

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 06 <u>R4</u>
提出年月日	令和 3 年 <u>6 月 14 日</u>

設工認に係る補足説明資料  
地震応答解析の基本方針に関する  
隣接建屋の影響に関する検討

注記：文中の 下線部 は R3 から R4 への変更箇所を示す  
(別紙については、大幅な改定に伴い、下線部を省略する)

別紙の解析結果については、最終チェック中のため  
速報版として示す。

## 目 次

1. 概要	1
2. 既往の知見を踏まえた考察	5
2.1 「NUPEC 試験」について	5
2.1.1 試験概要	5
2.1.2 地盤物性	9
2.1.3 地震観測記録	11
2.1.4 建屋応答の比較	12
2.1.5 検討結果	13
2.2 既往の 3 次元 FEM モデルを用いた検討	14
2.2.1 検討概要	14
2.2.2 地盤のモデル化	17
2.2.3 隣接建屋のモデル化	18
2.2.4 検討用地震動及び解析条件	19
2.2.5 検討結果	20
2.3 軟岩サイトに立地する発電炉における検討	24
2.4 再処理施設等の建物・構築物への適用性について	26
3. FEM を用いた詳細検討	28
3.1 検討方針	28
3.2 検討対象部位及び検討方法	30
3.2.1 検討対象部位	30
3.2.2 耐震壁の検討方法	31
3.2.3 地盤（接地圧）の検討方法	33
3.2.4 基礎スラブの検討方法	34
3.2.5 S クラスの壁及び床の検討方法	34
3.2.6 屋根鉄骨及び屋根トラスの検討方法	34
3.3 検討結果の概要	35
4. まとめ	37

：商業機密の観点から公開できない箇所

別紙 1 建屋構造特性の整理

別紙 2 FEM を用いた詳細検討

別紙 2-1 燃料加工建屋 に対する FEM を用いた詳細検討

別紙 2-2 安全冷却水 B 冷却等（基礎） に対する FEM を用いた詳細検討

後次回以降申請を実施する建物・構築物については、各申請回次に検討結果を提示する。

## 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。）の地震応答計算書を補足説明するものである。

当事業所は、第 1.-1 図に示すとおり、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・構築物が互いに隣接して配置される構成となっている。建物・構築物の地震時の挙動は、実現象としては、隣接する建物・構築物（以下、「隣接建屋」という。）の影響を受けることから、厳密には建屋単独の場合とは異なる挙動を示すことが想定される。

一方、添付書類「耐震性に関する説明書」の地震応答計算書において、建物・構築物の地震応答解析は、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いて実施しており、隣接建屋の影響は考慮していない。

以上のことから、本資料では、上述の隣接建屋が、評価対象建屋の建屋応答に与える影響について検討を行うことで、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いても安全上支障がないことを確認する。

検討は、まず、既往の知見に基づく検討結果から一般論として隣接建屋の影響を考察する。考察にあたっては、別紙 1 に示す再処理施設等の建物・構築物の構造特性や立地条件を踏まえ、その適用性についても留意する。

次に、再処理施設等の建物・構築物のうち、2020 年 12 月 24 日に申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔（基礎）については、FEM を用いた詳細検討を実施する。後次回以降申請を実施する建物・構築物については、各申請回次に検討結果を提示する。

FEM を用いた詳細検討として、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合と各建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答の比較から得られる応答比率を用いて建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認し、安全上支障がないことを確認する。

FEM を用いた詳細検討については、本文では検討方針、検討方法及び検討結果の概要を示すこととし、検討条件及び検討結果の詳細は別紙 2 に示す。

また、機器・配管系の耐震評価への影響については、機電資料（追而）にて示す。  
本資料における検討フローを第 1.-2 図に示す。

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。

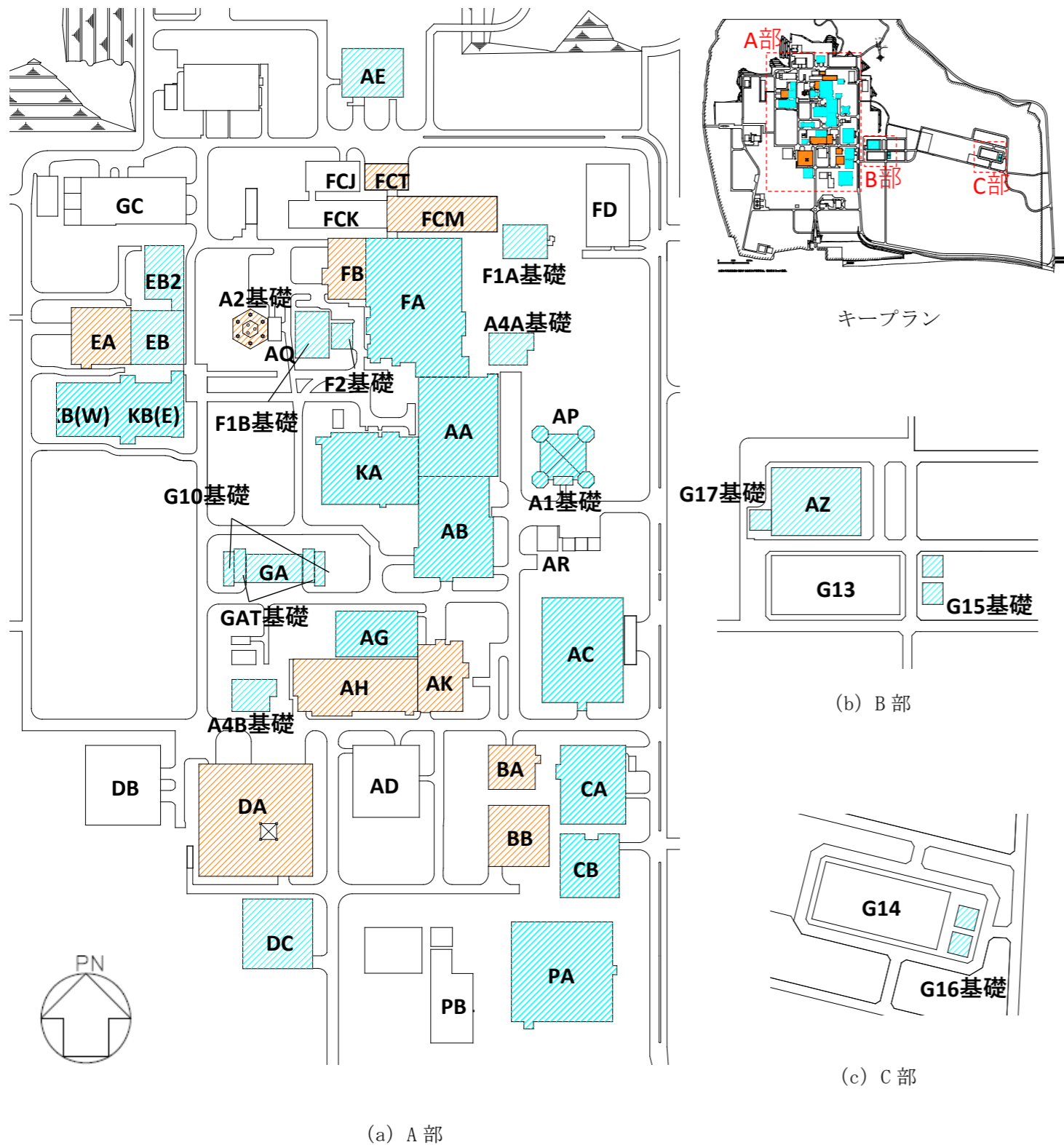
- ・再処理施設 添付書類「IV-2-1-1-1 安全冷却水 B 冷却塔の耐震性に関する計算書」のうち「a. 安全冷却水 B 冷却塔の地震応答計算書」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-3-1-1-1 燃料加工建屋の地震応答計算書」

※：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：補足説明資料●●
- ・竜巻防護対策設備：補足説明資料●●
- ・排気筒及び換気筒：補足説明資料●●

洞道，飛来物防護ネット並びに排気筒及び換気筒の取り扱いについては，記載方法を検討中である。

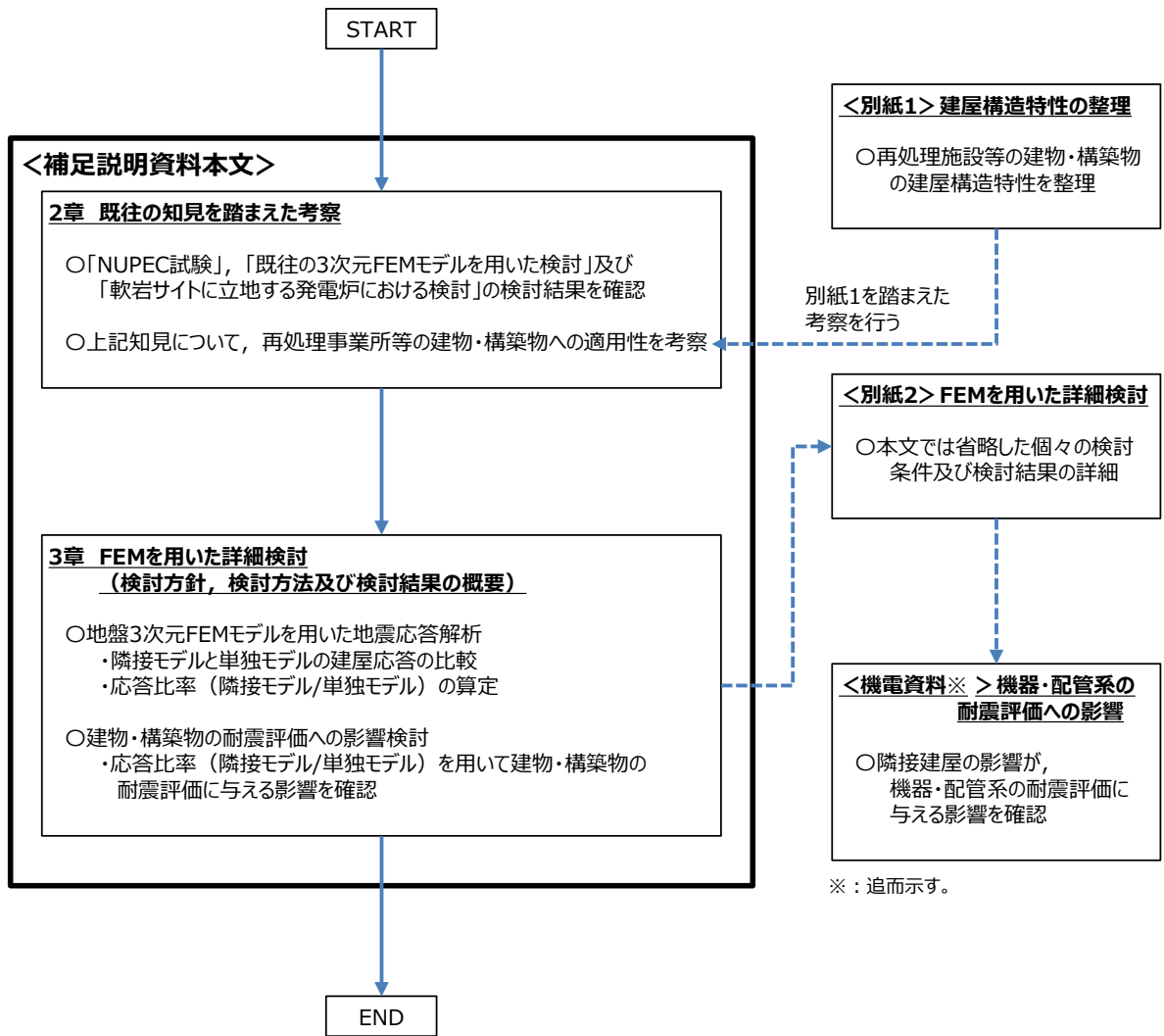
: Sクラス施設又は常設耐震重要重大事故等対処設備の間接支持構造物  
 : 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設



建物・構築物名称	
前処理建屋	AA
分離建屋	AB
精製建屋	AC
低レベル廃液処理建屋	AD
ハル・エンドピース貯蔵建屋	AE
制御建屋	AG
分析建屋	AH
出入管理建屋	AK
主排気筒管理建屋	AP
北換気筒管理建屋	AQ
試薬建屋	AR
緊急時対策建屋	AZ
主排気筒 (基礎)	A1基礎
北換気筒 (基礎)	A2基礎
安全冷却水A冷却塔 (基礎)	A4A基礎
安全冷却水B冷却塔 (基礎)	A4B基礎
ウラン脱硝建屋	BA
ウラン酸化物貯蔵建屋	BB
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	CA
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	CB
低レベル廃棄物処理建屋	DA
第2低レベル廃棄物貯蔵建屋	DB
チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋	DC
ガラス固化体受入れ建屋	EA
ガラス固化体貯蔵建屋	EB

建物・構築物名称	
ガラス固化体貯蔵建屋B棟	EB2
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	FA
使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	FB
使用済燃料輸送容器管理建屋 (除染エリア)	FC (FCJ)
使用済燃料輸送容器管理建屋 (空使用済燃料輸送容器保管庫)	FC (FCK)
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)	FC (FCM)
使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレーラエリア)	FC (FCT)
第1低レベル廃棄物貯蔵建屋	FD
安全冷却水系冷却塔A (基礎)	F1A基礎
安全冷却水系冷却塔B (基礎)	F1B基礎
第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室 (基礎)	F2基礎
非常用電源建屋	GA
燃料油貯蔵タンク基礎	GAT基礎
ユーティリティ建屋	GC
冷却塔A, B (基礎)	G10基礎
第1保管庫・貯水所	G13
第2保管庫・貯水所	G14
第1軽油貯蔵所 (基礎)	G15基礎
第2軽油貯蔵所 (基礎)	G16基礎
重油貯蔵所 (基礎)	G17基礎
高レベル廃液ガラス固化建屋	KA
第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟	KB (E)
第1ガラス固化体貯蔵建屋西棟	KB (W)
燃料加工建屋	PA
エネルギー管理建屋	PB

第 1. -1 図 再処理事業所の構内配置図



第 1.-2 図 本資料の検討フロー

## 2. 既往の知見を踏まえた考察

本章では、既往の知見に基づく検討結果から一般論として隣接建屋の影響を考察する。

### 2.1 「NUPEC 試験」について

(財)原子力発電技術機構において、建屋の隣接効果を明らかにすることを目的とした「原子炉建屋の隣接効果試験<sup>1)</sup>」(以下「NUPEC 試験」という)の一環として、原子炉施設の実際の建屋配置状況に則して実地盤上に建設された鉄筋コンクリート製試験体を用いた検討が実施されている。この試験では、地盤及び試験体に設置された加速度計により地震観測を実施し、建屋が隣接状態にある場合の振動性状について検討が実施されている。ここでは、地震観測に基づく検討結果から隣接効果が建屋応答に及ぼす影響について検討する。

#### 2.1.1 試験概要

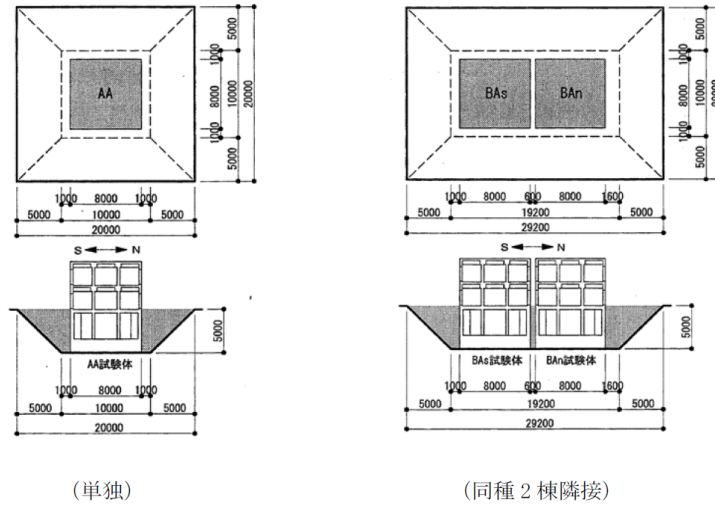
「NUPEC 試験」の中では、原子炉建屋に対して、原子炉建屋あるいは制御建屋等の振動特性が同種の建屋が隣接する場合について、検討を実施している。ここでは、その検討結果を示す。

試験においては、単独で設置された建屋試験体及び同種 2 棟の建屋を隣接させた試験体(以下「試験体(単独)」及び「試験体(同種 2 棟隣接)」という)を用いて、地震観測が実施されている。

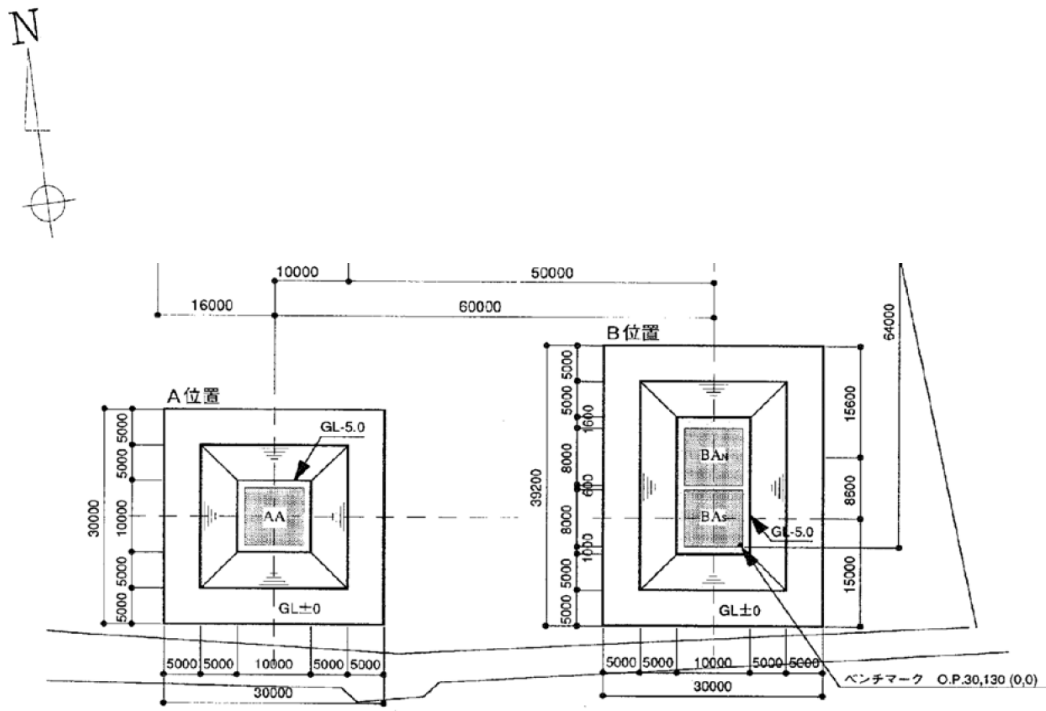
試験体(単独)(AA 建屋)及び試験体(同種 2 棟隣接)(BAS 建屋及び BAN 建屋)の各建屋は、8m×8m のほぼ正方形の平面を成し、基礎下端から建屋頂部までの高さは 10.5m である。埋込みの有無が隣接効果に及ぼす影響を把握するため、埋込みのない状態で試験が開始されており、後に試験体下部 5m を埋込んだ状態で地震観測が実施されている。地盤及び建屋各部には加速度計が配置されており、自由地盤及び建屋の応答加速度が計測されている。

試験体の概要を第 2.1.1-1 図に、試験体配置図を第 2.1.1-2 図に、試験体建屋諸元を第 2.1.1-3 図に、試験体内の加速度計配置図を第 2.1.1-4 図に、検討ケースを第 2.1.1-1 表にそれぞれ示す。

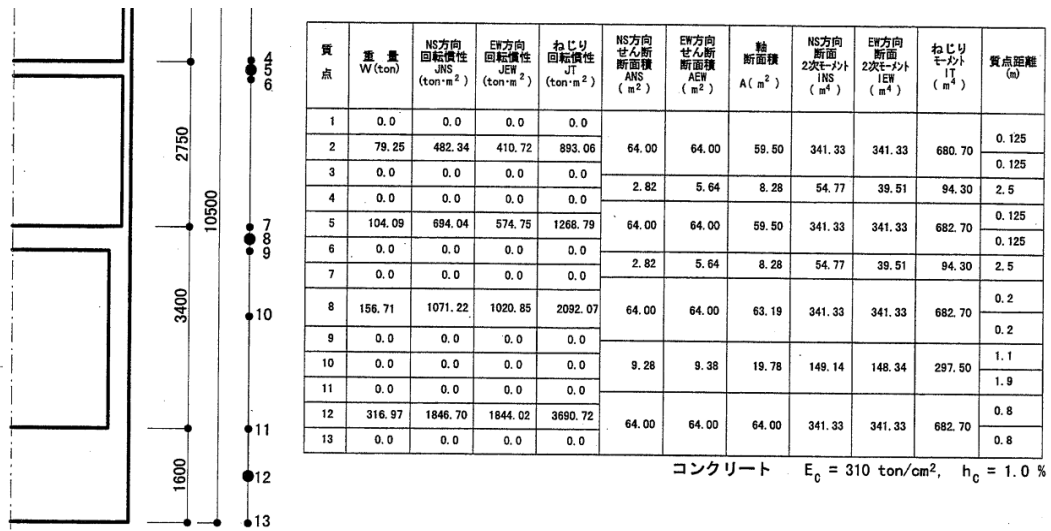




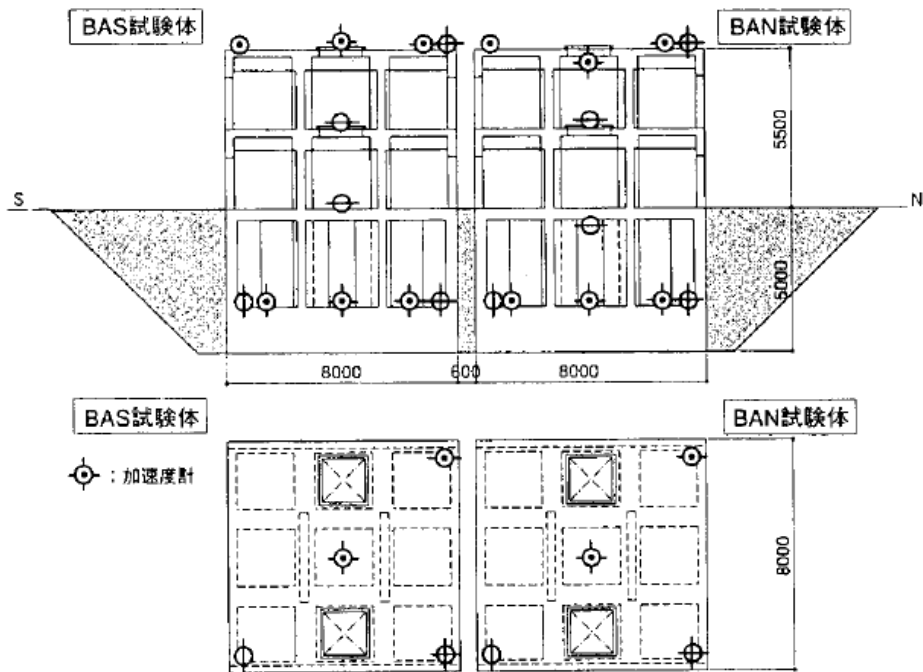
第 2.1.1-1 図 試験体の概要<sup>1)</sup>



第 2.1.1-2 図 試験体配置図<sup>1)</sup>



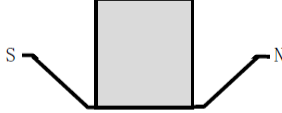
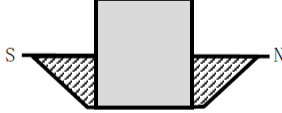


第 2.1.1-3 図 試験体建屋諸元<sup>1)</sup>



第 2.1.1-4 図 試験体内の加速度計配置図 (BAS, BAN 試験体)<sup>1)</sup>

※AA 試験体内の加速度計も、上記試験体の配置に準ずる。

第 2.1.1-1 表 検討ケース

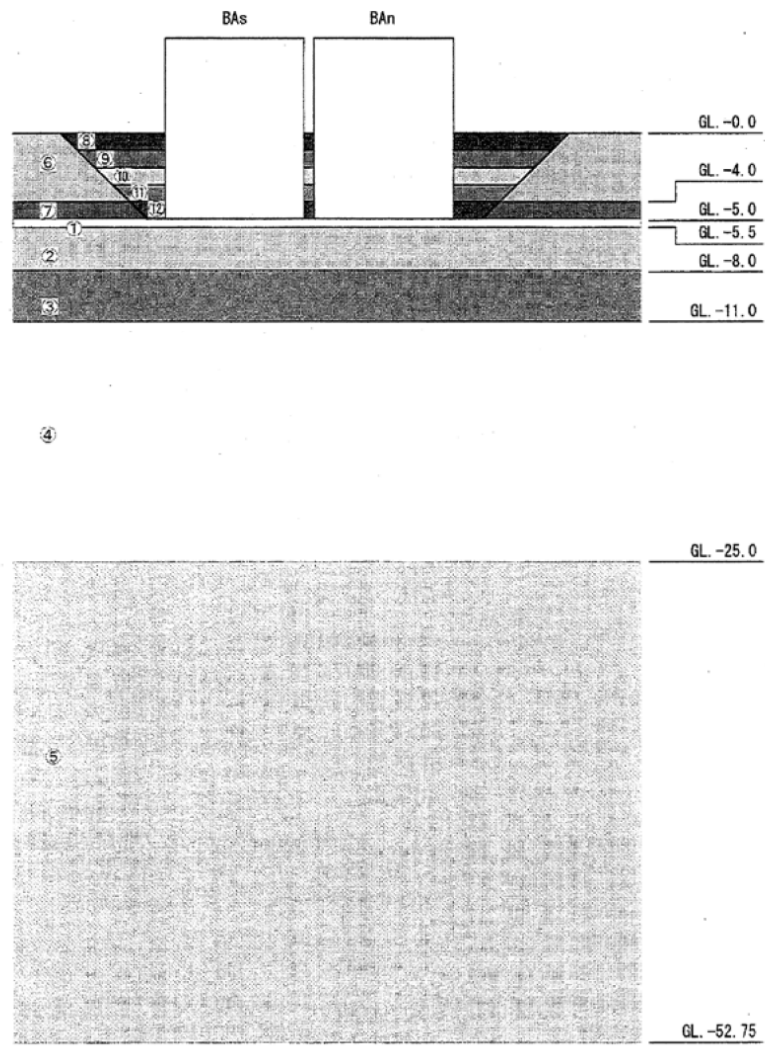
試験体	埋込み無し	埋込み有り
単独		
同種 2 棟隣接		

## 2.1.2 地盤物性

試験体設置地盤の概要を第 2.1.2-1 表及び第 2.1.2-1 図に示す。第 2.1.2-1 表中の①～⑦層は埋込み無しと埋込み有りの試験体に共通で、⑧～⑫層は、埋め戻し土のため埋込み有りの試験にのみ適用される。

第 2.1.2-1 表 地盤物性値<sup>1)</sup>

層No.	深度(m)	層厚(m)	S波速度 Vs(m/sec)	P波速度 Vp(m/sec)	ポアソン比	単位体積重量 (t/m <sup>3</sup> )	減衰定数 h(%)
①	-5.0~-5.5 (緩み層)	0.5	150	228	0.120	1.94	5
②	-5.5~-8.0	2.5	340	750	0.371	1.94	5
③	-8.0~-11.0	3.0	430	1130	0.415	1.94	2
④	-11.0~-25.0	14.0	1290	2990	0.386	2.21	2
⑤	-25.0~-52.75	27.75	1590	3250	0.343	2.21	2
⑥	0.0~-3.8	3.8	(160)	(380)	(0.392)	(1.64)	-
⑦	-3.8~-5.0	1.2	(320)	(650)	(0.340)	(1.85)	-
⑧	0.0~-1.0	1.0	155	360	0.386	1.77	5
⑨	-1.0~-2.0	1.0	205	370	0.279	1.77	5
⑩	-2.0~-3.0	1.0	215	380	0.265	1.77	5
⑪	-3.0~-4.0	1.0	225	390	0.251	1.77	5
⑫	-4.0~-5.0	1.0	235	420	0.272	1.77	5



第 2.1.2-1 図 地盤層番号図<sup>1)</sup>

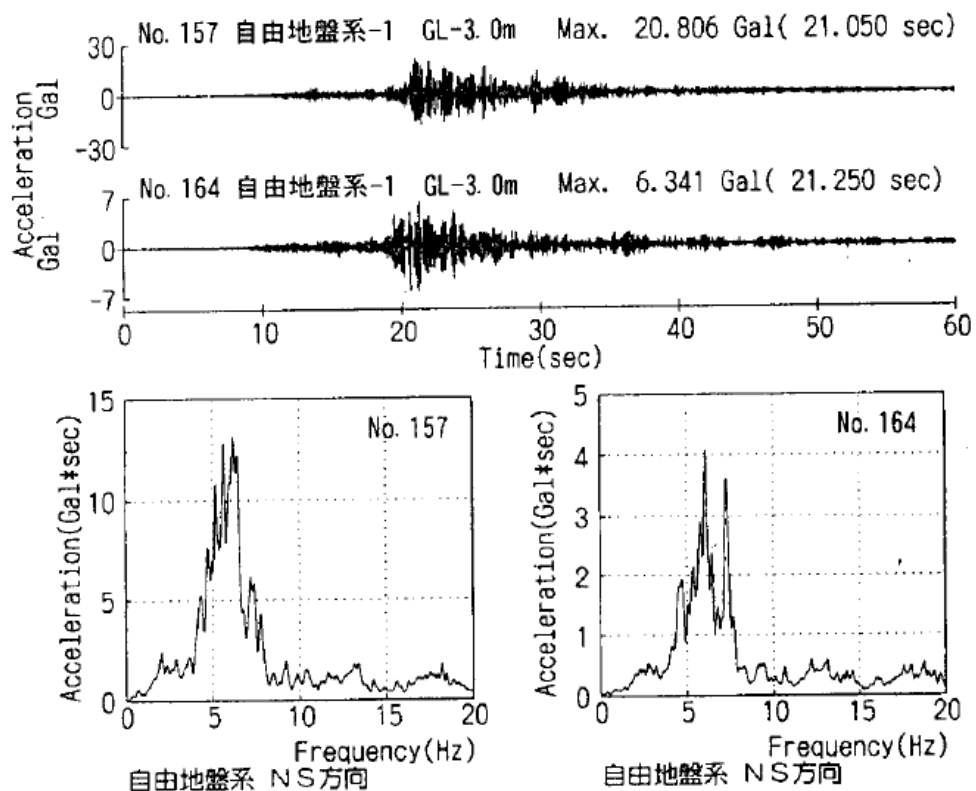
### 2.1.3 地震観測記録

本検討に使用した地震観測記録（観測番号：No. 157, No. 164）の概要を第 2.1.3-1 表に示す。観測記録 No. 157 は、試験体の建屋下部を埋め込んでいない状態のときの観測記録であり、観測記録 No. 164 は、埋め込んだ状態のときの観測記録である。

また第 2.1.3-1 図に自由地盤(GL. -3.0m)の加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトルを示す。両地震ともに震央位置及び震源深さが近接し、観測波形の形状は類似している。鈴木ら<sup>2)</sup>は、表層ではスペクトルに見られる明瞭なピークから、水平の 1 次卓越振動数は 6Hz 前後としており、これは表層地盤の卓越振動数に対応するものと考察している。

第 2.1.3-1 表 地震観測記録<sup>2)</sup>

観測番号	観測日	M	震央	震央距離 (km)	震源距離 (km)
No. 157	H10. 1. 31	5. 1	青森県東方沖	66	89
No. 164	H10. 11. 7	4. 6	浦賀沖	71	95



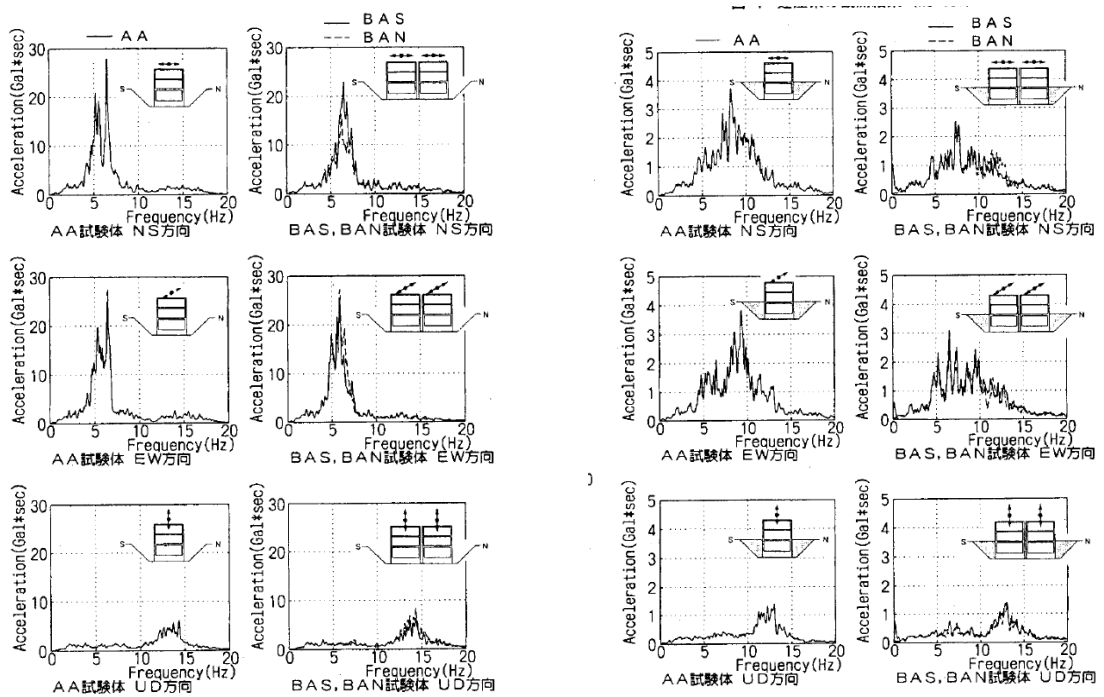
第 2.1.3-1 図 地震観測記録の自由地盤での加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトル<sup>2)</sup>

## 2.1.4 建屋応答の比較

鈴木ら<sup>2)</sup>は、第2.1.3-1表の観測記録による試験体（単独）及び試験体（同種2棟隣接）の水平方向の最大加速度は、試験体の建屋下部を埋め込まない状態で計測した観測記録No.157の場合、両試験体の観測結果に明瞭な差が認められないと考察している。

