

本資料のうち、枠囲みの内容は、
営業秘密又は防護上の観点から
公開できません。

東海第二発電所 工事計画審査資料	
資料番号	補足-400-4 改3
提出年月日	平成30年10月2日

建物・構築物の地震応答解析についての補足説明資料

補足 400-4 【隣接建屋の影響に関する検討】

平成30年10月

日本原子力発電株式会社

目次

1. 概要.....	1
1.1 隣接建屋の概要.....	1
1.2 検討概要.....	3
2. 既往の知見に基づく検討	4
2.1 既往の文献に基づく検討	4
2.2 3次元FEMモデルを用いた検討.....	13
2.3 既往の知見に基づく検討のまとめ	22
3. 東海第二発電所における隣接建屋の影響検討	23
3.1 建物・構築物への影響検討	23
3.2 機器への影響検討.....	40
4. まとめ.....	44
4.1 既往の知見に基づく検討結果	44
4.2 東海第二発電所における隣接建屋の影響検討結果	45
別紙1 建屋構造特性の整理	
別紙2 応答増幅の影響について	

1. 概要

1.1 隣接建屋の概要

東海第二発電所は、耐震安全上重要な建物・構築物の原子炉建屋、タービン建屋等の建物・構築物及び屋外重要土木構造物が互いに隣接して配置される構成となっている。

東海第二発電所の構内配置図を図1-1に示す。原子炉建屋に耐震設計上重要な設備を設置する建物・構築物ではないものの規模の大きなタービン建屋が隣接している。このため、隣接建屋としてタービン建屋が原子炉建屋の耐震評価に及ぼす影響について検討する。両建屋の平面規模、質量等の構造特性については、別紙1「建屋構造特性の整理」において整理している。

建物・構築物の主要構造部は、原則として耐震壁を主たる耐震要素とする鉄筋コンクリート造である。また、建物・構築物に隣接する屋外重要土木構造物については、すべて地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物である。各建物・構築物及び屋外重要土木構造物は、砂質泥岩である久米層に支持されている。

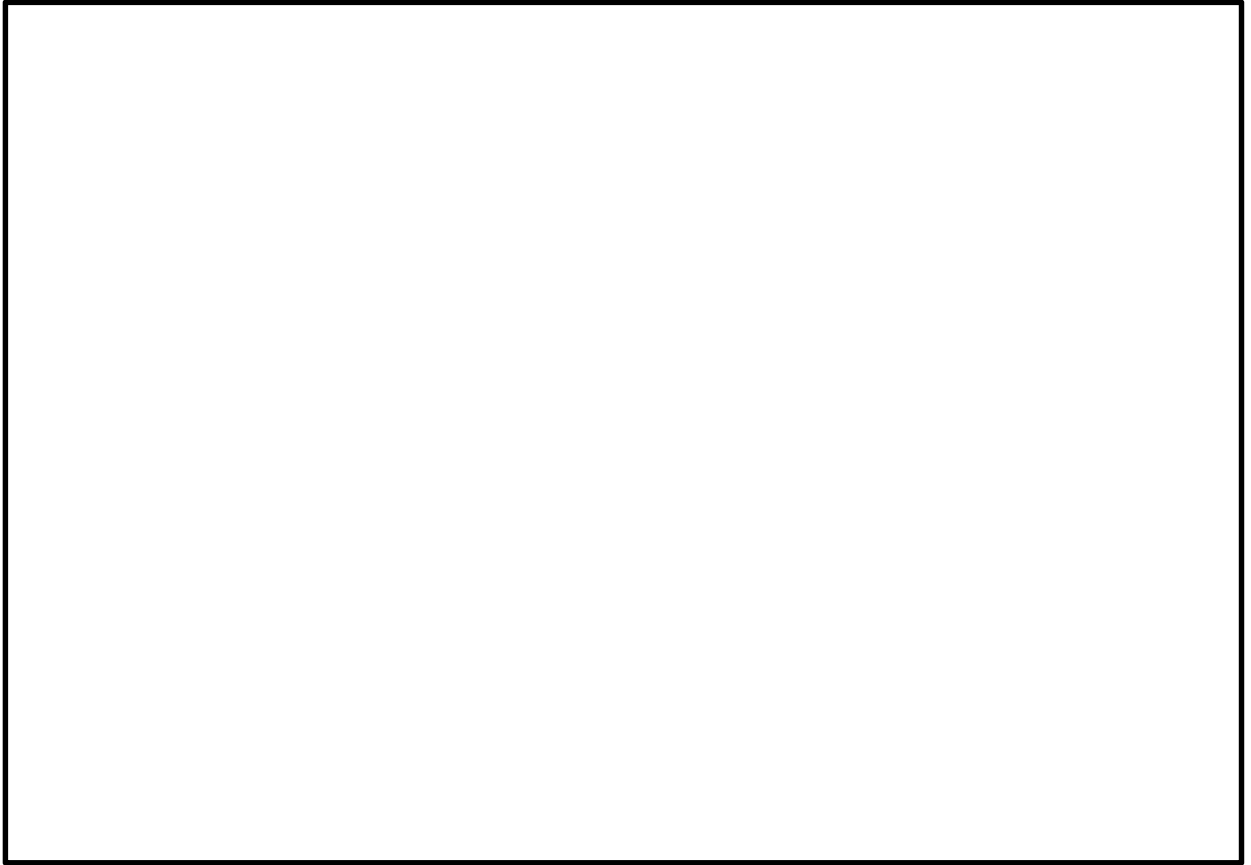


図 1-1 東海第二発電所の構内配置図

1.2 検討概要

建物・構築物の地震応答解析は、構造的に一体となっている建屋ごとに独立して構築した質点系モデルを用いて実施しており、耐震評価においては、隣接建屋の影響は考慮していない。

建物・構築物に隣接する屋外重要土木構造物については、すべて地中に埋設された鉄筋コンクリート構造物であるため、建物・構築物の応答に与える影響は小さいと考えられる。

本資料では、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したうえで、東海第二発電所の隣接建屋の影響検討を実施することにより、東海第二発電所の工事計画認可申請対象である建物・構築物の地震応答解析の妥当性を確認する。

なお、設置許可申請における地盤・斜面の安定解析モデルを用いて、周辺斜面の建物・構築物の入力に与える影響が十分小さいことを確認し、隣接建屋の影響検討モデルにおいて周辺斜面をモデル化しなくても安全上支障がないことを確認している。

また、本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」

2. 既往の知見に基づく検討

本章では、既往の知見に基づく検討として、「2.1 既往の文献に基づく検討」及び「2.2 3次元FEMモデルを用いた検討」を実施し、隣接建屋の影響について考察する。

2.1 既往の文献に基づく検討

(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¹⁾」(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²⁾。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。

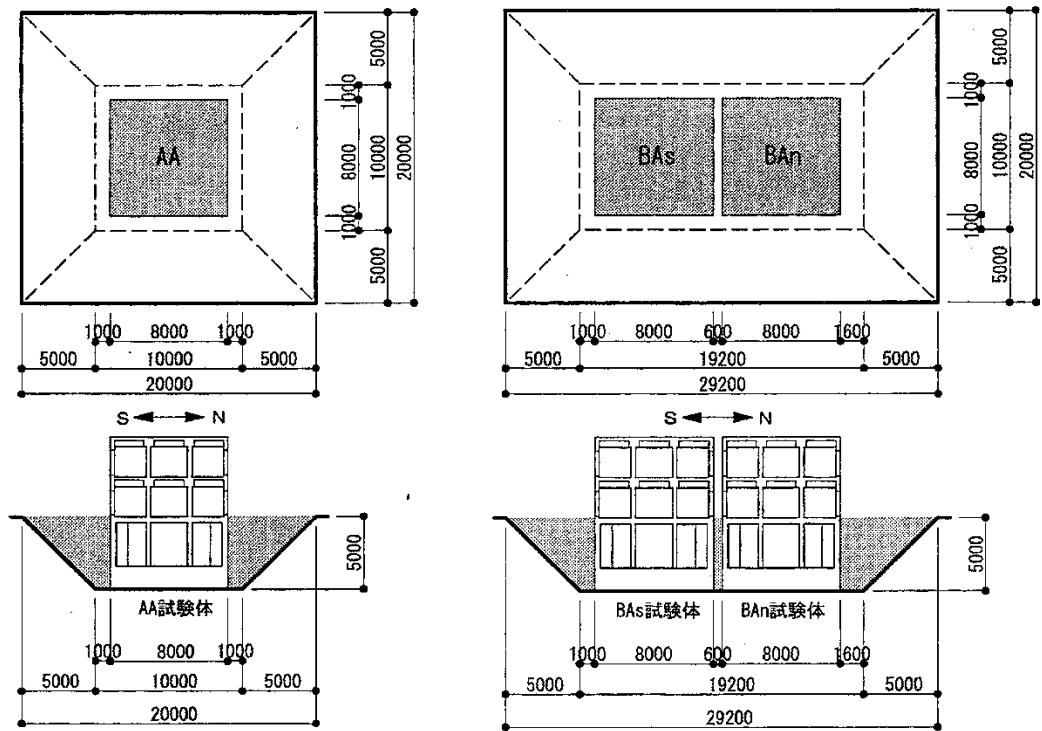
2.1.1 試験概要

「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、8 m×8 m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10.5 m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5 m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。

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



(単独)

(同種2棟隣接)

図 2-1 試験体の概要¹⁾

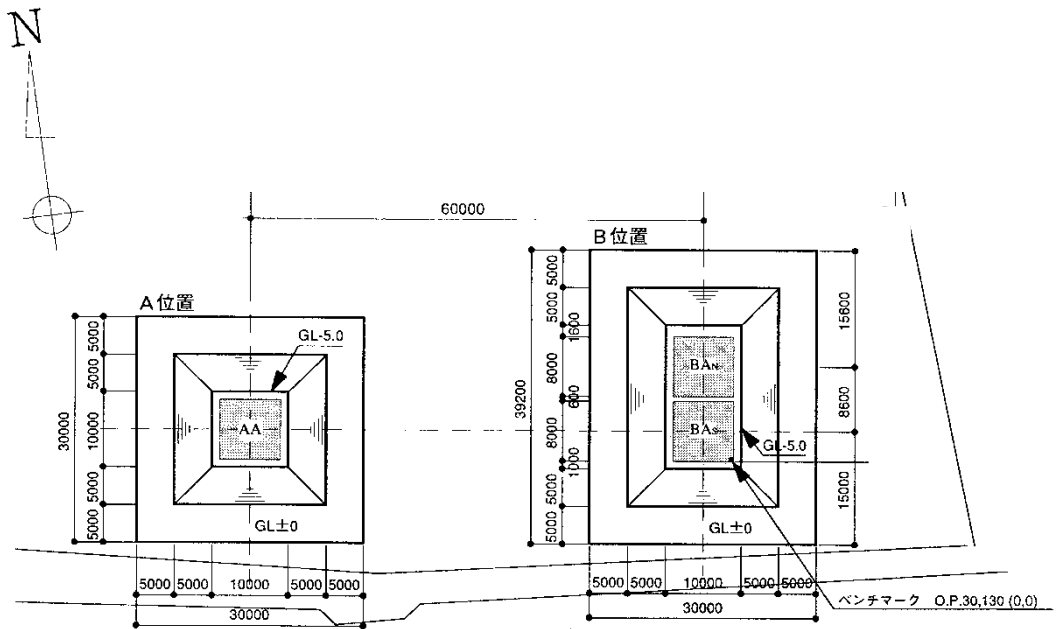


図 2-2 試験体配置図¹⁾

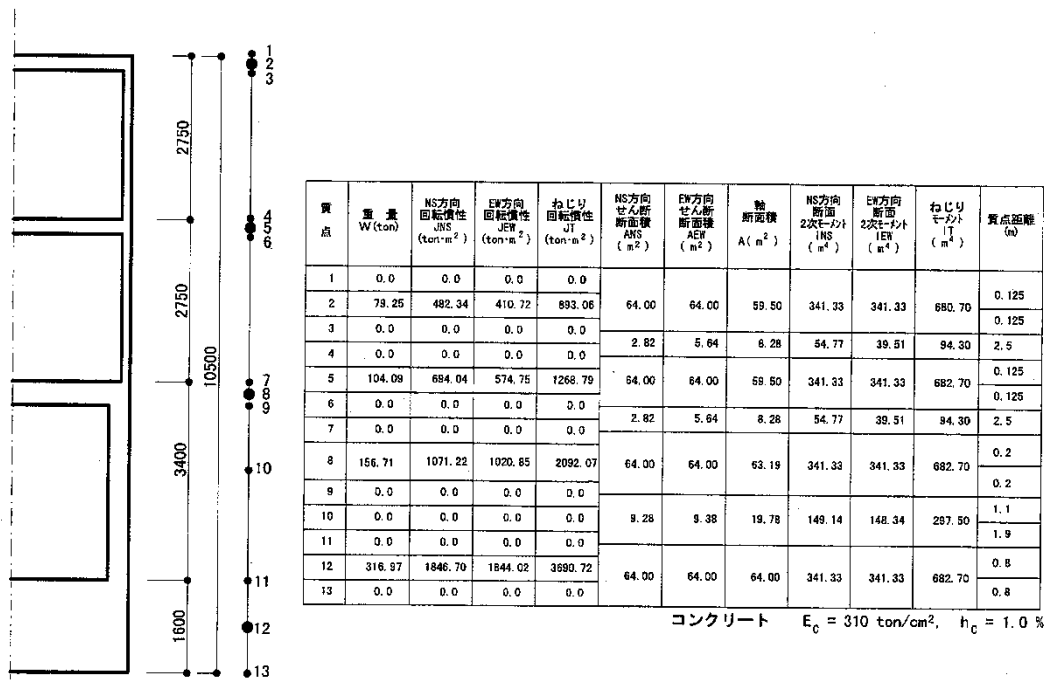


図 2-3 試験体建屋諸元¹⁾

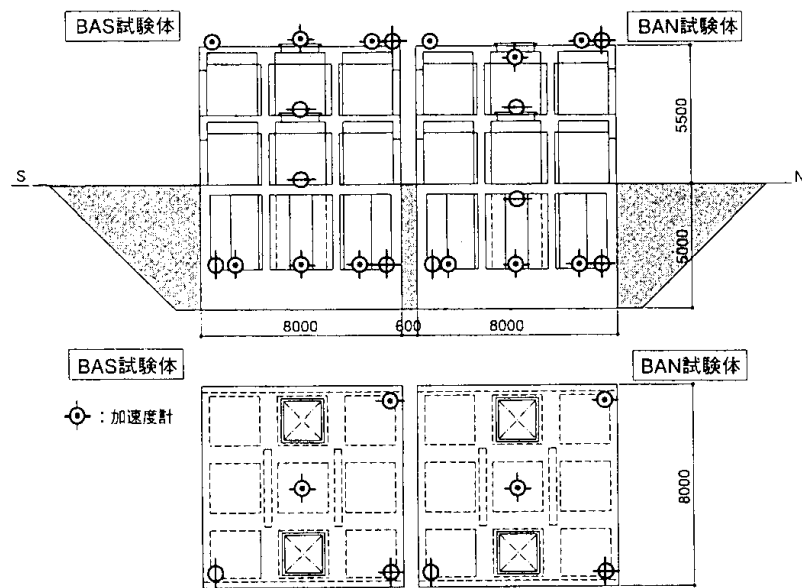
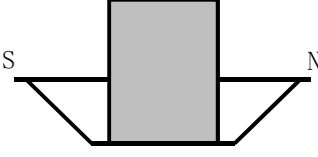
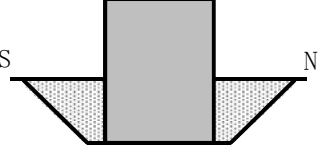
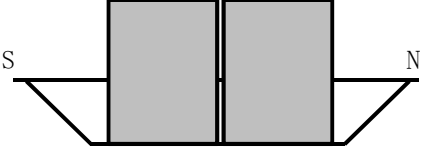
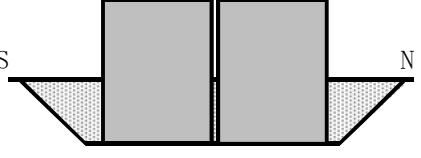


