

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 07 R7
提出年月日	令和4年4月6日

設工認に係る補足説明資料

耐震設計の基本方針に関する 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

1. 文章中の下線部は R6 から R7 への変更箇所を示す。
2. 本資料 (R7) は 2022 年 1 月 14 日に提示した「耐震設計の基本方針に関する水平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 R6」に対し、ヒアリングにおける主な指摘事項である側面回転ばねの取扱いについての指摘を踏まえ、記載内容を見直したものである。

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	15
3.5 影響評価部位の抽出結果	32
4. まとめ	34

注記：文中の[] 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

■：商業機密の観点から公開できない箇所

1. 概要

本資料は、再処理施設及びMOX燃料加工施設に対する、第1回設工認申請（令和2年12月24日申請）のうち、以下に示す建物・構築物（本資料においては、建物及び屋外機械基礎とし、洞道、竜巻防護対策設備及び排気筒は含まない。*）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を補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-2-1-1-1 建物及び屋外機械基礎の水平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-2-2-1-1-1 建物及び屋外機械基礎の水平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」

なお、本資料で示す水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価における、影響評価部位の抽出プロセスについては、今回申請対象以外の再処理施設、MOX燃料加工施設及び廃棄物管理施設（以下、「再処理施設等」という。）の建物・構築物に対しても適用するものである。

※：本資料に示す内容において、適用範囲外とした施設についてはそれぞれの資料において説明を行う。また、本資料の引用で他の資料の説明に代える場合には、引用範囲を明らかに記すこととする。

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。

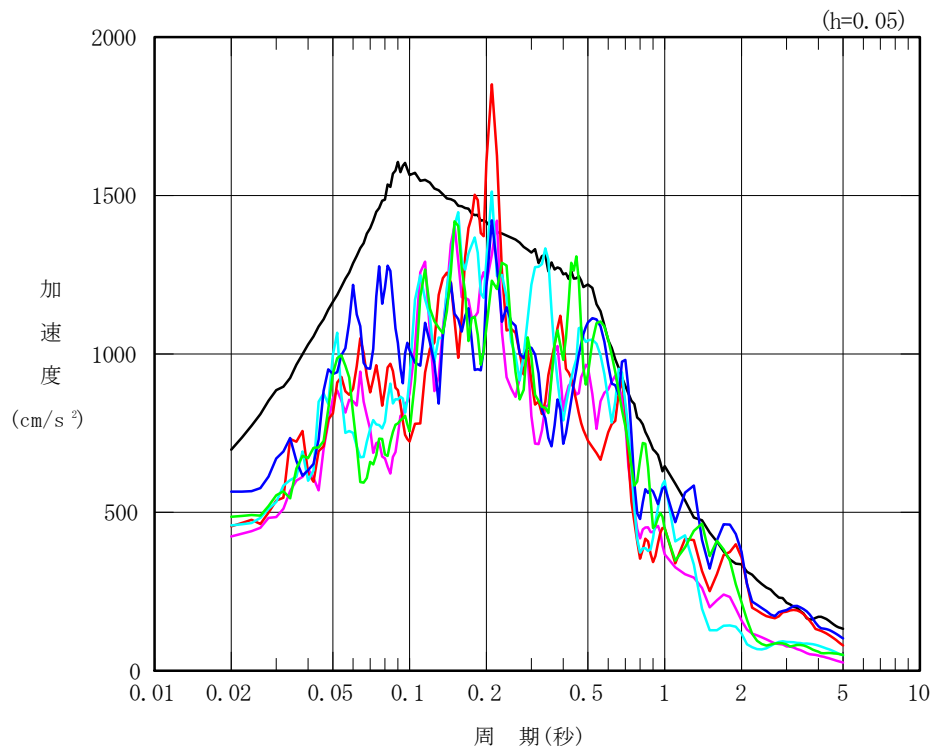
なお、各方向の入力地震動の位相特性や建物・構築物の三次元応答特性により応答の同時性を考慮する必要がある場合は、各方向の各時刻歴での応答を逐次重ね合わせる等の方法により、応答の同時性を考慮していること。

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、その影響を評価する。なお、評価にあたっては後述の組合せ係数法による評価を基本としているものの、建物・構築物の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には、応答の同時性を考慮したうえで影響を評価する。

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。

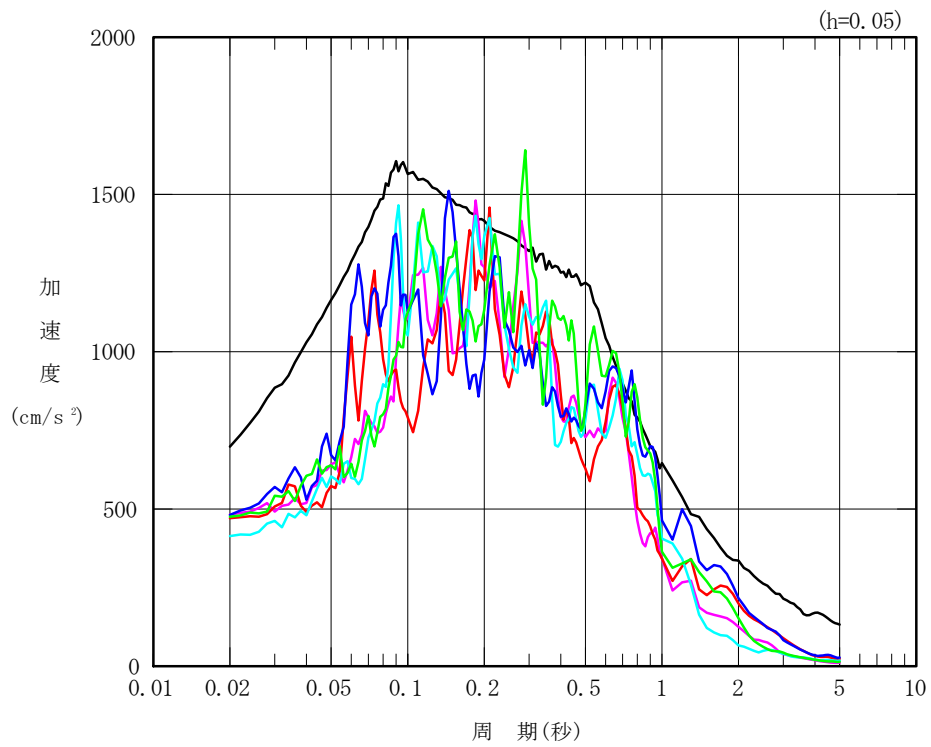
基準地震動 S_s の加速度応答スペクトルを第 3.1-1 図に示す。
なお、水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、本影響評価に用いる。



凡 例

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

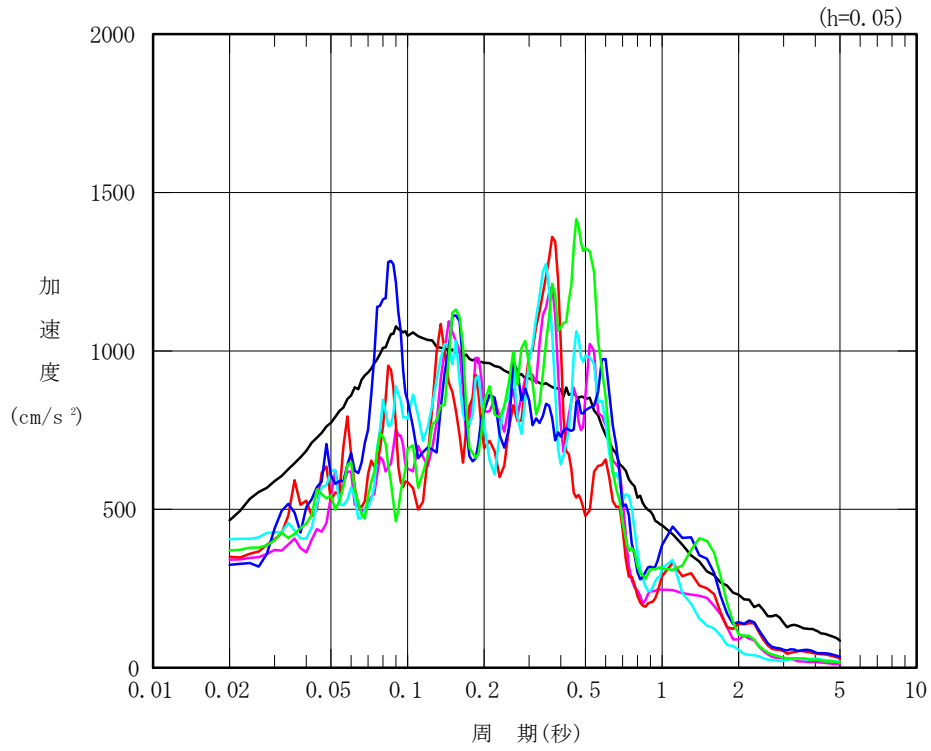
第 3.1-1 図 基準地震動 S_s の加速度応答スペクトル (1/5)



凡 例

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

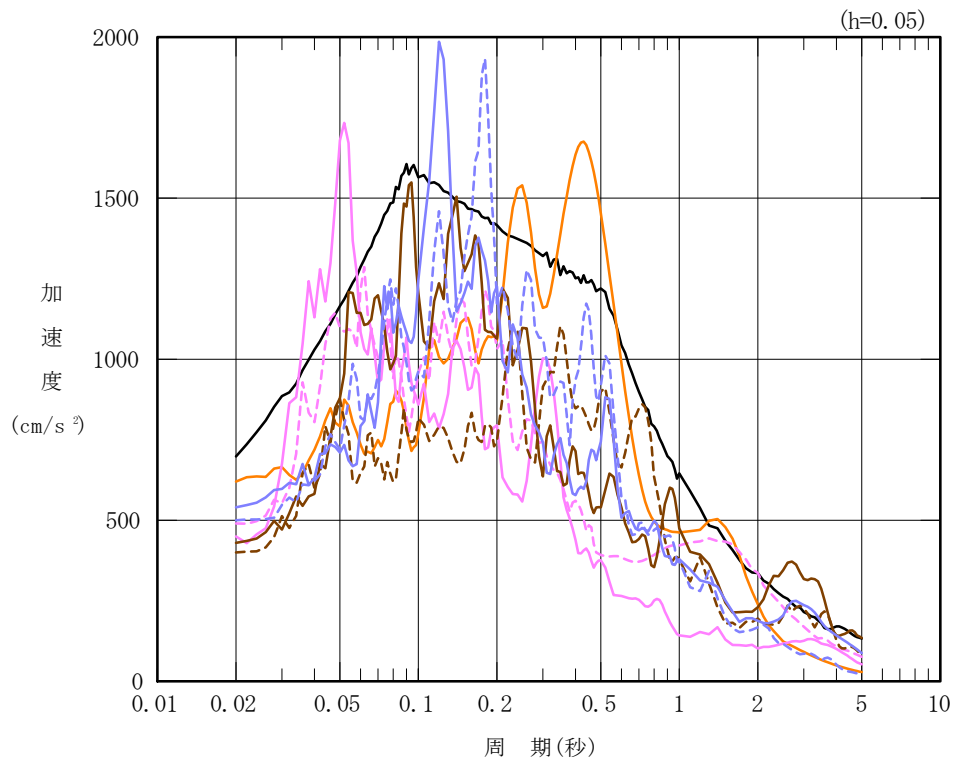
第 3.1-1 図 基準地震動 S_s の加速度応答スペクトル (2/5)



凡 例

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

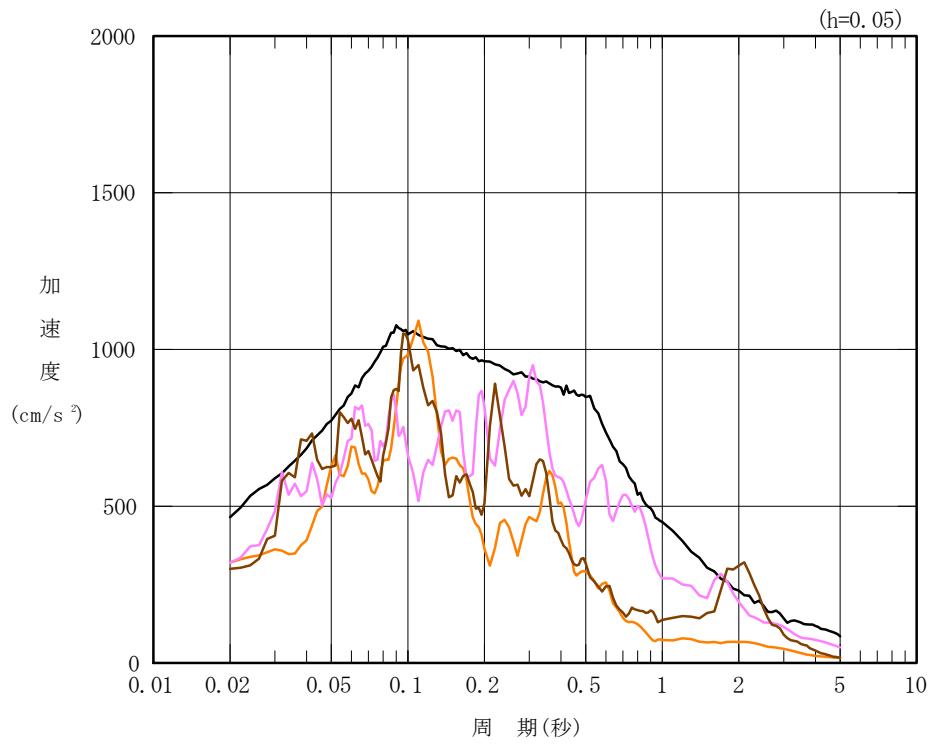
第 3.1-1 図 基準地震動 S_s の加速度応答スペクトル (3/5)



凡 例

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

第 3.1-1 図 基準地震動 S_s 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。

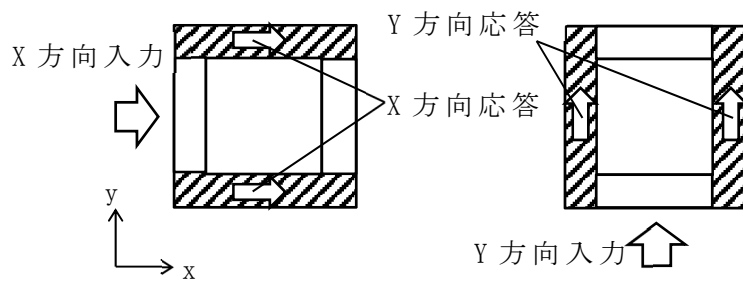
水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

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。

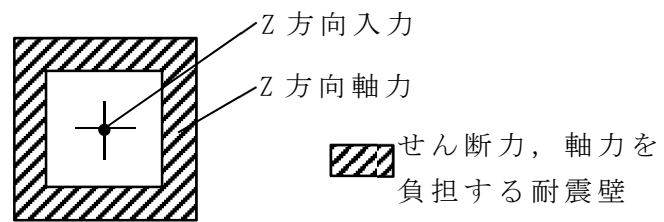
鉛直方向の地震力に対しては、軸力について評価することを基本としている。建物・構築物に生じる軸力に対しては、鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

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。



(a) 水平方向



(b) 鉛直方向

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を抽出し影響検討を行う。

抽出及び影響検討のフロー図を第 3.3-1 図に示す。また、以下にフロー図の各ステップに対する説明を記す。

① 耐震評価上の構成部位の整理 (第 3.3-1 図 ①)

評価対象は、耐震重要施設及び重大事故等対処施設の間接支持構造物、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し、耐震評価上の構成部位に分類する。

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応答特性から影響が想定される部位の整理を行う。応答特性は、荷重の組合せから影響が想定されるもの(第 3.3-1 図 ②-1)及び 3 次元的な建物挙動から影響が想定されるもの(第 3.3-1 図 ②-2)に分類する。以降、この 2 つの応答特性ごとに評価部位の抽出とその影響評価を行う。整理に当たっては、応答特性による影響の度合いを想定しつつ検討を進める。

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(第 3.3-1 図 ③)

「①」にて整理した耐震評価上の構成部位について、「②」にて整理したもののうち、荷重の組合せから影響が想定されるものに該当するか検討を行い、評価部位を抽出する。

また、抽出されなかった部位については荷重の組合せによる応答特性は想定されない部位として評価終了とする。

④ 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 ④)

③にて抽出した荷重の組合せから影響が想定される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。

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 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。なお、組合せる荷重又は応力としては、水平 1 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる局部評価の荷重又は応力の算出結果を用いる。

本検討の結果、耐震性への影響があると確認された部位については、詳細な手法を用いた追加検討や、新たに設計上の対応策を講じることとする。一方、耐震安全性への影響がないとしたものについては、水平2方向及び鉛直方向の地震力の組合せを考慮せず、従来の設計手法で対応可能な部位として建物・構築物の評価は終了とする。

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

⑤ 3次元FEMモデルを用いた精査による評価部位の抽出(第3.3-1図 ⑤)

「①」にて整理した耐震評価上の構成部位について、「②」にて整理したもののうち、3次元的な建物挙動から影響が想定されるものに該当するか検討を行い、評価部位を抽出する。

検討においては、3次元的な応答特性が想定される部位について、その部位が3方向の応答の同時性を考慮することによる応答への影響が想定される部位かどうかを、3次元FEMモデルを用いて精査を行う。建屋耐震評価としては、最大加速度応答に対して、機電耐震評価としてはFRSに対して応答への影響を判断する。ここで、応答への影響ありと判断した部位は、3次元的な応答特性に対する評価対象部位として選定する。一方、影響なしと判断した部位は3次元的な応答特性は想定されない部位として評価終了とする。

なお、3次元的な応答特性が想定されない部位についても、3次元FEMモデルによる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せにより、3方向の応答の同時性を考慮することで局所的な応答として影響が見られないか精査する。

局所応答に対する3次元FEMモデルによる地震応答解析を行う建物・構築物は、地震計を設置している建屋の内、偏心率が高く、ねじれ振動等の3次元的な挙動が大きいと想定される分離建屋とした。分離建屋の局所応答に対する3次元FEMモデルによる地震応答解析は別紙3に示す。

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による地震応答解析を行う。なお、燃料加工建屋は建設中であるため地震観測記録を有していないが、3次元FEMモデルの作成方針は建屋ごとに共通であることから、地震計を設置している建屋の内、偏心率の高い分離建屋のシミュレーション解析結果を用いて、燃料加工建屋の3次元FEMモデルのモデル化方法の妥当性も併せて説明する。燃料加工建屋の局所応答に対する3次元FEMモデルによる地震応答解析は参考資料に記す。

〔6〕 3次元 FEM モデルによる 3 次元的な挙動に対する影響評価

(第 3.3-1 図 〔6〕)

〔5〕にて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、3次元的な挙動により発生する応力に対して設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位の耐震安全性への影響を評価する。

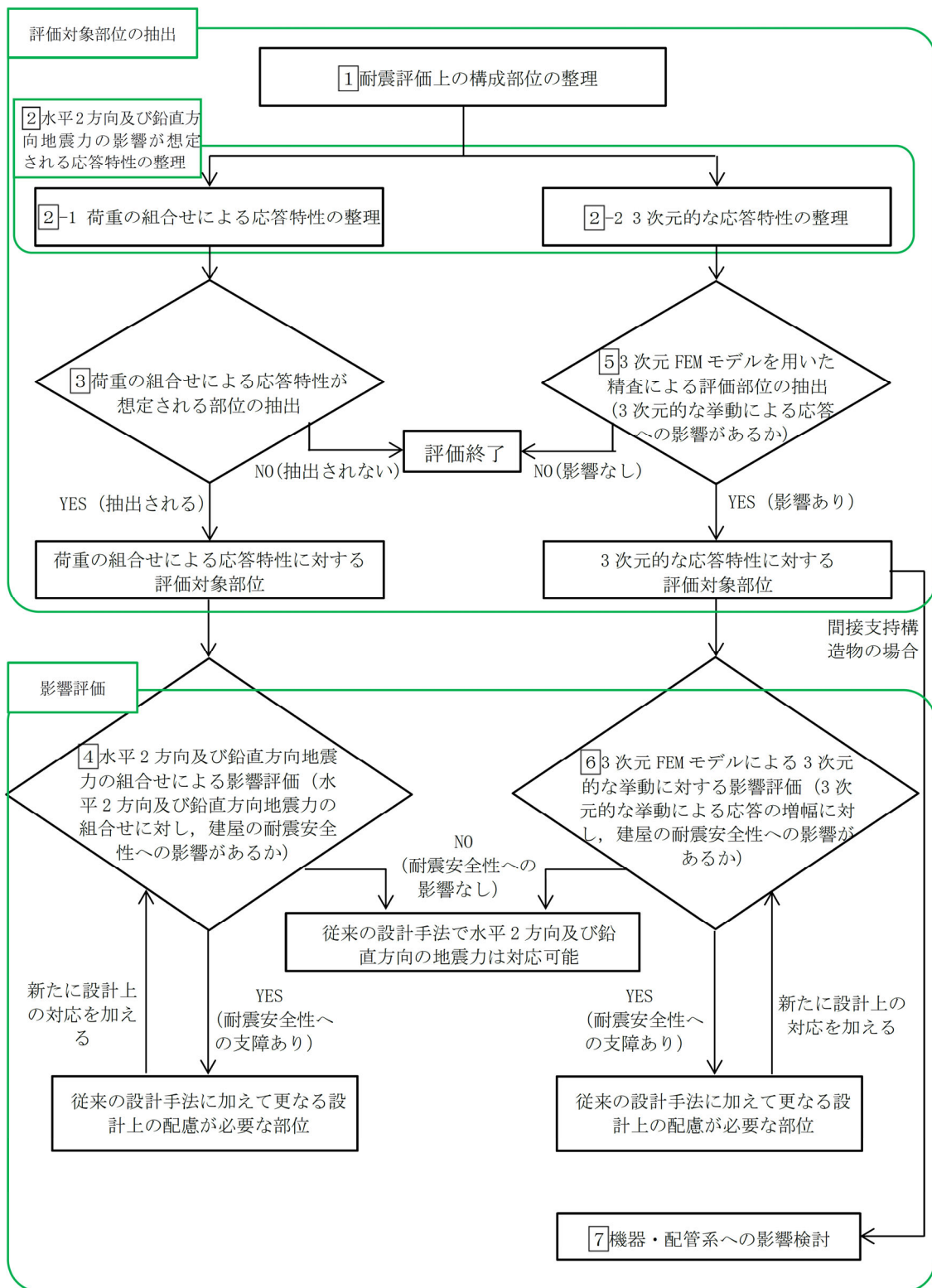
検討においては、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を組合せる方法として、3 方向の応答の同時性を考慮するために、3 次元 FEM モデルに各方向を入力した際の応答を時刻歴上で足し合わせることにする。

本検討の結果、耐震性への影響があると確認された部位については、詳細な手法を用いた追加検討や、新たに設計上の対応策を講じることとする。一方、耐震安全性への影響がないとしたものについては、水平 2 方向及び鉛直方向の地震力を同時に考慮せず、従来の設計手法で対応可能な部位として建物・構築物の評価は終了とする。

〔7〕 設備・機器への影響検討 (第 3.3-1 図 〔7〕)

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のうち、機器・配管系の間接支持構造物に当たるものについては、建屋を 3 次元 FEM でモデル化した地震応答解析より得られた応答加速度を用いて、該当部位の 3 次元的な挙動が機器・配管系に及ぼす影響検討を実施する。

なお、〔5〕、〔6〕及び〔7〕の内容については、建屋全体を 3 次元 FEM でモデル化して地震応答解析を行い、得られた要素の応答を用いての部材の応力評価をする手法はまだ実用的ではなく、本検討においても 3 次元 FEM モデルの応答から求めた応答比率を用いての間接的な評価を行っているため、補足説明資料の中に記載することとした。



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フロー

3.4 影響評価部位の抽出

第 3.3-1 図のフローの ①～③及び⑤に基づき、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（第 3.3-1 図 ①）

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。

なお、後次回申請の建物・構築物に対する抽出結果については、暫定の
ものであり各申請回次において、エビデンス含めて改めて精査した結果
を示す。

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)

対象評価部位	MOX燃料加工施設		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	ハル・エンドピース貯蔵建屋	制御建屋	主排気筒管理建屋	緊急時対策建屋	主排気筒基礎	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	
	RC造	RC造 (基礎)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造)	RC造	RC造	RC造 (基礎)	RC造	RC造
柱	一般部	○	-	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○
	地下部	○	-	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○
	隅部	-	-	○	○	○	-	-	○	-	-	-	-
梁	一般部	○	-	○	○	○	ハッチング部の抽出結果については、		○	-	○	○	○
	地下部	○	-	○	○	○	精査したものを後次回申請時に示す。		○	-	○	○	○
	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	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-

対象評価部位	再処理施設											
	チャンセルボックス・バーナブルボイラー処理建屋	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	使用済燃料輸送容器管理建屋 (使用済燃料貯蔵用受取貯蔵施設別棟)	使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレーアスリア)	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蓄油タンク室	非常用電源建屋	燃料油貯蔵タンク基礎	冷却塔A、B基礎	第1保管庫・貯水所	第2保管庫・貯水所
	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	RC造 (基礎)	RC造 (基礎)	RC造	RC造
柱	一般部	○	○	○	○	-	-	-	○	-	○	○
	地下部	○	○	-	-	-	○	-	○	-	○	○
	隅部	-	○	○	○	-	-	-	○	-	○	○
梁	一般部	○	○	○	○	ハッチング部の抽出結果については、		-	-	-	○	○
	地下部	○	○	-	-	精査したものを後次回申請時に示す。		-	-	-	○	○
	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 ○ : 対象の構造部材が存在する
 - : 対象の構造部材が存在しない
 □ : 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)

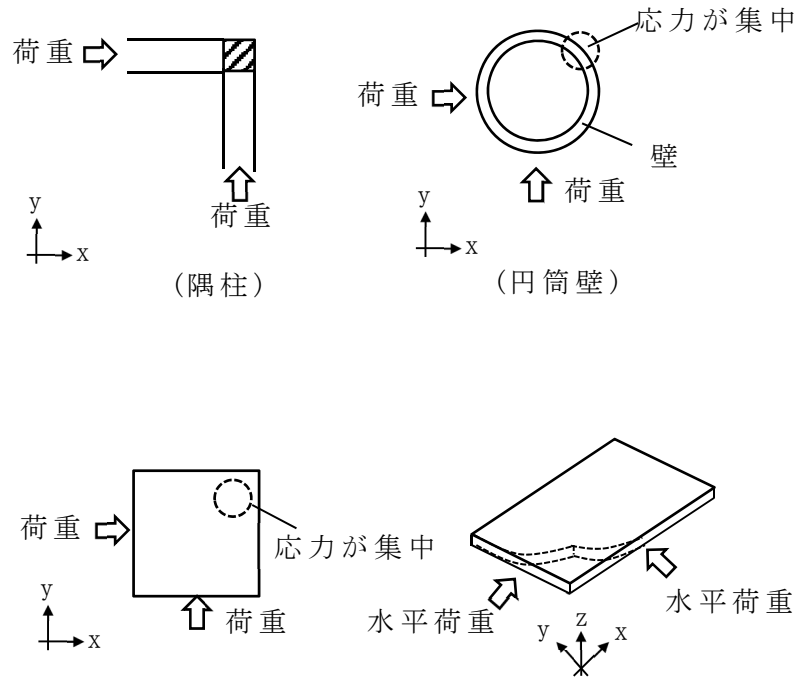
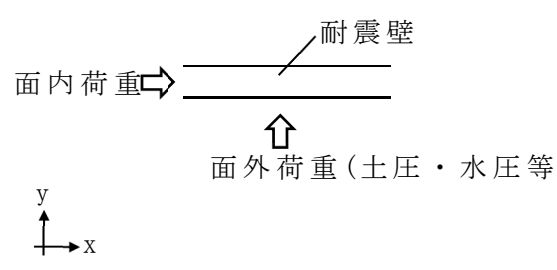
対象評価部位	再処理施設						廃棄物管理施設		
	第1軽油貯蔵所	第2軽油貯蔵所	重油貯蔵所	高レベル廃液 ガラス固化建屋	第1ガラス固化体 貯蔵建屋東棟	第1ガラス固化体 貯蔵建屋西棟	ガラス固化体貯蔵建屋	ガラス固化体 貯蔵建屋B棟	ガラス固化体受入れ建屋
	RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)	RC造 (一部SRC造及びFS造)
柱	一般部	-	-	-	○	○	○	○	○
	地下部	-	-	-	○	○	○	○	○
	隅部	-	-	-	-	○	○	○	○
梁	一般部	-	-	ハッチング部の抽出結果については、			○	○	○
	地下部	-	-	精査したものを後次回申請時に示す。			○	○	○
	鉄骨トラス	-	-				○	○	○
壁	一般部	-	-	-	○	○	○	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	○	○	○
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	-	○	-
床層根	○	○	○	○	○	○	○	○	
基礎 スラブ	矩形	○	○	○	○	○	○	○	○
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-

凡例 ○：対象の構造部材が存在する
 -：対象の構造部材が存在しない
 □：今回申請対象

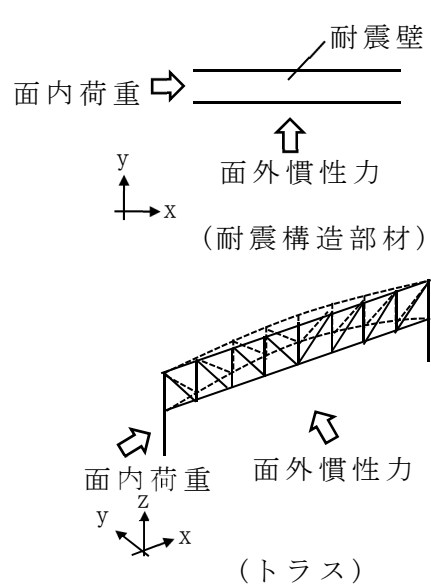
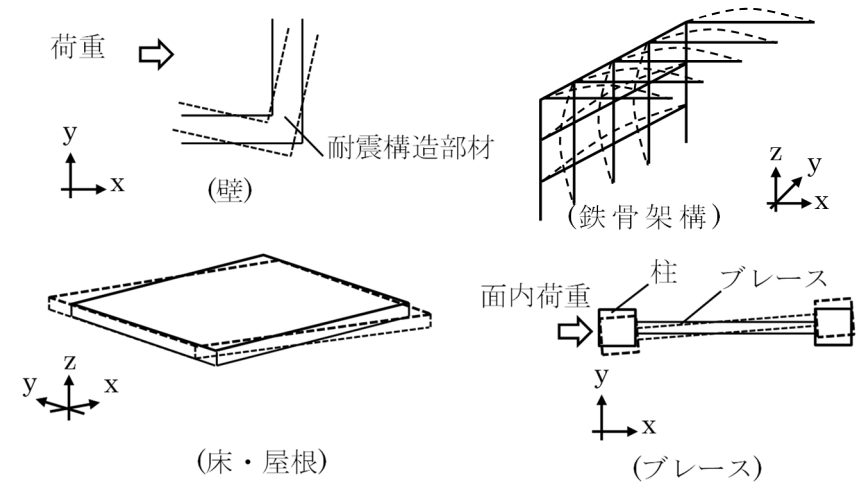
(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性の整理
(第 3.3-1 図 2)

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 方向入力のを考え方を第 3.4-4 表に示す。

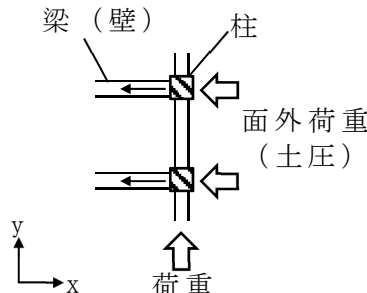
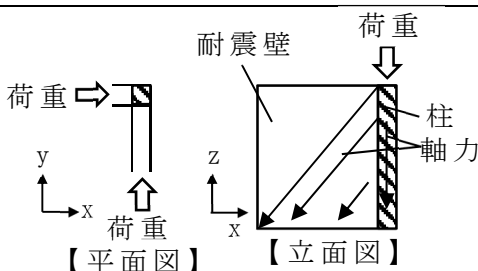
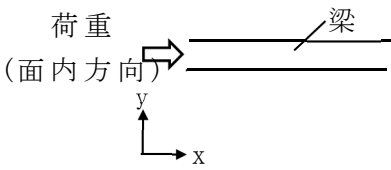
第 3.4-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

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>応力が集中</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>

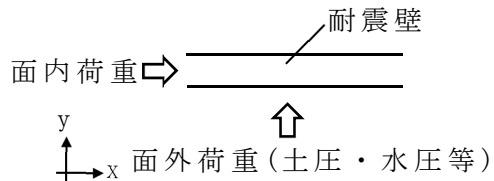
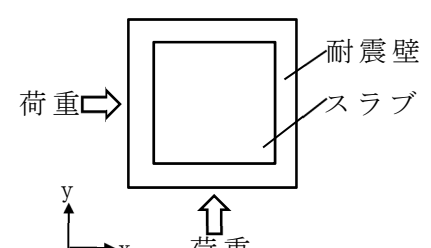
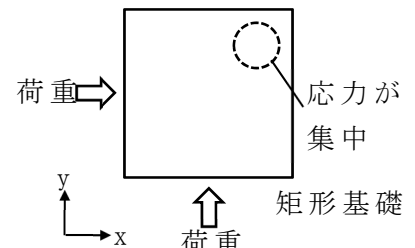
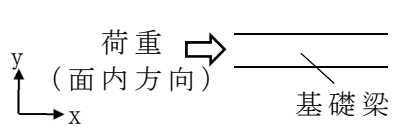
第 3.4-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

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>面内荷重</p> <p>面外慣性力 (トラス)</p>
<p>②- 2</p> <p>加振方向以外の方に励起される振動</p>	<p>塔状構造物などを含む、ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p>  <p>荷重</p> <p>耐震構造部材 (壁)</p> <p>(鉄骨架構)</p> <p>面内荷重</p> <p>柱</p> <p>ブレース (ブレース)</p> <p>(床・屋根)</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 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> 
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> 	
梁	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	<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。</p> 
	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	<p>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。</p> 
基礎	基礎 スラブ	<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> 
	基礎梁	<p>面内方向の荷重に加え，面外慣性力が作用する。また，面外地震荷重負担による影響は小さい。</p> 

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出(第 3.3-1 図 ③)

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。なお、後次回申請の建物・構築物に対する抽出結果については、暫定のものであり各申請回次において、エビデンス含めて改めて精査した結果を示す。

第 1 回申請対象の建物・構築物においては、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、

- ・ 燃料加工建屋の基礎スラブ
- ・ 安全冷却水 B 冷却塔の基礎スラブ

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、

- ・ 燃料加工建屋の地下外壁

を抽出した。

以下に、第 1 回申請対象の建物・構築物に対する抽出の考え方を示す。

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）が考えられるが、第 1 回申請対象の建物・構築物に隅部の柱は存在しない。また、中柱の一般部は、応力が集中することはなく該当しない。

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、燃料加工建屋の地下外壁を、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」する部位に該当しない。

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。燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔の基礎スラブについて、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が想定される部位
(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)

対象評価部位	MOX燃料加工施設		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	ハル・エンドピース貯蔵建屋	制御建屋	主排気筒管建屋	緊急時対策建屋	主排気筒基礎	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	
	RC造	RC造(基礎)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部S造)	RC造	RC造	RC造(基礎)	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	
	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	
	隅部	-	-	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	ハッチング部の抽出結果については、				-	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	精査したものを後次回申請時に示す。				-	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	①-2要(プール側壁)	該当無し	該当無し	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
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
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
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-	①-1要	-	-

対象評価部位	再処理施設												
	チェンネルボックス・バーナブルボイラ基礎建屋	使用液燃料受入れ・貯蔵建屋	使用液燃料輸送受器管理棟(使用液燃料貯蔵使用液燃料貯蔵設備設置)	使用液燃料輸送受器管理棟(トレーサリア)	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	非常用電源建屋	燃料油貯蔵タンク基礎	冷却塔A、B基礎	第1保管庫・貯水所	第2保管庫・貯水所	
	RC造	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造(基礎)	RC造	RC造(基礎)	RC造(基礎)	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	
	地下部	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	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	ハッチング部の抽出結果については、				-	該当無し	該当無し	
	地下部	該当無し	該当無し	-	-	精査したものを後次回申請時に示す。				-	該当無し	該当無し	
	鉄骨トラス	-	-	-	-					-	-	-	
壁	一般部	①-2要(ピット側壁)	①-2要(プール側壁)	該当無し	該当無し	-	-	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	
	鉄骨ブレース	-	該当無し	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	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

凡例 ①-1 要：応答特性①-1「直交する 2 方向の荷重が、応力として集中」に該当

①-2 要：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」に該当

該当無し：応答特性①-1 または ①-2 に該当しない

-：対象の構造部材が存在しない

□：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が想定される部位
(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)

対象評価部位		再処理施設						廃棄物管理施設		
		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	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	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
		RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS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
	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
	隅部	-	-	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	①-1要 (冷却空気出口 シャフト部)	該当無し
梁	一般部	-	-	ハッチング部の抽出結果については、				該当無し	該当無し	該当無し
	地下部	-	-	精査したものを後次回申請時に示す。				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
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
	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 ①-1 要：応答特性①-1「直交する 2 方向の荷重が、応力として集中」に該当

①-2 要：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」に該当

該当無し：応答特性①-1 または ①-2 に該当しない -：対象の構造部材が存在しない □：今回申請建屋

(4) 3次元FEMモデルを用いた精査による評価部位の抽出(第3.3-1図 [5])

3次元的な応答特性に対して、3次元FEMモデルを用いた精査により、3方向の応答の同時性を考慮することによる応答への影響が認められた部位を抽出した。3次元FEMモデルを用いた精査による評価部位の抽出結果を第3.4-6表に、建屋ごとに評価部位を再整理した結果を第3.4-7表に示す。なお、後次回申請の建物・構築物に対する抽出結果については、暫定のものであり各申請回次において、エビデンス含めて改めて精査した結果を示す。

第1回申請対象の建物・構築物においては、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、

- ・燃料加工建屋のクレーン室の壁
- ・燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブ

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としては、抽出されなかった。

なお、上記の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2」にて示す。

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、第1回申請の建物・構築物として新設建屋である燃料加工建屋に対し、3次元FEMモデルによる地震応答解析を行い、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揺れ挙動についても確認を行った。

燃料加工建屋の評価の結果、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。

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。

以下に、第1回申請対象の建物・構築物に対する抽出の考え方を示す。

a. 柱

柱については、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

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

燃料加工建屋のクレーン室の壁については、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。

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

燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブは東西方向に広くスパンが飛んでおり、面外への振動を抑制する部材が存在しないため、②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位に抽出した。その他の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、再処理施設等の基礎スラブは部材断面が十分厚い剛な構造であるため3次元的な応答特性の発生する部位には該当しない。

第 3.4-6 表 3次元 FEM モデルを用いた精査

対象		建物・構築物	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					
壁	一般部 (クレーン室の壁)	・燃料加工建屋	②-1 (面内方向の荷重に加え面外慣性力の影響が大きい)	・水平 2 方向及び鉛直方向入力時の応答の、水平 1 方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	・水平 2 方向及び鉛直方向入力による応答増幅が認められたため、評価対象部位に抽出する。
スラブ	一般部 (クレーン室の天井スラブ)	・燃料加工建屋	②-1 (面内方向の荷重に加え面外慣性力の影響が大きい)	・同上	・水平 2 方向及び鉛直方向入力による応答増幅が認められたため、評価対象部位に抽出する。
耐震評価部位全般		・燃料加工建屋	局所的な応答	・水平 2 方向及び鉛直方向入力時の応答の水平 1 方向入力時の応答に対する増分が小さいことを確認する。	・水平 2 方向及び鉛直方向地震力による応答及び耐震性への影響が小さいことから抽出しない。

第 3.4-7 表 3 次元的な応答特性に対する評価部位の再整理 (1/2)

対象評価部位	MOX燃料加工施設		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	ハル・エンドピース貯蔵建屋	制御建屋	主排気筒管理建屋	緊急時対策建屋	主排気筒基礎	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋
注	一般部	該当無し	RC造 (一部SRC造及びFS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	RC造	RC造	RC造 (基礎)	RC造
	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
	隅部	—	—	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	ハッチング部の抽出結果については、				—	該当無し	該当無し
	地下部	該当無し	—	該当無し	該当無し	精査したものを後次回申請時に示す。				—	該当無し	該当無し
	鉄骨トラス	—	—	—	—					—	—	—
壁	一般部	②-1要 (クレーン室の壁)	—	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
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
床版	矩形	②-1要 (クレーン室の天井スラブ)	—	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	矩形以外	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
	矩形以外	—	—	—	—	—	—	—	—	該当無し	—	—

対象評価部位	再処理施設											
	チャンネルボックス・バーナブ ルグインズ処理建屋	使用済燃料投入・ 貯蔵建屋	使用済燃料輸送受取管理建屋 (使用済燃料貯蔵使用済燃料輸 送管理建屋)	使用済燃料輸送受取管理建屋 (トレーラーエリア)	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	非常用電源建屋	燃料油貯蔵タンク基礎	冷却塔A、B基礎	第1保管庫・貯水所	第2保管庫・貯水所
注	一般部	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	RC造 (基礎)	RC造 (基礎)	RC造	RC造
	地下部	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
梁	一般部	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
	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
	地下部	該当無し	該当無し	—	—	—	—	—	—	—	該当無し	該当無し
	鉄骨ブレース	—	該当無し	該当無し	該当無し	—	—	—	—	—	—	—
床版	矩形	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	矩形以外	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
	矩形以外	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

凡例 ②-1 要：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」に該当

②-2 要：応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に該当

該当無し：応答特性②-1または②-2に該当しない ー：対象の構造部材が存在しない

□：今回申請建屋

第 3.4-7 表 3 次元的な応答特性に対する評価部位の再整理 (2/2)

対象評価部位	再処理施設							廃棄物管理施設		
	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	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	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	
	RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	
柱	一般部	—	—	—	該当無し	②-2要 (シャフト部)	②-2要 (シャフト部)	②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	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
	隅部	—	—	—	—	②-2要 (シャフト部)	②-2要 (シャフト部)	②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	該当無し
梁	一般部	—	—	—	—	②-2要 (シャフト部)	②-2要 (シャフト部)	②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	該当無し
	地下部	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	鉄骨トラス	—	—	—	—	—	—	—	—	—
壁	一般部	—	—	—	②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	②-1要 (貯蔵区域の壁) ②-2要 (シャフト部)	②-1要 (貯蔵区域の壁) ②-2要 (シャフト部)	②-1要 (貯蔵区域の壁) ②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	②-1要 (貯蔵区域の壁)	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
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	—	—	②-2要 (冷却空気出ロシャフト部)	—
床屋根	矩形	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	矩形以外	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
	矩形以外	—	—	—	—	—	—	—	—	—

ハッチング部の抽出結果については、
精査したものを後次回申請時に示す。

凡例 ②-1 要：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」に該当
 ②-2 要：応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」に該当
 該当無し：応答特性②-1または②-2に該当しない ー：対象の構造部材が存在しない

□：今回申請建屋

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

第1回申請対象の建物・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、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」する部位としては、燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔の基礎スラブに対して、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、隅部の柱に対しては、第1回申請対象の建物・構築物に対しては、抽出されなかったため、後次回申請にて該当部位の評価結果を示す。

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、燃料加工建屋の地下外壁が挙げられるが、当該部位は耐震Sクラスの要求機能はないため、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、後次回申請にて水平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②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位としては、広範囲にわたってスパンが飛んでいるという構造特性を考慮し、燃料加工建屋のクレーン室の壁及びクレーン室の天井スラブに対して、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は、第1回申請対象の建物・構築物に対しては、抽出されなかったため、後次回申請にて該当部位の評価結果を示す。

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
①-1	基礎 スラブ	矩形	・安全冷却水 B 冷却塔の基礎 ・燃料加工建屋
	柱	隅部	後次回申請にて示す
①-2	壁	面外荷重 作用部	後次回申請にて示す
②-1	壁	面外慣性力 作用部	・燃料加工建屋（クレーン室の壁）
	天井スラブ		・燃料加工建屋（クレーン室の天井スラブ）
②-2	—	—	後次回申請にて示す
局所的な応答	耐震評価部位全般		・燃料加工建屋

- 凡例 ①-1：応答特性①-1「直交する 2 方向の荷重が，応力として集中」
 ①-2：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」
 ②-1：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」
 ②-2：応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」

(2) 機器・配管系への影響が考えられる部位の抽出

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のうち，間接支持構造物のものについて，3 次元的な挙動による応答増幅の観点から機器・配管系への影響の可能性が想定される部位を抽出する。なお，影響評価については評価対象機器の振動特性等を踏まえ，建屋を 3 次元 FEM でモデル化した地震応答解析より得られた応答加速度を用いて，補足説明資料「建物・構築物の 3 次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

第 1 回申請の建物・構築物においては，安全冷却水 B 冷却塔の基礎については，矩形の単純な構造であるため 3 次元的な応答特性にはあてはまらないという整理を行っているため機器・配管系への影響はない。燃料加工建屋については，応答の増幅が見られる場所における機器・配管系の耐震性について，後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ適切に評価を行い，評価結果を上記の補足説明資料に示す。

なお，後次回申請の建物・構築物においては，部位に作用する荷重を：
 水平 2 方向及び鉛直方向に適切に組合せて耐震性への影響検討を行った結果を改めて示す。

4. まとめ

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評価部位の抽出の考え方についての説明を行った。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が発生する可能性のある部位を抽出し、建屋の構造特性、規模、作用する荷重の特殊性及び重要な設備を多く内包している等の留意すべき特徴を考慮して、代表として評価を行う部位の選定を行った。

その結果、第 1 回申請の建物・構築物においては、

- ・燃料加工建屋の基礎スラブ

(結果は添付書類「Ⅲ-2-2-1-1-1 建物及び屋外機械基礎の水平 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」に記載)

- ・安全冷却水 B 冷却塔の基礎スラブ

(結果は添付書類「Ⅳ-2-2-1-1-1 建物及び屋外機械基礎の水平 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」に記載)

- ・燃料加工建屋のクレーン室の壁 (結果は本補足説明資料の別紙 2 に記載)

- ・燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブ (結果は本補足説明資料の別紙 2 に記載)

が代表して評価を行う部位として選定され、これらの部位に対して評価を行った。

評価の結果、第 1 回申請の建物・構築物においては、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに対して耐震性には影響を及ぼさないことを確認した。

なお、燃料加工建屋のクレーン室の壁及びクレーン室の天井スラブに対する 3 次元 FEM モデルを用いた精査及び 3 次元的な挙動に対する影響評価については別紙 2 に、燃料加工建屋の建屋 3 次元 FEM モデルを用いた局所応答に対する影響評価については参考資料に示す。また、本説明事項については補足説明資料での補正申請を行う予定である。

別紙

別紙リスト 耐震建物 07【耐震設計の基本方針に関する水平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】

別紙				備考
資料 No.	名称	提出日	Rev	
別紙 1	評価対象建物・構築物の図面	2022/1/14	0	
別紙 2	3次元 FEM モデルを用いた精査	2022/1/14	0	
別紙 3	3次元 FEM モデルによる地震応答解析 (分離建屋)	—	—	後次回で示す
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)	2022/4/6	1	

令和 4 年 1 月 14 日 R0

別紙 1

評価対象の建物・構築物の図面

目 次

1. 評価対象の建物・構築物の図面…………… 別紙 1-1

1. 評価対象の建物・構築物の図面

「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・構築物の図面を次ページ以降に記載する。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1.-1表に示す。後次回以降申請を実施する建物・構築物については、各申請回次に整理結果を提示する。

(1) 燃料加工建屋

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

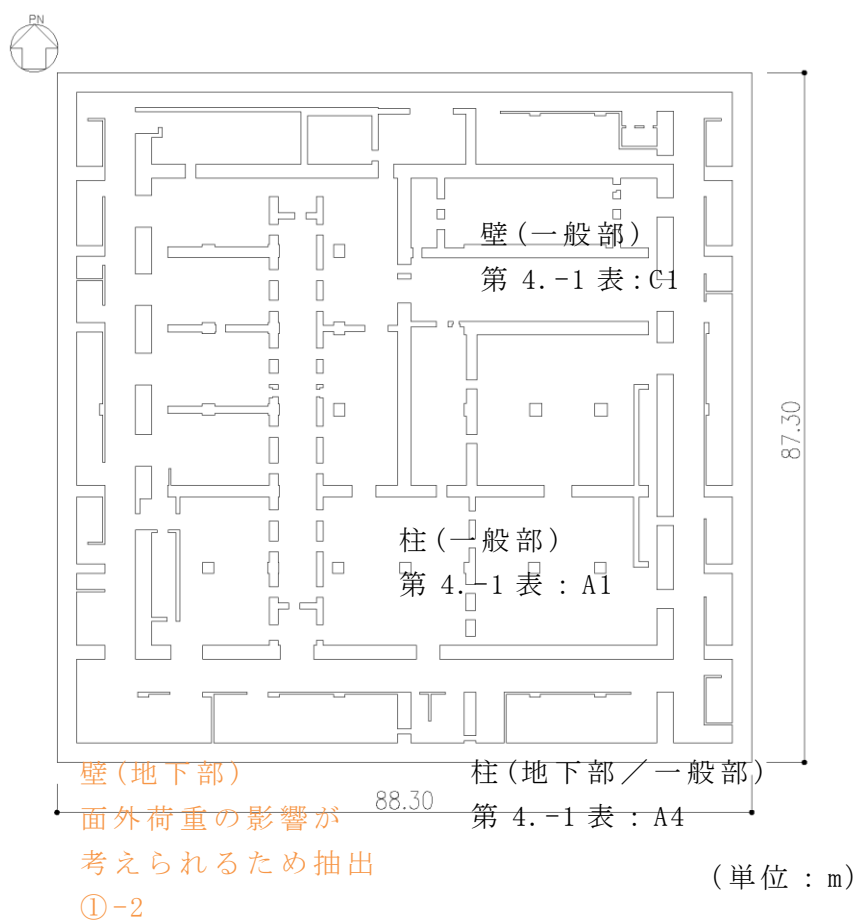
赤字：①-1 で抽出された部位

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

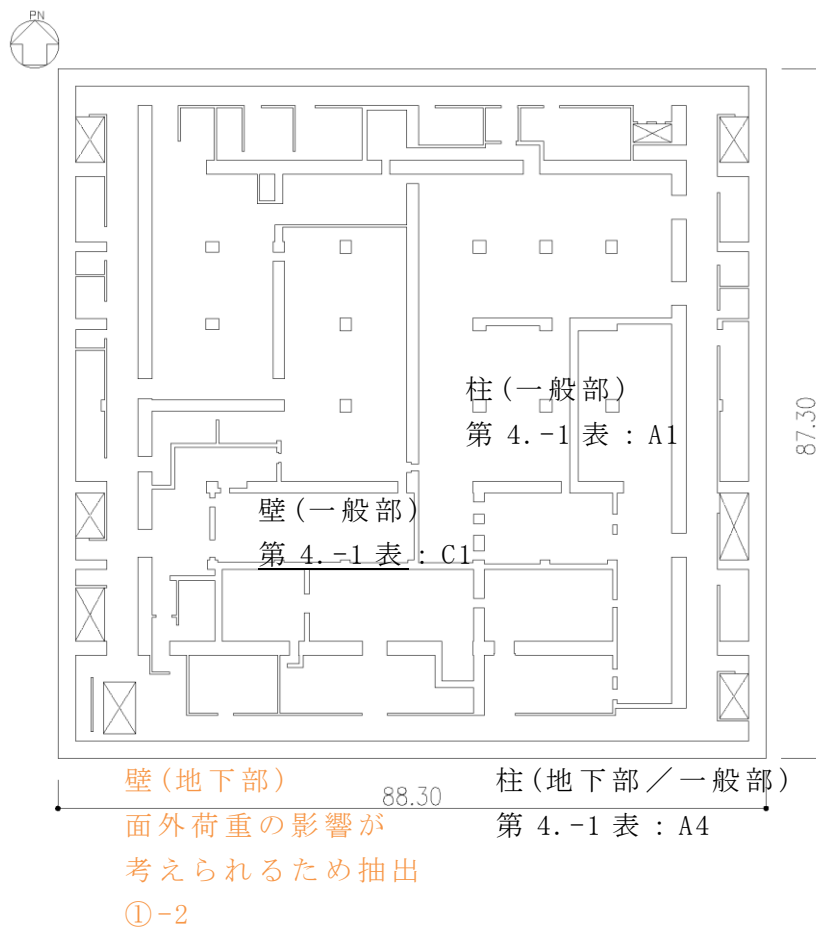
黒字：抽出されなかった部位およびその理由



注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 1.-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 1.-1 図 燃料加工建屋の概略平面図 (T.M.S.L. 43.20m) (2/7)

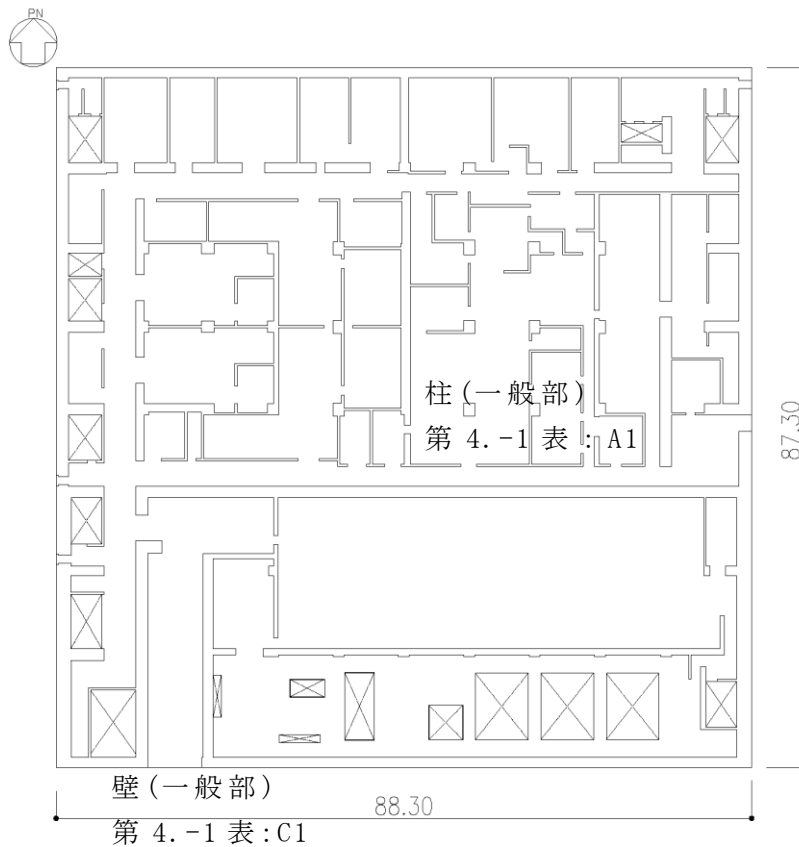
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 1.-1 図 燃料加工建屋の概略平面図 (T.M.S.L. 50.30m) (3/7)

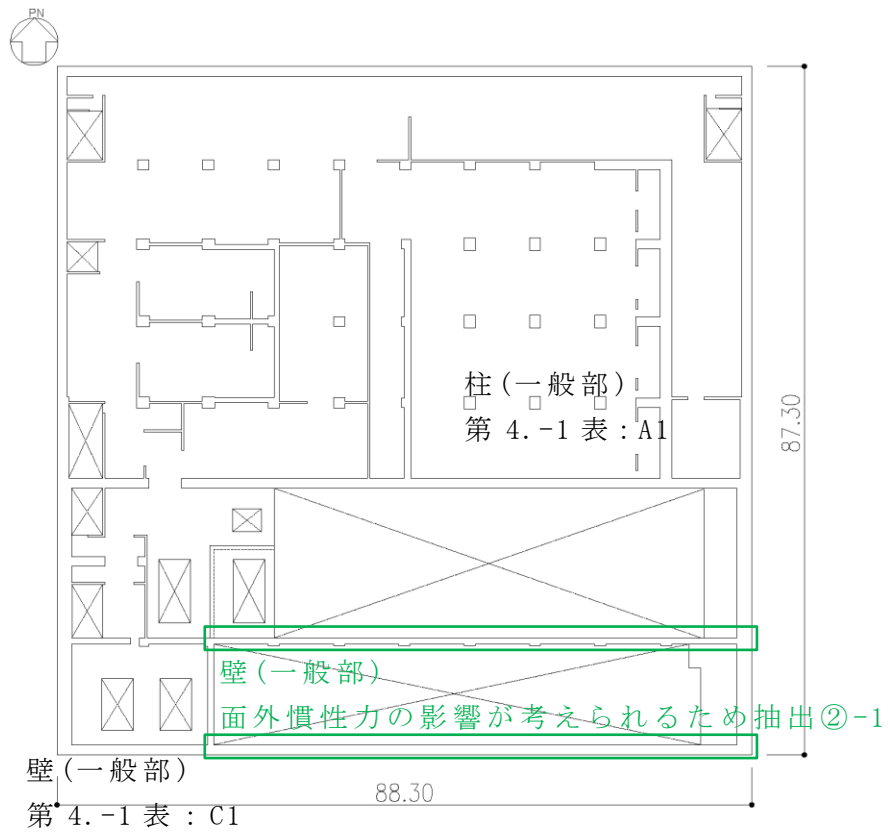
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

第 1.-1 図 燃料加工建屋の概略平面図 (T.M.S.L. 56.80m) (4/7)

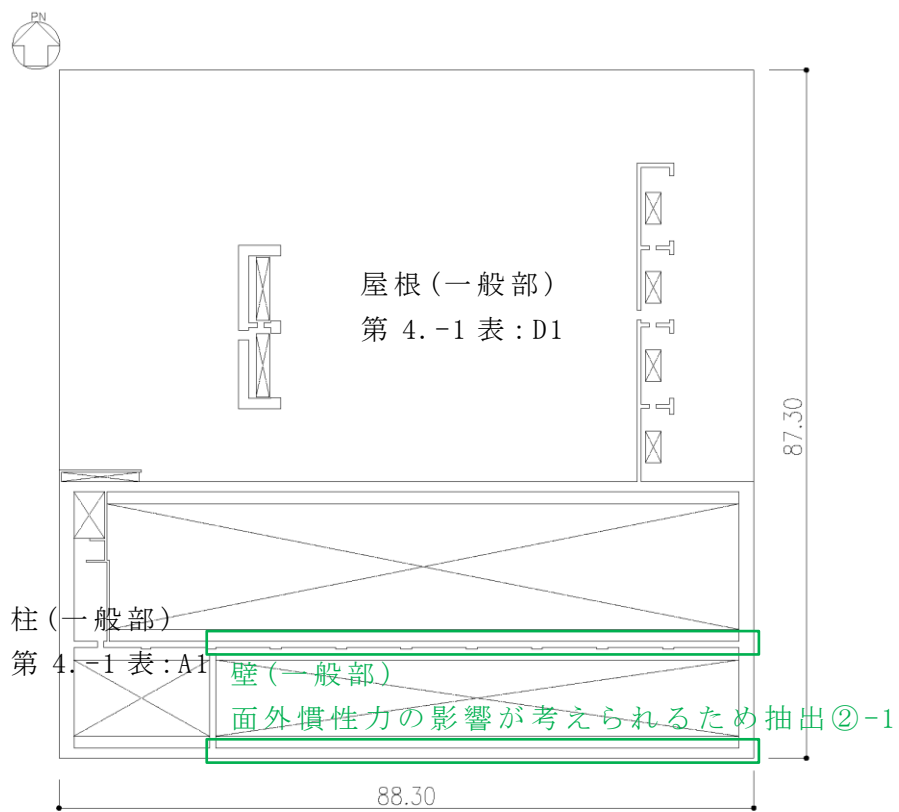
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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