一方、試験体の建屋下部を埋め込んだ状態で計測した観測記録No.164の場合、NS方向、EW方向ともに隣接配置された試験体（同種2棟隣接）の最大加速度が単独に比べ小さくなり、建屋が隣接する方向（NS方向）では単独に比べ、80～90%程度、建屋隣接方向に直交する方向（EW方向）では、70%前後の低下率になると考察している。

また、両地震による建屋頂部での加速度記録のフーリエスペクトルを第2.1.4-1図のとおりに整理し、単独と同種2棟隣接の比較において、埋込み無しの状態では水平、上下ともに類似のスペクトル形状であるのに対し、埋込み有りの状態では同種2棟隣接の方が水平方向のピーク振幅が明らかに低下する傾向が見られると考察している。



(a) 埋込み無し (N0.157)

(b) 埋込み有り (N0.164)

第2.1.4-1図 建屋観測結果の比較（単独と同種2棟隣接）<sup>2)</sup>

### 2.1.5 検討結果

「NUPEC 試験」の一環として実地盤上に建設された鉄筋コンクリート製試験体における地震観測による検討について、単独で設置された建屋試験体と同種 2 棟の建屋を隣接させた試験体の建屋応答の比較をまとめたものを第 2.1.5-1 表に示す。建屋が隣接する場合の地震応答は、単独の場合と比較してほぼ同等または低減される傾向となることが確認されている。

また、本検討では、平成 6 年度から平成 13 年度までの 8 年間にわたる「NUPEC 試験」結果の一例を示したが、一連の試験の中では、他に試験体（単独）と試験体（異種 2 棟隣接）の地震観測、起振試験及び室内試験、並びにそれらのチェックシミュレーションを通して、様々な条件下における隣接効果について検討が実施されている。これらの検討により、隣接効果は、隣接する建屋が、建屋と地盤との相互作用である「地盤ばね」及び「基礎入力動」に与える影響によるものであることが確認されている。

さらに、隣接効果による建屋応答の性状変化は、建屋条件により固有のものとなることが明らかにされているが、定性的には、建屋が隣接した状態と単独の状態を比較した場合、隣接した状態の方が建屋応答が低減される傾向にあることが確認されている。

第 2.1.5-1 表 建屋応答の比較

	試験体（単独）と試験体（同種 2 棟隣接）	
	建屋並び方向 （NS 方向）	建屋の並びに直角な方向 （EW 方向）
埋込み無し	ほぼ同等	ほぼ同等
埋込み有り	単独に比べ、同種 2 棟隣接は 80～90%程度の低下	単独に比べ、同種 2 棟隣接は 70%前後の低下



## 2.2 既往の3次元FEMモデルを用いた検討

中村ら<sup>3)</sup>は隣接建屋が建屋応答に与える影響を把握するため、3次元FEMモデルを用いた検討を実施している。

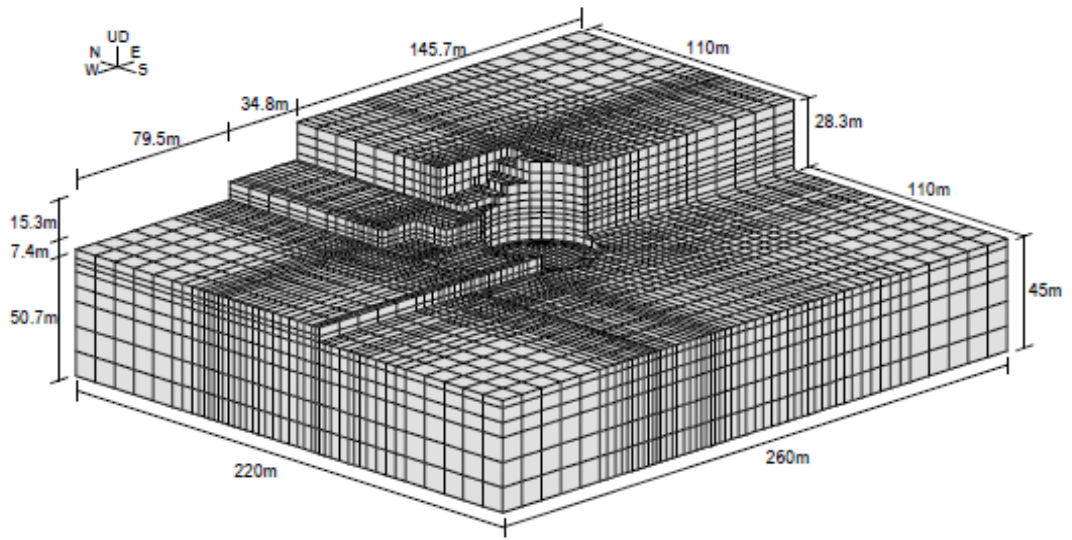
### 2.2.1 検討概要

本検討では、第2.2.1-1図に示すような隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））を考慮しないモデルと隣接建屋を考慮したモデルの2種類の3次元FEMモデルを構築し、評価対象である原子炉建屋（R/B）の基礎底面における地盤インピーダンス\*及び基礎入力動の加速度応答スペクトルを比較することで、隣接建屋が地震応答解析に用いる建屋－地盤連成モデル及び入力地震動に与える影響を確認している。

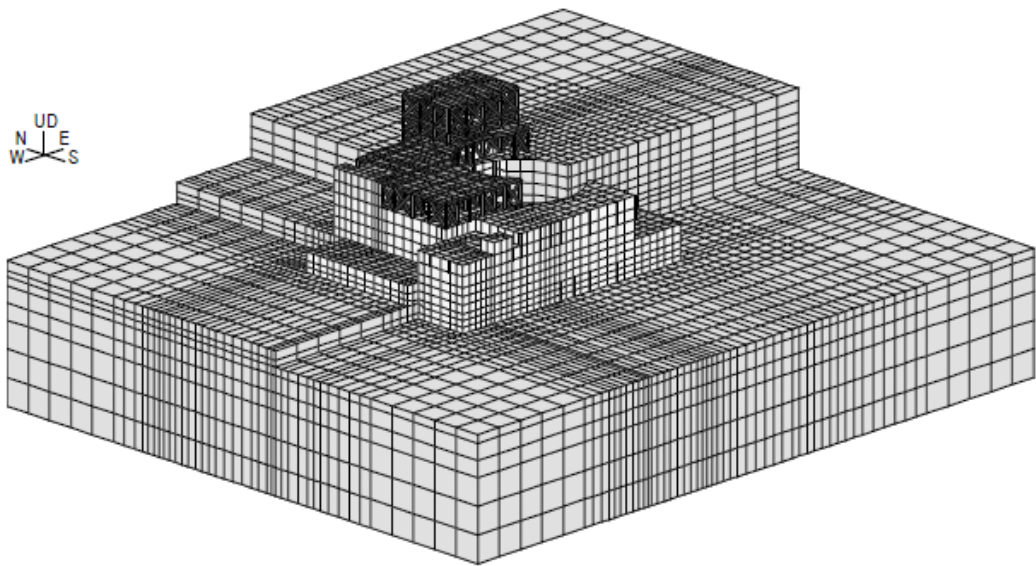
なお、本検討は $V_s=1,650\text{m/s}$ の硬質な岩盤に直接支持される原子力施設を対象に実施されている。

注記\*：地盤インピーダンス

地盤－建物間の相互作用を考慮した、基礎底面における動的地盤ばね（剛性と減衰）であり、振動数依存性を有する複素数となる。（第2.2.1-2図）

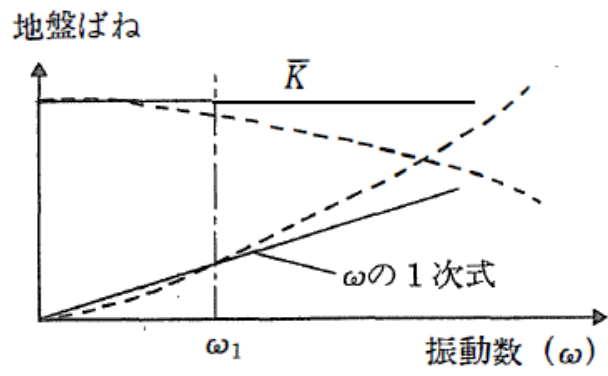


(a) 隣接建屋非考慮



(b) 隣接建屋考慮

第 2.2.1-1 図 3次元 FEM モデル<sup>3)</sup>

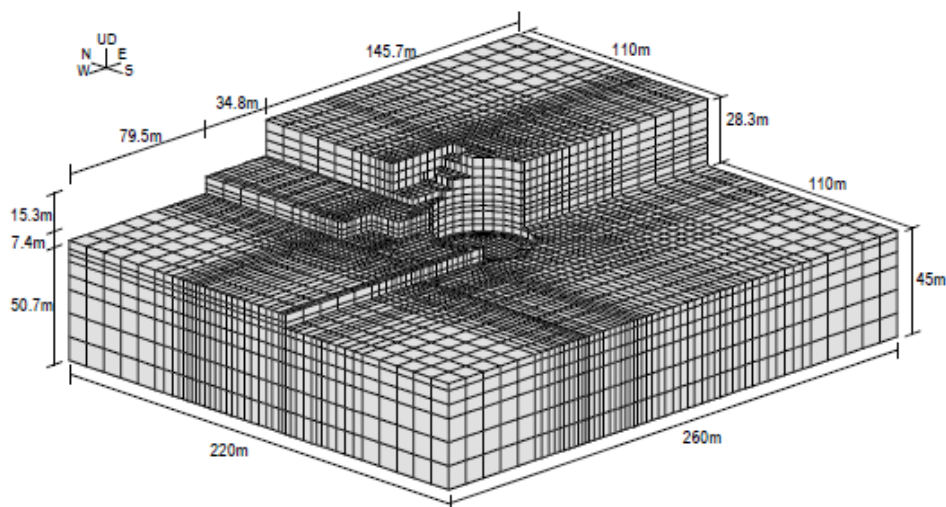


第 2.2.1-2 図 地盤ばねの近似<sup>4)</sup>

### 2.2.2 地盤のモデル化

本検討で使用する地盤 FEM の形状を第 2.2.2-1 図に示す。地盤はソリッド要素でモデル化されている。地盤は硬質で一様な物性の岩盤とし、本検討で想定する地震動に対して弾性状態と考えられることから、線形材料とされている。地盤物性を第 2.2.2-1 表に示す。

地盤の境界条件については、底面及び側面ともに粘性境界とされている。このとき、粘性境界付近での解析精度の低下が、評価対象である R/B の基礎底面の応答に与える影響を低減させるために、評価対象である R/B の基礎底面に比べて地盤 FEM モデルの平面サイズを十分に大きく設定されている（約 5～6 倍）。



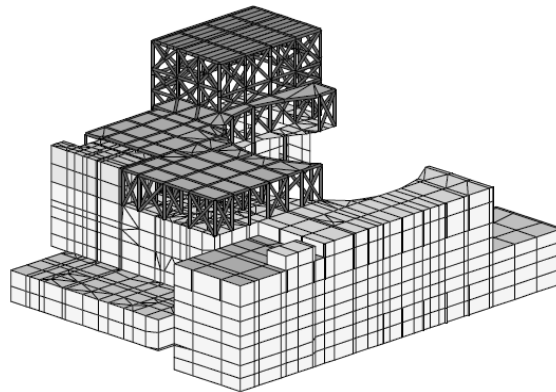
第 2.2.2-1 図 地盤 FEM モデル<sup>3)</sup>

第 2.2.2-1 表 地盤物性一覧

せん断波速度 Vs (m/s)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)	単位体積重 量 γ (t/m <sup>3</sup> )
1650	0.40	3.0	2.6

### 2.2.3 隣接建屋のモデル化

本検討で使用する隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））のモデル形状を第 2.2.3-1 図に、隣接建屋の各部材のモデル化について第 2.2.3-1 表に示す。なお、A/B は高さ方向に比べて平面的に十分な広がりを持っており、基礎の浮上り応答が支配的ではないと考えられることから、本検討において隣接建屋の基礎浮上りは考慮していない。



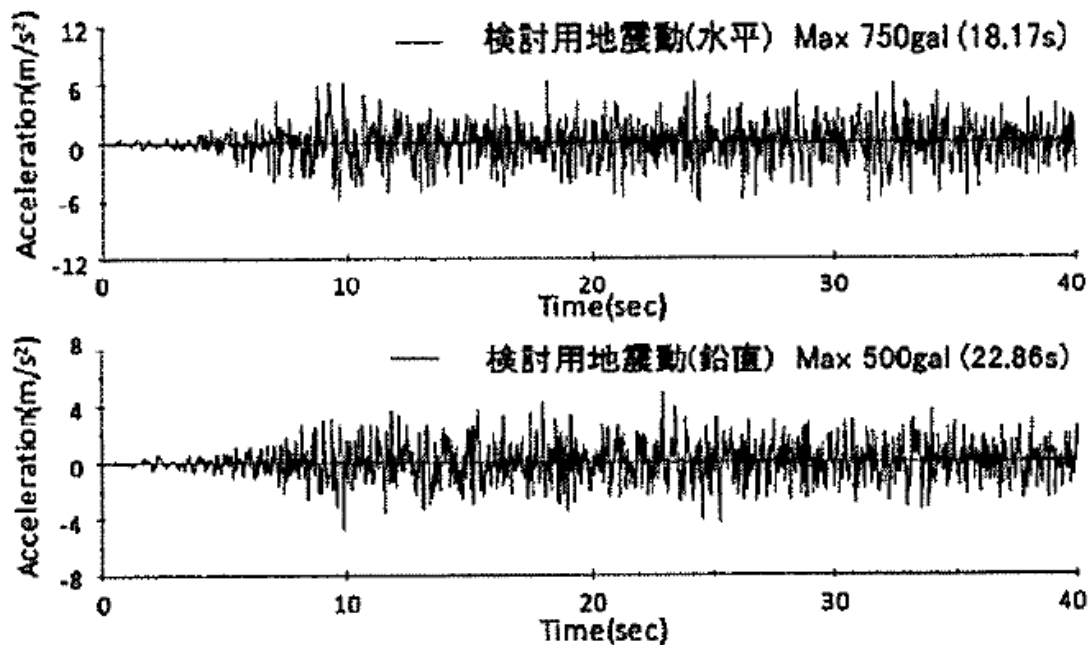
第 2.2.3-1 図 隣接建屋（原子炉補助建屋(A/B)）のモデル形状図<sup>3)</sup>

第 2.2.3-1 表 原子炉補助建屋(A/B)の各部材のモデル化について

名称 (略号)	部材	構成要素
原子炉 補助建屋 (A/B)	壁	非線形シェル要素
	スラブ	線形シェル要素
	鉄骨部	梁要素及び トラス要素

#### 2.2.4 検討用地震動及び解析条件

検討用地震動として、水平最大加速度 750gal の模擬地震動（第 2.2.4-1 図）が用いられており、入力にあたっては、地盤 FEM モデル（隣接建屋無し）の R/B 基礎底面位置の応答が検討用地震動と等価となるような補正波を作成し、地盤 FEM モデル底面に入力されている。



第 2.2.4-1 図 検討用地震動<sup>3)</sup>

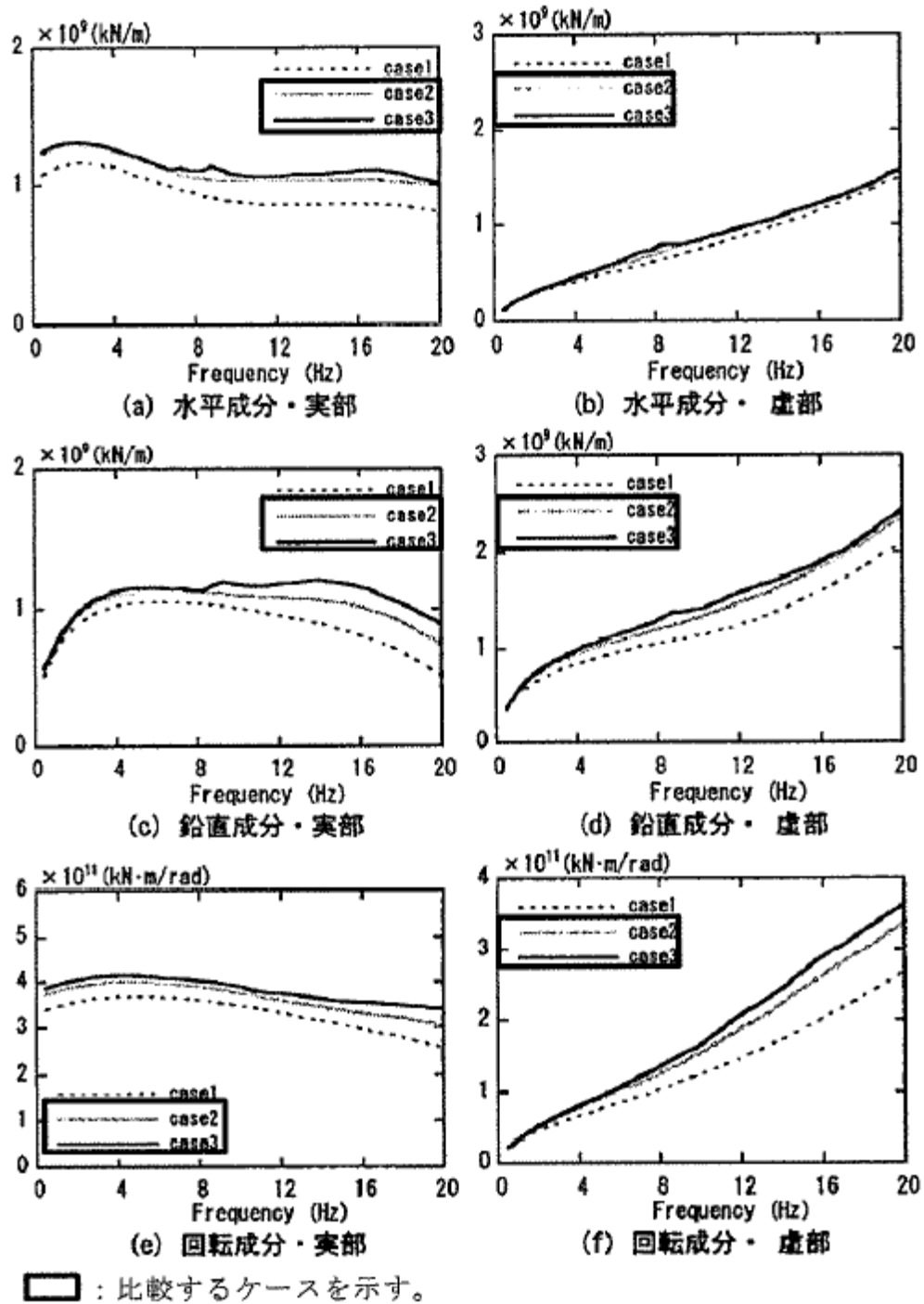
## 2.2.5 検討結果

### (1) 地盤インピーダンス（動的地盤ばね）の比較

検討では解析モデル間の地盤インピーダンス（動的地盤ばね）の比較が行われている。解析モデルは第 2.2.1-1 図に示したモデルであり，隣接建屋を考慮しないモデルを Case2，隣接建屋を考慮したモデルを Case3 と呼称されている。検討は，水平(EW)，鉛直，回転(NS 方向周り)の 3 成分について行われている。

インピーダンス算定においては，R/B の基礎底面位置の地盤表面を剛とし，インパルス加振が行われている。インパルス加振の時刻歴波と剛板の応答変位時刻歴波をフーリエ変換し，振動数領域で除算を行うことにより，地盤インピーダンスが算定されている。

第 2.2.5-1 図に入力成分ごとの各ケースの地盤インピーダンスの比較を示す。Case2 及び Case3 の地盤インピーダンスは，8Hz 以上で若干差異が見られるが，全体としては良く対応しており，地盤インピーダンス（動的地盤ばね）における隣接建屋の影響は比較的小さいといえると考察している。



(Case2 : 隣接建屋を考慮しない, Case3 : 隣接建屋を考慮する)

第 2.2.5-1 図 地盤インピーダンスの比較<sup>3)</sup>



(2) 基礎入力動の加速度応答スペクトルの比較

検討では、検討用地震動による基礎入力動の評価が行われている。基礎入力動は、第 2.2.1-1 図に示したモデルにおいて R/B の基礎底面に入力される地震動として定義されている。

第 2.2.2-1 図の地盤 FEM モデルの底面から、「2.2.4 検討用地震動」の補正波を入力し、R/B の基礎底面位置の応答が比較されている。検討において設定されている解析ケースを第 2.2.5-1 表に示す。水平単独入力と水平鉛直同時入力でケース分けされている。

基礎底面位置における最大加速度の比較を第 2.2.5-2 表に、加速度応答スペクトルの比較を第 2.2.5-2 図に示す。

検討では、比較の結果、水平・鉛直ともに Case2 と Case3 の差異は小さく、隣接建屋による基礎入力動への影響は小さいといえと考察している。

第 2.2.5-1 表 解析ケース

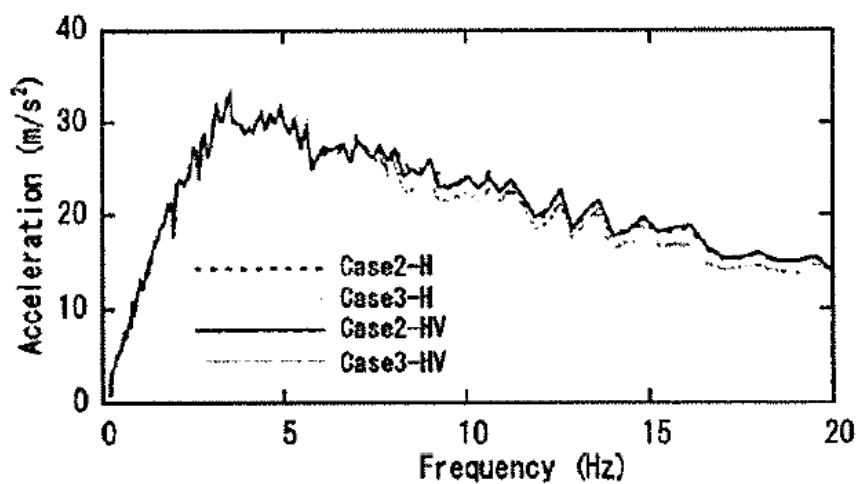
ケース名 *1	隣接建屋考慮の有無	入力地震 *2
Case2-H	無し	H
Case3-H	有り	H
Case2-HV	無し	H+V
Case3-HV	有り	H+V

注記\*1：隣接建屋の検討に用いているケースを示す。

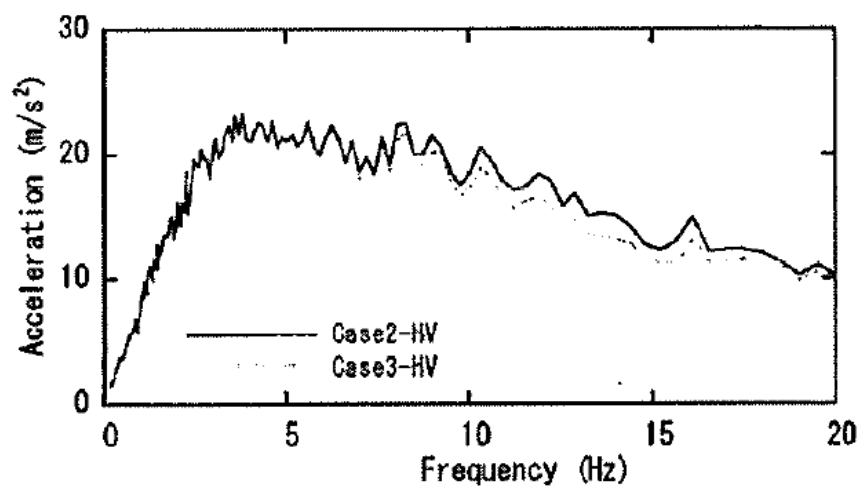
\*2：H は水平単独入力，H+V は水平鉛直同時入力を意味する。

第 2.2.5-2 表 基礎底面位置における最大加速度 (cm/s<sup>2</sup>)

ケース名	水平加速度	鉛直加速度
Case2-H	609	—
Case3-H	601	—
Case2-HV	621	454
Case3-HV	618	448



(a) 水平加速度応答スペクトル



(b) 鉛直加速度応答スペクトル

第 2.2.5-2 図 基礎底面位置の加速度応答スペクトルの比較 (h=1%)<sup>3)</sup>

上記, (1), (2)の結果より, 隣接建屋が地震応答解析に用いる建屋-地盤連成モデル及び入力地震動に与える影響が小さいことを確認することで, 隣接建屋が建屋応答に与える影響は小さいと考察している。

### 2.3 軟岩サイトに立地する発電炉における検討

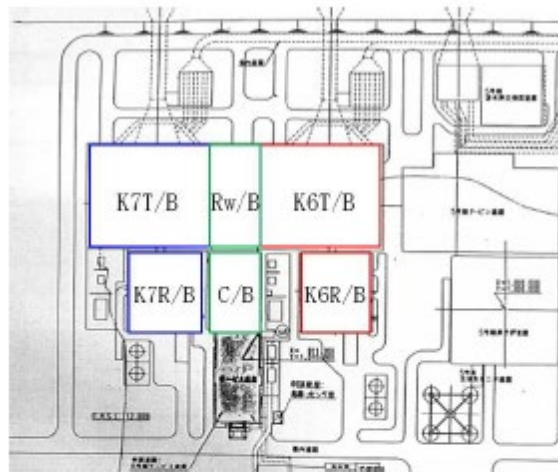
再処理施設等の建物・構築物と同様に、軟岩サイトに立地する発電炉における検討を確認する。最新の知見として、柏崎刈羽原子力発電所7号機の、新規性基準制定後の安全審査における検討事例の確認結果を示す。

柏崎刈羽原子力発電所7号機では、原子炉建屋、コントロール建屋、タービン建屋及び廃棄物処理建屋について、実際の建屋配置状況に即して各建屋を配置する場合と各建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答を比較することで隣接建屋が建物・構築物の耐震評価に与える影響について確認がなされている。

検討の概要として、モデル化対象建屋の配置を第2.3-1図に、地震応答解析モデルの概要を第2.3-2図に示す。

地震応答解析モデルは、各建屋は質点系モデル、地盤はソリッド要素でモデル化されており、各建屋の埋込み状況についても再現されている。

検討結果として、各建屋の最大応答値及び床応答スペクトルの確認がなされており、隣接建屋の影響により、各建屋の応答が増幅又は減少する効果があるとされている。なお、これらの効果については、建屋毎に影響が見られる応答成分や方向に違いが見られるとされており、検討においては、個別にその影響について確認がなされている。具体的には、建物・構築物及び機器の耐震評価への影響検討を実施し、「隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に影響はない」ことが確認されている。



#### 【建物・構築物】

K7R/B：7号機原子炉建屋

C/B：コントロール建屋

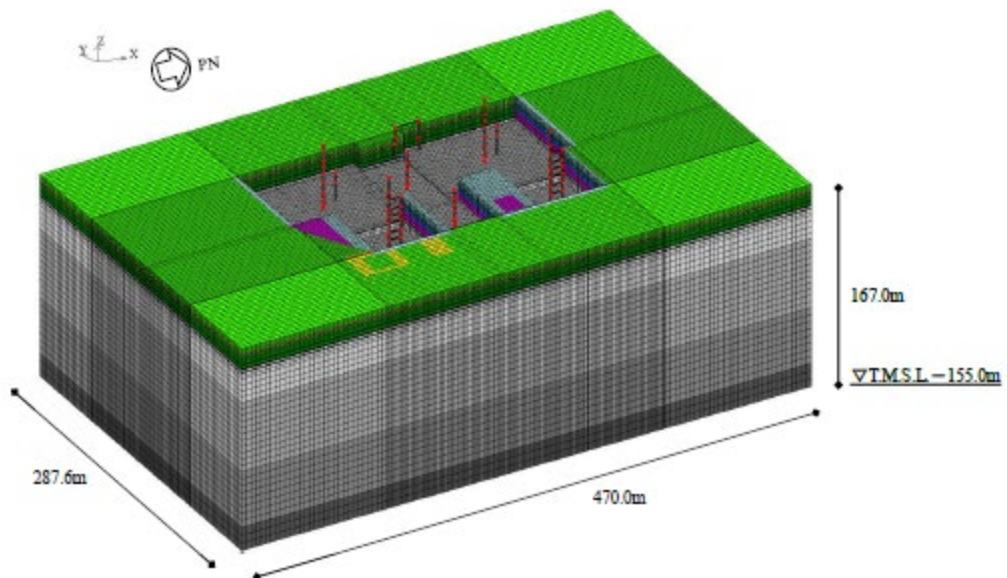
K7T/B：7号機タービン建屋

Rw/B：廃棄物処理建屋

K6R/B：6号機原子炉建屋

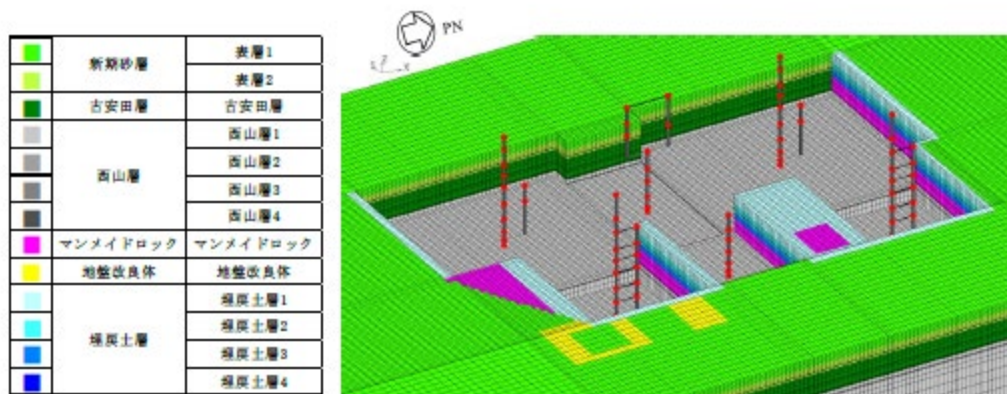
K6T/B：6号機タービン建屋

第2.3-1図 モデル化対象建屋の配置<sup>2)</sup>



注：東京湾平均海面（以下「T.M.S.L.」という。）

(a) 鳥観図：全体図



(b) 鳥観図：建屋部分拡大図

第 2.3-2 図 地震応答解析モデルの概要<sup>5)</sup>

(例として、実際の建屋配置状況に即して各建屋を配置する場合のモデルを示す) -

#### 2.4 再処理施設等の建物・構築物への適用性について

本節では、「2.1 「NUPEC 試験」について」、「2.2 既往の3次元FEMモデルを用いた検討」及び「2.3 軟岩サイトに立地する発電炉における検討」の検討結果について、再処理施設等の建物・構築物への適用性について考察する。

まず、上述の知見は、発電炉を対象にしたものであるが、再処理施設等の建物・構築物は、以下①～③に示すとおり、発電炉の建物・構築物と地震応答解析に関係する構造的特徴及び想定する地震動に関して類似性を有することから、発電炉に対する知見を参考に、再処理施設等の建物・構築物への適用性について考察することは妥当であると判断した。

- ①：再処理施設等の建物・構築物と発電炉の建物・構築物は、どちらも遮蔽や閉じ込め機能を兼ねるため、JEAG4601に基づく耐震設計を行っており、平面的に釣り合いよく配置された耐震壁を主たる耐震要素とするRC造の壁式構造である。
- ②：再処理施設等の建物・構築物と発電炉の建物・構築物は、どちらも1次固有モードが卓越し、且つ、1次固有周期が短い剛な構造物（再処理施設等の建物・構築物の1次固有周期は、別紙1を参照）であるとともに、十分な支持性能を有する岩盤に支持されている。
- ③：再処理施設等の建物・構築物と発電炉の建物・構築物は、想定する地震動（基準地震動  $S_s$ ）の入力レベル及び地震に対する建屋応答が概ね同程度である。

上記を踏まえたうえで、各知見それぞれについて、再処理施設等の建物・構築物への適用性について考察する。考察の結果を以下(a)～(c)に示す。

##### (a) 「NUPEC 試験」の適用性

「NUPEC 試験」では、隣接建屋が建屋応答に与える影響は小さいとされていることを確認した。

ただし、「NUPEC 試験」と再処理施設等の建物・構築物では、隣接する各建屋の配置状況、建屋重量及び平面規模等の条件（再処理施設等の建物・構築物の建屋重量及び平面規模等は、別紙1を参照）が異なり、単純には比較できない。

以上のことから、本資料においては「NUPEC 試験」の結果は参考扱いとすることとした。

##### (b) 「既往の3次元FEMモデルを用いた検討」の適用性

「既往の3次元FEMモデルを用いた検討」では、隣接建屋が建屋応答に与える影響は小さいとされていることを確認した。

ただし、「既往の3次元FEMモデルを用いた検討」は、 $V_s=1,650\text{m/s}$ 程度の硬岩サイトに立地する発電炉を想定した検討の結果であり、軟岩サイトに立地する再処理施設等の建物・構築物とは条件が異なり、単純には比較できない。

以上のことから、本資料においては「既往の3次元FEMモデルを用いた検討」の結果は参考扱いとすることとした。

(c) 「軟岩サイトに立地する発電炉における検討」の適用性

「軟岩サイトに立地する発電炉における検討」では、柏崎刈羽原子力発電所7号機を対象とした検討が実施されており、隣接建屋の影響として建屋応答が大きくなる部位が存在し、当該部位に対しては、建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価への影響について確認がなされている。

柏崎刈羽原子力発電所7号機と再処理施設等の建物・構築物では、隣接する各建屋の配置状況、建屋重量及び平面規模等の条件（再処理施設等の建物・構築物の建屋重量及び平面規模等は、別紙1を参照）が異なり、単純には比較できないものの、立地条件として軟岩サイトに埋込みを有して設置されているという点で類似性を有する。

以上のことから、再処理施設等の建物・構築物についても、柏崎刈羽原子力発電所7号機の検討結果を踏まえ、隣接建屋の影響が小さいとは限らないという前提のもと、次章以降の検討を行うこととした。

次章では、申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）に対して、FEMを用いた詳細検討を実施することで、建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認し、安全上支障がないことを確認する。

【参考文献】

- 1) 耐震安全解析コード改良試験原子炉建屋の隣接効果試験に関する報告書，（財）原子力発電技術機構，平成14年3月
- 2) 鈴木 篤他，「地震観測に基づく構造物の隣接効果の検討」，日本建築学会学術講演梗概集，21169，PP. 337-338，2000年9月
- 3) 中村 尚弘他，「原子力発電所建屋の地震応答性状に与える不整形地盤および隣接建屋の影響に関する研究」，2012年3月，構造工学論文集，日本建築学会
- 4) 原子力発電所耐震設計技術指針4601-1991 追補版，（社）日本電気協会
- 5) 柏崎刈羽原子力発電所7号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料，東京電力HD，2020

