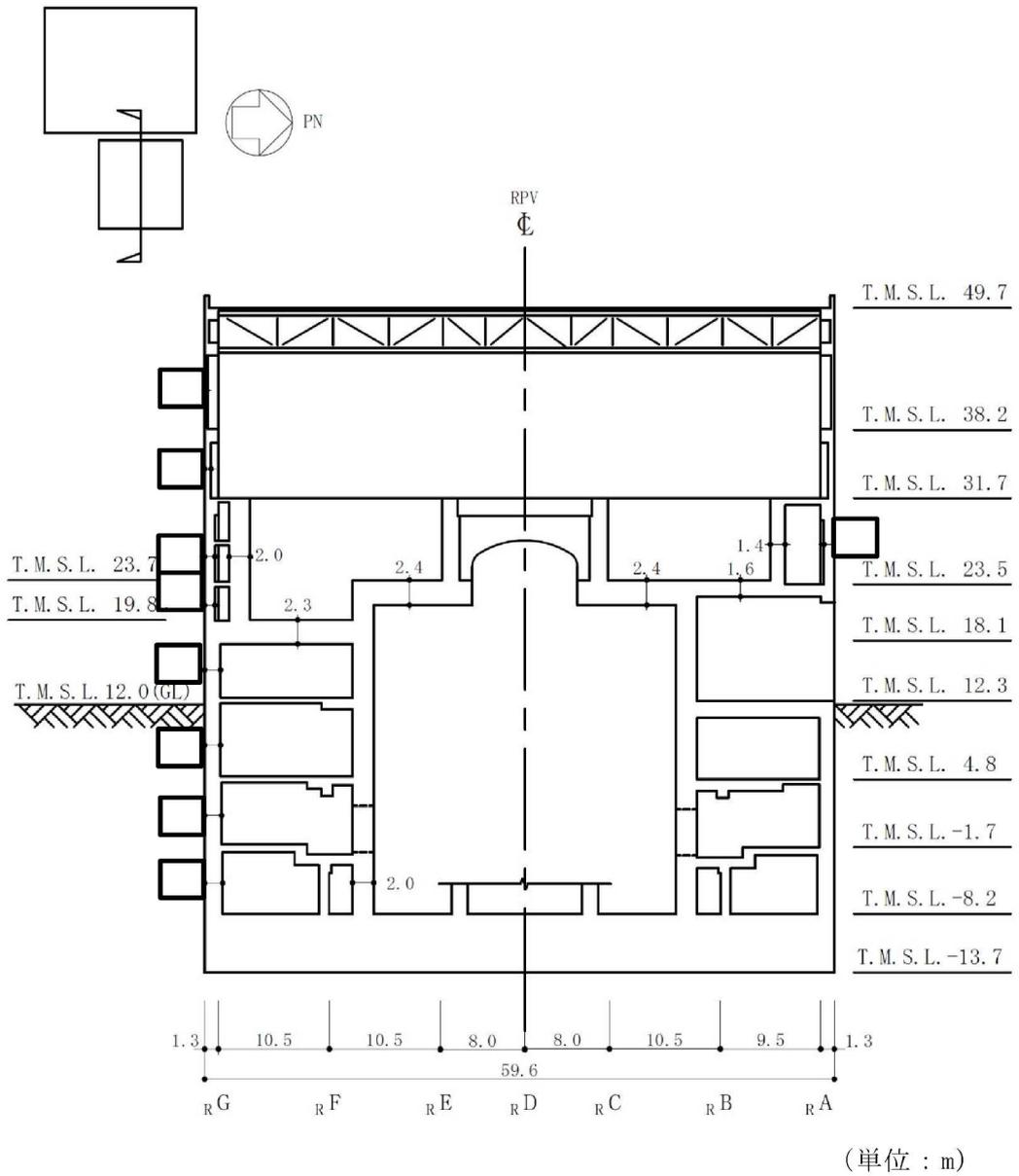


図 2-2 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

2.2 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無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うえで、原子炉建屋の壁を部分的に抽出し、保守的な静的応力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。

許容限界については、「2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書（国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所）」（以下「技術基準解説書」という。）に基づき F 値に 1.1 倍の割増しを考慮した弾性限強度とする。なお、弾性設計用地震動 S_d による評価については、質点系モデルの応答加速度が基準地震動 S_s の約 1/2 倍であり、許容限界が基準地震動 S_s の 1/1.1 倍であることから、基準地震動 S_s により生じる各部材の断面の応力が弾性限強度を超えないことを確認することで、弾性設計用地震動 S_d による評価は行わないこととする。

検討フローを図 2-3 に示す。

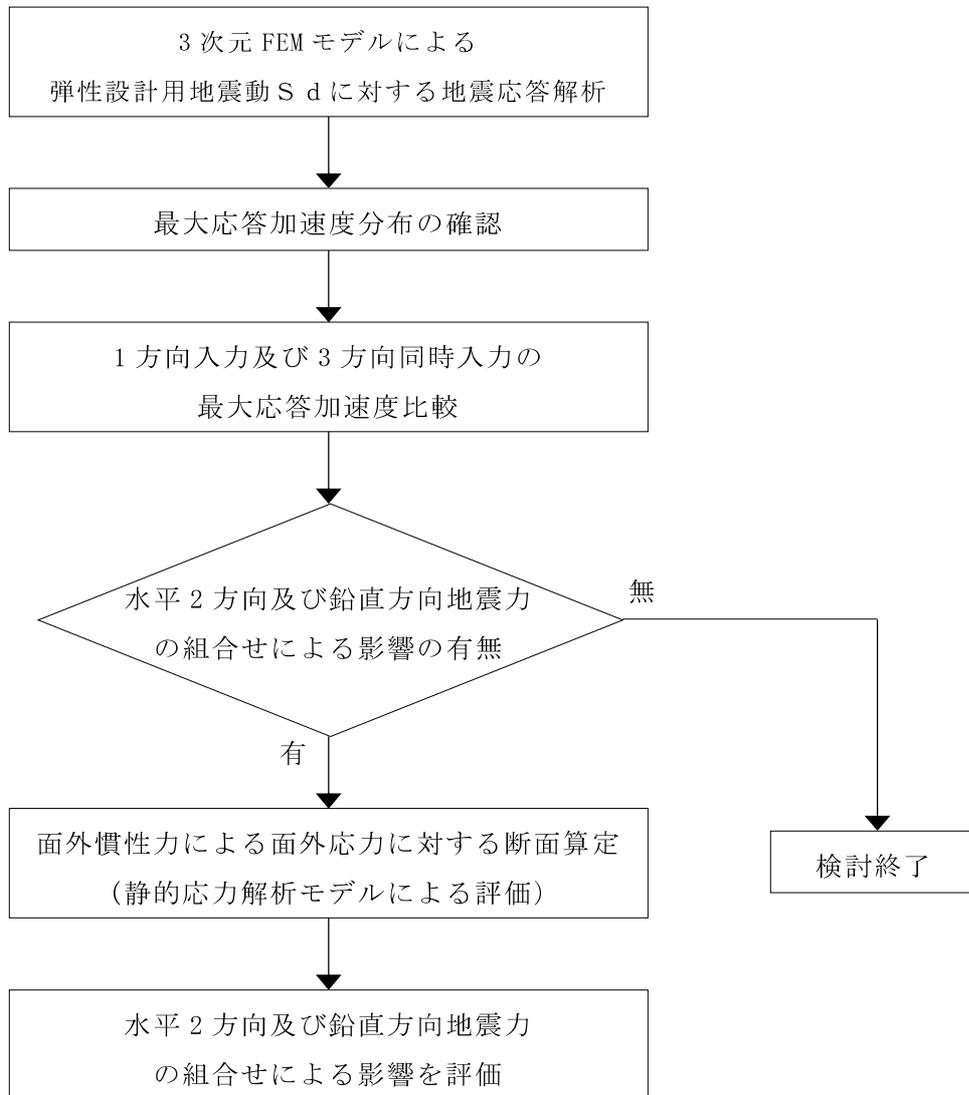


図 2-3 3次元 FEM モデルによる耐震性評価フロー

2.3 解析モデル

原子炉建屋の 3 次元 FEM モデルを構築する。

モデル図を図 2-4 に示す。

モデル化の範囲は、原子炉建屋、鉄筋コンクリート製原子炉格納容器及び基礎とする。

3 次元 FEM モデルで設定する各部材の要素タイプは、以下のとおりである。

床スラブ・壁はシェル要素（約 23100 要素）とする。基礎スラブは、ソリッド要素（約 9500 要素）とする。柱、はり、屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの上下弦材、サブビームについてはビーム要素（約 3800 要素）とする。屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの斜材・束材、水平ブレースはトラス要素（約 400 要素）とする。

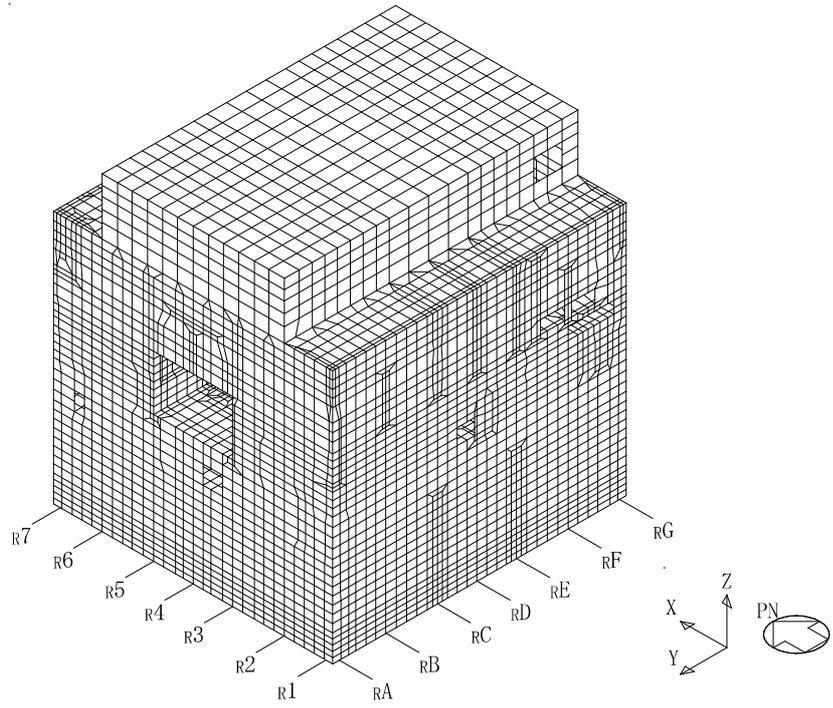
また、壁・床の開口部については、主要な開口部のみモデル化する。

要素の大きさは、各スラブレベルと対応する位置に節点を設け、水平方向には通り芯間を 2 分割以上、鉛直方向にはフロア間を 2 分割以上とする。（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。）

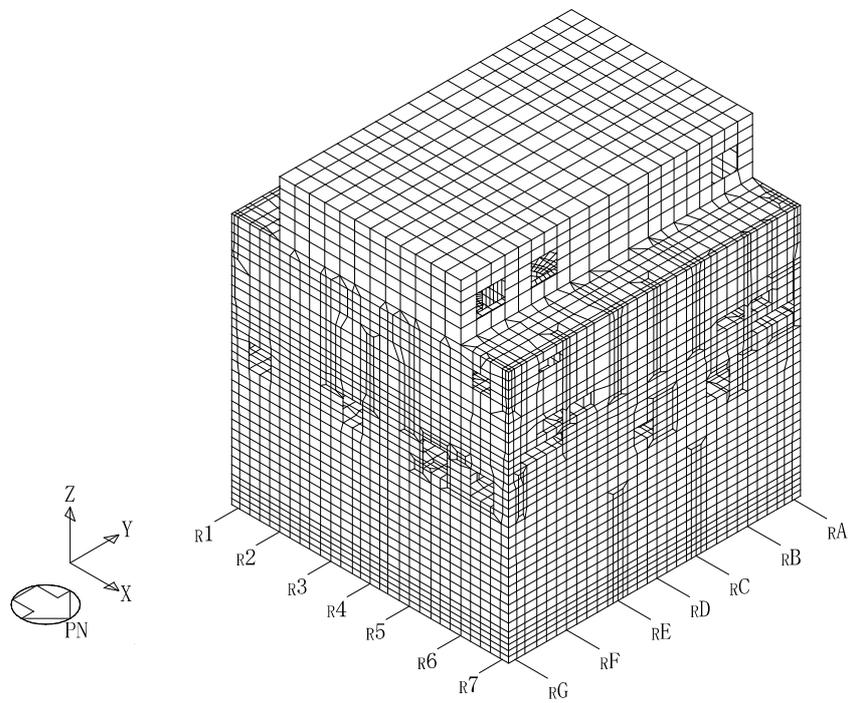
検討に用いる解析モデル（3 次元 FEM）のケースを表 2-1 に、使用材料の物性値を表 2-2 に示す。

検討に用いる解析モデル（3 次元 FEM）のケースは、質点系モデルと表 2-1 に示す諸条件を対応させた建屋模擬モデル（3 次元 FEM）とする。

地震応答解析には、解析コード「NX NASTRAN」を用いる。

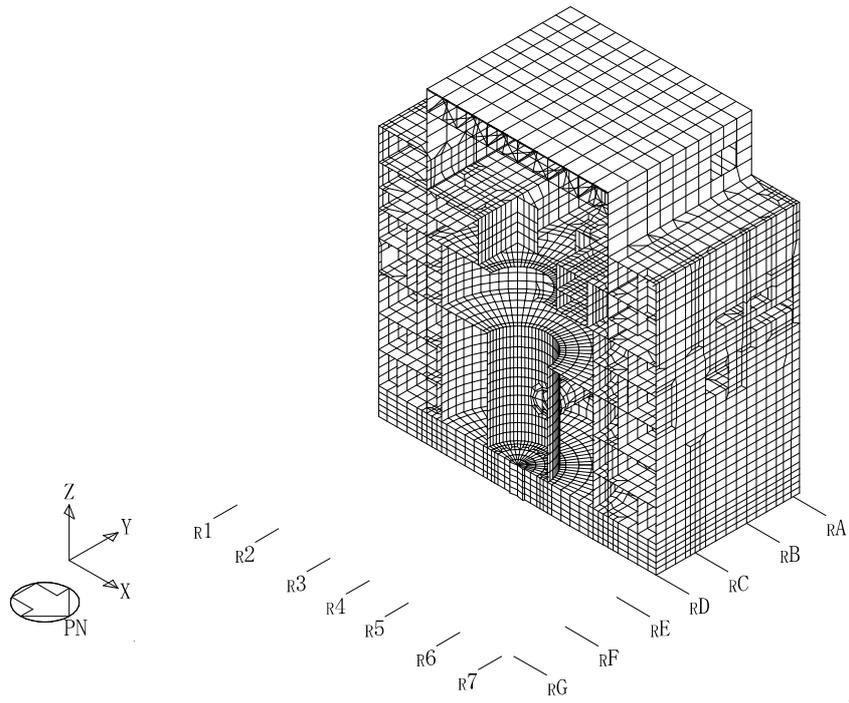


(a) 建屋全景（南西面）

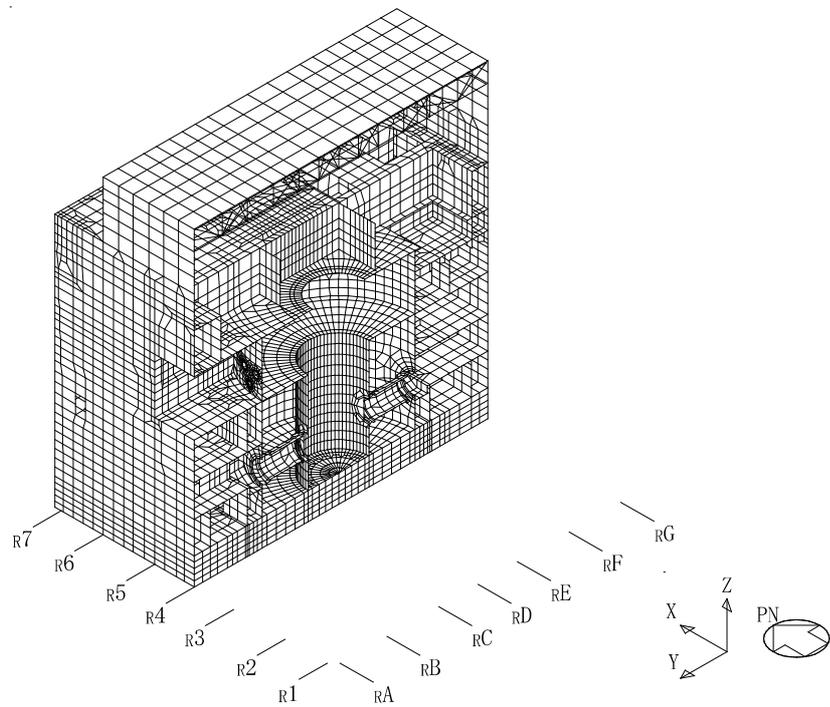


(b) 建屋全景（北東面）

図 2-4 モデル図 (1/2)



(c) NS 断面図



(d) EW 断面図

図 2-4 モデル図 (2/2)

表 2-1 解析モデル (3次元 FEM) 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 (3次元 FEM)	床柔	相互作用考慮	実強度

表 2-2 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ($\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	2.88×10^4	1.20×10^4	5
基礎スラブ	コンクリート* : $\sigma_c = 39.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ($\sigma_c = 400 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	2.79×10^4	1.16×10^4	5
屋根トラス部	鉄骨 : SS41 (SS400相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨 : SM41A (SM400A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨 : SM50A (SM490A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2

注記* : 実強度に基づくコンクリート強度。

2.4 地震応答解析の概要

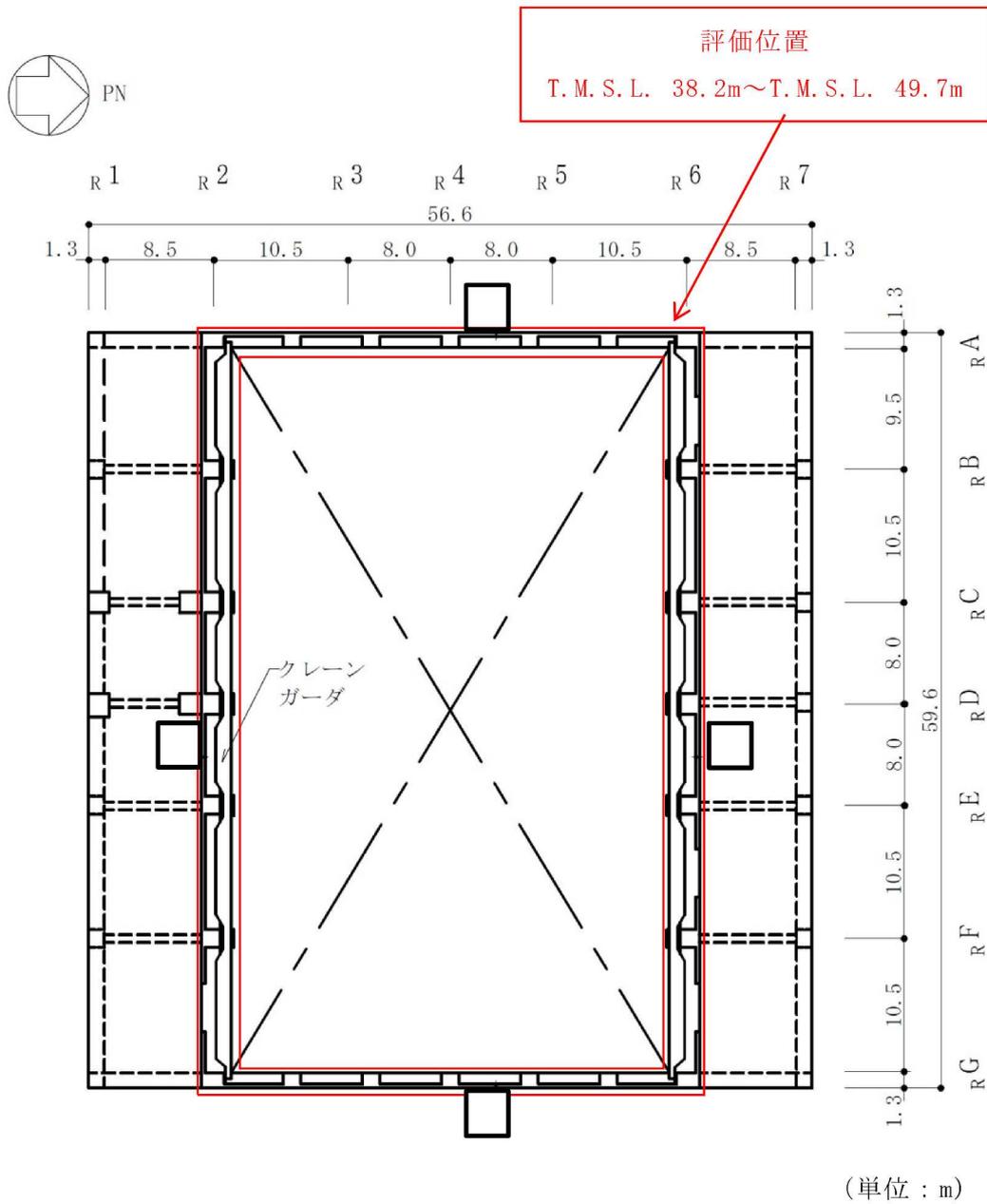
3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）を用いて、弾性設計用地震動 S d に対する地震応答解析を実施する。地震応答解析は線形解析とし、周波数応答解析を用いる。

応答評価位置は、原子炉建屋の T. M. S. L. 38.2m～T. M. S. L. 49.7m とする。応答評価部位を図 2-5 に、応答評価対象位置及び節点番号図を図 2-6 に示す。

地震動の組合せを表 2-3 に示す。

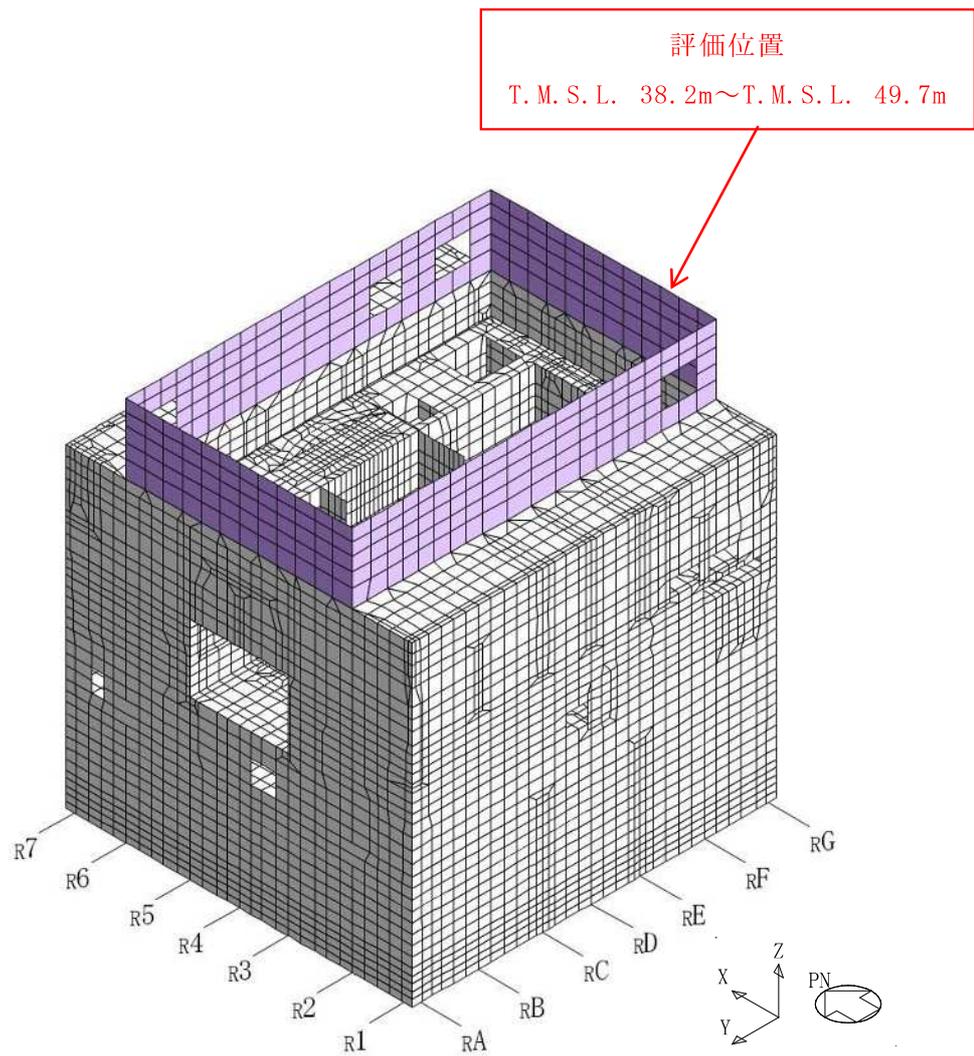
入力地震動については、線形解析であることから、水平 2 方向の地震力による影響評価は、弾性設計用地震動 S d を水平 2 方向に組み合わせた地震力を算定し実施する。具体的には、Sd-1 及び Sd-2 を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

なお、本検討において Sd-1 による応答評価を行う際には、NS 方向に対しては Sd-1 の水平成分を、EW 方向に対しては模擬地震波（Sd-1 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。鉛直方向の地震動は、Sd-1 の鉛直成分を水平 2 方向と同時入力する。



(a) 概略平面図 (CRF, T. M. S. L. 38.2m)

図 2-5 応答評価部位 (1/2)



(b) 3次元 FEM モデル

図 2-5 応答評価部位 (2/2)

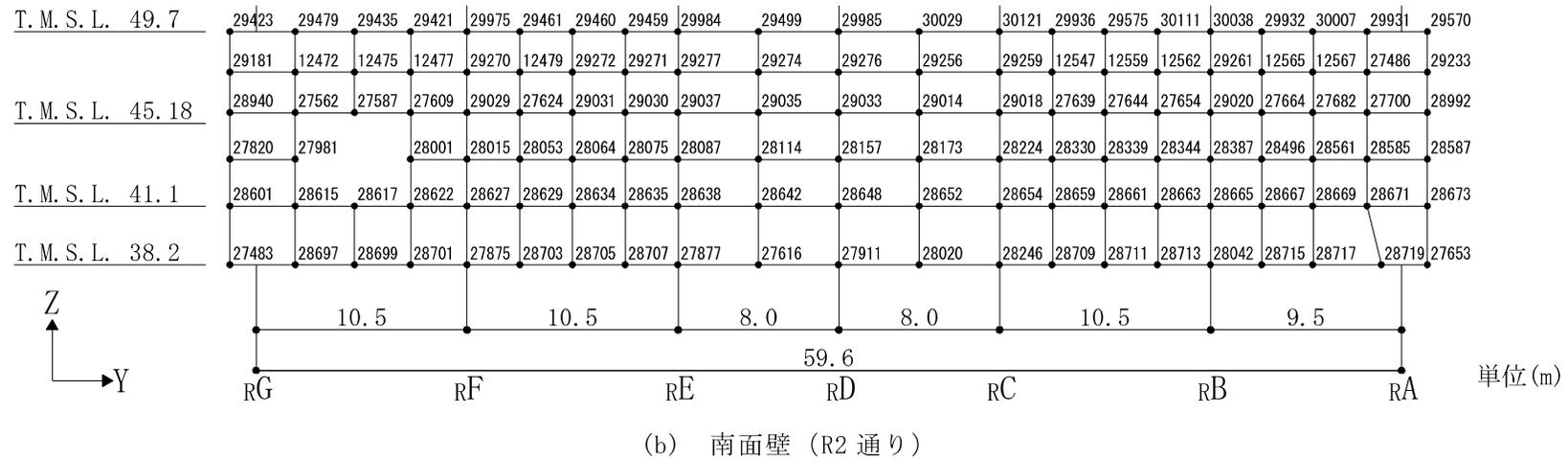
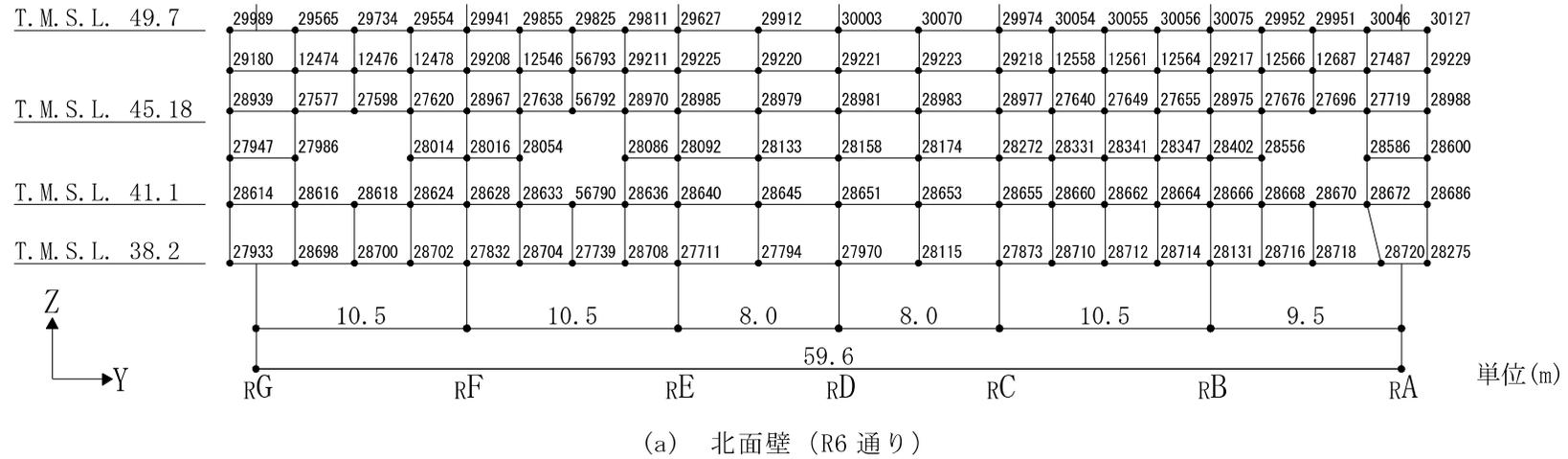


図 2-6 応答評価対象位置及び節点番号図 (1/2)

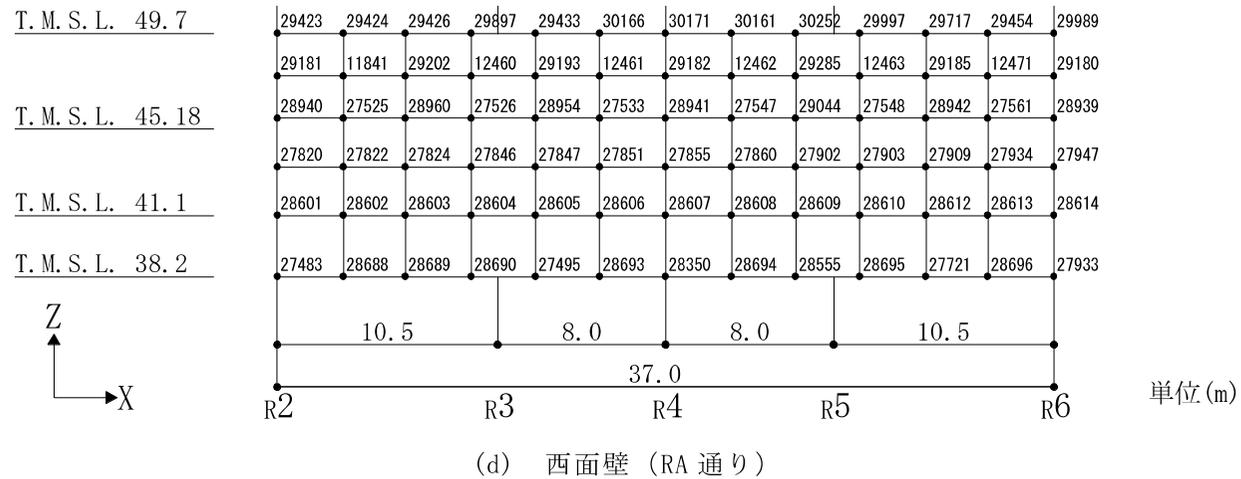
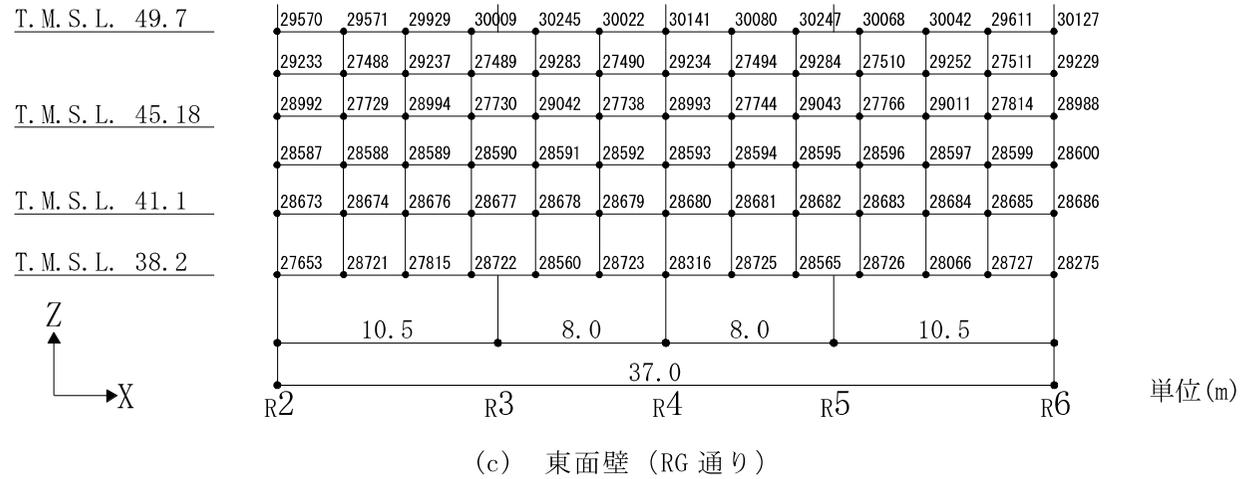


図 2-6 応答評価対象位置及び節点番号図 (2/2)

表 2-3 地震動の組合せ

(a) 北面壁及び南面壁の応答評価時

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	Sd-1H	—	—
	Sd-2NS	—	—
3 方向同時入力	Sd-1H	模擬地震波*	Sd-1V
	Sd-2NS	Sd-2EW	Sd-2UD

(b) 東面壁及び西面壁の応答評価時

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	—	模擬地震波*	—
	—	Sd-2EW	—
3 方向同時入力	Sd-1H	模擬地震波*	Sd-1V
	Sd-2NS	Sd-2EW	Sd-2UD

注記* : Sd-1H の設計用応答スペクトルに適合するが, Sd-1H とは位相特性が異なる模擬地震波である。

2.5 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 2-7～図 2-10 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いる。高さ方向については、東西面壁では T.M.S.L. 41.1m が、南北面壁では T.M.S.L. 49.7m が最大となる。

水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図を図 2-11～図 2-14 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 2-15 及び図 2-16 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、高さ方向については、東西面壁では T.M.S.L. 41.1m が、南北面壁では T.M.S.L. 49.7m が最大となる。

また、3方向同時入力は、水平 1 方向入力とおおむね同等の最大加速度を示し、多少の大小はあるもののおおむ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ことを示している。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、0.85～1.20 程度である。

また、3方向同時入力及び水平 1 方向入力ともに、壁の面外方向の加速度は、南北面壁に対して顕著に影響が出ている。これは、**屋根スラブの剛性を保守的に非考慮としていることに加え、**東西面壁に対し、南北面壁の方がより長いスパンにまたがって直交方向に壁及び床のない連続した壁であることが起因していると考えられる。**東西面壁の通り芯間距離 (R2 通り～R6 通り) は 37.0m、南北面壁の通り芯間距離 (RA 通り～RG 通り) は 59.6m であり、南北面壁は 1.6 倍以上長くなっている。また、各壁の面外方向の応答増幅は、図 2-17 に示す 3次元 FEM モデルの固有値解析結果 (2次モード) から確認できる。いずれの壁も固有周期 0.20s 付近において面外方向にはらむようなモードとなっている。**

以上のことから、南北面壁を代表部位として、面外慣性力による面外応力に対する断面算定を行い、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価する。

なお、面外方向加速度の機器・配管系への影響については、別紙 4「**機器・配管系に関する説明資料**」において検討を行う。

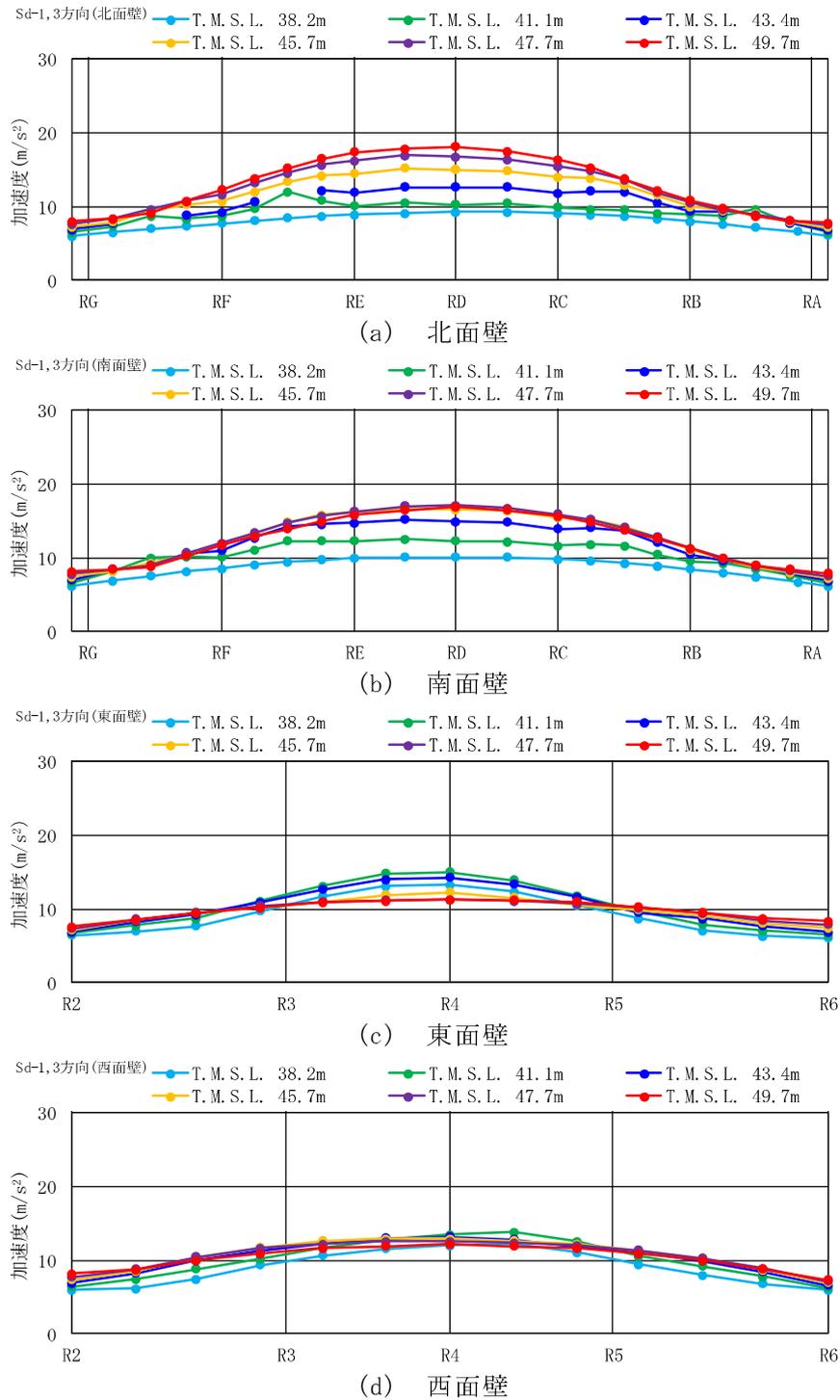


図 2-7 3 方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (Sd-1, 平面分布)

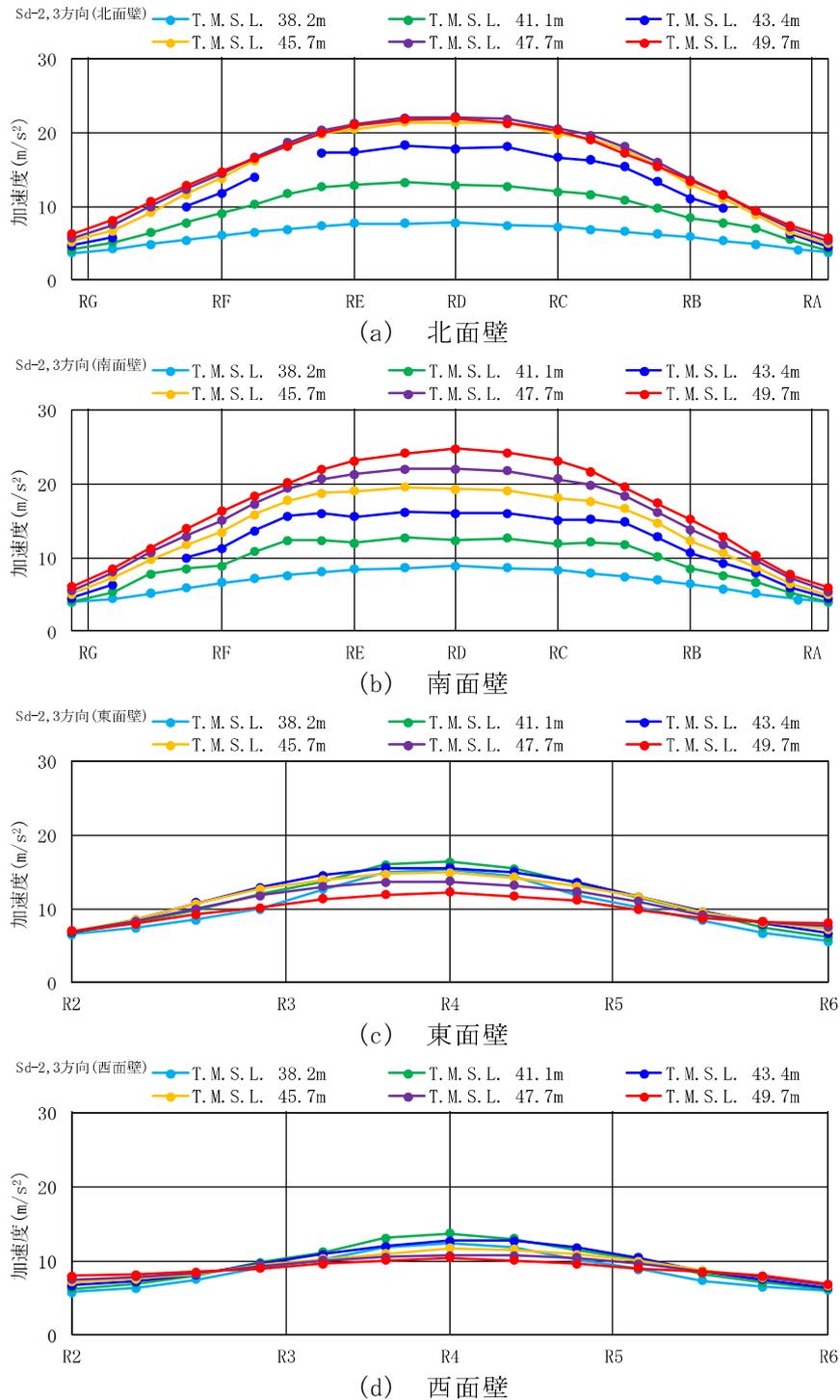
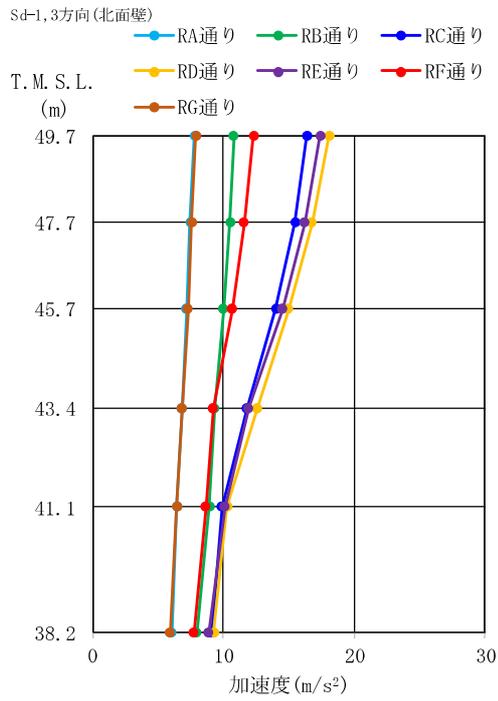
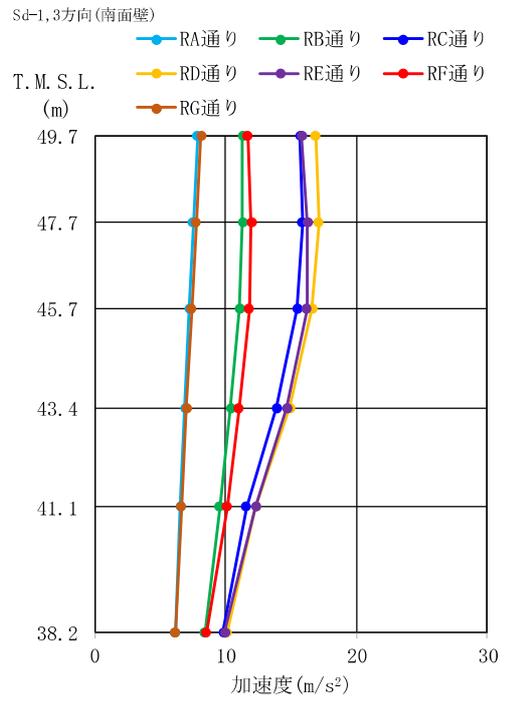


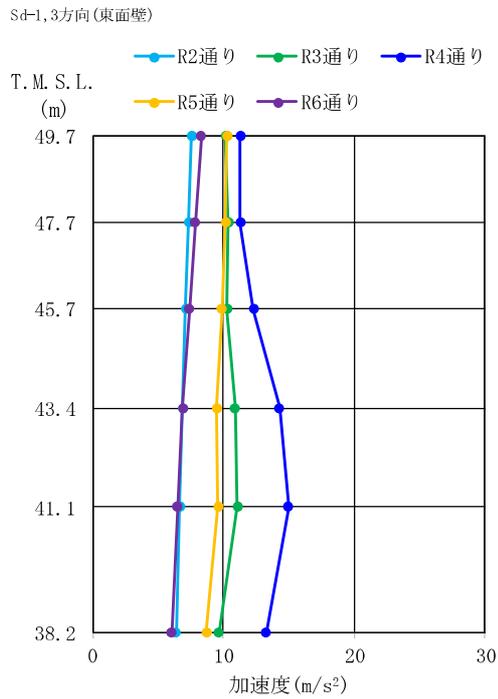
図 2-8 3 方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (Sd-2, 平面分布)



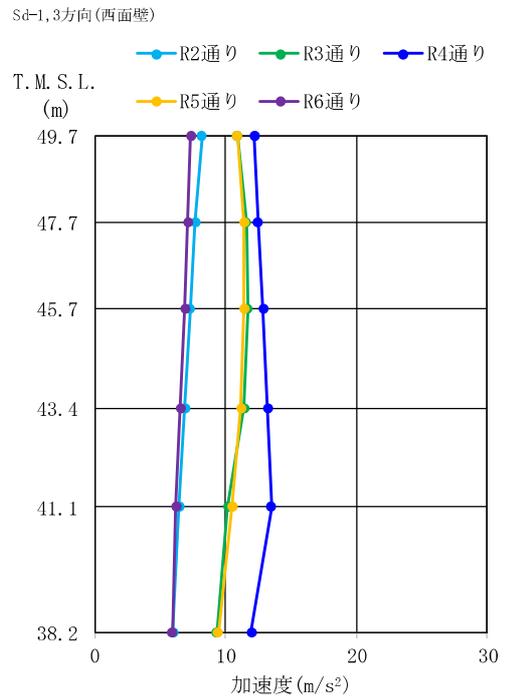
(a) 北面壁



(b) 南面壁

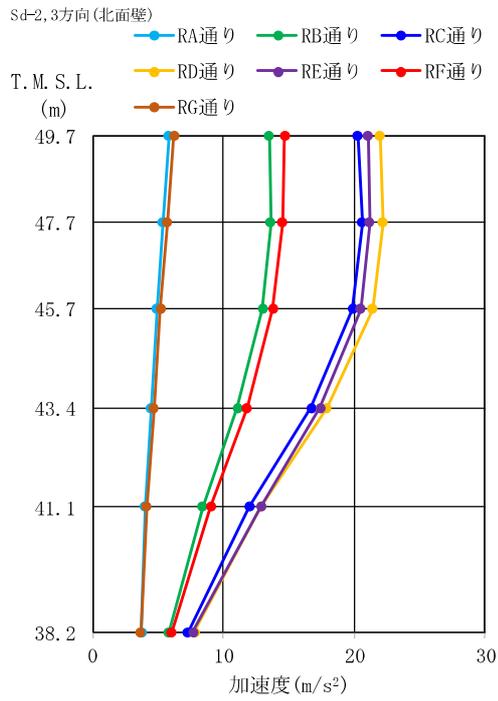


(c) 東面壁

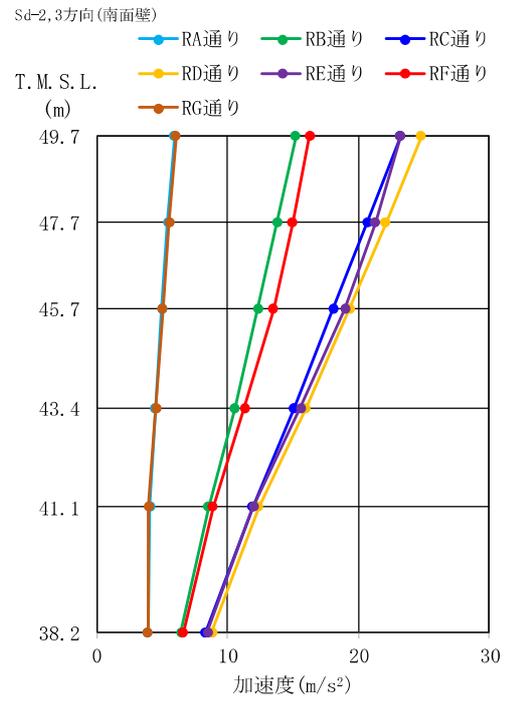


(d) 西面壁

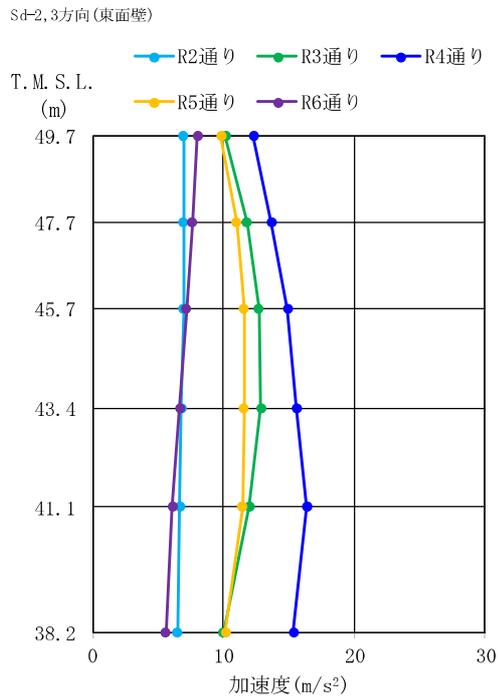
図 2-9 3方向同時入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (Sd-1, 断面分布)



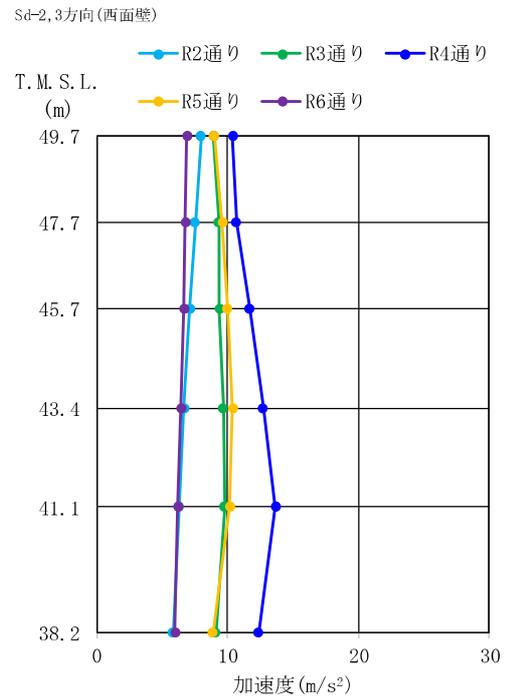
(a) 北面壁



(b) 南面壁



(c) 東面壁



(d) 西面壁

図 2-10 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 (Sd-2, 断面分布)

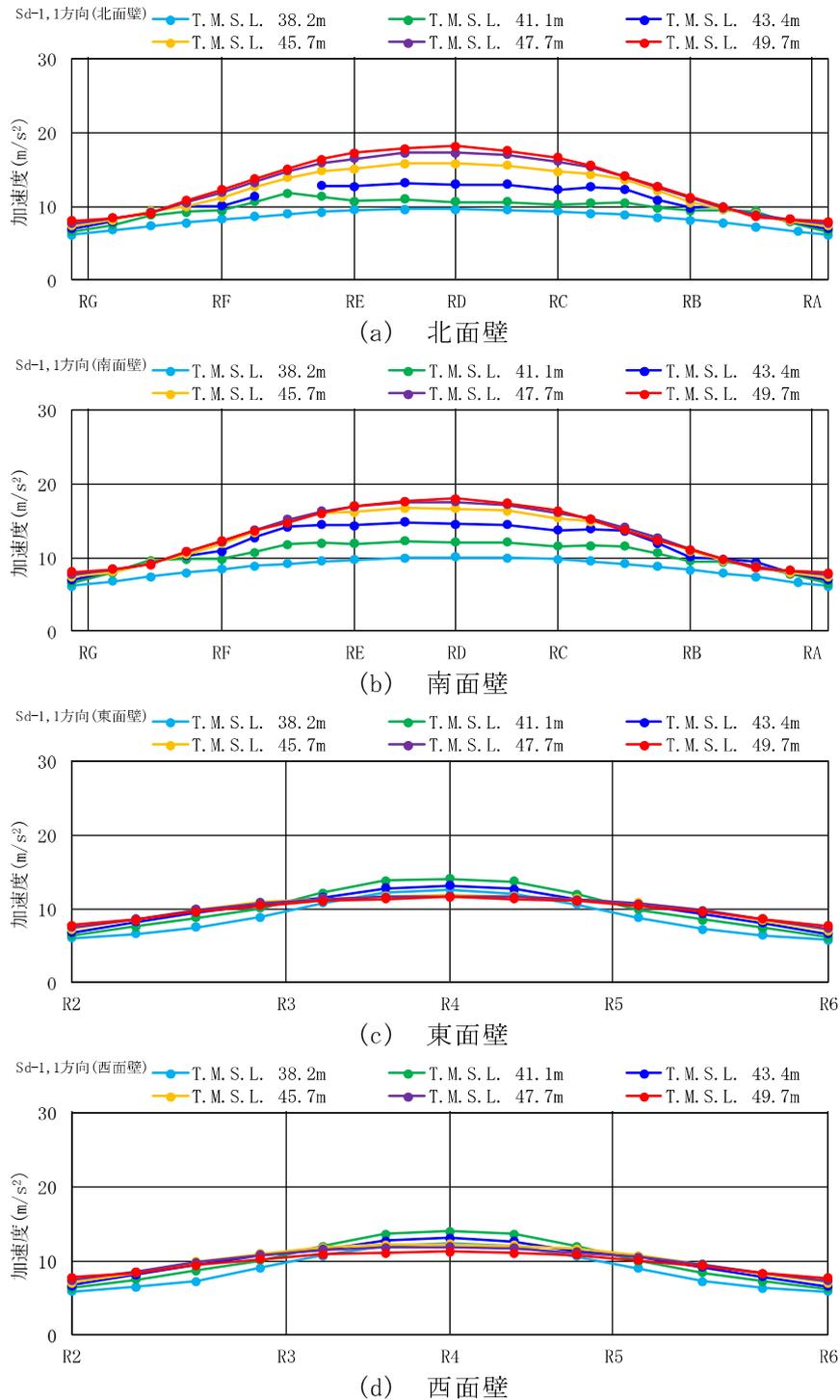


図 2-11 水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図 (Sd-1, 平面分布)

