

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 07 R4
提出年月日	令和 3 年6月30日

設工認に係る補足説明資料
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに
関する評価部位の抽出

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

文中の 線部は R3 から R4 への変更箇所を示す

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	34

別紙 1 評価対象建物・構築物の図面

別紙 2 3次元 FEM モデルによる精査

別紙 3 3次元 FEM モデルによる地震応答解析（分離建屋）

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）

※別紙 1 については、今回（第 1 回）の申請においては燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔の基礎について示す。後次回申請の建物・構築物については申請時に過不足なく示す。

別紙 2 については、燃料加工建屋のクレーン室の壁について検討した結果を今回（第 1 回）の申請にて示す。また、ガラス固化体貯蔵建屋のシャフト部及びガラス固化体貯蔵建屋の貯蔵区域について検討した結果を後次回申請にて示す。

別紙 3 については、分離建屋を代表とした建屋の 3 次元的な応答性状の確認、観測記録によるシミュレーション解析及び建屋の 3 次元的な応答に対する建屋耐震性への影響確認について検討した結果を後次回申請にて示す。

参考資料については、新設建屋である燃料加工建屋に対して、3 次元的な応答性状の確認、及び建屋の 3 次元的な応答に対する建屋耐震性への影響確認について検討した結果を今回の（第 1 回）申請にて示す。また、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、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も同資料内にて併せて示す。

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

文中の 線部は R2 から R3 への変更箇所を示す

 ：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、廃棄物管理施設、MOX 燃料加工施設の設計基準対象施設及び再処理施設、MOX 燃料加工施設の重大事故等対処施設に対する、建物・構築物（本資料においては、建屋及び屋外機械基礎とし、洞道、竜巻防護対策設備並びに排気筒及び換気筒は含まない。※）（以下、「建物・構築物」という。）の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価における、影響評価部位の抽出プロセスについて示すものである。

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

また、本資料は、今回設工認申請（令和 2 年 12 月 24 日申請）のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-2-1-1 基礎の水平 2 方向及び鉛直方向の地震力の組合せに関する影響評価結果」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-3-3-1-1 建物・構築物の水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」

※:洞道, 竜巻防護対策設備並びに排気筒及び換気筒については, 以下の補足説明資料に示す。

- ・洞道：後次回申請での適切な補足説明資料内で示す
- ・竜巻防護対策設備：耐震建物 27 竜巻防護対策設備の水平 2 方向地震力による影響について
- ・排気筒及び換気筒：後次回申請での適切な補足説明資料内で示す

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があるものを抽出し、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。

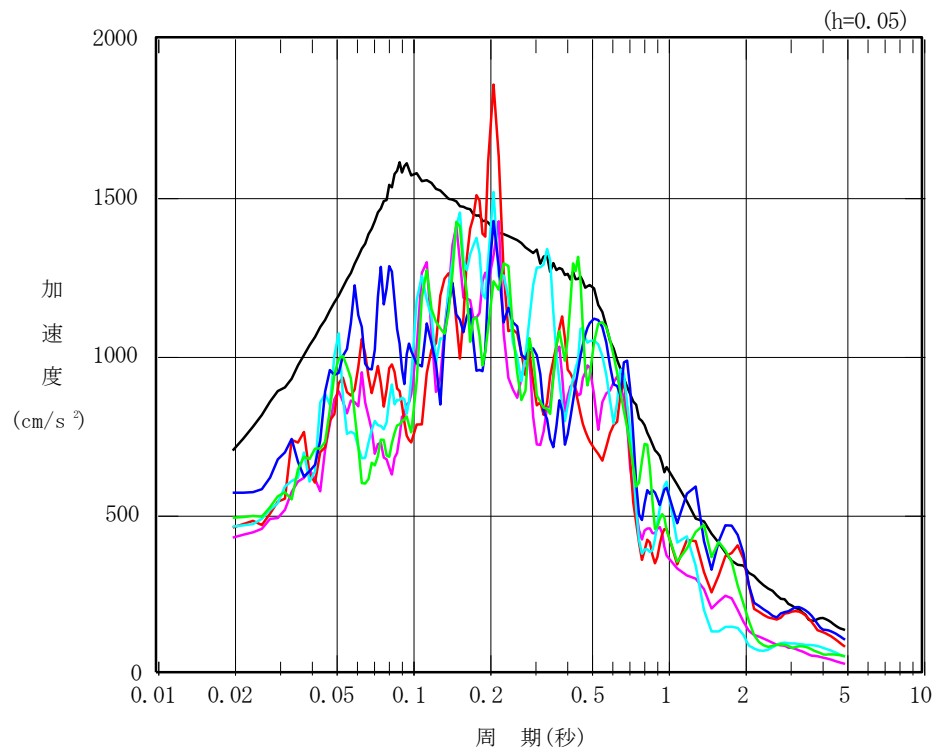
3. 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる建物・構築物の影響評価

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。

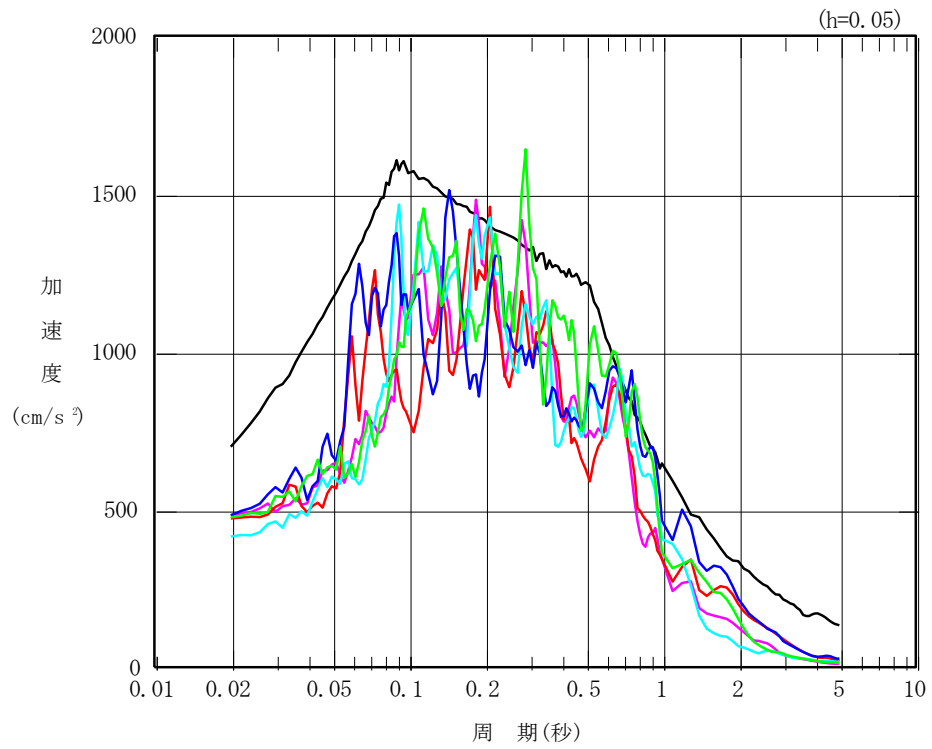
なお、水平 2 方向および鉛直方向地震力の組合せによる影響評価に用いる基準地震動は、複数の基準地震動における地震動の特性及び包絡関係と施設の特性による影響も考慮した上で選定し、本影響評価に用いる。



凡例

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

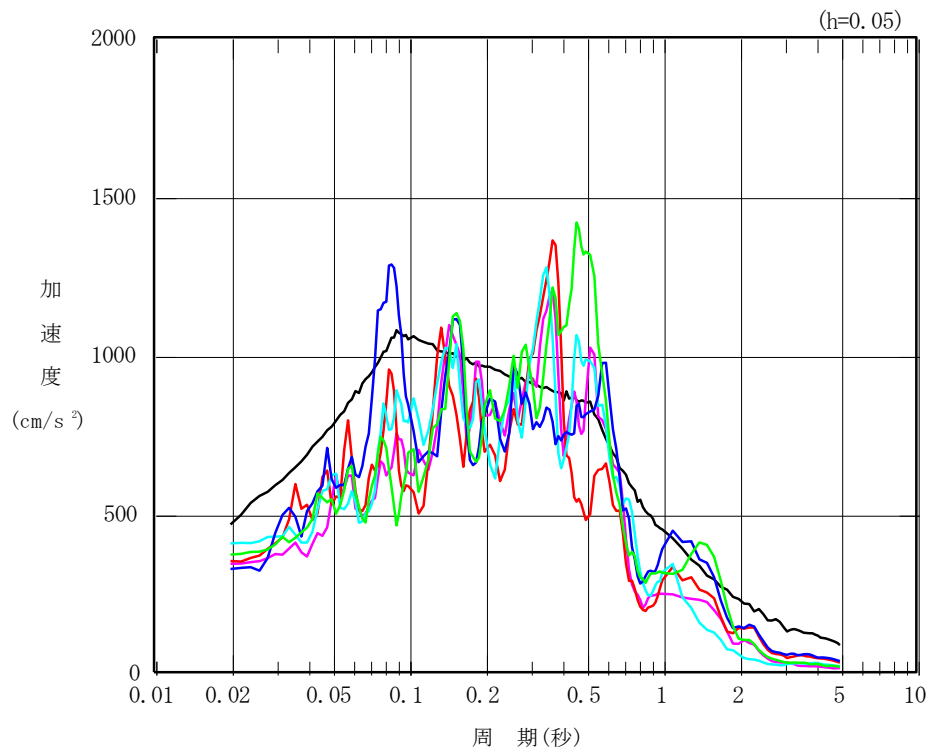
第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(1/5)



凡例

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

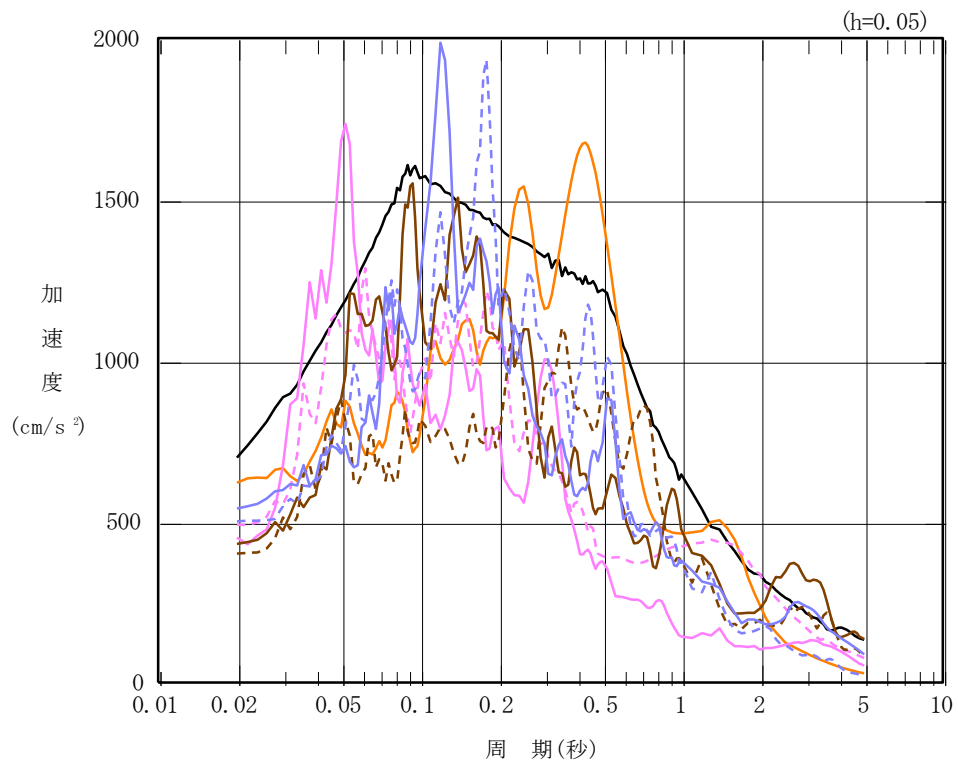
第 3. 1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(2/5)



凡例

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

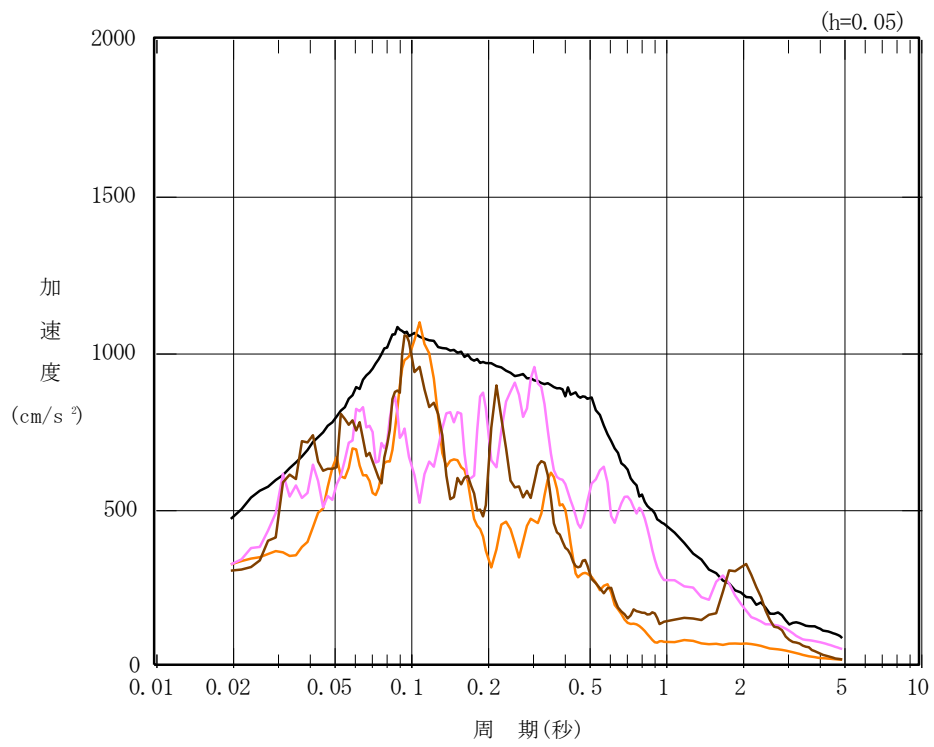
第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(3/5)



凡例

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

第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(4/5)



凡例

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

第 3.1-1 図 基準地震動 Ss の加速度応答スペクトル(5/5)

3.2 従来設計手法の考え方

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

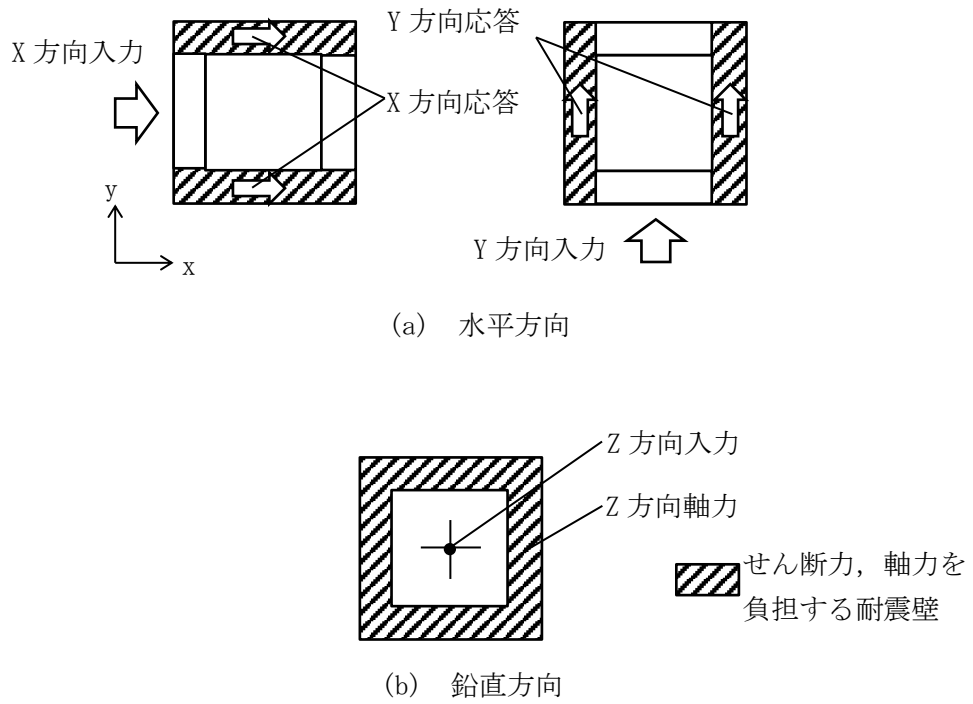
水平方向の地震力に対しては、せん断力について評価することを基本とし、建物・構築物に生じるせん断力に対して、地震時の力の流れが明解となるように、直交する2方向に釣合いよく配置された鉄筋コンクリート造耐震壁を主な耐震要素として構造計画を行う。

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

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

入力方向ごとの耐震要素について、第3.2-1図に示す。

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



第 3.2-1 図 入力方向ごとの耐震要素

3.3 影響評価方法

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

評価対象は、耐震重要施設及びその間接支持構造物、重大事故等対処施設並びにこれらの施設への波及的影響防止のために耐震評価を実施する部位とする。

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

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

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

影響評価のフローを第3.3-1図に示す。

① 耐震評価上の構成部位の整理 (第3.3-1図①)

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

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

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

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

③ 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出 (第3.3-1図③)

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

④ 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出 (第3.3-1図④)

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

⑤ 3次元 FEM モデルを用いた確認 (第 3.3-1 図⑤)

3次元 FEM モデルを用いた確認として、以下のとおり 3次元 FEM モデルによる精査及び 3次元 FEM モデルによる地震応答解析を行う。

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出された部位について、3次元 FEM モデルによる精査を実施し、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を抽出する。3次元 FEM モデルによる精査の評価手法及び評価結果の詳細については「別紙 1 3次元 FEM モデルによる精査」に示す。

3次元的な応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位についても、局所的な応答を確認するため、3次元 FEM モデルによる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による耐震性への影響が想定される部位を抽出する。

局所応答に対する 3次元 FEM モデルによる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 2 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 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価 (第 3.3-1 図⑥)

水平 2 方向及び鉛直方向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。

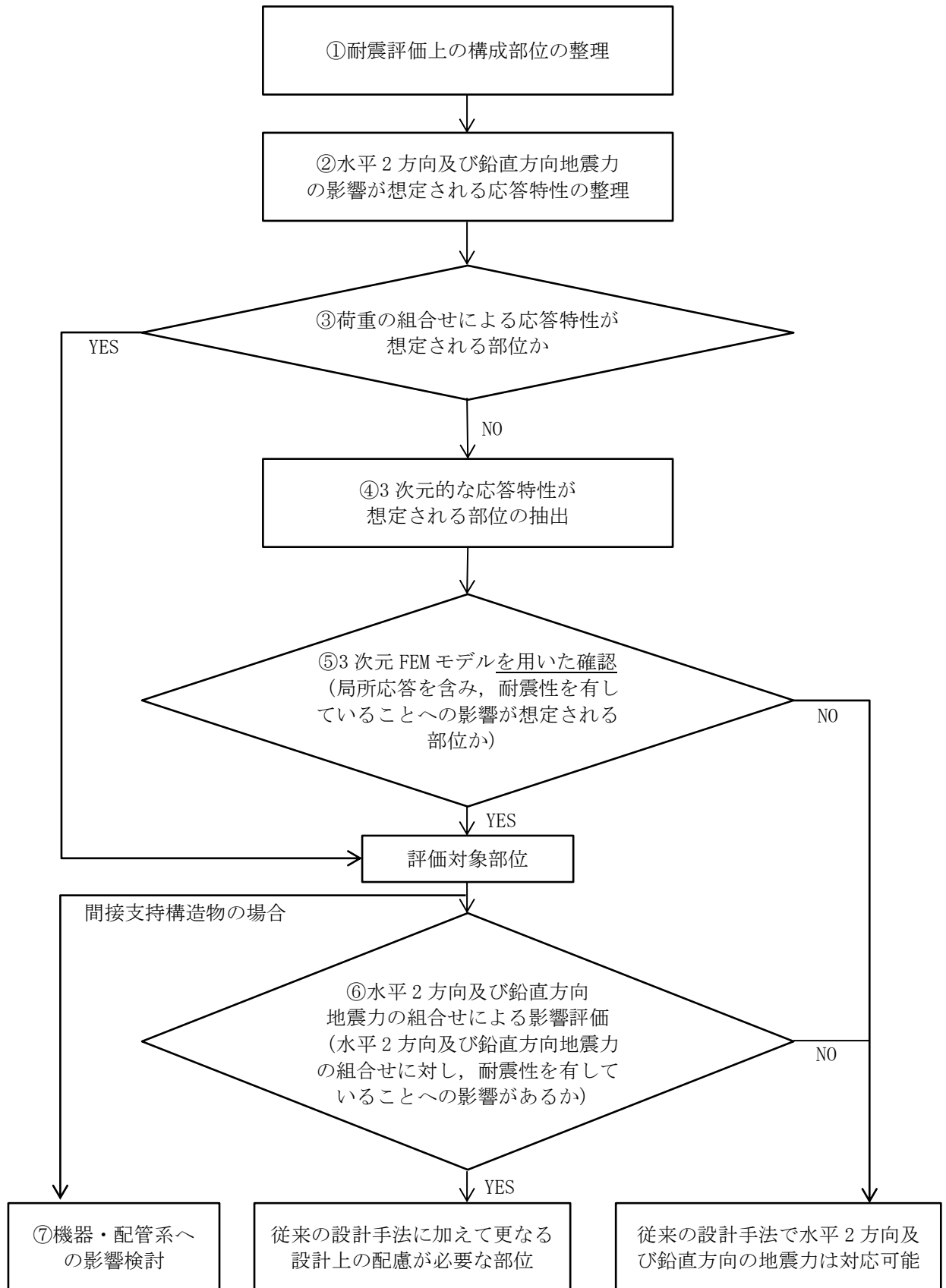
評価対象として抽出した耐震評価上の構成部位について、構造部材の発生応力等を適切に組合せることで、各部位の設計上の許容値に対する評価を実施し、各部位の耐震性への影響を評価する。

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

⑦ 設備・機器への影響検討（第 3.3-1 図⑦）

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

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響が確認された場合、機器・配管系への影響評価に反映する。なお、⑤の精査にて、建物・構築物の影響の観点から抽出されなかった部位であっても、3次元 FEM モデルによる地震応答解析結果から、機器・配管系への影響の可能性が想定される部位について検討対象として抽出する。



第 3. 3-1 図 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響検討のフロー

3.4 影響評価部位の抽出

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

(1) 耐震評価上の構成部位の整理

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

第 3. 4-1 表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理 (1/2)

対象評価部位	MOX燃料加工施設		再処理施設							安全冷却水B冷却塔基礎	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	
	燃料加工建屋	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				
	RC造	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S造)	RC造	RC造	RC造 (基礎)				RC造 (基礎)
柱	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	○	-	○	-	-	○	○
	隅部	-	○	○	○	-	-	○	○	-	-	-	-
梁	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	○	-	○	○	-	○	○
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
壁	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	○	-	○	-	-	○	○
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
床屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○	-	-	○	○
基礎スラブ	矩形	○	○	○	○	○	○	-	○	-	○	○	○
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	○	-	-	-

対象評価部位	再処理施設												
	チャンネルボックス・バーナブルボイラ処理建屋	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 (使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管室)	使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレーアエリア)	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	
	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	○	○	○	○	-	-	-	○	-	-	○	○
	地下部	○	○	-	-	-	○	-	○	-	○	○	
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
壁	一般部	○	○	○	○	-	-	-	○	-	-	○	○
	地下部	○	○	-	-	-	○	○	○	-	○	○	
	鉄骨ブレース	-	○	○	○	-	-	-	-	-	-	-	
床屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○	-	○	○	
基礎スラブ	矩形	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

凡例 ○ : 対象の構造部材有り
 - : 対象の構造部材なし
 □ : 今回申請対象

第 3.4-1 表 建物・構築物における耐震評価上の構成部位の整理 (2/2)

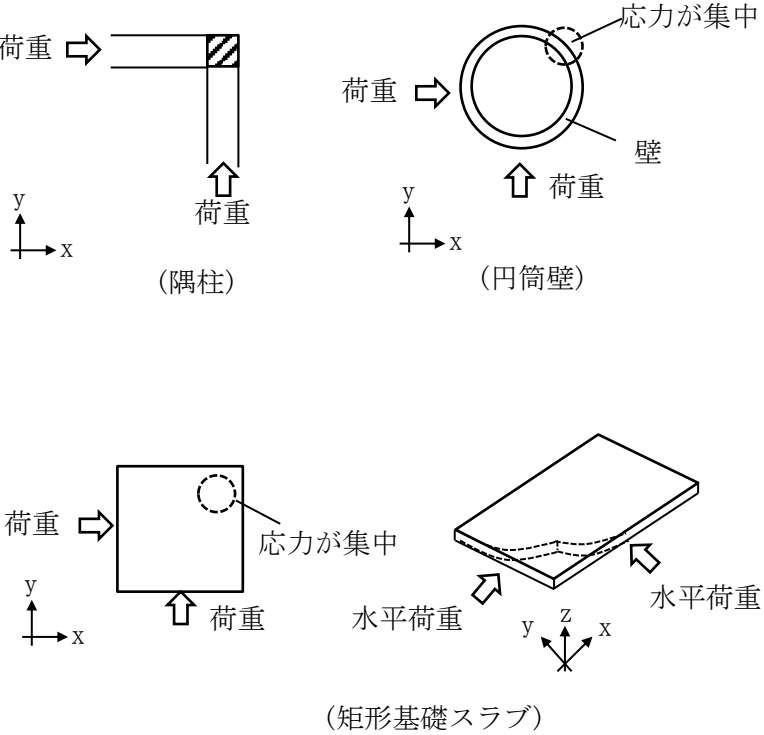
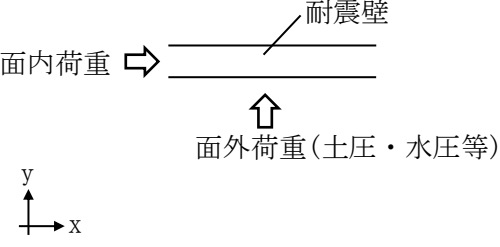
対象評価部位	再処理施設						廃棄物管理施設			
	第1軽油貯蔵所	第2軽油貯蔵所	重油貯蔵所	高レベル廃液 ガラス固化建屋	第1ガラス固化体 貯蔵建屋棟棟	第1ガラス固化体 貯蔵建屋西棟	ガラス固化体貯蔵建屋	ガラス固化体 貯蔵建屋B棟	ガラス固化体受入れ建屋	
	RC造	RC造	RC造	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	RC造 (一部SRC造及びS造)	
柱	一般部	-	-	-	○	○	○	○	○	○
	地下部	-	-	-	○	○	○	○	○	○
	隅部	-	-	-	-	○	○	○	○	○
梁	一般部	-	-	-	○	○	○	○	○	○
	地下部	-	-	-	○	○	○	○	○	○
	鉄骨トラス	-	-	-	-	○	○	○	○	○
壁	一般部	-	-	-	○	○	○	○	○	○
	地下部	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	-	○	-	-
床屋根	一般部	○	○	○	○	○	○	○	○	
基礎 スラブ	矩形	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-

凡例 ○ : 対象の構造部材有り
 - : 対象の構造部材なし
 □ : 今回申請対象

(2) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の影響が想定される応答特性の整理

建物・構築物における耐震評価上の構成部位について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性を整理した。応答特性は、荷重の組合せによる影響が想定されるもの及び 3 次元的な建屋挙動から影響が想定されるものに分けて整理した。整理した結果を第 3.4-2 表及び第 3.4-3 表に示す。また、応答特性を踏まえ、耐震評価上の構成部位に対する水平 2 方向入力のを考え方を第 3.4-4 表に示す。

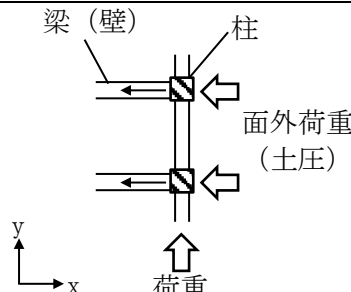
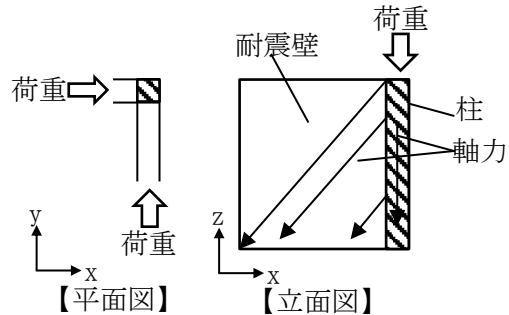
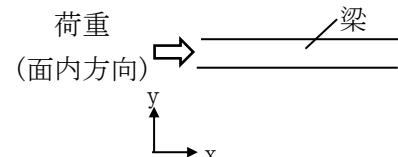
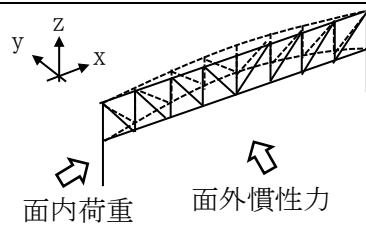
第 3. 4-2 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(荷重の組合せによる応答特性)

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>(隅柱)</p> <p>(円筒壁)</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>耐震壁</p> <p>面内荷重</p> <p>面外荷重(土圧・水圧等)</p>

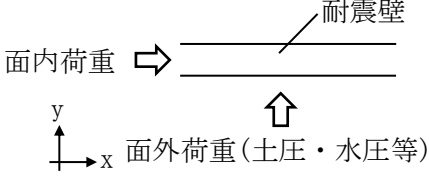
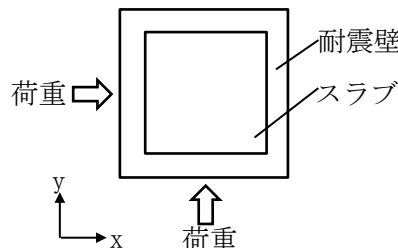
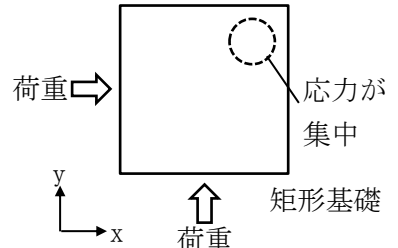
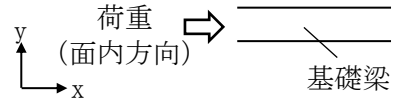
第 3.4-3 表 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される応答特性
(3 次元的な応答特性)

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>加振方向以外の方向に励起される振動</p>	<p>塔状構造物などを含む，ねじれ挙動が想定される建物・構築物 (例)</p> <p>荷重</p> <p>耐震構造部材 (壁)</p> <p>(鉄骨架構)</p> <p>(床・屋根)</p> <p>面内荷重</p> <p>柱</p> <p>ブレース (ブレース)</p>

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

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

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

耐震評価上の構成部材		水平 2 方向入力の考え方
壁	一般部	1 方向のみ地震荷重を負担することが基本である。
	地下部 プール壁	地下部分の耐震壁は、直交する方向からの地震時面外土圧荷重を受ける。同様にプール部の壁については水圧を面外方向から受ける。 
	鉄骨 ブレース	1 方向のみ地震荷重を負担することが基本であり、ねじれによる荷重増分は軽微と考えられ影響は小さい。
床 屋根	一般部	スラブは四方が壁及び梁で拘束されており、水平方向に変形しにくい構造となっており、水平地震力の影響は小さい。 
基礎	基礎 スラブ	直交する水平 2 方向の地震力により、集中応力が作用する。 
	基礎梁	面内方向の荷重に加え、面外慣性力が作用する。また、面外地震荷重負担による影響は小さい。 

(3) 荷重の組合せによる応答特性が想定される部位の抽出

第 3.4-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、第 3.4-2 表に示す荷重の組合せによる応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第 3.4-5 表に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中する部位」として、使用済燃料輸送容器管理建屋（使用済燃料収納使用済燃料輸送容器保管庫）及びガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の隅柱及び基礎スラブを有する各建屋の基礎スラブを抽出した。

応答特性①-2「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用する部位」として、使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の燃料貯蔵プールの側壁、ハル・エンドピース貯蔵建屋の貯蔵プールの側壁、チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋の切断ピットの側壁、第 1 保管庫・貯水所の貯水槽の側壁、第 2 保管庫・貯水所の貯水槽の側壁及び地下外壁を有する各建屋の地下外壁を抽出した。

以下に、各建物・構築物に対する抽出の考え方を示す。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。

a. 柱

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

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

d. 床及び屋根

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

e. 基礎スラブ

①-1「直交する水平2方向の荷重が、応力として集中」する部位としては、矩形の基礎スラブが考えられる。

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

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

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

対象評価部位	MOX燃料加工施設		再処理施設								安全冷却水B冷却塔基礎	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
	燃料加工建屋	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				
	RC造	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(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	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	該当無し	該当無し	該当無し	-	該当無し	該当無し	
	地下部	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	-	該当無し	-	該当無し	該当無し	
	鉄骨トラス	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
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	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	
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											
	チャンネルボックス・バーナブルボイジン処理建屋	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(使用済燃料収納使用済燃料輸送容器貯蔵室)	使用済燃料輸送容器管理建屋(トレーウエア)	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
	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	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	-	-	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
	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	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
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 要：評価必要 ①-1：応答特性「直交する2方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」 ：今回申請建屋

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

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	-	-	-	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 (冷却気出口 シャフト部)	該当無し
梁	一般部	-	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	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
	鉄骨トラス	-	-	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
壁	一般部	-	-	-	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
	地下部	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要	①-2要
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	-	-	該当無し	-
床屋根	一般部	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し	該当無し
基礎 スラブ	矩形	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要	①-1要
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」 ：今回申請建屋

※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

(4) 3次元的な応答特性が想定される部位の抽出

第 3.4-1 表に示す耐震評価上の構成部位のうち、荷重の組合せによる応答特性が想定される部位として抽出されなかった部位について、第 3.4-3 表に示す 3 次元的な応答特性により、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される部位を抽出した。抽出した結果を第 3.4-6 表に示す。

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい可能性がある部位」として、燃料加工建屋のクレーン室の壁、ガラス固化体貯蔵建屋の貯蔵区域の壁、ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の貯蔵区域の壁及び第 1 ガラス固化体貯蔵建屋（東棟及び西棟）の貯蔵区域の壁を抽出した。

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

以下に、各建物・構築物に対する抽出の考え方を示す。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。

a. 柱

ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟の冷却空気出口シャフト部の隅柱は (3) で抽出されているため、その他の柱について②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい」部位、②-2「加振方向以外の方向に励起される振動」の発生する部位への該当を検討する。

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

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

b. 梁

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

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

c. 壁

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

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

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

d. 床及び屋根

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

e. 基礎スラブ

基礎スラブについては，(3)で抽出されている。

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

対象評価部位	MOX燃料加工施設	再処理施設											
	燃料加工建屋 RC造 (一部SRC造及びFS造)	前処理建屋 RC造 (一部SRC造及びFS造)	分離建屋 RC造	精製建屋 RC造	ハル・エンドピース 貯蔵建屋 RC造 (一部SRC造及びFS造)	制御建屋 RC造 (一部S造)	主排気筒管理建屋 RC造	緊急時対策建屋 RC造	主排気筒基礎 RC造 (基礎)	安全冷却水B冷却塔基礎 RC造 (基礎)	ウラン・プルトニウム 混合酸化物貯蔵建屋 RC造	ウラン・プルトニウム 混合酸化物貯蔵建屋 RC造	
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	隅部	—	不要	不要	不要	—	—	不要	不要	—	—	—	—
梁	一般部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
	地下部	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	—	—	不要	不要
	鉄骨トラス	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
壁	一般部	②-1 (クレーン室の壁)	不要	不要	不要	要 (プール側壁)	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
	地下部	要	要	要	要	要	要	—	要	—	要	要	
	鉄骨ブレース	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
床層根	矩形	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	—	不要	不要
基礎 スラブ	矩形以外	要	要	要	要	要	要	—	要	—	要	要	
	矩形以外	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

対象評価部位	再処理施設													
	チャンネルボックス・バーナブルボイスン処理建屋 RC造	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋 RC造 (一部SRC造及びFS造)	使用済燃料輸送容器管理建屋 (使用済燃料受入れ使用済燃料輸送容器管理棟) RC造 (一部SRC造及びFS造)	使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレーラーエリア) RC造 (一部SRC造及びFS造)	安全冷却水系冷却塔A 基礎 RC造 (基礎)	安全冷却水系冷却塔B 基礎 RC造 (基礎)	第1非常用ディーゼル発電機用重油タンク室 RC造 (基礎)	非常用電源建屋 RC造	燃料油貯蔵タンク基礎 RC造 (基礎)	冷却塔A、B基礎 RC造 (基礎)	第1保管庫・貯水所 RC造	第2保管庫・貯水所 RC造		
柱	一般部	不要	不要	不要	不要	—	—	—	不要	—	—	不要	不要	
	地下部	不要	不要	—	—	—	不要	—	—	—	—	不要	不要	
	隅部	—	不要	要	不要	—	—	—	不要	—	—	不要	不要	
梁	一般部	不要	不要	不要	不要	—	—	—	不要	—	—	不要	不要	
	地下部	不要	不要	—	—	—	不要	—	不要	—	—	不要	不要	
	鉄骨トラス	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
壁	一般部	要 (ピット側壁)	要 (プール側壁)	不要	不要	—	—	—	不要	—	—	要	要	
	地下部	要	要	—	—	—	要	要	要	—	要	要		
	鉄骨ブレース	—	該当無し	不要	不要	—	—	—	—	—	—	—	—	
床層根	矩形	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	—	不要	不要		
基礎 スラブ	矩形以外	要	要	要	要	要	要	要	要	要	要	要		
	矩形以外	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		

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

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

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

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	-	-	-	不要	②-2 (①+②部)	②-2 (①+②部)	②-2 (冷却空気出口①+②部)	②-2 (冷却空気出口①+②部)	不要
	地下部	-	-	-	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	隅部	-	-	-	-	②-2 (①+②部)	②-2 (①+②部)	②-2 (冷却空気出口①+②部)	要 (冷却空気出口①+②部)	不要
梁	一般部	-	-	-	不要	②-2 (①+②部)	②-2 (①+②部)	②-2 (冷却空気出口①+②部)	②-2 (冷却空気出口①+②部)	不要
	地下部	-	-	-	不要	不要	不要	不要	不要	不要
	鉄骨トラス	-	-	-	-	該当無し	該当無し	不要	不要	不要
壁	一般部	-	-	-	②-2 (冷却空気出口①+②部)	②-1 (貯蔵区域の壁) ②-2 (①+②部)	②-1 (貯蔵区域の壁) ②-2 (①+②部)	②-1 (貯蔵区域の壁) ②-2 (冷却空気出口①+②部)	②-1 (貯蔵区域の壁)	不要
	地下部	要	要	要	要	要	要	要	要	要
	鉄骨ブレース	-	-	-	-	-	-	-	②-2 (冷却空気出口①+②部)	-
床屋根	矩形	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	不要	
基礎 スラブ	矩形以外	要	要	要	要	要	要	要	要	要
	矩形以外	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

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

※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

(5) 3次元 FEM モデルを用いた確認

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

応答特性②-1「面内方向の荷重に加え、面外慣性力の影響が大きい部位」については燃料加工建屋のクレーン室の壁及びガラス固化体貯蔵建屋の貯蔵区域の壁について3次元 FEM モデルによる精査を行った。応答特性②-2「加振方向以外の方向に励起される振動の影響が大きい部位」については、ガラス固化体貯蔵建屋のシャフト部について3次元 FEM モデルによる精査を行った。なお、これらの3次元 FEM モデルによる精査の評価手法及び評価結果の詳細については「別紙1」にて示す。

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も、地震計を設置している建屋の内、偏心率の高い分離建屋及び新設建屋の燃料加工建屋に対し、局所的な応答について、3次元 FEM モデルによる地震応答解析を行った。局所的な応答と併せて水平2方向及び鉛直方向入力による捩れ挙動についても確認を行った。なお、分離建屋における評価手法及び評価結果の詳細については、「別紙2」で後次回にて示す。また、燃料加工建屋における評価手法及び評価結果の詳細については、「参考資料」に示す。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、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も「参考資料」内にて併せて示す。評価の結果、水平2方向及び鉛直方向入力による応答増幅は少なく、耐震性への影響は小さいことから、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を実施する部位は抽出されなかった。

3次元 FEM モデルを用いた確認（3次元 FEM モデルによる精査及び3次元 FEM モデルによる地震応答解析）の結果を第3.4-7表に示す。

第 3.4-7 表 3次元 FEM モデルを用いた確認 (1/2)

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

注) 下線部は代表として評価する部位を示す。

※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 3.4-7 表 3次元 FEM モデルを用いた確認 (2/2)

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

※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

3.5 影響評価部位の抽出結果

(1) 建物・構築物における影響評価部位の抽出結果

建物・構築物において、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響が想定される
として抽出した部位のうち、代表として影響評価を行うものを第 3.5-1 表に示す。

応答特性①-1「直交する水平 2 方向の荷重が、応力として集中する部位」として、ガラス
固化体貯蔵建屋 B 棟の隅柱を代表として水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる
影響評価を行う。また、建屋規模が大きく、重要な設備を多く内包している等の留意
すべき特徴を有している使用済燃料受入れ・貯蔵建屋の基礎スラブ及び屋外機械基礎と
して安全冷却水 B 冷却塔の基礎スラブを代表として水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組
合せによる影響評価を行う。また、燃料加工建屋についても新設建屋であることから、
水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価を行う。

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

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

応答 特性	耐震評価部位		対象建物・構築物
	柱	隅部	
①-1	基礎 スラブ	矩形	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟</u> ・<u>使用済燃料受入れ・貯蔵建屋</u> ・<u>安全冷却水 B 冷却塔の基礎</u> ・<u>燃料加工建屋</u>
	壁	面外荷重 作用部	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>使用済燃料受入れ・貯蔵建屋</u> (<u>燃料貯蔵プール</u>)

凡例 ①-1：応答特性「直交する 2 方向の荷重が、応力として集中」

①-2：応答特性「面内方向の荷重を負担しつつ、面外方向の荷重が作用」

※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

(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について、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる応答値への影響の観点から、機器・配管系への影響の可能性のある部位について検討した。

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

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

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。

(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。

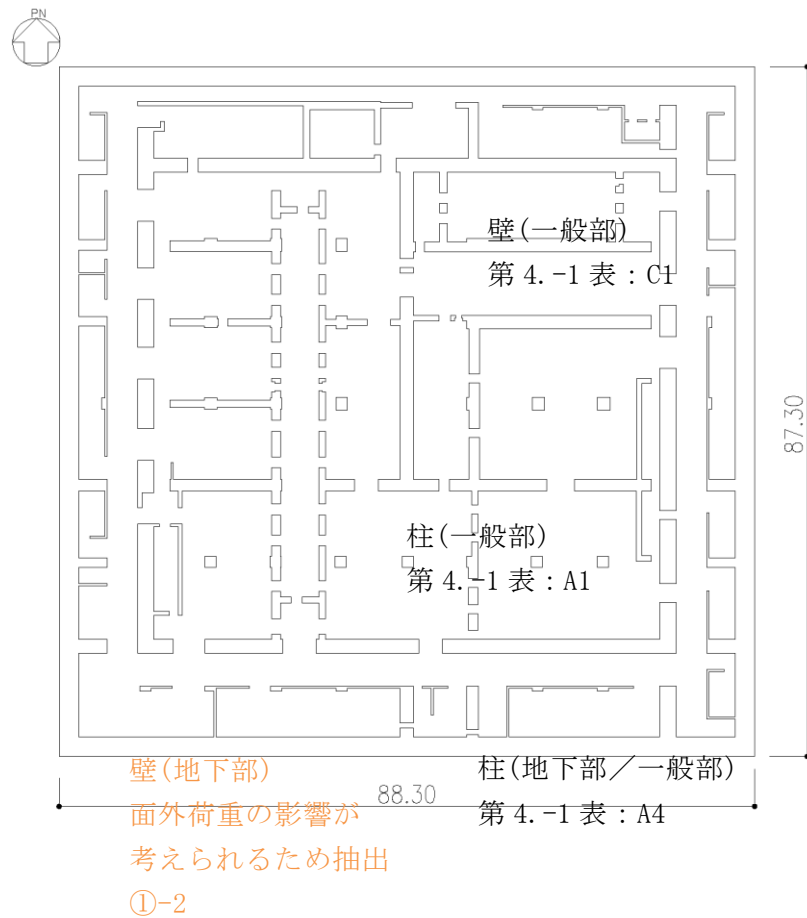
赤字：①-1 で抽出された部位

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



(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. 35. 00m) (1/7)

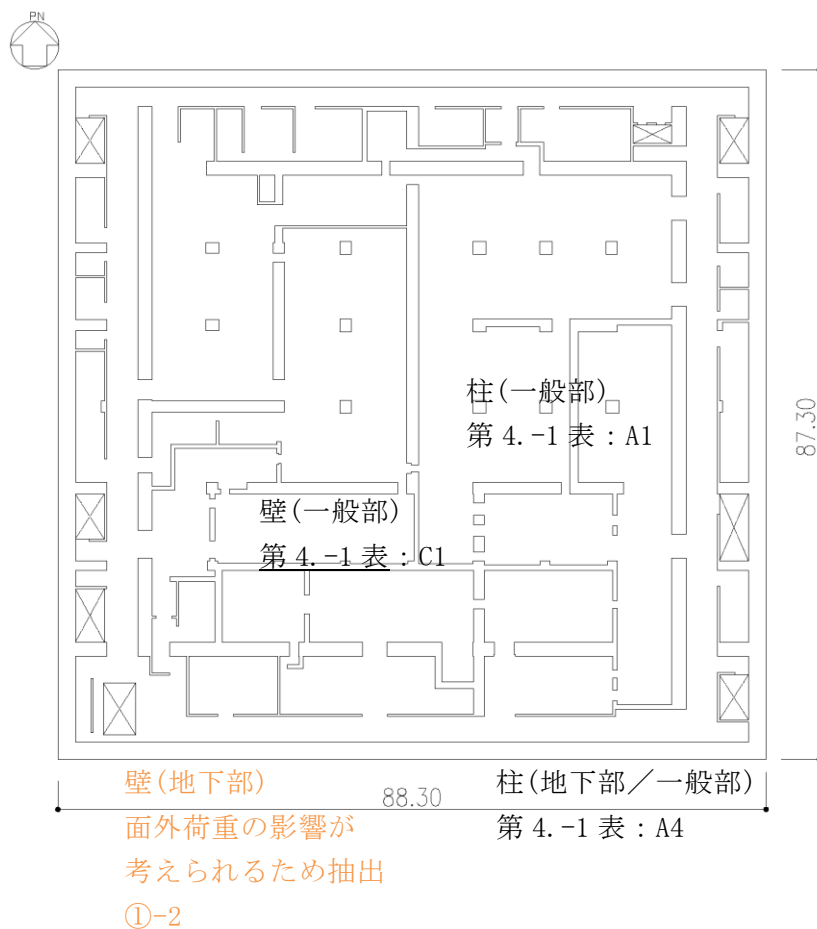
赤字：①-1 で抽出された部位

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)