### 3. FEM を用いた詳細検討

申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔（基礎）に対して、FEM を用いた詳細検討を実施する。 後次回以降申請を実施する建物・構築物については、各申請回次に検討結果を提示する。

本章では、FEM を用いた詳細検討について、検討方針、検討方法及び検討結果の概要を示すこととし、検討条件及び検討結果の詳細は別紙 2 に示す。

#### 3.1 検討方針

FEM を用いた詳細検討は、第 3.1-1 表に示す建屋群毎に、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合と各建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答の比較から得られる応答比率を用いて建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認する。

なお、機器・配管系の耐震評価への影響については、機電資料（追而）にて示す。

検討に用いる解析モデルには、建屋を質点系モデルとし、地盤を 3 次元 FEM モデルとした地盤 3 次元 FEM モデルを用いる。

また、検討用地震動は、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 を用いることとし、隣接建屋の影響程度の把握を主たる検討目的としていることから、材料の非線形特性による影響を受けないよう、地震応答解析は線形解析とする。 なお、入力方向は、建屋の並び方向、及び建屋の並び方向と直交する方向に対して行うこととする。

耐震評価への影響確認では、線形解析の結果に基づき算定した応答比率を用いることとし、「Ss 地震時に対する評価」にも適用する。

ここで、建物・構築物の「Ss 地震時に対する評価」は、各層の変形（耐震壁のせん断ひずみ）又は部材に発生する応力を確認していることを踏まえ、耐震評価への影響確認にあたっては、以下 a, b のとおり配慮する。

- a. 各層の変形（耐震壁のせん断ひずみ）の評価については、部材の非線形化による変形の進行を考慮し、エネルギー一定則に基づき評価する。
- b. 部材に発生する応力の評価については、線形解析により算定した応答比率を用いて評価する。これは、線形解析により算定した応答比率は、部材の非線形化による剛性低下を考慮して算定した応答比率よりも大きくなると考えたためである。

第 3.1-1 表 グループした建屋群

グループ No.	建屋群
①	<ul style="list-style-type: none"> <li>・燃料加工建屋 (PA) 【評価対象】</li> <li>・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 <sup>※1</sup></li> <li>・ウラン酸化物貯蔵建屋 <sup>※1</sup></li> </ul>
②	<ul style="list-style-type: none"> <li>・安全冷却水 B 冷却塔 (基礎) (A4B 基礎) 【評価対象】</li> <li>・分析建屋 <sup>※1</sup></li> </ul>
<p>後次回以降申請を実施する建物・構築物については、 各申請回次に提示する。</p>	

※1：評価対象外であるが、評価対象建屋に影響を及ぼす可能性が否定できない隣接建屋として検討に考慮する。



### 3.2 検討対象部位及び検討方法

#### 3.2.1 検討対象部位

検討対象部位は、各計算書において耐震評価を実施している部位のうち、水平方向の地震力の影響を受ける部位とする。

各計算書において耐震評価結果を示す部位としては、耐震壁、地盤（接地圧）、基礎スラブ、Sクラスの壁及び床\*、屋根鉄骨及び屋根トラスが存在し、これらの部位は、いずれも耐震評価において水平方向の地震荷重を組み合わせる耐震評価を行っていることから、検討対象部位は、耐震壁、地盤（接地圧）、基礎スラブ、Sクラスの壁及び床、屋根鉄骨及び屋根トラスとする。

Sクラスの床のうちセル床、貯蔵区域の床、受入れ室の床、貯蔵室等の床、検査室の床及び重要区域の床（以下、「セル床等」という。）については、基準地震動  $S_s$  による地震力に対する評価（以下、「 $S_s$  地震時に対する評価」という。）において、鉛直方向の地震荷重により部材に生じる応力が許容限界を超えないことを確認することで、構造強度、機能維持の確認が可能であり、水平方向の地震荷重は組み合わせていない。以上のことから、セル床等については、 $S_s$  地震時に対する評価については本評価の対象外とする。

第 3.2-1 表に検討対象部位を示す。

\*：セル壁及び床、貯蔵区域の壁及び床、受入れ室の壁及び床、貯蔵室等の壁及び床、検査室の壁及び床、重要区域の壁及び床、プールの壁及び床

第 3.2-1 表 検討対象部位

建物・構築物名称		① 耐震壁	② 地盤 (接地圧)	③ 基礎スラブ	④ Sクラスの 壁及び床	⑤ 屋根鉄骨 屋根トラス
燃料加工建屋	PA	○	○	○	○*	—
安全冷却水B冷却塔（基礎）	A4B基礎	—	○	○	—	—

後次回以降申請を実施する建物・構築物については、  
各申請回次に提示する。

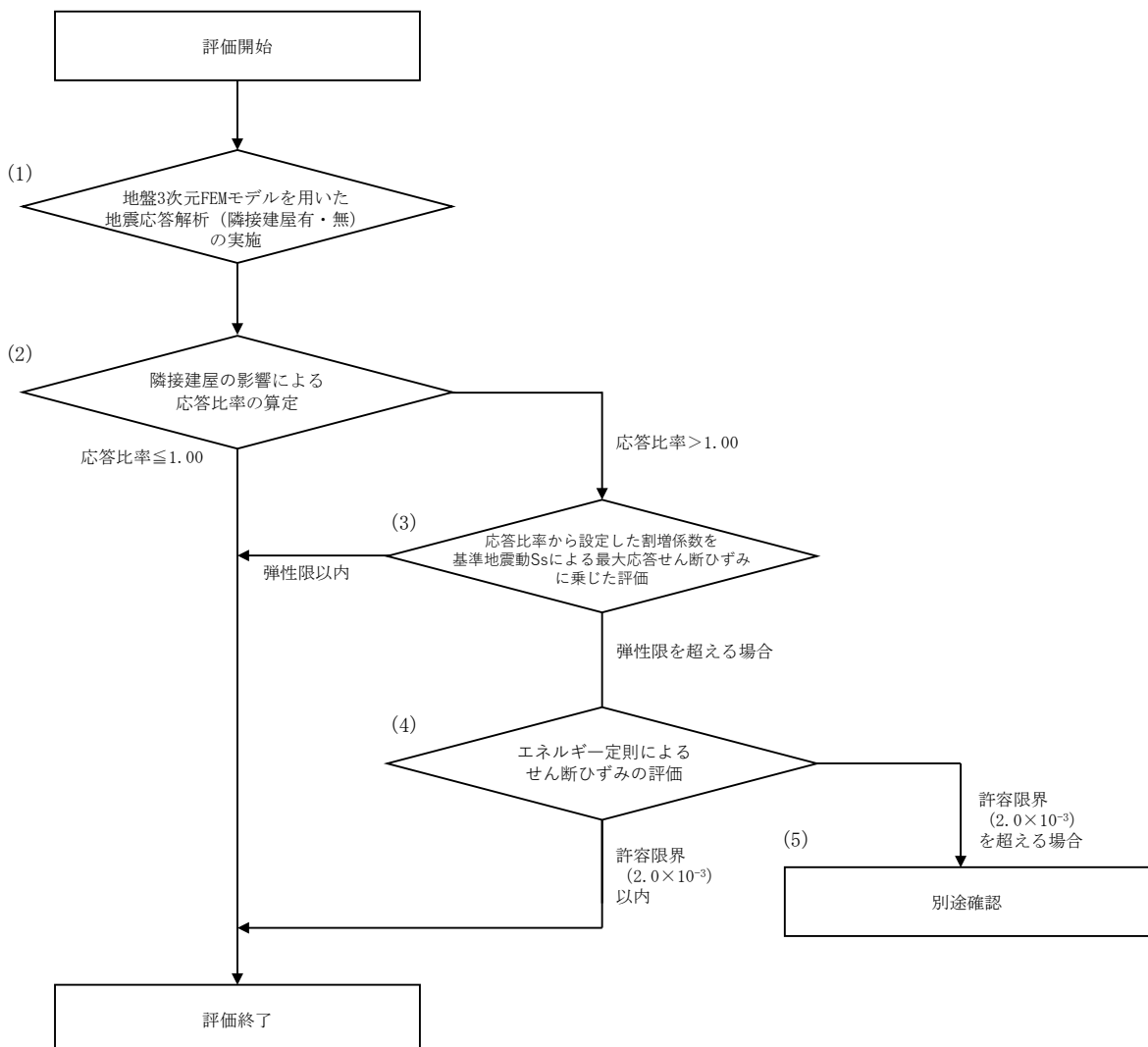
\*：Sクラスの床のうち、セル床等が存在するが、当該部分の床は耐震評価として水平方向の地震荷重を組合せて評価を行っていないため、検討対象外

### 3.2.2 耐震壁の検討方法

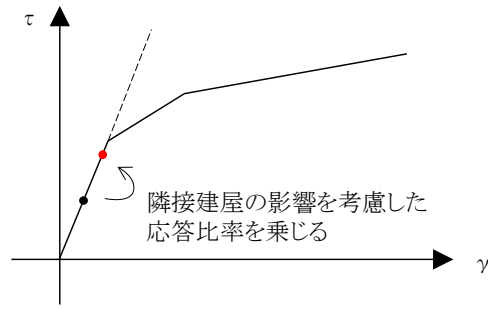
耐震壁の評価フローを第3.2.2-1図に示す。

耐震壁については構造強度の観点から、地震応答解析による評価結果として最大せん断ひずみが許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認している。

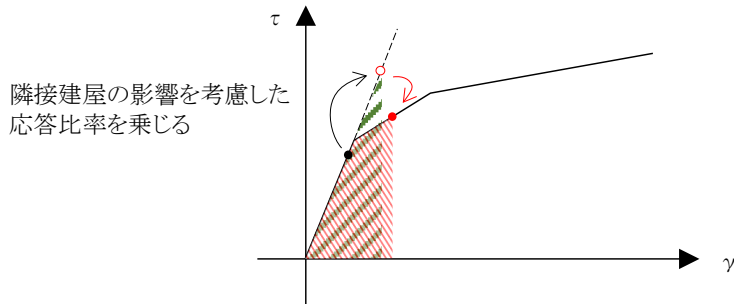
ここでは、各建屋の地震応答解析によって評価された材料のばらつきを考慮した最大せん断ひずみに対して、隣接建屋の影響を考慮した応答比率を乗じて、許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認する。この際、線形解析においては、せん断ひずみとせん断力の応答比率は同値になることから、せん断力よりせん断ひずみの応答比率を算出する。なお、応答比率を乗じた最大せん断ひずみが弾性限界を超える場合は、エネルギー一定則により非線形化を考慮したせん断ひずみを評価する。エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法について第3.2.2-2図に示す。



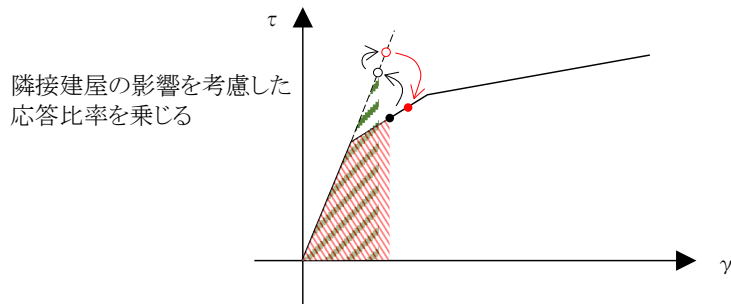
第3.2.2-1図 耐震壁の評価フロー



弾性直線状において、地震応答解析による応答結果に隣接建屋の影響を考慮した応答比率を乗じる。



隣接建屋の影響を考慮した応答比率を乗じた際、第1折点を超える場合、弾性直線の延長線上に隣接影響考慮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。



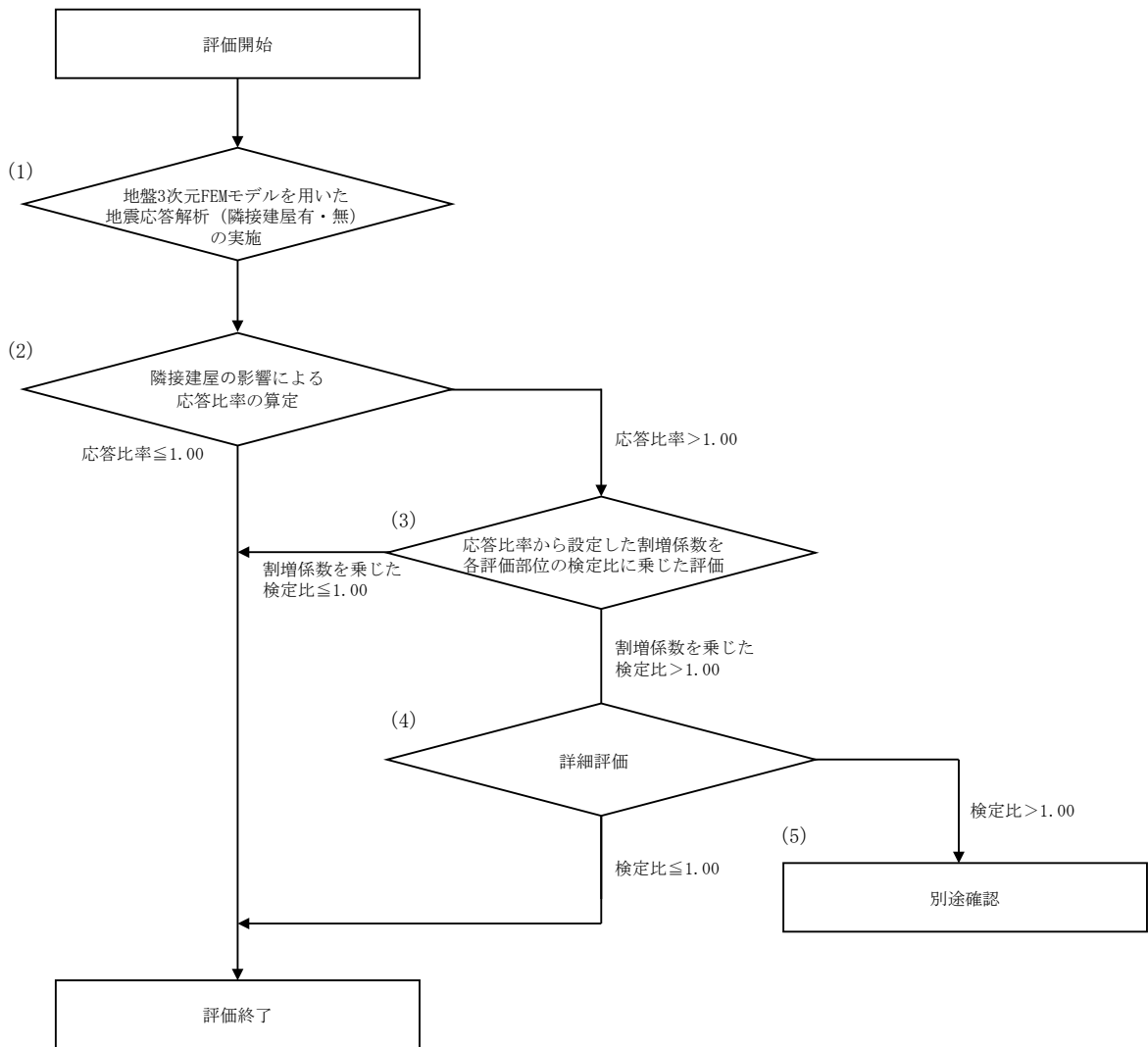
地震応答解析による応答結果において、第1折点を超える場合は、エネルギー一定則で弾性直線の延長に戻した後、隣接建屋の影響を考慮した応答比率を乗じる。(以下、上記に準じる)

第 3. 2. 2-2 図 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

### 3.2.3 地盤（接地圧）の検討方法

地盤（接地圧）の評価フローを第3.2.3-1図に示す。

地盤（接地圧）については、Ss地震時に対する評価として、水平地震力及び鉛直地震力の組合せにより算出していることから、基礎スラブ下端の最大応答曲げモーメントの応答比率を割増係数として設定し、各計算書に示す最大接地圧の検定比に乗じて検定比が1.00を超えないことを確認する。



第3.2.3-1図 地盤（接地圧）の評価フロー

#### 3.2.4 基礎スラブの検討方法

基礎スラブの評価フローは、第 3.2.3-1 図に示す地盤（接地圧）の評価フローと同様とする。

基礎スラブに対する評価には、上部構造から伝わる基礎スラブへの地震時反力を地震荷重として考慮することから、各建屋基礎スラブ直上の部材における応答比率を割増係数として設定する。この際、割増係数にはせん断力及び曲げモーメントのうち大きい方の応答比率を用いる。

#### 3.2.5 Sクラスの壁及び床の検討方法

Sクラスの壁の評価フローは、第3.2.3-1図に示す地盤（接地圧）の評価フローと同様とする。

Sクラスの壁のうち、セル壁、貯蔵区域の壁、受入れ室の壁、貯蔵室等の壁、検査室の壁及び重要区域の壁（以下、「セル壁等」という。）については、弾性設計用地震動Sdによる地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対する評価（以下、「Sd地震時に対する評価」という。）として、水平地震力及び鉛直地震力の組合せ応力を考慮することから、セル壁等の位置する要素におけるせん断力及び曲げモーメントの応答比率の最大値を割増係数として設定し、各計算書に示す応力評価結果の検定比に乗じて検定比が1.00を超えないことを確認する。

Sクラスの壁及び床のうち、プールの壁及び床については、Ss地震時に対する評価及びSd地震時に対する評価として、水平地震力及び鉛直地震力の組合せ応力を考慮することから、プールの壁及び床の位置する要素におけるせん断力及び曲げモーメントの応答比率の最大値を割増係数として設定し、各計算書に示す応力評価結果の検定比に乗じて検定比が1.00を超えないことを確認する。

#### 3.2.6 屋根鉄骨及び屋根トラスの検討方法

屋根鉄骨及び屋根トラスの評価フローは、第 3.2.3-1 図に示す地盤（接地圧）の評価フローと同様とする。

屋根鉄骨及び屋根トラスの評価は、屋根鉄骨、屋根トラスを支持する柱部材までモデル化した立体フレームモデルへの入力地震動として、柱脚部の時刻歴応答加速度を用いることから、柱脚部レベルの質点における最大応答加速度の応答比率を割増係数として設定し、各計算書に示す応力評価結果の検定比に乗じて検定比が 1.00 を超えないことを確認する。

### 3.3 検討結果の概要

申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔（基礎）に対して，FEM を用いた詳細検討を実施した。検討結果の概要を第 3.3-1 表に示す。

申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔（基礎）について，各評価部位の検定比が 1.00 を超えないことから，安全上支障がないことを確認した。

第 3.3-1 表 FEM を用いた詳細検討の結果の概要

評価対象 建屋	検討対象部位	割増係数を乗じた検定比が 最も厳しいケース			①耐震計算書に 示す結果※ <sup>1</sup> (検定比換算)	②割増係数	③割増係数を 乗じた検定比※ <sup>1</sup> (①×②)	判定	
		地震力	方向	項目					
燃料加工 建屋	耐震壁	Ss	NS	せん断ひずみ	0.312	1.017	0.319※ <sup>2</sup>	OK	
	地盤（接地圧）	Ss	EW	接地圧	0.0318	—※ <sup>3</sup>	—※ <sup>3</sup>	OK	
	基礎スラブ	Ss	EW	面外せん断力	0.853	—※ <sup>3</sup>	—※ <sup>3</sup>	OK	
	Sクラスの	壁	Sd	NS	鉄筋量	0.807	—※ <sup>3</sup>	—※ <sup>3</sup>	OK
		床	該当部位無し						
屋根鉄骨及び屋根トラス	該当部位無し								
安全冷却水 B冷却塔 (基礎)	耐震壁								
	地盤（接地圧）								
	基礎スラブ								
	Sクラスの							壁	
								床	
屋根鉄骨及び屋根トラス									

後次回以降申請を実施する建物・構築物については、  
各申請回次に提示する。

※1：有効数字3桁表記（4桁目を保守的に切り上げ）

※2：エネルギー一定則を考慮した値のため、単純に①×②の値とはならない

※3：応答比率が1を超えないため、割増係数を考慮した検討は不要

#### 4. まとめ

建物・構築物の地震応答解析は、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いて実施しており、隣接建屋の影響は考慮していないことから、本資料では、隣接建屋が、評価対象建屋の建屋応答に与える影響について検討を行った。

検討は、まず、既往の知見として「NUPEC 試験」，「既往の 3 次元 FEM モデルを用いた検討」及び「軟岩サイトに立地する発電炉における検討」の検討結果を確認し、再処理施設等の建物・構築物においては、隣接建屋の影響が小さいとは限らないという前提のもと検討を進めることとした。

次に、2020 年 12 月 24 日に申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔（基礎）については、FEM を用いた詳細検討を実施した。 後次回以降申請を実施する建物・構築物については、各申請回次に検討結果を提示する。

FEM を用いた詳細検討では、グルーピングした各建屋群毎に、実際の建屋配置状況に即して各建屋を配置する場合と各建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答の比較から得られる応答比率を用いて建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認し、安全上支障がないことを確認した。

以上の結果を踏まえ、再処理施設等の建物・構築物のうち、2020 年 12 月 24 日に申請を実施した燃料加工建屋及び安全冷却水 B 冷却塔（基礎）の地震応答解析について、隣接建屋の影響は無いと言えることから、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いても安全上支障がないと判断した。



## 別紙 1

### 建屋構造特性の整理

目 次

1. 概要 ..... 別紙 1-1

1. 概要

本資料は, 再処理事業所等の建物・構築物の建屋構造特性の整理結果を示すものである。  
建物・構築物の建屋構造特性の整理結果を第 1. -1 表に示す。

第 1.-1 表 建物・構築物の建屋構造特性の整理結果

(a) 燃料加工建屋及びそれに隣接する建屋

建物・構築物名称	施設区分	主体構造	主要部分の平面規模(m)		埋込みの有無 <sup>*1</sup>	重量(kN)	固有振動数(Hz) ※地盤連成1次、 Ss-A(Ssない場合はSd-A)、基本ケース			建物・構築物の全高 (上端-下端) (m) ※シャフト部含む	埋込深さ又は 根入れ深さ (m)	
			NS	EW			NS	EW	鉛直			
ウラン酸化物貯蔵建屋	BB	再処理施設	RC造, 一部SRC	53.40	52.80	有	875,567	4.44	4.24	7.14	29.90	16.40
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	CB	再処理施設	RC造	55.70	51.50	有	847,910	4.59	4.59	7.36	34.30	20.00
燃料加工建屋	PA	加工施設	RC造	87.30	88.30	有	3,282,000	3.22	3.26	5.02	45.97	23.47
エネルギー管理建屋 (参考)	PB	加工施設	S造, 一部RC	60.00	36.00	無	125,618	2.33 <sup>*2</sup>	2.33 <sup>*2</sup>	- <sup>*2</sup>	23.05	7.25

\*1: 地下階を有する建屋及び地震応答解析モデルに側面地盤ばねを考慮している建屋を埋込み有とする

\*2: 時刻歴応答解析を実施していないため、建築確認申請の構造計算書に示す一次固有周期とする

(b) 安全冷却水 B 冷却塔 (基礎) 及びそれに隣接する建屋

建物・構築物名称	施設区分	主体構造	主要部分の平面規模(m)		埋込みの有無 <sup>*1</sup>	重量(kN)	固有振動数(Hz) ※地盤連成1次、 Ss-A(Ssない場合はSd-A)、基本ケース			建物・構築物の全高 (上端-下端) (m) ※シャフト部含む	埋込深さ又は 根入れ深さ (m)
			NS	EW			NS	EW	鉛直		
分析建屋	AH	再処理施設	RC造, 一部SRC	██████████	有	1,497,040	3.84	4.92	6.79	██████████	██████████
安全冷却水B冷却塔 (基礎)	A4B基礎	再処理施設	RC造	██████████	無	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

\*1: 地下階を有する建屋及び地震応答解析モデルに側面地盤ばねを考慮している建屋を埋込み有とする

## 別紙 2-1

### 燃料加工建屋に対する FEM を用いた詳細検討

解析結果については、最終チェック中のため速報版として示す。

## 目 次

1. 概要	1
2. 検討方針	3
3. 検討対象部位	3
4. 検討方法	4
4.1 検討用モデル	4
4.1.1 建屋モデルの詳細	8
4.1.2 地盤モデルの詳細	16
4.1.3 建屋－地盤間の境界条件の詳細	19
4.2 検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法	20
5. 検討結果	22
5.1 解析結果	22
5.1.1 燃料加工建屋の解析結果	22
5.2 解析結果に対する考察	33
5.2.1 燃料加工建屋の解析結果に対する考察	33
5.3 建物・構築物の耐震評価への影響確認結果	34
5.3.1 燃料加工建屋の耐震評価への影響確認結果	34
6. まとめ	42

## 1. 概要

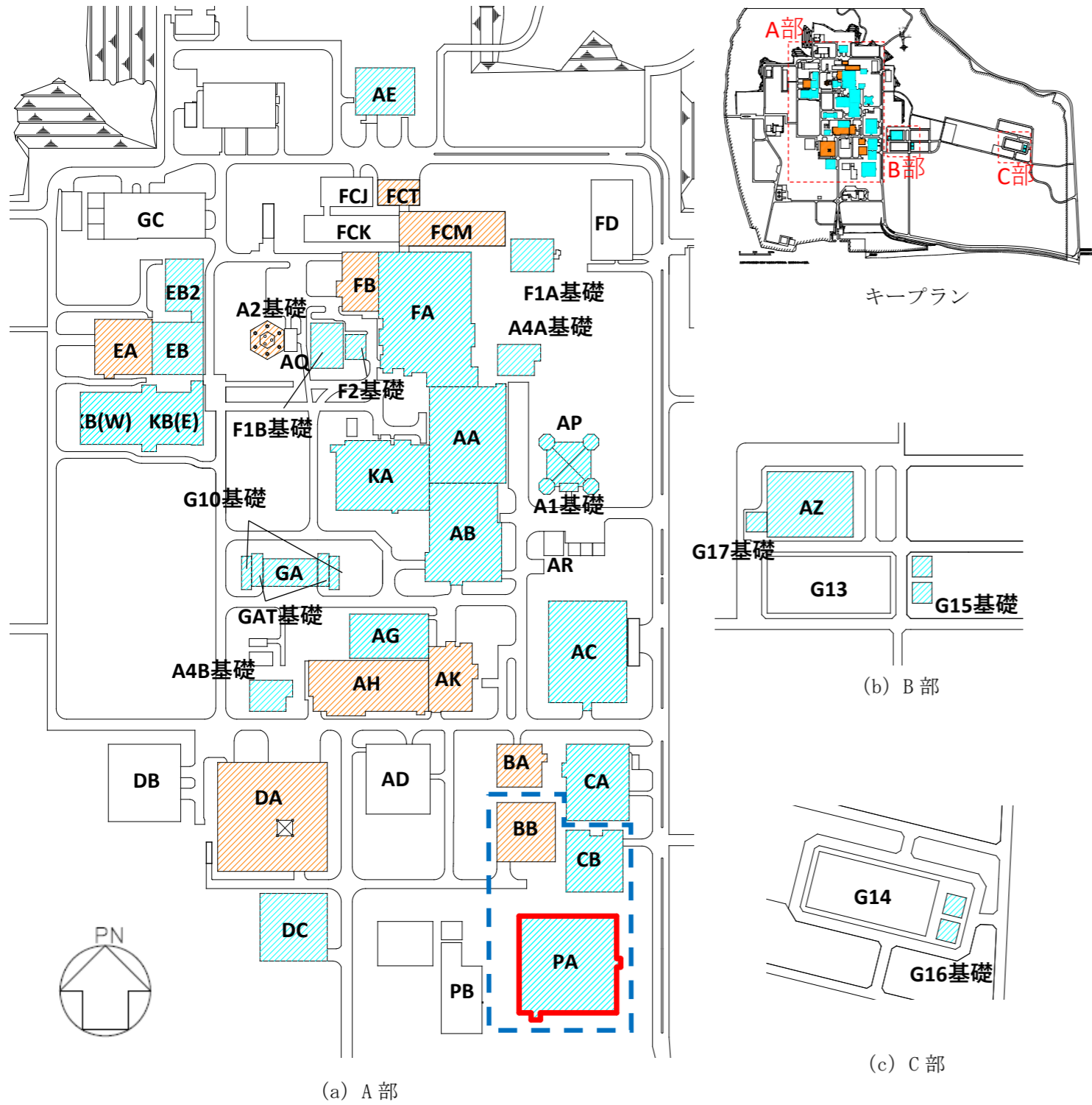
本資料では、燃料加工建屋について、FEM を用いた詳細検討の検討条件及び検討結果の詳細を示す。

モデル化対象の建屋群を第 1.-1 表及び第 1.-1 図に示す。評価対象建屋である燃料加工建屋に加えて、隣接する建屋のウラン酸化物貯蔵建屋及びウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋をモデル化対象の建屋として FEM を用いた詳細検討を実施する。なお、エネルギー管理建屋は、燃料加工建屋と比較して重量が非常に小さく、ピット部分を除き地下階を有さず地中への埋込み深さが浅いため、エネルギー管理建屋の応答が周辺地盤を介して燃料加工建屋に与える影響は小さいと考え、モデル化対象外とする。

第 1.-1 表 モデル化対象の建屋群

建屋群
・燃料加工建屋 (PA) 【評価対象】 , ・ウラン酸化物貯蔵建屋 (BB) , ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 (CB)

- : Sクラス施設又は常設耐震重要重大事故等対処設備の間接支持構造物
- : 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
- : 隣接建屋の影響がないとは言い切れない建屋 (評価対象建屋)
- : FEM を用いた詳細検討を実施する建屋群



建物・構築物名称	
前処理建屋	AA
分離建屋	AB
精製建屋	AC
低レベル廃液処理建屋	AD
ハル・エンドピース貯蔵建屋	AE
制御建屋	AG
分析建屋	AH
出入管理建屋	AK
主排気筒管理建屋	AP
北換気筒管理建屋	AQ
試薬建屋	AR
緊急時対策建屋	AZ
主排気筒 (基礎)	A1基礎
北換気筒 (基礎)	A2基礎
安全冷却水A冷却塔 (基礎)	A4A基礎
安全冷却水B冷却塔 (基礎)	A4B基礎
ウラン脱硝建屋	BA
ウラン酸化物貯蔵建屋	BB
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	CA
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	CB
低レベル廃棄物処理建屋	DA
第2低レベル廃棄物貯蔵建屋	DB
チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋	DC
ガラス固化体受入れ建屋	EA
ガラス固化体貯蔵建屋	EB

建物・構築物名称	
ガラス固化体貯蔵建屋B棟	EB2
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	FA
使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	FB
使用済燃料輸送容器管理建屋 (除染エリア)	FC (FCJ)
使用済燃料輸送容器管理建屋 (空使用済燃料輸送容器保管庫)	FC (FCK)
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)	FC (FCM)
使用済燃料輸送容器管理建屋 (トレーラエリア)	FC (FCT)
第1低レベル廃棄物貯蔵建屋	FD
安全冷却水系冷却塔A (基礎)	F1A基礎
安全冷却水系冷却塔B (基礎)	F1B基礎
第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室 (基礎)	F2基礎
非常用電源建屋	GA
燃料油貯蔵タンク基礎	GAT基礎
ユーティリティ建屋	GC
冷却塔A, B (基礎)	G10基礎
第1保管庫・貯水所	G13
第2保管庫・貯水所	G14
第1軽油貯蔵所 (基礎)	G15基礎
第2軽油貯蔵所 (基礎)	G16基礎
重油貯蔵所 (基礎)	G17基礎
高レベル廃液ガラス固化建屋	KA
第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟	KB (E)
第1ガラス固化体貯蔵建屋西棟	KB (W)
燃料加工建屋	PA
エネルギー管理建屋	PB

第 1.-2 図 モデル化対象の建屋群の概要



## 2. 検討方針

本文「3.1 検討方針」に示すとおりである。

## 3. 検討対象部位

検討対象部位は、本文「3.2.1 検討対象部位」に示すとおり、耐震評価において水平方向の地震荷重を組み合わせ耐震評価を行っている、耐震壁、地盤（接地圧）、基礎スラブ、Sクラスの壁及び床、屋根鉄骨及び屋根トラスである。評価対象建屋である燃料加工建屋の検討対象部位を第3.-1表に示す。

第3.-1表 評価対象建屋の検討対象部位

建物・構築物名称		① 耐震壁	② 地盤 (接地圧)	③ 基礎スラブ	④ Sクラスの 壁及び床	⑤ 屋根鉄骨 屋根トラス
燃料加工建屋	PA	○	○	○	○*	—

○：評価対象建屋に当該評価対象部位が存在する場合

—：評価対象建屋に当該評価対象部位が存在しない場合

\*：燃料加工建屋の評価対象部位として、重要区域の壁及び床が存在するが、床部分は耐震評価として水平方向の地震荷重を組合せて評価を行っていない。このため、本検討においては、壁のみを検討対象部位とする。

#### 4. 検討方法

検討対象部位の検討方法は、本文「3.2.2 耐震壁の検討方法」、「3.2.3 地盤（接地圧）の検討方法」、「3.2.4 基礎スラブの検討方法」、「3.2.5 Sクラスの壁及び床の検討方法」、及び「3.2.6 屋根鉄骨及び屋根トラスの検討方法」に示すとおりであり、各建屋群の検討に対して共通して適用している。

本資料では、燃料加工建屋の検討に用いる「検討用モデル」、並びに「検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法」の詳細を示す。

##### 4.1 検討用モデル

検討にあたっては、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置した場合の地震応答解析モデル（以下、「隣接モデル」という。）と各建屋（評価対象建屋）を単独でモデル化した場合の地震応答解析モデル（以下、「単独モデル」という。）を用いる。解析ケースの一覧を表4.1-1に示す。

隣接モデルは、建屋を質点系モデルとし、地盤を3次元FEMモデルとした地盤3次元FEMモデルとする。建屋諸元は、添付書類「耐震性に関する説明書」の地震応答計算書に示す解析モデルの諸元に倣うものとする。