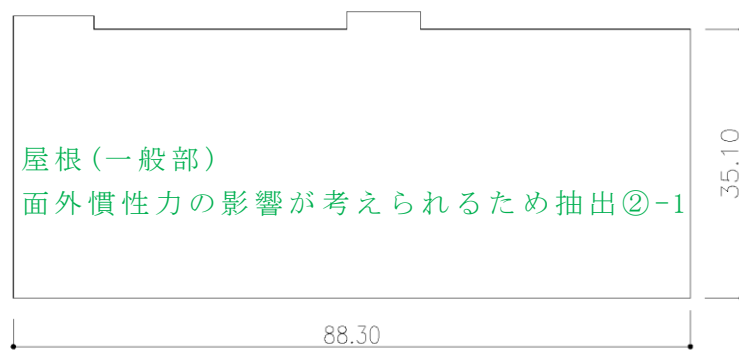
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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

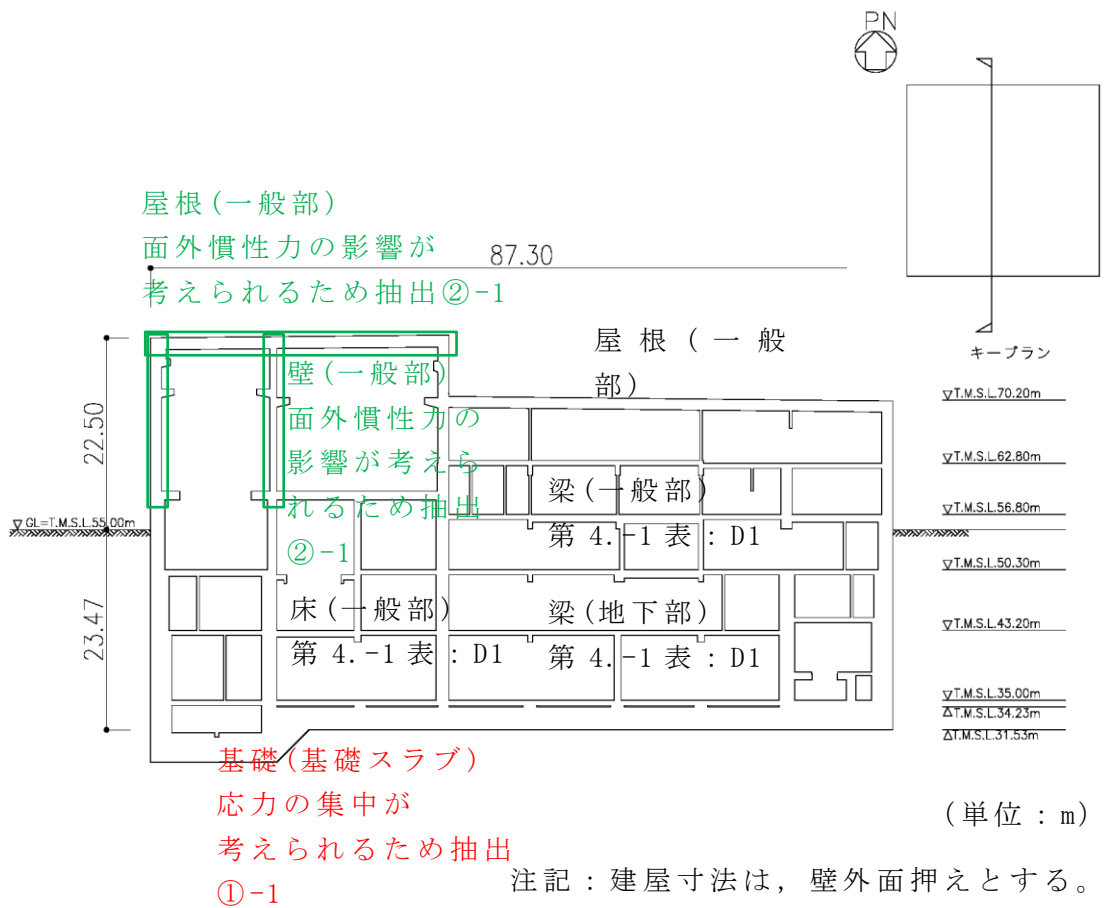
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(単位：m)
注記：建屋寸法は，壁外面押えとする。

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

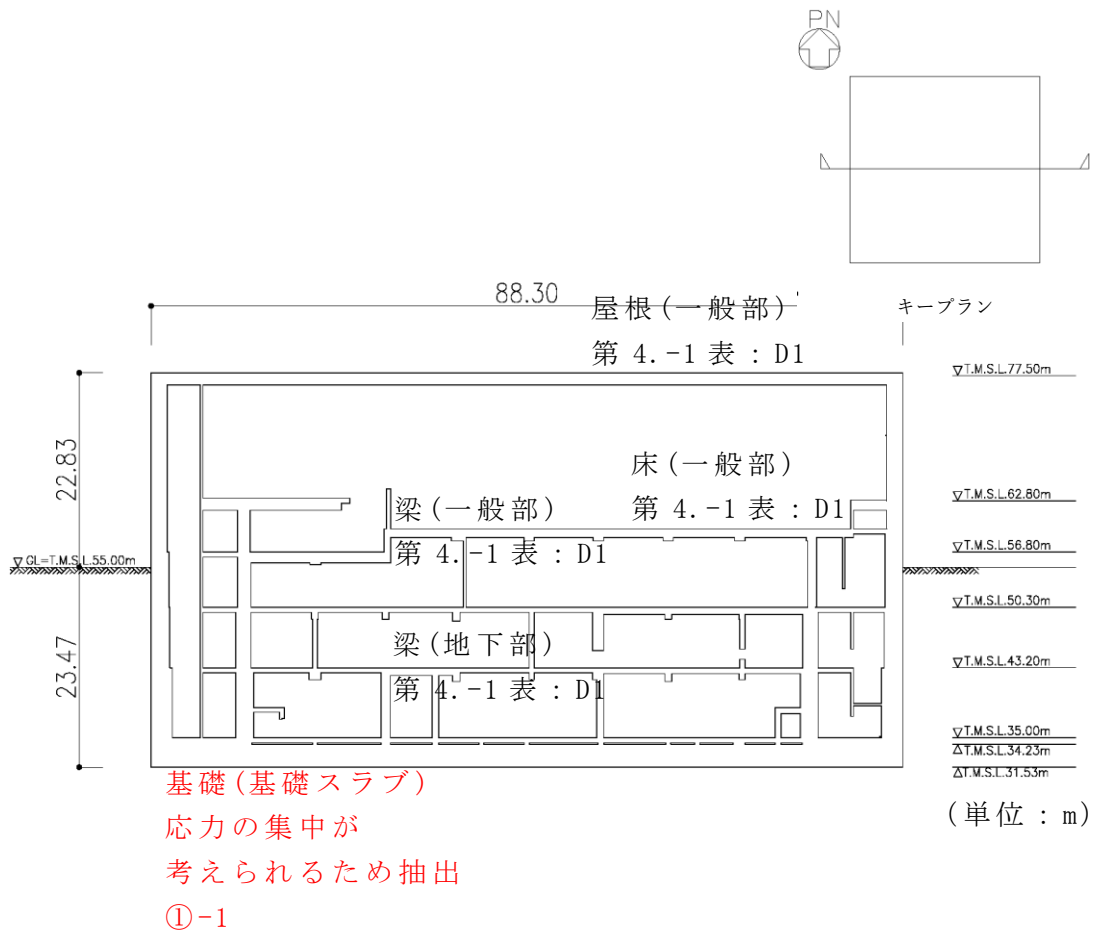
- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 黒字：抽出されなかった部位およびその理由



(a) NS 方向

第 1. -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



注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

(b) EW 方向

第 1. -2 図 燃料加工建屋の概略断面図 (2/2)

(2) 安全冷却水 B 冷却塔基礎

安全冷却水 B 冷却塔基礎の概略平面図を第 1.-3 図に，概略断面図を第 1.-4 図に示す。

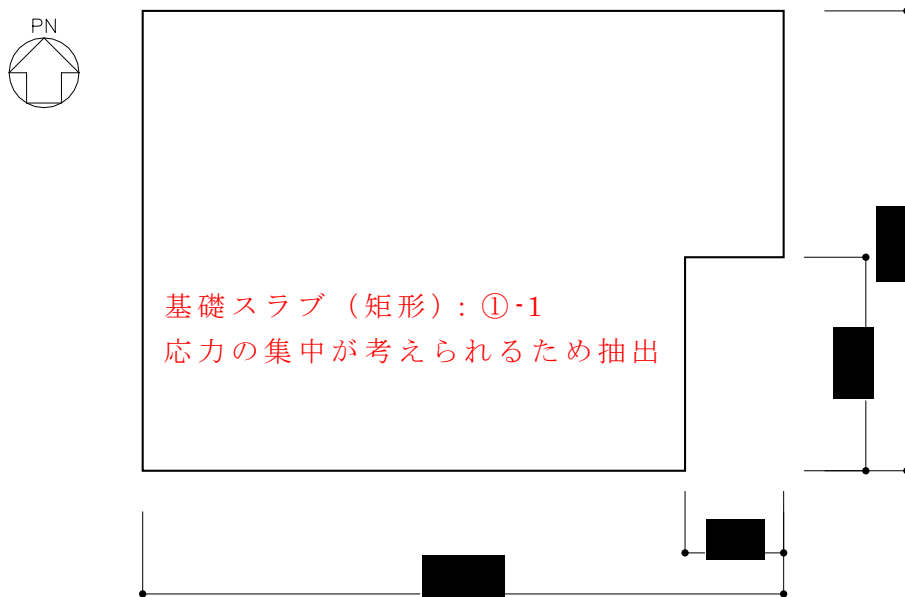
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

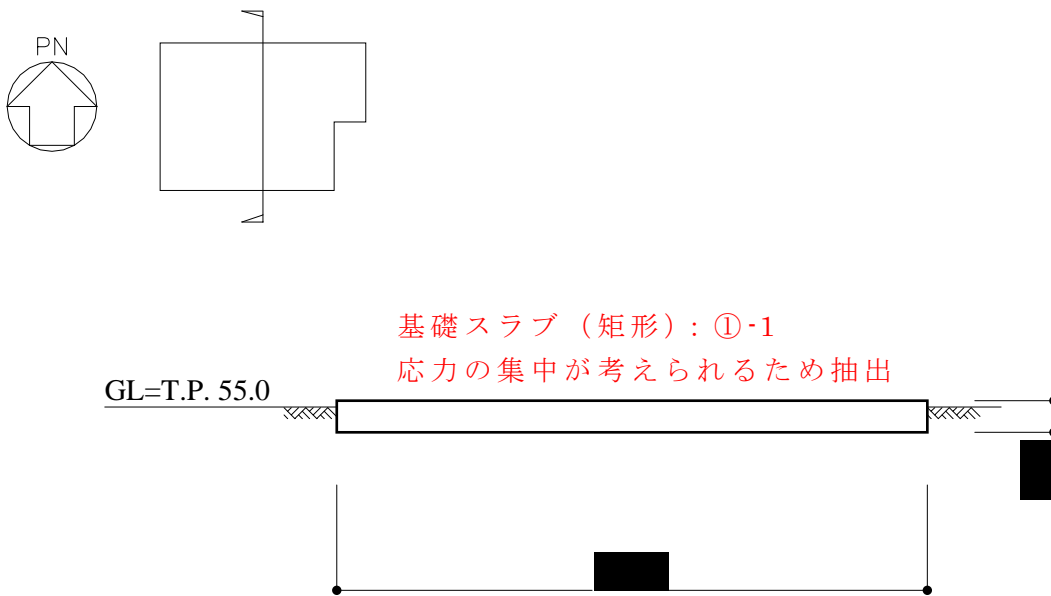
紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由



第 1.-3 図 概略平面図 (T.M.S.L. ■■■ m)

- 赤字：①-1 で抽出された部位
- 橙字：①-2 で抽出された部位
- 緑字：②-1 で抽出された部位
- 紫字：②-2 で抽出された部位
- 黒字：抽出されなかった部位およびその理由



第 1.-4 図 概略断面図（NS 断面）
 （※単純な構造体であるため、EW 断面については省略する）

第 1.-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 捩れ
A1	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 1.-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 捩れ
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、下弦材を捩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 ・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	・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、捩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

令和 4 年 1 月 14 日 R0

別紙 2

3 次元 FEM モデルを用いた精査

目 次

1. 概要	別紙 2-1
2. 燃料加工建屋のクレーン室の壁の面外慣性力による影響検討	別紙 2-3
2.1 検討概要	別紙 2-3
2.2 検討方針	別紙 2-12
2.3 解析モデル	別紙 2-14
2.4 地震応答解析の概要	別紙 2-16
2.5 地震応答解析結果	別紙 2-21
2.6 面外慣性力に対する壁の断面算定	別紙 2-28
3. 燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブの面外慣性力による影響検討	別紙 2-34
3.1 検討概要	別紙 2-34
3.2 検討方針	別紙 2-34
3.3 解析モデル	別紙 2-36
3.4 地震応答解析の概要	別紙 2-38
3.5 地震応答解析結果	別紙 2-43
3.6 面外慣性力に対する天井スラブの断面算定	別紙 2-46
4. 局所応答による影響検討	別紙 2-51
5. 3次元 FEM モデルを用いた精査のまとめ	別紙 2-52

1. 概要

3次元的な応答特性が想定される部位として、補足説明資料本文において、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位及び応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」が発生する可能性がある部位については、3次元 FEM モデルを用いた精査を行い、3方向の応答の同時性を考慮することによる応答への影響が認められた部位については評価対象部位とし（補足説明資料本文 第 3-3-1 図 フロー図の[5]）、3次元的な挙動に対する耐震性への影響評価を実施する（補足説明資料本文 第 3-3-1 図 フロー図の[6]）こととしている。本資料では、3次元 FEM モデルを用いた精査による評価部位の抽出及び3次元的な挙動に対する耐震性への影響評価における評価方法及び結果について以降に示す。第 1.-1 表に検討を行う建屋とその評価部位を示す。また、3次元 FEM モデルを用いた精査で使用する地震動を表 1.-2 に示す。後次回以降申請を実施する建物・構築物については、各申請回次に評価結果を提示する。

第 1.-1 表 検討を行う建屋とその評価部位

建屋	評価部位	応答特性
燃料加工建屋	クレーン室の壁	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
燃料加工建屋	クレーン室の天井	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
燃料加工建屋	耐震評価部位全般	局所的な応答 (詳細は参考資料に示す)

* 表には第 1 回申請の建物・構築物のみ記載している。後次回申請の建物・構築物においては、各建物・構築物ごとの評価部位が本資料に追加される予定である。

第 1.-2 表 3次元 FEM モデルを用いた精査で使用する地震動*1

対象		精査に使用する地震動	精査に使用する理由
耐震評価部位	建物・構築物		
壁	一般部 燃料加工建屋 (クレーン室の壁)	基準地震動 Ss-C1*2	壁の面外方向への応答に対する評価ということで、建屋の水平加速度応答が大きい基準地震動 Ss-C1 を使用する
床・スラブ	一般部 燃料加工建屋 (クレーン室の天井)	基準地震動 Ss-A*3	スラブの面外方向への応答に対する評価ということで、建屋の鉛直加速度応答が大きい基準地震動 Ss-A を使用する
耐震評価部位全般	燃料加工建屋	基準地震動 Ss-A*3 Ss-C1*2	全周期帯の応答が大きい基準地震動 Ss-A 及び建屋の水平方向の応答が大きい基準地震動 Ss-C1 を用いる。

注記*1：表には第1回申請の建物・構築物のみ記載している。後次回申請の建物・構築物においては、各建物・構築物ごとの評価部位が本資料に追加される予定である。

*2：3次元 FEM モデルによる応答補正比率の算出は、線形解析のため弾性設計用地震動 Sd-C1 を用いる。Sd-C1 の入力に際しては、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(Sdに対応させるため)したもの(以下、「Sd-C1'」という。)を入力する。

*3：3次元 FEM モデルによる応答補正比率の算出は、線形解析のため弾性設計用地震動 Sd-A を用いる。Sd-A の入力に際しては、水平方向の地震動のうち片方は、同時性を考慮し、模擬地震波を用いる。なお、模擬地震波は、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせ、弾性設計用地震動 Sd-A(H)の応答スペクトルに適合するが、位相が異なるように作成した地震波である。

2. 燃料加工建屋のクレーン室の壁の面外慣性力による影響検討

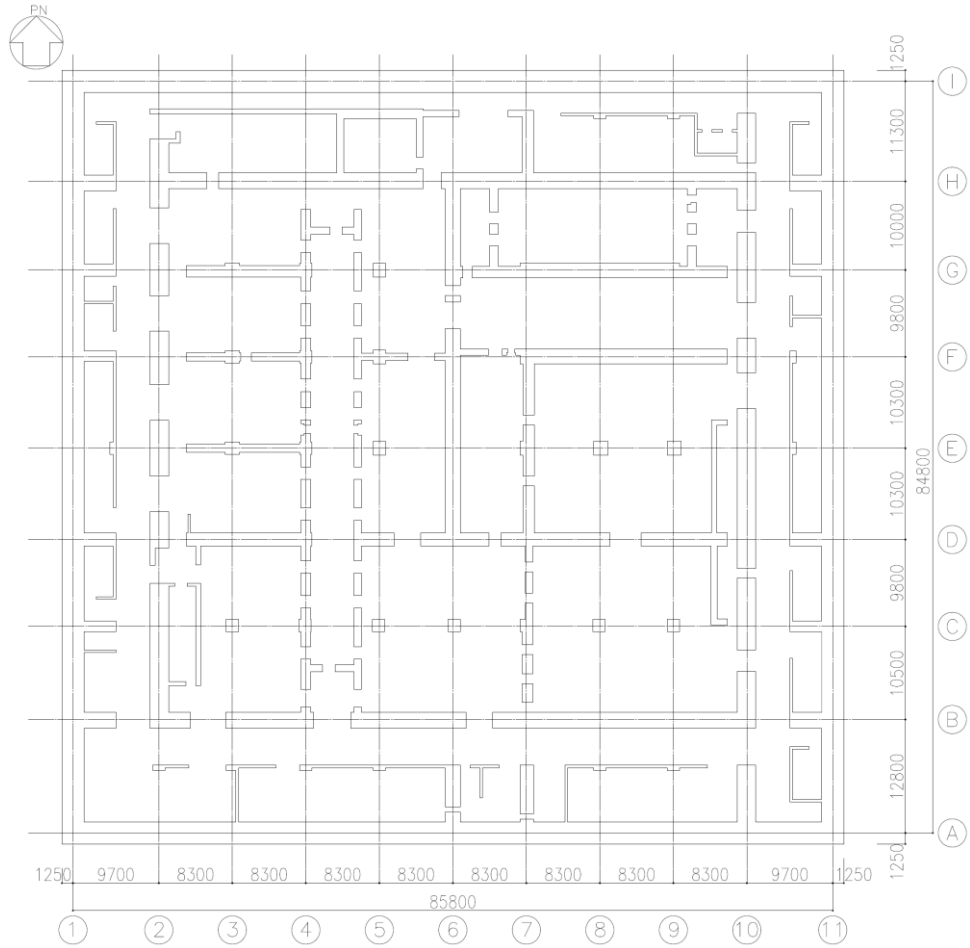
2.1 検討概要

面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響の可能性がある燃料加工建屋のクレーン室の壁に対して，地震動を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した場合の検討を実施する。

燃料加工建屋は，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。

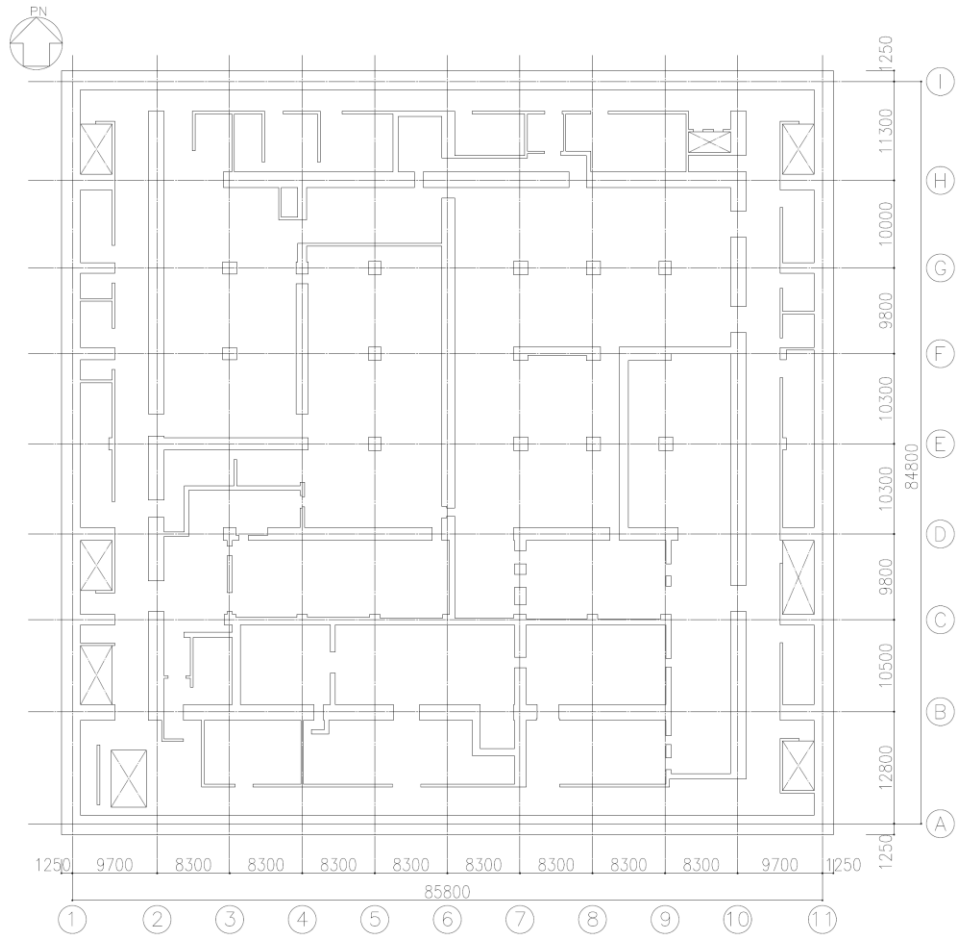
燃料加工建屋の概略平面図を第2.1-1図に，概略断面図を第2.1-2図に示す。



(単位：m)

注記：建屋寸法は，壁外面押えとする。

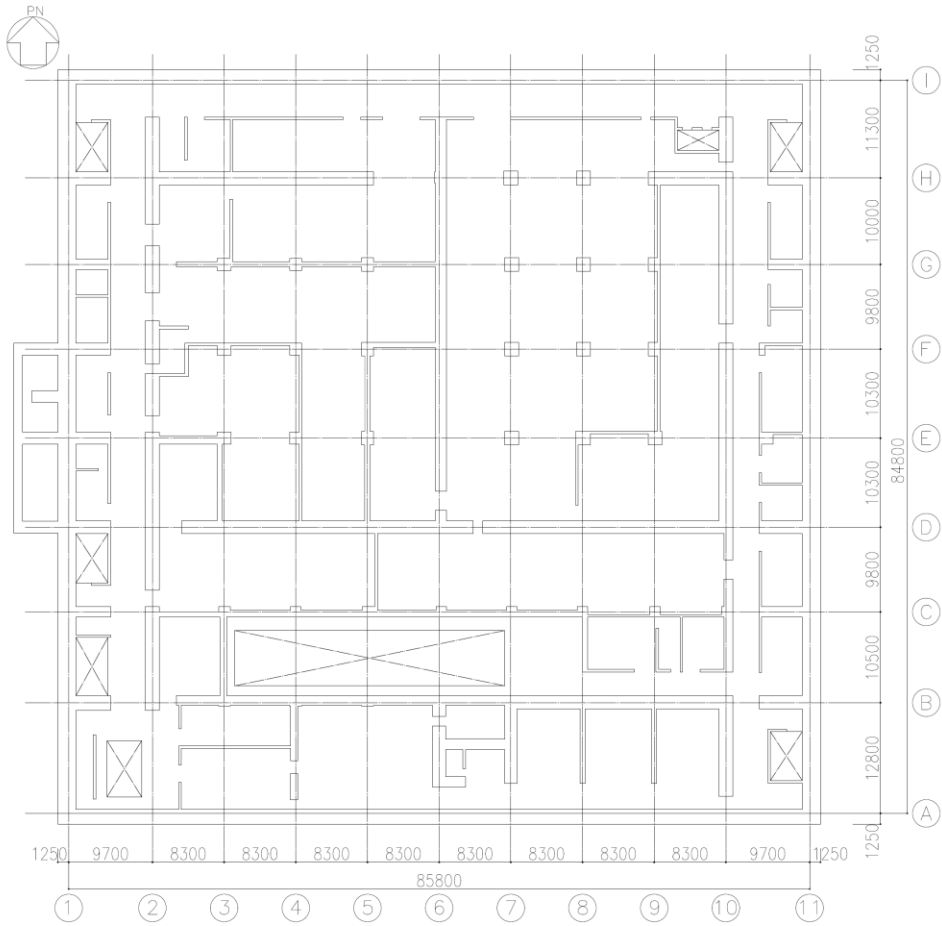
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 35.00m) (1/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

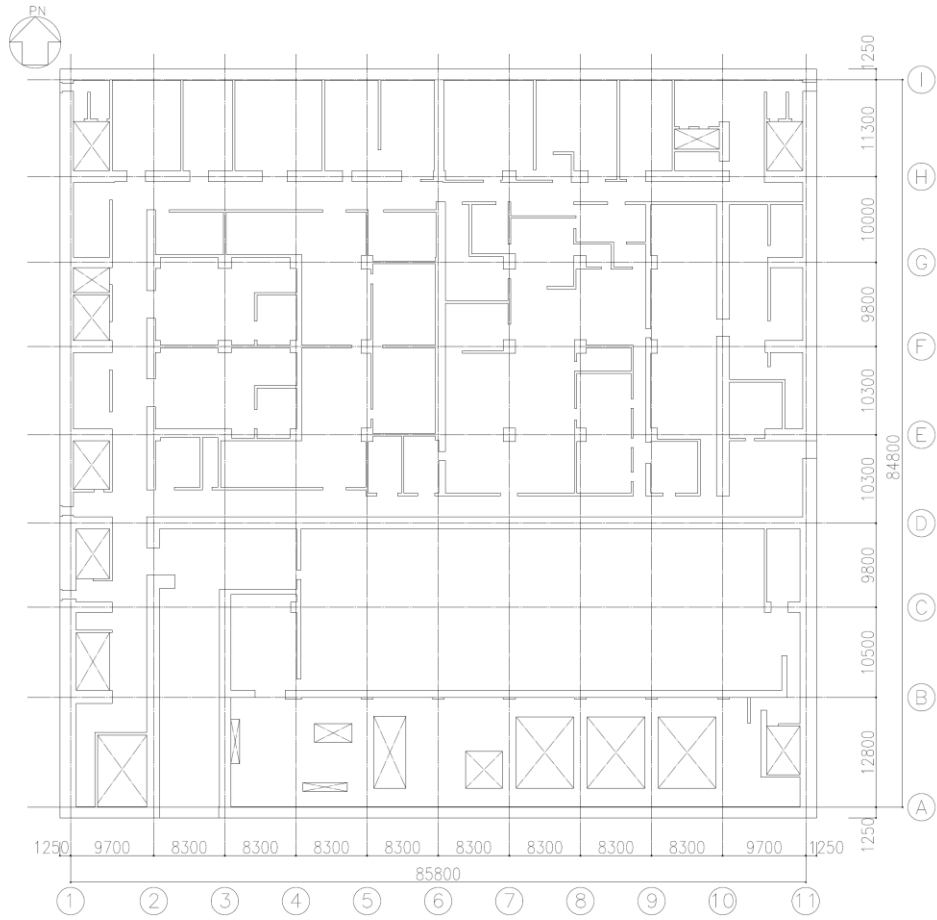
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 43.20m) (2/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

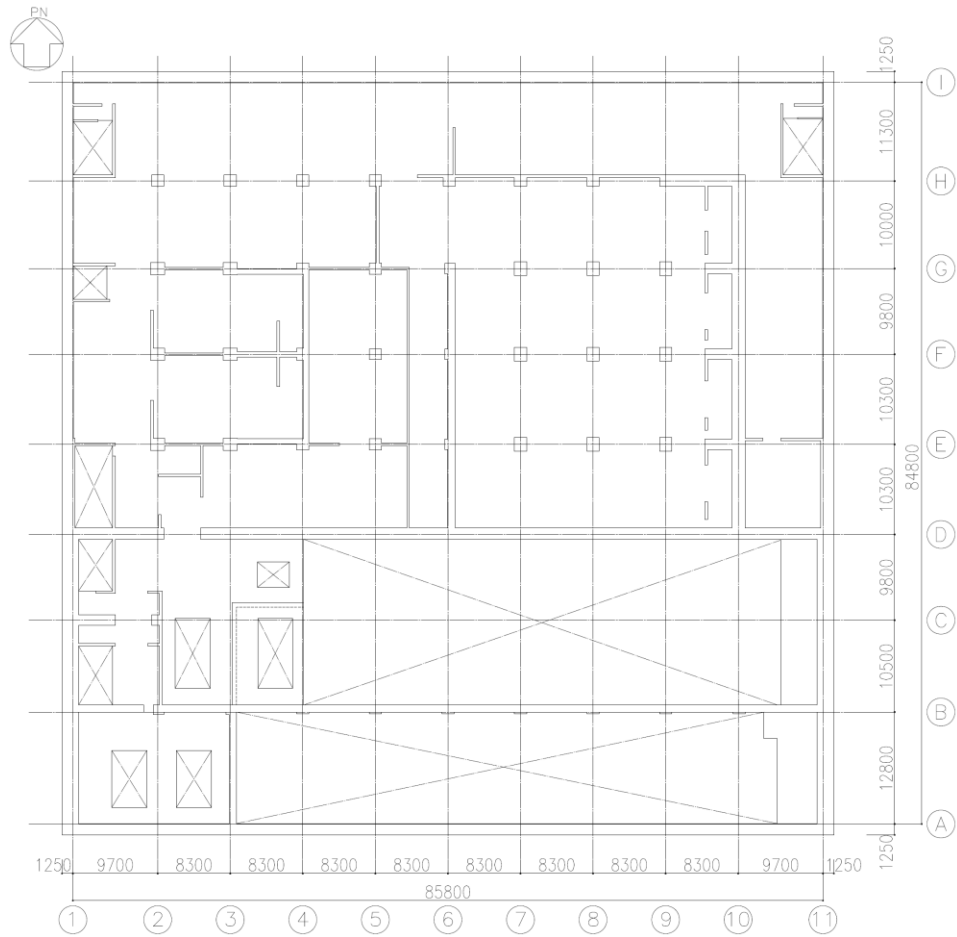
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 50.30m) (3/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

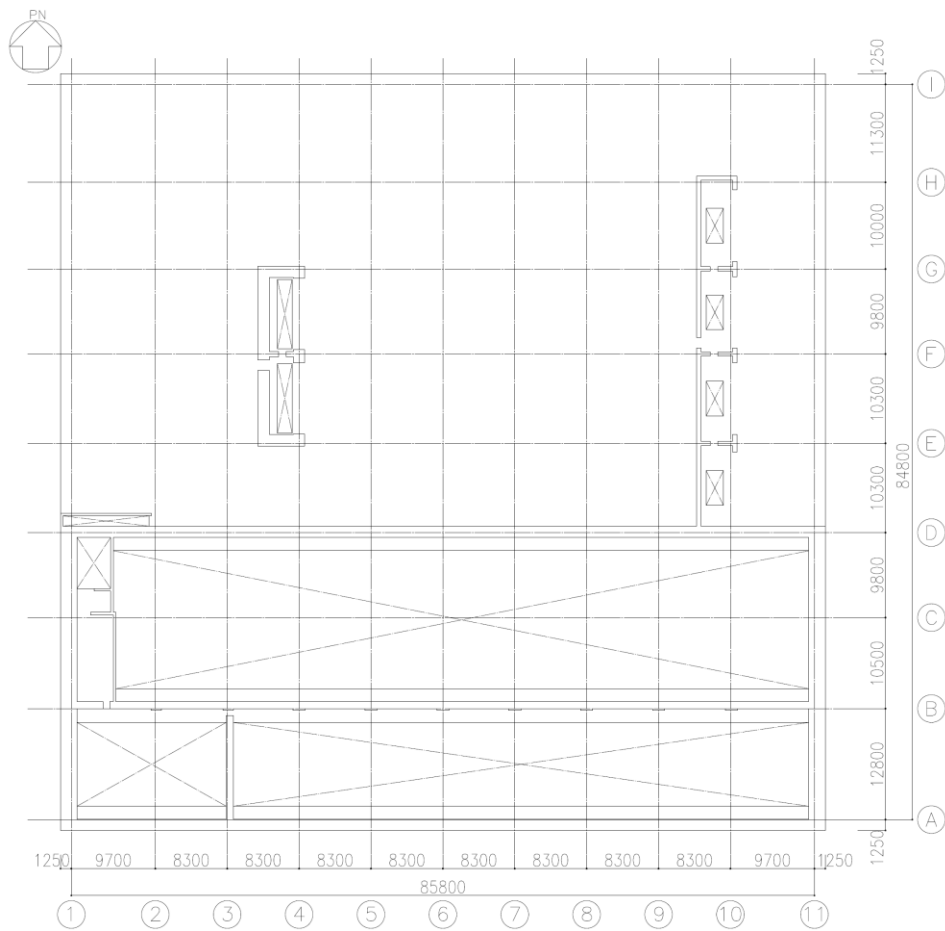
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 56.80m) (4/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

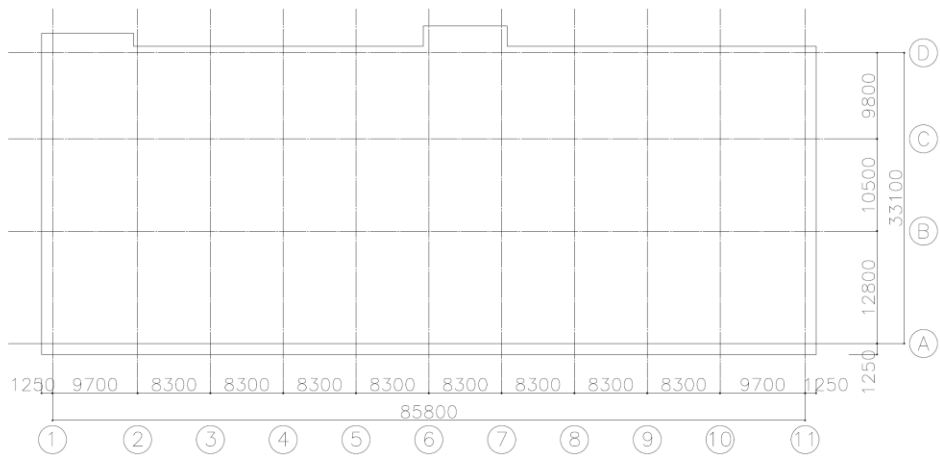
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 62.80m) (5/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

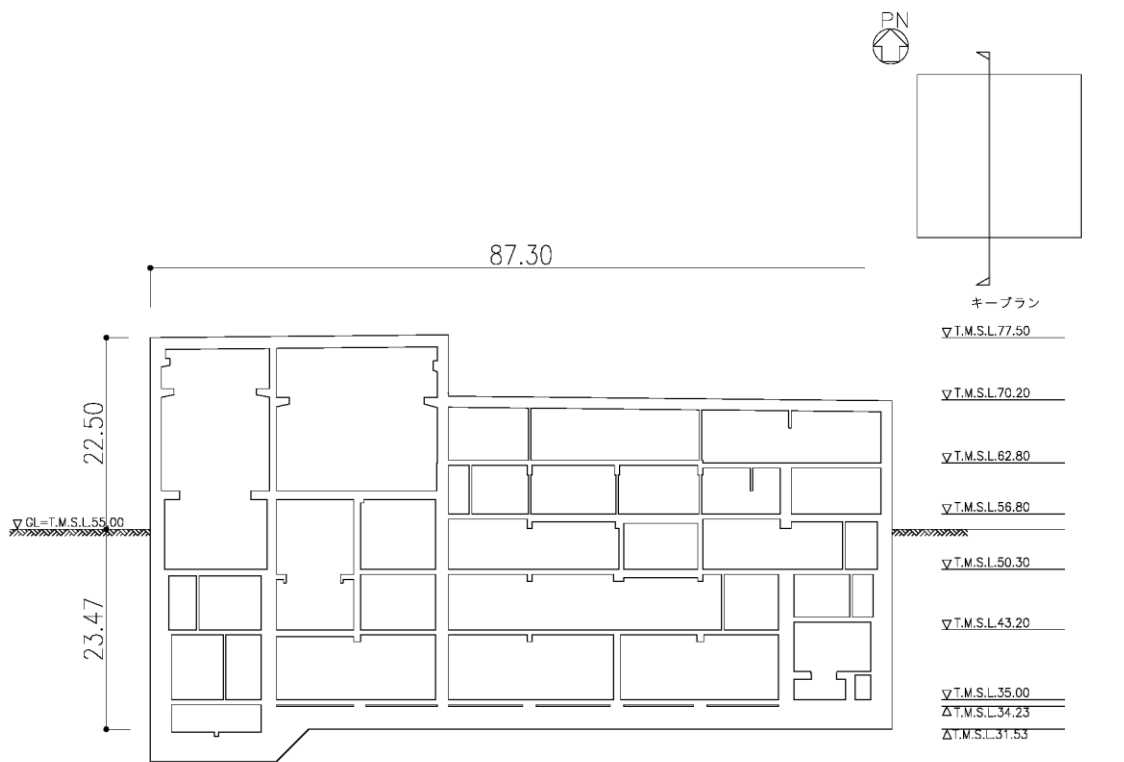
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 70.20m) (6/7)



(単位：m)

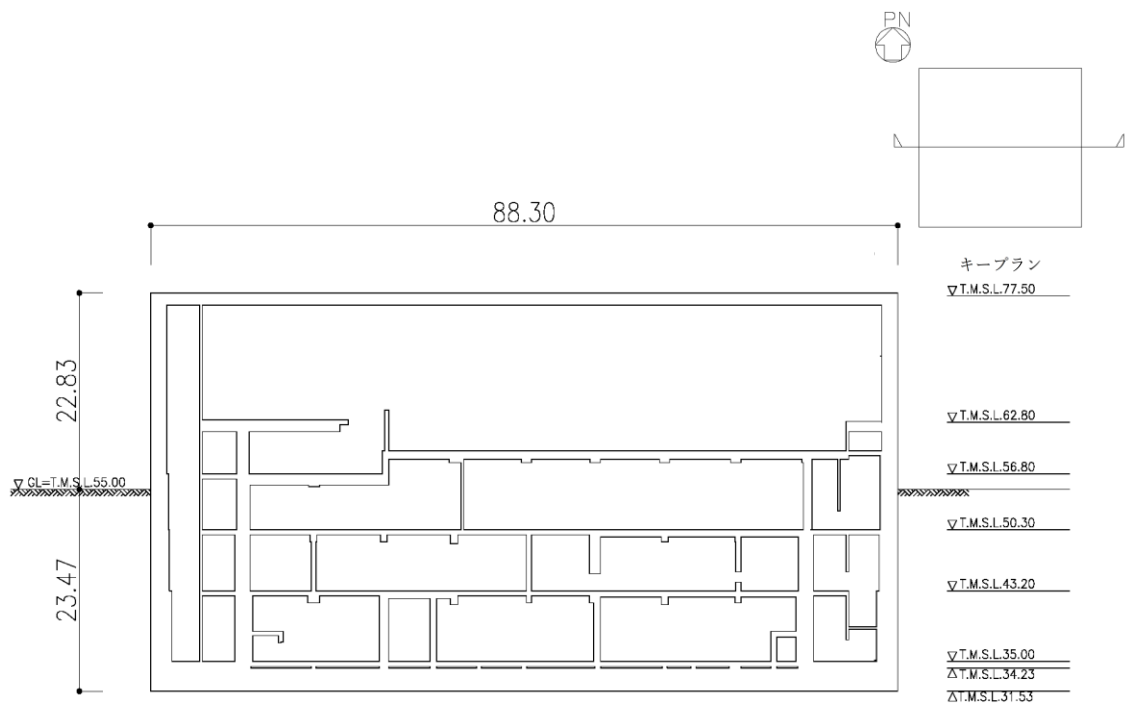
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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

2.2 検討方針

燃料加工建屋について、水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せに対し、3 次元 FEM モデルを用いた精査として地震応答解析を実施する。地震応答解析は周波数応答解析とし、弾性応答解析とすることから入力地震動は弾性設計用地震動 Sd とし、建屋の水平加速度応答が最も大きい Sd-C1 を対象とする。燃料加工建屋のクレーン室の壁について、弾性設計用地震動 Sd-C1 に対する地震応答解析により得られた最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を確認する。また、壁面外方向への入力に対する最大応答加速度と 3 方向入力による最大応答加速度を比較し、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する。

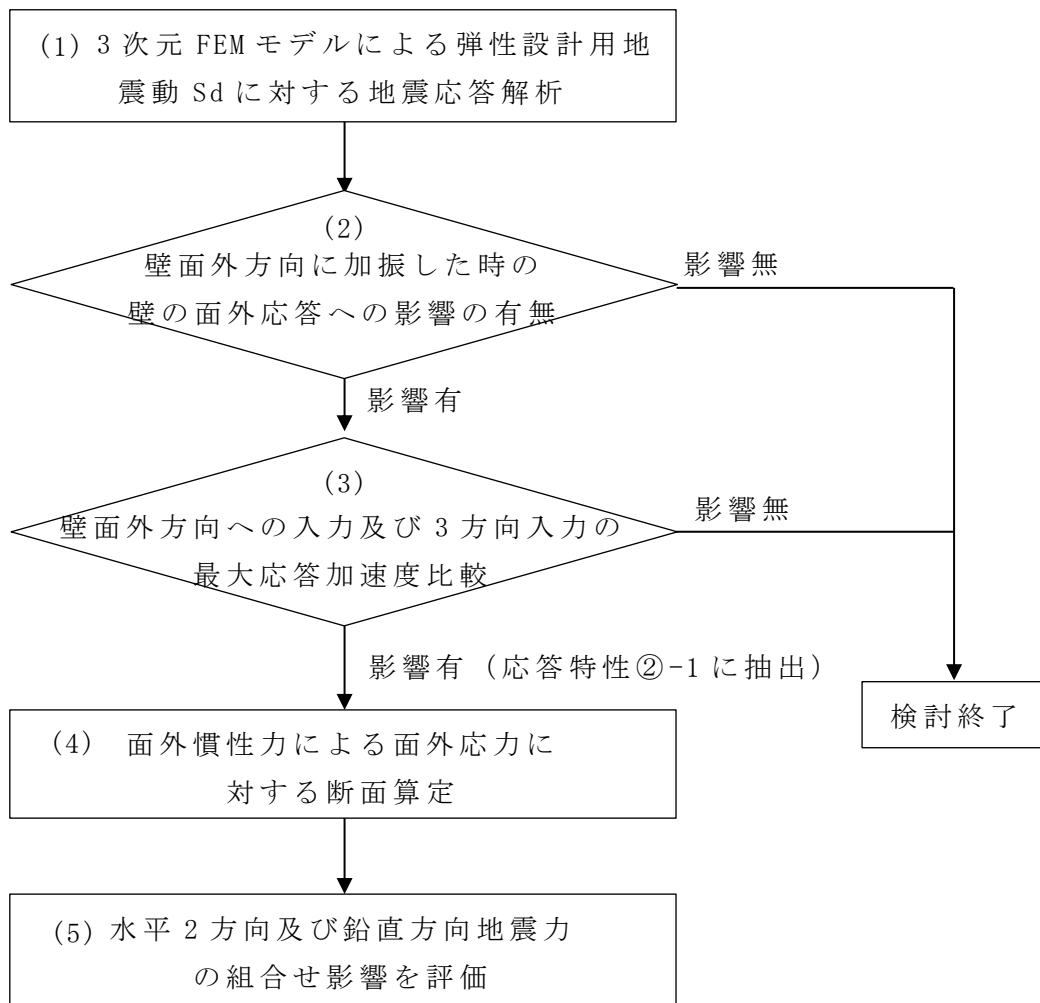
3 方向入力による壁面外方向への応答増幅が確認された場合、3 次元 FEM モデルによる最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を把握した上で、燃料加工建屋のクレーン室の壁について、面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行い、面外慣性力の影響を評価する。

第 2.2-1 図に検討フローを示す。

まず、3 次元 FEM モデルによる弾性設計用地震動 Sd に対する地震応答解析を行い、壁面外方向に加振した際の、評価対象壁の面外方向への応答性状を確認し、壁の面外応答への影響の有無を把握する。（フロー図（1）、（2））

次に、壁面外方向に加振した場合と、3 方向入力した場合の評価対象壁の面外方向への加速度応答を比較し、壁の面外応答に対する 3 方向入力による影響を確認する。ここで壁の面外応答への影響があると判断した場合は、応答特性②-1 で抽出することとした。（フロー図（3））

応答特性②-1 に抽出された場合、評価対象壁の面外応答に対する耐震性を評価するために、評価対象壁の面外応答に対する、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価する。なお、本検討時にはフロー図（3）で算出した 3 方向入力時の加速度応答を使用する。（フロー図（4）、（5））



第 2.2-1 図 検討フロー

2.3 解析モデル

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2.3-1図に示す。解析モデルは参考資料「3次元FEMモデルによる地震応答解析（燃料加工建屋）」に示す建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度）とする。

3次元FEMモデルの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程度とし，水平方向の通り芯間及び鉛直方向のフロア間を2分割以上とするように設定した。また，壁・床の開口部については，主要な開口部のみモデル化する。

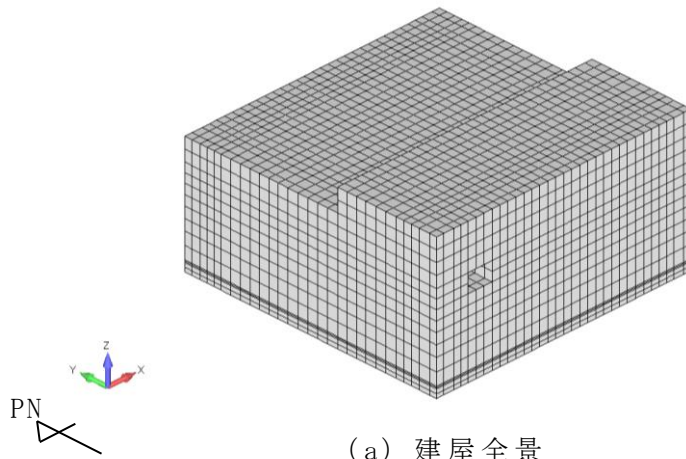
検討に用いる解析モデルのケースを第2.3-1表，使用材料の物性値を第2.3-2表に示す。地震応答解析には，解析コード「MSC Nastran ver. 2012.1.0」を用いる。

第2.3-1表 解析モデルの検討ケース

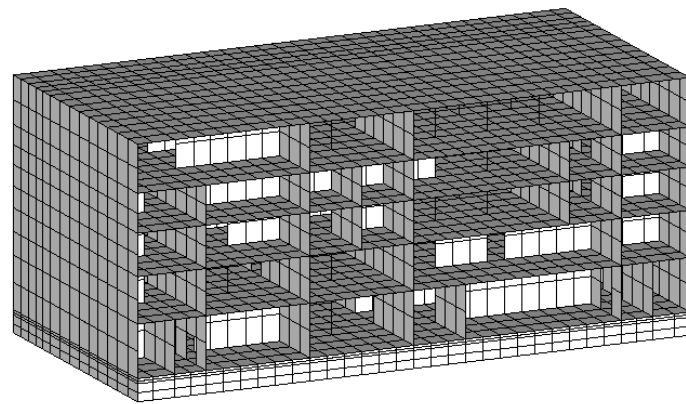
モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	実強度

第2.3-2表 使用材料の物性値

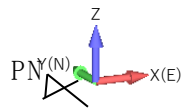
部位		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	実強度	24.0	2.90×10 ⁴	3.0



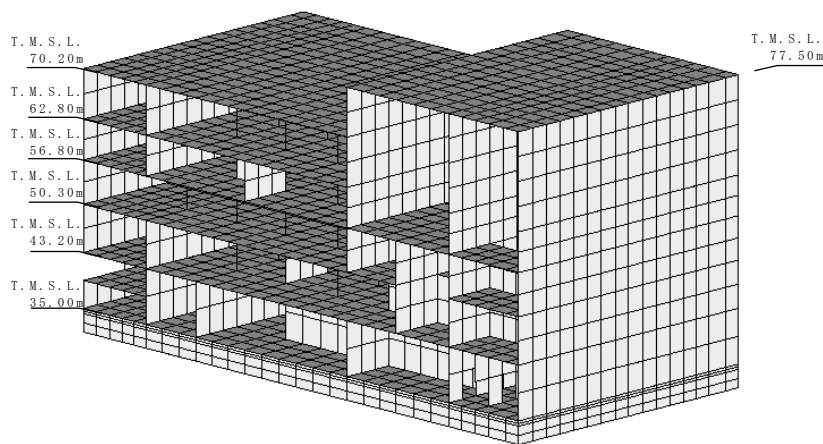
(a) 建屋全景



T. M. S. L.
70.20m
T. M. S. L.
62.80m
T. M. S. L.
56.80m
T. M. S. L.
50.30m
T. M. S. L.
43.20m
T. M. S. L.
35.00m

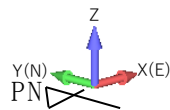


(b) EW 断面図



T. M. S. L.
70.20m
T. M. S. L.
62.80m
T. M. S. L.
56.80m
T. M. S. L.
50.30m
T. M. S. L.
43.20m
T. M. S. L.
35.00m

T. M. S. L.
77.50m



(c) NS 断面図

第 2.3-1 図 解析モデル図

2.4 地震応答解析の概要

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。地震応答解析は線形解析とし、周波数応答解析とする。

応答評価位置は燃料加工建屋の T.M.S.L. 56.80m～T.M.S.L. 77.50m とし、A 通り及び B 通りの 3～11 通り間の壁とする。応答評価部位を第 2.4-1 図、節点番号図を第 2.4-2 図に示す。

地震動の組合せを第 2.4-1 表に示す。

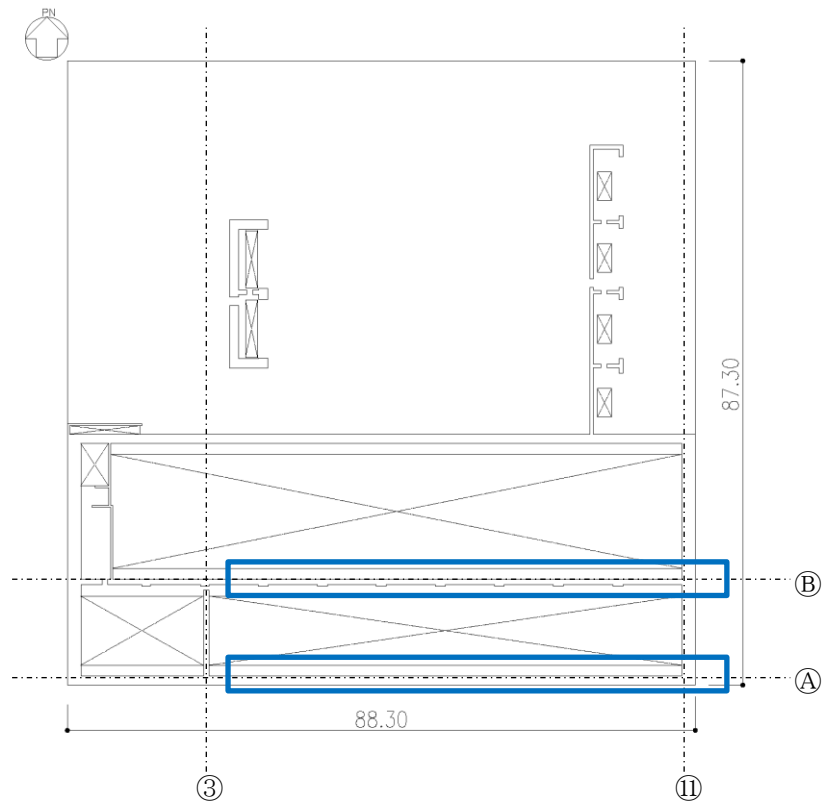
入力地震動については、線形解析であることから、弾性設計用地震動 Sd とする。具体的には、建屋の水平加速度応答が最も大きい弾性設計用地震動 Sd-C1 を代表波として水平 2 方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

但し、弾性設計用地震動 Sd-C1 について全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的ではないことから、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 (Sd に対応させるため) したもの (以下、「Sd-C1' 」という。) を入力する。入力地震動 Sd-C1' の加速度時刻歴波形を第 2.4-3 図に、加速度応答スペクトルを第 2.4-4 図に示す。入力地震動 Sd-C1' のモデルへの入力においては、入力地震動 Sd-C1' は NS 方向の波よりも EW 方向の波が大きいこと、入力地震動 Sd-C1' は震源を特定せず策定する地震動から作られたものであるということ及び燃料加工建屋のクレーン室の壁の面外方向が NS 方向であるということから、モデルの NS 方向に Sd-C1' (EW) を入力し、EW 方向に Sd-C1' (NS) を入力する。

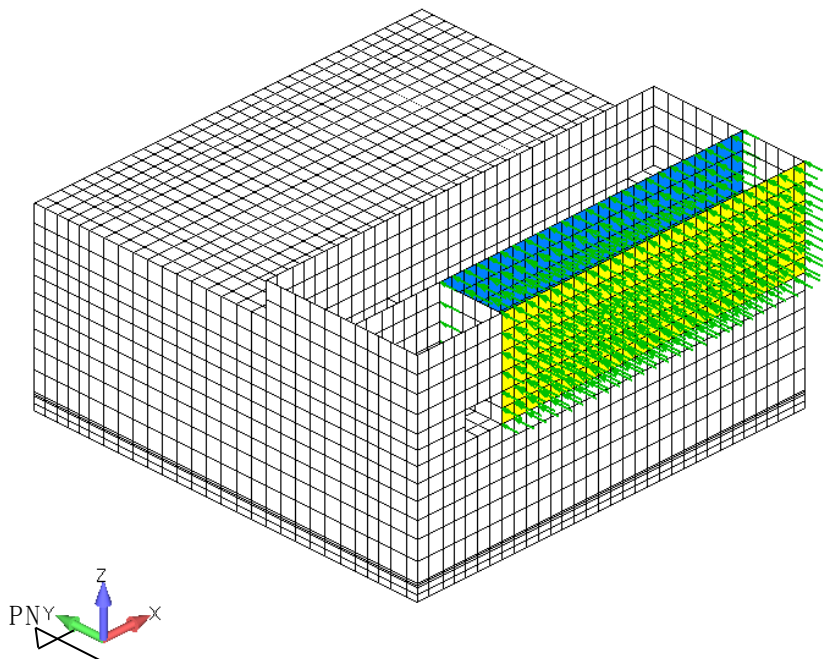
第 2.4-1 表 地震動の組合せ

入力方向	地震動組合せ		
	NS 方向	EW 方向	UD 方向
1 方向入力	Sd-C1' (EW)	—	—
3 方向入力	Sd-C1' (EW)	Sd-C1' (NS)	Sd-C1' (UD)

注記：Sd-C1' は 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を 0.5 倍する。



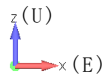
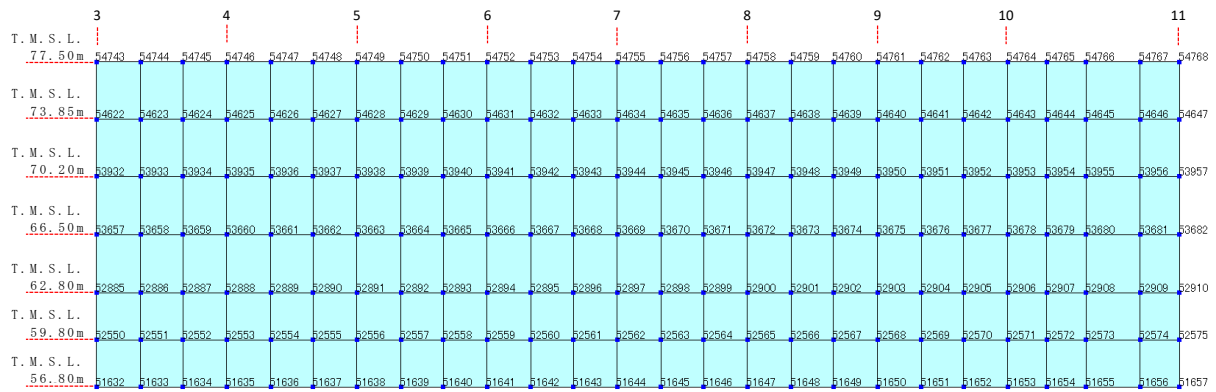
(a) 概略平面図 (T.M.S.L. 70.2m)



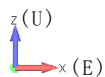
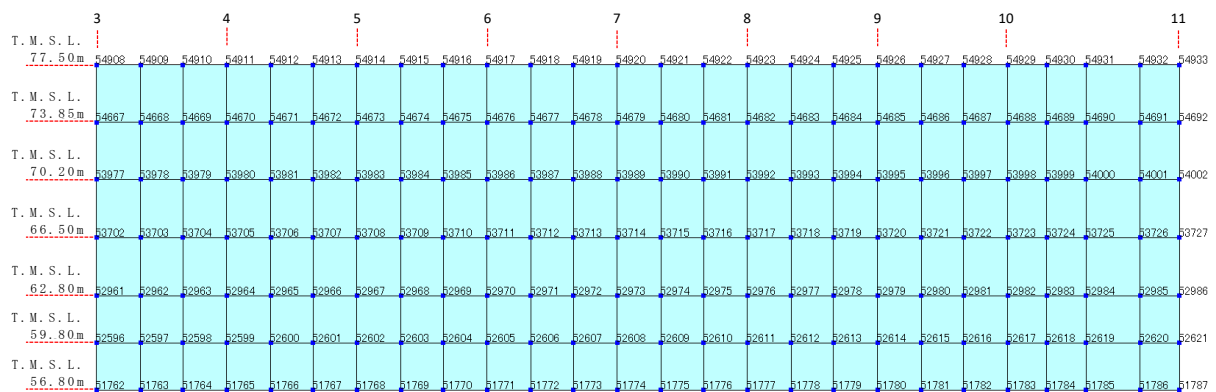
(b) 3次元FEMモデル