図 2-4 試験体内の加速度計配置図 (BAS, BAN 試験体)¹⁾

注 : AA試験体内の加速度計も、上記試験体の配置に準ずる。

表 2-1 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表2-2及び図2-5に示す。表2-2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。

表 2-2 地盤物性値¹⁾

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 ³)	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

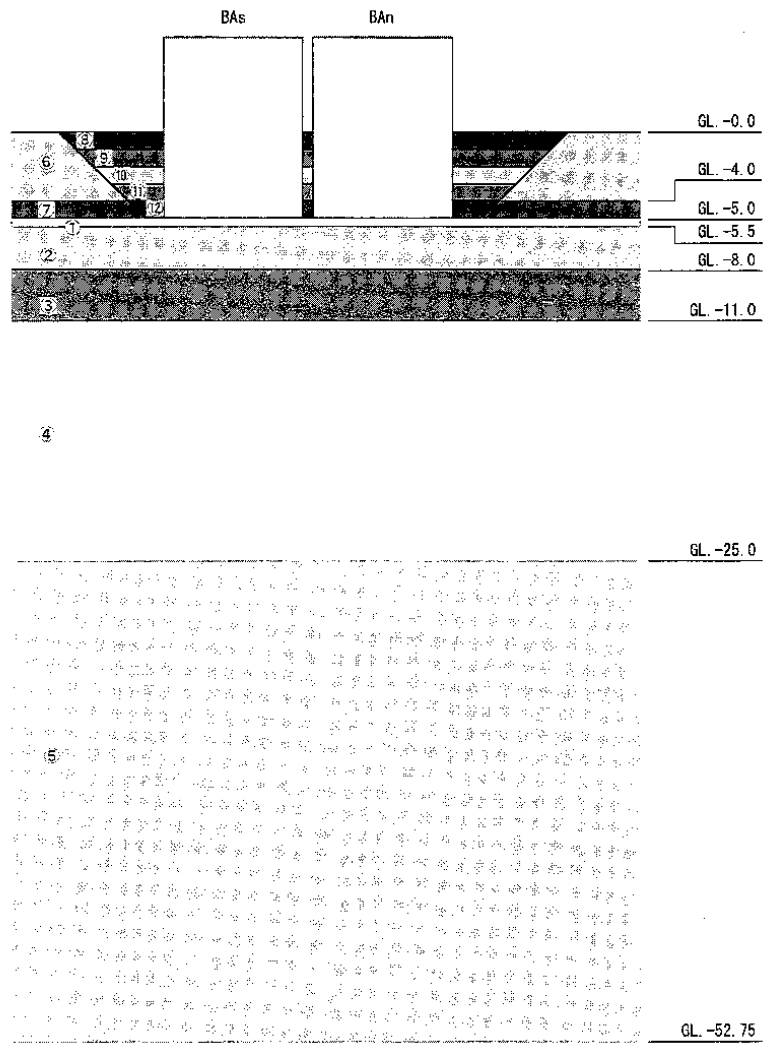


图 2-5 地盘層番号図¹⁾

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）の概要を表2-3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、図2-6に自由地盤（GL. -3.0 m）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²⁾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6 Hz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。

表 2-3 地震観測記録²⁾

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

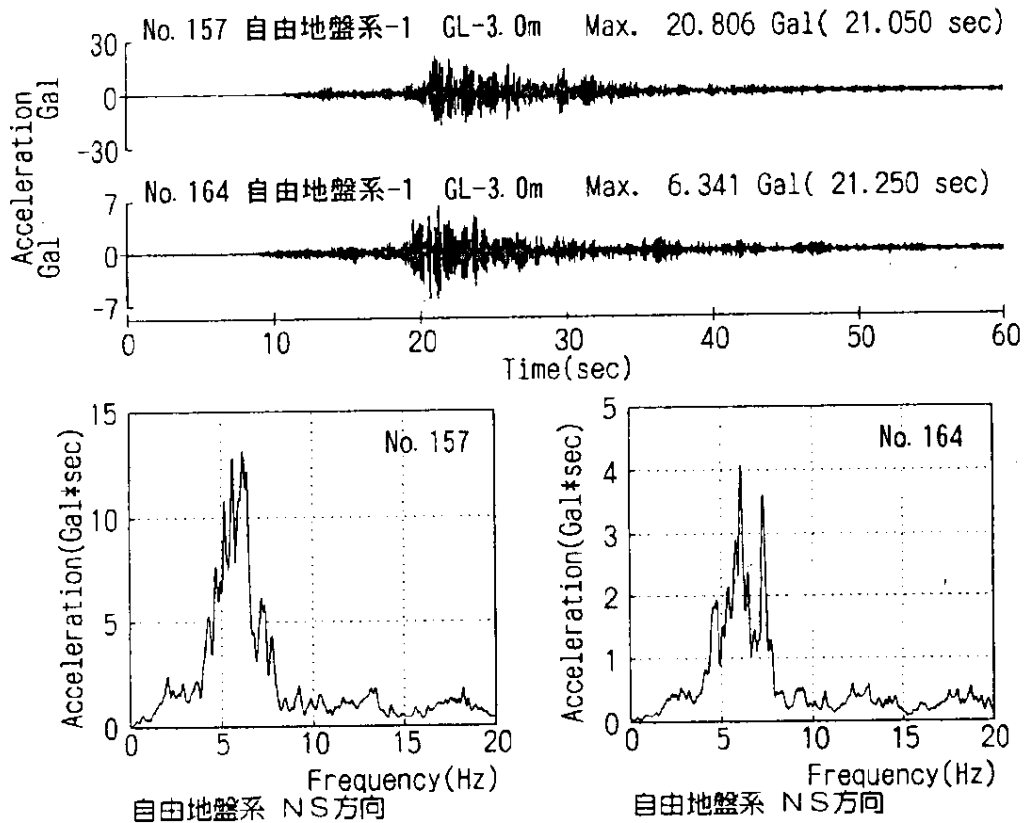


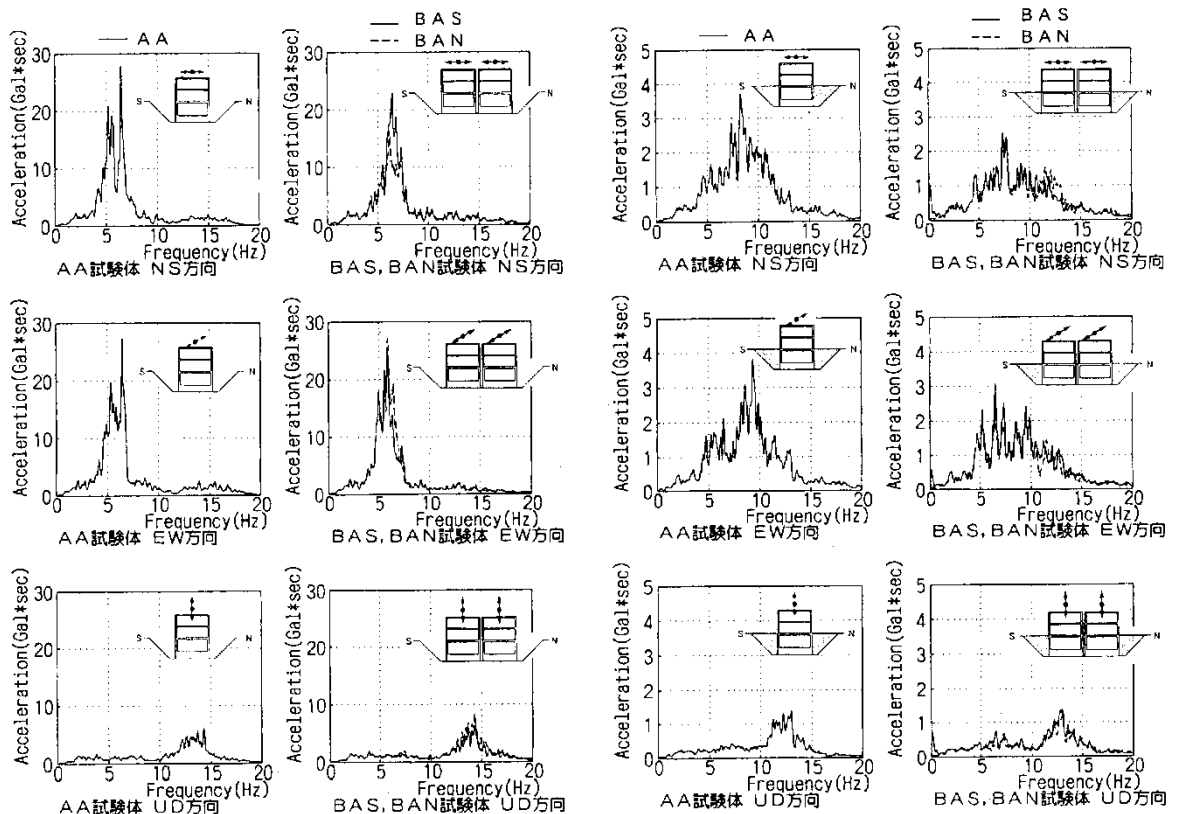
図 2-6 地震観測記録の自由地盤での加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトル²⁾

2.1.4 建屋応答の比較

鈴木ら²⁾は、表2-3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図2-7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)

図 2-7 建屋観測結果の比較（単独と同種 2 棟隣接）²⁾

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表2-4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。

表 2-4 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%程度の低下

2.2 3次元FEMモデルを用いた検討

中村ら³⁾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。

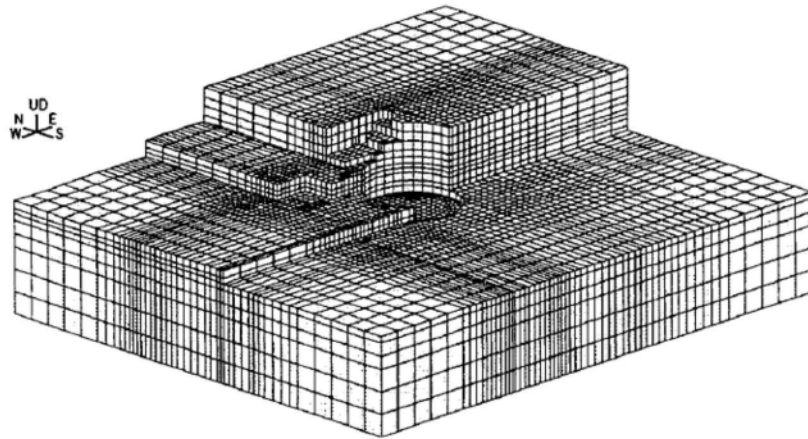
2.2.1 検討概要

本検討では、図2-8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。

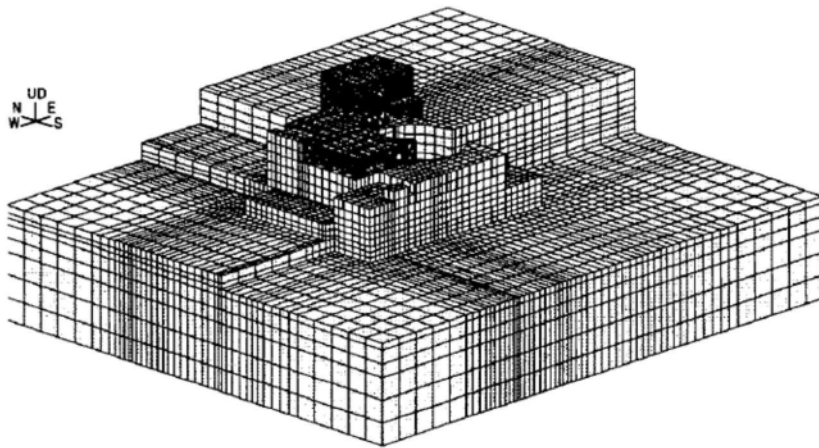
なお、本検討は $V_s=1,650$ m/sの硬質な岩盤に直接支持される原子力施設を対象に実施されている。

注：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。（図2-9）

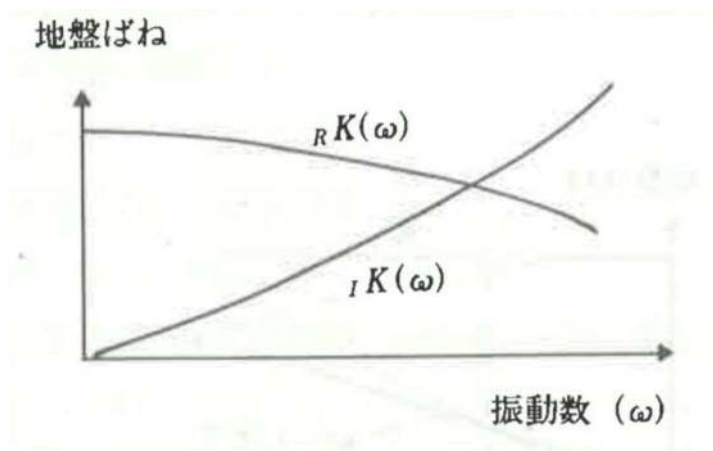


(a) 隣接建屋非考慮



(b) 隣接建屋考慮

図 2-8 3次元FEMモデル



${}_R K(\omega)$: 実数部, ${}_I K(\omega)$: 虚数部

図 2-9 地盤ばねの近似

2.2.2 地盤のモデル化

本検討で使用する地盤 F E Mモデルの形状を図2-10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。地盤物性を表2-5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 F E M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）。

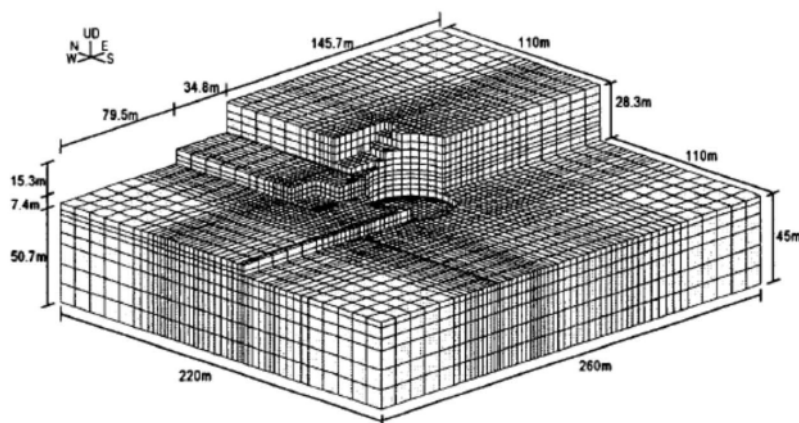


図 2-10 地盤 F E Mモデル

表 2-5 地盤物性一覧

せん断波速度 V_s (m/s)	ポアソン比 ν	減衰定数 h (%)	単位体積重量 γ (t/m^3)
1650	0.40	3.0	2.6

2.2.3 隣接建屋のモデル化

本検討で使用されている隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））のモデル形状を図2-11に、隣接建屋の各部材のモデル化について表2-6に示す。なお、A/Bの基礎浮上りは考慮されていない。

