

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6号及び7号炉審査資料	
資料番号	KK67-0100 改22
提出年月日	平成28年9月21日

柏崎刈羽原子力発電所 6号及び7号炉

地震による損傷の防止について
(補足説明資料)

平成28年9月

東京電力ホールディングス株式会社

目次

I. 耐震評価対象の網羅性，既工認との手法の相違点の整理について

I-1 耐震評価対象の網羅性について

1. 申請施設の網羅性，代表性について

I-2 既工認との手法の相違点の整理について

1. 建屋及び原子炉の地震応答解析モデルの詳細化について

別紙1 原子炉建屋の地震応答解析におけるコンクリート実剛性の採用について

別紙2 地震応答解析モデルにおける補助壁の評価方法について

別紙3 建屋側面地盤回転ばねを考慮することの妥当性について

別紙4 原子炉本体基礎の復元力特性について

2. 既工認実績のない規格・手法の適用性について

2-1 原子炉格納容器コンクリート部の応力解析における弾塑性解析の採用について

2-2 土木構造物の解析手法および解析モデルの精緻化について

2-3 使用済燃料貯蔵ラックの減衰定数について

3. その他手法の相違点等について

3-1 原子炉建屋屋根トラス及び排気筒の評価モデルについて

3-2 機器・配管系の減衰定数について

4. 機器・配管系の設備の既工認からの構造変更について

II. 下位クラス施設の波及的影響の検討について

III. 水平2方向及び鉛直方向の適切な組合せに関する検討について

下線部：今回ご提出資料

Ⅲ. 水平 2 方向及び鉛直方向の適切な組み合わせに関する検討について

1. はじめに

本資料は、設置変更許可審査段階におけるプラントの耐震成立性を目的として、耐震重要施設のうち特に重要な施設（耐震強化工事が困難な施設等）について、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み合わ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したものである。

2. 建物・構築物

2.1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価に用いる地震動

2.1.1 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」と「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、1 号機～4 号機原子炉建屋が位置する荒浜側と、5 号機～7 号機原子炉建屋が位置する大湊側とでそれぞれ策定している。「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 2.1.1-1 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 2.1.1-2 に示す。

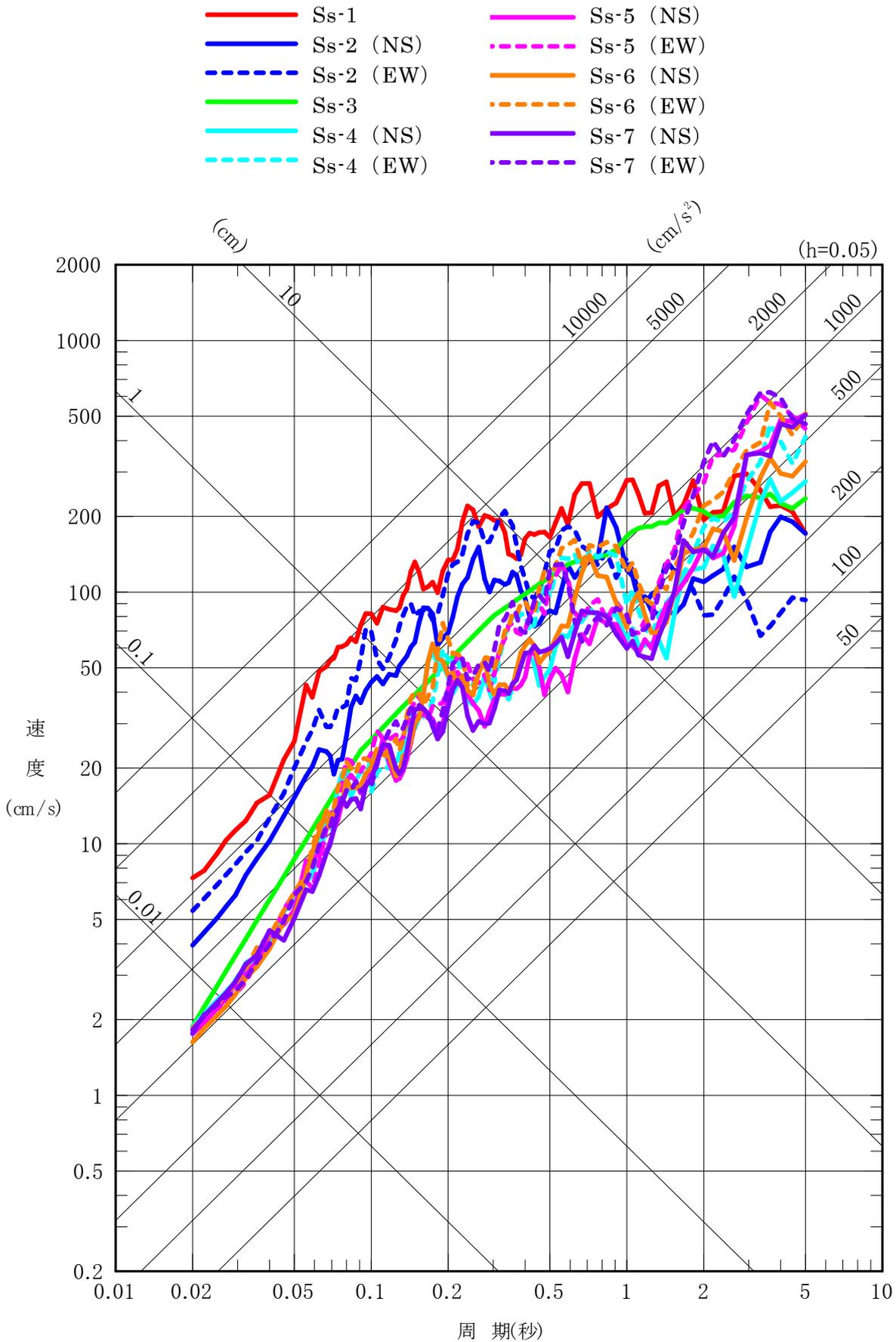


図 2.1.1-1 基準地震動の応答スペクトル (水平方向) (荒浜側) (1/2)

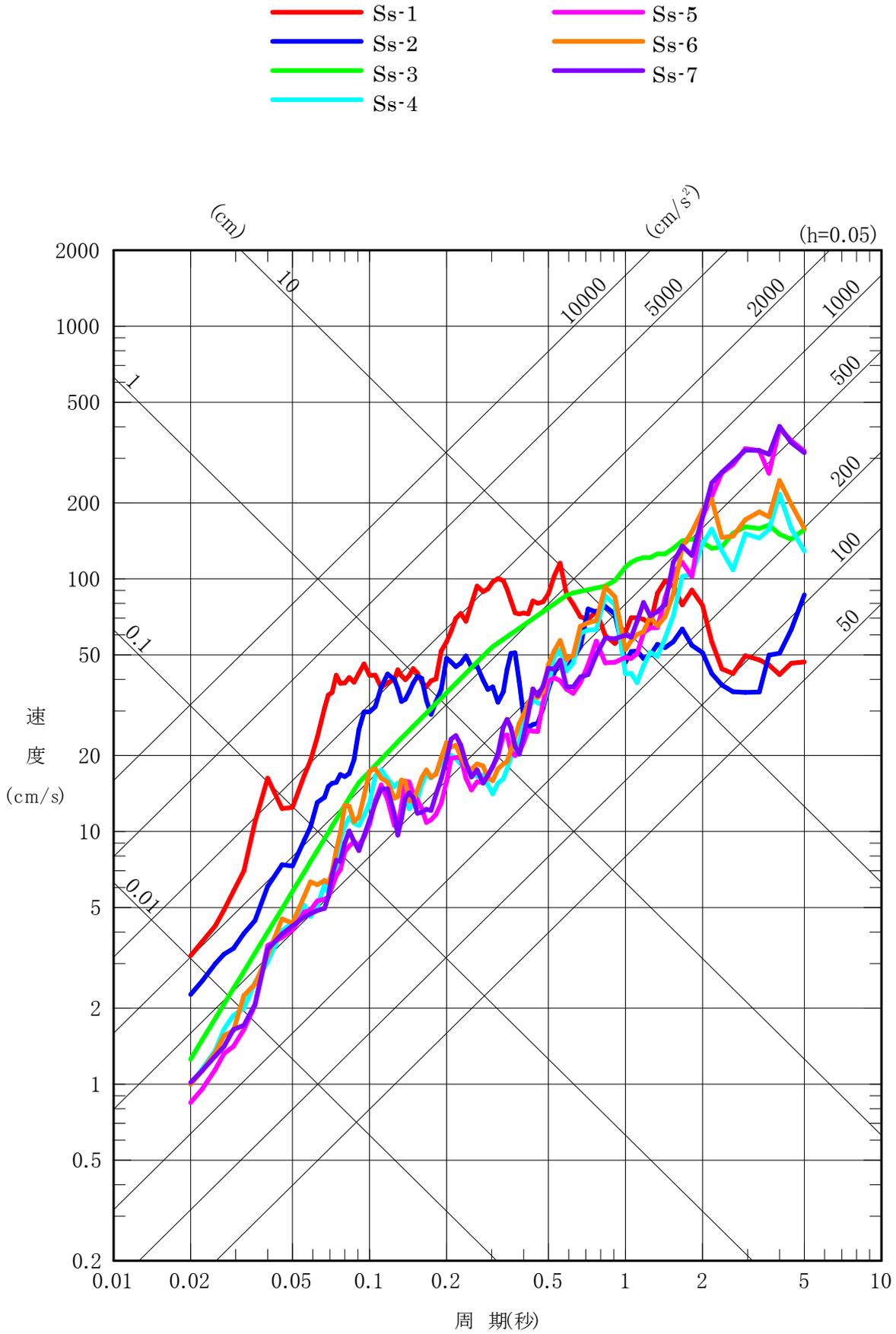


図 2.1.1-2 基準地震動の応答スペクトル (鉛直方向) (荒浜側) (1/2)

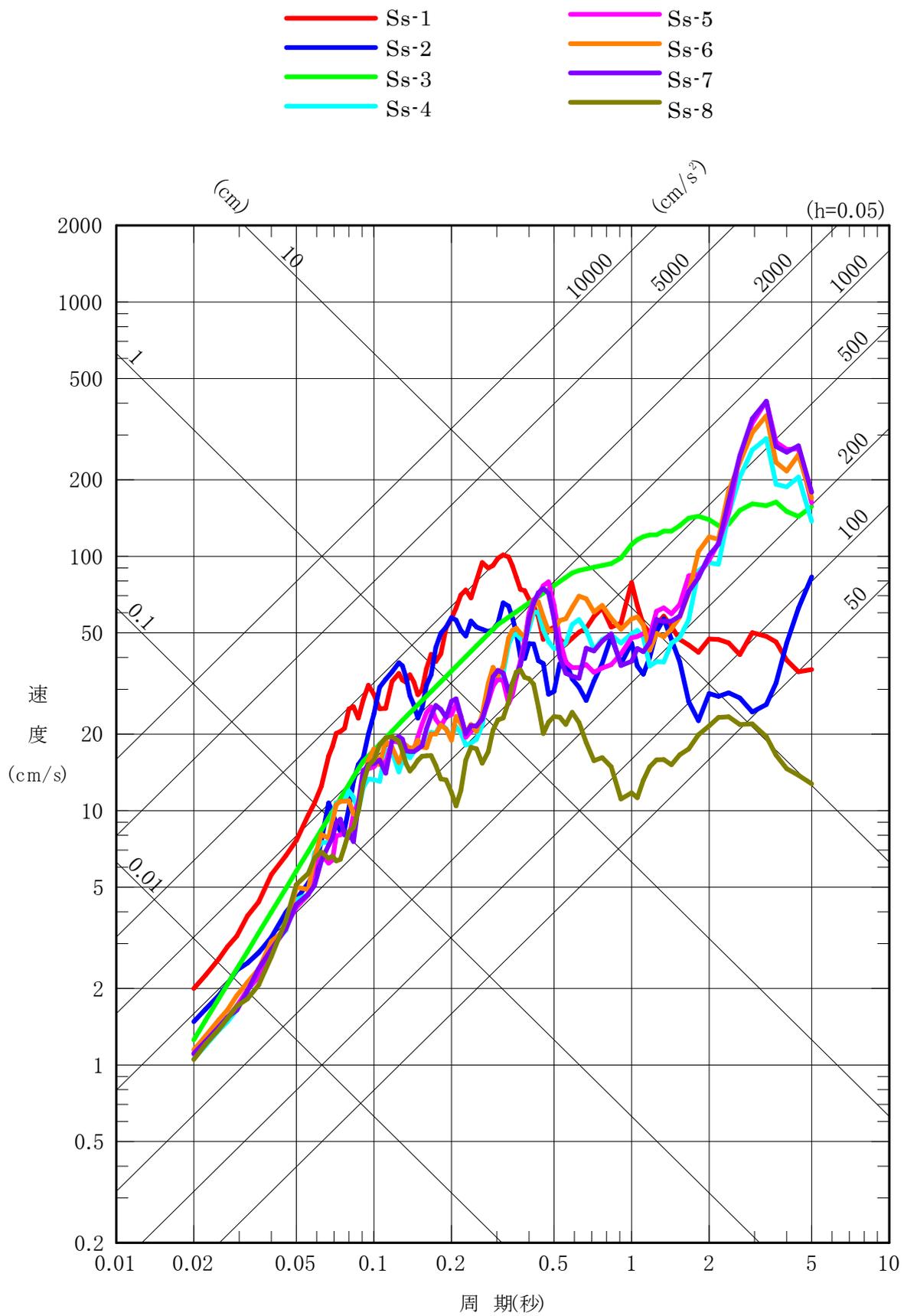


図 2.1.1-2 基準地震動の応答スペクトル (鉛直方向) (大湊側) (2/2)

2.1.2 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

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。

2.2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力に対する評価方針

2.2.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

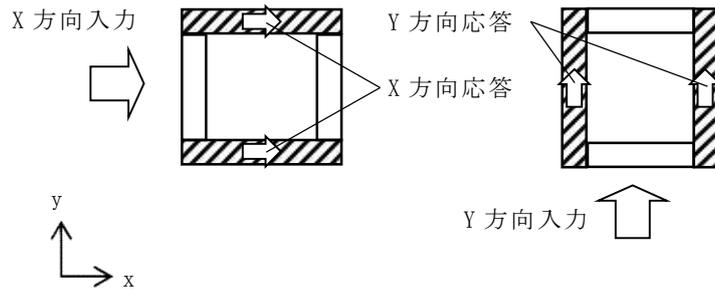
従来の設計手法では、建物・構築物の地震応答解析において、水平方向及び鉛直方向の地震動を質点系モデルに方向ごとに入力し、解析を行っている。また、原子炉格納施設等における建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する 2 方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。地震応答解析は、水平 2 方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。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。

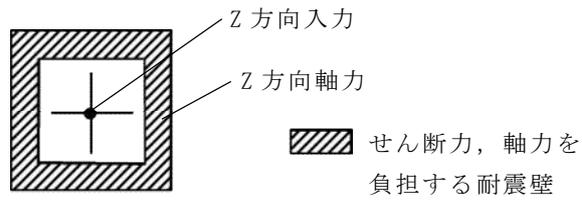
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に生じる軸力に対して、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

入力方向ごとの耐震要素について、図 2.2.1-1 及び図 2.2.1-2 に示す。

従来設計手法における建物・構築物の応力解析による評価は、上記の考え方を踏まえた地震応答解析により算出された応答を、水平 1 方向及び鉛直方向に組み合わせて行っている。

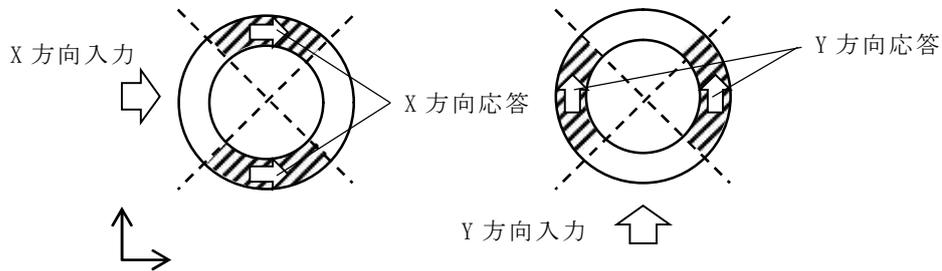


(a) 水平方向

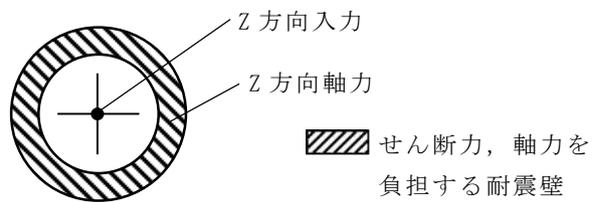


(b) 鉛直方向

図 2.2.1-1 入力方向ごとの耐震要素 (矩形)



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

図 2.2.1-2 入力方向ごとの耐震要素 (円筒形)

2.2.2 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

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

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

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

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

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

影響評価のフローを図2.2.2-1に示す。

(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・構築物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(2) 応答特性の整理

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

(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の組合せに対し、荷重の組合せによる応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

従来設計手法におけ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、3次元的な応答特性を検討する。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、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

(5) 3次元解析モデルによる精査

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次元解析モデルを用いた精査を実施し、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

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

局所応答に対する3次元解析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（6/7号機）及び原子炉格納容器（6/7号機）の3次元解析モデルを用いた地震応答解析又は応力解析による精査を代表させて行う。](#)

(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は、従来設計手法の水平1方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果等を用い、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 REGULATORY GUIDE 1.92（注）の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考として、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、各部位の耐震性への影響を評価する。

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

(7) 機器・配管系への影響検討

評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合、[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。

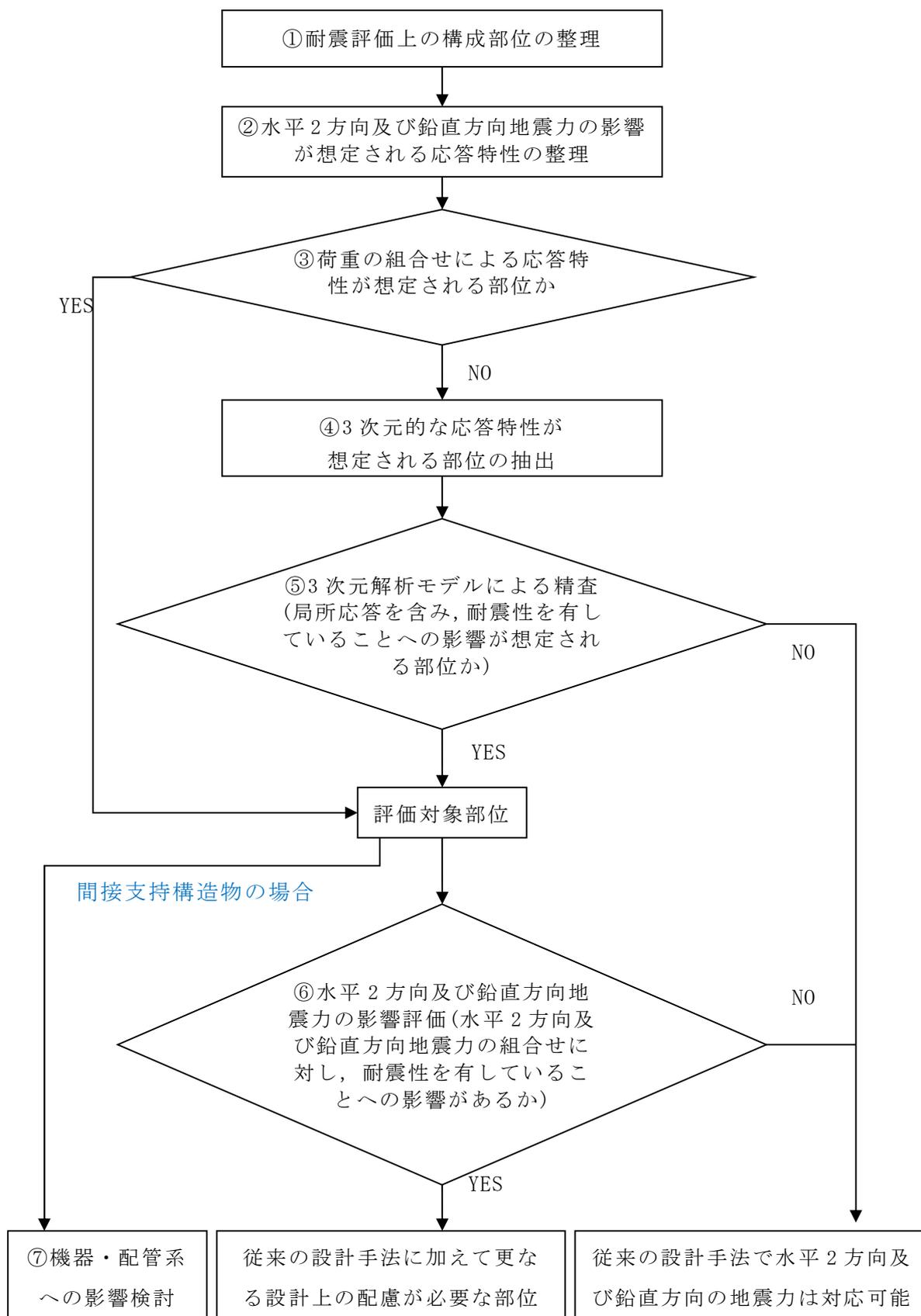


図 2.2.2-1 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響検討のフロー

2.3 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価部位の抽出

(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、柏崎刈羽原子力発電所 6 号機及び 7 号機の各建屋において、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 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理 (6号機) (1/3)

耐震性評価部位		原子炉建屋			タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨				上部鉄骨
		RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造			S造, SRC 造, RC造
柱	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	隅部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
梁	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	○	—	
壁	一般部	○	○	○	○	—	—	○	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—	
床 屋根	一般部	○	○	○	—※1	○	—※1	—	
基礎	矩形	○		—	—	○	—	○	
	杭基礎	—		—	—	—	—	○	

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

※1：耐震上考慮する構造スラブはなし

表 2.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（7号機）（2/3）

耐震性評価部位		原子炉建屋			タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎	
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨				上部鉄骨
		RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造			S造, SRC 造, RC造
柱	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	隅部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
梁	一般部	○	—	—	○	○	○	—	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	○	—	
壁	一般部	○	○	○	○	—	—	○	
	地下部	○	—	—	—	○	—	—	
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	○	—	
床 屋根	一般部	○	○	○	—※1	○	—※1	—	
基礎	矩形	○		—	—	○	—	○	
	杭基礎	—		—	—	—	—	○	

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

※1：耐震上考慮する構造スラブはなし

表 2.3-1 建物・構築物における耐震評価上の構成部材の整理（6号機及び7号機）（3/3）

耐震性評価部位		コントロール 建屋	廃棄物処理建屋		サービス 建屋	3号機原子炉 建屋内緊急時 対策所	荒浜側 避雷鉄塔
			RC造	RC造			
柱	一般部	○	○	—	○	○	—
	隅部	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	○	—	—	○	—
梁	一般部	○	○	—	○	○	○
	地下部	○	○	—	—	○	—
	鉄骨トラス	—	—	—	○	—	—
壁	一般部	○	○	○	○	○	—
	地下部	○	○	—	—	○	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	○	—	○
床 屋根	一般部	○	○	○	○	○	—
基礎	矩形	○	○	—	—	○	○
	杭基礎	—	—	—	—	—	○

凡例 ○：対象の構造部材有り，—：対象の部材なし

(2) 応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び3次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を表2.3-2及び表2.3-3に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平2方向入力のかえ方を表2.3-4に示す。

表 2.3-2 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

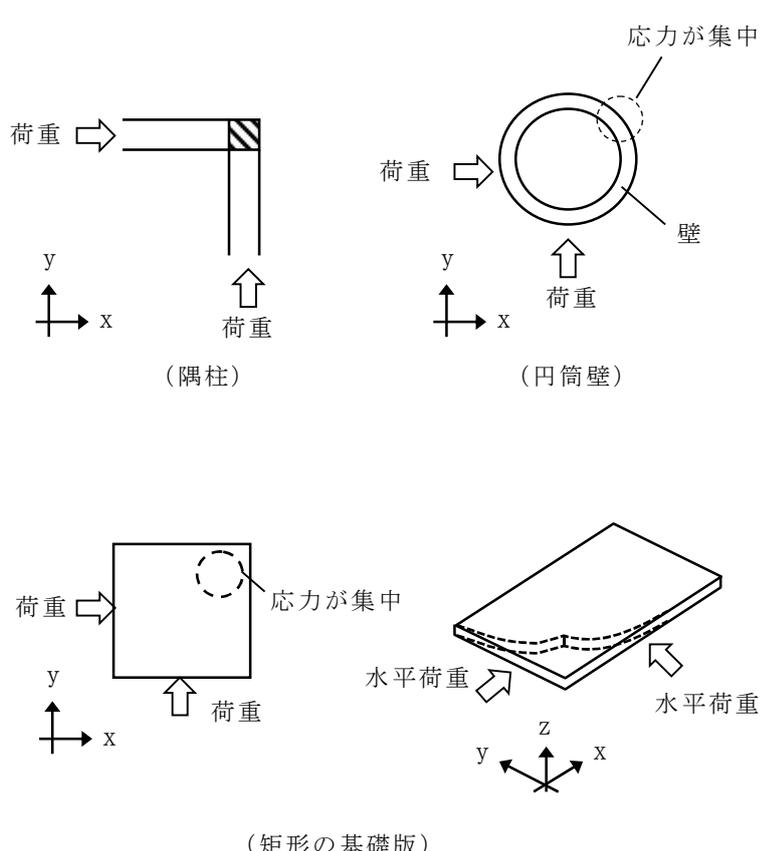
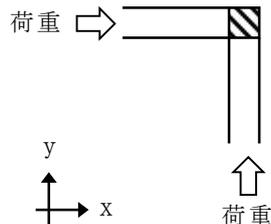
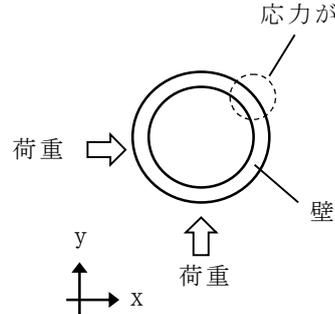
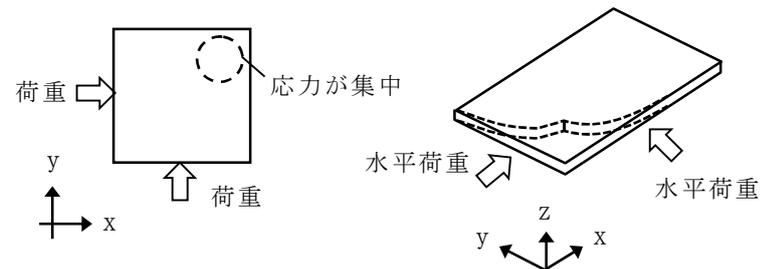
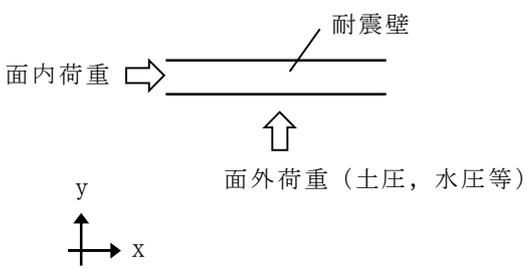
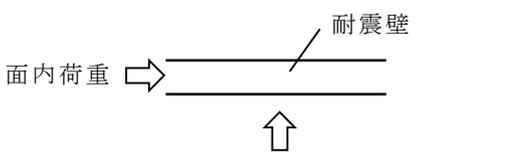
荷重の組合せによる 応答特性		影響想定部位
①-1	直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中	<p>応力の集中する隅柱等</p> <p>(例)</p>  <p>荷重 →  (隅柱)</p> <p>荷重 →  (円筒壁)</p> <p>荷重 →  (矩形の基礎版)</p>
①-2	面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用	<p>土圧を負担する地下耐震壁等 水圧を負担するプール壁等</p> <p>(例)</p>  <p>面内荷重 →  耐震壁</p> <p>↑ 面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

表 2.3-3 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)

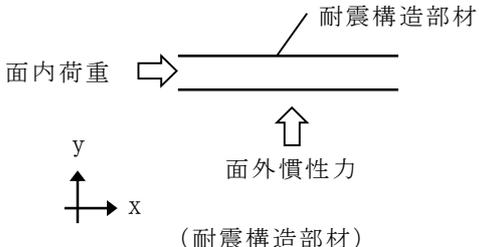
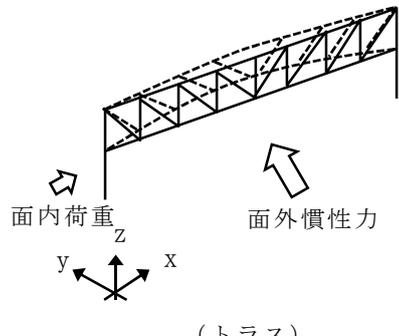
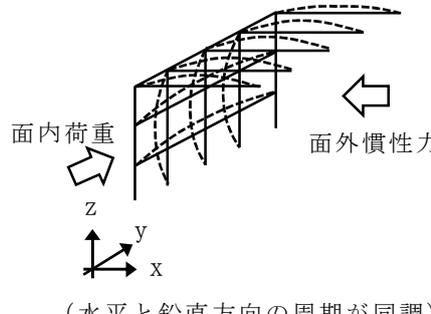
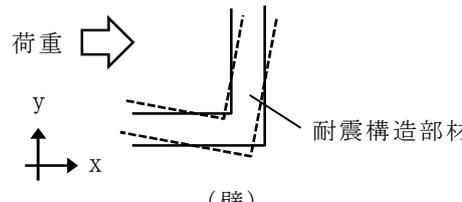
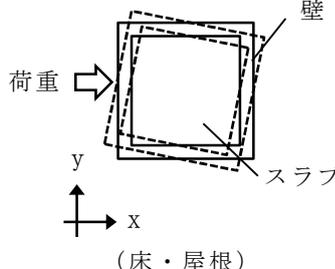
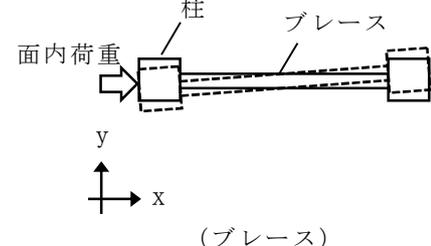
3 次元的な応答特性	影響想定部位
<p>②-1</p> <p>面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい</p>	<p>大スパン又は吹き抜け部に設置された部位 (例)</p>  <p>面内荷重 → 耐震構造部材</p> <p>↑ 面外慣性力 (耐震構造部材)</p> <p>y x</p>  <p>面内荷重 → 面外慣性力</p> <p>z y x</p> <p>(トラス)</p>  <p>面内荷重 → 面外慣性力</p> <p>z y x</p> <p>(水平と鉛直方向の周期が同調)</p>
<p>②-2</p> <p>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物など含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重 → 耐震構造部材</p> <p>y x</p> <p>(壁)</p>  <p>荷重 → 壁 スラブ</p> <p>y x</p> <p>(床・屋根)</p>  <p>面内荷重 → 柱 ブレース</p> <p>y x</p> <p>(ブレース)</p>

表 2.3-4 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 (1/2)

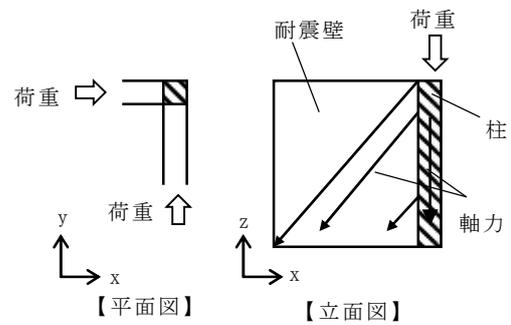
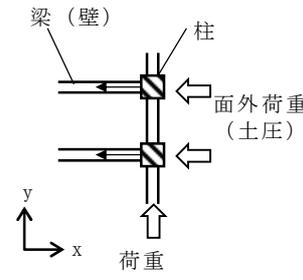
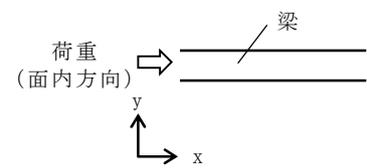
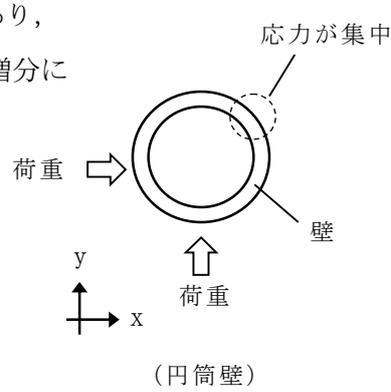
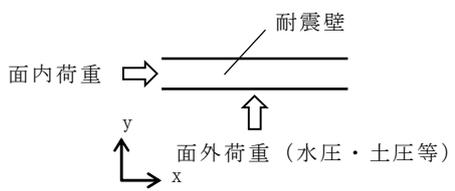
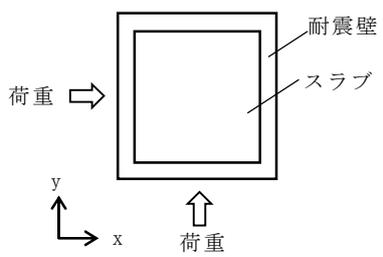
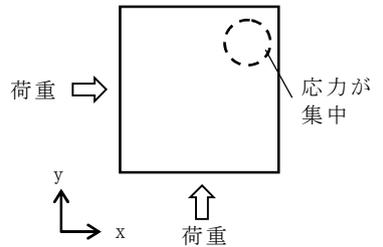
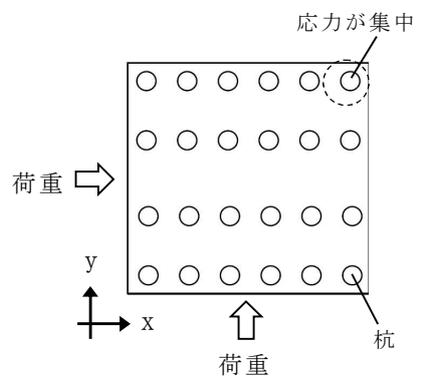
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
柱	一般部	耐震壁付構造の場合、水平入力による影響は小さい。
	隅部 (端部含む)	<p>独立した隅柱は、直交する地震荷重が同時に作用する。ただし、耐震壁付きの隅柱は、軸力が耐震壁に分散されることか影響は小さい。</p>  <p>【平面図】 【立面図】</p>
	地下部	<p>外周部耐震壁付のため、水平入力による影響は小さい。土圧が作用する方向にある梁および壁が応力を負担することで、水平面外入力による影響は小さい。</p> 
梁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担し、床による面外地震荷重負担による影響は小さい。</p> 
	鉄骨トラス	<p>1 方向のみ地震荷重を負担するため水平入力による影響は小さい。床による拘束があるため、面外荷重の影響は小さい。</p>
壁	一般部	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、直交する方向 (面外) 及びねじれによる荷重増分については軽微と考えられ影響は小さい。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>

表 2.3-4 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	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> 
	鉄骨 ブレース	<p>1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。</p>
床 屋根	一般部	<p>スラブは四辺が壁及び梁で拘束されており、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。</p> 
基礎	矩形	<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> 
	杭基礎	<p>杭は直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。</p> 

(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 2.3-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 2.3-2 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 2.3-5 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、タービン建屋（6/7 号機）・廃棄物処理建屋の上部鉄骨及び主排気筒（6/7 号機）・荒浜側避雷鉄塔の隅柱、原子炉格納容器（6/7 号機）の一般部の壁、各建屋及び主排気筒（6/7 号機）・格納容器圧力逃がし装置基礎（6/7 号機）の矩形基礎、格納容器逃がし装置基礎（6/7 号機）及び荒浜側避雷鉄塔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、各建屋の地下外壁、使用済燃料貯蔵プール（6/7 号機）・復水貯蔵槽の一般部の壁を抽出した。

a. 柱

柱は、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、隅部（端部柱を含む）が考えられる。

建屋の隅部は、X 方向及び Y 方向ともに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集中による影響は小さいと考えられるため、該当しない。

タービン建屋（6/7 号機）・廃棄物処理建屋の上部鉄骨の隅部及び、主排気筒（6/7 号機）・荒浜側避雷鉄塔の隅部が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、耐震壁に囲まれており、面内の荷重を負担しないことから、影響は小さいと考えられるため、該当しない。

b. 梁

梁は、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」する部位は存在しない。

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梁が考えられるが、床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」する部位は存在しない。円筒壁は応力の集中が考えられるため、原子炉格納容器（6/7 号機）の一般部の壁を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、水圧や土圧が作用するプール部や地下部が考えられ、各建屋の地下外壁、使用済燃料貯蔵プール（6/7 号機）・復水貯蔵槽（6/7 号機）の一般部の壁を、①-2 に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

床及び屋根については、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。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」する部位も存在しない。

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、矩形の基礎及び杭基礎が考えられる。

矩形の基礎を有する各建屋及び主排気筒（6/7 号機）・格納容器圧力逃がし装置基礎（6/7 号機）については、隅部への応力集中が考えられるため、①-1 に該当するものとして抽出した。また杭基礎を有する格納容器圧力逃がし装置基礎（6/7 号機）及び荒浜側避雷鉄塔の基礎についても、①-1 に該当するものとして抽出した。なお、原子炉格納容器の基礎については、原子炉建屋の基礎として抽出することとした。

荒浜側避雷鉄塔の矩形の基礎（フーチング及び基礎梁）については、地震力の負担について方向性を持っているため、①-1 に該当する部位として抽出しない。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 2.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (6 号機) (1/3)
(荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	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	該当なし	①-1	①-1	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
梁部	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—
壁	一般部	該当なし	①-1	①-2	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
	地下部	①-2	—	—	—	①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	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	—	—	—
基礎	矩形	①-1		—	—	①-1	—	①-1	①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	①-1

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「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 2.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (7 号機) (2/3)
(荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	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	該当なし	①-1	①-1	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
梁部	一般部	該当なし	—	—	該当なし	該当なし	該当なし	該当なし	—
	地下部	該当なし	—	—	—	該当なし	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	該当なし	—	該当なし	—	—
壁	一般部	該当なし	①-1	①-2	該当なし	該当なし	—	—	該当なし
	地下部	①-2	—	—	—	①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	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	—	—	—
基礎	矩形	①-1		—	—	①-1	—	①-1	①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	①-1

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「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

表 2.3-5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6号機及び7号機）（3/3）
（荷重の組み合わせによる応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		コントロール 建屋	廃棄物処理建屋		サービス 建屋	3号機原子炉 建屋内緊急時 対策所	荒浜側 避雷鉄塔
			RC造	RC造			
柱	一般部	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	—	①-1	該当なし	①-1
	地下部	該当なし	該当なし	—	—	該当なし	—
梁部	一般部	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	—
	鉄骨トラス	—	—	—	該当なし	—	—
壁	一般部	該当なし	該当なし	①-2	該当なし	該当なし	—
	地下部	①-2	①-2	—	—	①-2	①-2
	鉄骨ブレース	—	—	—	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	—
基礎	矩形	①-1	①-1	—	—	①-1	①-1
	杭基礎	—	—	—	—	—	①-1

- 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「面内荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 2.3-1 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 2.3-3 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 2.3-6 に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい可能性がある部位」として、原子炉建屋（6/7 号機）・タービン建屋（6/7 号機）・廃棄物処理建屋の大スパンの鉄骨トラス梁を抽出した。

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がある部位」に関しては、塔状構造物である主排気筒（6/7 号機）・荒浜側避雷鉄塔の鉄骨ブレース及び梁一般部（水平材）を抽出した。また、大スパン架構で、下部に耐震 S クラスの使用済燃料貯蔵プールがある原子炉建屋（6/7 号機）の上部鉄骨のトラスについては、3次元解析モデルによる精査を行う。

ここで、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位及び 3 次元的な応答特性を踏まえた抽出をした結果、影響評価が不要な部位は、各建屋の柱（上部鉄骨を除く）及び上部鉄骨の柱一般部、各建屋の梁（上部鉄骨を除く）及び上部鉄骨の梁一般部、各建屋の壁一般部、各建屋の床及び屋根、格納容器圧力逃がし装置基礎の壁一般部とした。

影響評価が不要とした各建屋の柱（上部鉄骨を除く）及び上部鉄骨の柱一般部は、方向毎に断面の評価を実施しており、直交方向の力にも対応している。また、柱自身の慣性力により影響が生じるような階高を有する柱はないことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震安全性への影響はないと考えられる。

各建屋の梁（上部鉄骨を除く）及び上部鉄骨の梁一般部については、面外方向に対して床スラブで固定されていることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響はないと考えられる。

各建屋の壁一般部は、複数スパンにまたがって直交方向に壁のない連続した壁が存在せず、ねじれの無い構造であることから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震安全性への影響はないと考えられる。

各建屋の床及び屋根については、水平 2 方向の力を、各々別の断面で負担することから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる耐震安全性への影響はないと考えられる。

a. 柱

(3) で抽出されている以外の各建屋の柱は各部とも、両方向に対して断面算定を実施しており、面外慣性力の影響も考慮済みであるため、②-1の部位には該当しない。

各建屋は、鉄筋コンクリート造耐震壁又は鉄骨造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についても該当しない。

b. 梁

各建屋の梁一般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及び②-2には該当しない。

原子炉建屋(6/7号機)・タービン建屋(6/7号機)及び廃棄物処理建屋の大スパン鉄骨トラス梁は、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ことから、②-1の挙動が発生する部位に該当するものとして抽出した。また、主排気筒(6/7号機)及び荒浜側避雷鉄塔の梁一般部(水平材)については、塔状構造物としてねじれ挙動が想定されることから、②-2に該当するものとして抽出した。

一般部の梁については、大空間の吹抜け(直交方向の拘束梁、床がない)があるものは、構面自体が面外慣性力によりはらみだすようなモードにより、面外方向に対して応力が発生する可能性があるが、吹抜け部の梁は存在しないため、②-1に該当する部位は存在しない。

c. 壁

(3) で抽出されている以外の各建屋の壁については、複数スパンにまたがって直交方向に壁や大梁のない連続した壁が存在せず、ねじれのない構造であるため、②-1及び②-2に該当しない。ただし、タービン建屋(6/7号機)・廃棄物処理建屋の上部鉄骨ブレースは、左右対称に釣合いよく配置されておらず、ねじれ振動による影響が想定されるため、②-2に該当するものとして抽出した。

主排気筒(6/7号機)及び荒浜側避雷鉄塔の鉄骨ブレースについては、塔状構造物としてねじれ挙動が想定されるため、②-2に該当するものとして抽出した。柱については、(3)で抽出されているためここでは考慮しない。

d. 床及び屋根

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及び②-2に該当しない。

e. 基礎

矩形の基礎及び杭基礎については、(3)で抽出されている。

表 2.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (6 号機) (1/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	—	—
	隅部	不要	—	—	不要	不要	要①-1	要①-1	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁部	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	②-2	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	②-1	—	—
壁	一般部	不要	要①-1	要①-2	不要	不要	—	—	不要
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	不要	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	—	不要	—	—	不要
基礎	矩形	要①-1		—	—	要①-1	—	要①-1	要①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	要①-1

- 凡例
- ・要：荷重組み合わ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
 - ・「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」
 - ・「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」

表 2.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出 (7 号機) (2/3)
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング)

耐震性評価部位		原子炉建屋				タービン建屋		主排気筒	格納容器 圧力逃がし 装置基礎
			原子炉 格納容器	使用済燃料 貯蔵プール	上部鉄骨		上部鉄骨		
		RC 造	RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造	RC 造	S 造, SRC 造, RC 造		
柱	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	—	—
	隅部	不要	—	—	不要	不要	要①-1	要①-1	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
梁部	一般部	不要	—	—	不要	不要	不要	②-2	—
	地下部	不要	—	—	—	不要	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	②-1	—	—
壁	一般部	不要	要①-1	要①-2	不要	不要	—	—	不要
	地下部	要①-2	—	—	—	要①-2	—	—	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	②-2	②-2	—
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	—	不要	—	—	不要
基礎	矩形	要①-1		—	—	要①-1	—	要①-1	要①-1
	杭基礎	—		—	—	—	—	—	要①-1

- 凡例
- ・要：荷重組み合わ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
 - ・「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」
 - ・「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」

表 2.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組み合わせによる影響の確認が必要な部位の抽出（6号機及び7号機）（3/3）
（3次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング）

耐震性評価部位		コントロール 建屋	廃棄物処理建屋		サービス 建屋	3号機原子炉 建屋内緊急時 対策所	荒浜側 避雷鉄塔	
				復水貯蔵槽				上部鉄骨
		RC造	RC造	RC造	S造, SRC 造, RC造	RC造	RC造	S造
柱	一般部	不要	不要	—	不要	不要	不要	—
	隅角部	不要	不要	—	要①-1	不要	不要	要①-1
	地下部	不要	不要	—	—	不要	不要	—
梁部	一般部	不要	不要	—	不要	不要	不要	②-2
	地下部	不要	不要	—	—	不要	不要	—
	鉄骨トラス	—	—	—	②-1	—	—	—
壁	一般部	不要	不要	要①-2	不要	不要	不要	—
	地下部	要①-2	要①-2	—	—	要①-2	要①-2	—
	鉄骨ブレース	—	—	—	②-2	—	—	②-2
床 屋根	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—
基礎	矩形	要①-1	要①-1	—	—	要①-1	要①-1	要①-1
	杭基礎	—	—	—	—	—	—	要①-1

- 凡例
- ・要：荷重組み合わ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
 - ・「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」
 - ・「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」

(5) 3次元解析モデルによる精査

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次元解析モデルにより精査を行う。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい部位」のうち、大スパンであり下部に耐震 S クラスの使用済燃料貯蔵プールがある原子炉建屋（6/7号機）の鉄骨トラスを代表として評価する。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が想定される部位のうち、重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する主排気筒（6/7号機）の鉄骨ブレースを代表として評価する。

また、耐震評価部位全般に対して、局所的な応答について、3次元解析モデルによる精査を行う。精査は、2.2.2 (5) 3次元解析モデルに基づく精査に基づき、原子炉建屋（6/7号機）及び原子炉格納容器（6/7号機）の解析モデルにより水平2方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出することで評価を行う。なお、3次元解析モデルの妥当性・適用性については、別紙1で説明する。

表 2.3-7 3次元解析モデルを用いた精査

対象		3次元的な応答特性	3次元解析モデルを用いた精査方法	3次元解析モデルを用いた精査結果
評価部位	対象建物・構築物			
鉄骨トラス	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋 (6/7号機)</u> ・ タービン建屋 (6/7号機) ・ 廃棄物処理建屋 	②-1 (面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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。 	工認の補足資料で準備
梁または鉄骨ブレース	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物処理建屋 ・ <u>主排気筒 (6/7号機)</u> ・ 荒浜側避雷鉄塔 	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同上 	工認の補足資料で準備
耐震評価部位全般	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>原子炉建屋 (6/7号機)</u> ・ <u>原子炉格納容器 (6/7号機)</u> 	局所的な応答	<ul style="list-style-type: none"> ・ 同上 	工認の補足資料で準備

(注) 下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

2.4 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結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を表 2.4-1 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」について、柱においては、3 次元的な応答特性も懸念される主排気筒（6/7 号機）の隅部の支柱材について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。壁においては、原子炉格納容器（6/7 号機）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評価を行う。また、基礎においては、建屋規模が大きく、波及影響防止上の重要性から原子炉建屋（6/7 号機）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」については、部位の重要性を考慮し、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）に対する境界条件が厳しい使用済燃料プール（6/7 号機）の壁について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

表 2.4-1 水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響の確認が必要な部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物	代表評価部位
①-1	柱	隅部	<ul style="list-style-type: none"> タービン建屋 (6/7 号機) <u>主排気筒 (6/7 号機)</u> 廃棄物処理建屋 荒浜側避雷鉄塔 	重要設備である非常用ガス処理系用排気筒を支持する主排気筒の支柱材を評価する。
	壁	一般部	<ul style="list-style-type: none"> <u>原子炉格納容器 (6/7 号機)</u> 	円筒壁であり直交する水平 2 方向の荷重により応力が集中するため評価する。
	基礎	矩形	<ul style="list-style-type: none"> <u>原子炉建屋 (6/7 号機)</u> タービン建屋 (6/7 号機) 格納容器圧力逃がし装置基礎 (6/7 号機) コントロール建屋 廃棄物処理建屋 サービス建屋 3 号機原子炉建屋内緊急時対策所 	建物規模が比較的大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している原子炉建屋の基礎を評価する。
杭基礎		<ul style="list-style-type: none"> 格納容器圧力逃がし装置基礎 (6/7 号機) 荒浜側避雷鉄塔 		
①-2	壁	地下部 水圧作用部	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建屋 (6/7 号機) <u>使用済燃料貯蔵プール (6/7 号機)</u> タービン建屋 (6/7 号機) コントロール建屋 廃棄物処理建屋 復水貯蔵槽 サービス建屋 3 号機原子炉建屋内緊急時対策所 	上部に床などの拘束がなく、面外荷重（水圧）が作用する使用済燃料貯蔵プールの壁を代表とする。

凡例 ①-1：応答特性「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

(注) 下線部は代表として評価する建物・構築物を示す。

2.5 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

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する。評価にあたっては、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 2.5-1 に示す。

また影響評価は、水平 2 方向及び鉛直方向を同時に入力する時刻歴応答解析による評価、または、基準地震動 S_s の各方向地震成分により、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 GUIDE1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」を参考に、組み合わせ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) に基づいた評価により実施する。

表 2.5-1 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（6/7号機）	基準地震動 Ss-2	3方向それぞれで入力定義されている基準地震動のうち、解析結果へ与える影響が大きく、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を適切に考慮できるため。
壁	一般部	原子炉格納容器（6/7号機）	同上	同上
基礎	矩形	原子炉建屋（6/7号機）	同上	同上
壁	地下部 水圧作用部	使用済燃料貯蔵プール（6/7号機）	同上	同上

3 機器・配管系

3.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

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

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

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

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

3.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価方針

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

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

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

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

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

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

水平 2 方向及び鉛直方向地震力による影響評価は、基準地震動 $S_s - 1 \sim 8$ を対象とするが、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係、地震力の包絡関係を確認し、代表可能である場合は代表の基準地震動にて評価する。また、水平各方向の地震動は、それぞれの位相を変えた地震動を用いることを基本とするが、保守的な手法を用いる場合もある。

3.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ影響評価方法

機器・配管系において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な設備について、構造及び発生値の増分の観点から抽出し、影響を評価する。影響評価は従来設計で用いている質点系モデルによる評価結果を用いて行うことを基本とする。影響評価のフローを第3.3-1図に示す。

①評価対象となる設備の整理

耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する設備を評価対象とし、代表的な機種毎に分類し整理する。(第3.2.3-1図①)

②構造上の特徴による抽出

機種毎に構造上の特徴から水平2方向の地震力が重複する観点、もしくは応答軸方向以外の振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点にて検討を行い、水平2方向の地震力による影響の可能性がある設備を抽出する。(第3.2.3-1図②)

③発生値の増分による抽出

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

また、建物・構築物及び屋外重要土木構築物の検討により、機器・配管系への影響の可能性のある部位が抽出された場合は、機器・配管系への影響を評価し、耐震性への影響が懸念される設備を抽出する。

影響の検討は、機種毎の分類に対して地震力の寄与度に配慮し耐震裕度が小さい設備(部位)を対象とする。(第3.2.3-1図③)

なお、耐震評価は基本的に概ね弾性範囲で留まる体系であることに加え、国内と海外の機器の耐震解析は、基本的に線形モデルにて実施している等類似であり、水平2方向及び鉛直方向の位相差は機器の応答にも現れることから、米国 Regulatory Guide 1.92の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of Earthquake」を参考として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する際は、地震時に水平2方向及び鉛直方向それぞれの最大応答が同時に発生する可能性は極めて低いとした考え方である Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares 法(以下「非同時性を考慮

した SRSS 法」という。) 又は組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) を適用し, 各方向からの地震入力による各方向の応答を組み合わせる。

④水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響評価

③の検討において算出された荷重や応力を用いて, 設備の耐震性への影響を確認する。(第 3.2.3-1 図④)



第 3.3-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した影響評価フロー

3.4 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの評価設備（部位）の抽出

評価対象設備を機種毎に分類した結果を、第 3.4-1 表に示す。機種毎に分類した設備の各評価部位、応力分類に対し構造上の特徴から水平 2 方向の地震力による影響を水平 2 方向の地震力が重複する観点より検討し、影響の可能性のある設備を抽出した。

水平 1 方向の地震力に加えて、さらに水平直交方向に地震力が重複した場合、水平 2 方向の地震力による影響を検討し、影響が軽微な設備以外の影響検討が必要となる可能性があるものを抽出する。以下の場合には、水平 2 方向の地震力により影響が軽微な設備であると整理した。

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

制御棒・破損燃料貯蔵ラックのサポート等は、水平 2 方向の地震力を想定した場合、水平 1 方向を拘束する構造であることにより、特定の方向の地震力の影響を受ける部位であるため、水平 1 方向の地震力しか負担しないものとして分類した。
(別紙 2 参照)

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

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

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

原子炉圧力容器スタビライザは、周方向 8 箇所を支持する構造で配置されており、水平 1 方向の地震力を 6 体で支持する設計としており、水平 2 方向の地震力を想定した場合、地震力を負担する部位が増え、また、最大反力を受けもつ部位が異なることで、水平 1 方向の地震力による荷重と水平 2 方向の地震力を想定した場合における荷重が同等になるものであり、水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同等のものと分類した。その他の設備についても、同様の理由から水平 2 方向の地震を組み合わせても 1 方向の地震による応力と同様のものと分類した。(別紙 2 参照)

- d. 従来評価において、保守性を考慮（水平 2 方向の考慮を含む。）を考慮した評価を行っており、水平 2 方向の影響を考慮しても影響が軽微なもの

蒸気乾燥器支持ブラケット等は、従来評価において、水平 2 方向地震を考慮した評価を行っているため、水平 2 方向の影響を考慮しても影響がないものとして分類した。その他、設備についても同様の理由から、保守性を考慮（水平 2 方向の考慮を含む。）を考慮した評価を行っており、水平 2 方向の影響を考慮しても影響が軽微なものとして分類した。（別紙 2 参照）

3.5 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の評価部位の抽出結果

3.4 で抽出した結果を別紙 2 に示す。これらの設備に関して、発生値の増分等による抽出を行った上で、水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

第 3. 4-1 表 水平 2 方向入力の影響検討対象設備

設備※1		部位	応力分類	
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部フランジ	一次一般膜応力	
		下部フランジ	一次膜応力+一次曲げ応力	
		炉心支持板支持面	支圧応力	
	シュラウドサポート	レグ		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
				軸圧縮応力
		シリンダ プレート 下部胴		一次一般膜応力
				一次膜応力+一次曲げ応力
	上部格子板	リム胴板	一次一般膜応力	
		グリッドプレート	一次膜応力+一次曲げ応力	
	炉心支持板	補強ビーム, 支持板	一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力	
一次膜応力+一次曲げ応力				
制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	一次一般膜応力		
		一次膜応力+一次曲げ応力		
原子炉圧力容器	胴板 下部鏡板	各部位	一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
			一次+二次応力	
			一次+二次+ピーク応力	
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブ ハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
			一次+二次応力	
			一次+二次+ピーク応力	
	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔 (N1)	各部位	座屈 (軸圧縮)	
			一次一般膜応力	
			一次膜応力+一次曲げ応力	
			一次+二次応力	
		一次+二次+ピーク応力		
		座屈 (軸圧縮)		

※1 本表は、今後の審査進捗（詳細設計）に応じて見直しを行います。

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉圧力容器	ノズル	各部位	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			座屈（軸圧縮）
原子炉圧力容器	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		蒸気乾燥器ホールドダウンブラケット ガイドロッドブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
		給水スパーチャブラケット, 低圧注水スパーチャブラケット	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			純せん断応力
		原子炉圧力容器	原子炉圧力容器スカート
一次+二次応力			
一次+二次+ピーク応力			
座屈（軸圧縮）			
一次応力（引張）			
原子炉圧力容器支持構造物	原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	一次応力（せん断）
			一次応力（組合せ）
			一次応力（引張）
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	一次応力（引張）
		ブラケット	一次応力（せん断） 一次応力（曲げ）
	制御棒駆動機構ハウジングレスト レントビーム	プレート	一次応力（せん断）
			一次応力（圧縮）
			一次応力（曲げ）
	原子炉冷却材再循環ポンプモータ ケーシング	ケーシング	一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
			支圧応力 座屈（軸圧縮）

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング	ユニットサポート	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力
		耐震用ブロックせん断面	純せん断応力
		耐震用ブロック支圧面	支圧応力
原子炉圧力容器内部構造物	気水分離器及びスタンドパイプ シュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力
	スパージャ 炉内配管	各部位	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力
使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及び部材		一次応力 (引張)
			一次応力 (せん断)
			一次応力 (組合せ)
	基礎ボルト		一次応力 (引張)
			一次応力 (せん断)
			一次応力 (組合せ)
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック部材		一次応力 (引張)
			一次応力 (せん断)
			一次応力 (組合せ)
	サポート部材 サポート部基礎ボルト		一次応力 (引張)
			一次応力 (せん断)
			一次応力 (組合せ)
	底部基礎ボルト		一次応力 (引張)
			一次応力 (せん断)
			一次応力 (組合せ)
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー		一次一般膜応力
			一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
			一次+二次+ピーク応力
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト	平均引張応力	

設備※1	部位	応力分類
主蒸気逃がし安全弁逃がし安全弁機能用アキュムレータ (6号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ (6号炉)	Uバンド及びリブ	一次応力 (せん断)
		一次応力 (曲げ)
		一次応力 (組合せ)
	ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
	支柱 (H形鋼)	一次応力 (せん断)
		一次応力 (曲げ)
		一次応力 (組合せ)
	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ (7号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ (7号炉)	胴板
一次膜応力+一次曲げ応力		
一次+二次応力		
脚		一次応力 (組合せ)
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力
		一次膜応力+一次曲げ応力
		一次+二次応力
	脚	一次応力 (組合せ)
	基礎ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
	耐震強化サポート (7号炉のみ)	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
アンカーボルト (7号炉のみ)	一次応力 (せん断)	
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	一次一般膜応力
		一次応力 (引張)
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (せん断)
		一次応力 (組合せ)
ECCS ストレーナ	各部位 (ボルト以外)	一次膜+一次曲げ応力
	ボルト	一次応力 (引張)
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (引張)
		一次応力 (せん断)
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力 (組合せ)

設備 ^{※1}		部位	応力分類
水圧制御ユニット	フレーム	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (圧縮)	
		一次応力 (曲げ)	
		一次応力 (組合せ)	
	取付ボルト	一次応力 (引張)	
一次応力 (せん断)			
一次応力 (組合せ)			
平底たて置円筒容器	胴板	一次一般膜応力	
		一次+二次応力	
	基礎ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	
		一次膜応力+一次曲げ応力	
伝送器 (矩形壁掛)	取付ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
伝送器 (円形壁掛)	取付ボルト	一次応力 (引張)	
伝送器 (円形吊下)	取付ボルト	一次応力 (引張)	
制御盤	取付ボルト	一次応力 (引張)	
		一次応力 (せん断)	
		一次応力 (組合せ)	
原子炉格納容器	ライナプレート	圧縮ひずみ	
		引張ひずみ	
	ライナアンカ ライナアンカ	荷重	
		変位	
	ドライウェル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
		フランジプレート	せん断
			曲げ
ガセットプレート	せん断		
コンクリート部	圧縮		

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉格納容器	下部ドライウエルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（機器搬入用ハッチ付） 下部ドライウエルアクセストンネルスリーブ及び鏡板（所員用エアロック付）	鏡板 鏡板のスリーブとの取付部 スリーブのフランジプレートとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮
	クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張
		下部サポートパイプ(7号炉のみ)	せん断 圧縮
		ガセットプレート ベアリングプレート	せん断 曲げ
		基礎ボルト	引張
		コンクリート	圧縮 基礎ボルト引張荷重
	下部ドライウエルアクセストンネル	各部位	組合せ
	上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サブプレッションチェンバ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	胴板 胴板のフランジプレートとの結合部	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮
	下部ドライウエル機器搬入用ハッチ 下部ドライウエル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		胴板と鏡板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
	原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部 端板	一次一般膜応力 一次膜応力+一次曲げ応力 一次+二次応力
		フランジプレート	せん断 曲げ
		ガセットプレート	せん断
		コンクリート部	圧縮

設備 ^{※1}		部位	応力分類
原子炉格納容器	原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ	一次一般膜応力
		スリーブのフランジプレートとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力
			一次+二次応力
		フランジプレート	せん断
			曲げ
	ガセットプレート	せん断	
	コンクリート部	圧縮	
ダイヤフラムフロア		鉄筋コンクリートスラブ	引張
			せん断
			圧縮
			曲げ
	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器接合部（地震時水平力伝達用シアプレート）	せん断	
	原子炉本体基礎接合部（地震時水平力伝達用シアプレート）	曲げ	
	原子炉本体基礎接合部（半径方向水平力伝達用頭付きスタッド）	せん断	
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合部 水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
ドライウェルスプレイ管 サプレッションチェンバースプレイ管	スプレイ管 スプレイ管とスプレイ管案内管との接続部 スプレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力	
		一次+二次応力	
可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ	ブレース	一次応力（圧縮）	
		一次応力（引張）	
	ベース取付溶接部	一次応力（せん断）	
		一次応力（引張）	
		一次応力（せん断）	
基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（組合せ）		
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力（引張）	
		一次応力（せん断）	
		一次応力（組合せ）	

設備※1	部位	応力分類
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力
		一次+二次応力
	スカート	一次応力（組合せ）
		一次+二次応力（座屈）
	基礎ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
一次応力（組合せ）		
その他電源設備	取付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
配管本体，サポート（多質点梁モデル解析）	配管，サポート	一次応力
		一次+二次応力
矩形構造の架構設備（静的触媒式水素再結合装置，架台を含む）	各部位	各応力分類
ガスタービン発電機， 3号炉原子炉建屋内緊急時対策所用電源車	転倒評価	応答変位
	取付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
通信連絡設備（アンテナ類）	柱部	一次応力（組合せ）
	ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
監視カメラ	据付ボルト	一次応力（引張）
		一次応力（せん断）
		一次応力（組合せ）
	据付部材	一次応力（組合せ）
貫通部止水処置	シール材	シール材に生じる変位
止水ハッチ	各部位	各応力分類
浸水防止ダクト	各部位	各応力分類
床ドレンライン浸水防止治具	各部位	各応力分類
原子炉ウェル遮へいプラグ	本体	せん断応力度

設備※1		部位	応力分類
原子炉圧力容器支持構造	原子炉本体の基礎	円筒部(内筒), 円筒部(外筒)	せん断
			組合せ
		円筒部(たてリブ)	せん断
			組合せ
		アンカボルト	引張
		コンクリート	基礎ボルトの引張荷重
		ベアリングプレート	曲げ
ブラケット部	せん断		
	曲げ		
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
		一次応力(組合せ)	
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト), トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)	一次応力(せん断)	
	吊具	吊具荷重	
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガード	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
		浮上り量	
	脱線防止ラグ	一次応力(圧縮)	
	トロリストoppa	一次応力(せん断)	
		一次応力(曲げ)	
		一次応力(組合せ)	
トロリ	浮上り量		
吊具	吊具荷重		
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部	せん断	
		圧縮	
		曲げ	
		組合せ	

4 屋外重要土木構造物

4.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計の考え方

屋外重要土木構造物における従来設計手法の考え方について、取水路を例に表 4.1-1 に示す。一般的な地上構造物では、躯体の慣性力が主たる荷重であるのに対し、屋外重要土木構造物は概ね地中に埋設されているため、動土圧や動水圧等の外力が主たる荷重となる。また、屋外重要土木構造物は、比較的単純な構造部材の配置で構成され、ほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有することから、3 次元的な応答の影響は小さいため、2 次元断面での耐震評価を行っている。

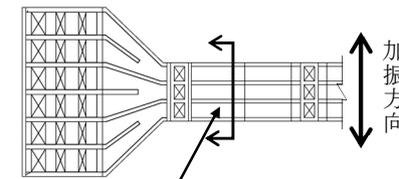
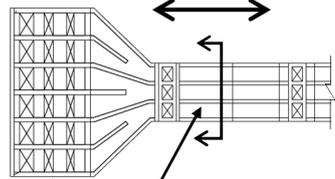
屋外重要土木構造物は、主に海水の通水機能や配管等の間接支持機能を維持するため、通水方向や管軸方向に対して空間を保持できるように構造部材が配置されることから、構造上の特徴として、明確な弱軸、強軸を有する。

強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では、弱軸方向を評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向の地震力による耐震評価を実施している。

図 4.1-1 に示すとおり、従来設計手法では、屋外重要土木構造物の構造上の特徴から、弱軸方向の地震荷重に対して、保守的に加振方向に平行な壁部材を見込まず、垂直に配置された構造部材のみで受け持つよう設計している。

屋外重要土木構造物のうち軽油タンク基礎は、海水の通水機能や配管等の間接支持機能を有する構造物と比較して、強軸及び弱軸が明確ではないことから、従来設計では、**長軸方向及び短軸方向**ともに評価対象断面として、耐震設計上求められる水平 1 方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

表 4.1-1 従来設計における評価対象断面の考え方（取水路の例）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
従来設計 の評価対象 断面の 考え方	 <p>取水方向 加振方向に平行な壁部材が少ない</p>  <p>⇒弱軸方向を評価対象断面とする</p>	 <p>加振方向 取水方向 加振方向に平行な側壁及び隔壁を耐震設計上見込むことが出来る</p>  <p>⇒強軸方向</p>

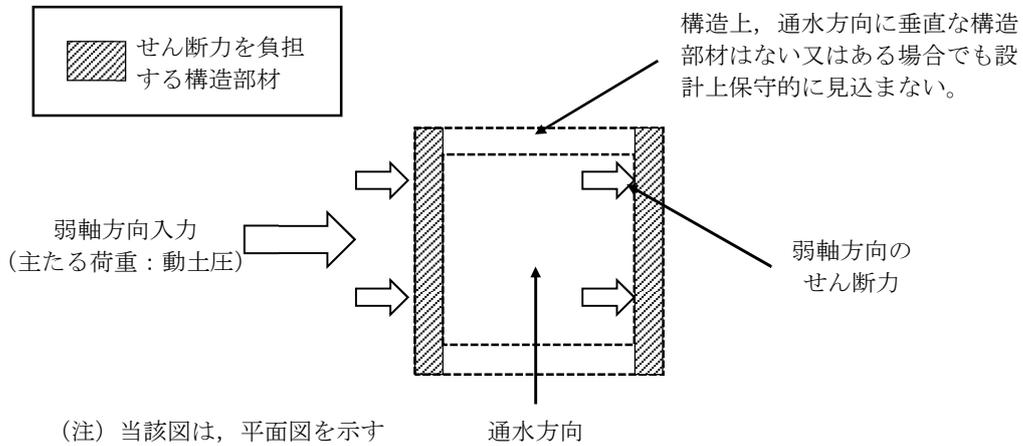


図 4.1-1 従来設計手法の考え方

4.2 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

屋外重要土木構造物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある構造物の評価を行う。

評価対象は、軽油タンク基礎、燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路及び波及的影響防止のために耐震評価を実施する土木構造物（取水護岸、燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁）とする。また、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の間接支持構造物のうち第一ガスタービン発電機基礎及び第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎も本評価では屋外重要土木構造物として扱うこととし、評価対象に含める。