(※クレーン室の天井スラブは便宜上非表示とした)

第 2.4-1 図 応答評価位置

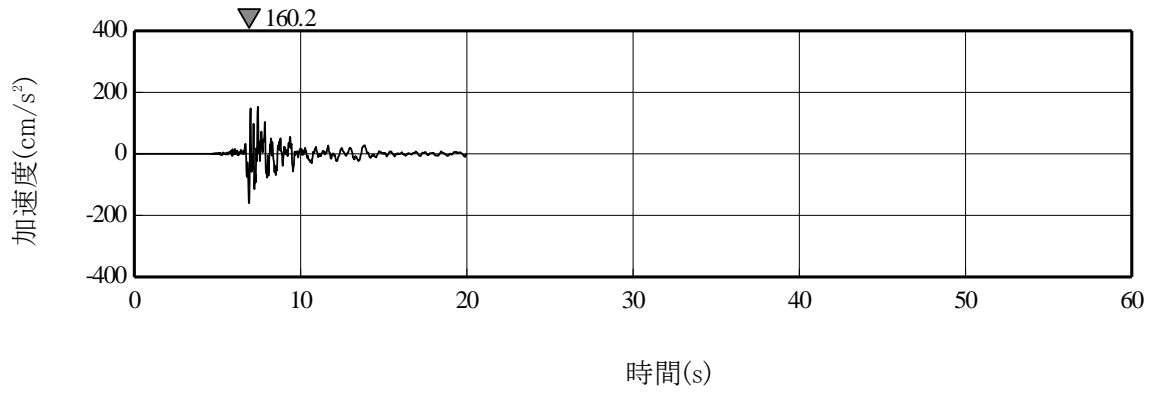


(a) A 通り

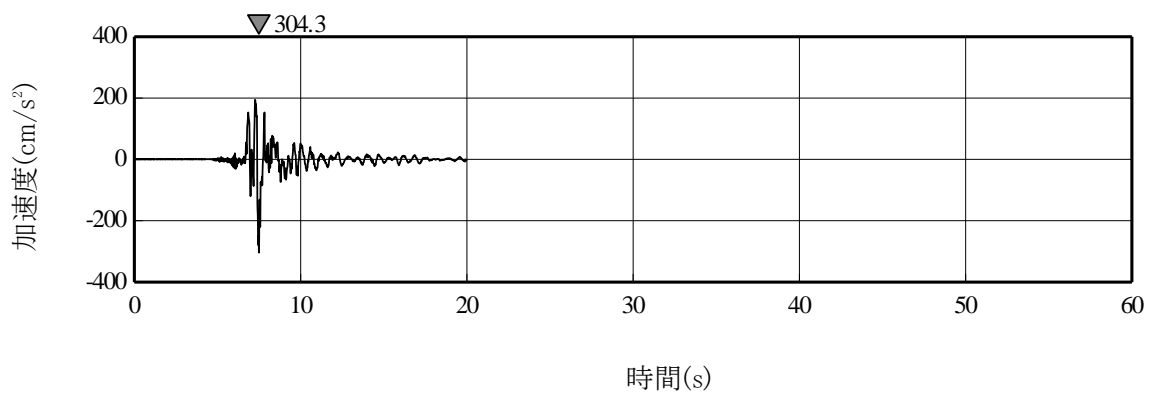


(b) B 通り

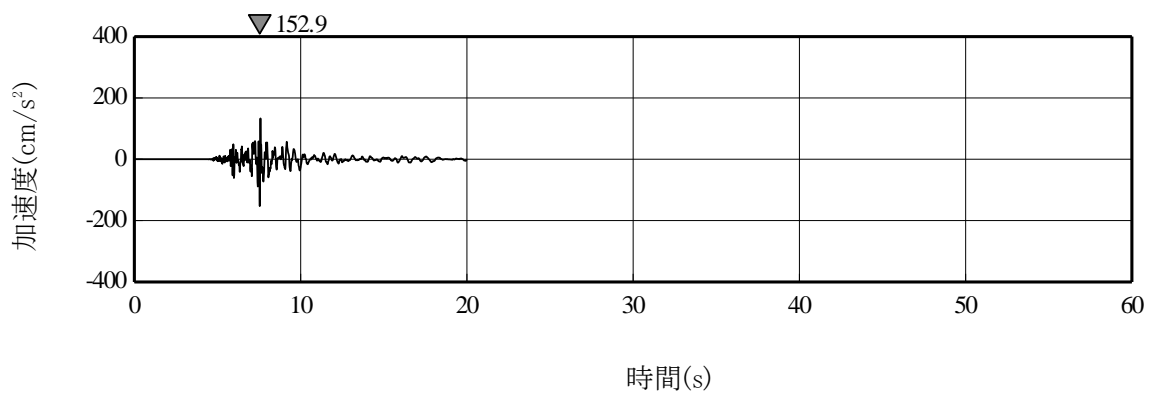
第 2.4-2 図 節点番号図



(a) Sd-C1' (NS)

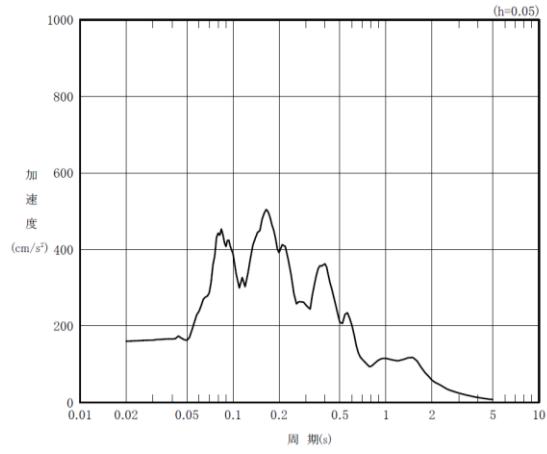


(b) Sd-C1' (EW)

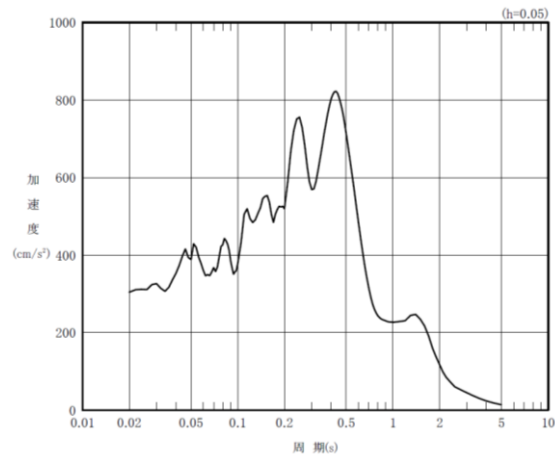


(c) Sd-C1' (UD)

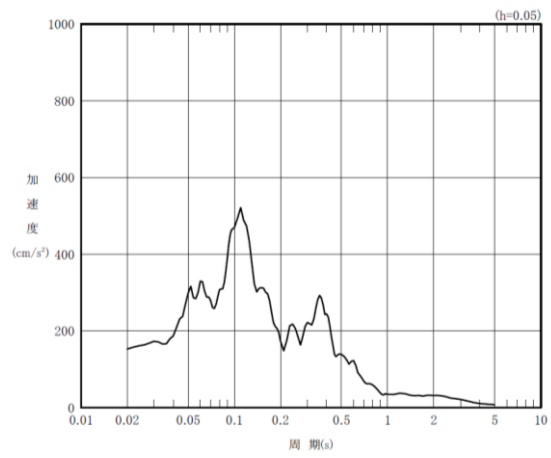
第 2.4-3 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度時刻歴波形



(a) Sd-C1' (NS)



(b) Sd-C1' (EW)



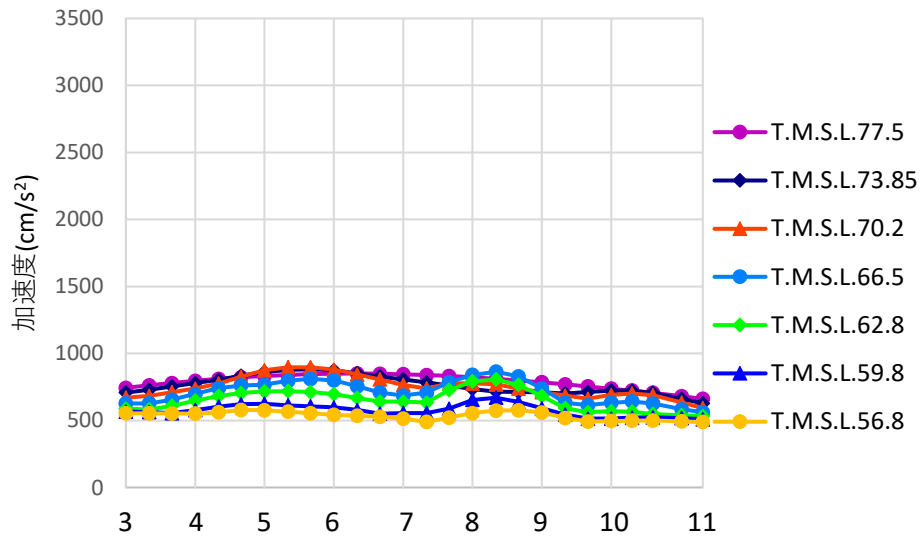
(c) Sd-C1' (UD)

第 2.4-4 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度応答スペクトル

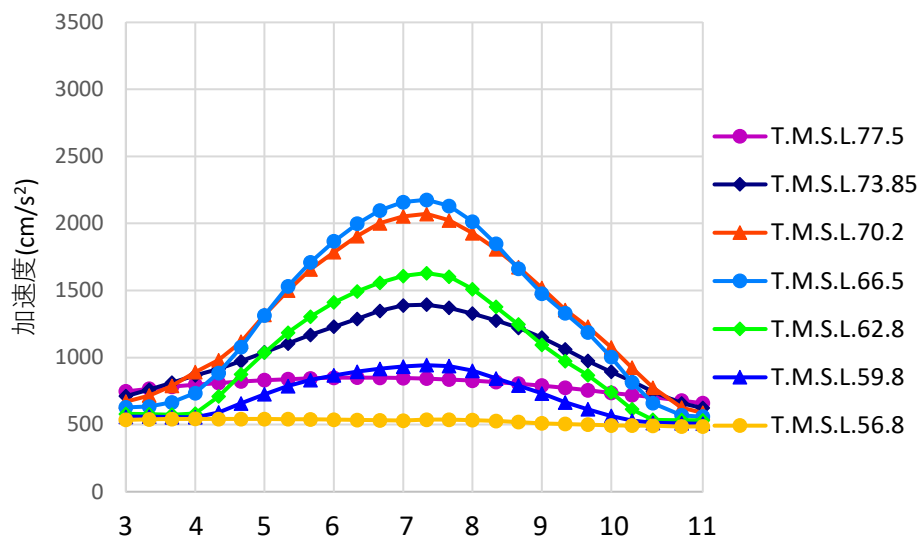
2.5 地震応答解析結果

2.5.1 壁面外方向に加振した時の壁の面外応答の確認

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した。壁面外方向（NS 方向）に加振した場合の最大応答加速度の分布図を第 2.5.1-1 図及び第 2.5.1-2 図に示す。図より、壁中央部で面外方向に応答が増幅する加速度応答となっており、高さ方向では T.M.S.L. 66.5m が最大となるような加速度分布となっている。B 通り壁の方が応答の増幅が大きいのは、B 通りの壁の方が壁厚が薄いため（A 通り壁：1.3m，B 通り壁：0.8m）である。第 2.5.1-1 図及び第 2.5.1-2 図の結果より、燃料加工建屋のクレーン室の壁については壁面外方向加振時に、面外方向への応答が励起されていることが確認できる。

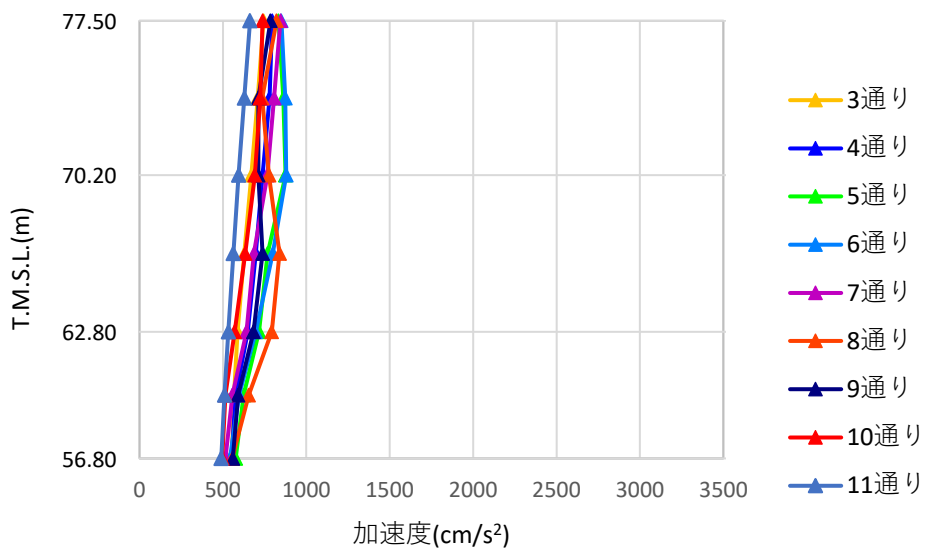


(a) A 通り

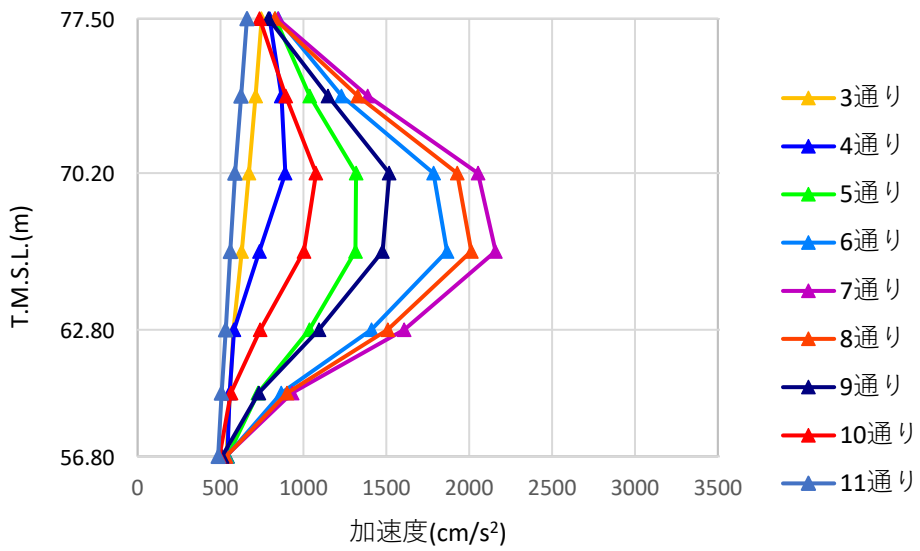


(b) B 通り

第 2.5.1-1 図 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (平面分布)



(a) A 通り



(b) B 通り

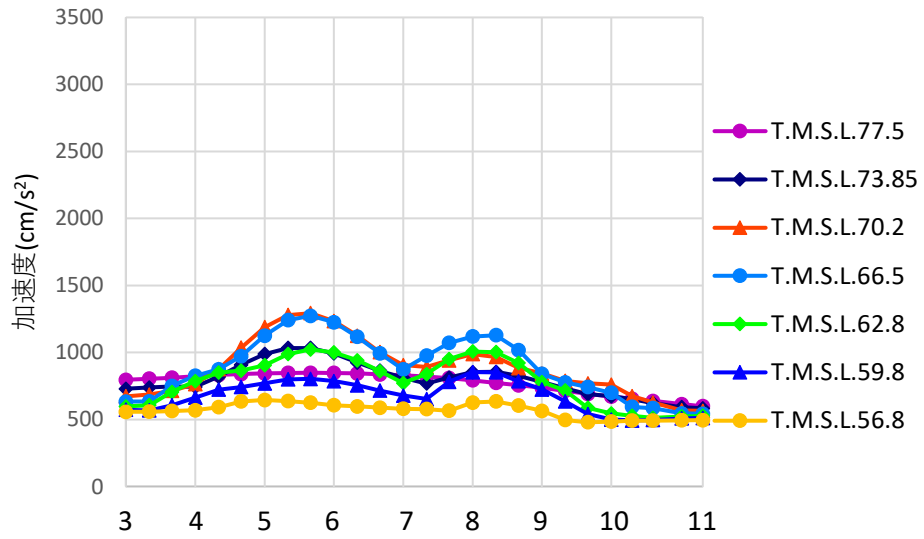
第 2.5.1-2 図 1 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (断面分布)

2.5.2 1方向入力及び3方向入力の最大応答加速度比較

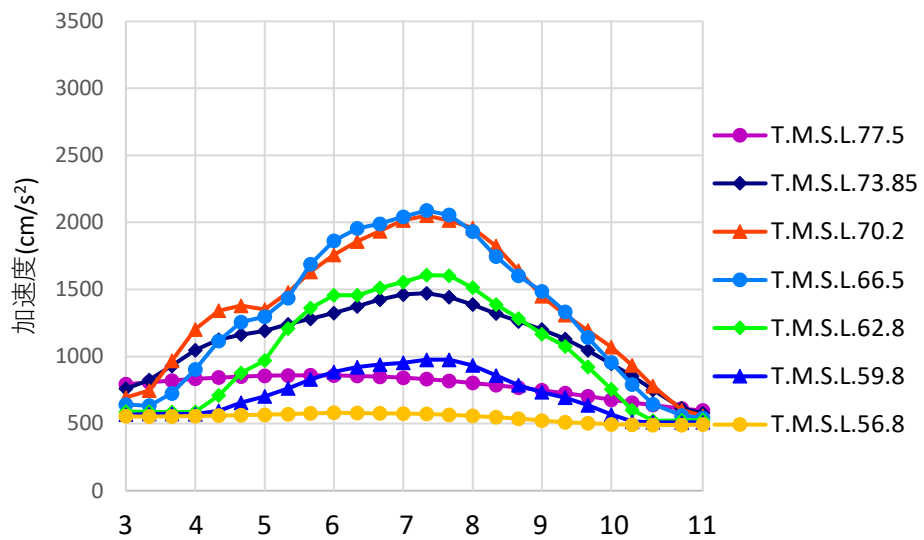
クレーン室の壁について、3方向入力における壁面外方向(NS方向)の最大応答加速度分布を第2.5.2-1図及び第2.5.2-2図に示す。3方向入力した場合においても、壁中央部で面外方向に応答が増幅する加速度応答となっており、高さ方向ではT.M.S.L. 66.5mが最大となるような加速度分布となっている。

水平1方向(NS方向)入力及び3方向入力の最大応答加速度の比較を第2.5.2-3図に示す。比較の結果、多少の大小はあるものの概ね3方向入力の場合が大きくなっており、3方向入力の最大応答加速度は、水平1方向入力の最大加速度に対して、最大で1.6倍程度である。

燃料加工建屋のクレーン室の壁においては、第2.5.1-1図～第2.5.1-2図より、面外方向加振時に壁の面外方向への応答の励起が確認されており、また第2.5.2-1図～第2.5.2-3図より3方向入力による応答の増幅が確認された。以上より、燃料加工建屋のクレーン室の壁については応答特性②-1に抽出することとした。

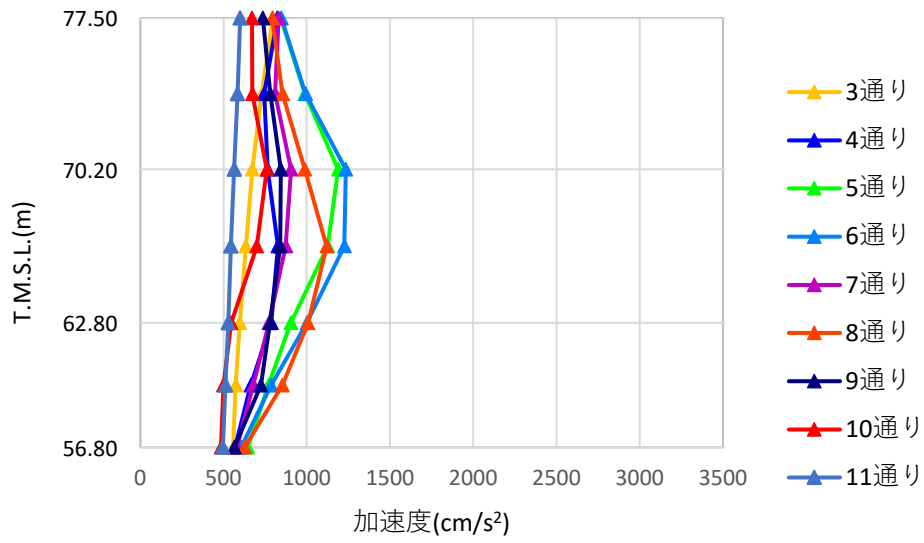


(a) A 通り

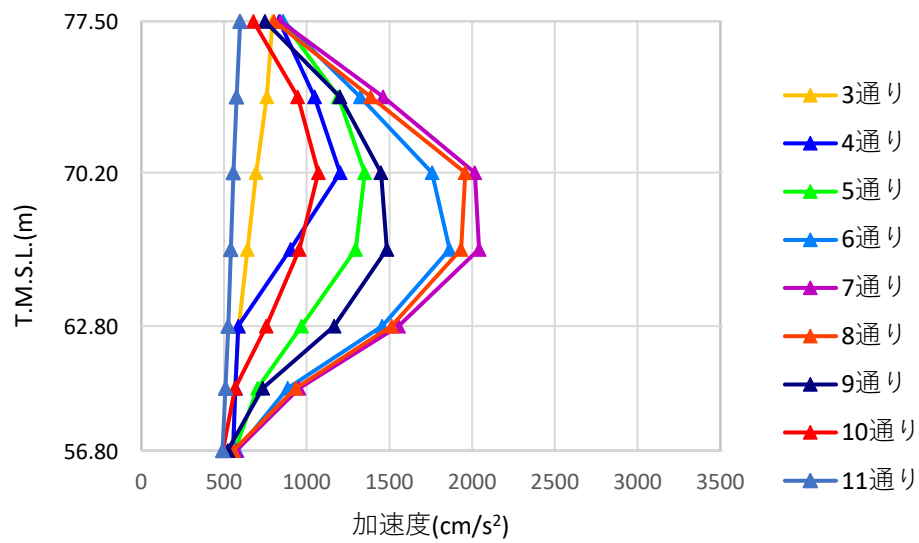


(b) B 通り

第 2.5.2-1 図 3 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (平面分布)

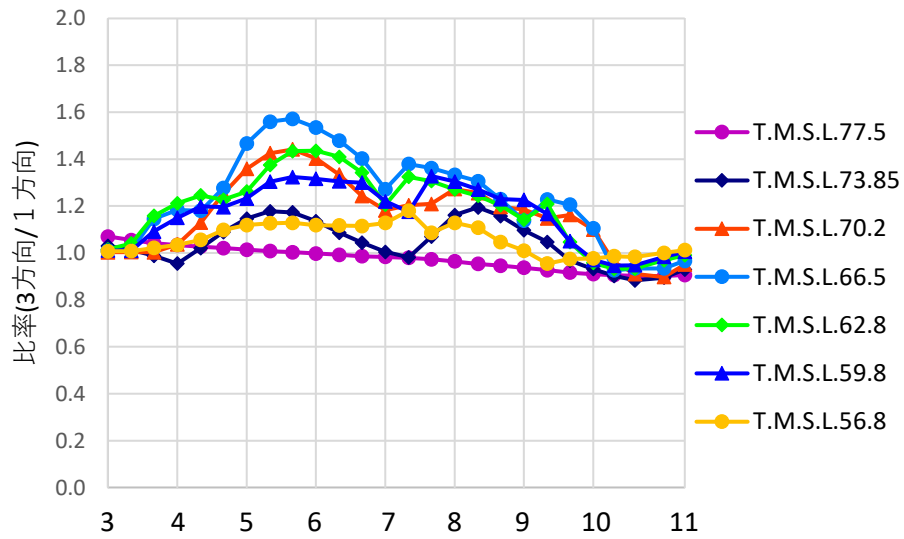


(a) A 通り

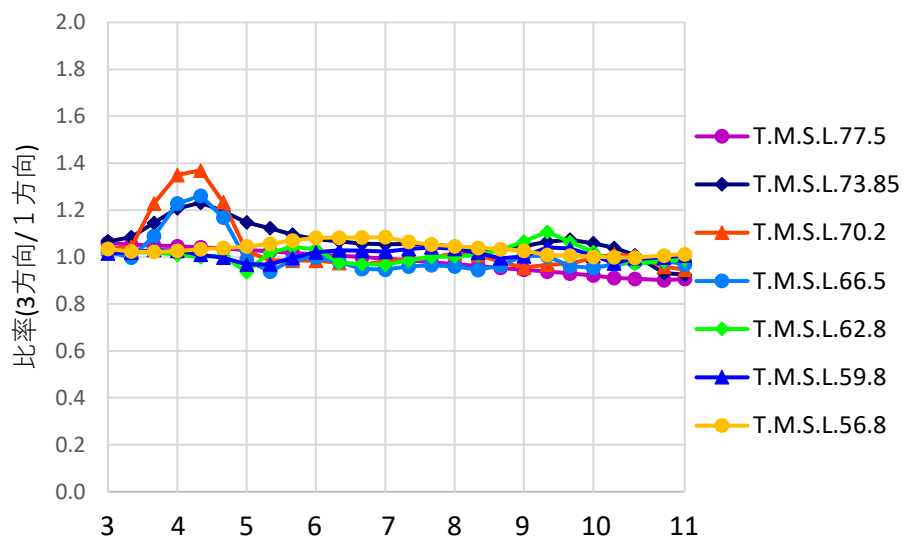


(b) B 通り

第 2.5.2-2 図 3 方向入力における壁面外方向の最大応答加速度分布 (断面分布)



(a) A 通り



(b) B 通り

第 2.5.2-3 図 水平 1 方向入力と 3 方向入力の壁面外方向の
最大応答加速度比較
(水平 1 方向入力に対する 3 方向入力の最大応答加速度の比率)

2.6 面外慣性力に対する壁の断面算定

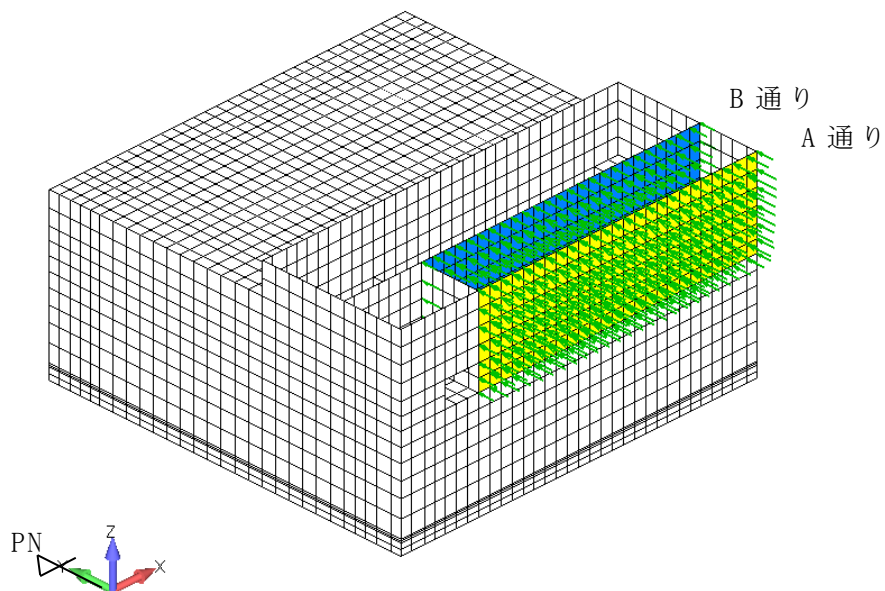
燃料加工建屋のクレーン室の壁については、前節にて壁面外方向への応答の励起及び3方向入力による応答増幅の傾向が確認されたため、応答特性②-1に抽出した。そのため、ここでは面外慣性力に対するクレーン室の壁の耐震性への影響検討を行う。検討は、FEMモデルに地震荷重として面外慣性力を入力し、評価対象部位に発生する面外応力に対して断面算定を行うことで行う。

評価に当たっては、以下の方針で行う。

- ①：クレーン室の壁については、建屋全体としての支持機能についての確認を行うため、基準地震動 S_s に対して評価することとする。
- ②：前節で示した3次元FEMモデルによる地震応答解析は弾性設計用地震動 S_d によるものであるため、添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」に示すSRモデルによる基準地震動 S_s (基本ケース) と弾性設計用地震動 S_d (基本ケース) の応答比率を用いて、面外荷重を S_s 地震時相当に補正する。
- ③：地盤物性のばらつきについては、補足説明資料「耐震建物11 地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」に示すSRモデルによる地震応答解析結果から算出した割増係数を、上記②で求めた S_s 地震時 (基本ケース) に相当する荷重に乗じることで考慮する。
- ④：③で作成した面外荷重を用いて応力解析を実施し、検定比を算出する。

2.6.1 解析モデル

解析モデルは第2.3-1図で示したモデルと同じ建屋全体モデルを使用した。解析モデルを第2.6.1-1図に示す。第2.6.1-1図に示すように評価対象の壁はA通りとB通りの壁とする。



第2.6.1-1図 解析モデル（再掲）
（※クレーン室の天井スラブは便宜上非表示とした）

2.6.2 荷重条件

荷重としては、基準地震動 S_s （以下「 S_s 地震時」という。）による面外慣性力をFEMモデルの評価対象部位の各節点に入力する。 S_s 地震時の面外慣性力は以下の式により算定する。

$$W_s = \alpha \cdot \beta \cdot Acc_{max} \cdot W / g$$

ここで、

W_s : S_s 地震時の壁の各節点の面外慣性力 (kN)

Acc_{max} : S_d-C1' 入力時の3方向入力における各節点の最大応答加速度
(cm/s^2)

W : 各節点の支配領域における壁自重 (kN)

g : 重力加速度 (cm/s^2)

α : SRモデルにおけるT. M. S. L. 56.80m~77.50mの質点での基準地震動 S_s と弾性設計用地震動 S_d による加速度応答比率 (第2.6.2-1表に示す)

β : SRモデルにおけるT. M. S. L. 56.80m~77.50mの質点での S_s-C1 のNS方向に対する地盤物性のばらつきを考慮した割増係数 (第2.6.2-2表に示す)

※ α 及び β についてはFEMモデルに適用するにあたり、高さに応じて適宜線形補間した数値を用いる。

第2.6.2-1表 加速度応答比率 α

T. M. S. L. (m)	最大加速度応答 (cm/s ²)		加速度応答比率 α
	Ss-C1 (NS方向)	Sd-C1 (NS方向)	
77.50 (RF)	1385	680	2.037
70.20 (PHF)	1117	632	1.768
62.80 (2F)	1020	566	1.803
56.80 (1F)	982	519	1.893

*各応答値は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」に示すSRモデルによる地震応答解析の結果

第2.6.2-2表 地盤物性のばらつきを考慮した割増係数 β

T. M. S. L. (m)	最大加速度応答 (cm/s ²)			割増係数 β $\max(\text{基本ケース} \cdot +\sigma \cdot -\sigma)$ / 基本ケース
	Ss-C1 NS方向 基本ケース	Ss-C1 NS方向 + σ	Ss-C1 NS方向 - σ	
77.50 (RF)	1385	1274	1426	1.030 (1426/1385)
70.20 (PHF)	1117	1122	1144	1.025 (1144/1117)
62.80 (2F)	1020	1016	1068	1.048 (1068/1020)
56.80 (1F)	982	1019	1007	1.038 (1019/ 982)

*各応答値は補足説明資料「耐震建物11 地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」に示すSRモデルによる地震応答解析の結果

2.6.3 断面算定方法

「RC-N規準」に基づき、曲げモーメント及び面外せん断力が許容値を超えないことを確認する。

曲げモーメントについては、評価対象部位に生じる曲げモーメントMが梁の終局曲げモーメントMuの精算式を用いて算出した値を超えないことを確認する。

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

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

ここで、

- Q_A : 短期許容面外せん断力 (N)
- b : 断面の幅 (mm)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8の値 (mm)
- α : 有効せん断力の割り増し係数 (1.0とする)
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/ mm²)

2.6.4 断面算定結果

断面算定結果を第2.6.4-1表に示す。Ss地震時において、曲げモーメントに対する検定比が最大0.869，面外せん断力に対する検定比が最大0.617となり，それぞれ許容値を超えないことを確認した。

本検討においては，壁に作用させる面外慣性力として，加速度応答比率を考慮した上で保守的に最大応答加速度の絶対値を用いていることを勘案すれば，燃料加工建屋のクレーン室の壁は水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより，3方向の応答の同時性を考慮することによる耐震性への影響が想定される部位ではない。

第 2.6.4-1 表 断面算定結果

		A 通り壁	B 通り壁
壁幅 (m)		69.1	69.1
壁高さ (m)		20.7	20.7
壁厚 (mm)		1300	800
有効せい d (mm)		1220.0	710.6
配筋		2-D35@200 (4783.0mm ²)	2-D29@200+2-D29@400 (4496.8mm ²)
鉄筋の材料強度 σ_y (N/mm ²)		379.5 (345×1.1=379.5)	
コンクリートの許容せん断応力度 f_s (N/mm ²)		1.18	
曲げ 評価	発生最大曲げモーメント M (kN・m)	1630	1126
	許容値 M_u (kN・m)	2419	1297
	検定比 M/M_u	0.674	0.869
せん断 力評価	発生最大面外せん断力 Q (kN)	753	452
	許容値 Q_A (kN)	1259	733
	検定比 Q/Q_A	0.599	0.617
判定		OK	OK

3. 燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブの面外慣性力による影響検討

3.1 検討概要

面内方向の荷重に加え，面外慣性力の影響の可能性のある燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブに対して，地震動を水平 2 方向及び鉛直方向に入力した場合の検討を実施する。

3.2 検討方針

燃料加工建屋について，水平 2 方向及び鉛直地震力の組合せに対し，3次元 FEM モデルを用いた精査として地震応答解析を実施する。地震応答解析は周波数応答解析とし，弾性応答解析とすることから入力地震動は弾性設計用地震動 Sd とし，建屋の鉛直加速度応答が最も大きい Sd-A を対象とする。燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブについて，弾性設計用地震動 Sd-A に対する地震応答解析により得られた最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を確認する。また，スラブ面外方向への入力に対する最大応答加速度と 3 方向入力による最大応答加速度を比較し，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する。

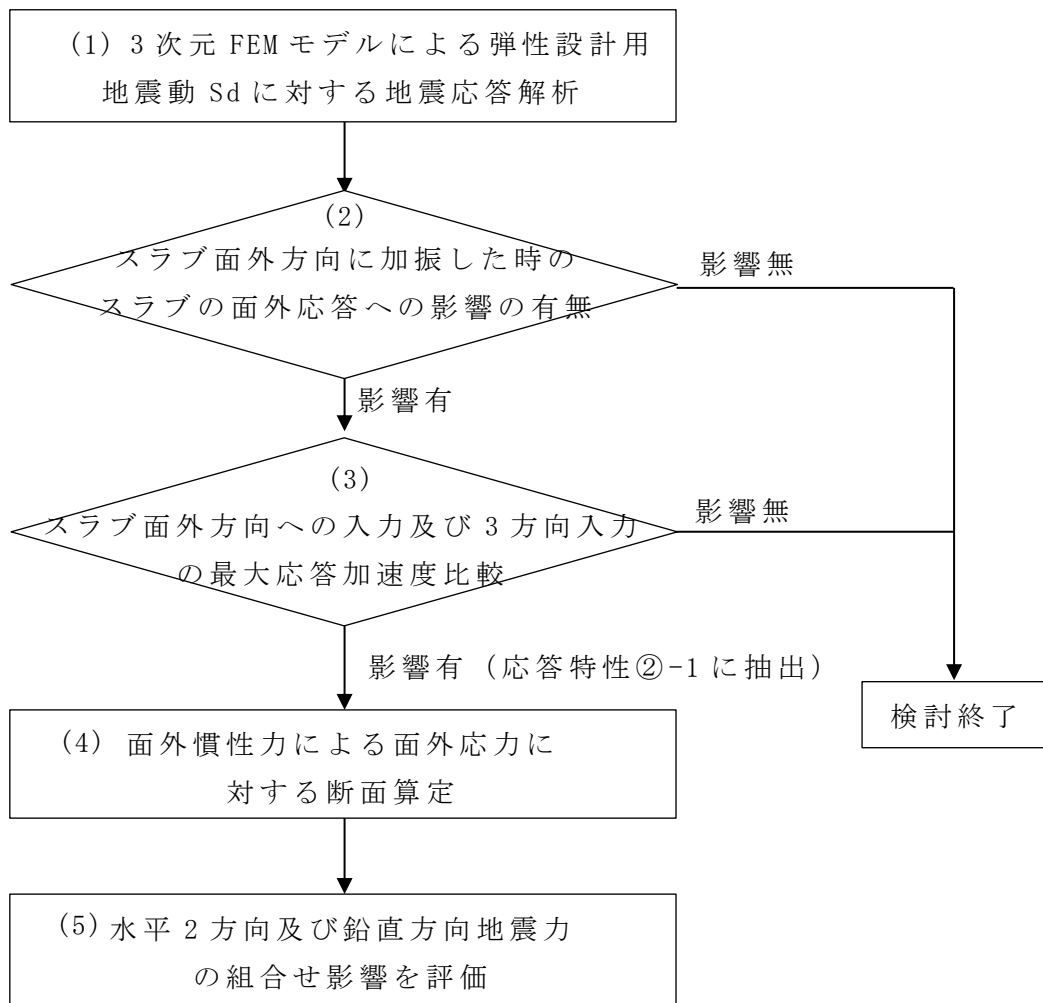
3 方向入力によるスラブ面外方向への応答増幅が確認された場合，3次元 FEM モデルによる最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を把握した上で，燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブについて，面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行い，面外慣性力の影響を評価する。

第 3.2-1 図に検討フローを示す。

まず，3次元 FEM モデルによる弾性設計用地震動 Sd に対する地震応答解析を行い，スラブ面外方向に加振した際の，評価対象スラブの面外方向への応答性状を確認し，スラブの面外応答への影響の有無を把握する。（フロー図（1），（2））

次に，スラブ面外方向に加振した場合と，3方向入力した場合の評価対象スラブの面外方向への加速度応答を比較し，スラブの面外応答に対する 3方向入力による影響を確認する。ここでスラブの面外応答への影響があると判断した場合は，応答特性②-1で抽出することとした。（フロー図（3））

応答特性②-1に抽出された場合，評価対象スラブの面外応答に対する耐震性を評価するために，評価対象スラブの面外応答に対する，水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を評価する。なお，本検討時にはフロー図（3）で算出した 3 方向入力時の加速度応答を使用する。（フロー図（4），（5））



第 3.2-1 図 検討フロー

3.3 解析モデル

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3.3-1図に示す。解析モデルは「2.3 解析モデル」に示すモデルと同じものを使用する。

検討に用いる解析モデルのケースを第3.3-1表、使用材料の物性値を第3.3-2表に示す。

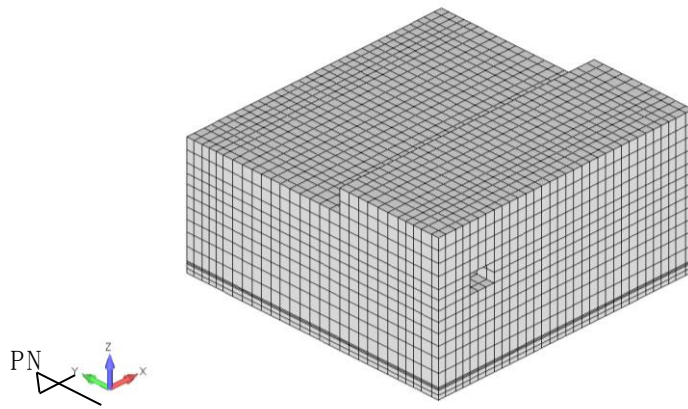
地震応答解析には、解析コード「MSC Nastran ver.2012.1.0」を用いる。

第3.3-1表 解析モデルの検討ケース

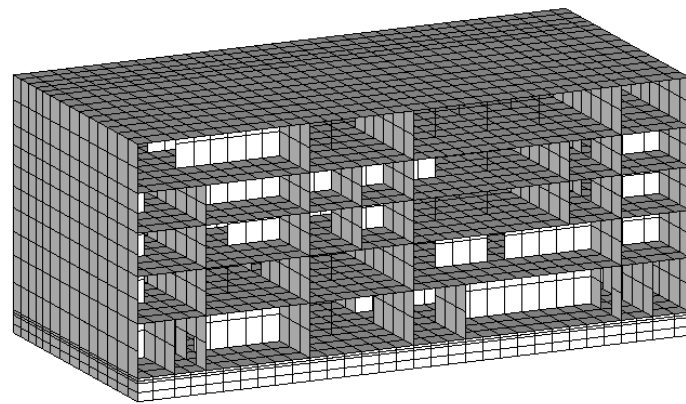
モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	実強度

第3.3-2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	実強度	24.0	2.90×10^4	3.0

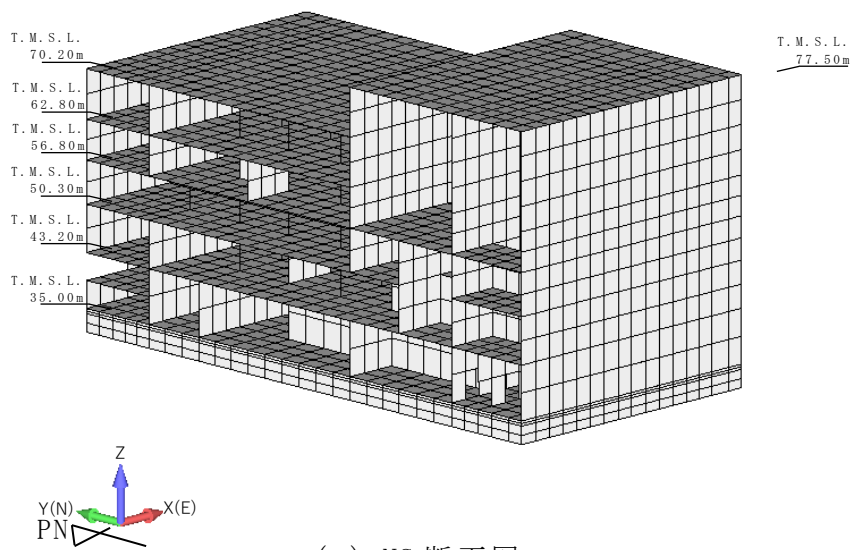


(a) 建屋全景



T. M. S. L.
70.20m
T. M. S. L.
62.80m
T. M. S. L.
56.80m
T. M. S. L.
50.30m
T. M. S. L.
43.20m
T. M. S. L.
35.00m

(b) EW 断面図



T. M. S. L.
70.20m
T. M. S. L.
62.80m
T. M. S. L.
56.80m
T. M. S. L.
50.30m
T. M. S. L.
43.20m
T. M. S. L.
35.00m

T. M. S. L.
77.50m

(c) NS 断面図

第 3.3-1 図 解析モデル図

3.4 地震応答解析の概要

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。地震応答解析は線形解析とし、周波数応答解析とする。

応答評価位置は燃料加工建屋の T.M.S.L. 77.50m の天井スラブとする。応答評価部位を第 3.4-1 図、節点番号図を第 3.4-2 図に示す。

地震動の組合せを第 3.4-1 表に示す。

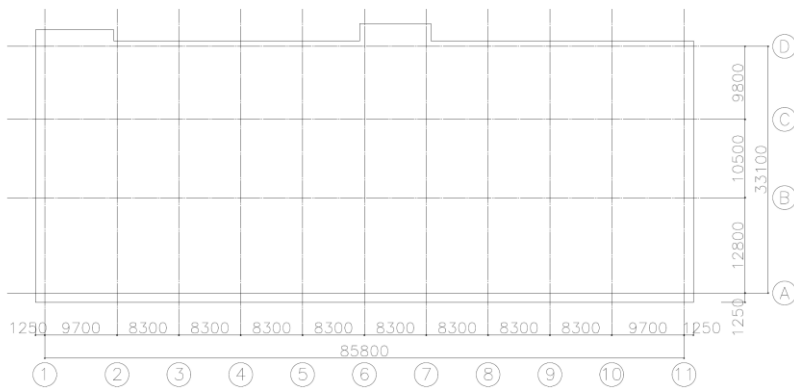
入力地震動については、線形解析であることから、弾性設計用地震動 Sd とする。具体的には、建屋の鉛直加速度応答が最も大きい弾性設計用地震動 Sd-A を代表波として水平 2 方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

但し、弾性設計用地震動 Sd-A について全く同じ地震動が同時に水平 2 方向に入力されることは現実的ではないことから、弾性設計用地震動 Sd-A については、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせ、弾性設計用地震動 Sd-A(H) の応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を作成し、水平 2 方向の地震動のうち 1 方向は弾性設計用地震動 Sd-A(H) (ここで、水平方向の地震動は Sd-A(H)、鉛直方向の地震動は Sd-A(V) とする。)を入力し、直交する方向は上記の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 Sd-A(V) を入力する。検討に用いた Sd-A(H)、Sd-A(V) 及び模擬地震波の加速度時刻歴波形を第 3.4-3 図に、加速度応答スペクトルを第 3.4-4 図に、Sd-A(H) と模擬地震波を 2 方向入力した場合のオービットを第 3.4-5 図に示す。

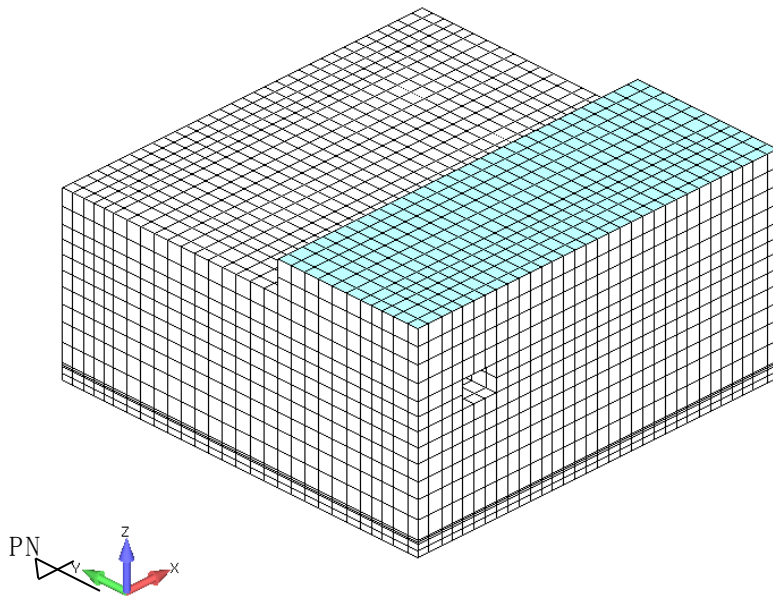
第 3.4-1 表 地震動の組合せ

入力方向	地震動組合せ		
	NS 方向	EW 方向	UD 方向
1 方向入力	—	—	Sd-A(V)
3 方向入力	Sd-A(H)	模擬地震波*	Sd-A(V)

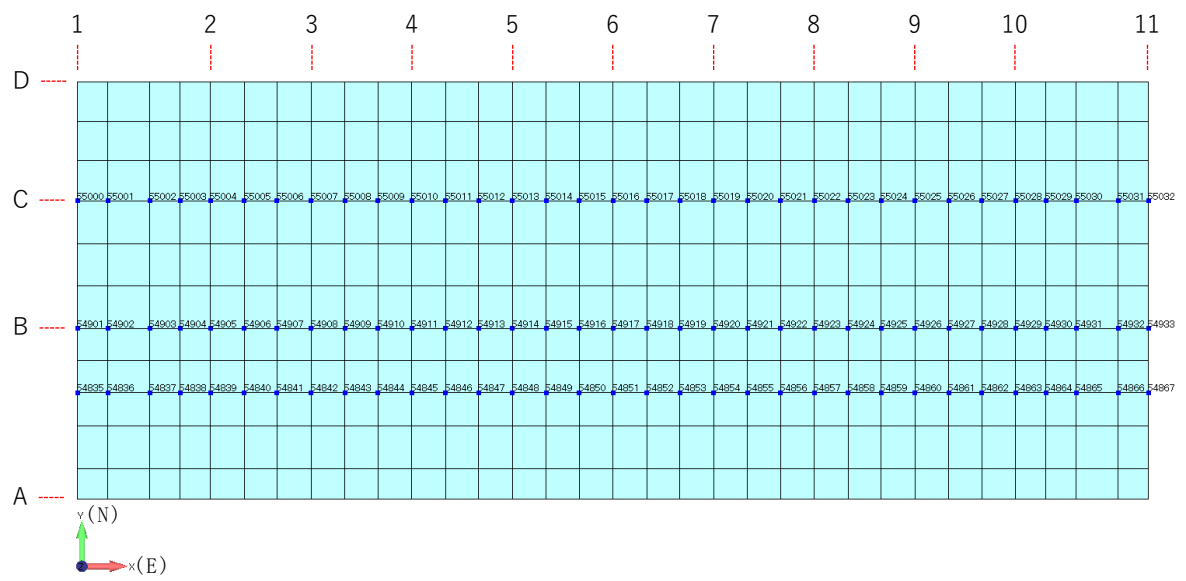
注記 *：弾性設計用地震動 Sd-A(H) の設計用応答スペクトルに適合するが、Sd-A(H) とは位相特性が異なる地震波



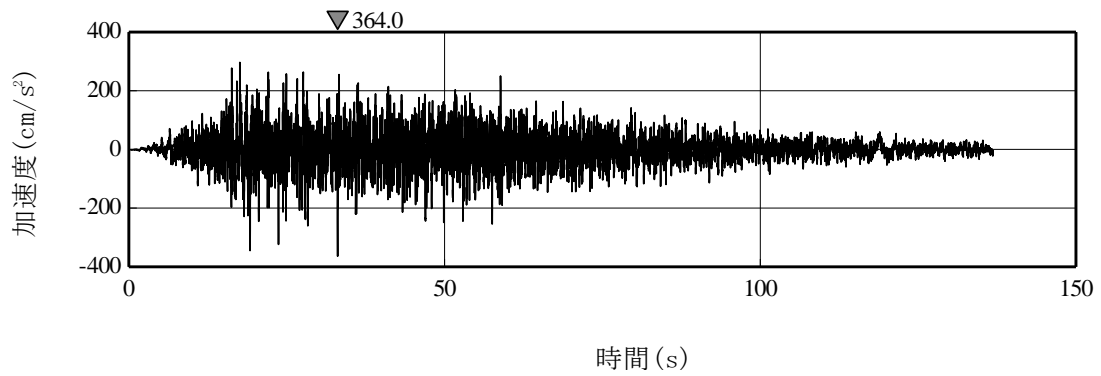
(a) 概略平面図 (T. M. S. L. 77.50m)



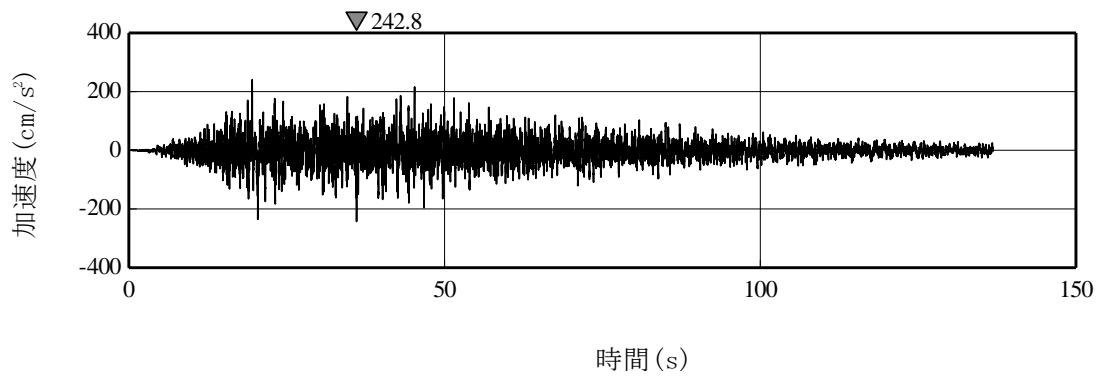
(b) 3次元FEMモデル
第 3.4-1 図 応答評価位置



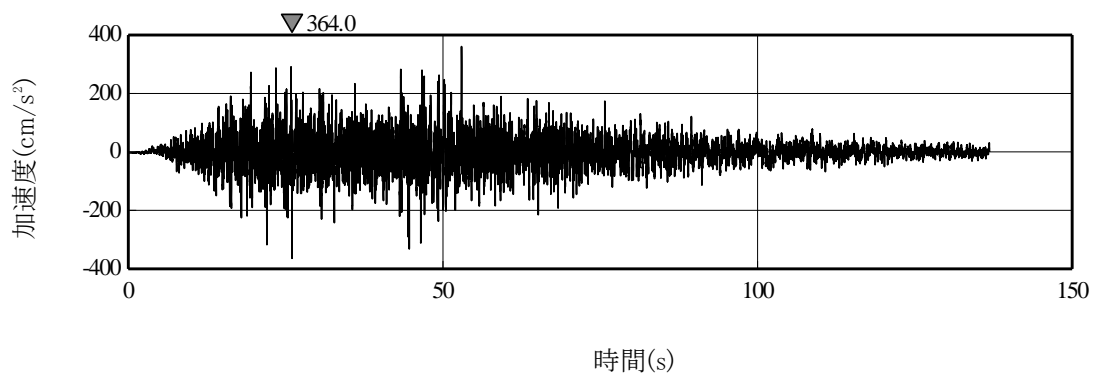
第 3.4-2 図 節点番号図



(a) Sd-A (H)

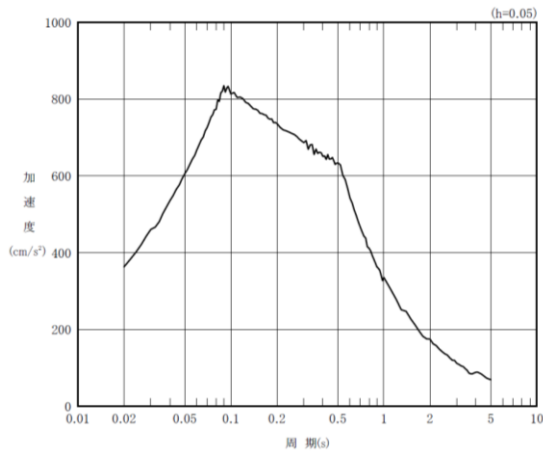


(b) Sd-A (V)

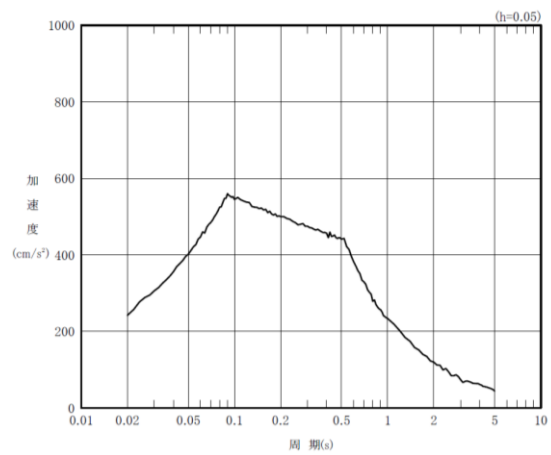


(c) 模擬地震波

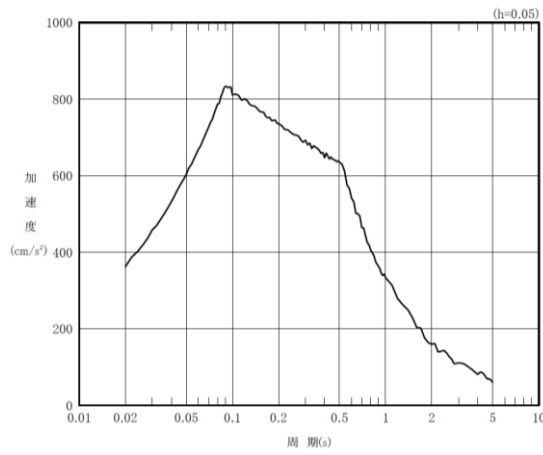
第 3.4-3 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度時刻歴波形



(a) Sd-A (H)

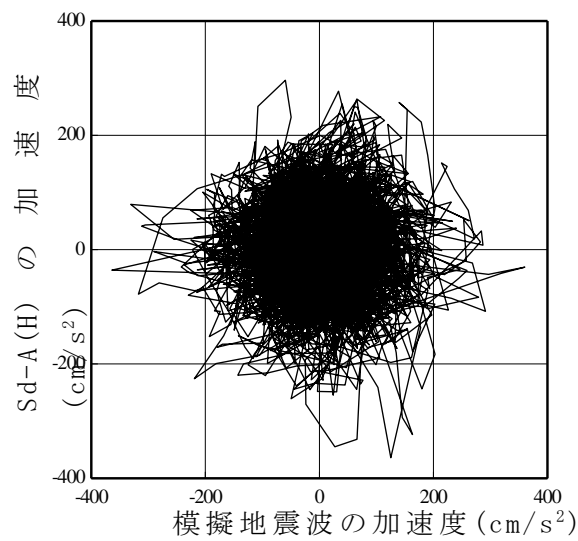


(b) Sd-A (V)



(c) 模擬地震波

第 3.4-4 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度応答スペクトル



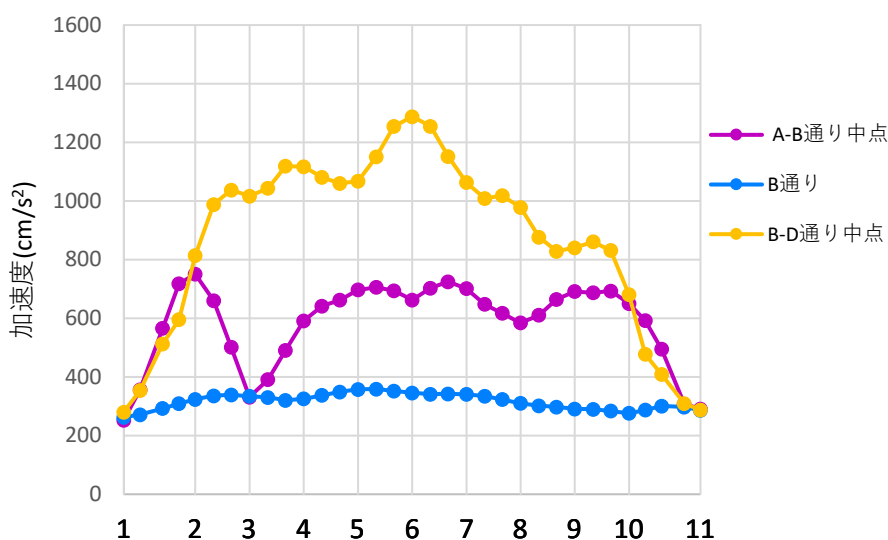
第 3.4-5 図 Sd-A のオービット
(位相の異なる地震波を 2 方向入力した場合)