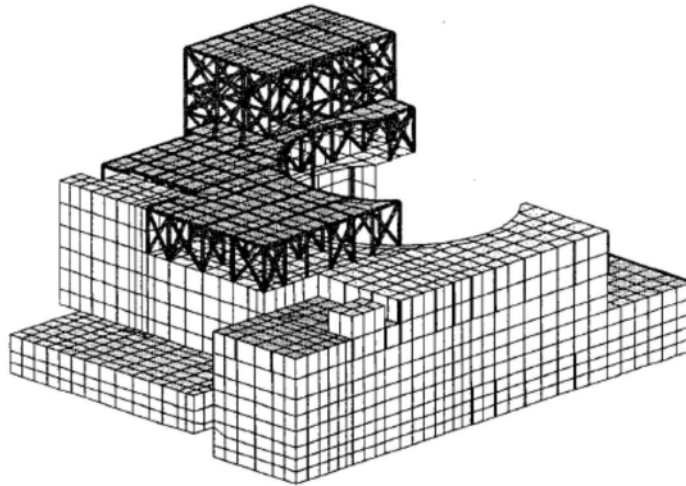


図 2-11 隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））のモデル形状図

表 2-6 原子炉補助建屋（A/B）の各部材のモデル化について

名称	部材	構成要素
原子炉補助建屋 (A/B)	壁	積層シェル要素
	スラブ	線形シェル要素
	鉄骨部	梁要素 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750 galの模擬地震動（図2-12）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。

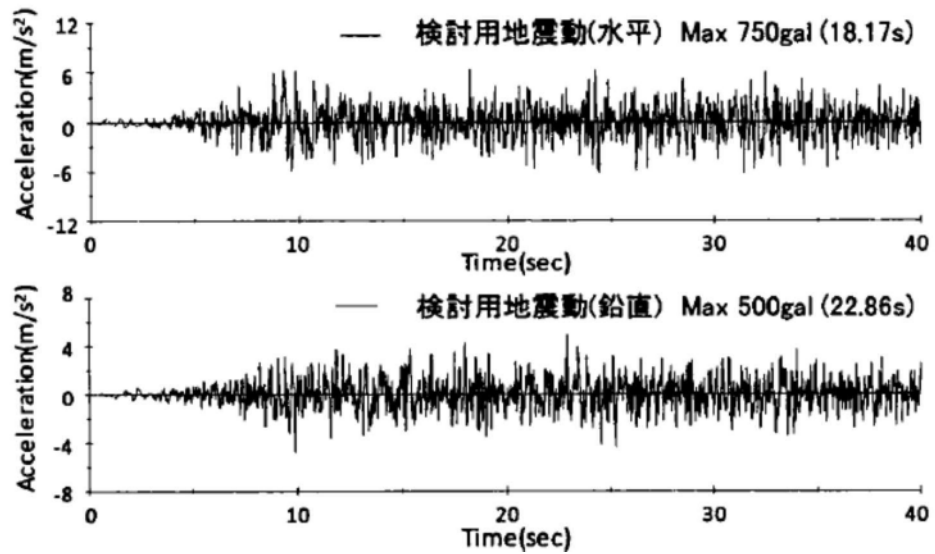


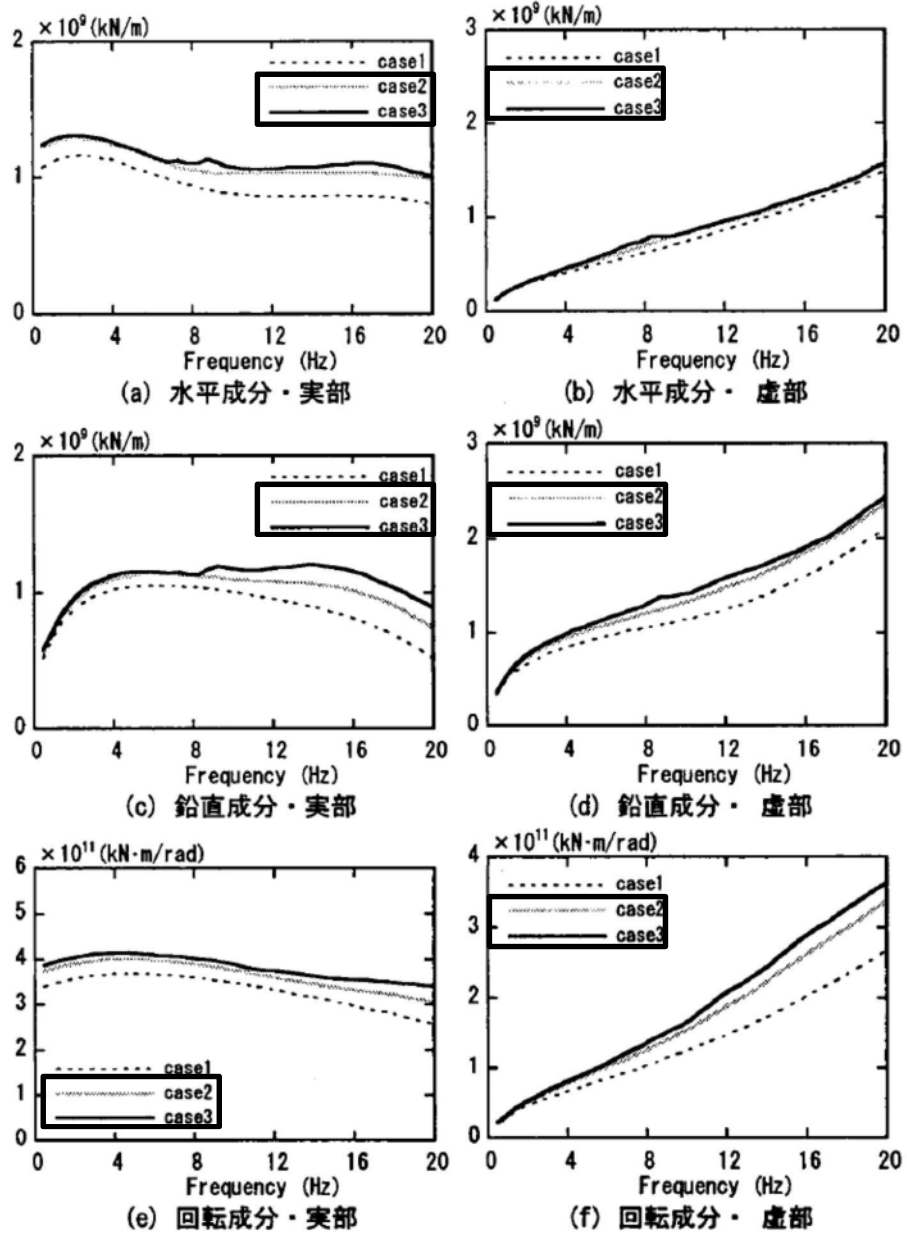
図 2-12 検討用地震動

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。解析モデルは図2-8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，隣接建屋を考慮するモデルをCase3と呼称されている。検討は，水平（EW），鉛直（UD），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。

図2-13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，8 Hz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。



☐ : 比較するケースを示す。

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

図 2-13 地盤インピーダンスの比較

(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、図2-8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。

図2-10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表2-7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表2-8に、加速度応答スペクトルの比較を図2-14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りと考察している。

表 2-7 解析ケース

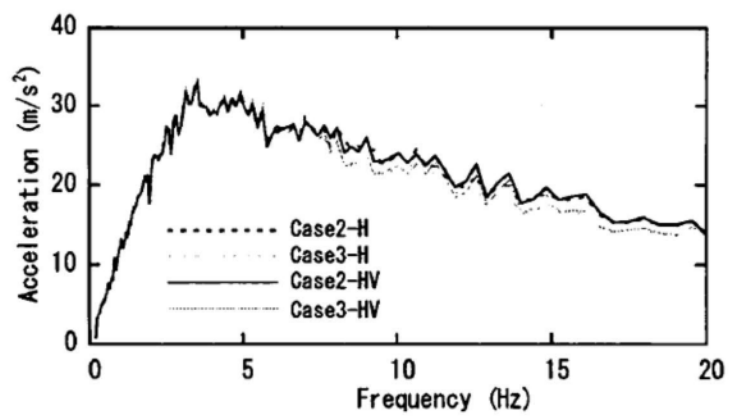
ケース名 ^{*1}	隣接建屋考慮の有無	入力地震 ^{*2}
Case2-H	無し	H
Case3-H	有り	H
Case2-HV	無し	H+V
Case3-HV	有り	H+V

注記 *1：隣接建屋の検討に用いているケースを示す。

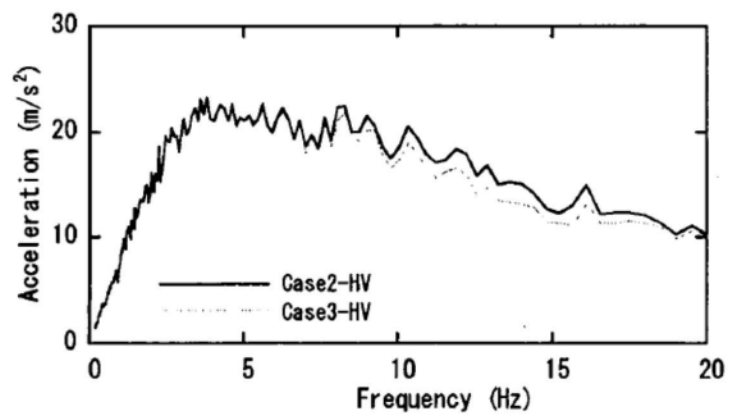
*2：Hは水平単独入力，H+Vは水平鉛直同時入力を意味する。

表 2-8 基礎底面位置における最大加速度 (cm/s^2)

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

図 2-14 基礎底面位置の加速度応答スペクトルの比較 ($h=1\%$)

2.3 既往の知見に基づく検討のまとめ

既往の知見に基づく検討（「2.1 既往の文献に基づく検討」及び「2.2 3次元FEMモデルを用いた検討」）結果より，一般論として隣接建屋が建屋応答に与える影響が小さいことを確認した。

次章では，東海第二発電所の詳細検討を実施することで隣接建屋が建物・構築物及び機器の耐震評価に与える影響を詳細に確認する。

3. 東海第二発電所における隣接建屋の影響検討

3.1 建物・構築物への影響検討

3.1.1 検討概要

本検討では、東海第二発電所の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋及びタービン建屋について、実際の建屋配置状況に則して両建屋を配置する場合と原子炉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を確認する。なお、本検討で算出した床応答スペクトルは、「3.2 機器への影響検討」において機器の耐震評価に与える影響確認に用いる。

検討に当たっては、解析コード「S o i l P l u s Ver.2015 Build3」を用いる。また、解析コードの検証及び妥当性の確認等の概要については、添付書類「V-5-59 計算機プログラム（解析コード）の概要・S o i l P l u s」に示す。

モデル化対象建屋の配置を図3-1に示す。

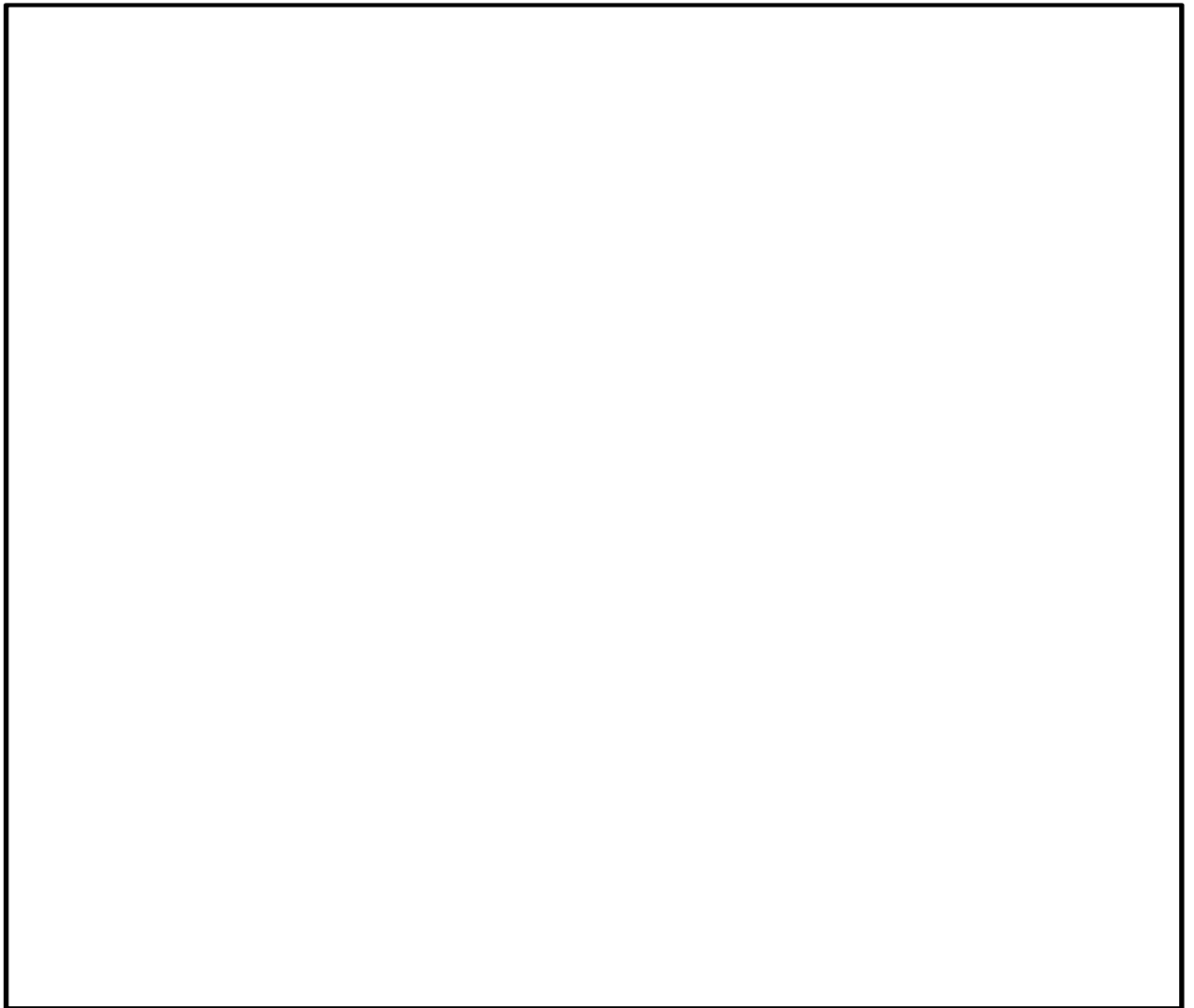


図 3-1 モデル化対象建屋の配置

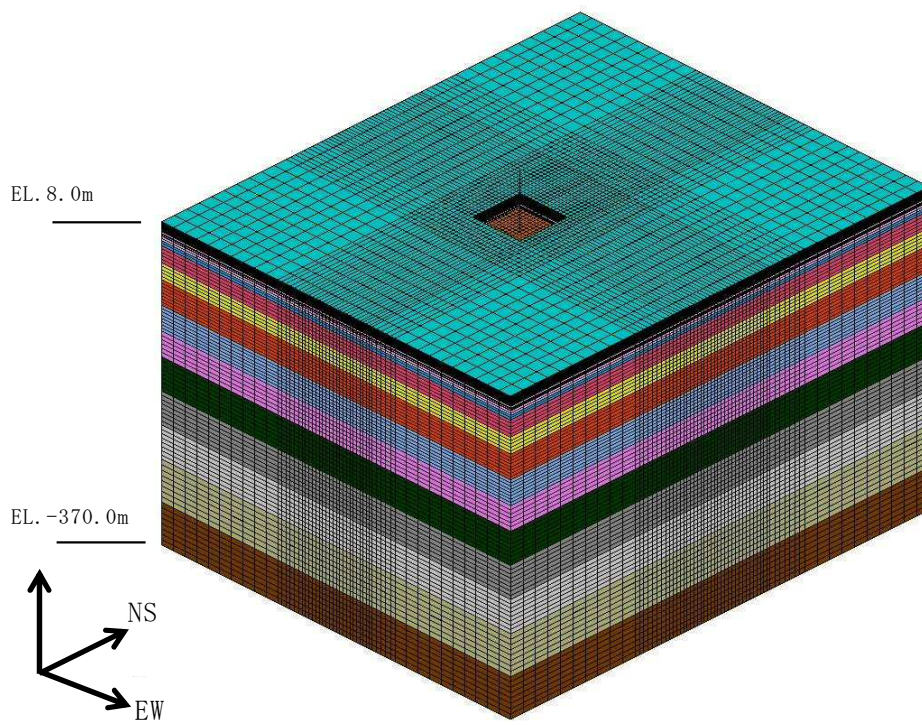
3.1.2 解析ケース

本検討における解析ケースの一覧を表3-1に示す。解析ケース1, 2については、原子炉建屋を単独でモデル化し、NS方向及びEW方向に対して解析を実施する。解析ケース3, 4については、原子炉建屋（以下「R/B」という。）及びタービン建屋（以下「T/B」という。）をモデル化し、同様にNS方向及びEW方向に対して解析を実施する。