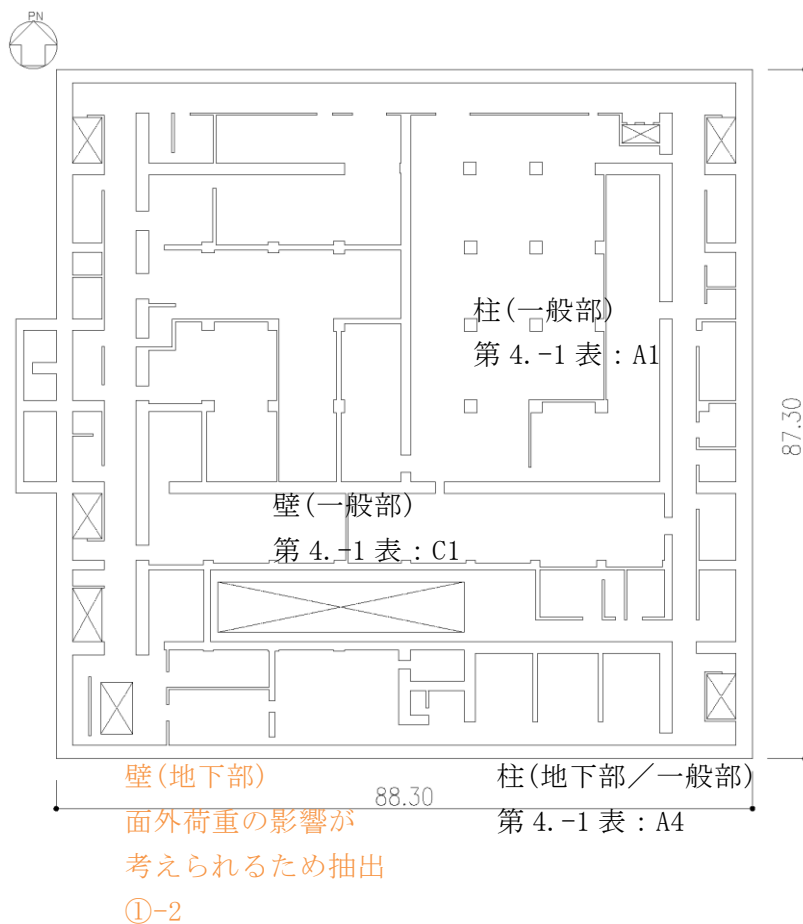
赤字：①-1 で抽出された部位

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)

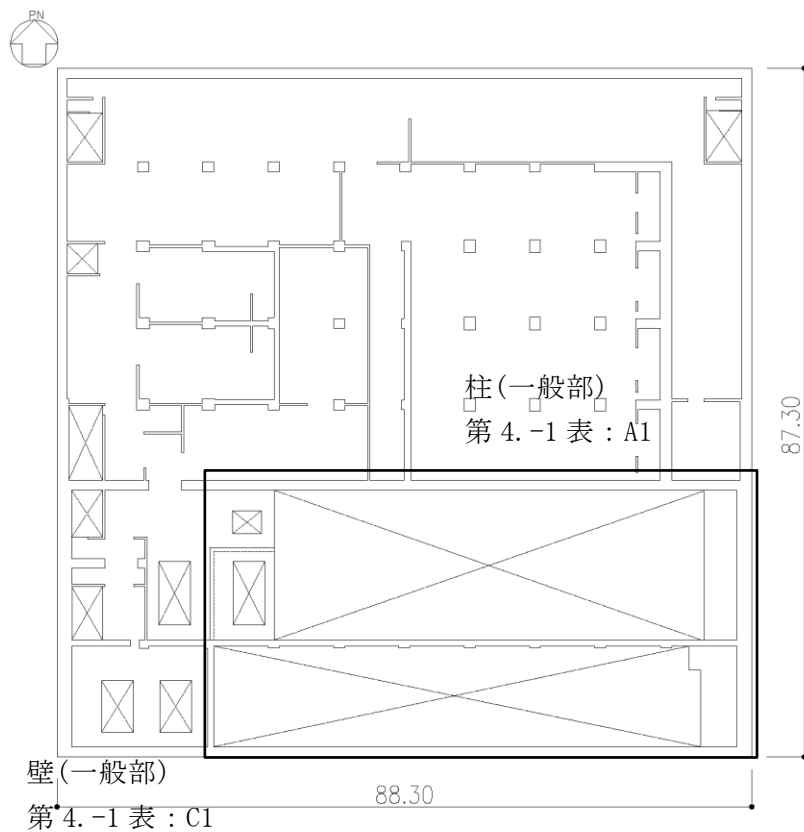
赤字：①-1 で抽出された部位

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)

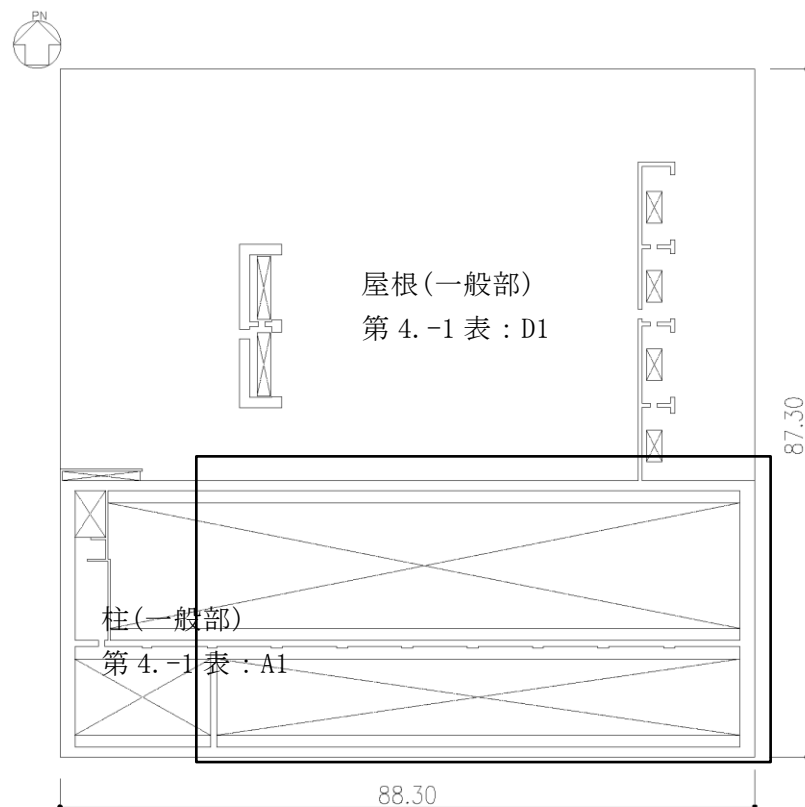
赤字：①-1 で抽出された部位

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

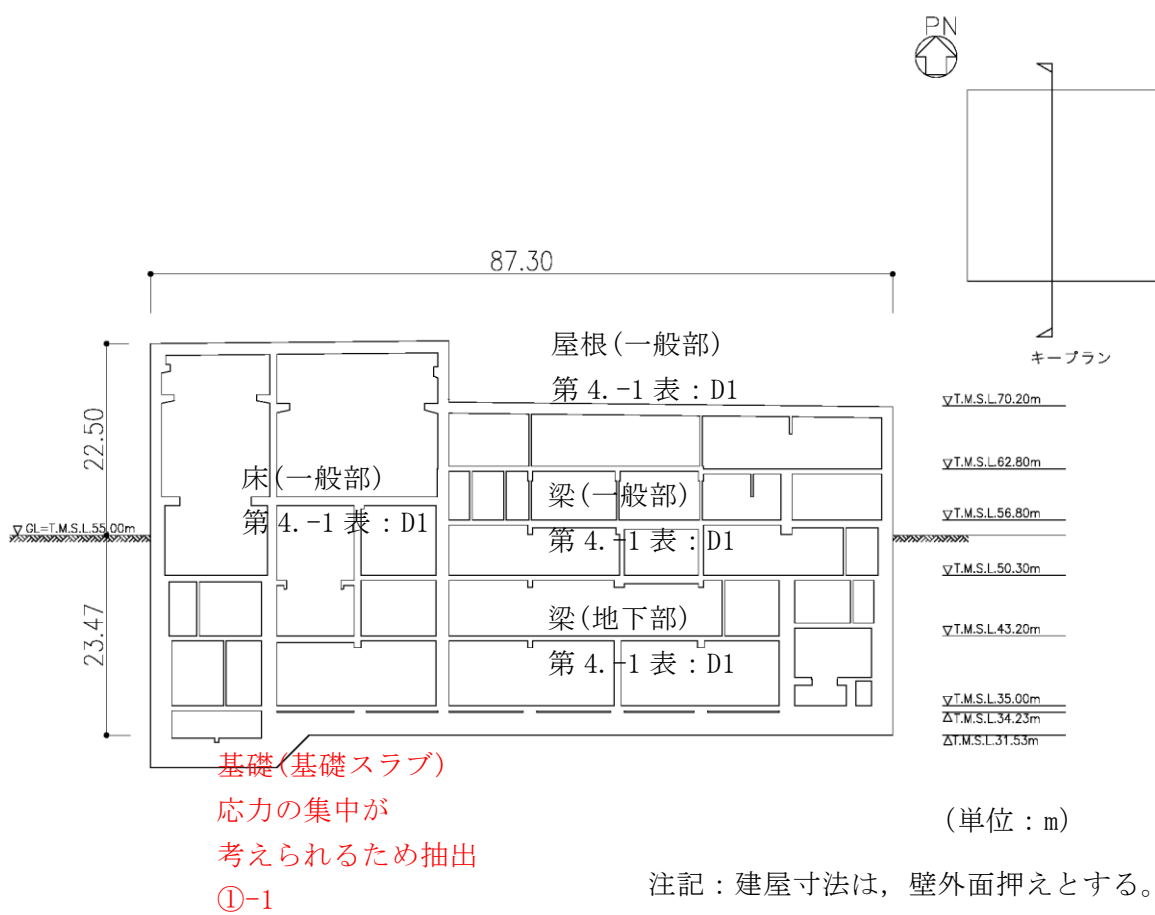


(単位：m)

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)

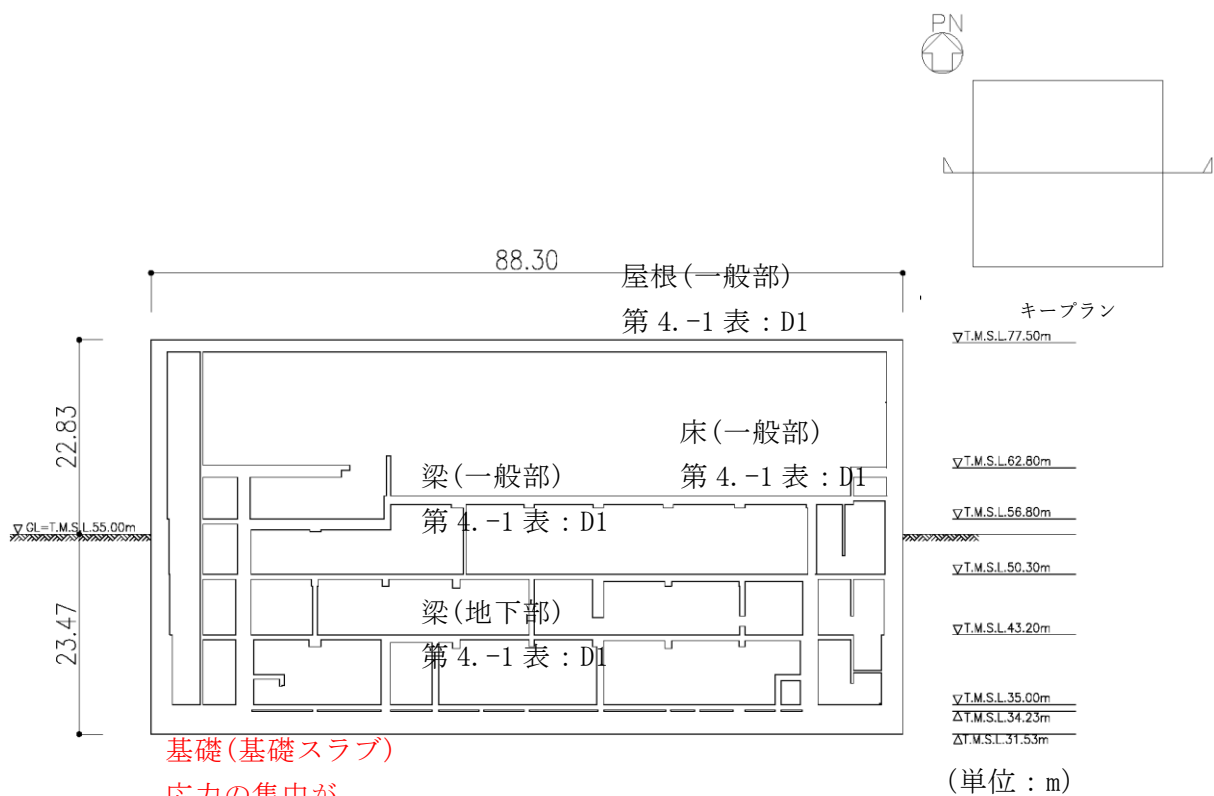
赤字：①-1 で抽出された部位

橙字：①-2 で抽出された部位

緑字：②-1 で抽出された部位

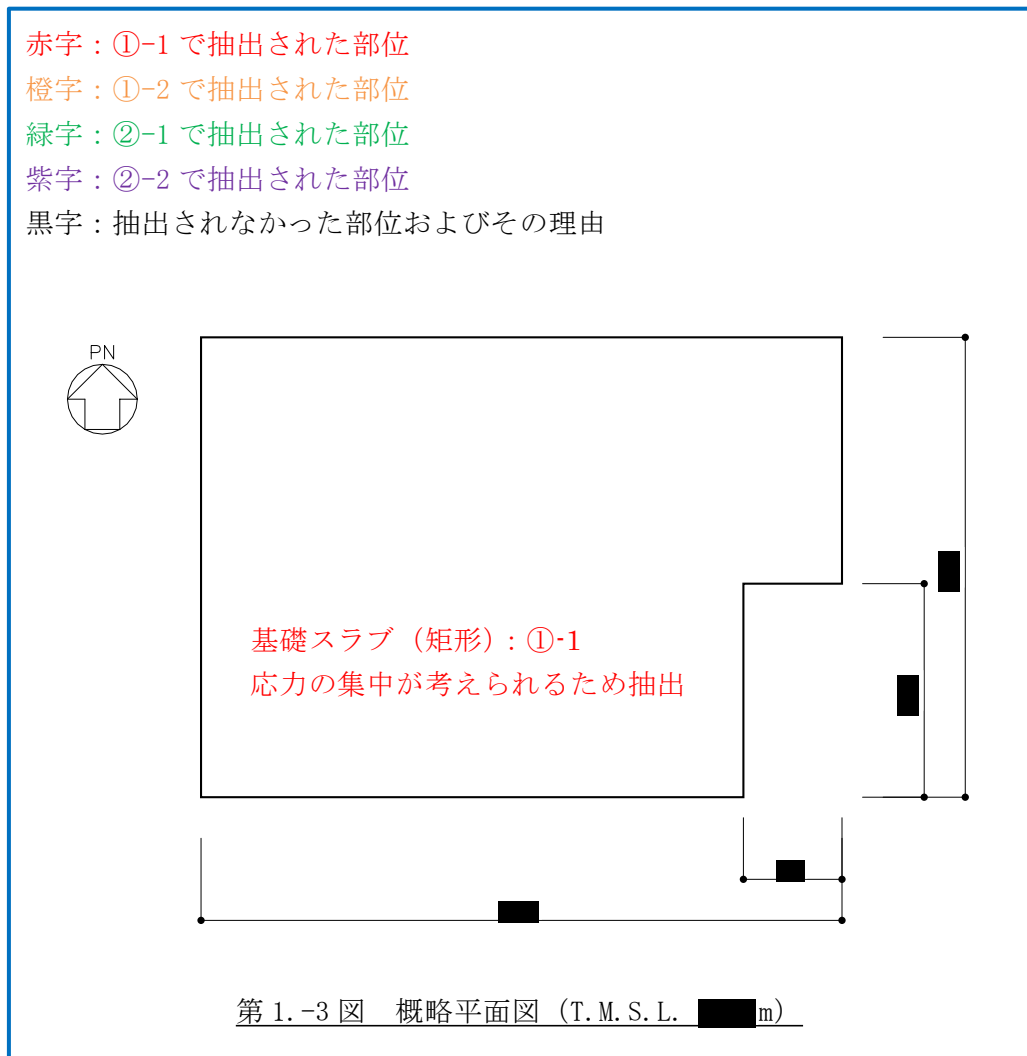
紫字：②-2 で抽出された部位

黒字：抽出されなかった部位およびその理由

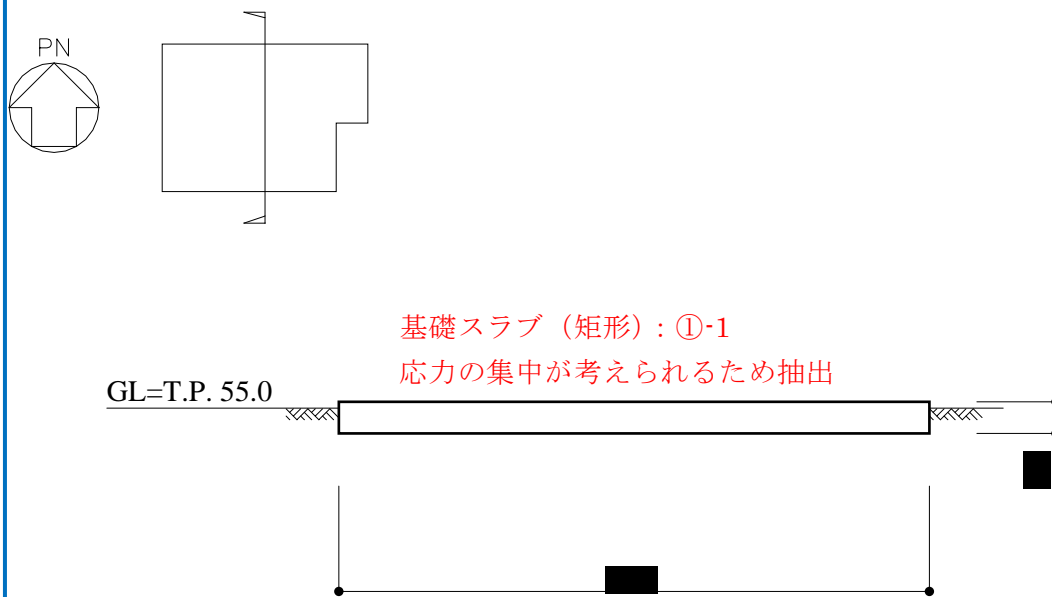


(2) 安全冷却水 B 冷却塔基礎

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

第 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 振れ
B1	梁	一般部	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向からの変形を抑制することから該当しない	・剛性の高い床が付帯しているため該当しない
B2		地下部	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・地下外周部が考えられるが、吹抜けがないことから、外周部梁はすべて剛性が高いスラブに接続しており、土圧はそのままスラブに伝達されるため該当しない	・剛性の高い床や耐震壁が付帯するため、面外方向からの変形を抑制することから該当しない	・剛性の高い床が付帯しているため該当しない
B3		鉄骨トラス	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・上弦材を屋根床に、下弦材を振れ止めにより拘束されており、面外方向への変形を抑制しているため該当しない	・剛性の高い床が付帯しているため該当しない
C1	壁	一般部	・地震力の負担について方向性を持っており該当しない	・面外荷重が作用する地下部ではない	・水平及び鉛直方向に大スパンの壁以外は該当しない ・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、振れの影響が大きいと考えられる床以外は該当しない	・釣り合いよく耐震壁が配置された構造計画を行っており該当しない

別紙 2

3次元 FEM モデルによる精査

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 2-2
2.1 検討概要	別紙 2-2
2.2 検討方針	別紙 2-11
2.3 解析モデル	別紙 2-13
2.4 地震応答解析の概要	別紙 2-15
2.5 地震応答解析結果	別紙 2-20
2.6 面外慣性力に対する壁の断面算定	別紙 2-27
3. ガラス固化体貯蔵建屋の貯蔵区域の壁の面外慣性力による影響検討	
4. ガラス固化体貯蔵建屋のシャフト部のねじれによる影響検討	

注 3章及び4章の内容については後次回申請にて示す。

1. 概要

添付書類における、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は、組合せ係数法による評価を基本としている。そこで、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」を抽出し、3次元FEMモデルによる精査を行い、3方向の応答の同時性を考慮することによる耐震性への影響を確認することとしている。本資料では、3次元FEMモデルを用いた精査の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。

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	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」
ガラス固化体貯蔵建屋	貯蔵区域の壁	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」
	シャフト部	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」

*燃料加工建屋の評価結果については今回（第1回）申請で示す。

ガラス固化体貯蔵建屋の評価結果については後次回申請で示す。

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

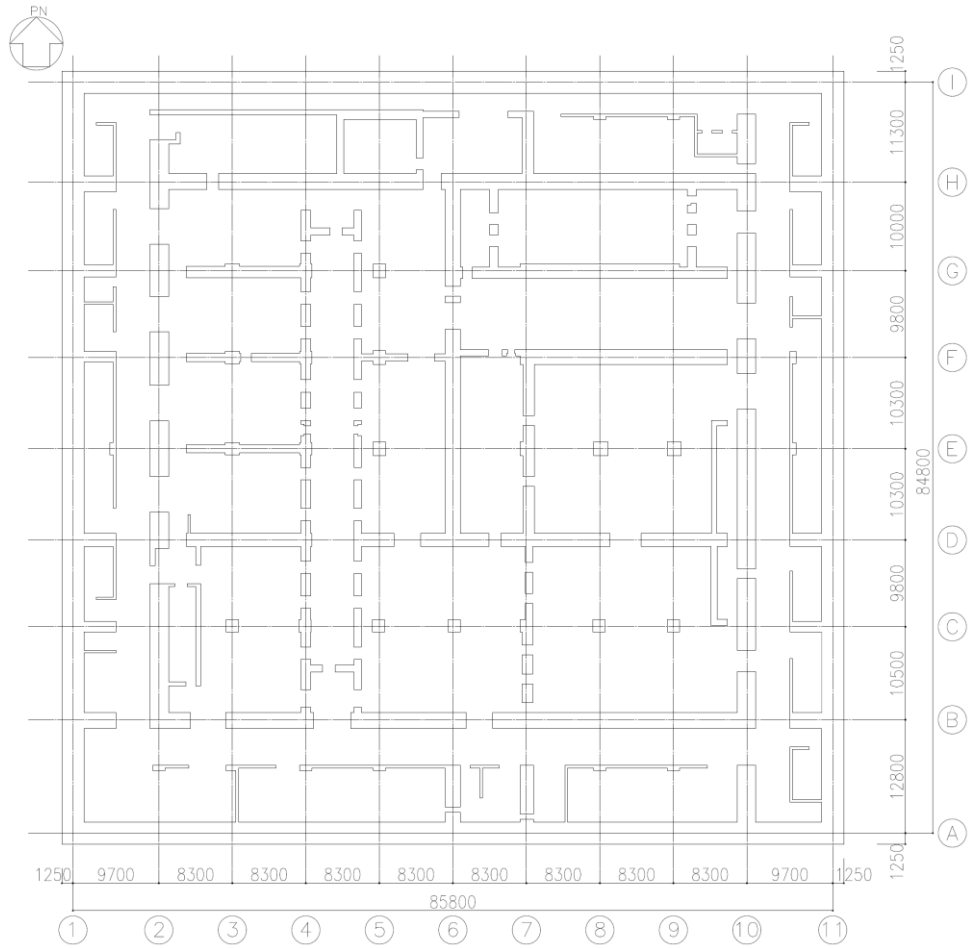
2.1 検討概要

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。

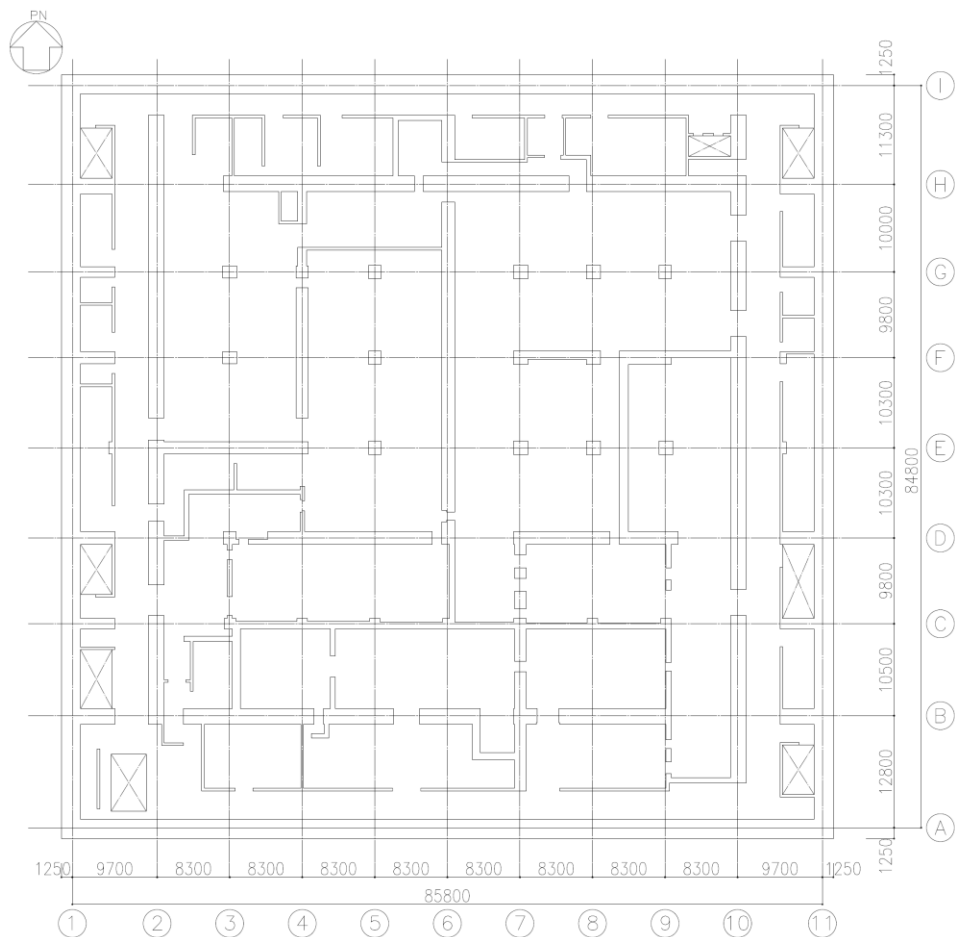
燃料加工建屋の概略平面図を第2.1-1図に、概略断面図を第2.1-2図に示す。



(単位：m)

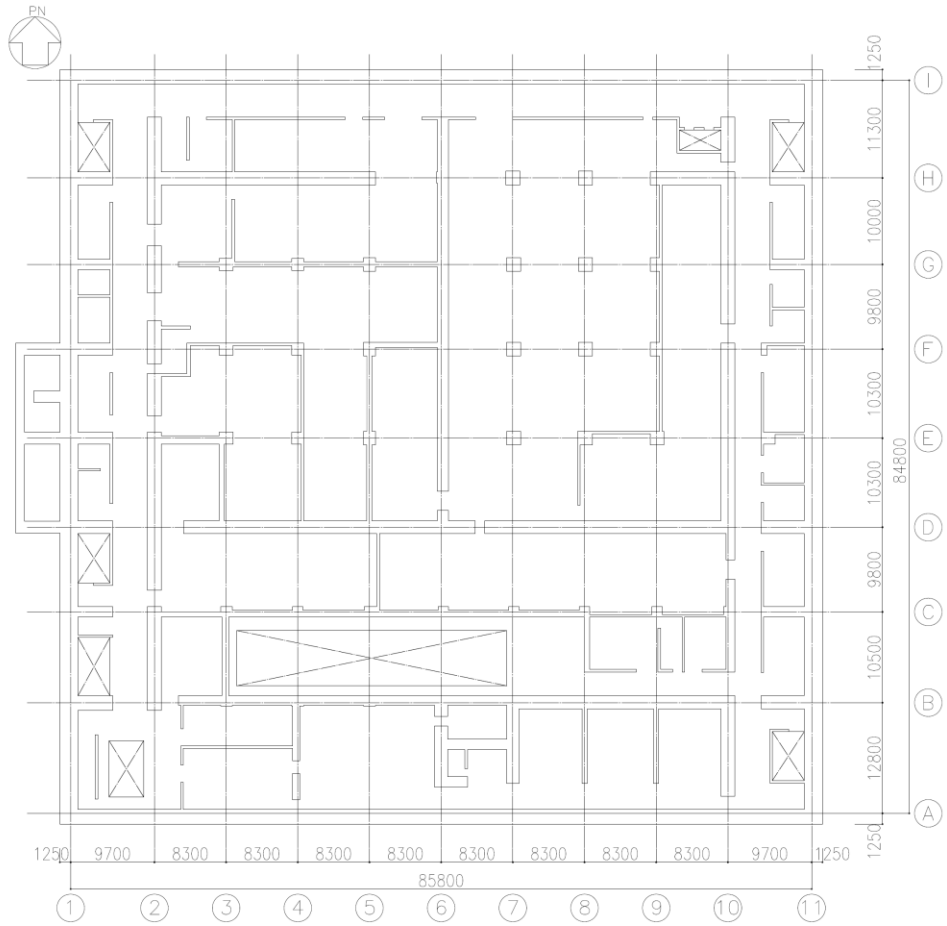
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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。

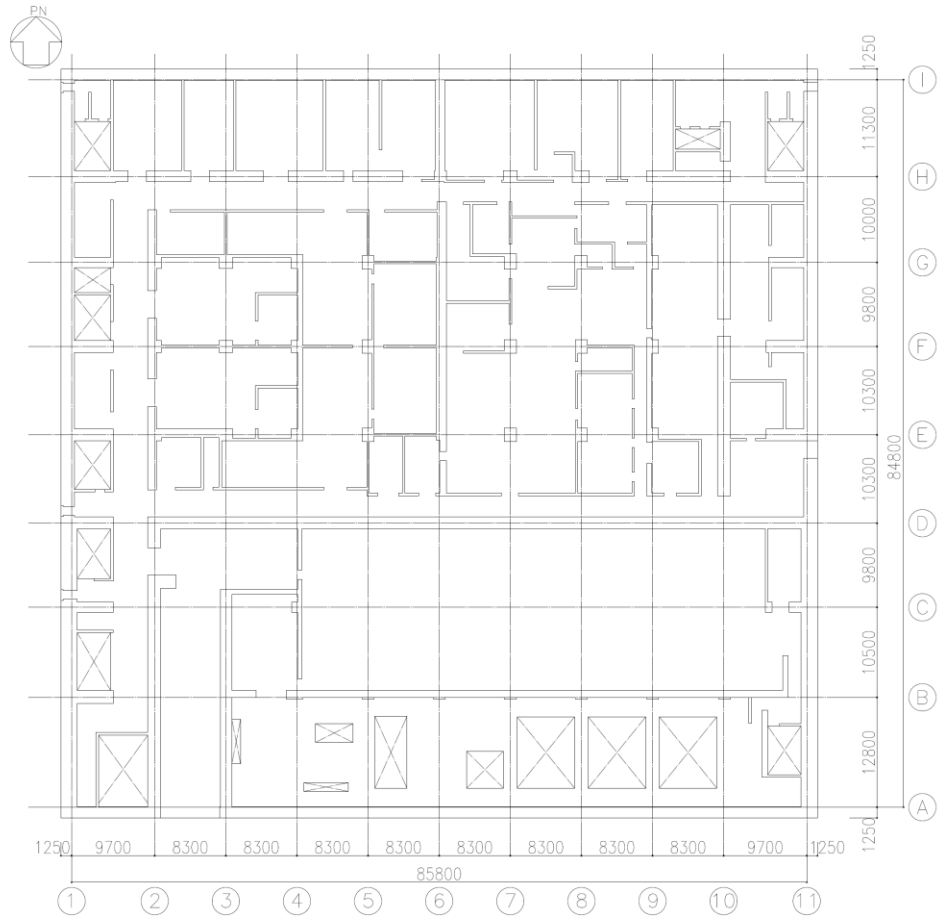
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 43.20m) (2/7)



(単位：m)

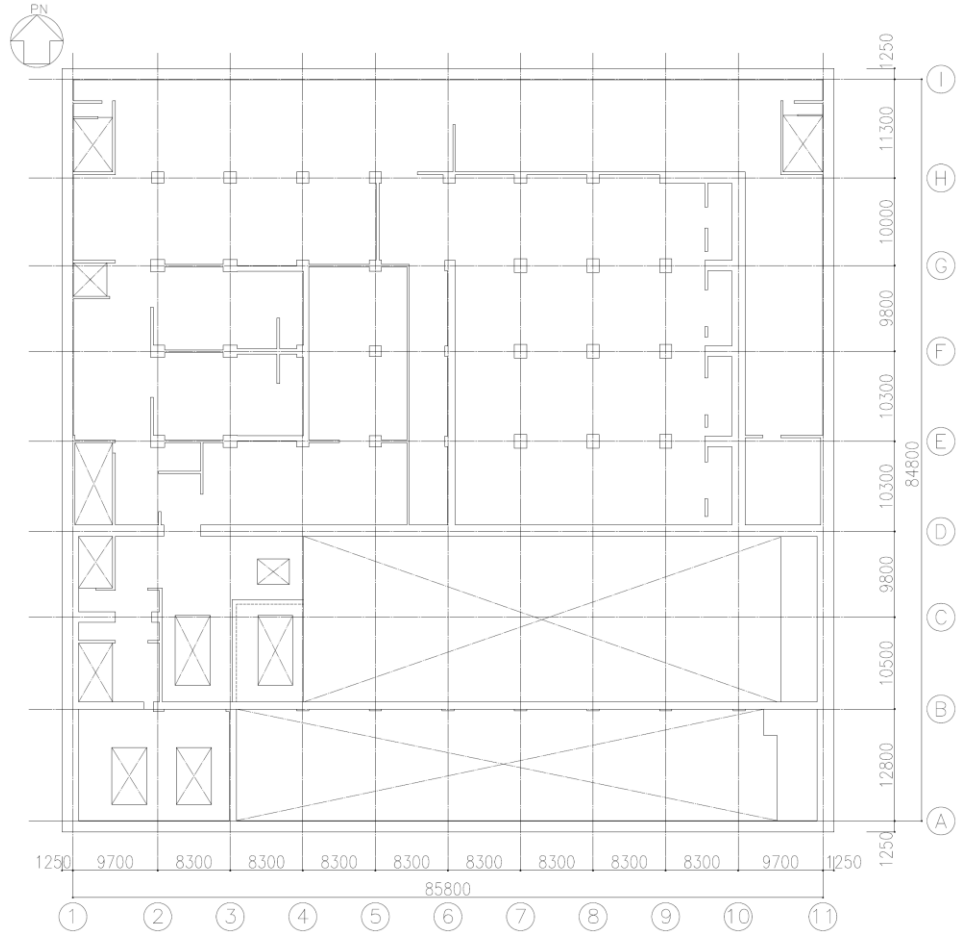
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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



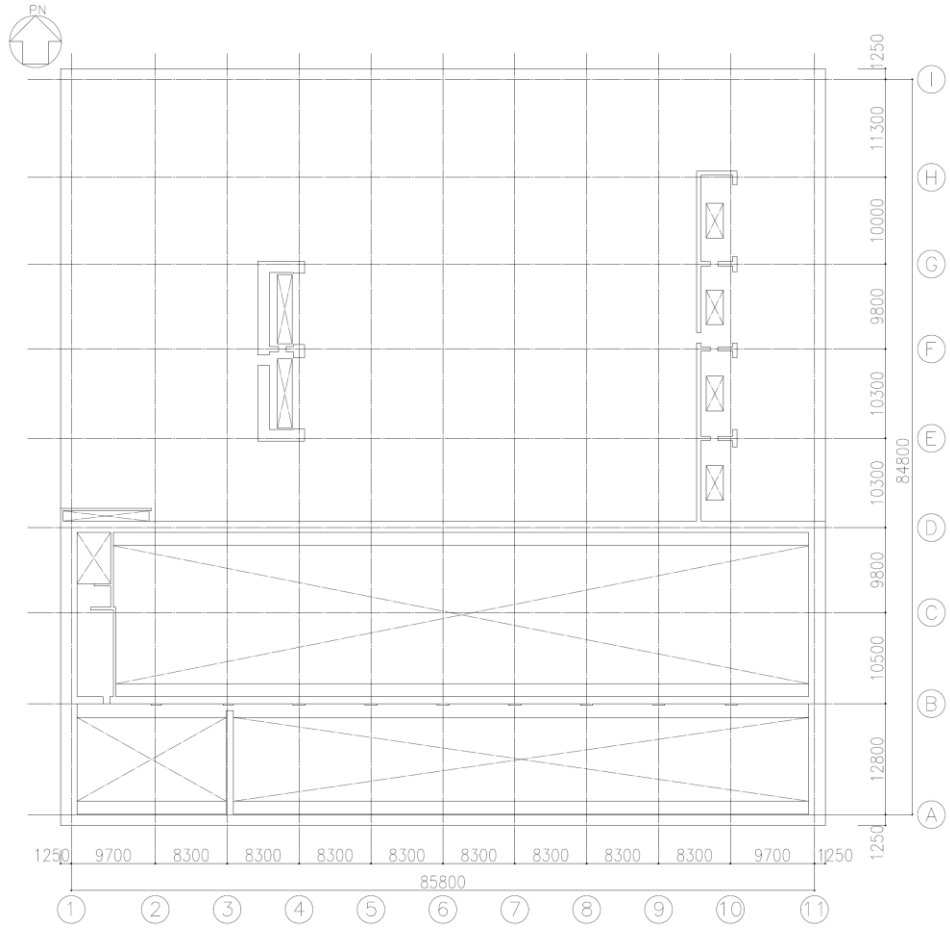
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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



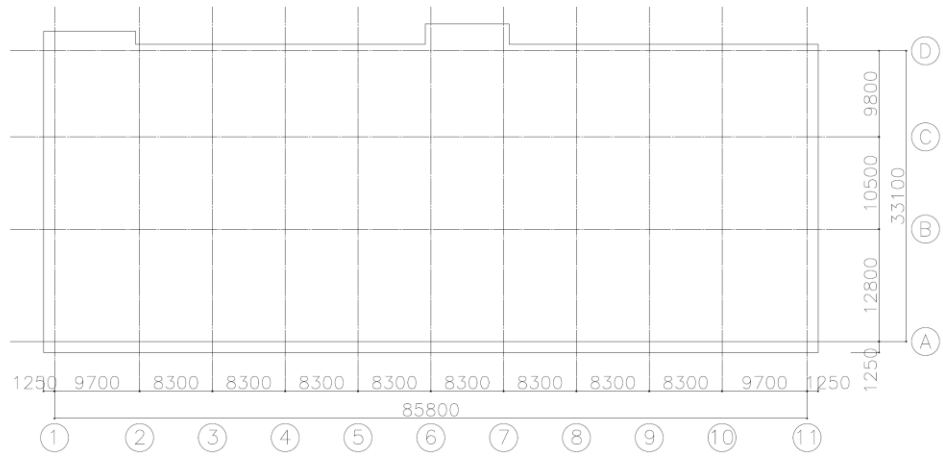
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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。

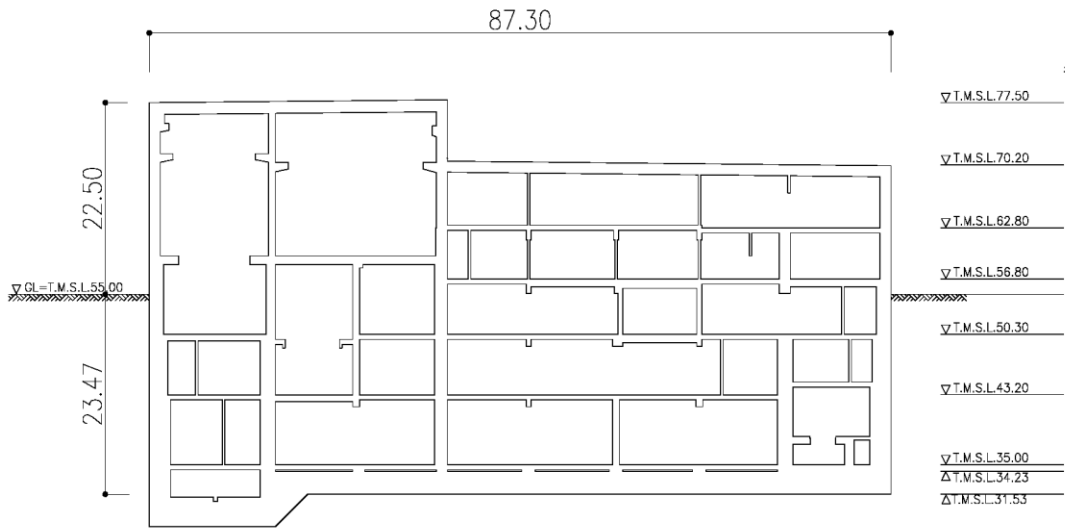
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 70.20m) (6/7)



(単位：m)

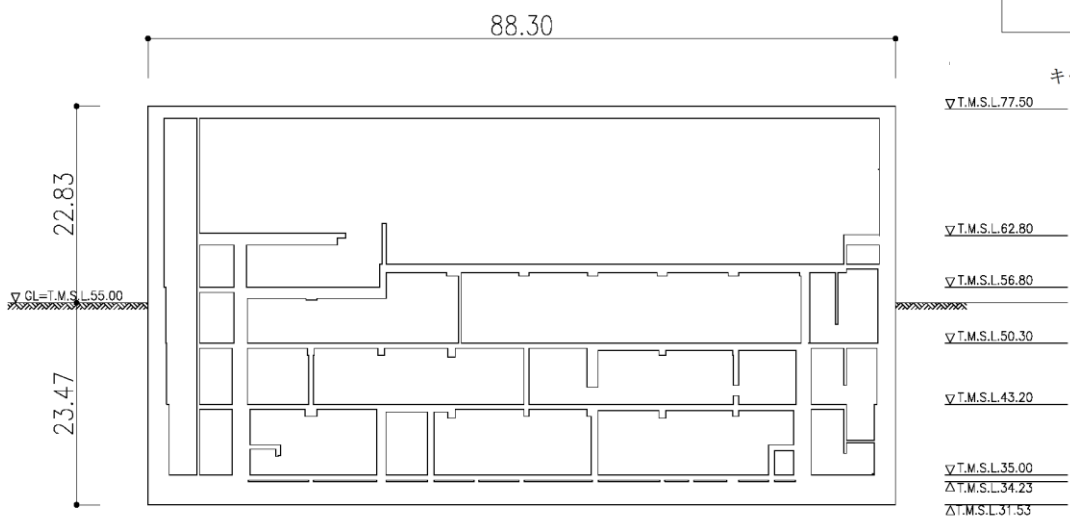
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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

別紙 2-10

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 モデルによる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、建屋の加速度応答が最も大きい Sd-C1 を対象とする。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。

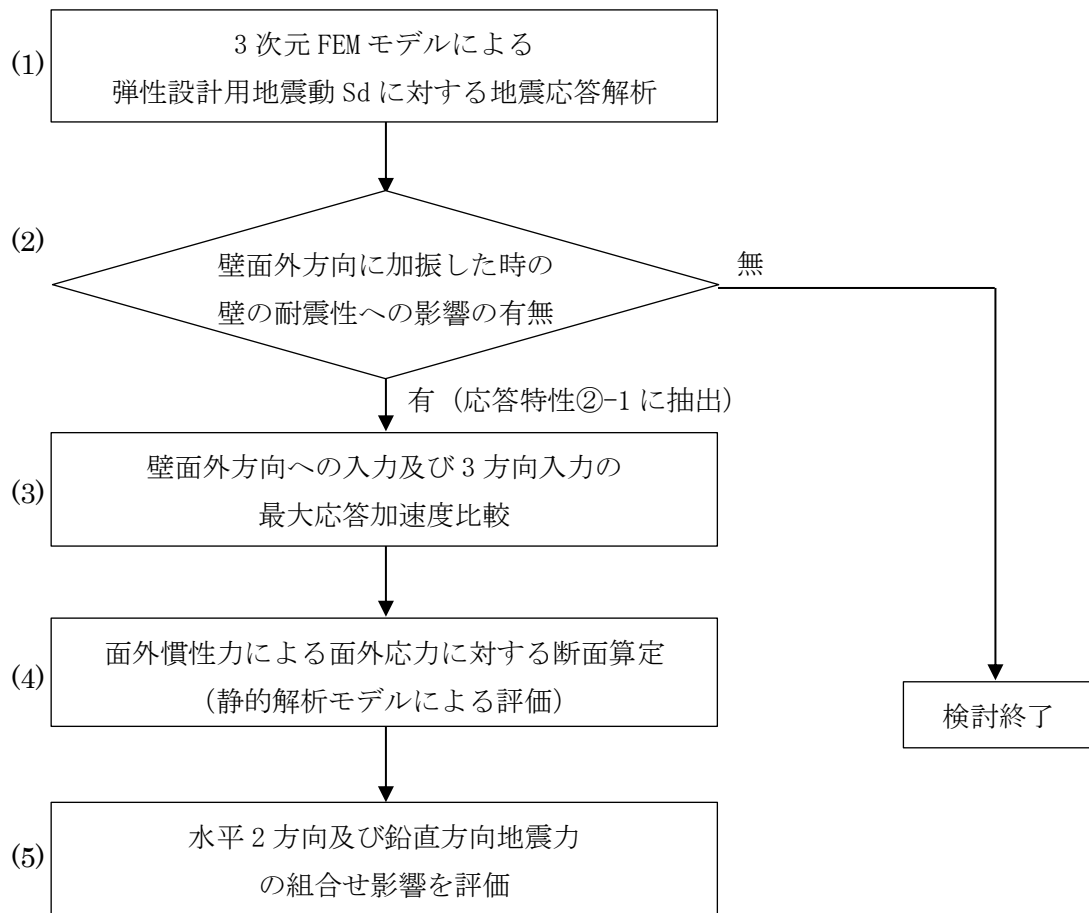
3 次元 FEM モデルによる最大応答加速度の分布から面外慣性力の影響を把握した上で、燃料加工建屋のクレーン室の壁について、面外慣性力による面外応力に対して断面算定を行い、面外慣性力の影響を評価する。