3.5 地震応答解析結果

3.5.1 スラブ面外方向に加振した時のスラブの面外応答の確認

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した。スラブ面外方向(UD方向)に加振した場合の最大応答加速度の分布図を第3.5.1-1図に示す。天井スラブはA通り～D通りに渡っているが、B通りの壁の拘束効果により、A通り～B通り間及びB通り～D通り間で応答が分断されると想定し、応答評価点はA通り～B通り間の midpoint の列の節点、B通り上の節点及びB通り～D通り間の midpoint の列の節点とした。

(第3.4-2図参照)第3.5.1-1図より、B通りでは壁の拘束効果により応答が抑制されており、NS方向のスペンが長いB通り～D通り間の midpoint の列において、スラブ中央部で面外方向に応答が増幅する加速度応答となっている。第3.5.1-1図の結果より、燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブについてはスラブ面外方向加振時に、面外方向への応答が励起されていることが確認できる。



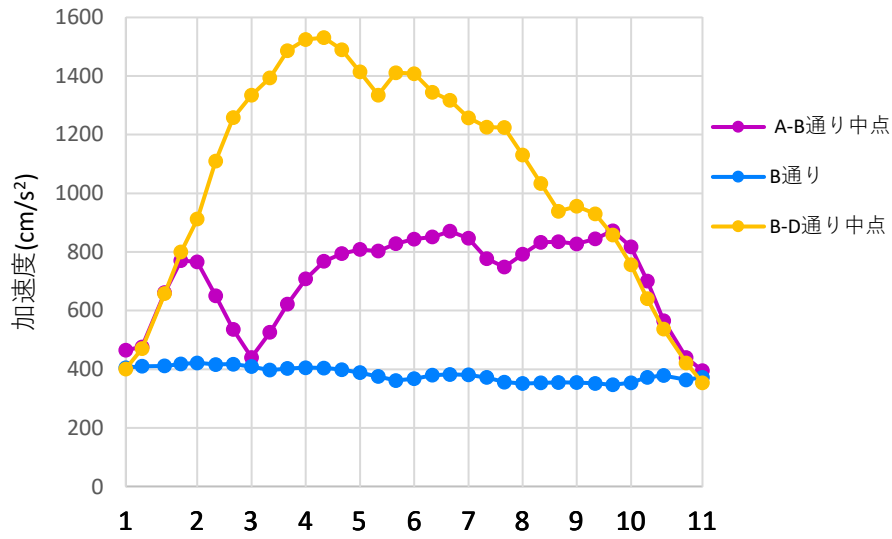
第3.5.1-1図 1方向入力におけるスラブ面外方向の最大応答加速度分布(平面分布)

3.5.2 1方向入力及び3方向入力の最大応答加速度比較

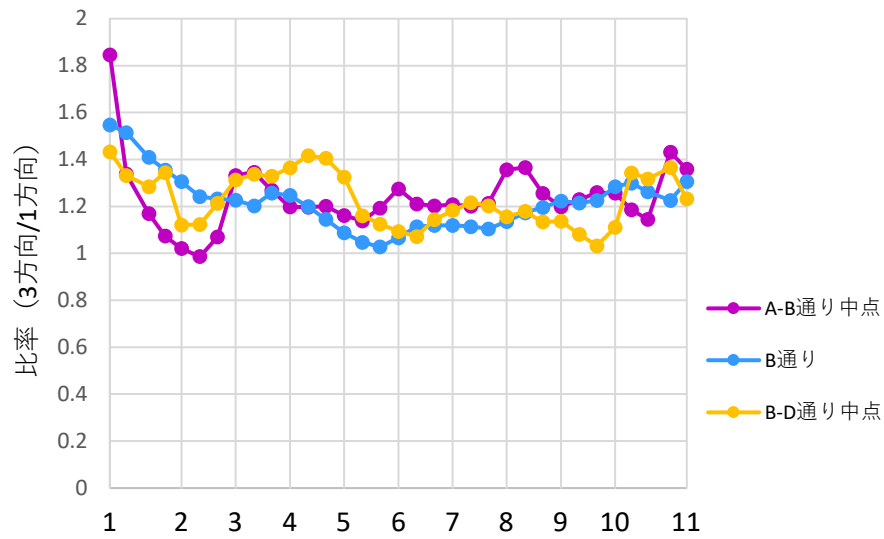
クレーン室の天井スラブについて、3方向入力におけるスラブ面外方向(UD方向)の最大応答加速度分布を第3.5.2-1図に示す。3方向入力した場合においても、スラブ中央部で面外方向に応答が増幅する加速度応答となっている。

水平1方向(NS方向)入力及び3方向入力の最大応答加速度の比較を第3.5.2-2図に示す。比較の結果、多少の大小はあるものの概ね3方向入力の場合が大きくなっており、応答が励起されるB通り～D通り間の中点において、3方向入力の最大応答加速度は、水平1方向入力の最大加速度に対して、最大で1.9倍程度(応答が大きいスラブの中間付近では1.4倍程度)である。

燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブにおいては、第3.5.1-1図より、面外方向加振時にスラブの面外方向への応答の励起が確認されており、また第3.5.2-1図～第3.5.2-2図より3方向入力による応答の増幅が確認された。以上より、燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブについては応答特性②-1に抽出することとした。



第 3.5.2-1 図 3 方向入力におけるスラブ面外方向の最大応答加速度分布 (平面分布)



第 3.5.2-2 図 水平 1 方向入力と 3 方向入力のスラブ面外方向の最大応答加速度比較 (水平 1 方向入力に対する 3 方向入力の最大応答加速度の比率)

3.6 面外慣性力に対する天井スラブの断面算定

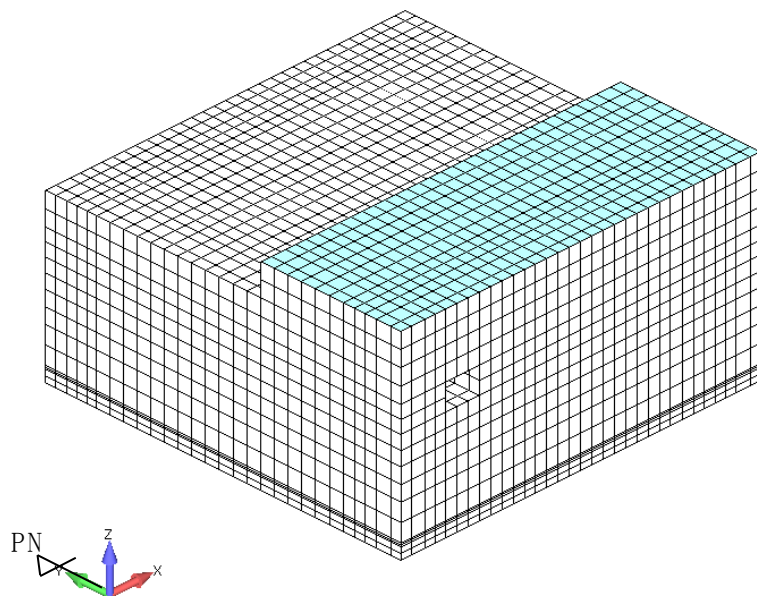
燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブについては、前節にてスラブ面外方向への応答の励起及び3方向入力による応答増幅の傾向が確認されたため、応答特性②-1に抽出した。そのため、ここでは面外慣性力に対するクレーン室の天井スラブの耐震性への影響検討を行う。検討は、FEMモデルに地震荷重として面外慣性力を入力し、評価対象部位に発生する面外応力に対して断面算定を行うことで行う。

評価に当たっては、以下の方針で行う。

- ①：クレーン室の天井スラブについては、建屋全体としての支持機能についての確認を行うため、基準地震動 S_s に対して評価することとする。
- ②：前節で示した3次元FEMモデルによる地震応答解析は弾性設計用地震動 S_d によるものであるため、添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」に示すSRモデルによる基準地震動 S_s (基本ケース)と弾性設計用地震動 S_d (基本ケース)の応答比率を用いて、面外荷重を S_s 地震時相当に補正する。
- ③：地盤物性のばらつきについては、補足説明資料「耐震建物11 地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」に示すSRモデルによる地震応答解析結果から算出した割増係数を、上記②で求めた S_s 地震時(基本ケース)に相当する荷重に乗じることで考慮する。
- ④：③で作成した面外荷重を用いて応力解析を実施し、検定比を算出する。

3.6.1 解析モデル

解析モデルは第3.3-1図で示したモデルと同じ建屋全体モデルを使用した。解析モデルを第3.6.1-1図に示す。評価対象はT.M.S.L. 77.50mの天井スラブとする。



第3.6.1-1図 解析モデル（再掲）

3.6.2 荷重条件

荷重としては、基準地震動 S_s （以下「 S_s 地震時」という。）による面外慣性力をFEMモデルの評価対象部位の各節点に入力する。 S_s 地震時の面外慣性力は以下の式により算定する。

$$W_s = \alpha \cdot \beta \cdot Acc_{max} \cdot W / g$$

ここで、

W_s : S_s 地震時の床の各節点の面外慣性力 (kN)

Acc_{max} : Sd-A入力時の3方向入力における各節点の最大応答加速度 (cm/s²)

W : 各節点の支配領域における床自重(積載・積雪荷重も考慮) (kN)

g : 重力加速度 (cm/s²)

α : SRモデルにおけるT. M. S. L. 77.50mの質点での基準地震動 S_s -Aと弾性設計用地震動Sd-Aによる加速度応答比率 (第3.6.2-1表に示す)

β : SRモデルにおけるT. M. S. L. 77.50mの質点での S_s -Aの鉛直方向に対する地盤物性のばらつきを考慮した割増係数 (第3.6.2-2表に示す)

第3.6.2-1表 加速度応答比率 α

T. M. S. L. (m)	最大加速度応答 (cm/s ²)		加速度応答 比率 α
	S_s -A (鉛直方向)	Sd-A (鉛直方向)	
77.50 (RF)	609	307	1.984

*各応答値は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」に示すSRモデルによる地震応答解析の結果

第3.6.2-2表 地盤物性のばらつきを考慮した割増係数 β

T. M. S. L. (m)	最大加速度応答 (cm/s ²)			割増係数 β $\max(\text{基本ケース} \cdot + \sigma \cdot - \sigma) / \text{基本ケース}$
	S_s -A 鉛直方向 基本ケース	S_s -A 鉛直方向 + σ	S_s -A 鉛直方向 - σ	
77.50 (RF)	609	568	608	0.998 (609/608) → 保守的に1.000

*各応答値は補足説明資料「耐震建物11 地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」に示すSRモデルによる地震応答解析の結果

3.6.3 断面算定方法

「RC-N規準」に基づき、曲げモーメント及び面外せん断力が許容値を超えないことを確認する。

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

$$Mu=0.9 \cdot at \cdot \sigma y \cdot d$$

ここで、

- Mu : 終局曲げモーメント (N・mm)
- at : 引張鉄筋断面積 (mm²)
- σy : 引張鉄筋の材料強度 (N/ mm²)
- d : スラブ断面の有効せい (mm)

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

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

ここで、

- Q_A : 短期許容面外せん断力 (N)
- b : 断面の幅 (mm)
- j : 断面の応力中心間距離で、断面の有効せいの7/8の値 (mm)
- α : 有効せん断力の割り増し係数 (1.0とする)
- f_s : コンクリートの短期許容せん断応力度 (N/ mm²)

3.6.4 断面算定結果

断面算定結果を第3.6.4-1表に示す。Ss地震時において、曲げモーメントに対する検定比が最大0.724、面外せん断力に対する検定比が最大0.978となり、それぞれ許容値を超えないことを確認した。

本検討においては、スラブに作用させる面外慣性力として、加速度応答比率を考慮した上で保守的に最大応答加速度の絶対値を用いていることを勘案すれば、燃料加工建屋のクレーン室の天井スラブは水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより、3方向の応答の同時性を考慮することによる耐震性への影響が想定される部位ではない。

第 3.6.4-1 表 断面算定結果

		T. M. S. L. 77.50m B 通り～D 通り間スラブ
スラブ長さ (m) (NS 方向)		20.3
スラブ長さ (m) (EW 方向)		88.3
スラブ厚 (mm)		1400
有効せい d (mm)		1266
配筋		2-D38@200+2-D38@200 (11400.0mm ²)
鉄筋の材料強度 σ_y (N/mm ²)		379.5 (345×1.1=379.5)
コンクリートの許容せん断応力度 f_s (N/mm ²)		1.18
曲げ評価	発生最大曲げモーメント M (kN・m)	3568
	許容値 M_u (kN・m)	4929
	検定比 M/M_u	0.724
せん断力評価	発生最大面外せん断力 Q (kN)	1278
	許容値 Q_A (kN)	1307
	検定比 Q/Q_A	0.978
判定		OK

4. 局所応答による影響検討

応答特性②-1 及び②-2 により抽出されなかった耐震評価部位全般に対して、局所的な応答について 3 次元 FEM モデルによる精査を行った。

精査に当たっては、3 次元 FEM モデルで構築した燃料加工建屋の地震応答解析モデルを用いて、水平 2 方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し評価することで行った。精査の内容は参考資料に示す。

燃料加工建屋に対して 3 次元 FEM モデルを用いた精査を行った結果、燃料加工建屋の応答及び耐震性への影響が小さいことから、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

したがって、水平 2 方向及び鉛直方向地震力を適切に算定するにあたっては、質点系モデルの地震応答解析結果を用いることで、十分妥当な評価を行うことが可能であることを確認した。

5. 3次元 FEM モデルを用いた精査のまとめ

3次元的な応答特性が想定される部位について、3次元 FEM モデルにより精査を行った。第1回申請の建物・構築物において、応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」可能性がある部位として、燃料加工建屋のクレーン室の壁及びクレーン室の天井スラブについて精査を行った。

3次元 FEM モデルを用いた精査の結果いずれの部位においても、3次元的な応答が確認され、3方向入力による3次元的な応答の増幅が確認されたことから評価対象部位に抽出した。各評価対象部位については、3方向入力により増幅された応答に対して耐震性への影響を評価し、その結果、耐震性への影響はなかったことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響は想定されないとした。

更に、建屋評価部位全般に対し、局所的な応答について、燃料加工建屋を対象とした3次元FEMモデルより、水平2方向及び鉛直方向入力時の最大応答加速度を算出し検討することで精査を行った。精査の結果、燃料加工建屋の応答及び耐震性への影響が小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価が必要な部位は抽出されなかった。

以上のことから、3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位については、耐震性への影響はなかったことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響は想定されないとした。

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)-15
3.1 燃料加工建屋の3次元FEMモデル	(参考)-15
3.2 固有値解析	(参考)-30
3.3 観測記録を用いた検討	(参考)-33
4. 3次元FEMモデルによる評価	(参考)-54
4.1 地震応答解析の概要	(参考)-54
4.2 建屋応答性状の把握	(参考)-59
4.3 建屋耐震評価への影響検討	(参考)-81
4.4 床応答への影響検討	(参考)-112
5. まとめ	(参考)-123

1. 概要

本資料は、補足説明資料本文及び別紙 2 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、建屋の耐震評価に及ぼす影響の確認を行う。なお、3 次元的な挙動が、機器・配管系が有する耐震性に及ぼす影響については、後次回以降に評価対象機器の振動特性等を踏まえて、適切に評価を行うこととし、本資料では床応答の結果のみ示す。

2. 検討概要

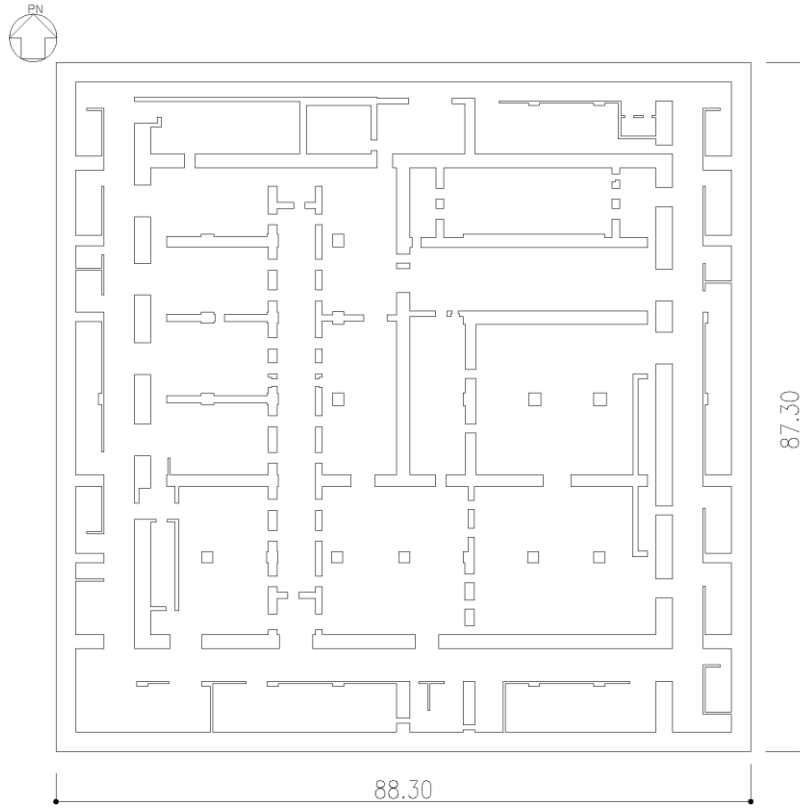
建屋の 3 次元的応答性状の把握及び質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認の観点から，燃料加工建屋について 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行い，建屋の局所的な応答を検討する。また，3 次元 FEM モデルによる挙動が，建屋の耐震評価に及ぼす影響を検討する。

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。

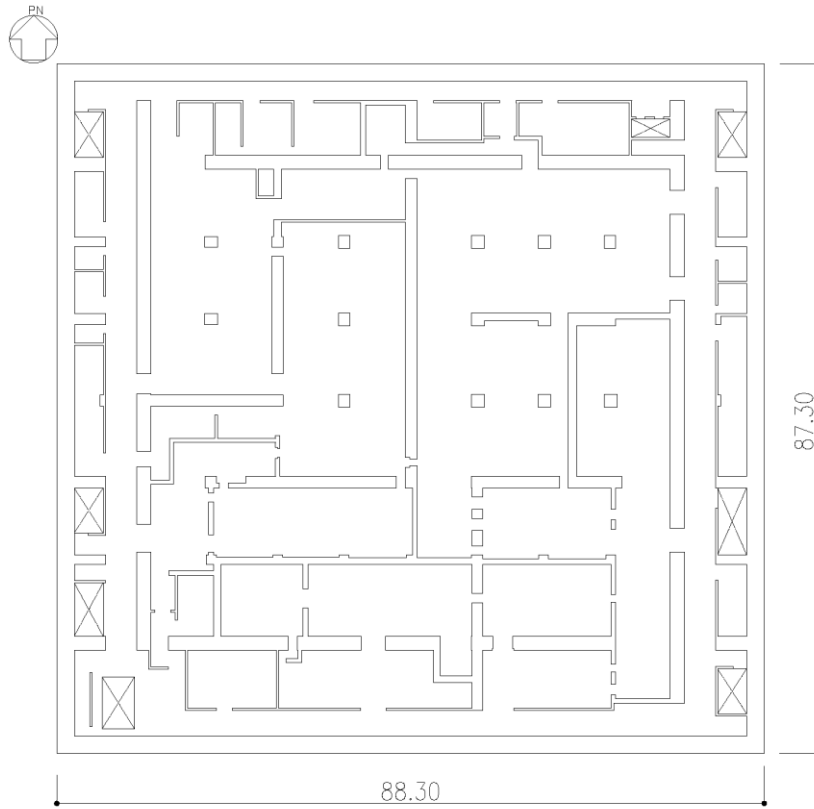
燃料加工建屋の概略平面図を第2.1-1図に，概略断面図を第2.1-2図に示す。



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

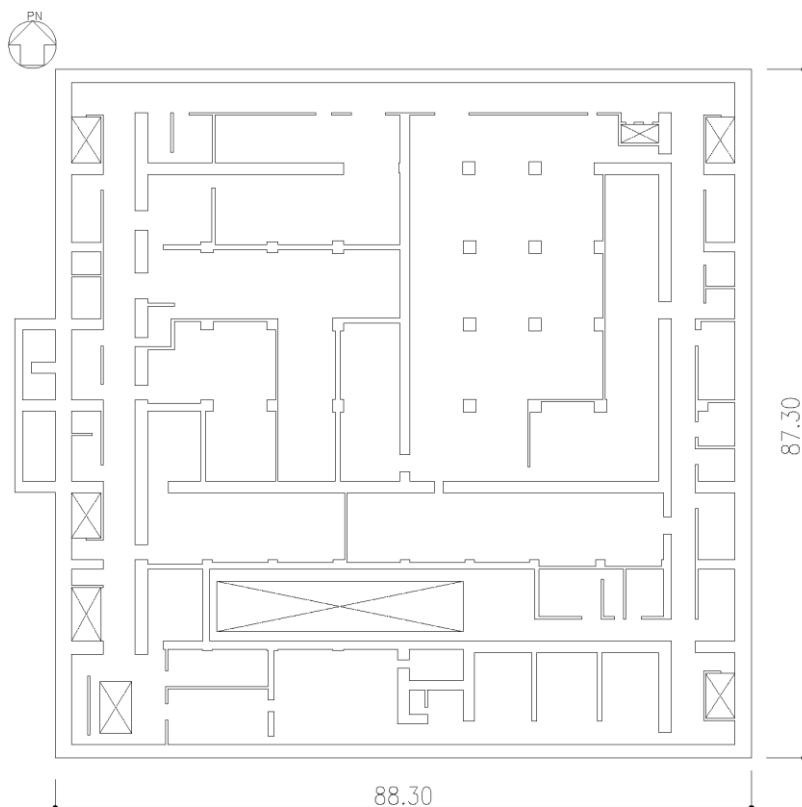
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 35.00m) (1/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

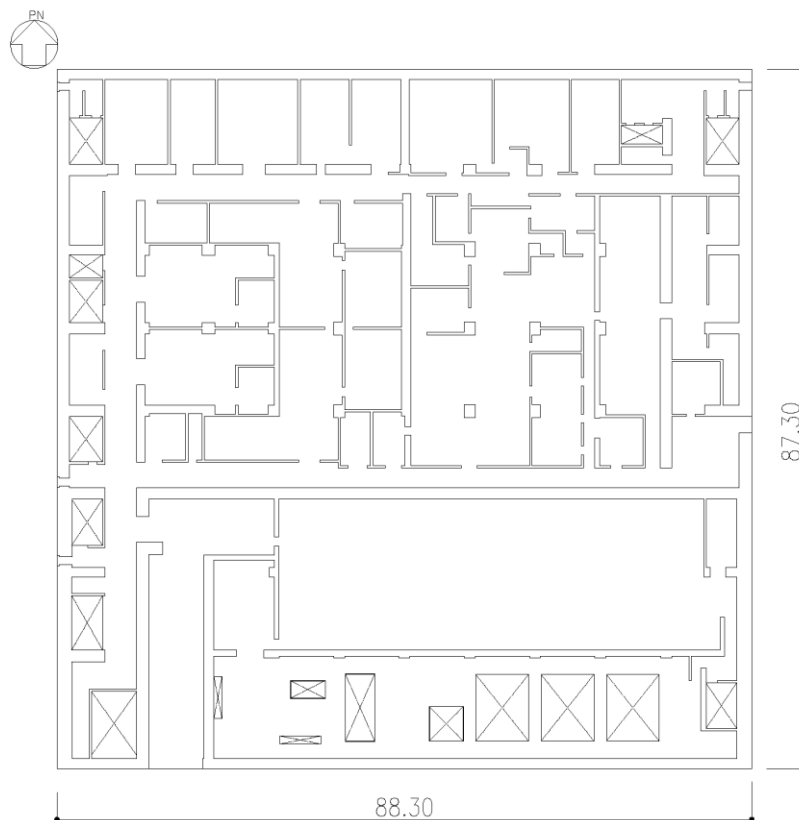
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 43.20m) (2/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

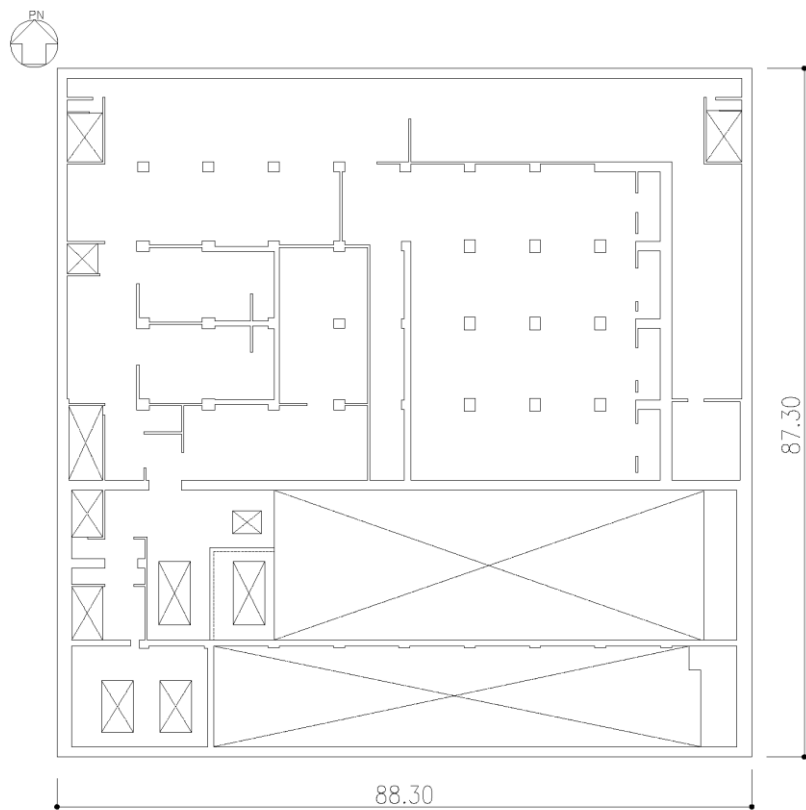
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 50.30m) (3/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

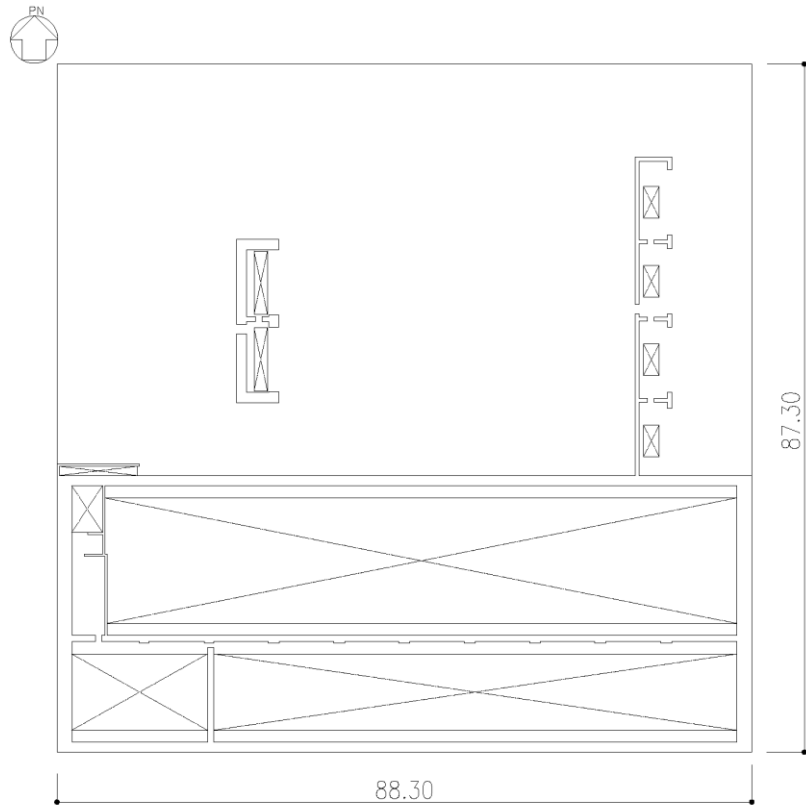
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 56.80m) (4/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

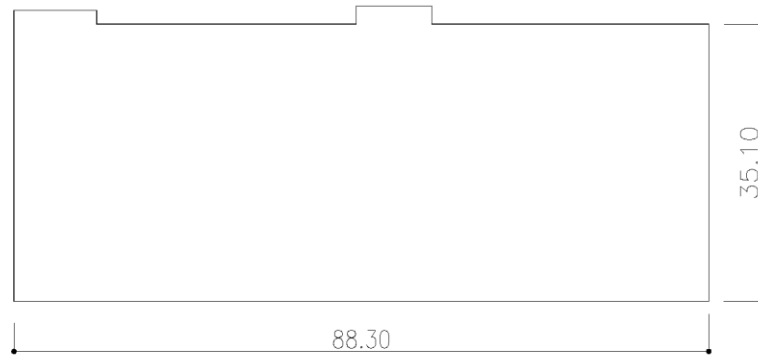
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 62.80m) (5/7)



(単位：m)

注記：建屋寸法は，壁外面押えとする。

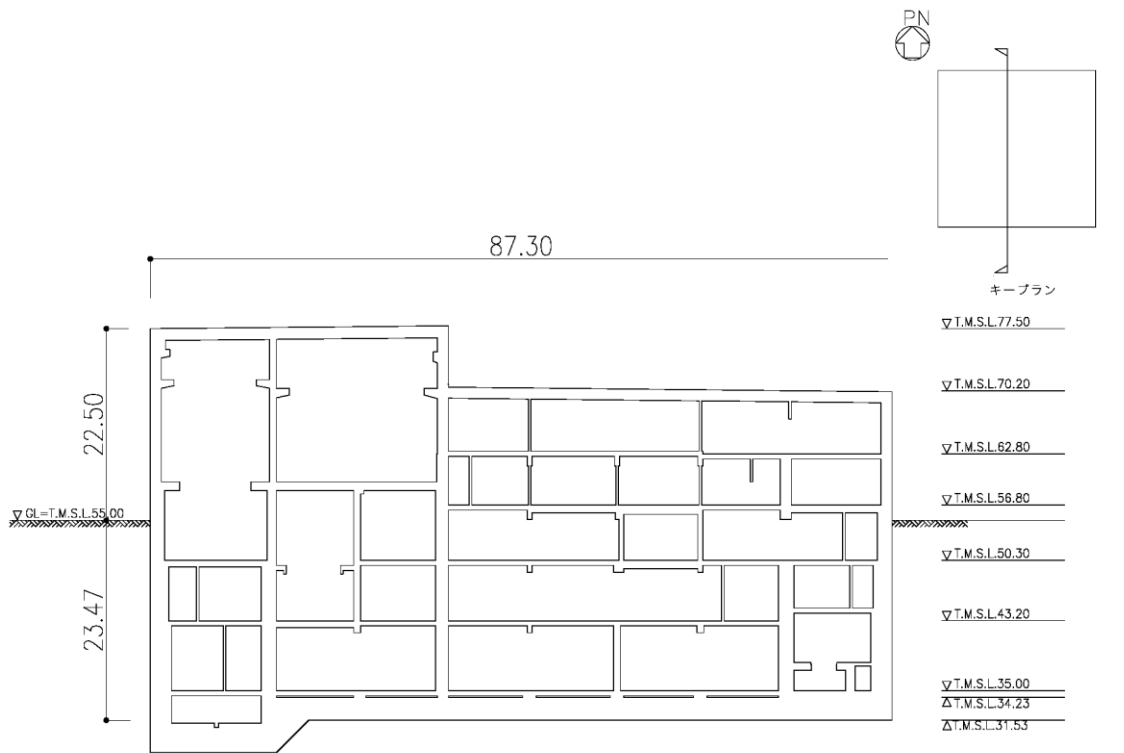
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 70.20m) (6/7)



(単位：m)

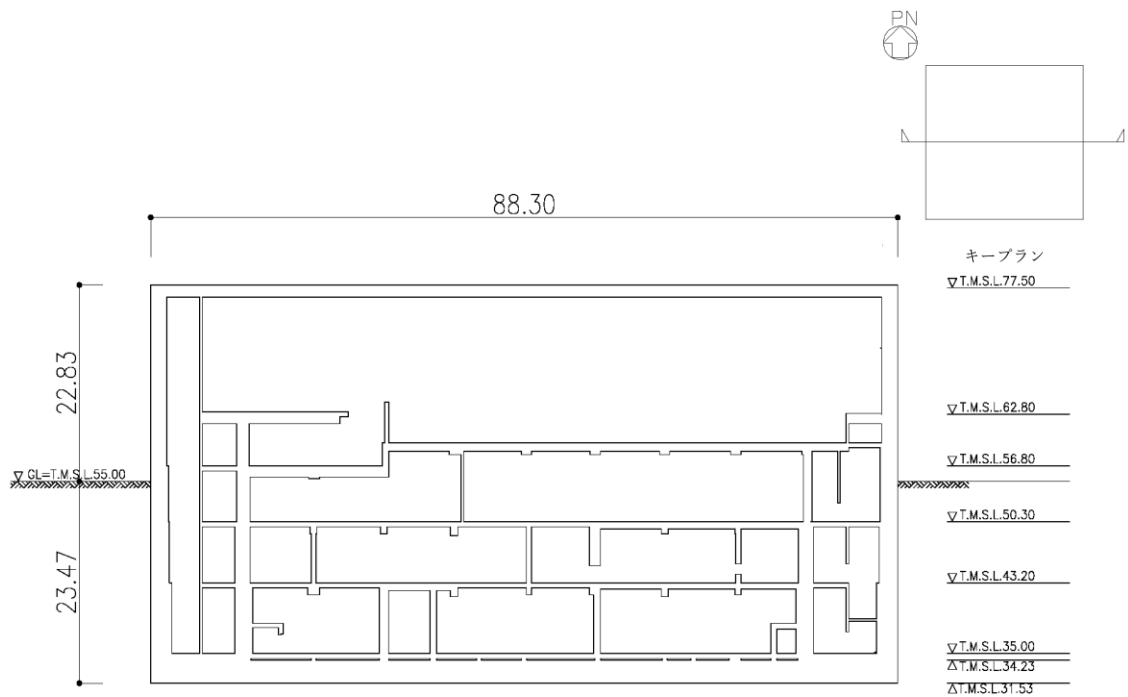
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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

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。さらに、3次元的な応答特性から建屋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が生じる部位やその要因に着目し、建屋を構成する主要部位である床（基礎スラブ含む）、壁及び地盤との相互作用について、3次元FEMモデルと質点系モデルのモデル化手法の違いについて以下(1)～(3)の通り考察した。

(1) 床

床は、3次元FEMモデルではシェル要素で平面的な広がりを考慮してモデル化するが、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、平面的な広がりを持った床に対して、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。

(2) 壁

壁は、3次元FEMモデルでは同一フロア内の平面的な配置を適切に考慮し、シェル要素で個々にモデル化するが、質点系モデルでは重量は質点に集約し、剛性は質点同士を結合する梁要素に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モデルでは質点系モデルに比べ、鉛直軸回りのねじれ振動が平面的な広がりを有することからより詳細に表現できる。

また、3次元FEMモデルでは、質点系モデルでは剛性に考慮していない補助壁等についてもモデル化していることから、剛性の差異による応答への影響が僅かながら存在する。

(3) 地盤との相互作用

地盤との相互作用は、3次元FEMモデルでは平面的な広がりを持った基礎底面及び建屋側面に対して、ばね要素を離散化してモデル化するが、質点系モデルでは、質点位置に対応するようばね要素を集約してモデル化している。そのため、基礎に平面的な広がりを持っており、ばね要素を離散化してモデル化する3次元FEMモデルでは、質点系モデルに比べ、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をより詳細に表現できる。

また、上記(1)～(3)に加え、質点系モデルと現実の建屋の差異として、コンクリート剛性が挙げられる。設工認申請に用いる質点系モデルは、設計基準強度でコンクリート剛性を評価しているのに対して、現実の建屋では、設計基準強度を上回るようにコンクリートが施工されることから、コンクリート剛性の差異による応答への影響も僅かながら存在する。

上記(1)～(3)及びコンクリート強度の差異に対する考察を踏まえたうえで、3次元的な応答を確認するために、以下4ケース(a.～d.)の解析モデルを作成した。

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次元の応答特性、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・配管系の耐震評価への影響検討を実施する。

a. 建屋模擬モデル

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、コンクリート剛性として実強度を用いた建屋模擬モデルを作成した。

建屋模擬モデルは、実現象を模擬できる詳細モデルとして位置付けており、後述の「建屋耐震評価への影響検討」及び「床応答への影響検討」において、質点系モデルの応答と比較することで、建屋及び機器・配管系の耐震評価への影響検討を実施する。

b. 比較用モデル1

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固定することで「基礎下鉛直方向固定」に変更した比較用モデル1を作成した。

比較用モデル1と建屋模擬モデルの建屋応答の比較により、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。

c. 比較用モデル2

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。

比較用モデル2と建屋模擬モデルの建屋応答の比較により、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。

d. 質点系対応モデル

比較用モデル2におけるコンクリート剛性を、「設計基準強度」から「実強度」に変更したモデル、すなわち質点系モデルと諸条件を整合させた、質点系対応モデルを作成した。

後述の「建屋耐震評価への影響検討」において、質点系対応モデルと建屋模擬モデルの建屋応答の比較から応答補正比率を算出することで、3次元的な応答性状を踏まえた定量的な耐震評価を実施する。

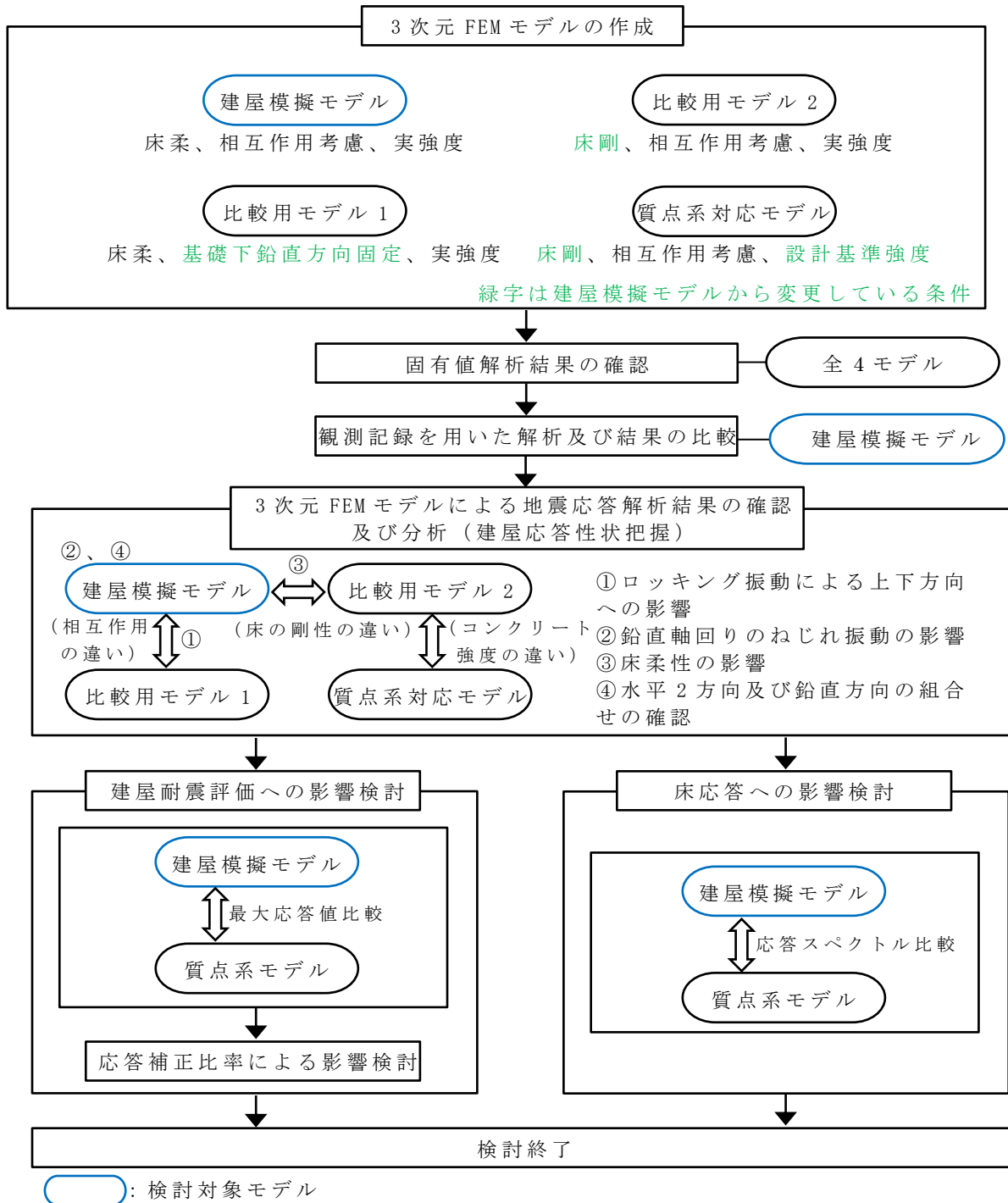
上記4ケース(a.～d.)の解析モデルの概要を第2.2-1表に示す。

また、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。なお、第 2.2-1 図中の「観測記録を用いた解析及び結果の比較」においては、燃料加工建屋は建設中であるため地震観測記録を有していないが、3次元 FEM モデルの作成方針は建屋ごとに共通であることから、地震計を設置している建屋の内、偏心率の高い分離建屋のシミュレーション解析結果を用いて、燃料加工建屋の 3次元 FEM モデルのモデル化方法の妥当性について説明する。

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 固定	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



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

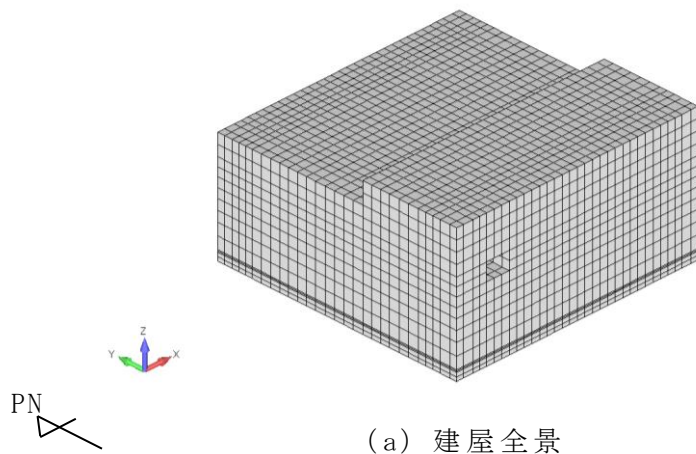
燃料加工建屋の 3次元 FEMモデルを構築する。解析モデルを第 3.1-1 図に示す。また、各階のモデル図を第 3.1-2 図に示す。

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 程度とし、水平方向の通り芯間及び鉛直方向のフロア間を 2 分割以上とするように設定した。

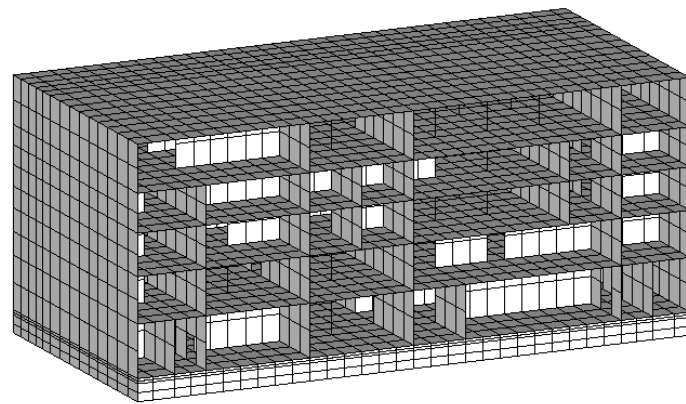
使用材料及び地盤の物性値をそれぞれ第 3.1-1 表及び第 3.1-2 表に示す。また、地盤のひずみ依存性を第 3.1-3 図に示す。コンクリート強度は、建屋模擬モデル、比較用モデル 1 及び比較用モデル 2 に対しては実強度を、質点系対応モデルに対しては、設計基準強度を用いるものとする。なお、コンクリートの実強度については、「耐震建物 11 地震応答計算書に関する地震応答解析における材料物性のばらつきに関する検討」において示す新調合での圧縮強度試験結果の平均値を切り上げた値とし、モデル全体に適用した。

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。

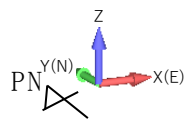
建屋－地盤の相互作用は、添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの弾性設計用地震動 Sd での基礎底面地盤ばね及び側面地盤ばねと整合するよう地盤をばね要素でモデル化することで考慮する。基礎底面地盤ばねについては、質点系モデルで考慮したスウェイ、ロッキング及び鉛直ばねの値をもとに、3次元 FEMモデルの基礎底面の各節点位置に支配面積に応じて離散化する。ただし、鉛直ばねのうち水平方向加振用は、基礎底面回転ばねをもとに設定する。側面の地盤ばねについては、質点系モデルで考慮している側面水平ばねの値をもとに、各質点レベルに対応する各節点位置に要素面積に応じて離散化する。弾性設計用地震動 Sd-A での各地盤ばね諸元について第 3.1-3 表及び第 3.1-4 表に示す。また、底面地盤ばねと側面地盤ばねの設定状況について第 3.1-4 図に示す。



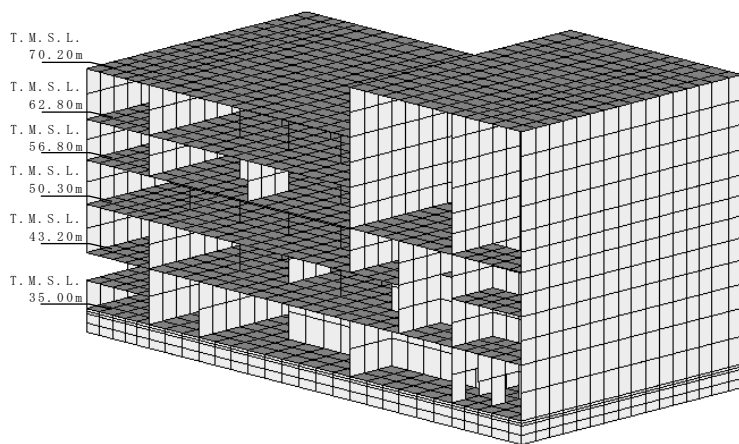
(a) 建屋全景



T. M. S. L.
70.20m
T. M. S. L.
62.80m
T. M. S. L.
56.80m
T. M. S. L.
50.30m
T. M. S. L.
43.20m
T. M. S. L.
35.00m

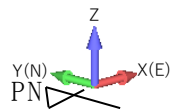


(b) EW 断面図



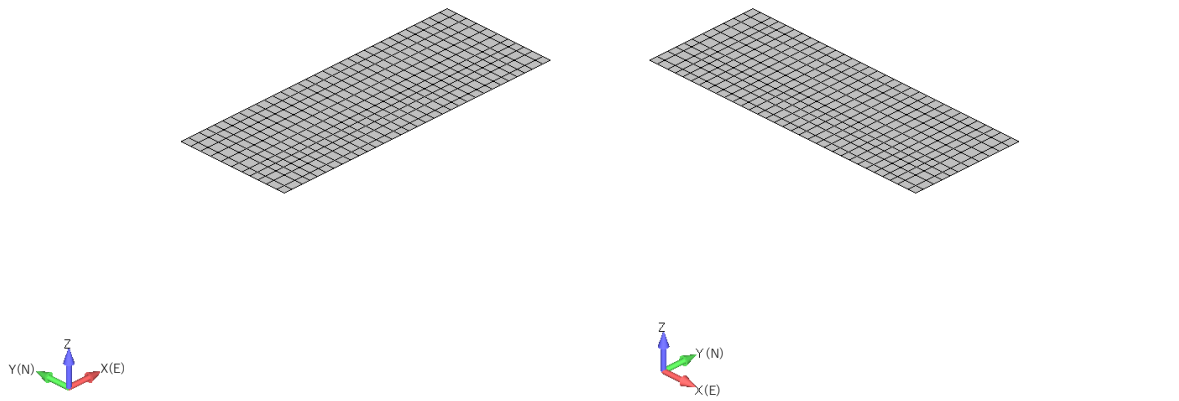
T. M. S. L.
70.20m
T. M. S. L.
62.80m
T. M. S. L.
56.80m
T. M. S. L.
50.30m
T. M. S. L.
43.20m
T. M. S. L.
35.00m

T. M. S. L.
77.50m

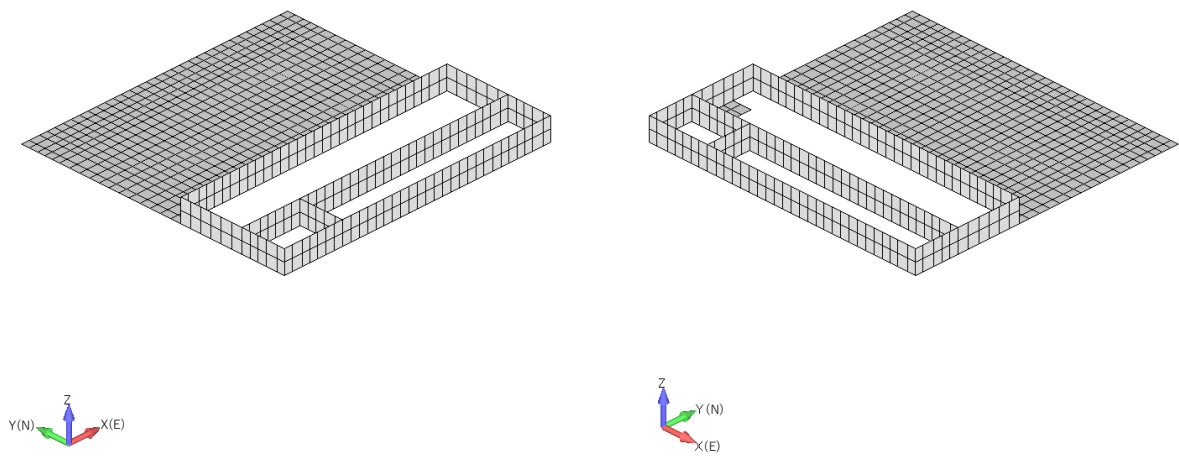


(c) NS 断面図

第 3.1-1 図 解析モデル図

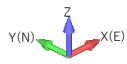
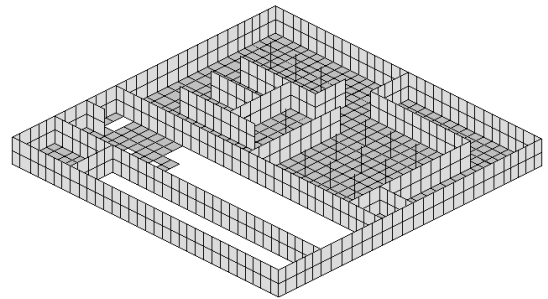
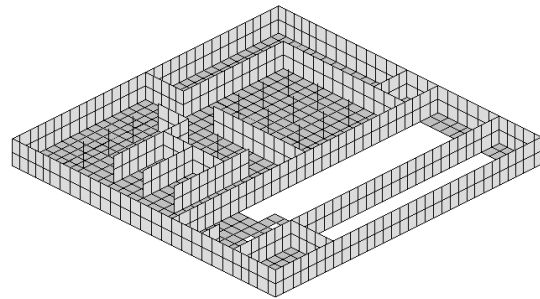


(a) T. M. S. L. 77.50m (屋根スラブ)

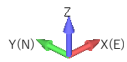
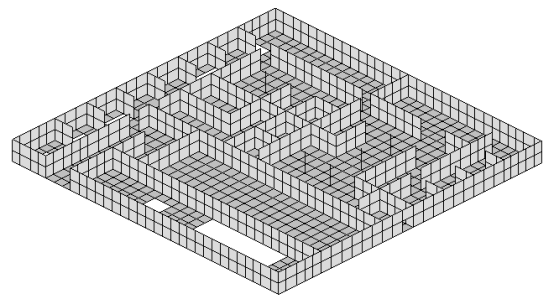
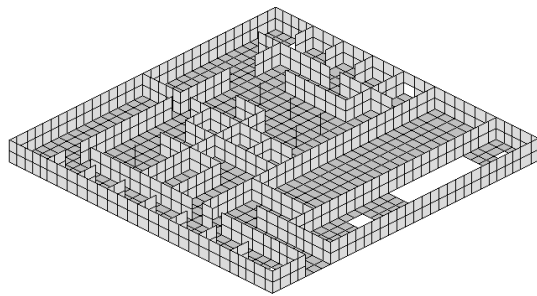


(b) T. M. S. L. 70.20m ~ T. M. S. L. 77.50m

第 3.1-2 図 各階のモデル図 (1/4)

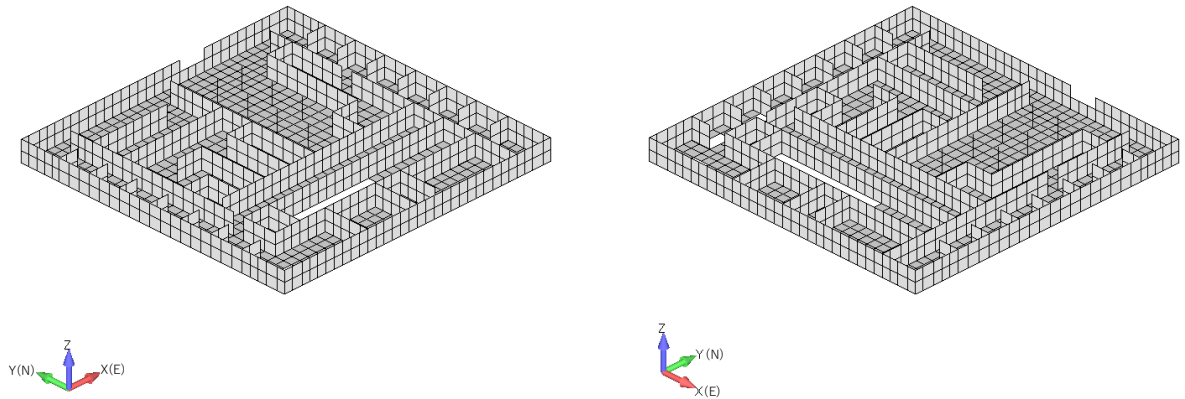


(c) T. M. S. L. 68.20m ~ T. M. S. L. 70.20m

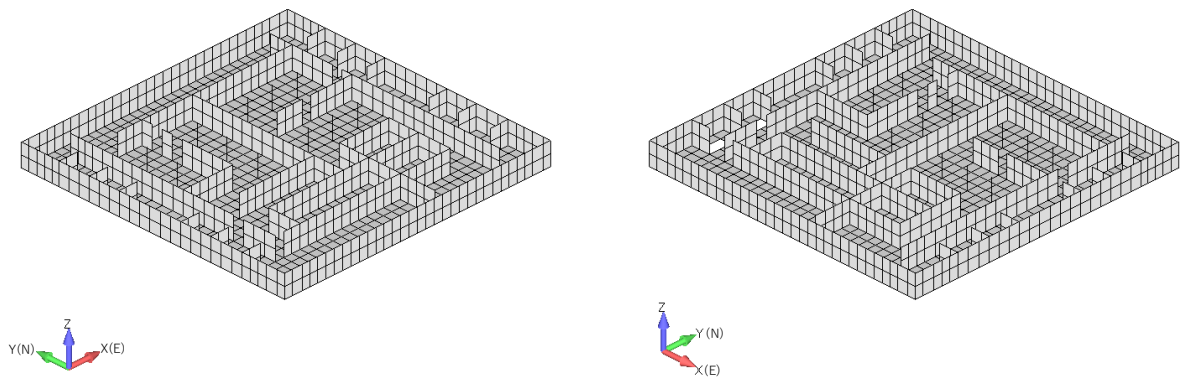


(d) T. M. S. L. 56.80m ~ T. M. S. L. 68.20m

第 3.1-2 図 各階のモデル図 (2/4)

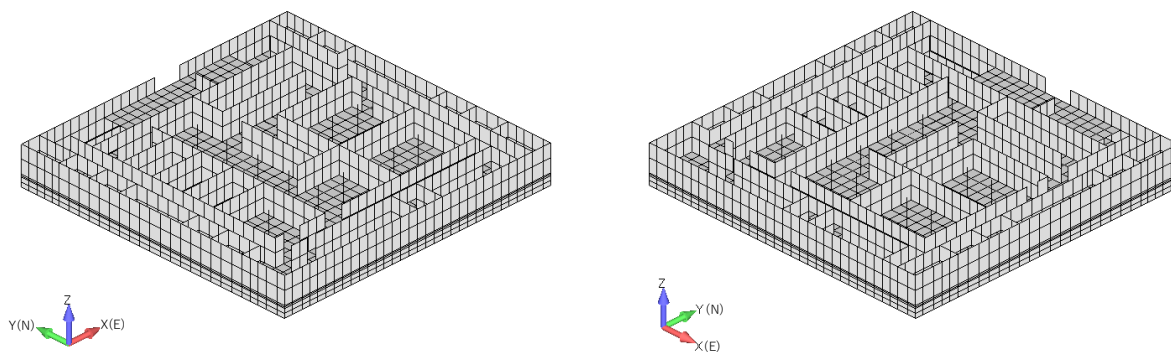


(e) T. M. S. L. 50.30m ~ T. M. S. L. 56.80m



(f) T. M. S. L. 43.20m ~ T. M. S. L. 50.30m

第 3.1-2 図 各階のモデル図 (3/4)



(g) T.M.S.L. 31.53m ~ T.M.S.L. 43.20m

第 3.1-2 図 各階のモデル図 (4/4)

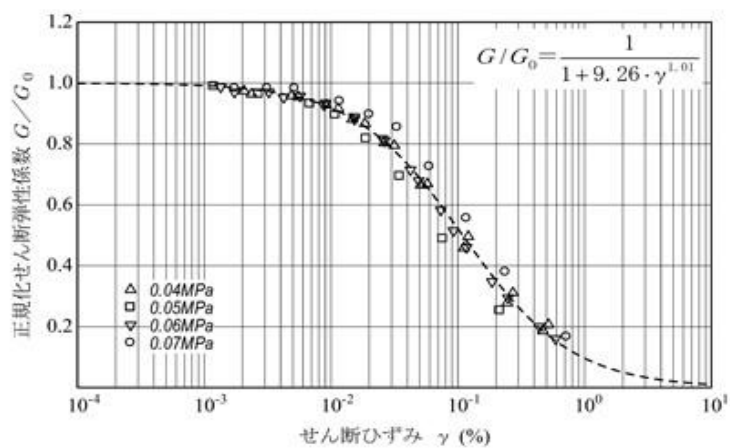
第 3.1-1 表 使用材料の物性値

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	2.90×10^4	3.0

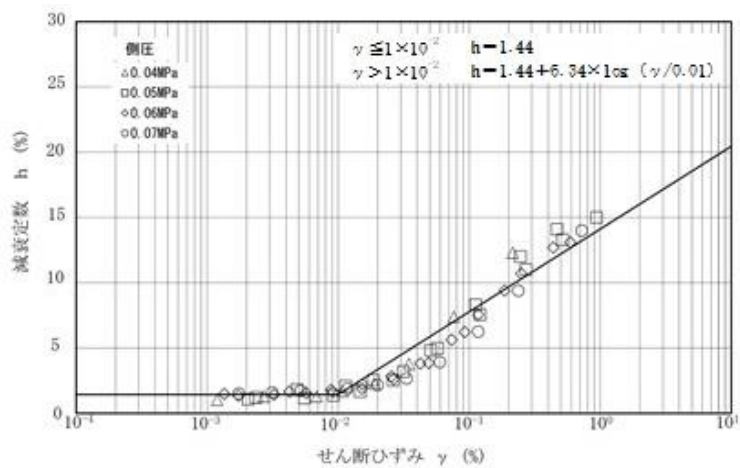
第 3.1-2 表 地盤の初期物性値

標高 T. M. S. L. (m)	岩種	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)	剛性低下率 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽地表面						
55.0	造成盛土	15.7	160	580	*1	
46.0	六ヶ所層	16.5	320	980	*2	
35.0						
▽基礎スラブ底面						
31.53	軽石凝灰岩	15.3	660	1860	*3	
9.0		15.6	810	1920		
-28.0	軽石質砂岩	18.2	1090	2260	*4	
-49.0	細粒砂岩				*5	
▽解放基礎表面						
-70.0	細粒砂岩	18.2	1090	2260	—	