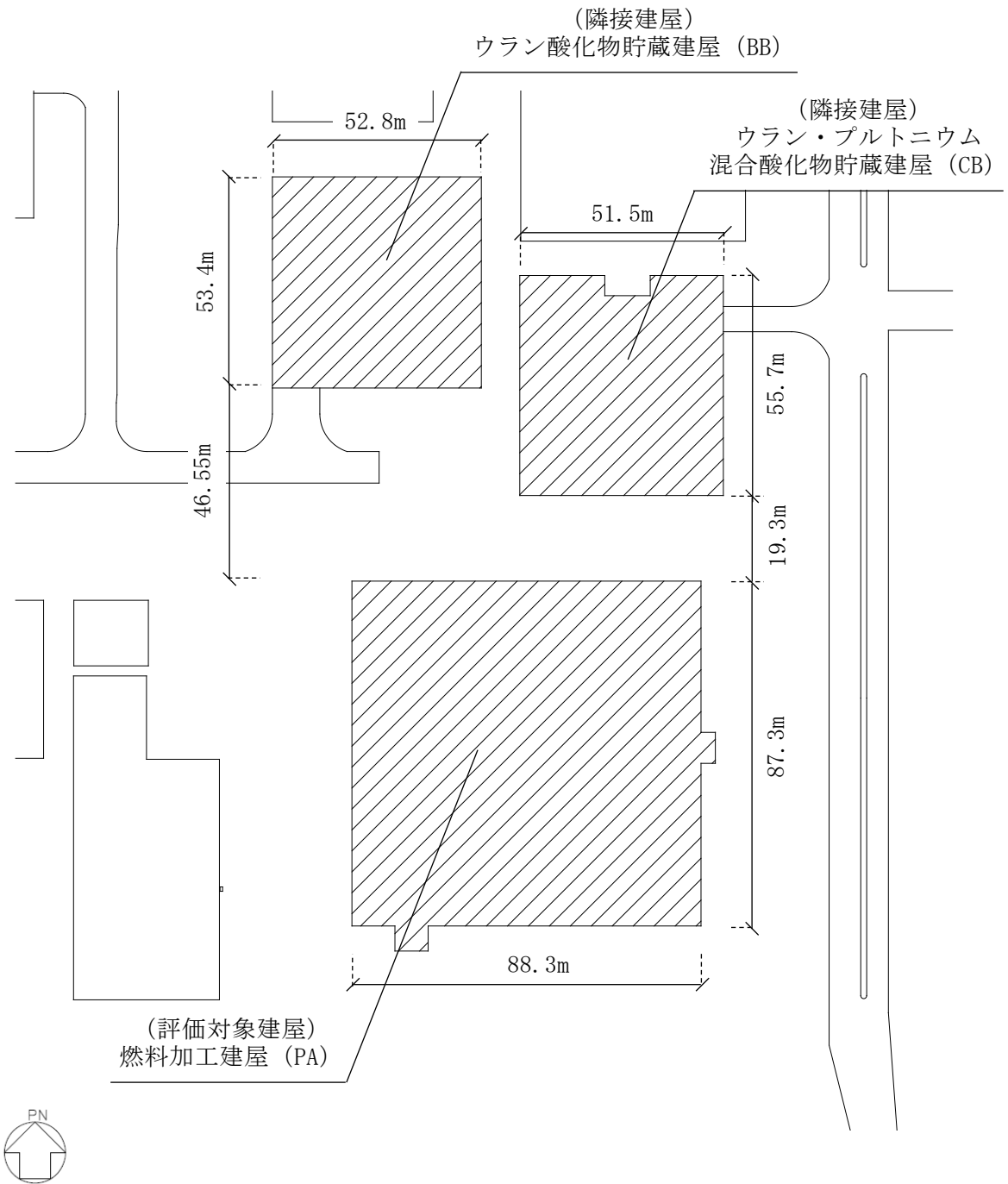
また、単独モデルは、隣接建屋の影響を考慮した場合の解析モデルから、隣接建屋を取り除いたうえで、隣接建屋が埋め込まれていた部分を地盤とした解析モデルとする。

モデル化対象の建屋群の配置図を第4.1-1図に、隣接モデルの概要を第4.1-2図に、単独モデルの概要を第4.1-3図に示す。また、建屋モデル、地盤モデル、及び建屋－地盤間の境界条件の詳細を4.1.1節～4.1.3節に示す。

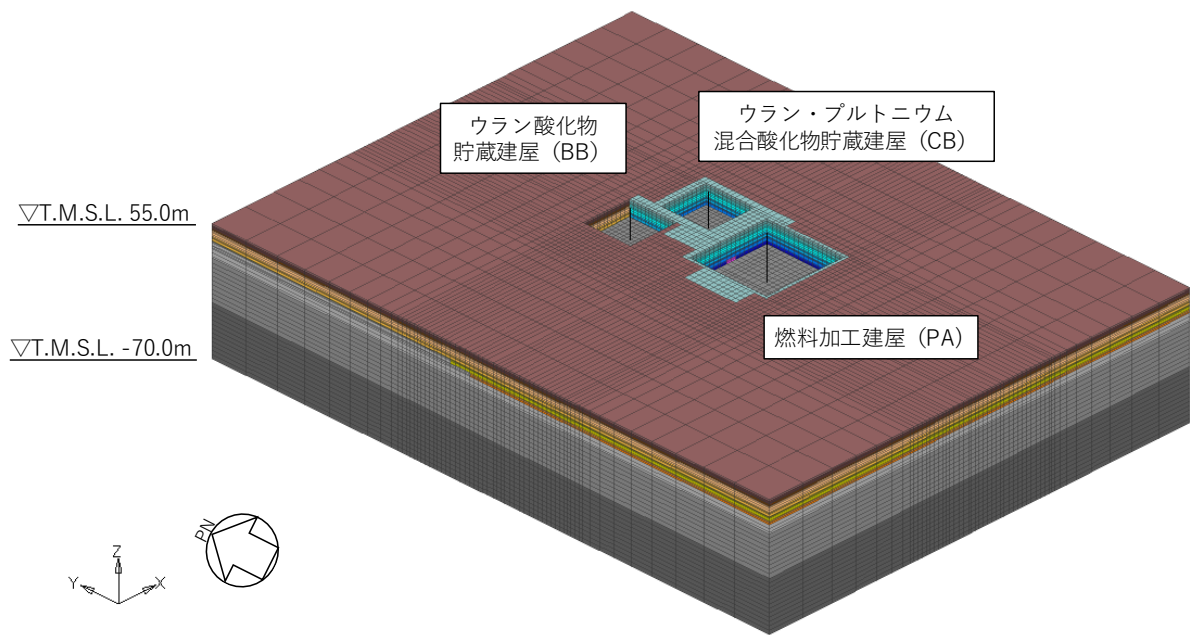
地震応答解析は、解析コード「TDAPⅢ Ver.3.07」を用いる。

表 4.1-1 解析ケース一覧

解析ケース	解析モデル	モデル化する建屋
隣接	隣接モデル	・燃料加工建屋（PA） ・ウラン酸化物貯蔵建屋（BB） ・ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋（CB）
PA 単独	単独モデル	・燃料加工建屋（PA）

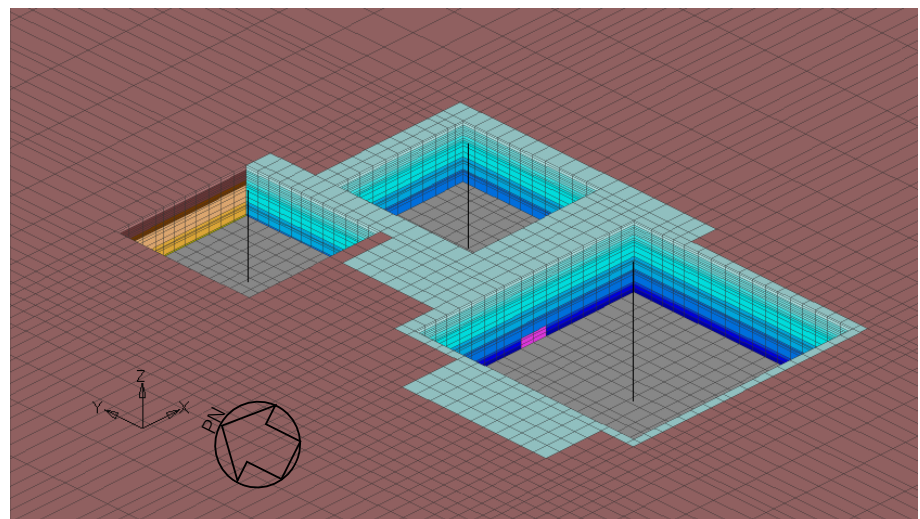


第4.1-1図 モデル化対象の建屋群の配置図



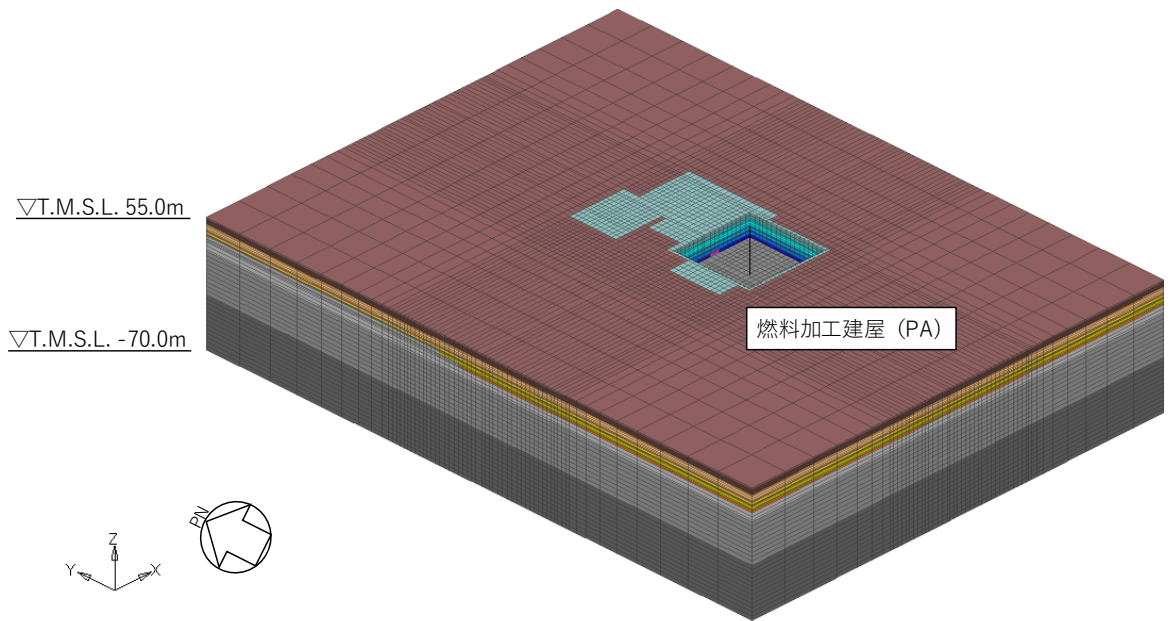
(a) 全体図

層区分	標高 T.M.S.L. (m)
造成盛土	55.00 ~ 53.55
造成盛土	53.55 ~ 50.30
造成盛土	50.30 ~ 48.60
六ヶ所層	48.60 ~ 43.20
六ヶ所層	43.20 ~ 39.10
六ヶ所層	39.10 ~ 35.00
六ヶ所層	35.00 ~ 34.23
六ヶ所層	34.23 ~ 32.88
六ヶ所層	32.88 ~ 31.53
鷹架層	31.53 ~ 23.00
鷹架層	23.00 ~ -18.00
鷹架層	-18.00 ~ -70.00
流動化処理土	55.00 ~ 53.55
流動化処理土	53.55 ~ 50.30
流動化処理土	50.30 ~ 48.60
流動化処理土	48.60 ~ 43.20
流動化処理土	43.20 ~ 39.10
流動化処理土	39.10 ~ 35.00
流動化処理土	35.00 ~ 34.23
流動化処理土	34.23 ~ 32.88
流動化処理土	32.88 ~ 31.53
MMR	35.00 ~ 31.53



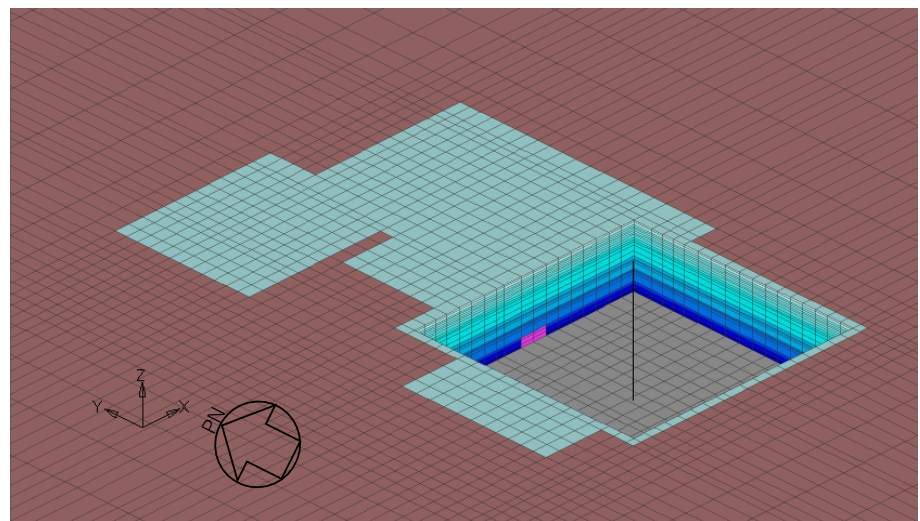
(b) 建屋周辺図

第4.1-2図 隣接モデル



(a) 全体図

層区分	標高 T.M.S.L (m)
■ 造成盛土	55.00 ~ 53.55
■ 造成盛土	53.55 ~ 50.30
■ 造成盛土	50.30 ~ 48.60
■ 六ヶ所層	48.60 ~ 43.20
■ 六ヶ所層	43.20 ~ 39.10
■ 六ヶ所層	39.10 ~ 35.00
■ 六ヶ所層	35.00 ~ 34.23
■ 六ヶ所層	34.23 ~ 32.88
■ 六ヶ所層	32.88 ~ 31.53
■ 鷹架層	31.53 ~ 23.00
■ 鷹架層	23.00 ~ -18.00
■ 鷹架層	-18.00 ~ -70.00
■ 流動化処理土	55.00 ~ 53.55
■ 流動化処理土	53.55 ~ 50.30
■ 流動化処理土	50.30 ~ 48.60
■ 流動化処理土	48.60 ~ 43.20
■ 流動化処理土	43.20 ~ 39.10
■ 流動化処理土	39.10 ~ 35.00
■ 流動化処理土	35.00 ~ 34.23
■ 流動化処理土	34.23 ~ 32.88
■ 流動化処理土	32.88 ~ 31.53
■ MMR	35.00 ~ 31.53



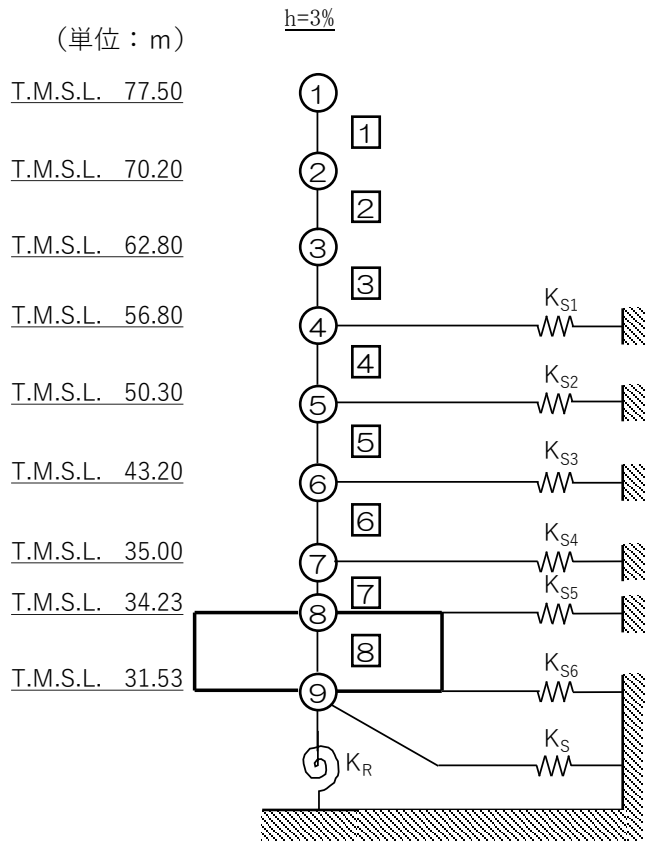
(b) 建屋周辺図

第4.1-3図 単独モデル（燃料加工建屋（PA））

#### 4.1.1 建屋モデルの詳細

燃料加工建屋 (PA) , ウラン酸化物貯蔵建屋 (BB) 及びウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 (CB) の建屋モデル図を第 4.1.1-1 図に, 解析諸元を第 4.1.1-1 表及び第 4.1.1-2 表に示す。

なお, 本検討の検討用地震動は, 後述するとおり弾性設計用地震動  $S_d$  ( $S_d-A$ ) であることから, 建屋モデル各部材の非線形特性は考慮しない。



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。  
 注記 3：地盤ばねは剛として地盤と結合する。

(a) 燃料加工建屋 (PA)

第 4.1.1-1 図 建屋モデル図 (1/3)

(単位：m)  
T.M.S.L. 68.50

T.M.S.L. 64.05

T.M.S.L. 61.13

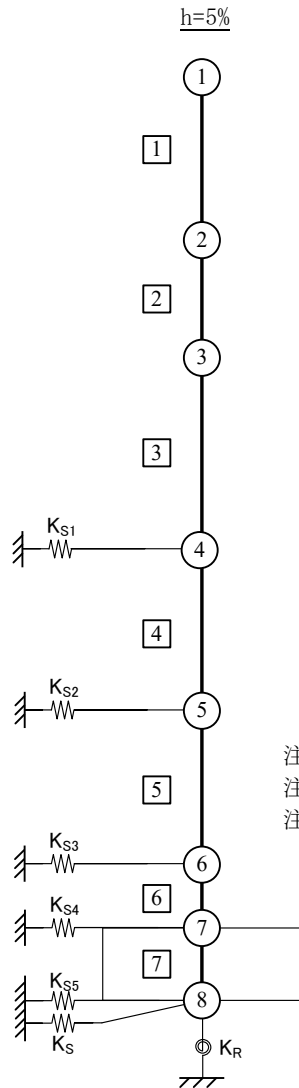
T.M.S.L. 55.30

T.M.S.L. 47.93

T.M.S.L. 42.10

T.M.S.L. 41.10

T.M.S.L. 38.60

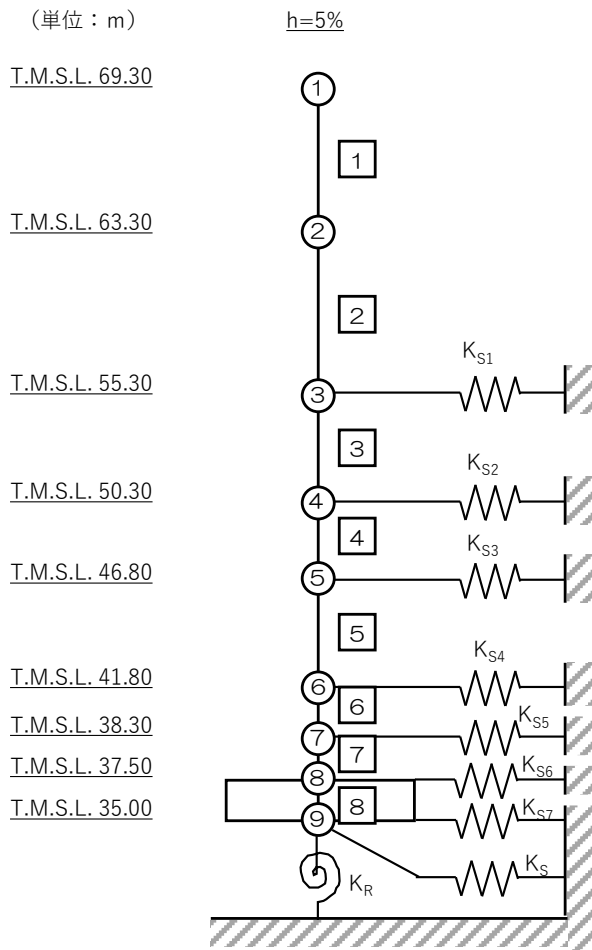


注記 1：○数字は質点番号を示す。  
注記 2：□数字は要素番号を示す。  
注記 3：地盤ばねは剛として地盤と結合する。

(b) ウラン酸化物貯蔵建屋 (BB)

第 4. 1. 1-1 図 建屋モデル図 (2/3)





(c) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 (CB)

第4.1.1-1 図 建屋モデル図 (3/3)

第 4.1.1-1 表 解析諸元 (NS 方向) (1/2)

(a) 燃料加工建屋 (PA)

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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①	77.50	174000	17.9	①	77.50~70.20	2.06	133.3
②	70.20	329000	209.0	②	70.20~62.80	29.12	362.5
③	62.80	385000	244.7	③	62.80~56.80	30.27	474.4
④	56.80	429000	272.7	④	56.80~50.30	37.63	640.5
⑤	50.30	492000	312.8	⑤	50.30~43.20	45.79	749.8
⑥	43.20	530000	337.0	⑥	43.20~35.00	49.22	876.1
⑦	35.00	386000	245.3	⑦	35.00~34.23	230.69	2956.9
⑧	34.23	277000	176.0	⑧	34.23~31.53	489.58	7708.6
⑨	31.53	280000	177.9	—	—	—	—
建屋総重量		3282000	—	—	—	—	—

(b) ウラン酸化物貯蔵建屋 (BB)

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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①	68.50	113767	27.06	①	68.50~64.05	8.249	208.0
②	64.05	34931	8.31	②	64.05~61.13	8.249	208.0
③	61.13	80954	19.25	③	61.13~55.30	7.617	207.6
④	55.30	203527	48.52	④	55.30~47.93	9.273	240.0
⑤	47.93	115003	27.36	⑤	47.93~42.10	9.806	240.0
⑥	42.10	142108	33.82	⑥	42.10~41.10	9.806	240.0
⑦	41.10	96949	23.06	⑦	41.10~38.60	67.000	2819.5
⑧	38.60	88328	21.01	—	—	—	—
建屋総重量		875567	—	—	—	—	—

第 4.1.1-1 表 解析諸元 (NS 方向) (2/2)

(c) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 (CB)

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 $I_g$ ( $\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①	69.30	17960	0.02	1	69.30~63.30	0.04	29.3
②	63.30	135270	3.40	2	63.30~55.30	10.90	203.5
③	55.30	139420	3.50	3	55.30~50.30	11.37	263.2
④	50.30	75960	1.91	4	50.30~46.80	11.31	263.7
⑤	46.80	138610	3.48	5	46.80~41.80	12.92	292.5
⑥	41.80	79780	2.00	6	41.80~38.30	12.44	319.4
⑦	38.30	87500	2.19	7	38.30~37.50	12.44	319.4
⑧	37.50	90300	2.27	8	37.50~35.00	70.81	2824.6
⑨	35.00	83110	2.08	—	—	—	—
建屋総重量		847910	—	—	—	—	—

第 4.1.1-2 表 解析諸元 (EW 方向) (1/2)

(a) 燃料加工建屋 (PA)

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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①	77.50	174000	113.1	①	77.50~70.20	20.63	300.1
②	70.20	329000	213.9	②	70.20~62.80	40.32	415.6
③	62.80	385000	250.3	③	62.80~56.80	39.93	522.9
④	56.80	429000	278.9	④	56.80~50.30	46.57	633.2
⑤	50.30	492000	320.0	⑤	50.30~43.20	50.51	791.3
⑥	43.20	530000	344.7	⑥	43.20~35.00	57.14	975.9
⑦	35.00	386000	250.9	⑦	35.00~34.23	354.92	3852.8
⑧	34.23	277000	180.0	⑧	34.23~31.53	500.86	7708.6
⑨	31.53	280000	182.0	—	—	—	—
建屋総重量		3282000	—	—	—	—	—

(b) ウラン酸化物貯蔵建屋 (BB)

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 $I_g$ ( $\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①	69.30	17960	0.02	①	69.30~63.30	0.04	29.3
②	63.30	135270	3.40	②	63.30~55.30	10.90	203.5
③	55.30	139420	3.50	③	55.30~50.30	11.37	263.2
④	50.30	75960	1.91	④	50.30~46.80	11.31	263.7
⑤	46.80	138610	3.48	⑤	46.80~41.80	12.92	292.5
⑥	41.80	79780	2.00	⑥	41.80~38.30	12.44	319.4
⑦	38.30	87500	2.19	⑦	38.30~37.50	12.44	319.4
⑧	37.50	90300	2.27	⑧	37.50~35.00	70.81	2824.6
⑨	35.00	83110	2.08	—	—	—	—
建屋総重量		847910	—	—	—	—	—

第 4.1.1-2 表 解析諸元 (EW 方向) (2/2)  
(c) ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 (CB)

質点番号	質点位置 T. M. S. L. (m)	重量 W (kN)	回転慣性 重量 $I_g$ ( $\times 10^7 \text{kN}\cdot\text{m}^2$ )	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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①	69.30	17960	0.15	①	69.30~63.30	0.61	74.9
②	63.30	135270	2.99	②	63.30~55.30	9.18	252.4
③	55.30	139420	3.09	③	55.30~50.30	9.55	323.4
④	50.30	75960	1.68	④	50.30~46.80	9.37	318.3
⑤	46.80	138610	3.07	⑤	46.80~41.80	10.27	344.4
⑥	41.80	79780	1.76	⑥	41.80~38.30	9.53	324.4
⑦	38.30	87500	1.94	⑦	38.30~37.50	9.82	330.8
⑧	37.50	90300	2.00	⑧	37.50~35.00	62.43	2824.6
⑨	35.00	83110	1.84	—	—	—	—
建屋総重量		847910	—	—	—	—	—

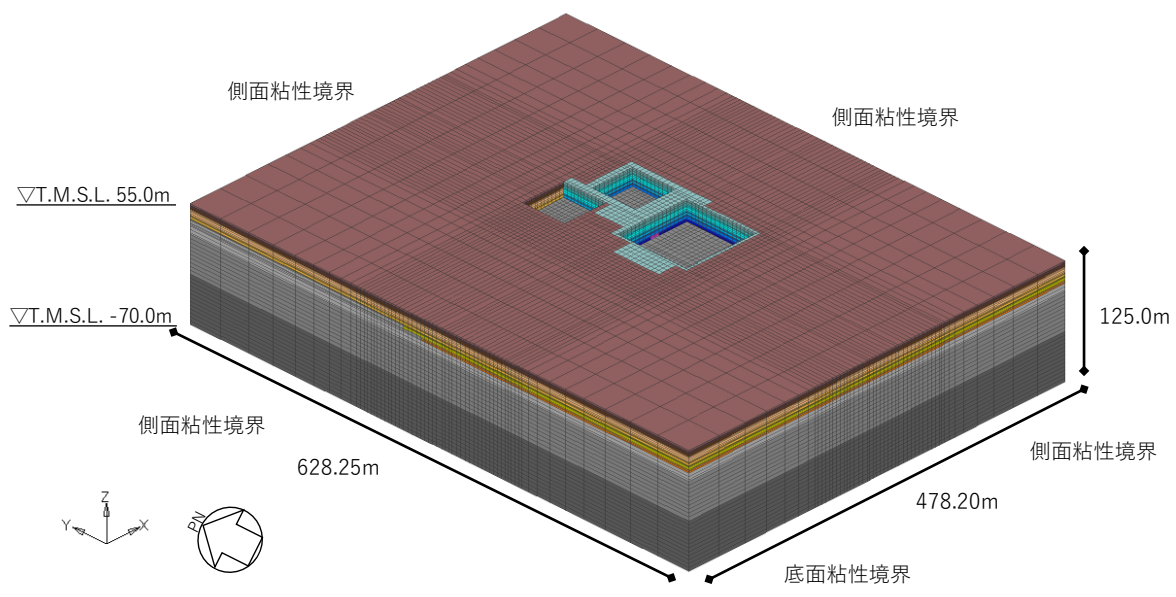
#### 4.1.2 地盤モデルの詳細

地盤モデルを第4.1.2-1図に示す。地盤はソリッド要素でモデル化し、平面的にはNS方向628.25m,EW方向約478.20mの領域(各建屋の基礎底面の約3倍以上の大きさ)を、深さ方向はT.M.S.L.-70.0m(解放基盤表面)～T.M.S.L.55.0m(地表面)の領域をモデル化する。深さ方向のメッシュサイズは、「原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」(以下、「JEAG 4601-1991 追補版」という。)を参考に、地盤のS波速度 $V_s$ に対応する波長の1/5以下を目安として設定する。

地盤モデルは、評価対象建屋である燃料加工建屋の地震応答計算書と整合するよう、支持地盤の鷹架層及び表層地盤の六ヶ所層及び造成盛土により構成される水平成層地盤とする。ただし、先行発電炉の実績を参考に、建屋周辺に分布する流動化処理土及びマンメイドロック(以下、「MMR」という。)を実態に即してモデル化することで、隣接建屋の影響をより精緻に評価する。

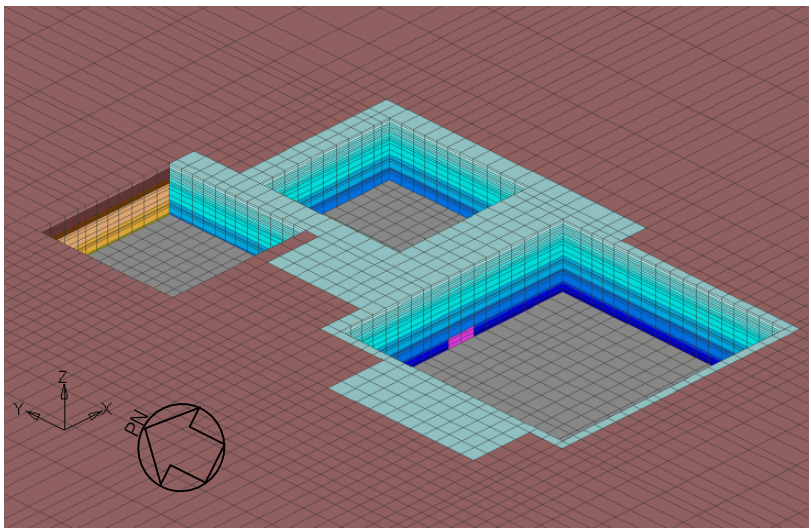
弾性設計用地震動Sd-Aにおける地盤物性を第4.1.2-1表～第4.1.2-3表に示す。地盤物性は、添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定することとし、六ヶ所層、造成盛土及び流動化処理土は、地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた収束物性値を用いる。地盤の減衰はレーリー減衰とし、基準振動数は、4.2節で後述するように評価対象建屋の基礎底面及び地表面レベルにおける地盤の応答が一次元波動論に基づき算定した地盤の応答と一致するように設定する。

地盤の境界条件は、底面粘性境界、側方粘性境界かつ繰り返し境界とする。このとき、粘性境界付近での解析精度の低下が評価対象である構造物の基礎底面の応答に与える影響を低減させるために、「JEAG 4601-1991 追補版」を参考に評価対象である各建屋の基礎底面に比べて地盤モデルの平面サイズを十分に大きく設定している(上述のとおり約3倍以上)。



(a) 全体図

	層区分	標高 T.M.S.L (m)
■	造成盛土	55.00 ~ 53.55
■	造成盛土	53.55 ~ 50.30
■	造成盛土	50.30 ~ 48.60
■	六ヶ所層	48.60 ~ 43.20
■	六ヶ所層	43.20 ~ 39.10
■	六ヶ所層	39.10 ~ 35.00
■	六ヶ所層	35.00 ~ 34.23
■	六ヶ所層	34.23 ~ 32.88
■	六ヶ所層	32.88 ~ 31.53
■	鷹架層	31.53 ~ 23.00
■	鷹架層	23.00 ~ -18.00
■	鷹架層	-18.00 ~ -70.00
■	流動化处理土	55.00 ~ 53.55
■	流動化处理土	53.55 ~ 50.30
■	流動化处理土	50.30 ~ 48.60
■	流動化处理土	48.60 ~ 43.20
■	流動化处理土	43.20 ~ 39.10
■	流動化处理土	39.10 ~ 35.00
■	流動化处理土	35.00 ~ 34.23
■	流動化处理土	34.23 ~ 32.88
■	流動化处理土	32.88 ~ 31.53
■	MMR	35.00 ~ 31.53



(b) 基礎底面部拡大図  
第 4.1.2-1 図 地盤モデル

第 4.1.2-1 表 地盤物性値 (Sd-A)

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	S波速度 Vs (m/s)	P波速度 Vp (m/s)	減衰定数 h	レーリー減衰の 規準振動数 (Hz)	
					f1	f2
▽地表	55.00					
造成盛土	53.55	16.3	136	367	2.0	6.0
	50.30	16.4	131	352		
	48.60	16.5	131	353		
▽BBの基礎底面	43.20	17.0	373	955		
	39.10	17.0	362	927		
▽CBの基礎底面	35.00	17.0	353	904		
六ヶ所層	34.23	17.0	349	893		
	32.88	17.0	347	889		
▽PAの基礎底面	31.53	17.0	346	885		
鷹架層	23.00	15.7	580	1710		
	-18.00	15.3	740	1870		
▽解放基盤表面	-70.00	17.4	890	2030		
		18.1	930	2050		

第 4.1.2-2 表 地盤物性値 (流動化処理土, Sd-A)

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	S波速度 Vs (m/s)	P波速度 Vp (m/s)	減衰定数 h	レーリー減衰の 規準振動数 (Hz)			
					f1	f2		
▽地表	55.00							
流動化処理土	53.55	16.0	481	1295	0.016	2.0	6.0	
	50.30		475	1279	0.017			
	48.60		469	1262	0.019			
	43.20		463	1246	0.021			
	▽BBの基礎底面		39.10	455	1224			0.024
	▽CBの基礎底面		35.00	449	1208			0.025
	34.23		443	1193	0.027			
	32.88		441	1188	0.028			
	▽PAの基礎底面		31.53	439	1182			0.028
	鷹架層							

第 4.1.2-3 表 地盤物性値 (MMR)

単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	せん断 弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$	減衰定数 h	レーリー減衰の 規準振動数 (Hz)	
				f1	f2
23.0	8021	0.20	0.050	0.05	30.0



