

補足-023-05 地震時荷重と事故時荷重との組合せについて

目 次

1. はじめに	1
2. 基準類における要求	2
2.1 新規制基準における要求	2
2.2 J E A G 4 6 0 1 ・補-1984 における要求	3
3. 既工認及び今回の評価内容	10
3.1 荷重の組合せ及び対応する許容応力状態	10
3.1.1 記号の説明	10
3.1.2 クラス1（第一種）の評価	12
3.1.3 クラスMC（第二種）の評価	13
3.1.4 クラス2，3，4（第三種，第四種，第五種）（E C C S機器）の評価	15
3.1.5 クラス2，3，4（第三種，第四種，第五種）（E C C S機器以外） の評価	16
3.1.6 残留熱除去系ストレーナ，低圧炉心スプレイ系ストレーナ，高圧炉心 スプレイ系ストレーナの評価	17
3.2 今回評価で用いた圧力荷重及び機械的荷重	18

1. はじめに

耐震設計においては、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と地震力を組み合わせた荷重条件に対して、機能を保持することとしている。本資料では、技術基準規則第5条（設置許可基準規則第4条を読み込み）に基づく地震荷重とDB条件におけるその他の荷重との組合せについて説明する。

本書に関連する工認添付書類を以下に示す。

- ・ VI-2-1-9 「機能維持の基本方針」

2. 基準類における要求

2.1 新規制基準における要求

新規制基準のうち「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則（以下「設置許可基準規則」という。）の解釈」の別記2のうち、該当部を下記に示す。

設置許可基準規則の解釈（別記2）

第4条（地震による損傷の防止）

3 第4条第1項に規定する「地震力に十分に耐えること」を満たすために、耐震重要度分類の各クラスに属する設計基準対象施設の耐震設計に当たっては、以下の方針によること。

一 Sクラス（津波防護施設、浸水防止設備及び津波監視設備を除く。）

（省略）

・機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と、弾性設計用地震動による地震力又は静的地震力を組み合わせた荷重条件に対して、応答が全体的におおむね弾性状態にとどまること。

6 第4条第3項に規定する「安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない」ことを満たすために、基準地震動に対する設計基準対象施設の設計に当たっては、以下の方針によること。

一 耐震重要施設のうち、二以外のもの

（省略）

・機器・配管系については、通常運転時、運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と基準地震動による地震力を組み合わせた荷重条件に対して、その施設に要求される機能を保持すること。なお、上記により求められる荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。また、動的機器等については、基準地震動による応答に対して、その設備に要求される機能を保持すること。例えば、実証試験等により確認されている機能維持加速度等を許容限界とすること。

なお、上記の「運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重」については、地震によって引き起こされるおそれのある事象によって作用する荷重及び地震によって引き起こされるおそれのない事象であっても、いったん事故が発生した場合、長時間継続する事象による荷重は、その事故事象の発生確率、継続時間及び地震動の超過確率の関係を踏まえ、適切な地震力と組み合わせて考慮すること。

2.2 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 における要求

前項において、新規制基準における要求として設置許可基準規則を示したが、具体的な考え方は原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984（以下「J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984」という。）に記載されている。

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 では、運転状態 I ～IV と基準地震動 S_1 及び S_2 との組合せに対して、許容応力状態 III_AS 及び IV_AS の許容限界を適用した評価が求められている。

ここで、運転状態 IV (L) と S_1 との組合せにおいて、^①原子炉冷却材バウンダリ (E C C S 系以外) (図 2.2-1①に対応、以下同様) については許容応力状態 IV_AS の許容限界を適用し、^②原子炉冷却材バウンダリ (E C C S 系) 及び^③原子炉格納容器については許容応力状態 III_AS の許容限界を適用する。E C C S 機器に対して、許容応力状態 III_AS の許容限界を適用するのは、これらの設備については、本来運転状態 IV (L) を設計条件としており、この状態が運転状態 I に相当するとし、運転状態 I と基準地震動 S_1 との組合せに対して適用される許容応力状態 III_AS の許容限界を適用した評価が求められているためである。また、^④原子炉格納容器については、LOCA 後の最終障壁となることから、構造全体としての安全裕度を確認する意味で、LOCA 後最大内圧と基準地震動 S_1 との組合せにおいて、許容応力状態 IV_AS の許容限界を適用することが求められている。

上記の運転状態と地震の組合せについて、地震の従属事象は、地震時の状態と、事象によって引き起こされるおそれのあるプラントの状態とは組合せが必要であり、地震の独立事象は、事象の発生確率、継続時間及び地震動の発生確率の関係を踏まえ、組合せを検討するとの考え方が示されている (図 2.2-2 参照)。この考え方を、検討整理した結果、運転状態 I ～IV の各事象における圧力、温度、機械的荷重と基準地震動 S_1 、 S_2 との組合せについて、考慮すべき組合せの考え方が示されている (図 2.2-1 参照)。この中で、発生頻度が低い独立事象である LOCA (運転状態 IV) については、基準地震動 S_2 との組合せを要しないが、LOCA 後長時間継続する荷重 (運転状態 IV (L)) は、基準地震動 S_1 との組合せが必要となると規定されている。

付 録 2

地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態

本参考資料での検討と J E A G 4601・補-1984「原子力発電所耐震設計技術指針-許容応力編」での検討を踏まえた結果、地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態は次のとおりである。

耐震クラス	種 別 (1) 荷重の組合せ	第1種	第2種	第3種	第4種	第5種	炉心支持構造物	そ の 他		
		機支持構造物	容支持構造物	機支持構造物	容管器	管		ポンプ・弁	炉内構造物	支持構造物
A _S	D + P + M + S ₁	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	-	-	-	Ⅲ _A S	-	-	-
	D + P _D + M _D + S ₁	①-	③-	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	-	-	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S
	D + P _L + M _L + S ₁	Ⅳ _A S ⁽²⁾	Ⅲ _A S ⁽³⁾	-	-	-	Ⅳ _A S	-	-	-
	D + P + M + S ₂	Ⅳ _A S	Ⅳ _A S	-	-	-	Ⅳ _A S	-	-	-
	D + P _D + M _D + S ₂	-	-	Ⅳ _A S	Ⅳ _A S	-	-	Ⅳ _A S	Ⅳ _A S	Ⅳ _A S
A	D + P _D + M _D + S ₁	-	-	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	-	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S
B	D + P _d + M _d + S _B	-	-	B _A S	B _A S	B _A S	-	B _A S	-	B _A S
C	D + P _d + M _d + S _C	-	-	-	C _A S	C _A S	-	C _A S	-	C _A S

- 注：(1) 各設備の種別は、原則として告示に基づくものとする。
告示で規定されない容器・管にあっては以下による。
- 1) 耐震A又はA_Sクラスに分類される非常用予備発電装置に付属する容器・管については第3種の規定を準用する。
 - 2) 第5種管に分類されないダクトについても、第5種管の規定を準用する。
 - 3) 上記1), 2)以外で告示で規定されない容器・管にあっては第4種の規定を準用する。
- (2) なお、ECCS及びそれに関連し、事故時に運転を必要とするものについてはⅢ_ASとする。
- (3) 1) 第2種容器、許容応力状態Ⅲ_ASの荷重の組合せ(D + P_L + M_L + S₁)のP_Lは、LOCA後10⁻¹年後の原子炉格納容器内圧を用いる。
- 2) 原子炉格納容器は、LOCA後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味でLOCA後の最大内圧とS₁地震動(又は静的地震力)との組合せを考慮する。
- (4) この場合の評価は、許容応力状態Ⅳ_ASの許容限界を用いて行う。

図 2.2-1 J E A G 4601・補-1984の許容応力状態と荷重の組合せの考え方

表 I-1 運転状態と地震動との組合せの確率的評価

発生確率	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
運転状態の発生確率 (1/年)	I	II	III	IV						
基準地震動の発生確率 (1/年)			S_1	S_2						
基準地震動 S_1 との組合せ	従属事象	S_1 従属								
	1分以内	$S_1 + II$								
	1時間以内	$S_1 + II$ $S_1 + III$								
	1日以内	$S_1 + II$ $S_1 + III$ $S_1 + IV$								
	1年以内	$S_1 + II$ $S_1 + III$ $S_1 + IV$								
基準地震動 S_2 との組合せ	従属事象	S_2 従属								
	1分以内	$(S_2 + II)$ は 10^{-9} 以下となる								
	1時間以内	$S_2 + II$ $S_2 + III$								
	1日以内	$S_2 + II$ $S_2 + III$								
	1年以内	$S_2 + II$ $S_2 + III$ $S_2 + IV$								

基準地震動 S_1 の発生確率：
 10^{-2} /年～ 5×10^{-4} /年

基準地震動 S_2 の発生確率：
 5×10^{-4} /年～ 10^{-5} /年

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 の考え方

- 耐震上想定すべき運転状態と地震動の組合せは、事象の発生頻度及びその状態の継続時間との関連により決定
- 独立事象と組み合わせた発生確率 10^{-7} /年以上を目安に組合せを考慮
- J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984においては、基準地震動 S_1 の発生確率は 10^{-2} /年～ 5×10^{-4} /年、基準地震動 S_2 の発生確率は 5×10^{-4} /年～ 10^{-5} /年とし、組合せを考慮

注：(1) 発生確率から見て
 ← 組合せが必要なもの。
 ←…… 発生確率が 10^{-7} 以下となり組合せが不要となるもの。
 (2) 基準地震動 S_2 の発生確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ /サイト・年と推定されるが、ここでは $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ /サイト・年を用いた。
 (3) 表に示す発生確率は現在の知見によるものである。

図 2.2-2 運転状態と荷重の組合せの考え方

今回の評価

J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 にて想定している基準地震動 S_1 及び S_2 の発生確率は、島根原子力発電所第2号機における弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s の年超過確率と少なくとも同等であること (J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 については地震の発生確率で示されているのに対し、島根原子力発電所第2号機については地震動の年超過確率を示しているため直接的な比較はできないが、年超過確率は1年間に1回以上その地震動を超える確率を示しているものであることから、 S_d 及び S_s の発生確率相当として扱っている。)、また弾性設計用地震動 S_d については、基準地震動 S_1 を下回らないように設定していることから、弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s の発生確率は、 S_1 及び S_2 の発生確率よりも同等以下と言える。

以上を踏まえ、今回の評価については、J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 の基準地震動 S_1 及び S_2 を弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s に置き換えて評価を実施しているものである (参考1, 参考2参照)。

(参考1) 島根原子力発電所第2号機における弾性設計用地震動S_dの年超過確率

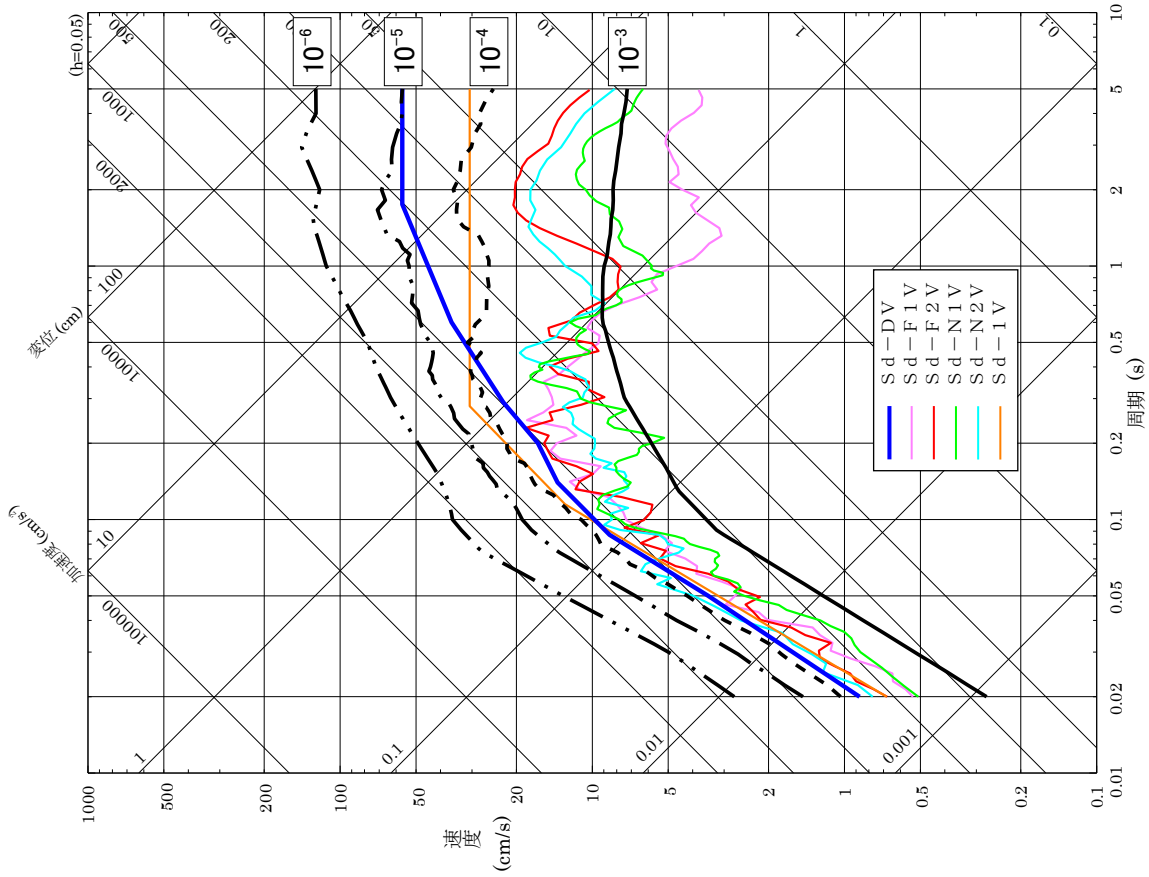
島根原子力発電所第2号機における弾性設計用地震動S_dの年超過確率は、以下のとおり J E A G 4 6 0 1・補-1984 に想定している基準地震動S₁の発生確率(10⁻²/年~5×10⁻⁴/年)より小さい。

(1) 水平方向

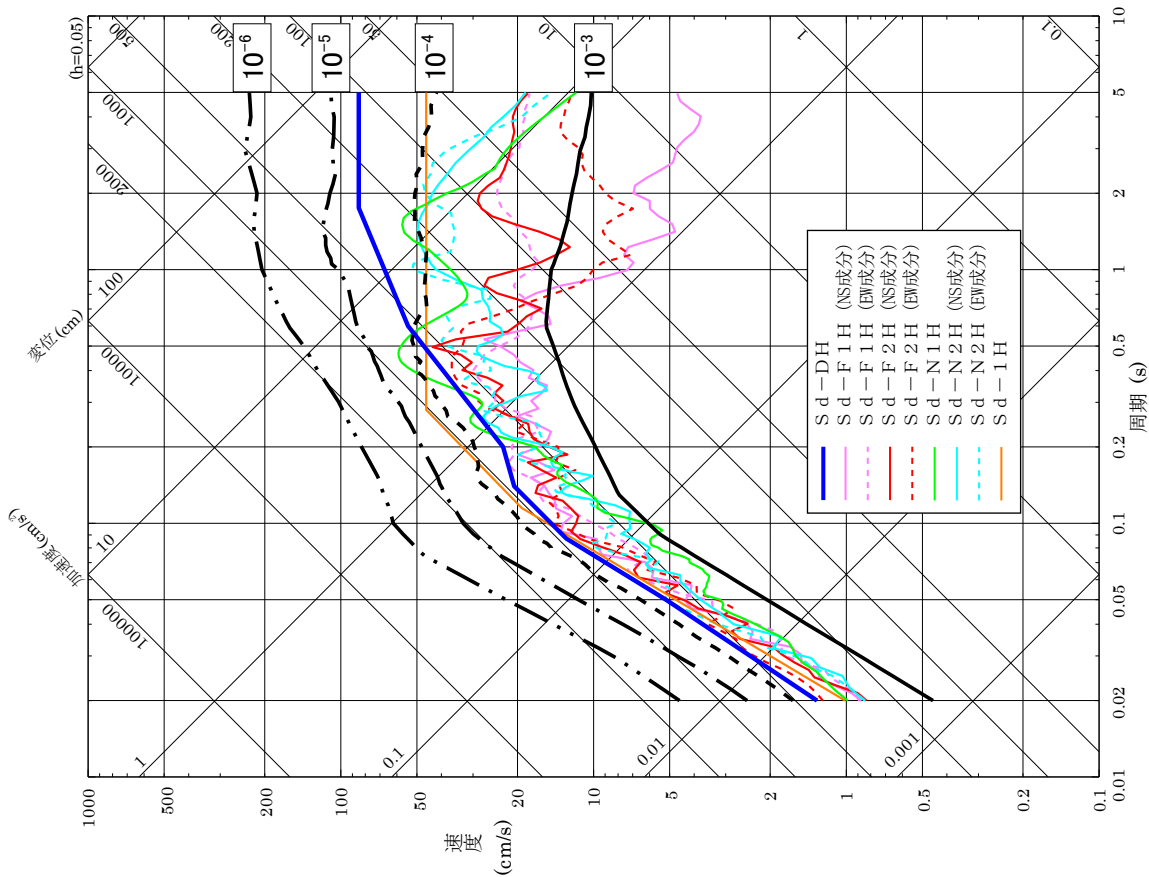
図 2.2-3 より、周期 0.02 秒~約 0.1 秒及び約 0.6 秒~5 秒では弾性設計用地震動S_d-Dが大きく、年超過確率は10⁻³~10⁻⁵程度、周期約 0.1 秒~約 0.6 秒では弾性設計用地震動S_d-N₁及びS_d-1が大きく、それらの応答スペクトルを包括的に見ると年超過確率は10⁻³~10⁻⁵程度である。

(2) 鉛直方向

図 2.2-3 より、周期 0.02 秒~約 0.5 秒では弾性設計用地震動S_d-D、S_d-N₂及びS_d-1が大きく、それらの応答スペクトルを包括的に見ると年超過確率は10⁻³~10⁻⁵程度、周期約 0.5 秒~5 秒は弾性設計用地震動S_d-Dが大きく、年超過確率は10⁻⁴~10⁻⁵程度である。



(鉛直方向)



(水平方向)

図 2.2-3 弾性設計用地震動 S d の応答スペクトル及び解放基礎表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較

(参考2) 島根原子力発電所第2号機における基準地震動 S_s の年超過確率

島根原子力発電所第2号機における基準地震動 S_s の年超過確率は、以下のとおり J E A G 4 6 0 1・補-1984 に想定している基準地震動 S_2 の発生確率 (5×10^{-4} /年 $\sim 10^{-5}$ /年) より小さい。

(1) 水平方向

図 2.2-4 より、周期 0.02 秒 \sim 約 0.2 秒及び約 0.6 秒 \sim 5 秒では基準地震動 $S_s - D$ が大きく、年超過確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度、周期約 0.2 秒 \sim 約 0.6 秒では基準地震動 $S_s - D$ 及び $S_s - N 1$ が大きく、それらの応答スペクトルを包括的に見ると年超過確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度である。

(2) 鉛直方向

図 2.2-4 より、周期 0.02 秒 \sim 約 0.07 秒では基準地震動 $S_s - D$ 及び $S_s - N 2$ が大きく、それらの応答スペクトルを包括的に見ると年超過確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度、周期約 0.07 秒 \sim 5 秒は基準地震動 $S_s - D$ が大きく、年超過確率は $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 程度である。

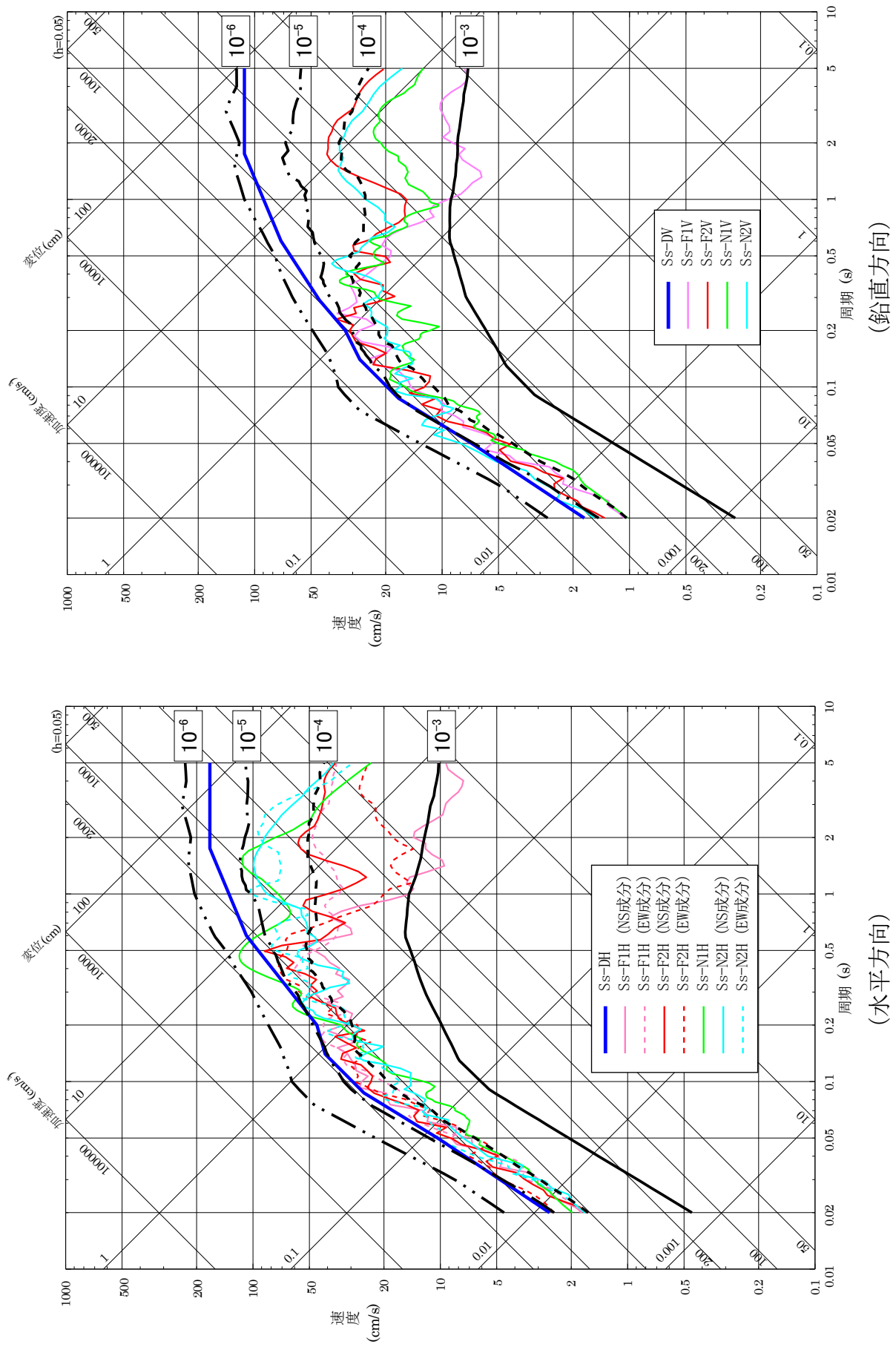


図 2.2-4 基準地震動 S の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較 (鉛直方向)

3. 既工認及び今回の評価内容

既工認では、J E A G 4 6 0 1・補-1984等の考え方に基づき、各運転状態の事象と S_1 及び S_2 地震動とを組み合わせた評価を実施している。

今回の評価では、既工認と同様にJ E A G 4 6 0 1・補-1984の考え方に基づき、各運転状態Ⅰ～Ⅳの各事象と弾性設計用地震動 S_d 及び基準地震動 S_s とを組み合わせた評価を実施している。

なお、弾性設計用地震動 S_d は基準地震動 S_s の係数倍にて定義することを基本としていることから、設備の基準地震動 S_s による発生値が、弾性設計用地震動 S_d の評価時に用いる評価基準値（許容応力状態Ⅲ_AS）以下であれば、弾性設計用地震動 S_d による発生値についても、評価基準値（許容応力状態Ⅲ_AS）以下となる。そのため、今回の評価における弾性設計用地震動 S_d による評価については、基準地震動 S_s における地震力を用いて評価（ S_s による発生値と評価基準値（許容応力状態Ⅲ_AS）による比較）し、評価基準値を満足することを確認した部位については、弾性設計用地震動 S_d における地震力の評価を省略することを可能としている。

3.1 荷重の組合せ及び対応する許容応力状態

3.1.1 記号の説明

D : 死荷重

P : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く）における圧力荷重

P_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた最高使用圧力による荷重

P_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故直後を除き、その後に生じている圧力荷重

P_L^{*} : 冷却材喪失事故後最大内圧（クラスMC）

P_L^{**} : 異物付着による差圧を考慮（残留熱除去系ストレーナ、低圧炉心スプレイ系ストレーナ、高圧炉心スプレイ系ストレーナ）

M : 地震及び死荷重以外で地震と組み合わせべきプラントの運転状態で（地震との組合せが独立な運転状態Ⅳ、Ⅴは除く）設備に作用している機械的荷重

M_D : 地震と組み合わせべきプラントの運転状態Ⅰ及びⅡ（運転状態Ⅲ及び地震従属事象として運転状態Ⅳに包絡する状態がある場合にはこれを含む）、又は当該設備に設計上定められた荷重

M_L : 地震との組合せが独立な運転状態Ⅳの事故直後を除き、その後に生じている死荷重及び地震荷重以外の機械的荷重

M_L^{*} : 異物付着による異物荷重を考慮

S₁^{*} : 基準地震動 S_1 により定まる地震力又は静的地震力

S₂ : 基準地震動 S_2 により定まる地震力

- S_d^* : 弾性設計用地震力 S_d により定まる地震力又は S クラス設備に適用される静的地震力のいずれか大きい方の地震力
- S_s : 基準地震動 S_s により定まる地震力
- Ⅲ_AS : 発電用原子力設備規格 (設計・建設規格 (2005 年版 (2007 年追補版含む。)) J SME S NC 1 —2005/2007) (日本機械学会 2007 年 9 月) (以下「設計・建設規格」という。) の供用状態 C 相当の許容応力を基準として, それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
- Ⅳ_AS : 設計・建設規格の供用状態 D 相当の許容応力を基準として, それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

3.1.2 クラス1（第一種）の評価

クラス1（第一種）						
評価 ケース	(1) JEAG 4601・補-1984		(2) 既工認		(3) 今回の評価	
	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D+P+M+S_1$	$III_A S$	$D+P+M+S_1^*$	$III_A S$	$D+P+M+S_d^*$	$III_A S$
②	$D+P_L+M_L+S_1$	$IV_A S^*$	$D+P_L+M_L+S_1^*$	$IV_A S^*$	$D+P_L+M_L+S_d^*$	$IV_A S^*$
③	$D+P+M+S_2$	$IV_A S$	$D+P+M+S_2$	$IV_A S$	$D+P+M+S_s$	$IV_A S$

注記*：ECCS及びそれに関連し、事故時に運転を必要とするものにあつては $III_A S$ とする。

(1) JEAG 4601・補-1984における要求

JEAG 4601・補-1984においては、ケース①～③の3ケースについての考慮が求められている。

(2) 既工認での評価

既工認において、ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。なお、ケース②の許容応力状態についてはECCS系においては $III_A S$ 、ECCS系以外については $IV_A S$ を考慮する必要があるが、 $P \geq P_L$ 、 $M \geq M_L$ であることから、ECCS系（ $III_A S$ ）についてはケース①に包絡される。また、ケース②のうちECCS系以外（ $IV_A S$ ）については、ケース③に包絡される。

(3) 今回の評価

今回の評価においては、ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。なお、ケース②の許容応力状態についてはECCS系においては $III_A S$ 、ECCS系以外については $IV_A S$ を考慮する必要があるが、 $P \geq P_L$ 、 $M \geq M_L$ であることから、ECCS系（ $III_A S$ ）についてはケース①に包絡される。また、ケース②のうちECCS系以外（ $IV_A S$ ）については、ケース③に包絡される。

3.1.3 クラスMC（第二種）の評価

クラスMC（第二種）						
評価 ケース	(1) JEAG 4601・補-1984		(2)既工認		(3)今回の評価	
	荷重の組合せ	許容応力 状態	荷重の組合せ	許容応力 状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D+P+M+S_1$	Ⅲ _A S	$D+P+M+S_1^*$	Ⅲ _A S	$D+P+M+S_d^*$	Ⅲ _A S
②	$D+P_L+M_L+S_1^{*1}$	Ⅲ _A S	$D+P_L+M_L+S_1^{* *1}$	Ⅲ _A S	$D+P_L+M_L+S_d^{* *1}$	Ⅲ _A S
③	$D+P_L^*+M_L+S_1$	Ⅳ _A S ^{*2}	$D+P_L^*+M_L+S_1^*$	Ⅳ _A S ^{*2}	$D+P_L^*+M_L+S_d^*$	Ⅳ _A S ^{*2}
④	$D+P+M+S_2$	Ⅳ _A S	$D+P+M+S_2$	Ⅳ _A S	$D+P+M+S_s$	Ⅳ _A S

注記*1： P_L は、LOCA後 10^{-1} 年後の原子炉格納容器内圧を用いる。

2：LOCA後最大内圧（ P_L^ ）との組合せについてはⅣ_ASで評価を行う。

(1) JEAG 4601・補-1984における要求

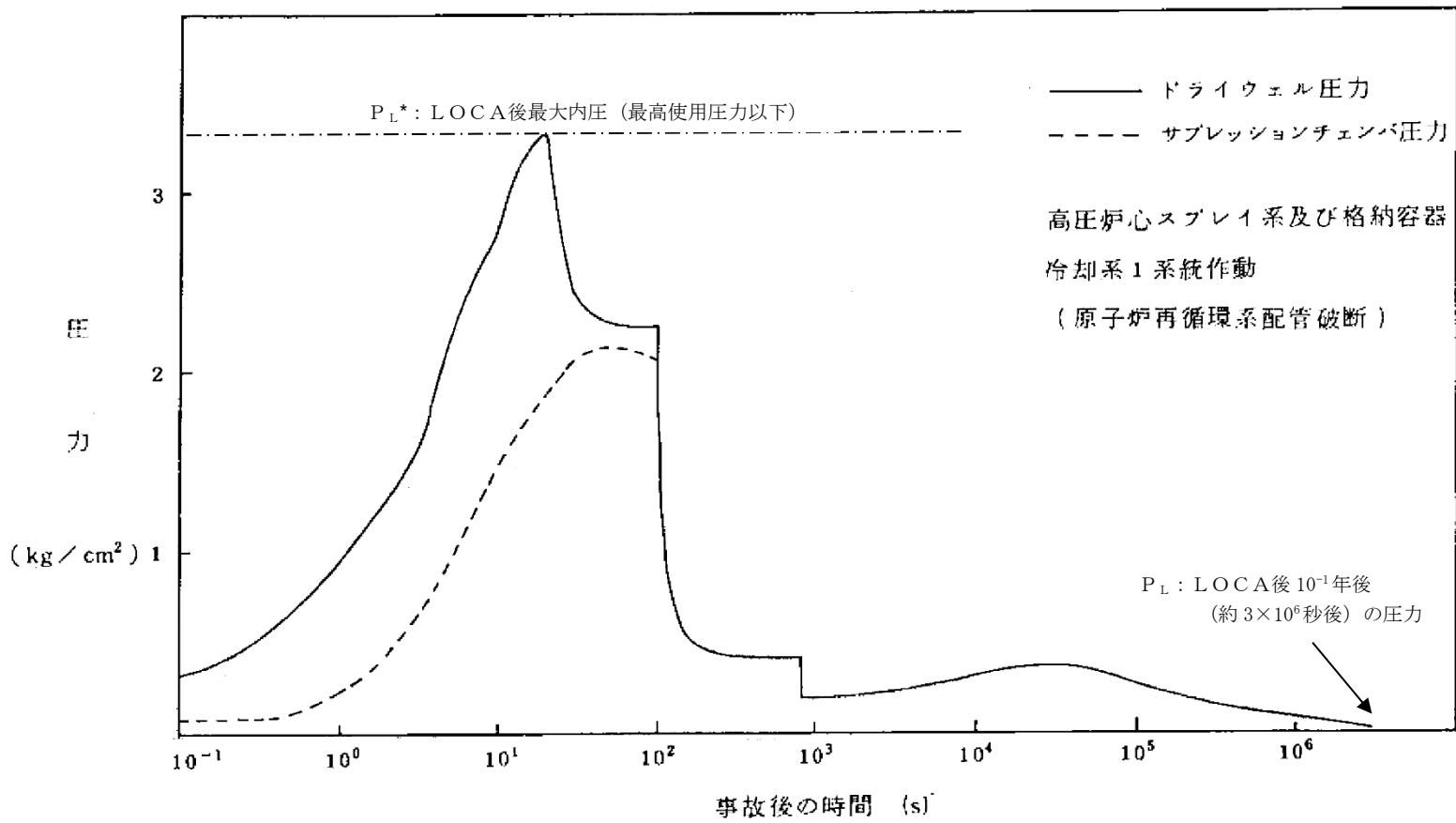
JEAG 4601・補-1984においては、ケース①～④の4ケースについての考慮が求められている。

(2) 既工認での評価

既工認においては、ケース①、③及び④の3ケースについて評価を実施している。②については、 $P_L \doteq 0$ （大気圧相当）、 $M_L = 0$ であることから、ケース①に包絡される。

(3) 今回の評価

今回の評価においては、ケース①、③及び④の3ケースについて評価を実施している。②については、 $P_L \doteq 0$ （大気圧相当）、 $M_L = 0$ であることから、ケース①に包絡される。



昭和 59 年 9 月 17 日付け 59 資庁第 8283 号にて認可された工事計画の添付書類
 IV-1-4「原子炉格納施設的设计条件に関する説明書」を引用 (一部加筆)

図 3.1-1 原子炉格納容器の圧力変化 (再循環配管破断)

3.1.4 クラス2, 3, 4 (第三種, 第四種, 第五種) (ECCS機器) の評価

クラス2, 3, 4 (第三種, 第四種, 第五種) (ECCS機器)						
評価 ケース	(1) JEAG 4601・補-1984		(2) 既工認		(3) 今回の評価	
	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D + P_D + M_D + S_1$	Ⅲ _A S	$D + P_D + M_D + S_1^*$	Ⅲ _A S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
②	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ _A S	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ _A S	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

(1) JEAG 4601・補-1984における要求

JEAG 4601・補-1984において、クラス2, 3及び4 (第三種, 第四種及び第五種) 設備のうちECCS機器は、Aクラスの「(i) 原子炉冷却材圧力バウンダリ破損事故後、炉心から崩壊熱を除去するために必要な設備」として分類されており、ケース①の1ケースについての考慮が求められる。なお、ケース②の組合せについては、Asクラスとしての機能を兼ねる場合に考慮する。

○事故 (運転状態Ⅳ (L)) との荷重の組合せの考え方

ECCS機器は、運転状態Ⅳにおいて機能を要求される設備であり、運転状態Ⅳが設計条件となることから、運転状態Ⅳにより定められる最高圧力 (P_D) 及び設計機械的荷重 (M_D) を用いた評価を実施している。

(2) 既工認での評価

既工認においては、ケース①及び②の2ケースについて評価を実施している。なお、ケース②については既工認において、Asクラスとして分類されている機器について評価を実施している。

(3) 今回の評価

今回の評価においては、耐震指針の改定により、従来のAs, AクラスはSクラスに一本化されたことから、ECCS機器についてはケース①及び②の2ケースについて評価を実施している。

3.1.5 クラス2, 3, 4 (第三種, 第四種, 第五種) (ECCS機器以外) の評価

クラス2, 3, 4 (第三種, 第四種, 第五種) (ECCS機器以外)						
評価 ケース	(1) JEAG 4601・補-1984		(2) 既工認		(3) 今回の評価	
	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D + P_D + M_D + S_1$	Ⅲ _A S	$D + P_D + M_D + S_1^*$	Ⅲ _A S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
②	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ _A S	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ _A S	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

(1) JEAG 4601・補-1984における要求

JEAG 4601・補-1984において、クラス2, 3及び4 (第三種, 第四種及び第五種) 設備は、ケース①及び②の2ケースについての考慮が求められており、クラス4 (第五種) 設備については、ケース①の評価が求められている。なお、ケース②の組合せについてはA_sクラスの場合に考慮する。

(2) 既工認での評価

既工認については、ケース①及び②の2ケースの評価を実施している。なお、ケース②については既工認の評価において、A_sクラスとして分類されている機器について評価を実施している。

(3) 今回の評価

今回の評価においては、耐震指針の改定により、従来のA_s, Aクラスは、Sクラスに一本化されたことから、ケース①及び②の2ケースについて評価を実施している。

3.1.6 残留熱除去系ストレーナ，低圧炉心スプレイスプレーナ，高圧炉心スプレイスプレーナの評価

クラス2（第三種）						
評価 ケース	（1）J E A G 4 6 0 1・補-1984		（2）既工認（改造工事）		（3）今回の評価	
	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態	荷重の組合せ	許容応力状態
①	$D + P_D + M_D + S_1$	Ⅲ _A S	$D + P_D + M_D + S_1^*$	Ⅲ _A S	$D + P_D + M_D + S_d^*$	Ⅲ _A S
②	—	—	$D + P_L^{**} + M_L^* + S_1^*$	Ⅲ _A S	$D + P_L^{**} + M_L^* + S_d^*$	Ⅲ _A S
③	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ _A S	$D + P_D + M_D + S_2$	Ⅳ _A S	$D + P_D + M_D + S_s$	Ⅳ _A S

(1) J E A G 4 6 0 1・補-1984における要求

J E A G 4 6 0 1・補-1984において，クラス2（第三種）設備は，ケース①及び③の2ケースについての考慮が求められている。
 なお，ケース③の組合せについてはA_sクラスの場合に考慮する。

(2) 既工認での評価

既工認においては，J E A G 4 6 0 1・補-1984に加えて，「沸騰水型原子力発電設備における非常用炉心冷却設備及び格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価及び構造強度評価について（内規）」（平成17・10・13原院第4号）に基づき，ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。

(3) 今回の評価

今回の評価においては，J E A G 4 6 0 1・補-1984に加えて，「非常用炉心冷却設備又は格納容器熱除去設備に係るろ過装置の性能評価等について（内規）」（平成20・02・12原院第5号）に基づき，ケース①～③の3ケースについて評価を実施している。

3.2 今回評価で用いた圧力荷重及び機械的荷重

荷重の組合せ評価に用いる圧力荷重（P等）及び機械的荷重（M等）については、J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 において、設備種別ごとに整備されている（下記 J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 抜粋参照）。

整理表にクラス1（第一種）及びクラスMC（第二種）については、圧力荷重（P, P_L）及び機械的荷重（M, M_L）を考慮し、クラス2, 3, 4（第三種, 第四種, 第五種）については最高使用圧力（P_D）及び設計機械荷重（M_D）を考慮した評価を実施することが記載されており、それに基づき適切に評価を実施している。次項以降に、クラス1（第一種）及びクラスMC（第二種）の評価に用いた設備種別ごとの具体的な荷重一覧表を示す。なお、クラス2, 3, 4（第三種, 第四種, 第五種）については、運転状態によらず最高使用圧力及び設計機械荷重を用いていることから、ここでの記載は省略する。

種別	型式		BWR	PWR
	荷重			
第1種	P		タービントリップ又は全給水流量喪失により生じている最高圧力による荷重	負荷喪失又は外部電源喪失により生じている最高圧力による荷重
	M		<ul style="list-style-type: none"> ○安全弁吹出時の反力荷重 ○ボルト締付力 ○スクラム反力等 	<ul style="list-style-type: none"> ○安全弁吹出時の反力荷重 ○ボルト締付力等
	P _L		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	同 左
	M _L			
第2種	P		地震と重ね合わせる必要のある事象における最大圧力荷重	地震と重ね合わせる必要のある事象における最大圧力荷重
	M		逃し安全弁開により生じる空気泡振動による荷重	特になし
	P _L		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	同 左
	M _L			
第3・5・4種	P _d		最高使用圧力	
	M _d		設計機械荷重	
炉心支持構造物	P		地震と組み合わせる必要のある事象における最大差圧	
	M		地震と組み合わせる必要のある事象における機械的荷重	
	P _L		冷却材喪失事故直後を除き、その後生じている圧力荷重及び機械的荷重	
	M _L			
その支持構造物のポンプ	P _d		最高使用圧力	
	M _d		設計機械荷重	

注：JEAG4601・補-1984では、クラスMC（第二種容器）の評価において、上表に記載されていない冷却材喪失事故後最大内圧（P_L^{*}）を考慮することが、別に求められている。

●クラスMC

今回評価で用いた数値

・ P = -14kPa, M = 0kN (運転状態 I)

・ P = -14kPa, M = 0kN (運転状態 II)

運転状態	事象	荷重				地震と事象の組合せを独立事象とした場合*1		地震の従属事象としての適用の有無*2	備考
		P (kPa) (I 及び II)	P _L (kPa) (IV)	M (kN) (I 及び II)	M _L (kN) (IV)	適用の有無	説明		
I	起動	-14*3	-	0	-	S _d : △ S _s : △	事象の継続時間は時間のオーダー。	×	運転状態 I の出力運転で代表される。
	停止	-14*3	-	0	-	S _d : △ S _s : △	同上	×	同上
	出力運転	-14*3	-	0	-	S _d : ○ S _s : ○		×	
	高温待機	-14*3	-	0	-	S _d : △ S _s : △		×	運転状態 I の出力運転で代表される。
	燃料交換	0	-	0	-	S _d : △ S _s : △		×	運転状態 I の出力運転における設計条件で代表される。
II	外部電源喪失	-14*3	-	0*4	-	S _d : △ S _s : ×		△	運転状態 II の主蒸気隔離弁の閉鎖で代表される。
	負荷の喪失	-14*3	-	0*4	-	S _d : △ S _s : ×		△	同上
	主蒸気隔離弁の閉鎖	-14*3	-	0*4	-	S _d : ○ S _s : ×	事象後 30 分程度にわたる逃がし安全弁作動。	○	
	給水制御系の故障	-14*3	-	0*4	-	S _d : △ S _s : ×		△	運転状態 II の主蒸気隔離弁の閉鎖で代表される。
	圧力制御装置の故障	-14*3	-	0*4	-	S _d : △ S _s : ×		△	同上
	全給水流量喪失	-14*3	-	0*4	-	S _d : △ S _s : ×		△	同上
	タービントリップ	-14*3	-	0*4	-	S _d : △ S _s : ×		△	同上
	逃がし安全弁誤作動	-14*3	-	0*4	-	S _d : △ S _s : ×		×	同上
III	原子炉圧力容器の過大圧力	-	-	-	-	S _d : × S _s : ×	この事象の継続時間は 1 分以内。	×	
IV	冷却材喪失事故	-	*5	-	0	S _d : ○ S _s : ×	長時間*継続するもの。 (* : 10 ¹ 年以上)	×	長時間*作用する圧力、温度は弾性設計用地震動 S _d と組み合わせるものとする。また冷却材喪失事故時に短時間働く圧力、温度以外にブル水揺動による衝撃力があるがこれは設計・建設規格 (PVE-3113) のジェット荷重と同等に扱う。 (* : 10 ¹ 年以上)

注記*1: 地震と事象の組合せを独立事象とした場合の適用の有無は、次に分類される。

○印: 独立事象として地震と重なる可能性があり、地震と組み合わせた評価が必要なもの。

△印: 独立事象として地震と重なる可能性はあるが、発生する荷重が、他の独立事象又は従属事象で代表され、地震と組み合わせた評価が不要なもの。

×

*2: 地震と事象の組合せを従属事象とした場合の適用の有無は、次に分類される。

○印: 地震の従属事象であり、地震と組み合わせた評価が必要なもの。

△印: 地震の従属事象であるが○印の事象で代表され地震と組み合わせた評価が不要なもの。

×

*3: 設計条件として考慮するドライウェル内外差圧のうち、最大差圧 (真空破壊装置及び真空破壊弁の作動差圧を考慮した際の外圧の最大値 14kPa) を示す。

*4: 表中はドライウェルでの M の値を示す。サブプレッションチェンバは +85kPa, -78kPa となる。

*5: 大気圧相当を考慮する。

●クラス 1

今回評価に用いた数値

・ P = 8.28MPa (領域 A, B), 8.45MPa (領域 C) D + M = 11430 kN* (運転状態 II : スクラム (原子炉給水ポンプ停止))

注記* : クラス 1 のうち原子炉圧力容器の下鏡の評価に使用する荷重

運転状態	事象	設計過渡条件		荷重				地震と事象の組合せを独立事象とした場合*1		地震の従属事象としての適用の有無*2	備考
		初期圧力 (MPa)	ピーク時変動圧力 (MPa)	P (I ~ III) (MPa)	P _L (IV) (MPa)	D+M (I ~ III) (kN)	D+M _L (IV) (kN)	適用の有無 (S d, S s)	説明		
I 及び II	ボルト締付け	0.0	+0.0	*3	-	6620	-	-	-	-	-
	耐圧試験 (最高使用圧力以下)	0.0	A : +7.63 B : +7.83 C : +7.97	A : 7.63 B : 7.83 C : 7.97	-	6620	-	-	-	-	-
	起動 (昇温)	0.0	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : △ S s : △	事象の継続時間は数時間程度。	×	運転状態 I の出力運転で代表される。
	起動 (タービン起動)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : △ S s : △	同上	×	同上
	夜間低出力運転 (出力 75%)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : △ S s : △		×	
	週末低出力運転 (出力 50%)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : ○ S s : ○		×	
	制御棒パターン変更	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : ○ S s : ○		×	
	給水加熱器機能喪失 (発電機トリップ)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : × S s : ×	事象の継続時間は数分程度。	△	運転状態 II のタービントリップ又は原子炉給水ポンプ停止で代表される。
	給水加熱器機能喪失 (給水加熱器部分バイパス)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : × S s : ×	同上	△	同上
	スクラム (タービントリップ)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.52	A : 7.76 B : 7.76 C : 7.93	-	11430	-	S d : △ S s : ×	最大圧力は 1 分以内。その後の状態は他の事象で考慮される。	○	
	スクラム (その他のスクラム)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	11430	-	S d : × S s : ×	事象の継続時間は 1 分以内。	△	
	定格出力運転	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : ○ S s : ○		×	
	停止 (タービン停止)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : △ S s : △	事象の継続時間は数時間程度。	×	
	停止 (高温待機)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : △ S s : △	同上	×	
	停止 (冷却)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : △ S s : △	同上	×	
	停止 (容器満水)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : △ S s : △		×	
	停止 (満水後冷却)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	6620	-	S d : ○ S s : ○	事象の継続時間は数時間程度。	×	
	ボルト取外し	0.0	+0.0	*3	-	6620	-	-		-	
	燃料交換	0.0	+0.0	*3	-	9760	-	S d : △ S s : △		×	
	スクラム (原子炉給水ポンプ停止)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+1.04	A : 8.28 B : 8.28 C : 8.45	-	11430	-	S d : △ S s : ×	最大圧力は 1 分以内。その後の状態は他の事象で考慮される。	○	
スクラム (逃がし安全弁誤作動)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	A : 7.24 B : 7.24 C : 7.41	-	11430	-	S d : × S s : ×	圧力は低下する。	×		
III	スクラム (過大圧力)	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+2.07	A : 9.31 B : 9.31 C : 9.48	-	11430	-	S d : × S s : ×	事象の継続時間は 1 分以内。	×	
IV	冷却材喪失事故	A : +7.24 B : +7.24 C : +7.41	+0.0	-	A : +7.24*4 B : +7.24 C : +7.41	-	6620*4	S d : △ S s : ×	長時間*継続するもの。 (* 10 ¹ 年以上)	×	

注記*1 : 地震と事象の組合せを独立事象とした場合の適用有無は、次に分類される。

○印 : 独立事象として地震と重なる可能性があり、地震と組み合わせた評価が必要なもの。

△印 : 独立事象として地震と重なる可能性はあるが、発生する荷重が、他の独立事象又は従属事象で代表され、地震と組み合わせた評価が不要なもの。

×印 : 独立事象として地震と重なる可能性がないもの。

*2 : 地震と事象の組合せを従属事象とした場合の適用有無は、次に分類される。

○印 : 地震の従属事象であり、地震と組み合わせた評価が必要なもの。

△印 : 地震の従属事象であるが○印の事象で代表され地震と組み合わせた評価が不要なもの。

×印 : 地震の従属事象でないもの。

*3 : 大気圧相当を考慮する。

*4 : 10¹ 年以上継続する事象に対する値ではなく、冷却材喪失事故直前の値を記載する。

補足-023-06 重大事故等対処施設の耐震設計における
重大事故と地震の組合せについて

目 次

1. はじめに.....	1
2. 基準の規定内容.....	2
2.1 技術基準規則第 50 条(SA施設)の規定内容.....	2
2.2 JEAG 4601 の規定内容.....	2
3. SA施設の荷重の組合せと許容応力状態の設定に関する基本方針.....	8
4. 荷重の組合せの検討手順.....	10
5. 荷重の組合せの検討結果.....	13
5.1 地震の従属事象・独立事象の判断.....	13
5.2 荷重の組合せの検討結果.....	14
5.2.1 全般施設.....	14
5.2.2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備.....	18
5.2.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備.....	28
5.2.4 SA施設の支持構造物.....	35
6. 許容応力状態の検討結果.....	36
6.1 全般施設.....	37
6.2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備.....	38
6.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備.....	39
6.4 SA施設の支持構造物.....	39
7. まとめ.....	40

添付資料

添付資料-1 地震動の年超過確率

添付資料-2 「地震の従属事象」と「地震の独立事象」について

添付資料-3 建物・構築物のSA施設としての設計の考え方

添付資料-4 工認対象施設(SA施設)における荷重組合せの取扱い

1. はじめに

重大事故等*1(以下「SA」という。)の状態が必要となる常設の重大事故等対処施設*2(以下「SA施設」という。)については、待機状態において地震により必要な機能が損なわれず、更にSAが長期にわたり継続することを念頭に、SAにおける運転状態と地震との組合せに対して必要な機能が損なわれない設計とする必要がある。以下にSA施設の耐震設計に対する考え方を示す。

本書に関連する工認添付書類を以下に示す。

- ・VI-2-1-9「機能維持の基本方針」

注記*1：「重大事故に至るおそれがある事故(運転時の異常な過渡変化及び設計基準事故を除く)又は重大事故」を総称して重大事故等という。

*2：常設耐震重要重大事故防止設備以外の常設重大事故防止設備については、代替する設備の耐震クラスに適用される地震力を適用する。

2. 基準の規定内容

SA施設，設計基準対象施設（以下「DB施設」という。）の耐震性の要求は，それぞれ実用発電用原子炉及びその附属施設の技術基準に関する規則（以下「技術基準規則」という。）第50条，第5条に規定されている。そこで，SA施設及びDB施設について，耐震設計に関する基準の規定内容を以下のとおり整理した。

2.1 技術基準規則第50条(SA施設)の規定内容

技術基準規則第50条において，基準地震動による地震力に対してSAに対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないことが求められる。

同解釈によれば，その適用に当たってはDB施設の耐震性を規定する技術基準規則第5条の解釈に準じるとされている。

技術基準規則第5条各項の解釈では，それぞれ実用発電用原子炉及びその附属施設の位置，構造及び設備の基準に関する規則（以下「設置許可基準規則」という。）第4条各項の要求に従うこととされている。設置許可基準規則第4条の解釈によれば通常運転時，運転時の異常な過渡変化時及び事故時に生じるそれぞれの荷重と適切な地震力を組み合わせた荷重条件に対して，その施設に要求される機能を保持することが求められている。

なお，上記の荷重については，地震の従属事象の荷重及び地震と独立した事象であっても長時間継続する事象による荷重は適切な地震力と組み合わせて考慮することが求められている。

2.2 JEAG4601の規定内容

「耐震設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日原子力規制委員会決定）」の「4.2 荷重及び荷重の組合せ」において，「規制基準の要求事項に留意して，JEAG4601の規定を参考に」組み合わせることとされていることから，JEAG4601における記載内容を以下のとおり整理した。

JEAG4601・補-1984では，運転状態Ⅰ～ⅢとS₁及びS₂との組合せに対して評価基準値Ⅲ_AS及びⅣ_ASを適用した評価が求められている。ここで，運転状態Ⅳ(L)とS₁との組合せにおいて，原子炉冷却材圧力バウンダリ(ECCS系)及び原子炉格納容器についてはⅢ_ASを適用する。また，原子炉冷却材圧力バウンダリ(ECCS系以外)についてはⅣ_ASを適用し，原子炉格納容器(LOCA後最大内圧との組合せ)の評価についてはⅣ_ASを適用することが求められている。さらに，ECCS機器については，運転状態Ⅰ(当該設備においては，本来運転状態Ⅳ(L)を設計条件としており，この状態が運転状態Ⅰに相当)とS₁との組合せに対して評価基準値Ⅲ_ASを適用した評価が求められている。(図2.2-1，2参照)

表1 運転状態と基準地震動の組合せ及び対応する許容応力区分
(その1:容器,管)

第1種 容 器

地震動 運転状態	—	S ₁	S ₂
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅱ	Ⅱ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅲ	Ⅲ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅳ(L)	Ⅳ _A	Ⅳ _A S	
Ⅳ(S)	Ⅳ _A		

第2種 容 器

地震動 運転状態	—	S ₁	S ₂
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅱ	Ⅱ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅲ	Ⅲ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅳ(L)	I _A [*]	Ⅲ _A S	
Ⅳ(S)	Ⅳ _A		

第3・4種 容器 (ECCS等以外)

地震動 運転状態	—	S ₁	S ₂
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅱ	Ⅱ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅲ	Ⅲ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅳ(L)			
Ⅳ(S)			

第3・4種 容器 (ECCS等)

地震動 運転状態	—	S ₁	S ₂
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅱ	Ⅱ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅲ	Ⅲ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅳ(L)	I _A [*]	Ⅲ _A S	
Ⅳ(S)	Ⅳ _A		

第1種 管 (ECCS等以外)

地震動 運転状態	—	S ₁	S ₂
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅱ	Ⅱ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅲ	Ⅲ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅳ(L)	Ⅳ _A	Ⅳ _A S	
Ⅳ(S)	Ⅳ _A		

第1種 管 (ECCS等)

地震動 運転状態	—	S ₁	S ₂
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅱ	Ⅱ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅲ	Ⅲ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅳ(L)	I _A [*]	Ⅲ _A S	
Ⅳ(S)	Ⅳ _A		

第3・4種 管 (ECCS等以外)

地震動 運転状態	—	S ₁	S ₂
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅱ	Ⅱ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅲ	Ⅲ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅳ(L)			
Ⅳ(S)			

第3・4種 管 (ECCS等)

地震動 運転状態	—	S ₁	S ₂
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅱ	Ⅱ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅲ	Ⅲ _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S
Ⅳ(L)	I _A [*]	Ⅲ _A S	
Ⅳ(S)	Ⅳ _A		

J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1 9 8 4 より 抜 粋

図 2.2-1 J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1 9 8 4 の 許 容 応 力 状 態 の 考 え 方

付 録 2

地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態

本参考資料での検討と J E A G 4601・補-1984「原子力発電所耐震設計技術指針-許容応力編」での検討を踏まえた結果、地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態は次のとおりである。

耐震クラス	種 別 (1) 荷重の組合せ	第1種	第2種	第3種	第4種	第5種	炉心支持構造物	そ の 他		
		機支持構造物 器	容支持構造物 器	機支持構造物 器	容管 器	管		ポンプ・弁	炉内構造物	支持構造物
A _s	D + P + M + S ₁	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	-	-	-	Ⅲ _A S	-	-	-
	D + P _D + M _D + S ₁	-	-	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	-	-	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S
	D + P _L + M _L + S ₁	Ⅳ _A S ⁽²⁾	Ⅲ _A S ⁽³⁾	-	-	-	Ⅳ _A S	-	-	-
	D + P + M + S ₂	Ⅳ _A S	Ⅳ _A S	-	-	-	Ⅳ _A S	-	-	-
	D + P _D + M _D + S ₂	-	-	Ⅳ _A S	Ⅳ _A S	-	-	Ⅳ _A S	Ⅳ _A S	Ⅳ _A S
A	D + P _D + M _D + S ₁	-	-	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	-	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S	Ⅲ _A S
B	D + P _d + M _d + S _B	-	-	B _A S	B _A S	B _A S	-	B _A S	-	B _A S
C	D + P _d + M _d + S _C	-	-	-	C _A S	C _A S	-	C _A S	-	C _A S

- 注：(1) 各設備の種別は、原則として告示に基づくものとする。
告示で規定されない容器・管にあっては以下による。
- 1) 耐震A又はA_sクラスに分類される非常用予備発電装置に付属する容器・管については第3種の規定を準用する。
 - 2) 第5種管に分類されないダクトについても、第5種管の規定を準用する。
 - 3) 上記1), 2)以外で告示で規定されない容器・管にあっては第4種の規定を準用する。
- (2) なお、ECCS及びそれに関連し、事故時に運転を必要とするものについてはⅢ_ASとする。
- (3) 1) 第2種容器、許容応力状態Ⅲ_ASの荷重の組合せ(D + P_L + M_L + S₁)のP_Lは、LOCA後10⁻¹年後の原子炉格納容器内圧を用いる。
2) 原子炉格納容器は、LOCA後の最終障壁となることから、構造体全体としての安全裕度を確認する意味でLOCA後の最大内圧とS₁地震動(又は静的地震力)との組合せを考慮する。
この場合の評価は、許容応力状態Ⅳ_ASの許容限界を用いて行う。

J E A G 4601・補-1984より抜粋

図 2.2-2 J E A G 4601・補-1984の許容応力状態と荷重の組合せの考え方

(1) 荷重の組合せ

J E A G 4 6 0 1・補-1984における、荷重の組合せに関する記載は、以下のとおり。

- ・「その発生確率が 10^{-7} 回/炉・年を下回ると判断される事象は、運転状態 I ~IVに含めない。」とされている。
- ・地震の従属事象については、「地震時の状態と、それによって引き起こされるおそれのあるプラントの状態とは、組合せなければならない。」とされている。
- ・地震の独立事象については、「地震と、地震の独立事象の組合せは、これを確率的に考慮することが妥当であろう。地震の発生確率が低く、継続時間が短いことを考えれば、これと組合せるべき状態は、その原因となる事象の発生頻度及びその状態の継続時間との関連で決まることになる。」とされている。

以上の記載内容に基づき、J E A G 4 6 0 1において組み合わせるべき荷重を整理したものを表 2.3-1 に示す。表 2.3-1 では、事象の発生確率、継続時間、地震動の発生確率を踏まえ、その確率が 10^{-7} /炉年以下となるものは組合せが不要となっている。

表 2.3-1 運転状態と地震動との組合せの確率的評価
(J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 抜粋)

発生確率		1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	
運転状態の発生確率 (1/年)		I	II	III	IV							
基準地震動の発生確率 (1/年)				S_1	S_2							
基準地震動 S_1 との組合せ	従属事象	S_1 従属										
	独立	1分以内									$S_1 + II$	
	1時間以内						$S_1 + II$			$S_1 + III$		
	1日以内					$S_1 + II$		$S_1 + III$			$S_1 + IV$	
	1年以内		$S_1 + II$		$S_1 + III$			$S_1 + IV$				
基準地震動 S_2 との組合せ	従属事象	S_2 従属										
	独立	1分以内	($S_2 + II$ は 10^{-9} 以下となる)									
	1時間以内									$S_2 + II$	$S_2 + III$	
	1日以内						$S_2 + II$			$S_2 + III$		
	1年以内		$S_2 + II$		$S_2 + III$				$S_2 + IV$			

注：(1) 発生確率から見て

← 組合せが必要なもの。

←----- 発生確率が 10^{-7} 以下となり組合せが不要となるもの。

(2) 基準地震動 S_2 の発生確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ / サイト・年と推定されるが、ここでは $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ / サイト・年を用いた。

(3) 表に示す発生確率は現在の知見によるものである。

(2) 運転状態と許容応力状態

J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 における運転状態と許容応力状態に関する記載は以下のとおりであり，プラントの運転状態 I ~ IV に対応する許容応力状態 I_A ~ IV_A 及び，地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態 III_A S，IV_A S を定義している。

【運転状態】

- 運転状態 I : 告示の運転状態 I の状態
運転状態 II : 告示の運転状態 II の状態
運転状態 III : 告示の運転状態 III の状態
運転状態(長期) IV (L) : 告示の運転状態 IV の状態のうち，長期間のものが作用している状態
運転状態(短期) IV (S) : 告示の運転状態 IV の状態のうち，短期間のもの(例: J E T，J E T 反力，冷水注入による過渡現象等)が作用している状態

【許容応力状態】

- 許容応力状態 I_A : 通商産業省告示第 5 0 1 号の運転状態 I 相当の応力評価を行う許容応力状態
許容応力状態 I_A* : E C C S 等のように運転状態 IV (L) が設計条件となっているものに対する許容応力状態で許容応力状態 I_A に準じる。
許容応力状態 II_A : 通商産業省告示第 5 0 1 号の運転状態 II 相当の応力評価を行う許容応力状態
許容応力状態 III_A : 通商産業省告示第 5 0 1 号の運転状態 III 相当の応力評価を行う許容応力状態
許容応力状態 IV_A : 通商産業省告示第 5 0 1 号の運転状態 IV 相当の応力評価を行う許容応力状態
許容応力状態 III_A S : 許容応力状態 III_A を基本として，それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
許容応力状態 IV_A S : 許容応力状態 IV_A を基本として，それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態

3. SA施設の荷重の組合せと許容応力状態の設定に関する基本方針

(1) 対象施設

技術基準規則第50条において、基準地震動による地震力に対しての機能維持が求められている「常設耐震重要重大事故防止設備」及び「常設重大事故緩和設備」を対象とする。

(2) SA施設の運転状態

SA施設は、DBAを超え、SAが発生した場合に必要な措置を講じるための施設であることから、運転状態として従来のI～IVに加え、SAの発生している状態として運転状態Vを新たに定義する。

さらに運転状態Vについては、SAの状態がDBAを超える更に厳しい状態であることを踏まえ、事象発生直後の短期的に荷重が作用している状態を運転状態V(S)とし、一連の過渡状態を除き、ある程度落ち着いた状態を長期的に荷重が作用している状態として運転状態V(L)、V(L)より更に長期的に荷重が作用している状態を運転状態V(LL)とする。

【運転状態の説明】

I～IV：J E A G 4 6 0 1で設定している運転状態

V(S)：SAの状態のうち事象発生直後の短期的に荷重が作用している状態

V(L)：SAの状態のうち長期的（過渡状態を除く一連の期間）に荷重が作用している状態

V(LL)：SAの状態のうちV(L)より更に長期的に荷重が作用している状態

(3) 組合せの基本方針

SA施設における荷重の組合せの基本方針は以下のとおり。

- ・ S_s 、 S_d による地震力と運転状態の組合せを考慮する。
- ・運転状態I～IVを想定するとともに、それを超えるSAの状態として、運転状態Vを想定する。
- ・地震の従属事象については、地震力との組合せを実施する。
- ・地震の独立事象については、事象の発生確率、継続時間及び S_s 若しくは S_d の年超過確率の積等も考慮し、工学的、総合的に組み合わせるか否かを判断する。組み合わせるか否かの判断は、国内外の基準等でスクリーニング基準として参照されている値、炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度の性能目標値に保守性を持たせた値を目安とする。島根2号機では、DB施設の設計の際のスクリーニング基準である 10^{-7} /炉年に保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年とし、事象の発生確率、継続時間及び S_s 若しくは S_d の年超過確率の積との比較等により判断する。
- ・SAが地震によって引き起こされるおそれがある事象であるかについては、DB施設の耐震設計の考え方に基づくとともに、確率論的な考察も考慮したうえで判断する。
- ・原子炉格納容器について、DB施設ではLOCA後の最終障壁として、SAに至らな

いよう強度的な余裕を更に高めるべく、LOCA後の最大内圧と S_d による地震力との組合せを考慮することとしているが、SA施設においては、強度的に更なる余裕を確保するのではなく、以下の設計配慮を行うことにより、余裕を付加し信頼性を高めることとする。

SA施設としての原子炉格納容器については、DB施設の S_s に対する機能維持の考え方に準じた耐震設計を行う。さらに、最終障壁としての構造体全体の安全裕度の確認として、SA時の格納容器の最高温度、最高内圧を大きく超える 200°C 、 $2P_d$ （最高使用圧力の2倍の圧力）の条件で、原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能が損なわれることがないことの確認を行う。

(4) 許容限界の基本方針

SA施設の耐震設計として、技術基準規則では、「基準地震動による地震力に対して重大事故に至るおそれがある事故に対処するために必要な機能が損なわれるおそれがないこと。」とされており、許容限界の設定に際しては、DB施設の機能維持設計の解釈である設置許可基準規則第4条第3項に係る別記2の規定に準じる。具体的な許容限界の設定は、J E A G 4 6 0 1のDB施設に対する記載内容を踏まえ、SA施設における荷重の組合せと許容限界の設定方針を、以下のとおり定めた。

- ・ SA施設の耐震設計は、DB施設に準拠することとしていることから、運転状態I～IVと地震力の組合せに対しては、DB施設と同様の許容応力状態を適用する。
- ・ DB施設の設計条件を超える運転状態Vの許容応力状態として V_A を定義し、さらに地震との組合せにおいては、許容応力状態 V_{AS} を定義する。

設置許可基準規則別記2によれば、機能維持設計の要求として、「荷重により塑性ひずみが生じる場合であっても、その量が小さなレベルにとどまって破断延性限界に十分な余裕を有し、その施設に要求される機能に影響を及ぼさないこと。」とされており、DB施設では、許容応力状態 IV_{AS} の許容限界を適用している。新たに定義する許容応力状態 V_{AS} は、SAに対処するために必要な機能が損なわれない許容限界であり、機能維持設計の許容限界として適用実績のある許容応力状態 IV_{AS} と同じ許容限界を適用する。

【許容応力状態の説明】

- $I_A \sim IV_A$: J E A G 4 6 0 1 で設定している許容応力状態
- $III_{AS} \sim IV_{AS}$: J E A G 4 6 0 1 で設定している許容応力状態
- V_A : 運転状態V相当の応力評価を行う許容応力状態
(SA時に要求される機能が満足できる許容応力状態)
- V_{AS} : 許容応力状態 V_A を基本として、それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
(SA時に要求される機能が満足できる許容応力状態)

4. 荷重の組合せの検討手順

(1) 地震の従属事象・独立事象の判断

3. 項の組合せの基本方針に示すとおり、地震従属事象は S_s と組み合わせ、独立事象はその事象の発生確率、継続時間及び地震動の年超過確率の関係を踏まえ、 S_s 、 S_d いずれか適切な地震力と組み合わせることとしていることから、まず、荷重の組合せの検討に当たって、運転状態 V が、地震の従属事象、独立事象のいずれに該当するか判断する。従属事象と判断された場合は、 S_s と組み合わせ、独立事象と判断された場合は、以下の(2)、(3)項の手順に従う。

なお、地震の従属事象、独立事象の判断は「5.1 地震の従属事象・独立事象の判断」に記載する。

(2) 施設分類

対象施設を「全般施設」、「原子炉格納容器バウンダリを構成する設備」（以下「PCVバウンダリ」という。）及び「原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備」（以下「RPVバウンダリ」という。）に分類し、荷重の組合せ方針を整理する。また、PCVバウンダリの圧力・温度等の条件を用いて評価を行う施設については、PCVバウンダリの荷重の組合せに従い、支持構造物については、支持される施設の荷重の組合せに従うものとする。

なお、建物・構築物のDB施設としての設計の考え方は、機器・配管系と同じであり、SA施設としての設計については、建物・構築物、機器・配管系ともにDB施設としての設計の考え方を踏まえることを基本方針としていることから、建物・構築物は機器・配管系と同様の考え方で組合せを考慮することとする。

(3) 独立事象による荷重に対する荷重の組合せの選定手順

独立事象による荷重に対して、SA施設に適用する荷重の組合せの選定手順を示す。考え方としては、SAの発生確率、継続時間、地震動の年超過確率の積等を考慮し、工学的、総合的に判断することとする。選定手順を以下に、組合せのイメージを図4-1に、選定フローを図4-2に示す。

【選定手順】

- ① SAの発生確率としては、炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用する。
- ② 地震ハザード解析から得られる年超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984で記載されている S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の年超過確率に読み替えて適用する。（添付資料-1参照）
- ③ 荷重の組合せの判断は、①と②及びSAの継続時間との積で行い、そのスクリーニングの判断基準を設定する。具体的には、国内外の基準等でスクリーニング基準として参照されている値、炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度の性能目標値に保守性を持たせた値として、DB施設の設計の際のスクリー

ーニング基準である 10^{-7} /炉年に保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年とする。

- ④ ①②の積と③を踏まえてS d又は、S sと組み合わせるべきSAの継続時間を表4-1に設定する。事象発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要な短期（運転状態V(S)）、S dとの組合せが必要な 10^{-2} ～ 2×10^{-1} 年を長期（L）（運転状態V(L)）、S sとの組合せが必要な 2×10^{-1} 年以降を長期（LL）（運転状態V(LL)）とする。
- ⑤ ④を踏まえて、施設分類ごとに荷重の組合せを検討する。

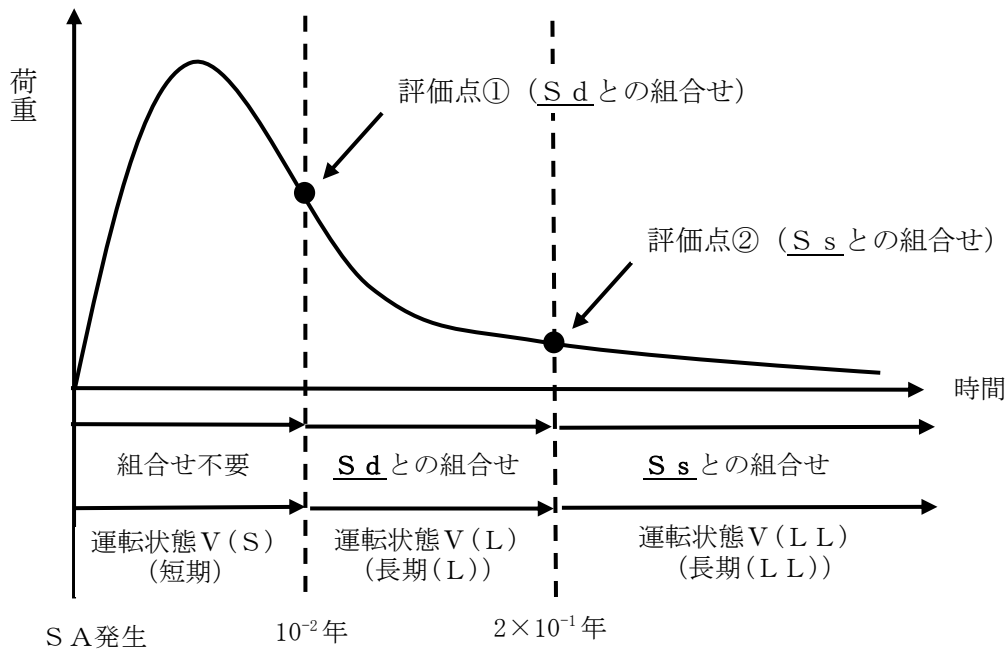


図 4-1 荷重の組合せと継続時間の関係（イメージ）

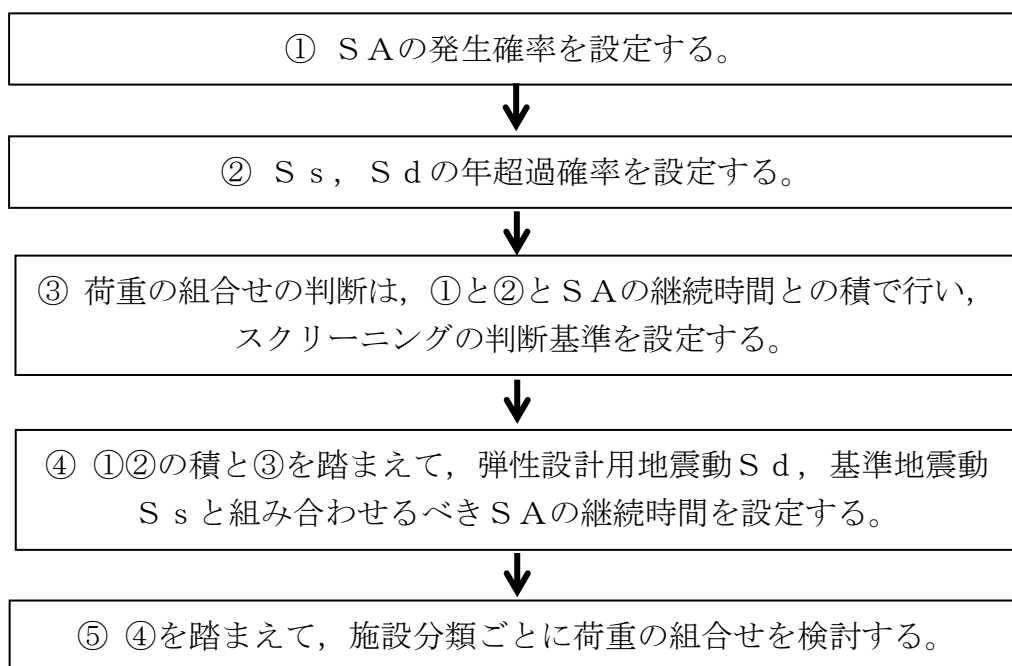


図 4-2 独立事象に対する荷重の組合せの選定手順

表 4-1 組合せの目安となる継続時間

荷重の組合せを考慮する判断目安	SAの発生確率	地震動の発生確率		組合せの目安となる継続時間
		弾性設計用地震動 S _d	基準地震動 S _s	
10 ⁻⁸ /炉年以上	10 ⁻⁴ /炉年*1	弾性設計用地震動 S _d	10 ⁻² /年以下*2	10 ⁻² 年以上
		基準地震動 S _s	5×10 ⁻⁴ /年以下*2	2×10 ⁻¹ 年以上