- *1：第 3.1-3 図 (1/5) に示す造成盛土のひずみ依存特性を設定する。
- *2：第 3.1-3 図 (2/5) に示す六ヶ所層のひずみ依存特性を設定する。
- *3：第 3.1-3 図 (3/5) に示す軽石凝灰岩のひずみ依存特性を設定する。
- *4：第 3.1-3 図 (4/5) に示す軽石質砂岩のひずみ依存特性を設定する。
- *5：第 3.1-3 図 (5/5) に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

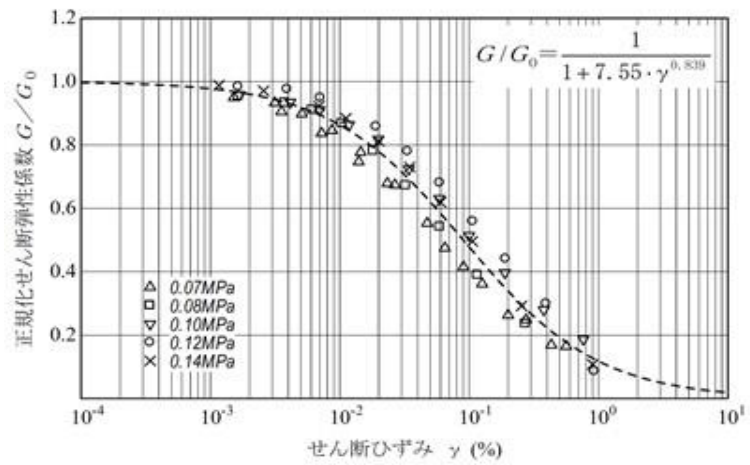


(a) 剛性低下率

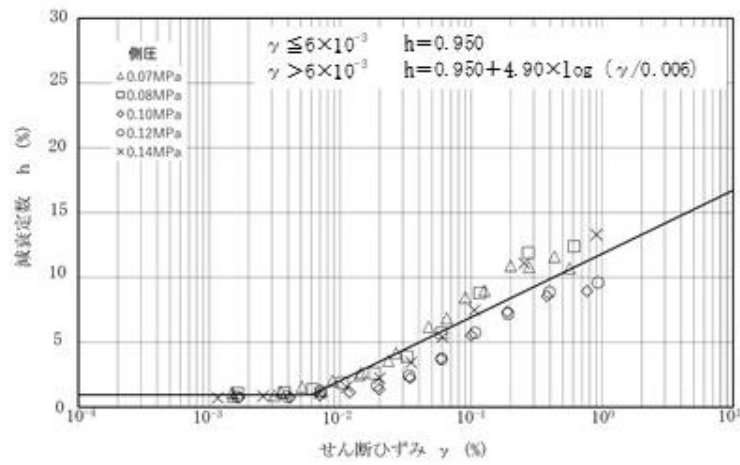


(b) 減衰定数

第 3.1-3 図 ひずみ依存特性 (1/5) (造成盛土)

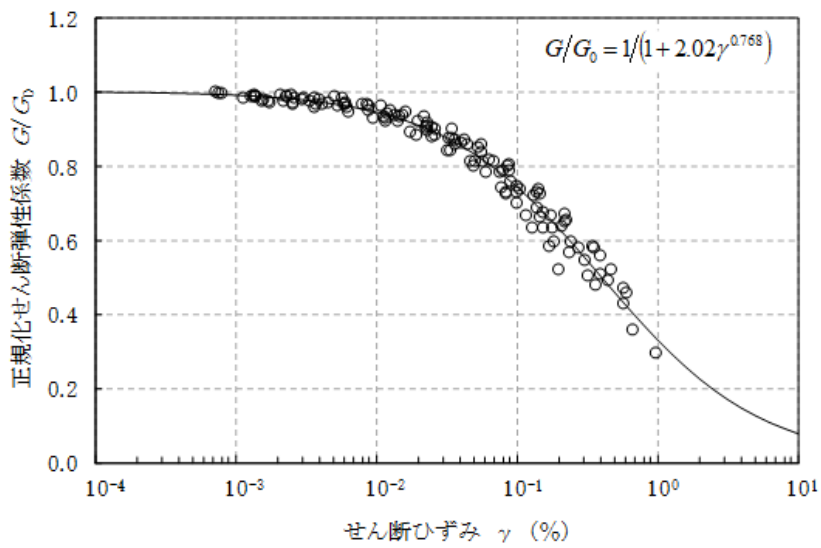


(a) 剛性低下率

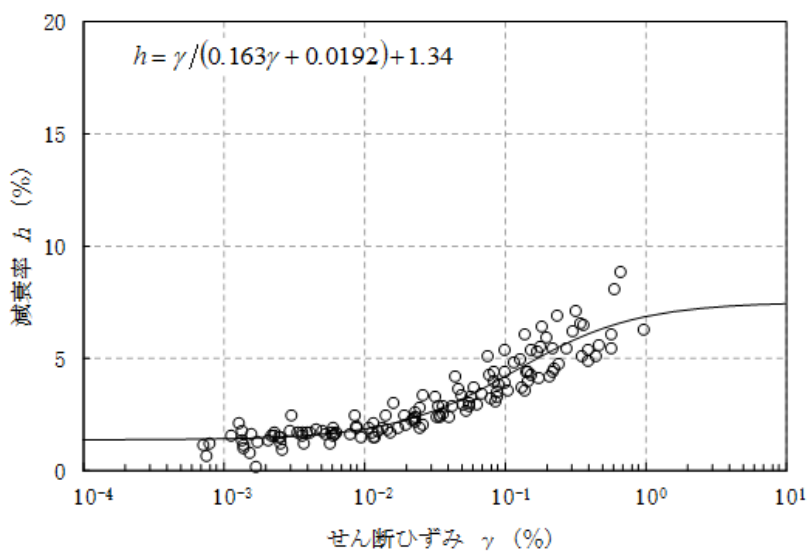


(b) 減衰定数

第 3.1-3 図 ひずみ依存特性 (2/5) (六ヶ所層)

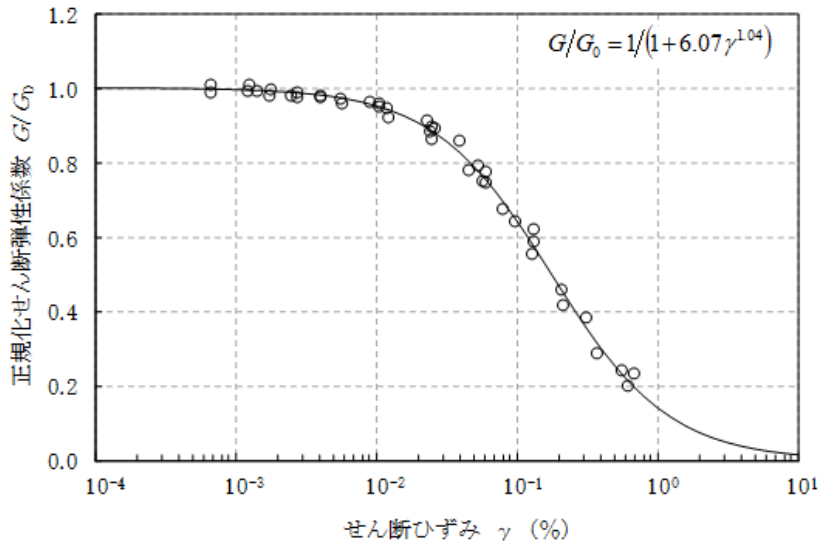


(a) 剛性低下率

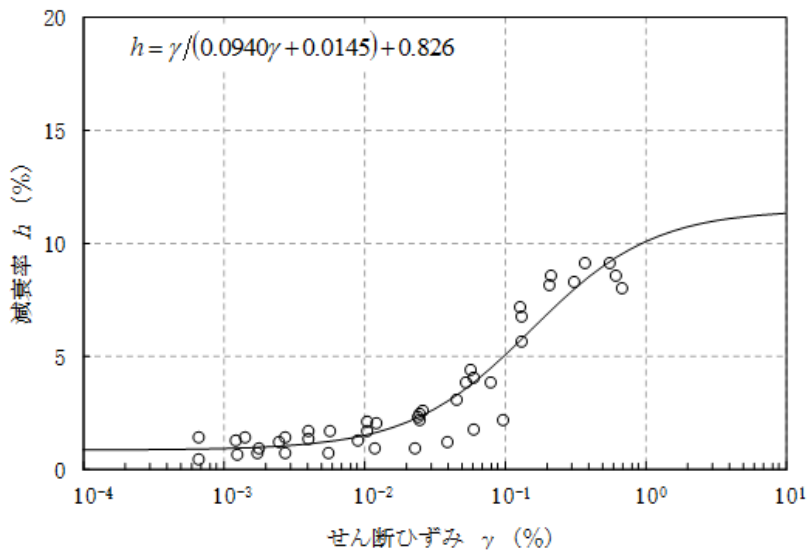


(b) 減衰定数

第 3.1-3 図 ひずみ依存特性 (3/5) (軽石凝灰岩)

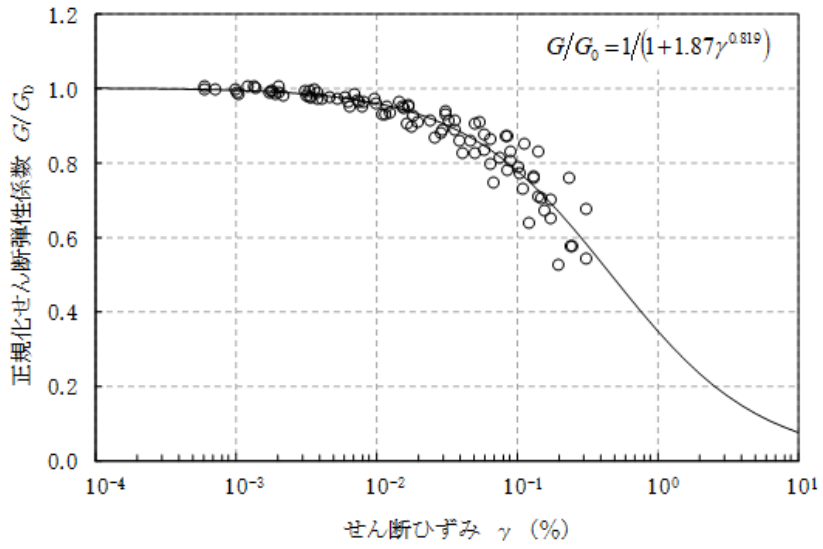


(a) 剛性低下率

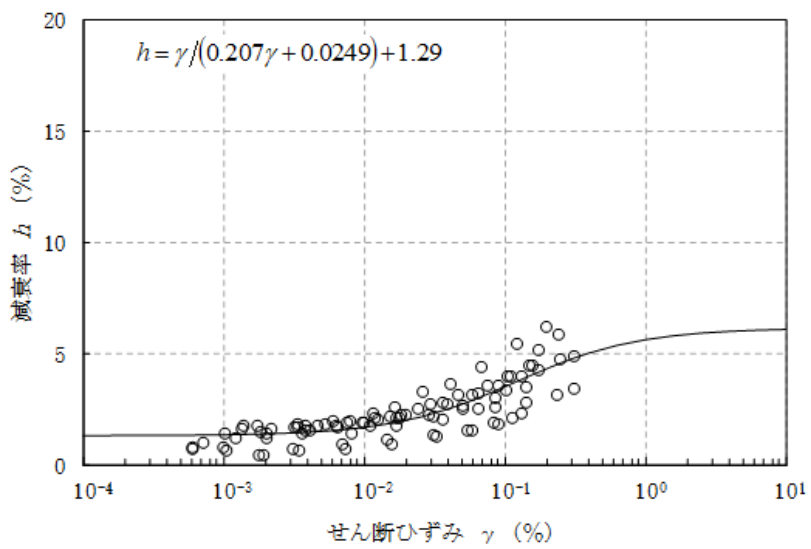


(b) 減衰定数

第 3.1-3 図 ひずみ依存特性 (4/5) (軽石質砂岩)



(a) 剛性低下率



(b) 減衰定数

第 3.1-3 図 ひずみ依存特性 (5/5) (細粒砂岩)

第 3.1-3 表 底面地盤ばね定数と減衰係数 (Sd-A)

(a) NS 方向

地盤ばね	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
底面スウェイばね	2.10×10^8	7.61×10^6

(b) EW 方向

地盤ばね	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
底面スウェイばね	2.10×10^8	7.59×10^6

(c) 上下方向

地盤ばね		ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
底面鉛直ばね	NS方向加振時	7.67×10^8	7.97×10^6
	EW方向加振時	7.62×10^8	8.10×10^6
	鉛直方向加振時	4.11×10^8	1.82×10^7

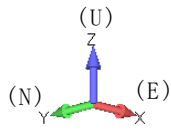
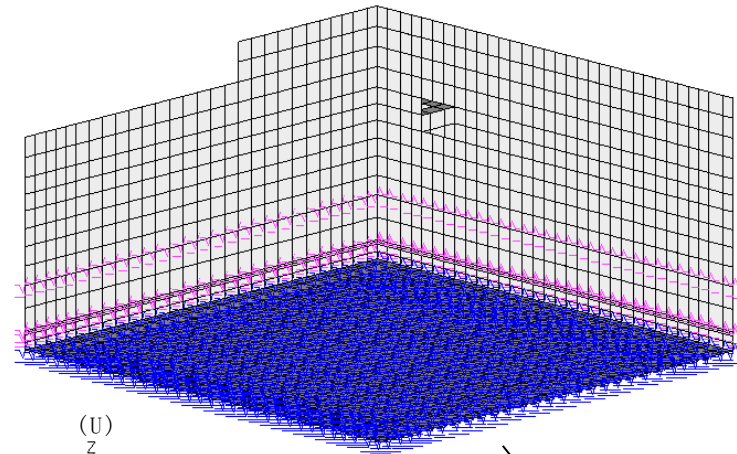
※NS, EW 方向加振時ばね : S R 回転ばね定数 / 基礎断面二次モーメント × 基礎断面積

第 3.1-4 表 側面地盤ばね定数と減衰係数 (Sd-A)
(a) NS 方向

地盤ばね	T. M. S. L. (m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
側面スウェイばね	43.20	3.37×10^6	1.89×10^6
	35.00	2.84×10^6	1.31×10^6
	34.23	4.76×10^6	9.66×10^5
	31.53	3.70×10^6	7.52×10^5

(b) EW 方向

地盤ばね	T. M. S. L. (m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
側面スウェイばね	43.20	3.37×10^6	1.89×10^6
	35.00	2.84×10^6	1.31×10^6
	34.23	4.76×10^6	9.67×10^5
	31.53	3.70×10^6	7.53×10^5



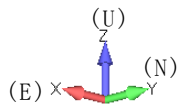
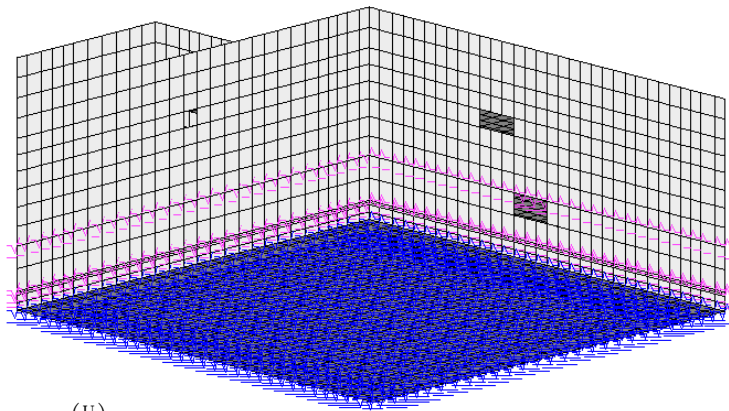
底面ばねについて

- ・ 水平方向加振時

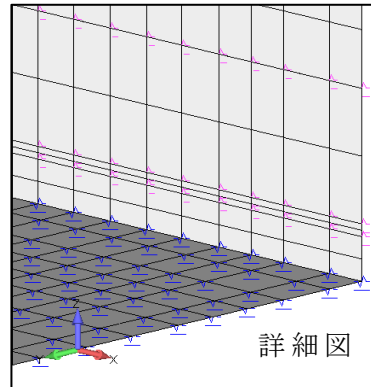
- スウェイばね:ばね定数を支配面積に応じて離散化
 - ロッキングばね:鉛直方向のばねとして置換して支配面積に応じて離散化

- ・ 鉛直方向加振時

- 鉛直ばね:ばね定数を支配面積に応じて離散化



青 : 底面地盤ばね
 ピンク : 側面地盤ばね



詳細図

第 3.1-4 図 地盤ばねの設定状況

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，基礎下鉛直方向固定，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かに差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，床を剛とした比較用モデル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。

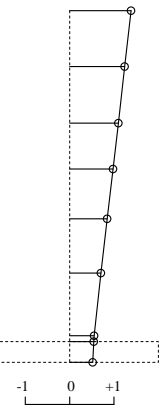
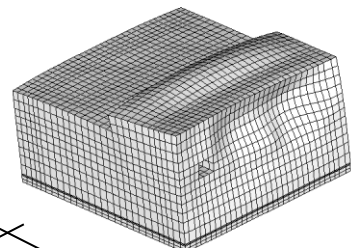

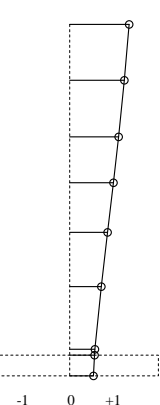
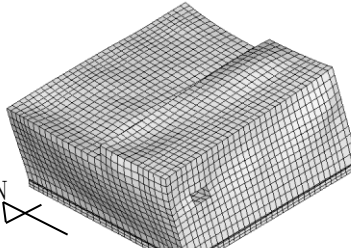

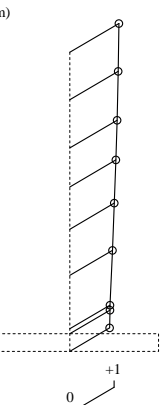
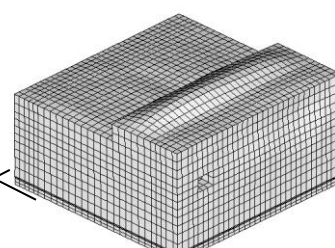

質点系対応モデルと質点系モデルとでは，モデル化する壁に差異がある。質点系対応モデルでは，質点系モデルでモデル化されている壁に加え，耐震評価上剛性としてみられる補助壁等をモデル化している。そのため，両モデルの固有値解析結果を比較すると，質点系対応モデルの方が質点系モデルよりも剛性が大きくなり，固有振動数も大きくなる傾向がみられる。

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	3.16	3.46	3.35	3.29	3.24
EW	3.19	3.48	3.37	3.31	3.28
UD	5.16	9.18	5.33	5.29	5.31

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>アト-プラットフォーム Mode 1, 3.163057 Hz 変形(0.00533). Total Translation</p> <p>3.16Hz</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>アト-プラットフォーム Mode 2, 3.190125 Hz 変形(0.00289). Total Translation</p> <p>3.19Hz</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>3.31Hz</p>	 <p>PN</p>  <p>アト-プラットフォーム Mode 5, 5.162173 Hz 変形(0.00645). Total Translation</p> <p>5.16Hz</p>

3.3 観測記録を用いた検討

3.3.1 観測記録を用いた検討の概要

観測記録を用いた検討としては、燃料加工建屋は建設中であるため地震観測記録を有していないが、3次元 FEM モデルの作成方針は建屋ごとに共通であることから、地震計を設置している建屋の内、偏心率の高い分離建屋のシミュレーション解析結果を用いて、燃料加工建屋の3次元 FEM モデルのモデル化方法が妥当であることを説明する。説明にあたり、燃料加工建屋と分離建屋の3次元 FEM モデルによる解析上の類似点を第3.3.1-1表に示す。第3.3.1-1表より、燃料加工建屋と分離建屋の3次元 FEM モデルによる解析においては、類似点が多いため、分離建屋のシミュレーション解析結果を用いて、燃料加工建屋の3次元 FEM モデルのモデル化方法が妥当であることを説明しても差し支えないと判断した。

2012年5月24日青森県東方沖地震（以下、「青森県東方沖地震」という。）に対して、分離建屋の3次元 FEM モデルを用いて解析を実施する。解析に用いる地震の震央位置を第3.3.1-1図に示す。解析に用いる観測記録の諸元を第3.3.1-2表に、分離建屋における地震計の位置を第3.3.1-2図に、また、分離建屋の地下3階で得られた観測記録を第3.3.1-3図及び第3.3.1-4図に示す。シミュレーション解析に用いる分離建屋の解析モデルは3次元 FEM モデルとする。3次元 FEM モデルは、「2.2 3次元 FEM モデルによる耐震性評価の方針」に示す、「建屋模擬モデル」に相当する条件で構築した。使用材料の物性値を第3.3.1-3表に示す。3次元 FEM モデルのモデル図を第3.3.1-5図に示す。地盤ばねの物性値を第3.3.1-4表～第3.3.1-5表に示す。3次元 FEM モデルにおける地盤ばねの離散化方法は燃料加工建屋と同一である。なお、分離建屋のシミュレーション解析においては、より実現象の再現性が高いモデル化条件とするために、建屋と側面地盤間に側面回転ばねを設定している。側面回転ばねのばね定数及び減衰係数については、有限要素法により単位定常加振に対する複素変位から算出している。分離建屋のシミュレーション解析における側面回転ばねを設定することの妥当性については、次項にて示す。

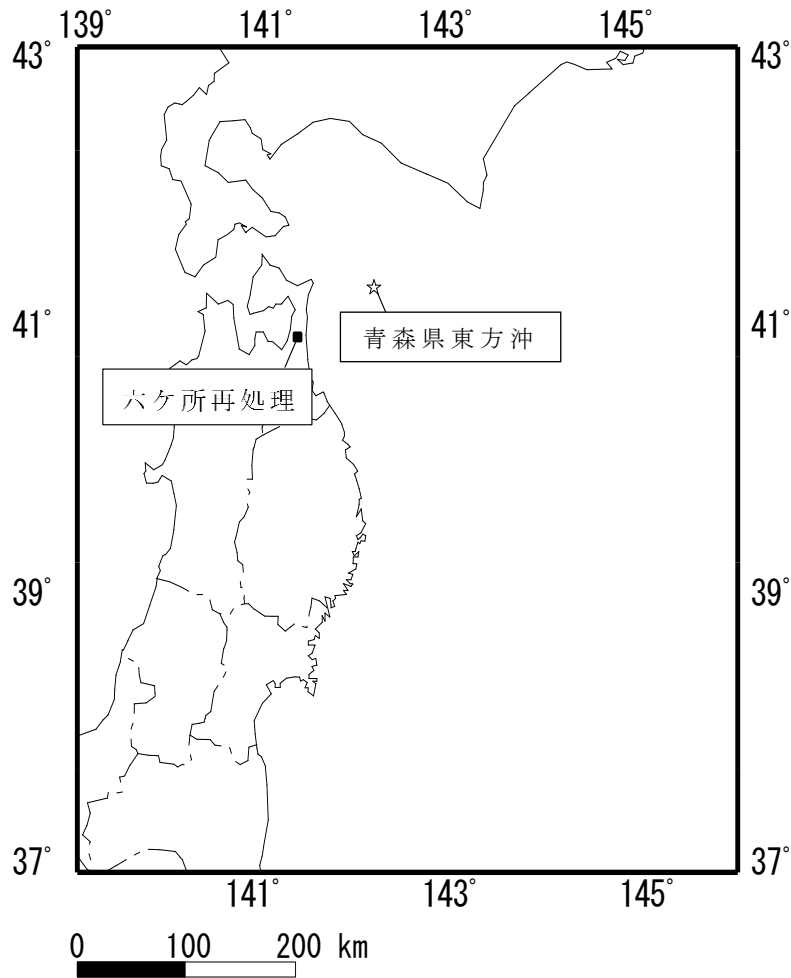
3次元 FEM モデルによる観測記録を用いた解析は、はじめに、3次元 FEM モデルに地盤ばねを介してホワイトノイズを入力し、周波数応答解析により地下3階の地震計を設置した位置の近傍の節点に対する、他のフロアの地震計位置の近傍の節点の伝達関数を算定する。次に、地下3階で得られた観測記録と周波数応答解析より得られた伝達関数を用いて、他のフロアの地震計位置の近傍の節点での応答を評価する。また、3方向入力による応答は、水平2方向及び鉛直方向の1方向入力による地震応答解析で算出された各成分の応答を、時刻歴で足し合わせるにより算出する。応答の算出の概要を第3.3.1-6図に示す。検討は、地震計を設置している T.M.S.L. ■■■■■m（地下3階）、T.M.S.L. ■■■■■m（地上1階）

及び T.M.S.L. ■■■■ m (地上 4 階) の位置での応答解析結果と観測記録とを比較することにより行う。

第 3.3.1-1 表 燃料加工建屋と分離建屋の 3 次元 FEM モデルによる解析上の類似点

		燃料加工建屋	分離建屋
解析条件	壁及び床のモデル化	シェル要素を用いて, 部材の位置, 厚さ及び開口位置を適切にモデル化	同左
	モデル条件	第 2.2-1 表の建屋模擬モデル	同左
	メッシュサイズ	水平方向: 2~3m 程度 鉛直方向: 2~3m 程度	同左
	モデルの重量	SR モデルの地震応答解析モデルの重量と整合するように各床レベルで調整	同左
	底面ばねの設定	振動アドミッタンス理論に基づき算定した地盤ばね定数を底面に離散化	同左
	側面水平ばねの設定	Novak の手法 ^(注) を用いて算定した地盤ばね定数を, SR モデルにて側面ばねがついているレベルの節点に離散化	有限要素法に基づき算定した地盤ばね定数を, SR モデルにて側面ばねがついているレベルの節点に離散化
	側面回転ばねの設定	設定しない	設定する
	解析手法	周波数応答解析	同左
	解析コード	MSC Nastran ver.2012.1.0	MSC Nastran ver.2016.1.1

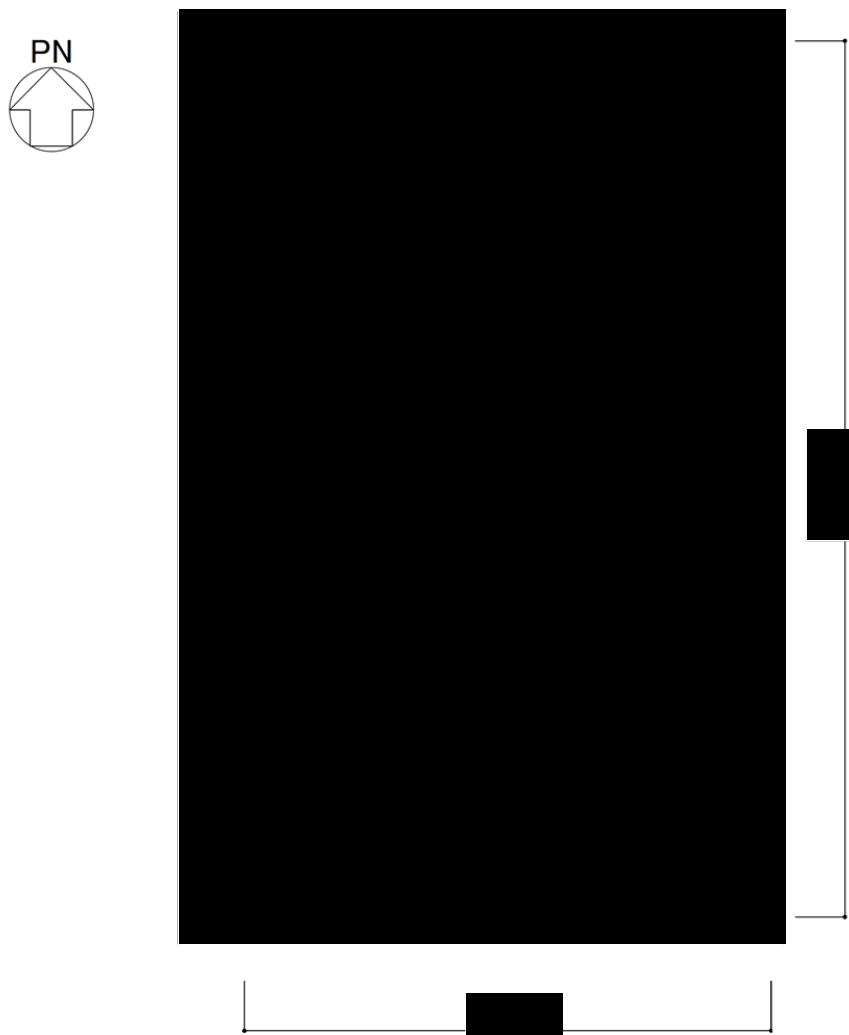
(注): Novak, M. et al. : Dynamic Soil Reactions for Plane Strain Case, The Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, 1978.



第 3.3.1-1 図 解析に用いる地震の震央位置

第 3.3.1-2 表 解析に用いる観測記録の諸元

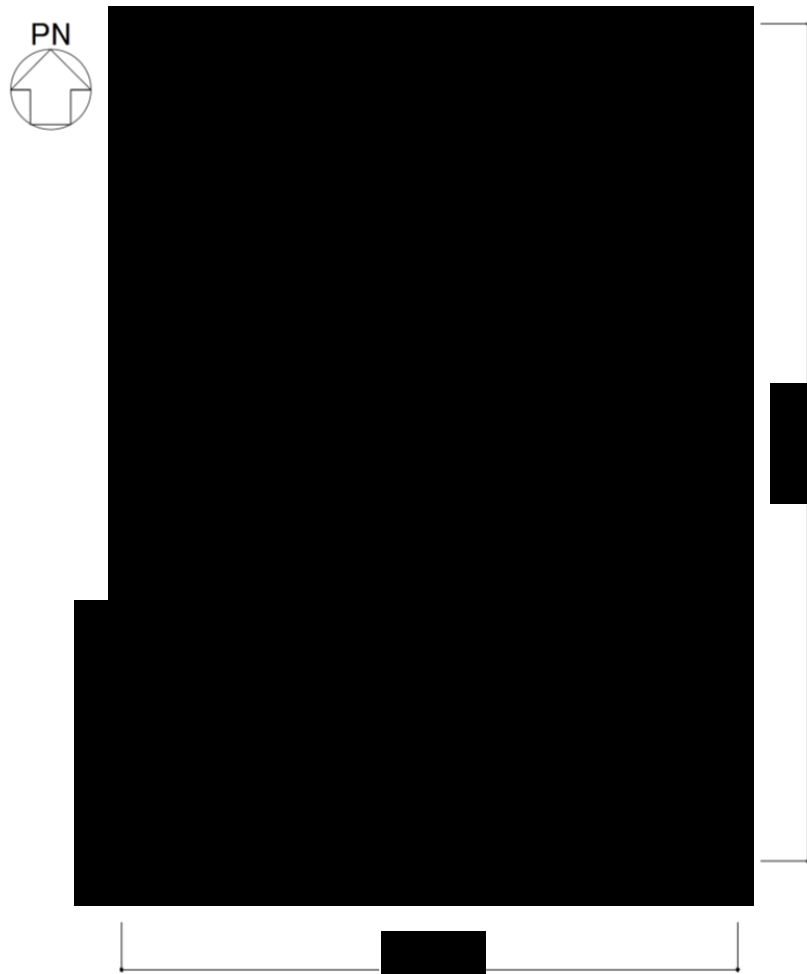
No.	発震日時 震央地名	東経 北緯	地震規模 震源深さ (km)	震央距離 震源距離 (km)	最大加速度振幅値 (上段：NS、中段：EW、下段：UD、単位：cm/s ²)		
					分離建屋観測点		
					地下3F	地上1F	地上4F
					T. P. ■■■■ m	T. P. ■■■■ m	T. P. ■■■■ m
1	2012. 5. 24 0: 2 青森県東方沖	142° 7. 42'	6. 1	79	42. 12	49. 03	71. 58
				99	31. 99	29. 48	37. 65
		41° 20. 6'	59. 6		31. 55	30. 23	31. 20



凡例
 ● : 地震計
 (観測成分は, NS 成分, EW 成分及び UD 成分の 3 成分)

(a) 地上 4 階

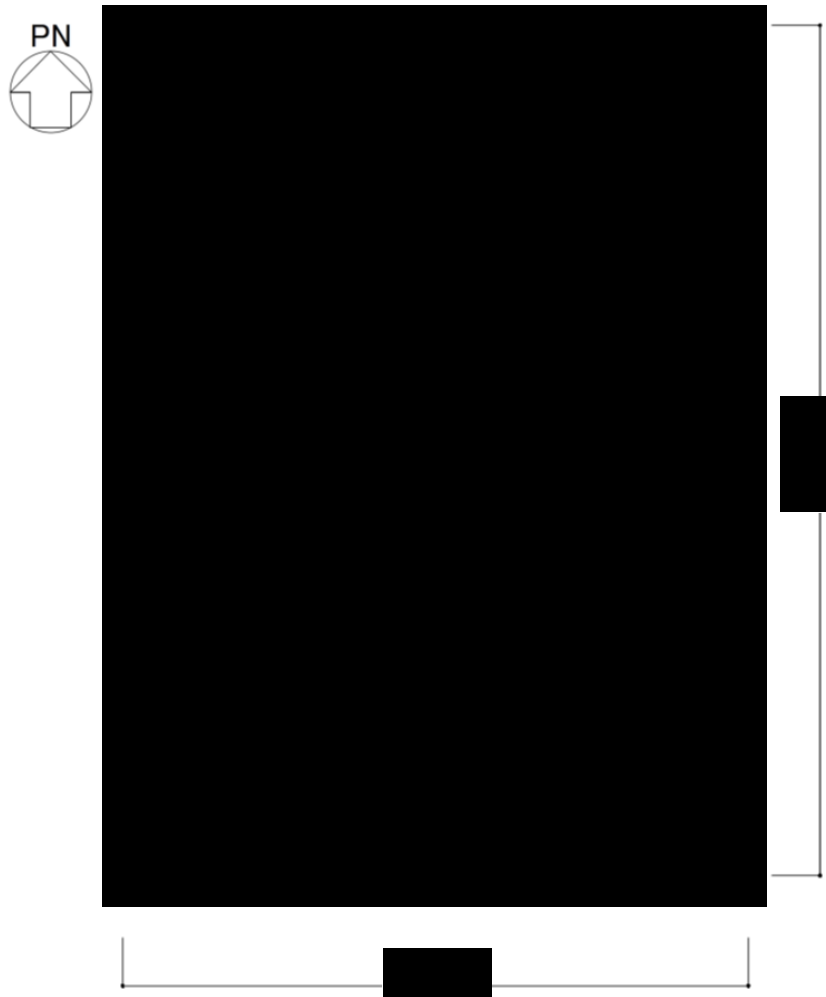
第 3.3.1-2 図 分離建屋における地震計の位置 (1/3)



凡例
 ● : 地震計
 (観測成分は, NS 成分, EW 成分及び UD 成分の 3 成分)

(b) 地上 1 階

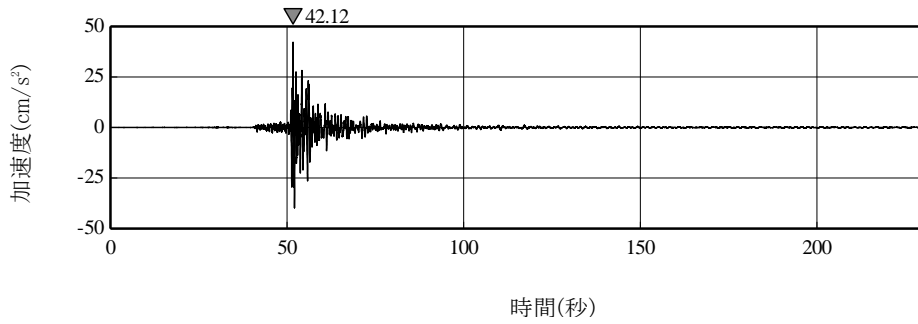
第 3.3.1-2 図 分離建屋における地震計の位置 (2/3)



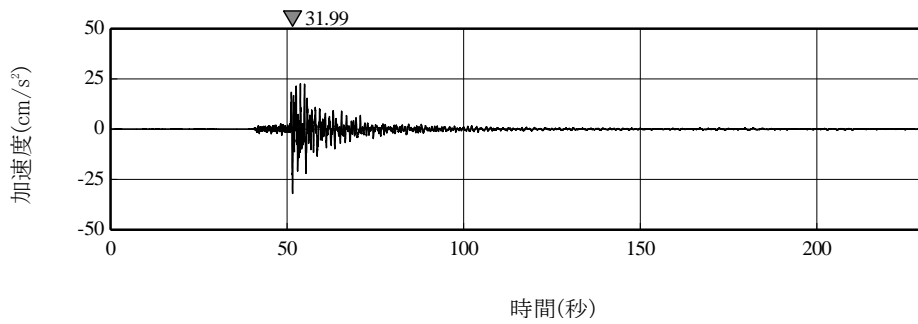
凡例
 ● : 地震計
 (観測成分は, NS 成分, EW 成分及び UD 成分の 3 成分)

(c) 地下 3 階

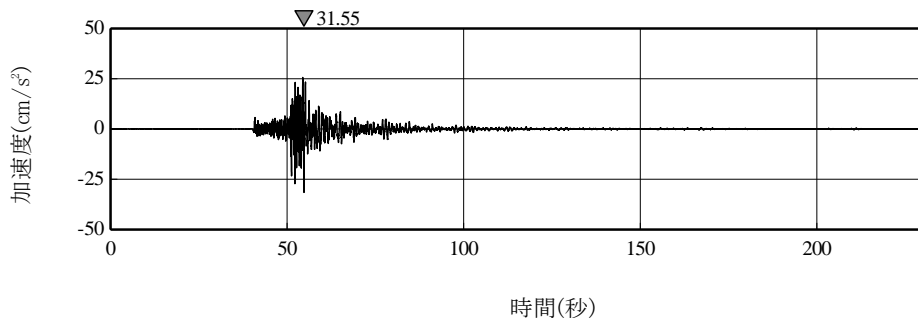
第 3.3.1-2 図 分離建屋における地震計の位置 (3/3)



(a) NS 方向

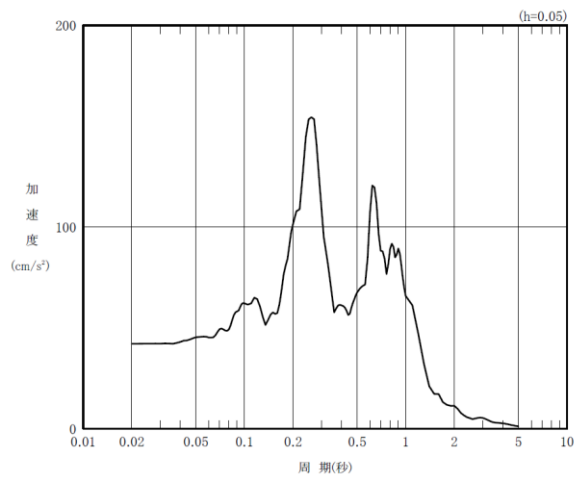


(b) EW 方向

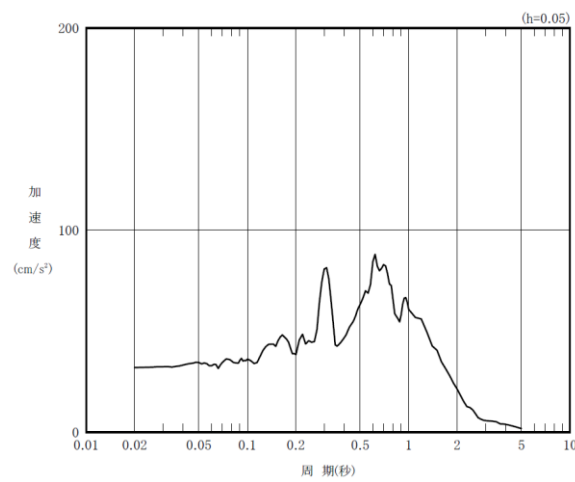


(c) UD 方向

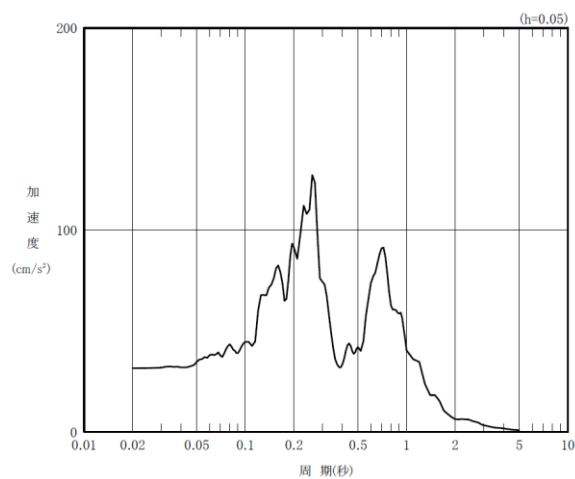
第 3.3.1-3 図 分離建屋地下 3 階で得られた観測記録



(a) NS 方向



(b) EW 方向

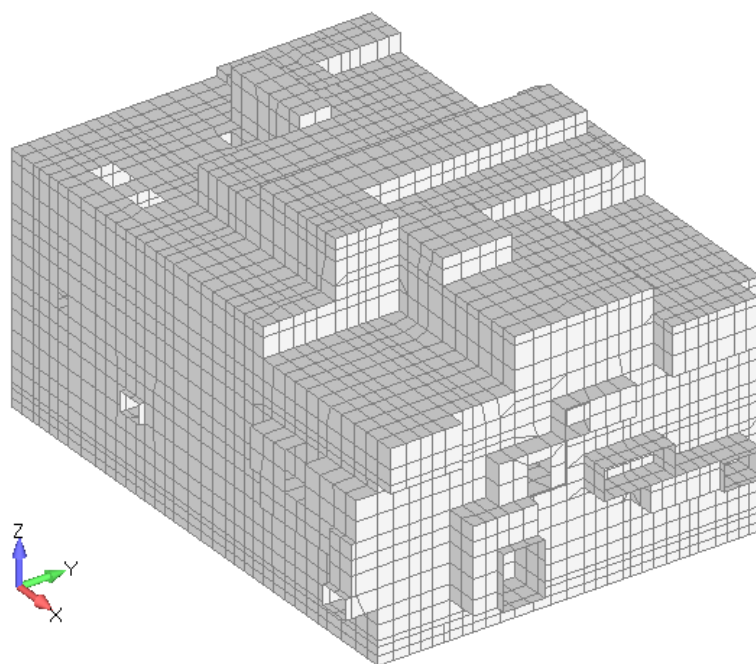


(c) UD 方向

第 3.3.1-4 図 分離建屋地下 3 階で得られた観測記録

第 3.3.1-3 表 使用材料の物性値

使用材料	ヤング係数 (N/mm^2)	せん断弾性係数 (N/mm^2)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート : $F_c=47.5 (\text{N}/\text{mm}^2)$	2.85×10^4	1.19×10^4	5



第 3.3.1-5 図 分離建屋の 3 次元 FEM モデル

第 3.3.1-4 表 3次元 FEM モデルに用いる底面地盤ばね定数と減衰係数

(a) NS 方向

地盤ばね	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
底面スウェイばね	2.47×10^8	7.90×10^6

(b) EW 方向

地盤ばね	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
底面スウェイばね	2.54×10^8	8.39×10^6

(c) 上下方向

地盤ばね		ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
底面鉛直ばね	NS 方向加振時	8.39×10^8	9.20×10^6
	EW 方向加振時	1.00×10^9	7.19×10^6
	鉛直方向加振時	3.45×10^8	1.67×10^7

※NS, EW 方向加振時ばね: S R 回転ばね定数 / 基礎断面二次モーメント × 基礎断面積

第 3.3.1-5 表 3次元 FEM モデルに用いる側面地盤ばね定数と減衰係数
(並進方向)

(a) NS 方向

地盤ばね	T. M. S. L. (m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
側面スウェイ ばね	55.39	6.26×10^5	2.68×10^5
	50.29	2.24×10^6	7.78×10^5
	43.49	3.40×10^6	9.79×10^5
	38.39	2.17×10^6	5.63×10^5
	37.39	1.58×10^6	3.86×10^5
	34.39	1.27×10^6	3.01×10^5

(b) EW 方向

地盤ばね	T. M. S. L. (m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
側面スウェイ ばね	55.39	6.49×10^5	3.72×10^5
	50.29	2.33×10^6	1.10×10^6
	43.49	3.53×10^6	1.37×10^6
	38.39	2.26×10^6	7.79×10^5
	37.39	1.64×10^6	5.37×10^5
	34.39	1.32×10^6	4.15×10^5

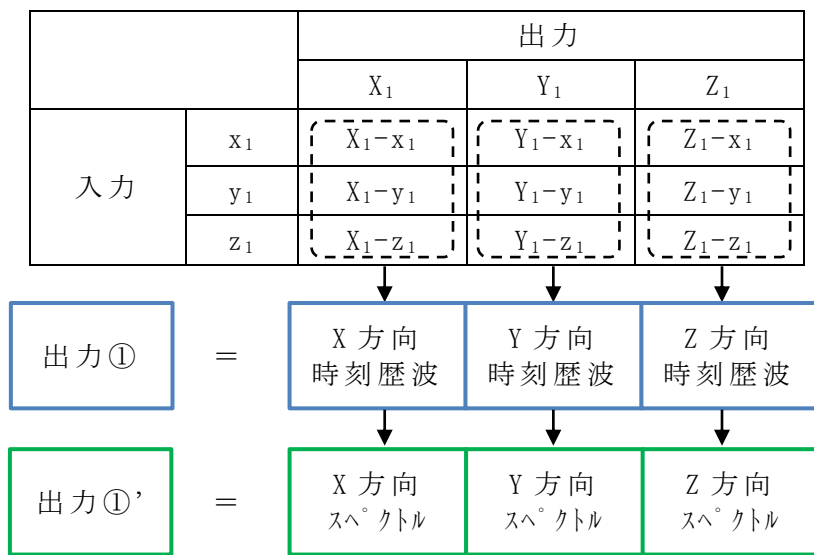
第 3.3.1-5 表 3次元 FEM モデルに用いる側面地盤ばね定数と減衰係数
(回転方向)

(a) NS 方向

地盤ばね	T. M. S. L. (m)	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
側面回転ばね	55.39	1.11×10^9	1.84×10^8
	50.29	3.98×10^9	5.37×10^8
	43.49	6.03×10^9	6.86×10^8
	38.39	3.85×10^9	3.87×10^8
	37.39	2.79×10^9	2.65×10^8
	34.39	2.24×10^9	2.08×10^8

(b) EW 方向

地盤ばね	T. M. S. L. (m)	ばね定数 (kN・m/rad)	減衰係数 (kN・m・s/rad)
側面回転ばね	55.39	7.05×10^8	1.46×10^8
	50.29	2.53×10^9	4.38×10^8
	43.49	3.84×10^9	5.57×10^8
	38.39	2.45×10^9	3.20×10^8
	37.39	1.78×10^9	2.19×10^8
	34.39	1.43×10^9	1.71×10^8



第 3.3.1-6 図 3次元 FEM モデルによる応答算出の考え方

3.3.2 分離建屋のシミュレーション解析モデルへの側面回転ばねの採用について

本項では，分離建屋のシミュレーション解析モデル（3次元 FEM モデル）に側面回転ばねを設置することの妥当性について記す。まず，(1)にて側面回転ばねをつけていない 3次元 FEM モデルの応答を確認する。次に，(2)にて(1)で示した観測記録とシミュレーション解析結果の応答差について，鉛直方向の応答に対する 1方向入力と 3方向入力の結果の比較及び諸元値を変えた特殊な質点系モデルによる固有値解析結果を用いて，その原因の分析を行う。最後に，(3)にて(1)～(2)を踏まえての，分離建屋のシミュレーション解析モデルに側面回転ばねを設定することの妥当性についてまとめとして記す。

(1)側面回転ばねをつけていない状態での応答の確認

第 3.3.2-1 表に観測記録と側面回転ばねをつけていない 3次元 FEM モデルを用いたシミュレーション解析結果を示す。3次元 FEM モデルによる解析は，観測記録と比較するため 3方向入力による結果とし，地震計位置近傍の 4 節点の平均値を応答結果として用いる。第 3.3.2-1 表より水平方向，特に EW 方向において，0.2 秒～0.3 秒の間でシミュレーション解析結果の応答が観測記録を大きく上回っていることがわかる。

(2)シミュレーション解析と観測記録の応答差の原因の分析

・鉛直応答に対する 1方向入力と 3方向入力の結果の比較による分析

第 3.3.2-2 表に鉛直方向の応答に対する 1方向入力と 3方向入力の結果の比較を示す。第 3.3.2-1 表で水平方向の応答が大きくなっている 0.2 秒～0.3 秒の間の応答を見ると，鉛直 1方向入力時の 3次元 FEM モデルの応答は観測記録とよく一致しているが，3方向入力時は 3次元 FEM モデルの応答が観測記録より大きくなっていることがわかる。3方向入力時の鉛直方向の応答の増加は，水平方向入力時のロッキング応答によるものであるため，水平方向入力時に 0.2 秒～0.3 秒の間でロッキング応答が卓越することにより，それが第 3.3.2-1 表における応答差に影響を与えていると分析する。

・諸元値を変えた特殊な質点系モデルによる固有値解析による分析

第 3.3.2-1 表における応答差がロッキング応答によるものであるか確認するために，分離建屋の質点系モデル（以下，建屋-地盤連成系モデルと称す）の質点間の梁要素の剛性（ヤング率とせん断弾性係数）を 1000 倍し，上部構造を剛とすることで上部構造の曲げせん断変形を抑え，建屋全体（基礎版）のスウェイ・ロッキング変形のみを考慮できる特殊な質点系モデル（以下，上部構造剛モデルと称す）を作成した。第 3.3.2-1 表で示した加速度応答スペクトルに建屋-地盤連成系モデルと上

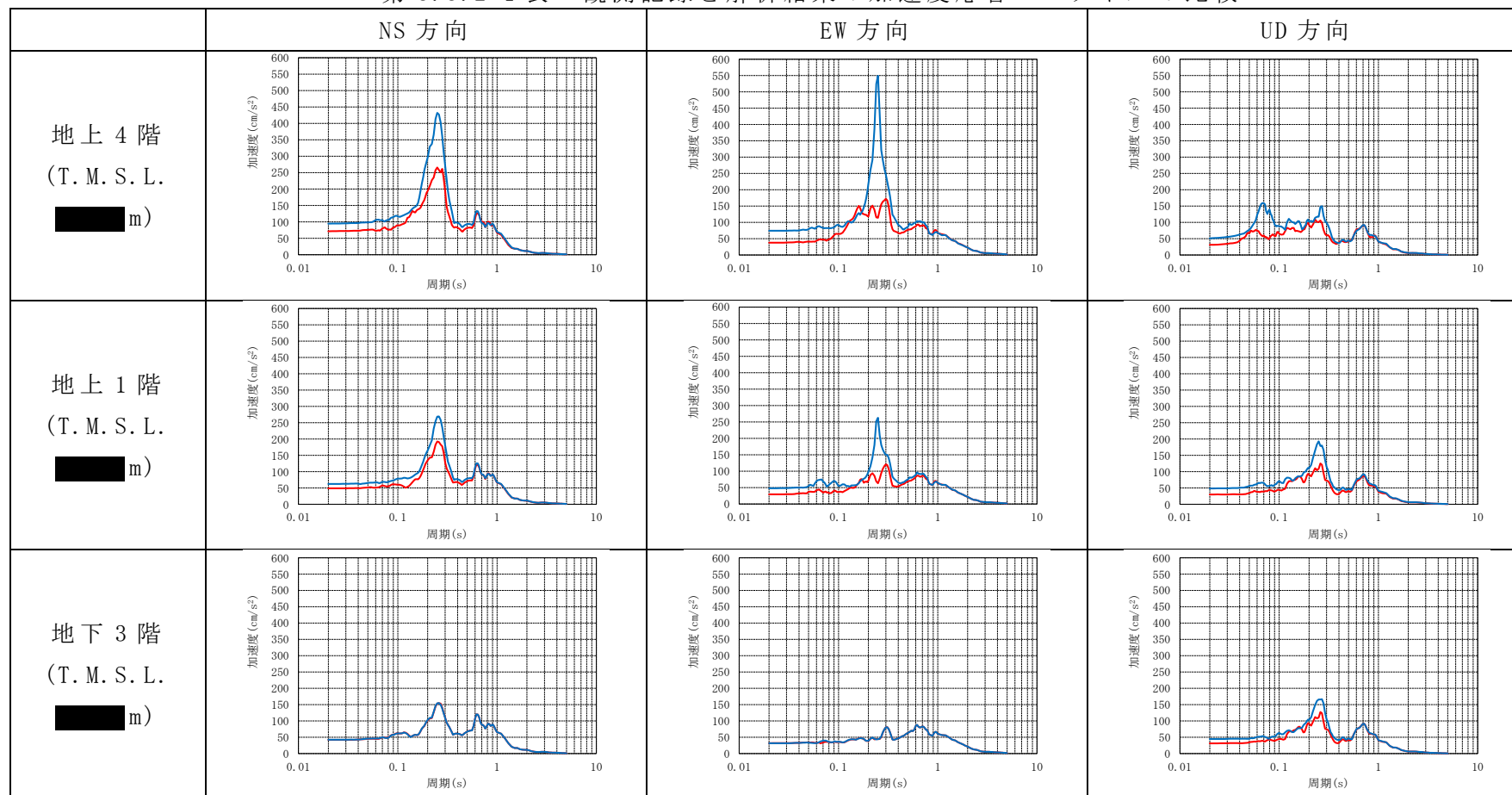
部構造剛モデルの1次の固有周期をプロットしたものを第3.3.2-3表として示す。

第3.3.2-3表より，EW方向においては0.2秒～0.3秒の間のピークが，上部構造剛モデルの1次固有周期（0.242s）と一致しており，0.3秒付近のピークが，建屋-地盤連成系モデルの1次固有周期（0.292s）と一致している。3次元FEMモデルでは0.2秒～0.3秒の間のピークが大きいいため，1つの山としてピークが形成されているものと考えられる。上部構造剛モデルの1次の固有モードはロッキング応答によるものであるため，EW方向における0.2秒～0.3秒のピークは建屋のロッキング応答により励起されたものであり，3次元FEMモデルは観測記録に比べて建屋のロッキング応答が励起されやすいモデルとなっていることがわかる。また，NS方向においてはEW方向のように上部構造剛モデルの1次固有周期（0.231s）にピークが明確に当たっていないが，これは，NS方向はEW方向に比べ，建屋-地盤連成系モデルの1次固有周期と上部構造剛モデルの1次固有周期が近いため，1つの山としてピークが形成されているものと考えられる。NS方向に比べてEW方向の方が建屋のロッキング応答による影響が大きいのは，分離建屋の建屋形状として，NS方向が長辺でEW方向が短辺であり，短辺方向の方がロッキング応答が発生しやすいためである。

(3)まとめ

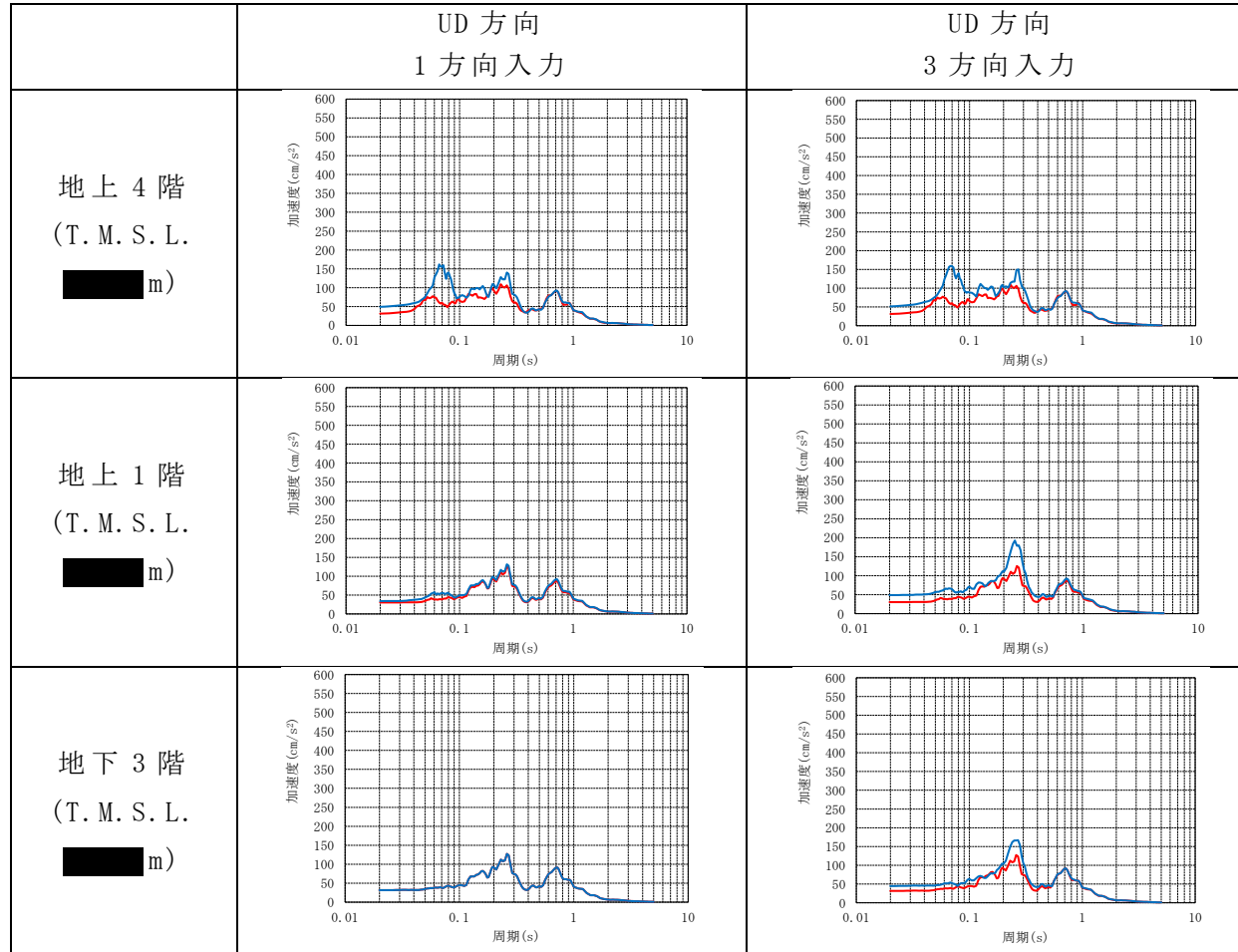
上記(1)～(2)より，第3.3.2-1表における応答差はロッキング応答によるものであり，3次元FEMモデルは観測記録に比べて，ロッキング応答が励起されやすいモデルとなっている。ここで，建屋と地盤が接している以上，摩擦力による鉛直方向のせん断抵抗の影響を受ける点や，先行発電炉のシミュレーション解析において側面回転ばねを採用することで実状に近い建屋応答を再現できたという知見を勘案すると，分離建屋のシミュレーション解析モデルにおいては，側面回転ばねを設定することは妥当であるといえる。