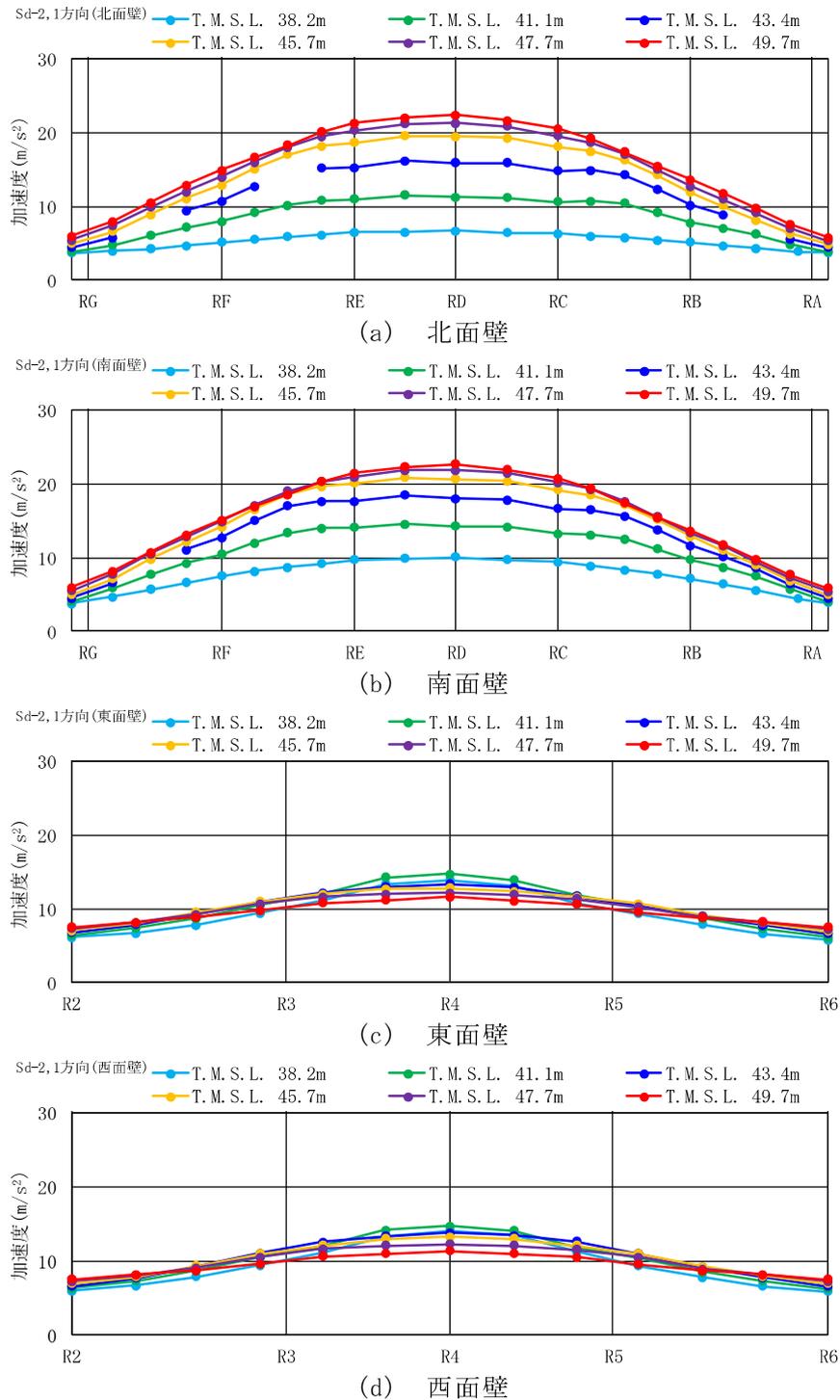
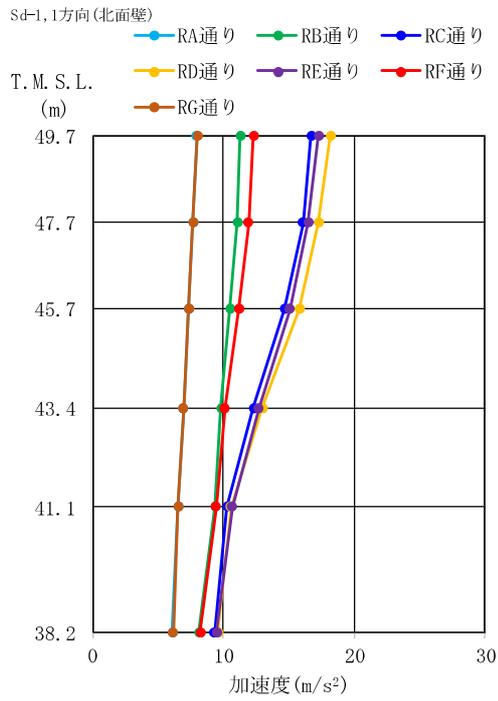
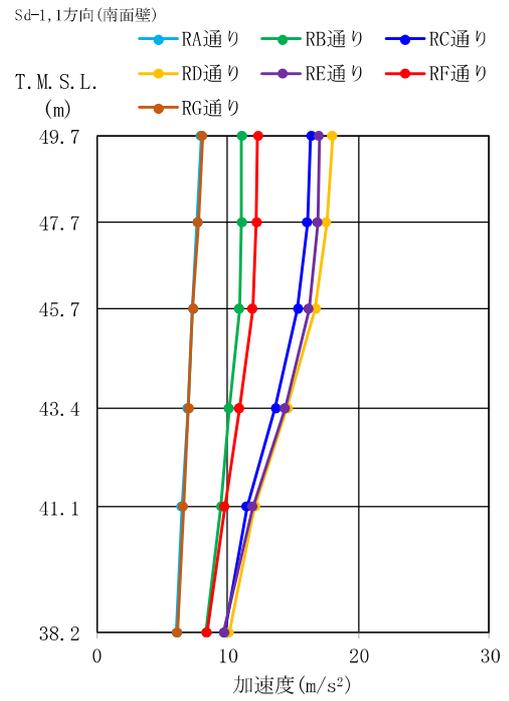


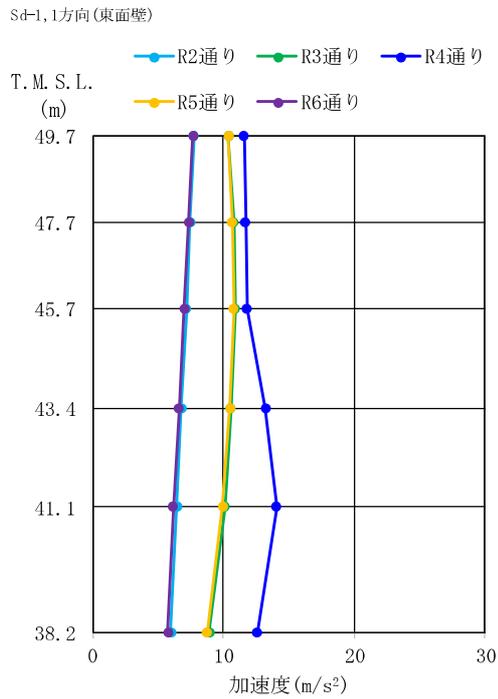
図 2-12 水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図 (Sd-2, 平面分布)



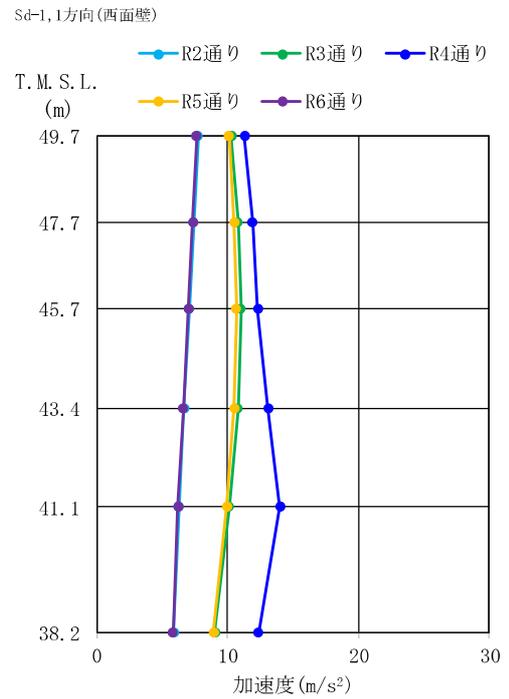
(a) 北面壁



(b) 南面壁

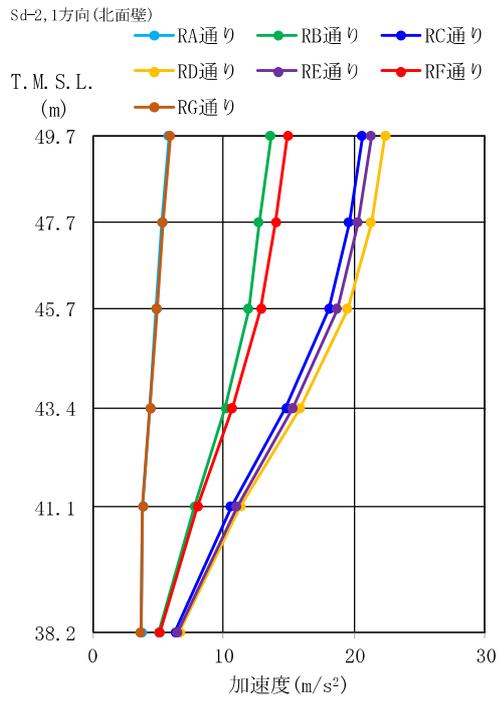


(c) 東面壁

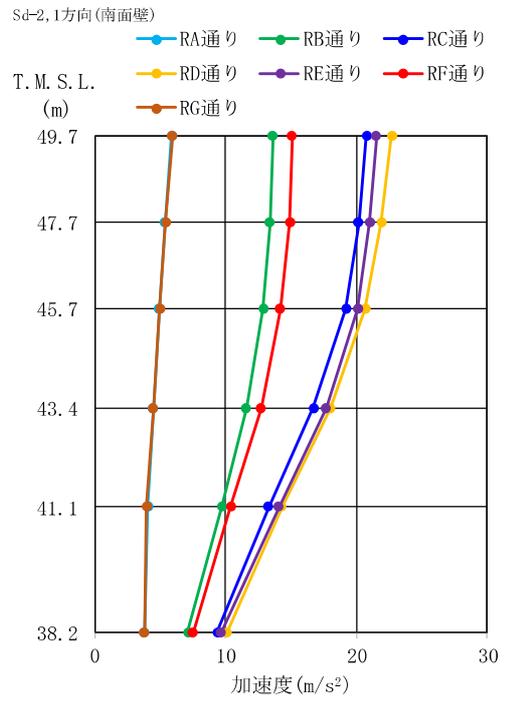


(d) 西面壁

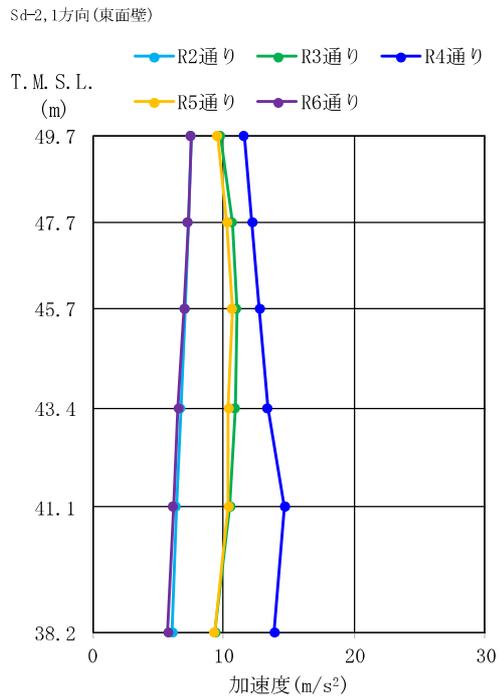
図 2-13 水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図 (Sd-1, 断面分布)



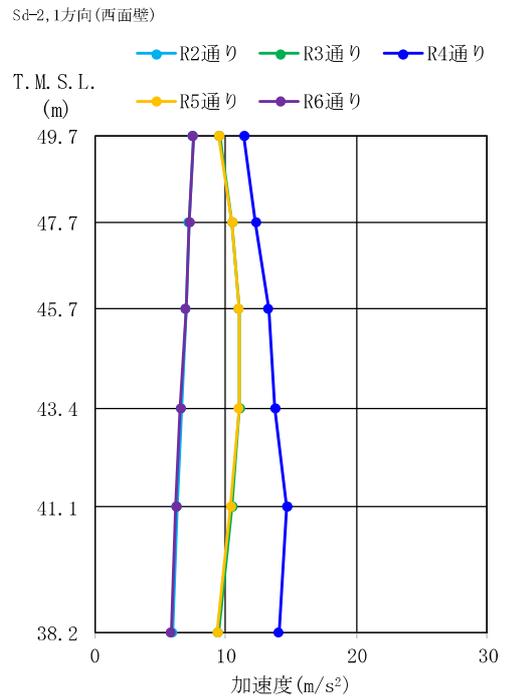
(a) 北面壁



(b) 南面壁

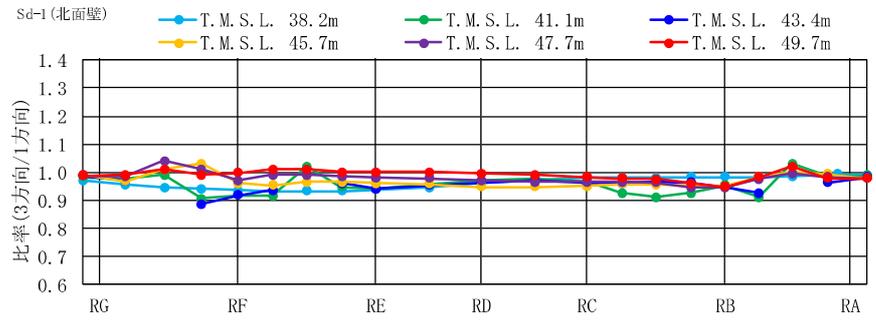


(c) 東面壁

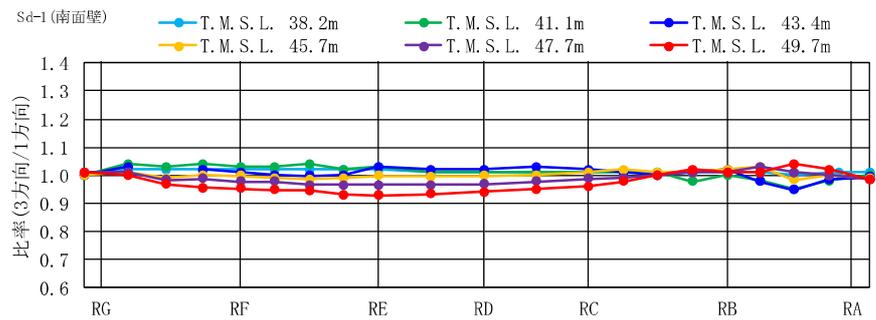


(d) 西面壁

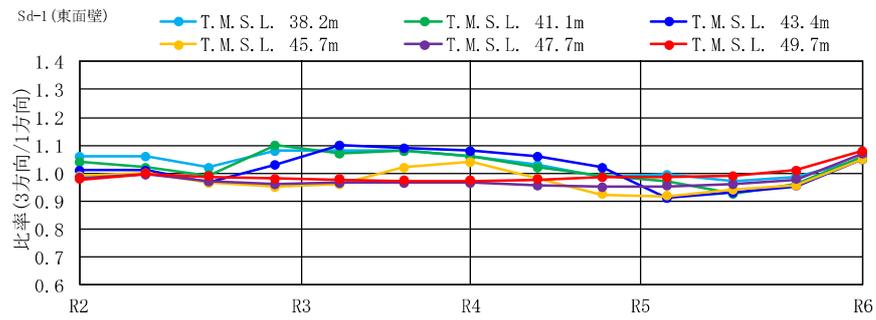
図 2-14 水平 1 方向入力における最大応答加速度の分布図 (Sd-2, 断面分布)



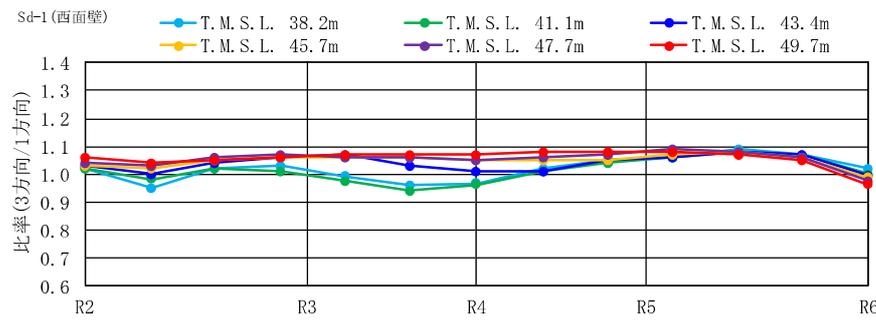
(a) 北面壁



(b) 南面壁



(c) 東面壁



(d) 西面壁

図 2-15 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 (Sd-1)
(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)

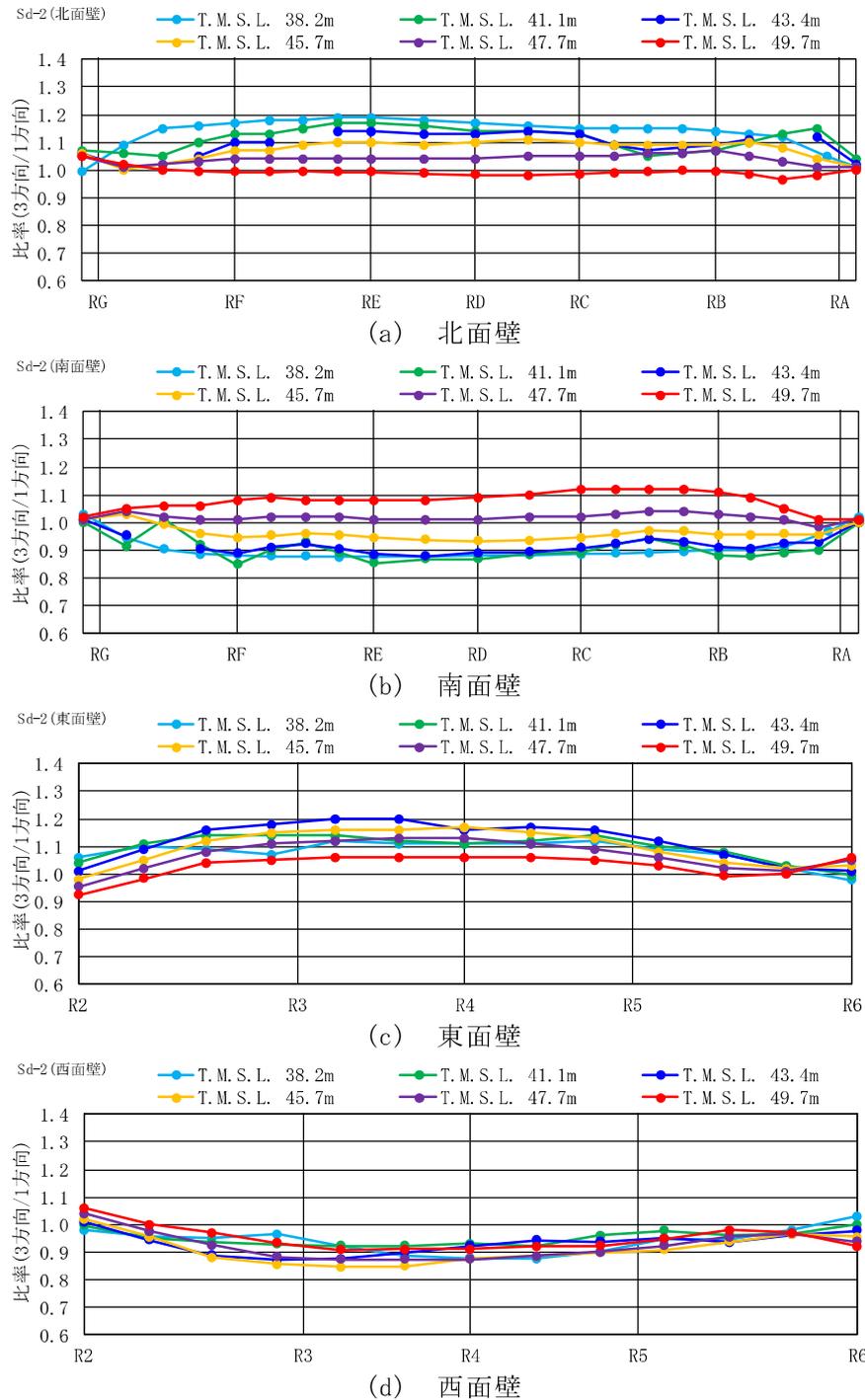
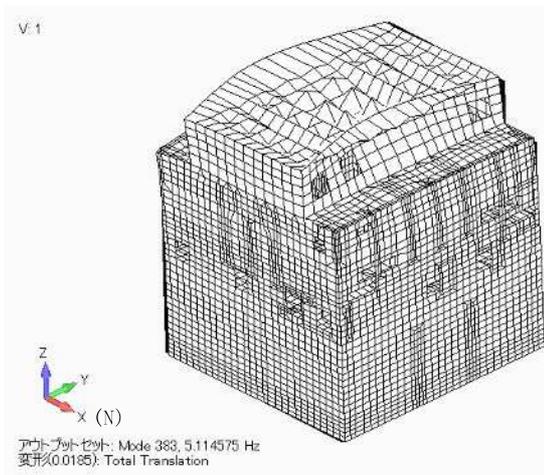
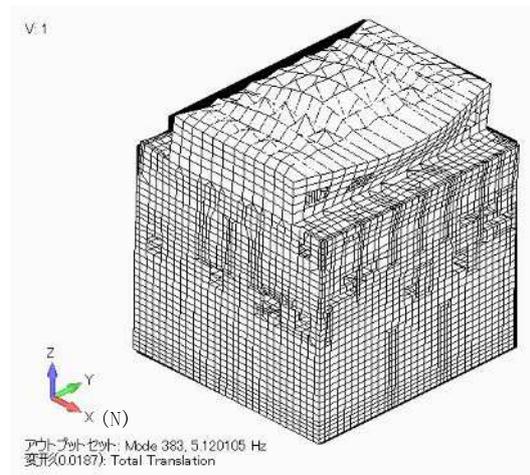


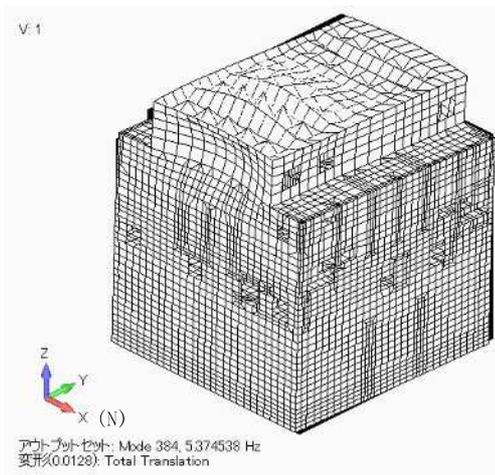
図 2-16 水平 1 方向入力及び 3 方向同時入力の最大応答加速度の比較 (Sd-2)
 (水平 1 方向入力に対する 3 方向同時入力の最大応答加速度の比率)



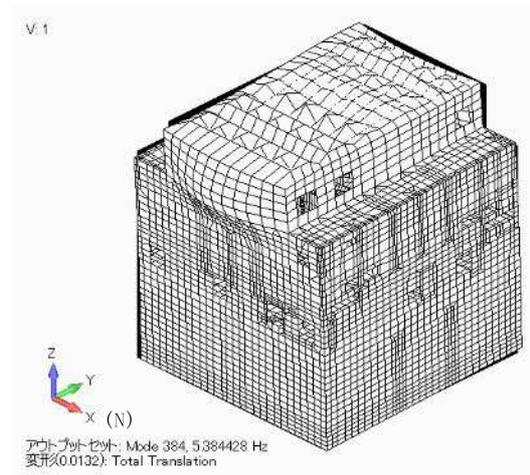
5.11Hz (0.20s)
 (a) Sd-1 NS 方向



5.12Hz (0.20s)
 (b) Sd-2 NS 方向



5.37Hz (0.19s)
 (c) Sd-1 EW 方向



5.38Hz (0.19s)
 (d) Sd-2 EW 方向

図 2-17 3次元 FEM モデル (建屋模擬モデル) の固有値解析結果 (2次モード)

2.6 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無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、「2.5 地震応答解析結果」より、壁の面外方向への加速度の影響が顕著に出ている南北面の壁を対象として、静的応力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。

2.6.1 解析モデル及び荷重条件

解析モデルを図 2-18 に示す。

解析モデルは静的応力解析モデルとし、スパン端部の柱及びはりを境界条件として、四辺固定版に置き換える。

荷重としては、基準地震動 S_s （以下「 S_s 地震時」という。）による面外方向慣性力を考慮する。 S_s 地震時は、弾性設計用地震動 S_d （以下「 S_d 地震時」）による応答加速度に対し補正を行い、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ものとし、 S_{s-1} 及び S_{s-2} の包絡値とする。

S_d 地震時による応答加速度の補正は、 S_{d-1} 及び S_{d-2} による面外方向の最大応答加速度（絶対加速度）に対し、材料物性による不確かさを考慮するための応答補正比率を乗じることで保守的に評価したものである。また、応答補正比率は、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する。

面外慣性力の算出方法は以下の通りである。

S_s 地震時の面外方向加速度（面外慣性力）

＝建屋模擬モデル（3次元 FEM）の S_d 地震時面外方向最大応答加速度
× 応答補正比率

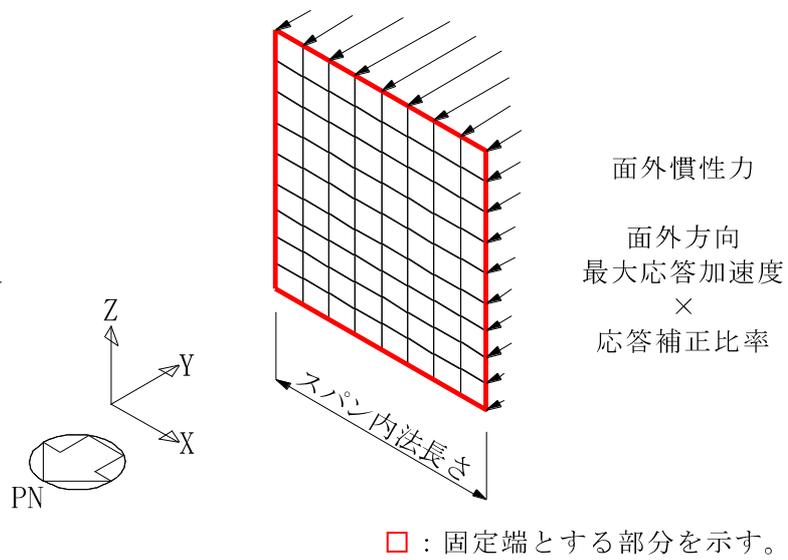


図 2-18 解析モデル

2.6.2 応答補正比率の算出

材料物性の不確かさによる応答補正比率は、基本ケースの質点系モデルの最大応答加速度に対する材料物性の不確かさを考慮した質点系モデルの最大応答加速度の比により算出する。

S_s地震時に用いる質点系モデルによる最大応答加速度比は、S_d地震時の基本ケースとS_s地震時の基本ケースの比により算出する。

なお、用いる最大応答加速度は、T.M.S.L. 49.7m 及び T.M.S.L. 38.2m の質点（質点番号 1，質点番号 2）の最大応答加速度とする。

算出した応答補正比率を表 2-4 に示す。

表 2-4 応答補正比率

(a) 材料物性の不確かさによる応答補正比率

地震波	Sd-1		Sd-2		備考
	T.M.S.L. (m)				
T.M.S.L. (m)	49.7	38.2	49.7	38.2	
①基本ケース 最大加速度応答 (m/s ²)	9.70	6.68	5.33	3.91	
②材料物性の不確かさ 最大加速度応答 (m/s ²)	10.1	7.35	5.76	4.31	<ul style="list-style-type: none"> ・ Sd-1 (T.M.S.L. 38.2m, 49.7m) と Sd-2 (T.M.S.L. 49.7m) は、建屋剛性・地盤剛性 (+σ) 考慮モデルの応答 ・ Sd-2 (T.M.S.L. 38.2m) は、建屋剛性・地盤剛性 (-σ) 考慮モデルの応答
②/① 最大加速度応答比	1.05	1.11	1.09	1.11	
採用応答補正比率	1.11		1.11		<ul style="list-style-type: none"> ・ ②材料物性の不確かさがすべて同一ケースでないため、保守的に最大の応答補正比率を設定

(b) 質点系モデルの S_d地震時に対する S_s地震時の最大加速度応答比

地震波	Ss-1		Ss-2		備考
	T.M.S.L. (m)				
T.M.S.L. (m)	49.7	38.2	49.7	38.2	
③ S _d 地震時 最大加速度応答 (m/s ²)	9.70	6.68	5.33	3.91	・ 基本ケース
④ S _s 地震時 最大加速度応答 (m/s ²)	17.7	12.2	10.9	8.62	・ 基本ケース
④/③ 最大加速度応答比	1.83	1.83	2.05	2.21	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同一ケースの倍率のためメッシュ分割に合わせ線形補完を行う

2.6.3 断面の評価部位の選定

単位幅あたりの最大応力を表 2-5 に示す。また、最大値を灰色で示す。

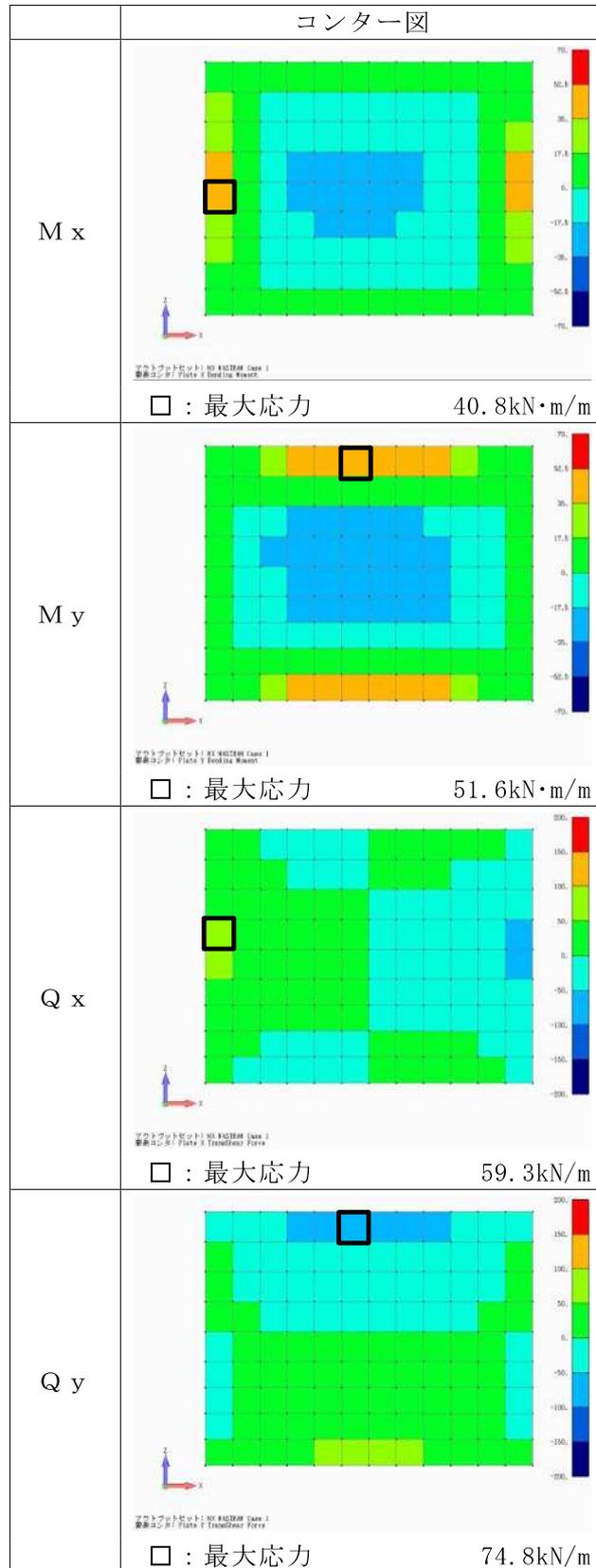
面外慣性力により、南面壁の R_E-R_F 間の壁で最大となる。

断面の評価部位の選定に関する応力コンター図を表 2-6 に示す。

表 2-5 単位幅あたりの最大応力 (Ss-1 及び Ss-2 包絡)

位置		単位幅あたりの最大応力	
		曲げモーメント M (kN・m/m)	面外せん断力 Q (kN/m)
北面壁	$R_A - R_B$	24.8	29.8
	$R_B - R_C$	49.3	72.5
	$R_C - R_D$	35.9	65.8
	$R_D - R_E$	36.6	66.7
	$R_E - R_F$	38.2	58.7
	$R_F - R_G$	27.1	35.4
南面壁	$R_A - R_B$	28.5	39.6
	$R_B - R_C$	48.6	70.0
	$R_C - R_D$	33.2	57.7
	$R_D - R_E$	33.7	59.5
	$R_E - R_F$	51.6	74.8
	$R_F - R_G$	30.4	37.9

表 2-6 断面の評価部位の選定に関する応力コンター図 (南面壁 RE-RF 間)



2.6.4 断面算定方法

「原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（（社）日本建築学会，2005 制定）」に基づき，基準地震動 S_s により生じる曲げモーメント及びせん断力が，許容限界を超えないことを確認する。許容限界については，「技術基準解説書」に基づき F 値に 1.1 倍の割増しを考慮した弾性限強度とする。

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 : 単位幅あたりの許容曲げモーメント (N・mm/m)

a_t : 単位幅あたりの引張鉄筋断面積 (mm²/m)

f_t : 引張鉄筋の許容引張応力度で基準強度 F 値の 1.1 倍 (N/mm²)

j : 断面の応力中心距離で，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 : 単位幅あたりの許容面外せん断力 (N/m)

b : 単位幅あたりの断面の幅 (mm/m)

j : 断面の応力中心距離で，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 (N/mm²)

2.6.5 断面算定結果

断面算定結果を表 2-7 に示す。

S s 地震時において、曲げモーメントに対する検定値が 0.736、面外せん断力に対する検定値が 0.333 となり、許容限界を超えないことを確認した。

面外慣性力として、応答補正比率を考慮したうえで最大応答加速度の絶対値を用いていることや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より、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と判断できる。

表 2-7 断面算定結果

検討ケース	S s 地震時
厚さ t (mm) × 幅 b (mm)	□ × 1000
有効せい d (mm)	213
配筋	D16@200 (995 mm ²)
鉄筋の許容引張応力度 f_t (N/mm ²)	379
コンクリートの許容せん断応力度 f_s (N/mm ²)	1.21
発生曲げモーメント M (kN・m/m)	51.6
許容値 M_A (kN・m/m)	70.2
検定値 M/M_A	0.736
発生せん断力 Q (kN/m)	74.8
許容値 Q_A (kN/m)	225
検定値 Q/Q_A	0.333
判定	可

2.7 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無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おおむ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ことを示している。

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_s 地震時における応力が許容限界を超えないことを確認した。面外慣性力として、応答補正比率を乗じたうえで最大応答加速度の絶対値を用いていることや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と判断できる。

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無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。

3. 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 Sd-1 及び Sd-2 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。

4. 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」可能性がある部位として、原子炉建屋の壁（燃料取替床レベル）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た 3 次元 FEM 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。

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 3-13
2. 3次元 FEM モデルの構築	別紙 3-15
2.1 原子炉建屋の 3次元 FEM モデル	別紙 3-15
2.1.1 モデル化の基本方針	別紙 3-15
2.1.2 荷重	別紙 3-22
2.1.3 建屋-地盤の相互作用	別紙 3-22
2.2 固有値解析	別紙 3-27
2.3 観測記録を用いた検討	別紙 3-33
2.3.1 観測記録を用いた検討の概要	別紙 3-33
2.3.2 観測記録による解析結果	別紙 3-39
2.3.3 観測記録と解析結果の比較及び考察	別紙 3-39
2.3.4 結論	別紙 3-39
3. 3次元 FEM モデルによる評価	別紙 3-41
3.1 地震応答解析の概要	別紙 3-41
3.2 建屋応答性状の把握	別紙 3-48
3.2.1 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響	別紙 3-48
3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響	別紙 3-51
3.2.3 床柔性の影響	別紙 3-56
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	別紙 3-61
3.2.5 まとめ	別紙 3-80
3.3 建屋耐震性評価への影響検討	別紙 3-81
3.3.1 検討方針	別紙 3-81
3.3.2 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討	別紙 3-81
3.3.3 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	別紙 3-86
3.4 床応答への影響検討	別紙 3-113
4. まとめ	別紙 3-122

別紙 3-1 6号機原子炉建屋の観測記録を用いたシミュレーション解析

下線部：今回ご提出資料

1. 検討概要

建屋の 3 次元的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

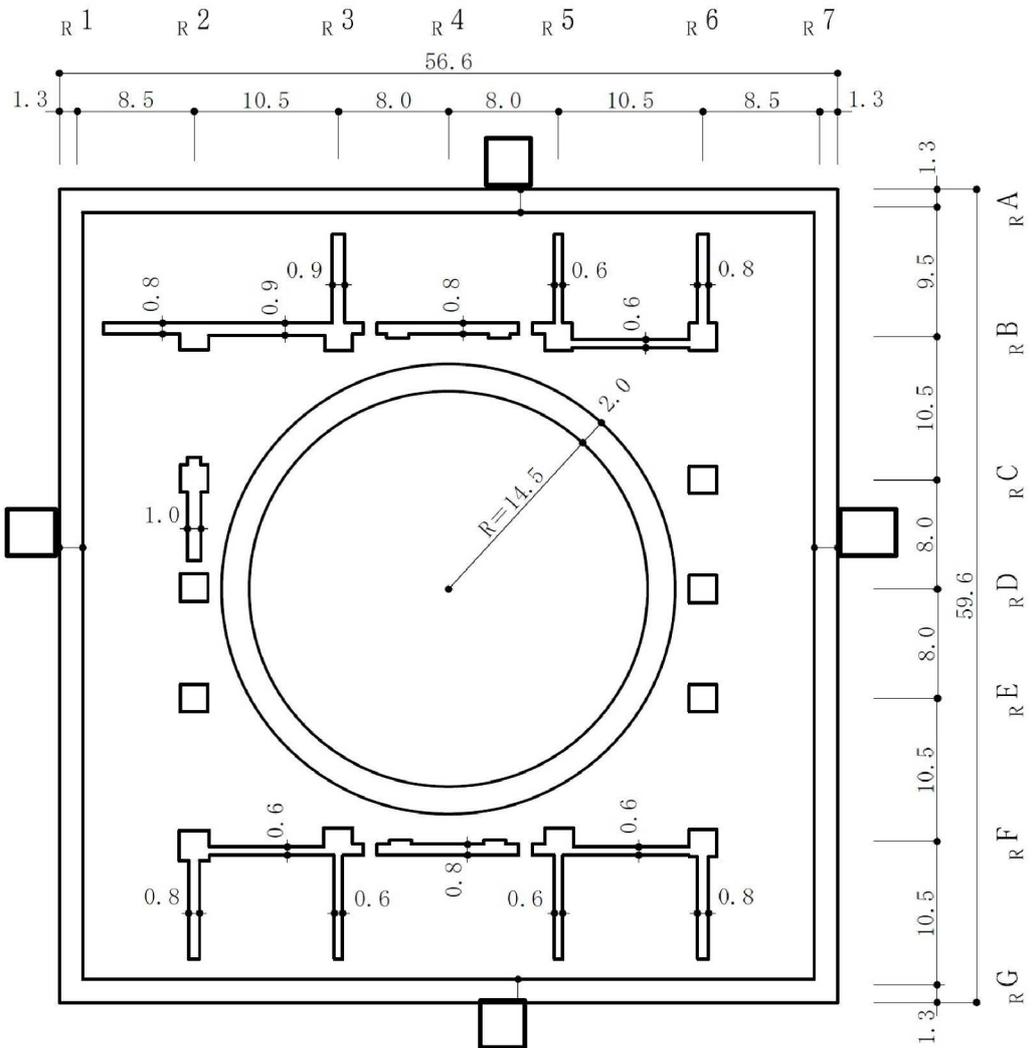
原子炉建屋は、地上 4 階、地下 3 階建ての鉄筋コンクリート造を主体とした建物で、屋根部分が鉄骨造（トラス構造）となっている。原子炉建屋の概略平面図及び概略断面図を図 1-1 及び図 1-2 に示す。

原子炉建屋の平面は、下部では 56.6m（NS方向）×59.6m（EW方向）、最上階は 39.0m（NS方向）×59.6m（EW方向）である。基礎スラブ底面からの高さは 63.4m であり、地上高さは 37.7m である。なお、原子炉建屋の屋根部分には主排気筒が設置されている。また、原子炉建屋は隣接する他の建屋と構造的に分離している。

原子炉建屋の基礎は厚さ 5.5m のべた基礎で、支持地盤である泥岩上にマンメイドロックを介して設置している。

原子炉建屋の中央部には原子炉圧力容器を収容している鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（以下「RCCV」という。）がある。RCCV は円筒形で基礎スラブ上から立ち上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。この RCCV の高さは底部上端からトップスラブ部下端まで 29.5m、内径は 29.0m であり、壁厚は 2.0m である。

原子炉建屋の主な耐震壁は、RCCV と外壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。



(単位：m)

注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B3F, T.M.S.L. -8.2m) (1/9)

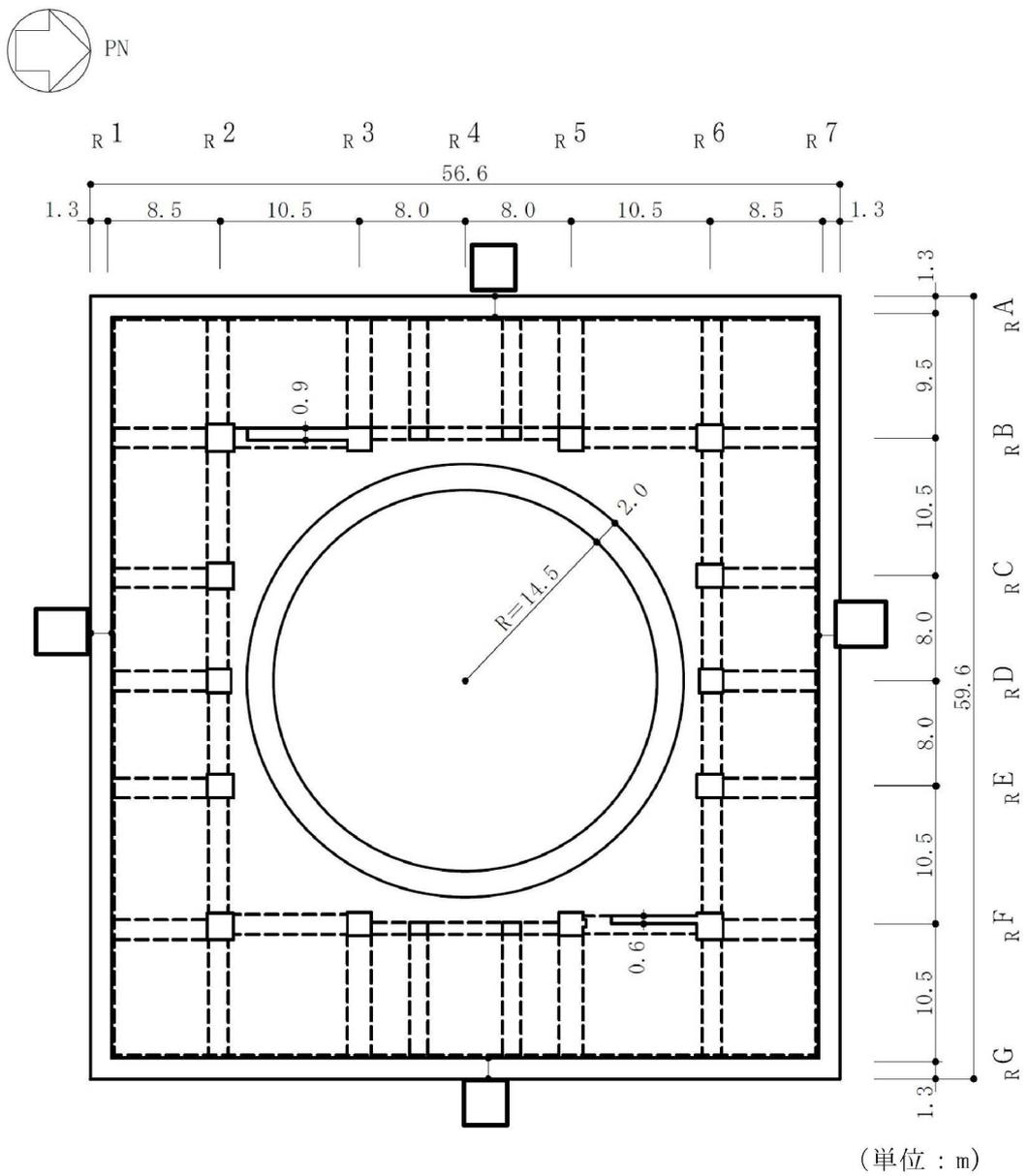


図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B2F, T.M.S.L. -1.7m) (2/9)

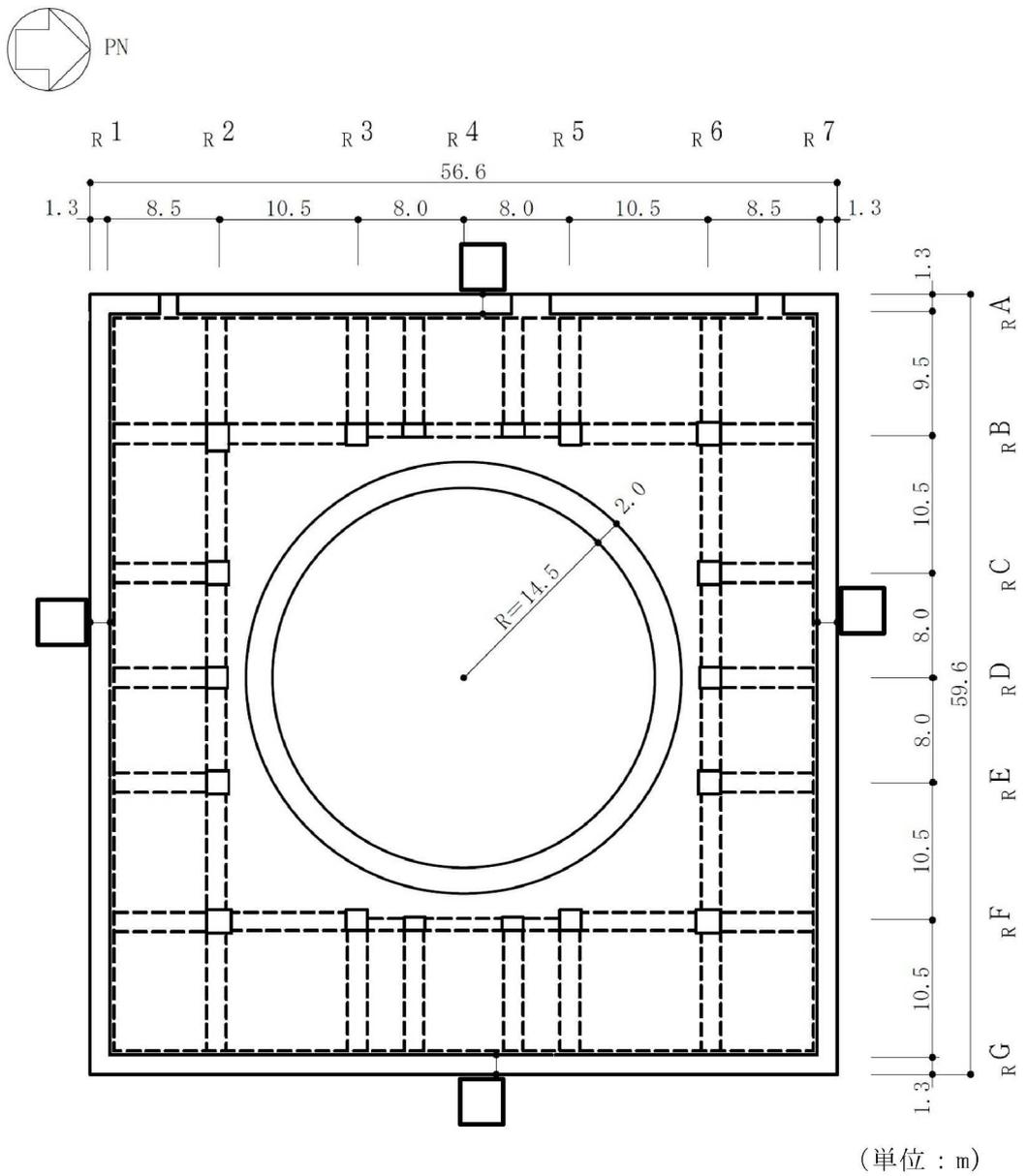
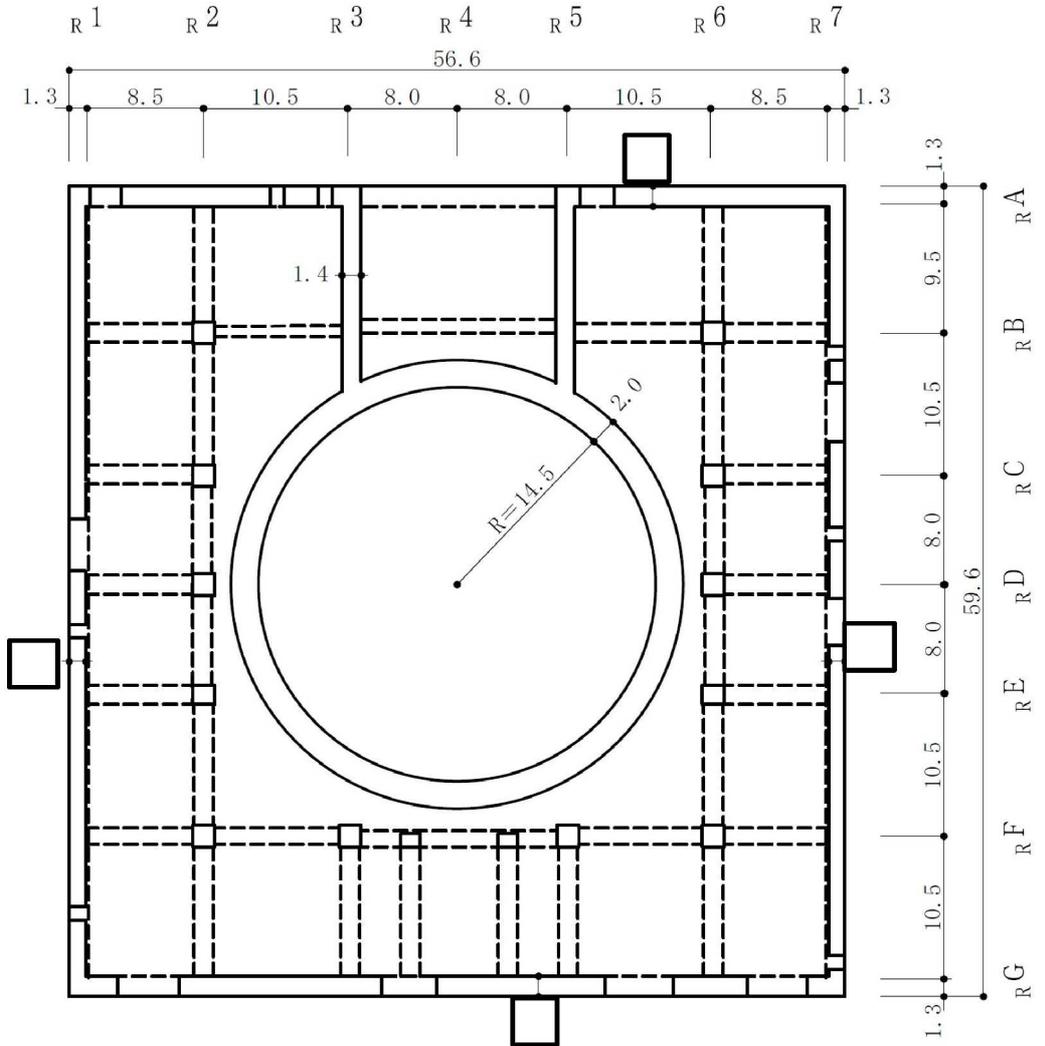
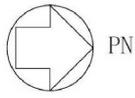
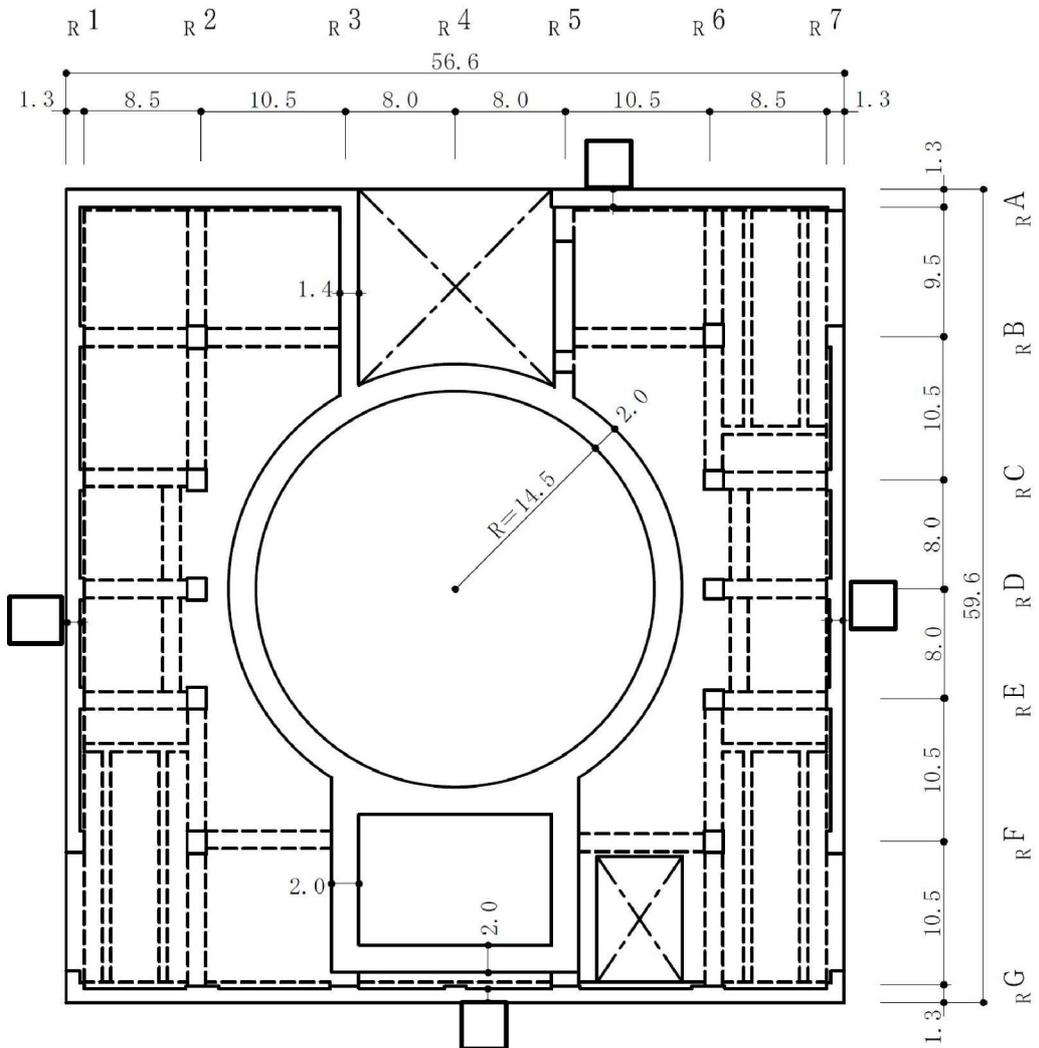