注記*1：原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について」に記載されている炉心損傷頻度の性能目標値を踏まえ、SAの発生確率として10⁻⁴/炉年とした。

*2：J E A G 4 6 0 1・補-1984に記載されている地震動S₂、S₁の発生確率をS_s、S_dの年超過確率に読み替えた。

5. 荷重の組合せの検討結果

4. 項の検討手順に基づき、まず、5.1 項ではSAが地震の従属事象か独立事象であるかを判断し、5.2 項では、全般施設、PCVバウンダリ、RPVバウンダリに分けて、SA荷重と地震力の組合せ条件を検討する。なお、SA施設の支持構造物については、支持する施設の荷重の組合せに従うものとする。

5.1 地震の従属事象・独立事象の判断

運転状態Vが地震によって引き起こされるおそれがある事象であるかについては、DB施設の耐震設計の考え方に基づく。なお、確率論的な考察も考慮する。ここで、DB施設に対して従前より適用してきた考え方にに基づき、地震の従属事象とは、ある地震力を想定して、その地震力未満で設計された設備が、その地震力を上回る地震が発生した際に確定論的に設備が損傷すると仮定した場合に発生する事象、すなわち「地震によって引き起こされる事象」と定義し、地震の独立事象とは、確定論的に考慮して「地震によって引き起こされるおそれのない事象」と定義する。

Sクラス施設はS_sによる地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれのないよう設計されている。この安全機能に係る設計は、Sクラス施設自体が、S_sによる地震力に対して、損傷しないよう設計するだけでなく、下位クラスに属するものの波及的影響等に対しても、その安全機能が損なわれないよう設計することも含まれる。Sクラス施設が健全であれば、炉心損傷防止に係る重大事故等対策の有効性評価において想定したすべての事故シーケンスに対し、S_s相当の地震により、起因事象が発生したとしても緩和設備が機能し、DB設計の範囲で事象を収束させることができることを確認した。

したがって、SA施設に対する耐震設計における荷重の組合せの検討としては、S_s相当の地震に対して、運転状態Vは地震によって引き起こされるおそれのない「地震の独立事象」として扱い、運転状態Vの運転状態と地震力とを適切に組み合わせる。なお、地震PRAの結果を参照し、確率論的な考察を実施した。SA施設に期待した場合の地震PRAにおいて、S_s相当までの地震力により炉心損傷に至る事故シーケンスについて、緩和設備のランダム故障を除いた炉心損傷頻度（以下「CDF」という。）であって、SA施設による対策の有効性の評価がDB条件を超えるものの累積値は、 1.0×10^{-7} /炉年である。性能目標のCDF（ 10^{-4} /炉年）に対する相対割合として1%を下回る頻度の事象は、目標に対して影響がないといえるくらい小さい値と見なすことができ、 1.0×10^{-7} /炉年は、これを大きく下回ることから、S_s相当までの地震力によりDB条件を超える運転状態Vの発生確率は極めて低いと考えられる。したがって、SA施設に対する耐震設計における荷重の組合せの検討において、運転状態Vが地震によって引き起こされるおそれがないとして扱うことは妥当と考える。（添付資料-2 参照）

5.2 荷重の組合せの検討結果

5.1 項で運転状態Vは地震の独立事象と判断したことから、以下では施設分類ごとに4. 項(3)の手順に従って、荷重の組合せを検討する。

5.2.1 全般施設

(1) SAの発生確率

SAの発生確率としては、炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用する。
 なお、全般施設については事故シーケンスグループを特定せずすべてのSAを考慮する。
 (表 5.2.1-1)

表 5.2.1-1 全般施設において考慮する事故シーケンスグループ等 (1/2)

事故シーケンスグループ等	考慮する SAシーケンス
「運転中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループ	
高圧・低圧注水機能喪失	○
高圧注水・減圧機能喪失	○
全交流動力電源喪失	
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+HPCS失敗	○
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+高圧炉心冷却失敗	○
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+直流電源喪失	○
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+SRV再閉失敗+HPCS失敗	○
崩壊熱除去機能喪失	
取水機能が喪失した場合	○
残留熱除去系が故障した場合	○
原子炉停止機能喪失	○
LOCA時注水機能喪失	○
格納容器バイパス（インターフェイスシステムLOCA）	○
「運転中の原子炉における重大事故」に係る格納容器破損モード	
雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）	
残留熱代替除去系を使用する場合	○
残留熱代替除去系を使用しない場合	○
高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱	○
原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用	○
水素燃焼	○
溶融炉心・コンクリート相互作用	○

表 5.2.1-1 全般施設において考慮する事故シーケンスグループ等 (2/2)

事故シーケンスグループ等	考慮する SAシーケンス
「運転停止中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループ	
崩壊熱除去機能喪失	○
全交流動力電源喪失	○
原子炉冷却材の流出	○
反応度の誤投入	○

(2) 地震動の年超過確率

地震ハザード解析結果から得られる年超過確率を参照し、JEAG4601・補-1984で記載されている S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の年超過確率に読み替えて適用する。(添付資料-1参照)

(3) 荷重の組合せの継続時間の決定

保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年と、(1)、(2)で得られた値の積との比較により、工学的、総合的に組合せの目安となる継続時間を判断する。事象発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要な短期(運転状態V(S))、弾性設計用地震動 S_d との組合せが必要な $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年を長期(L)(運転状態V(L))、基準地震動 S_s との組合せが必要な 2×10^{-1} 年以降を長期(LL)(運転状態V(LL))とする。(表5.2.1-2, 図5.2.1-1)

表 5.2.1-2 組合せの目安となる継続時間

事故 シー ケンス	SAの発生 確率	地震動の発生確率		荷重の組合せ を考慮する 判断目安	組合せの 目安となる 継続時間
		弾性設計用 地震動 S_d	基準地震動 S_s		
すべての SA	10^{-4} /炉年*1	弾性設計用 地震動 S_d	10^{-2} /年以下*2	10^{-8} /炉年以上	10^{-2} 年以上
		基準地震動 S_s	5×10^{-4} /年以下*2		2×10^{-1} 年以上

注記*1: 原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について」に記載されている炉心損傷頻度の性能目標値を踏まえ、SAの発生確率として 10^{-4} /炉年とした。

*2: JEAG4601・補-1984に記載されている地震動 S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の年超過確率に読み替えた。

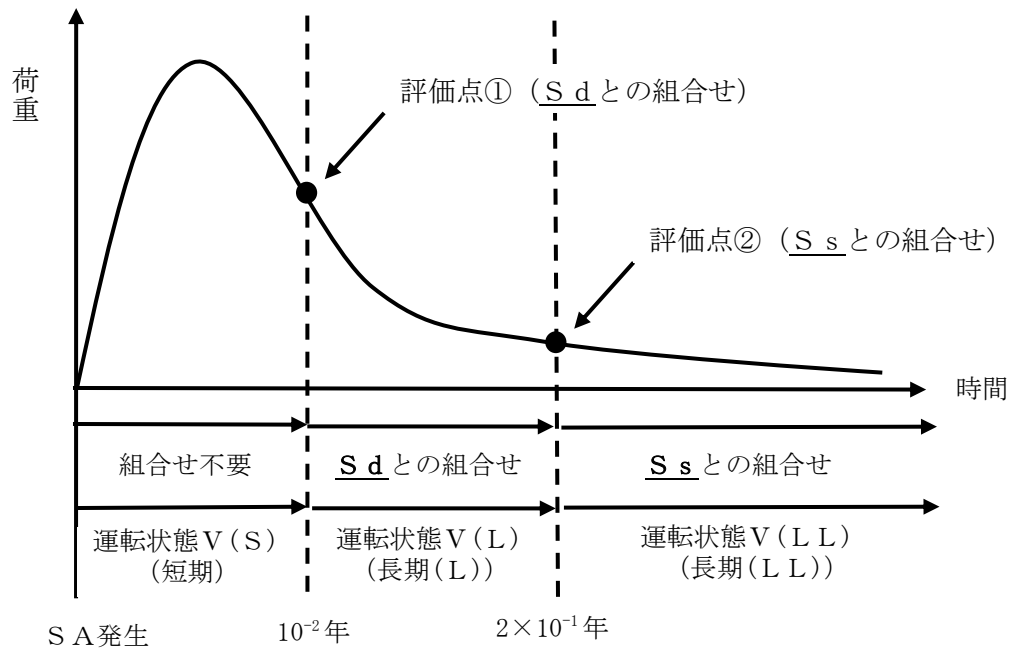


図 5.2.1-1 荷重の組合せと継続時間の関係 (イメージ)

(4) 荷重組合せの検討

(1)～(3)から、SAの発生確率、地震動の年超過確率と掛け合わせた発生確率は表 5.2.1-3、組合せのイメージは図 5.2.1-1 のとおりとなる。この検討に際し、SA施設としての重要性を鑑み安全裕度を確保するために、頻度が保守的に算出されるように各パラメータの設定に当たり、以下の事項を考慮している。

【全般施設のSAの発生確率、継続時間、地震動の年超過確率に関する考慮】

- SAの発生確率は、個別プラントの炉心損傷頻度を用いず、炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用している。
- 地震ハザード解析結果から得られる年超過確率を参照し、地震動の年超過確率は J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 に記載の発生確率を用いている。

表 5.2.1-3 の SA の発生確率、地震動の年超過確率、組合せの目安となる SA の継続時間との積を考慮すると、SA発生後 10^{-2} 年以上 2×10^{-1} 年未満の期間のうち最大となる荷重と S_d を組み合わせる必要がある。また、SA発生後 2×10^{-1} 年以上の期間における最大値と S_s による地震力を組み合わせる必要がある。

ここで、全般施設については必ずしも SA による荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから、上記の考え方を包絡するように SA 発生後の最大荷重と S_s による地震力を組み合わせる。

表 5.2.1-3 SAの発生確率・継続時間，地震の発生確率を踏まえた事象発生確率

事故シーケンス	運転状態	① SAの発生確率	② 地震の発生確率	③ SAの継続時間	①×②×③合計
すべてのSA	V(S)	10 ⁻⁴ /炉年	S _d :10 ⁻² /年以下	10 ⁻² 年未満	10 ⁻⁸ /炉年未満
			S _s :5×10 ⁻⁴ /年以下		5×10 ⁻¹⁰ /炉年未満
	V(L)		S _d :10 ⁻² /年以下	10 ⁻² 年以上, 2×10 ⁻¹ 年未満	2×10 ⁻⁷ /炉年未満
			S _s :5×10 ⁻⁴ /年以下		10 ⁻⁸ /炉年未満
	V(LL)		S _d :10 ⁻² /年以下	2×10 ⁻¹ 年以上	2×10 ⁻⁷ /炉年以上
			S _s :5×10 ⁻⁴ /年以下		10 ⁻⁸ /炉年以上

(5) まとめ

以上より，全般施設としては，SA後長期(L)に生じる荷重とS_dによる地震力，SA後長期(LL)に生じる荷重とS_sによる地震力を組み合わせる必要がある。ここで，全般施設については必ずしもSAによる荷重の時間履歴を詳細に評価しないことから，図5.2.1-2に示すとおりSA発生後の最大荷重とS_sによる地震力を組み合わせることとする。耐震評価に用いる圧力・温度条件は対象設備ごとに設定する。

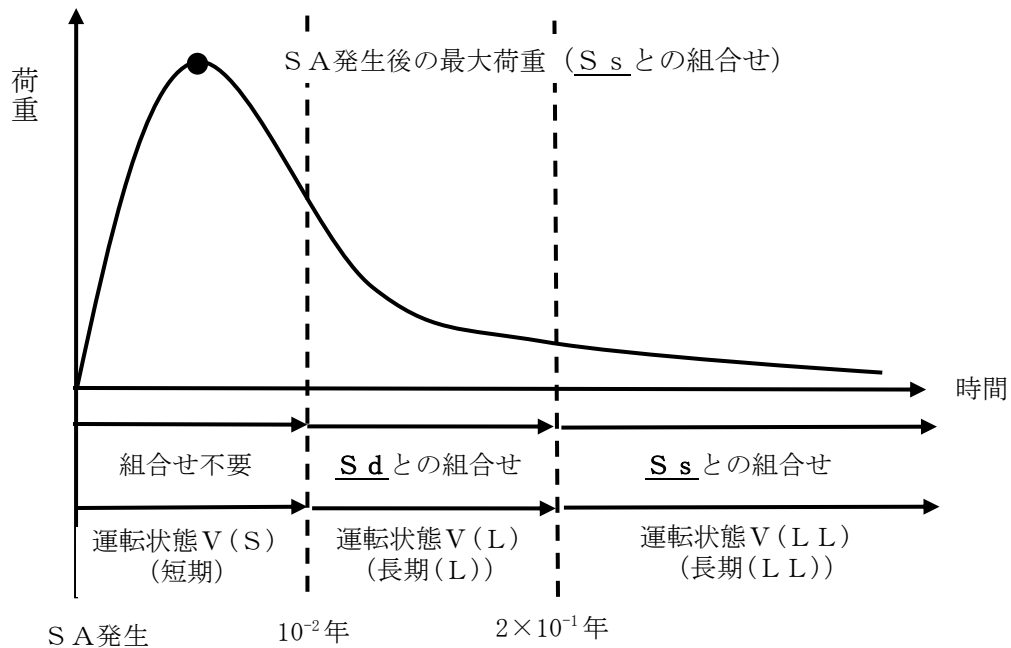


図 5.2.1-2 全般施設の荷重の組合せの検討結果 (イメージ)

5.2.2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備

(1) SAの発生確率

SAの発生確率としては、炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用する。

(2) 地震動の年超過確率

地震ハザード解析結果から得られる年超過確率を参照し、JEAG 4601・補-1984 で記載されている S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の年超過確率に読み替えて適用する。(添付資料-1 参照)

(3) 荷重の組合せの継続時間の決定

保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年と、(1)、(2) で得られた値の積との比較により、工学的、総合的に組合せの目安となる継続時間を判断する。事象発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要な短期(運転状態V(S))、弾性設計用地震動 S_d との組合せが必要な $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年を長期(L)(運転状態V(L))、基準地震動 S_s との組合せが必要な 2×10^{-1} 年以降を長期(LL)(運転状態V(LL))とする。組合せの目安となる継続時間を表 5.2.2-1、組合せのイメージを図 5.2.2-1 に示す。

表 5. 2. 2-1 組合せの目安となる継続時間

事故シーケンス	SAの発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合せを考慮する判断目安	組合せの目安となる継続時間
		弾性設計用地震動 S _d	10 ⁻² /年以下*2		
すべてのSA	10 ⁻⁴ /炉年*1	弾性設計用地震動 S _d	10 ⁻² /年以下*2	10 ⁻⁸ /炉年以上	10 ⁻² 年以上
		基準地震動 S _s	5×10 ⁻⁴ /年以下*2		2×10 ⁻¹ 年以上

注記*1：原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について」に記載されている炉心損傷頻度の性能目標値を踏まえ、SAの発生確率として10⁻⁴/炉年とした。

*2：JEAG 4601・補-1984に記載されている地震動 S₂、S₁の発生確率を S_s、S_dの年超過確率に読み替えた。

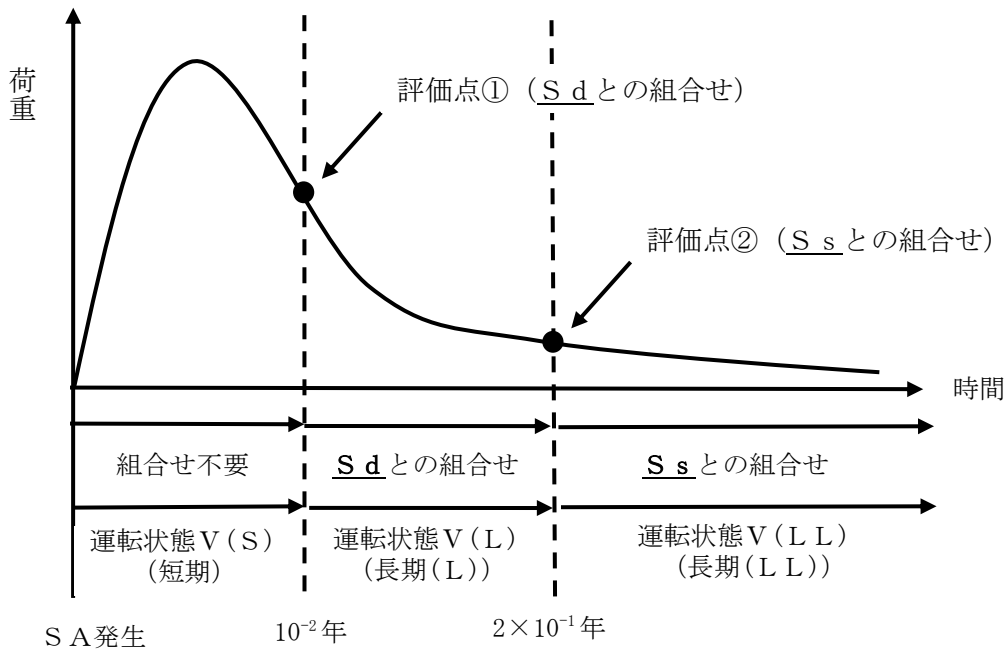


図 5. 2. 2-1 荷重の組合せと継続時間の関係 (イメージ)

(4) 荷重の組合せの検討

a. SAの選定

本発電用原子炉施設を対象としたPRAの結果を踏まえた、重大事故等対策の有効性を評価する事故シーケンスグループのうち、圧力・温度条件が最も厳しい事故シーケンスグループを選定する。参考として原子炉格納容器のDB条件（最高使用圧力・温度）を超える事故シーケンスグループ等を選定した結果を表 5. 2. 2-2 に示す。

表 5.2.2-2 原子炉格納容器のDB条件を超える事故シーケンスグループ等

事故シーケンスグループ等	DB条件を超えるもの
「運転中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループ	
高圧・低圧注水機能喪失	○
高圧注水・減圧機能喪失	×
全交流動力電源喪失	
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+HPCS失敗	○
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+高圧炉心冷却失敗	○
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+直流電源喪失	○
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+SRV再閉失敗+HPCS失敗	○
崩壊熱除去機能喪失	
取水機能が喪失した場合	○
残留熱除去系が故障した場合	○
原子炉停止機能喪失	○
LOCA時注水機能喪失	○
格納容器バイパス（インターフェイスシステムLOCA）	×*1
「運転中の原子炉における重大事故」に係る格納容器破損モード	
雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）	
残留熱代替除去系を使用する場合	○
残留熱代替除去系を使用しない場合	○
高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱	○
原子炉圧力容器外の溶融燃料-冷却材相互作用	○
水素燃焼	×*2
溶融炉心・コンクリート相互作用	○
「運転停止中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループ	
崩壊熱除去機能喪失	×*3
全交流動力電源喪失	×*3
原子炉冷却材の流出	×*3
反応度の誤投入	×*3

注記*1：有効性評価では、インターフェイスシステムLOCAにより格納容器外へ原子炉冷却材が流出する事象を評価しており、原子炉格納容器圧力・温度の評価を実施していないが、破断を想定した系（LPCI）以外の非常用炉心冷却を使用できることから、原子炉格納容器圧力・温度が最高使用圧力・温度を超えることはない。

*2：雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）（残留熱代替除去系を使用する場合）の事故シーケンスにて水素燃焼に対する有効性評価を行っているため対象外とする。

*3：運転停止中は、炉心の冠水維持までを評価の対象としており原子炉格納容器に対する静的な過圧・過温に対する評価は実施していない。しかしながら、静的な過圧・過温の熱源となる炉心崩壊熱は、運転中と比較して十分に小さく、事象の進展も運転中に比べて遅くなることから、運転中に包絡されるものとして参照すべき事故シーケンスの対象とはしない。

これらの事故シーケンスグループ等のうち、原子炉格納容器の圧力・温度条件が最も厳しくなるという点で、最高使用圧力・温度を超え、更に継続時間の長い事故シーケンスグループ等を抽出することを目的に、事象発生後 10^{-2} 年（約3.5日後）未及び事象発生後 10^{-2} 年（約3.5日後）以降の圧力・温度が最も高い事故シーケンスグループ等を抽出した結果、以下の事故シーケンスが挙げられる。

- ・雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）（残留熱代替除去系を使用する場合）
- ・雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）（残留熱代替除去系を使用しない場合）

なお、有効性評価においては、いずれの事故シーケンスグループ等においても、事象発生後 10^{-2} 年（約3.5日後）前までに格納容器フィルタベント系又は原子炉補機代替冷却系を用いた残留熱代替除去系による除熱機能が確保され、格納容器の圧力・温度条件は最高使用圧力・温度以下に維持される。 10^{-2} 年（約3.5日後）以降の格納容器圧力については、格納容器内の水素燃焼を防止する観点から原子炉格納容器内への窒素注入を実施する運用としていることから、一時的に格納容器圧力が最高使用圧力以下の範囲で圧力上昇する期間が生じるが、上記の除熱機能により、最高使用圧力以下に抑えられる。

したがって、最高使用圧力及び 10^{-2} 年（約3.5日後）以内の温度に基づき、事故シーケンスグループ等を選定することは妥当である。

なお、「高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱」、「原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用」及び「溶融炉心・コンクリート相互作用」は同じ事故シーケンスにより各格納容器破損モードの評価を行っている。これら格納容器破損モードを評価する際には、原子炉圧力容器破損に至るまで炉心損傷を進展させ、その後が生じうる格納容器破損モードに対する有効性を確認する必要があるため、解析の前提として、重大事故等対処設備として整備した原子炉への注水機能は使用しないとの前提で

評価することで、各々の格納容器破損モードに対して厳しい条件となるよう保守的な条件設定を行っており、他の事故シーケンス等と比較して前提条件が異なる(本来は、高压原子炉代替注水系等により炉心損傷回避が可能な事故シーケンスである)。一方、原子炉格納容器に対する静的な過圧・過温に対する長期の頑健性を確認するうえでは、原子炉格納容器圧力及び温度は原子炉停止後の崩壊熱と除熱能力の関係が支配的な要素であることから、「運転中の原子炉における重大事故」に係る格納容器破損モードとして参照する事故シナリオとして、雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)を代表シナリオとすることは、原子炉圧力容器破損後のシナリオも考慮していることと等しくなる。

格納容器破損モード「雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)(残留熱代替除去系を使用する場合)」及び「雰囲気圧力・温度による静的負荷(格納容器過圧・過温破損)(残留熱代替除去系を使用しない場合)」は、大破断LOCAが発生し、流出した原子炉冷却材及び溶融炉心の崩壊熱等の熱によって発生した水蒸気、炉心損傷に伴うジルコニウム-水反応によって発生した非凝縮性ガスなどの蓄積により、原子炉格納容器の雰囲気圧力・温度が上昇することになる。

上記の2つの事故シーケンスグループ等について、事故発生後の原子炉格納容器の最高圧力及び最高温度、 10^{-2} 年(約3.5日後)の圧力及び温度を表5.2.2-3に示す。

なお、その他の「運転中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループについては、格納容器冷却及び除熱に係る手順として、原子炉格納容器圧力を最高使用圧力以下に抑える手順としているため抽出されない。

表 5.2.2-3 原子炉格納容器のSA時の圧力・温度(有効性評価結果)

	格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用 する場合)	格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用 しない場合)
最高圧力	約 427kPa	約 659kPa
最高温度	約 181℃*	約 181℃*
圧力 (10^{-2} 年後)	約 317kPa	約 109kPa
温度 (10^{-2} 年後)	約 131℃	約 144℃

注記* : 原子炉格納容器バウンダリにかかる温度(壁面温度)

表 5.2.2-3 に示す各事故シーケンスグループ等の有効性評価における解析条件設定は、解析条件及び解析コードの不確かさを考慮して、現実的な条件を基本としつつ、原則、評価項目となるパラメータに対して余裕が小さくなるような設定とすることとしている。また、不確かさの影響評価を行っており、その結果として、解析コード及び解析条件の不確かさについて操作への影響を含めて確認した結果、評価項目となるパラメータに与える影響は小さいことを確認している。したがって、耐震評価に用いる原子炉格納容器の圧力・温度条件として、有効性評価結果の圧力・温度を用いることは妥当と判断した。

b. SAで考慮する荷重と継続時間

【短期荷重の継続時間】

上記の2つの事故シーケンスグループ等について、格納容器圧力・温度の解析結果を図5.2.2-2～図5.2.2-5に示す。

図5.2.2-2～図5.2.2-5より、SA発生後 10^{-2} 年(約3.5日後)前までに、残留熱代替除去系又は格納容器フィルタベント系による格納容器除熱機能が確保され、格納容器の圧力・温度条件は最高使用圧力・温度以下に維持される。残留熱代替除去系を使用する場合における 10^{-2} 年(約3.5日後)以降の格納容器圧力については、原子炉格納容器内の水素燃焼の防止のため原子炉格納容器内への窒素封入を実施する運用としていることから、一時的に上昇する期間があるが、上記の除熱機能により最高使用圧力以下に抑えられる。

よって、SA発生後 10^{-2} 年前をV(S)(SAの状態のうち事象発生直後の短期的に荷重が作用している状態)として設定することは適切である。

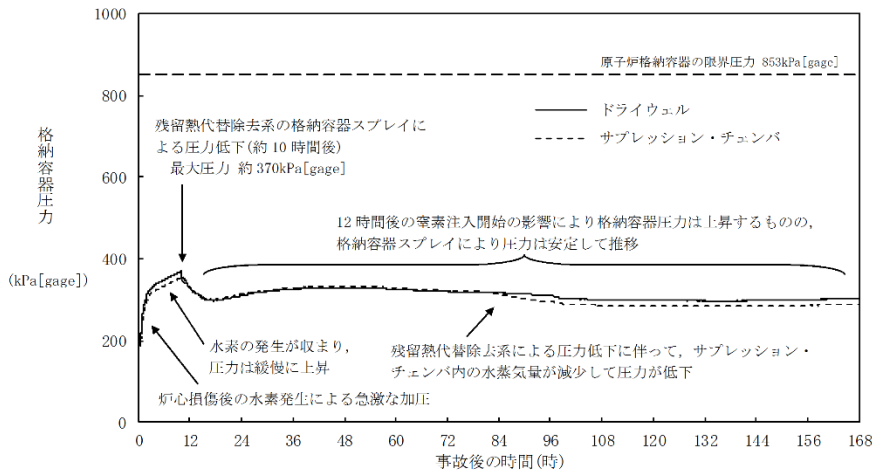


図 5.2.2-2 格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用する場合)における格納容器圧力の推移

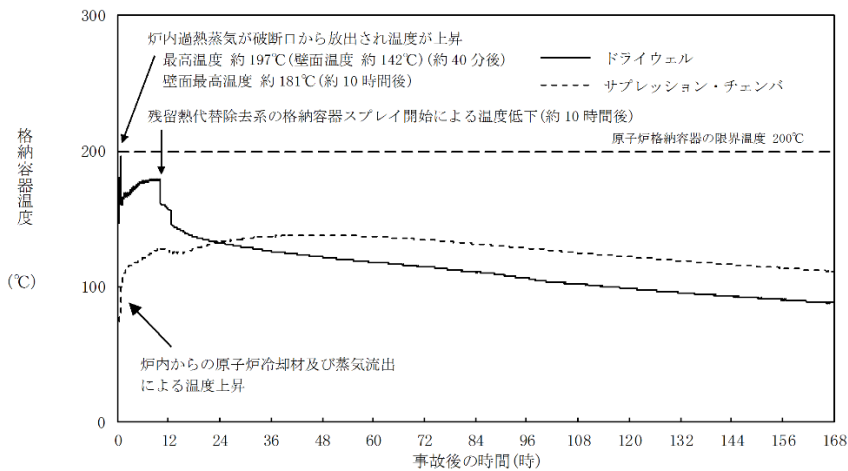


図 5.2.2-3 格納容器過圧・過温破損(残留熱代替除去系を使用する場合)における格納容器温度(気相部)の推移

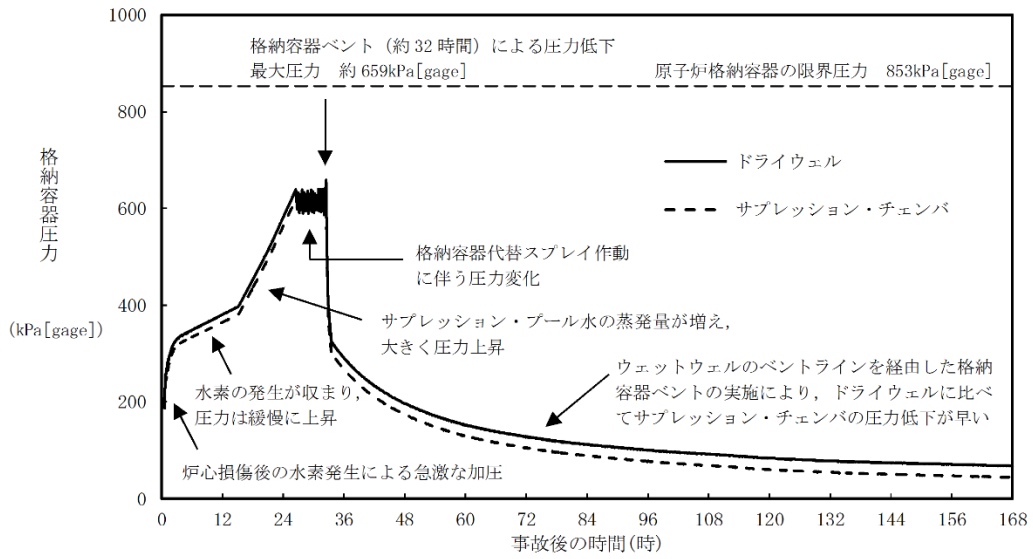


図 5.2.2-4 格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用しない場合）
における格納容器圧力の推移

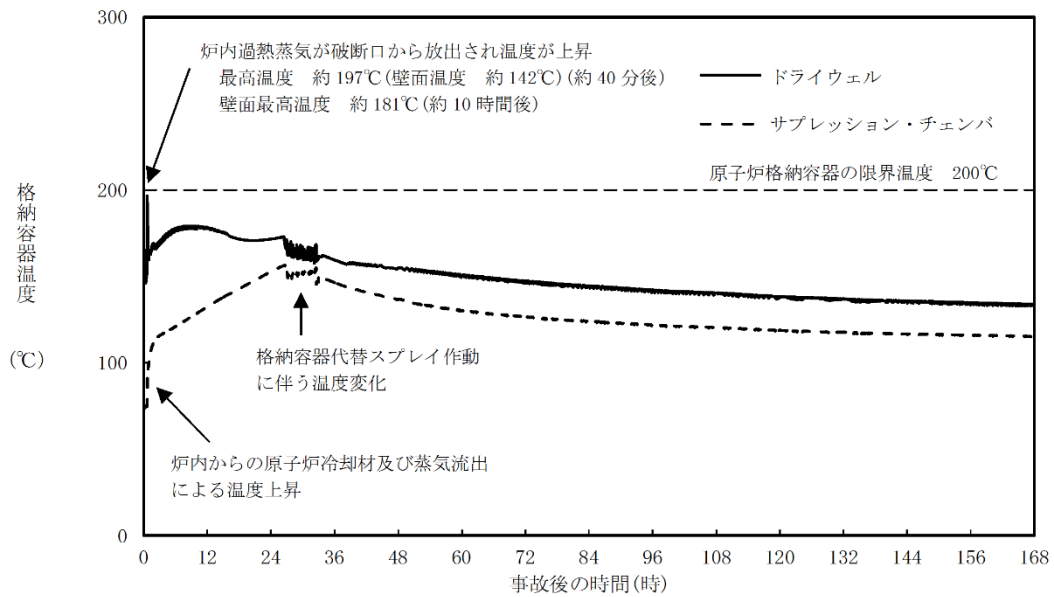


図 5.2.2-5 格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用しない場合）
における格納容器温度（気相部）の推移

【長期（L）及び長期（LL）における荷重の継続時間】

S A発生後の原子炉格納容器の圧力・温度の推移は、除熱機能として残留熱代替除去系を使用する場合と残留熱代替除去系を使用しない場合では大幅に挙動が異なる。S A発生後 10^{-2} 年（約3.5日後）という断面においては、表5.2.2-3に示したとおり、圧力は格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用する場合）の方が高く、温度は格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用しない場合）の方が高い。除熱機能の確保はS A設備である残留熱代替除去系の確保を優先に行うことから、荷重条件の設定では、格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用する場合）を基本とする。

長期間解析における格納容器圧力・温度の推移を図5.2.2-6～図5.2.2-7に示す。

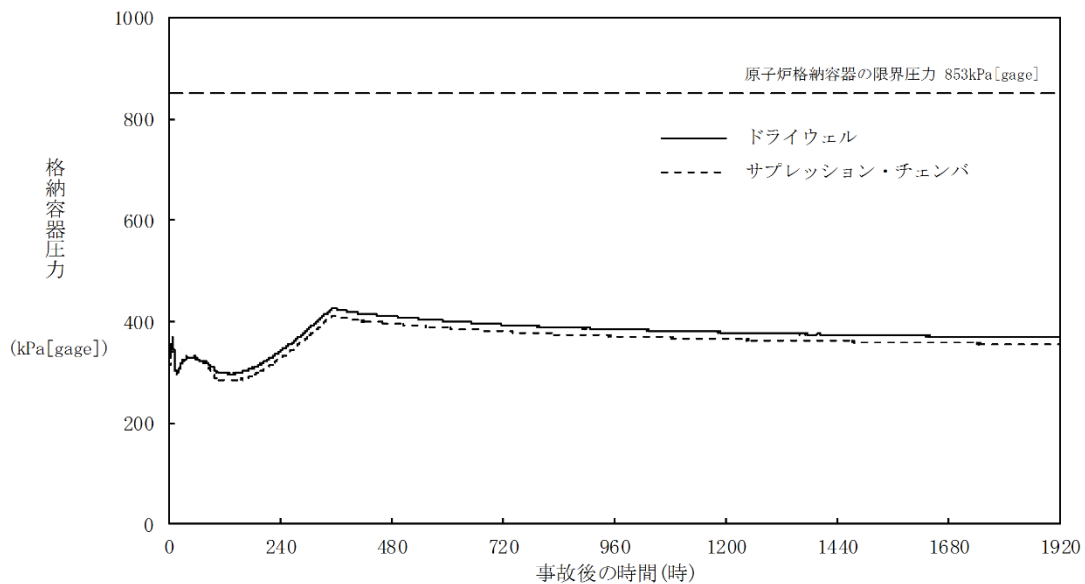


図5.2.2-6 格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用する場合）における格納容器圧力の推移（長期間解析）

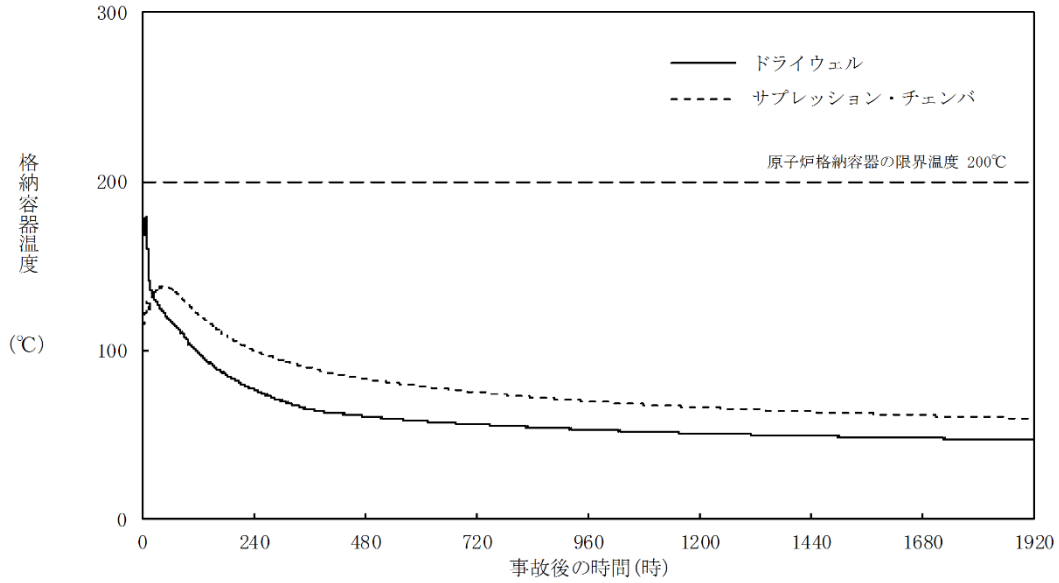


図 5.2.2-7 格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用する場合）における格納容器温度（気相部）の推移（長期間解析）

ここで、 2×10^{-1} 年（約 70 日後）の格納容器圧力及び温度を表 5.2.2-4 に示す。格納容器圧力・温度は低下傾向を維持し、最高使用圧力及び最高使用温度以下に低下するものの、通常運転条件の格納容器圧力・温度は上回る事となる。

表 5.2.2-4 原子炉格納容器の S A 時の圧力・温度

	格納容器過圧・過温破損 (残留熱代替除去系を使用する場合)
格納容器圧力	約 372kPa [gage]
格納容器温度	約 62°C*

注記*：サブプレッションチェンバの温度

(1)～(3)から、S A の発生確率、継続時間、地震の発生確率（添付資料-1 参照）を踏まえた事象発生確率は表 5.2.2-5 のとおりとなる。この検討に際し、S A 施設としての重要性に鑑み安全裕度を確保するために、頻度が保守的に算出されるように各パラメータの設定に当たり、以下の事項を考慮している。

【PCVバウンダリにおけるSAの発生確率，継続時間，地震動の年超過確率に関する考慮】

- ・ SAの発生確率は，個別プラントの炉心損傷頻度を用いず，炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用している。
- ・ 地震ハザード解析結果から得られる年超過確率を参照し，地震動の年超過確率は J E A G 4 6 0 1 ・ 補-1984 に記載の発生確率を用いている。

以上より，表 5.2.2-3 及び表 5.2.2-4 を考慮し，格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用しない場合）において，格納容器圧力の上昇の速度が遅く格納容器スプレイ流量が抑制できるなど，格納容器フィルタベント系の使用タイミングが遅くなる可能性があることから，SA発生後 10^{-2} 年以上 2×10^{-1} 年未満の期間として組み合わせる荷重は，事象発生後以降の最大となる荷重（有効性評価結果の最高圧力・最高温度）を S_d と組み合わせる。また，SA発生後 2×10^{-1} 年以上の期間において最大となる荷重と S_s による地震力を組み合わせることとする。

表 5.2.2-5 SAの発生確率，継続時間，地震の発生確率を踏まえた事象発生確率

事故シーケンス	運転状態	① SAの発生確率	② 地震の発生確率	③ SAの継続時間	①×②×③合計
雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）	V(S)	10^{-4} /炉年	$S_d : 10^{-2}$ /年以下	10^{-2} 年未満	10^{-8} /炉年未満
			$S_s : 5 \times 10^{-4}$ /年以下		5×10^{-10} /炉年未満
	V(L)		$S_d : 10^{-2}$ /年以下	10^{-2} 年以上， 2×10^{-1} 年未満	2×10^{-7} /炉年未満
			$S_s : 5 \times 10^{-4}$ /年以下		10^{-8} /炉年未満
	V(LL)		$S_d : 10^{-2}$ /年以下	2×10^{-1} 年以上	2×10^{-7} /炉年以上
			$S_s : 5 \times 10^{-4}$ /年以下		10^{-8} /炉年以上

(5) まとめ

PCVバウンダリとしては，図 5.2.2-8 に示すとおり SA後長期（LL）に生じる荷重と S_s による地震力，SA発生後の最大となる荷重と S_d による地震力を組み合わせることとする。以上を踏まえ，重大事故等時の耐震評価で考慮する圧力・温度条件は表 5.2.2-6 のとおりとする。

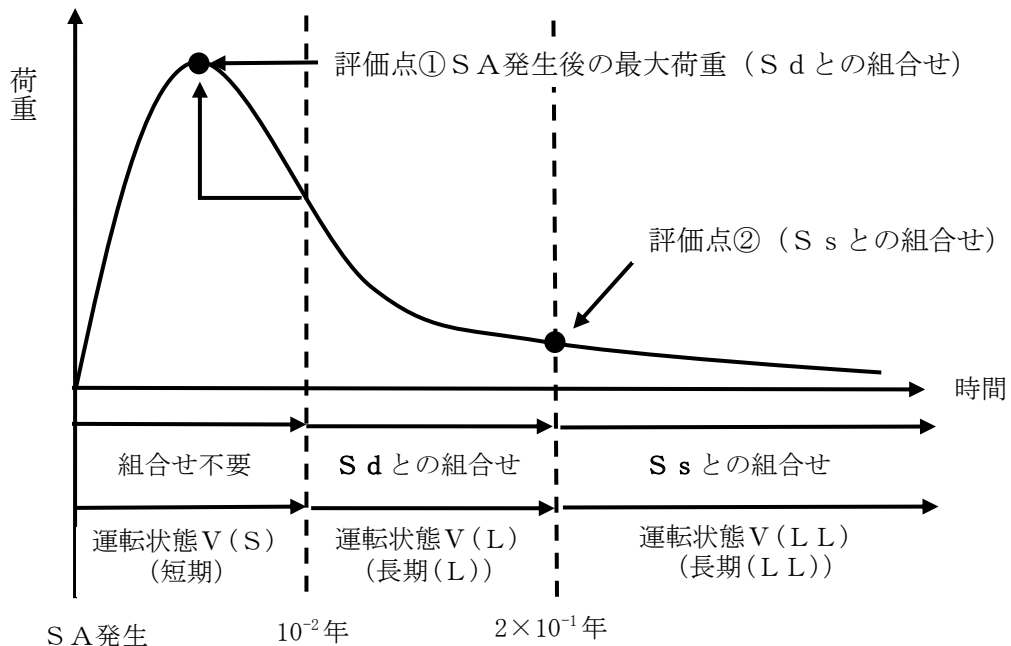


図 5.2.2-8 PCVバウンダリの荷重の組合せの検討 (イメージ)

表 5.2.2-6 重大事故等時の耐震評価で考慮する圧力・温度条件

地震動	弾性設計用地震動 S d	基準地震動 S s
圧力	660kPa[gage]	380kPa[gage]
温度	200℃	70℃

5.2.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備

(1) SAの発生確率

SAの発生確率としては、炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用する。

(2) 地震動の年超過確率

地震ハザード解析結果から得られる年超過確率を参照し、JEAG 4601・補-1984 で記載されている S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の年超過確率に読み替えて適用する。(添付資料-1 参照)

(3) 荷重の組合せの継続時間の決定

保守性を見込んだ 10^{-8} /炉年と、(1)、(2) で得られた値の積との比較により、工学的、総合的に組合せの目安となる継続時間を判断する。事象発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要な短期(運転状態 V (S))、弾性設計用地震動 S d との組合せが必要な $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年を長期(L)(運転状態 V (L))、基準地震動 S s との組合せが必要な 2×10^{-1} 年以降を長期(LL)(運転状態 V (LL)) とする。組合せの目安となる継続時間を表 5.2.3-1、組合せのイメージを図 5.2.3-1 に示す。

表 5.2.3-1 組合せの目安となる継続時間

事故シーケンス	SAの発生確率	地震動の発生確率		荷重の組合せを考慮する判断目安	組合せの目安となる継続時間
すべてのSA	10^{-4} /炉年*1	弾性設計用地震動 S _d	10^{-2} /年以下*2	10^{-8} /炉年以上	10^{-2} 年以上
		基準地震動 S _s	5×10^{-4} /年以下*2		2×10^{-1} 年以上

注記*1：原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について」に記載されている炉心損傷頻度の性能目標値を踏まえ、SAの発生確率として 10^{-4} /炉年とした。

*2：JEAG 4601・補-1984に記載されている地震動 S_2 、 S_1 の発生確率を S_s 、 S_d の年超過確率に読み替えた。

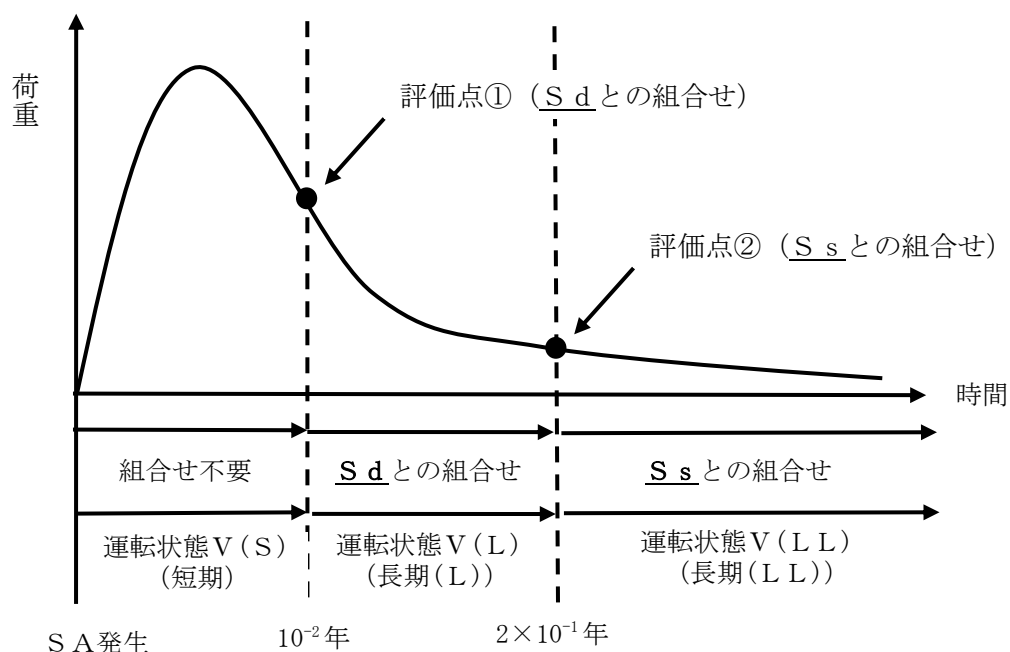


図 5.2.3-1 荷重の組合せと継続時間の関係 (イメージ)

(4) 荷重の組合せの検討

a. SAの選定

原子炉压力容器の圧力及び温度上昇の観点で厳しい事故シーケンスグループ等は以下の理由から、「原子炉停止機能喪失」である。「原子炉停止機能喪失」は、過渡事象として主蒸気隔離弁の誤閉止の発生を仮定するとともに、原子炉自動停止機能が喪失する事象であり、緩和措置がとられない場合には、原子炉出力が維持されるため、原子炉压力容器が高温・高圧状態となる。

表 5.2.3-2 原子炉圧力容器のDB条件を超える事故シーケンスグループ等

事故シーケンスグループ等	DB条件を超えるもの*1
「運転中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループ	
高圧・低圧注水機能喪失	×
高圧注水・減圧機能喪失	×
全交流動力電源喪失	
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+HPCS失敗	×
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+高圧炉心冷却失敗	×
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+直流電源喪失	×
全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+SRV再閉失敗+HPCS失敗	×
崩壊熱除去機能喪失	
取水機能が喪失した場合	×
残留熱除去系が故障した場合	×
原子炉停止機能喪失	○
LOCA時注水機能喪失	×
格納容器バイパス（インターフェイスシステムLOCA）	×
「運転中の原子炉における重大事故」に係る格納容器破損モード	
雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）	
残留熱代替除去系を使用する場合	—*2
残留熱代替除去系を使用しない場合	—*2
高圧溶融物放出／格納容器雰囲気直接加熱	—*2
原子炉圧力容器外の溶融燃料－冷却材相互作用	—*2
水素燃焼	—*2
溶融炉心・コンクリート相互作用	—*2
「運転停止中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループ	
崩壊熱除去機能喪失	—*3
全交流動力電源喪失	—*3
原子炉冷却材の流出	—*3
反応度の誤投入	—*3

注記*1：有効性評価における原子炉圧力とDB条件における原子炉圧力との比較

*2：非常用炉心冷却系が喪失し、炉心が損傷に至るシナリオである。よって、原子炉冷却材圧力バウンダリの頑健性を評価することを目的とした事故シーケンスとしては参照しない。なお、雰囲気圧力・温度による静的負荷（格納容器過圧・過温破損）及び水素燃焼は大破断LOCAを起因とし、事故後、急速に減圧するシナリオであり、また、他のシナリオは、原子炉が高圧の状態維持（その間逃がし

安全弁による原子炉圧力制御)するが、原子炉水位がBAF+20%の位置で減圧するシナリオであるため、原子炉圧力という点では、「運転中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループに包絡される。

- *3：運転停止中は、炉心の冠水維持までを評価の対象としており原子炉圧力・温度に対する評価は実施していない。しかしながら、運転停止中であり、初期圧力は十分に低く、また、過圧・過温として影響の大きい条件である炉心崩壊熱は、運転中と比較して十分に小さく、事象の進展も遅くなることから、「運転中の原子炉における重大事故に至るおそれがある事故」に係る事故シーケンスグループに包絡されるものとして参照すべき事故シーケンスの対象とはしない。

これ以外の事故シーケンスグループ等では、原子炉圧力容器は健全であり、また、スクラム後、急速減圧による低圧注水系による冠水維持開始までの間、逃がし安全弁の作動により、原子炉圧力は制御されることから、DBの荷重条件を超えることはない。

また、「全交流動力電源喪失（外部電源喪失+DG失敗）+SRV再閉失敗+HPCS失敗」、「LOCA時注水機能喪失」及び「格納容器バイパス（インターフェイスシステムLOCA）」は、LOCA又は逃がし安全弁の再閉失敗が発生していることを前提としており、DB条件を超えることはない。

「原子炉停止機能喪失」の炉心損傷防止対策は、主として当該事故の発生防止のために代替制御棒挿入機能（ARI）を備えており、プラント過渡事象が発生し、通常のスクリュー機能が、電氣的な故障により喪失した場合に、後備の手段としてARIを作動させることにより原子炉停止機能を確保することとなる。有効性評価では、このARIの機能に期待せず、最も厳しい過渡事象として主蒸気隔離弁の閉止を条件とし、これによる原子炉圧力上昇による反応度投入、また、主蒸気隔離弁の閉止に伴う給水加熱喪失による反応度投入を評価している。これに対し、原子炉出力を抑制するための代替原子炉再循環ポンプトリップ機能、運転員による原子炉水位維持操作（自動減圧系の自動起動阻止含む）及びほう酸水注入系による原子炉未臨界操作により原子炉を未臨界へ移行させることとなる。

以上のとおり、スクラムを前提とした他の事故シーケンスグループ等と比較し、最も早く原子炉冷却材圧力が上昇する事象である。

したがって、以下のSAとして考慮すべき事故シーケンスは以下の事故シナリオを選定した。

- ・原子炉停止機能喪失

この事故シーケンスにおけるSA発生後の原子炉冷却材圧力バウンダリにかかる圧力の最高値、原子炉冷却材温度の最高値を表5.2.3-3に示す。

表 5.2.3-3 原子炉冷却材圧力バウンダリの S A 時の圧力・温度（有効性評価結果）

	原子炉停止機能喪失
最高圧力	約 8.98MPa[gage]*
最高温度	約 304℃

注記*：原子炉圧力と原子炉圧力容器底部圧力との差を考慮した値

表 5.2.3-3 に示す原子炉停止機能喪失の有効性評価における解析条件設定は、解析条件及び解析コードの不確かさを考慮して、現実的な条件を基本としつつ、原則、評価項目となるパラメータに対して余裕が小さくなるような設定とすることとしている。また、不確かさの影響評価を行っており、その場合の圧力・温度は、表 5.2.3-3 に示す評価結果より高くなる。しかしながら、後述する短期荷重の継続時間として考慮する時間設定においては、事象発生後に低温停止状態に至る時間を包絡するものとしているため、結果として不確かさの重畳の影響はない。

b. S A で考慮する荷重と継続時間

a. 項で選定した事故シーケンスの過渡応答図を図 5.2.3-2～図 5.2.3-3 に示す。原子炉圧力は主蒸気隔離弁の閉止に伴う圧力上昇以降、速やかに耐震設計上の設計圧力である 8.28MPa[gage]を下回る。また、事象開始から 50 分以内にほう酸水注水系による未臨界が確立され、事象は収束する。

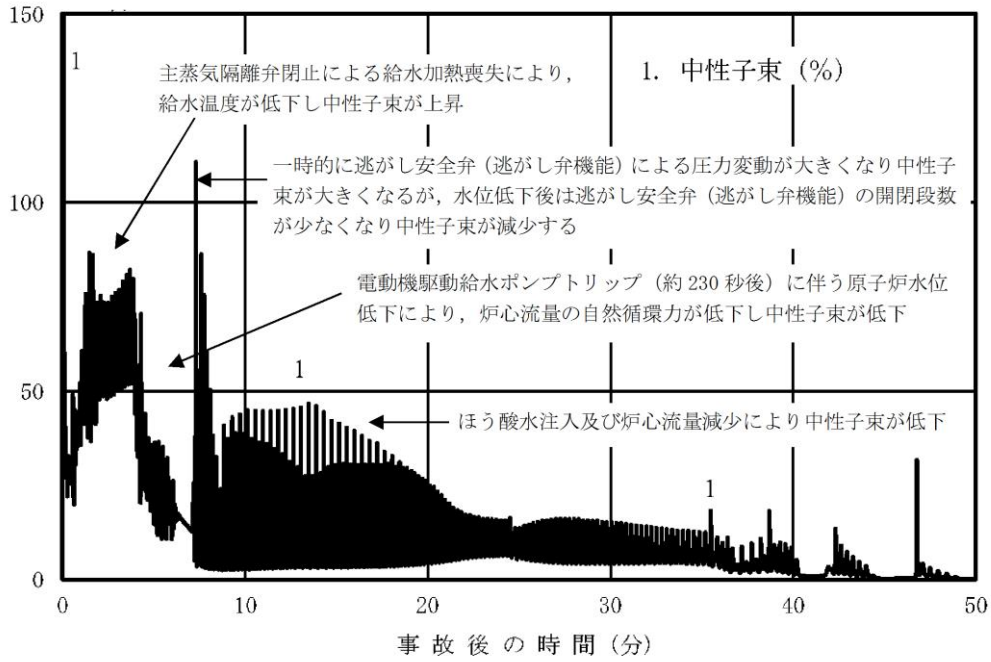


図 5.2.3-2 原子炉停止機能喪失における中性子束の時間変化 (事象発生から 50 分後まで)

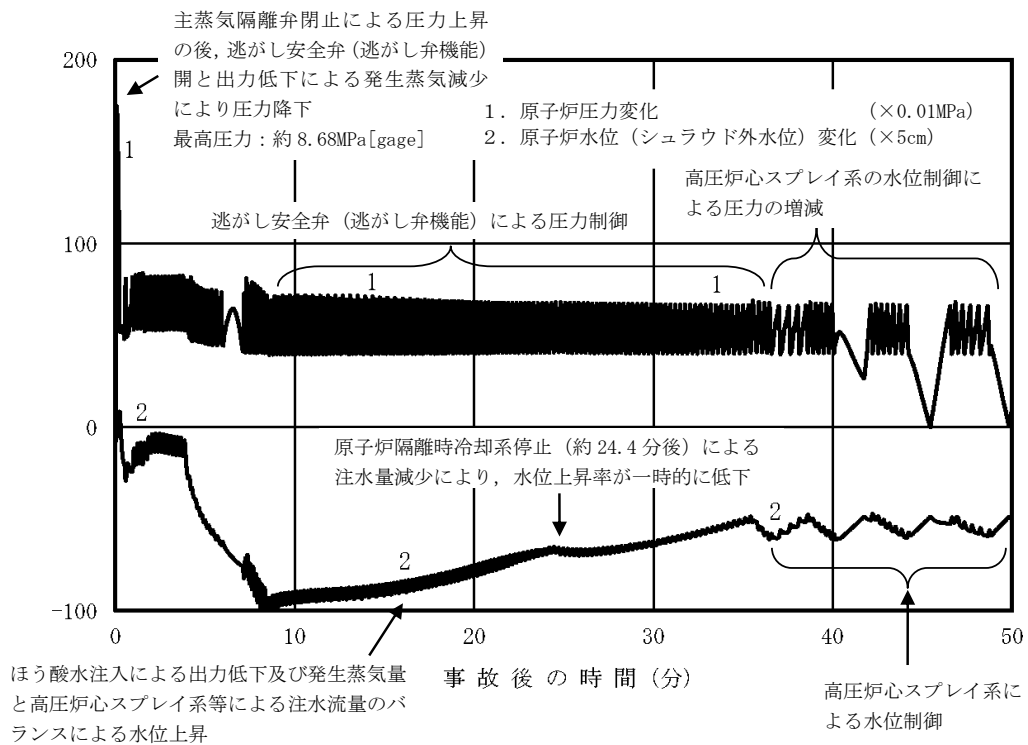


図 5.2.3-3 原子炉停止機能喪失における原子炉圧力、原子炉水位 (シュラウド外水位) の時間変化 (事象発生から 50 分後まで)

(1)～(3)から、SAの発生確率、継続時間、地震の発生確率を踏まえた事象発生確率は表5.2.3-4のとおりとなる。この検討に際し、SA施設としての重要性を鑑み安全裕度を確保するために、頻度が保守的に算出されるように各パラメータの設定に当たり、以下の事項を考慮している。

【RPVバウンダリのSAの発生確率、継続時間、地震動の年超過確率に関する考慮】

- ・SAの発生確率は、個別プラントの炉心損傷頻度を用いず、炉心損傷頻度の性能目標値である 10^{-4} /炉年を適用している。
- ・地震ハザード解析結果から得られる年超過確率を参照し、地震動の年超過確率はJEAG 4601・補-1984に記載の発生確率を用いている。

表5.2.3-4より、SAの発生確率、継続時間、地震動の年超過確率の積等も考慮し、工学的、総合的な判断としてS_dによる地震力とSA後長期(L)荷重、S_sによる地震力とSA後長期(LL)荷重を組み合わせる。

表5.2.3-4 SAの発生確率、継続時間、地震の発生確率を踏まえた事象発生確率

事故シーケンス	運転状態	① SAの発生確率	② 地震の発生確率	③ SAの継続時間	①×②×③合計
原子炉停止機能喪失	V(S)	10 ⁻⁴ /炉年	S _d : 10 ⁻² /年以下	10 ⁻² 年未満	10 ⁻⁸ /炉年未満
			S _s : 5×10 ⁻⁴ /年以下		5×10 ⁻¹⁰ /炉年未満
	V(L)		S _d : 10 ⁻² /年以下	10 ⁻² 年以上, 2×10 ⁻¹ 年未満	2×10 ⁻⁷ /炉年未満
			S _s : 5×10 ⁻⁴ /年以下		10 ⁻⁸ /炉年未満
	V(LL)		S _d : 10 ⁻² /年以下	2×10 ⁻¹ 年以上	2×10 ⁻⁷ /炉年以上
			S _s : 5×10 ⁻⁴ /年以下		10 ⁻⁸ /炉年以上

(5) まとめ

以上より、RPVバウンダリとしては、図5.2.3-4に示すとおりSA後長期(LL)に生じる荷重とS_sによる地震力、SA後長期(L)に生じる荷重とS_dによる地震力を組み合わせることとする。ただし、SA後長期(L)及びSA後長期(LL)の温度・圧力はDB条件 (MPa[gage], °C) に包絡されるため、個別の重大事故等時の耐震評価は省略する。

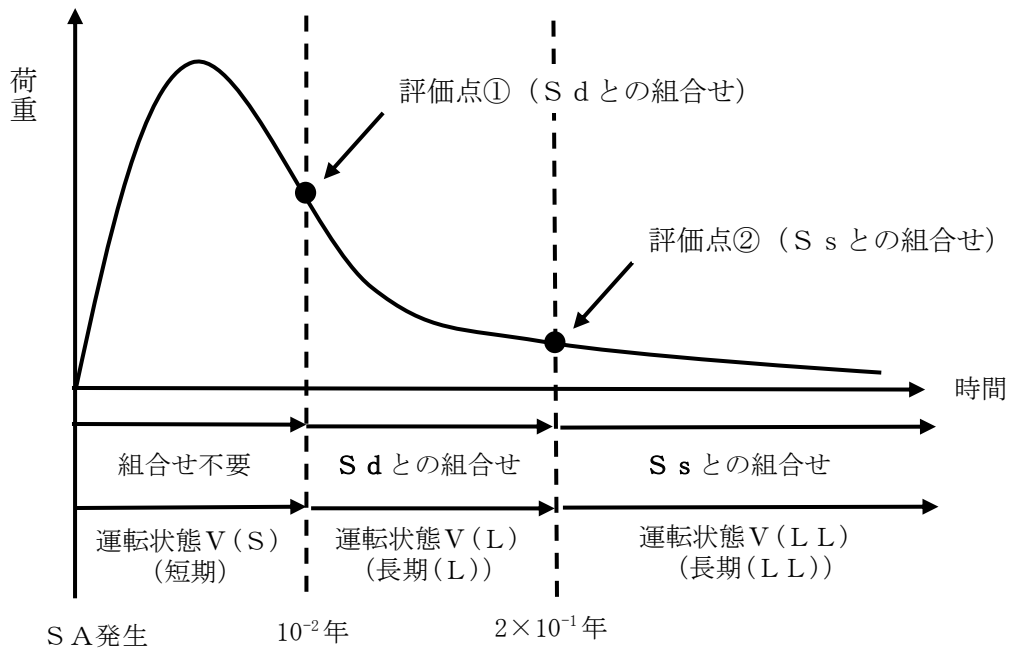


図 5.2.3-4 R P Vバウンダリの荷重の組合せの検討結果 (イメージ)

5.2.4 SA施設の支持構造物

SA施設の支持構造物については、SA後長期の雰囲気温度と5.2.1~5.2.3項それぞれの地震を組み合わせる。ただし、SA施設本体からの熱伝導等を考慮するものとする。具体的な組合せ内容は、5.2.1~5.2.3項による。

6. 許容応力状態の検討結果

5. 項の組合せ方針に基づき, 各施設のSAと地震の組合せに対する許容応力状態の考え方を以下に示す。許容応力状態の考え方は, 全般施設, PCVバウンダリ, RPVバウンダリ及びSA施設の支持構造物に分けて検討することとした。

【運転状態の説明】

I～IV : JEAG 4601 で設定している運転状態と同じ

V(S) : SAの状態のうち事象発生直後の短期的に荷重が作用している状態

V(L) : SAの状態のうち長期的（過渡状態を除く一連の期間）に荷重が作用している状態

V(LL) : SAの状態のうちV(L)より更に長期的に荷重が作用している状態

【許容応力状態】

I_A～IV_A : JEAG 4601 で設定している許容応力状態と同じ

III_{AS}～IV_{AS} : JEAG 4601 で設定している許容応力状態と同じ

V_A : 運転状態V相当の応力評価を行う許容応力状態
(SA時に要求される機能が満足できる許容応力状態)

V_{AS} : 許容応力状態V_Aを基本として, それに地震により生じる応力に対する特別な応力の制限を加えた許容応力状態
(SA時に要求される機能が満足できる許容応力状態)

6.1 全般施設

5.2.1 項の荷重の組合せ方針から、各組合せ条件に対する許容応力状態を表 6.1-1 に示す。

表 6.1-1 全般施設の荷重の組合せと許容応力状態

運転 状態	許容応力 状態	DB施設		SA施設		備考
		S d	S s	S d	S s	
I	I _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
II	II _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
III	III _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(L)	IV _A ECCS 等: I _A *	III _A S* ¹	—	III _A S* ¹	—	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(S)	IV _A	—	—	—	—	—
V(LL)	V _A			—	V _A S* ²	V _A Sの許容限界は、島根2号機ではIV _A Sと同じものを適用する。
V(L)						
V(S)						

注記*1: ECCSに係るもののみ

*2: SA後短期的なもの、長期的なものを区別せず、それらを包絡する条件をSA条件として設定する。(原子炉格納容器雰囲気温度の影響を受ける全般施設については、6.2 項の検討結果も考慮する)

6.2 原子炉格納容器バウンダリを構成する設備

5.2.2 項の荷重の組合せ方針から、各組合せ条件に対する許容応力状態を表 6.2-1 に示す。DB条件における評価では、S dとDBA後長期荷重の組合せではⅢ_ASを許容応力状態としているが、これは、ECCS等と同様、原子炉格納容器がDBAを緩和・収束させるために必要な施設に挙げられていることによるものである。また、DB施設として原子炉格納容器については、LOCA後(DBA)の最終障壁としての安全裕度を確認する意味で、LOCA後の最大内圧とS dの組合せを実施している。SA施設としての原子炉格納容器については、最終障壁としての安全裕度の確認として、重大事故時の原子炉格納容器の最高温度、最高内圧を大きく超える 200℃、2 P dの条件で、原子炉格納容器の放射性物質閉じ込め機能が損なわれることがないことの確認を行う。

表 6.2-1 PCVバウンダリの荷重の組合せと許容応力状態

運転状態	許容応力状態	DB施設		SA施設		備考
		S d	S s	S d	S s	
I	I _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S	—	Ⅳ _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
II	II _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S	—	Ⅳ _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
III	III _A	Ⅲ _A S	Ⅳ _A S	—	Ⅳ _A S	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(L)	I _A *	Ⅲ _A S	—	Ⅲ _A S	—	DBと同じ許容応力状態とする。
IV(S)	IV _A	IV _A S* ¹	—	—	—	—
V(LL)	V _A			—	V _A S* ²	V _A Sの許容限界は、島根2号機では、IV _A Sと同じものを適用する。
V(L)	V _A			V _A S* ^{2,3}	—	
V(S)	V _A			—	—	—

注記*1：構造体全体としての安全裕度を確認する意味でLOCA後の最大内圧とS dによる地震力との組合せを考慮する。

*2：原子炉格納容器雰囲気温度の影響を受ける全般施設については、6.1 項の検討結果も考慮する。

*3：SA後の最高圧力、最高温度との組合せを考慮する。

6.3 原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備

5.2.3 項の荷重の組合せ方針から、各組合せ条件に対する許容応力状態を表 6.3-1 に示す。DB 条件における評価では、S d と DBA 後長期荷重の組合せでは、E C C S 等は III_AS を許容応力状態としているが、これは、E C C S 等が DBA 時に運転を必要とする施設に挙げられていることによるものである。

表 6.3-1 R P V バウンダリの荷重の組合せと許容応力状態

運転状態	許容応力状態	DB 施設		S A 施設		備考
		S d	S s	S d	S s	
I	I _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DB と同じ許容応力状態とする。
II	II _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DB と同じ許容応力状態とする。
III	III _A	III _A S	IV _A S	—	IV _A S	DB と同じ許容応力状態とする。
IV(L)	IV _A E C C S 等: I _A *	IV _A S*	—	IV _A S*	—	DB と同じ許容応力状態とする。
IV(S)	IV _A	—	—	—	—	—
V(L L)	V _A			—	V _A S	V _A S の許容限界は、島根 2 号機では、IV _A S と同じものを適用する。
V(L)	V _A			V _A S	—	
V(S)	V _A			—	—	—

注記* : E C C S に係るものは III_AS

6.4 S A 施設の支持構造物

S A 施設の支持構造物についての具体的な許容応力状態は、6.1~6.3 項による。

7. まとめ

SA施設の耐震設計に当たっては、SAは地震の独立事象として位置づけたうえで、SAの発生確率、継続時間及び地震動の年超過確率の関係や様々な対策、事故シーケンスを踏まえ、SA荷重とS_s又はS_dいずれか適切な地震力を組み合わせて評価することとし、その組合せ検討結果としては、表7-1のとおりとなる。

表7-1 重大事故と地震の荷重組合せの検討結果

【凡例】
○：組合せ要
－：組合せ不要

【全般施設】

	① SAの 発生確率	② 地震の 発生確率	③ SAの 継続時間	①×②×③	組合せ 要否	考慮する 組合せ
すべての SA*	10 ⁻⁴ /炉年	S _d : 10 ⁻² /年 以下	SA発生後 全期間	10 ⁻⁸ /炉年以上	○	SA荷重 + S _s
		S _s : 5×10 ⁻⁴ /年以下		10 ⁻⁸ /炉年以上	○	

注記*：短期荷重，長期(L)荷重，長期(LL)荷重を区別せず，それらを包絡する条件とS_sを組み合わせる。

【PCVバウンダリ】

	① SAの 発生確率	② 地震の 発生確率	③ SAの 継続時間	①×②×③	組合せ 要否	考慮する 組合せ
SA 荷重 V(S)	10 ⁻⁴ /炉年	S _d : 10 ⁻² /年 以下	10 ⁻² 年 未満	10 ⁻⁸ /炉年 未満	－	SA発生 後の最大 荷重 + S _d * ²
		S _s : 5×10 ⁻⁴ /年以下		5×10 ⁻¹⁰ /炉 年未満	－	
SA 荷重 V(L)	10 ⁻⁴ /炉年	S _d : 10 ⁻² /年 以下	10 ⁻² 年以 上, 2×10 ⁻¹ 年未満	2×10 ⁻⁷ /炉年 未満	○	SA荷重 V(LL) + S _s
		S _s : 5×10 ⁻⁴ /年以下		10 ⁻⁸ /炉年 未満	－	
SA 荷重 V(LL)	10 ⁻⁴ /炉年	S _d : 10 ⁻² /年 以下	2×10 ⁻¹ 年以上	2×10 ⁻⁷ /炉年 以上	－* ¹	SA荷重 V(LL) + S _s
		S _s : 5×10 ⁻⁴ /年以下		10 ⁻⁸ /炉年 以上	○	

注記*1：S_sによる評価に包含されるため「－」としている。

*2：格納容器過圧・過温破損（残留熱代替除去系を使用しない場合）において、格納容器圧力の上昇の速度が遅く格納容器スプレイ流量が抑制できるなど、格納容器フィ

ルタベント系の使用タイミングが遅くなる可能性があることから、SA発生後 10^{-2} 年以上 2×10^{-1} 年未満の期間として組み合わせる荷重は、事象発生後以降の最大となる荷重（有効性評価結果の最高圧力・最高温度）を S d と組み合わせる。

【RPVバウンダリ】

	① SAの 発生確率	② 地震の 発生確率	③ SAの 継続時間	①×②×③	組合せ 要否	考慮する 組合せ	
SA 荷重 V(S)	10 ⁻⁴ /炉年	S d : 10 ⁻² /年以下	10 ⁻² 年	10 ⁻⁸ /炉年 未満	—	SA荷重 V(L) + S d	
		S s : 5×10 ⁻⁴ /年以下	未満	5 × 10 ⁻¹⁰ / 炉 年未満	—		
SA 荷重 V(L)		S d : 10 ⁻² /年 以下	10 ⁻² 年 以上,	2×10 ⁻⁷ /炉年 未満	○		SA荷重 V(LL) + S s
		S s : 5×10 ⁻⁴ /年以下	2×10 ⁻¹ 年 未満	10 ⁻⁸ /炉年 未満	—		
SA 荷重 V(LL)		S d : 10 ⁻² /年 以下	2×10 ⁻¹ 年	2×10 ⁻⁷ /炉年 以上	—*	○	
		S s : 5×10 ⁻⁴ /年以下	以上	10 ⁻⁸ /炉年 以上			