#### 4.1.3 建屋-地盤間の境界条件の詳細

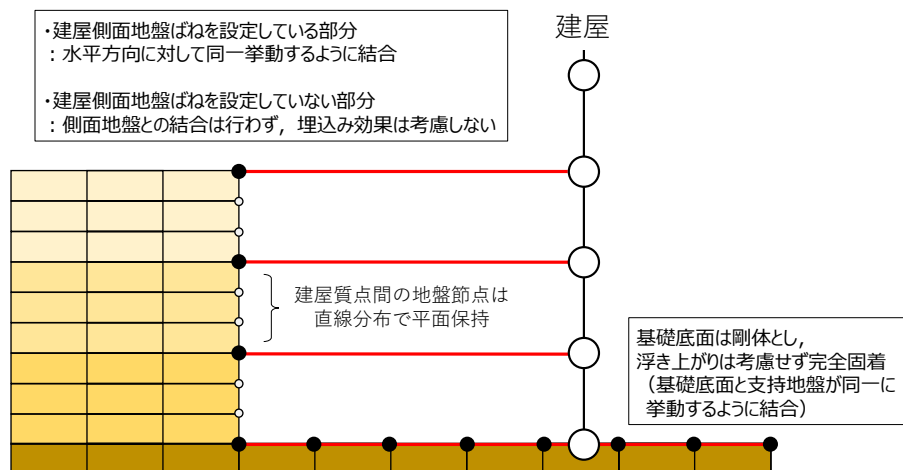
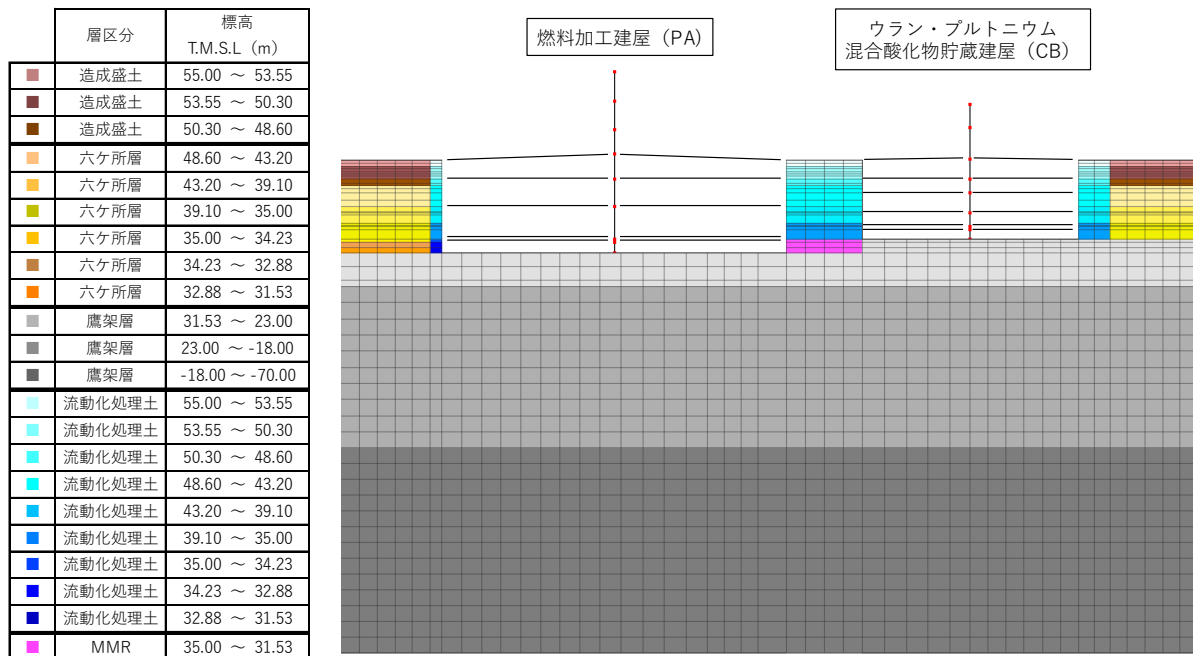
第 4.1.3-1 図に建屋と地盤間の結合イメージを示す。

##### a. 基礎底面-底面地盤

構造物の基礎底面は剛体として考慮し、浮き上がりは考慮せず完全固着とし、基礎底面と支持地盤が同一に挙動するように結合する。

##### b. 建屋側面-側面地盤

建屋側面と側面地盤間については、建屋埋込み質点とそれと同じ高さの地盤節点（1FL の建屋質点は地表面）について、水平方向に対しては同一挙動するように結合することで、埋込み効果を考慮する。なお、鉛直方向は、建屋側面地盤ばねのうち回転ばねを考慮していないことも踏まえ、建屋質点と地盤節点が独立して挙動する設定とする。



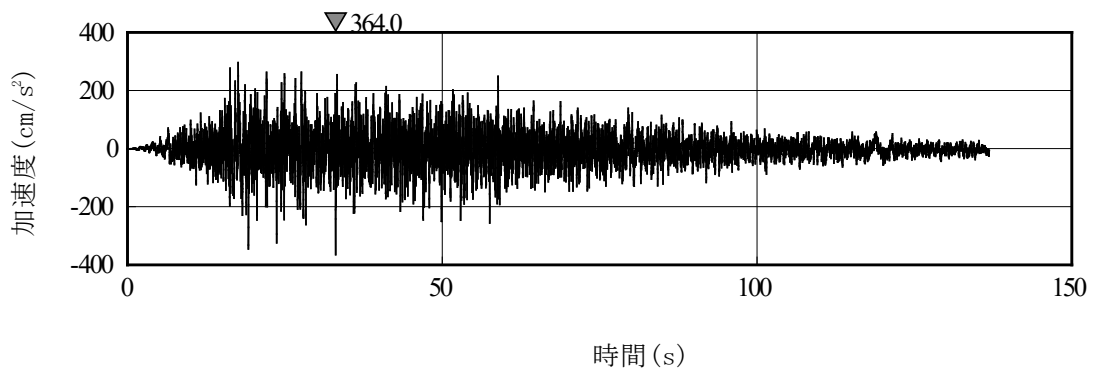
第 4.1.3-1 図 建屋と地盤間の結合イメージ

#### 4.2 検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法

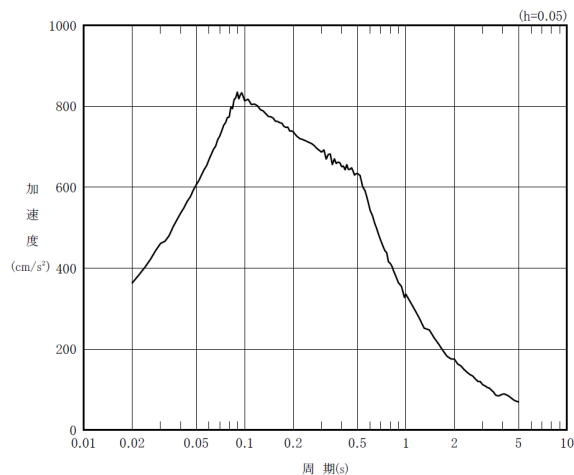
本検討は、隣接建屋の影響程度の把握を主たる検討目的としていることから、材料の非線形特性による影響を受けないよう、地震応答解析は線形解析とする。検討用地震動は、添付書類「基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された弾性設計用地震動  $S_d$  のうち、卓越周期に著しい偏りがなく、継続時間が長い  $S_d$ -A を用いる。 $S_d$ -A の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 4.2-1 図及び第 4.2-2 図に示す。

検討用モデルへの入力は第 4.2-3 図に示すように、評価対象建屋である燃料加工建屋の基礎下位置における自由地盤の応答が、 $S_d$ -A が入射した時の一次元波動論による応答計算と等価となるように地盤 3 次元 FEM モデルの底面に入力する。なお、入力方向は、NS 方向及び EW 方向それぞれに対して行うこととする。

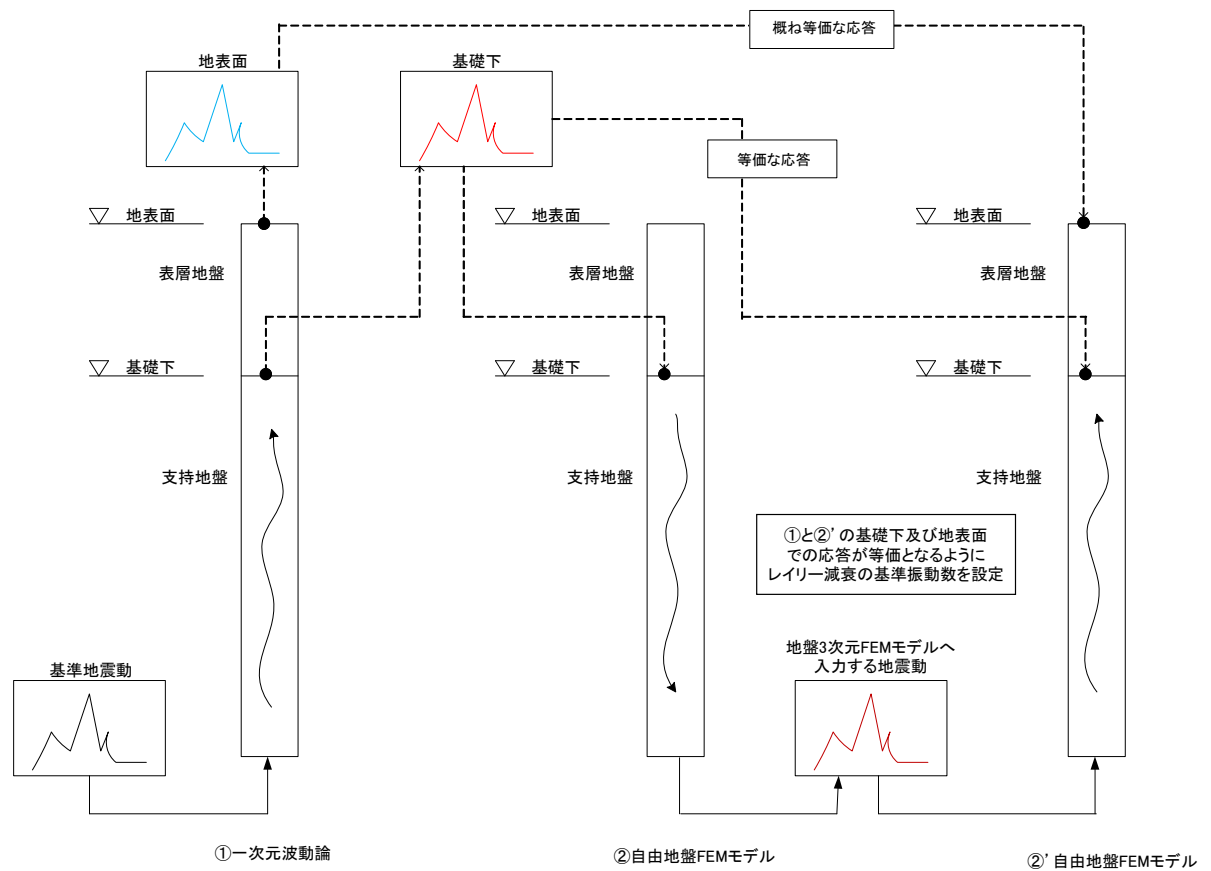
一次元波動論による入力地震動の算定には、解析コード「TDASVer. 20121030」を用いる。なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、添付書類「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。



第 4.2-1 図  $S_d$ -A の加速度波形



第 4.2-2 図  $S_d$ -A の加速度応答スペクトル



第 4. 2-3 図 地盤 3DFEM モデルへ入力する地震動の概念図

## 5. 検討結果

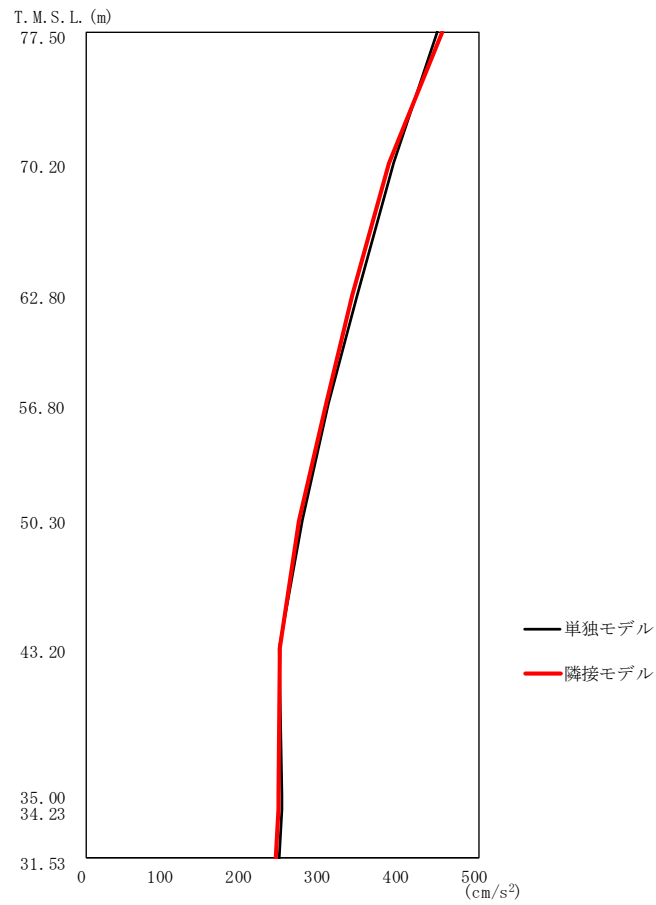
本章では、各評価対象建屋の解析結果として、最大応答値（加速度、せん断力、曲げモーメント）及び加速度応答スペクトルを示したうえで、解析結果に対する考察を行う。

### 5.1 解析結果

#### 5.1.1 燃料加工建屋の解析結果

燃料加工建屋（PA）の最大応答値を第 5.1.1-1 図～第 5.1.1-6 図及び第 5.1.1-1 表～第 5.1.1-6 表に示す。

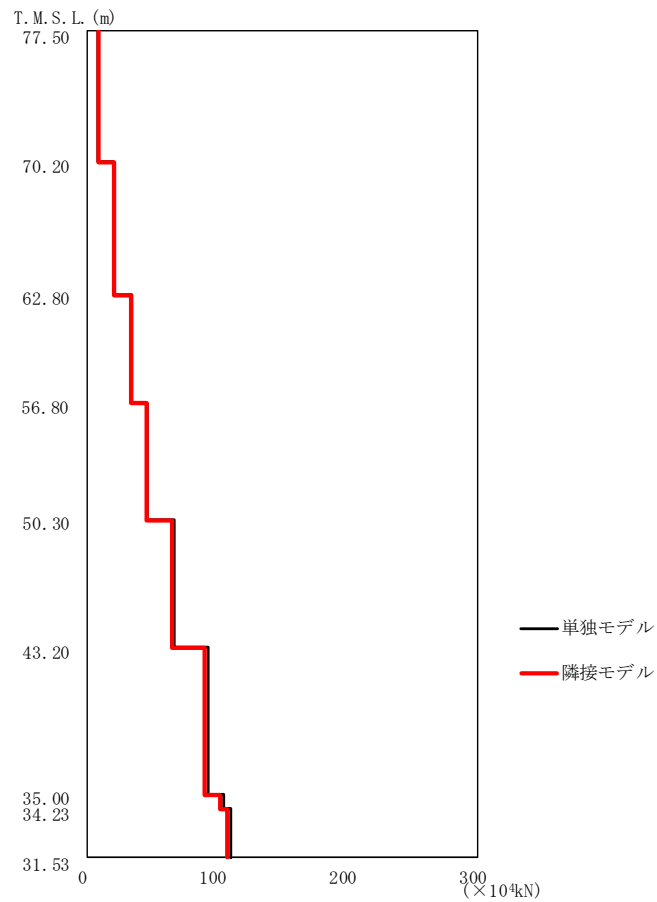
また、参考として頂部、地表面及び基礎付近の加速度応答スペクトルを第 5.1.1-7 図及び第 5.1.1-8 図に示す。



第5.1.1-1図 燃料加工建屋（PA）の最大応答加速度（NS方向）

第5.1.1-1表 燃料加工建屋（PA）の最大応答加速度一覧表（NS方向）

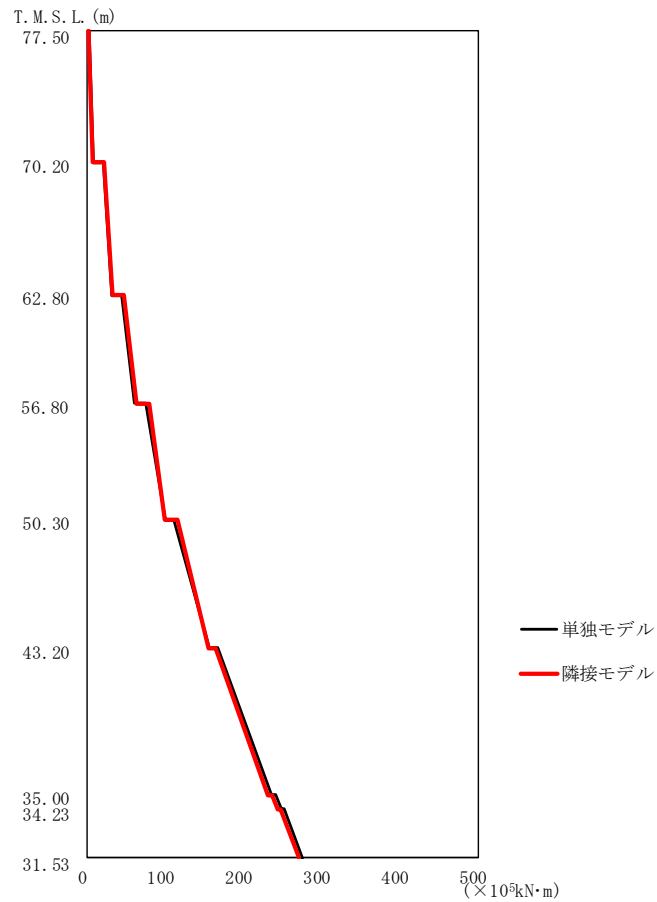
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
77.50	1	446	454	1.017
70.20	2	391	384	0.983
62.80	3	344	339	0.986
56.80	4	308	305	0.990
50.30	5	274	271	0.989
43.20	6	246	247	1.006
35.00	7	249	245	0.984
34.23	8	248	244	0.985
31.53	9	246	242	0.985



第5.1.1-2図 燃料加工建屋（PA）の最大応答せん断力（NS方向）

第5.1.1-2表 燃料加工建屋（PA）の最大応答せん断力一覧表（NS方向）

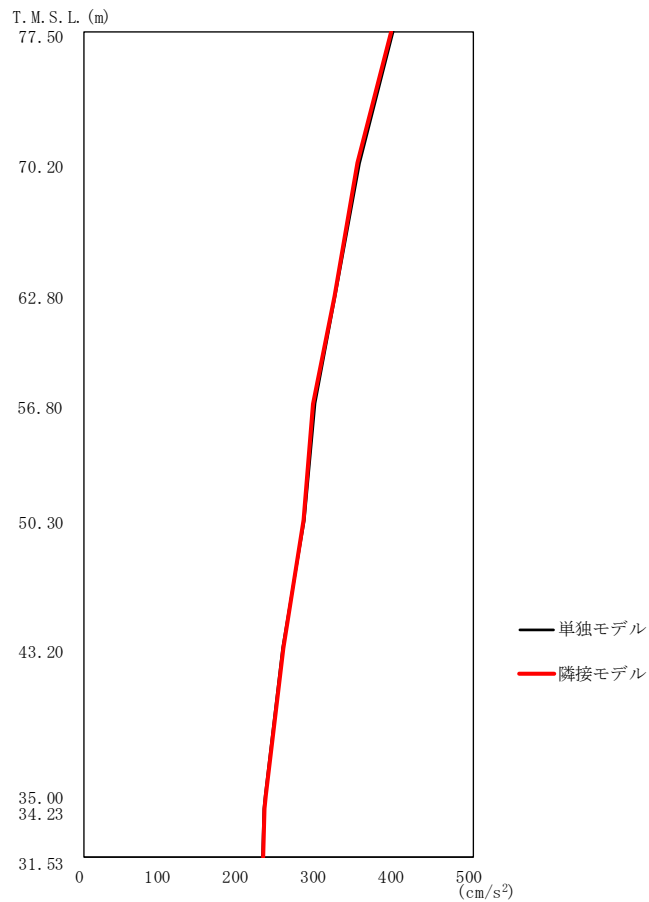
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力(×10 <sup>4</sup> kN)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
77.50	1	7.88	8.01	1.017
70.20	2	20.19	20.06	0.994
62.80	3	33.46	32.93	0.985
56.80	4	46.16	45.26	0.981
50.30	5	66.51	64.64	0.972
43.20	6	92.91	90.06	0.970
35.00	7	104.80	101.73	0.971
34.23	8	109.44	106.93	0.977
31.53				



第5.1.1-3 図 燃料加工建屋 (PA) の最大応答曲げモーメント (NS 方向)

第5.1.1-3 表 燃料加工建屋 (PA) の最大応答曲げモーメント一覧表 (NS 方向)

T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>5</sup> kN・m)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
77.50	1	6.62	6.71	1.014
70.20	2	30.43	31.05	1.021
62.80	3	59.34	62.14	1.048
56.80	4	98.99	98.94	1.000
50.30	5	156.27	154.10	0.987
43.20	6	235.29	231.07	0.983
35.00	7	247.18	242.74	0.983
34.23	8	275.41	270.22	0.982
31.53				

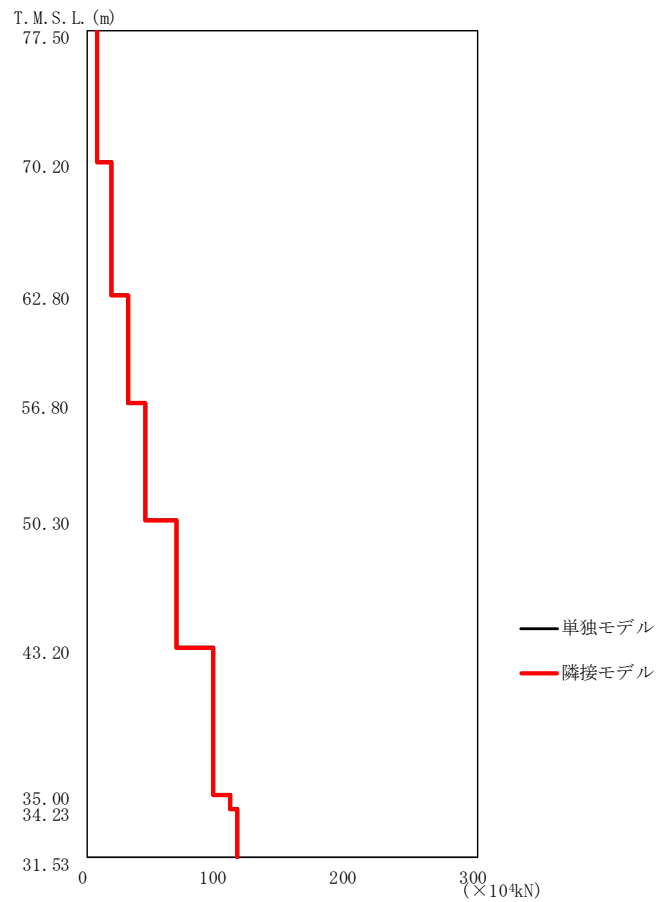


第5.1.1-4図 燃料加工建屋（PA）の最大応答加速度（EW方向）

第5.1.1-4表 燃料加工建屋（PA）の最大応答加速度一覧表（EW方向）

T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
77.50	1	397	395	0.995
70.20	2	353	351	0.996
62.80	3	323	322	0.997
56.80	4	295	294	0.997
50.30	5	282	281	0.997
43.20	6	255	255	0.999
35.00	7	232	233	1.004
34.23	8	231	232	1.004
31.53	9	229	230	1.004

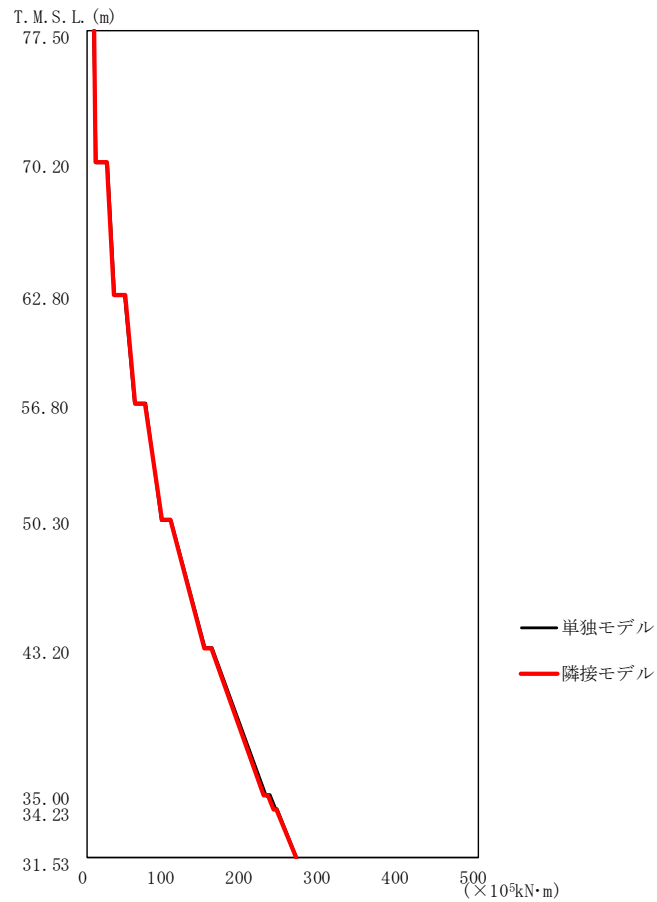




第5.1.1-5図 燃料加工建屋（PA）の最大応答せん断力（EW方向）

第5.1.1-5表 燃料加工建屋（PA）の最大応答せん断力一覧表（EW方向）

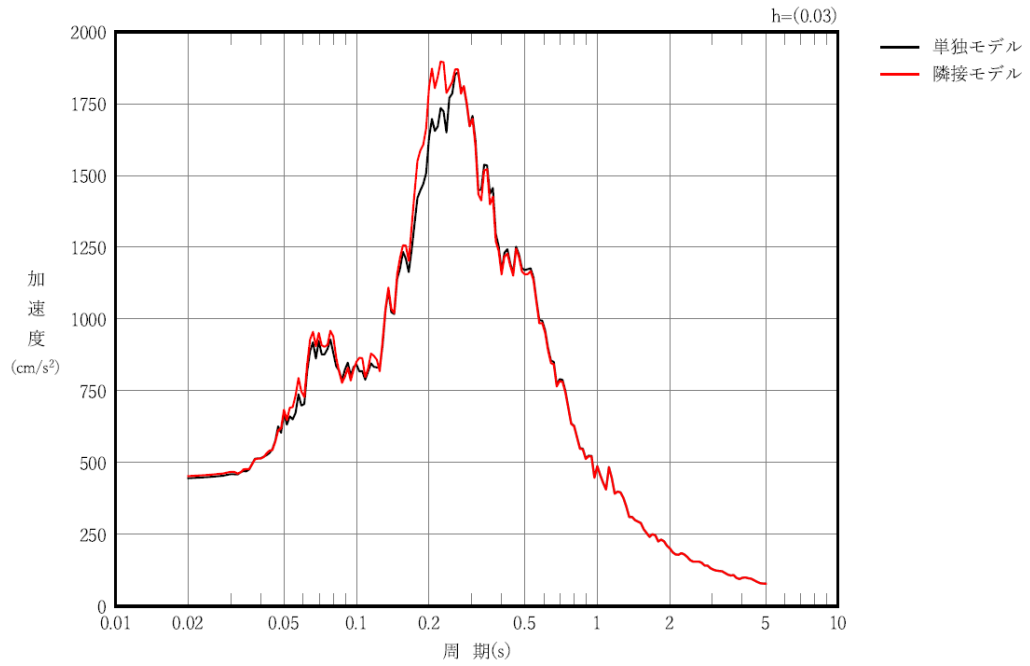
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力(×10 <sup>4</sup> kN)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
77.50	1	7.05	7.01	0.995
70.20	2	18.72	18.59	0.994
62.80	3	30.97	30.84	0.996
56.80	4	44.72	44.48	0.995
50.30	5	68.86	68.12	0.990
43.20	6	96.87	95.80	0.989
35.00	7	110.19	109.07	0.990
34.23	8	115.62	114.57	0.991
31.53				



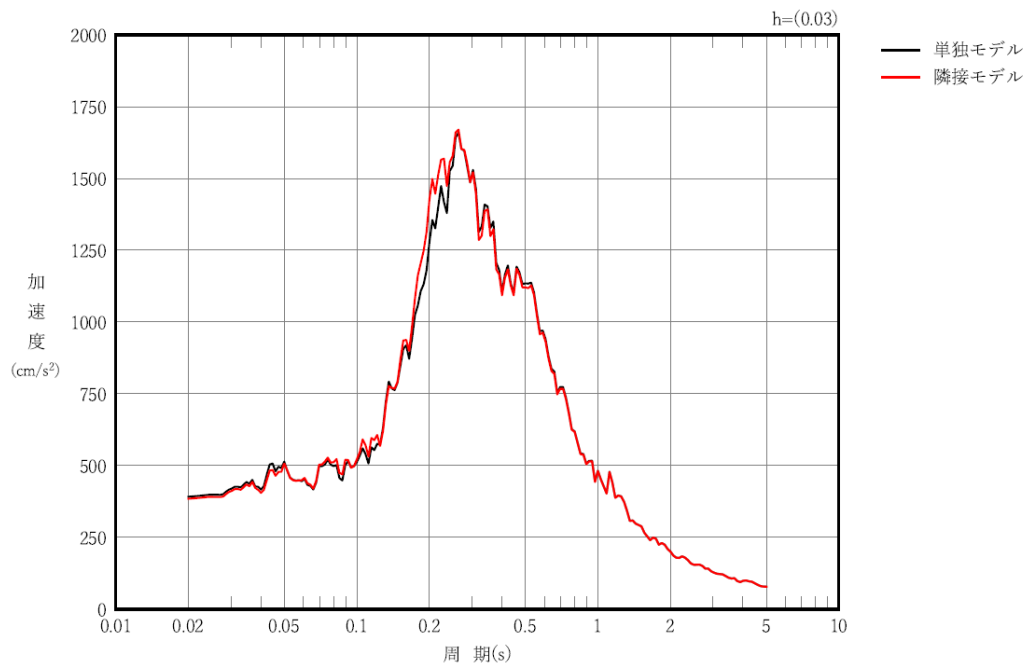
第5.1.1-6 図 燃料加工建屋 (PA) の最大応答曲げモーメント (EW 方向)

第5.1.1-6 表 燃料加工建屋 (PA) の最大応答曲げモーメント一覧表 (EW 方向)

T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>5</sup> kN・m)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
77.50	1	10.86	10.88	1.002
70.20	2	33.74	33.78	1.002
62.80	3	60.57	60.58	1.001
56.80	4	94.80	94.79	1.000
50.30	5	149.52	148.80	0.996
43.20	6	227.72	226.12	0.993
35.00	7	239.74	238.00	0.993
34.23	8	268.65	266.60	0.993
31.53				

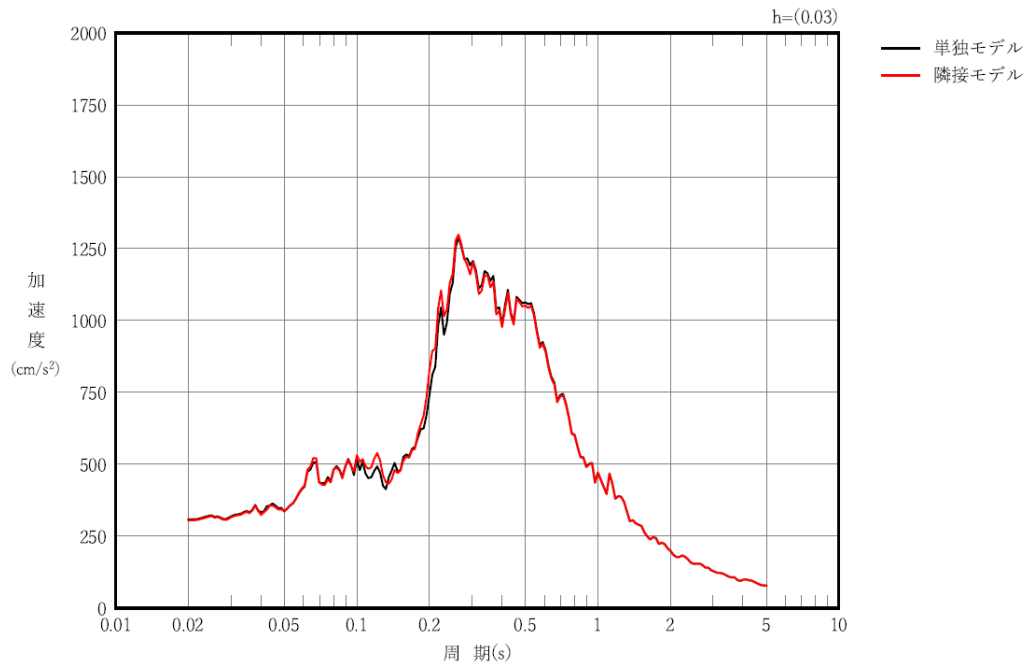


(a) T.M.S.L. 77. 50m

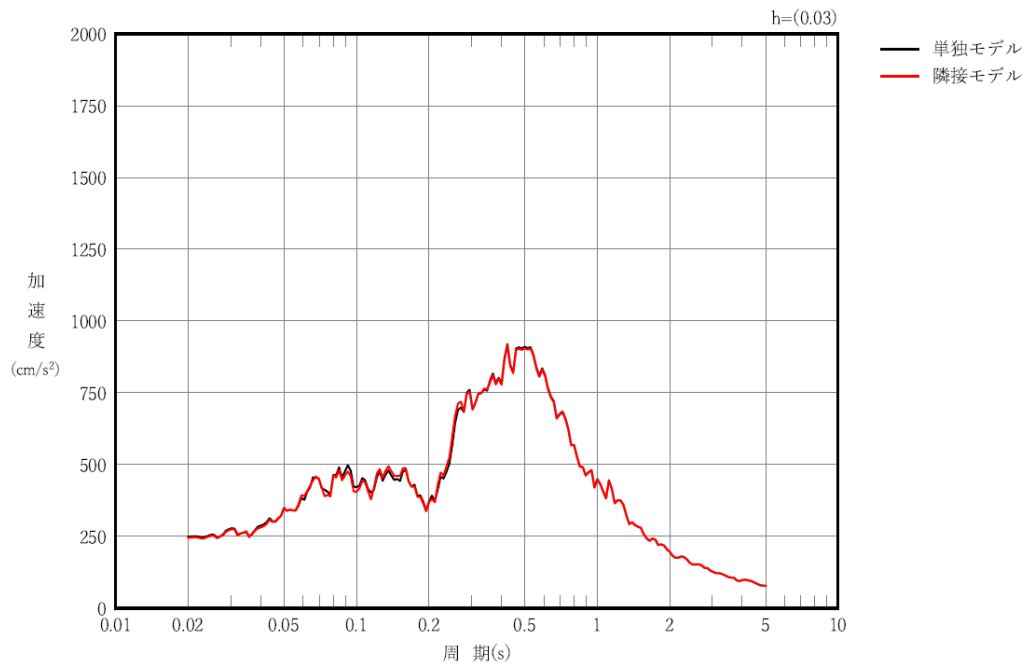


(b) T.M.S.L. 70. 20m

第5.1.1-7図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (NS 方向) (1/2)