屋外重要土木構造物を構造形式毎に分類し、構造形式毎に作用すると考えられる荷重を整理し、荷重が作用する構造部材の配置等から水平 2 方向の地震力による影響を受ける可能性のある構造物を抽出する。

抽出された構造物については、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組み合わせることで、水平 2 方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

構造物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。

4.3 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響評価方法

屋外重要土木構造物において、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響を受ける可能性があり、水平1方向及び鉛直方向の従来評価に加え、更なる設計上の配慮が必要な構造物について、構造形式及び作用荷重の観点から影響評価の対象とする構造物を抽出し、構造物が有する耐震性への影響を評価する。影響評価のフローを図4.3-1に示す。

(1) 影響評価対象構造物の抽出

① 構造形式の分類

屋外重要土木構造物について、各構造物の構造上の特徴や従来設計手法の考え方を踏まえ、構造形式毎に大別する。

② 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を抽出する。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造物形式の抽出

②で整理した荷重に対して、構造形式毎にどのように作用するかを整理し、耐震性に与える影響程度を検討した上で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される構造形式を抽出する。

④ 従来設計手法における評価対象断面以外の3次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

③で抽出されなかった構造形式について、従来設計手法における評価対象断面以外の箇所で、水平2方向及び鉛直方向地震力の影響により3次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

⑤ 従来設計手法の妥当性の確認

④で抽出された箇所が、2方向及び鉛直方向地震力に対して、従来設計手法における評価対象断面の耐震評価で満足できるか検討を行う。

(2) 影響評価手法

⑥ 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響評価

評価対象として抽出された構造物について、従来設計手法での評価対象断面（弱軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の照査において、評価対象断面（弱軸方向）に直交する断面（強軸方向）の地震応答解析に基づく構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、水平2方向及び鉛直方向地震力による構造部材の発生応力を算出し、構造物が有する耐震性への影響を確認する。

評価対象部位については、屋外重要土木構造物が明確な弱軸・強軸を示し、地震時における構造物のせん断変形方向が明確であることを考慮し、従来設計手法における評価対象断面（弱軸方向）における構造部材の耐震評価結果及び水平 2 方向の影響の程度を踏まえて選定する。

⑦ 機器・配管系への影響検討

評価対象として抽出された構造物が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持構造物である場合、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。

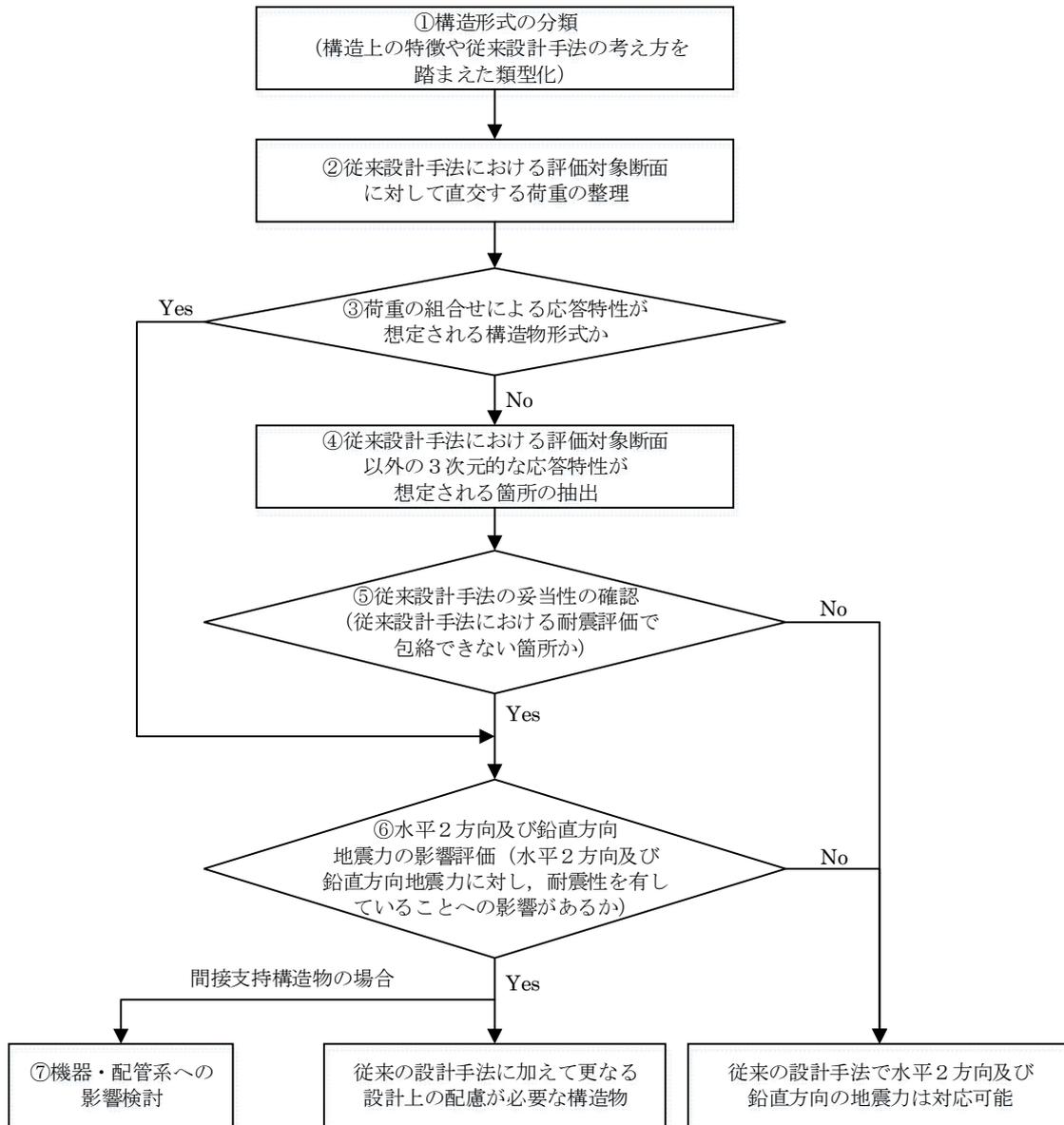


図 4.3-1 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響評価のフロー

4.4 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

(1) 構造形式の分類

図 4.4-1 に屋外重要土木構造物の配置図を示す。屋外重要土木構造物は、その構造形式より①燃料移送系配管ダクト、海水貯留堰、スクリーン室、取水路、補機冷却用海水取水路のような同一断面が連続する線状構造物、②軽油タンク基礎、第一ガスタービン発電機基礎、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎のような基礎構造物、③取水護岸のような護岸構造物、④燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁のような壁構造物の4つの構造形式に大別される。

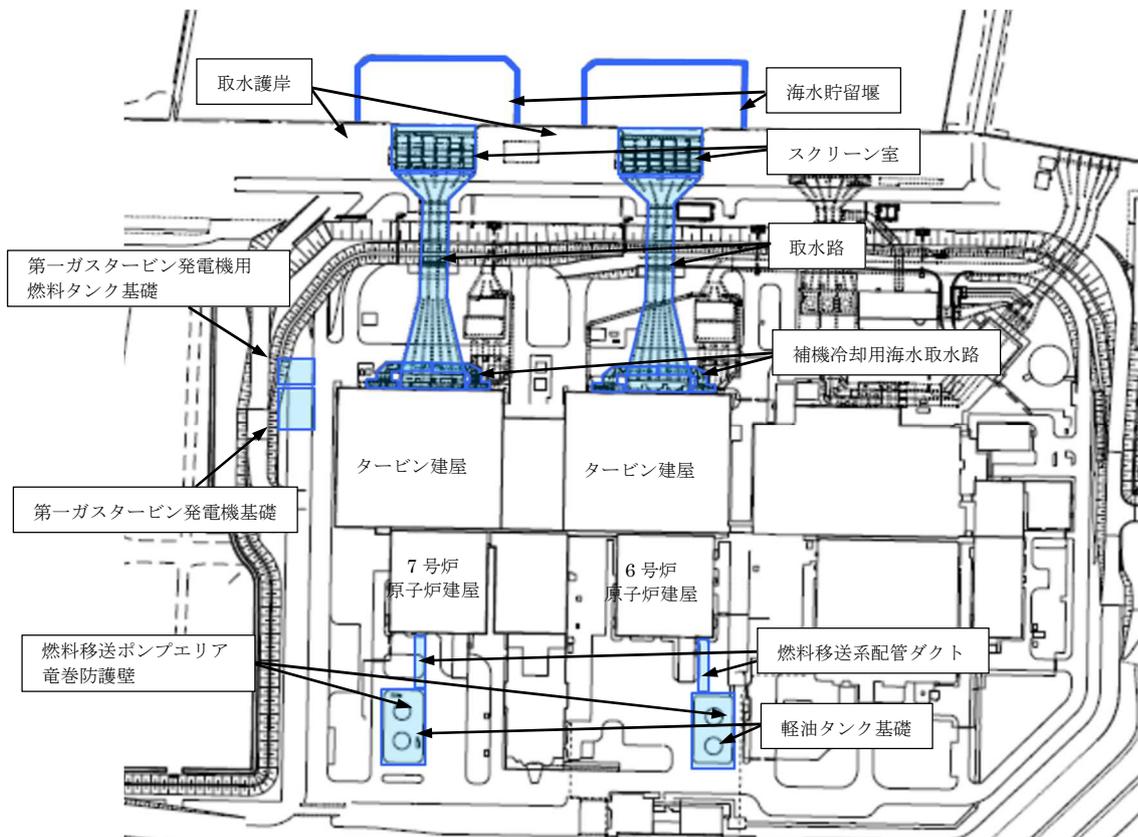


図 4.4-1 屋外重要土木構造物配置図

(2) 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重の整理

表 4.4-1 に、従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重を示す。

従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重として、動土圧及び動水圧、摩擦力、慣性力が挙げられる。

表 4.4-1 従来設計手法における評価対象断面に対して直交する荷重

作用荷重		作用荷重のイメージ
①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して、平行に配置される構造部材に作用する動土圧及び動水圧	
②摩擦力	周辺の埋戻土と躯体間で生じる相対変位に伴い発生する摩擦力	
③慣性力	躯体に作用する慣性力	

(注) 作用荷重のイメージ図は平面図を示す

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式の抽出

表 4.4-2 に 4.4(1) で整理した構造形式毎に 4.4(2) で整理した荷重作用による影響程度を示す。

屋外重要土木構造物の地震時の挙動は、屋外重要土木構造物が概ね地中に埋設されることから、周辺の埋戻土の挙動に大きく影響される。②や③は、①と比較するとその影響は小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討の対象とする構造物の抽出では、①による影響を考慮する。

線状構造物、護岸構造物及び壁構造物については、その構造上の特徴として、大部分は従来設計手法における評価対象断面に対して直交する①は作用しないが、取水路及び補機冷却用海水取水路の一部には水路上部に点検用立坑が存在し、当該箇所には立坑を介して評価対象断面に対して直交する①が作用する。

基礎構造物は、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①とタンク等の機器重量に起因する③が作用する。

以上のことから、荷重の組合せによる応答特性が想定される構造形式として、従来評価手法における評価対象断面に対して直交する①が作用する取水路立坑部と、①と③が作用する基礎構造物を抽出する。

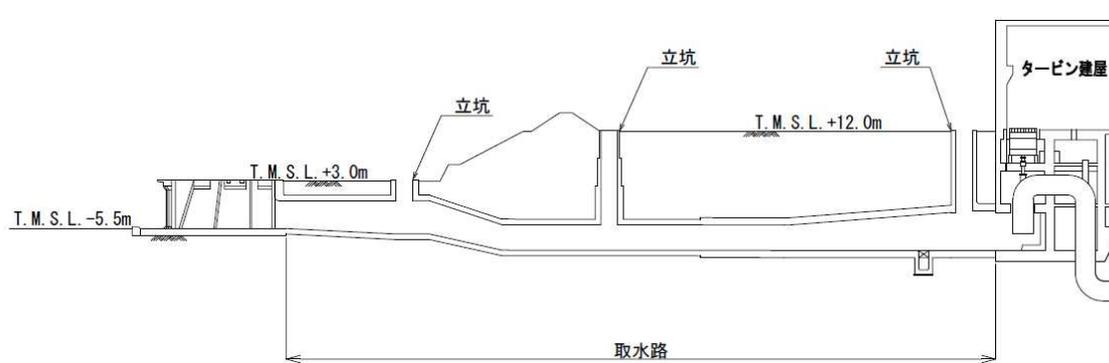
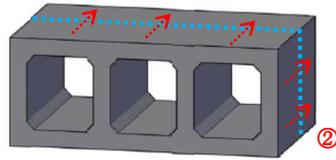
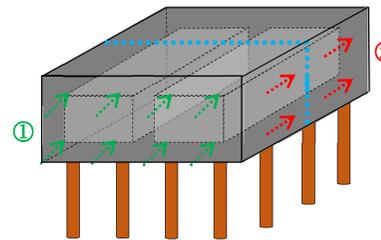


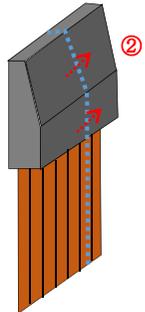
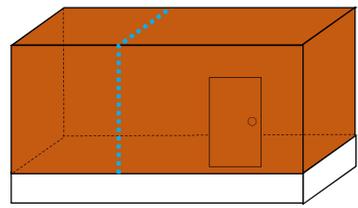
図 4.4-1 取水路縦断面図

表 4.4-2 (1/2) 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

4.4(1)で整理した 構造形式の分類 (対象構造物)	①線状構造物 (燃料移送系配管ダクト, 海水貯留堰, スクリーン室, 取水路, 補機冷却用海水取水路)	②基礎構造物 (軽油タンク基礎, 第一ガスタービン発電機基礎, 第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎)		
4.4(2)で整理した 荷重の作用状況	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p> <p>※短辺方向加振時の例</p>		
	①動土圧及び動水圧	作用しない	①動土圧及び動水圧	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に作用
	②摩擦力	側壁, 頂版に作用	②摩擦力	従来設計手法における評価対象断面に対して直交する側面に作用
	③慣性力	全ての部材に作用	③慣性力	全ての部材に作用
従来設計手法における評価対象断面 に対して直交する 荷重の影響程度	<p>(一般部) 従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有さず, ①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。 (立坑部) 取水路及び補機冷却用海水取水路の一部には水路上部に点検用立坑が存在しており, 立坑を介して①動土圧及び動水圧による荷重が作用するため影響大。</p>	従来設計手法における評価対象断面に対して平行する側面に, ①動土圧及び動水圧による荷重が, 底面にタンク等の機器重量に起因する③慣性力が作用するため影響大。		
抽出結果	一般部: × 立坑部: ○	○		

(○: 影響検討実施)

表 4.4-2 (2/2) 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

4.4(1)で整理した 構造形式の分類 (対象構造物)	③護岸構造物 (取水護岸)	④壁構造物 (燃料移送ポンプエリア竜巻防護壁)												
4.4(2)で整理した 荷重の作用状況	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>	<p>..... 従来設計手法での評価対象断面</p>  <p>(注) ③慣性力は全ての部材に作用</p>												
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="436 821 694 861">①動土圧及び動水圧</td> <td data-bbox="694 821 1198 861">作用しない</td> </tr> <tr> <td data-bbox="436 861 694 901">②摩擦力</td> <td data-bbox="694 861 1198 901">上部工背面に作用</td> </tr> <tr> <td data-bbox="436 901 694 925">③慣性力</td> <td data-bbox="694 901 1198 925">全ての部材に作用</td> </tr> </table>	①動土圧及び動水圧	作用しない	②摩擦力	上部工背面に作用	③慣性力	全ての部材に作用	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="1198 821 1444 861">①動土圧及び動水圧</td> <td data-bbox="1444 821 1960 861">作用しない</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1198 861 1444 901">②摩擦力</td> <td data-bbox="1444 861 1960 901">作用しない</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1198 901 1444 925">③慣性力</td> <td data-bbox="1444 901 1960 925">全ての部材に作用</td> </tr> </table>	①動土圧及び動水圧	作用しない	②摩擦力	作用しない	③慣性力	全ての部材に作用
①動土圧及び動水圧	作用しない													
②摩擦力	上部工背面に作用													
③慣性力	全ての部材に作用													
①動土圧及び動水圧	作用しない													
②摩擦力	作用しない													
③慣性力	全ての部材に作用													
従来設計手法における評価対象断面 に対して直交する 荷重の影響程度	従来設計手法における評価対象断面に対して平行に配置される構造部材を有 さず、①動土圧及び動水圧による荷重が作用しないため影響小。													
抽出結果	×													

(4) 従来設計手法における評価対象断面以外の 3 次元的な応答特性が想定される箇所の抽出

線状構造物として大別した補機冷却用海水取水路は、構造物の配置上、屈曲部を有する。線状構造物の屈曲部では、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響として、弱軸方向のせん断変形や強軸方向の曲げ変形への影響が想定される。

以上のことから、補機冷却用海水取水路の屈曲部について水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を検討する。

(5) 従来設計手法の妥当性の確認

補機冷却用海水取水路の従来設計では、図 4.4-2 に示すとおり、屈曲部における 3 次元的な拘束効果（評価対象断面のせん断変形を抑制する箇所や構造部材）を期待せず、評価対象断面に直交する部材のみで荷重を受け持たせる設計であり、十分に保守的な評価となっている。また、補機冷却用海水取水路はマンメイドロックを介して岩盤に直接設置されており、躯体が底版で拘束されていることから、屈曲部における強軸方向の曲げの影響はない。

以上のことから、補機冷却用海水取水路における屈曲部での水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響は、従来設計手法における評価対象断面での耐震評価で担保される。

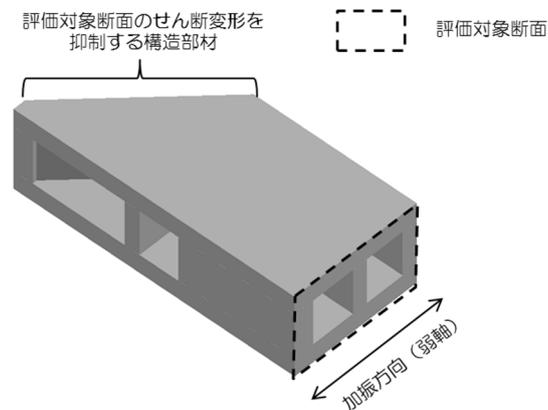


図 4.4-2 屈曲部における 3 次元的な拘束効果

4.5 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結果

4.4の検討を踏まえ、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響検討すべき構造物として、構造及び作用荷重の観点から、従来評価における評価対象断面に対して垂直な荷重が作用する取水路立坑部と基礎構造物を対象とする。

取水路立坑部は、取水路及び補機冷却用海水取水路上部に複数箇所存在する。このうち、従来評価における評価対象断面に対して垂直な荷重として支配的な動土圧及び動水圧が大きくなる土被り厚さ及び近接構造物の変形抑制効果を考慮し、取水路中央の立坑部を代表として水平2方向の影響評価を行う。

基礎構造物である第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎は、動土圧及び動水圧を受ける部位である基礎側面の面積が軽油タンク基礎および第一ガスタービン発電機基礎に比べて大きいため、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響は大きいと考えられる。従って、基礎構造物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価は、第一ガスタービン発電機用燃料タンク基礎に代表させて実施する。

5 津波防護施設

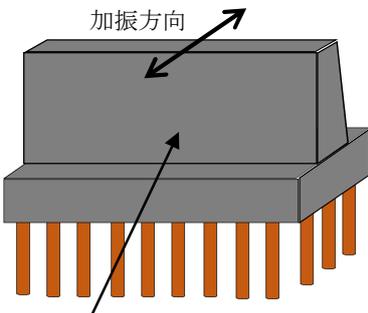
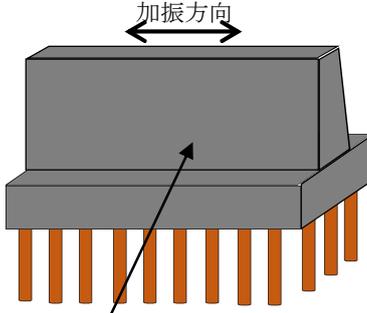
5.1 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せによる従来設計手法の考え方

津波防護施設における従来設計手法の考え方について、荒浜側防潮堤を例に表 5.1-1 に示す。津波防護施設は、地中構造物と地上構造物に分けられる。地上構造物は、躯体の慣性力や基礎部分にかかる動土圧等が主たる荷重となる。地中構造物については屋外重要土木構造物同様、比較的単純な構造部材の配置で構成される。地中構造物、地上構造物ともにほぼ同一の断面が奥行き方向に連続する構造的特徴を有することから、3次元的な応答の影響は小さいため、2次元断面での耐震評価を行っている。

津波防護施設についても、地中構造物、地上構造物ともにほぼ同一の断面が長手方向に連続する構造的な特徴を有しており、構造上の特徴として明確な弱軸、強軸を有する。

強軸方向の地震時挙動は、弱軸方向に対して顕著な影響を及ぼさないことから、従来設計手法では弱軸方向を評価対象として、耐震設計上求められる水平1方向及び鉛直方向地震力による耐震評価を実施している。

表 5.1-1 従来設計手法の考え方（荒浜側防潮堤）

	横断方向の加振	縦断方向の加振
荒浜側 防潮堤	 <p>加振方向に対する抵抗力が小さい ⇒弱軸方向</p>	 <p>加振方向に同一構造が連続している ⇒強軸方向</p>

5.2 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

津波防護施設において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を考慮した場合に影響を受ける可能性がある構造物の評価を行う。

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。

応答特性が抽出された、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を受ける可能性のある部位は、既往の評価結果の荷重又は応力の算出結果等を水平 2 方向及び鉛直方向に組合せ、対象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、新たな設計上の対応策を講じる。

評価フローを図 5.2-1 に示す。

(1) 評価対象となる設備の整理

設計基準対象施設のうち津波防護施設で耐震評価を実施する設備を評価対象とする。

(2) 地上構造物の抽出

対象構造物のうち地上構造物と地中構造物に分類し、地中構造物については、同様の評価手法を用いている「4 屋外重要土木構造物」の評価に従って水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響を評価する。

(3) 耐震評価上の構成部位の整理

津波防護施設における耐震評価上の構成部位を整理し、各構造物において、該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認する。

(4) 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の整理

津波防護施設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による影響が想定される応答特性を整理する。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な構造部位の挙動から影響が想定されるものに分けて整理する。

(5) 荷重の組合せの影響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の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の組合せに対し、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。

(6) 3 次元的な応答特性が想定される部位の抽出

従来設計手法における評価対象としなかった部位について、従来設計手法における評価対象部位以外の箇所、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響により 3 次元的な応答が想定される箇所を抽出する。

(7) 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は、横断方向加振での部材照査において、縦断方向加振の影響を考慮し耐震評価を実施する。

(8) 機器・配管系への影響評価

評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、常設耐震重要重大事故防止設備又は常設耐震重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設の機器・配管系の間接支持機能を有する場合、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評価を確認する。

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。

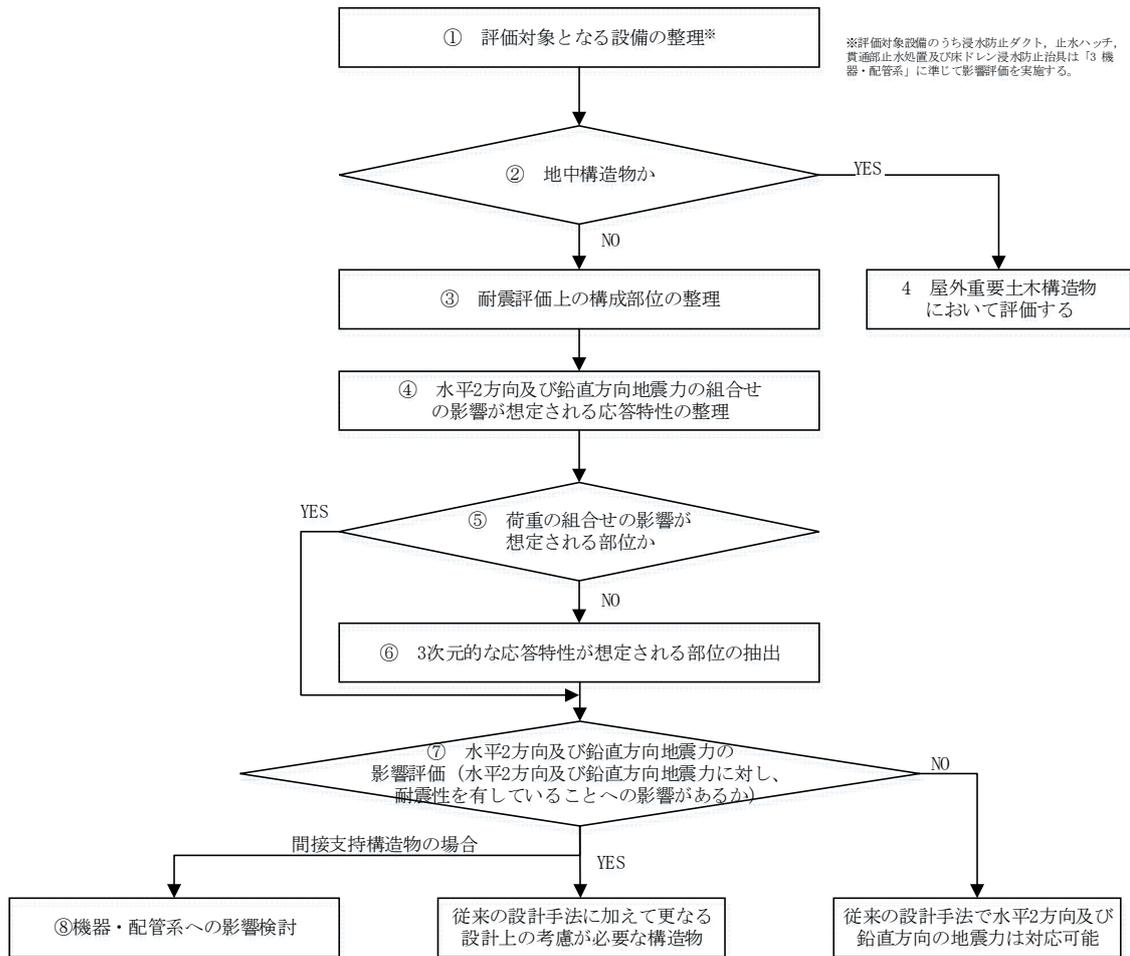


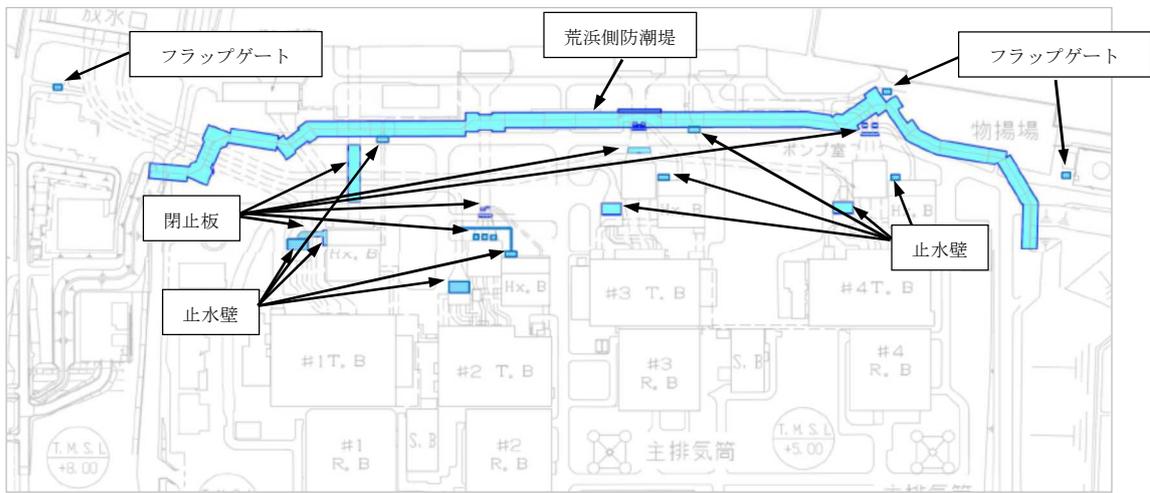
図 5.2-1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響検討のフロー

5.3 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

(1) 評価対象となる設備の整理

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対象設備は津波防護施設である荒浜側防潮堤（鉄筋コンクリート部、ゲート部）、閉止板、止水壁、フラップゲート、水密扉、浸水防止ダクト、止水ハッチ、貫通部止水処置及び床ドレン浸水防止治具とする。各構造物の位置図を図5.3-1に示す。

なお、評価対象設備のうち浸水防止ダクト、止水ハッチ、貫通部止水処置及び床ドレン浸水防止治具は、「3 機器・配管系」に準じて影響評価を実施する。



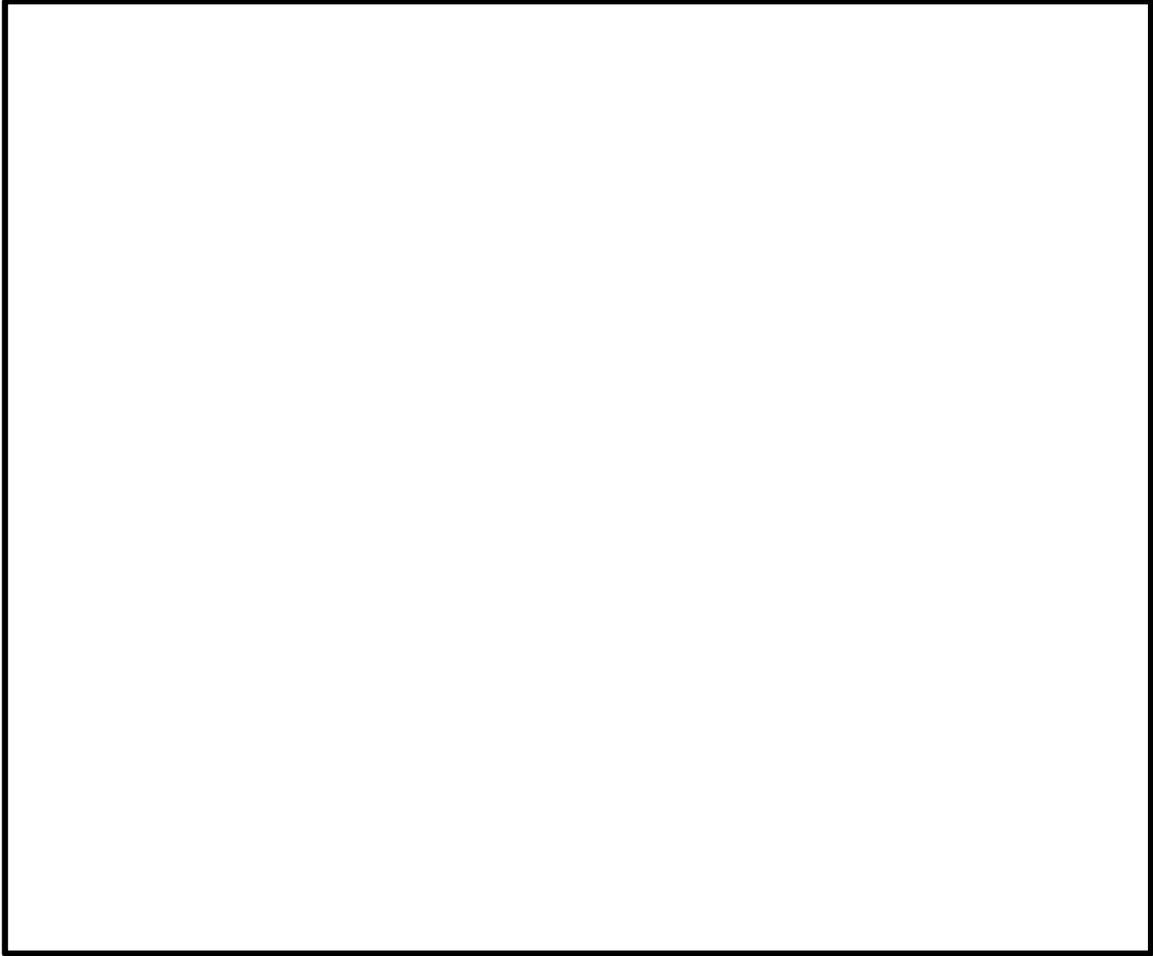
(屋外)

図 5.3-1 津波防護施設位置図 (1/7)



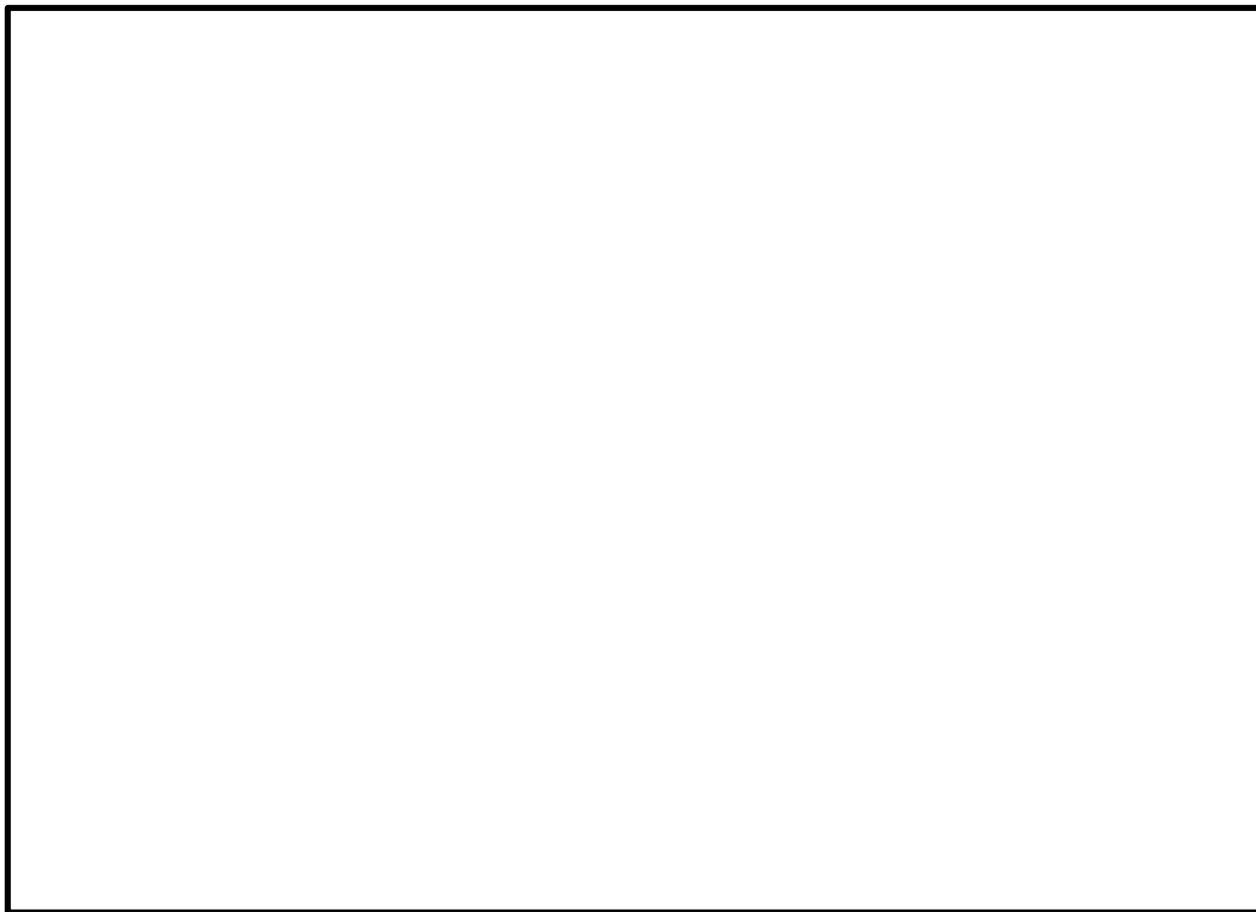
(屋内 : 6号炉 T/B T.M.S.L. -5100)

図 5.3-1 津波防護施設位置図 (2/7)



(屋内 : 6号炉 T/B T.M.S.L. -1100)

図 5.3-1 津波防護施設位置図 (3/7)

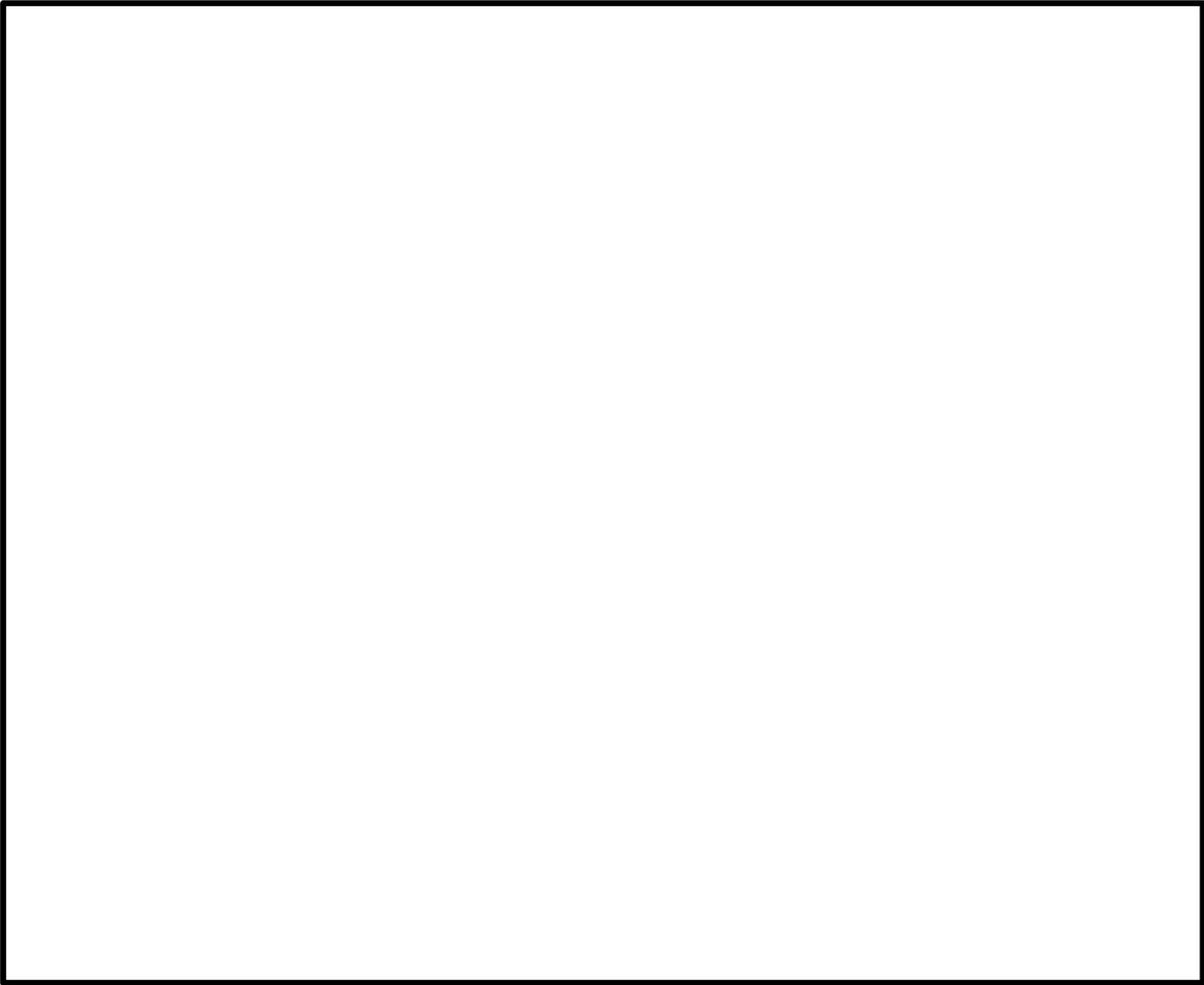


(屋内 : 6号炉 T/B T.M.S.L. 4900)

図 5.3-1 津波防護施設位置図 (4/7)

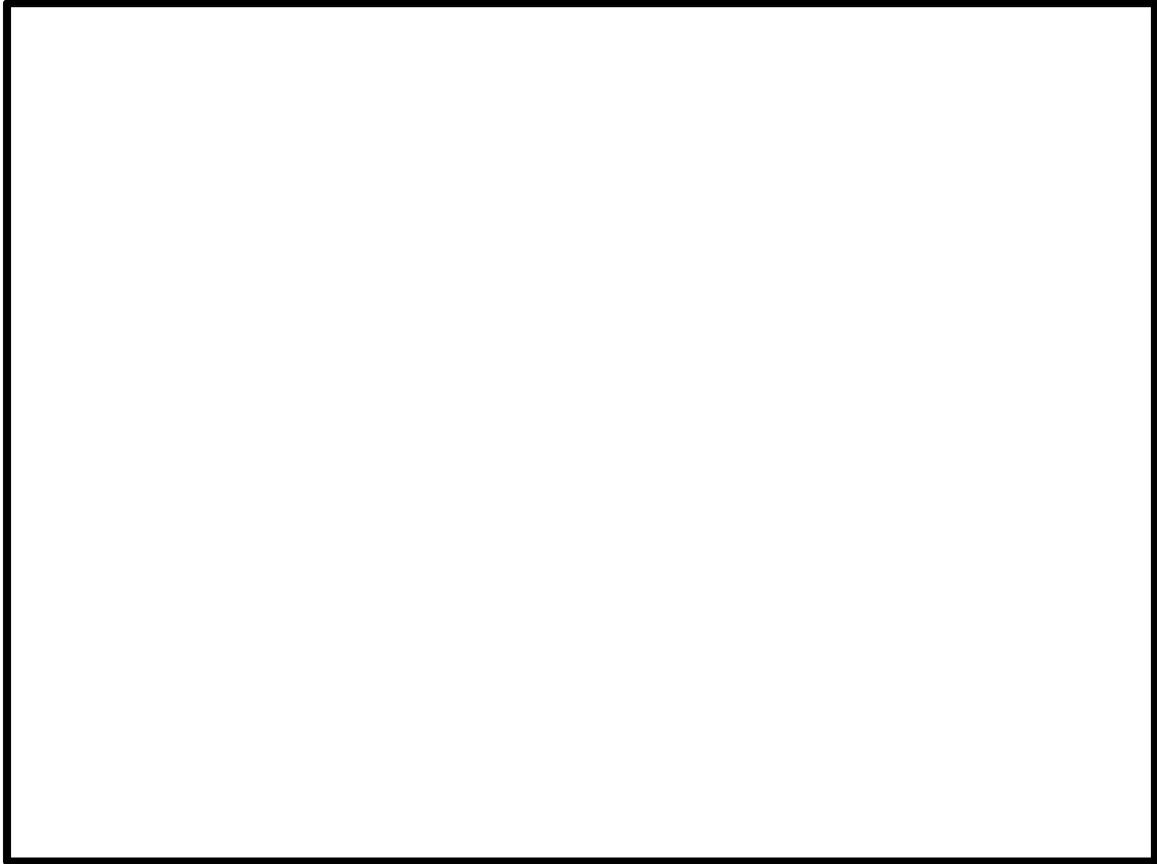


(屋内 : 7 号炉 T/B T.M.S.L. -5100)
図 5.3-1 津波防護施設位置図 (5/7)



(屋内 : 7号炉 T/B T.M.S.L. -1100)

図 5.3-1 津波防護施設位置図 (6/7)



(屋内 : 7号炉 T/B T.M.S.L. 4900)

図 5.3-1 津波防護施設位置図 (7/7)

(2) 地上構造物の抽出

評価対象構造物の津波防護施設である荒浜側防潮堤（鉄筋コンクリート部，ゲート部），閉止板，水密扉，止水壁及びフラップゲートは地上構造物であることから，津波防護施設として水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する。

(3) 耐震評価上の構成部位の整理

津波防護施設の耐震評価上の評価部位を整理し，各構造物において，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 5.3-1 に示す。

表 5.3-1 津波防護施設（地上構造物）における耐震評価上の構造部位の整理

耐震評価部位		荒浜側防潮堤		閉止板 (屋外)	閉止板 (屋内)	止水壁	フラップ ゲート	水密扉
		鉄筋コン クリート	ゲート					
擁壁部	コンクリート	○	—	—	—	—	—	—
	桁	—	○	—	—	○	—	—
	鋼板	—	○	—	—	○	—	—
	支柱	—	—	—	—	○	—	—
	アンカー	—	—	—	—	○	—	—
杭基礎部	鋼管杭	○	○	—	—	—	—	—
蓋部 (屋外)	コンクリート	—	—	○	—	—	—	—
	桁	—	—	○	—	—	—	—
	アンカー	—	—	○	—	—	—	—
蓋部 (屋内) 扉部	鋼板	—	—	—	○	—	○	○
	桁	—	—	—	—	—	○	—
	補強リブ	—	—	—	○	—	—	○
	アンカー (カンヌキ含む)	—	—	—	○	—	—	○
固定部	吊ピン	—	—	—	—	—	○	—
	ジョイント	—	—	—	—	—	○	—
	アンカー	—	—	—	—	—	○	—

(4) 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の整理

津波防護施設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構造部位の 3 次元的な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 5.3-2 及び表 5.3-3 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 方向入力のお考え方を表 5.3-4 に示す。

表 5.3-2 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
(荷重の組合せによる応答特性)

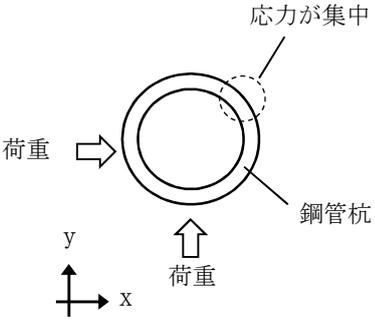
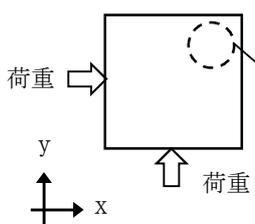
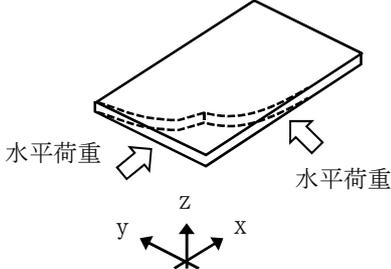
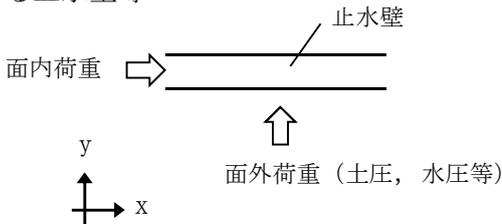
荷重の組合せによる 応答特性	影響想定部位
<p>①-1</p> <p>直交する 水平 2 方向 の荷重が、 応力として集中</p>	<p>応力の集中する杭等 (例)</p>  <p>(鋼管杭)</p>   <p>(矩形のコンクリート蓋)</p>
<p>①-2</p> <p>面内方向 の荷重を 負担しつつ、 面外方向 の荷重 が作用</p>	<p>水圧を負担する止水壁等 (例)</p>  <p>止水壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重 (土圧, 水圧等)</p>

表 5.3-3 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
(3 次元的な応答特性)

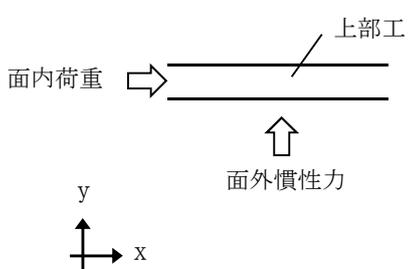
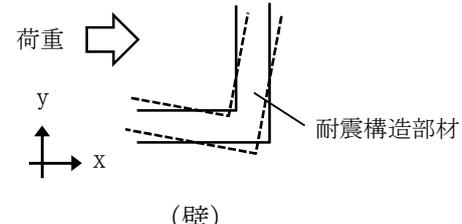
3 次元的な応答特性		影響想定部位
②-1	面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい	<p>躯体の慣性力を負担する上部工等 (例)</p>  <p>面内荷重 →</p> <p>↑ 面外慣性力</p> <p>上部工</p> <p>y ↑ x →</p> <p>(耐震構造部材)</p>
②-2	加振方向以外の方に励起される振動	<p>ねじれ挙動が想定される構造物 (例)</p>  <p>荷重 →</p> <p>y ↑ x →</p> <p>耐震構造部材</p> <p>(壁)</p>

表 5.3-4 耐震評価上の各部位に対する水平 2 方向入力のおえ方 (1/3)

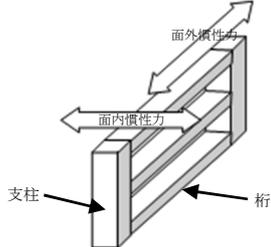
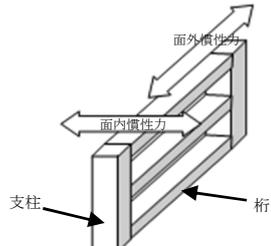
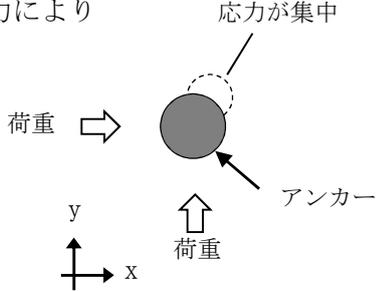
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のおえ方
擁壁部	コンクリート	明確な弱軸・強軸を有しており, 1 方向のみ地震荷重を負担する。評価断面の面外地震荷重負担の影響は小さい。
	桁	直交する地震荷重が同時に作用する。桁は, 桁を支持するための支柱と一体の構造となっており, 面外方向に剛な構造となっているため面外方向荷重の影響は小さい。 
	鋼板	1 方向のみ地震荷重を負担する。鋼板は四方を桁または支柱で固定されているため, 直交する方向及びねじれによる荷重増分による影響は小さい
	支柱	直交する地震荷重が同時に作用する。支柱には遮水する構造とするための桁等が取り付けられており, 面外方向には剛な構造となっているため面外方向荷重の影響は小さい。 
	アンカー	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。 

表 5.3-4 耐震評価上の各部位に対する水平 2 方向入力のかえ方 (2/3)

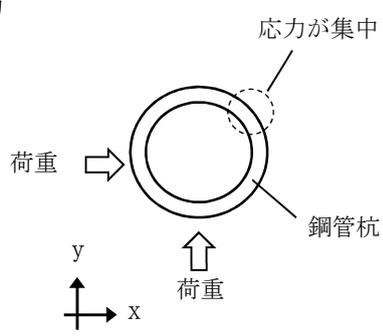
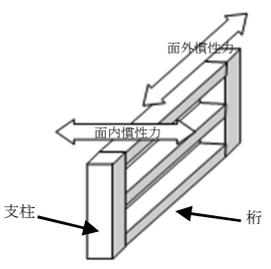
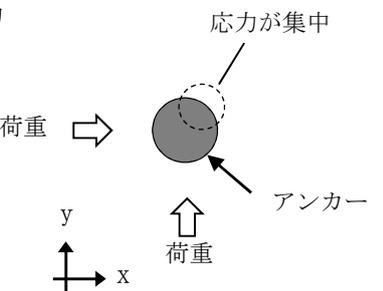
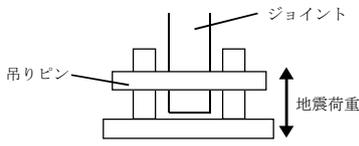
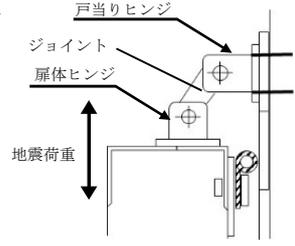
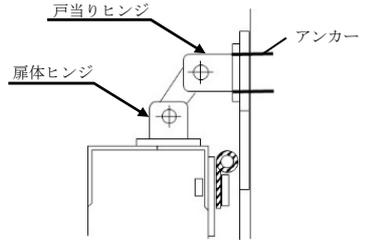
耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
杭基礎部	鋼管杭	<p>直交する水平 2 方向の地震力により集中応力が作用する。</p> 
	コンクリート	<p>明確な弱軸・強軸を有しており、1 方向のみ地震荷重を負担する。評価断面の面外地震荷重負担の影響は小さい。</p>
蓋部扉部	桁補強リブ	<p>直交する地震荷重が同時に作用する。桁は、桁を固定するためのアンカーと一体の構造となっており、面外方向には剛な構造となっているため面外方向荷重の影響は小さい。</p> 
	アンカー	<p>直交する水平 2 方向の地震力により集中応力が作用する。</p> 
	鋼板	<p>1 方向のみ地震荷重を負担する。鋼板は四方を桁または補強リブで固定されているため、直交する方向及びねじれによる荷重増分による影響は小さい。</p>

表 5.3-4 耐震評価上の各部位に対する水平 2 方向入力のかえ方 (3/3)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力のかえ方
固定部	吊ピン	鉛直方向のみの荷重を負担し、水平方向の荷重はアンカーで負担するため、評価断面の面外地震荷重負担の影響は小さい。 
	ジョイント	鉛直方向のみの荷重を負担し、水平方向の荷重はアンカーで負担するため、評価断面の面外地震荷重負担の影響は小さい。 
	アンカー	水平 1 方向のみ荷重を負担する。評価断面の面外方向の地震荷重負担の影響は小さい。 

(5) 荷重の組合せの影響が想定される部位の抽出

表 5.3-1 に示す耐震評価上の構成部位のうち、表 5.3-2 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の影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 5.3-5 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、荒浜側防潮堤の鋼管杭及び閉止板並びに止水壁のアンカーを抽出した。

a. 擁壁部

コンクリート、桁、鋼板及び支柱は、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」する部位は存在しない。

アンカーは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、各構造物において地震荷重と動水圧等の荷重を組合せて評価しており、直交する面外方向の荷重は、存在しないため該当しない。

b. 杭基礎部

①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位として鋼管杭が考えられる。

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、該当しない。

c. 蓋部（屋外）

コンクリート及び桁は、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」する部位は存在しない。

アンカーは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、該当しない。

d. 蓋部（屋内）

蓋部（屋内）については、水平方向の地震力は耐震壁により負担するため、鋼板及び補強リブにおいては、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

アンカーは、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、該当しない。

e. 扉部

扉部については、水平方向の地震力は耐震壁により負担するため、鋼板、桁及び補強リブにおいては、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

扉部のアンカーについては、蓋部のアンカーとは異なり、水平方向に対して平行に配置されているため、①-1には該当しない。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、該当しない。

f. 固定部

固定部は、地震力の負担に方向性を有しており、①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位は存在しない。

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」する部位も存在しない。

表 5.3-5 水平2方向及び鉛直方向地震力による影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性によるスクリーニング)

耐震評価部位	荒浜側防潮堤		閉止板 (屋外)	閉止板 (屋内)	止水壁	フラップ ゲート	水密扉
	鉄筋コン クリート	ゲート					
擁壁部	コンクリート	該当なし	—	—	—	—	—
	桁	—	該当なし	—	—	該当なし	—
	鋼板	—	該当なし	—	—	該当なし	—
	支柱	—	—	—	—	該当なし	—
	アンカー	—	—	—	—	①-1	—
杭基礎部	鋼管杭	①-1	①-1	—	—	—	—
蓋部 (屋外)	コンクリート	—	—	該当なし	—	—	—
	桁	—	—	該当なし	—	—	—
	アンカー	—	—	①-1	—	—	—
蓋部 (屋内) 扉部	鋼板	—	—	—	該当なし	—	該当なし
	桁	—	—	—	—	該当なし	—
	補強リブ	—	—	—	該当なし	—	該当なし
	アンカー (カンスキ含む)	—	—	—	①-1	—	該当なし
固定部	吊ピン	—	—	—	—	該当なし	—
	ジョイント	—	—	—	—	該当なし	—
	アンカー	—	—	—	—	該当なし	—

(6) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

表 5.3-1 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 5.3-3 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組合せの影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を表 5.3-6 に示す。

応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位として、荒浜側防潮堤擁壁部コンクリートの屈曲部を抽出した。

a. 擁壁部

止水壁のアンカーは、(5)で抽出されているため、その他の部材について②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位への該当を検討する。

擁壁部のコンクリート、桁、鋼板及び支柱は、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位は存在しない。

桁、鋼板及び支柱は、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位は存在しない。

荒浜側防潮堤擁壁部コンクリートの屈曲部は②-2に該当するものとして抽出した。

b. 杭基礎部

杭基礎部の鋼管杭については、(5)ですでに抽出されており、評価断面に直交する部材が連続しておらず、ねじれない構造のため②-1及び②-2に該当しない。

c. 蓋部（屋外）

蓋部（屋外）のアンカーは、(5)で抽出されているため、その他の部材について②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位への該当を検討する。

蓋部（屋外）のコンクリート及び桁は、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位は存在しない。また、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位も存在しない。

d. 蓋部（屋内）

蓋部（屋内）のアンカーは、(5)で抽出されているため、その他の部材について②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位への該当を検討する。

蓋部（屋内）の鋼板及び補強リブは、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位は存在しない。また、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生す

る部位も存在しない。

e. 扉部

扉部について②-1「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」部位，②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位への該当を検討する。

扉部の鋼板，桁，補強リブ及びアンカーは，②-1「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」部位は存在しない。また，②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位も存在しない。

f. 固定部

固定部については，地震力を負担する方向性を有しており，②-1「面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響が大きい」部位は存在しない。また，②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位も存在しない。

表 5.3-6 水平 2 方向及び鉛直方向地震力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		荒浜側防潮堤		閉止板 (屋外)	閉止板 (屋内)	止水壁	フラップ ゲート	水密扉
		鉄筋コン クリート	ゲート					
擁壁部	コンクリート	②-2	—	—	—	—	—	—
	桁	—	該当なし	—	—	該当なし	—	—
	鋼板	—	該当なし	—	—	該当なし	—	—
	支柱	—	—	—	—	該当なし	—	—
	アンカー	—	—	—	—	該当なし	—	—
杭基礎部	鋼管杭	該当なし	該当なし	—	—	—	—	—
蓋部 (屋外)	コンクリート	—	—	該当なし	—	—	—	—
	桁	—	—	該当なし	—	—	—	—
	アンカー	—	—	該当なし	—	—	—	—
蓋部 (屋内) 扉部	鋼板	—	—	—	該当なし	—	該当なし	該当なし
	桁	—	—	—	—	—	該当なし	—
	補強リブ	—	—	—	該当なし	—	—	該当なし
	アンカー (カンスキ含む)	—	—	—	該当なし	—	—	該当なし
固定部	吊ピン	—	—	—	—	—	該当なし	—
	ジョイント	—	—	—	—	—	該当なし	—
	アンカー	—	—	—	—	—	該当なし	—

5.4 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結果

津波防護施設において、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定されるとして抽出した部位を表5.3-7に示す。

応答特性①-1「直交する水平2方向の荷重が応力として集中」する部位のうち構造規模が大きく、動土圧及び動水圧による荷重が大きくなる荒浜側防潮堤の鋼管杭を代表として水平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②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する部位として、荒浜側防潮堤擁壁部コンクリートの屈曲部を抽出し、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。

表 5.3-7 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

応答特性	耐震評価部位		対象構造物	代表評価部位
①-1	擁壁部	アンカー	止水壁	構造規模が大きく、動土圧及び動水圧による荷重が大きくなる荒浜側防潮堤の鋼管杭を代表とする
	杭基礎部	鋼管杭	荒浜側防潮堤	
	蓋部 (屋内外)	アンカー (カンスキ含む)	閉止板	
②-2	擁壁部	コンクリート	荒浜側防潮堤	荒浜側防潮堤擁壁部コンクリートの屈曲部

別紙ー 1

3次元 FEM モデルによる地震応答解析

目 次

1. 6号炉原子炉建屋の評価
 - 1.1 検討概要
 - 1.2 3次元 FEM モデルの構築
 - 1.3 3次元 FEM モデルによる評価

2. 7号炉原子炉建屋の評価
 - 2.1 検討概要
 - 2.2 3次元 FEM モデルの構築
 - 2.3 3次元 FEM モデルによる評価

3. まとめ

1. 6号炉原子炉建屋の評価

1.1 検討概要

原子炉建屋の3次元応答特性の把握を目的に、原子炉建屋について3次元FEMモデル「以下、「建屋3次元FEMモデル」という。」による地震応答解析を行い、原子炉建屋の局所的な応答を検討する。また建屋3次元FEMモデルの挙動が、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。

1.1.1 構造概要

原子炉建屋の平面は、下部では56.6m(NS)×59.6m(EW)でほぼ正方形をなしており、基礎底面からの高さが63.4m（地上部37.7m，地下部25.7m）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

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上がり、原子炉建屋と一体構造としている。原子炉建屋の概略平面図を図1.1.1-1に、概略断面図を図1.1.1-2に示す。

a. 原子炉建屋

原子炉建屋は、図1.1.1-2に示すように、地上4階、地下3階の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

原子炉建屋は、RCCVと外壁（以下、「ボックス壁」という。）の間に耐震壁（以下、「中間壁」という。）を配置している。

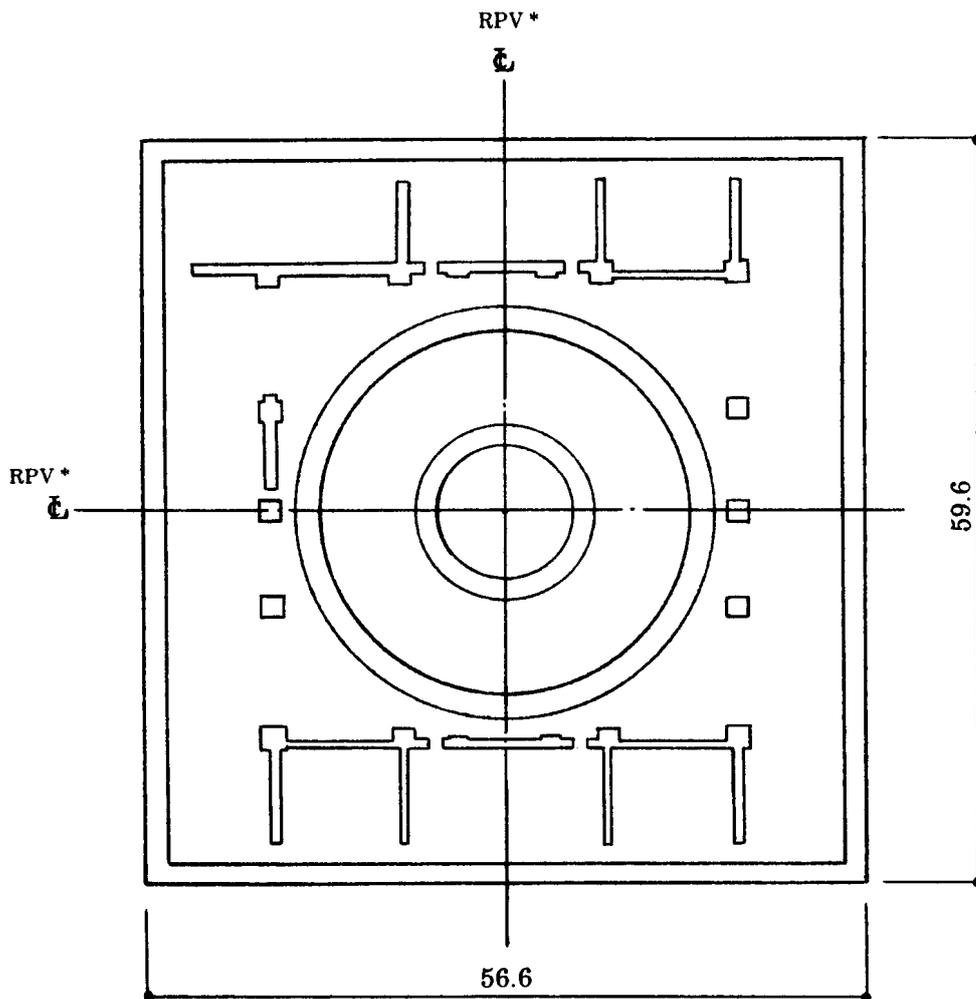
原子炉建屋の主要な耐震壁はRCCV、ボックス壁及び中間壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。

b. 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（RCCV）

RCCVは、円筒形で基礎スラブ上から立上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。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である。

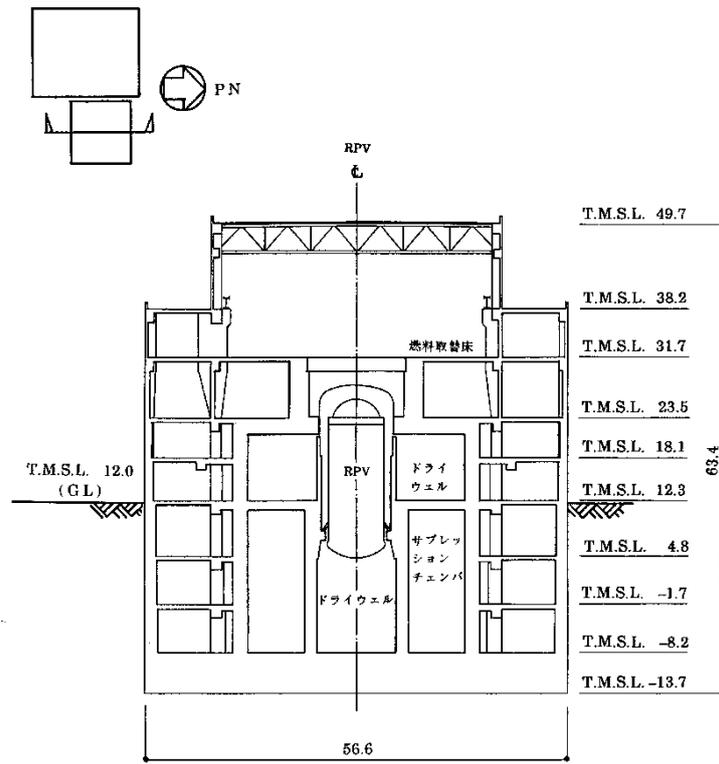
c. 原子炉建屋の基礎

原子炉建屋の基礎は、RCCV及びこれを取り囲む原子炉建屋の共通の基礎となっている鉄筋コンクリート造の基礎スラブであり、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されている。平面の形状は、NS方向56.6m、EW方向59.6mの矩形である。