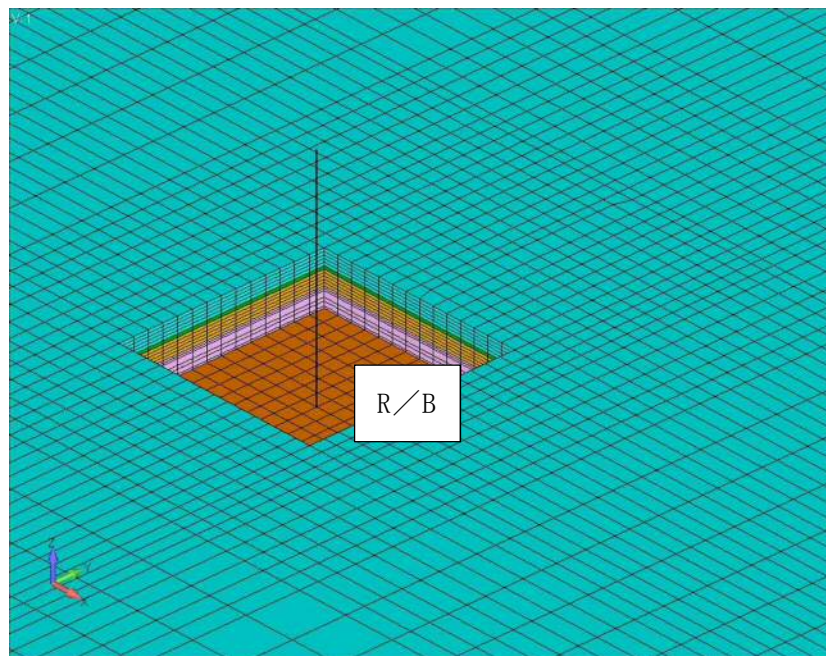
図3-2, 図3-3に各解析モデルの概要を示す。各解析モデルは、ソリッド要素でモデル化した地盤上に、原子炉建屋及びタービン建屋をそれぞれ質点系としてモデル化する。解析は線形とし、周波数領域の複素応答解析を実施する。

表 3-1 解析ケース一覧

解析ケース	方向	原子炉建屋	タービン建屋
1	NS	モデル化	—
2	EW	モデル化	—
3	NS	モデル化	モデル化
4	EW	モデル化	モデル化

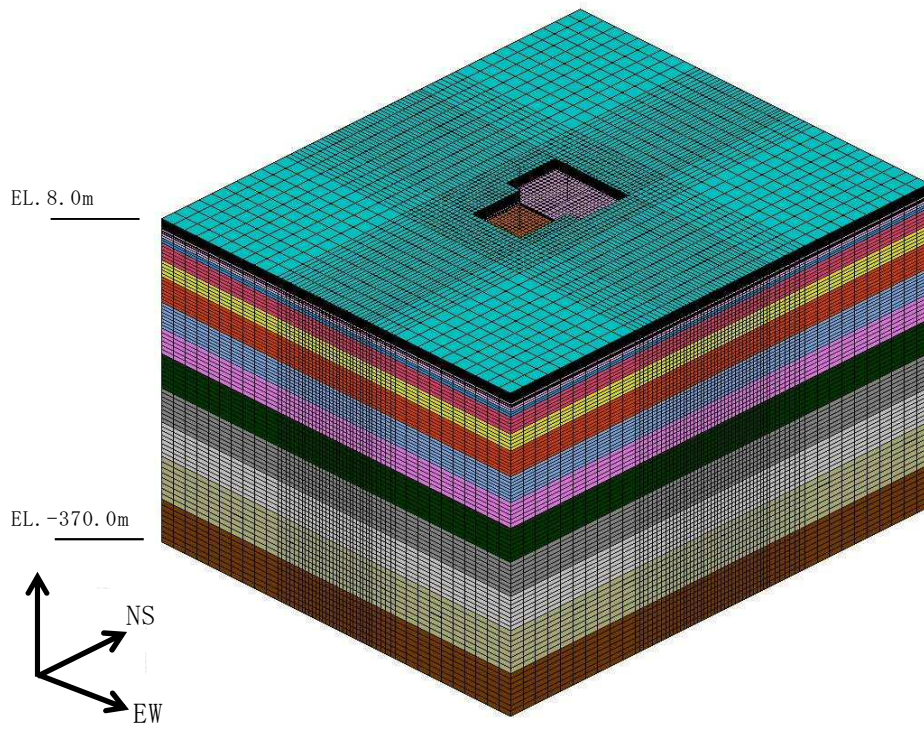


(a) 鳥瞰図：全体

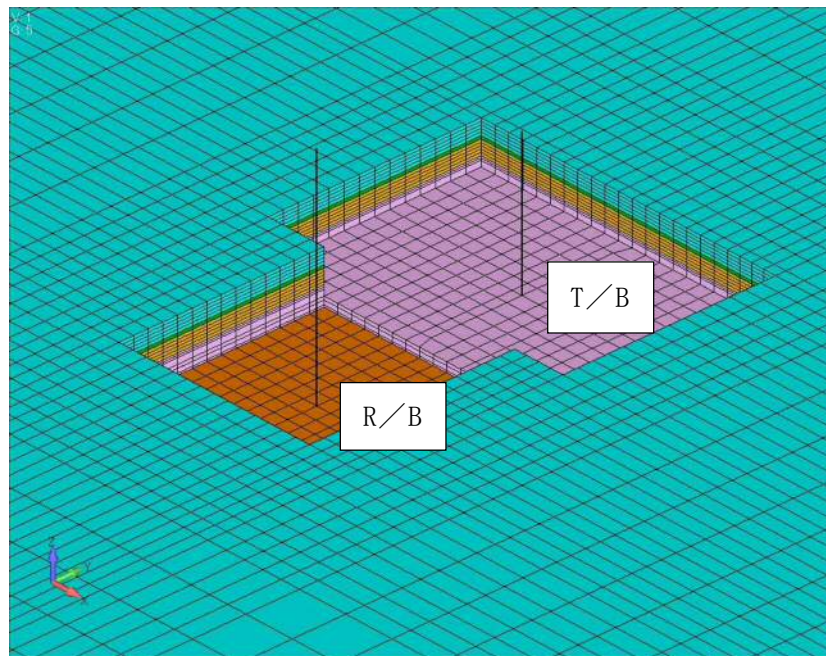


(b) 鳥瞰図：拡大

図 3-2 解析モデルの概要：解析ケース 1, 2 (原子炉建屋単独)



(a) 鳥瞰図：全体



(b) 鳥瞰図：拡大

図 3-3 解析モデルの概要：解析ケース 3, 4 (原子炉建屋, タービン建屋隣接)

注：T/B の質点系モデルは多軸モデルを同一座標上に記載しているため 1 軸に見えている。

3.1.3 建屋のモデル化

建屋モデルは、東海第二発電所の工事計画認可申請における各耐震計算書（添付書類「V-2-2-1 原子炉建屋の地震応答計算書」、添付書類「V-2-11-2-12 タービン建屋の耐震性についての計算書」）に記載の質点系モデルの諸元を基本とするが、「3.1.5 検討用地震動」に示す入力レベルでは建屋はほぼ弾性状態と考えられることから、部材の非線形特性は考慮しない。

R/B建屋のモデル及びT/B建屋のモデルは、建屋重心位置がほぼ基礎の中心位置であるため、基礎の中心に各建屋モデルを配置する。

両建屋の解析モデルの基礎寸法を、全体配置とともに図3-4に示す。

図3-5、図3-6に両建屋の建屋モデル図を、表3-3にT/B建屋の建屋モデル諸元を示す。図中の赤丸は、「3.2 機器への影響検討」で用いる床応答スペクトルを算出した質点（以下「床応答算出質点」という）を示している。床応答算出質点は、「基礎上端位置」及び「建屋（軸）の最上部の質点」とする。表3-2に床応答算出質点の一覧を示す。

