

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 07 R1
提出年月日	令和 3 年 3 月 2 日

耐震設計の基本方針に関する補足説明資料

IV 耐震性に関する説明書（安全冷却水 B 冷却塔）

III 耐震性に関する説明書（燃料加工建屋）

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに
関する評価部位の抽出

注記：文中の 線部及び□囲い部は今回（第 1 回）申請の建物・構築物に係る事項である
文中の 線部及び□囲い部は後次回以降申請の建物・構築物に係る事項である

目 次

1. 概要	1
2. 検討の目的	2
3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる建物・構築物の影響評価	3
3.1 影響評価に用いる基準地震動	3
3.2 従来設計手法の考え方	9
3.3 影響評価方法	11
3.4 影響評価部位の抽出	14
3.5 影響評価部位の抽出結果	33
4. 対象建屋の図面	34

別紙 1 3次元 FEM モデルを用いた精査

別紙 2-1 3次元 FEM モデルによる地震応答解析（分離建屋）

別紙 2-2 3次元 FEM モデルによる地震応答解析（ガラス固化体貯蔵建屋）

参考 3次元 FEM モデルによる地震応答解析（燃料加工建屋）

注記：文中の 線部及び □ 囲い部は今回（第 1 回）申請の建物・構築物に係る事項である
文中の 線部及び □ 囲い部は後次回以降申請の建物・構築物に係る事項である

1. 概要

本資料は、建物・構築物（建屋及び屋外機械基礎）（以下、「建物・構築物」という。）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における、影響評価部位の抽出プロセスについて示すものである。

本資料では、再処理施設、廃棄物管理施設及びMOX燃料加工施設（以下、「再処理施設等」という。）の建物・構築物における、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される構成部位を網羅的に抽出し、施設の重要性、構造的特徴及び作用する荷重の特殊性等から、代表して評価を行う部位の妥当性について説明する。

本資料の適用範囲は、再処理施設等の建物・構築物に係る、添付書類「建物・構築物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」とし、洞道、飛来物防護ネット並びに排気筒及び換気筒は含まない。

なお、本資料は、第1回申請（令和2年12月24日申請）における、以下の添付書類の補足説明をするものである。

<再処理施設>

- ・添付書類「IV-2-2-1-1 基礎の水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価結果」

<MOX燃料加工施設>

- ・添付書類「III-3-3-1-1 建物・構築物の水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

2. 検討の目的

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

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

耐震設計に係る工認審査ガイド(抜粋)

3.5.2 水平方向及び鉛直方向地震力の組合せ

水平方向及び鉛直方向地震力の組合せを適切に行っていることを確認する。

(1) 動的な地震力の組合せ

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

なお、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の三次元応答特性により応答の同時性を考慮する必要がある場合は、各方向の各時刻歴での応答を逐次重ね合わせる等の方法により、応答の同時性を考慮していること。

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

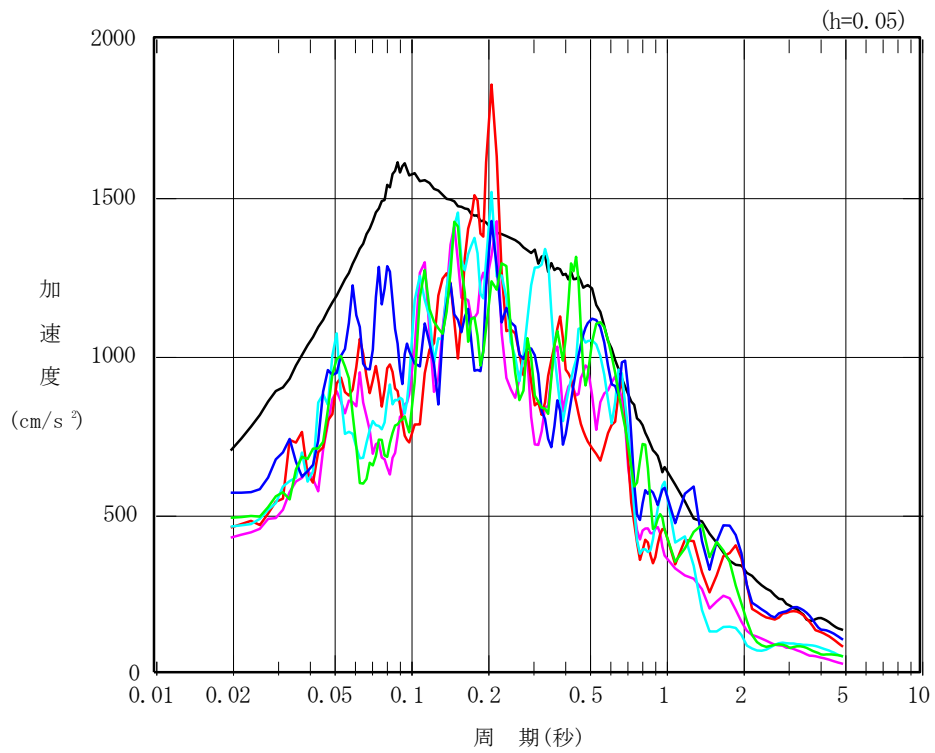
3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる建物・構築物の影響評価

3.1 影響評価に用いる基準地震動

影響評価に用いる基準地震動 S_s は、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」を評価して、これらの評価結果に基づき策定している。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」としては、応答スペクトルに基づく地震動評価及び断層モデルを用いた手法による地震動評価を実施し、その結果を踏まえ、応答スペクトルに基づく地震動として基準地震動 S_s -A、断層モデルを用いた地震動として S_s -B1～ S_s -B5 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 -C1～ S_s -C4 を策定している。

基準地震動 S_s の加速度応答スペクトルを第 3.1-1 図に示す。

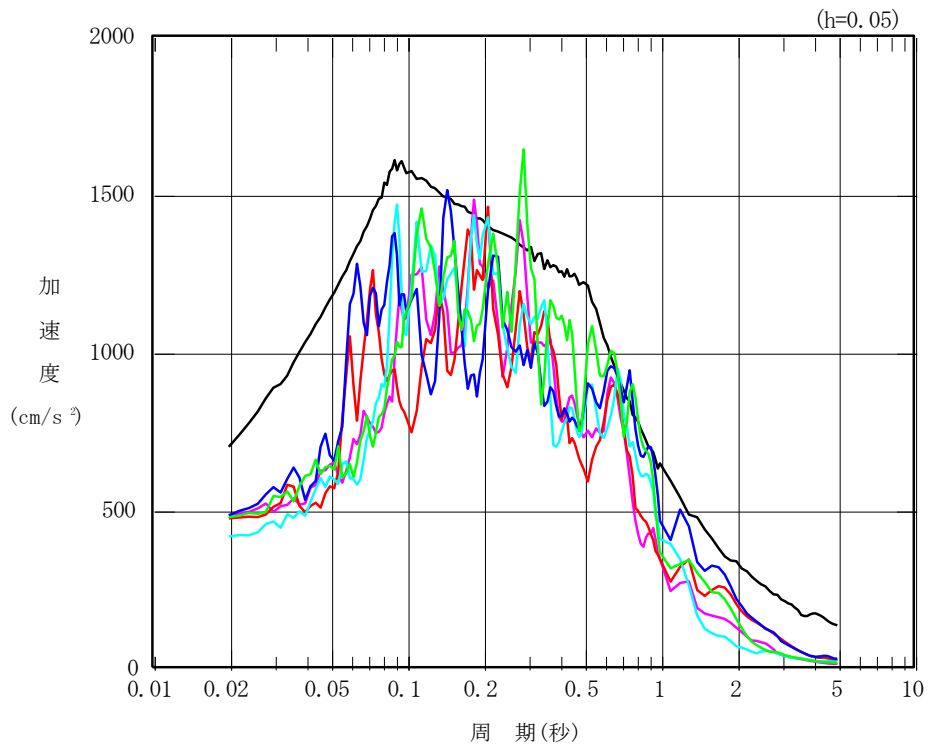
なお、水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、本影響評価に用いる。



凡例

- : Ss-A (H)
- : Ss-B1 (NS)
- : Ss-B2 (NS)
- : Ss-B3 (NS)
- : Ss-B4 (NS)
- : Ss-B5 (NS)

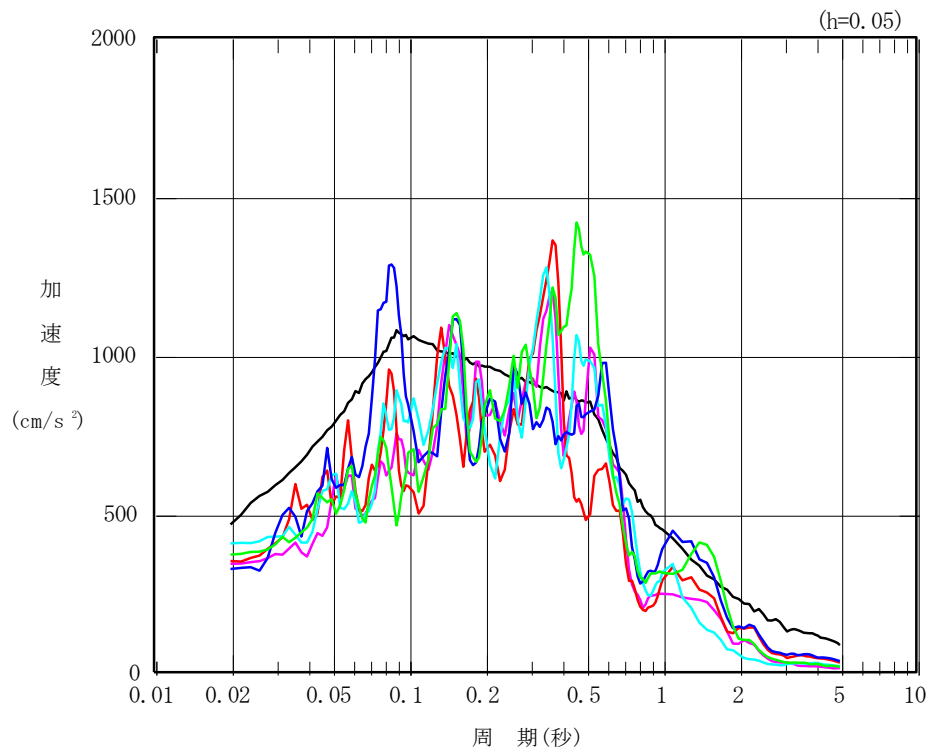
第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(1/5)



凡例

- : Ss-A (H)
- : Ss-B1 (EW)
- : Ss-B2 (EW)
- : Ss-B3 (EW)
- : Ss-B4 (EW)
- : Ss-B5 (EW)

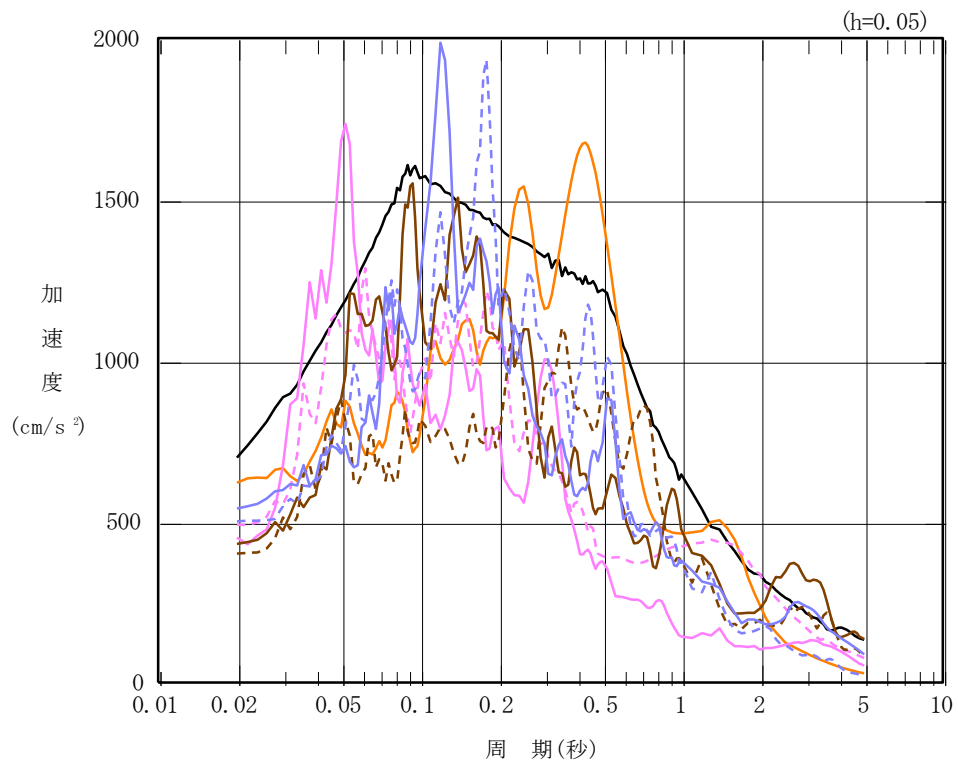
第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(2/5)



凡例

- : Ss-A (V)
- : Ss-B1 (UD)
- : Ss-B2 (UD)
- : Ss-B3 (UD)
- : Ss-B4 (UD)
- : Ss-B5 (UD)

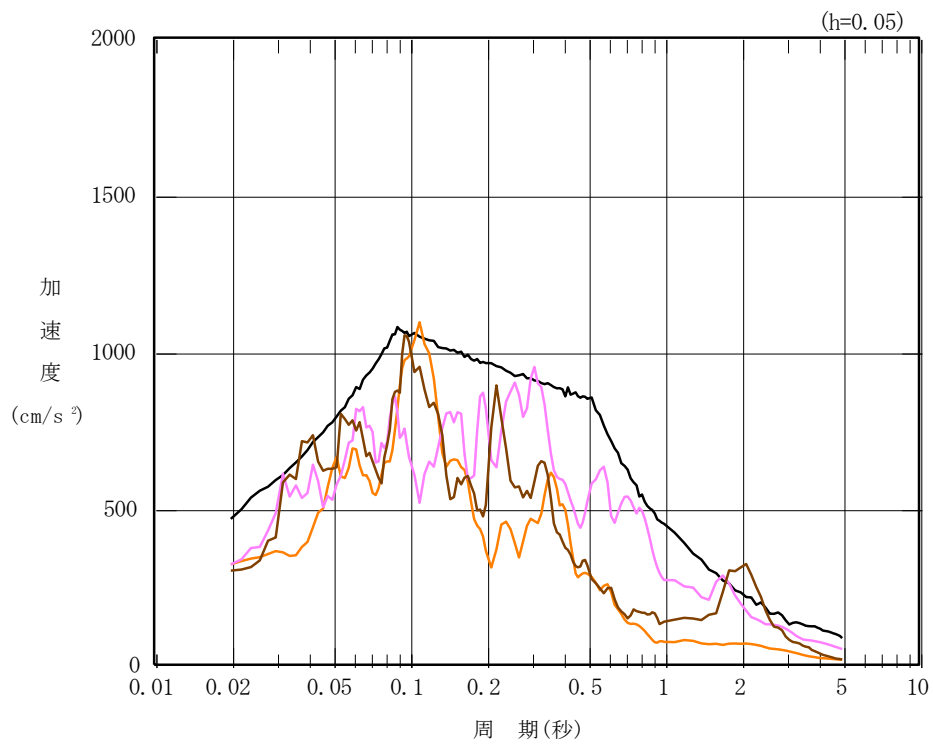
第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(3/5)



凡例

- : Ss-A (H)
- : Ss-C1 (NSEW)
- : Ss-C2 (NS)
- - - : Ss-C2 (EW)
- : Ss-C3 (NS)
- - - : Ss-C3 (EW)
- : Ss-C4 (NS)
- - - : Ss-C4 (EW)

第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(4/5)



凡例

- : Ss-A (V)
- : Ss-C1 (UD)
- : Ss-C2 (UD)
- : Ss-C3 (UD)

第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(5/5)

3.2 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、再処理施設等の建物・構築物は、全体形状及び平面レイアウトから、地震力を主に耐震壁で負担する構造であり、剛性の高い設計としている。

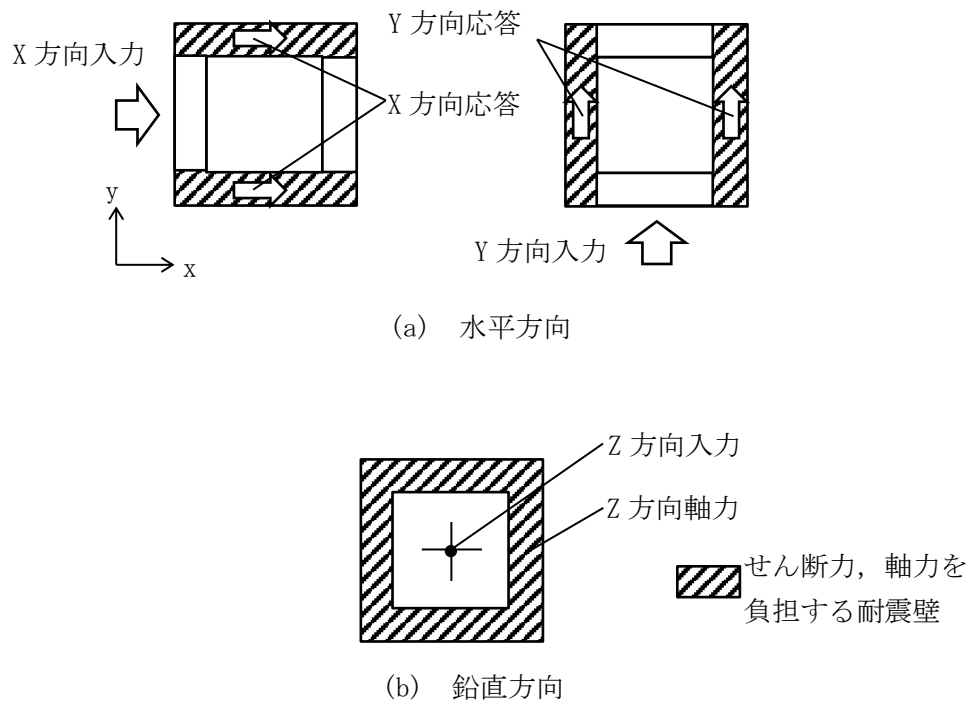
水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

地震応答解析は、水平2方向の耐震壁に対して、それぞれ剛性を評価し、各水平方向に対して解析を実施している。従って、建物・構築物に対し、水平2方向の入力がある場合、各方向から作用するせん断力を負担する部位が異なるため、水平2方向の入力がある場合の評価は、水平1方向にのみ入力がある場合と同等な評価となる。

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

入力方向ごとの耐震要素について、第3.2-1図に示す。

また、各建物・構築物の耐震計算書及び波及的影響を及ぼすおそれのある施設の耐震性についての計算書のうち、建物・構築物の応力解析による評価は、上記の考え方を踏まえた地震応答解析により算出された応答を、水平1方向及び鉛直方向に組合せて行っている。



第 3.2-1 図 入力方向ごとの耐震要素

3.3 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の組合せを考慮した場合に影響を受ける可能性がある部位の評価を行う。

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、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がある部位は、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、各部位に発生する荷重や応力を算出し、各部位が有する耐震性への影響を確認する。

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

影響評価のフローを第3.3-1図に示す。

① 耐震評価上の構成部位の整理 (第3.3-1図①)

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

② 水平2方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性の整理 (第3.3-1図②)

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次元的な建物挙動から影響が想定されるものに分けて整理する。

なお、隣接する上位クラスの建物・構築物への波及的影響確認のための建物・構築物の評価は、上位クラスの建物・構築物との相対変位による衝突の有無の判断が基本となる。そのため、せん断及び曲げ変形評価を行うこととなり、壁式構造では耐震壁（ラーメン構造では柱、梁）を主たる抽出対象部位とし、その他の構成部位については抽出対象に該当しない。

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出 (第3.3-1図③)

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

④ 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出 (第3.3-1図④)

荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに対し、3次元的な応答特性により、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

⑤ 3次元 FEM モデルによる精査（第 3.3-1 図⑤）

3 次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3 次元 FEM モデルを用いた精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。ここでの 3 次元 FEM モデルを用いた精査の評価手法及び評価結果の詳細については「別紙 1 3 次元 FEM モデルを用いた精査」に示す。

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、局所的な応答を確認するため、3 次元 FEM モデルによる精査を実施し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する 3 次元 FEM モデルによる精査を行う建物・構築物は、地震計を設置している建屋の内、偏心率の高い分離建屋とシャフト部を有し構造的に特徴のあるガラス固化体貯蔵建屋とした。分離建屋及びガラス固化体貯蔵建屋の局所応答に対する 3 次元 FEM モデルによる精査は別紙 2-1 及び別紙 2-2 にそれぞれ示す。

また、燃料加工建屋についても新設建屋であることから、参考として局所応答に対する 3 次元 FEM もよる精査を行う。燃料加工建屋の局所応答に対する 3 次元 FEM モデルによる精査は参考資料に記す。

⑥ 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価（第 3.3-1 図⑥）

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

評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、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。

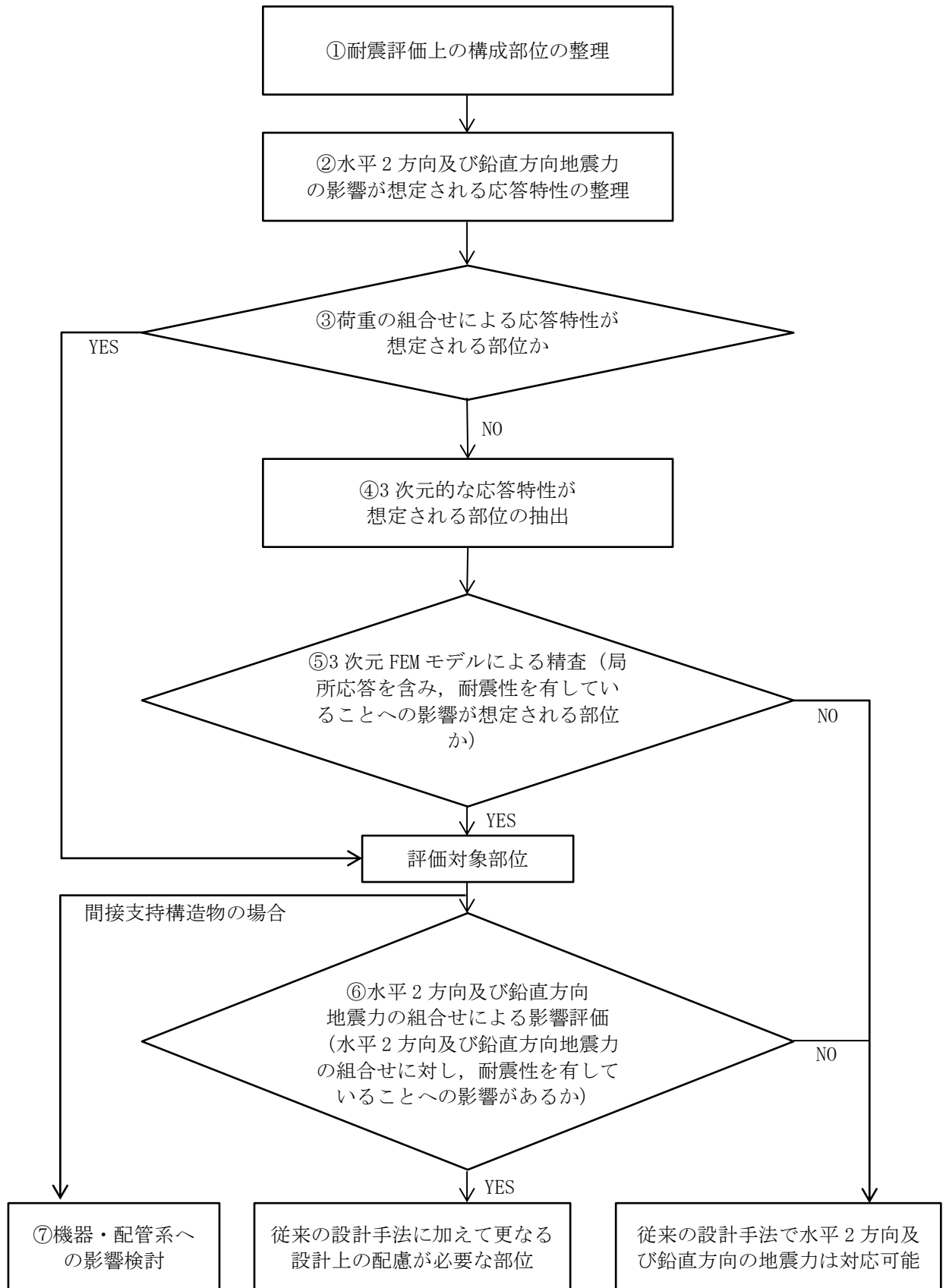
注： REGULATORY GUIDE (RG) 1.92 “COMBINING MODAL RESPONSES AND SPATIAL COMPONENTS IN SEISMIC RESPONSE ANALYSIS”

⑦ 設備・機器への影響検討（第 3.3-1 図⑦）

③及び⑤にて、施設が有する耐震性への影響が想定され、評価対象として抽出された部位が、耐震重要施設、重大事故等対処施設の間接支持機能を有する場合には、機器・配管系に対し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響を確認する。

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

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



第 3.3-1 図 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

3.4 影響評価部位の抽出

対象とする部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せ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。

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

建物・構築物の耐震評価上の構成部位を整理し、各建屋において該当する耐震評価上の構成部位を網羅的に確認した。確認した結果を第 3.4-1 表に示す。

第3.4-1表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理 (1/2)

申請回		第1回		第2回									
対象評価部位		MOX燃料加工施設	再処理施設	再処理施設									
		燃料加工建屋	安全冷却水B冷却塔基礎	前処理建屋	分離建屋	精製建屋	主排気筒管理建屋	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	非常用電源建屋	第1保管庫・貯水所	第2保管庫・貯水所
		RC造	RC造(基礎)	RC造 (一部SRC造及CFS造)	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及CFS造)	RC造	RC造	RC造
柱	一般部	○	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地下部	○	-	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○
	隅部	-	-	○	○	○	○	-	-	○	○	○	○
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 スラブ	矩形	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○	○
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

申請回		第2回											
対象評価部位		再処理施設											
		第1軽油貯蔵所	第2軽油貯蔵所	重油貯蔵所	高レベル廃液ガラス固化建屋	使用済燃料輸送容器管理建屋 (使用済燃料収納使用済燃料輸送容器管理建屋)	使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレープエリア)	主排気筒基礎	安全冷却水系冷却塔A基礎	安全冷却水系冷却塔B基礎	第1非常用ディーゼル発電機用重油タンク室	冷却塔A、B基礎	燃料油貯蔵タンク基礎
		RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及CFS造)	RC造 (一部SRC造及CFS造)	RC造 (一部SRC造及CFS造)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)
柱	一般部	-	-	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	○	-	-	-	-	○	-	-	-
	隅部	-	-	-	-	○	○	-	-	-	-	-	-
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 スラブ	矩形	○	○	○	○	○	○	-	○	○	○	○	○
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材有り
 -：対象の構造部材なし
 □：今回申請対象

第3.4-1表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理 (2/2)

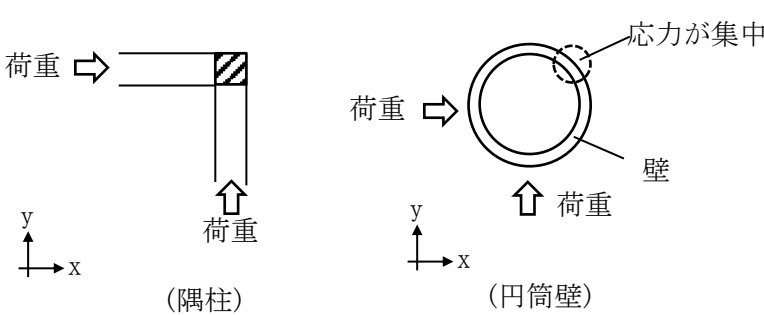
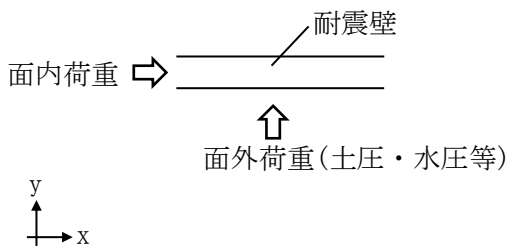
申請回		第2回			第3回					
対象評価部位	廃棄物管理施設			再処理施設						
	ガラス固化体貯蔵建屋	ガラス固化体貯蔵建屋B棟	ガラス固化体受入れ建屋	ハル・エンドピース貯蔵建屋	制御建屋	チャンネルボックス・バーナブルボイラー処理建屋	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟	第1ガラス固化体貯蔵建屋西棟	緊急時対策建屋	
	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部S造)	RC造	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造	
柱	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	隅部	○	○	○	-	-	-	○	○	○
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 スラブ	矩形	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材有り
 -：対象の構造部材なし
 □：今回申請対象

(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。整理した結果を第 3.4-2 表及び第 3.4-3 表に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のを第 3.4-4 表に示す。

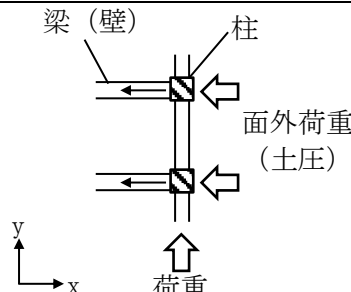
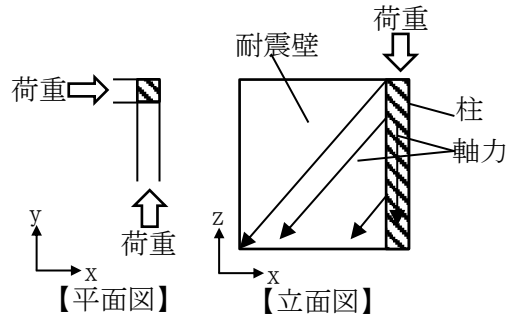
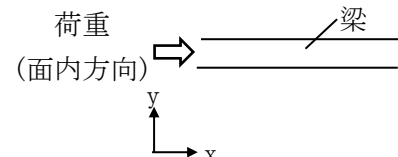
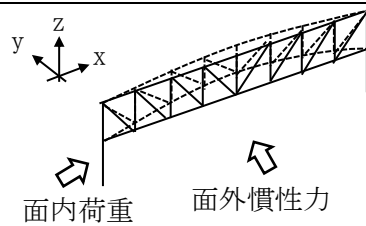
第 3.4-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

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>応力の集中する隅柱等 (例)</p>  <p>荷重 → (隅柱)</p> <p>荷重 → (円筒壁)</p> <p>応力が集中</p> <p>壁</p> <p>荷重</p> <p>水平荷重</p> <p>水平荷重</p> <p>(矩形基礎スラブ)</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>土圧を負担する地下外壁等 水圧を負担するプール等 (例)</p>  <p>面内荷重 →</p> <p>耐震壁</p> <p>↑</p> <p>面外荷重(土圧・水圧等)</p>