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、壁の耐震性への影響の有無を把握する。ここで壁の耐震性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（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 方向入力に対する影響を確認する。（フロー図（3））

最後に、壁の面外慣性力による面外応力に対する断面算定を実施し、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。

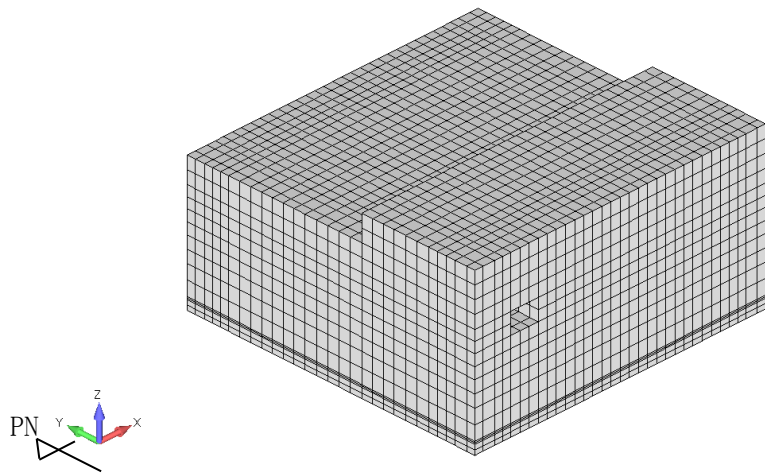
検討に用いる解析モデルのケースを第2.3-1表，使用材料の物性値を第2.3-2表に示す。地震応答解析には，解析コード「MSC Nastran ver.2012.1.0」を用いる。

第2.3-1表 解析モデルの検討ケース

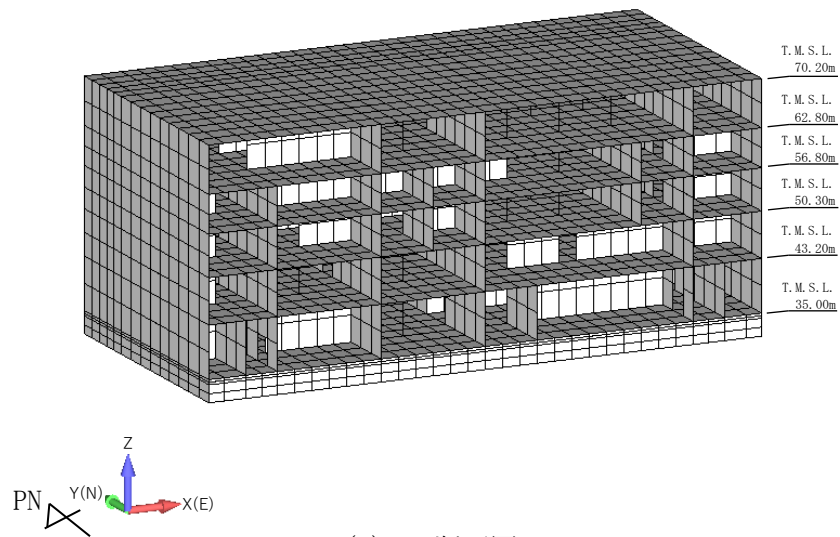
モデルケース	床のモデル化	地盤のモデル化	コンクリート剛性
建屋模擬モデル	床柔	相互作用考慮	実強度

第2.3-2表 使用材料の物性値

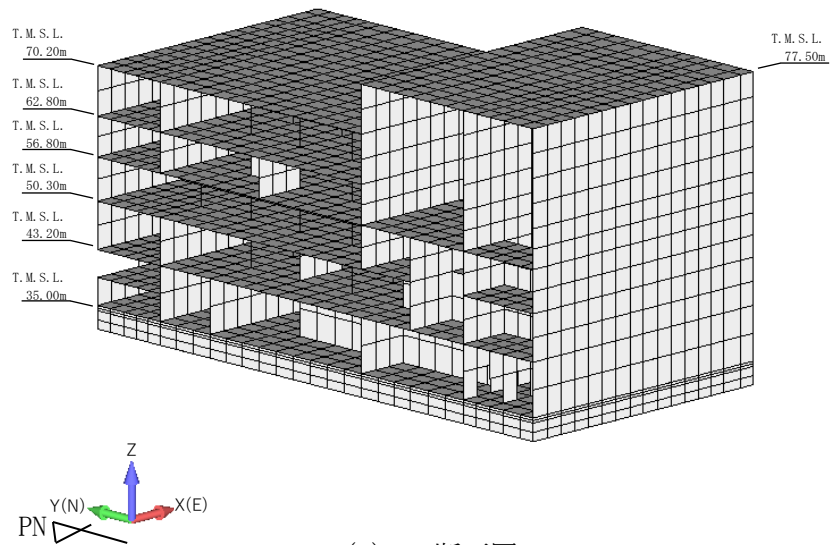
部位		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート部	実強度	24.0	2.77×10^4	3.0



(a) 建屋全景



(b) EW 断面図



(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。

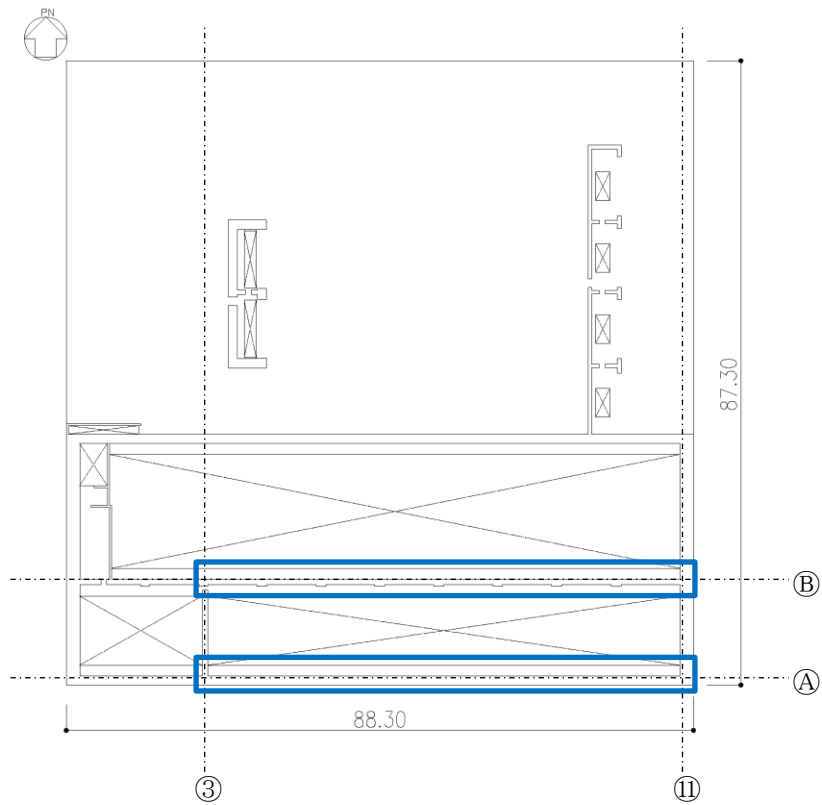
入力地震動については、線形解析であることから、弾性設計用地震動Sdとする。具体的には、建屋の加速度応答が最も大きい弾性設計用地震動Sd-C1を代表波として水平2方向及び鉛直方向に入力した検討を実施する。

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。

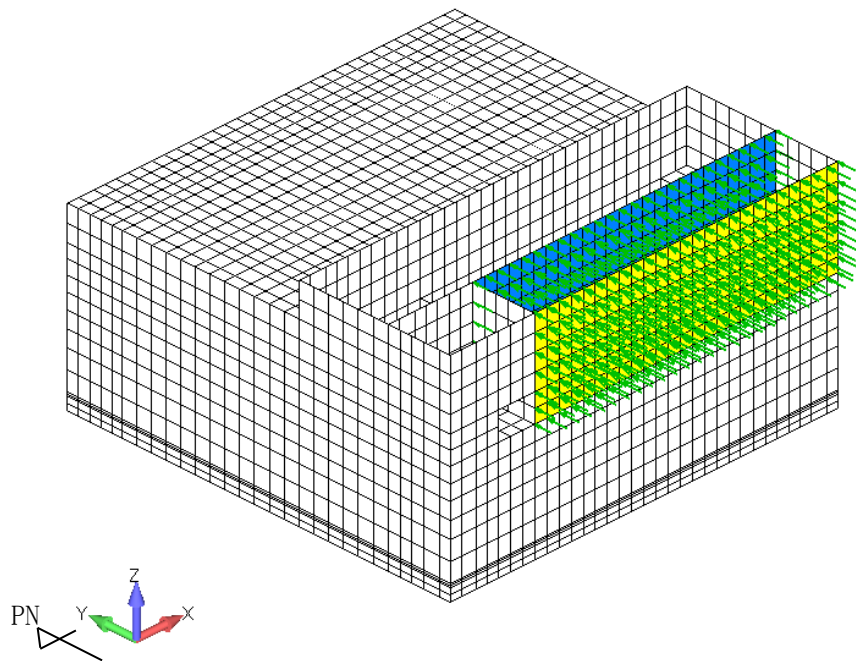
第2.4-1表 地震動の組合せ

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。



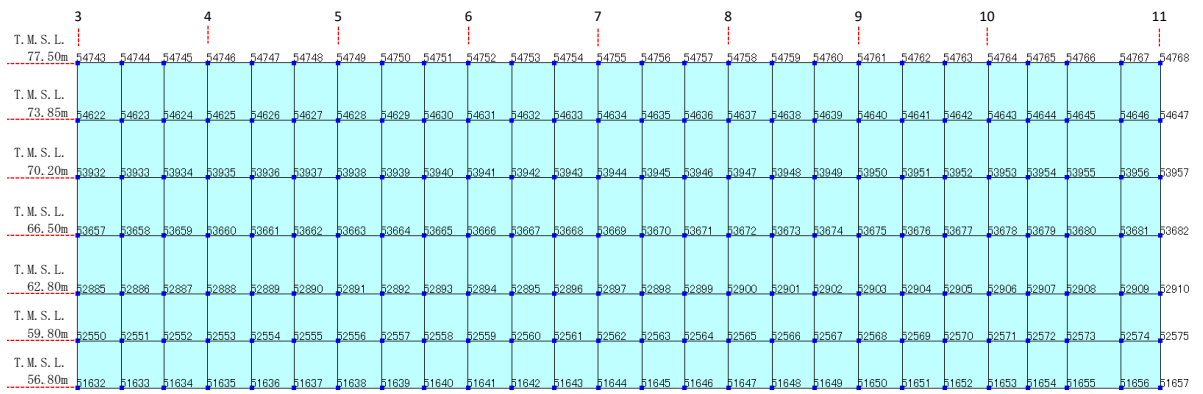
(a) 概略平面図 (T. M. S. L. 70. 2m)



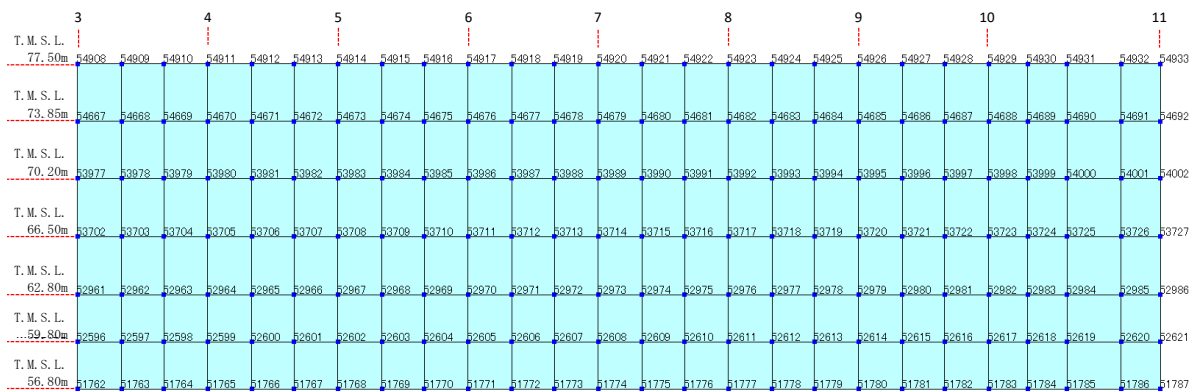
(b) 3次元FEMモデル

(※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

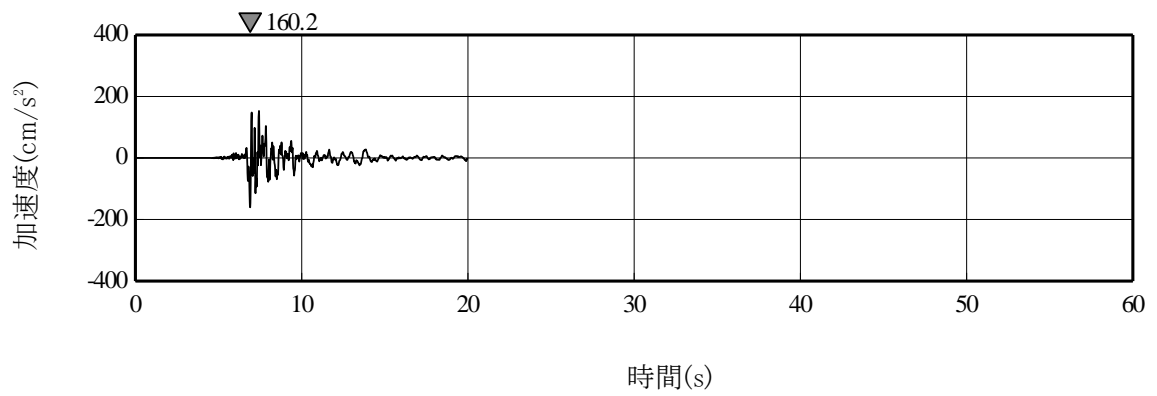


(a) A 通り

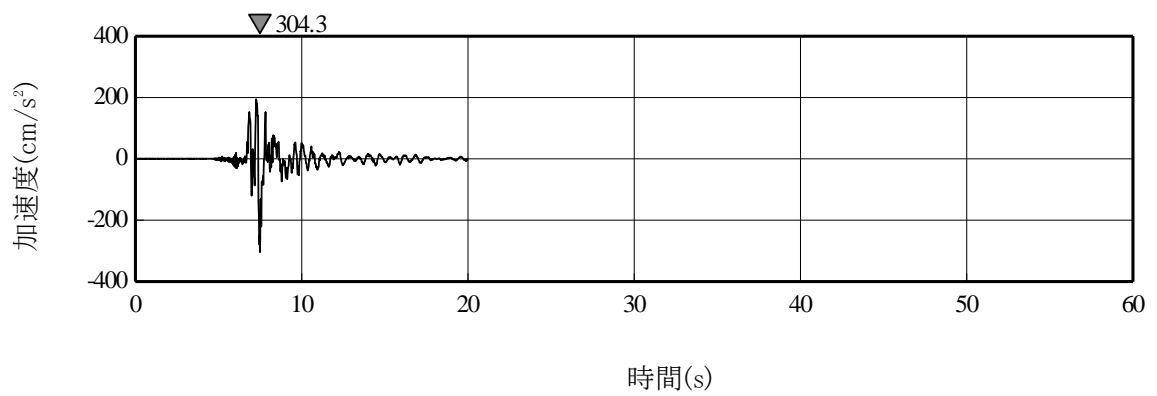


(b) B 通り

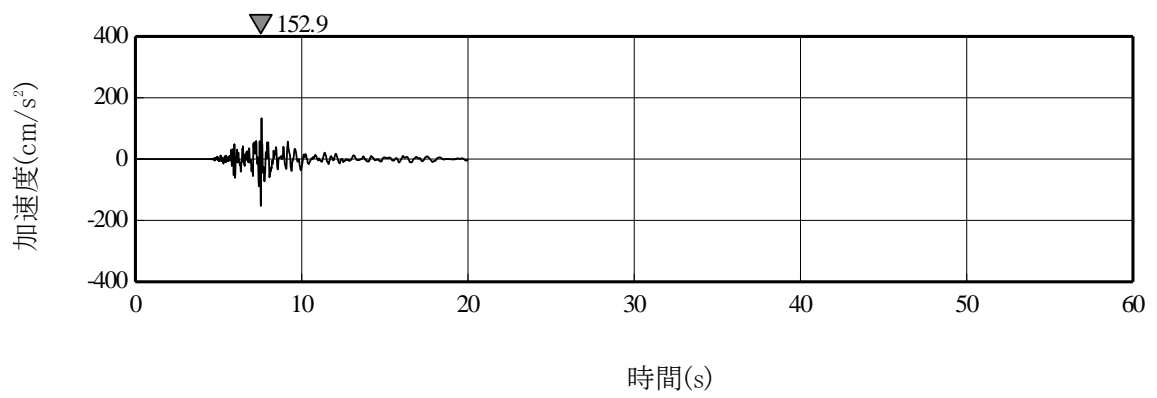
第 2.4-2 図 節点番号図



(a) Sd-C1' (NS)

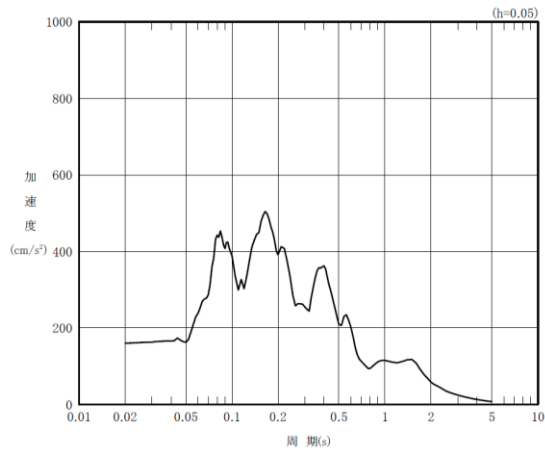


(b) Sd-C1' (EW)

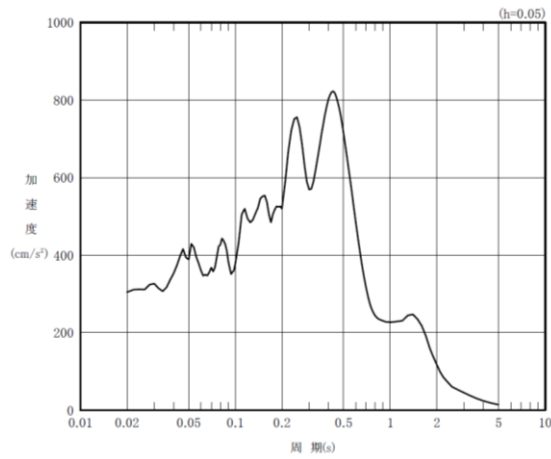


(c) Sd-C1' (UD)

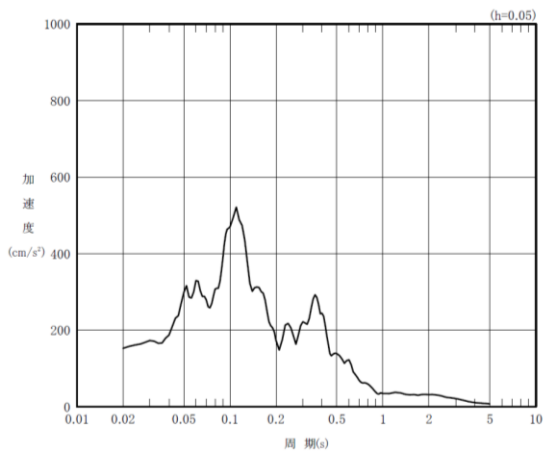
第 2.4-3 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度時刻歴波形



(a) Sd-C1' (NS)



(b) Sd-C1' (EW)



(c) Sd-C1' (UD)

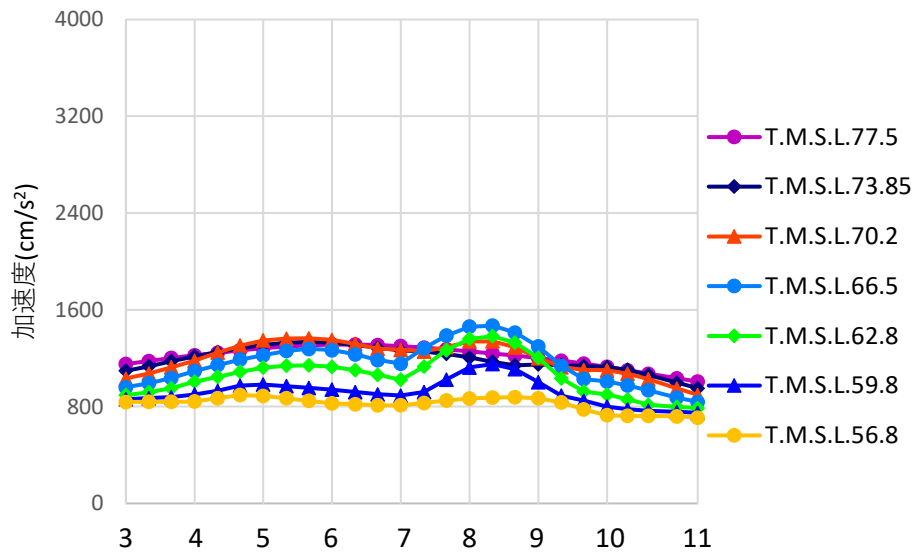
第 2. 4-4 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度応答スペクトル

2.5 地震応答解析結果

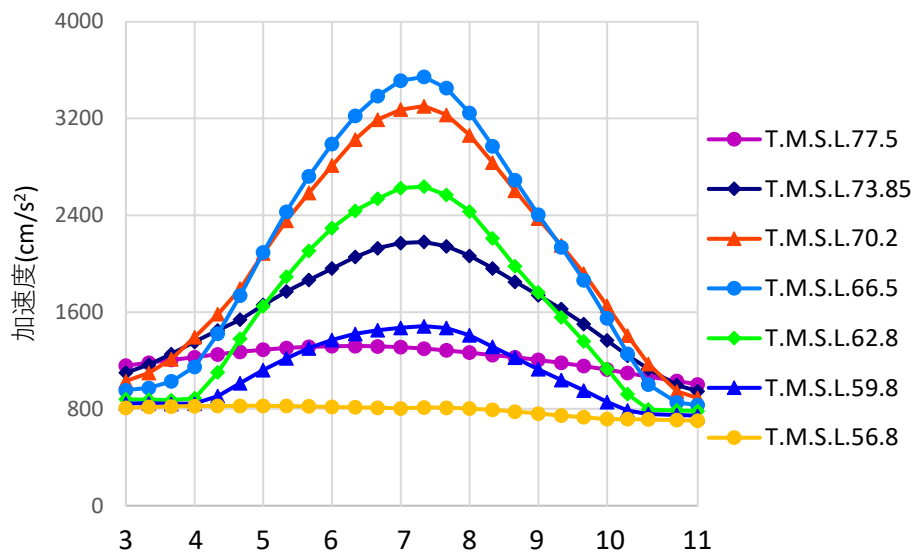
2.5.1 壁面外方向に加振した時の壁の耐震性への影響の確認

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。

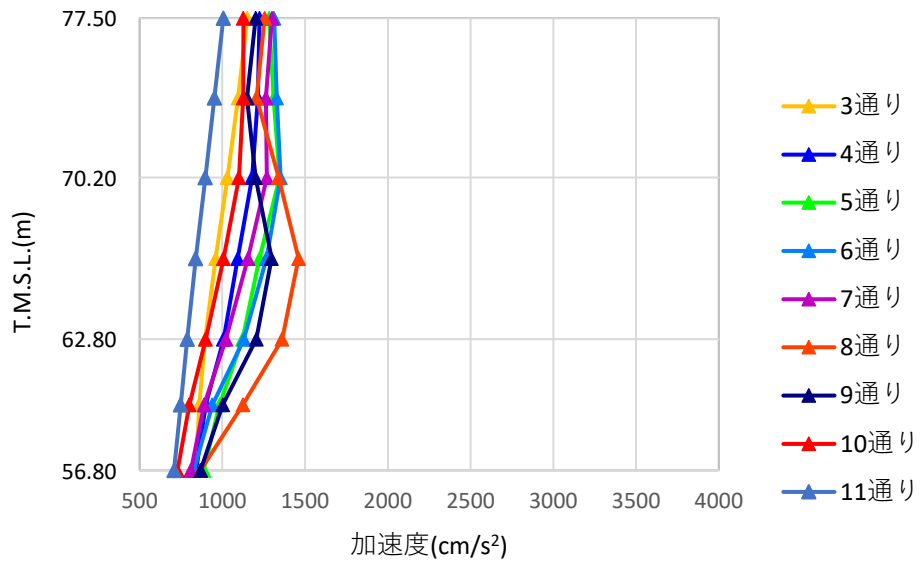


(a) A通り

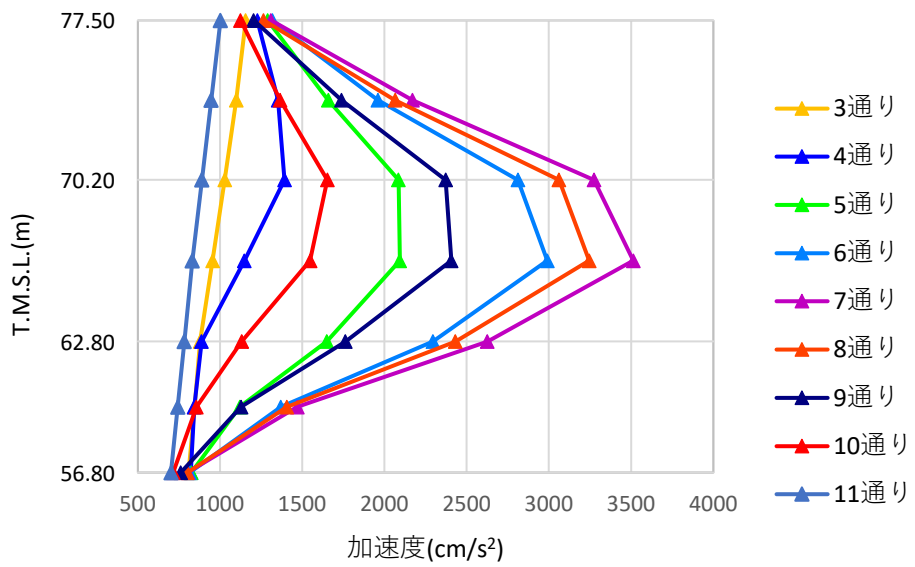


(b) B通り

第 2.5.1-1 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



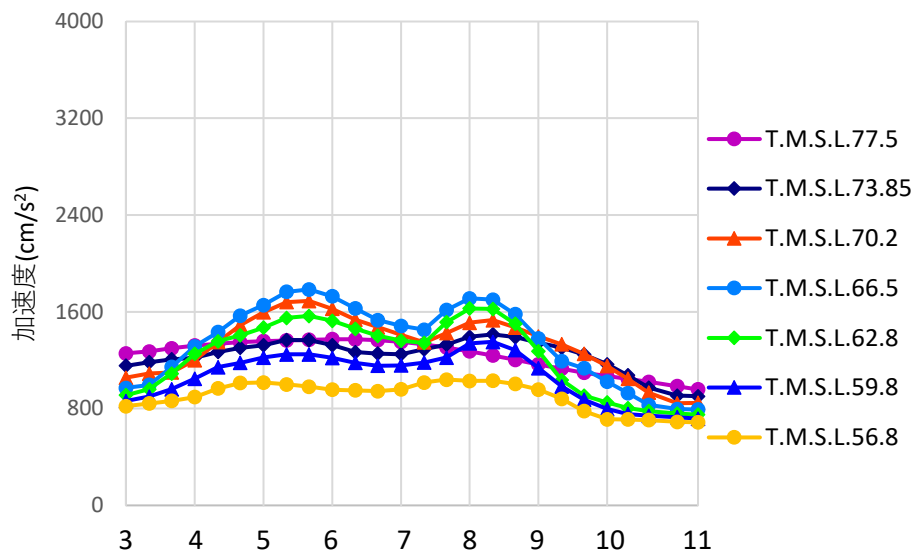
(b) B 通り

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）

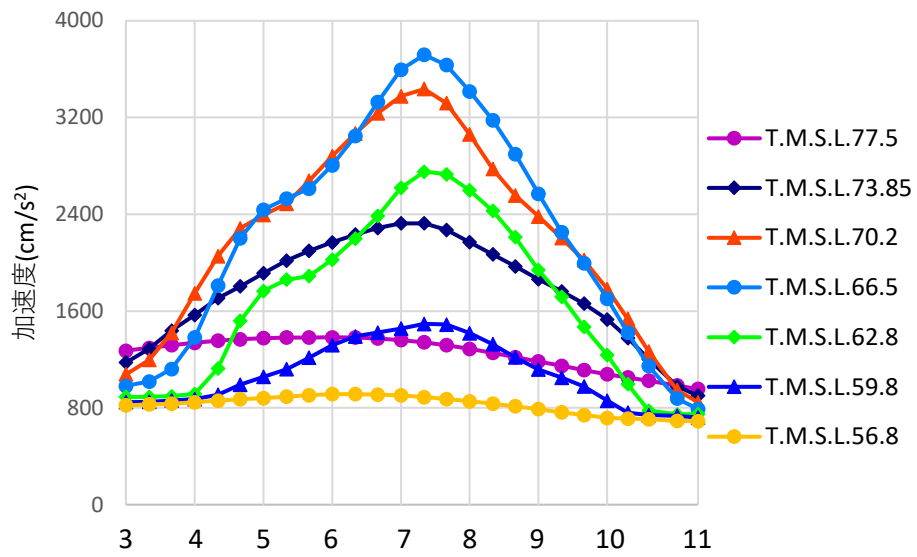
2.5.2 1方向入力及び3方向入力の最大応答加速度比較

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1.4倍程度である。そのため、クレーン室の壁の面外慣性力に対する検討に対しては、3方向入力時の加速度応答を用いることとする。

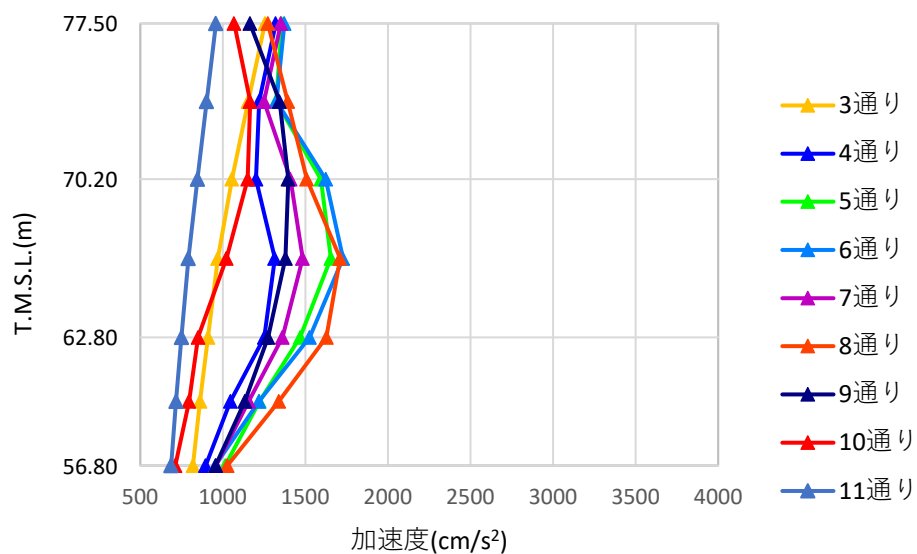


(a) A 通り

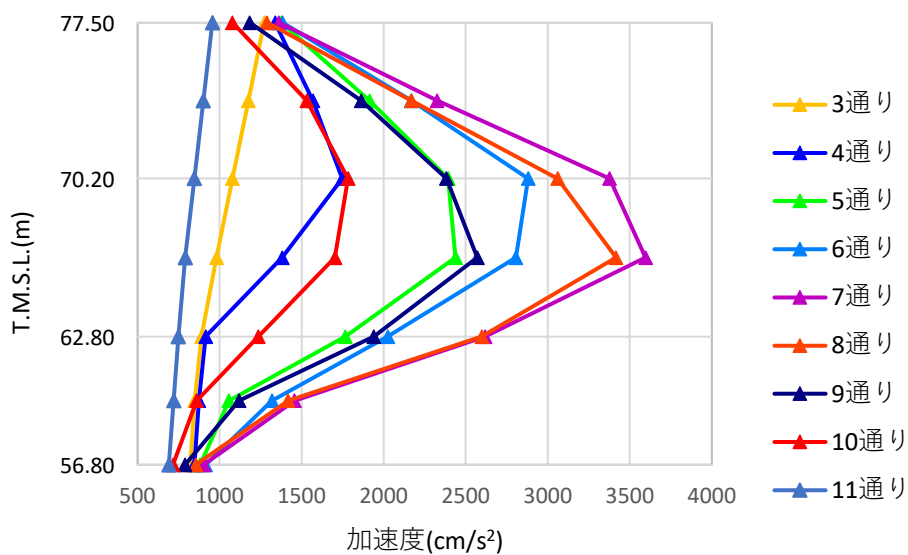


(b) B 通り

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)

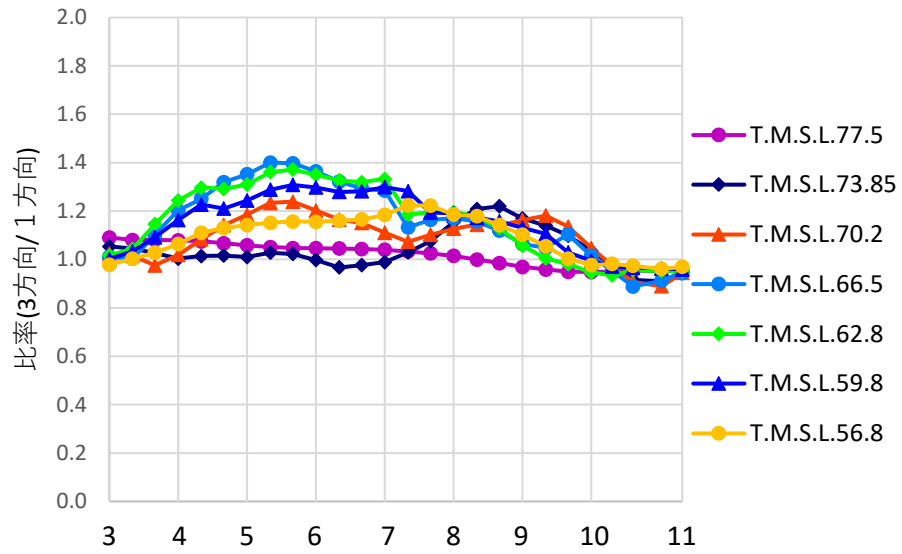


(a) A 通り

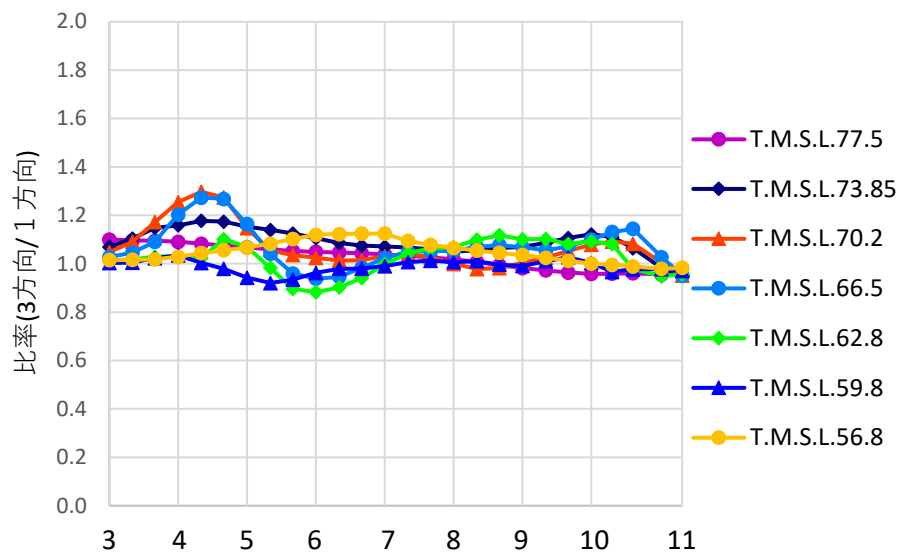


(b) B 通り

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

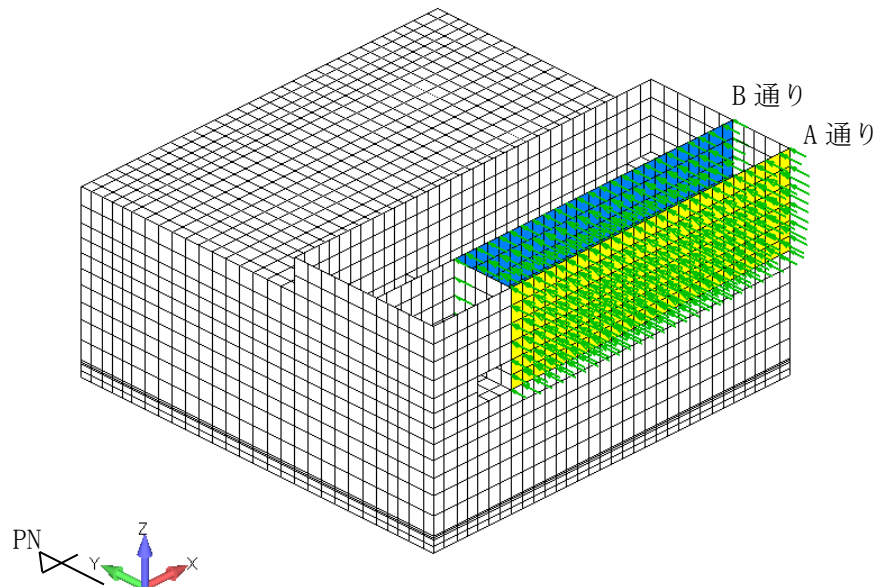
燃料加工建屋のクレーン室の壁について、面外慣性力に対する検討を行う。検討は、FEMモデルに地震荷重として面外慣性力を入力し、評価対象部位に発生する面外応力に対して断面算定を行うことを行う。

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「Ⅲ-3-1-1-1 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。
- ③：②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。
- ④：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③で求めた検定比に乗じることで考慮する。

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手順により算定する。

- ①：2.5節において示した、 S_d-C1' による地震応答解析から得られた面外方向（NS方向）の3方向入力時の最大応答加速度（絶対加速度）を静的震度に換算する。
- ②：①にて求めた静的震度に、質点系モデル（埋込みSRモデル）における基準地震動 S_s と弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析から得られた加速度応答比率を乗じる。

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

- ここで、 W_s : S_s 地震時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 : 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

α については第2.6.2-1表に示す燃料加工建屋のSRモデルによる地震応答解析の結果から一律1.75とした。

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
	S_s-C1 (NS方向)	S_d-C1 (NS方向)	
77.50 (RF)	1022	584	1.75
70.20 (PHF)	873	549	1.60
62.80 (2F)	798	485	1.65
56.80 (1F)	756	433	1.75

*各応答値は添付書類「Ⅲ-3-1-1-1 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

2.6.3 地盤物性のばらつきを考慮した割増係数

本検討においては、地盤物性によるばらつきによる影響についても考慮する。燃料加工建屋の地震応答解析での、評価対象部位に相当する質点におけるSd-C1入力時の基本ケース及びばらつきケースの最大加速度応答を第2.6.3-1表にしめす。第2.6.3-1表より、地盤のばらつきによる加速度応答の増加は最大で1.05倍である。よって、本検討においては地盤物性のばらつきによる影響として、前頁で求めた荷重から算定した各応力に対する検定比に、この割増係数を乗じることで評価する。

第2.6.3-1表 地盤物性のばらつきによる割増係数

T. M. S. L. (m)	最大加速度応答 (cm/s ²)			割増係数 max(+σ・-σ) / 基本ケース
	Sd-C1 NS方向 基本ケース	Sd-C1 NS方向 +σ	Sd-C1 NS方向 -σ	
77.50 (RF)	584	552	610	1.05 (610/584)
70.20 (PHF)	549	519	564	1.03 (564/549)
62.80 (2F)	485	472	499	1.03 (499/485)
56.80 (1F)	433	437	447	1.04 (447/433)

*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

2.6.4 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 M_u を超えないことを確認する。

$$M_u = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d$$

ここで、 M_u : 終局曲げモーメント (N・mm)
 a_t : 引張鉄筋断面積 (mm²)
 σ_y : 引張鉄筋の材料強度 (N/mm²)
 d : 壁断面の有効せい (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)

2.6.5 断面算定結果

断面算定結果を第2.6.5-1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0.922、面外せん断力に対する検定比が最大0.541となり、それぞれ許容値を超えないことを確認した。また、地盤物性のばらつきによる影響検討として、これらの検定比に「2.6.3 地盤物性のばらつきを考慮した割増係数」で求めた地盤物性のばらつきによる割増係数1.05を乗じても検定比が1.0を超えないことを確認した。

加速度応答による面外慣性力として、加速度応答比率を保守的に設定していること等を勘案すれば、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 2.6.5-1 表 断面算定結果

		A 通り壁	B 通り壁
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	
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)	1333	1005
	許容値 M_u (kN・m)	1993	1091
	検定比 M/M_u	0.669	0.922
	地盤物性のばらつきを考慮した検定比 $M \times 1.05/M_u$	0.702	0.968
せ ん 断 力 評 価	発生最大面外せん断力 Q (kN)	627	396
	許容値 Q_A (kN)	1259	733
	検定比 Q/Q_A	0.499	0.541
	地盤物性のばらつきを考慮した検定比 $Q \times 1.05/Q_A$	0.524	0.568
判定		OK	OK

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-14
3.1 燃料加工建屋の 3次元 FEM モデル	参考-14
3.2 固有値解析	参考-26
3.3 観測記録を用いた検討	参考-29
4. 3次元 FEM モデルによる評価	参考-48
4.1 地震応答解析の概要	参考-48
4.2 建屋応答性状の把握	参考-53
4.3 建屋耐震評価への影響検討	参考-75
4.4 床応答への影響検討	参考-105
5. まとめ	参考-116

1. 概要

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

本資料では、燃料加工建屋に対して 3 次元 FEM モデルを作成し、建屋の 3 次元的な応答性状の確認を行う。また、3 次元的な挙動が、建屋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

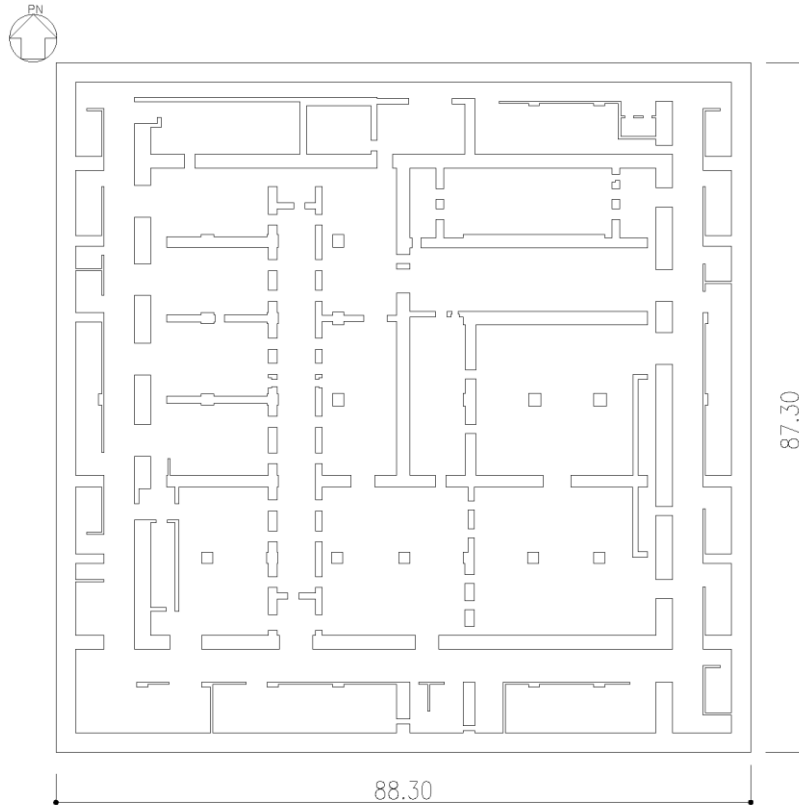
建屋の 3 次元的応答性状の把握及び質点系モデルによる地震応答解析の妥当性の確認の観点から、燃料加工建屋について 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析を行い、建屋の局所的な応答を検討する。また、3 次元 FEM モデルによる挙動が、建屋の耐震評価に及ぼす影響を検討する。

2.1 構造概要

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

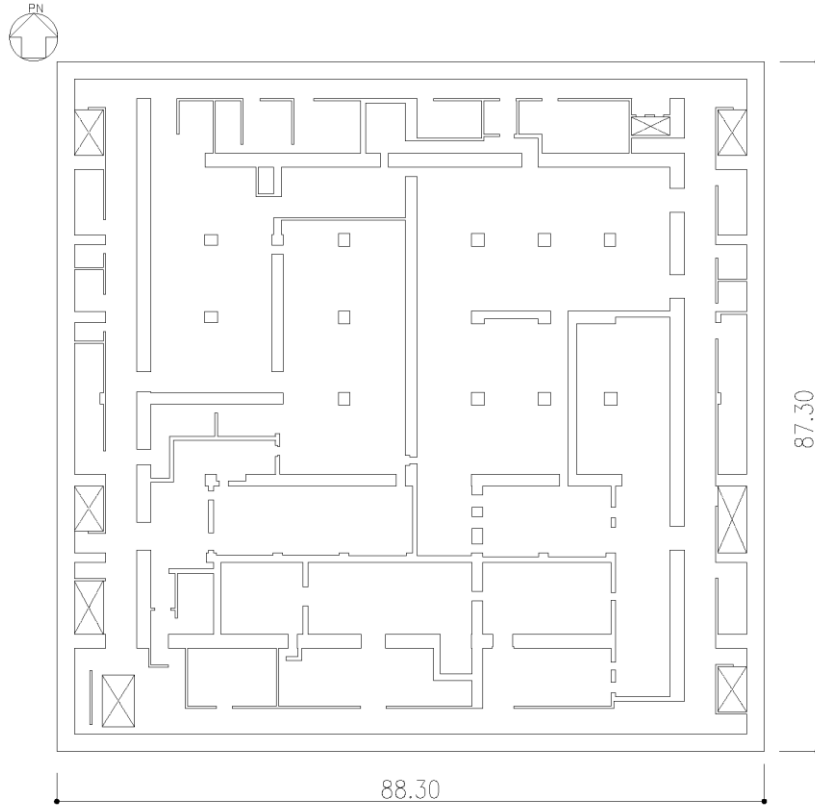
本建屋の主要耐震要素は、鉄筋コンクリート造の外壁及び一部の内壁である。また、基礎スラブはマンメイドロックを介して岩盤に設置されている。