注記* : S s による評価に包含されるため「—」としている。

添付資料

添付資料-1 地震動の年超過確率

添付資料-2 「地震の従属事象」と「地震の独立事象」について

添付資料-3 建物・構築物のS A施設としての設計の考え方

添付資料-4 工認対象施設（S A施設）における荷重組合せの取扱い

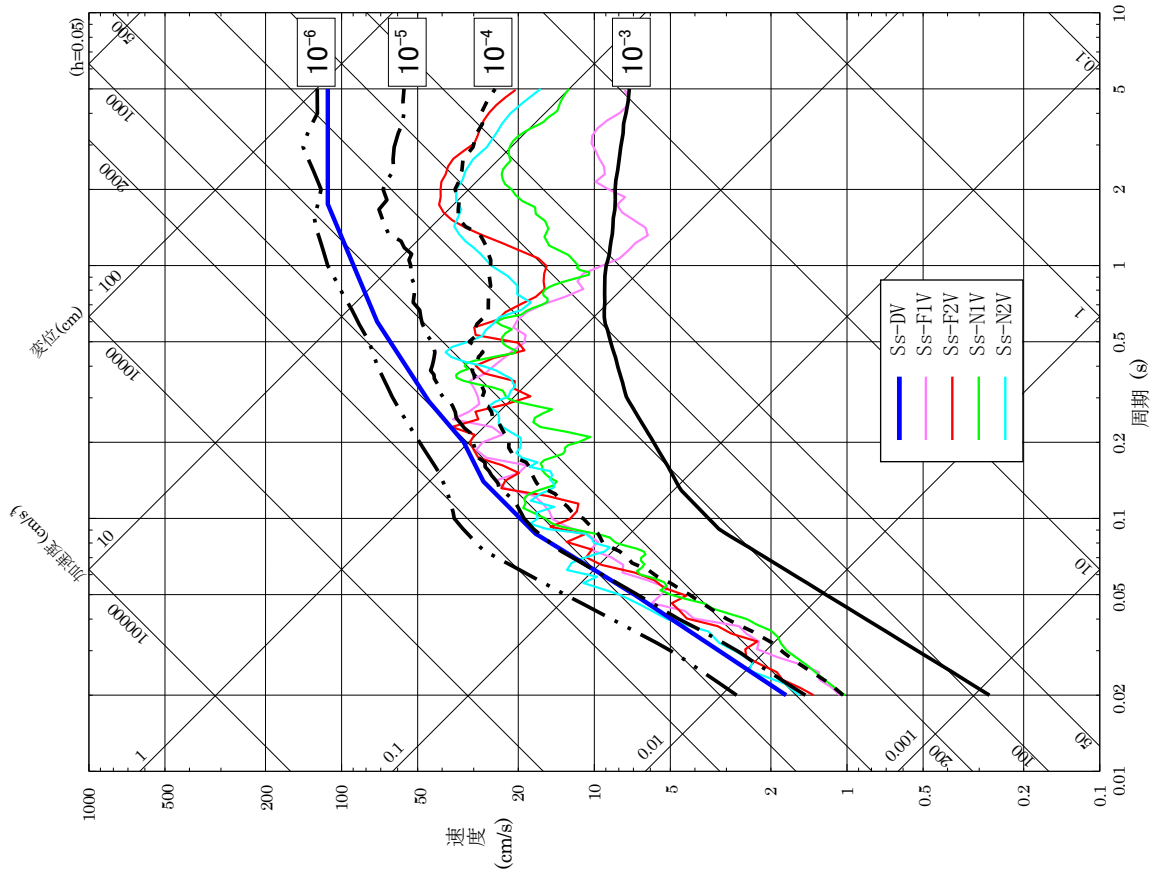
添付資料-1 地震動の年超過確率

発生確率		1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
運転状態の発生確率 (1/年)		I	II	III	IV						
基準地震動の発生確率 (1/年)				S_1	S_2						
基準地震動 S_1 との組合せ	従属事象	S_1 従属									
	独立事象	1分以内 $S_1 + II$									
	独立事象	1時間以内 $S_1 + II$ $S_1 + III$									
	独立事象	1日以内 $S_1 + II$ $S_1 + III$ $S_1 + IV$									
	独立事象	1年以内 $S_1 + II$ $S_1 + III$ $S_1 + IV$									
基準地震動 S_2 との組合せ	従属事象	S_2 従属									
	独立事象	1分以内 ($S_2 + II$ は 10^{-9} 以下となる)									
	独立事象	1時間以内 $S_2 + II$ $S_2 + III$									
	独立事象	1日以内 $S_2 + II$ $S_2 + III$									
	独立事象	1年以内 $S_2 + II$ $S_2 + III$ $S_2 + IV$									

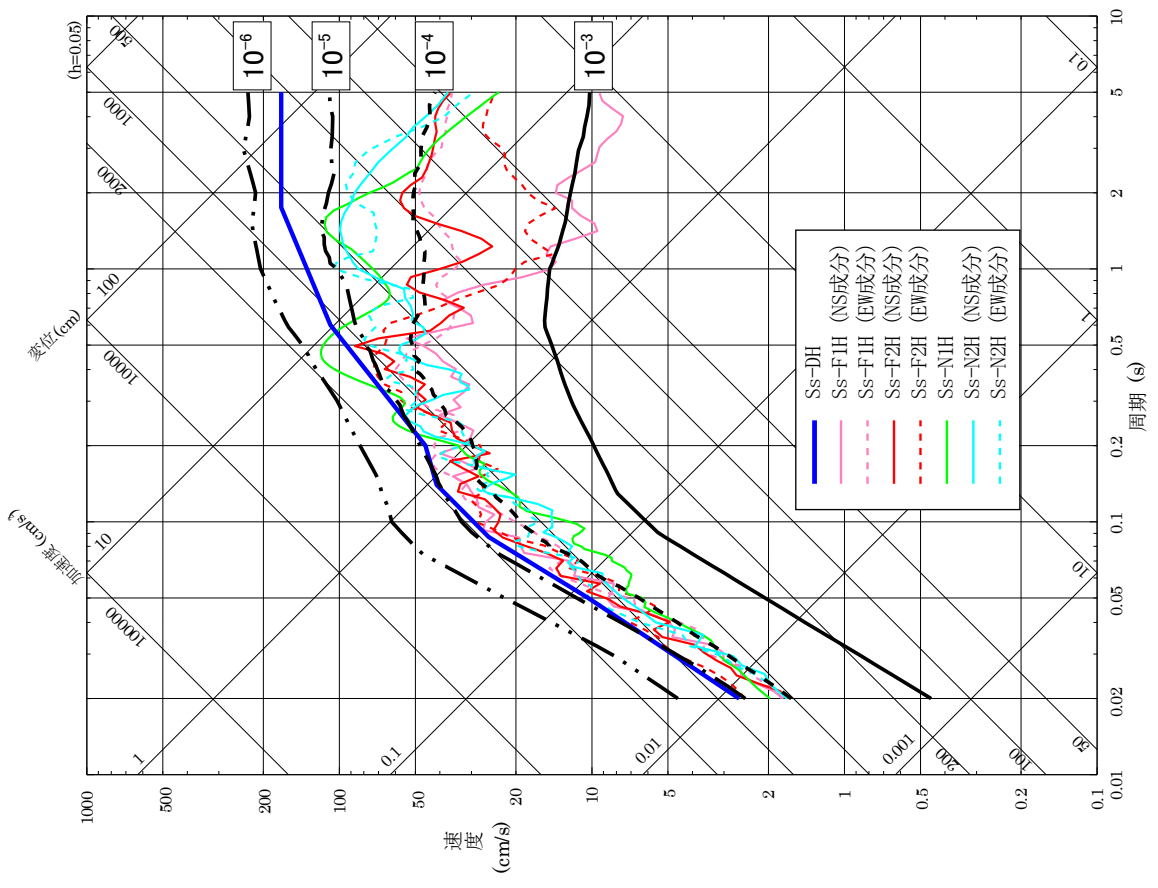
S_2 の発生確率
 $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ / 年
 S_1 の発生確率
 $10^{-2} \sim 5 \times 10^{-4}$ / 年

- 注：(1) 発生確率から見て
 ← 組合せが必要なもの。
 ←----- 発生確率が 10^{-7} 以下となり組合せが不要となるもの。
- (2) 基準地震動 S_2 の発生確率は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ / サイト・年と推定されるが、ここでは $5 \times 10^{-4} \sim 10^{-5}$ / サイト・年を用いた。
- (3) 表に示す発生確率は現在の知見によるものである。

J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 より抜粋

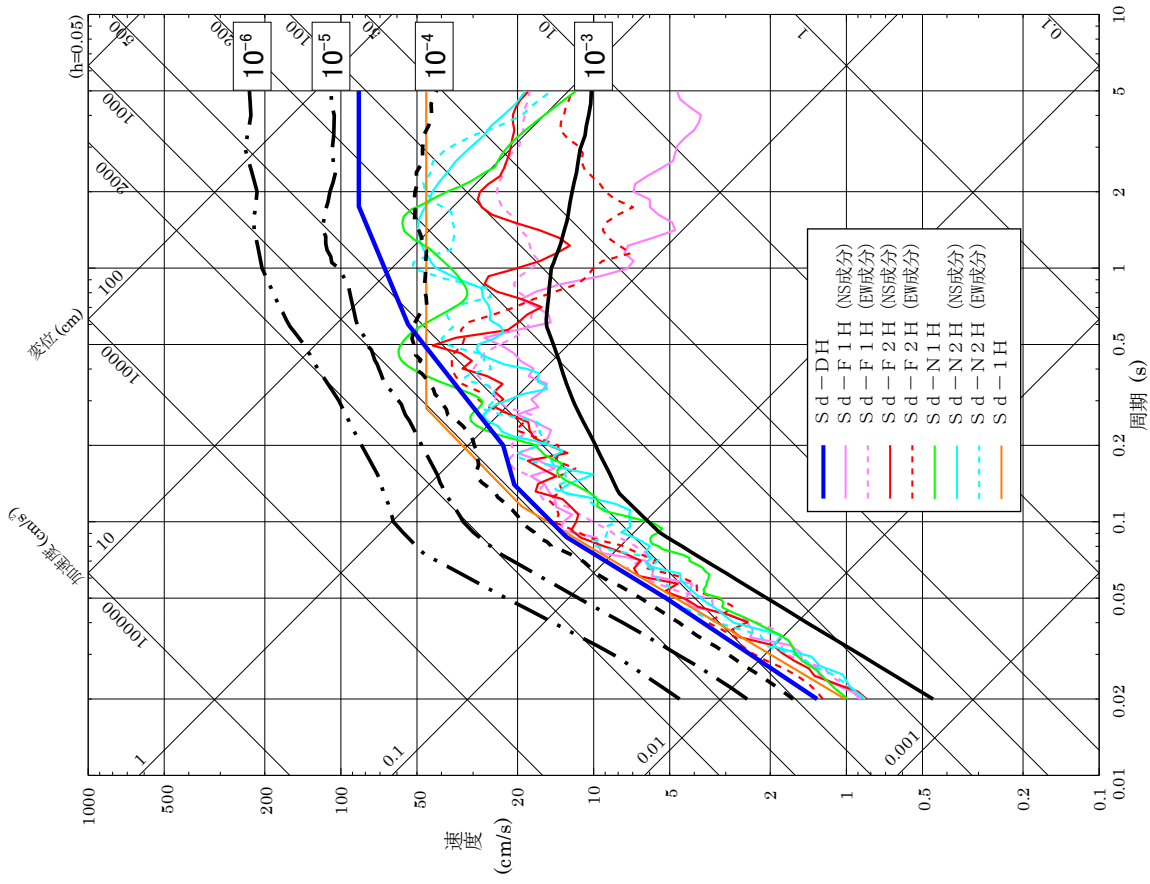
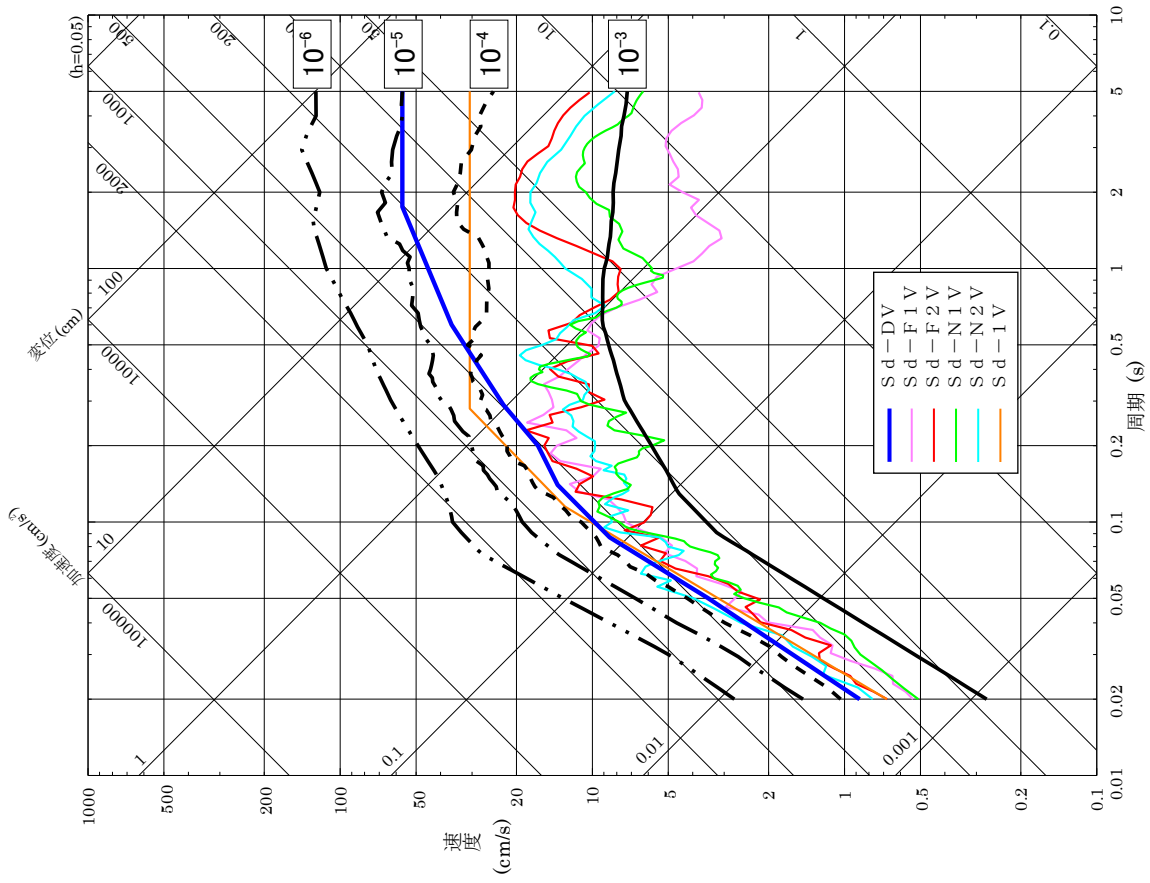


(鉛直方向)



(水平方向)

基準地震動 S s の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較



弾性設計用地震動 Sd の応答スペクトル及び解放基盤表面における地震動の一樣ハザードスペクトルの比較

添付資料-2 「地震の従属事象」と「地震の独立事象」について

運転状態Vが地震によって引き起こされるおそれがある事象であるかについては、DB施設の耐震設計の考え方に基づく。なお、確率論的な考察も考慮する。

1. 「地震の従属事象」と「地震の独立事象」についての定義

判断に当たり、SA施設の評価における「地震の従属事象」、「地震の独立事象」について定義を示す。この定義はDB施設に対して従前より適用してきた考え方に基づくものであり、J E A G 4 6 0 1の規定とも整合したものとなっている。

(1) 地震の従属事象

設置許可基準規則の解釈別記2における「地震によって引き起こされる事象(地震の従属事象)」を以下のとおり定義する。

- ・ある地震力を想定して、その地震力未満で設計された設備が、その地震力を上回る地震が発生した際に確定論的に設備が損傷すると仮定した場合に発生する事象

(2) 地震の独立事象

設置許可基準規則の解釈別記2における「地震によって引き起こされるおそれのない事象(地震の独立事象)」を以下のとおり定義する。

- ・上記(1)のような確定論的な評価では引き起こされるおそれのない事象

なお、J E A G 4 6 0 1においては、地震の従属事象は地震との組合せを実施し、地震の独立事象については、事象の発生頻度、継続時間、地震の発生確率を踏まえ、 10^{-7} 回/炉年を超える事象は地震との組合せを実施することを規定している。

2. DB施設の耐震設計の考え方等に基づく判断

Sクラス施設は S_s による地震力に対して、その安全機能が損なわれるおそれのないよう設計されている。この安全機能に係る設計は、Sクラス施設自体が、 S_s による地震力に対して、損傷しないよう設計するだけでなく、下位クラスに属するものの波及的影響等に対しても、その安全機能を損なわないよう設計することも含まれる。(表2-1)

Sクラス施設が健全であれば、炉心損傷防止に係る重大事故等対策の有効性評価において想定したすべての事故シーケンスに対し、 S_s 相当の地震により、起因事象が発生したとしても緩和設備が機能し、DB設計の範囲で事象を収束させることができることを確認した。(表2-2)

したがって、SA施設に対する耐震設計における荷重の組合せの検討としては、 S_s 相当の地震に対して、運転状態Vは地震によって引き起こされるおそれのない「地震の独立事象」として扱い、運転状態Vの運転状態と地震力とを適切に組み合わせる。

表 2-1 Sクラスの設計

地震の影響が考えられる事象		耐震性の担保
耐震重要施設自体の損傷		基準地震動による地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないよう設計する。(設置許可基準規則第4条)
下位クラスの損傷の影響による耐震重要施設の損傷		耐震重要施設が、下位クラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。(設置許可基準規則第4条)
地震随伴事象	溢水による耐震重要施設の損傷	安全施設は、発電用原子炉施設内における溢水が発生した場合においても安全機能を損なわないよう設計する。(設置許可基準規則第9条)
	津波による耐震重要施設の損傷	設計基準対象施設は、基準津波に対して安全機能が損なわれるおそれがないように設計する。(設置許可基準規則第5条)
	火災による耐震重要施設の損傷	設計基準対象施設は、火災により発電用原子炉施設の安全性が損なわれないよう設計する。(設置許可基準規則第8条)

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (1/16)

類型化グループ	事故シナリオ	事象	対象機器	DB上のS s耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
1 高圧・低圧注水機能喪失	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗	外部電源喪失*	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II
		高圧炉心冷却失敗	高圧炉心スプレイポンプ室冷却機	○		
			高圧炉心スプレイ系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系電動弁 (ゲート)	○		
			高圧炉心スプレイ系配管	○		
			サブプレッションチェンバ	○		
			高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料貯蔵タンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線メタクラ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線変圧器	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用コントロールセンタ	○		
			屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)	○		
			取水槽	○		
			タービン建物	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系電動弁 (バタフライ)	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○		
高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	○					
高圧炉心スプレイ系直流母線盤	○					
高圧炉心スプレイ系蓄電池	○					
高圧炉心スプレイ系充電器盤	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (2/16)

類型化グループ	事故シーケンス	事象	対象機器	DB上のS s耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
1 高圧・低圧注水機能喪失	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 低圧炉心冷却失敗	高圧炉心冷却失敗	原子炉隔離時冷却系逆止弁	○	×	
			原子炉隔離時冷却系電動弁 (ゲート)	○		
			原子炉隔離時冷却系電動弁 (グローブ)	○		
			原子炉隔離時冷却系配管	○		
			原子炉隔離時冷却ポンプ	○		
			原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービン	○		
			230V 直流母線盤	○		
			230V 蓄電池	○		
			230V 充電器盤	○		
			原子炉隔離時冷却系直流コントロールセンタ	○		
	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗	低圧炉心冷却失敗	残留熱除去ポンプ室冷却機	○	×	
			残留熱除去系逆止弁	○		
			残留熱除去系熱交換器	○		
			残留熱除去系ポンプ	○		
			残留熱除去系電動弁 (ゲート)	○		
			残留熱除去系配管	○		
	サブプレッションチェンバ	○				
	過渡事象 + 圧力バウンダリ健全性 (SRV再閉) 失敗	外部電源喪失*	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II
		SRV再閉失敗	逃がし安全弁	○	×	
	過渡事象 + 高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗 + 低圧炉心冷却失敗	高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレーポンプ室冷却機	○	×	
			高圧炉心スプレー系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレーポンプ	○		
			高圧炉心スプレー系電動弁 (ゲート)	○		
			高圧炉心スプレー系配管	○		
			サブプレッションチェンバ	○		
			高圧炉心スプレー系ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○		
			高圧炉心スプレー系非常用ディーゼル発電設備	○		
高圧炉心スプレー系非常用ディーゼル発電設備空気だめ			○			
高圧炉心スプレー系非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク			○			
高圧炉心スプレー系非常用ディーゼル発電設備燃料貯蔵タンク			○			
高圧炉心スプレー系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管			○			
高圧炉心スプレー系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系逆止弁			○			
高圧炉心スプレー系非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ			○			

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (3/16)

類型化グループ	事故シナリオ	事象	対象機器	DB上のSs耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
1 高圧・低圧注水機能喪失	過渡事象 + 圧力バウンダリ健全性 (SRV再閉) 失敗 + 高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗 + 低圧炉心冷却失敗	高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレィ系非常用母線メタクラ	○	×	
			高圧炉心スプレィ系非常用母線変圧器	○		
			高圧炉心スプレィ系非常用コントロールセンタ	○		
			屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	○		
			取水槽	○		
			タービン建物	○		
			高圧炉心スプレィ補機冷却系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレィ補機海水系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレィ補機冷却系熱交換器	○		
			高圧炉心スプレィ補機冷却水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレィ補機海水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレィ補機海水系電動弁 (バタフライ)	○		
			高圧炉心スプレィ補機冷却系配管	○		
			高圧炉心スプレィ補機海水系配管	○		
			高圧炉心スプレィ補機海水ストレーナ	○		
			高圧炉心スプレィ補機冷却系サージタンク	○		
			高圧炉心スプレィ系直流母線盤	○		
			高圧炉心スプレィ系蓄電池	○		
		高圧炉心スプレィ系充電器盤	○			
		低圧炉心冷却失敗	残留熱除去ポンプ室冷却機	○	×	
残留熱除去系逆止弁	○					
残留熱除去系熱交換器	○					
残留熱除去系ポンプ	○					
残留熱除去系電動弁 (ゲート)	○					
残留熱除去系配管	○					
サブプレッションチェンバ	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (4/16)

類型化グループ	事故シナリオ	事象	対象機器	DB上のSs耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
2 高圧注水・減圧機能喪失	過渡事象 +高圧炉心冷却失敗 +原子炉減圧失敗	外部電源喪失*	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態Ⅱ
		高圧炉心冷却失敗	高圧炉心冷却失敗	高圧炉心スプレイポンプ室冷却機		
			高圧炉心スプレイ系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系電動弁（ゲート）	○		
			高圧炉心スプレイ系配管	○		
			サプレッションチェンバ	○		
			高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料貯蔵タンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線メタクラ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線変圧器	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用コントロールセンタ	○		
			屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）	○		
			取水槽	○		
			タービン建物	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系電動弁（バタフライ）	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○		
高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	○					
高圧炉心スプレイ系直流母線盤	○					
高圧炉心スプレイ系蓄電池	○					
高圧炉心スプレイ系充電器盤	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (5/16)

類型化グループ	事故シナリオ	事象	対象機器	DB上のSs耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
2 高圧注水・減圧機能喪失	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 原子炉減圧失敗	高圧炉心冷却失敗	原子炉隔離時冷却系逆止弁	○	×	
			原子炉隔離時冷却系電動弁 (ゲート)	○		
			原子炉隔離時冷却系電動弁 (グローブ)	○		
			原子炉隔離時冷却系配管	○		
			原子炉隔離時冷却ポンプ	○		
			原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービン	○		
			230V 直流母線盤	○		
			230V 蓄電池	○		
			230V 充電器盤	○		
			原子炉隔離時冷却系直流コントロールセンタ	○		
		原子炉減圧失敗	逃がし安全弁	○	×	
			逃がし安全弁窒素ガス供給系空気作動弁 (グローブ)	○		
			逃がし安全弁窒素ガス供給系配管	○		
			逃がし安全弁アキュムレータ	○		

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (6/16)

類型化グループ	事故シーケンス	事象	対象機器	DB上のSs耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
3 全交流動力電源喪失	外部電源喪失 + 交流電源 (D G - A, B) 失敗 + 高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	外部電源喪失	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II
		交流電源 (D G - A, B) 失敗	燃料移送系逆止弁	○		
		非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○			
		非常用ディーゼル発電設備	○			
		非常用母線メタクラ	○			
		非常用コントロールセンタ	○			
		燃料移送系配管	○			
		非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	○			
		非常用ロードセンタ	○			
		非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○			
		非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	○			
		非常用ディーゼル発電燃料貯蔵タンク	○			
		非常用母線変圧器	○			
		屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	○			
		取水槽	○			
		タービン建物	○			
		原子炉補機冷却系逆止弁	○			
		原子炉補機海水系逆止弁	○			
		原子炉補機冷却系熱交換器	○			
		原子炉補機冷却水ポンプ	○			
		原子炉補機海水ポンプ	○			
		原子炉補機冷却系電動弁 (ゲート)	○			
		原子炉補機冷却系電動弁 (グローブ)	○			
		原子炉補機冷却系空気作動弁 (バタフライ)	○			
		原子炉補機海水系電動弁 (バタフライ)	○			
		原子炉補機冷却系配管	○			
		原子炉補機海水系配管	○			
原子炉補機海水ストレナ	○					
原子炉補機冷却系サージタンク	○					
原子炉補機冷却水ポンプ熱交換器室冷却機	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (7/16)

類型化グループ	事故 シーケンス	事象	対象機器	DB上 のS s 耐震性	地震の従属 事象としての 適用の有無	備考
3 全交流動力 電源喪失	外部電源喪失 + 交流電源 (D G-A, B) 失 敗 + 高圧炉心冷 却 (H P C S) 失敗	高圧炉心 冷却 (H P C S) 失敗	高圧炉心スプレイポンプ室冷却機	○	×	
			高圧炉心スプレイ系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系電動弁 (ゲート)	○		
			高圧炉心スプレイ系配管	○		
			サブプレッションチェンバ	○		
			高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常用 ディーゼル室送風機	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料デイトンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料貯蔵タンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送系配管	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線メタクラ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線変圧器	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用コントロールセンタ	○		
			屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	○		
			取水槽	○		
			タービン建物	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系電動弁 (バタフラ イ)	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	○		
高圧炉心スプレイ系直流母線盤	○					
高圧炉心スプレイ系蓄電池	○					
高圧炉心スプレイ系充電器盤	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (8/16)

類型化グループ	事故シーケンス	事象	対象機器	DB上のSs耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
3 全交流動力電源喪失	外部電源喪失 + 交流電源 (D G - A, B) 失敗 + 高圧炉心冷却失敗	外部電源喪失	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II
		交流電源 (D G - A, B) 失敗	燃料移送系逆止弁	○	×	
			非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○		
			非常用ディーゼル発電設備	○		
			非常用母線メタクラ	○		
			非常用コントロールセンタ	○		
			燃料移送系配管	○		
			非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	○		
			非常用ロードセンタ	○		
			非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○		
			非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	○		
			非常用ディーゼル発電燃料貯蔵タンク	○		
			非常用母線変圧器	○		
			屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	○		
			取水槽	○		
			タービン建物	○		
			原子炉補機冷却系逆止弁	○		
			原子炉補機海水系逆止弁	○		
			原子炉補機冷却系熱交換器	○		
			原子炉補機冷却水ポンプ	○		
			原子炉補機海水ポンプ	○		
			原子炉補機冷却系電動弁 (ゲート)	○		
			原子炉補機冷却系電動弁 (グローブ)	○		
			原子炉補機冷却系空気作動弁 (バタフライ)	○		
			原子炉補機海水系電動弁 (バタフライ)	○		
			原子炉補機冷却系配管	○		
			原子炉補機海水系配管	○		
			原子炉補機海水ストレナ	○		
		原子炉補機冷却系サージタンク	○			
		原子炉補機冷却水ポンプ熱交換器室冷却機	○			
		高圧炉心冷却失敗	高圧炉心スプレイポンプ室冷却機	○	×	
			高圧炉心スプレイ系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイポンプ	○		
高圧炉心スプレイ系電動弁 (ゲート)	○					
高圧炉心スプレイ系配管	○					
サブプレッションチェンバ	○					
高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○					
高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備	○					
高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (9/16)

類型化グループ	事故 シーケンス	事象	対象機器	DB上 のS s 耐震性	地震の従属 事象としての 適用の有無	備考
3 全交流動力 電源喪失	外部電源喪失 + 交流電源 (D G-A, B) 失 敗 + 高圧炉心冷 却失敗	高圧炉心 冷却失敗	高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料デイトンク	○	×	
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料貯蔵タンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送系配管	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線メタクラ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線変圧器	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用コントロールセンタ	○		
			屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	○		
			取水槽	○		
			タービン建物	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系電動弁 (バタフラ イ)	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	○		
			高圧炉心スプレイ系直流母線盤	○		
			高圧炉心スプレイ系蓄電池	○		
			高圧炉心スプレイ系充電器盤	○		
			原子炉隔離時冷却系逆止弁	○		
			原子炉隔離時冷却系電動弁 (ゲート)	○		
			原子炉隔離時冷却系電動弁 (グローブ)	○		
			原子炉隔離時冷却系配管	○		
			原子炉隔離時冷却ポンプ	○		
			原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービン	○		
			230V 直流母線盤	○		
230V 蓄電池	○					
230V 充電器盤	○					
原子炉隔離時冷却系直流コントロールセンタ	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (10/16)

類型化グループ	事故シーケンス	事象	対象機器	DB上のS s耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考	
3	全交流動力電源喪失 外部電源喪失 + 直流電源 (区分1, 2) 失敗 + 高圧炉心冷却 (HP C S) 失敗	外部電源喪失	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II	
		直流電源 (区分1, 2) 失敗	直流母線盤	○	×		
			蓄電池	○			
		高圧炉心冷却 (HP C S) 失敗	高圧炉心冷却 (HP C S) 失敗	充電器盤	○	×	
				高圧炉心スプレイポンプ室冷却機	○		
				高圧炉心スプレイ系逆止弁	○		
				高圧炉心スプレイポンプ	○		
				高圧炉心スプレイ系電動弁 (ゲート)	○		
				高圧炉心スプレイ系配管	○		
				サプレッションチェンバ	○		
				高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料貯蔵タンク	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系逆止弁	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用母線メタクラ	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用母線変圧器	○		
				高圧炉心スプレイ系非常用コントロールセンタ	○		
				屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	○		
				取水槽	○		
				タービン建物	○		
				高圧炉心スプレイ補機冷却系逆止弁	○		
				高圧炉心スプレイ補機海水系逆止弁	○		
				高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	○		
				高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○		
				高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○		
				高圧炉心スプレイ補機海水系電動弁 (バタフライ)	○		
				高圧炉心スプレイ補機冷却系配管	○		
		高圧炉心スプレイ補機海水系配管	○				
高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○						
高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	○						
高圧炉心スプレイ系直流母線盤	○						
高圧炉心スプレイ系蓄電池	○						
高圧炉心スプレイ系充電器盤	○						

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (11/16)

類型化グループ	事故シーケンス	事象	対象機器	DB上のSs耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
3 全交流動力電源喪失	外部電源喪失 + 交流電源 (DG-A, B) 失敗 + 圧力バウンダリ健全性 (SRV再閉) 失敗 + 高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	外部電源喪失	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II
		交流電源 (DG-A, B) 失敗	燃料移送系逆止弁	○	×	
			非常用ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○		
			非常用ディーゼル発電設備	○		
			非常用母線メタクラ	○		
			非常用コントロールセンタ	○		
			燃料移送系配管	○		
			非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	○		
			非常用ロードセンタ	○		
			非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○		
			非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	○		
			非常用ディーゼル発電燃料貯蔵タンク	○		
			非常用母線変圧器	○		
			屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	○		
			取水槽	○		
			タービン建物	○		
			原子炉補機冷却系逆止弁	○		
			原子炉補機海水系逆止弁	○		
			原子炉補機冷却系熱交換器	○		
			原子炉補機冷却水ポンプ	○		
			原子炉補機海水ポンプ	○		
			原子炉補機冷却系電動弁 (ゲート)	○		
			原子炉補機冷却系電動弁 (グローブ)	○		
			原子炉補機冷却系空気作動弁 (バタフライ)	○		
			原子炉補機海水系電動弁 (バタフライ)	○		
			原子炉補機冷却系配管	○		
			原子炉補機海水系配管	○		
			原子炉補機海水ストレナ	○		
			原子炉補機冷却系サージタンク	○		
			原子炉補機冷却水ポンプ熱交換器室冷却機	○		
SRV再閉失敗	逃がし安全弁	○	×			

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (12/16)

類型化グループ	事故 シーケンス	事象	対象機器	DB上 のS s 耐震性	地震の従属 事象としての 適用の有無	備考
3 全交流動力 電源喪失	外部電源喪失 +交流電源(D G-A, B)失敗 +圧力バウン ダリ健全性(S RV再開)失敗 +高圧炉心冷 却(HPCS) 失敗	高圧炉心 冷却(HP CS)失敗	高圧炉心スプレイポンプ室冷却機	○	×	
			高圧炉心スプレイ系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系電動弁(ゲート)	○		
			高圧炉心スプレイ系配管	○		
			サブプレッションチェンバ	○		
			高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常用 ディーゼル室送風機	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 空気だめ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 ディーゼル燃料デイトンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料貯蔵タンク	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送系配管	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備 燃料移送ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線メタクラ	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用母線変圧器	○		
			高圧炉心スプレイ系非常用コントロールセンタ	○		
			屋外配管ダクト(タービン建物~排気筒)	○		
			取水槽	○		
			タービン建物	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系逆止弁	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系電動弁(バタフラ イ)	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ストレナ	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	○		
高圧炉心スプレイ系直流母線盤	○					
高圧炉心スプレイ系蓄電池	○					
高圧炉心スプレイ系充電器盤	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (13/16)

類型化グループ	事故シナリオ	事象	対象機器	DB上のSs耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考		
4	崩壊熱除去機能喪失	過渡事象 + 崩壊熱除去失敗	外部電源喪失*	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II	
			崩壊熱除去失敗	残留熱除去系ポンプ室冷却機	○	×		
				残留熱除去系逆止弁	○			
				残留熱除去系熱交換器	○			
				残留熱除去系ポンプ	○			
				残留熱除去系電動弁 (ゲート)	○			
				残留熱除去系配管	○			
				残留熱除去系電動弁 (グローブ)	○			
	サブプレッションチェンバ	○						
	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 崩壊熱除去失敗	外部電源喪失*	高圧炉心冷却失敗	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II	
				高圧炉心冷却失敗	高圧炉心スプレイポンプ室冷却機	○	×	
					高圧炉心スプレイ系逆止弁	○		
					高圧炉心スプレイポンプ	○		
					高圧炉心スプレイ系電動弁 (ゲート)	○		
					高圧炉心スプレイ系配管	○		
					サブプレッションチェンバ	○		
					高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料貯蔵タンク	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系逆止弁	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用母線メタクラ	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用母線変圧器	○		
					高圧炉心スプレイ系非常用コントロールセンタ	○		
屋外配管ダクト (タービン建物～排気筒)					○			
取水槽					○			
タービン建物	○							
高圧炉心スプレイ補機冷却系逆止弁	○							
高圧炉心スプレイ補機海水系逆止弁	○							
高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	○							
高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○							
高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○							
高圧炉心スプレイ補機海水系電動弁 (バタフライ)	○							

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (14/16)

類型化グループ	事故シーケンス	事象	対象機器	DB上のSs耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
4 崩壊熱除去機能喪失	過渡事象 + 高圧炉心冷却失敗 + 崩壊熱除去失敗	高圧炉心冷却失敗	高圧炉心スプレイ補機冷却系配管	○	×	
			高圧炉心スプレイ補機海水系配管	○		
			高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○		
			高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	○		
			高圧炉心スプレイ系直流母線盤	○		
			高圧炉心スプレイ系蓄電池	○		
			高圧炉心スプレイ系充電器盤	○		
			原子炉隔離時冷却系逆止弁	○		
			原子炉隔離時冷却系電動弁 (ゲート)	○		
			原子炉隔離時冷却系電動弁 (グローブ)	○		
			原子炉隔離時冷却系配管	○		
			原子炉隔離時冷却ポンプ	○		
			原子炉隔離時冷却ポンプ駆動用蒸気タービン	○		
			230V 直流母線盤	○		
			230V 蓄電池	○		
			230V 充電器盤	○		
			原子炉隔離時冷却系直流コントロールセンタ	○		
			崩壊熱除去失敗	崩壊熱除去失敗		
	残留熱除去系逆止弁	○				
	残留熱除去系熱交換器	○				
	残留熱除去系ポンプ	○				
	残留熱除去系電動弁 (ゲート)	○				
	残留熱除去系配管	○				
	残留熱除去系電動弁 (グローブ)	○				
	サブプレッションチェンバ	○				
	過渡事象 + 圧力バウンダリ健全性 (SRV再閉) 失敗 + 崩壊熱除去失敗	外部電源喪失*	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II
			SRV再閉失敗	逃がし安全弁	○	×
		崩壊熱除去失敗	崩壊熱除去失敗	残留熱除去系ポンプ室冷却機	○	×
残留熱除去系逆止弁	○					
残留熱除去系熱交換器	○					
残留熱除去系ポンプ	○					
残留熱除去系電動弁 (ゲート)	○					
残留熱除去系配管	○					
残留熱除去系電動弁 (グローブ)	○					
サブプレッションチェンバ	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (15/16)

類型化グループ	事故シーケンス	事象	対象機器	DB上のS s耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考	
4 崩壊熱除去機能喪失	過渡事象 + 圧力バウンダリ健全性 (SRV再閉) 失敗 + 高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗 + 崩壊熱除去失敗	外部電源喪失*	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II	
		SRV再閉失敗	逃がし安全弁	○	×		
		高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイポンプ室冷却機	○	×
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系逆止弁	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイポンプ	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系電動弁 (ゲート)	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系配管	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	サブプレッションチェンバ	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系ディーゼル発電設備非常用ディーゼル室送風機	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備空気だめ	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備ディーゼル燃料デイトンク	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料貯蔵タンク	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系配管	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送系逆止弁	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用ディーゼル発電設備燃料移送ポンプ	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用母線メタクラ	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用母線変圧器	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系非常用コントロールセンタ	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	屋外配管ダクト (タービン建物~排気筒)	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	取水槽	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	タービン建物	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機冷却系逆止弁	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機海水系逆止弁	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機冷却系熱交換器	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機冷却水ポンプ	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機海水ポンプ	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機海水系電動弁 (バタフライ)	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機冷却系配管	○	
				高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機海水系配管	○	
高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機海水ストレーナ	○					
高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ補機冷却系サージタンク	○					
高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系直流母線盤	○					
高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系蓄電池	○					
高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗	高圧炉心スプレイ系充電器盤	○					

表 2-2 地震の従属事象としての適用性について (16/16)

類型化グループ	事故シーケンス	事象	対象機器	DB上のS s耐震性	地震の従属事象としての適用の有無	備考
4 崩壊熱除去機能喪失	過渡事象 + 圧力バウンダリ健全性 (SRV再閉) 失敗 + 高圧炉心冷却 (HPCS) 失敗 + 崩壊熱除去失敗	崩壊熱除去失敗	残留熱除去系ポンプ室冷却機	○	×	
			残留熱除去系逆止弁	○		
			残留熱除去系熱交換器	○		
			残留熱除去系ポンプ	○		
			残留熱除去系電動弁 (ゲート)	○		
			残留熱除去系配管	○		
			残留熱除去系電動弁 (グローブ)	○		
			サブプレッションチェンバ	○		
5 原子炉停止機能喪失	過渡事象 + 原子炉停止失敗	外部電源喪失*	セラミックインシュレータ	×	△	運転状態 II
		原子炉停止失敗	炉心支持板	○		
			燃料集合体	○		
			制御棒案内管	○		
			水圧制御ユニット	○		
			制御棒駆動機構ハウジング	○		
			制御棒駆動系配管	○		
			炉心シュラウド	○		
			シュラウドサポート	○		
			上部格子板	○		
制御棒駆動機構ハウジングレストレイントビーム	○					
6 LOCA時注水機能喪失	-	-	-	-	-	
7 格納容器バイパス (インターフェイスシステムLOCA)	-	-	-	-	-	

注記* : 過渡事象を代表する起因事象として外部電源喪失を設定。

【凡例】

DB上のS s耐震性

○ : 有 × : 無

地震の従属事象としての適用の有無

○ : 地震の従属事象であり, 地震と組合せ評価が必要なもの。

△ : 地震の従属事象であるが, 他の事象で代表され地震と組合せ評価が不要なもの。

× : 地震の従属事象でないもの。

3. 確率論的な考察

2. 項のとおり，S A施設の耐震設計の荷重の組合せにおいて，確定論の観点から運転状態Vは地震の独立事象として取り扱うこととしている。

このことについて参考のため，確率論的な観点から考察すると，S s相当（820gal）までの地震力により炉心損傷に至る事故シーケンスについて，緩和設備のランダム故障を除いた*¹炉心損傷頻度（CDF）であって，S A施設による対策の有効性の評価がDB条件を超えるもの*²の累積値は，一部のS A施設を考慮した場合のP R A評価*³を実施した結果，約 1.0×10^{-7} /炉年となった。

注記* 1：地震損傷とランダム故障の組合せによる炉心損傷シナリオについては，保守的に除かないものとした。

* 2：有効性評価において，原子炉格納容器の温度又は圧力がDBの範囲を超えるシナリオのことであり，表5.2.2-2「DB条件を超えるもの」に該当するシナリオ。

* 3：地震ハザード及びDB施設の機器フラジリティの評価条件は，島根原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請書（2号発電用原子炉施設の変更）（令和3年9月15日許可）添付書類十 追補2. I 別添1.2.1地震P R Aと同様。また，評価上考慮しているS A施設は，常設代替交流電源設備，低圧原子炉代替注水系，格納容器フィルタベント系等である。

表3-1 DB条件を超える事故シーケンスに対するCDF

事故シーケンスグループ	DB条件を超える事故シーケンス	CDF (/炉年)	合計 (/炉年)
高圧・低圧注水機能喪失	過渡事象+高圧炉心冷却失敗+低圧炉心冷却失敗	3.3E-09	1.0E-07
	過渡事象+圧力バウンダリ健全性（SRV再閉）失敗+高圧炉心冷却（HPCS）失敗+低圧炉心冷却失敗	3.1E-11	
全交流動力電源喪失	外部電源喪失+交流電源（DG-A, B）失敗+高圧炉心冷却（HPCS）失敗	3.1E-08	
	外部電源喪失+交流電源（DG-A, B）失敗+高圧炉心冷却失敗	2.3E-09	
	外部電源喪失+直流電源（区分1, 2）失敗+高圧炉心冷却（HPCS）失敗	2.8E-11	
	外部電源喪失+交流電源（DG-A, B）失敗+圧力バウンダリ健全性（SRV再閉）失敗+高圧炉心冷却（HPCS）失敗	1.5E-10	
崩壊熱除去機能喪失	過渡事象+崩壊熱除去機能失敗	6.2E-08	
	過渡事象+高圧炉心冷却失敗+崩壊熱除去失敗	8.5E-10	
	過渡事象+圧力バウンダリ健全性（SRV再閉）失敗+崩壊熱除去失敗	1.6E-10	
	過渡事象+圧力バウンダリ健全性（SRV再閉）失敗+高圧炉心冷却（HPCS）失敗+崩壊熱除去失敗	2.6E-11	
原子炉停止機能喪失	過渡事象+原子炉停止失敗	1.3E-10	
	全交流動力電源喪失（外部電源喪失+交流電源・補機冷却系喪失）+原子炉停止失敗	1.2E-11	

原子力安全委員会「発電用軽水型原子炉施設の性能目標について」に記載されている性能目標のCDF (10^{-4} /炉年) に対して1%を下回る頻度の事象は、目標に対して影響がないといえるくらい小さい値と見なすことができ、 1.0×10^{-7} /炉年はこれを大きく下回り、S s相当までの地震力によりDB条件を超える運転状態Vの発生確率は極めて低いと考えられる。したがって、SA施設に対する耐震設計における荷重の組合せの検討において、運転状態Vが地震によって引き起こされるおそれがないとして扱うことは妥当と考える。

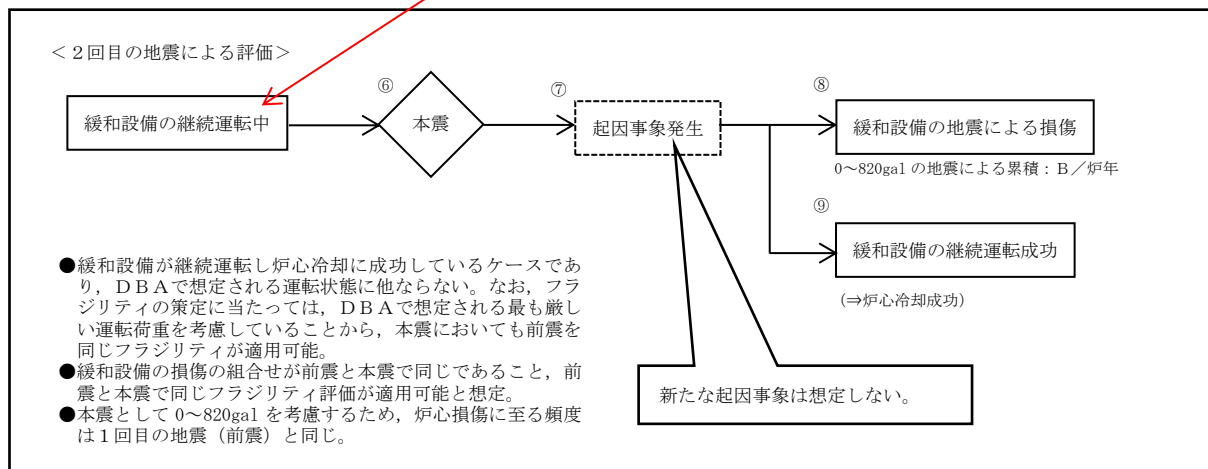
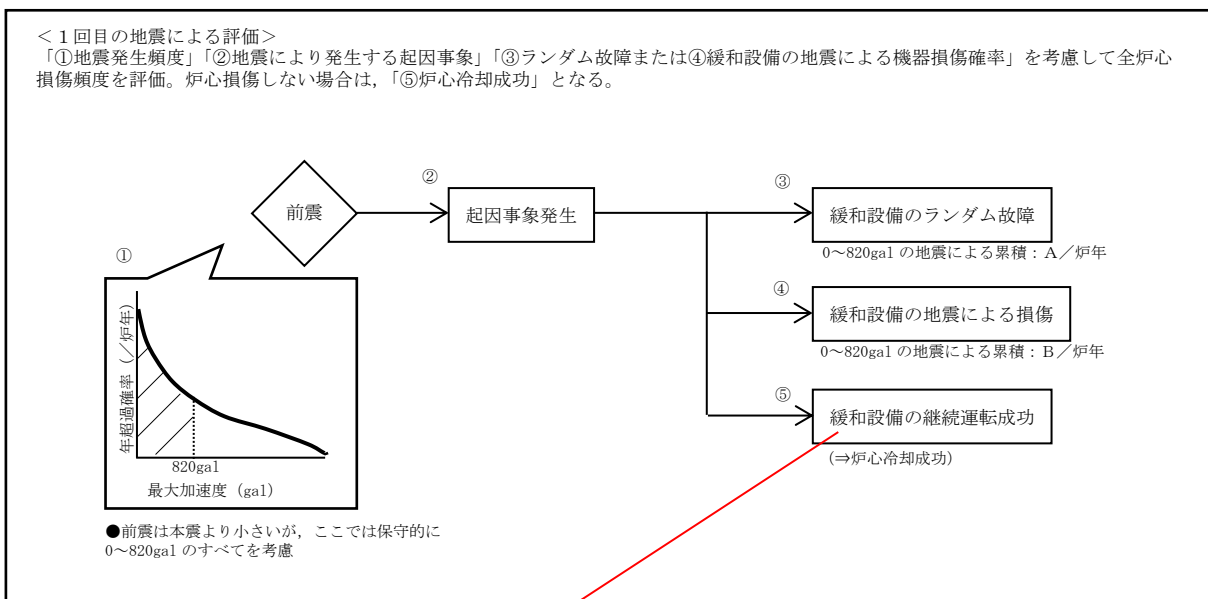
(参考) 余震, 前震を考慮した炉心損傷頻度の算出

1. 余震, 前震を考慮した炉心損傷頻度の算出方法

1.1 本震前に前震を考慮した場合の影響評価

地震PRAにおいては, 前震, 本震全体を考慮した評価方法はないことから, 1回の地震による評価を2回使用することで前震, 本震を考慮することとする。評価方法の概念図を図1.1-1に示す。

なお, 本評価は, 「3. 確率論的な考察」に示した本震のみを考慮した評価に比べ, より保守的に前震, 本震として2回の地震を考慮し, 緩和設備のランダム故障についても考慮する。この条件においても S_s 相当までの地震力によりDB条件を超える運転状態Vの発生確率は極めて低いことを定量的に示す。



以上より結果として前震, 本震による炉心損傷頻度は, 以下の式で表すことができる。

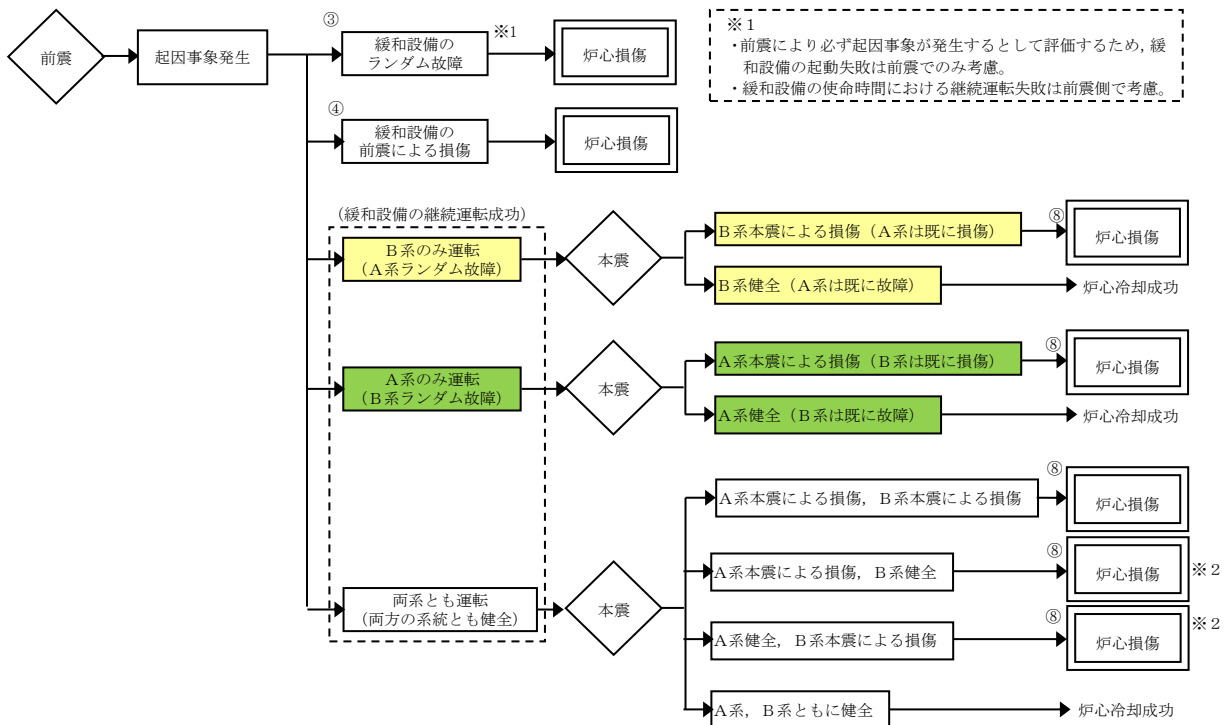
$$A/\text{炉年} + B/\text{炉年} + B/\text{炉年}$$

図1.1-1 本震前に前震を考慮した場合の評価方法

次に考慮すべきケースの網羅性についての検討結果を示す。

緩和設備は冗長性を有するが、地震PRAでは冗長設備は同時に損傷するとして評価しているため、1つの系統が機器損傷し、残りの系統が健全となるケースは考慮せず、1つの設備が損傷する確率で全台の当該設備が損傷に至るものとして保守的に評価している。

そのため、緩和設備の状態について考えられるすべての組合せを抽出し、現行の地震PRAでどのように整理されるかを考慮した。なお、以下は2つの系統で冗長化されている系統の場合について代表して記載する（3つの系統で冗長化されている場合も同様の整理となる）。



前震及び前震後の本震による緩和設備の状態の組合せを次に示す。

a. 前震による緩和設備の状態の組合せ

	A系	B系	
前震による影響	ランダム故障 (前震)	ランダム故障 (前震)	⇒③で整理
	ランダム故障 (前震)	前震による機器損傷	
	前震による機器損傷	ランダム故障 (前震)	⇒④で整理
	前震による機器損傷	前震による機器損傷	
	○ (健全)	○ (健全)	⇒④で整理※2
	ランダム故障 (前震)	○ (健全)	
緩和設備の継続運転に成功	○ (健全)	ランダム故障 (前震)	
	○ (健全)	○ (健全)	

b. 前震後の本震による緩和設備の状態の組合せ

	A系	B系	
本震による影響	ランダム故障 (前震)	○ (健全)	⇒炉心冷却成功
	ランダム故障 (前震)	前震による機器損傷	
	本震による機器損傷	ランダム故障 (前震)	⇒本震による機器損傷として整理
	○ (健全)	ランダム故障 (前震)	
	本震による機器損傷	本震による機器損傷	⇒炉心冷却成功
	本震による機器損傷	○ (健全)	
本震による機器損傷として整理※2	○ (健全)	本震による機器損傷	⇒本震による機器損傷として整理※2
	○ (健全)	本震による機器損傷	
緩和設備の継続運転に成功	○ (健全)	○ (健全)	⇒炉心冷却成功
	○ (健全)	○ (健全)	

※2
緩和設備の状態は、理論上、上記の組合せが考えられるが、地震PRAでは冗長設備は同時に損傷するとして評価するため、片方の系統が機器損傷しもう一方の系統が健全となるケースは考慮せず、1つの機器が損傷することで炉心損傷に至るものとして保守的に評価している。

本震により炉心損傷に至る組合せは、前震による組合せのうち④と整理したものと同一となった。

- 前震による緩和設備の状態の組合せは、緩和設備の状態（ランダム故障、地震による機器損傷、健全）の9通りのすべての組合せを考慮。
- 冗長設備は同時に損傷するとして評価するため、「ランダム故障と地震による機器損傷」「片方の系統のみ地震により機器損傷」のケースについては、「両方の系統とも地震により損傷」として整理。
- 緩和設備が「両方の系統ともランダム故障」のケースはランダム故障として整理。
- 前震後の本震による緩和設備の状態の組合せは、前震後に健全な系統の緩和設備が本震により損傷するか否かの組合せであり、8通りすべての組合せを想定。
- ランダム故障は前震側で考慮しているため、前震と前震後の本震による緩和設備の状態の組合せについては、「両方の系統ともランダム故障」となる組合せを除き、前震とその後の本震で同じ組合せとなった。
- そのため、地震規模を同程度とすると、地震により機器が損傷する確率は前震と本震で同程度となる。

1.2 本震後の余震を考慮した場合の影響について

地震PRAにおいては、本震、余震全体を考慮した計算方法はないことから、「本震前に前震を考慮した場合」と同様に1回の地震による評価を2回用いることで本震、余震を考慮することとし、影響の検討を行う。

また、想定する地震規模として、本震及び余震の地震加速度を0galから820galのすべての地震による影響を考慮して組み合わせる場合、「1.1 本震前に前震を考慮した場合の影響評価」においても前震及び本震の地震加速度を0galから820galのすべての地震による影響を考慮して組み合わせていることを踏まえると、前震を本震に、本震を余震に読み替えることで同じ影響を評価することとなる。

以上より、本震、余震による炉心損傷頻度は、

$$A/\text{炉年} + B/\text{炉年} + B/\text{炉年}$$

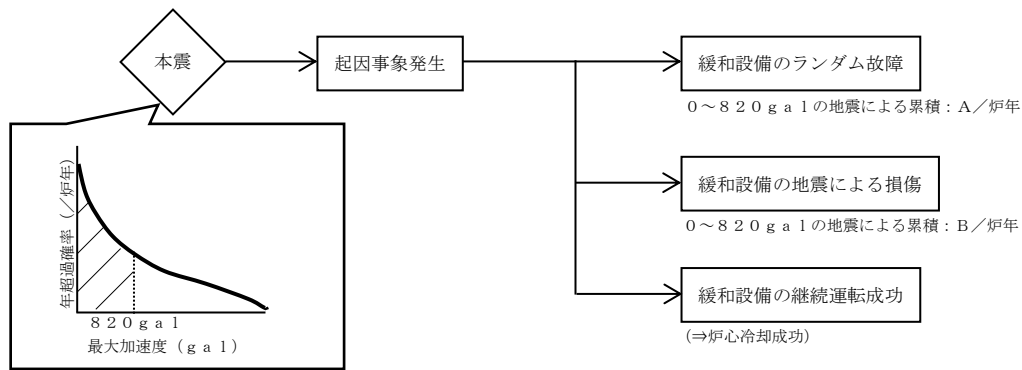
で算出される。

2. 余震、前震を考慮した炉心損傷頻度の算出結果

2.1 S s相当までの本震による全炉心損傷頻度の累積の算出結果

地震PRAにおいては、本震による影響のみを評価しているが、算出したS s相当（820gal）までの本震による全炉心損傷頻度は0galからS s相当である820galまでの地震による影響を累積した評価であり、緩和設備のランダム故障が重畳することで炉心損傷に至るケースが含まれている。

S s相当までの本震による全炉心損傷頻度の累積は約 3.3×10^{-7} /炉年であり、そのうち緩和設備のランダム故障によるものが約 5.5×10^{-9} /炉年、緩和設備の地震による損傷によるものが約 3.3×10^{-7} /炉年である。なお、この結果はすべての事故シーケンスを考慮している。



最大加速度0～820 galのすべての地震による影響を考慮

2.2 余震，前震を考慮した炉心損傷頻度の算出結果

2.1項の算出結果を用い，1.1項及び1.2項の算出式で評価を行った。

$$A/\text{炉年} + B/\text{炉年} + B/\text{炉年}$$

$$= \text{約 } 5.5 \times 10^{-9} / \text{炉年} + \text{約 } 3.3 \times 10^{-7} / \text{炉年} + \text{約 } 3.3 \times 10^{-7} / \text{炉年}$$

$$= \text{約 } 6.6 \times 10^{-7} / \text{炉年}$$

以上の算出結果から，余震，前震を考慮した炉心損傷頻度は約 $6.6 \times 10^{-7} / \text{炉年}$ と非常に低い値となる。この結果は，「3. 確率論的な考察」に示した本震のみを考慮した炉心損傷頻度 ($1 \times 10^{-7} / \text{炉年}$) に比べると大きくなっているものの，性能目標のCDF ($10^{-4} / \text{炉年}$) に比べると非常に小さい値となっている。したがって，余震，前震を考慮した場合においても，Ss相当までの地震力によりDB条件を超える運転状態Vの発生確率は極めて低い。

添付資料-3 建物・構築物のSA施設としての設計の考え方

本文 4. 項(2)では建物・構築物（原子炉格納容器バウンダリを構成する施設（PCVバウンダリ）を除く）を全般施設に分類しており、全般施設はSA条件を考慮した設計荷重とS_sによる地震力を組み合わせることとしている。これは、建物・構築物のDB施設としての設計の考え方が、機器・配管系のそれと同じであり、SA施設としての設計については、建物・構築物、機器・配管系ともにDB施設としての設計の考え方を踏まえることを基本方針としているからである。

以下では、建物・構築物のSA施設としての設計の考え方について、DB施設としての設計の考え方も踏まえ、本文の各項ごとに説明する。

(1) 対象施設とその施設分類(本文 3. 項(1)に対する考え方)

SA施設の建物・構築物を表 1 に示す。これら 15 施設は、S_sによる地震力に対して機能維持が求められている「常設耐震重要重大事故防止設備」、「常設重大事故緩和設備」のいずれかに該当するため、荷重の組合せ検討の対象施設である。

表 1 SA施設（建物・構築物）の施設分類

SA施設 (建物・構築物)	常設耐震重要 重大事故防止設備	常設耐震重要 重大事故防止設備 以外の常設重大 事故防止設備	常設重大事故 緩和設備
燃料プール	○	—	○
低圧原子炉代替注水槽	○	—	○
第1ベントフィルタ格納 槽遮蔽	○	—	○
配管遮蔽	○	—	○
中央制御室遮蔽（1，2 号機共用）	○	—	○
緊急時対策所遮蔽	—	—	○
取水槽	—	○	○
取水管	—	○	○
取水口	—	○	○
原子炉建物原子炉棟（二 次格納施設）	—	—	○
排気筒（非常用ガス処理 系用）	—	—	○
緊急時対策所用燃料地下 タンク	○	—	○
原子炉二次遮蔽	—	○	○
補助遮蔽（原子炉建物）	—	○	○
補助遮蔽（制御室建物）	—	○	○

(2) DB施設としての設計の考え方

(a) 新規制基準における要求事項

「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」の第4条(地震による損傷の防止)には、建物・構築物、機器・配管系の区分なく、次の事項が規定されている。

- ・設計基準対象施設は、地震力に十分に耐えることができるものでなければならない。
- ・耐震重要施設は、その供用中に当該耐震重要施設に大きな影響を及ぼすおそれのある地震による加速度によって作用する地震力(以下「基準地震動による地震力」という。)に対して安全機能が損なわれるおそれがないものでなければならない。

(b) JEAG4601の規定内容(本文2.2項に対する考え方)

上記の規制要求を踏まえ、JEAG4601-1987において、建物・構築物に関する荷重の組合せと許容限界については、以下のように規定されている。

【荷重の組合せ】

- ・地震力と常時作用している荷重及び運転時(通常運転時、運転時の異常な過渡変化時)に施設に作用する荷重とを組み合わせる。
- ・常時作用している荷重、及び事故時の状態で施設に作用する荷重のうち長時間その作用が続く荷重と基準地震動 S_1 による荷重とを組み合わせる。

【許容限界】

- ・基準地震動 S_1 による地震力との組合せに対する許容限界
安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。ただし、事故時の荷重と組み合わせる場合には、次項による許容限界を適用する。
- ・基準地震動 S_2 による地震力との組合せに対する許容限界
建物・構築物が構造物全体として十分変形能力(ねばり)の余裕を有し、終局耐力に対して安全余裕を持たせることとする。

ここで、JEAG4601-1987における建物・構築物の荷重の組合せは、本文2.2項に示す機器・配管系の荷重の組合せと同じ考え方に基づいて設定された結果として規定されているものである。

なお、JEAG4601-1987において、機器・配管系では運転状態が定義されているが、建物・構築物については、細かな運転状態を設定する必要がないため、運転状態は定義されていない。

(3) SA施設の荷重の組合せと許容限界の設定方針 (本文 3. (3), (4) 項に対する考え方)

SA施設の建物・構築物における荷重の組合せと許容限界の設定方針は、機器・配管系と同様、J E A G 4 6 0 1 - 1987 のDB施設に対する規定内容を踏まえ、以下のとおりとする(建物・構築物では、運転状態及びそれに対応した許容応力状態が定義されていないことから、機器・配管系とは下線部が異なる)。

【SA施設(建物・構築物)における設定方針】

- ・ S_s 、 S_d と運転状態の組合せを考慮する。
- ・ 地震の従属事象については、地震との組合せを実施する。ここで、Sクラス施設は S_s による地震力に対して、その安全機能が保持できるよう設計されていることから、地震の従属事象としてのSAは発生しないこととなる。したがってSAは地震の独立事象として取り扱う。
- ・ 地震の独立事象については、事象の発生確率、継続時間及び S_s 若しくは S_d の年超過確率の積等も考慮し、工学的、総合的に組み合わせるかを判断する。組み合わせるか否かの判断は、国内外の基準等でスクリーニング基準として参照されている値、炉心損傷頻度及び格納容器機能喪失頻度の性能目標値に保守性を持たせた値を目安とし、事象の発生確率、継続時間及び S_s 若しくは S_d の年超過確率の積との比較等により判断する。
- ・ また、上記により組合せ不要と判断された場合においても、事故後長期間継続する荷重と S_d による地震力とを組み合わせる。
- ・ 許容限界として、DB施設の S_s に対する許容限界に加えて、SA荷重と地震力との組合せに対する許容限界(機器・配管系の許容応力状態 $V_A S$ に相当するもの)を設定する。ここで、島根2号機では、SA荷重と地震力との組合せに対する許容限界は、DB施設の S_s に対する許容限界(建物・構築物が構造物全体として十分変形能力(ねばり)の余裕を有し、終局耐力に対して安全余裕を持たせることとする)と同じとする。

(4) 荷重の組合せと許容限界の検討結果 (本文 5. 2. 1 項に対する考え方)

本文 5. 2. 1 項の全般施設の検討は、建物・構築物に対しても同様に適用される。すなわち、各項目に対する考え方は以下のとおりとなる。

SAの発生確率・・・炉心損傷頻度の性能目標値(10^{-4} /炉年)を設定

継続時間・・・事故発生時を基点として、 10^{-2} 年までの期間を地震荷重との組合せが不要な短期(運転状態V(S))、 S_d との組合せが必要な $10^{-2} \sim 2 \times 10^{-1}$ 年を長期(L)(運転状態V(L))、 S_s との組合せが必要な 2×10^{-1} 年以降を長期(LL)(運転状態V(LL))とする。

(建物・構築物について、SA時の荷重条件を踏まえ荷重状態の分類を設備ごとに検討した結果を補足資料-1に示す。)

地震動の年超過確率・・・J E A G 4 6 0 1 の地震動の発生確率($S_s : 5 \times 10^{-4}$ /年以下、 $S_d : 10^{-2}$ /年以下)を設定

以上から、機器・配管系と同様、SAの発生確率、継続時間、地震動の年超過確率の積等を考慮した工学的、総合的な判断として、建物・構築物についても、SA荷重と S_s による地震力を組み合わせることとする。

(5) SAと地震の組合せに対する許容限界の考え方（本文 6.1 項に対する考え方）

(3)の荷重の組合せ方針から、SA施設(建物・構築物)の各組合せ条件に対する許容応力状態をDB施設(建物・構築物)と比較して表2に示す。なお、表2に示す荷重の組合せケースのうち、他の組合せケースと同一となる場合、又は他の組合せケースに包絡される場合は評価を省略することになる。

表2 荷重の組合せと許容限界

運転状態	DB施設		SA施設		備考
	S d	S s	S d	S s	
運転時	許容 応力度*1	終局*2	—	終局*2	DBと同じ許容限界とする。
DBA時 (長期)	終局*2	—	終局*2	—	DBと同じ許容限界とする。
SA時	—	—	—	終局*2	SA荷重と地震力との組合せに対する許容限界として、終局*2とする。

注記*1：許容応力度：安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度

*2：終局：構造物全体として十分変形能力(ねばり)の余裕を有し、終局耐力に対して安全余裕を持たせていること

補足資料-2に、地震力と組み合わせる荷重を施設ごとに示す。

いずれの施設も、DBA時（長期）の荷重は、結果的に運転時と同じとなり、表2における「DBA時（長期）+ S d」は地震力が大きい「運転時+ S s」に包絡されることになる。

以上より、建物・構築物は、PCV、RPV以外の機器・配管系と同様に扱うことが可能であり、全般施設に分類することができる。

S A施設（建物・構築物）のS A時の条件を踏まえた分類

S A施設 （建物・構築物）	荷重状態 の分類*	分類の根拠
燃料プール	a (b)	DB設計では、常時作用している荷重（固定荷重、積載荷重、水圧）に加えて、運転時には通常時荷重（温度荷重）を、DBA時には異常時荷重（温度荷重）を考慮している。SA時には、DB条件とは異なる異常時荷重（温度荷重）が作用する。
低圧原子炉代替注水槽	c	低圧原子炉代替注水槽については、DB施設ではない。
第1ベントフィルタ格納槽遮蔽	c	第1ベントフィルタ格納槽遮蔽については、DB施設ではない。
配管遮蔽	c	配管遮蔽については、DB施設ではない。
原子炉建物原子炉棟（二次格納施設） 中央制御室遮蔽（1，2号機共用） 原子炉二次遮蔽 補助遮蔽（原子炉建物） 補助遮蔽（制御室建物）	b	DB設計では、常時作用している荷重（固定荷重、積載荷重）を考慮している。SA時においても、荷重条件は変わらないため、DB条件を上回る荷重はない。
緊急時対策所遮蔽	c	緊急時対策所遮蔽については、DB施設ではない。
取水槽 取水管 取水口	b	DB設計では、地盤内に埋設されている構造物として、常時作用している荷重（固定荷重、積載荷重、土圧、水圧）を考慮している。SA時においても、地盤内でDB条件を上回るような事象は発生しないため、DB条件を上回る荷重はない。
排気筒（非常用ガス処理系用）	b	DB設計では、常時作用している荷重（固定荷重）を考慮している。SA時においても、荷重条件は変わらないため、DB条件を上回る荷重はない。
緊急時対策所用燃料地下タンク	c	緊急時対策所用燃料地下タンクについては、DB施設ではない。

注記*：荷重状態の分類

a：SA条件がDB条件を超える既設施設

(a) 新設のSA施設の運転によって、DB条件を超える既設施設

(b) SAによる荷重・温度の影響によってDB条件を超える既設施設

b：SA条件がDB条件に包絡される既設施設

c：DB施設を兼ねないSA施設

建物・構築物において地震力と組み合わせる荷重は表3のとおりとなる。

表3 SA施設(建物・構築物)において地震力と組み合わせる荷重

		運転時	DBA時 (長期)	SA時
組み合わせる地震力		S s	S d	S s
許容限界		終局	終局	終局
SA施設 (建物・構築物)	燃料プール	固定荷重 積載荷重 水圧 通常時温度荷重	固定荷重 積載荷重 水圧 DB長期温度荷重	固定荷重 積載荷重 水圧 SA時温度荷重
	低圧原子炉代替注水槽	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧
	第1ベントフィルタ格納槽遮蔽	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧
	配管遮蔽	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧
	原子炉建物原子炉棟(二次格納施設) 中央制御室遮蔽(1, 2号機共用) 原子炉二次遮蔽 補助遮蔽(原子炉建物) 補助遮蔽(制御室建物)	固定荷重 積載荷重	固定荷重 積載荷重	固定荷重 積載荷重
	緊急時対策所遮蔽	固定荷重 積載荷重	固定荷重 積載荷重	固定荷重 積載荷重
	取水槽 取水管 取水口	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧	固定荷重 積載荷重 土圧・水圧
	排気筒(非常用ガス処理系用)	固定荷重	固定荷重	固定荷重
	緊急時対策所用燃料地下タンク	固定荷重 積載荷重 土圧	固定荷重 積載荷重 土圧	固定荷重 積載荷重 土圧

J E A G 4 6 0 1 - 1 9 8 7 では、鉄筋コンクリート構造物における熱応力の扱いとして、終局状態では「熱応力は考慮しない」と記載されており、原子炉格納容器底部でない基礎マットや燃料プールの解析例においても、地震時荷重と温度荷重は組み合わせられていない。これを踏まえ、表3から温度荷重を消去するとすべての荷重組合せケースにおいて、地震力と組み合わせる荷重は常時作用している荷重(固定荷重、積載荷重、土圧、水圧)のみとなるため、DBA時(S dとの組合せ)は運転時(S sとの組合せ)に包絡され、SA時は運転時と同一となる。

添付資料-4 工認対象施設（SA施設）における荷重組合せの取扱い

今回の工認申請書においては、以下の検討により整理した荷重の組合せ方針に基づき、個々の施設の耐震計算を行っている。荷重の組合せの検討における施設分類と、今回工認のVI-2-1-9「機能維持の方針」における工認申請対象設備の区分との対応を示す。

1)	全般施設に対応するもの
	重大事故等クラス2容器（クラス2，3容器）
	重大事故等クラス2管（クラス2，3管）
	重大事故等クラス2管（クラス4管）
	重大事故等クラス2ポンプ（クラス2，3，その他のポンプ）
	重大事故等クラス2弁（クラス2弁（弁箱））
	炉内構造物
	重大事故等クラス2支持構造物（クラス2，3，その他支持構造物）
	その他の支持構造物
	重大事故等クラス2耐圧部テンションボルト（クラス2，3耐圧部テンションボルト）
2)	原子炉格納容器バウンダリを構成する設備に対応するもの
	重大事故等クラス2容器（クラスMC容器）
	重大事故等クラス2管（クラス2，3管）
	重大事故等クラス2支持構造物（クラスMC支持構造物）
3)	原子炉冷却材圧力バウンダリを構成する設備に対応するもの
	重大事故等クラス2容器（クラス1容器）
	重大事故等クラス2管（クラス1管）
	重大事故等クラス2ポンプ（クラス1ポンプ）
	重大事故等クラス2弁（クラス1弁（弁箱））
	炉心支持構造物
	重大事故等クラス2支持構造物（クラス1支持構造物）
	重大事故等クラス2耐圧部テンションボルト（容器以外）（クラス1耐圧部テンションボルト（容器以外））

重大事故等対処施設の耐震設計における重大事故と地震との組合せの施設分類のうち
炉心支持構造物と炉内構造物の施設分類について

1. 重大事故と地震の荷重組合せにおける施設分類の考え方について

SAと地震の荷重組合せではRPVバウンダリ，PCVバウンダリ及び全般施設の3つの施設分類に分けている。

- ・RPVバウンダリ及びPCVバウンダリは、「重大事故等対策の有効性評価」によりSA時の圧力・温度の推移が得られているため，SAと地震の荷重の組合せの検討を行っている。
- ・PCVバウンダリ及びRPVバウンダリ以外のSA施設は，全般施設として分類し，SAによる荷重の時間履歴を詳細に評価せず事象発生後の最大荷重とS_sとを組み合わせている。

2. 炉心支持構造物と炉内構造物の施設分類について

J E A G 4 6 0 1 ・ 補 - 1984 での地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態を下図に示す。許容応力状態IV_ASにおいて，

- ・炉心支持構造物は，原子炉圧力容器と同じ組合せ（「D + P_L + M_L + S₁」及び「D + P + M + S₂」）となっている。
- ・炉内構造物は，他の耐震A_sクラス機器*1と同じ組合せ（「D + P_D + M_D + S₂」）となっている。

付 録 2

地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態

本参考資料での検討とJ E A G 4601・補-1984「原子力発電所耐震設計技術指針-許容応力編」での検討を踏まえた結果，地震荷重と他の荷重との組合せ及び対応する許容応力状態は次のとおりである。