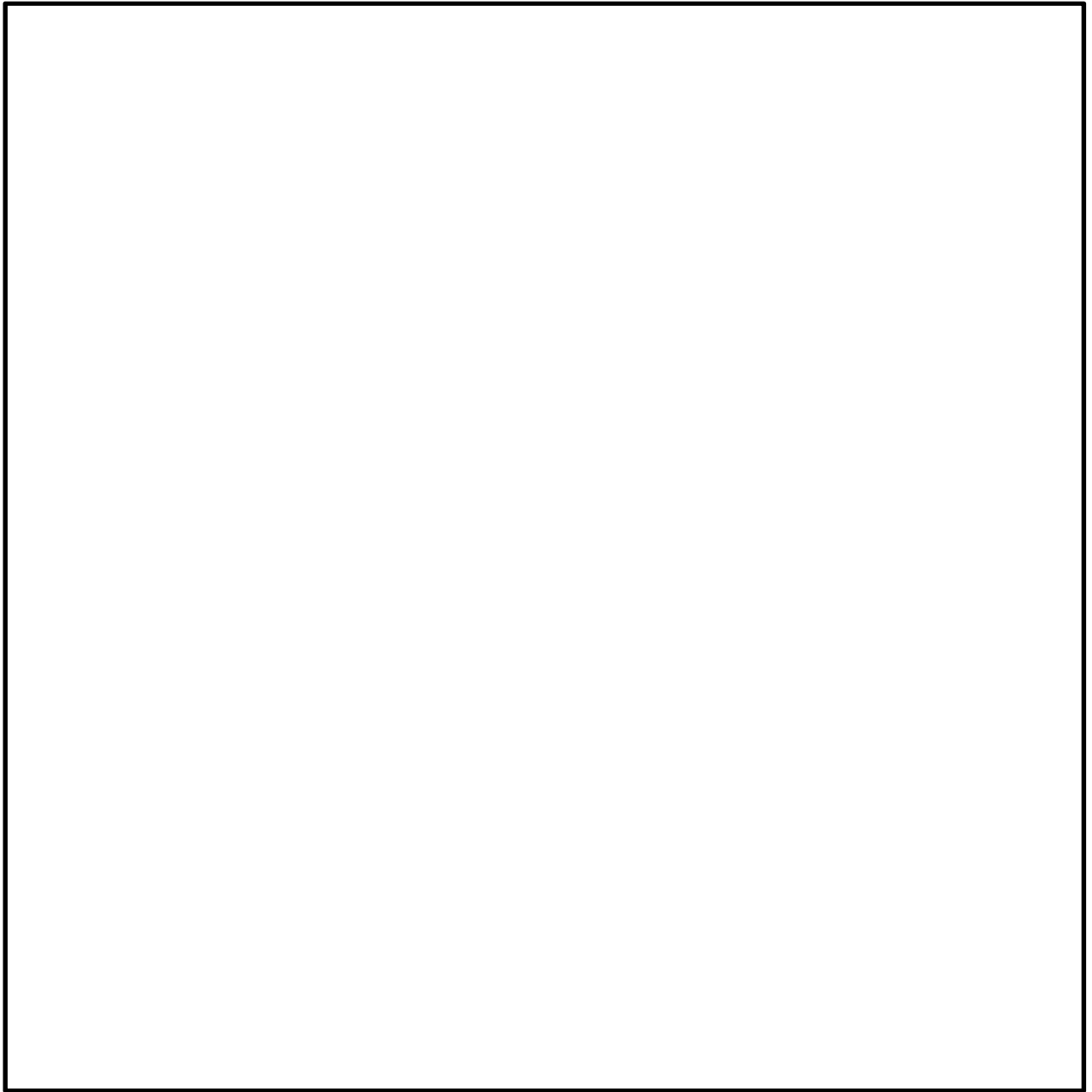


図 3-4 各建屋の解析モデルの基礎寸法及び全体配置図

表 3-2 床応答算出質点一覧

建屋	床応答算出質点
R/B	質点1, 質点11

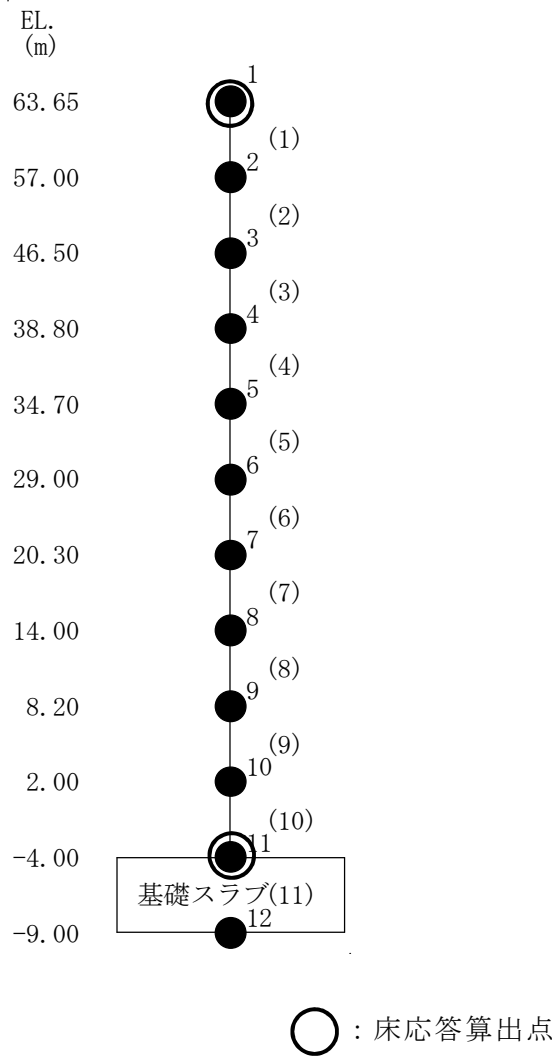
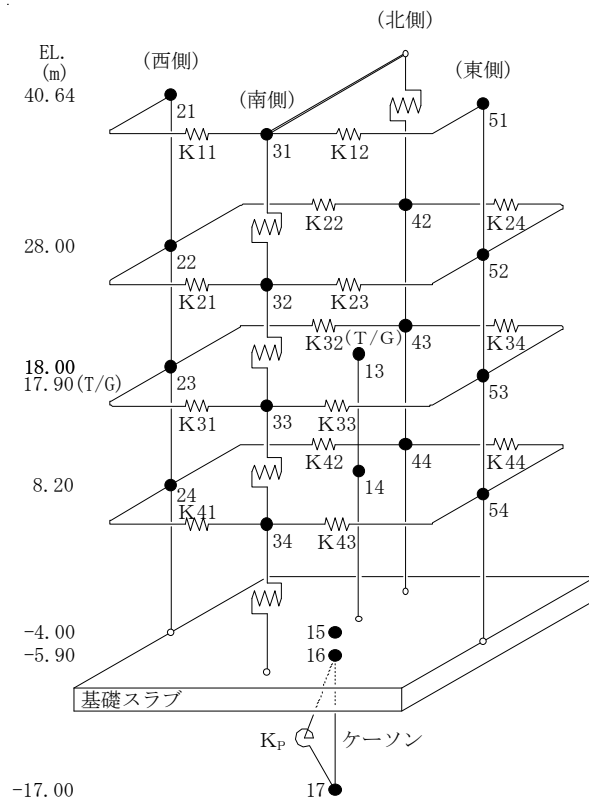
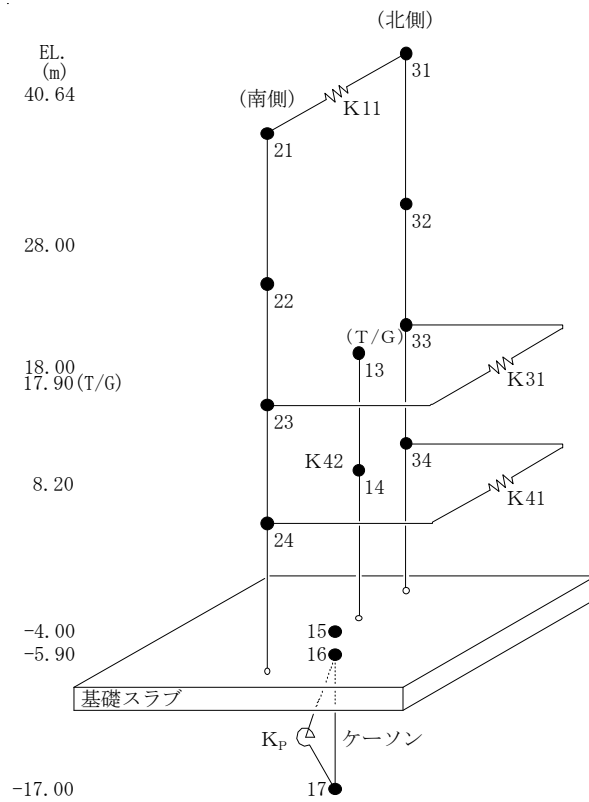


図 3-5 (R/B) の建屋モデル



(a) NS方向



(b) EW方向

図 3-6 の建屋モデル

表 3-3 の建屋モデル諸元

(a) NS方向

部位	標高 EL.	質点番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素番号	せん断断面積 (m^2)	断面2次モーメント ($\times 10^8 \text{m}^4$)	部位	標高 EL.	質点番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素番号	せん断断面積 (m^2)	断面2次モーメント ($\times 10^8 \text{m}^4$)	せん断ばね定数 ($\times 10^5 \text{kN/m}$)
	(m)								(m)							
西側	40.64	21	15790	20.0				北側	40.64	31	—	—				
	28.00	22	66740	448.5	(21)	19.5	2.8		(41)	—	—	1.40				
	18.00	23	131280	656.1	(22)	32.5	13.0		(42)	26.4	0.33					
	8.20	24	159380	733.6	(23)	79.8	24.9		(43)	35.6	1.6	—				
	-4.00	15	—	—	(24)	170	67.0		(44)	48.8	2.4					
東側	40.64	51	15640	19.8				南側	40.64	31	15480	—				
	28.00	52	63860	429.1	(51)	19.5	2.8		(31)	—	—	1.40				
	18.00	53	158110	694.0	(52)	30.6	12.6		(32)	—	—	9.28				
	8.20	54	176590	776.5	(53)	95.9	32.8		(33)	—	—	17.6				
	-4.00	15	—	—	(54)	178	80.9		(34)	—	—	17.7				
T/G	17.90	13	157990	32.9												
	8.20	14	58180	10.5	(13)	43.7	4.5									
	-4.00	15	—	—	(14)	34.7	4.9									
基礎	-4.00	15	518590	2,679.8												
	-5.90	16	667550	3,077.4	(15)	8,029	3,663.9									
	-17.00	17	292080	1,362.8	(16)	816	434.2									
総重量		3038950														

床ばね

$K_{11} = 9.72 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{12} = 10.4 \times 10^5 \text{ kN/m}$
$K_{21} = 13.1 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{22} = 5.97 \times 10^5 \text{ kN/m}$
$K_{23} = 14.0 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{24} = 6.38 \times 10^5 \text{ kN/m}$
$K_{31} = 47.9 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{32} = 22.7 \times 10^5 \text{ kN/m}$
$K_{33} = 61.5 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{34} = 35.7 \times 10^5 \text{ kN/m}$
$K_{41} = 38.4 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{42} = 21.1 \times 10^5 \text{ kN/m}$
$K_{43} = 39.1 \times 10^5 \text{ kN/m}$	$K_{44} = 22.2 \times 10^5 \text{ kN/m}$

基礎スラブ下端回転拘束ばね
 $K_P = 3.06 \times 10^{11} \text{ kN}\cdot\text{m/rad}$

(b) EW方向

部位	高さ	質点番号	質点重量 (kN)	回転慣性重量 ($\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}^2$)	要素番号	せん断断面積 (m^2)	断面2次モーメント ($\times 10^8 \text{m}^4$)
	(m)						
北側	40.64	31	23,100	214.3			
	28.00	32	93,860	871.5	31	31.7	32.8
	18.00	33	217,810	2,028.2	32	45.5	51.5
	8.20	34	185,900	2,208.7	33	73.1	73.0
	-4.00	15	—	—	34	150	173.7
南側	40.64	21	23,810	220.8			
	28.00	22	140,400	1,303.0	21	31.7	32.8
	18.00	23	321,430	3,144.6	22	61.0	52.9
	8.20	24	338,250	3,557.6	23	107	88.8
	-4.00	15	—	—	24	185	162.3
T/G	17.90	13	157,990	666.3			
	8.20	14	58,180	232.3	13	36.6	89.1
	-4.00	15	—	—	14	24.9	95.6
基礎	-4.00	15	518,590	5,090.7			
	-5.90	16	667,550	6,580.1	15	8,029	7,876.6
	-17.00	17	292,080	2,895.4	16	577	564.4
総重量		3,038,950					

床ばね
 $K_{11} = 38.0 \times 10^5 \text{ kN/m}$
 $K_{31} = 61.7 \times 10^5 \text{ kN/m}$
 $K_{41} = 62.5 \times 10^5 \text{ kN/m}$

基礎スラブ下端回転拘束ばね
 $K_P = 9.08 \times 10^{11} \text{ kN}\cdot\text{m/rad}$

3.1.4 地盤のモデル化

地盤モデルを図3-7に示す。地盤はソリッド要素でモデル化する。NS方向600 m, EW方向500 mの領域をモデル化し、地盤モデル底面は解放基盤位置 (EL. -370 m) とする。

地盤物性を表3-4に示す。地盤物性値は、検討用地震動を用いて算定した等価線形解析結果に基づく物性値を用いる。建屋と地盤の減衰は、材料減衰として与えて複素剛性として考慮する。

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各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、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 ((社) 日本電気協会)」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 F E Mモデルの平面サイズを十分に大きく設定している (約3倍以上)

建屋の基礎は剛体として考慮し、基礎底面と支持地盤が同一に挙動するように結合する。また、建屋側面と側面地盤間は、軸方向を結合する。

側面粘性境界かつ繰返し境界

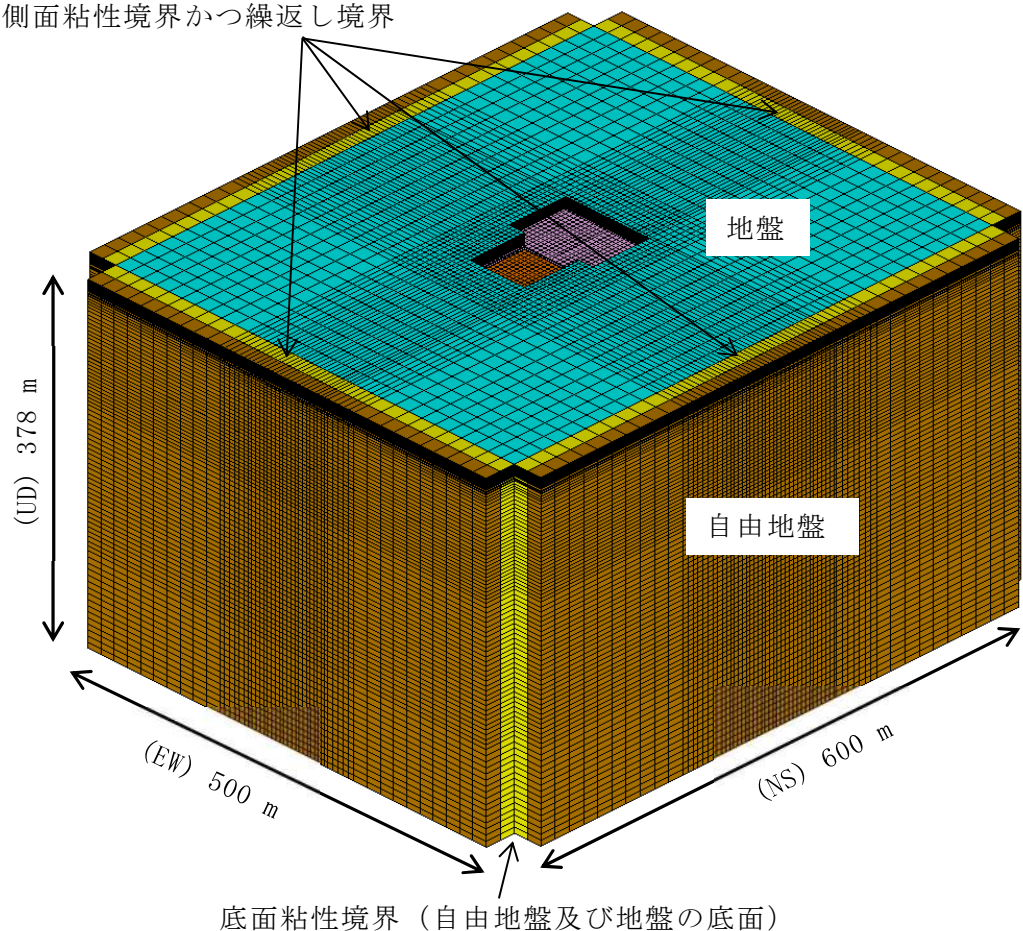


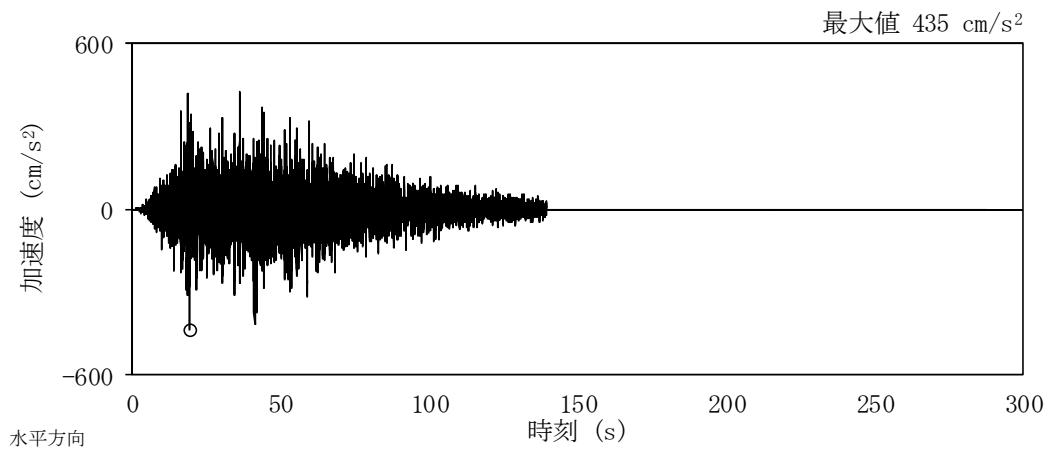
図 3-7 地盤 F E Mモデル

表 3-4 等価地盤物性値 (S_d-D1)

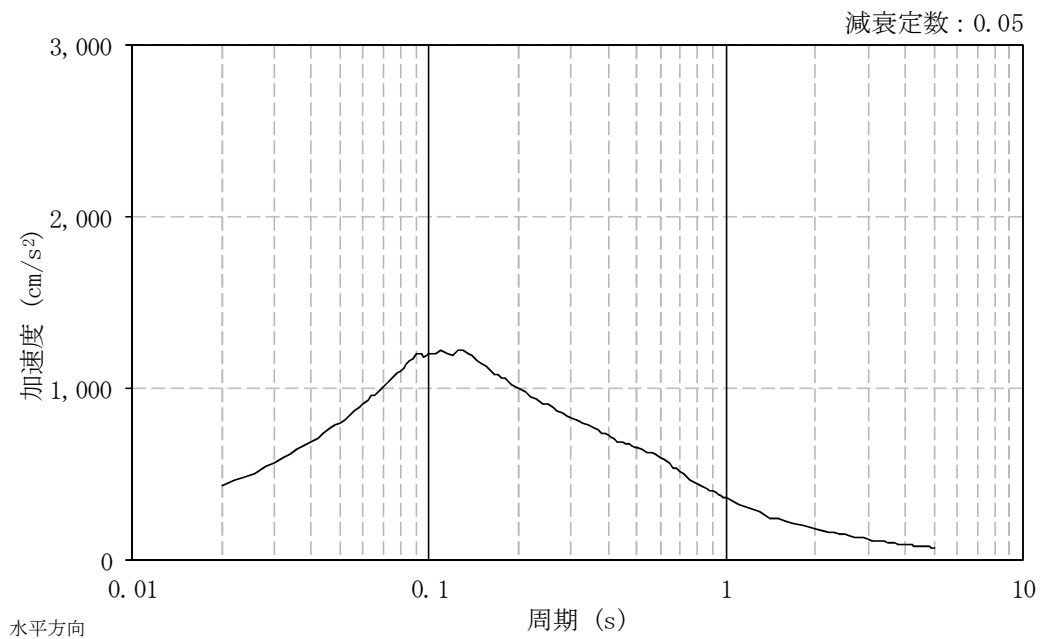
標高 EL. m	地層 区分	層厚 m	密度 ρ t/m ³	剛性低下率 G/G0	減衰定数 h	等価 S波速度 m/s	等価 P波速度 m/s	ポアソン比 ν
8.0	du*	5.0	1.82	0.85	0.04	194	449	0.385
3.0	Ag2*	1.0	1.89	0.83	0.04	219	400	0.286
2.0	Ag2	4.7	2.01	0.77	0.05	211	1800	0.493
-2.7	D2g-3	11.7	2.15	0.74	0.04	430	1858	0.472
-14.4	Km	5.6	1.72	0.89	0.02	421	1649	0.465
-20.0		20.0	1.72	0.88	0.02	428	1666	0.465
-40.0		20.0	1.73	0.88	0.02	443	1685	0.463
-60.0		30.0	1.73	0.89	0.02	463	1698	0.460
-90.0		30.0	1.73	0.89	0.02	485	1726	0.457
-120.0		30.0	1.73	0.89	0.02	507	1753	0.454
-150.0		40.0	1.74	0.89	0.02	532	1779	0.451
-190.0		40.0	1.74	0.89	0.02	561	1817	0.447
-230.0		40.0	1.75	0.90	0.02	594	1857	0.443
-270.0		50.0	1.75	0.91	0.02	630	1907	0.439
-320.0		50.0	1.76	0.91	0.02	667	1943	0.433
-370.0		解放基盤	—	1.76	—	0.00	718	1988

