

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 06 <u>R9</u>
提出年月日	令和 4 年 <u>7</u> 月 <u>14</u> 日

## 設工認に係る補足説明資料

### 耐震設計の基本方針に関する

### 隣接建屋の影響に関する検討

- 1：文章中の下線部は R8 から R9 への変更箇所を示す。
- 2：本資料（R9）は，4 月 6 日に提示した「耐震建物 06 隣接建屋の影響に関する検討（R8）」に対し，ヒアリングにおける指摘事項を踏まえ，記載内容を見直したものである。
- 3：文章中の □ 囲い部は後次回以降申請の建物・構築物に係る事項である。

## 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 を用いた検討	28
3.1 検討方針	28
3.1.1 モデル化対象の建屋群	29
3.1.2 解析モデルの設定	34
3.1.3 検討用地震動の設定	35
3.2 検討対象部位及び検討方法	36
3.2.1 検討対象部位	36
3.2.2 耐震壁の検討方法	37
3.2.3 地盤（接地圧）の検討方法	40
3.2.4 基礎スラブの検討方法	41
3.2.5 S クラスの壁及び床の検討方法	41
3.2.6 屋根鉄骨及び屋根トラスの検討方法	41
3.3 検討結果の概要	42
3.3.1 地震応答解析結果の概要	42
3.3.2 応答比率を用いた検討結果の概要	46
4. まとめ	48

■ : 商業機密の観点から公開できない箇所

## 1. 概要

本資料は、再処理施設及び MOX 燃料加工施設に対する、第 1 回設工認申請（令和 2 年 1 2 月 2 4 日申請）のうち、以下に示す建物・構築物（本資料においては、建物及び屋外機械基礎とし、洞道、竜巻防護対策設備及び排気筒は含まない。\*）（以下、「建物・構築物」という。）の隣接建屋に関する影響評価結果を補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-2-4-2 隣接建屋に関する影響評価結果」のうち「IV-2-4-2-1-1-1-1 安全冷却水 B 冷却塔基礎の隣接建屋に関する影響評価結果」
- ・MOX 燃料加工施設 添付書類「III-2-4-2 隣接建屋に関する影響評価結果」のうち「III-2-4-2-1-1-1-1 燃料加工建屋の隣接建屋に関する影響評価結果」

なお、本資料で示す内容については、今回申請対象以外の再処理施設、MOX 燃料加工施設、廃棄物管理施設に関わる建物・構築物に対しても適用するものである。

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

当社事業所は、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。

以上を踏まえ、設工認添付書類においては、『建屋の設置状況を踏まえ、隣接建屋が建物・構築物の応答性状及び機器・配管系へ及ぼす影響については、地盤 3 次元 FEM モデルによる解析に基づき評価する。』こととし、隣接建屋の影響に関する評価方針を添付書類「耐震設計の基本方針」のうち、「地震応答解析の基本方針」に記載するとともに、影響評価結果については添付書類「隣接建屋に関する影響評価結果」に示す。

本資料では、添付書類「隣接建屋に関する影響評価結果」のうち、「建物及び屋外機械基礎」を補足説明するものとして、隣接建屋の影響評価に関する既往の知見の整理、再処理施設等の建物・構築物における FEM を用いた検討の共通の検討方針、検討方法及び検討結果の概要を示す。

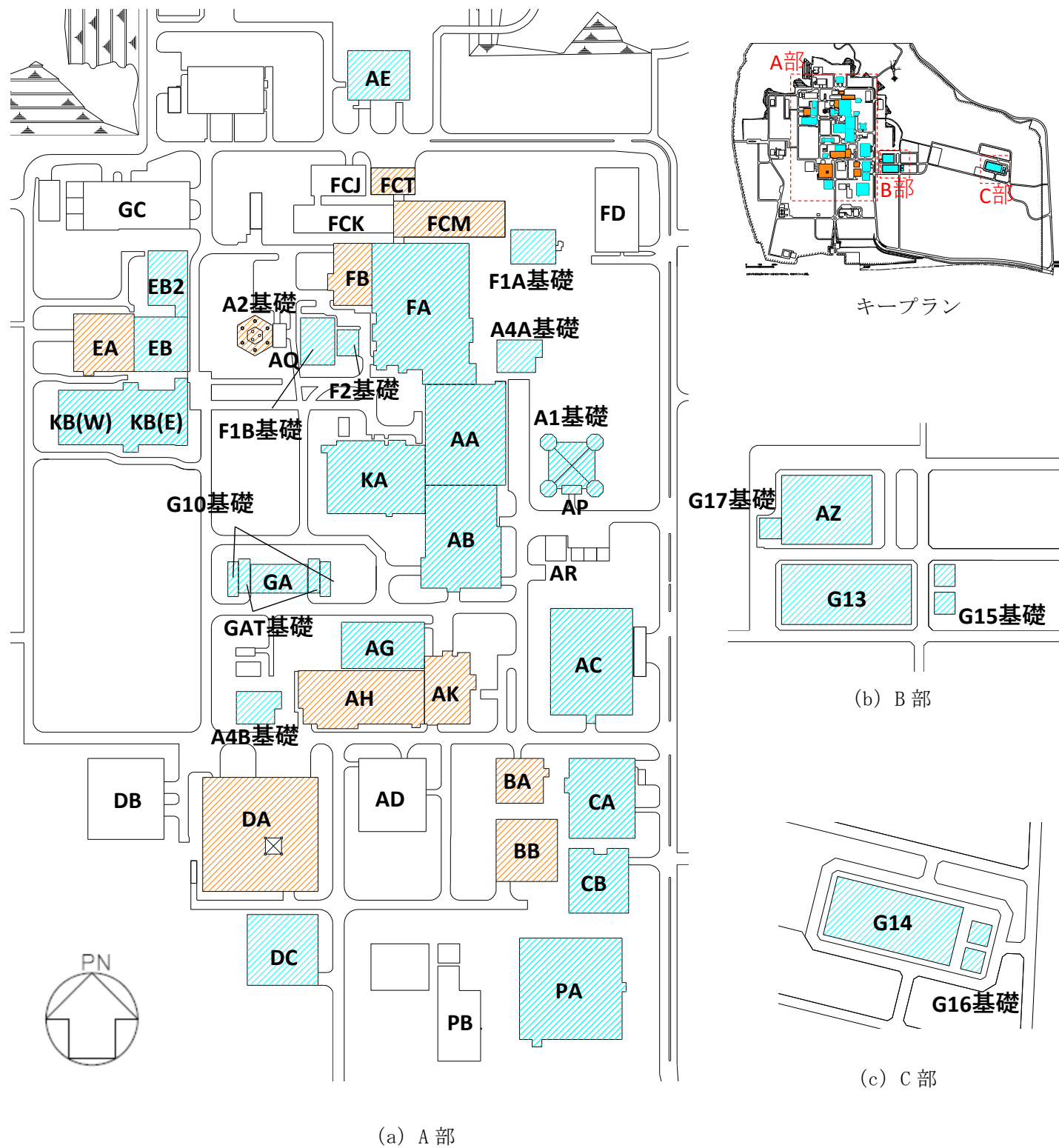
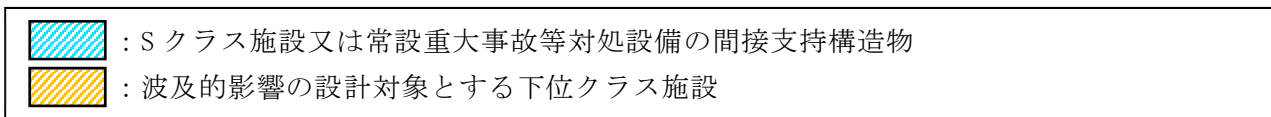
本資料の構成を第 1.-2 図に示す。

本資料の本文では、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・構築物における FEM を用いた検討として、その共通の検討方針、検討方法及び検討結果の概要を示す。なお、各建物・構築物における検討内容の詳細については、添付書類「隣接建屋に関する影響評価結果」のうち、「建物及び屋外機械基礎」に示し、解析条件及び解析結果の補足事項は別紙 2 に示す。後次回以降申請を実施する建物・構築物については、各申請回次に検討結果を提示する。

また、隣接建屋の影響に関する検討として、機器・配管系の評価への影響については、隣接建屋の影響を考慮した地震応答解析より得られる床応答に基づき、添付書類「隣接建屋に関する影響評価結果」のうち、「機器・配管系」で検討結果を示すとともに、「耐震機電 21 隣接建屋の影響に対する影響評価について」で同添付書類の補足説明を行う。

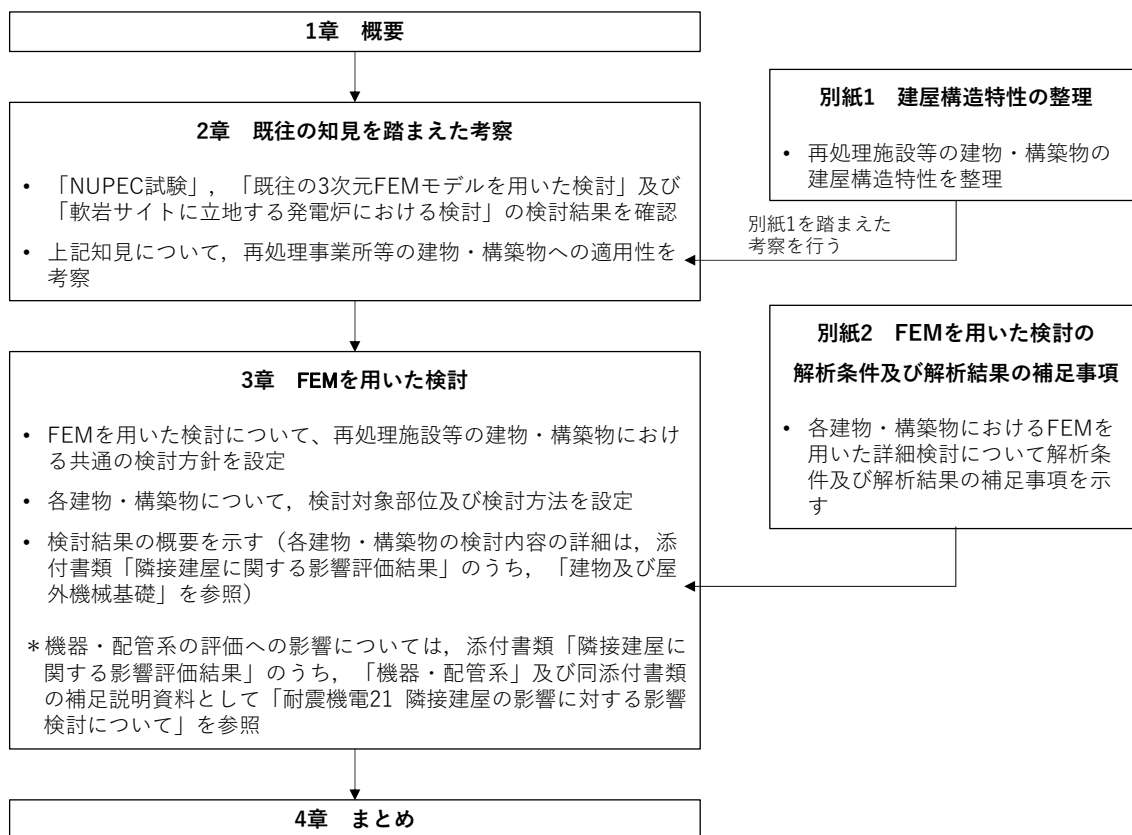




建物・構築物名称	
前処理建屋	AA
分離建屋	AB
精製建屋	AC
低レベル廃液処理建屋	AD
ハル・エンドピース貯蔵建屋	AE
制御建屋	AG
分析建屋	AH
出入管理建屋	AK
主排気筒管理建屋	AP
北換気筒管理建屋	AQ
試薬建屋	AR
緊急時対策建屋	AZ
主排気筒 (基礎)	A1基礎
北換気筒 (基礎)	A2基礎
安全冷却水A冷却塔 (基礎)	A4A基礎
安全冷却水B冷却塔 (基礎)	A4B基礎
ウラン脱硝建屋	BA
ウラン酸化物貯蔵建屋	BB
ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋	CA
ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋	CB
低レベル廃棄物処理建屋	DA
第2低レベル廃棄物貯蔵建屋	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 本資料の構成

## 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。

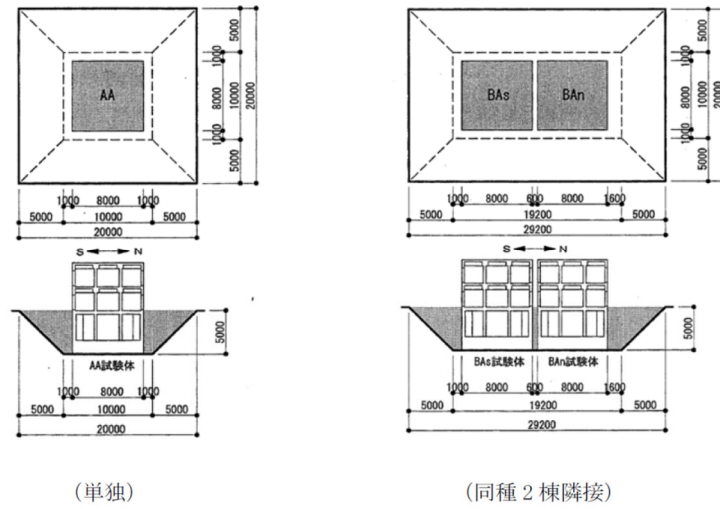
#### 2.1.1 試験概要

「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。

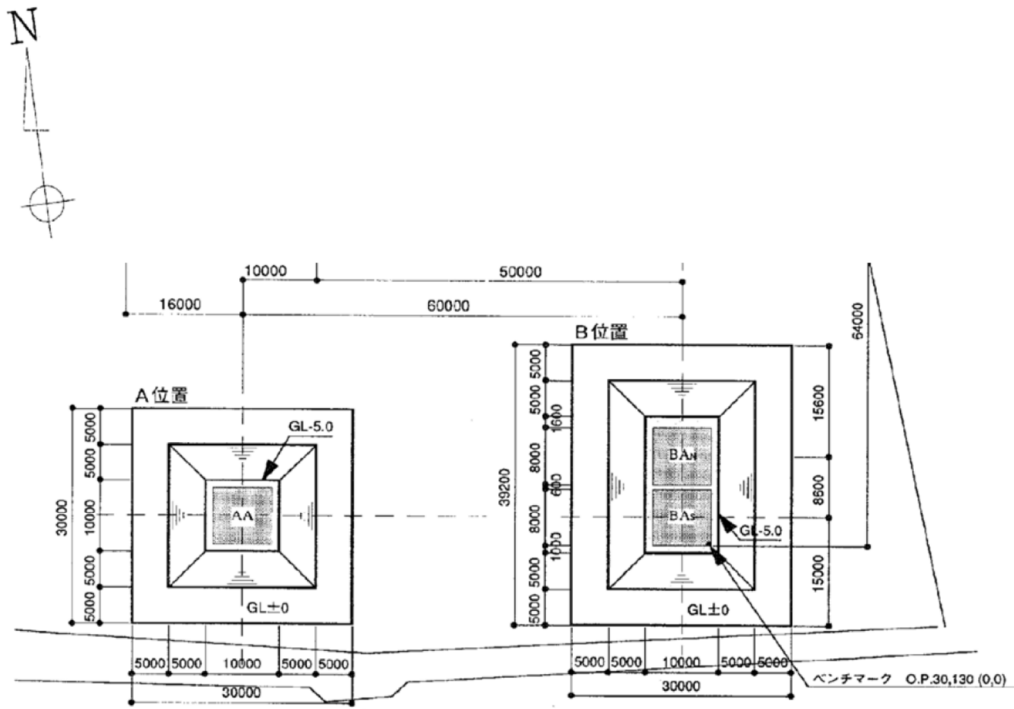
試験においては、単独で設置された建屋試験体及び同種 2 棟の建屋を隣接させた試験体(以下「試験体(単独)」及び「試験体(同種 2 棟隣接)」という)を用いて、地震観測が実施されている。

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。

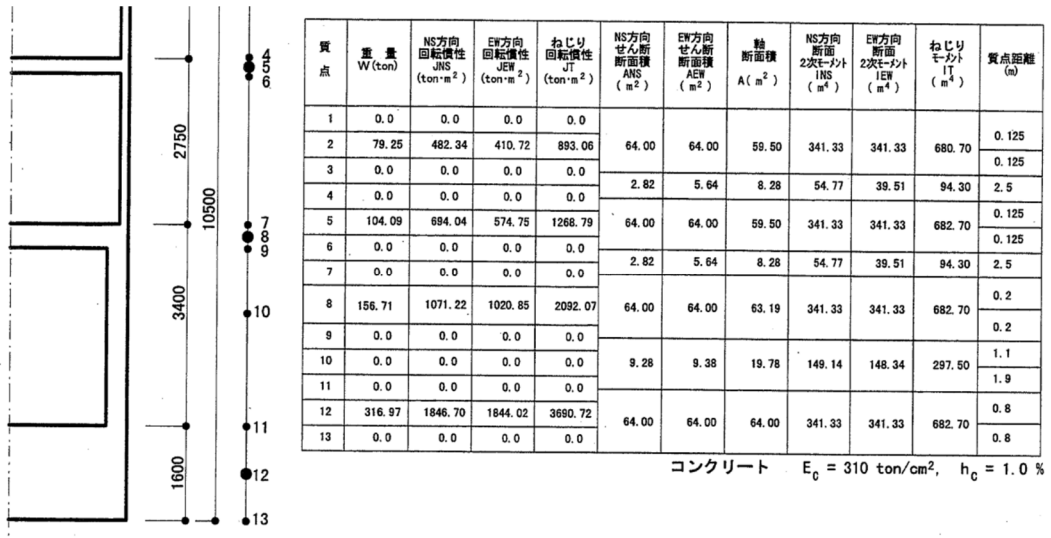
試験体の概要を第 2.1.1-1 図に、試験体配置図を第 2.1.1-2 図に、試験体建屋諸元を第 2.1.1-3 図に、試験体内の加速度計配置図を第 2.1.1-4 図に、検討ケースを第 2.1.1-1 表にそれぞれ示す。



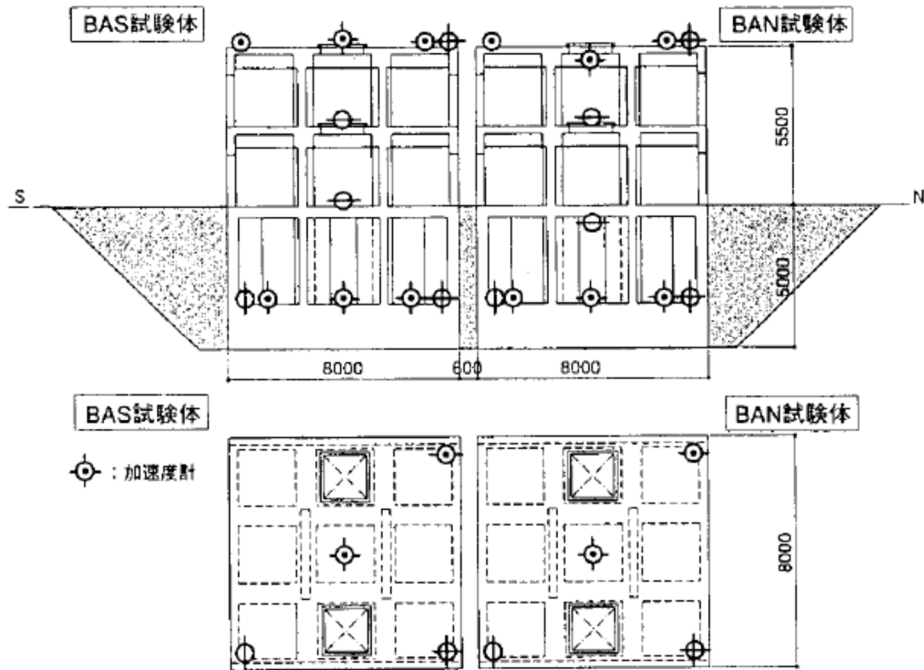
第 2.1.1-1 図 試験体の概要<sup>1)</sup>



第 2.1.1-2 図 試験体配置図<sup>1)</sup>




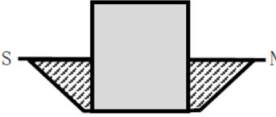


第 2.1.1-3 図 試験体建屋諸元<sup>1)</sup>



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

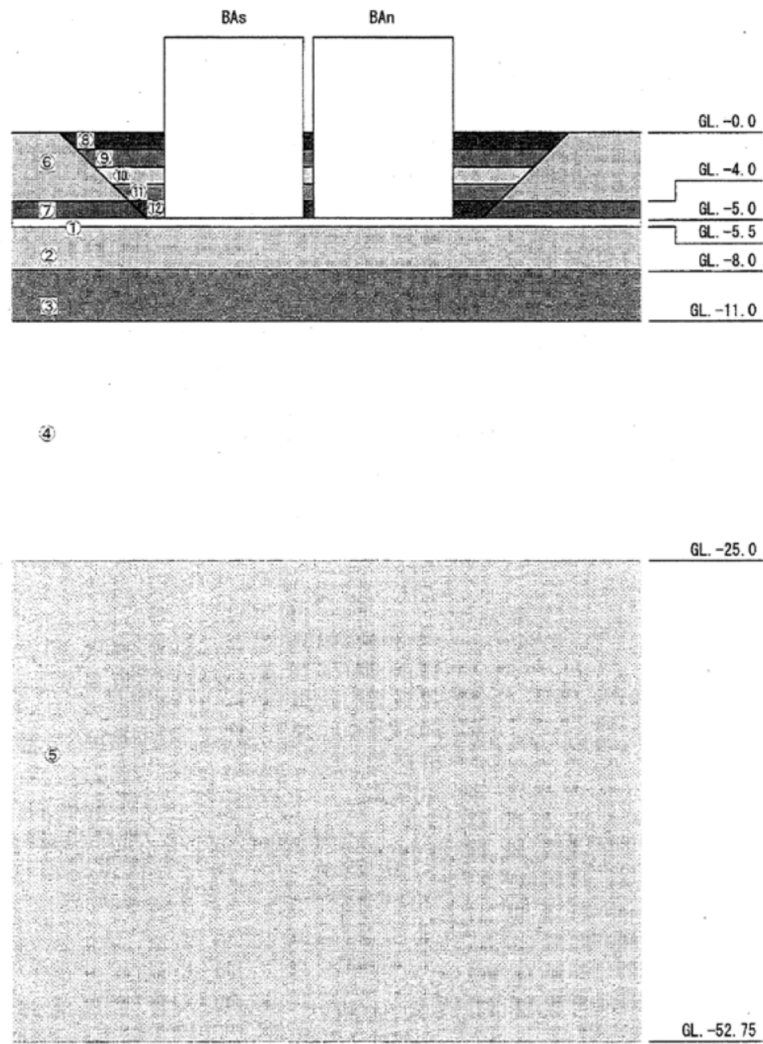
試験体	埋込み無し	埋込み有り
単独		
同種 2 棟隣接		

### 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>



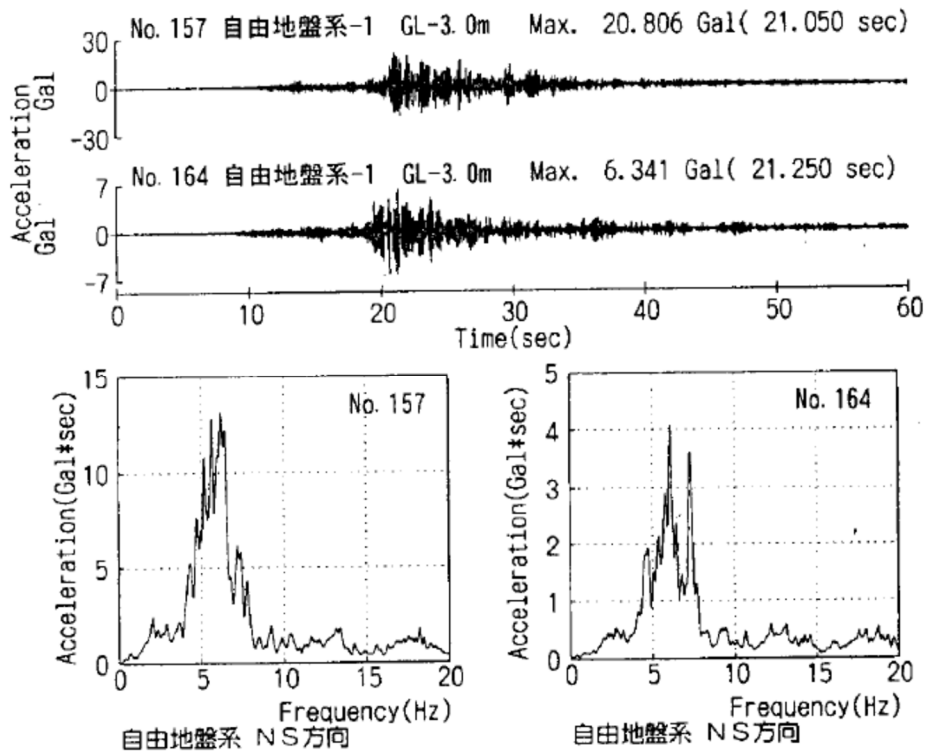
### 2.1.3 地震観測記録

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



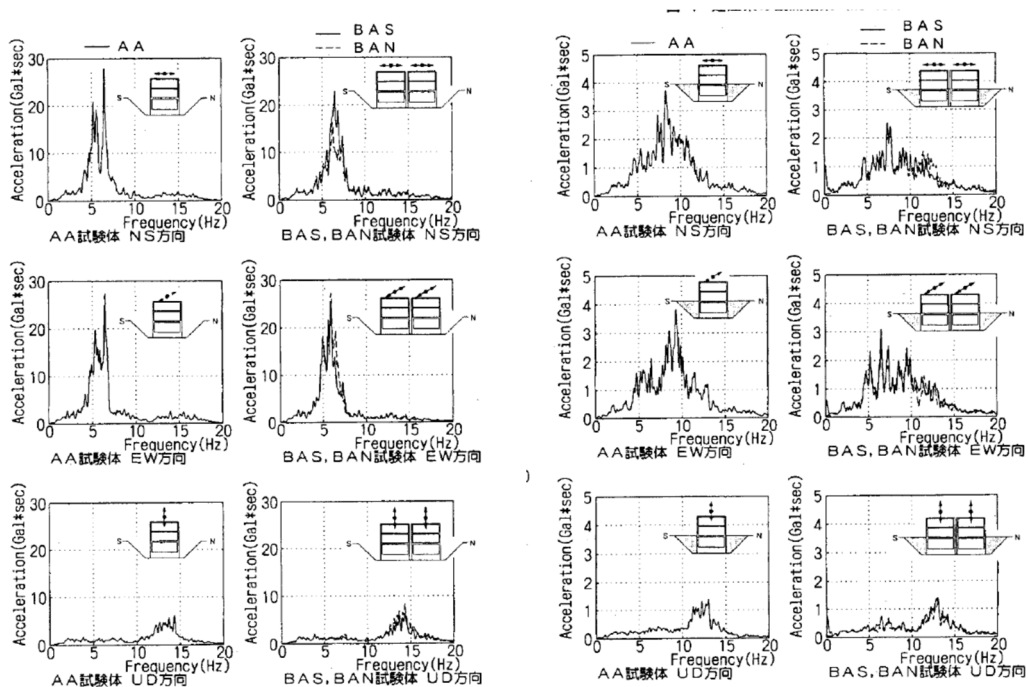
第2.1.3-1図 地震観測記録の自由地盤での加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトル<sup>2)</sup>