図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (B1F, T.M.S.L. 4.8m) (3/9)



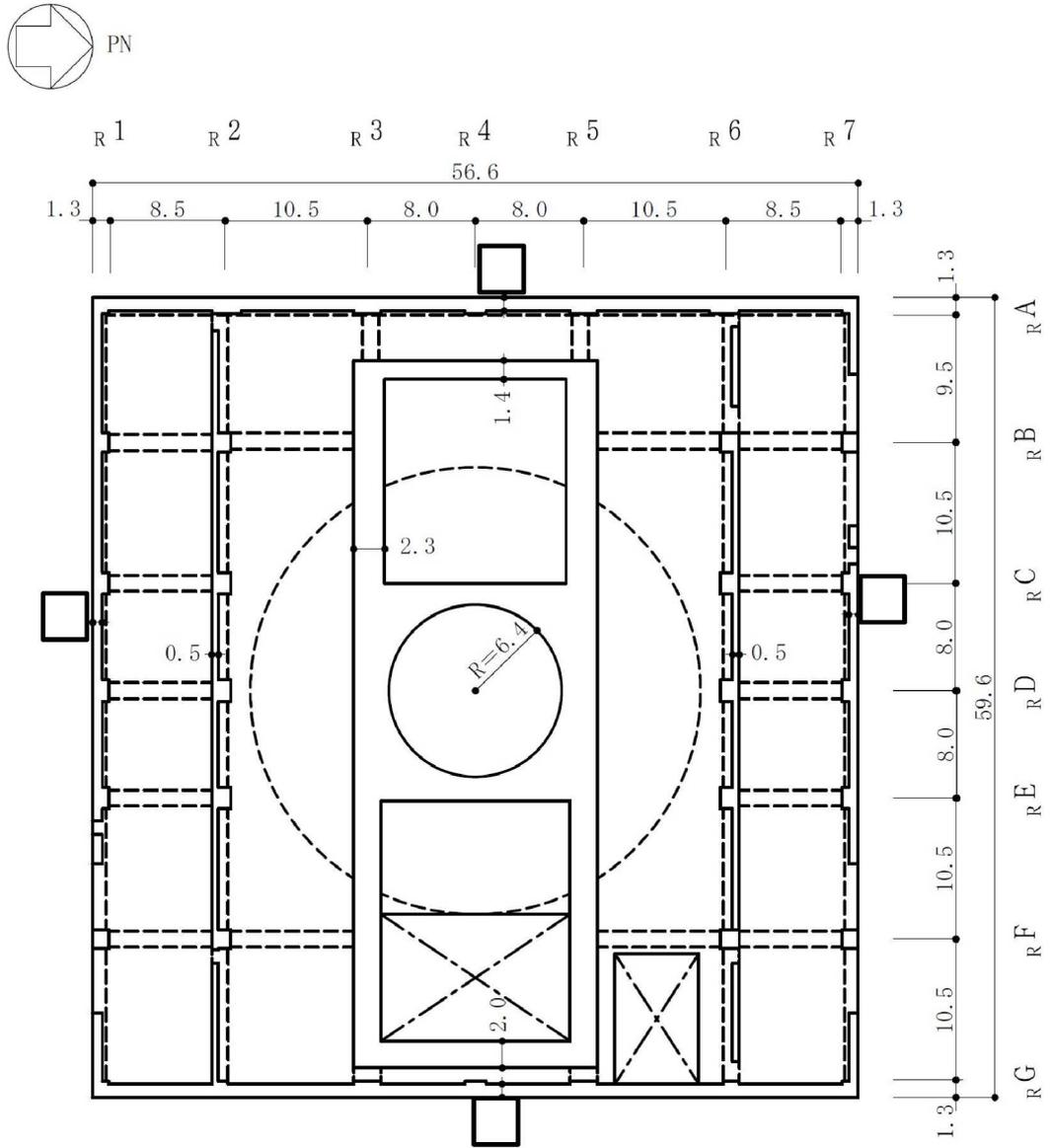
(単位 : m)

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (1F, T.M.S.L. 12.3m) (4/9)



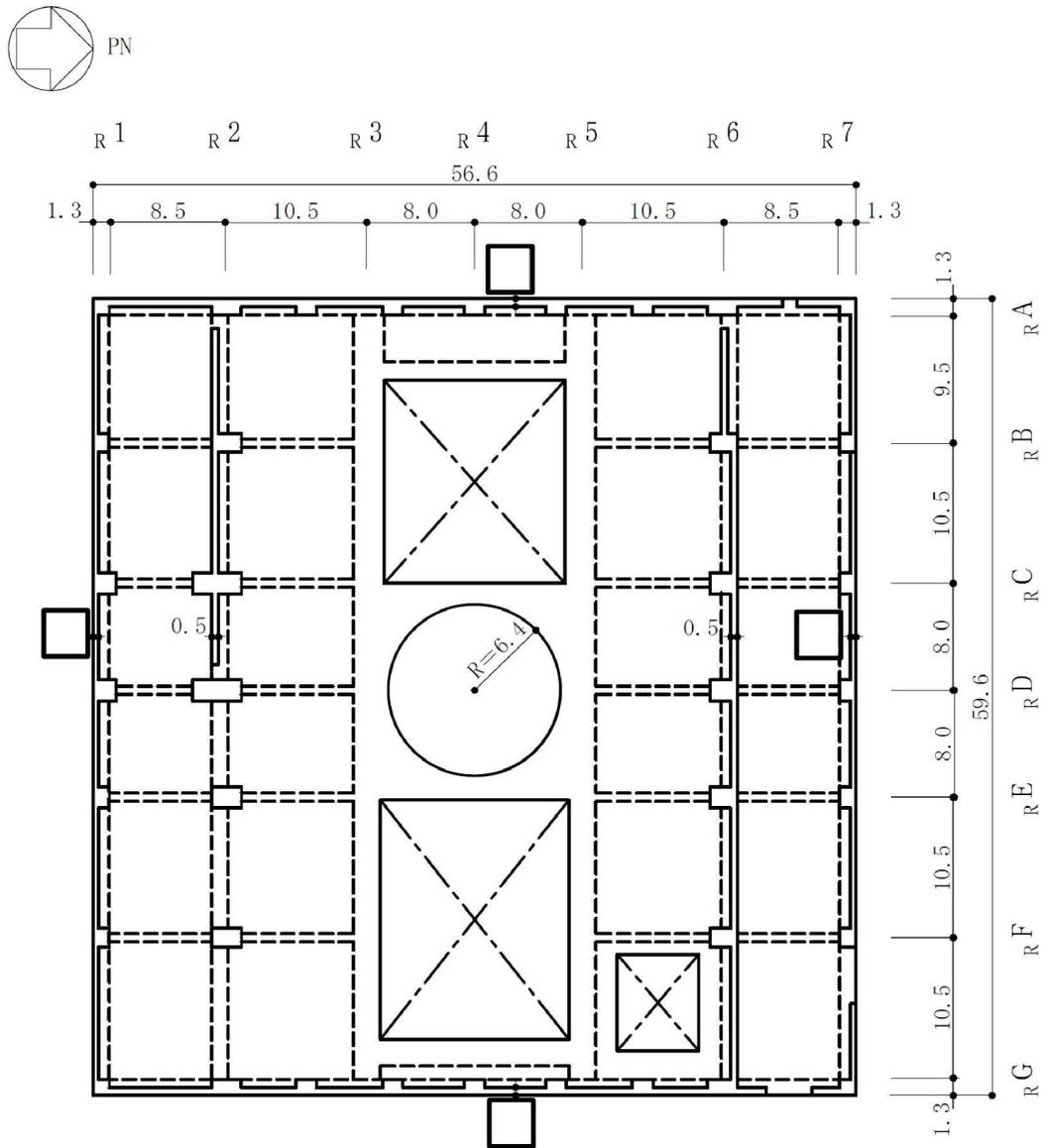
(単位 : m)

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (2F, T.M.S.L. 18.1m) (5/9)



(単位 : m)

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (3F, T.M.S.L. 23.5m) (6/9)



(単位 : m)

図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (4F, T.M.S.L. 31.7m) (7/9)

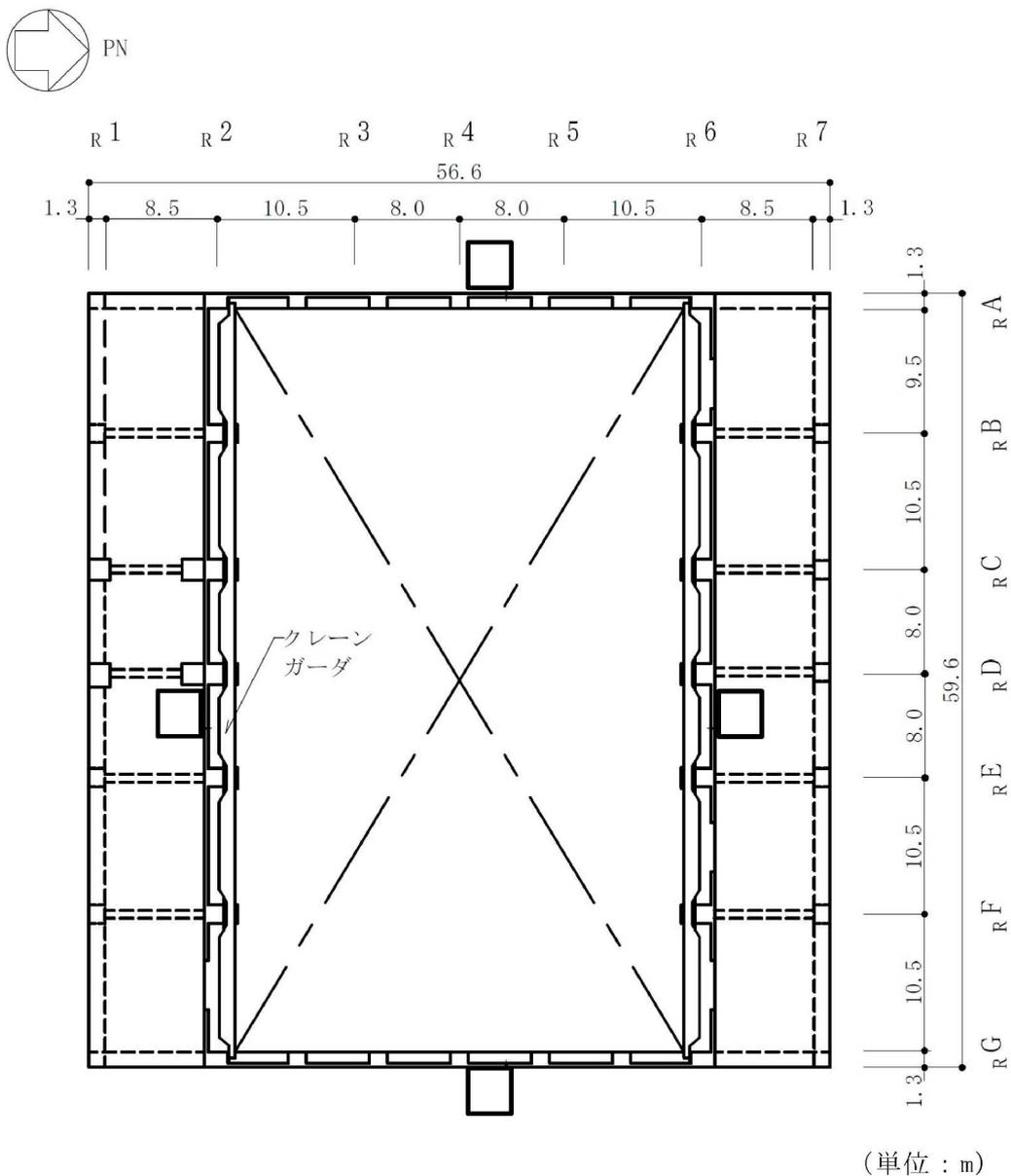


図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (CRF, T. M. S. L. 38.2m) (8/9)

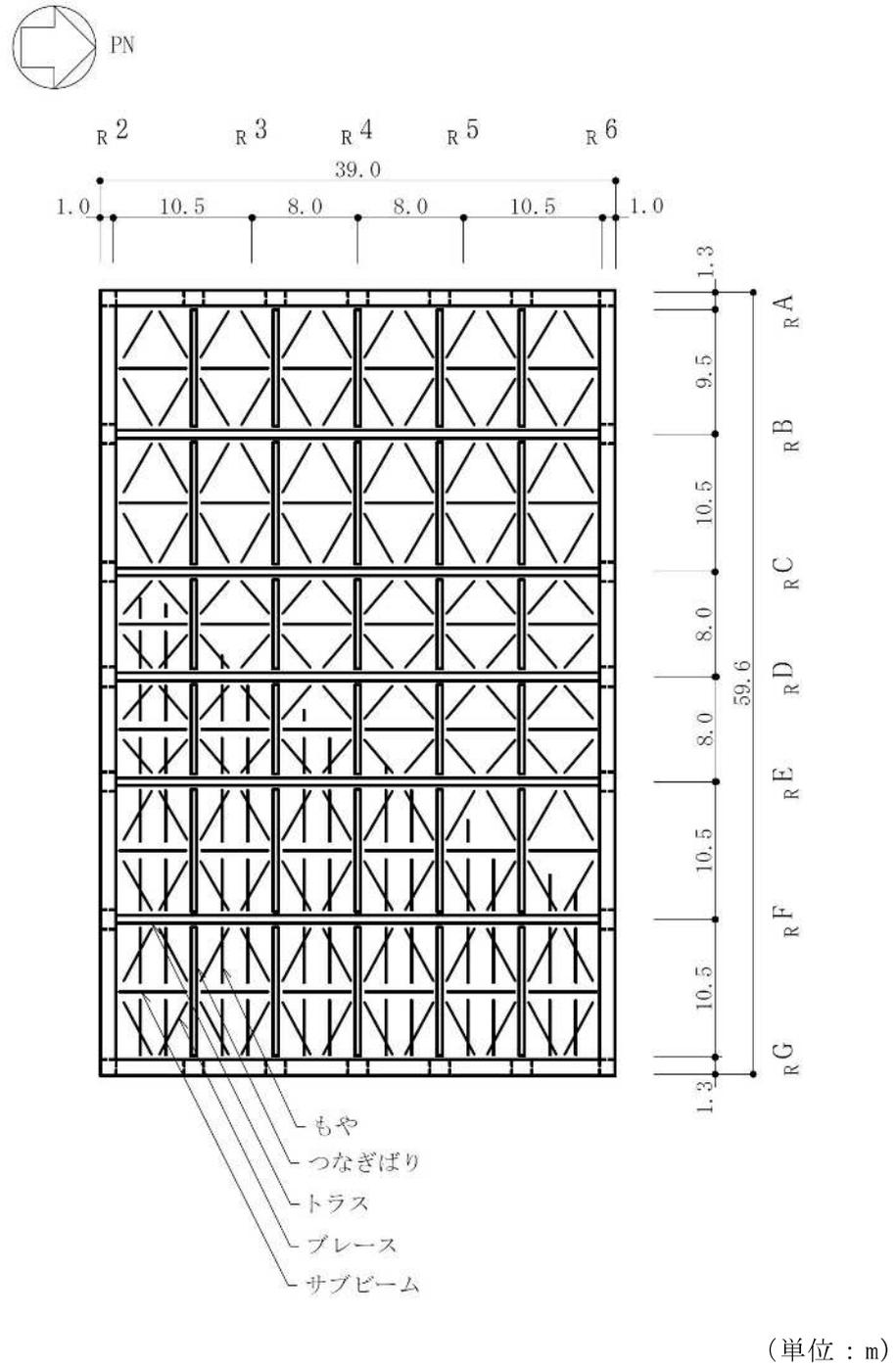
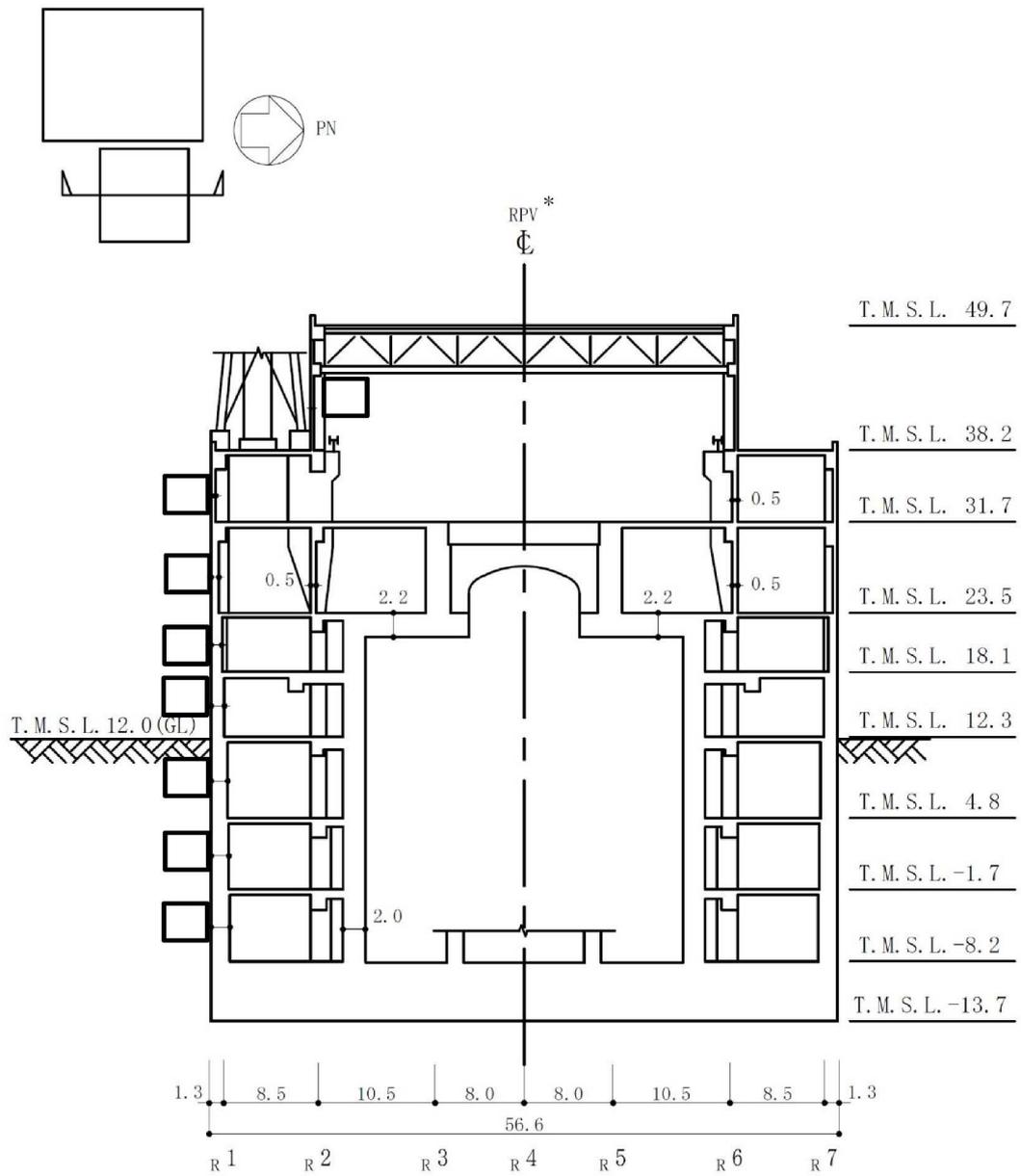


図 1-1 原子炉建屋の概略平面図 (RF, T. M. S. L. 49.7m) (9/9)



(単位 : m)

注記* : 原子炉压力容器 (以下「RPV」という。)

図 1-2 原子炉建屋の概略断面図 (NS 方向) (1/2)

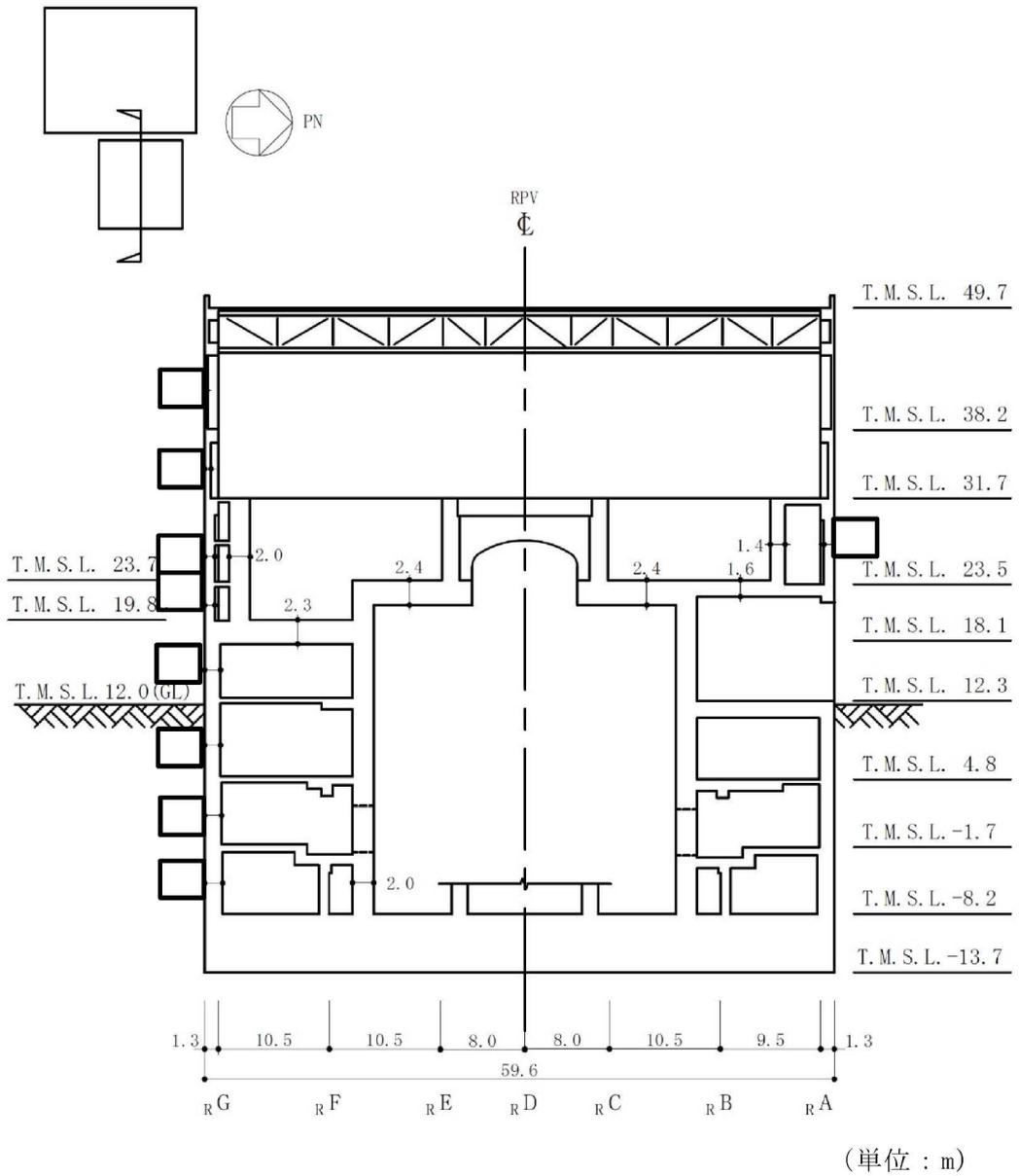


図 1-2 原子炉建屋の概略断面図 (EW 方向) (2/2)

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。そのうえで、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 (3 次元 FEM) のケースを表 1-1 に示す。解析モデル (3 次元 FEM) のケースは、床の柔性を変動要因とする以下の 2 ケースとした。

表 1-1 解析モデル (3 次元 FEM) 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 (3 次元 FEM)	床柔	相互作用考慮	実強度
質点系対応モデル (3 次元 FEM)	床剛	相互作用考慮	実強度

注記*：床のモデル化は基礎スラブを含むものとし、「床剛」の設定ではせん断剛性、曲げ剛性及び軸剛性のいずれについても剛とする。

建屋模擬モデル (3 次元 FEM) 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。

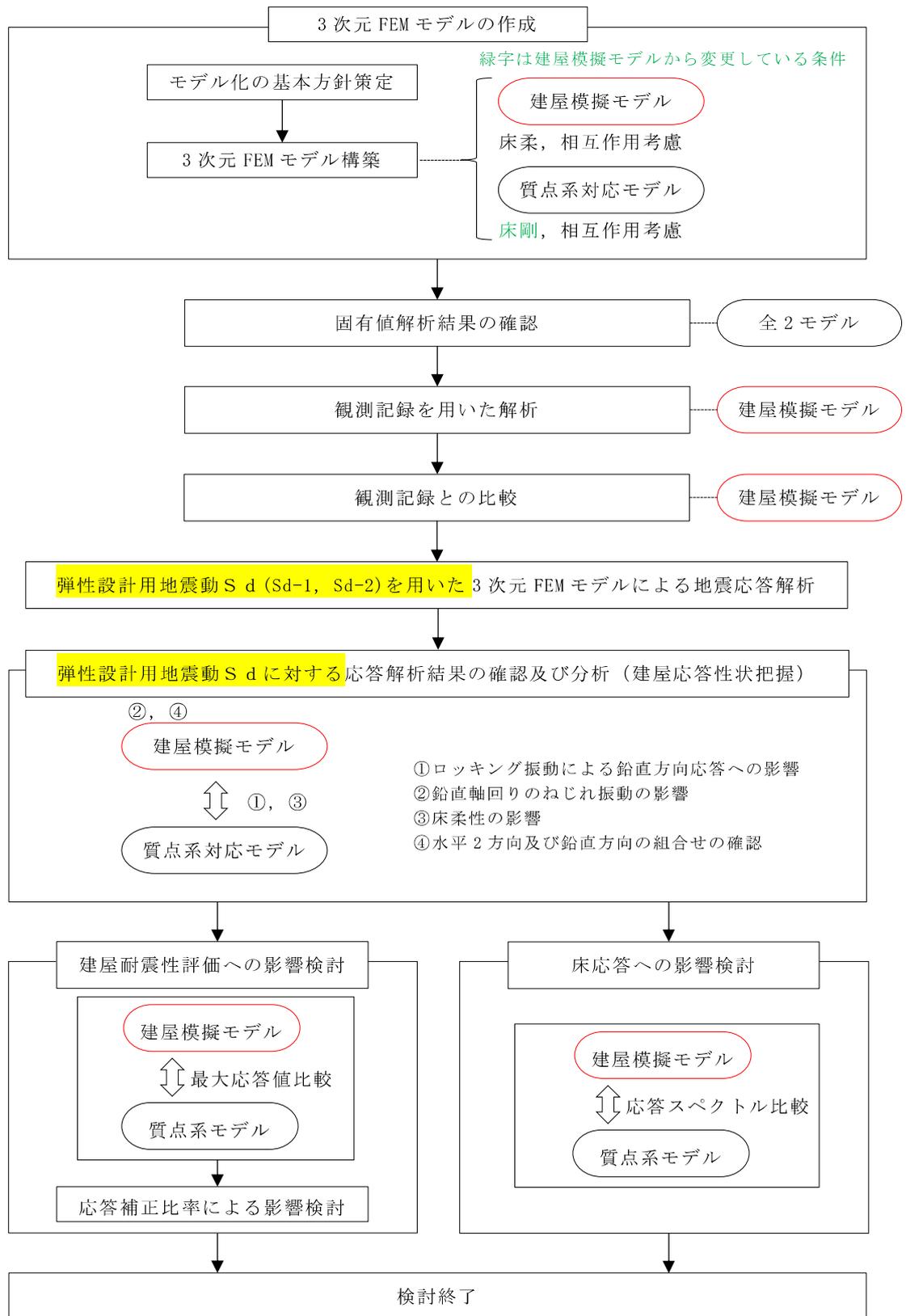
質点系対応モデル (3 次元 FEM) は、建屋模擬モデル (3 次元 FEM) における「床柔」を「床剛」に変更することにより、「床剛、相互作用考慮」の組合せとなり、質点系モデルに対応したモデルとなっている。

これら 2 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、ねじれ振動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。

3 次元 FEM モデルによる地震応答解析は、1 方向入力により行う。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検討として 3 方向同時入力による応答評価も併せて実施する。なお、3 方向同時入力による各方向の応答は、1 方向入力における各成分の応答を時刻歴で足し合わせるにより算出しており、詳細は「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」にて示す。

また、解析には解析コード「NX NASTRAN」を用いる。



○ : 検討対象モデル

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。

モデル図を図 2-1 に、各階のモデル図を図 2-2 に示す。

モデル化の範囲は、原子炉建屋、RCCV、使用済燃料貯蔵プール、蒸気乾燥器・気水分離器ピット、ダイヤフラムフロア、原子炉本体基礎及び基礎とする。

3次元 FEM モデルで設定する各部材の要素タイプは、以下のとおりである。

床スラブ・壁はシェル要素（約 23100 要素）とし、補助壁については 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で考慮している壁をモデル化する。基礎スラブは、ソリッド要素（約 9500 要素）とする。柱、はり、屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの上下弦材、サブビームについてはビーム要素（約 3800 要素）とし、壁内に収まる柱及びはりについては、モデル化しないものとする。屋根トラスのうち主トラス及びつなぎばりの斜材・束材、水平ブレースはトラス要素（約 400 要素）とする。

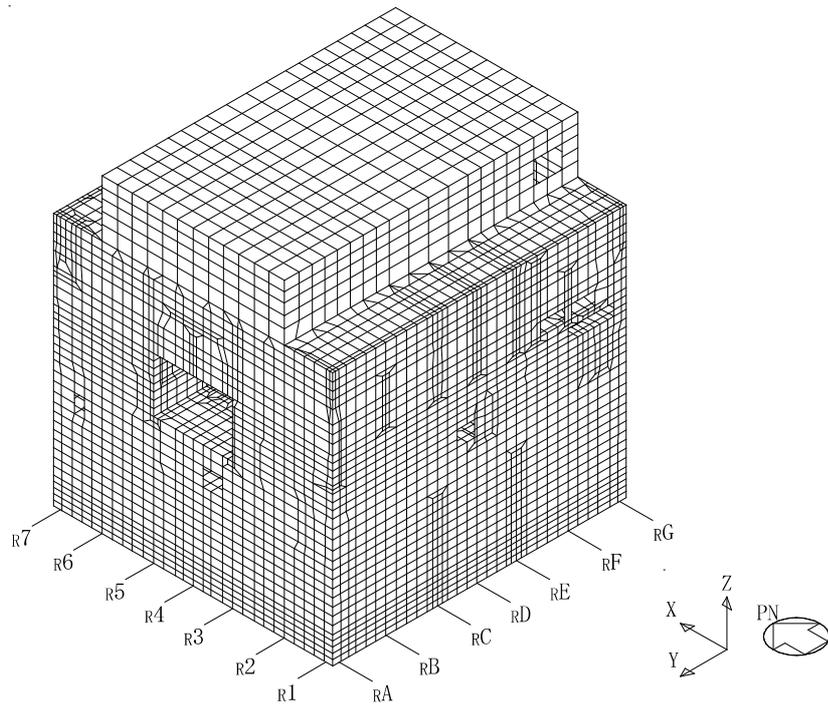
また、壁・床の開口部については、主要な開口部のみモデル化する。

要素の大きさは、各スラブレベルと対応する位置に節点を設け、水平方向には通り芯間を 2 分割以上、鉛直方向にはフロア間を 2 分割以上とする。

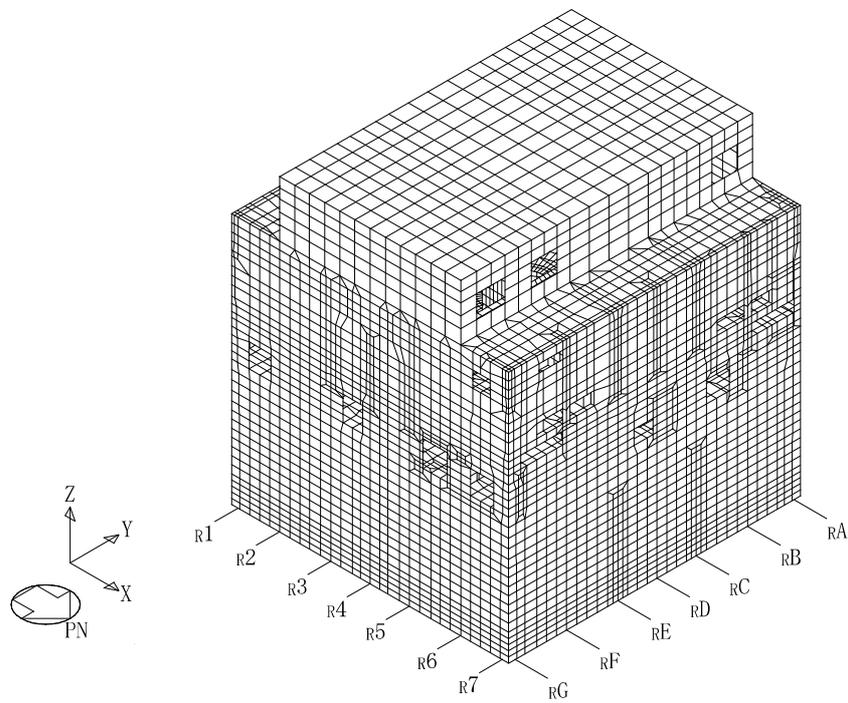
部材の接合部における剛域の設定は行わない。また、ビーム要素は柱・はりの壁・床と重複する部分の断面も含めて断面性能としてモデル化している。

使用材料の物性値を表 2-1 に示す。

コンクリートの実強度及びヤング係数並びに地盤物性については、V-2-2-1 「原子炉建屋の地震応答計算書」における原子炉建屋の設定値と同一である。なお、屋根スラブについては剛性を見込まないものとする。

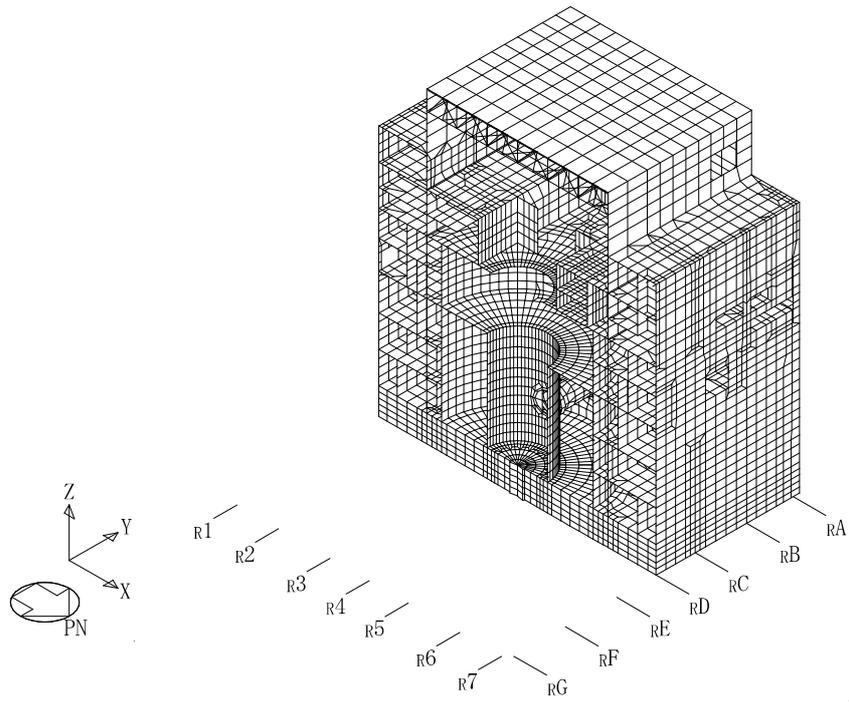


(a) 建屋全景（南西面）

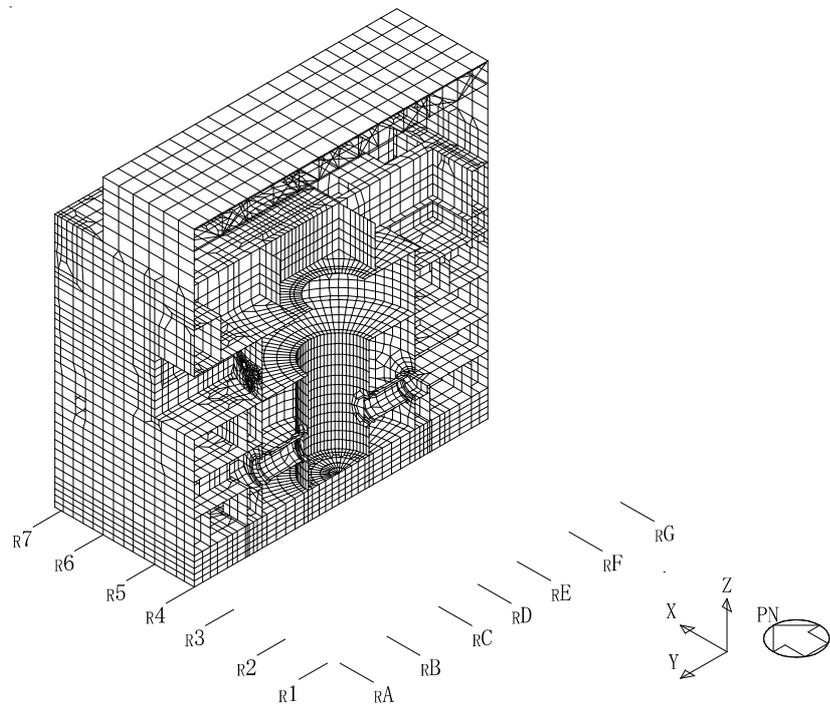


(b) 建屋全景（北東面）

図 2-1 モデル図 (1/2)

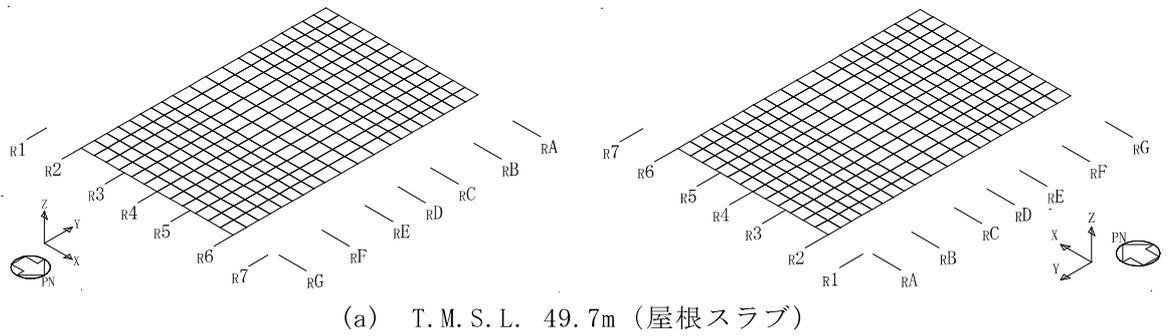


(c) NS 断面図

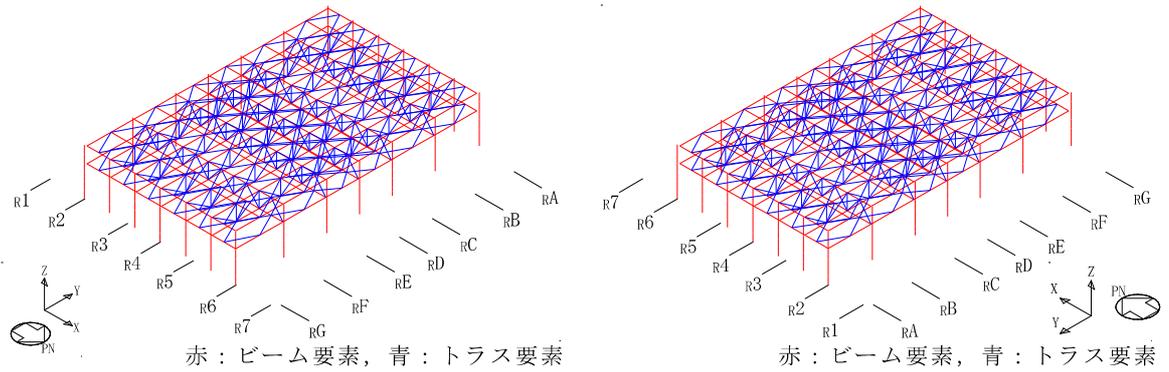


(d) EW 断面図

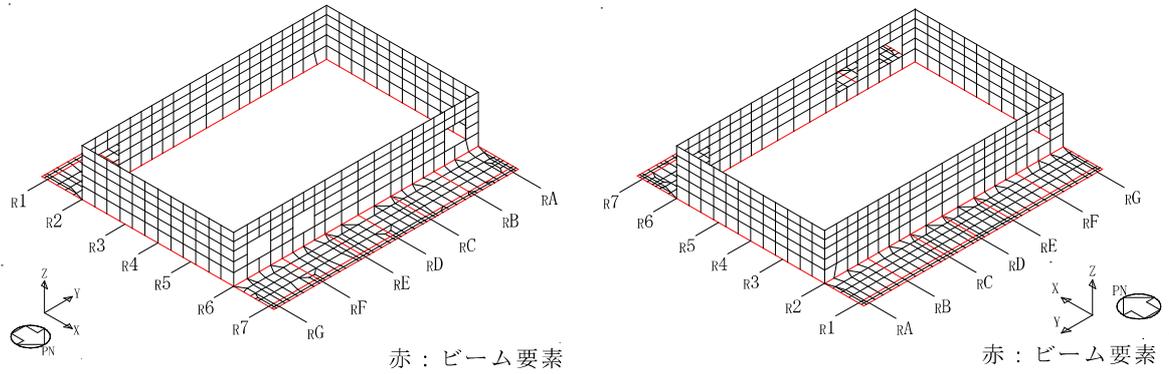
図 2-1 モデル図 (2/2)



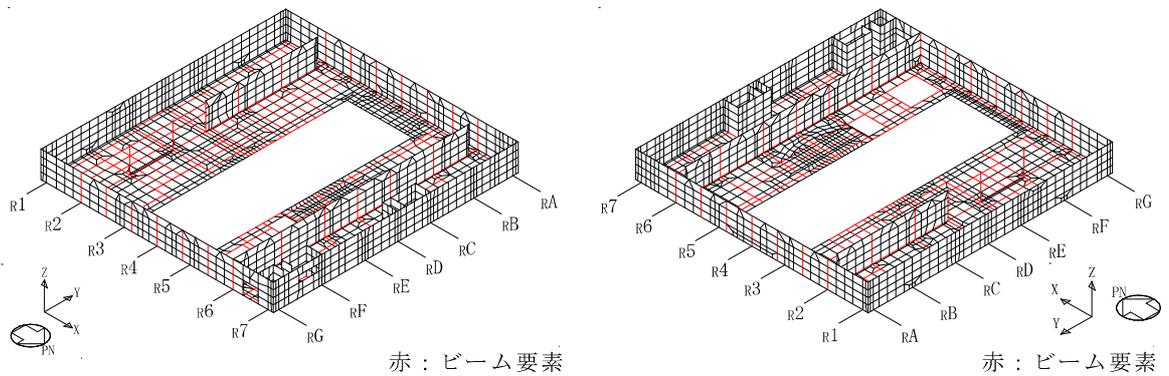
(a) T. M. S. L. 49.7m (屋根スラブ)



(b) T. M. S. L. 38.2m～T. M. S. L. 49.7m (柱, はり及び屋根トラス)

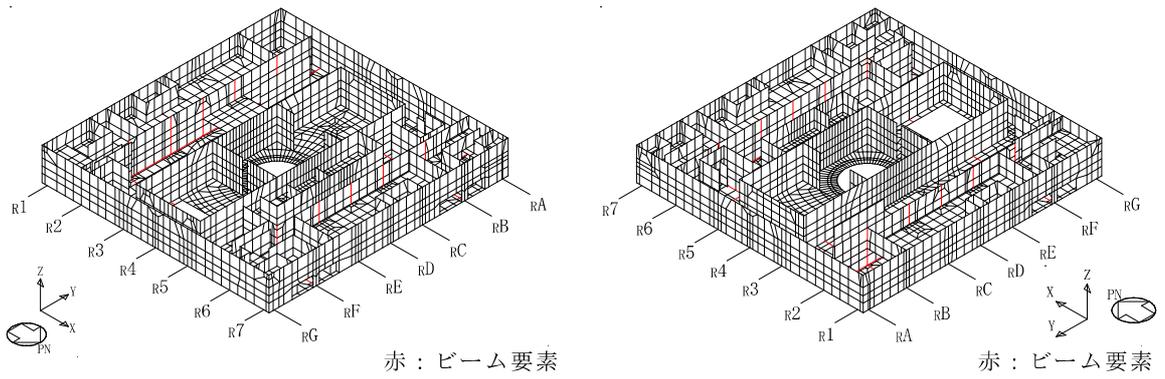


(c) T. M. S. L. 38.2m～T. M. S. L. 49.7m



(d) T. M. S. L. 31.7m～T. M. S. L. 38.2m

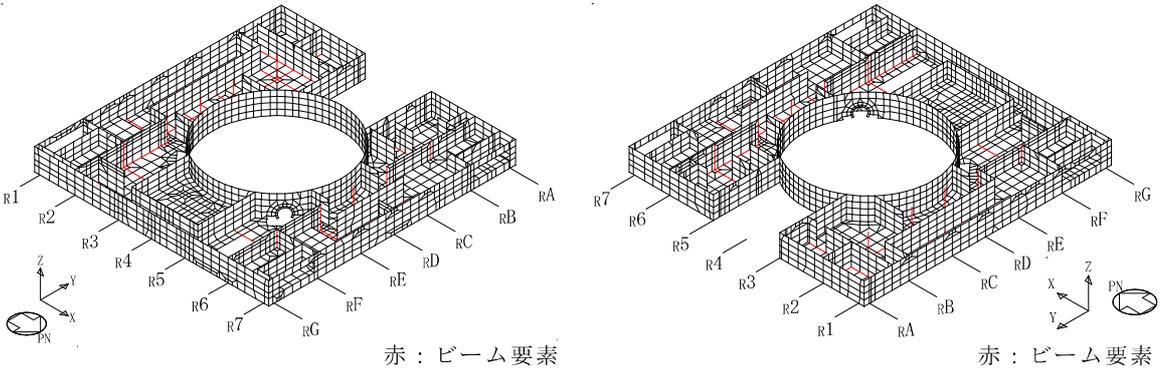
図 2-2 各階のモデル図 (1/3)



赤：ビーム要素

赤：ビーム要素

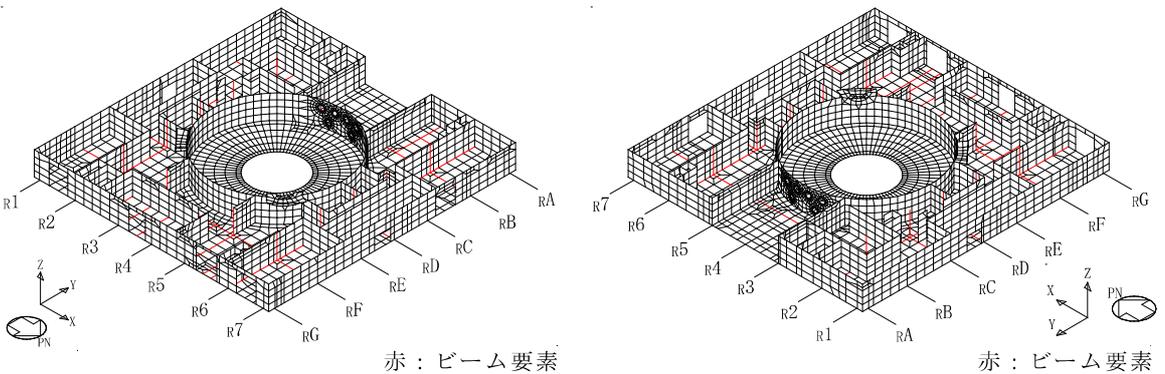
(e) T. M. S. L. 23.5m ~ T. M. S. L. 31.7m



赤：ビーム要素

赤：ビーム要素

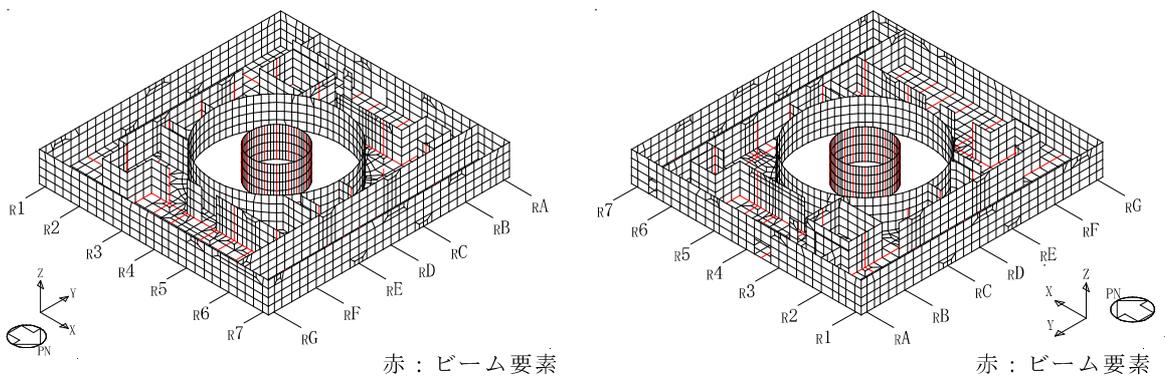
(f) T. M. S. L. 18.1m ~ T. M. S. L. 23.5m



赤：ビーム要素

赤：ビーム要素

(g) T. M. S. L. 12.3m ~ T. M. S. L. 18.1m

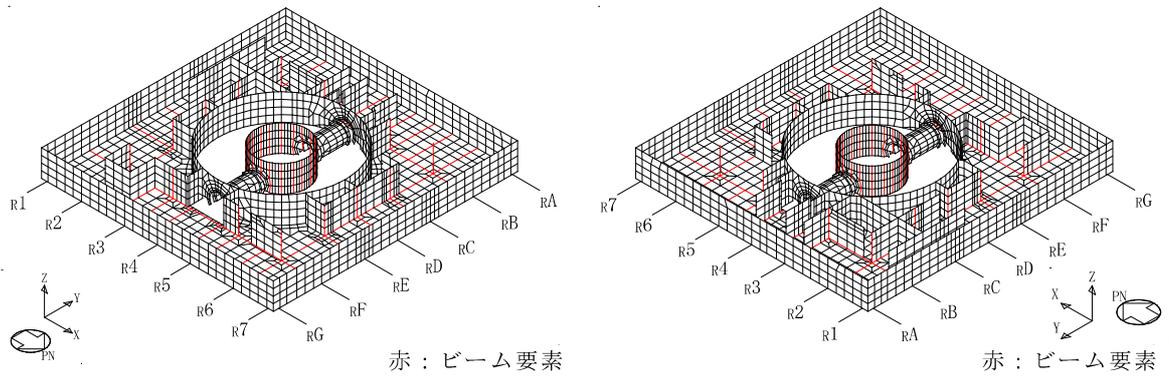


赤：ビーム要素

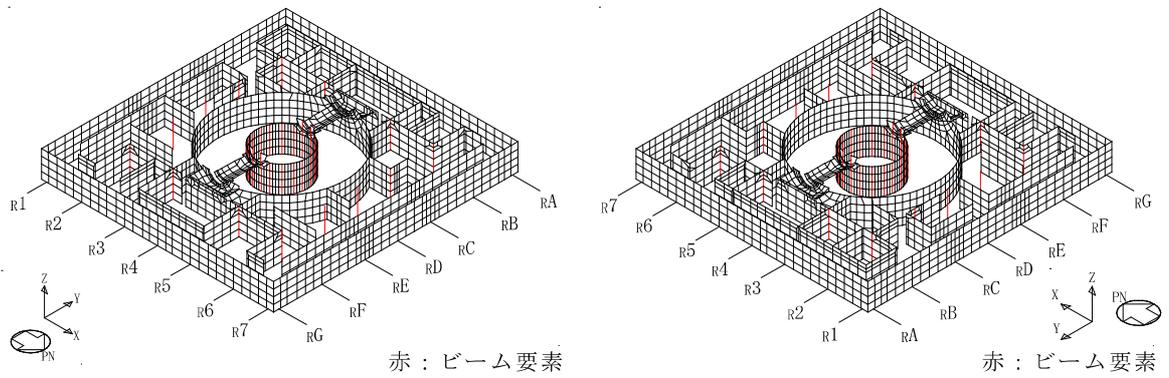
赤：ビーム要素

(h) T. M. S. L. 4.8m ~ T. M. S. L. 12.3m

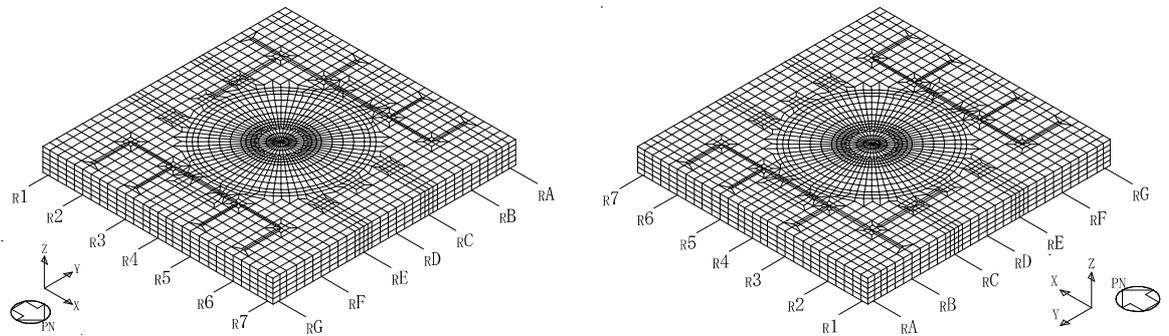
図 2-2 各階のモデル図 (2/3)