耐震クラス	種 別 (1) 荷重の組合せ	第1種	第2種	第3種	第4種	第5種	炉心支持構造物	そ の 他		
		機支持構造物	容支持構造物	機支持構造物	容管	管		ポンプ・弁	炉内構造物	支持構造物
A _s	D + P + M + S ₁	III _A S	III _A S	-	-	-	III _A S	-	-	-
	D + P _D + M _D + S ₁	-	-	III _A S	III _A S	-	-	III _A S	III _A S	III _A S
	D + P _L + M _L + S ₁	IV _A S ⁽²⁾	III _A S ⁽³⁾	-	-	-	IV _A S	-	-	-
	D + P + M + S ₂	IV _A S	IV _A S	-	-	-	IV _A S	-	-	-
	D + P _D + M _D + S ₂	-	-	IV _A S	IV _A S	*2	-	IV _A S	IV _A S	IV _A S
A	D + P _D + M _D + S ₁	-	-	III _A S	III _A S	III _A S	-	III _A S	III _A S	III _A S
B	D + P _d + M _d + S _B	-	-	B _A S	B _A S	B _A S	-	B _A S	-	B _A S
C	D + P _d + M _d + S _C	-	-	-	C _A S	C _A S	-	C _A S	-	C _A S

- : R P Vバウンダリに分類
- : P C Vバウンダリに分類
- : 全般施設に分類

注記*1：第3種機器・支持構造物，第4種容器・管，その他ポンプ・弁，その他支持構造物

*2：今回工認のSクラスの第5種管はIV_ASの組合せを行う。

今回工認の重大事故と地震の組合せの施設分類は、このJ E A G 4 6 0 1の地震荷重と他の荷重との組合せを踏まえ、以下としている。

- 炉心支持構造物は、R P Vバウンダリ（J E A G 4 6 0 1では第1種機器）と同様の組合せが考慮されていることから、R P Vバウンダリに分類している。
- 炉内構造物は、他の耐震A sクラス機器と同様の組合せが考慮されていることから、全般施設に分類している。

補足-023-07 隣接建物の影響に関する補足説明資料

目 次

1. 概要	1
1.1 隣接建物の概要	1
1.2 検討概要	2
2. 既往の知見に基づく検討	3
2.1 既往の文献に基づく検討	3
2.1.1 試験概要	3
2.1.2 地盤物性	7
2.1.3 地震観測記録	9
2.1.4 建屋応答の比較	10
2.1.5 検討結果	11
2.2 3次元FEMモデルを用いた検討	12
2.2.1 検討概要	12
2.2.2 地盤のモデル化	14
2.2.3 隣接建屋のモデル化	15
2.2.4 検討用地震動及び解析条件	16
2.2.5 検討結果	17
2.3 既往の知見に基づく検討のまとめ	21
3. 島根原子力発電所第2号機における隣接建物の影響検討	22
3.1 検討概要	22
3.2 解析ケース	23
3.3 建物のモデル化	27
3.4 地盤のモデル化	43
3.5 検討用地震動	45
3.6 解析結果	47
3.7 床応答スペクトル	79
4. まとめ	104
4.1 既往の知見に基づく検討結果	104
4.2 島根原子力発電所第2号機における隣接建物の影響検討結果	105
5. 参考文献	105

別紙1 建物構造特性の整理

別紙2 剛体要素の考慮の有無による影響検討

別紙3 先行審査プラントにおける隣接建物の影響評価概要の整理

1. 概要

1.1 隣接建物の概要

島根原子力発電所第2号機は、耐震安全上重要な建物・構築物（原子炉建物、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物）及び屋外重要土木構築物が隣接して配置される構成となっている。

島根原子力発電所第2号機の配置図を図1-1に示す。各建物は隣接しているため、「補足-023-13 地震応答に影響を及ぼす不確かさ要因の整理」に基づき、隣接建物が耐震性評価に及ぼす影響について、以下の検討・考察により確認する。また、その応答による機器・配管系への影響を確認する。

- ・既往の知見による検討結果の確認
- ・隣接建物を考慮した応答検討

なお、各建物の平面規模、重量等の構造特性については、「別紙1 建物構造特性の整理」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築物については、すべて地中に埋設された鉄筋コンクリート構築物である。各建物・構築物及び屋外重要土木構築物は、硬質な岩盤に直接支持されている。

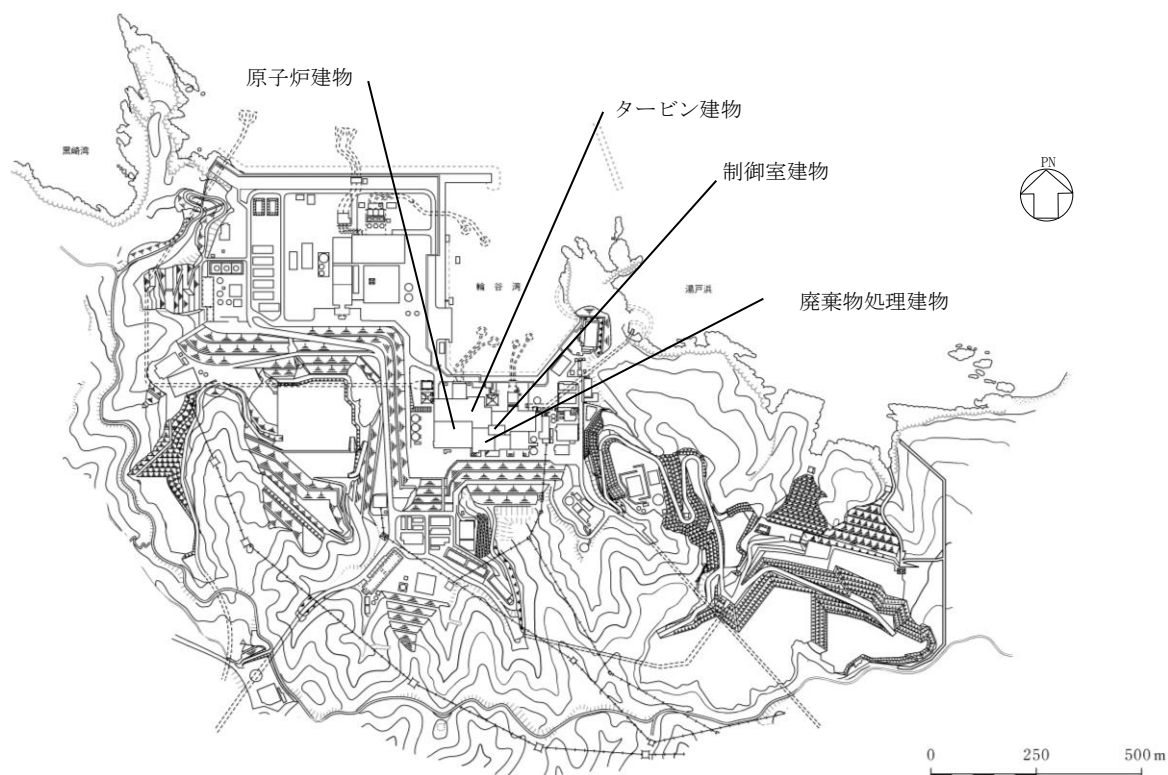


図1-1 島根原子力発電所第2号機の配置図

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物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、隣接建物をモデル化に反映していない。

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物の影響を考察したうえで、今回工認モデルを用いた地震応答解析結果に含まれる隣接建物の影響を確認する。

なお、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。

本資料は、以下の添付資料の補足説明をするものである。

- ・ VI-2-2-3 「原子炉建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-6 「制御室建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-8 「タービン建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-2-10 「廃棄物処理建物の耐震性についての計算書」

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、隣接建物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(参考文献(1)参照)」(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(参考文献(2)参照)。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を埋め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、試験体の配置図を図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。

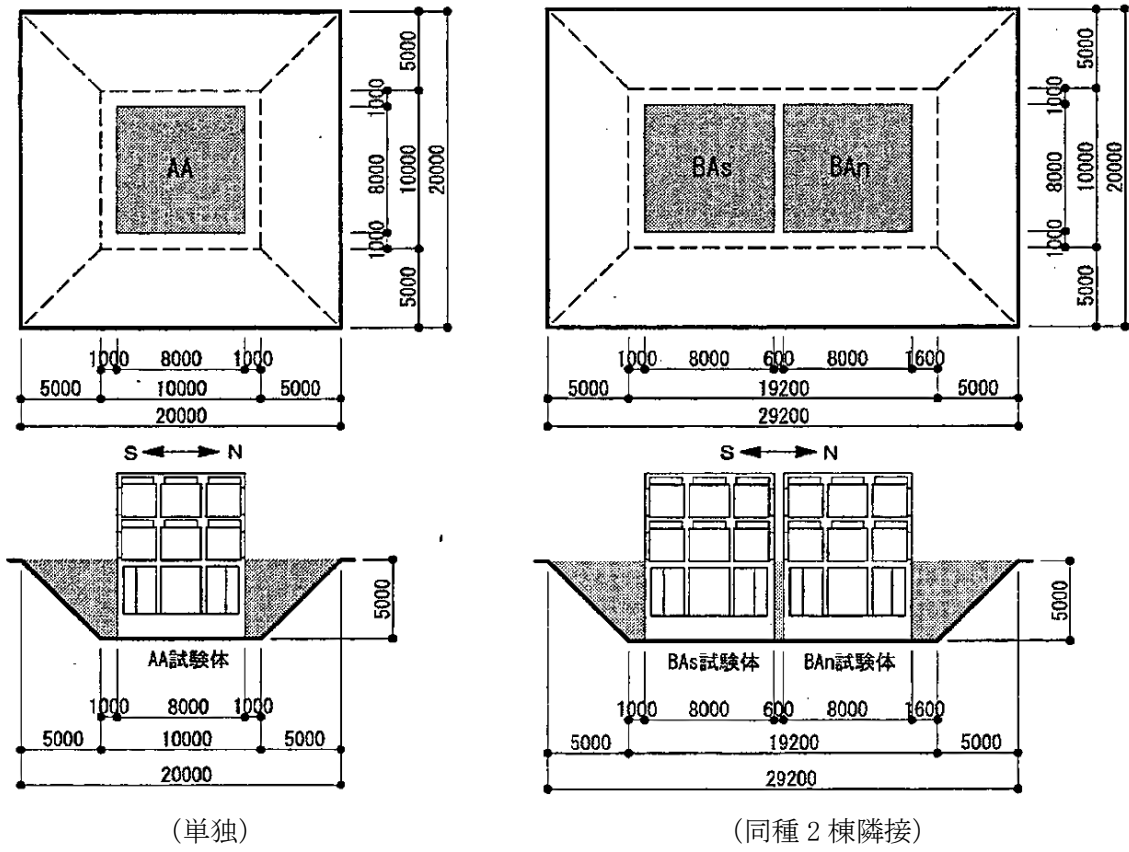


図 2-1 試験体の概要

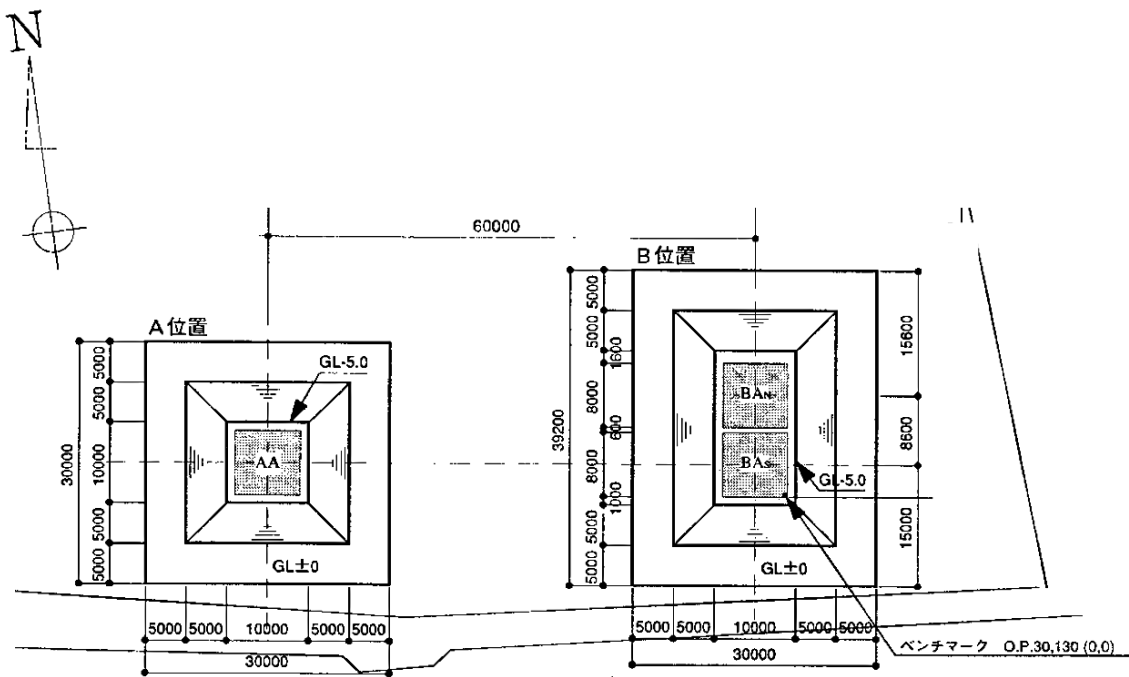


図 2-2 試験体の配置図

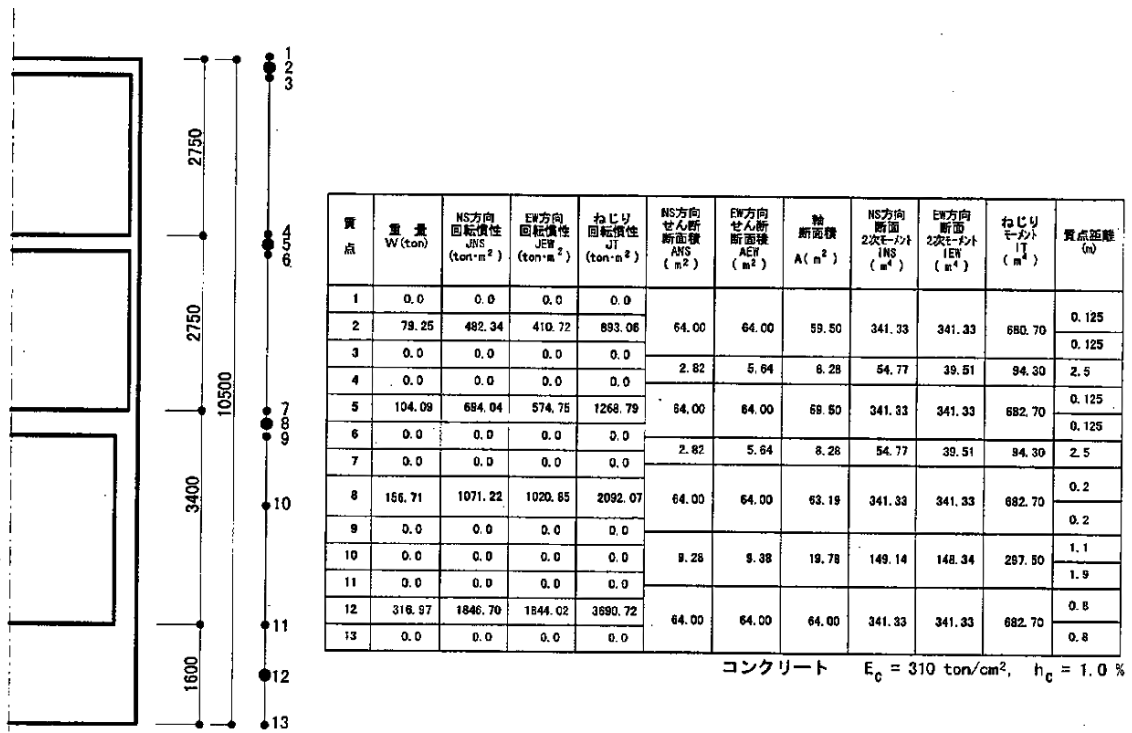
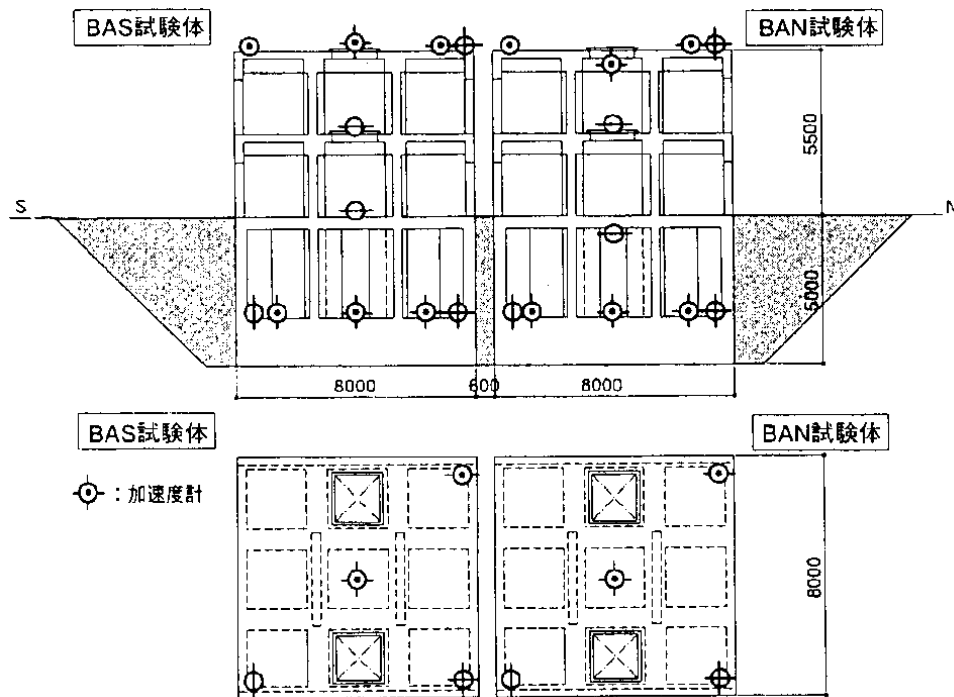


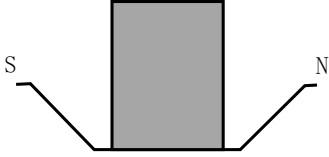
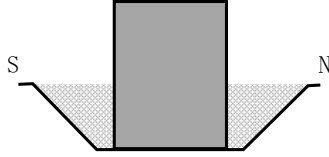


図 2-3 試験体建屋諸元



注：AA 試験体内の加速度計も、上記試験体の配置に準じる。

図 2-4 試験体内の加速度計配置図 (BAS, BAN 試験体)

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層は埋戻土のため、埋込み有りの試験にのみ適用される。

表 2-2 地盤物性値

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

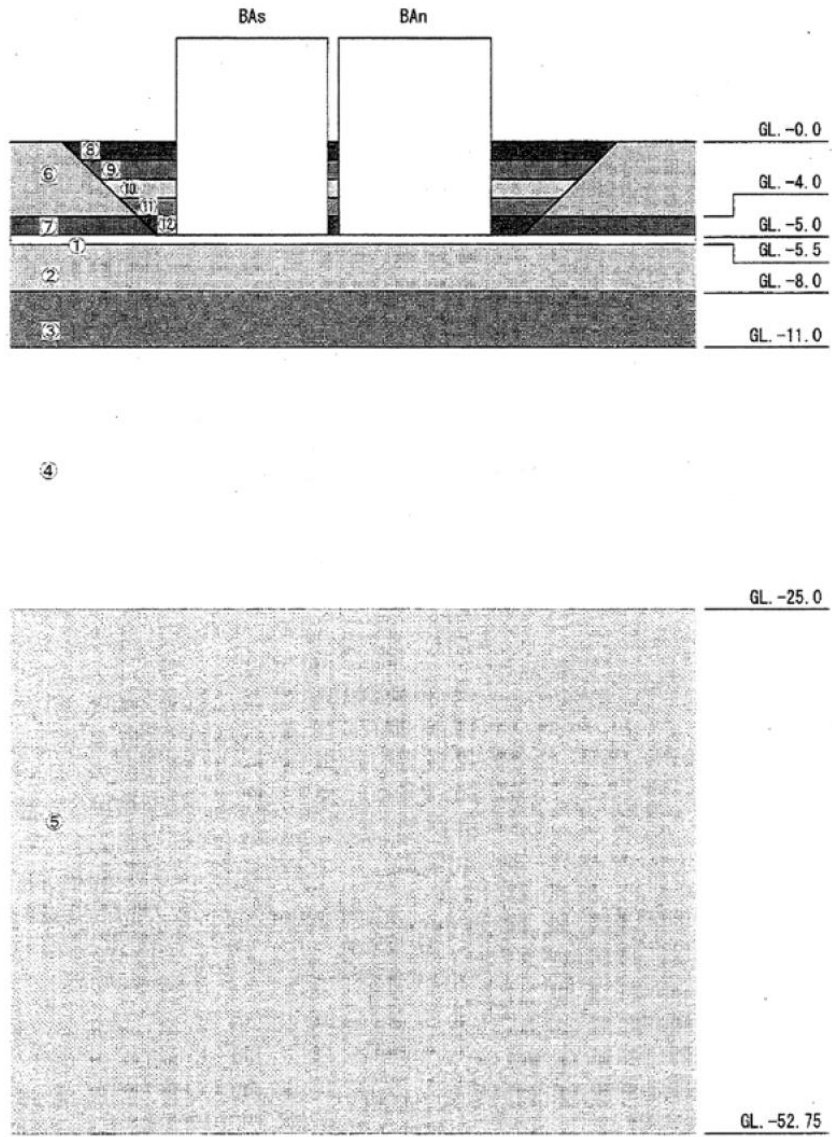


图 2-5 地盤層番号図

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. -3.0m）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（参考文献(2)参照）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。

表2-3 地震観測記録

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

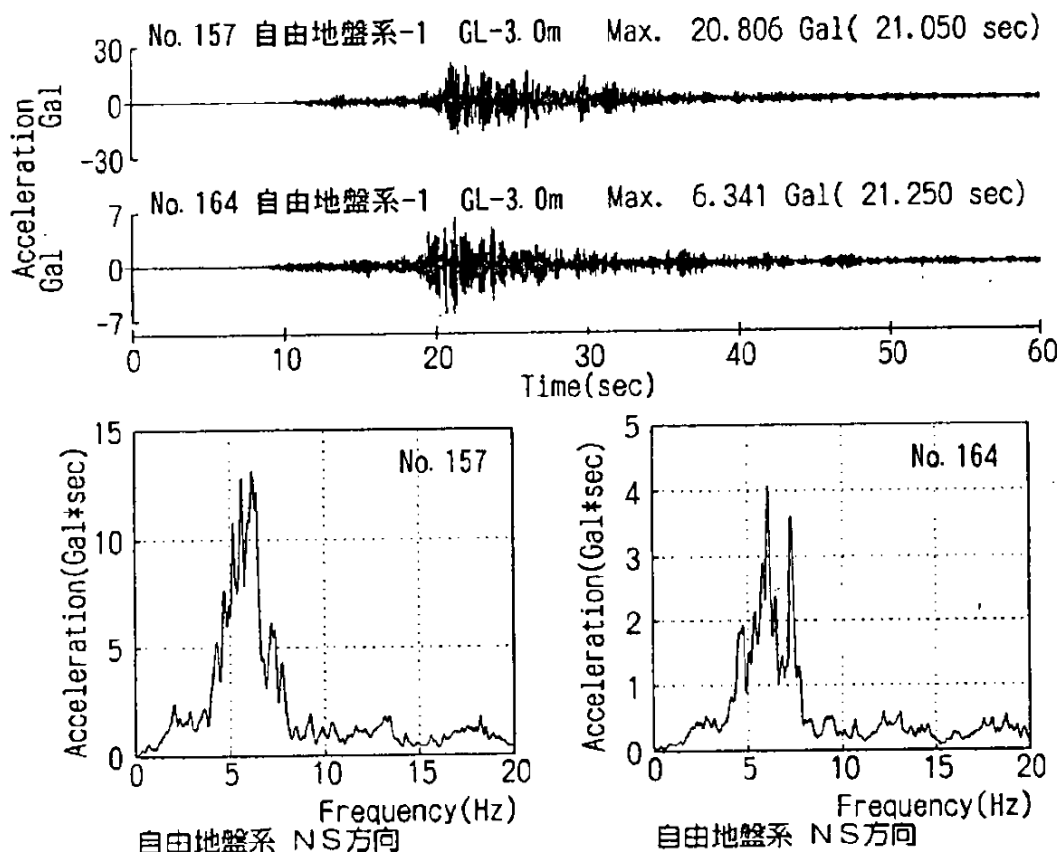


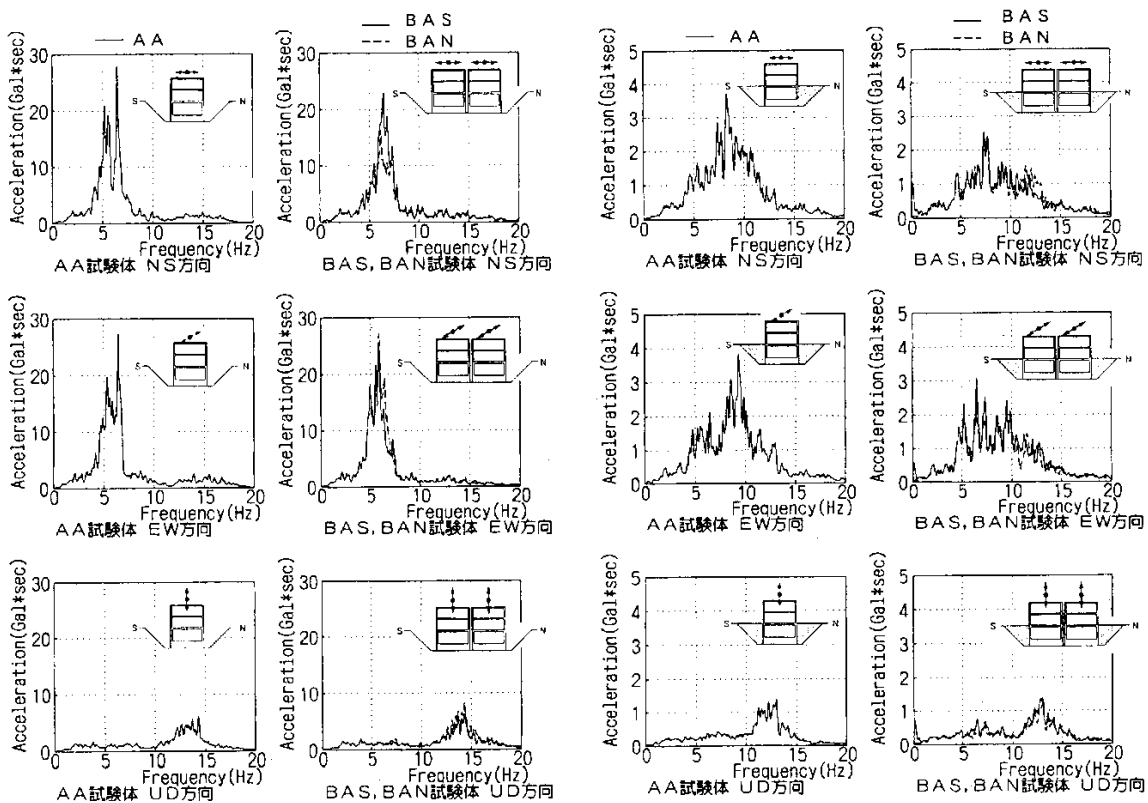
図2-6 地震観測記録の自由地盤での加速度時刻歴波形及びフーリエスペクトル

2.1.4 建屋応答の比較

鈴木ら（参考文献(2)参照）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 (No. 157)

(b) 埋込み有り (No. 164)

図 2-7 建屋観測結果の比較（単独と同種 2 棟隣接）

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又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、ほかに試験体（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、並びにそれらの確認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 3次元FEMモデルを用いた検討

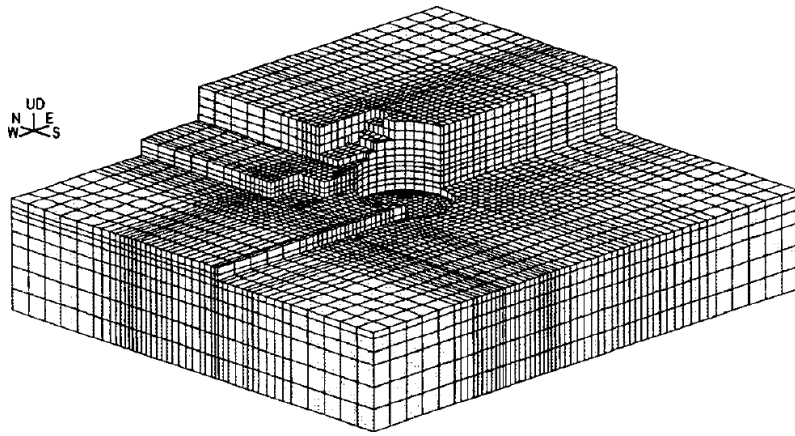
中村ら（参考文献(3)参照）は隣接建屋が建屋応答に与える影響を把握するため、3次元FEMモデルを用いた検討を実施している。

2.2.1 検討概要

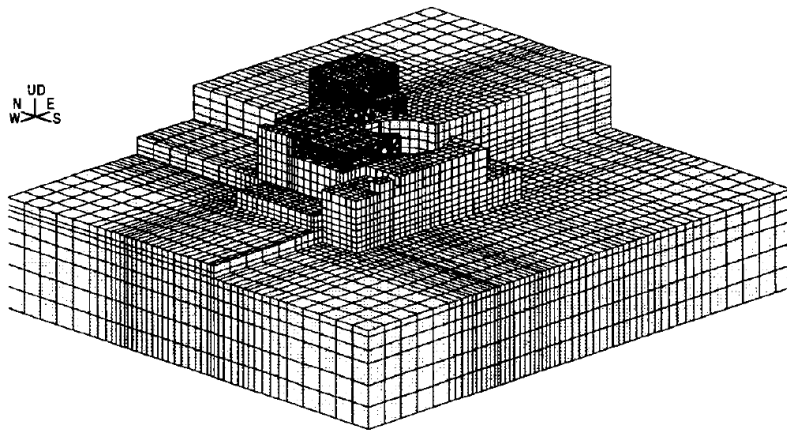
本検討では、図2-8に示すような隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B）（以下「A/B」という。))を考慮しないモデルと隣接建屋を考慮したモデルの2種類の3次元FEMモデルを構築し、評価対象である原子炉建屋（R/B）（以下「R/B」という。）の基礎底面における地盤インピーダンス*及び基礎入力動の加速度応答スペクトルを比較することで、隣接建屋が地震応答解析に用いる建屋-地盤連成モデル及び入力地震動に与える影響を確認している。

なお、本検討は $V_s = 1650 \text{ m/s}$ 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*：建物-地盤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）

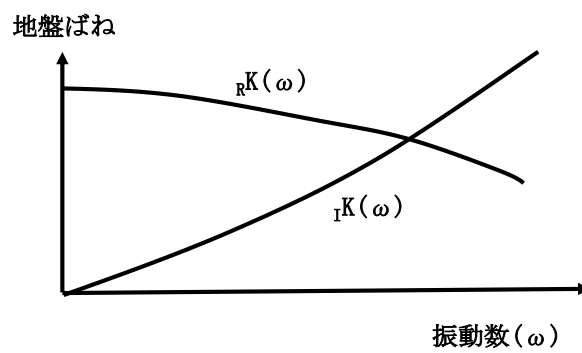


(a) 隣接建屋非考慮



(b) 隣接建屋考慮

図 2-8 3次元FEMモデル



$rK(\omega)$: 実数部, $iK(\omega)$: 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FEM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）。

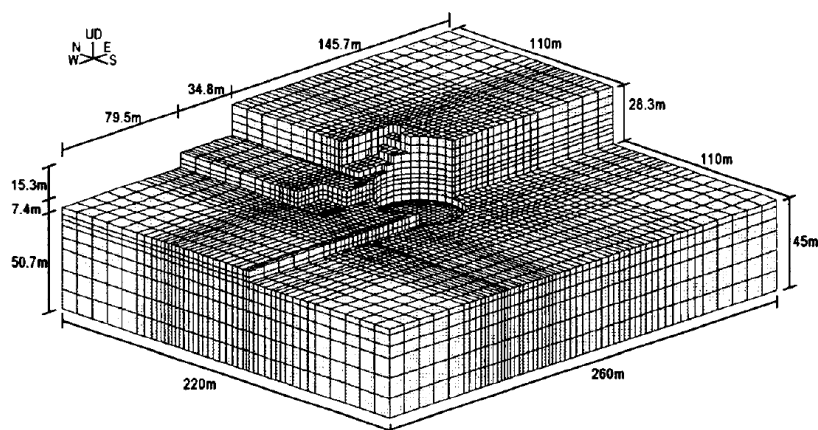


図2-10 地盤FEMモデル

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。

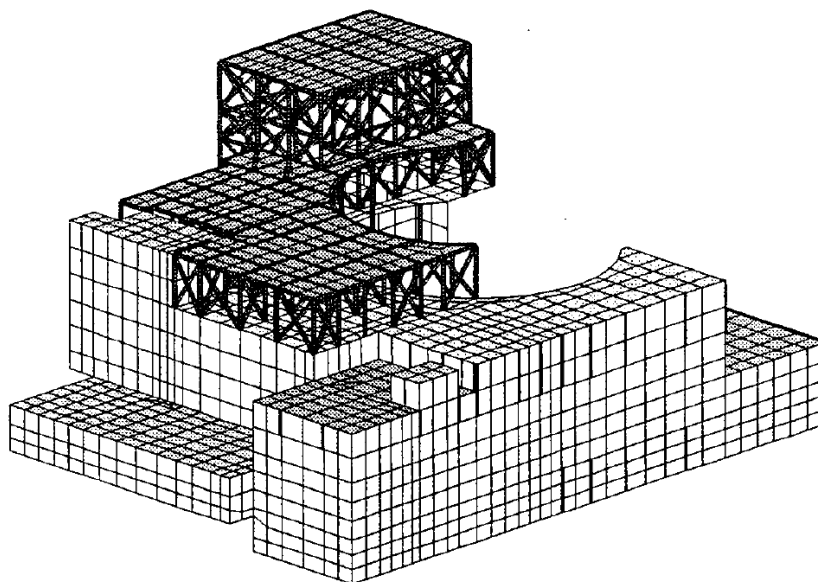


図 2-11 隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））のモデル形状図

表 2-6 原子炉補助建屋（A/B）の各部材のモデル化

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	はり要素 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 750cm/s^2 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。

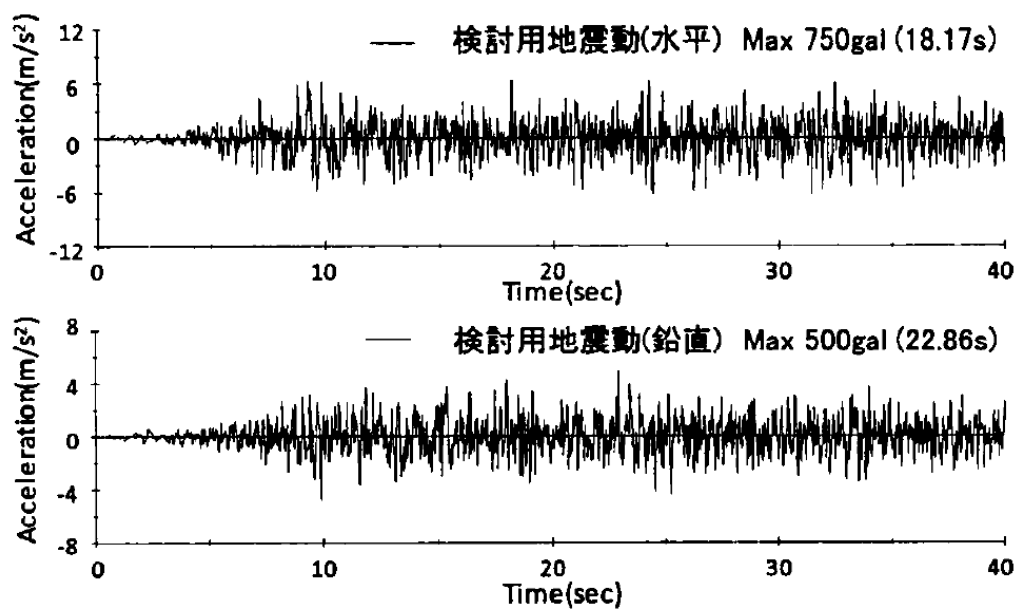


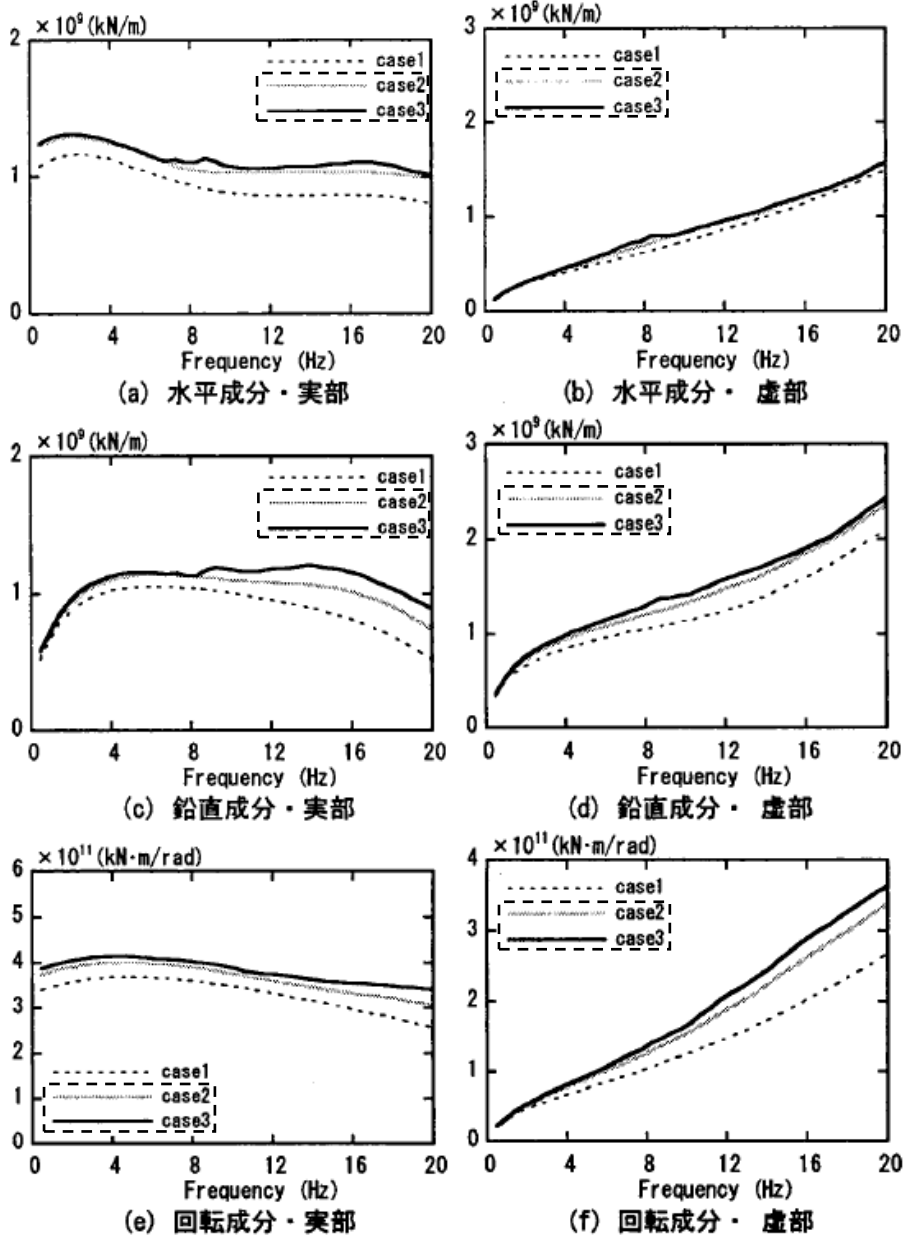
図 2-12 検討用地震動

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）及び回転（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近傍で隣接建屋（原子炉補助建屋（A/B））の固有振動数の影響と考えられる励起が見られ、8 Hz以上で若干差異が見られるが、全体としてはよく対応しており、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 2-8 の 3 次元 FEM モデルの底面から、「2.2.4 検討用地震動及び解析条件」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ると考察している。

表 2-7 解析ケース

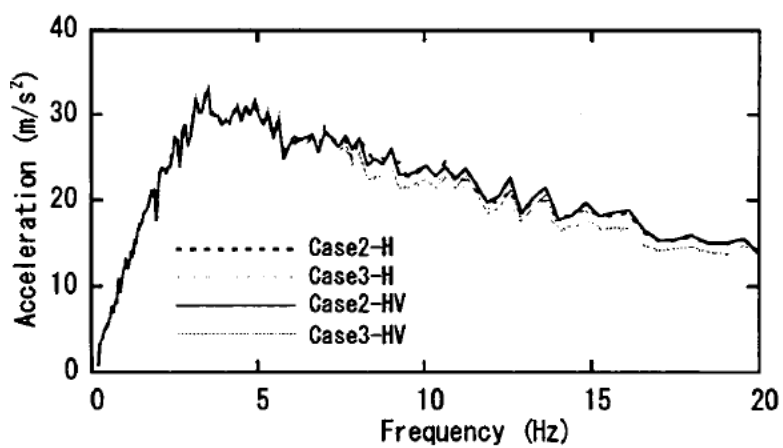
ケース名*1	隣接建屋考慮の有無	入力地震*2
Case2-H	無し	H
Case3-H	有り	H
Case2-HV	無し	H+V
Case3-HV	有り	H+V

注記*1 : 隣接建屋の検討に用いているケースを示す。

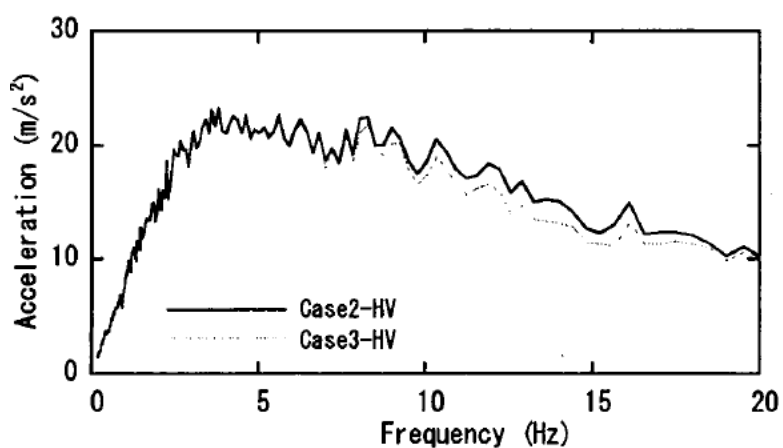
*2 : H は水平単独入力、H+V は水平鉛直同時入力を意味する。

表 2-8 基礎底面位置における最大加速度 (cm/s²)

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物が建物応答に与える影響が小さいことを確認した。

「2.1 既往の文献に基づく検討」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又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。

「2.2 3次元FEMモデルを用いた検討」では、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。隣接建屋の固有振動数の影響で地盤インピーダンスに励起が見られるものの、全体としてはよく対応しており、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。当該検討事例は、 $V_s = 1650\text{m/s}$ の硬質な岩盤に直接支持される原子力施設という検討条件での結果であり、硬岩サイトである島根原子力発電所第2号機においても隣接影響は小さいと考えられる。

次章では、島根原子力発電所第2号機の詳細検討を実施することで隣接建物が建物・構築物の耐震評価に与える影響を詳細に確認する。

3. 島根原子力発電所第2号機における隣接建物の影響検討

3.1 検討概要

本検討では、島根原子力発電所第2号機の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建物、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物について、実際の建物配置状況に則して各建物を配置する場合と各建物を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建物応答を比較することで隣接建物が建物・構築物及び機器・配管系の耐震評価に与える影響を確認する。

具体的には、各建物を配置する場合と各建物を単独でモデル化する場合の解析結果について、加速度、せん断力、曲げモーメント、床応答スペクトルの比率等を比較し、隣接建物の影響を考察する。

検討には、解析コード「NAPISOS」を用いる。モデル化対象建物の配置を図3-1に示す。島根原子力発電所第2号機は第1号機と隣接しているため、1号機原子炉建物、1号機タービン建物及び1号機廃棄物処理建物をモデル化対象建物に含めた。

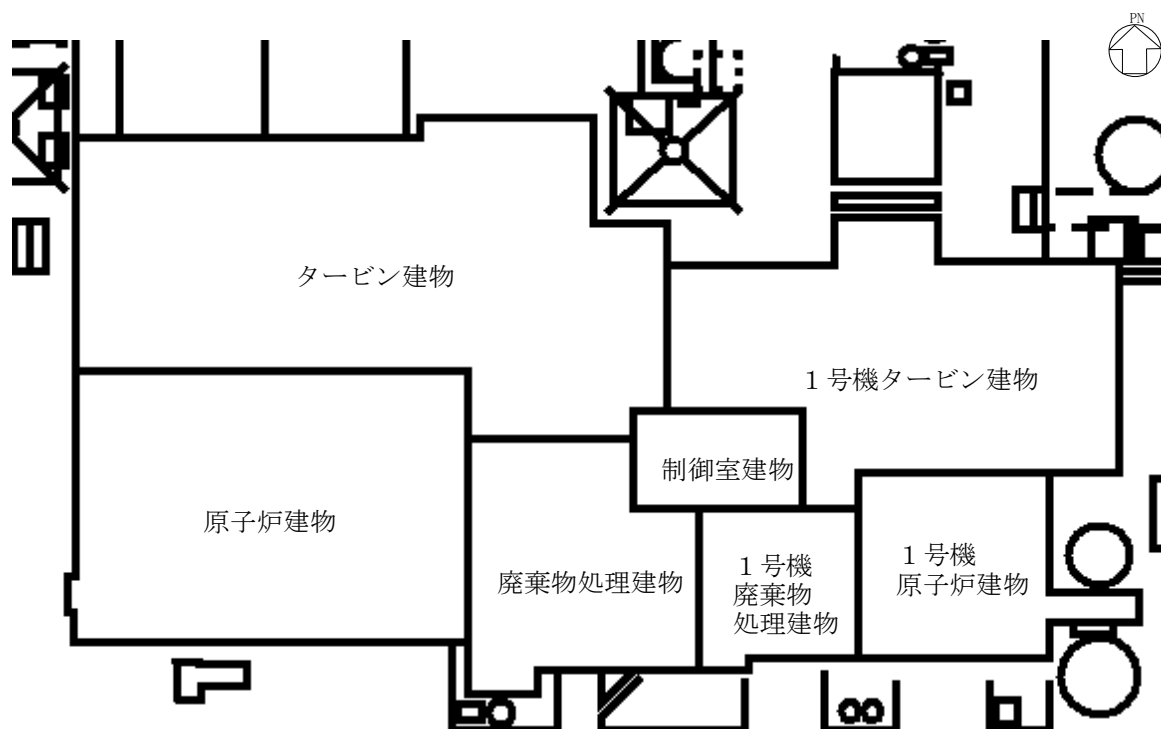


図3-1 モデル化対象建物の配置

3.2 解析ケース

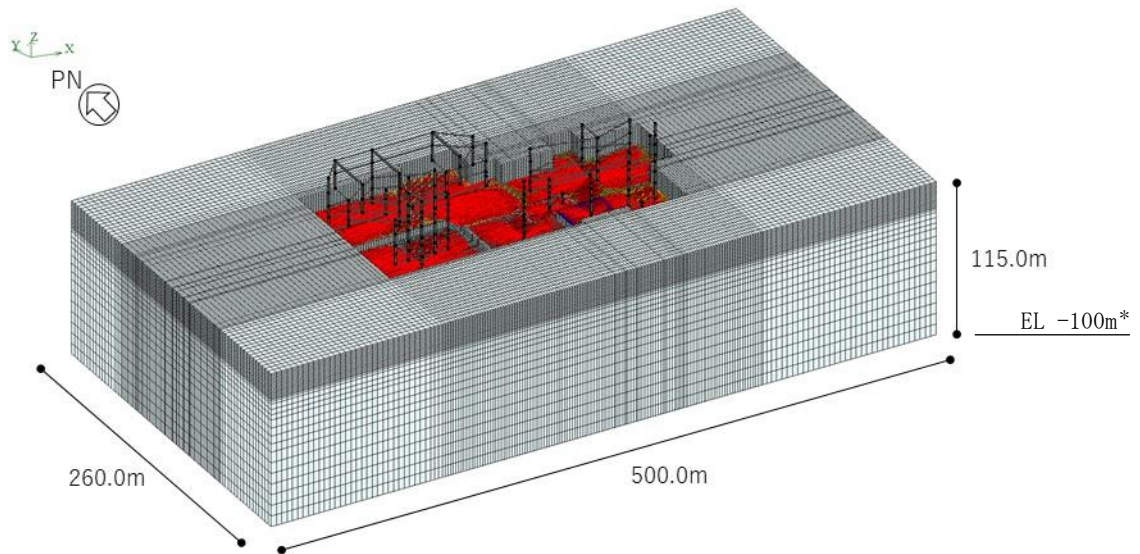
本検討における解析ケースの一覧を表 3-1 に示す。解析ケース ALL については、原子炉建物、制御室建物、タービン建物、廃棄物処理建物、1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物及び建物周辺の地盤をモデル化して解析を実施する。解析ケース S1～S4 については、原子炉建物、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物をそれぞれ単独でモデル化して解析を実施する。

図 3-2～図 3-6 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、各建物を質点系モデルとしてモデル化する。解析は線形とし、時刻歴応答解析を実施する。

検討は、各ケースそれぞれについて水平（NS方向、EW方向）2成分について行う。

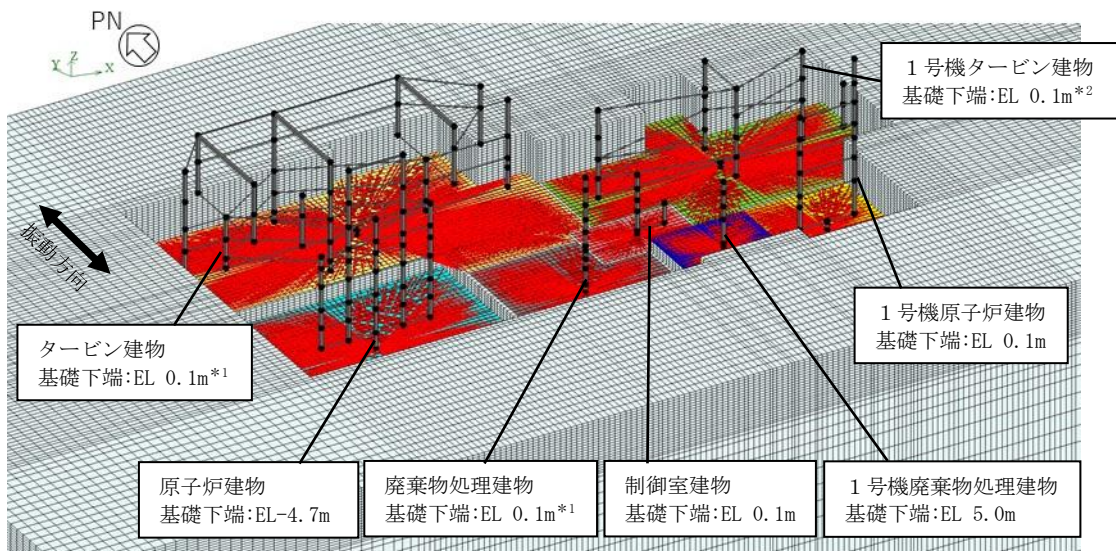
表 3-1 解析ケース一覧

解析ケース	モデル化する建物
ALL	原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 1号機原子炉建物 1号機タービン建物 1号機廃棄物処理建物
S1	原子炉建物
S2	制御室建物
S3	タービン建物
S4	廃棄物処理建物



注記*：「EL」は東京湾平均海面（T.P.）を基準としたレベルを示す。

(a) 鳥観図：全体図



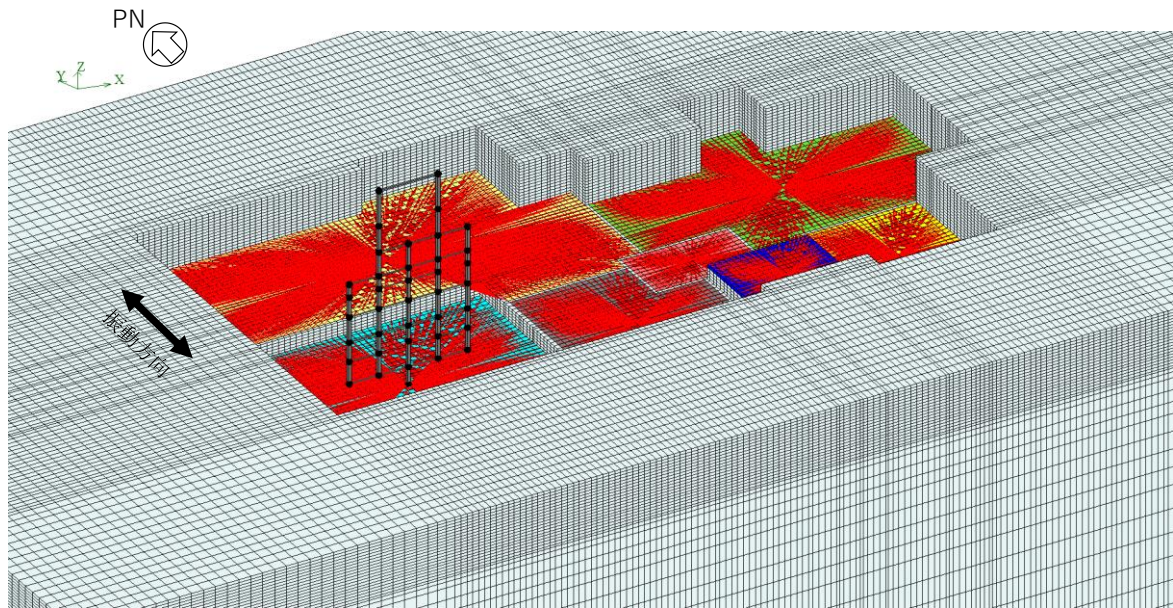
注：NS方向の解析モデルを示す。

注記*1：図 3-12～図 3-15 に示す建物モデルの基礎下端レベルは EL 0.0m であるが、解析上の要素分割の制限により基礎下端レベルを EL 0.1m にモデル化。

*2：図 3-18 及び図 3-19 に示す建物モデルの基礎下端レベルは EL-0.3m であるが、解析上の要素分割の制限により基礎下端レベルを EL 0.1m にモデル化。

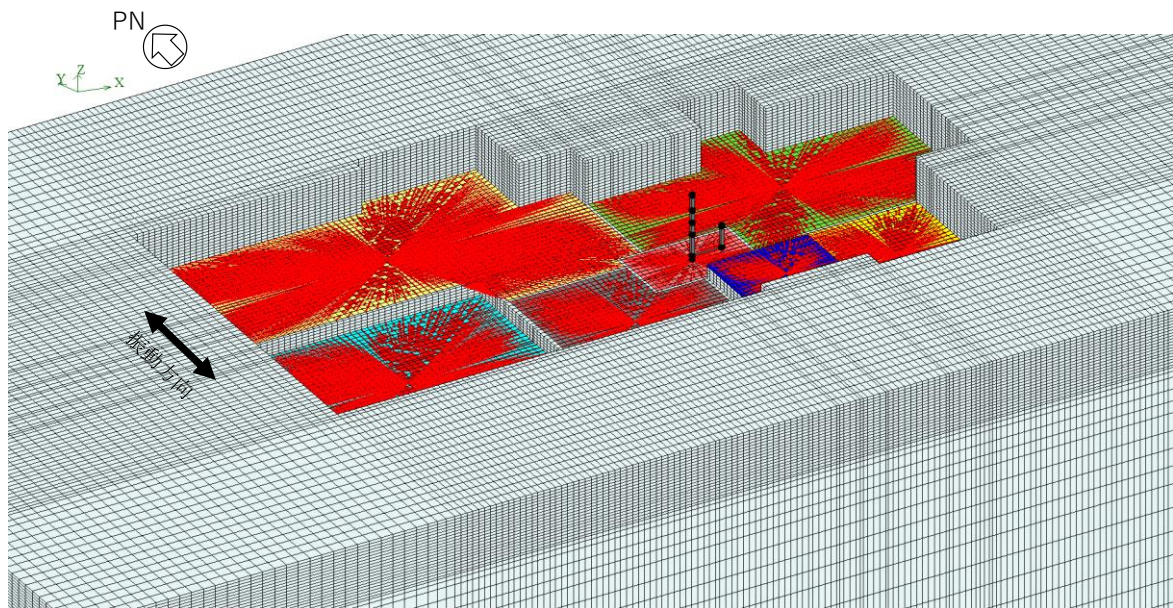
(b) 鳥観図：建物部分拡大図

図 3-2 解析モデルの概要：解析ケース ALL



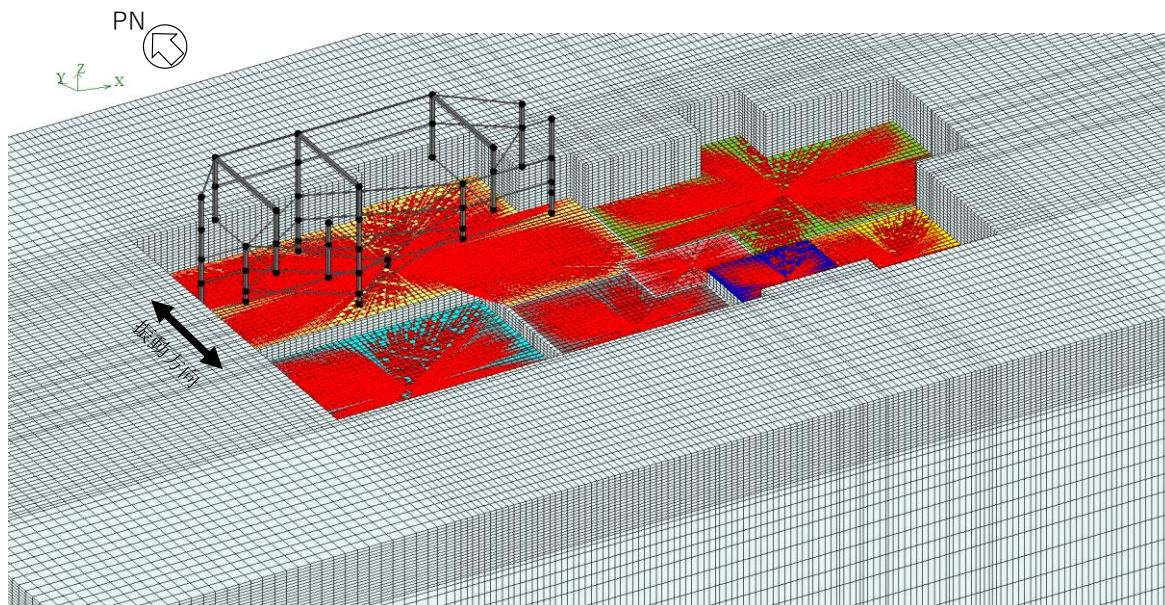
注：N S 方向の解析モデルを示す。

図 3-3 解析モデルの概要：解析ケース S1（原子炉建物単独）



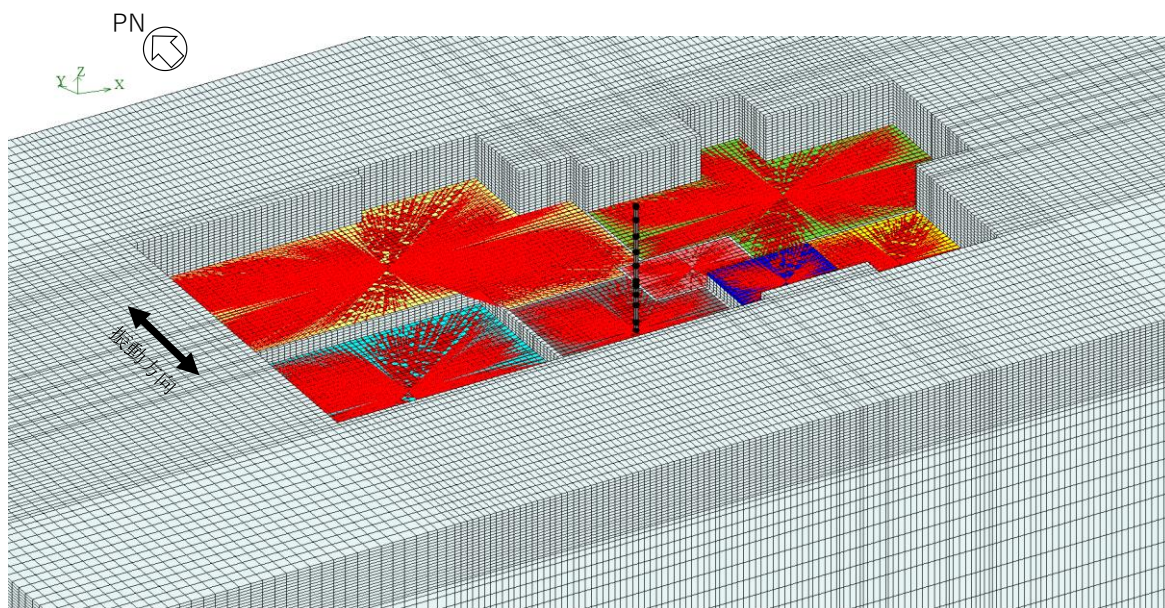
注：N S 方向の解析モデルを示す。

図 3-4 解析モデルの概要：解析ケース S2（制御室建物単独）



注：NS方向の解析モデルを示す。

図 3-5 解析モデルの概要：解析ケース S3（タービン建物単独）



注：NS方向の解析モデルを示す。

図 3-6 解析モデルの概要：解析ケース S4（廃棄物処理建物単独）

3.3 建物のモデル化

建物モデルは、各建物の地震応答計算書（VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」、VI-2-2-7「タービン建物の地震応答計算書」及びVI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」）及び耐震計算書（VI-2-11-2-1-1「1号機原子炉建物の耐震性についての計算書」、VI-2-11-2-1-2「1号機タービン建物の耐震性についての計算書」及びVI-2-11-2-1-3「1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書」）に記載のモデルの諸元に基づいている。ただし、「3.5 検討用地震動」に示すように、入力地震動は弾性設計用地震動 S_d とするため、建物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。

各モデルは基礎の中央に各建物モデルを配置する。

各建物の解析モデルの基礎寸法を、全体配置とともに図3-7に示す。

図3-8～図3-21に各建物の建物モデル図を示す。

基礎のモデル化については、各建物の基礎下端レベルで剛体要素をモデル化し平面保持を考慮している。また、図3-8～図3-21の建物モデル図に示す地震応答解析モデルと同様に、基礎の重量については基礎上下の質点に割り振って設定し、建物の回転慣性重量については基礎下端もしくは基礎上下端に設定している。

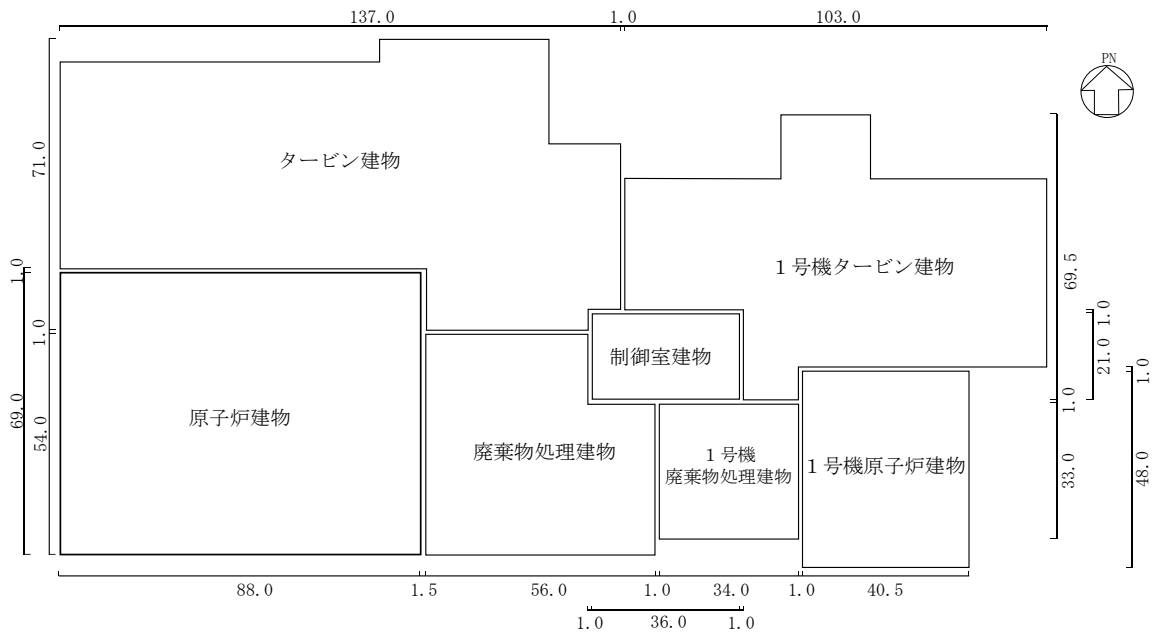
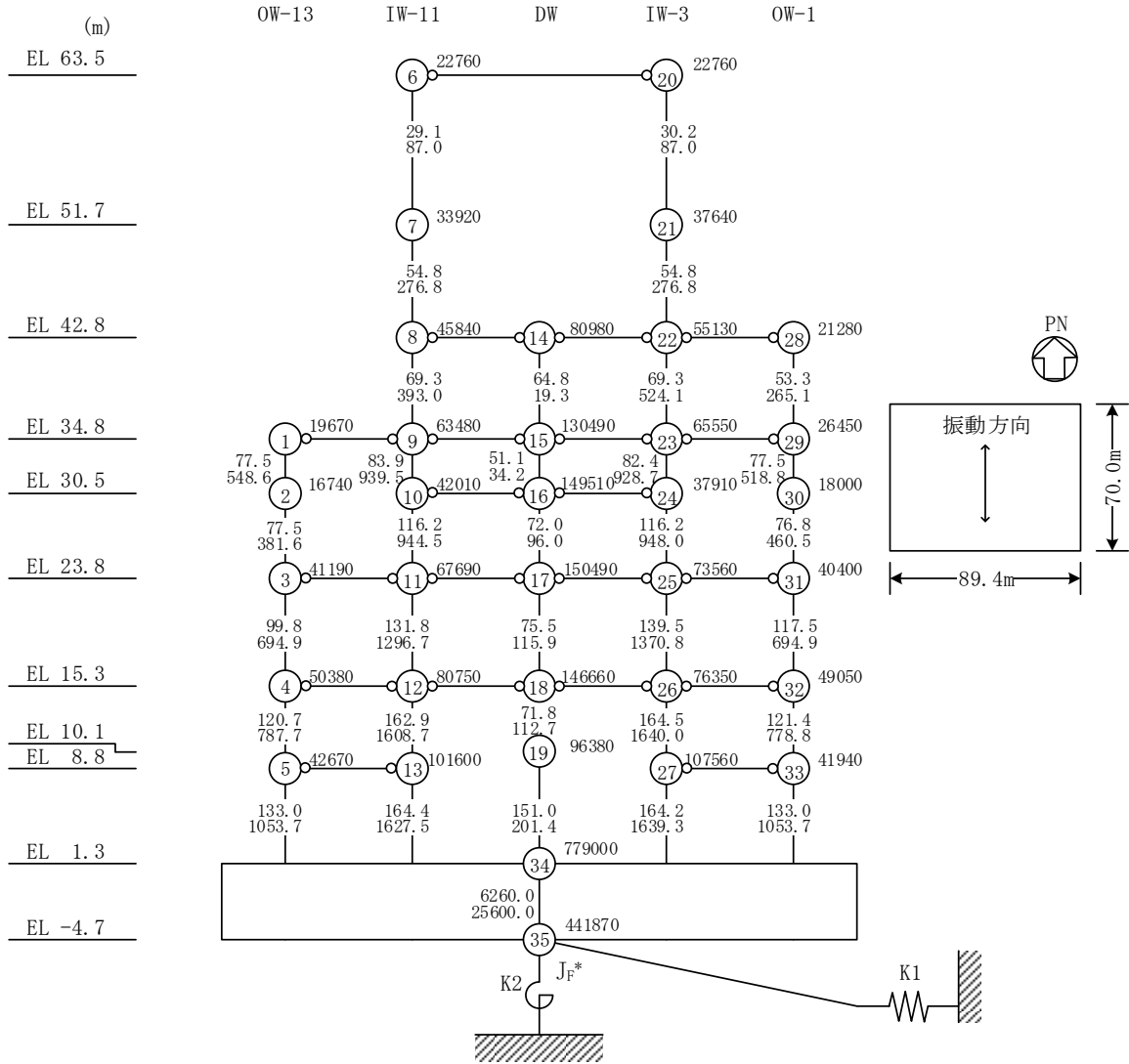
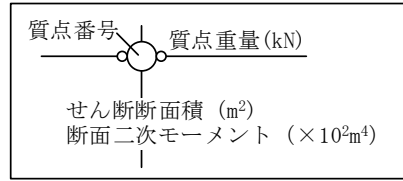
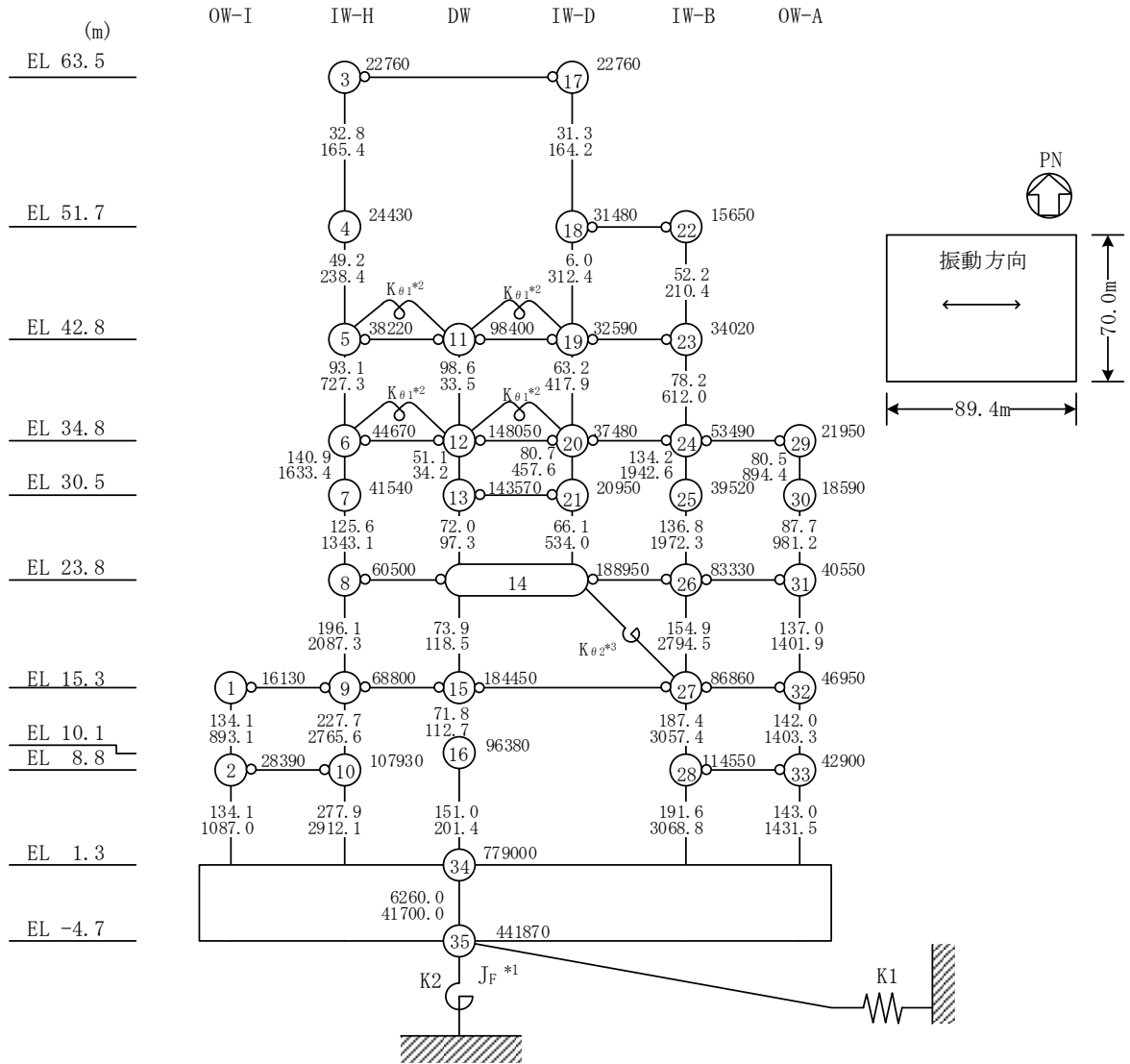
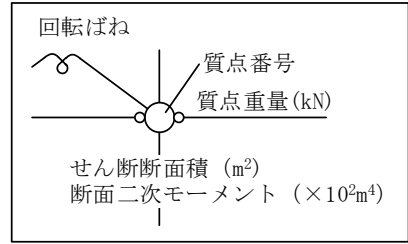