### 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。

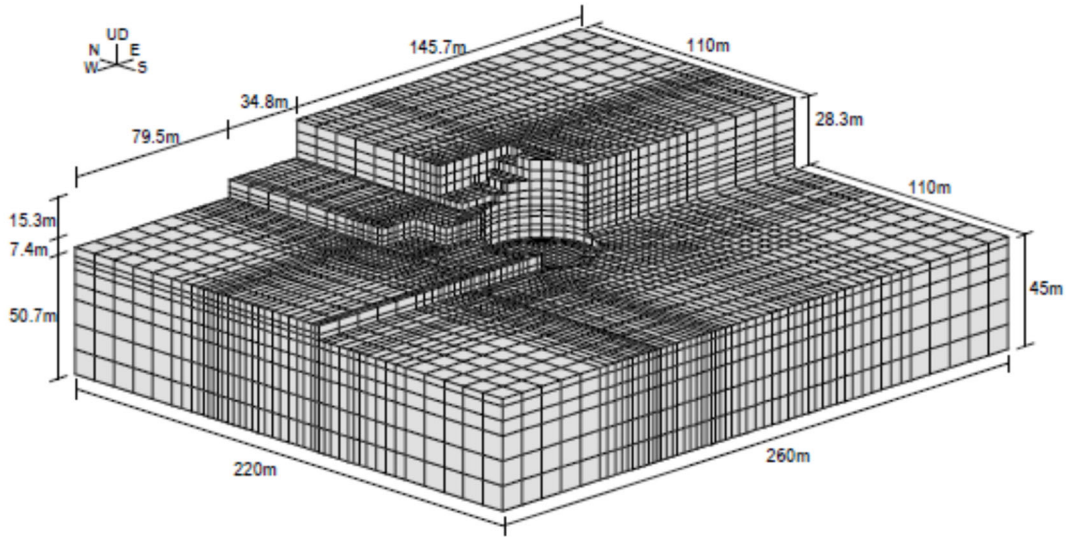
### 2.2.1 検討概要

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。

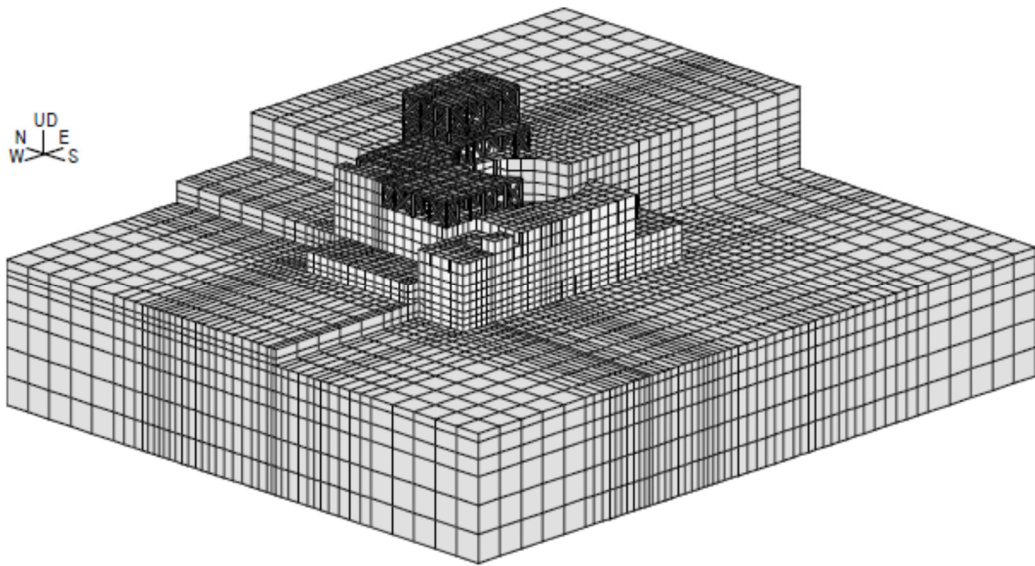
なお、本検討は $V_s=1,650\text{m/s}$ の硬質な岩盤に直接支持される原子力施設を対象に実施されている。

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)

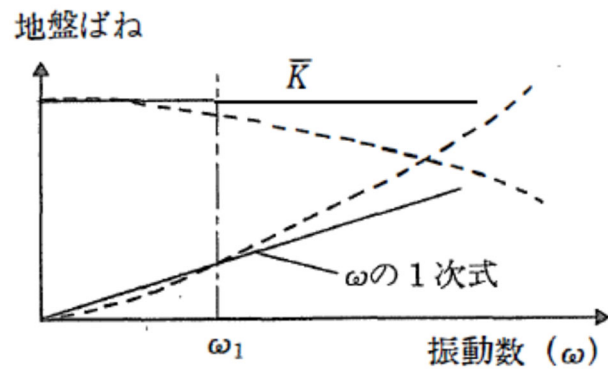


(a) 隣接建屋非考慮



(b) 隣接建屋考慮

第 2.2.1-1 図 3次元 FEM モデル<sup>3)</sup>

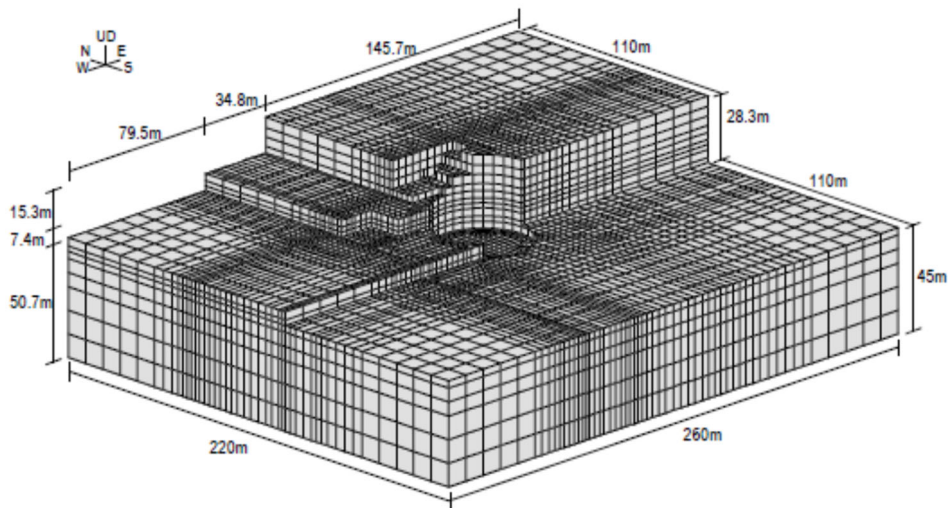


第 2.2.1-2 図 地盤ばねの近似<sup>4)</sup>

### 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）。



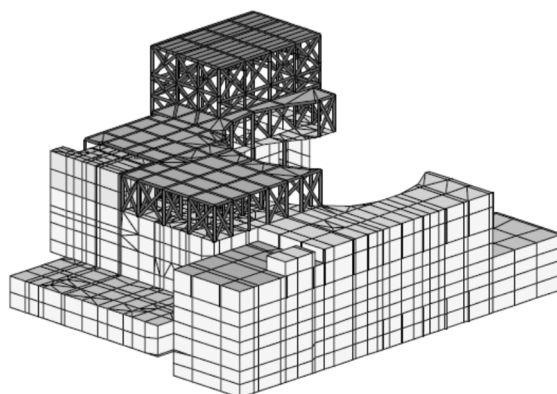
第 2.2.2-1 図 地盤 FEM モデル<sup>3)</sup>

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> )
1,650	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もっており、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>

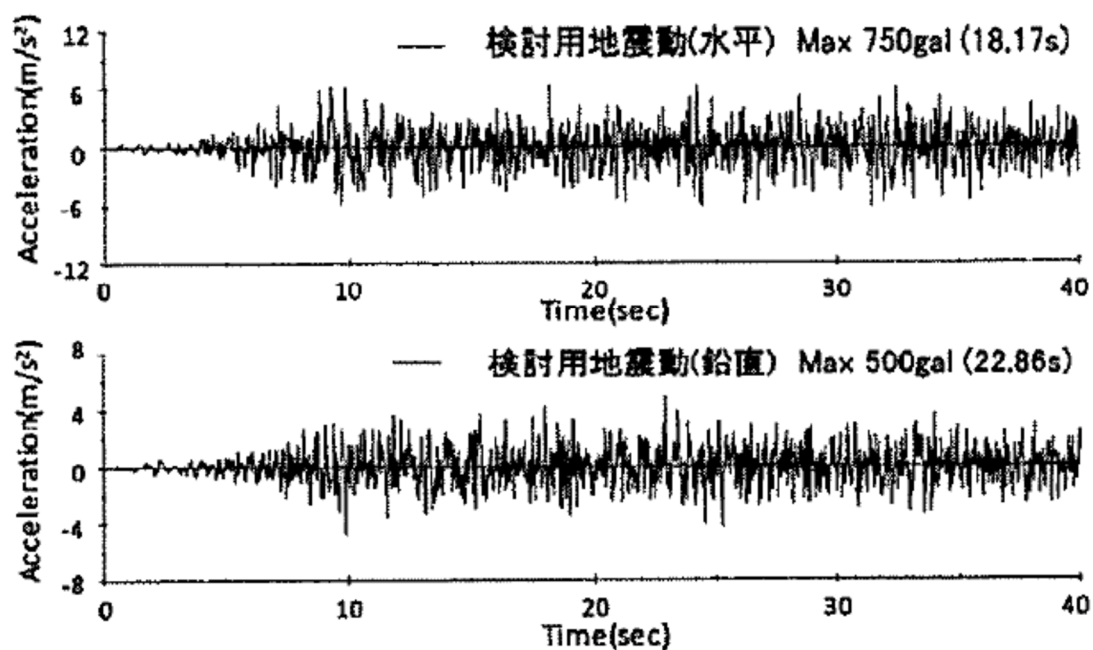
第2.2.3-1表 原子炉補助建屋（A/B）の各部材のモデル化について

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>

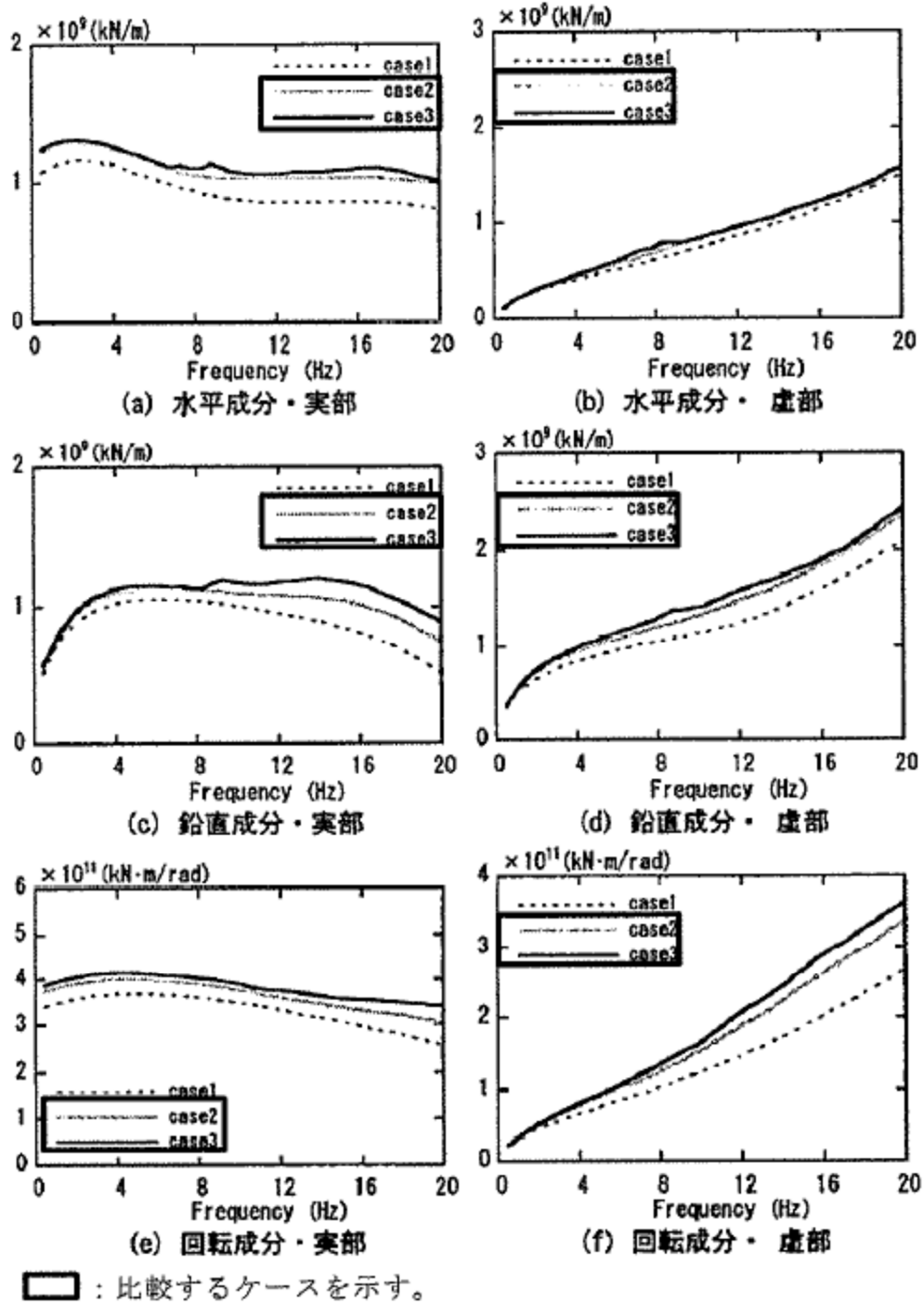
## 2.2.5 検討結果

### (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りと考察している。



(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たと考察している。

第 2.2.5-1 表 解析ケース

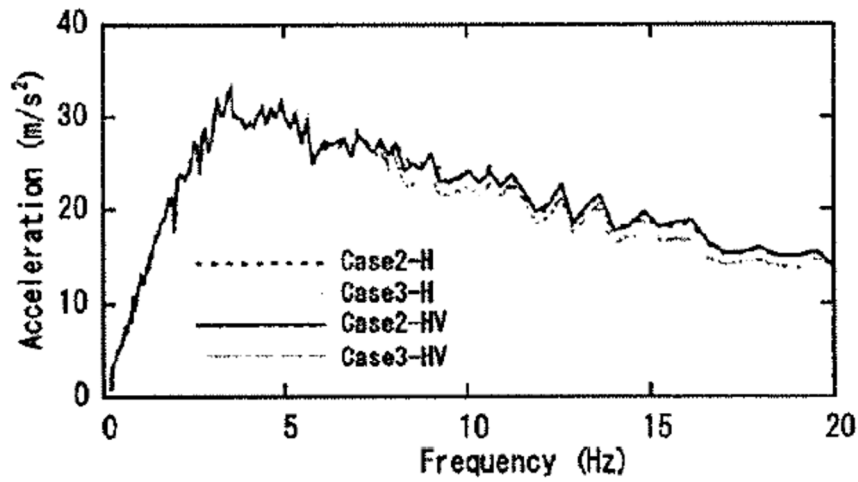
ケース名 <sup>*1</sup>	隣接建屋考慮の有無	入力地震 <sup>*2</sup>
Case2-H	無し	H
Case3-H	有り	H
Case2-HV	無し	H+V
Case3-HV	有り	H+V

注記 \*1：隣接建屋の検討に用いているケースを示す。

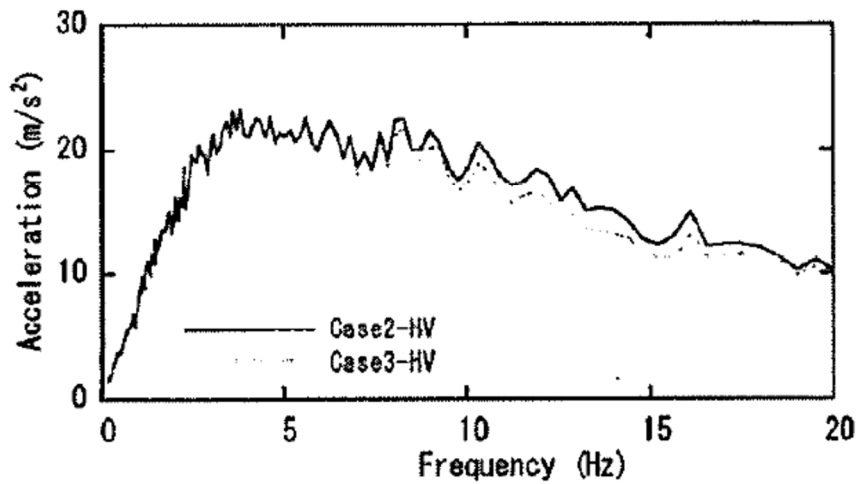
\*2：H は水平単独入力、H+V は水平鉛直同時入力を意味する。

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

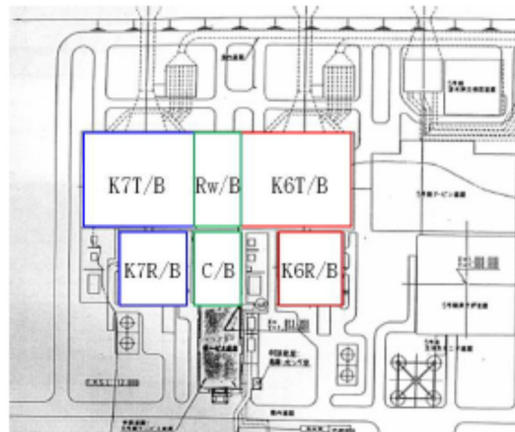
再処理施設等の建物・構築物と同様に，軟岩サイトに立地する発電炉における検討を確認する。最新の知見として，柏崎刈羽原子力発電所7号機の，新規規制基準制定後の設工認審査における検討事例の確認結果を示す。

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

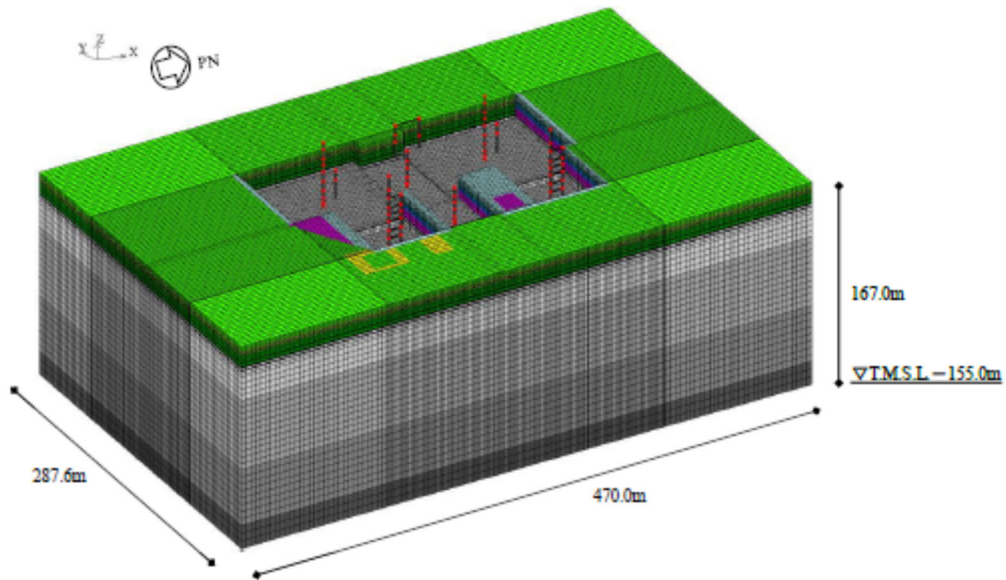
K7T/B：7号機タービン建屋

Rw/B：廃棄物処理建屋

K6R/B：6号機原子炉建屋

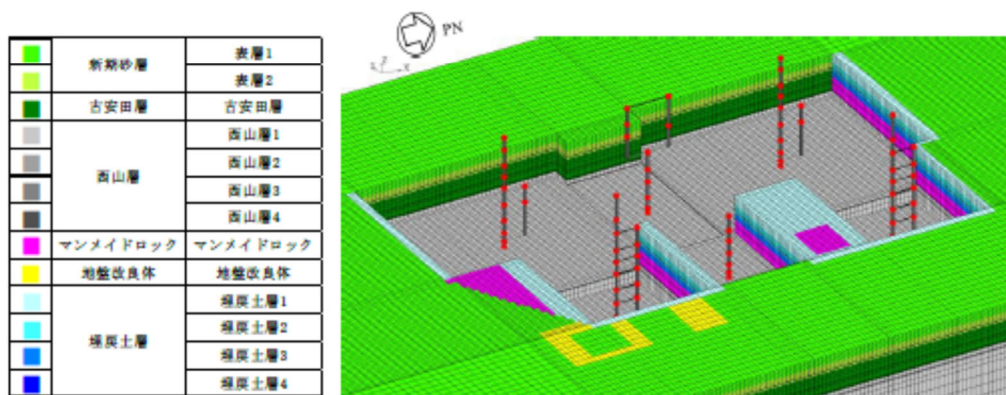
K6T/B：6号機タービン建屋

第2.3-1図 モデル化対象建屋の配置<sup>5)</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、隣接建屋に関する影響検討を行うこととした。

【参考文献】

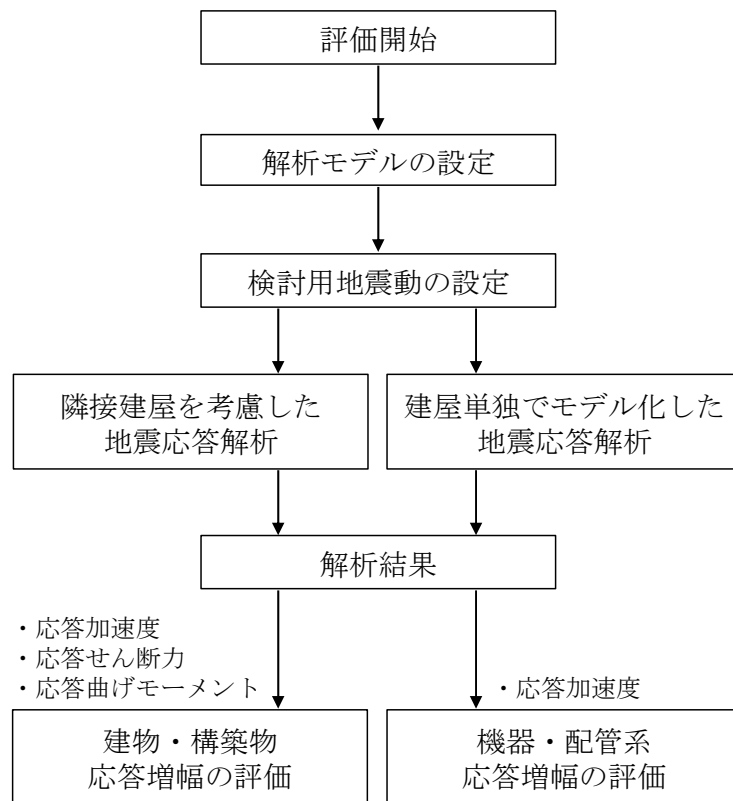
- 1) 耐震安全解析コード改良試験原子炉建屋の隣接効果試験に関する報告書，（財）原子力発電技術機構，平成14年3月
- 2) 鈴木 篤他，「地震観測に基づく構造物の隣接効果の検討」，日本建築学会学術講演梗概集，21169，PP.337-338，2000年9月
- 3) 中村 尚弘他，「原子力発電所建屋の地震応答性状に与える不整形地盤および隣接建屋の影響に関する研究」，2012年3月，構造工学論文集，日本建築学会
- 4) 原子力発電所耐震設計技術指針4601-1991追補版，（社）日本電気協会
- 5) 柏崎刈羽原子力発電所7号機 工事計画認可申請書 工事計画に係る補足説明資料，東京電力HD，2020

### 3. FEMを用いた検討

本章では、再処理施設等の建物・構築物におけるFEMを用いた検討として、その共通の検討方針、検討方法及び検討結果の概要を示す。なお、各建物・構築物における検討内容の詳細については、添付書類「隣接建屋に関する影響評価結果」のうち、「建物及び屋外機械基礎」に示し、解析条件及び解析結果の補足事項は別紙2に示す。 後次回以降申請を実施する建物・構築物については、各申請回次に検討結果を提示する。

#### 3.1 検討方針

隣接建屋を考慮した評価のフローを第3.1-1図に示す。隣接建屋を考慮した評価としてFEMを用いた検討は、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・構築物及び機器・配管系の耐震評価に与える隣接建屋の影響を確認する。



第 3.1-1 図 隣接建屋を考慮した評価のフロー

### 3.1.1 モデル化対象の建屋群

モデル化対象の建屋群は、評価対象建屋の基礎幅程度を目安として、一定のまとまりを仮定しその範囲内の建屋をモデル化する。グルーピングした建屋群を第 3.1.1-1 表及び第 3.1.1-1 図に示す。後次回以降申請を実施する建物・構築物についても、参考として、検討予定の建屋群を示しているが、申請ごとの検討結果から得られる知見を踏まえ精査したものを各申請回次で示すものとする。

なお、評価対象建屋に隣接する構築物として地中構造物の洞道も挙げられる。洞道のモデル化としては、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1987 ((社) 日本電気協会) (以下、「JEAG 4601-1987」という。))」において、「地中構造物の地震時応答は、周辺地盤の応答に全面的に支配され、独自の応答は生じ難い」とされており、洞道周辺に分布する改良地盤等を実態に即してモデル化し、洞道部分はそれに置き換えることで、本検討における地盤応答を適切に評価できると考えられる。

モデル化対象の範囲を評価対象建屋の基礎幅程度の範囲内と設定した考え方は、下記 a～c の規格・基準等を参考に設定したものである。

- a. 「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版 ((社) 日本電気協会)」で引用される、建屋埋込み効果の評価法の標準化に関する調査報告書 ((社) 日本電気協会、電気技術基準調査委員会) において、離散系モデルの地盤のモデル化方法の提案がされており、その中で、地盤領域のモデル化範囲等のパラメータが建物モデルの応答に与える影響について解析的な検討が実施されている。その結果、FEM モデルにおける水平方向の解析地盤領域は、 $B_x$  を建屋幅とすると、粘性境界の時、 $2B_x$  (建物中心から  $B_x$ ) と設定することで、それより解析領域を拡張したモデルと、同等な解析結果が得られることが報告されている。このことから、建物中心から基礎幅と同義の建屋幅以上の地盤部分では、遠方地盤と同様な応答となり、建物の応答の影響がほとんど生じないことが考えられる。
- b. 「原子力発電所耐震設計技術規程 JEAC 4601-2008 ((社) 日本電気協会)」の「付属書 3.3 静的地震力の埋込による補正係数に関する解説」において、「地盤が建物・構築物幅以上の平面的な広がりを持つ場合にこれを基準面とする」と記載されており、建物・構築物の地下部分に作用する地盤からの動土圧を考慮する上で、建屋の基礎幅程度の範囲内の地盤を考えればよいことが示唆されている。
- c. 阿比留ほか：実地盤上大型模型による埋込効果振動試験と解析 (日本建築学会構造系論文集 (2014)) において、建物周りの地盤改良範囲が埋込効果に及ぼす影響を確認するために、実験及び解析により検討が実施さ

れている。その結果、地盤改良範囲を建物幅としたケースで有効な埋込効果が期待でき、地盤改良範囲を実機で想定される最小の建物幅（D）としたケース（MMR： $2/3D$ +改良土  $1/3D$ ）は、MMRによる半無限地盤の埋込効果とほぼ同程度の効果を期待できると報告されている。このことから、建屋周辺の基礎幅と同義の建屋幅程度の地盤を考慮することで、周辺地盤が建屋に与える影響について考慮できることが示唆されている。

上記 a～c については、直接隣接建屋の影響について論じたものではないが、建屋と周辺地盤との相互影響を考慮するうえで、建屋から基礎幅程度の範囲を考えればよいことが示唆されており、隣接建屋の影響も地盤を介した相互影響であることから、参考として、評価対象建屋の基礎幅程度の範囲内を原則としてモデル化範囲として設定することとした。なお、評価対象建屋が屋外機械基礎のような基礎幅が比較的小さな建物・構築物の場合にはモデル化範囲が限定されてしまうため、当該評価対象建屋に影響を与える可能性がある近傍の建屋については、基礎幅程度の範囲外に位置する場合についても適宜考慮することとする。