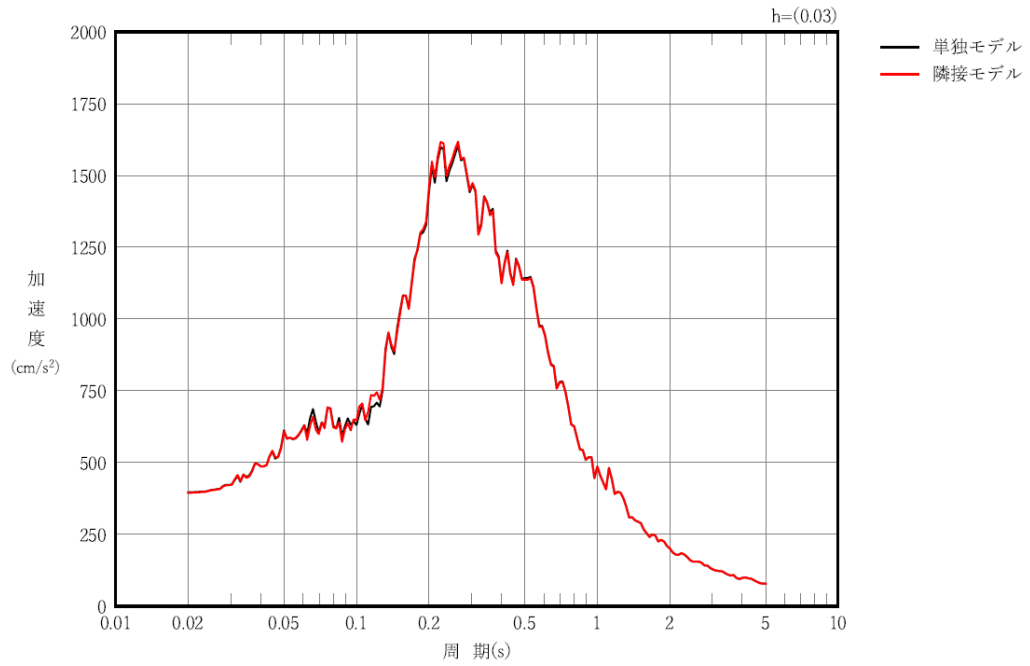


(c) T. M. S. L. 56. 80m

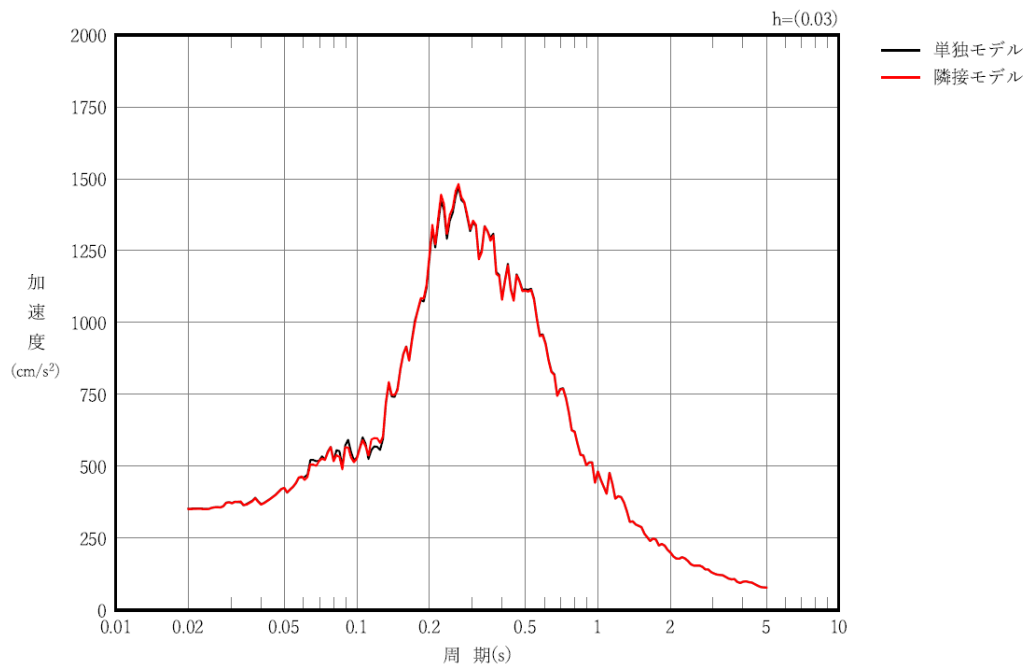


(d) T. M. S. L. 35. 00m

第5.1.1-7図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (NS 方向) (2/2)

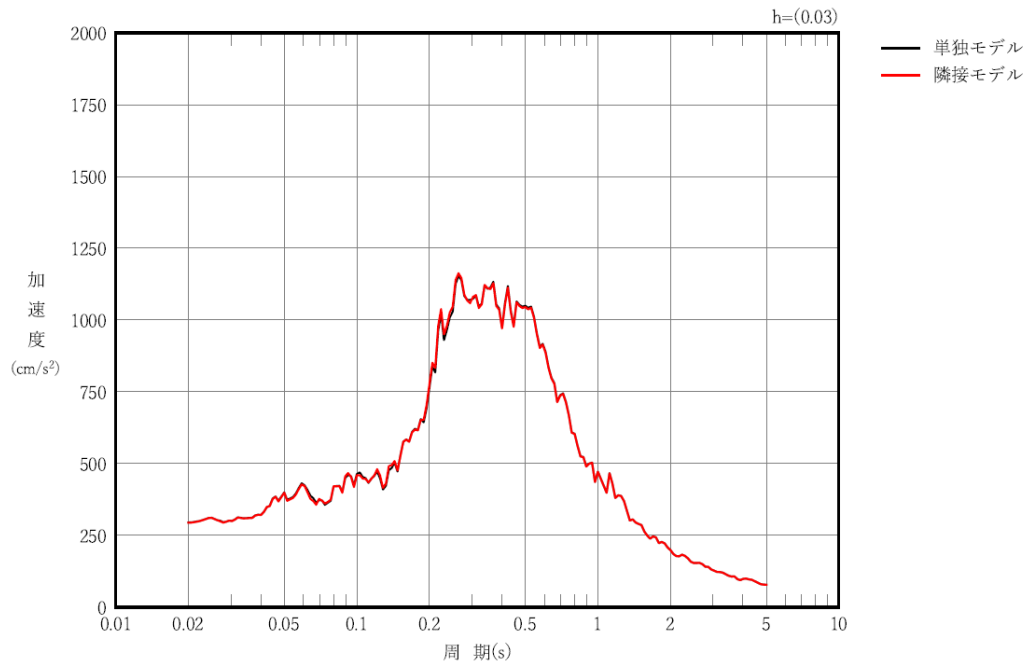


(a) T. M. S. L. 77. 50m

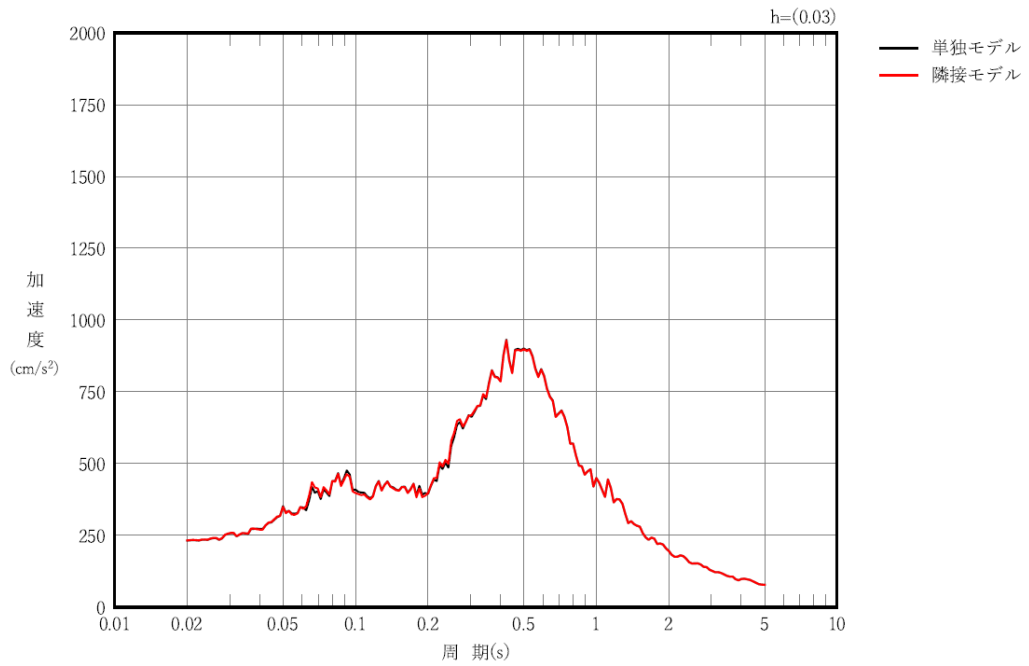


(b) T. M. S. L. 70. 20m

第5. 1. 1-8図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (EW 方向) (1/2)



(c) T. M. S. L. 56. 80m



(d) T. M. S. L. 35. 00m

第5.1.1-8図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル  
(EW 方向) (2/2)

## 5.2 解析結果に対する考察

### 5.2.1 燃料加工建屋の解析結果に対する考察

燃料加工建屋 (PA) について、隣接モデルと単独モデルの結果を比較すると、最大応答値については、ほぼ整合していると言える。

ただし、一部応答値については、僅かではあるが応答の増幅が見られる（応答比率が 1 を超える）ことから、次の 5.3 節において、応答比率を用いて建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認する。

なお、参考として示した加速度応答スペクトルについても、NS 方向の頂部付近 (T. M. S. L. 77.50m 及び T. M. S. L. 70.20m) で、隣接モデルの応答が単独モデルの応答を若干上回っている部分も見られるが、基本的にはほぼ整合していると言える。機器・配管系の耐震評価への影響については、機電資料にて示す。

### 5.3 建物・構築物の耐震評価への影響確認結果

水平方向の地震力の影響を受ける評価対象部位について、以下のとおり隣接建屋の影響評価を示す。

#### 5.3.1 燃料加工建屋の耐震評価への影響確認結果

燃料加工建屋の検討対象部位は、第 3. -1 表で整理したとおり、耐震壁、地盤（接地圧）、基礎スラブ及び S クラスの壁である。以下(1)～(4)に、燃料加工建屋の耐震評価への影響確認結果を示す。

##### (1) 耐震壁

耐震壁は、最大せん断ひずみが許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認することから、各層耐震壁の最大応答せん断力 \* の応答比率の最大値から割増係数を設定し、エネルギー一定則により非線形化を考慮したせん断ひずみを評価する。第 5.3.1-1 表に応答比率及び割増係数を示す。

第 5.3.1-1 表より、割増係数が 1.000 を超えることから、割増係数を乗じた評価結果を第 5.3.1-2 表に示す。第 5.3.1-2 表より、耐震計算書に示す応力評価結果に割増係数を乗じた場合においても、検定比は最大で 0.319 あり、検定比が 1.000 を超えないことを確認した。

注記\*：線形解析のため、せん断ひずみの応答比率とせん断力の応答比率は同値となるため、ここでは、せん断力の応答比率から割増係数を設定する。

##### (2) 地盤（接地圧）

地盤（接地圧）については、水平方向の地震荷重として曲げモーメントを考慮することから、基礎下端における最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値を割増係数として設定する。第 5.3.1-3 表に応答比率及び割増係数を示す。

第 5.3.1-3 表より、NS 方向、EW 方向共に割増係数が 1.000 であることから、地盤（接地圧）の耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

##### (3) 基礎スラブ

基礎スラブは、水平方向の地震荷重として上部構造から基礎への曲げモーメント及びせん断力を考慮することから、基礎スラブ直上の部材における最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値を割増係数として設定する。第 5.3-5 表に応答比率及び割増係数を示し、第 5.3.1-4 表に基礎スラブの評価結果を示す。

第 5.3.1-4 表より、NS 方向、EW 方向共に割増係数が 1.000 であることから、基礎スラブの耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

##### (4) S クラスの壁（重要区域の壁）

重要区域の壁は、水平方向の地震荷重として曲げモーメント及びせん断力を考慮することから、重要区域の壁が位置する T. M. S. L. 35.00m～50.30m（要素番号 5～要素番号 6）の最



大応答せん断力及び最大応答曲げモーメントの応答比率の最大値を割増係数として設定する。第 5.3.1-5 表に応答比率及び割増係数を示す。

第 5.3.1-5 表より，NS 方向，EW 方向共に割増係数が 1.000 であることから，重要区域の壁の耐震評価に及ぼす影響がないことを確認した。

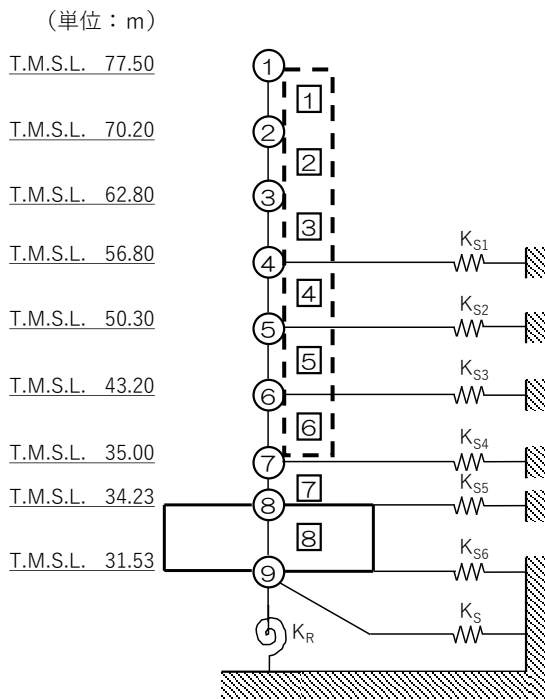
第5.3.1-1表 最大応答せん断力の応答比率及び割増係数（耐震壁）

方向	T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答せん断力 ( $\times 10^4$ kN) ※1		応答比率 ※2 (②/①)	割増係 数 ※3	割増係数を 乗じた評価 の要否
			①単独モデ ル	②隣接モデ ル			
NS	77.50	1	7.88	8.01	1.017	1.017	-
	70.20						
	70.20	2	20.19	20.06	0.994	0.994	-
	62.80						
	62.80	3	33.46	32.93	0.985	0.985	-
	56.80						
	56.80	4	46.16	45.26	0.981	0.981	-
	50.30						
	50.30	5	66.51	64.64	0.972	0.972	-
	43.20						
	43.20	6	92.91	90.06	0.970	0.970	-
	35.00						
EW	77.50	1	7.05	7.01	0.995	0.995	-
	70.20						
	70.20	2	18.72	18.59	0.994	0.994	-
	62.80						
	62.80	3	30.97	30.84	0.996	0.996	-
	56.80						
	56.80	4	44.72	44.48	0.995	0.995	-
	50.30						
	50.30	5	68.86	68.12	0.990	0.990	-
	43.20						
	43.20	6	96.87	95.80	0.989	0.989	-
	35.00						
割増係数（最大値）						1.017	要

※1：網掛けは最大値を示す

※2：少数第4位を保守的に切上げ

※3：応答比率が1.000を超えない場合は1.000とする



第 5.3.1-2 表 耐震壁の評価結果（基準地震動  $S_s$ ）

方向 <sup>※1</sup>	要素番号	最大応答 せん断 ひずみ度 ( $\times 10^{-3}$ )	許容限界 ( $\times 10^{-3}$ )	① 検定比 <sup>※2</sup>	② 割増係数	① $\times$ ② 検定比 <sup>※2</sup>	判定
NS	6	0.623	2.000	0.312	1.017	0.319 <sup>※3</sup>	OK

※1：NS 方向及び EW 方向で最大の場合を示す

※2：有効数字 3 桁表記（4 桁目を保守的に切り上げ）

※3：エネルギー一定則を考慮した値のため，単純に① $\times$ ②の値とはならない

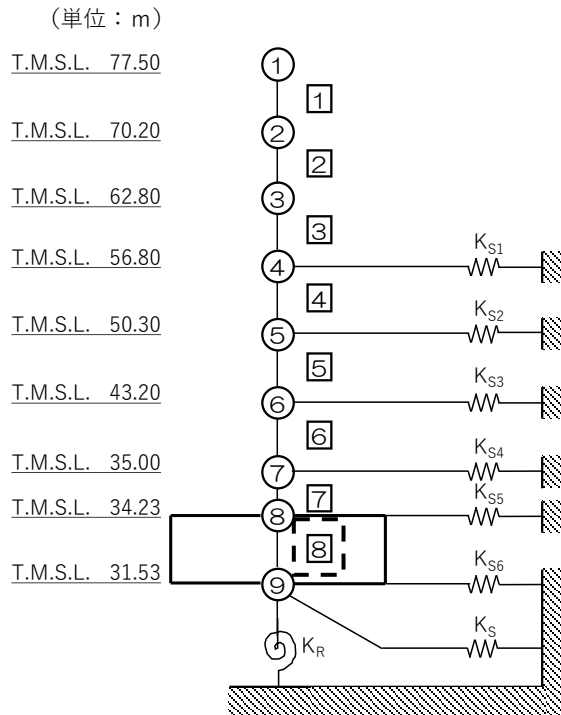
第5.3.1-3表 基礎下端における最大応答曲げモーメント  
の応答比率及び割増係数（地盤（接地圧））

方向	T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答曲げモーメント ( $\times 10^5 \text{kN}$ ) ※1		応答比率 ※2 (②/①)	割増係 数 ※3	割増係数を 乗じた評価 の要否
			①単独モデ ル	②隣接モデ ル			
NS	34.23	8	275.41	270.22	0.982	1.000	不要
	31.53						
EW	34.23	8	268.65	266.60	0.993	1.000	不要
	31.53						

※1：網掛けは最大値を示す

※2：少数第4位を保守的に切上げ

※3：応答比率が1.000を超えない場合は1.000とする



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。

第5.3.1-4表 基礎スラブ直上の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント  
の応答比率及び割増係数（基礎スラブ）

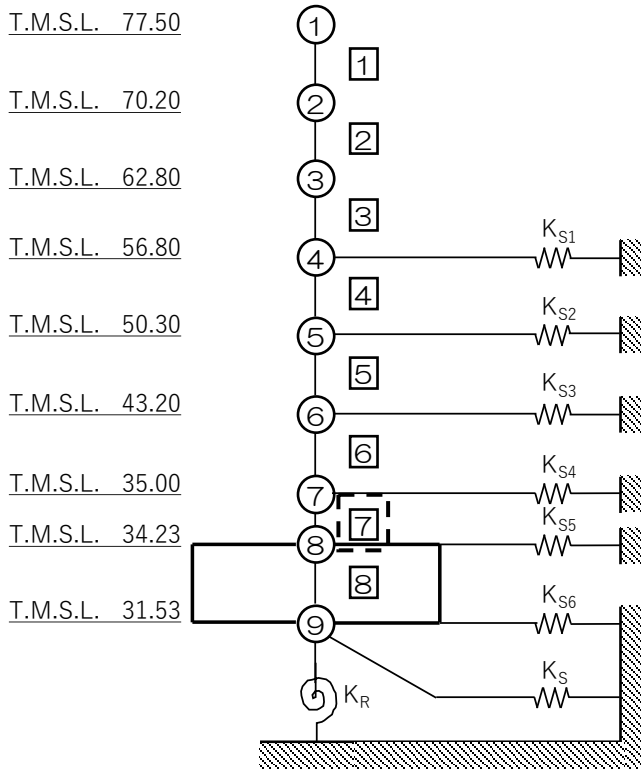
方向	T. M. S. L. (m)	要素 番号	応力	①単独 モデル	②隣接 モデル	応答 比率 <sup>※2</sup> (②/①)	割増係 数 <sup>※3</sup>	割増係数 を乗じた 評価の 要否
NS	35.00	7	最大応答 せん断力 ( $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	104.80	101.73	0.971	1.000	-
	34.23							
	35.00	7	最大応答曲げ モーメント ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	247.18	242.74	0.983	1.000	-
	34.23							
	割増係数（最大値）							1.000
EW	35.00	7	最大応答 せん断力 ( $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	110.19	109.07	0.990	1.000	-
	34.23							
	35.00	7	最大応答曲げ モーメント ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	239.74	238.00	0.993	1.000	-
	34.23							
	割増係数（最大値）							1.000

※1：網掛けは最大値を示す

※2：少数第4位を保守的に切上げ

※3：応答比率が1.000を超えない場合は1.000とする

(単位：m)



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。

第5.3.1-5表 最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント  
の応答比率及び割増係数（Sクラスの壁）（1/2）

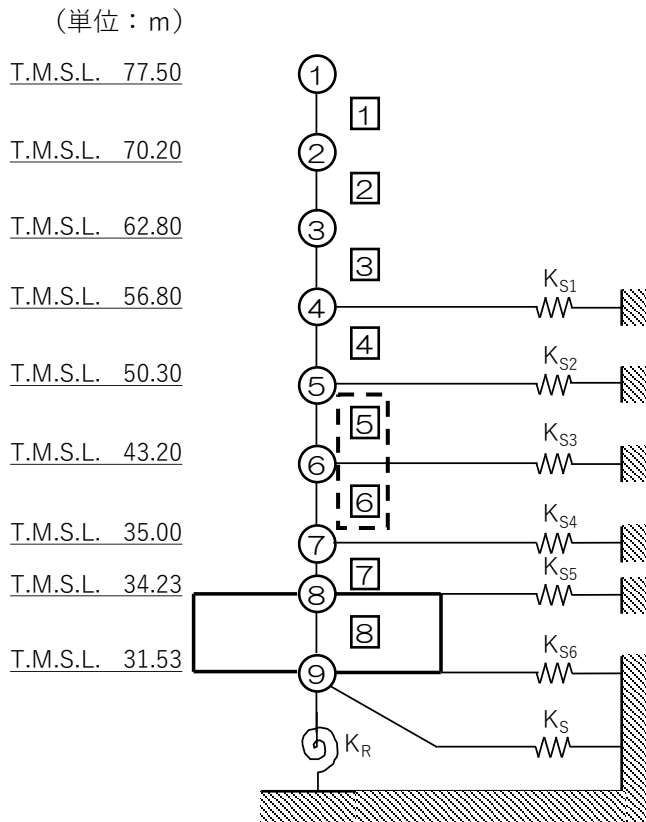
方向	T. M. S. L. (m)	要素 番号	応力	①単独 モデル	②隣接 モデル	応答 比率 <sup>※2</sup> (②/①)	割増係 数 <sup>※3</sup>	割増係数 を乗じた 評価の 要否	
NS	50.30	5	最大応答 せん断力 ( $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	66.51	64.64	0.972	1.000	-	
	43.20								
	43.20	6		92.91	90.06	0.970	1.000	-	
	35.00								
	50.30	5		最大応答曲げ モーメント ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	156.27	154.10	0.987	1.000	-
	43.20								
	43.20	6			235.29	231.07	0.983	1.000	-
	35.00								
割増係数（最大値）							1.000	不要	
EW	50.30	5	最大応答 せん断力 ( $\times 10^4 \text{kN} \cdot \text{m}$ )		68.86	68.12	0.990	1.000	-
	43.20								
	43.20	6			96.87	95.80	0.989	1.000	-
	35.00								
	50.30	5		最大応答曲げ モーメント ( $\times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}$ )	149.52	148.80	0.996	1.000	-
	43.20								
	43.20	6			227.72	226.12	0.993	1.000	-
	35.00								
割増係数（最大値）							1.000	不要	

※1：網掛けは最大値を示す

※2：少数第4位を保守的に切上げ

※3：応答比率が1.000を超えない場合は1.000とする

第5.3.1-5表 最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント  
の応答比率及び割増係数 (Sクラスの壁) (2/2)



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。

## 6. まとめ

本資料では、FEM を用いた詳細検討として、実際の建屋配置状況に即して各建屋を配置する場合と評価対象建屋である燃料加工建屋を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建屋応答の比較から得られる応答比率を用いて建物・構築物の耐震評価に与える影響を確認し、安全上支障がないことを確認した。

以上の結果を踏まえ、再処理施設等の建物・構築物のうち、2020年12月24日に申請を実施した燃料加工建屋の地震応答解析について、隣接建屋の影響は無いと言えることから、構造毎に独立して構築した解析モデルを用いても安全上支障がないと判断した。



## 別紙 2-2

### 安全冷却水 B 冷却塔に対する FEM を用いた詳細検討

解析結果については、最終チェック中のため速報版として示す。

## 目 次

1. 概要	1
2. 検討方針	3
3. 検討対象部位	3
4. 検討方法	4
4.1 検討用モデル	4
4.1.1 建屋モデルの詳細	8
4.1.2 地盤モデルの詳細	12
4.1.3 建屋－地盤間の境界条件の詳細	15
4.2 検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法	17
5. 検討結果	19
5.1 地震応答解析結果	19
5.1.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果	19
5.2 解析結果に対する考察	27
5.2.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果に対する考察	27
5.3 耐震評価結果	28
5.3.1 安全冷却水 B 冷却塔（基礎）の耐震評価への影響確認結果	28
6. まとめ	32





## 1. 概要

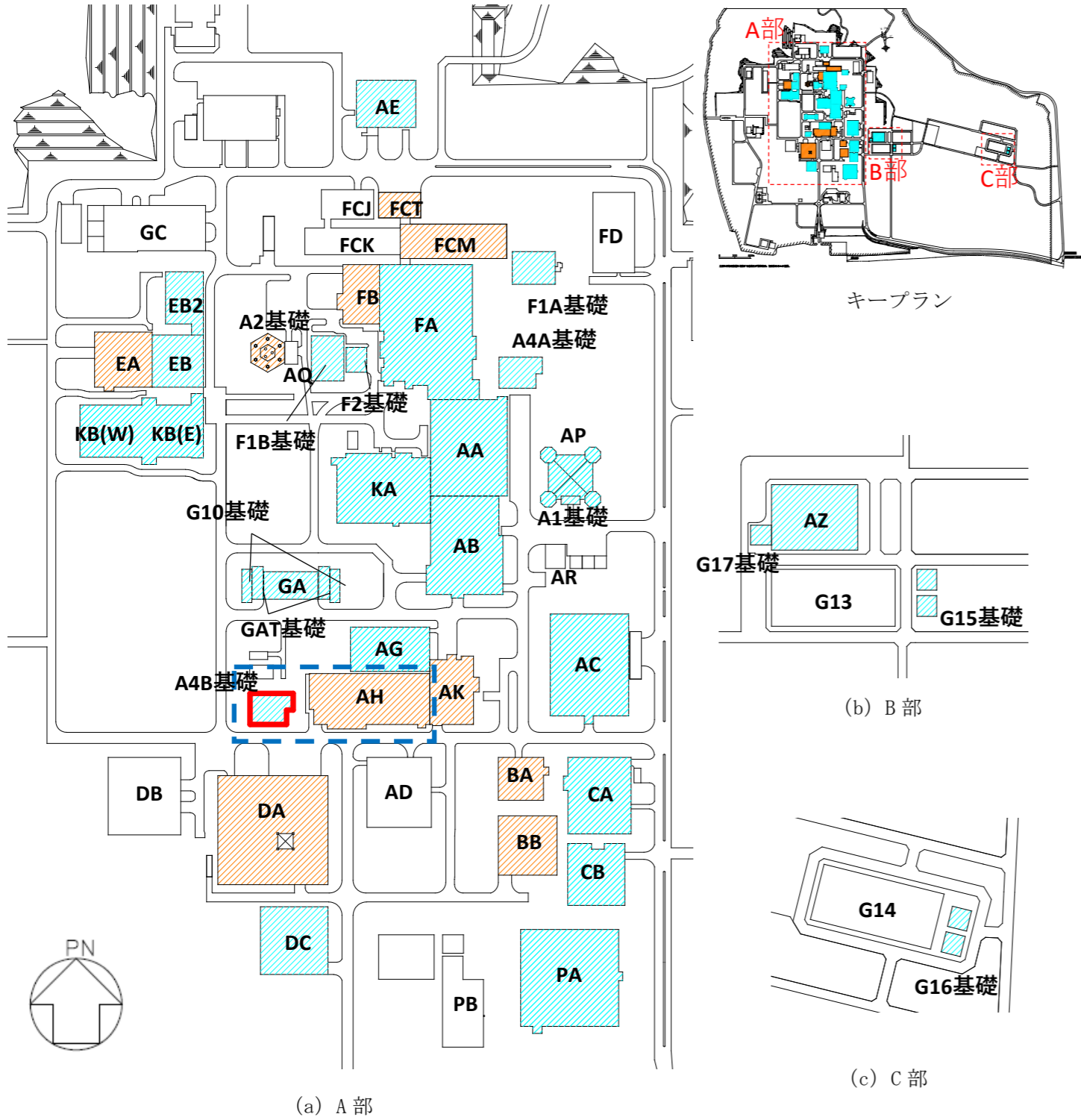
本資料では、安全冷却水 B 冷却塔について、FEM を用いた詳細検討の検討条件及び検討結果の詳細を示す。

モデル化対象の建屋群を第 1. -1 表及び第 1. -1 図に示す。評価対象建屋である安全冷却水 B 冷却塔に加えて、隣接する建屋の分析建屋をモデル化対象の建屋として FEM を用いた詳細検討を実施する。

第 1. -1 表 モデル化対象の建屋群

建屋群
・安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) 【評価対象】 , ・分析建屋 (AH)

-  : Sクラス施設又は常設耐震重要重大事故等対処設備の間接支持構造物
-  : 波及的影響の設計対象とする下位クラス施設
-  : 隣接建屋の影響がないとは言い切れない建屋（評価対象建屋）
-  : FEMを用いた詳細検討を実施する建屋群



建物・構築物名称	
前処理建屋	AA
分離建屋	AB
精製建屋	AC
低レベル廃液処理建屋	AD
ハル・エンドピース貯蔵建屋	AE
制御建屋	AG
分析建屋	AH
出入管理建屋	AK
主排気筒管理建屋	AP
北換気筒管理建屋	AQ
試薬建屋	AR
緊急時対策建屋	AZ
主排気筒（基礎）	A1基礎
北換気筒（基礎）	A2基礎
安全冷却水A冷却塔（基礎）	A4A基礎
安全冷却水B冷却塔（基礎）	A4B基礎
ウラン脱硝建屋	BA
ウラン酸化物貯蔵建屋	BB
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	CA
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	CB
低レベル廃棄物処理建屋	DA
第2低レベル廃棄物貯蔵建屋	DB
チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋	DC
ガラス固化体受入れ建屋	EA
ガラス固化体貯蔵建屋	EB

建物・構築物名称	
ガラス固化体貯蔵建屋B棟	EB2
使用済燃料受入れ・貯蔵建屋	FA
使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋	FB
使用済燃料輸送容器管理建屋（除染エリア）	FC (FCJ)
使用済燃料輸送容器管理建屋（空使用済燃料輸送容器保管庫）	FC (FCK)
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）	FC (FCM)
使用済燃料輸送容器管理建屋（トレーラエリア）	FC (FCT)
第1低レベル廃棄物貯蔵建屋	FD
安全冷却水系冷却塔A（基礎）	F1A基礎
安全冷却水系冷却塔B（基礎）	F1B基礎
第1非常用ディーゼル発電設備用重油タンク室（基礎）	F2基礎
非常用電源建屋	GA
燃料油貯蔵タンク基礎	GAT基礎
ユーティリティ建屋	GC
冷却塔A, B（基礎）	G10基礎
第1保管庫・貯水所	G13
第2保管庫・貯水所	G14
第1軽油貯蔵所（基礎）	G15基礎
第2軽油貯蔵所（基礎）	G16基礎
重油貯蔵所（基礎）	G17基礎
高レベル廃液ガラス固化建屋	KA
第1ガラス固化体貯蔵建屋東棟	KB (E)
第1ガラス固化体貯蔵建屋西棟	KB (W)
燃料加工建屋	PA
エネルギー管理建屋	PB

第 1.-2 図 モデル化対象の建屋群の概要

## 2. 検討方針

本文「3.1 検討方針」に示すとおりである。

## 3. 検討対象部位

検討対象部位は、本文「3.2.1 検討対象部位」に示すとおり、耐震評価において水平方向の地震荷重を組み合わせ耐震評価を行っている、耐震壁、地盤（接地圧）、基礎スラブ、Sクラスの壁及び床、屋根鉄骨及び屋根トラスである。評価対象建屋である安全冷却水B冷却塔の評価対象建屋の検討対象部位を第3.-1表に示す。

第3.-1表 評価対象建屋の検討対象部位

建物・構築物名称		① 耐震壁	② 地盤 (接地圧)	③ 基礎スラブ	④ Sクラスの 壁及び床	⑤ 屋根鉄骨 屋根トラス
安全冷却水B冷却塔（基礎）	A4B基礎	—	○	○	—	—

○：評価対象建屋に当該評価対象部位が存在する場合

—：評価対象建屋に当該評価対象部位が存在しない場合

#### 4. 検討方法

検討対象部位の検討方法は、本文「3.2.2 耐震壁の検討方法」、「3.2.3 地盤（接地圧）の検討方法」、「3.2.4 基礎スラブの検討方法」、「3.2.5 Sクラスの壁及び床の検討方法」、及び「3.2.6 屋根鉄骨及び屋根トラスの検討方法」に示すとおりであり、各建屋群の検討に対して共通して適用している。

本資料では、安全冷却水 B 冷却塔の検討に用いる「検討用モデル」、並びに「検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法」の詳細を示す。

##### 4.1 検討用モデル

検討にあたっては、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置した場合の地震応答解析モデル（以下、「隣接モデル」という。）と各建屋（評価対象建屋）を単独でモデル化した場合の地震応答解析モデル（以下、「単独モデル」という。）を用いる。解析ケースの一覧を表 4.1-1 に示す。