第 3.3.2-1 表 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較



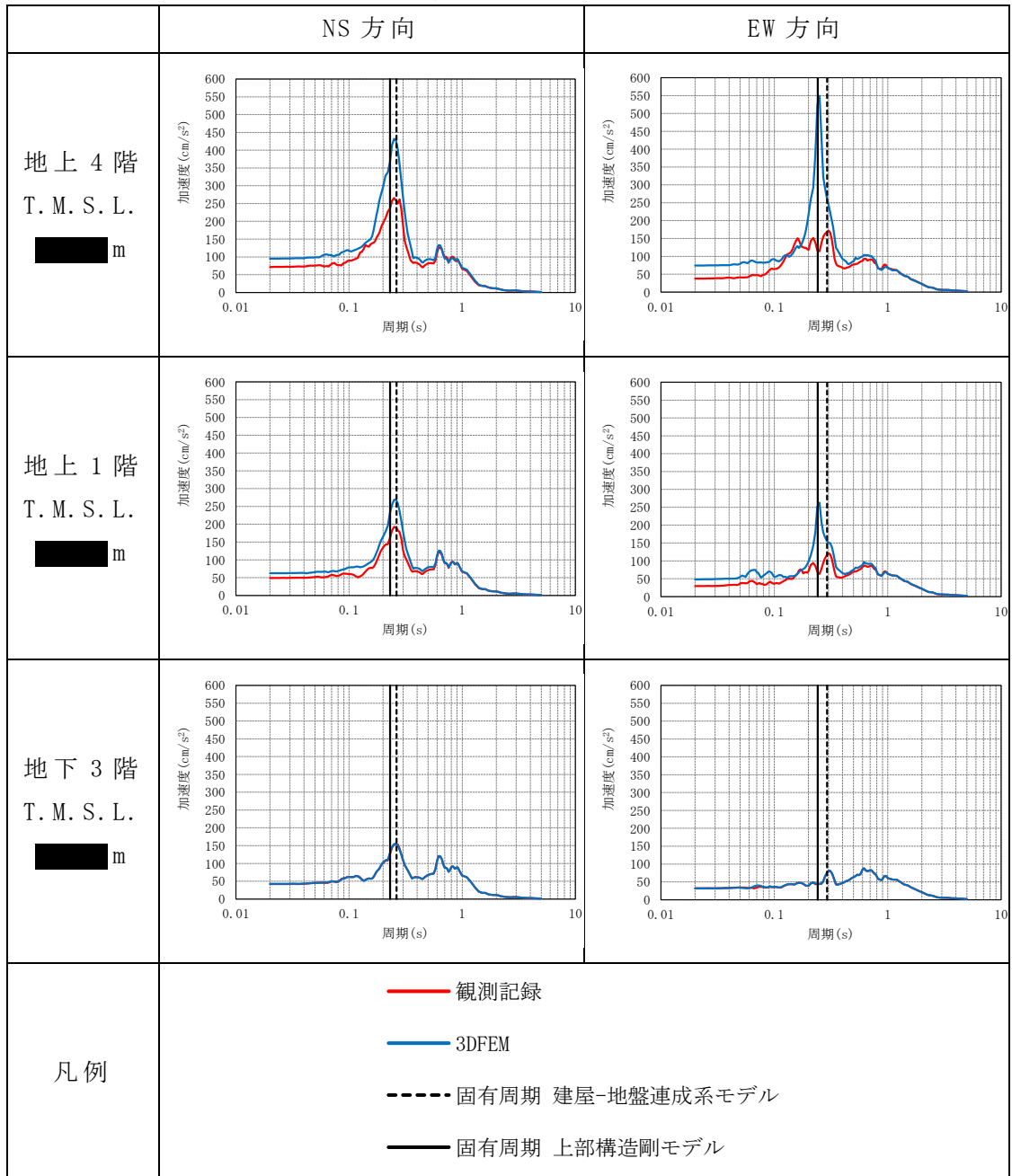
— : 観測記録 — : 3次元 FEM モデル (側面回転ばねなし)

第 3.3.2-2 表 UD 方向の加速度応答スペクトルの比較



— : 観測記録 — : 3次元 FEM モデル (側面回転ばねなし)

第 3.3.2-3 表 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較



3.3.3 観測記録を用いた検討の結果

青森県東方沖地震の観測記録を用いた、T.M.S.L. ■■■■m（地下3階）、T.M.S.L. ■■■■m（地上1階）及びT.M.S.L. ■■■■m（地上4階）の地震計位置での観測記録及び解析結果の加速度応答スペクトルの比較を第3.3.3-1表に示す。3次元FEMモデルによる解析は、観測記録と比較するため3方向入力による結果とし、地震計位置近傍の4節点の平均値を応答結果として用いる。また、側面回転ばねを付けた場合と外した場合の両者を示す。

以下に結果及びその考察について記す。

・水平鉛直共通

各方向いずれも3次元FEMモデルによるシミュレーション解析の応答は、側面回転ばねを付けることで観測記録により近づく結果となった。特にEW方向については大きく改善しており、側面回転ばねにより建屋のロッキング応答が抑えることができている。

・水平方向

NS方向及びEW方向ともに、3次元FEMモデルによるシミュレーション解析の応答は観測記録と比べると、ピークの山が観測記録よりも大きくなるものの、応答のピークが出る周期は良くとらえることができている。そのため、シミュレーション解析モデルは振動特性を概ね再現できているモデルであるといえる。

シミュレーション解析結果が観測記録よりもピークの山が大きくなる要因としては、本解析においては、シミュレーション解析モデルに側面回転ばねを設けたが、それでもなおシミュレーション解析モデルの方が観測記録よりもロッキング応答が励起されやすいモデルとなっていることが考えられる。これは、3次元FEMモデルに設定した側面ばねは各床レベルで独立して作用するが、実現象としては地盤の鉛直方向の連成効果が生じるためにその分硬くなることや、シミュレーション解析モデルにおける地盤ばねの算定条件としては、埋込みSRモデルでの地盤条件を踏襲しているため、建屋周囲の改良地盤などの影響は考慮していないことによるものと推測される。

・鉛直方向

UD方向では、こちらも3次元FEMモデルによるシミュレーション解析の応答は観測記録と比べると、ピークの山が観測記録よりも大きくなるものの、応答のピークが出る周期は良くとらえることができている。そのため、シミュレーション解析モデルは振動特性を概ね再現できているモデルであるといえる。

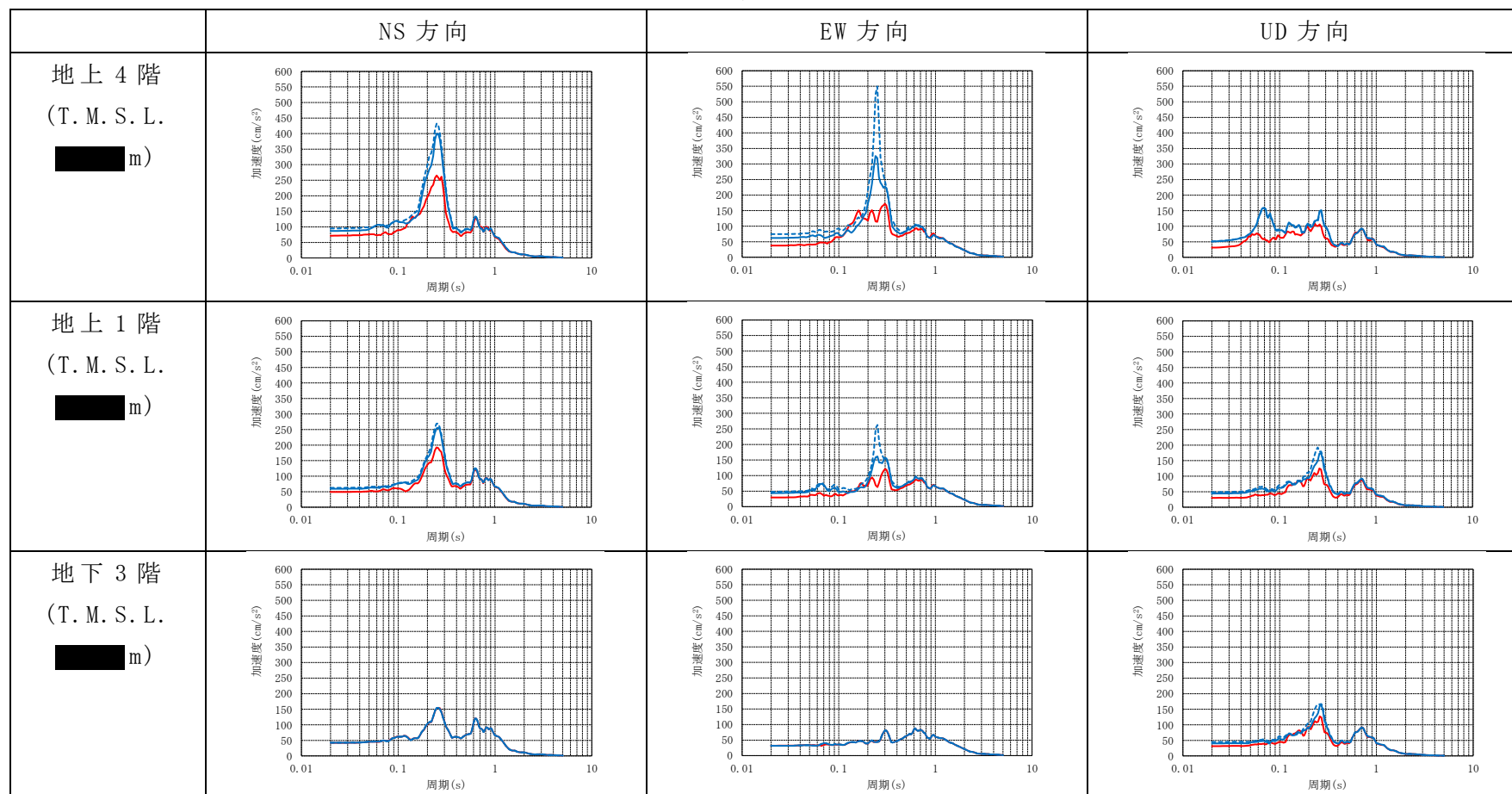
シミュレーション解析結果が観測記録よりもピークの山が大きくなる要因としては、地下3階及び地上1階の0.25秒付近での応答の増幅に

関しては第 3.3.2-2 表で述べたように水平方向入力時のロッキング応答によるものと考えられる。

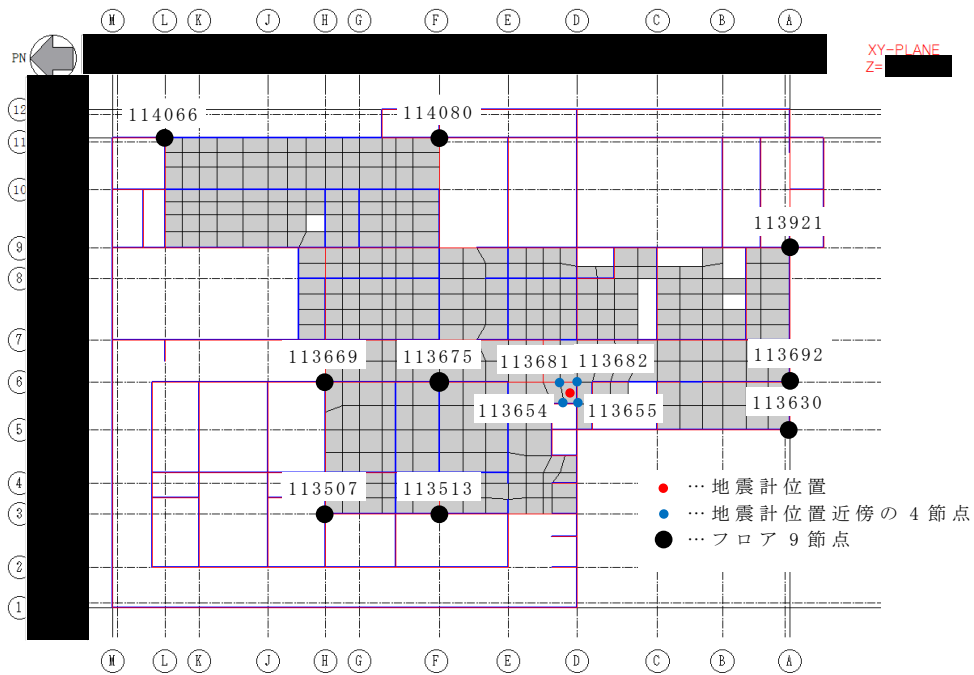
また，地上 4 階の 0.06 秒付近の応答の増幅については，地震計付近に開口部があることによる応答増幅と考えられる。第 3.3.3-1 図に地上 4 階のモデル図を示す。図中の赤点は地震計の位置であり，青点は地震計付近の 4 隅の節点である。黒点はフロアを中心点，フロアの 4 隅及びその各々の中点の 9 点を示す。第 3.3.3-2 図に地上 4 階における観測記録及び第 3.3.3-1 図で示した節点位置での 3 次元 FEM モデルの鉛直方向の応答の比較を示す。第 3.3.3-2 図より，第 3.3.3-1 図で黒点で示した点の応答は観測記録と概ね対応しており，0.06 秒付近での応答の増幅は観測点付近で顕著である。第 3.3.3-1 図より観測点の西側に開口部が設けられており，この影響で観測点の応答が増幅したものと考えられる。

以上より，3 次元 FEM モデル（建屋模擬モデル）によるシミュレーション解析結果は，観測記録と比べると，ピークの山が観測記録よりも大きくなるものの，応答のピークが出る周期は概ね良くとらえることができている。そのため，シミュレーション解析モデルは振動特性を再現できている概ね妥当なモデルであるといえる。観測記録と 3 次元 FEM モデルでの応答のピークの出方の違いについては，その主要因は水平入力時のロッキング応答によるものであり，3 次元 FEM モデルの方がロッキング応答に対して応答が出やすい保守的なモデル設定となっているためと考えられる。

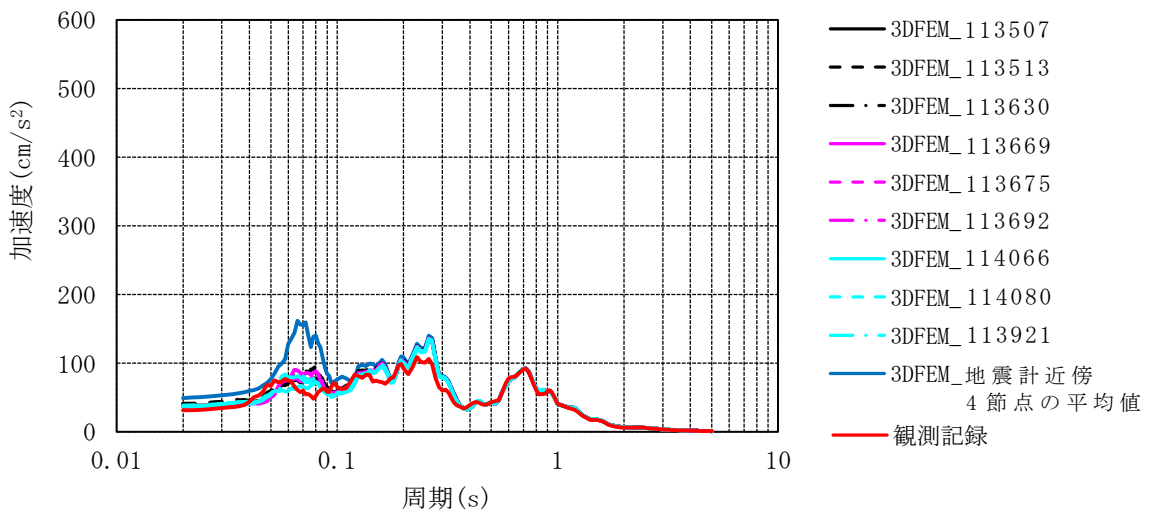
第 3.3.3-1 表 観測記録と解析結果の加速度応答スペクトルの比較



— : 観測記録 — : 3次元 FEM モデル (側面回転ばねあり) - - - : 3次元 FEM モデル (側面回転ばねなし)



第 3.3.3-1 図 地上 4 階のモデル図



第 3.3.3-2 図 地上 4 階における観測記録とシミュレーション解析との鉛直方向の応答の比較

4. 3次元FEMモデルによる評価

4.1 地震応答解析の概要

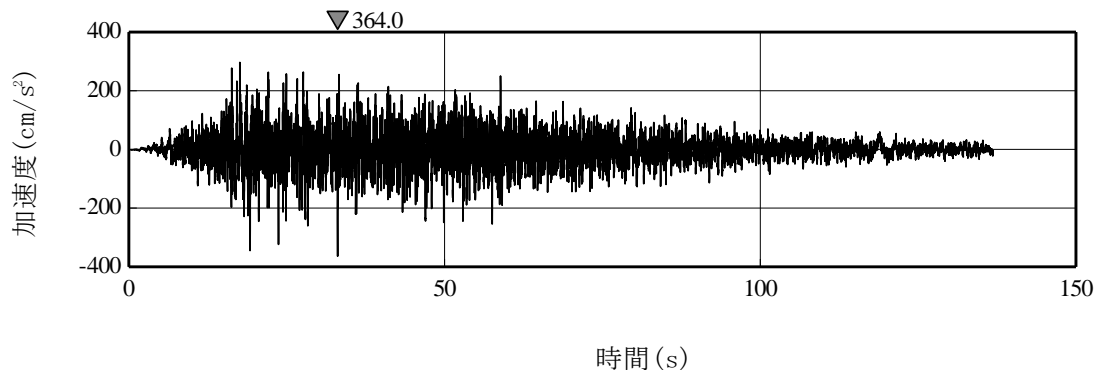
燃料加工建屋の3次元的な応答性状を把握し、それらが建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討するため、建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度），比較用モデル1（床柔，基礎下鉛直方向固定，実強度），比較用モデル2（床剛，相互作用考慮，実強度），質点系対応モデル（床剛，相互作用考慮，設計基準強度）の4つの3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動Sdに対する地震応答解析を実施する。なお、以降の燃料加工建屋についての検討に用いる3次元FEMモデルは、質点系モデルと同じ条件とし、前章の観測記録を用いた検討で使用した側面回転ばねは考慮していない。

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、検討用地震動は、添付書類「基準地震動Ss及び弾性設計用地震動Sdの概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された弾性設計用地震動Sdのうち、卓越周期に著しい偏りがなく、継続時間が長い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、建屋のせん断ひずみによる影響評価を行うため、地震応答解析において建屋のせん断応答が最も大きい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。

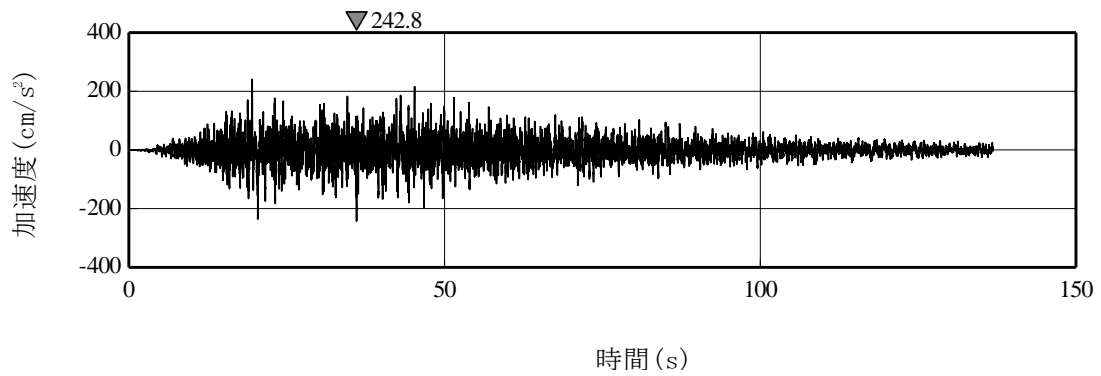
入力地震動Sd-Aの加速度時刻歴波形を第4.1-1図に、加速度応答スペクトルを第4.1-2図に示す。

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。

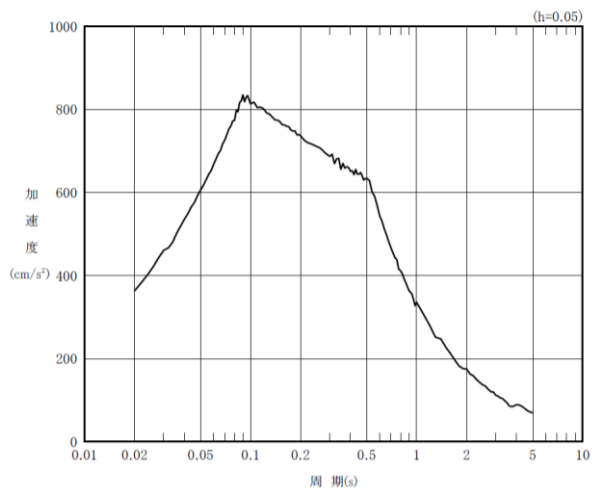


(a) Sd-A (H)

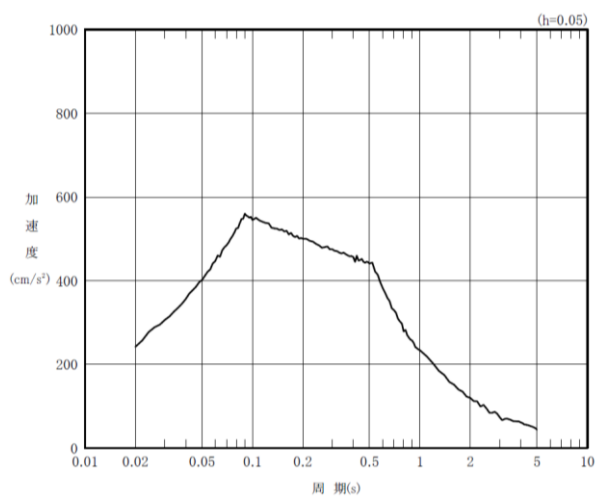


(b) Sd-A (V)

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



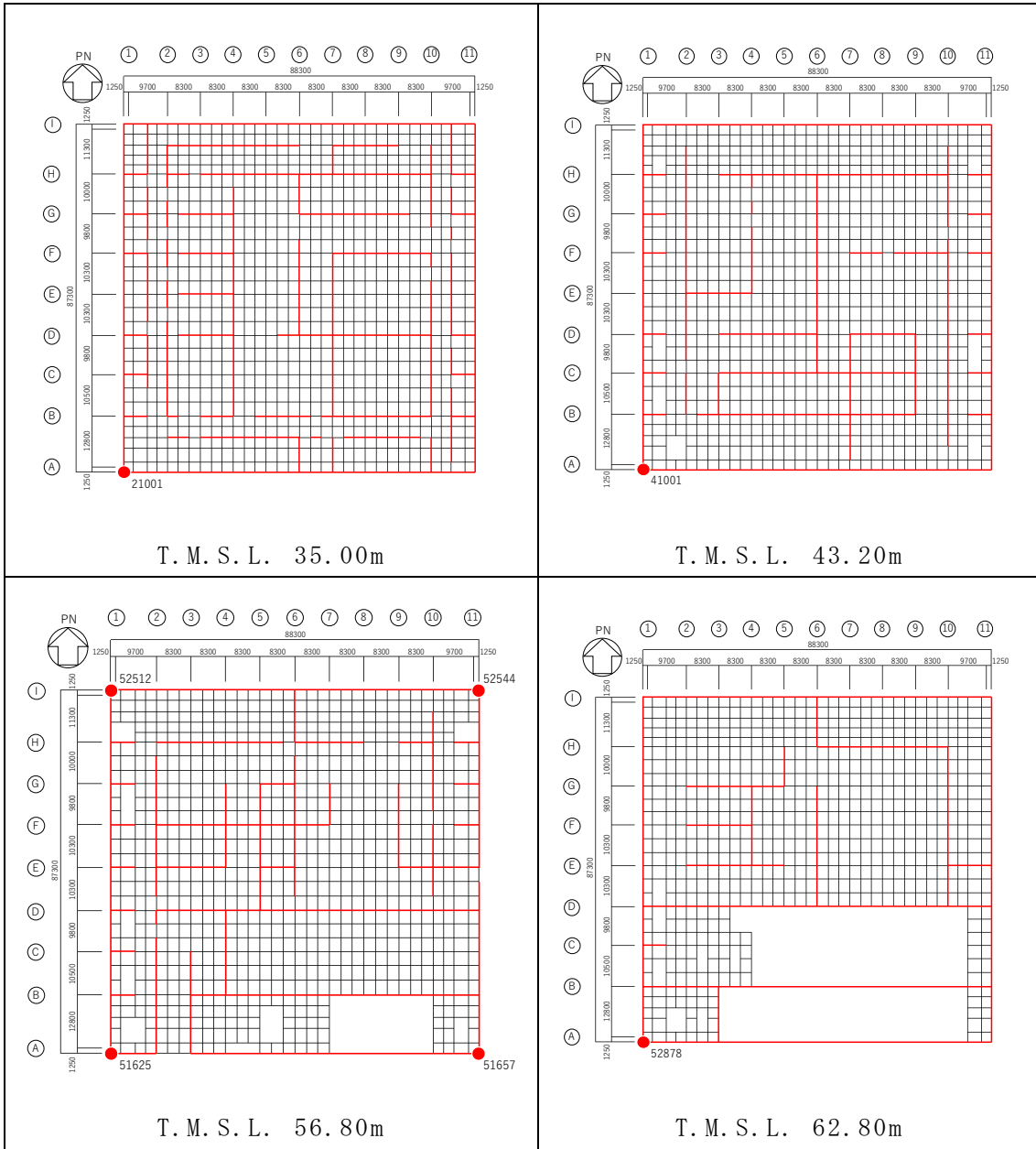
(a) Sd-A (H)



(b) Sd-A (V)

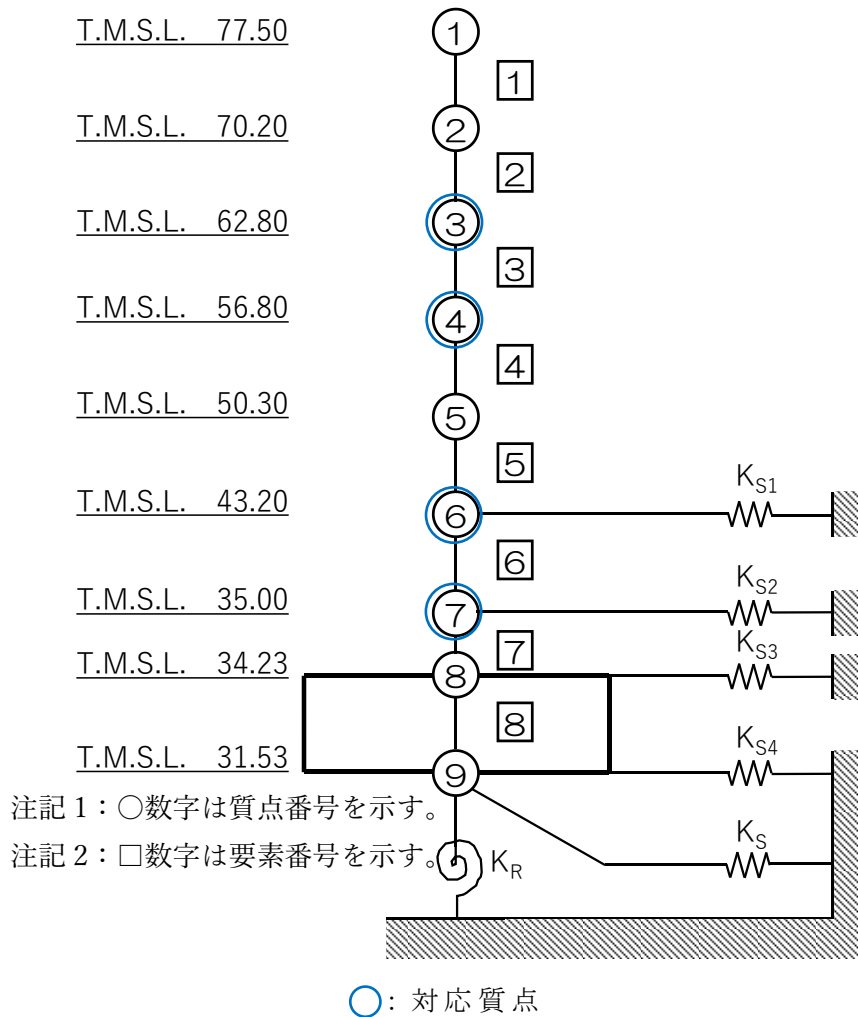
注記：「H」は水平方向，「V」は鉛直方向を示す。

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 図 応答評価位置

(単位：m)



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，基礎下鉛直方向固定，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－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－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

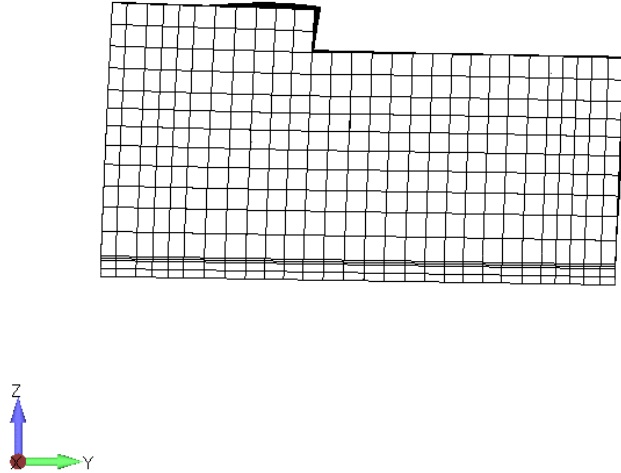
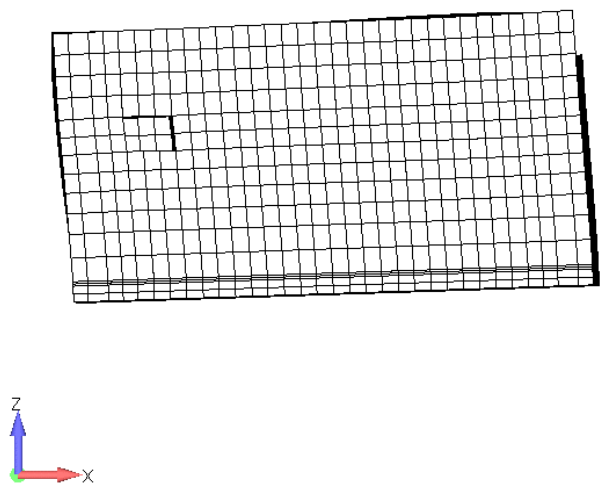
基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響については，ロッキング振動を考慮している建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度）及びロッキング振動を考慮していない比較用モデル1（床柔，基礎下鉛直方向固定，実強度）の鉛直方向応答を比較することで検討する。鉛直方向の応答を比較するため，地震動は弾性設計用地震動 Sd-A を水平1方向及び鉛直方向に入力する。

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. 35.00m) 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固定しているため，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。

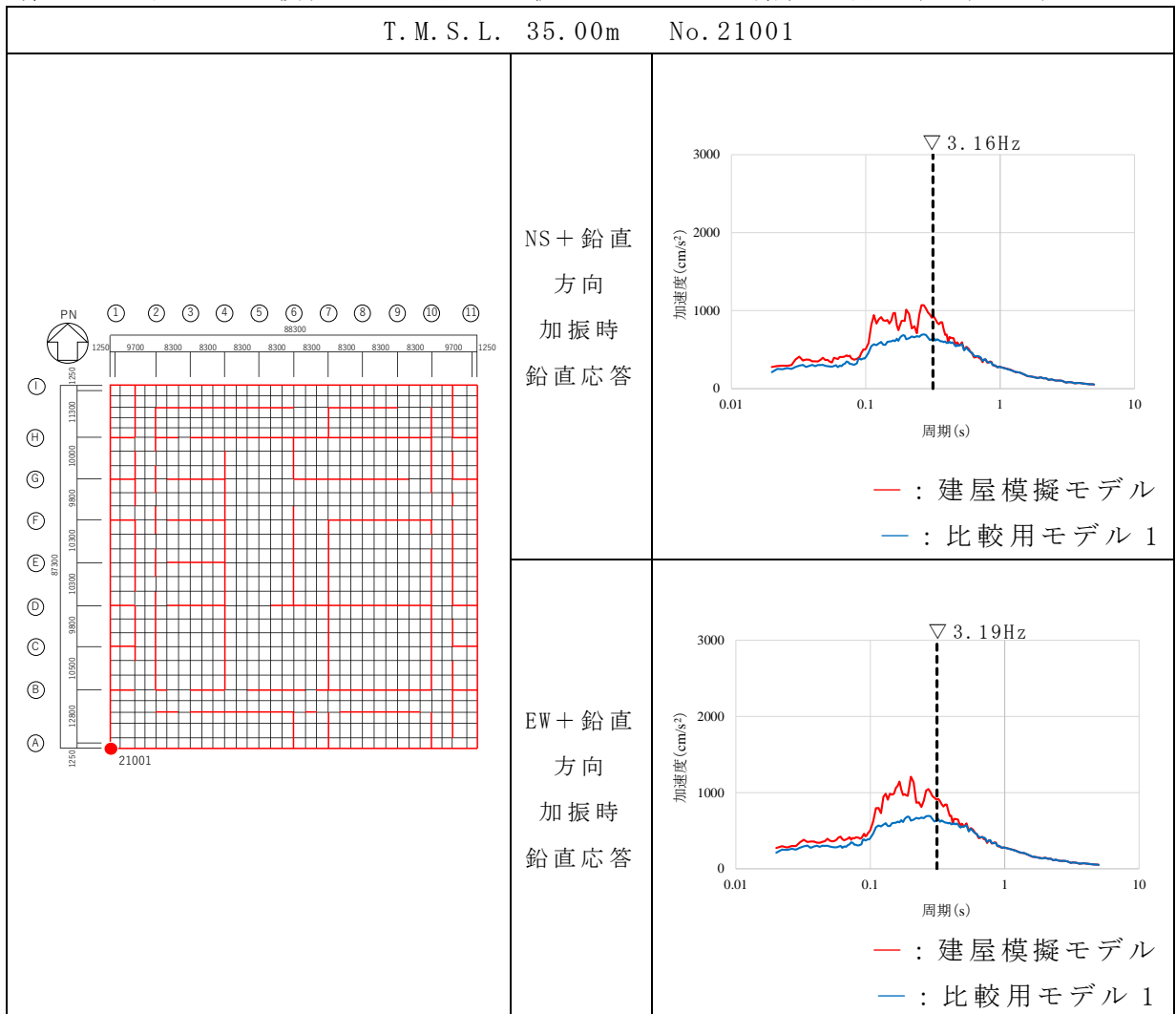
評価結果として建屋模擬モデルにおけるロッキング振動の1次のモード図を第4.2-1表に示す。また，建屋模擬モデルと比較用モデル1の応答を比較したものを第4.2-2表に示す。

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 (ロックング)

方向	建屋模擬モデル
NS	 <p style="text-align: center;">3.16Hz</p>
EW	 <p style="text-align: center;">3.19Hz</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。

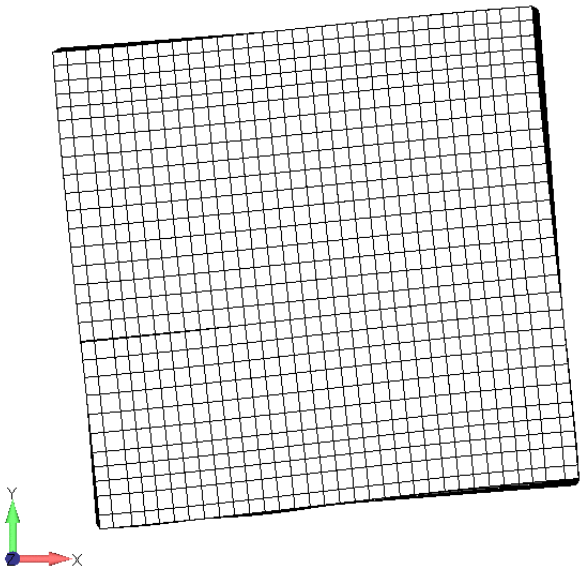
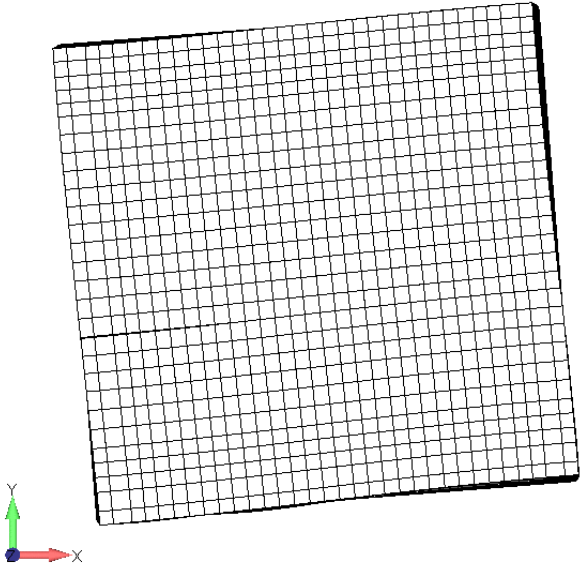
応答比較に用いる評価点は，No. 21001（T.M.S.L. 35.00m），No. 41001（T.M.S.L. 43.20m），No. 51625（T.M.S.L. 56.80m），No. 52878（T.M.S.L. 62.80m）とし，弾性設計用地震動Sd-Aを水平1方向に入力し，加振方向と加振直交方向の応答を比較検討する。また，建屋模擬モデルによるねじれ振動の1次の振動モードが得られる固有振動数も踏まえて考察を行う。

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。

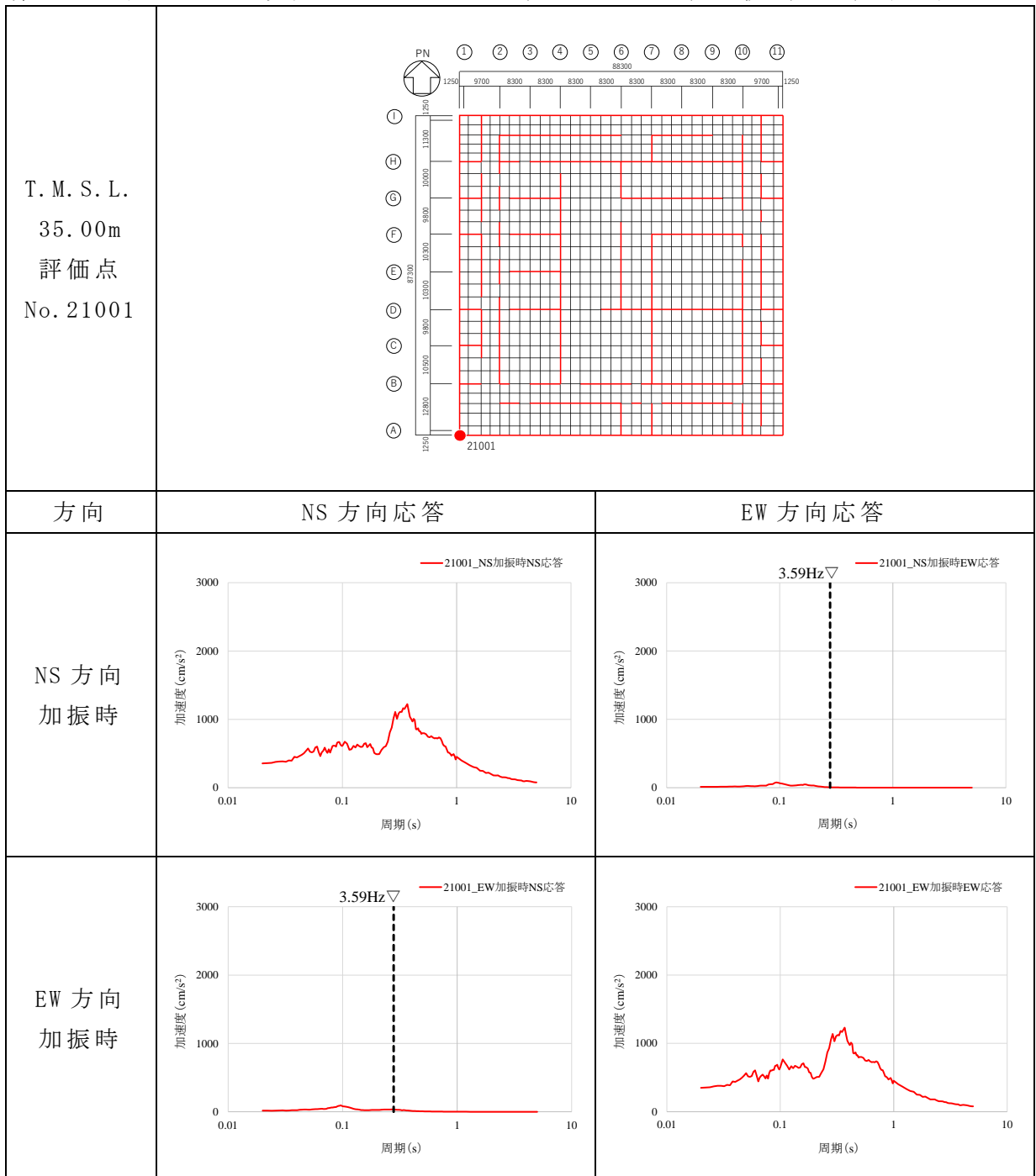
第4.2-4表より，選定した評価点において，第4.2-3表で示した振動数において，加振直交方向の応答が励起されていることがわかる。また，加振直交方向の応答は発生しているものの加振方向の応答と比較して小さくなっている。したがって，水平1方向入力を考慮する場合，加振方向の応答に対して設計を行えば，耐震安全性上問題にはならないと考えられるが，水平2方向の入力を考えた場合ねじれ応答の影響による応答が増幅する可能性がある。

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。

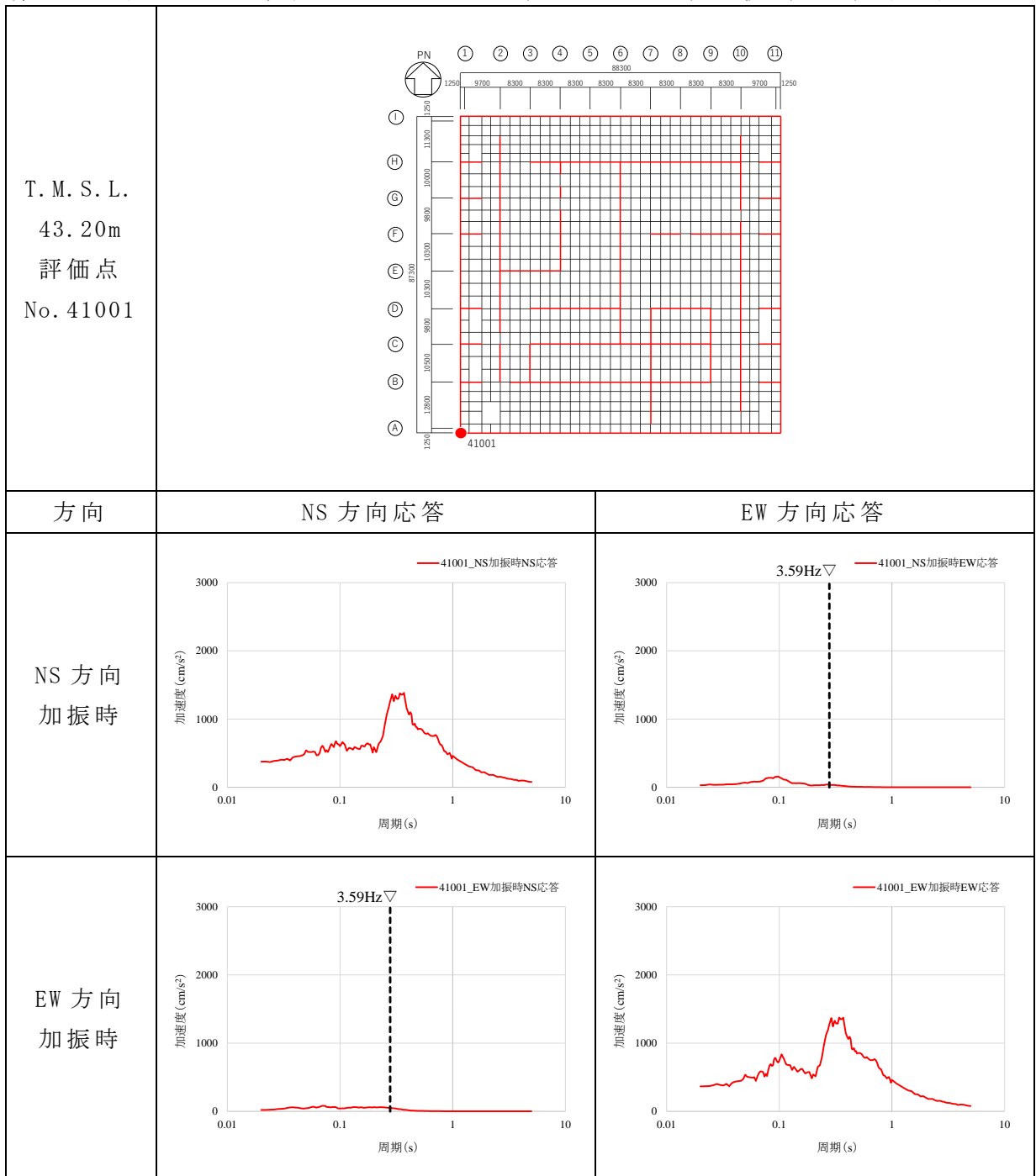
第 4.2-3 表 建屋模擬モデルのモード図 (ねじれ振動)

方向	建屋模擬モデル
NS	 <p style="text-align: center;">3.59Hz</p>
EW	 <p style="text-align: center;">3.59Hz</p>

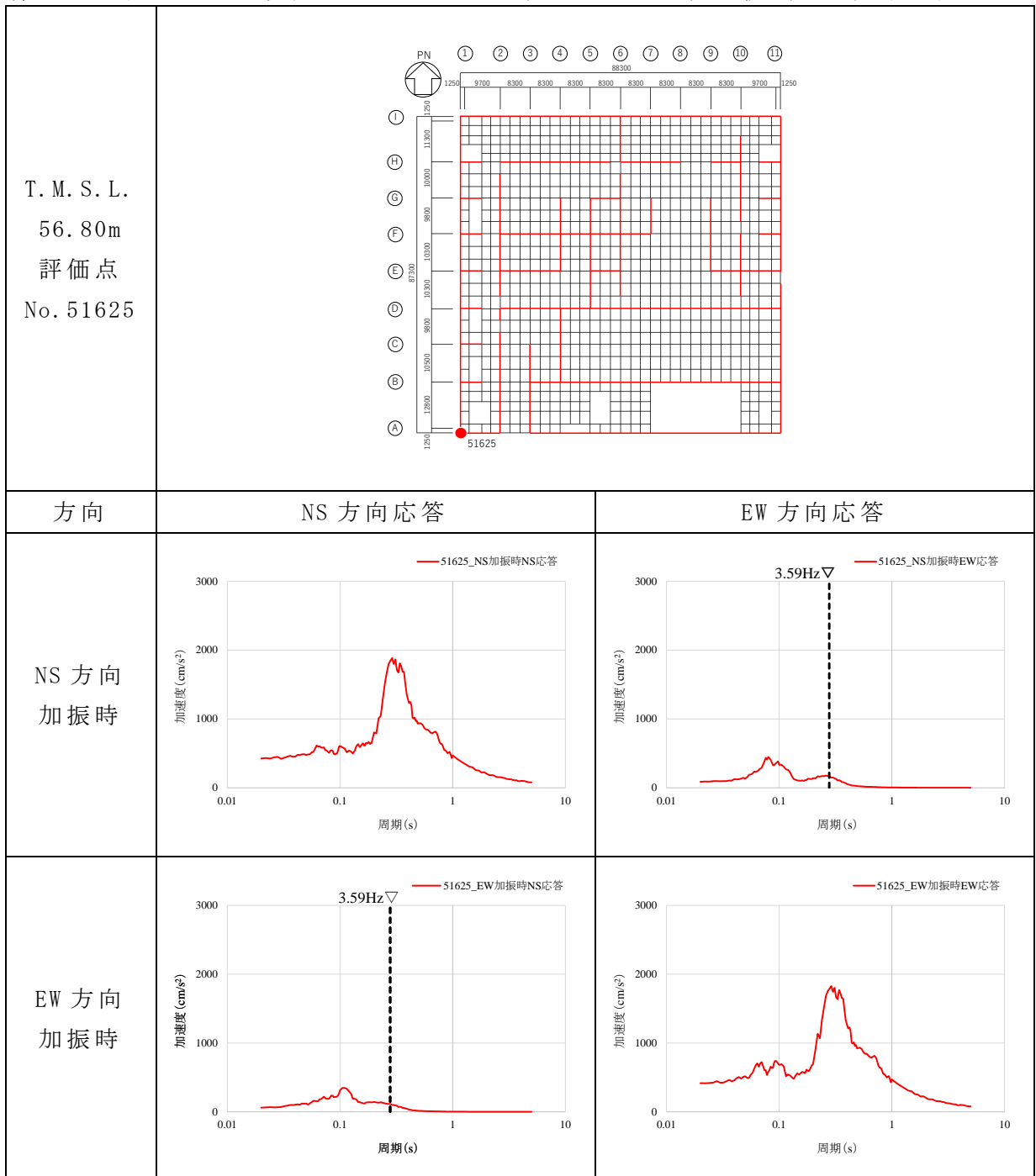
第 4.2-4 表 建屋 3 次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (h=3%) (1/4)



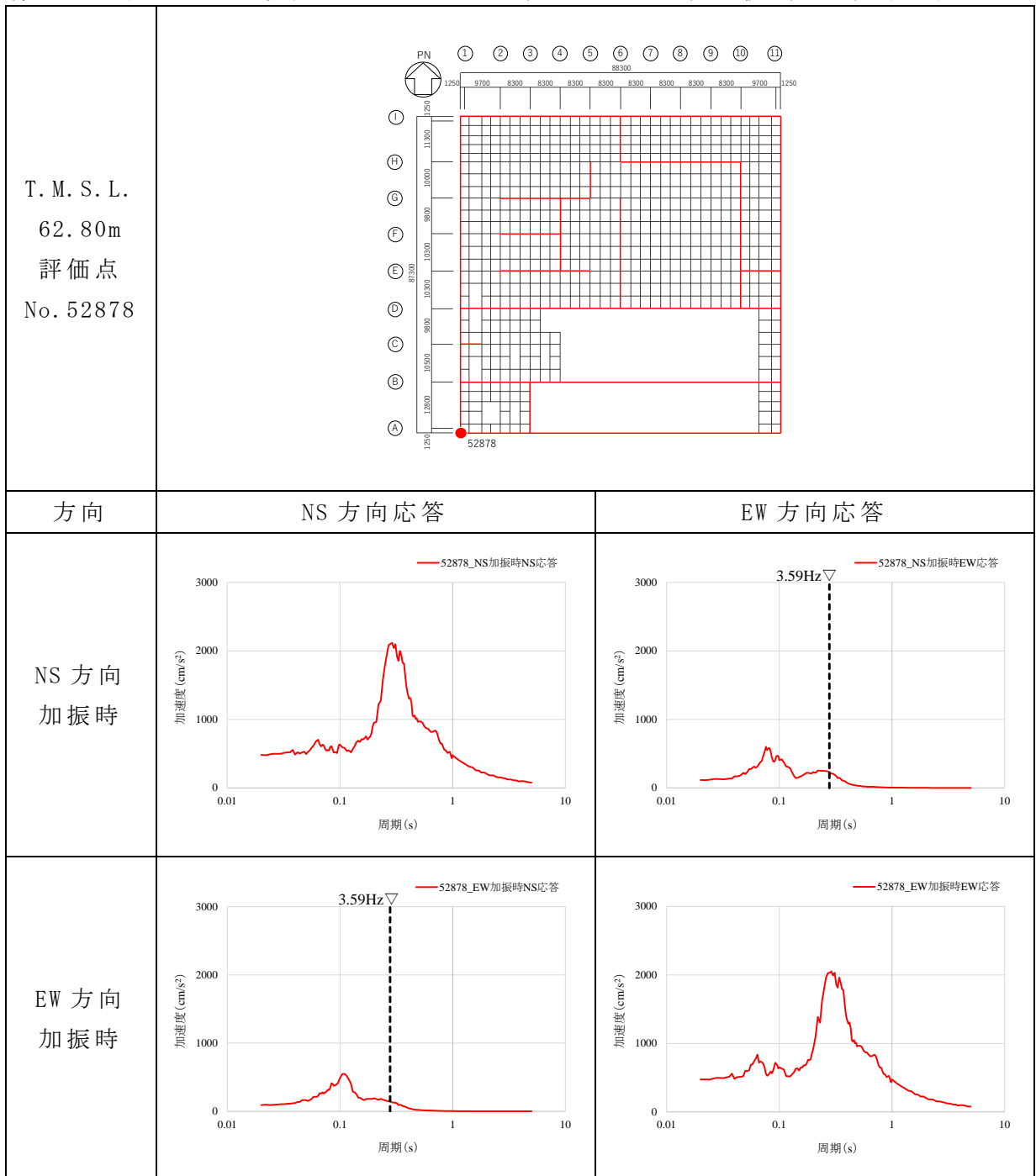
第 4.2-4 表 建屋 3 次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (h=3%) (2/4)



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

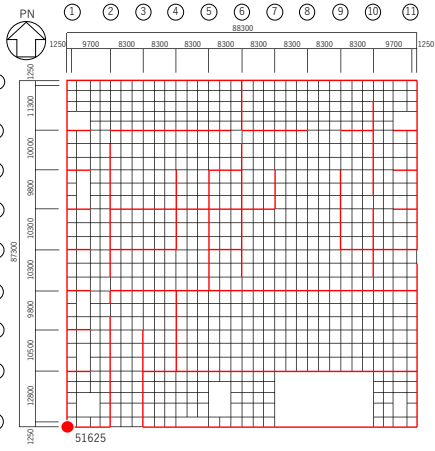
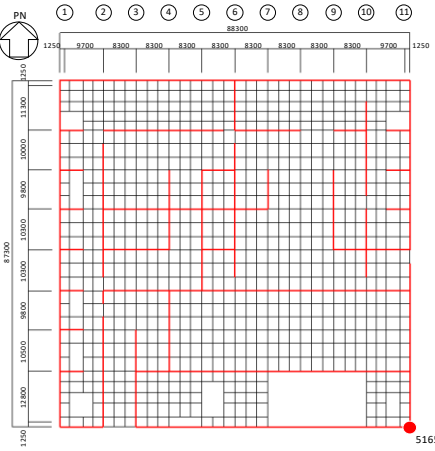
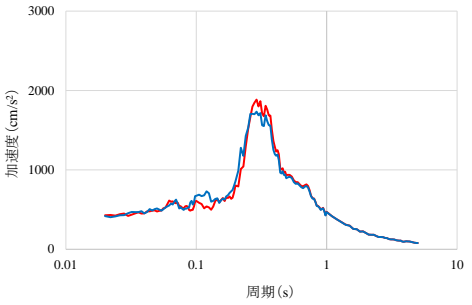
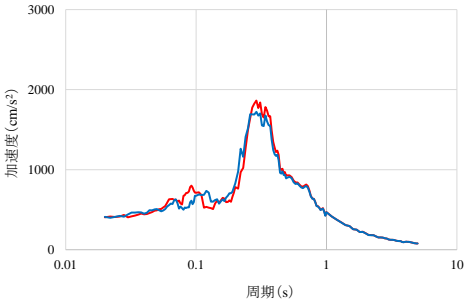
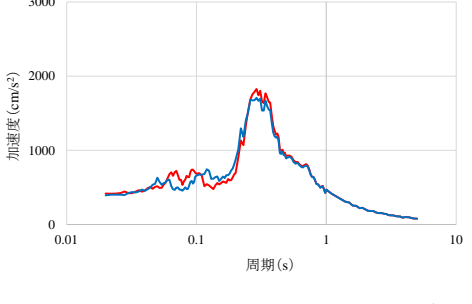
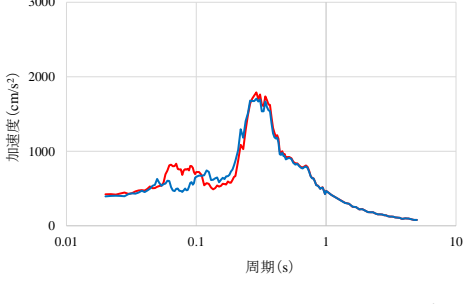
床柔性の影響は，建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度）と床を剛とした比較用モデル2（床剛，相互作用考慮，実強度）を比較することにより確認する。

応答比較に用いる評価点は，1階床面である T.M.S.L. 56.80m 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。