3.1.5 検討用地震動

検討用地震動として、添付書類「V-2-1-2 基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の策定概要」に示す解放基盤表面レベルで定義された設計用模擬地震波 S_d-1 （水平最大加速度 435 cm/s^2 ，図3-8）を用い，3次元地盤モデル底面位置（解放基盤位置）に入力する。



(a) 時刻歴



(b) 応答スペクトル

図 3-8 検討用地震動 S_d-1_H （水平最大加速度 435 cm/s^2 ）

3.1.6 解析結果

地震応答解析結果より得られた原子炉建屋の最大応答値について、原子炉建屋単独のケース（ケース1, 2）とタービン建屋隣接のケース（ケース3, 4）の比較結果を図3-9～図3-12に示す。

各建屋の最大応答値について確認した結果、応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）は、R/Bでは0.927（要素番号1, EW方向のせん断力）～1.163（要素番号3, NS方向のせん断力）であり、各建屋単独でモデル化したケースの応答と全建屋を考慮したケースの応答が、概ね同等であることを確認した。

従って、東海第二発電所の工事計画認可申請対象の建物・構築物の耐震評価に与える隣接建屋の影響は小さいと言える。

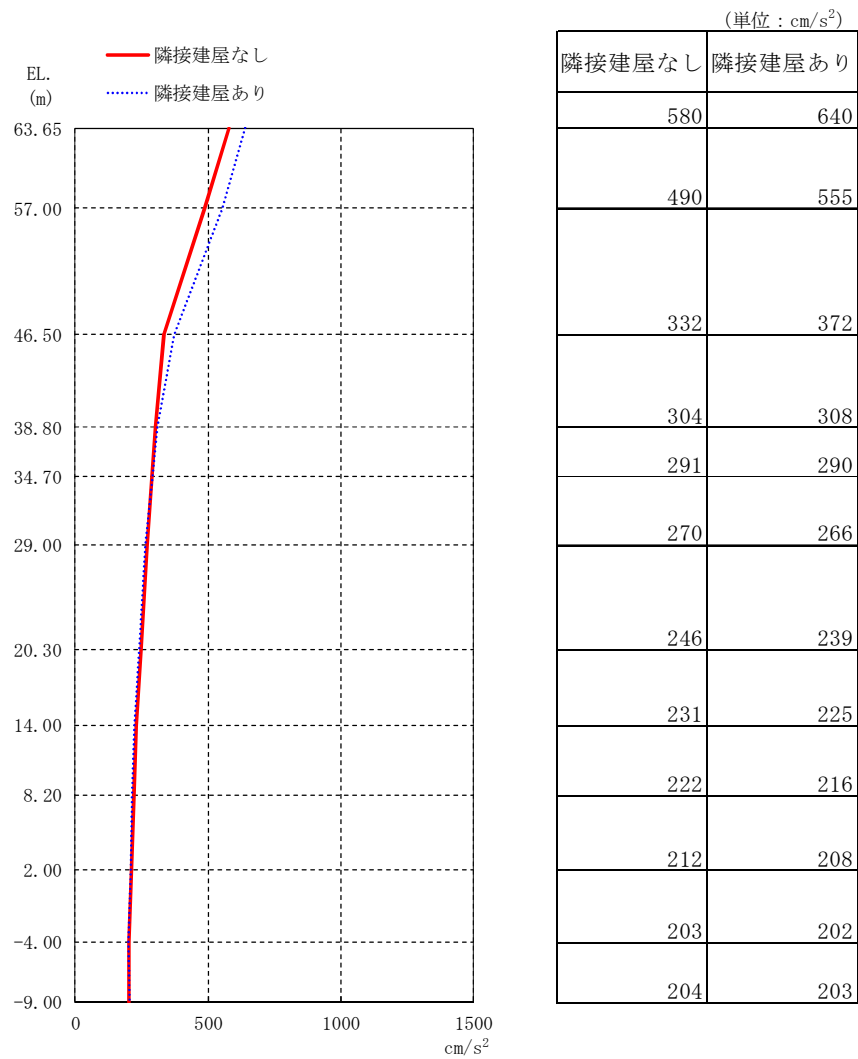


図 3-9 最大応答加速度 (, S_d-D 1, NS 方向)

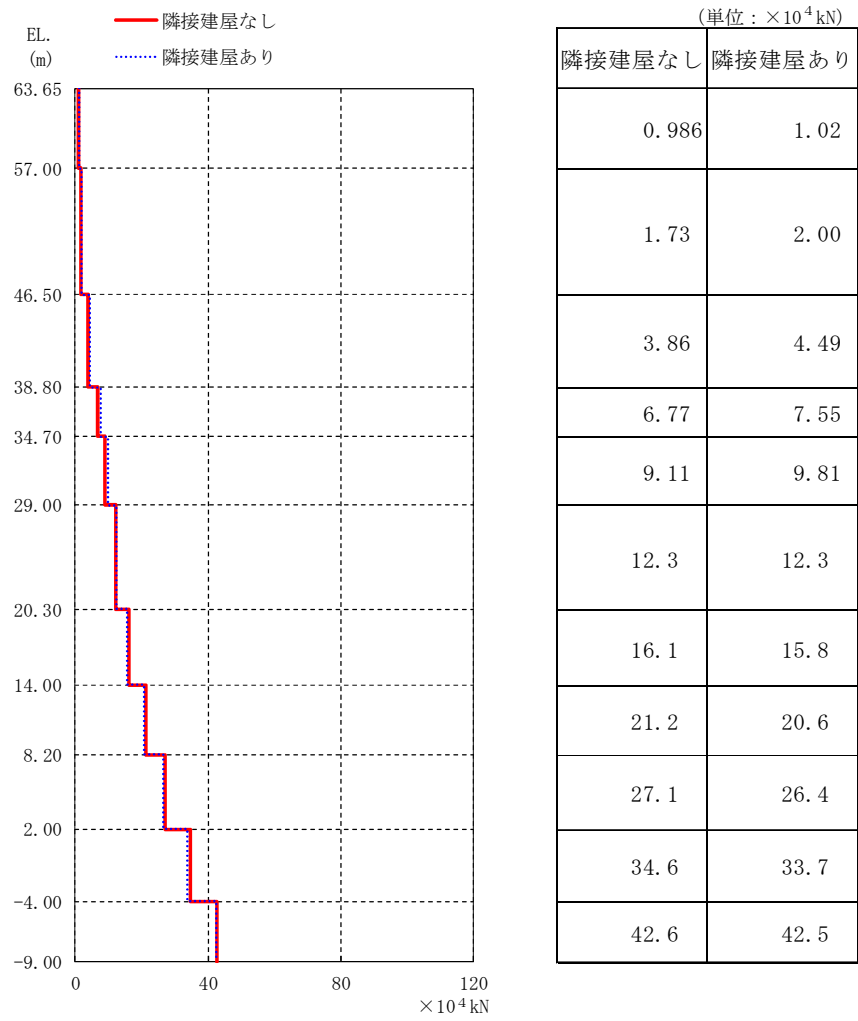


図 3-10 最大応答せん断力 (S_a-D 1, NS 方向)

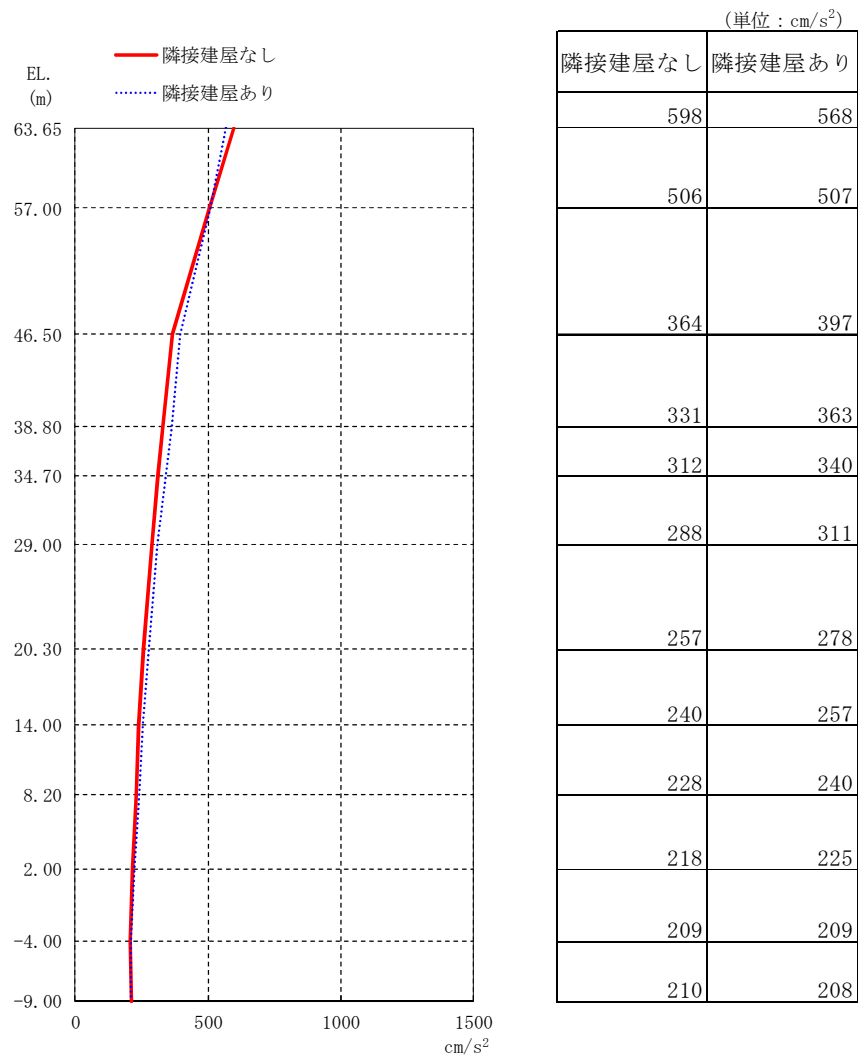


図 3-11 最大応答加速度 (, S_a-D1, EW 方向)

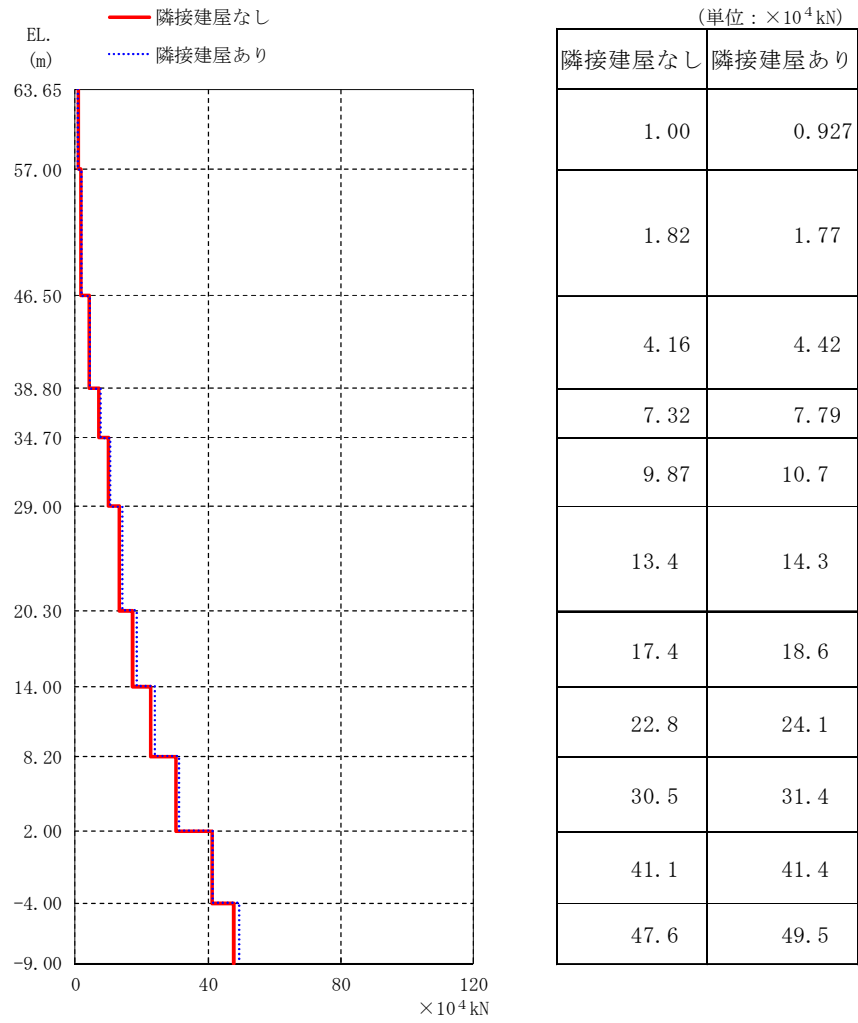


図 3-12 最大応答せん断力 (, $S_d - D 1$, EW 方向)

3.2 機器への影響検討

図3-13に今回工認の建屋モデルによる地震応答解析結果を用いた床応答スペクトル（図中では「工認基本ケース（×1.5）」と表記）と、隣接建屋影響評価モデルにおける原子炉建屋単独ケース（図中では「隣接建屋考慮なし」と表記）と隣接するタービン建屋を模擬したケース（図中では「隣接建屋考慮あり」と表記）との比較を示す。また床応答スペクトルの比較において、工認基本ケース及び隣接建屋影響評価モデルにおける原子炉建屋単独ケースについては、周期軸方向に10%拡幅した床応答スペクトルとした。

3.2.1 隣接建屋の影響

図3-13に示すように、隣接建屋を考慮するとNS、EW方向ともにEL. 20.3 mより上部において、一部周期帯（0.2～0.3秒付近）で隣接建屋を考慮しない場合の床応答スペクトルを超過するが、機器への影響が支配的となる剛領域（0.05秒以下）では概ね同等の応答を示す事が確認された。

なお、原子炉建屋に設置された機器において時刻歴応答解析を実施するものとして、原子炉建屋クレーンが有る。原子炉建屋クレーンにおけるレール直交方向に対する固有周期は、剛であり、隣接建屋の応答が増加していないため、評価結果に影響を与えない。

また、レール方向に対しては、一定の震度にて車輪がレール上を滑ることになるため固有周期はない。

3.2.2 設計への影響

隣接建屋を考慮しない場合の床応答スペクトルを超過する周期帯においても設計に用いている工認基本ケースのスペクトルに包絡されており隣接建屋による設計への影響がないことを確認した。