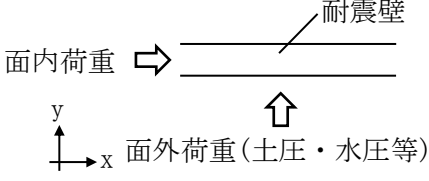
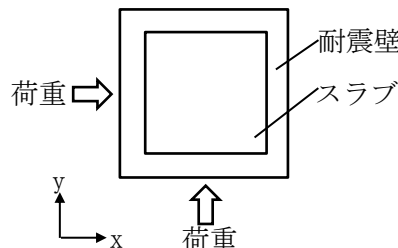
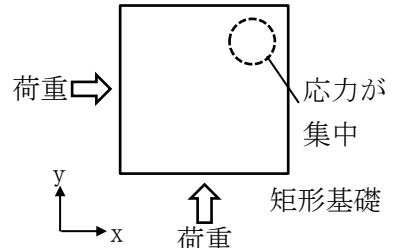
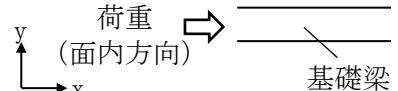
第 3.4-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

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>大スパンや吹き抜け部に設置された部位 (例)</p> <p>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外慣性力 (耐震構造部材)</p> <p>(トラス)</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>塔状構造物などを含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> <p>荷重</p> <p>耐震構造部材 (壁)</p> <p>(鉄骨架構)</p> <p>(床・屋根)</p> <p>面内荷重</p> <p>柱</p> <p>ブレース (ブレース)</p>

第 3.4-4 表 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力による影響の考え方 (1/2)

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

第 3.4-4 表 耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力による影響の考え方 (2/2)

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の考え方
壁	一般部	1 方向のみ地震荷重を負担することが基本である。
	地下部 プール壁	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を受ける。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。 
	鉄骨 ブレース	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。
床 屋根	一般部	スラブは四方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。 
	基礎 スラブ	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。 
基礎	基礎梁	面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。また、面外地震荷重負担による影響は小さい。 

(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

第 3.4-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第 3.4-2 表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。抽出した結果を第 3.4-5 表に示す。

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、使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）及びガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の隅柱及び基礎スラブを有する各建屋の基礎スラブを抽出した。

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、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の燃料貯蔵プールの側壁、ハル・エンドピース貯蔵建屋の貯蔵プールの側壁、チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の切断ピットの側壁、第 1 保管庫・貯水所の貯水槽の側壁、第 2 保管庫・貯水所の貯水槽の側壁及び地下外壁を有する各建屋の地下外壁を抽出した。

a. 柱

柱は、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、隅部（端部柱を含む）が考えられ、ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の冷却空気出口シャフト部の隅柱は①-1 に該当するものとして抽出した。また、中柱の一般部は、応力が集中することはない。

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柱が考えられるが、各建屋の地下外周柱は、耐震壁に囲まれており、耐震壁が面内の荷重を負担し、地下外周柱は面内の荷重を負担しないため、該当しない。

b. 梁

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

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

c. 壁

矩形の壁は、地震力の負担について方向性を持っており、①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中」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、水圧や土圧が作用するプール部や地下部が考えられ、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の燃料貯蔵プールの側壁、ハル・エンドピース貯蔵建屋の貯蔵プールの側壁、チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の切断ピットの側壁、第 1 保管庫・貯水所の貯水槽の側壁、第 2 保管庫・貯水所の貯水槽の側壁及び地下外壁を有する各建屋の地下外壁を、①-2 に該当するものとして抽出した。

d. 床及び屋根

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

e. 基礎スラブ

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、矩形の基礎スラブが考えられる。

基礎スラブを有する各建屋の基礎スラブは、隅部への応力集中が考えられるため、①-1に該当するものとして抽出した。

①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」する部位としては、基礎スラブは該当しない。

第3.4-5表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング) (1/2)

申請回		第1回		第2回									
対象評価部位		MOX燃料加工施設	再処理施設	再処理施設									
		燃料加工建屋	安全冷却水B冷却塔基礎	前処理建屋	分離建屋	精製建屋	主排気筒管理建屋	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	非常用電源建屋	第1保管庫・貯水所	第2保管庫・貯水所
		RC造	RC造(基礎)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造	RC造	RC造
柱	一般部	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	地下部	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	隅部	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
梁	一般部	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	地下部	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
壁	一般部	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	①-2要(プール側壁)	該当無し	①-2要(貯水槽側壁)	①-2要(貯水槽側壁)
	地下部	①-2要	-	①-2要	①-2要	①-2要	-	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	-	-	-	該当無し	-	-	-
床屋根	一般部	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
基礎 スラブ	矩形	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	-	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

申請回		第2回											
対象評価部位		再処理施設											
		第1軽油貯蔵所	第2軽油貯蔵所	重油貯蔵所	高レベル廃液 ガラス固化建屋	使用済燃料貯蔵容器管理建屋 (使用済燃料収納使用済燃料輸 送容器管理庫)	使用済燃料貯蔵容器管理建屋 (トレーニアリア)	主排気筒基礎	安全冷却水系冷却塔A 基礎	安全冷却水系冷却塔B 基礎	第1非常用ディーゼル発 電設備用重油タンク室	冷却塔A、B基礎	燃料油貯蔵タンク基礎
		RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)
柱	一般部	-	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	-	-	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	該当無し	-	-	-	-	該当無し	-	-	-
	隅部	-	-	-	-	①-1要	該当無し	-	-	-	-	-	-
梁	一般部	-	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	-	-	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	該当無し	-	-	-	該当無し	-	-	-	-
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
壁	一般部	-	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	-	-	-	-	-	-
	地下部	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	-	-	-	-	①-2要	①-2要	-	①-2要
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	該当無し	該当無し	-	-	-	-	-	-
床屋根	一般部	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	-	該当無し	該当無し	該当無し	-	該当無し
基礎 スラブ	矩形	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	-	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	①-1要	-	-	-	-	-

凡例 要：評価必要 ①-1：応答特性「直交する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」

□：今回申請建屋

第 3.4-5 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(荷重の組合せによる応答特性を踏まえたスクリーニング) (2/2)

申請回		第 2 回			第 3 回					
対象評価部位		廃棄物管理施設			再処理施設					
		ガラス固化体貯蔵建屋	ガラス固化体貯蔵建屋B棟	ガラス固化体受入れ建屋	ハル・エンドピース貯蔵建屋	制御建屋	チャンネルボックス・バーナブルボイスン処理建屋	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟	第1ガラス固化体貯蔵建屋西棟	緊急時対策建屋
		RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部S造)	RC造	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造
柱	一般部	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	地下部	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	隅部	該当無し	①-1要 (冷却空気出口シャフト部)	該当無し	-	-	-	該当無し	該当無し	該当無し
梁	一般部	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	地下部	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	鉄骨トラス	該当無し	該当無し	該当無し	-	-	-	該当無し	該当無し	-
壁	一般部	該当無し	該当無し	該当無し	①-2要 (プール側壁)	該当無し	①-2要 (ピット側壁)	該当無し	該当無し	該当無し
	地下部	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要
	鉄骨ブレース	-	該当無し	-	-	-	-	-	-	-
床屋根	一般部	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
基礎スラブ	矩形	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-

凡例 要：評価必要 ①-1：応答特性「直交する 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」 ：今回申請建屋

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第 3.4-1 表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、第 3.4-3 表に示す 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。抽出した結果を第 3.4-6 表に示す。

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、ガラス固化体貯蔵建屋の貯蔵区域の壁、ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の貯蔵区域の壁及び第 1 ガラス固化体貯蔵建屋（東棟及び西棟）の貯蔵区域の壁を抽出した。

また、応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動が発生する可能性がある部位」として、高レベル廃液ガラス固化建屋の冷却空気出口シャフト部の壁、ガラス固化体貯蔵建屋の冷却空気出口シャフト部の柱、梁及び壁、ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の冷却空気出口シャフト部の柱、梁及び鉄骨ブレース、並びに第 1 ガラス固化体貯蔵建屋（東棟及び西棟）の冷却空気出口シャフト部の柱、梁及び壁を抽出した。

a. 柱

ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の冷却空気出口シャフト部の隅柱は（3）で抽出されているため、その他の柱について②-1「面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」の発生する部位への該当を検討する。

ガラス固化体貯蔵建屋の冷却空気出口シャフト部の柱、ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の冷却空気出口シャフト部の柱（隅部以外）及び第 1 ガラス固化体貯蔵建屋（東棟及び西棟）の冷却空気出口シャフト部の柱についてはシャフト部のねじれ振動を考慮し、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の発生する部位に抽出した。

各建屋のその他の柱については、各建屋は鉄筋コンクリート造耐震壁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が負担するため、柱は各部とも、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位には該当しない。また、釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の発生する部位には該当しない。

b. 梁

ガラス固化体貯蔵建屋の冷却空気出口シャフト部の梁、ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の冷却空気出口シャフト部の梁及び第 1 ガラス固化体貯蔵建屋（東棟及び西棟）の冷却空気出口シャフト部の梁についてはシャフト部のねじれ振動を考慮し、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位に抽出した。

各建屋のその他の梁については、剛性の高い床や耐震壁が付帯し、面外方向の変形を抑制することから、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」及び②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位には該当しない。

c. 壁

ガラス固化体貯蔵建屋の貯蔵区域の壁, ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の貯蔵区域の壁及び第 1 ガラス固化体貯蔵建屋 (東棟及び西棟) の貯蔵区域の壁については, 複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁・柱及び床・梁が存在せず, 面内方向荷重に加え面外慣性力の影響が大きいと考えられることから, ②-1「面内方向の荷重に加え, 面外慣性力の影響が大きい」部位に抽出した。

高レベル廃液ガラス固化建屋の冷却空気出口シャフト部の壁, ガラス固化体貯蔵建屋の冷却空気出口シャフト部の壁, ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の冷却空気出口シャフト部の鉄骨ブレース及び第 1 ガラス固化体貯蔵建屋 (東棟及び西棟) の冷却空気出口シャフト部の壁についてはシャフト部のねじれ振動を考慮し, ②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位に抽出した。

各建屋のその他の壁については, 複数スパン及び層にまたがって直交方向に壁・柱及び床・梁のない連続した壁が存在しない又は面外への振動を抑制する部材が存在するため, ②-1「面内方向の荷重に加え, 面外慣性力の影響が大きい」部位には該当しない。また, 釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており, ②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の部位には該当しない。

d. 床及び屋根

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

e. 基礎スラブ

基礎スラブについては, (3) で抽出されている。

第3.4-6表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング) (1/2)

申請回		第1回				第2回								
対象評価部位		MOX燃料加工施設		再処理施設		再処理施設								
		燃料加工建屋	安全冷却水B冷却塔基礎	前処理建屋	分離建屋	精製建屋	主排気筒管理建屋	ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	非常用電源建屋	第1保管庫・貯水所	第2保管庫・貯水所	
		RC造	RC造(基礎)	RC造(一部SRC造及びFS造)	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造	RC造(一部SRC造及びFS造)	RC造	RC造	RC造
柱	一般部	不要	-	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	地下部	不要	-	不要	不要	不要	-	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	隅部	-	-	不要	不要	不要	不要	-	-	-	不要	不要	不要	不要
梁	一般部	不要	-	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	地下部	不要	-	不要	不要	不要	-	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
壁	一般部	不要	-	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	要(プール側壁)	不要	要	要
	地下部	要	-	要	要	要	-	要	要	要	要	要	要	要
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	-	-	-	-	該当無し	-	-	-
床層根	矩形	不要	-	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
基礎スラブ	矩形以外	要	要	要	要	要	-	要	要	要	要	要	要	要
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

申請回		第2回											
対象評価部位		再処理施設											
		第1軽油貯蔵所	第2軽油貯蔵所	重油貯蔵所	高レベル廃液ガラス固化建屋	使用済燃料輸送容器管理棟B(使用済燃料及び使用済燃料輸送容器保管室)	使用済燃料輸送容器管理棟B(トレーラエリア)	主排気筒基礎	安全冷却水系冷却塔A基礎	安全冷却水系冷却塔B基礎	第1非常用ディーゼル発電機用重油タンク室	冷却塔A、B基礎	燃料油貯蔵タンク基礎
		RC造	RC造	RC造	RC造(一部SRC造及びFS造)	RC造(一部SRC造及びFS造)	RC造(一部SRC造及びFS造)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)
柱	一般部	-	-	-	不要	不要	不要	-	-	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	不要	-	-	-	-	不要	-	-	-
	隅部	-	-	-	-	要	不要	-	-	-	-	-	-
梁	一般部	-	-	-	不要	不要	不要	-	-	-	-	-	-
	地下部	-	-	-	不要	-	-	-	-	不要	-	-	-
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
壁	一般部	-	-	-	②-2(冷却空気出口付近部)	不要	不要	-	-	-	-	-	-
	地下部	要	要	要	要	-	-	-	-	要	要	-	要
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	不要	不要	-	-	-	-	-	-
床層根	矩形	不要	不要	不要	不要	不要	不要	-	不要	不要	不要	-	不要
基礎スラブ	矩形以外	要	要	要	要	要	要	-	要	要	要	要	要
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	要	-	-	-	-	-

凡例 要:荷重の組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み 不要:評価不要

②-1: 応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」

②-2: 応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

□: 今回申請建屋

第 3.4-6 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認が必要な部位の抽出
(3 次元的な応答特性を踏まえたスクリーニング) (2/2)

申請回		第 2 回			第 3 回					
対象評価部位		廃棄物管理施設			再処理施設					
		ガラス固化体貯蔵建屋	ガラス固化体貯蔵建屋B棟	ガラス固化体受入れ建屋	ハル・エンドピース貯蔵建屋	制御建屋	チャンセルボックス・バーナブルボイスン処理建屋	第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟	第1ガラス固化体貯蔵建屋西棟	緊急時対策建屋
		RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部S造)	RC造	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造
柱	一般部	②-2 (冷却空気出口シャフト部)	②-2 (冷却空気出口シャフト部)	不要	不要	不要	不要	②-2 (シャフト部)	②-2 (シャフト部)	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
梁	一般部	②-2 (冷却空気出口シャフト部)	②-2 (冷却空気出口シャフト部)	不要	不要	不要	不要	②-2 (シャフト部)	②-2 (シャフト部)	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	鉄骨トラス	不要	不要	不要	—	—	—	該当無し	該当無し	—
壁	一般部	②-1 (貯蔵区域の壁) ②-2 (冷却空気出口シャフト部)	②-1 (貯蔵区域の壁)	不要	要 (プール側壁)	不要	要 (ビット側壁)	②-1 (貯蔵区域の壁) ②-2 (シャフト部)	②-1 (貯蔵区域の壁) ②-2 (シャフト部)	不要
	地下部	要	要	要	要	要	要	要	要	要
	鉄骨ブレース	—	②-2 (冷却空気出口シャフト部)	—	—	—	—	—	—	—
床壁根	矩形	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
基礎 スラブ	矩形以外	要	要	要	要	要	要	要	要	要
	矩形以外	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 要：荷重の組合せによる応答特性でのスクリーニングで抽出済み 不要：評価不要

②-1：応答特性「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」 ②-2：応答特性「加振方向以外の方向に励起される振動」

□：今回申請建屋

(5) 3次元 FEM モデルによる精査

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

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい部位」及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動の影響が大きい部位」については、下記の局所的な応答に対する評価を行っているガラス固化体貯蔵建屋の貯蔵区域の壁（応答特性②-1）及びシャフト部（応答特性②-2）を代表として3次元 FEM モデルによる精査を行った。なお、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対する3次元 FEM モデルによる精査の評価手法及び評価結果の詳細については「別紙1」に示す。

また、地震計を設置している建屋の内、偏心率の高い分離建屋とシャフト部を有し構造的に特徴のあるガラス固化体貯蔵建屋及び新設建屋の燃料加工建屋に対し、局所的な応答について、3次元 FEM モデルによる精査を行った。局所的な応答と併せて水平2方向及び鉛直方向入力による捩れ挙動についても確認を行った。なお、分離建屋及びガラス固化体貯蔵建屋における評価手法及び評価結果の詳細については、「別紙2-1」及び「別紙2-2」にそれぞれ示す。また、燃料加工建屋における評価手法及び評価結果の詳細については、「参考資料」に示す。評価の結果、水平2方向及び鉛直方向入力による応答増幅は少なく、耐震性へ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による影響評価を実施する部位は抽出されなかった。3次元 FEM モデルを用いた精査の結果を第3.4-7表に示す。

第 3.4-7 表 3次元 FEM モデルを用いた精査 (1/2)

対象		3次元的な応答特性	3次元 FEM モデルを用いた精査方法	3次元 FEM モデルを用いた精査結果	
評価部位	建物・構築物				
柱	一般部 (冷却空気出口 シャフト部)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス固化体貯蔵建屋 ・ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟 ・第 1 ガラス固化体貯蔵建屋 (東棟及び西棟) 	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	・水平 2 方向及び鉛直方向地震力による左記の対象の有する耐震性への影響は想定されないため抽出しない。	
	梁	一般部 (冷却空気出口 シャフト部)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス固化体貯蔵建屋 ・ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟 ・第 1 ガラス固化体貯蔵建屋 (東棟及び西棟) 	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	・同上
	壁	一般部 (貯蔵区域の壁)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス固化体貯蔵建屋 ・ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟 ・第 1 ガラス固化体貯蔵建屋 (東棟及び西棟) 	②-1 (面内方向の荷重に加え面外慣性力の影響が大きい)	・同上
	一般部 (冷却空気出口 シャフト部)	<ul style="list-style-type: none"> ・高レベル廃液ガラス固化建屋 ・ガラス固化体貯蔵建屋 ・第 1 ガラス固化体貯蔵建屋 (東棟及び西棟) 	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	・同上	
	鉄骨ブレース (冷却空気出口 シャフト部)	<ul style="list-style-type: none"> ・ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟 	②-2 (加振方向以外の方向に励起される振動が発生)	・同上	

注) 下線部は代表として評価する部位を示す。

第 3.4-7 表 3次元 FEM モデルを用いた精査 (2/2)

対象		3次元的な応答特性	3次元 FEM モデルを用いた 精査方法	3次元 FEM モデルを用いた 精査結果
評価部位	建物・構築物			
<u>耐震評価部位全般</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>分離建屋</u> ・ <u>ガラス固化体貯蔵建屋</u> ・ <u>燃料加工建屋</u> 	<u>局所的な応答</u>	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>水平 2 方向及び鉛直方向</u> <u>入力時の応答の水平 1 方</u> <u>向入力時の応答に対する</u> <u>増分が小さいことを確認</u> <u>する。</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・ <u>水平 2 方向及び鉛直方向地</u> <u>震力による左記の対象の有</u> <u>する耐震性への影響は想定</u> <u>されないため抽出しない。</u>

3.5 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のうち、代表として影響評価を行うものを第3.5-1表に示す。

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、ガラス固化体貯蔵建屋B棟の隅柱を代表として水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。また、建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を有している使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の基礎スラブ及び屋外機械基礎として安全冷却水B冷却塔の基礎スラブを代表として水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。また、燃料加工建屋についても新設建屋であることから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」としては、施設の重要性及び構造特性を考慮し、耐震Sクラスであり、上部に床などの拘束がなく、面外荷重（スロッシングによる動水圧等）が作用する使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の燃料貯蔵プールの壁を代表として、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

(2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出

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

基礎スラブは、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより応力が集中する部位であり、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

燃料貯蔵プールの壁は、燃料貯蔵プールの形状が整形で、地震力の負担について壁は方向性を持っており、また、建屋全体としても剛性の高い構造となっていることから、ねじれ挙動の可能性は低く水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響がないため、機器・配管系への影響の可能性はない。

第3.5-1表 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響について
代表して影響評価を行う部位

応答特性	耐震評価部位		対象建物・構築物
	柱	隅部	
①-1			<u>・ガラス固化体貯蔵建屋B棟</u>
	基礎スラブ	矩形	<u>・使用済燃料受入れ・貯蔵建屋</u> <u>・安全冷却水B冷却塔の基礎</u> <u>・燃料加工建屋</u>
①-2	壁	面外荷重作用部	<u>・使用済燃料受入れ・貯蔵建屋</u> <u>（燃料貯蔵プール）</u>

凡例 ①-1：応答特性「直交する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」

4. 対象建屋の図面

「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結果」において、「建物・構築物における水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価部位の抽出」のプロセスに用いた対象建物の図面を第 4. -1 図及び第 4. -2 図に記載する。

なお、上記にて評価部位として抽出されなかった部位の考え方を第 4. -1 表に示す。

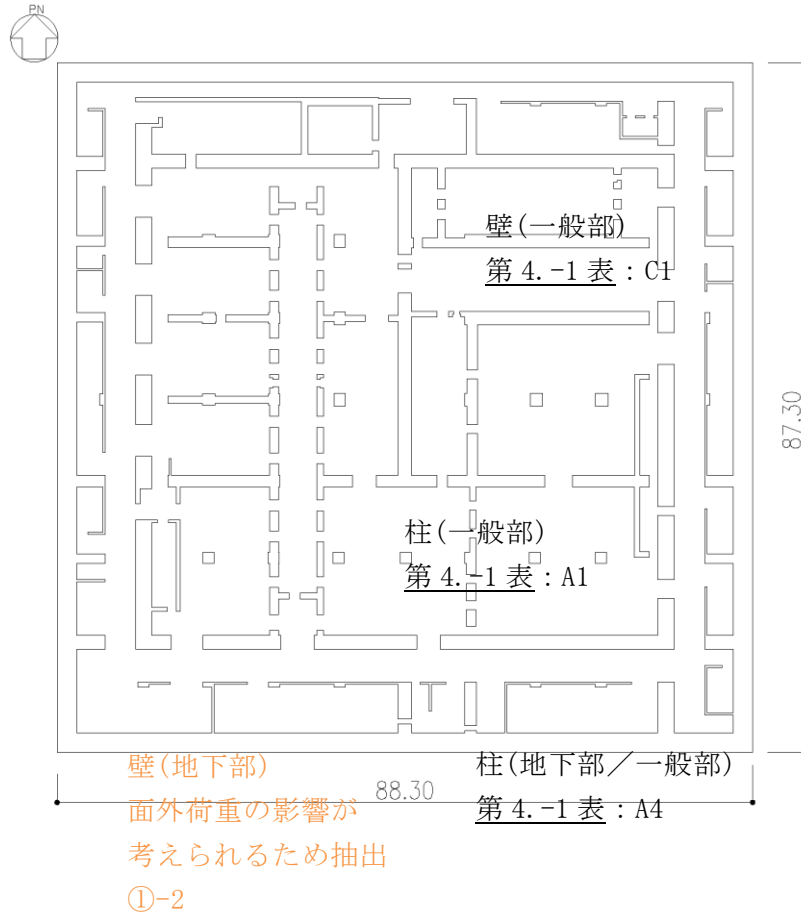
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



第4.-1図 燃料加工建屋の概略平面図 (T.M.S.L. 35.00m) (1/7)

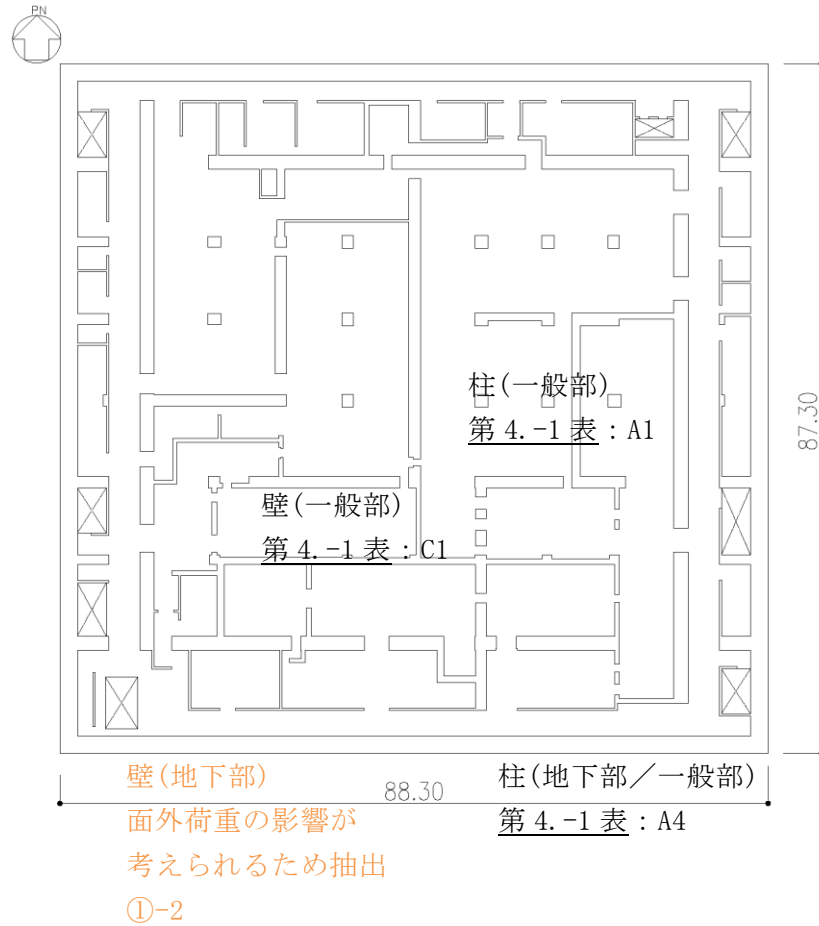
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 4. -1 図 燃料加工建屋の概略平面図 (T. M. S. L. 43. 20m) (2/7)

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位:m)
注記: 建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 4. -1 図 燃料加工建屋の概略平面図 (T. M. S. L. 50. 30m) (3/7)

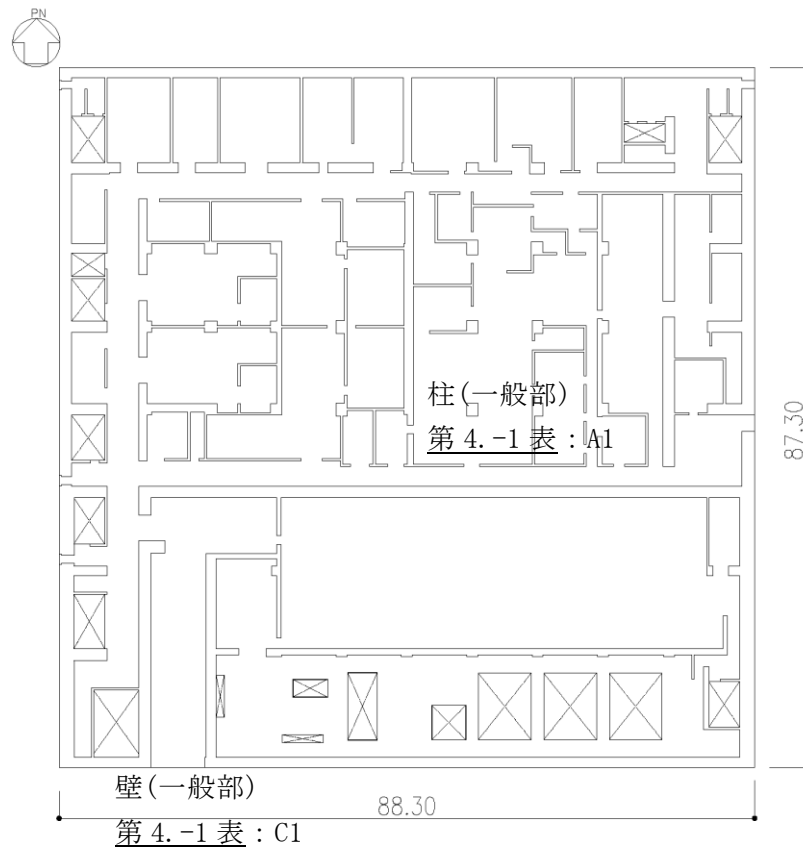
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 4. -1 図 燃料加工建屋の概略平面図 (T. M. S. L. 56. 80m) (4/7)

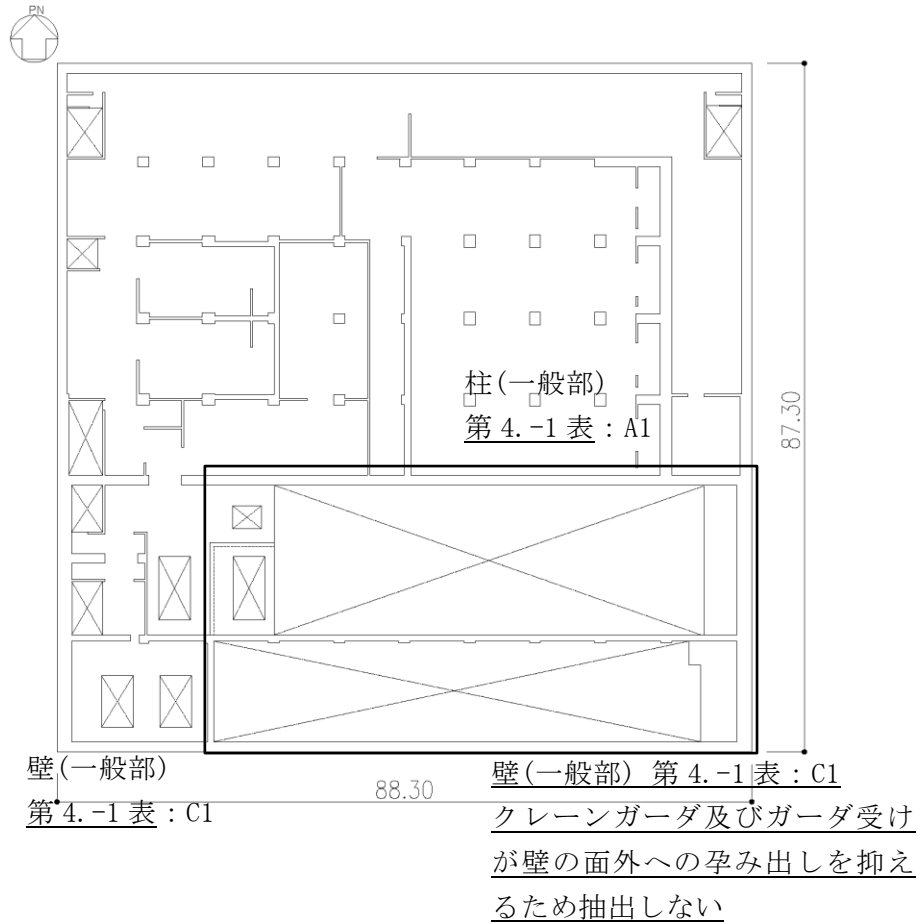
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第4.-1図 燃料加工建屋の概略平面図 (T. M. S. L. 62.80m) (5/7)