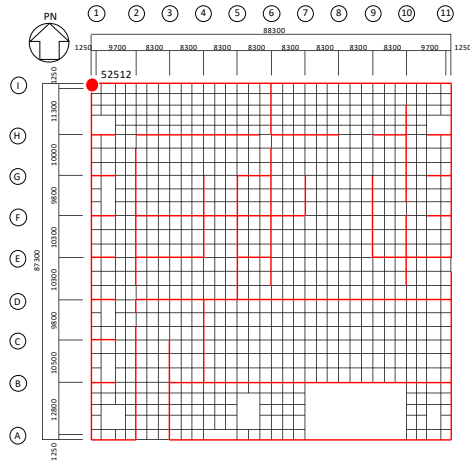
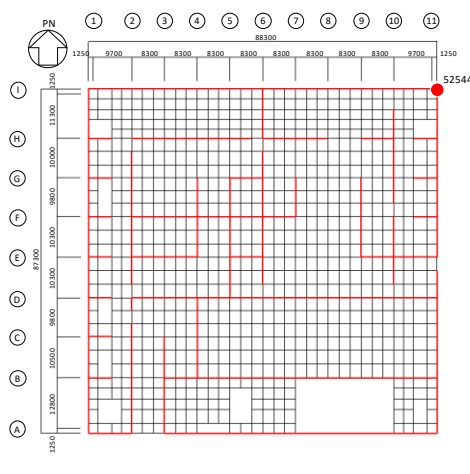
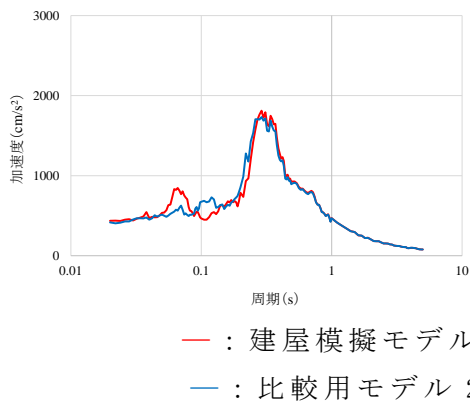
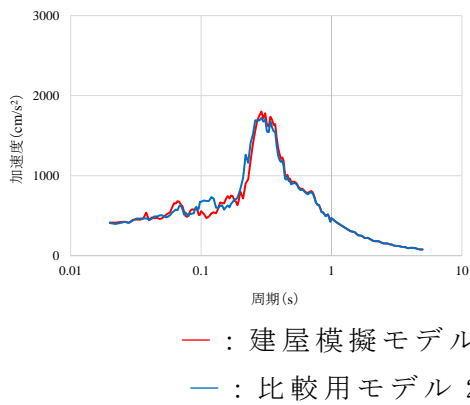
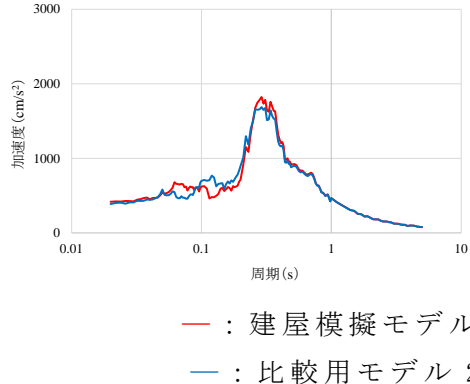
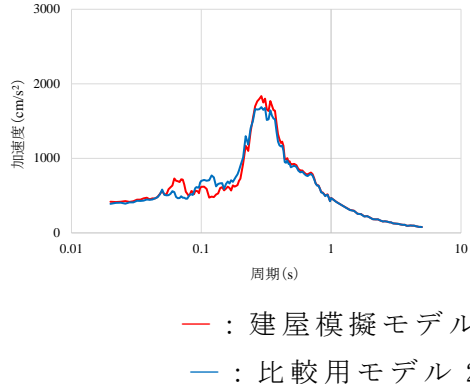
評価結果を第 4.2-5 表に示す。

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，一部，0.06～0.07 秒付近で建屋模擬モデルの応答が大きくなっているものの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)

<p>評価点</p>	<p>T. M. S. L. 56.80m 南西 No. 51625</p> 	<p>T. M. S. L. 56.80m 南東 No. 51657</p> 
<p>NS 方向 加振時 NS 方向応 答</p>	 <p>— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>	 <p>— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>
<p>EW 方向 加振時 EW 方向応 答</p>	 <p>— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>	 <p>— : 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)

<p>評価点</p>	<p>T. M. S. L. 56.80m 北西 No. 52512</p> 	<p>T. M. S. L. 56.80m 北東 No. 52544</p> 
<p>NS 方向 加振時 NS 方向応 答</p>	 <p>— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>	 <p>— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>
<p>EW 方向 加振時 EW 方向応 答</p>	 <p>— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 2</p>	 <p>— : 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、位相角を一様乱数とした正弦波を重ね合わせ、弾性設計用地震動 $S_d-A(H)$ の応答スペクトルに適合する位相の異なる模擬地震波を作成し、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、直交する方向は上記の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。

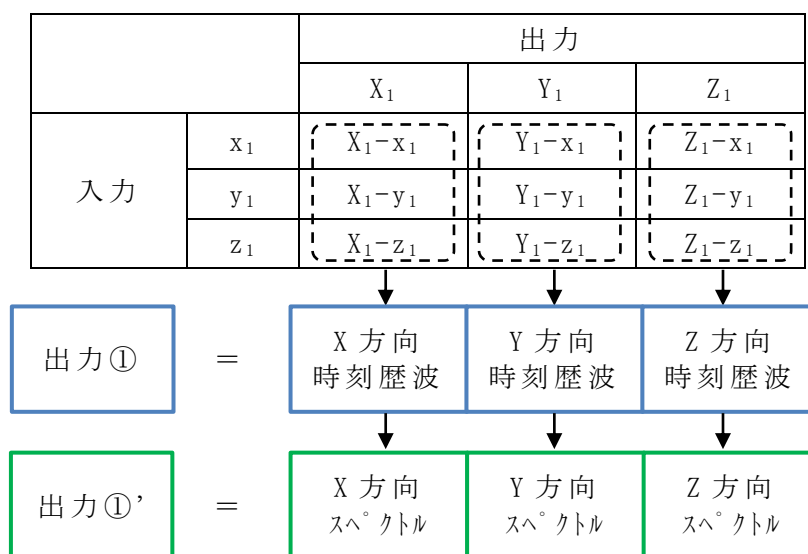
各方向への入力地震動に対して算出された各成分の応答を時刻歴で足し合わせることで、水平 2 方向及び鉛直方向の地震動に対する方向ごとの応答を算出する。応答算出の考え方を第 4.2-1 図に示す。

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、 $S_d-A(H)$ と模擬地震波を 2 方向入力した場合のオービットを第 4.2-4 図に示す。

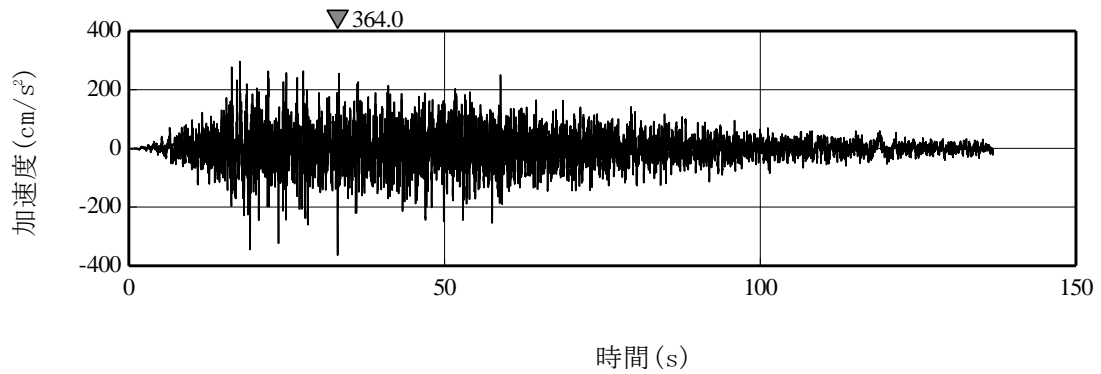
第 4.2-6 表 地震動の組合せ

		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)

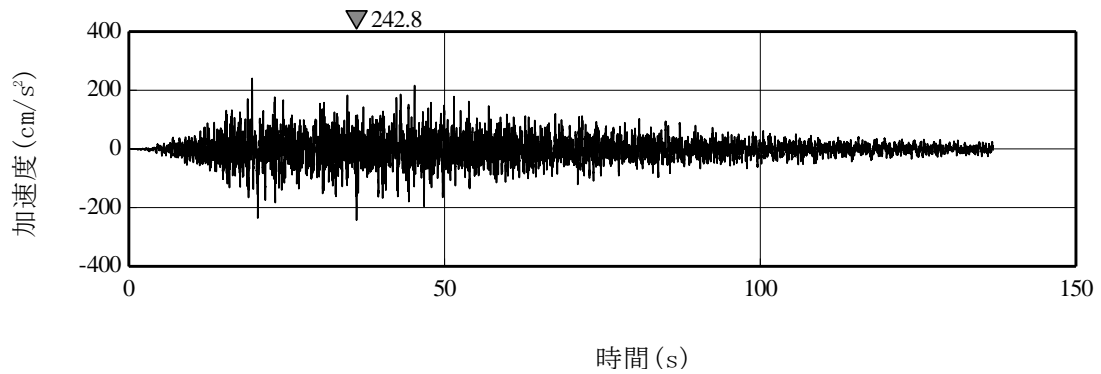
注記 * : 弾性設計用地震動 Sd-A(H) の設計用応答スペクトルに適合するが, Sd-A(H)とは位相特性が異なる地震波



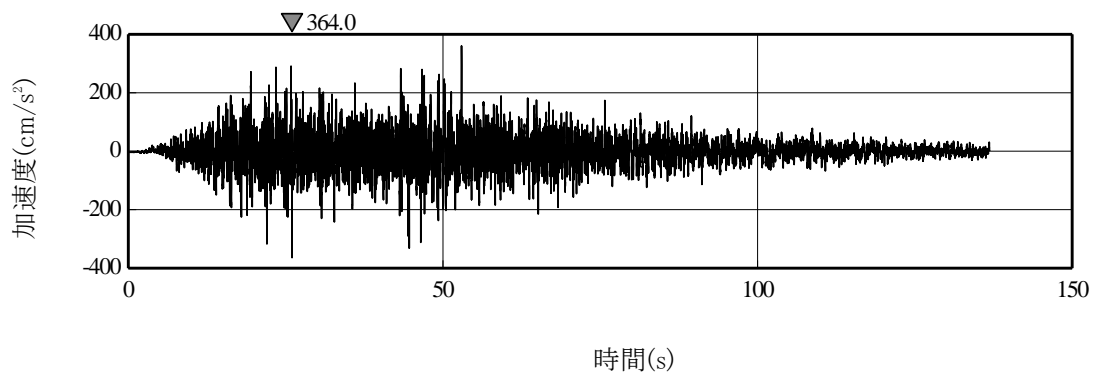
第 4.2-1 図 3次元 FEM モデルによる応答算出の考え方



(a) Sd-A(H) (再掲)

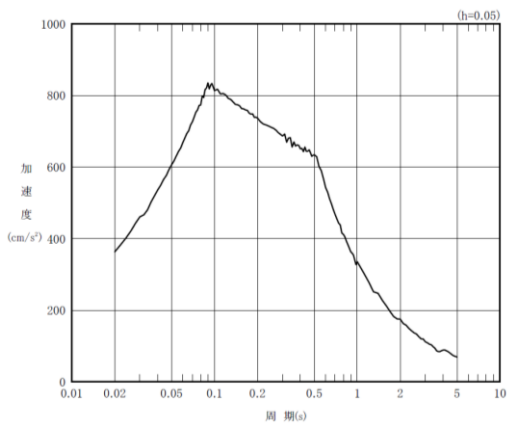


(b) Sd-A(V) (再掲)

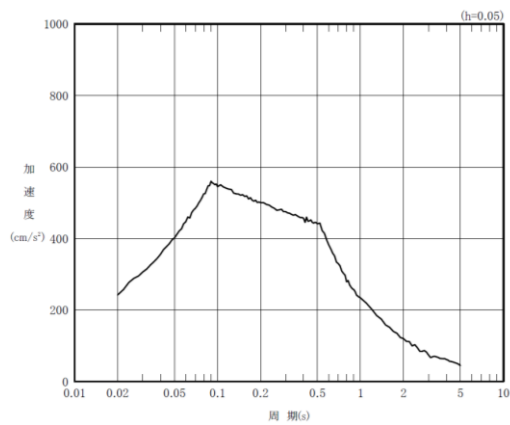


(c) 模擬地震波

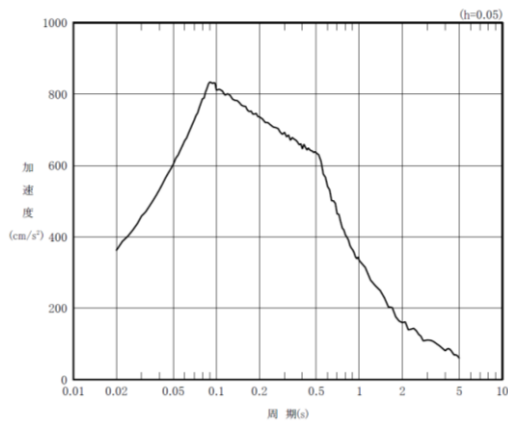
第 4.2-2 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度時刻歴波形



(a) Sd-A(H) (再掲)

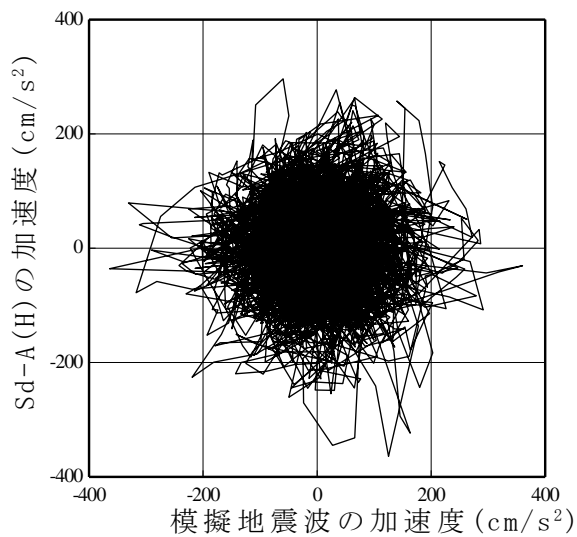


(b) Sd-A(V) (再掲)



(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



第 4.2-4 図 Sd-A のオービット
(位相の異なる地震波を 2 方向入力した場合)

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. 35.00m), No. 41001 (T.M.S.L. 43.20m), No. 51625 (T.M.S.L. 56.80m) 及び No. 52878 (T.M.S.L. 62.80m) とする。

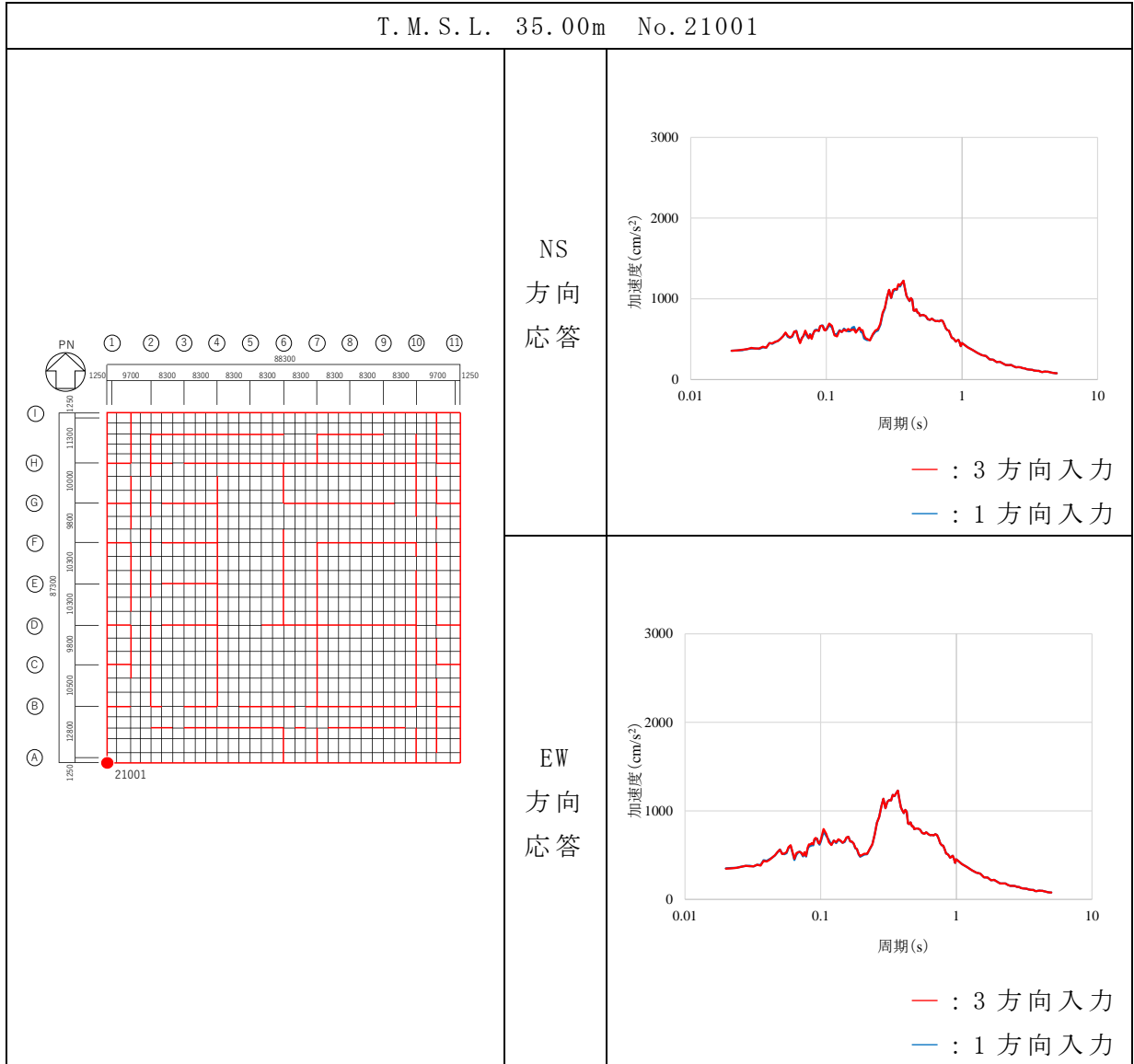
評価結果を第 4.2-7 表に示す。

第 4.2-7 表より、No. 52878 (T.M.S.L. 62.80m) において 3 方向同時入力の方が若干大きくなるものの、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。

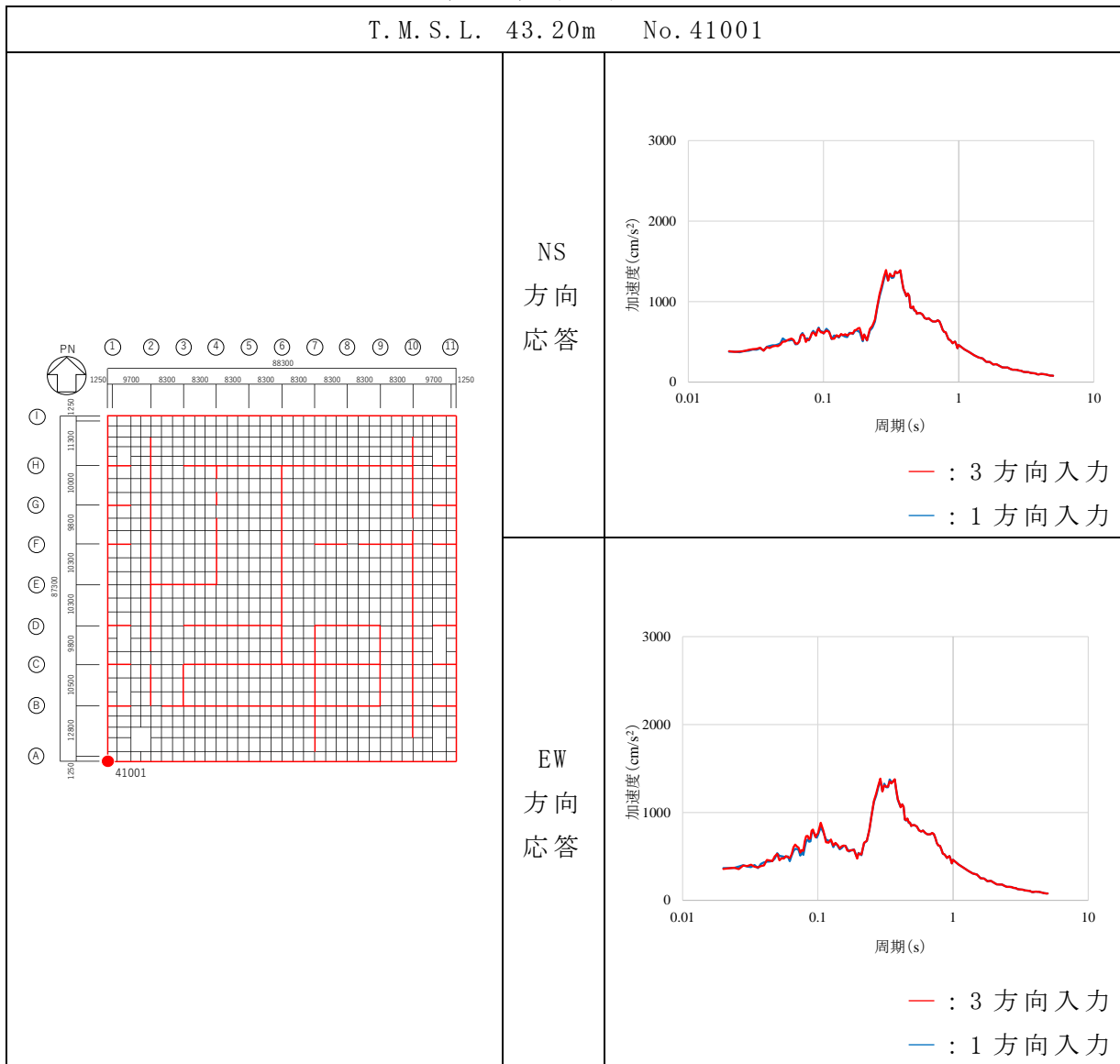
「(2) 鉛直軸周りのねじれの影響」では、水平 2 方向の入力を考えた場合に、ねじれの影響によって相互に応答増幅する可能性が示唆されたが、ねじれ振動の影響による応答増幅は見られなかった。

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。

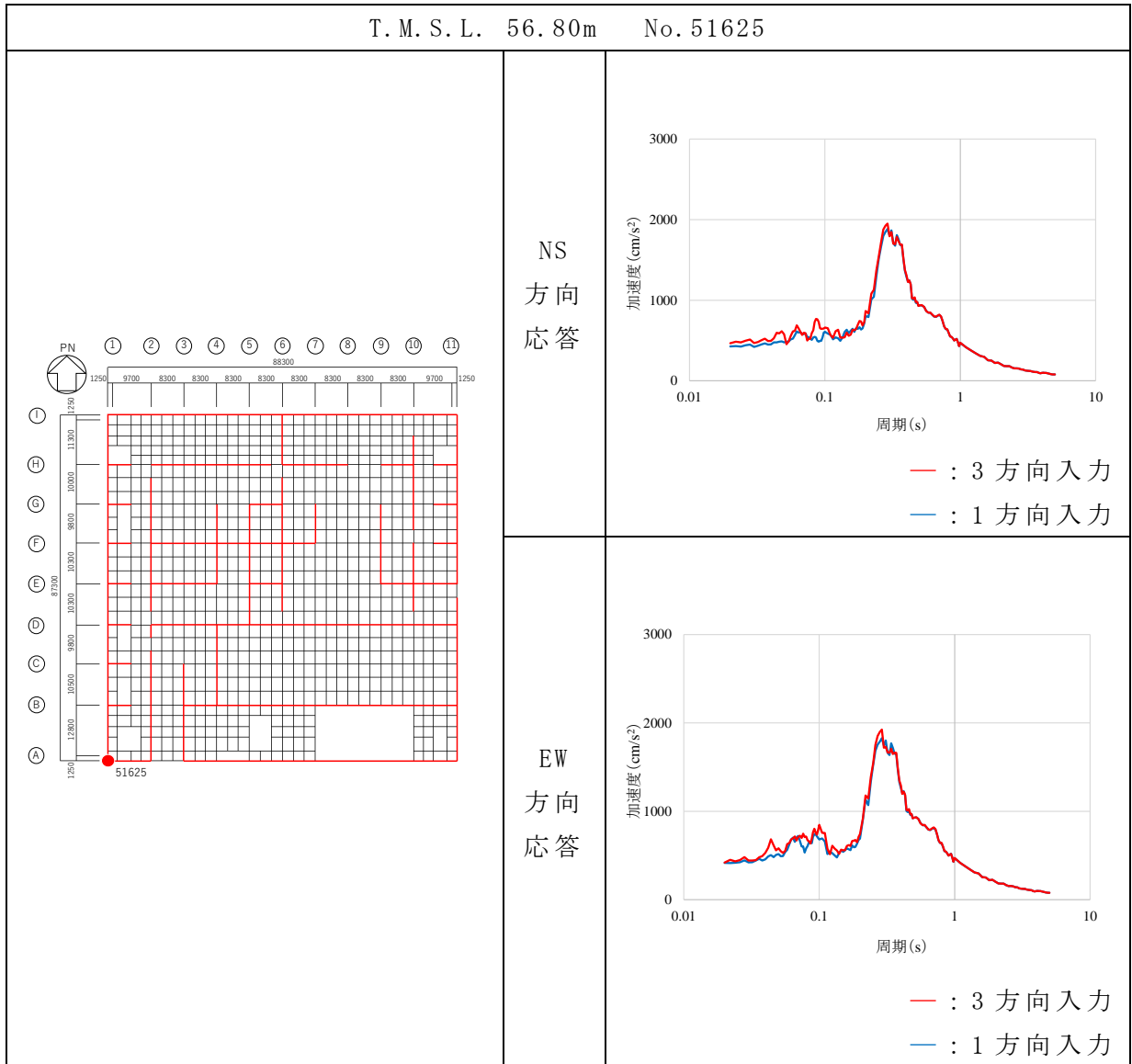
第 4.2-7 表 建屋 3 次元 FEM モデルの 3 方向入力及び 1 方向入力の応答比較
(h=3%) (1/4)



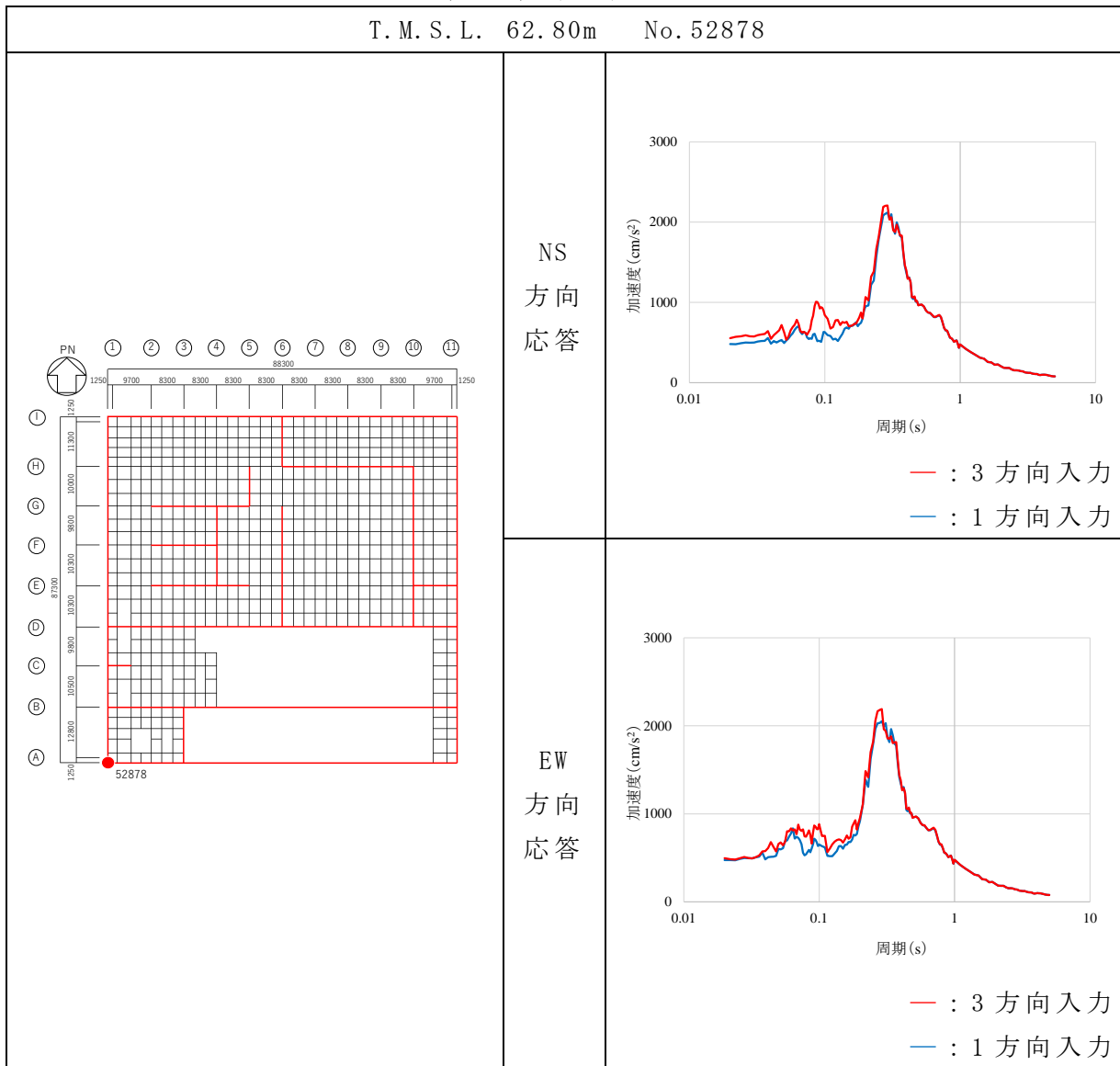
第 4.2-7 表 建屋 3 次元 FEM モデルの 3 方向入力及び 1 方向入力の応答比較
(h=3%) (2/4)



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

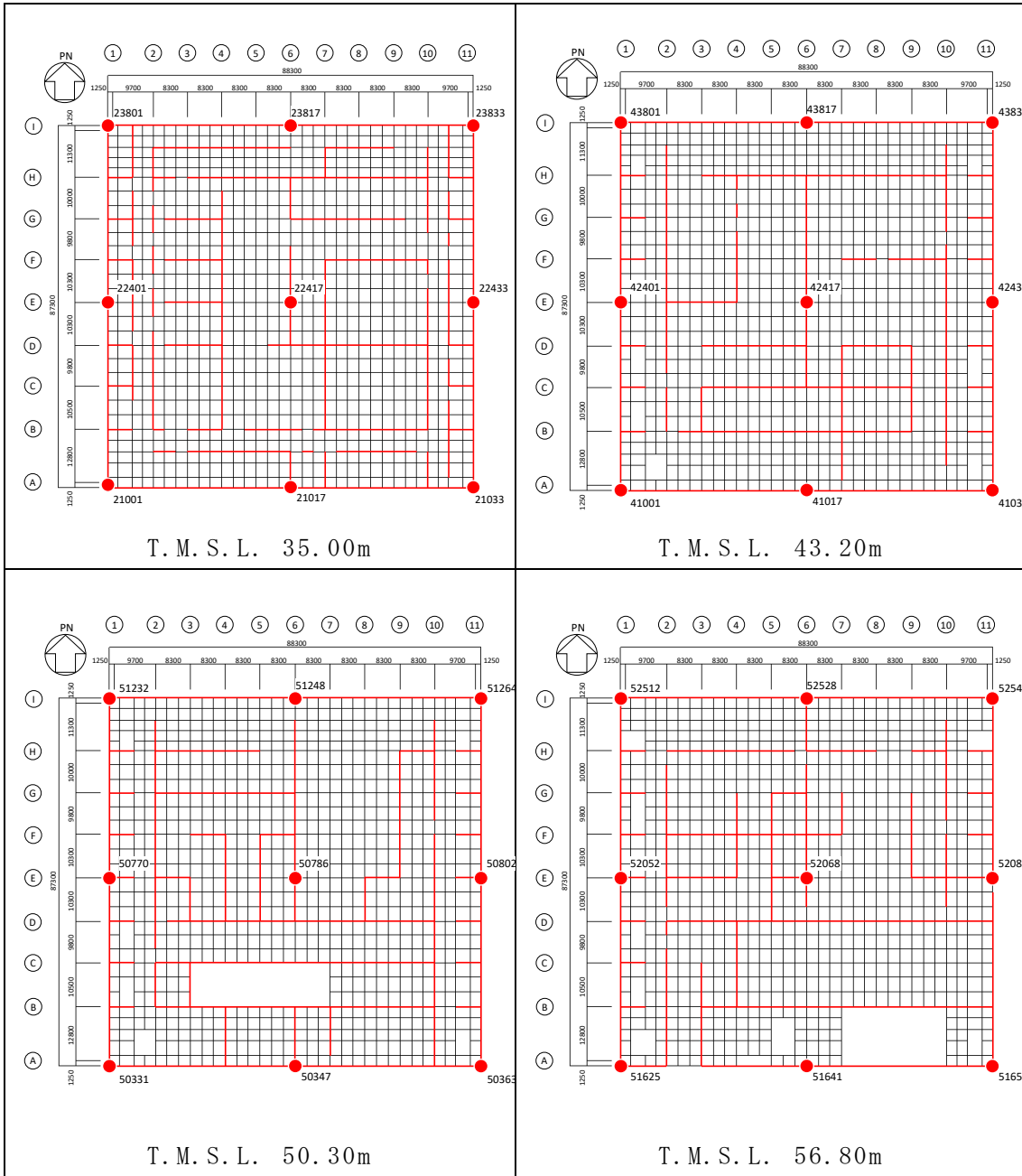
なお、質点系モデルは添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」に記載の燃料加工建屋の地震応答解析モデルと同じである。

(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

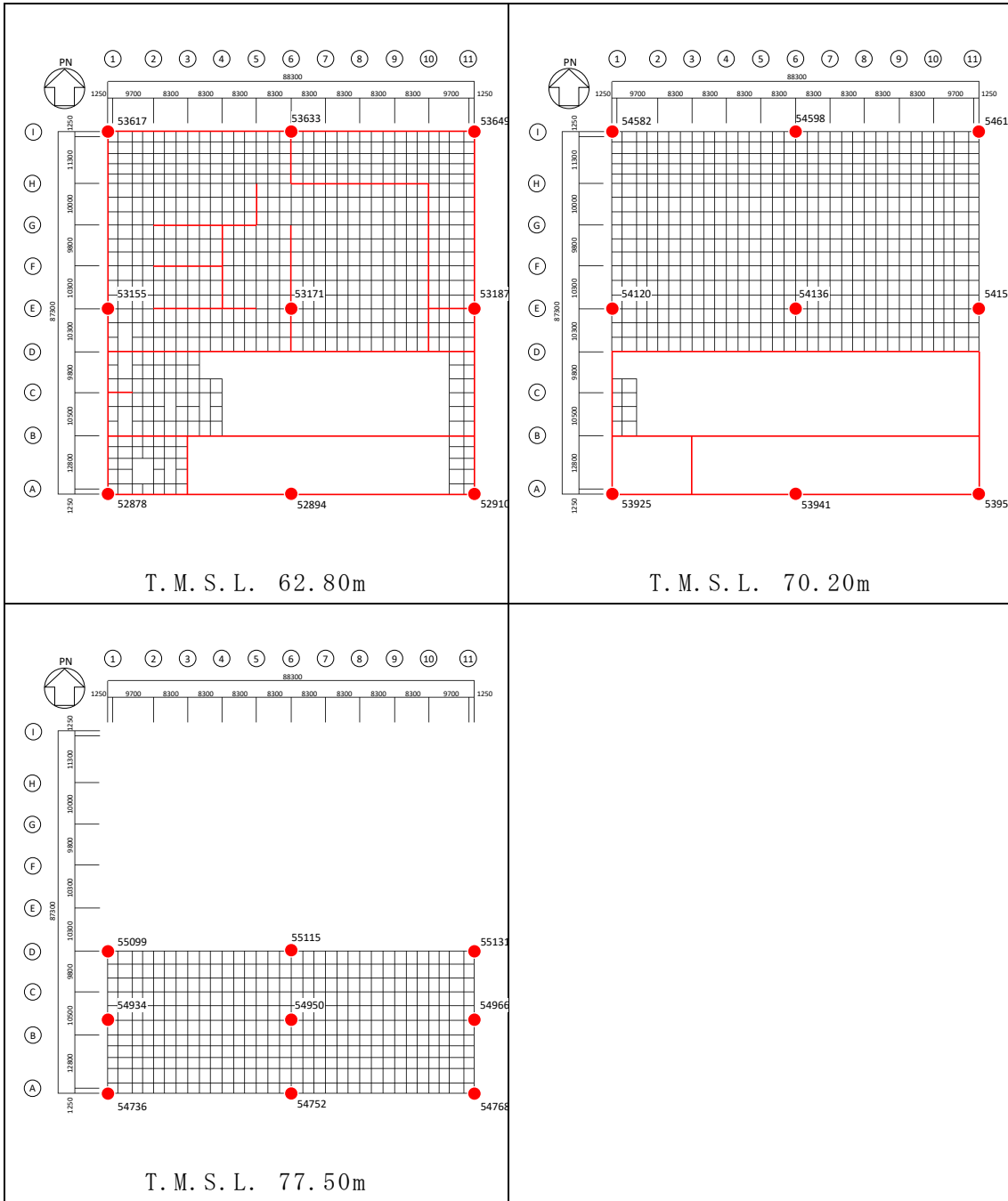
建屋模擬モデル及び質点系モデルの弾性設計用地震動 Sd-A に対する最大応答加速度の比較を行い、3次元的な影響について確認する。

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。評価に用いる節点としては、建屋の平均的な応答を示す点としてフロア中心の節点を選び、そこから最も応答がばらつく節点としてフロア中心から最も離れた4隅の節点及び水平方向の応答による面外方向への応答増幅が起きやすい各4隅の midpoint の節点の計9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。なお、3次元FEMモデルの結果は、9節点の加速度応答を時刻歴上で平均したものの最大値である。

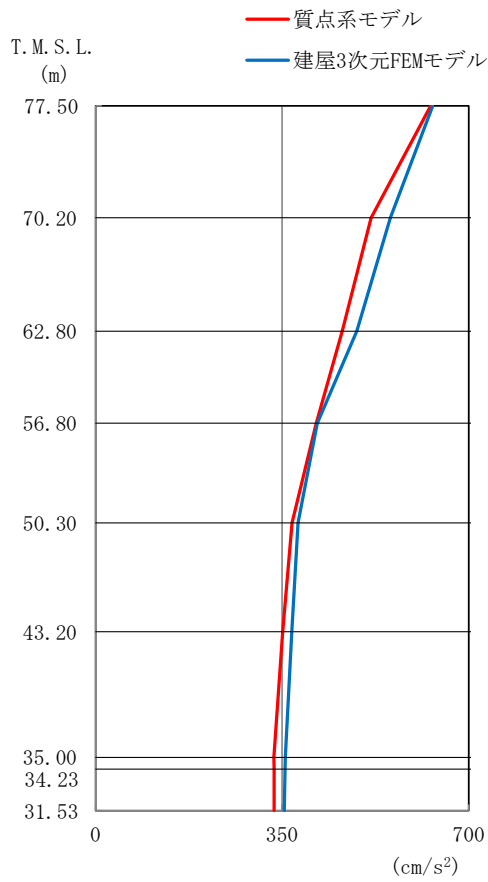
両モデル間で、最大応答加速度は対応しているが、建屋模擬モデルは3次元的な応答性状が考慮されているため、完全には一致しない。そこで、以降の「3次元的な応答特性（応答補正比率）を考慮した建屋影響検討」により、建屋への影響検討を実施する。



第 4.3-1 図 応答評価位置 (1/2)



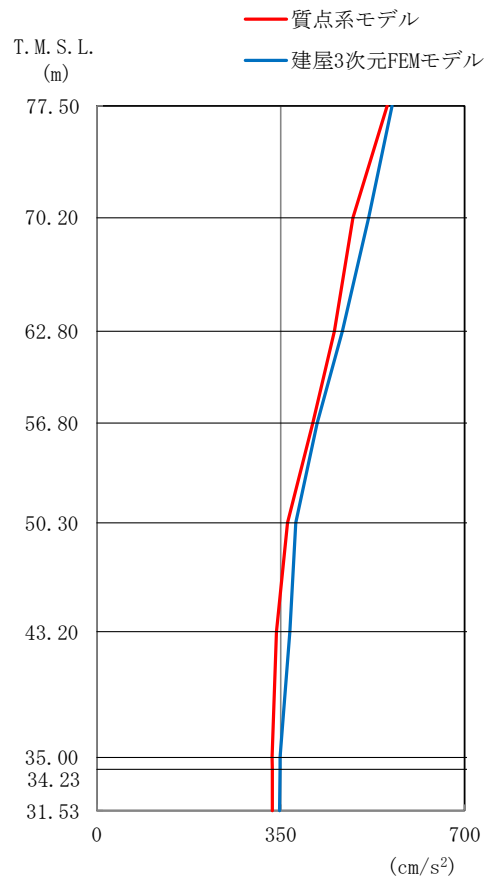
第 4.3-1 図 応答評価位置 (2/2)



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)

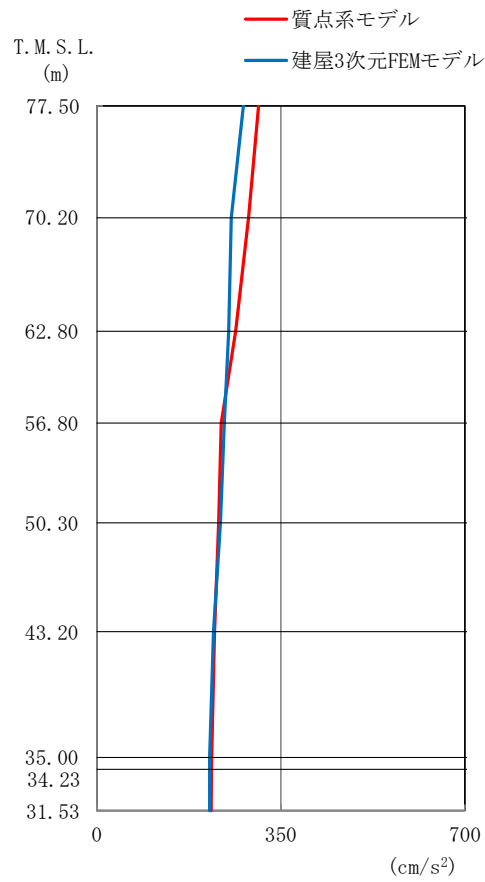
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s ²)	
		質点系モデル	建屋3次元FEMモデル
77.50	1	629	632
70.20	2	517	553
62.80	3	463	490
56.80	4	414	416
50.30	5	369	380
43.20	6	351	368
35.00	7	334	356
34.23	8	335	355
31.53	9	335	354



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. M. S. L. (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	552	562
70.20	2	487	517
62.80	3	452	467
56.80	4	411	419
50.30	5	363	379
43.20	6	342	367
35.00	7	333	349
34.23	8	334	348
31.53	9	334	348



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. M. S. L. (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	307	279
70.20	2	288	255
62.80	3	264	251
56.80	4	237	242
50.30	5	232	235
43.20	6	224	222
35.00	7	218	215
34.23	8	218	215
31.53	9	217	215

(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。

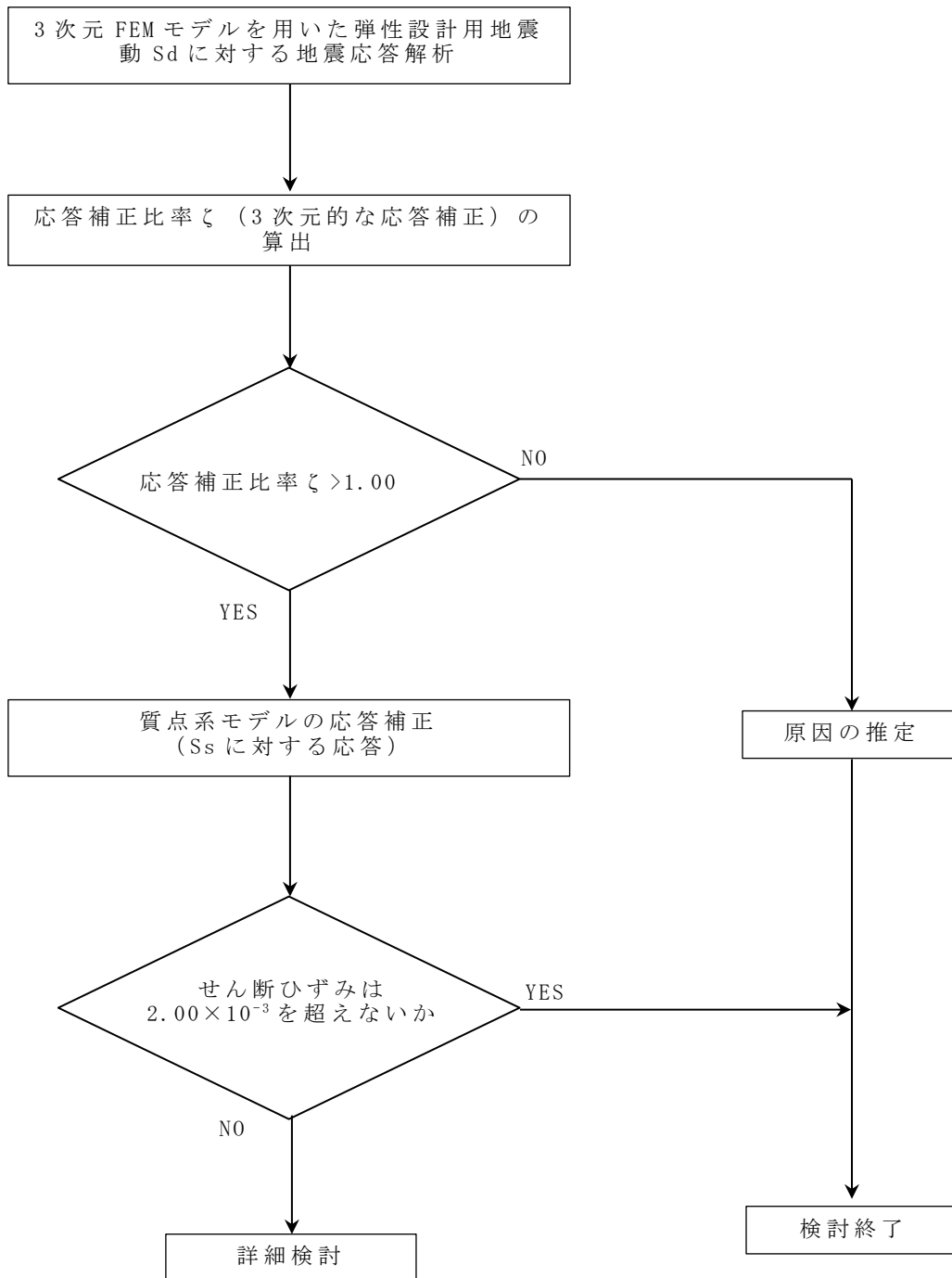
具体的には、質点系モデルの基準地震動 S_s に対するせん断応力度 τ に応答補正比率 ξ を乗じて、3次元的な応答特性を踏まえたせん断応力度を算定する。得られた値を質点系モデルの各層のせん断スケルトンカーブ上にプロットし、せん断ひずみが評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認する。ここで、第1折点を超える場合は、エネルギー一定則によりせん断ひずみを評価する。エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法を第4.3-6図に示す。せん断ひずみを確認した結果、評価基準値を超えるものは詳細検討を実施する。

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。

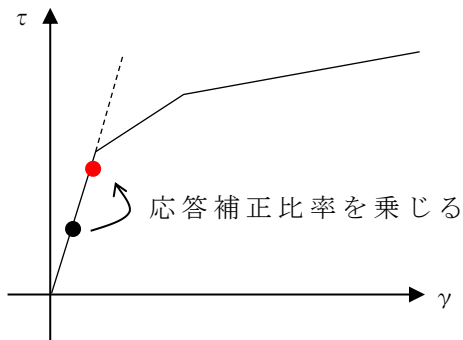
選定した3次元FEMモデルでの評価点において、弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答加速度をもとに、3次元的な応答補正比率 ξ を算出し、質点系モデルの基準地震動 S_s に対する応答補正を行い、耐震評価への影響検討を行う。入力地震動は建屋への影響の大きい S_d-C1 とする。 S_d-C1 の3方向入力に際しては、全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的ではないことから、2004年北海道留萌支庁南部地震の記録を用いて求めた基盤地震動（NS方向、EW方向、鉛直方向）を0.5倍したもの（以下、「 S_d-C1' 」という。）を入力する。

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。

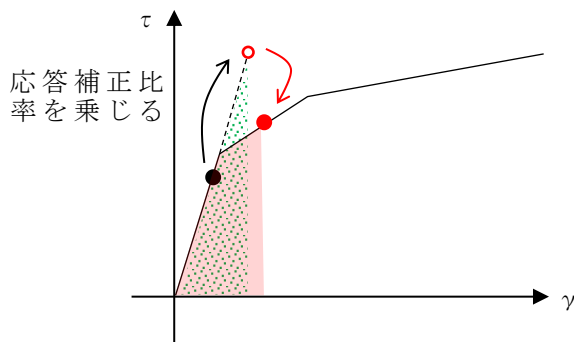
なお、入力地震動の組合せについては、 S_d-C1' の水平成分はEW方向がNS方向に比べて大きいことから、入力の際には評価方向に S_d-C1' （EW）を入力し、評価方向の直交方向に S_d-C1' （NS）を入力する。入力地震動の組合せについて第4.3-4表に示す。



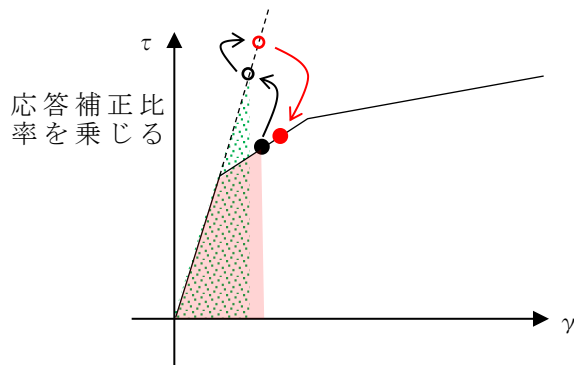
第 4.3-5 図 検討フロー



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

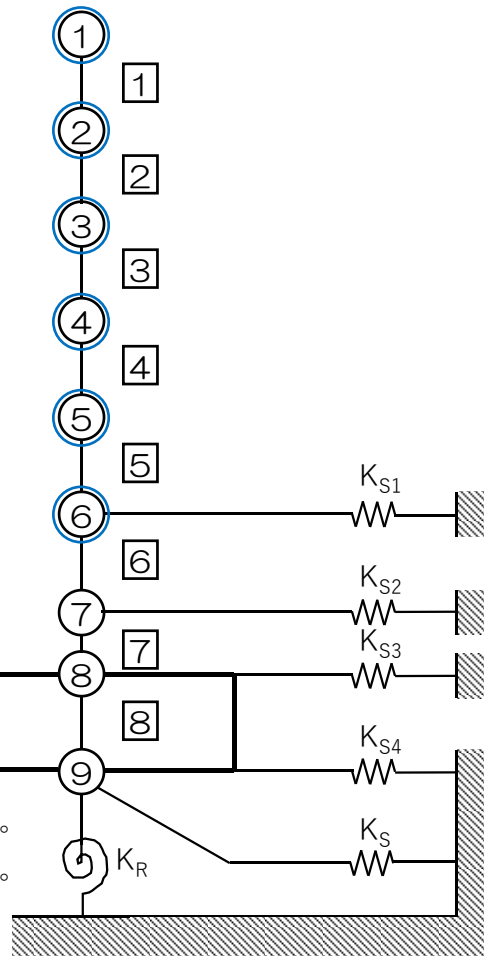
T.M.S.L. 35.00

T.M.S.L. 34.23

T.M.S.L. 31.53

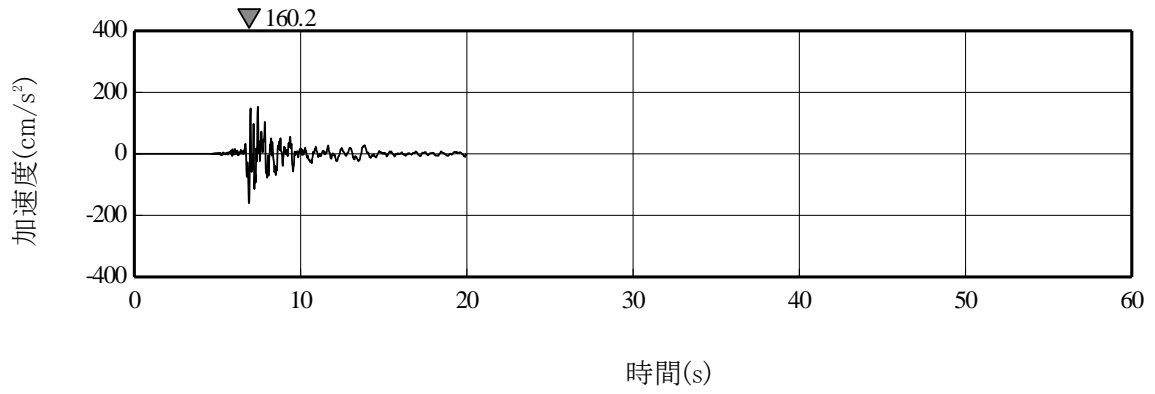
注記 1：○数字は質点番号を示す。

注記 2：□数字は要素番号を示す。

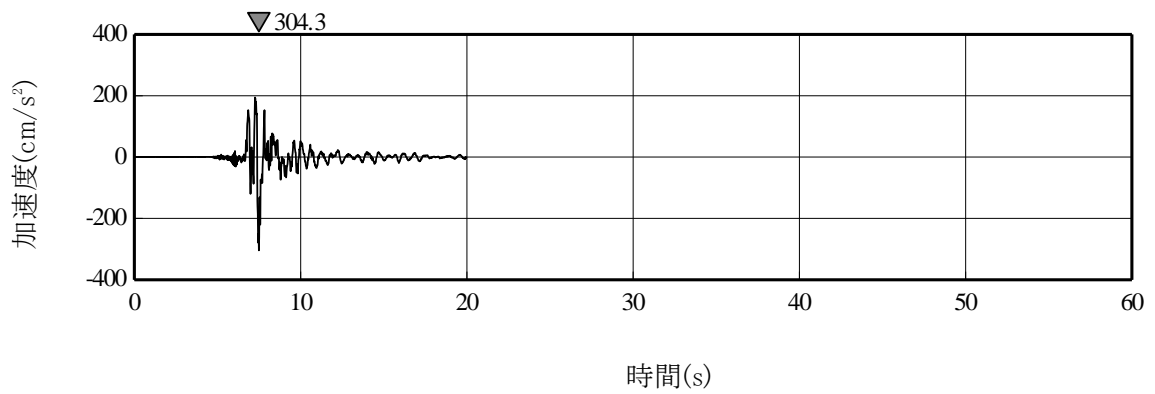


○：評価節点

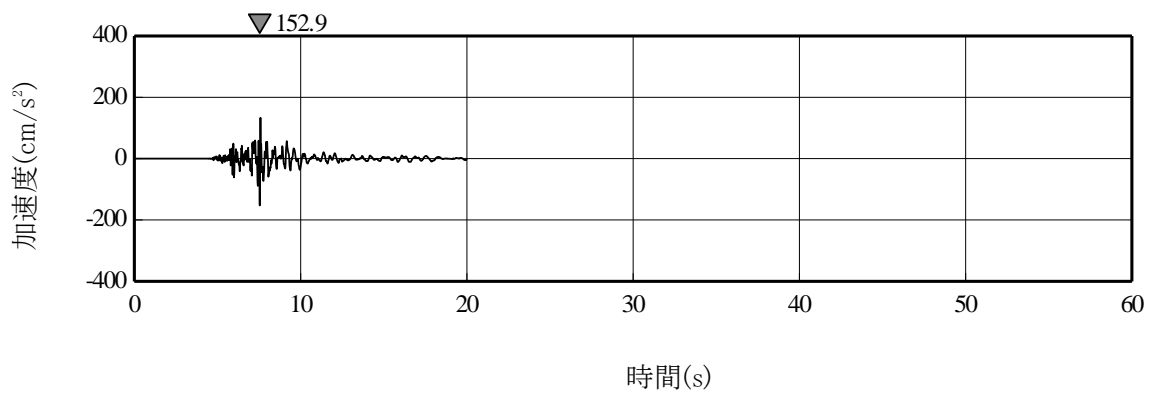
第 4.3-7 図 質点系モデルでの評価節点



(a) Sd-C1' (NS)

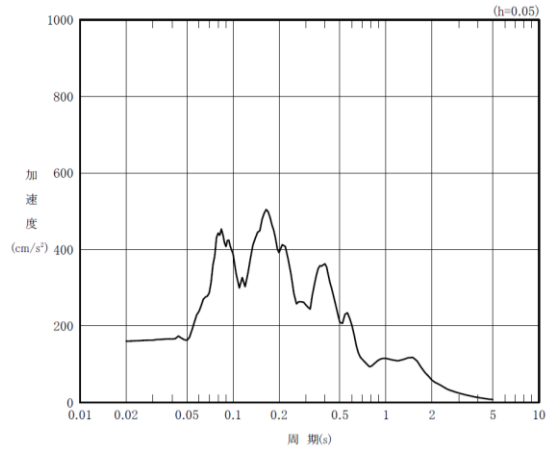


(b) Sd-C1' (EW)

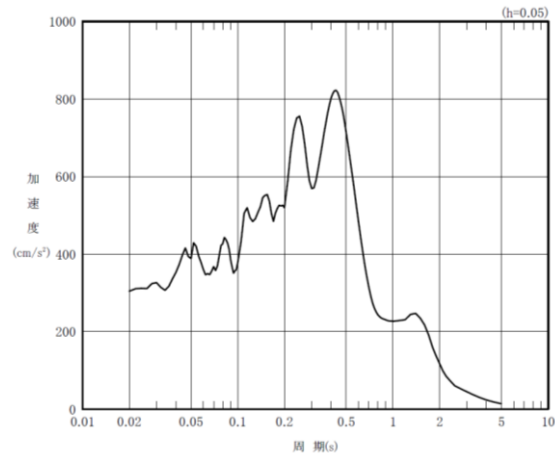


(c) Sd-C1' (UD)

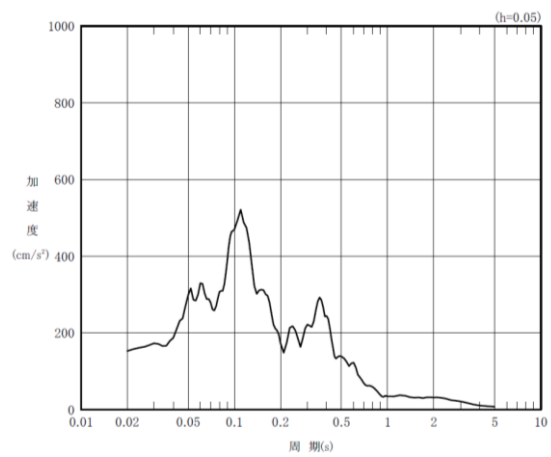
第 4.3-8 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度時刻歴波形



(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

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。

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

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

ここで、

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

(ただし、 ζ を算出する場合は、 $\alpha \geq 1.0$)