(i) T. M. S. L. -1.7m~T. M. S. L. 4.8m



(j) T. M. S. L. -8.2m~T. M. S. L. -1.7m



(k) T. M. S. L. -13.7m~T. M. S. L. -8.2m

図 2-2 各階のモデル図 (3/3)

表 2-1 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ($\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	2.88×10^4	1.20×10^4	5
基礎スラブ	コンクリート* : $\sigma_c = 39.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ($\sigma_c = 400 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	2.79×10^4	1.16×10^4	5
屋根トラス部	鉄骨 : SS41 (SS400相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨 : SM41A (SM400A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨 : SM50A (SM490A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2

注記* : 実強度に基づくコンクリート強度。

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、質点系モデルの重量と整合するよう重量を調整する。

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

2.1.3 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は、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Sd-1及びSd-2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、地盤をばね要素でそれぞれ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基に、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、基礎底面回転ばねを基に設定する。詳細な離散化方法を以下に示す。

地盤ばね成分が底面・並進及び底面・鉛直の場合は、各方向の地盤ばね定数を基礎底面積で除した地盤反力係数に対し、各節点の支配面積を乗じ、各節点に離散化する。また、地盤ばね成分が底面・回転の場合（水平方向加振時のみ考慮）、各方向の地盤ばね定数を基礎底面の断面二次モーメントで除した鉛直次元の地盤反力係数に対し、各節点の支配面積を乗じ、各節点に離散化する。

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基に、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、鉛直方向加振時では質点系モデルと同様に側面ばねを考慮しないものとする。詳細な離散化方法を以下に示す。

地盤ばね成分が側面・並進（水平方向加振時のみ考慮）の場合、各節点における支配高さは全周にわたり同一とし、各方向の地盤ばね定数を全周長さ（支配長さの総和）で除した地盤反力係数に対し、各節点の支配長さを乗じ、各節点に離散化する。また、地盤ばね成分が側面・回転の場合（水平方向加振時のみ考慮）、各方向の地盤ばね定数を壁側面の断面二次モーメントで除した地盤反力係数に対し、各節点の支配長さを乗じることで、各節点に離散化する。

なお、減衰係数は地盤ばね定数と同様に分配するものとする。

各地盤ばね諸元については表2-2～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2-3に示す。

表 2-2 地盤ばね定数と減衰係数（底面・並進）

地震動	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
Sd-1	7.70×10^7	2.90×10^6	7.66×10^7	2.88×10^6
Sd-2	7.76×10^7	2.91×10^6	7.72×10^7	2.89×10^6

表 2-3 地盤ばね定数と減衰係数

(a) 底面・回転

地震動		鉛直方向	
		ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
Sd-1	NS 方向加振時	7.50×10^{10}	6.17×10^8
	EW 方向加振時	8.08×10^{10}	7.22×10^8
Sd-2	NS 方向加振時	7.56×10^{10}	6.17×10^8
	EW 方向加振時	8.14×10^{10}	7.22×10^8

注：底面回転ばねについては、鉛直ばねに置換してモデル化する。

(b) 底面・鉛直

地震動		鉛直方向	
		ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
Sd-1	鉛直方向加振時	1.27×10^8	6.64×10^6
Sd-2	鉛直方向加振時	1.28×10^8	6.68×10^6

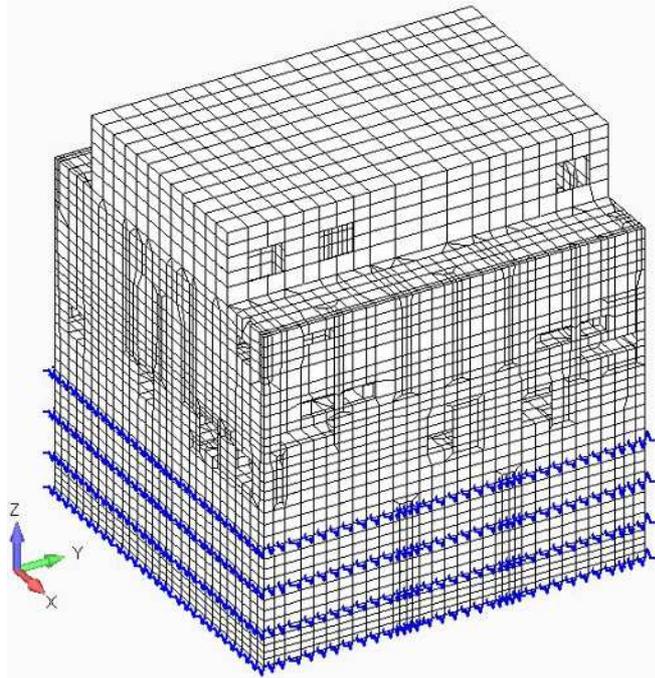
表 2-4 地盤ばね定数と減衰係数（側面・並進）

地震動	T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
Sd-1	4.8	1.34×10^6	4.69×10^5	1.34×10^6	4.70×10^5
	-1.7	3.55×10^6	1.24×10^6	3.55×10^6	1.25×10^6
	-8.2	9.11×10^6	1.80×10^6	9.11×10^6	1.80×10^6
	-13.7	4.78×10^6	8.86×10^5	4.78×10^6	8.85×10^5
Sd-2	4.8	1.29×10^6	4.61×10^5	1.29×10^6	4.63×10^5
	-1.7	3.42×10^6	1.22×10^6	3.42×10^6	1.23×10^6
	-8.2	9.08×10^6	1.79×10^6	9.08×10^6	1.79×10^6
	-13.7	4.78×10^6	8.86×10^5	4.78×10^6	8.85×10^5

表 2-5 地盤ばね定数と減衰係数（側面・回転）

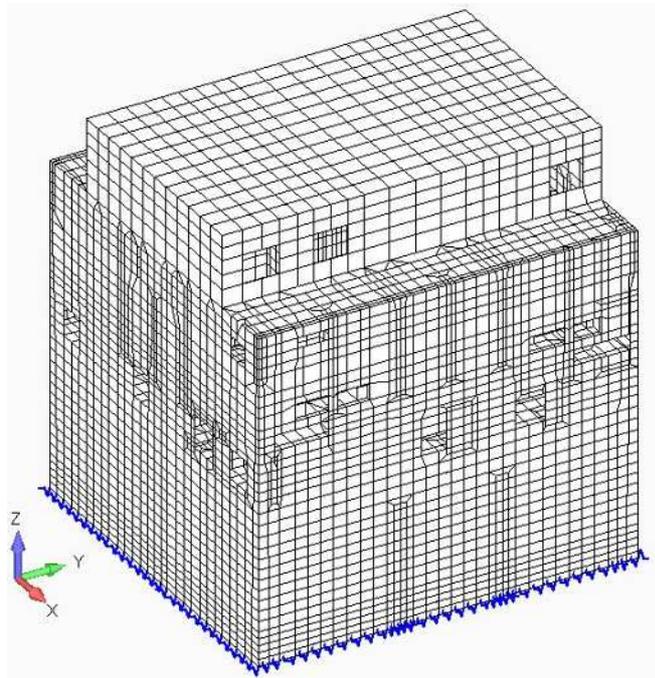
地震動	T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
		ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
Sd-1	4.8	1.04×10^9	1.16×10^8	1.04×10^9	1.17×10^8
	-1.7	2.76×10^9	3.09×10^8	2.76×10^9	3.10×10^8
	-8.2	7.17×10^9	4.12×10^8	7.17×10^9	4.15×10^8
	-13.7	3.74×10^9	2.01×10^8	3.74×10^9	2.03×10^8
Sd-2	4.8	1.00×10^9	1.14×10^8	1.00×10^9	1.15×10^8
	-1.7	2.66×10^9	3.04×10^8	2.66×10^9	3.05×10^8
	-8.2	7.16×10^9	4.11×10^8	7.16×10^9	4.15×10^8
	-13.7	3.74×10^9	2.01×10^8	3.74×10^9	2.03×10^8

注：側面回転ばねについては、鉛直ばねに置換してモデル化する。



青線：離散化した地盤ばね（NS・EWで異なるばね値，底面及び側面に対して考慮）

(a) 水平方向解析時



青線：離散化した地盤ばね（底面のみに考慮）

(b) 鉛直方向解析時

図 2-3 地盤ばねの設置図

2.2 固有値解析

建屋模擬モデル（3次元 FEM, 床柔, 相互作用考慮）、質点系対応モデル（3次元 FEM, 床剛, 相互作用考慮）の2つの解析モデルケースについて、Sd-1 及び Sd-2 に対する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。また、各モデルのモード図を表 2-7 に示す。

固有値解析の結果について、質点系モデルと3次元 FEM モデルである建屋模擬モデル及び質点系対応モデルは、いずれの方向についてもおおむね整合している。

3次元 FEM モデルの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。

床剛とした3次元 FEM モデルである質点系対応モデルと質点系モデルとでは、同程度の振動数において質点系モデルの固有モードに類似したモードが質点系対応モデルのモードに見られ、良い対応をしている。

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

(a) Sd-1

方向	振動数 (Hz)		
	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
NS	2.32	2.41	2.34
EW	2.40	2.46	2.40
鉛直	3.84	3.90	3.96

(b) Sd-2

方向	振動数 (Hz)		
	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
NS	2.32	2.41	2.34
EW	2.40	2.47	2.40
鉛直	3.86	3.91	3.97

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較 (1/4)

(a) Sd-1 水平方向

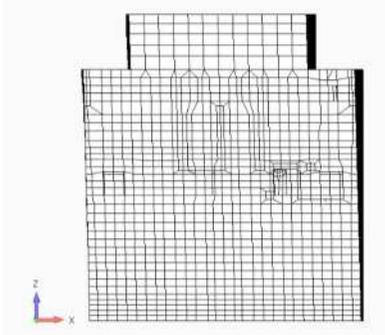
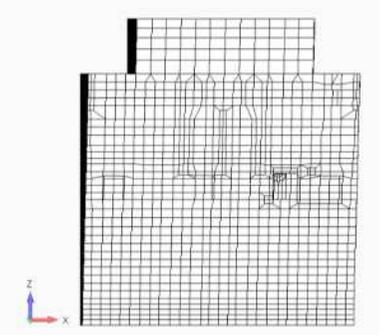
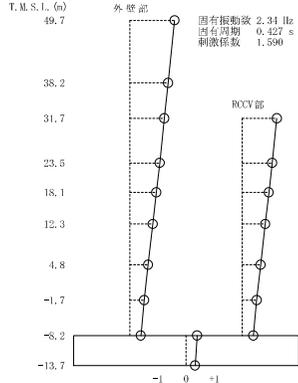
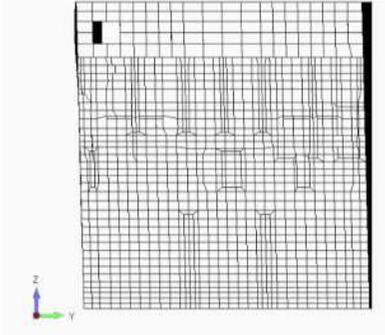
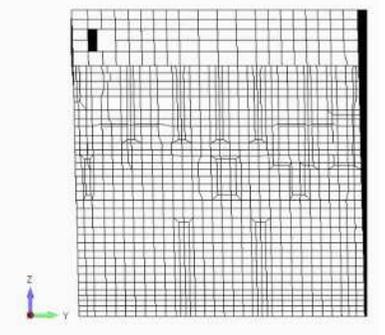
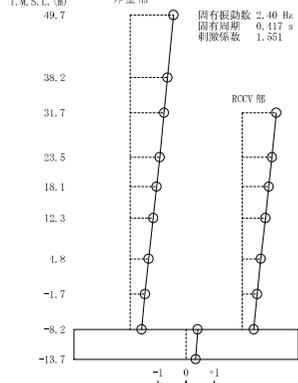
方向	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
NS	 <p>2.32 Hz</p>	 <p>2.41 Hz</p>	 <p>2.34 Hz</p>
EW	 <p>2.40 Hz</p>	 <p>2.46 Hz</p>	 <p>2.40 Hz</p>

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較 (2/4)

(b) Sd-1 鉛直方向

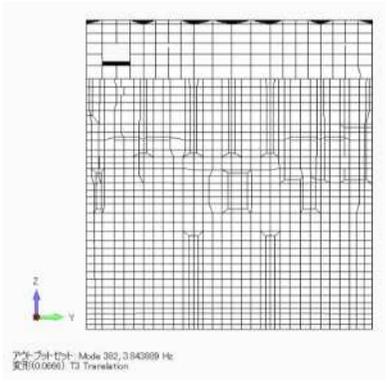
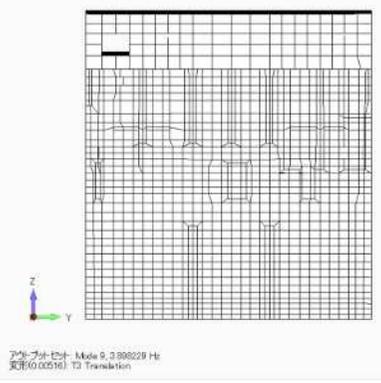
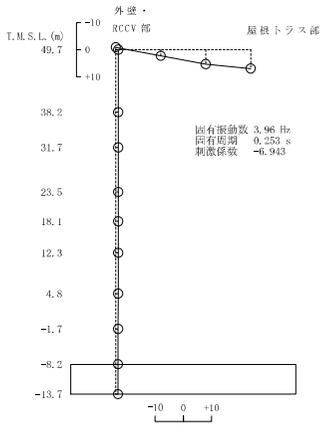
方向	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
鉛直	 <p>アニメーション: Mode 392, 3.843899 Hz 変形(0.0066), T3 Translation</p> <p>3.84 Hz</p>	 <p>アニメーション: Mode 9, 3.998229 Hz 変形(0.00516), T3 Translation</p> <p>3.90 Hz</p>	 <p>外壁・RCC部 屋根トラス部</p> <p>T.M.S.L. (m) 49.7 0 +10</p> <p>38.2 31.7 23.5 18.1 12.3 4.8 -1.7 -8.2 -13.7</p> <p>固有振動数 3.96 Hz 固有周期 0.253 s 制振係数 -0.943</p> <p>-10 0 +10</p> <p>3.96 Hz</p>

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較 (3/4)

(c) Sd-2 水平方向

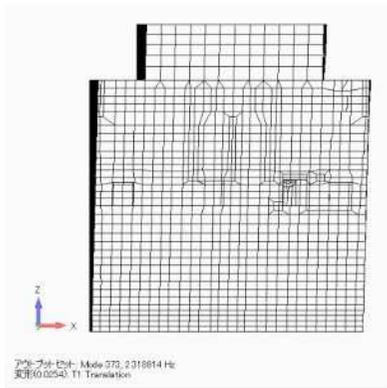
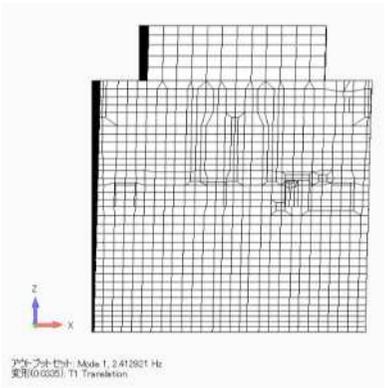
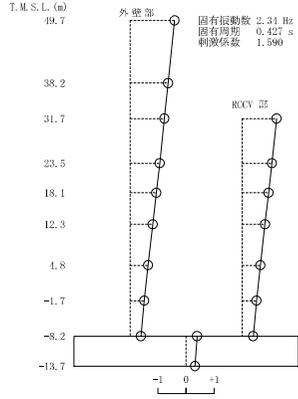
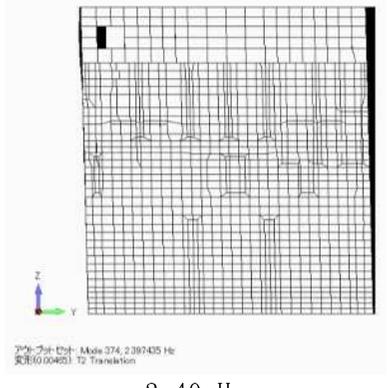
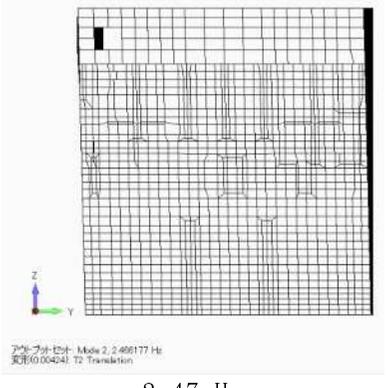
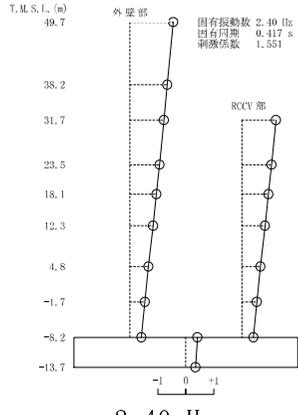
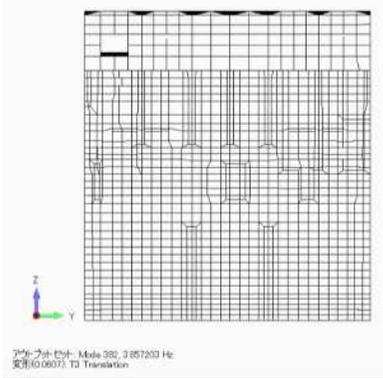
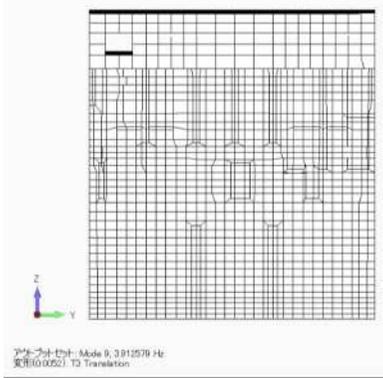
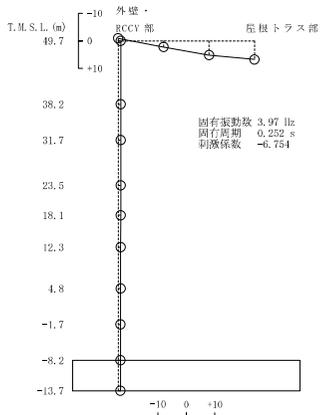
方向	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
NS	 <p>アニメーション: Mode 373, 2.318814 Hz 変形(0.0254) T1 Translation</p> <p>2.32 Hz</p>	 <p>アニメーション: Mode 1, 2.412621 Hz 変形(0.0325) T1 Translation</p> <p>2.41 Hz</p>	 <p>T.M.S.L. (m) 49.7 38.2 31.7 23.5 18.1 12.3 4.8 -1.7 -8.2 -13.7</p> <p>外壁部 固有振動数 2.34 Hz 固有周期 0.427 s 制振係数 1.596</p> <p>RCCV 部</p> <p>2.34 Hz</p>
EW	 <p>アニメーション: Mode 374, 2.397435 Hz 変形(0.0462) T2 Translation</p> <p>2.40 Hz</p>	 <p>アニメーション: Mode 2, 2.496177 Hz 変形(0.0043) T2 Translation</p> <p>2.47 Hz</p>	 <p>T.M.S.L. (m) 49.7 38.2 31.7 23.5 18.1 12.3 4.8 -1.7 -8.2 -13.7</p> <p>外壁部 固有振動数 2.40 Hz 固有周期 0.417 s 制振係数 1.551</p> <p>RCCV 部</p> <p>2.40 Hz</p>

表 2-7 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較 (4/4)

(d) Sd-2 鉛直方向

方向	3次元 FEM		質点系モデル
	建屋模擬モデル	質点系対応モデル	
鉛直	 <p>固有振動数: Mode 392, 3.857203 Hz 変位 (0.0607): T3 Translation</p> <p>3.86 Hz</p>	 <p>固有振動数: Mode 9, 3.912579 Hz 変位 (0.0052): T3 Translation</p> <p>3.91 Hz</p>	 <p>固有振動数 3.97 Hz 固有周期 0.252 s 制振係数 -6.754</p> <p>3.97 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

2007年新潟県中越沖地震に対して、3次元FEMモデルを用いたシミュレーション解析を実施する。解析は、建屋模擬モデル（3次元FEM）に対して中越沖地震発生時の実状を考慮する。

シミュレーション解析における地震応答解析の概略図を図2-4に示す。

シミュレーション解析は、地震時に観測した基礎スラブ上における水平方向及び鉛直方向の地震観測記録を用いた周波数応答解析により行う。

基礎スラブ上における観測記録を地盤の伝達関数を用いて解放基盤に下ろし、基礎スラブ上の応答が観測記録と整合するまで一次元波動論による等価線形地震応答解析を繰り返し、シミュレーション解析用の収束地盤物性を作成する。作成した収束地盤物性に基づく建屋基礎底面レベル及び側面地盤ばねレベルの地盤応答を、地盤ばねを介して入力し、建屋の伝達関数を求める。

以上の手順で求めた基礎スラブ上からの建屋各部の伝達関数と原子炉建屋の基礎スラブ上での観測地震波を用いて建屋各部位の応答を算定する。

本検討においては、地震計を設置しているT.M.S.L. 23.5mの位置での応答解析結果と観測記録とを比較し、傾向を確認する。

観測記録を用いた検討では、表2-8～表2-12に示す使用材料の物性値及び地盤ばねの物性値を用いる。

解析に用いる地震の諸元を図2-5に、地震計位置を図2-6に示す。また、原子炉建屋の基礎上で得られた観測記録を図2-7に示す。

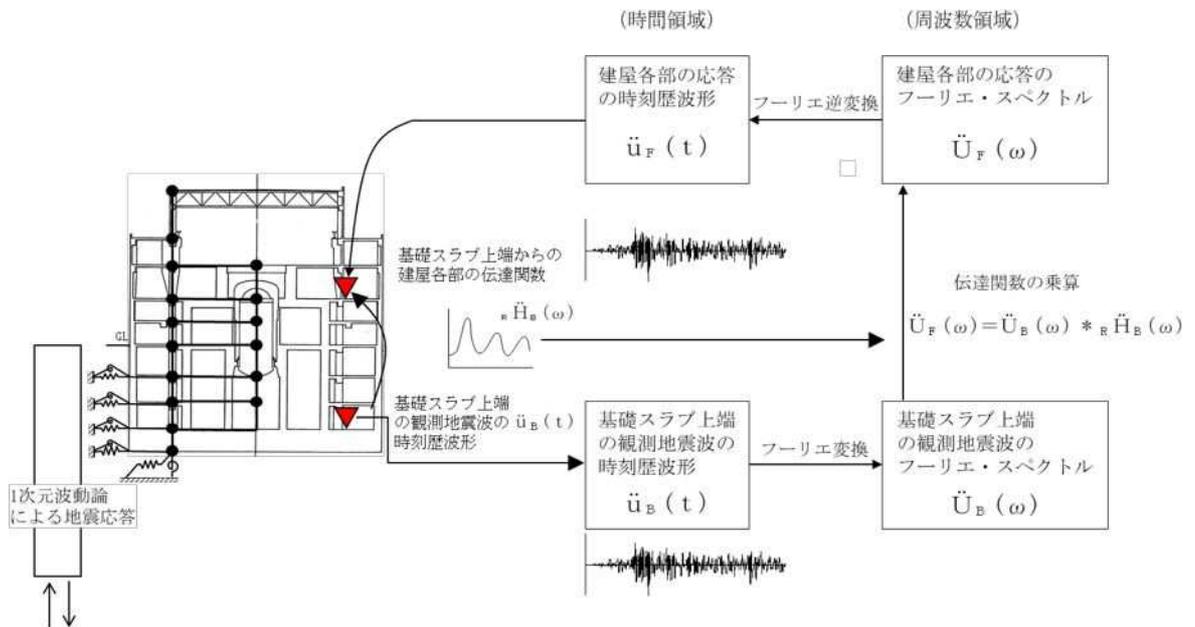


図 2-4 シミュレーション解析における地震応答解析の概略図

表 2-8 使用材料の物性値

部位	使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性係数 G (N/mm ²)	減衰定数 h (%)
建屋部	コンクリート* : $\sigma_c = 43.1 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ($\sigma_c = 440 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	2.88×10^4	1.20×10^4	5
基礎スラブ	コンクリート* : $\sigma_c = 39.2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ($\sigma_c = 400 \text{ kgf/cm}^2$) 鉄筋 : SD35 (SD345相当)	2.79×10^4	1.16×10^4	5
屋根トラス部	鉄骨 : SS41 (SS400相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨 : SM41A (SM400A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2
	鉄骨 : SM50A (SM490A相当)	2.05×10^5	0.79×10^5	2

注記* : 実強度に基づくコンクリート強度。

表 2-9 地盤ばね定数と減衰係数（底面・並進）

NS 方向		EW 方向	
ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
7.48×10^7	2.85×10^6	7.44×10^7	2.83×10^6

表 2-10 地盤ばね定数と減衰係数

(a) 底面・回転

	鉛直方向	
	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
NS 方向加振時	7.32×10^{10}	6.12×10^8
EW 方向加振時	7.88×10^{10}	7.14×10^8

注：底面回転ばねについては，鉛直ばねに置換してモデル化する。

(b) 底面・鉛直

	鉛直方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
鉛直方向加振時	1.24×10^8	6.56×10^6

表 2-11 地盤ばね定数と減衰係数（側面・並進）

T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
4.8	1.29×10^6	4.61×10^5	1.29×10^6	4.62×10^5
-1.7	3.42×10^6	1.22×10^6	3.42×10^6	1.23×10^6
-8.2	8.70×10^6	1.76×10^6	8.70×10^6	1.75×10^6
-13.7	4.56×10^6	8.66×10^5	4.56×10^6	8.65×10^5

表 2-12 地盤ばね定数と減衰係数（側面・回転）

T. M. S. L. (m)	NS 方向		EW 方向	
	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
4.8	1.00×10^9	1.14×10^8	1.00×10^9	1.15×10^8
-1.7	2.65×10^9	3.03×10^8	2.65×10^9	3.04×10^8
-8.2	6.85×10^9	4.05×10^8	6.85×10^9	4.07×10^8
-13.7	3.57×10^9	1.98×10^8	3.57×10^9	1.99×10^8

注：側面回転ばねについては、鉛直ばねに置換してモデル化する。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007年7月16日 10時13分頃*
マグニチュード	6.8*
震源深さ	17km*
震央距離	16km
震源距離	約23km

注記*：気象庁発表



図 2-5 新潟県中越沖地震の震央位置

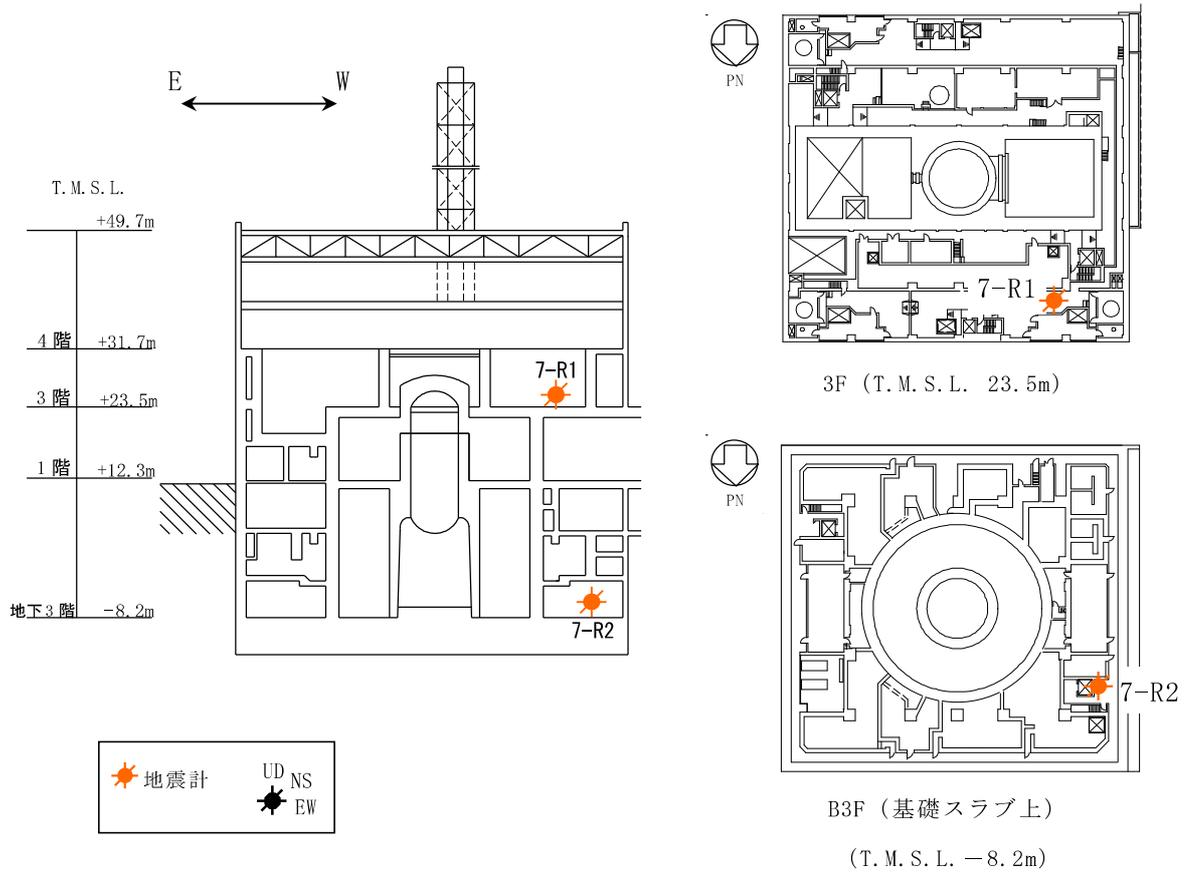


図 2-6 地震計位置

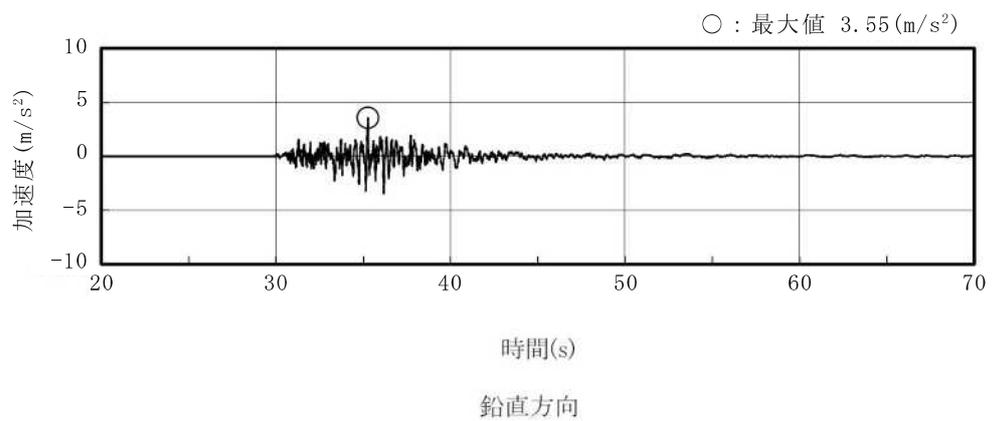
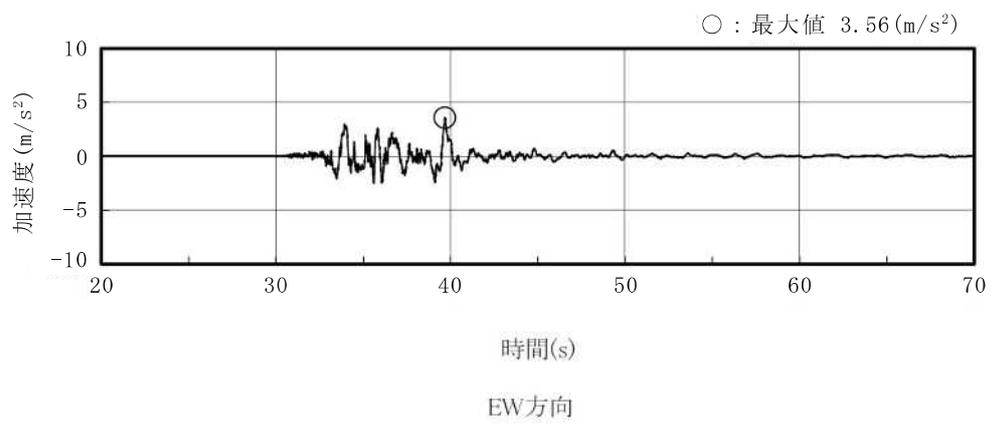
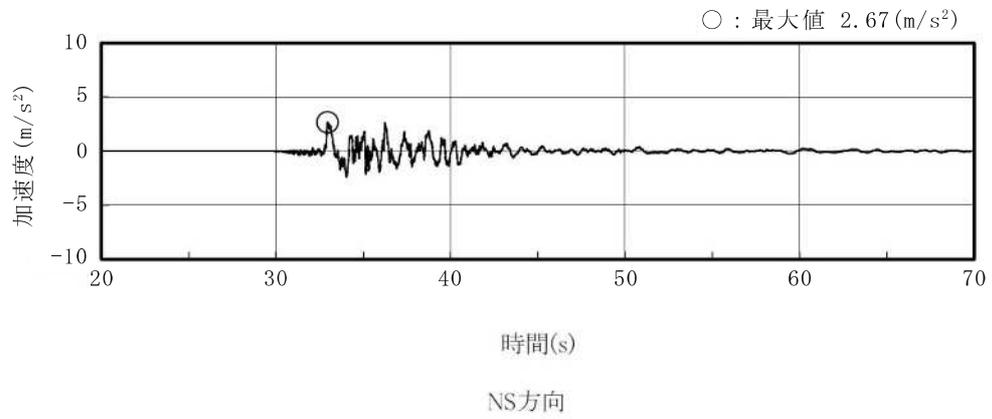


図 2-7 原子炉建屋の基礎上 (T. M. S. L. -8.2m) の観測記録
(2007年新潟県中越沖地震)

2.3.2 観測記録による解析結果

2007年新潟県中越沖地震の観測記録を用いて3次元FEMモデルによる解析を実施する。

T.M.S.L. 23.5m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図2-8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。

2.3.3 観測記録と解析結果の比較及び考察

観測記録と3次元FEMモデルによる解析結果を比較すると、やや3次元FEMモデルの解析結果が観測記録よりも大きくなる傾向にあるが、観測記録のスペクトル形状とおおむね対応している。

2.3.4 結論

以上から、3次元FEM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、観測記録とおおむね対応しており、スペクトル形状を再現できている。

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、3次元FEMモデルを用いることとする。

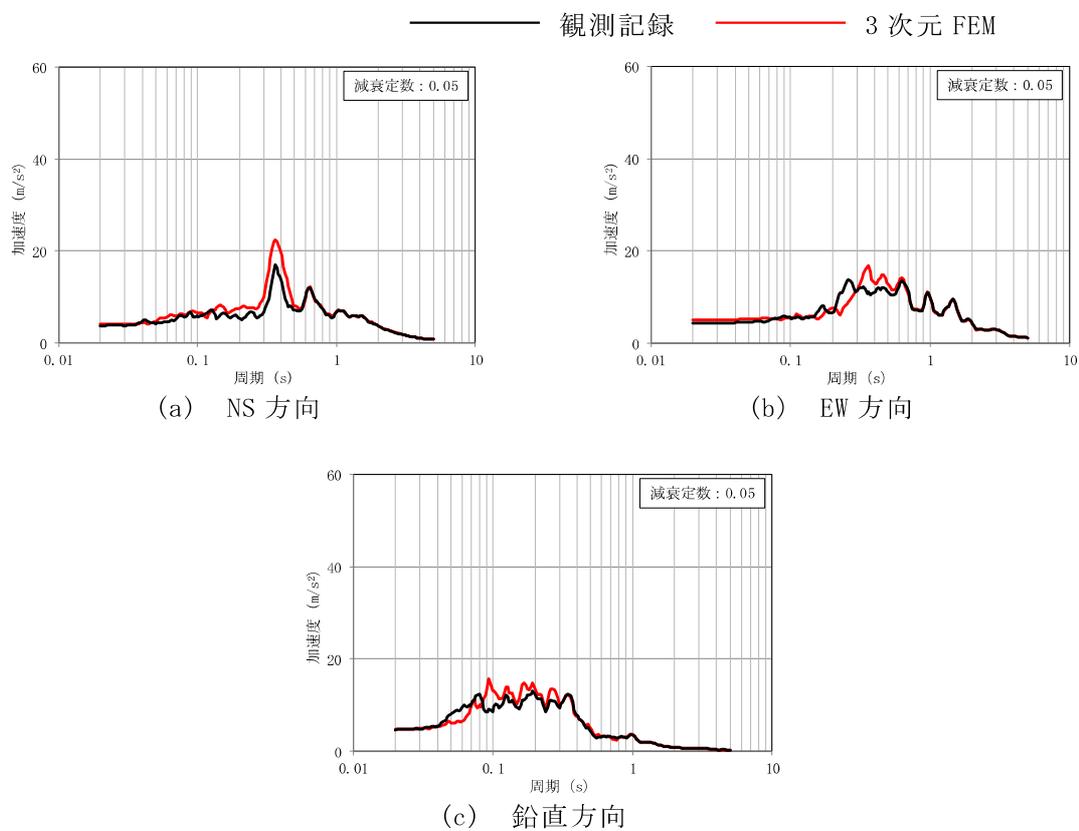


図 2-8 観測記録 (T.M.S.L. 23.5m 観測点:7-R1) と解析結果の比較

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、それらが建屋耐震性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）及び質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の 2 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、地震動は弾性設計用地震動 S d とし、全周期帯の応答が大きく、建屋への影響も大きい Sd-1 及び断層モデルを用いた手法による地震動として NS 方向，EW 方向及び鉛直方向の方向性を持つ Sd-2 を用いる。（V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」参照）

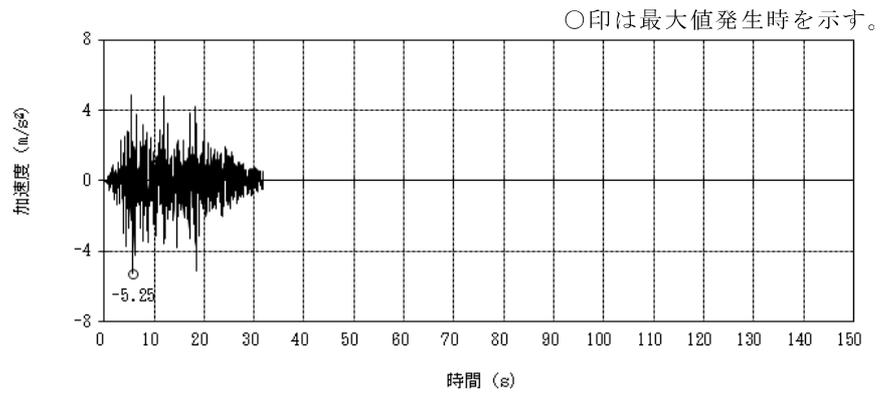
弾性設計用地震動 S d に対する建屋基礎底面及び側面地盤ばねレベルでの地盤の応答を、地盤ばねを介して入力し、3 次元的な応答性状の把握を行う。

入力地震動 Sd-1 及び Sd-2 を図 3-1 に示す。

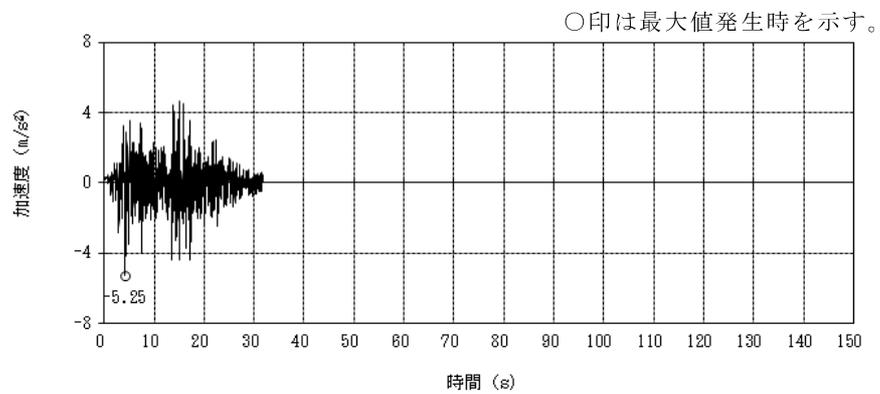
3 次元 FEM モデルによる地震応答解析は、NS 方向，EW 方向及び鉛直方向の各々に対して行う。また、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認として、NS 方向，EW 方向及び鉛直方向の 3 方向同時入力による応答評価も併せて実施する。

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。

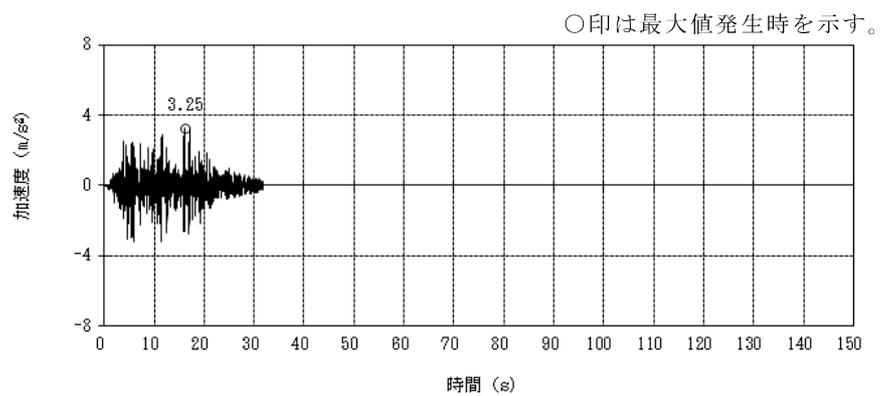
3 次元 FEM モデルの応答評価位置について、地震計設置階である B3F，3F（T.M.S.L. -8.2m，T.M.S.L. 23.5m）に加え，1F（T.M.S.L. 12.3m）及び 4F（燃料取替床，T.M.S.L. 31.7m）に対応する床において、対称性及び建屋形状を考慮し、RCCV 部は円筒壁近傍の 7 点，外壁部は 12 点を抽出した。



(1) NS 方向 (Sd-1H)



(2) EW 方向 (Sd-1p*)

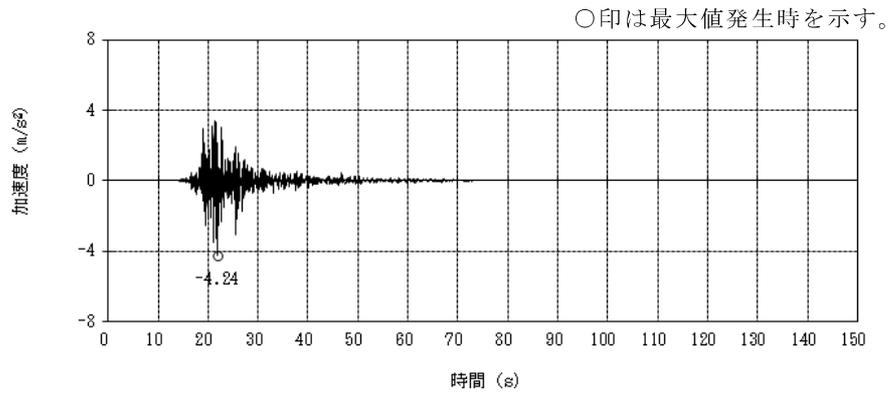


(3) 鉛直方向 (Sd-1V)

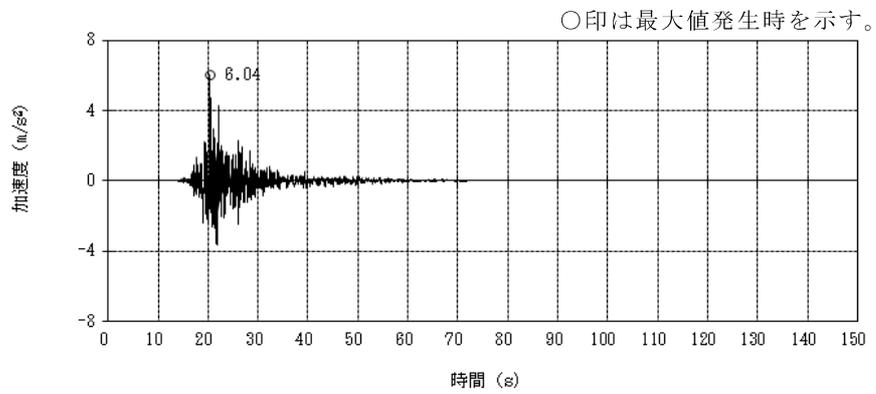
(a) 加速度波形 (Sd-1)

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

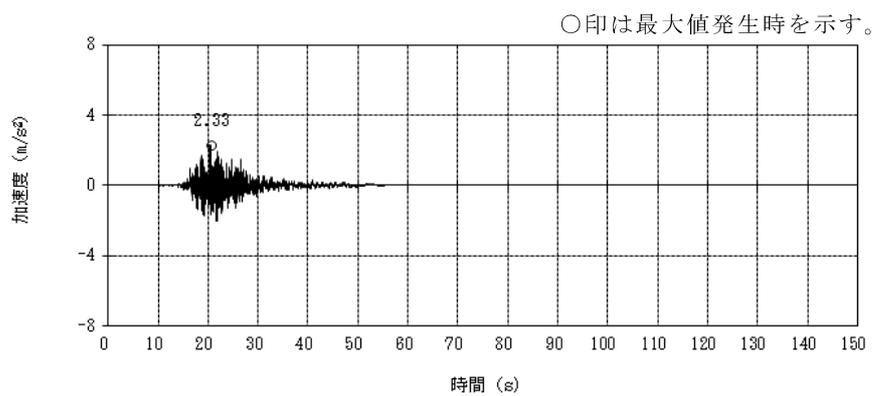
図 3-1 入力地震動 (1/3)



(1) NS 方向 (Sd-2NS)



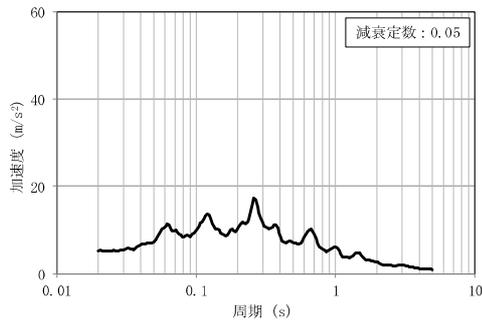
(2) EW 方向 (Sd-2EW)



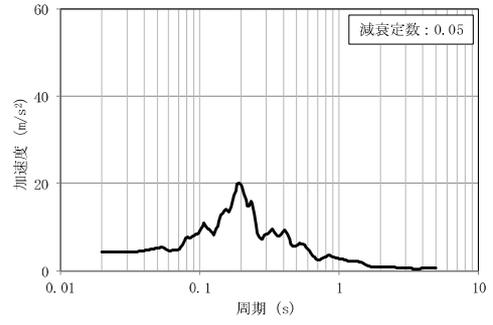
(3) 鉛直方向 (Sd-2UD)

(b) 加速度波形 (Sd-2)

図 3-1 入力地震動 (2/3)

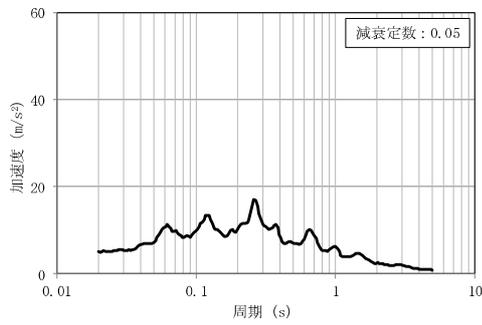


Sd-1H

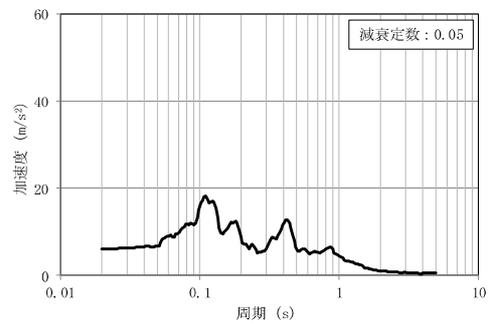


Sd-2NS

(1) NS 方向

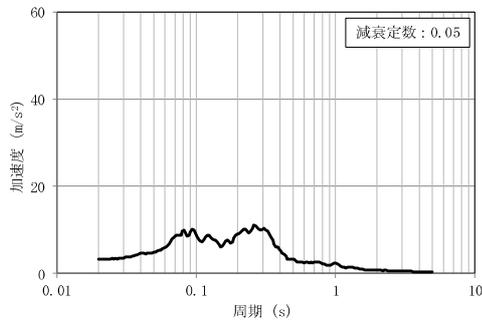


Sd-1p*

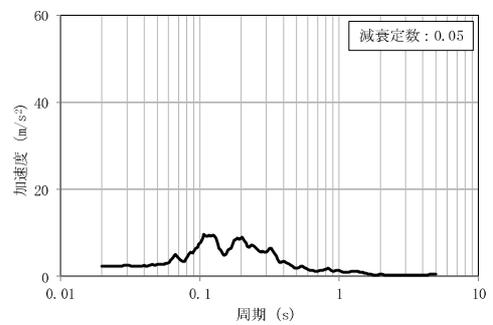


Sd-2EW

(2) EW 方向



Sd-1V



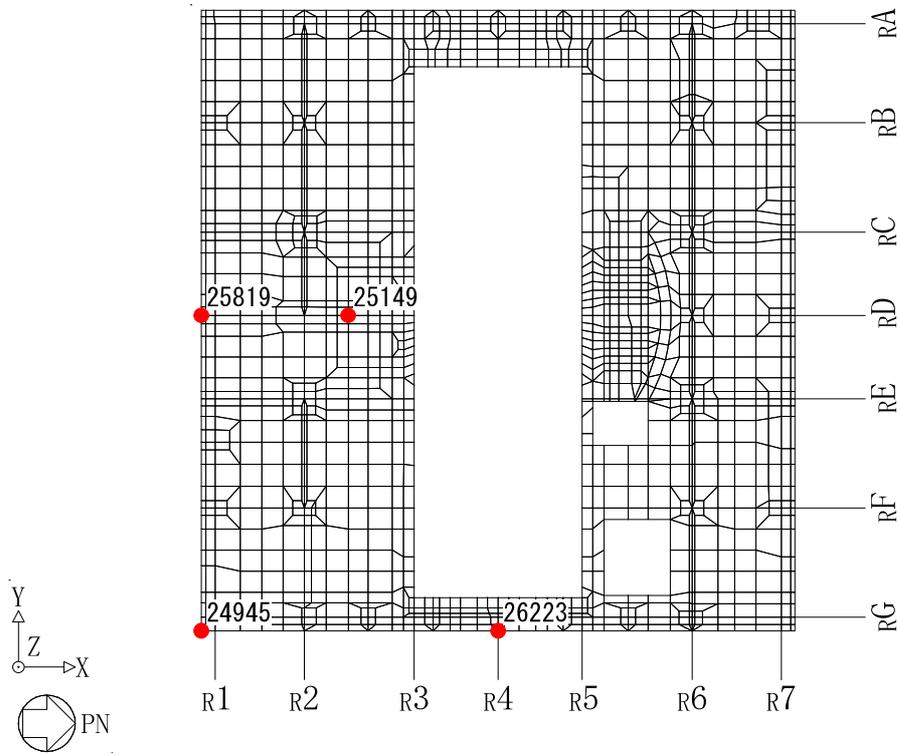
Sd-2UD

(3) 鉛直方向

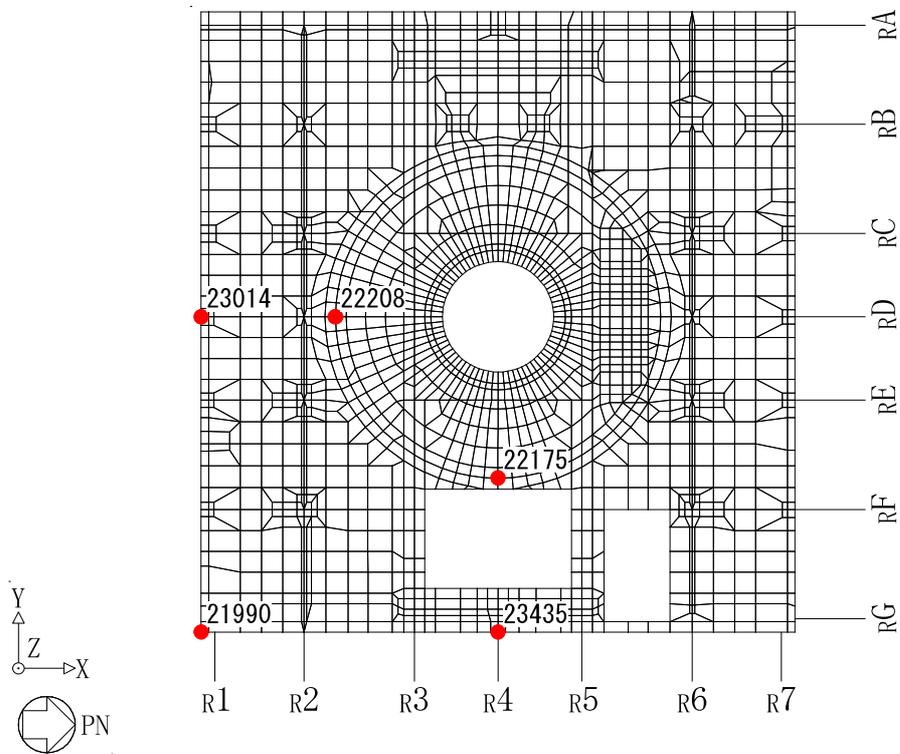
(c) 加速度応答スペクトル

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

図 3-1 入力地震動 (3/3)

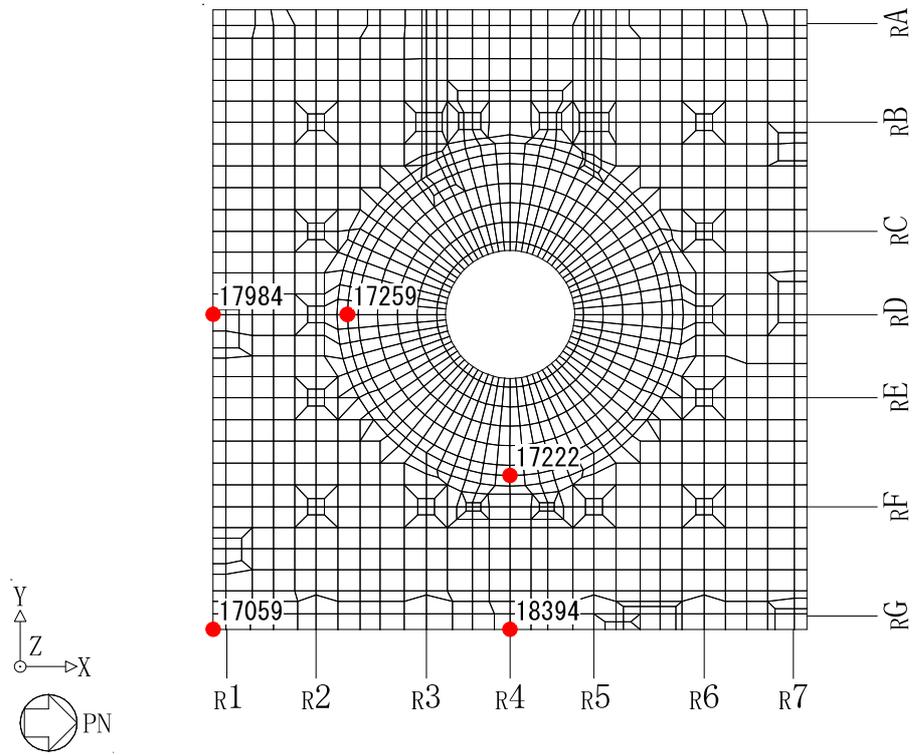


(a) 4F (T. M. S. L. 31.7m)