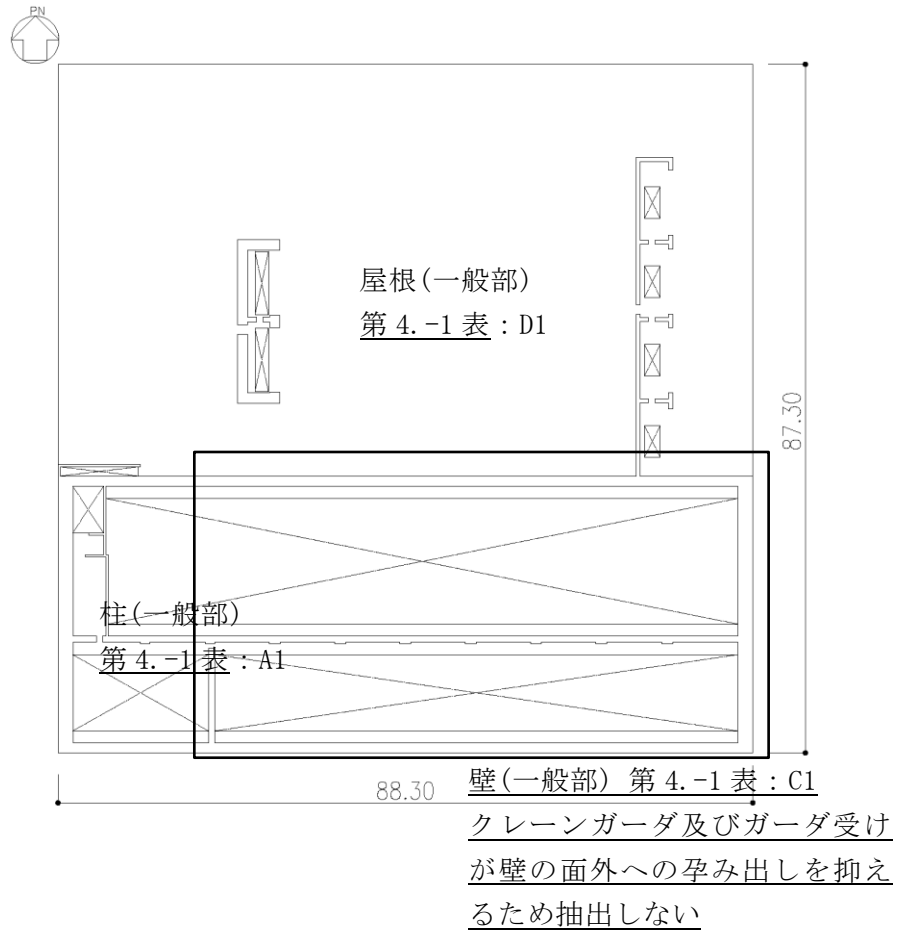
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位:m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第4.-1図 燃料加工建屋の概略平面図 (T.M.S.L. 70.20m) (6/7)

赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第4.-1図 燃料加工建屋の概略平面図 (T. M. S. L. 77.50m) (7/7)

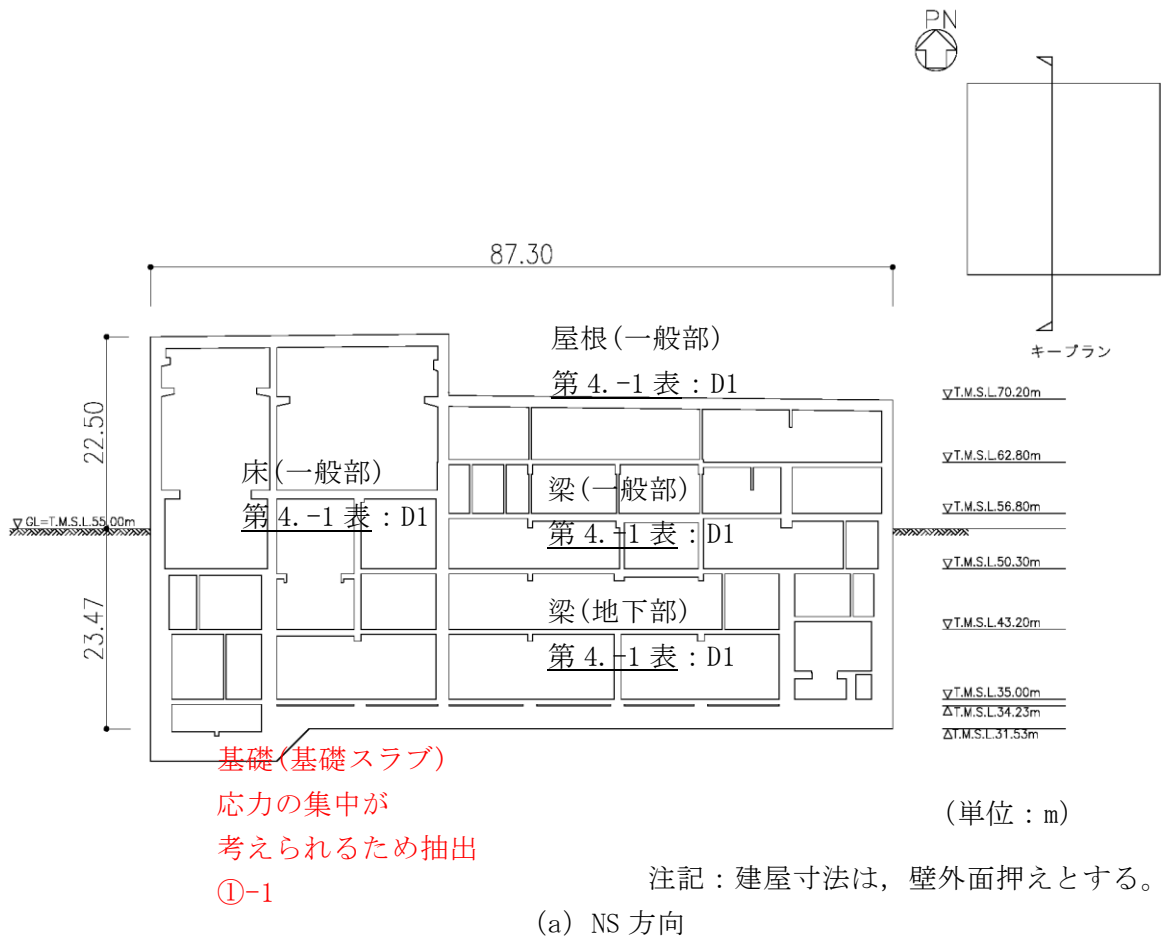
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



第 4.-2 図 燃料加工建屋の概略断面図 (1/2)

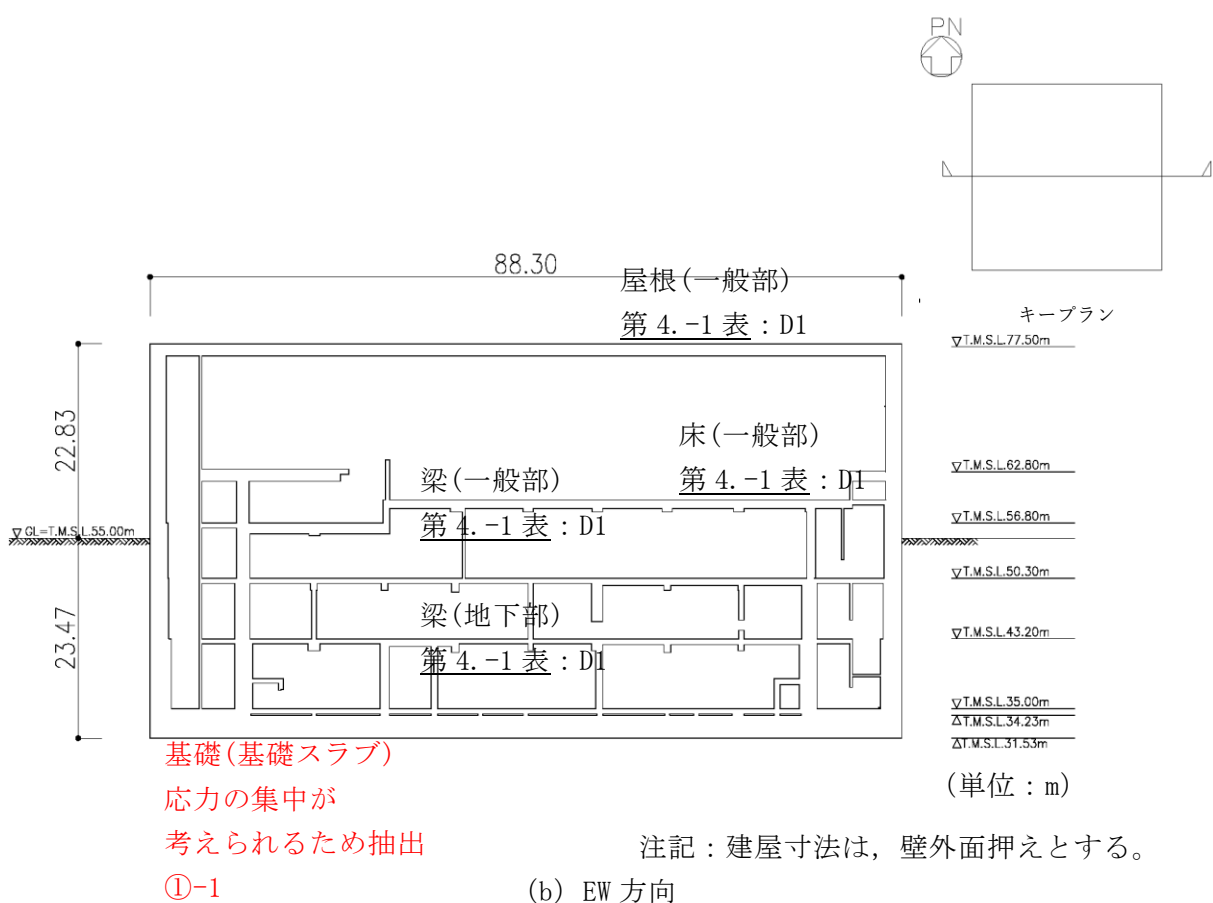
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



第 4.-2 図 燃料加工建屋の概略断面図 (2/2)

第 4.-1 表 評価部位から除外する基本的な考え方 (1/2)

記号	部位		①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 振れ
A1	柱	一般部 (RC 部)	・中柱は応力が集中することなく該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・壁付柱は地震力のほとんどを耐震壁が負担しており該当しない ・独立柱自身の慣性力により影響が生じるような階高を有する柱はないため該当しない	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており該当しない
A2		一般部 (S 部) ブレース構造	・中柱は応力が集中することなく該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・地震力のほとんどをブレースが負担しており該当しない	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており該当しない
A3		隅部	・耐震壁付の柱は、応力集中が懸念される軸力が耐震壁に分散されることで影響が小さいと考えられるため該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・壁付柱は地震力のほとんどを耐震壁が負担しており該当しない	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており該当しない
A4		地下部 (一般部, 隅部)	・中柱は応力が集中することなく該当しない ・耐震壁付の隅柱は、応力集中が懸念される軸力が耐震壁に分散されることで影響が小さいと考えられるため該当しない	・地下外周部が考えられるが、外周部柱は基本的には梁等に接続しており、土圧はそのまま梁等に伝達されるため該当しない	・地震力のほとんどを耐震壁が負担しており該当しない	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており該当しない

第 4.-1 表 評価部位から除外する基本的な考え方 (2/2)

記号	部位		①-1 応力集中	①-2 面外荷重	②-1 面外慣性力	②-2 振れ
B1	梁	一般部	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向からの変形を抑制することから該当しない	・剛性の高い床が付帯しているため該当しない
B2		地下部	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・地下外周部が考えられるが、吹抜けがないことから、外周部梁はすべて剛性が高いスラブに接続しており、土圧はそのままスラブに伝達されるため該当しない	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向からの変形を抑制することから該当しない	・剛性の高い床が付帯しているため該当しない
B3		鉄骨トラス	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・上弦材を屋根床に、下弦材を振れ止めにより拘束されており、面外方向への変形を抑制しているため該当しない	・剛性の高い床が付帯しているため該当しない
C1	壁	一般部	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・水平及び鉛直方向に大スパンの壁以外は該当しない ・ <u>面外への振動を抑制する部材が存在するため該当しない</u>	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており該当しない
C2		鉄骨ブレース	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・軽量の鉄骨トラス部材で構成されており該当しない	・釣り合いよく鉄骨ブレースが配置された構造計画を行っており該当しない
D1	床屋根	一般部	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・積載荷重等従来から面外荷重を考慮しており、今回の抽出プロセスで該当しない	・面外慣性力は付帯する梁や鉄骨トラスで負担することから、振れの影響が大きいと考えられる床以外は該当しない	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており該当しない

参考資料

3次元 FEM モデルによる地震応答解析 (燃料加工建屋)

目 次

1. 概要	(参考) -1
2. 検討概要	(参考) -2
2.1 構造概要	(参考) -2
2.2 3次元FEMモデルによる耐震性評価の方針	(参考) -11
3. 建屋3次元FEMモデルの構築	(参考) -13
3.1 燃料加工建屋の3次元FEMモデル	(参考) -13
3.2 固有値解析	(参考) -16
4. 3次元FEMモデルによる評価	(参考) -19
4.1 地震応答解析の概要	(参考) -19
4.2 建屋応答性状の把握	(参考) -24
4.3 建屋耐震評価への影響検討	(参考) -46
4.4 床応答への影響検討	(参考) -70
5. まとめ	(参考) -74

1. 概要

本資料は、補足説明資料本文にて述べている、燃料加工建屋における局所的な応答に対する 3 次元 FEM モデルによる精査についての評価手法及び評価結果の詳細について示すものである。

本資料では、燃料加工建屋に対して 3 次元 FEM モデルを作成し、建屋の 3 次元的な応答性状の確認を行う。また、3 次元的な挙動が建屋及び機器・配管系へ及ぼす影響の確認を行う。

2. 検討概要

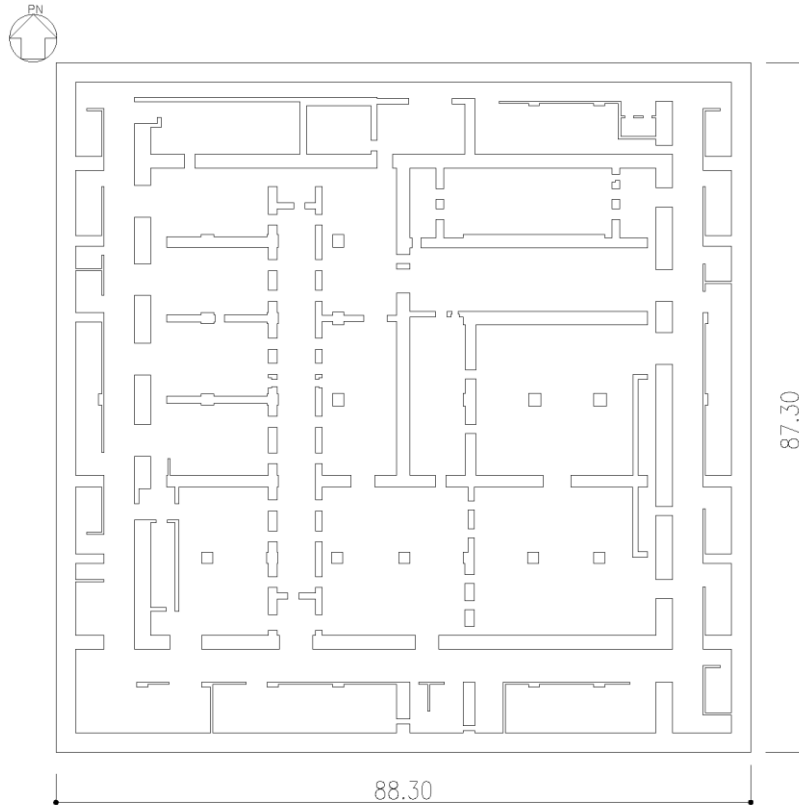
建屋の 3 次元的応答性状の把握及び質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認の観点から、燃料加工建屋について 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行い、建屋の局所的な応答を検討する。また、3 次元 FEM モデルによる挙動が、建屋及び機器・配管系の有する耐震性に及ぼす影響を検討する。

2.1 構造概要

本建屋は、地下3階、地上2階建で、主体構造は鉄筋コンクリート造である。平面規模は主要部分で87.30m(NS)×88.30m(EW)であり、建屋の高さは基礎スラブ下端から45.97mである。

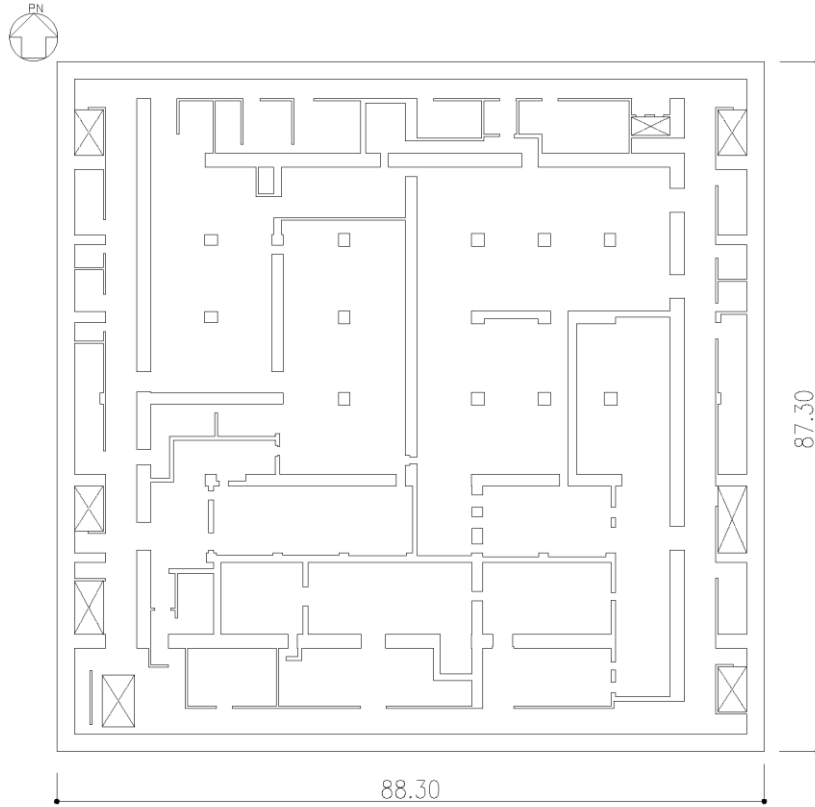
本建屋の主要耐震要素は、鉄筋コンクリート造の外壁及び一部の内壁である。また、基礎スラブはマンメイドロックを介して岩盤に設置されている。

燃料加工建屋の概略平面図を第2.1-1図に、概略断面図を第2.1-2図に示す。



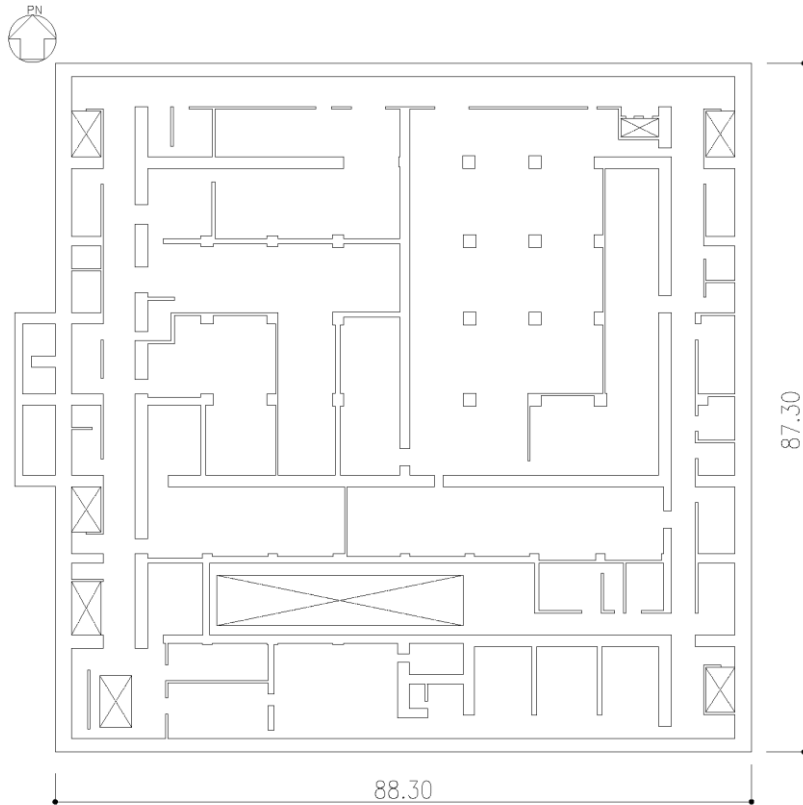
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 35.00m) (1/7)



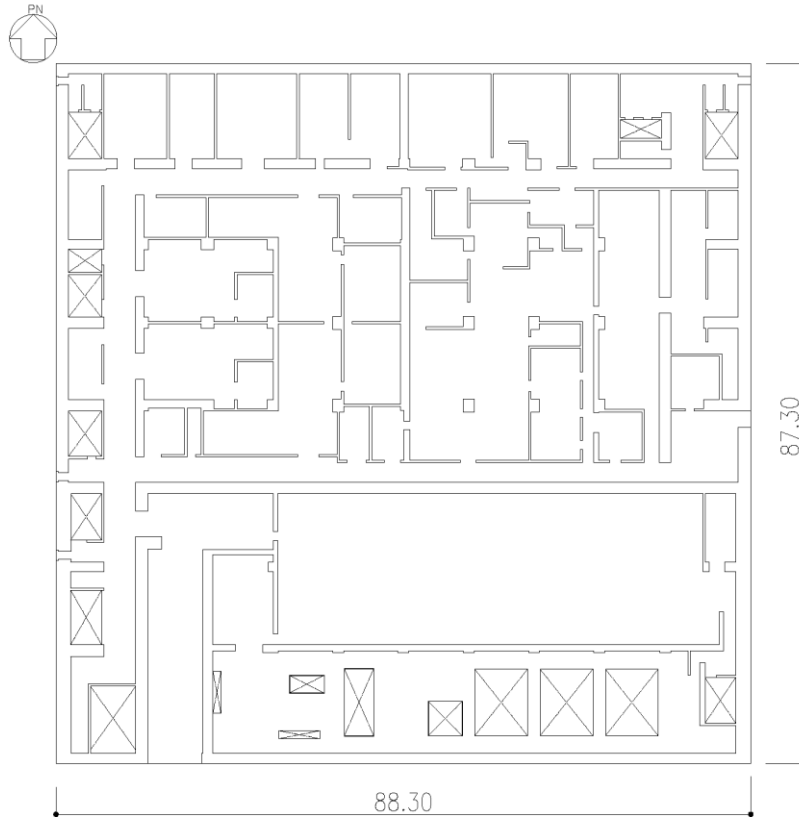
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 2.1-1 図 概略平面図 (T. M. S. L. 43.20m) (2/7)



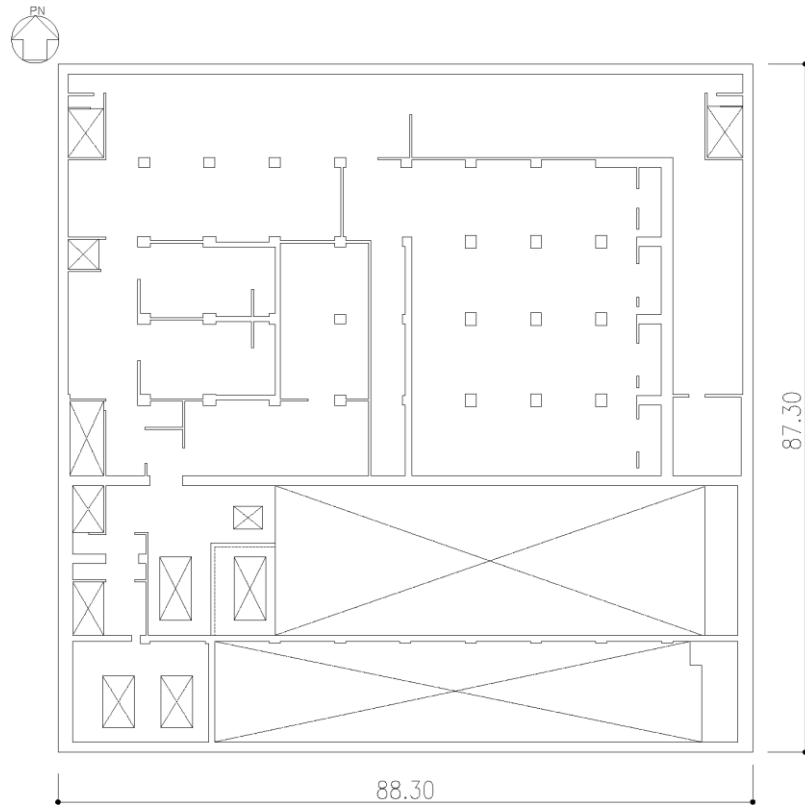
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 2.1-1 図 概略平面図 (T. M. S. L. 50.30m) (3/7)



(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

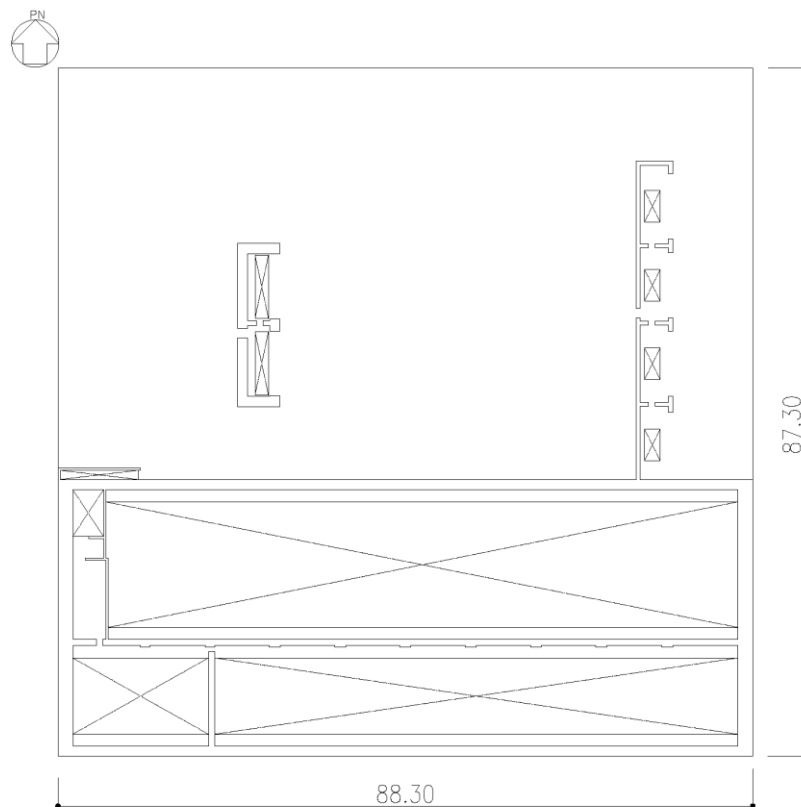
第 2.1-1 図 概略平面図 (T. M. S. L. 56.80m) (4/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

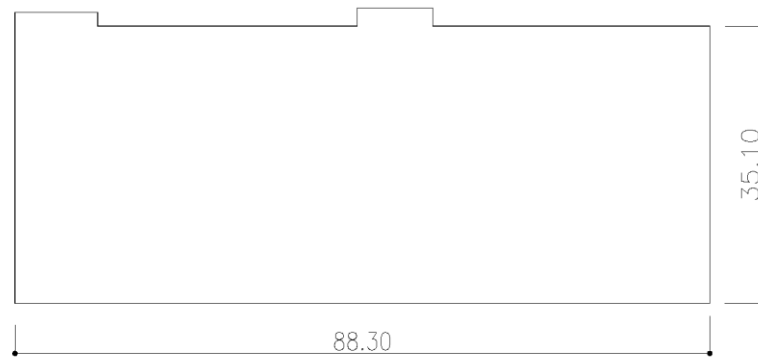
第 2.1-1 図 概略平面図 (T. M. S. L. 62.80m) (5/7)



(単位：m)

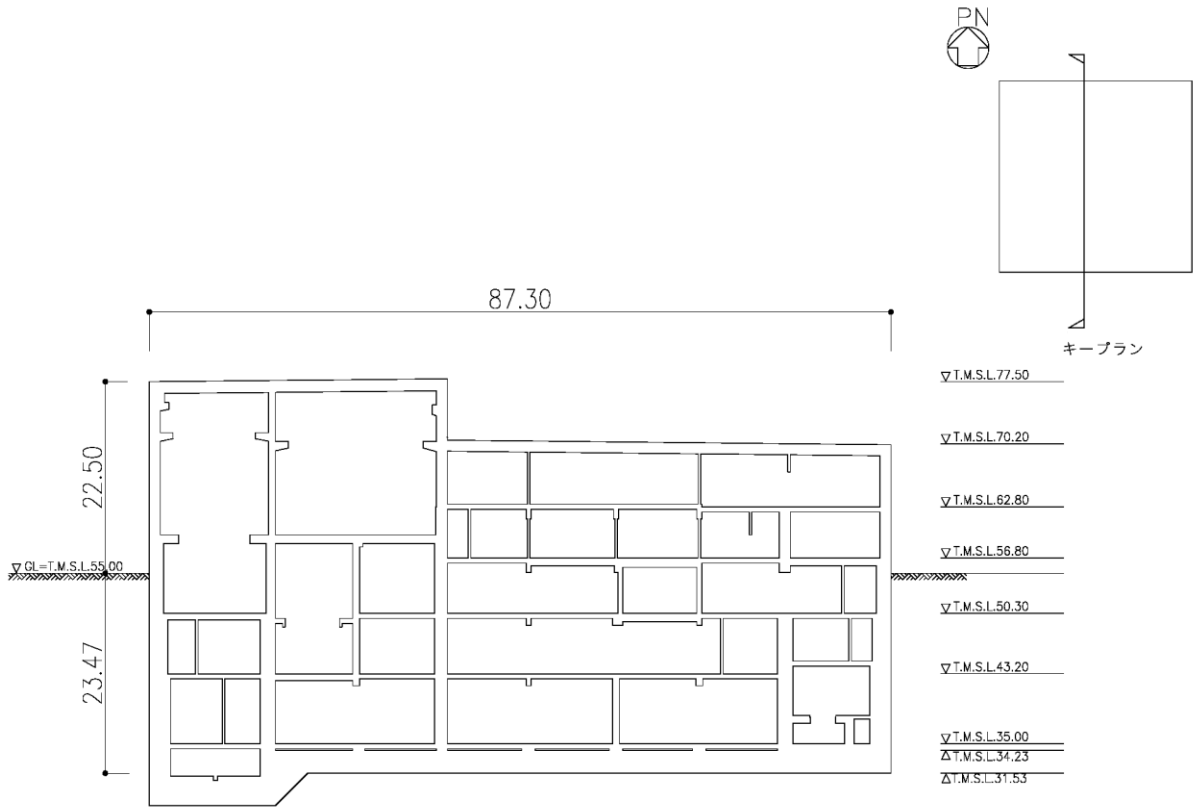
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 2.1-1 図 概略平面図 (T. M. S. L. 70.20m) (6/7)