図 3-7 各建物の解析モデルの基礎寸法及び全体配置図 (単位: m)



注記* : 回転慣性重量(12.25×10⁸kN・m²)

図 3-8 原子炉建物の建物モデル (NS方向)

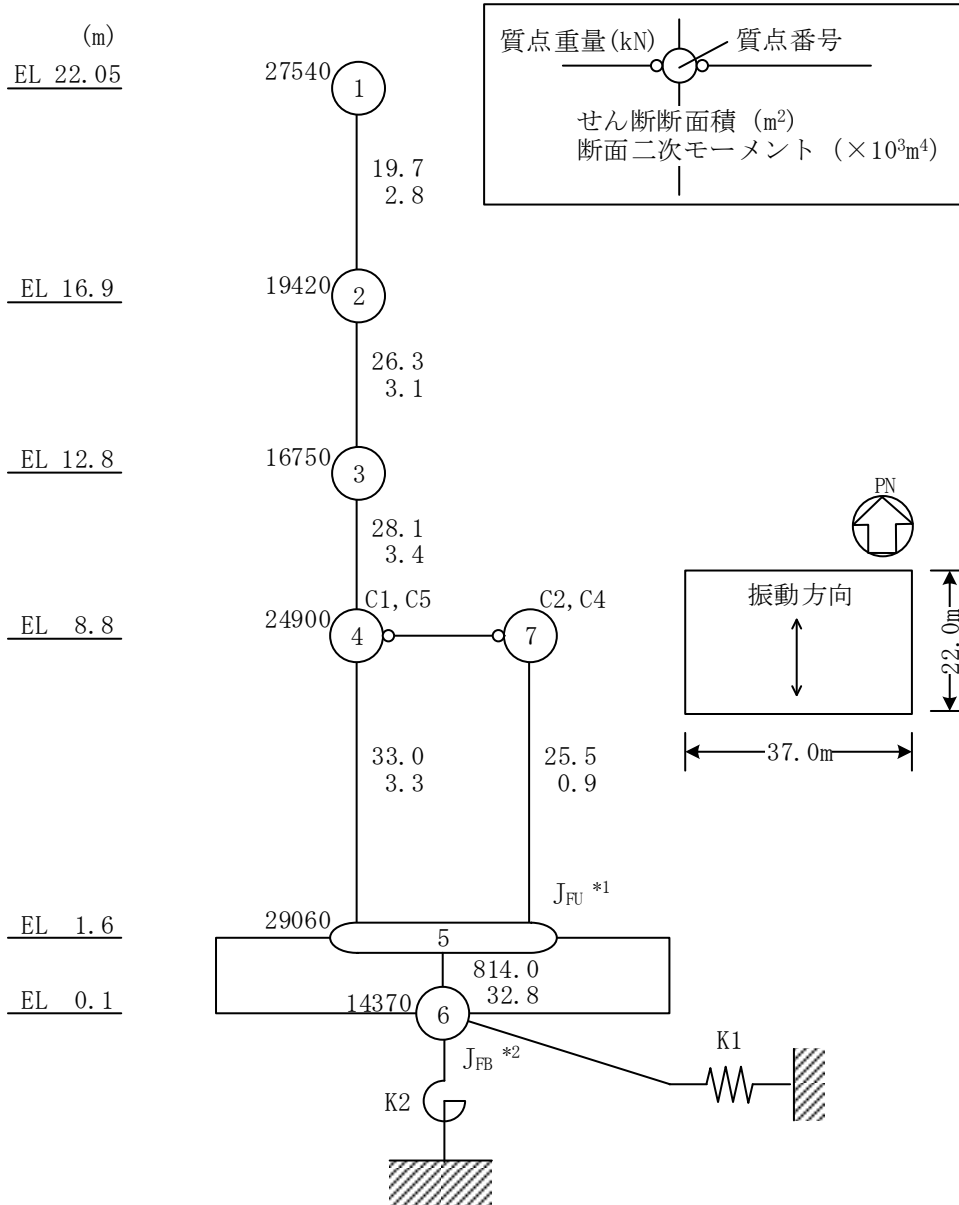


注記*1：回転慣性重量 ($20.88 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$)

*2：燃料プール壁の回転ばね ($2.195 \times 10^9 \text{kN} \cdot \text{m/rad}$)

*3：内部ボックス壁の軸抵抗を考慮した回転ばね ($135.2 \times 10^9 \text{kN} \cdot \text{m/rad}$)

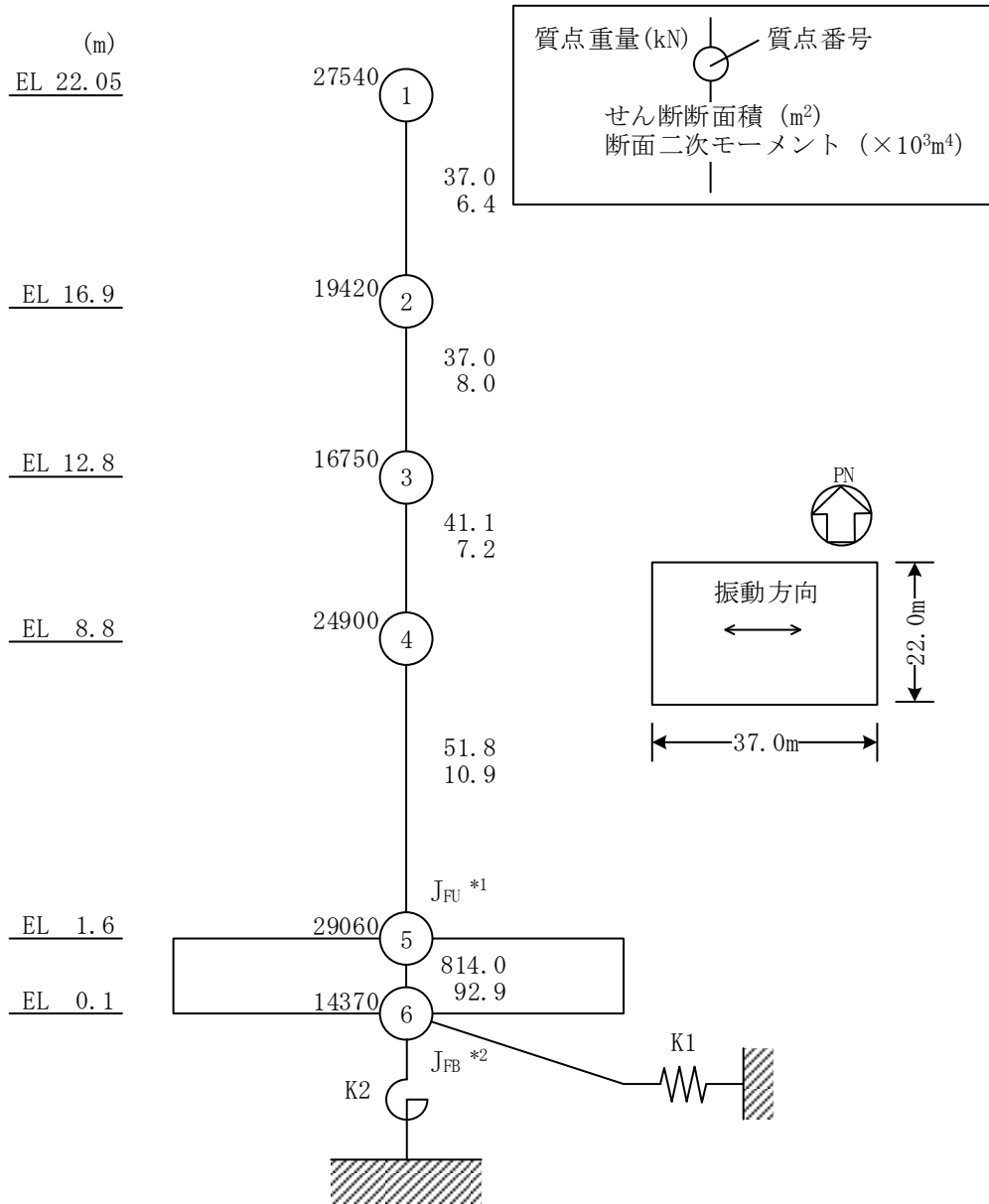
図 3-9 原子炉建物の建物モデル (EW方向)



注記*1：回転慣性重量（基礎スラブ上端）（ $47.46 \times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

*2：回転慣性重量（基礎スラブ下端）（ $5.79 \times 10^5 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

図 3-10 制御室建物の建物モデル（NS方向）



注記*1：回転慣性重量（基礎スラブ上端）（ $13.42 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）
 *2：回転慣性重量（基礎スラブ下端）（ $1.64 \times 10^6 \text{kN} \cdot \text{m}^2$ ）

図 3-11 制御室建物の建物モデル（EW方向）

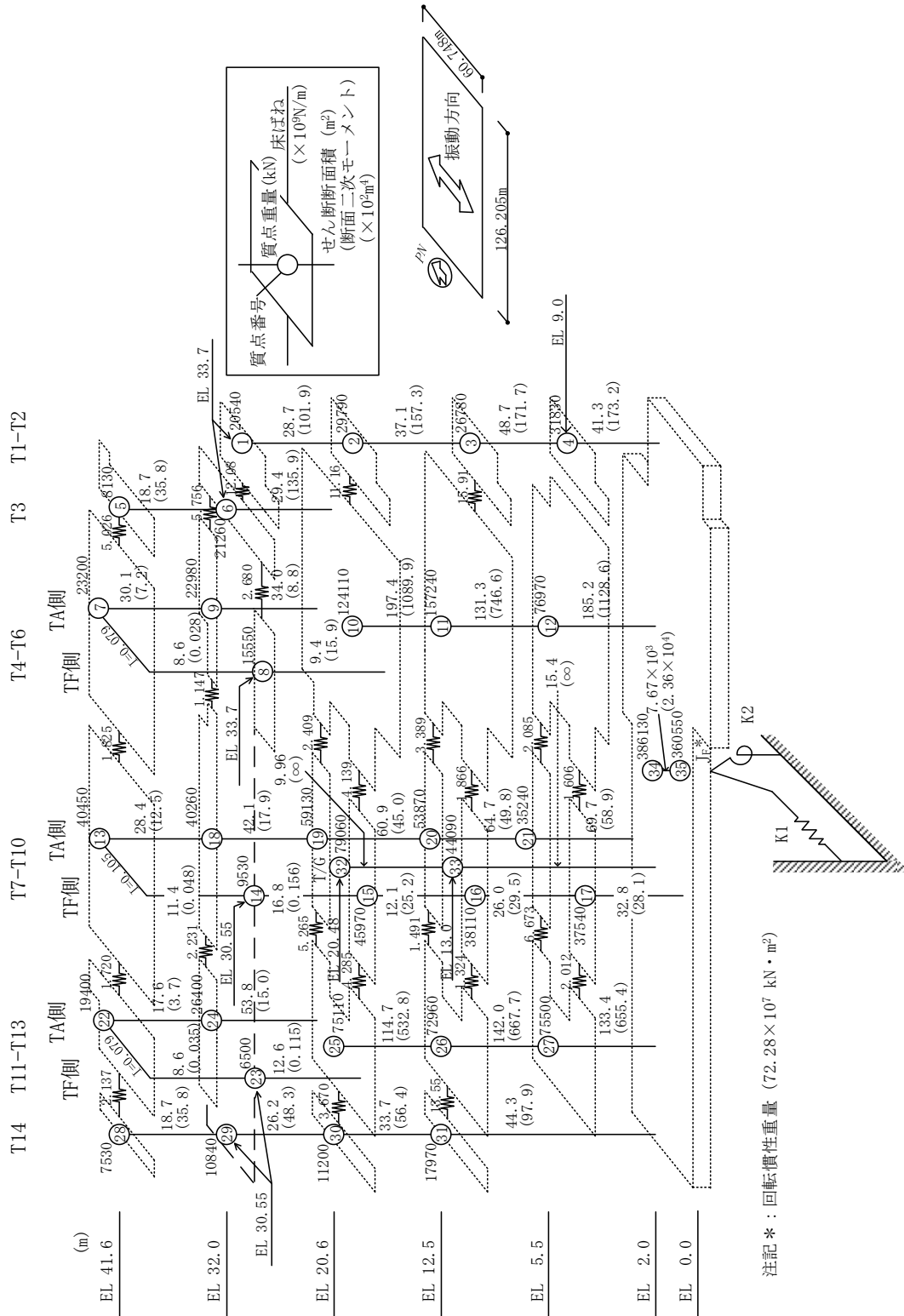


図 3-12 タービン建物の建物モデル (N S 方向)

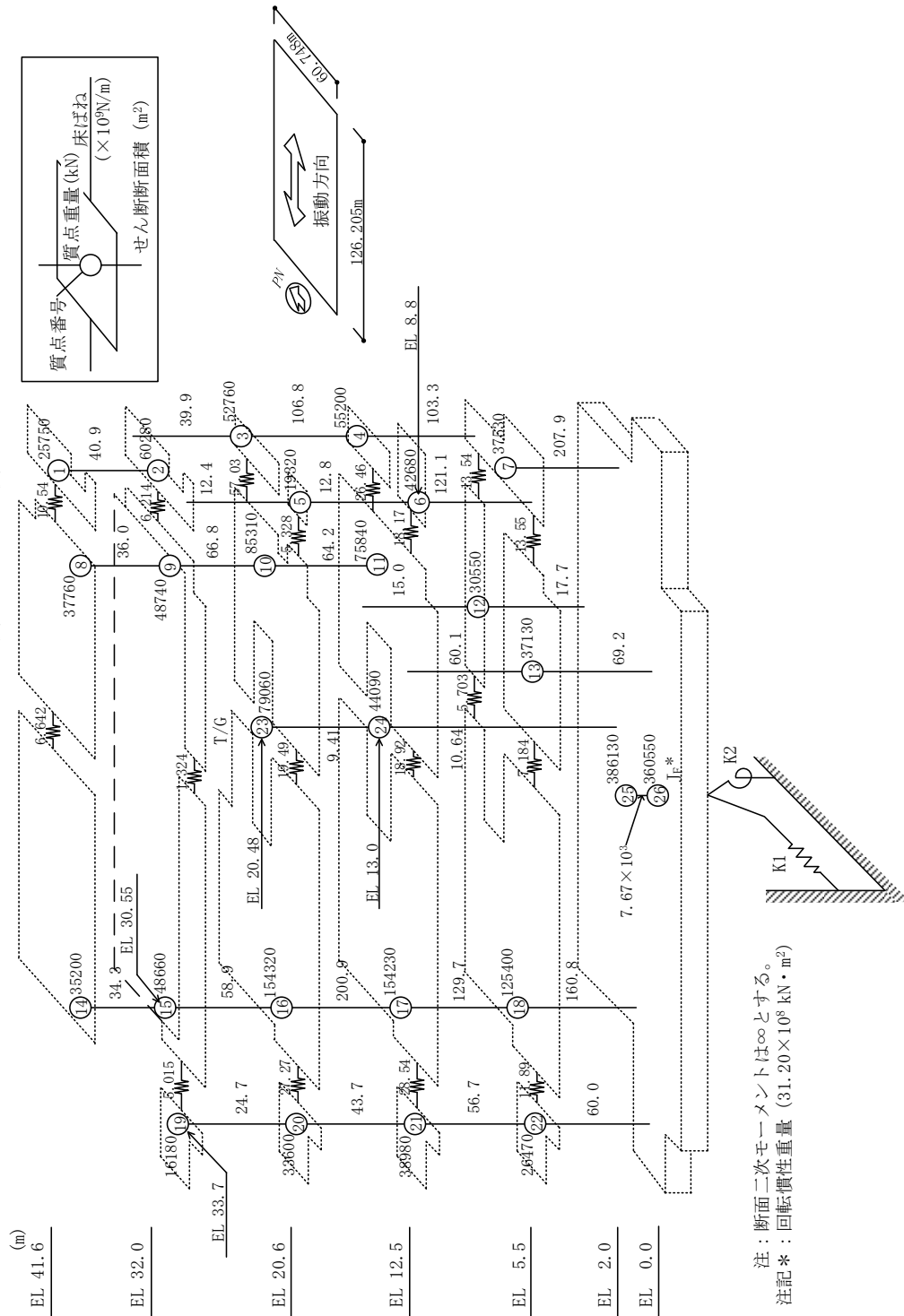


図 3-13 タービン建物の建物モデル (EW方向)

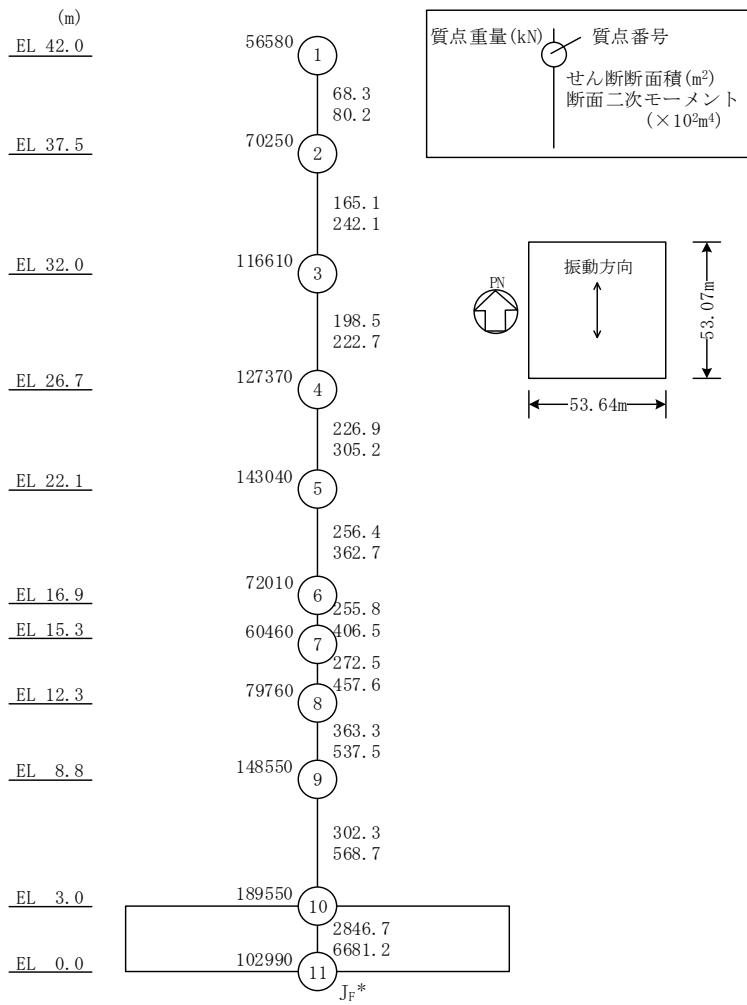


図 3-14 廃棄物処理建物の建物モデル (NS 方向)

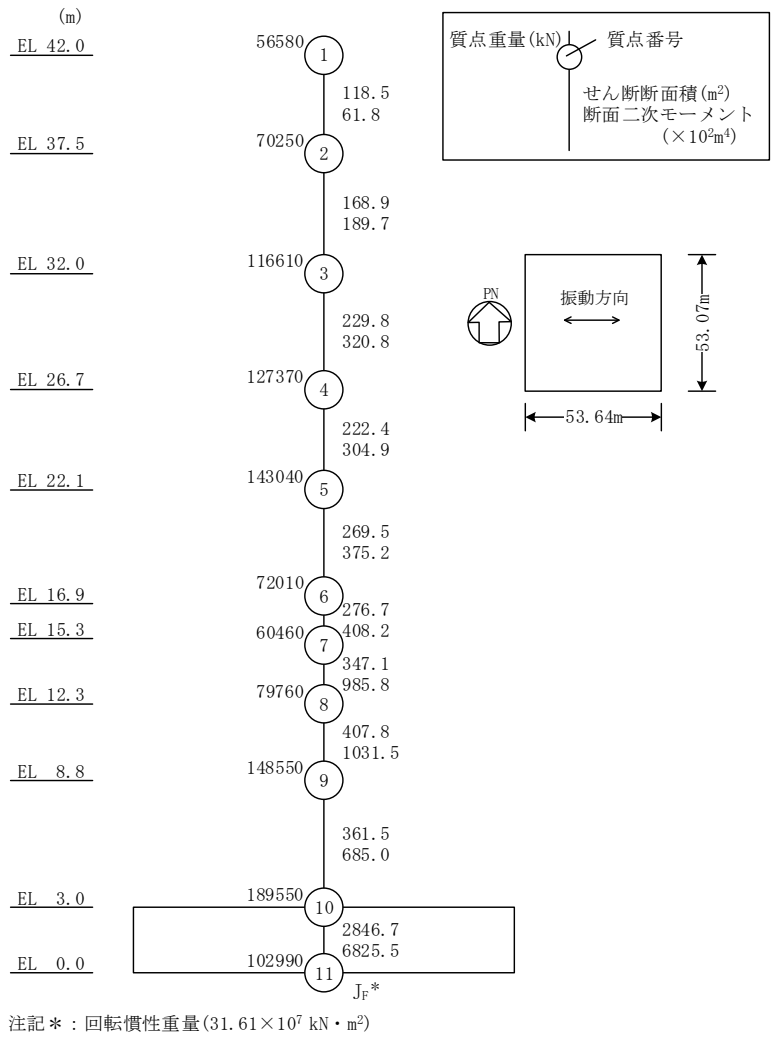
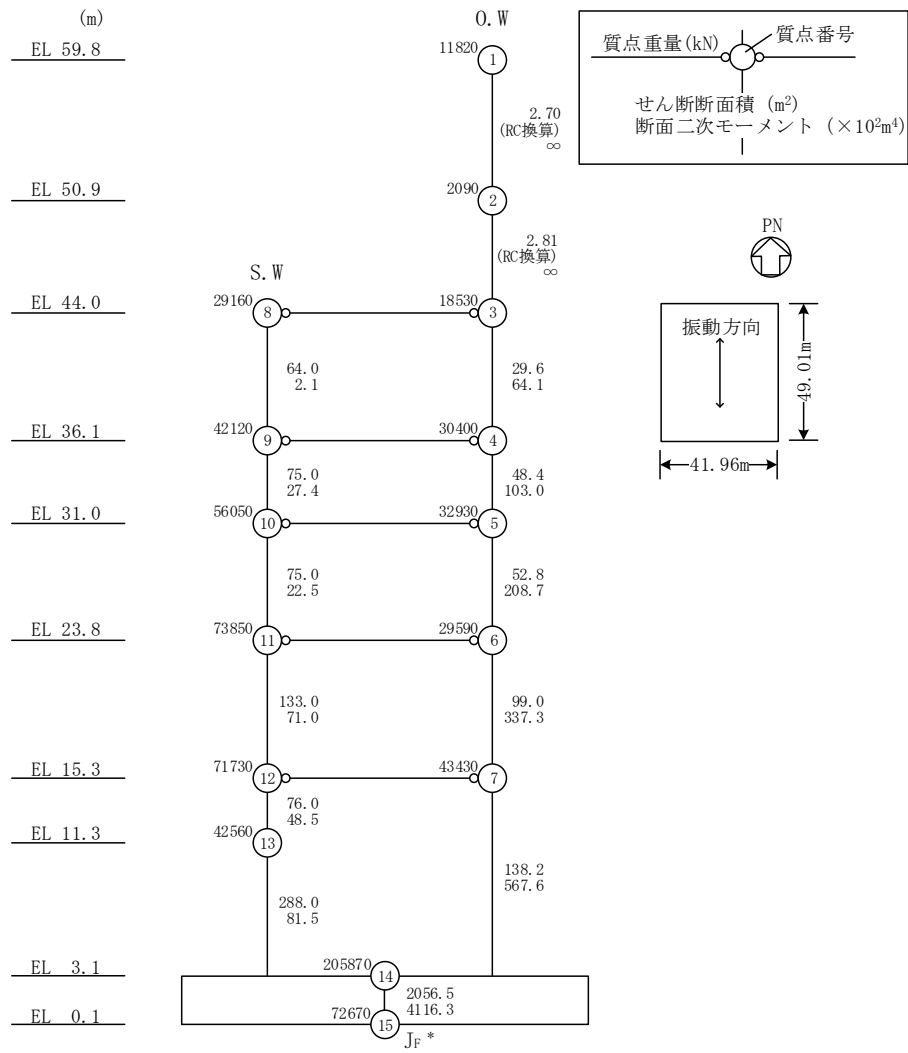
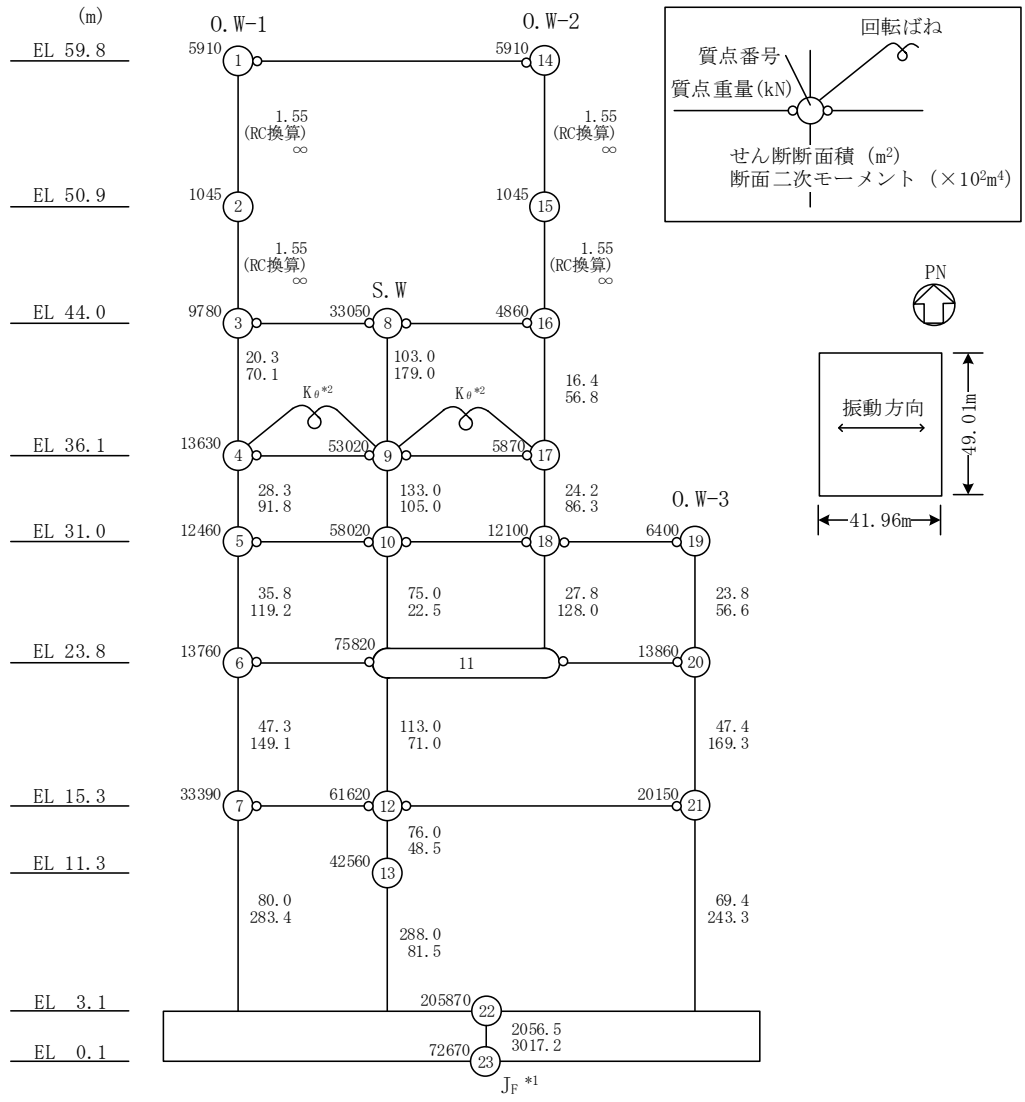


図 3-15 廃棄物処理建物の建物モデル (EW方向)



注記* : 回転慣性重量 (16.85 × 10⁷ kN · m²)

図 3-16 1号機原子炉建物の建物モデル (NS方向)



注記*1: 回転慣性重量 ($12.77 \times 10^7 kN \cdot m^2$)
 *2: 燃料プール壁の回転ばね ($2.329 \times 10^9 kN \cdot m/rad$)

図 3-17 1号機原子炉建物の建物モデル (EW方向)

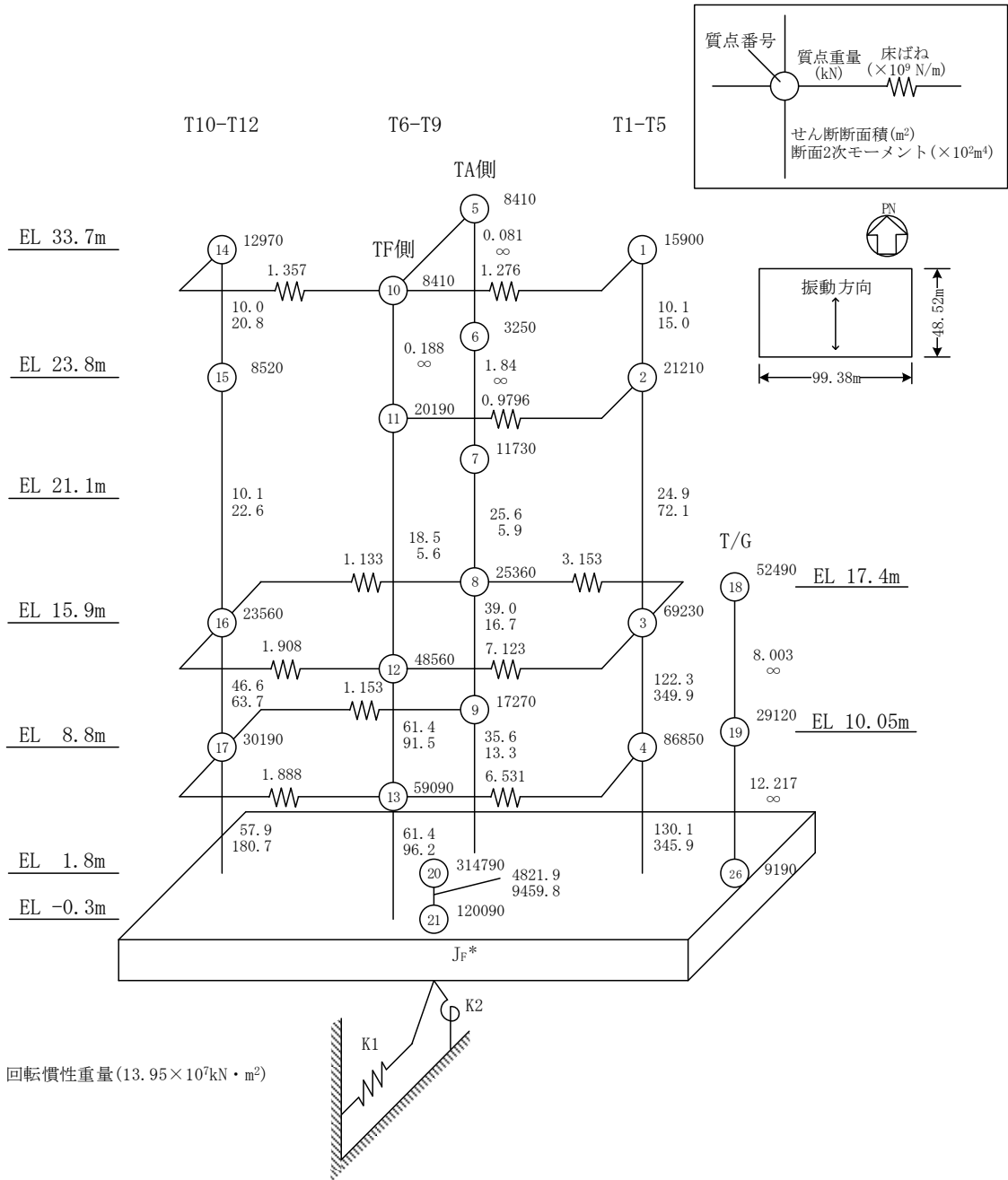


図 3-18 1号機タービン建物の建物モデル (NS方向)

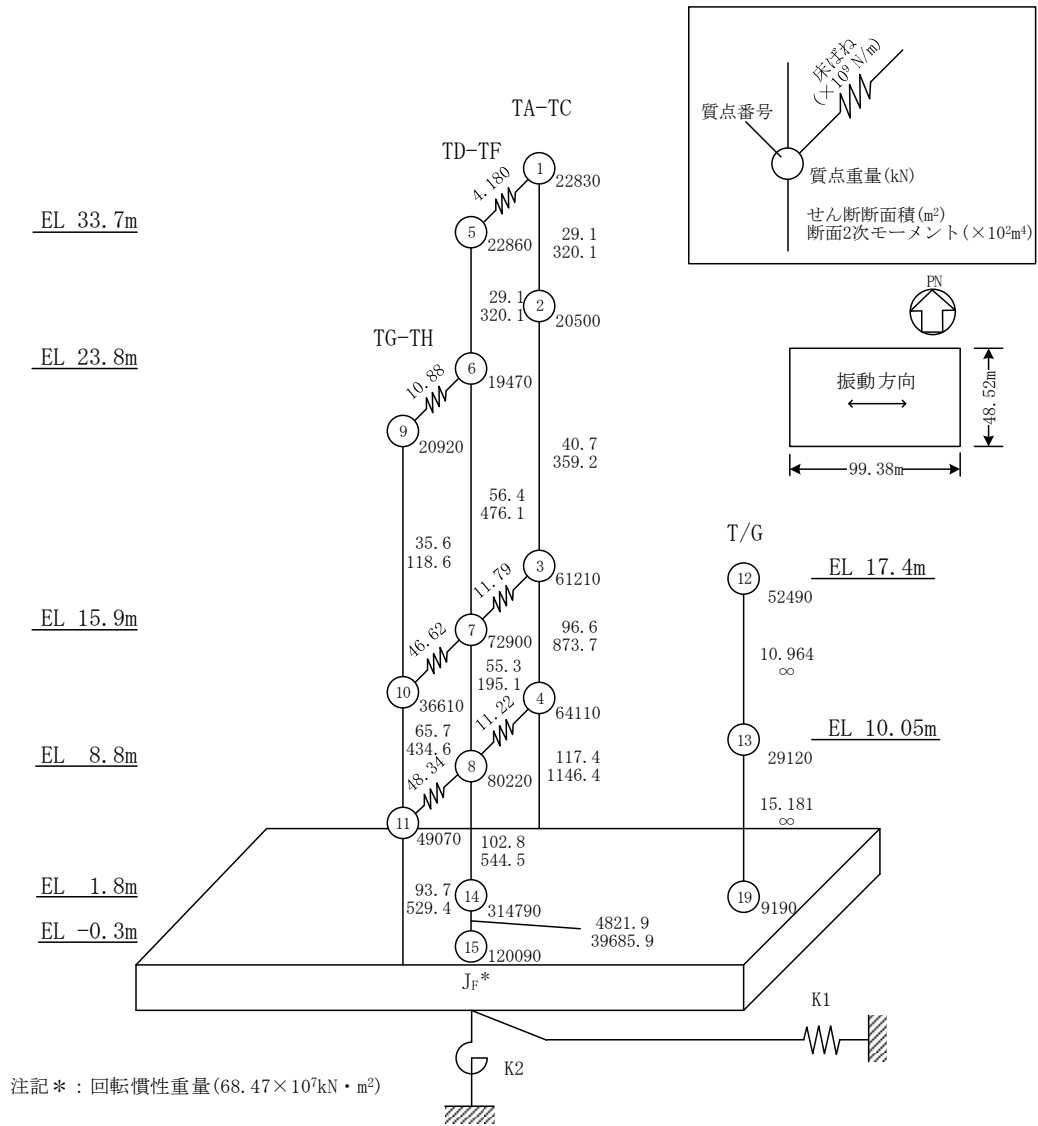
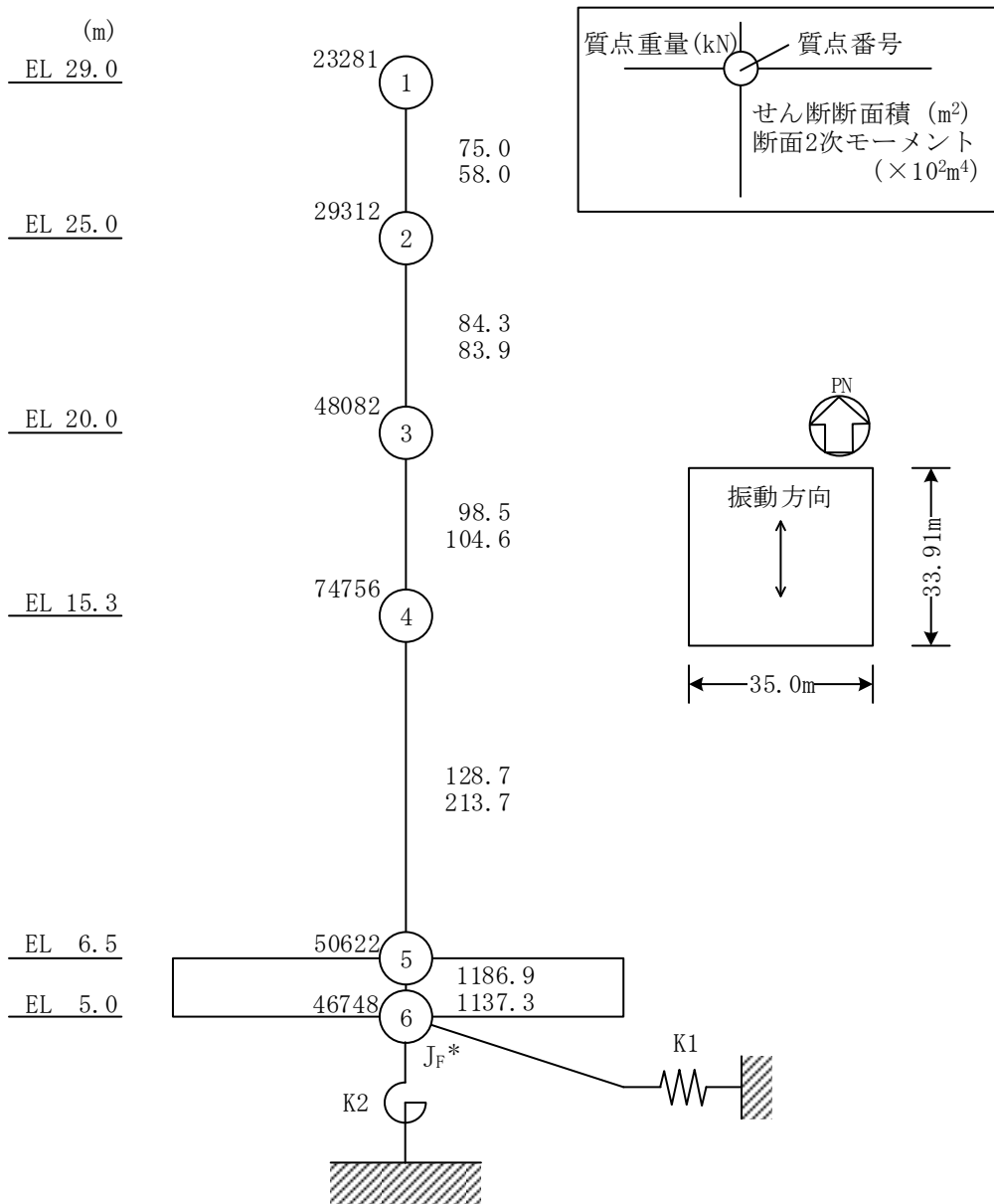
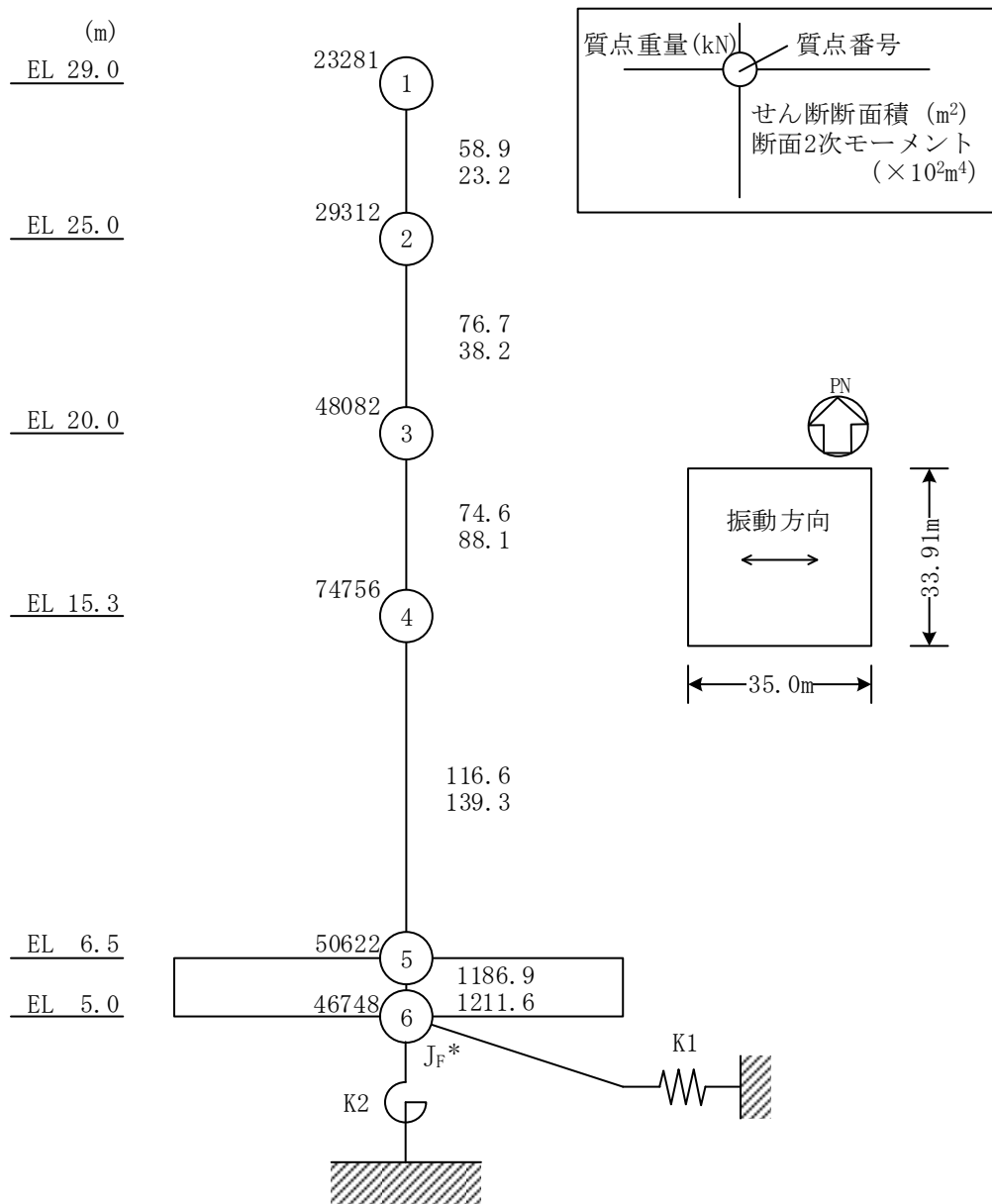


図 3-19 1号機タービン建物の建物モデル (EW方向)



注記* : 回転慣性重量 ($28.31 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$)

図 3-20 1号機廃棄物処理建物の建物モデル (NS方向)



注記* : 回転慣性重量(30.02×10⁶ kN・m²)

図 3-21 1号機廃棄物処理建物の建物モデル (EW方向)

3.4 地盤のモデル化

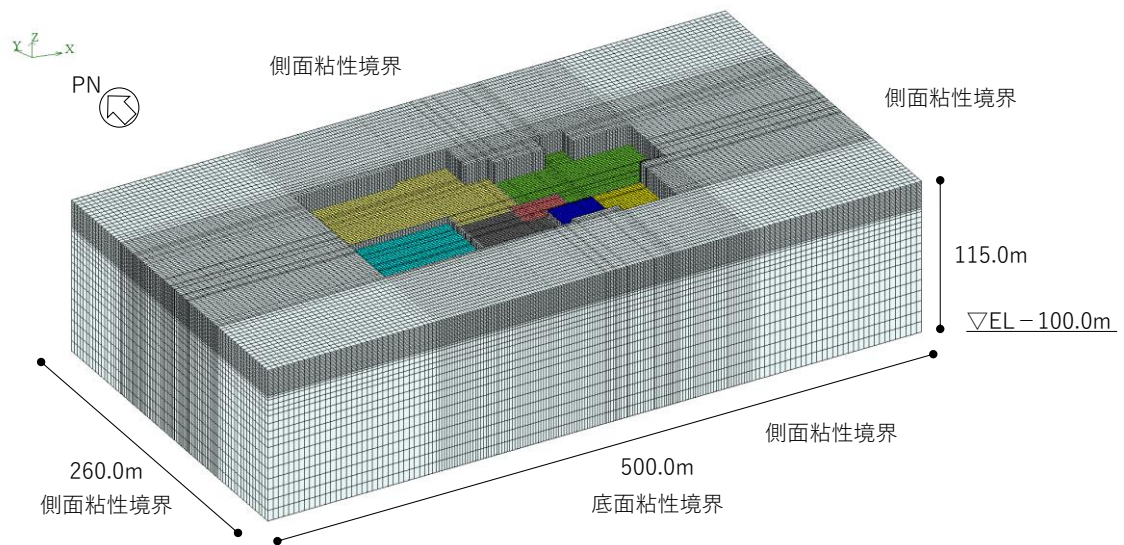
地盤モデルを図 3-22 に示す。地盤はソリッド要素でモデル化する。NS方向 260m, EW方向 500m の領域をモデル化し, 地盤モデル底面位置は EL-100.0m とする。

地盤は各建物の支持地盤が原子炉建物と同等の硬質岩盤であることを踏まえ, 原子炉建物の支持地盤の地盤物性をもとに, 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, 線形材料とする。地盤の減衰は剛性比例型とし, 50Hz で 1% となるように設定する。地盤物性を表 3-2 に示す。なお, 表層地盤及び速度層の傾斜による影響については, 「3.5 検討用地震動」に示す 2次元 FEM 地盤モデルにより算定された入力地震動に考慮されており, 本検討では原子炉建物基礎下端レベルにおいて, この入力地震動と等価となるような補正波を用いていることから, 表層地盤及び速度層の傾斜による影響は評価されている。

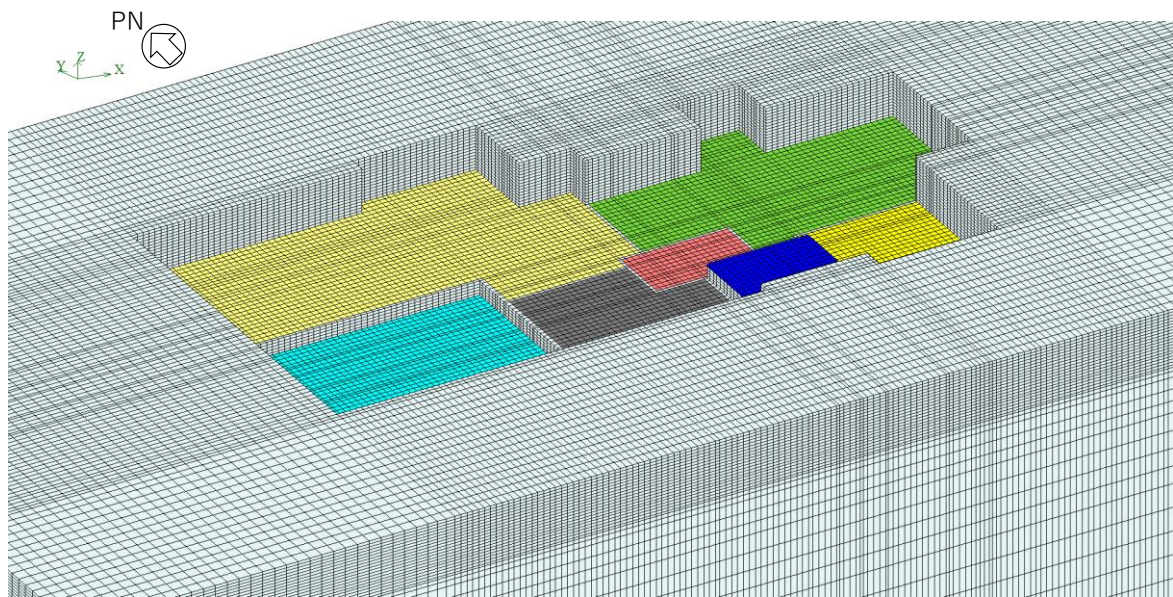
また, 本検討が隣接建物有無による影響を確認することが目的であることを踏まえ, 解析ケース S1~S4 においては, 隣接建物位置における地盤はモデル化せず, 剛体要素により各隣接建物の基礎下端レベルを平面保持している。剛体要素を考慮することによる影響については, 別紙 2 「剛体要素の考慮の有無による影響検討」に示す。

地盤モデルの境界は, 底面粘性境界, 側面粘性境界としてモデル化する。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物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物群の包絡面積に比べて地盤 FEM モデルの平面サイズを十分に大きく設定している (2 倍以上)。深さ方向は基礎底面が最も深い原子炉建物の基礎幅の 1 倍以上としている。建物部分の要素分割は原子炉建物に対して 40 分割程度を目安にする。

建物の基礎は剛体として考慮し, 浮上りは考慮せず完全固着とし, 鉛直自由度を拘束し, 基礎底面と支持地盤が同一に挙動するように結合する。質点系モデルでは側面地盤ばねを考慮していないことから, 建物側面と側面地盤間の結合は考慮しない。



(a) 全体図



(b) 基礎底面部拡大図

図 3-22 地盤モデル (ALL)

表 3-2 地盤物性

S波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν
1600	24.5	0.377

3.5 検討用地震動

検討用地震動として、VI-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に想定する設計用地震動のうち、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる弾性設計用地震動 S d - D（最大応答加速度：410cm/s²，図 3-23）を代表波として影響検討を行う。

原子炉建物の基礎スラブ底面位置における地盤の応答が、VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に示す入力地震動と等価になるような補正波を作成し、地盤 F E Mモデル底面に入力する。隣接影響評価の地震応答解析の概念図を図 3-24 に示す。

なお、本検討では 2 次元 F E M地盤モデルにより算定した原子炉建物における入力地震動を基に作成した補正波を用いて各解析（解析ケース ALL 及び S1～S4）を実施しており、地盤 F E Mモデル底面から補正波を入力することで各建物の基礎下端レベルの違いは評価されている。

○印は最大値発生時刻を示す

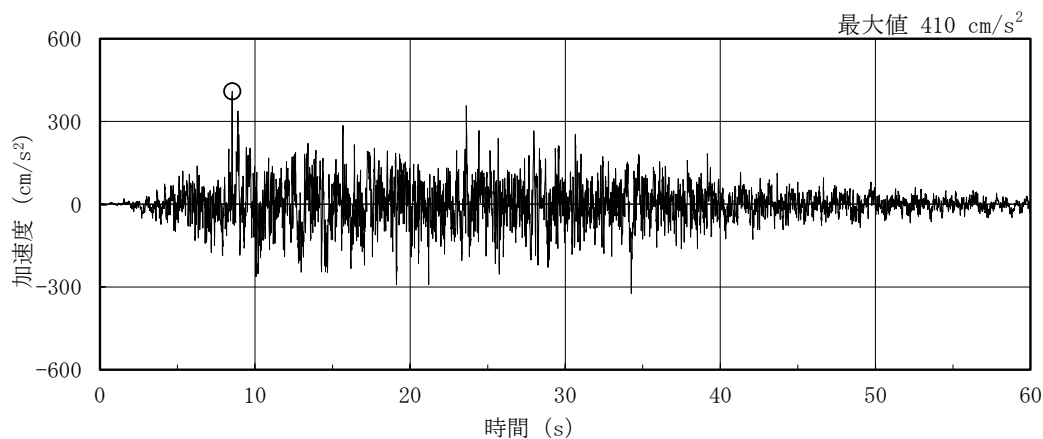
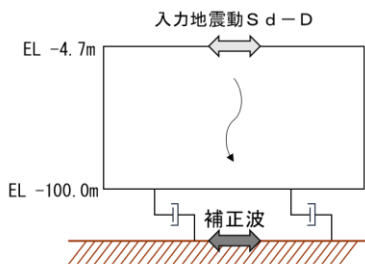


図 3-23 弾性設計用地震動 S d - D の時刻歴波形（水平方向）

<補正波の作成>

入力地震動 S d - D (VI-2-2-2「原子炉建物の地震応答計算書」に示す2次元FEM地盤モデルにより算定された入力地震動)を,表 3-2 に示す地盤物性で EL-4.7m~EL-100.0m をモデル化した地盤FEMモデルの上面に入力し,地盤FEMモデル底面における応答波を地震応答解析で用いる補正波とする。



補正波を地盤FEMモデル底面に入力

<地震応答解析>

作成した補正波を解析ケース S1~S4 及び解析ケース ALL の入力地震動として,建物をモデル化した地盤FEMモデル底面に入力し地震応答解析を実施する。

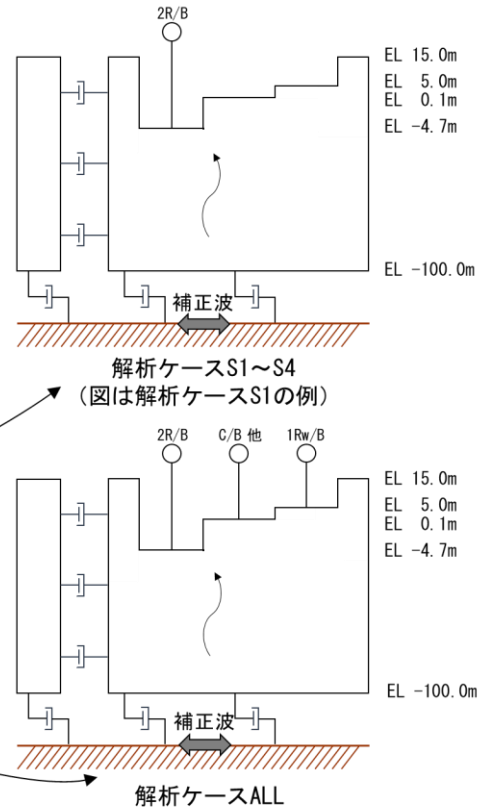


図 3-24 地震応答解析の概念図

3.6 解析結果

地震応答解析より得られた各建物の最大応答値について、局部評価が必要となる設備に対応する応答比率を表 3-3 に、全建物を考慮したケース (ALL) と各建物単独でモデル化したケース (S1~S4) の比較結果を図 3-25~図 3-54 に示す。

各建物の最大応答値について確認した結果、局部評価が必要となる設備に対応する応答比率 (隣接考慮/隣接非考慮) は、原子炉建物では 0.93 (NS 方向, 曲げモーメント) ~ 1.02 (EW 方向, せん断力), 制御室建物では 0.84 (EW 方向, 曲げモーメント) ~ 0.95 (NS 方向, せん断力), タービン建物では 0.92 (EW 方向, せん断力) ~ 0.99 (NS 方向, 曲げモーメント), 廃棄物処理建物では 0.93 (NS 方向, せん断力) ~ 0.96 (EW 方向, せん断力) であり、応答はほぼ同等あるいは減少する傾向にあることを確認した。

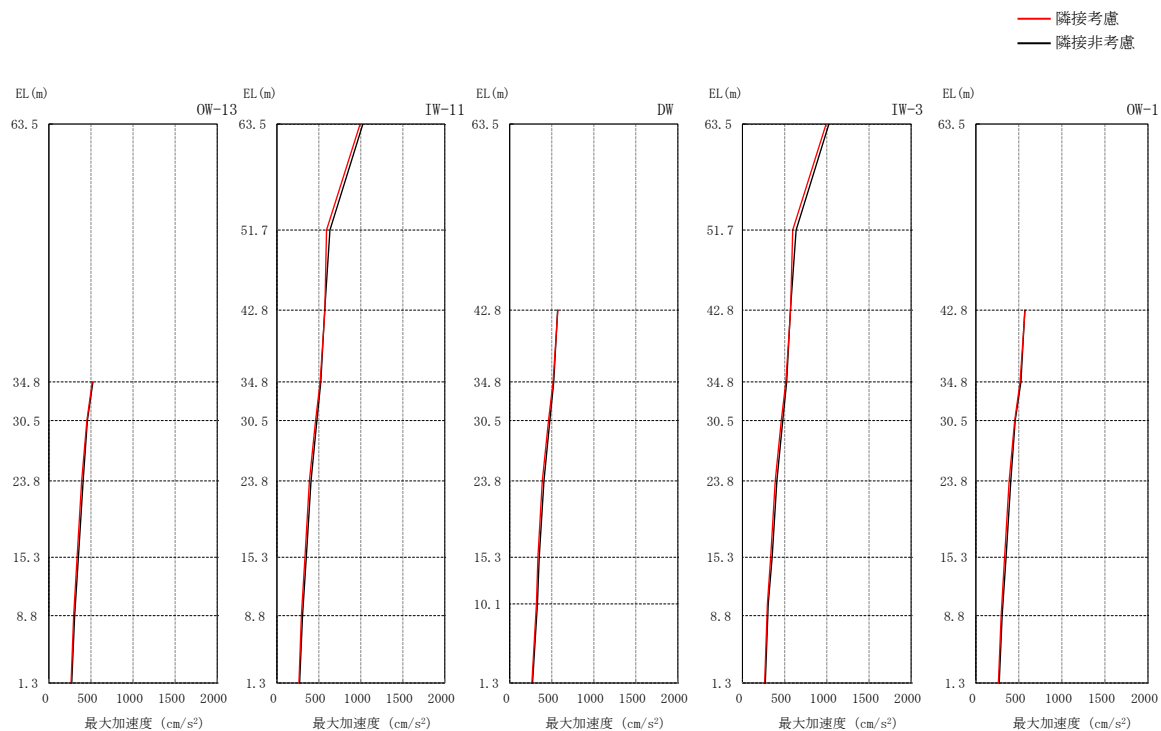
「2.3 既往の知見に基づく検討のまとめ」において、硬質岩盤においては隣接建物が検討対象建物の応答に与える影響が小さいことが確認されており、硬岩サイトである島根原子力発電所第 2 号機においても同様の傾向であることを確認した。

表 3-3 局部評価が必要となる設備に対応する応答比率

建物	部位	評価対象	評価 パラメータ	応答比率*1
原子炉建物	耐震壁	すべての耐震要素	せん断力	0.95 (EW方向) ~ 1.02 (EW方向)
	屋根トラス	燃料取替階レベル (EL 42.8m) の質点*2	加速度	0.98 (EW方向) ~ 1.00 (NS方向)
	燃料プール	燃料プールを含む EL 30.5m~EL 42.8m の 耐震要素	せん断力	0.96 (EW方向) ~ 1.00 (NS方向)
			曲げ モーメント	0.93 (NS方向) ~ 0.99 (EW方向)
	基礎スラブ (EL 1.3m)	基礎スラブ上の耐震要素	せん断力	0.96 (NS方向) ~ 1.01 (EW方向)
			曲げ モーメント	0.97 (NS方向) ~ 1.01 (EW方向)
制御室建物	耐震壁	すべての耐震要素	せん断力	0.84 (EW方向) ~ 0.95 (NS方向)
	基礎スラブ (EL 1.6m)	基礎スラブ上の耐震要素	せん断力	0.84 (EW方向) ~ 0.95 (NS方向)
			曲げ モーメント	0.84 (EW方向) ~ 0.92 (NS方向)
タービン建物	耐震壁	Ss 及び Sd 機能維持範囲を含む耐震要素	せん断力	0.92 (EW方向) ~ 0.99 (NS方向)
	基礎スラブ (EL 2.0m)	基礎スラブ上の耐震要素	せん断力	0.92 (EW方向) ~ 0.99 (NS方向)
			曲げ モーメント	0.95 (EW方向) ~ 0.99 (NS方向)
廃棄物処理建物	耐震壁	Ss 機能維持範囲を含む耐震要素	せん断力	0.93 (NS方向) ~ 0.96 (EW方向)

注記*1：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

*2：屋根トラス解析モデルへの入力は燃料取替階レベルの床応答としている。

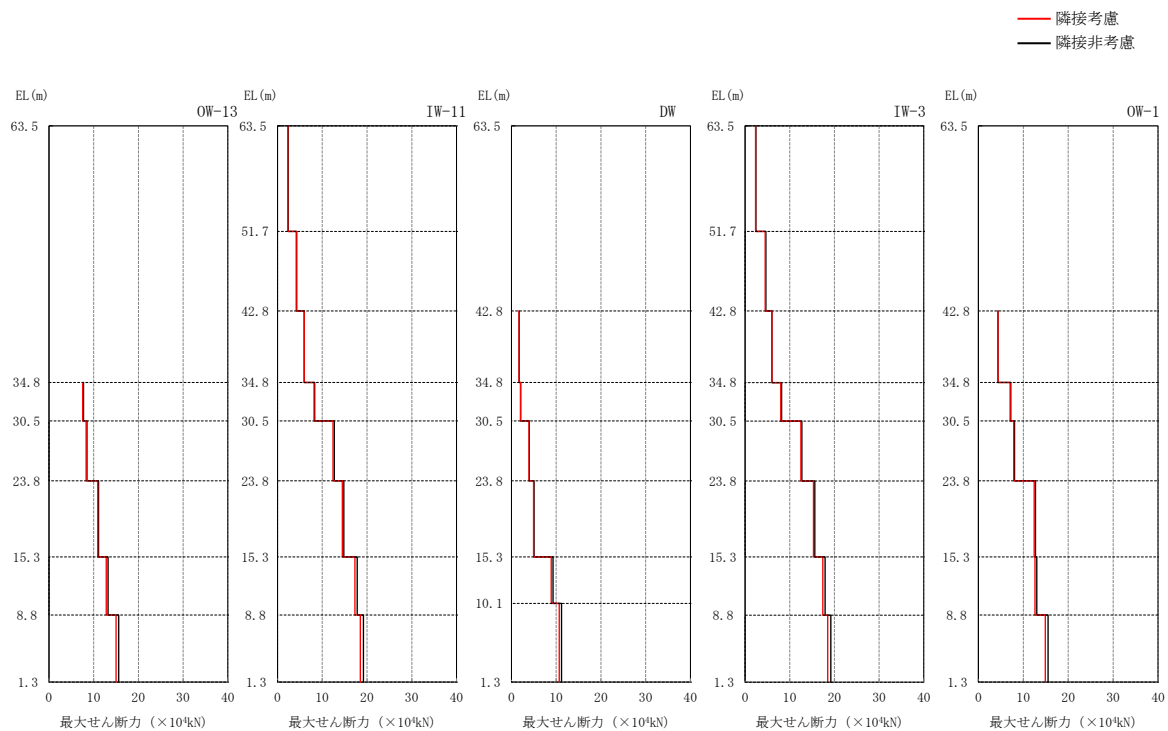


(単位 : cm/s^2)

質点位置 (m)	OW-13			IW-11			DW			IW-3			OW-1		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
63.5				992	1024	0.97				992	1024	0.97			
51.7				592	633	0.94				595	636	0.94			
42.8				571	569	1.00	571	569	1.00	571	569	1.00	571	569	1.00
34.8	515	523	0.98	515	523	0.98	515	523	0.98	515	523	0.98	515	523	0.98
30.5	450	456	0.99	461	477	0.97	461	477	0.97	461	477	0.97	451	457	0.99
23.8	388	407	0.95	388	407	0.95	388	407	0.95	388	407	0.95	388	407	0.95
15.3	335	351	0.95	335	351	0.95	335	351	0.95	335	351	0.95	335	351	0.95
10.1							317	330	0.96						
8.8	293	305	0.96	293	305	0.96				295	306	0.96	295	306	0.96
1.3	263	271	0.97	263	271	0.97	263	271	0.97	263	271	0.97	263	271	0.97

注 : 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図 3-25 最大応答加速度の比較 (原子炉建物, N S 方向)



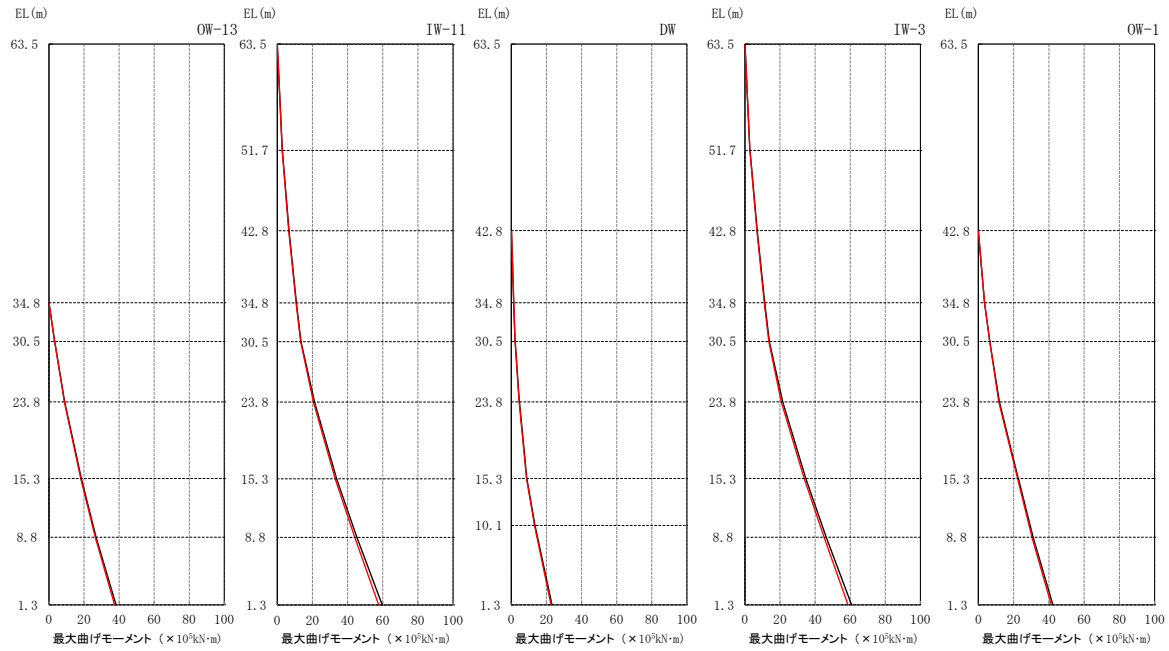
(単位：×10⁴kN)

質点位置 (m)	OW-13			IW-11			DW			IW-3			OW-1		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
63.5															
51.7				2.32	2.40	0.97				2.34	2.41	0.97			
42.8				4.19	4.29	0.98				4.53	4.65	0.97			
34.8				5.97	5.96	1.00	1.68	1.73	0.97	6.02	6.01	1.00	4.37	4.36	1.00
30.5	7.54	7.70	0.98	8.15	8.32	0.98	2.02	2.06	0.98	8.00	8.17	0.98	7.04	7.20	0.98
23.8	8.31	8.49	0.98	12.4	12.7	0.98	3.91	4.00	0.98	12.5	12.7	0.98	7.87	8.05	0.98
15.3	10.9	11.1	0.98	14.5	14.8	0.98	4.93	5.06	0.97	15.3	15.6	0.98	12.4	12.7	0.98
10.1	12.8	13.2	0.97	17.3	17.8	0.97	8.90	9.28	0.96	17.4	17.9	0.97	12.6	13.0	0.97
8.8															
1.3	15.0	15.6	0.96	18.5	19.2	0.96	10.7	11.2	0.96	18.5	19.2	0.96	14.9	15.5	0.96

注：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-26 最大応答せん断力の比較（原子炉建物，NS方向）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



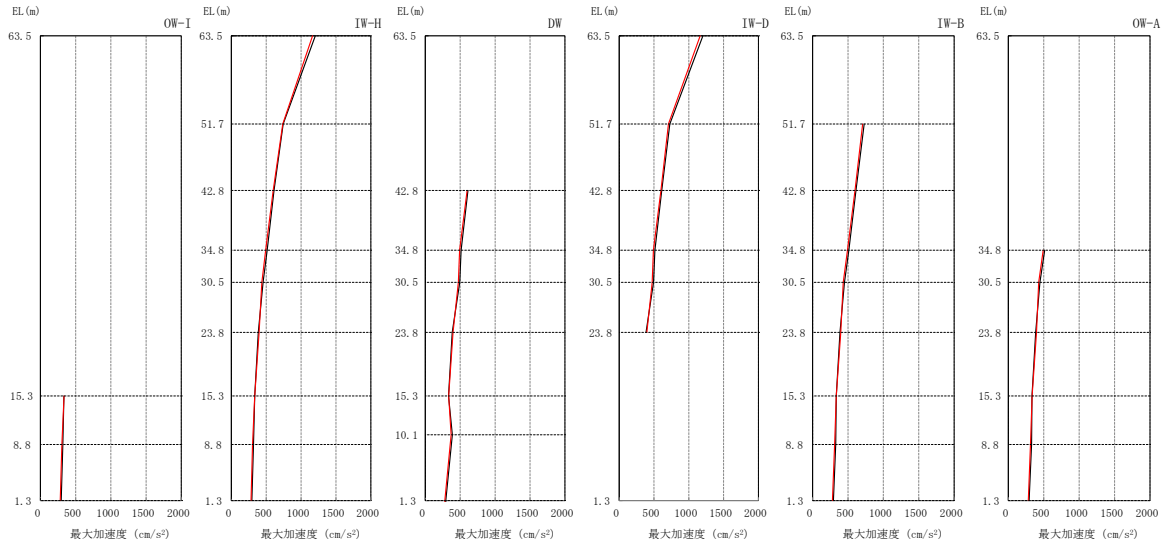
(単位 : $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)

質点位置 (m)	OW-13			IW-11			DW			IW-3			OW-1		
	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率
63.5				0.0108	0.0111	0.97				0.0104	0.0108	0.96			
51.7				2.75	2.84	0.97				2.77	2.85	0.97			
42.8				2.76	2.85	0.97				2.77	2.86	0.97			
34.8				6.49	6.66	0.97				6.81	7.00	0.97			
30.5	0.00378	0.00382	0.99	6.49	6.67	0.97	0.0169	0.0182	0.93	6.81	7.00	0.97	0.00483	0.00497	0.97
23.8				10.7	10.9	0.98	1.35	1.40	0.96	11.0	11.3	0.97	3.50	3.50	1.00
15.3	3.24	3.31	0.98	10.7	10.9	0.98	1.36	1.40	0.97	11.0	11.3	0.97	3.51	3.50	1.00
10.1	3.25	3.32	0.98	13.3	13.5	0.99	2.10	2.15	0.98	13.6	13.9	0.98	6.42	6.49	0.99
8.8	8.81	9.01	0.98	13.3	13.5	0.99	2.10	2.16	0.97	13.6	13.9	0.98	6.43	6.49	0.99
1.3	8.82	9.01	0.98	20.5	21.2	0.97	4.47	4.57	0.98	20.7	21.5	0.96	11.6	11.9	0.97
	18.1	18.5	0.98	20.5	21.2	0.97	4.48	4.58	0.98	20.7	21.5	0.96	11.6	11.9	0.97
	18.1	18.5	0.98	32.9	33.8	0.97	8.67	8.86	0.98	33.8	34.7	0.97	22.2	22.6	0.98
	18.1	18.5	0.98	32.9	33.8	0.97	8.67	8.86	0.98	33.8	34.7	0.97	22.2	22.7	0.98
	26.4	26.9	0.98				13.2	13.5	0.98						
	26.4	26.9	0.98				13.2	13.5	0.98						
	26.4	26.9	0.98	44.1	45.3	0.97				45.1	46.3	0.97	30.4	31.0	0.98
	26.4	26.9	0.98	44.1	45.3	0.97				45.1	46.3	0.97	30.4	31.0	0.98
	37.4	38.3	0.98	57.7	59.7	0.97	22.6	23.2	0.97	58.7	60.8	0.97	41.3	42.3	0.98

注 : 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図 3-27 最大応答曲げモーメントの比較 (原子炉建物, NS 方向)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