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



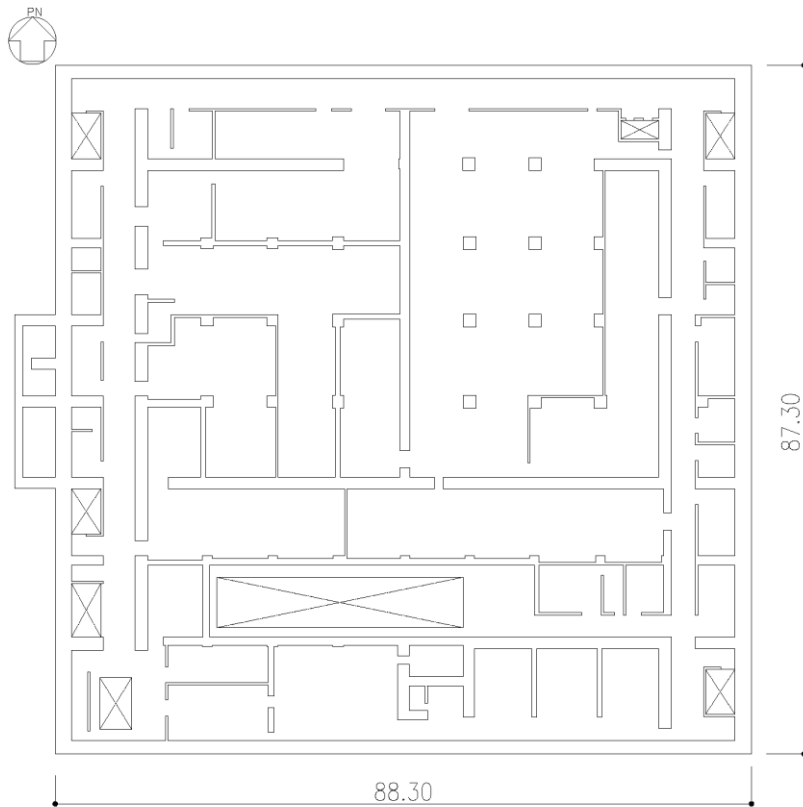
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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



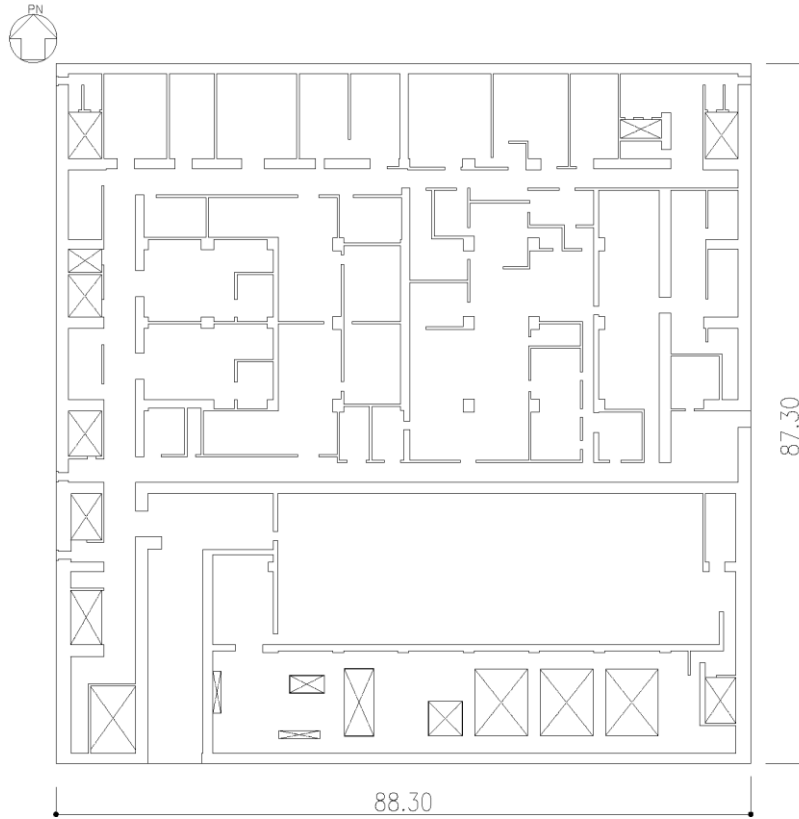
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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



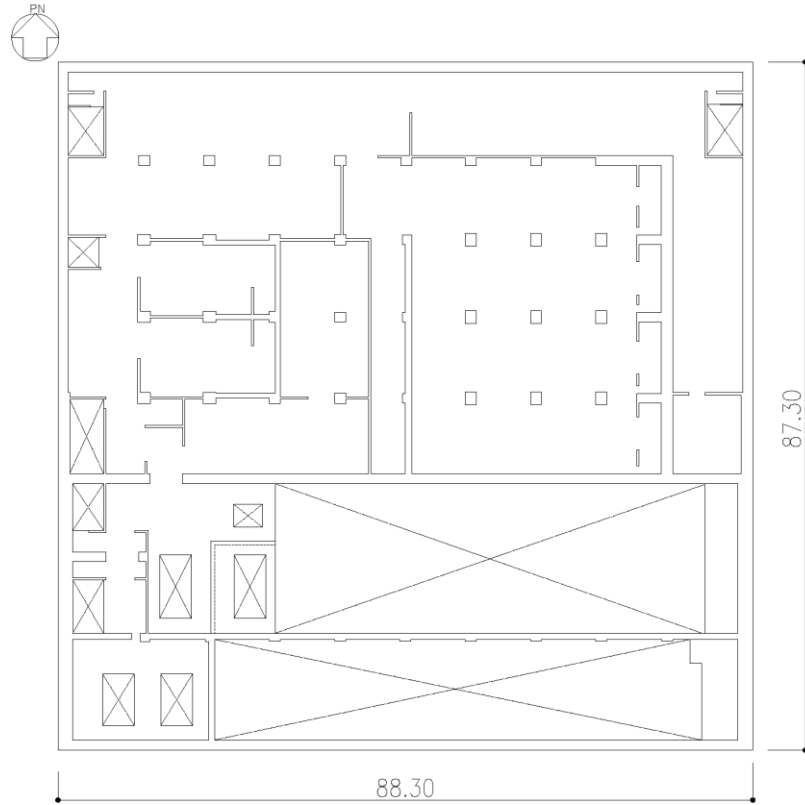
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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



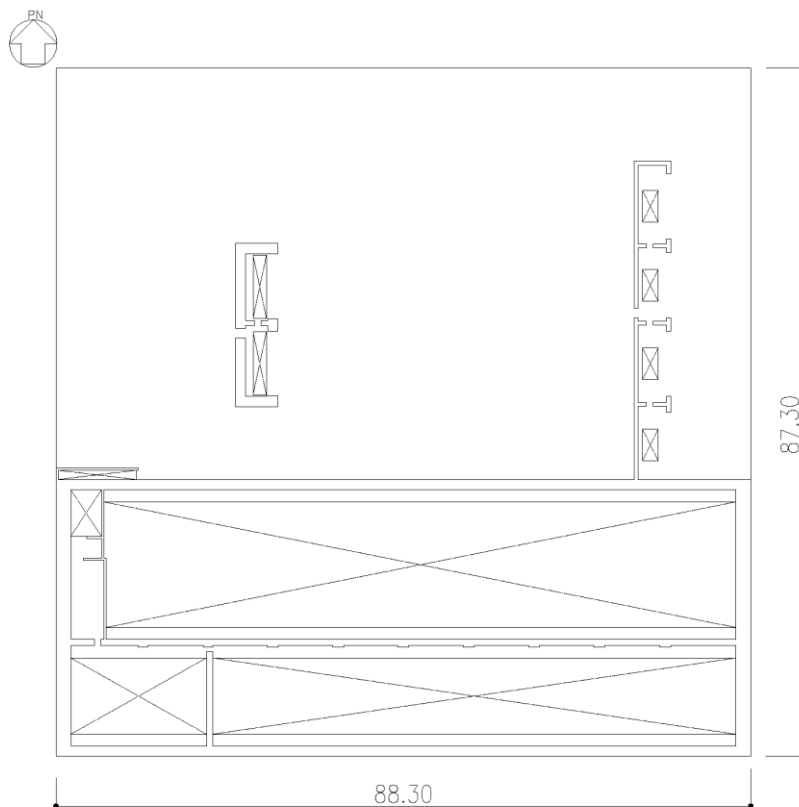
(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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



(単位：m)
 注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

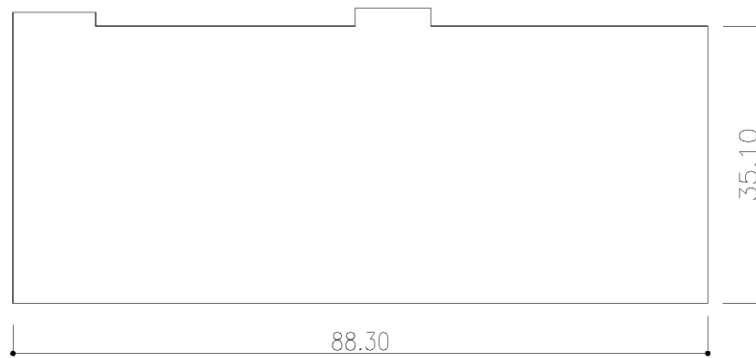
第 2.1-1 図 概略平面図 (T.M.S.L. 62.80m) (5/7)



(単位：m)

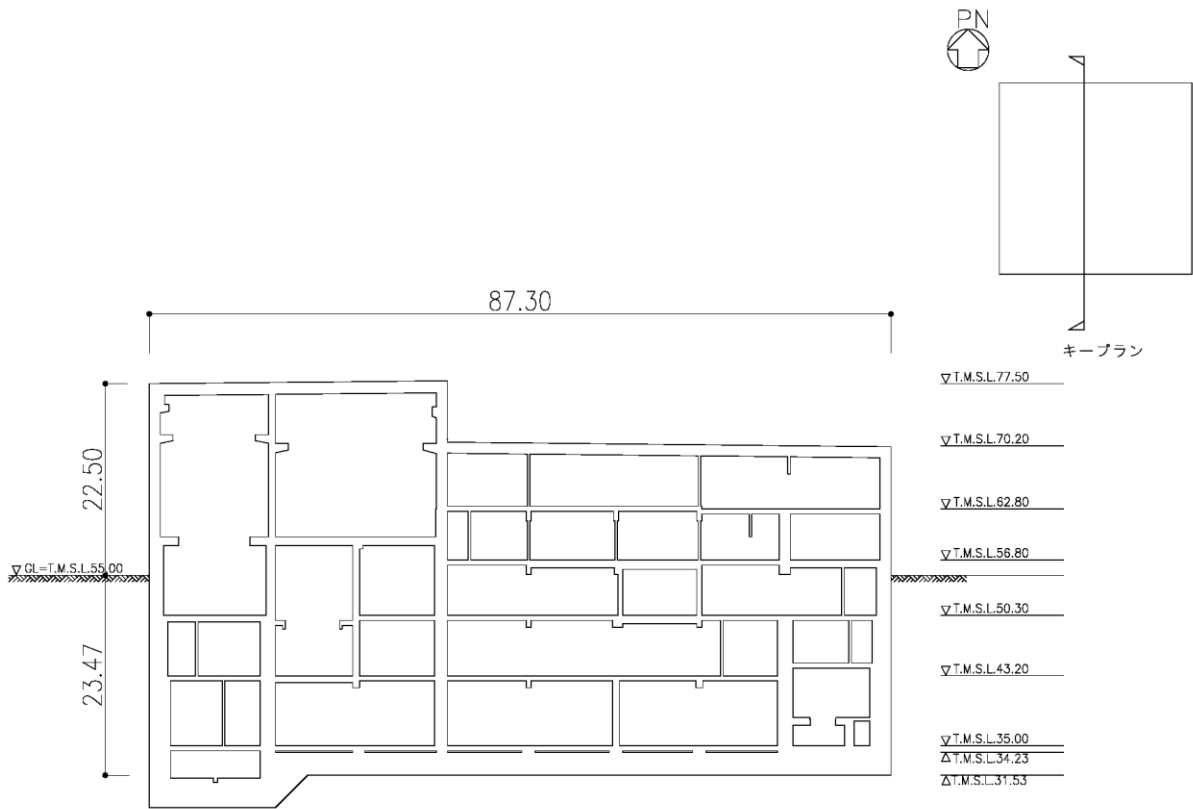
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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



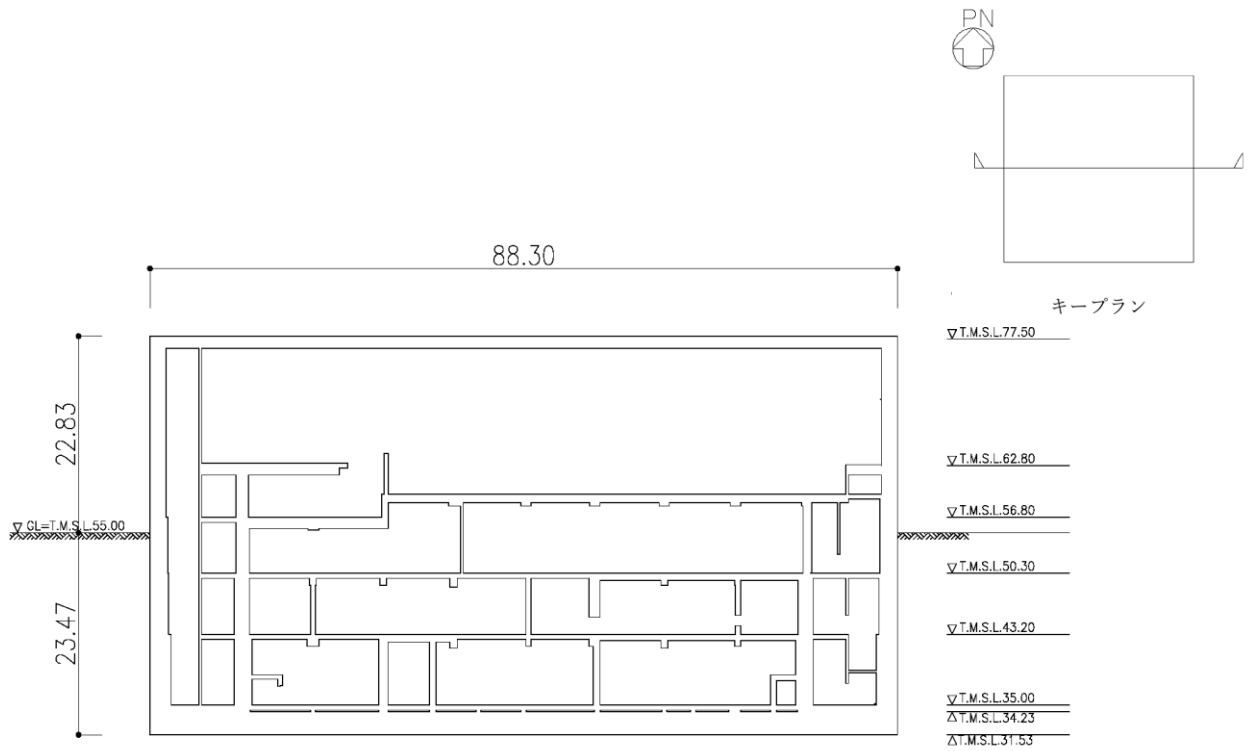
(単位：m)
注記：建屋寸法は、壁外面押えとする。

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



(a) NS 方向

(単位 : m)



(b) EW 方向

(単位 : m)

第 2.1-2 図 概略断面図

(参考) -10

2.2 3次元 FEM モデルによる耐震性評価の方針

燃料加工建屋について 3 次元 FEM モデルを構築し、固有値解析や地震応答解析の結果から、同モデルの妥当性を確認する。その上で、3 次元的な応答特性を把握する。また、弾性設計用地震動 S_d による地震応答解析を行い、建屋の平均的な応答や局所的な応答を把握する。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 considering 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持つ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、現実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。

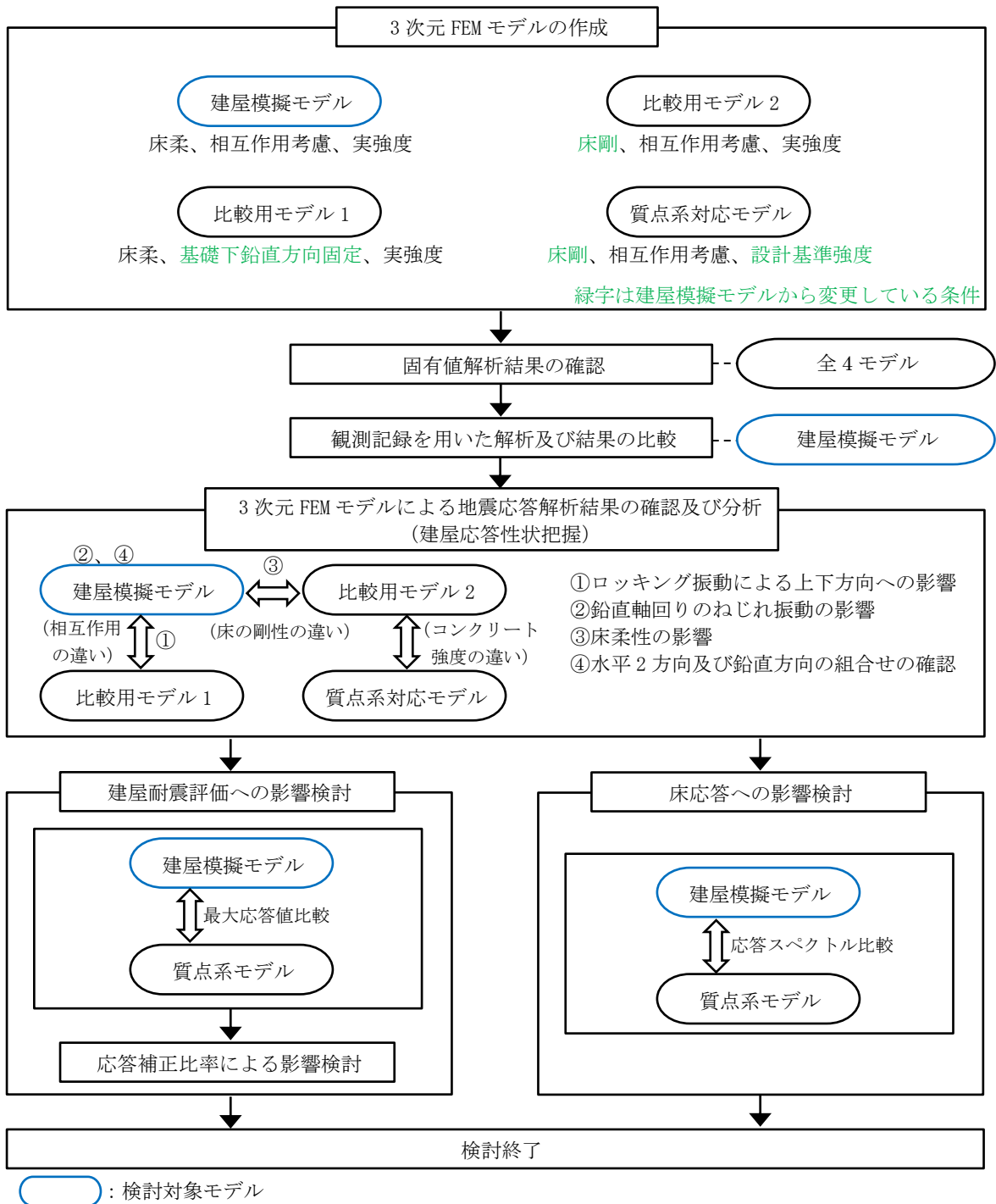
上記4ケース(a.～d.)の解析モデルの概要を第2.2-1表に示す。

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

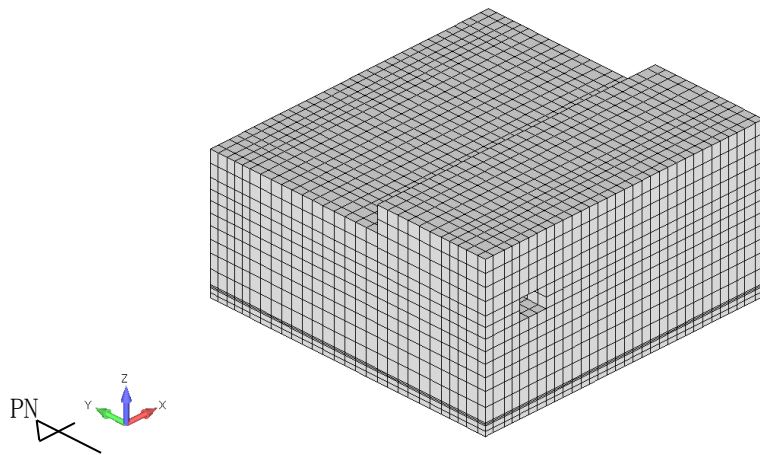
燃料加工建屋の 3次元 FEM モデルを構築する。解析モデルを第 3.1-1 図に示す。また、各階のモデル図を第 3.1-2 図に示す。

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 程度とする。

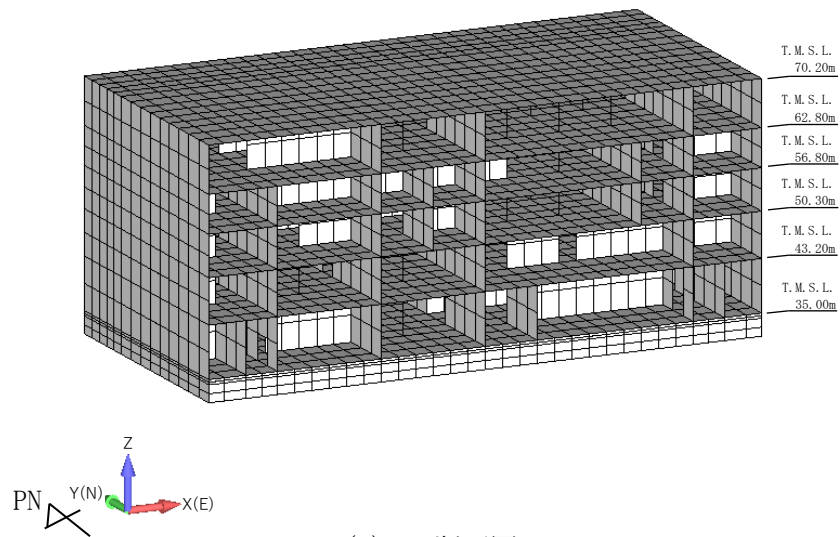
使用材料及び地盤の物性値をそれぞれ第 3.1-1 表及び第 3.1-2 表に示す。また、地盤のひずみ依存性を第 3.1-3 図に示す。コンクリート強度は、建屋模擬モデル、比較用モデル 1 及び比較用モデル 2 に対しては実強度を、質点系対応モデルに対しては、設計基準強度を用いるものとする。なお、コンクリートの実強度については、既認可での使用前検査の実績である、基礎スラブ及び地下 3 階壁・柱等のコンクリートの圧縮強度試験結果の平均値とし、モデル全体に適用した。

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

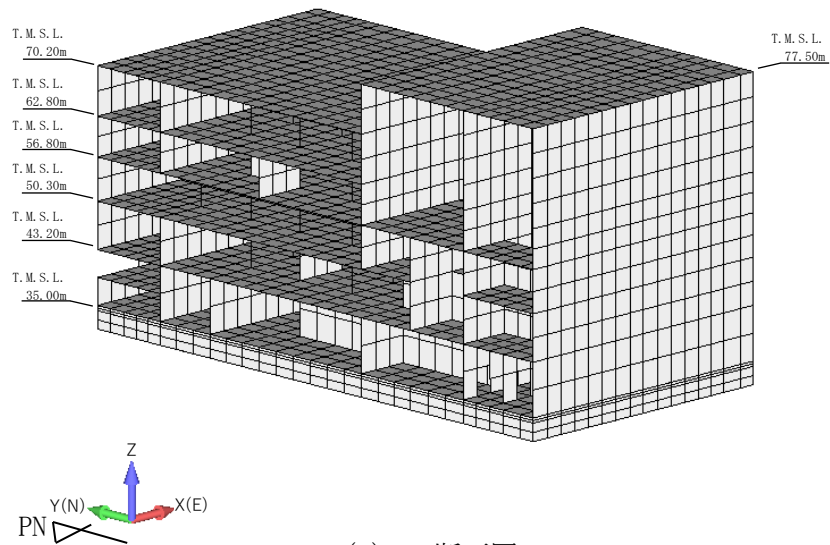
建屋－地盤の相互作用は、添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における質点系モデルの弾性設計用地震動 S_d での基礎底面地盤ばね及び側面地盤ばねと整合するよう地盤をばね要素でモデル化することで考慮する。基礎底面地盤ばねについては、質点系モデルで考慮したスウェイ、ロッキング及び鉛直ばねの値をもとに、3次元 FEM モデルの基礎底面の各節点位置に支配面積に応じて離散化する。ただし、鉛直ばねのうち水平方向加振用は、基礎底面回転ばねをもとに設定する。側面の地盤ばねについては、質点系モデルで考慮している側面水平ばねの値をもとに、各質点レベルに対応する各節点位置に要素面積に応じて離散化する。弾性設計用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



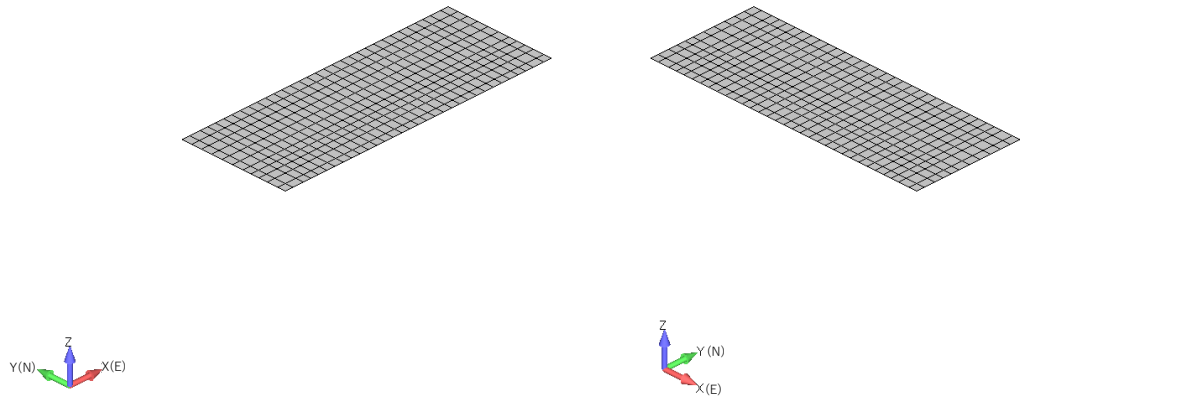
(b) EW 断面図



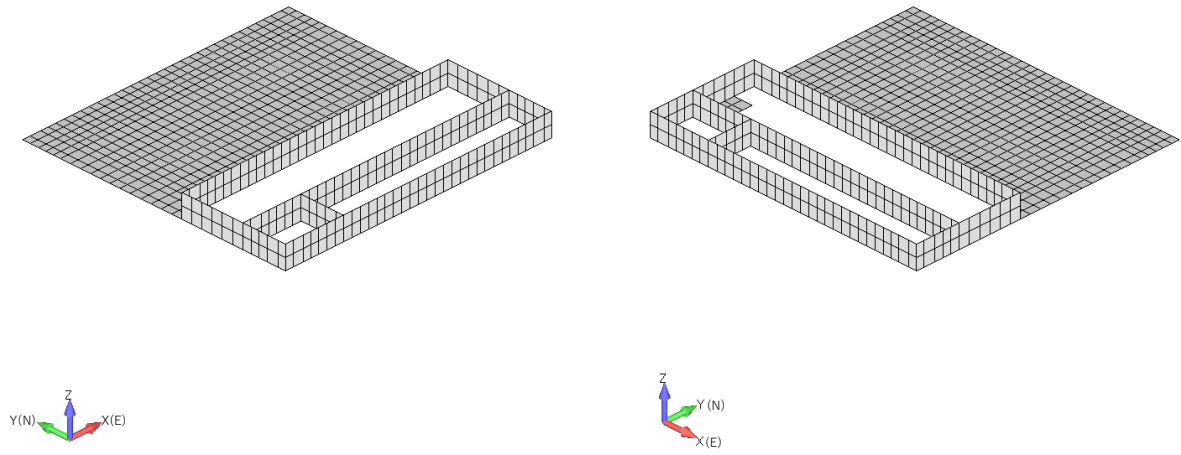
(c) NS 断面図

第 3.1-1 図 解析モデル図

(参考) -15

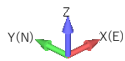
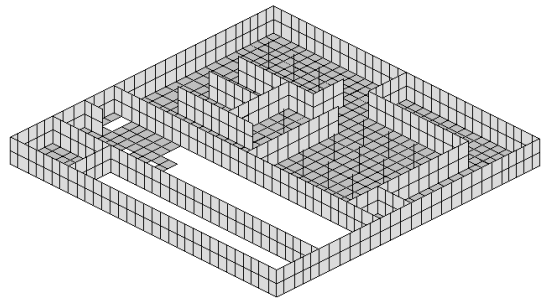
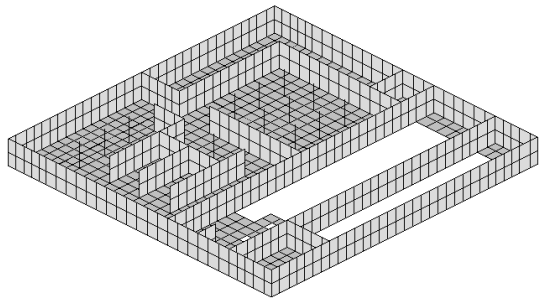


(a) T. M. S. L. 77.50m (屋根スラブ)

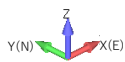
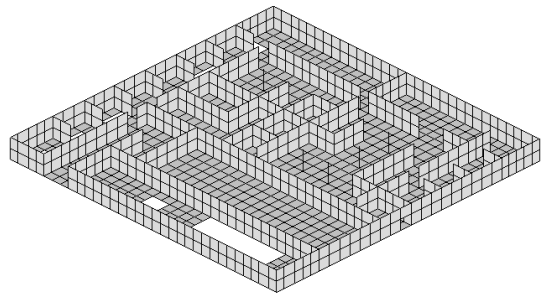
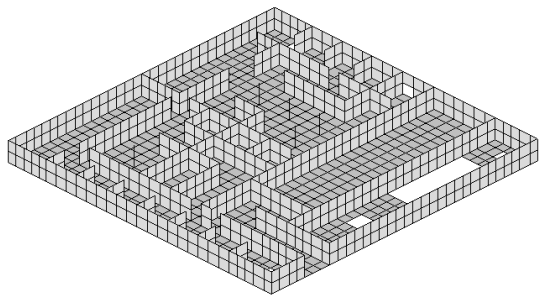


(b) T. M. S. L. 70.20m ~ T. M. S. L. 77.50m

第 3.1-2 図 各階のモデル図 (1/4)

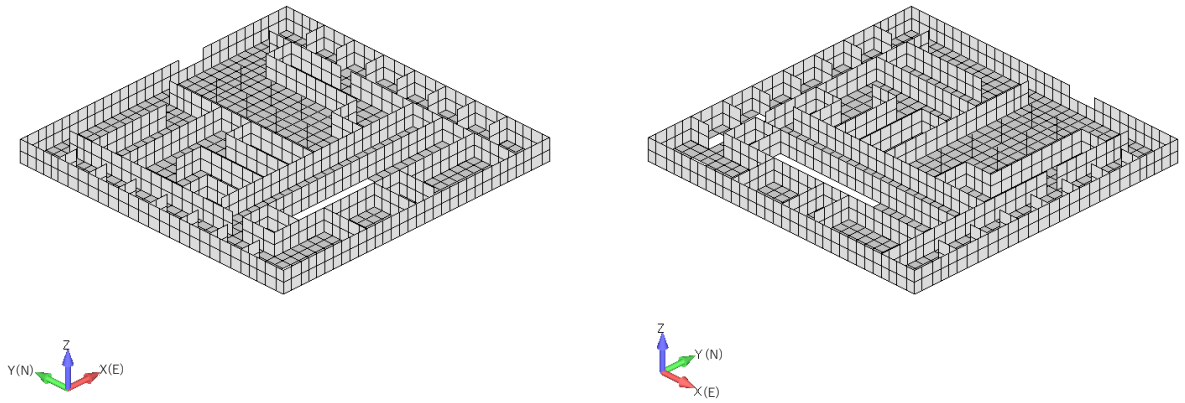


(c) T. M. S. L. 68.20m ~ T. M. S. L. 70.20m

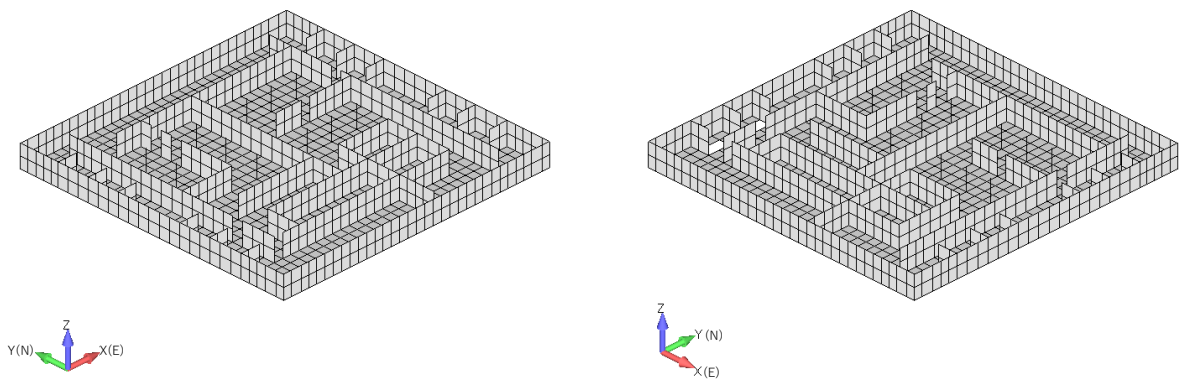


(d) T. M. S. L. 56.80m ~ T. M. S. L. 68.20m

第 3.1-2 図 各階のモデル図 (2/4)

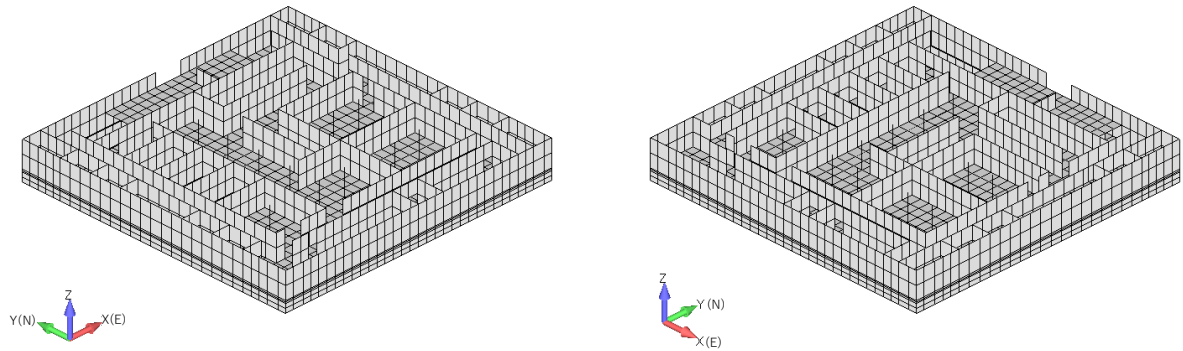


(e) T. M. S. L. 50.30m ~ T. M. S. L. 56.80m



(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. 30.08m ~ 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	2.77×10^4	3.0

第 3.1-2 表 地盤の物性値

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

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

ここで、 D_p は地表面からの深さ (m) を示す。

*2：造成盛土の速度構造 V_s 、 V_p は初期せん断剛性 $G_0 = 32400 + 4020D_p$ (kN/m²) 及び剛性低下率 $G/G_0 = 1/(1+9.27\gamma^{0.992})$ から、下式にて設定する。

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

ここで、 γ は造成盛土のせん断ひずみを示す。

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

*3：造成盛土の減衰定数はひずみ依存特性を考慮し、下式にて設定する。

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

ここで、 γ は造成盛土のせん断ひずみを示す。

*4：六ヶ所層の速度構造 V_s 、 V_p は初期せん断剛性 $G_0 = 303000$ (kN/m²) 及び剛性低下率 $G/G_0 = 1/(1+5.91\gamma^{0.758})$ から、下式にて設定する。

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

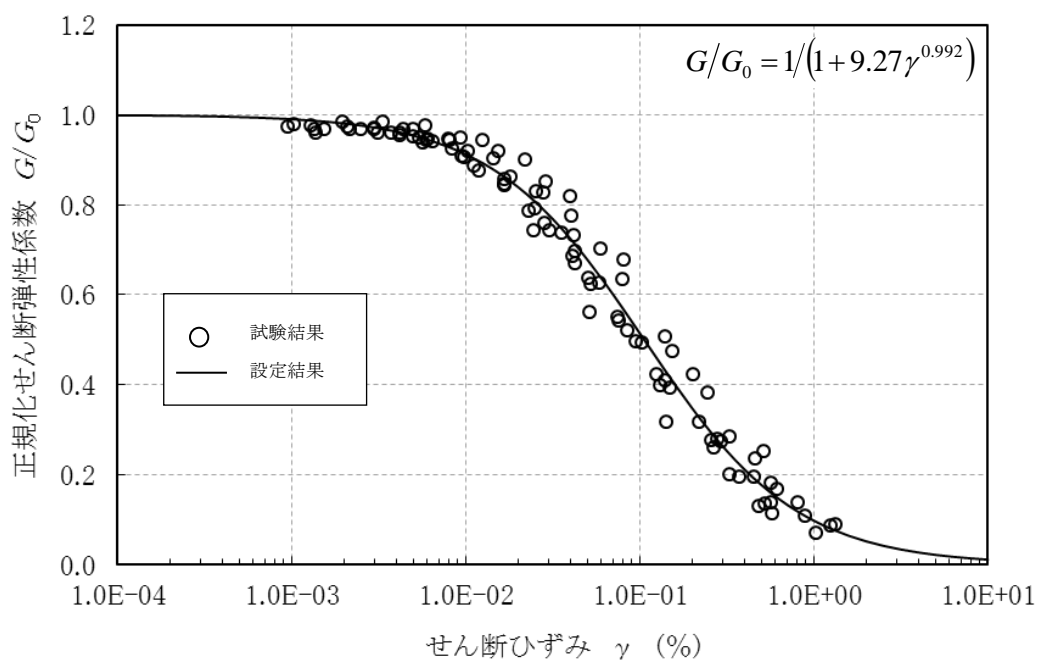
ここで、 γ は六ヶ所層のせん断ひずみを示す。

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

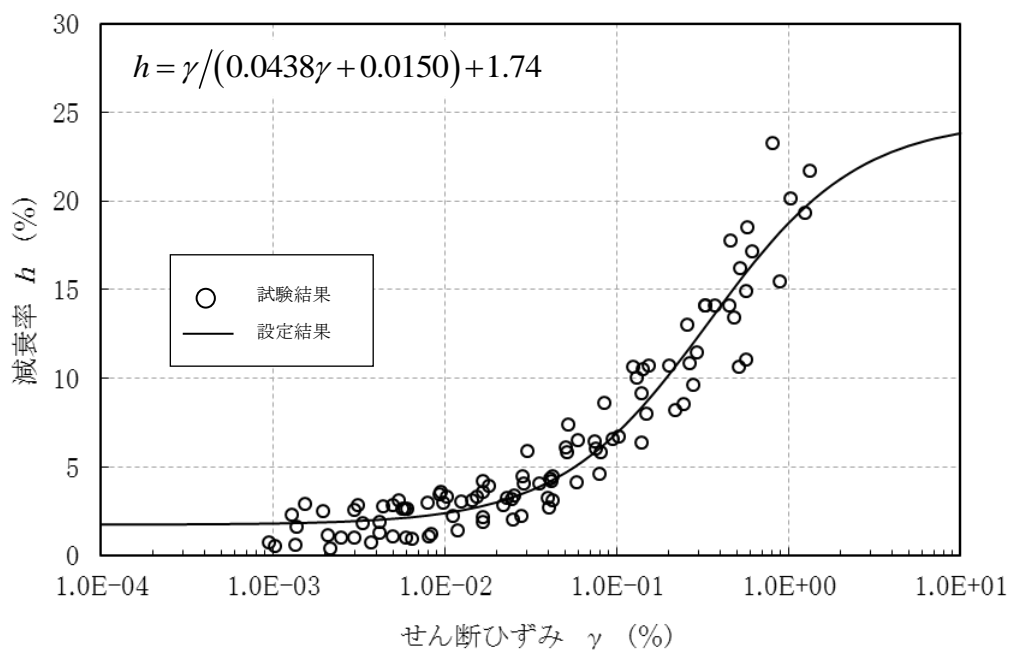
*5：六ヶ所層の減衰定数はひずみ依存特性を考慮し、下式にて設定する。

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

ここで、 γ は六ヶ所層のせん断ひずみを示す。

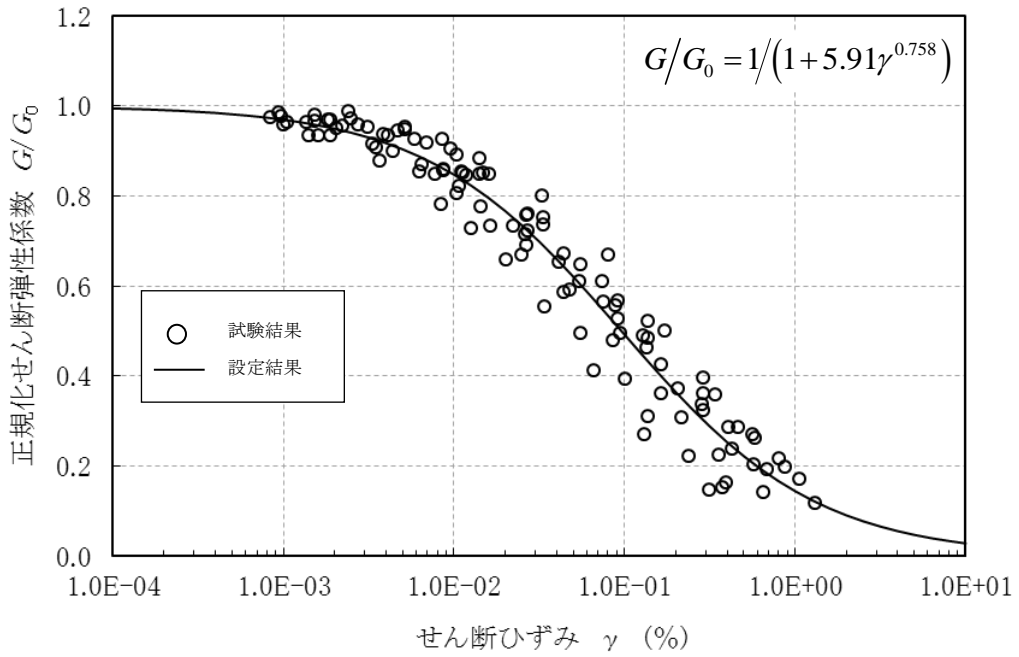


(a) 剛性低下率

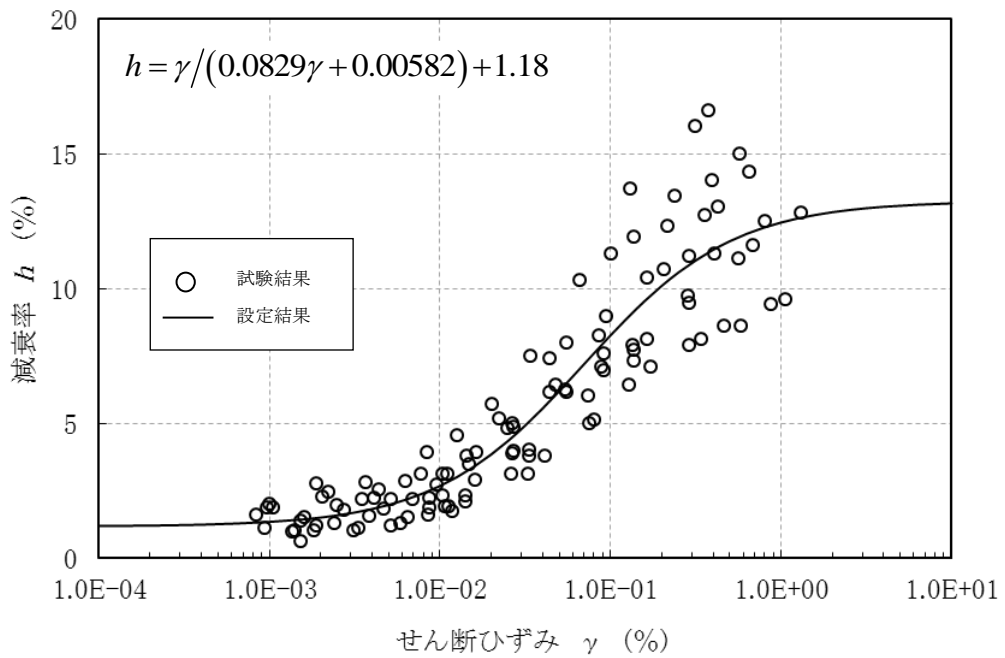


(b) 減衰定数

第 3.1-3 図 ひずみ依存特性 (1/2) (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 (2/2) (六ヶ所層)

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	2.03×10^8	7.60×10^6

(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	2.03×10^8	7.58×10^6

(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	7.56×10^8	8.23×10^6
	EW方向加振時	7.51×10^8	8.36×10^6
	鉛直方向加振時	3.64×10^8	1.75×10^7