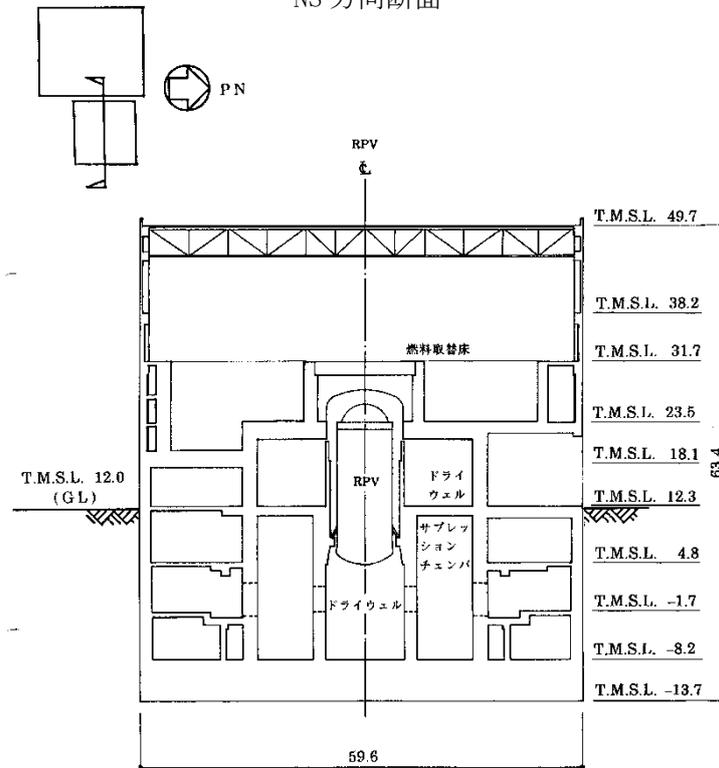


注記 * : 原子炉圧力容器 (以下, 「RPV」と略す。)

図 1.1.1-1 原子炉建屋の概略平面図 (単位 : m)



NS 方向断面



EW 方向断面

図 1. 1. 1-2 原子炉建屋の概略断面図（単位：m）

1.1.2 3次元 FEM モデルによる耐震評価の方針

建屋 3 次元 FEM モデルを構築し、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。

建屋 3 次元 FEM モデルの妥当性を確認した後、原子炉建屋の 3 次元的応答特性を把握するため、建屋 3 次元 FEM モデルに弾性設計用地震動 Sd を NS 方向及び EW 方向それぞれ 1 方向入力した地震応答解析と、同モデルに NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の地震動を同時入力（以下、「3 方向同時入力」という。）した地震応答解析を実施し、その結果を比較する。

また、建屋 3 次元的 FEM モデルの挙動が建屋及び機器・配管系の耐震評価へ及ぼす影響検討として、建屋 3 次元 FEM モデルと質点系モデルに弾性設計用地震動 Sd を NS 方向及び EW 方向それぞれ 1 方向入力した地震応答解析を実施し、結果を比較する。

建屋 3 次元 FEM モデルによる耐震性評価フローを図 1.1.2-1 に示す。

なお、解析には解析コード「MSC Nastran Version 2013.1.1」を用いる。

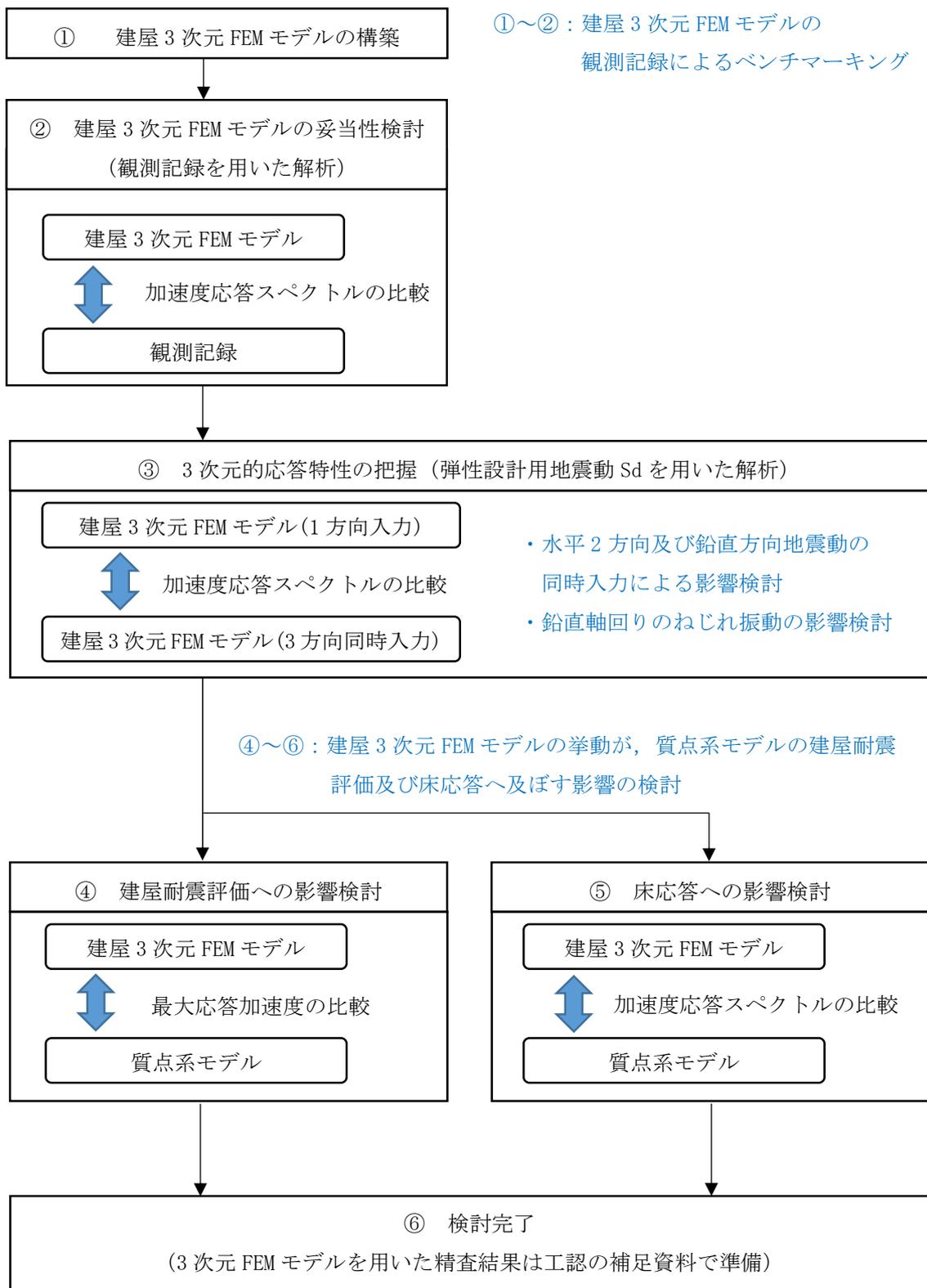


図 1. 1. 2-1 建屋 3 次元 FEM モデルによる耐震性評価フロー

1.2 3次元FEMモデルの構築

1.2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル

(1) モデル化の基本方針

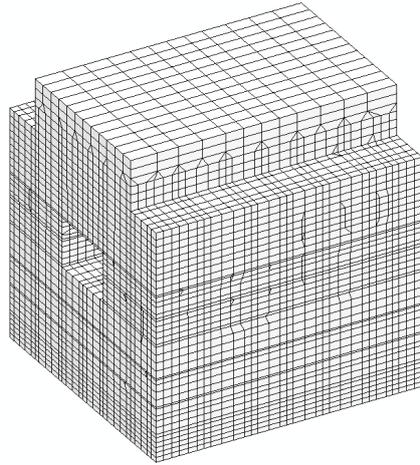
建屋3次元FEMモデルを構築する。モデル化の範囲は、原子炉建屋、RCCV及び基礎とする。建屋3次元FEMモデルの解析モデルを図1.2.1-1に示す。

建屋3次元FEMモデルで設定する各部材の要素タイプは、床スラブ・壁は面材で軸剛性、せん断剛性及び曲げ剛性を評価するためシェル要素（約21000要素）とし、基礎スラブは、床スラブと同一の面材であるが、床スラブに比べスラブ厚が大きいことからソリッド要素（約5600要素）とし、柱・梁は線材で軸剛性、せん断剛性及び曲げ剛性を評価するためビーム要素とし、屋根トラスのメイントラス・サブトラス・サブビームについても柱・梁と同一の線材なのでビーム要素（約3600要素）、斜材・束材・水平ブレースは線材で軸剛性のみ評価するのでトラス要素（約600要素）でモデル化する。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。

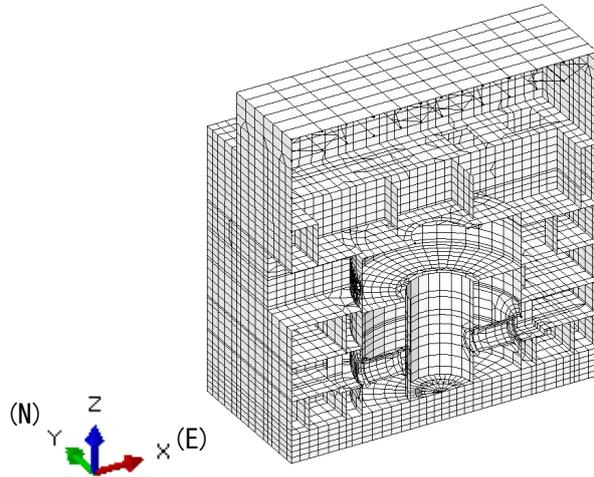
要素の大きさは、以下の原則に従って分割する。

- ① 外壁は水平方向には通り芯間4分割程度、鉛直方向にはフロア間を4分割程度とする
- ② 床は外壁と同じく、通り芯間4分割程度とする（床スラブは質点系モデルと同じスラブ上面レベルでモデル化する。）
- ③ 外壁以外の壁は水平方向には床スラブの要素の大きさに合わせ、鉛直方向には外壁と同じく、フロア間を4分割程度とする
- ④ 屋根トラスは1部材1要素とし、トラス間の屋根スラブは外壁の分割を延長してモデル化する

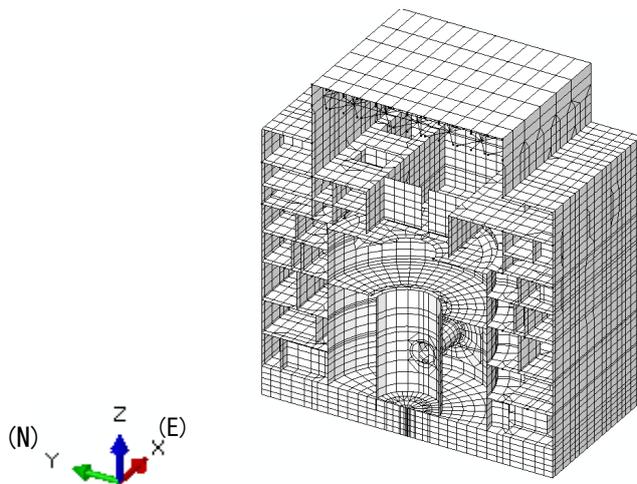
使用材料の物性値を表1.2.1-1に示す。使用材料の物性値は、3次元FEMモデルと質点系モデルで同一である。



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(c) NS 断面図

図 1.2.1-1 建屋 3次元モデル

表 1.2.1-1 使用材料の物性値

部位他		使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性 係数 G (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 h (%)
建屋部	実強度	コンクリート Fc = 440kg/cm ²	2.88×10 ⁴	1.20×10 ⁴	0.2	5
基礎部	実強度	コンクリート Fc = 400kg/cm ²	2.79×10 ⁴	1.16×10 ⁴	0.2	5
屋根トラス, 鉄骨部		鋼材	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	0.3	2

(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。質点系モデルの質量と整合をとるために，建屋 3 次元 FEM モデルの基準床の質量密度を調整する。具体的には，建屋 3 次元 FEM モデルの各フロア質量を算出したのち，質点系モデルの各フロア質量との差を算出し，その差分を建屋 3 次元 FEM モデルの基準床の質量密度に付加した。

(3) 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は，質点系モデルの地盤ばねと整合するよう，地盤をばね要素でモデル化することで考慮する

基礎底面地盤ばねは，質点系モデルで考慮したスウェイ，ロックイン及び鉛直のばねの値を元に，建屋 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。

側面地盤ばねは，質点系モデルで考慮した水平・回転ばねの値を元に，建屋 3 次元 FEM モデルの側面（地中部建屋側面）の支配長さに応じて離散化する。

(4) 地盤ばねのモデル化

建屋質点系モデルと同様に，建屋地盤相互作用効果を地盤ばね（底面水平・回転：振動アドミッタンス、側面水平・回転：NOVAK ばね）としてモデル化する。地盤ばねのモデル化概念図を図 1.2.1-2 に示す。

側面地盤ばねを考慮する範囲は，質点系モデルと同一で，安田層以深の埋込み部分全周とする。側面地盤ばねを考慮する範囲を図 1.2.1-3 に示す。

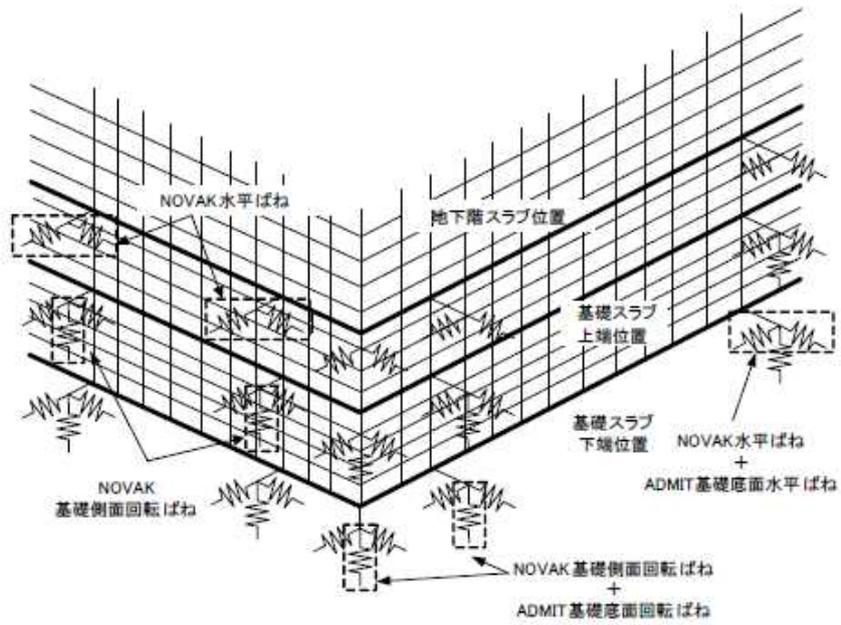


図 1. 2. 1-2 地盤ばねのモデル化概念図

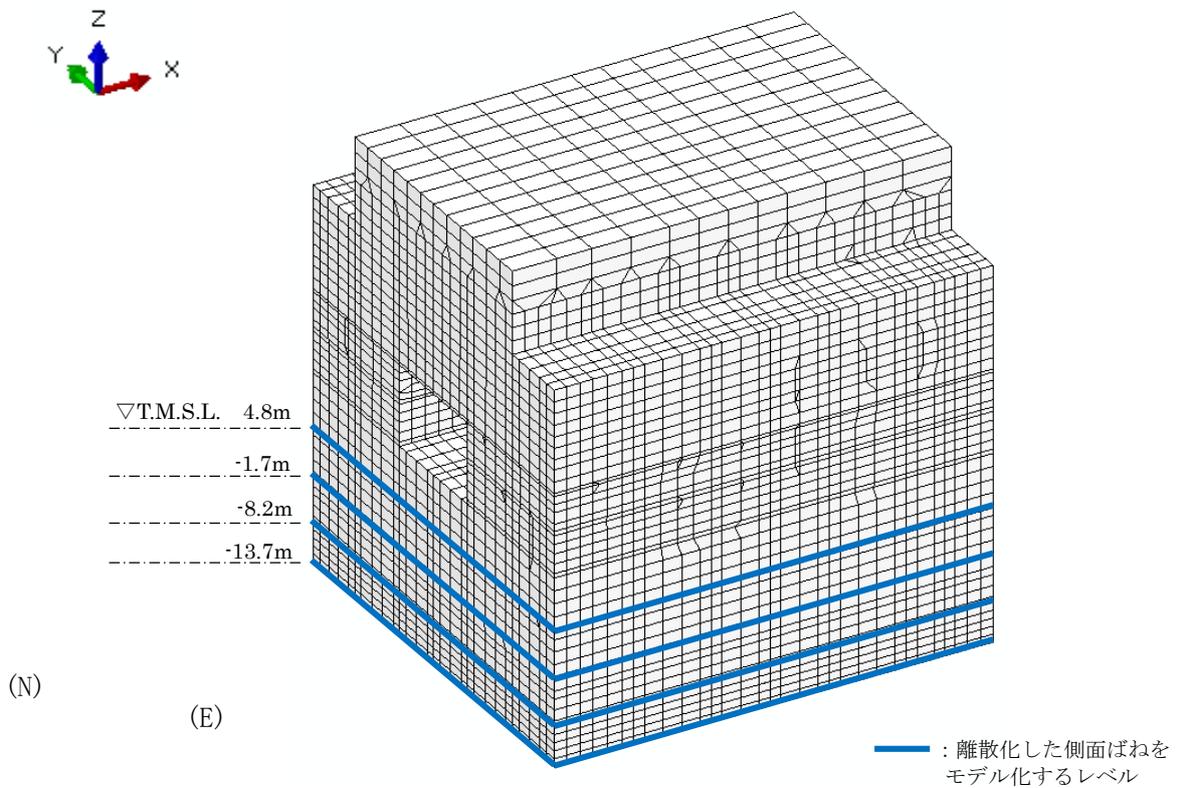


図 1. 2. 1-3 側面地盤ばねを考慮する範囲

1.2.2 観測記録を用いた検討

(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、建屋3次元FEMモデルを用いて解析を実施し、解析結果と観測記録を比較し建屋3次元FEMモデルの妥当性を確認する。

なお、観測記録に用いた検討で使用する建屋3次元FEMモデルは、当時の状況を反映させるため、積雪荷重は考慮せず、屋根トラスのモデル化は耐震補強を行う前の部材でモデル化している。

解析に用いる地震の諸元を図1.2.2-1に、地震計位置を図1.2.2-2に、原子炉建屋基礎上で得られた観測記録を図1.2.2-3及び図1.2.2-4に示す。また、観測記録を用いた検討における解析用地盤物性を表1.2.2-1に示す。なお、初期地盤物性については6号炉原子炉建屋の既工認の物性と同一である。

地震波はNS方向、EW方向及び鉛直方向に3方向同時入力し、解析を実施する。

観測記録を用いた解析は、原子炉建屋基礎上(6-R2:T.M.S.L.-8.2m)で観測された記録を使用する。地震波は、基礎上での応答が観測記録と同一となるように基準化を行っている。

地震計を設置している床位置での応答解析結果と観測記録とを比較する。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007年7月16日 午前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	23km

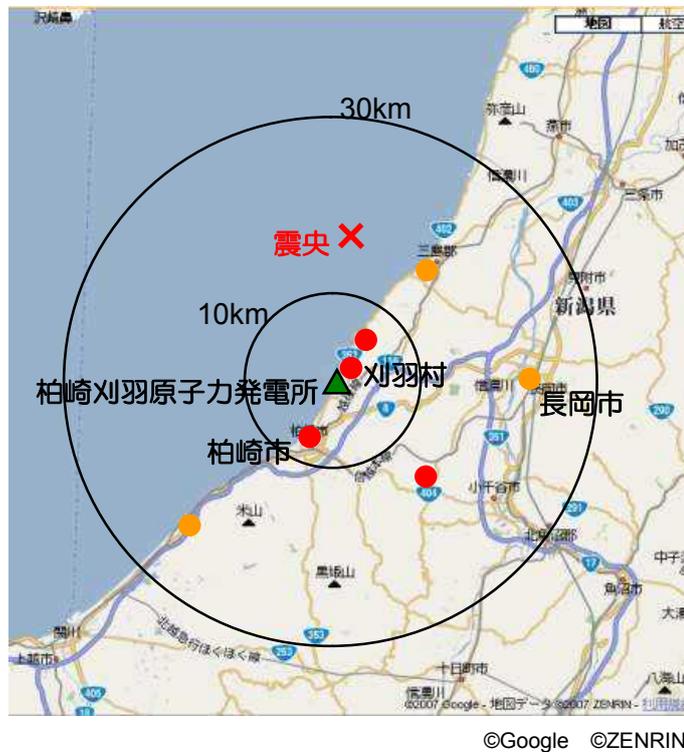
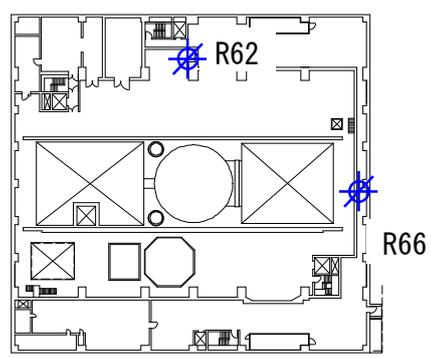
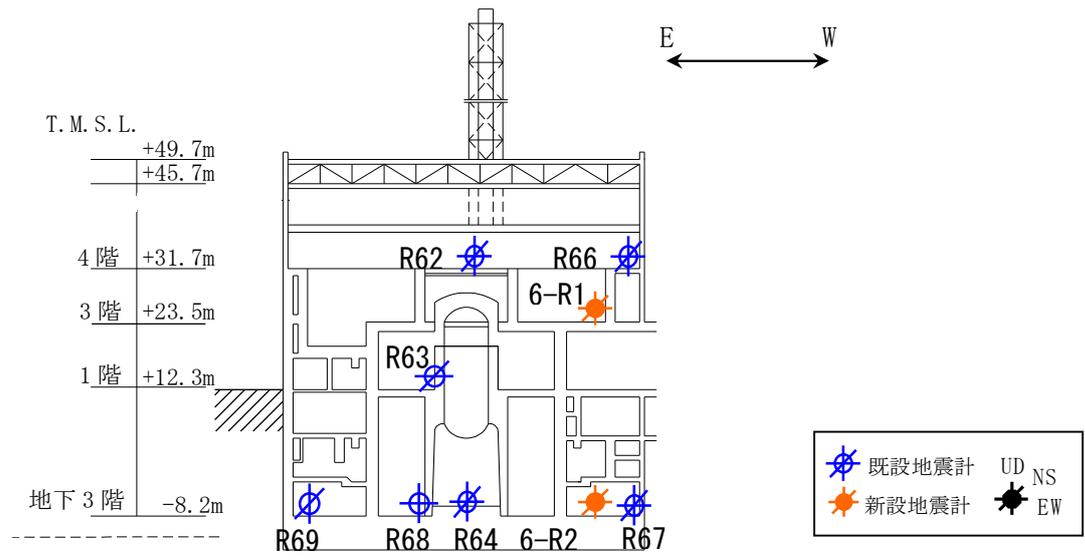
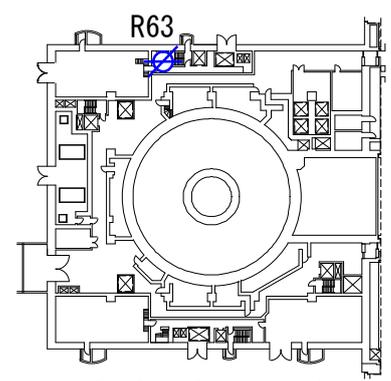


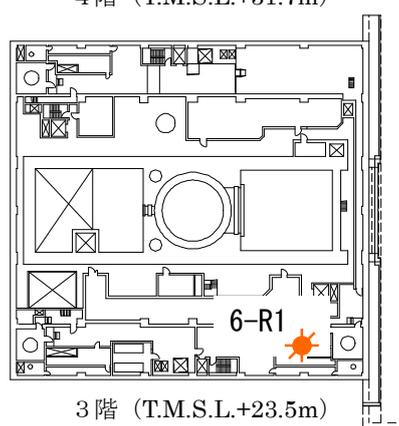
図 1.2.2-1 検討に用いる地震の諸元 (2007 年新潟県中越沖地震)



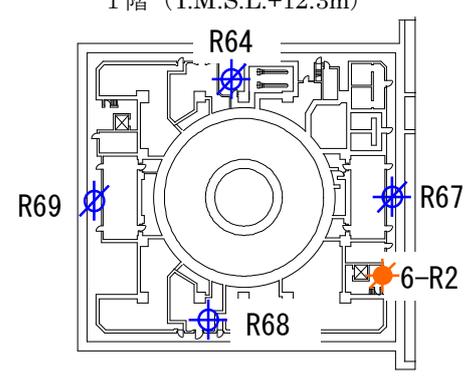
4階 (T.M.S.L.+31.7m)



1階 (T.M.S.L.+12.3m)

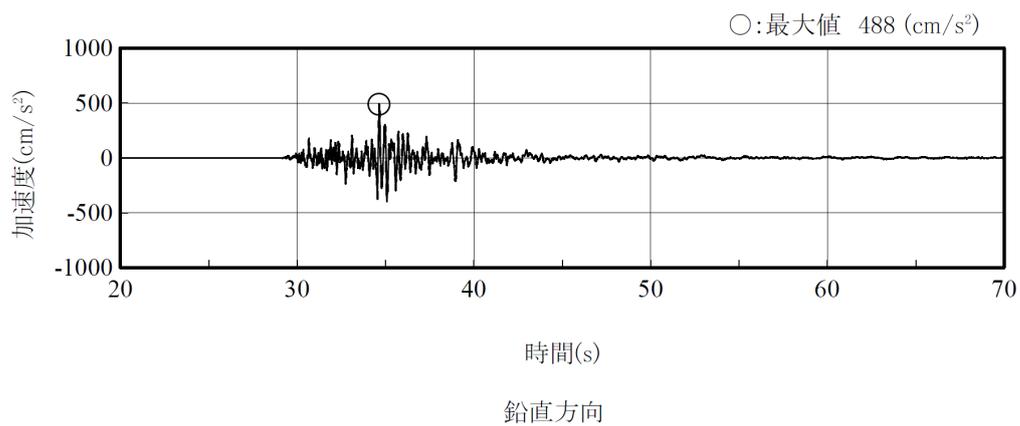
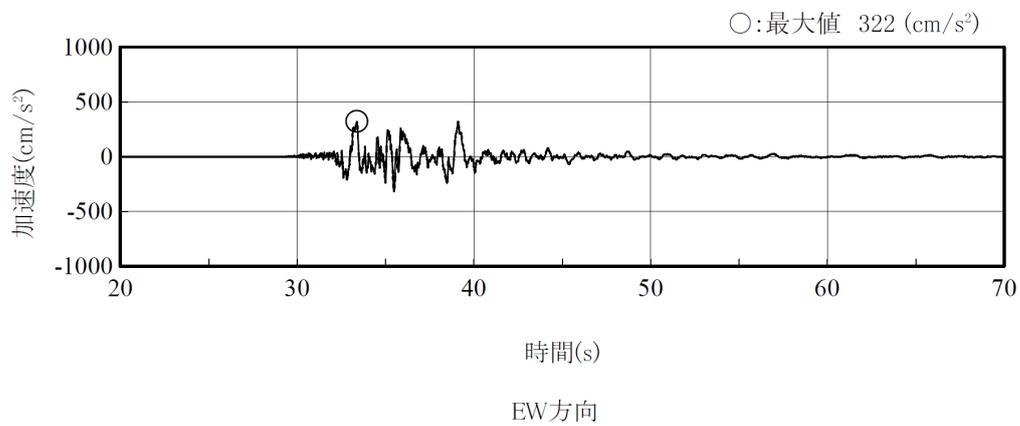
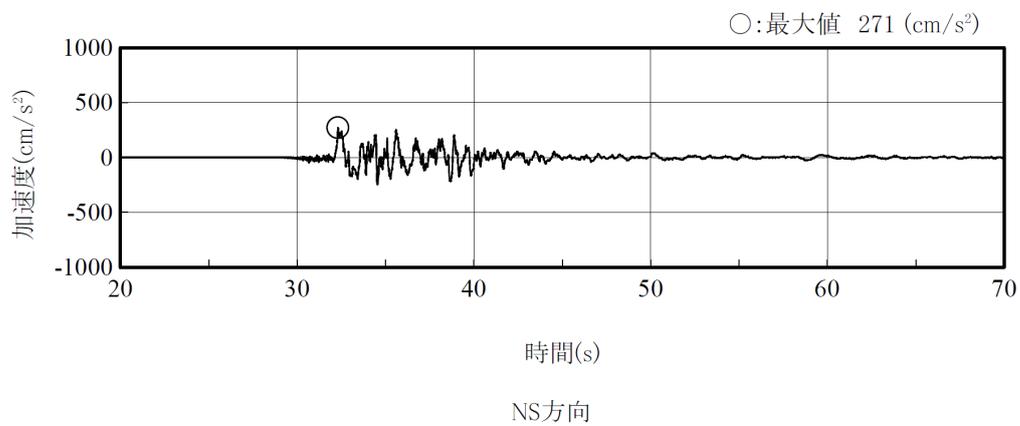


3階 (T.M.S.L.+23.5m)



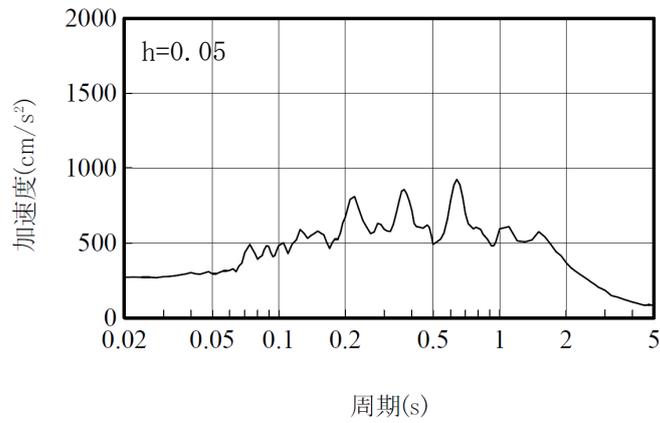
地下3階 (基礎版上)
(T.M.S.L.-8.2m)

図 1.2.2-2 地震計位置

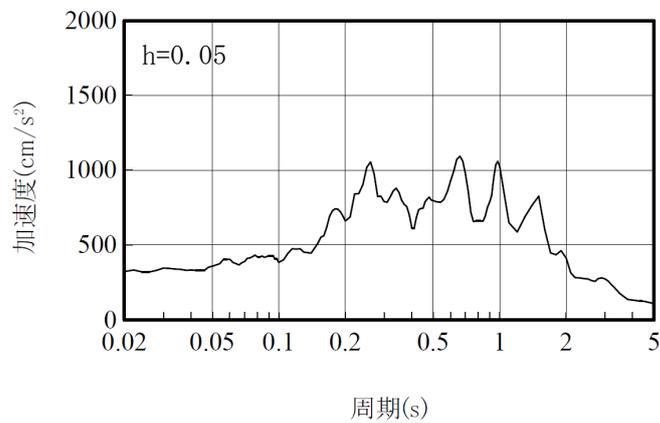


(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

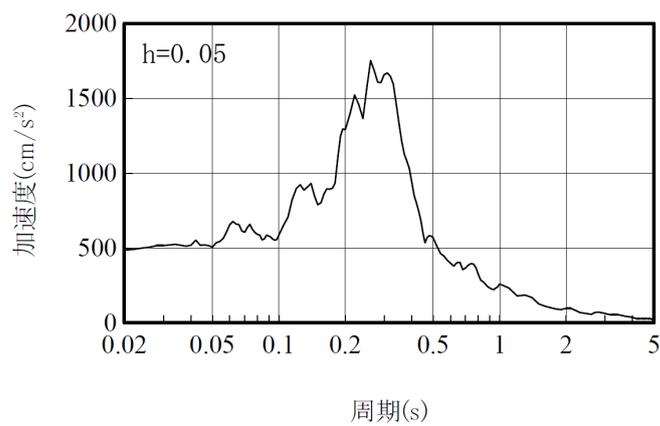
図 1. 2. 2-3 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形
(6-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)



NS方向



EW方向



鉛直方向

図 1. 2. 2-4 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度応答スペクトル
(6-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)

表 1.2.2-1 観測記録を用いた検討における地盤物性値

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^2$ N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^2$ N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E ($\times 10^2$ N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.11	0.37	0.29	0.29	22	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.19	0.66	0.29	0.50	22	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.22	1.92	0.64	3.57	4	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.86	4.16	0.93	11.20	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.41	4.75	0.93	12.75	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.71	6.14	0.93	16.35	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	7.73	8.32	0.93	22.02	3	19.0
-155.0		〔解放 基盤〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

(2) 観測記録による解析結果

原子炉建屋床レベルの地震計位置での観測記録及び解析結果の最大応答加速度の比較を図 1.2.2-5 に、加速度応答スペクトルの比較を図 1.2.2-6 に示す。なお、観測記録と比較するための解析結果は、地震計位置近傍の節点を用いる。

(3) 観測記録と解析結果の比較・考察

最大応答加速度及び加速度応答スペクトルにおいて、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の解析結果は、観測記録と整合的である事を確認した。

以上より、建屋 3 次元 FEM モデルは観測記録を再現可能なモデルであると考えられる。

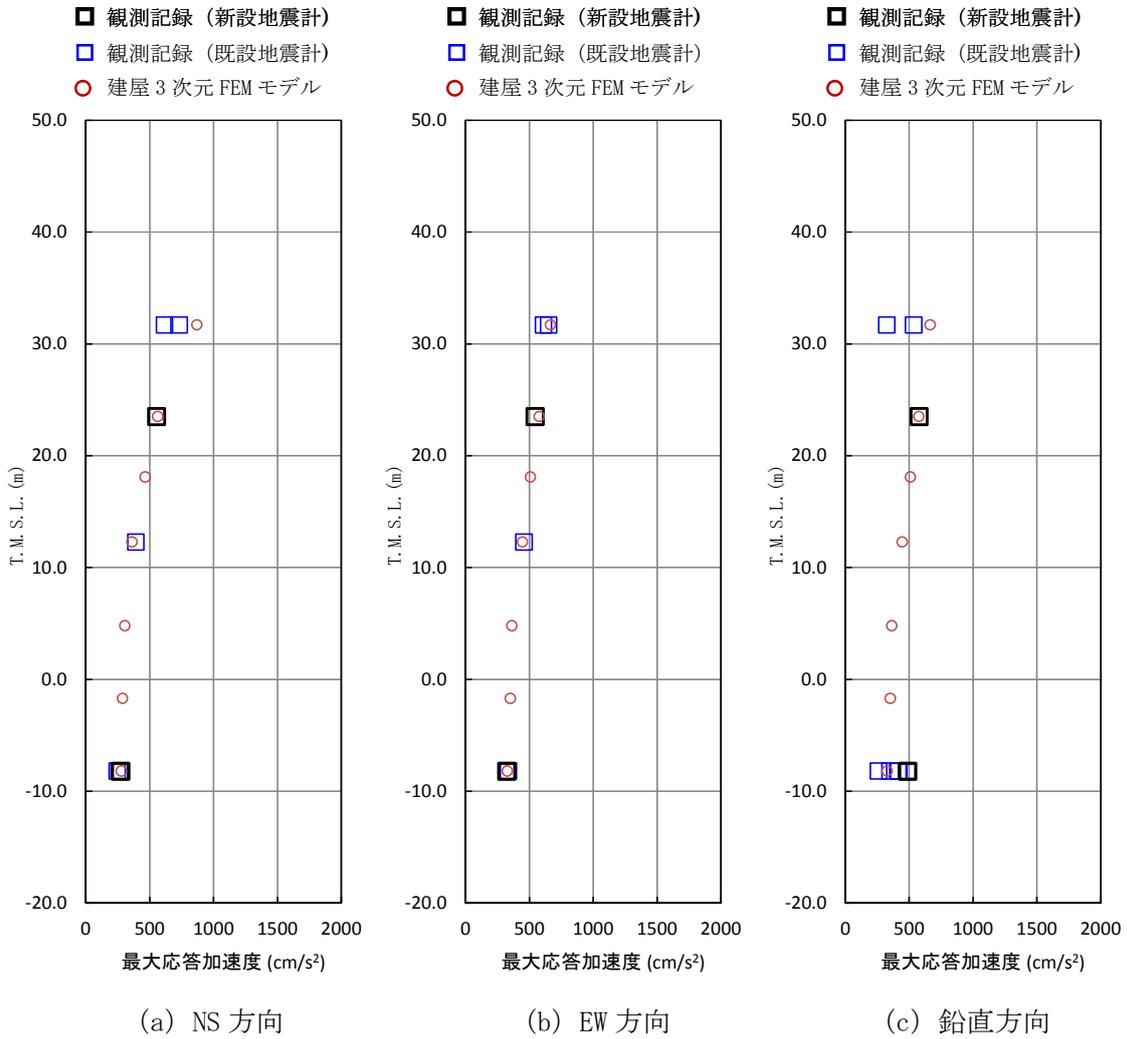
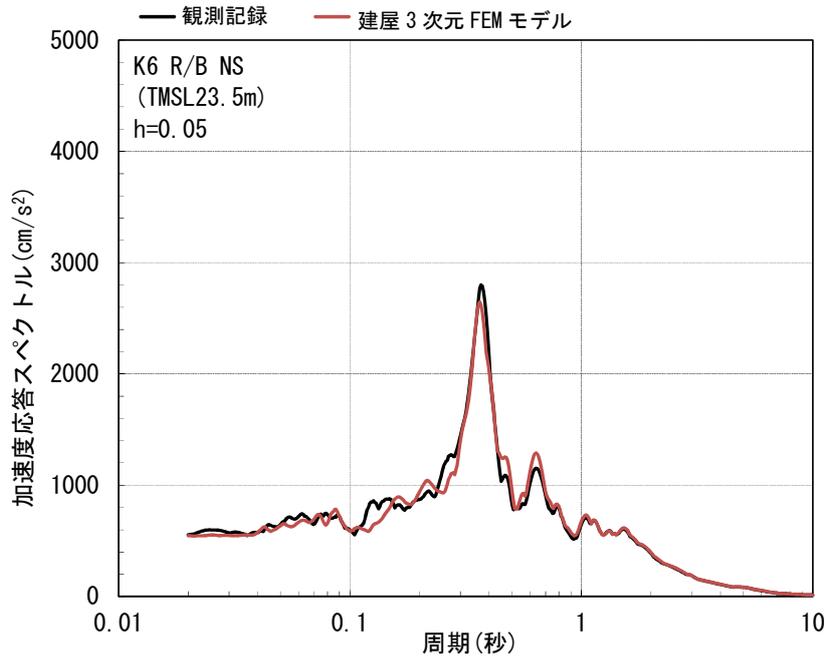
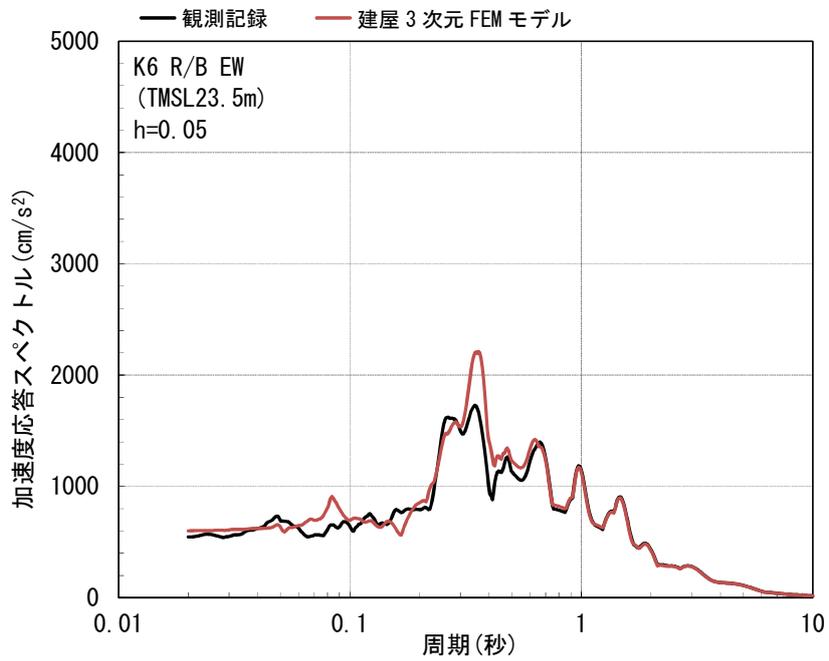


図 1.2.2-5 観測記録と解析結果の各フロアの最大応答加速度の比較

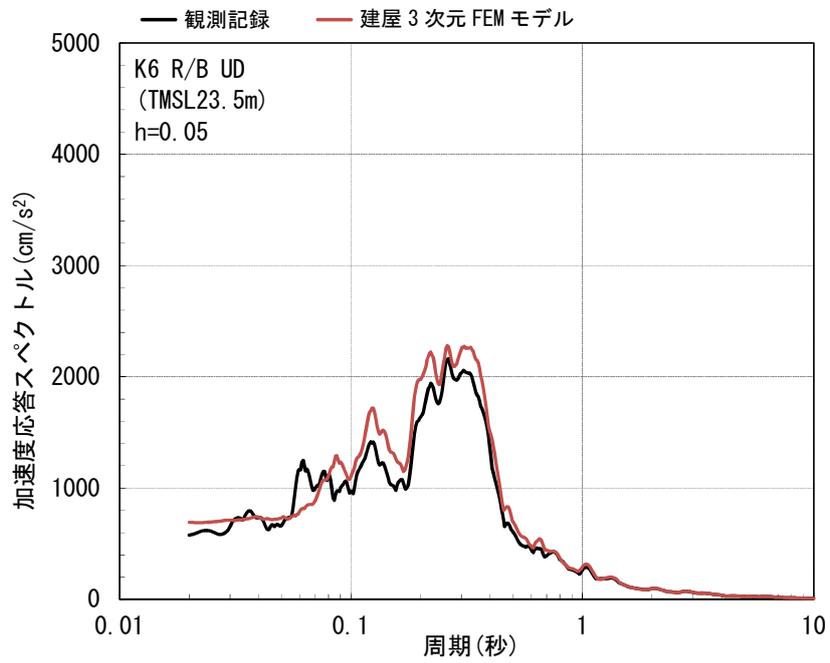


(a) NS 方向



(b) EW 方向

図 1.2.2-6 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(6-R1 : T. M. S. L. 23.5m) (1/2)



(c) UD 方向

図 1.2.2-6 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(6-R1 : T. M. S. L. 23.5m) (2/2)

1.3 3次元 FEM モデルによる評価

1.3.1 地震応答解析の概要

原子炉建屋の 3 次元的応答特性を把握し、それらが建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討するため、建屋 3 次元 FEM モデルを用いて、地震応答解析を実施する。

原子炉建屋の地震応答解析は基準地震動 S_s にて実施されることが望ましいが、3 次元 FEM 解析の演算時間が長時間となるため、その負担が少なくなるよう、基準地震動 S_s を 1/2 倍して算出される弾性設計用地震動 S_d で解析を行う。なお、弾性設計用地震動 S_d においても、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルの違いによる応答への影響はとらえることができると考えられる。

弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルを図 1.3.1-1 に示す。図 1.3.1-1 より、耐震評価へおよぼす影響が大きい弾性設計用地震動 S_d として S_d-1 と S_d-2 が挙げられるが、今回検討では、断層モデルにおいて 3 方向それぞれで入力定義されている弾性設計用地震動 S_d-2 を検討用地震動として選定し、解析を行う。

弾性設計用地震動 S_d-2 の加速度時刻歴波形を図 1.3.1-2 に、加速度応答スペクトルを図 1.3.1-3 に示す。また、弾性設計用地震動 S_d-2 応答解析時の地盤物性を表 1.3.1-1 に示す。なお、初期地盤物性については 6 号炉原子炉建屋の既工認の物性と同一である。

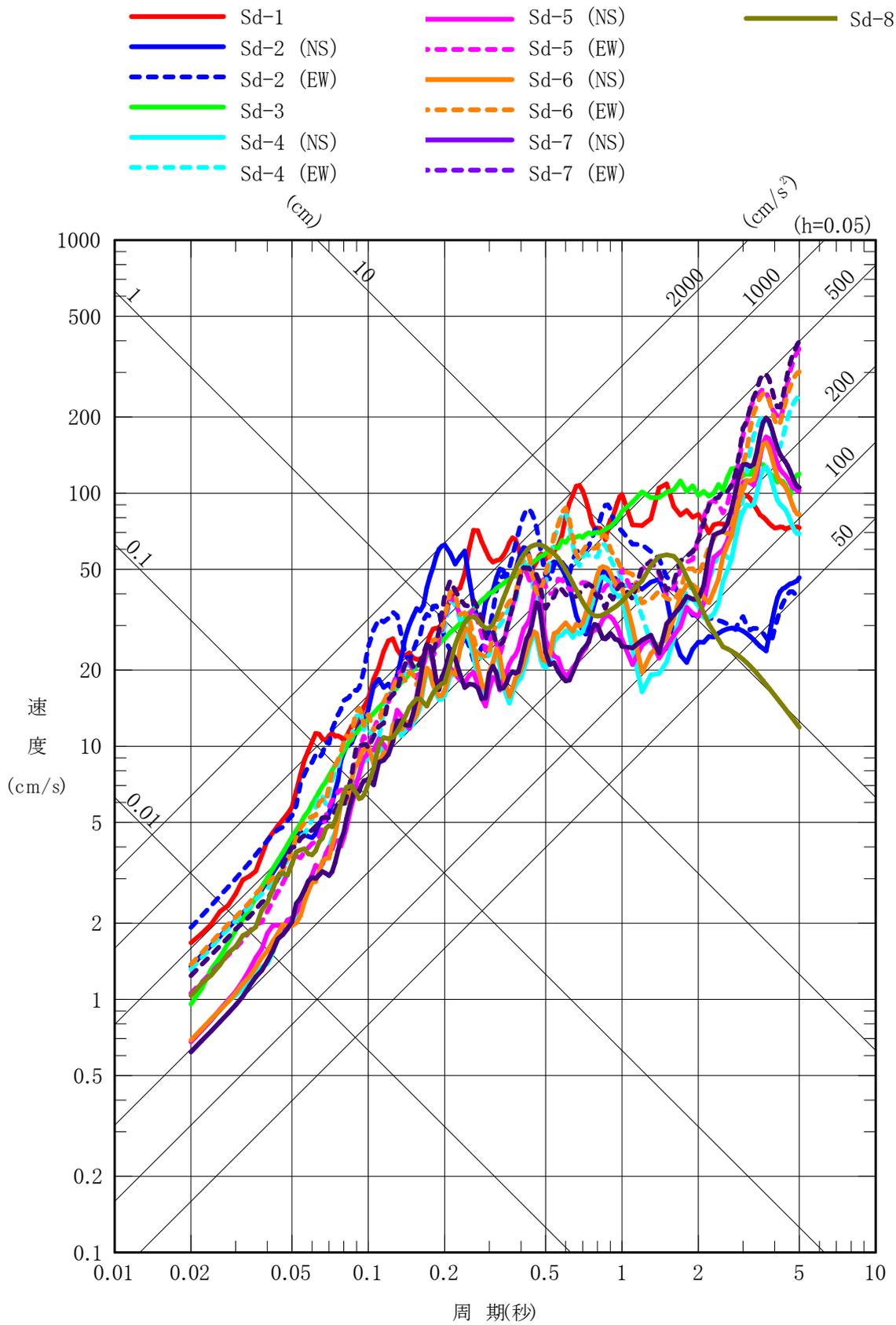


図 1.3.1-1 弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル (水平方向) (大湊側) (1/2)

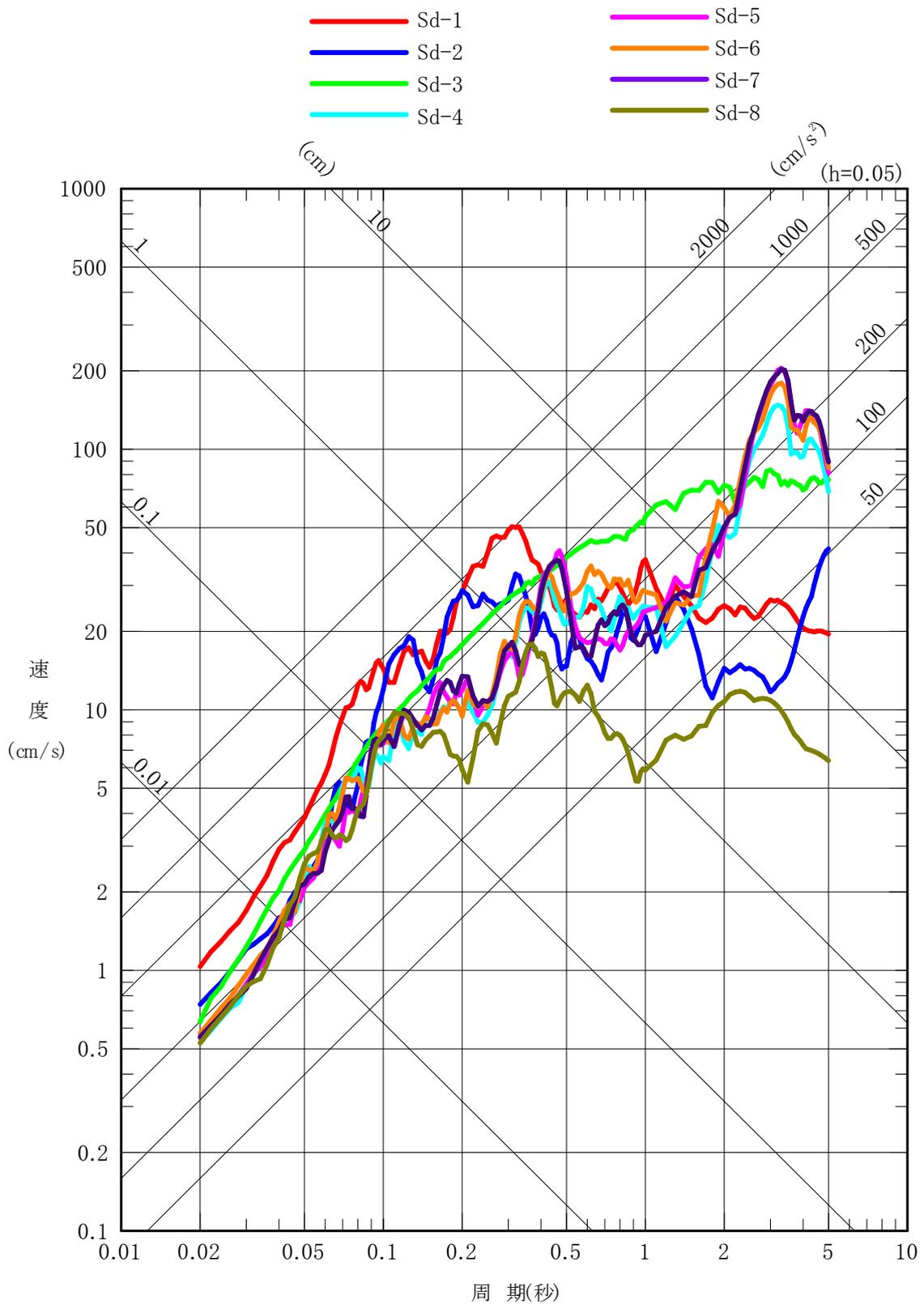


図 1.3.1.-1 弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル (鉛直方向) (大湊側) (2/2)

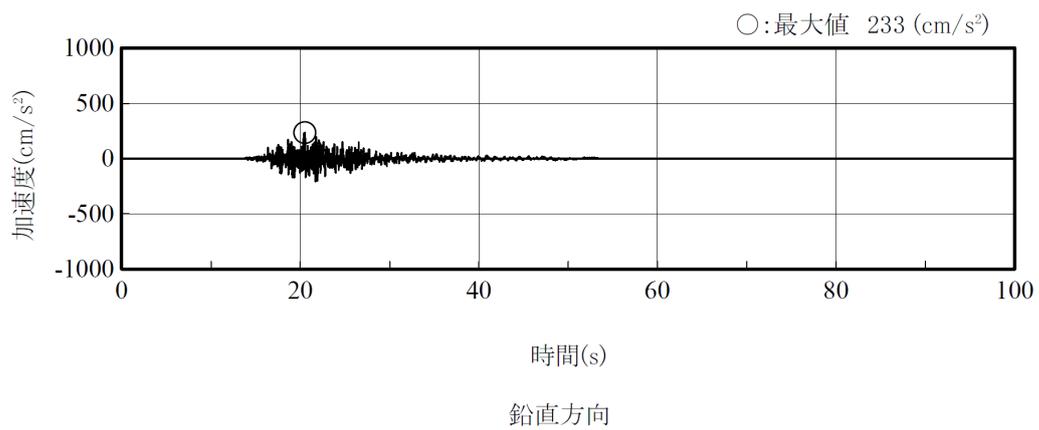
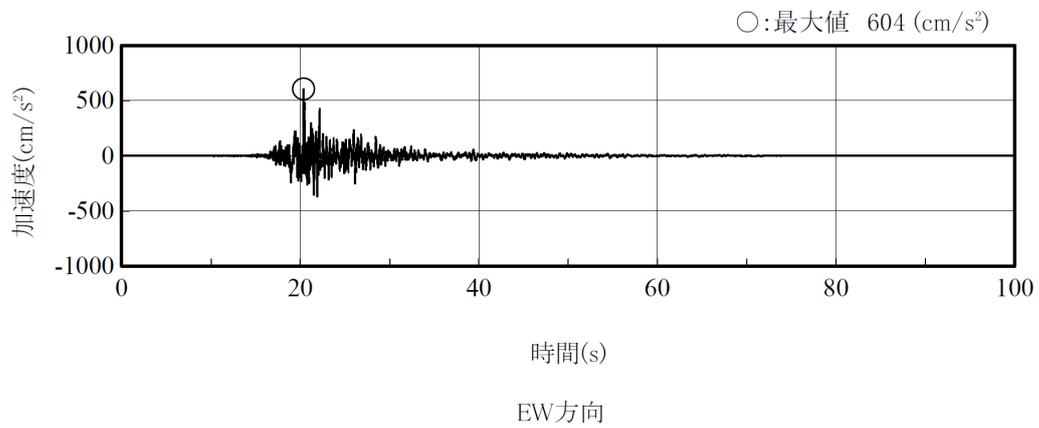
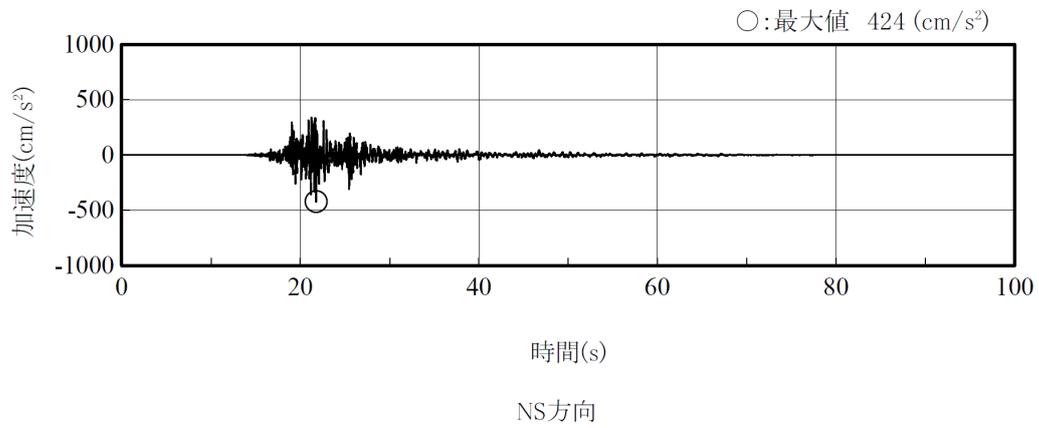


図 1.3.1-2 弾性設計用地震動 Sd-2 加速度時刻歴波形 (解放基盤面)

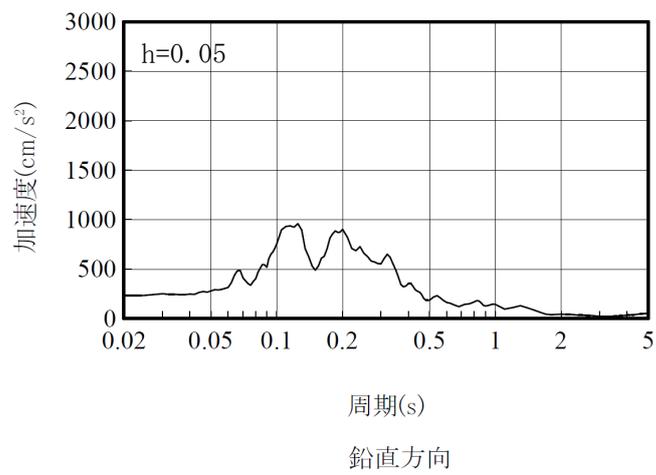
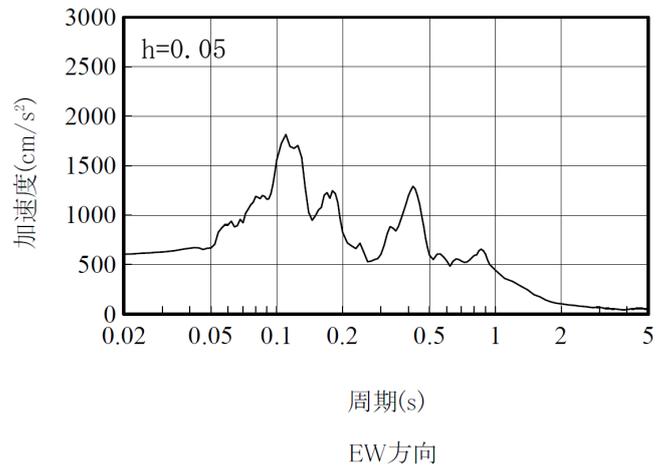
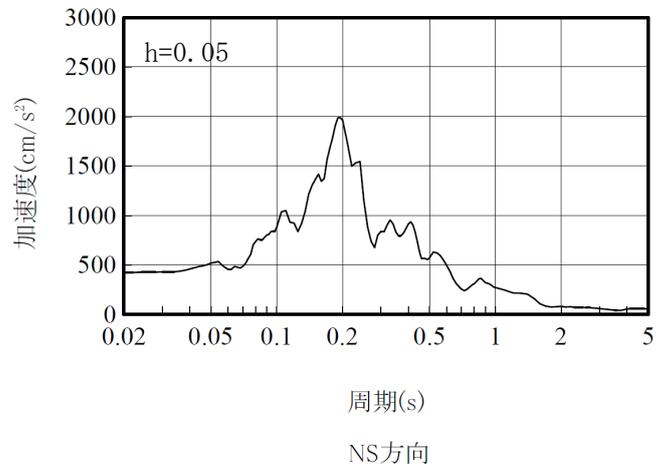


図 1.3.1-3 弾性設計用地震動 Sd-2 加速度応答スペクトル (解放基盤面)

表 1.3.1-1 弾性設計用地震動 Sd-2 応答解析時の地盤物性値

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^2$ N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^2$ N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E ($\times 10^2$ N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.15	0.37	0.41	0.41	16	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.14	0.66	0.22	0.38	19	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.22	1.92	0.64	3.57	3	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.03	4.16	0.97	11.70	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.56	4.75	0.96	13.19	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.95	6.14	0.97	17.04	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	8.07	8.32	0.97	22.98	3	19.0
-155.0		〔解放 基盤〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

1.3.2 建屋応答性状の把握

建屋 3 次元 FEM モデルの地震応答解析より，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる，3 次元応答特性の把握を行う。

(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を確認するため，建屋 3 次元 FEM モデルに弾性設計用地震動 Sd-2 を NS 方向及び EW 方向それぞれ 1 方向入力した地震応答解析と，3 方向同時入力した地震応答解析を実施し，その結果を比較する。

地震動の組合せを表 1.3.2-1 に示す。

応答の算出は，各方向への入力地震動に対して算出された各成分の応答を時刻歴で足し合わせることで，水平 2 方向及び鉛直方向の地震動に対する方向ごとの応答を算出する。

表 1.3.2-1 地震動の組合せ

地震動の入力方法		NS 方向	EW 方向	鉛直方向
1 方向入力	NS 方向	Sd-2(NS)	—	—
	EW 方向	—	Sd-2(EW)	—
3 方向同時入力		Sd-2(NS)	Sd-2(EW)	Sd-2(UD)

(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる影響の確認

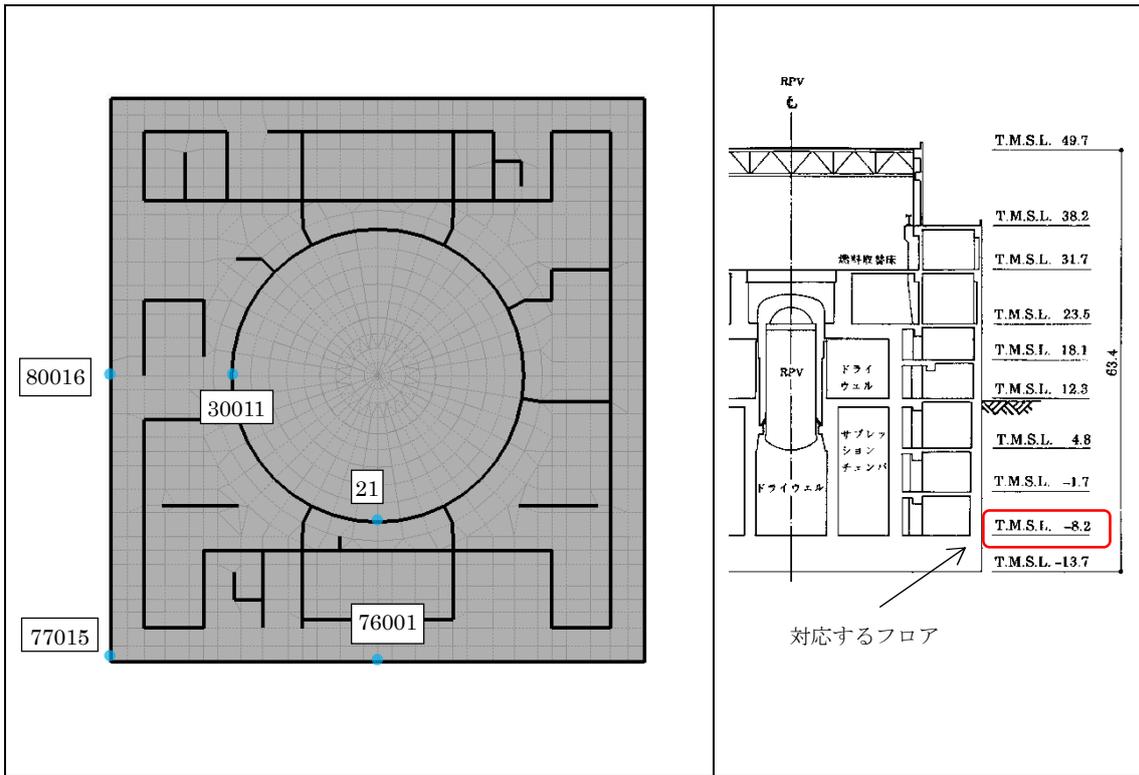
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる影響の確認は、表 1.3.2-1 の地震動を、NS 方向及び EW 方向それぞれ 1 方向入力した場合の加速度応答スペクトルと、3 方向同時入力した場合の加速度応答スペクトルを比較することにより実施する。

建屋 3 次元 FEM モデルの応答評価位置について、高さ方向については原子炉建屋の地下部及び地上部(下部, 上部)を網羅できるよう、地下 3 階(T. M. S. L. -8.2m), 1 階(T. M. S. L. 12.3m) 及び 3 階 (T. M. S. L. 23.5m) を代表高さとし、平面的には、3 次元的応答特性の影響が大きいと考えられるボックス壁の隅部および中間部を評価点とし、また RCCV 部についても NS・EW 方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は 5 点程度とし、合計 14 点を評価点とし抽出した。建屋 3 次元 FEM モデルの応答評価位置を図 1.3.2-1 に示す。

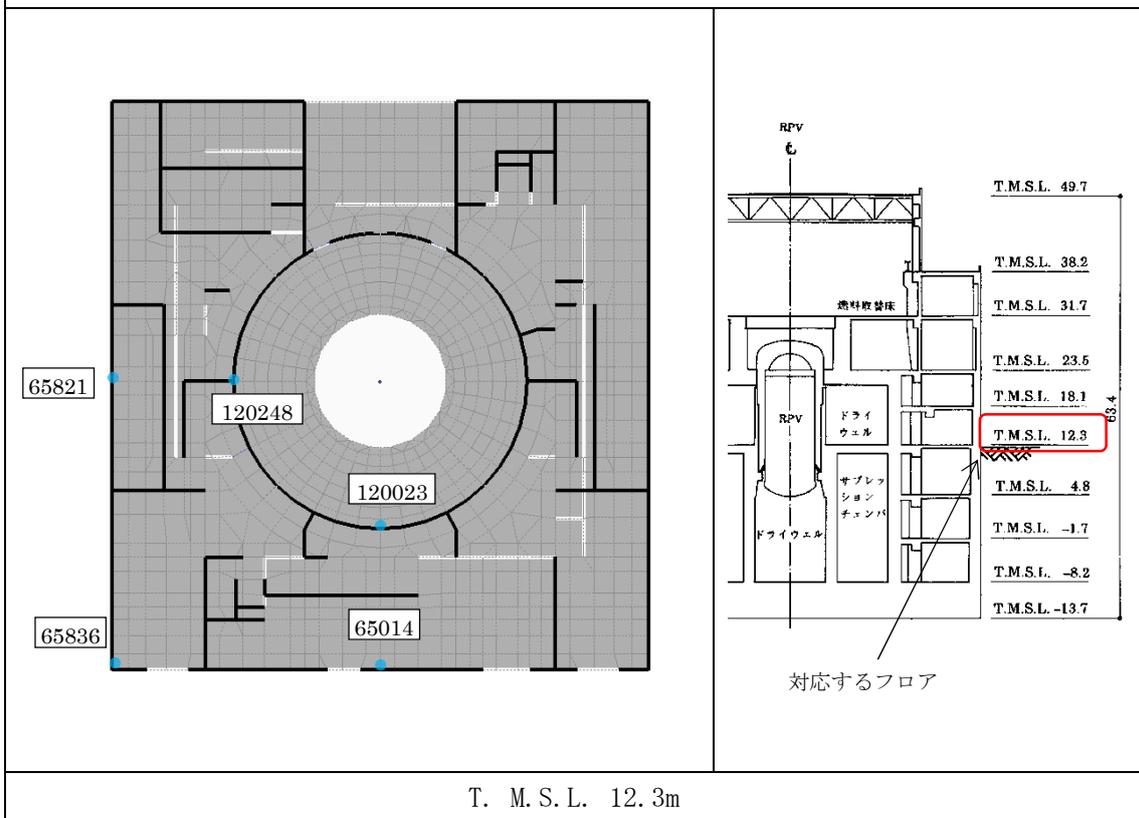
各評価点における減衰定数 $h=0.05$ 時の加速度応答スペクトルの比較を図 1.3.2-2 に、減衰定数 $h=0.01$ 時の加速度応答スペクトルの比較を図 1.3.2-3 に示す。

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は整合的であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる影響はほとんどないことを確認した。

また、6 号炉原子炉建屋の主要な耐震壁は、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であるため、ねじれの影響により応答増幅しないと考えられるが、解析の結果からも影響がほとんどないことを確認した。



T. M. S. L. -8.2m



T. M. S. L. 12.3m

図 1.3.2-1 応答評価位置 (1/2)