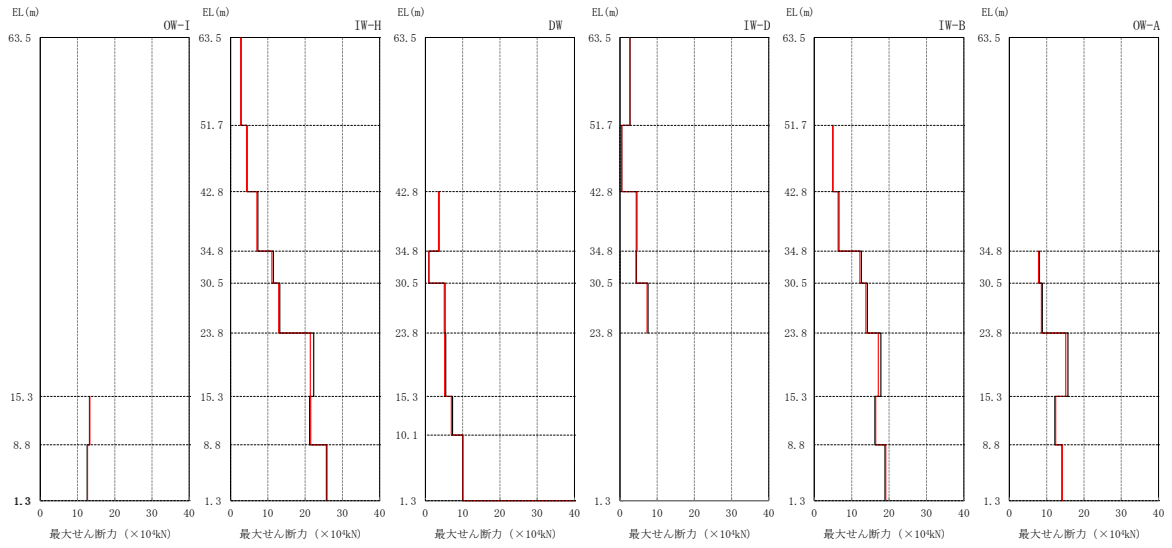
(単位: cm/s^2)

質点位置 (m)	OW-I			IW-H			DW			IW-D			IW-B			OW-A		
	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率
63.5				1164	1204	0.97				1164	1204	0.97						
51.7				737	743	0.99				707	728	0.97	707	728	0.97			
42.8				599	612	0.98	599	612	0.98	599	612	0.98	599	612	0.98			
34.8				492	513	0.96	492	513	0.96	492	513	0.96	492	513	0.96	492	513	0.96
30.5				437	454	0.96	474	493	0.96	474	493	0.96	432	450	0.96	429	446	0.96
23.8				398	386	1.03	398	386	1.03	398	386	1.03	398	386	1.03	398	386	1.03
15.3	335	334	1.00	335	334	1.00	335	334	1.00				335	334	1.00	335	334	1.00
10.1							371	388	0.96									
8.8	304	318	0.96	304	318	0.96							312	327	0.95	312	327	0.95
1.3	281	294	0.96	281	294	0.96	281	294	0.96				281	294	0.96	281	294	0.96

注：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-28 最大応答加速度の比較 (原子炉建物, E W方向)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



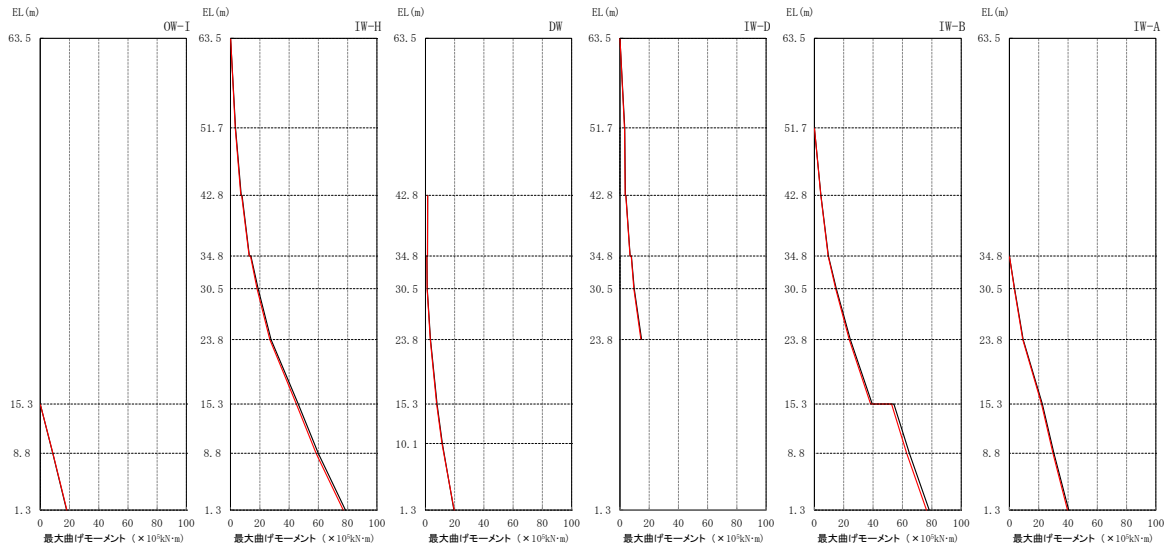
(単位：×10⁴kN)

質点位置 (m)	OW-I			IW-H			DW			IW-D			IW-B			OW-A		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
63.5				2.73	2.83	0.96				2.63	2.72	0.97						
51.7				4.29	4.43	0.97				0.499	0.506	0.99	4.92	4.98	0.99			
42.8				7.08	7.33	0.97	3.51	3.65	0.96	4.38	4.54	0.96	6.35	6.57	0.97			
34.8				11.1	11.5	0.97	0.906	0.933	0.97	4.30	4.45	0.97	12.2	12.6	0.97	7.81	8.05	0.97
30.5				12.9	13.2	0.98	5.06	5.28	0.96	7.30	7.56	0.97	13.8	14.2	0.97	8.58	8.83	0.97
23.8				21.4	22.3	0.96	5.17	5.44	0.95				17.1	17.8	0.96	15.1	15.7	0.96
15.3																		
10.1	13.3	13.2	1.01	21.5	21.2	1.01	6.94	7.28	0.95				16.4	16.2	1.01	12.4	12.2	1.02
8.8																		
1.3	12.7	12.6	1.01	25.9	25.7	1.01	10.1	10.0	1.01				19.1	18.9	1.01	14.2	14.1	1.01

注：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-29 最大応答せん断力の比較（原子炉建物，EW方向）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



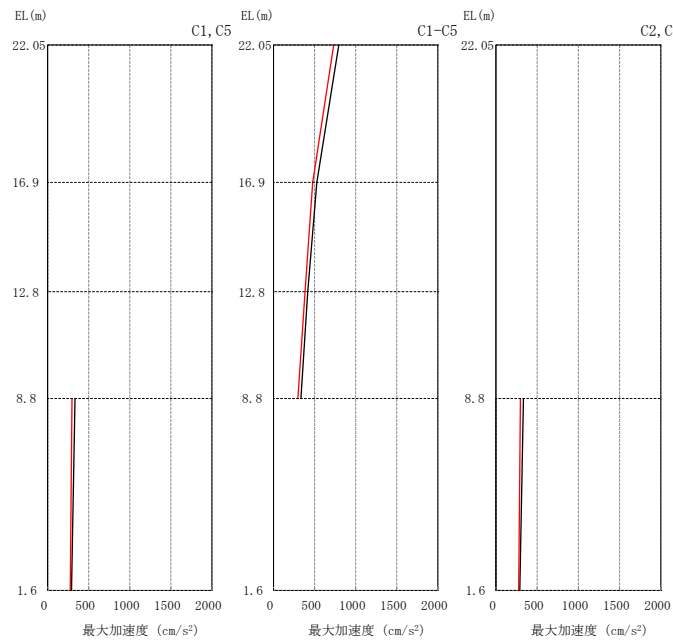
(単位：×10⁵kN・m)

質点位置 (m)	OW-I			IW-H			DW			IW-D			IW-B			IW-A		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
63.5				0.0105	0.0110	0.95				0.0113	0.0117	0.97						
51.7				3.24	3.36	0.96				3.11	3.22	0.97						
				3.25	3.36	0.97				3.12	3.23	0.97	0.00487	0.00506	0.96			
42.8				7.07	7.31	0.97				3.55	3.68	0.96	4.38	4.44	0.99			
				7.62	7.86	0.97	1.51	1.55	0.97	3.97	4.10	0.97	4.39	4.44	0.99			
34.8				12.7	12.9	0.98	1.36	1.40	0.97	6.91	7.02	0.98	9.38	9.61	0.98			
				13.6	13.9	0.98	0.998	1.05	0.95	7.68	7.84	0.98	9.39	9.61	0.98	0.00304	0.00332	0.92
30.5				18.1	18.8	0.96	1.18	1.26	0.94	9.51	9.75	0.98	14.5	15.0	0.97	3.36	3.47	0.97
				18.1	18.8	0.96	1.18	1.27	0.93	9.51	9.76	0.97	14.5	15.0	0.97	3.36	3.47	0.97
23.8				26.8	27.7	0.97	3.33	3.46	0.96	14.3	14.8	0.97	23.8	24.5	0.97	9.11	9.39	0.97
				26.8	27.7	0.97	3.33	3.46	0.96				23.8	24.5	0.97	9.11	9.39	0.97
15.3				45.0	46.3	0.97	7.70	7.93	0.97				38.3	39.4	0.97	21.9	22.5	0.97
	0.00177	0.00180	0.98	45.0	46.3	0.97	7.71	7.94	0.97				52.6	54.2	0.97	21.9	22.5	0.97
10.1							11.3	11.6	0.97									
							11.3	11.6	0.97									
8.8	8.67	8.57	1.01	58.4	59.9	0.97							62.9	64.7	0.97	29.7	30.4	0.98
	8.67	8.58	1.01	58.4	59.9	0.97							62.9	64.7	0.97	29.7	30.4	0.98
1.3	18.2	18.0	1.01	77.0	78.5	0.98	19.7	19.5	1.01				76.4	78.3	0.98	39.7	40.5	0.98

注：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-30 最大応答曲げモーメントの比較（原子炉建物，EW方向）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



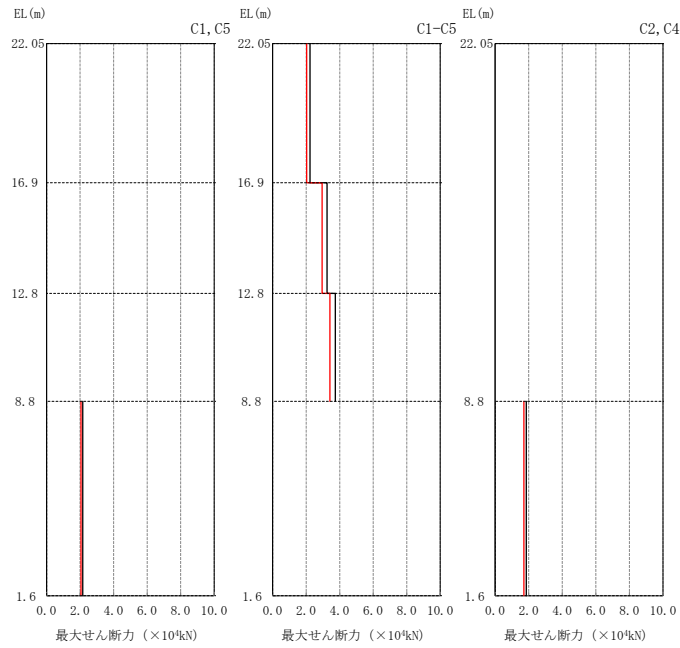
(単位: cm/s^2)

質点位置 (m)	C1, C5			C1-C5			C2, C4		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
22.05				732	795	0.92			
16.9				476	527	0.90			
12.8				383	417	0.92			
8.8	296	333	0.89				296	333	0.89
1.6	275	290	0.95				275	290	0.95

注: 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図 3-31 最大応答加速度の比較 (制御室建物, N S 方向)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



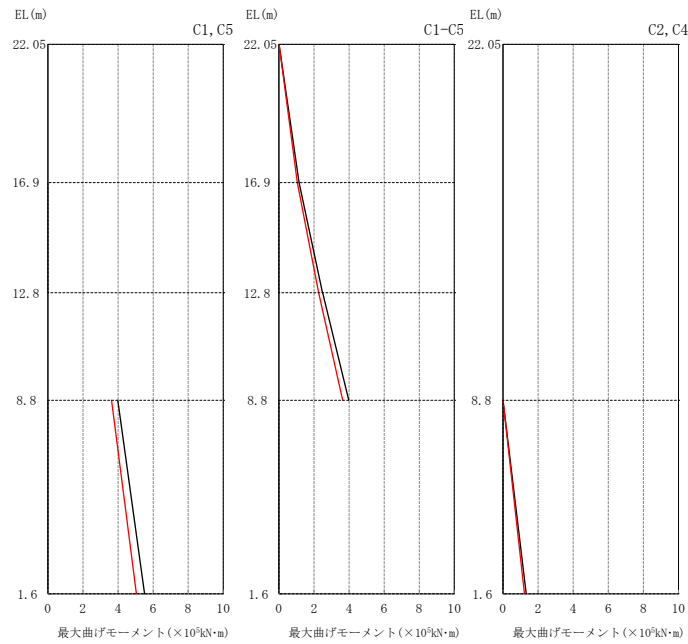
(単位： $\times 10^4 \text{kN}$)

質点位置 (m)	C1, C5			C1-C5			C2, C4		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
22.05									
16.9				2.03	2.23	0.91			
12.8				2.95	3.24	0.91			
8.8				3.42	3.74	0.91			
1.6	2.05	2.16	0.95				1.71	1.85	0.92

注：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-32 最大応答せん断力の比較（制御室建物，NS方向）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮

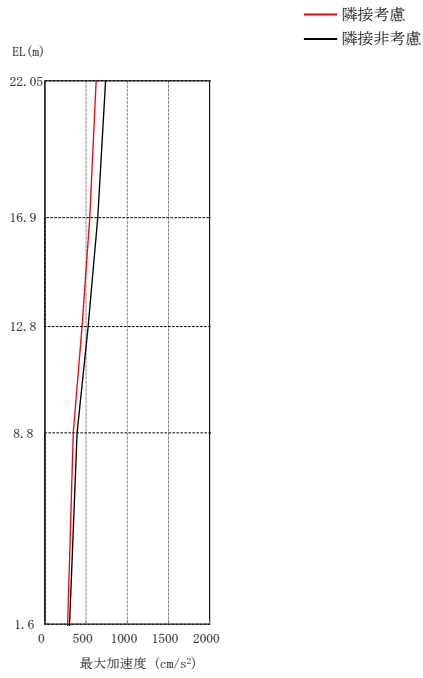


(単位: $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)

質点位置 (m)	C1, C5			C1-C5			C2, C4		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
22.05				0.00196	0.00216	0.91			
16.9				1.05	1.15	0.91			
12.8				2.26	2.48	0.91			
8.8				3.63	3.98	0.91			
1.6	3.63	3.98	0.91				0.000747	0.000842	0.89
	5.04	5.51	0.91				1.23	1.33	0.92

注: 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図 3-33 最大応答曲げモーメントの比較 (制御室建物, NS 方向)

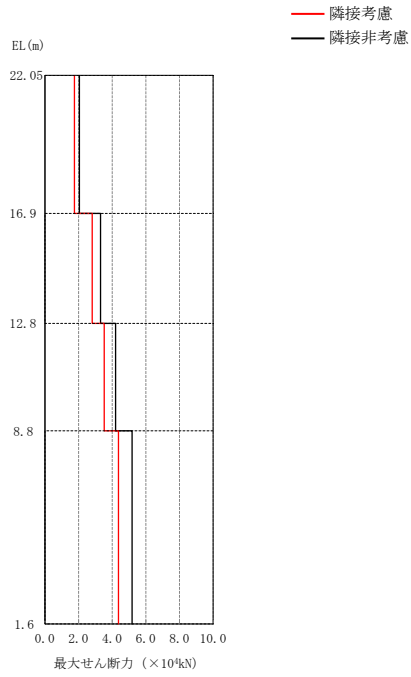


(単位：cm/s²)

質点位置 (m)	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
22.05	621	736	0.84
16.9	544	641	0.85
12.8	451	525	0.86
8.8	344	391	0.88
1.6	276	298	0.93

注：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-34 最大応答加速度の比較（制御室建物，E W方向）

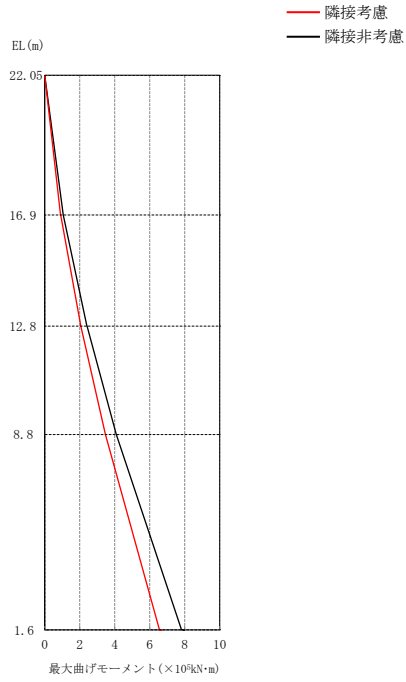


(単位：×10⁴kN)

質点位置 (m)	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率
22.05			
	1.76	2.05	0.86
16.9			
	2.81	3.31	0.85
12.8			
	3.53	4.20	0.84
8.8			
	4.37	5.18	0.84
1.6			

注：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-35 最大応答せん断力の比較（制御室建物，EW方向）



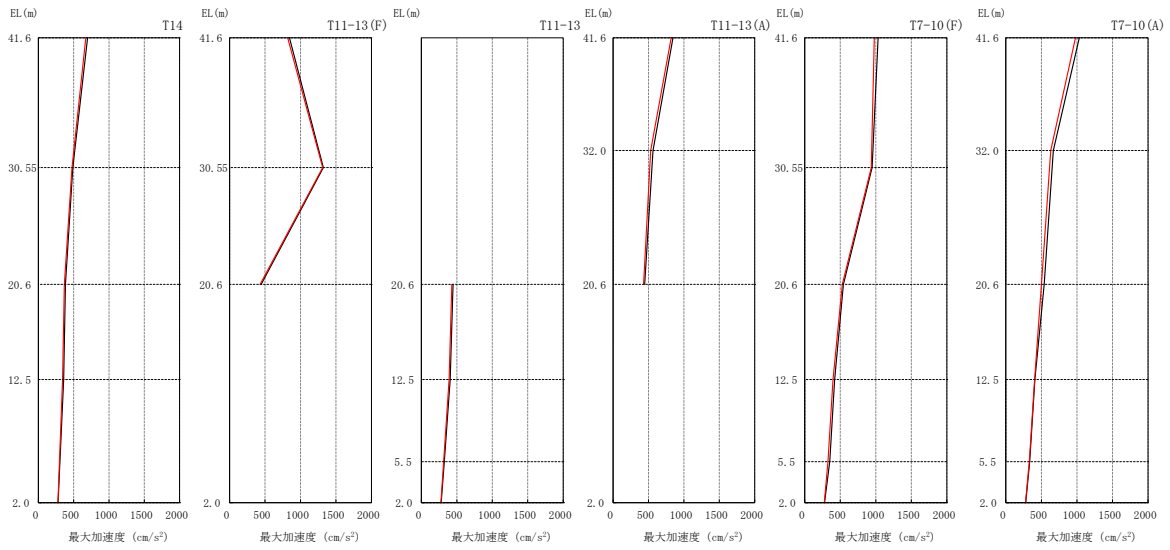
(単位 : ×10⁵kN・m)

質点位置 (m)	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率
22.05	0.000914	0.00132	0.69
16.9	0.906	1.06	0.85
12.8	2.06	2.41	0.85
8.8	3.47	4.09	0.85
1.6	6.56	7.82	0.84

注：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-36 最大応答曲げモーメントの比較 (制御室建物, EW方向)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



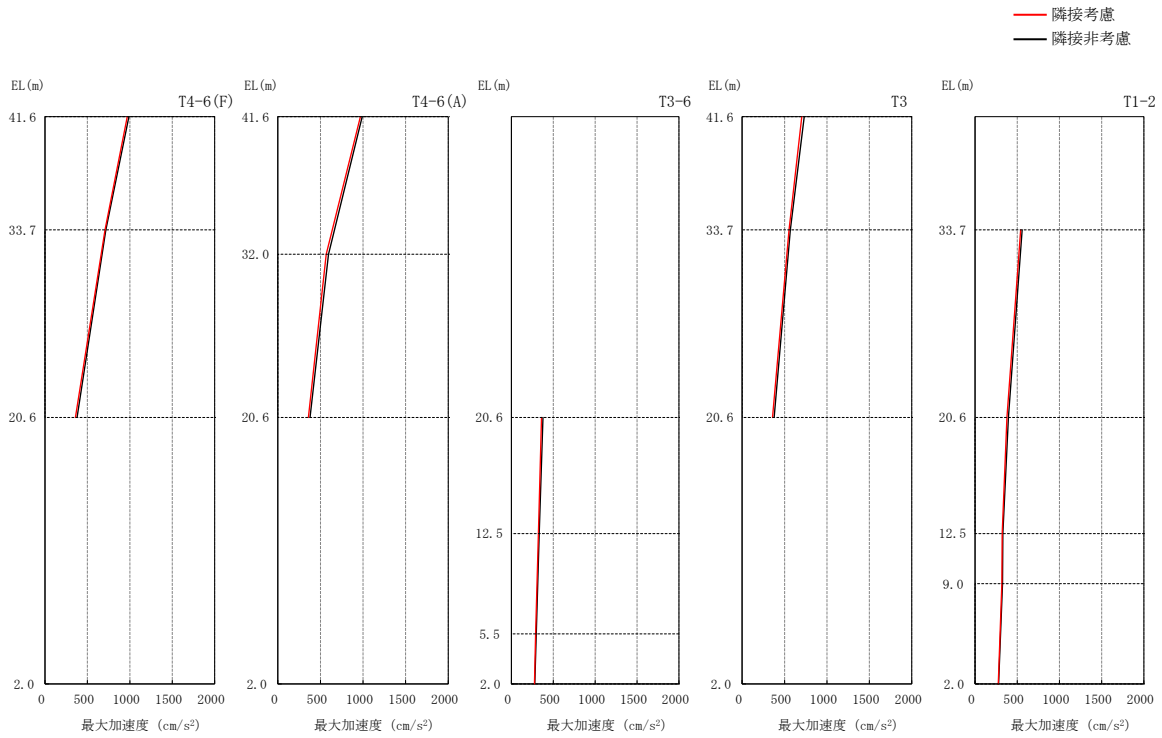
(単位: cm/s²)

質点位置 (m)	T14			T11-13(F)			T11-13			T11-13(A)			T7-10(F)			T7-10(A)		
	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率
41.6	672	697	0.96	820	845	0.97				820	845	0.97	980	1033	0.95	980	1033	0.95
33.7																		
32.0										531	563	0.94				631	668	0.94
30.55	475	488	0.97	1312	1323	0.99							936	948	0.99			
20.6	367	383	0.96	429	446	0.96	429	446	0.96	429	446	0.96	529	545	0.97	500	539	0.93
12.5	342	357	0.96				390	407	0.96				398	422	0.94	404	409	0.99
9.0																		
5.5							314	324	0.97				328	353	0.93	329	335	0.98
2.0	276	279	0.99				276	279	0.99				276	279	0.99	276	279	0.99

注1: ハッチング部はS_s及びS_dに対する機能維持範囲を示す。

注2: 応答比率=隣接考慮/隣接非考慮

図3-37 最大応答加速度の比較 (タービン建物, NS方向) (1/2)



(単位：cm/s²)

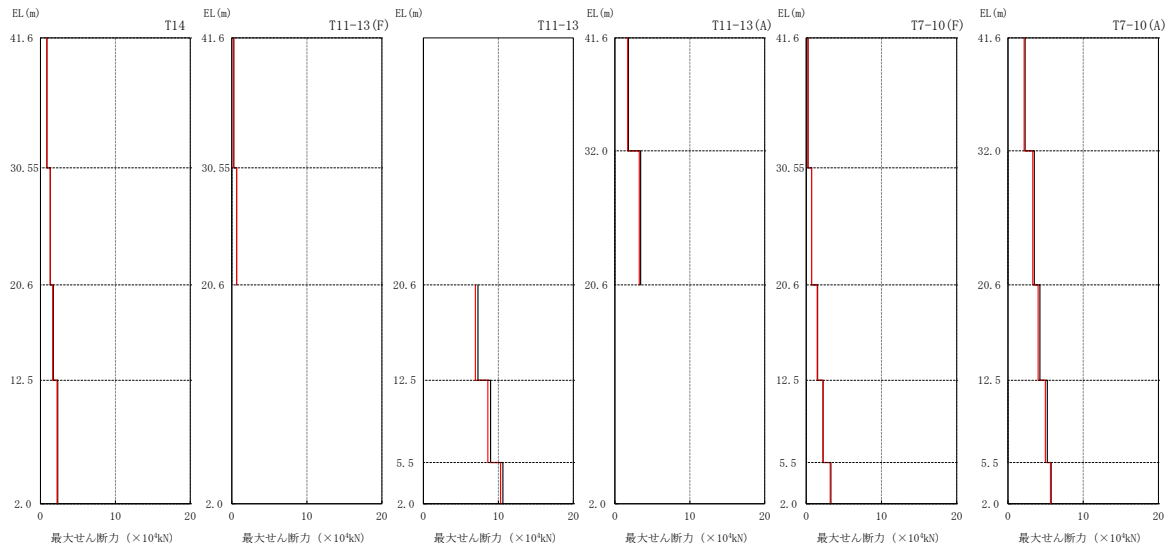
質点位置 (m)	T4-6(F)			T4-6(A)			T3-6			T3			T1-2		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6	969	990	0.98	969	990	0.98				703	733	0.96			
33.7	708	718	0.99							553	568	0.97	542	558	0.97
32.0				568	594	0.96									
30.55															
20.6	359	377	0.95	359	377	0.95	359	377	0.95	359	377	0.95	378	396	0.95
12.5							322	332	0.97				322	331	0.97
9.0													318	327	0.97
5.5							290	296	0.98						
2.0							276	279	0.99				276	279	0.99

注1：ハッチング部はS_s及びS_dに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-38 最大応答加速度の比較（タービン建物，NS方向）（2/2）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



(単位：×10⁴kN)

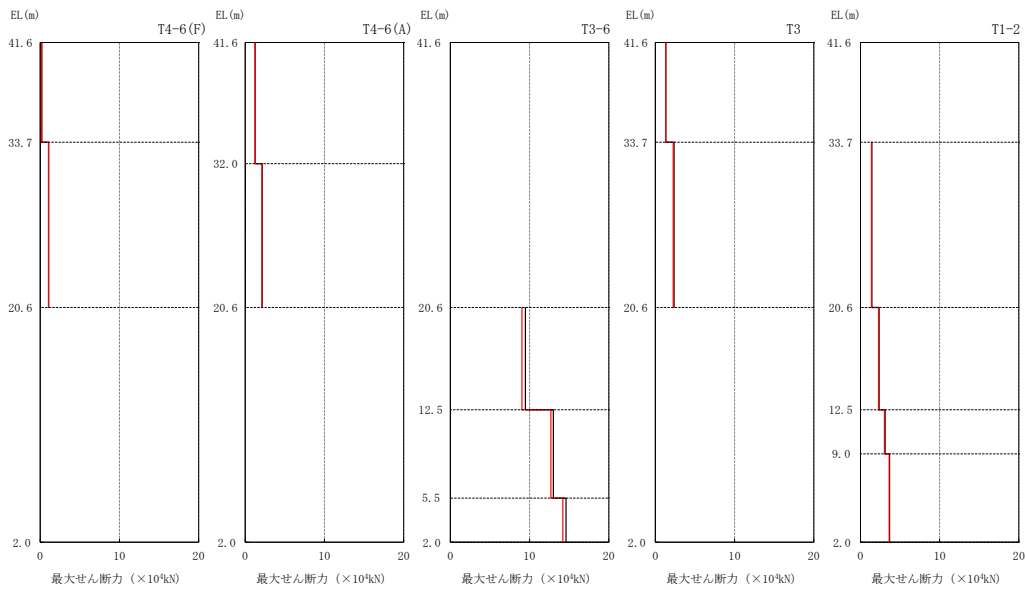
質点位置 (m)	T14			T11-13(F)			T11-13			T11-13(A)			T7-10(F)			T7-10(A)		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6																		
33.7	0.839	0.853	0.98	0.249	0.251	0.99				1.70	1.80	0.94	0.234	0.242	0.97	2.14	2.27	0.94
32.0																		
30.55																		
20.6	1.29	1.32	0.98	0.631	0.639	0.99				3.26	3.44	0.95	0.716	0.712	1.01	3.30	3.50	0.94
12.5	1.63	1.71	0.95				6.92	7.27	0.95				1.46	1.51	0.97	4.01	4.24	0.95
9.0							8.59	8.95	0.96				2.21	2.24	0.99	4.96	5.22	0.95
5.5	2.22	2.30	0.97															
2.0							10.3	10.6	0.97				3.18	3.28	0.97	5.65	5.73	0.99

注1：ハッチング部はS_s及びS_dに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-39 最大応答せん断力の比較（タービン建物，NS方向）（1/2）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



(単位： $\times 10^4$ kN)

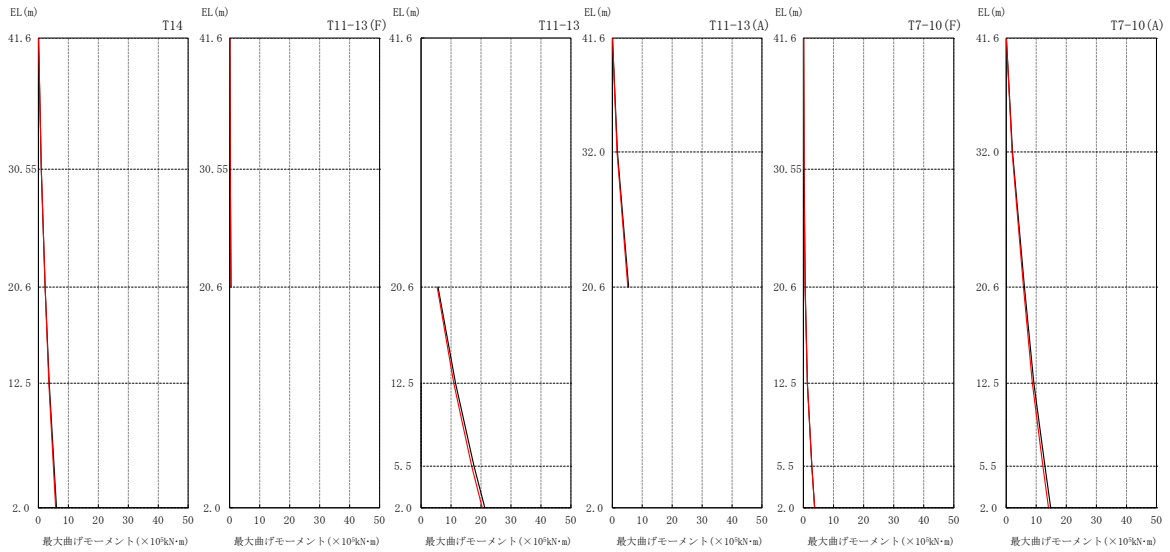
質点位置 (m)	T4-6(F)			T4-6(A)			T3-6			T3			T1-2		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6															
33.7	0.181	0.191	0.95	1.23	1.25	0.98				1.31	1.33	0.98			
32.0															
30.55															
20.6	1.04	1.07	0.97	2.11	2.13	0.99				2.26	2.36	0.96	1.39	1.45	0.96
12.5							9.05	9.47	0.96				2.28	2.36	0.97
9.0							12.7	13.0	0.98				3.02	3.11	0.97
5.5															
2.0							14.2	14.6	0.97				3.63	3.68	0.99

注1：ハッチング部はS_s及びS_dに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-40 最大応答せん断力の比較（タービン建物，NS方向）（2/2）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



(単位：×10⁵kN・m)

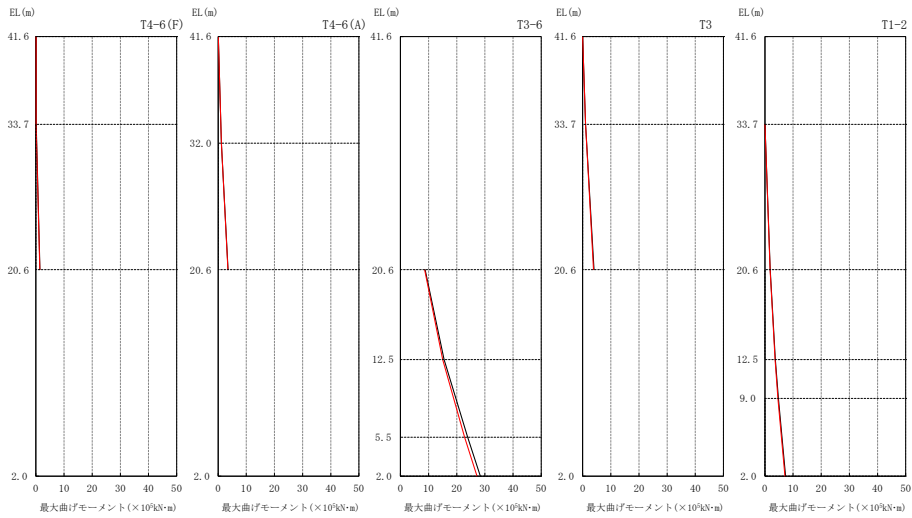
質点位置 (m)	T14			T11-13 (F)			T11-13			T11-13 (A)			T7-10 (F)			T7-10 (A)		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6																		
	0.00117	0.00128	0.91	0.0722	0.0730	0.99				0.0449	0.0460	0.98	0.0732	0.0740	0.99	0.0781	0.0825	0.95
33.7																		
32.0										1.59	1.69	0.94				1.97	2.09	0.94
30.55	0.928	0.943	0.98	0.204	0.206	0.99				1.59	1.69	0.94	0.189	0.199	0.95	1.98	2.10	0.94
	0.929	0.944	0.98	0.192	0.194	0.99							0.181	0.190	0.95			
20.6	2.21	2.23	0.99	0.436	0.441	0.99				5.18	5.46	0.95	0.543	0.554	0.98	5.74	6.09	0.94
	2.21	2.23	0.99				5.39	5.68	0.95				0.543	0.554	0.98	5.75	6.09	0.94
12.5	3.44	3.57	0.96				10.9	11.5	0.95				1.30	1.32	0.98	8.71	9.21	0.95
	3.44	3.57	0.96				10.9	11.5	0.95				1.30	1.32	0.98	8.71	9.21	0.95
9.0																		
5.5							16.9	17.7	0.95				2.77	2.82	0.98	12.2	12.9	0.95
							16.9	17.7	0.95				2.77	2.82	0.98	12.2	12.9	0.95
2.0	5.74	5.99	0.96				20.4	21.3	0.96				3.69	3.71	0.99	14.1	14.8	0.95

注1：ハッチング部はS s 及びS d に対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-41 最大応答曲げモーメントの比較（タービン建物，NS方向）（1/2）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



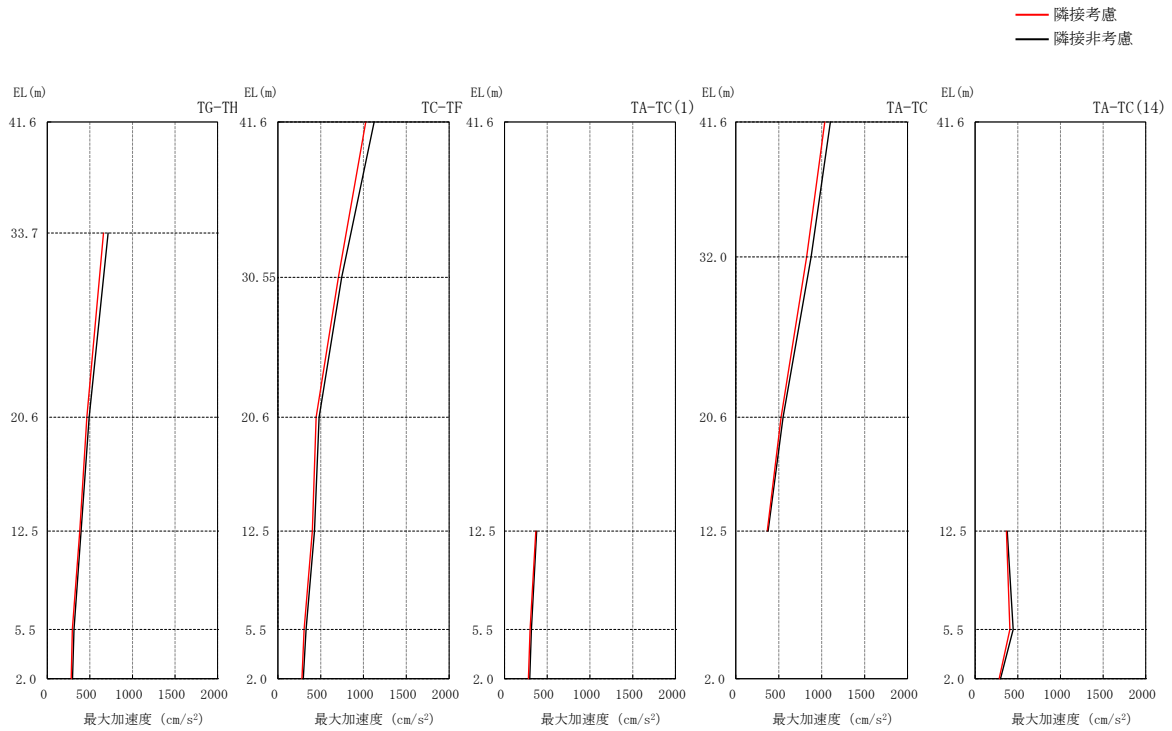
(単位： $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)

質点位置 (m)	T4-6 (F)			T4-6 (A)			T3-6			T3			T1-2		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6															
	0.0514	0.0551	0.93	0.0462	0.0485	0.95				0.000656	0.000680	0.96			
33.7	0.0914	0.0960	0.95							1.04	1.05	0.99			
32.0	0.0915	0.0964	0.95	1.14	1.16	0.98				1.04	1.05	0.99	0.000632	0.000635	1.00
30.55				1.14	1.16	0.98									
20.6	1.40	1.45	0.97	3.48	3.52	0.99				3.83	4.02	0.95	1.83	1.89	0.97
							8.62	8.76	0.98				1.83	1.89	0.97
12.5							15.0	15.5	0.97				3.61	3.71	0.97
							15.0	15.5	0.97				3.61	3.71	0.97
9.0													4.60	4.80	0.96
5.5							22.8	23.9	0.95				4.60	4.80	0.96
							22.8	23.9	0.95						
2.0							27.2	28.4	0.96				7.10	7.34	0.97

注1：ハッチング部はS_s及びS_dに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-42 最大応答曲げモーメントの比較（タービン建物，NS方向）(2/2)



(単位 : cm/s^2)

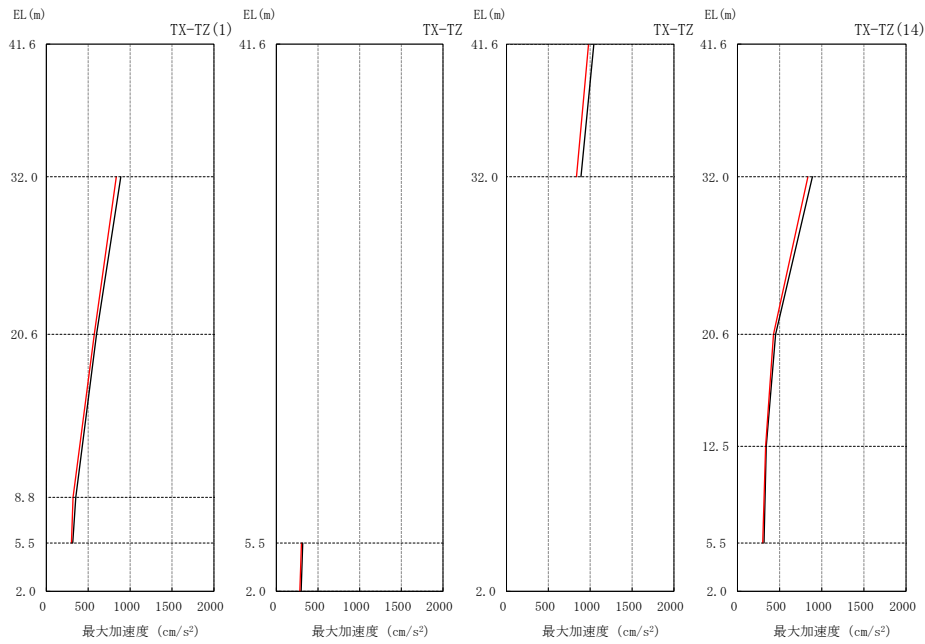
質点位置 (m)	TG-TH			TC-TF			TA-TC(1)			TA-TC			TA-TC(14)		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6				1027	1125	0.91				1037	1101	0.94			
33.7	661	715	0.92												
32.0										825	877	0.94			
30.55				707	746	0.95									
20.6	464	492	0.94	447	482	0.93				528	551	0.96			
12.5	381	397	0.96	403	428	0.94	367	376	0.98	367	376	0.98	367	376	0.98
8.8															
5.5	294	313	0.94	306	329	0.93	300	315	0.95				407	445	0.91
2.0	281	296	0.95	281	296	0.95	281	296	0.95				281	296	0.95

注1 : ハッチング部はS s 及びS d に対する機能維持範囲を示す。

注2 : 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図 3-43 最大応答加速度の比較 (タービン建物, EW方向) (1/2)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



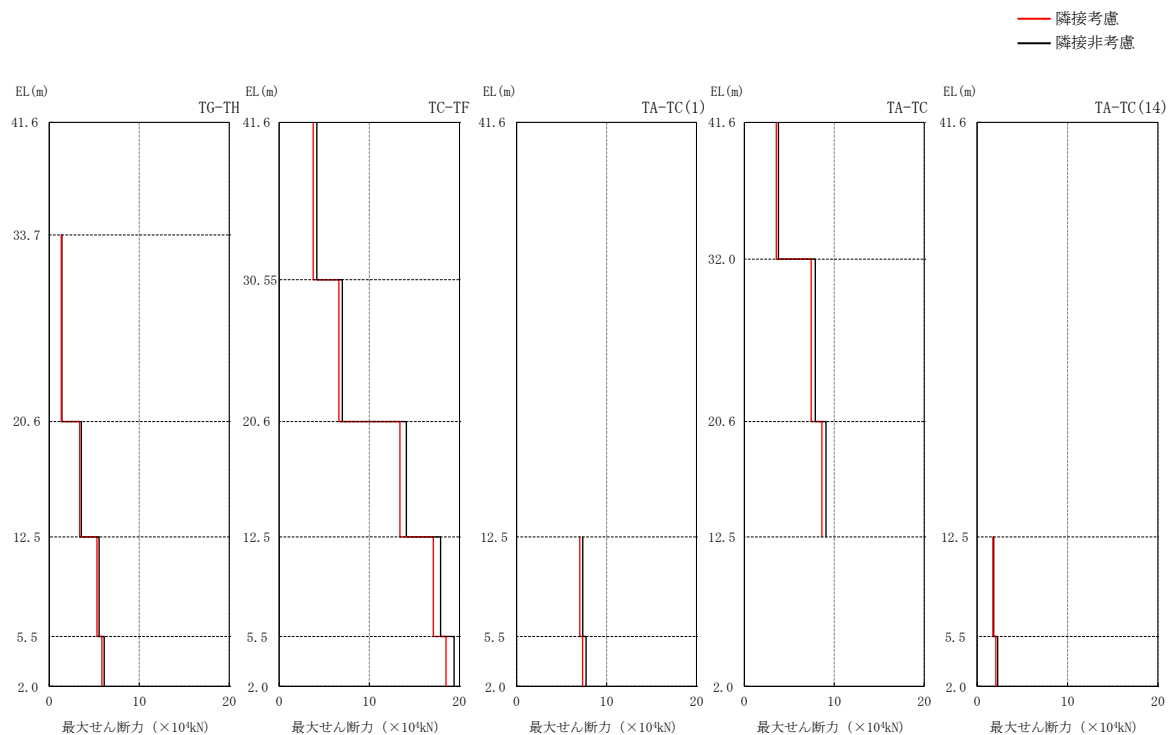
(単位 : cm/s^2)

質点位置 (m)	TX-TZ(1)			TX-TZ			TX-TZ			TX-TZ(14)		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6							980	1044	0.94			
33.7												
32.0	836	889	0.94				836	889	0.94	836	889	0.94
30.55												
20.6	572	600	0.95							427	453	0.94
12.5										334	342	0.98
8.8	319	352	0.91									
5.5	300	315	0.95	300	315	0.95				300	315	0.95
2.0				281	296	0.95						

注1 : ハッチング部はS s 及びS d に対する機能維持範囲を示す。

注2 : 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図 3-44 最大応答加速度の比較 (タービン建物, EW方向) (2/2)



(単位： $\times 10^4$ kN)

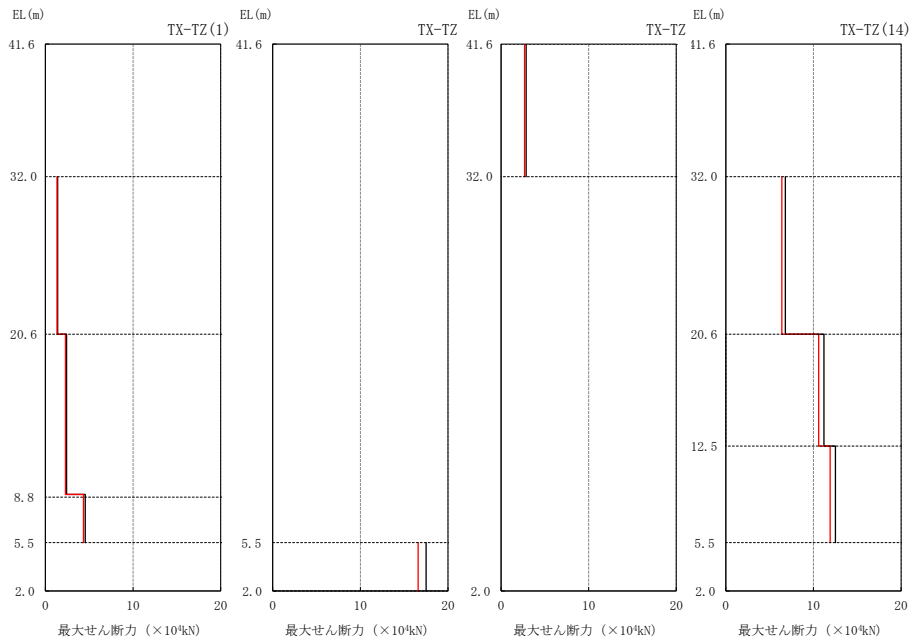
質点位置 (m)	TG-TH			TC-TF			TA-TC(1)			TA-TC			TA-TC(14)		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6															
33.7				3.78	4.17	0.91				3.56	3.79	0.94			
32.0															
30.55															
20.6	1.32	1.40	0.94	6.62	7.00	0.95				7.44	7.89	0.94			
12.5	3.38	3.55	0.95	13.4	14.1	0.95				8.62	9.08	0.95			
8.8	5.29	5.53	0.96	17.1	17.9	0.96	7.02	7.35	0.96				1.74	1.83	0.95
5.5	5.84	6.10	0.96	18.5	19.4	0.95	7.33	7.72	0.95				2.07	2.26	0.92
2.0															

注1：ハッチング部はS_s及びS_dに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-45 最大応答せん断力の比較（タービン建物，EW方向）（1/2）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



(単位： $\times 10^4 \text{kN}$)

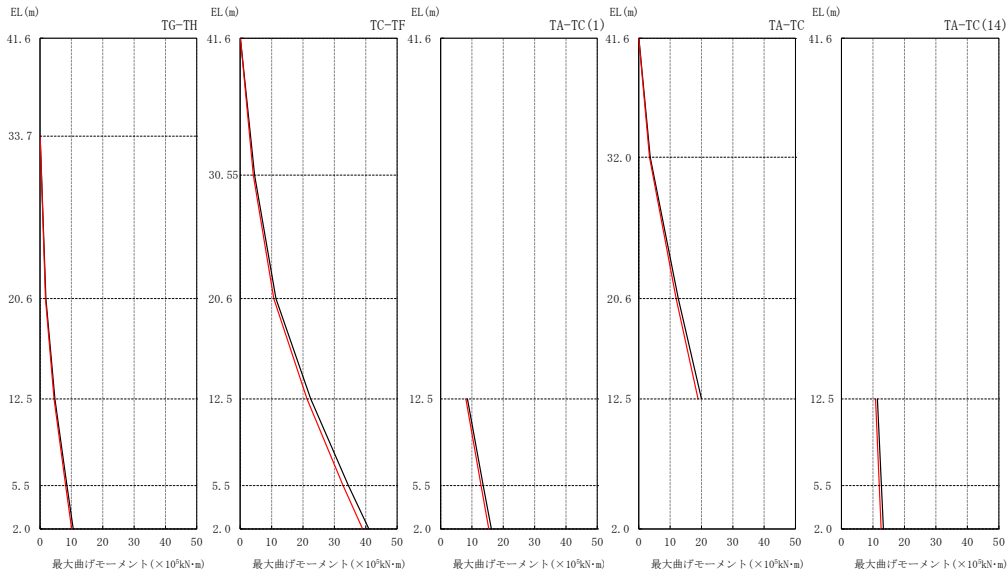
質点位置 (m)	TX-TZ(1)			TX-TZ			TX-TZ			TX-TZ(14)		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6												
33.7							2.69	2.86	0.94			
32.0												
30.55												
20.6	1.32	1.40	0.94							6.40	6.80	0.94
12.5	2.29	2.42	0.95							10.6	11.2	0.95
8.8	4.34	4.55	0.95							11.9	12.5	0.95
5.5												
2.0				16.6	17.5	0.95						

注1：ハッチング部はS_s及びS_dに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-46 最大応答せん断力の比較（タービン建物，EW方向）(2/2)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



(単位：×10⁶kN·m)

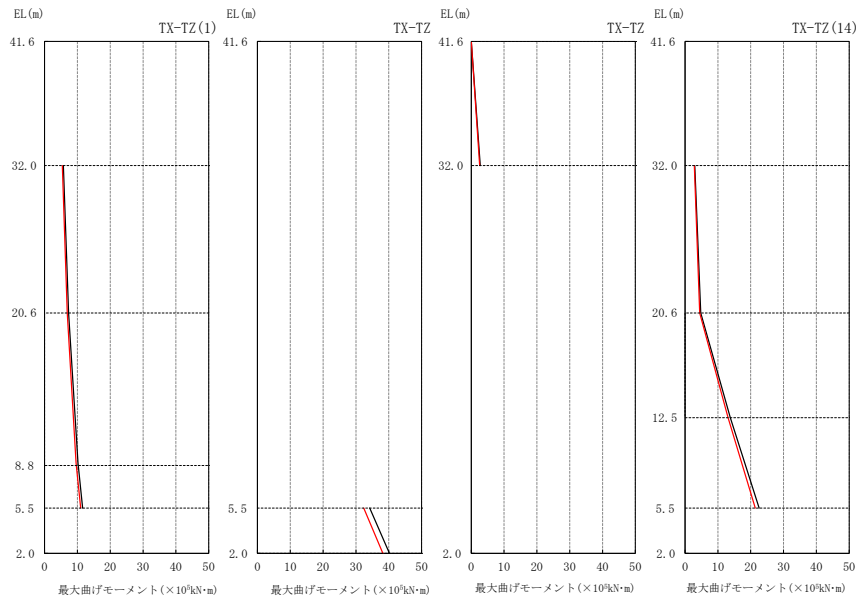
質点位置 (m)	TG-TH			TC-TF			TA-TC(1)			TA-TC			TA-TC(14)		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6				0.000564	0.000696	0.81				0.000554	0.000687	0.81			
33.7															
32.0	0.000523	0.000655	0.80							3.42	3.64	0.94			
30.55				4.18	4.60	0.91				3.42	3.64	0.94			
20.6	1.73	1.83	0.95	10.7	11.4	0.94				11.9	12.6	0.94			
12.5	4.47	4.71	0.95	21.3	22.5	0.95				18.9	20.0	0.95			
8.8	4.47	4.71	0.95	21.3	22.5	0.95	8.08	8.58	0.94				10.8	11.4	0.95
5.5	8.17	8.58	0.95	32.8	34.5	0.95	12.9	13.6	0.95				12.0	12.7	0.94
2.0	10.1	10.6	0.95	39.0	41.0	0.95	15.4	16.2	0.95				12.0	12.7	0.94

注1：ハッチング部はS s及びS dに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-47 最大応答曲げモーメントの比較（タービン建物，EW方向）（1/2）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮



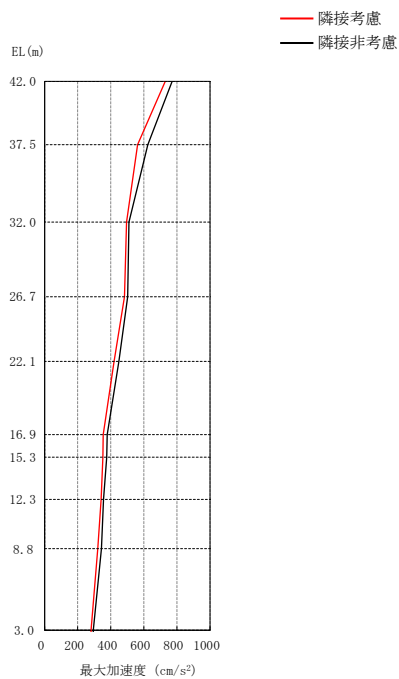
(単位 : $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)

質点位置 (m)	TX-TZ(1)			TX-TZ			TX-TZ			TX-TZ(14)		
	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
41.6							0.000550	0.000683	0.81			
33.7												
32.0							2.58	2.75	0.94			
30.55	5.39	5.71	0.94							2.81	2.96	0.95
20.6	6.89	7.31	0.94							4.48	4.79	0.94
	6.89	7.31	0.94							4.48	4.79	0.94
12.5										13.1	13.8	0.95
8.8	9.60	10.2	0.94							13.1	13.8	0.95
	9.60	10.2	0.94									
5.5	11.0	11.6	0.95							21.4	22.6	0.95
				32.4	34.2	0.95						
2.0				38.2	40.2	0.95						

注1 : ハッチング部は S_s 及び S_d に対する機能維持範囲を示す。

注2 : 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図 3-48 最大応答曲げモーメントの比較 (タービン建物, EW方向) (2/2)



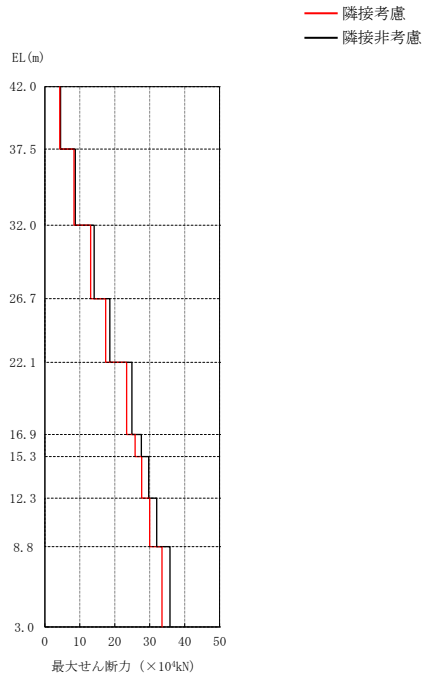
(単位：cm/s²)

質点位置 (m)	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
42.0	730	771	0.95
37.5	562	624	0.90
32.0	496	510	0.97
26.7	483	502	0.96
22.1	420	449	0.94
16.9	354	379	0.93
15.3	352	376	0.94
12.3	342	356	0.96
8.8	321	344	0.93
3.0	281	294	0.96

注1：ハッチング部はS sに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図 3-49 最大応答加速度の比較（廃棄物処理建物，NS方向）



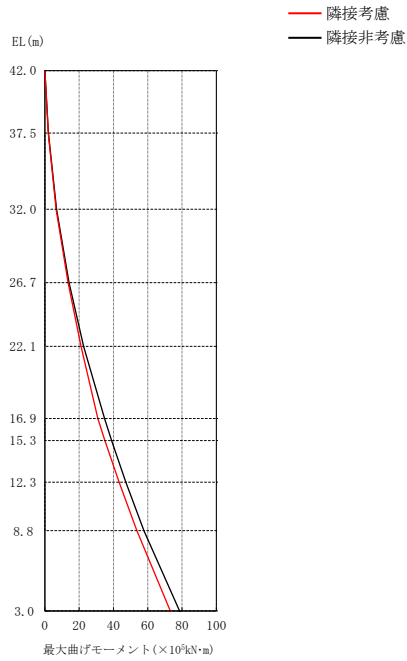
(単位 : $\times 10^4 \text{kN}$)

質点位置 (m)	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
42.0			
37.5	4.26	4.49	0.95
32.0	8.33	8.68	0.96
26.7	13.1	14.1	0.93
22.1	17.4	18.6	0.94
16.9	23.4	24.9	0.94
15.3	25.8	27.6	0.93
12.3	27.7	29.7	0.93
8.8	30.0	32.0	0.94
3.0	33.5	35.8	0.94

注1 : ハッチング部は S_s に対する機能維持範囲を示す。

注2 : 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図3-50 最大応答せん断力の比較 (廃棄物処理建物, NS方向)



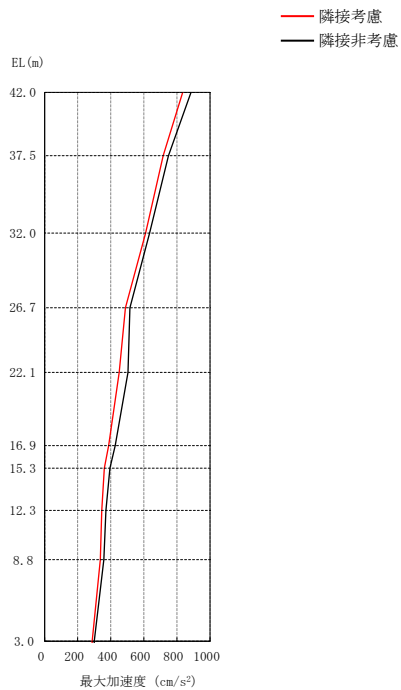
(単位：×10⁵kN・m)

質点位置 (m)	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
42.0	0.0180	0.0197	0.91
37.5	1.94	2.04	0.95
	1.95	2.06	0.95
32.0	6.53	6.83	0.96
	6.55	6.85	0.96
26.7	13.5	14.1	0.96
	13.5	14.1	0.96
22.1	21.1	22.6	0.93
	21.1	22.6	0.93
16.9	30.9	34.8	0.89
	30.9	34.8	0.89
15.3	35.0	38.9	0.90
	35.0	38.9	0.90
12.3	43.3	47.2	0.92
	43.3	47.2	0.92
8.8	53.7	57.8	0.93
	53.7	57.8	0.93
3.0	73.2	78.6	0.93

注1：ハッチング部はS_sに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-51 最大応答曲げモーメントの比較（廃棄物処理建物，NS方向）



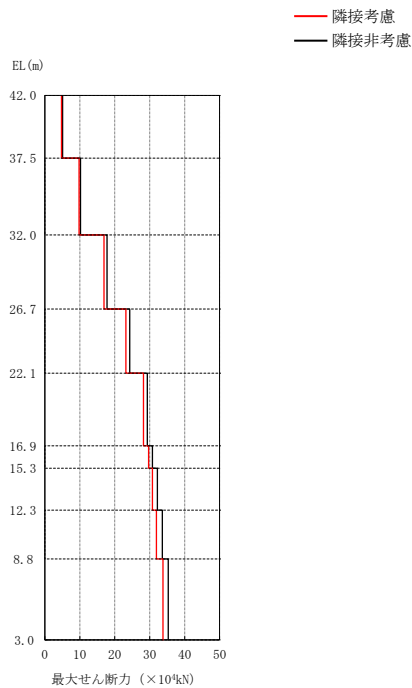
(単位 : cm/s²)

質点位置 (m)	隣接考慮	隣接非考慮	応答比率
42.0	835	885	0.94
37.5	717	749	0.96
32.0	611	635	0.96
26.7	489	516	0.95
22.1	451	504	0.89
16.9	387	427	0.91
15.3	361	395	0.91
12.3	346	371	0.93
8.8	337	358	0.94
3.0	288	300	0.96

注1 : ハッチング部は S_s に対する機能維持範囲を示す。

注2 : 応答比率 = 隣接考慮 / 隣接非考慮

図 3-52 最大応答加速度の比較 (廃棄物処理建物, EW方向)



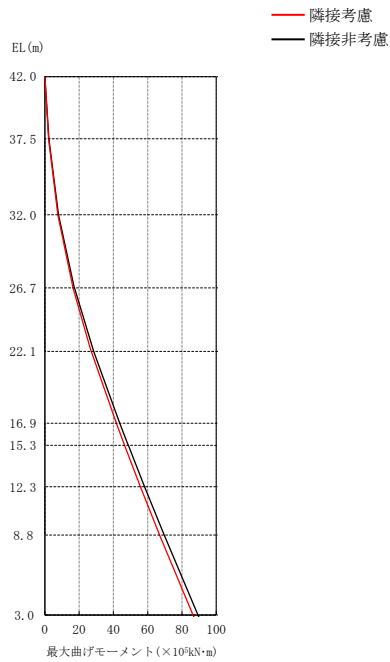
(単位：×10⁴kN)

質点位置 (m)	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
42.0			
37.5	4.74	5.08	0.93
32.0	9.78	10.2	0.96
26.7	16.9	17.8	0.95
22.1	23.2	24.3	0.95
16.9	28.2	29.3	0.96
15.3	29.7	30.8	0.96
12.3	30.8	32.2	0.96
8.8	31.9	33.6	0.95
3.0	33.8	35.3	0.96

注1：ハッチング部はS_sに対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-53 最大応答せん断力の比較（廃棄物処理建物，EW方向）



(単位： $\times 10^5 \text{kN}\cdot\text{m}$)

質点位置 (m)	隣接 考慮	隣接 非考慮	応答 比率
42.0	0.0192	0.0215	0.89
37.5	2.15	2.31	0.93
	2.17	2.33	0.93
32.0	7.52	7.93	0.95
	7.53	7.95	0.95
26.7	16.4	17.2	0.95
	16.4	17.3	0.95
22.1	27.0	28.5	0.95
	27.1	28.5	0.95
16.9	41.7	43.7	0.95
	41.7	43.7	0.95
15.3	46.5	48.6	0.96
	46.5	48.7	0.95
12.3	55.7	58.2	0.96
	55.7	58.2	0.96
8.8	66.9	69.6	0.96
	66.9	69.6	0.96
3.0	86.4	89.3	0.97

注1：ハッチング部はS s に対する機能維持範囲を示す。

注2：応答比率＝隣接考慮／隣接非考慮

図3-54 最大応答曲げモーメントの比較（廃棄物処理建物，EW方向）

3.7 床応答スペクトル

島根原子力発電所第2号機の原子炉建物、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物について、隣接考慮モデル（ALL）と隣接非考慮モデル（S1～S4）による床応答スペクトルの比較を行い、隣接影響について確認した。図3-55～図3-78に各建物の隣接考慮モデルと隣接非考慮モデルによる床応答スペクトルの比較結果（減衰定数5%）を示す。

各建物の床応答スペクトルについて確認した結果、図3-66～図3-78に示すように制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物では一部の質点（例：図3-66、質点12CB05、固有周期0.25s付近）において隣接非考慮モデルと比較して隣接考慮モデルが大きくなる箇所があるが、全体的な応答としてはおおむね同等あるいは小さくなることを確認した。隣接非考慮モデルと比較して隣接考慮モデルが大きくなる箇所は固有周期0.20～0.30sの範囲であり、当該フロアに設置される機器・配管系の固有周期は0.20s以下であることから、機器・配管系の耐震性に与える影響はない。

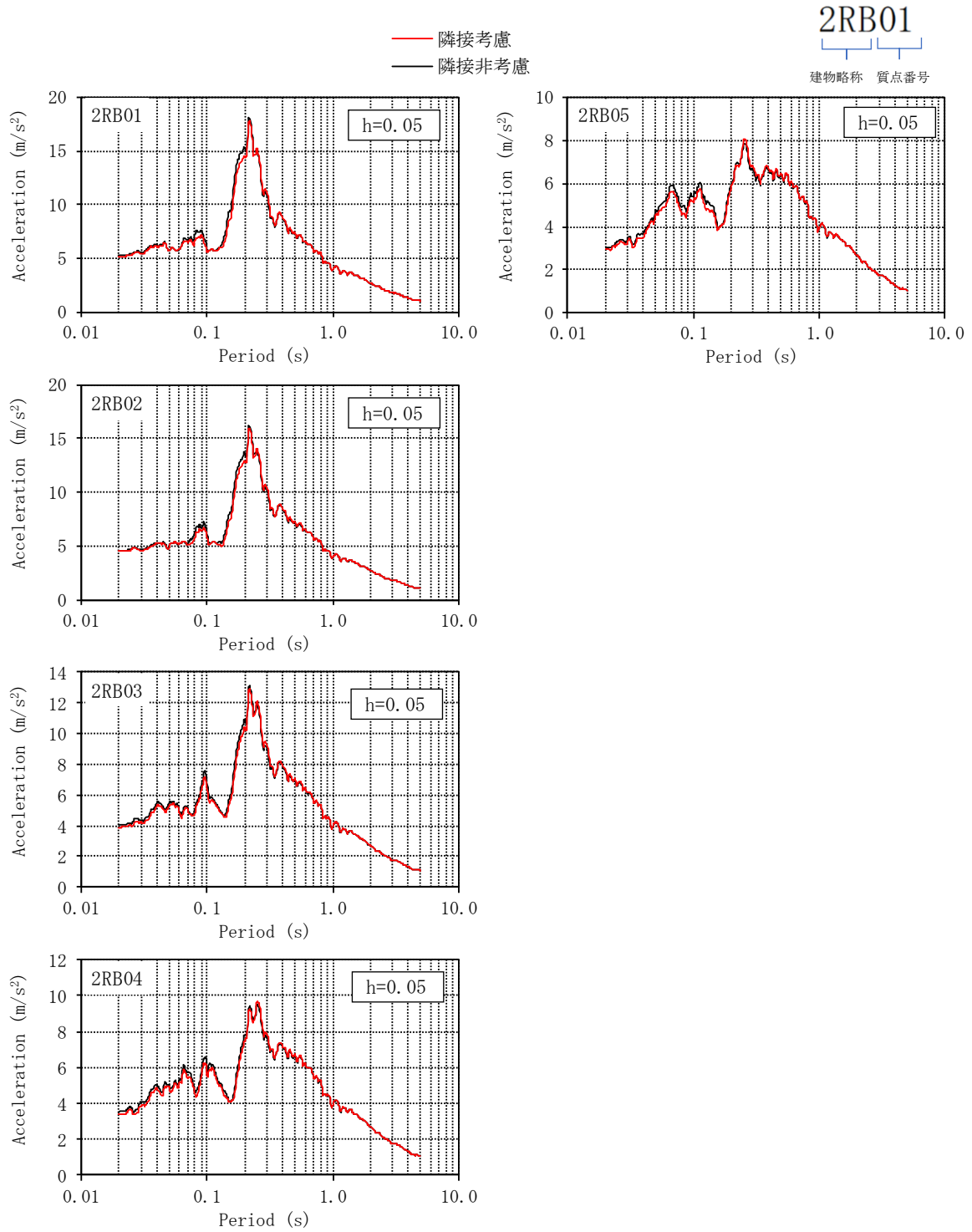


図 3-55 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, NS方向, 減衰 5.0%) (1/5)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮

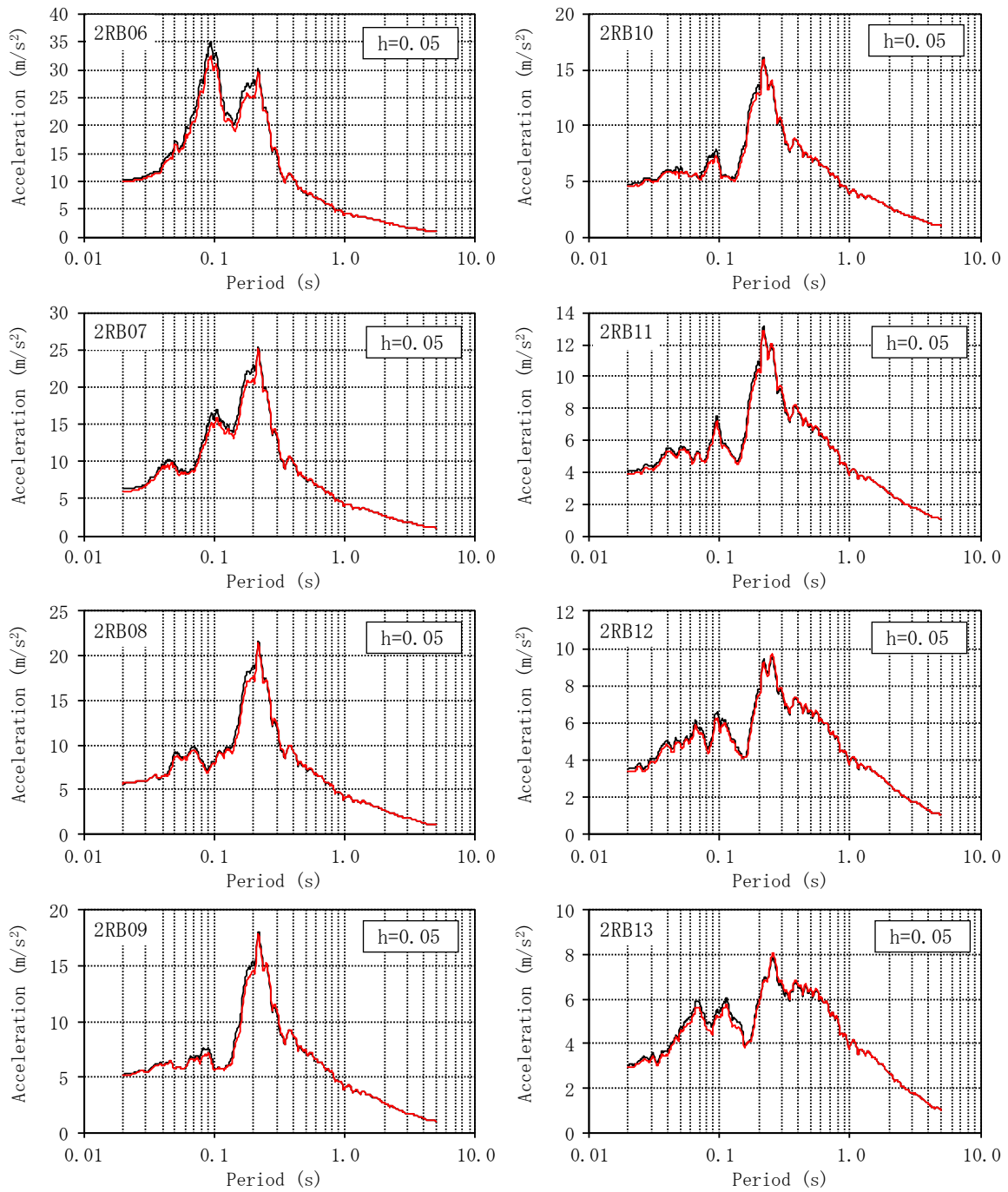


図 3-56 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, NS方向, 減衰 5.0%) (2/5)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮

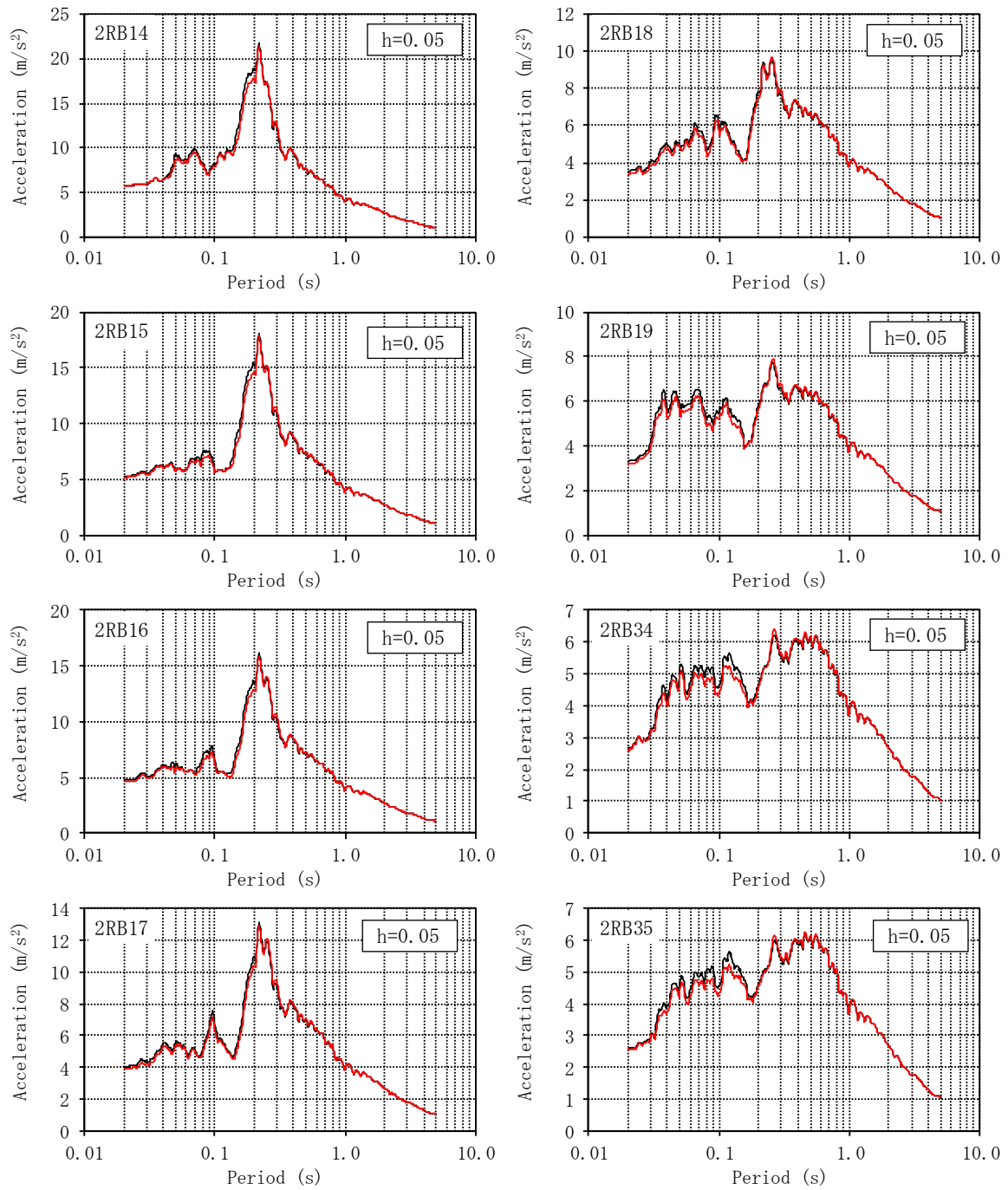


図 3-57 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, NS方向, 減衰 5.0%) (3/5)