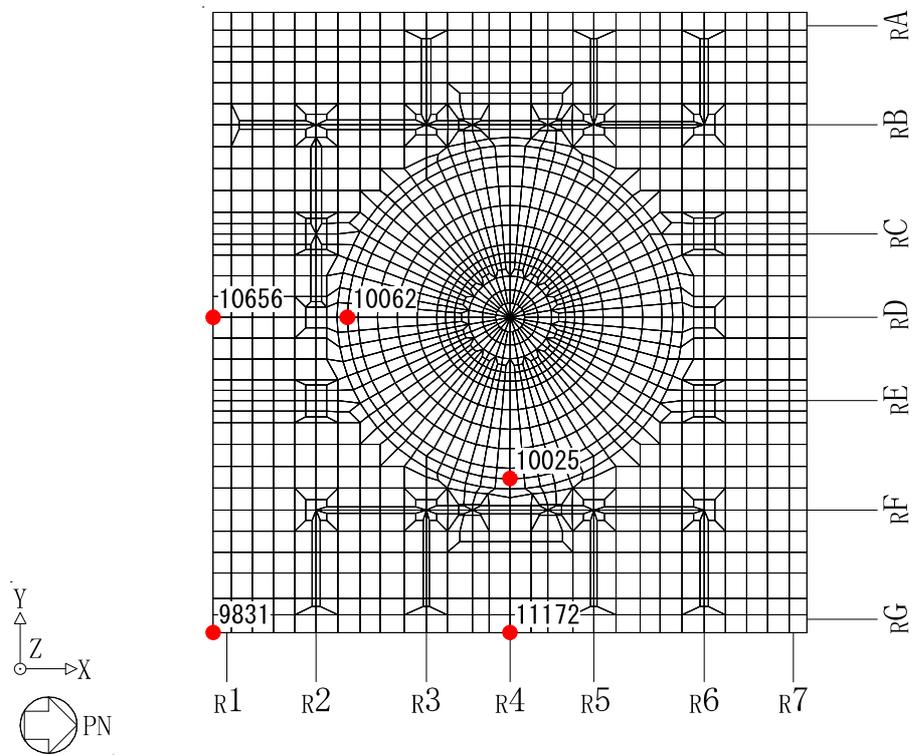


(b) 3F (T. M. S. L. 23.5m)

図 3-2 応答評価位置 (1/2)



(c) 1F (T. M. S. L. 12.3m)



(d) B3F (T. M. S. L. -8.2m)

図 3-2 応答評価位置 (2/2)

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）及び質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮）の2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4点の応答特性について，3次元FEMモデルを用いた分析・考察を行う。

- ・ 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響：建屋模擬モデルー質点系対応モデル間で比較。
- ・ 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。
- ・ 床柔性の影響：建屋模擬モデルー質点系対応モデル間で比較。
- ・ 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響：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。

3.2.1 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，建屋模擬モデル（3次元FEM，床柔，相互作用考慮）及び質点系対応モデル（3次元FEM，床剛，相互作用考慮）の水平方向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。

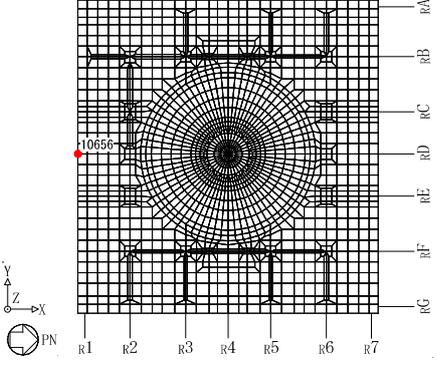
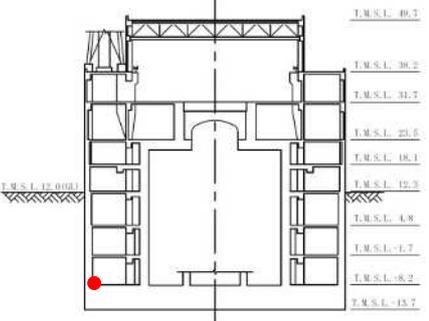
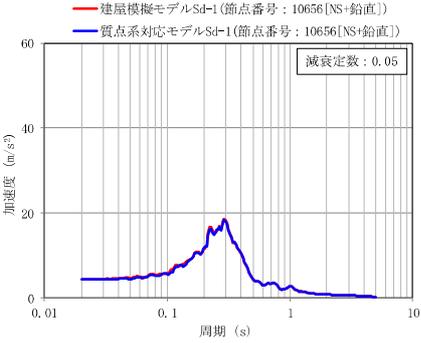
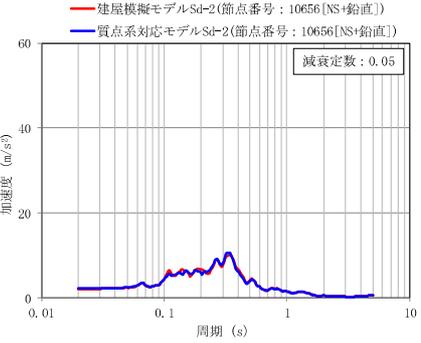
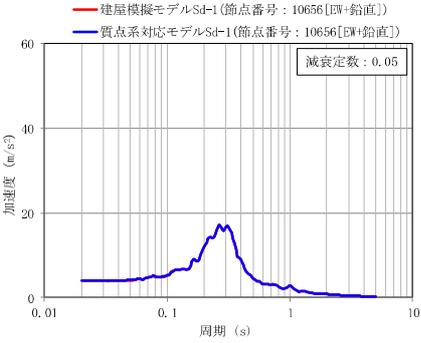
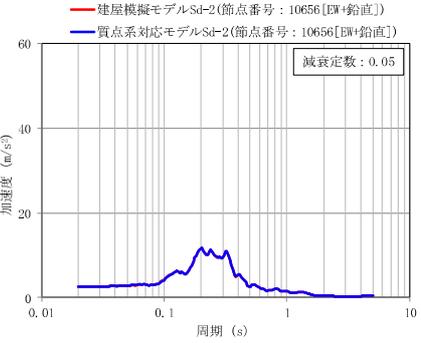
基礎のロッキング振動を確認するための応答の評価点は，ロッキング振動の影響が出やすいと考えられる建屋端部の評価点No. 10656及びNo. 11172（T. M. S. L. - 8.2m）を抽出した。

評価点No. 10656は，NS方向加振によりロッキング振動の影響が現れ，EW方向加振時はロッキングの振動の影響がない部位である。また，評価点No. 11172は，EW方向加振によりロッキング振動の影響が現れ，NS方向加振時はロッキングの振動の影響がない部位である。このため，NS方向加振時及びEW方向加振時を比較することにより基礎のロッキング振動の影響について検討する。

検討結果を表3-1に示す。

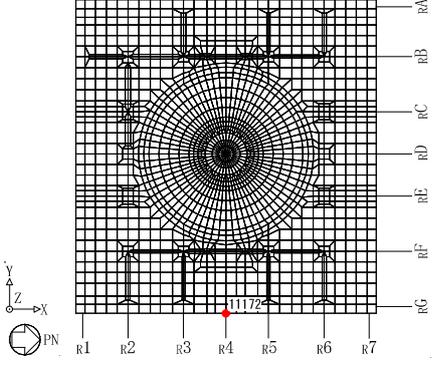
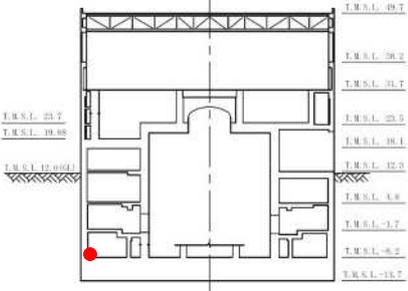
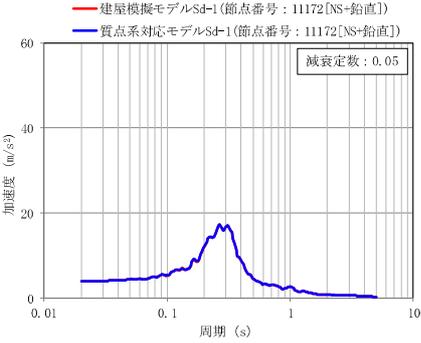
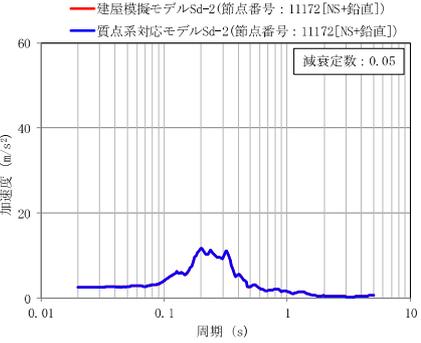
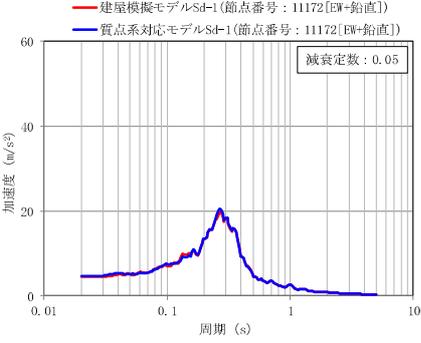
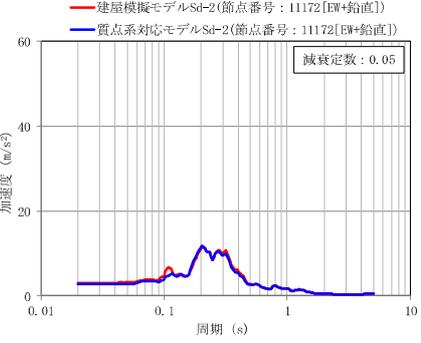
表3-1より，すべての評価点において，NS方向加振時及びEW方向加振時の応答にほとんど差は見られない。したがって，ロッキング振動の影響はほとんどないことを確認した。また基礎柔性を考慮した建屋模擬モデル及び基礎を剛床とした質点系対応モデルの応答の差は小さく，基礎柔性によるロッキング振動の影響はほとんどないことを確認した。

表 3-1 建屋模擬モデル及び質点系対応モデルの鉛直方向応答 (1/2)

<p>T. M. S. L. - 8.2m</p> <p>評価点 No. 10656</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>地震動</p>	<p>Sd-1</p>	<p>Sd-2</p>
<p>NS + 鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>		
<p>EW + 鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>		

注：建屋模擬モデル及び質点系対応モデルは 3 次元 FEM モデルである。

表 3-1 建屋模擬モデル及び質点系対応モデルの鉛直方向応答 (2/2)

<p>T. M. S. L. - 8.2m</p> <p>評価点 No. 11172</p>		 <p>EW 方向断面</p>
<p>地震動</p>	<p>Sd-1</p>	<p>Sd-2</p>
<p>NS + 鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>		
<p>EW + 鉛直方向 加振時 鉛直応答</p>		

注：建屋模擬モデル及び質点系対応モデルは 3 次元 FEM モデルである。

3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響

鉛直軸回りのねじれ振動の影響は、建屋模擬モデル（3次元 FEM，床柔，相互作用考慮）の地震応答解析により確認する。

原子炉建屋は、整形な平面形状であるため、ねじれ振動の影響は受けにくいと考えられるが、その中でも隅部がねじれ振動の影響が出やすいと考えられるため、応答評価点は、No. 21990 (T. M. S. L. 23.5m) 及び No. 24945 (T. M. S. L. 31.7m) を抽出し、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、選定したすべての評価点において、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 方向の入力を考慮する場合、ねじれ振動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振動の影響は「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」において確認する。

表 3-2 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の水平加振時の応答比較 (1/4)

(a) T. M. S. L. 23.5m Sd-1

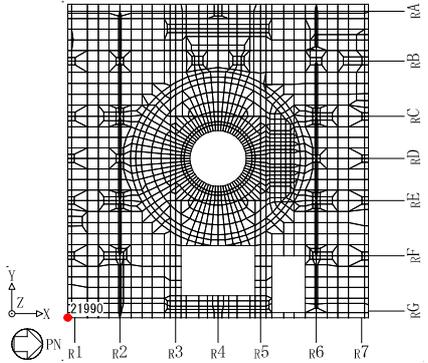
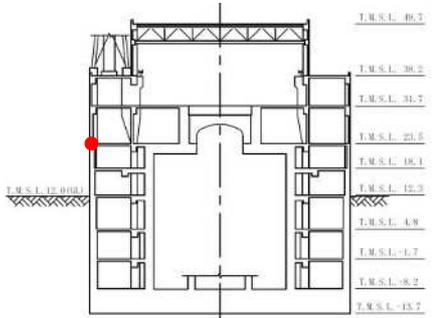
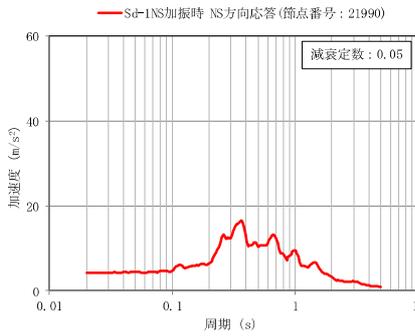
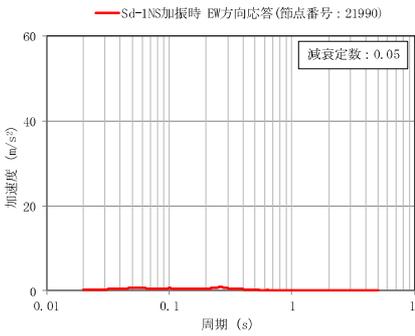
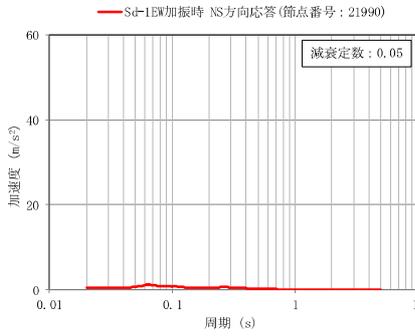
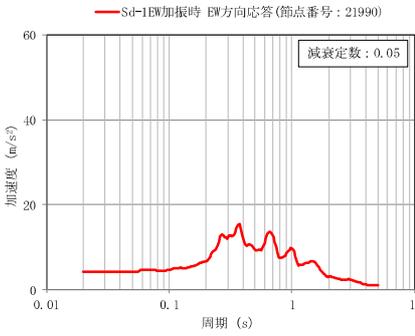
<p>T. M. S. L. 23.5m</p> <p>評価点 No. 21990</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>Sd-1 NS 方向 加振時</p>		
<p>Sd-1 EW 方向 加振時</p>		

表 3-2 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の水平加振時の応答比較 (2/4)

(b) T. M. S. L. 23.5m Sd-2

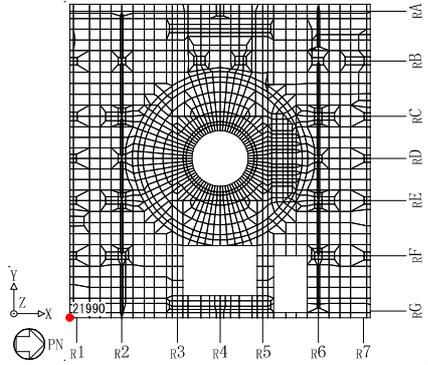
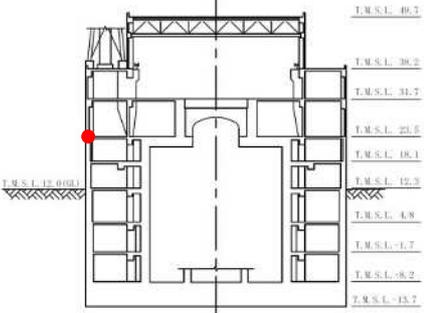
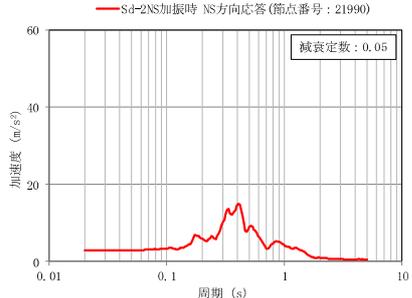
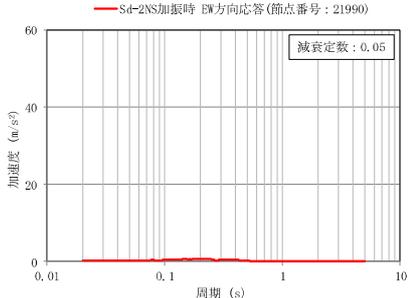
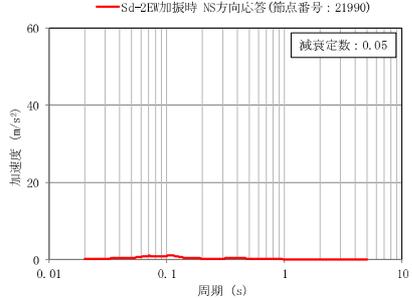
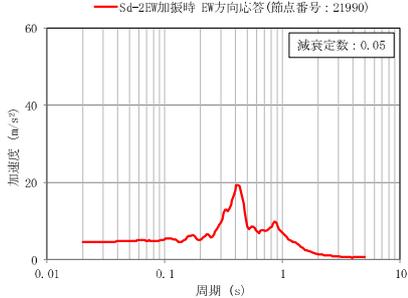
<p>T. M. S. L. 23.5m 評価点 No. 21990</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>Sd-2 NS 方向 加振時</p>		
<p>Sd-2 EW 方向 加振時</p>		

表 3-2 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の水平加振時の応答比較 (3/4)

(c) T. M. S. L. 31.7m Sd-1

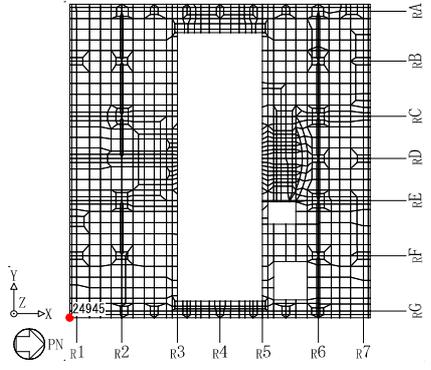
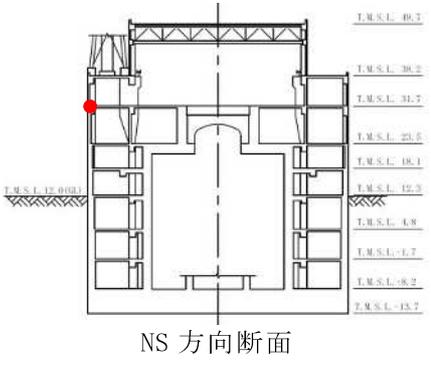
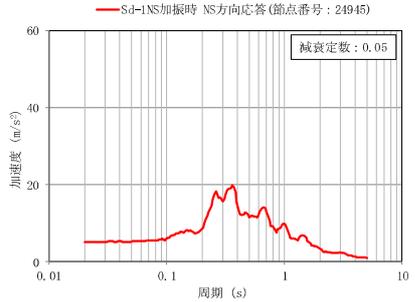
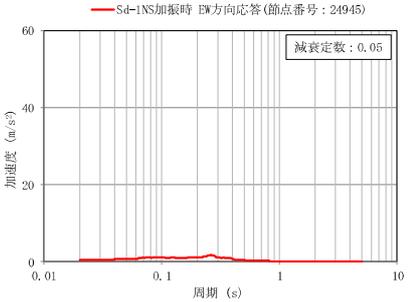
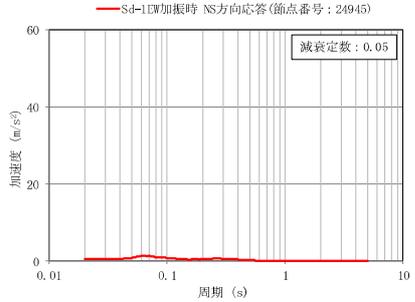
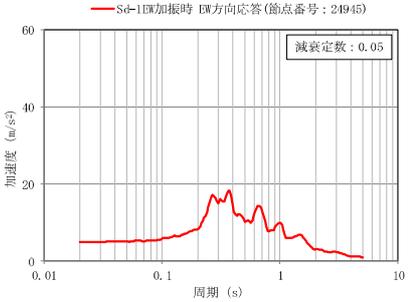
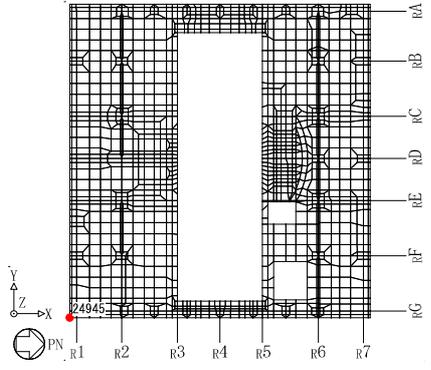
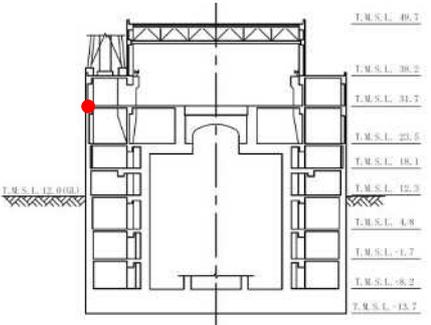
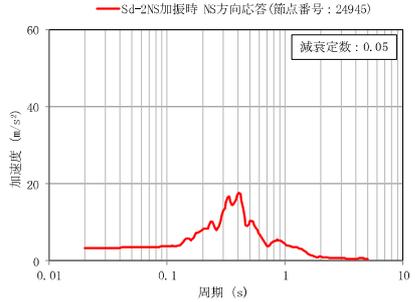
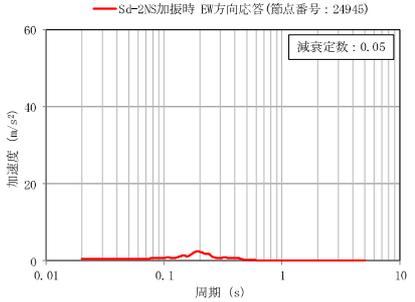
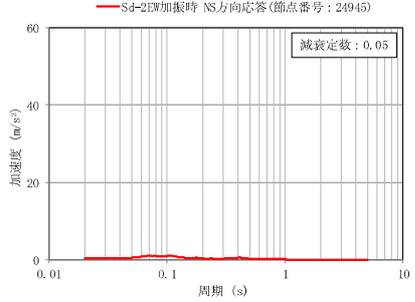
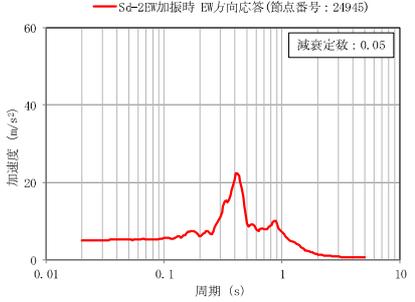
<p>T. M. S. L. 31.7m 評価点 No. 24945</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>Sd-1 NS 方向 加振時</p>		
<p>Sd-1 EW 方向 加振時</p>		

表 3-2 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の水平加振時の応答比較 (4/4)

(d) T. M. S. L. 31.7m Sd-2

<p>T. M. S. L. 31.7m 評価点 No. 24945</p>		 <p>NS 方向断面</p>
<p>方向</p>	<p>NS 方向応答</p>	<p>EW 方向応答</p>
<p>Sd-2 NS 方向 加振時</p>		
<p>Sd-2 EW 方向 加振時</p>		

3.2.3 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（3次元 FEM, 床柔, 相互作用考慮）と床を剛とした質点系対応モデル（3次元 FEM, 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、地上部－地下部の境界における外壁部及び RCCV 部相当位置として 1 階（T.M.S.L. 12.3m）の評価点 No.17059, No.17984 及び No.18394 並びに No.17222 及び No.17259 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、応答の差は小さく、床柔性の影響はほとんどないことを確認した。

表 3-3 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較 (1/4)

(a) Sd-1 外壁部

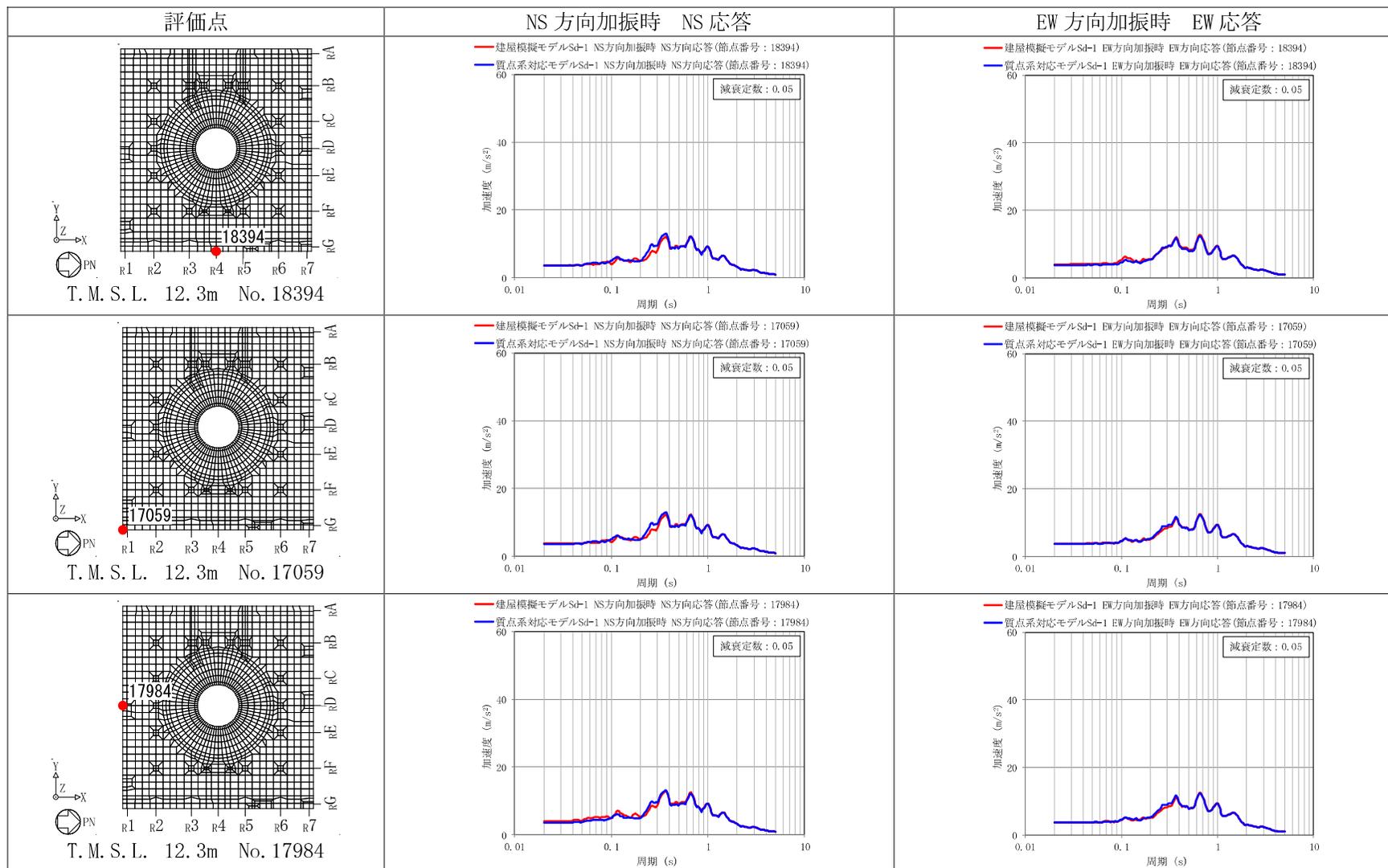


表 3-3 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較 (2/4)

(b) Sd-1 RCCV 部

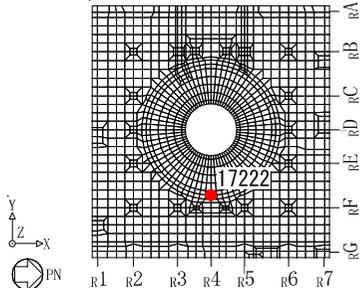
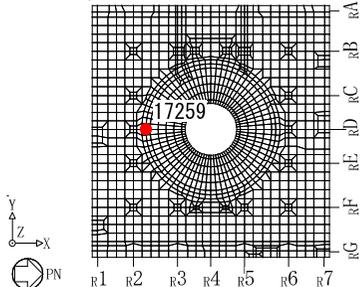
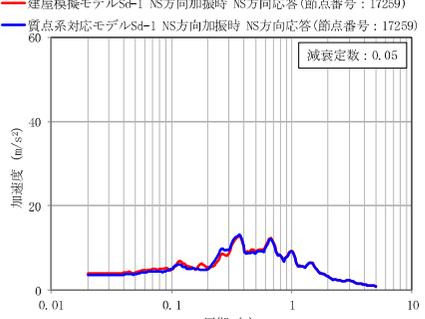
評価点	NS 方向加振時 NS 応答	EW 方向加振時 EW 応答
 <p>T. M. S. L. 12.3m No. 17222</p>	<p>— 建屋模擬モデルSd-1 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17222) — 質点系対応モデルSd-1 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17222)</p>  <p>減衰定数: 0.05</p>	<p>— 建屋模擬モデルSd-1 EW方向加振時 EW方向応答(節点番号: 17222) — 質点系対応モデルSd-1 EW方向加振時 EW方向応答(節点番号: 17222)</p>  <p>減衰定数: 0.05</p>
 <p>T. M. S. L. 12.3m No. 17259</p>	<p>— 建屋模擬モデルSd-1 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17259) — 質点系対応モデルSd-1 NS方向加振時 NS方向応答(節点番号: 17259)</p>  <p>減衰定数: 0.05</p>	<p>— 建屋模擬モデルSd-1 EW方向加振時 EW方向応答(節点番号: 17259) — 質点系対応モデルSd-1 EW方向加振時 EW方向応答(節点番号: 17259)</p>  <p>減衰定数: 0.05</p>

表 3-3 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較 (3/4)

(c) Sd-2 外壁部

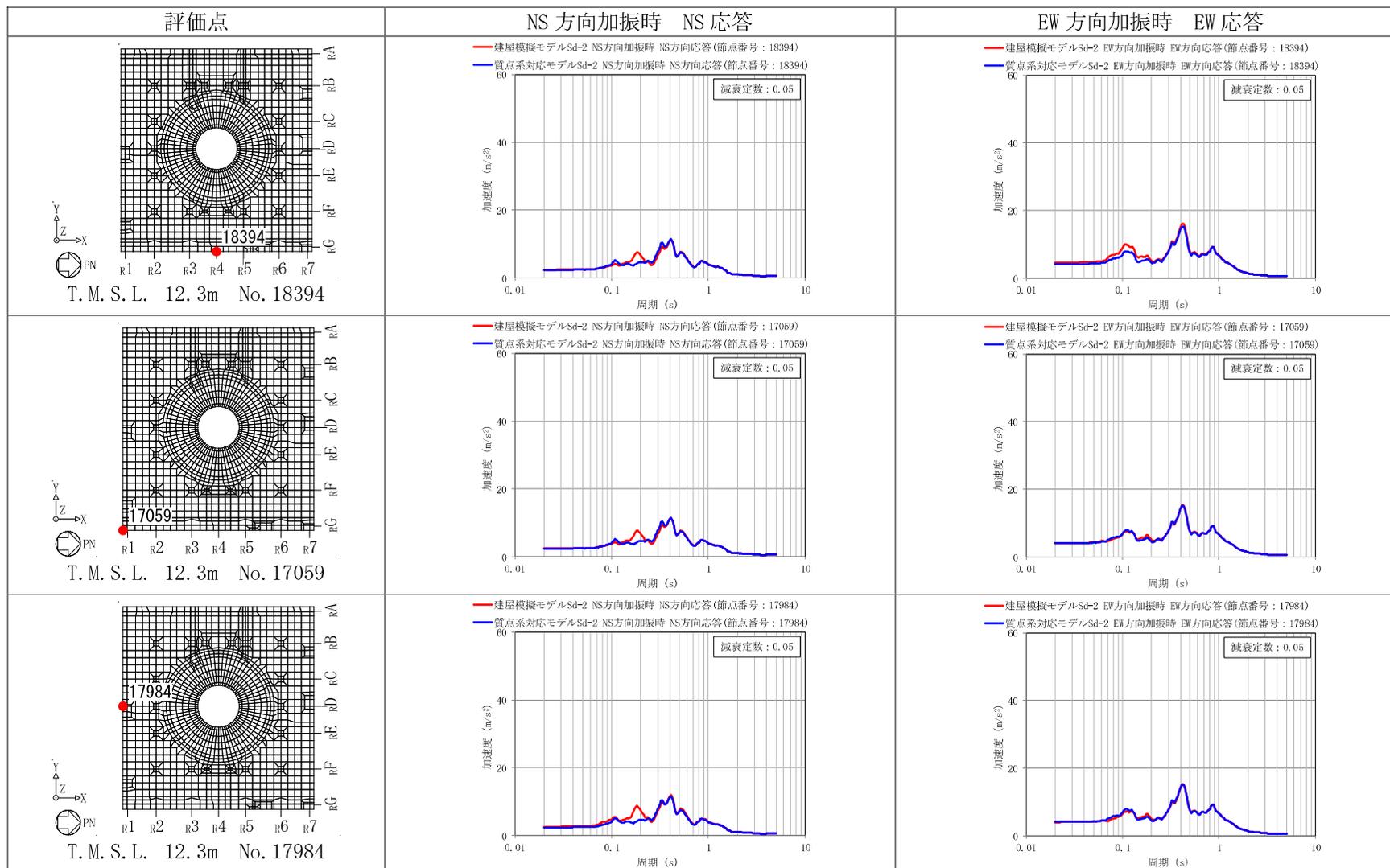
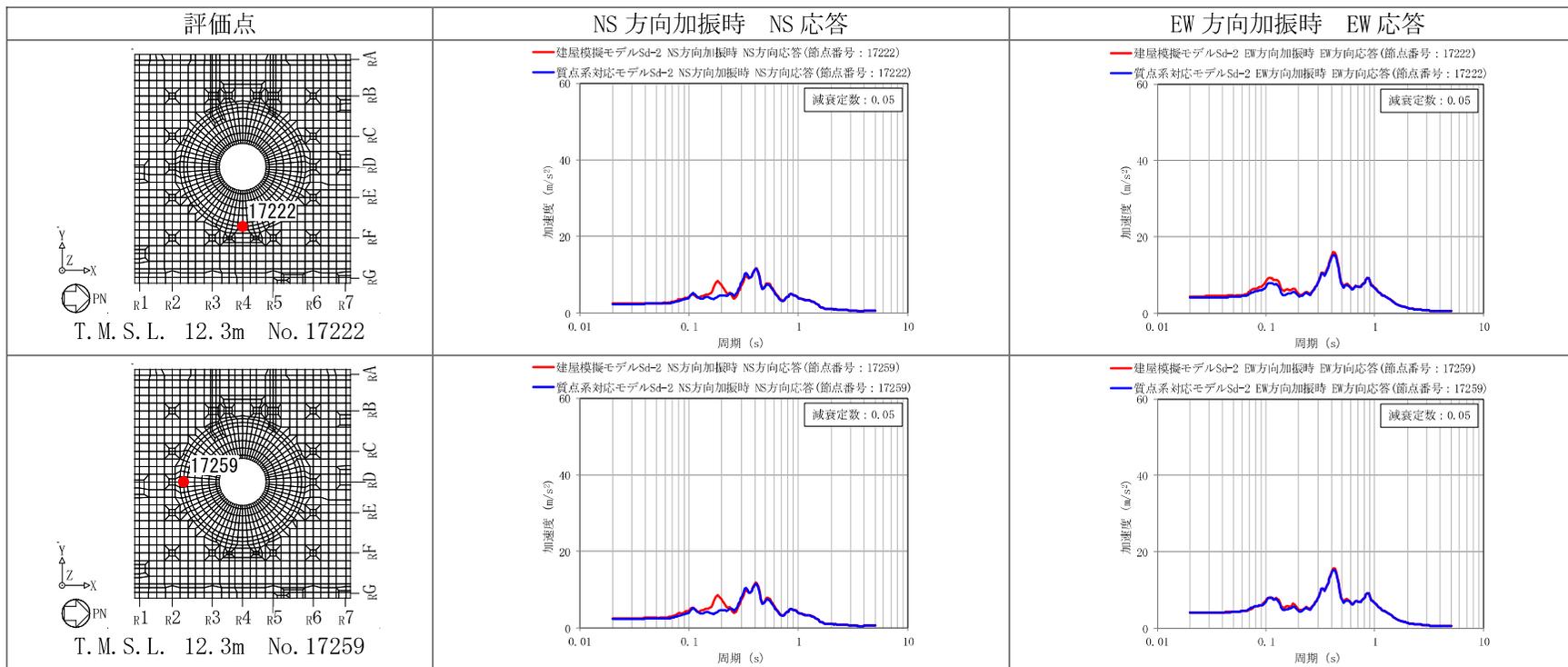


表 3-3 建屋模擬モデル (3次元 FEM) と質点系対応モデル (3次元 FEM) の応答比較 (4/4)

(d) Sd-2 RCCV 部



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

(1) 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 (3次元 FEM) 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合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み合わ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-1} 及び S_{d-2} 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-1} 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-1} 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-1} の設計用応答スペクトルに適合するが、 S_{d-1} 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-1} の鉛直方向成分を入力する。

したがって、 S_{d-1} に対する本検討においては、NS 方向に対しては弾性設計用地震動 S_{d-1} の水平成分 (S_{d-1H}) を、EW 方向に対しては模擬地震波 S_{d-1p} (弾性設計用地震動 S_{d-1} 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。また、鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動 S_{d-1} の鉛直方向成分 (S_{d-1V}) を水平 2 方向と同時に入力する。

3 方向同時入力による各方向の応答は、水平 2 方向及び鉛直方向の地震動を入力して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 3-4 地震動の組合せ

(a) Sd-1

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	Sd-1H	—	—
	EW 方向	—	Sd-1p*	—
3 方向同時入力		Sd-1H	Sd-1p*	Sd-1V

注記*：弾性設計用地震動 Sd-1 の設計用応答スペクトルに適合するが、Sd-1 とは位相特性が異なる地震波。位相特性が異なる地震波の作成方針については、別紙 5「方向性を考慮しない水平方向地震動における模擬地震波の作成方針」に示す。

(b) Sd-2

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	Sd-2NS	—	—
	EW 方向	—	Sd-2EW	—
3 方向同時入力		Sd-2NS	Sd-2EW	Sd-2UD

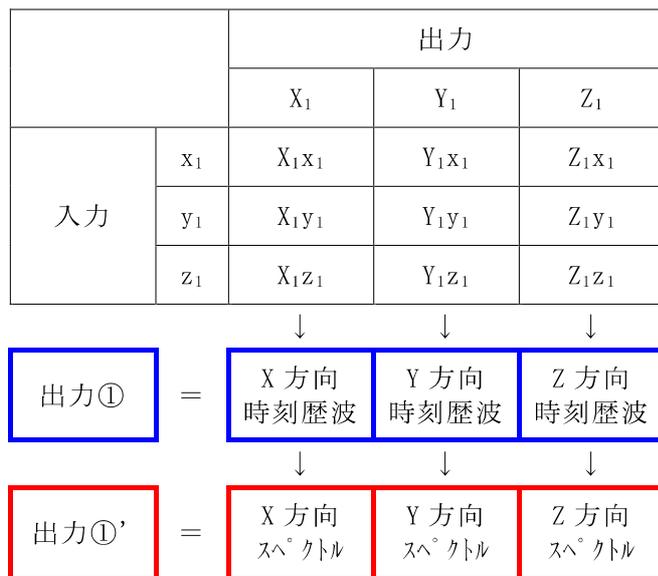


図 3-4 3 次 FEM モデルによる応答算出の考え方

(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

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。

応答は図 3-2 に示す評価点について比較するものとし、比較した結果を表 3-5 及び表 3-6 に示す。

表 3-5 及び表 3-6 より、いずれの地震動、いずれの評価点においても、1 方向入力時及び 3 方向同時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。

「3.2.2 鉛直軸回りのねじれ振動の影響」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る。

表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-1) (1/8)

(a) T. M. S. L. - 8.2m 外壁部

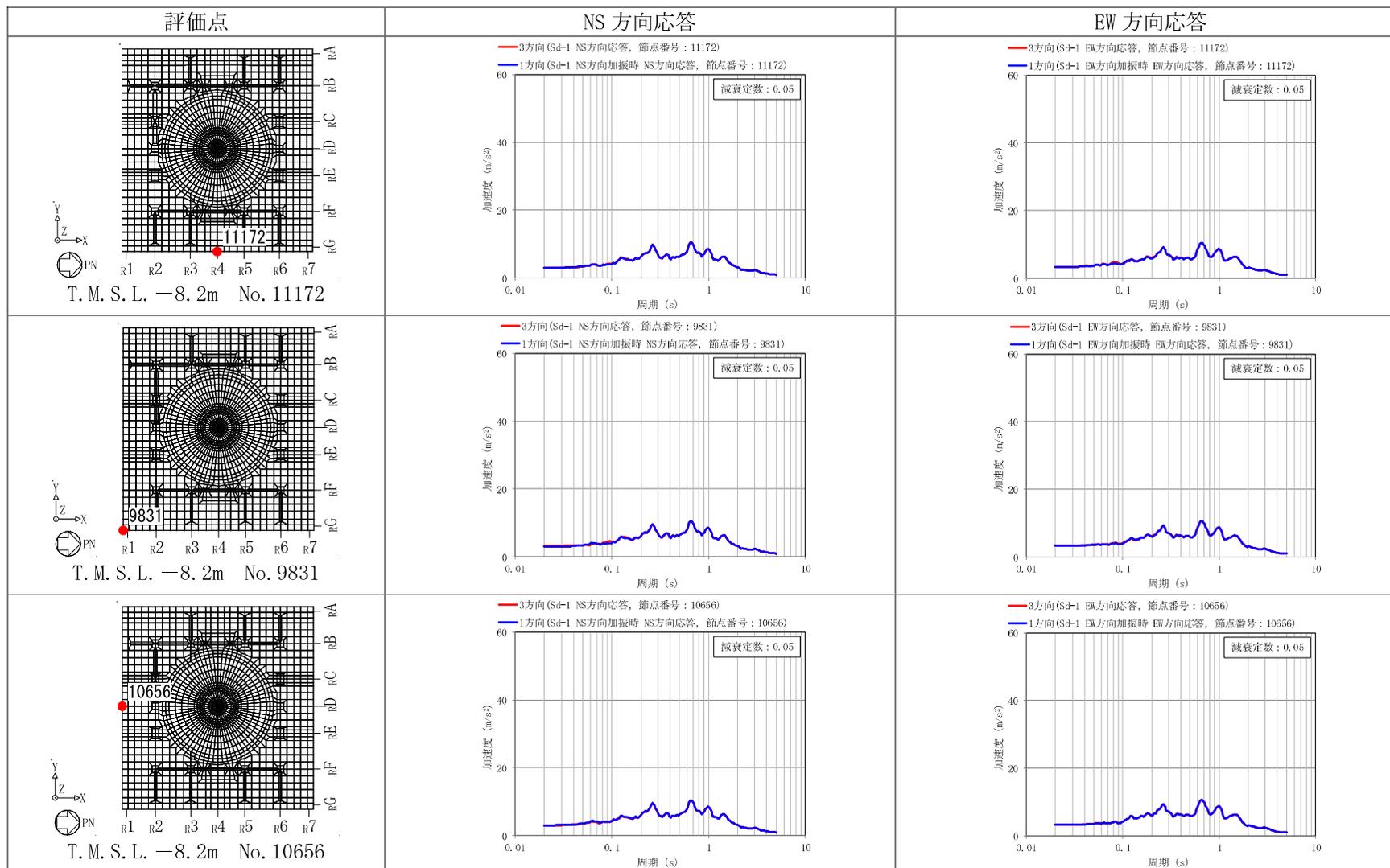


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-1) (2/8)

(b) T. M. S. L. -8.2m RCCV 部

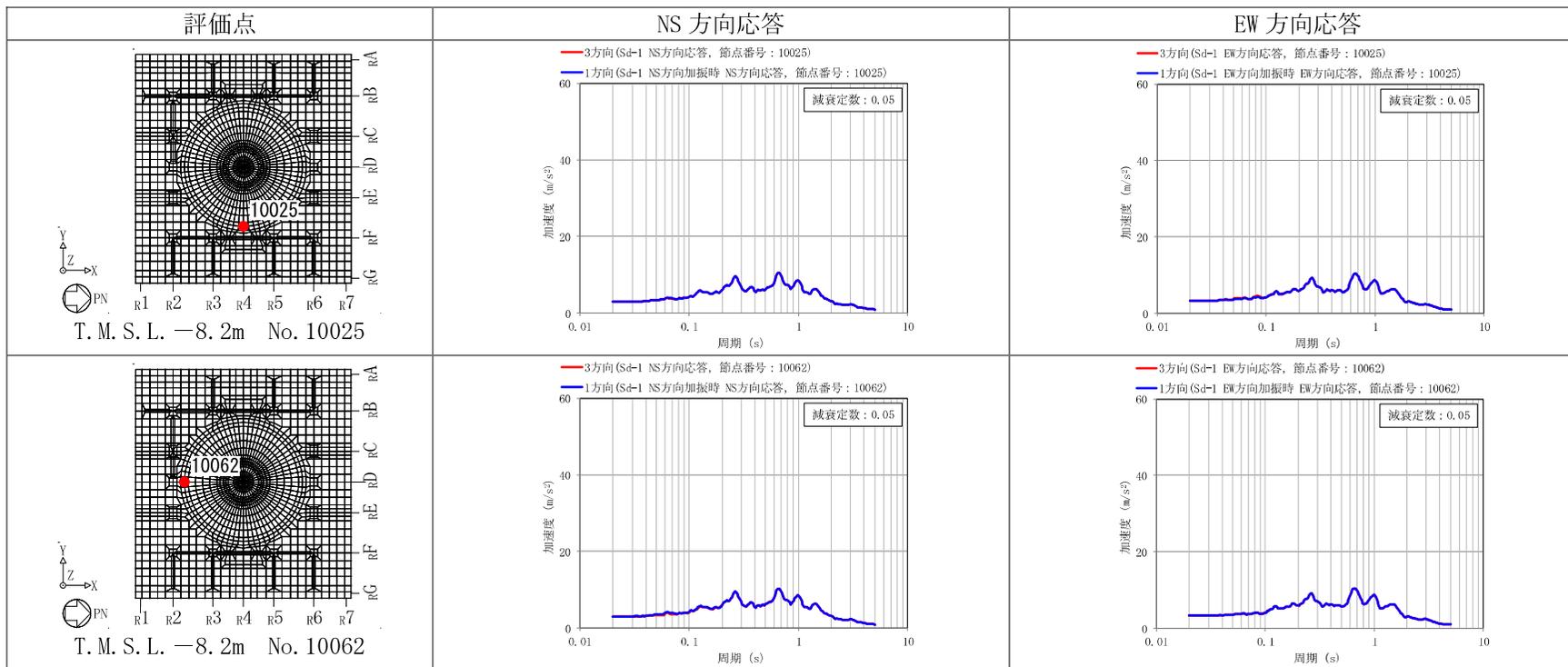


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-1) (3/8)

(c) T. M. S. L. 12.3m 外壁部

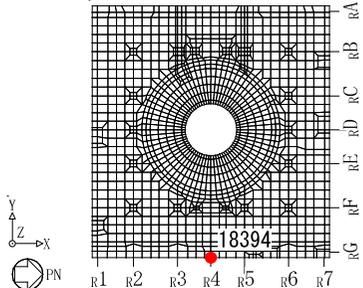
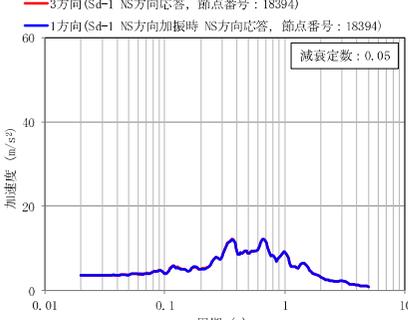
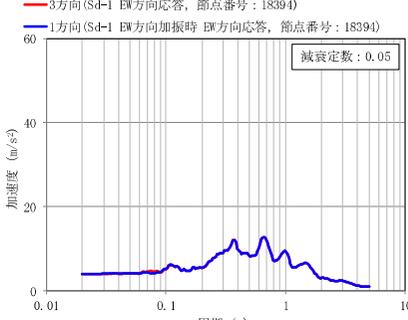
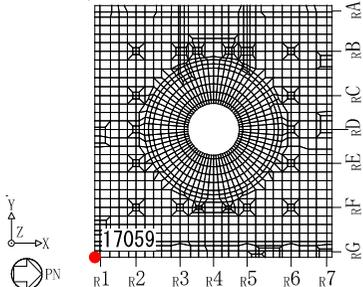
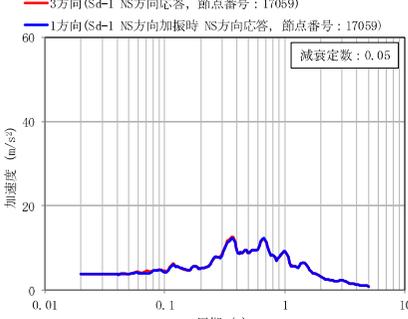
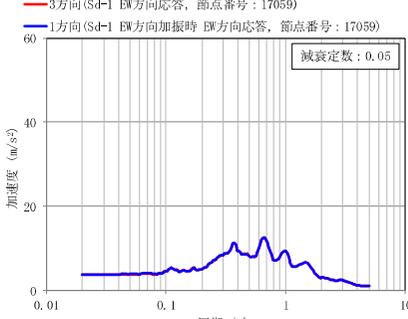
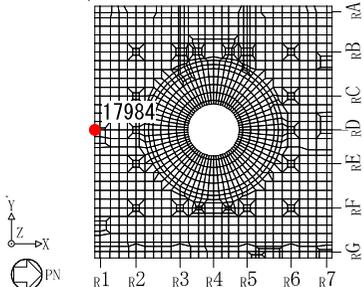
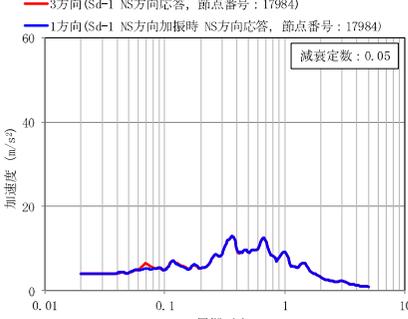
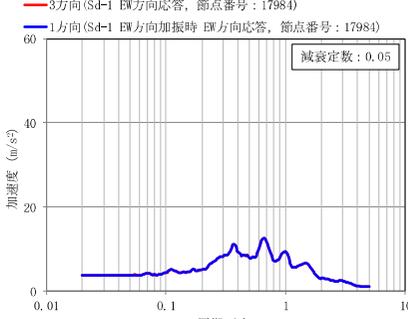
評価点	NS 方向応答	EW 方向応答
 <p>18394 T. M. S. L. 12.3m No. 18394</p>	 <p>3方向(Sd-1 NS方向応答, 節点番号: 18394) 1方向(Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 18394) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向(Sd-1 EW方向応答, 節点番号: 18394) 1方向(Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 18394) 減衰定数: 0.05</p>
 <p>17059 T. M. S. L. 12.3m No. 17059</p>	 <p>3方向(Sd-1 NS方向応答, 節点番号: 17059) 1方向(Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 17059) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向(Sd-1 EW方向応答, 節点番号: 17059) 1方向(Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 17059) 減衰定数: 0.05</p>
 <p>17984 T. M. S. L. 12.3m No. 17984</p>	 <p>3方向(Sd-1 NS方向応答, 節点番号: 17984) 1方向(Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 17984) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向(Sd-1 EW方向応答, 節点番号: 17984) 1方向(Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 17984) 減衰定数: 0.05</p>

表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (Sd-1) (4/8)

(d) T. M. S. L. 12.3m RCCV 部

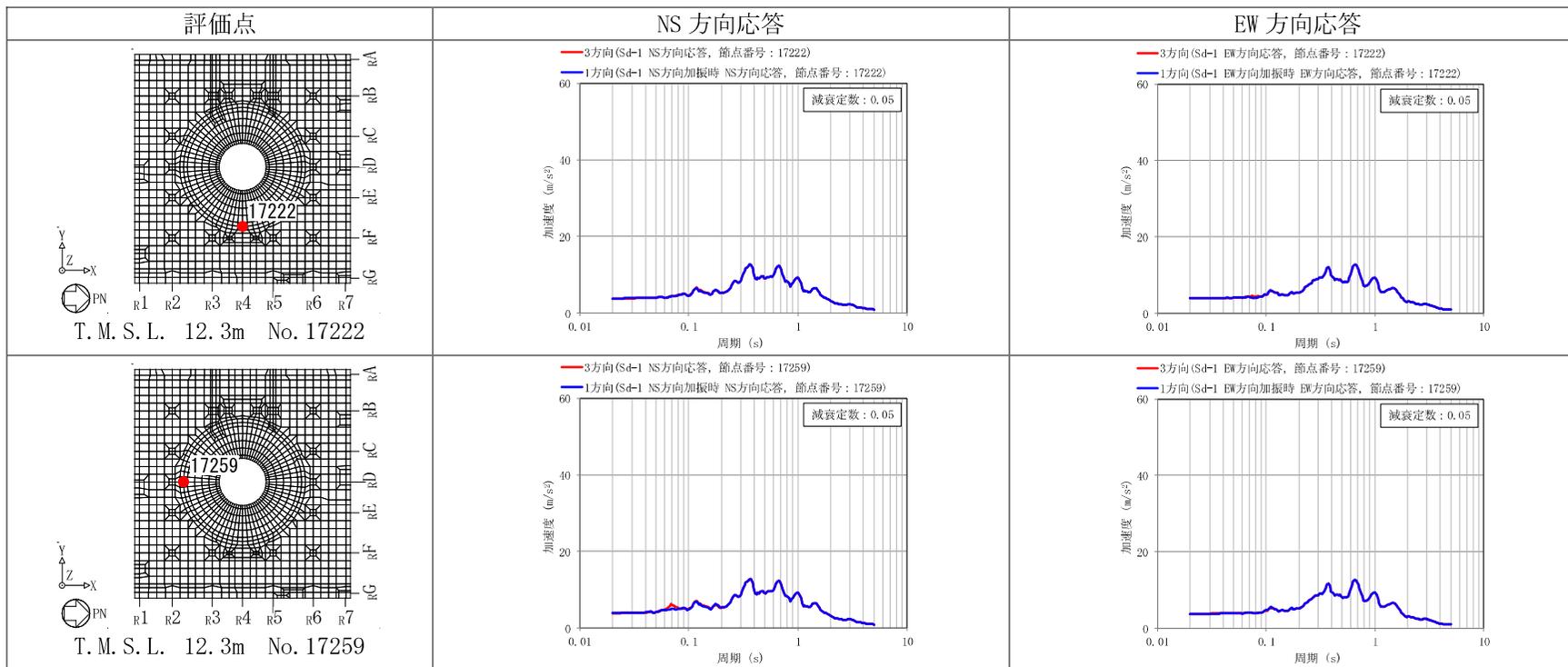


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-1) (5/8)