第 3.1.1-1 表 グルーピングした建屋群

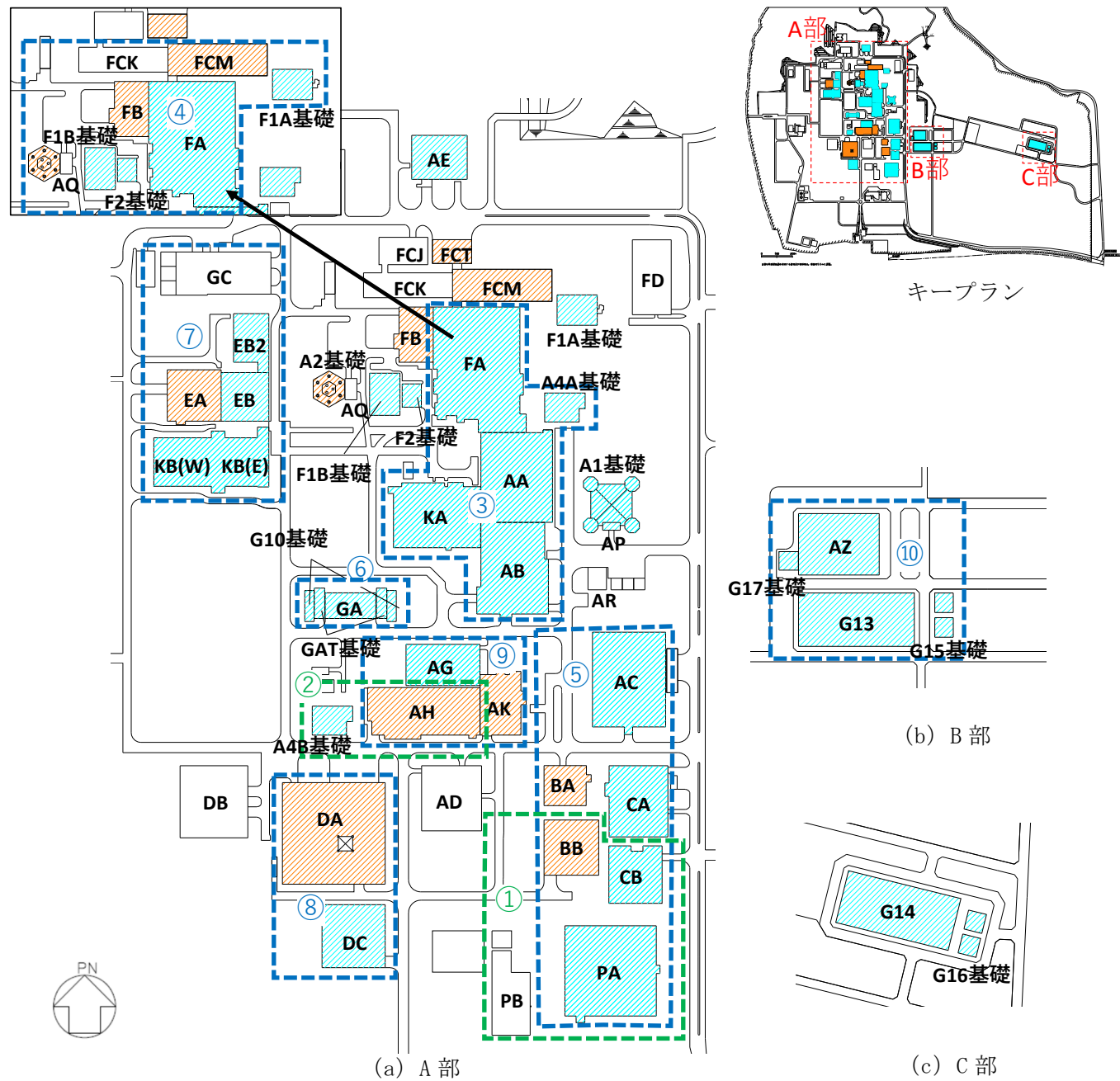
グループ No.	建屋群
①	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ウラン酸化物貯蔵建屋 (BB) * 1</li> <li>・ ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 (CB) * 1</li> <li>・ 燃料加工建屋 (PA) 【評価対象】</li> <li>・ エネルギー管理建屋 (PB) * 1</li> </ul>
②	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 安全冷却水 B 冷却塔 (基礎) (A4B 基礎) 【評価対象】</li> <li>・ 分析建屋 (AH) * 1</li> </ul>
③	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 前処理建屋 (AA) 【評価対象】</li> <li>・ 分離建屋 (AB) 【評価対象】</li> <li>・ 安全冷却水 A 冷却塔 (基礎) (A4A 基礎) 【評価対象】</li> <li>・ 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋 (FA) 【評価対象】 * 2</li> <li>・ 高レベル廃液ガラス固化建屋 (KA) 【評価対象】</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 北排気筒管理建屋 (AQ) * 1</li> <li>・ 北排気筒 (基礎) (A2 基礎) * 1</li> <li>・ 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋 (FA) 【評価対象】 * 2</li> <li>・ 使用済燃料受入れ・貯蔵管理建屋 (FB) * 1</li> <li>・ 安全冷却水系冷却塔 B (基礎) (F1B 基礎) 【評価対象】</li> </ul> <div data-bbox="311 1220 1337 1444" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>本資料の説明上、ハッチング部に後次回以降申請を実施する建屋群についても示すが、参考扱いとして、申請ごとの検討結果から得られる知見を踏まえ、精査したものを各申請回次で示す</p> </div>
⑤	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 精製建屋 (AC) 【評価対象】</li> <li>・ ウラン脱硝建屋 (BA) * 1</li> <li>・ ウラン酸化物貯蔵建屋 (BB) * 1</li> <li>・ ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 (CA) 【評価対象】</li> <li>・ ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 (CB) 【評価対象】</li> <li>・ 燃料加工建屋 (PA) * 1</li> </ul>

⑥	<ul style="list-style-type: none"> <li>・非常用電源建屋（GA）【評価対象】</li> <li>・非常用電源燃料タンク基礎（GAT基礎）【評価対象】</li> <li>・冷却塔 A, B（基礎）（G10基礎）【評価対象】</li> </ul>
⑦	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ガラス固化体受入れ建屋（EA）*<sup>1</sup></li> <li>・ガラス固化体貯蔵建屋（EB）【評価対象】</li> <li>・ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟（EB2）【評価対象】</li> <li>・ムーティリテイ建屋（GC）*<sup>1</sup></li> </ul>
⑧	<p>本資料の説明上、ハッチング部に後次回以降申請を実施する建屋群についても示すが、参考扱いとして、申請ごとの検討結果から得られる知見を踏まえ、精査したものを各申請回次で示す</p> <p>【評価対象】</p>
⑨	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制御建屋（AG）【評価対象】</li> <li>・分析建屋（AH）*<sup>1</sup></li> <li>・出入管理建屋（AK）*<sup>1</sup></li> </ul>
⑩	<ul style="list-style-type: none"> <li>・緊急時対策建屋（AZ）【評価対象】</li> <li>・第 1 保管庫・貯水所（G13）【評価対象】</li> <li>・第一軽油貯蔵所（基礎）（G15基礎）【評価対象】</li> <li>・重油貯蔵所（基礎）（G17基礎）【評価対象】</li> </ul>

注記 \*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。

注記 \*2：使用済燃料受入れ・貯蔵建屋（FA）は、評価対象建屋としてグループ③及び④に含まれており、隣接建屋の影響評価を実施する際には影響の大きい方を考慮する。

- : Sクラス施設又は常設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
- : FEMを用いた検討を実施する建屋群 (今回申請において解析結果を提示)
- : FEMを用いた検討を実施する建屋群 (後次回申請において解析結果を提示)



注記 : 後次回以降申請を実施する建屋群についても示すが、参考扱いとして、申請ごとの検討結果から得られる知見を踏まえ、精査したものを各申請回次で示す

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 3.1.1-1 図 再処理事業所の構内配置図

### 3.1.2 解析モデルの設定

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モデルを用いることを基本とする。

#### (1) 建屋モデル

質点系モデルの建屋諸元は、添付書類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。添付書類に記載がない隣接建屋の建屋諸元については、建設時の構造計算書を参考に設定する。

隣接建屋のうち、その建屋振動が周辺地盤を介して評価対象建屋に与える影響が軽微であると想定される建屋については、振動周期の違いや規模差など総合的に判断したうえで、重量のみ考慮する。

#### (2) 地盤モデル

地盤は、ソリッド要素でモデル化し、平面的には各建屋の基礎底面の約3倍以上の大きさを、深さ方向は解放基盤表面から地表面の領域をモデル化する。

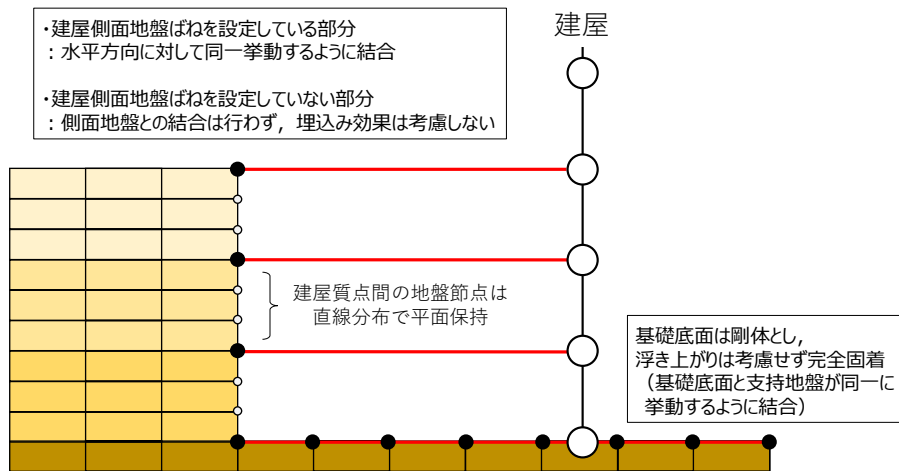
地盤モデルは、評価対象建屋の地震応答計算書と整合するよう構成される水平成層地盤とする。ただし、先行発電炉の実績を参考に、建屋周辺に分布する改良地盤等を実態に即してモデル化することで、隣接建屋の影響をより精緻に評価する。なお、評価対象建屋の基礎下のMMRは、支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし、MMR直下の支持地盤の物性値として設定する。解析で考慮する地盤の物性値は別紙2に示す。

#### (3) 建屋-地盤間の境界条件

地盤の境界条件は、底面粘性境界及び側方粘性境界とする。このとき、粘性境界付近での解析精度の低下が評価対象建屋の基礎底面の応答に与える影響を低減させるために、「JEAG 4601-1987」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）。

建屋-地盤間の境界条件のうち、基礎底面-底面地盤間は、構造物の基礎底面を剛体として考慮し、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。建屋側面-側面地盤間は、評価対象建屋の地震応答計算書において、建屋側面地盤ばねを設定している部分については、建屋埋込み質点とそれと同じ高さの地盤節点について、水平方向に対して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。一方で、建屋側面地盤ばねを設定していない部分については、側面地盤との結合は行わず、埋込み効果は考慮しないこととする。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3.1.2-1図に建屋と地盤間の結合イメージを示す。





第 3.1.2-1 図 建屋と地盤間の結合イメージ

### 3.1.3 検討用地震動の設定

検討用地震動は、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、入力の方は、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、 $S_d-A$  による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、各計算書に示す地盤物性のばらつきを考慮した耐震評価結果に適用する。

ここで、地盤物性のばらつきを考慮した耐震評価結果は、基本ケース及び地盤物性のばらつきを考慮したケースに対する基準地震動  $S_s$  もしくは弾性設計用地震動  $S_d$  の全ケースを包絡した地震力に対する結果となっている。

なお、建物・構築物の「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。）」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。

### 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クラスの床のうちプールの床以外の、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 3.2.1-1 表に検討対象部位を示す。

注記 \*：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 3.2.1-1 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	—	○	○	—	—
<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>						

○：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

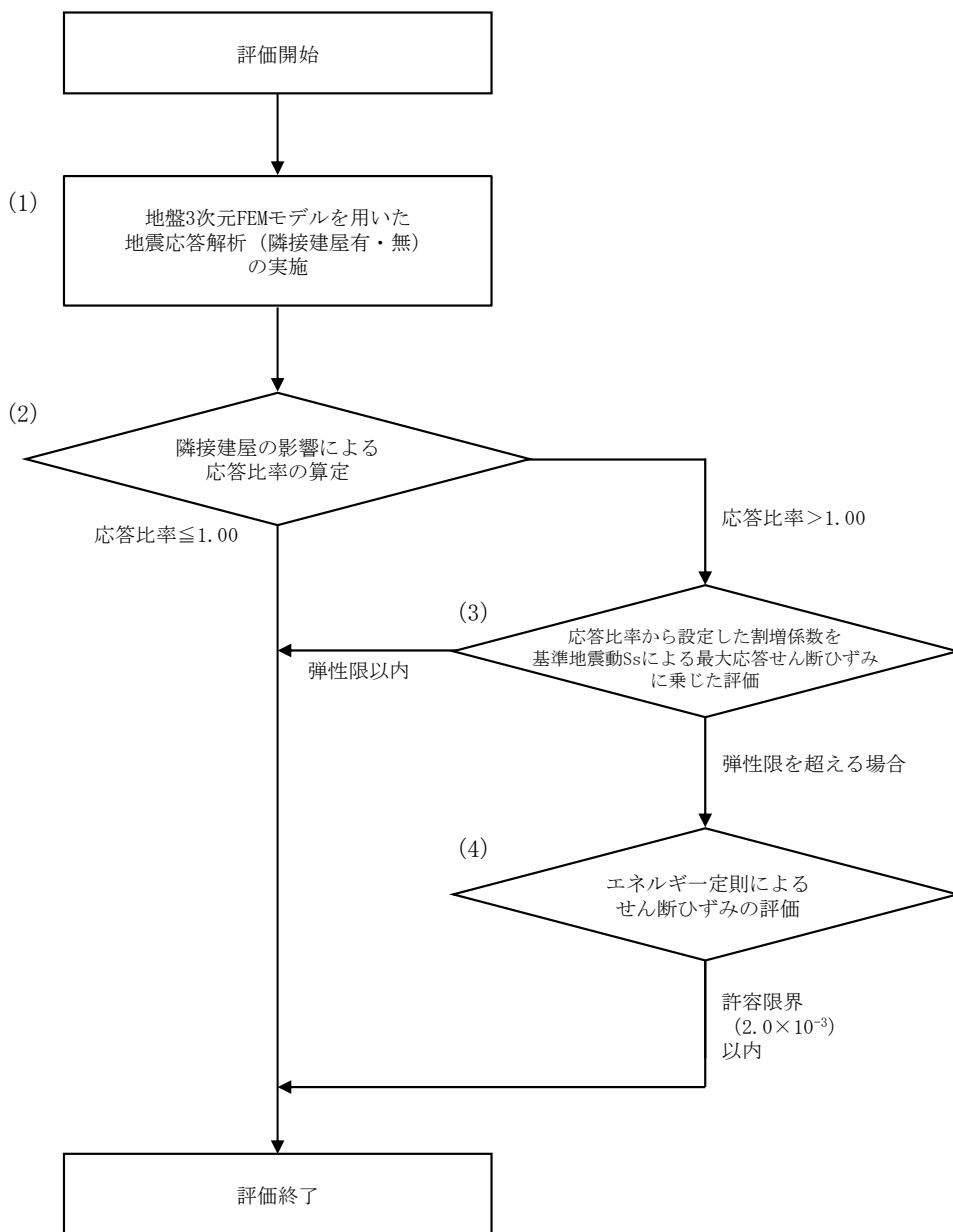
\*：Sクラスの床はプールの床のみ

### 3.2.2 耐震壁の検討方法

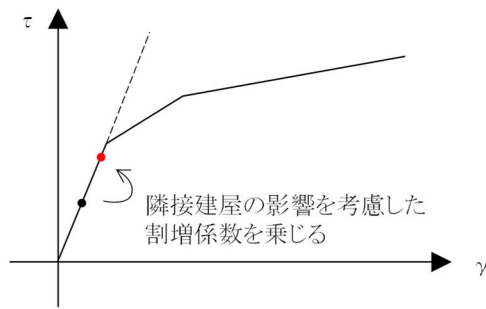
耐震壁の評価フローを第 3.2.2-1 図に示す。

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。

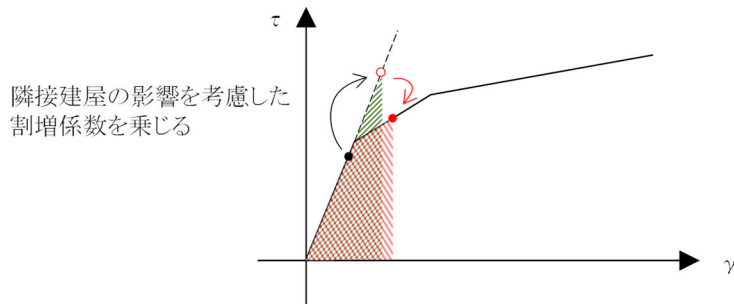
ここでは，隣接建屋の影響を考慮した応答比率を割増係数として設定し，割増係数が 1.00 を超える場合には，各計算書に示す地盤物性のばらつきを考慮した最大せん断ひずみに乗じて，許容限界 ( $2.0 \times 10^{-3}$ ) を超えないことを確認する。この際，線形解析においては，せん断力よりせん断ひずみの割増係数を算出する。なお，割増係数を乗じた最大せん断ひずみが弾性限界を超える場合は，エネルギー一定則により非線形化を考慮したせん断ひずみを評価する。エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法について第 3.2.2-2 図に示す。



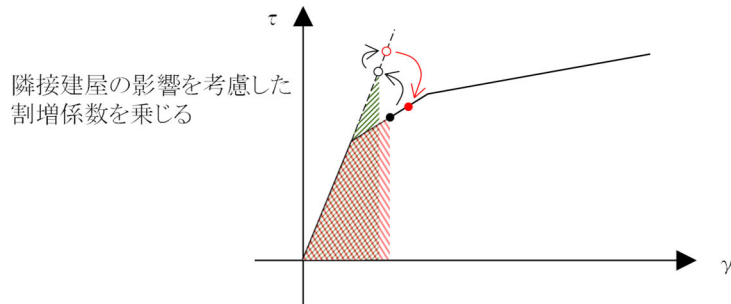
第 3.2.2-1 図 耐震壁の評価フロー



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割増係数を乗じる。



隣接建屋の影響を考慮した割増係数を乗じた際、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割増係数を乗じる。(以下、上記に準じる)

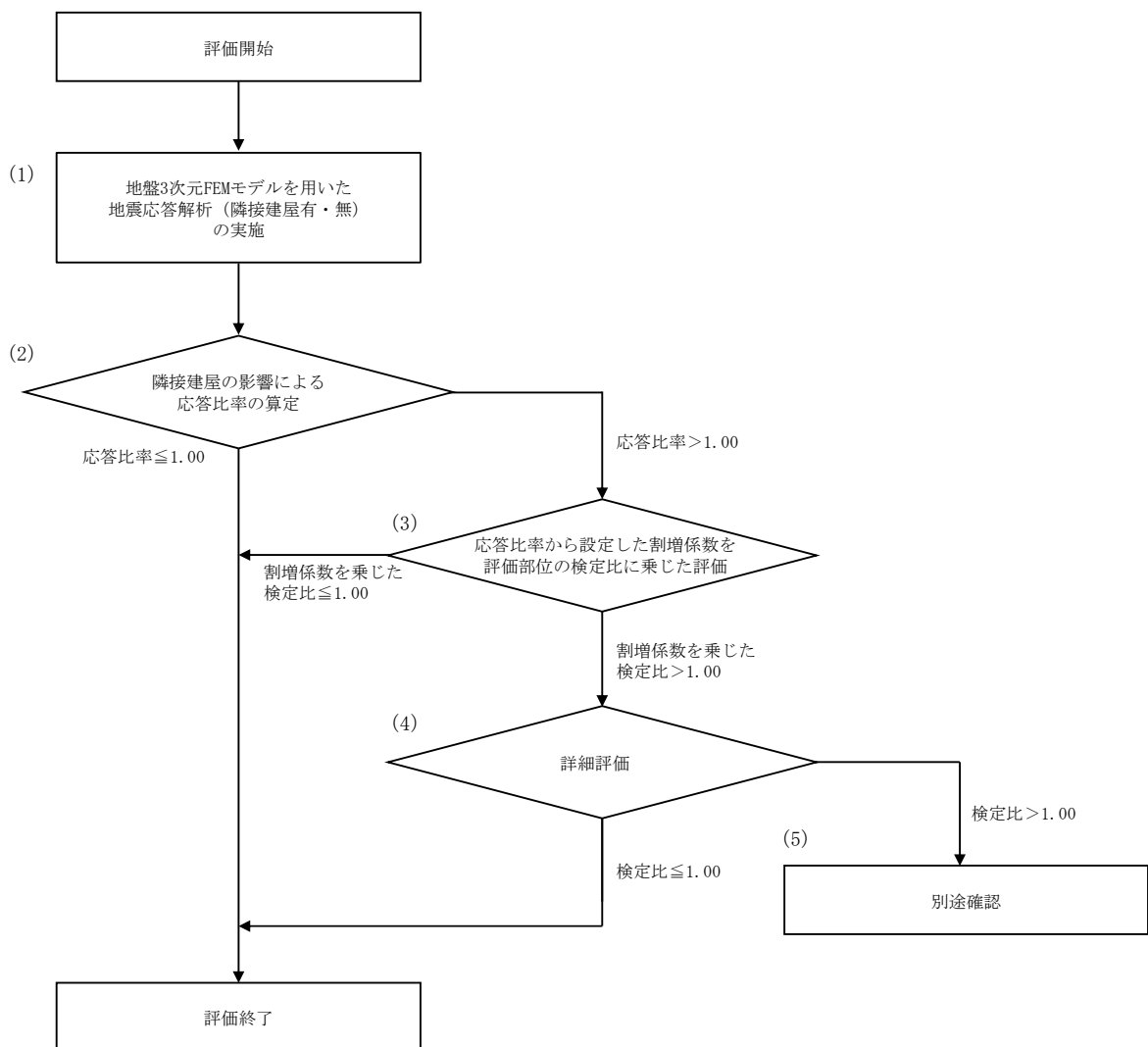
第 3.2.2-2 図 エネルギー一定則によるせん断ひずみの評価方法

### 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、割増係数が1.00を超える場合には、各計算書に示す地盤物性のばらつきを考慮した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。

また、割増係数に乗じた検定比が1.00を超える場合には、詳細評価として、割増係数を考慮した地震荷重を用いた応力解析による評価を実施する。



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、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し、割増係数が1.00を超える場合には、各計算書に示す地盤物性のばらつきを考慮した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。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 $S_d$ 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、「 $S_d$ 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、割増係数が1.00を超える場合には、各計算書に示す地盤物性のばらつきを考慮した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、 $S_s$ 地震時に対する評価及び $S_d$ 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、割増係数が1.00を超える場合には、各計算書に示す地盤物性のばらつきを考慮した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、割増係数が1.00を超える場合には、各計算書に示す地盤物性のばらつきを考慮した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

申請を実施した各建物・構築物に対して、FEMを用いた検討結果の概要を示す。

#### 3.3.1 地震応答解析結果の概要

以下にFEMを用いた地震応答解析結果の概要を示す。

##### (1) 燃料加工建屋に対するFEMを用いた検討

燃料加工建屋(PA)の隣接建屋の影響検討として、隣接モデルと単独モデルの地震応答解析結果を比較すると、最大応答値及び床応答スペクトルは、ともにほぼ整合する結果となり、燃料加工建屋が隣接建屋から受ける影響は軽微であることを確認した。燃料加工建屋(PA)応答に及ぼす影響を詳細に見ていくと以下のことが確認できる。

・北側約20m離れて位置するウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋(CB)や、同じく北側にやや離れたウラン酸化物貯蔵建屋(BB)が燃料加工建屋(PA)の応答に与える影響については、当該隣接建屋の影響が顕著に現れると考えられる建屋が並ぶ方向であるNS方向加振時における最大応答値の差はごく僅かであり、床応答スペクトルの卓越周期あたりの差も僅かなものである。また隣接建屋が並ぶ方向と直行する方向となるEW方向加振時の最大応答値と床応答スペクトルはほぼ同じ値であり、燃料加工建屋(PA)の応答に隣接建屋の影響はほとんどないと考えられる。これは、ウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋(CB)や、ウラン酸化物貯蔵建屋(BB)は、燃料加工建屋(PA)よりも平面規模や重量が相対的に小さいため(重量比で何れも1/4程度)、建屋間の地盤はもとより底面地盤を介して及ぼす影響がほぼ無いものとする。

(最大応答値の比較：添付書類「燃料加工建屋の隣接建屋に関する影響評価結果」の第2.6-1図～第2.6-6図及び第2.6-1表～第2.6-6表、床応答スペクトルの比較：別紙2-1の第3.1-1図及び第3.1-2図)

・西側約30m離れて位置するエネルギー管理建屋(PB)が燃料加工建屋(PA)の応答に与える影響については、建屋が並ぶ方向であるEW方向加振時の応答に影響が見られず、エネルギー管理建屋(PB)が燃料加工建屋(PA)の応答に対し影響は及ぼしていないと考えられる。これは燃料加工建屋(PA)よりも平面規模や重量が相対的に非常に小さい(重量比で1/25程度)ことに加え、埋込が無いことで、地盤を介して燃料加工建屋(PA)に与える影響が小さいためであると考えられる。また隣接建屋が並ぶ方向と直行する方向となるNS方向加振時の応答に与える影響はごく僅かなもので、その要因もウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋(CB)や、ウラン酸化物貯蔵建屋(BB)が支配的であると考えられ、エネルギー管理建屋(PB)の影響を見ることはできない。



(最大応答値の比較：添付書類「燃料加工建屋の隣接建屋に関する影響評価結果」の第 2.6-1 図～第 2.6-6 図及び第 2.6-1 表～第 2.6-6 表，床応答スペクトルの比較：別紙 2-1 の第 3.1-1 図及び第 3.1-2 図)

- ・さらに、本検討では、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 (CA) 及びウラン脱硝建屋 (BA) は、燃料加工建屋 (PA) からの離隔距離が燃料加工建屋 (PA) の基礎幅程度離れている建屋としてモデル化していなかったが、当該建屋よりも燃料加工建屋 (PA) に近接するウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋 (CB) 及びウラン酸化物貯蔵建屋 (BB) が燃料加工建屋 (PA) に与える影響がほとんどなかったことから、ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋 (CA) 及びウラン脱硝建屋 (BA) については、さらに燃料加工建屋 (PA) に与える影響は軽微であることが考えられる。このことから、基礎幅程度の範囲の建屋を隣接建屋の影響範囲とした仮定は、結果としてではあるものの合理的なものであることが示唆されている。

また、「2.1 「NUPEC 試験」について」で示すとおり、埋込みが無い場合については、隣接建屋の影響が小さいとされているが、本検討では、当社事業所内の実状に合わせた検討として、埋込みが無く、かつ規模が小さいエネルギー管理建屋 (PB) についても隣接建屋としてモデル化を行い、評価対象建屋である燃料加工建屋 (PA) に与える影響について確認を行った。

解析結果より、エネルギー管理建屋 (PB) の影響が顕著に現れると考えられる燃料加工建屋 (PA) と並び方向である EW 方向について、各種応答値 (加速度、せん断力、曲げモーメント)、応答スペクトル、地盤インピーダンス及び入力動は、隣接モデルと単独モデルでほとんど一致し、エネルギー管理建屋 (PB) が燃料加工建屋 (PA) へ与える影響は、無視できるほど軽微であることを確認した。

以上の結果より、エネルギー管理建屋 (PB) の様に埋込が無く、かつ平面規模や重量が相対的に非常に小さいことで、地盤を介して評価対象建屋へ与える影響が小さいと考えられるものについては、隣接建屋の影響を及ぼす側の検討に際しては、その影響が無いものと見なしても差し支えないことを示唆していると考えられる。

なお、後次回以降の隣接検討において、エネルギー管理建屋 (PB) と同様のケースとして、隣接影響が無いと判断し、モデル化を実施しない場合には、埋込みの有無に加え、建屋規模や離隔距離など本検討ケースと比較したうえで、総合的な判断根拠を示すこととする。

(2) 安全冷却水 B 冷却塔に対する FEM を用いた検討

安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の隣接建屋の影響検討として、

安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) が隣接建屋から受ける影響は軽微であることを確認した。安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) 応答に及ぼす影響を詳細に見ていくと以下のことが確認できる。

(最大応答値の比較：添付書類「安全冷却水 B 冷却塔基礎の隣接建屋に関する影響評価結果」の第 2.6-1 図～第 2.6-6 図及び第 2.6-1 表～第 2.6-6 表，床応答スペクトルの比較：別紙 2-1 の第 3.1-1 図及び第 3.1-2 図)

(最大応答値の比較：添付書類「安全冷却水 B 冷却塔基礎の隣接建屋に関する影響評価結果」の第 2.6-1 図～第 2.6-6 図及び第 2.6-1 表～第 2.6-6 表，床応答スペクトルの比較：別紙 2-1 の第 3.1-1 図及び第 3.1-2 図)

する影響評価結果」の第 2.6-1 図～第 2.6-3 図及び第 2.6-1 表～第 2.6-3 表，床応答スペクトルの比較：別紙 2-2 の第 3.1-1 図)

### 3.3.2 応答比率を用いた検討結果の概要

応答比率を用いた検討結果の概要を第 3.3.2-1 表に示す。

申請を実施した各建物・構築物について、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 3.3.2-1 表 FEM を用いた検討の結果の概要

評価対象 建屋	検討対象部位	地震力	方向	最大応答 比率	割増係数を乗じた検定比が 最も厳しい項目	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
燃料加工 建屋	耐震壁	Ss	NS	1.040	せん断ひずみ	0.497	1.040	0.529* <sup>2</sup>	OK
	地盤（接地圧）	Ss	NS	1.022	接地圧	0.0348	1.022	0.0356	OK
			EW	0.983	—* <sup>3</sup>				OK
	基礎スラブ	Ss	NS	1.026	面外せん断力	0.861	1.026	0.884	OK
			EW	1.026	面外せん断力	0.833	1.026	0.855	OK
	Sクラスの 壁	Sd	NS	1.037	鉛直鉄筋応力度	0.838	1.037	0.870	OK
EW			1.009	鉛直鉄筋応力度	0.820	1.009	0.828	OK	
安全冷却水 B 冷却塔	地盤（接地圧）	Ss	NS	■	接地圧	■			OK
			EW		—* <sup>3</sup>				OK
	基礎スラブ	Ss	NS		軸力+曲げモーメント	■			OK
			EW		軸力+曲げモーメント	■			OK

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。

注記 \*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

本資料では、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、FEM を用いた検討として、再処理施設等の建物・構築物における共通の検討方針及び検討方法について示すとともに、申請を実施した各建物・構築物に対する検討結果の概要を示した。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 を用いた検討では、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応答比率を割増係数として耐震評価結果に考慮しても検定比が 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。

別紙

## 別紙リスト 耐震建物 06【隣接建屋の影響に関する検討】(1/2)

別紙				備考
資料 No.	名称	提出日	Rev	
別紙 1	建屋構造特性の整理	2022/7/14	1	-
別紙 2	解析条件及び解析結果の補足事項			
別紙 2-1	燃料加工建屋に対する FEM を用いた検討	2022/7/14	2	-
別紙 2-2	安全冷却水 B 冷却塔に対する FEM を用いた検討	2022/7/14	2	-
別紙 2-3	前処理建屋, 分離建屋, 安全冷却水 A 冷却塔, 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋に対する FEM を用いた検討	-	-	後次回以降申請の建物・構築物に係る資料であり, 各申請回次に検討結果を提示する
別紙 2-4	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋, 安全冷却水系冷却塔 B, 第 1 非常用ディーゼル発電設備重油タンク室及び安全冷却水系冷却塔 A に対する FEM を用いた検討	-	-	後次回以降申請の建物・構築物に係る資料であり, 各申請回次に検討結果を提示する
別紙 2-5	精製建屋, ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及びウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋に対する FEM を用いた検討	-	-	後次回以降申請の建物・構築物に係る資料であり, 各申請回次に検討結果を提示する
別紙 2-6	非常用電源建屋, 非常用電源燃料タンク基礎及び冷却塔 A, B に対する FEM を用いた検討	-	-	後次回以降申請の建物・構築物に係る資料であり, 各申請回次に検討結果を提示する