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

(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 1.03～1.53 の範囲にある。第 4.3-5 表において NS 方向の T.M.S.L. 77.50m のレベルにおいて 6 通りの節点（節点番号：54752, 54950, 55115）の最大応答加速度が同レベルの他の節点よりも大きくなっているが、これは T.M.S.L 77.50m の天井スラブには NS 方向に取り付く壁が少ないためによるものと考えられる。また、T.M.S.L. 70.20m の節点番号 53941, T.M.S.L. 62.80m の節点番号 52894 の α が同レベルの他の節点よりも大きくなっているが、この部分は別紙 2 で示したクレーン室の壁に当たる節点であるため、別紙 2

で示したように 1 方向入力に対する 3 方向入力の加速度応答比率が大きくなっている。T.M.S.L. 56.80m の節点番号 51641 は壁と床の接合部であるが，上部のクレーン室の壁の応答に振られて， α が同レベルの他の節点よりも少し大きくなっていると考えられる。第 4.3-6 表において，NS 方向の T.M.S.L. 77.50m のレベルにて 6 通りの節点（節点番号：54752，54950，55115）の応答補正比率 β が他よりも大きな値となっている。これは，建屋模擬モデルと質点系対応モデルでは床の剛性に違いがあり，床を剛としている質点系対応モデルでは床が一体となって動いているのに対して，床を柔としている建屋模擬モデルではクレーン室に外壁以外に NS 方向の壁がないことも相まって，中央の 6 通りにおいて応答が励起されることによるものである。

第 4.3-5 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (1/4)

(a) NS 方向

評価点		最大応答加速度 (cm/s^2)		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
77.50	1	54736	654	692	1.06
		54934	651	680	1.04
		55099	653	685	1.05
		54752	850	848	0.998
		54950	849	860	1.01
		55115	846	867	1.02
		54768	662	600	0.906
		54966	658	596	0.906
		55131	660	598	0.906
70.20	2	53925	598	596	0.997
		54120	561	555	0.989
		54582	560	573	1.02
		53941	880	1234	1.40
		54136	589	609	1.03
		54598	584	616	1.05
		53957	594	564	0.949
		54152	559	560	1.00
		54614	556	588	1.06
62.80	3	52878	542	522	0.963
		53155	525	522	0.994
		53617	519	532	1.03
		52894	697	1000	1.43
		53171	544	573	1.05
		53633	557	595	1.07
		52910	533	528	0.991
		53187	520	521	1.00
		53649	516	541	1.05

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 (2/4)

(a) NS 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		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	
56.80	4	51625	504	489	0.970
		52052	495	492	0.994
		52512	485	499	1.03
		51641	542	606	1.12
		52068	498	522	1.05
		52528	523	537	1.03
		51657	490	496	1.01
		52084	484	480	0.992
		52544	487	492	1.01
50.30	5	50331	464	456	0.983
		50770	457	454	0.993
		51232	452	462	1.02
		50347	499	531	1.06
		50786	461	478	1.04
		51248	496	482	0.972
		50363	452	456	1.01
		50802	450	441	0.980
		51264	454	439	0.967
43.20	6	41001	412	414	1.00
		42401	409	406	0.993
		43801	408	413	1.01
		41017	402	402	1.00
		42417	419	429	1.02
		43817	413	420	1.02
		41033	406	415	1.02
		42433	409	396	0.968
		43833	411	395	0.961

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 (3/4)

(b) EW 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		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	
77.50	1	54736	623	601	0.965
		54934	638	636	0.997
		55099	635	679	1.07
		54752	628	630	1.00
		54950	640	643	1.00
		55115	637	638	1.00
		54768	617	668	1.08
		54966	644	664	1.03
		55131	648	660	1.02
70.20	2	53925	585	588	1.01
		54120	618	642	1.04
		54582	575	568	0.988
		53941	582	584	1.00
		54136	610	607	0.995
		54598	585	586	1.00
		53957	575	605	1.05
		54152	616	644	1.05
		54614	592	625	1.06
62.80	3	52878	540	563	1.04
		53155	607	590	0.972
		53617	541	534	0.987
		52894	533	535	1.00
		53171	584	586	1.00
		53633	543	543	1.00
		52910	531	526	0.991
		53187	586	617	1.05
		53649	551	583	1.06

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 (4/4)

(b) EW 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		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	
56.80	4	51625	503	522	1.04
		52052	552	550	0.996
		52512	507	504	0.994
		51641	501	497	0.992
		52068	547	549	1.00
		52528	504	510	1.01
		51657	506	493	0.974
		52084	557	561	1.01
		52544	507	533	1.05
50.30	5	50331	464	474	1.02
		50770	516	507	0.983
		51232	470	468	0.996
		50347	461	454	0.985
		50786	515	504	0.979
		51248	461	467	1.01
		50363	470	461	0.981
		50802	524	523	0.998
		51264	463	470	1.02
43.20	6	41001	414	414	1.00
		42401	432	440	1.02
		43801	417	418	1.00
		41017	412	406	0.985
		42417	450	446	0.991
		43817	420	425	1.01
		41033	416	412	0.990
		42433	424	414	0.976
		43833	413	418	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 4.3-6 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (1/4)

(a) NS 方向

評価点		最大応答加速度 (cm/s^2)		比率 β 建屋模擬 / 質点系対応	
T. M. S. L. (m)	質点 番号	FEM 節点	建屋 模擬		
77.50	1	54736	618	654	1.06
		54934	618	651	1.05
		55099	618	653	1.06
		54752	620	850	1.37
		54950	620	849	1.37
		55115	620	846	1.36
		54768	622	662	1.06
		54966	622	658	1.06
		55131	622	660	1.06
70.20	2	53925	575	598	1.04
		54120	572	561	0.981
		54582	572	560	0.979
		53941	804	880	1.09
		54136	565	589	1.04
		54598	565	584	1.03
		53957	575	594	1.03
		54152	560	559	0.998
		54614	560	556	0.993
62.80	3	52878	535	542	1.01
		53155	535	525	0.981
		53617	535	519	0.970
		52894	735	697	0.948
		53171	532	544	1.02
		53633	532	557	1.05
		52910	529	533	1.01
		53187	529	520	0.983
		53649	529	516	0.975

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 (2/4)

(a) NS 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		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	
56.80	4	51625	511	504	0.986
		52052	511	495	0.969
		52512	511	485	0.949
		51641	508	542	1.07
		52068	508	498	0.980
		52528	508	523	1.03
		51657	505	490	0.970
		52084	505	484	0.958
		52544	505	487	0.964
50.30	5	50331	470	464	0.987
		50770	470	457	0.972
		51232	470	452	0.962
		50347	467	499	1.07
		50786	467	461	0.987
		51248	467	496	1.06
		50363	465	452	0.972
		50802	465	450	0.968
		51264	465	454	0.976
43.20	6	41001	418	412	0.986
		42401	418	409	0.978
		43801	418	408	0.976
		41017	416	402	0.966
		42417	416	419	1.01
		43817	416	413	0.993
		41033	414	406	0.981
		42433	414	409	0.988
		43833	414	411	0.993

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 (3/4)

(b) EW 方向

評価点			最大応答加速度 (cm/s^2)		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	
77.50	1	54736	594	623	1.05
		54934	600	638	1.06
		55099	606	635	1.05
		54752	594	628	1.06
		54950	600	640	1.07
		55115	606	637	1.05
		54768	594	617	1.04
		54966	600	644	1.07
		55131	606	648	1.07
70.20	2	53925	567	585	1.03
		54120	561	618	1.10
		54582	558	575	1.03
		53941	563	582	1.03
		54136	561	610	1.09
		54598	558	585	1.05
		53957	565	575	1.02
		54152	561	616	1.10
		54614	558	592	1.06
62.80	3	52878	545	540	0.991
		53155	537	607	1.13
		53617	530	541	1.02
		52894	535	533	0.996
		53171	537	584	1.09
		53633	530	543	1.02
		52910	545	531	0.974
		53187	537	586	1.09
		53649	530	551	1.04

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 (4/4)

(b) EW 方向

評価点		最大応答加速度 (cm/s^2)			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	
56.80	4	51625	506	503	0.994
		52052	499	552	1.11
		52512	492	507	1.03
		51641	506	501	0.990
		52068	499	547	1.10
		52528	492	504	1.02
		51657	506	506	1.00
		52084	499	557	1.12
		52544	492	507	1.03
50.30	5	50331	454	464	1.02
		50770	454	516	1.14
		51232	454	470	1.04
		50347	454	461	1.02
		50786	454	515	1.13
		51248	454	461	1.02
		50363	454	470	1.04
		50802	454	524	1.15
		51264	454	463	1.02
43.20	6	41001	422	414	0.981
		42401	422	432	1.02
		43801	422	417	0.988
		41017	422	412	0.976
		42417	422	450	1.07
		43817	422	420	0.995
		41033	422	416	0.986
		42433	422	424	1.00
		43833	422	413	0.979

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 (1/4)

(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				
77.50	1	54736	1.06	1.06	1.12	1.40
		54934	1.04	1.05	1.10	
		55099	1.05	1.06	1.11	
		54752	1.00	1.37	1.37	
		54950	1.01	1.37	1.39	
		55115	1.02	1.36	1.40	
		54768	1.00	1.06	1.06	
		54966	1.00	1.06	1.06	
		55131	1.00	1.06	1.06	
70.20	2	53925	1.00	1.04	1.04	1.53
		54120	1.00	1.00	1.00	
		54582	1.02	1.00	1.02	
		53941	1.40	1.09	1.53	
		54136	1.03	1.04	1.08	
		54598	1.05	1.03	1.09	
		53957	1.00	1.03	1.03	
		54152	1.00	1.00	1.00	
		54614	1.06	1.00	1.06	
62.80	3	52878	1.00	1.01	1.01	1.43
		53155	1.00	1.00	1.00	
		53617	1.03	1.00	1.03	
		52894	1.43	1.00	1.43	
		53171	1.05	1.02	1.08	
		53633	1.07	1.05	1.12	
		52910	1.00	1.01	1.01	
		53187	1.00	1.00	1.00	
		53649	1.05	1.00	1.05	

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 (2/4)

(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				
56.80	4	51625	1.00	1.00	1.00	1.19
		52052	1.00	1.00	1.00	
		52512	1.03	1.00	1.03	
		51641	1.12	1.07	1.19	
		52068	1.05	1.00	1.05	
		52528	1.03	1.03	1.06	
		51657	1.01	1.00	1.01	
		52084	1.00	1.00	1.00	
		52544	1.01	1.00	1.01	
50.30	5	50331	1.00	1.00	1.00	1.14
		50770	1.00	1.00	1.00	
		51232	1.02	1.00	1.02	
		50347	1.06	1.07	1.14	
		50786	1.04	1.00	1.04	
		51248	1.00	1.06	1.06	
		50363	1.01	1.00	1.01	
		50802	1.00	1.00	1.00	
		51264	1.00	1.00	1.00	
43.20	6	41001	1.00	1.00	1.00	1.03
		42401	1.00	1.00	1.00	
		43801	1.01	1.00	1.01	
		41017	1.00	1.00	1.00	
		42417	1.02	1.01	1.03	
		43817	1.02	1.00	1.02	
		41033	1.02	1.00	1.02	
		42433	1.00	1.00	1.00	
		43833	1.00	1.00	1.00	

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 (3/4)

(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				
77.50	1	54736	1.00	1.05	1.05	1.12
		54934	1.00	1.06	1.06	
		55099	1.07	1.05	1.12	
		54752	1.00	1.06	1.06	
		54950	1.00	1.07	1.07	
		55115	1.00	1.05	1.05	
		54768	1.08	1.04	1.12	
		54966	1.03	1.07	1.11	
		55131	1.02	1.07	1.09	
70.20	2	53925	1.01	1.03	1.04	1.15
		54120	1.04	1.10	1.14	
		54582	1.00	1.03	1.03	
		53941	1.00	1.03	1.04	
		54136	1.00	1.09	1.09	
		54598	1.00	1.05	1.05	
		53957	1.05	1.02	1.07	
		54152	1.05	1.10	1.15	
		54614	1.06	1.06	1.12	
62.80	3	52878	1.04	1.00	1.04	1.15
		53155	1.00	1.13	1.13	
		53617	1.00	1.02	1.02	
		52894	1.00	1.00	1.00	
		53171	1.00	1.09	1.09	
		53633	1.00	1.02	1.02	
		52910	1.00	1.00	1.00	
		53187	1.05	1.09	1.15	
		53649	1.06	1.04	1.10	

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 (4/4)

(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				
56.80	4	51625	1.04	1.00	1.04	1.12
		52052	1.00	1.11	1.11	
		52512	1.00	1.03	1.03	
		51641	1.00	1.00	1.00	
		52068	1.00	1.10	1.10	
		52528	1.01	1.02	1.04	
		51657	1.00	1.00	1.00	
		52084	1.01	1.12	1.12	
		52544	1.05	1.03	1.08	
50.30	5	50331	1.02	1.02	1.04	1.15
		50770	1.00	1.14	1.14	
		51232	1.00	1.04	1.04	
		50347	1.00	1.02	1.02	
		50786	1.00	1.13	1.13	
		51248	1.01	1.02	1.03	
		50363	1.00	1.04	1.04	
		50802	1.00	1.15	1.15	
		51264	1.02	1.02	1.04	
43.20	6	41001	1.00	1.00	1.00	1.07
		42401	1.02	1.02	1.04	
		43801	1.00	1.00	1.00	
		41017	1.00	1.00	1.00	
		42417	1.00	1.07	1.07	
		43817	1.01	1.00	1.01	
		41033	1.00	1.00	1.00	
		42433	1.00	1.00	1.00	
		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。

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	1.84	0.181	1.40	2.03	0.263
2	1.63	0.160	1.53	2.09	0.250
3	2.01	0.198	1.43	2.26	0.294
4	2.10	0.206	1.19	2.24	0.247
5	2.36	0.293	1.14	2.45	0.344
6	2.55	0.379	1.03	2.58	0.393

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。

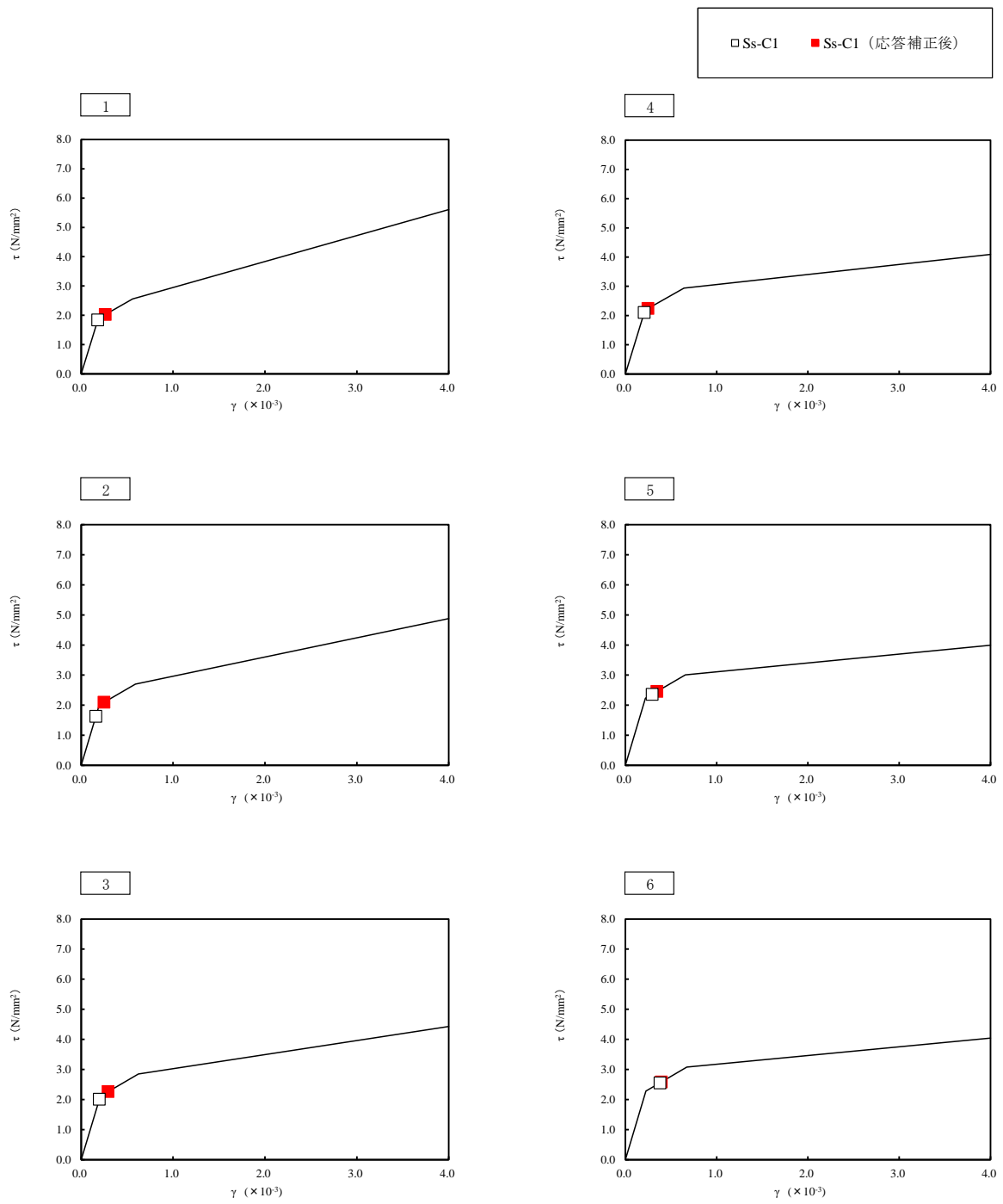
注記 2：応答補正比率 ζ は、第 4.3-7 表で算定した値のうち各レベルの最大値とする。なお、応答補正比率 ζ が 1.0 未満の場合には 1.0 とする。

(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	0.70	0.069	1.12	0.79	0.078
2	1.40	0.138	1.15	1.61	0.159
3	1.85	0.182	1.15	2.11	0.210
4	2.16	0.212	1.12	2.22	0.238
5	2.31	0.265	1.15	2.40	0.312
6	2.35	0.264	1.07	2.39	0.286

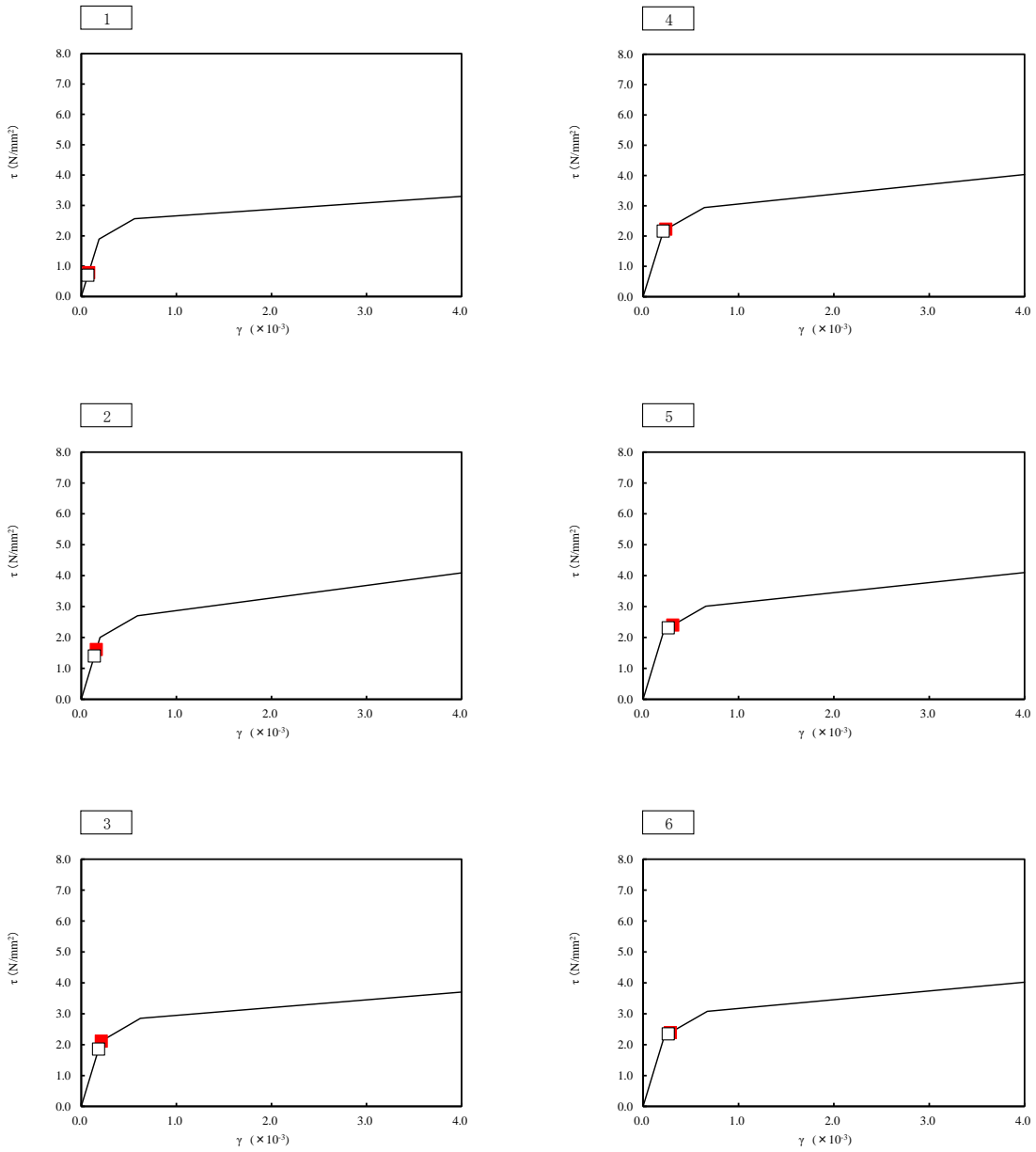
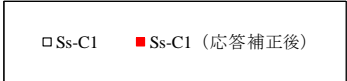
注記 1：要素番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの要素番号とする。

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. 35.00m～T.M.S.L. 50.30mの各フロアで第4.3-1図に示す9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、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。このことから、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は、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方向入力での比較を基本とする。ただし、水平方向についてはねじれ応答などの局所的な応答の発生が否定できないため、3次元FEMモデルについては3方向入力の応答に対して比較することとした。

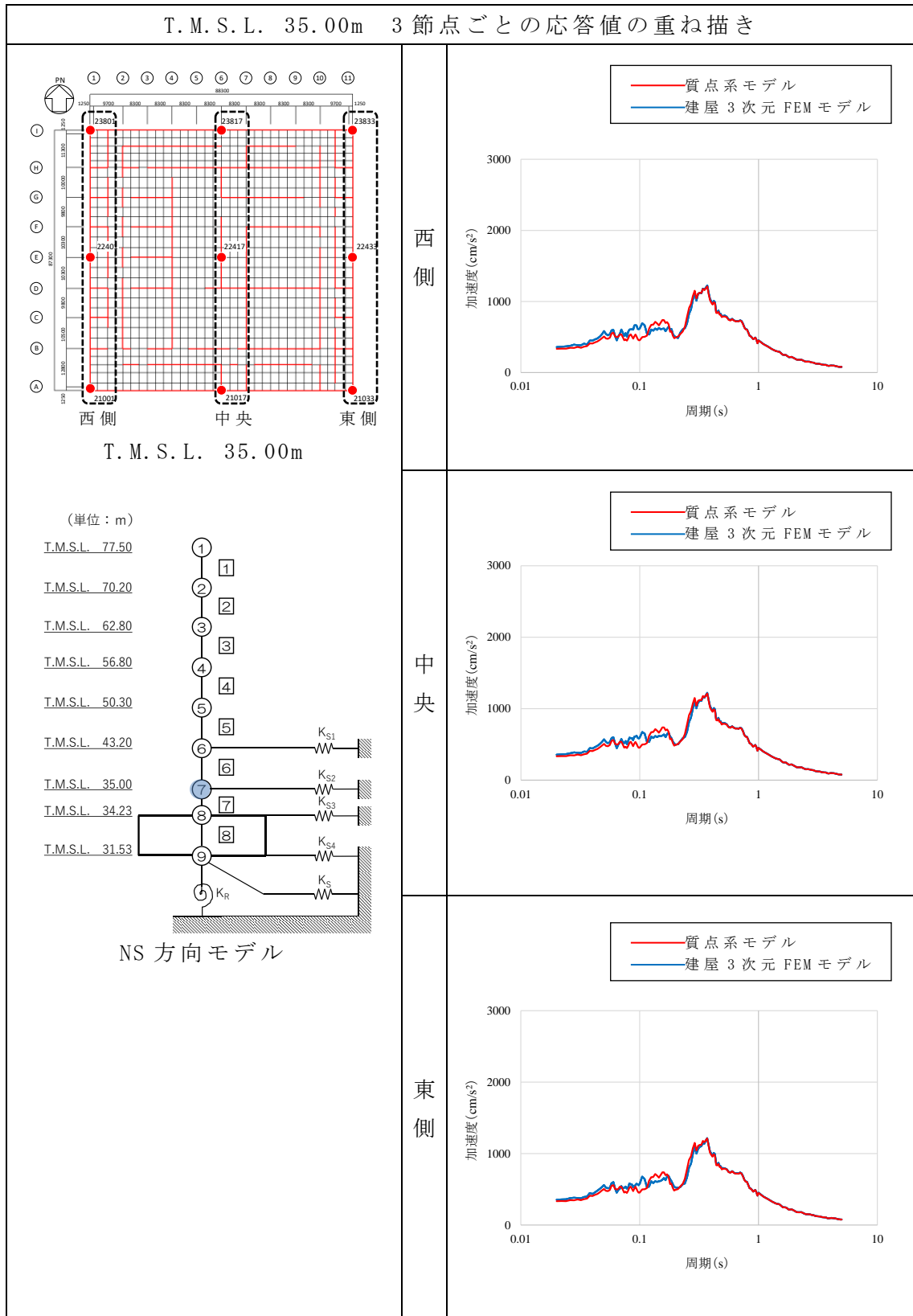
評価結果を第4.4-1表に示す。質点系モデルの応答と建屋模擬モデルの応答は概ね一致していることが確認できた。しかしながら、水平方向の0.1秒付近で3次元FEMモデルの応答の増幅が確認できるため、この要因について考察を行った。考察は、大きな床開口がないT.M.S.L. 43.20mのフロアに対して、応答の乖離の大きいEW方向の応答を代表として行った。T.M.S.L. 43.20mのフロアの個々の評価点について、建屋模擬モデルと質点系モデルの応答を比較したものを第4.4-1図に、質点系対応モデルと質点系モデルの応答を比較したものを第4.4-2図に示す。質点系対応モデルは質点系モデルと整合するようなモデル条件であるため、第4.4-2図に示すように質点系対応モデルと質点系モデルの応答はよく一致している。それに対して第4.4-1図では0.1秒付近において乖離が生じている。

ここで、建屋模擬モデルと質点系対応モデルの条件の差は第2.2-1表より、床のモデル化とコンクリート剛性である。このうち、コンクリート剛性の違いは特定の周期帯の応答に差異を与えるものではないため、床のモデル化の差が起因とした乖離であると考察する。具体的には、床を剛としたモデルと床を柔としたモデルでの床の変形量の違いにより応答差が生じたと考えられる。また、最も乖離しているT.M.S.L. 50.30mのNS方向については、床の変形による応答差に加え、床開口部による影響が合わさったものであると考察する。

3次元FEMモデルによる地震応答解析及び質点系モデルによる地震応答解析の床応答の比較を行った。両者の応答は概ね一致しているものの、一部の周期では床の変形による応答差と思われる3次元FEMモデルの応答の増幅が発生していることを確認した。一部、応答の増幅が見られる場所についての機器・配管系の耐震性については、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

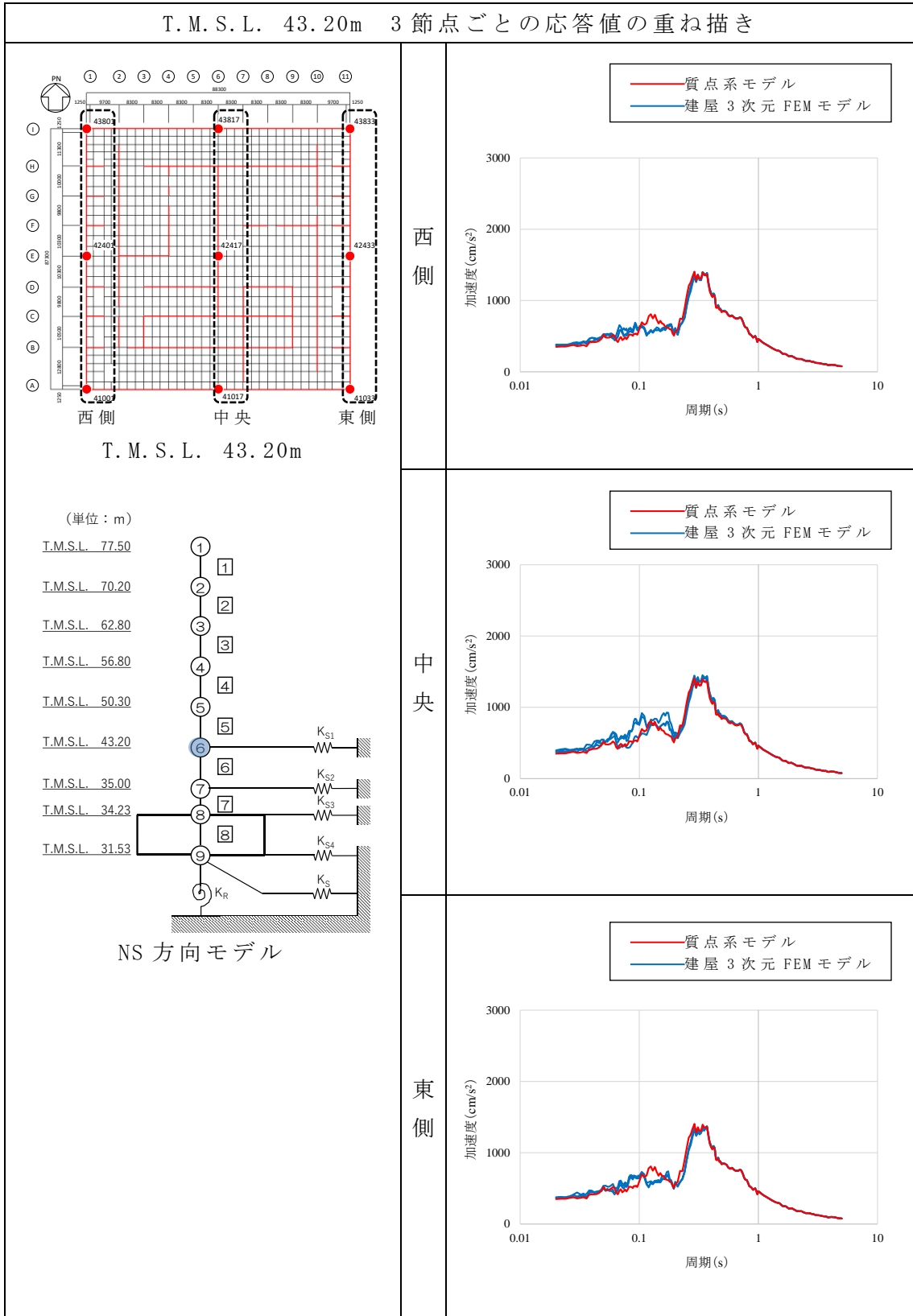
第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (NS 方向) (1/9)



床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

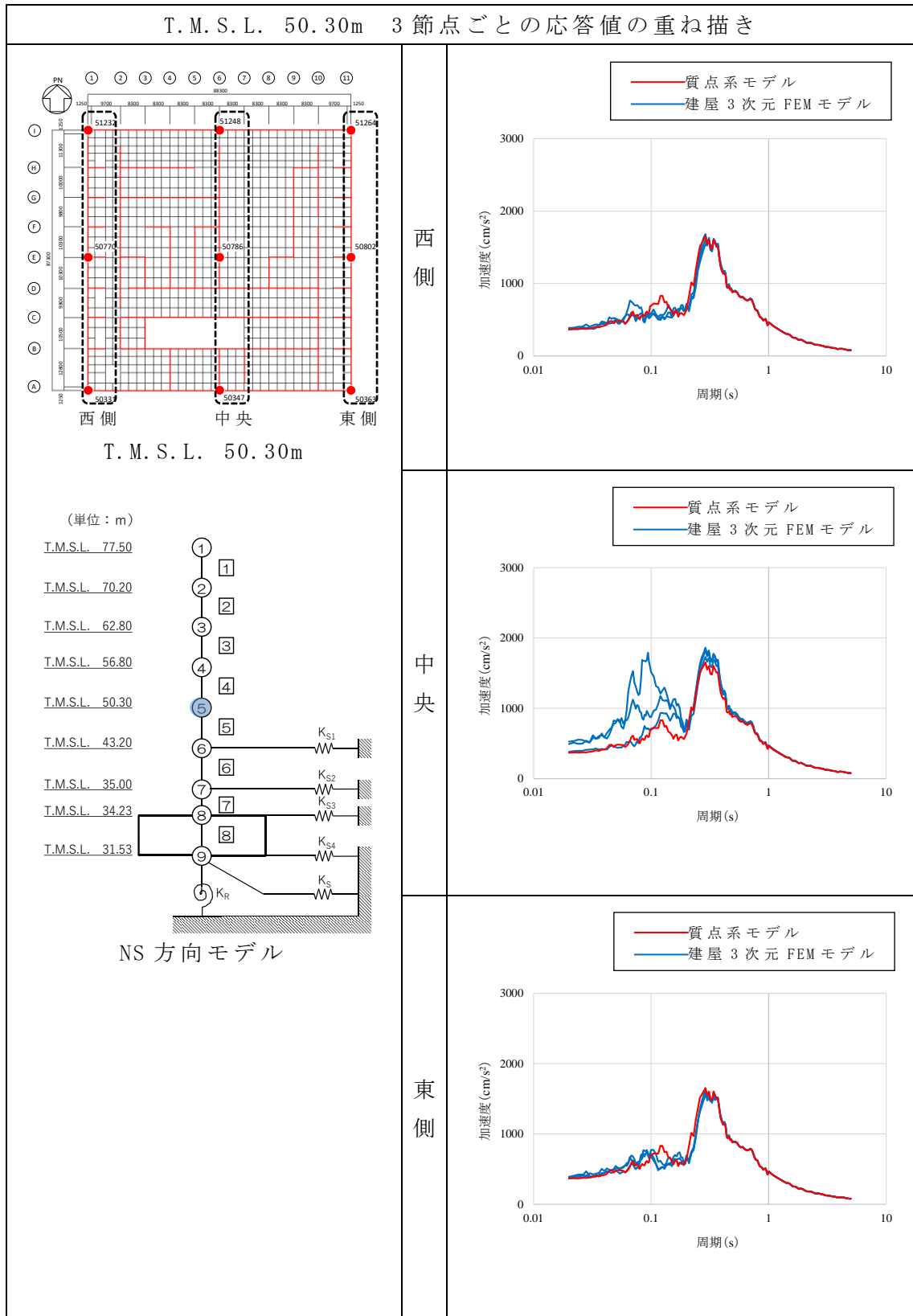
第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (NS 方向) (2/9)

T. M. S. L. 43.20m 3 節点ごとの応答値の重ね描き



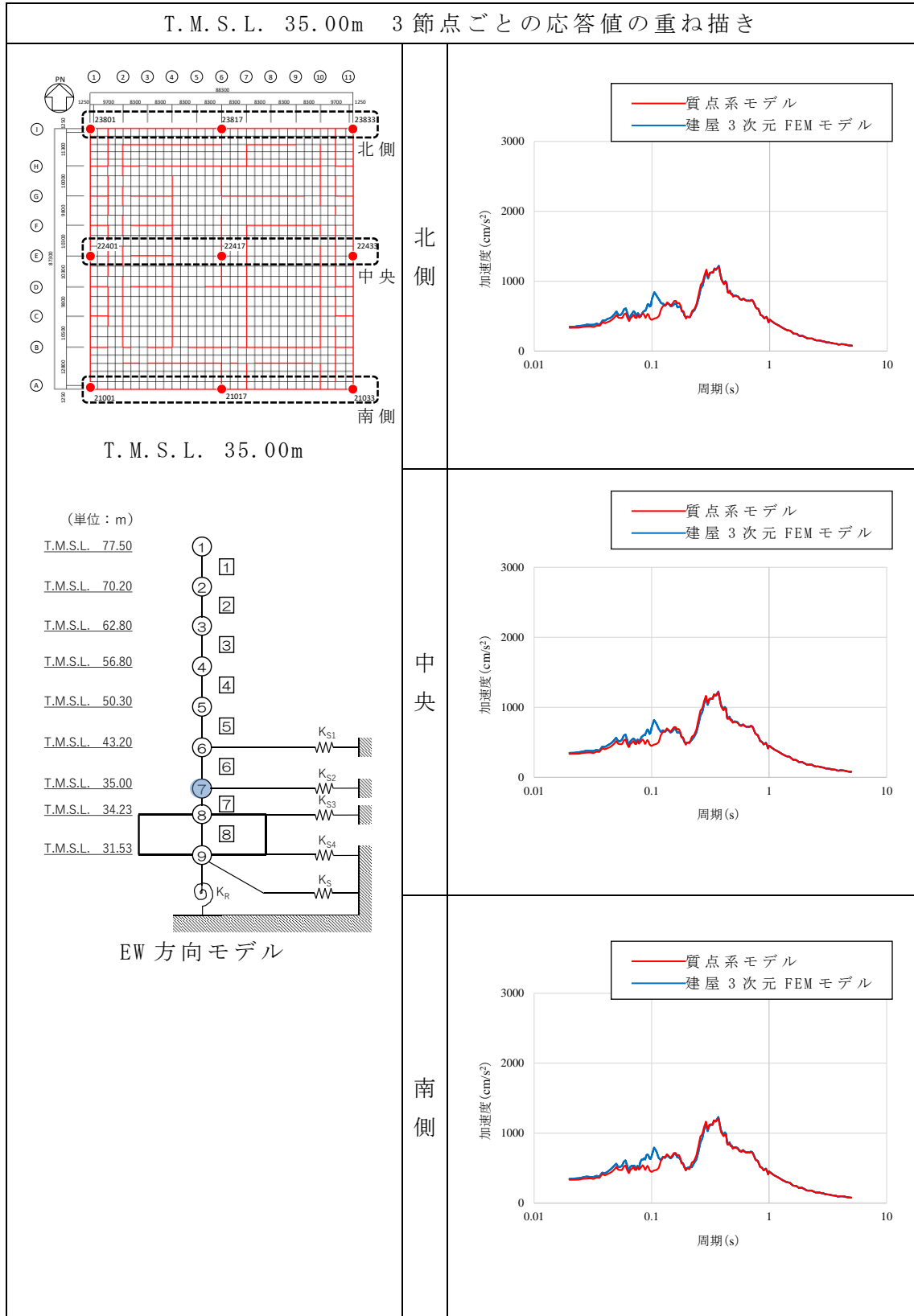
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (NS 方向) (3/9)



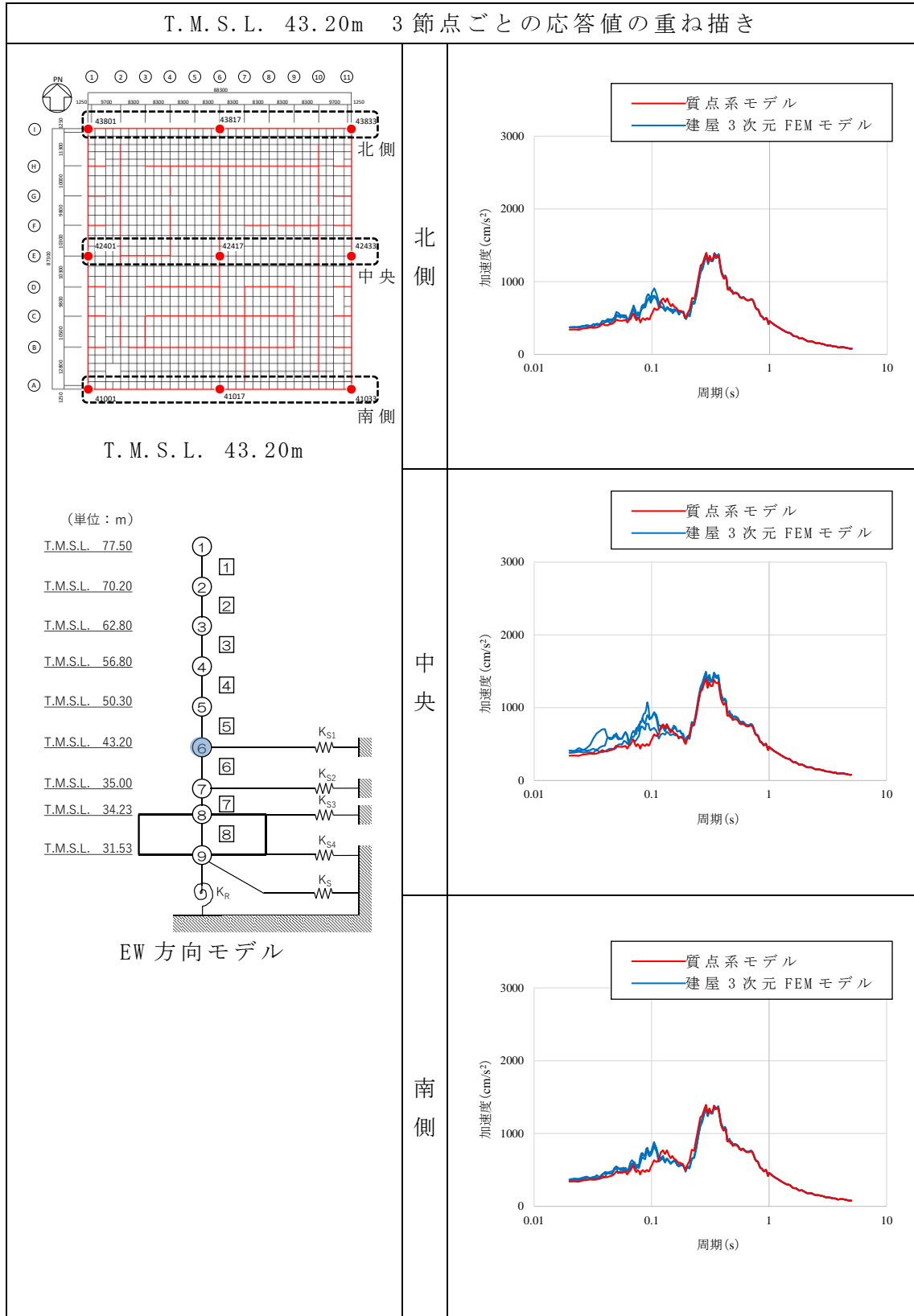
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (EW 方向) (4/9)



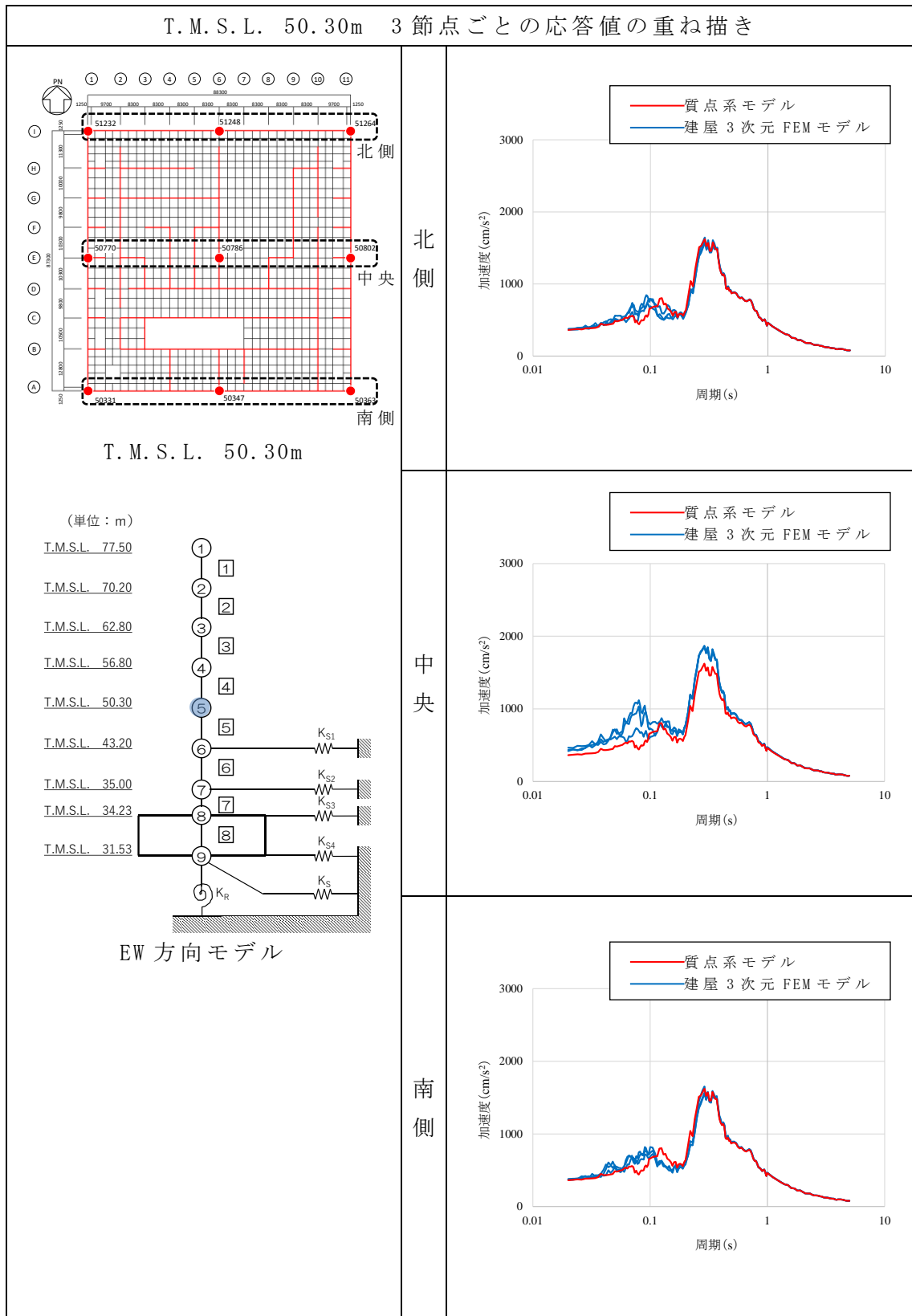
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (EW 方向) (5/9)



床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

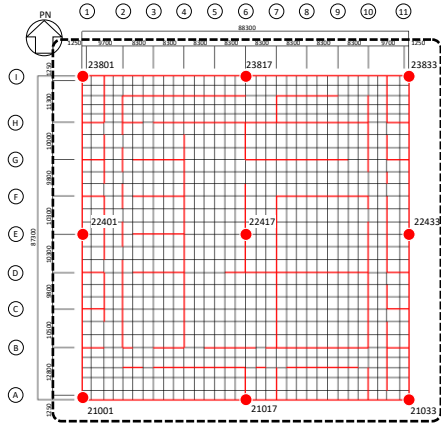
第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (EW 方向) (6/9)



床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (UD 方向) (7/9)

T. M. S. L. 35.00m 9 節点ごとの応答値の重ね描き



T. M. S. L. 35.00m

(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

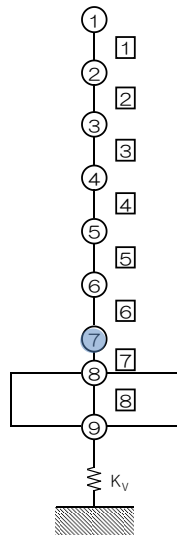
T.M.S.L. 50.30

T.M.S.L. 43.20

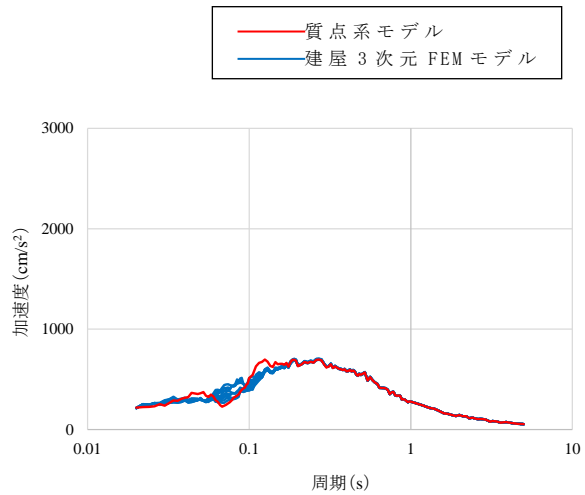
T.M.S.L. 35.00

T.M.S.L. 34.23

T.M.S.L. 31.53



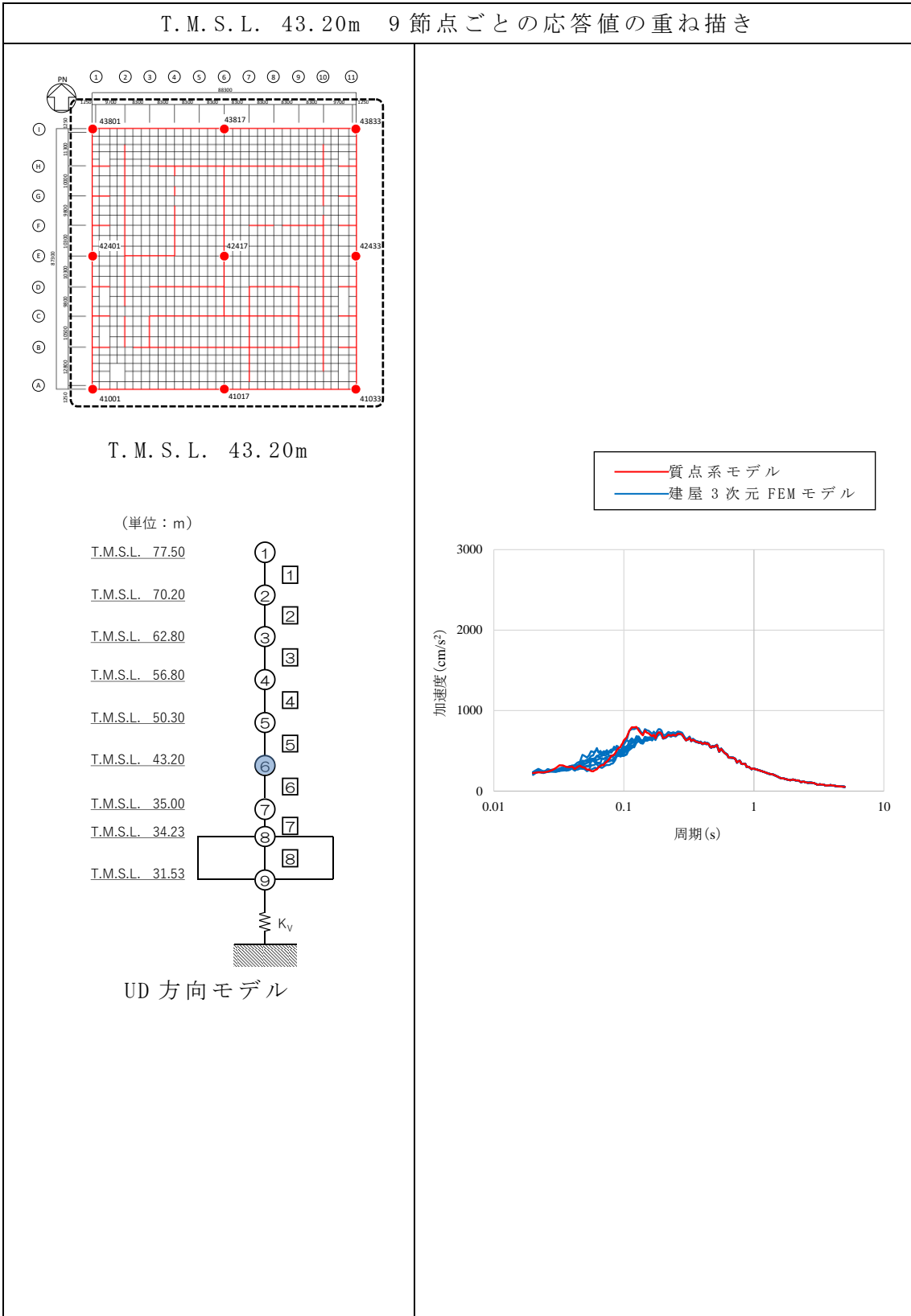
UD 方向モデル



床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (UD 方向) (8/9)

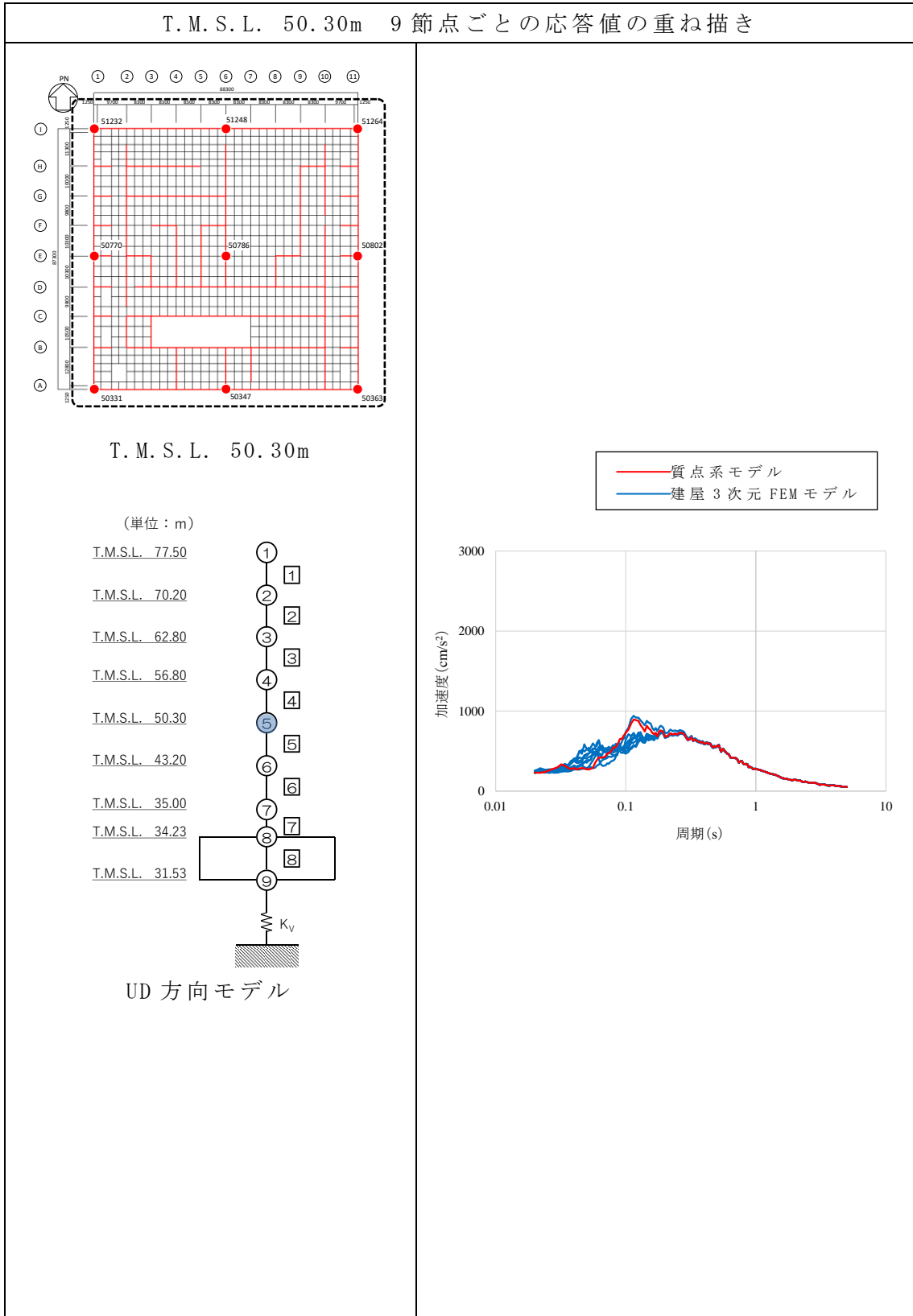
T.M.S.L. 43.20m 9 節点ごとの応答値の重ね描き

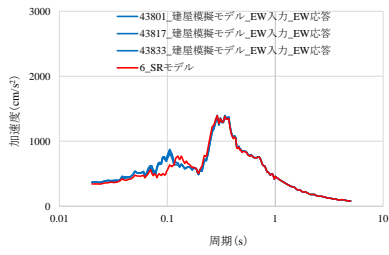


床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

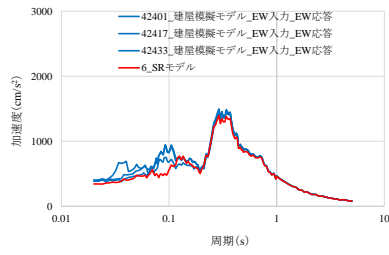
第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (UD 方向) (9/9)

T.M.S.L. 50.30m 9 節点ごとの応答値の重ね描き

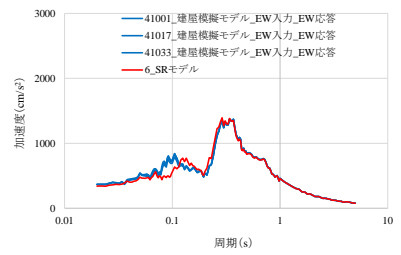




(a) 北側3節点



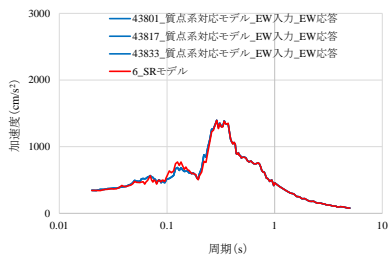
(b) 中央3節点



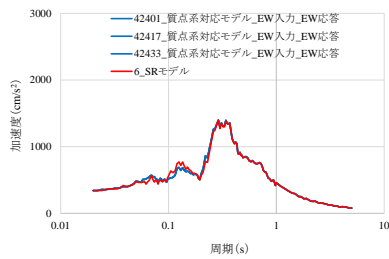
(c) 南側3節点

第4.4-1図 建屋模擬モデルと質点系モデルの比較

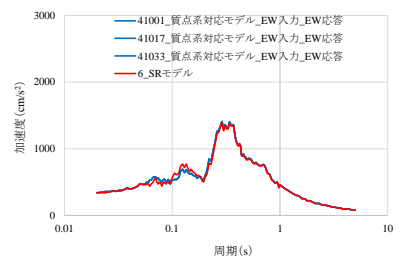
(T. M. S. L. 43.20m EW方向)



(a) 北側3節点



(b) 中央3節点



(c) 南側3節点

第4.4-2図 質点系対応モデルと質点系モデルの比較

(T. M. S. L. 43.20m EW方向)

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、建屋の耐震評価に及ぼす影響を検討した。

建屋の耐震性については、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、建屋の耐震評価に及ぼす影響は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。

なお、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）に対する評価を、後次回以降に評価対象機器の振動特性等を踏まえて、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。