隣接モデルは、建屋を質点系モデルとし、地盤を 3 次元 FEM モデルとした地盤 3 次元 FEM モデルとする。建屋諸元は、添付書類「耐震性に関する説明書」の地震応答計算書に示す解析モデルの諸元に倣うものとする。

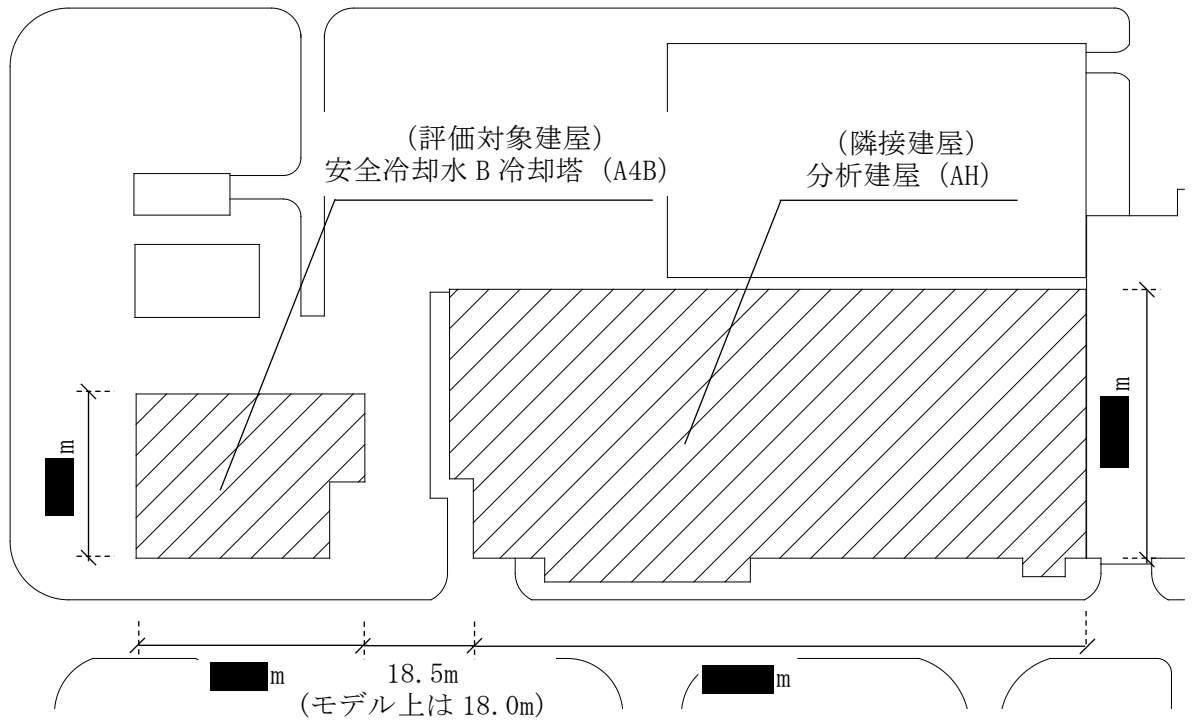
また、単独モデルは、隣接建屋の影響を考慮した場合の解析モデルから、隣接建屋を取り除いたうえで、隣接建屋が埋め込まれていた部分を地盤とした解析モデルとする。

モデル化対象の建屋群の配置図を第 4.1-1 図に、隣接モデルの概要を第 4.1-2 図に、単独モデルの概要を第 4.1-3 図に示す。また、建屋モデル、地盤モデル、及び建屋－地盤間の境界条件の詳細を 4.1.1 節～4.1.3 節に示す。

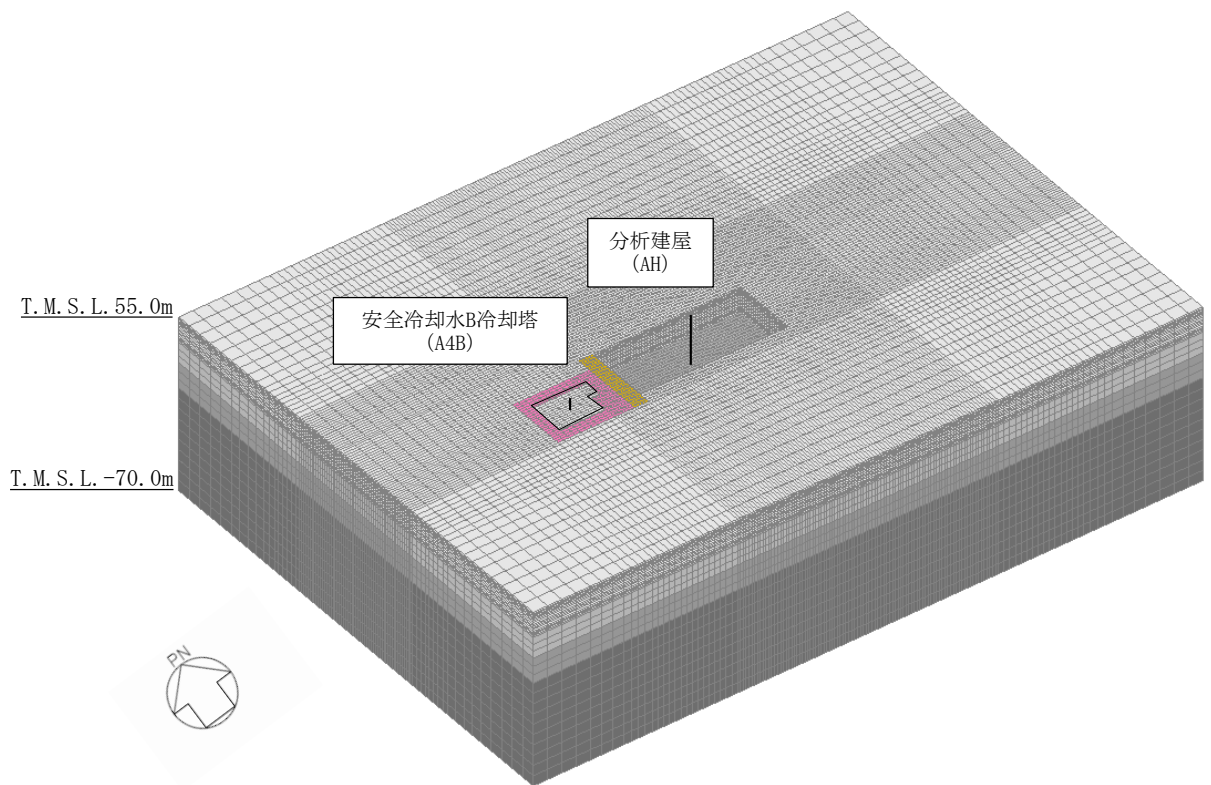
地震応答解析は、解析コード「NAPISOS Ver. 2.0」を用いる。

表 4.1-1 解析ケース一覧

解析ケース	解析モデル	モデル化する建屋
隣接	隣接モデル	・安全冷却水 B 冷却塔（A4B） ・分析建屋（AH）
A4B 単独	単独モデル	・安全冷却水 B 冷却塔（A4B）

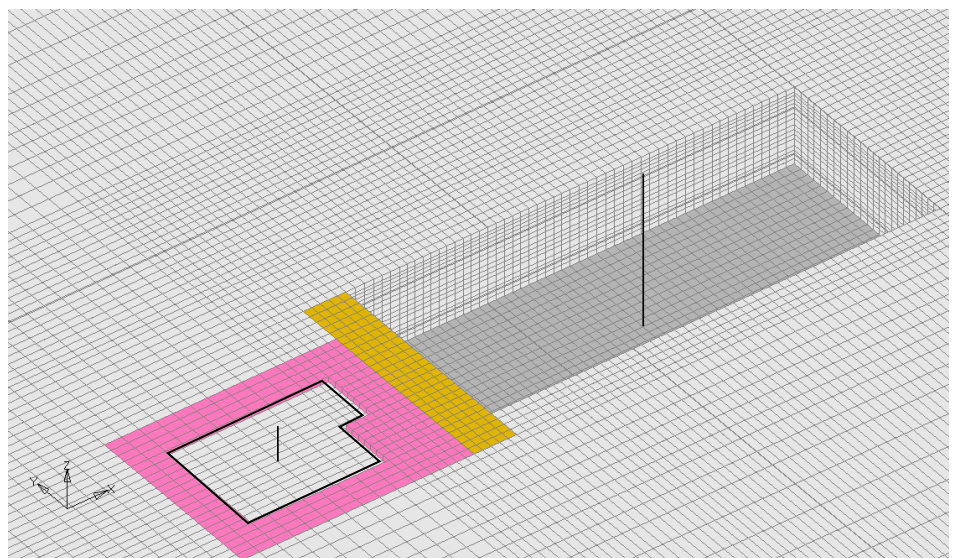


第4.1-1図 モデル化対象の建屋群の配置図



(a) 全体図

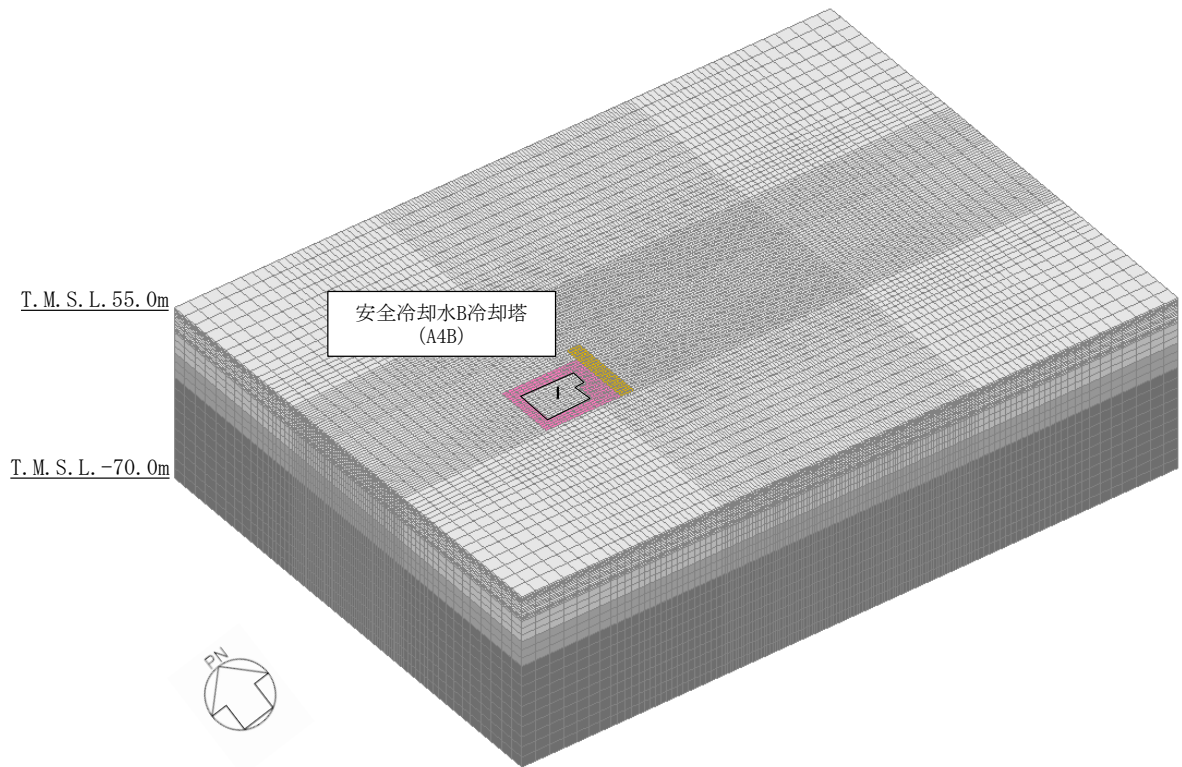
層区分	標高 T. M. S. L. (m)
鷹架層	55.00 ~ 38.05
鷹架層	38.05 ~ 22.00
鷹架層	22.00 ~ 4.00
鷹架層	4.00 ~ -70.00
埋戻し土	55.00 ~ 53.05
埋戻し土	53.05 ~ 50.03
埋戻し土	50.03 ~ 47.65
埋戻し土	47.65 ~ 46.12
埋戻し土	46.12 ~ 42.80
埋戻し土	42.80 ~ 39.32
埋戻し土	39.32 ~ 38.05
埋戻し土	38.05 ~ 36.82
改良地盤	55.00 ~ 53.05
改良地盤	53.05 ~ 50.03
改良地盤	50.03 ~ 47.65
改良地盤	47.65 ~ 46.12
改良地盤	46.12 ~ 42.80
改良地盤	42.80 ~ 39.32
改良地盤	39.32 ~ 38.05
改良地盤	38.05 ~ 36.82



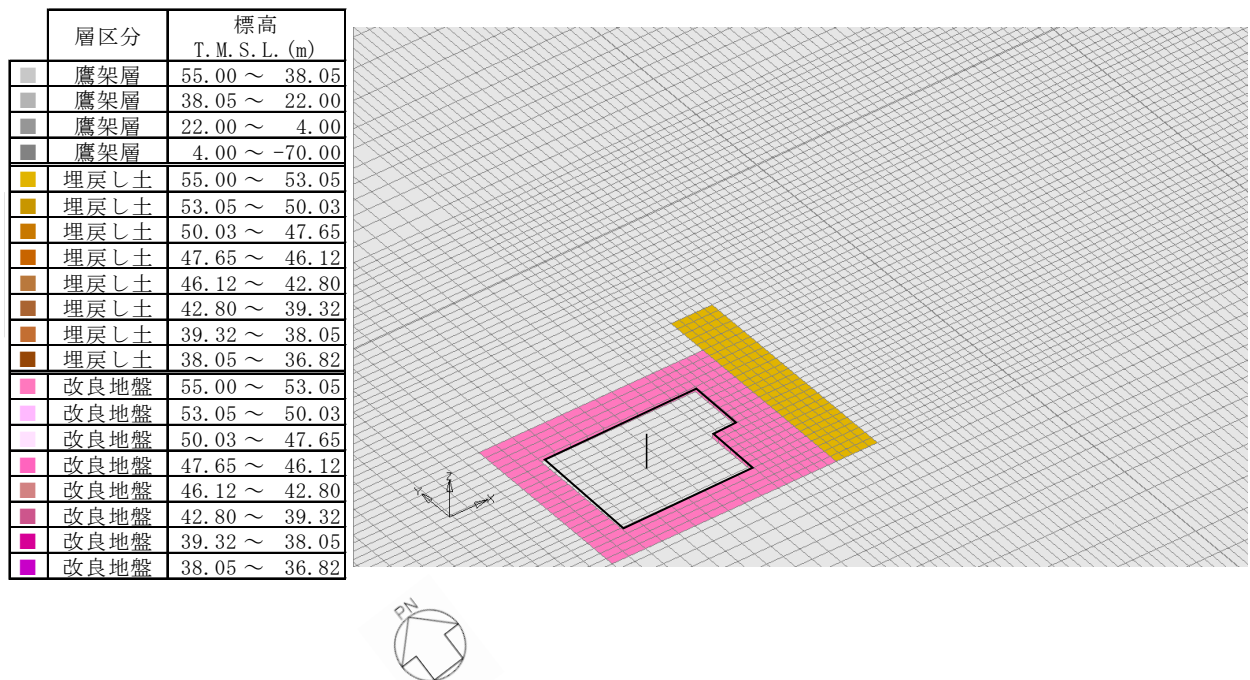
(b) 建屋周辺図

第4.1-2図 隣接モデル





(a) 全体図



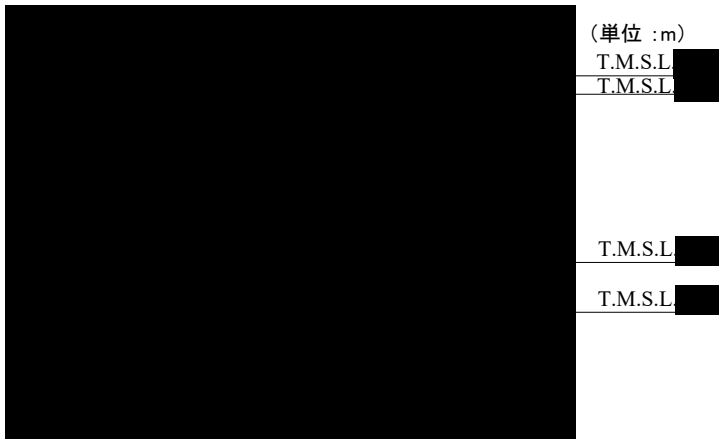
(b) 建屋周辺図

第4.1-3図 単独モデル（安全冷却水 B 冷却塔（A4B））

#### 4.1.1 建屋モデルの詳細

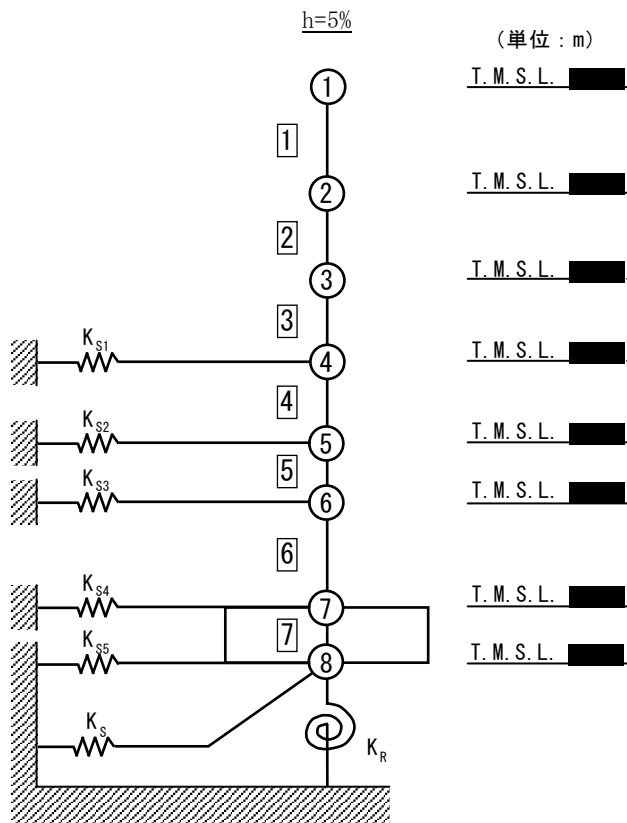
安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) 及び分析建屋 (AH) の建屋モデル図を第 4.1.1-1 図に、解析諸元を第 4.1.1-1 表及び第 4.1.1-2 表に示す。

なお、本検討の検討用地震動は、後述するとおり弾性設計用地震動  $S_d$  ( $S_d-A$ ) であることから、建屋モデル各部材の非線形特性は考慮しない。



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。  
注記 3 : 地盤ばねは剛として  
地盤と結合する。

(a) 安全冷却水 B 冷却塔 (基礎) (A4B 基礎)



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。  
注記 3 : 地盤ばねは剛として  
地盤と結合する。

(b) 分析建屋 (AH)

第 4. 1. 1-1 図 建屋モデル図

第 4.1.1-1 表 解析諸元 (NS 方向)

(a) 安全冷却水 B 冷却塔 (基礎) (A4B 基礎)

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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①							
②							
③							
④							
構築物総重量							

(b) 分析建屋 (AH)

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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①		31780	0.8	1		0.16	44.6
②		257330	45.2	2		4.43	204.9
③		182500	32.0	3		4.22	203.4
④		195400	34.3	4		4.42	215.5
⑤		164920	28.9	5		4.50	239.3
⑥		262360	46.1	6		4.52	243.4
⑦		240510	42.2	7		83.90	4791.3
⑧		162240	28.4	—	—	—	—
建物総重量		1497040	—	—	—	—	—

第 4.1.1-2 表 解析諸元 (EW 方向)

(a) 安全冷却水 B 冷却塔 (基礎) (A4B 基礎)

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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①							
②							
③							
④							
構築物総重量							

(b) 分析建屋 (AH)

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 $A_s$ ( $\text{m}^2$ )
①		31780	3.8	①		0.21	26.6
②		257330	234.3	②		44.54	404.9
③		182500	166.1	③		43.64	400.9
④		195400	177.9	④		44.01	407.1
⑤		164920	150.1	⑤		45.48	416.2
⑥		262360	238.9	⑥		47.40	428.7
⑦		240510	219.0	⑦		436.00	4791.3
⑧		162240	147.7	—	—	—	—
建屋総重量		1497040	—	—	—	—	—

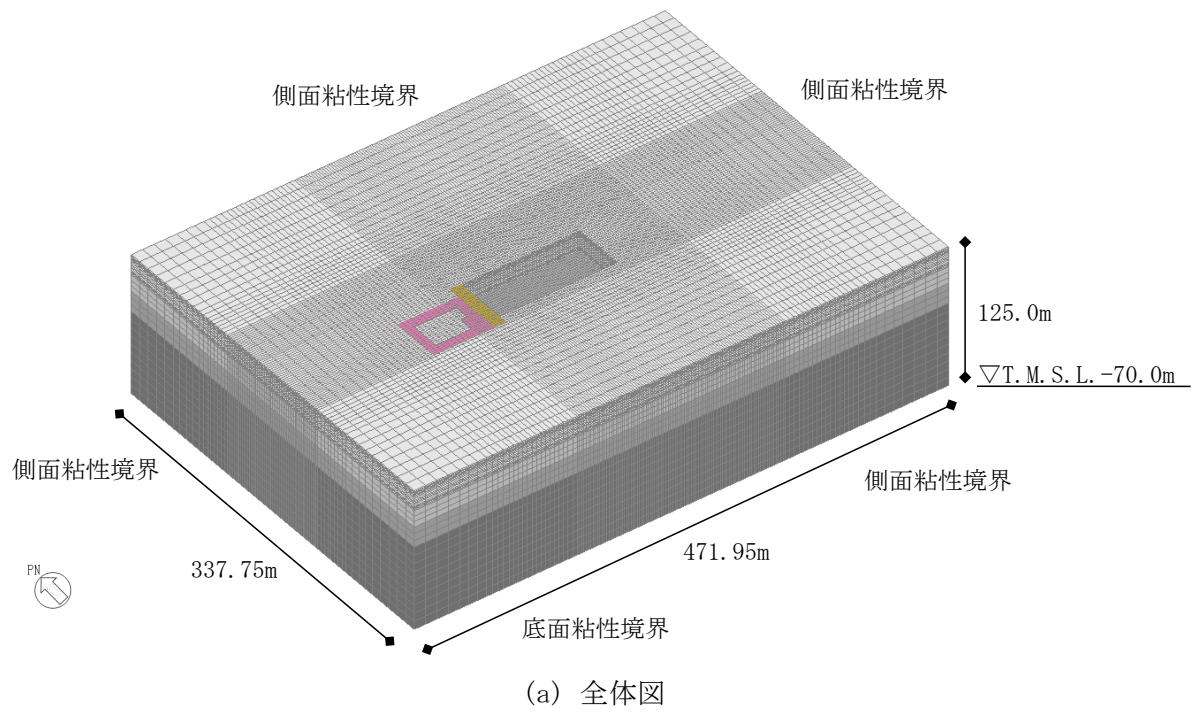
#### 4.1.2 地盤モデルの詳細

地盤モデルを第4.1.2-1図に示す。地盤はソリッド要素でモデル化し、平面的にはNS方向337.75m,EW方向471.95mの領域(各建屋の基礎底面の約3倍以上の大きさ)を、深さ方向はT.M.S.L.-70.0m(解放基盤表面)～T.M.S.L.55.0m(地表面)の領域をモデル化する。深さ方向のメッシュサイズは、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987((社)日本電気協会)」(以下、「JEAG 4601-1991 追補版」という。)を参考に、地盤のS波速度 $V_s$ に対応する波長の1/5以下を目安として設定する。

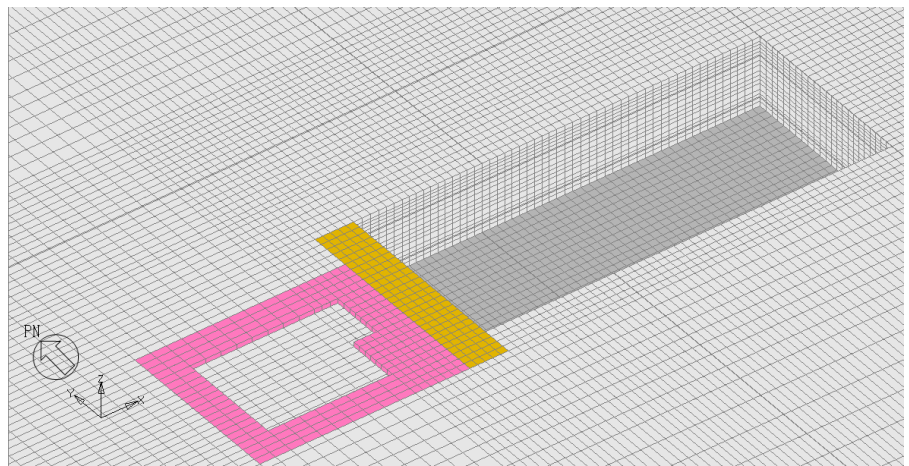
地盤モデルは、評価対象建屋である安全冷却水B冷却塔の地震応答計算書と整合するよう、鷹架層により構成される水平成層地盤とする。ただし、先行発電炉の実績を参考に、建屋周辺に分布する改良地盤及び埋戻し土を実態に即してモデル化することで、隣接建屋の影響をより精緻に評価する。

弾性設計用地震動Sd-Aにおける地盤物性を第4.1.2-1表～第4.1.2-3表に示す。地盤物性は、添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定することとし、埋戻し土及び改良地盤は、地盤のひずみ依存特性を考慮して求めた収束物性値を用いる。地盤の減衰はレーリー減衰とし、基準振動数は、4.2節で後述するように評価対象建屋の基礎底面及び地表面レベルにおける地盤の応答が一次元波動論に基づき算定した地盤の応答と一致するように設定する。

地盤の境界条件は、底面粘性境界、側方粘性境界かつ繰り返し境界とする。このとき、粘性境界付近での解析精度の低下が評価対象である構造物の基礎底面の応答に与える影響を低減させるために、「JEAG 4601-1991 追補版」を参考に評価対象である各建屋の基礎底面に比べて地盤モデルの平面サイズを十分に大きく設定している(上述のとおり約3倍以上)。



層区分	標高 T.M.S.L. (m)
鷹架層	55.00 ~ 38.05
鷹架層	38.05 ~ 22.00
鷹架層	22.00 ~ 4.00
鷹架層	4.00 ~ -70.00
埋戻し土	55.00 ~ 53.05
埋戻し土	53.05 ~ 50.03
埋戻し土	50.03 ~ 47.65
埋戻し土	47.65 ~ 46.12
埋戻し土	46.12 ~ 42.80
埋戻し土	42.80 ~ 39.32
埋戻し土	39.32 ~ 38.05
埋戻し土	38.05 ~ 36.82
改良地盤	55.00 ~ 53.05
改良地盤	53.05 ~ 50.03
改良地盤	50.03 ~ 47.65
改良地盤	47.65 ~ 46.12
改良地盤	46.12 ~ 42.80
改良地盤	42.80 ~ 39.32
改良地盤	39.32 ~ 38.05
改良地盤	38.05 ~ 36.82



第4.1.2-1図 地盤モデル

第 4.1.2-1 表 地盤物性値（自然地盤，Sd-1）

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	減衰定数 h	レーリー減衰の 基準振動数 (Hz)		
					f1	f2	
▽地表	55.0						
▽A4Bの基礎底面	18.1	660	1840	0.03	0.1	20	
38.05	18.2	760	1910				
22.0	18.2	800	1950				
鷹架層	4.0	17.8	820				1950
▽解放基礎表面	-70.0	17.0	820				1950

第 4.1.2-2 表 地盤物性値（埋戻し土，Sd-1）

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	減衰定数 h	レーリー減衰の 基準振動数 (Hz)		
					f1	f2	
▽地表	55.0						
▽A4の基礎底面	17.8	179	422	0.029	0.1	20	
53.05	17.9	181	426	0.051			
50.03	18.0	186	438	0.063			
47.65	18.0	194	456	0.068			
埋戻し土	46.12	18.1	209	492			0.068
42.80	18.2	231	543	0.066			
39.32	18.2	245	576	0.064			
38.05	18.3	253	595	0.063			
▽AHの基礎底面							
鷹架層							

第 4.1.2-3 表 地盤物性値（改良地盤，Sd-1）

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 $\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	S波速度 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (m/s)	減衰定数 h	レーリー減衰の 基準振動数 (Hz)		
					f1	f2	
▽地表	55.0						
▽A4の基礎底面	16.9	795	1580	0.0014	0.1	20	
53.05		792	1570	0.0030			
50.03		788	1560	0.0041			
改良地盤		47.65	788	1560			0.0051
46.12		784	1560	0.0061			
42.80		784	1560	0.0070			
39.32		781	1550	0.0074			
38.05		781	1550	0.0076			
▽AHの基礎底面							
鷹架層							



#### 4.1.3 建屋—地盤間の境界条件の詳細

第4.1.3-1図に建屋と地盤間の結合イメージを示す。

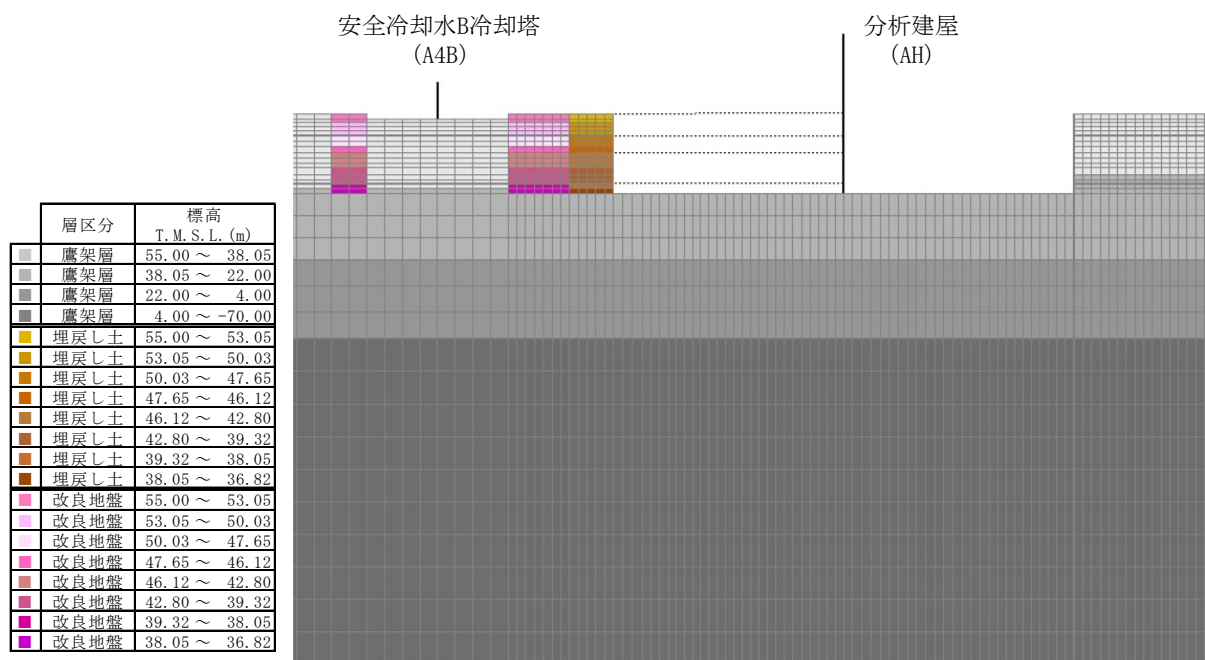
##### a. 基礎底面-底面地盤

構造物の基礎底面は剛体として考慮し、浮き上がりは考慮せず完全固着とし、基礎底面と支持地盤が同一に挙動するように結合する。

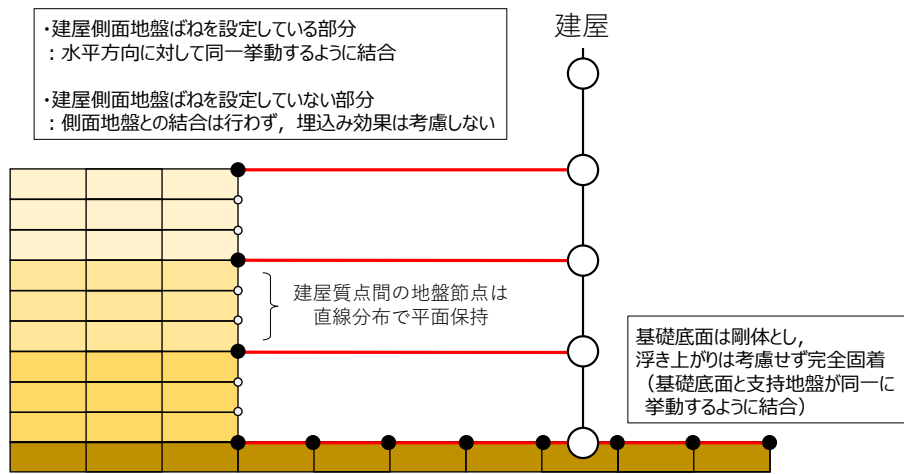
##### b. 建屋側面-側面地盤

建屋側面と側面地盤間については、建屋埋込み質点とそれと同じ高さの地盤節点（1FLの建屋質点は地表面）について、水平方向に対しては同一挙動するように結合することで、埋込み効果を考慮する。なお、鉛直方向は、建屋側面地盤ばねのうち回転ばねを考慮していないことも踏まえ、建屋質点と地盤節点が独立して挙動する設定とする。

また、分析建屋（AH）における北側の一部分及び東側については、制御建屋（AG）及び出入管理建屋（AK）が近接しており、地盤と接していないことから、当該部分については、埋込み効果を考慮せず地盤節点と結合しないこととする。



第4.1.3-1図 建屋と地盤間の結合イメージ（1/2）



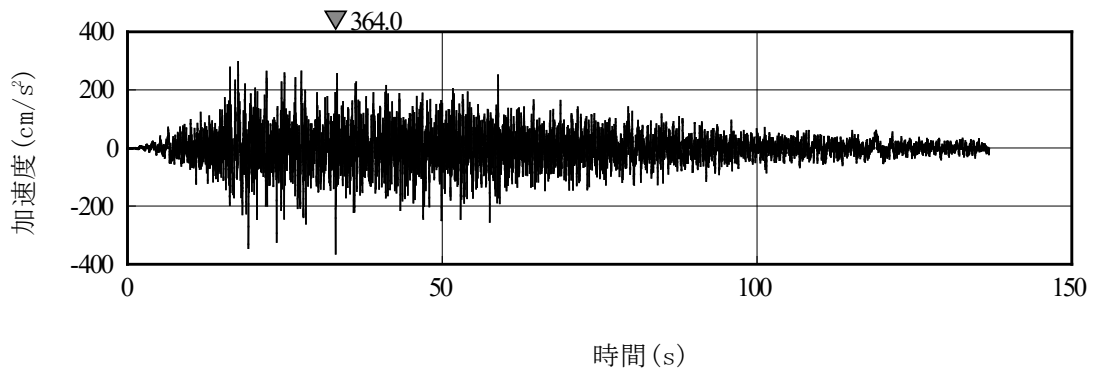
第4.1.3-1図 建屋と地盤間の結合イメージ (2/2)