— 隣接考慮
 — 隣接非考慮

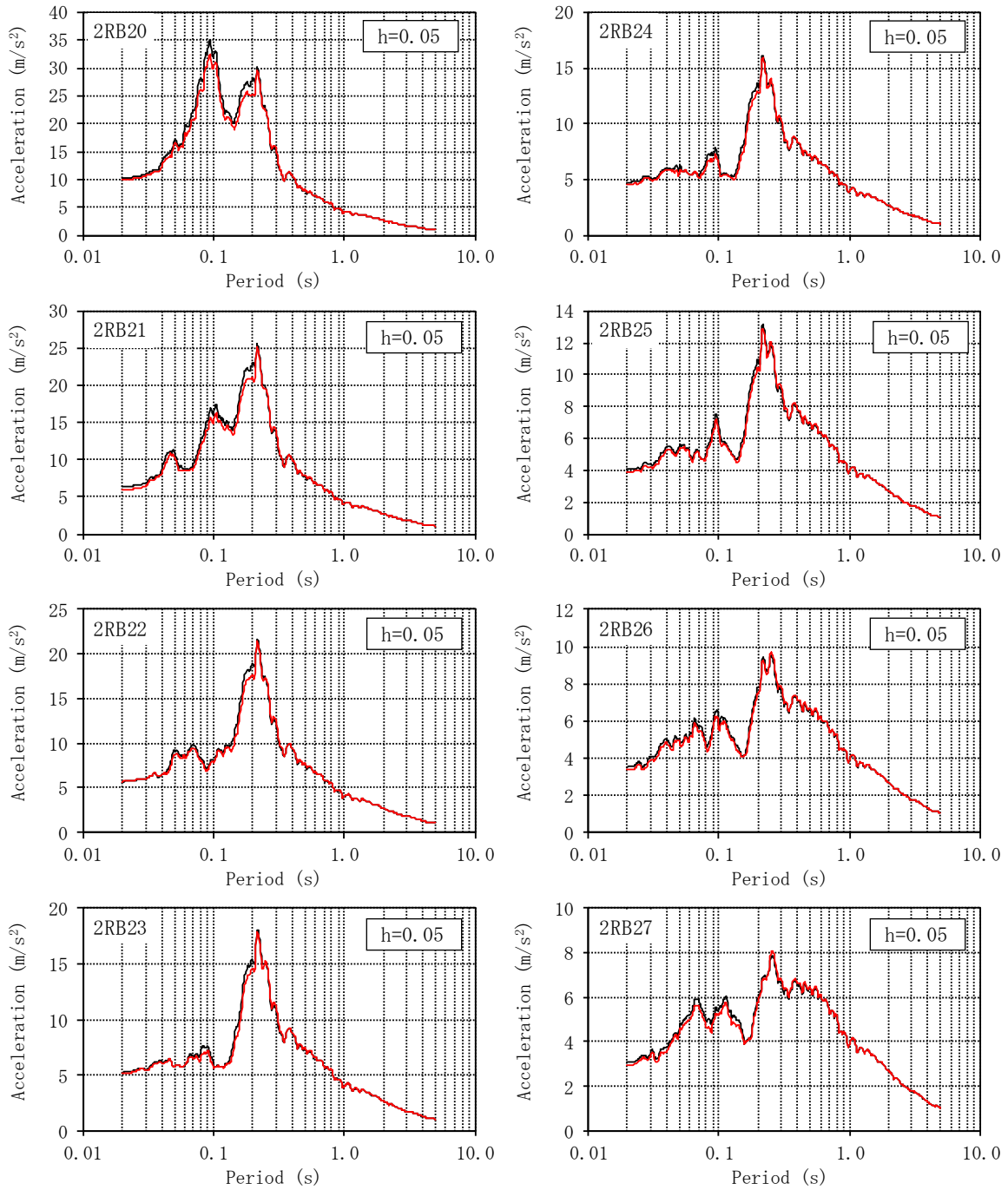


図 3-58 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, NS方向, 減衰 5.0%) (4/5)

— 隣接考慮
 — 隣接非考慮

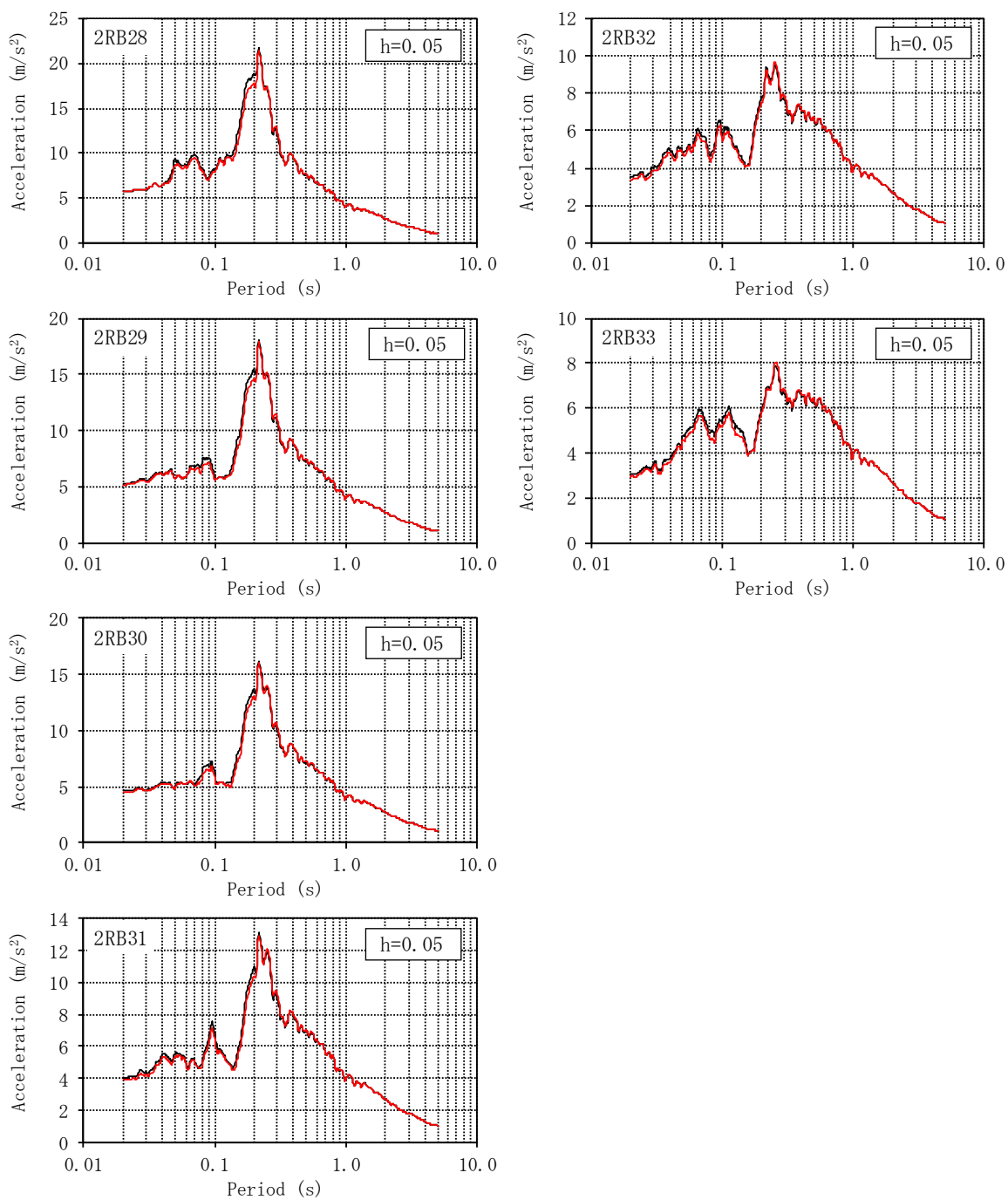


図 3-59 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, NS方向, 減衰 5.0%) (5/5)

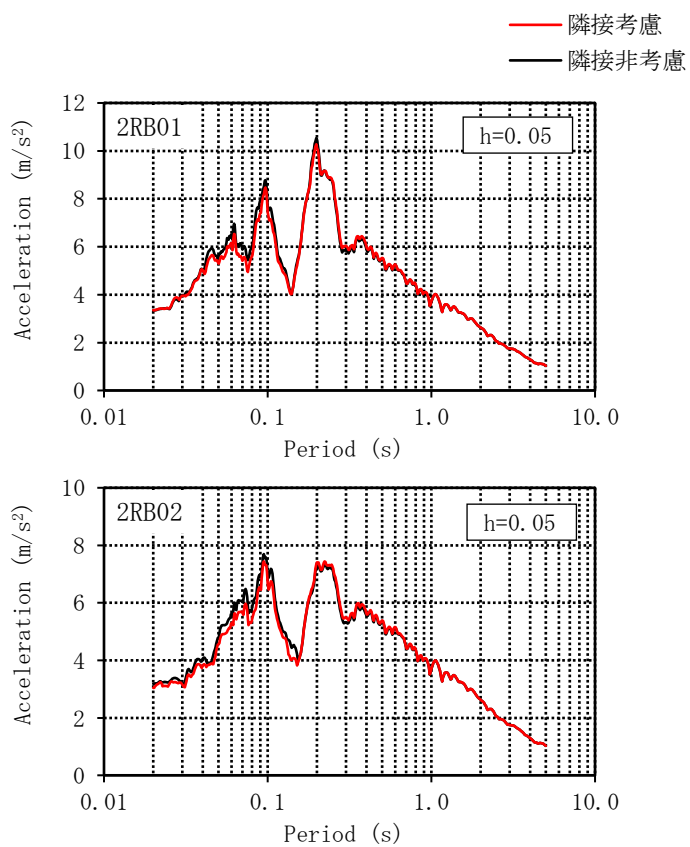


図 3-60 床応答スペクトルの比較（原子炉建物，EW方向，減衰 5.0%）（1/6）

— 隣接考慮
 — 隣接非考慮

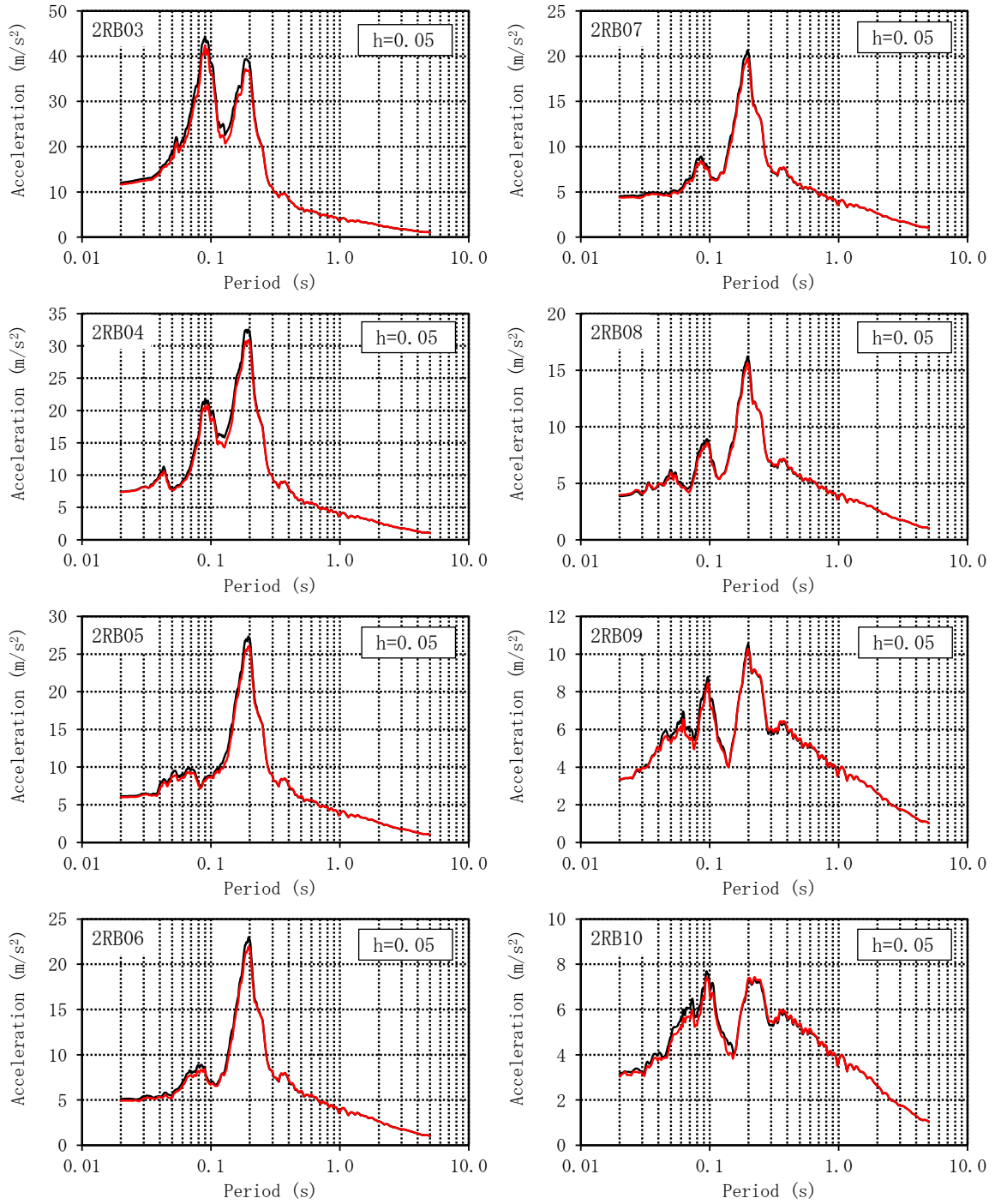


図 3-61 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, EW方向, 減衰 5.0%) (2/6)

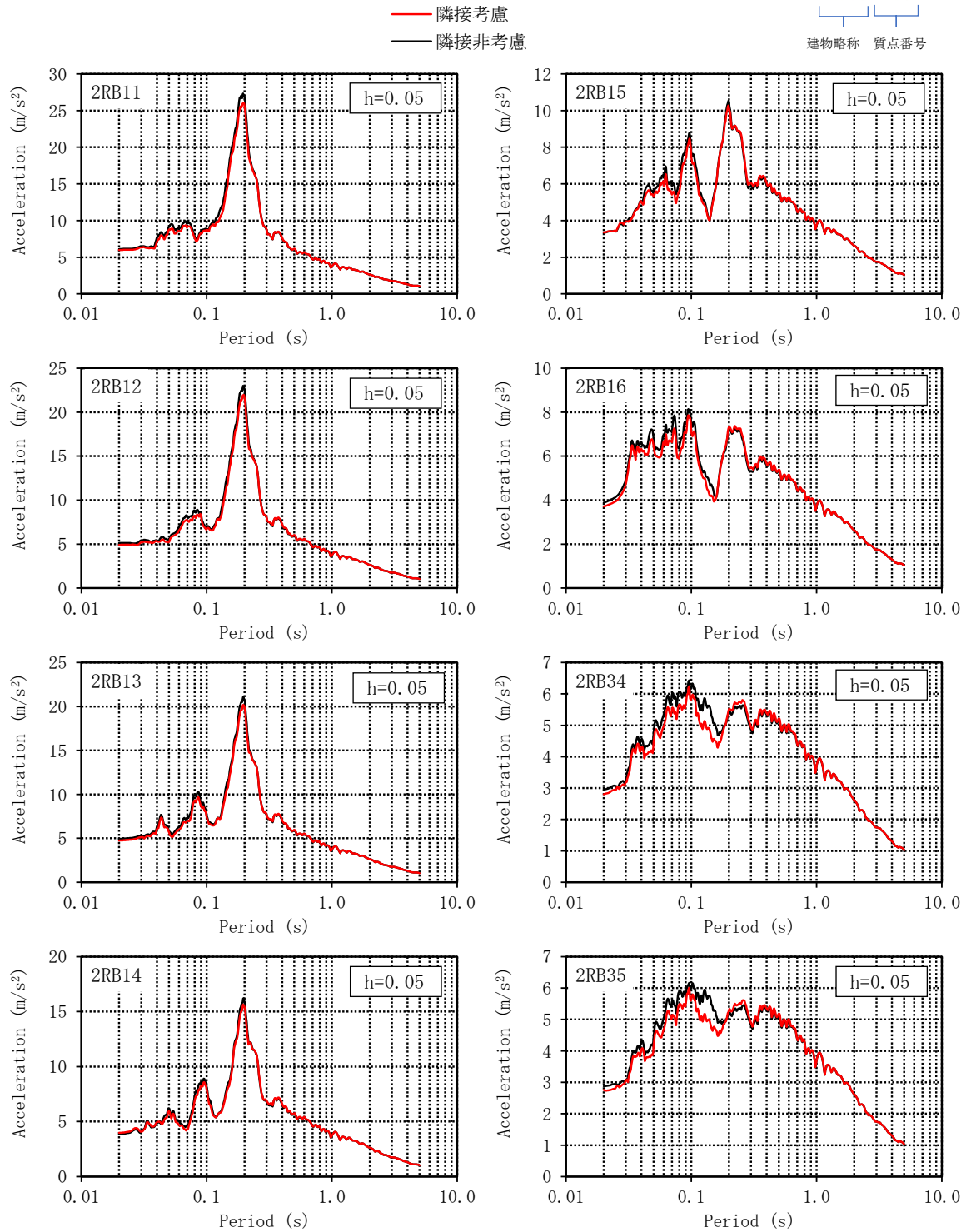


図 3-62 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, EW方向, 減衰 5.0%) (3/6)

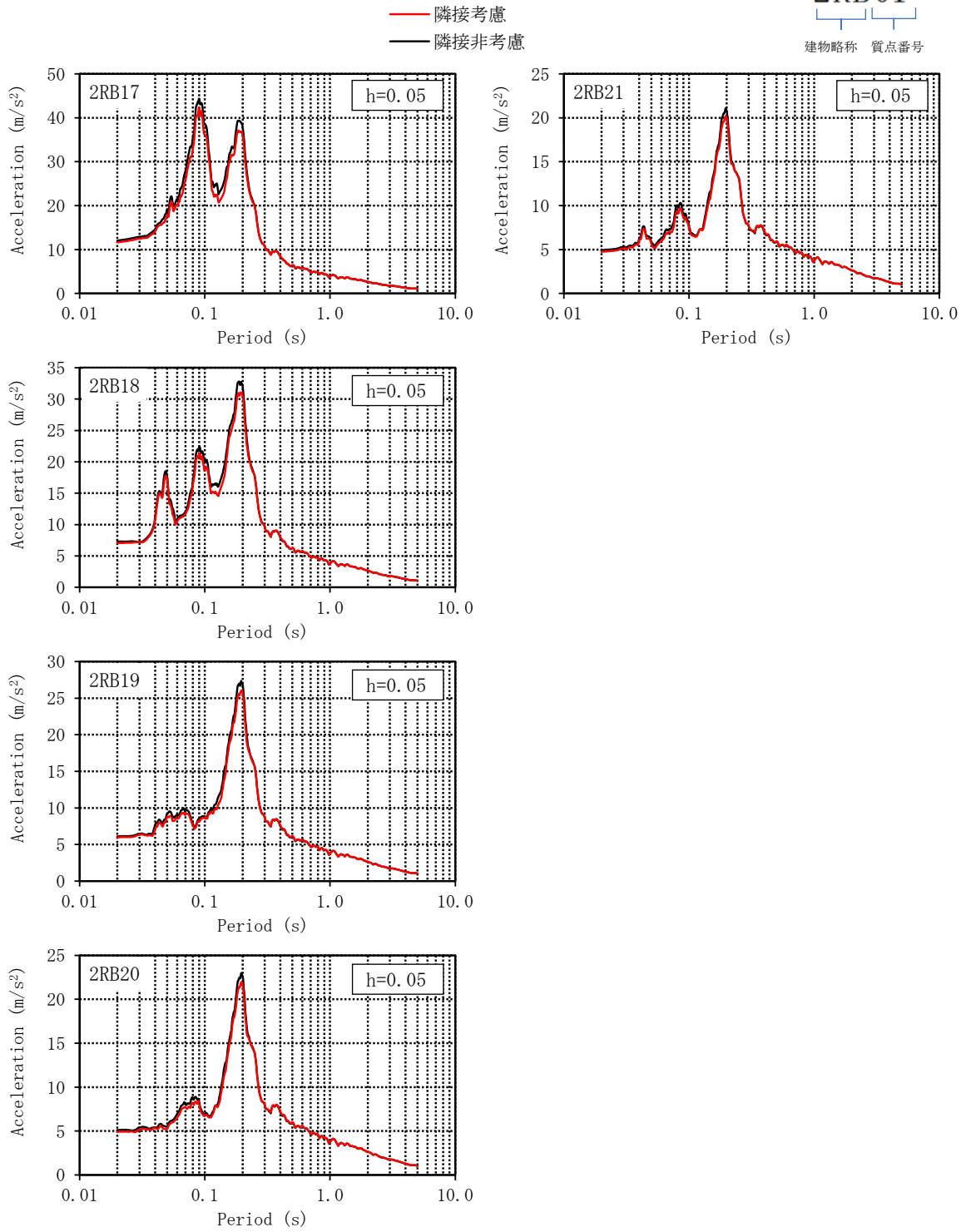


図 3-63 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, EW方向, 減衰 5.0%) (4/6)

— 隣接考慮
 — 隣接非考慮

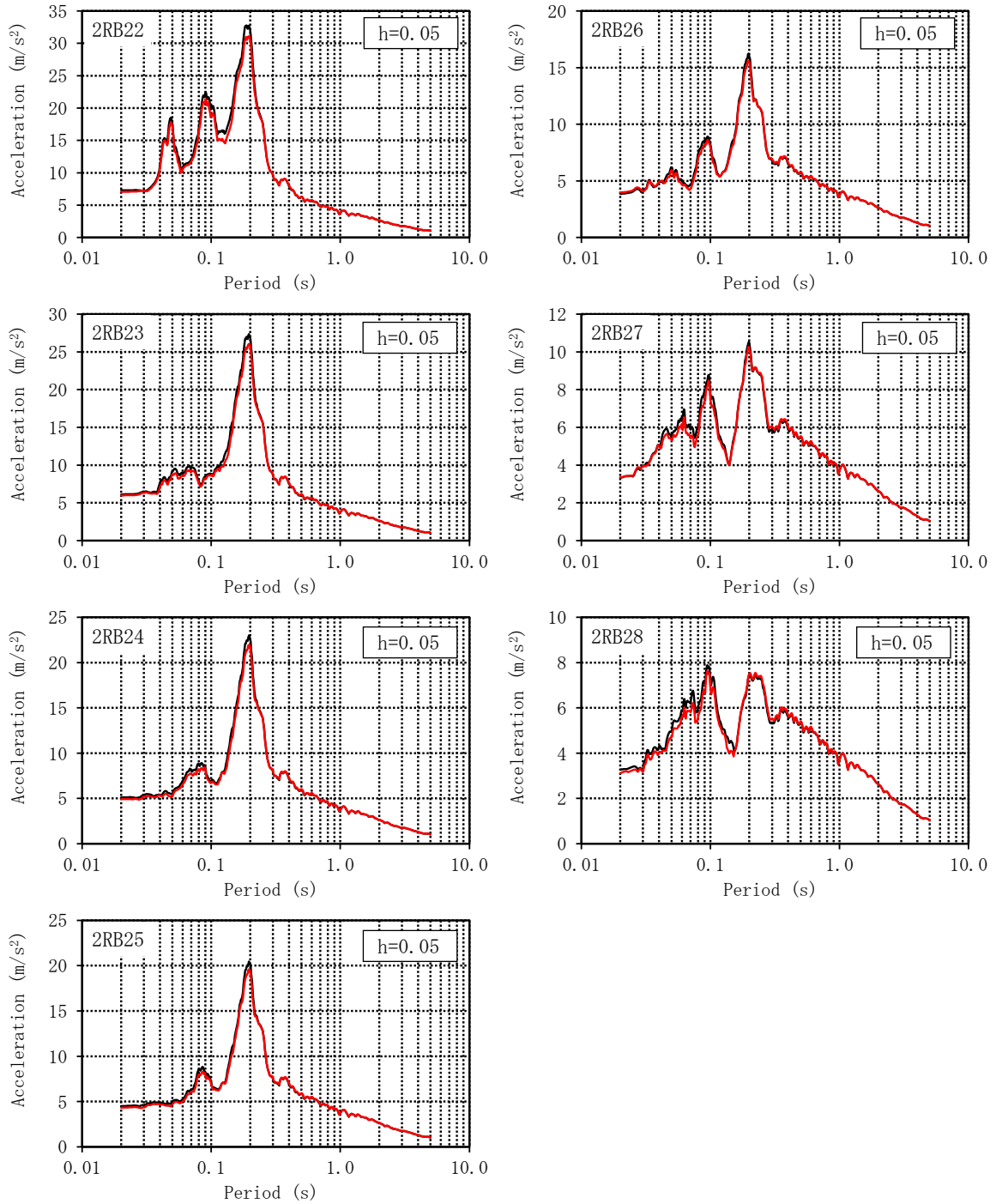


図 3-64 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, EW方向, 減衰 5.0%) (5/6)

— 隣接考慮
 — 隣接非考慮

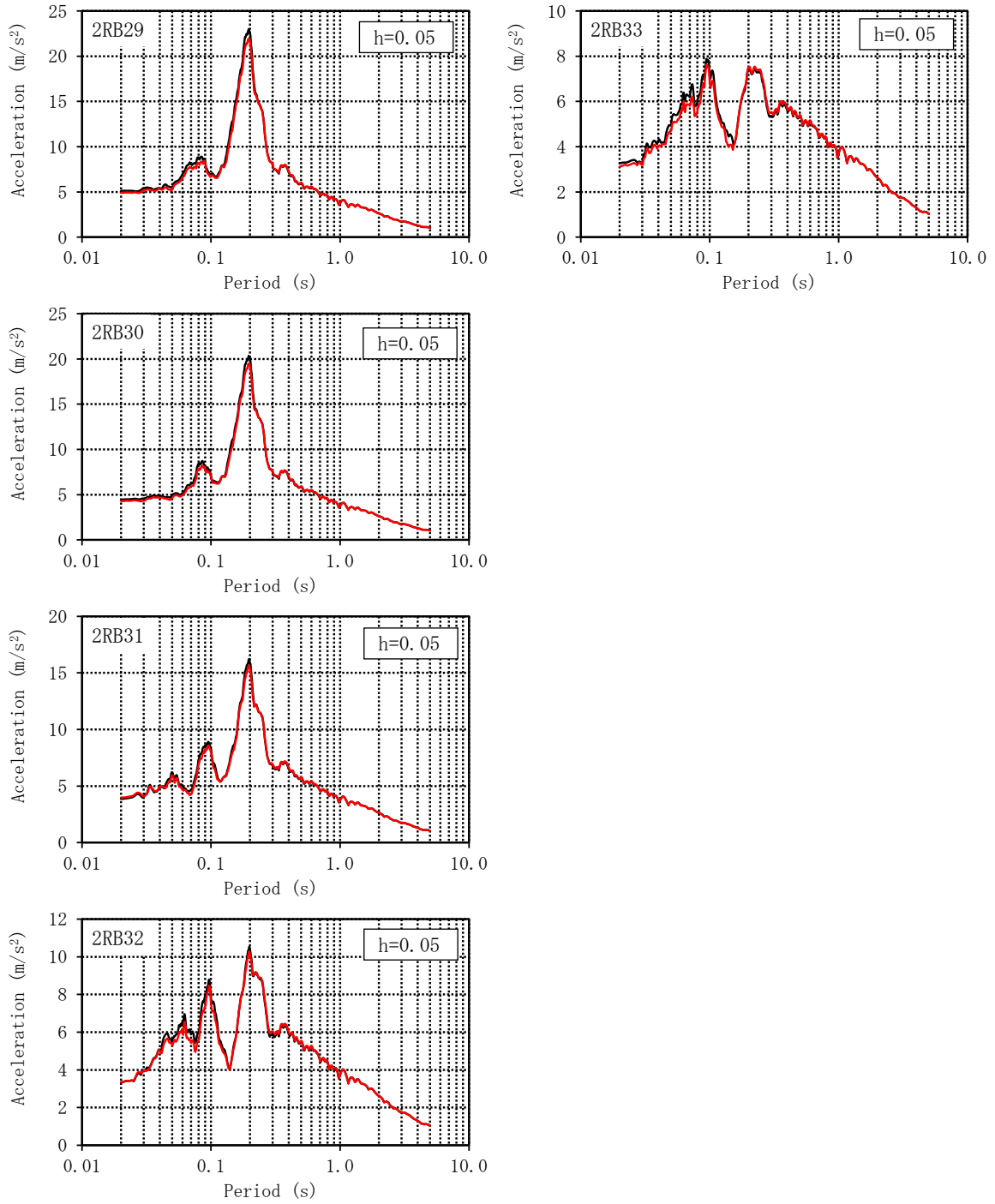


図 3-65 床応答スペクトルの比較 (原子炉建物, EW方向, 減衰 5.0%) (6/6)

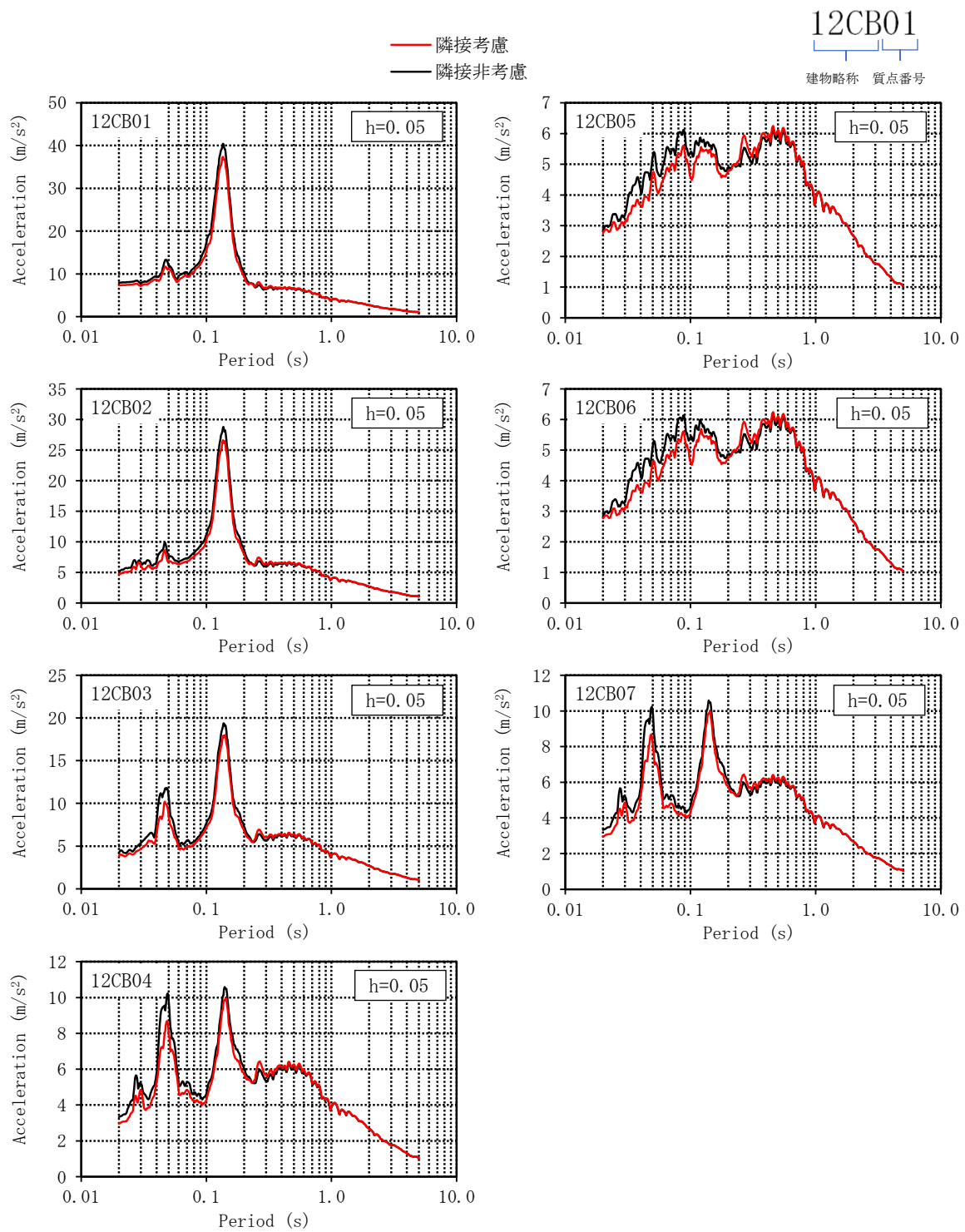


図 3-66 床応答スペクトルの比較 (制御室建物, NS方向, 減衰 5.0%)

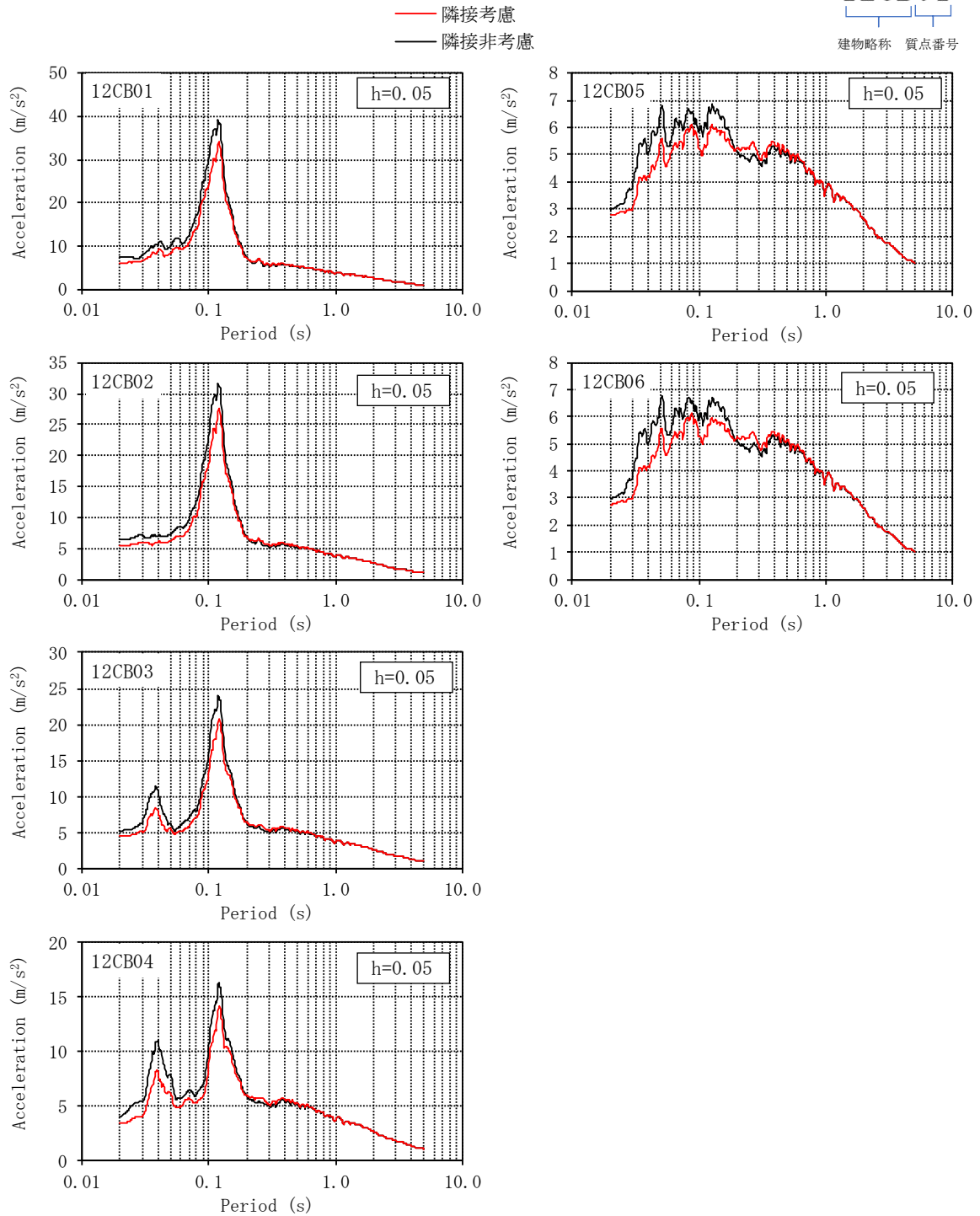


図 3-67 床応答スペクトルの比較 (制御室建物, EW方向, 減衰 5.0%)

— 隣接考慮
— 隣接非考慮

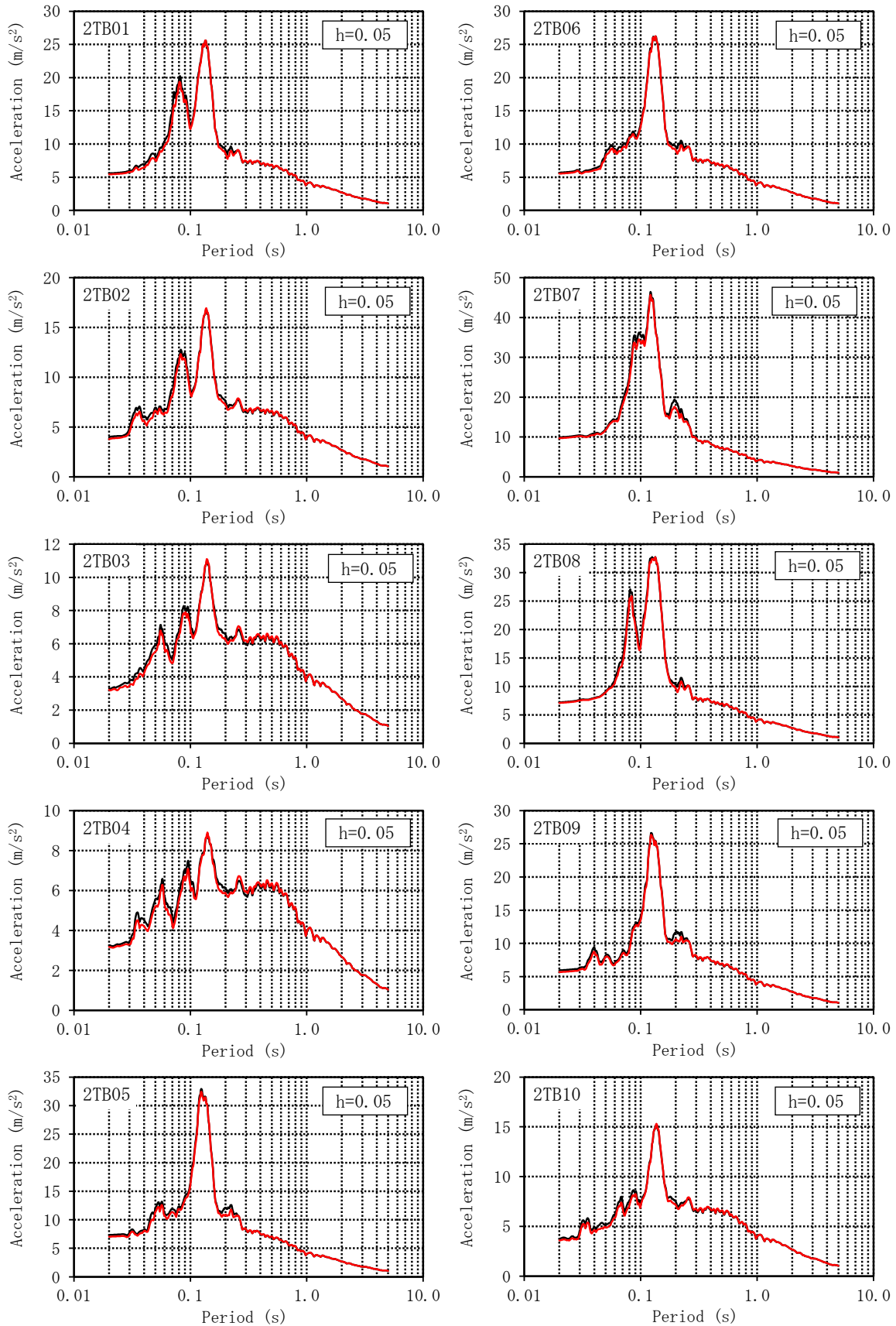


図 3-68 床応答スペクトルの比較 (タービン建物, N S 方向, 減衰 5.0%) (1/4)

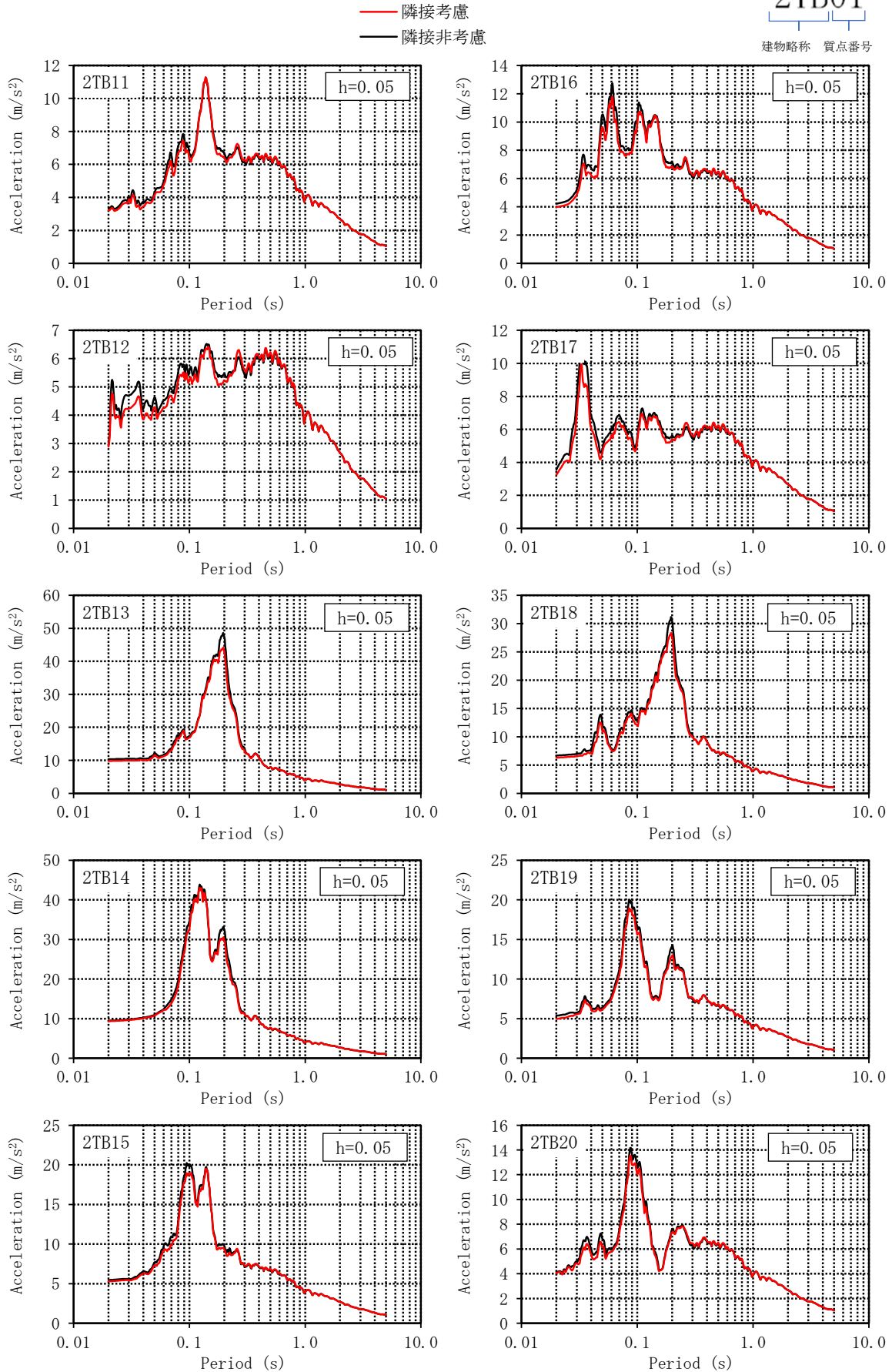


図 3-69 床応答スペクトルの比較 (タービン建物, NS方向, 減衰 5.0%) (2/4)

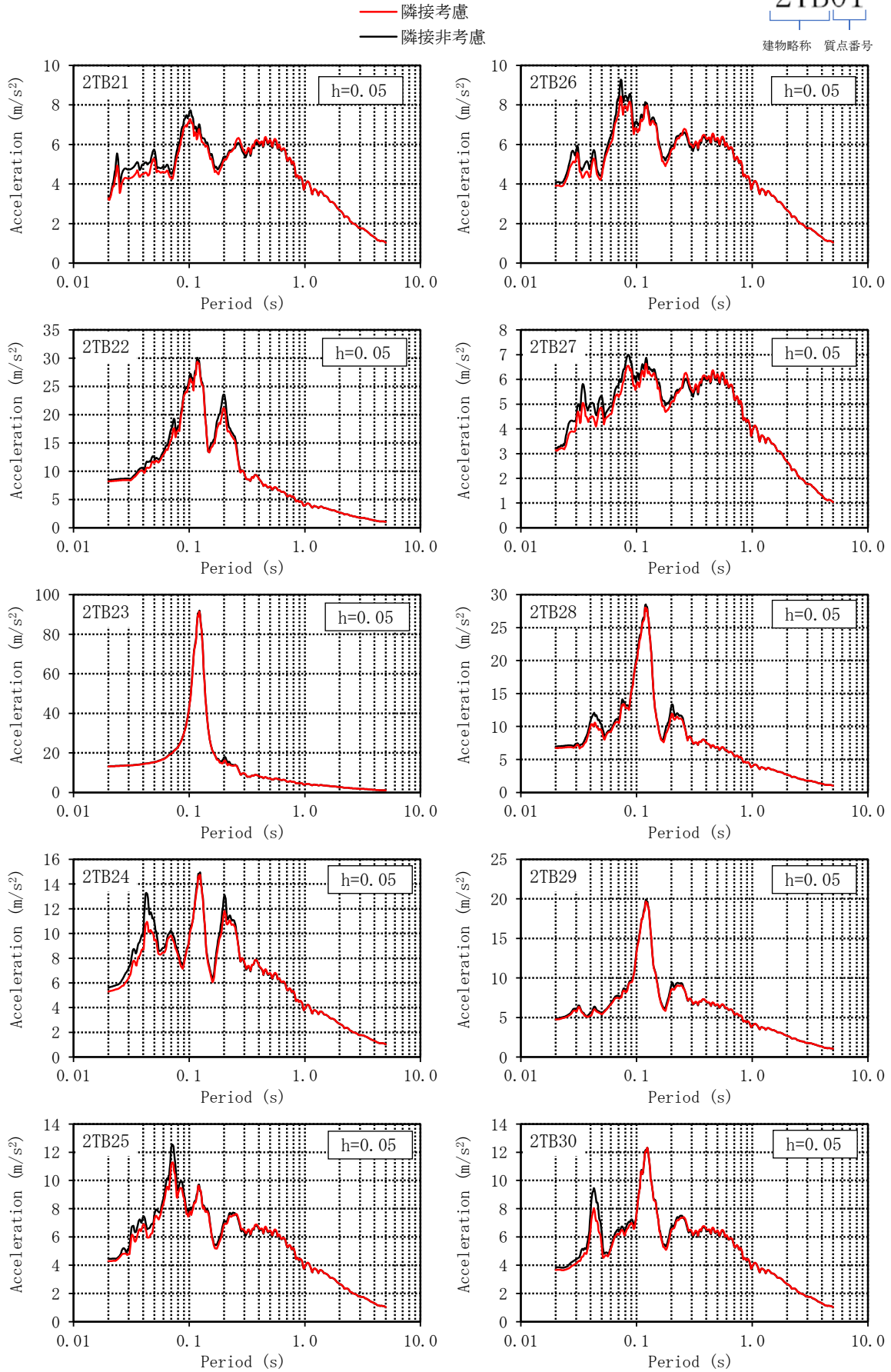


図 3-70 床応答スペクトルの比較 (タービン建物, NS方向, 減衰 5.0%) (3/4)

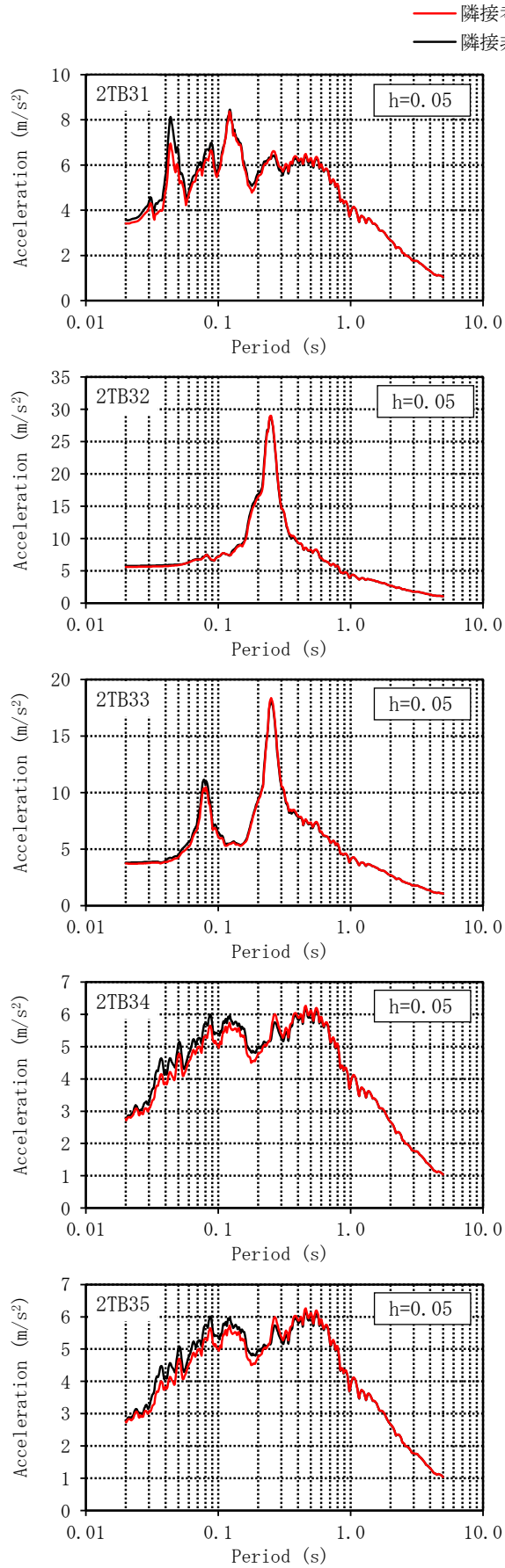


図 3-71 床応答スペクトルの比較 (タービン建物, NS方向, 減衰 5.0%) (4/4)

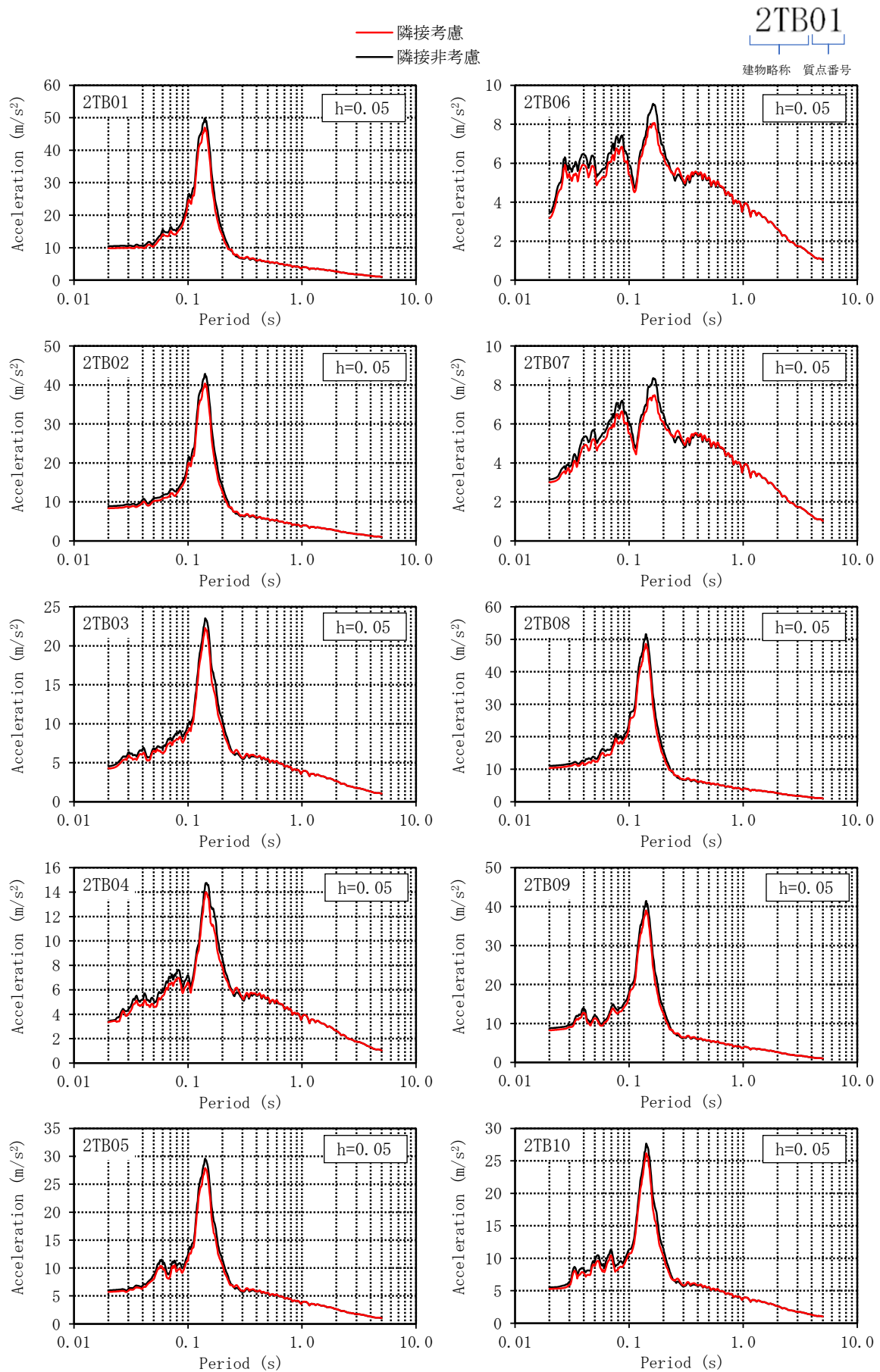


図 3-72 床応答スペクトルの比較 (タービン建物, E W方向, 減衰 5.0%) (1/3)

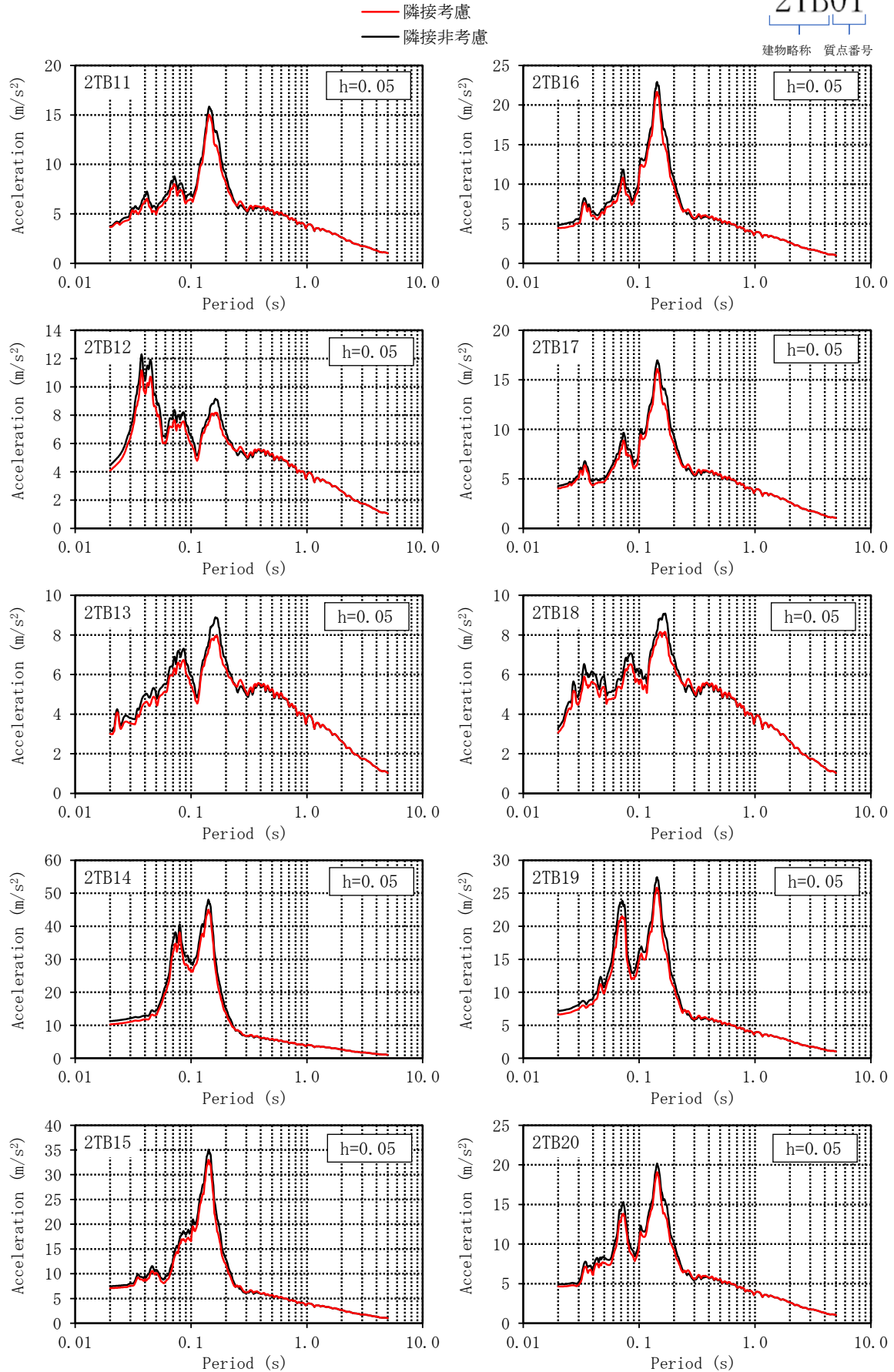


図 3-73 床応答スペクトルの比較 (タービン建物, E W方向, 減衰 5.0%) (2/3)

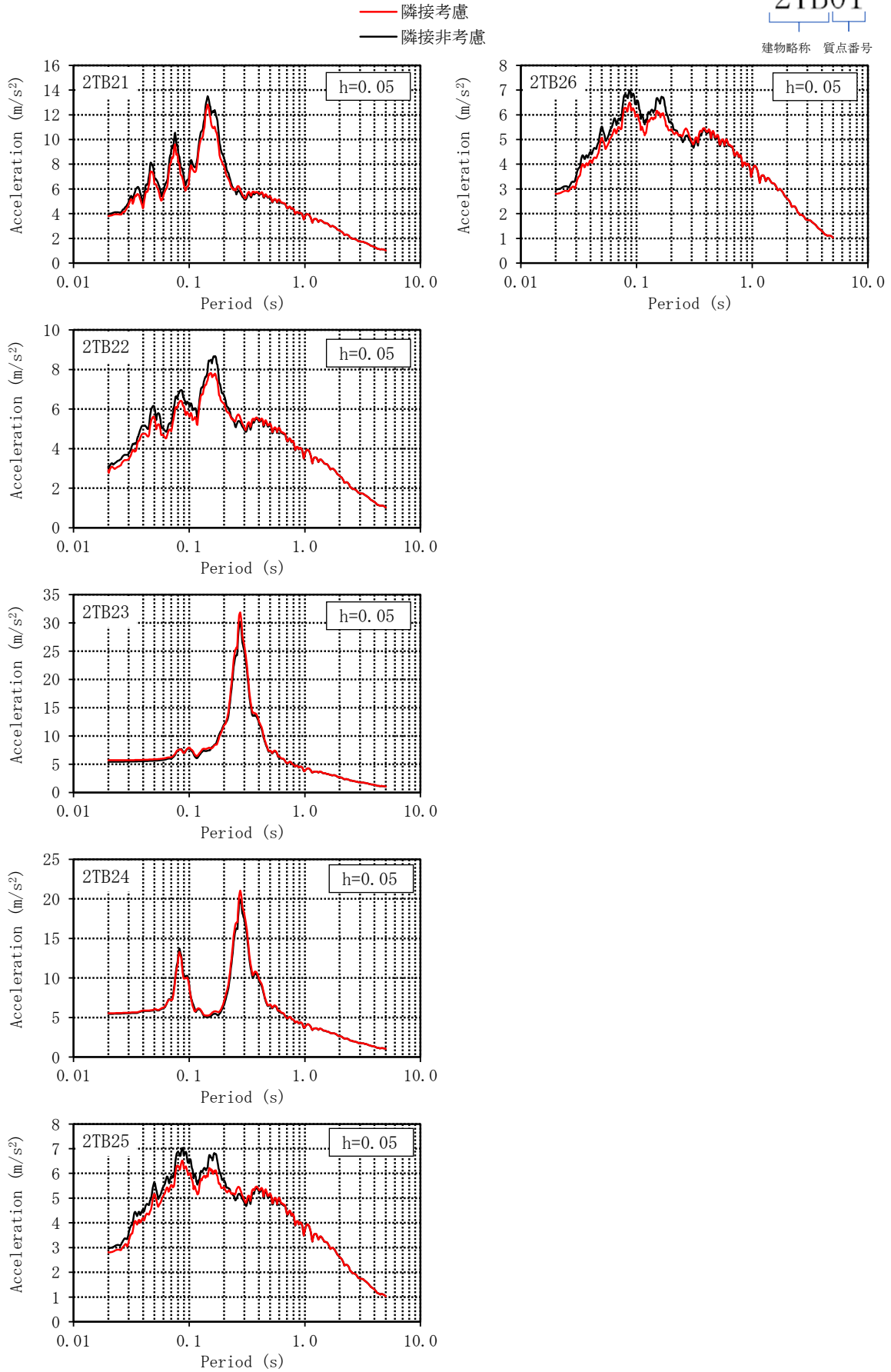


図 3-74 床応答スペクトルの比較 (タービン建物, E W方向, 減衰 5.0%) (3/3)

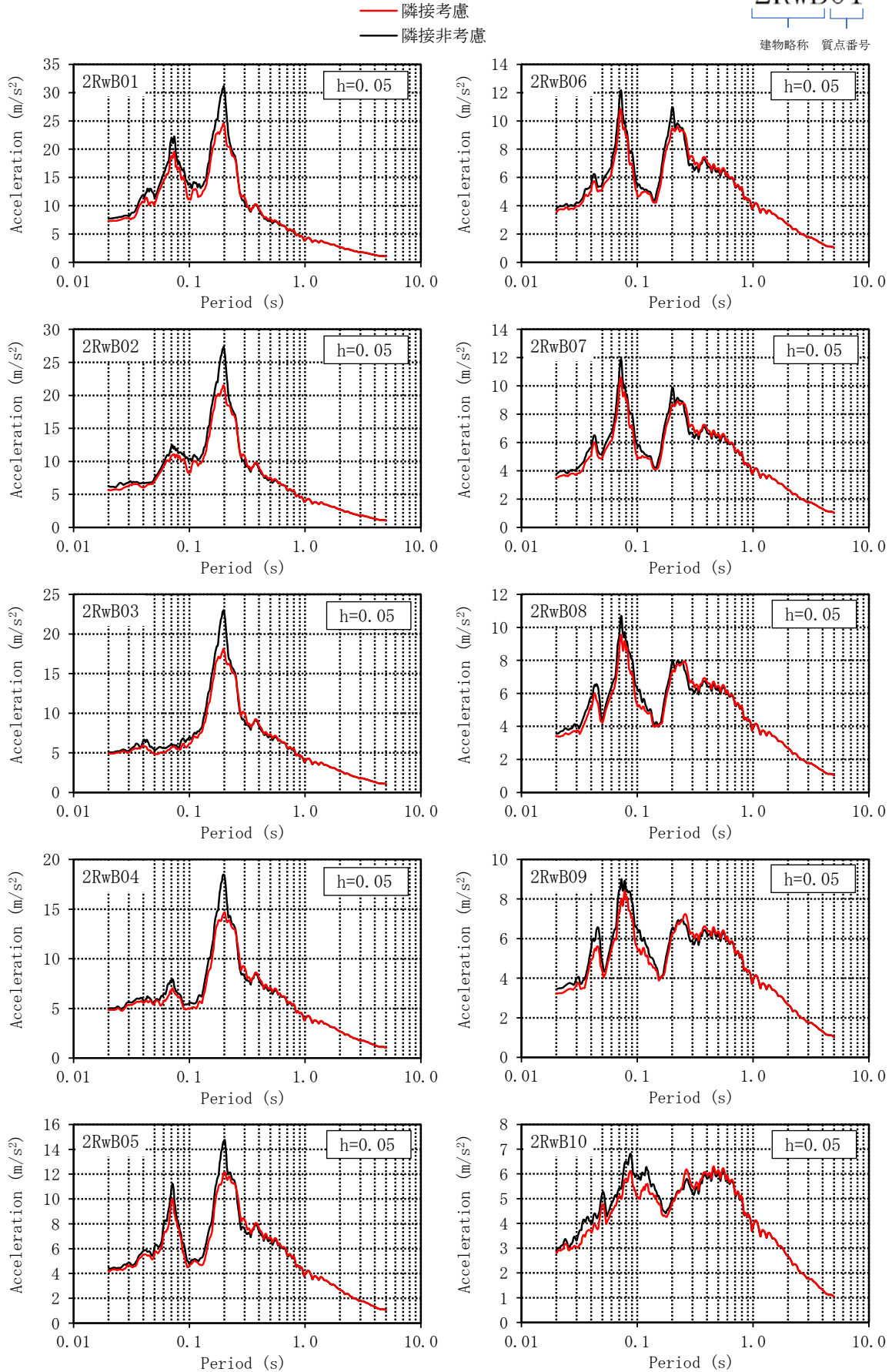


図 3-75 床応答スペクトルの比較（廃棄物処理建物，NS方向，減衰 5.0%）（1/2）

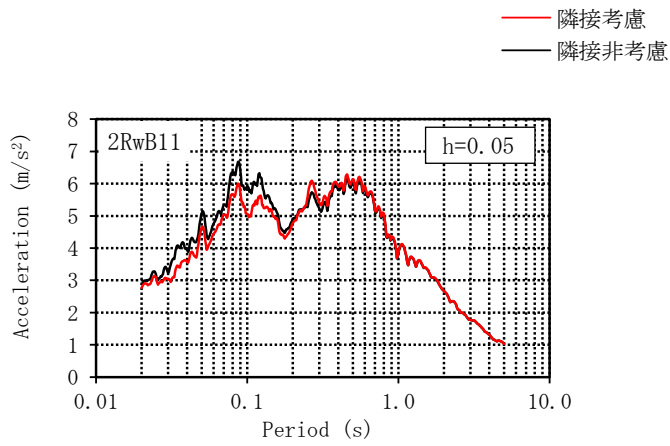


図 3-76 床応答スペクトルの比較（廃棄物処理建物，N S 方向，減衰 5.0%）（2/2）

— 隣接考慮
— 隣接非考慮

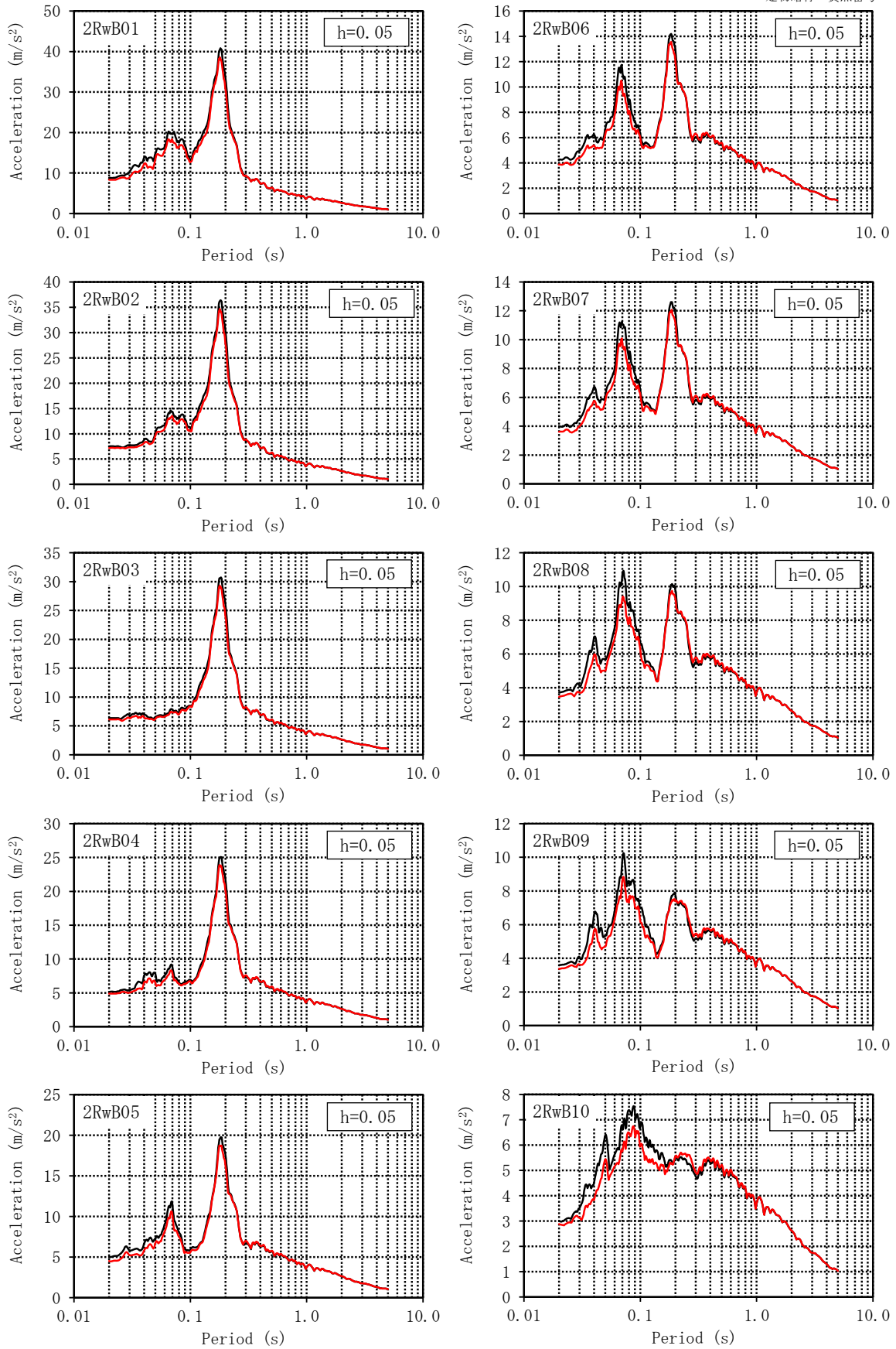


図 3-77 床応答スペクトルの比較 (廃棄物処理建物, EW方向, 減衰 5.0%) (1/2)