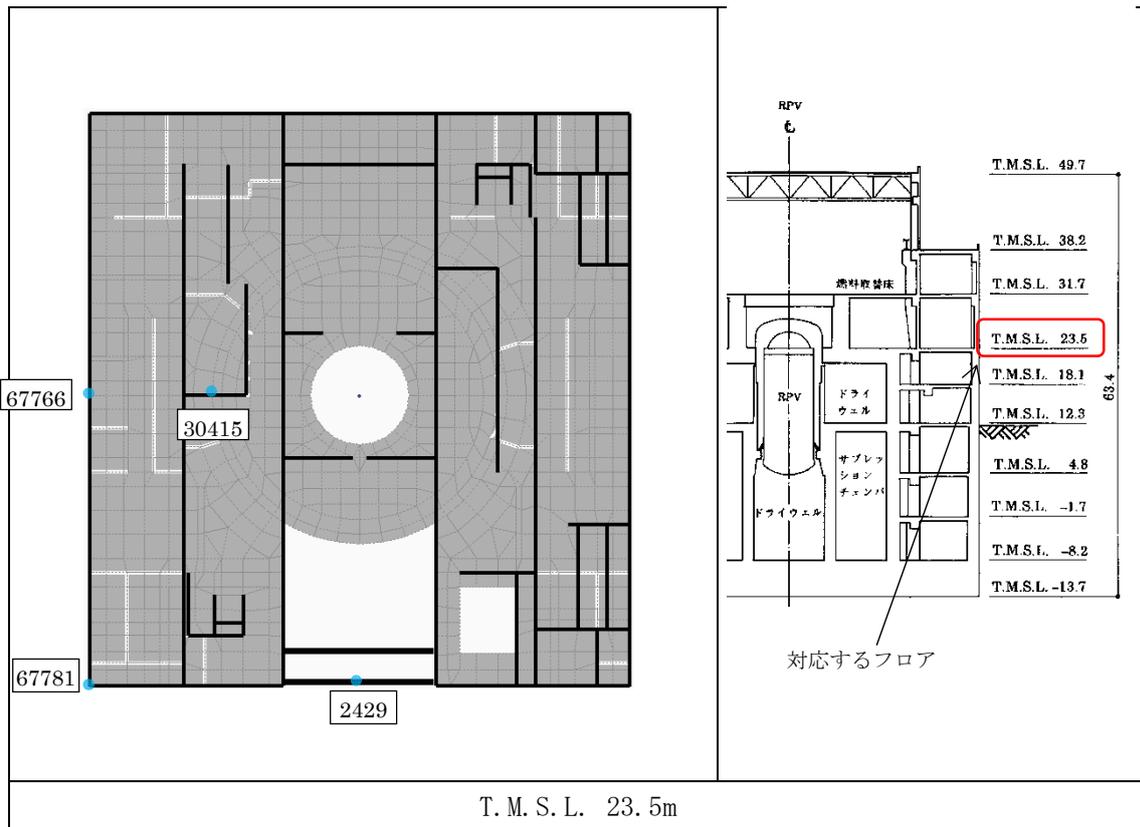


図 1.3.2-1 応答評価位置(2/2)

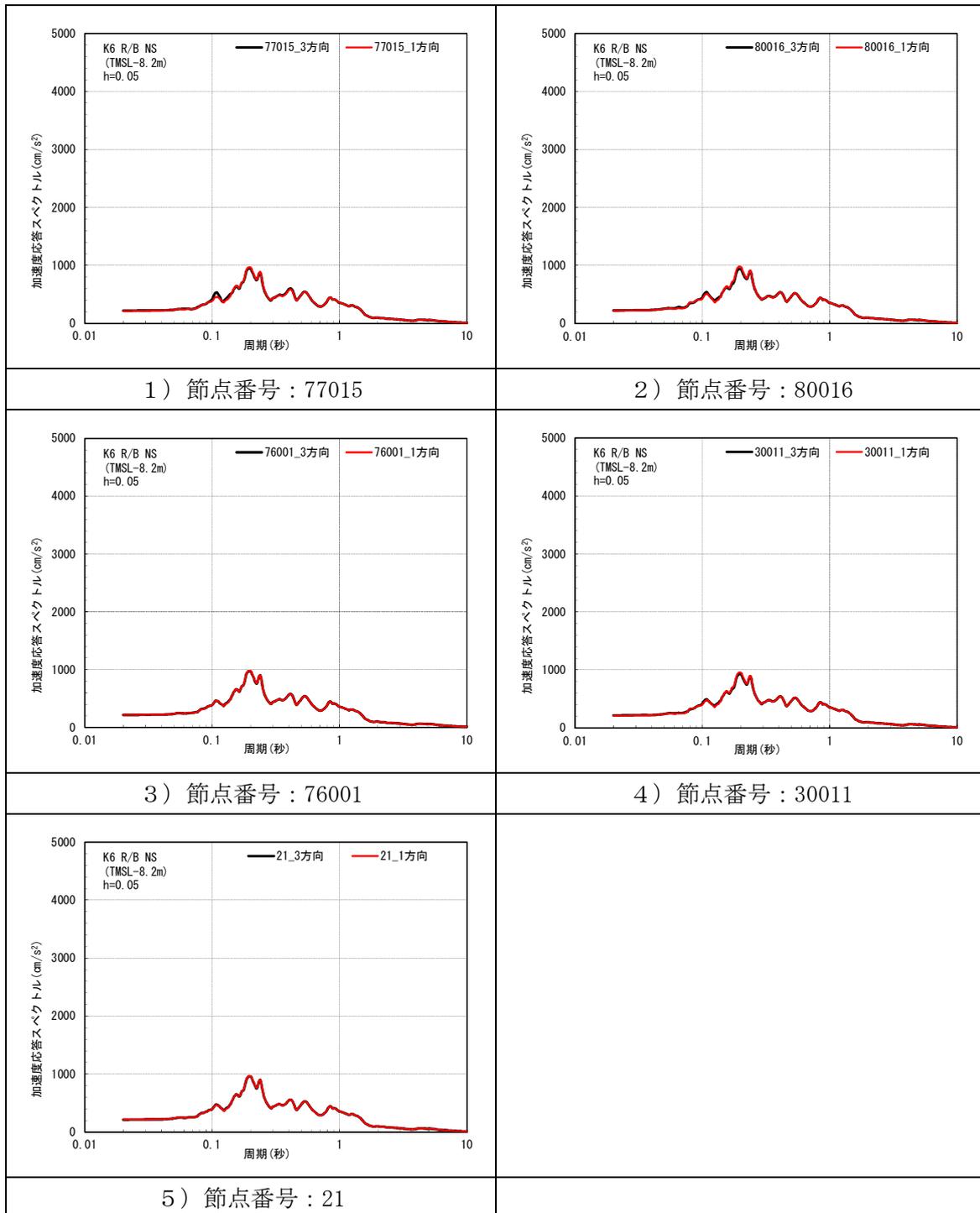


図 1.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (NS 方向, T.M.S.L. -8.2m) (1/6)

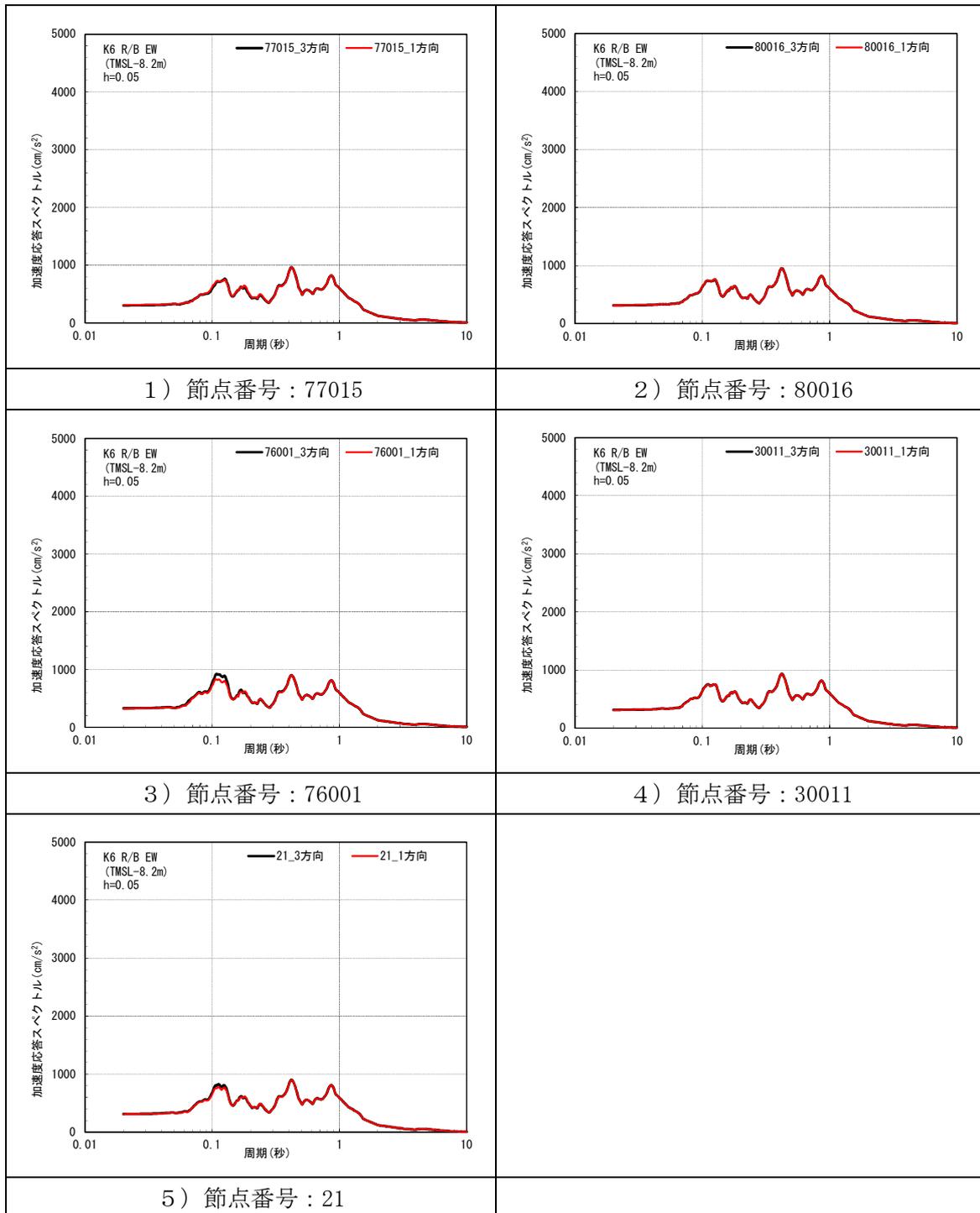


図 1.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (EW 方向, T. M. S. L. -8.2m) (2/6)

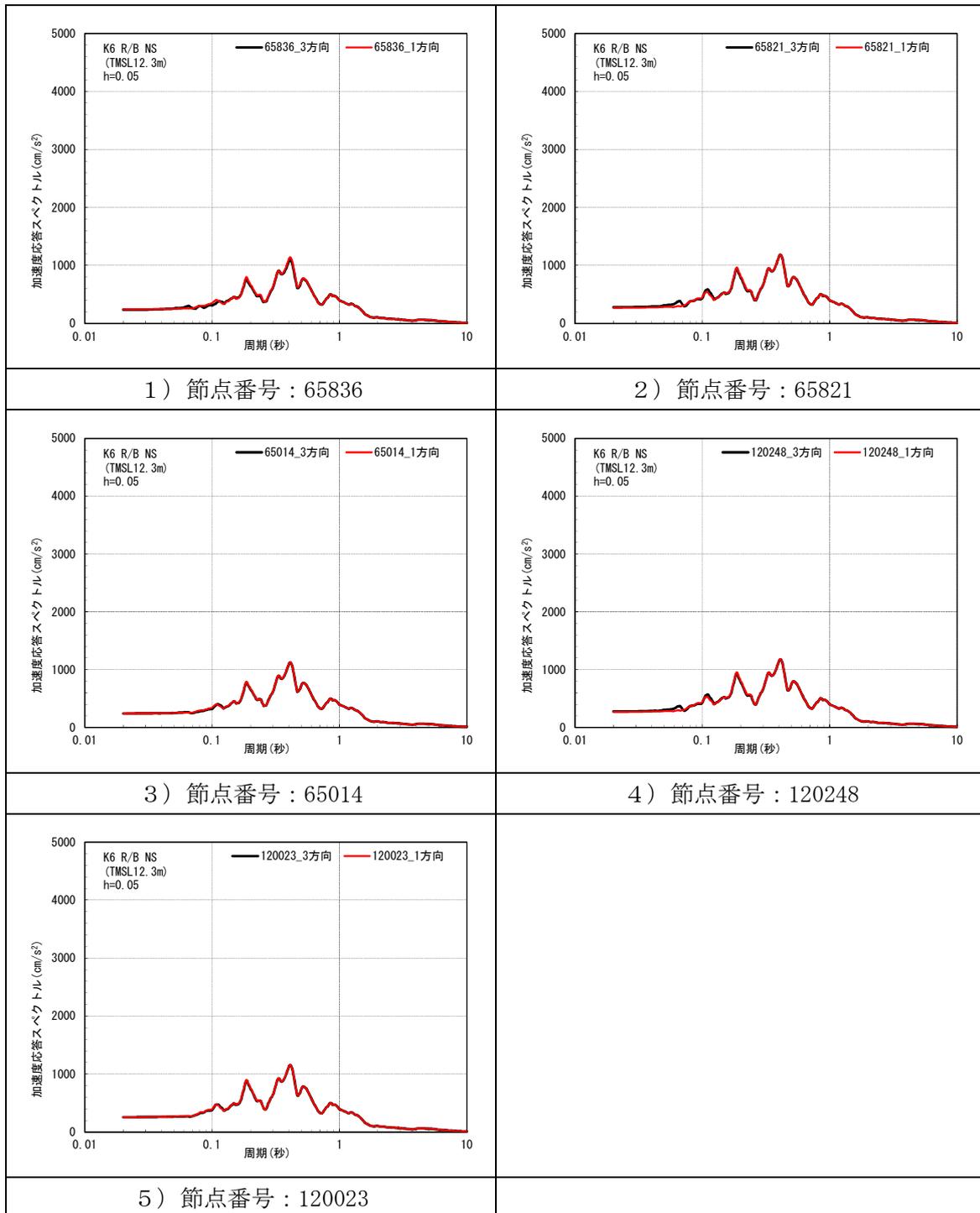


図 1.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (NS 方向, T. M. S. L. 12.3m) (3/6)

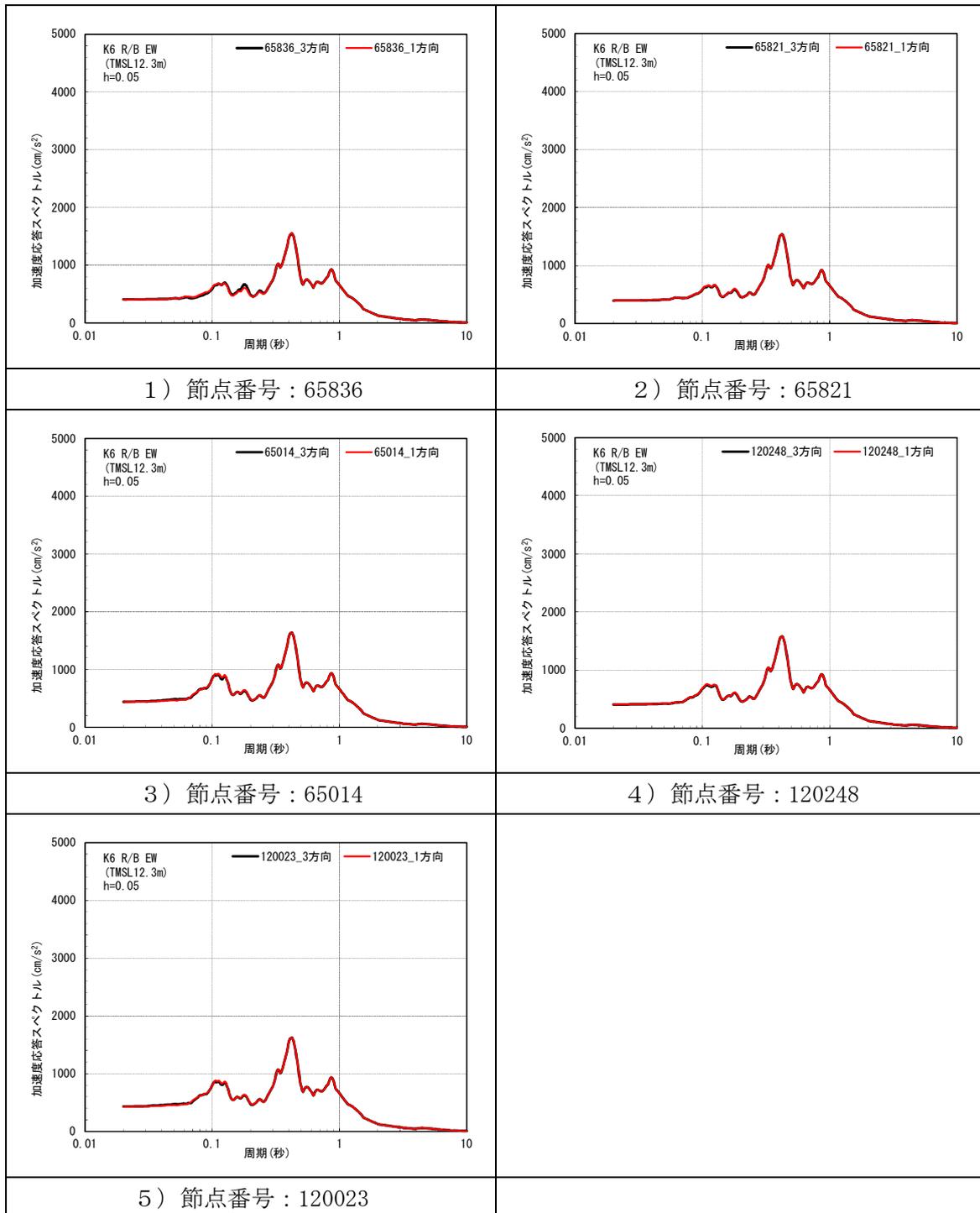


図 1.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (EW 方向, T. M. S. L. 12.3m) (4/6)

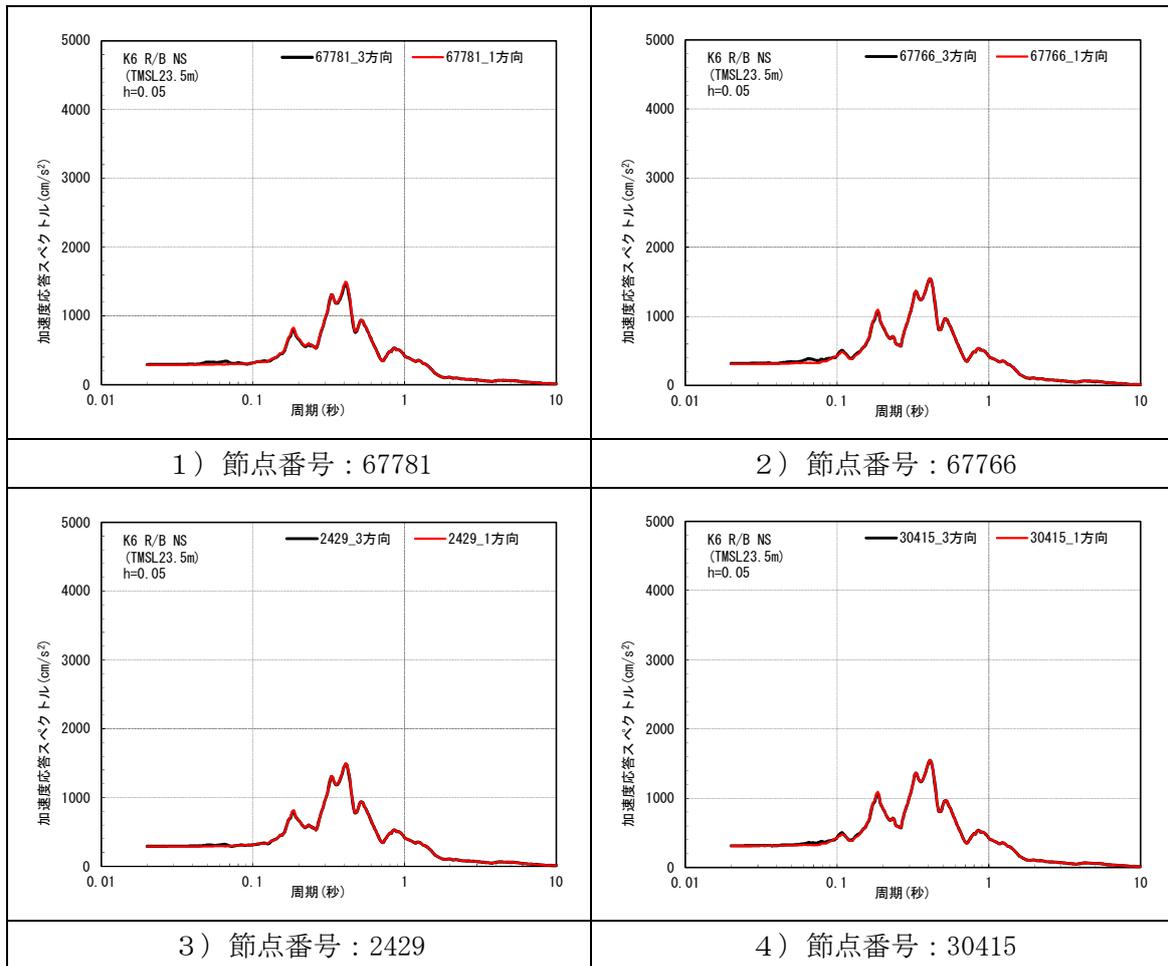


図 1.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (NS 方向, T. M. S. L. 23.5m) (5/6)

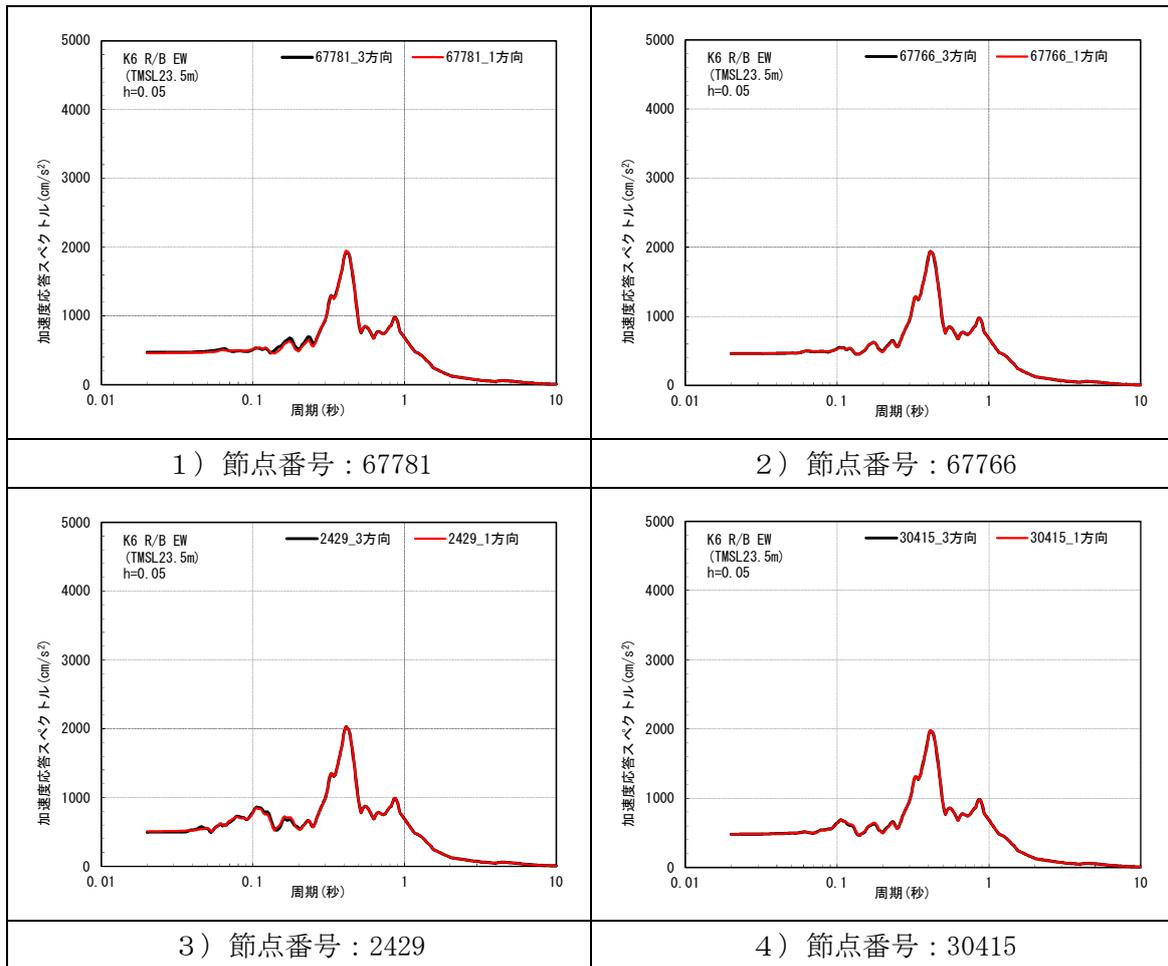


図 1.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (EW 方向, T. M. S. L. 23.5m) (6/6)

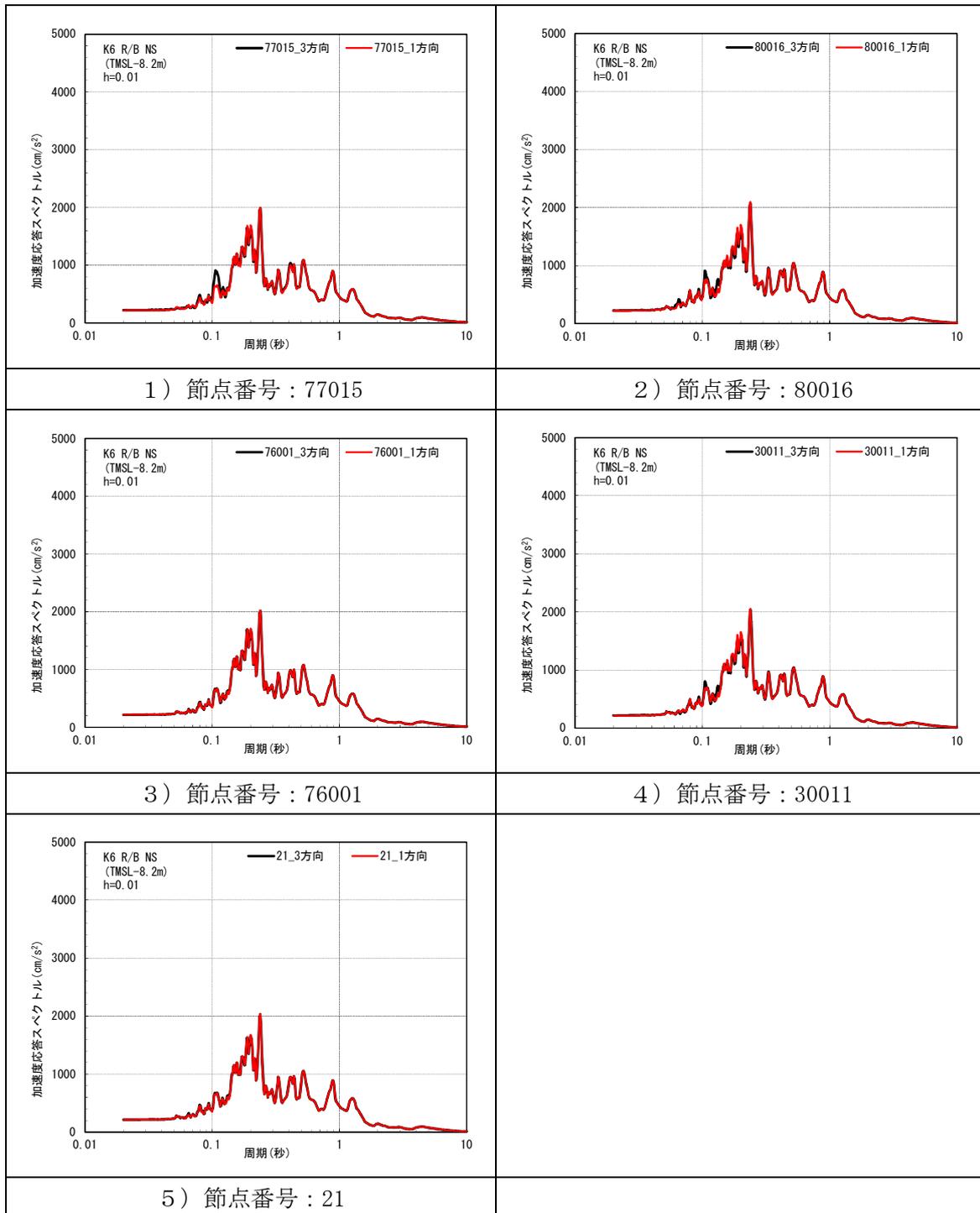


図 1.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (NS 方向, T.M.S.L. -8.2m) (1/6)

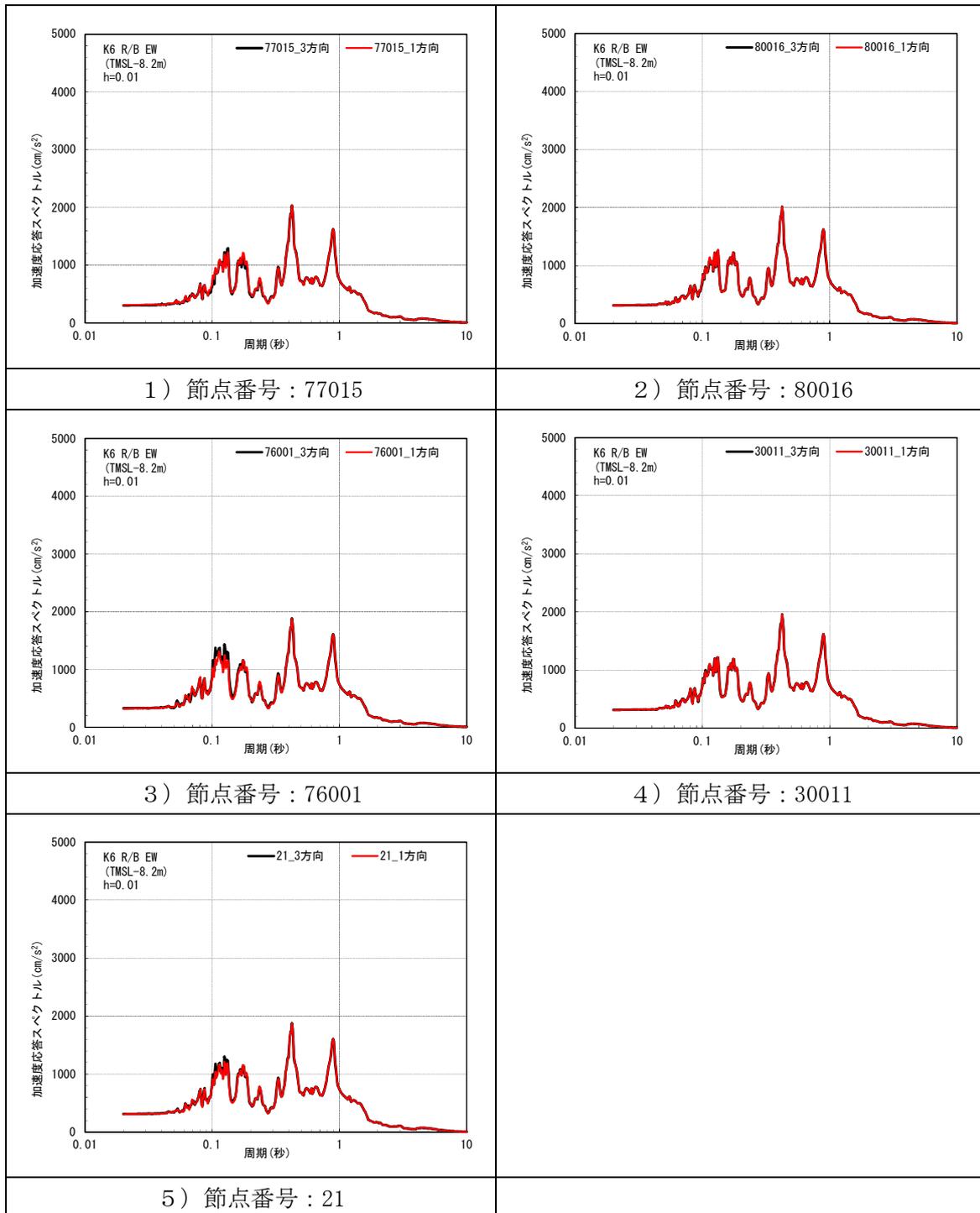


図 1.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (EW 方向, T.M.S.L. -8.2m) (2/6)

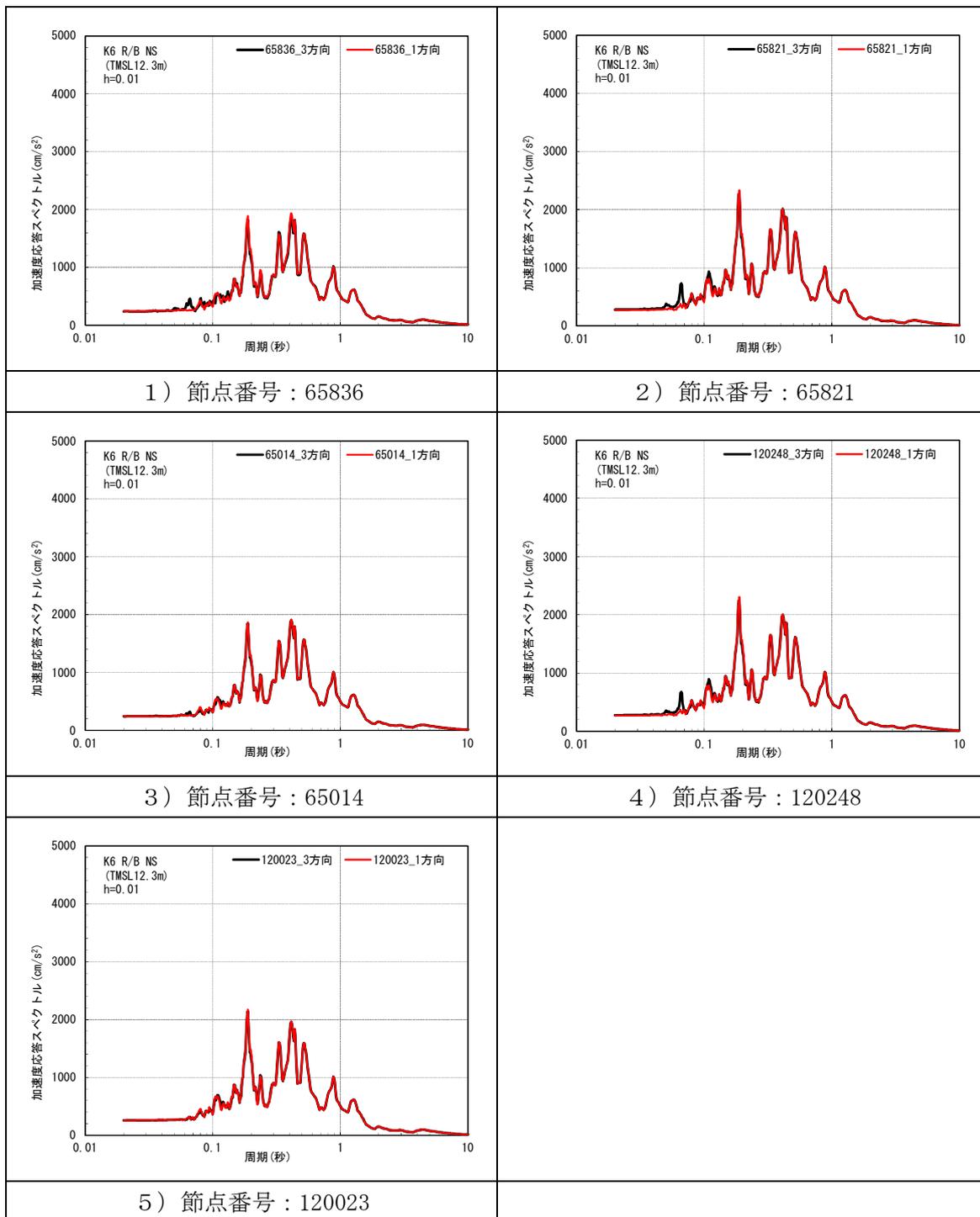


図 1.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (NS 方向, T.M.S.L. 12.3m) (3/6)

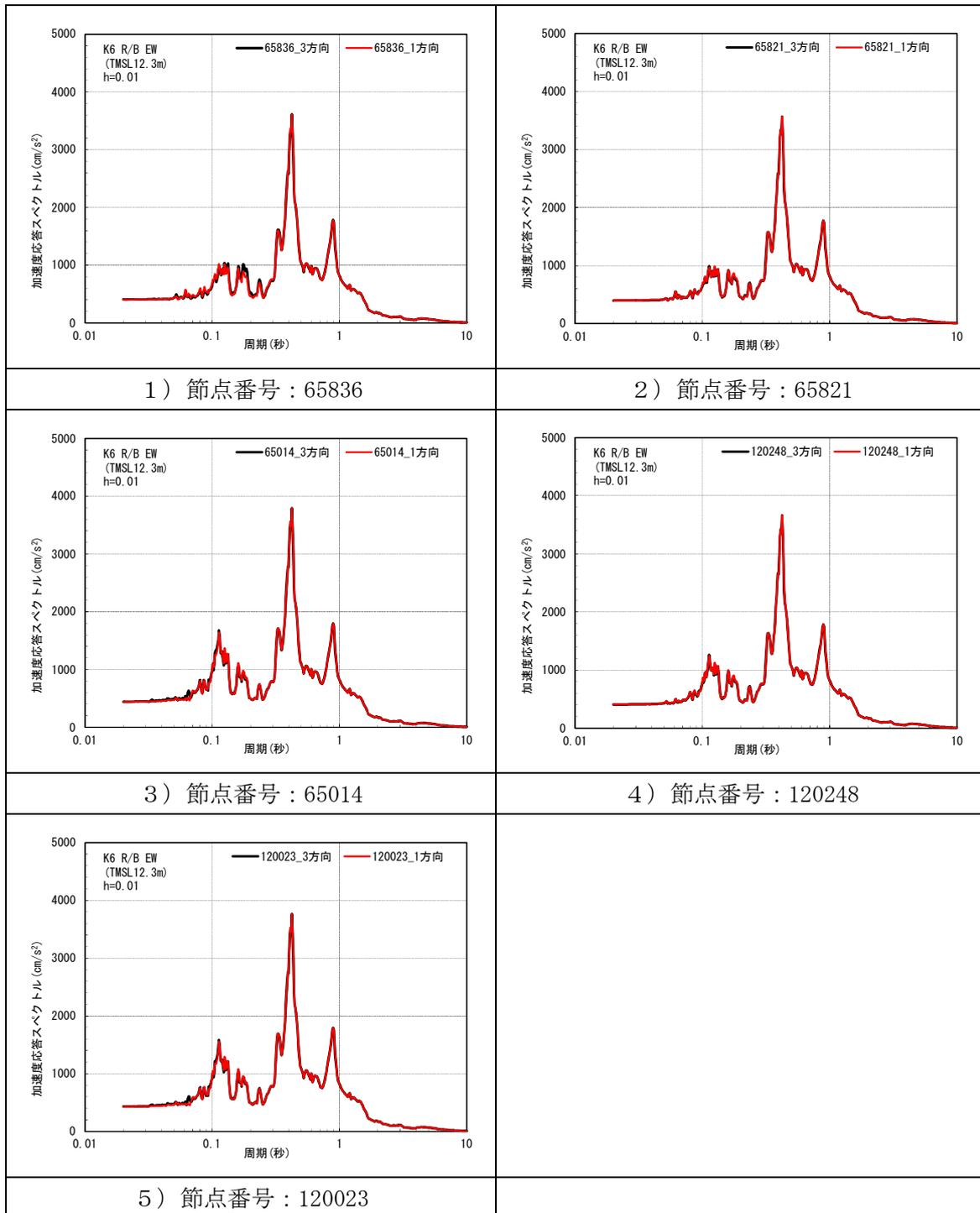


図 1.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (EW 方向, T.M.S.L. 12.3m) (4/6)

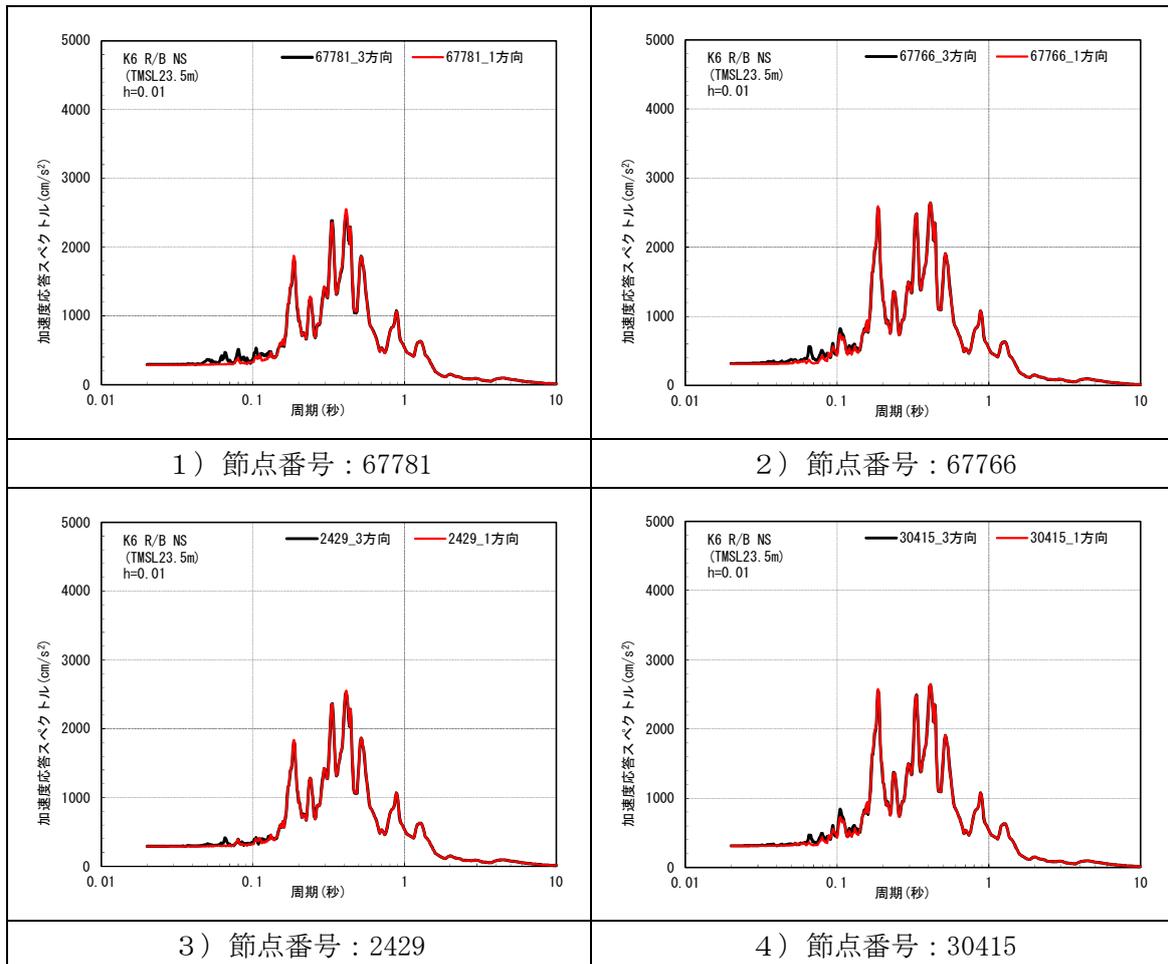


図 1.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (NS 方向, T. M. S. L. 23.5m) (5/6)

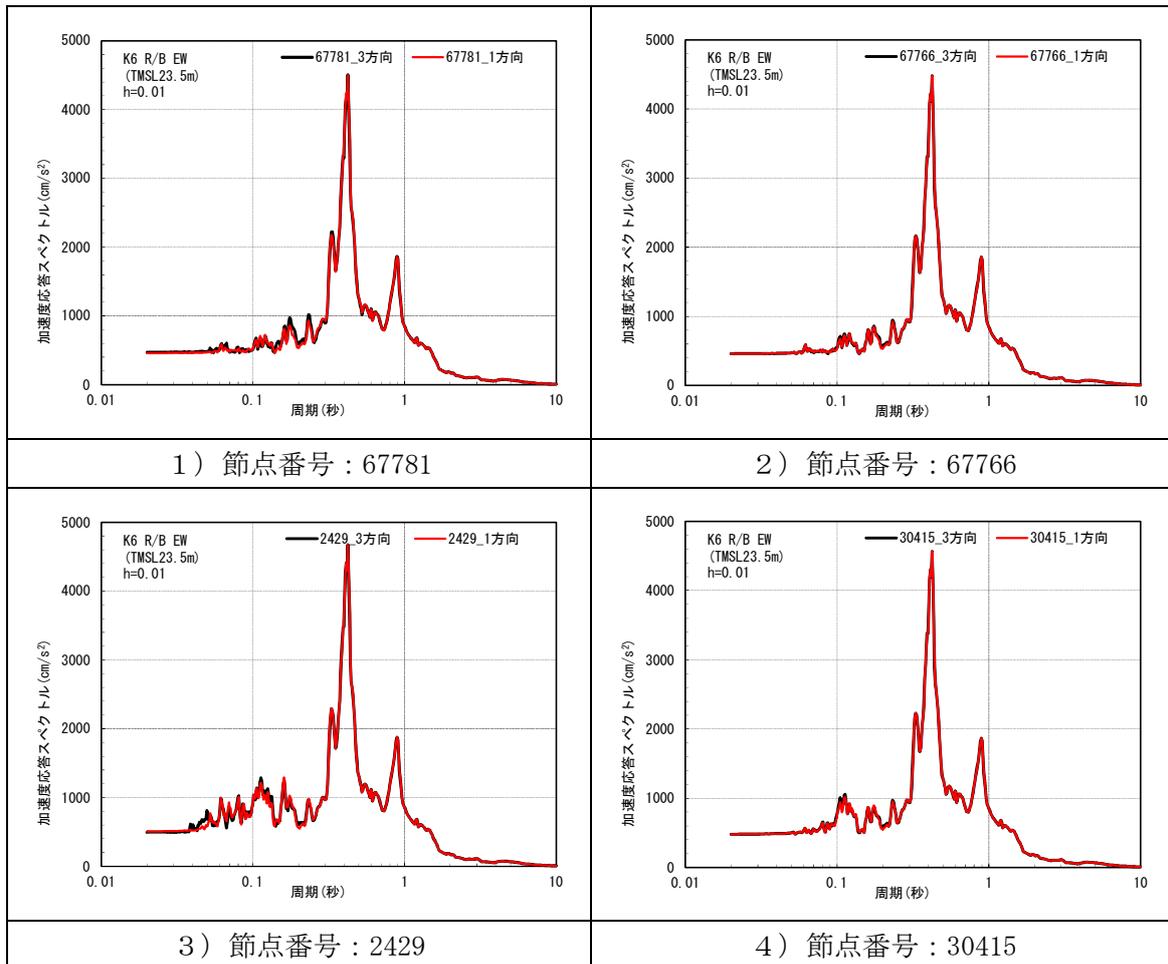


図 1.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (EW 方向, T. M. S. L. 23.5m) (6/6)

(3) まとめ

建屋 3 次元 FEM モデルを用いて地震応答解析を実施し，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる，3 次元的応答特性について分析・考察を行った。

弾性設計用地震動 Sd-2 を NS 方向及び EW 方向に 1 方向入力した場合の応答を，3 方向同時入力した場合の応答と比較した結果，1 方向入力と 3 方向同時入力の応答が整合的であることから，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 3 次元 FEM モデルの挙動が，建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討する。

1.3.3 建屋耐震評価への影響検討

(1) 検討方針

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

「1.3.2 建屋応答性状の把握」にて、建屋 3 次元 FEM モデルにおいて 1 方向入力と 3 方向同時入力の応答が整合的であることを確認しているため、弾性設計用地震動 Sd-2 の入力は、質点系モデルで 1 方向入力としていることから、建屋 3 次元 FEM モデルにおいても 1 方向入力とする。

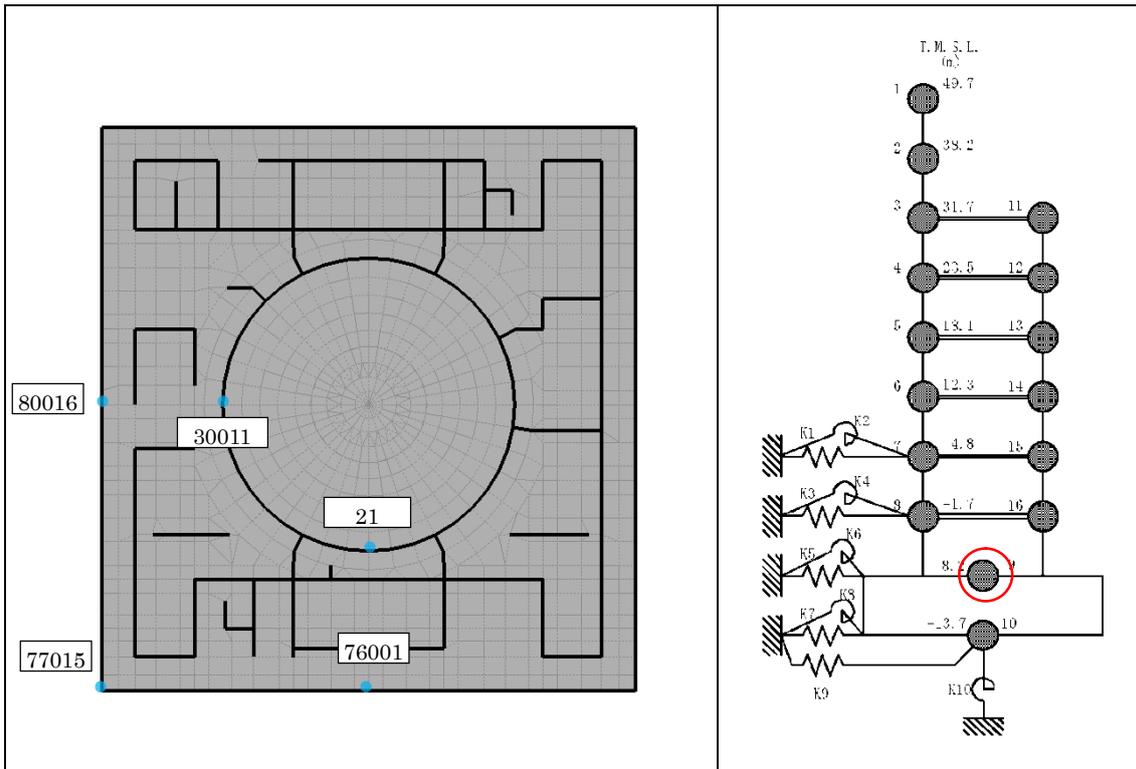
(2) 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答加速度の比較検討

建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答加速度の比較を行い、3 次元応答特性の影響について検討する。

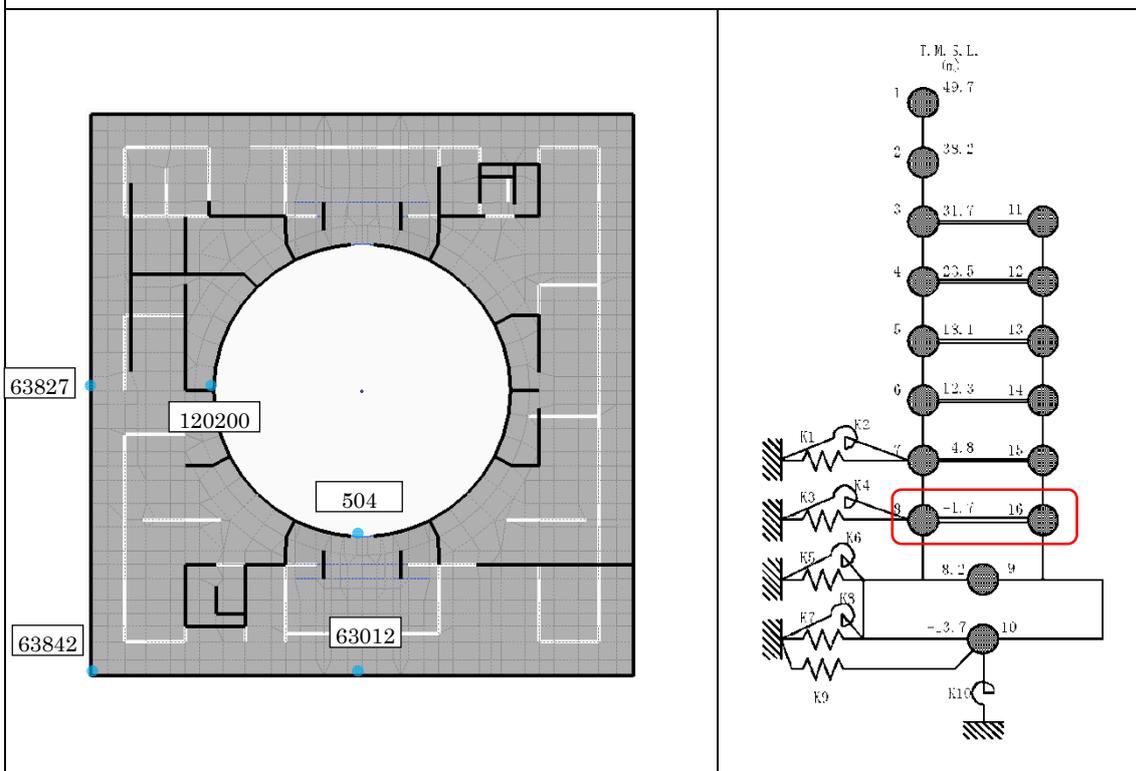
評価に当たっては、質点系モデルの質点位置（床レベル）での応答を評価対象とし、質点系モデルの各質点位置に対応する 3 次元 FEM モデルの評価点としては、3 次元応答特性の影響が大きいと考えられるボックス壁の隅部および中間部を評価点とし、また RCCV 部についても NS・EW 方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は 5 点程度とした。応答評価位置を図 1.3.3-1 に示す。

両モデルの最大応答加速度の比較結果を図 1.3.3-2 及び表 1.3.3-1 に示す。

両モデル間で、最大応答加速度は整合的であり、質点系モデルによる建屋耐震評価への影響がほとんどないことを確認した。

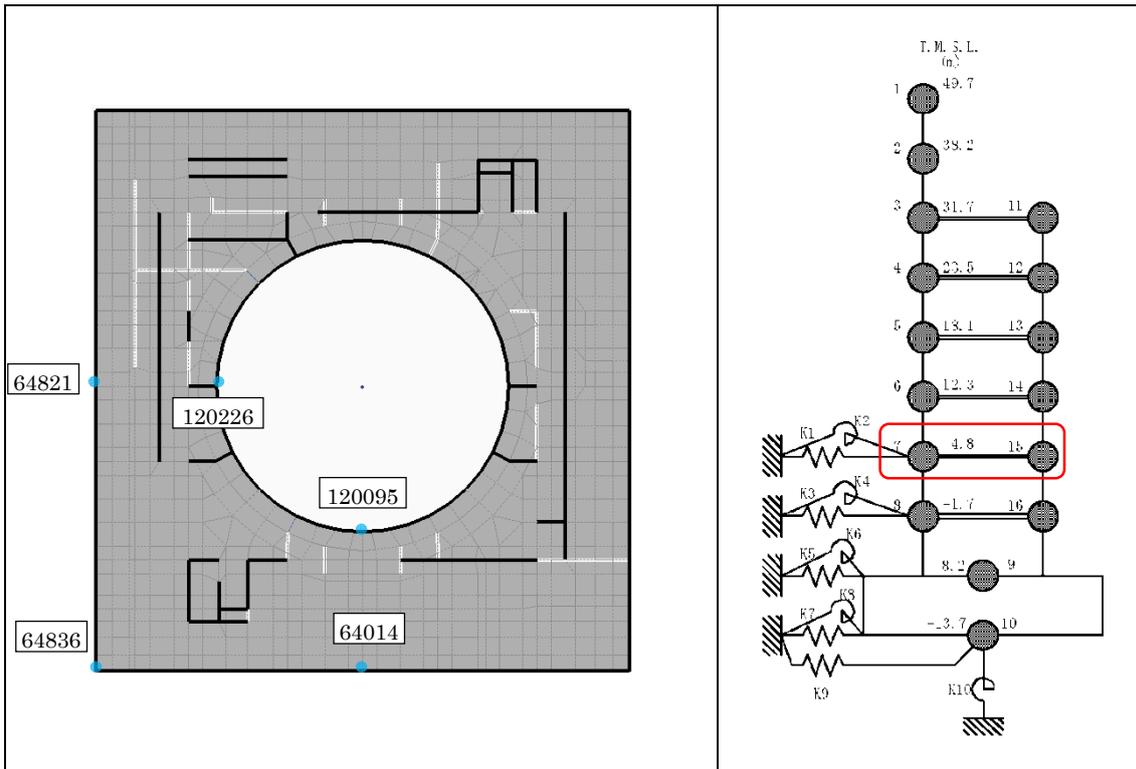


T. M. S. L. -8.2m

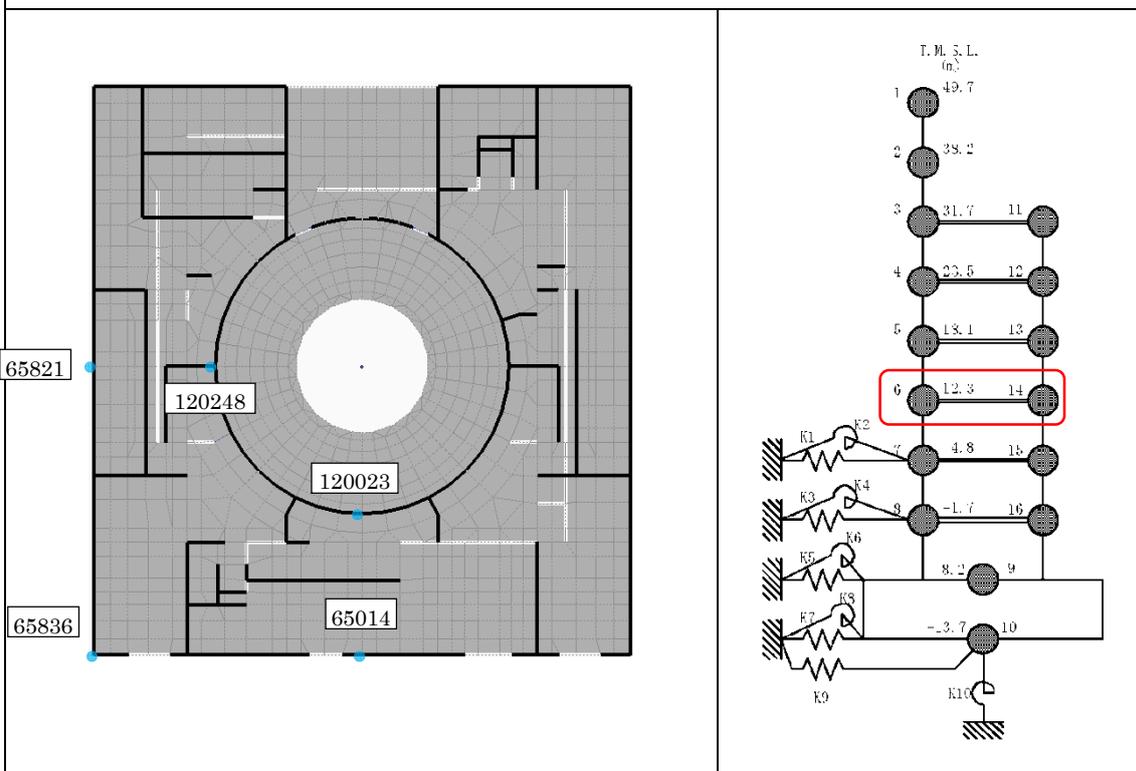


T. M. S. L. -1.7m

図 1.3.3-1 応答評価位置(1/4)



T. M. S. L. 4.8m



T. M. S. L. 12.3m

図 1.3.3-1 応答評価位置(2/4)

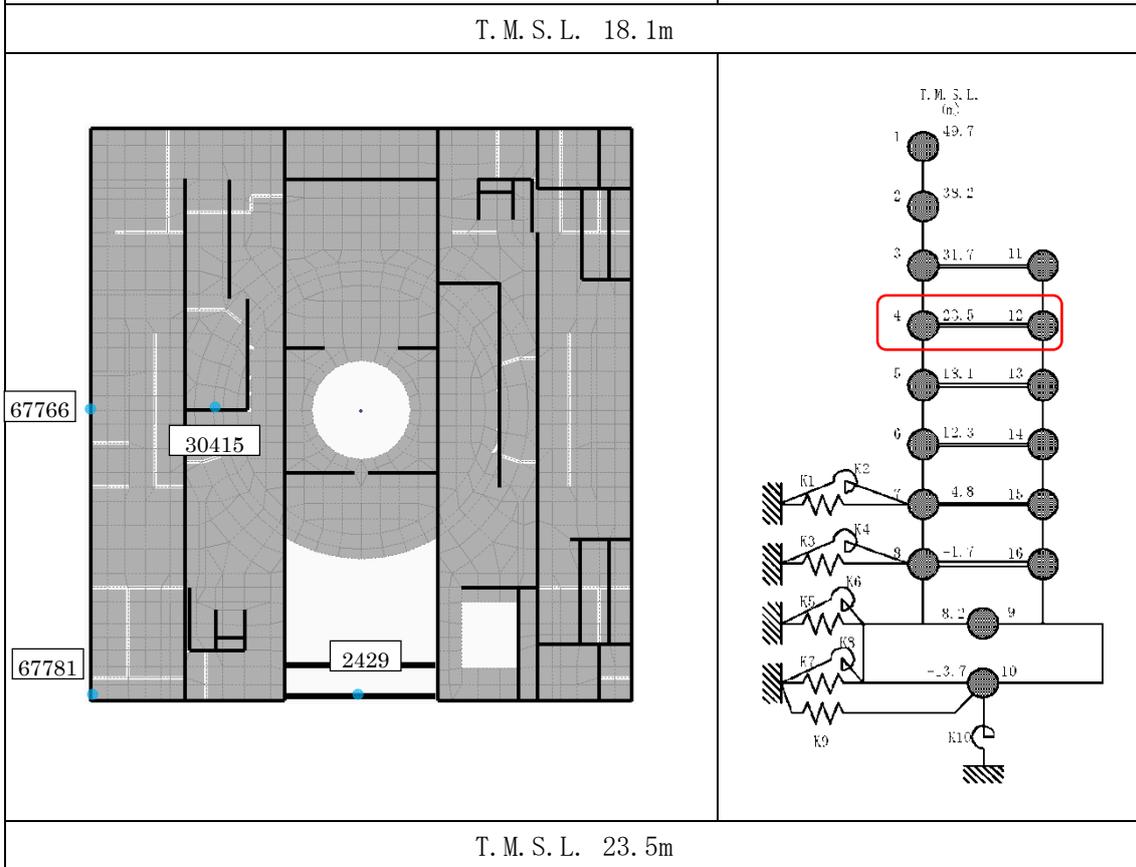
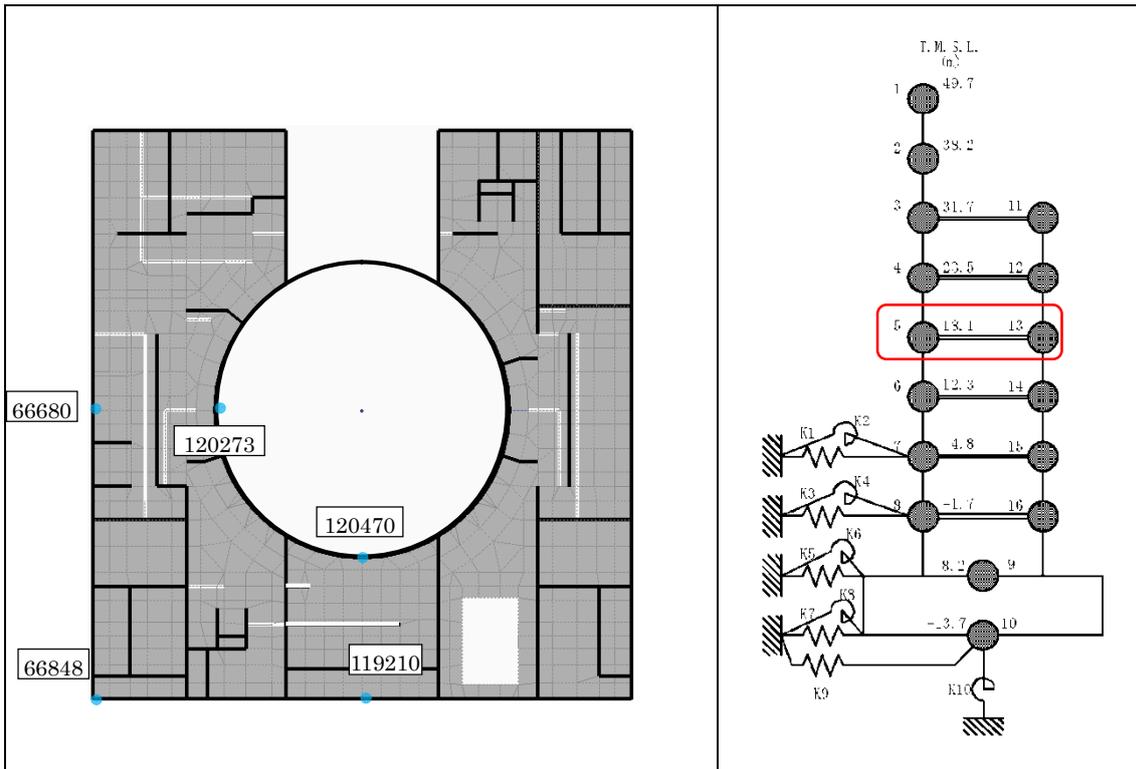


図 1.3.3-1 応答評価位置(3/4)