別紙リスト 耐震建物 06【隣接建屋の影響に関する検討】(2/2)

別紙				備考
資料 No.	名称	提出日	Rev	
別紙 2-7	ガラス固化体貯蔵建屋，ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟，第 1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟及び第 1 ガラス固化体貯蔵建屋西棟に対する FEM を用いた検討	-	-	後次回以降申請の建物・構築物に係る資料であり，各申請回次に検討結果を提示する
別紙 2-8	チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋に対する FEM を用いた検討	-	-	後次回以降申請の建物・構築物に係る資料であり，各申請回次に検討結果を提示する
別紙 2-9	制御建屋に対する FEM を用いた検討	-	-	後次回以降申請の建物・構築物に係る資料であり，各申請回次に検討結果を提示する
別紙 2-10	緊急時対策建屋，第 1 保管庫・貯水所，第 1 軽油貯蔵所及び重油貯蔵所に対する FEM を用いた検討	-	-	後次回以降申請の建物・構築物に係る資料であり，各申請回次に検討結果を提示する

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

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)	評価対象建屋 との離隔距離 (m)	
			NS	EW			NS	EW	鉛直			PA	
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	46.55
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	19.30
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	PB	加工施設	S造, 一部RC	60.00	36.00	無	130,141	2.33 <sup>*2</sup>	2.33 <sup>*2</sup>	- <sup>*2</sup>	17.24	2.74 <sup>*3</sup>	33.50

\*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: 建築確認申請の構造計算書に示す一次固有周期とする。

\*3: 主要部の基礎底深さを示す。なお、最深部は地下ピット部(平面形状 8.0m×8.0m)の7.25mである。

(b) 安全冷却水 B 冷却塔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)	評価対象建屋 との離隔距離 (m)
			NS	EW			NS	EW	鉛直			A4B
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		18.50
安全冷却水B冷却塔	A4B	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

解析条件及び解析結果の補足事項

## 資料構成

別紙 2-1 燃料加工建屋に対する FEM を用いた検討

別紙 2-2 安全冷却水 B 冷却塔に対する FEM を用いた検討

別紙 2-3 前処理建屋，分離建屋，安全冷却水 A 冷却塔，使用済燃料受入れ・貯蔵建屋及び高レベル廃液ガラス固化建屋に対する FEM を用いた検討

別紙 2-4 使用済燃料受入れ・貯蔵建屋，安全冷却水系冷却塔 B，第 1 非常用ディーゼル発電設備重油タンク室及び安全冷却水系冷却塔 A に対する FEM を用いた検討

別紙 2-5 精製建屋，ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋及びウラン・プルトニウム混合酸化物貯蔵建屋に対する FEM を用いた検討

別紙 2-6 非常用電源建屋，非常用電源燃料タンク基礎及び冷却塔 A，B に対する FEM を用いた検討

別紙 2-7 ガラス固化体貯蔵建屋，ガラス固化体貯蔵建屋 B 棟，第 1 ガラス固化体貯蔵建屋東棟及び第 1 ガラス固化体貯蔵建屋西棟に対する FEM を用いた検討

別紙 2-8 チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋に対する FEM を用いた検討

別紙 2-9 制御建屋に対する FEM を用いた検討

別紙 2-10 緊急時対策建屋，第 1 保管庫・貯水所，第一軽油貯蔵所及び重油貯蔵所に対する FEM を用いた検討

[- - - -]: 後次回で示す範囲。なお，検討対象の建屋群は精査したものを各申請回次で示す

別紙 2-1

燃料加工建屋に対する FEM を用いた検討



## 目 次

1. 概要	別紙 2-1-1
2. 地盤物性値の設定	別紙 2-1-2
3. 加速度応答スペクトルの比較	別紙 2-1-12
3.1 燃料加工建屋の解析結果	別紙 2-1-12
4. 加振直交方向の応答について	別紙 2-1-17
4.1 解析結果	別紙 2-1-17
4.1.1 燃料加工建屋の解析結果	別紙 2-1-17
4.2 まとめ	別紙 2-1-24
5. 地盤インピーダンス及び基礎入力動の比較	別紙 2-1-25
5.1 地盤インピーダンスの比較	別紙 2-1-25
5.1.1 燃料加工建屋の解析結果	別紙 2-1-26
5.2 基礎入力動の加速度応答スペクトルの比較	別紙 2-1-28
5.2.1 燃料加工建屋の解析結果	別紙 2-1-29
5.3 まとめ	別紙 2-1-31
6. MMR を線形材料として考慮することの妥当性確認	別紙 2-1-32

1. 概要

本資料は、添付書類「燃料加工建屋の隣接建屋に関する影響評価結果」に示す、FEMを用いた検討の解析条件及び解析結果を補足するものである。

## 2. 地盤物性値の設定

FEM を用いた検討の地盤モデルは、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構成される水平成層地盤（以下、「設計用地盤モデル」という。）とする。

解析で考慮する地盤の物性値を第 2.-1 表に、ひずみ依存特性を第 2.-1 図～第 2.-5 図に、弾性設計用地震動 Sd-A における地盤物性を第 2.-2 表～第 2.-4 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、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。なお、燃料加工建屋の側面に位置する MMR は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し、本検討では当社事業所内で共通の物性値として、再処理施設の MMR コンクリートの設計基準強度  $F_c=14.7$  (N/mm<sup>2</sup>) における「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010 ((社) 日本建築学会, 2010 年)」及び「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-1987 ((社) 日本電気協会)」に基づく解析用物性値を用いる。6 章で MMR を線形材料として考慮することの妥当性確認結果を示す。

第 2.-1 表 地盤の解析用物性値 (1/2)

(a) 設計用地盤モデル

(MOX 燃料加工施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 6-1 表の引用)

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

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

本資料では、第 2.-1 図～第 2.-5 図に各ひずみ依存特性を示す。

第 2-1 表 地盤の解析用物性値 (2/2)

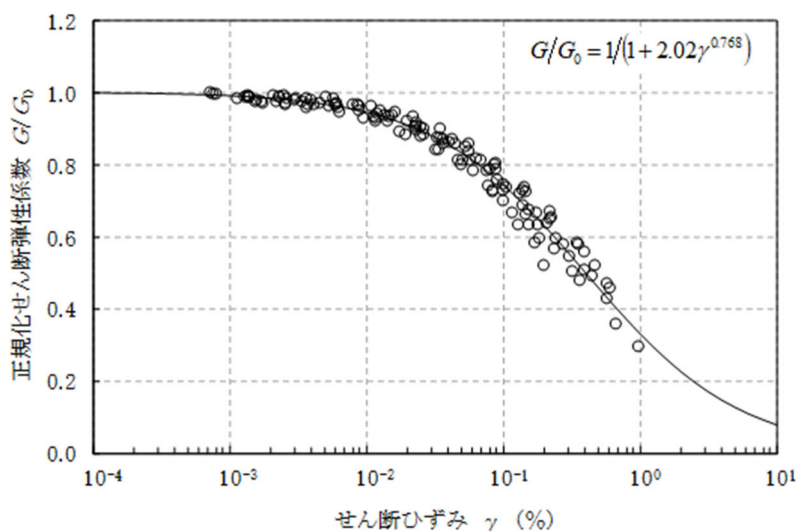
(b) 流動化処理土

(MOX 燃料加工施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 3-1 表の引用)

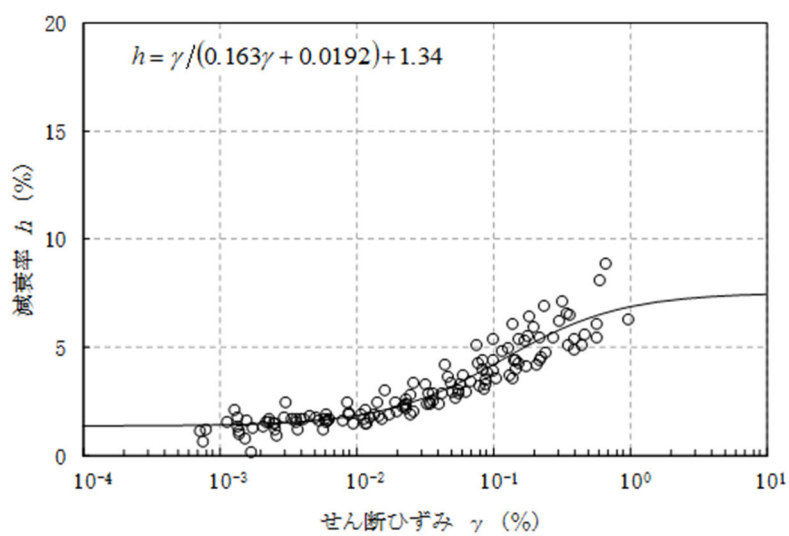
区分			軽石凝灰岩 Tpt	軽石質砂岩 Tpps	細粒砂岩 Tfs	流動化処理土(A)
物理特性	湿潤密度	$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	$1.54-2.45 \times 10^{-4} \cdot Z$	1.91	$1.85-1.55 \times 10^{-4} \cdot Z$	1.63
強度特性	ピーク せん断強度	$s_u$ (MPa)	$1.34-4.82 \times 10^{-3} \cdot Z$	$2.64-1.13 \times 10^{-2} \cdot Z$	$2.22-1.45 \times 10^{-2} \cdot Z$	$0.347+0.242 p$
		残留 せん断強度	$s_{ur}$ (MPa)	$0.95-3.96 \times 10^{-3} \cdot Z$	$1.96-9.44 \times 10^{-3} \cdot Z$	$1.55-8.17 \times 10^{-3} \cdot Z$
静的変形特性	初期 変形係数	$E_0$ (MPa)	$757-2.19 Z$	$982-7.30 Z$	$939-8.69 Z$	$143+448 p$
	ポアソン比	$\nu$	$0.48+2.6 \times 10^{-4} \cdot Z$	$0.47+1.1 \times 10^{-4} \cdot Z$	$0.47+2.6 \times 10^{-4} \cdot Z$	0.46
動の変形特性	動せん断 弾性係数	$G_0$ (MPa)	$848-1.70 Z$	$1410-7.59 Z$	$1220-5.88 Z$	380
	動ポア ソン比	$\nu_d$	$0.41+1.3 \times 10^{-4} \cdot Z$	$0.38+2.0 \times 10^{-4} \cdot Z$	$0.40+2.8 \times 10^{-4} \cdot Z$	0.42
	正規化せん 断弾性係数	$G/G_0$ ~ $\gamma$ (%)	$\frac{1}{1+2.02 \cdot \gamma^{0.768}}$	$\frac{1}{1+6.07 \cdot \gamma^{1.04}}$	$\frac{1}{1+1.87 \cdot \gamma^{0.819}}$	$\frac{1}{1+9.63 \cdot \gamma^{1.01}}$
	減衰率	$h$ (%) ~ $\gamma$ (%)	$\frac{\gamma}{0.163 \gamma + 0.0192} + 1.34$	$\frac{\gamma}{0.0940 \gamma + 0.0145} + 0.826$	$\frac{\gamma}{0.207 \gamma + 0.0249} + 1.29$	$\frac{\gamma}{0.0798 \gamma + 0.0150} + 1.48$

Z : 標高 (m), p : 土被り圧から静水圧を差し引いた圧密応力 (MPa),  $\gamma$  : せん断ひずみ (%)

本資料では、流動化処理土 (A) を流動化処理土と読み替える。



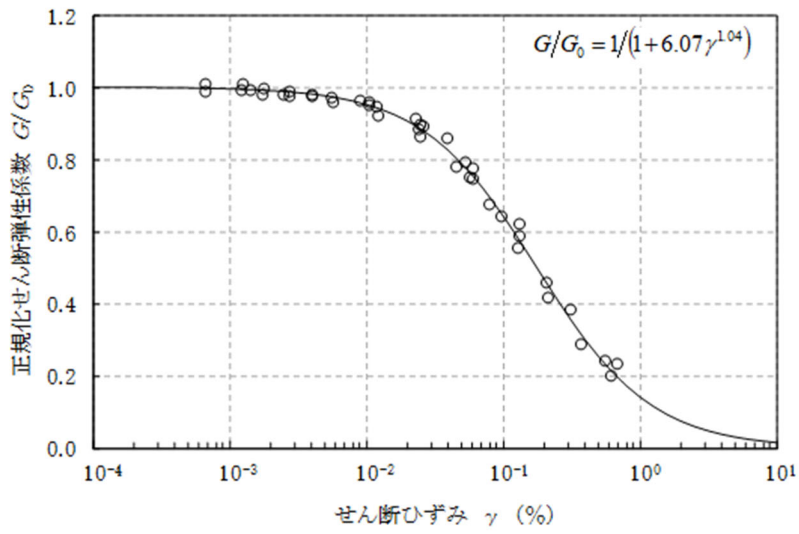
(a) 動的変形特性



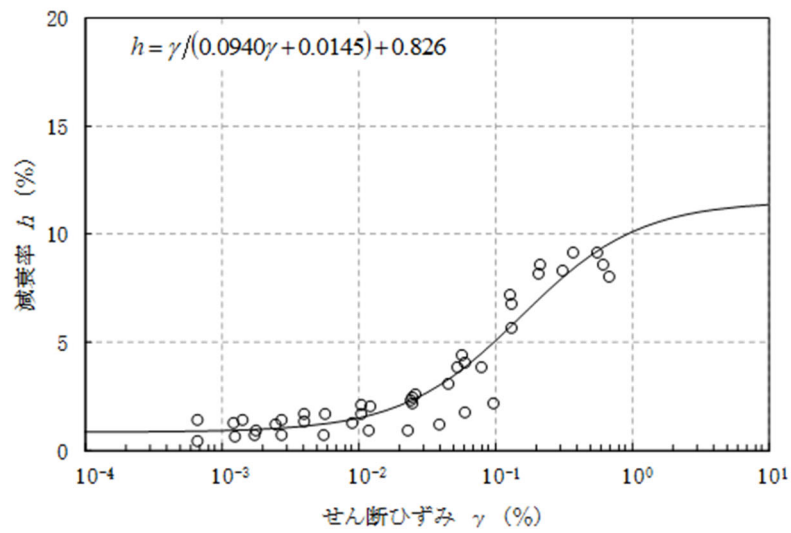
(b) 減衰特性

第 2.-1 図 軽石凝灰岩のひずみ依存特性

(MOX 燃料加工施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 3-1 図より引用)



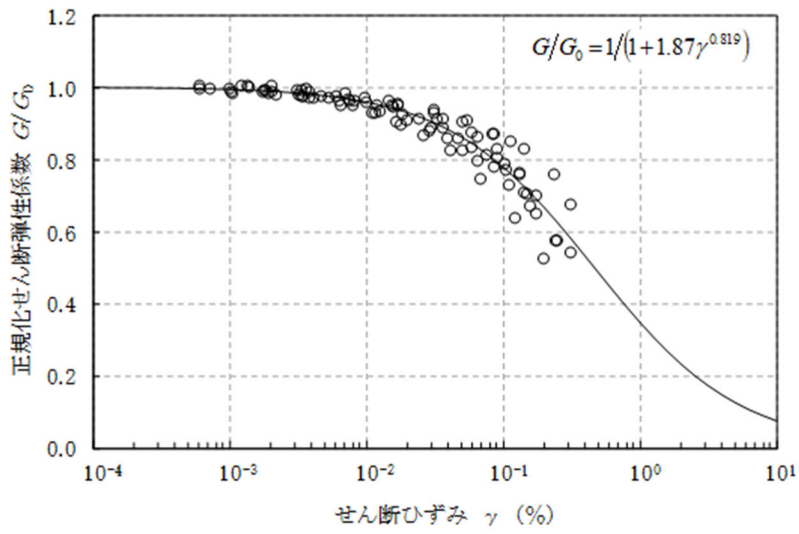
(a) 動的変形特性



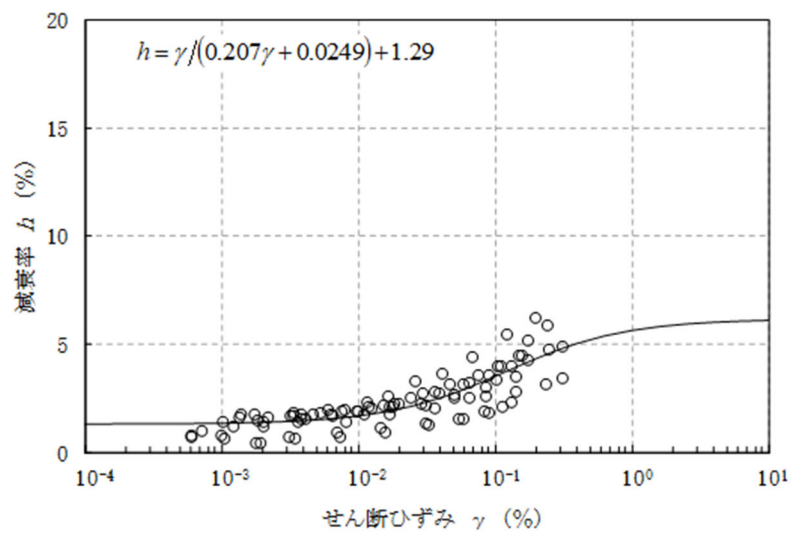
(b) 減衰特性

第 2.-2 図 軽石質砂岩のひずみ依存特性

(MOX 燃料加工施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 3-1 図より引用)



(a) 動的変形特性

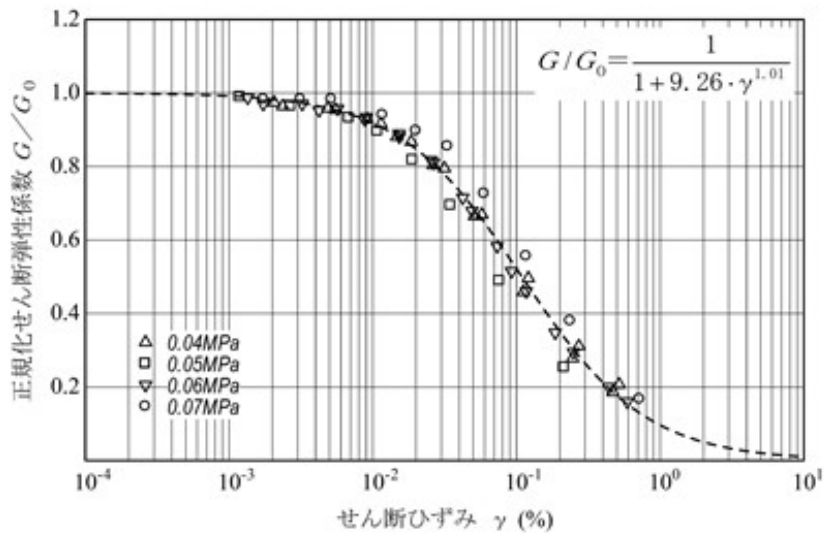


(b) 減衰特性

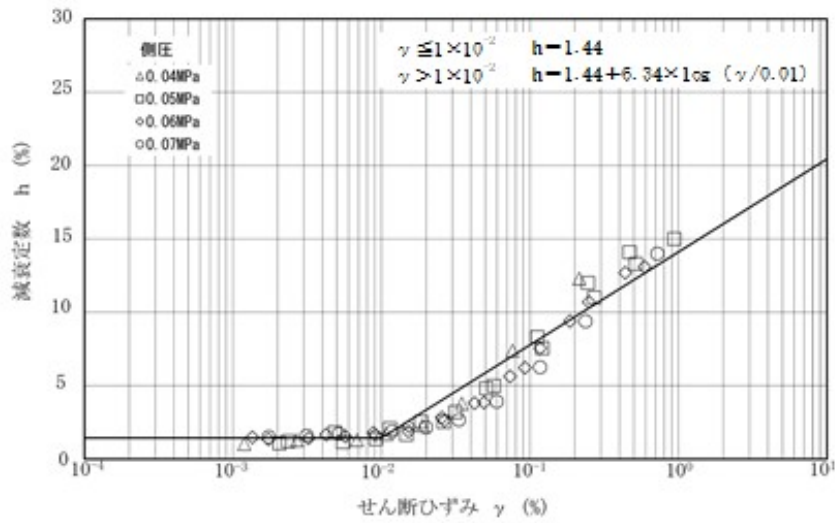
第 2.-3 図 細粒砂岩のひずみ依存特性

(MOX 燃料加工施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 3-1 図より引用)





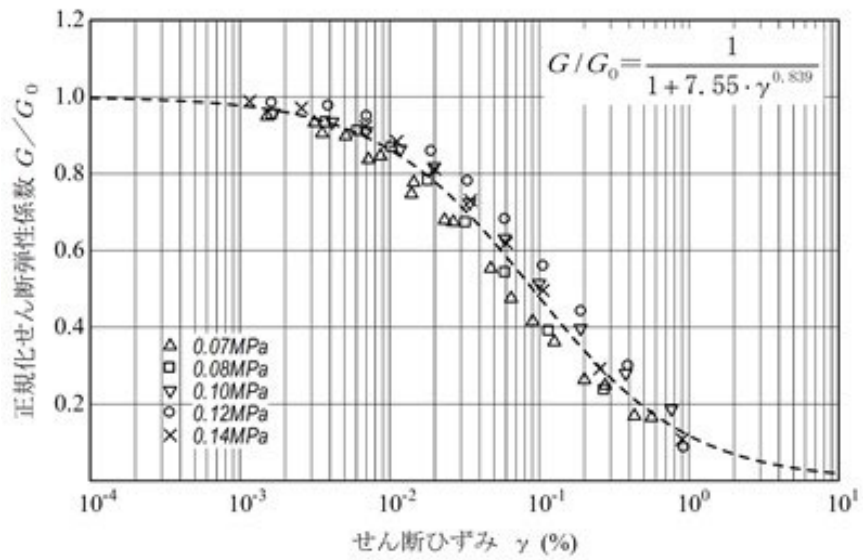
(a) 動的変形特性



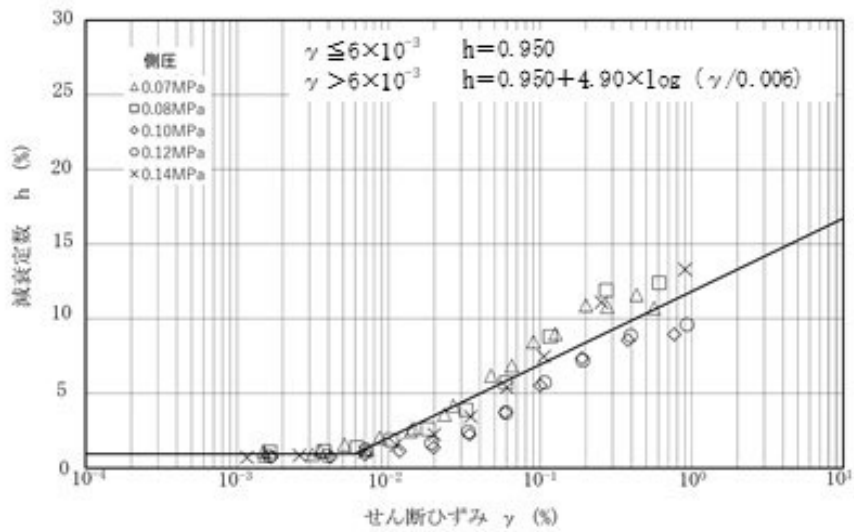
(b) 減衰特性

第 2.-4 図 造成盛土のひずみ依存特性

(MOX 燃料加工施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の第 3-2 図より引用)



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

第 2.-5 図 六ヶ所層のひずみ依存特性

(MOX 燃料加工施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の第 3-2 図より引用)

第 2.-2 表 地盤 3 次元 FEM モデルの地盤物性値  
(設計用地盤モデル, 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 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (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	15.7	151	549	0.03	2.0
	50.30	15.7	120	435	0.07	
	46.00	15.7	75.7	275	0.11	
六ヶ所層	43.20	16.5	265	809	0.05	
	▽BBの基礎底面 ----- 39.10	16.5	257	784	0.05	
	▽CBの基礎底面 ----- 35.00	16.5	252	770	0.06	
軽石凝灰岩	34.23	15.3	643	1810	0.02	0.5
	32.88	15.3	643	1810	0.02	
	▽PAの基礎底面 ----- 31.53	15.3	643	1810	0.02	
	9.00	15.3	639	1800	0.02	
	-28.00	15.6	784	1860	0.02	
軽石質砂岩	-49.00	18.2	1070	2220	0.01	
▽解放基盤表面 細粒砂岩	-70.00	18.2	1070	2220	0.02	
		18.2	1090	2260	0.01	

第 2.-3 表 地盤 3 次元 FEM モデルの地盤物性値 (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 $V_s$ (m/s)	P波速度 $V_p$ (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	480	1294	0.02	2.0
	50.30		473	1275	0.02	
	46.00		464	1249	0.02	
	43.20		456	1228	0.02	
	▽BBの基礎底面 ----- 39.10		449	1209	0.03	
	▽CBの基礎底面 ----- 35.00		440	1185	0.03	
	34.23		435	1172	0.03	
	32.88		434	1167	0.03	
	▽PAの基礎底面 ----- 31.53		431	1162	0.03	
	軽石凝灰岩					

第 2.-4 表 地盤 3 次元 FEM モデルの地盤物性値  
 (MMR,  $F_c=14.7 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ )

単位体積 重量 $\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	せん断 弾性係数 $G \text{ (N/mm}^2\text{)}$	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	0.05	0.5	30.0

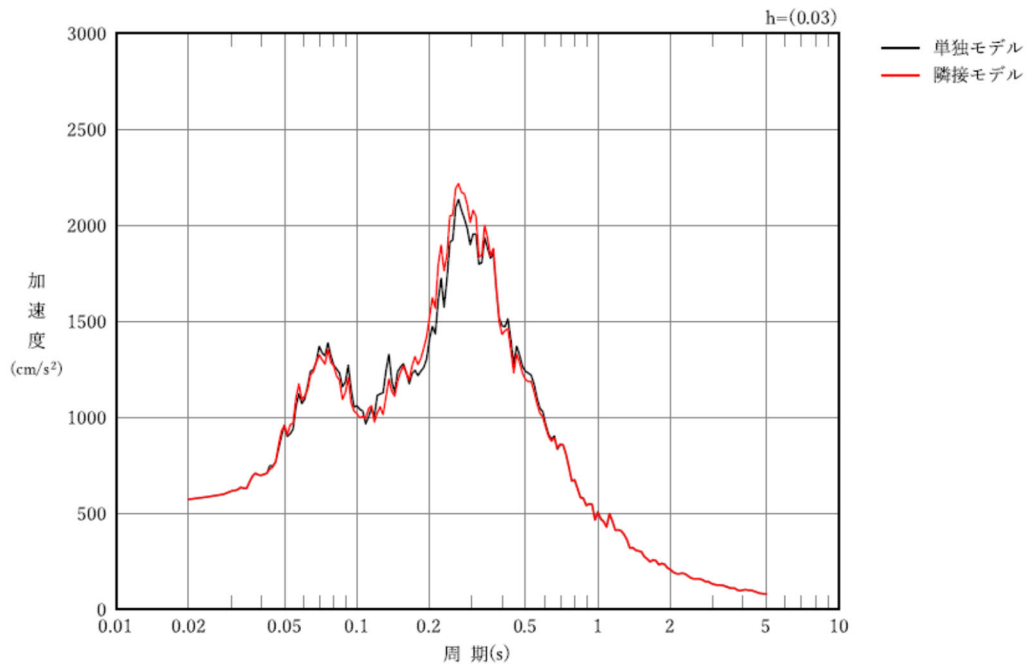
### 3. 加速度応答スペクトルの比較

本章では、単独モデル及び隣接モデルの加速度応答スペクトルの比較を行う。

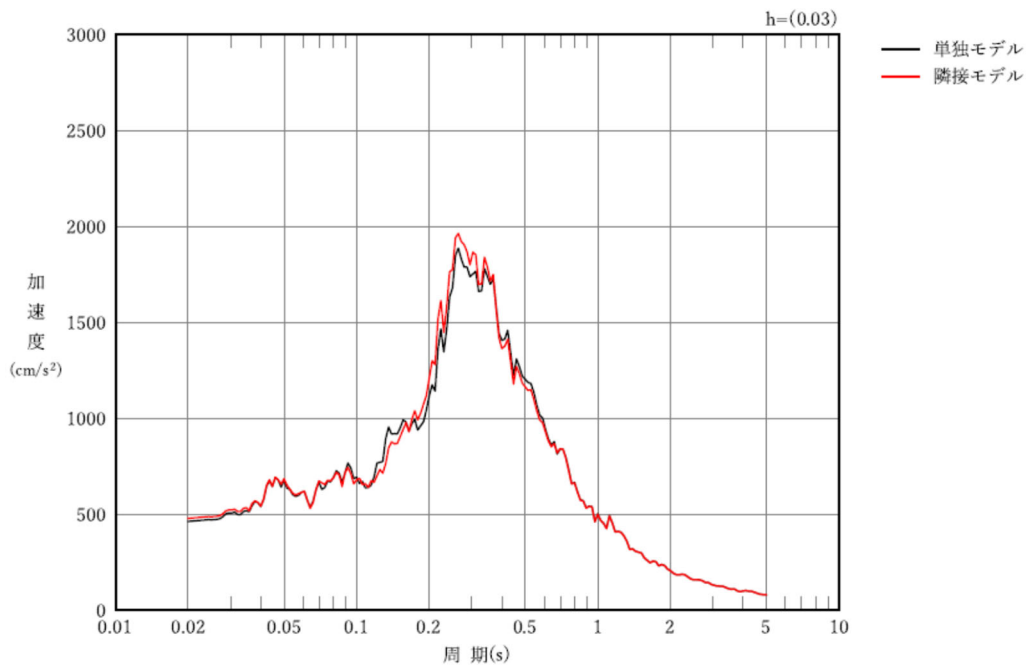
#### 3.1 燃料加工建屋の解析結果

燃料加工建屋（PA）の解析結果として、代表質点（頂部、地表面及び基礎上付近）の加速度応答スペクトルを第 3.1-1 図及び第 3.1-2 図に示す。

隣接モデルと単独モデルの地震応答解析結果を比較すると、床応答スペクトルは、ほぼ整合する結果となり、燃料加工建屋が隣接建屋から受ける影響は軽微であることを確認した。