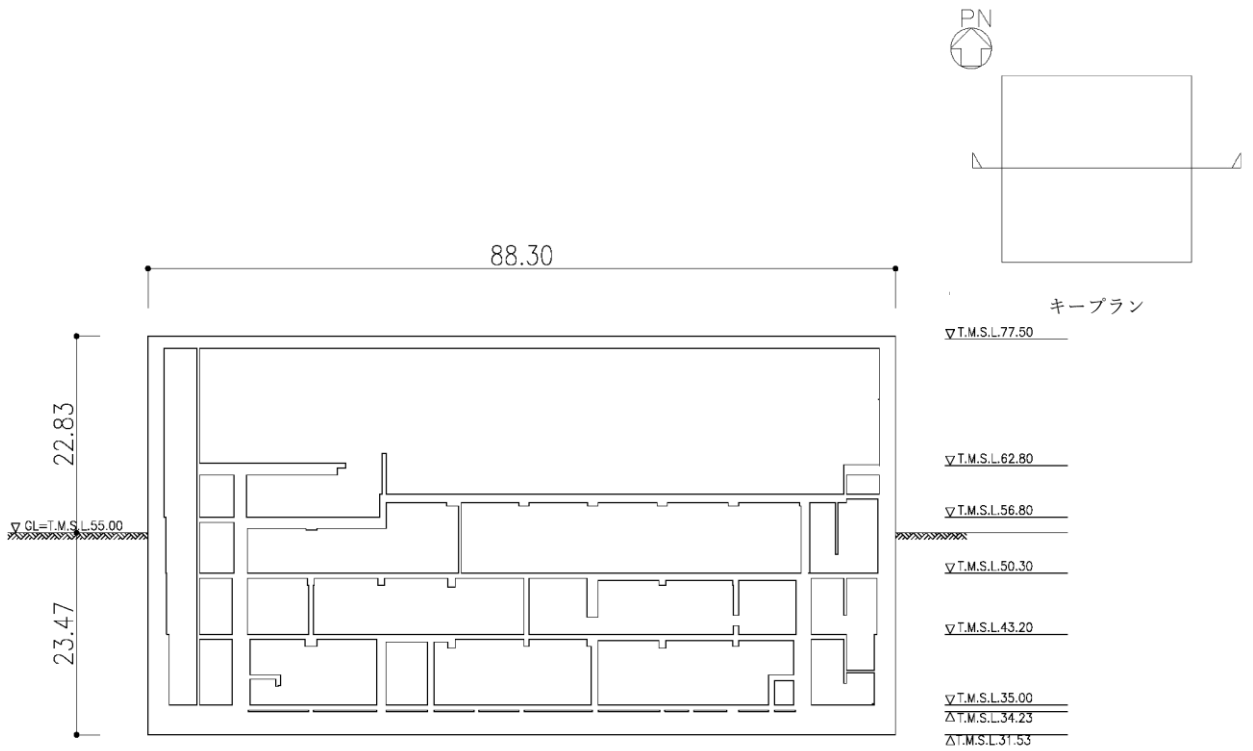
(単位：m)
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 2.1-1 図 概略平面図 (T. M. S. L. 77.50m) (7/7)



(a) NS 方向

(単位 : m)



(b) EW 方向

(単位 : m)

第 2.1-2 図 概略断面図

(参考) -10

2.2 3次元 FEM モデルによる耐震性評価の方針

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

検討においては、まず建屋の応答性状の把握として、質点系モデルでは表現できない応答を考慮するために、3 次元 FEM モデルと質点系モデルでの床、壁及び地盤ばねのモデル化手法の違いに着目した。

床は 3 次元 FEM モデルではシェル要素で平面的にモデル化するが、質点系モデルでは剛床仮定の下に質点重量としてモデル化している。そのため、3 次元 FEM モデルでは床平面に床の柔性による 3 次元的な挙動が生じるが、質点系モデルでは生じない。

壁は 3 次元 FEM モデルでは床平面上に適切な位置にシェル要素でモデル化するが、質点系モデルでは床としてモデル化した質点重量間に梁要素として集約してモデル化している。そのため、床と壁を 3 次元的にモデル化する 3 次元 FEM モデルでは鉛直軸回りにねじれ振動が生じるが、質点系モデルでは生じない。

地盤ばねは 3 次元 FEM モデルでは建屋外周部にばね要素としてばね値を離散化してモデル化するが、質点系モデルでは床の質点重量にばね値をそのままモデル化している。そのため、基礎に平面的な広がりを持っており、ばね値を離散化してモデル化する 3 次元 FEM モデルでは、底面のロッキング振動による回転軸からの距離に応じた鉛直応答が生じるが、質点系モデルでは生じない。

上記の 3 次元的な応答を確認するため、まず建屋の実状を模擬したモデルとして、床の柔性を考慮し、地盤のモデル化に相互作用を考慮し、コンクリート強度として実強度を用いた建屋模擬モデルを作成した。

次に、地盤ばねのモデル化手法の違いによるロッキング振動による鉛直応答の影響を確認するため、建屋模擬モデルにおける「相互作用考慮」を、基礎下の節点の鉛直自由度を拘束することで「基礎下鉛直方向拘束」に変更した比較用モデル 1 を作成した。

また、床のモデル化手法の違いによる床の柔性による 3 次元的な挙動の影響を確認するために、建屋模擬モデルにおける床のモデル化「床柔」を、床の材料物性値を十分大きくすることで「床剛」に変更した比較用モデル 2 を作成した。

最後に、建屋及び機器・配管系への耐震評価で使用する応答補正比率を算出するため、質点系モデルに対応した質点系対応モデルを作成した。

解析モデルのケースを第 2.2-1 表に示す。

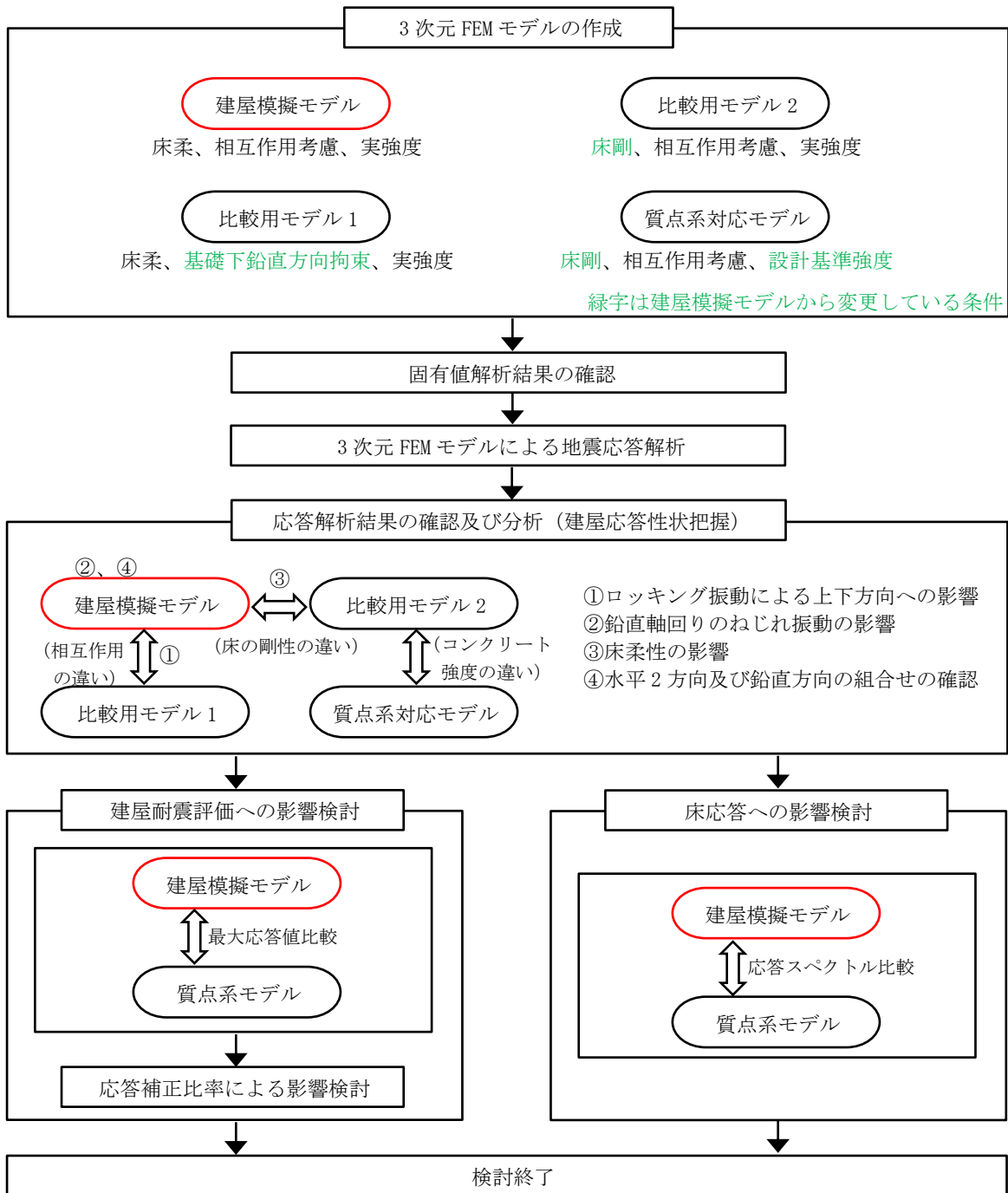
これら 4 ケースについて、固有値解析及び地震応答解析を実施し、その結果を比較することにより、全体的な 3 次元的な応答特性、ロッキング振動の影響、ねじれの影響及び床の剛性の影響について検討を実施する。また、建屋模擬モデル及び質点系モデルの応答を比較し、建屋及び機器・配管系への耐震評価を実施する。

3 次元 FEM モデルによる耐震性評価フローを第 2.2-1 図に示す。

解析には「MSC Nastran ver. 2012. 1. 0」を用いる。

第 2.2-1 表 解析モデルのケース

モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	実強度
比較用モデル 1	床柔	基礎下鉛直方向拘束	実強度
比較用モデル 2	床剛	相互作用考慮	実強度
質点系対応モデル	床剛	相互作用考慮	設計基準強度



○: 検討対象モデル

第 2.2-1 図 3次元 FEM モデルによる耐震評価フロー

3. 建屋 3次元 FEM モデルの構築

3.1 燃料加工建屋の 3次元 FEM モデル

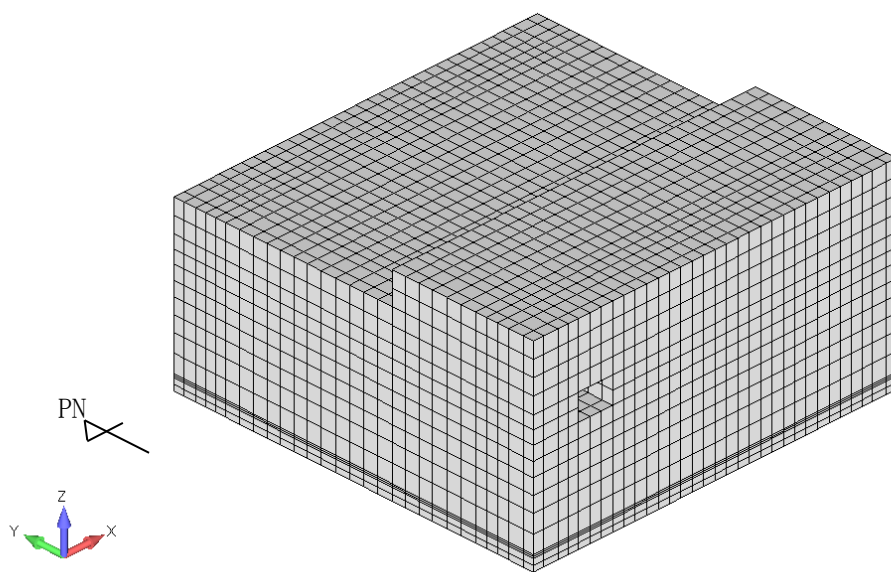
燃料加工建屋の 3次元 FEM モデルを構築する。解析モデルを第 3.1-1 図に示す。

壁及び床はシェル要素，柱及び梁は梁要素，基礎はソリッド要素とする。解析モデルの節点数は 11341，要素数は 11842 である。要素の大きさは，質点系モデルの質点位置と対応する位置に節点を設け，高さ方向及び水平方向で 2～3m 程度とする。

使用材料及び地盤の物性値をそれぞれ第 3.1-1 表及び第 3.1-2 表に示す。コンクリート強度は，建屋模擬モデル，比較用モデル 1 及び比較用モデル 2 に対しては実強度を，質点系対応モデルに対しては，設計基準強度を用いるものとする。なお，コンクリートの実強度については，既認可での使用前検査の実績である，基礎スラブ及び地下 3 階壁・柱等のコンクリートの圧縮強度試験結果の平均値とし，モデル全体に適用した。

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

建屋－地盤の相互作用は，添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの弾性設計用地震動 S_d での基礎底面地盤ばね及び側面地盤ばねと整合するよう地盤をばね要素でモデル化することで考慮する。基礎底面地盤ばねについては，質点系モデルで考慮したスウェイ，ロッキング及び鉛直ばねの値をもとに，3次元 FEM モデルの基礎底面の各節点位置に支配面積に応じて離散化する。ただし，鉛直ばねのうち水平方向加振用は，基礎底面回転ばねをもとに設定する。側面の地盤ばねについては，質点系モデルで考慮している側面水平ばねの値をもとに，各質点レベルに対応する各節点位置に要素面積に応じて離散化する。



第 3.1-1 図 解析モデル

第 3.1-1 表 使用材料の物性値

部位		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	設計基準強度	24.0	2.44×10^4	3.0
	実強度	24.0	2.77×10^4	3.0

第 3.1-2 表 地盤の物性値

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	S波速度 V_s (m/s)	P波速度 V_p (m/s)	減衰定数 h
造成盛土	*1	*2	*2	*3
48.6				
六ヶ所層	17.0	*4	*4	*5
▽基礎スラブ底面				
31.53	15.7	580	1710	0.03
23.0	15.3	740	1870	
鷹架層				
-18.0	17.4	890	2030	
▽解放基盤表面				
-70.0	18.1	930	2050	

*1：造成盛土の単位体積重量 γ_t は $\gamma_t = 16.3 + 0.0324D_p$ (kN/m³) から設定する。

ここで、 D_p は地表面からの深さ (m) を示す。

*2：造成盛土の速度構造 V_s 、 V_p は初期せん断剛性 $G_0 = 32400 + 4020D_p$ (kN/m²) 及び剛性低下率

$G/G_0 = 1/(1 + 9.27\gamma^{0.992})$ から、下式にて設定する。

$$V_s = \sqrt{(G/\gamma_t) \times g}, \quad V_p = \sqrt{(G/\gamma_t) \times g \times 2(1-\nu)/(1-2\nu)}$$

ここで、 γ は造成盛土のせん断ひずみを示す。

また、 ν は造成盛土のポアソン比を示し、 $\nu = 0.42$ である。

*3：造成盛土の減衰定数はひずみ依存特性を考慮し、下式にて設定する。

$$h = \gamma / (0.0438\gamma + 0.0150) + 1.74$$

ここで、 γ は造成盛土のせん断ひずみを示す。

*4：六ヶ所層の速度構造 V_s 、 V_p は初期せん断剛性 $G_0 = 303000$ (kN/m²) 及び剛性低下率

$G/G_0 = 1/(1 + 5.91\gamma^{0.758})$ から、下式にて設定する。

$$V_s = \sqrt{(G/\gamma_t) \times g}, \quad V_p = \sqrt{(G/\gamma_t) \times g \times 2(1-\nu)/(1-2\nu)}$$

ここで、 γ は六ヶ所層のせん断ひずみを示す。

また、 ν は六ヶ所層のポアソン比を示し、 $\nu = 0.41$ である。

*5：六ヶ所層の減衰定数はひずみ依存特性を考慮し、下式にて設定する。

$$h = \gamma / (0.0829\gamma + 0.00582) + 1.18$$

ここで、 γ は六ヶ所層のせん断ひずみを示す。

3.2 固有値解析

建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度），比較用モデル1（床柔，基礎下鉛直方向拘束，実強度），比較用モデル2（床剛，相互作用考慮，実強度）及び質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮，設計基準強度）の4つの解析モデルケースについて，固有値解析を実施し，各モデルの妥当性を確認する。

各モデルの固有値解析結果を第3.2-1表に示す。また，質点系モデルと建屋模擬モデルの1次の固有モード図を第3.2-2表に示す。

建屋模擬モデルと比較用モデル1とでは，モデル設定において，鉛直方向の建屋－地盤相互作用の考慮の有無に差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，建屋－地盤相互作用を考慮した建屋模擬モデルの方が，比較用モデル1よりも固有振動数が小さくなる傾向である。

建屋模擬モデルと比較用モデル2とでは，モデル設定において，床を柔とするか剛とすることに差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，床を剛とした比較用モデル2の方が建屋模擬モデルよりも固有振動数が大きくなる傾向である。

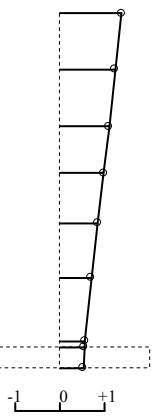
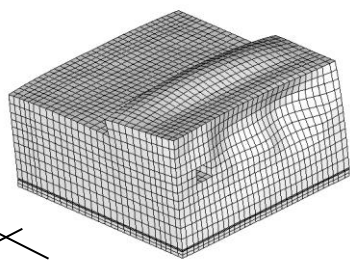

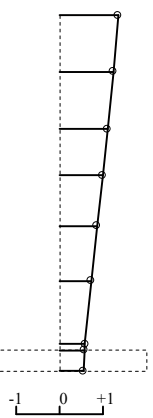
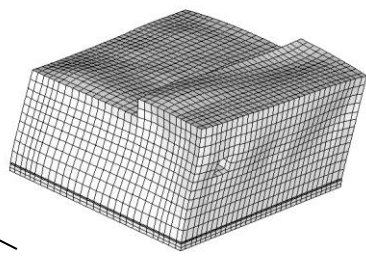

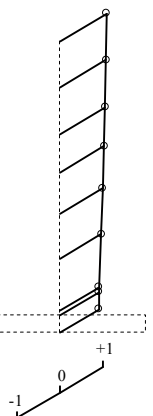
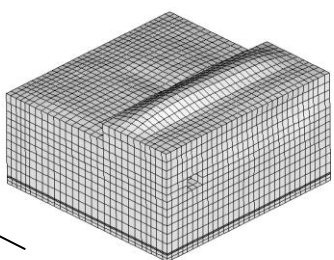

比較用モデル2と質点系対応モデルとでは，モデル設定において，コンクリートの強度に差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，コンクリートの強度を設計基準強度とした質点系対応モデルの方が比較用モデル2よりも固有振動数が小さくなる傾向である。

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

第3.2-1表 固有値解析結果

方向	振動数 (Hz)				
	建屋模擬 モデル	比較用 モデル 1	比較用 モデル 2	質点系対応 モデル	質点系 モデル
NS	3.15	3.42	3.33	3.29	3.24
EW	3.18	3.45	3.36	3.32	3.28
UD	4.90	-	5.05	5.02	5.02

第 3.2-2 表 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較

方向	質点系モデル	建屋 3 次元 FEM モデル
NS	<p>T.M.S.L. (m)</p> <p>77.50m</p> <p>70.20m</p> <p>62.80m</p> <p>56.80m</p> <p>50.30m</p> <p>43.20m</p> <p>35.00m</p> <p>34.23m</p> <p>31.53m</p>  <p>3.24Hz</p>	 <p>PN</p>  <p>アホ-ブホ-セホ- Mode 1, 3.146395 Hz 変形(0.00255). Total Translation</p> <p>3.15Hz</p>
EW	<p>T.M.S.L. (m)</p> <p>77.50m</p> <p>70.20m</p> <p>62.80m</p> <p>56.80m</p> <p>50.30m</p> <p>43.20m</p> <p>35.00m</p> <p>34.23m</p> <p>31.53m</p>  <p>3.28Hz</p>	 <p>PN</p>  <p>アホ-ブホ-セホ- Mode 2, 3.175812 Hz 変形(0.00270). Total Translation</p> <p>3.18Hz</p>
UD	<p>T.M.S.L. (m)</p> <p>77.50m</p> <p>70.20m</p> <p>62.80m</p> <p>56.80m</p> <p>50.30m</p> <p>43.20m</p> <p>35.00m</p> <p>34.23m</p> <p>31.53m</p>  <p>5.02Hz</p>	 <p>PN</p>  <p>アホ-ブホ-セホ- Mode 5, 4.897257 Hz 変形(0.005689). Total Translation</p> <p>4.90Hz</p>

4. 3次元FEMモデルによる評価

4.1 地震応答解析の概要

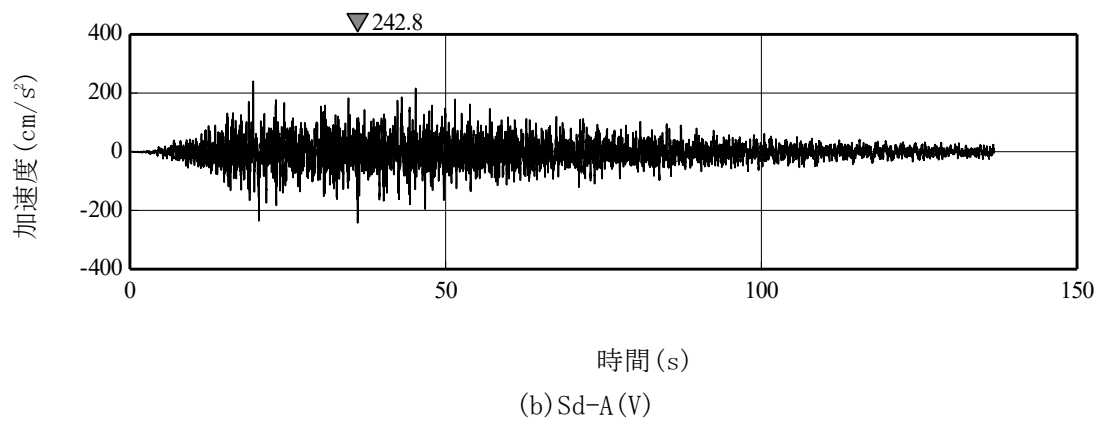
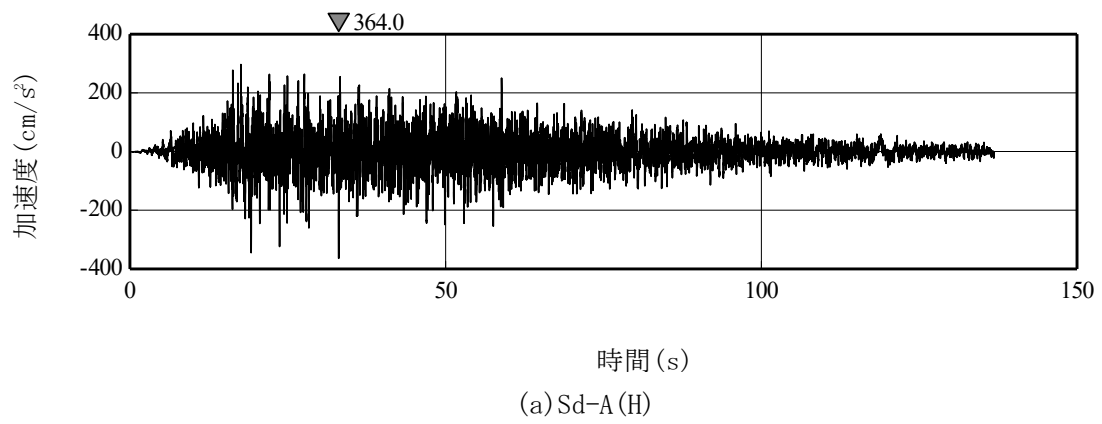
燃料加工建屋の3次元的な応答性状を把握し、それらが建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討するため、建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度），比較用モデル1（床柔，基礎下鉛直方向拘束，実強度），比較用モデル2（床剛，相互作用考慮，実強度），質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮，設計基準強度）の4つの3次元FEMモデルを用いて，弾性設計用地震動Sdに対する地震応答解析を実施する。

3次元FEMモデルによる地震応答解析は周波数応答解析とし，弾性応答解析としていることから，地震動は弾性設計用地震動Sdの内，広帯域に周期成分を持つSd-Aを用いる。ただし，「4.3 (3) 3次元的な応答特性（応答補正比率）を考慮した建屋影響検討」においては，建屋への影響の大きいSd-C1を用いることとする。これらの地震動に対する建屋基礎底面及び側面地盤ばねレベルでの地盤の応答を，地盤ばねを介して入力し，3次元的な応答性状の把握を行う。

入力地震動Sd-Aの加速度時刻歴波形を第4.1-1図に，加速度応答スペクトルを第4.1-2図に示す。

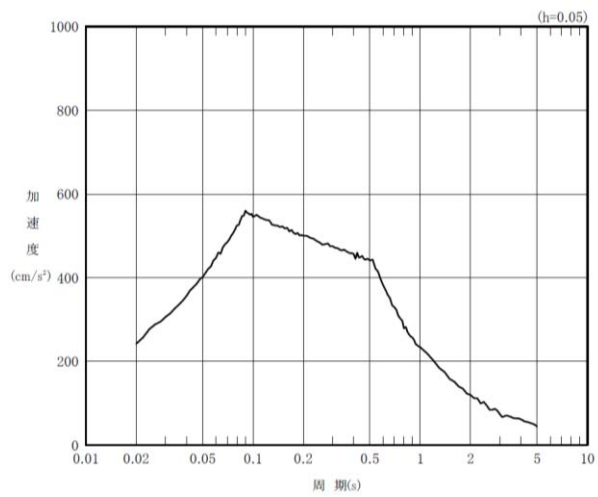
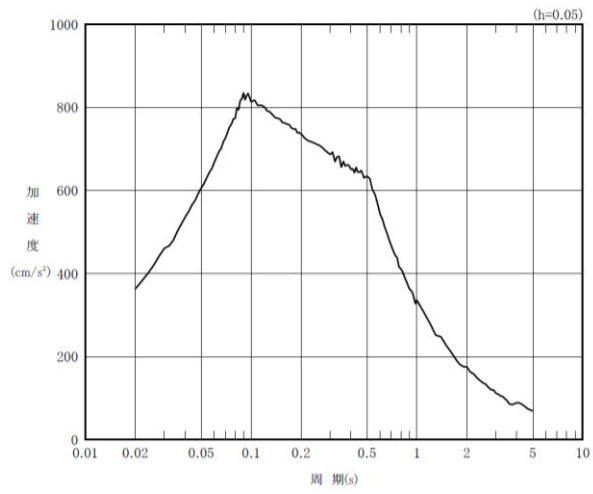
3次元FEMモデルによる地震応答解析は，NS方向，EW方向及び鉛直方向の各々に対して行う。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する際には，各方向に入力して得られた各成分の応答を時刻歴で足し合わせるにより算出する。

3次元FEMモデルの応答評価位置を第4.1-3図，3次元FEMモデルの評価点に対応する質点系モデルの質点を第4.1-4図に示す。



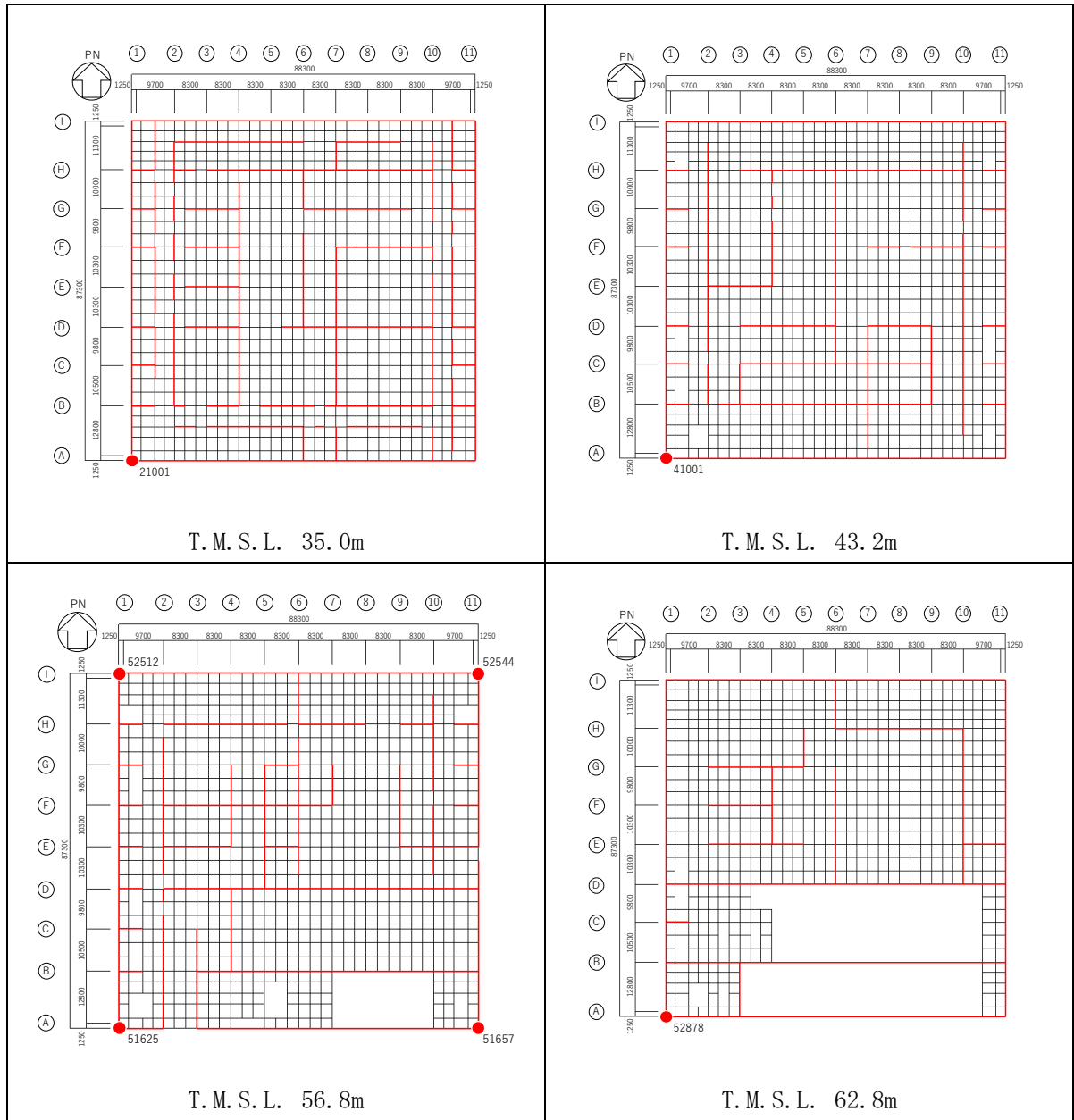
注記：「H」は水平方向、「V」は鉛直方向を示す。

第 4.1-1 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度時刻歴波形



注記：「H」は水平方向，「V」は鉛直方向を示す。

第 4.1-2 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度応答スペクトル



第 4.1-3 图 応答評価位置

(単位：m)