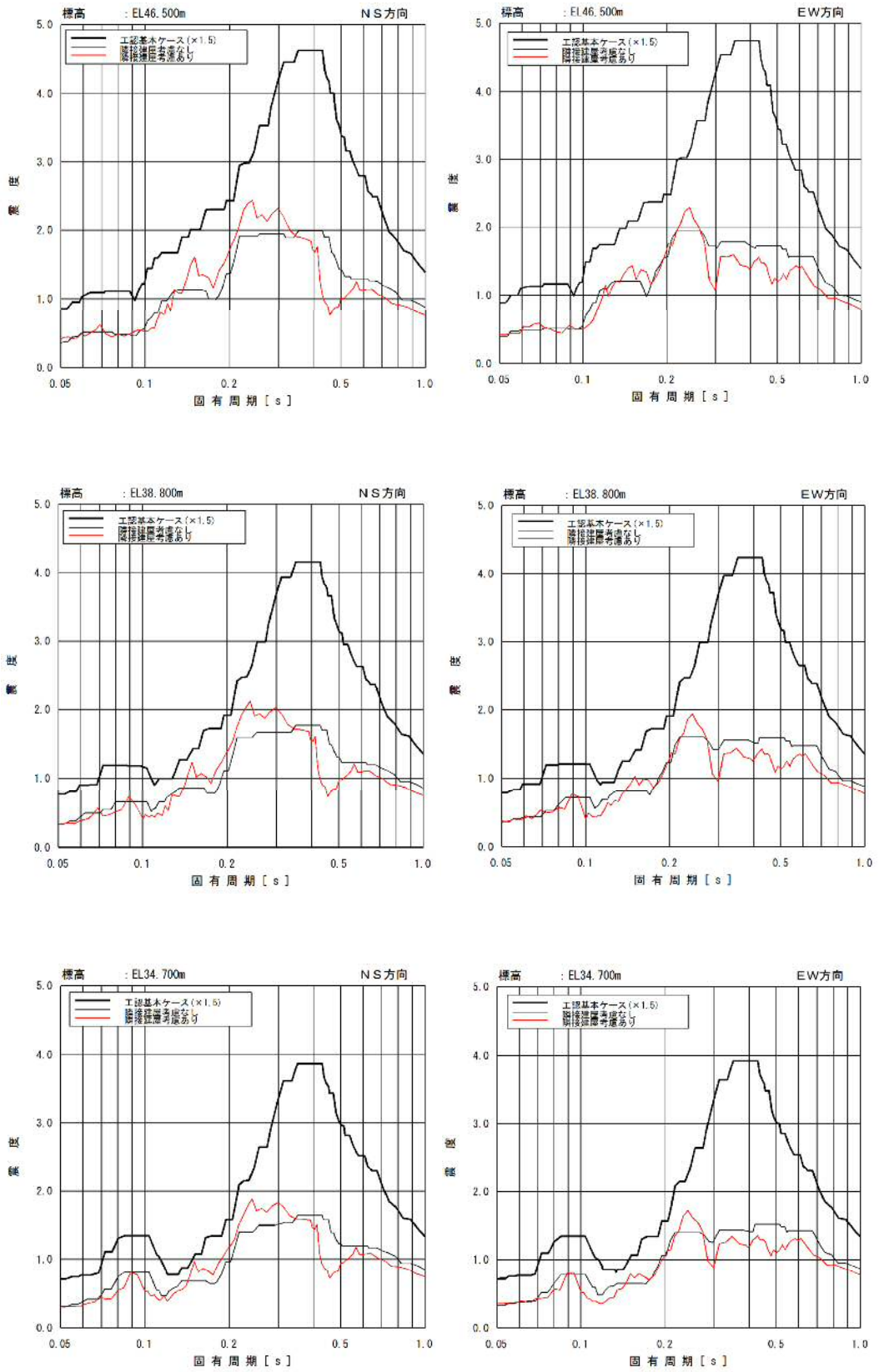


図3-13 (1/3) 床応答スペクトルの比較 (原子炉建屋 $h=1.0\%$)

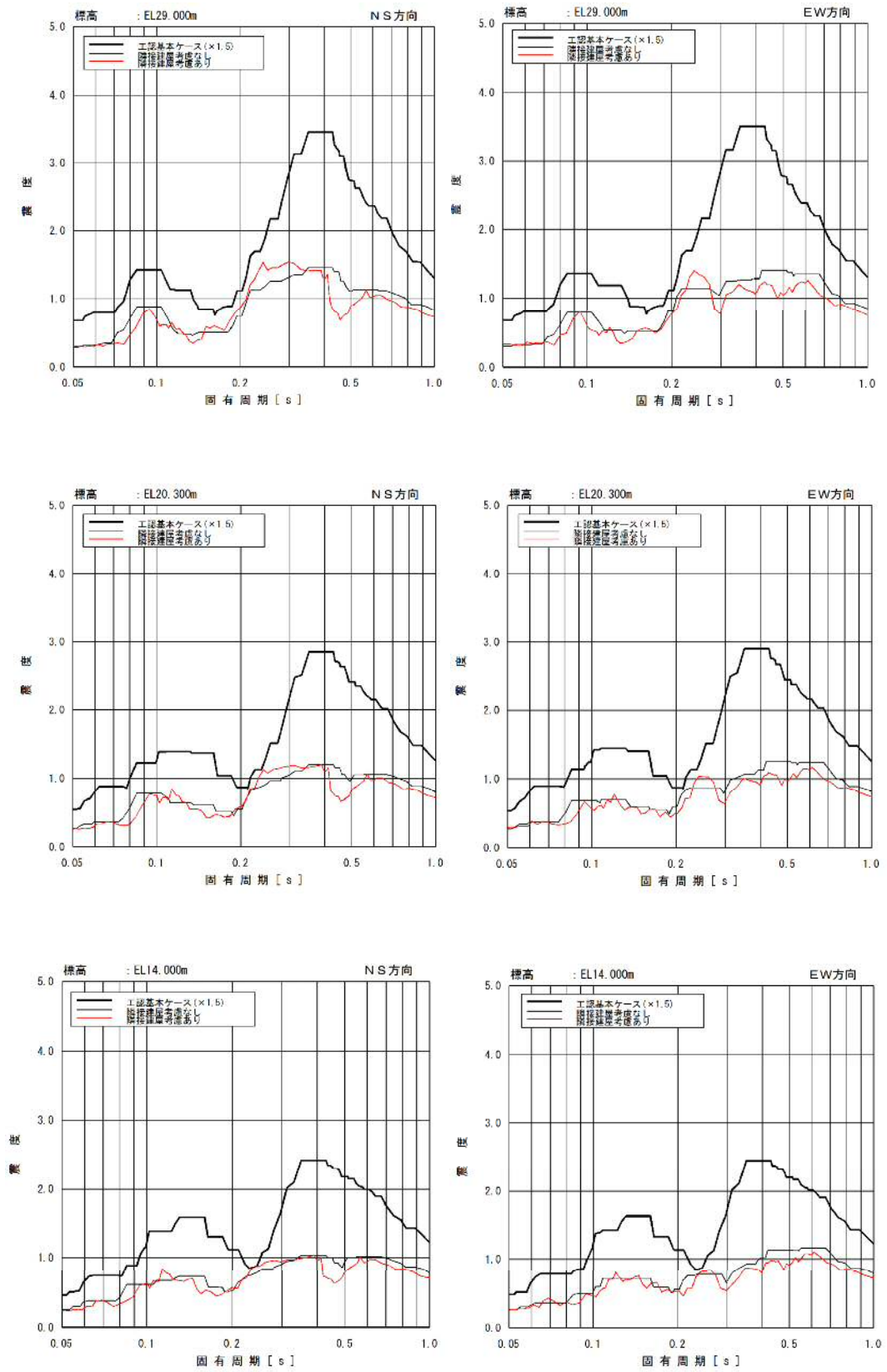


図3-13 (2/3) 床応答スペクトルの比較 (原子炉建屋 h=1.0%)

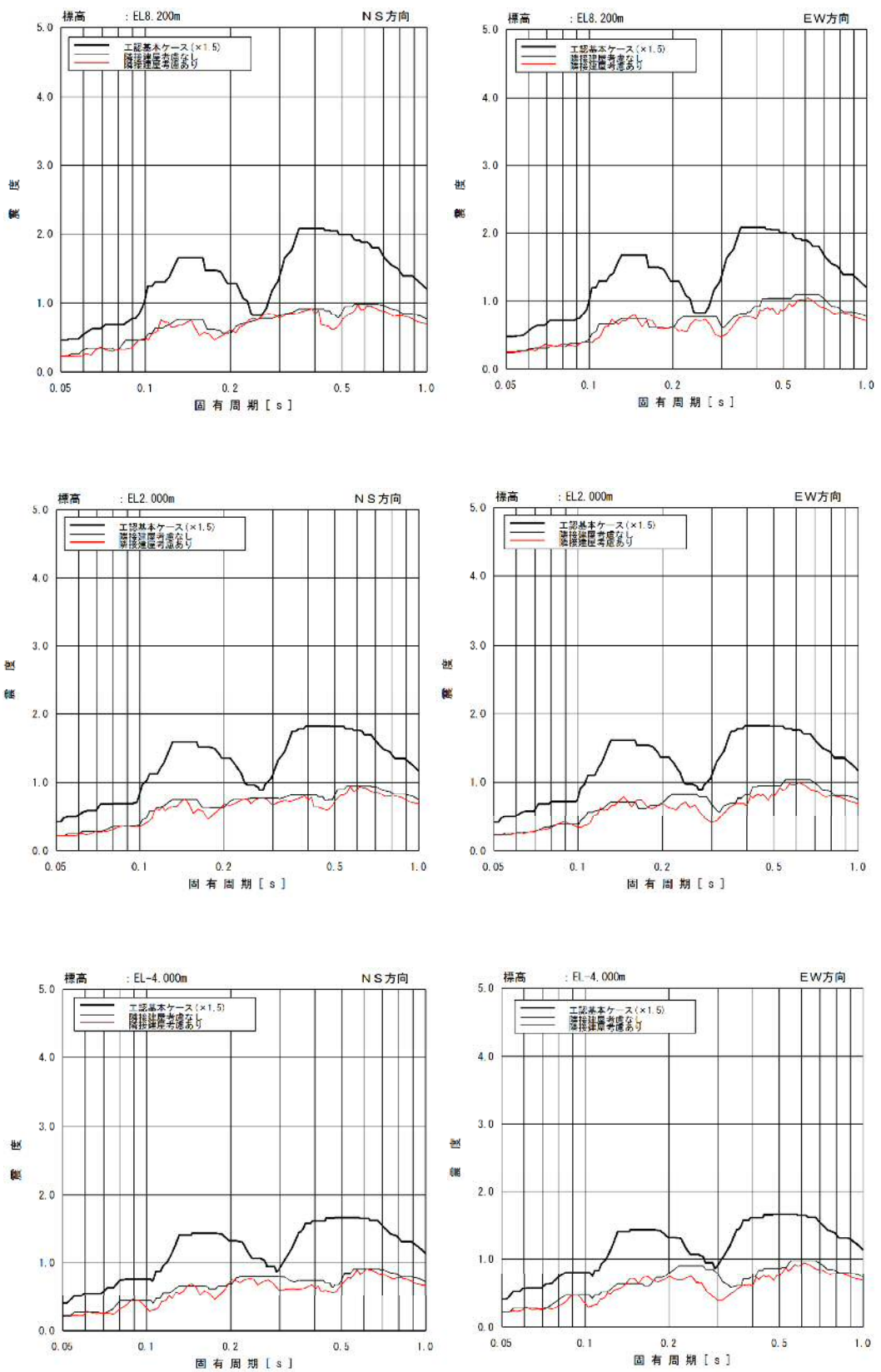


図3-13 (3/3) 床応答スペクトルの比較 (原子炉建屋 h=1.0%)

4. まとめ

4.1 既往の知見に基づく検討結果

「既往の文献に基づく検討」及び「3次元FEMモデルを用いた検討」により、以下の知見を得た。

(1) 既往の文献に基づく検討

「NUPEC試験」では、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おいて、同種2棟の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。

さらに、同試験におけるその他各種試験結果から、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。

(2) 3次元FEMモデルを用いた検討

3次元FEMモデルを用いた検討により、硬質岩盤においては、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、隣接建屋が検討対象建屋の建屋応答に与える影響が小さいことを確認した。

4.2 東海第二発電所における隣接建屋の影響検討結果

4.2.1 建物・構築物への影響

東海第二発電所の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋について、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、両者の建屋応答を比較した。

各建屋の最大応答値について確認した結果、応答倍率（隣接考慮／隣接非考慮）は、R/Bでは0.927（要素番号1，EW方向のせん断力）～1.163（要素番号3，NS方向のせん断力）であり、概ね各建屋単独でモデル化したケースが全建屋を考慮したケースに対して、概ね同等であることから、東海第二発電所の工事計画認可申請対象の建物・構築物の耐震評価に与える隣接建屋の影響は小さいことを確認した。

4.2.2 機器への影響

東海第二発電所の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建屋について、実際の建屋配置状況に則して各建屋を配置する場合における建屋応答に対する機器への影響を確認した。

建屋を配置した場合の床応答スペクトルは、原子炉建屋単独でモデル化した場合の床応答スペクトルに対して、機器への耐震評価への影響が大きな剛領域では概ね同等であることを確認した。また、工認基本ケースによる床応答スペクトルに応答が収まることをから隣接建屋の影響は小さいことを確認した。

【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6年度～平成13年度
- 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

別紙 1 建屋構造特性の整理

1. 建屋構造特性の整理

東海第二発電所の工事計画認可申請対象である原子炉建屋及びタービン建屋の構造特性を整理した結果を表 1-1 に示す。

表 1-1 建屋構造特性整理表

基礎幅 (m)		68.5 (NS) × 68.25 (EW)	約 70 (NS) × 約 105 (EW)
重量 (kN)	基礎	714380	894060
	建屋	1218560	1560730
	基礎 + 建屋	1932940	2454790
1 次固有 振動数* (Hz)	NS	2.44	2.21
	EW	2.43	2.37
質点高さ EL. (m)	上端	63.65	40.64
	下端	-9.00	-5.90
	高さ	72.65	46.54

注記 * : 基準地震動 $S_s - D 1$ 入力の SR モデル解析時の値

別紙2 応答増幅の影響について

目次

1. 概要.....	別紙 2-1
2. 検討方針.....	別紙 2-1
3. 検討結果.....	別紙 2-3
4. まとめ.....	別紙 2-15

付録1 隣接建屋の影響及び改造工事に伴う重量増他の影響を重畳した場合の影響について

1. 概要

本資料は、隣接建屋の影響として、応答増幅の影響検討を行うものである。

2. 検討方針

検討対象は、原子炉建屋、原子炉建屋原子炉棟、中央制御室遮蔽、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤、使用済燃料プールとする。

隣接建屋を考慮した応答比率（隣接考慮／隣接非考慮）と、各検討対象の評価結果より影響検討を行う。原子炉建屋の最大応答せん断力の応答比率を表 2-1 に示す。

表 2-1 隣接建屋を考慮した応答比率：最大応答せん断力

(a) NS 方向

EL. (m)	要素 番号	最大応答せん断力 ($\times 10^4$ kN)		応答比率 (考慮/非考慮)
		隣接非考慮	隣接考慮	
63.65 ~ 57.00	(1)	0.986	1.02	1.04
57.00 ~ 46.50	(2)	1.73	2.00	1.16
46.50 ~ 38.80	(3)	3.86	4.49	1.17
38.80 ~ 34.70	(4)	6.77	7.55	1.12
34.70 ~ 29.00	(5)	9.11	9.81	1.08
29.00 ~ 20.30	(6)	12.3	12.3	1.00
20.30 ~ 14.00	(7)	16.1	15.8	0.99
14.00 ~ 8.20	(8)	21.2	20.6	0.98
8.20 ~ 2.00	(9)	27.1	26.4	0.98
2.00 ~ -4.00	(10)	34.6	33.7	0.98