(e) T. M. S. L. 23.5m 外壁部

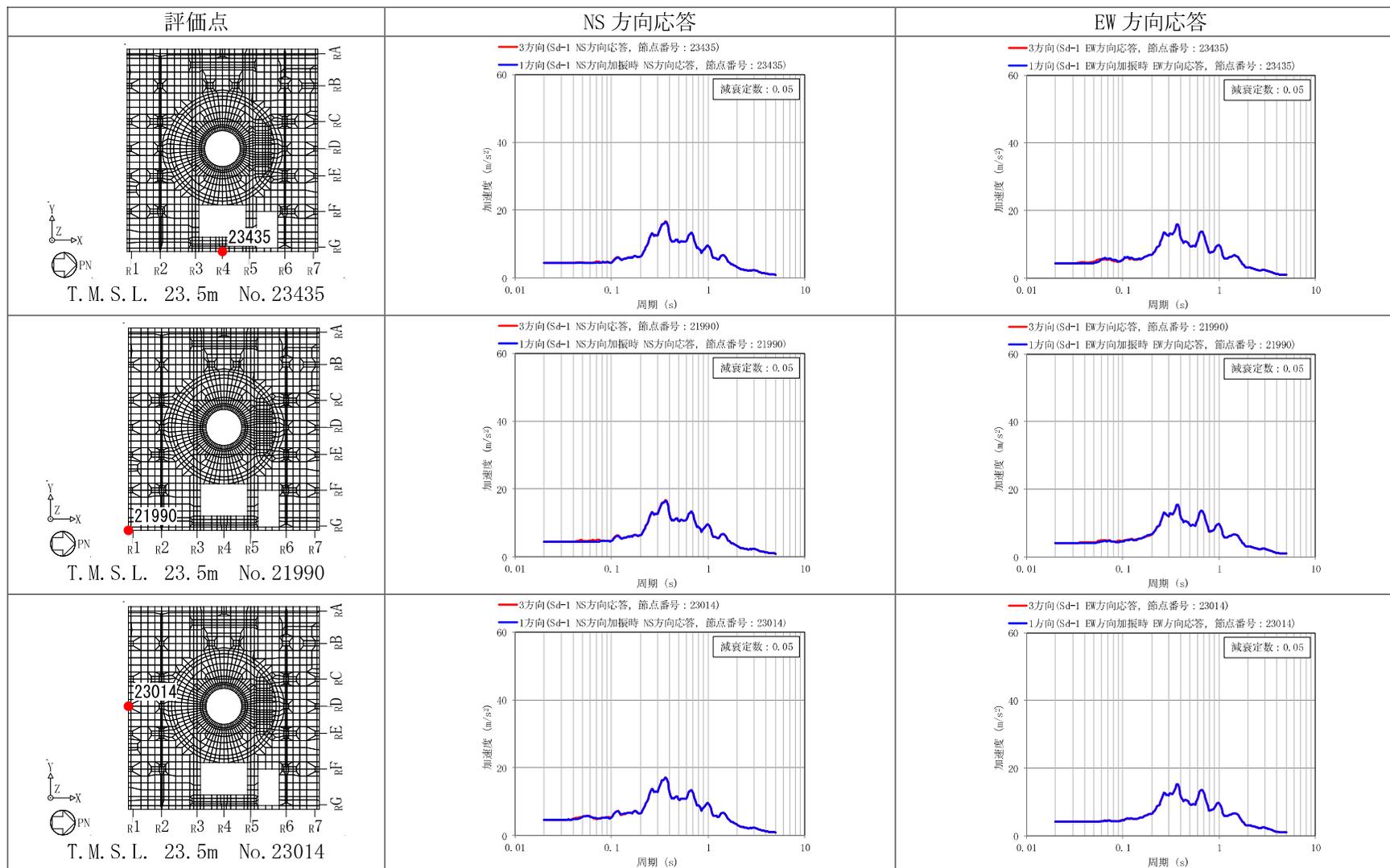


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-1) (6/8)

(f) T. M. S. L. 23.5m RCCV 部

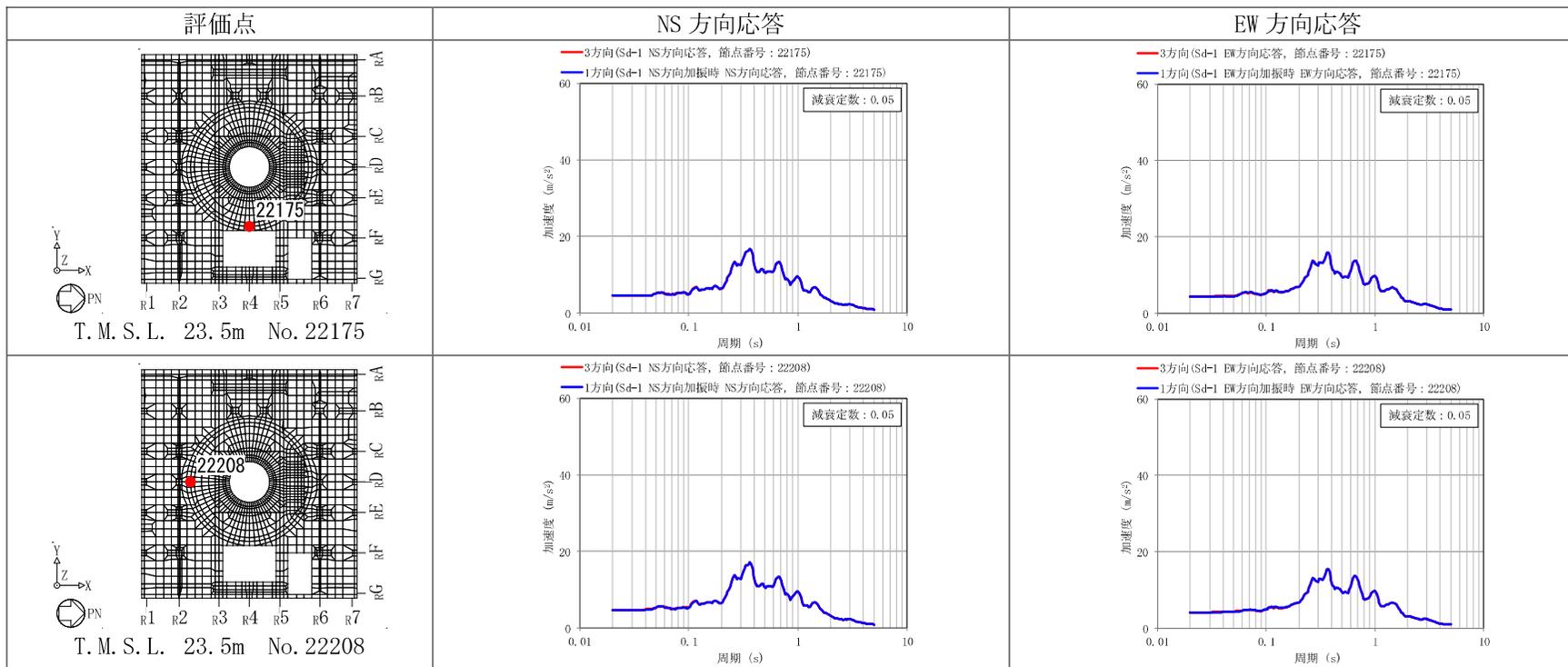


表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (Sd-1) (7/8)

(g) T.M.S.L. 31.7m 外壁部

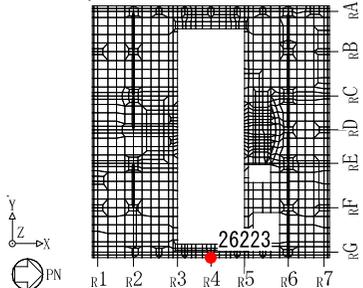
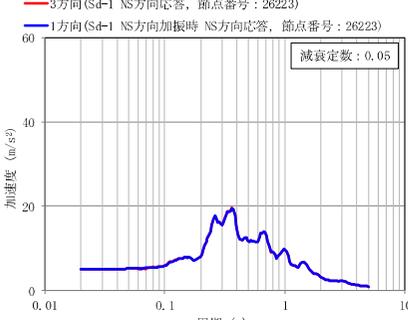
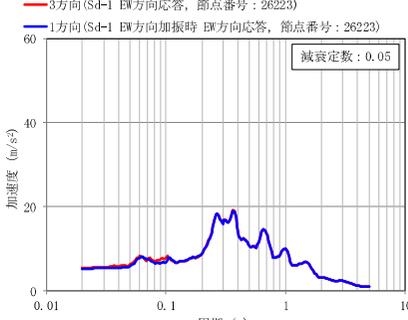
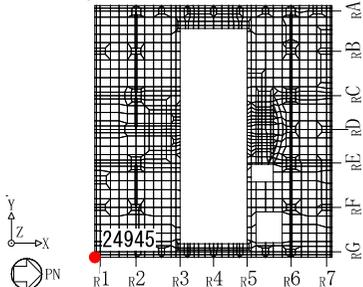
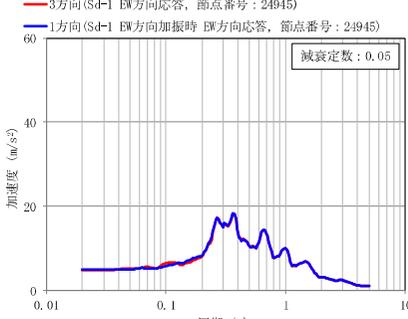
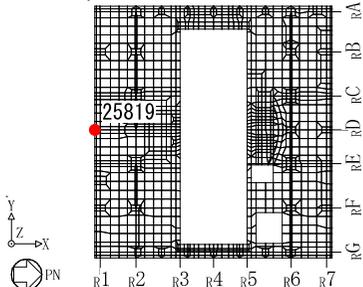
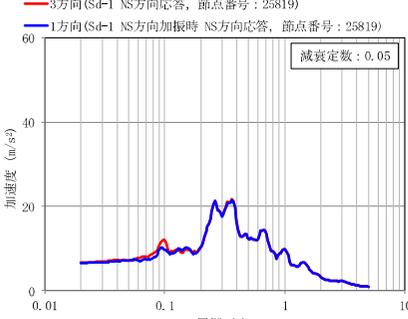
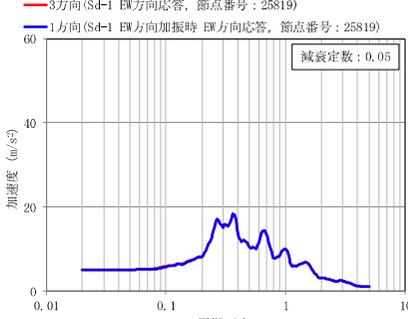
評価点	NS 方向応答	EW 方向応答
 <p>26223 T. M. S. L. 31.7m No. 26223</p>	 <p>3方向 (Sd-1 NS方向応答, 節点番号: 26223) 1方向 (Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 26223) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-1 EW方向応答, 節点番号: 26223) 1方向 (Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 26223) 減衰定数: 0.05</p>
 <p>24945 T. M. S. L. 31.7m No. 24945</p>	 <p>3方向 (Sd-1 NS方向応答, 節点番号: 24945) 1方向 (Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 24945) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-1 EW方向応答, 節点番号: 24945) 1方向 (Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 24945) 減衰定数: 0.05</p>
 <p>25819 T. M. S. L. 31.7m No. 25819</p>	 <p>3方向 (Sd-1 NS方向応答, 節点番号: 25819) 1方向 (Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 25819) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-1 EW方向応答, 節点番号: 25819) 1方向 (Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 25819) 減衰定数: 0.05</p>

表 3-5 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (Sd-1) (8/8)

(h) T.M.S.L. 31.7m RCCV 部

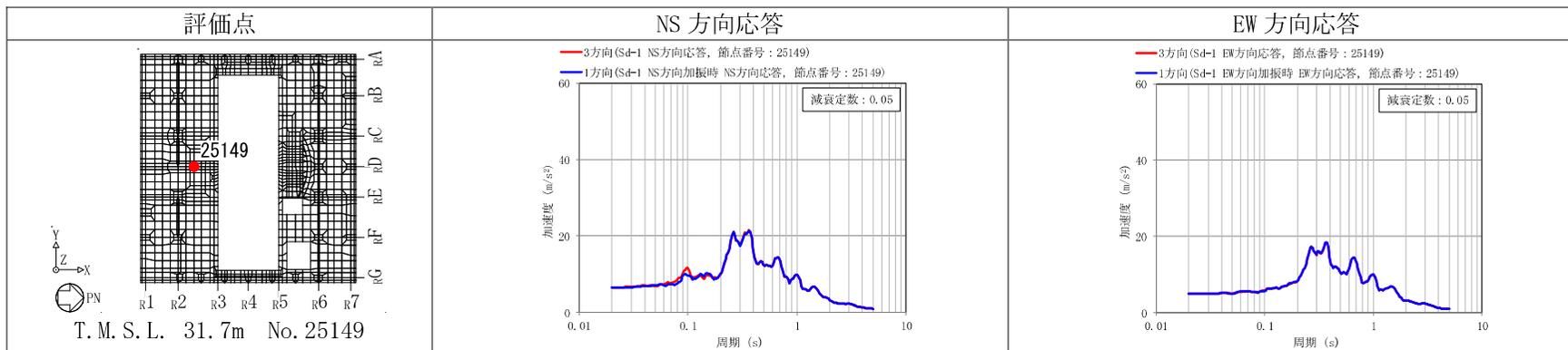


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-2) (1/8)

(a) T. M. S. L. - 8.2m 外壁部

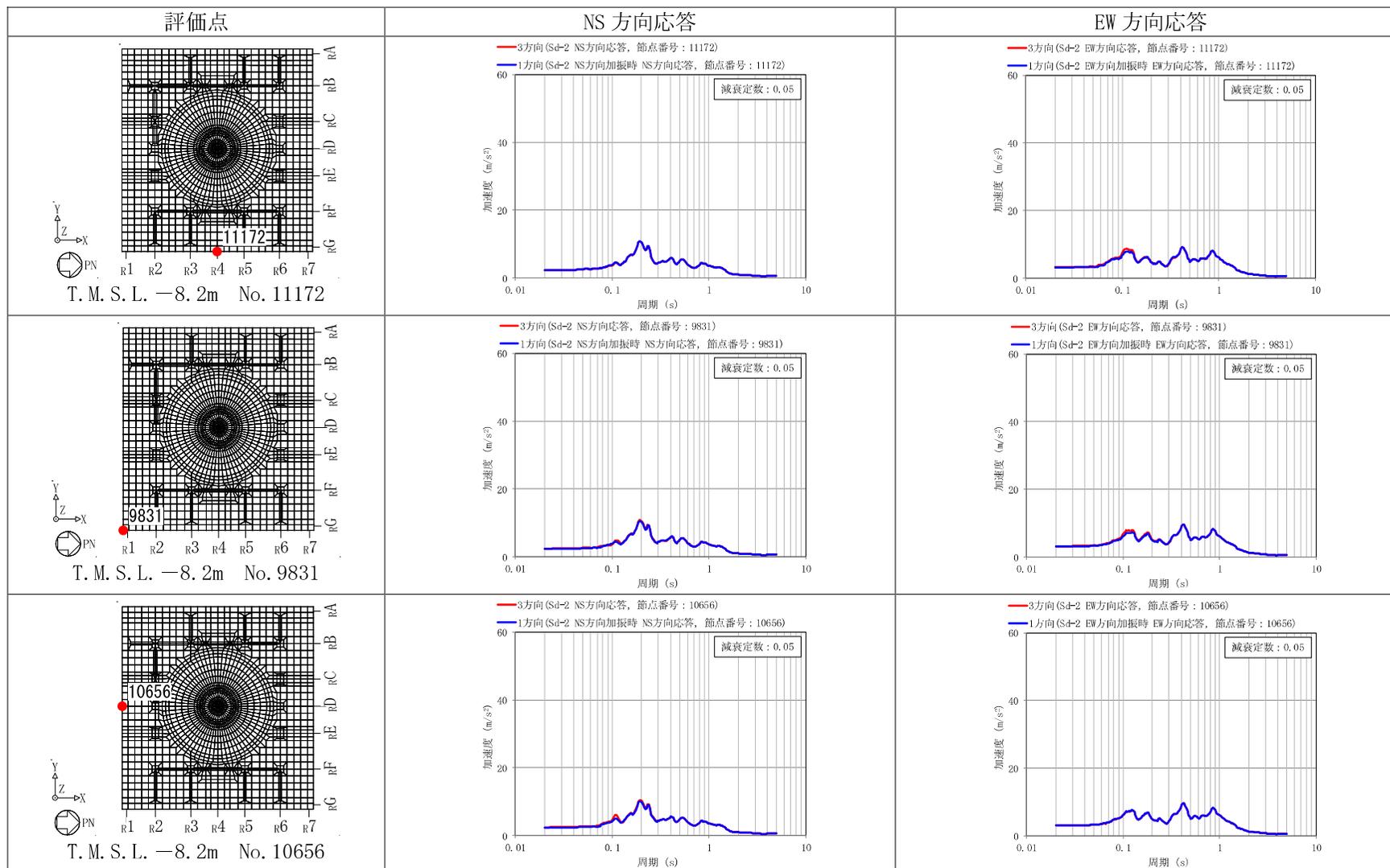


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-2) (2/8)

(b) T. M. S. L. -8.2m RCCV 部

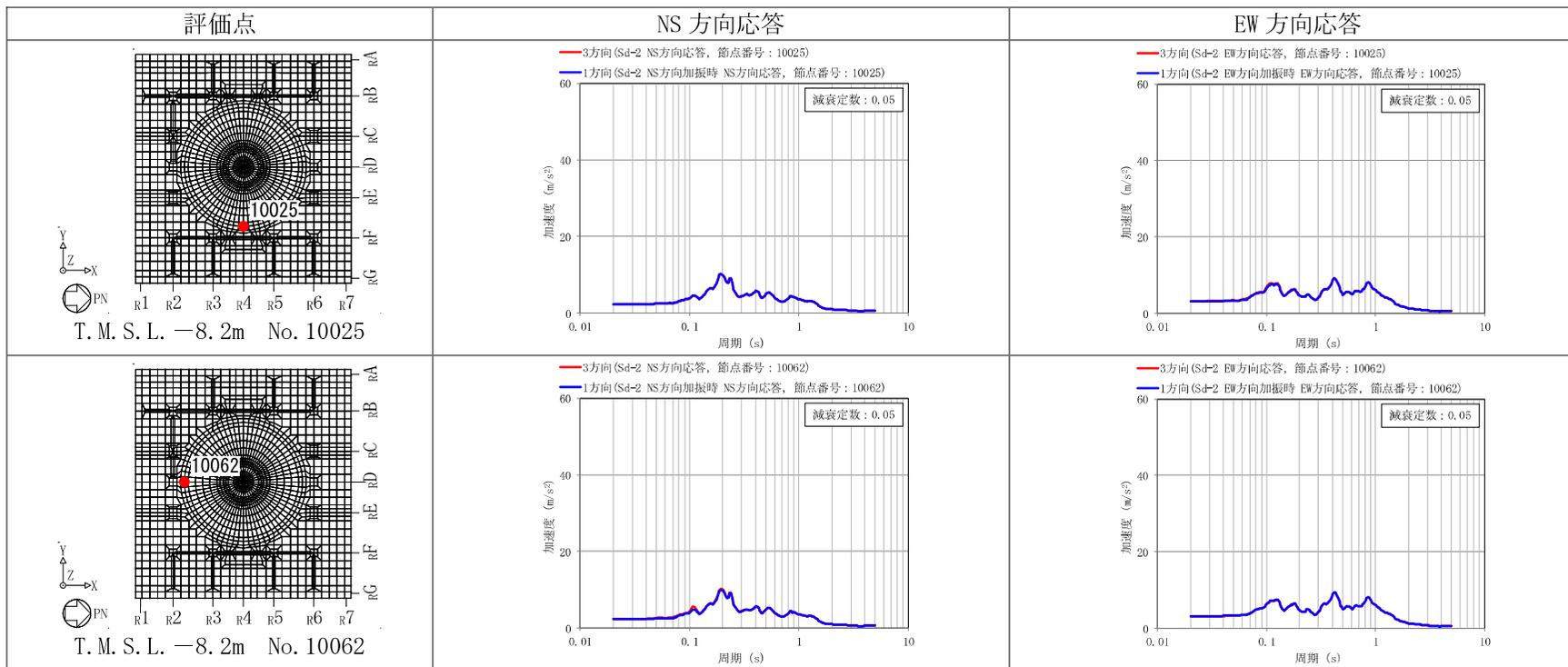


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-2) (3/8)

(c) T. M. S. L. 12.3m 外壁部

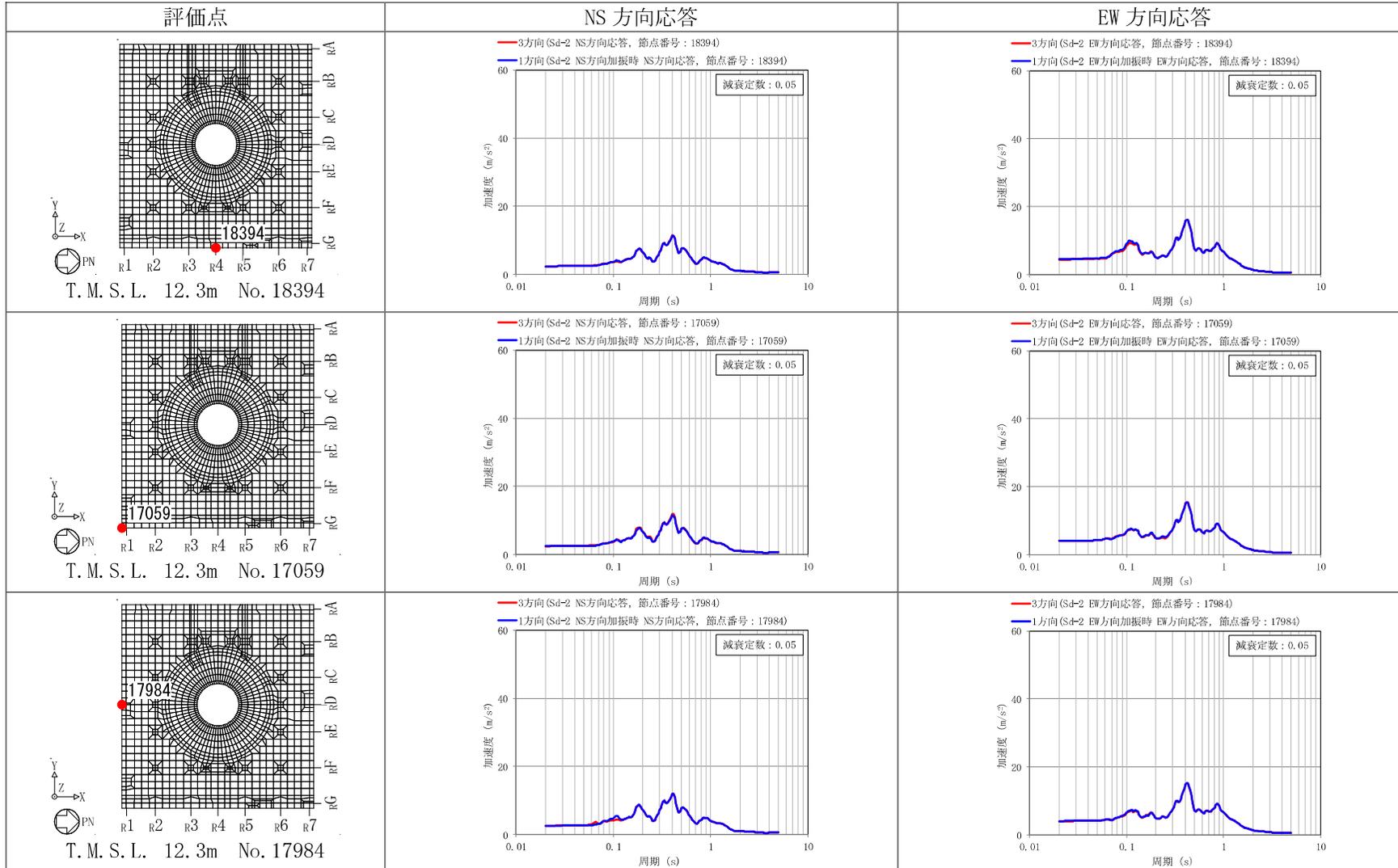


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-2) (4/8)

(d) T. M. S. L. 12.3m RCCV 部

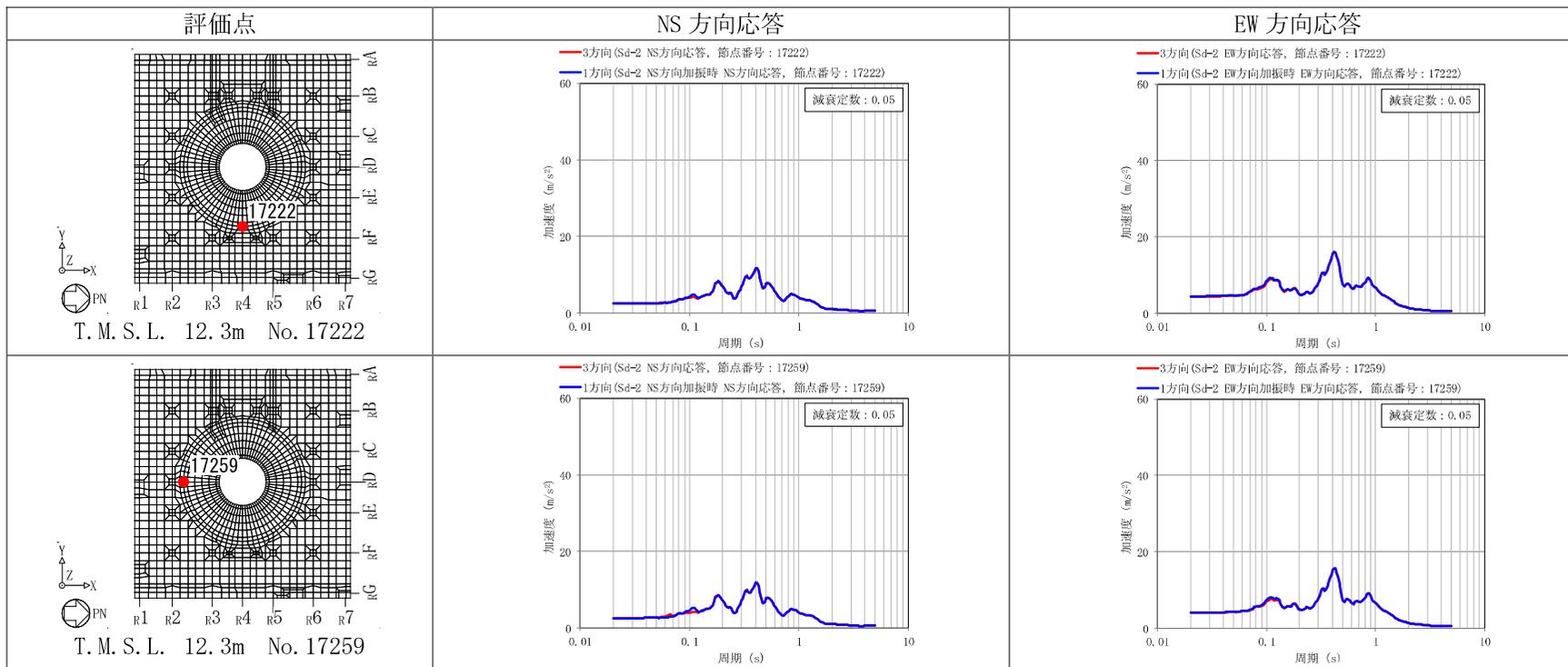


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-2) (5/8)

(e) T. M. S. L. 23.5m 外壁部

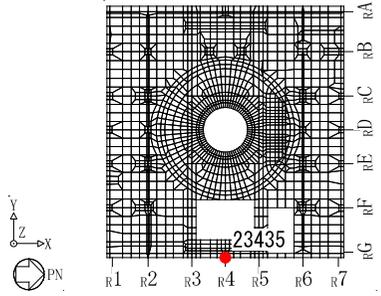
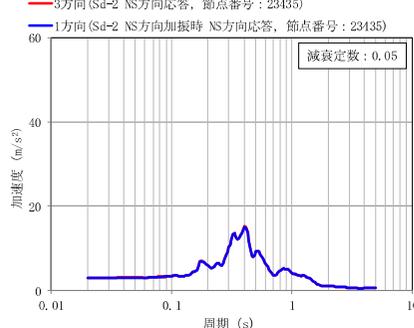
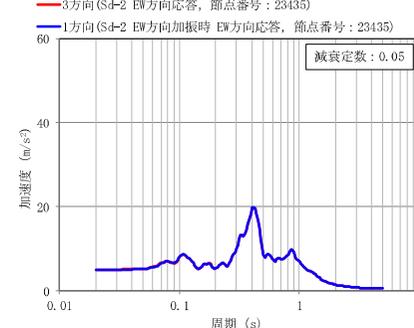
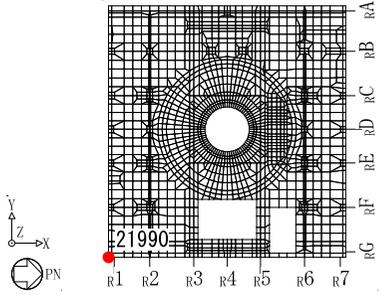
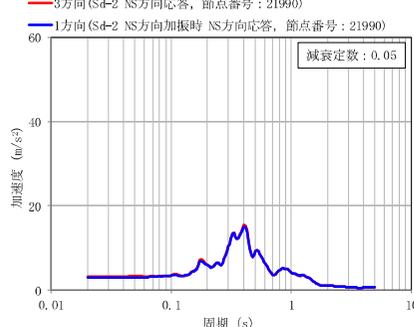
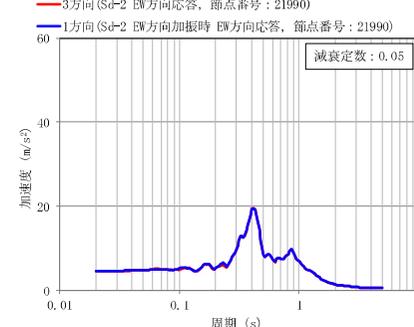
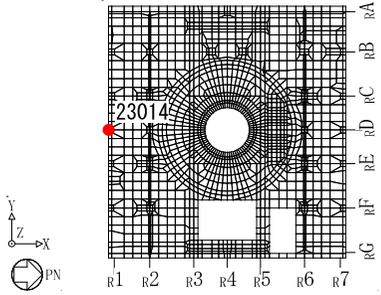
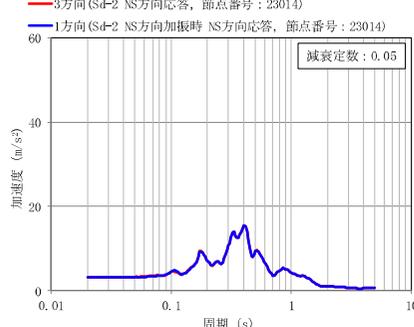
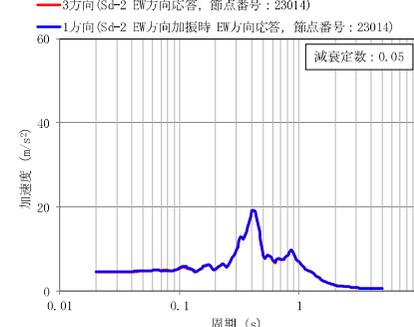
評価点	NS 方向応答	EW 方向応答
 <p>T. M. S. L. 23.5m No. 23435</p>	 <p>3方向 (Sd-2 NS方向) 応答, 節点番号: 23435 1方向 (Sd-2 NS方向) 加振時 NS方向 応答, 節点番号: 23435 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-2 EW方向) 応答, 節点番号: 23435 1方向 (Sd-2 EW方向) 加振時 EW方向 応答, 節点番号: 23435 減衰定数: 0.05</p>
 <p>T. M. S. L. 23.5m No. 21990</p>	 <p>3方向 (Sd-2 NS方向) 応答, 節点番号: 21990 1方向 (Sd-2 NS方向) 加振時 NS方向 応答, 節点番号: 21990 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-2 EW方向) 応答, 節点番号: 21990 1方向 (Sd-2 EW方向) 加振時 EW方向 応答, 節点番号: 21990 減衰定数: 0.05</p>
 <p>T. M. S. L. 23.5m No. 23014</p>	 <p>3方向 (Sd-2 NS方向) 応答, 節点番号: 23014 1方向 (Sd-2 NS方向) 加振時 NS方向 応答, 節点番号: 23014 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-2 EW方向) 応答, 節点番号: 23014 1方向 (Sd-2 EW方向) 加振時 EW方向 応答, 節点番号: 23014 減衰定数: 0.05</p>

表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-2) (6/8)

(f) T. M. S. L. 23.5m RCCV 部

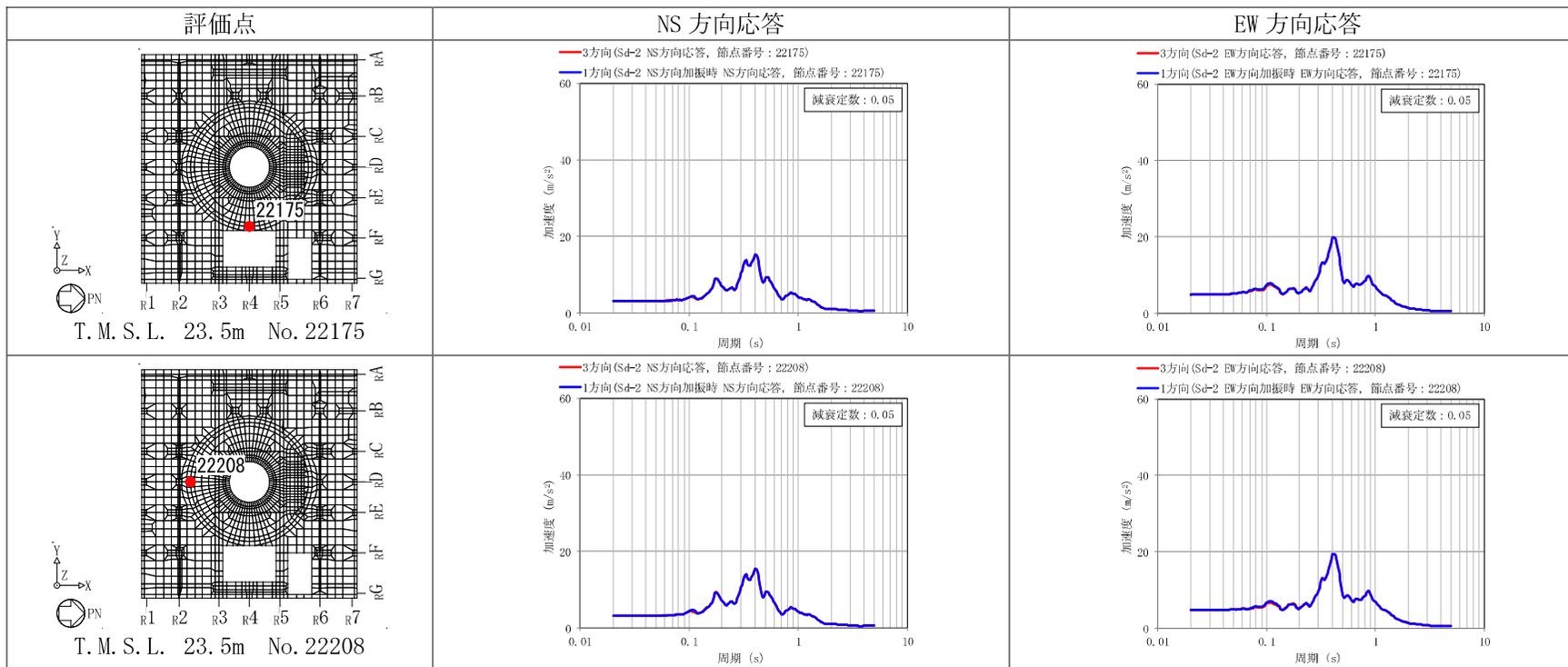


表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の 3 方向同時入力及び 1 方向入力の応答比較 (Sd-2) (7/8)

(g) T. M. S. L. 31.7m 外壁部

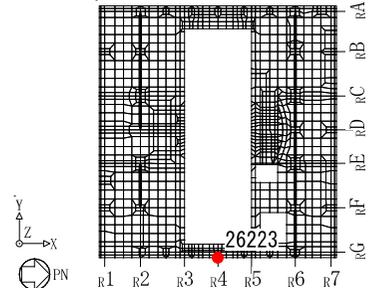
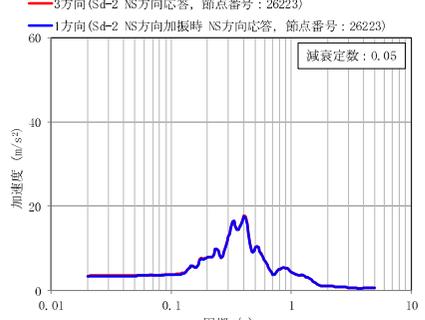
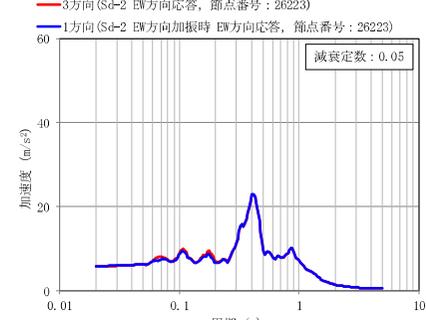
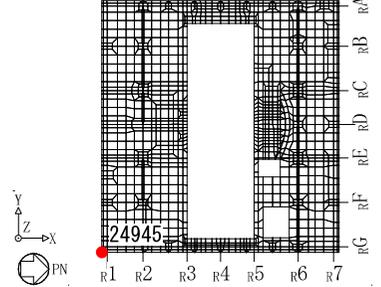
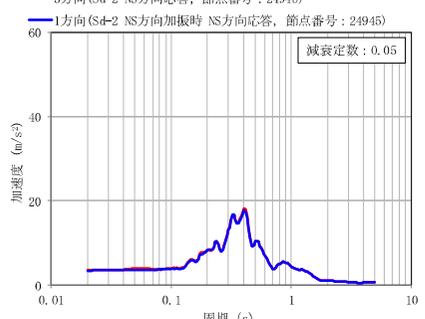
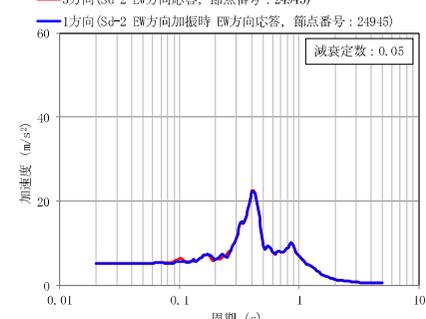
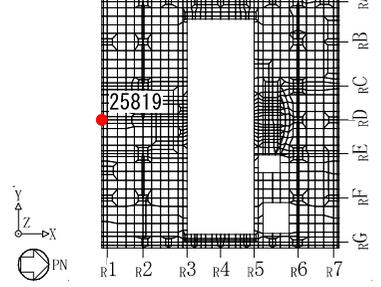
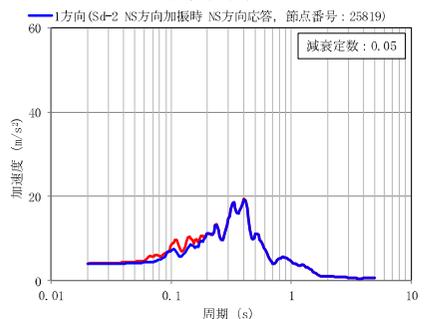
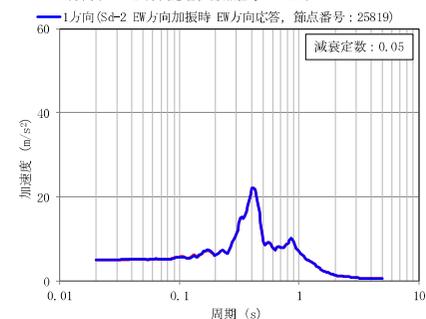
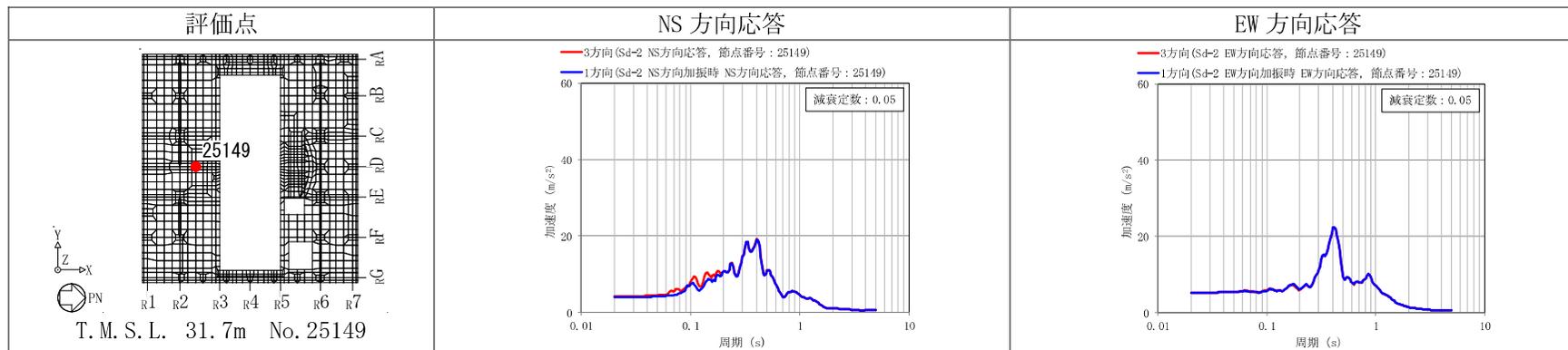
評価点	NS 方向応答	EW 方向応答
 <p>26223 T. M. S. L. 31.7m No. 26223</p>	 <p>3方向 (Sd-2 NS方向応答, 節点番号: 26223) 1方向 (Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 26223) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-2 EW方向応答, 節点番号: 26223) 1方向 (Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 26223) 減衰定数: 0.05</p>
 <p>24945 T. M. S. L. 31.7m No. 24945</p>	 <p>3方向 (Sd-2 NS方向応答, 節点番号: 24945) 1方向 (Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 24945) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-2 EW方向応答, 節点番号: 24945) 1方向 (Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 24945) 減衰定数: 0.05</p>
 <p>25819 T. M. S. L. 31.7m No. 25819</p>	 <p>3方向 (Sd-2 NS方向応答, 節点番号: 25819) 1方向 (Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答, 節点番号: 25819) 減衰定数: 0.05</p>	 <p>3方向 (Sd-2 EW方向応答, 節点番号: 25819) 1方向 (Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答, 節点番号: 25819) 減衰定数: 0.05</p>

表 3-6 建屋模擬モデル (3次元 FEM) の3方向同時入力及び1方向入力の応答比較 (Sd-2) (8/8)

(h) T. M. S. L. 31.7m RCCV 部



3.2.5 まとめ

建屋模擬モデル（3次元 FEM）及び質点系対応モデル（3次元 FEM）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、ロッキング振動の影響はほとんどないことを確認した。

床柔性の影響について、建屋模擬モデルと質点系対応モデルでの応答比較をした結果、応答の差は小さく、床柔性の影響がほとんどないことを確認した。

鉛直軸回りのねじれ振動の影響並びに水平 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。

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性評価及び床応答への影響を検討する。

3.3 建屋耐震性評価への影響検討

3.3.1 検討方針

建屋耐震性評価への影響検討として、**建屋模擬モデル（3次元 FEM）**の応答及び質点系モデルの応答を比較する。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**）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。

3.3.2 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討

建屋模擬モデル（**3次元 FEM**）及び質点系モデルの最大応答値（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。

評価に当たっては、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**建屋模擬モデル（3次元 FEM）**の節点としては、図 3-5 に示す節点とした。

比較した結果を図 3-6 に示す。**なお、図 3-6 における建屋模擬モデルの最大応答加速度は、図 3-5 に示す節点における最大応答加速度をレベルごとに平均した値である。**

両モデル間で、最大応答加速度はおおむね対応しているが、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。

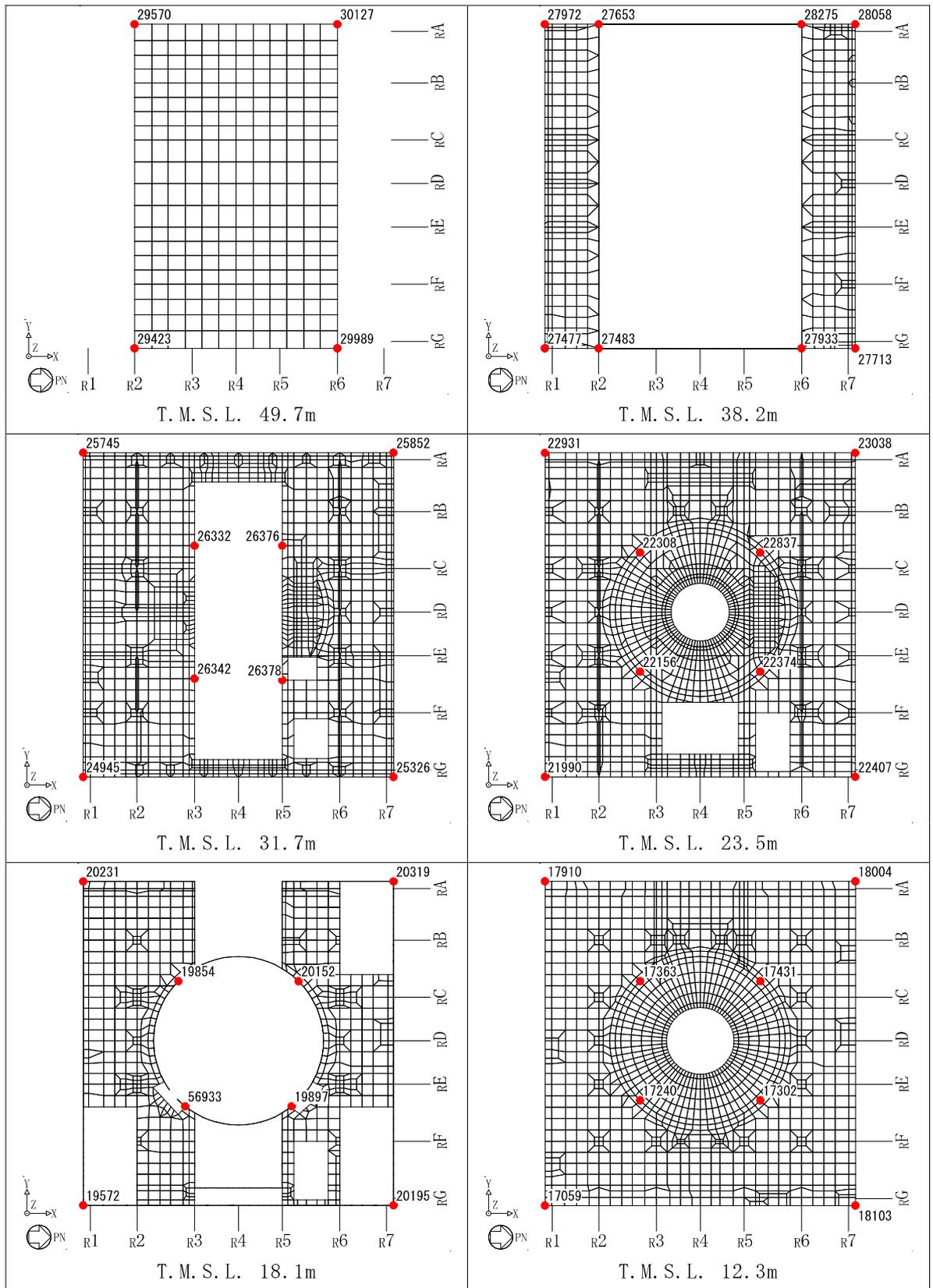


図3-5 応答評価位置 (1/2)

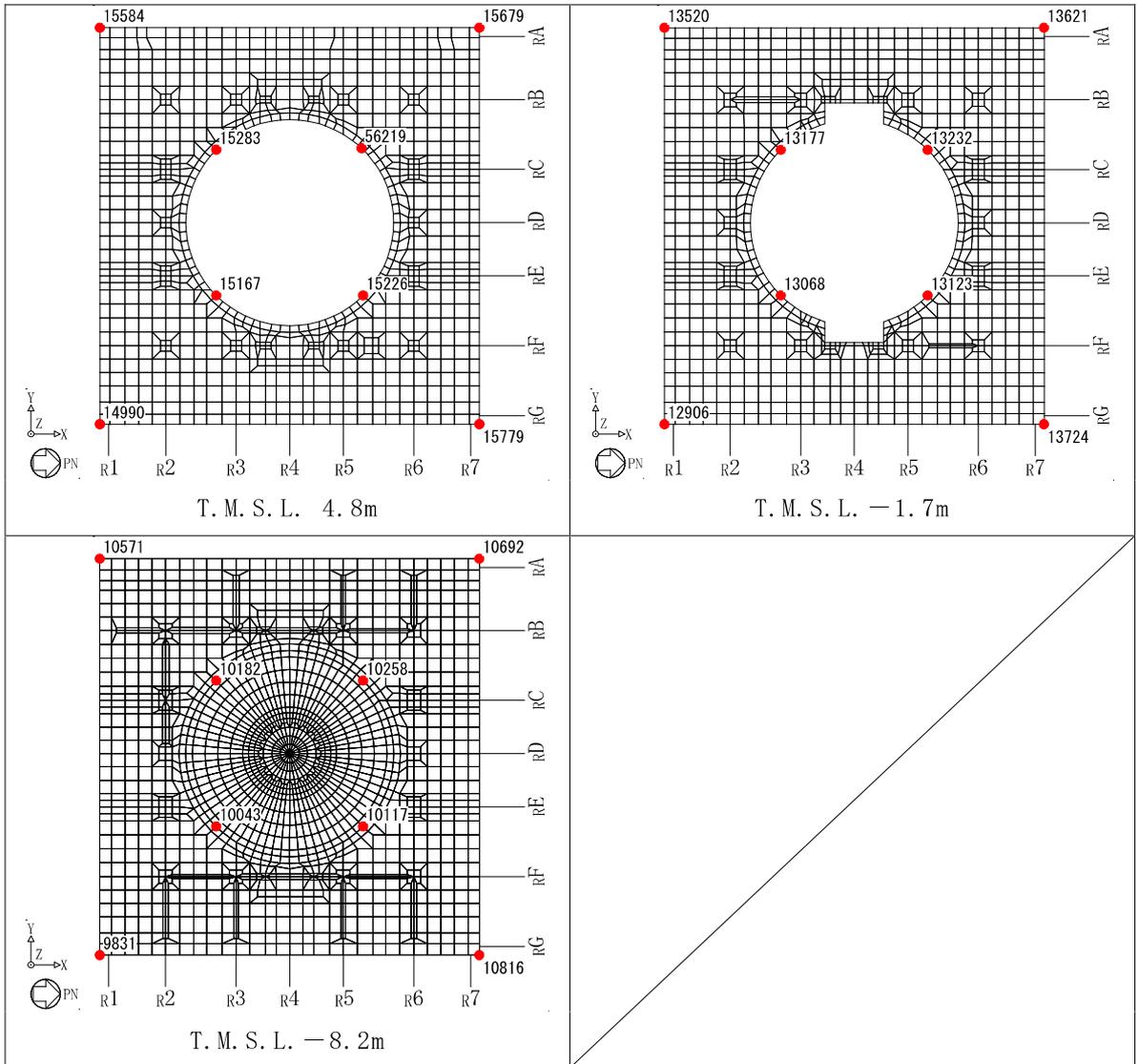
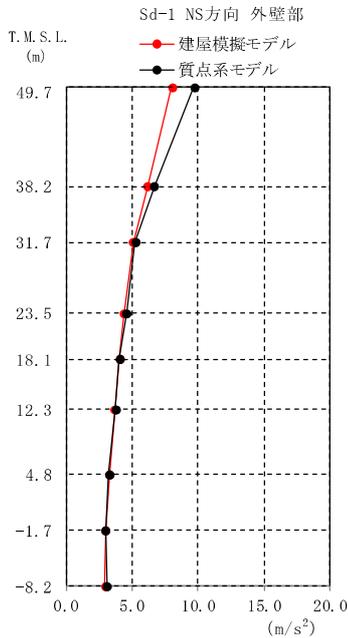
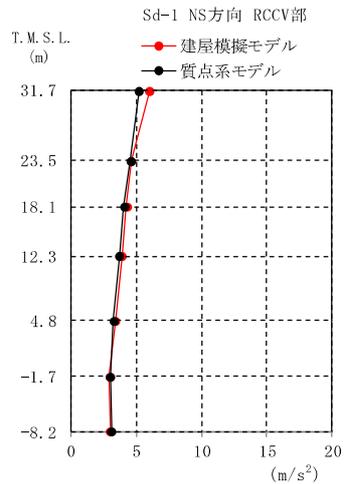


図 3-5 応答評価位置 (2/2)



(m/s ²)	
質点系モデル	建屋模擬モデル
9.70	8.02
6.68	6.18
5.20	5.09
4.56	4.39
4.03	4.04
3.70	3.68
3.23	3.28
2.99	2.99
3.07	2.93

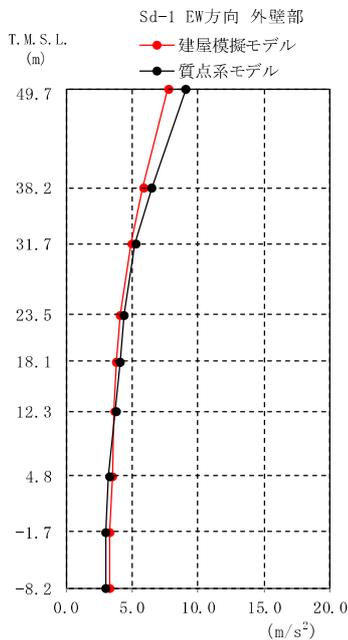
(1) 外壁部



(m/s ²)	
質点系モデル	建屋模擬モデル
5.20	5.97
4.56	4.59
4.03	4.25
3.70	3.90
3.23	3.37
2.99	2.95
3.07	2.97

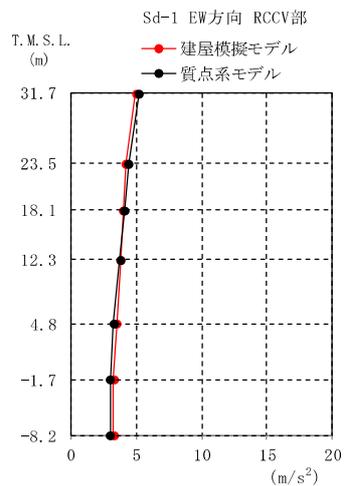
(2) RCCV部

(a) Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答



(m/s ²)	
質点系モデル	建屋模擬モデル
9.03	7.71
6.46	5.80
5.20	4.94
4.38	4.09
4.08	3.76
3.73	3.65
3.23	3.49
2.97	3.29
2.98	3.28