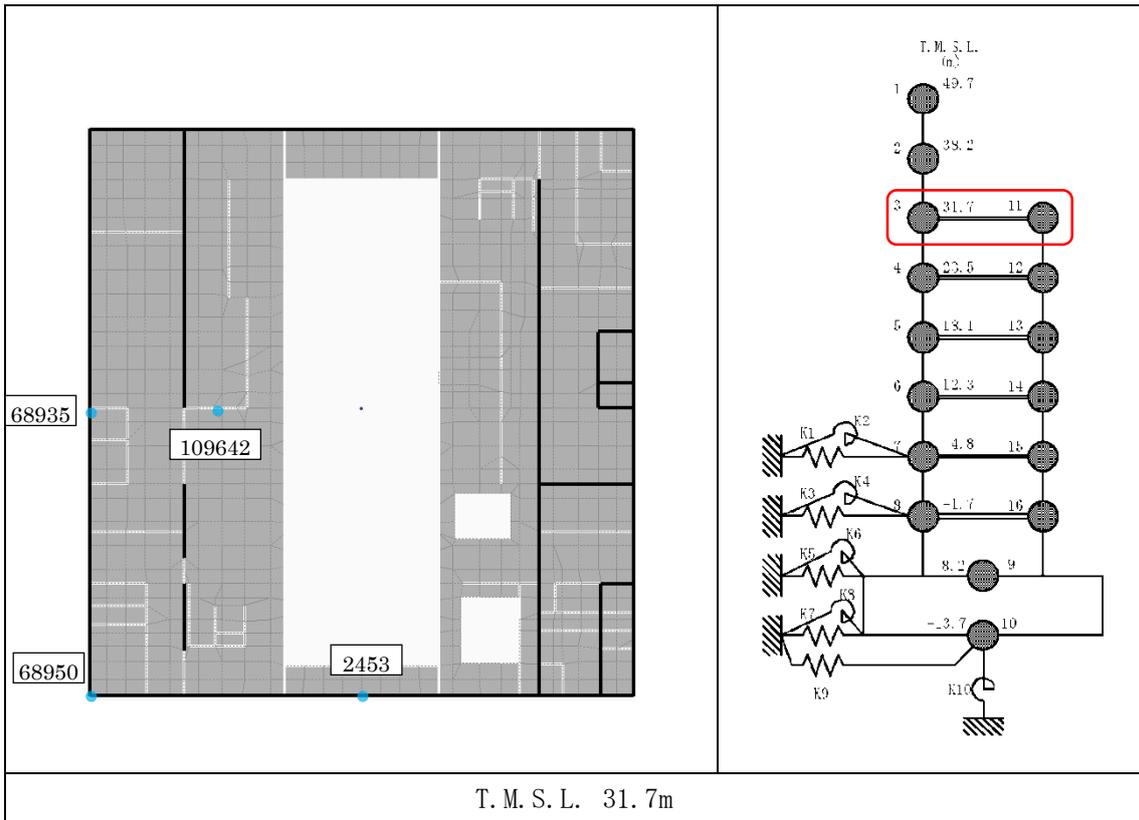


図 1.3.3-1 応答評価位置(4/4)

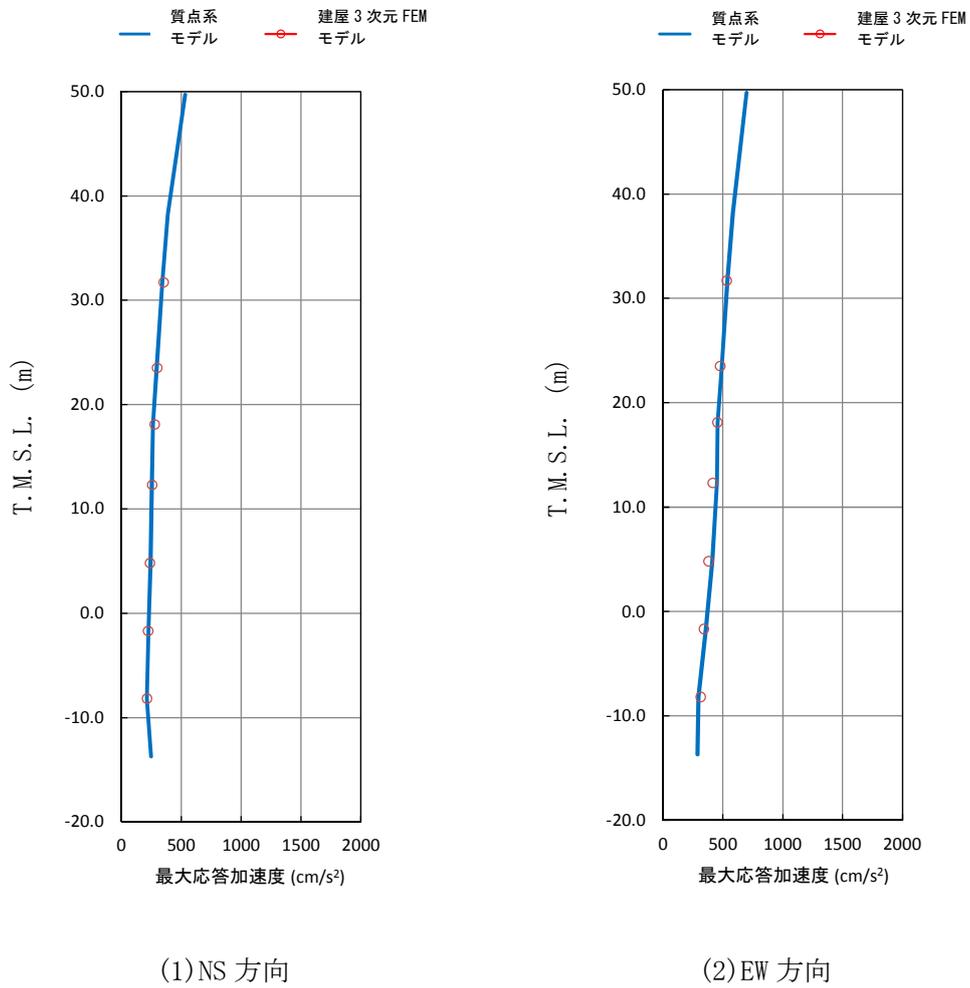


図 1.3.3-2 建屋3次元FEMモデル及び質点系モデルにおける最大応答加速度の比較

表 1.3.3-1 最大応答加速度一覧

部位	床レベル (T. M. S. L.)	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		NS 方向		EW 方向	
		質点系 モデル	建屋 3次元 FEM モデル	質点系 モデル	建屋 3次元 FEM モデル
原子炉建屋	4階 (31.7m)	341	355	536	533
	3階 (23.5m)	295	300	489	477
	2階 (18.1m)	262	278	455	454
	1階 (12.3m)	253	257	449	416
	地下1階 (4.8m)	245	240	410	381
	地下2階 (-1.7m)	225	224	358	341
	地下3階 (-8.2m)	212	216	294	315

1.3.4 床応答への影響検討

(1) 検討方針

3次元の応答特性が床応答に及ぼす影響の検討として、建屋3次元FEMモデル及び質点系モデルの加速度応答スペクトルを比較する。

地震動の入力は両モデルとも1方向入力とする。

建屋3次元FEMモデルの応答評価位置について、高さ方向については原子炉建屋の地下部及び地上部(下部, 上部)を網羅できるように、地下3階(T.M.S.L. -8.2m), 1階(T.M.S.L. 12.3m) および3階(T.M.S.L. 23.5m)を代表高さとし、重要機器が付近にあるボックス壁の隅部および中間部を評価点とし、またRCCV部についてもNS・EW方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は5点程度とし、合計14点を評価点とし抽出した。

(2) 検討結果

減衰定数 $h=0.05$ 時の加速度応答スペクトルの比較結果を図 1.3.4-1 に、減衰定数 $h=0.01\%$ 時の加速度応答スペクトルの比較を図 1.3.4-2 に示す。

建屋3次元FEMモデル及び質点系モデルの加速度応答スペクトルを比較すると、NS方向、EW方向、鉛直方向とも、大部分の周期帯で質点系モデルの解析結果は建屋3次元FEMモデルの解析結果と整合的であることを確認した。これより、質点系モデルは剛床仮定としているが、その影響がほとんどないと考えられる。

ただし、NS方向の一部の周期帯(周期0.2秒付近)で建屋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。両モデルの振動特性を把握するため、固有値解析の比較を行った。固有値解析結果の比較を表 1.3.4-1 に、NS方向2次の固有モードを図 1.3.4-3 に示す。

表 1.3.4-1 より、主要モードである1次, 2次モードで、建屋3次元FEMモデルと質点系モデルは整合的である事が確認できた。また、NS方向2次モードは両モデルで固有周期が0.2秒付近であることを確認した。図 1.3.4-3 より、建屋3次元FEMモデルのNS方向2次モードでは、屋根中央部が水平方向に振動するモードが確認できた。この3次元の応答特性が、質点系モデルに比べ、建屋3次元FEMモデルの応答が大きくなった要因と考えられる。この3次元の応答特性が及ぼす影響については、今回工認時にその影響の評価を行う予定である

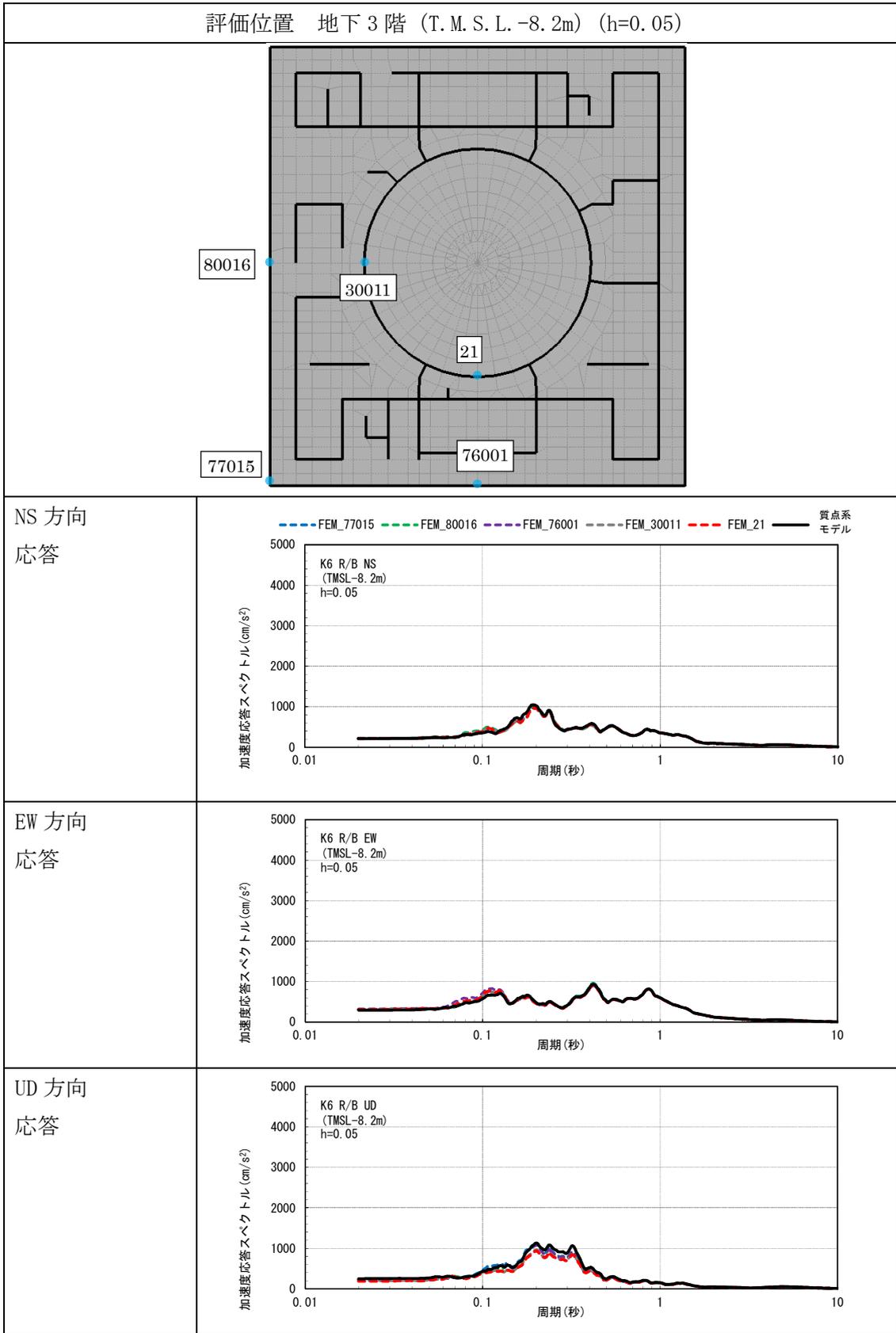


図 1.3.4-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの応答スペクトルの比較 (1/3)

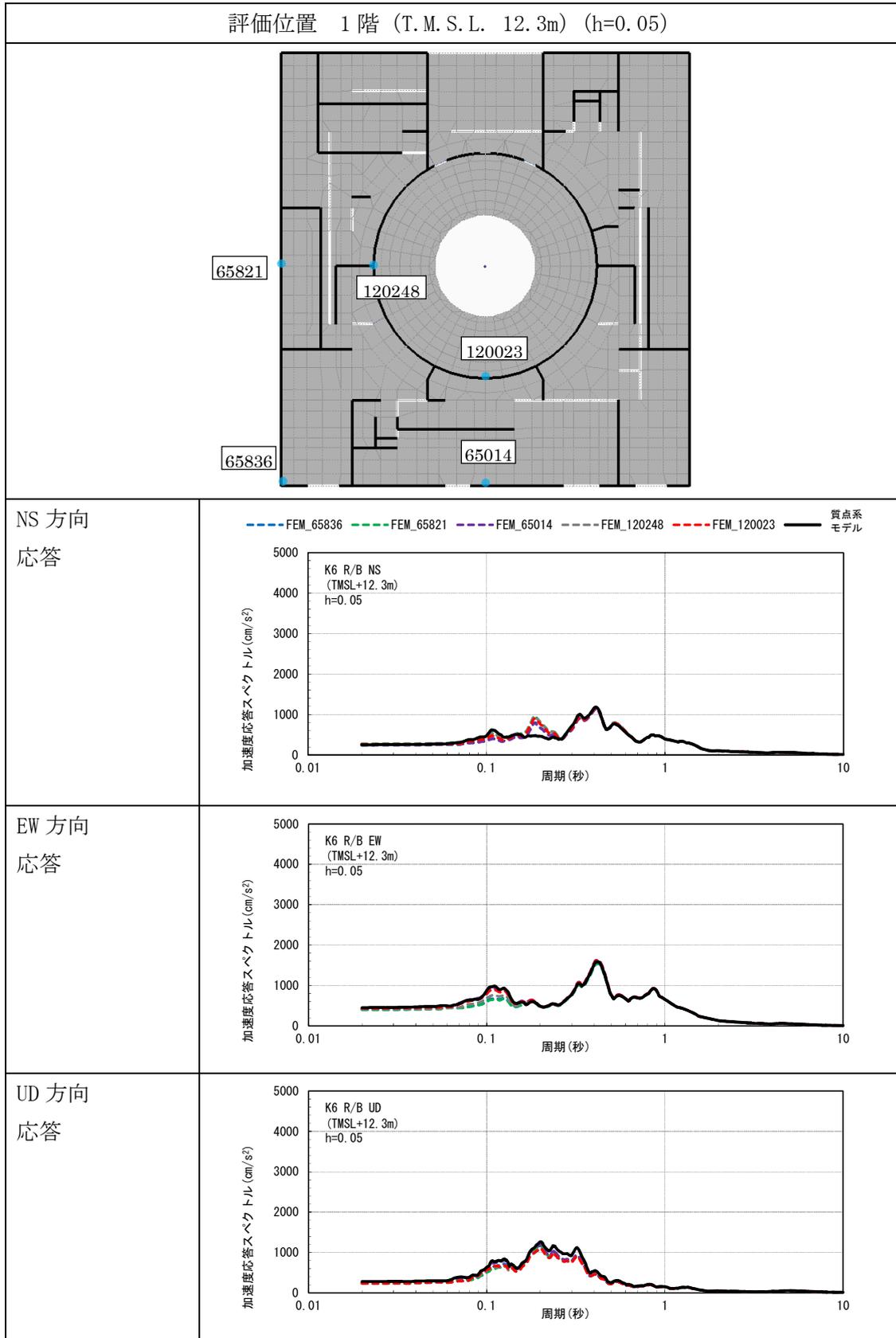


図 1.3.4-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの応答スペクトルの比較 (2/3)

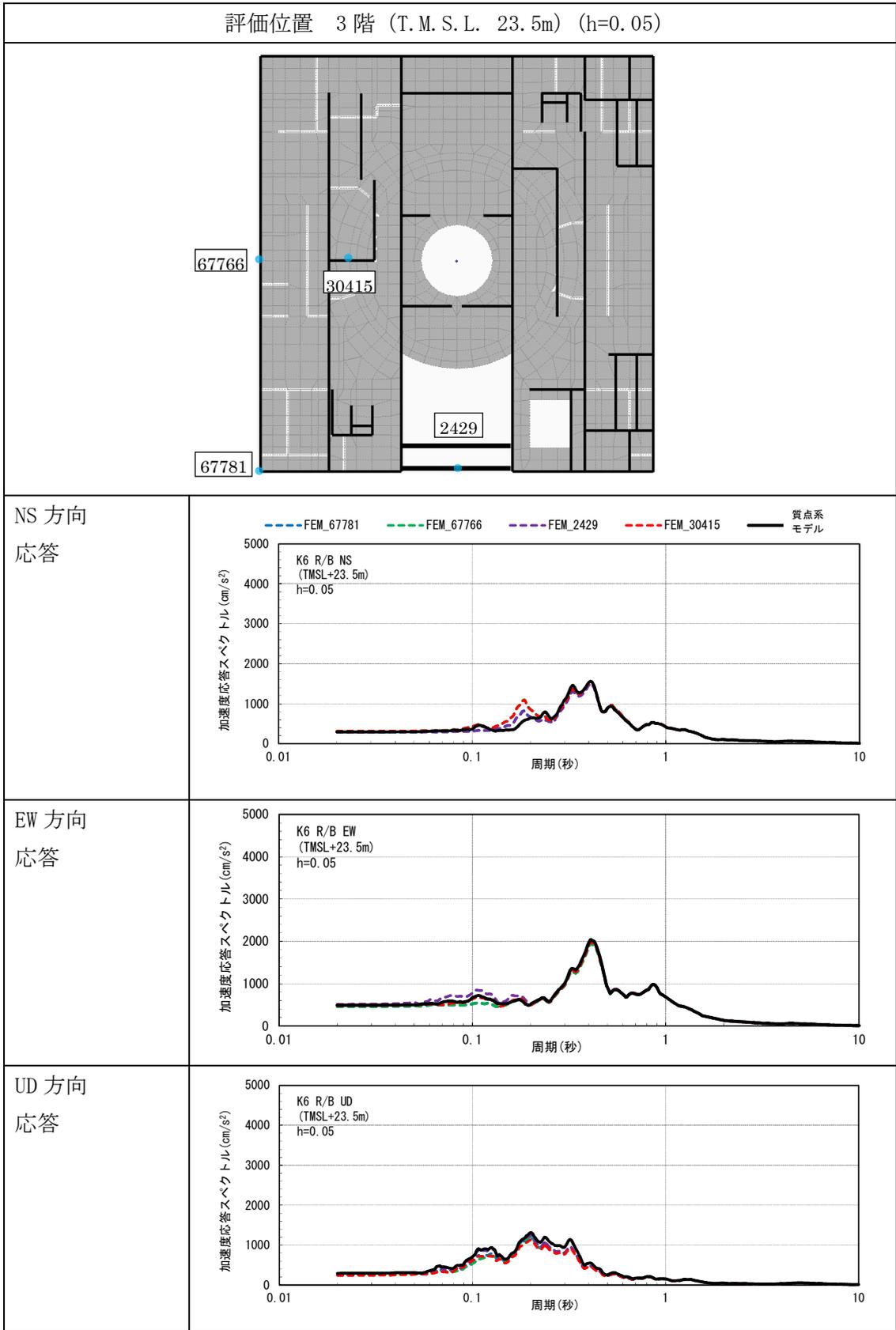
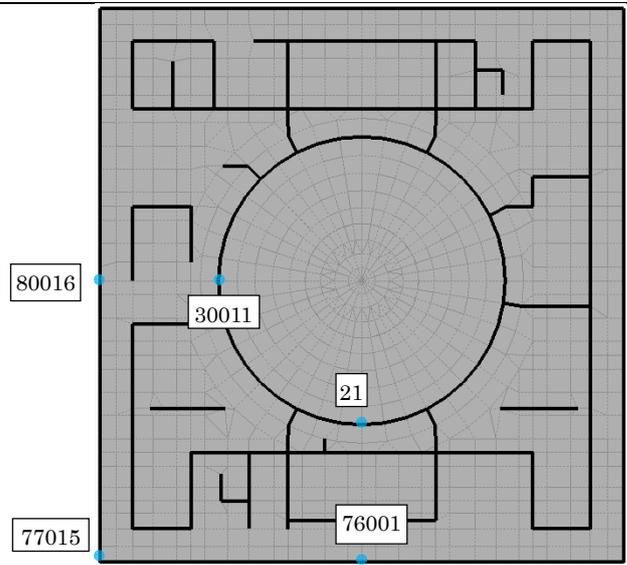
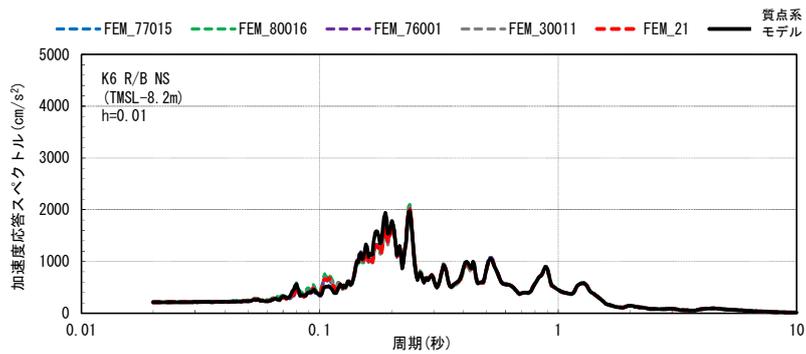


図 1.3.4-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの応答スペクトルの比較 (3/3)

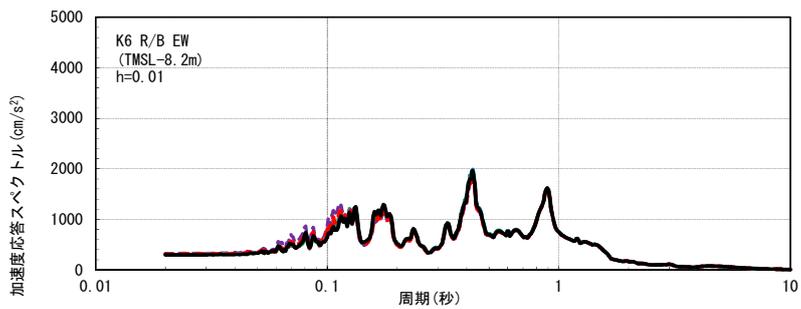
評価位置 地下3階 (T.M.S.L. -8.2m) (h=0.01)



NS 方向
応答



EW 方向
応答



UD 方向
応答

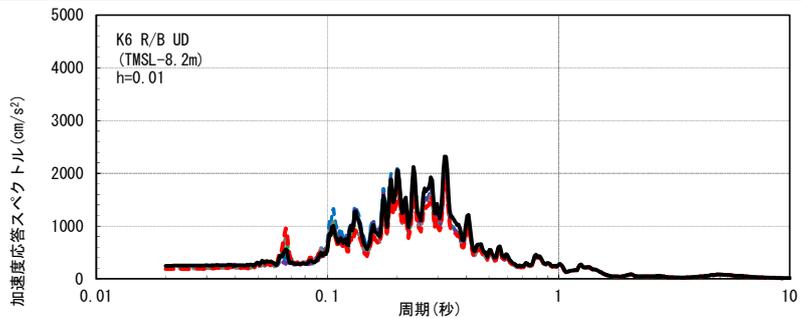


図 1.3.4-2 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの応答スペクトルの比較 (1/3)

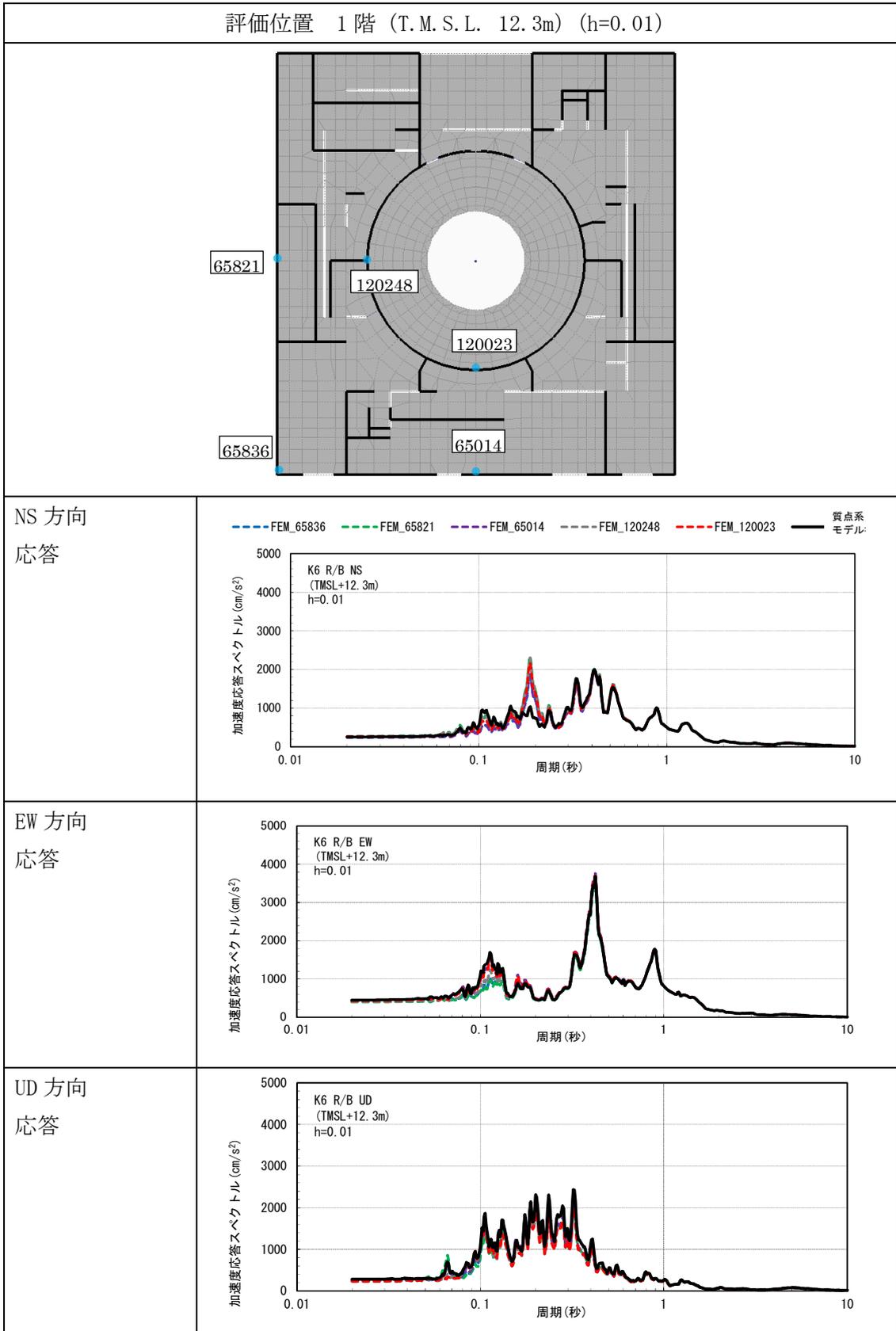


図 1.3.4-2 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの応答スペクトルの比較 (2/3)

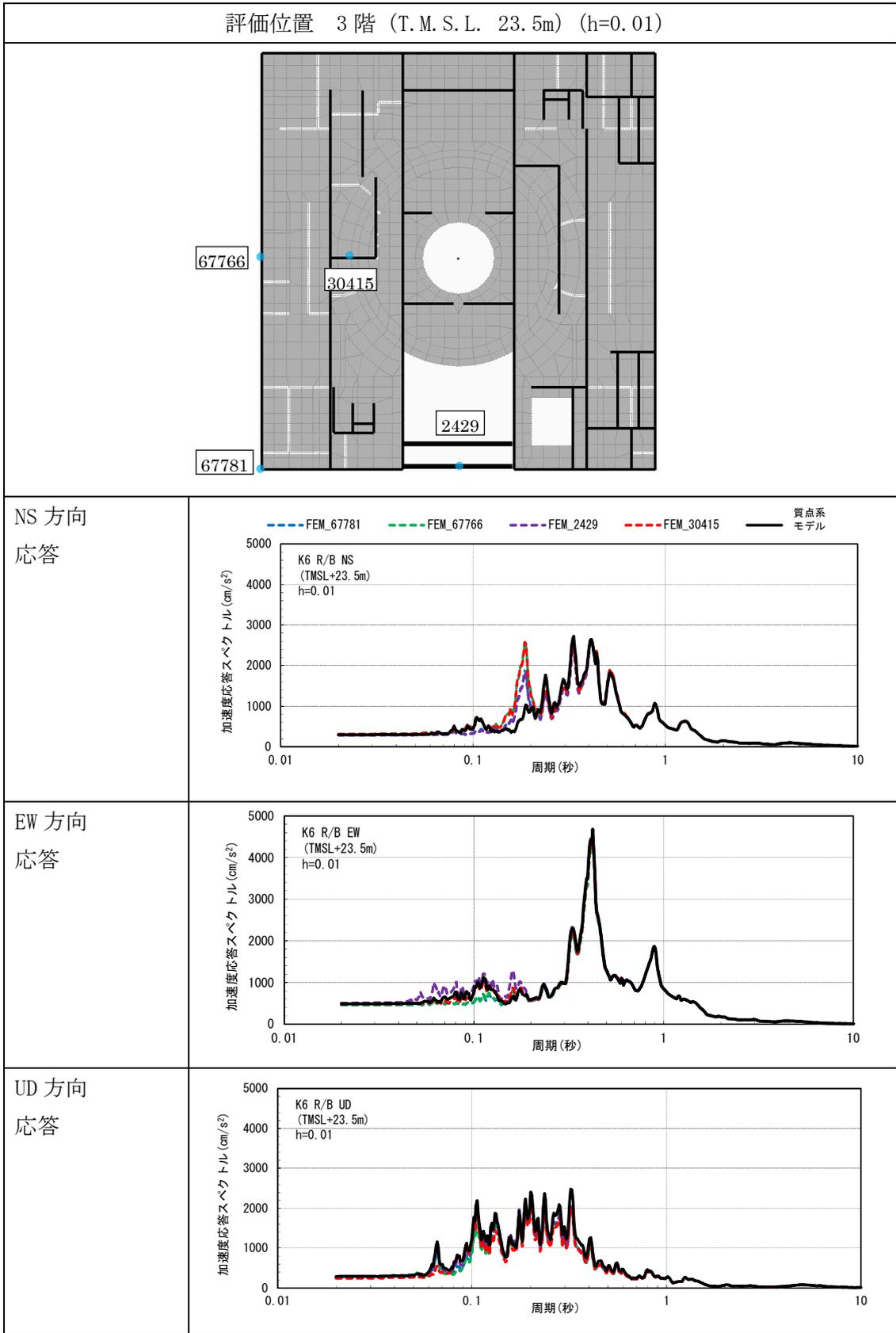
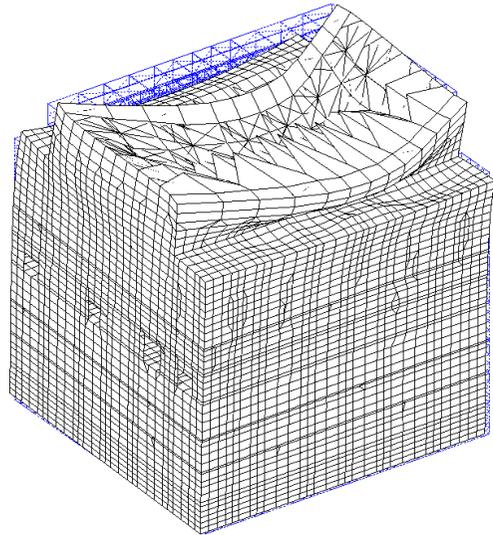


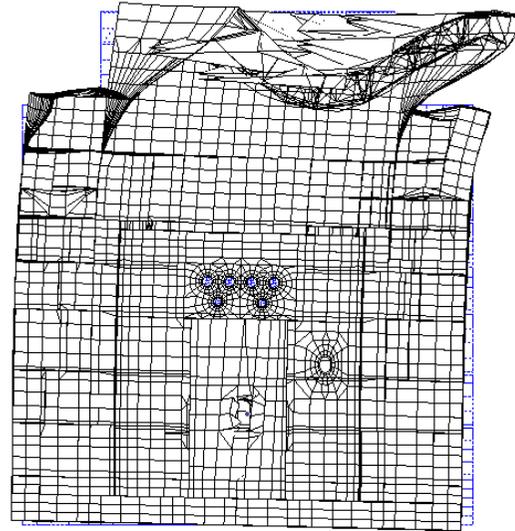
図 1.3.4-2 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの応答スペクトルの比較 (3/3)

表 1.3.4-1 固有値解析結果

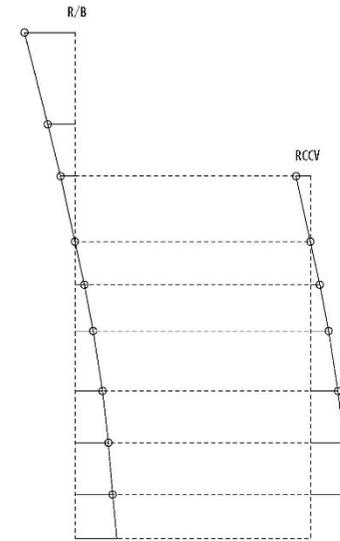
モード	建屋3次元FEMモデル					質点系モデル		
	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数
			EW方向 (X)	NS方向 (Y)	UD方向 (Z)			
NS1次	2.296	0.435	-3.86	385.27	-0.19	2.343	0.427	1.59
EW1次	2.387	0.419	-390.67	-3.89	-0.43	2.397	0.417	1.55
NS2次	5.023	0.199	-1.24	-165.64	-16.10	5.347	0.187	-0.71
EW2次	5.316	0.188	-161.01	0.38	6.92	5.390	0.186	-0.62



(a) 建屋 3 次元 FEM モデル 建屋全景



(b) 建屋 3 次元 FEM モデル 建屋 NS 断面



(c) 質点系モデル

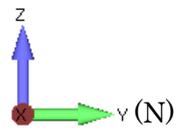
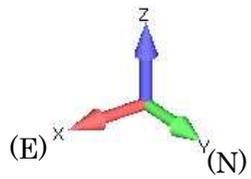


図 1.3.3-3 固有モード図 (NS 方向 2 次)

2. 7号炉原子炉建屋の評価

2.1 検討概要

原子炉建屋の3次元応答特性の把握を目的に、原子炉建屋について3次元FEMモデル「以下、「建屋3次元FEMモデル」という。」による地震応答解析を行い、原子炉建屋の局所的な応答を検討する。また建屋3次元FEMモデルの挙動が、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。

2.1.1 構造概要

原子炉建屋の平面は、下部では56.6m(NS)×59.6m(EW)でほぼ正方形をなしており、基礎底面からの高さが63.4m（地上部37.7m，地下部25.7m）の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

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上がり、原子炉建屋と一体構造としている。原子炉建屋の概略平面図を図2.1.1-1に、概略断面図を図2.1.1-2に示す。

a. 原子炉建屋

原子炉建屋は、図2.1.1-2に示すように、地上4階、地下3階の鉄筋コンクリート造（一部鉄骨鉄筋コンクリート造及び鉄骨造）の建物である。

原子炉建屋は、RCCVと外壁（以下、「ボックス壁」という。）の間に耐震壁（以下、「中間壁」という。）を配置している。

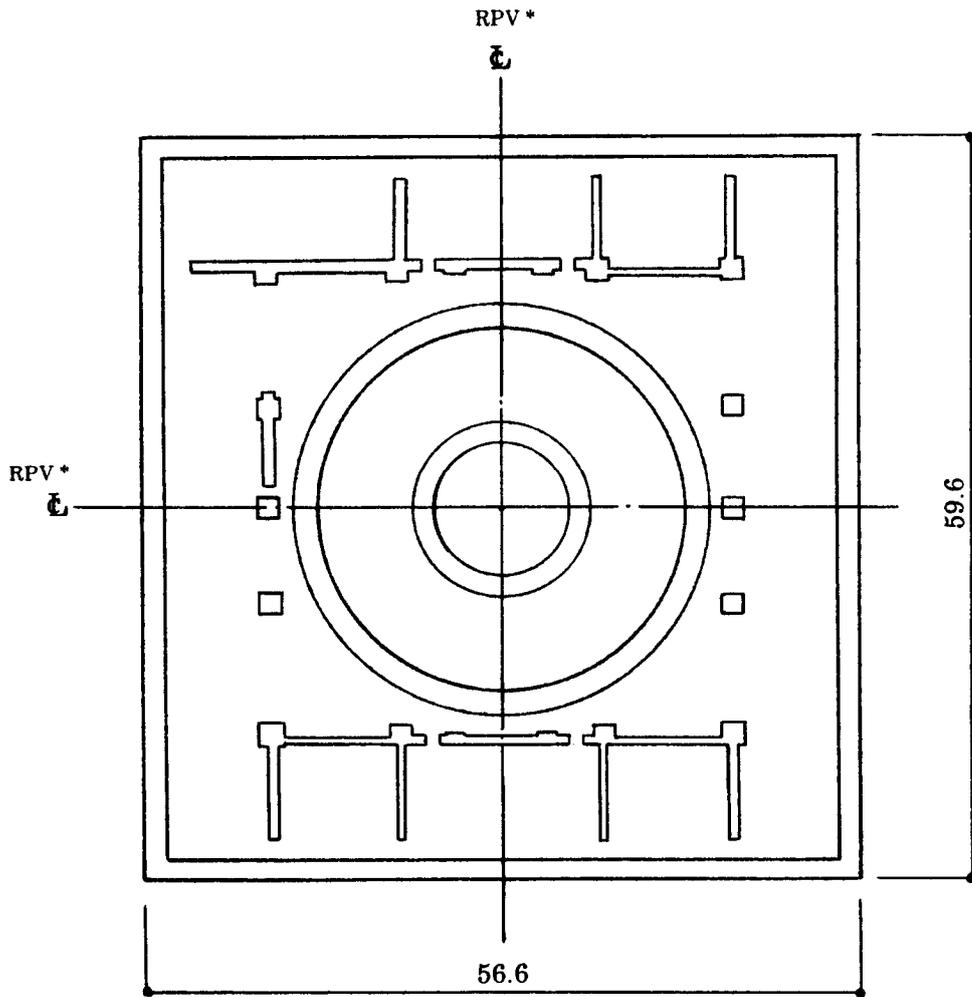
原子炉建屋の主要な耐震壁はRCCV、ボックス壁及び中間壁である。主要な耐震壁は建屋の中心に対してほぼ対称に配置しており、開口部も少なく、建屋は全体として非常に剛性の高い構造となっている。

b. 鉄筋コンクリート製原子炉格納容器（RCCV）

RCCVは、円筒形で基礎スラブ上から立上がり、床スラブによって原子炉建屋と一体構造になっている。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である。

c. 原子炉建屋の基礎

原子炉建屋の基礎は、RCCV及びこれを取り囲む原子炉建屋の共通の基礎となっている鉄筋コンクリート造の基礎スラブであり、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されている。平面の形状は、NS方向56.6m、EW方向59.6mの矩形である。



注記 * : 原子炉圧力容器 (以下, 「RPV」と略す。)

図 2.1.1-1 原子炉建屋の概略平面図 (単位 : m)

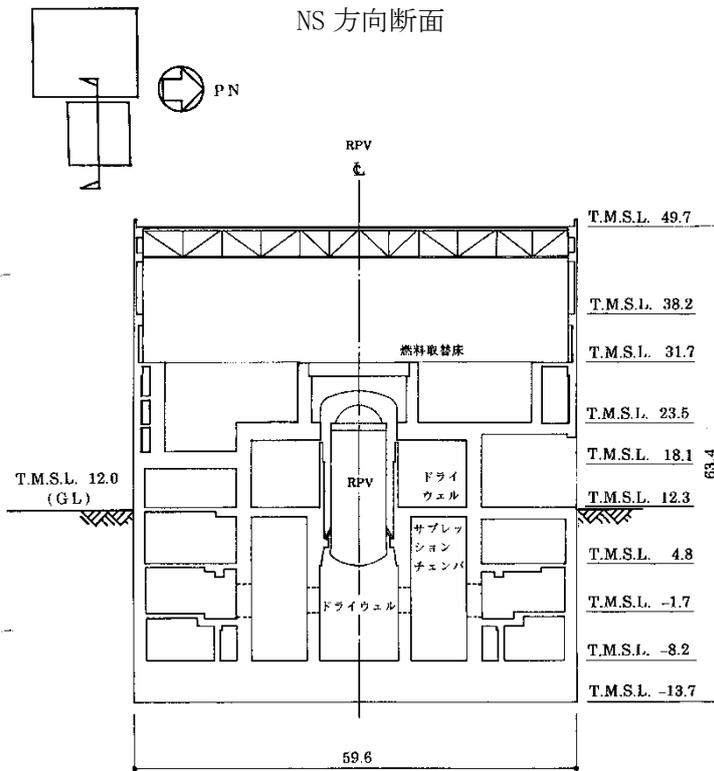
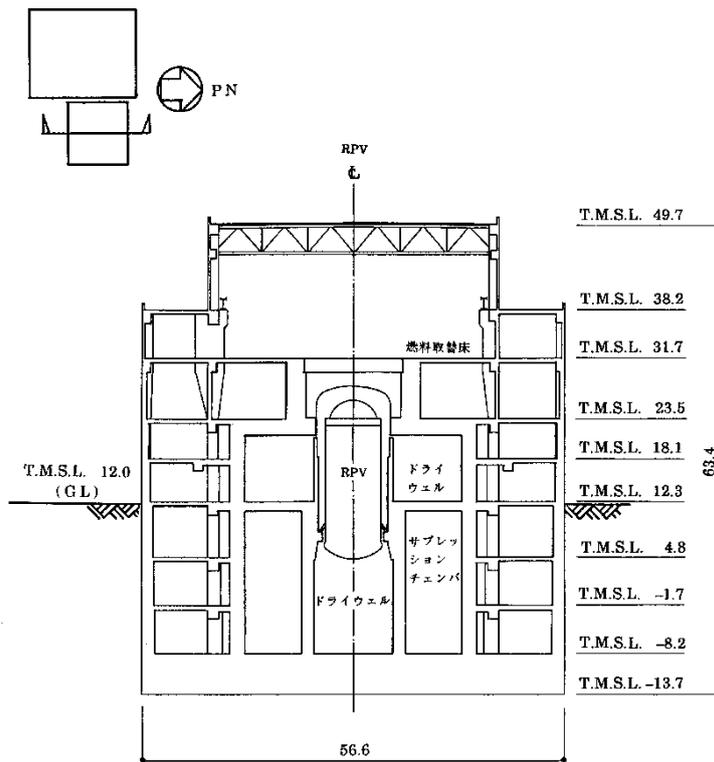


図 2.1.1-2 原子炉建屋の概略断面図（単位：m）

2.1.2 3次元 FEM モデルによる耐震評価の方針

建屋 3 次元 FEM モデルを構築し、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。

建屋 3 次元 FEM モデルの妥当性を確認した後、原子炉建屋の 3 次元的応答特性を把握するため、建屋 3 次元 FEM モデルに弾性設計用地震動 Sd を NS 方向及び EW 方向それぞれ 1 方向入力した地震応答解析と、同モデルに NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の地震動を同時入力（以下、「3 方向同時入力」という。）した地震応答解析を実施し、その結果を比較する。

また、建屋 3 次元的 FEM モデルの挙動が建屋及び機器・配管系の耐震評価へ及ぼす影響検討として、建屋 3 次元 FEM モデルと質点系モデルに弾性設計用地震動 Sd を NS 方向及び EW 方向それぞれ 1 方向入力した地震応答解析を実施し、結果を比較する。

建屋 3 次元 FEM モデルによる耐震性評価フローを図 2.1.2-1 に示す。

なお、解析には解析コード「MSC Nastran Version 2013.0」を用いる。

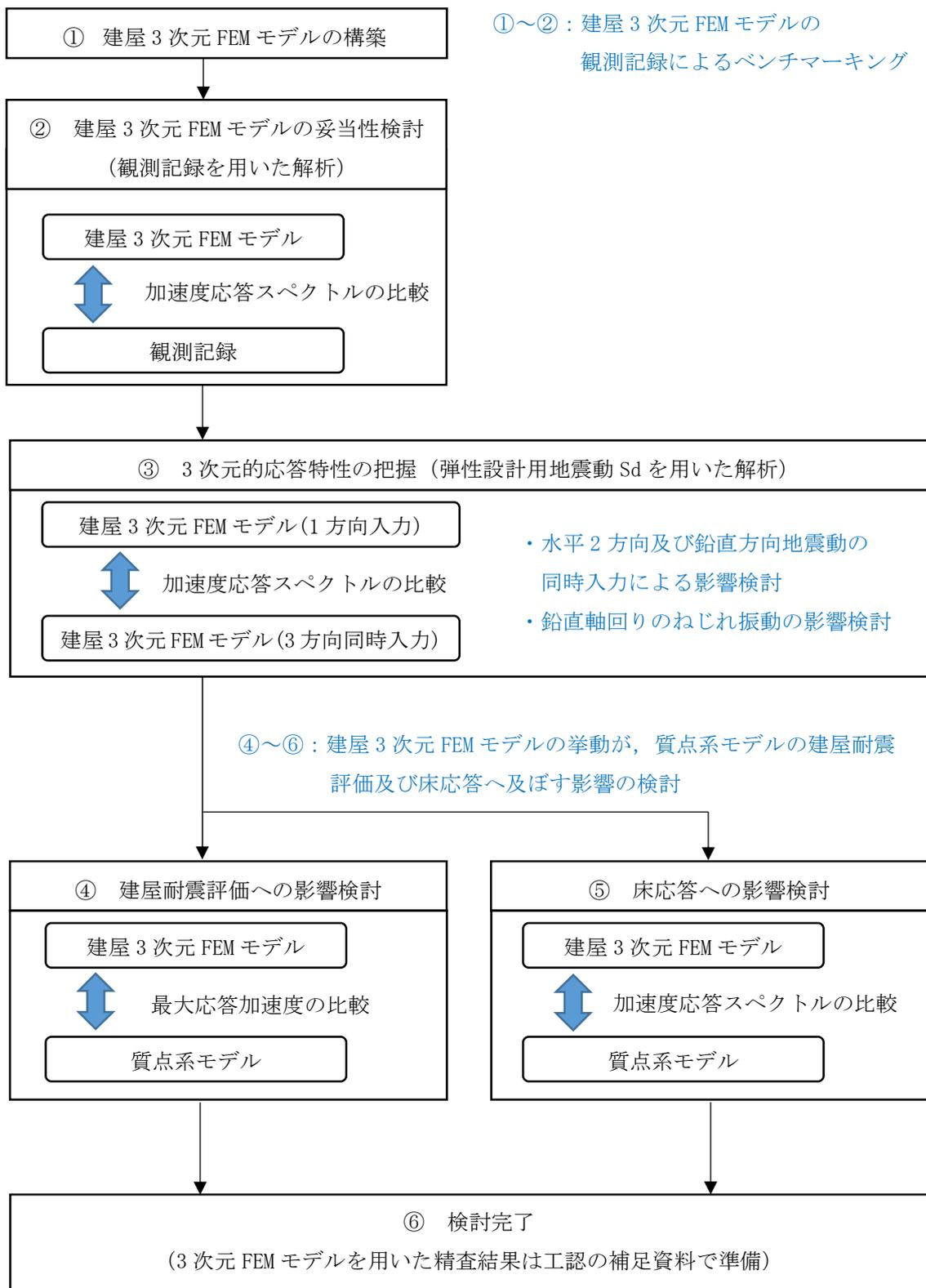


図 2. 1. 2-1 建屋 3 次元 FEM モデルによる耐震性評価フロー

2.2 3次元FEMモデルの構築

2.2.1 原子炉建屋の3次元FEMモデル

(1) モデル化の基本方針

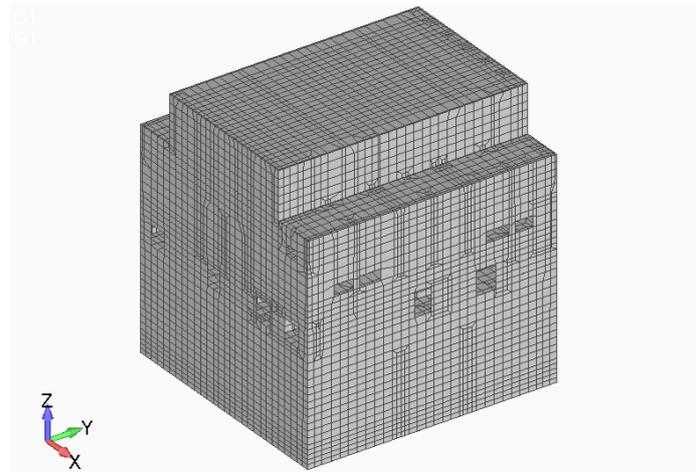
建屋3次元FEMモデルを構築する。モデル化の範囲は、原子炉建屋、RCCV及び基礎とする。建屋3次元FEMモデルの解析モデルを図2.2.1-1に示す。

建屋3次元FEMモデルで設定する各部材の要素タイプは、床スラブ・壁は面材で軸剛性、せん断剛性及び曲げ剛性を評価するためシェル要素（約24000要素）とし、基礎スラブは、床スラブと同一の面材であるが、床スラブに比べスラブ厚が大きいことからソリッド要素（約9500要素）とし、柱・梁は線材で軸剛性、せん断剛性及び曲げ剛性を評価するためビーム要素とし、屋根トラスのメイントラス・サブトラス・サブビームについても柱・梁と同一の線材なのでビーム要素（約2500要素）、斜材・束材・水平ブレースは線材で軸剛性のみ評価するのでトラス要素（約400要素）でモデル化する。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。

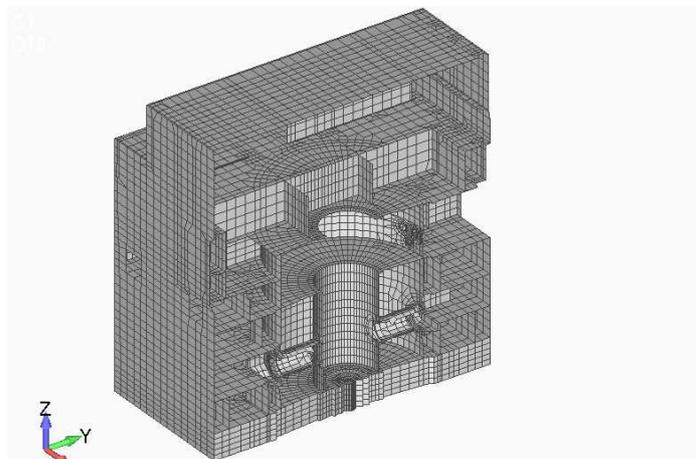
要素の大きさは、以下の原則に従って分割する。

- ① 外壁は水平方向には通り芯間4分割程度、鉛直方向にはフロア間を4分割程度とする
- ② 床は外壁と同じく、通り芯間4分割程度とする（床スラブは質点系モデルと同じスラブ上面レベルでモデル化する。）
- ③ 外壁以外の壁は水平方向には床スラブの要素の大きさに合わせ、鉛直方向には外壁と同じく、フロア間を4分割程度とする
- ④ 屋根トラスは1部材1要素とし、トラス間の屋根スラブは外壁の分割を延長してモデル化する

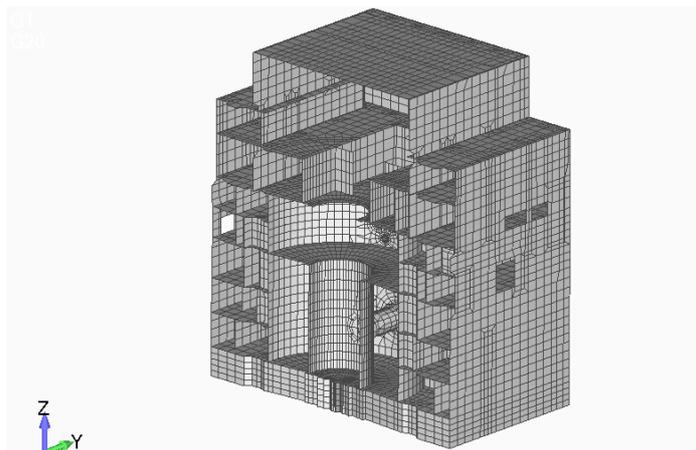
使用材料の物性値を表2.2.1-1に示す。使用材料の物性値は、3次元FEMモデルと質点系モデルで同一である。



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(c) NS 断面図

図 2. 2. 1-1 建屋 3 次元モデル

表 2.2.1-1 使用材料の物性値

部位他		使用材料	ヤング係数 E (N/mm ²)	せん断弾性 係数 G (N/mm ²)	ポアソン比	減衰定数 h (%)
建屋部	実強度	コンクリート Fc = 440kg/cm ²	2.88×10 ⁴	1.20×10 ⁴	0.2	5
基礎部	実強度	コンクリート Fc = 400kg/cm ²	2.79×10 ⁴	1.16×10 ⁴	0.2	5
屋根トラス, 鉄骨部		鋼材	2.05×10 ⁵	7.90×10 ⁴	0.3	2

(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。質点系モデルの質量と整合をとるために，建屋 3 次元 FEM モデルの基準床の質量密度を調整する。具体的には，建屋 3 次元 FEM モデルの各フロア質量を算出したのち，質点系モデルの各フロア質量との差を算出し，その差分を建屋 3 次元 FEM モデルの基準床の質量密度に付加した。

(3) 建屋－地盤の相互作用

建屋－地盤の相互作用は，質点系モデルの地盤ばねと整合するよう，地盤をばね要素でモデル化することで考慮する

基礎底面地盤ばねは，質点系モデルで考慮したスウェイ，ロッキング及び鉛直のばねの値を元に，建屋 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。

側面地盤ばねは，質点系モデルで考慮した水平・回転ばねの値を元に，建屋 3 次元 FEM モデルの側面（地中部建屋側面）の支配長さに応じて離散化する。

(4) 地盤ばねのモデル化

建屋質点系モデルと同様に，建屋地盤相互作用効果を地盤ばね（底面水平・回転：振動アドミッタンス、側面水平・回転：NOVAK ばね）としてモデル化する。地盤ばねのモデル化概念図を図 2.2.1-2 に示す。

側面地盤ばねを考慮する範囲は，質点系モデルと同一で，安田層以深の埋込み部分全周とする。側面地盤ばねを考慮する範囲を図 2.2.1-3 に示す。

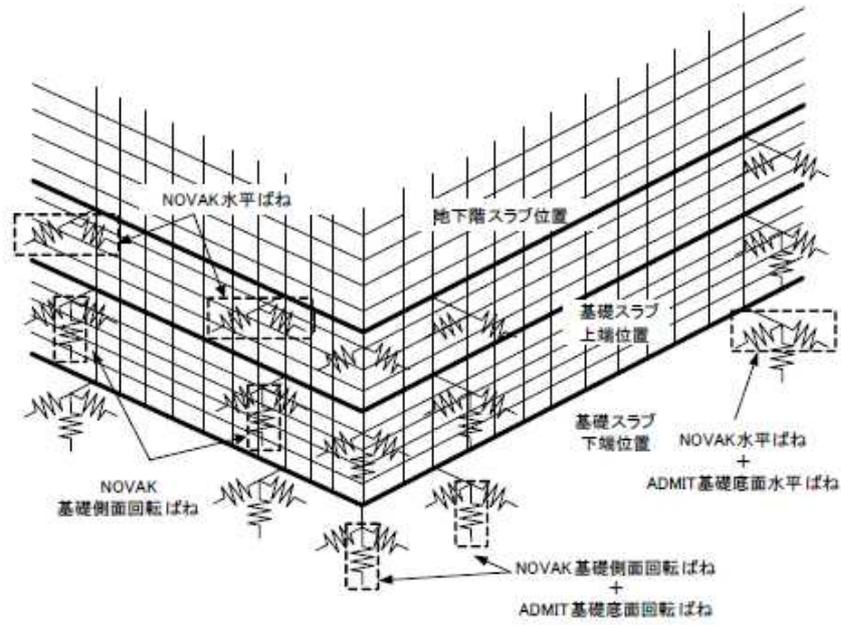


図 2. 2. 1-2 地盤ばねのモデル化概念図

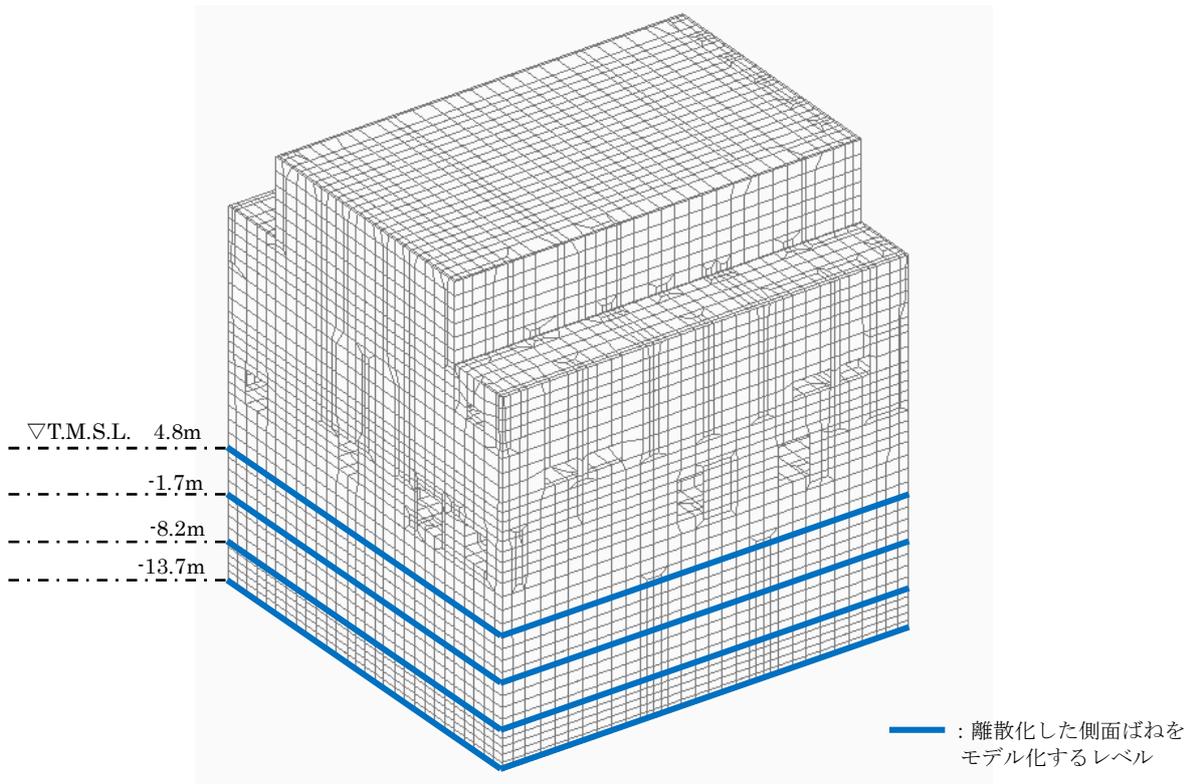


図 2. 2. 1-3 側面地盤ばねを考慮する範囲

2.2.2 観測記録を用いた検討

(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、建屋3次元FEMモデルを用いて解析を実施し、解析結果と観測記録を比較し建屋3次元FEMモデルの妥当性を確認する。

なお、観測記録に用いた検討で使用する建屋3次元FEMモデルは、当時の状況を反映させるため、積雪荷重は考慮せず、屋根トラスのモデル化は耐震補強を行う前の部材でモデル化している。

解析に用いる地震の諸元を図2.2.2-1に、地震計位置を図2.2.2-2に、原子炉建屋基礎上で得られた観測記録を図2.2.2-3及び図2.2.2-4に示す。また、観測記録を用いた検討における解析用地盤物性を表2.2.2-1に示す。なお、初期地盤物性については7号炉原子炉建屋の既工認の物性と同一である。

地震波はNS方向、EW方向及び鉛直方向に3方向同時入力し、解析を実施する。

観測記録を用いた解析は、原子炉建屋基礎上(7-R2:T.M.S.L.-8.2m)で観測された記録を使用する。地震波は、基礎上での応答が観測記録と同一となるように基準化を行っている。

地震計を設置している床位置での応答解析結果と観測記録とを比較する。

地震名	新潟県中越沖地震
発生日時	2007年7月16日 午前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	23km

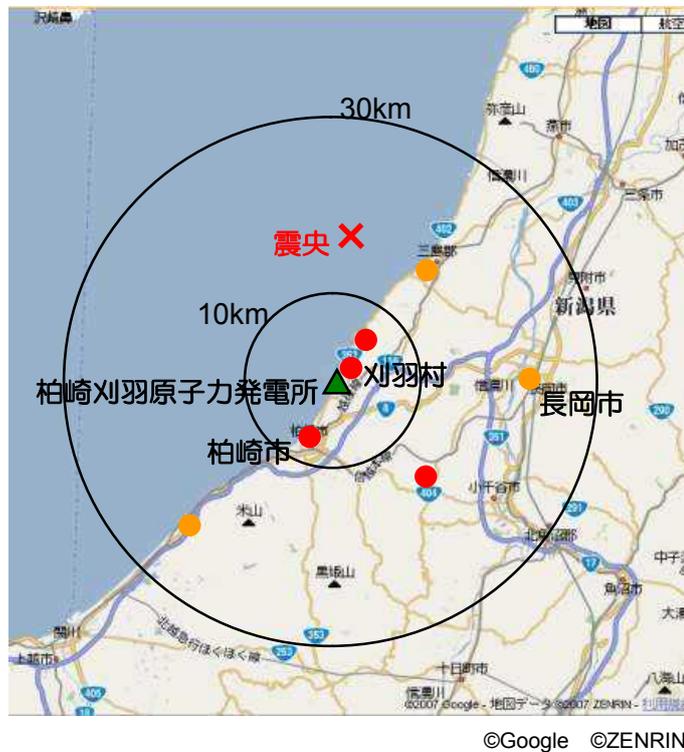


図 2.2.2-1 検討に用いる地震の諸元 (2007年新潟県中越沖地震)

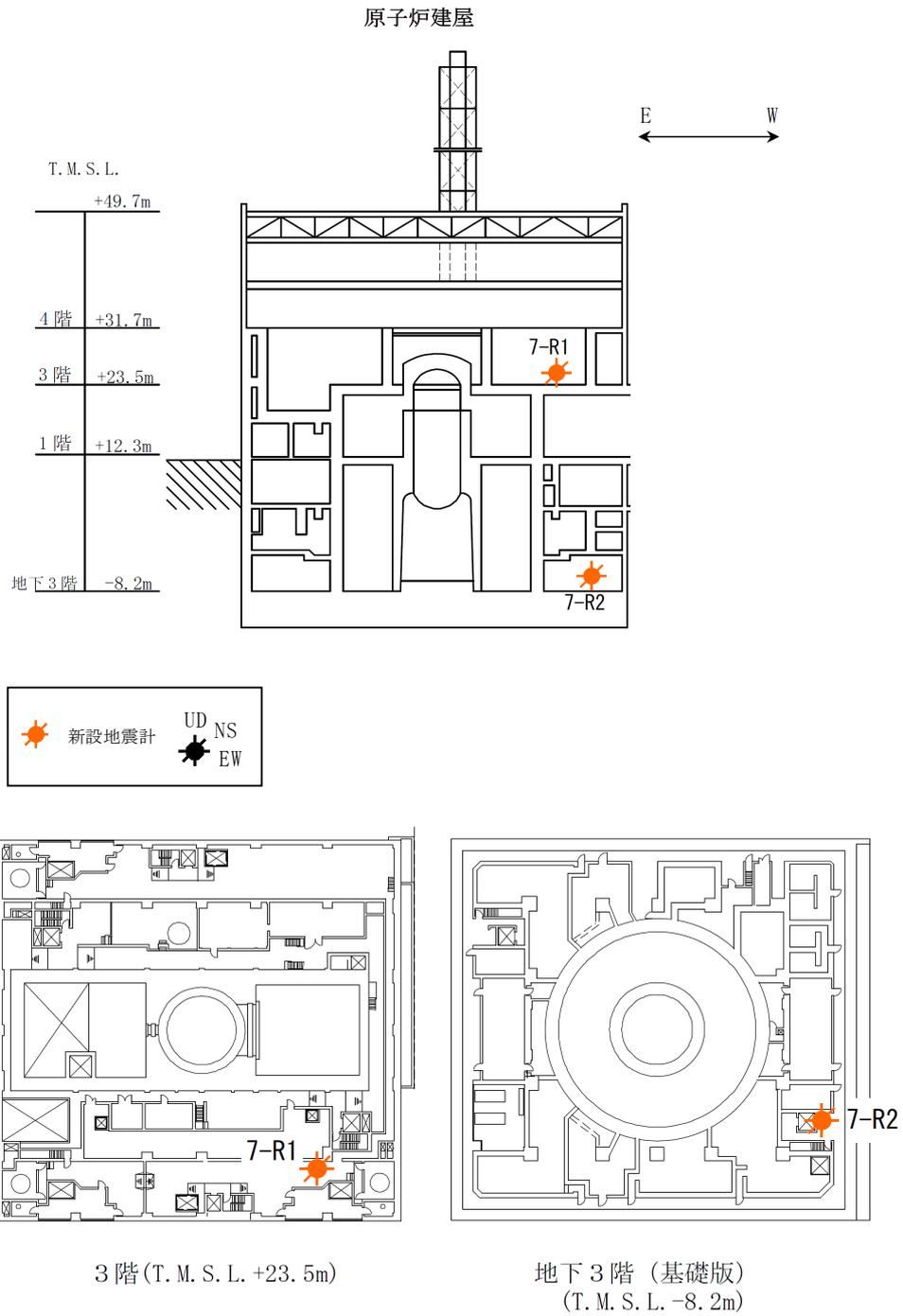
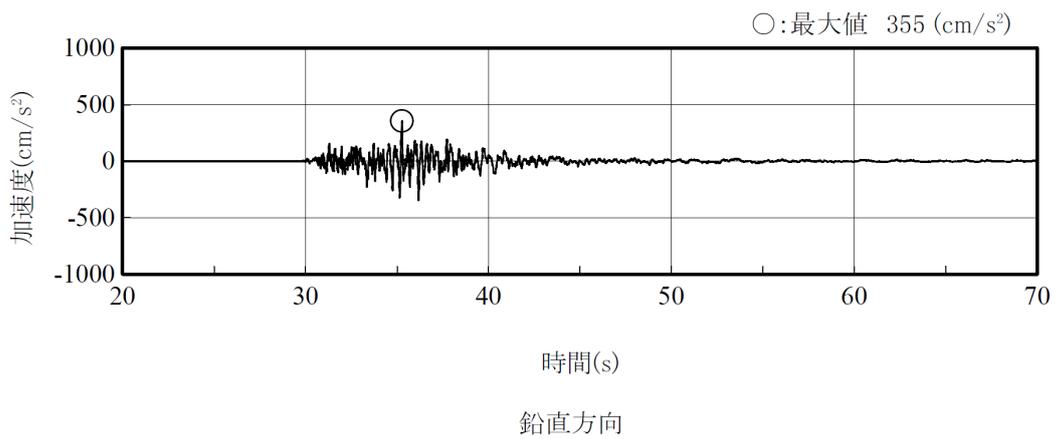
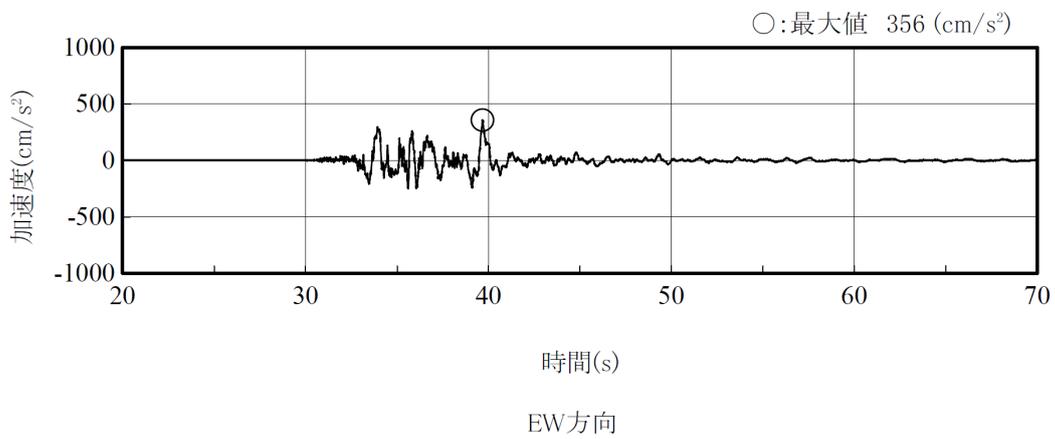
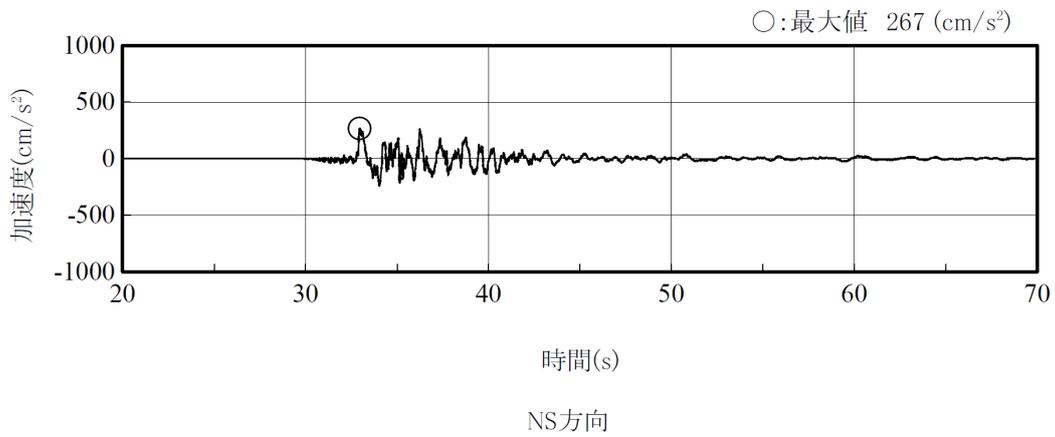