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

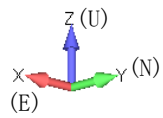
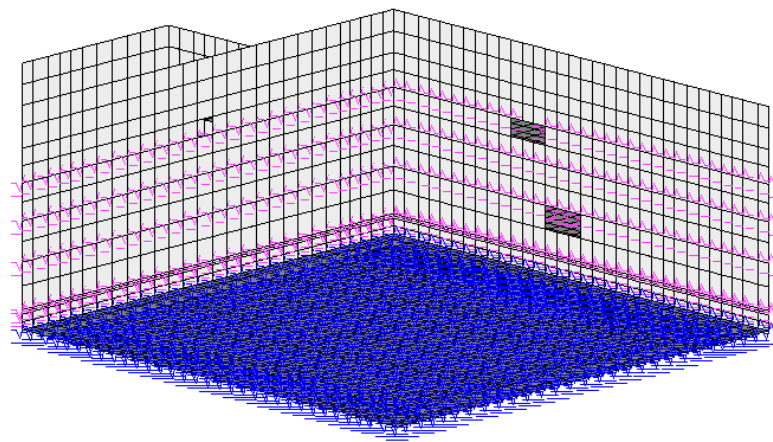
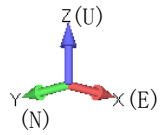
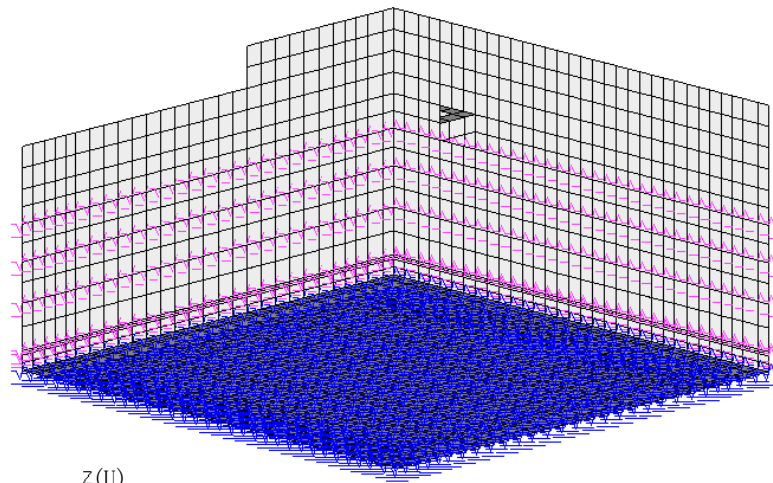
第 3.1-4 表 側面地盤ばね定数と減衰係数 (Sd-A)

(a)NS 方向

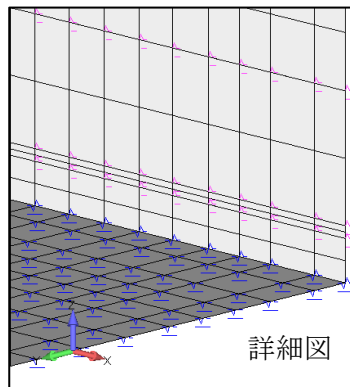
地盤ばね	T. M. S. L. (m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
側面スウェイばね	56.80	1.89×10^5	1.90×10^5
	50.30	2.37×10^6	1.29×10^6
	43.20	7.52×10^6	2.68×10^6
	35.00	4.07×10^6	1.51×10^6
	34.23	1.53×10^6	5.77×10^5
	31.53	1.18×10^6	4.47×10^5

(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	56.80	1.89×10^5	1.90×10^5
	50.30	2.37×10^6	1.29×10^6
	43.20	7.52×10^6	2.68×10^6
	35.00	4.07×10^6	1.51×10^6
	34.23	1.53×10^6	5.78×10^5
	31.53	1.18×10^6	4.48×10^5



青 : 底面地盤ばね
 ピンク : 側面地盤ばね



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ことに差異がある。両モデルの固有値解析結果を比較すると，床を剛とした比較用モデル2の方が建屋模擬モデルよりも固有振動数が大きくなる傾向である。

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

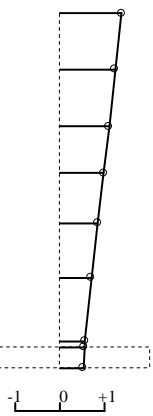
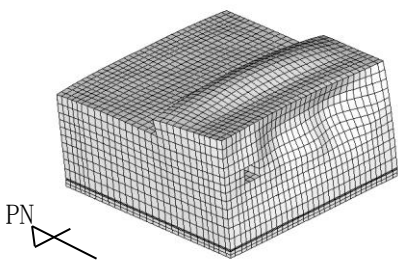
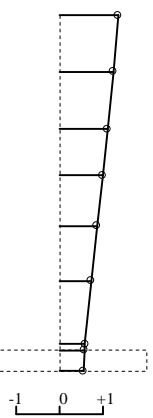
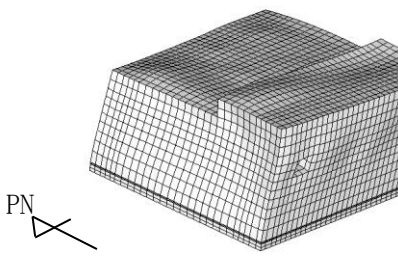
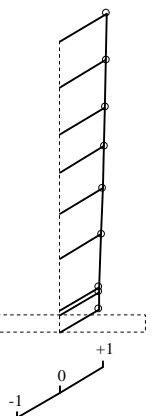
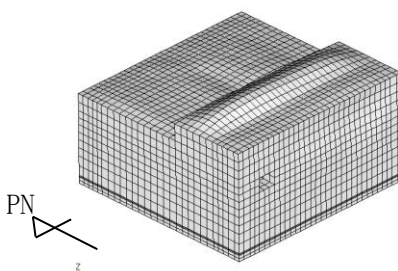
質点系対応モデルと質点系モデルとでは，モデル化する壁に差異がある。質点系対応モデルでは，質点系モデルでモデル化されている壁に加え，耐震評価上剛性としてみられる補助壁等をモデル化している。そのため，両モデルの固有値解析結果を比較すると，質点系対応モデルの方が質点系モデルよりも剛性が大きくなり，固有振動数も大きくなる傾向がみられる。

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	3.15	3.42	3.33	3.29	3.24
EW	3.18	3.45	3.36	3.32	3.28
UD	4.90	8.97	5.05	5.02	5.02

第 3.2-2 表 質点系モデル及び 3 次元 FEM モデルのモード比較

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

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。

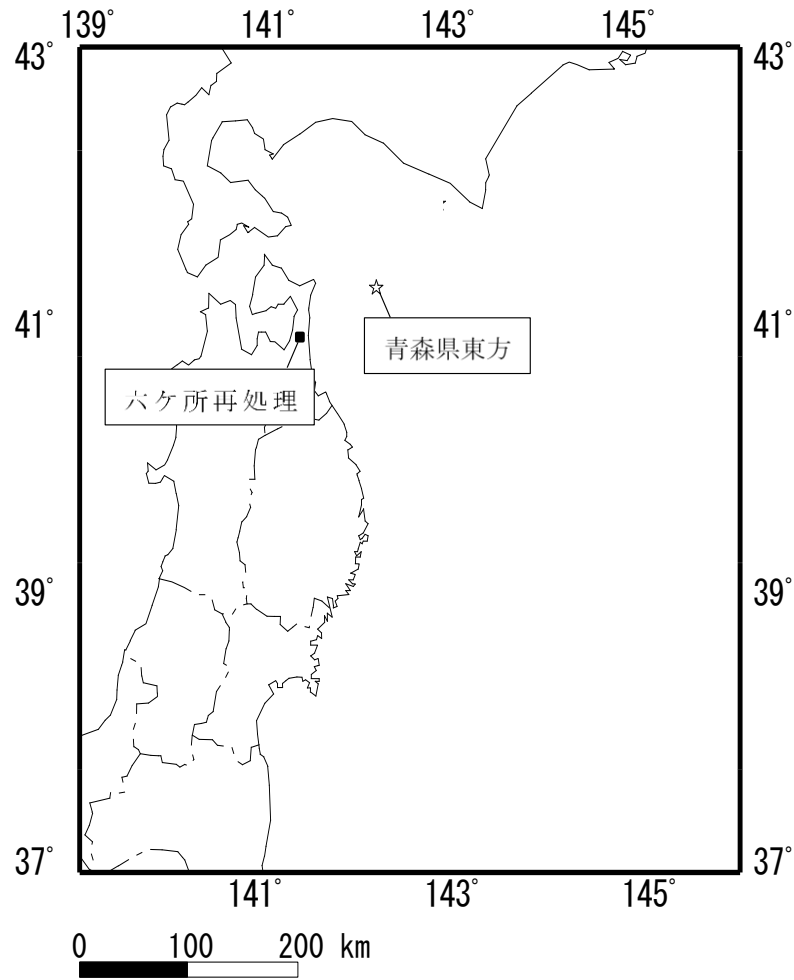
シミュレーション解析に用いた分離建屋の解析モデルは、質点系モデル及び3次元 FEM モデルとする。3次元 FEM モデルは、「2.2 3次元 FEM モデルによる耐震性評価の方針」に示す、「建屋模擬モデル」に相当する条件で構築した。使用材料の物性値及び地盤ばねの物性値を第 3.3.1-3 表～第 3.3.1-6 表に示す。質点系モデルのモデル図を第 3.3.1-5 図及び第 3.3.1-6 図に、質点系モデルの諸元を第 3.3.1-7 表～第 3.3.1-9 表に示す。3次元 FEM モデルのモデル図を第 3.3.1-7 図に示す。

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 3.3.1-8 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

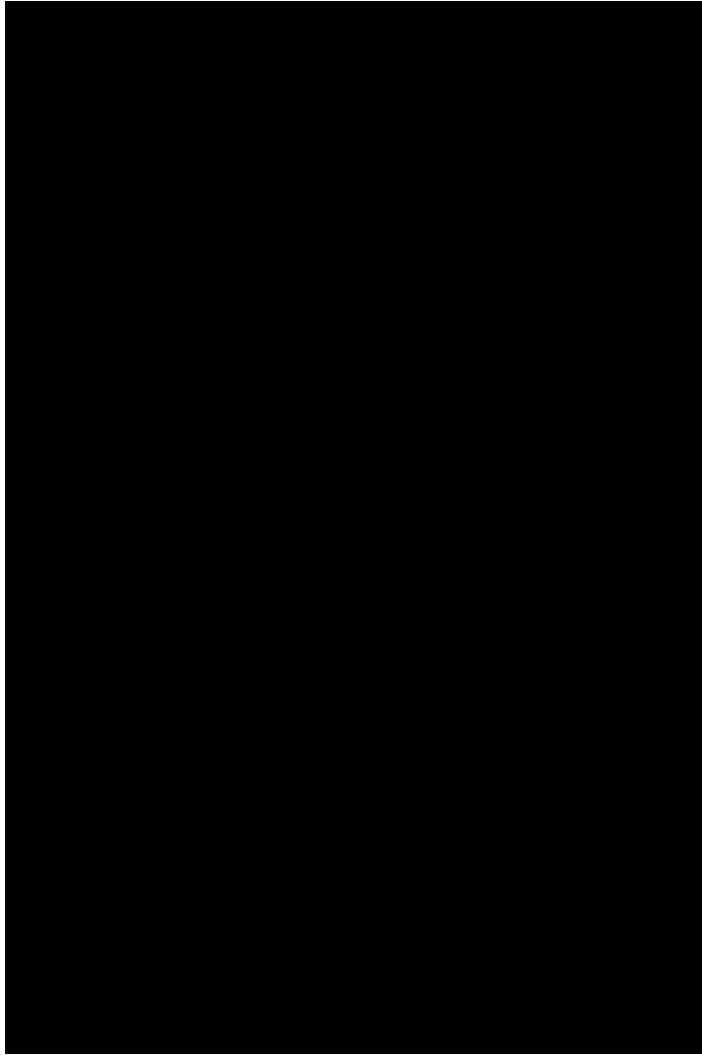
		燃料加工建屋	分離建屋
解 析 条 件	壁及び床のモデル化	シェル要素を用いて，部材の位置，厚さ及び開口位置を適切にモデル化	同左
	モデル条件	第 2.2-1 表の建屋模擬モデル	同左
	解析手法	周波数応答解析	同左



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
					31. 99	29. 48	37. 65
					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

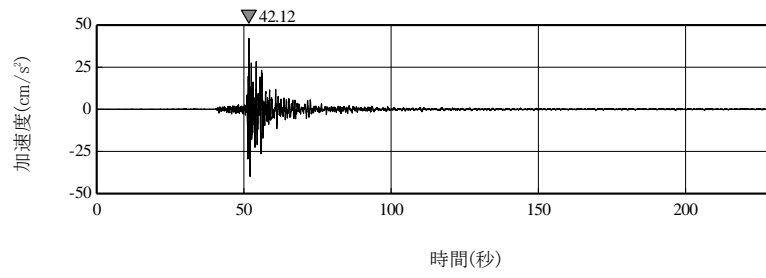
第 3.3.1-2 図 分離建屋における地震計の位置(2/3)



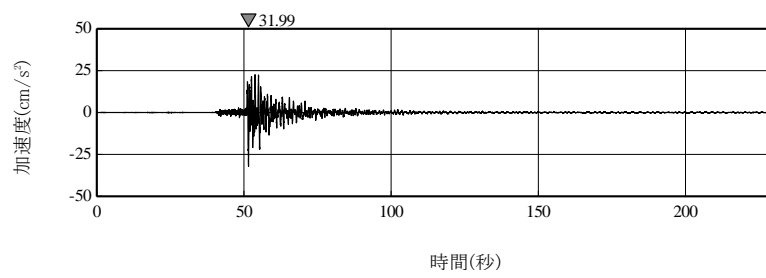
凡例
● : 地震計
(観測成分は, NS 成分, EW 成分及び UD 成分の 3 成分)

(c) 地下 3 階

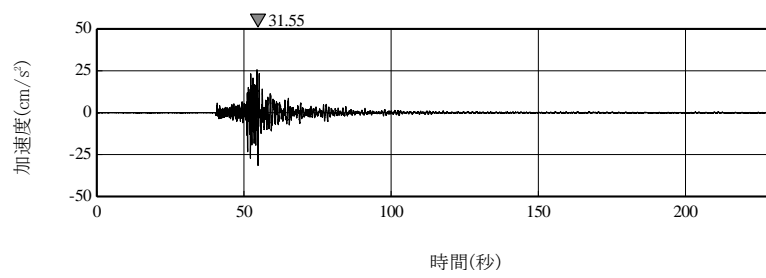
第 3.3.1-2 図 分離建屋における地震計の位置(3/3)



(a) NS 方向

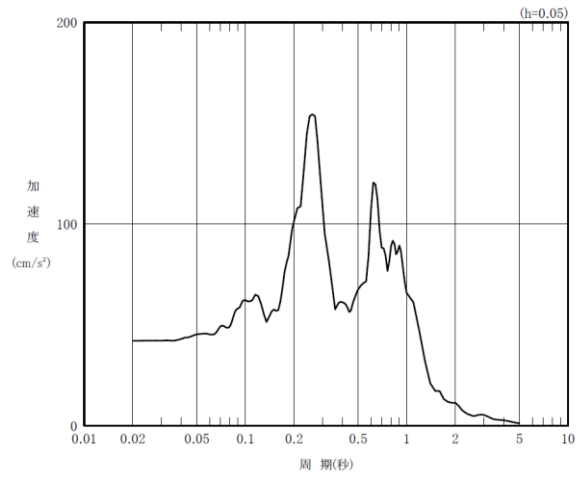


(b) EW 方向

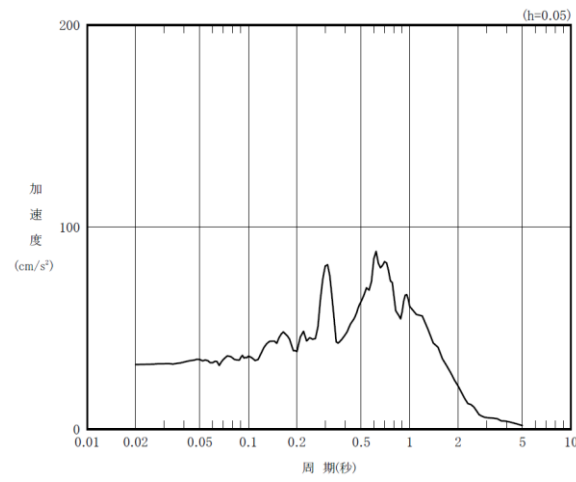


(c) UD 方向

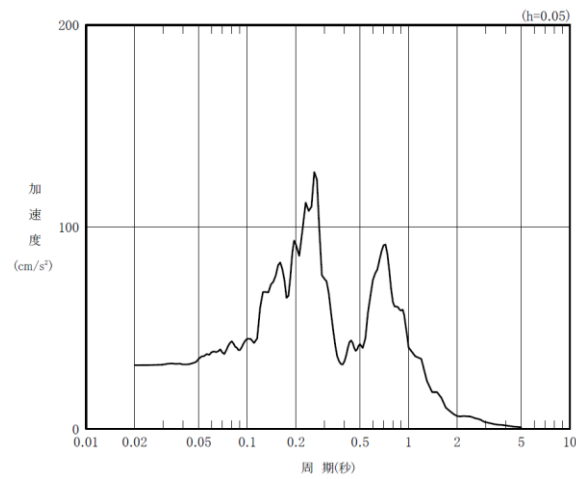
第 3.3.1-3 図 分離建屋地下 3 階で得られた観測記録



(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： Fc=47.5(N/mm ²)	2.85×10 ⁴	1.19×10 ⁴	5

第 3.3.1-4 表 質点系モデルに用いる地盤ばね定数と減衰係数

		方向	ばね定数	減衰定数
底面スウェイばね K _s		NS	2.47×10 ⁸	7.90×10 ⁶
		EW	2.54×10 ⁸	8.39×10 ⁶
底面ロッキングばね K _r		NS	5.48×10 ¹¹	6.01×10 ⁹
		EW	3.39×10 ¹¹	2.43×10 ⁹
側面スウェイばね	K _{S1}	NS	6.26×10 ⁵	2.68×10 ⁵
		EW	6.49×10 ⁵	3.72×10 ⁵
	K _{S2}	NS	2.24×10 ⁶	7.78×10 ⁵
		EW	2.33×10 ⁶	1.10×10 ⁶
	K _{S3}	NS	3.40×10 ⁶	9.79×10 ⁵
		EW	3.53×10 ⁶	1.37×10 ⁶
	K _{S4}	NS	2.17×10 ⁶	5.63×10 ⁵
		EW	2.26×10 ⁶	7.79×10 ⁵
	K _{S5}	NS	1.58×10 ⁶	3.86×10 ⁵
		EW	1.64×10 ⁶	5.37×10 ⁵
	K _{S6}	NS	1.27×10 ⁶	3.01×10 ⁵
		EW	1.32×10 ⁶	4.15×10 ⁵
底面鉛直ばね K _v		UD	3.45×10 ⁸	1.67×10 ⁷

※スウェイばね及び鉛直ばね：ばね定数 (kN/m) , 減衰係数 (kN・s/m)

ロッキングばね：ばね定数 (kN・m/rad) , 減衰係数 (kN・m・s/rad)

第 3.3.1-5 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 方向加振時ばねは、SR 回転ばね定数 / 基礎断面二次モーメント × 基礎断面積

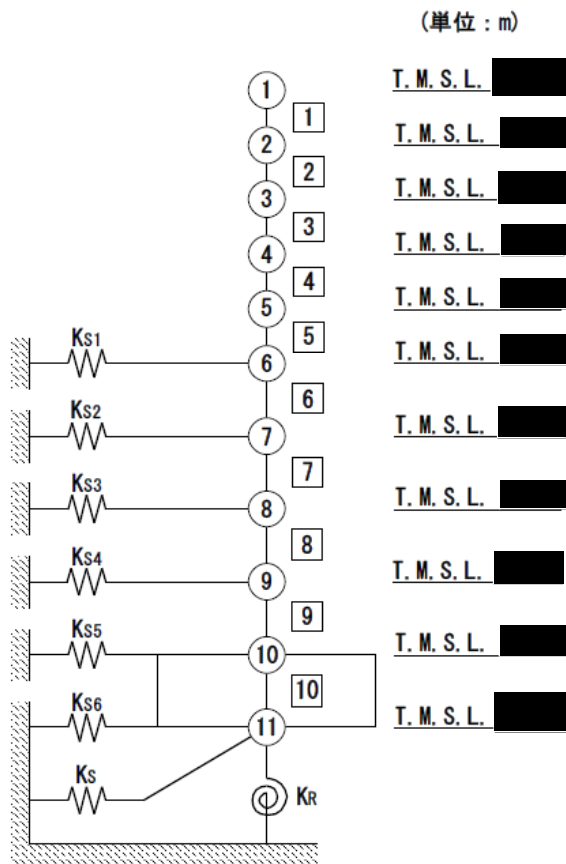
第 3.3.1-6 表 3次元 FEM モデルに用いる側面地盤ばね定数と減衰係数

(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

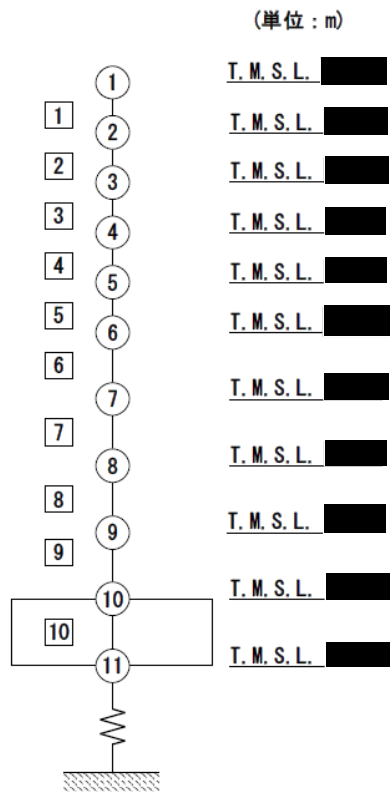
地盤ばね	T. M. S. L. (m)	ばね定数 (kN/m)	減衰係数 (kN・s/m)
側面スウェイばね	55.39	6.49×10^5	3.72×10^5
	50.29	2.33×10^6	1.10×10^6
	43.49	3.53×10^6	1.37×10^6
	38.39	2.26×10^6	7.79×10^5
	37.39	1.64×10^6	5.37×10^5
	34.39	1.32×10^6	4.15×10^5



注記 1 : ○数字は質点番号を示す。

注記 2 : □番号は要素番号を示す。

第 3.3.1-5 図 分離建屋の解析モデル (水平方向)



注記 1 : ○数字は質点番号を示す。

注記 2 : □番号は要素番号を示す。

第 3.3.1-6 図 分離建屋の解析モデル (鉛直方向)

第 3.3.1-7 表 地震応答解析モデル諸元 (NS 方向)

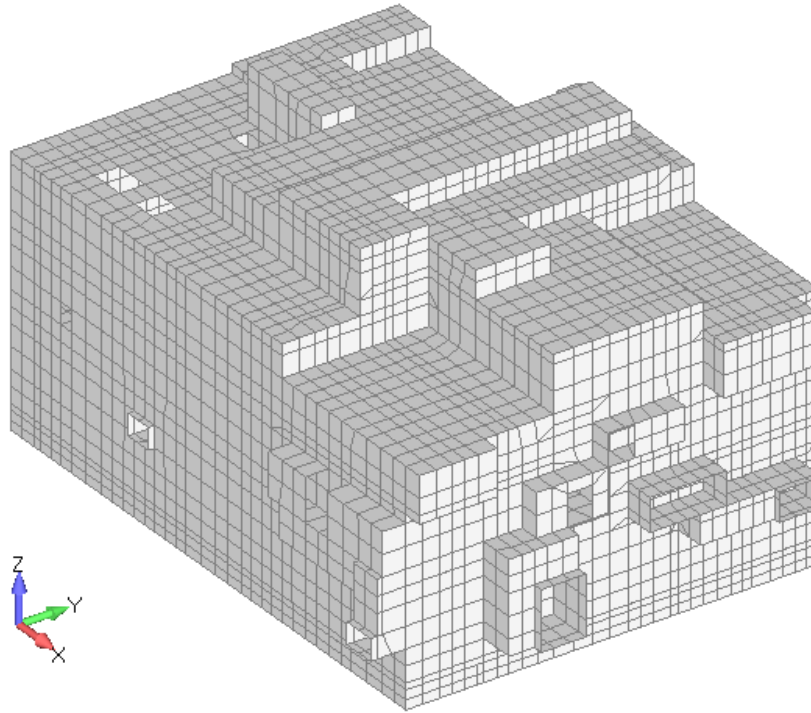
質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 I_g ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素 番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	断面二次 モーメント I ($\times 10^4 \text{m}^4$)	せん断 断面積 A_s (m^2)
①		25080	0.5	①		0.07	47.9
②		136790	45.6	②		7.70	276.7
③		291650	174.7	③		22.15	501.6
④		300130	195.3	④		38.52	711.0
⑤		297060	193.3	⑤		44.94	852.9
⑥		328810	214.0	⑥		48.21	893.4
⑦		350410	229.0	⑦		51.47	905.8
⑧		314050	205.2	⑧		56.84	886.8
⑨		213660	139.5	⑨		89.53	1443.0
⑩		216950	141.7	⑩		367.38	5626.8
⑪		213180	139.2	—	—	—	—
建屋総重量		2687770	—	—	—	—	—

第 3.3.1-8 表 地震応答解析モデル諸元 (EW 方向)

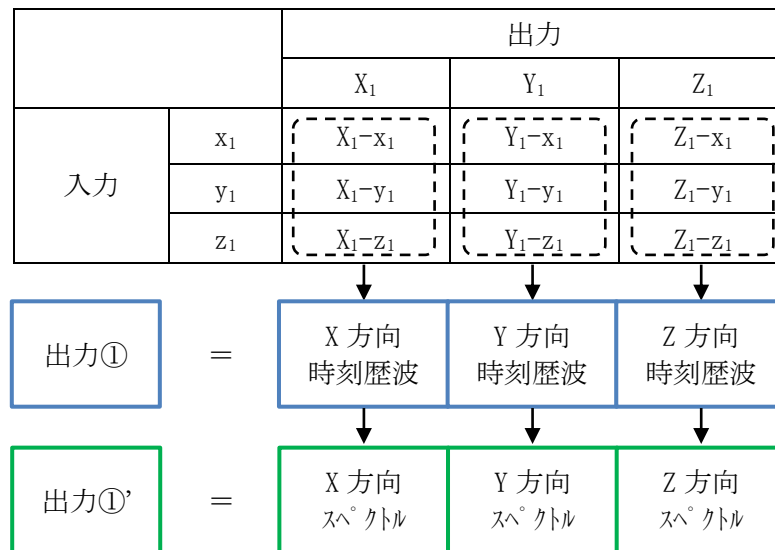
質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 I_g ($\times 10^6 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素 番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	断面二次 モーメント I ($\times 10^4 \text{m}^4$)	せん断 断面積 A_s (m^2)
①		25080	5.6	①		0.71	130.9
②		136790	21.6	②		1.40	193.6
③		291650	93.0	③		7.02	334.3
④		300130	102.4	④		14.66	573.4
⑤		297060	101.3	⑤		17.98	614.6
⑥		328810	112.2	⑥		20.09	717.4
⑦		350410	118.6	⑦		21.57	739.4
⑧		314050	106.2	⑧		21.70	675.1
⑨		213660	72.2	⑨		33.44	1159.5
⑩		216950	73.3	⑩		190.05	5626.8
⑪		213180	72.0	—	—	—	—
	建屋総重量	2687770	—	—	—	—	—

第 3.3.1-9 表 地震応答解析モデル諸元 (鉛直方向)

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	要素番号	要素位置 T. M. S. L. (m)	軸断面積 A (m ²)
①		25080	1		193.9
②		136790	2		515.9
③		291650	3		913.8
④		300130	4		1280.4
⑤		297060	5		1424.8
⑥		328810	6		1535.6
⑦		350410	7		1545.2
⑧		314050	8		1465.5
⑨		213660	9		2369.9
⑩		216950	10		5626.8
⑪		213180	—	—	—
建屋総重量		2687770	—	—	—



第 3.3.1-7 図 分離建屋の 3 次元 FEM モデル



第 3.3.1-8 図 3 次元 FEM モデルによる応答算出の考え方

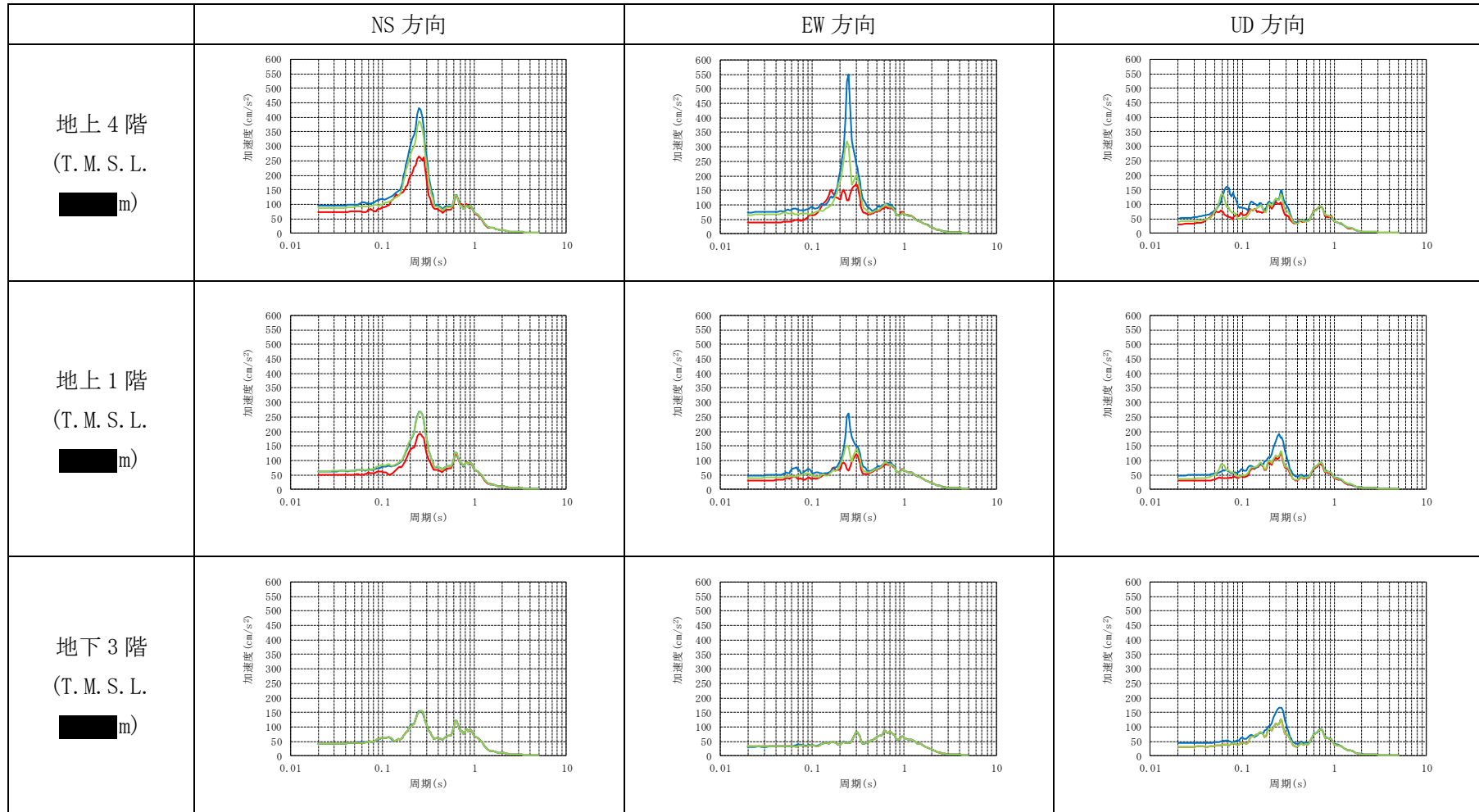
3.3.2 観測記録を用いた検討の結果

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3.3.2-1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。観測記録を用いた検討の結果、質点系モデル及び3次元FEMモデルによるシミュレーション解析結果は観測記録のスペクトル形状と概ね再現できているため、3次元FEMモデルのモデル化手法については妥当であると言える。

結果についての考察及び資料としての体裁 (SR モデルの結果を載せるか否か等) は現在分析・検討中である。

結果についての考察及び資料としての体裁（SRモデルの結果を載せるか否か等）は現在分析・検討中である。

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 — : 質点系モデル

4. 3次元FEMモデルによる評価

4.1 地震応答解析の概要

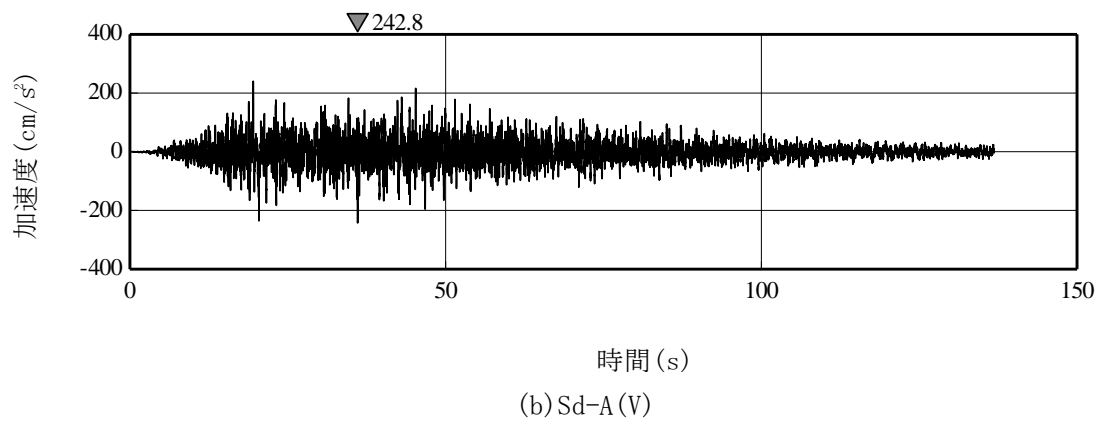
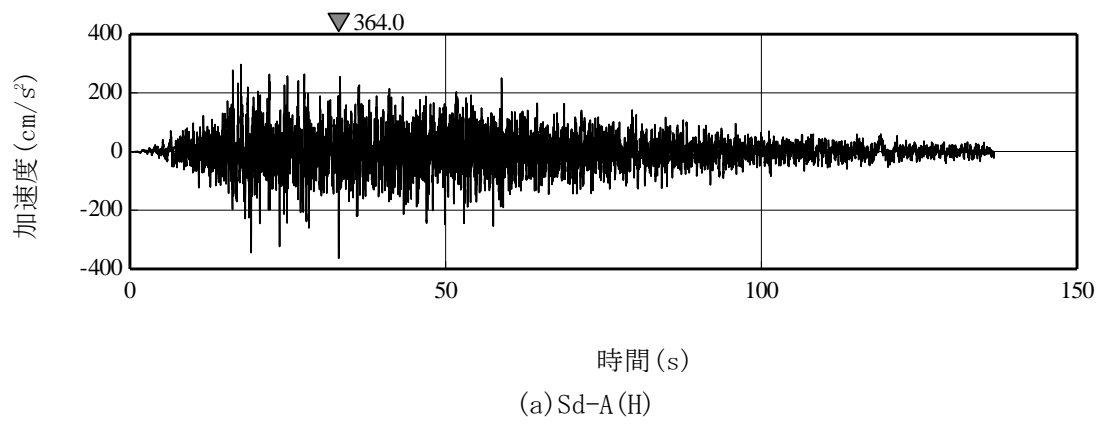
燃料加工建屋の3次元的な応答性状を把握し、それらが建屋耐震評価及び床応答へ及ぼす影響を検討するため、建屋模擬モデル（床柔、相互作用考慮、実強度）、比較用モデル1（床柔、基礎下鉛直方向固定、実強度）、比較用モデル2（床剛、相互作用考慮、実強度）、質点系対応モデル（床剛、相互作用考慮、設計基準強度）の4つの3次元FEMモデルを用いて、弾性設計用地震動Sdに対する地震応答解析を実施する。

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。

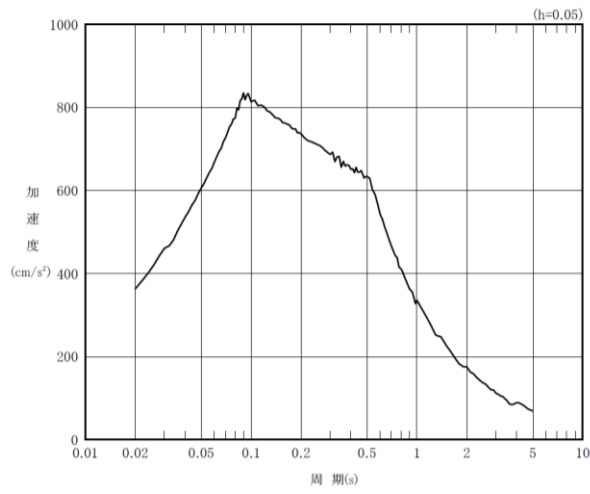
3次元FEMモデルによる地震応答解析は、NS方向、EW方向及び鉛直方向の各々に対して行う。水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を確認する際には、各方向に入力して得られた各成分の応答を時刻歴で足し合わせるにより算出する。

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。

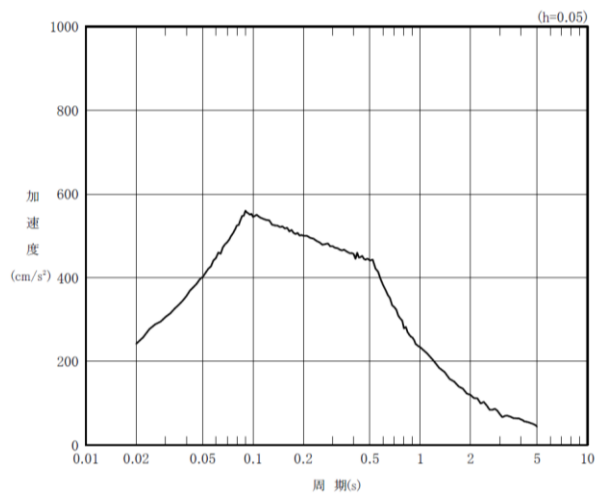


注記：「H」は水平方向，「V」は鉛直方向を示す。

第 4. 1-1 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度時刻歴波形



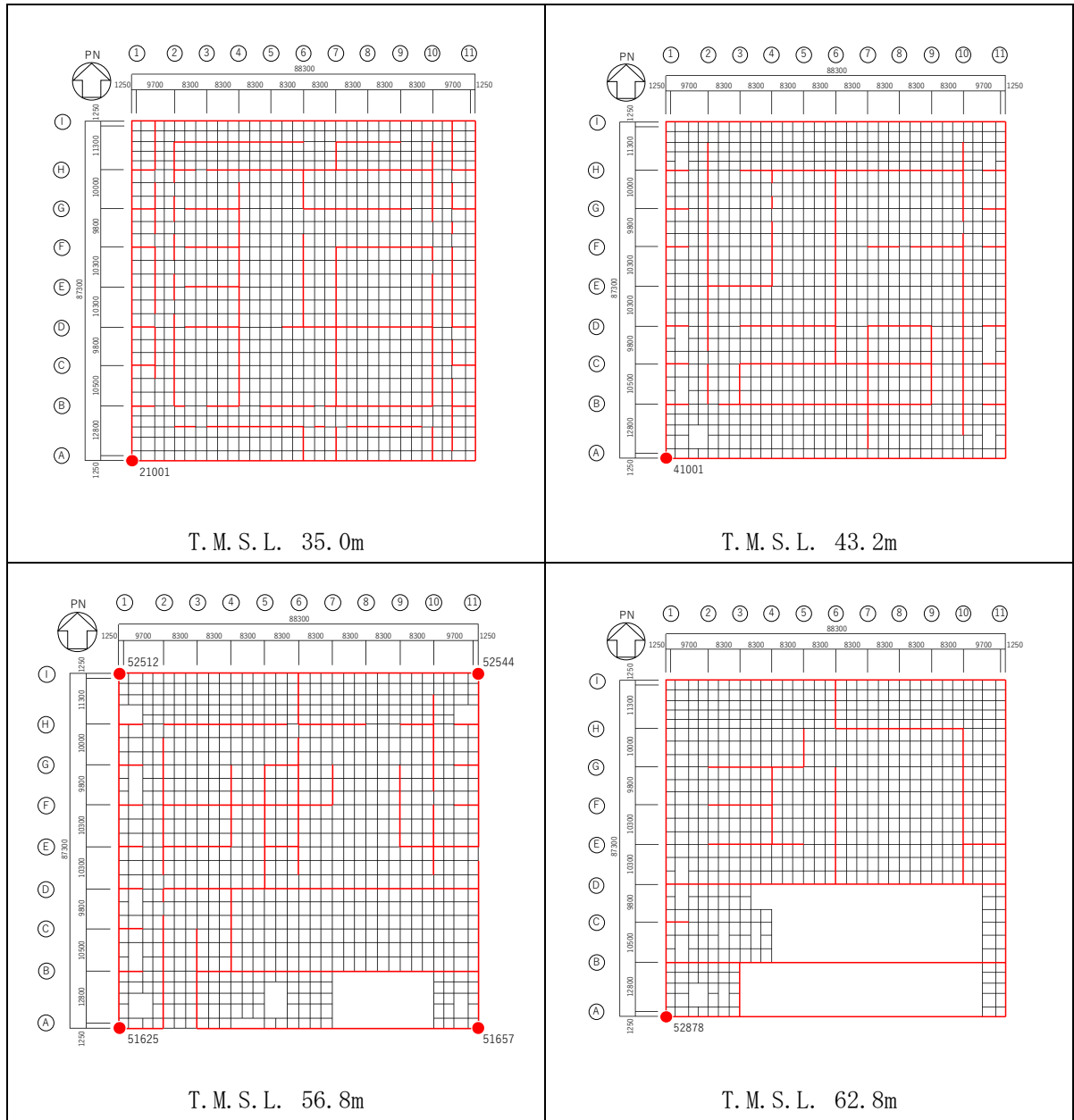
(a) Sd-A (H)



(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 图 応答評価位置

(単位：m)

T.M.S.L. 77.50

T.M.S.L. 70.20

T.M.S.L. 62.80

T.M.S.L. 56.80

T.M.S.L. 50.30

T.M.S.L. 43.20

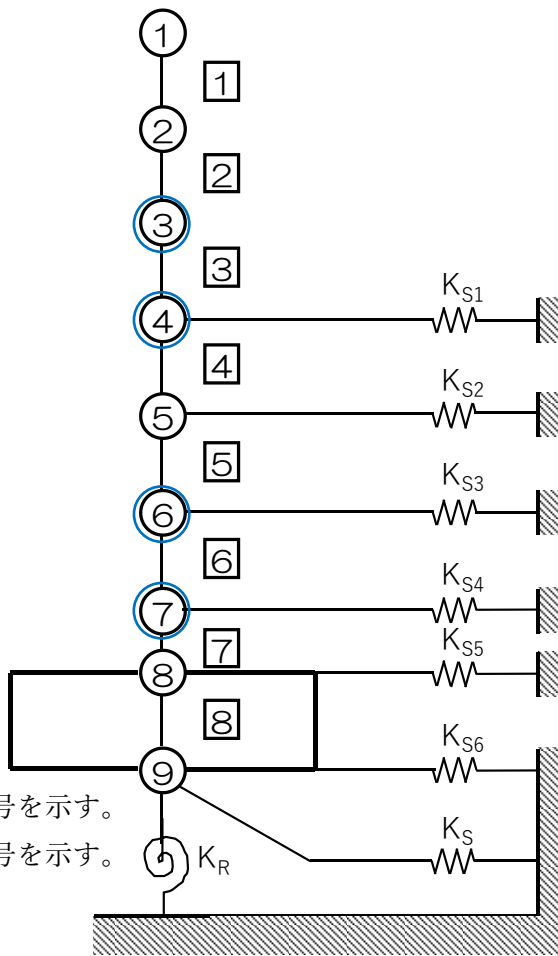
T.M.S.L. 35.00

T.M.S.L. 34.23

T.M.S.L. 31.53

注記 1：○数字は質点番号を示す。

注記 2：□数字は要素番号を示す。



○：対応質点

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

4.2 建屋応答性状の把握

建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度），比較用モデル1（床柔，基礎下鉛直方向固定，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：建屋模擬モデルー比較用モデル1間で比較
- (2) 鉛直軸回りのねじれ振動の影響：建屋模擬モデルの加振方向及び直交方向の応答で比較
- (3) 床柔性の影響：建屋模擬モデルー比較用モデル2間で比較
- (4) 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せの影響：建屋模擬モデルの水平1方向入力と3方向入力で比較

(1) 基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響

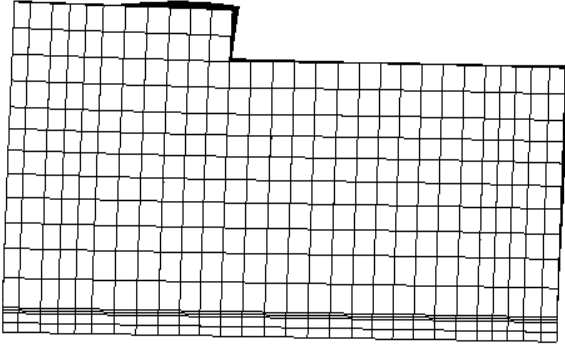
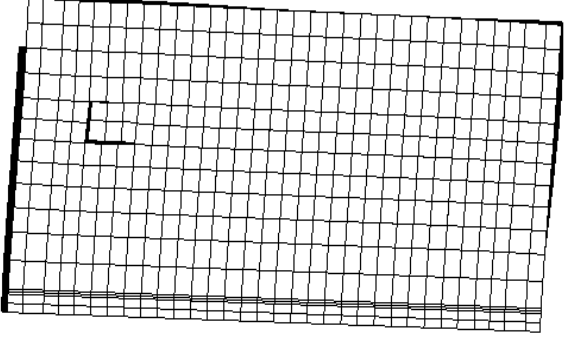
基礎のロッキング振動による鉛直方向応答への影響については，ロッキング振動を考慮している建屋模擬モデル（床柔，相互作用考慮，実強度）及びロッキング振動を考慮していない比較用モデル1（床柔，基礎下鉛直方向固定，実強度）の鉛直方向応答を比較することで検討する。鉛直方向の応答を比較するため，地震動は弾性設計用地震動 Sd-A を水平1方向及び鉛直方向に入力する。

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. 35.0m) を抽出した。評価点 No. 21001 は，ロッキング振動の影響が現れる部位であり，比較用モデル1は基礎下鉛直方向を固定しているため，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 (ロックイング)