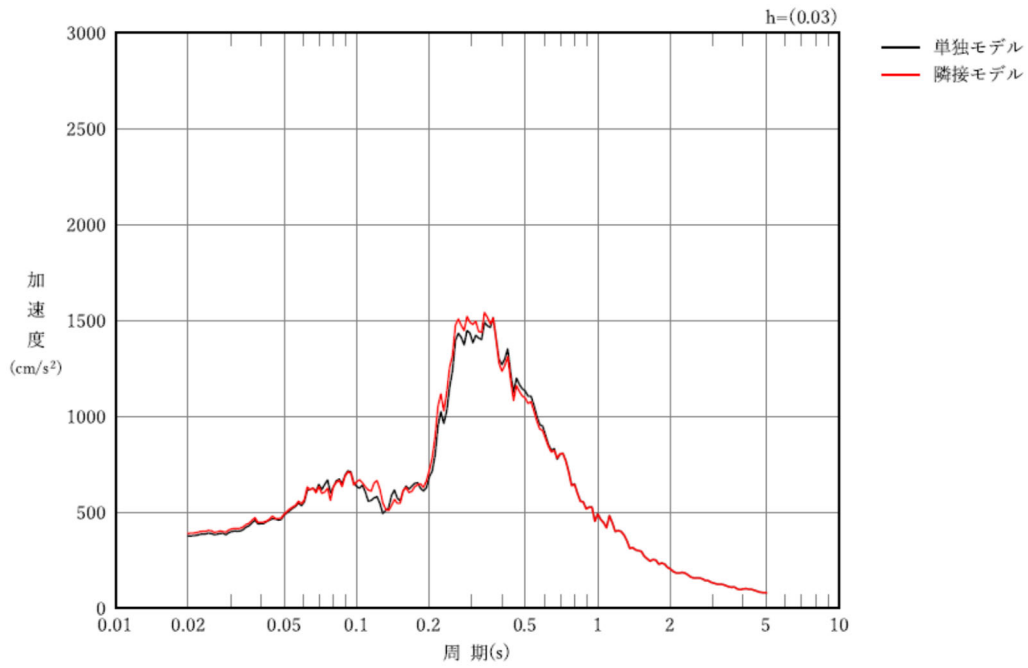


(a) T. M. S. L. 77. 50m

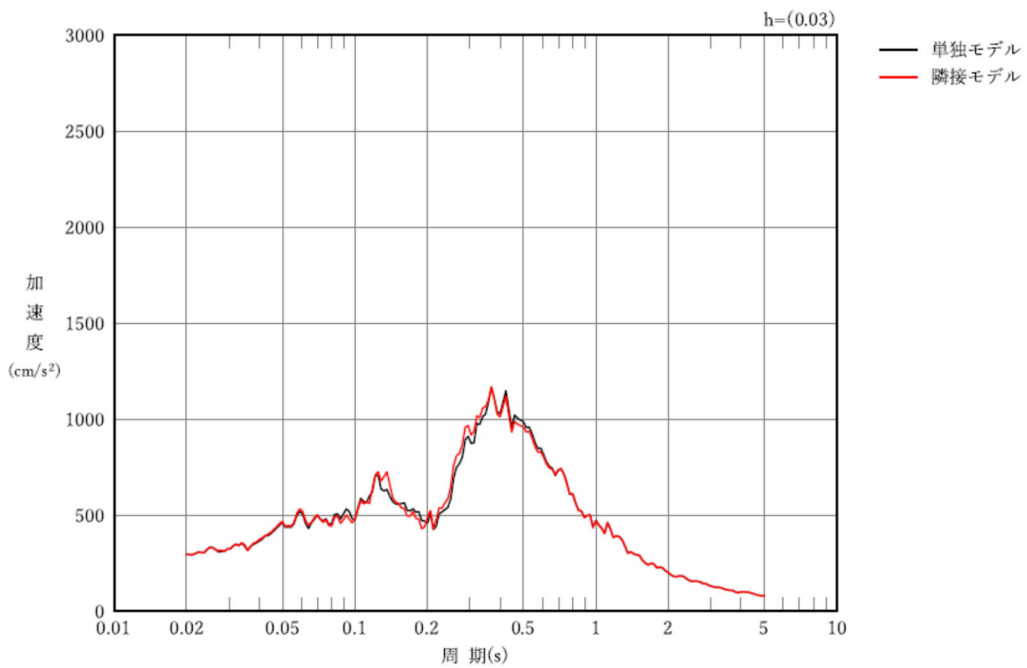


(b) T. M. S. L. 70. 20m

第 3.1-1 図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (NS 方向) (1/2)

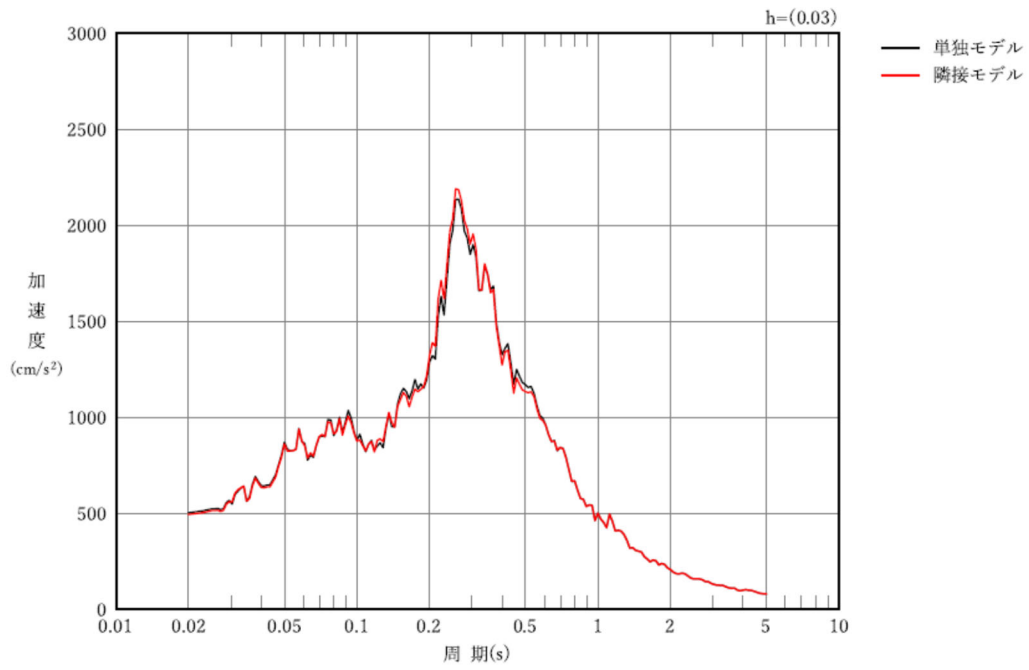


(c) T. M. S. L. 56. 80m

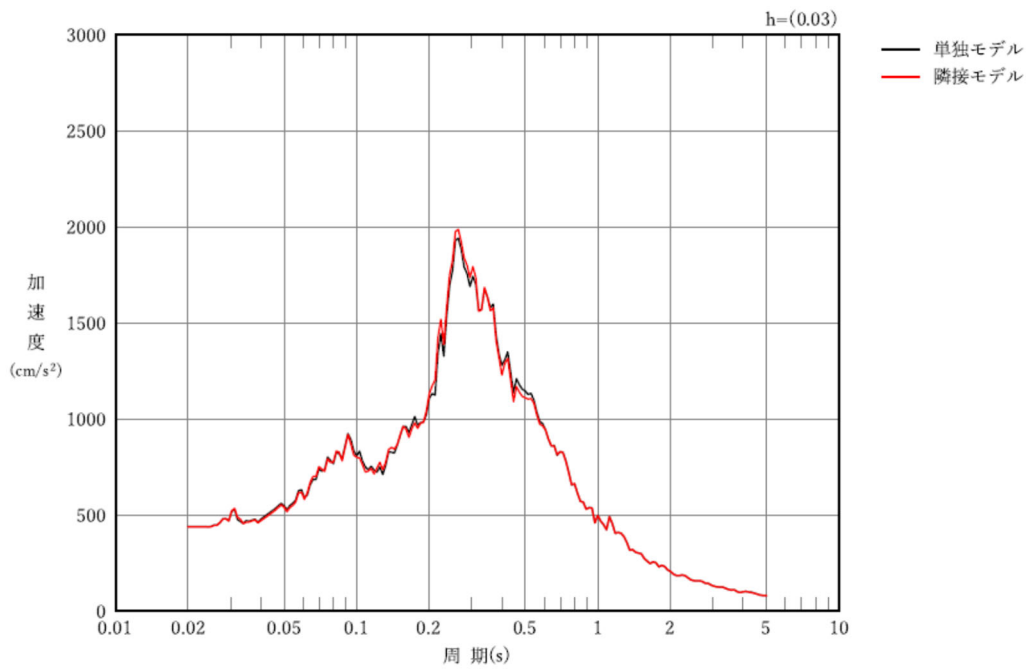


(d) T. M. S. L. 35. 00m

第 3.1-1 図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (NS 方向) (2/2)



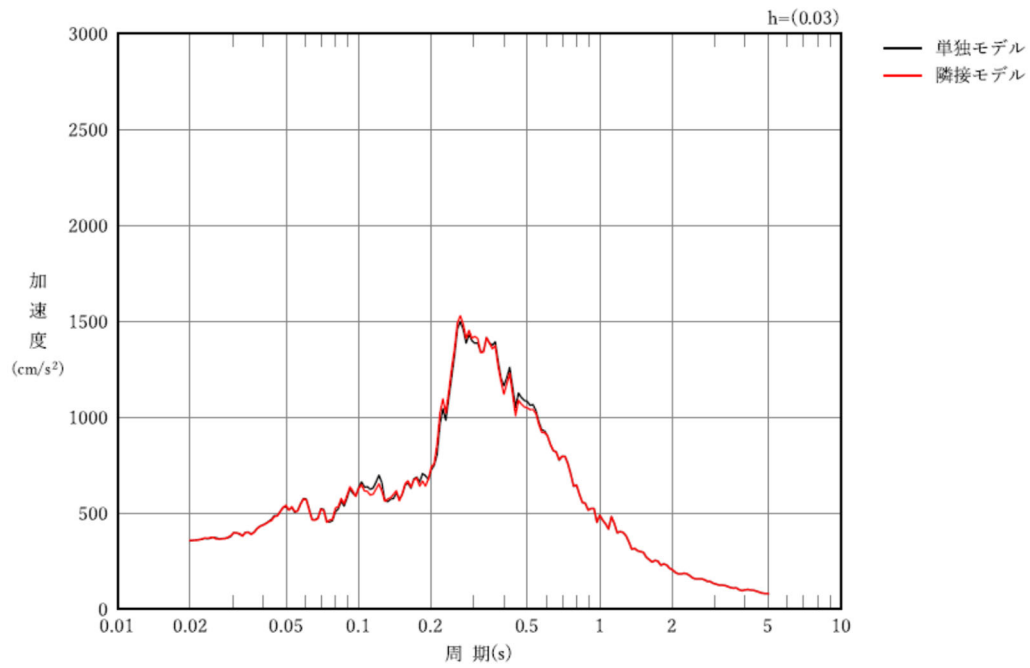
(a) T. M. S. L. 77. 50m



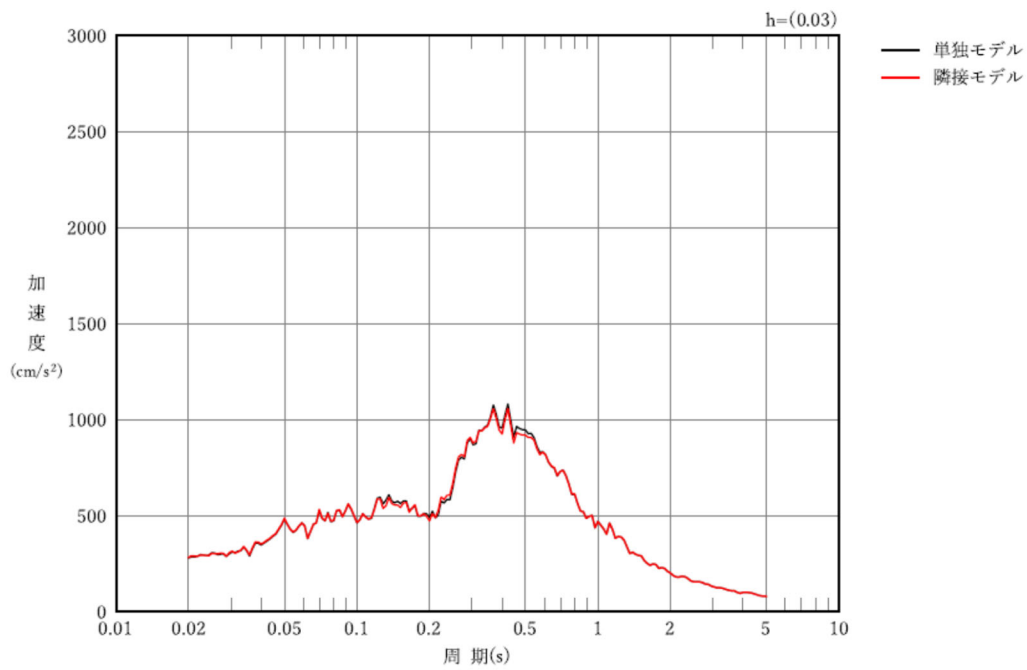
(b) T. M. S. L. 70. 20m

第 3.1-2 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 3.1-2 図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (EW 方向) (2/2)

#### 4. 加振直交方向の応答について

本章では、隣接建屋の影響を考慮した場合の加振直交方向の応答の検討を行う。

FEM を用いた検討は、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置しており、建屋群全体としては対称性を有していないため、加振方向とは直交する方向に対しても建屋応答が生じることが考えられる。そのため、隣接建屋が加振直交方向の応答に及ぼす影響について、加振方向の応答と比較することにより確認する。

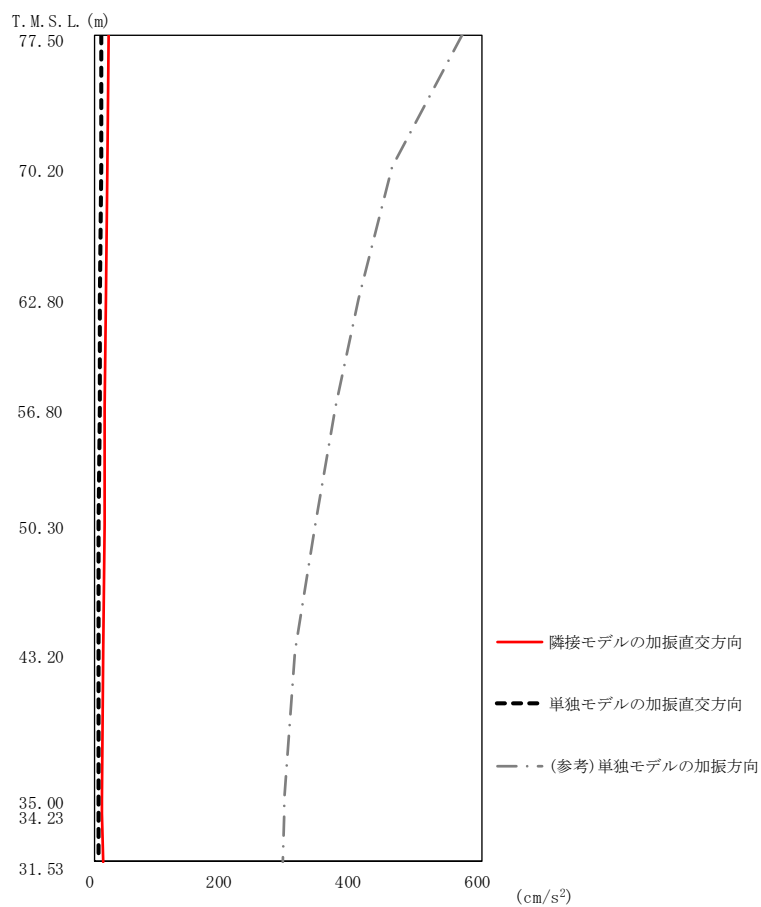
##### 4.1 解析結果

###### 4.1.1 燃料加工建屋の解析結果

隣接モデルに対する地震応答解析について、加振方向の応答と加振直交方向の応答を比較する。

燃料加工建屋（PA）の最大応答加速度値を第 4.1.1-1 図及び第 4.1.1-2 図、第 4.1.1-1 表及び第 4.1.1-2 表に示す。また、頂部、地表面及び基礎上付近の加速度応答スペクトルを第 4.1.1-3 図及び第 4.1.1-4 図に示す。

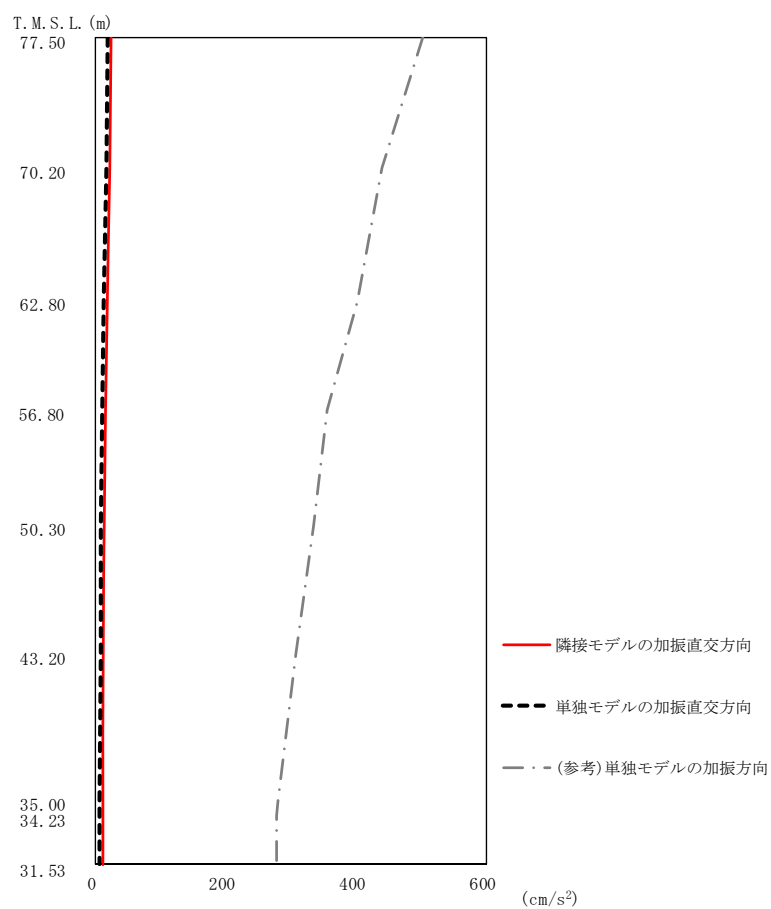
燃料加工建屋（PA）について加振方向の応答と加振直交方向の最大応答加速度値を比較すると、加振直交方向の最大応答値は、加振方向の最大応答値に対して 1/10 以下であり、加振直交方向の加速度応答スペクトルについても、全周期帯で応答が極めて小さくなっていることが確認できる。



第 4.1.1-1 図 燃料加工建屋（PA）の最大応答加速度（NS 方向）

第 4.1.1-1 表 燃料加工建屋（PA）の最大応答加速度一覧表（NS 方向）

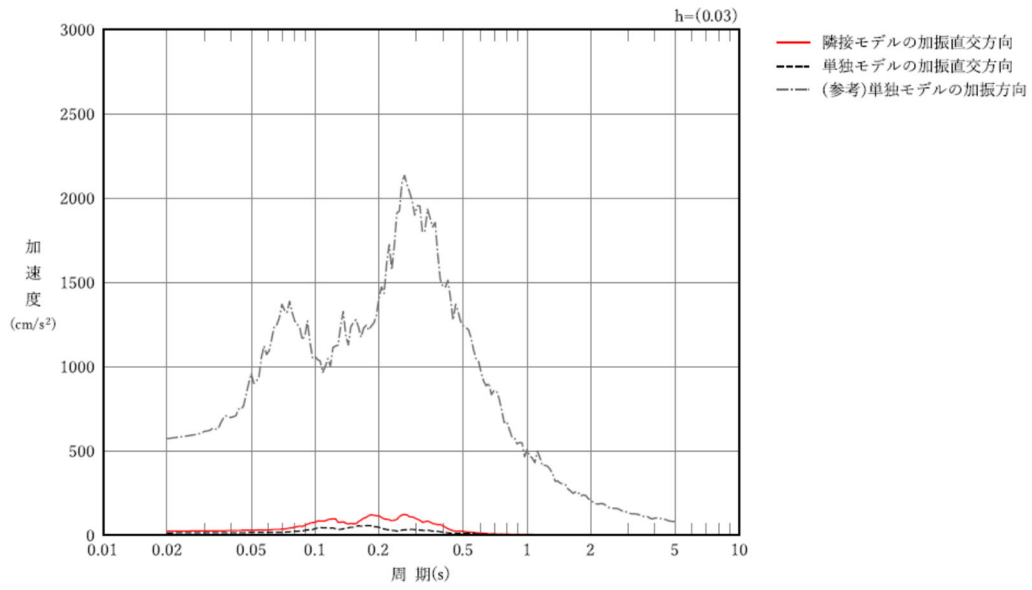
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
		隣接モデルの 加振直交方向	単独モデルの 加振直交方向	(参考)単独モデルの 加振方向
77.50	1	23	12	571
70.20	2	20	11	461
62.80	3	18	9	409
56.80	4	17	8	375
50.30	5	16	8	344
43.20	6	14	7	312
35.00	7	13	7	295
34.23	8	13	7	294
31.53	9	14	7	292



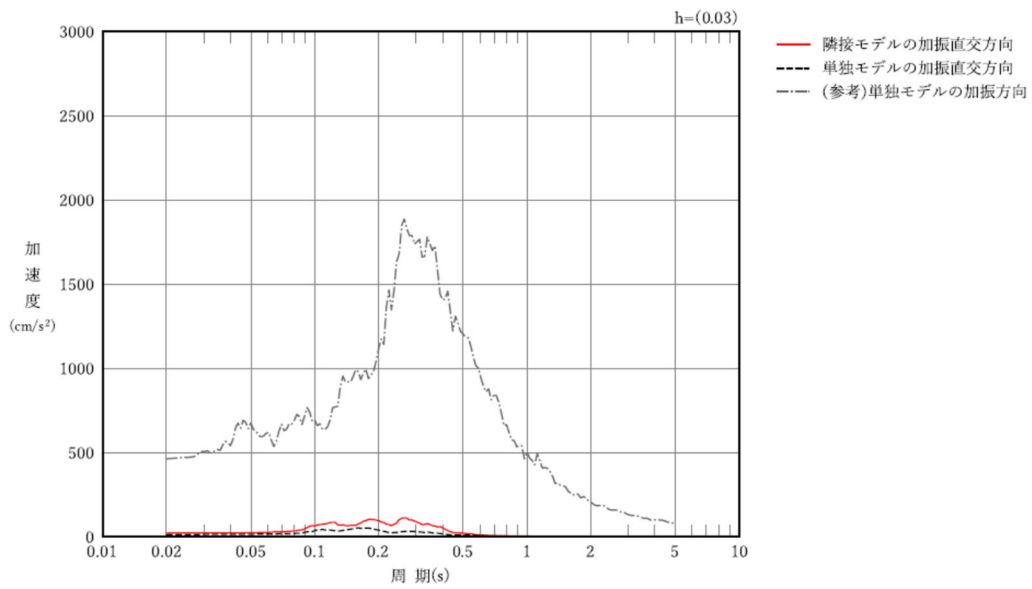
第 4.1.1-2 図 燃料加工建屋（PA）の最大応答加速度（EW 方向）

第 4.1.1-2 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> )		
		隣接モデルの 加振直交方向	単独モデルの 加振直交方向	(参考)単独モデルの 加振方向
77.50	1	24	18	501
70.20	2	20	15	438
62.80	3	18	13	402
56.80	4	16	11	355
50.30	5	14	9	334
43.20	6	12	7	307
35.00	7	11	6	278
34.23	8	11	6	278
31.53	9	12	6	277

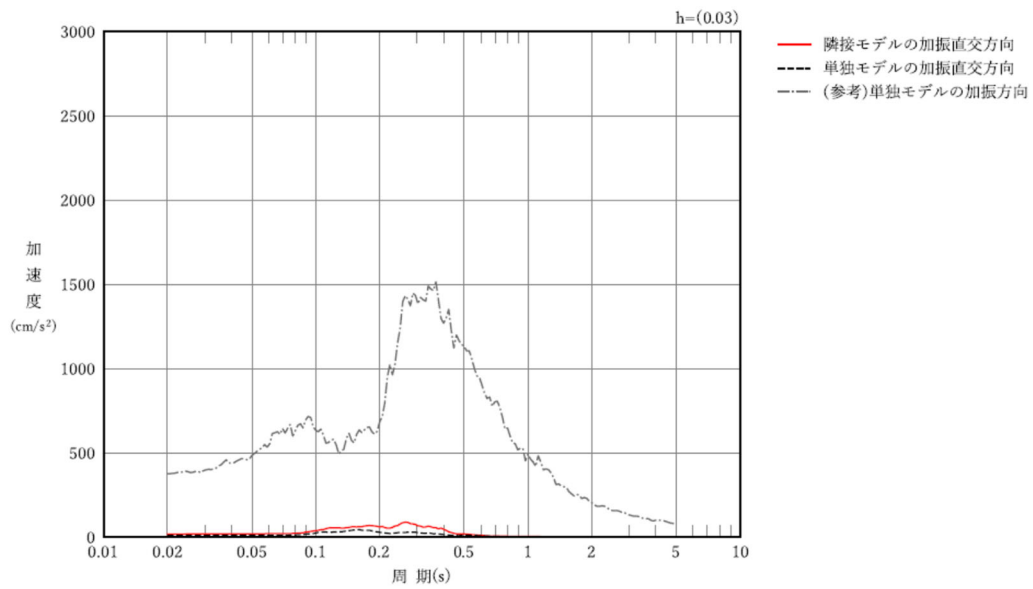


(e) T. M. S. L. 77. 50m

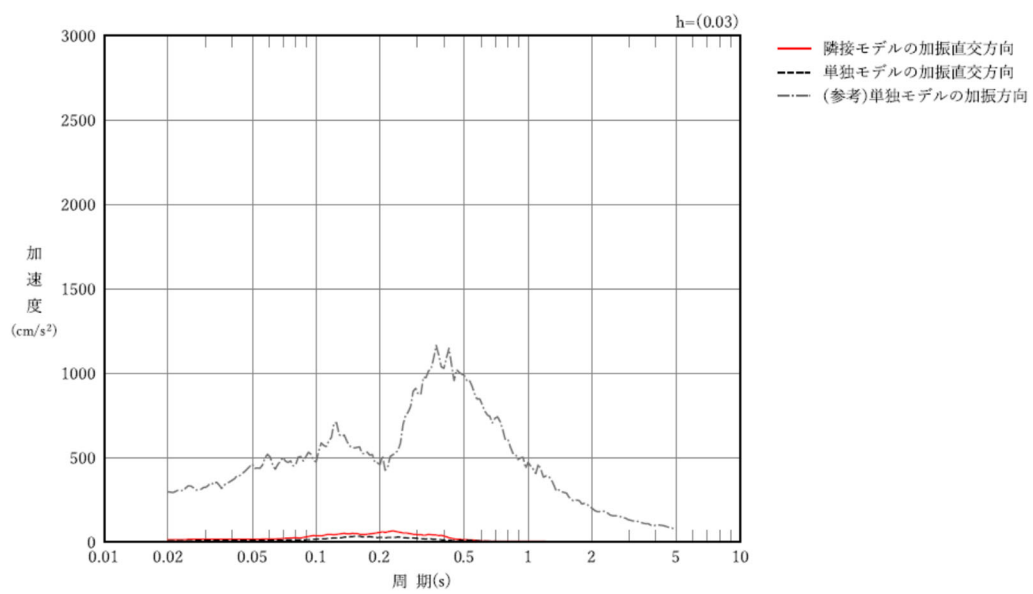


(f) T. M. S. L. 70. 20m

第 4. 1. 1-3 図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (NS 方向) (1/2)