T.M.S.L. 77.50

T.M.S.L. 70.20

T.M.S.L. 62.80

T.M.S.L. 56.80

T.M.S.L. 50.30

T.M.S.L. 43.20

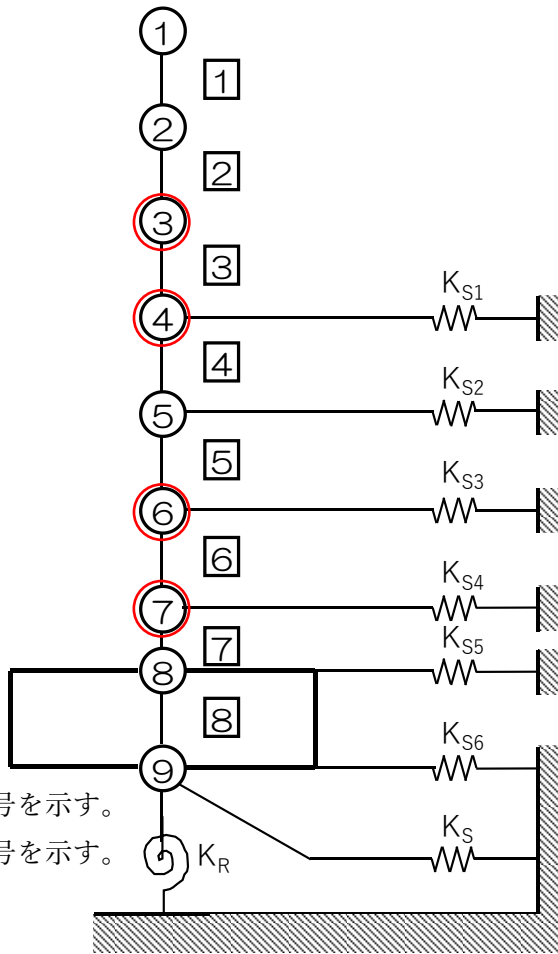
T.M.S.L. 35.00

T.M.S.L. 34.23

T.M.S.L. 31.53

注記 1：○数字は質点番号を示す。

注記 2：□数字は要素番号を示す。



○：対応質点

第 4.1-4 図 3次元 FEM モデルの評価点に対応する質点系モデルの質点

4.2 建屋応答性状の把握

建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度），比較用モデル1（床柔，基礎下鉛直方向拘束，実強度）及び，比較用モデル2（床剛，相互作用考慮，実強度）の3つの3次元FEMモデルを用いて，第2.2-1図の評価フローに基づき，建屋応答性状の把握を行う。

具体的には，以下の(1)～(4)の応答性状について，分析・考察する。

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

(1) 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響

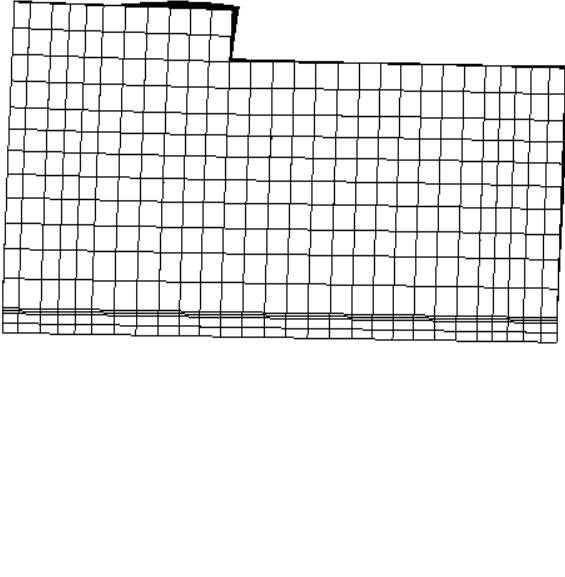
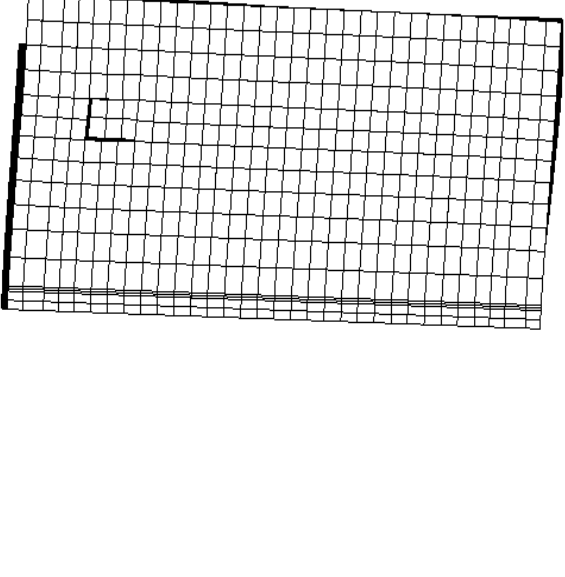
基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響については，ロッキング振動を考慮している建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度）及びロッキング振動を考慮していない比較用モデル1（床柔，基礎下鉛直方向拘束，実強度）の鉛直方向応答を比較することで検討する。鉛直方向の応答を比較するため，地震動は弾性設計用地震動 Sd-A を水平1方向及び鉛直方向に入力する。

応答比較に用いる評価点はロッキング振動の影響が出やすいと考えられる建屋端部の評価点 No. 21001 (T. M. S. L. 35.0m) を抽出した。評価点 No. 21001 は，ロッキング振動の影響が現れる部位であり，比較用モデル1は基礎下鉛直方向を拘束しているため，基礎のロッキング振動は発生しないことから，建屋模擬モデルと比較用モデル1を比較することにより，基礎のロッキング振動の影響について考察する。また，建屋模擬モデルによるロッキング振動の1次の振動モードが得られる固有振動数も踏まえて考察を行う。

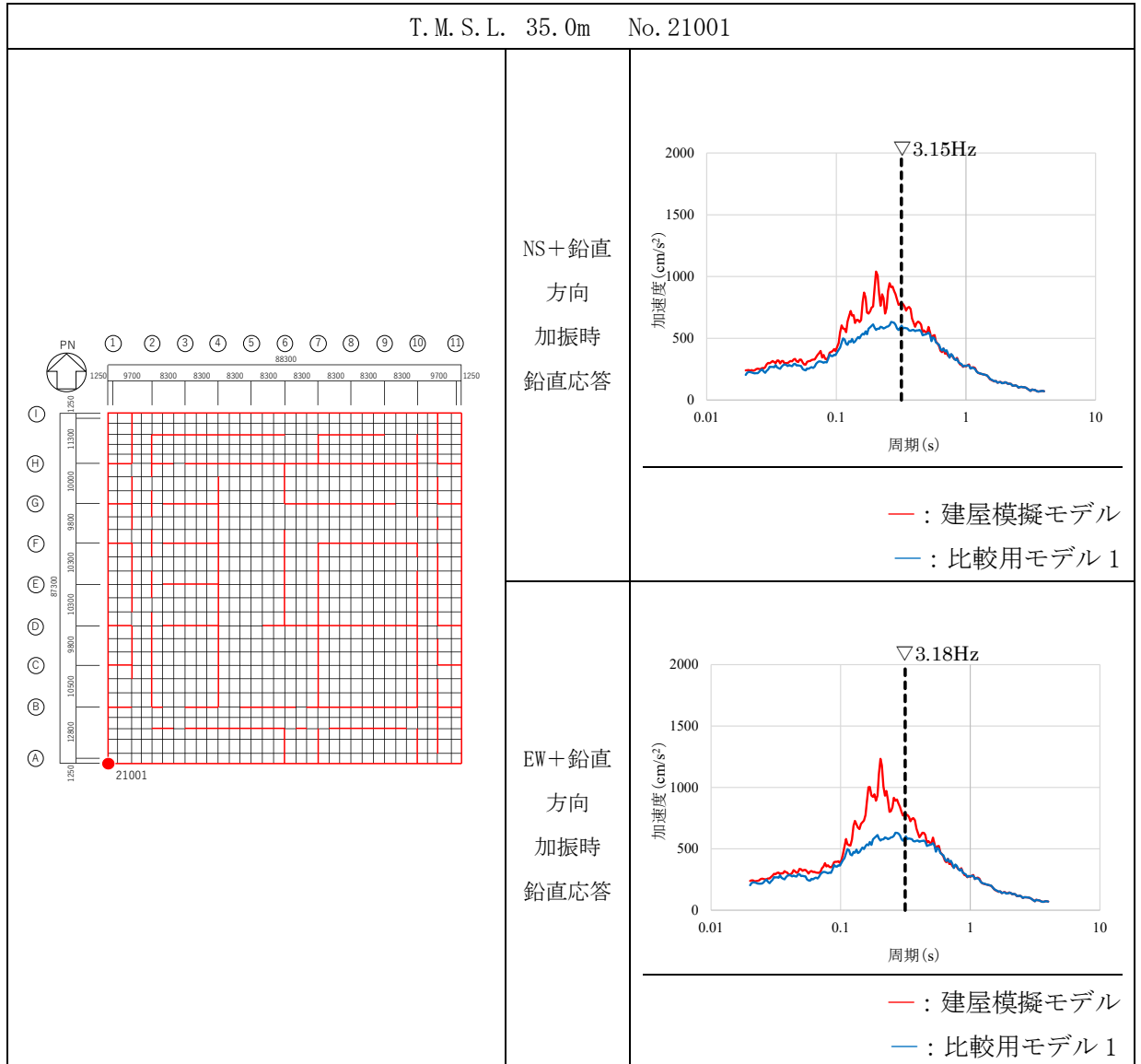
評価結果として建屋模擬モデルにおけるロッキング振動の1次のモード図を第4.2-1表に示す。また，建屋模擬モデルと比較用モデル1の応答を比較したものを第4.2-2表に示す。

第4.2-1表における建屋のロッキング振動の1次のモードは建屋-地盤連成系の1次のモードと等しいため，第3.2-2表に記載の固有振動数と同値である。第4.2-2表より，建屋模擬モデル及び比較用モデル1の応答を比較すると，第4.2-1表で示した振動数において鉛直応答が励起されていることがわかる。また，建屋模擬モデルでは端部の応答がやや大きいことから，建屋模擬モデルを検討対象モデルとすることは保守的である。

第 4.2-1 表 建屋模擬モデルのモード図 (ロッキング)

方向	建屋模擬モデル
NS	 <p style="text-align: center;">3.15Hz</p>
EW	 <p style="text-align: center;">3.18Hz</p>

第 4.2-2 表 建屋模擬モデル及び比較用モデル 1 の鉛直方向応答 (h=3%)



(2) 鉛直軸回りのねじれの影響

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

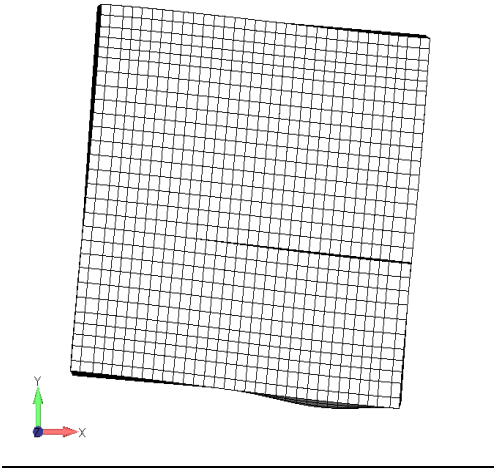
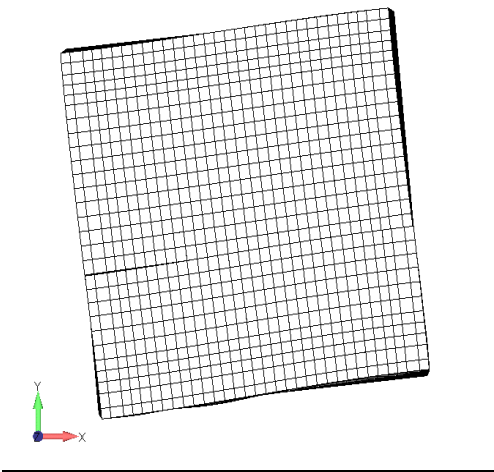
応答比較に用いる評価点は、No. 21001 (T. M. S. L. 35.0m), No. 41001 (T. M. S. L. 43.2m), No. 51625 (T. M. S. L. 56.8m), No. 52878 (T. M. S. L. 62.8m) とし、弾性設計用地震動Sd-Aを水平1方向に入力し、加振方向と加振直交方向の応答を比較検討する。また、建屋模擬モデルによるねじれ振動の1次の振動モードが得られる固有振動数も踏まえて考察を行う。

評価結果として建屋模擬モデルにおけるねじれ振動の1次のモード図を第4.2-3表に示す。また、建屋模擬モデルの加振方向と加振直交方向の応答を比較した表を第4.2-4表に示す。

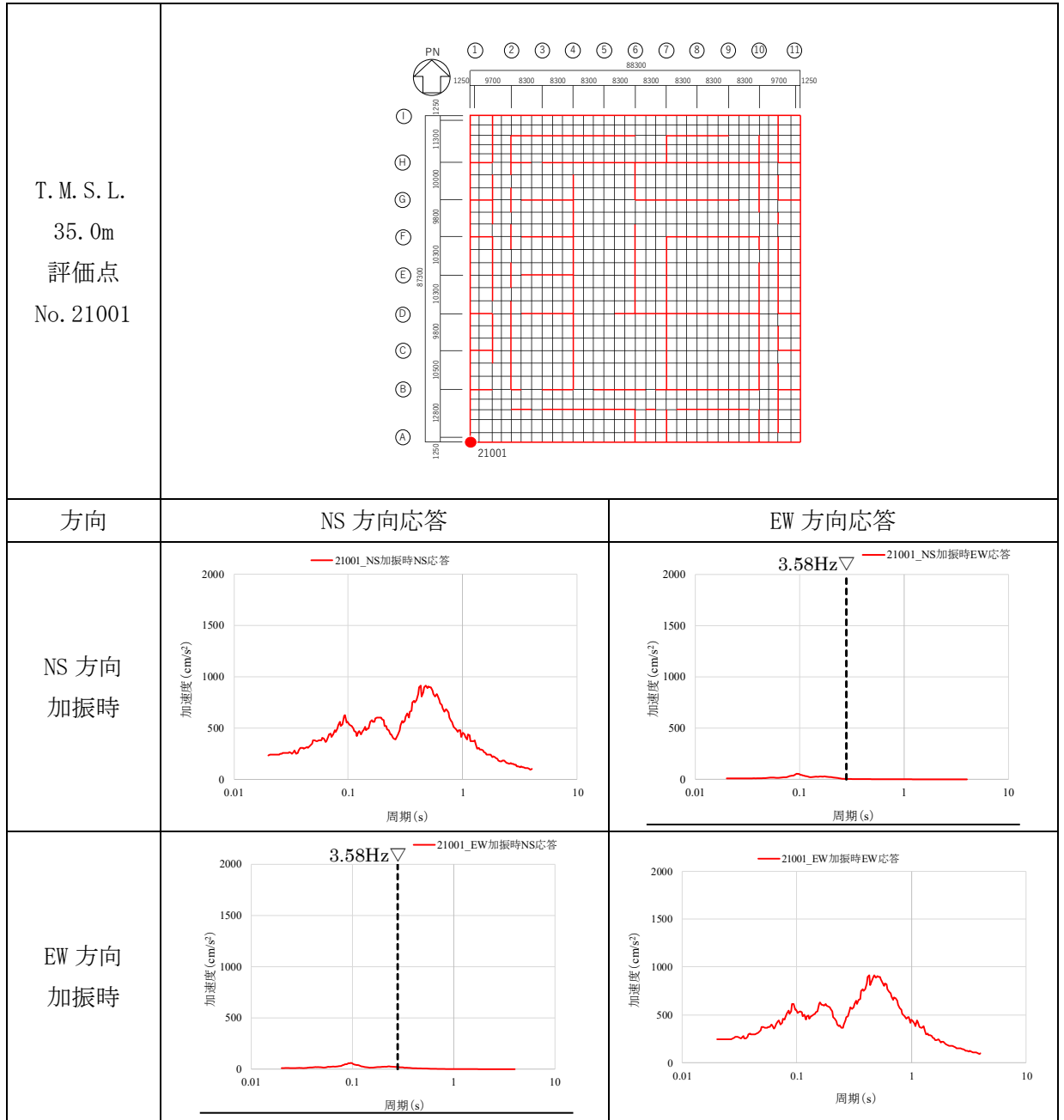
第4.2-4表より、選定した評価点において、第4.2-3表で示した振動数において、加振直交方向の応答が励起されていることがわかる。また、加振直交方向の応答は発生しているものの加振方向の応答と比較して小さくなっている。したがって、水平1方向入力を考慮する場合、加振方向の応答に対して設計を行えば、耐震安全性上問題にはならないと考えられるが、水平2方向の入力を考えた場合ねじれ応答の影響による応答が増幅する可能性がある。

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

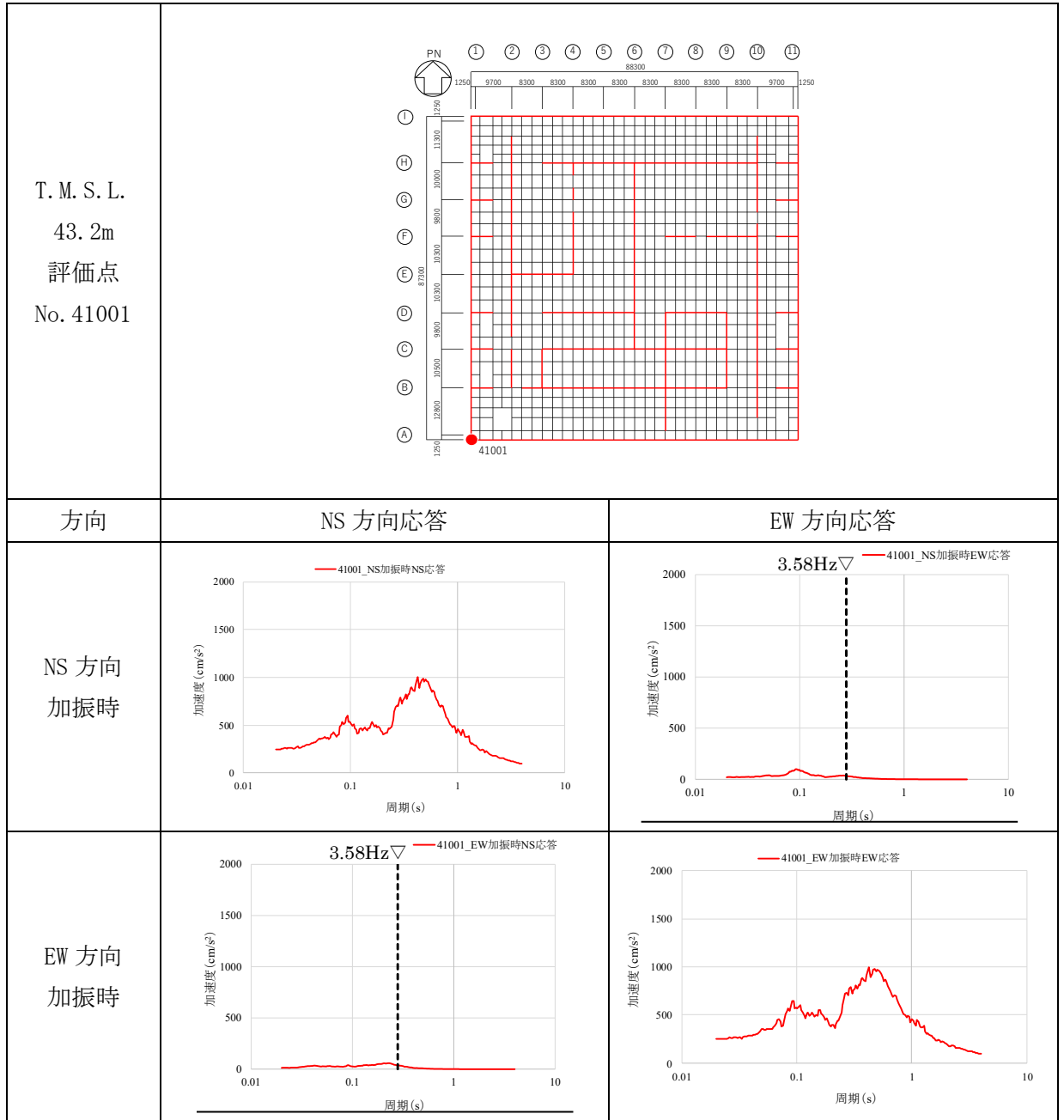
第 4.2-3 表 建屋模擬モデルのモード図 (ねじれ振動)

方向	建屋模擬モデル
NS	 <p style="text-align: center;">3.58Hz</p>
EW	 <p style="text-align: center;">3.58Hz</p>

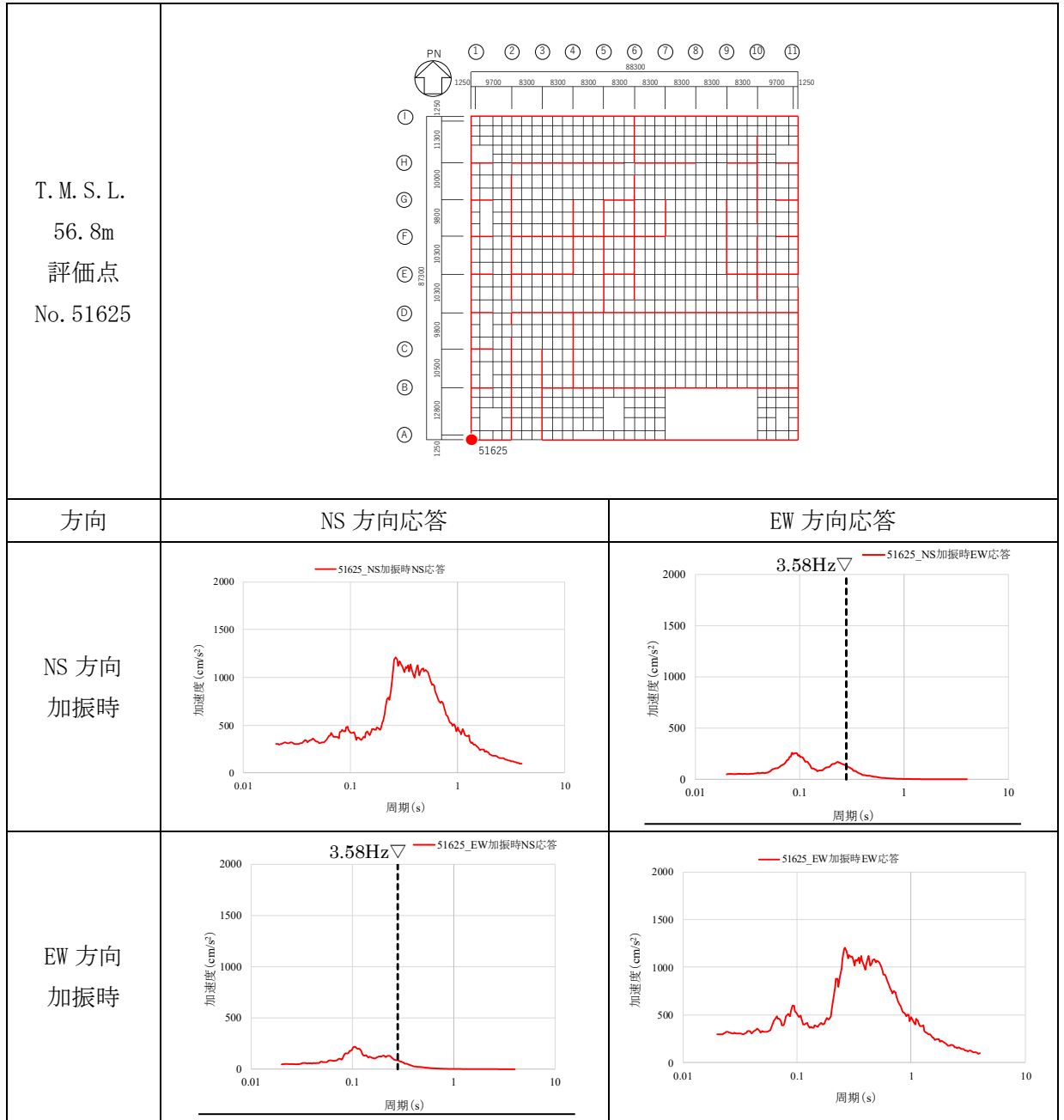
第 4.2-4 表 建屋 3 次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (h=3%) (1/4)



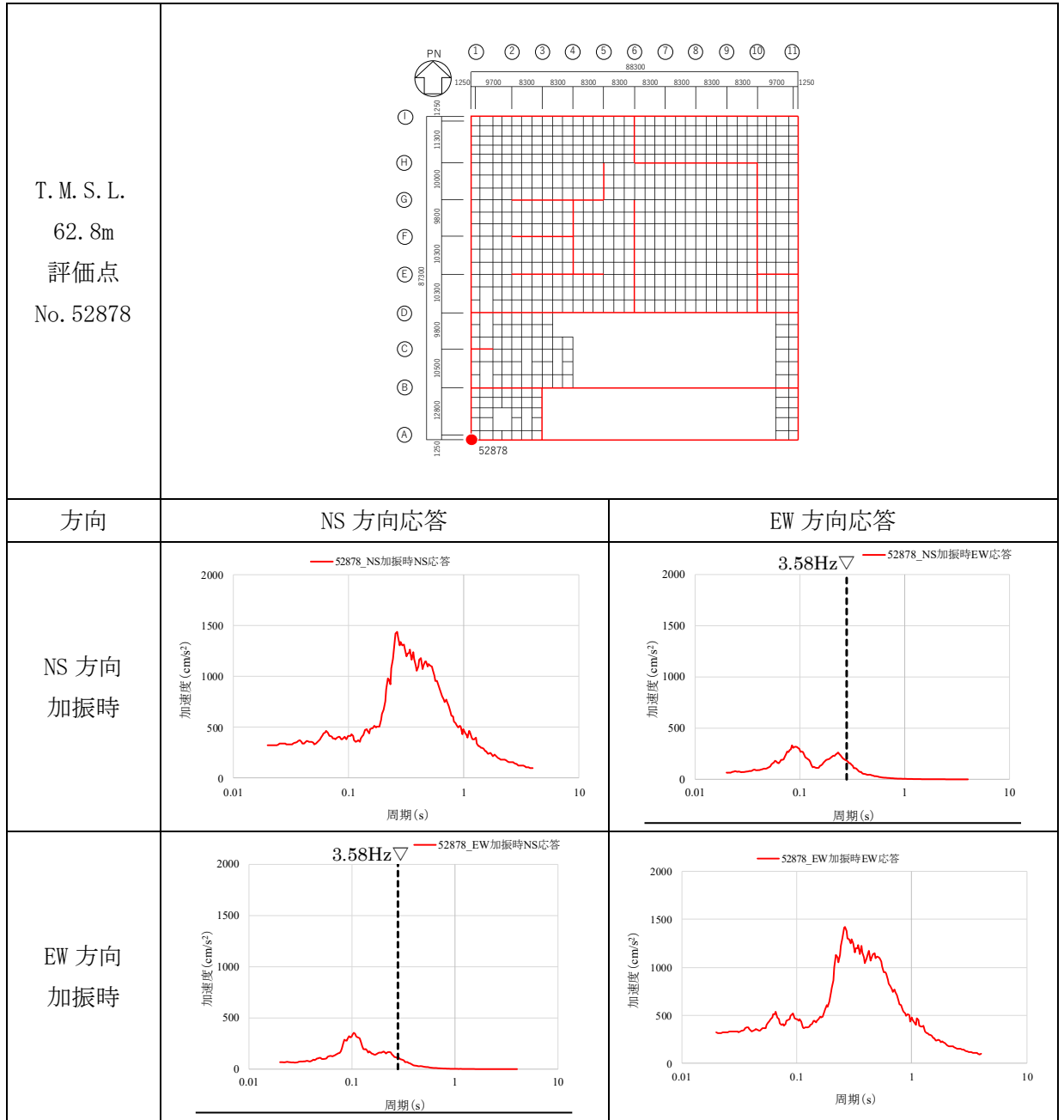
第 4.2-4 表 建屋 3 次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (h=3%) (2/4)



第 4.2-4 表 建屋 3 次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (h=3%) (3/4)



第 4.2-4 表 建屋 3 次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (h=3%) (4/4)



(3) 床柔性の影響

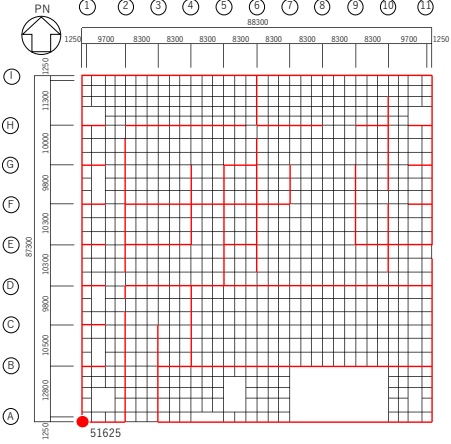
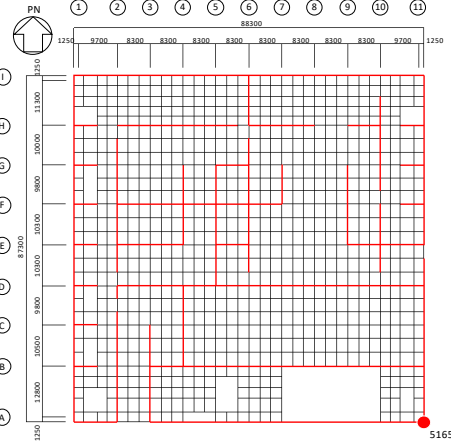
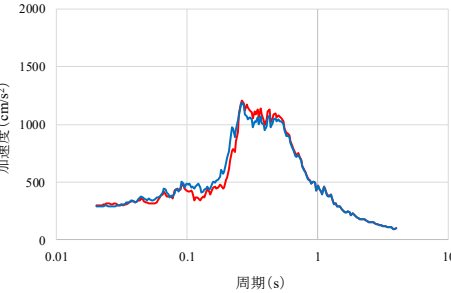
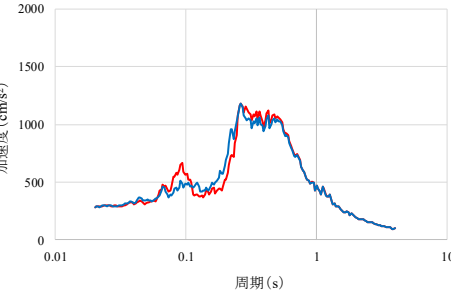
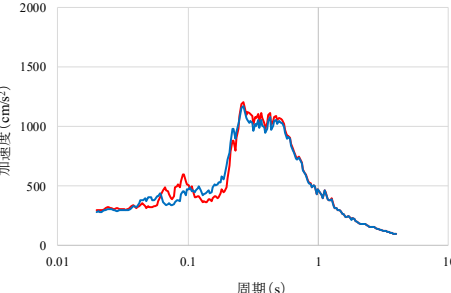
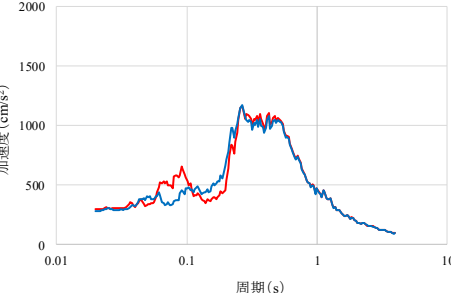
床柔性の影響は、建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度）と床を剛とした比較用モデル2（床剛，相互作用考慮，実強度）を比較することにより確認する。