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

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

T. M. S. L. 35.0m No. 21001		
	<p>NS+鉛直 方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: center;">▽3.15Hz</p> <p style="text-align: right;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 1</p>
	<p>EW+鉛直 方向 加振時 鉛直応答</p>	<p style="text-align: center;">▽3.18Hz</p> <p style="text-align: right;">— : 建屋模擬モデル — : 比較用モデル 1</p>

(2) 鉛直軸回りのねじれの影響

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

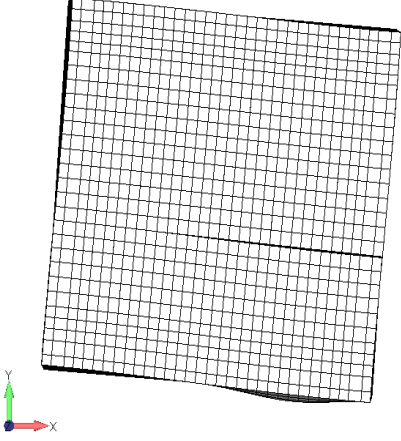
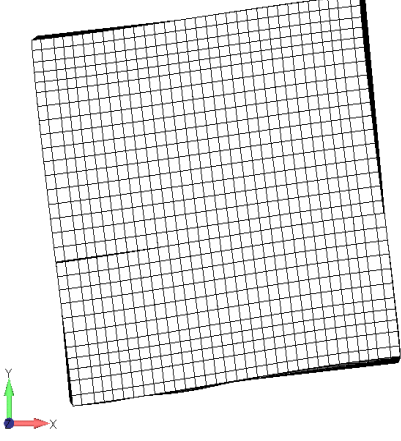
応答比較に用いる評価点は、No. 21001 (T.M.S.L. 35.0m), No. 41001 (T.M.S.L. 43.2m), No. 51625 (T.M.S.L. 56.8m), No. 52878 (T.M.S.L. 62.8m) とし、弾性設計用地震動Sd-Aを水平1方向に入力し、加振方向と加振直交方向の応答を比較検討する。また、建屋模擬モデルによるねじれ振動の1次の振動モードが得られる固有振動数も踏まえて考察を行う。

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

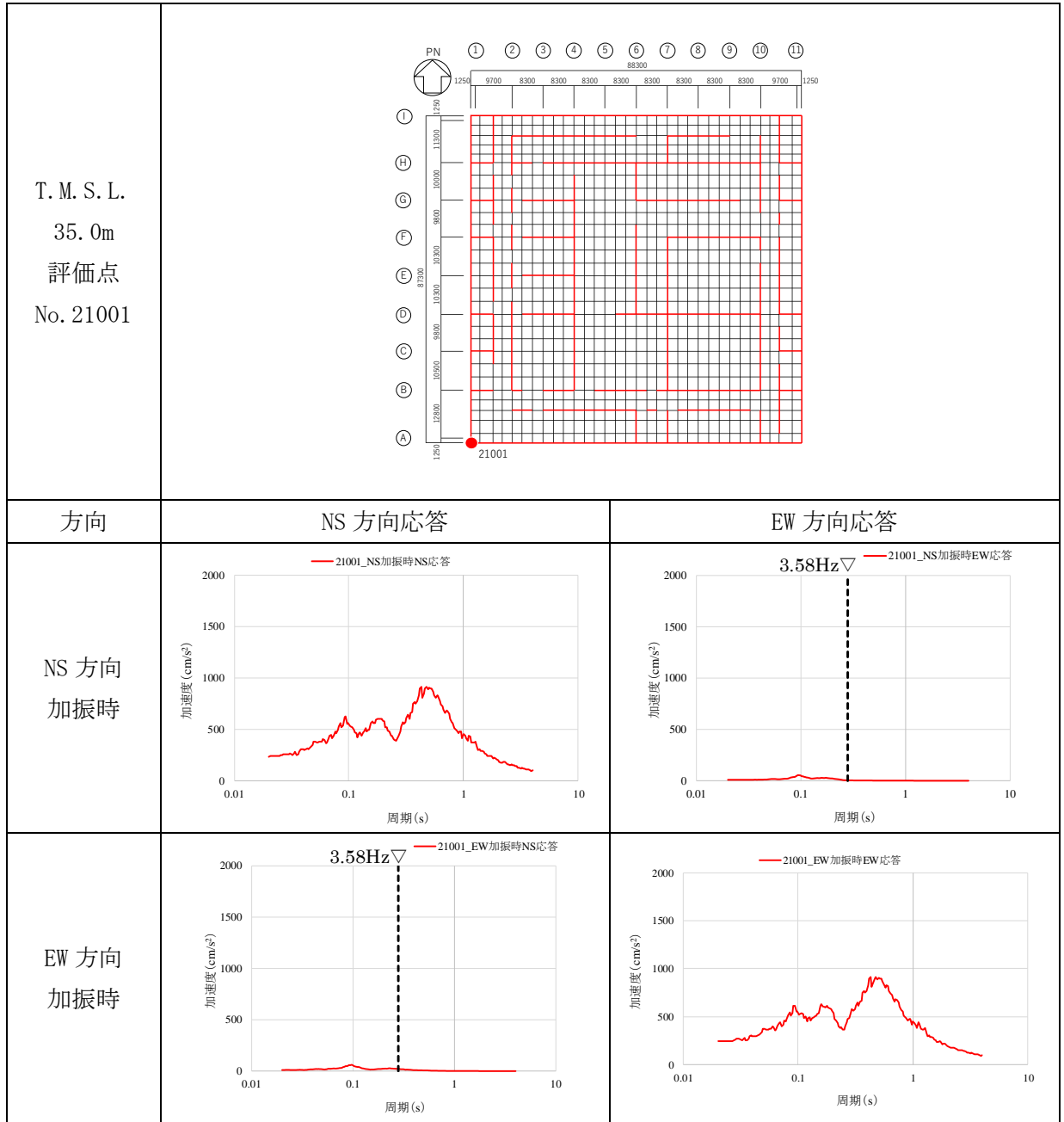
第4.2-4表より、選定した評価点において、第4.2-3表で示した振動数において、加振直交方向の応答が励起されていることがわかる。また、加振直交方向の応答は発生しているものの加振方向の応答と比較して小さくなっている。したがって、水平1方向入力を考慮する場合、加振方向の応答に対して設計を行えば、耐震安全性上問題にはならないと考えられるが、水平2方向の入力を考えた場合ねじれ応答の影響による応答が増幅する可能性がある。

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

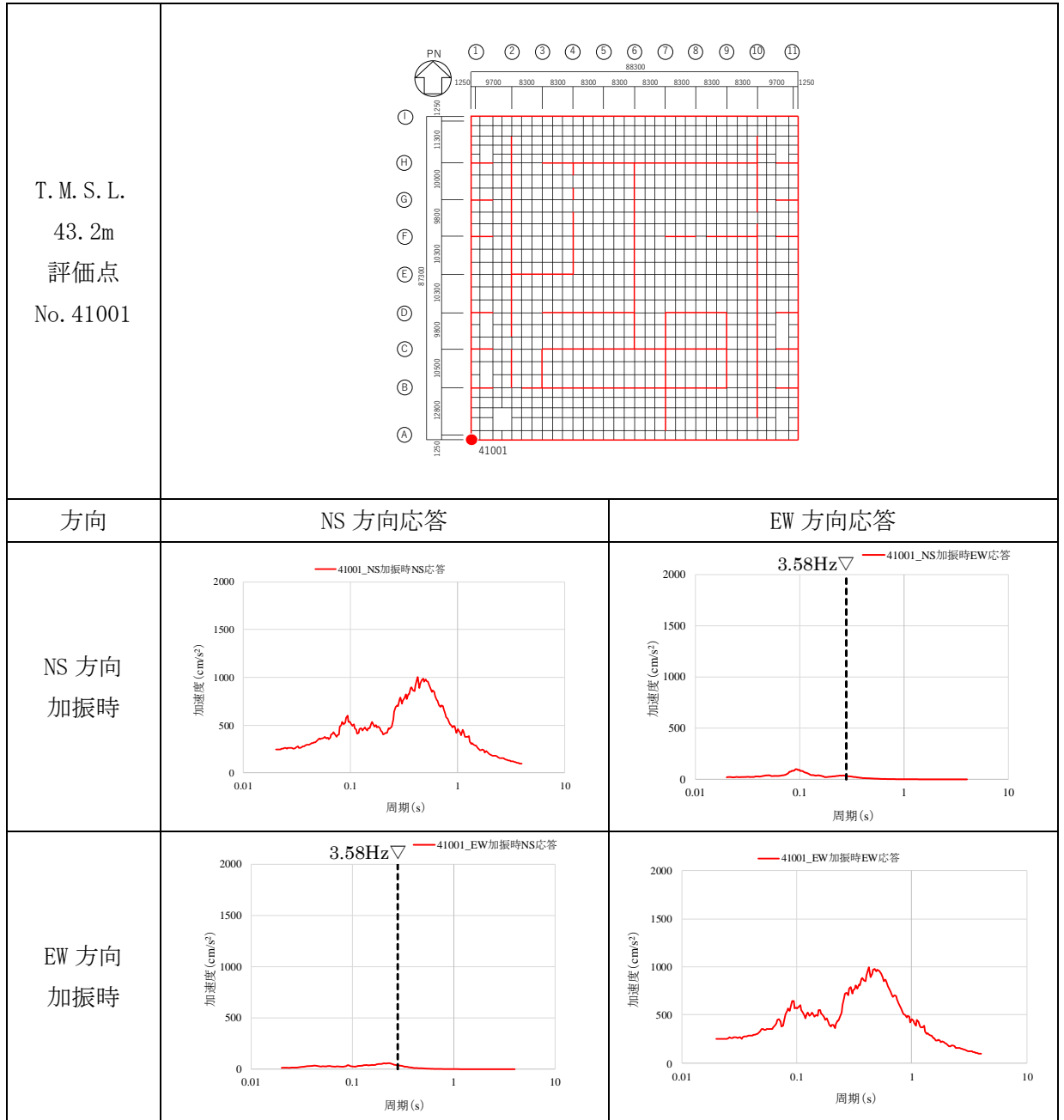
第 4.2-3 表 建屋模擬モデルのモード図 (ねじれ振動)

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

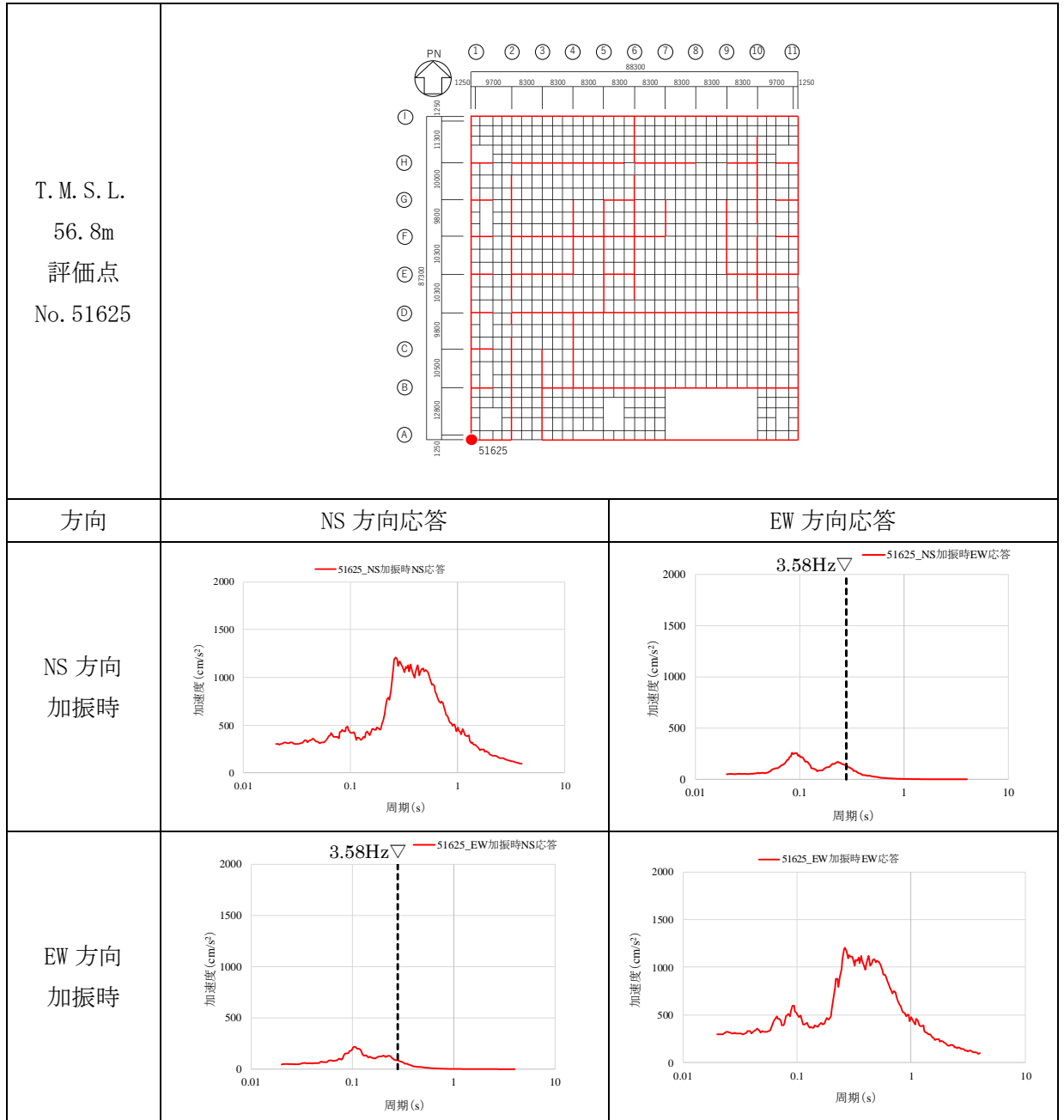
第 4.2-4 表 建屋 3 次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (h=3%) (1/4)



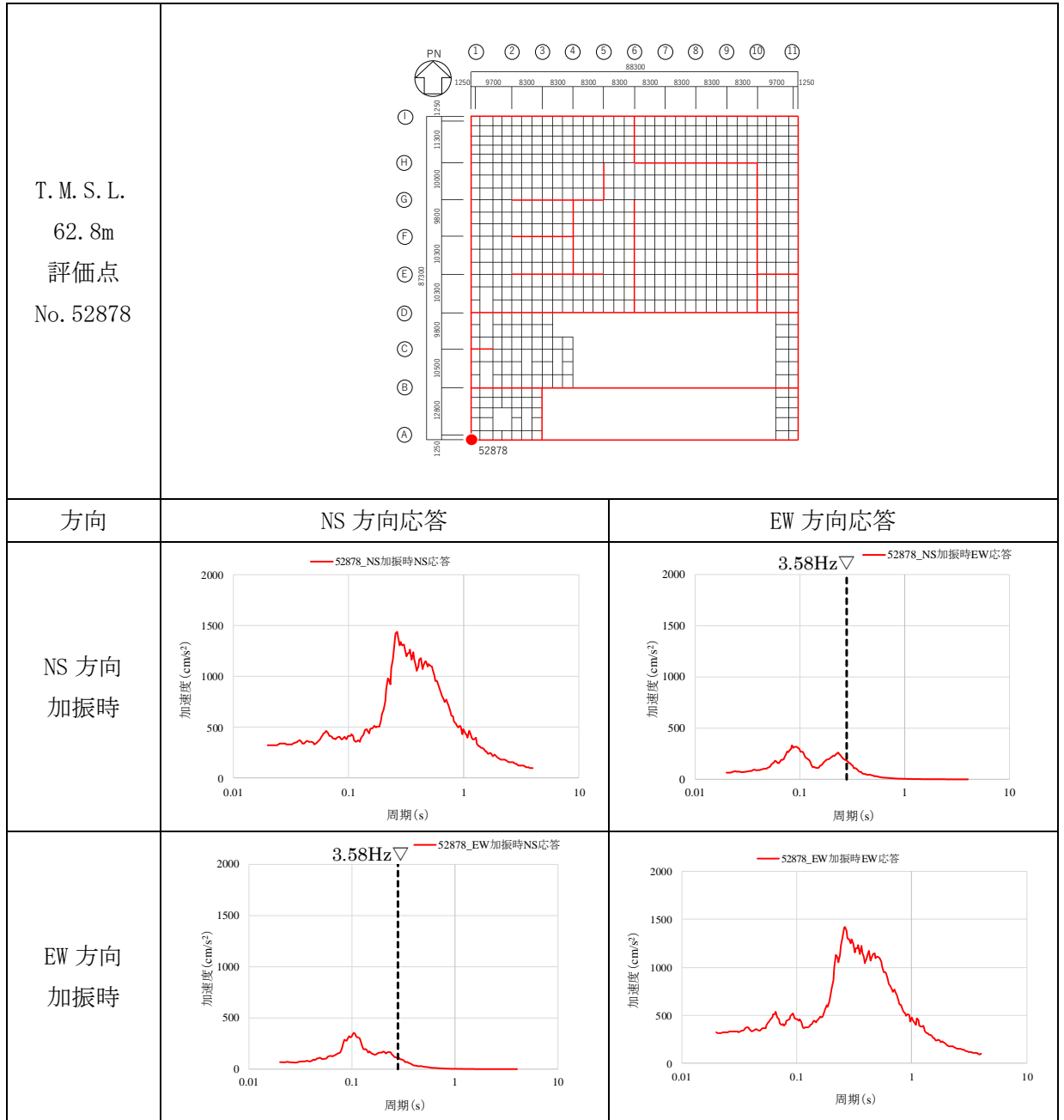
第 4.2-4 表 建屋 3 次元 FEM モデルの水平加振時の応答比較 (h=3%) (2/4)



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



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



(3) 床柔性の影響

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

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

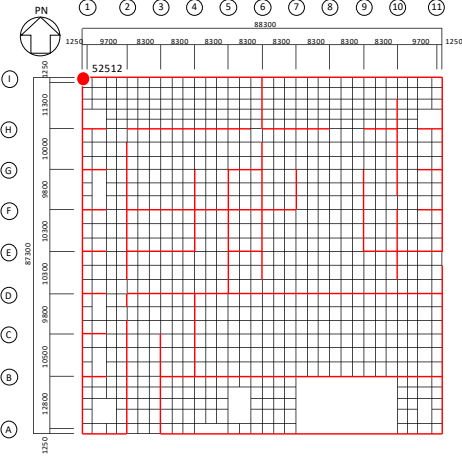
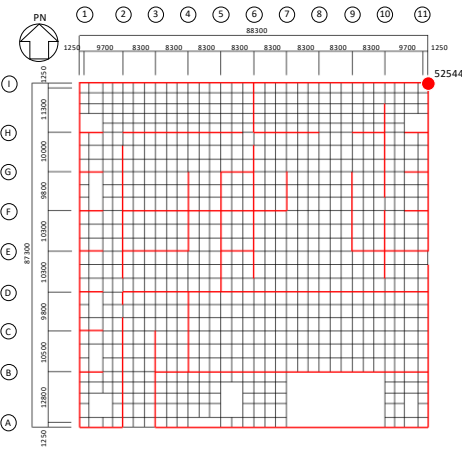
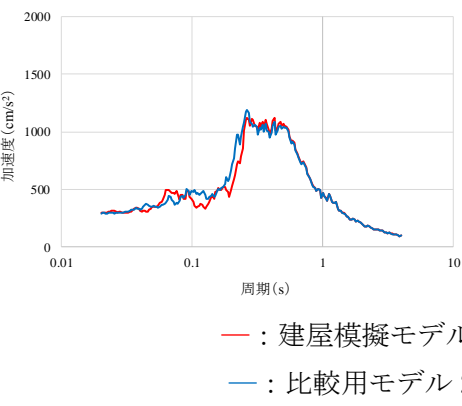
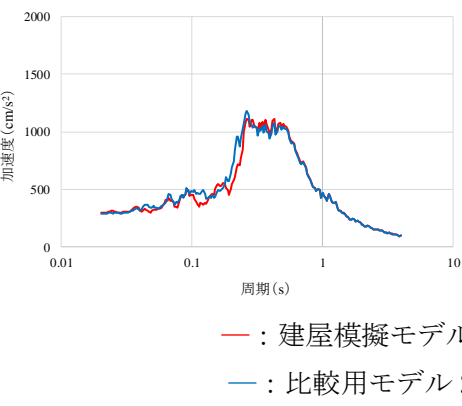
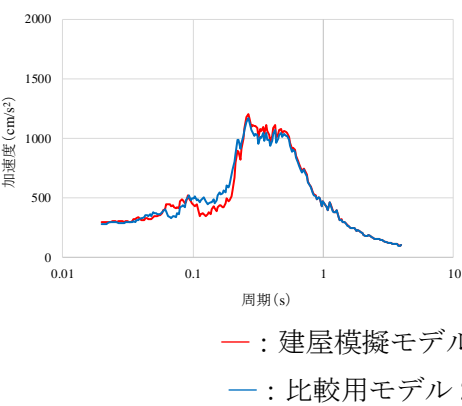
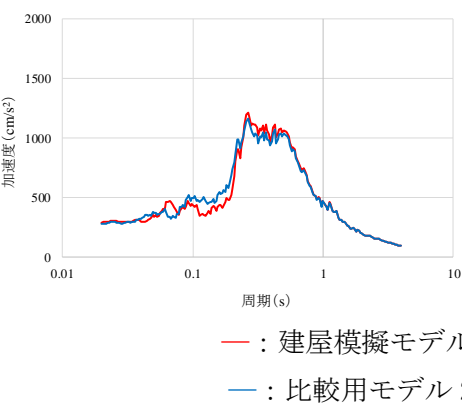
評価結果を第 4.2-5 表に示す。

第 4.2-5 表より、選定した評価点において、建屋模擬モデル及び比較用モデル 2 を比較すると、一部、0.1 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)

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

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

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

(4) 水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響

a. 地震動の入力方法

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

地震動の組合せを第 4. 2-6 表に示す。

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

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

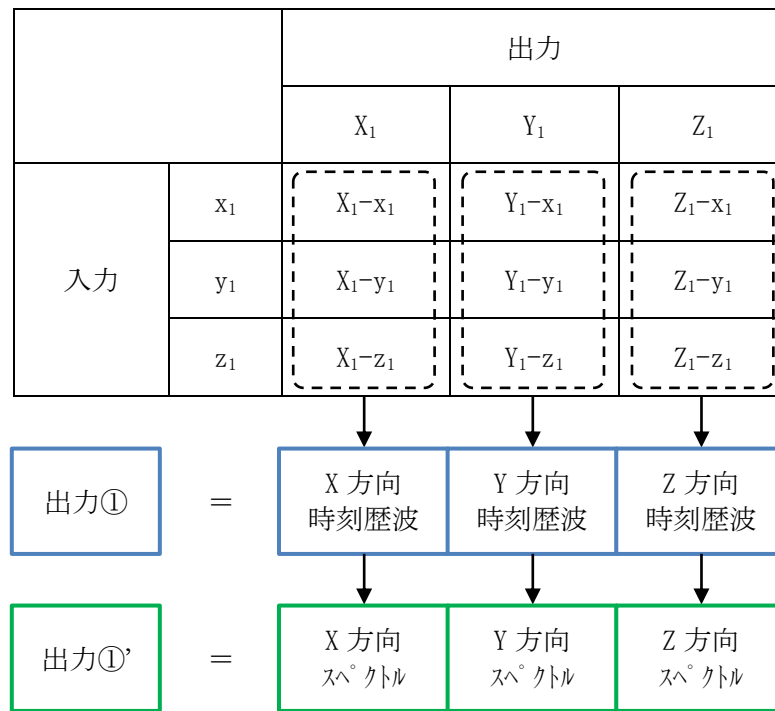
各方向への入力地震動に対して算出された各成分の応答を時刻歴で足し合わせることで、水平 2 方向及び鉛直方向の地震動に対する方向ごとの応答を算出する。応答算出の考え方を第 4. 2-1 図に示す。

検討に用いた $S_d-A(H)$ 、 $S_d-A(V)$ 及び模擬地震波の加速度時刻歴波形を第 4. 2-2 図に、加速度応答スペクトルを第 4. 2-3 図に示す。

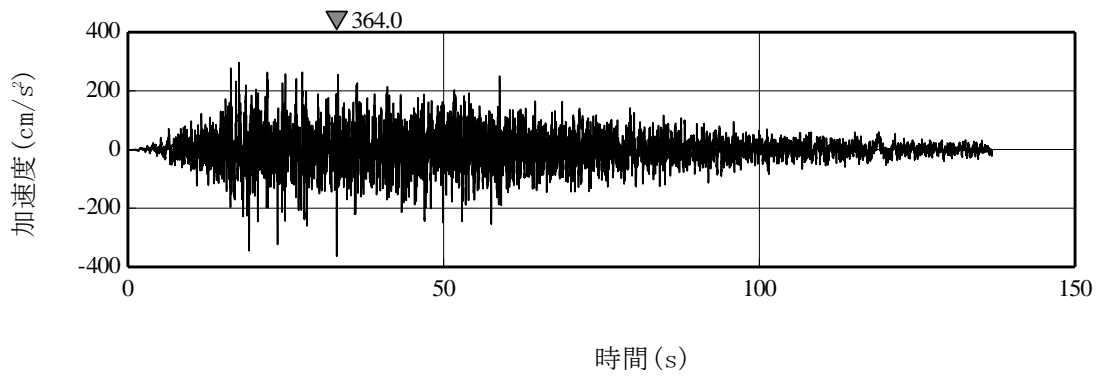
第 4.2-6 表 地震動の組合せ

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

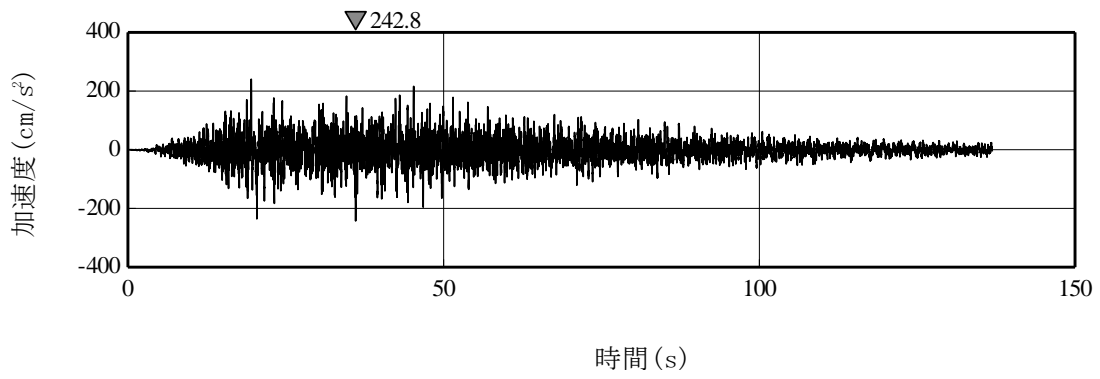
注記 *：弾性設計用地震動 Sd-A(H) の設計用応答スペクトルに適合するが、Sd-A(H) とは位相特性が異なる地震波



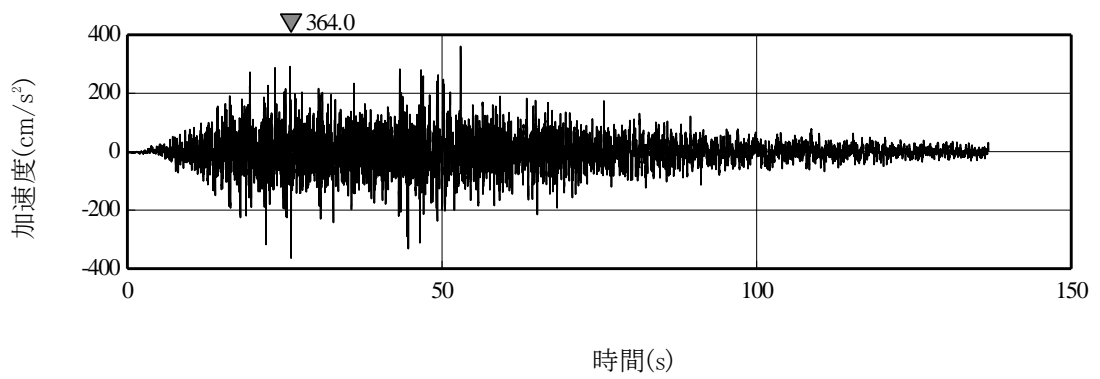
第 4.2-1 図 3次元 FEM モデルによる応答算出の考え方



(a) Sd-A(H) (再掲)

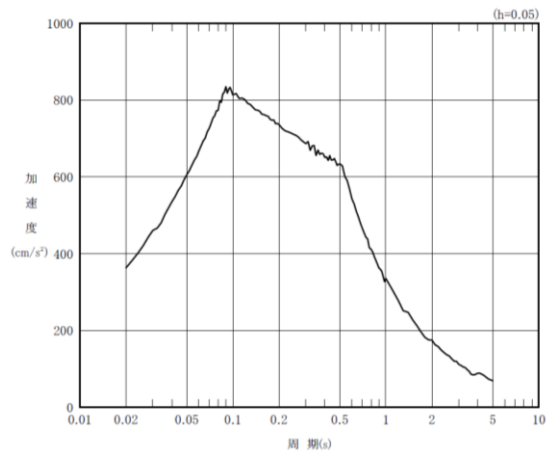


(b) Sd-A(V) (再掲)

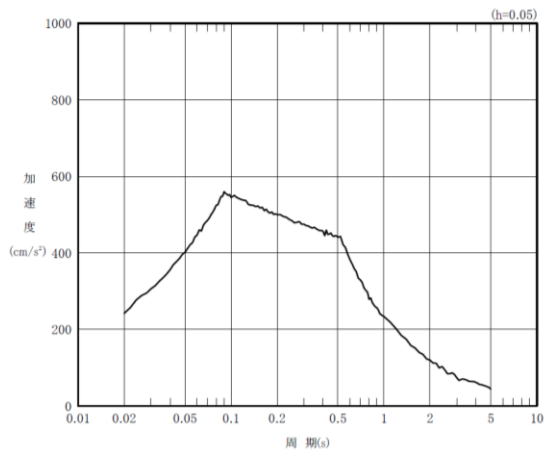


(c) 模擬地震波

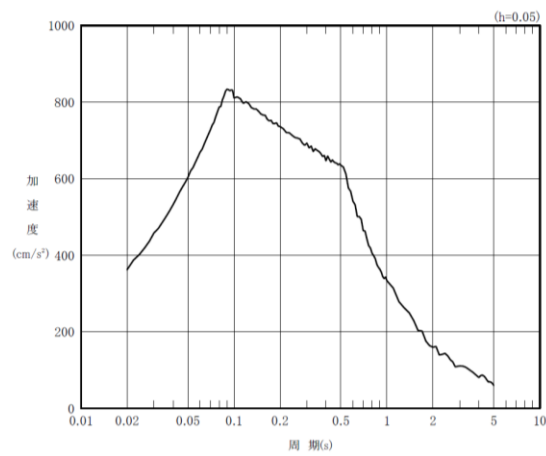
第 4.2-2 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度時刻歴波形



(a) Sd-A(H) (再掲)



(b) Sd-A(V) (再掲)



(c) 模擬地震波

第 4.2-3 図 弾性設計用地震動 Sd-A の加速度応答スペクトル

(参考) -68

b. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の確認

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

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

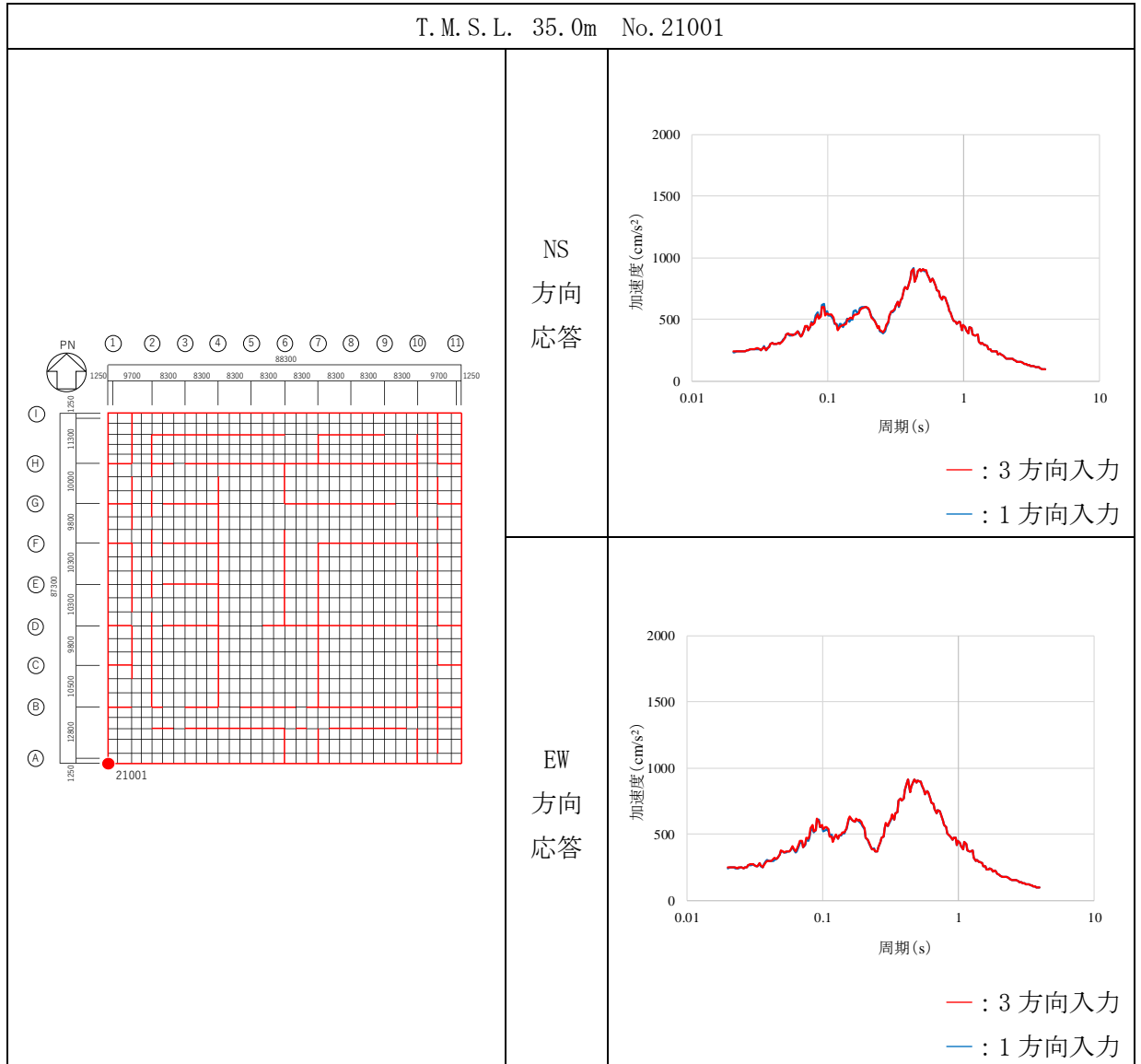
評価結果を第4.2-7表に示す。

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

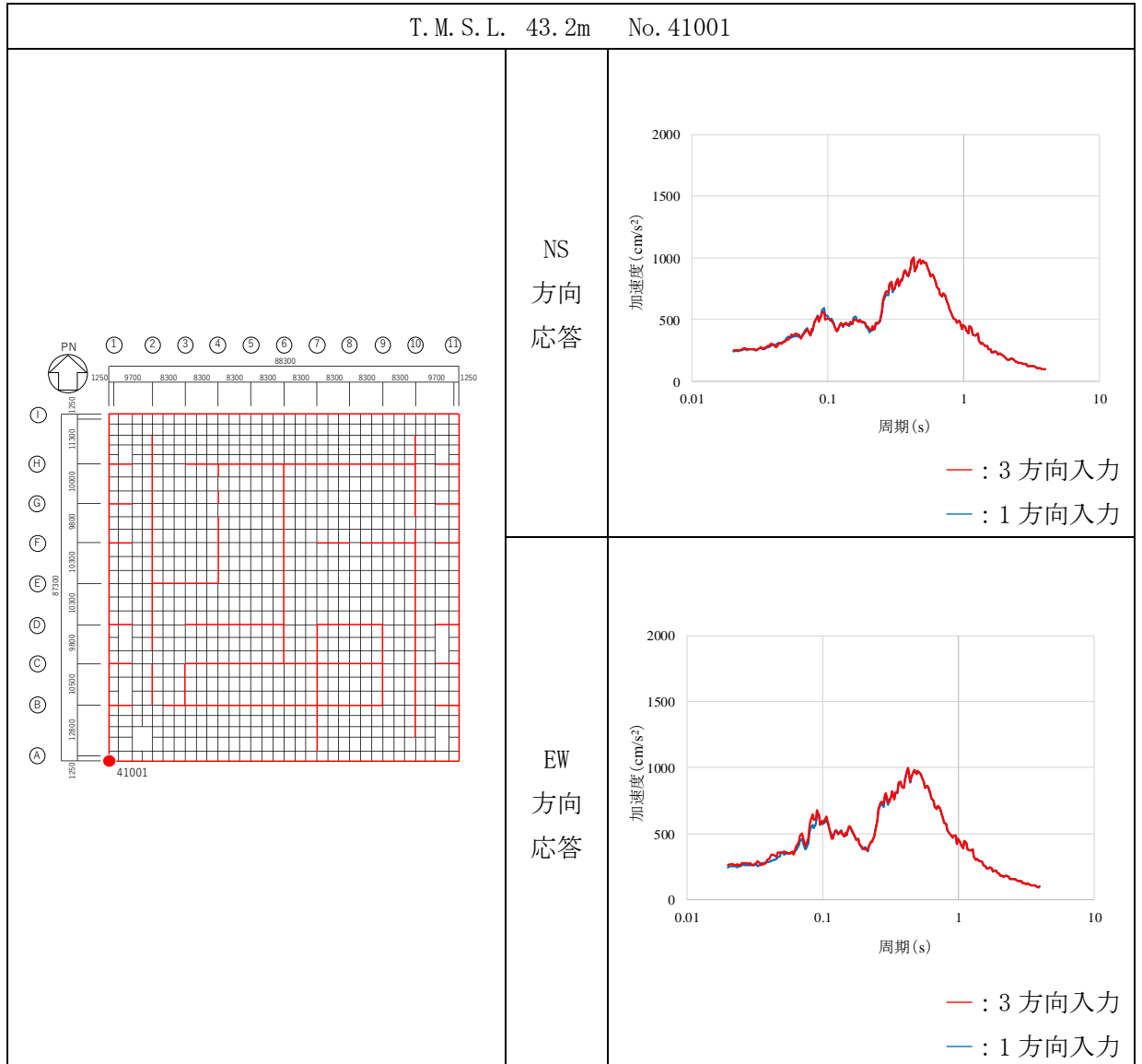
「(2) 鉛直軸周りのねじれの影響」では、水平2方向の入力を考えた場合に、ねじれの影響によって相互に応答増幅する可能性が示唆されたが、ねじれ振動の影響による応答増幅は見られなかった。

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

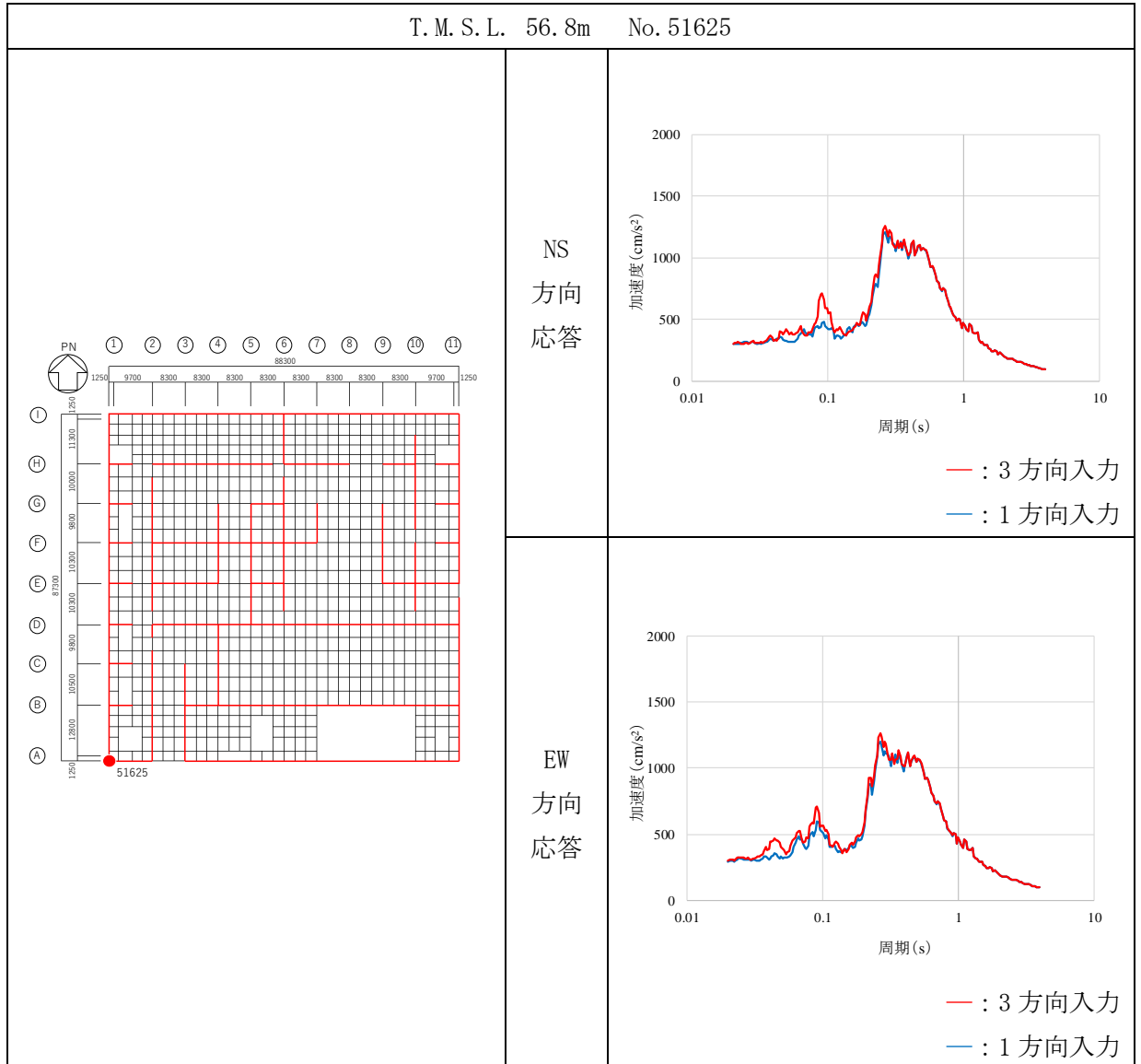
第 4.2-7 表 建屋 3 次元 FEM モデルの 3 方向入力及び 1 方向入力の応答比較 (h=3%) (1/4)



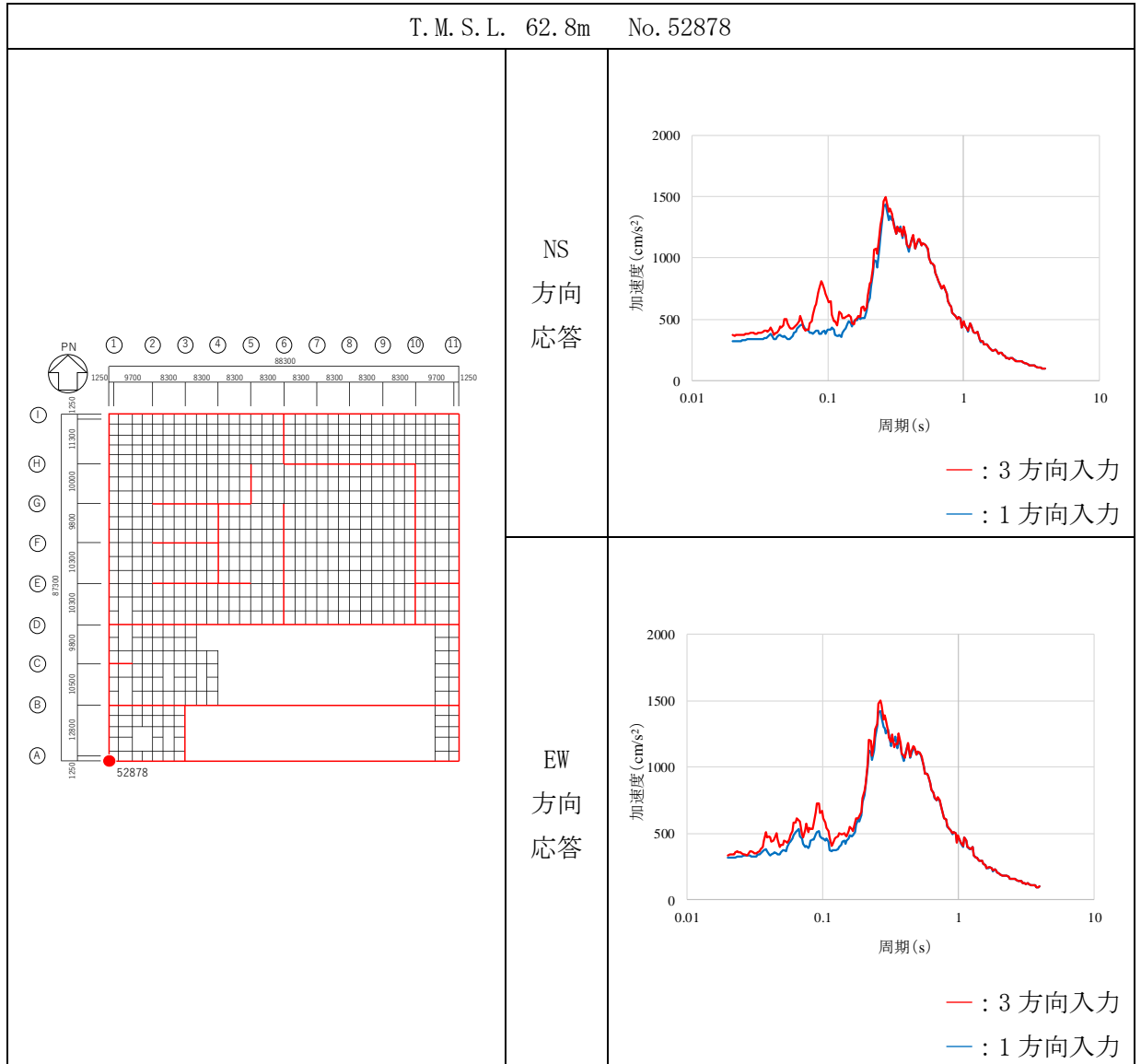
第 4.2-7 表 建屋 3 次元 FEM モデルの 3 方向入力及び 1 方向入力の応答比較 (h=3%) (2/4)