#### 4.2 検討用地震動及び検討用モデルへの入力方法

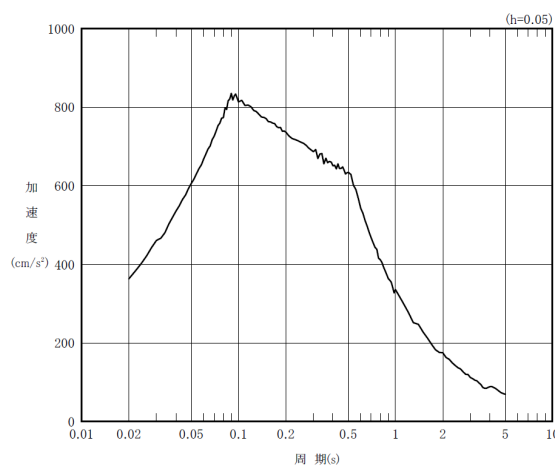
本検討は、隣接建屋の影響程度の把握を主たる検討目的としていることから、材料の非線形特性による影響を受けないよう、地震応答解析は線形解析とする。検討用地震動は、添付書類「基準地震動  $S_s$  及び弾性設計用地震動  $S_d$  の概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された弾性設計用地震動  $S_d$  のうち、卓越周期に著しい偏りがなく、継続時間が長い  $S_d$ -A を用いる。 $S_d$ -A の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトルを第 4.2-1 図及び第 4.2-2 図に示す。

検討用モデルへの入力は第 4.2-3 図に示すように、評価対象建屋である安全冷却水 B 冷却塔の基礎下位置における自由地盤の応答が、 $S_d$ -A が入射した時の一次元波動論による応答計算と等価となるように地盤 3 次元 FEM モデルの底面に入力する。なお、入力方向は、NS 方向及び EW 方向それぞれに対して行うこととする。

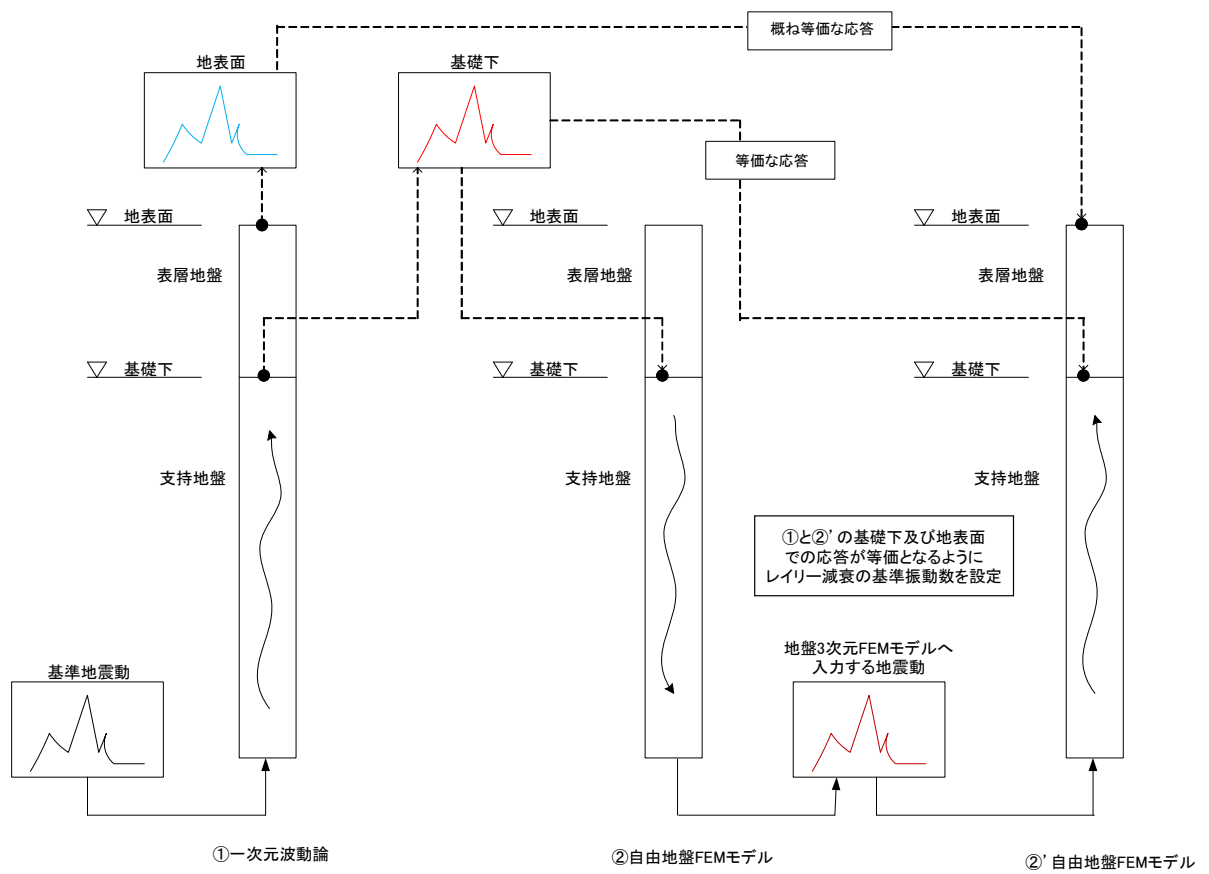
一次元波動論による入力地震動の算定には、解析コード「REFLECT Ver. 2.0」を用いる。



第 4.2-1 図  $S_d$ -A の加速度波形



第 4.2-2 図  $S_d$ -A の加速度応答スペクトル



第 4.2-3 図 地盤 3DFEM モデルへ入力する地震動の概念図

## 5. 検討結果

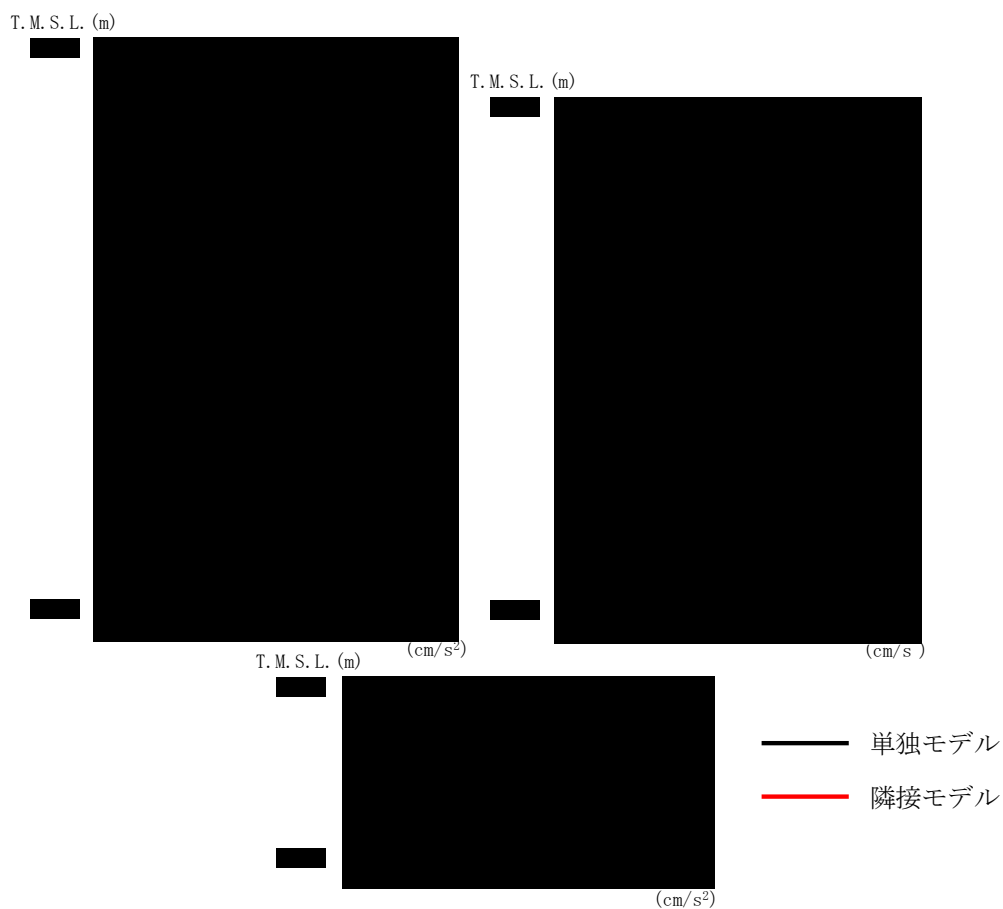
本章では、各評価対象建屋の解析結果として、最大応答値（加速度、せん断力、曲げモーメント）及び加速度応答スペクトルを示したうえで、解析結果に対する考察を行う。

### 5.1 地震応答解析結果

#### 5.1.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果

安全冷却水 B 冷却塔（A4B）の最大応答値を第 5.1.1-1 図～第 5.1.1-6 図及び第 5.1.1-1 表～第 5.1.1-6 表に示す。

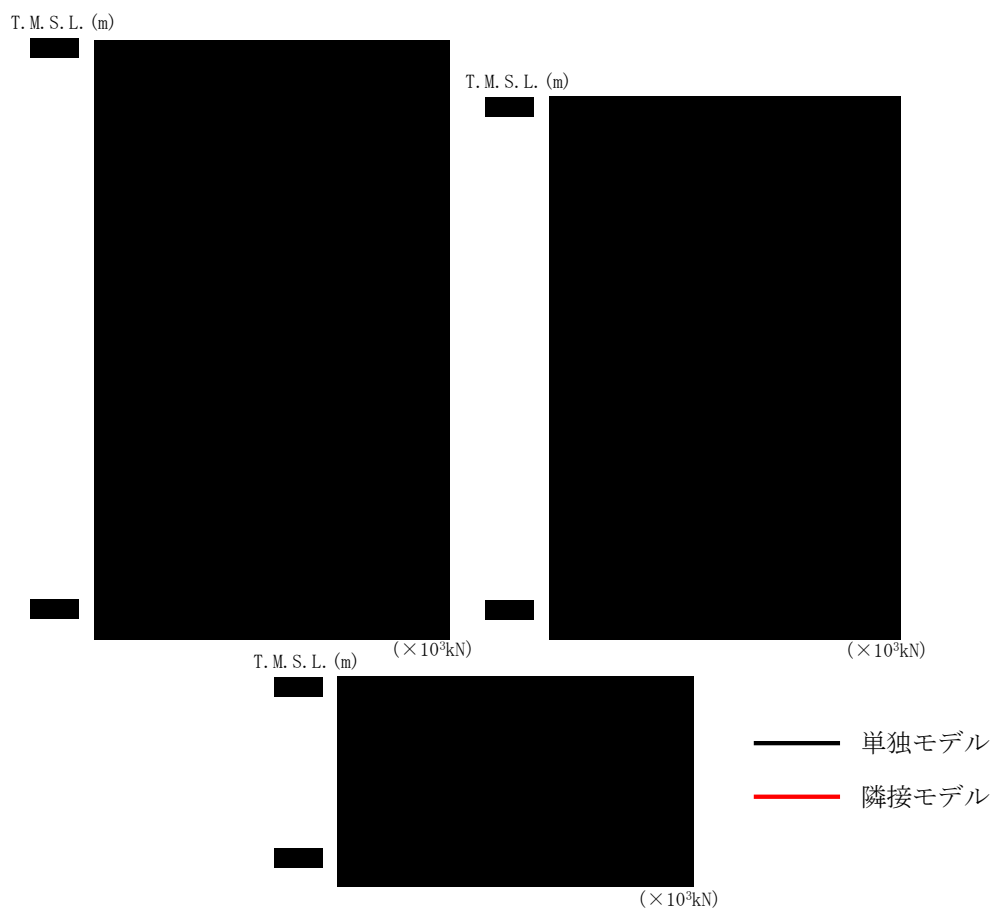
また、参考として基礎上の加速度応答スペクトルを第 5.1.1-7 図及び第 5.1.1-8 図に示す。



第5.1.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の最大応答加速度 (NS 方向)

第5.1.1-1 表 安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の最大応答加速度一覧表 (NS 方向)

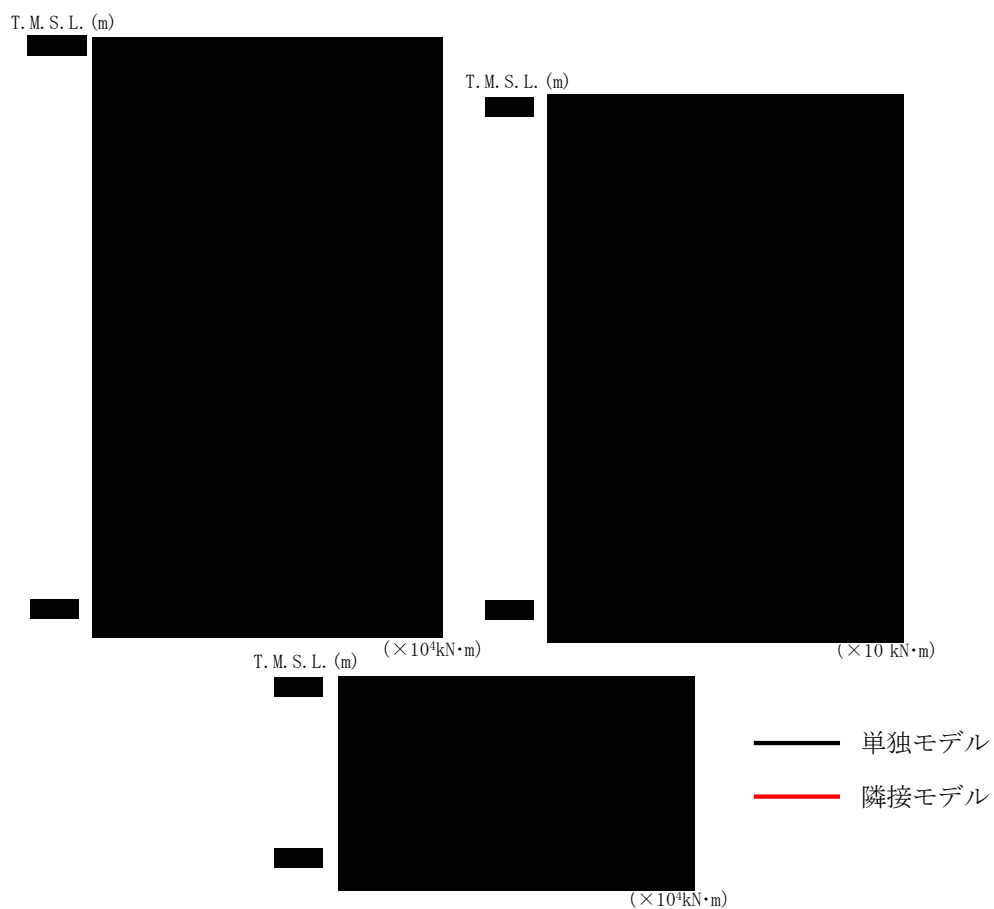
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	



第5.1.1-2 図 安全冷却水 B 冷却塔（A4B）の最大応答せん断力（NS 方向）

第5.1.1-2 表 安全冷却水 B 冷却塔（A4B）の最大応答せん断力一覧表（NS 方向）

T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力 (×10 <sup>3</sup> kN)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
[Redacted Table Content]				

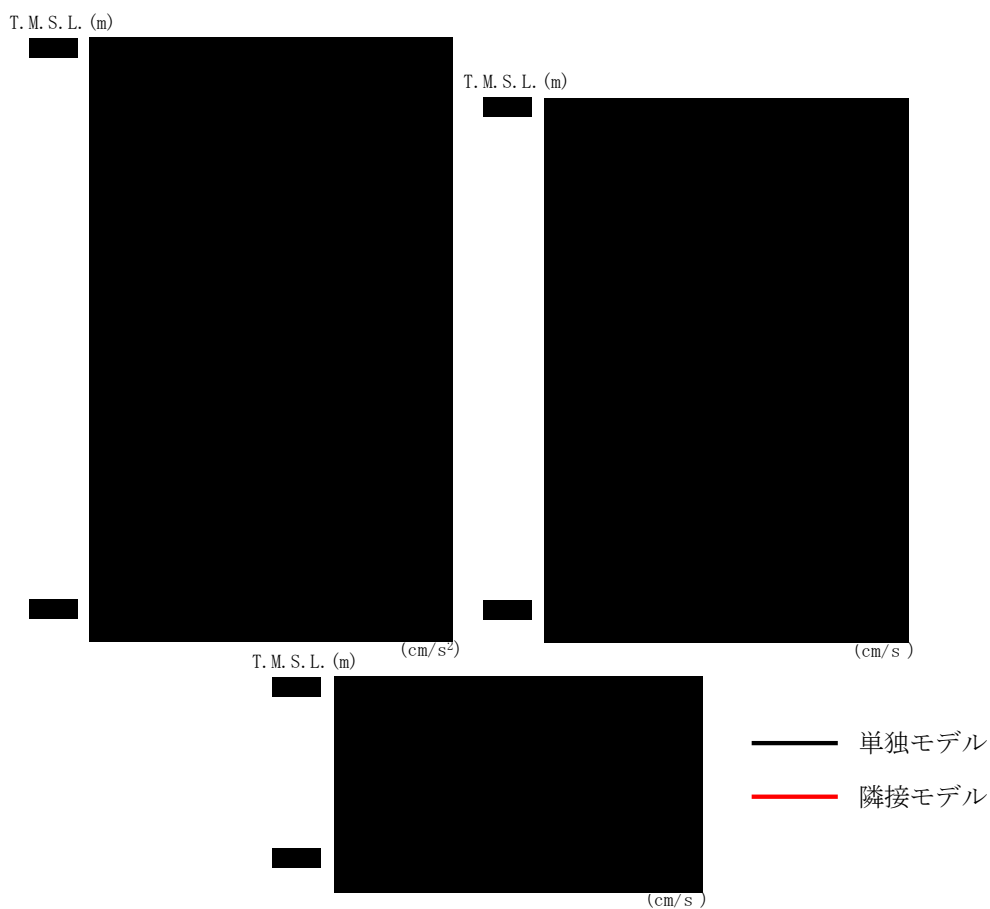


第 5. 1. 1-3 図 安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の最大応答曲げモーメント (NS 方向)

第 5. 1. 1-3 表 安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の最大応答曲げモーメント一覧表 (NS 方向)

T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント ( $\times 10^4 \text{kN}\cdot\text{m}$ )		応答比率 (②/①)
		① 単独モデル	② 隣接モデル	

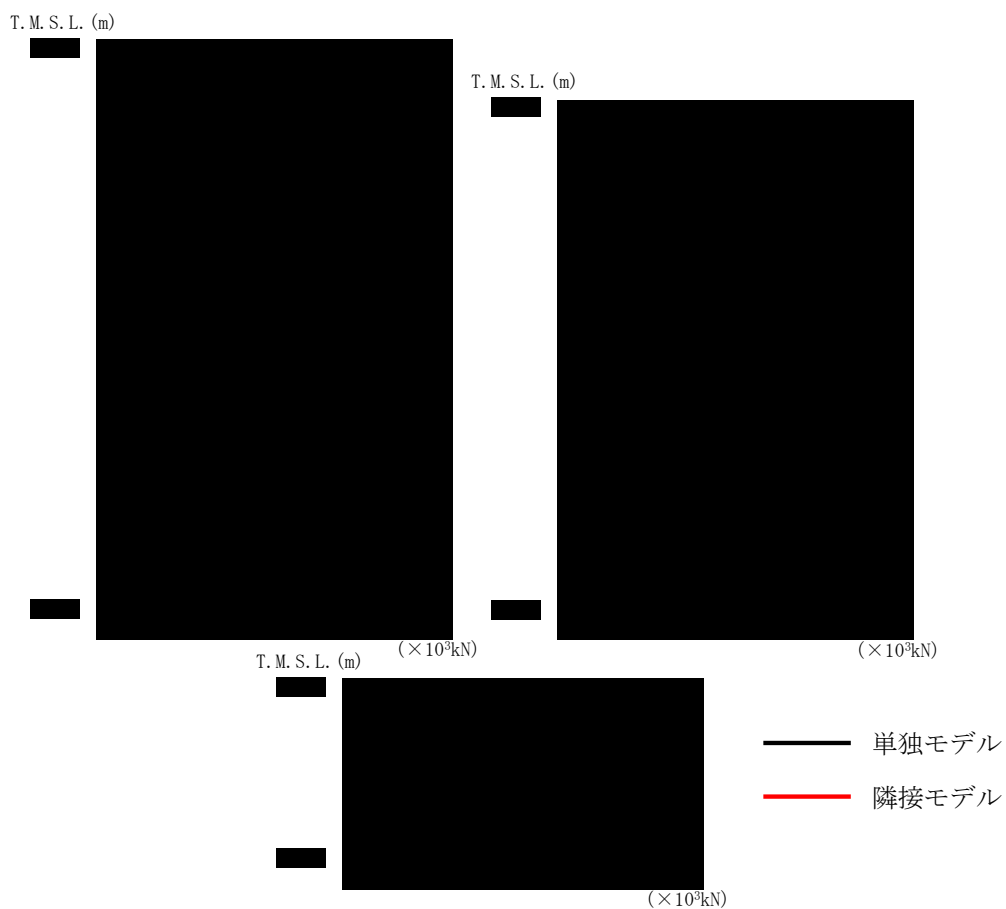




第5.1.1-4図 安全冷却水B冷却塔（A4B）の最大応答加速度（EW方向）

第5.1.1-4表 安全冷却水B冷却塔（A4B）の最大応答加速度一覧表（EW方向）

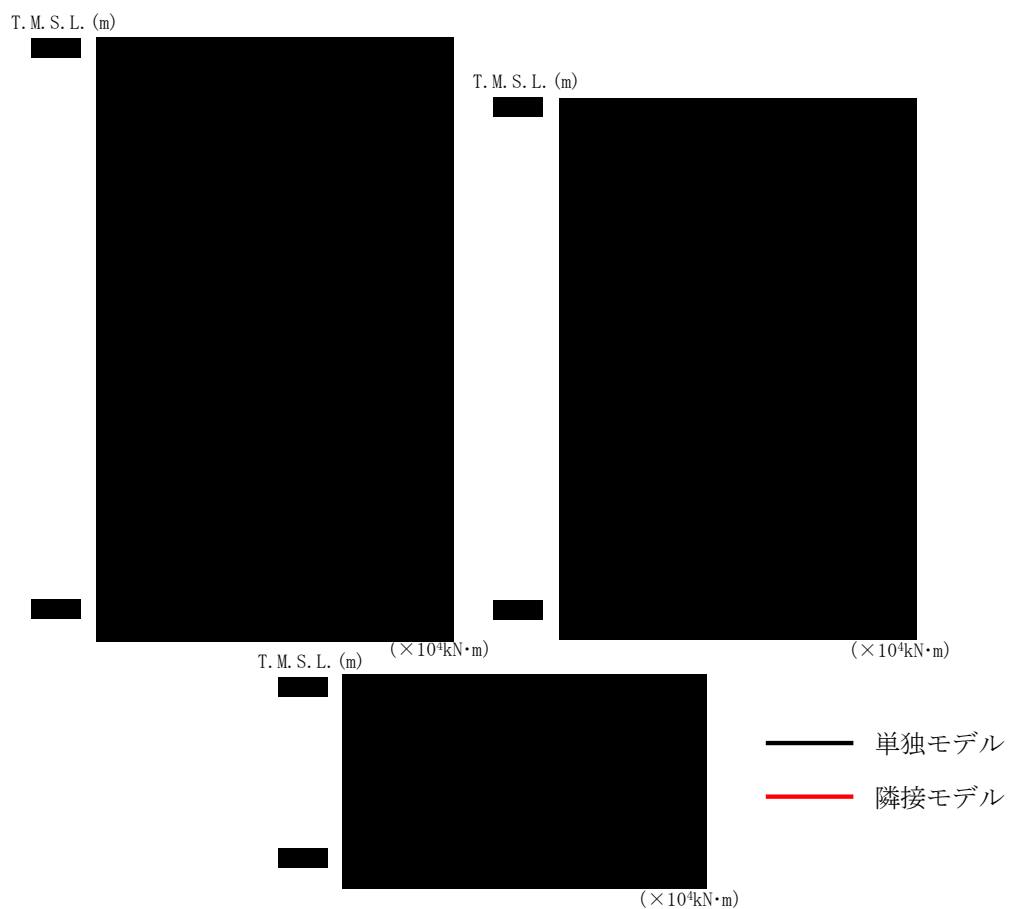
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
[Redacted Data]				



第5.1.1-5 図 安全冷却水 B 冷却塔（A4B）の最大応答せん断力（EW 方向）

第5.1.1-5 表 安全冷却水 B 冷却塔（A4B）の最大応答せん断力一覧表（EW 方向）

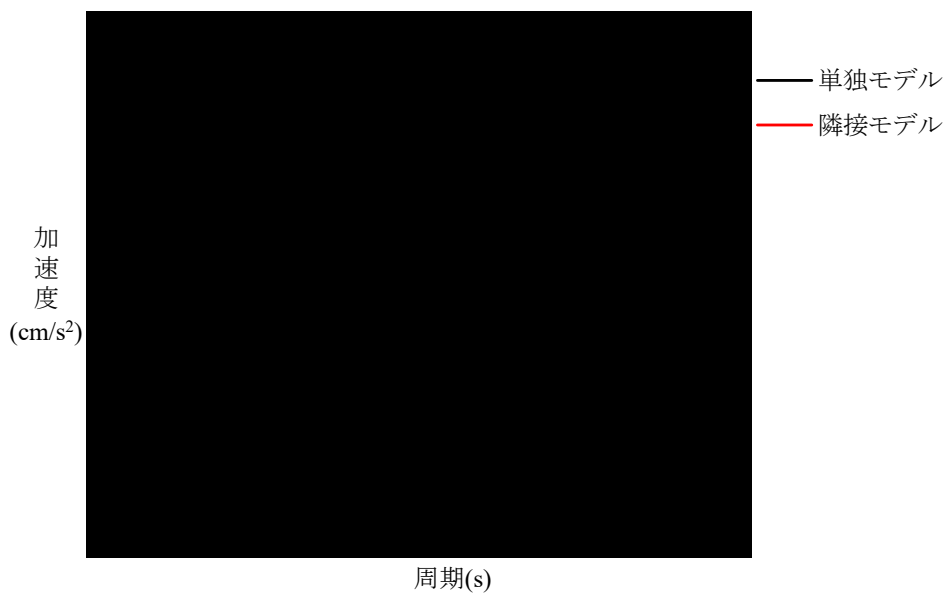
T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答せん断力(×10 <sup>3</sup> kN)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	



第 5. 1. 1-6 図 安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の最大応答曲げモーメント (EW 方向)

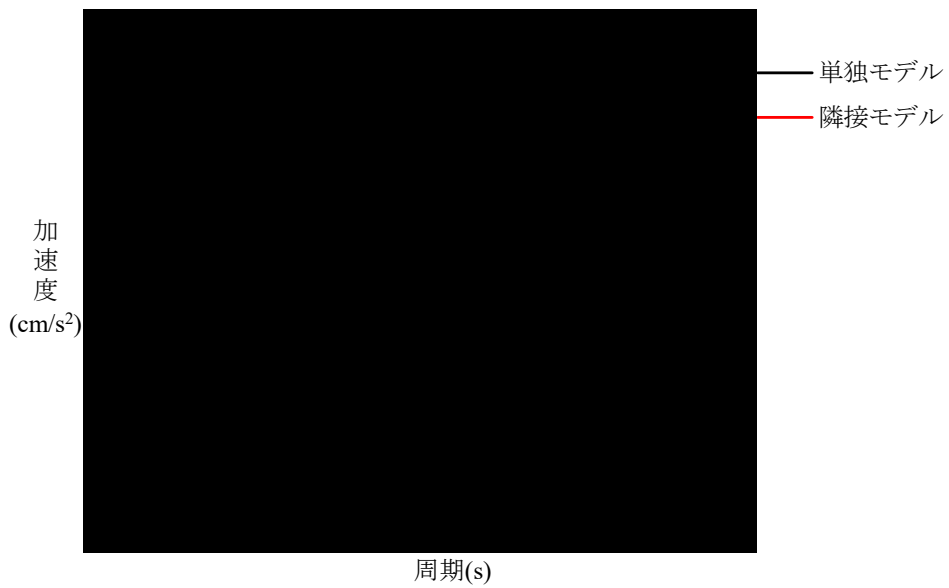
第 5. 1. 1-6 表 安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の最大応答曲げモーメント一覧表 (EW 方向)

T. M. S. L. (m)	要素番号	最大応答曲げモーメント (×10 <sup>4</sup> kN・m)		応答比率 (②/①)
		①単独モデル	②隣接モデル	
[Redacted Data]				



(a) T. M. S. L. [redacted] m

第5.1.1-7 図 安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の加速度応答スペクトル (NS 方向)

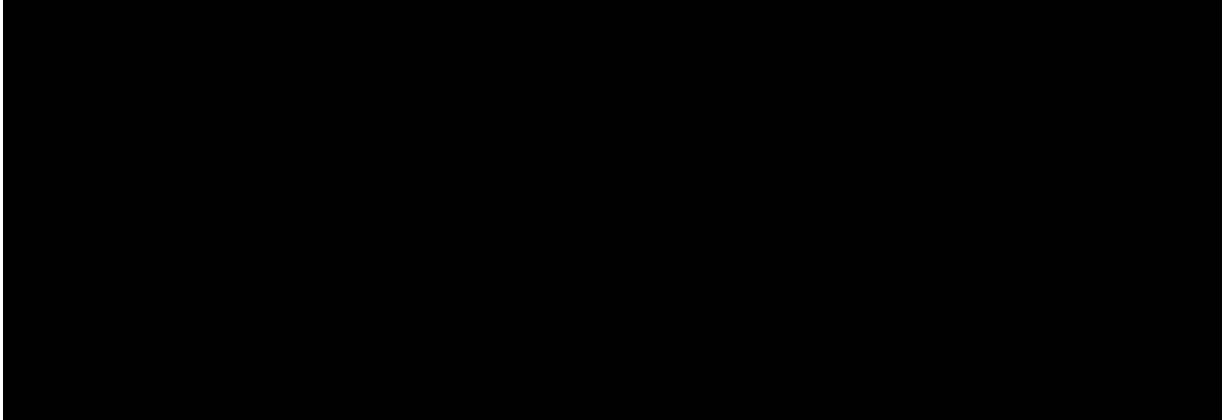


(a) T. M. S. L. [redacted] m

第5.1.1-8 図 安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の加速度応答スペクトル (EW 方向)

5.2 解析結果に対する考察

5.2.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果に対する考察



### 5.3 耐震評価結果

水平方向の地震力の影響を受ける評価対象部位について、以下のとおり隣接建屋の影響評価を示す。

#### 5.3.1 安全冷却水 B 冷却塔（基礎）の耐震評価への影響確認結果

安全冷却水 B 冷却塔（基礎）の検討対象部位は、第 3.-1 表で整理したとおり、耐震壁、地盤（接地圧）、基礎スラブ及び S クラスの壁である。以下(1)～(4)に、安全冷却水 B 冷却塔（基礎）の耐震評価への影響確認結果を示す。

##### (1) 地盤（接地圧）

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted] 第 5.3.1-1 表に応答比率及び割増係数を示す。

第 5.3.1-1 表より [Redacted]

[Redacted]

##### (2) 基礎スラブ

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted] 第 5.3.1-2 表に応答比率及び割増係数を示す。

第 5.3.1-2 表より, [Redacted]

[Redacted]

[Redacted] 第 5.3.1-3 表より, [Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

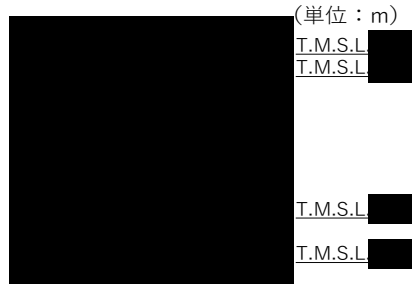
第5.3.1-1表 基礎下端における最大応答曲げモーメント  
の応答比率及び割増係数（地盤（接地圧））

方向	T. M. S. L. (m)	要素 番号	最大応答曲げモーメント ( $\times 10^4 \text{kN}$ ) ※ <sup>1</sup>		応答比率 ※ <sup>2</sup> (②/①)	割増係 数 ※ <sup>3</sup>	割増係数を 乗じた評価 の要否
			①単独モデ ル	②隣接モデ ル			
NS							
EW							

※<sup>1</sup>：網掛けは最大値を示す。

※<sup>2</sup>：少数第4位を保守的に切上げ

※<sup>3</sup>：応答比率が1.000を超えない場合は1.000とする



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。



第5.3.1-2表 基礎スラブ直上の最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント  
の応答比率及び割増係数（基礎スラブ）

方向	T. M. S. L. (m)	要素 番号	応力	①単独 モデル	②隣接 モデル	応答 比率 <sup>※2</sup> (②/①)	割増係 数 <sup>※3</sup>	割増係数 を乗じた 評価の 要否
NS	[Redacted]							
EW	[Redacted]							

※1：網掛けは最大値を示す。

※2：少数第4位を保守的に切上げ

※3：応答比率が1.000を超えない場合は1.000とする

(単位：m)  
 T.M.S.L.   
 T.M.S.L.   
  
 T.M.S.L.   
 T.M.S.L. 

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。



第 5.3.1-3 表 基礎スラブの評価結果  
 (1) 軸力及び曲げモーメントに対する評価

方向	発生曲げモーメント (kN・m/m)	許容値 (kN・m/m)	① 検定比	② 割増係数	①×② 検定比※	判定
EW						

※：有効数字 3 桁表記（4 桁目を保守的に切り上げ）

(2) 面外せん断力に対する評価

方向	発生面外せん断力 (kN・m/m)	許容値 (kN・m/m)	① 検定比	② 割増係数	①×② 検定比※	判定
EW						

※：有効数字 3 桁表記（4 桁目を保守的に切り上げ）

6. まとめ