(1) 外壁部



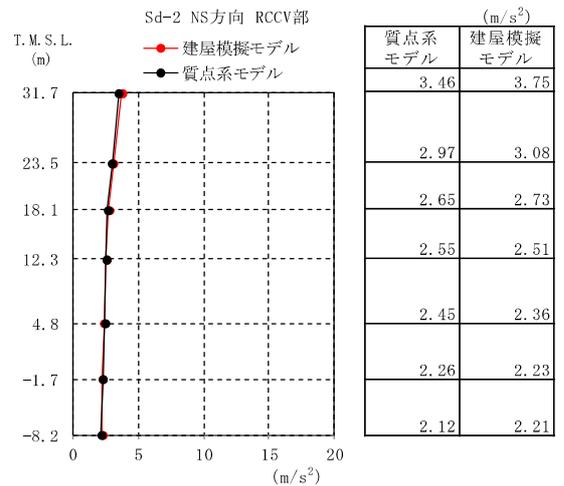
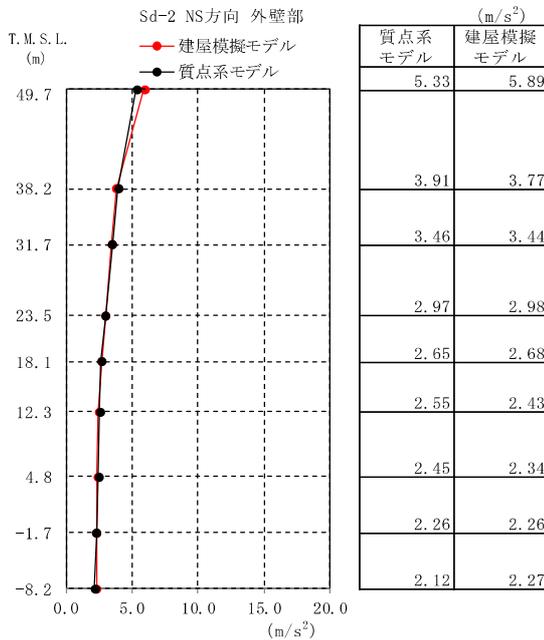
(m/s ²)	
質点系モデル	建屋模擬モデル
5.20	4.93
4.38	4.20
4.08	3.97
3.73	3.78
3.23	3.48
2.97	3.23
2.98	3.23

(2) RCCV部

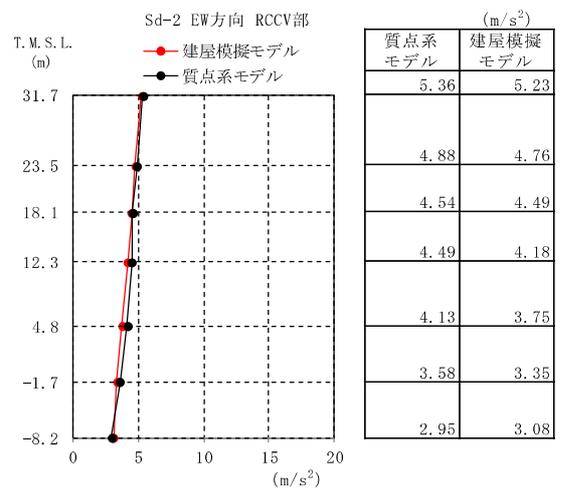
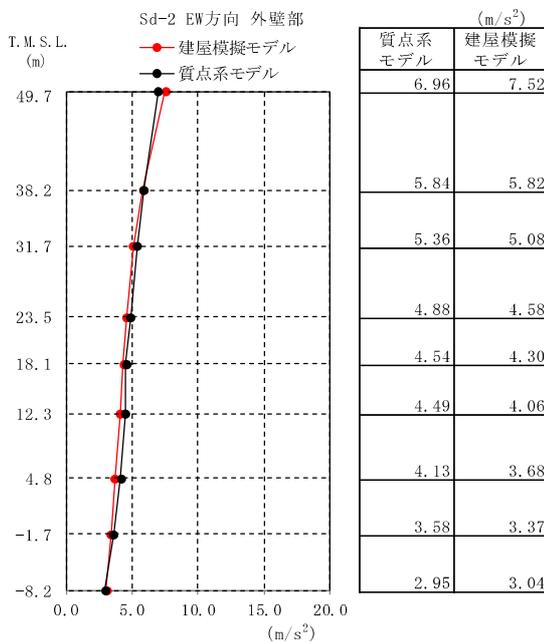
(b) Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答

注：建屋模擬モデルは3次元FEMモデルである。

図3-6 最大応答加速度の比較 (1/2)



(1) 外壁部 (2) RCCV部
(a) Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答



(1) 外壁部 (2) RCCV部
(b) Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答

注：建屋模擬モデルは3次元FEMモデルである。

図3-6 最大応答加速度の比較 (2/2)

3.3.3 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

「3.3.2 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討」の結果を踏まえて、質点系モデルに対して、3次元 FEM モデルを用いた3次元的な応答補正を考慮し、建屋耐震性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基に、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。

なお、V-2-2-1「原子炉建屋の地震応答計算書」では、基準地震動 S_s による質点系モデルを用いた地震応答解析を行い、耐震壁のせん断ひずみを検討している。ここでは耐震壁のせん断ひずみについてのみ検討を行う。

具体的には、質点系モデルの基準地震動 S_s に対する最大応答のうち、せん断応力度 τ 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応力度を算定する。得られたせん断応力度を質点系モデルの各層のせん断スケルトン曲線上にプロットし、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。

評価において選定した3次元 FEM モデルにおける代表節点を図 3-5 に、質点系モデルでの評価部位を図 3-9 に示す。

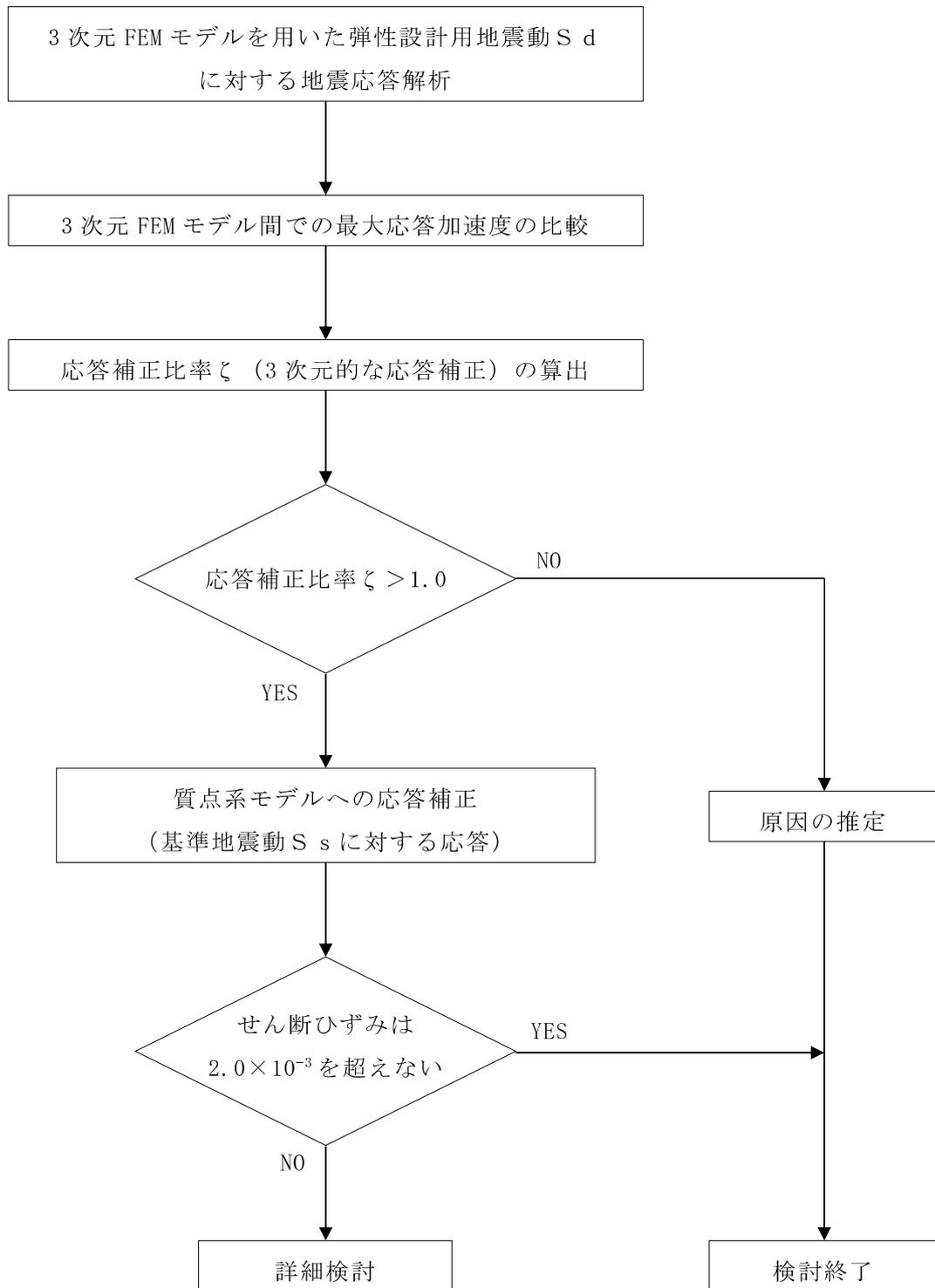
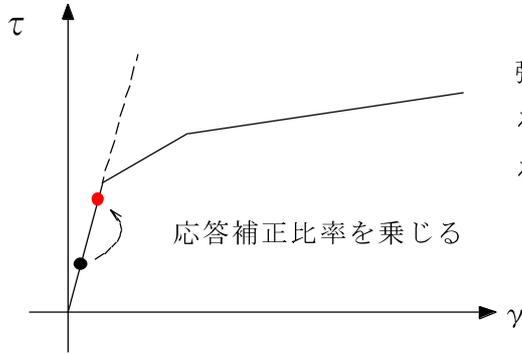
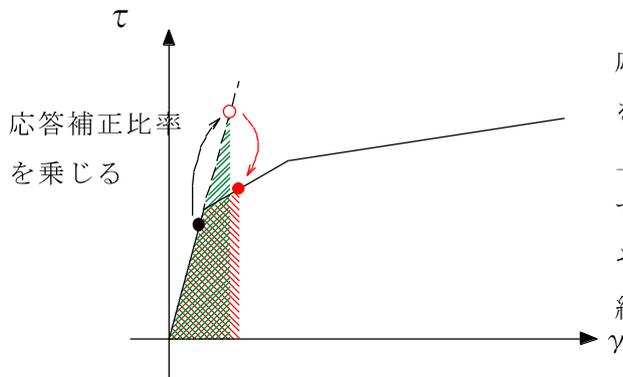


図 3-7 検討フロー

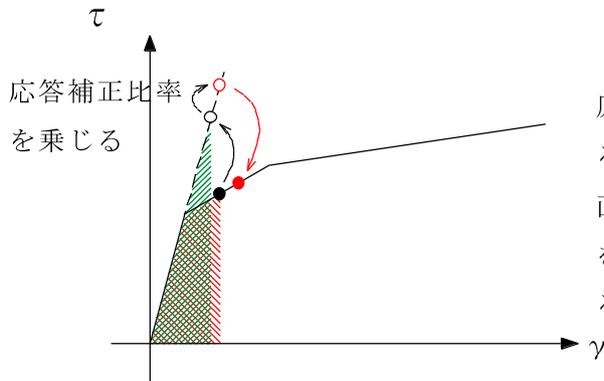


弾性直線状において，原設計による
 応答結果に応答補正比率を乗じ
 る。



応答補正比率を乗じた際，第1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。



原設計において第1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

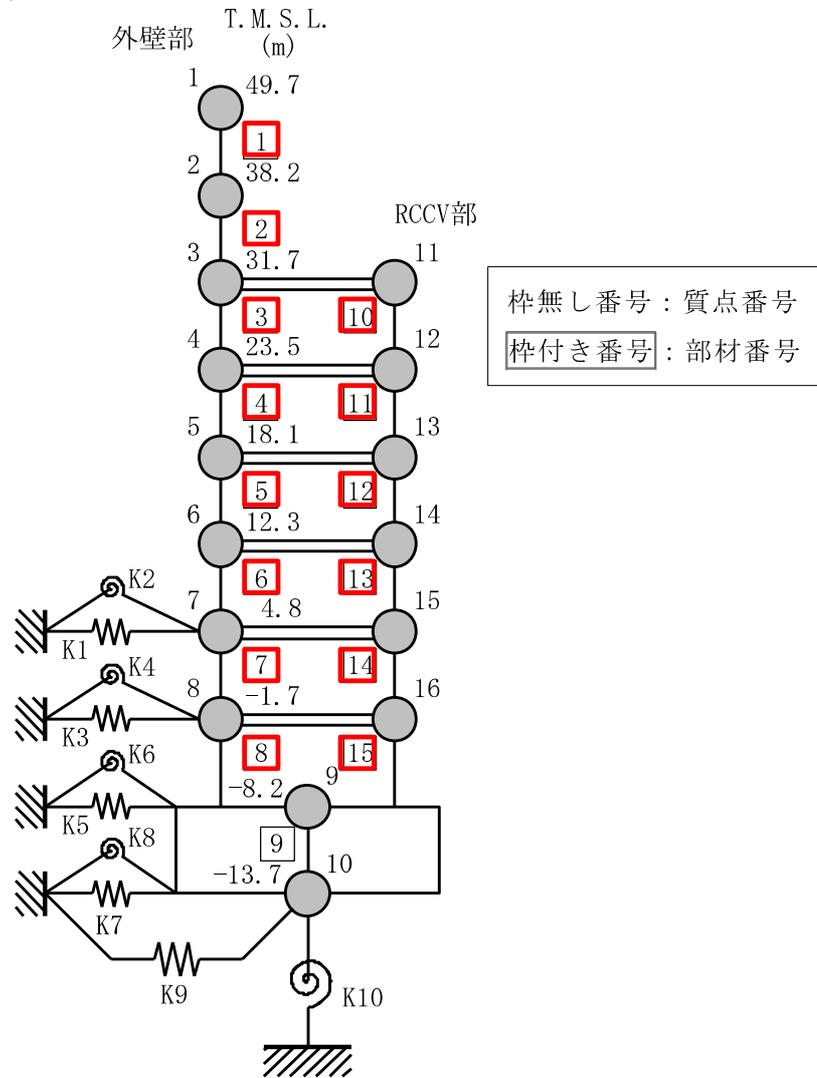


図 3-9 質点系モデルの評価部位

(1) 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(3次元FEM)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(3次元FEM)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(3次元FEM)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。

$$\text{建屋評価用の応答補正比率 } \zeta = \text{Max}(\alpha \times \beta) \dots\dots\dots (3. 1)$$

(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 α

$$= \frac{\text{3方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1方向入力による最大応答加速度}} \dots\dots\dots (3. 2)$$

(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 β

$$= \frac{\text{建屋模擬モデル(3次元FEM)の最大応答加速度}}{\text{質点系対応モデル(3次元FEM)の最大応答加速度}} \dots\dots\dots (3. 3)$$

(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1.03～1.26の範囲にある。

表 3-7 建屋耐震性評価用の応答補正比率 α の算定 (NS 方向) (1/2)

評価点			Sd-1 NS方向			Sd-2 NS方向			採用 α	
			最大応答加速度 (m/s^2)		α_{Sd-1} ②/①	最大応答加速度 (m/s^2)		α_{Sd-2} ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1方向入力	② 3方向入力		③ 1方向入力	④ 3方向入力			
外 壁 部	49.7	1	29423	8.07	8.13	1.01	5.95	6.05	1.02	1.02
			29570	8.00	7.88	0.985	5.86	5.93	1.02	1.02
			29989	8.03	7.94	0.989	5.92	6.21	1.05	1.05
			30127	7.99	7.80	0.977	5.81	5.81	1.00	1.00
	38.2	2	27477	6.23	6.26	1.01	3.80	3.97	1.05	1.05
			27972	6.19	6.29	1.02	3.84	3.97	1.04	1.04
			27483	6.15	6.15	1.00	3.78	3.91	1.04	1.04
			27653	6.11	6.17	1.01	3.82	3.91	1.03	1.03
			27933	6.15	5.96	0.970	3.69	3.66	0.992	1.00
			28275	6.12	6.05	0.989	3.74	3.76	1.01	1.01
			27713	6.29	6.07	0.966	3.72	3.77	1.02	1.02
			28058	6.22	6.21	0.999	3.77	3.84	1.02	1.02
	31.7	3	24945	5.11	5.05	0.989	3.46	3.58	1.04	1.04
			25745	5.09	5.12	1.01	3.48	3.50	1.01	1.01
			25326	5.11	5.15	1.01	3.39	3.39	1.00	1.01
			25852	5.04	5.18	1.03	3.43	3.38	0.986	1.03
	23.5	4	21990	4.33	4.37	1.01	2.98	3.06	1.03	1.03
			22931	4.40	4.37	0.994	2.99	2.94	0.984	1.00
			22407	4.39	4.50	1.03	2.98	3.06	1.03	1.03
			23038	4.43	4.48	1.02	2.98	3.00	1.01	1.02
	18.1	5	19572	4.01	4.09	1.02	2.68	2.72	1.02	1.02
			20231	4.05	3.98	0.983	2.67	2.58	0.967	1.00
			20195	4.04	4.10	1.02	2.70	2.79	1.04	1.04
			20319	4.06	4.12	1.02	2.66	2.72	1.03	1.03
	12.3	6	17059	3.68	3.76	1.03	2.44	2.41	0.988	1.03
			17910	3.69	3.60	0.976	2.40	2.34	0.975	1.00
			18103	3.65	3.58	0.981	2.44	2.51	1.03	1.03
			18004	3.70	3.78	1.03	2.43	2.51	1.04	1.04
4.8	7	14990	3.29	3.29	1.00	2.34	2.30	0.983	1.00	
		15584	3.26	3.17	0.973	2.32	2.25	0.970	1.00	
		15779	3.28	3.23	0.985	2.34	2.38	1.02	1.02	
		15679	3.27	3.33	1.02	2.35	2.44	1.04	1.04	
-1.7	8	12906	3.00	3.21	1.07	2.26	2.20	0.974	1.07	
		13520	2.98	3.05	1.03	2.26	2.25	0.996	1.03	
		13724	3.00	2.97	0.990	2.26	2.32	1.03	1.03	
			13621	3.00	2.95	0.984	2.26	2.35	1.04	1.04

注 1：最大応答加速度 (①~④) は、いずれも建屋模擬モデル (3次元 FEM) の応答である。

注 2：採用 α は、 α_{Sd-1} 、 α_{Sd-2} の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

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

評価点			Sd-1 NS方向			Sd-2 NS方向			採用 α	
			最大応答加速度 (m/s^2)		α_{Sd-1} ②/①	最大応答加速度 (m/s^2)		α_{Sd-2} ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1方向入力	② 3方向入力		③ 1方向入力	④ 3方向入力			
R C C V 部	31.7	11	26342	5.87	5.85	0.997	3.84	3.98	1.04	1.04
			26332	6.08	6.16	1.02	3.87	3.88	1.01	1.02
			26378	5.97	6.11	1.03	3.64	3.67	1.01	1.03
			26376	5.98	6.13	1.03	3.65	3.77	1.04	1.04
	23.5	12	22156	4.57	4.53	0.992	3.08	3.07	0.997	1.00
			22308	4.56	4.51	0.990	3.07	3.04	0.991	1.00
			22374	4.62	4.60	0.996	3.09	3.14	1.02	1.02
			22837	4.59	4.59	1.00	3.07	3.11	1.02	1.02
	18.1	13	19854	4.22	4.17	0.989	2.73	2.65	0.971	1.00
			56933	4.25	4.21	0.991	2.73	2.69	0.986	1.00
			19897	4.27	4.24	0.993	2.74	2.79	1.02	1.02
			20152	4.27	4.27	1.00	2.74	2.81	1.03	1.03
	12.3	14	17240	3.91	3.87	0.990	2.53	2.53	1.00	1.00
			17363	3.87	3.81	0.985	2.47	2.47	1.00	1.00
			17302	3.92	3.92	1.00	2.53	2.58	1.02	1.02
			17431	3.91	3.93	1.01	2.50	2.52	1.01	1.01
	4.8	15	15167	3.40	3.38	0.995	2.39	2.38	0.996	1.00
			15283	3.32	3.28	0.988	2.33	2.30	0.988	1.00
			56219	3.35	3.36	1.01	2.34	2.37	1.02	1.02
			15226	3.41	3.38	0.992	2.39	2.41	1.01	1.01
-1.7	16	13068	2.95	3.12	1.06	2.23	2.21	0.992	1.06	
		13177	2.95	3.06	1.04	2.23	2.21	0.992	1.04	
		13123	2.96	2.89	0.977	2.23	2.28	1.03	1.03	
		13232	2.93	2.94	1.01	2.22	2.25	1.02	1.02	

注 1：最大応答加速度 (①～④) は、いずれも建屋模擬モデル (3次元 FEM) の応答である。

注 2：採用 α は、 α_{Sd-1} 、 α_{Sd-2} の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

表 3-8 建屋耐震性評価用の応答補正比率 α の算定 (EW 方向) (1/2)

評価点			Sd-1 EW方向			Sd-2 EW方向			採用 α	
			最大応答加速度 (m/s^2)		α_{Sd-1} ②/①	最大応答加速度 (m/s^2)		α_{Sd-2} ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1方向入力	② 3方向入力		③ 1方向入力	④ 3方向入力			
外 壁 部	49.7	1	29423	7.76	7.59	0.979	7.53	6.95	0.923	1.00
			29570	7.74	8.19	1.06	7.50	7.99	1.07	1.07
			29989	7.68	8.31	1.09	7.55	8.04	1.07	1.09
			30127	7.65	7.36	0.963	7.51	6.90	0.919	1.00
	38.2	2	27477	5.75	5.63	0.980	5.78	5.34	0.924	1.00
			27972	5.72	6.31	1.11	5.75	6.23	1.09	1.11
			27483	6.02	6.38	1.06	6.10	6.49	1.07	1.07
			27653	5.89	5.99	1.02	5.94	5.81	0.979	1.02
			27933	5.76	6.04	1.05	5.75	5.61	0.976	1.05
			28275	5.82	5.95	1.03	5.83	6.00	1.03	1.03
			27713	5.70	5.79	1.02	5.70	6.11	1.08	1.08
	31.7	3	28058	5.71	5.76	1.01	5.72	5.42	0.948	1.01
			24945	4.96	4.75	0.958	5.06	5.05	0.999	1.00
			25745	4.94	5.15	1.05	5.04	5.16	1.03	1.05
			25326	4.94	4.94	1.00	5.10	5.12	1.01	1.01
	23.5	4	25852	4.93	5.01	1.02	5.13	5.10	0.995	1.02
			21990	4.12	4.16	1.01	4.59	4.55	0.992	1.01
			22931	4.05	4.14	1.03	4.56	4.55	0.998	1.03
			22407	4.10	4.31	1.06	4.57	4.68	1.03	1.06
	18.1	5	23038	4.12	4.23	1.03	4.60	4.53	0.985	1.03
			19572	3.76	3.83	1.02	4.30	4.28	0.996	1.02
			20231	3.77	3.83	1.02	4.32	4.32	1.00	1.02
			20195	3.75	3.97	1.06	4.29	4.46	1.04	1.06
	12.3	6	20319	3.76	3.93	1.05	4.29	4.07	0.949	1.05
			17059	3.66	3.62	0.990	4.07	4.04	0.993	1.00
			17910	3.63	3.70	1.02	4.05	4.05	1.00	1.02
			18103	3.65	3.66	1.01	4.07	4.17	1.03	1.03
	4.8	7	18004	3.66	3.80	1.04	4.06	3.91	0.964	1.04
14990			3.49	3.39	0.972	3.68	3.66	0.995	1.00	
15584			3.48	3.61	1.04	3.68	3.67	0.998	1.04	
15779			3.49	3.40	0.975	3.68	3.75	1.02	1.02	
-1.7	8	15679	3.49	3.63	1.05	3.68	3.59	0.976	1.05	
		12906	3.28	3.32	1.02	3.37	3.47	1.03	1.03	
		13520	3.29	3.42	1.04	3.38	3.35	0.992	1.04	
		13724	3.29	3.38	1.03	3.36	3.43	1.03	1.03	
			13621	3.28	3.41	1.04	3.36	3.31	0.986	1.04

注 1：最大応答加速度 (①~④) は、いずれも建屋模擬モデル (3次元 FEM) の応答である。

注 2：採用 α は、 α_{Sd-1} 、 α_{Sd-2} の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

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

評価点			Sd-1 EW方向			Sd-2 EW方向			採用 α	
			最大応答加速度 (m/s^2)		α_{Sd-1} ②/①	最大応答加速度 (m/s^2)		α_{Sd-2} ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 1方向入力	② 3方向入力		③ 1方向入力	④ 3方向入力			
R C C V 部	31.7	11	26342	4.93	5.05	1.03	5.20	5.15	0.991	1.03
			26332	4.94	5.08	1.03	5.25	5.27	1.01	1.03
			26378	4.94	4.98	1.01	5.24	5.24	1.00	1.01
			26376	4.91	5.03	1.03	5.23	5.20	0.995	1.03
	23.5	12	22156	4.21	4.31	1.03	4.77	4.76	0.998	1.03
			22308	4.20	4.18	0.996	4.76	4.75	0.998	1.00
			22374	4.22	4.32	1.03	4.77	4.78	1.01	1.03
			22837	4.20	4.22	1.01	4.75	4.73	0.996	1.01
	18.1	13	19854	3.91	3.96	1.02	4.43	4.42	0.998	1.02
			56933	4.01	4.03	1.01	4.53	4.51	0.996	1.01
			19897	4.03	4.05	1.01	4.54	4.54	1.00	1.01
			20152	3.94	3.96	1.01	4.46	4.41	0.989	1.01
	12.3	14	17240	3.80	3.79	0.998	4.18	4.13	0.989	1.00
			17363	3.76	3.80	1.02	4.16	4.14	0.996	1.02
			17302	3.80	3.80	1.00	4.22	4.18	0.991	1.00
			17431	3.78	3.81	1.01	4.17	4.11	0.986	1.01
	4.8	15	15167	3.48	3.44	0.989	3.75	3.72	0.992	1.00
			15283	3.48	3.56	1.03	3.73	3.66	0.982	1.03
			56219	3.47	3.54	1.03	3.71	3.65	0.984	1.03
			15226	3.49	3.44	0.986	3.79	3.82	1.01	1.01
-1.7	16	13068	3.22	3.21	0.997	3.35	3.42	1.03	1.03	
		13177	3.24	3.32	1.03	3.39	3.28	0.968	1.03	
		13123	3.23	3.23	1.00	3.34	3.41	1.03	1.03	
		13232	3.23	3.31	1.03	3.33	3.27	0.982	1.03	

注 1: 最大応答加速度 (①~④) は、いずれも建屋模擬モデル (3次元 FEM) の応答である。

注 2: 採用 α は、 α_{Sd-1} 、 α_{Sd-2} の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

表 3-9 建屋耐震性評価用の応答補正比率 β の算定 (NS 方向) (1/2)

評価点			Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答		β_{Sd-1} ②/①	Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答		β_{Sd-2} ④/③	採用 β	
			最大応答加速度 (m/s^2)			最大応答加速度 (m/s^2)				
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 質点系対応 モデル	② 建屋模擬 モデル		③ 質点系対応 モデル	④ 建屋模擬 モデル			
外 壁 部	49.7	1	29423	9.60	8.07	0.841	5.41	5.95	1.10	1.10
			29570	9.64	8.00	0.830	5.43	5.86	1.08	1.08
			29989	9.58	8.03	0.839	5.40	5.92	1.10	1.10
			30127	9.64	7.99	0.829	5.43	5.81	1.07	1.07
	38.2	2	27477	6.82	6.23	0.914	3.87	3.80	0.982	1.00
			27972	6.78	6.19	0.913	3.92	3.84	0.980	1.00
			27483	6.80	6.15	0.905	3.86	3.78	0.980	1.00
			27653	6.77	6.11	0.903	3.91	3.82	0.977	1.00
			27933	6.84	6.15	0.900	3.87	3.69	0.954	1.00
			28275	6.81	6.12	0.899	3.88	3.74	0.964	1.00
			27713	6.85	6.29	0.919	3.88	3.72	0.959	1.00
			28058	6.83	6.22	0.911	3.89	3.77	0.970	1.00
	31.7	3	24945	5.36	5.11	0.954	3.24	3.46	1.07	1.07
			25745	5.35	5.09	0.952	3.25	3.48	1.08	1.08
			25326	5.32	5.11	0.961	3.23	3.39	1.05	1.05
			25852	5.35	5.04	0.943	3.24	3.43	1.06	1.06
	23.5	4	21990	4.30	4.33	1.01	2.80	2.98	1.07	1.07
			22931	4.29	4.40	1.03	2.80	2.99	1.07	1.07
			22407	4.31	4.39	1.02	2.80	2.98	1.07	1.07
			23038	4.29	4.43	1.04	2.80	2.98	1.07	1.07
	18.1	5	19572	3.94	4.01	1.02	2.54	2.68	1.06	1.06
			20231	3.90	4.05	1.04	2.51	2.67	1.07	1.07
			20195	3.95	4.04	1.03	2.55	2.70	1.06	1.06
			20319	3.91	4.06	1.04	2.51	2.66	1.06	1.06
	12.3	6	17059	3.55	3.68	1.04	2.35	2.44	1.04	1.04
			17910	3.56	3.69	1.04	2.32	2.40	1.04	1.04
			18103	3.55	3.65	1.03	2.35	2.44	1.04	1.04
			18004	3.56	3.70	1.04	2.33	2.43	1.05	1.05
4.8	7	14990	3.21	3.29	1.03	2.32	2.34	1.01	1.03	
		15584	3.19	3.26	1.03	2.31	2.32	1.01	1.03	
		15779	3.21	3.28	1.03	2.32	2.34	1.01	1.03	
		15679	3.20	3.27	1.03	2.31	2.35	1.02	1.03	
-1.7	8	12906	2.92	3.00	1.03	2.20	2.26	1.03	1.03	
		13520	2.91	2.98	1.03	2.20	2.26	1.03	1.03	
		13724	2.92	3.00	1.03	2.20	2.26	1.03	1.03	
		13621	2.91	3.00	1.04	2.20	2.26	1.03	1.04	

注 1：質点系対応モデル及び建屋模擬モデルは、いずれも 3 次元 FEM モデルである。

注 2：採用 β は、 β_{Sd-1} 、 β_{Sd-2} の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

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

評価点			Sd-1 NS方向加振時 NS方向応答		β_{Sd-1} ②/①	Sd-2 NS方向加振時 NS方向応答		β_{Sd-2} ④/③	採用 β	
			最大応答加速度 (m/s^2)			最大応答加速度 (m/s^2)				
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 質点系対応 モデル	② 建屋模擬 モデル		③ 質点系対応 モデル	④ 建屋模擬 モデル			
R C C V 部	31.7	11	26342	5.48	5.87	1.08	3.26	3.84	1.18	1.18
			26332	5.48	6.08	1.11	3.26	3.87	1.19	1.19
			26378	5.42	5.97	1.11	3.24	3.64	1.13	1.13
			26376	5.43	5.98	1.11	3.24	3.65	1.13	1.13
	23.5	12	22156	4.31	4.57	1.07	2.80	3.08	1.10	1.10
			22308	4.30	4.56	1.07	2.80	3.07	1.10	1.10
			22374	4.31	4.62	1.08	2.81	3.09	1.10	1.10
			22837	4.30	4.59	1.07	2.80	3.07	1.10	1.10
	18.1	13	19854	3.91	4.22	1.08	2.52	2.73	1.09	1.09
			56933	3.93	4.25	1.09	2.53	2.73	1.08	1.09
			19897	3.94	4.27	1.09	2.53	2.74	1.09	1.09
			20152	3.93	4.27	1.09	2.53	2.74	1.09	1.09
	12.3	14	17240	3.57	3.91	1.10	2.35	2.53	1.08	1.10
			17363	3.57	3.87	1.09	2.34	2.47	1.06	1.09
			17302	3.57	3.92	1.10	2.35	2.53	1.08	1.10
			17431	3.57	3.91	1.10	2.34	2.50	1.07	1.10
	4.8	15	15167	3.22	3.40	1.06	2.33	2.39	1.03	1.06
			15283	3.20	3.32	1.04	2.32	2.33	1.01	1.04
			56219	3.21	3.35	1.05	2.32	2.34	1.01	1.05
			15226	3.22	3.41	1.06	2.33	2.39	1.03	1.06
-1.7	16	13068	2.92	2.95	1.02	2.20	2.23	1.02	1.02	
		13177	2.92	2.95	1.02	2.20	2.23	1.02	1.02	
		13123	2.92	2.96	1.02	2.20	2.23	1.02	1.02	
		13232	2.91	2.93	1.01	2.20	2.22	1.01	1.01	

注 1：質点系対応モデル及び建屋模擬モデルは、いずれも 3 次元 FEM モデルである。

注 2：採用 β は、 β_{Sd-1} 、 β_{Sd-2} の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

表 3-10 建屋耐震性評価用の応答補正比率 β の算定 (EW 方向) (1/2)

評価点			Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答			Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答			採用 β	
			最大応答加速度 (m/s^2)		β_{Sd-1} ②/①	最大応答加速度 (m/s^2)		β_{Sd-2} ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 質点系対応 モデル	② 建屋模擬 モデル		③ 質点系対応 モデル	④ 建屋模擬 モデル			
外 壁 部	49.7	1	29423	7.21	7.76	1.08	6.56	7.53	1.15	1.15
			29570	7.21	7.74	1.08	6.55	7.50	1.15	1.15
			29989	7.27	7.68	1.06	6.60	7.55	1.15	1.15
			30127	7.26	7.65	1.06	6.60	7.51	1.14	1.14
	38.2	2	27477	5.75	5.75	1.00	5.53	5.78	1.05	1.05
			27972	5.77	5.72	0.992	5.53	5.75	1.04	1.04
			27483	5.80	6.02	1.04	5.54	6.10	1.11	1.11
			27653	5.77	5.89	1.03	5.53	5.94	1.08	1.08
			27933	5.69	5.76	1.02	5.55	5.75	1.04	1.04
			28275	5.69	5.82	1.03	5.55	5.83	1.06	1.06
			27713	5.66	5.70	1.01	5.56	5.70	1.03	1.03
			28058	5.66	5.71	1.01	5.56	5.72	1.03	1.03
	31.7	3	24945	5.11	4.96	0.971	5.14	5.06	0.985	1.00
			25745	5.10	4.94	0.969	5.13	5.04	0.983	1.00
			25326	5.10	4.94	0.969	5.17	5.10	0.987	1.00
			25852	5.10	4.93	0.967	5.18	5.13	0.991	1.00
	23.5	4	21990	4.35	4.12	0.948	4.69	4.59	0.979	1.00
			22931	4.35	4.05	0.932	4.69	4.56	0.973	1.00
			22407	4.36	4.10	0.941	4.70	4.57	0.973	1.00
			23038	4.36	4.12	0.945	4.71	4.60	0.977	1.00
	18.1	5	19572	3.76	3.76	1.00	4.31	4.30	0.998	1.00
			20231	3.78	3.77	0.998	4.34	4.32	0.996	1.00
			20195	3.78	3.75	0.993	4.33	4.29	0.991	1.00
			20319	3.79	3.76	0.993	4.34	4.29	0.989	1.00
	12.3	6	17059	3.61	3.66	1.02	4.04	4.07	1.01	1.02
			17910	3.61	3.63	1.01	4.04	4.05	1.01	1.01
			18103	3.62	3.65	1.01	4.05	4.07	1.01	1.01
			18004	3.63	3.66	1.01	4.05	4.06	1.01	1.01
	4.8	7	14990	3.41	3.49	1.03	3.81	3.68	0.966	1.03
			15584	3.40	3.48	1.03	3.80	3.68	0.969	1.03
			15779	3.41	3.49	1.03	3.80	3.68	0.969	1.03
			15679	3.41	3.49	1.03	3.80	3.68	0.969	1.03
-1.7	8	12906	3.26	3.28	1.01	3.53	3.37	0.955	1.01	
		13520	3.26	3.29	1.01	3.54	3.38	0.955	1.01	
		13724	3.25	3.29	1.02	3.50	3.36	0.960	1.02	
		13621	3.25	3.28	1.01	3.49	3.36	0.963	1.01	

注 1：質点系対応モデル及び建屋模擬モデルは、いずれも 3 次元 FEM モデルである。

注 2：採用 β は、 β_{Sd-1} 、 β_{Sd-2} の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

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

評価点			Sd-1 EW方向加振時 EW方向応答			Sd-2 EW方向加振時 EW方向応答			採用 β	
			最大応答加速度 (m/s^2)		β_{Sd-1} ②/①	最大応答加速度 (m/s^2)		β_{Sd-2} ④/③		
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	① 質点系対応 モデル	② 建屋模擬 モデル		③ 質点系対応 モデル	④ 建屋模擬 モデル			
R C C V 部	31.7	11	26342	5.09	4.93	0.969	5.14	5.20	1.02	1.02
			26332	5.10	4.94	0.969	5.14	5.25	1.03	1.03
			26378	5.09	4.94	0.971	5.14	5.24	1.02	1.02
			26376	5.10	4.91	0.963	5.15	5.23	1.02	1.02
	23.5	12	22156	4.37	4.21	0.964	4.70	4.77	1.02	1.02
			22308	4.37	4.20	0.962	4.70	4.76	1.02	1.02
			22374	4.37	4.22	0.966	4.71	4.77	1.02	1.02
			22837	4.37	4.20	0.962	4.71	4.75	1.01	1.01
	18.1	13	19854	3.79	3.91	1.04	4.35	4.43	1.02	1.04
			56933	3.82	4.01	1.05	4.38	4.53	1.04	1.05
			19897	3.85	4.03	1.05	4.40	4.54	1.04	1.05
			20152	3.81	3.94	1.04	4.37	4.46	1.03	1.04
	12.3	14	17240	3.63	3.80	1.05	4.06	4.18	1.03	1.05
			17363	3.63	3.76	1.04	4.06	4.16	1.03	1.04
			17302	3.64	3.80	1.05	4.06	4.22	1.04	1.05
			17431	3.63	3.78	1.05	4.06	4.17	1.03	1.05
	4.8	15	15167	3.41	3.48	1.03	3.81	3.75	0.985	1.03
			15283	3.40	3.48	1.03	3.80	3.73	0.982	1.03
			56219	3.41	3.47	1.02	3.80	3.71	0.977	1.02
			15226	3.41	3.49	1.03	3.81	3.79	0.995	1.03
-1.7	16	13068	3.25	3.22	0.991	3.51	3.35	0.955	1.00	
		13177	3.26	3.24	0.994	3.53	3.39	0.961	1.00	
		13123	3.25	3.23	0.994	3.49	3.34	0.958	1.00	
		13232	3.25	3.23	0.994	3.50	3.33	0.952	1.00	

注 1: 質点系対応モデル及び建屋模擬モデルは、いずれも 3 次元 FEM モデルである。

注 2: 採用 β は、 β_{Sd-1} 、 β_{Sd-2} の大きい方を採用し、いずれも 1 未満の場合は保守的に 1 を採用する。

表 3-11 建屋耐震性評価用の応答補正比率 ζ の算定 (NS 方向) (1/2)

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	NS方向 応答補正比率 ζ	
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点					
外 壁 部	49.7	1	29423	1.02	1.10	1.13	1.16
			29570	1.02	1.08	1.11	
			29989	1.05	1.10	1.16	
			30127	1.00	1.07	1.07	
	38.2	2	27477	1.05	1.00	1.05	1.05
			27972	1.04	1.00	1.04	
			27483	1.04	1.00	1.04	
			27653	1.03	1.00	1.03	
			27933	1.00	1.00	1.00	
			28275	1.01	1.00	1.01	
			27713	1.02	1.00	1.02	
	31.7	3	24945	1.04	1.07	1.12	1.12
			25745	1.01	1.08	1.10	
			25326	1.01	1.05	1.07	
			25852	1.03	1.06	1.10	
	23.5	4	21990	1.03	1.07	1.11	1.11
			22931	1.00	1.07	1.07	
			22407	1.03	1.07	1.11	
			23038	1.02	1.07	1.10	
	18.1	5	19572	1.02	1.06	1.09	1.11
			20231	1.00	1.07	1.07	
			20195	1.04	1.06	1.11	
			20319	1.03	1.06	1.10	
	12.3	6	17059	1.03	1.04	1.08	1.10
			17910	1.00	1.04	1.04	
			18103	1.03	1.04	1.08	
			18004	1.04	1.05	1.10	
	4.8	7	14990	1.00	1.03	1.03	1.08
15584			1.00	1.03	1.03		
15779			1.02	1.03	1.06		
15679			1.04	1.03	1.08		
-1.7	8	12906	1.07	1.03	1.11	1.11	
		13520	1.03	1.03	1.07		
		13724	1.03	1.03	1.07		
		13621	1.04	1.04	1.09		

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

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	NS方向 応答補正比率 ζ
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点				
R C C V 部	31.7	11	26342	1.04	1.18	1.23
			26332	1.02	1.19	
			26378	1.03	1.13	
			26376	1.04	1.13	
	23.5	12	22156	1.00	1.10	1.13
			22308	1.00	1.10	
			22374	1.02	1.10	
			22837	1.02	1.10	
	18.1	13	19854	1.00	1.09	1.13
			56933	1.00	1.09	
			19897	1.02	1.09	
			20152	1.03	1.09	
	12.3	14	17240	1.00	1.10	1.13
			17363	1.00	1.09	
			17302	1.02	1.10	
			17431	1.01	1.10	
	4.8	15	15167	1.00	1.06	1.08
			15283	1.00	1.04	
			56219	1.02	1.05	
			15226	1.01	1.06	
-1.7	16	13068	1.06	1.02	1.09	
		13177	1.04	1.02		
		13123	1.03	1.02		
		13232	1.02	1.01		

表 3-12 建屋耐震性評価用の応答補正比率 ζ の算定 (EW 方向) (1/2)

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	EW方向 応答補正比率 ζ	
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点					
外 壁 部	49.7	1	29423	1.00	1.15	1.26	
			29570	1.07	1.15		1.24
			29989	1.09	1.15		1.26
			30127	1.00	1.14		1.14
	38.2	2	27477	1.00	1.05	1.19	
			27972	1.11	1.04		1.16
			27483	1.07	1.11		1.19
			27653	1.02	1.08		1.11
			27933	1.05	1.04		1.10
			28275	1.03	1.06		1.10
			27713	1.08	1.03		1.12
	31.7	3	28058	1.01	1.03	1.05	
			24945	1.00	1.00		1.00
			25745	1.05	1.00		1.05
			25326	1.01	1.00		1.01
	23.5	4	25852	1.02	1.00	1.06	
			21990	1.01	1.00		1.01
			22931	1.03	1.00		1.03
			22407	1.06	1.00		1.06
	18.1	5	23038	1.03	1.00	1.06	
			19572	1.02	1.00		1.02
			20231	1.02	1.00		1.02
			20195	1.06	1.00		1.06
	12.3	6	20319	1.05	1.00	1.06	
			17059	1.00	1.02		1.02
			17910	1.02	1.01		1.04
			18103	1.03	1.01		1.05
	4.8	7	18004	1.04	1.01	1.09	
14990			1.00	1.03	1.03		
15584			1.04	1.03	1.08		
15779			1.02	1.03	1.06		
-1.7	8	15679	1.05	1.03	1.06		
		12906	1.03	1.01		1.05	
		13520	1.04	1.01		1.06	
		13724	1.03	1.02		1.06	
			13621	1.04	1.01	1.06	

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

評価点			α	β	$\alpha \times \beta$	EW方向 応答補正比率 ζ	
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点					
R C C V 部	31.7	11	26342	1.03	1.02	1.06	1.07
			26332	1.03	1.03	1.07	
			26378	1.01	1.02	1.04	
			26376	1.03	1.02	1.06	
	23.5	12	22156	1.03	1.02	1.06	1.06
			22308	1.00	1.02	1.02	
			22374	1.03	1.02	1.06	
			22837	1.01	1.01	1.03	
	18.1	13	19854	1.02	1.04	1.07	1.07
			56933	1.01	1.05	1.07	
			19897	1.01	1.05	1.07	
			20152	1.01	1.04	1.06	
	12.3	14	17240	1.00	1.05	1.05	1.07
			17363	1.02	1.04	1.07	
			17302	1.00	1.05	1.05	
			17431	1.01	1.05	1.07	
	4.8	15	15167	1.00	1.03	1.03	1.07
			15283	1.03	1.03	1.07	
			56219	1.03	1.02	1.06	
			15226	1.01	1.03	1.05	
-1.7	16	13068	1.03	1.00	1.03	1.03	
		13177	1.03	1.00	1.03		
		13123	1.03	1.00	1.03		
		13232	1.03	1.00	1.03		

(2) 評価結果

各層の応答補正比率を乗じた最大せん断応力度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曲線を図 3-10 及び図 3-11 に示す。

質点系モデルの最大応答せん断応力度に応答補正比率 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 方向ともにすべての層において、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応力度及びせん断ひずみ

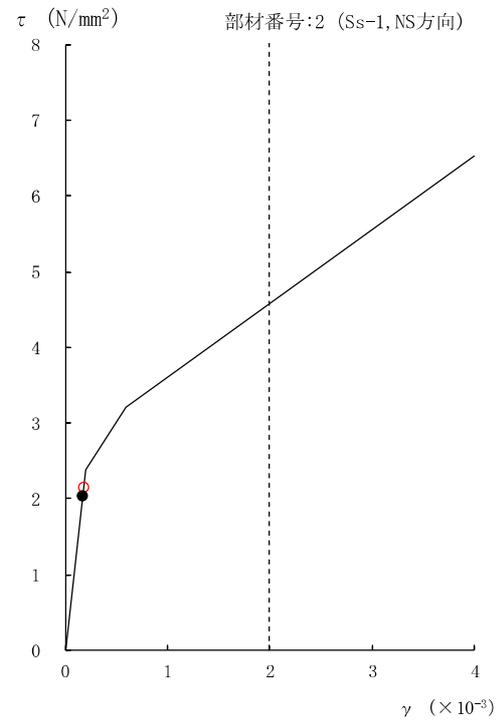
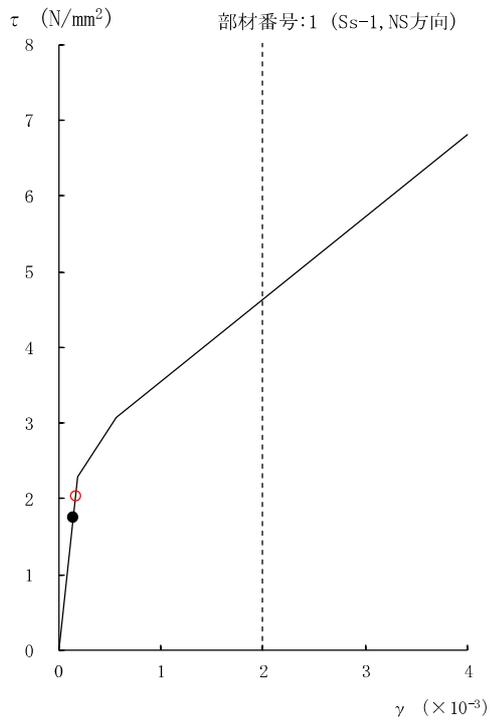
(a) NS 方向

部材 番号	質点系モデルの最大応答値 (基準地震動 S_s , NS方向)			NS方向 応答補正比率 ζ	応答補正後 (最大応答値 $\times \zeta$)		
	τ (N/mm^2)	γ ($\times 10^{-3}$)	地震動		τ (N/mm^2)	γ ($\times 10^{-3}$)	
外 壁 部	1	1.75	0.147	Ss-1	1.16	2.03	0.171
	2	2.03	0.170	Ss-1	1.05	2.13	0.179
	3	2.04	0.171	Ss-1	1.12	2.28	0.192
	4	2.82	0.361	Ss-1	1.11	2.92	0.416
	5	2.84	0.388	Ss-1	1.11	2.94	0.448
	6	2.98	0.406	Ss-1	1.10	3.08	0.463
	7	3.33	0.529	Ss-8	1.08	3.46	0.589
	8	2.73	0.247	Ss-8	1.11	2.79	0.278
R C C V 部	10	0.596	0.0499	Ss-1	1.23	0.733	0.0614
	11	1.55	0.130	Ss-1	1.13	1.75	0.147
	12	1.77	0.149	Ss-1	1.13	2.00	0.169
	13	2.25	0.189	Ss-1	1.13	2.44	0.214
	14	2.80	0.388	Ss-1	1.08	2.89	0.431
	15	2.25	0.189	Ss-1	1.09	2.45	0.206

(b) EW 方向

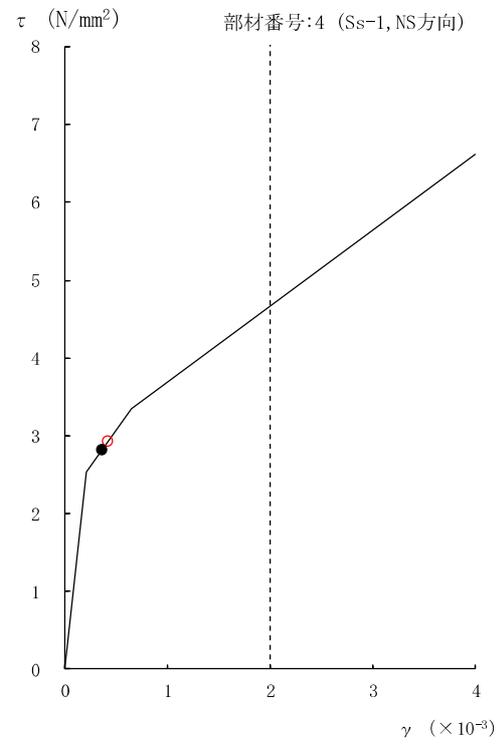
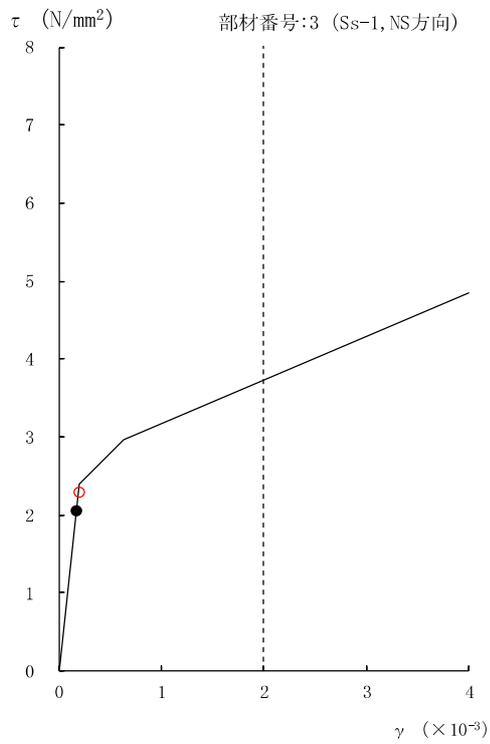
部材 番号	質点系モデルの最大応答値 (基準地震動 S_s , EW方向)			EW方向 応答補正比率 ζ	応答補正後 (最大応答値 $\times \zeta$)		
	τ (N/mm^2)	γ ($\times 10^{-3}$)	地震動		τ (N/mm^2)	γ ($\times 10^{-3}$)	
外 壁 部	1	1.22	0.103	Ss-1	1.26	1.54	0.130
	2	1.39	0.116	Ss-1	1.19	1.65	0.139
	3	1.76	0.148	Ss-1	1.05	1.85	0.156
	4	2.50	0.225	Ss-2	1.06	2.53	0.240
	5	2.59	0.274	Ss-2	1.06	2.62	0.295
	6	3.02	0.441	Ss-2	1.06	3.10	0.478
	7	3.03	0.456	Ss-2	1.09	3.14	0.514
	8	2.76	0.328	Ss-2	1.06	2.80	0.354
R C C V 部	10	0.367	0.0308	Ss-2	1.07	0.393	0.0330
	11	1.08	0.0905	Ss-2	1.06	1.14	0.0960
	12	1.31	0.110	Ss-2	1.07	1.40	0.118
	13	2.49	0.264	Ss-2	1.07	2.52	0.287
	14	2.52	0.301	Ss-2	1.07	2.55	0.329
	15	2.59	0.265	Ss-2	1.03	2.60	0.275

● 補正前応答値 ○ 補正後応答値



部材番号 1 Ss-1

部材番号 2 Ss-1

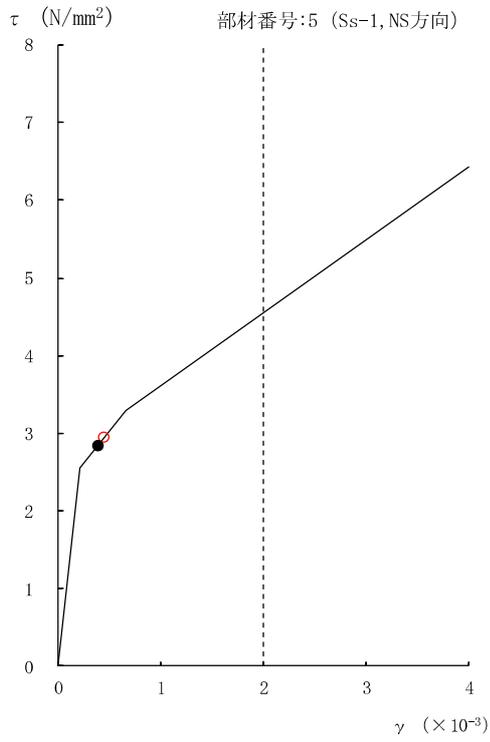


部材番号 3 Ss-1

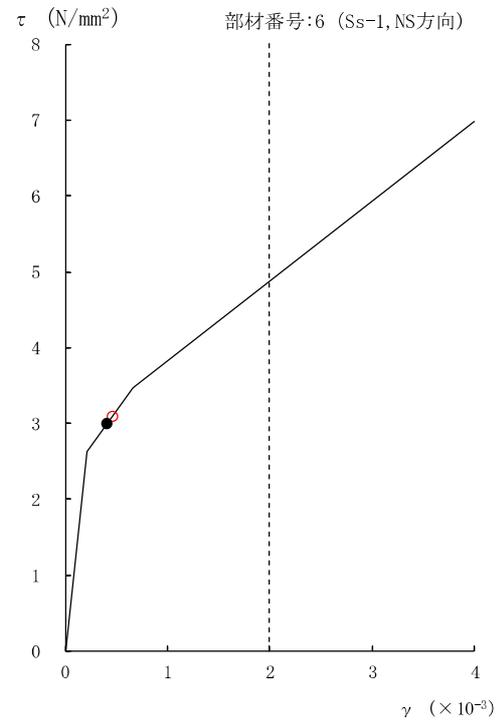
部材番号 4 Ss-1

図 3-10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向) (1/4)