図 2.2.2-2 地震計位置



(記録の主要動を含む 50 秒間を表示)

図 2. 2. 2-3 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度時刻歴波形
(7-R2 : T. M. S. L. -8. 2m)

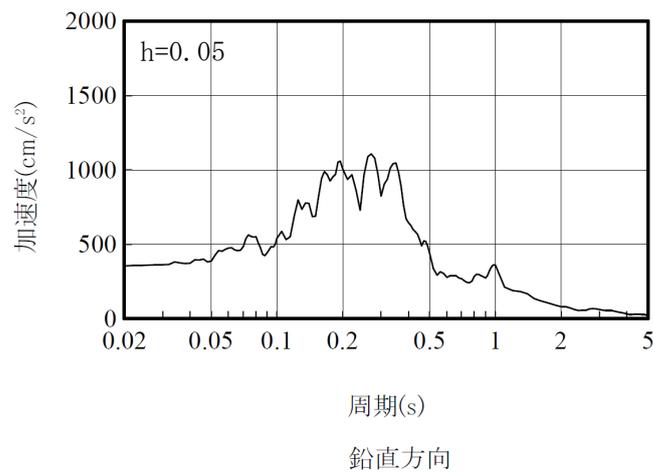
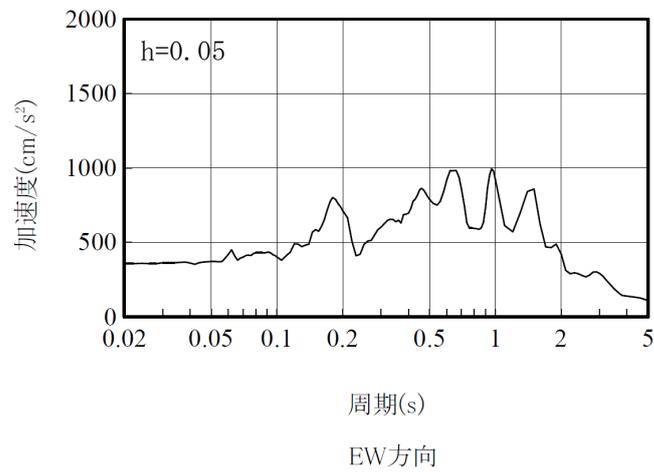
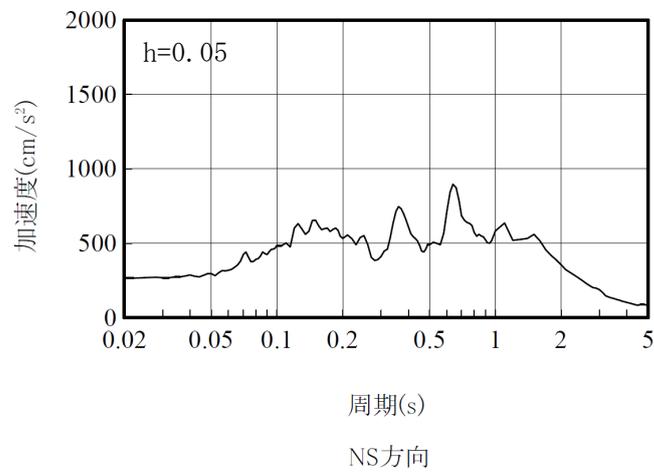


図 2.2.2-4 原子炉建屋の基礎上の観測記録 加速度応答スペクトル
(7-R2 : T. M. S. L. -8.2m)

表 2.2.2-1 観測記録を用いた検討における地盤物性値

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^2$ N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^2$ N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E ($\times 10^2$ N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.11	0.37	0.29	0.29	22	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.19	0.66	0.29	0.50	22	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.22	1.92	0.64	3.57	4	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	3.86	4.16	0.93	11.20	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.41	4.75	0.93	12.75	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.71	6.14	0.93	16.35	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	7.73	8.32	0.93	22.02	3	19.0
-155.0		〔解放 基盤〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

(2) 観測記録による解析結果

原子炉建屋 3 階の地震計位置 (7-R1 : T.M.S.L. 23.5m) での観測記録及び解析結果の最大応答加速度の比較を図 2.2.2-5 に、加速度応答スペクトルの比較を図 2.2.2-6 に示す。なお、観測記録と比較するための解析結果は、地震計位置近傍の節点を用いる。

(3) 観測記録と解析結果の比較・考察

最大応答加速度において、NS 方向、EW 方向及び鉛直方向の解析結果は、観測記録と整合的である事を確認した。

加速度応答スペクトルにおいて、NS 方向及び EW 方向の解析結果は、観測記録と整合的であり、鉛直方向については、ほぼ全ての周期帯で解析結果が観測記録を上回る保守的な結果となった。

以上より、建屋 3 次元 FEM モデルは観測記録を再現可能なモデルであると考えられる。

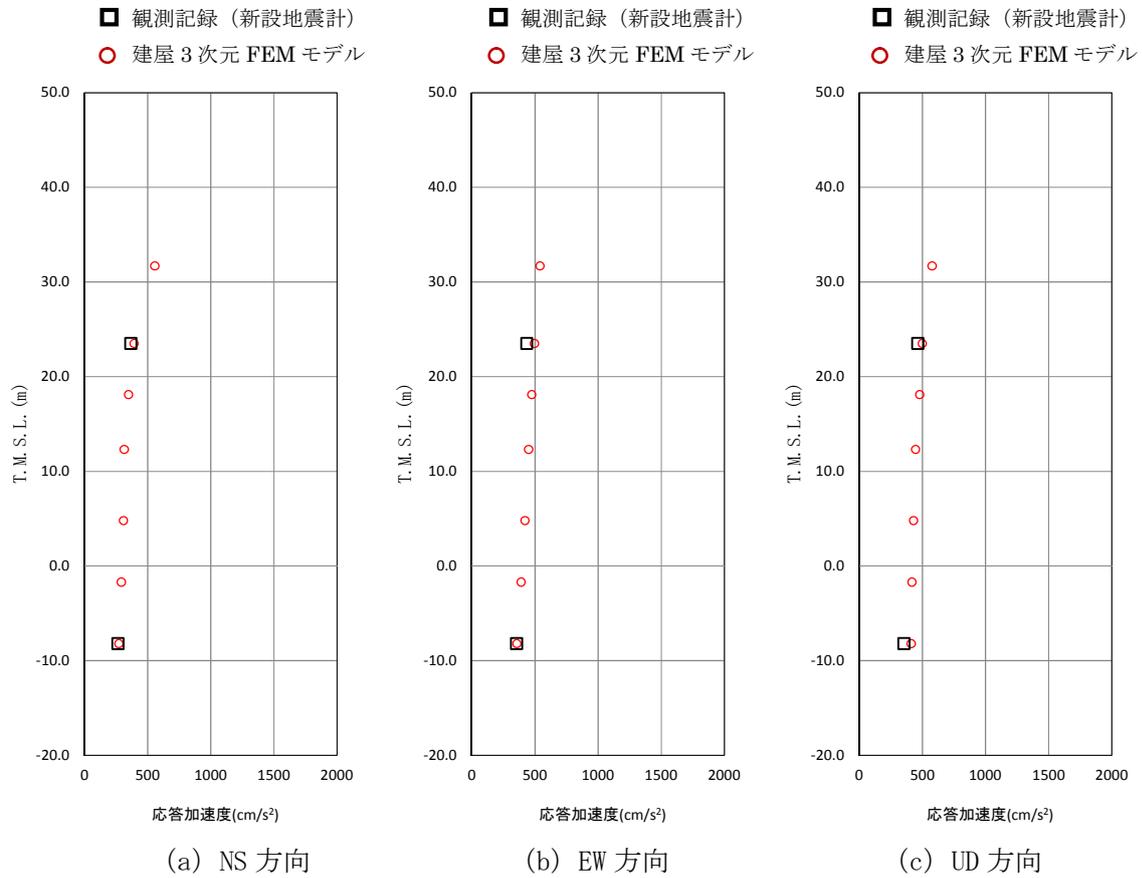
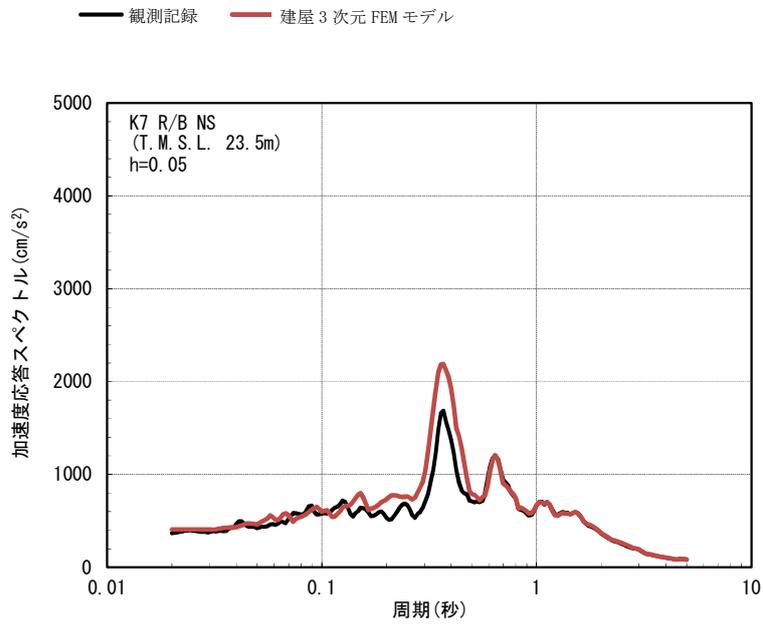
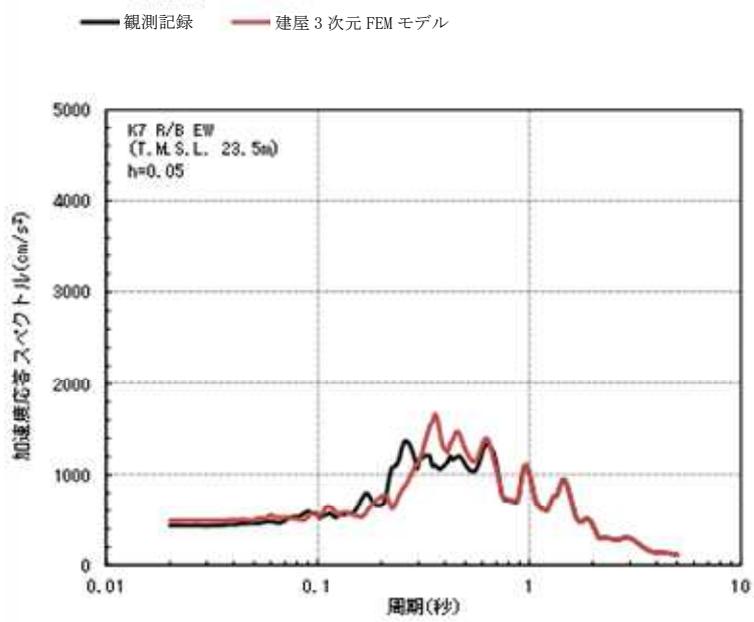


図 2.2.2-5 観測記録と解析結果の各フロアの最大応答加速度の比較

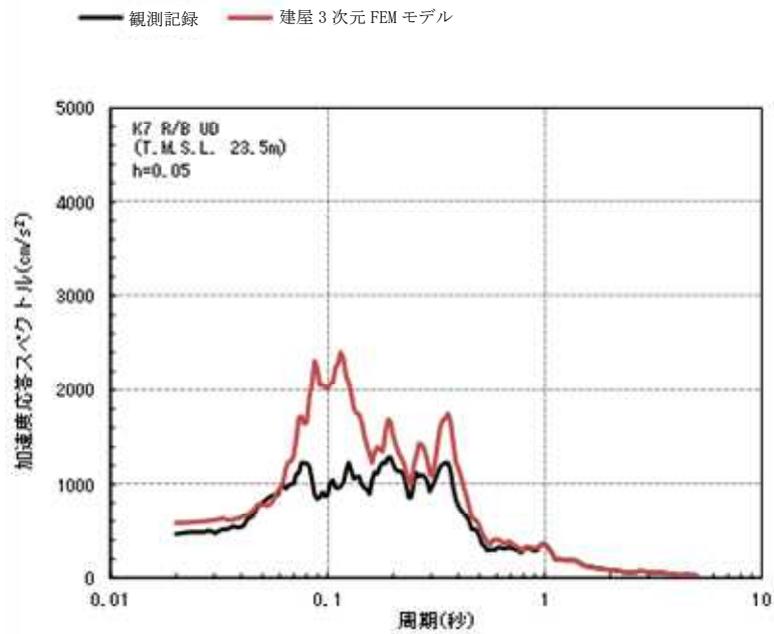


(1) NS 方向



(2) EW 方向

図 2.2.2-6 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(7-R1 : T.M.S.L. 23.5m) (1/2)



(3) UD 方向

図 2.2.2-6 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較
(7-R1 : T.M.S.L. 23.5m) (2/2)

2.3 3次元 FEM モデルによる評価

2.3.1 地震応答解析の概要

原子炉建屋の 3 次元的応答特性を把握し、それらが建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討するため、建屋 3 次元 FEM モデルを用いて、地震応答解析を実施する。

原子炉建屋の地震応答解析は基準地震動 S_s にて実施されることが望ましいが、3 次元 FEM 解析の演算時間が長時間となるため、その負担が少なくなるよう、基準地震動 S_s を 1/2 倍して算出される弾性設計用地震動 S_d で解析を行う。なお、弾性設計用地震動 S_d においても、今回工認モデルと建屋 3 次元 FEM モデルの違いによる応答への影響はとらえることができると考えられる。

弾性設計用地震動 S_d の応答スペクトルを図 2.3.1-1 に示す。図 2.3.1-1 より、耐震評価へおよぼす影響が大きい弾性設計用地震動 S_d として S_d-1 と S_d-2 が挙げられるが、今回検討では、断層モデルにおいて 3 方向それぞれで入力定義されている弾性設計用地震動 S_d-2 を検討用地震動として選定し、解析を行う。

弾性設計用地震動 S_d-2 の加速度時刻歴波形を図 2.3.1-2 に、加速度応答スペクトルを図 2.3.1-3 に示す。また、弾性設計用地震動 S_d-2 応答解析時の地盤物性を表 2.3.1-1 に示す。なお、初期地盤物性については 7 号炉原子炉建屋の既工認の物性と同一である。

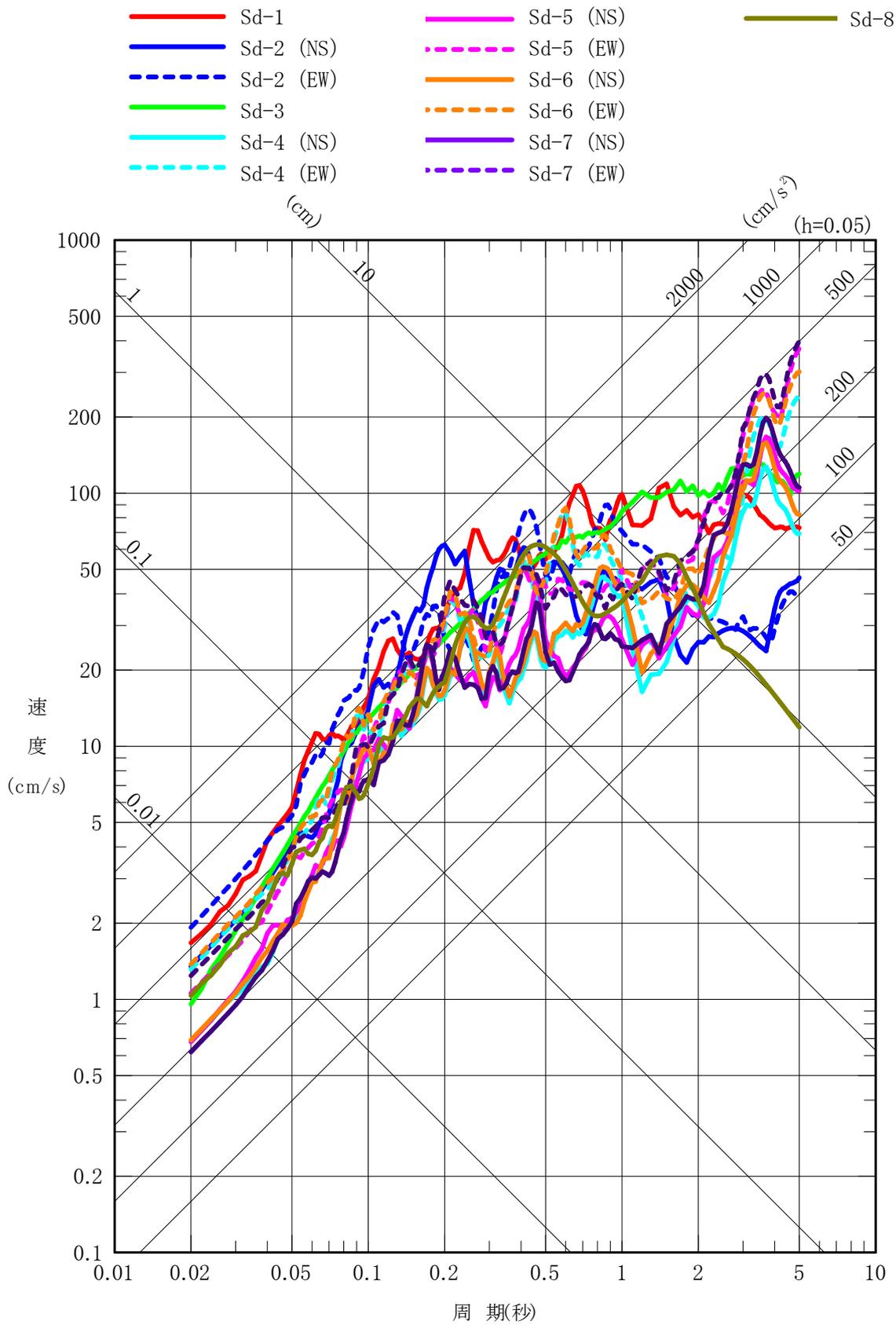


図 2.3.1-1 弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル (水平方向) (大湊側) (1/2)

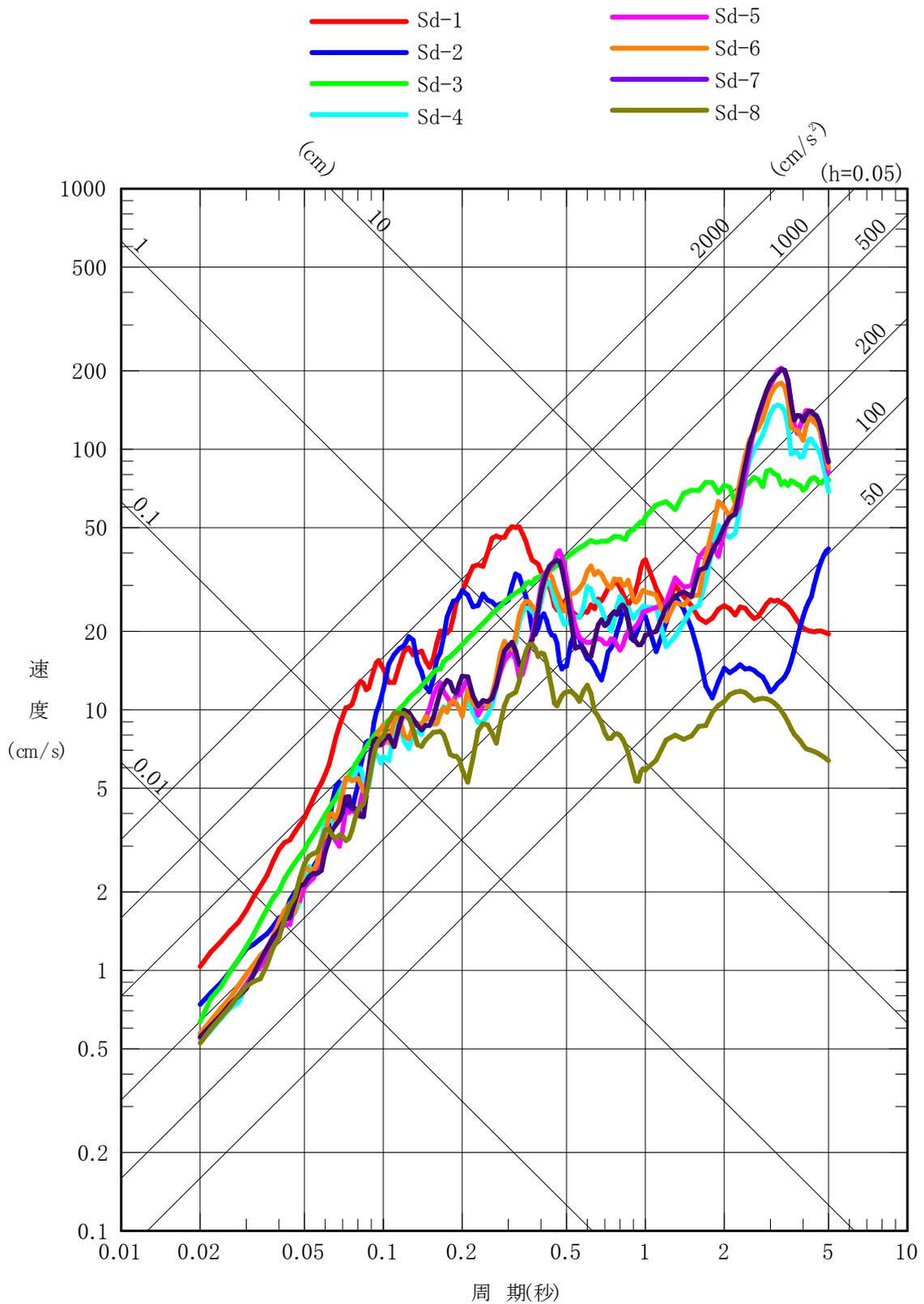


図 2.3.1.-1 弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル (鉛直方向) (大湊側) (2/2)

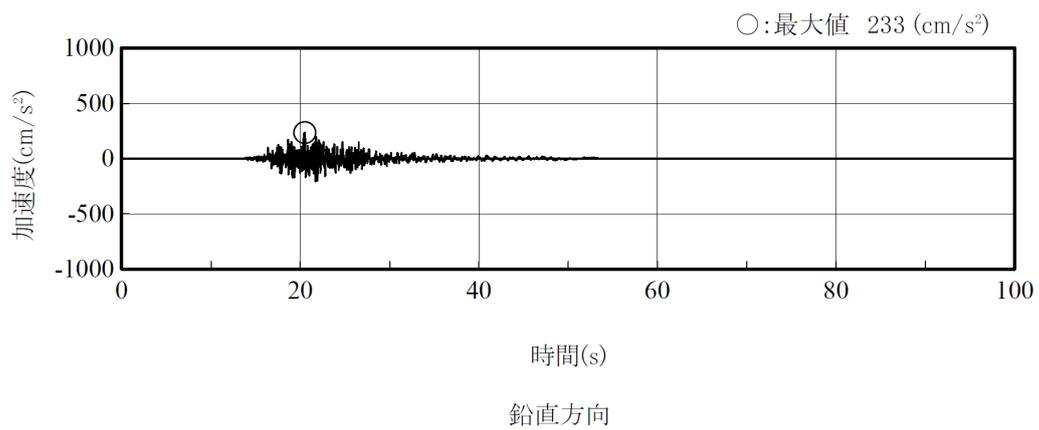
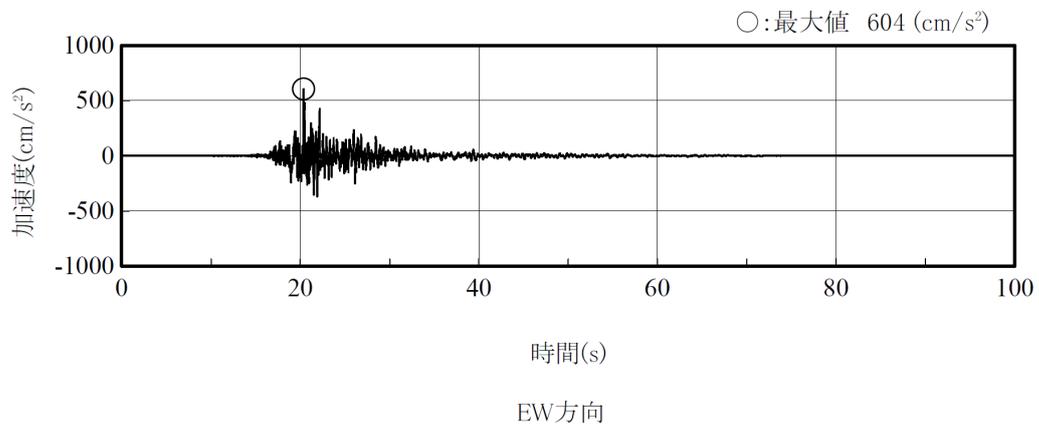
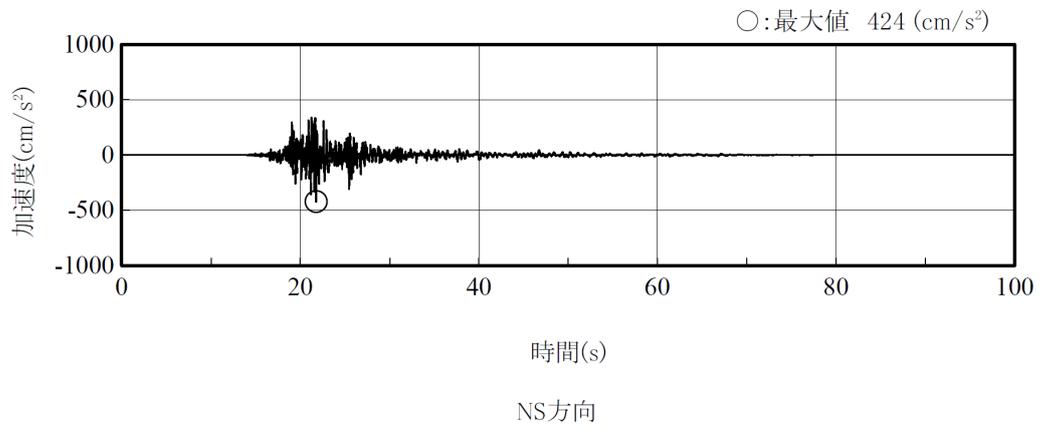


図 2.3.1-2 弾性設計用地震動 Sd-2 加速度時刻歴波形 (解放基盤面)

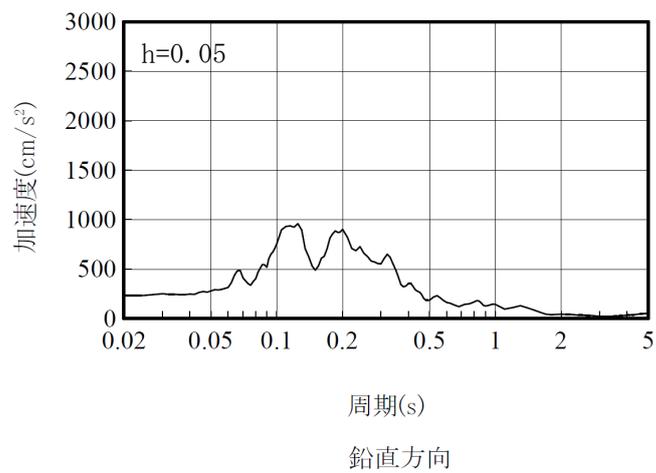
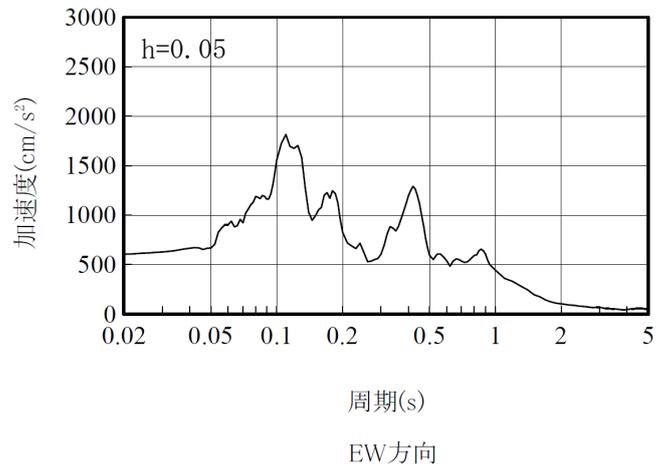
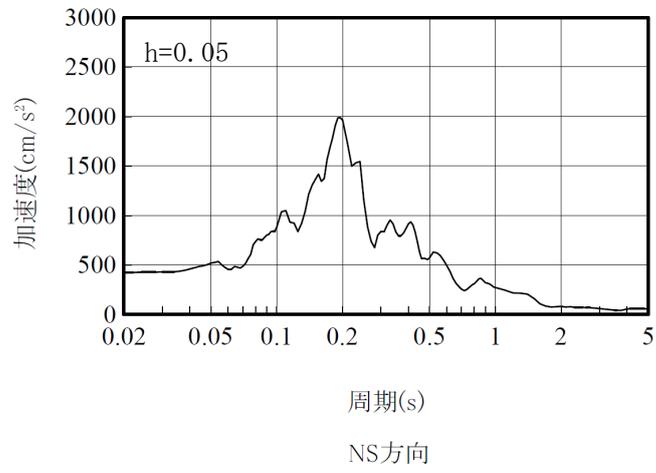


図 2.3.1-3 弾性設計用地震動 Sd-2 加速度応答スペクトル (解放基盤面)

表 2.3.1-1 弾性設計用地震動 Sd-2 応答解析時の地盤物性値

標高 T. M. S. L. (m)	地層	せん断波 速度 Vs (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G ($\times 10^2$ N/mm ²)	初期せん断 弾性係数 G ₀ ($\times 10^2$ N/mm ²)	剛性 低下率 G/G ₀	ヤング 係数 E ($\times 10^2$ N/mm ²)	減衰 定数 h (%)	層厚 H (m)
+12.0	〔砂層〕	150	16.1	0.347	0.15	0.37	0.41	0.41	16	4.0
+8.0		200	16.1	0.308	0.14	0.66	0.22	0.38	19	4.0
+4.0	安田層	330	17.3	0.462	1.22	1.92	0.64	3.57	3	10.0
-6.0	西山層	490	17.0	0.451	4.03	4.16	0.97	11.70	3	27.0
-33.0		530	16.6	0.446	4.56	4.75	0.96	13.19	3	57.0
-90.0		590	17.3	0.432	5.95	6.14	0.97	17.04	3	46.0
-136.0		650	19.3	0.424	8.07	8.32	0.97	22.98	3	19.0
-155.0		〔解放 基盤〕	720	19.9	0.416	10.50	10.50	1.00	29.74	-

2.3.2 建屋応答性状の把握

建屋 3 次元 FEM モデルの地震応答解析より，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる，3 次元的応答特性の把握を行う。

(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を確認するため，建屋 3 次元 FEM モデルに弾性設計用地震動 Sd-2 を NS 方向及び EW 方向それぞれ 1 方向入力した地震応答解析と，3 方向同時入力した地震応答解析を実施し，その結果を比較する。

地震動の組合せを表 2.3.2-1 に示す。

応答の算出は，各方向への入力地震動に対して算出された各成分の応答を時刻歴で足し合わせることで，水平 2 方向及び鉛直方向の地震動に対する方向ごとの応答を算出する。

表 2.3.2-1 地震動の組合せ

地震動の入力方法		NS 方向	EW 方向	鉛直方向
1 方向入力	NS 方向	Sd-2 (NS)	—	—
	EW 方向	—	Sd-2 (EW)	—
3 方向同時入力		Sd-2 (NS)	Sd-2 (EW)	Sd-2 (UD)

(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる影響の確認

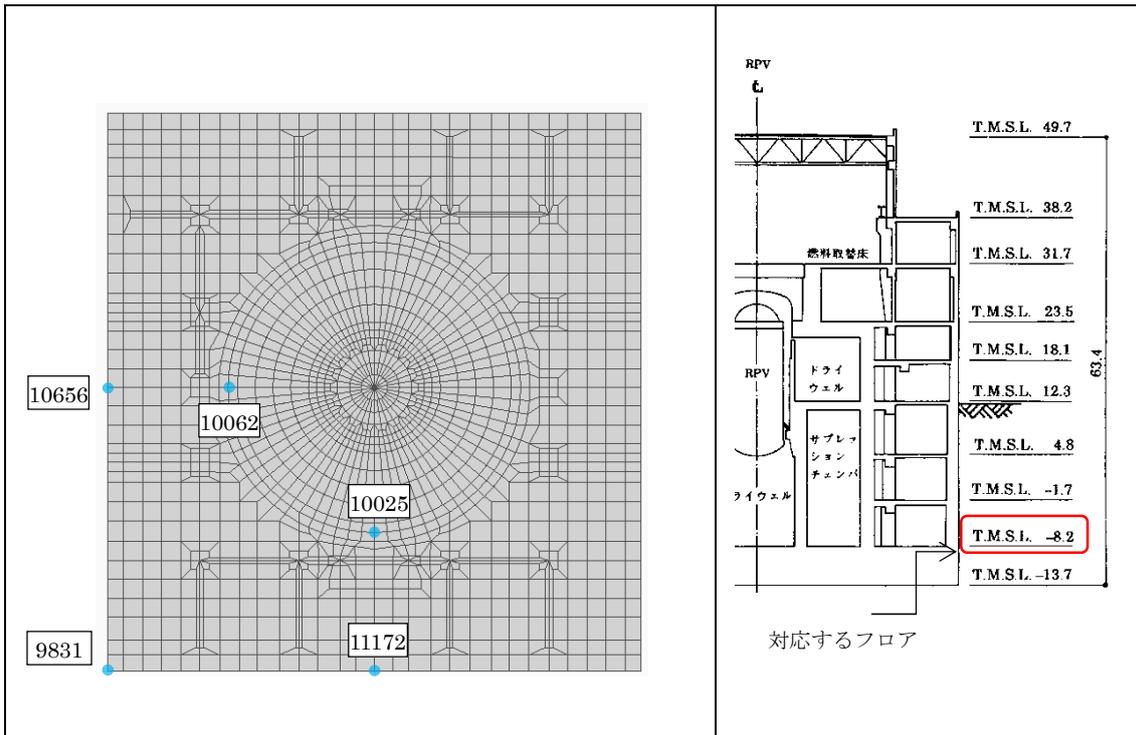
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる影響の確認は、表 2.3.2-1 の地震動を、NS 方向及び EW 方向それぞれ 1 方向入力した場合の加速度応答スペクトルと、3 方向同時入力した場合の加速度応答スペクトルを比較することにより実施する。

建屋 3 次元 FEM モデルの応答評価位置について、高さ方向については原子炉建屋の地下部及び地上部(下部, 上部)を網羅できるよう、地下 3 階(T. M. S. L. -8.2m), 1 階(T. M. S. L. 12.3m) 及び 3 階 (T. M. S. L. 23.5m) を代表高さとし、平面的には、3 次元的応答特性の影響が大きいと考えられるボックス壁の隅部および中間部を評価点とし、また RCCV 部についても NS・EW 方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は 5 点程度とし、合計 14 点を評価点とし抽出した。建屋 3 次元 FEM モデルの応答評価位置を図 2.3.2-1 に示す。

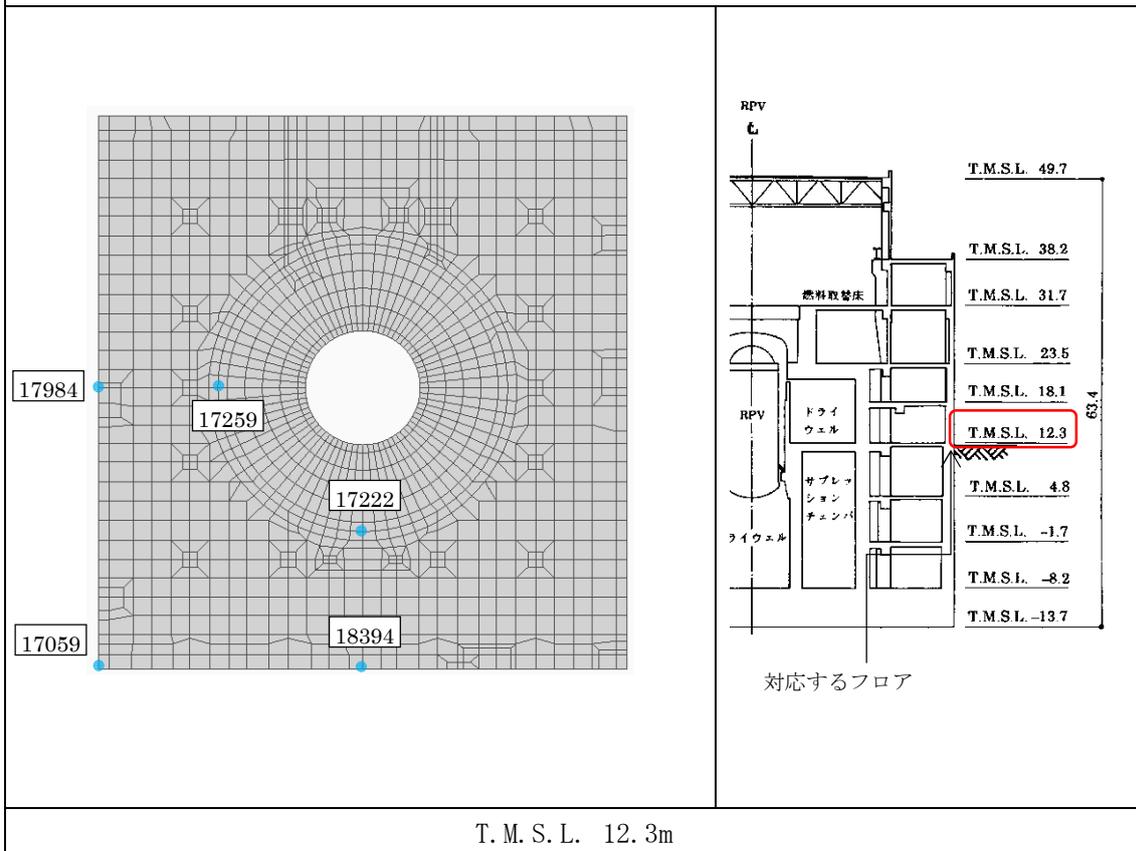
各評価点における減衰定数 $h=0.05$ 時の加速度応答スペクトルの比較を図 2.3.2-2 に、減衰定数 $h=0.01$ 時の加速度応答スペクトルの比較を図 2.3.2-3 に示す。

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は整合的であり、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる影響はほとんどないことを確認した。

また、7 号炉原子炉建屋の主要な耐震壁は、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であるため、ねじれの影響により応答増幅しないと考えられるが、解析の結果からも影響がほとんどないことを確認した。



T. M. S. L. -8. 2m



T. M. S. L. 12. 3m

図 2.3.2-1 応答評価位置 (1/2)

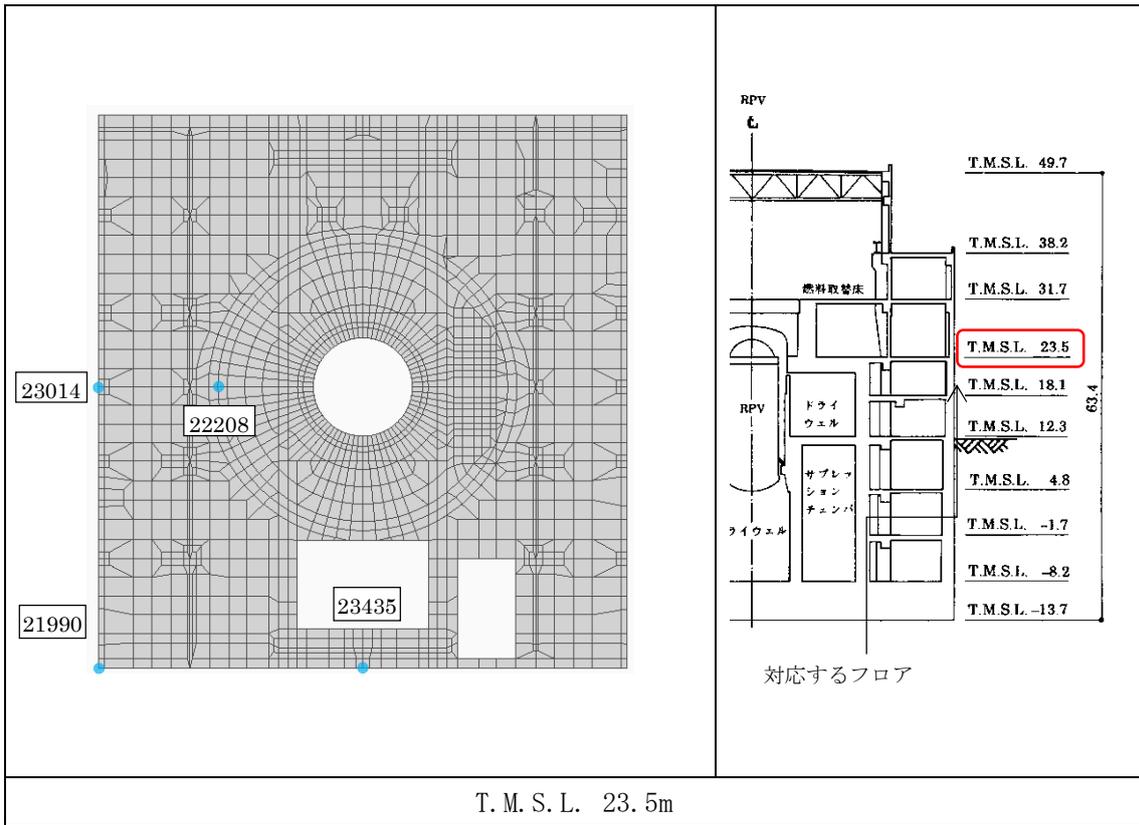


図 2. 3. 2-1 応答評価位置(2/2)

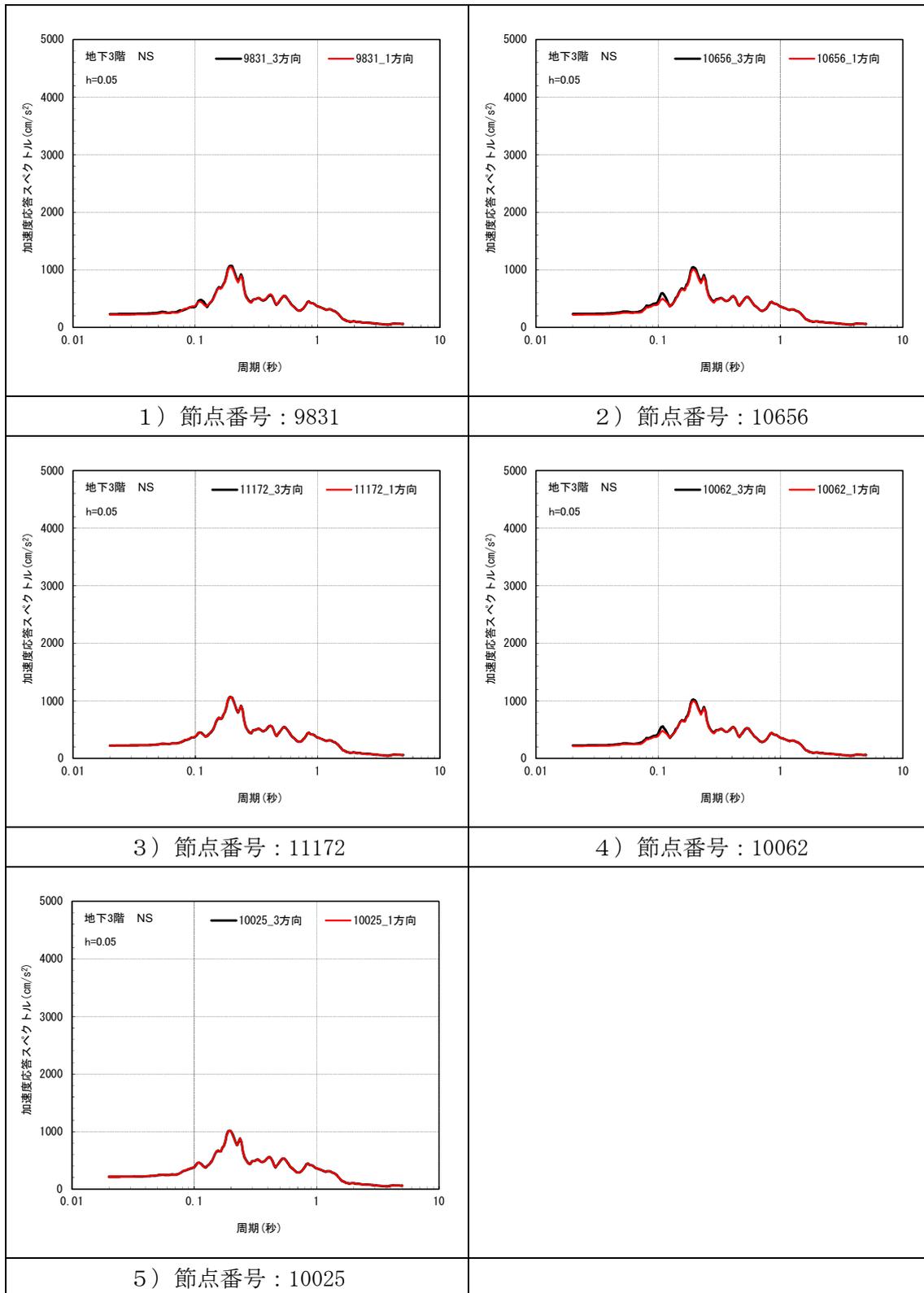


図 2.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (NS 方向, T.M.S.L. -8.2m) (1/6)

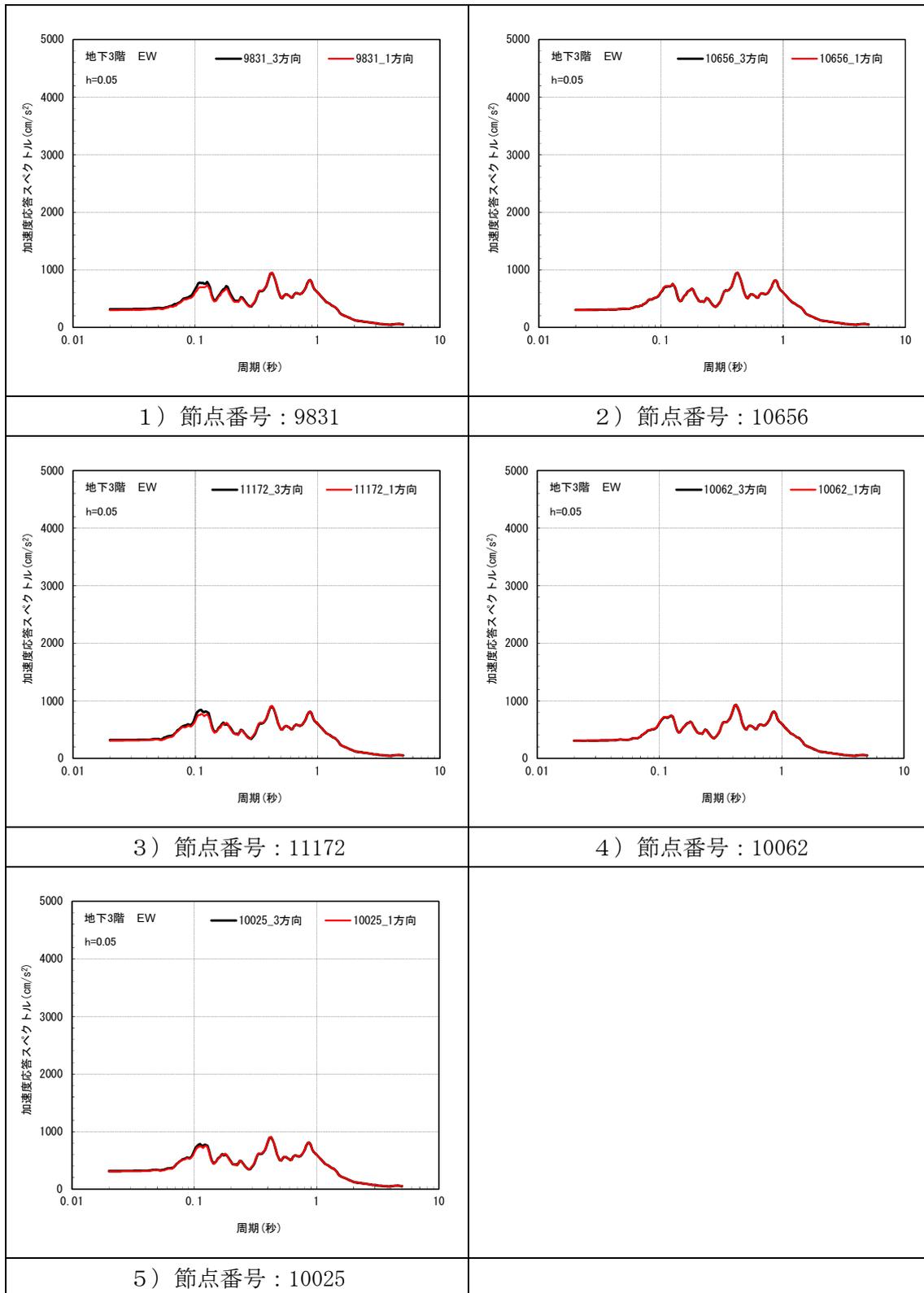


図 2.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (EW 方向, T. M. S. L. -8.2m) (2/6)

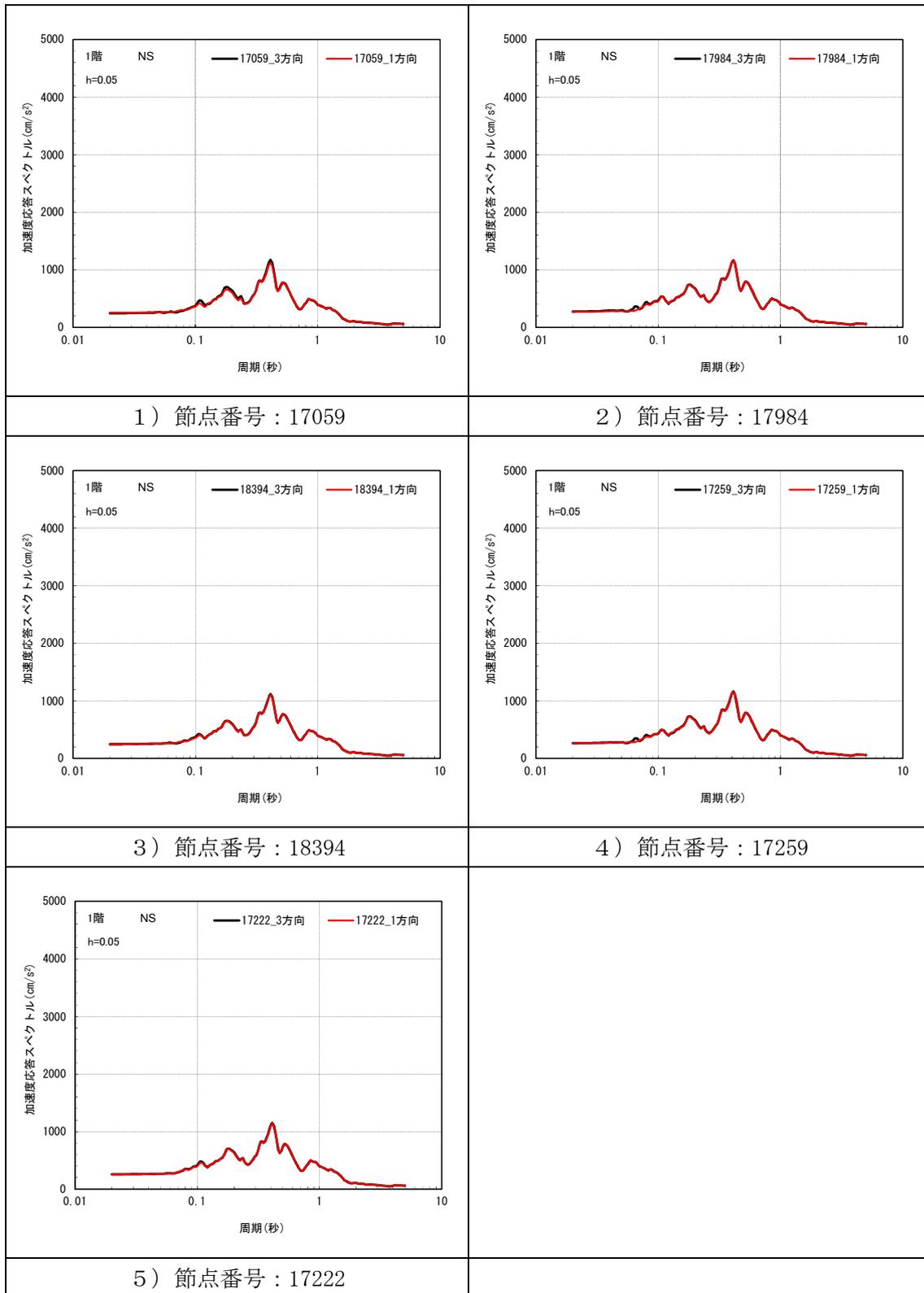


図 2.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (NS 方向, T. M. S. L. 12.3m) (3/6)

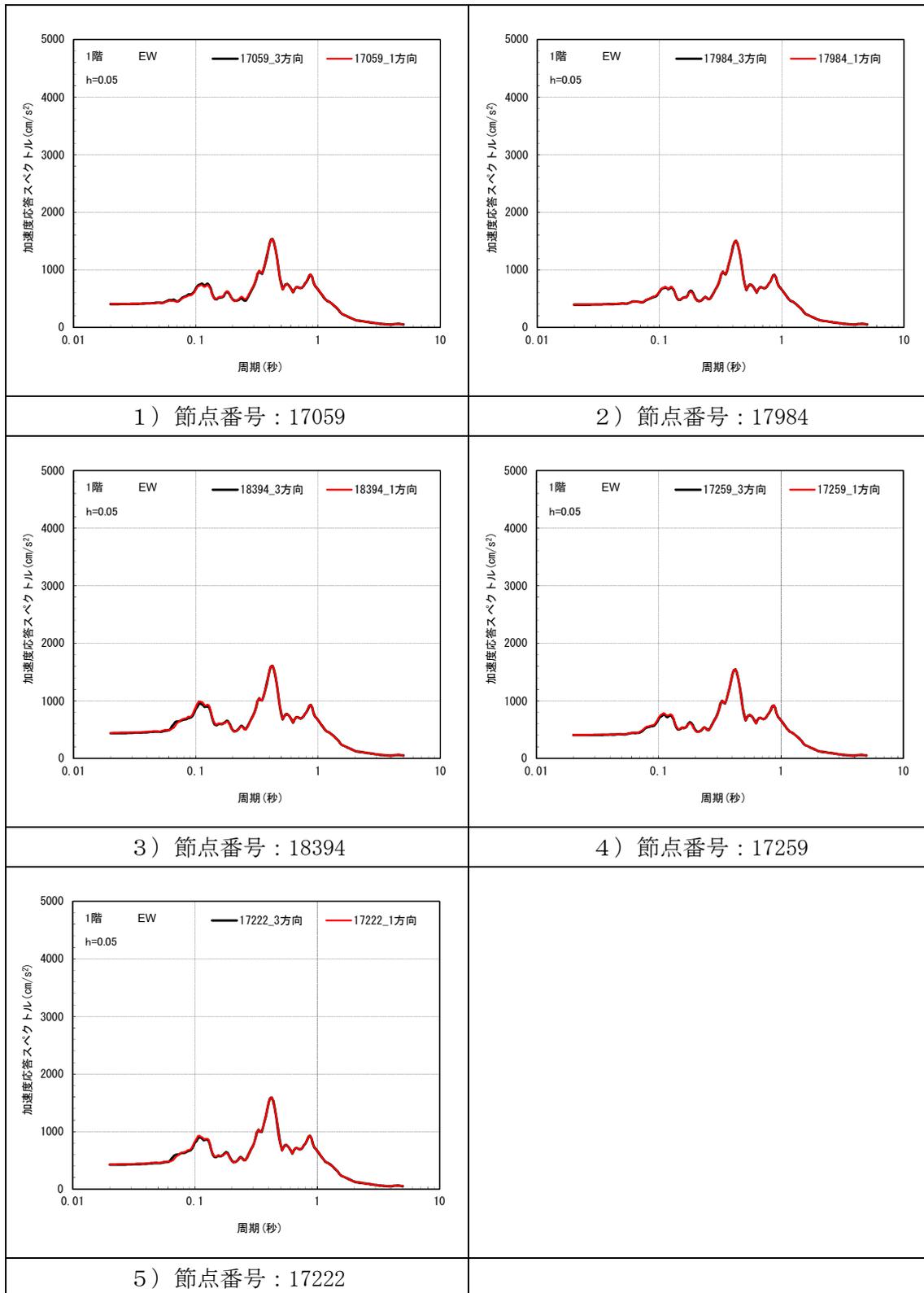


図 2.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (EW 方向, T. M. S. L. 12.3m) (4/6)

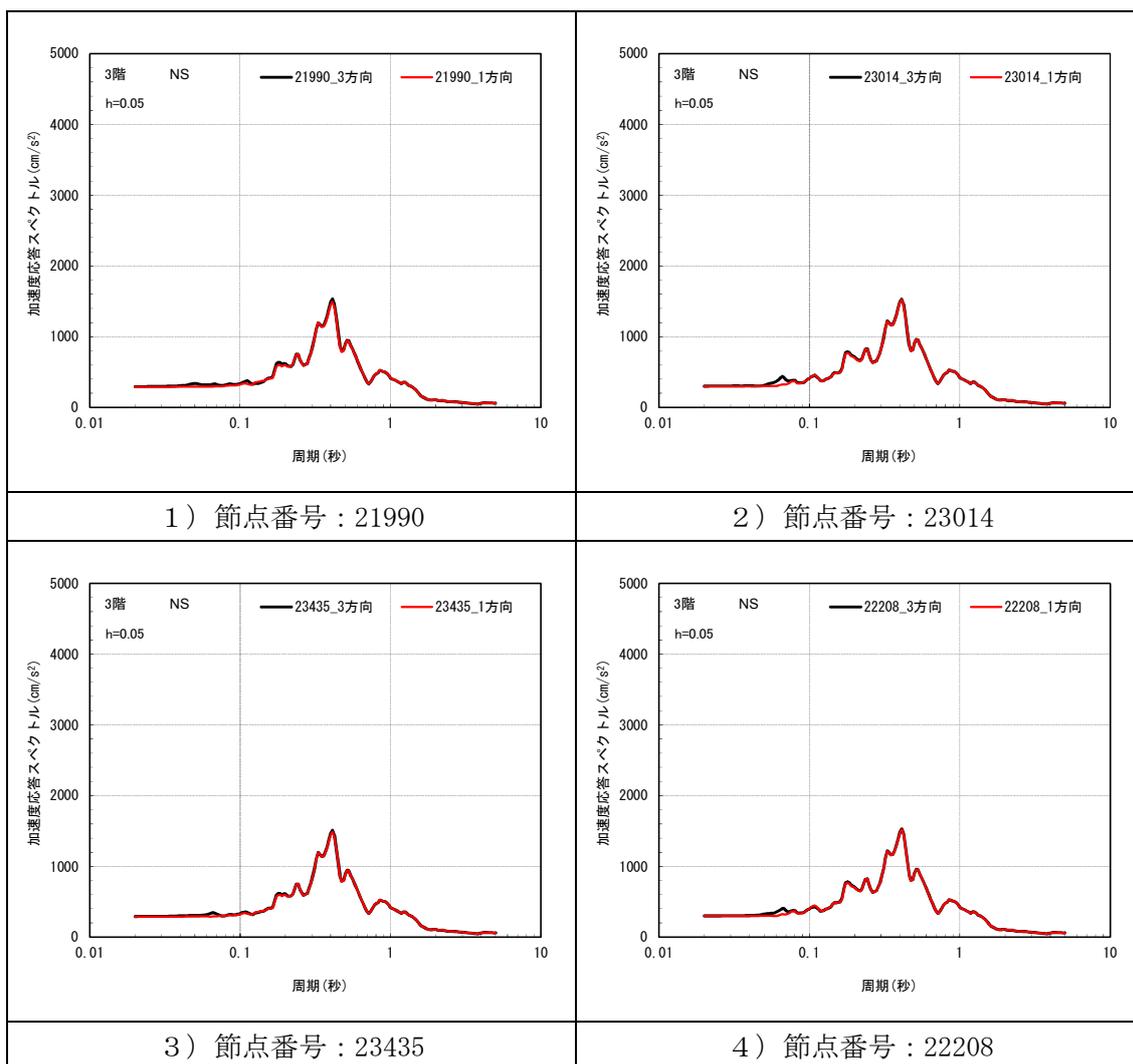


図 2.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (NS 方向, T. M. S. L. 23.5m) (5/6)

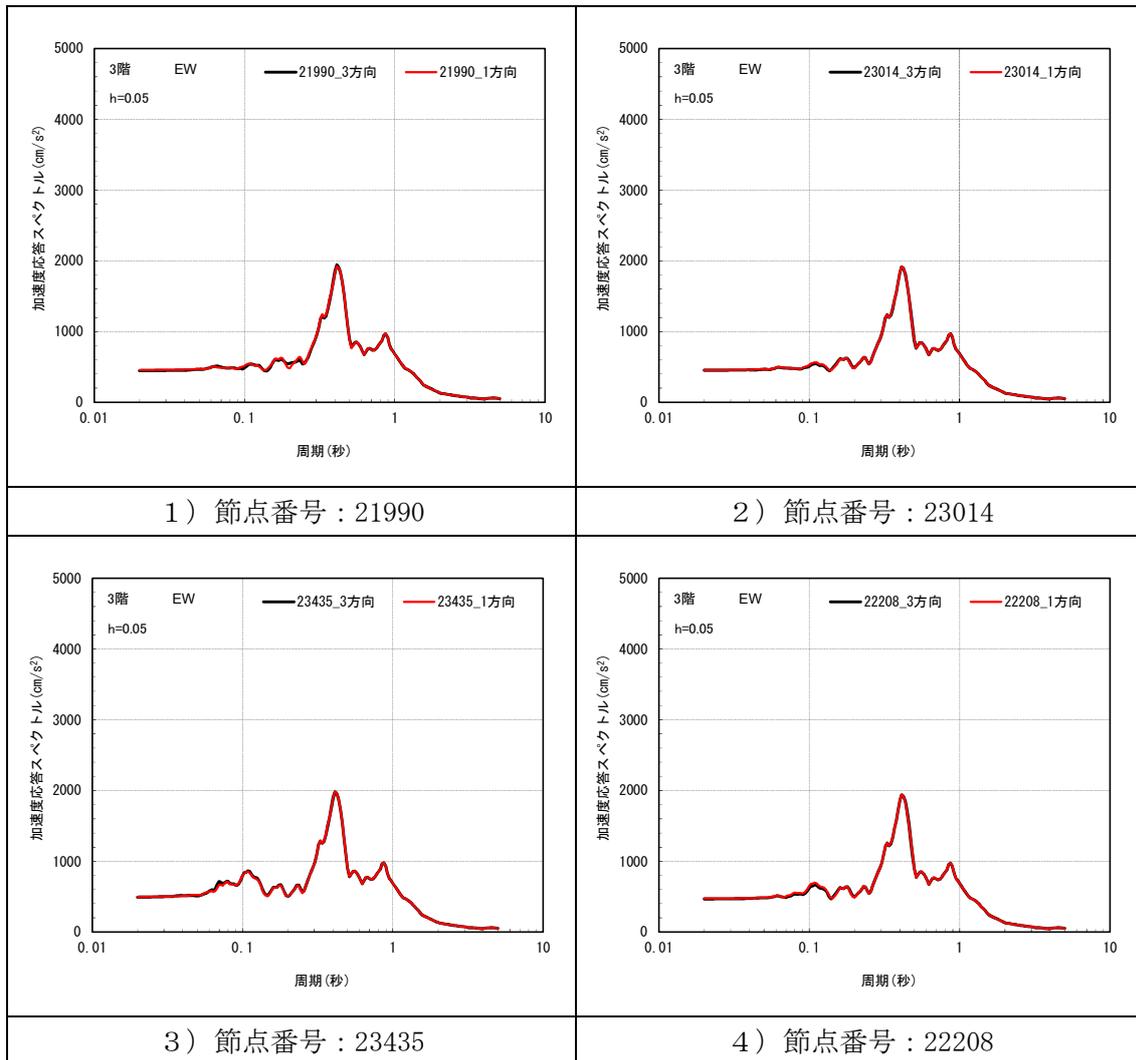


図 2.3.2-2 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05) (EW 方向, T. M. S. L. 23.5m) (6/6)