応答比較に用いる評価点は，1階床面である T.M.S.L. 56.8m の建屋四隅について，弾性設計用地震動 Sd-A を水平 1 方向に入力した際の応答を比較する。

評価結果を第 4.2-5 表に示す。

第 4.2-5 表より，選定した評価点において，建屋模擬モデル及び比較用モデル 2 を比較すると，概ね同等であることから，建屋模擬モデルを検討対象とすることは妥当である。

第 4.2-5 表 建屋模擬モデルと比較用モデル 2 の応答比較 (h=3%) (1/2)

	T. M. S. L. 56.8m 南西 No. 51625	T. M. S. L. 56.8m 南東 No. 51657
評価点		
NS 方向 加振時 NS 方向応答	 <p style="text-align: center;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>	 <p style="text-align: center;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>
EW 方向 加振時 EW 方向応答	 <p style="text-align: center;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>	 <p style="text-align: center;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>

第 4.2-5 表 建屋模擬モデルと比較用モデル 2 の応答比較 (h=3%) (2/2)

	T. M. S. L. 56.8m 北西 No. 52512	T. M. S. L. 56.8m 北東 No. 52544
評価点		
NS 方向 加振時 NS 方向応答	<p style="text-align: center;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>	<p style="text-align: center;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>
EW 方向 加振時 EW 方向応答	<p style="text-align: center;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>	<p style="text-align: center;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>

(4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響

a. 地震動の入力方法

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

地震動の組合せを第 4.2-6 表に示す。

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

ただし、全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的ではないことから、弾性設計用地震動 S_d-A については、水平 2 方向の地震動のうち 1 方向は弾性設計用地震動 $S_d-A(H)$ (ここで、水平方向の地震動は $S_d-A(H)$ 、鉛直方向の地震動は $S_d-A(V)$ とする。)を入力し、直交する方向は弾性設計用地震動 $S_d-A(H)$ の設計用応答スペクトルには適合するが、 $S_d-A(H)$ とは位相特性の異なる模擬地震波を入力する。鉛直方向の地震動は、弾性設計用地震動 $S_d-A(V)$ を入力する。

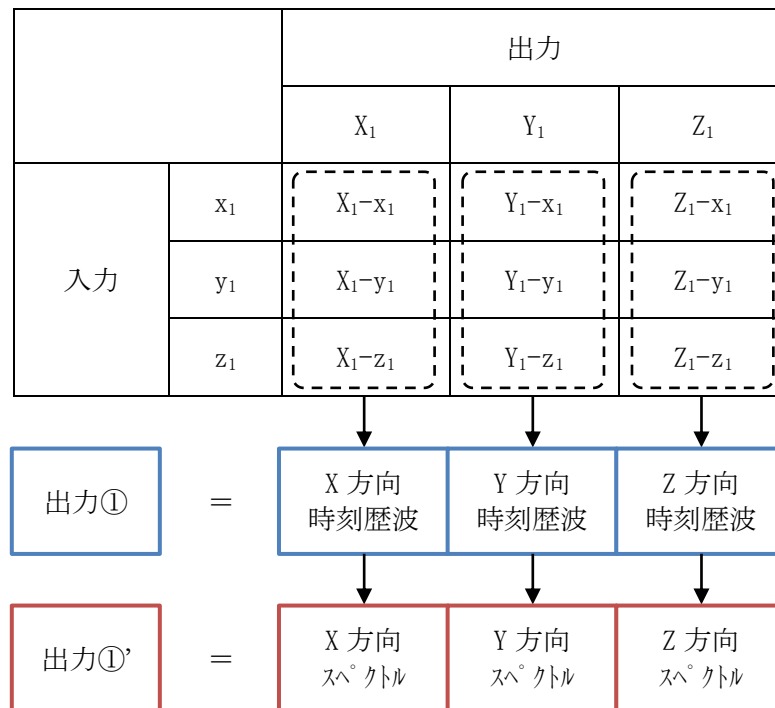
各方向への入力地震動に対して算出された各成分の応答を時刻歴で足し合わせることで、水平 2 方向及び鉛直方向の地震動に対する方向ごとの応答を算出する。応答算出の考え方を第 4.2-1 図に示す。

検討に用いた $S_d-A(H)$ 、 $S_d-A(V)$ 及び模擬地震波の加速度時刻歴波形を第 4.2-2 図に、加速度応答スペクトルを第 4.2-3 図に示す。

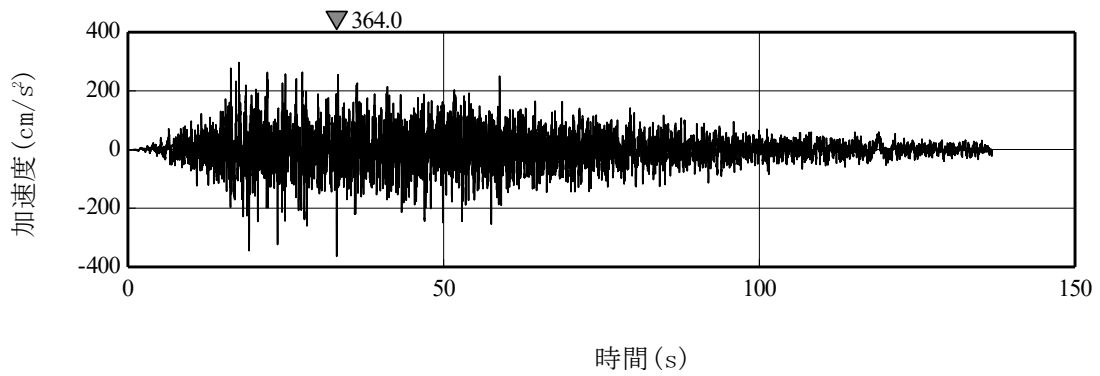
第 4.2-6 表 地震動の組合せ

		地震動組合せ		
		NS 方向	EW 方向	UD 方向
NS 方向 応答評価	水平 1 方向	Sd-A(H)	—	—
	水平 2 方向 +鉛直方向	Sd-A(H)	模擬地震波*	Sd-A(V)
EW 方向 応答評価	水平 1 方向	—	Sd-A(H)	—
	水平 2 方向 +鉛直方向	模擬地震波*	Sd-A(H)	Sd-A(V)

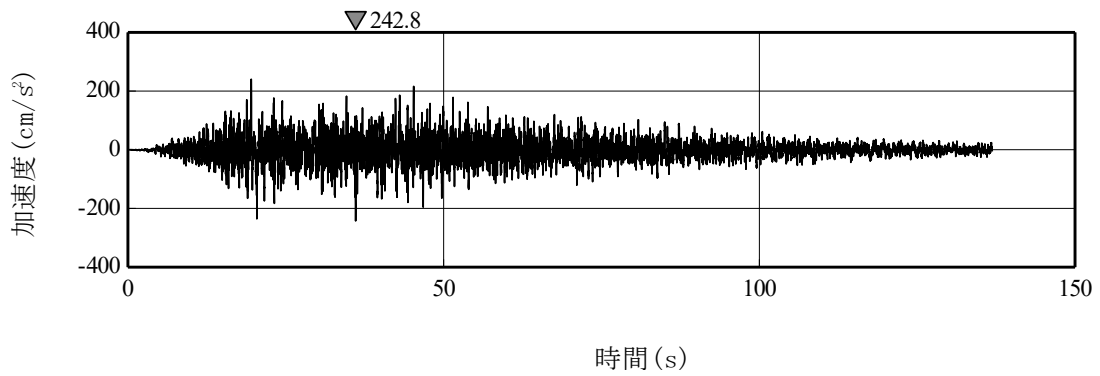
注記 *：弾性設計用地震動 Sd-A(H) の設計用応答スペクトルに適合するが、Sd-A(H) とは位相特性が異なる地震波



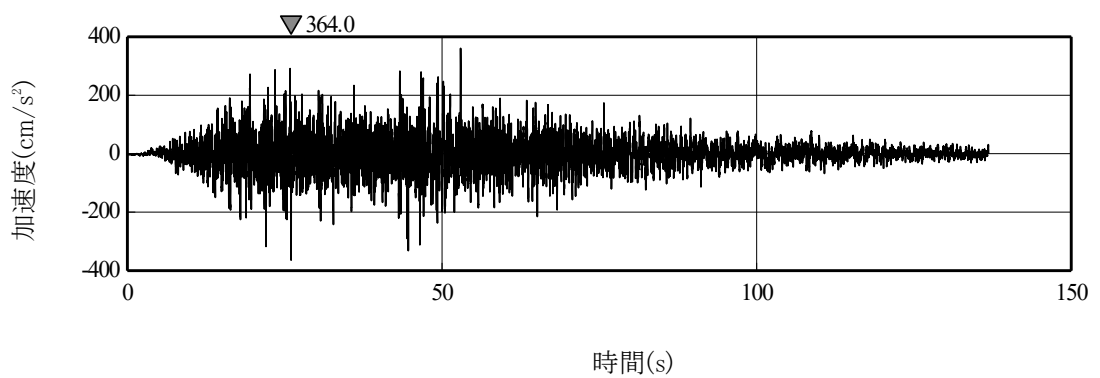
第 4.2-1 図 3次元 FEM モデルによる応答算出の考え方



(a) Sd-A(H) (再掲)

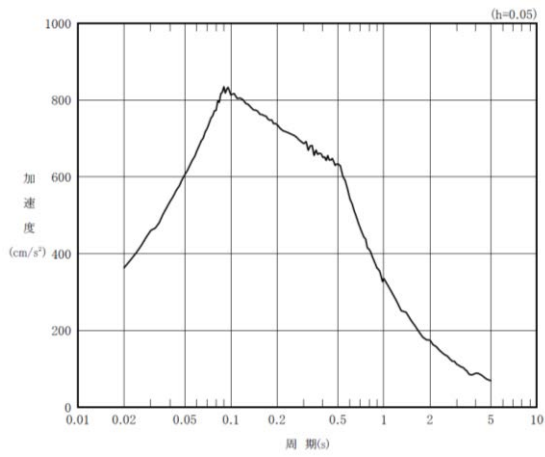


(b) Sd-A(V) (再掲)

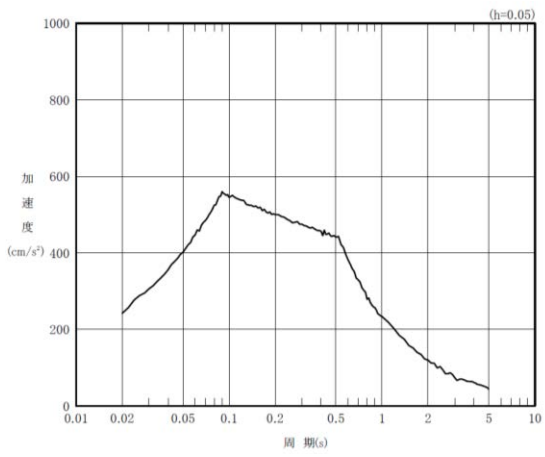


(c) 模擬地震波

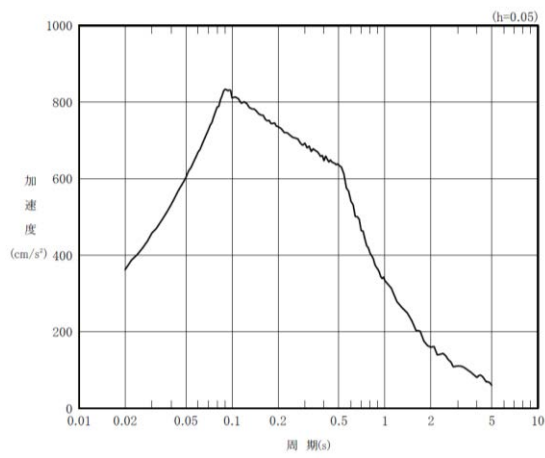
第 4.2-2 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度時刻歴波形



(a) Sd-A(H) (再掲)



(b) Sd-A(V) (再掲)



(c) 模擬地震波

第 4.2-3 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度応答スペクトル

b. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認は、第4.2-6表の地震動を対象に、NS方向に入力した場合及びEW方向に入力した場合の応答と、3方向入力した場合の応答とを比較することにより実施する。

応答比較に用いる評価点は、建屋端部の No.21001 (T.M.S.L. 35.0m)、No.41001 (T.M.S.L. 43.2m)、No.51625 (T.M.S.L. 56.8m) 及びNo.52878 (T.M.S.L. 62.8m) とする。

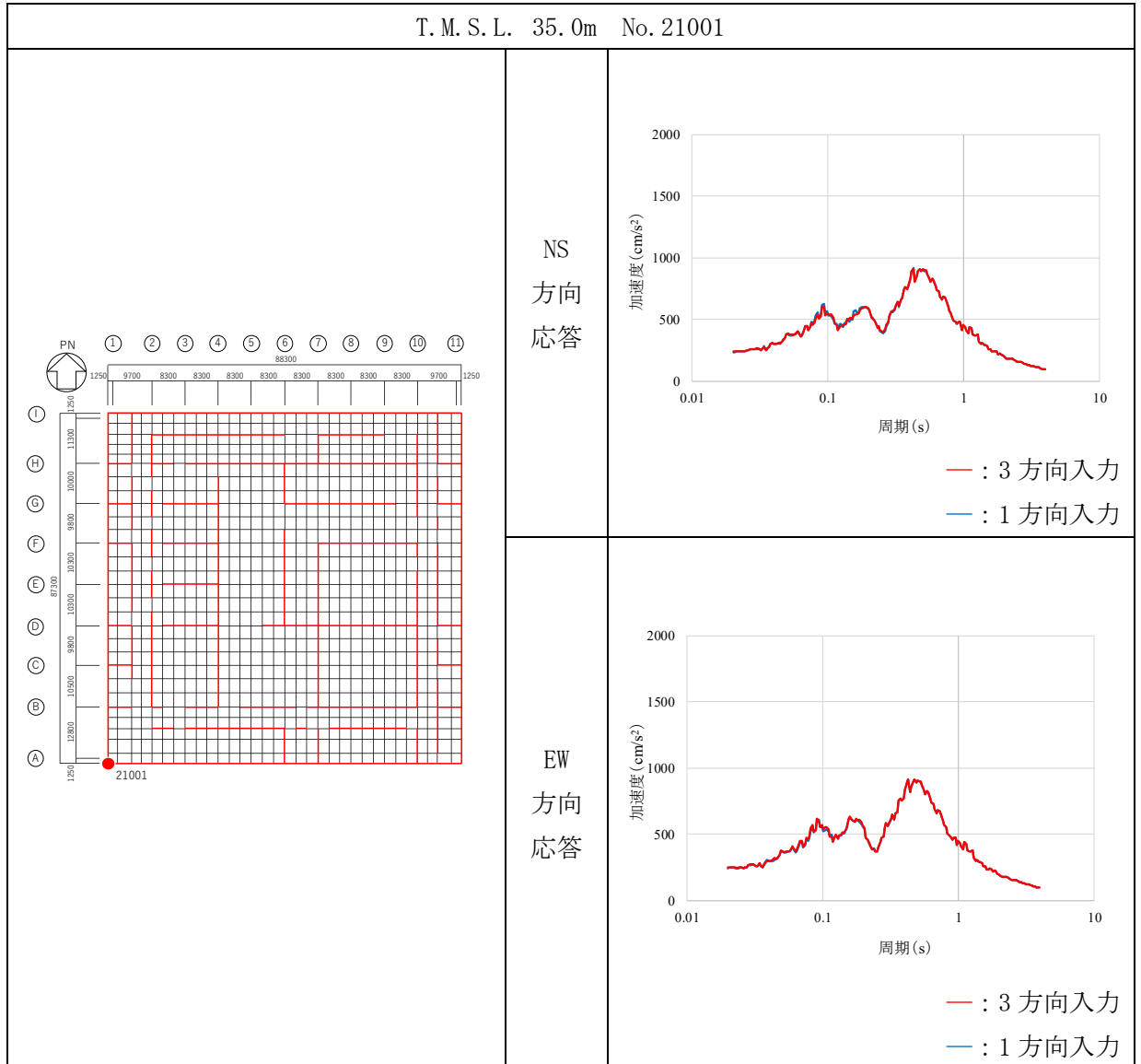
評価結果を第4.2-7表に示す。

第4.2-7表より、いずれの評価点においても、1方向入力時及び3方向同時入力時の応答の差は小さく、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響はほとんどないことを確認した。

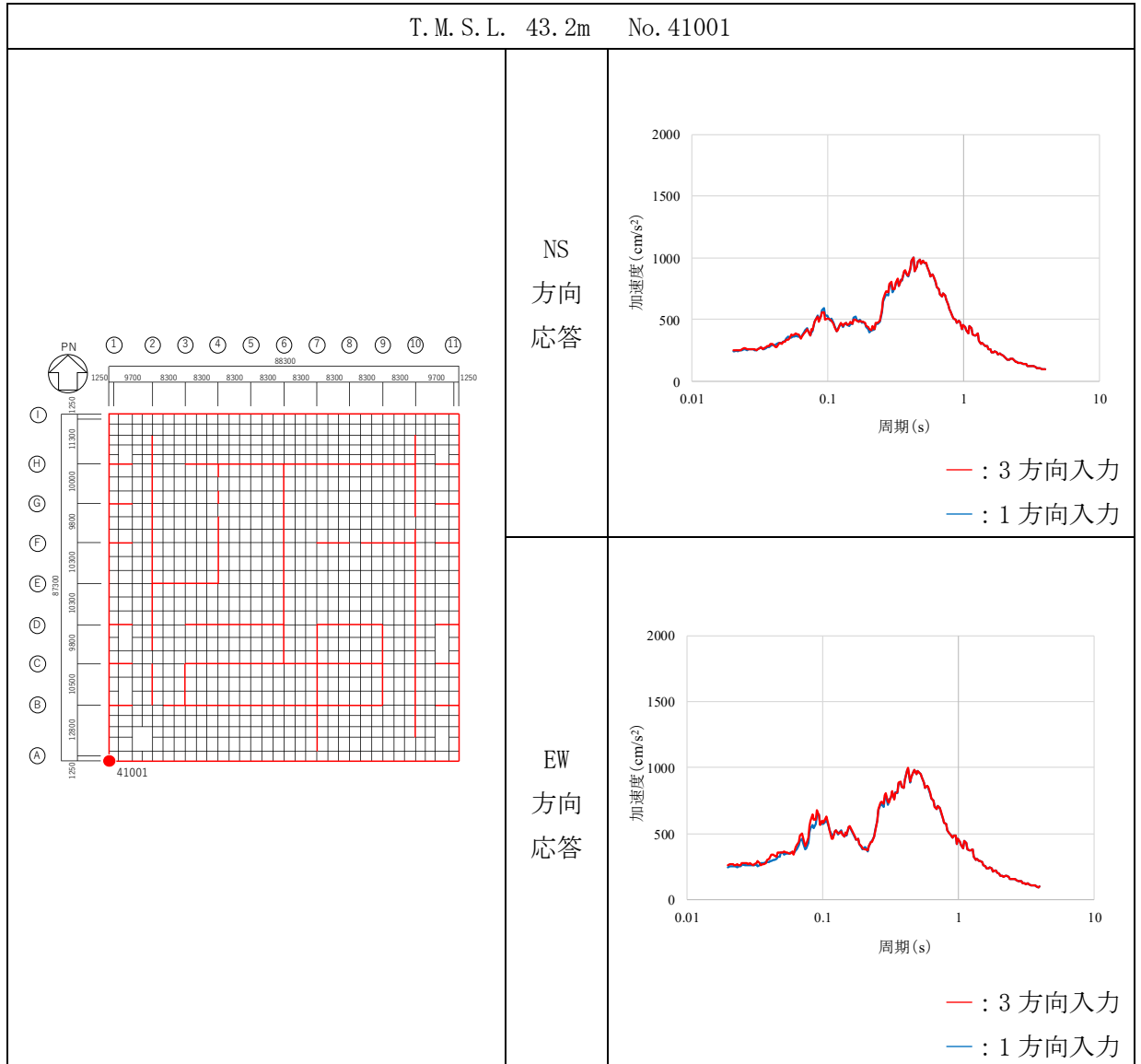
「(2) 鉛直軸周りのねじれの影響」では、水平2方向の入力を考えた場合に、ねじれの影響によって相互に応答増幅する可能性が示唆されたが、ねじれ振動の影響による応答増幅は見られなかった。

以上より、燃料加工建屋の質点系モデルを用いた耐震検討では、水平1方向入力時の入力方向の応答に対する検討を行っているが本検討により妥当と考えられる。

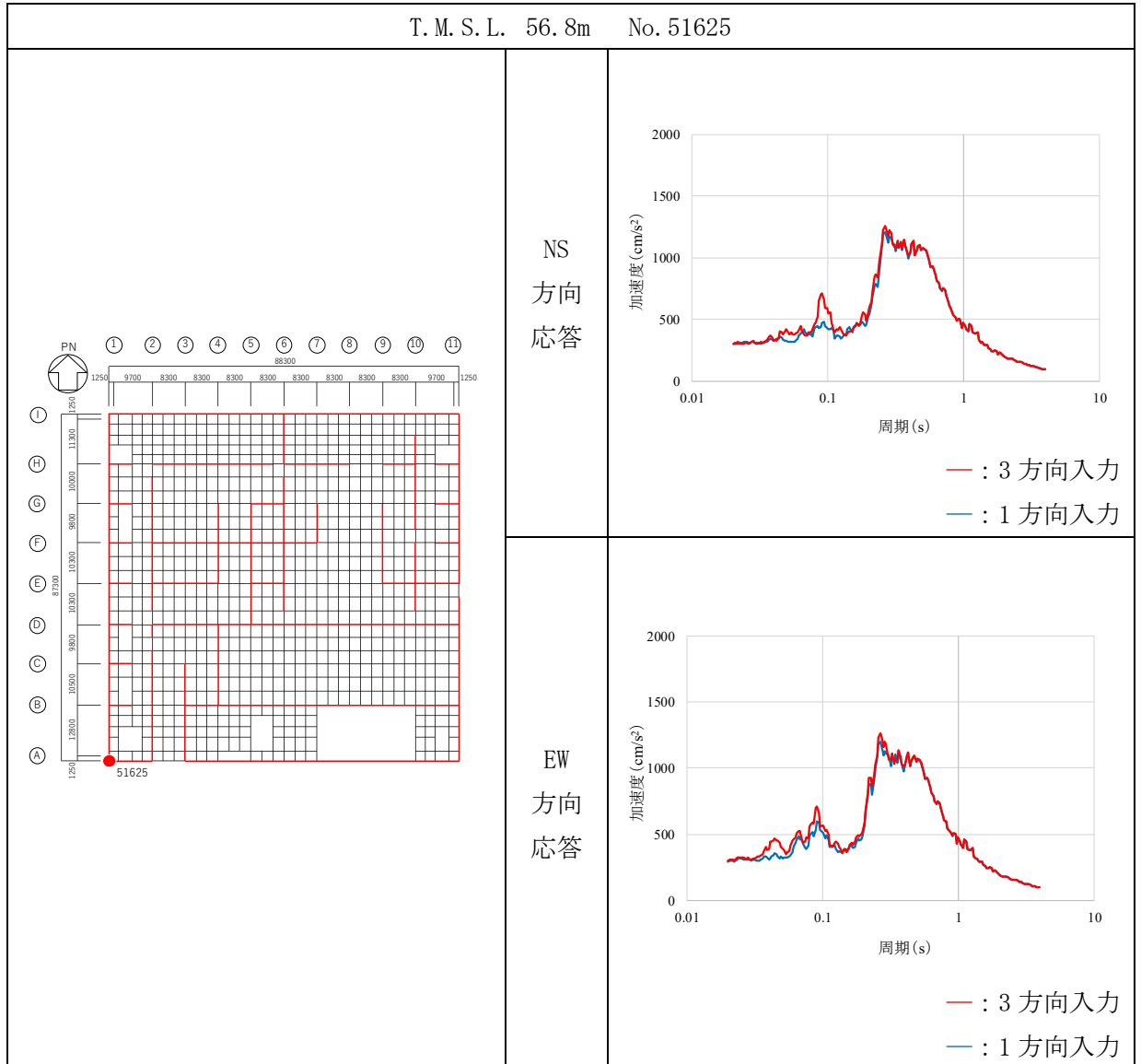
第 4.2-7 表 建屋 3 次元 FEM モデルの 3 方向入力及び 1 方向入力の応答比較 (h=3%) (1/4)



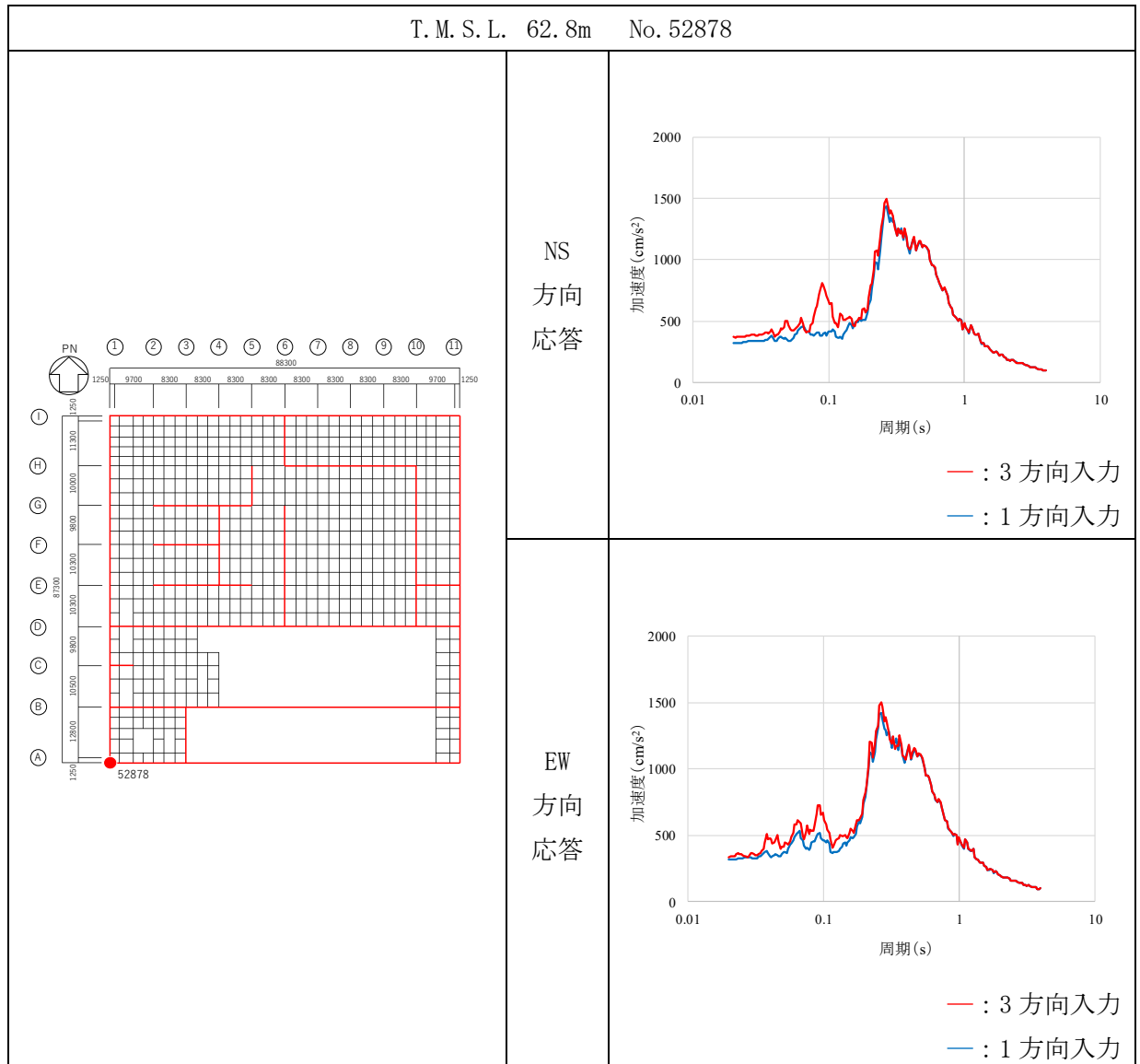
第 4.2-7 表 建屋 3 次元 FEM モデルの 3 方向入力及び 1 方向入力の応答比較 (h=3%) (2/4)



第 4.2-7 表 建屋 3 次元 FEM モデルの 3 方向入力及び 1 方向入力の応答比較 (h=3%) (3/4)



第 4.2-7 表 建屋 3 次元 FEM モデルの 3 方向入力及び 1 方向入力の応答比較 (h=3%) (4/4)



(5) まとめ

建屋模擬モデル，比較用モデル1及び比較用モデル2を用いて，地震応答解析を実施し，応答性状について分析・考察を行った。

基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響について，建屋模擬モデルと比較用モデル1での応答比較をした結果，ロッキング振動の影響はほとんど見られないこと，及び建屋模擬モデルにより保守的な評価が可能であることを確認した。

床柔性の影響について，建屋模擬モデルと比較用モデル2での応答比較をした結果，大きな相違がないこと及び建屋模擬モデルにより保守的な評価が可能であることを確認した。

鉛直軸回りのねじれ振動の影響及び水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響について，建屋模擬モデルを用いて評価した結果，3方向入力時と1方向入力時での応答の差異がほとんどないことから，1方向入力時の応答に対し，これらの影響がほとんどないことを確認した。

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

4.3 建屋耐震評価への影響検討

(1) 検討方針

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

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

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

なお、質点系モデルは添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」に記載の燃料加工建屋の地震応答解析モデルと同じである。