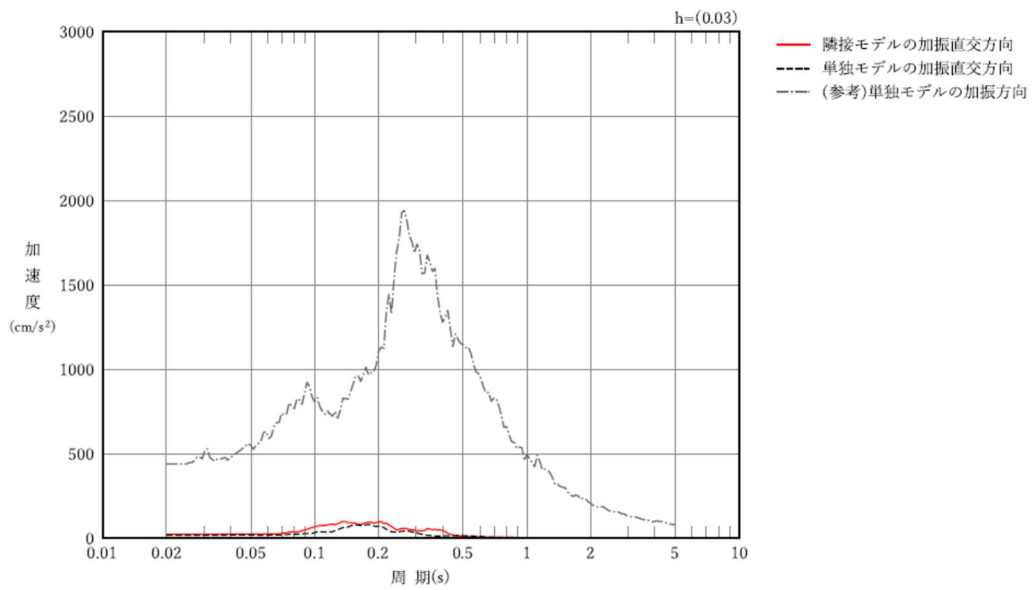
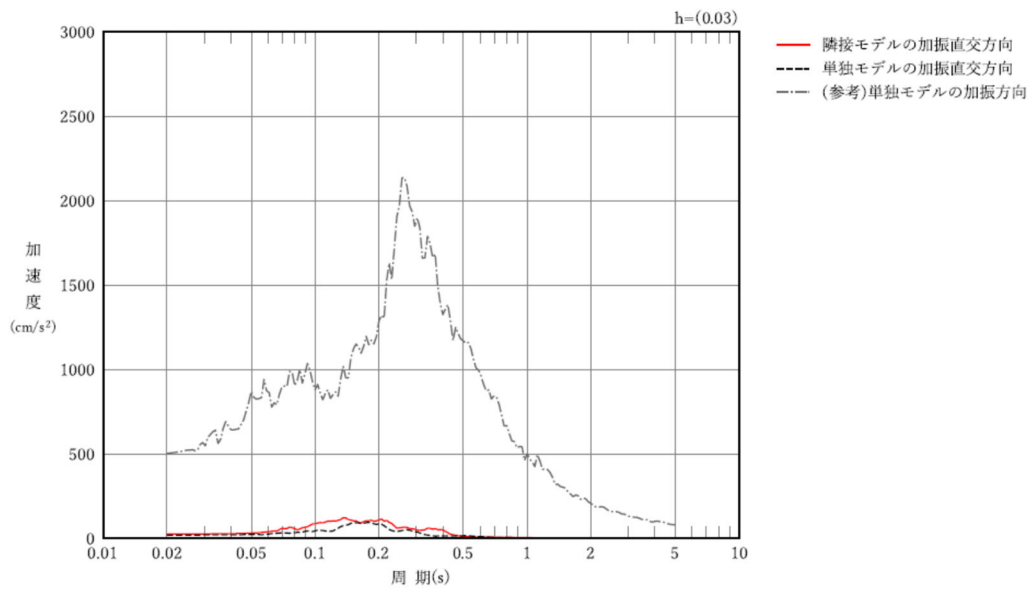


(g) T. M. S. L. 56. 80m

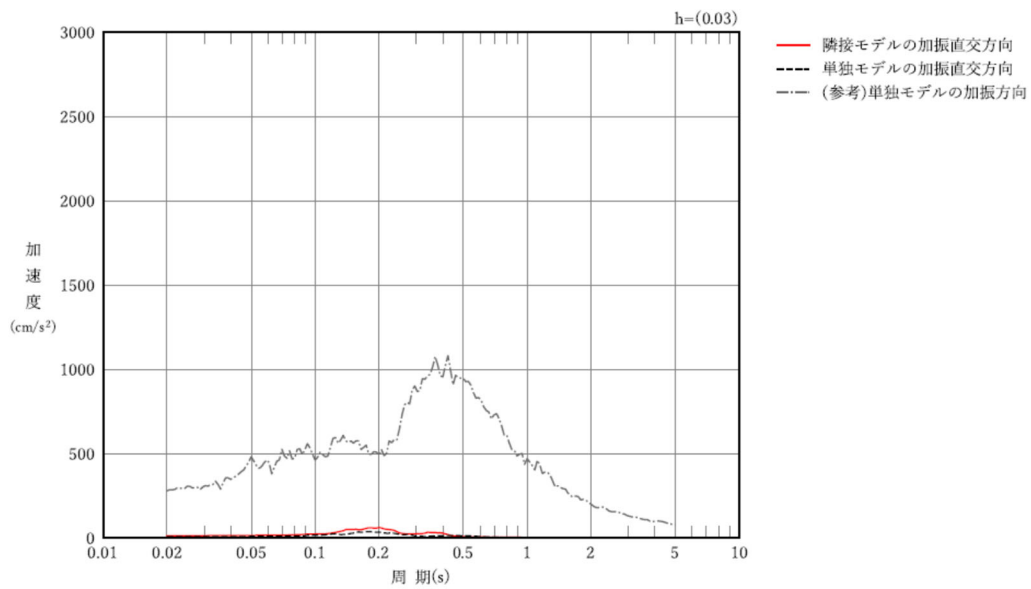
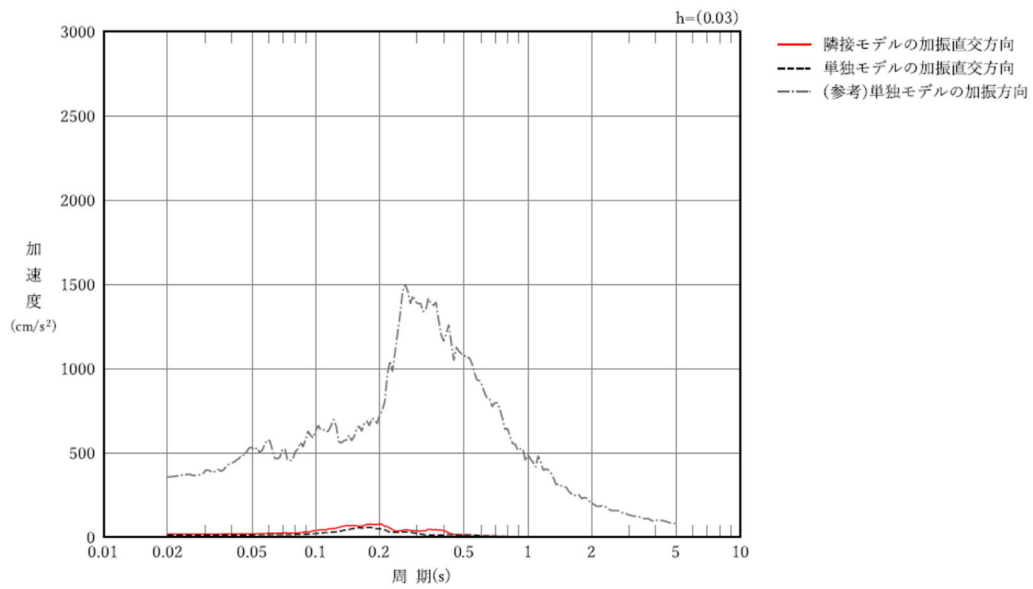


(h) T. M. S. L. 35. 00m

第 4. 1. 1-3 図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (NS 方向) (2/2)



第 4. 1. 1-4 図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (EW 方向) (1/2)



第 4. 1. 1-4 図 燃料加工建屋 (PA) の加速度応答スペクトル (EW 方向) (2/2)



#### 4.2 まとめ

FEM を用いた検討より，隣接建屋が加振直交方向の応答に及ぼす影響は軽微であり，加振方向の応答に対して耐震評価を実施することで，安全上支障がないことを確認した。

## 5. 地盤インピーダンス及び基礎入力動の比較

本章では、隣接モデルと単独モデルにおける評価対象建屋の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する。

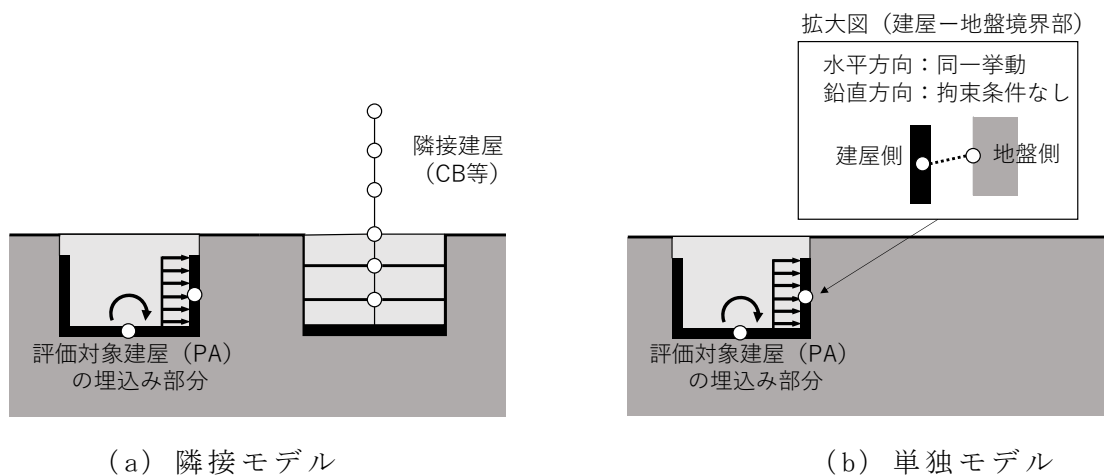
### 5.1 地盤インピーダンスの比較

隣接建屋の有無による地盤インピーダンスへの影響について検討を行う。

地盤インピーダンス算定においては、評価対象建屋の基礎底面位置及び建屋側面位置の地盤表面を剛とし、インパルス加振を行う。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を算定する。

解析モデルについては、本検討では隣接建屋の有無による評価対象建屋の地盤インピーダンスを確認することが目的であるため、地盤 3次元 FEMモデルから評価対象建屋を取り除いたモデルを用いる。解析モデルの概念図を第 5.1-1 図に示す。

また、検討は、水平方向（NS，EW）及び回転方向（NS 周り，EW 周り）について行う。



第 5.1-1 図 地盤インピーダンス算定に用いる解析モデルの概念図

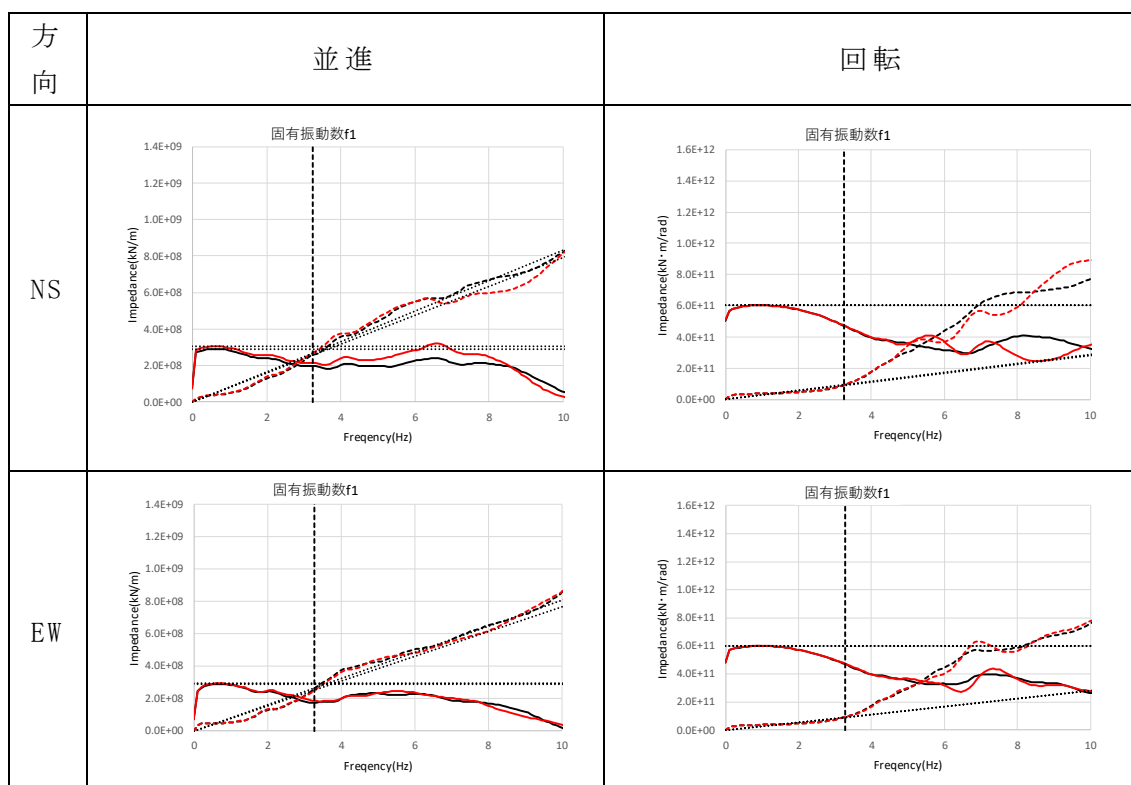
### 5.1.1 燃料加工建屋の解析結果

燃料加工建屋の地盤インピーダンスの比較を第 5.1.1-1 図に示す。また、第 5.1.1-2 図に示す近似法により地盤ばね定数及び減衰定数を評価した結果を第 5.1.1-1 表に示す。

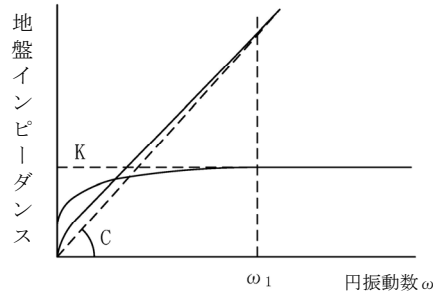
NS 方向及び EW 方向共に、建屋-地盤連成系の固有振動数  $f_1$  (NS 方向：3.24(Hz)，EW 方向：3.28(Hz)) よりも低振動数側では単独モデルと隣接モデルで地盤インピーダンスはほぼ一致し、地盤インピーダンスの結果を基に算定した地盤ばね定数及び減衰定数についても、ほぼ整合していることが分かる。

このことより、隣接建屋が地盤との動的相互作用効果へ与える影響は小さいことを確認した。

—— 単独-実部      - - - - 単独-虚部      ——— 隣接-実部      - - - - 隣接-虚部



第 5.1.1-1 図 燃料加工建屋の地盤インピーダンスの比較



ばね定数 K：実部の極大値で定数化

減衰係数 C：振動系全体のうち地盤の影響が卓越する最初の固有円振動数  $\omega_1^*$  に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きで定数化

注記 \* :  $\omega_1 = 2 \times \pi \times f_1$

第 5.1.1-2 図 地盤ばねの定数化の概要

第 5.1.1-1 表 地盤ばね定数及び減衰定数の比較

(a) NS 方向

方向		単独モデル	隣接モデル
並進	ばね定数 (kN/m)	$2.91 \times 10^8$	$3.05 \times 10^8$
	減衰係数 (kN·s/m)	$1.26 \times 10^7$	$1.32 \times 10^7$
回転	ばね定数 (kN·m/rad)	$6.04 \times 10^{11}$	$6.04 \times 10^{11}$
	減衰係数 (kN·m·s/rad)	$4.52 \times 10^9$	$4.61 \times 10^9$

注記 :  $f_1=3.24$  (Hz)

(b) EW 方向

方向		単独モデル	隣接モデル
並進	ばね定数 (kN/m)	$2.90 \times 10^8$	$2.93 \times 10^8$
	減衰係数 (kN·s/m)	$1.28 \times 10^7$	$1.21 \times 10^7$
回転	ばね定数 (kN·m/rad)	$6.00 \times 10^{11}$	$6.00 \times 10^{11}$
	減衰係数 (kN·m·s/rad)	$4.45 \times 10^9$	$4.47 \times 10^9$

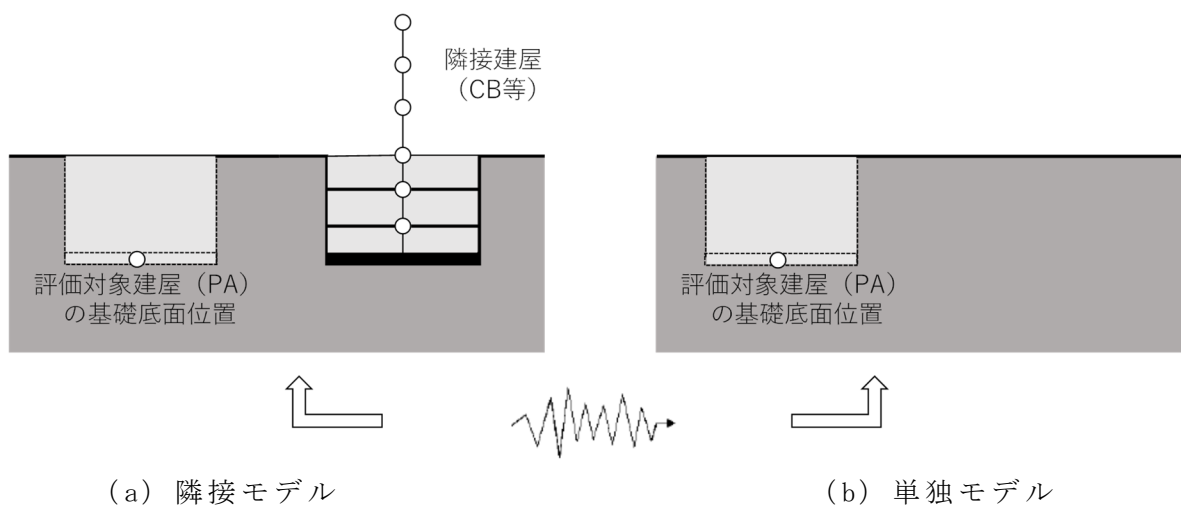
注記 :  $f_1=3.28$  (Hz)

## 5.2 基礎入力動の加速度応答スペクトルの比較

隣接建屋の有無による基礎入力動への影響について検討を行う。

検討は、添付書類「燃料加工建屋の隣接建屋に関する影響評価結果」で用いる入力波を地盤 3 次元 FEM モデルの底面に入力し、隣接建屋の有無の違いによる評価対象建屋の基礎底面位置の応答を比較することにより行う。

なお、本検討においても隣接建屋の有無による評価対象建屋の基礎底面位置の応答を確認し、基礎入力動について検討することが目的であるため、地盤 3 次元 FEM モデルから評価対象建屋を取り除いたモデルを用いる。解析モデルの概念図を第 5.2-1 図に示す。



第 5.2-1 図 基礎入力動算定に用いる解析モデルの概念図

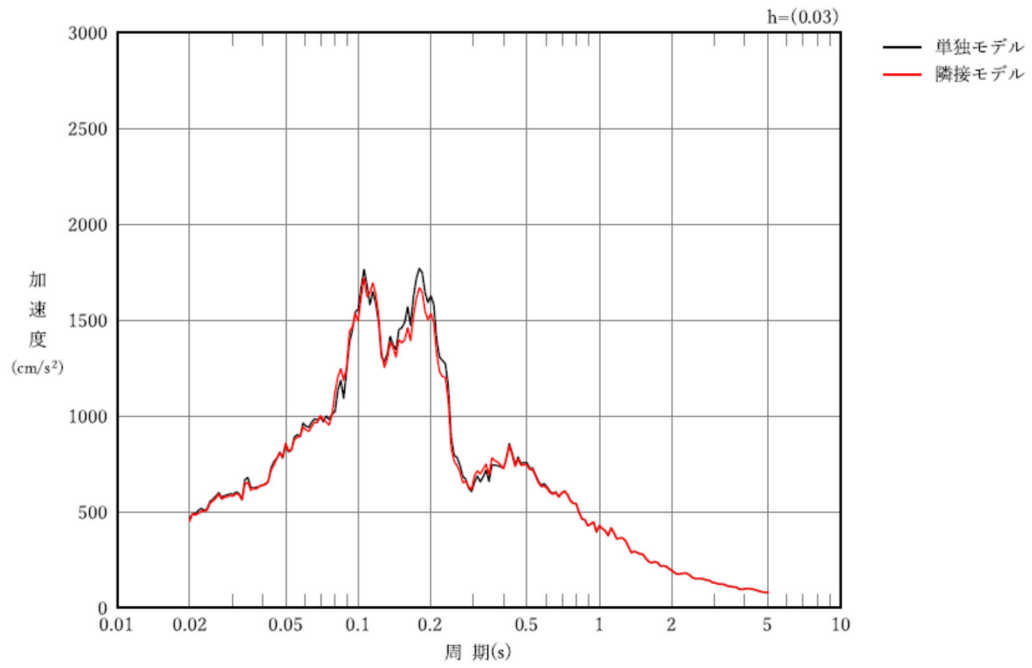
### 5.2.1 燃料加工建屋の解析結果

燃料加工建屋の基礎入力動の最大加速度の比較を第 5.2.1-1 表及び第 5.2.1-1 図に示す。

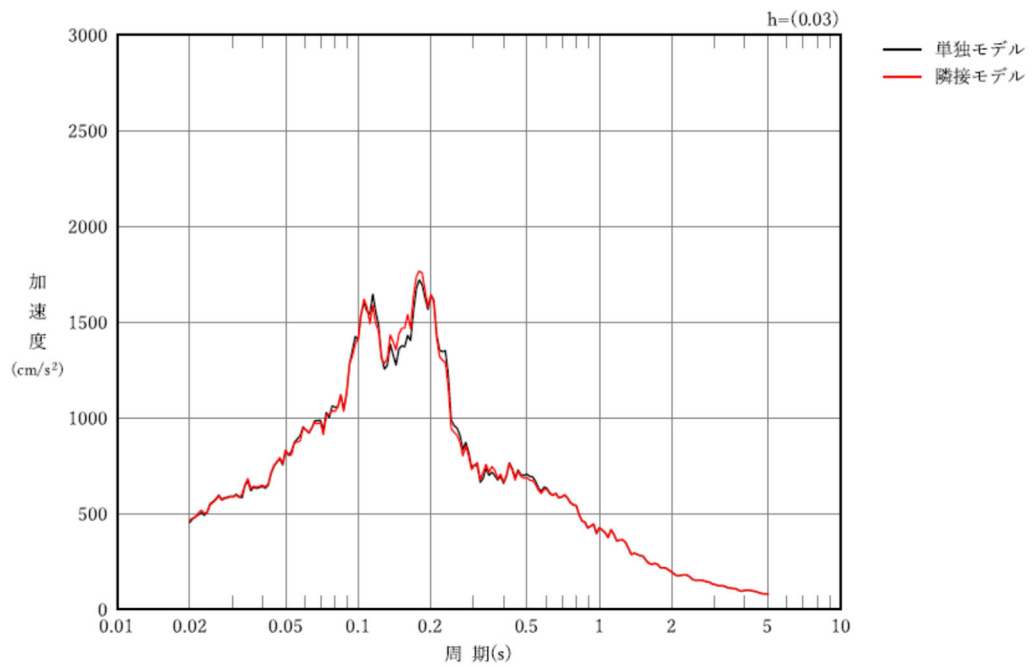
基礎入力動の比較より、単独モデル及び隣接モデルの最大加速度の差異は、最大でも 3%程度であり、加速度応答スペクトルはほぼ一致していることから、隣接建屋が燃料加工建屋の基礎入力動に与える影響は小さいことを確認した。

第 5.2.1-1 表 燃料加工建屋の基礎入力動の最大加速度

加振方向	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		比率 (②/①)
	① 単独	② 隣接	
NS	467	451	0.966
EW	454	467	1.029



(a) NS 方向



(b) EW 方向

第 5.2.1-1 図 燃料加工建屋の基礎底面位置の加速度応答スペクトル

### 5.3 まとめ

本検討では、隣接建屋の有無による燃料加工建屋の地盤インピーダンス及び基礎入力動の比較を行った。その結果、隣接モデルと単独モデルの地盤インピーダンス及び基礎入力動は、概ね対応しており、隣接建屋が燃料加工建屋における地盤との動的相互作用効果及び基礎入力動に与える影響は小さいことを確認した。



## 6. MMRを線形材料として考慮することの妥当性確認

本章では、MMRを線形材料として考慮することの妥当性を確認する。 MMRは地中の無筋コンクリート塊であり、地震時の地盤応答によるせん断変形は小さく、弾性範囲内の挙動となると考えられることから、線形材料として考慮している。

検討は、解析結果より MMR の発生応力度を確認し、せん断ひび割れ耐力と比較することで、MMR にひび割れは発生しておらず弾性範囲内に留まっていることを確認する。

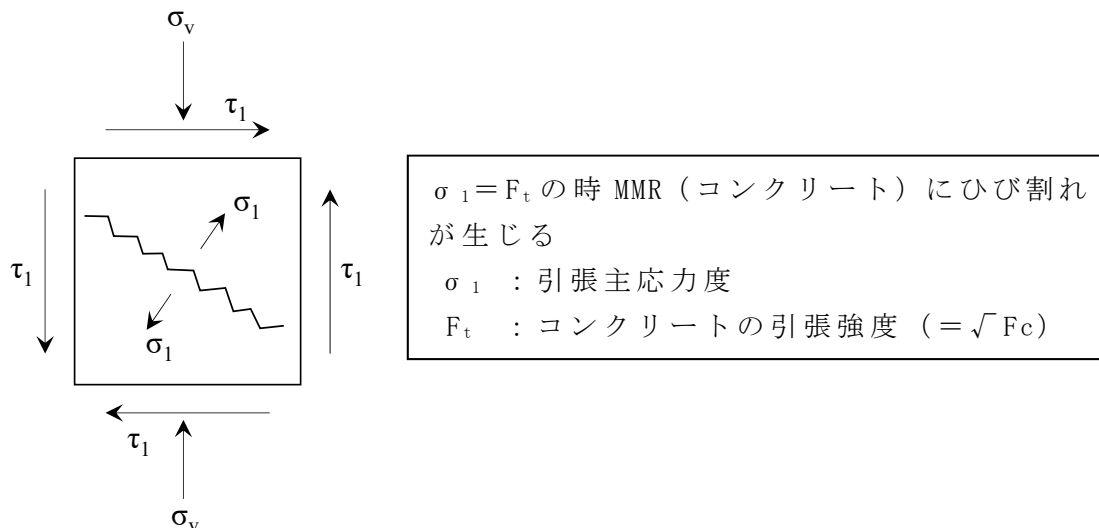
MMRのせん断ひび割れ耐力は、「原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG 4601-1991 追補版（(社)日本電気協会）」のせん断スケルトンカーブの第1折点から設定する。本評価式は、引張主応力度がコンクリートの引張強度に達した時のせん断応力度として求めることができ、コンクリートの材料特性としてのせん断ひび割れ耐力と対応する。

$$\tau_1 = \sqrt{\left(\sqrt{F_c}(\sqrt{F_c} + \sigma_v)\right)}$$

ここで、

$F_c$  : コンクリートの圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

$\sigma_v$  : 縦軸応力度 (kgf/cm<sup>2</sup>) (保守的に 0.0 とする。)



$F_c=14.7\text{N/mm}^2$  より、 $\tau_1=1.20\text{N/mm}^2$  となる。また、解析結果より、MMR部の発生応力度の最大値は  $0.80\text{N/mm}^2$  ( $<1.20\text{N/mm}^2$ ) であり、MMRにひび割れは発生しておらず弾性範囲内に留まっていると考えられる。

別紙 2-2

安全冷却水 B 冷却塔に対する FEM を用いた検討

## 目 次

1. 概要	別紙 2-2-1
2. 地盤物性値の設定	別紙 2-2-2
3. 加速度応答スペクトルの比較	別紙 2-2-9
3.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果	別紙 2-2-9
4. 加振直交方向の応答について	別紙 2-2-14
4.1 解析結果	別紙 2-2-14
4.1.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果	別紙 2-2-14
4.2 まとめ	別紙 2-2-21
5. 地盤インピーダンス及び基礎入力動の比較	別紙 2-2-22
5.1 地盤インピーダンスの比較	別紙 2-2-22
5.1.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果	別紙 2-2-23
5.2 基礎入力動の加速度応答スペクトルの比較	別紙 2-2-25
5.2.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果	別紙 2-2-26
5.3 まとめ	別紙 2-2-28

1. 概要

本資料は、添付書類「安全冷却水 B 冷却塔の隣接建屋に関する影響評価結果」に示す、FEM を用いた検討の解析条件及び解析結果を補足するものである。

## 2. 地盤物性値の設定

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構成される水平成層地盤（以下、「設計用地盤モデル」という。）とする。