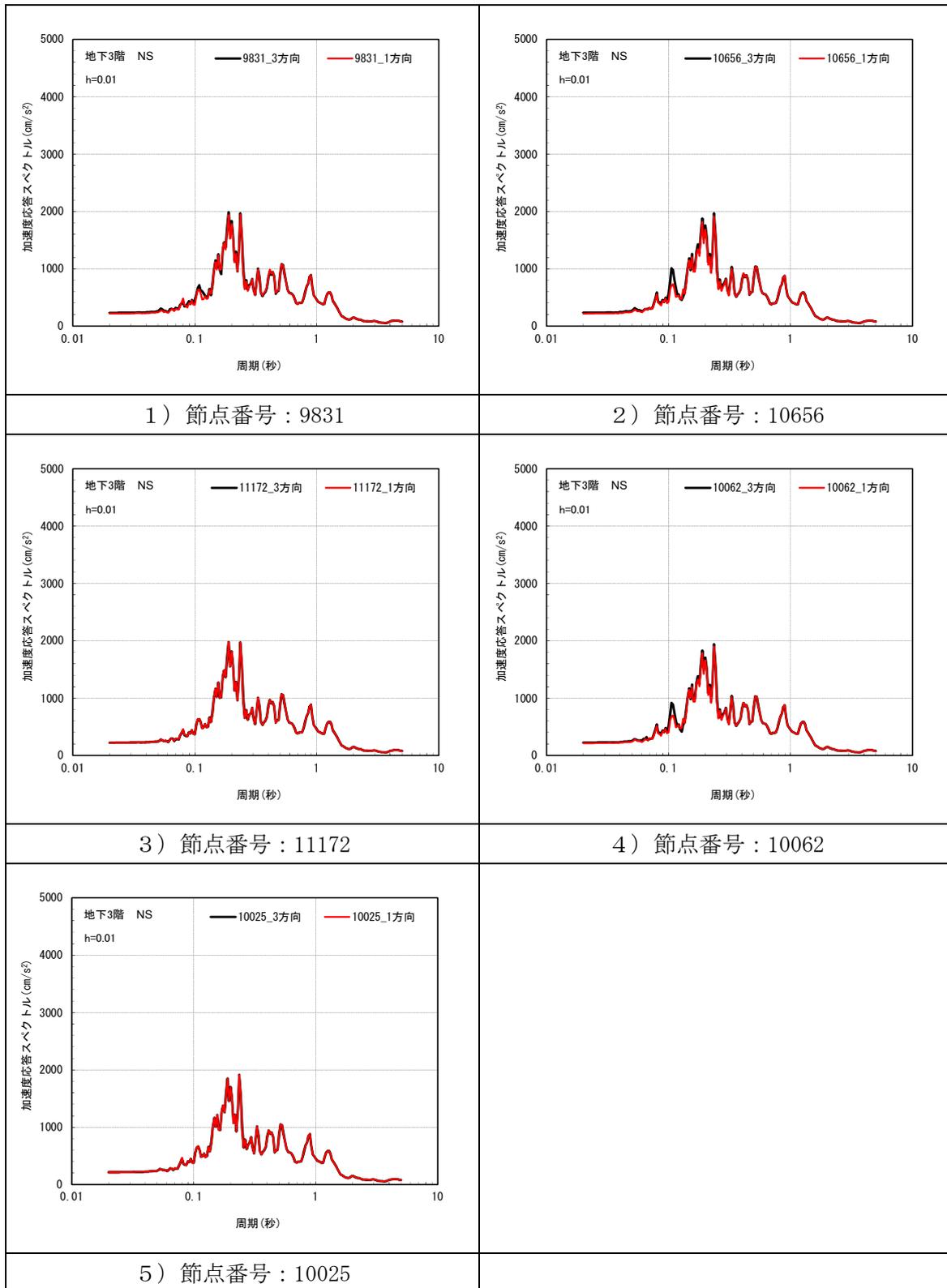


図 2.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (NS 方向, T.M.S.L. -8.2m) (1/6)

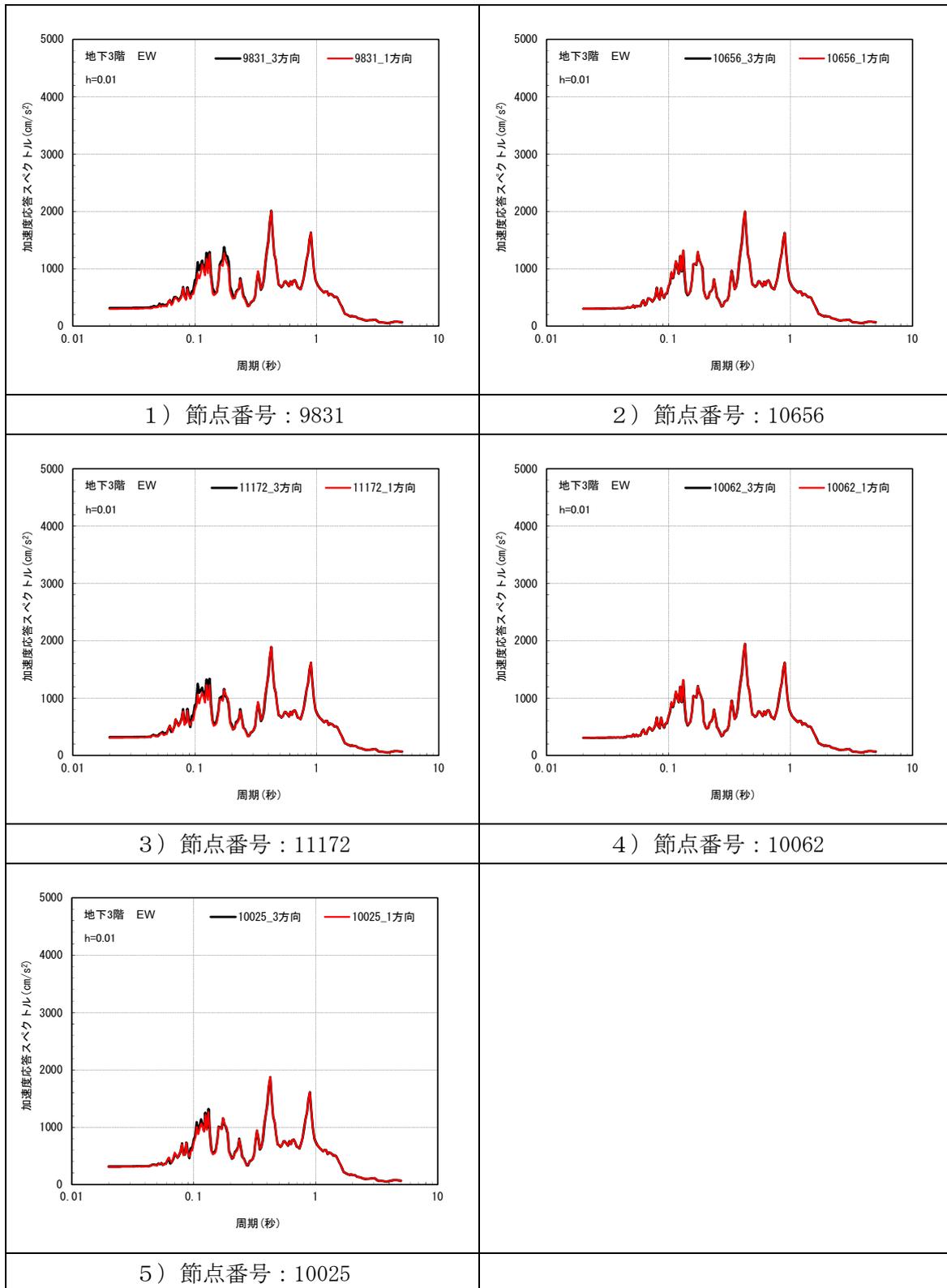


図 2.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (EW 方向, T.M.S.L. -8.2m) (2/6)

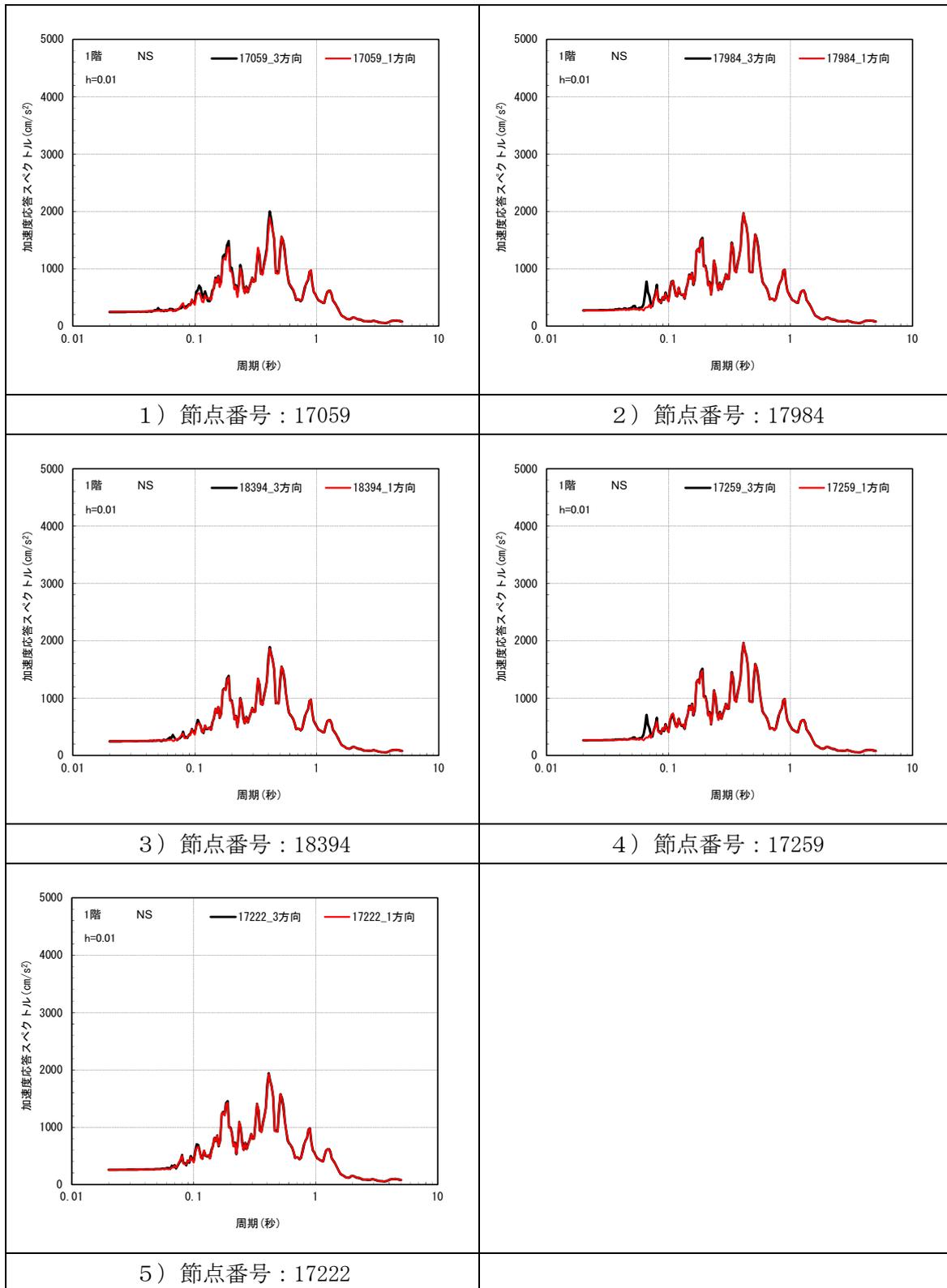


図 2.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (NS 方向, T.M.S.L. 12.3m) (3/6)

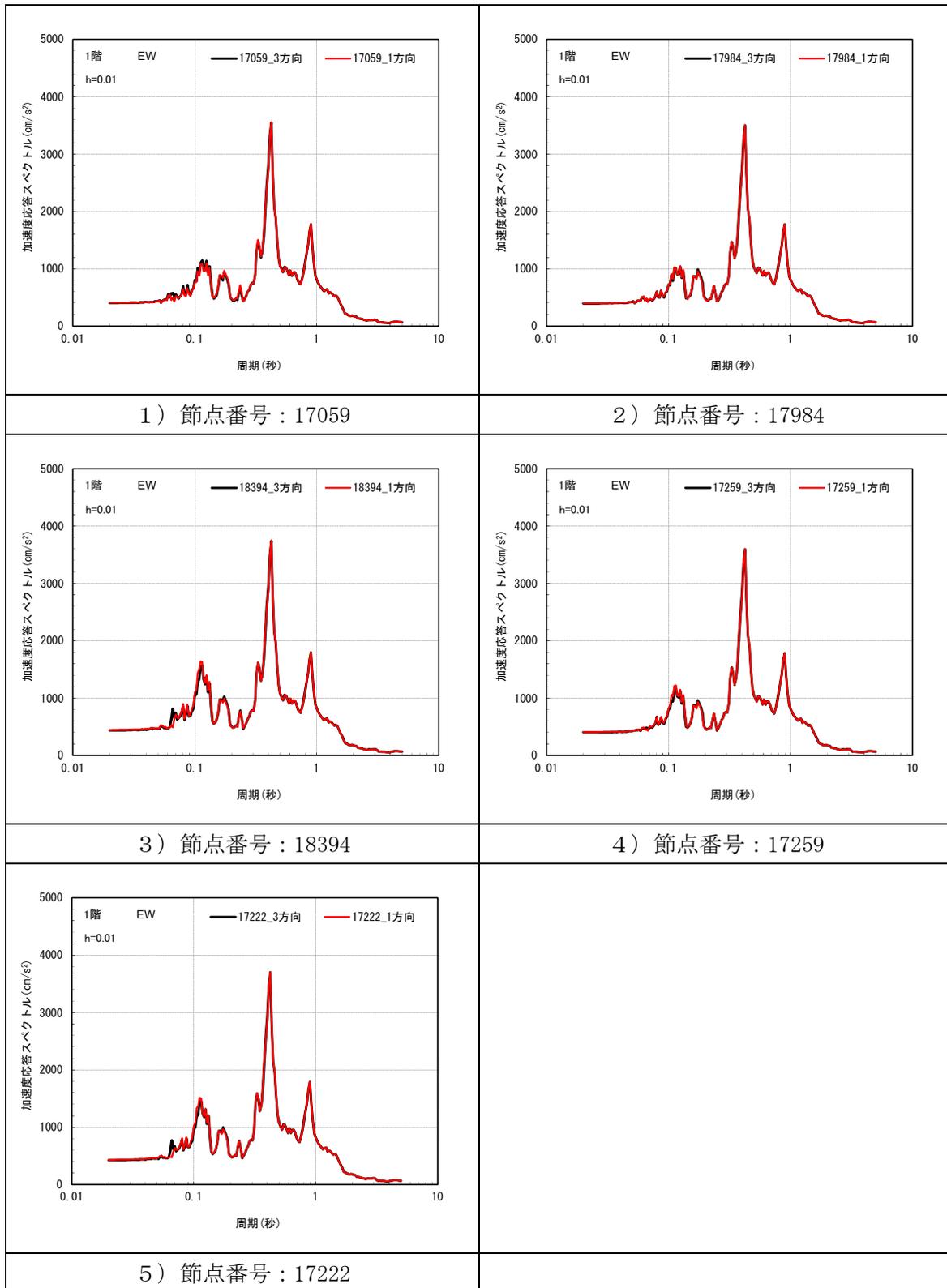


図 2.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (EW 方向, T.M.S.L. 12.3m) (4/6)

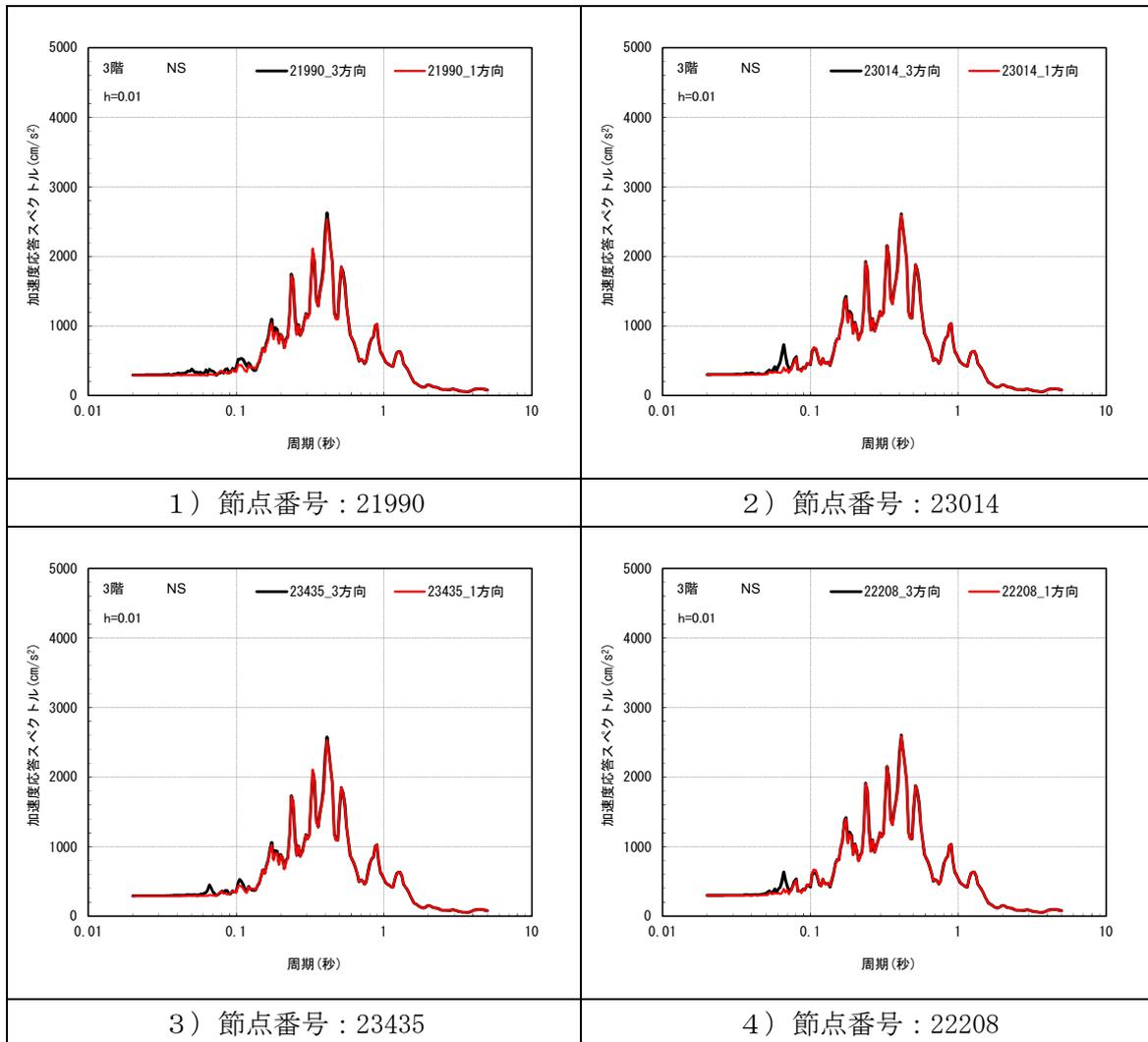


図 2.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (NS 方向, T. M. S. L. 23.5m) (5/6)

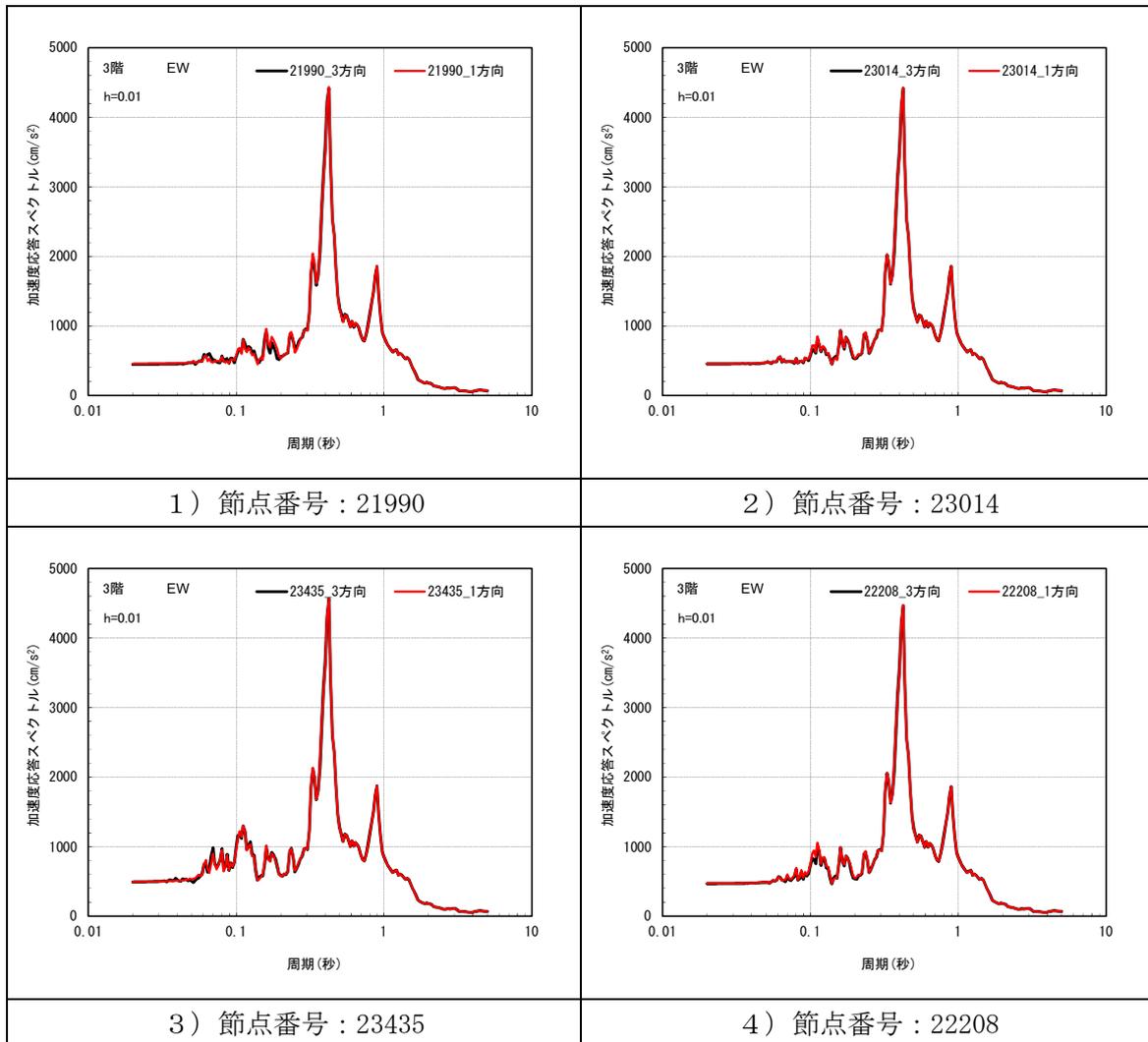


図 2.3.2-3 建屋 3 次元 FEM モデルにおける 1 方向入力と 3 方向入力による
 加速度応答スペクトルの比較 (h=0.01) (EW 方向, T. M. S. L. 23.5m) (6/6)

(3) まとめ

建屋 3 次元 FEM モデルを用いて地震応答解析を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合わせによる、3 次元的応答特性について分析・考察を行った。

弾性設計用地震動 Sd-2 を NS 方向及び EW 方向に 1 方向入力した場合の応答を、3 方向同時入力した場合の応答と比較した結果、1 方向入力と 3 方向同時入力の応答が整合的であることから、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 3 次元 FEM モデルの挙動が、建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討する。

2.3.3 建屋耐震評価への影響検討

(1) 検討方針

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

「2.3.2 建屋応答性状の把握」にて、建屋 3 次元 FEM モデルにおいて 1 方向入力と 3 方向同時入力の応答が整合的であることを確認しているため、弾性設計用地震動 Sd-2 の入力は、質点系モデルで 1 方向入力としていることから、建屋 3 次元 FEM モデルにおいても 1 方向入力とする。

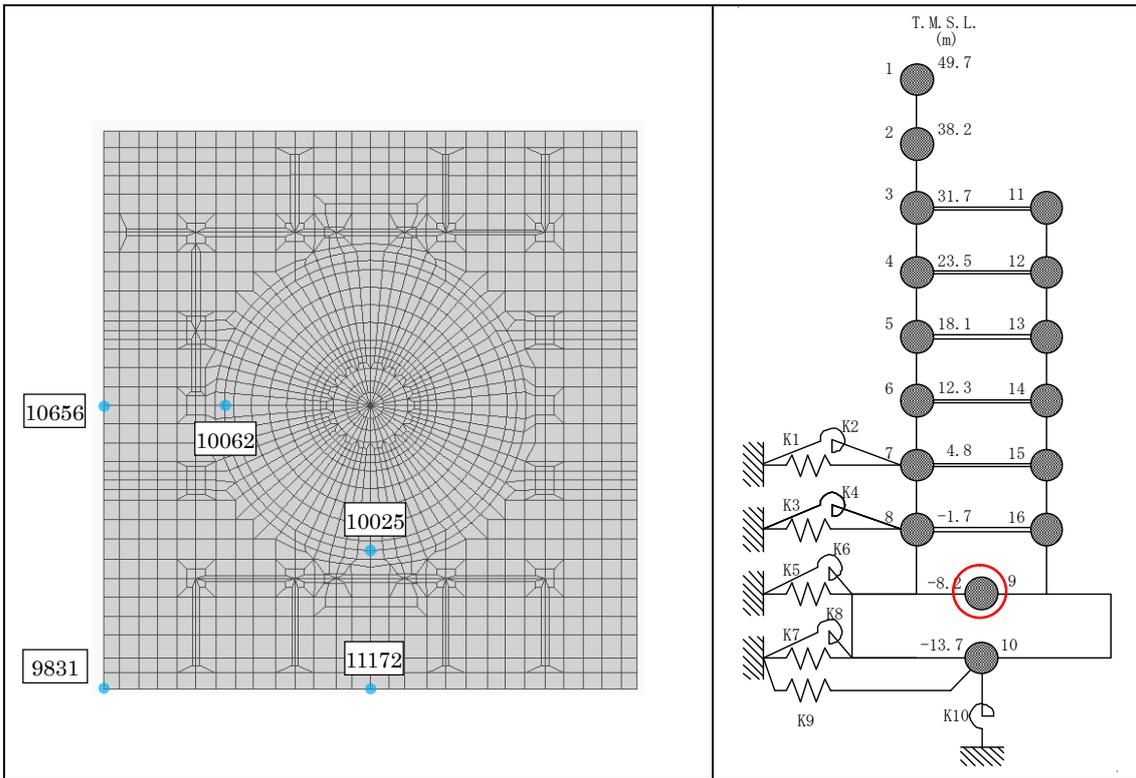
(2) 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答加速度の比較検討

建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの最大応答加速度の比較を行い、3 次元応答特性の影響について検討する。

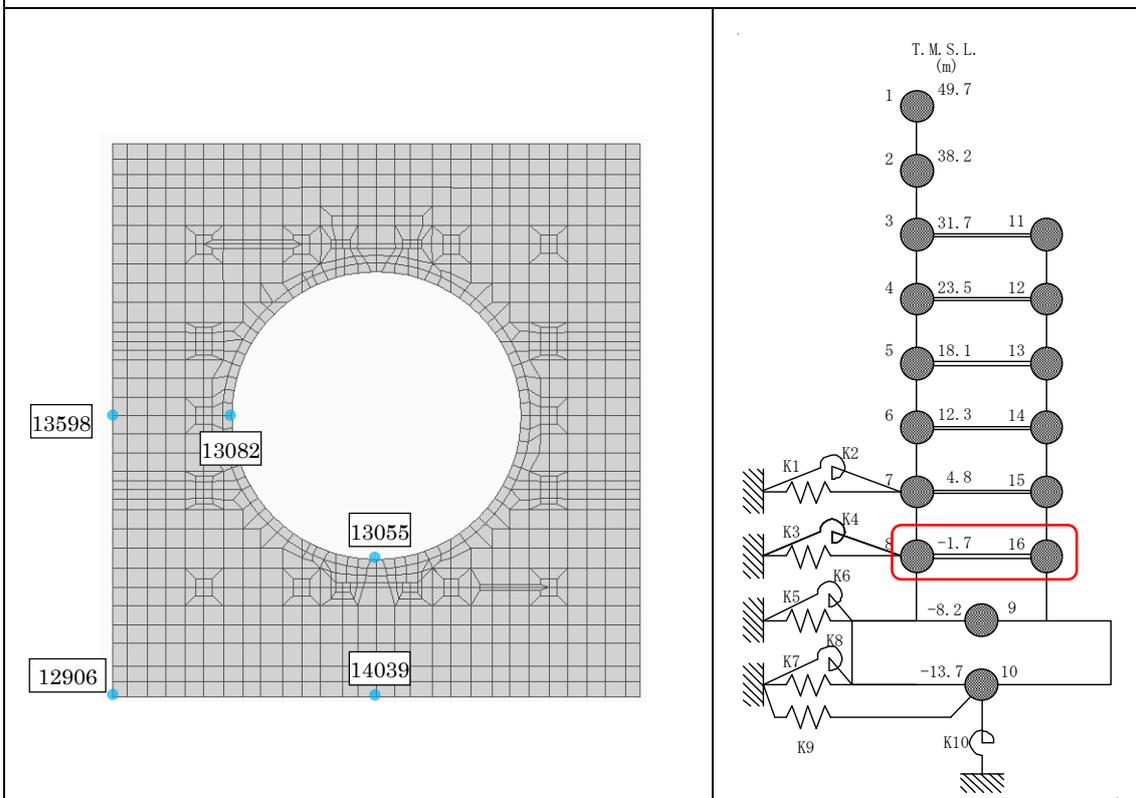
評価に当たっては、質点系モデルの質点位置（床レベル）での応答を評価対象とし、質点系モデルの各質点位置に対応する 3 次元 FEM モデルの評価点としては、**3 次元応答特性の影響が大きいと考えられる**ボックス壁の隅部および中間部を評価点とし、また RCCV 部についても NS・EW 方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は 5 点程度とした。応答評価位置を図 2.3.3-1 に示す。

両モデルの最大応答加速度の比較結果を図 2.3.3-2 及び表 2.3.3-1 に示す。

両モデル間で、最大応答加速度は整合的であり、建屋 3 次元 FEM モデルの応答が大きくなる場合でも、最大 1.05 倍程度であり、質点系モデルによる建屋耐震評価への影響がほとんどないことを確認した。

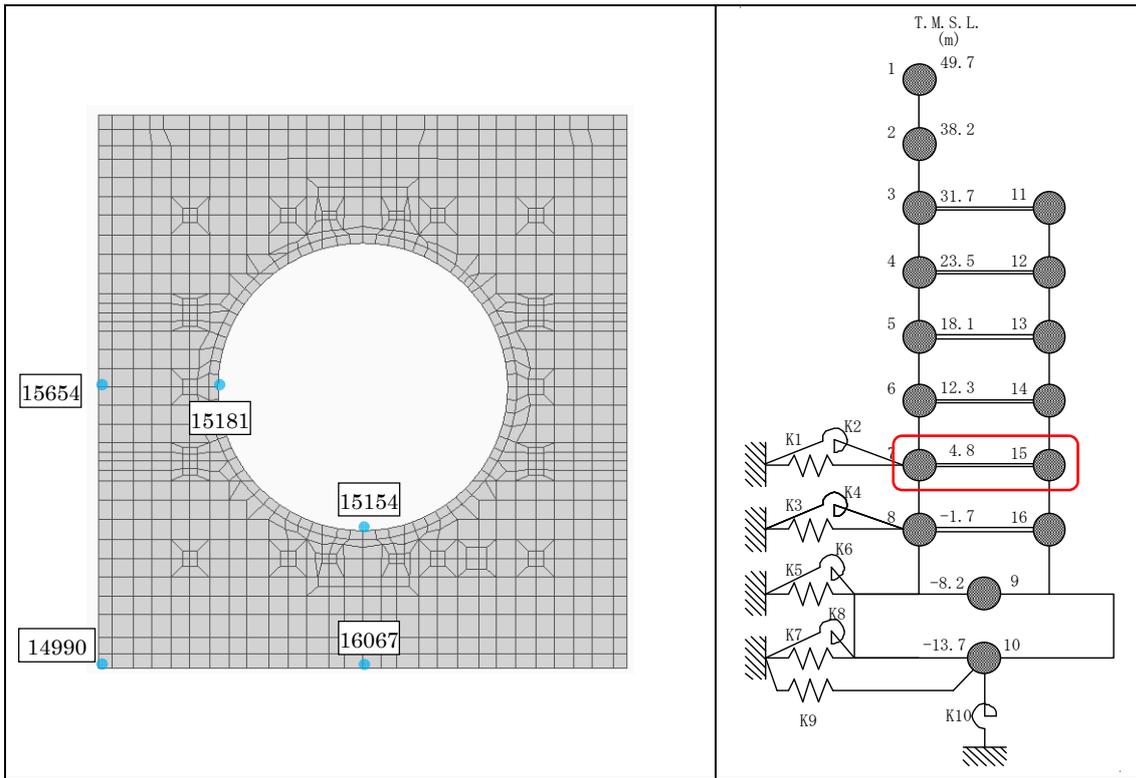


T. M. S. L. -8.2m

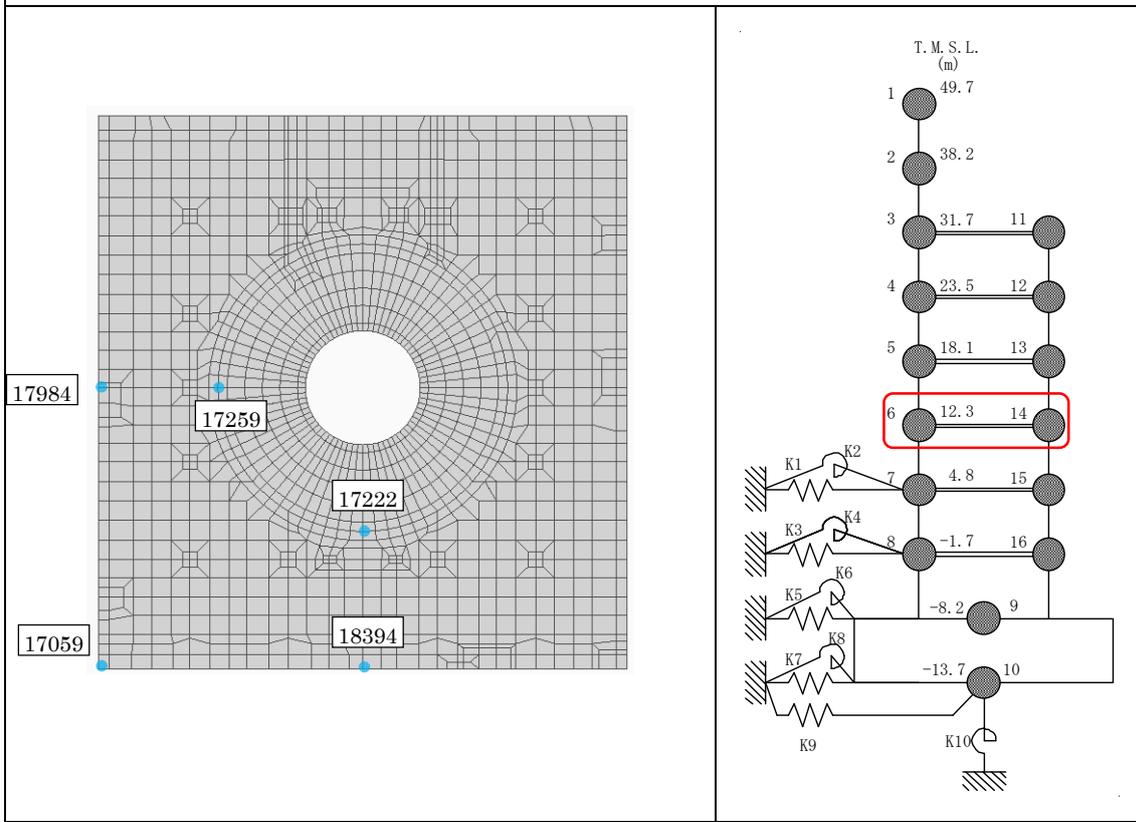


T. M. S. L. -1.7m

図 2.3.3-1 応答評価位置(1/4)

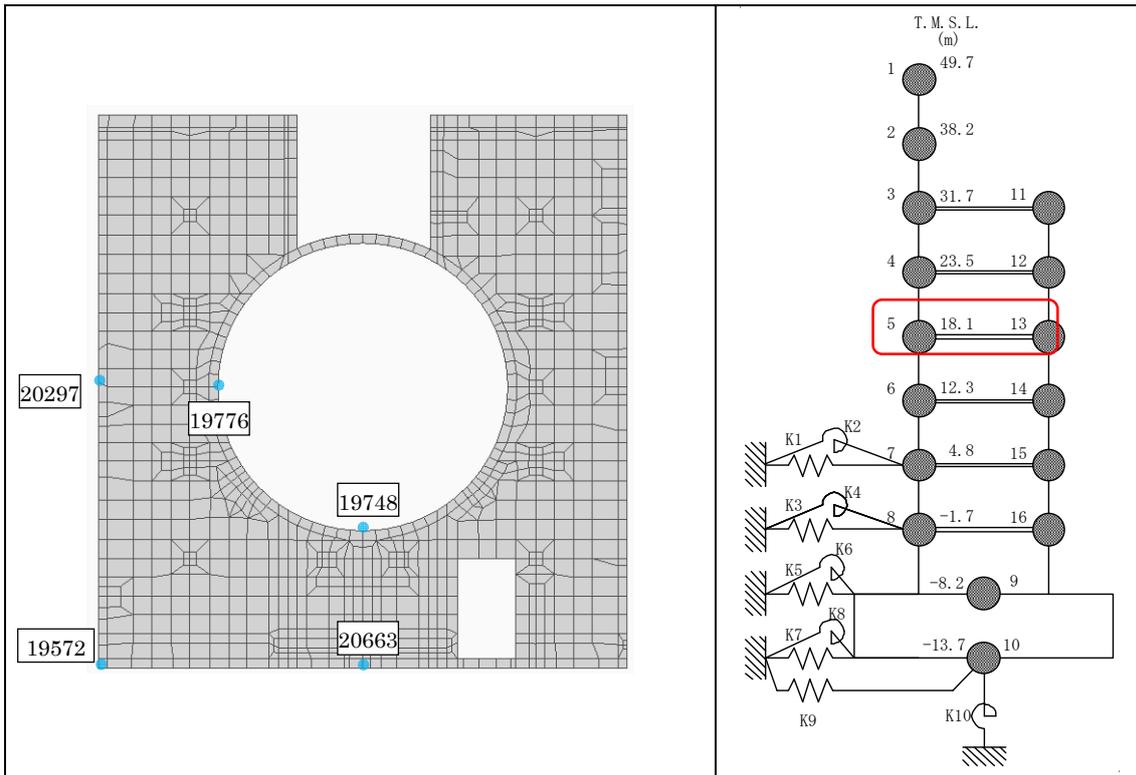


T. M. S. L. 4.8m

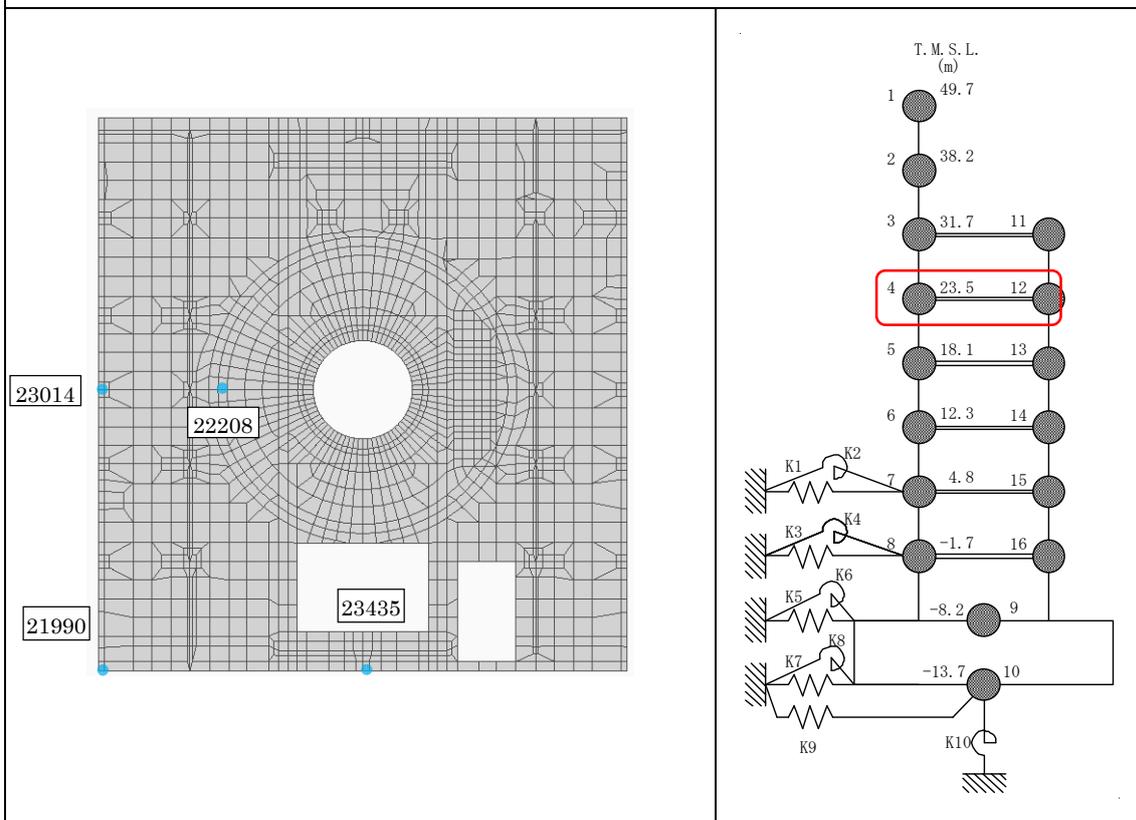


T. M. S. L. 12.3m

図 2.3.3-1 応答評価位置(2/4)



T. M. S. L. 18.1m



T. M. S. L. 23.5m

図 2.3.3-1 応答評価位置 (3/4)

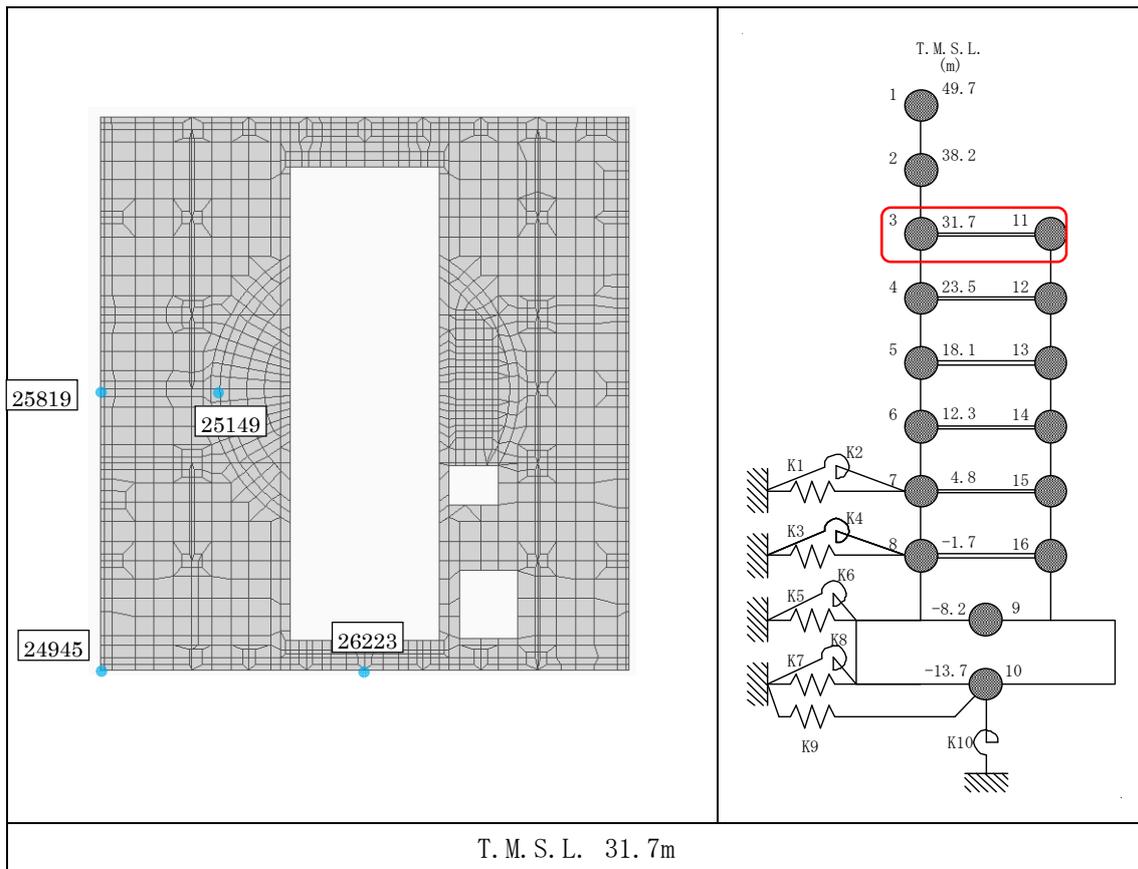
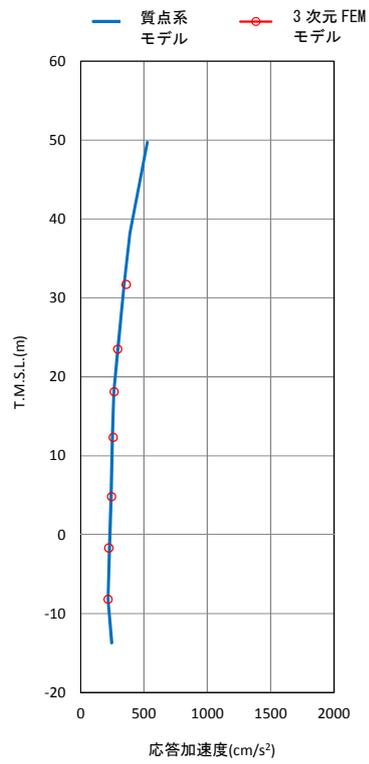
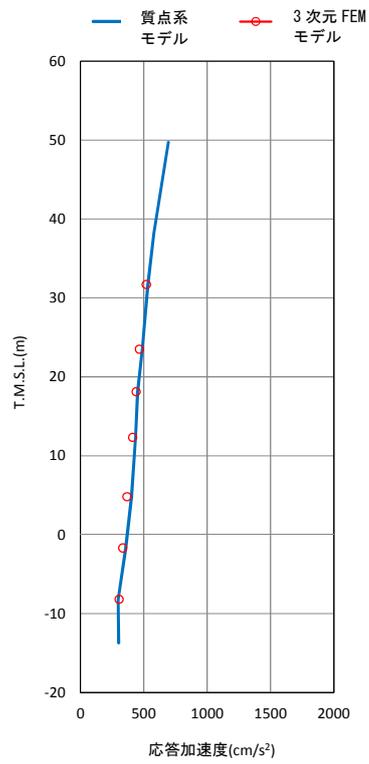


図 2.3.3-1 応答評価位置(4/4)



(1)NS 方向



(2)EW 方向

図 2.3.3-2 建屋模擬モデル及び質点系モデルにおける最大応答加速度の比較

表 2.3.3-1 最大応答加速度一覧

部位	床レベル (T. M. S. L.)	最大応答加速度 (cm/s ²)			
		NS 方向		EW 方向	
		質点系 モデル	建屋 3次元 FEM モデル	質点系 モデル	建屋 3次元 FEM モデル
原子炉建屋	4階 (31.7m)	343	360	533	520
	3階 (23.5m)	293	293	488	466
	2階 (18.1m)	261	266	452	440
	1階 (12.3m)	250	258	434	412
	地下1階 (4.8m)	240	244	402	368
	地下2階 (-1.7m)	227	224	357	335
	地下3階 (-8.2m)	217	218	297	305

2.3.4 床応答への影響検討

(1) 検討方針

3次元の応答特性が床応答に及ぼす影響の検討として、建屋3次元FEMモデル及び質点系モデルの加速度応答スペクトルを比較する。

地震動の入力は両モデルとも1方向入力とする。

建屋3次元FEMモデルの応答評価位置について、高さ方向については原子炉建屋の地下部及び地上部(下部, 上部)を網羅できるように、地下3階(T.M.S.L. -8.2m), 1階(T.M.S.L. 12.3m) および3階(T.M.S.L. 23.5m)を代表高さとし、重要機器が付近にあるボックス壁の隅部および中間部を評価点とし、またRCCV部についてもNS・EW方向での影響が検討できるよう直行方向よりそれぞれ評価点を抽出した。なお、建屋の対称性を考慮し、各床の評価点は5点程度とし、合計14点を評価点とし抽出した。

(2) 検討結果

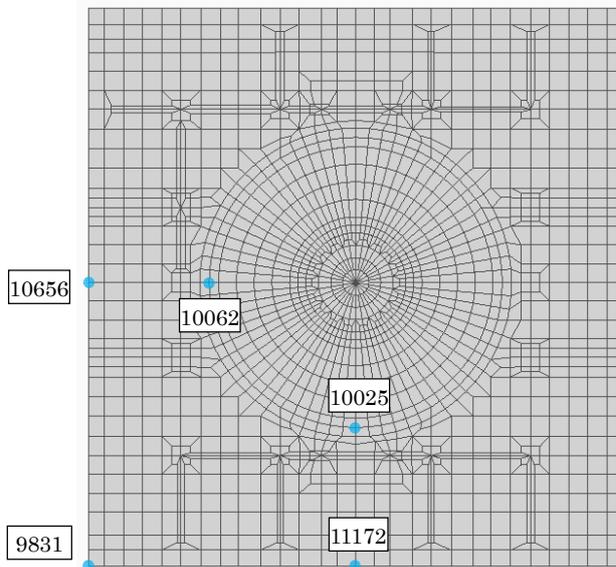
減衰定数 $h=0.05$ 時の加速度応答スペクトルの比較結果を図 2.3.4-1 に、減衰定数 $h=0.01\%$ 時の加速度応答スペクトルの比較を図 2.3.4-2 に示す。

建屋3次元FEMモデル及び質点系モデルの加速度応答スペクトルを比較すると、NS方向、EW方向、鉛直方向とも、大部分の周期帯で質点系モデルの解析結果は建屋3次元FEMモデルの解析結果と整合的であることを確認した。これより、質点系モデルは剛床仮定としているが、その影響がほとんどないと考えられる。

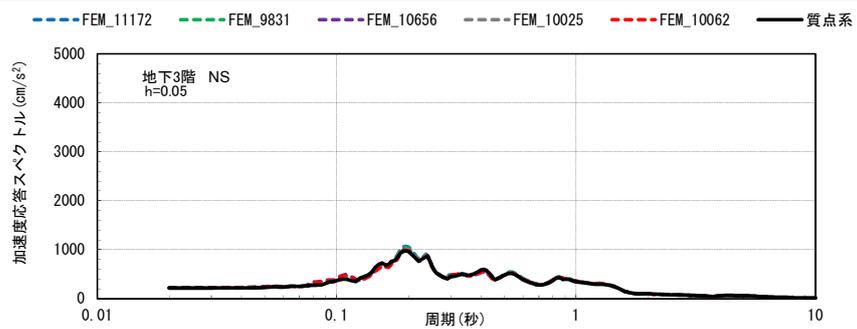
ただし、NS方向の一部の周期帯(周期0.2秒付近)で建屋3次元FEMモデルの応答が質点系モデルより大きくなる傾向を示した。両モデルの振動特性を把握するため、固有値解析の比較を行った。固有値解析結果の比較を表 2.3.4-1 に、NS方向2次の固有モードを図 2.3.4-3 に示す。

表 2.3.4-1 より、主要モードである1次, 2次モードで、建屋3次元FEMモデルと質点系モデルは整合的である事が確認できた。また、NS方向2次モードは両モデルで固有周期が0.2秒付近であることを確認した。図 2.3.4-3 より、建屋3次元FEMモデルのNS方向2次モードでは、屋根中央部が水平方向に振動するモードが確認できた。この3次元の応答特性が、質点系モデルに比べ、建屋3次元FEMモデルの応答が大きくなった要因と考えられる。この3次元の応答特性が及ぼす影響については、今回工認時にその影響の評価を行う予定である

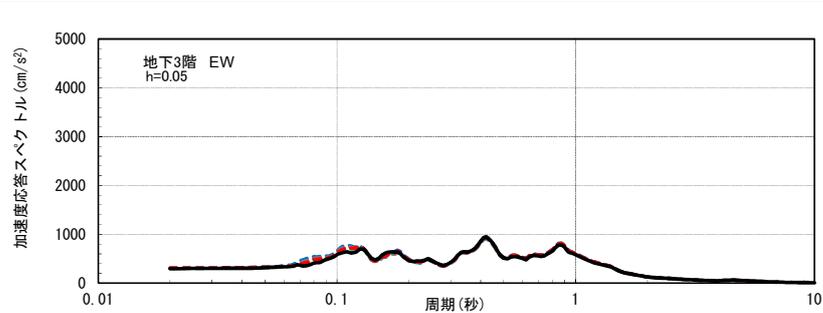
評価位置 地下3階 (T. M. S. L. -8.2m) (h=0.05)



NS 方向
応答



EW 方向
応答



UD 方向
応答

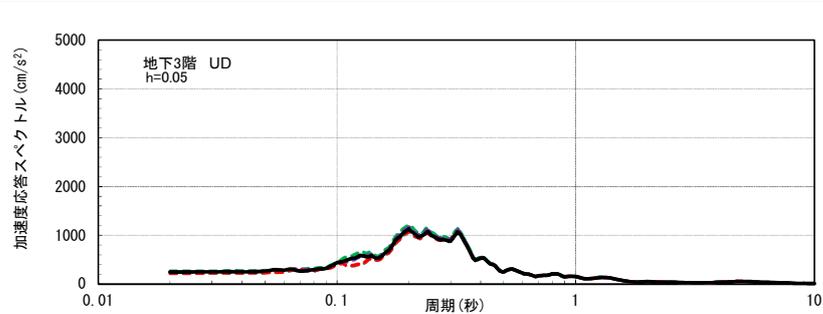


図 2.3.4-1 建屋3次元FEMモデル及び質点系モデルの床応答スペクトルの比較(1/3)

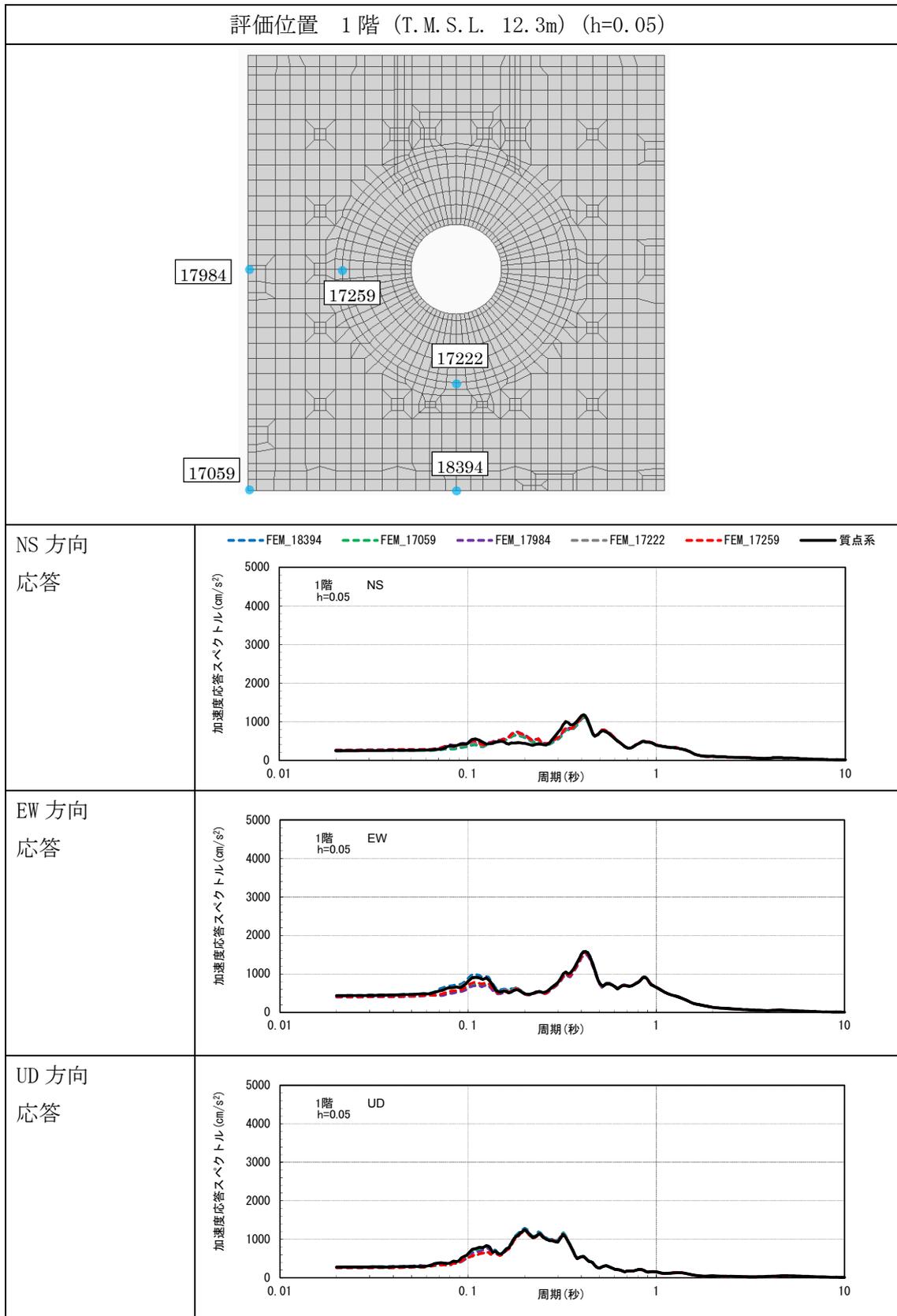


図 2. 3. 4-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの床応答スペクトルの比較 (2/3)

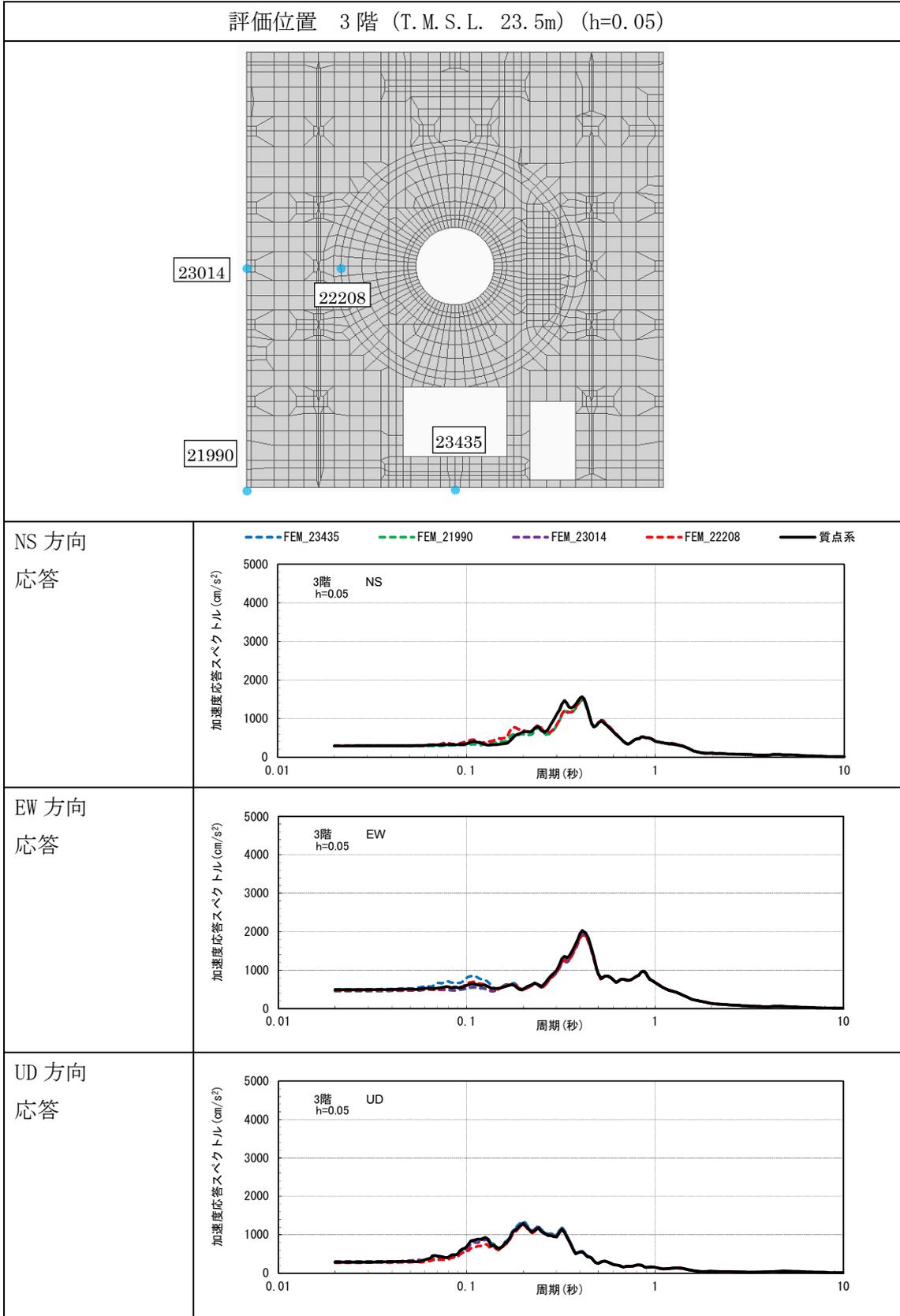


図 2. 3. 4-1 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの床応答スペクトルの比較 (3/3)

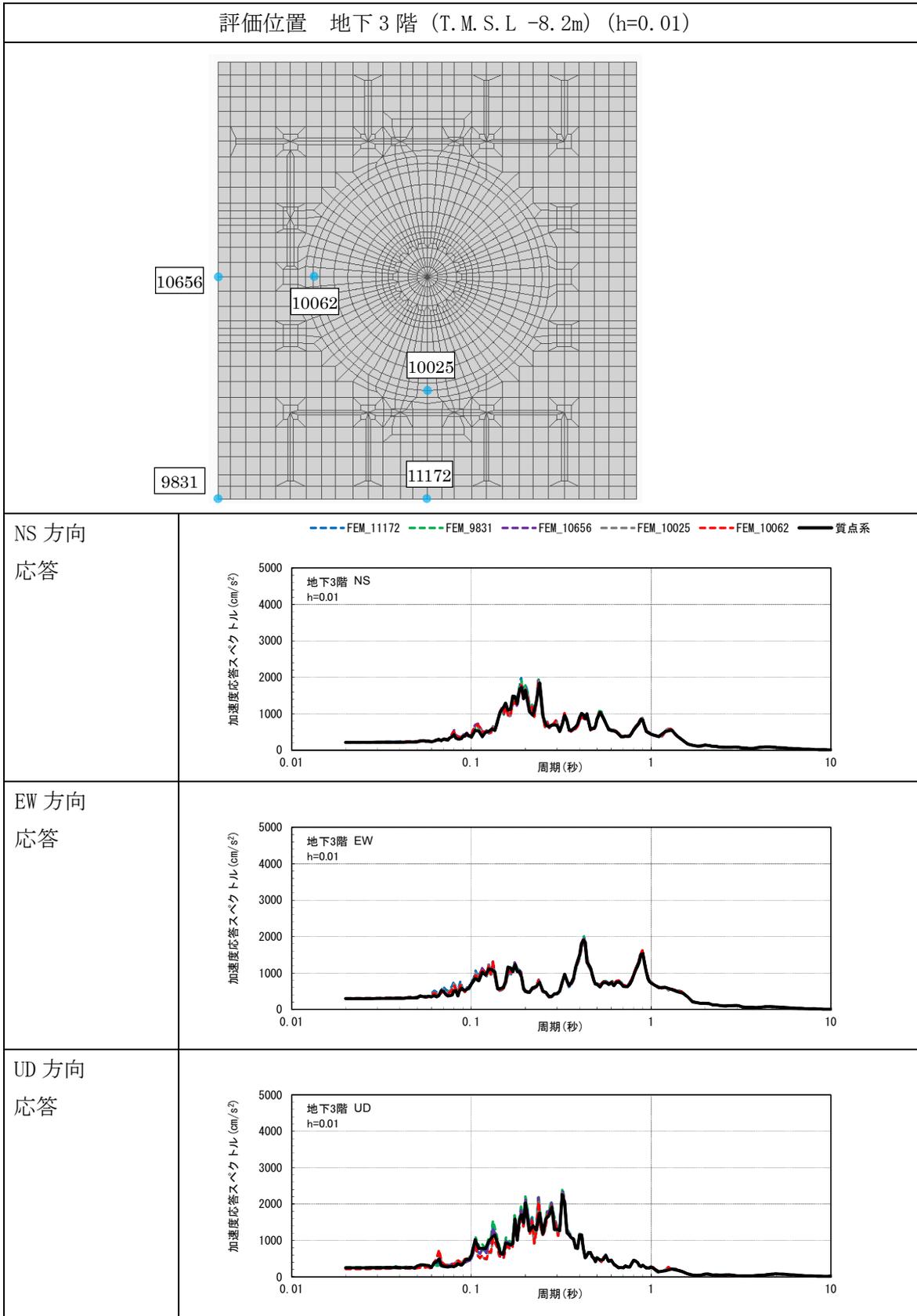


図 2.3.4-2 建屋 3 次元 FEM モデルモデル及び質点系モデルの床応答スペクトルの比較(1/3)