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



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



(5) まとめ

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

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

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

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

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

4.3 建屋耐震評価への影響検討

(1) 検討方針

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

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

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

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

(2) 建屋模擬モデル及び質点系モデルの最大応答値の比較検討

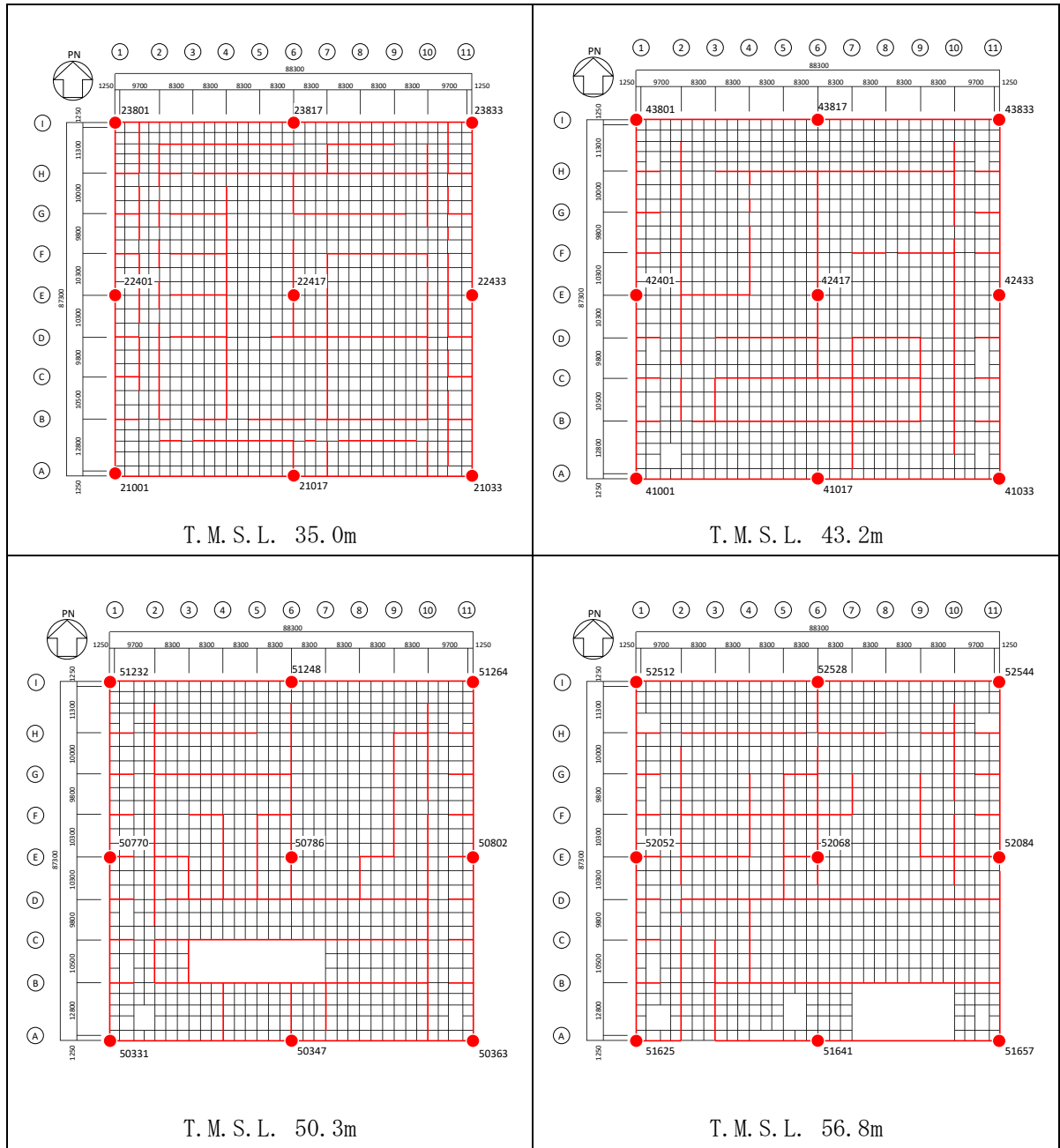
建屋模擬モデル及び質点系モデルの弾性設計用地震動 Sd-A に対する最大応答加速度の比較を行い、3次元的な影響について確認する。

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

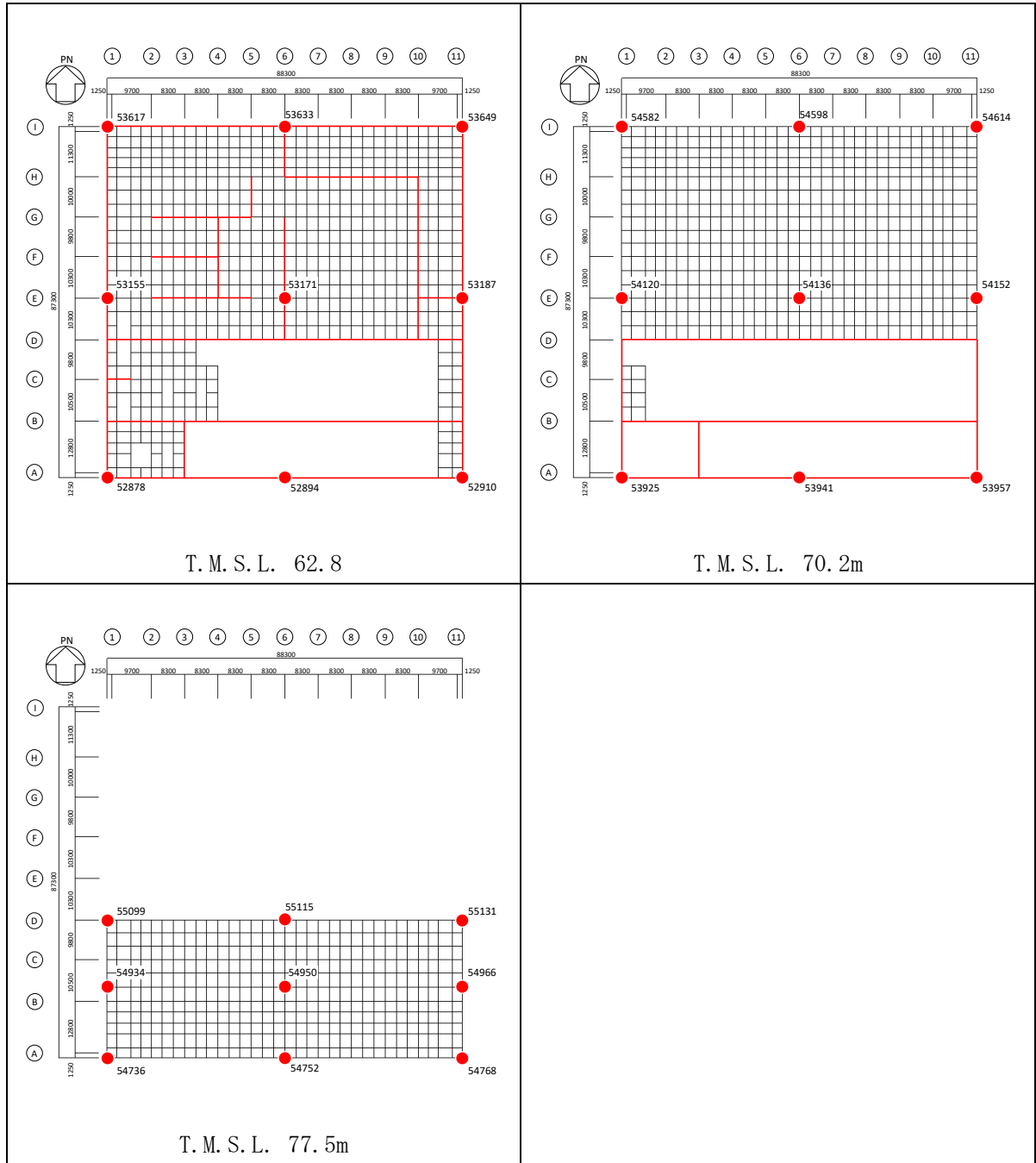
評価結果を第4.3-2図～第4.3-4図及び第4.3-1表～第4.3-3表に示す。

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

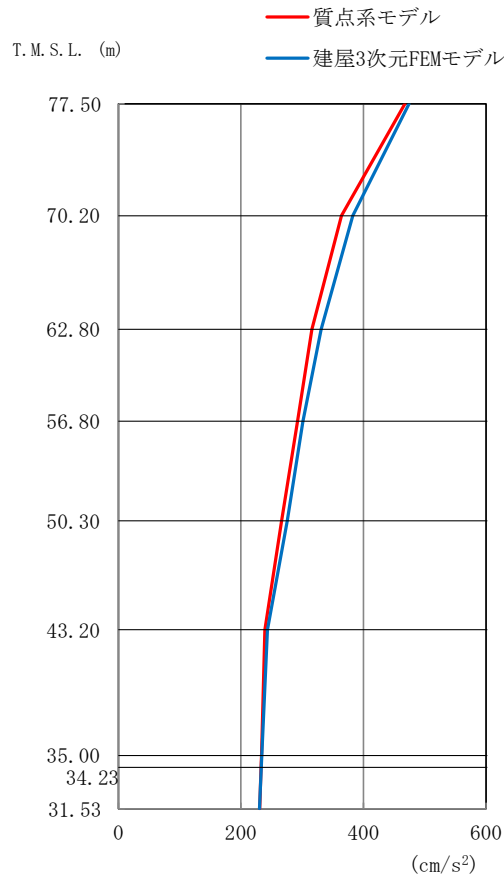
したがって、以降の「3次元的な応答特性（応答補正比率）を考慮した建屋影響検討」により、建屋への影響検討を実施する。



第 4.3-1 図 応答評価位置 (1/2)



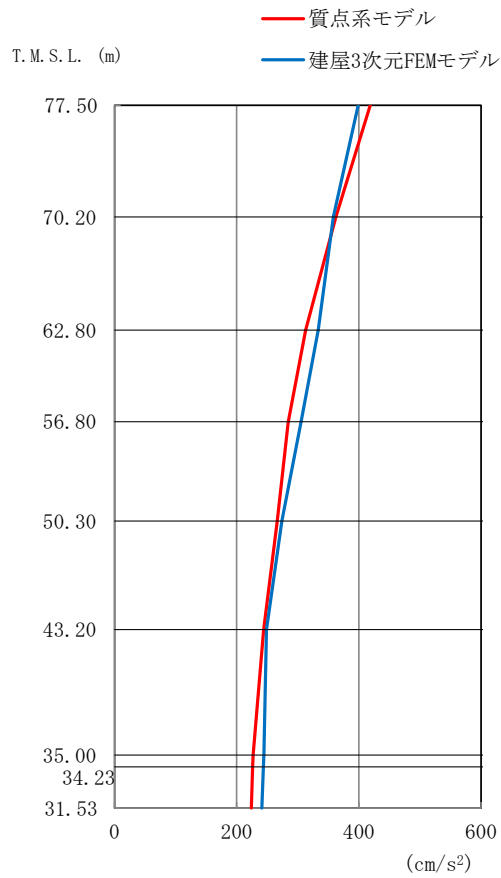
第 4.3-1 図 応答評価位置 (2/2)



第 4.3-2 図 最大応答加速度 (Sd-A, NS 方向)

第 4.3-1 表 最大応答加速度一覧表 (Sd-A, NS 方向)

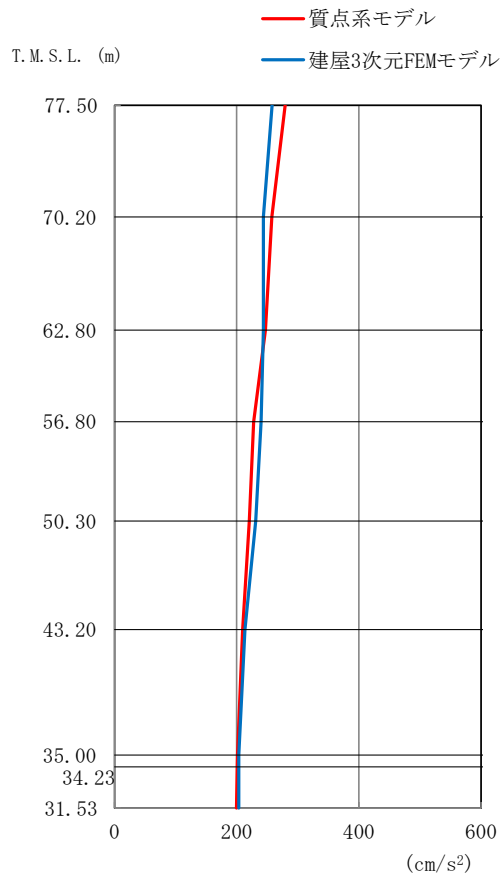
T. M. S. L. (m)	質点 番号	最大応答加速度 (cm/s ²)	
		質点系モデル	建屋3次元FEMモデル
77.50	1	468	475
70.20	2	364	382
62.80	3	316	331
56.80	4	292	301
50.30	5	266	276
43.20	6	239	243
35.00	7	233	234
34.23	8	233	233
31.53	9	230	230



第 4. 3-3 図 最大応答加速度 (Sd-A, EW 方向)

第 4. 3-2 表 最大応答加速度一覧表 (Sd-A, EW 方向)

T. 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	419	399
70.20	2	362	358
62.80	3	313	334
56.80	4	285	306
50.30	5	266	274
43.20	6	244	249
35.00	7	227	245
34.23	8	226	244
31.53	9	224	241



第 4.3-4 図 最大応答加速度 (Sd-A, 鉛直方向)

第 4.3-3 表 最大応答加速度一覧表 (Sd-A, 鉛直方向)

T. 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	279	258
70.20	2	258	244
62.80	3	247	244
56.80	4	228	240
50.30	5	221	231
43.20	6	210	213
35.00	7	201	203
34.23	8	201	203
31.53	9	199	203

(3) 3次元的な応答特性（応答補正比率）を考慮した建屋影響検討

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

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

第4.3-5図に検討フローを示す。

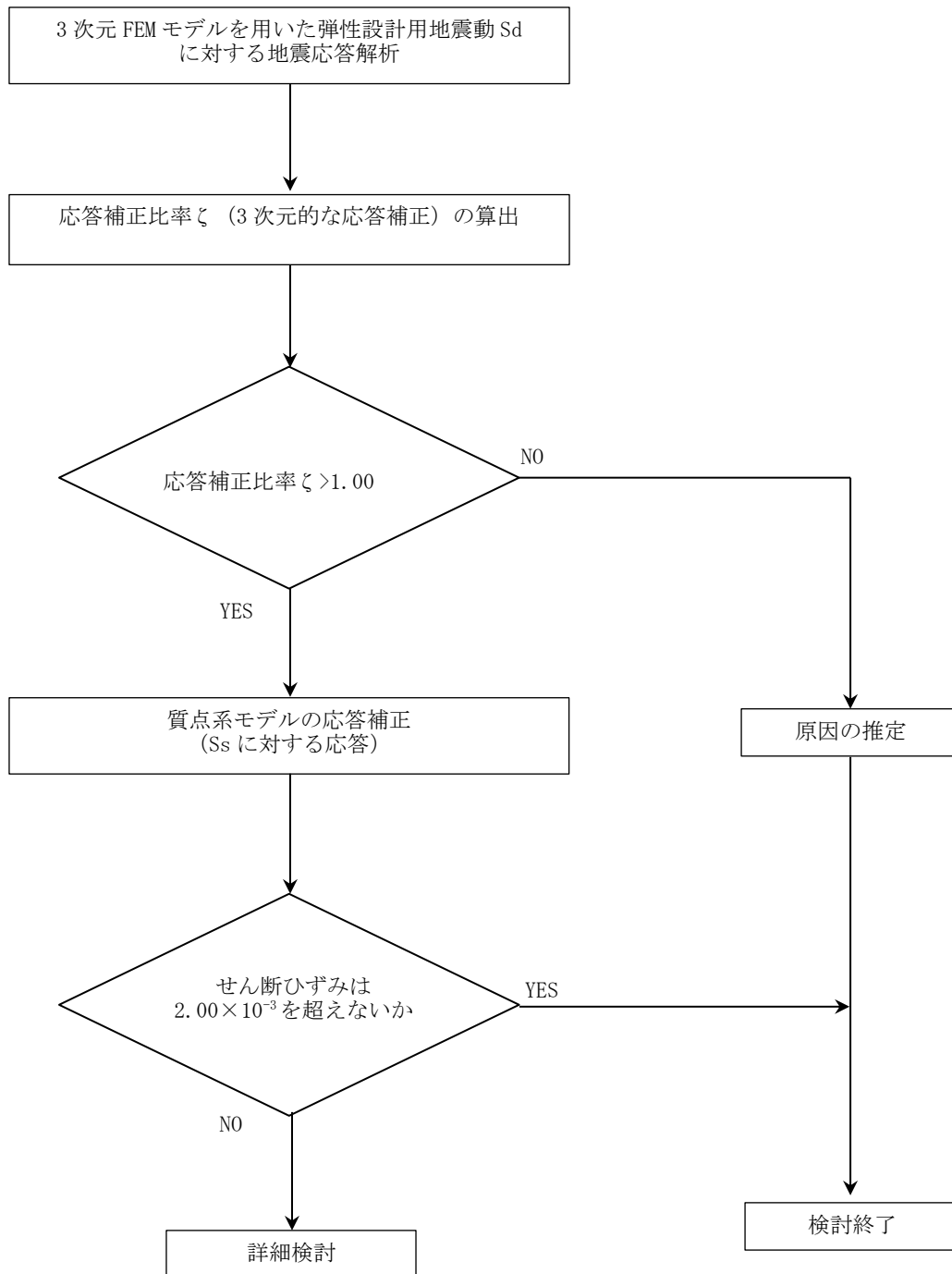
具体的には、質点系モデルの基準地震動 S_s に対するせん断応力度 τ に応答補正比率 ζ を乗じて、3次元的な応答特性を踏まえたせん断応力度を算定する。得られた値を質点系モデルの各層のせん断スケルトンカーブ上にプロットし、せん断ひずみが評価基準値（ 2.0×10^{-3} ）を超えないことを確認する。ここで、第1折点を超える場合は、エネルギー一定則によりせん断ひずみを評価する。エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法を第4.3-6図に示す。せん断ひずみを確認した結果、評価基準値を超えるものは詳細検討を実施する。

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

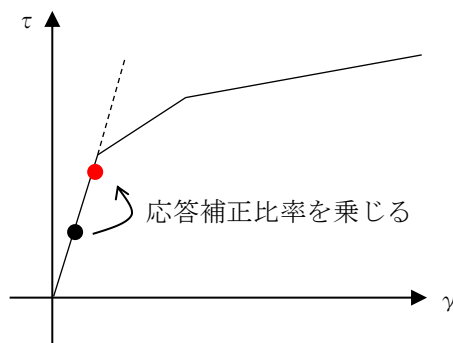
選定した3次元FEMモデルでの評価点において、弾性設計用地震動 S_d に対する最大応答加速度をもとに、3次元的な応答補正比率 ζ を算出し、質点系モデルの基準地震動 S_s に対する応答補正を行い、耐震評価への影響検討を行う。入力地震動は建屋への影響の大きい S_d-C1 とする。 S_d-C1 の3方向入力に際しては、全く同じ地震動が同時に水平2方向に入力されることは現実的ではないことから、2004年北海道留萌支庁南部地震の記録を用いて求めた基盤地震動(NS方向、EW方向、鉛直方向)を0.5倍したもの(以下、「 S_d-C1' 」という。)を入力する。

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

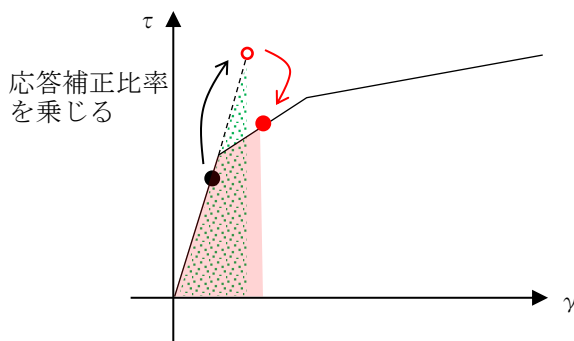
なお、入力地震動の組合せについては、 S_d-C1' の水平成分はEW方向がNS方向に比べて大きいいため、入力の際には評価方向に S_d-C1' (EW)を入力し、評価方向の直交方向に S_d-C1' (NS)を入力する。入力地震動の組合せについて第4.3-4表に示す。



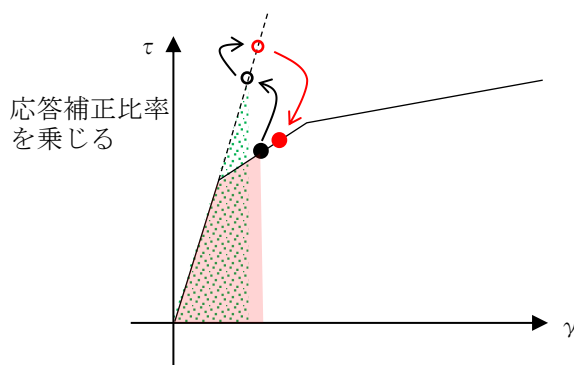
第 4.3-5 図 検討フロー



弾性直線上において、現設計による
応答結果に応答補正比率を乗じる。



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



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

第 4.3-6 図 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

(単位：m)

T.M.S.L. 77.50

T.M.S.L. 70.20

T.M.S.L. 62.80

T.M.S.L. 56.80

T.M.S.L. 50.30

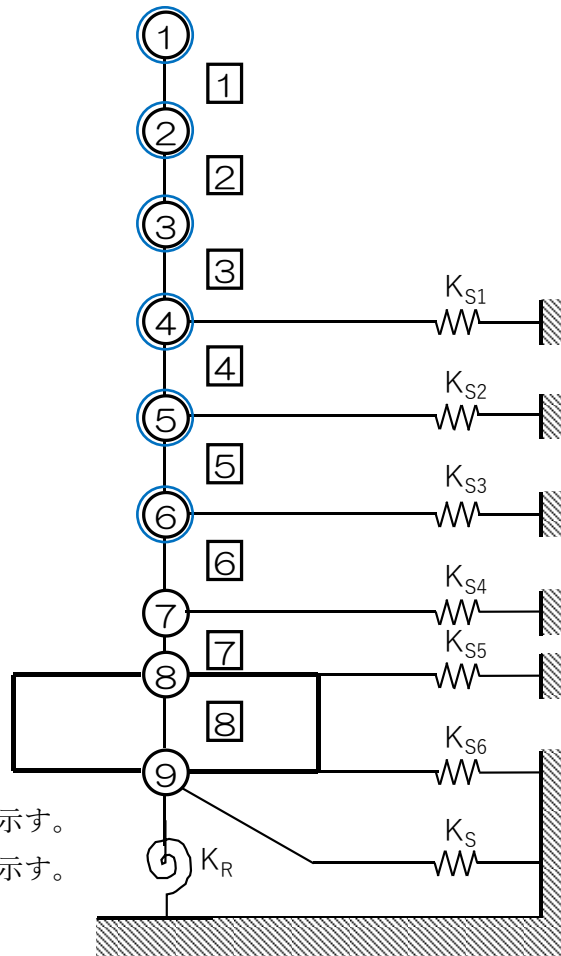
T.M.S.L. 43.20

T.M.S.L. 35.00

T.M.S.L. 34.23

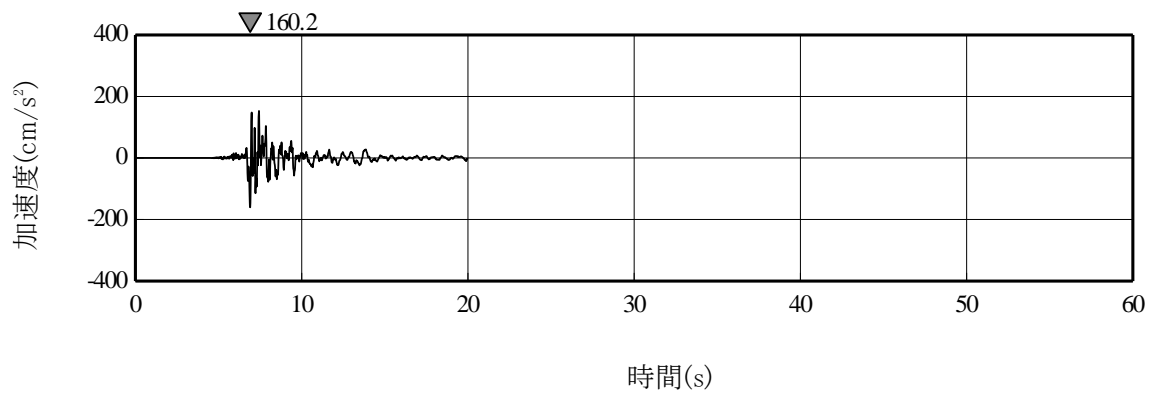
T.M.S.L. 31.53

注記 1：○数字は質点番号を示す。
注記 2：□数字は要素番号を示す。

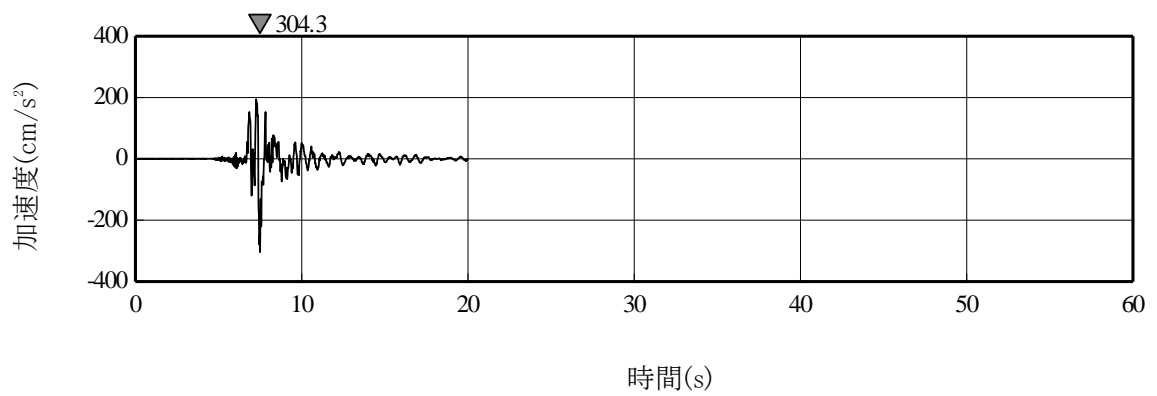


○：評価節点

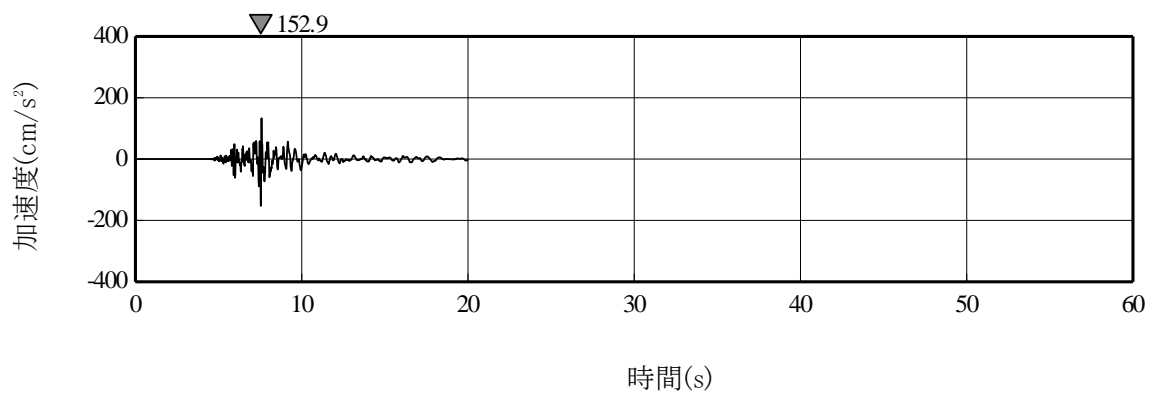
第 4.3-7 図 質点系モデルでの評価節点



(a) Sd-C1' (NS)



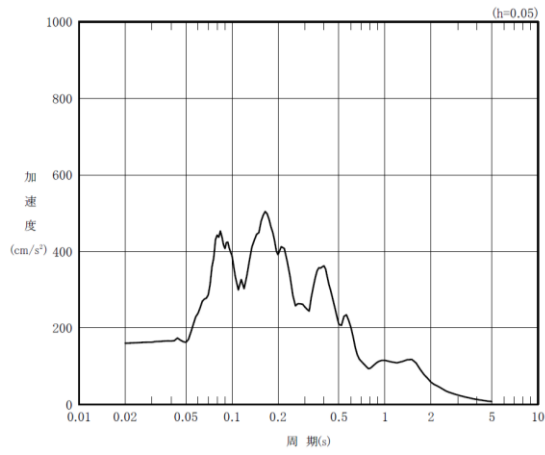
(b) Sd-C1' (EW)



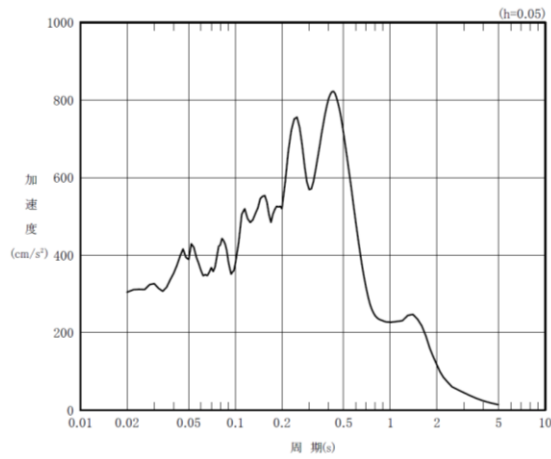
(c) Sd-C1' (UD)

第 4.3-8 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度時刻歴波形

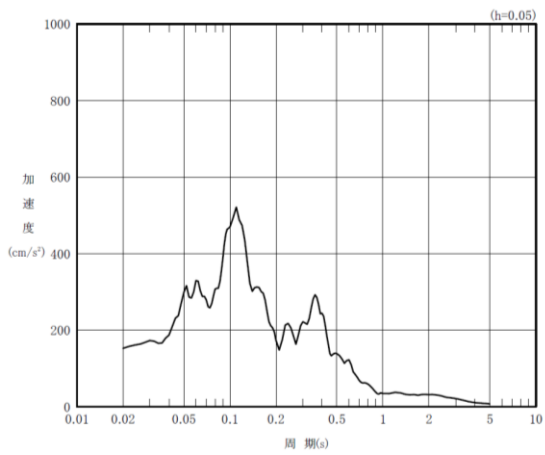
(参考) -85



(a) Sd-C1' (NS)



(b) Sd-C1' (EW)



(c) Sd-C1' (UD)

第 4.3-9 図 弾性設計用地震動 Sd-C1' の加速度応答スペクトル

(参考) -86

第 4.3-4 表 地震動の組合せ

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

a. 応答補正比率の算出

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

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

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

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

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

応答補正比率 ζ の算出式を以下に示す。

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

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

ここで、

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

(ただし、 ζ を算出する場合は、 $\alpha \geq 1.0$)

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

(ただし、 ζ を算出する場合は、 $\beta \geq 1.0$)

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

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

第 4.3-5 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (1/4)

(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	
77.5	1	54736	567	632	1.11
		54934	565	622	1.10
		55099	566	623	1.10
		54752	750	785	1.05
		54950	753	790	1.05
		55115	750	791	1.05
		54768	575	548	0.953
		54966	572	546	0.955
70.2	2	53925	509	545	1.07
		54120	481	457	0.950
		54582	484	495	1.02
		53941	772	928	1.20
		54136	511	519	1.02
		54598	510	523	1.03
		53957	513	484	0.943
		54152	479	470	0.981
62.8	3	52878	455	459	1.01
		53155	440	431	0.980
		53617	441	456	1.03
		52894	646	872	1.35
		53171	470	478	1.02
		53633	475	488	1.03
		52910	450	428	0.951
		53187	440	435	0.989
53649	435	457	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	
56.8	4	51625	411	404	0.983
		52052	399	399	1.00
		52512	401	421	1.05
		51641	473	546	1.15
		52068	431	441	1.02
		52528	456	499	1.09
		51657	405	393	0.970
		52084	394	394	1.00
		52544	397	415	1.05
50.3	5	50331	368	347	0.943
		50770	359	362	1.01
		51232	360	380	1.06
		50347	426	461	1.08
		50786	378	384	1.02
		51248	428	430	1.00
		50363	361	355	0.983
		50802	354	351	0.992
		51264	360	366	1.02
43.2	6	41001	315	316	1.00
		42401	316	320	1.01
		43801	315	324	1.03
		41017	314	316	1.01
		42417	319	326	1.02
		43817	328	332	1.01
		41033	311	313	1.01
		42433	310	310	1.00
		43833	310	313	1.01

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

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

第 4.3-5 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 α の算定 (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	
77.5	1	54736	534	548	1.03
		54934	560	588	1.05
		55099	556	612	1.10
		54752	532	532	1.00
		54950	557	558	1.00
		55115	563	569	1.01
		54768	528	579	1.10
		54966	565	575	1.02
		55131	568	558	0.982
70.2	2	53925	501	497	0.992
		54120	539	576	1.07
		54582	493	498	1.01
		53941	488	494	1.01
		54136	534	542	1.01
		54598	498	500	1.00
		53957	486	521	1.07
		54152	539	541	1.00
		54614	507	518	1.02
62.8	3	52878	456	462	1.01
		53155	511	528	1.03
		53617	456	443	0.971
		52894	440	449	1.02
		53171	501	497	0.992
		53633	456	455	0.998
		52910	442	455	1.03
		53187	510	526	1.03
		53649	464	481	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 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	
56.8	4	51625	410	415	1.01
		52052	477	478	1.00
		52512	416	405	0.974
		51641	401	405	1.01
		52068	471	479	1.02
		52528	410	409	0.998
		51657	409	418	1.02
		52084	489	521	1.07
50.3	5	50331	368	366	0.995
		50770	436	419	0.961
		51232	373	365	0.979
		50347	361	357	0.989
		50786	428	425	0.993
		51248	364	366	1.01
		50363	370	376	1.02
		50802	440	482	1.10
43.2	6	41001	319	327	1.03
		42401	340	346	1.02
		43801	319	313	0.981
		41017	319	319	1.00
		42417	340	335	0.985
		43817	321	322	1.00
		41033	319	320	1.00
		42433	336	333	0.991
		43833	316	321	1.02

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

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

第 4.3-6 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (1/4)

(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	
77.5	1	54736	538	567	1.05
		54934	538	565	1.05
		55099	538	566	1.05
		54752	539	750	1.39
		54950	539	753	1.40
		55115	539	750	1.39
		54768	541	575	1.06
		54966	541	572	1.06
		55131	541	573	1.06
70.2	2	53925	494	509	1.03
		54120	495	481	0.972
		54582	495	484	0.978
		53941	589	772	1.31
		54136	493	511	1.04
		54598	493	510	1.03
		53957	494	513	1.04
		54152	491	479	0.976
		54614	491	477	0.971
62.8	3	52878	451	455	1.01
		53155	451	440	0.976
		53617	451	441	0.978
		52894	527	646	1.23
		53171	449	470	1.05
		53633	449	475	1.06
		52910	448	450	1.00
		53187	448	440	0.982
		53649	448	435	0.971

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	
56.8	4	51625	423	411	0.972
		52052	423	399	0.943
		52512	423	401	0.948
		51641	421	473	1.12
		52068	421	431	1.02
		52528	421	456	1.08
		51657	418	405	0.969
		52084	418	394	0.943
		52544	418	397	0.950
50.3	5	50331	379	368	0.971
		50770	379	359	0.947
		51232	379	360	0.950
		50347	378	426	1.13
		50786	378	378	1.00
		51248	378	428	1.13
		50363	376	361	0.960
		50802	376	354	0.941
		51264	376	360	0.957
43.2	6	41001	324	315	0.972
		42401	324	316	0.975
		43801	324	315	0.972
		41017	322	314	0.975
		42417	322	319	0.991
		43817	322	328	1.02
		41033	321	311	0.969
		42433	321	310	0.966
		43833	321	310	0.966

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

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

第 4.3-6 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 β の算定 (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	
77.5	1	54736	510	534	1.05
		54934	510	560	1.10
		55099	513	556	1.08
		54752	510	532	1.04
		54950	510	557	1.09
		55115	513	563	1.10
		54768	510	528	1.04
		54966	510	565	1.11
70.2	2	53925	482	501	1.04
		54120	484	539	1.11
		54582	484	493	1.02
		53941	475	488	1.03
		54136	484	534	1.10
		54598	484	498	1.03
		53957	480	486	1.01
		54152	484	539	1.11
62.8	3	52878	459	456	0.993
		53155	454	511	1.13
		53617	449	456	1.02
		52894	447	440	0.984
		53171	454	501	1.10
		53633	449	456	1.02
		52910	459	442	0.963
		53187	454	510	1.12
		53649	449	464	1.03

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	
56.8	4	51625	421	410	0.974
		52052	416	477	1.15
		52512	412	416	1.01
		51641	421	401	0.952
		52068	416	471	1.13
		52528	412	410	0.995
		51657	421	409	0.971
		52084	416	489	1.18
50.3	5	50331	372	368	0.989
		50770	367	436	1.19
		51232	366	373	1.02
		50347	372	361	0.970
		50786	367	428	1.17
		51248	366	364	0.995
		50363	372	370	0.995
		50802	367	440	1.20
43.2	6	41001	320	319	0.997
		42401	322	340	1.06
		43801	323	319	0.988
		41017	320	319	0.997
		42417	322	340	1.06
		43817	323	321	0.994
		41033	320	319	0.997
		42433	322	336	1.04
		43833	323	316	0.978

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

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

第 4.3-7 表 建屋耐震評価用の応答補正比率 ζ の算定 (1/4)

(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				
77.5	1	54736	1.11	1.05	1.17	1.47
		54934	1.10	1.05	1.16	
		55099	1.10	1.05	1.16	
		54752	1.05	1.39	1.46	
		54950	1.05	1.40	1.47	
		55115	1.05	1.39	1.47	
		54768	1.00	1.06	1.06	
		54966	1.00	1.06	1.06	
		55131	1.00	1.06	1.06	
70.2	2	53925	1.07	1.03	1.10	1.58
		54120	1.00	1.00	1.00	
		54582	1.02	1.00	1.02	
		53941	1.20	1.31	1.58	
		54136	1.02	1.04	1.05	
		54598	1.03	1.03	1.06	
		53957	1.00	1.04	1.04	
		54152	1.00	1.00	1.00	
		54614	1.02	1.00	1.02	
62.8	3	52878	1.01	1.01	1.02	1.65
		53155	1.00	1.00	1.00	
		53617	1.03	1.00	1.03	
		52894	1.35	1.23	1.65	
		53171	1.02	1.05	1.06	
		53633	1.03	1.06	1.09	
		52910	1.00	1.00	1.00	
		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				
56.8	4	51625	1.00	1.00	1.00	1.30
		52052	1.00	1.00	1.00	
		52512	1.05	1.00	1.05	
		51641	1.15	1.12	1.30	
		52068	1.02	1.02	1.05	
		52528	1.09	1.08	1.19	
		51657	1.00	1.00	1.00	
		52084	1.00	1.00	1.00	
		52544	1.05	1.00	1.05	
50.3	5	50331	1.00	1.00	1.00	1.22
		50770	1.01	1.00	1.01	
		51232	1.06	1.00	1.06	
		50347	1.08	1.13	1.22	
		50786	1.02	1.00	1.02	
		51248	1.00	1.13	1.14	
		50363	1.00	1.00	1.00	
		50802	1.00	1.00	1.00	
		51264	1.02	1.00	1.02	
43.2	6	41001	1.00	1.00	1.00	1.03
		42401	1.01	1.00	1.01	
		43801	1.03	1.00	1.03	
		41017	1.01	1.00	1.01	
		42417	1.02	1.00	1.02	
		43817	1.01	1.02	1.03	
		41033	1.01	1.00	1.01	
		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。

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				
77.5	1	54736	1.03	1.05	1.07	1.19
		54934	1.05	1.10	1.15	
		55099	1.10	1.08	1.19	
		54752	1.00	1.04	1.04	
		54950	1.00	1.09	1.09	
		55115	1.01	1.10	1.11	
		54768	1.10	1.04	1.14	
		54966	1.02	1.11	1.13	
		55131	1.00	1.11	1.11	
70.2	2	53925	1.00	1.04	1.04	1.19
		54120	1.07	1.11	1.19	
		54582	1.01	1.02	1.03	
		53941	1.01	1.03	1.04	
		54136	1.01	1.10	1.12	
		54598	1.00	1.03	1.03	
		53957	1.07	1.01	1.09	
		54152	1.00	1.11	1.12	
		54614	1.02	1.05	1.07	
62.8	3	52878	1.01	1.00	1.01	1.16
		53155	1.03	1.13	1.16	
		53617	1.00	1.02	1.02	
		52894	1.02	1.00	1.02	
		53171	1.00	1.10	1.10	
		53633	1.00	1.02	1.02	
		52910	1.03	1.00	1.03	
		53187	1.03	1.12	1.16	
		53649	1.04	1.03	1.07	

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				
56.8	4	51625	1.01	1.00	1.01	1.25
		52052	1.00	1.15	1.15	
		52512	1.00	1.01	1.01	
		51641	1.01	1.00	1.01	
		52068	1.02	1.13	1.15	
		52528	1.00	1.00	1.00	
		51657	1.02	1.00	1.02	
		52084	1.07	1.18	1.25	
		52544	1.03	1.02	1.05	
50.3	5	50331	1.00	1.00	1.00	1.31
		50770	1.00	1.19	1.19	
		51232	1.00	1.02	1.02	
		50347	1.00	1.00	1.00	
		50786	1.00	1.17	1.17	
		51248	1.01	1.00	1.01	
		50363	1.02	1.00	1.02	
		50802	1.10	1.20	1.31	
		51264	1.02	1.01	1.03	
43.2	6	41001	1.03	1.00	1.03	1.07
		42401	1.02	1.06	1.07	
		43801	1.00	1.00	1.00	
		41017	1.00	1.00	1.00	
		42417	1.00	1.06	1.06	
		43817	1.00	1.00	1.00	
		41033	1.00	1.00	1.00	
		42433	1.00	1.04	1.04	
		43833	1.02	1.00	1.02	

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

b. 評価結果

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

応答を補正したせん断ひずみは、評価基準値を超えないことを確認した。

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

第 4.3-8 表 せん断応力度及びせん断ひずみ
(a) NS 方向, Ss-C1

要素番号	質点系モデルの 最大応答値 (Ss)		応答補正 比率 ζ	応答補正後	
	τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)		τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)
1	1.35	0.133	1.47	1.91	0.196
2	1.30	0.127	1.58	2.01	0.202
3	1.61	0.159	1.65	2.22	0.268
4	1.82	0.179	1.30	2.21	0.233
5	2.72	0.494	1.22	3.00	0.652
6	2.56	0.382	1.03	2.59	0.397

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

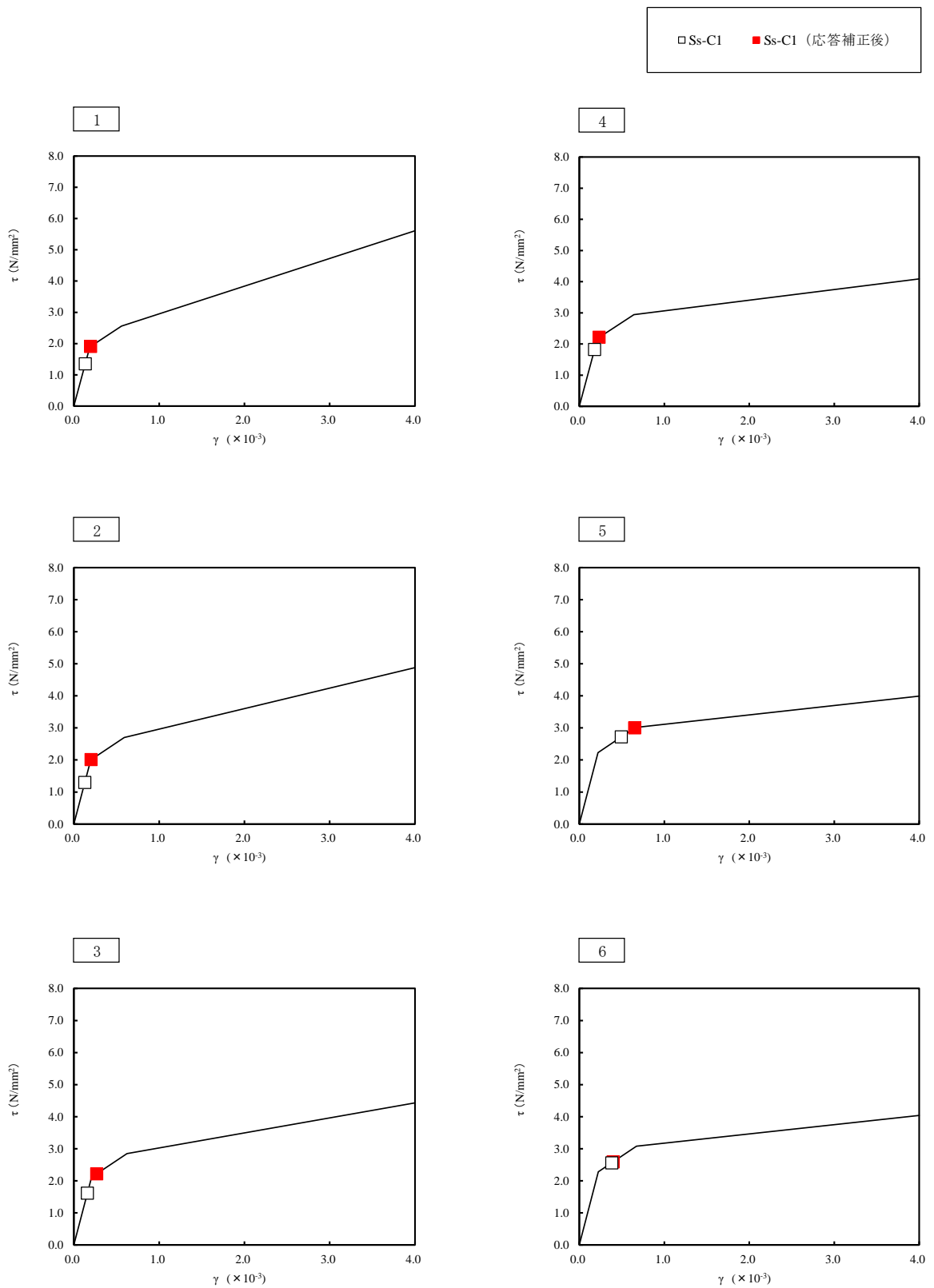
注記 2：応答補正比率 ζ は、第 4.3-7 表で算定した値のうち各レベルの最大値とする。
なお、応答補正比率 ζ が 1.0 未満の場合には 1.0 とする。