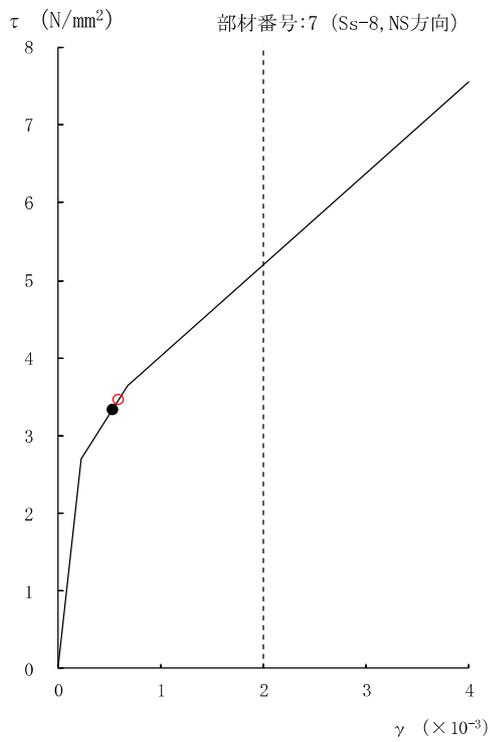
● 補正前応答値 ○ 補正後応答値



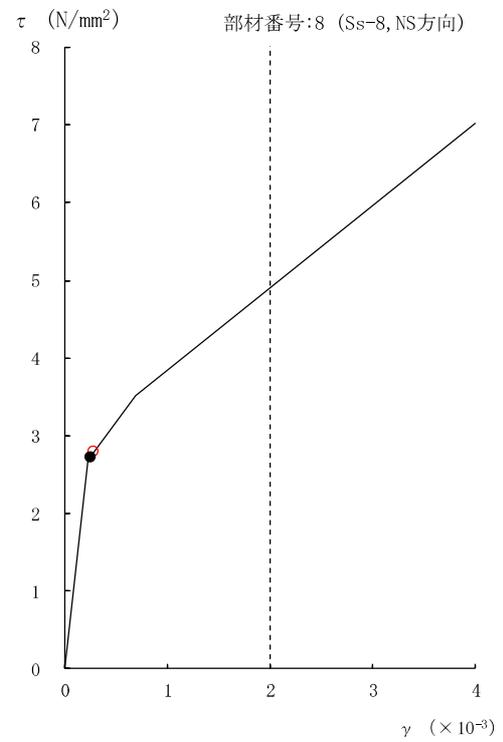
部材番号 5 Ss-1



部材番号 6 Ss-1



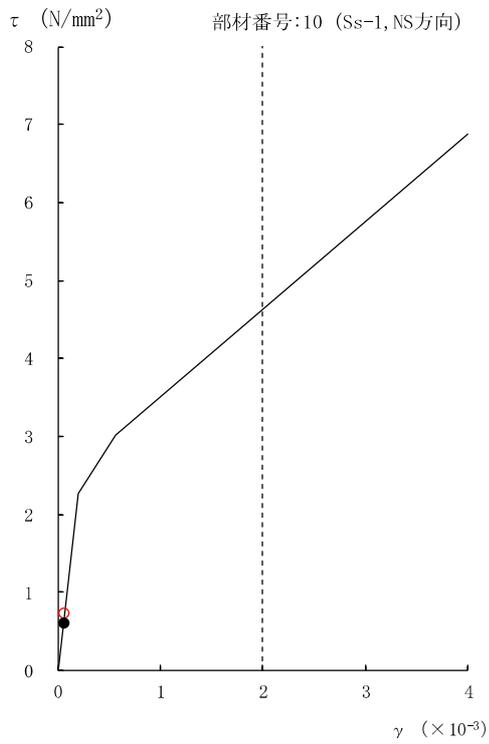
部材番号 7 Ss-8



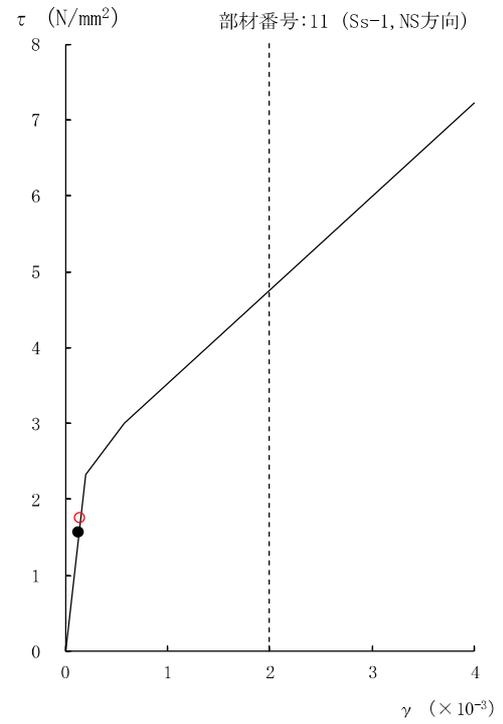
部材番号 8 Ss-8

図 3-10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向) (2/4)

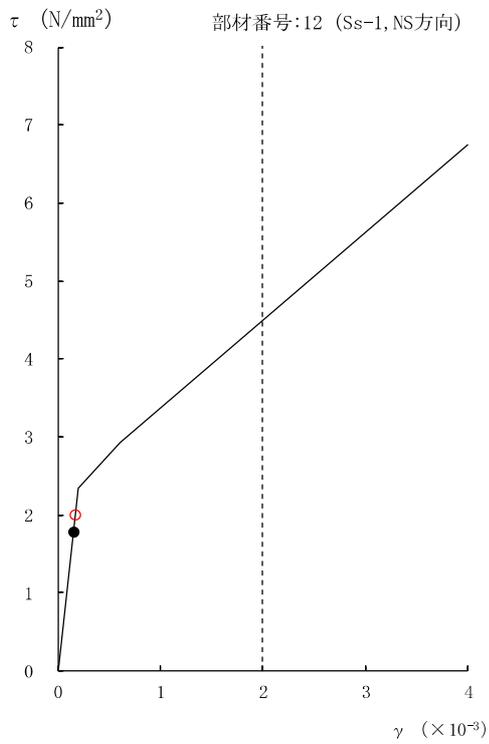
● 補正前応答値 ○ 補正後応答値



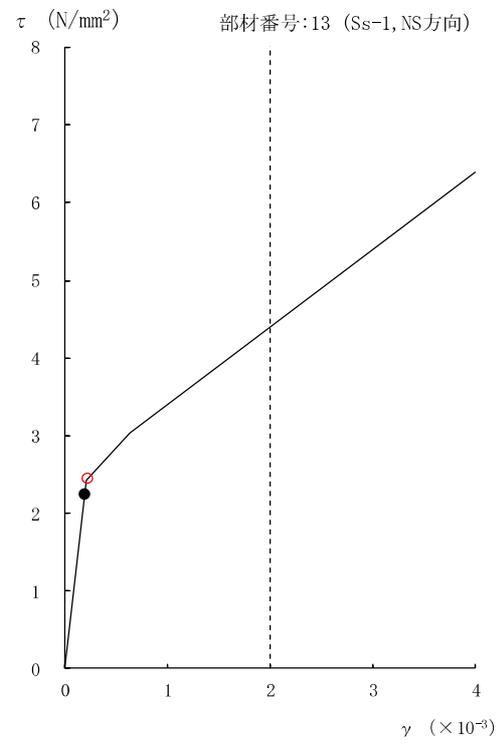
部材番号 10 Ss-1



部材番号 11 Ss-1



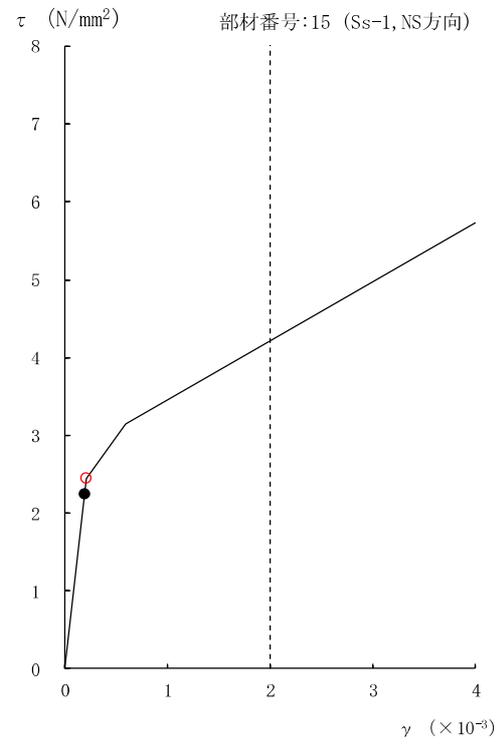
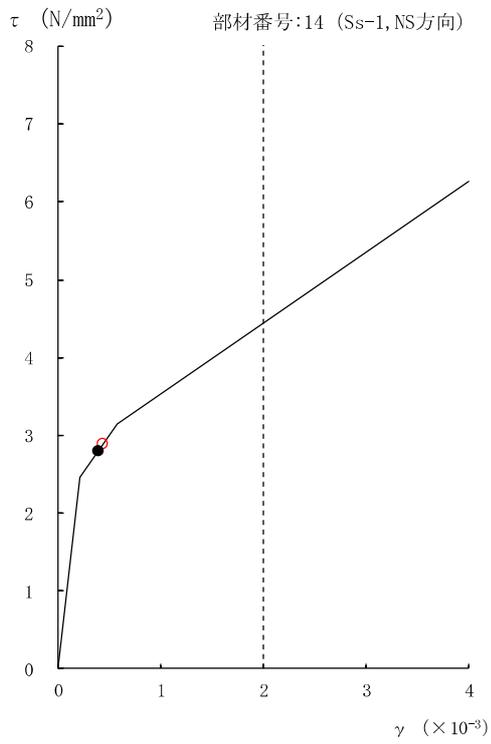
部材番号 12 Ss-1



部材番号 13 Ss-1

図 3-10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向) (3/4)

● 補正前応答値 ○ 補正後応答値

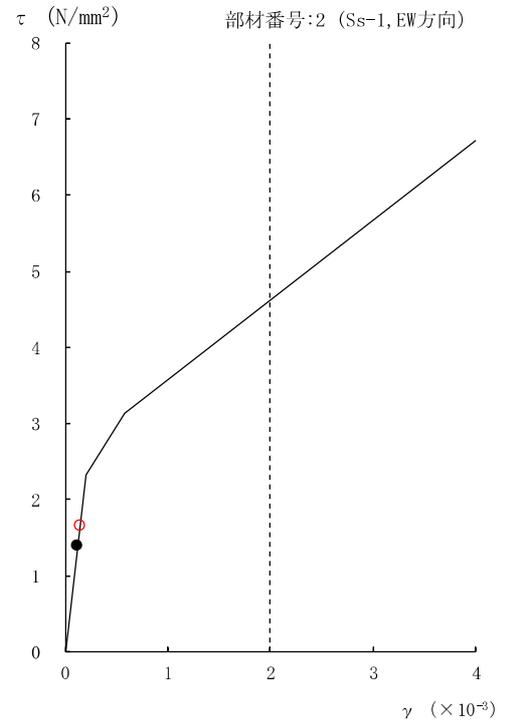
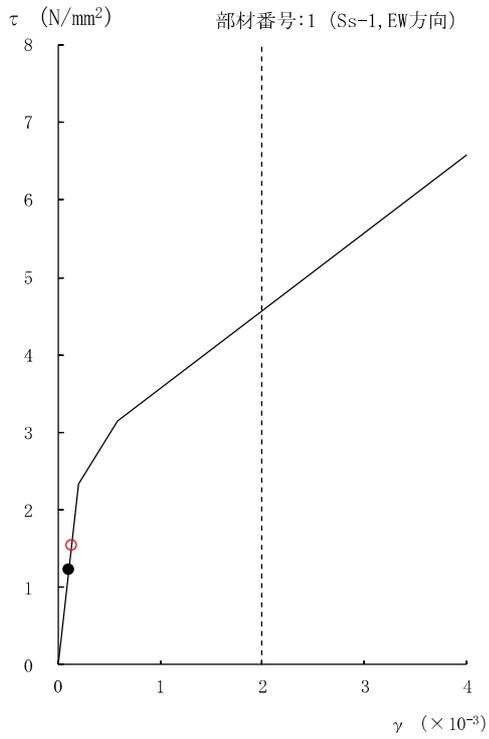


部材番号 14 Ss-1

部材番号 15 Ss-1

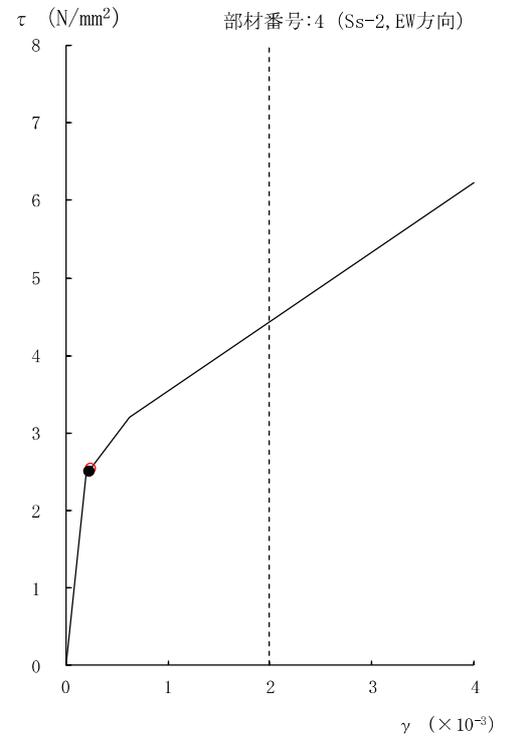
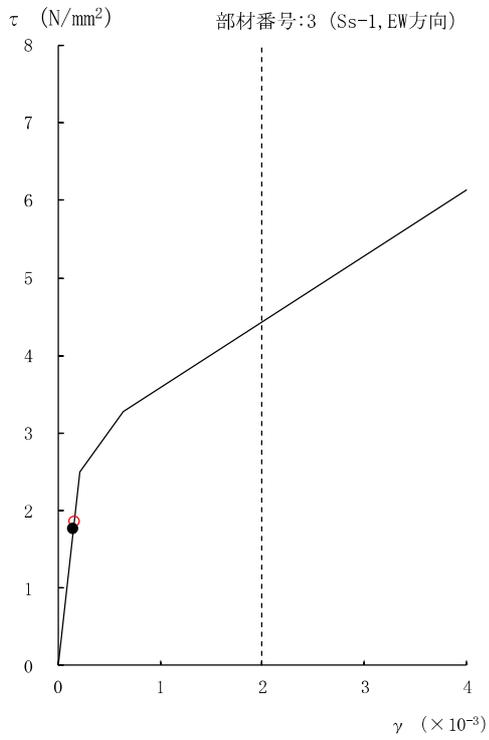
図 3-10 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (NS 方向) (4/4)

● 補正前応答値 ○ 補正後応答値



部材番号 1 Ss-1

部材番号 2 Ss-1

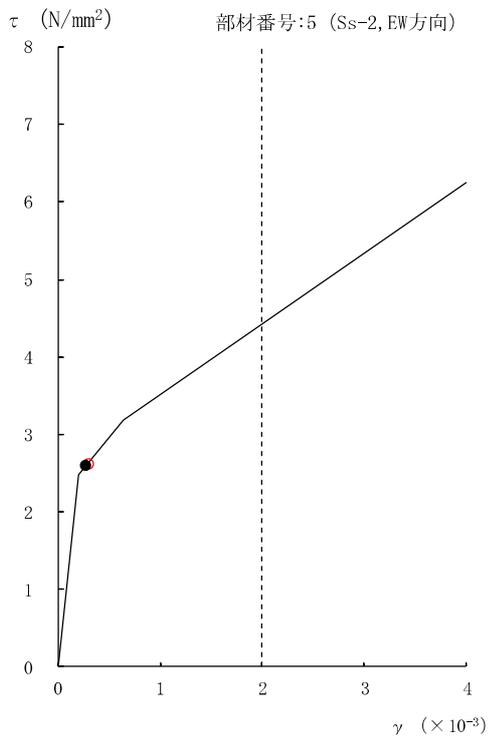


部材番号 3 Ss-1

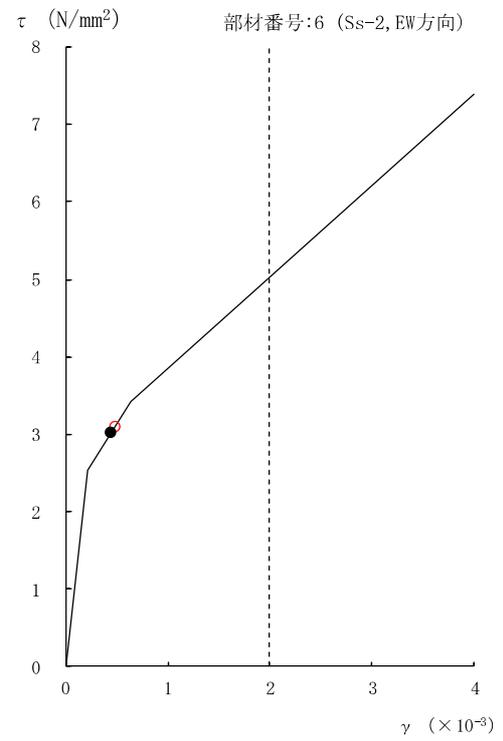
部材番号 4 Ss-2

図 3-11 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向) (1/4)

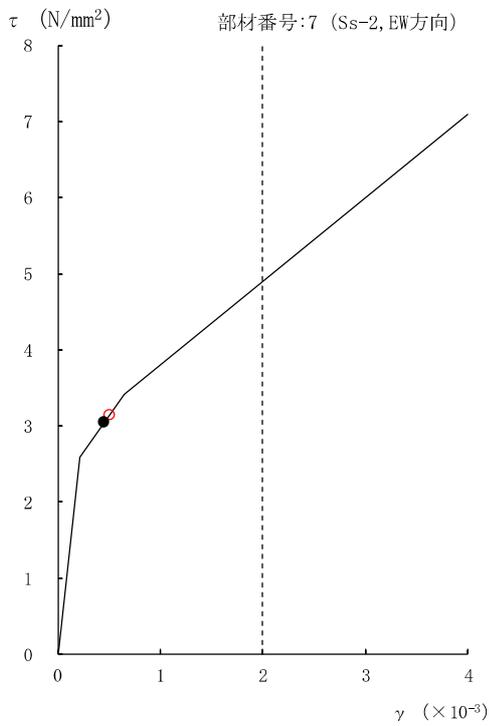
● 補正前応答値 ○ 補正後応答値



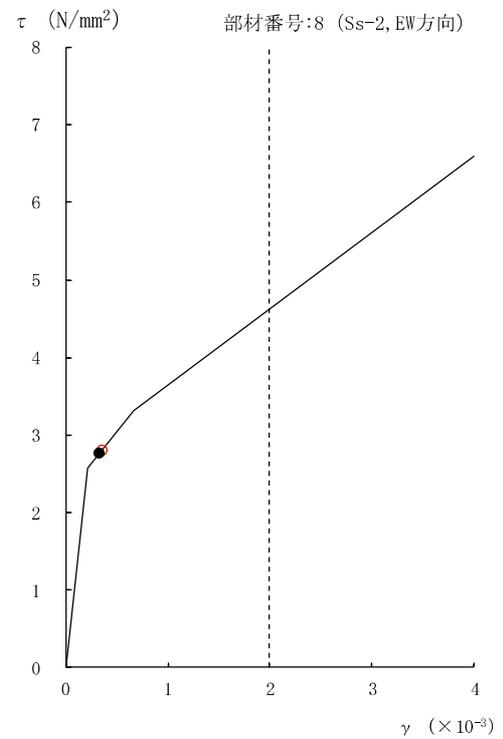
部材番号 5 Ss-2



部材番号 6 Ss-2



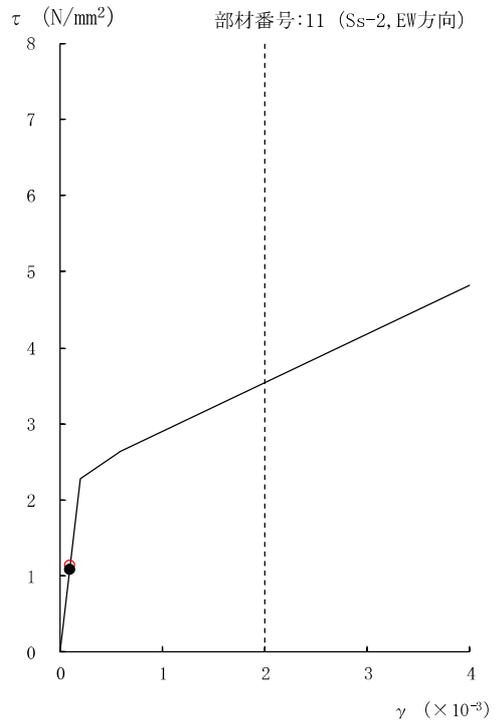
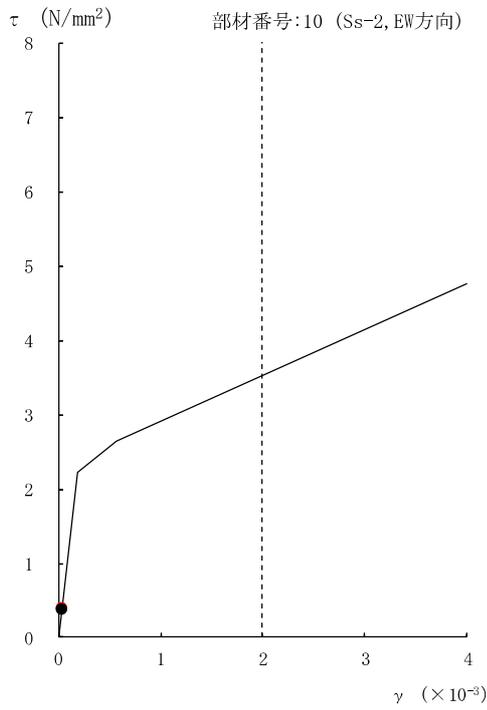
部材番号 7 Ss-2



部材番号 8 Ss-2

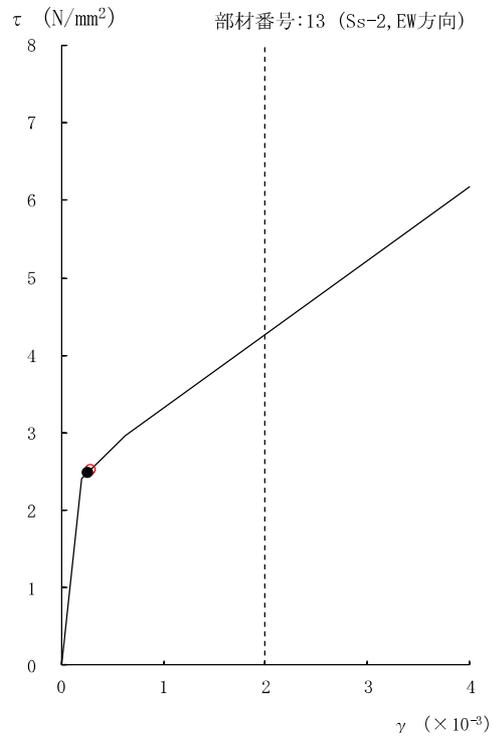
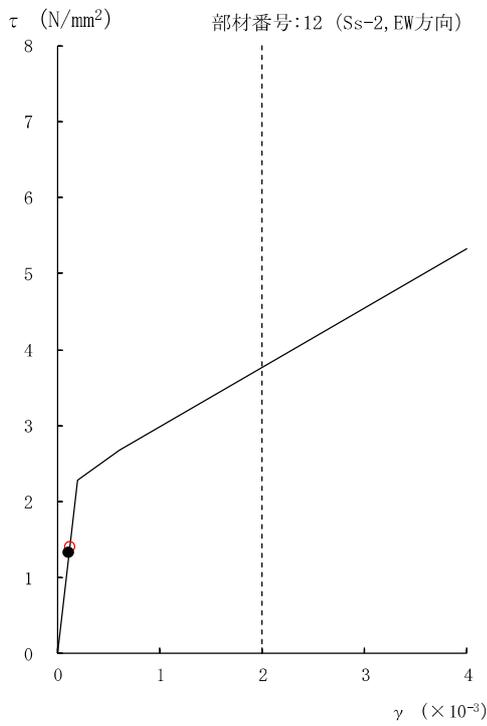
図 3-11 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向) (2/4)

● 補正前応答値 ○ 補正後応答値



部材番号 10 Ss-2

部材番号 11 Ss-2

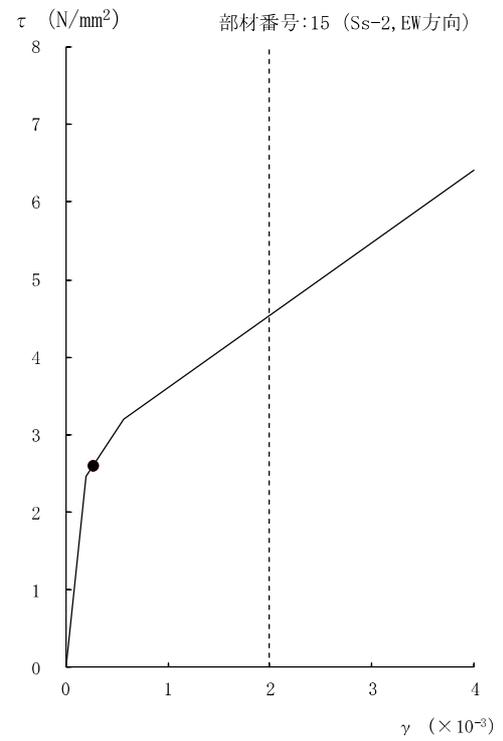
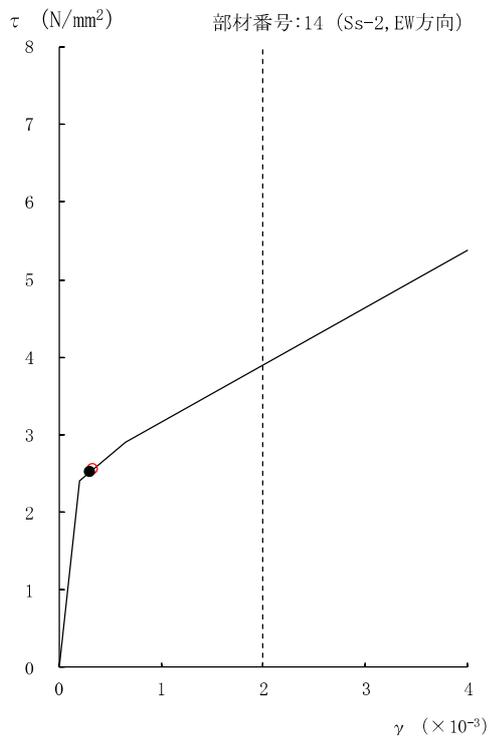


部材番号 12 Ss-2

部材番号 13 Ss-2

図 3-11 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向) (3/4)

● 補正前応答値 ○ 補正後応答値



部材番号 14 Ss-2

部材番号 15 Ss-2

図 3-11 せん断スケルトン曲線上の最大応答値 (EW 方向) (4/4)

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 3-5 における T. M. S. L. -8.2m~31.7m における南東の外壁部（R1 通り、RG 通り）とする。

評価に当たっては、3次元 FEM モデルである建屋模擬モデルにおける 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 及び表 3-15 に比較結果を示す。

建屋上部における NS 方向の周期 0.2 秒付近の応答において、3次元 FEM モデルの応答が質点系モデルより大きくなる傾向を示したが、その他の周期帯においては、おおむ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、妥当であることが確認できた。

なお、NS 方向の周期 0.2 秒付近における、局所的な応答の機器・配管系への影響については、別紙 4「機器・配管系に関する説明資料」において検討を行う。

表 3-14 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（Sd-1）（1/4）

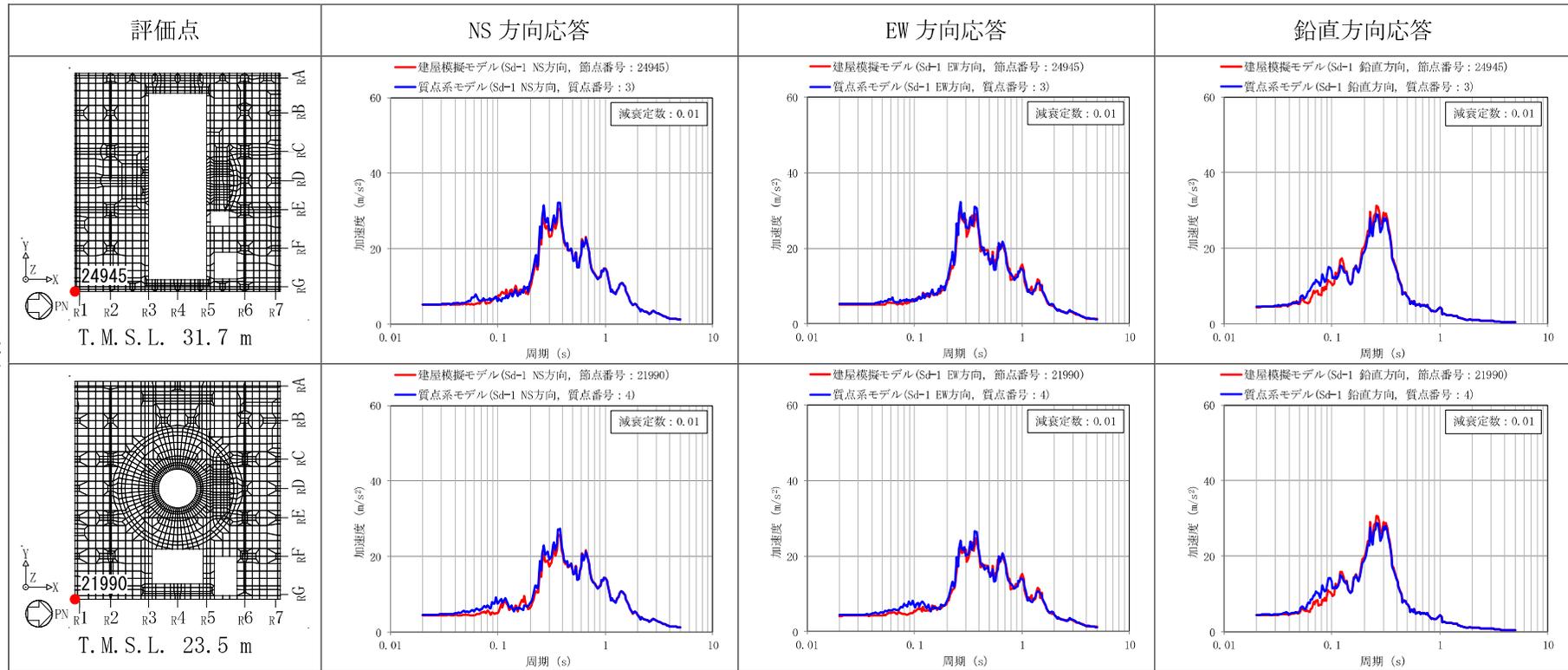


表 3-14 3次元 FEM モデル (建屋模擬モデル) 及び質点系モデルの応答比較 (Sd-1) (2/4)

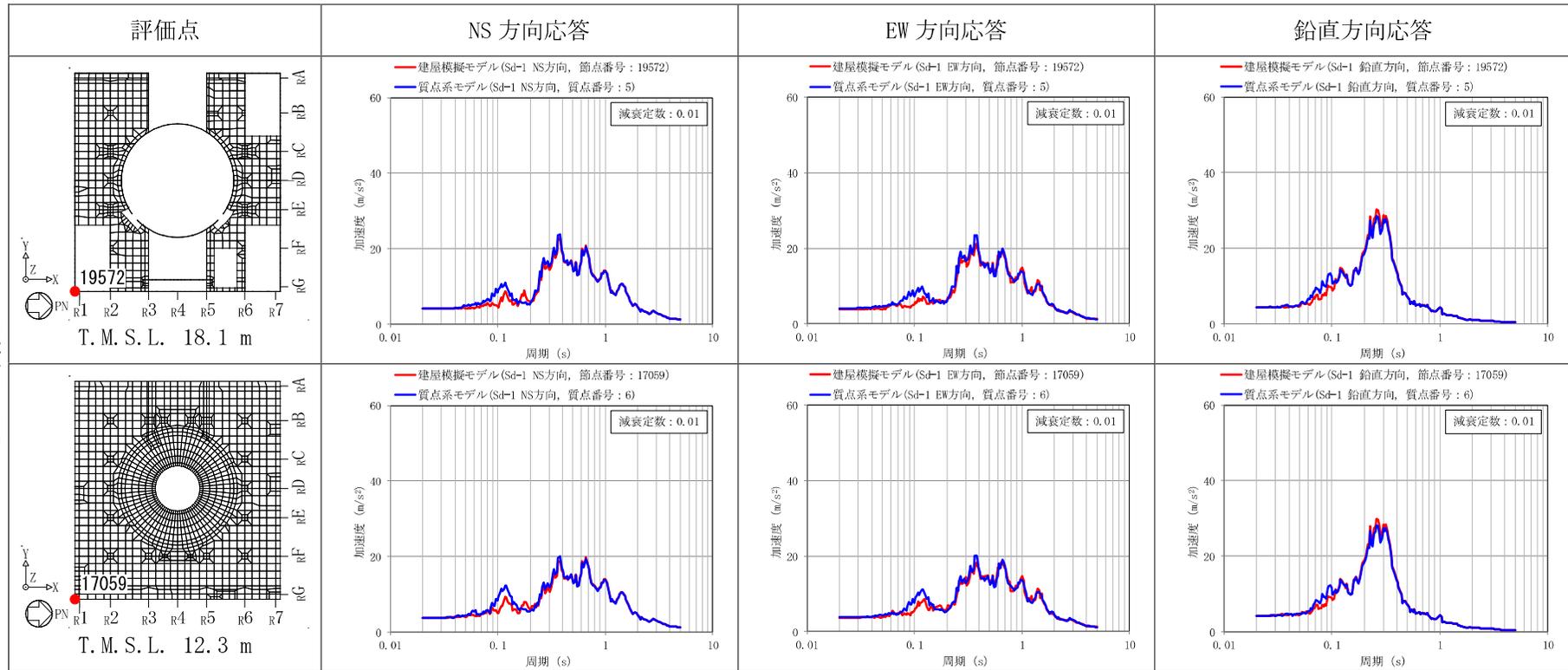


表 3-14 3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）及び質点系モデルの応答比較（Sd-1）（3/4）

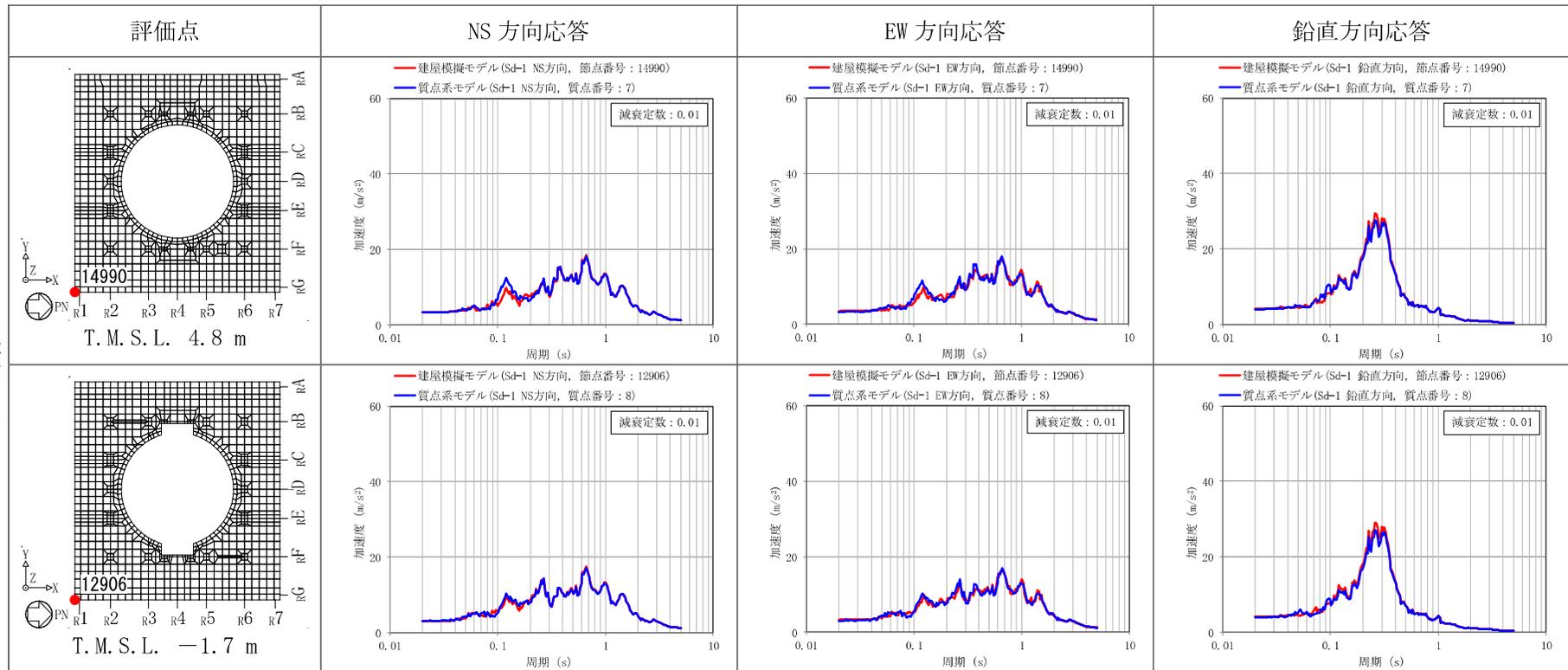


表 3-14 3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）及び質点系モデルの応答比較（Sd-1）（4/4）

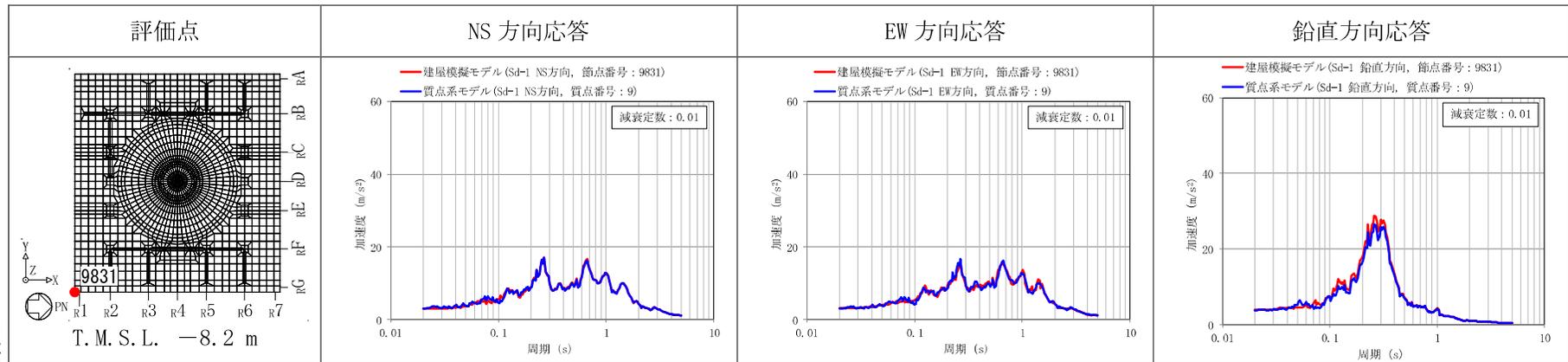


表 3-15 3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）及び質点系モデルの応答比較（Sd-2）（1/4）

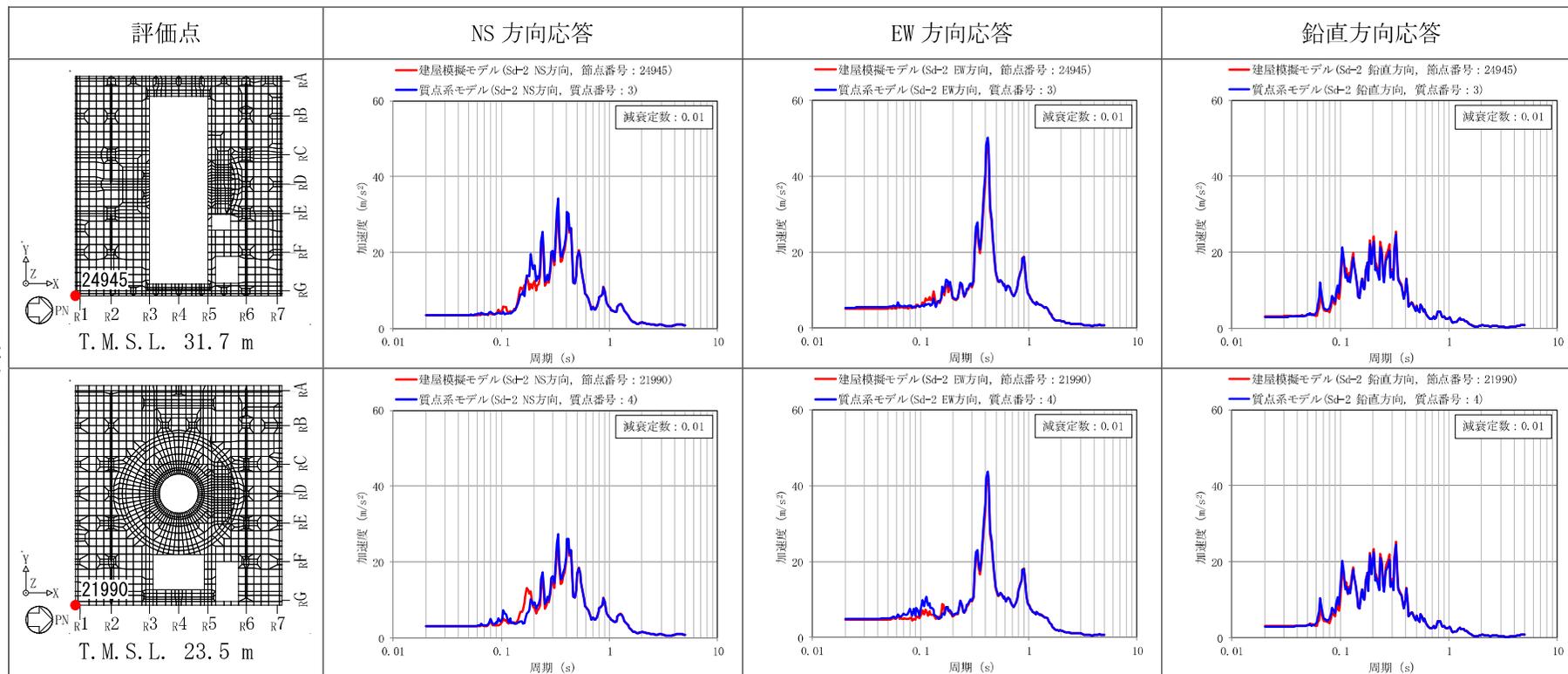


表 3-15 3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）及び質点系モデルの応答比較（Sd-2）（2/4）

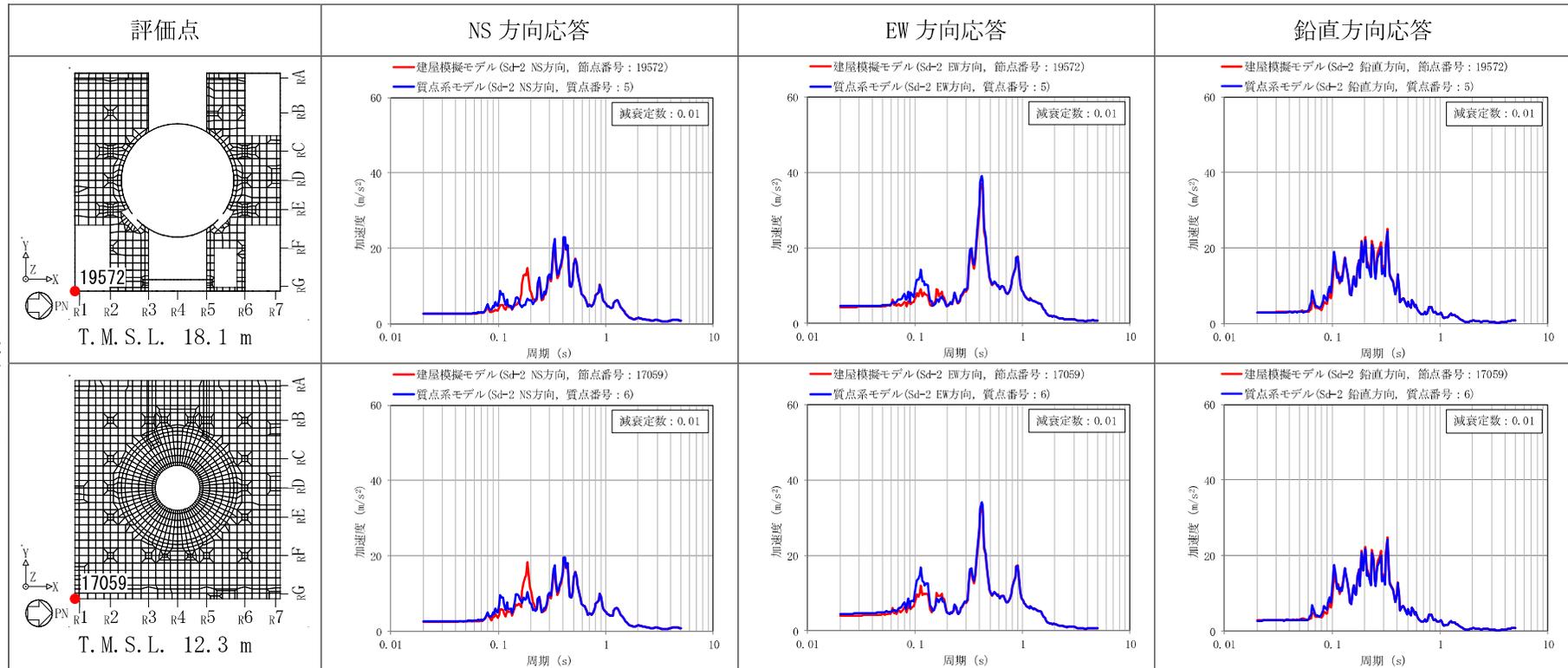


表 3-15 3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）及び質点系モデルの応答比較（Sd-2）（3/4）

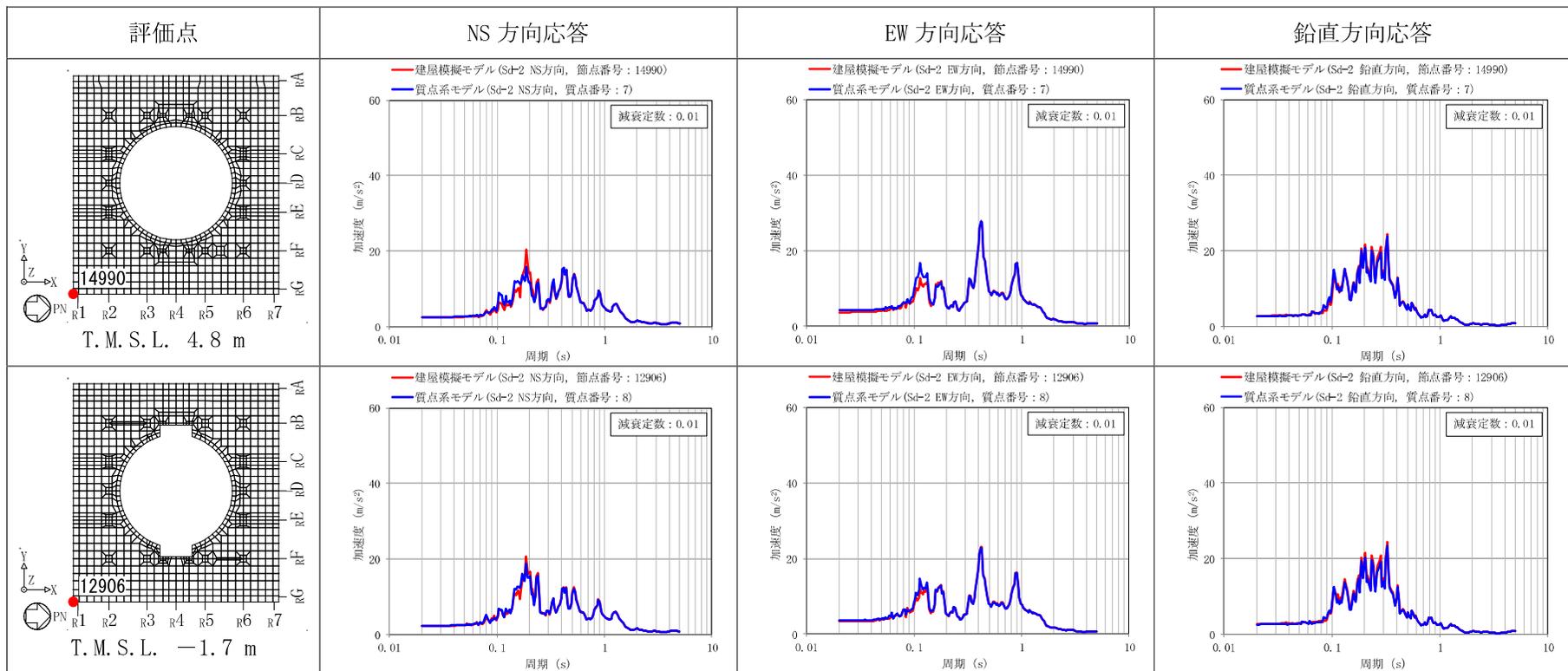
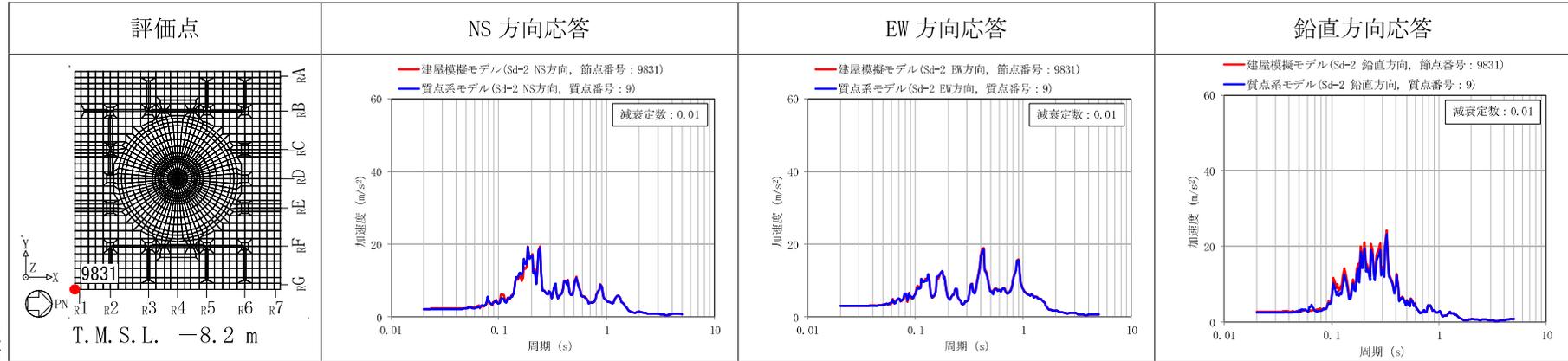


表 3-15 3次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）及び質点系モデルの応答比較（Sd-2）（4/4）



4. まとめ

原子炉建屋について、建屋の 3 次元的な応答性状を確認し、質点系モデルの応答性状を検証するため、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について検討を行った。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について検討を行った。

建屋については、3 次元 FEM モデルにより得られた 3 次元的な応答性状を質点系モデルに考慮して応答補正を行った結果、建屋が有する耐震性への影響は無いことを確認した。

また、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、建屋上部における NS 方向の周期 0.2 秒付近の応答において、3 次元 FEM モデルの応答が質点系モデルより大きくなる傾向を示したため、機器・配管系への影響について、別紙 4「機器・配管系に関する説明資料」において検討を行う。

以上のことから、原子炉建屋の質点系モデルは、3 次元的な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などの検証を踏まえて、保守的な解析モデルとなっている。

別紙5 方向性を考慮しない水平地震動における
模擬地震波の作成方針

目 次

1. はじめに	別紙5-1
2. 模擬地震波の作成方針	別紙5-1

1. はじめに

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、主排気筒の地震応答解析では基準地震動 S_s-1 、原子炉建屋の建屋3次元FEMによる地震応答解析では基準地震動 S_s-1 に係数0.5を乗じて設定した弾性設計用地震動 S_d-1 を代表波として用いている。この際、水平1方向には S_s-1H を用いるが、その直交方向には S_s-1H とは位相の異なる模擬地震波を用いている。本資料では、 S_s-1H とは位相の異なる模擬地震波の作成方針について示す。

2. 模擬地震波の作成方針

S_s-1H について、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において、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に考えにくいことから、基準時地震動を作成した方法と同一の方法で、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせ、目標とする応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を作成した。

S_s-1H 及び S_s-1H とは位相の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形を図2-1及び図2-2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2-3に示す。

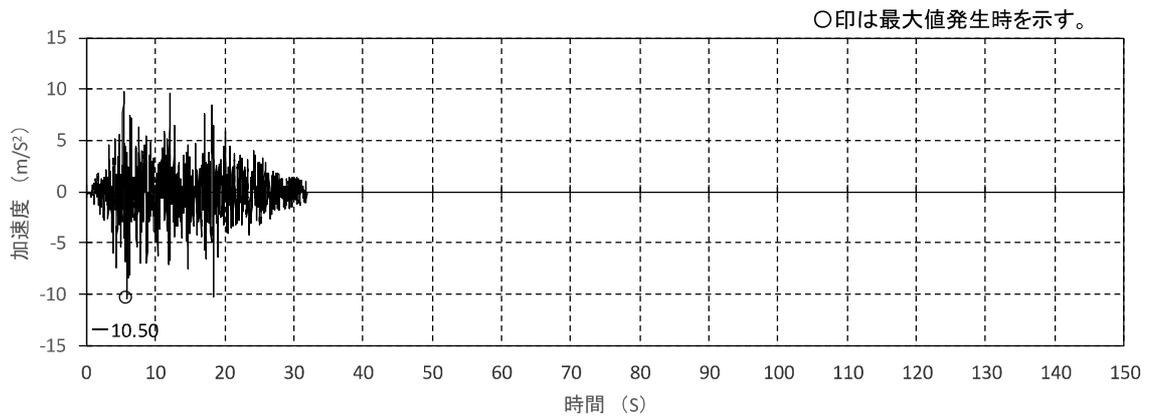


図 2-1 Ss-1H の加速度時刻歴波形

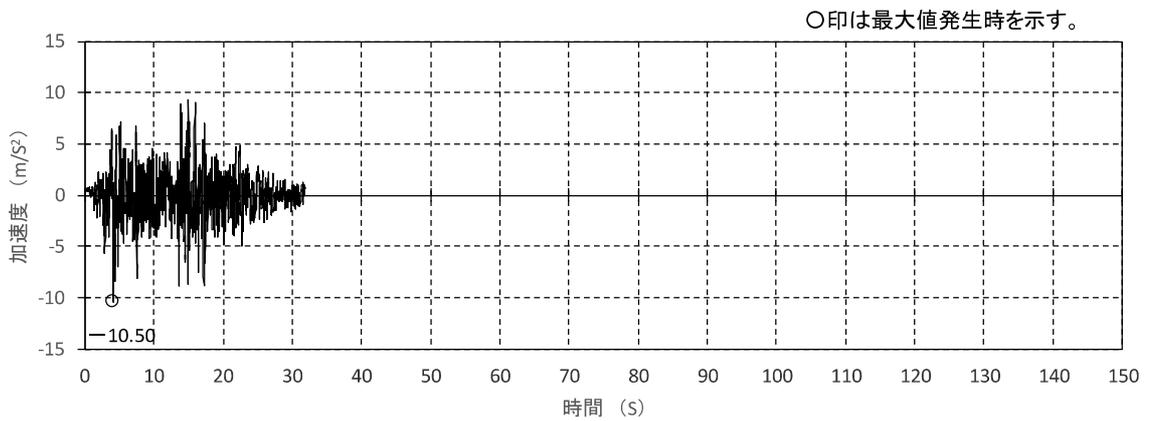


図 2-2 Ss-1H とは位相の異なる模擬地震波の加速度時刻歴波形

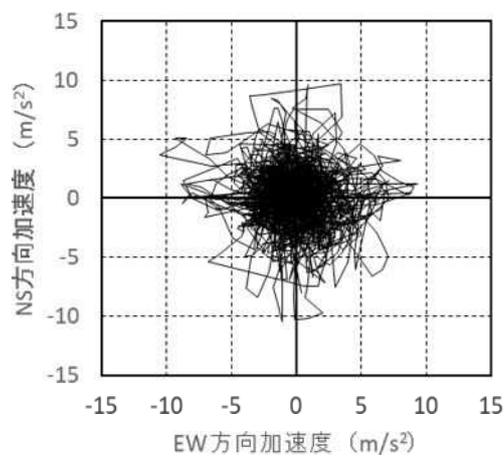


図 2-3 Ss-1H のオービット (位相の異なる地震波を 2 方向入力した場合)