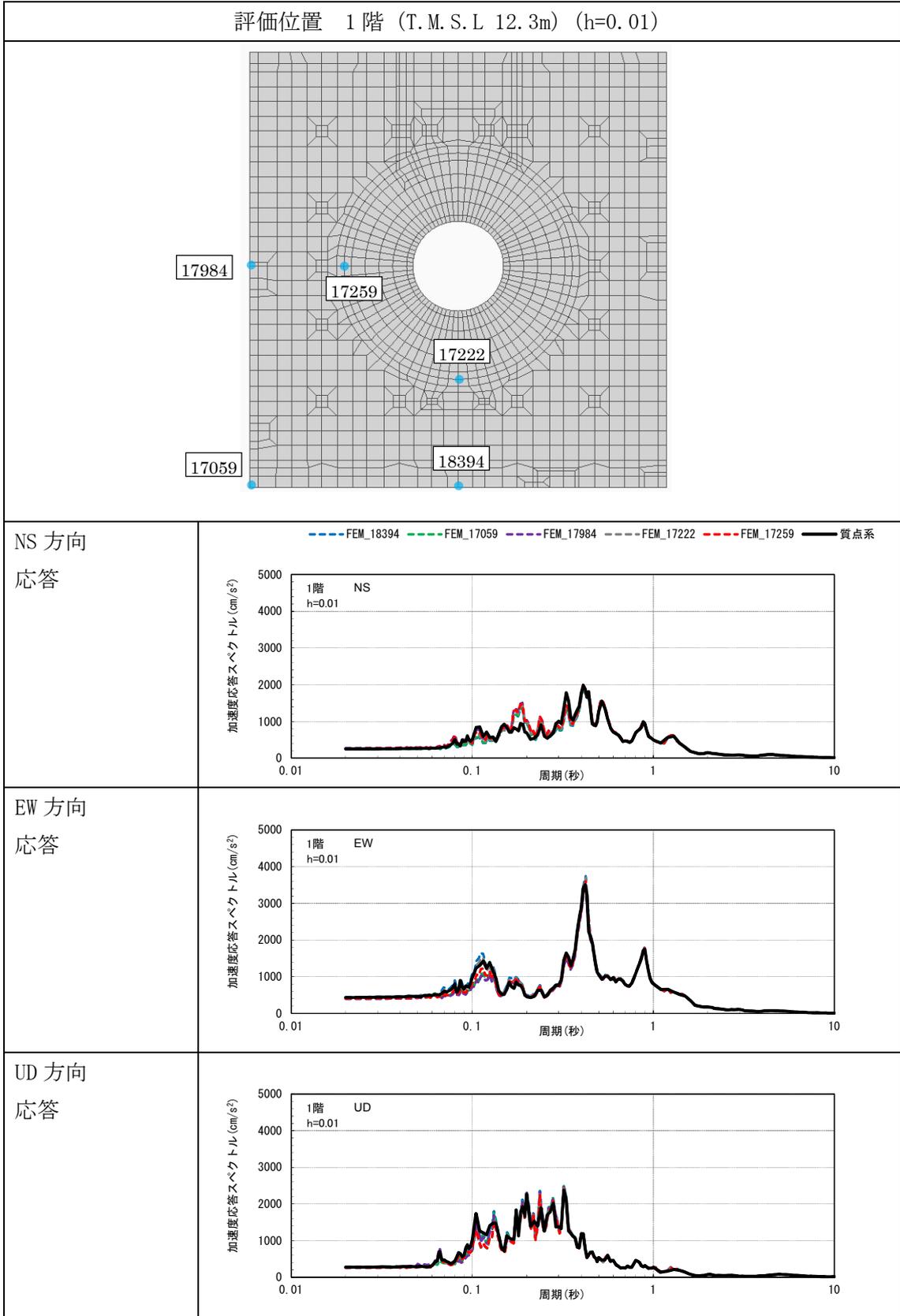


図 2.3.4-2 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの床応答スペクトルの比較(2/3)

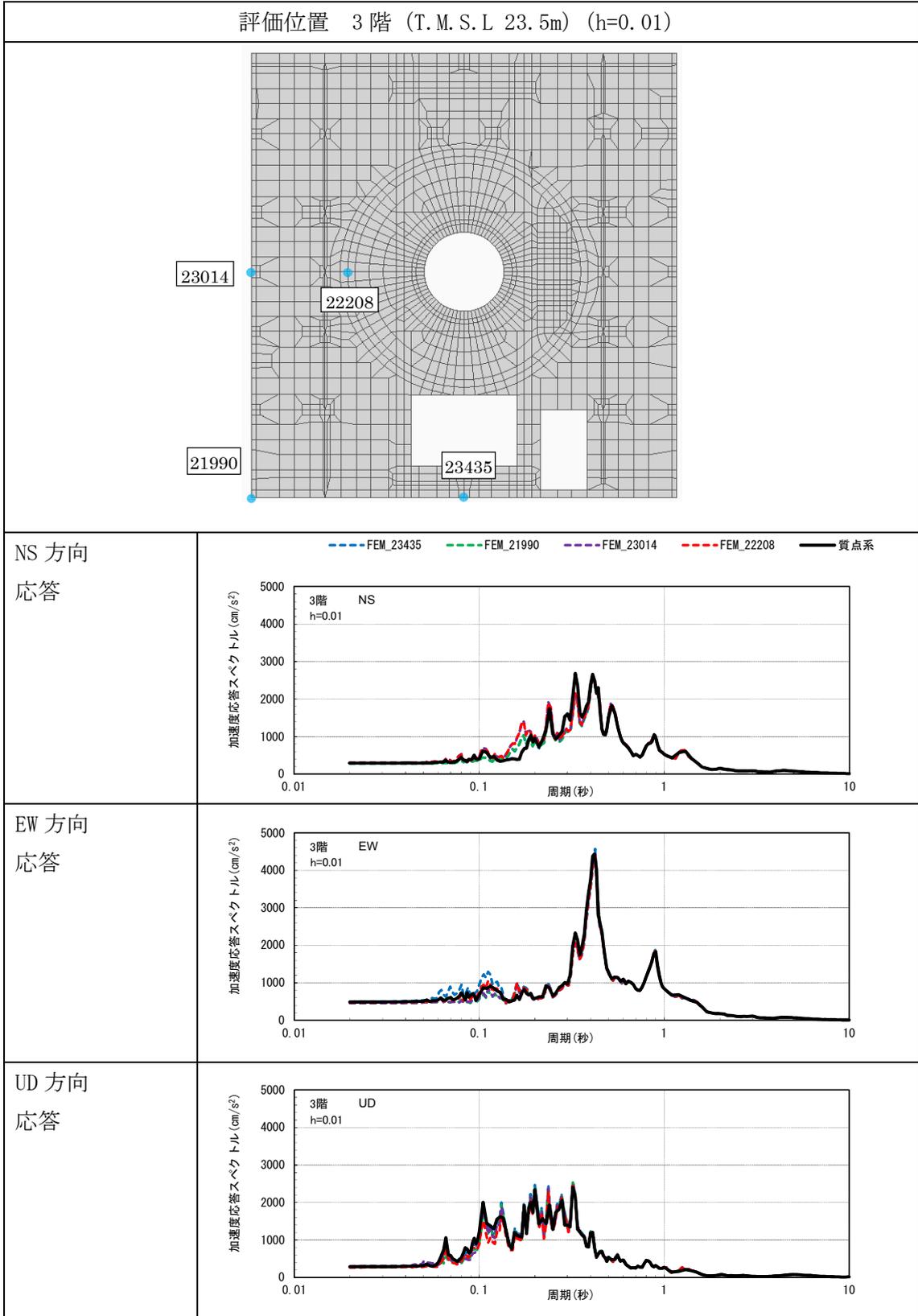
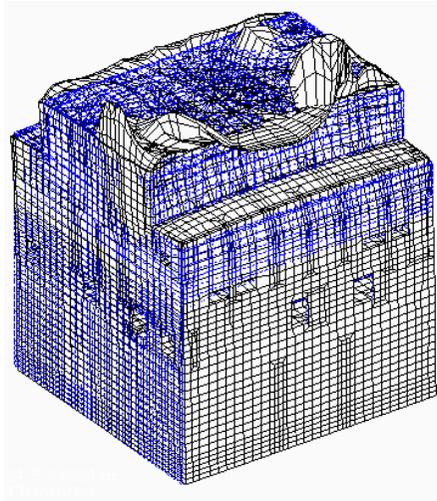


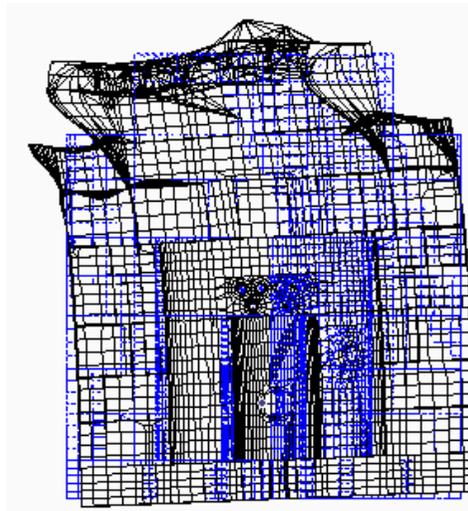
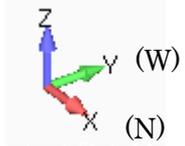
図 2.3.4-2 建屋 3 次元 FEM モデル及び質点系モデルの床応答スペクトルの比較(3/3)

表 2.3.4-1 固有値解析結果

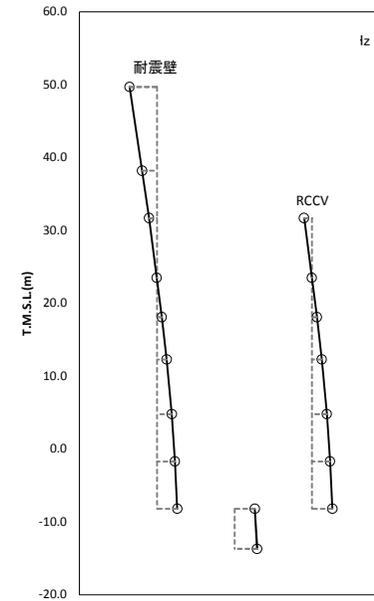
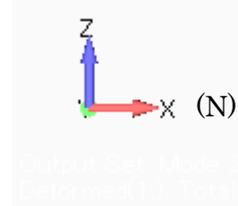
モード	建屋3次元FEMモデル					今回工認モデル		
	固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数			固有振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	刺激係数
			EW方向 (Y)	NS方向 (X)	UD方向 (Z)			
NS1次	2.293	0.436	6.87	381.33	0.43	2.344	0.427	1.59
EW1次	2.381	0.420	388.32	-7.04	-0.94	2.401	0.417	1.55
NS2次	5.203	0.192	-2.12	174.79	2.98	5.343	0.187	-0.71
EW2次	5.379	0.186	-151.23	-1.57	-26.21	5.382	0.186	-0.63



(a) FEM モデル建屋全景
(屋根スラブ表示)



(b) FEM モデル建屋 NS 断面
(屋根スラブ非表示)



(c) 質点系モデル

図 2.3.4-3 固有モード図 : NS 方向 2 次

3. まとめ

原子炉建屋の 3 次元的応答特性の把握を目的に，原子炉建屋について建屋 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行った。

建屋の 3 次元的応答特性について，建屋 3 次元 FEM モデルで弾性設計用地震動 Sd-2 を 1 方向入力した場合の応答を，3 方向同時入力した場合の応答と比較した結果，応答は整合的であり，3 方向同時入力による影響がほとんどないことを確認した。

質点系モデルと，建屋 3 次元 FEM モデルの最大応答加速度の比較を行い，両者の解析結果が整合的であることを確認した。

質点系モデルと，建屋 3 次元 FEM モデルの加速度応答スペクトルの比較を行い，大部分の周期帯で両モデルの解析結果が整合的であることを確認した。

別紙-2

機器・配管系に関する説明資料

表 構造評価

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)			
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由		
炉心支持構造物	炉心シュラウド	上部フランジ	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
		下部フランジ	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
		炉心支持板支持面	支圧応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向入力の影響はない。	×	-	
	シュラウドサポート	レグ	一次一般膜応力	△	B	円周配置であるため地震方向毎に最大応力点が異なり、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
			軸圧縮応力	△	B	同上。			
	炉心支持構造物	シリンダプレート下部胴	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なるため影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
		上部格子板	リム胴板	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
			グリッドプレート	一次一般膜応力	△	B			
	炉心支持板	補強ビーム支持板	一次一般膜応力	△	B	水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	中央燃料支持金具 周辺燃料支持金具	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-		
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。	
制御棒案内管	下部溶接部 長手中央部	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-		
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。	
原子炉圧力容器	胴板 下部鏡板	各部位	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
			一次+二次応力	△	B				同上。
			一次+二次+ピーク応力	△	B				同上。
	制御棒駆動機構ハウジング貫通孔	スタブチューブハウジング 下部鏡板リガメント	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B				同上。
			一次+二次応力	△	B				同上。
			一次+二次+ピーク応力	△	B				同上。
		座屈(軸圧縮)	△	B	同上。				

※1 本表は、今後の審査進捗(詳細設計)に応じて見直しを行います。

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が関連する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
原子炉圧力容器	原子炉冷却材再循環ポンプ貫通孔(N1)	各部位	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
			一次+二次応力	△	B	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。		
			座屈(軸圧縮)	△	B	同上。		
	ノズル	各部位	一次一般膜応力	○	-	ノズル評価は配管の反力を使用しており、また、配管は3次元的に配置されていることから、地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。		
			一次+二次応力	○	-	同上。		
			一次+二次+ピーク応力	○	-	同上。		
			座屈(軸圧縮)	○	-	同上。		
	ブラケット類	原子炉圧力容器スタビライザブラケット	一次一般膜応力	△	C	多角形配置により水平地震力は分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料1】	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		蒸気乾燥器支持ブラケット	一次一般膜応力	△	D	水平地震力を4つブラケットのうち2つで分担した荷重を方向毎に考慮した評価を行っている。【補足説明資料2】	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。		
		蒸気乾燥器ホールダウンブラケット	一次一般膜応力	△	C	地震荷重を考慮していないことから影響はない。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	地震荷重を考慮していないことから影響はない。		
		給水スパーチャブラケット、低圧注水スパーチャブラケット	一次一般膜応力	○	-	炉内配管による応答を使用しており、また、配管は3次元的に配置されていることから、地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。		
			純せん断応力	○	-	同上。		
	原子炉圧力容器スカート	スカート	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
一次+二次応力			△	B	同上。			
一次+二次+ピーク応力			△	B	同上。			
座屈(軸圧縮)			△	B	同上。			
原子炉圧力容器基礎ボルト	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
		一次応力(せん断)	○	-	基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。			
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。			

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
原子炉圧力容器付属構造物	原子炉圧力容器スタビライザ	ロッド	一次応力(引張)	△	C	多角形配置により荷重が分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		ブラケット	一次応力(せん断)	△	C	同上。		
			一次応力(曲げ)	△	C	同上。		
	制御棒駆動機構ハウジングレストレントビーム	プレート	一次応力(せん断)	△	B	最も厳しい評価点は加震軸上の部位の部位であり、水平地震の方向毎に最大応答発生箇所が異なるため、影響は軽微である。	×	-
			一次応力(圧縮)	△	B	同上。		
			一次応力(曲げ)	△	B	同上。		
原子炉冷却材再循環ポンプモータケーシング	ケーシング	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。			
		一次+二次応力	△	B	同上。			
		一次+二次+ピーク応力	△	B	同上。			
		支圧応力	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		座屈(軸圧縮)	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。			
原子炉圧力容器内部構造物	蒸気乾燥器ユニット及び蒸気乾燥器ハウジング	ユニットサポート	一次一般膜応力	△	C	従来評価で評価が厳しくなる向きに地震荷重を与えているため、水平2方向入力を考慮しても評価への影響は軽微である。	×	-
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。			
	耐震用ブロック	せん断面	純せん断応力	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向入力の影響はない。	×	-
		支圧面	支圧応力	△	C	地震の水平力は4箇所の耐震用ブロックのうち相対する2箇所で受けるものとして評価しているが、水平2方向入力では4箇所の耐震用ブロックに荷重が分担されるため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
原子炉圧力容器内部構造物	気水分離器及びスタンドパイプシュラウドヘッド 中性子束計測案内管	各部位	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上。		
	スパージャ 炉内配管	各部位	一次一般膜応力	○	-	地震入力方向に対応した応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	○	従来より、3次元はりモデルの応答解析結果を用い、耐震評価を実施しており、ねじれる状態についても耐震評価に用いる同種の荷重として算出される。
			一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
使用済燃料貯蔵ラック	角管及びプレート シートプレート及びベース	一次応力(引張)	○	—	方向別評価における最大応力発生箇所は異なるものの、矩形断面(一様断面ではない)のため応力は積算され2方向入力の影響はある。	○	3次元FEMモデルを作成し、耐震評価を実施している。
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
制御棒・破損燃料貯蔵ラック	ラック	一次応力(引張)	○	—	方向別評価における最大応力発生箇所は異なるものの、応力は積算され2方向入力の影響はある。	×	—
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
	サポート サポート部基礎ボルト	一次応力(引張)	△	C	水平1方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料3】		
		一次応力(せん断)	△	A	水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。【補足説明資料3】		
		一次応力(組合せ)	△	C	水平1方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
	底部基礎ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
原子炉冷却材再循環ポンプ	モータカバー 補助カバー	一次一般膜応力	△	C	鉛直方向荷重の影響が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	C	同上。		
		一次+二次応力	△	C	同上。		
		一次+二次+ピーク応力	△	C	同上。		
	スタッドボルト 補助カバー取付ボルト	平均引張応力	△	C	同上。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
主蒸気逃がし安全弁逃がし安全弁機能用アキュムレータ(6号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ(6号炉)	U-バンド及びリブ	一次応力(せん断)	△	A	構造上水平1方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-	
		一次応力(曲げ)	△	C	従来評価では鉛直方向とより有意な応力が発生する水平1方向との組合せを考慮しており、他の水平方向の地震力により発生する応力は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		一次応力(組合せ)	△	C	同上。			
	ボルト	一次応力(引張)	△	C	従来評価では鉛直方向とより有意な応力が発生する水平1方向との組合せを考慮しており、他の水平方向の地震力により発生する応力は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		一次応力(せん断)	△	A	構造上水平1方向の地震力のみを負担し、ほかの水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		支柱(H形鋼)	一次応力(せん断)	○	-			水平2方向の影響がある。
			一次応力(曲げ)	○	-			同上。
			一次応力(組合せ)	○	-			同上。
	主蒸気逃がし安全弁逃がし弁機能用アキュムレータ(7号炉) 主蒸気逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ(7号炉)	胴板	一次一般膜応力	△	A			水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。
一次膜応力+一次曲げ応力			△	A	同上。			
一次+二次応力			△	A	同上。			
脚		一次応力(組合せ)	△	A	同上。			
横置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	A	同上。			
		一次+二次応力	△	A	同上。			
	脚	一次応力(組合せ)	△	A	同上。			
		基礎ボルト	一次応力(引張)	△	A			同上。
			一次応力(せん断)	○	-			基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。
	一次応力(組合せ)		○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。			
	耐震強化サポート(7号炉のみ)	一次応力(引張)	△	A	水平2方向が同時に作用した場合においても、強軸と弱軸の関係が明確であり、斜め方向に変形するのではなく、支持構造物の強軸側と弱軸側に変形するため、最大応力発生部位は変わらず影響は軽微である。			
		一次応力(せん断)	△	A	同上。			
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。			
アンカーボルト(7号炉のみ)	一次応力(せん断)	○	-	水平2方向が同時に作用した場合に、一部のアンカーボルトで強軸側と弱軸側の荷重を合わせて負担するため、2方向入力の影響がある。				

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
立形ポンプ	コラムパイプ バレルケーシング	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	○	現在考慮している、X,Y方向振動モードではねじれ振動モードは現れない。よって、ねじれ振動モードが高次にて現れる可能性はあるが、有意な応答ではないため、影響がないと考えられる。
	基礎ボルト、 取付ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
ECCS ストレーナ	各部位(ボルト以外)	一次膜+一次曲げ応力	△	D	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	—
	ボルト	一次応力(引張)	△	D	同上		
横形ポンプ ポンプ駆動用タービン 補機海水ストレーナ 空調ファン 空調ユニット 空気圧縮機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。	×	—
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
水圧制御ユニット	フレーム	一次応力(引張)	○	—	水平2方向の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(圧縮)	○	—	同上。		
		一次応力(曲げ)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
	取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	同上。		
		一次応力(せん断)	○	—	同上。		
		一次応力(組合せ)	○	—	同上。		
平底たて置円筒容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。【補足説明資料4】	×	—
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	—	基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
核計装設備	各部位	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	同上		
伝送器(矩形壁掛)	取付ボルト	一次応力(引張)	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—
		一次応力(せん断)	△	A	水平1方向及び鉛直方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(組合せ)	○	—	水平2方向の影響がある。		

設備 ^{※1}	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
伝送器(円形壁掛)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	水平1方向及び鉛直方向の地震力のみを負担し、他の水平方向の地震力は負担しないため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	—	
伝送器(円形吊下)	取付ボルト	一次応力(引張)	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向の影響は無い。	×	—	
制御盤	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはなく、2方向入力の影響は軽微である。	×	—	
		一次応力(せん断)	○	—	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。			
		一次応力(組合せ)	○	—	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。			
原子炉格納容器ライナ部	ライナプレート	圧縮ひずみ	○	—	水平2方向の影響がある。	×	—	
		引張ひずみ	○	—	水平2方向の影響がある。			
	ライナアンカ	変位	○	—	同上。			
ドライウエル上鏡	上鏡球殻部とナックル部の結合部 上鏡円筒部とフランジプレートとの結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—	
		一次+二次応力	△	B	同上。			
	フランジプレート	せん断	△	C	鉛直方向の荷重(死荷重または圧力荷重)が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。			
		曲げ	△	C	同上。			
	ガセットプレート	せん断	△	C	同上。			
	コンクリート部	圧縮	△	C	同上。			
原子炉格納容器	下部ドライウエルアクセス トンネルスリーブ及び鏡板(機器搬入用ハッチ付)	鏡板 鏡板のスリーブとの取付部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	—	水平2方向入力の影響がある。	○	配管反力に基づいて評価を実施しており、従来よりねじれを考慮した評価を実施している。
		スリーブのフランジプレートとの取付部	一次+二次応力	○	—	同上。		
	下部ドライウエルアクセス トンネルスリーブ及び鏡板(所員用エアロック付)	フランジプレート	せん断	○	—	同上。		
			曲げ	○	—	同上。		
	ガセットプレート	せん断	○	—	同上。			
	コンクリート部	圧縮	○	—	同上。			
	クエンチャサポート基礎	ベースプレート	引張	○	—	水平2方向入力の影響がある。		
下部サポートパイプ(7号炉のみ)		せん断	○	—	同上。			
		圧縮	○	—	同上。			
ガセットプレート ベアリングプレート		せん断	○	—	同上。			
		曲げ	○	—	同上。			
基礎ボルト		引張	○	—	同上。			
コンクリート	圧縮	○	—	同上。				
	基礎ボルト引張荷重	○	—	同上。				
下部ドライウエルアクセス トンネル	各部位	組合せ	○	—	水平2方向入力の影響がある。	×	—	

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)		
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由	
原子炉格納容器	上部ドライウエル機器搬入用ハッチ サブプレッションチェンバ出入口 上部ドライウエル所員用エアロック	胴板 胴板のフランジプレートとの結合部	一次一般膜応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。		
			一次+二次応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。		
		フランジプレート	せん断	△	D	水平2方向を考慮した評価を実施している。		
			曲げ	△	D	同上。		
		ガセットプレート	せん断	△	D	同上。		
		コンクリート部	圧縮	△	D	同上。		
	下部ドライウエル機器搬入用ハッチ 下部ドライウエル所員用エアロック	胴板	一次一般膜応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。	×	-
			一次膜応力+一次曲げ応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。		
			一次+二次応力	△ ○	D -	水平2方向を考慮した評価を実施している(K6)。 水平2方向入力の影響がある(K7)。		
		胴板と鏡板との結合部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。		
			一次+二次応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。		
原子炉格納容器配管貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部 端板	一次一般膜応力	○	-	評価は配管の反力を使用しており、また、配管は3次元的に配置されていることから、地震入力方向に対する直角方向の応答が生じるため、水平2方向入力の影響がある。	○	3次元はりモデルの応答解析結果(配管反力)を用い、耐震評価を実施している。	
		一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	同上。			
		一次+二次応力	○	-	同上。			
	フランジプレート	せん断	○	-	同上。			
		曲げ	○	-	同上。			
	ガセットプレート	せん断	○	-	同上。			
	コンクリート部	圧縮	○	-	同上。			
原子炉格納容器電気配線貫通部	スリーブ スリーブのフランジプレートとの取付部	一次一般膜応力	△	D	水平2方向の組合せを考慮した評価を実施している。	×	-	
		一次膜応力+一次曲げ応力	△	D	同上。			
		一次+二次応力	△	D	同上。			
	フランジプレート	せん断	△	D	同上。			
		曲げ	△	D	同上。			
	ガセットプレート	せん断	△	D	同上。			
	コンクリート部	圧縮	△	D	同上。			

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の 重複による影響の有無 (3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が関連する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
ダイヤフラムフロア	鉄筋コンクリートスラブ	引張	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		せん断	△	C	同上。		
		圧縮	△	C	同上。		
		曲げ	△	C	同上。		
	鉄筋コンクリート製原子炉格納容器 接合部(地震時水平力伝達用シ アプレート)	せん断	△	B	水平地震力による荷重が支配的であり、作用方向により荷重の最大点が異なるため影響は軽微である。		
		原子炉本体基礎接合部(地震時 水平力伝達用シアプレート)	曲げ	△	B		
原子炉本体基礎接合部(半径方 向水平力伝達用頭付きス タッド)	せん断	○	B	水平地震力による荷重が支配的であり、作用方向により荷重の最大点が異なるため影響は軽微である。			
ベント管	垂直管支持部 水平吐出管の垂直管との結合 部	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
	水平吐出管支持部 リターンラインの垂直管との 結合部	一次+二次応力	○	-	同上。		
ドライウェルスブレイ管 サブプレッションチェンバスブレイ 管	スブレイ管 スブレイ管とスブレイ管案内 管との接続部 スブレイ管案内管	一次膜応力+一次曲げ応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	-	同上。		
可燃性ガス濃度制御系再結合装置 ブロワ	ブレース	一次応力(圧縮)	△	A	ブレースはブロワの重心とサポートプレート設置位置のずれによる軸方向転倒防止のため設置している。そのためブレースが受けもつ荷重は現在評価対象としている軸方向の転倒モーメント分のみと考えられ、軸直方向の水平地震荷重はベース溶接部のせん断で受けもつと考える。	×	-
		ベース取付溶接部	一次応力(引張)	△	A		
	一次応力(せん断)		○	-	水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはなく、2方向入力の影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	-	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。				
非常用ディーゼル発電機	基礎ボルト 取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはなく、2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	○	-	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
スカート支持たて置円筒形容器	胴板	一次一般膜応力	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
		一次+二次応力	△	B	同上。		
	スカート	一次応力(組合せ)	△	B	同上。		
		一次+二次応力(座屈)	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	基礎ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		一次応力(せん断)	○	-	基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
一次応力(組合せ)		○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。			
その他電源設備	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	○	-	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。		
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。		
配管本体, サポート(多質点梁モデル解析)	配管, サポート	一次応力	○	-	水平2方向入力の影響がある。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次+二次応力	○	-	同上。		
矩形構造の架構設備(静的触媒式水素再結合装置, 架台を含む)	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-
ガスタービン発電機, 3号炉原子炉建屋内緊急時対策所用電源車	転倒評価	応答変位	△	C	車輛の転倒は、走行直角方向のみが対象となるため、水平1方向のみの地震力が支配的となるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
	取付ボルト	一次応力(引張)	△	A	取付ボルトは矩形配置であり、水平2方向の入力で対角方向に転倒することはない、2方向入力の影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	○	-	基礎ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。	×	-
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。	×	-
通信連絡設備(アンテナ類)	ボルト	一次応力(引張)	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	○	-	ボルト全断面で水平荷重を負担するため、2方向入力の影響がある。	×	-
		一次応力(組合せ)	○	-	上記せん断応力が生じる場合にのみ、許容応力が低減することから影響が生じる。	×	-

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が関連する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
監視カメラ	据付ボルト	一次応力(引張)	△	A	壁面に据付部材で剛に保持されている。構造上、壁に垂直な方向の地震入力では据付ボルトの応力成分は引張応力のみであるのに対し、壁面と平行な方向はせん断応力及び曲げモーメントによる引張応力が発生する。壁面と平行な応力が支配的であるため、水平2方向の影響は軽微である。	×	-
		一次応力(せん断)	△	A	同上。		
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。		
	据付部材	一次応力(組合せ)	○	-	水平2方向の影響がある。		
貫通部止水処置	シーラ材	シーラ材に生じる変位	△	C	対象となる貫通部は建屋軸に沿った配置となっていることから、シーラ材に加わるせん断方向及び圧縮方向の変位は、水平1方向の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
止水ハッチ	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-
浸水防止ダクト	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-
床ドレンライン浸水防止治具	各部位	各応力分類	○	-	水平2方向入力の影響がある。	×	-
原子炉ウェル遮へいブラグ	本体	せん断応力度	△	C	鉛直方向荷重が支配的であるため、水平2方向入力の影響は軽微である。	×	-
原子炉圧力容器支持構造 原子炉本体の基礎	円筒部(内筒), 円筒部(外筒)	せん断	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	-
		組合せ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	円筒部(たてリブ)	せん断	△	B	円筒形状であり水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		組合せ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
	アンカボルト	引張	△	B	ボルトは円周配置であり、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
	コンクリート	基礎ボルトの引張荷重	△	B	同上。		
	ベアリングプレート	曲げ	△	B	同上。		
	ブラケット部	せん断	△	B	円筒形状であり水平地震の方向毎に最大応力発生箇所が異なるため、水平2方向入力の影響は軽微である。		
		曲げ	△	B	支配的な応力は水平地震による曲げ応力であり、曲げ応力の最大点は地震方向で異なるため影響は軽微である。		
ブラケット部下面の水平プレート	曲げ	△	A	同上。			

設備※1	部位	応力分類	①-1 水平2方向の地震力の重複による影響の有無(3.2.4項(1)に対応) ○：影響あり △：影響軽微	影響軽微とした分類 A：水平2方向の地震力を受けた場合でも、構造により水平1方向の地震力しか負担しないもの B：水平2方向の地震力を受けた場合、構造により最大応力の発生箇所が異なるもの C：水平2方向の地震を組み合わせても1方向の地震による応力と同等といえるもの D：従来評価にて、水平2方向の地震力を考慮しているもの	①-1の影響有無の説明	①-2 水平方向とその直交方向が相関する振動モード(ねじれ振動等)が生じる観点(3.2.4項(2)に対応)	
						振動モード及び新たな応力成分の発生有無 ×：発生しない ○：発生する	左記の振動モードの影響がないこと、理由 新たな応力成分が発生しないこと、理由
燃料取替機	燃料取替機構造物フレーム ブリッジ脱線防止ラグ(本体) トロリ脱線防止ラグ(本体) 走行レール 横行レール	一次応力(せん断)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では水平2方向で異なる挙動を示すため、水平2方向の影響は軽微である。【補足説明資料5】	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(曲げ)	△	A	同上。		
		一次応力(組合せ)	△	A	同上。		
	ブリッジ脱線防止ラグ(取付ボルト)、 トロリ脱線防止ラグ(取付ボルト)	一次応力(せん断)	△	A	同上。		
		吊具	吊具荷重	△	C		
原子炉建屋クレーン	クレーン本体ガード	一次応力(せん断)	△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
		一次応力(曲げ)	△	D	同上。		
		浮上り量	△	D	同上。		
	脱線防止ラグ	一次応力(圧縮)	△	A	すべり方向とすべり直角方向では水平2方向で異なる挙動を示すため、水平2方向の影響は軽微である。	×	—
		トロリストoppa	一次応力(せん断)	△	A		
	一次応力(曲げ)		△	D	水平2方向及び鉛直方向の地震力を組み合わせた評価を実施している。	○	3次元のモデルを用いた解析により、従来よりねじれモードを考慮した耐震評価を実施している。
	一次応力(組合せ)		△	D	同上。		
	トロリ	浮上り量	△	D	同上。		
原子炉遮蔽壁	一般胴部 開口集中部	せん断	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。	×	—
		圧縮	△	C	鉛直荷重のみ作用し、水平荷重が作用しないため、水平2方向の影響は無い。		
		曲げ	△	B	一様断面であるため、地震方向毎に最大応力点が異なり影響は軽微である。		
		組合せ	△	B	同上		

別紙2 補足説明資料

目次

1. 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉圧力容器スタビライザ）……………1
2. 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）……………3
3. 水平2方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）……………5
4. 水平2方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）……………7
5. 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）……………11

1 水平2方向同時加振の影響評価について（原子炉压力容器スタビライザ）

1.1 はじめに

本項は、原子炉压力容器スタビライザ（以下「RPV スタビライザ」という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

1.2 現行評価の手法

RPV スタビライザは、周方向 45° 間隔で 8 体配置されており、図 1-1 に地震荷重と各 RPV スタビライザが分担する荷重の関係を示す。

水平方向の地震荷重に関して現行評価では、RPV スタビライザ 6 体に各水平方向地震力（X 方向、Y 方向）の最大地震力が負荷されるものとしている。

$$f = \text{MAX} \left(\frac{F_X}{4}, \frac{F_Y}{4} \right)$$

ここで、

f : RPV スタビライザ 1 個が受けもつ最大地震荷重

F_X : X 方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

F_Y : Y 方向地震よりスタビライザ全体に発生する荷重

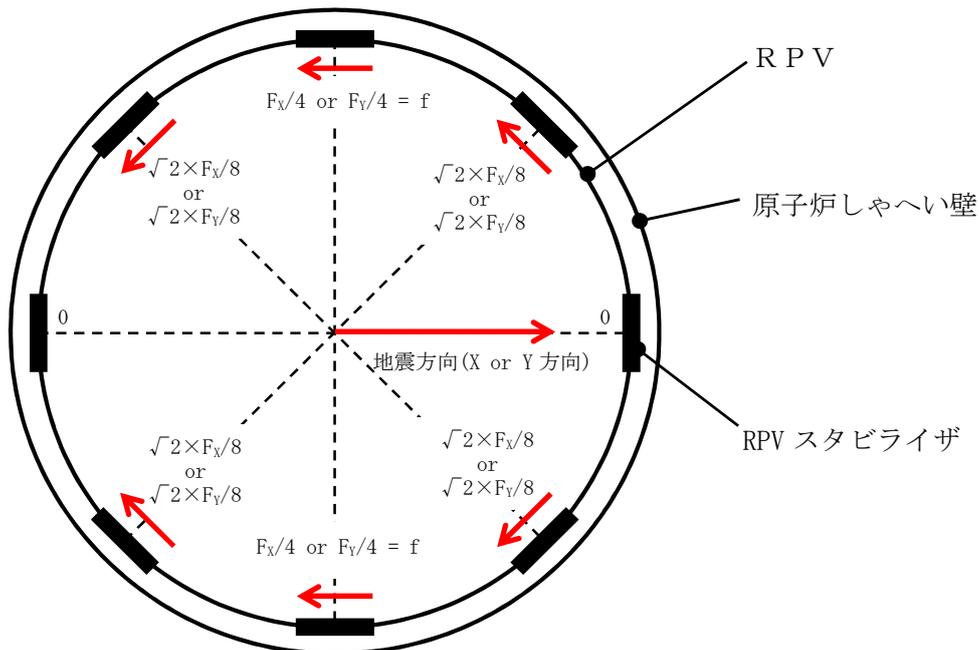


図 1-1 原子炉压力容器スタビライザの水平地震荷重の分担（水平1方向）

1.3 水平2方向同時加振の影響

RPV スタビライザは、水平2方向の地震力を受けた場合においても、方向別地震荷重 F (F_x または F_y) に対する最大反力を受け持つ部位が異なり、水平2方向地震力を二乗和平方根 (SRSS) 法で組み合わせた最大反力と水平1方向地震力による最大反力が同じになるため、水平2方向同時加振の影響はない。

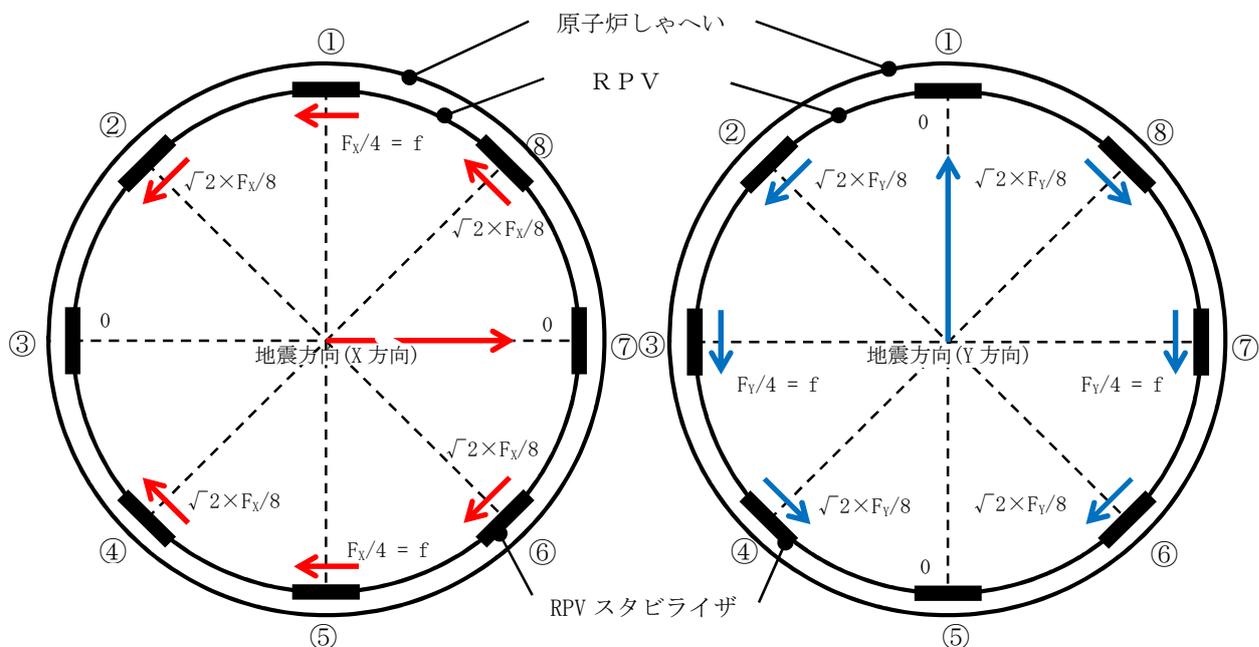


図 1-2 原子炉圧力容器スタビライザの水平地震荷重の分担 (水平2方向)

表 1-1 原子炉圧力容器スタビライザ各点での分担荷重

位置		方向別地震力 F に対する反力		SRSS 法を用いた 水平2方向反力の組合せ
		X 方向	Y 方向	
①	0°	$F_x/4$	0	f
②	45°	$\sqrt{2} \times F_x/8$	$\sqrt{2} \times F_y/8$	f
③	90°	0	$F_y/4$	f
④	135°	$\sqrt{2} \times F_x/8$	$\sqrt{2} \times F_y/8$	f
⑤	180°	$F_x/4$	0	f
⑥	225°	$\sqrt{2} \times F_x/8$	$\sqrt{2} \times F_y/8$	f
⑦	270°	0	$F_y/4$	f
⑧	315°	$\sqrt{2} \times F_x/8$	$\sqrt{2} \times F_y/8$	f
最大		$F_x/4$	$F_y/4$	f

以上

2 水平2方向同時加振の影響評価について（蒸気乾燥器支持ブラケット）

2.1 はじめに

本項は、蒸気乾燥器支持ブラケットに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

2.2 現行評価の手法

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体配置されており、位置関係は図2-1の通りとなる。

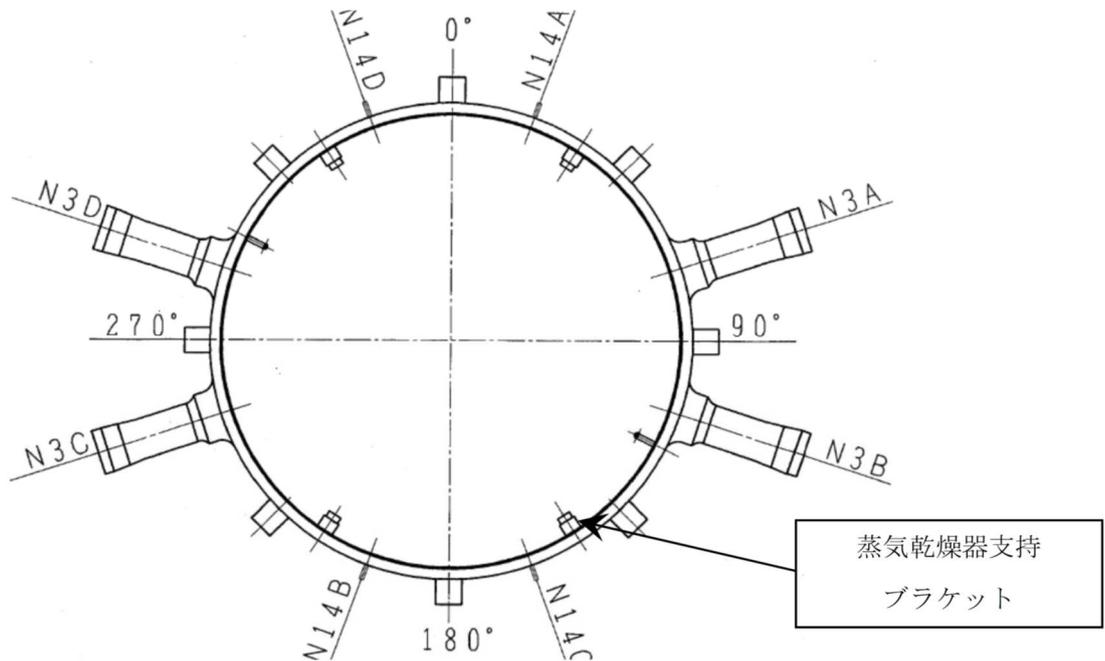


図2-1 蒸気乾燥器支持ブラケットの位置

蒸気乾燥器支持ブラケットは、4体で耐震用ブロックを介し蒸気乾燥器を支持する設計であるが、現行評価では対角のブラケット2体により、水平2方向の地震荷重を支持するものとして評価している。

図2-2に評価においてブラケットに負荷される水平方向の地震荷重を示す。

$$F = \max\left(\frac{F_x}{2}, \frac{F_y}{2}\right)$$

F : 蒸気乾燥器から受ける地震荷重

F_x : X方向地震よりブラケットに発生する荷重

F_y : Y方向地震よりブラケットに発生する荷重

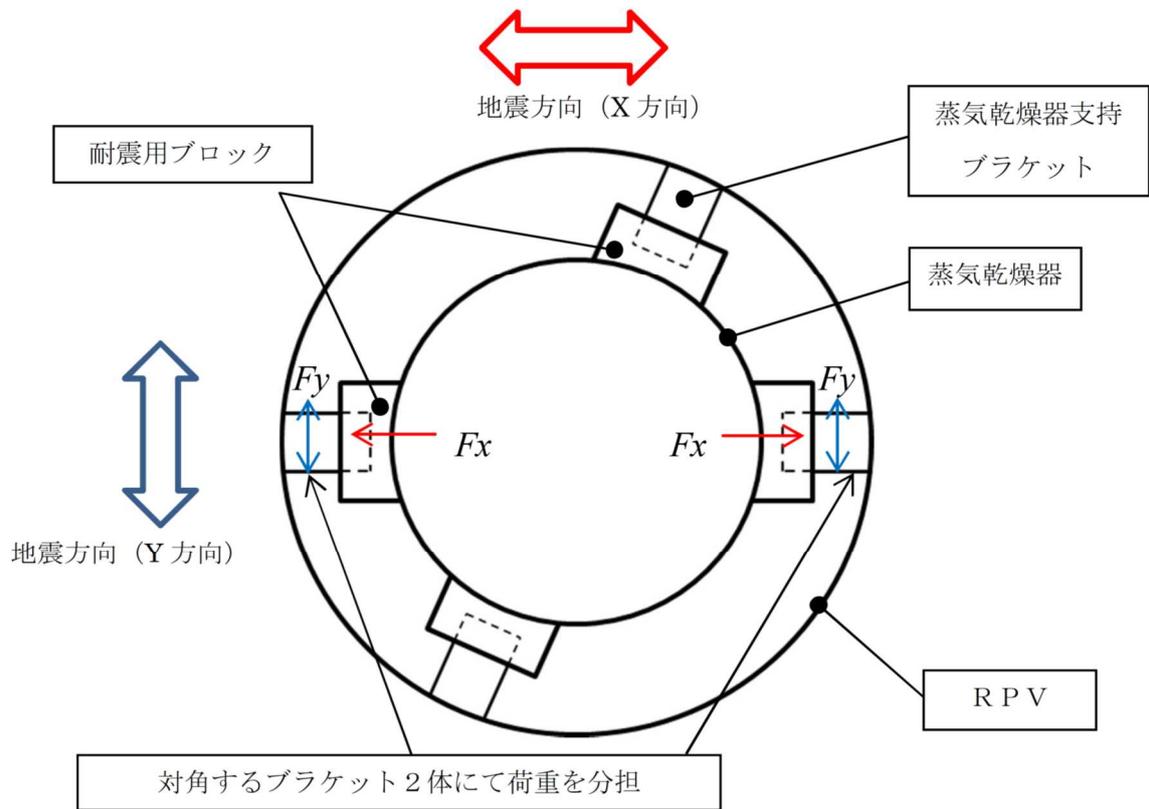


図 2-2 評価におけるブラケットの負荷荷重

2.3 水平 2 方向同時加振の影響

蒸気乾燥器支持ブラケットは、現行評価において、4 体のブラケットのうち 2 体で荷重を支持し、且つ水平 2 方向の地震荷重を同時に負荷されるものとして評価しており、水平 2 方向同時加振による現行の評価結果への影響はない。

3 水平2方向同時加振の影響評価について（制御棒・破損燃料貯蔵ラック）

3.1 はじめに

本項は、制御棒・破損燃料貯蔵ラック（以下「ラック」という。）のサポートに対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

3.2 サポートの構造

本サポートは、ラックの耐震上弱軸方向となる短辺方向の転倒防止を目的として、使用済燃料貯蔵プール壁面から腕を張り出す形で設置されており、ラックの短辺方向側を支持し、長辺方向側は荷重を受けない構造となっている（図 3-1）。

3.3 水平2方向の地震力による影響について

現行評価において、サポートの応力は、地震力によりラックから入力される荷重(反力)、サポート自身の荷重(自重及び自身の慣性力)と、部材の断面特性を用いて下記の地震条件時のそれぞれについて求めている。

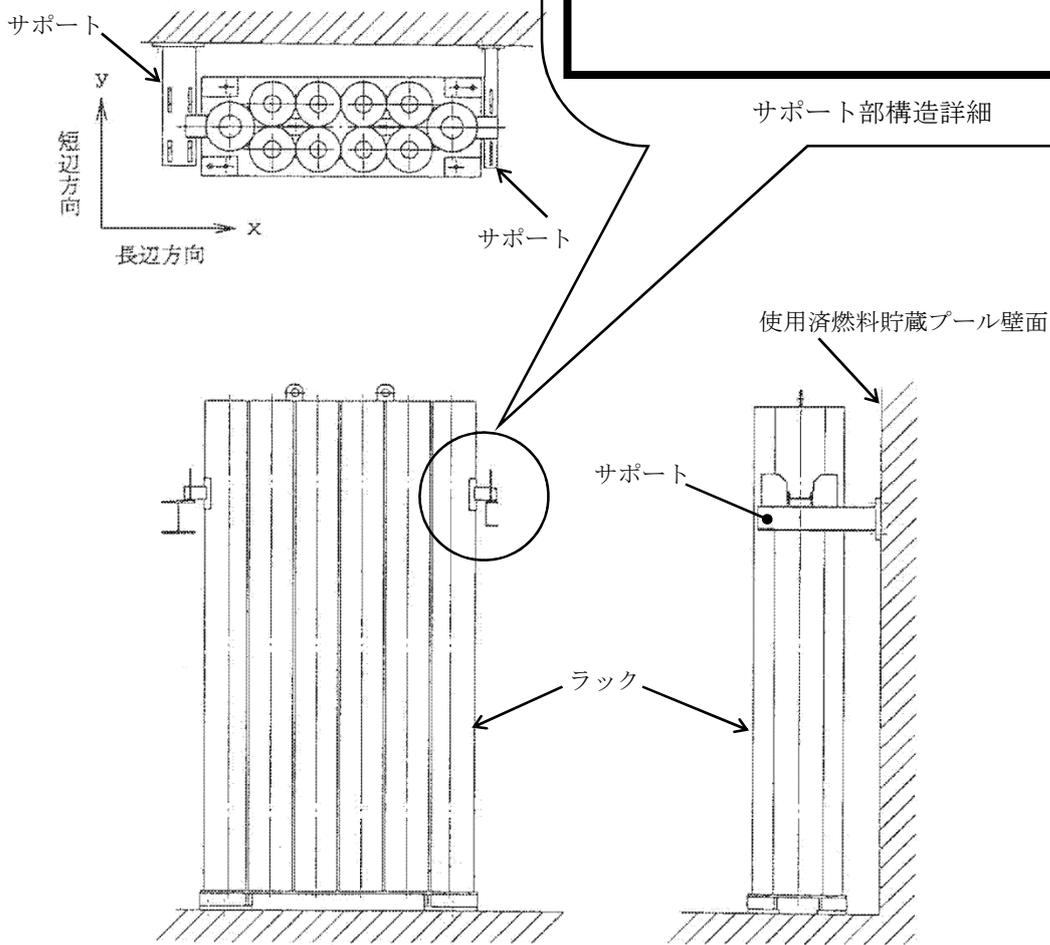
- ・長辺方向(水平 x 方向) + 鉛直方向
- ・短辺方向(水平 y 方向) + 鉛直方向

長辺方向(x方向)の地震の場合、サポートはラックを支持していないため、ラックから入力される荷重(反力)は生じず、サポート自身の慣性力による応力のみが発生する。短辺方向(y方向)の地震の場合、サポートには、ラックからの反力と自身の慣性力による応力が発生する。ラック自身の慣性力は、いずれの方向の地震においても、ラックからの反力と比較して小さい。

したがって、サポートの応力は、水平1方向（短辺方向(y方向)）の地震力の応答が支配的であり、他の水平方向の地震力による応答は小さいため、水平2方向入力の影響は軽微である。

[サポート取合部の説明]

- 短辺方向側は、ラック付のサポート座を支持用プレートではさみ込むように拘束して支持されている。
- 長辺方向側は、拘束する構造となっていない。



全景

図 3-1 制御棒・破損燃料貯蔵ラック設置状態

4 水平 2 方向同時加振の影響評価について（円筒形容器）

4.1 はじめに

本項は、水平地震動が水平 2 方向に作用した場合の円筒容器に対する影響検討結果を FEM で確認した結果をまとめたものである。

容器については、別紙 2 にて説明している通り、X 方向地震と Y 方向地震とでは最大応力点が異なるため、それぞれの地震による応力を組合せても影響軽微としている。本項には、別紙 2 にて説明していることを解析にて確認することを目的として、円筒形容器の FEM モデルを用いた解析を実施した結果を示す。ここで、本検討は軸方向応力、周方向応力及びせん断応力の組合せにより確認を行うため、胴の組合せ一次応力を対象としたものである。

具体的な確認項目として、以下 2 点を確認した。

- ① X 方向地震と Y 方向地震とで最大応力点が異なることの確認
- ② 最大応力点以外に、X 方向地震と Y 方向地震による応力を組合せた場合に影響のあるような点があるかを確認

4.2 現行評価の手法

評価検討モデルを図 4-1 に示す。検討方法を以下に示す。

- ・ 検討方法 : 水平地震力 1G を、X 方向 (0° 方向) へ入力。
周方向の 0° 方向から 90° 方向にかけて応力分布を確認。
- ・ 検討モデル : たて置き円筒形容器をシェル要素にてモデル化
- ・ 拘束点 : 容器基部を拘束
- ・ 荷重条件 : モデル座標の X 方向に水平地震力 1G を負荷
- ・ 解析手法 : 静的解析
- ・ 対象部位及び応力 : 容器基部における組合せ応力

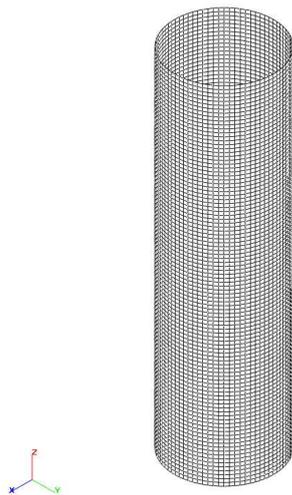


図 4-1 評価検討モデル

4.3 検討結果

4.3.1 軸方向応力

容器基部における水平地震時の軸方向応力コンター図を図 4-2 に示す。

この結果より、最大応力点は 0° 位置に発生していることが分かる。Y 方向へ水平地震力を入力した場合は、最大応力点は 90° 位置に発生することは円筒形容器であることから明白であり、最大応力点が異なることについて確認できた。

また、表 4-1 に軸方向応力分布を示す。最大応力点と最小応力点の中間部 (45°) での応力は、入力地震レベルが X 方向と Y 方向で最大の 1 : 1 であると仮定した場合においても 2 乗和平方根の値が最大応力と同等であることが確認できる。

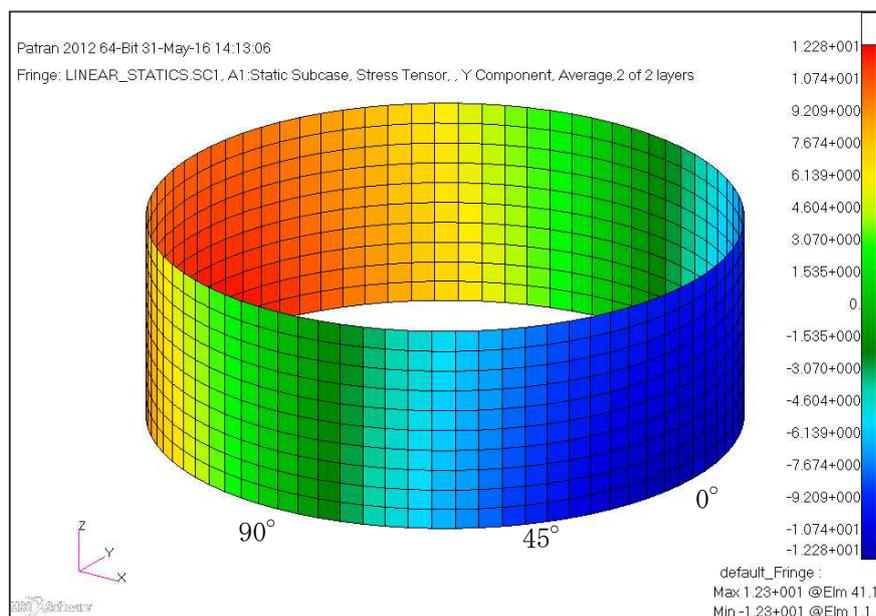


図 4-2 水平地震時軸方向応力コンター図

表 4-1 水平地震時の軸方向応力分布

角度	X 方向へ入力した場合 応力 (MPa)	Y 方向へ入力した場合 応力 (MPa)	2 方向考慮した場合*1 応力 (MPa)
0° 方向	12.28	0.00	12.28
45° 方向	8.68	8.68	12.28
90° 方向	0.00	12.28	12.28

*1 : 2 方向を考慮した応力 = $\sqrt{(X \text{ 方向入力時応力}^2 + Y \text{ 方向入力時応力}^2)}$

4.3.2 周方向応力

容器基部における水平地震時の周方向応力コンター図を図 4-3 に示す。

軸方向応力同様に最大応力点は 0° 位置に発生しており、最大応力点が異なることについて確認できた。

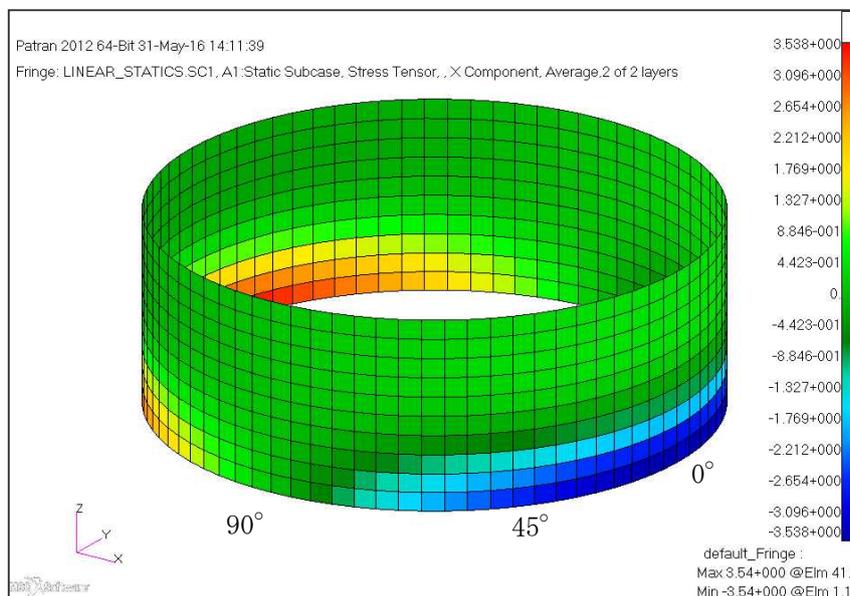


図 4-3 水平地震時周方向応力コンター図

4.3.3 せん断応力

容器基部における水平地震時のせん断応力コンター図を図 4-4 に示す。

せん断応力は軸方向及び周方向応力とは異なり、最大応力は 90° 位置に生じているが、最大応力と最小応力の生じる点が回転しているのみで応力の傾向として最大応力点が異なることについて確認できた。

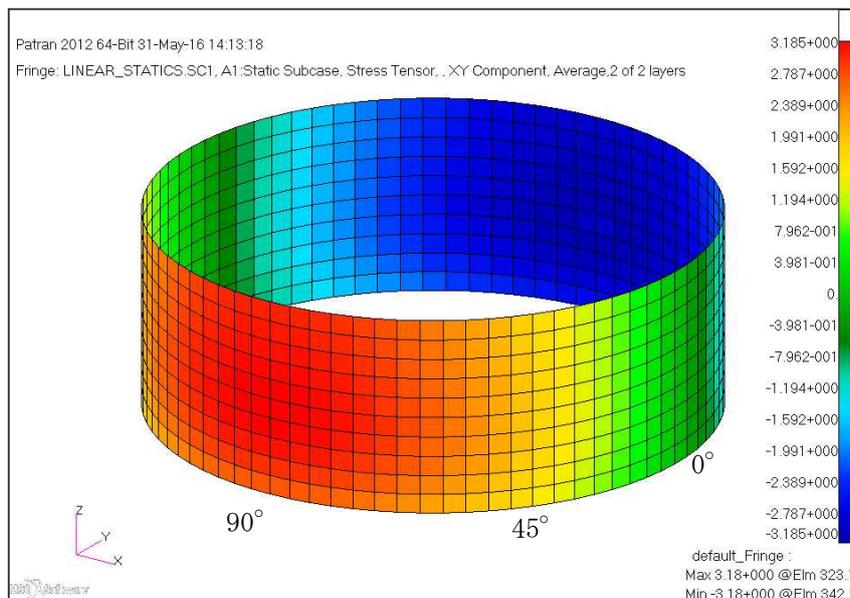


図 4-4 水平地震時せん断応力コンター図

4.3.4 組合せ応力

胴の組合せ一次応力は、軸方向応力、周方向応力及びせん断応力を組合せており、耐震評価結果として用いている。

組合せ応力における応力分布の結果を表 4-2 に、0° 方向から 90° 方向にかけての応力の傾向を図 4-5 に示す。

表 4-2 水平地震時の組合せ応力分布

角度	X 方向へ入力した場合 応力 (MPa)	Y 方向へ入力した場合 応力 (MPa)	2 方向考慮した場合 応力 (MPa)
0° 方向	12.28	5.40	13.41
45° 方向	9.22	9.22	13.04
90° 方向	5.40	12.28	13.41

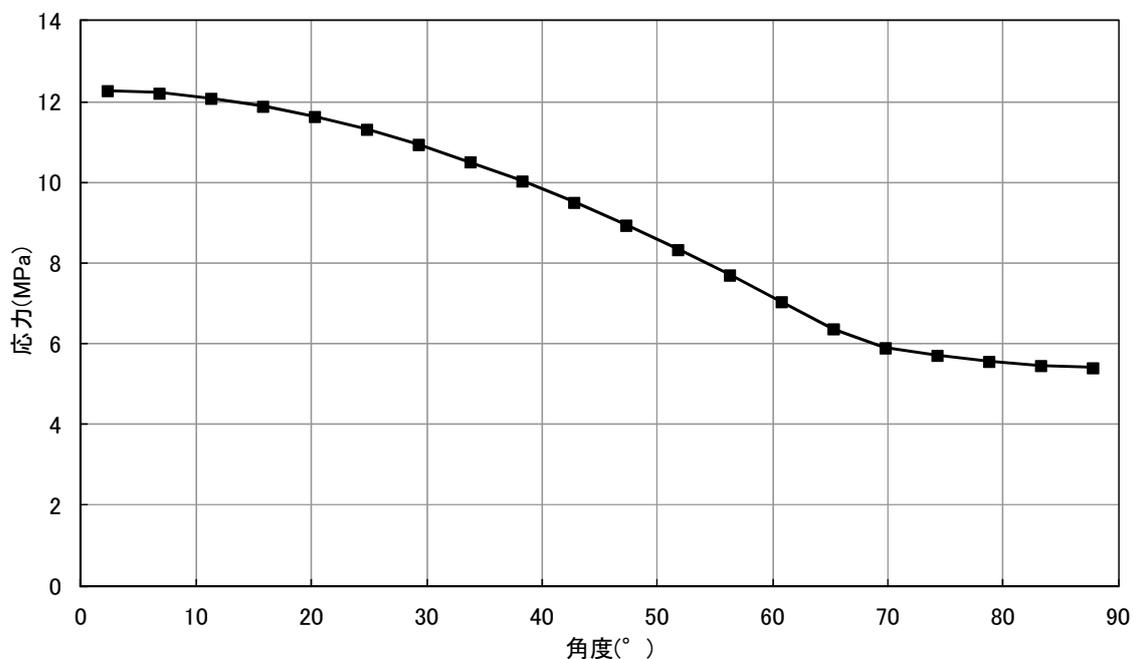


図 4-5 X 方向入力時組合せ応力分布

以上より、中間点の水平 2 方向地震時応力は最大応力と同等の結果となり、円筒形構造に対する水平 2 方向地震時の影響は軽微であることが確認できる。

また、水平 1 方向の地震時の応力に対して水平 2 方向地震時を考慮した場合、組合せ応力は若干上回る程度であり、水平各方向 1 : 1 にて想定していることも考慮し、影響は軽微であると考えられる。

本検討においては地震力のみでの応力値であり、耐震評価においては水平地震の影響を受けない応力（自重や鉛直地震による応力）が含まれるため、X 方向へ入力した場合の応力に対する 2 方向を考慮した場合の応力の比率は小さくなる。

5. 水平2方向同時加振の影響評価について（燃料取替機）

5.1 はじめに

本項は、燃料取替機（以下、FHM という。）に対する水平2方向同時加振の影響についてまとめたものである。

5.2 現行評価の手法

FHM はレール上を車輪で移動する構造であるため、基本的には建屋との固定はないが、地震時に横行方向（走行レールに対し直角方向）にすべりが生じた場合は、レールに沿って取り付けられている脱線防止ラグがレールの側面と接触し、FHM のすべりを制限する構造となっている。つまり、ラグとレールが接触し、FHM が横行方向に建屋と固定された体系では、地震入力がFHM 本体へそのまま伝達されることが想定される。

一方、走行方向（走行レールの長手方向）については、FHM の車輪とレールの接触面（踏面）を介してFHM 本体へと荷重が伝達される構造であり、その荷重は摩擦力により制限されるため、地震入力により生じる荷重は軽微（FHM 本体への影響は軽微）と考えられる。

上記より、FHM 本体の耐震評価では横行方向に対する地震応答が支配的であり、走行方向に対しては比較的軽微であると考えられるため、水平2方向同時加振の考慮として、耐震性評価で走行方向の地震応答を追加で組み合わせたとしても、従来評価の応答結果への影響は小さいと考えられる。

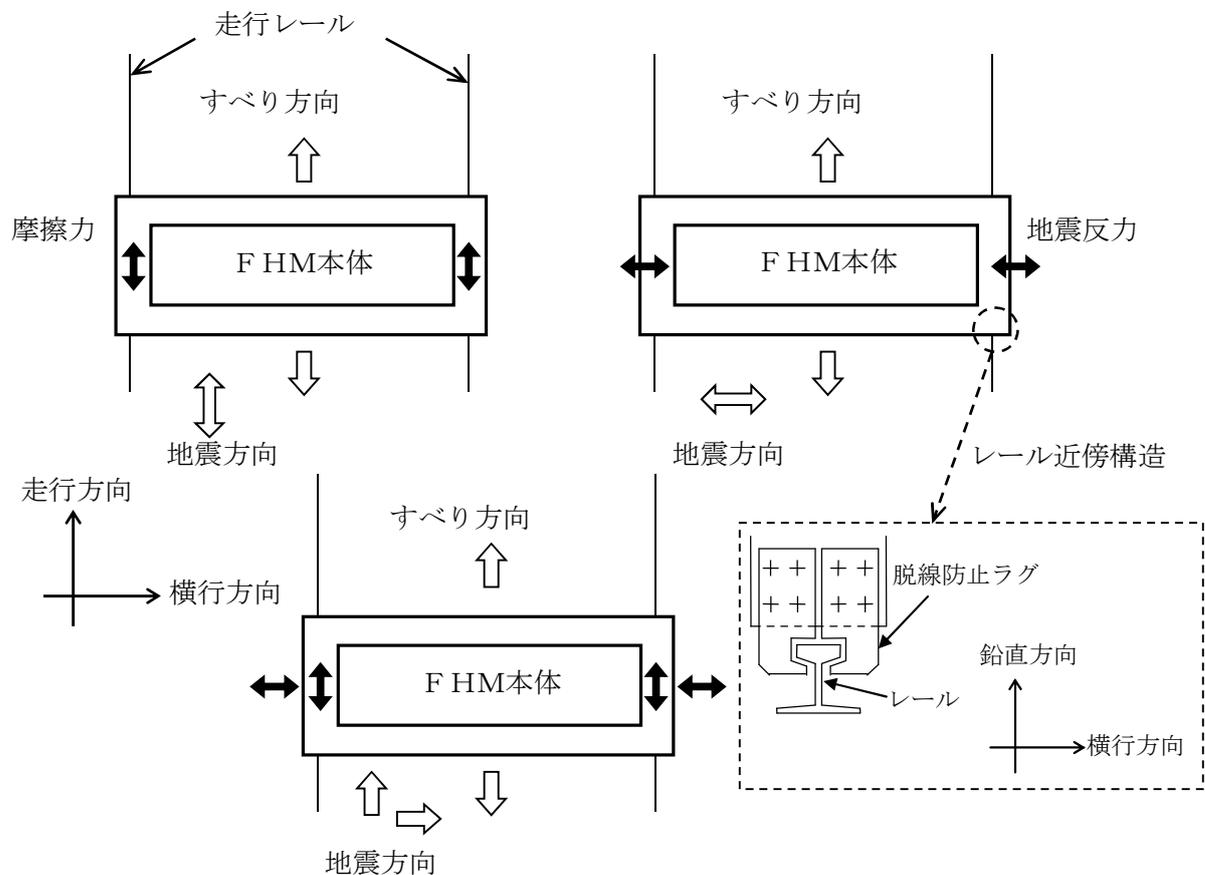


図 5-1 燃料取替機の負担する水平地震荷重
別紙 2 補-11