(b) EW 方向, Ss-C1

要素番号	質点系モデルの 最大応答値 (Ss)		応答補正 比率 ζ	応答補正後	
	τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)		τ (N/mm ²)	γ ($\times 10^{-3}$)
1	0.59	0.058	1.19	0.70	0.069
2	1.16	0.114	1.19	1.38	0.136
3	1.53	0.151	1.16	1.78	0.175
4	1.88	0.185	1.25	2.21	0.232
5	2.59	0.428	1.31	2.94	0.621
6	2.30	0.237	1.07	2.33	0.255

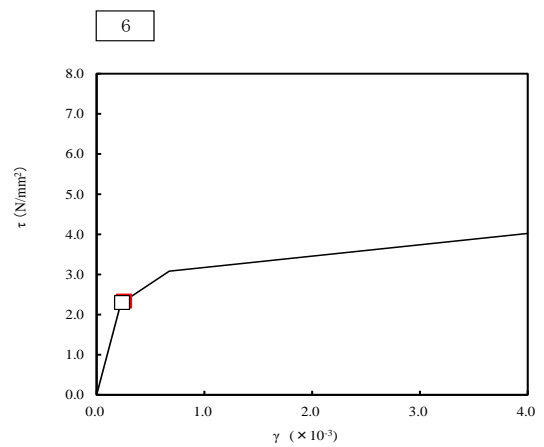
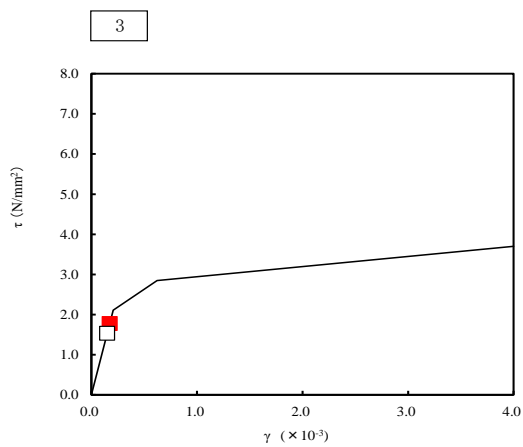
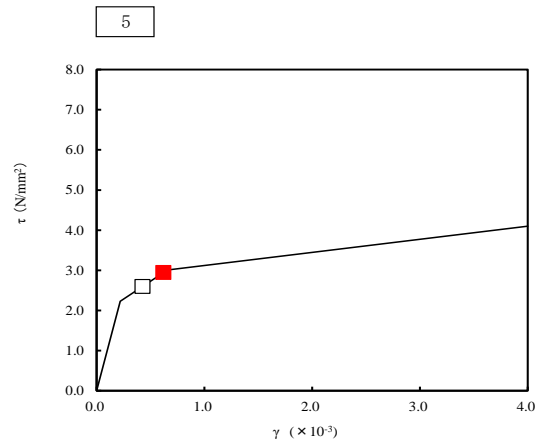
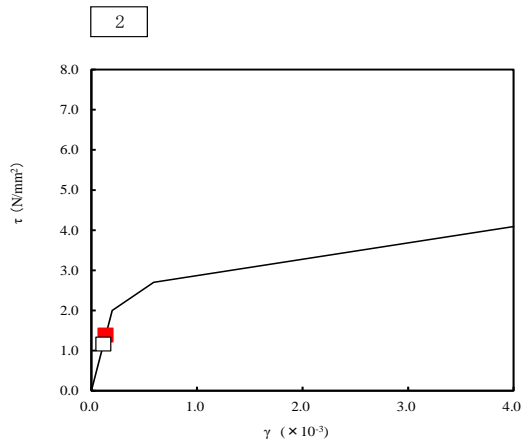
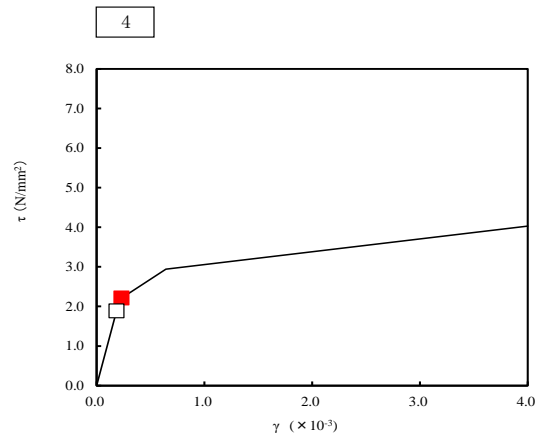
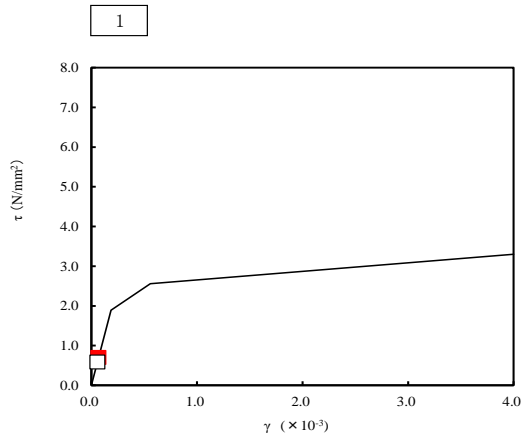
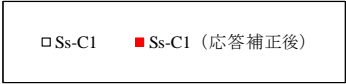
注記 1：要素番号は添付書類「燃料加工建屋の地震応答計算書」における地震応答解析モデルの要素番号とする。

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 セン断スケルトンカーブ上の最大応答値(1/2)



(b) EW 方向

第 4.3-10 図 せん断スケルトンカーブ上の最大応答値(2/2)

4.4 床応答への影響検討

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

評価部位は、重要区域の範囲であるT.M.S.L. 35.0m～T.M.S.L. 50.3mの各フロアで第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の比較、並びに質点系モデル及び3次元FEMモデルの床応答を比較し、3次元的な応答特性の影響を確認する。

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

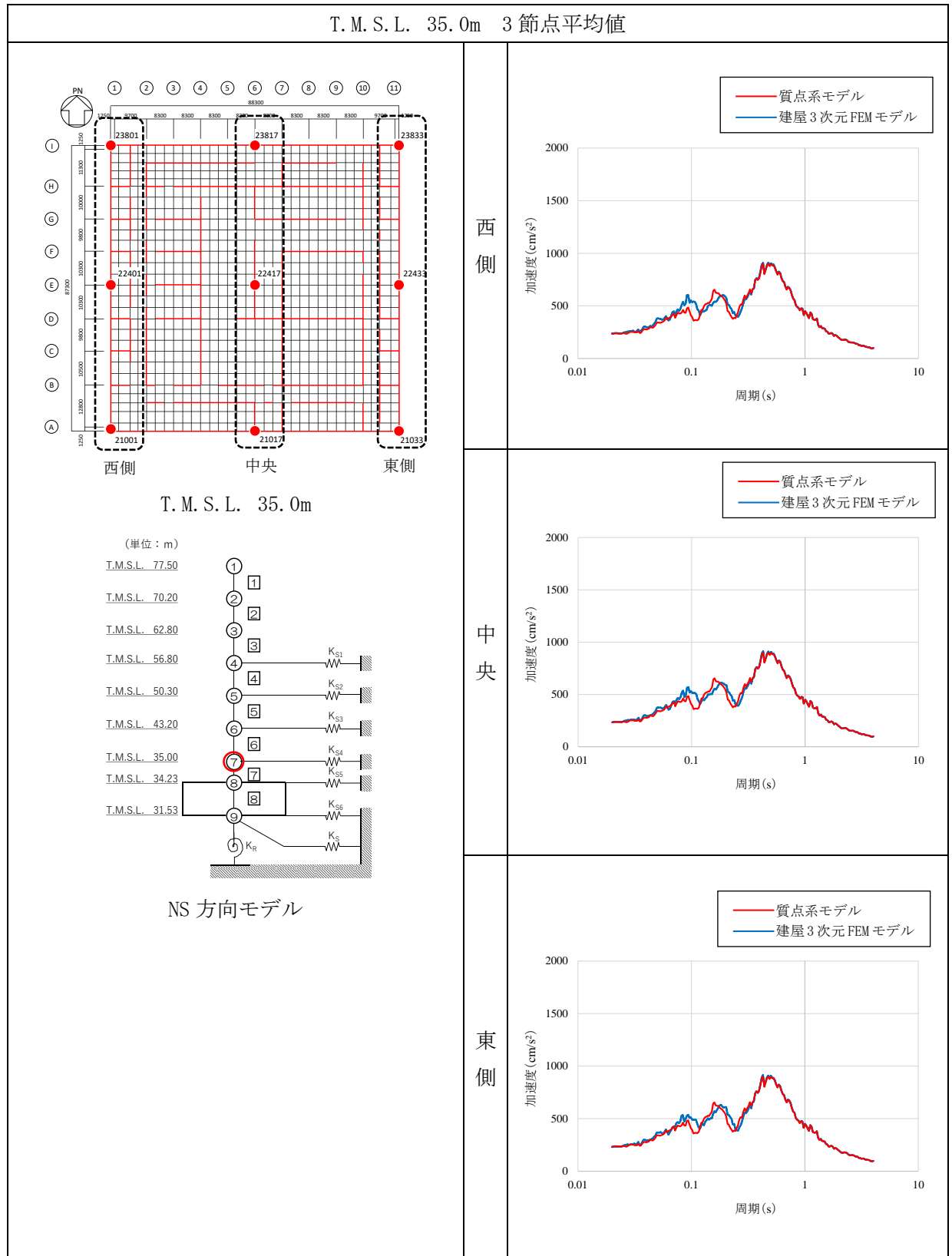
質点系モデルの応答と建屋模擬モデルの応答は概ね一致していることが確認できた。しかしながら、水平方向の0.1秒付近で3次元FEMモデルの応答の増幅が確認できるため、この要因について考察を行った。考察は、大きな床開口がないT.M.S.L. 43.2mのフロアに対して、応答の乖離の大きいEW方向の応答を代表として行った。T.M.S.L. 43.2mのフロアの4隅の個々の評価点について、建屋模擬モデルと質点系モデルの応答を比較したものを第4.4-1図に、質点系対応モデルと質点系モデルの応答を比較したものを第4.4-2図に示す。質点系対応モデルは質点系モデルと整合するようなモデル条件であるため、第4.4-2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. 50.3m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。

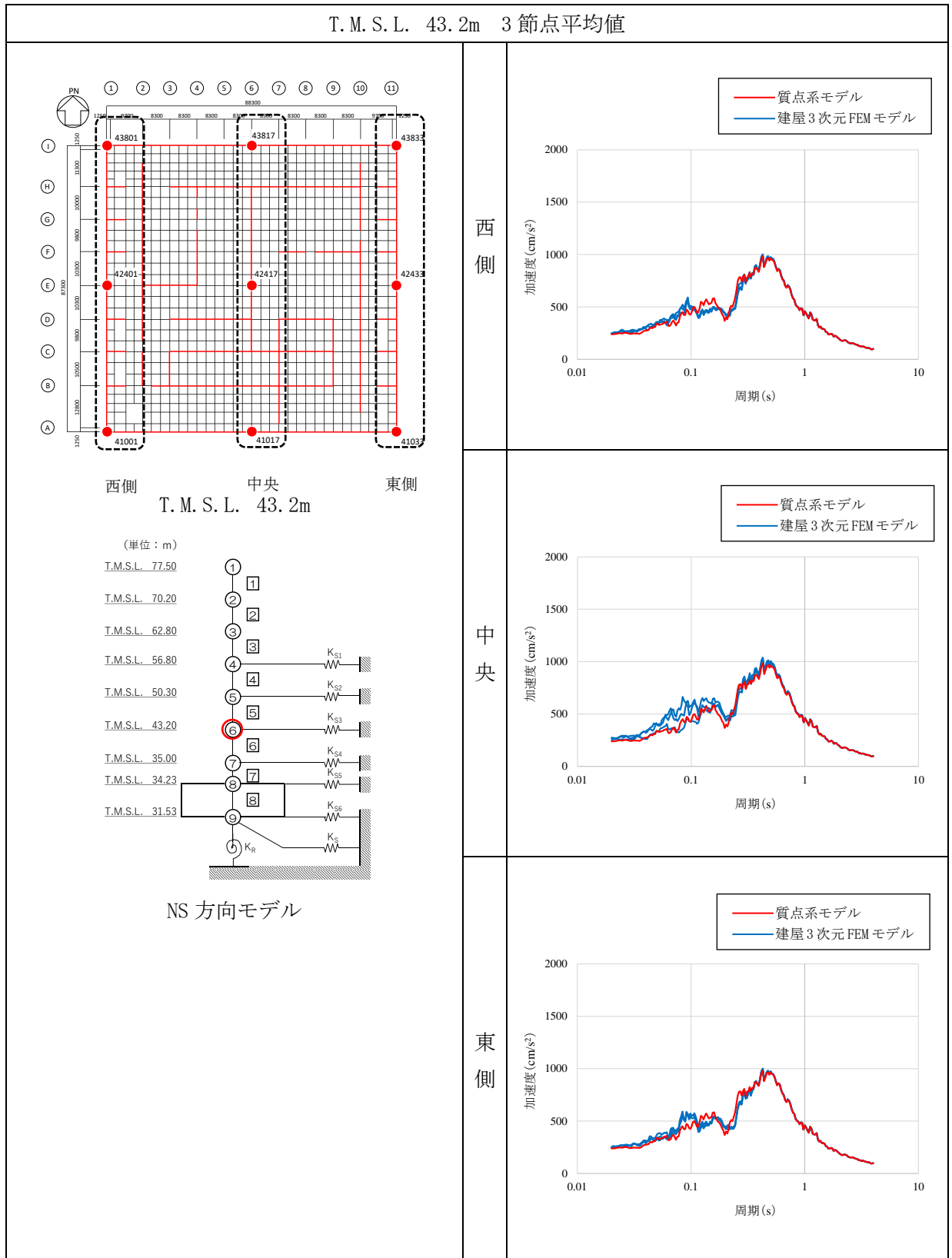
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

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



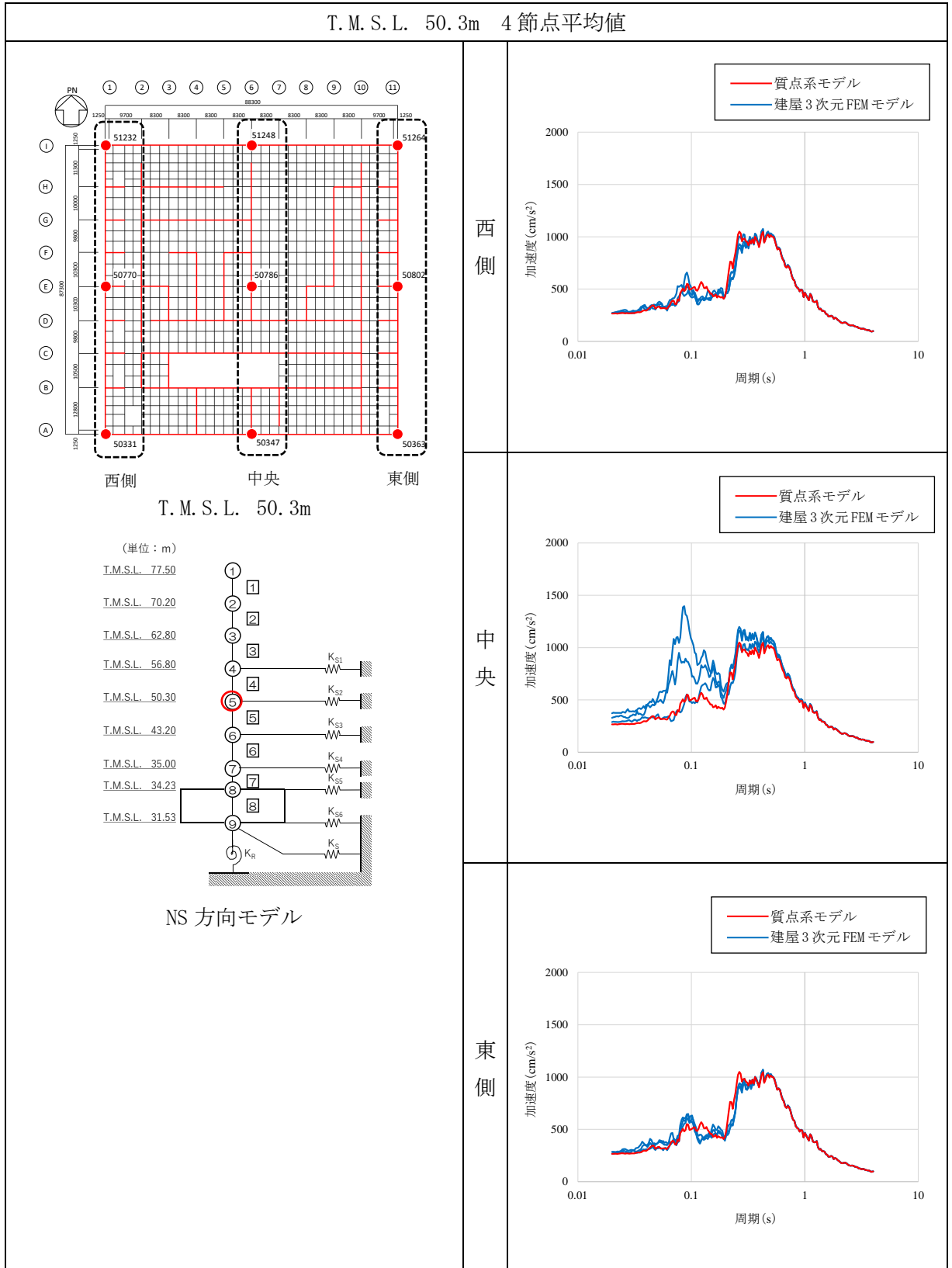
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

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



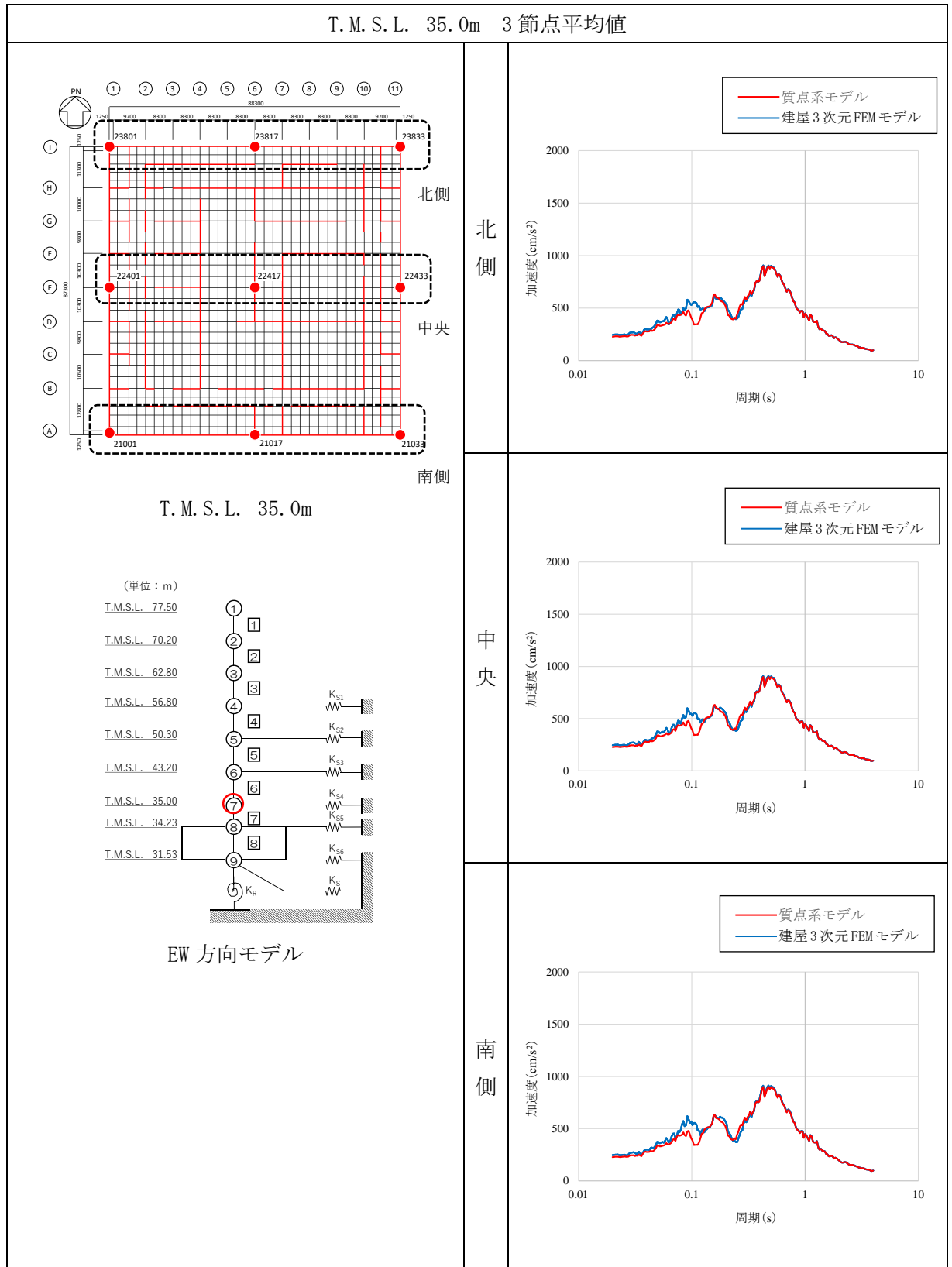
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

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



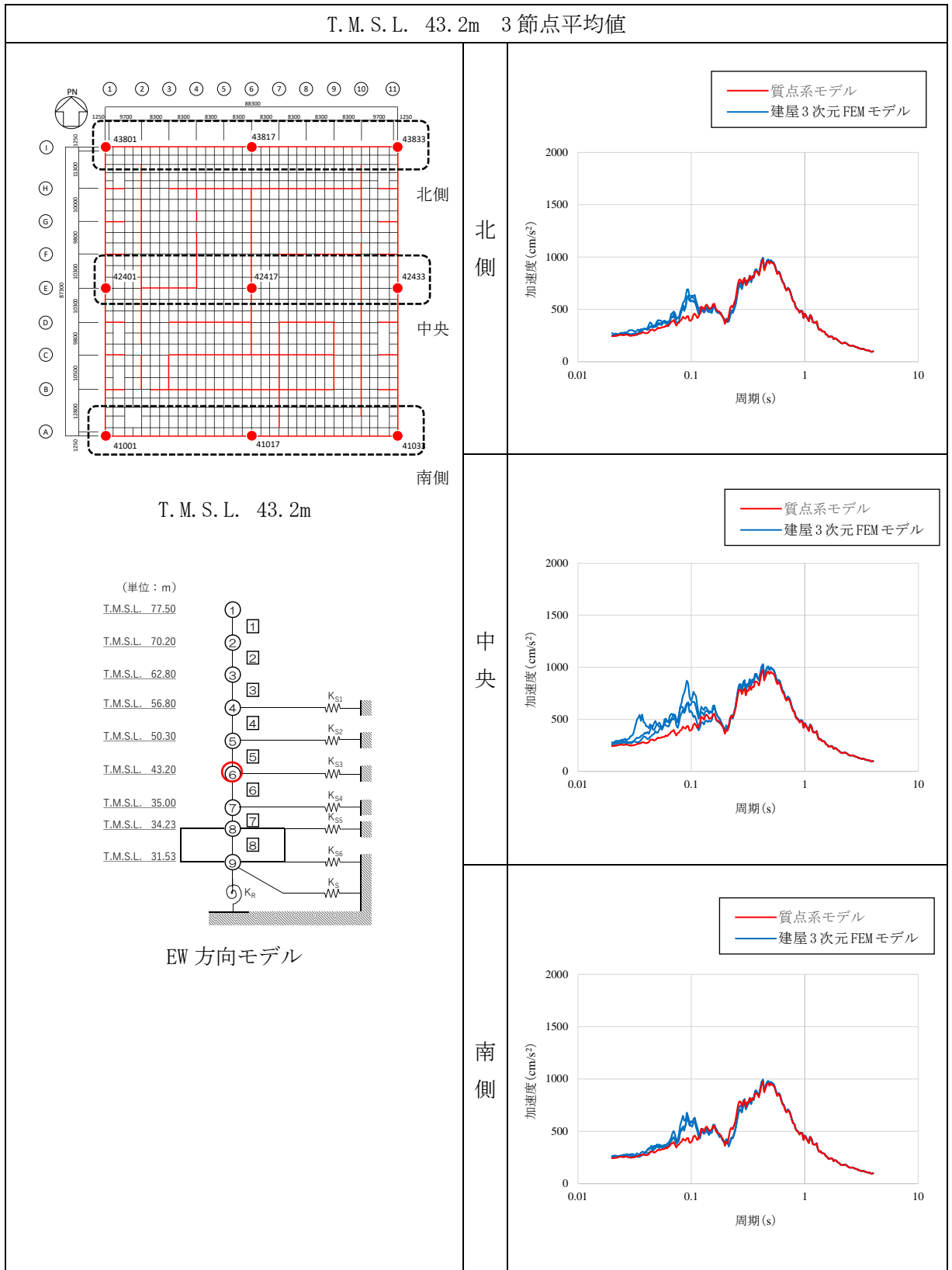
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討(仮称)」の中で適切に評価を行う。

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



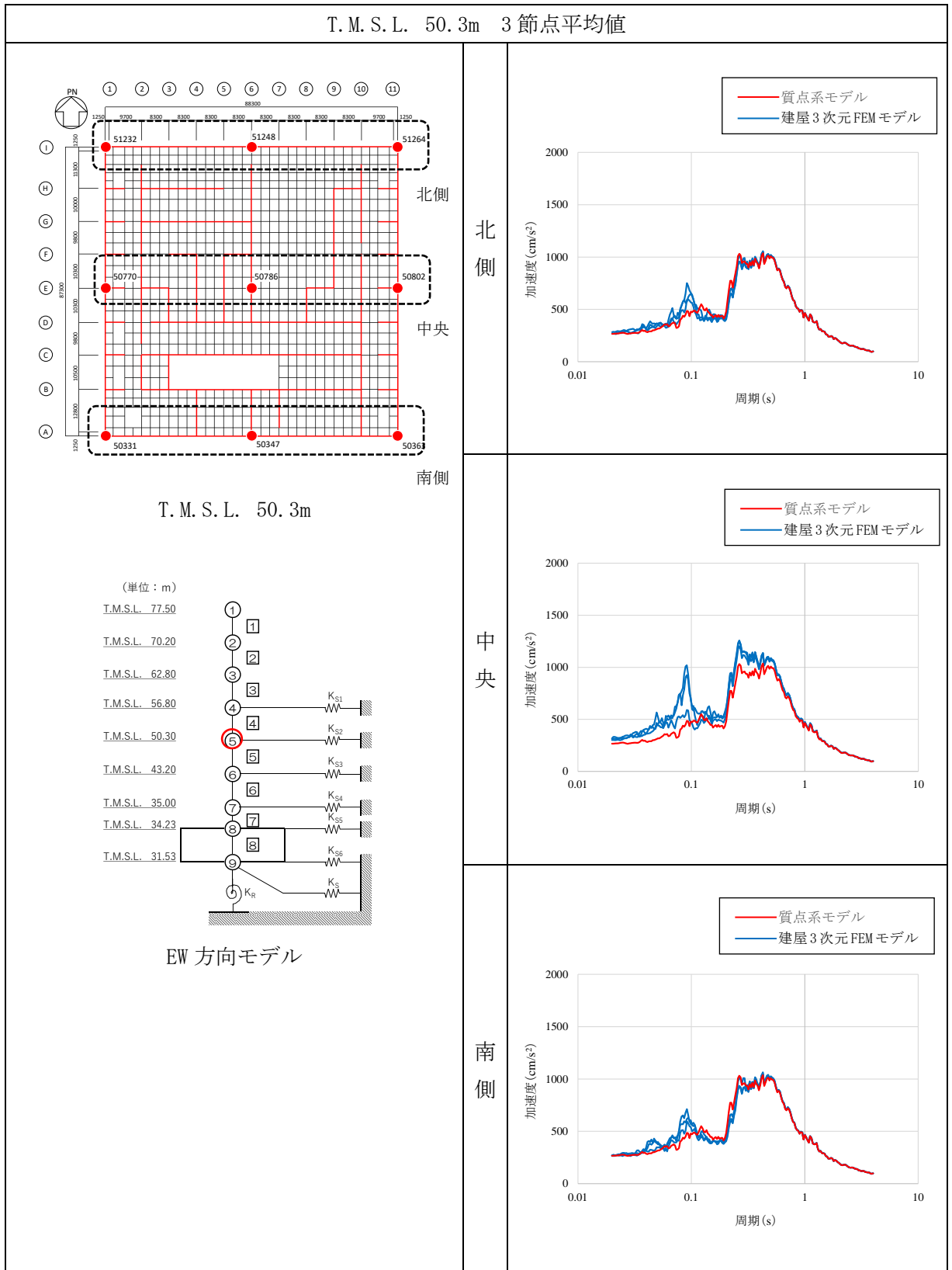
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

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



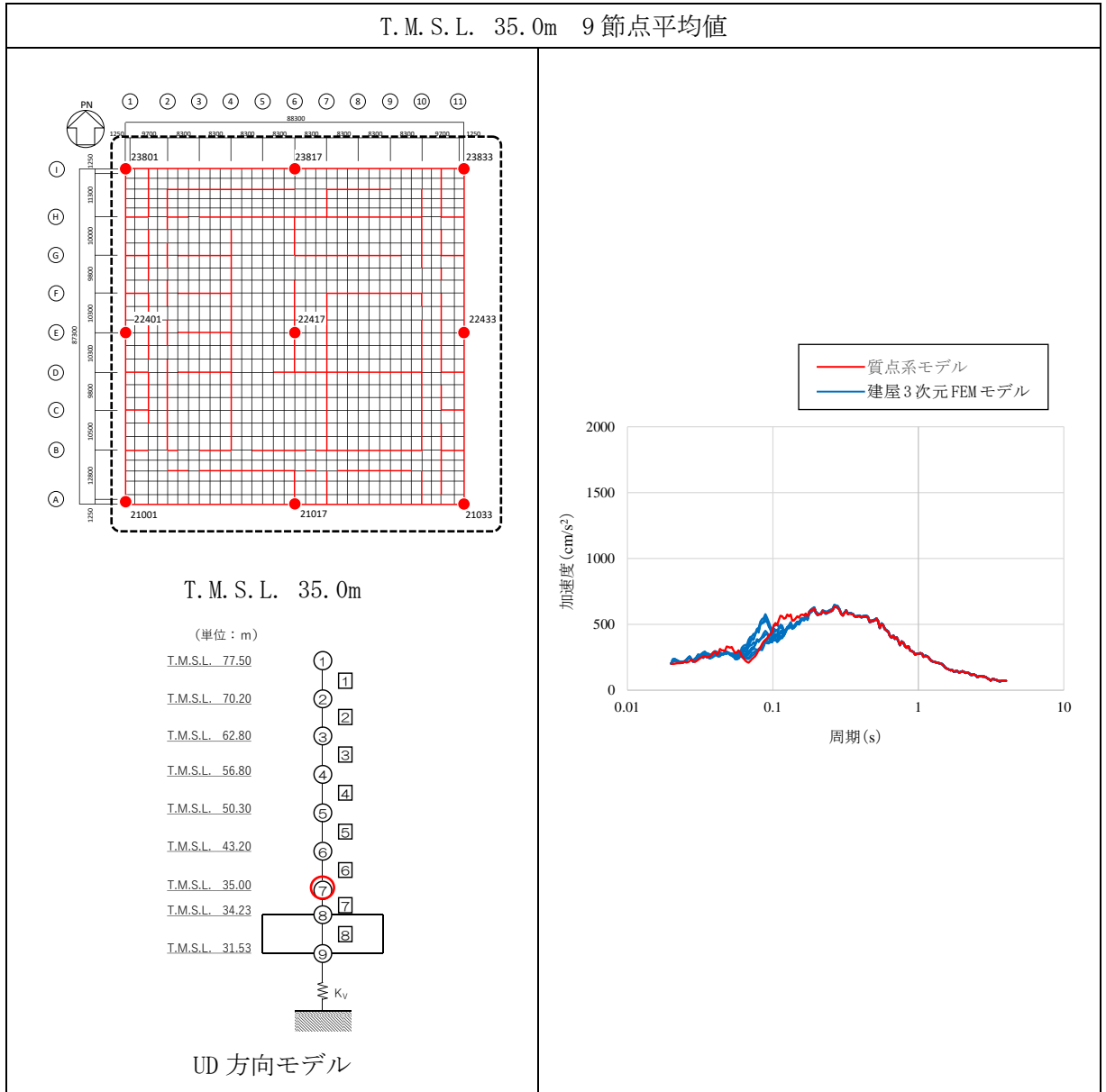
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元的な局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

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



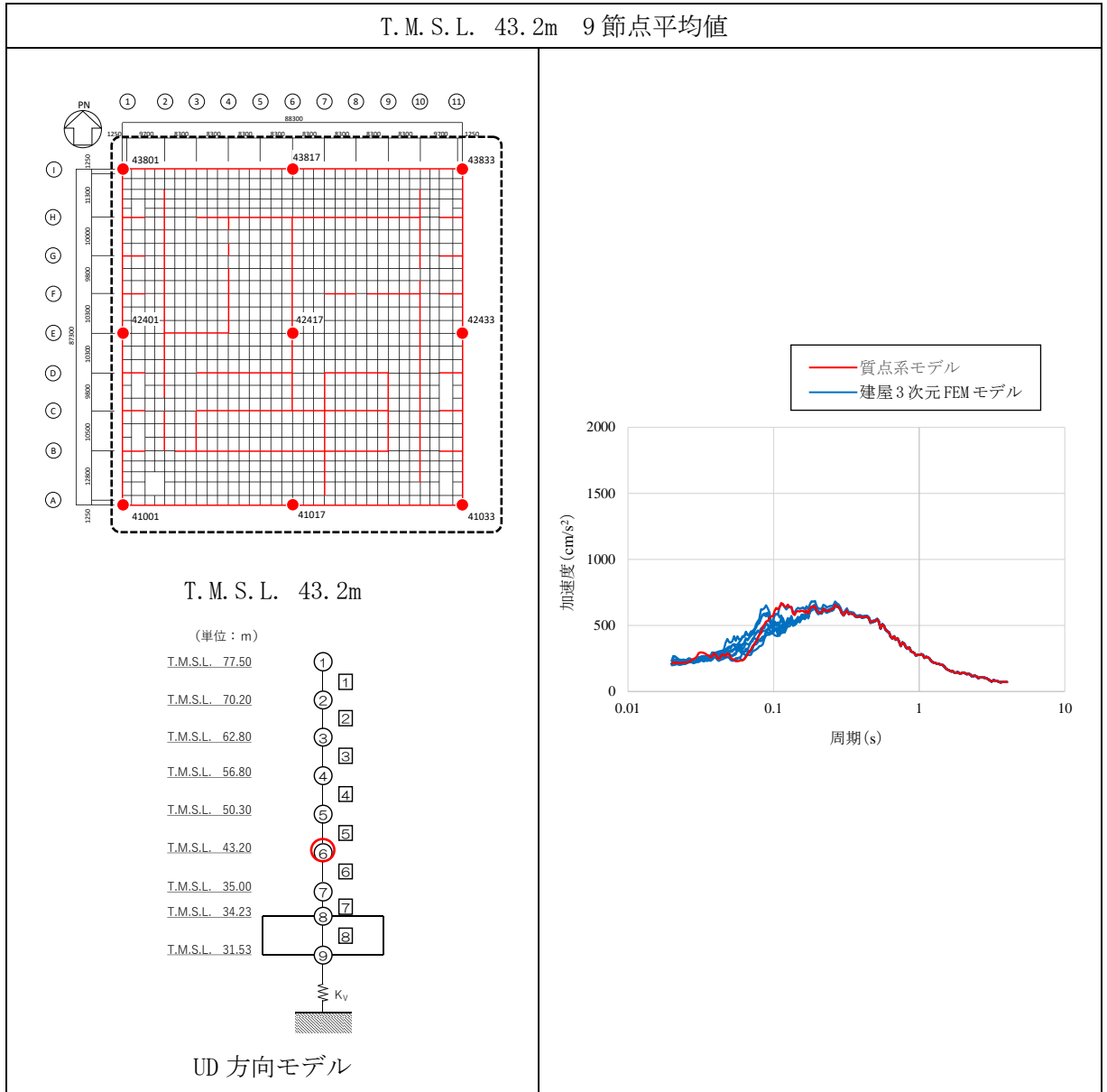
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

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



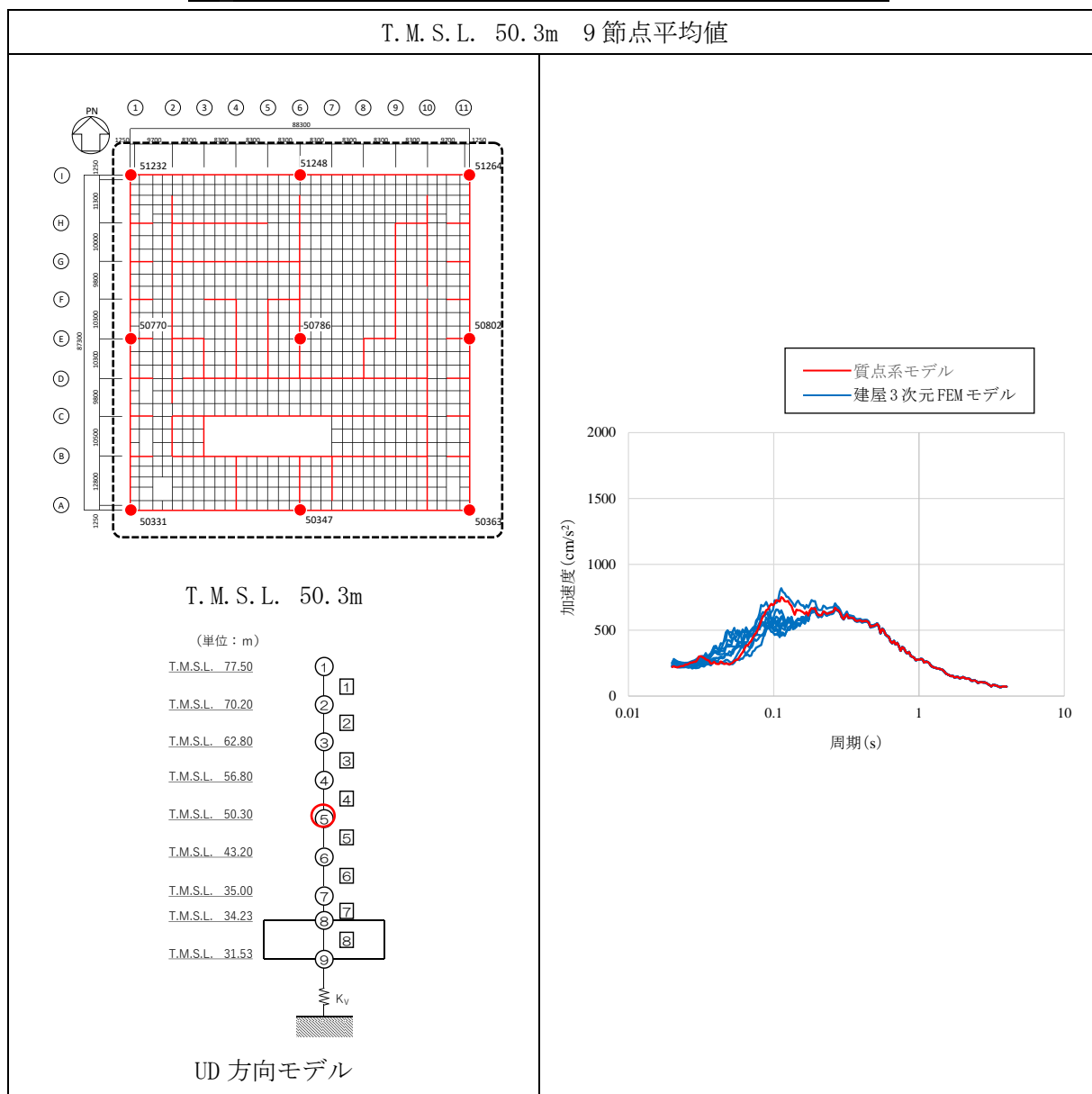
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討(仮称)」の中で適切に評価を行う。

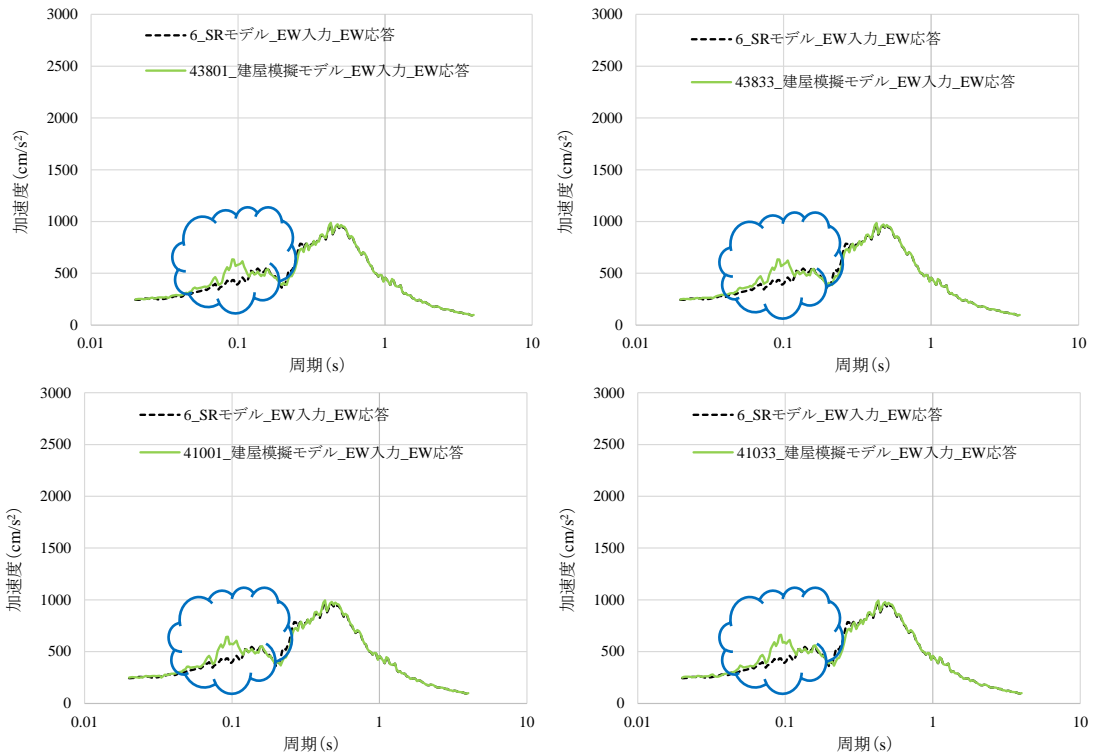
第 4.4-1 表 加速度応答スペクトル (h=3%) (UD 方向) (8/9)



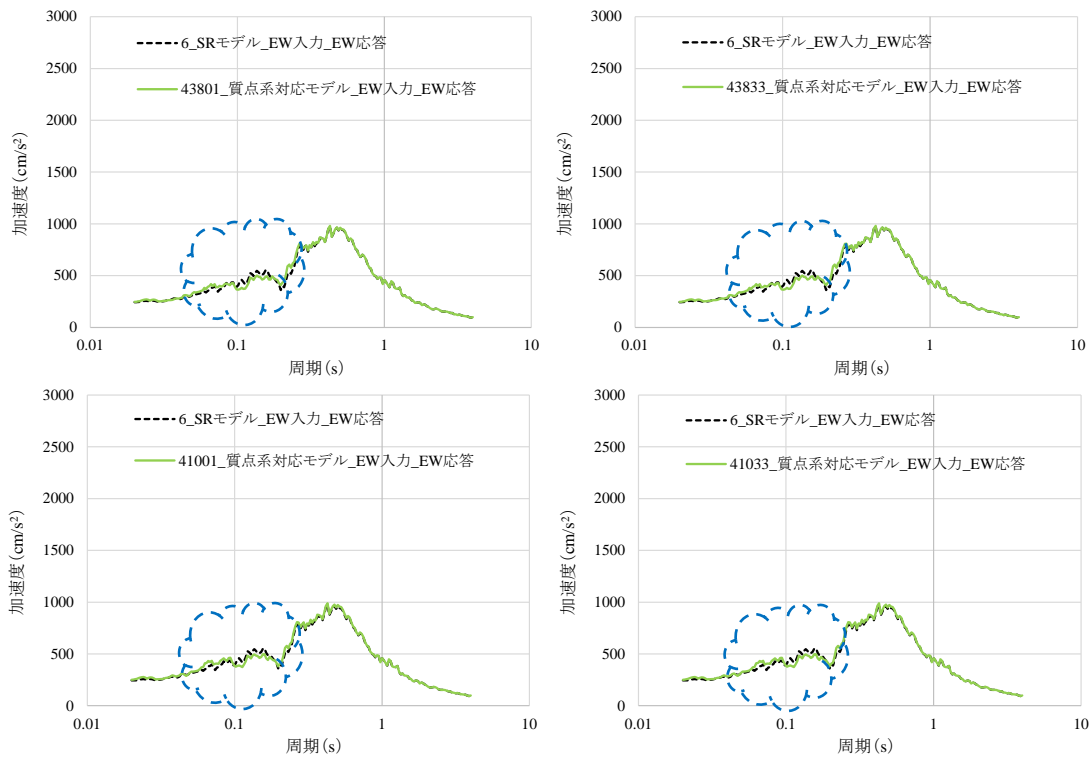
床応答に対する機器・配管系の評価は、後次回申請にて評価対象機器の振動特性等を踏まえ、補足説明資料「建物・構築物の3次元局所的な応答に対する機器・配管系への影響検討（仮称）」の中で適切に評価を行う。

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





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. 2m EW方向)



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. 2m 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。