(b) EW 方向

EL. (m)	要素 番号	最大応答せん断力 ($\times 10^4$ kN)		応答比率 (考慮/非考慮)
		隣接非考慮	隣接考慮	
63.65 ~ 57.00	(1)	1.00	0.927	0.93
57.00 ~ 46.50	(2)	1.82	1.77	0.98
46.50 ~ 38.80	(3)	4.16	4.42	1.07
38.80 ~ 34.70	(4)	7.32	7.79	1.07
34.70 ~ 29.00	(5)	9.87	10.7	1.09
29.00 ~ 20.30	(6)	13.4	14.3	1.07
20.30 ~ 14.00	(7)	17.4	18.6	1.07
14.00 ~ 8.20	(8)	22.8	24.1	1.06
8.20 ~ 2.00	(9)	30.5	31.4	1.03
2.00 ~ -4.00	(10)	41.1	41.4	1.01

3. 検討結果

各検討対象の隣接建屋の影響検討結果を以下に示す。

(1) 原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟，中央制御室遮蔽

原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽の構造強度については，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 (2.0×10^{-3}) を超えないことを確認している。

地震応答解析によって評価され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最大応答せん断力の応答比率を乗じて，許容限界 (2.0×10^{-3}) 以内であることを確認する。

表 3-1 に原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟及び中央制御室遮蔽に対する評価結果を示す。

隣接建屋の影響を考慮した原子炉棟における最大せん断ひずみは 0.65×10^{-3} (要素番号 (5)，NS 方向)，中央制御室遮蔽における最大せん断ひずみは 0.60×10^{-3} (要素番号 (7)，EW 方向) で，許容限界 (2.0×10^{-3}) 以内となり，隣接建屋の影響を考慮しても構造健全性に問題ないことを確認した。

表 3-1 隣接建屋の影響を考慮した最大せん断ひずみ

(a) 原子炉建屋，原子炉建屋原子炉棟

要素番号	方向	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	隣接建屋の応答比率	影響考慮の最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	備考
(5)	NS 方向	0.60	1.08	0.65	$S_s - 31$ ， 地盤 + σ

(b) 中央制御室遮蔽

要素番号	方向	最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	隣接建屋の応答比率	影響考慮の最大せん断ひずみ ($\times 10^{-3}$)	備考
(7)	EW 方向	0.56	1.07	0.60	$S_s - 31$ ， 地盤 + σ

(2) 原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤

原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤については、1次遮蔽壁（以下「シェル壁（S/W）」という。）、原子炉建屋原子炉棟（以下「原子炉棟」という。）の外壁（以下「内部ボックス壁（I/W）」という。）及び原子炉建屋付属棟（以下、「付属棟」という。）の外壁（以下「外部ボックス壁（O/W）」という。）からの基礎への地震時せん断力、軸力等を地震荷重として考慮することから、原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10)、EL. -4.0 m~EL. 2.0 m）の応答比率を用いる。

隣接建屋を考慮した最大応答せん断力の応答比率に基づく割増係数を表 3-2 に示す。NS 方向は応答比率が 1.0 以下となっており、EW 方向に係るケースのみ影響評価の対象となる。

原子炉格納容器底部コンクリートマットの断面評価結果一覧を表 3-3 に示す。最も検定値が大きいのは、荷重状態Ⅳの地震時(2)の面外せん断力 0.953 であり、応答倍率 1.01 を乗じると 0.963 となり、1.0 を下回る。

原子炉建屋基礎盤の断面評価結果一覧を（補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 7-3 再掲）

(d) 荷重状態Ⅳ（異常+地震）時(2)

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	4-6	0.096
	鉄筋	半径	26	4-5	0.118
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	4-6	0.634

注： は、検定値が最大となる要素を示す。

(e) 荷重状態Ⅴ（異常+地震）時(3)

評価項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	5-6	0.125
	鉄筋	円周	21	5-6	0.179
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	131	5-5	0.737

注： は、検定値が最大となる要素を示す。

(f) 荷重状態V (異常+地震)時(4)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	6-6	0.114
	鉄筋	円周	21	6-6	0.168
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	211	6-5	0.683

注 : は, 検定値が最大となる要素を示す。

表 3-3 (3/3) 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(g) 荷重状態V (異常+地震)時 (5)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	7-6	0.142
	鉄筋	円周	21	7-6	0.163
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	30	7-6	0.926 (1.10)

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

() 内は、応力平均化前の値を示す。

表 3-4 に示す。EW 方向に係るケースで最も検定値が大きいのは、S_s地震時の面外せん断力 0.868 であり、せん断力の応答倍率 1.01 を乗じると 0.878 となり、1.0 を下回る。以上より、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を確認した。

表 3-2 割増係数：

原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤

	NS 方向	EW 方向
要素番号 (10)	0.98	1.01
EW 方向の割増係数	1.01	

表 3-3 (1/3) 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(a) 荷重状態Ⅲ 地震時 (1)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	21	1-22	0.218
	鉄筋	円周	21	1-22	0.398
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	1-22	0.712

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

(b) 荷重状態Ⅲ (異常+地震) 時 (1)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	60	2-22	0.286
	鉄筋	円周	21	2-22	0.580
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	2-22	0.681

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

(c) 荷重状態Ⅳ 地震時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	3-6	0.111
	鉄筋	円周	40	3-4	0.129
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	3-6	0.953 (1.13)

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

() 内は、応力平均化前の値を示す。

表 3-3 (2/3) 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(d) 荷重状態Ⅳ (異常+地震) 時 (2)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	4-6	0.096
	鉄筋	半径	26	4-5	0.118
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	40	4-6	0.634

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

(e) 荷重状態Ⅴ (異常+地震) 時 (3)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	5-6	0.125
	鉄筋	円周	21	5-6	0.179
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	131	5-5	0.737

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

(f) 荷重状態Ⅴ (異常+地震) 時 (4)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	6-6	0.114
	鉄筋	円周	21	6-6	0.168
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	211	6-5	0.683

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

表 3-3 (3/3) 原子炉格納容器底部コンクリートマットの検定値一覧
 (補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 7-3 再掲)

(g) 荷重状態V (異常+地震)時 (5)

評価項目		方向	要素 番号	組合せ ケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート	半径	40	7-6	0.142
	鉄筋	円周	21	7-6	0.163
面外せん断力	鉄筋コンクリート	半径	30	7-6	0.926 (1.10)

注 : は、検定値が最大となる要素を示す。

() 内は、応力平均化前の値を示す。

表 3-4 原子炉建屋基礎盤の検定値一覧

(補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 8-3 再掲)

(a) S_d 地震時

検討項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	コンクリート圧縮応力度 (N/mm^2)	半径	280	1-22	0.444
	鉄筋引張応力度 (N/mm^2)	NS	851	1-19	0.702
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	半径	280	1-22	0.514

注： は、検定値が最大となる要素を示す。

(b) S_s 地震時

検討項目		方向	要素番号	組合せケース	検定値
軸力 + 曲げモーメント	曲げモーメント ($\times 10^3 kN \cdot m/m$)	NS	851	2-7	0.894
		EW	626	2-6	0.717
面外せん断力	面外せん断応力度 (N/mm^2)	NS	851	2-1	0.731
		EW	465	2-4	0.868

注： は、検定値が最大となる要素を示す。

(3) 使用済燃料プール

使用済燃料プールは、水平地震時荷重として、せん断力分配解析による内部ボックス壁 (I/W) の EL. 46.5m~EL. 34.7m 位置 (要素番号(3), (4)) でのせん断力を考慮することから要素番号(3), (4) の最大応答せん断力の応答比率の最大値を割増係数として設定し、応力評価結果の発生値に乗じて各許容値を超えないことを確認する。

隣接建屋を考慮した要素番号(3), (4) の最大応答せん断力の応答比率に基づく割増係数を表 3-5 に示す。

使用済燃料プールの断面評価結果一覧を表 3-6 に示す。最も検定値が大きいのは、S d 地震時の軸力+曲げモーメント+面内せん断力の鉄筋 0.908 (ケース No. 1-5, $1.0S_{d_{WE}}-0.4S_{d_{DU}}$) であり、EW 方向の応答倍率 1.07 を乗じると 0.972 となり、1.0 を下回る。NS 方向に係るケースで最大の検定値は、S d 地震時の軸力+曲げモーメント+面内せん断力の鉄筋 0.832 (ケース No. 2-7, $1.0S_{d_{SN}}-0.4S_{d_{DU}}$) であり、EW 方向の応答倍率 1.17 を乗じると 0.974 となり、1.0 を下回る。

以上より、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を確認した。

表 3-5 割増係数：最大応答せん断力
(使用済燃料プール)

	NS 方向	EW 方向
要素番号(3), (4) の最大値	1.17	1.07
NS 方向の割増係数	1.17 [※]	
EW 方向の割増係数	1.07 [※]	

※：各方向の最大値

表 3-6 (1/2) 評価結果

(補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 6-5 再掲)

部位	分類領域	荷重状態等	軸力+曲げモーメント+面内せん断力						面内せん断力			面外せん断力			
			コンクリート			鉄筋			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート			
			要素番号	検定値	ケース No.	要素番号	検定値	ケース No.	要素番号	検定値	ケース No.	要素番号	検定値	ケース No.	
壁	北側壁	S _d 地震時	2219	0.101	1-8	2272	0.908	1-5	2272	0.342	1-5	2228	0.533	1-8	
		S _d 地震時+温度	2204	0.261	2-1	2272	0.869	2-21	2205	0.346	2-6	2228	0.554	2-8	
	東側壁	S _d 地震時	1535	0.107	1-5	1546	0.720	1-8	1586	0.552	1-7	1536	0.361	1-5	
		S _d 地震時+温度	1582	0.365	2-3	1585	0.832	2-7	1586	0.603	2-7	1536	0.497	2-5	
	南側壁	S _d 地震時	3055	0.805	1-15	3037	0.805	1-5	1086	0.572	1-7	7801	0.627	1-6	
		S _d 地震時+温度	3055	0.396	2-14	3031	0.770	2-18	3043	0.622	2-2	7801	0.768	2-6	
	西側壁	S _d 地震時	1035	0.113	1-6	1046	0.719	1-8	1086	0.572	1-7	1033	0.391	1-6	
		S _d 地震時+温度	1082	0.364	2-3	1085	0.827	2-7	1086	0.621	2-23	1033	0.367	2-22	
	床	底版	S _d 地震時	4054	0.381	1-7	4054	0.481	1-16				4053	0.544	1-15
			S _d 地震時+温度	4054	0.350	2-23	4054	0.476	2-32				4054	0.584	2-15

表 3-6 (2/2) 評価結果

(補足説明資料「応力解析における断面図の評価部位の選定」表 6-5 再掲)

部位	分類領域	荷重状態等	軸力+曲げモーメント+面内せん断力						軸力			面内せん断力			面外せん断力		
			コンクリート			鉄筋			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート			鉄筋コンクリート		
			要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.	要素 番号	検定値	ケース No.
壁	北側壁	S _s 地震時	2219	0.048	3-16	2272	0.354	3-5	2272	0.048	3-2	2268	0.329	3-13	2228	0.518	3-16
	東側壁	S _s 地震時	1535	0.045	3-5	1590	0.356	3-7	1581	0.093	3-8	1590	0.705	3-7	1546	0.333	3-13
	南側壁	S _s 地震時	3055	0.131	3-15	3037	0.293	3-5	3055	0.215	3-15	3037	0.529	3-5	7803	0.560	3-15
	西側壁	S _s 地震時	1035	0.049	3-6	1046	0.316	3-8	1090	0.105	3-8	1087	0.576	3-7	1033	0.345	3-6
床	底版	S _s 地震時	4054	0.181	3-15	4054	0.212	3-16							4054	0.716	3-15

4. まとめ

隣接建屋の影響評価として、原子炉建屋、原子炉建屋原子炉棟、中央制御室遮蔽、原子炉格納容器底部コンクリートマット及び原子炉建屋基礎盤、使用済燃料プールの応答増幅を考慮しても構造健全性に影響がないことを確認した。

付録1 隣接建屋の影響及び改造工事に伴う重量増他の影響を重畳した場合の影響について

原子炉建屋基礎盤に対して、隣接建屋の影響評価に加えて、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した評価結果への影響、水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を重畳させた場合の影響評価を実施する。

(1) 原子炉建屋基礎盤の評価

水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響に、設備の補強や追加等改造工事に伴い重量が増加することの影響を考慮した評価結果を付表1に示す。

付表1 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せ及び
設備の補強や追加等改造工事に伴い重量が増加することの影響を考慮した評価
原子炉棟基礎及び付属棟基礎の評価結果 (S₀地震時)

(添付資料「V-2-12 水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せに関する影響評価結果」
表 3-1-6 再掲)

評価項目		方向	要素 番号	発生値 ①	割増係数 ②	①×②	許容値
軸力 + 曲げモー メント	曲げモーメント (×10 ³ kN・m/m)	NS	851	10.7	1.02	11.0	11.8
		半径	276	43.6	1.02	44.5	49.8
面外せん 断力	面外せん断応力度 (N/mm ²)	NS	438	1.42 [※]	1.02	1.45	2.12
		半径	279	1.96 [※]	1.02	2.00	2.12

※：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

a. 応答倍率による影響評価

付表 2 に隣接建屋の影響によるせん断力の原子炉建屋基礎盤上層（要素番号(10), EL. -4.0～EL. 2.0m）の応答比率に基づく割増係数を示す。

水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響と設備の補強や追加等の改造工事に伴い重量が増加することの影響及び隣接建屋の影響を考慮した評価結果を付表 3 に示す。

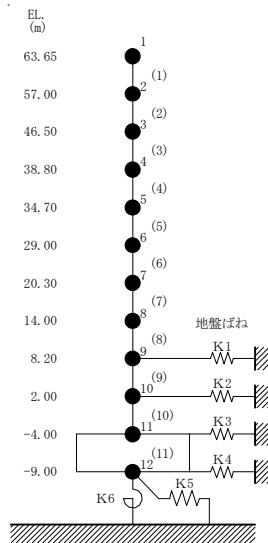
割増係数を考慮した評価値が許容値以内であることを確認した。

以上より、隣接建屋の影響評価に加えて、補強等の原子炉建屋改造工事に伴う重量の増加分を考慮した評価結果への影響、水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響を重畳させた場合においても構造健全性に影響はないことを確認した。

付表 2 割増係数：隣接建屋の影響

影響評価項目	NS 方向	EW 方向
要素番号(10)の応答比率	0.98	1.01
基礎盤への割増係数	1.01 [※]	

※：各方向の応答倍率の最大値



付表3 評価結果：原子炉棟基礎及び付属棟基礎の評価結果（S_s地震時）

評価項目		方向	要素 番号	発生値 ① ^{※2}	割増係 数② ^{※3}	割増係 数② ^{※4}	①×②×③	許容値
軸力 + 曲げモー メント	曲げモーメント (×10 ³ kN・m/m)	NS	851	10.7	1.02	1.01	11.1	11.8
		半径	276	43.6	1.02	1.01	45.0	49.8
面外せん 断力	面外せん断応力 度 (N/mm ²)	NS	438	1.42 [※]	1.02	1.01	1.47	2.12
		半径	279	1.96 [※]	1.02	1.01	2.02	2.12

※1：応力の再配分等を考慮して、応力の平均化を行った結果

※2：水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる評価結果

※3：設備の補強や追加等改造工事に伴い重量が増加することによる割増係数

※4：隣接建屋の影響による割増係数