解析で考慮する地盤の物性値を第 2.-1 表に、ひずみ依存特性を第 2.-1 図～第 2.-3 図に、弾性設計用地震動 Sd-A における地盤物性を第 2.-2 表～第 2.-4 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、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。なお、設計用地盤モデルとして考慮している安全冷却水 B 冷却塔の基礎下の MMR は、支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし、MMR 直下の支持地盤の物性値として設定している。

第 2.-1 表 地盤の解析用物性値 (1/2)

(a) 設計用地盤モデル

(再処理施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 6-1 表の引用)

標高 T. M. S. L. (m)	岩種	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)	剛性低下率 $G/G_0-\gamma$	減衰定数 $h-\gamma$
▽基礎スラブ底面						
53.80						
▽MMR下端レベル	MMR	*1	*1	*1	*1	*1
39.00						
	細粒砂岩	18.3	680	1910	*2	*3
37.08	粗粒砂岩					
36.63						
	細粒砂岩	18.1	940	2040	*2	*4
9.02						
-25.57	泥岩 (下部層)	16.9	790	1880		
▽解放基盤表面						
-70.00	泥岩 (下部層)	16.9	790	1880		-

\*1: 支持地盤相当の岩盤に支持されているとみなし, MMR 直下の支持地盤の物性値を設定する。

\*2: 第 3-1 図 (1) に示す細粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

\*3: 第 3-1 図 (2) に示す粗粒砂岩のひずみ依存特性を設定する。

\*4: 第 3-1 図 (3) に示す泥岩 (下部層) のひずみ依存特性を設定する。

本資料では, 第 2.-1 図~第 2.-3 図に各ひずみ依存特性を示す。

第 2.-1 表 地盤の解析用物性値 (2/2)

(b) 埋戻し土

(再処理施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 3-1 表の引用)

区分			細粒砂岩 Tfs	粗粒砂岩 Tcs	泥岩 (下部層) Tms	埋戻し土 bk
物理特性	湿潤密度	$\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	$1.85-1.55 \times 10^{-4} \cdot Z$	2.05	1.70	$1.82+2.8 \times 10^{-3} \cdot D$
強度特性	ピークせん断強度	$s_u$ (MPa)	$2.22-1.45 \times 10^{-2} \cdot Z$	1.19	$2.82-1.18 \times 10^{-2} \cdot Z$	$0.049+0.761 p^*$
	残留せん断強度	$s_{ur}$ (MPa)	$1.55-8.17 \times 10^{-3} \cdot Z$	0.88	$1.67-3.20 \times 10^{-3} \cdot Z$	$0.043+0.764 p^*$
静的変形特性	初期変形係数	$E_0$ (MPa)	$939-8.69 Z$	574	$938-2.64 Z$	$22.1+266 p$
	ポアソン比	$\nu$	$0.47+2.6 \times 10^{-4} \cdot Z$	0.48	$0.47+1.6 \times 10^{-4} \cdot Z$	0.48
動の変形特性	動せん断弾性係数	$G_0$ (MPa)	$1220-5.88 Z$	1860	$986-1.59 Z$	$60.7+8.20 D$
	動ポアソン比	$\nu_d$	$0.40+2.8 \times 10^{-4} \cdot Z$	0.39	$0.40+1.1 \times 10^{-4} \cdot Z$	0.39
	正規化せん断弾性係数	$G/G_0$ ~ $\gamma$ (%)	$\frac{1}{1+1.87 \cdot \gamma^{0.819}}$	$\frac{1}{1+3.37 \cdot \gamma^{0.663}}$	$\frac{1}{1+0.904 \cdot \gamma^{0.933}}$	$\frac{1}{1+12.7 \cdot \gamma^{0.914}}$
	減衰率	$h$ (%) ~ $\gamma$ (%)	$\frac{\gamma}{0.207 \gamma + 0.0249} + 1.29$	$\frac{\gamma}{0.121 \gamma + 0.00752} + 1.58$	$\frac{\gamma}{0.412 \gamma + 0.0752} + 1.25$	$\frac{\gamma}{0.0631 \gamma + 0.00599} + 1.29$

Z : 標高 (m), D : 深度 (G.L.-m), p : 土被り圧から静水圧を差し引いた圧密応力 (MPa),  
 $\gamma$  : せん断ひずみ (%)

※ 事業変更許可申請書に記載されている土質試験結果を示す。

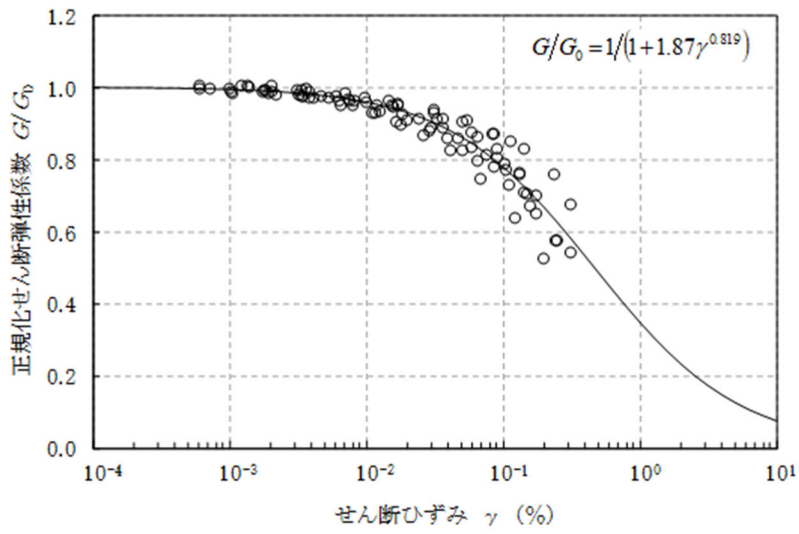
(c) 改良地盤

(再処理施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 3-3 表の引用)

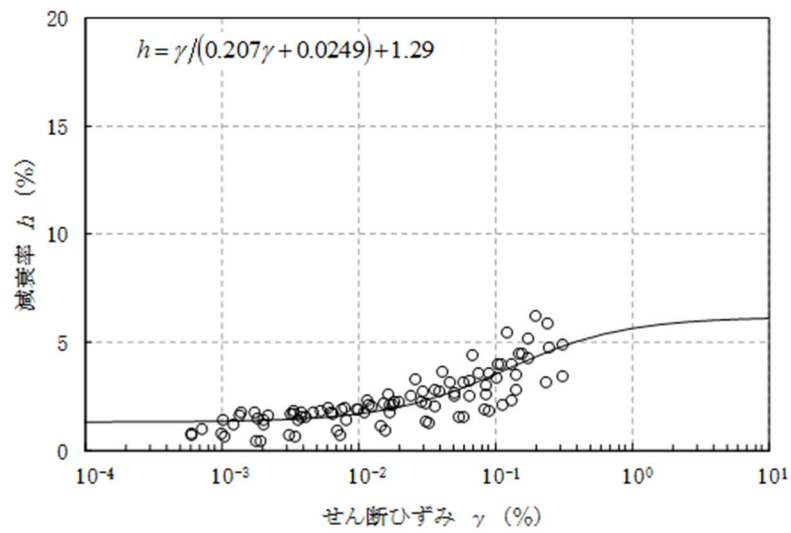
区分			改良地盤B	MMR (コンクリート) (設計基準強度 14.7N/mm <sup>2</sup> )
物理特性	単位体積重量	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	16.9	23.0
動の変形特性	初期せん断弾性係数	$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	1,100	8,021
	動ポアソン比	$\nu_d$	0.33	0.20
	正規化せん断弾性係数	$G/G_0$	$\frac{1}{1+0.4730 (\tau / 0.001056 / G_0)^{0.7120}}$	—
	減衰率	$h$	$\frac{2 \cdot 0.7120 (1-G/G_0)}{\pi (0.7120+2)}$	0.05

G : 動せん断弾性係数 (N/mm<sup>2</sup>),  $\tau$  : せん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)

本資料では、改良地盤 B を改良地盤と読み替える。



(a) 動的変形特性

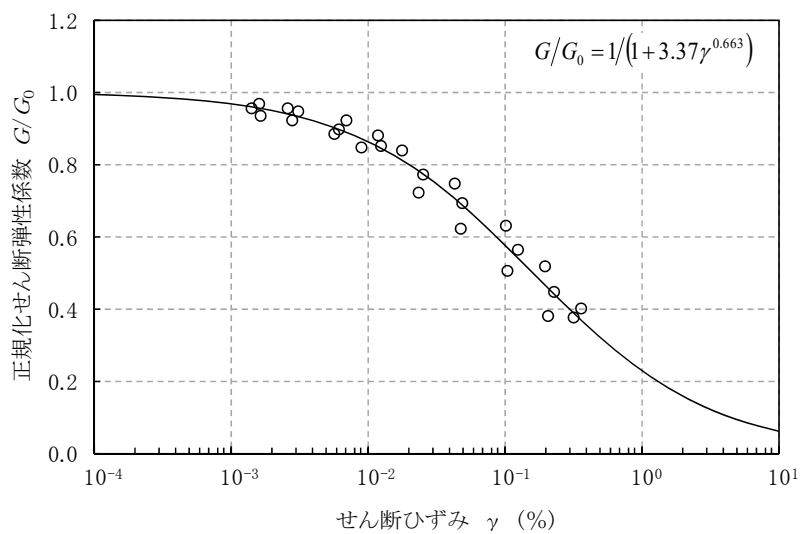


(b) 減衰特性

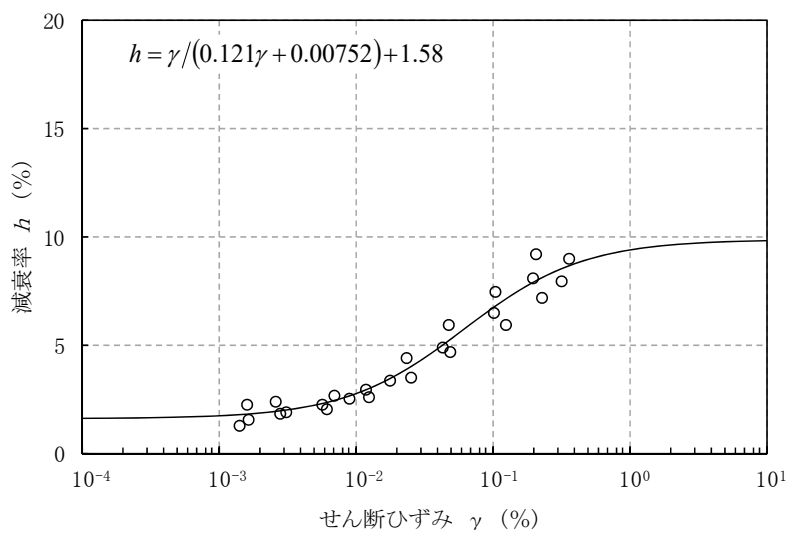
第 2.-1 図 細粒砂岩のひずみ依存特性

(再処理施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 3-1 図より引用)





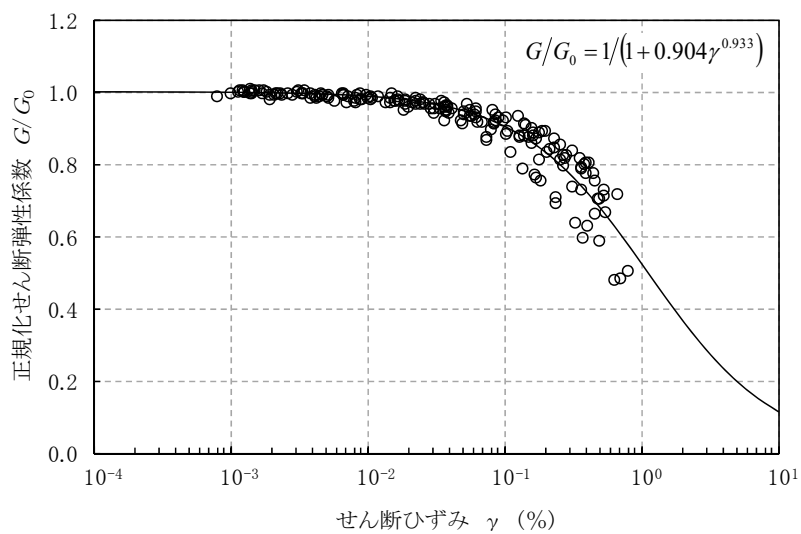
(a) 動的変形特性



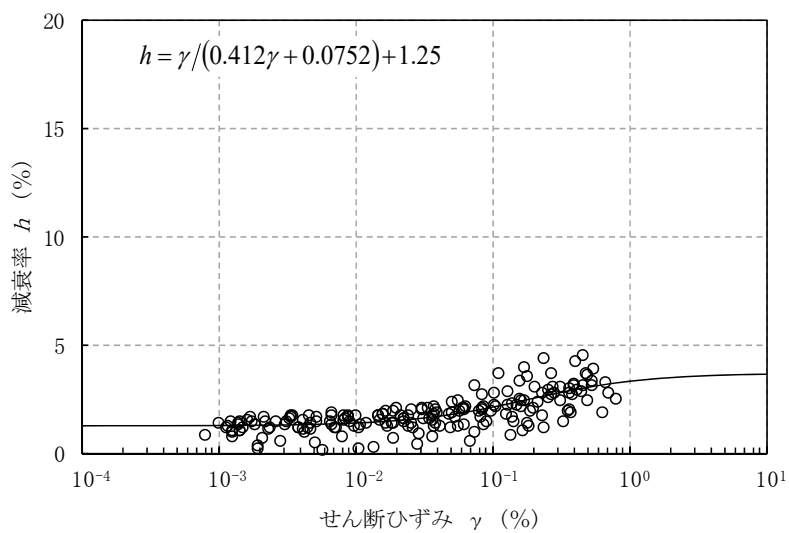
(b) 減衰特性

第 2.-2 図 粗粒砂岩のひずみ依存特性

(再処理施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
第 3-1 図より引用)



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性

第 2.-3 図 泥岩（下部層）のひずみ依存特性  
 （再処理施設 添付書類「地盤の支持性能に係る基本方針」の  
 第 3-1 図より引用）

第 2.-2 表 地盤 3 次元 FEM モデルの地盤物性値  
(設計用地盤モデル, Sd-A)

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 $\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	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	55.00					
▽A4Bの基礎底面	53.80	18.3	674	1890	0.01	0.5
MMR*	39.00					
細粒砂岩	37.08	18.3	671	1880	0.02	
粗粒砂岩	37.08	18.3	643	1800	0.02	
▽AHの基礎底面	36.82					
細粒砂岩	9.02	18.3	667	1870	0.02	
	9.02	18.1	925	2010	0.02	
泥岩 (下部層)	-25.57	16.9	783	1860	0.01	
▽解放基礎表面	-70.00					
	-70.00	16.9	790	1880	0.01	

注記 \* : MMR 直下の支持地盤の物性値を基に設定している

第 2.-3 表 地盤 3 次元 FEM モデルの地盤物性値 (埋戻し土, Sd-A)

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 $\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	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	55.00					
▽A4Bの基礎底面	53.80	17.8	177	418	0.03	0.5
	53.05	17.9	178	419	0.05	
	50.03	18.0	184	433	0.07	
埋戻し土	47.65	18.0	191	451	0.07	
	46.12	18.1	207	487	0.07	
	42.80	18.2	228	538	0.07	
	39.32	18.2	243	573	0.07	
	37.08	18.2	243	573	0.07	
▽AHの基礎底面	36.82	18.3	251	592	0.06	
細粒砂岩	36.82					

第 2.-4 表 地盤 3 次元 FEM モデルの地盤物性値 (改良地盤, Sd-A)

標高 T. M. S. L. (m)	単位体積 重量 $\gamma_t$ ( $\text{kN/m}^3$ )	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	55.00					
▽A4Bの基礎底面	53.80	16.9	795	1580	0.001	0.5
	53.05		792	1570	0.003	
	50.03		788	1560	0.004	
改良地盤	47.65		784	1560	0.005	
	46.12		784	1560	0.006	
	42.80		781	1550	0.007	
	39.32		781	1550	0.008	
	37.08		781	1550	0.008	
▽AHの基礎底面	36.82		781	1550	0.008	
細粒砂岩	36.82					

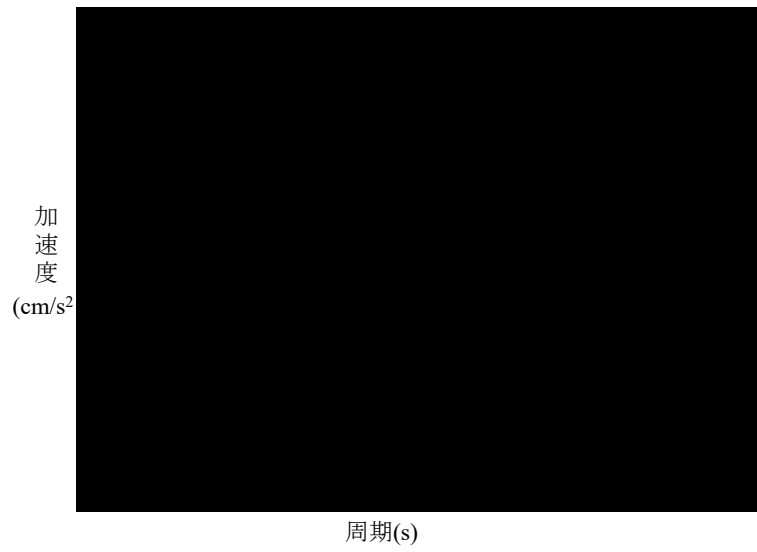
### 3. 加速度応答スペクトルの比較

本章では、単独モデル及び隣接モデルの加速度応答スペクトルの比較を行う。

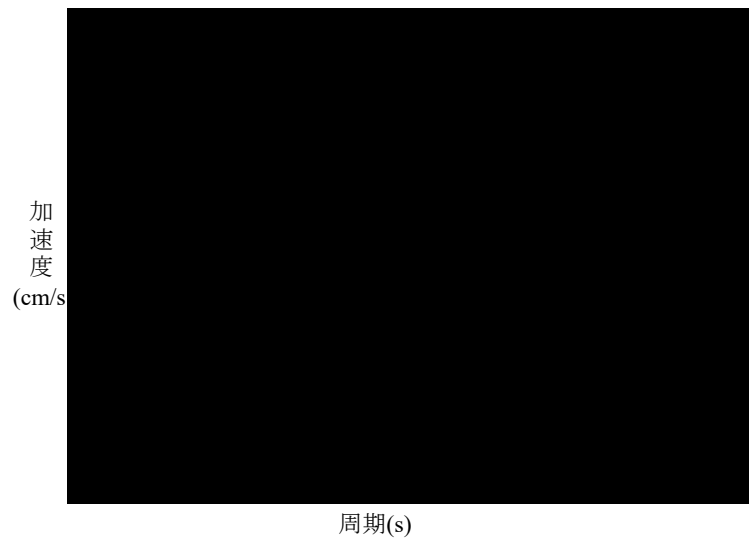
#### 3.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果

安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の解析結果として、鉄骨造の支持架構、及び基礎上の加速度応答スペクトルを第 3.1-1 図及び第 3.1-2 図に示す。



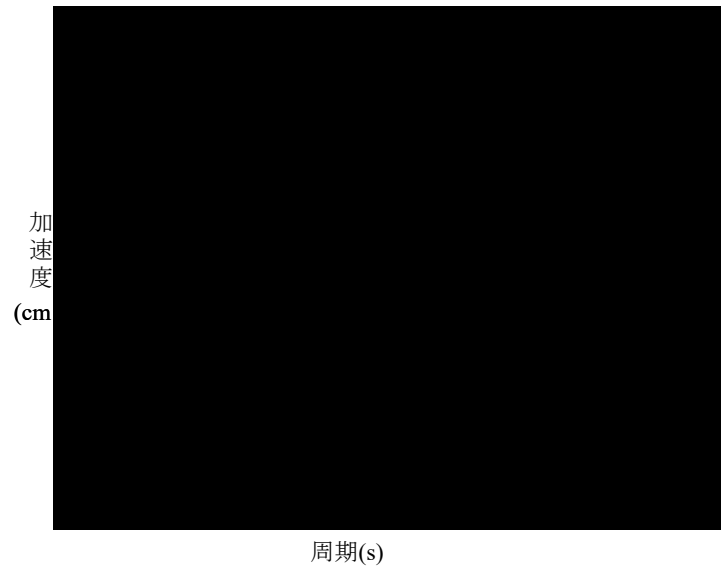


(a) T. M. S. L. [redacted] m



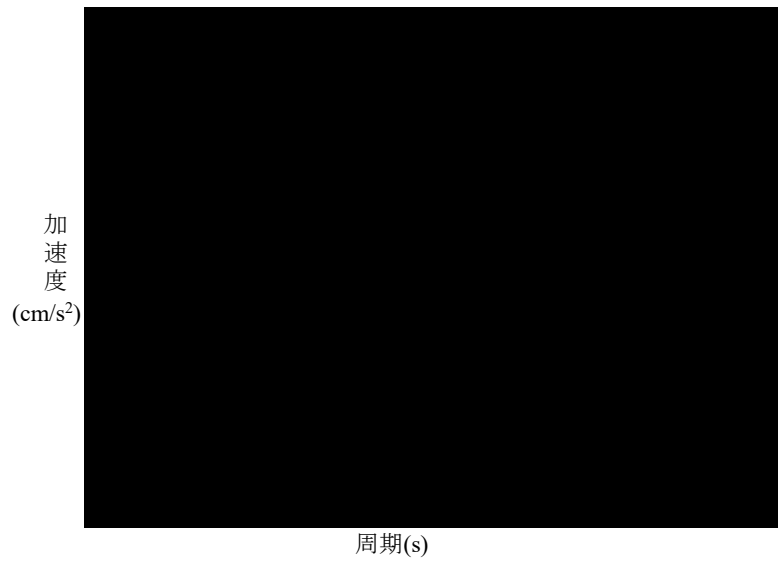
(b) T. M. S. L. [redacted] m

第 3.1-1 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) (1/2)

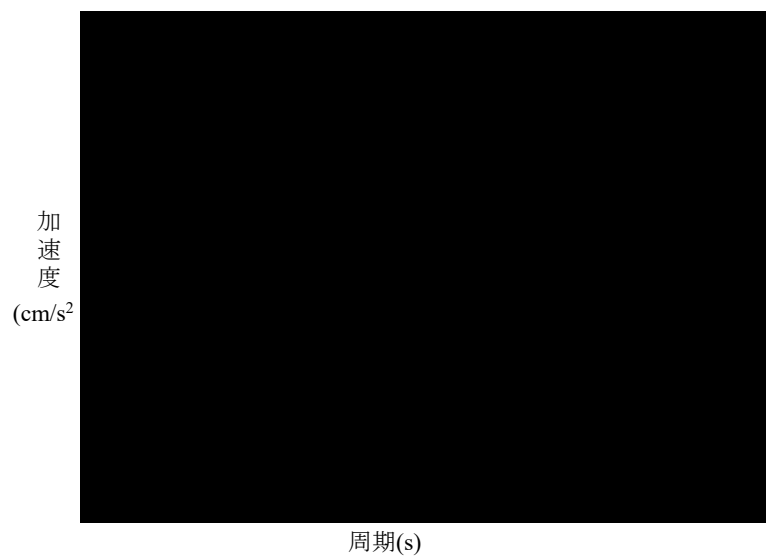


(c) T. M. S. L. [REDACTED] m

第 3.1-1 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) (2/2)

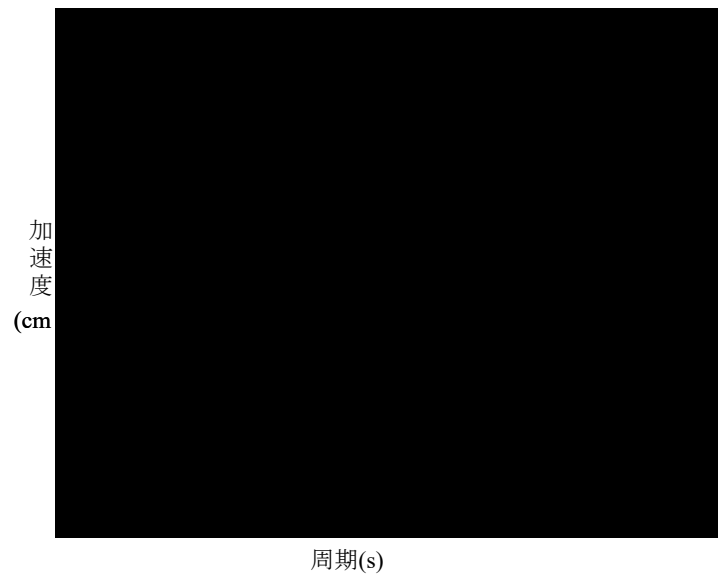


(a) T. M. S. L. [redacted] m



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

第 3.1-2 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) (1/2)



(c) T. M. S. L. [REDACTED] m

第 3.1-2 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) (2/2)



#### 4. 加振直交方向の応答について

本章では、隣接建屋の影響を考慮した場合の加振直交方向の応答の検討を行う。

FEM を用いた検討は、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置しており、建屋群全体としては対称性を有していないため、加振方向とは直交する方向に対しても建屋応答が生じることが考えられる。そのため、隣接建屋が加振直交方向の応答に及ぼす影響について、隣接モデル及び単独モデルにおける加振直交方向の応答を比較することにより確認する。

#### 4.1 解析結果

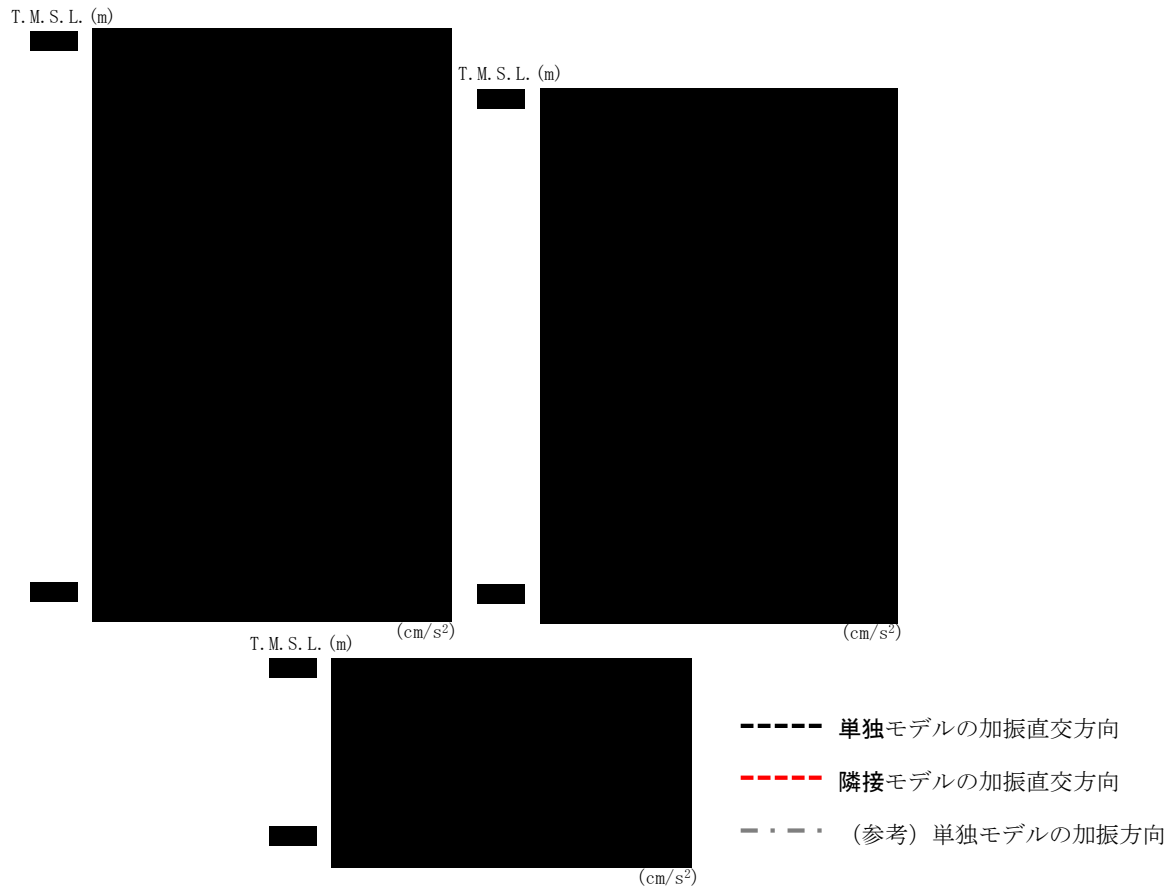
##### 4.1.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果

隣接モデルに対する地震応答解析について、隣接モデル及び単独モデルにおける加振直交方向の応答を比較する。

安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) の最大応答加速度値を第 4.1.1-1 図及び第 4.1.1-2 図、第 4.1.1-1 表及び第 4.1.1-2 表に示す。また、頂部及び基礎上の加速度応答スペクトルを第 4.1.1-3 図及び第 4.1.1-4 図に示す。