(2) 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討

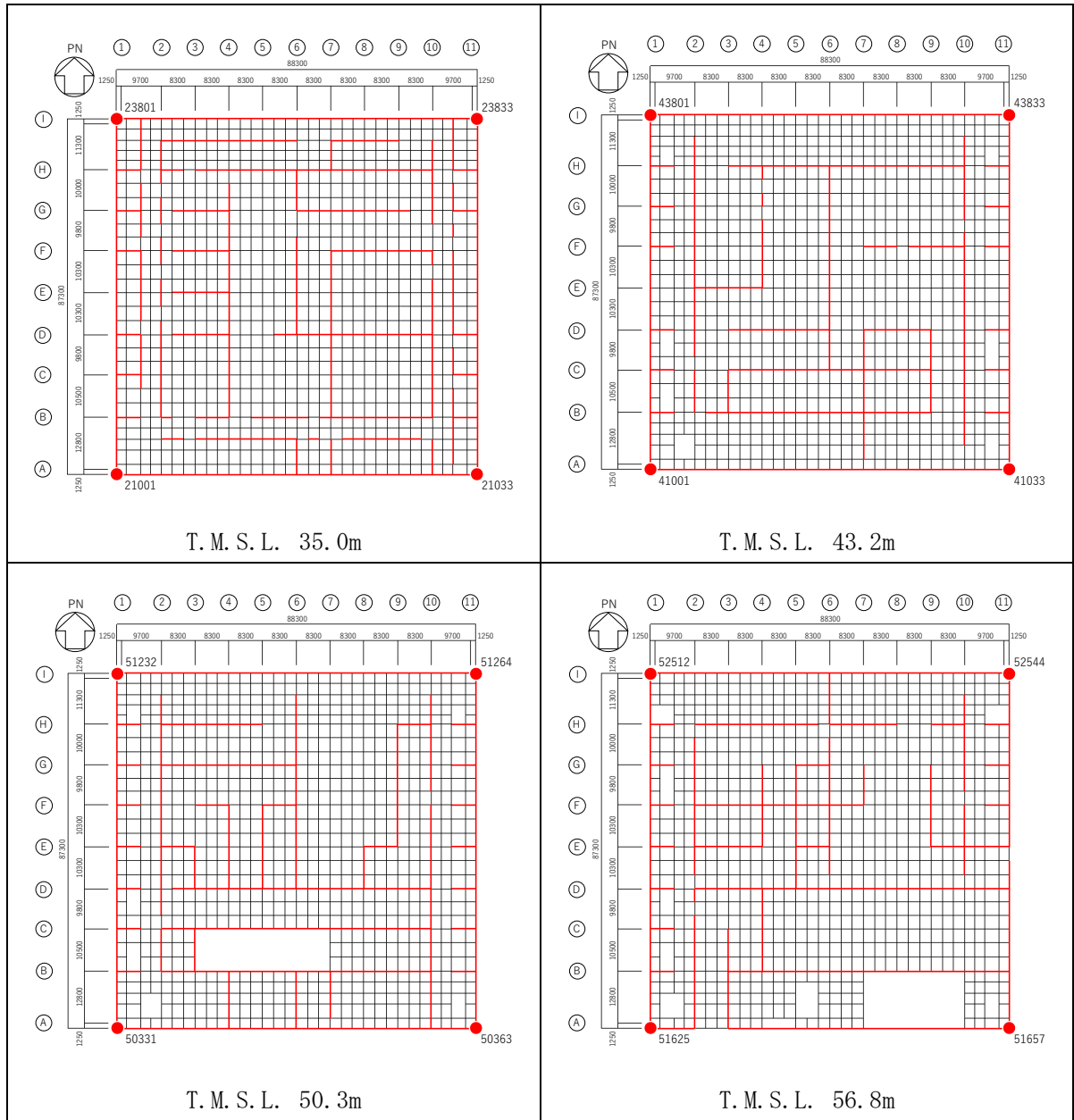
建屋模擬モデル及び質点系モデルの弾性設計用地震動 Sd-A に対する最大応答加速度の比較を行い、3次元的な影響について確認する。

評価に当たっては、質点系モデルの全質点での応答を評価対象とし、質点系モデルの各質点に対応する3次元FEMモデルの節点としては、第4.3-1図に示す節点（赤丸の節点）とした。

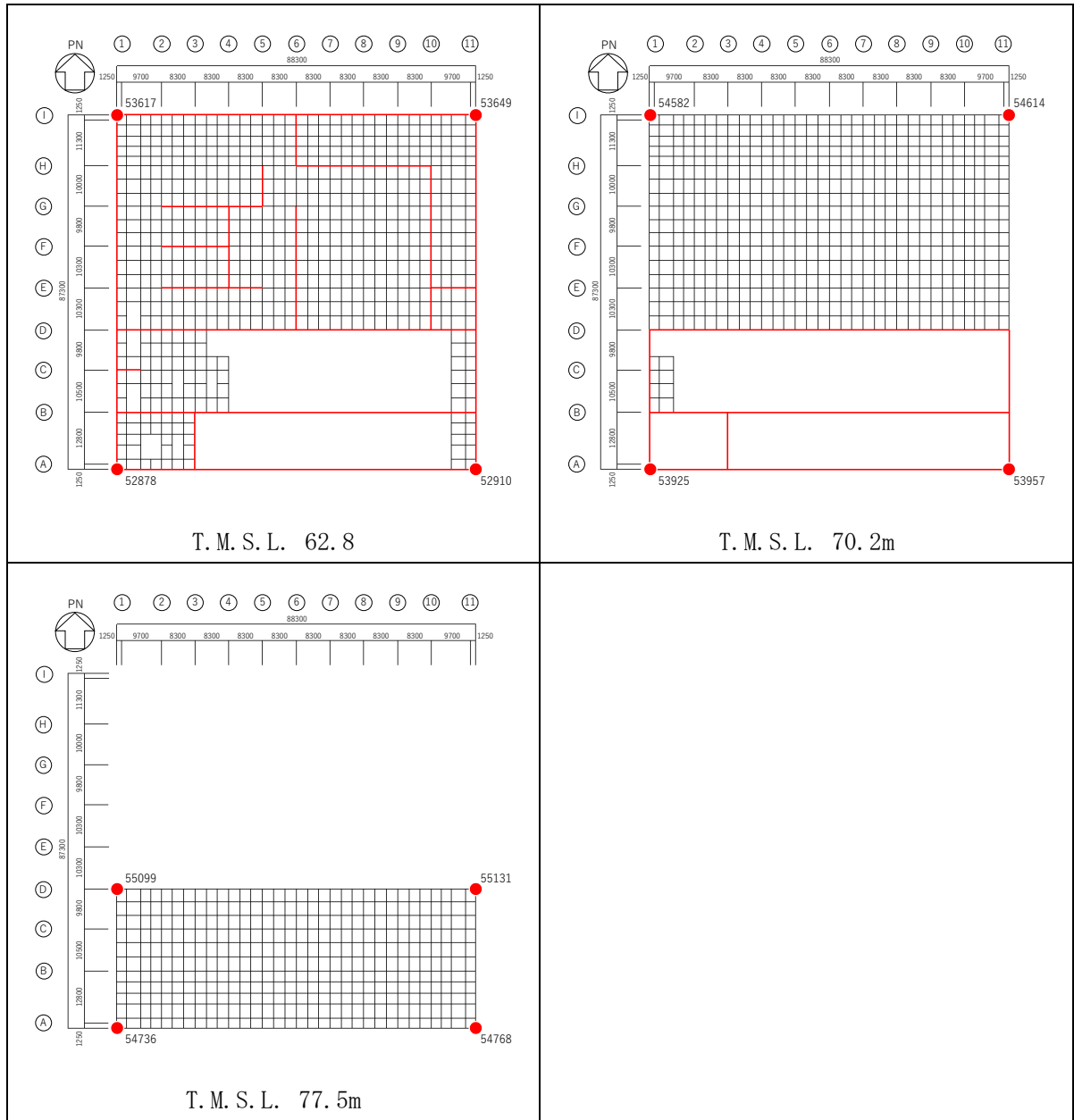
評価結果を第4.3-2図～第4.3-4図及び第4.3-1表～第4.3-3表に示す。

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

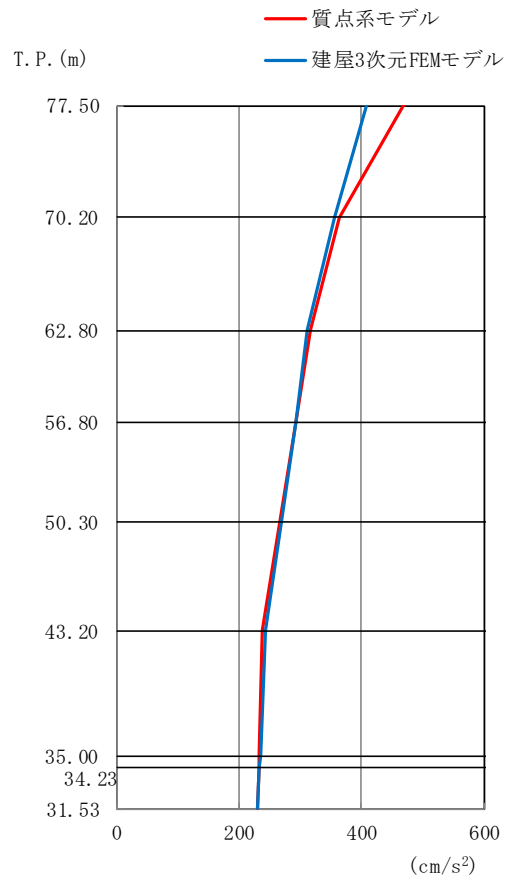
したがって、以降の「3次元的な応答特性（応答補正比率）を考慮した建屋影響検討」により、建屋への影響検討を実施する。



第 4.3-1 図 応答評価位置 (1/2)



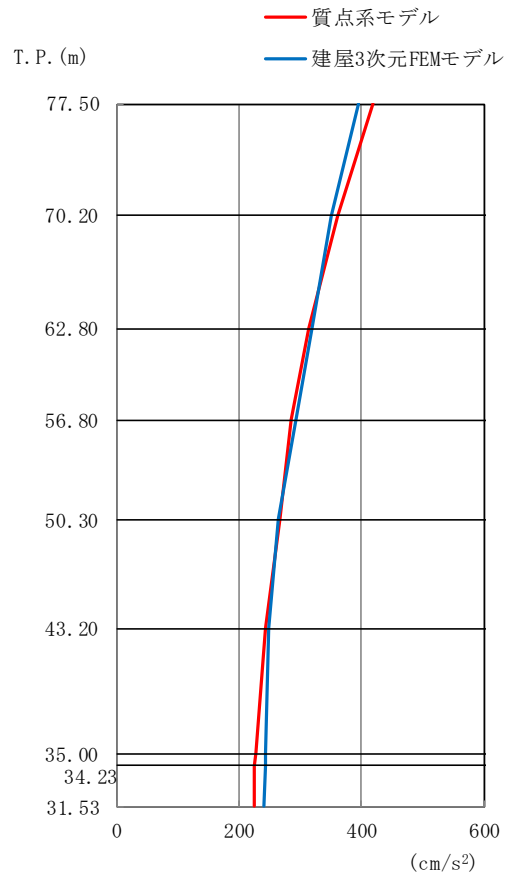
第 4.3-1 図 応答評価位置 (2/2)



第 4.3-2 図 最大応答加速度 (Sd-A, NS 方向)

第 4.3-1 表 最大応答加速度一覧表 (Sd-A, NS 方向)

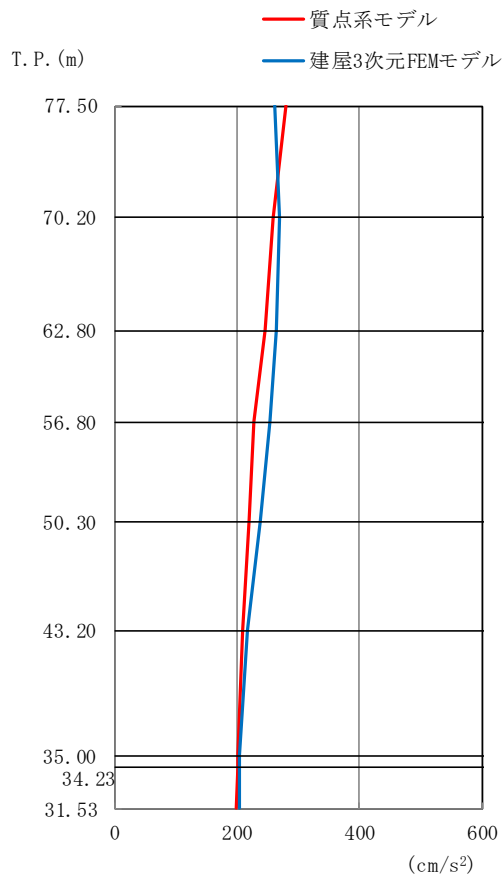
T. P. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)	
		質点系モデル	建屋3次元FEMモデル
77.50	1	468	407
70.20	2	364	355
62.80	3	316	312
56.80	4	292	292
50.30	5	266	270
43.20	6	239	243
35.00	7	233	234
34.23	8	233	233
31.53	9	230	230



第 4.3-3 図 最大応答加速度 (Sd-A, EW 方向)

第 4.3-2 表 最大応答加速度一覧表 (Sd-A, EW 方向)

T. P. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)	
		質点系モデル	建屋3次元FEMモデル
77.50	1	419	396
70.20	2	362	351
62.80	3	313	319
56.80	4	285	293
50.30	5	266	264
43.20	6	244	247
35.00	7	227	245
34.23	8	226	244
31.53	9	224	241



第 4.3-4 図 最大応答加速度 (Sd-A, 鉛直方向)

第 4.3-3 表 最大応答加速度一覧表 (Sd-A, 鉛直方向)

T. P. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)	
		質点系モデル	建屋3次元FEMモデル
77.50	1	279	263
70.20	2	258	269
62.80	3	247	264
56.80	4	228	253
50.30	5	221	238
43.20	6	210	218
35.00	7	201	203
34.23	8	201	203
31.53	9	199	203

(3) 3次元的な応答特性（応答補正比率）を考慮した建屋影響検討

「(2) 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討」の結果を踏まえて、質点系モデルに対して、3次元FEMモデルを用いて3次元的な応答補正を考慮し、建屋耐震評価への影響検討を実施する。

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

第4.3-5図に検討フローを示す。

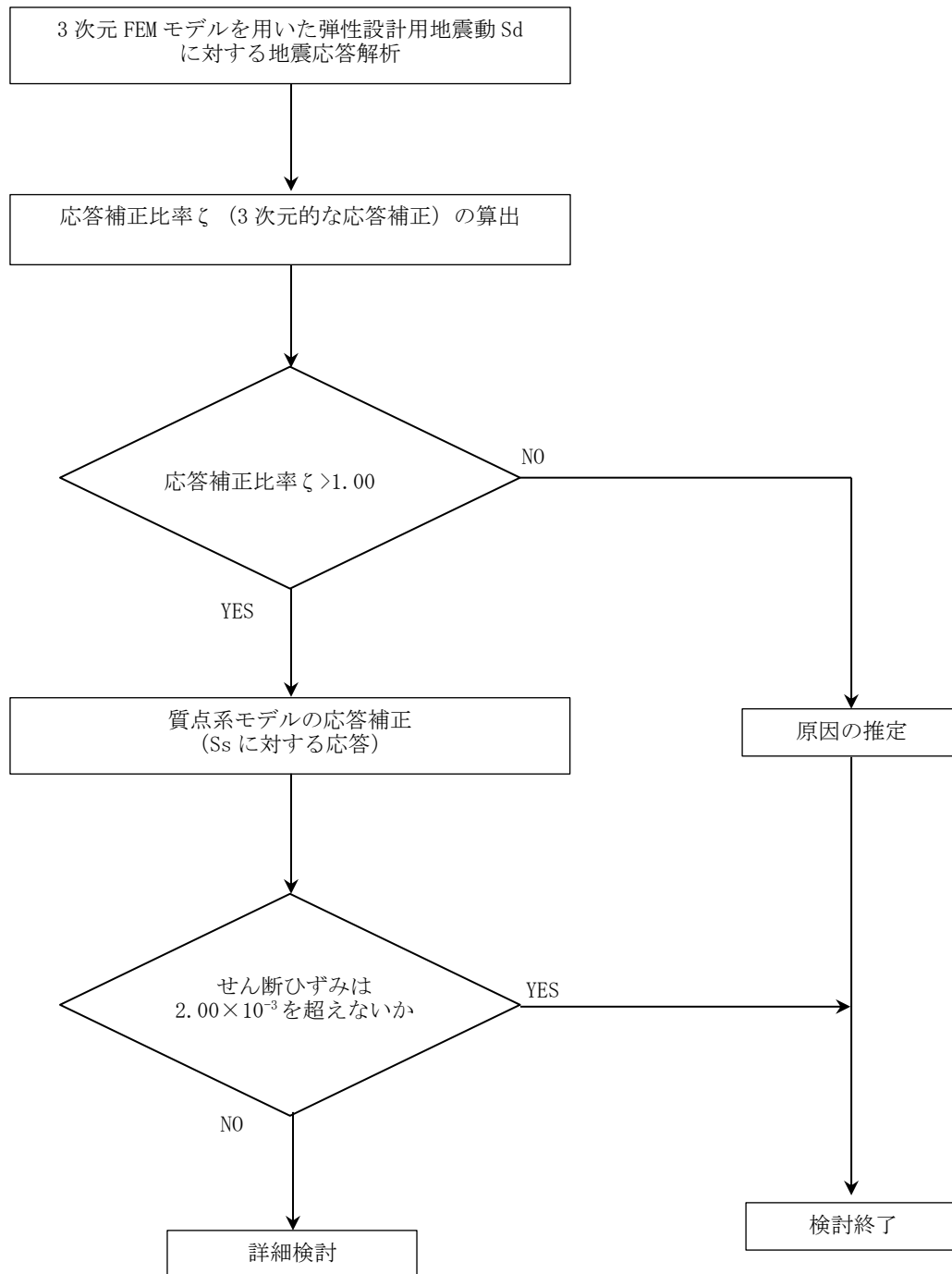
具体的には、質点系モデルの基準地震動 S_s に対するせん断応力度 τ に応答補正比率 ζ を乗じて、3次元的な応答特性を踏まえたせん断応力度を算定する。得られた値を質点系モデルの各層のせん断スケルトンカーブ上にプロットし、せん断ひずみが評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認する。ここで、第1折点を超える場合は、エネルギー一定則によりせん断ひずみを評価する。エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法を第4.3-6図に示す。せん断ひずみを確認した結果、評価基準値を超えるものは詳細検討を実施する。

評価において選定した3次元FEMモデルにおける代表節点を第4.3-1図に、質点系モデルでの評価節点を第4.3-7図に示す。

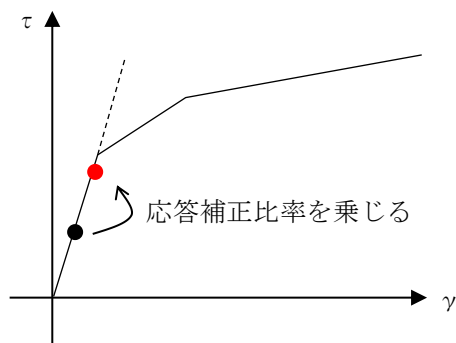
選定した3次元FEMモデルでの評価点において、弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答加速度をもとに、3次元的な応答補正比率 ζ を算出し、質点系モデルの基準地震動 S_s に対する応答補正を行い、耐震評価への影響検討を行う。入力地震動は建屋への影響の大きい S_d-C1 とする。 S_d-C1 の3方向入力に際しては、全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的ではないことから、2004年北海道留萌支庁南部地震の記録を用いて求めた基盤地震動(NS方向、EW方向、鉛直方向)を0.5倍したもの(以下、「 S_d-C1' 」という。)を入力する。

入力地震動 S_d-C1' の加速度時刻歴波形を第4.3-8図に、加速度応答スペクトルを第4.3-9図に示す。

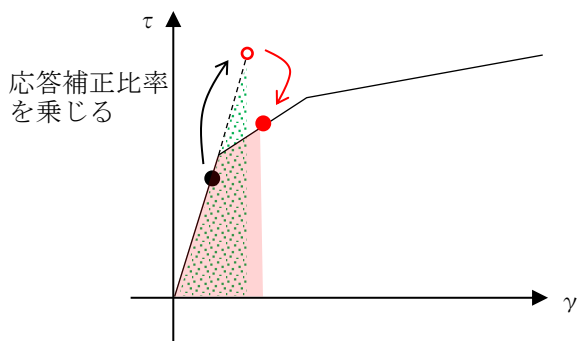
なお、入力地震動の組合せについては、 S_d-C1' の水平成分はEW方向がNS方向に比べて大きいいため、入力の際には評価方向に S_d-C1' (EW)を入力し、評価方向の直交方向に S_d-C1' (NS)を入力する。入力地震動の組合せについて第4.3-4表に示す。



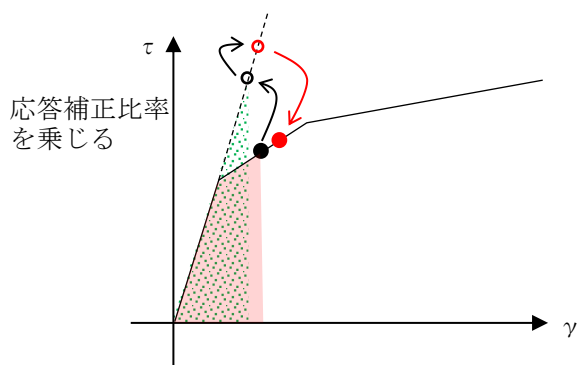
第 4.3-5 図 検討フロー



弾性直線上において、現設計による
応答結果に応答補正比率を乗じる。



応答補正比率を乗じた際、第一折点を
超える場合、弾性直線の延長線上に補
正後の評価結果をプロットする。
その後、エネルギー一定則で、評価線
分上にプロットする。



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

第 4.3-6 図 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

(単位：m)

T.M.S.L. 77.50

T.M.S.L. 70.20

T.M.S.L. 62.80

T.M.S.L. 56.80

T.M.S.L. 50.30

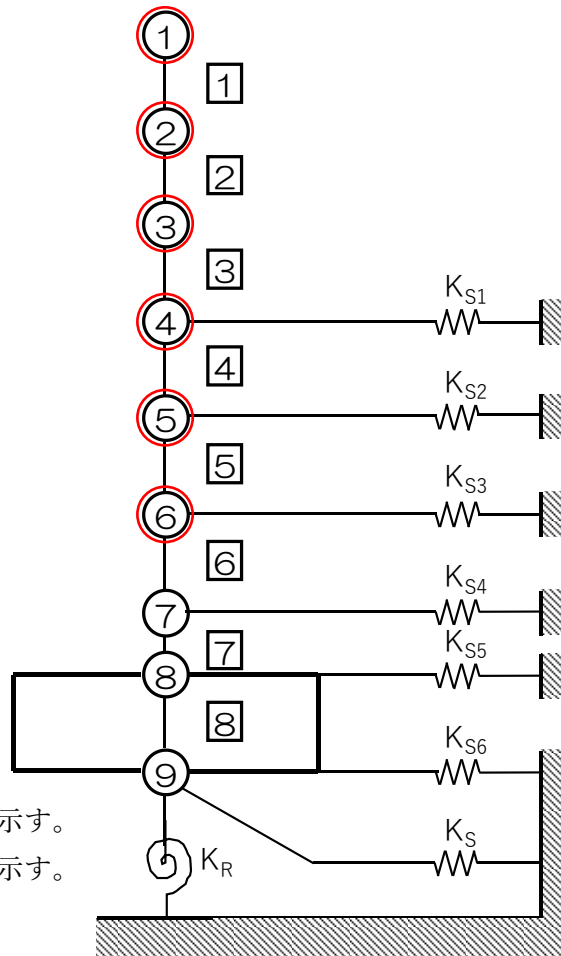
T.M.S.L. 43.20

T.M.S.L. 35.00

T.M.S.L. 34.23

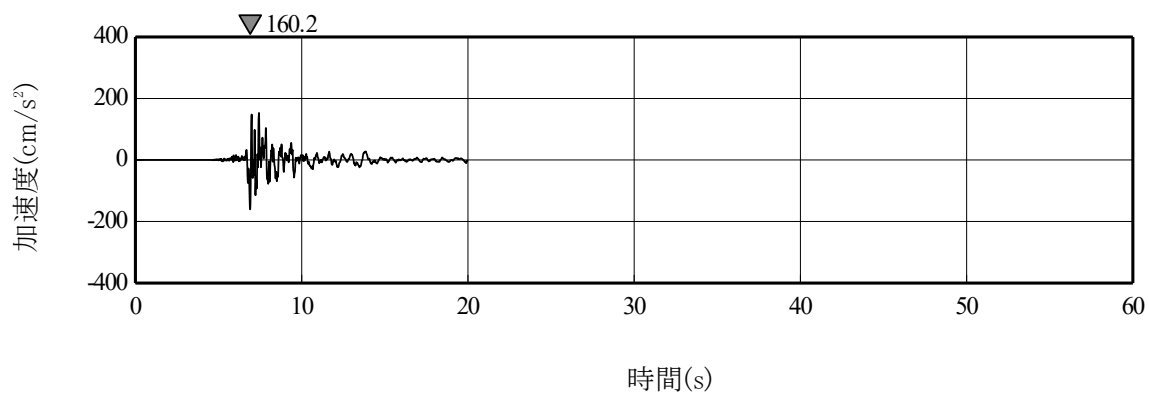
T.M.S.L. 31.53

注記 1：○数字は質点番号を示す。
注記 2：□数字は要素番号を示す。

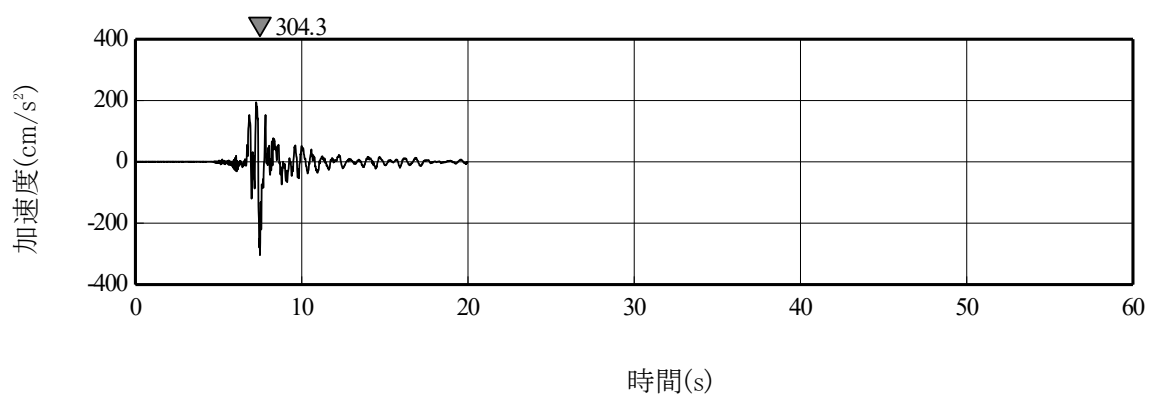


○：評価節点

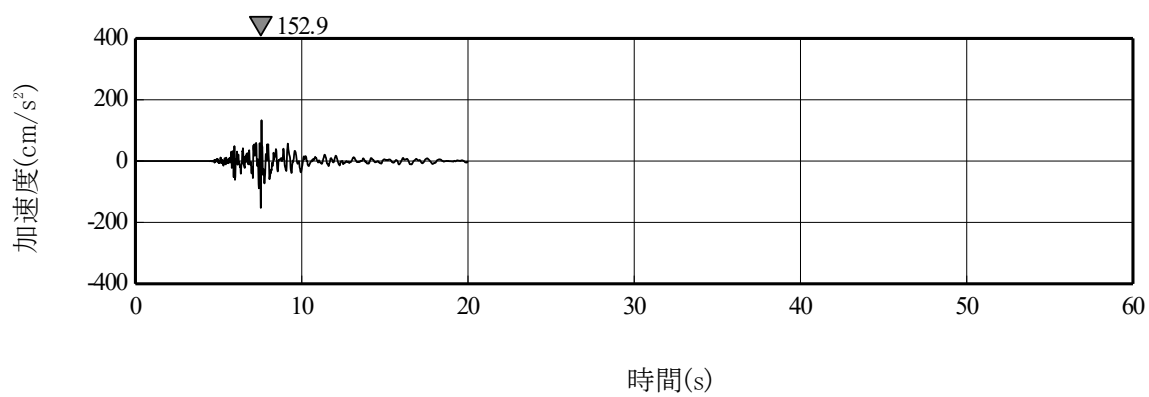
第 4.3-7 図 質点系モデルでの評価節点



(a) Sd-C1' (NS)

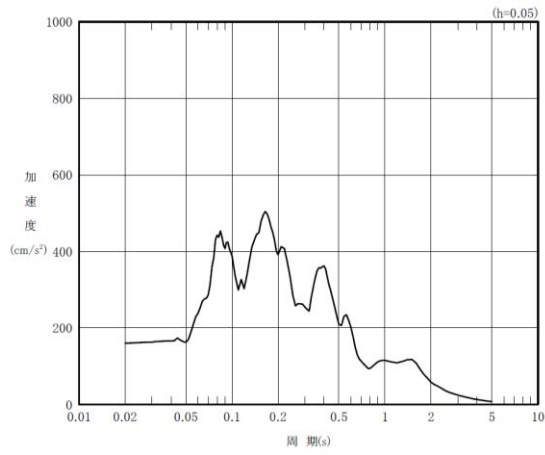


(b) Sd-C1' (EW)

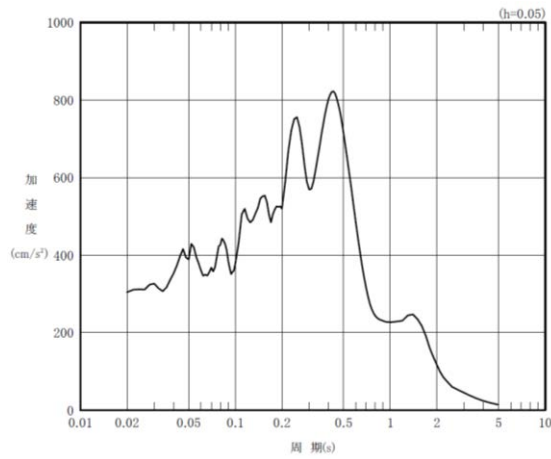


(c) Sd-C1' (UD)