安全冷却水 B 冷却塔 (A4B) について

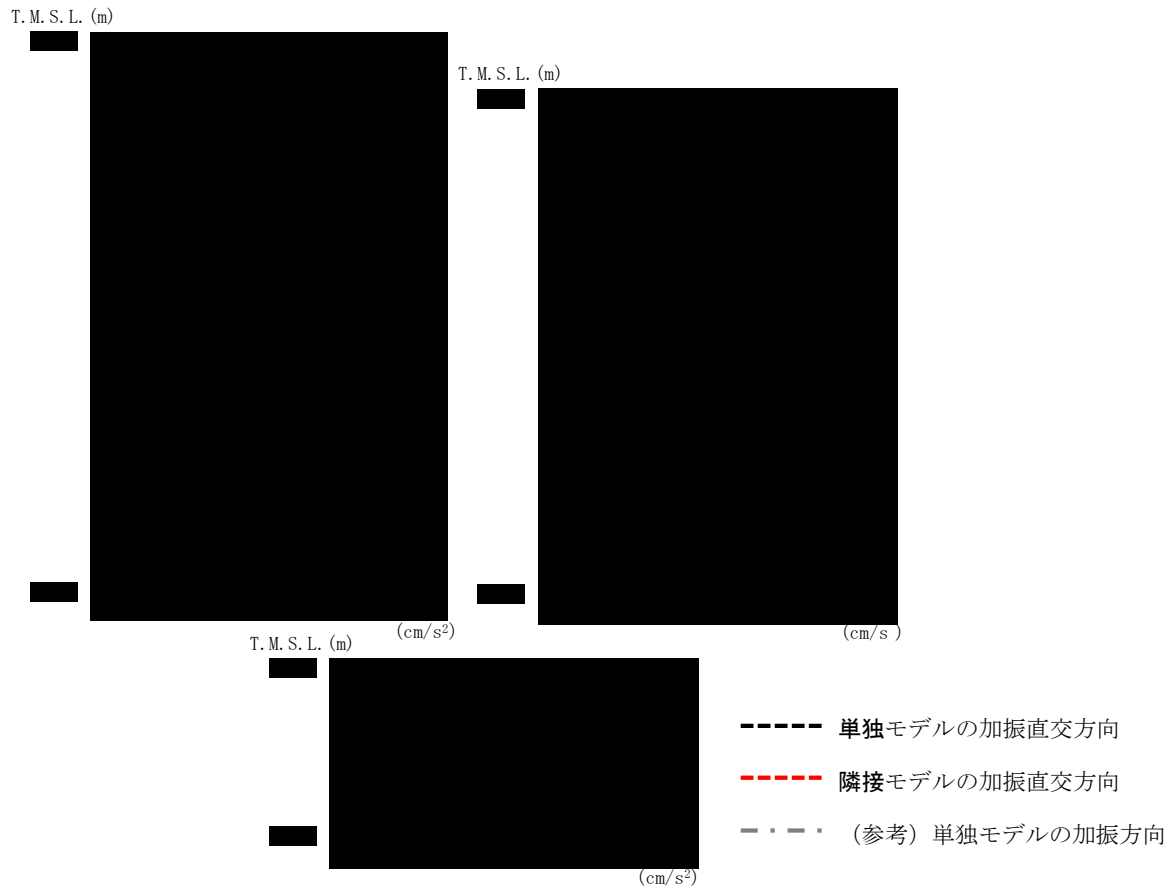
■を確認した。



第 4. 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 4. 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）

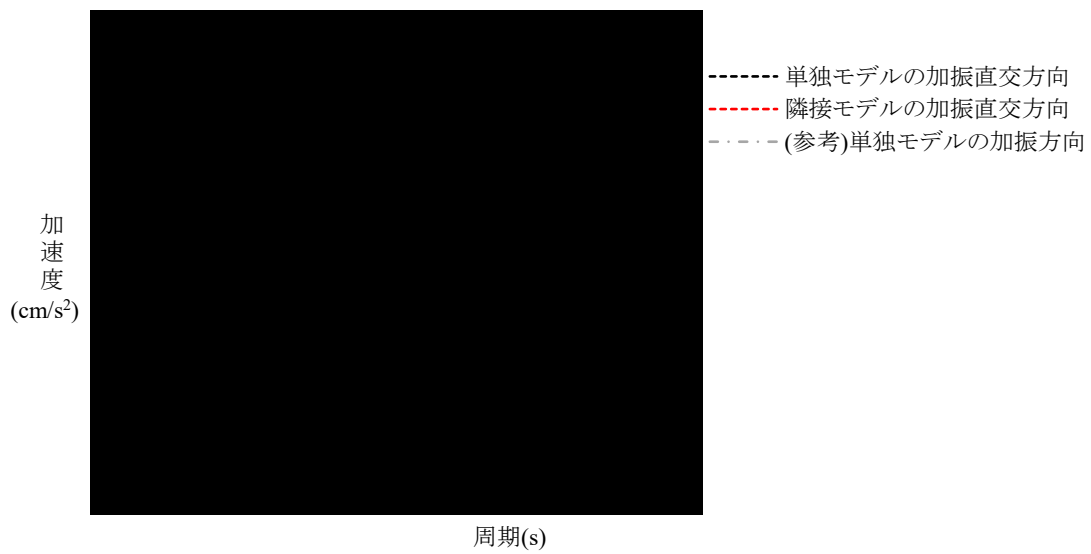
T. M. S. L. (m)	質点番号	最大応答加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		
		単独モデルの 加振直交方向	隣接モデルの 加振直交方向	(参考) 単独モデルの 加振方向



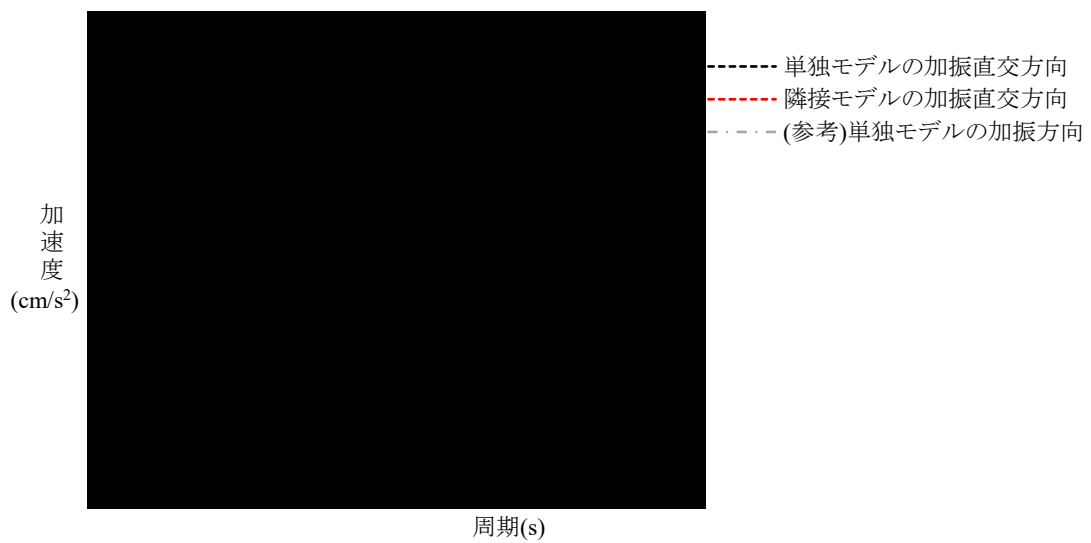
第 4. 1. 1-2 図 安全冷却水 B 冷却塔（A4B）の最大応答加速度（EW 方向）

第 4. 1. 1-2 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> )		
		单独モデルの 加振直交方向	隣接モデルの 加振直交方向	(参考) 单独モデルの 加振方向

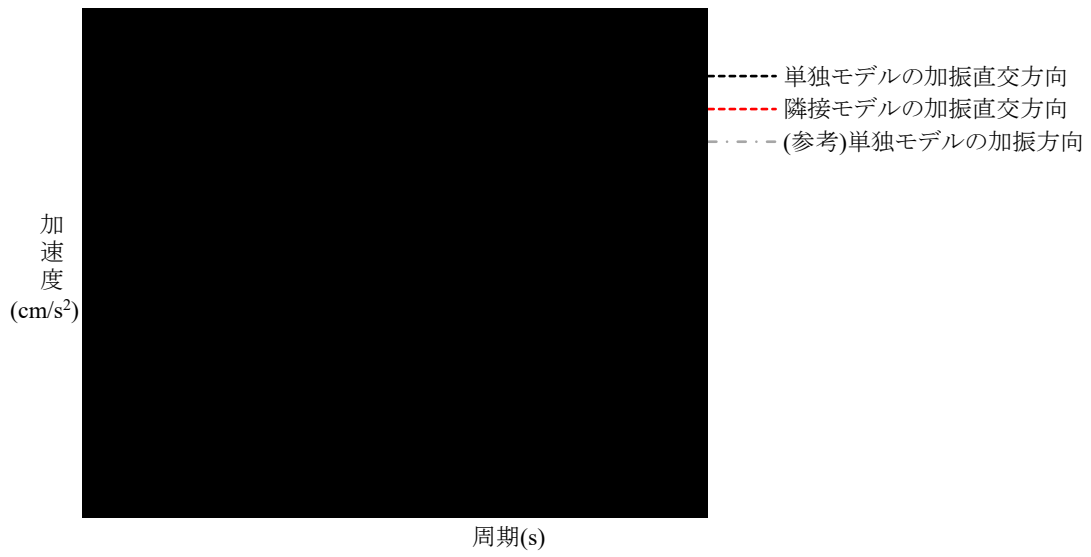


(a) T. M. S. L. ██████ m



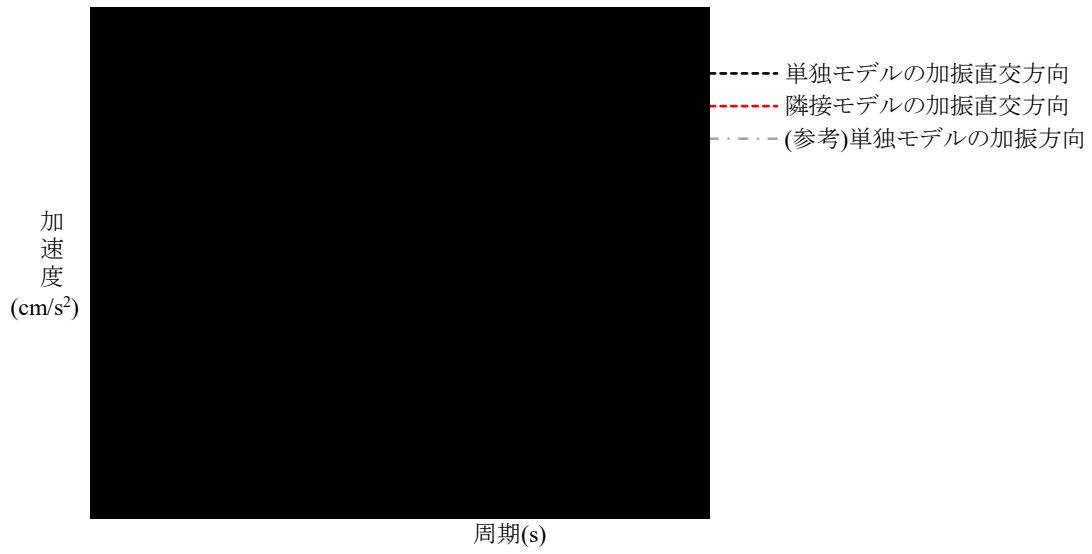
(b) T. M. S. L. ██████ m

第 4.1.1-3 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) (1/2)

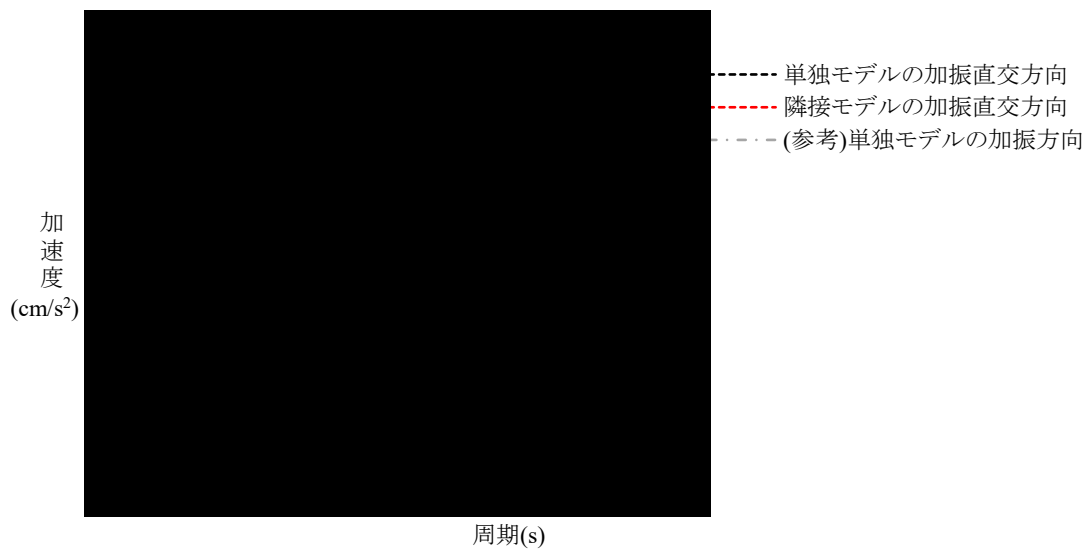


(c) T. M. S. L. [redacted] m

第 4.1.1-3 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) (2/2)

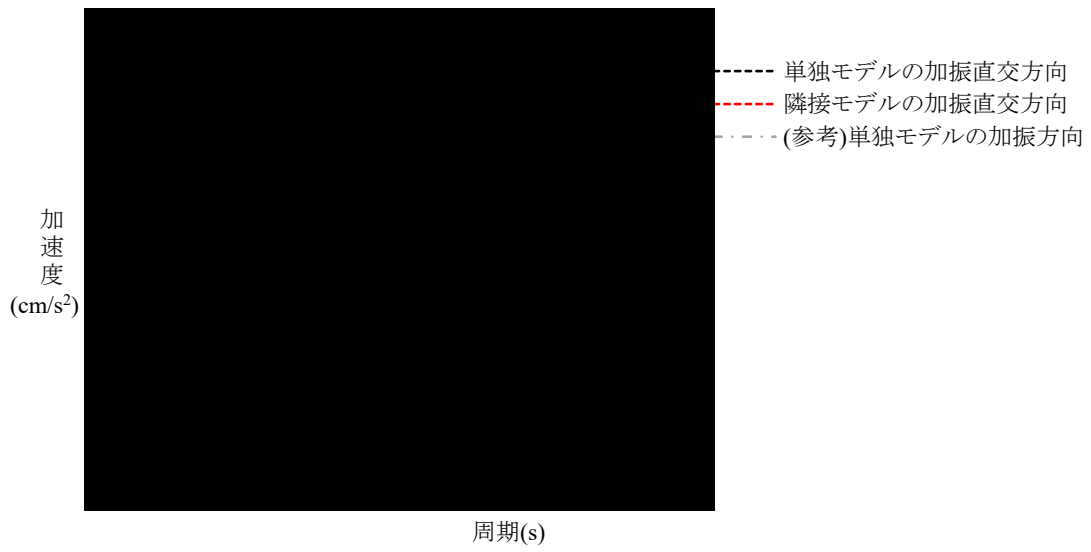


(a) T. M. S. L. ■■■■■ m



(b) T. M. S. L. ■■■■■ m

第 4. 1. 1-4 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) (1/2)



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

第 4. 1. 1-4 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) (2/2)

#### 4.2 まとめ

FEM を用いた検討より、  
安全上  
支障がないことを確認した。



## 5. 地盤インピーダンス及び基礎入力動の比較

本章では、隣接モデルと単独モデルにおける評価対象建屋の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する。

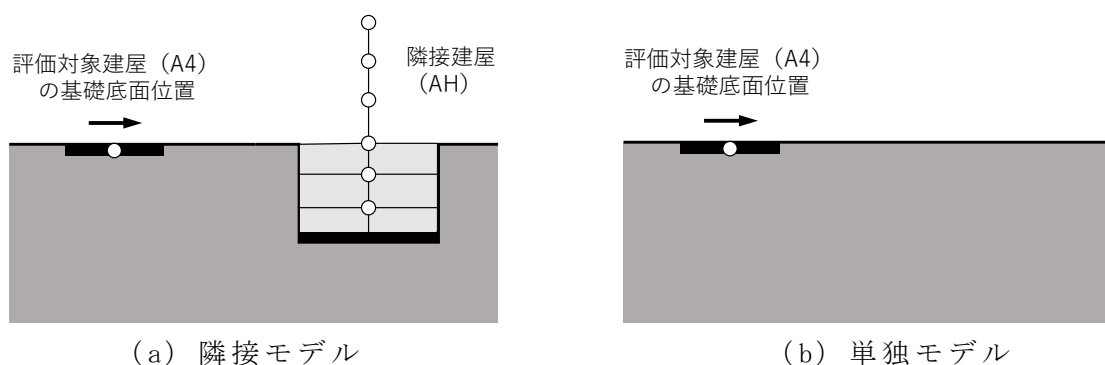
### 5.1 地盤インピーダンスの比較

隣接建屋の有無による地盤インピーダンスへの影響について検討を行う。

地盤インピーダンス算定においては、評価対象建屋の基礎底面位置の地盤表面を剛とし、インパルス加振を行う。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を算定する。

解析モデルについては、本検討では隣接建屋の有無による評価対象建屋の基礎底面位置の地盤インピーダンスを確認することが目的であるため、別紙本文に示す地盤3次元FEMモデルから評価対象建屋を取り除いたモデルを用いる。解析モデルの概念図を第5.1-1図に示す。

また、検討は、水平方向（NS，EW）及び回転方向（NS周り，EW周り）について行う。

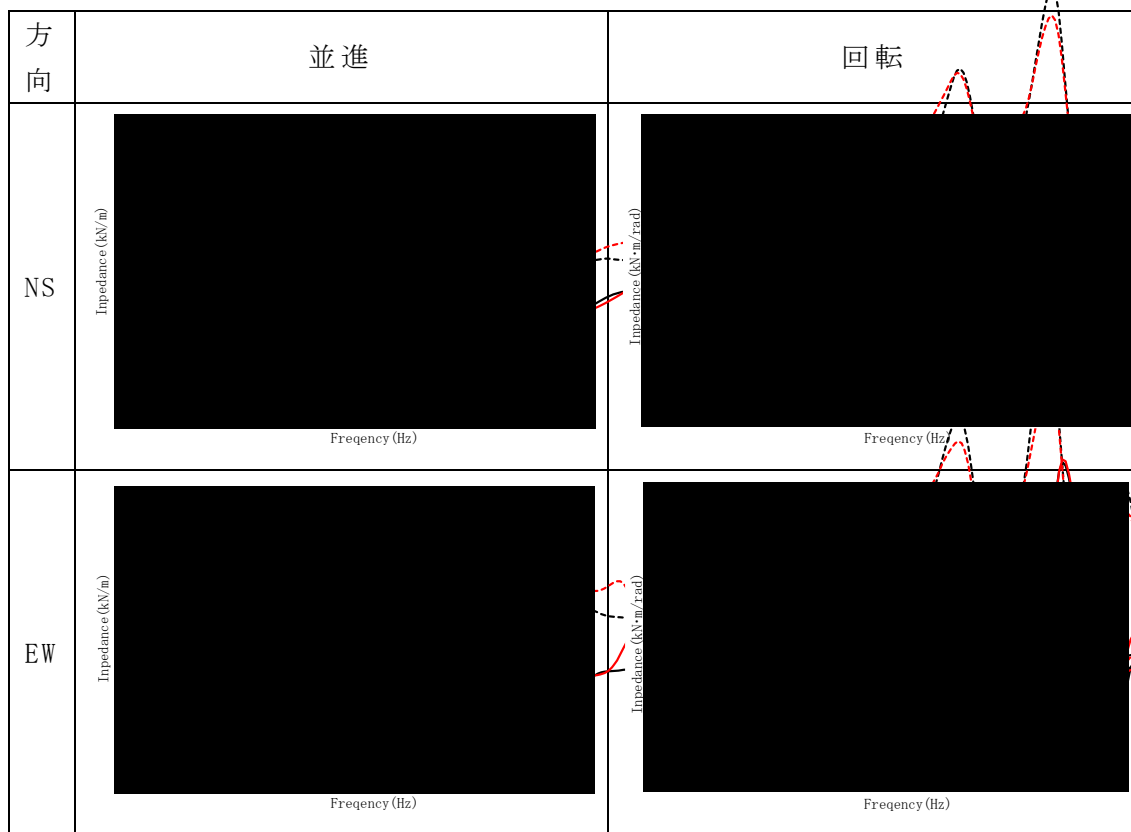


第 5.1-1 図 地盤インピーダンス算定に用いる解析モデルの概念図

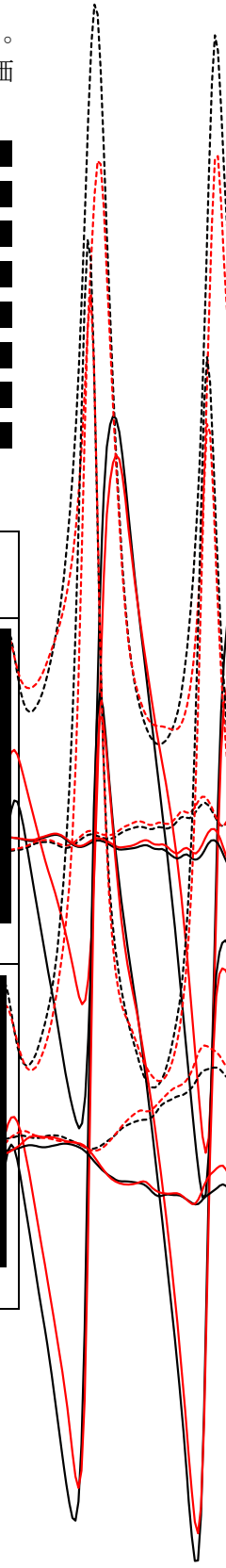
5.1.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果

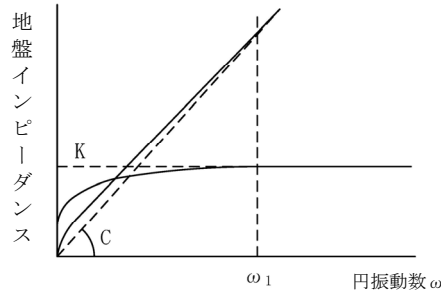
安全冷却水 B 冷却塔の地盤インピーダンスの比較を第 5.1.1-1 図に示す。また、第 5.1.1-2 図に示す近似法により地盤ばね定数及び減衰定数を評価した結果を第 5.1.1-1 表に示す。

[Redacted text block]



第 5.1.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の地盤インピーダンスの比較





ばね定数 K : 実部の極大値で定数化

減衰係数 C : 振動系全体のうち地盤の影響が卓越する最初の固有円振動数  $\omega_1^*$  に対応する虚部の値と原点を結ぶ直線の傾きで定数化

注記 \* :  $\omega_1 = 2 \times \pi \times f_1$

第 5.1.1-2 図 地盤ばねの定数化の概要

第 5.1.1-1 表 地盤ばね定数及び減衰定数の比較

(a) NS 方向

方向		単独モデル	隣接モデル
並進	ばね定数 (kN/m)		
	減衰係数 (kN・s/m)		
回転	ばね定数 (kN・m/rad)		
	減衰係数 (kN・m・s/rad)		

注記 :  $f_1 = 10.42$  (Hz)

(b) EW 方向

方向		単独モデル	隣接モデル
並進	ばね定数 (kN/m)		
	減衰係数 (kN・s/m)		
回転	ばね定数 (kN・m/rad)		
	減衰係数 (kN・m・s/rad)		

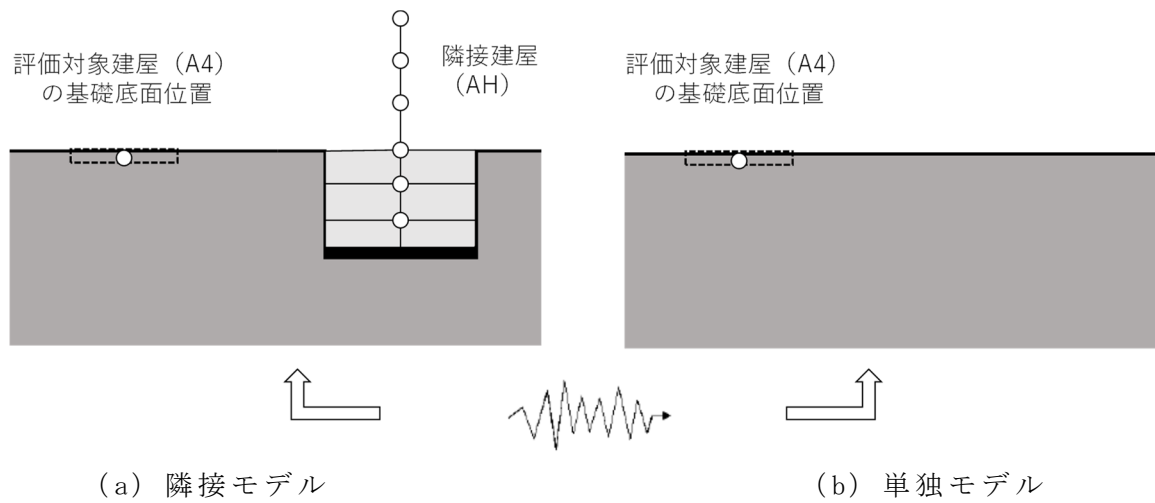
注記 :  $f_1 = 9.90$  (Hz)

## 5.2 基礎入力動の加速度応答スペクトルの比較

隣接建屋の有無による基礎入力動への影響について検討を行う。

検討は、添付書類「安全冷却水 B 冷却塔の隣接建屋に関する影響評価結果」で用いる入力波を地盤 3 次元 FEM モデルの底面に入力し、隣接建屋の有無の違いによる評価対象建屋の基礎底面位置の応答を比較することにより行う。

なお、本検討においても隣接建屋の有無による評価対象建屋の基礎底面位置の応答を確認し、基礎入力動について検討することが目的であるため、別紙本文に示す地盤 3 次元 FEM モデルから評価対象建屋を取り除いたモデルを用いる。解析モデルの概念図を第 5.2-1 図に示す。



第 5.2-1 図 基礎入力動算定に用いる解析モデルの概念図

### 5.2.1 安全冷却水 B 冷却塔の解析結果

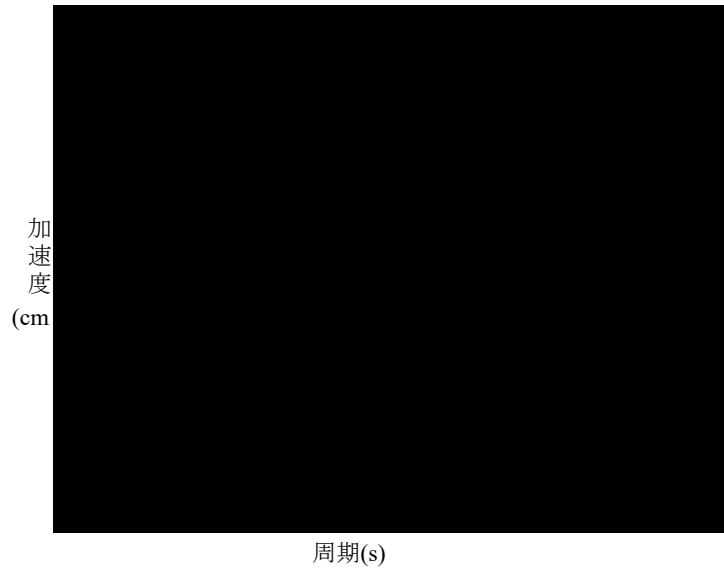
安全冷却水 B 冷却塔の基礎入力動の最大加速度の比較を第 5.2.1-1 表及び第 5.2.1-1 図に示す。

基礎入力動の比較より、

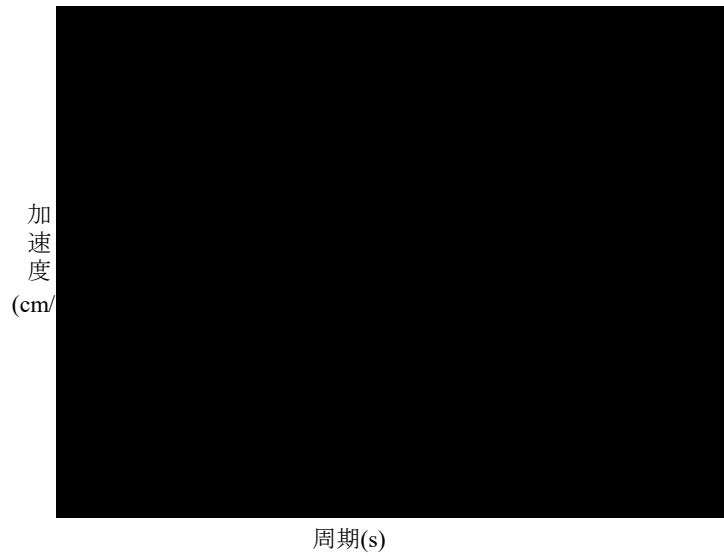
隣接建屋が安全冷却水 B 冷却塔の基礎入力動に与える影響は小さいことを確認した。

第 5.2.1-1 表 安全冷却水 B 冷却塔の基礎入力動の最大加速度

加振方向	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )		比率 (②/①)
	①単独	②隣接	
NS			
EW			



(a) NS 方向



(b) EW 方向

第 5.2.1-1 図 安全冷却水 B 冷却塔の基礎底面位置の  
加速度応答スペクトル