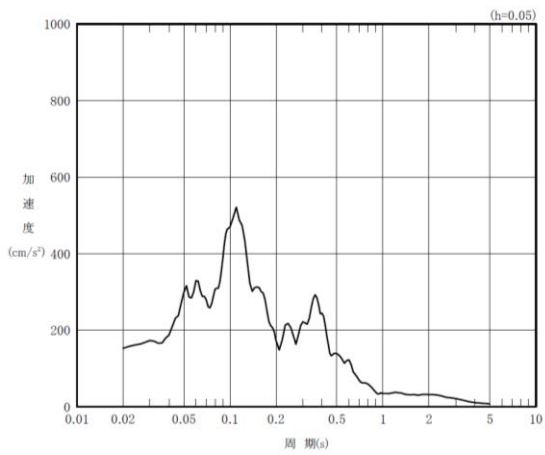
第 4.3-8 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度時刻歴波形



(a) Sd-C1' (NS)



(b) Sd-C1' (EW)



(c) Sd-C1' (UD)

第 4.3-9 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度応答スペクトル

(参考) -57

第 4.3-4 表 地震動の組合せ

		地震動組合せ		
		NS 方向	EW 方向	UD 方向
NS 方向 応答評価	水平 1 方向	Sd-C1' (EW)	—	—
	水平 2 方向 +鉛直方向	Sd-C1' (EW)	Sd-C1' (NS)	Sd-C1' (UD)
EW 方向 応答評価	水平 1 方向	—	Sd-C1' (EW)	—
	水平 2 方向 +鉛直方向	Sd-C1' (NS)	Sd-C1' (EW)	Sd-C1' (UD)

a. 応答補正比率の算出

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

燃料加工建屋については、質点系モデルにおいて、3 次元的な応答性状を考慮した 3 方向入力への解析ができないことから、建屋模擬モデルにおいて、1 方向入力および 3 方向入力の最大応答加速度を比較し、応答補正比率 α を算出する。

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

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

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

応答補正比率 ζ の算出式を以下に示す。

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

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

ここで、

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

(ただし、 ζ を算出する場合は、 $\alpha \geq 1.0$)

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

(ただし、 ζ を算出する場合は、 $\beta \geq 1.0$)

なお、3 方向入力の応答補正比率 α にもねじれ振動による成分は含まれているが、ねじれ振動による成分を明確に分離できないため、別途ねじれ振動の応答補正比率 β を算出し、本検討においては両者を乗じた ζ を建屋評価用の応答補正比率として評価を行う。

応答補正比率 α 、 β 、 ζ の算定結果を第 4.3-5 表～第 4.3-7 表に示す。応答補正比率 ζ は 1.00～1.19 の範囲にある。

第 4.3-5 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (1/2)

(a) NS 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		応答補正比率 α 3 方向入力 / 1 方向入力
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	1 方向 入力	3 方向 入力	
77.5	1	54736	567	632	1.11
		55099	566	623	1.10
		54768	575	548	0.953
		55131	573	551	0.962
70.2	2	53925	509	545	1.07
		54582	484	495	1.02
		53957	513	484	0.943
		54614	477	488	1.02
62.8	3	52878	455	459	1.01
		53617	441	456	1.03
		52910	450	428	0.951
		53649	435	457	1.05
56.8	4	51625	411	404	0.983
		52512	401	421	1.05
		51657	405	393	0.970
		52544	397	415	1.05
50.3	5	50331	368	347	0.943
		51232	360	380	1.06
		50363	361	355	0.983
		51264	360	366	1.02
43.2	6	41001	315	316	1.00
		43801	315	324	1.03
		41033	311	313	1.01
		43833	310	313	1.01

注記 1：質点番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの質点番号とする。

注記 2：網掛け部分は質点番号に対応した FEM 節点のうち最大となる α を示す。

第 4.3-5 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (2/2)

(b) EW 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		応答補正比率 α 3 方向入力 / 1 方向入力
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	1 方向 入力	3 方向 入力	
77.5	1	54736	534	548	1.03
		55099	556	612	1.10
		54768	528	579	1.10
		55131	568	558	0.982
70.2	2	53925	501	497	0.992
		54582	493	498	1.01
		53957	486	521	1.07
		54614	507	518	1.02
62.8	3	52878	456	462	1.01
		53617	456	443	0.971
		52910	442	455	1.03
		53649	464	481	1.04
56.8	4	51625	410	415	1.01
		52512	416	405	0.974
		51657	409	418	1.02
		52544	420	434	1.03
50.3	5	50331	368	366	0.995
		51232	373	365	0.979
		50363	370	376	1.02
		51264	368	376	1.02
43.2	6	41001	319	327	1.03
		43801	319	313	0.981
		41033	319	320	1.00
		43833	316	321	1.02

注記 1：質点番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの質点番号とする。

注記 2：網掛け部分は質点番号に対応した FEM 節点のうち最大となる α を示す。

第 4.3-6 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (1/2)

(a) NS 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		応答補正比率 β 建屋模擬/質点系対応
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	質点系 対応	建屋 模擬	
77.5	1	54736	538	567	1.05
		55099	538	566	1.05
		54768	541	575	1.06
		55131	541	573	1.06
70.2	2	53925	494	509	1.03
		54582	495	484	0.978
		53957	494	513	1.04
		54614	491	477	0.971
62.8	3	52878	451	455	1.01
		53617	451	441	0.978
		52910	448	450	1.00
		53649	448	435	0.971
56.8	4	51625	423	411	0.972
		52512	423	401	0.948
		51657	418	405	0.969
		52544	418	397	0.950
50.3	5	50331	379	368	0.971
		51232	379	360	0.950
		50363	376	361	0.960
		51264	376	360	0.957
43.2	6	41001	324	315	0.972
		43801	324	315	0.972
		41033	321	311	0.969
		43833	321	310	0.966

注記 1：質点番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの質点番号とする。

注記 2：網掛け部分は質点番号に対応した FEM 節点のうち最大となる β を示す。

第 4.3-6 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (2/2)

(b) EW 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		応答補正比率 β 建屋模擬/質点系対応
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	質点系 対応	建屋 模擬	
77.5	1	54736	510	534	1.05
		55099	513	556	1.08
		54768	510	528	1.04
		55131	513	568	1.11
70.2	2	53925	482	501	1.04
		54582	484	493	1.02
		53957	480	486	1.01
		54614	484	507	1.05
62.8	3	52878	459	456	0.993
		53617	449	456	1.02
		52910	459	442	0.963
		53649	449	464	1.03
56.8	4	51625	421	410	0.974
		52512	412	416	1.01
		51657	421	409	0.971
		52544	412	420	1.02
50.3	5	50331	372	368	0.989
		51232	366	373	1.02
		50363	372	370	0.995
		51264	366	368	1.01
43.2	6	41001	320	319	0.997
		43801	323	319	0.988
		41033	320	319	0.997
		43833	323	316	0.978

注記 1：質点番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの質点番号とする。

注記 2：網掛け部分は質点番号に対応した FEM 節点のうち最大となる β を示す。

第 4.3-7 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (1/2)

(a) NS 方向

評価点			比率 α	比率 β	$\alpha \times \beta$	応答補正比率 ζ
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点				
77.5	1	54736	1.11	1.05	1.17	1.17
		55099	1.10	1.05	1.16	
		54768	1.00	1.06	1.06	
		55131	1.00	1.06	1.06	
70.2	2	53925	1.07	1.03	1.10	1.10
		54582	1.02	1.00	1.02	
		53957	1.00	1.04	1.04	
		54614	1.02	1.00	1.02	
62.8	3	52878	1.01	1.01	1.02	1.05
		53617	1.03	1.00	1.03	
		52910	1.00	1.00	1.00	
		53649	1.05	1.00	1.05	
56.8	4	51625	1.00	1.00	1.00	1.05
		52512	1.05	1.00	1.05	
		51657	1.00	1.00	1.00	
		52544	1.05	1.00	1.05	
50.3	5	50331	1.00	1.00	1.00	1.06
		51232	1.06	1.00	1.06	
		50363	1.00	1.00	1.00	
		51264	1.02	1.00	1.02	
43.2	6	41001	1.00	1.00	1.00	1.03
		43801	1.03	1.00	1.03	
		41033	1.01	1.00	1.01	
		43833	1.01	1.00	1.01	

注記：質点番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの質点番号とする。

第 4.3-7 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (2/2)

(b) EW 方向

評価点			比率 α	比率 β	$\alpha \times \beta$	応答補正比率 ζ
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点				
77.5	1	54736	1.03	1.05	1.07	1.19
		55099	1.10	1.08	1.19	
		54768	1.10	1.04	1.14	
		55131	1.00	1.11	1.11	
70.2	2	53925	1.00	1.04	1.04	1.09
		54582	1.01	1.02	1.03	
		53957	1.07	1.01	1.09	
		54614	1.02	1.05	1.07	
62.8	3	52878	1.01	1.00	1.01	1.07
		53617	1.00	1.02	1.02	
		52910	1.03	1.00	1.03	
		53649	1.04	1.03	1.07	
56.8	4	51625	1.01	1.00	1.01	1.05
		52512	1.00	1.01	1.01	
		51657	1.02	1.00	1.02	
		52544	1.03	1.02	1.05	
50.3	5	50331	1.00	1.00	1.00	1.03
		51232	1.00	1.02	1.02	
		50363	1.02	1.00	1.02	
		51264	1.02	1.01	1.03	
43.2	6	41001	1.03	1.00	1.03	1.03
		43801	1.00	1.00	1.00	
		41033	1.00	1.00	1.00	
		43833	1.02	1.00	1.02	

注記：質点番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの質点番号とする。

b. 評価結果

各層の応答比率を乗じた最大応答せん断応力度及び最大せん断ひずみを第 4.3-8 表に示す。補正後の応答をプロットしたせん断スケルトンカーブを第 4.3-10 図に示す。

応答を補正したせん断ひずみは、評価基準値を超えないことを確認した。

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

第 4.3-8 表 せん断応力度及びせん断ひずみ

(a) NS 方向, Ss-C1

要素番号	質点系モデルの 最大応答値 (Ss)		応答補正 比率 ζ	応答補正後	
	τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)		τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)
1	1.35	0.133	1.17	1.58	0.156
2	1.30	0.127	1.10	1.43	0.140
3	1.61	0.159	1.05	1.69	0.167
4	1.82	0.179	1.05	1.91	0.188
5	2.72	0.494	1.06	2.79	0.535
6	2.56	0.382	1.03	2.59	0.397

注記 1：要素番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの要素番号とする。

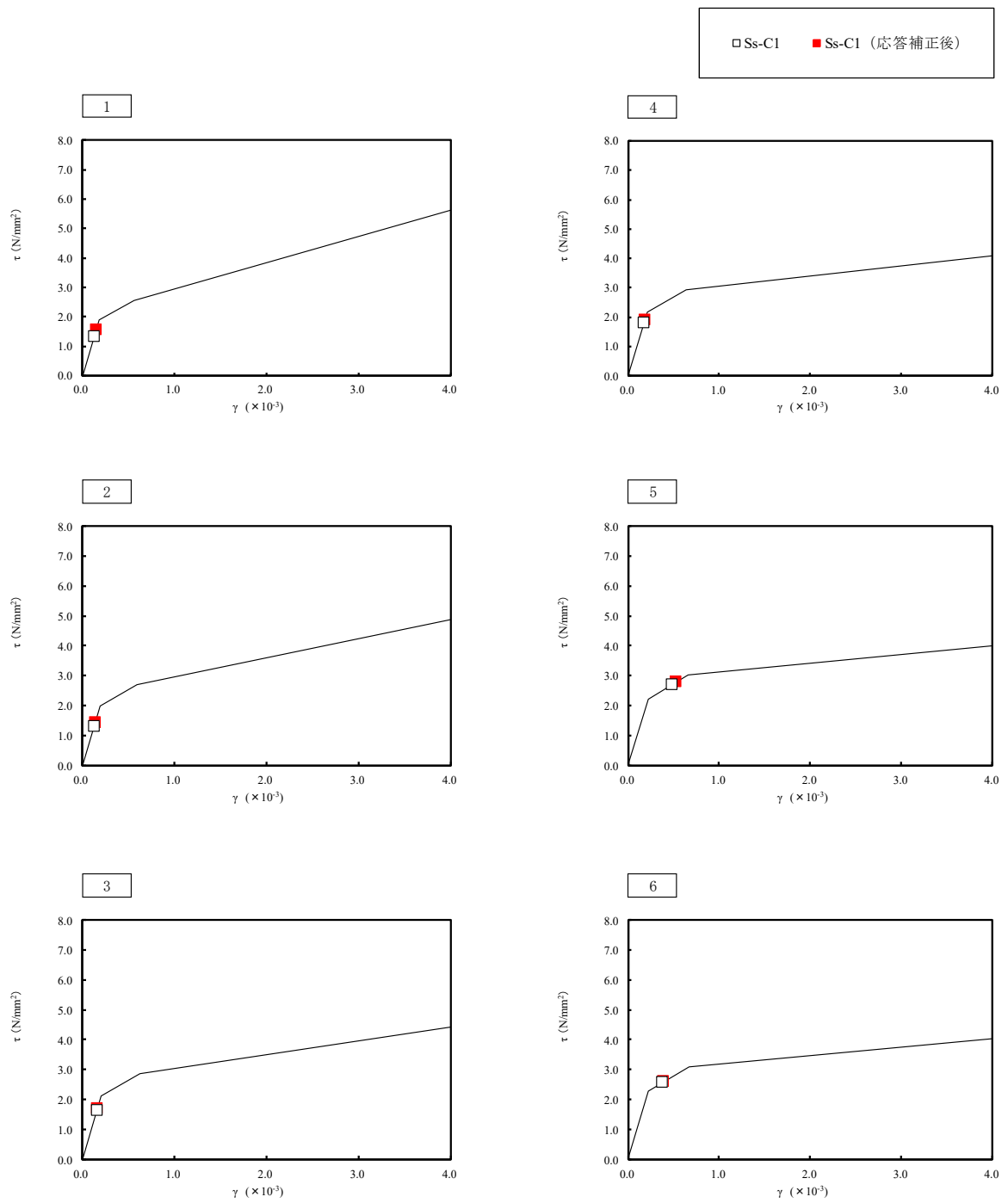
注記 2：応答補正比率 ζ は、第 4.3-7 表で算定した値のうち各レベルの最大値とする。
なお、応答補正比率 ζ が 1.0 未満の場合には 1.0 とする。

(b) EW 方向, Ss-C1

要素番号	質点系モデルの 最大応答値 (Ss)		応答補正 比率 ζ	応答補正後	
	τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)		τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)
1	0.59	0.058	1.19	0.70	0.069
2	1.16	0.114	1.09	1.27	0.125
3	1.53	0.151	1.07	1.64	0.162
4	1.88	0.185	1.05	1.98	0.194
5	2.59	0.428	1.03	2.63	0.445
6	2.30	0.237	1.03	2.32	0.244

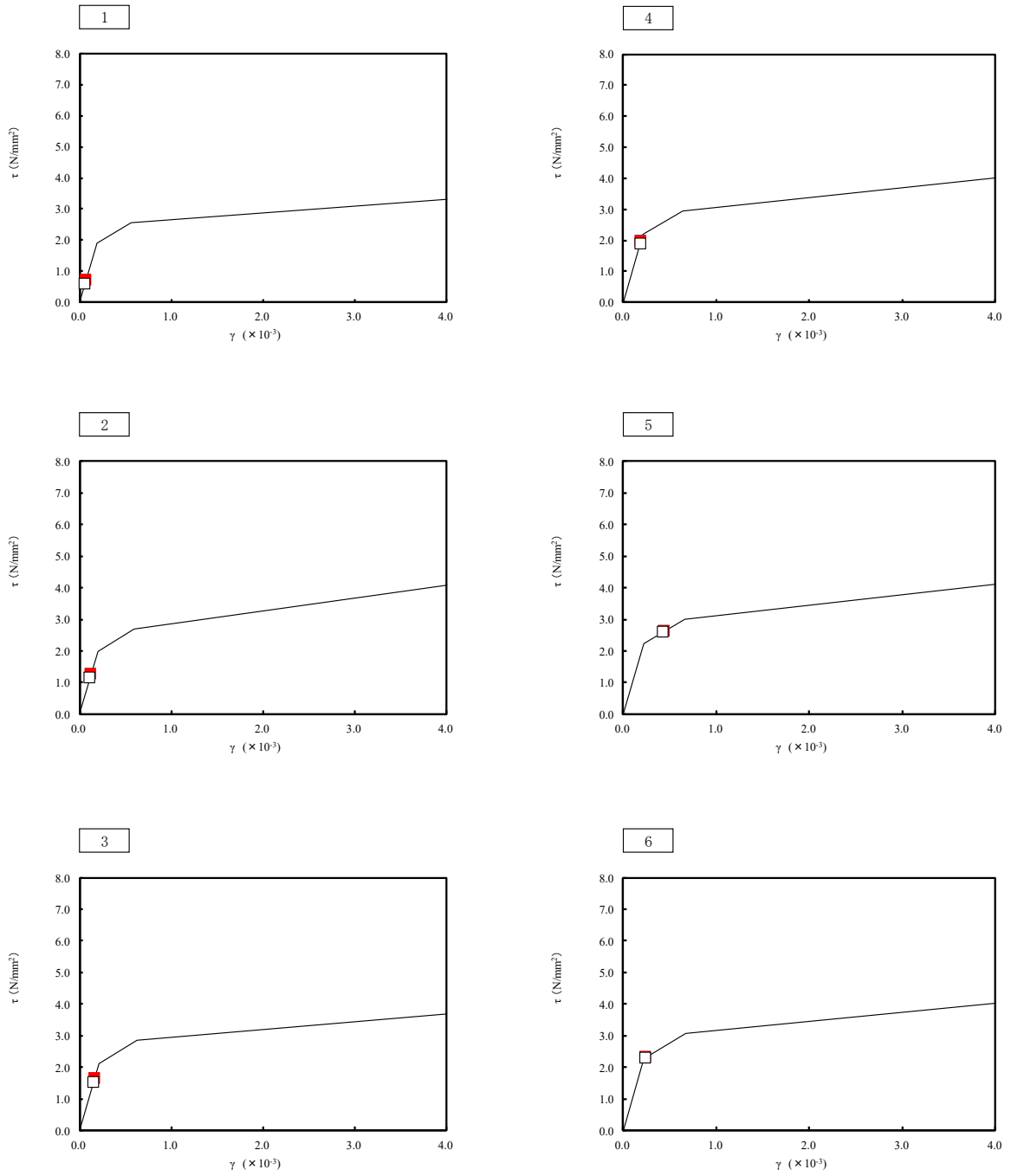
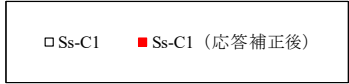
注記 1：要素番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの要素番号とする。

注記 2：応答補正比率 ζ は、第 4.3-7 表で算定した値のうち各レベルの最大値とする。
なお、応答補正比率 ζ が 1.0 未満の場合には 1.0 とする。



(a) NS 方向

第 4.3-10 図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値(1/2)



(b) EW 方向

第 4.3-10 図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値(2/2)

4.4 床応答への影響検討

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

評価部位は重要区域の範囲であるT.M.S.L. 35.0m～T.M.S.L. 50.3mの4隅の節点とする。

評価に当たっては、弾性設計用地震動Sd-Aに対して、3次元FEMモデルにおける1方向入力及び3方向入力時の床応答の比較、並びに質点系モデル及び3次元FEMモデルの床応答を比較し、3次元的な応答特性の影響を確認する。

ここで、1方向入力及び3方向入力時の床応答の比較については、「4.2(4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響」にて検討しており、評価部位において3方向入力による影響はほとんどないことを確認している。

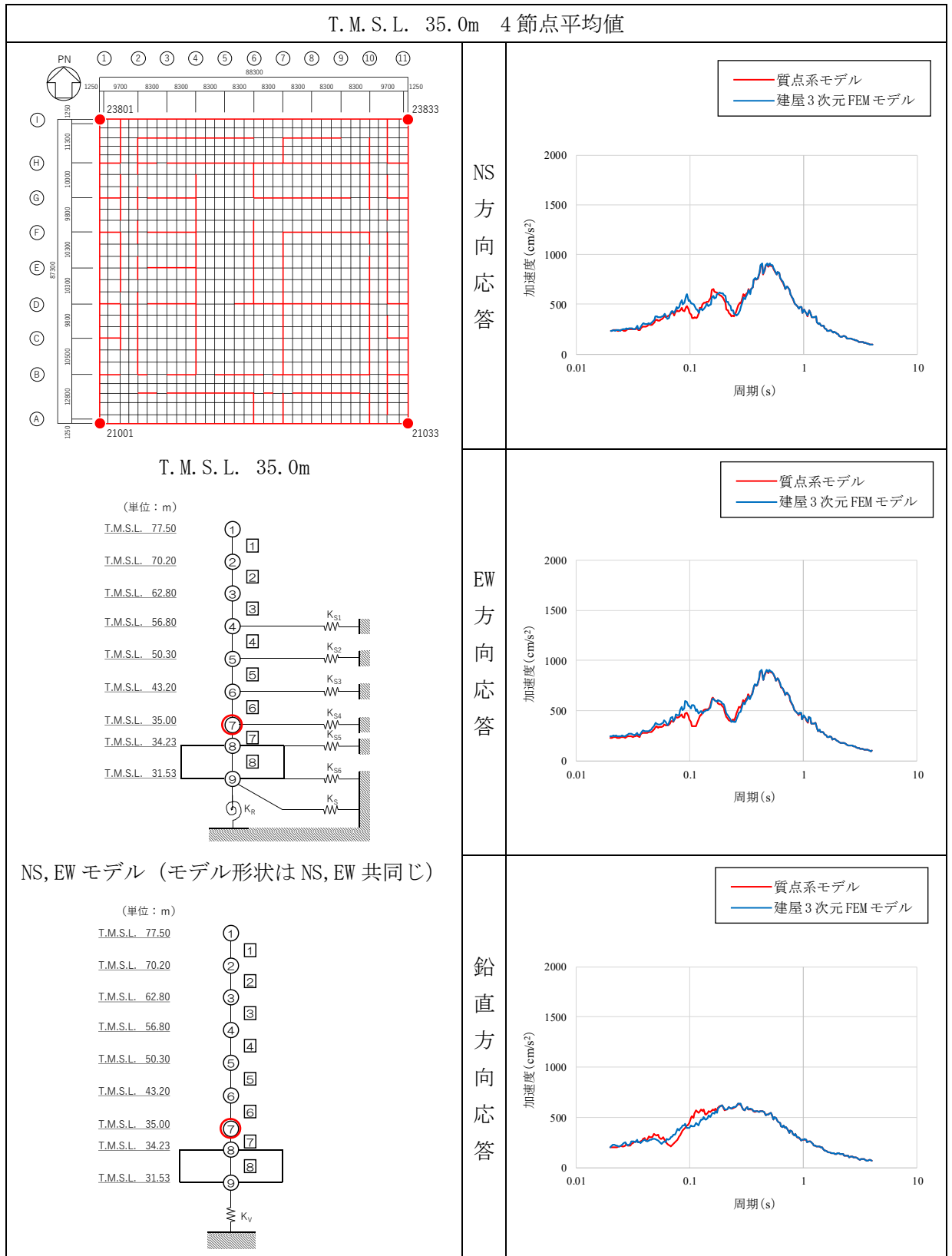
質点系モデル及び3次元FEMモデルの床応答の比較について、地震動の入力は質点系モデルで1方向入力していることから、3次元FEMモデルにおいても1方向入力と比較する。

評価結果を第4.4-1表に示す。

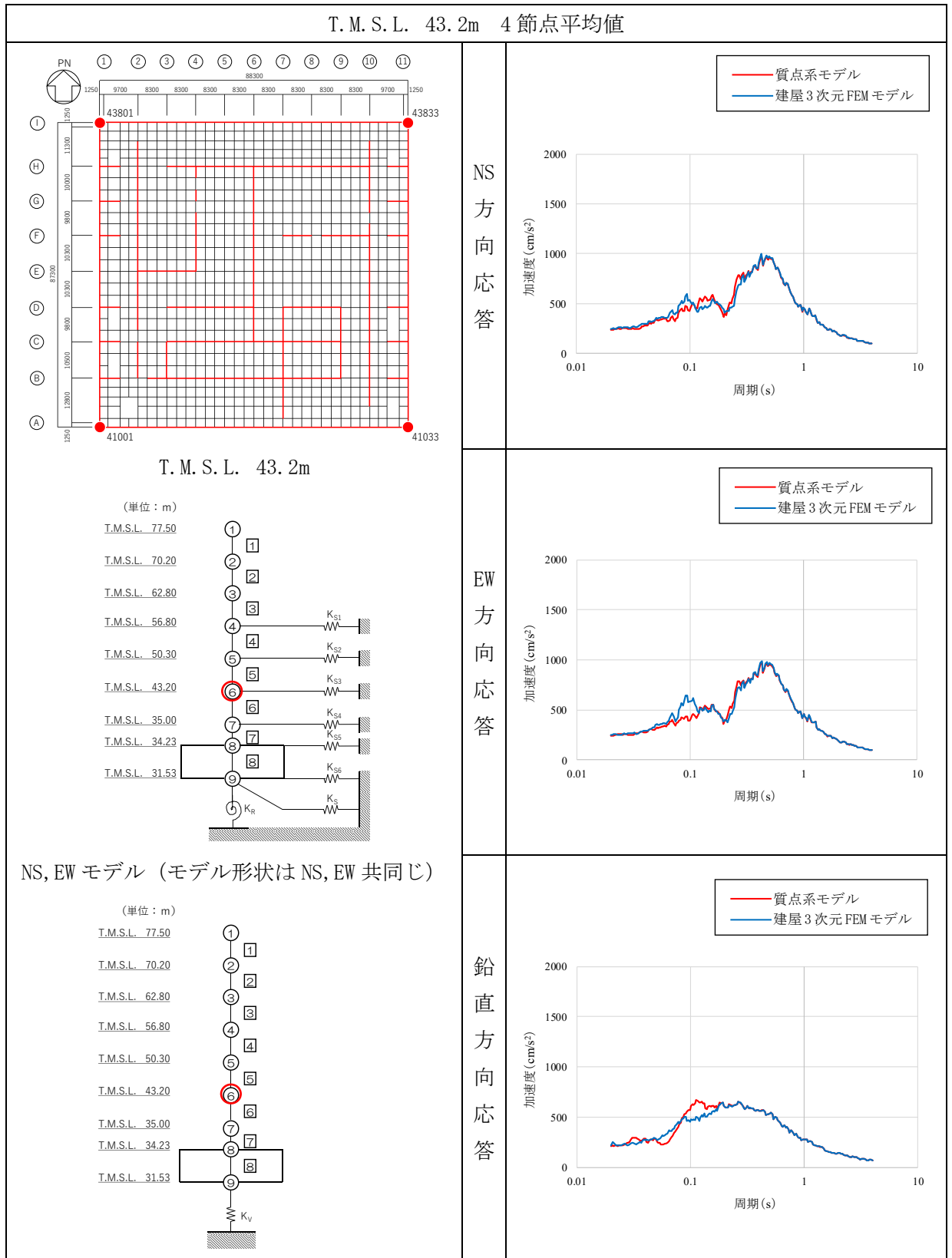
質点系モデルの応答と建屋模擬モデルの応答はよく一致していることが確認できた。

以上のことから、燃料加工建屋における質点系モデルの応答の妥当性を確認した。

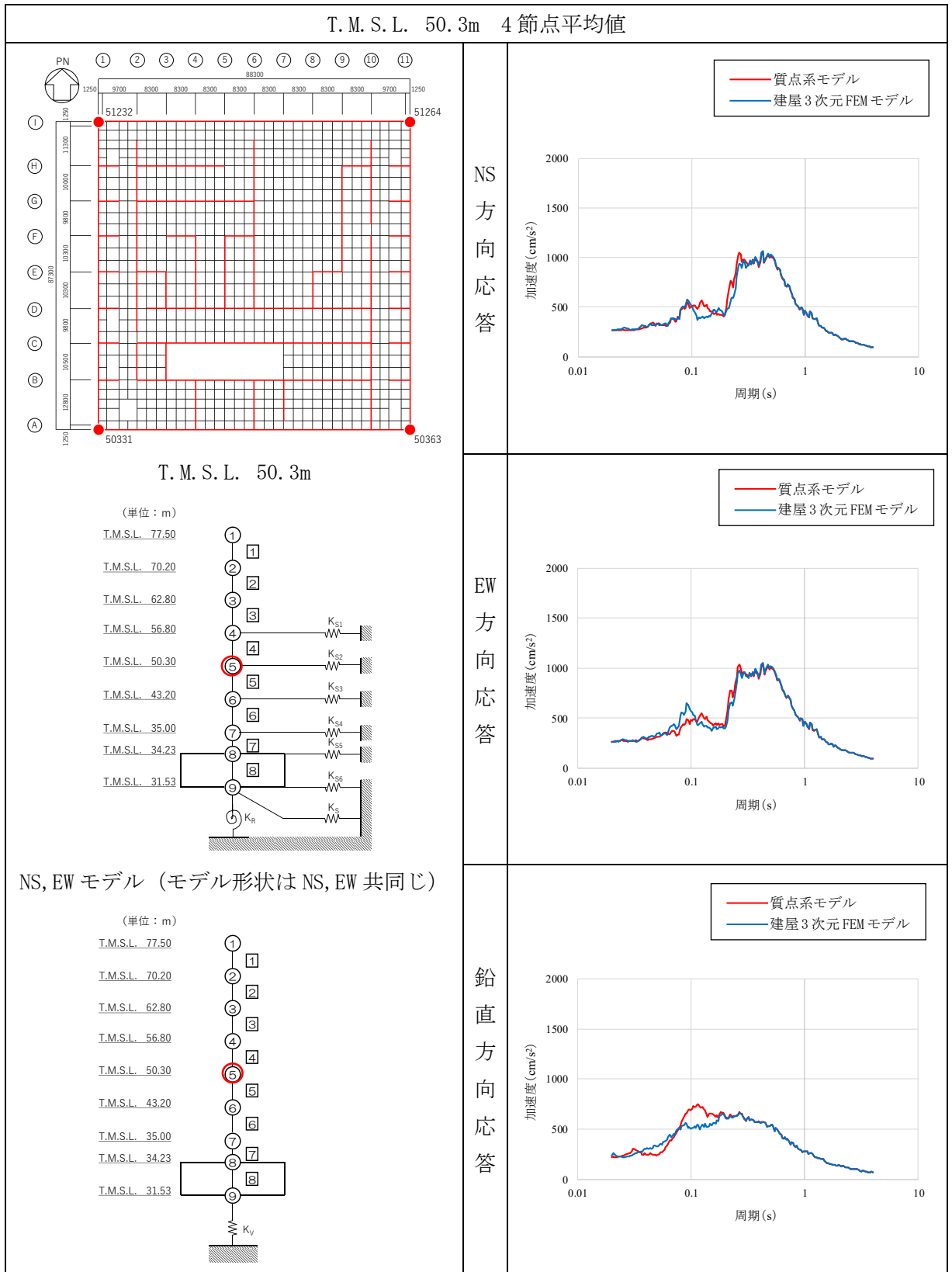
第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (1/3)



第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (2/3)



第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (3/3)



5. まとめ

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

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

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

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