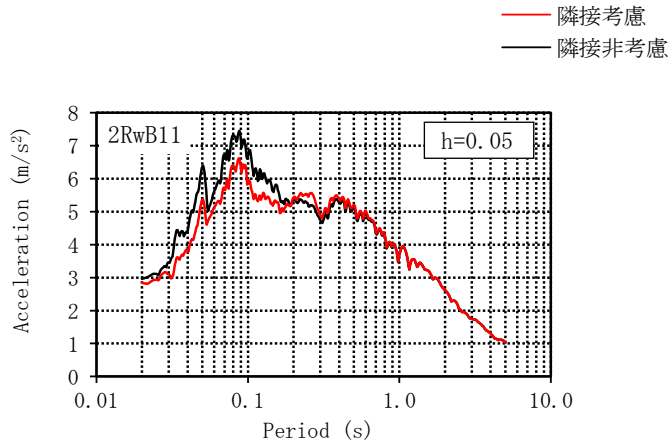


図 3-78 床応答スペクトルの比較（廃棄物処理建物，E W方向，減衰 5.0%）（2/2）

4. まとめ

4.1 既往の知見に基づく検討結果

「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」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又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。隣接建屋の固有振動数の影響で地盤インピーダンスに励起が見られるものの、全体としては良く対応しており、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。当該検討事例は、 $V_s = 1650\text{m/s}$ の硬質な岩盤に直接支持される原子力施設という検討条件での結果であり、硬岩サイトである島根原子力発電所第2号機においても隣接影響は小さいと考えられる。

4.2 島根原子力発電所第2号機における隣接建物の影響検討結果

「3. 島根原子力発電所第2号機における隣接建物の影響検討」により、以下のことを確認した。

島根原子力発電所第2号機の工事計画認可申請対象である建物・構築物のうち、原子炉建物、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物について、実際の建物配置状況に則して各建物を配置する場合と各建物を単独でモデル化する場合の地震応答解析を実施し、両者の建物応答を比較した。

各建物の最大応答値について確認した結果、局部評価が必要となる設備に対応する応答比率（隣接考慮／隣接非考慮）は、原子炉建物では0.93（NS方向、曲げモーメント）～1.02（EW方向、せん断力）、制御室建物では0.84（EW方向、曲げモーメント）～0.95（NS方向、せん断力）、タービン建物では0.92（EW方向、せん断力）～0.99（NS方向、曲げモーメント）、廃棄物処理建物では0.93（NS方向、せん断力）～0.96（EW方向、せん断力）であり、応答はほぼ同等あるいは減少する傾向にあることを確認した。

各建物の床応答スペクトルについて確認した結果、制御室建物、タービン建物及び廃棄物処理建物では一部の質点（例：図3-66、質点12CB05、固有周期0.25s付近）において隣接非考慮モデルと比較して隣接考慮モデルが大きくなる箇所があるが、全体的な応答としてはおおむね同等あるいは小さくなることを確認した。

5. 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、P.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」、構造工学論文集、日本建築学会、2012年3月

別紙 1 建物構造特性の整理

1. 概要

島根原子力発電所第2号機の工事計画認可申請対象である原子炉建物、制御室建物、タービン建物、廃棄物処理建物、1号機原子炉建物、1号機タービン建物、1号機廃棄物処理建物の構造特性を整理した結果を表1-1に示す。

表1-1 建物構造特性整理表

		原子炉 建物	制御室 建物	タービン 建物	廃棄物 処理建物	1号機 原子炉 建物	1号機 タービン 建物	1号機 廃棄物 処理建物
基礎スラブ幅 (m) (NS) × (EW)		70.0 ×89.4	22.0 ×37.0	72.0 ×138.0	54.9 ×56.97	49.01 ×41.96	64.75 ×104.0	33.91 ×35.0
重量 (kN)	基礎 スラブ*	1220870	43430	746680	292540	278540	434880	97370
	建物	2056790	88610	1365040	874630	484260	561500	175431
	基礎 スラブ + 建物	3277660	132040	2111720	1167170	762800	996380	272801
1次固有振 動数 (Hz)	NS	4.55	7.17	4.85	4.88	4.34	8.59	9.31
	EW	4.94	8.65	6.37	5.25	4.35	8.84	8.60
質点高さ EL (m)	上端	63.5	22.05	41.6	42.0	59.8	33.7	29.0
	下端	-4.7	0.1	0.0	0.0	0.1	-0.3	5.0

注記*：地震応答解析モデルにおける基礎スラブ上下端質点重量の合計値を示す。

別紙2 剛体要素の考慮の有無による影響検討

目 次

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

1. 概要

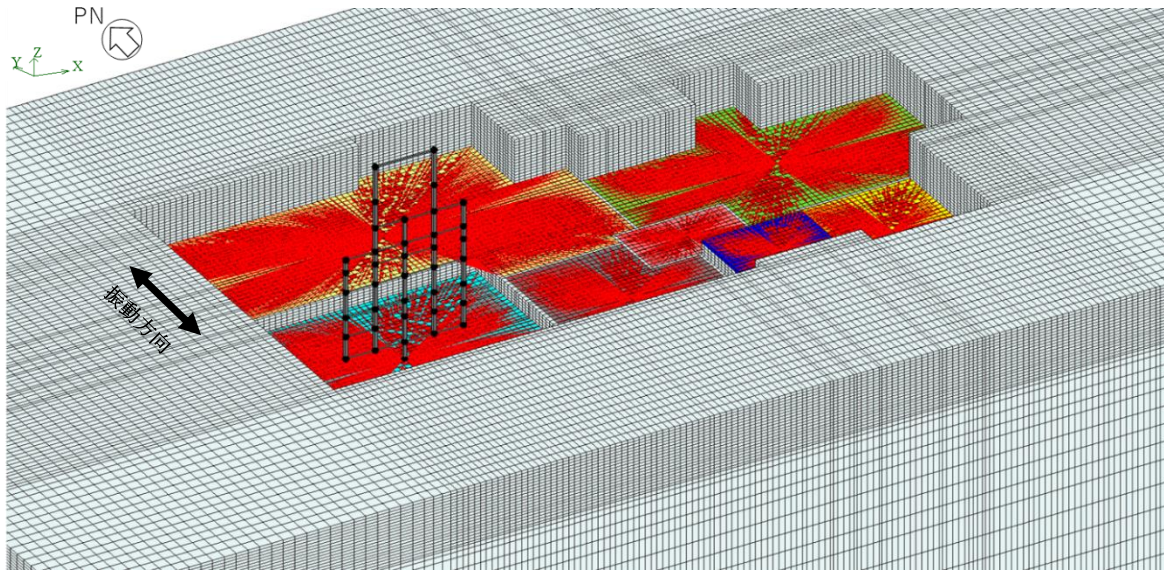
隣接建物の影響評価では、評価対象建物を単独でモデル化する場合、隣接建物位置における地盤はモデル化せず、剛体要素により各隣接建物の基礎下端レベルを平面保持している。

本資料では、各隣接建物位置に剛体要素を考慮した場合と考慮しない場合の建物応答を比較し、剛体要素考慮の有無が隣接建物の影響評価に与える影響について検討する。

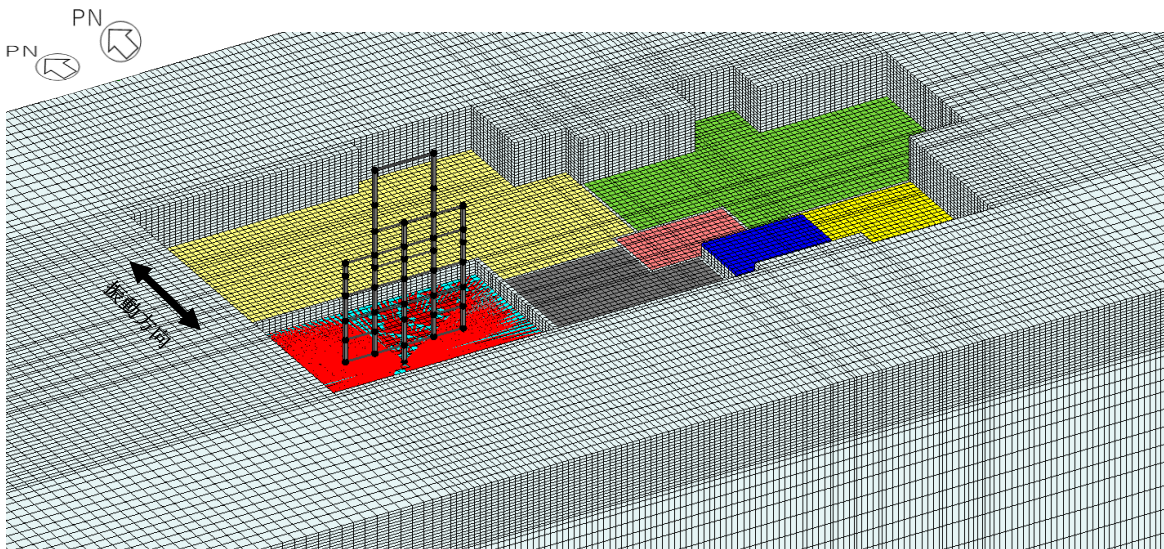
2. 検討方針

原子炉建物を代表として、隣接建物の基礎下端レベルで剛体要素を考慮した場合の地震応答解析（以下「剛体要素考慮」という。）及び剛体要素を非考慮とした場合の地震応答解析（以下「剛体要素非考慮」という。）を実施し、NS方向及びEW方向における各最大応答値の応答比率（剛体要素非考慮／剛体要素考慮）を確認する。なお、解析ケース及び剛体要素考慮の有無以外の解析条件については、「補足-023-07 隣接建物の影響に関する補足説明資料」の「3. 島根原子力発電所第2号機における隣接建物の影響評価」と同様とする。

剛体要素考慮及び剛体要素非考慮における解析モデルの概要を図2-1に示す。



(a) 剛体要素考慮



(b) 剛体要素非考慮

注1：NS方向の解析モデルを示す。

注2：放射状の赤線が基礎剛体要素を示す。

図2-1 解析モデルの概要

3. 検討結果

地震応答解析により得られた、NS方向及びEW方向における各最大応答値（最大応答加速度、最大応答せん断力及び最大応答曲げモーメント）の応答比率を表3-1に示す。

応答比率の結果から、剛体要素考慮に対する剛体要素非考慮の応答は概ね同等または減少する傾向であり、剛体要素考慮の有無が隣接建物の影響評価に与える影響は軽微であることを確認した。

表3-1 最大応答値の応答比率

方向	評価パラメータ	応答比率*	
		最小値	最大値
NS	加速度	0.97	1.01
	せん断力	0.98	1.01
	曲げモーメント	0.97	1.01
EW	加速度	0.93	1.03
	せん断力	0.92	1.03
	曲げモーメント	0.93	1.08

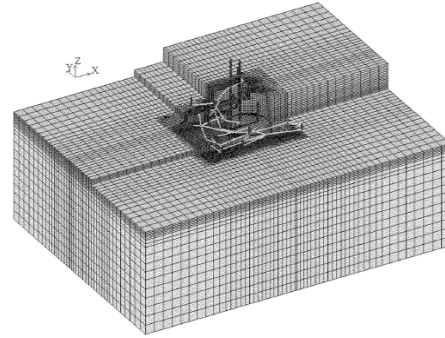
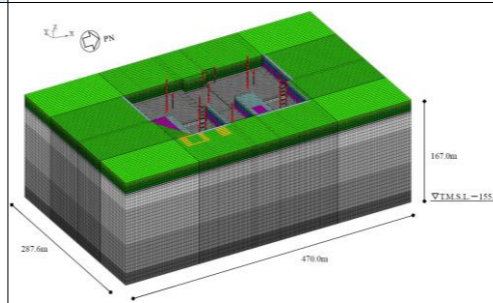
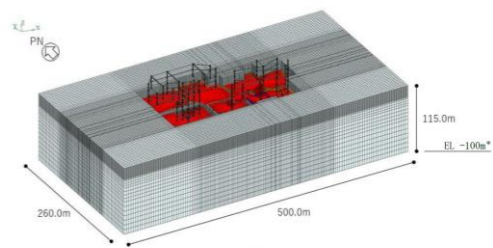
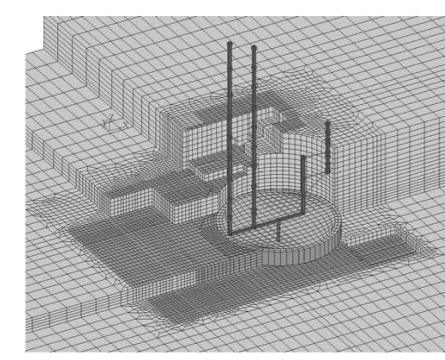
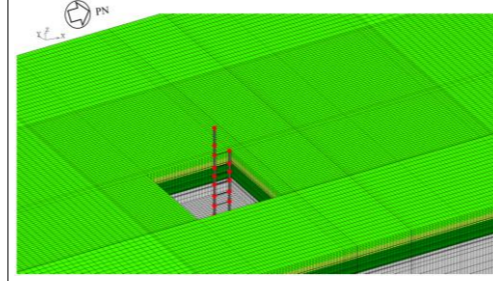
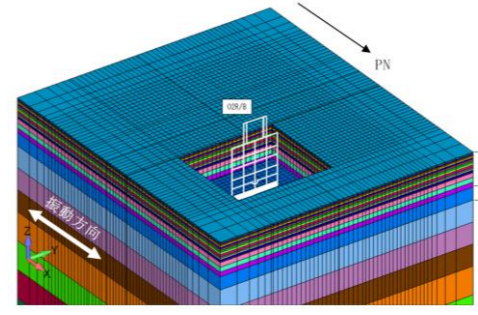
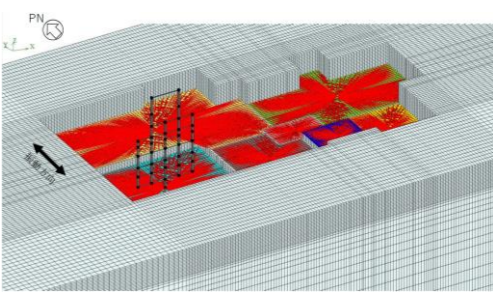
注記*：応答比率＝剛体要素非考慮／剛体要素考慮

別紙3 先行審査プラントにおける隣接建物の影響評価概要
の整理

1. 概要

先行審査プラントにおける隣接建物の影響評価について、解析ケース及び入力地震動の設定、全体モデル及び地盤モデルの諸元並びに単独解析時の周辺地盤のモデル化に関する概要を、島根2号機における概要と併せて表1-1に示す。

表1-1 先行審査プラント及び島根2号機における隣接建物の影響評価の概要

		美浜3号機	高浜3号機	柏崎刈羽7号機	女川2号機	島根2号機																																																																																																																																																																																																																																																																			
対象建物	評価対象	原子炉格納施設, 原子炉補助建屋	高浜3号機建屋 (原子炉格納施設, 補助一般建屋, 中間建屋, ディーゼル建屋, 燃料取替用水タンク建屋)	7号機原子炉建屋, コントロール建屋, 7号機タービン建屋, 廃棄物処理建屋	原子炉建屋, 制御建屋	原子炉建屋, 制御室建屋, タービン建屋, 廃棄物処理建屋																																																																																																																																																																																																																																																																			
	周辺建物	—	高浜4号機建屋 (原子炉格納施設, 中間建屋, ディーゼル建屋, 燃料取替用水タンク建屋)	6号機原子炉建屋, 6号機タービン建屋	タービン建屋, 第1号機制御建屋	1号機原子炉建屋, 1号機タービン建屋, 1号機廃棄物処理建屋																																																																																																																																																																																																																																																																			
解析ケース及び入力地震動の設定	解析ケース	単独解析: 評価対象建屋1棟をモデル化×2ケース 全体解析: 評価対象建屋及び周辺建屋をモデル化×1ケース	単独解析: 評価対象建屋1棟をモデル化×5ケース 全体解析: 評価対象建屋及び周辺建屋をモデル化×1ケース	単独解析: 評価対象建屋1棟をモデル化×4ケース 全体解析: 評価対象建屋及び周辺建屋をモデル化×1ケース	単独解析: 評価対象建屋1棟をモデル化×2ケース 全体解析: 評価対象建屋及び周辺建屋をモデル化×2ケース	単独解析: 評価対象建屋1棟をモデル化×4ケース 全体解析: 評価対象建屋及び周辺建屋をモデル化×1ケース																																																																																																																																																																																																																																																																			
	入力地震動の設定方法	全ケース: 原子炉格納施設の基礎下端で等価となる補正波	全ケース: 原子炉格納施設 (3号機建屋) の基礎下端で等価となる補正波	全ケース: 7号機原子炉建屋の基礎下端で等価となる補正波	原子炉建屋: 原子炉建屋の基礎下端で等価となる補正波 制御建屋: 制御建屋の基礎下端で等価となる補正波	全ケース: 原子炉建屋の基礎下端で等価となる補正波																																																																																																																																																																																																																																																																			
全体モデル及び地盤モデルの諸元	地盤物性	2層地盤	一様物性地盤 (原子炉建屋直下地盤の物性)	水平成層地盤	水平成層地盤	一様物性地盤 (原子炉建屋直下地盤の物性)																																																																																																																																																																																																																																																																			
	全体モデル図及び地盤物性の詳細	 <table border="1" data-bbox="385 924 742 1039"> <thead> <tr> <th>深さ</th> <th>S波速度 Vs (m/s)</th> <th>密度 ρ (t/m³)</th> <th>ポアソン比 ν</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>EL.+1.0m以浅</td> <td>1,650</td> <td>2.6</td> <td>0.40</td> </tr> <tr> <td>EL.+1.0m以深</td> <td>1,700</td> <td>2.6</td> <td>0.40</td> </tr> </tbody> </table>	深さ	S波速度 Vs (m/s)	密度 ρ (t/m³)	ポアソン比 ν	EL.+1.0m以浅	1,650	2.6	0.40	EL.+1.0m以深	1,700	2.6	0.40	<p>モデル図 非公開</p> <table border="1" data-bbox="905 934 1202 1039"> <thead> <tr> <th>S波速度 Vs (m/s)</th> <th>密度 ρ (t/m³)</th> <th>ポアソン比 ν</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2,200</td> <td>2.7</td> <td>0.32</td> </tr> </tbody> </table>	S波速度 Vs (m/s)	密度 ρ (t/m³)	ポアソン比 ν	2,200	2.7	0.32	 <table border="1" data-bbox="1291 819 1751 1218"> <thead> <tr> <th>標高 T.M.S.L. (m)</th> <th>地層</th> <th>せん断波速度 Vs (m/s)</th> <th>単位体積重量 γ (kN/m³)</th> <th>ポアソン比 ν</th> <th>せん断弾性係数 G (×10⁹kN/m²)</th> <th>初期せん断弾性係数 G₀ (×10⁹kN/m²)</th> <th>剛性低下率 G/G₀</th> <th>減衰定数 (D)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+15.0</td> <td>新期砂層</td> <td>150</td> <td>18.1</td> <td>0.347</td> <td>0.140</td> <td>0.289</td> <td>0.38</td> <td>19</td> </tr> <tr> <td>+8.0</td> <td></td> <td>200</td> <td>18.1</td> <td>0.308</td> <td>0.170</td> <td>0.657</td> <td>0.22</td> <td>22</td> </tr> <tr> <td>+4.0</td> <td>古安田層</td> <td>330</td> <td>17.3</td> <td>0.482</td> <td>1.22</td> <td>1.82</td> <td>0.80</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>-6.0</td> <td></td> <td>490</td> <td>17.0</td> <td>0.451</td> <td>4.03</td> <td>4.18</td> <td>0.87</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>-33.0</td> <td></td> <td>530</td> <td>18.8</td> <td>0.448</td> <td>4.51</td> <td>4.75</td> <td>0.86</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>-80.0</td> <td>西山層</td> <td>590</td> <td>17.3</td> <td>0.432</td> <td>5.83</td> <td>6.14</td> <td>0.86</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>-138.0</td> <td></td> <td>650</td> <td>19.3</td> <td>0.424</td> <td>7.90</td> <td>8.32</td> <td>0.86</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>-155.0</td> <td></td> <td>720</td> <td>19.9</td> <td>0.418</td> <td>10.5</td> <td>10.5</td> <td>1.00</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>∞</td> <td>標谷層</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1765 766 2226 1029"> <thead> <tr> <th>上面レベル O.P. (m)</th> <th>層厚 (m)</th> <th>Vs (m/s)</th> <th>密度 (t/m³)</th> <th>ポアソン比</th> <th>備考</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>14.80</td><td>1.20</td><td>124</td><td>1.9</td><td>0.48</td></tr> <tr><td>2</td><td>13.60</td><td>2.00</td><td>214</td><td>1.9</td><td>0.48</td></tr> <tr><td>3</td><td>11.60</td><td>2.50</td><td>287</td><td>1.9</td><td>0.48</td></tr> <tr><td>4</td><td>9.10</td><td>3.00</td><td>352</td><td>1.9</td><td>0.48</td></tr> <tr><td>5</td><td>6.10</td><td>3.50</td><td>411</td><td>1.9</td><td>0.48</td></tr> <tr><td>6</td><td>2.60</td><td>2.60</td><td>469</td><td>1.9</td><td>0.48</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.0</td><td>1.50</td><td>900</td><td>2.38</td><td>0.448</td></tr> <tr><td>8</td><td>-1.50</td><td>0.70</td><td>900</td><td>2.38</td><td>0.448</td></tr> <tr><td>9</td><td>-2.20</td><td>3.90</td><td>900</td><td>2.38</td><td>0.448</td></tr> <tr><td>10</td><td>-6.10</td><td>4.00</td><td>900</td><td>2.38</td><td>0.448</td></tr> <tr><td>11</td><td>-10.10</td><td>4.00</td><td>900</td><td>2.38</td><td>0.448</td></tr> <tr><td>12</td><td>-14.10</td><td></td><td>1300</td><td>2.43</td><td>0.415</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" data-bbox="1765 1029 2226 1228"> <thead> <tr> <th>再層分割層番号</th> <th>上面レベル O.P. (m)</th> <th>層厚 (m)</th> <th>Vs (m/s)</th> <th>密度 (t/m³)</th> <th>ポアソン比</th> <th>減衰定数 h (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>12</td><td>18</td><td>-14.10</td><td>10.90</td><td>1300</td><td>2.43</td><td>0.415</td></tr> <tr><td>13</td><td>19</td><td>-25.00</td><td>18.30</td><td>2150</td><td>2.51</td><td>0.368</td></tr> <tr><td>20</td><td>-43.30</td><td>18.30</td><td>2150</td><td>2.51</td><td>0.368</td></tr> <tr><td>21</td><td>-61.60</td><td>18.40</td><td>2150</td><td>2.51</td><td>0.368</td></tr> <tr><td>22</td><td>-80.00</td><td>24.00</td><td>2440</td><td>2.55</td><td>0.354</td></tr> <tr><td>23</td><td>-104.00</td><td>24.00</td><td>2440</td><td>2.55</td><td>0.354</td></tr> <tr><td>24</td><td>-128.00</td><td>24.00</td><td>2440</td><td>2.55</td><td>0.354</td></tr> <tr><td>25</td><td>-152.00</td><td>24.00</td><td>2440</td><td>2.55</td><td>0.354</td></tr> <tr><td>26</td><td>-176.00</td><td>24.00</td><td>2440</td><td>2.55</td><td>0.354</td></tr> <tr><td>27</td><td>-200.0</td><td></td><td>2440</td><td>2.55</td><td>0.354</td></tr> </tbody> </table>	標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10⁹kN/m²)	初期せん断弾性係数 G₀ (×10⁹kN/m²)	剛性低下率 G/G₀	減衰定数 (D)	+15.0	新期砂層	150	18.1	0.347	0.140	0.289	0.38	19	+8.0		200	18.1	0.308	0.170	0.657	0.22	22	+4.0	古安田層	330	17.3	0.482	1.22	1.82	0.80	4	-6.0		490	17.0	0.451	4.03	4.18	0.87	3	-33.0		530	18.8	0.448	4.51	4.75	0.86	3	-80.0	西山層	590	17.3	0.432	5.83	6.14	0.86	3	-138.0		650	19.3	0.424	7.90	8.32	0.86	3	-155.0		720	19.9	0.418	10.5	10.5	1.00	-	∞	標谷層								上面レベル O.P. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	密度 (t/m³)	ポアソン比	備考	1	14.80	1.20	124	1.9	0.48	2	13.60	2.00	214	1.9	0.48	3	11.60	2.50	287	1.9	0.48	4	9.10	3.00	352	1.9	0.48	5	6.10	3.50	411	1.9	0.48	6	2.60	2.60	469	1.9	0.48	7	0.0	1.50	900	2.38	0.448	8	-1.50	0.70	900	2.38	0.448	9	-2.20	3.90	900	2.38	0.448	10	-6.10	4.00	900	2.38	0.448	11	-10.10	4.00	900	2.38	0.448	12	-14.10		1300	2.43	0.415	再層分割層番号	上面レベル O.P. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	密度 (t/m³)	ポアソン比	減衰定数 h (%)	12	18	-14.10	10.90	1300	2.43	0.415	13	19	-25.00	18.30	2150	2.51	0.368	20	-43.30	18.30	2150	2.51	0.368	21	-61.60	18.40	2150	2.51	0.368	22	-80.00	24.00	2440	2.55	0.354	23	-104.00	24.00	2440	2.55	0.354	24	-128.00	24.00	2440	2.55	0.354	25	-152.00	24.00	2440	2.55	0.354	26	-176.00	24.00	2440	2.55	0.354	27	-200.0		2440	2.55	0.354	 <p>注記*: 「EL.」は東京湾平均海面 (T.P.) を基準としたレベルを示す。</p> <table border="1" data-bbox="2285 934 2671 1029"> <thead> <tr> <th>S波速度 Vs (m/s)</th> <th>単位体積重量 γ (kN/m³)</th> <th>ポアソン比 ν</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1600</td> <td>24.5</td> <td>0.377</td> </tr> </tbody> </table>	S波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m³)	ポアソン比 ν	1600	24.5
深さ	S波速度 Vs (m/s)	密度 ρ (t/m³)	ポアソン比 ν																																																																																																																																																																																																																																																																						
EL.+1.0m以浅	1,650	2.6	0.40																																																																																																																																																																																																																																																																						
EL.+1.0m以深	1,700	2.6	0.40																																																																																																																																																																																																																																																																						
S波速度 Vs (m/s)	密度 ρ (t/m³)	ポアソン比 ν																																																																																																																																																																																																																																																																							
2,200	2.7	0.32																																																																																																																																																																																																																																																																							
標高 T.M.S.L. (m)	地層	せん断波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10⁹kN/m²)	初期せん断弾性係数 G₀ (×10⁹kN/m²)	剛性低下率 G/G₀	減衰定数 (D)																																																																																																																																																																																																																																																																	
+15.0	新期砂層	150	18.1	0.347	0.140	0.289	0.38	19																																																																																																																																																																																																																																																																	
+8.0		200	18.1	0.308	0.170	0.657	0.22	22																																																																																																																																																																																																																																																																	
+4.0	古安田層	330	17.3	0.482	1.22	1.82	0.80	4																																																																																																																																																																																																																																																																	
-6.0		490	17.0	0.451	4.03	4.18	0.87	3																																																																																																																																																																																																																																																																	
-33.0		530	18.8	0.448	4.51	4.75	0.86	3																																																																																																																																																																																																																																																																	
-80.0	西山層	590	17.3	0.432	5.83	6.14	0.86	3																																																																																																																																																																																																																																																																	
-138.0		650	19.3	0.424	7.90	8.32	0.86	3																																																																																																																																																																																																																																																																	
-155.0		720	19.9	0.418	10.5	10.5	1.00	-																																																																																																																																																																																																																																																																	
∞	標谷層																																																																																																																																																																																																																																																																								
上面レベル O.P. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	密度 (t/m³)	ポアソン比	備考																																																																																																																																																																																																																																																																				
1	14.80	1.20	124	1.9	0.48																																																																																																																																																																																																																																																																				
2	13.60	2.00	214	1.9	0.48																																																																																																																																																																																																																																																																				
3	11.60	2.50	287	1.9	0.48																																																																																																																																																																																																																																																																				
4	9.10	3.00	352	1.9	0.48																																																																																																																																																																																																																																																																				
5	6.10	3.50	411	1.9	0.48																																																																																																																																																																																																																																																																				
6	2.60	2.60	469	1.9	0.48																																																																																																																																																																																																																																																																				
7	0.0	1.50	900	2.38	0.448																																																																																																																																																																																																																																																																				
8	-1.50	0.70	900	2.38	0.448																																																																																																																																																																																																																																																																				
9	-2.20	3.90	900	2.38	0.448																																																																																																																																																																																																																																																																				
10	-6.10	4.00	900	2.38	0.448																																																																																																																																																																																																																																																																				
11	-10.10	4.00	900	2.38	0.448																																																																																																																																																																																																																																																																				
12	-14.10		1300	2.43	0.415																																																																																																																																																																																																																																																																				
再層分割層番号	上面レベル O.P. (m)	層厚 (m)	Vs (m/s)	密度 (t/m³)	ポアソン比	減衰定数 h (%)																																																																																																																																																																																																																																																																			
12	18	-14.10	10.90	1300	2.43	0.415																																																																																																																																																																																																																																																																			
13	19	-25.00	18.30	2150	2.51	0.368																																																																																																																																																																																																																																																																			
20	-43.30	18.30	2150	2.51	0.368																																																																																																																																																																																																																																																																				
21	-61.60	18.40	2150	2.51	0.368																																																																																																																																																																																																																																																																				
22	-80.00	24.00	2440	2.55	0.354																																																																																																																																																																																																																																																																				
23	-104.00	24.00	2440	2.55	0.354																																																																																																																																																																																																																																																																				
24	-128.00	24.00	2440	2.55	0.354																																																																																																																																																																																																																																																																				
25	-152.00	24.00	2440	2.55	0.354																																																																																																																																																																																																																																																																				
26	-176.00	24.00	2440	2.55	0.354																																																																																																																																																																																																																																																																				
27	-200.0		2440	2.55	0.354																																																																																																																																																																																																																																																																				
S波速度 Vs (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m³)	ポアソン比 ν																																																																																																																																																																																																																																																																							
1600	24.5	0.377																																																																																																																																																																																																																																																																							
単独解析時の周辺地盤のモデル化	方針	他建屋部分の掘削あり	他建屋部分の掘削あり (埋込みは考慮せず, 平坦な地盤上に各建屋モデルを設置)	他建屋部分の掘削なし	他建屋部分の掘削なし	他建屋部分の掘削あり																																																																																																																																																																																																																																																																			
	単独モデル図		<p>モデル図 非公開</p>																																																																																																																																																																																																																																																																						

注1: 先行審査プラント (美浜3号機, 高浜3号機, 柏崎刈羽7号機及び女川2号機) の情報に係る記載内容については, 公開資料を基に弊社の責任において独自解釈したものです。

注2: ハッチングは島根2号機と条件が同等であることを示す。

補足-023-08 設計基準対象施設のクラス別施設に関する
設置変更許可及び建設時工事計画認可からの変更点

目 次

1. 概要	1
2. 設置変更許可からの変更点	1
3. 建設時工事計画認可からの耐震重要度分類の変更点	11

添 付 資 料

添付資料1 設置変更許可時からの変更点

1. 概要

本資料は、VI-2-1-4「耐震重要度分類及び重大事故等対処施設の施設区分の基本方針」のうち、「表 2-1 設計基準対象施設の耐震重要度分類に対するクラス別施設」について、設置変更許可段階からの変更点を整理するとともに、建設時工事計画認可からの耐震重要度分類の変更点を整理したものである。

2. 設置変更許可からの変更点

「島根原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請（2号発電用原子炉施設の変更）本文及び添付書類の一部補正について」（令和3年9月15日許可）からの変更点及び変更理由について、表1のとおり整理した。（変更箇所の詳細は添付資料1参照）

表1 設置変更許可審査からの変更点 (1/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
①	1号炉	1号機	工事計画認可申請名称への変更	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24
②	その他	2号機南側切取斜面	記載の拡充 (波及的影響を考慮すべき施設を具体的に記載)	15, 20
③	その他	2号機西側切取斜面	同上	15, 20
④	原子炉浄化系補助熱交換器	その他* ¹⁰	「その他* ¹⁰ 」に集約し記載	16, 17, 18, 19, 21, 24
⑤	グラウンド蒸気排ガスフィルタ	その他* ¹⁰	同上	16, 17, 18, 19, 21, 24
⑥	—	復水貯蔵タンク遮蔽壁	設計進捗に伴う変更 (上位クラス施設であるB-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽の設計進捗に伴う追加)	16, 17, 18, 19, 21, 24
⑦	その他	その他* ¹⁰	記載の拡充 (今回工事計画認可段階で波及的影響を考慮すべき施設が明確になったことに伴い「その他* ¹⁰ 」に具体的に記載)	16, 17, 18, 19, 21, 24

表1 設置変更許可審査からの変更点 (2/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
⑧	サプレッション・チェンバ	サプレッションチェンバ	工事計画認可申請名称への変更	18, 19, 21
⑨	—	格納容器空気置換排風機	記載の適正化 (上位クラス施設である原子炉棟空調換気系入口隔離弁は「原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁」に該当するためクラス別施設(vii)から(vi)へ移動)	20
⑩	サプレッション・プール	サプレッションプール	工事計画認可申請名称への変更	21
⑪	非常用ガス処理系(排気管含む)	非常用ガス処理系(排気筒(非常用ガス処理系用)含む)	同上	21
⑫	格納容器空気置換排風機	—	記載の適正化 (上位クラス施設である原子炉棟空調換気系入口隔離弁は「原子炉格納容器バウンダリに属する配管・弁」に該当するためクラス別施設(vii)から(vi)へ移動。⑨関連)	21
⑬	—	復水輸送系配管	記載の拡充 (波及的影響を考慮すべき施設を具体的に記載)	21
⑭	—	復水系配管	同上	21
⑮	—	高光度航空障害灯管制器	同上	21

表1 設置変更許可審査からの変更点 (3/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
⑯	タービン補機冷却系熱交換器	その他*11	「その他*11」に集約し記載	22
⑰	—	循環水系配管	記載の拡充 (波及的影響を考慮すべき施設を具体的に記載)	22
⑱	その他	その他*11	記載の拡充 (今回工事計画認可段階で波及的影響を考慮すべき施設が明確になったことに伴い「その他*11」に具体的に記載)	22
⑲	—	防波壁(西端部)周辺斜面	記載の拡充 (波及的影響を考慮すべき施設を具体的に記載)	24
㉑	B	B*13	記載の適正化 (直接支持構造物についても逃がし安全弁排気管と同一の設計方針を適用することを明確化)	25
㉒	S d	S s	記載の適正化 (逃がし安全弁排気管はS s機能維持する方針であるため、その間接支持構造物についても検討用地震動を「S s」とすることを明確化)	25

表1 設置変更許可審査からの変更点 (4/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
②②	—	復水貯蔵タンク基礎	記載の拡充 (復水貯蔵タンクの間接支持構造物として明確化)	26
②③	—	補助復水貯蔵タンク基礎	記載の拡充 (補助復水貯蔵タンクの間接支持構造物として明確化)	26
②④	—	当該設備を支持する構造物	記載の適正化 (建物以外の支持構造物の考慮について明確化)	29
②⑤	(注8) 非常用電源の燃料油系を支持する構造物とは、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎、屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)、屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)及び排気筒をいう。	*8 : 非常用電源の燃料油系を支持する構造物とは、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)、屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)、排気筒の基礎及び屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)をいう。	工事計画認可申請名称への変更及び記載の拡充 (今回工事計画認可段階で非常用電源の燃料油系を支持する構造物を具体的に記載)	30
②⑥	(注9) 建物開口部の竜巻防護対策設備は比較的大型の鋼製構造物であり、建物の上部に設置されているため、上位クラス施設は特定しないが、波及的影響を考慮すべき施設とする。	*9 : 防護対策設備とは、取水槽海水ポンプエリア防護対策設備、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備をいう。	記載の拡充 (今回工事計画認可段階で波及的影響を考慮すべき防護対策設備を具体的に記載)	30

表1 設置変更許可審査からの変更点 (5/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
⑳	—	*10: 燃料プール冷却ポンプ室冷却機, 原子炉浄化系補助熱交換器, タービン補機海水系配管, 給水系配管, タービンヒータドレン系配管, 液体廃棄物処理系配管, 床ドレン系配管, グランド蒸気排ガスフィルタ, 消火系配管, 2号機南側切取斜面, 2号機西側切取斜面, ディーゼル燃料貯蔵タンク室及び循環水ポンプ渦防止板が含まれる。	記載の拡充 (今回工事計画認可段階で波及的影響を考慮すべき施設を「その他*10」に具体的に記載)	30
㉑	—	*11: タービン補機海水系配管, タービン補機冷却系熱交換器, タービン補機海水ストレーナ, 2号機南側切取斜面, 2号機西側切取斜面, 防波壁(東端部)周辺斜面, 防波壁(西端部)周辺斜面及びディーゼル燃料貯蔵タンク室が含まれる。	記載の拡充 (今回工事計画認可段階で波及的影響を考慮すべき施設を「その他*11」に具体的に記載)	30

表1 設置変更許可審査からの変更点 (6/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
②⑨	<p>(注11) 地震により逃がし安全弁排気管が破損したとしても、ドライウェル内に放出された蒸気はベント管を通してサプレッション・チェンバのプール水中に導かれて凝縮するため、格納容器内圧が有意に上昇することはないと考えられるが、基準地震動S_sに対し破損しないことを確認する。</p>	<p>*13：地震により逃がし安全弁排気管が破損したとしても、ドライウェル内に放出された蒸気はベント管を通してサプレッションチェンバのプール水中に導かれて凝縮するため、格納容器内圧が有意に上昇することはないと考えられるが、基準地震動S_sに対してドライウェル内の逃がし安全弁排気管が破損しないことを確認する。 また、逃がし安全弁排気管がサプレッションチェンバ内の気相部で破損した場合、放出された蒸気は十分に凝縮することができないため、サプレッションチェンバ内の逃がし安全弁排気管をSクラスとして設計する。</p>	<p>記載の適正化 (逃がし安全弁排気管について、サプレッションチェンバ内はSクラスとして設計することを明確化)</p>	30
③⑩	中央制御室天井照明	中央制御室天井設置設備	工事計画認可申請名称への変更	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24

表1 設置変更許可審査からの変更点 (7/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
③①	—	仮設耐震構台	設計進捗に伴う変更 (今回工事計画認可段階で設計及び配置が確定したことに伴う追加)	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24
③②	—	建物開口部竜巻防護対策設備	記載の拡充 (今回工事計画認可段階で上位クラス施設を明確にしたため波及的影響を考慮すべき施設の列に記載)	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24
③③	—	土留め工(親杭)	設計進捗に伴う変更 (今回工事計画認可段階で設計及び配置が確定したことに伴う追加)	15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24
③④	竜巻防護対策設備(注9)	防護対策設備*9	工事計画認可申請名称への変更	16, 17, 18, 19, 21, 22, 24
③⑤	チャンネル・ボックス	チャンネルボックス	同上	17

表1 設置変更許可審査からの変更点 (8/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
③⑥	当該設備の冷却系（原子炉補機冷却系、 高圧炉心スプレイ補機冷却系）	当該設備の冷却系（原子炉補機冷却系 （原子炉補機海水系を含む）、高圧炉心 スプレイ補機冷却系（高圧炉心スプレ イ補機海水系を含む））	記載の拡充 （原子炉補機海水系及び高圧炉心スプレイ補機 海水系について明確化）	18, 19
③⑦	原子炉棟	原子炉建物原子炉棟（二次格納施設）	工事計画認可申請名称への変更	21
③⑧	当該設備の冷却系（原子炉補機冷却系）	当該設備の冷却系（原子炉補機冷却系 （原子炉補機海水系を含む））	記載の拡充 （原子炉補機海水系について明確化）	21
③⑨	—	屋外配管ダクト（タービン建物～排気 筒）	記載の拡充 （非常用ガス処理系の間接支持構造物について 明確化）	21
④⑩	—	排気筒の基礎	同上	21
④⑪	除じん系（浸水防止機能を有する部分）	—	設計進捗に伴う変更 （今回工事計画認可段階で当該施設を移設する 方針としたため削除）	22
④⑫	取水槽海水ポンプエリア防水壁	—	設計進捗に伴う変更 （今回工事計画認可段階で当該施設を取水槽海 水ポンプエリア防護対策設備に含まれるとした ため削除）	22, 24
④⑬	1号炉取水槽ピット部	1号機取水槽ピット部及び1号機取 水槽漸拡ダクト部底版	工事計画認可申請名称への変更	22

表1 設置変更許可審査からの変更点 (9/9)

	変更前 (令和3年9月15日設置変更許可時)	変更後 (今回工認)	変更理由	対応 ページ
④④	—	屋外排水路逆止弁集水柵	記載の拡充 (屋外排水路逆止弁の間接支持構造物として明確化)	22
④⑤	—	防波壁	設計進捗に伴う変更 (防波壁通路防波扉(1号機北側及び2号機北側)を防波壁に間接支持させる方針に変更したことに伴う追加)	22

3. 建設時工事計画認可からの耐震重要度分類の変更点

建設時工事計画認可からの耐震重要度分類が変更となった設備は、大別して以下の 3 ケースのものがある。

- ① 津波防護施設，浸水防止設備及び津波監視設備の新規追加（Sクラス）
- ② 非常用ディーゼル発電機等の燃料を貯蔵する設備の格上げ（C→Sクラス）
- ③ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴う変更（A→Sクラス）

それぞれの対象設備を表 2-1 に示す。また，耐震重要度分類の変更ではないが，検討用地震動が変更になった設備を表 2-2 に示す。

なお，発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴い，建設時工認において A s クラス又は A クラスとしていた設備は，今回工認においては S クラスに整理される。耐震重要度分類が A クラスだった設備は，建設時工認においては基準地震動 S_1 による評価を実施していたが，今回工認においては，S クラスに分類されることから基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d による評価を実施する。

表 2-1 建設時工事計画認可から耐震重要度分類が変更となった設備 (1/3)

	設備名称	備考
<p>① 津波防護施設, 浸水防止設備及び 津波監視設備の新 規追加 (Sクラス)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・防波壁 ・防波壁通路防波扉 ・1号機流路縮小工 ・屋外排水路逆止弁 ・防水壁 ・水密扉 ・床ドレン逆止弁 ・隔離弁 ・ポンプ ・配管 ・貫通部止水処置 ・取水槽水位計 ・津波監視カメラ ・タービン補機海水系隔離システム 	
<p>② 非常用ディーゼ ル発電機等の燃料 を貯蔵する設備の 格上げ (C→Sクラス)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料 移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料 移送ポンプ ・非常用ディーゼル発電設備 A-ディーゼル燃料 貯蔵タンク ・非常用ディーゼル発電設備 B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク ・高圧炉心スプレー系ディーゼル発電設備 ディ ーゼル燃料移送ポンプ ・高圧炉心スプレー系ディーゼル発電設備 ディ ーゼル燃料貯蔵タンク ・関連配管・弁 	

表 2-1 建設時工事計画認可から耐震重要度分類が変更となった設備 (2/3)

	設備名称	備考
<p>③ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴う変更 (A→Sクラス)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉圧力容器内部構造物 ・逃がし安全弁自動減圧機能用アキュムレータ ・関連配管・弁（主蒸気系） ・関連配管・弁（残留熱除去系のうち、低圧炉心注水モード運転、格納容器冷却モード運転及び格納容器スプレイモード運転に必要な設備） ・低圧炉心スプレイポンプ ・低圧炉心スプレイ系ストレーナ ・関連配管・弁（低圧炉心スプレイ系） ・ほう酸水注入ポンプ ・ほう酸水貯蔵タンク ・関連配管・弁（ほう酸水注入系） ・中性子源領域計装 ・中間領域計装 ・出力領域計装 ・中央制御室遮蔽（1号機設備，1，2号機共用） ・中央制御室送風機 ・中央制御室非常用再循環送風機 ・中央制御室非常用再循環処理装置フィルタ ・原子炉建物原子炉棟（二次格納施設） ・真空破壊装置 ・ダウンコマ ・ベント管 ・ベント管ベローズ ・ベントヘッダ ・ドライウェルスプレイ管 ・サプレッションチェンバースプレイ管 ・非常用ガス処理系排風機 ・非常用ガス処理系前置ガス処理装置フィルタ ・非常用ガス処理系後置ガス処理装置フィルタ ・排気筒（非常用ガス処理系用） ・関連配管・弁（非常用ガス処理系） ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置ブロワ ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置加熱器 	

表 2-1 建設時工事計画認可から耐震重要度分類が変更となった設備 (3/3)

	設備名称	備考
③ 発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針の改訂に伴う変更 (A→Sクラス)	<ul style="list-style-type: none"> ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置再結合器 ・可燃性ガス濃度制御系再結合装置冷却器 ・関連配管・弁 (可燃性ガス濃度制御系) 	

表 2-2 検討用地震動が変更となった設備

	設備名称	備考
波及的影響を考慮すべき施設に適用する地震動の変更 (S ₁ →S _s)	<ul style="list-style-type: none"> ・原子炉建物天井クレーン 	耐震重要度分類の変更ではないが、検討用地震動が変更となった設備として抽出

設置変更許可時からの変更点

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{#1}		補助設備 ^{#2}		直接支持構造物 ^{#3}		間接支持構造物 ^{#4}		波及的影響を考慮すべき施設 ^{#5}			
		耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	
Sクラス (注7)	(1)原子炉冷却 材圧力バウ ンダリを構 成する機 器・配管系	S	原子炉圧力容器 ・原子炉冷却材圧 力バウンダリに 属する容器・配 管・ポンプ・弁	S	隔離弁を用とす るに必要な電気 計装設備	S	原子炉圧力容器 ・支持スカート ・機器・配管・電 気計装設備等の 支持構造物	S	原子炉圧力容器 ・ベアスタル ・原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物	S	ガンマ線遮蔽壁 ・中央制御室又は井 筒 ^③	S	ガンマ線遮蔽壁 ・中央制御室又は井 筒 ^③
		S		S		S		S		S	① 1号炉原子炉建物 ・1号炉タービン建 物 ^①	S	① 1号炉原子炉建物 ・1号炉タービン建 物 ^①
												S	②、③ 1号炉廃棄物処理 建物 ^①

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{#1}		補助設備 ^{#2}		直接支持構造物 ^{#3}		間接支持構造物 ^{#4}		波及的影響を 考慮すべき施設 ^{#5}			
		耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	
Sクラス ^{#7}	(1)原子炉冷却 材圧力バウ ンダリを構 成する機 器・配管系	S	原子炉圧力容器 ・原子炉冷却材圧 力バウンダリに 属する容器・配 管・ポンプ・弁	S	隔離弁を用とす るに必要な電気 計装設備	S	原子炉圧力容器 ・支持スカート ・機器・配管・電 気計装設備等の 支持構造物	S	原子炉圧力容器 ・ベアスタル ・原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物	S	ガンマ線遮蔽壁 ・中央制御室又は井 筒 ^③	S	ガンマ線遮蔽壁 ・中央制御室又は井 筒 ^③
		S		S		S		S		S	① 1号炉原子炉建物 ・1号炉タービン建 物 ^①	S	① 1号炉原子炉建物 ・1号炉タービン建 物 ^①
												S	② 1号炉廃棄物処理 建物 ^①
												S	② 2号機側側面切取斜 面 ^②
												S	③ 2号機側側面切取斜 面 ^③
												S	④ 既設耐震構台 ^④
												S	⑤ 既設開口部電線防 護対策設備 ^⑤
												S	⑥ 土留め工(鋼杭) ^⑥

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表 1 の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)			
		耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	検討用 地震動 (注6)		
Sクラス (注7)	(iii) 原子炉の緊急停止のため、急激に負の反応度増大を付加するための施設及び原子炉の停止状態を維持するための施設	S	制御棒、制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系(スクラム機能に関する部分)・ほう酸水注入系	S	炉心支持構造物 ・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系、補助設備を含む)。 ・チェーンネル、ボックスクラス ^⑤	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物(注8) ・取水槽	S	耐火壁 ・中央制御室天井照 明 ^③ ・原子炉炉心七系補助熱交換器 ^④ ・グラント産気排ガ スファイタ ^⑤ ・取水槽カントリク レーン ・除じん機 ・1号炉排気筒 ^① ・1号炉原子炉建物 ^① ・1号炉タービン建 物 ^① ・1号炉廃棄物処理 建物 ^① ・廃棄物貯蔵施設 ^② (注9) ^③ ・その他 ^⑦	S	S
		S	チェーンネル、ボックスクラス ^⑤	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物(注8) ・取水槽	S	耐火壁 ・中央制御室天井照 明 ^③ ・原子炉炉心七系補助熱交換器 ^④ ・グラント産気排ガ スファイタ ^⑤ ・取水槽カントリク レーン ・除じん機 ・1号炉排気筒 ^① ・1号炉原子炉建物 ^① ・1号炉タービン建 物 ^① ・1号炉廃棄物処理 建物 ^① ・廃棄物貯蔵施設 ^② (注9) ^③ ・その他 ^⑦	S	S		

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{*1}		補助設備 ^{*2}		直接支持構造物 ^{*3}		間接支持構造物 ^{*4}		波及的影響を考慮すべき施設 ^{*5}			
		耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	検討用 地震動 (注6)		
Sクラス ^{*7}	(iii) 原子炉の緊急停止のため、急激に負の反応度を付加するための施設及び原子炉の停止状態を維持するための施設	S	制御棒、制御棒駆動機構及び制御棒駆動水圧系(スクラム機能に関する部分)・ほう酸水注入系	S	炉心支持構造物 ・非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその冷却系、補助設備を含む)。 ・チェーンネル、ボックスクラス ^⑤	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物 ^{*8} ・取水槽	S	耐火壁 ・中央制御室天井照 明 ^③ ・原子炉炉心七系補助熱交換器 ^④ ・グラント産気排ガ スファイタ ^⑤ ・取水槽カントリク レーン ・除じん機 ・1号炉排気筒 ^① ・1号炉原子炉建物 ^① ・1号炉タービン建 物 ^① ・1号炉廃棄物処理 建物 ^① ・廃棄物貯蔵施設 ^② (注9) ^③ ・その他 ^⑦	S	S
		S	チェーンネル、ボックスクラス ^⑤	S	機器・配管、電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物 ^{*8} ・取水槽	S	耐火壁 ・中央制御室天井照 明 ^③ ・原子炉炉心七系補助熱交換器 ^④ ・グラント産気排ガ スファイタ ^⑤ ・取水槽カントリク レーン ・除じん機 ・1号炉排気筒 ^① ・1号炉原子炉建物 ^① ・1号炉タービン建 物 ^① ・1号炉廃棄物処理 建物 ^① ・廃棄物貯蔵施設 ^② (注9) ^③ ・その他 ^⑦	S	S		

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表1の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)		
		耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動 (注6)	適用範囲	検討用地震動 (注6)
Sクラス (注7)	(iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設の施設	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系 高圧炉心スプレイ系 残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード運転に必要な設備) 冷却水測として、のサブプレッショ^⑧ン・チェーンバ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 当該設備の冷却系 (原子炉補機冷却系、高圧炉心スプレイ系補機冷却系) ⑤⑥ 炉心支持構造物 非常用電源及び計装設備 (アイゼル発電機及びその冷却系、補助設備を含む) 当該施設の機能維持に必要な換気空調設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管・電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 廃棄物処理建物 タービン建物 非常用電源の燃料油系を支持する構造物 (注8) 取水槽 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 耐火障壁 ③ 原子炉浄化系補助熱交換器 ④ ⑤ スライダ^⑤ 取水槽ガントリクレーン 除じん機 1号炉排気筒 ① 1号炉原子炉建物 ① 1号炉タービン建物 ① 1号炉廃棄物処理建物 ① ④ ⑤ ⑦ 	S S
		S		S		S		S S		S S		S S

今回工事計画認可

耐震重要度分類	クラス別施設	主要設備 ^{*1}		補助設備 ^{*2}		直接支持構造物 ^{*3}		間接支持構造物 ^{*4}		波及的影響を考慮すべき施設 ^{*5}		
		耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	耐震クラス	適用範囲	検討用地震動	適用範囲	検討用地震動
Sクラス ^{*7}	(iv) 原子炉停止後、炉心から崩壊熱を除去するための施設の施設	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉隔離時冷却系 高圧炉心スプレイ系 残留熱除去系 (原子炉停止時冷却モード運転に必要な設備) 冷却水測として、のサブプレッショ^⑧ン・チェーンバ ⑧ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 当該設備の冷却系 (原子炉補機冷却系、高圧炉心スプレイ補機冷却系 (高圧炉心スプレイ補機海水系を含む)) ⑥ 炉心支持構造物 非常用電源及び計装設備 (アイゼル発電機及びその冷却系、補助設備を含む) 当該施設の機能維持に必要な換気空調設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管・電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 廃棄物処理建物 タービン建物 非常用電源の燃料油系を支持する構造物^{*6} 取水槽 	S S	<ul style="list-style-type: none"> 耐火障壁 ③ ④ ⑤ ⑦ 	S S
		S		S		S		S S		S S		S S

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
 ○数字は表 1 の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)	
		耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	検討用 地震動 (注6)
Sクラス (注7)	(v) 原子炉冷却材圧力バウンス後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系 (低圧注水モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 炉冷却水として「サブプレッシャ」・「チェンバ」^⑧ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 当該設備の冷却系 (原子炉補機冷却系、高圧炉心スプレイ系) 非常用電源及び計装設備 (アイゼル発電機及びその冷却系、非常用電源を含む) 中央制御室遮蔽及び中央制御室換気系 当該施設の機能維持に必要な換気空調設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 廃棄物処理建物 タービン建物 非常用電源の燃料油系を支持する構造物 (注8) 取水槽 	S s	<ul style="list-style-type: none"> 耐火壁壁 中央制御室天井照 原炉冷却系補助熱交換器^④ スライダ^⑤ 取水槽ガントリクレーン 除じん機 1号炉排気筒^① 1号炉原子炉建物^① 1号炉タービン建物^① 1号炉廃棄物処理建物^① 竜巻防護対策設備 (注9)^⑧ その他^⑦

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{*1}		補助設備 ^{*2}		直接支持構造物 ^{*3}		間接支持構造物 ^{*4}		波及的影響を考慮すべき施設 ^{*5}	
		耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	検討用 地震動 (注6)
Sクラス ^{*7}	(v) 原子炉冷却材圧力バウンス後、炉心から崩壊熱を除去するための施設	S	<ul style="list-style-type: none"> 非常用炉心冷却系 1) 高圧炉心スプレイ系 2) 低圧炉心スプレイ系 3) 残留熱除去系 (低圧注水モード運転に必要な設備) 4) 自動減圧系 冷却水として「サブプレッシャ」・「チェンバ」^⑧ 	S	<ul style="list-style-type: none"> 当該設備の冷却系 (原子炉補機冷却系、高圧炉心スプレイ系、高圧炉心スプレイ補機冷却系 (高圧炉心スプレイ補機海水系を含む))^⑤ 非常用電源及び計装設備 (アイゼル発電機及びその冷却系、非常用電源を含む) 中央制御室遮蔽及び中央制御室換気系 当該施設の機能維持に必要な換気空調設備 	S	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	S	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 廃棄物処理建物 タービン建物 非常用電源の燃料油系を支持する構造物^{*6} 取水槽 	S s	<ul style="list-style-type: none"> 耐火壁壁 中央制御室天井設 原設備^⑨ 取水槽ガントリクレーン 除じん機 1号機排気筒^① 1号機原子炉建物^① 1号機タービン建物^① 1号機廃棄物処理建物^① 防護対策設備^{*8}^⑩ 後水貯蔵タンク差 取 収設耐震構石^⑪ 建物開口部竜巻防護対策設備^⑫ 土留め工 (補打)^⑬ その他^{*9}^⑭、^⑮、^⑯

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表 1 の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{#1} (注1)		補助設備 ^{#2} (注2)		直接支持構造物 ^{#3} (注3)		間接支持構造物 ^{#4} (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 ^{#5} (注5)		
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲
Sクラス (注7)	(a)原子炉冷却 材圧力バウ ンダリ破壊 事故の際に 圧力降下と なり放射性 物質の放散 を直接防ぐ ための施設	原子炉格納容器 ・原子炉格納容器 バウンダリに属 する配管・弁	S S	適用範囲 ・隔離弁を閉とす るに必要な電気 計装設備	S	適用範囲 ・機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	S	適用範囲 ・原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物	S S S	適用範囲 ・原子炉ウエルン ールドアラゲ ・中央制御室天井照 明 ^⑩ ・1号炉排気筒 ^① ・1号炉原子炉建物 ^① ・1号炉タービン建 物 ^① ・1号炉廃棄物処理 建物 ^① ・その他 ^② 、 ^③	S S S S S S S S S	検討用 地震動 (注6)

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{#1} (注1)		補助設備 ^{#2} (注2)		直接支持構造物 ^{#3} (注3)		間接支持構造物 ^{#4} (注4)		波及的影響を 考慮すべき施設 ^{#5} (注5)		
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	検討用 地震動
Sクラス ^{#7}	(vi)原子炉ポン プ圧力バウ ンダリ破壊 事故の際に、圧力降 下となり放射 性物質の放散 を直接防ぐた めの施設	原子炉格納容器 ・原子炉格納容器 バウンダリに属 する配管・弁	S S	適用範囲 ・隔離弁を閉とす るに必要な電気 計装設備	S	適用範囲 ・機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	S	適用範囲 ・原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物	S S S	適用範囲 ・原子炉ウエルン ールドアラゲ ・中央制御室天井設 置設備 ^⑩ ・格納容器空気置換 排気機 ^⑨ ・1号機排気筒 ^① ・1号機原子炉建物 ^① ・1号機タービン建 物 ^① ・1号機廃棄物処理 建物 ^① ・2号機筒側切取斜 面 ^② ・2号機西側切取斜 面 ^③ ・仮設耐震構吉 ^⑪ ・建物開口部電線防 護対策設備 ^⑫ ・土留め工(補杭) ^⑬	S S S S S S S S S S S S	検討用 地震動

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表 1 の左端の番号に対応している

設置変更許可

審査重要度 分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		放射的影響を考慮すべき施設 (注5)
		適用範囲	審査 クラス	適用範囲	審査 クラス	適用範囲	審査 クラス	適用範囲	審査 クラス	
Sクラス (注7)	(vii)放射線物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、Sクラス(vi)以外の施設	残留熱除去系 (格納容器冷却モード及びサブ ⑩ レラジョン・ブ ⑩ ール水冷却モ ード運転に必要な 設備)	S	当該設備の冷却系 (原子炉補給 ⑩ 回路系) ⑩ ・非常用電源及び 計装設備 (ディ ーゼル発電機及 びその冷却系・ 補助設備を含 む)	S	機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	S	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・排気筒 ・非常用電源の燃 料油系を支持す る構造物 (注8)	S	耐火隔壁 ・中央制御室天井照 明 ⑩ ・原子炉浄化系補助 熱交換器 ④ ・グラント蒸気排ガ スフィルタ ⑤ ・格納容器空気循環 排風機 ⑩ ・取水槽ガントリク レーン ・主排気ダクト ・除じん機 ・1号炉排気筒① ・1号炉原子炉建物 ① ・1号炉タービン建 物① ・1号炉廃棄物処理 建物① ・排気筒モニタ室 ・電巻防護対策設備 (注9) ④ ・その他 ⑦

今回工事計画認可

審査重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{#1}		補助設備 ^{#2}		直接支持構造物 ^{#3}		間接支持構造物 ^{#4}		波及的影響を 考慮すべき施設 ^{#5}	
		適用範囲	審査 クラス	適用範囲	審査 クラス	適用範囲	審査 クラス	適用範囲	審査 クラス	適用範囲	審査 クラス
Sクラス ^{#7}	(vii)放射線物質の放出を伴うような事故の際に、その外部放散を抑制するための施設であり、Sクラス(vi)以外の施設	残留熱除去系 (格納容器冷却モード及びサブ ⑩ レラジョン・ブ ⑩ ール水冷却モ ード運転に必要な 設備)	S	当該設備の冷却系 (原子炉補給 ⑩ 回路系) ⑩ ・非常用電源及び 計装設備 (ディ ーゼル発電機及 びその冷却系・ 補助設備を含 む)	S	機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	S	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・排気筒 ・非常用電源の燃 料油系を支持す る構造物 ^{#4}	S	耐火隔壁 ・中央制御室天井設 置設備 ⑩ ・復水輸送系配管 ⑬ ・復水系配管 ⑭ ・取水槽ガントリク レーン ・主排気ダクト ・除じん機 ・高光度航空障害灯 管制器 ⑮ ・1号機排気筒 ① ・1号機原子炉建物 ① ・1号機タービン建 物 ① ・1号機廃棄物処理 建物 ① ・排気筒モニタ室 ・防護対策設備 ^{#6} ④ ・復水貯蔵タンク蓋 設置 ⑥ ・仮設耐震構台 ④ ・建物開口部電巻防 護対策設備 ② ・土留め工 (補修) ⑥ ・その他 ^{#8}	

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表1の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^(注1)		補助設備 ^(注2)		直接支持構造物 ^(注3)		間接支持構造物 ^(注4)		波及的影響を考慮すべき施設 ^(注5)			
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス		
Sクラス (注7)	(Ⅷ)津波防護機能等を有する施設及び浸水防止機能を有する設備	適用範囲	S	適用範囲	S	適用範囲	S	適用範囲	S	適用範囲	S		
		耐震クラス	S	耐震クラス	S	耐震クラス	S	耐震クラス	S	耐震クラス	S		
		適用範囲	・防波壁 ・防波壁通路防護扉 ・屋外排水防止弁 ・防水壁 ・水密扉 ・床ドレン止水装置 ・原子炉補機海水系(浸水防止機能を有する部分) ・高圧中心スプレイ補機海水系(浸水防止機能を有する部分) ・循環水系(浸水防止機能を有する部分) ・タービン補機海水系(浸水防止機能を有する部分) ・除じん系(浸水防止機能を有する部分) ^(注9) ^(注10) ^(注11) ・液体廃棄物処理系(浸水防止機能を有する部分) ・1号炉取水槽流路箱小工 ^(注1)	適用範囲	・隔離弁を閉とす るに必要な電気計装設備	適用範囲	・機器・配管等の支持構造物	適用範囲	・原子炉建物 ・制御室建物 ・タービン建物 ・取水槽 ・屋外配管ダクト ～放水槽 ・1号炉取水槽北側壁 ^(注1)	適用範囲	・中央制御室天井照 明 ^(注10) ・タービン補機冷却 系熱交換器 ^(注16) ・取水槽オートリク レーン ・1号炉排気筒 ^(注1) ・サイトベンガ建物 ^(注1) ・1号炉原子炉建物 ^(注1) ・1号炉タービン建 物 ^(注1) ・1号炉廃棄物処理 建物 ^(注1) ・黄巻防護対策設備 ^(注9) ^(注10) ^(注11) ・エリア防水壁 ^(注12) ・1号炉取水槽ビツ ト部 ^(注13) ・その他 ^(注18)	検討用 地震動 (注6)	検討用 地震動 (注6)

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^(注1)		補助設備 ^(注2)		直接支持構造物 ^(注3)		間接支持構造物 ^(注4)		波及的影響を考慮すべき施設 ^(注5)			
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス		
Sクラス ^(注7)	(Ⅷ)津波防護機能等を有する施設及び浸水防止機能を有する設備	適用範囲	S	適用範囲	S	適用範囲	S	適用範囲	S	適用範囲	S		
		耐震クラス	S	耐震クラス	S	耐震クラス	S	耐震クラス	S	耐震クラス	S		
		適用範囲	・防波壁 ・防波壁通路防護扉 ・屋外排水防止弁 ・防水壁 ・水密扉 ・床ドレン止水弁 ・貫通部止水処置 ・原子炉補機海水系(浸水防止機能を有する部分) ・高圧中心スプレイ補機海水系(浸水防止機能を有する部分) ・循環水系(浸水防止機能を有する部分) ・タービン補機海水系(浸水防止機能を有する部分) ・除じん系(浸水防止機能を有する部分) ^(注9) ^(注10) ^(注11) ・液体廃棄物処理系(浸水防止機能を有する部分) ・1号炉取水槽流路箱小工 ^(注1)	適用範囲	・隔離弁を閉とす るに必要な電気計装設備	適用範囲	・機器・配管等の支持構造物	適用範囲	・原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・取水槽 ・屋外配管ダクト ～放水槽 ・1号炉取水槽北側壁 ^(注1) ・屋外排水壁 ^(注12) ・防波壁 ^(注13)	適用範囲	・中央制御室天井設 置設備 ^(注10) ・循環水系配管 ^(注17) ・取水槽ガントリク レーン ・1号機排気筒 ^(注1) ・サイトハンガ建物 ・1号機原子炉建物 ^(注1) ・1号機タービン建 物 ^(注1) ・1号機廃棄物処理 建物 ^(注1) ・防護対策設備 ^(注14) ^(注15) ・1号機取水槽ビツ ト部及び1号機取 水槽漸拡ダクト 底版 ^(注18) ・仮設耐震構子 ^(注1) ・建物開口部電巻防 護対策設備 ^(注12) ・土留め工(雑防) ^(注13) ・その他 ^(注11) ^(注18) ^(注19)	検討用 地震動 (注6)	検討用 地震動 (注6)

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表 1 の左端の番号に対応している

設置変更許可	今回工事計画認可																																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">耐震重要度 分類</th> <th rowspan="2">クラス別施設</th> <th colspan="2">主要設備^{*1}</th> <th colspan="2">補助設備^{*2}</th> <th colspan="2">直接支持構造物^{*3}</th> <th colspan="2">間接支持構造物^{*4}</th> <th colspan="2">波及的影響を 考慮するべき施設^{*5}</th> </tr> <tr> <th>適用範囲</th> <th>耐震 クラス</th> <th>適用範囲</th> <th>耐震 クラス</th> <th>適用範囲</th> <th>耐震 クラス</th> <th>適用範囲</th> <th>検討用 地震動</th> <th>適用範囲</th> <th>検討用 地震動</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>S^{*1}</td> <td>(Ⅷ)津波防護機能 を有する施設及び浸水防 止機能を有する設備 (つづき)</td> <td>・液体廃棄物処理 系（浸水防止機 能を有する部 分） ・1号機取水槽流 路縮小工^①</td> <td>S</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{*1}		補助設備 ^{*2}		直接支持構造物 ^{*3}		間接支持構造物 ^{*4}		波及的影響を 考慮するべき施設 ^{*5}		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動	適用範囲	検討用 地震動	S ^{*1}	(Ⅷ)津波防護機能 を有する施設及び浸水防 止機能を有する設備 (つづき)	・液体廃棄物処理 系（浸水防止機 能を有する部 分） ・ 1 号機取水槽流 路縮小工 ^①	S								
耐震重要度 分類	クラス別施設			主要設備 ^{*1}		補助設備 ^{*2}		直接支持構造物 ^{*3}		間接支持構造物 ^{*4}		波及的影響を 考慮するべき施設 ^{*5}																							
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動	適用範囲	検討用 地震動																								
S ^{*1}	(Ⅷ)津波防護機能 を有する施設及び浸水防 止機能を有する設備 (つづき)	・液体廃棄物処理 系（浸水防止機 能を有する部 分） ・ 1 号機取水槽流 路縮小工 ^①	S																																

: 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
 ○数字は表 1 の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		波及的影響を考慮すべき施設 (注5)		
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	
Sクラス (注7)	(k) 敷地における津波監視機能を有する設備	津波監視カメラ ・取水槽水位計	S	非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその付帯系・補助設備を含む。)	S	機器・配管・電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉建物 ・副制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・排気筒 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物(注8) ・取水槽 ・防波壁	S s	耐火壁 ・中央制御室天井照 明 ⑩ ・原子炉浄化系補助 熱交換器④ ・グラント蒸気排ガ スファイダ⑤ ・取水槽ガントリク レーン ・主排気ダクト ・除じん機 ・1号炉排気筒① ・1号炉原子炉建物① ・1号炉タービン建 物① ・1号炉廃棄物処理 建物① ・排気筒モニタ室 ・竜巻防護対策設備⑭ (注9) ・取水槽海水ポンプ エリア防水壁⑯ ・その他⑦	S s	検査用 地震動 (注6)
			S		S		S s		S s		S s	

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{*1}		補助設備 ^{*2}		直接支持構造物 ^{*3}		間接支持構造物 ^{*4}		波及的影響を考慮すべき施設 ^{*5}		
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	
Sクラス ^{*7}	(k) 敷地における津波監視機能を有する設備	津波監視カメラ ・取水槽水位計	S	非常用電源及び計装設備(ディーゼル発電機及びその付帯系・補助設備を含む。)	S	機器・配管・電気計装設備等の支持構造物	S	原子炉建物 ・副制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・排気筒 ・非常用電源の燃料油系を支持する構造物 ^{*8} ・取水槽 ・防波壁	S s	耐火壁 ・中央制御室天井設 置設備 ⑩ ・取水槽ガントリク レーン ・主排気ダクト ・除じん機 ・1号機排気筒① ・1号機原子炉建物① ・1号機タービン建 物① ・1号機廃棄物処理 建物① ・排気筒モニタ室 ・防護対策設備 ^{*9} ⑭ ・復水貯蔵タンク遮 蔽壁⑥ ・防波壁(西岸部) 向辺斜面 ⑮ ・収容耐震書台 ⑯ ・建物開口部電巻防 護対策設備 ⑰ ・土留め工(船尾) ⑱ ・その他 ^{*10} ⑦	S s	検査用 地震動 (注6)
			S		S		S s		S s		S s	

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表1の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)
Bクラス	(i)原子炉冷却材圧カバウンダリに直接接続されていいて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	・主蒸気系（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで） ・逃がし安全弁排気管	B (注10) B (注11)	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B (注10) ②	・原子炉建物 ・タービン建物 (原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁までの配管・弁を支持する部分)	S d S d
	(ii)放射性廃棄物を内蔵している施設 (ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号）第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。）	・放射性廃棄物廃棄施設 ただし、Cクラスに属するものは除く	B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建物 ・タービン建物	S B S B

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{*1}		補助設備 ^{*2}		直接支持構造物 ^{*3}		間接支持構造物 ^{*4}	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動
Bクラス	(i)原子炉冷却材圧カバウンダリに直接接続されていいて、一次冷却材を内蔵しているか又は内蔵し得る施設	・主蒸気系（原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁まで） ・逃がし安全弁排気管 ・主蒸気系及び給水系 ・原子炉浄化系	B ^{*12} B ^{*13} B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B ^{*12} B ^{*13} B	・原子炉建物 ・タービン建物 (原子炉格納容器外側主蒸気隔離弁から主蒸気止め弁までの配管・弁を支持する部分)	S d S d S S ②
	(ii)放射性廃棄物を内蔵している施設 (ただし、内蔵量が少ない又は貯蔵方式により、その破損により公衆に影響が実用発電用原子炉の設置、運転等に関する規則（昭和53年通商産業省令第77号）第2条第2項第6号に規定する「周辺監視区域」外における年間の線量限度に比べ十分小さいものは除く。）	・放射性廃棄物廃棄施設 ただし、Cクラスに属するものは除く	B B	—	—	・機器・配管等の支持構造物	B	・原子炉建物 ・タービン建物	S B S B

■：今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表1の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		検討用 地震動 (注6)
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	
Bクラス	(iii)放射線廃棄物 以外の放射性 物質に関連し た施設で、その 破損により、公 衆及び従事者 に過大な放射 線被ばくを与 える可能性の ある施設	・制御棒駆動水圧系 (放射性流体を内 蔵する部分、ただ し、スクラム機能 に関するものを除 く) ・蒸気タービン、復 水器、給水加熱器 及びその主要配管 ・復水系 ・復水輸送系 ・復水貯蔵タンク ・補助復水貯蔵タン ク ・放射線低減効果の 大きい遮蔽 ・原子炉建物天井ク レーン ・燃料取替機 ・制御棒貯蔵ラック	B	—	—	・機器・配管等の 支持構造物	B	・原子炉建物 ・タービン建物 ・廃棄物処理建物 ・当該設備を支持 する構造物	S _B S _B S _B S _B	
	(iv)使用済燃料を 冷却するための 施設	・燃料プール冷却系	B	・原子炉補機冷却 系 ・電気計装設備	B	・機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	B	・原子炉建物 ・タービン建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・取水槽	S _B S _B S _B S _B	

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4		検討用 地震動
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	
Bクラス	(iii)放射線廃棄物 以外の放射性物 質に関連した施 設で、その破損に より、公衆及び従 事者に過大な放 射線被ばくを与 える可能性のあ る施設	・制御棒駆動水圧系 (放射性流体を内 蔵する部分、ただ し、スクラム機能 に関するものを除 く) ・蒸気タービン、復 水器、給水加熱器 及びその主要配管 ・復水系 ・復水輸送系 ・復水貯蔵タンク ・補助復水貯蔵タン ク ・放射線低減効果の 大きい遮蔽 ・原子炉建物天井ク レーン ・燃料取替機 ・制御棒貯蔵ラック	B	—	—	・機器・配管等の 支持構造物	B	・原子炉建物 ・タービン建物 ・廃棄物処理建物 ・復水貯蔵タンク 基礎 ㊸ ・補助復水貯蔵タ ンク基礎 ㊸ ・当該設備を支持 する構造物	S _B S _B S _B S _B S _B S _B	
	(iv)使用済燃料を 冷却するための 施設	・燃料プール冷却系	B	・原子炉補機冷却 系 ・電気計装設備	B	・機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	B	・原子炉建物 ・タービン建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・取水槽	S _B S _B S _B S _B S _B	

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表1の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設 (v)放射性物質の 放出を伴うよ うな場合に、そ の外部放散を 抑制するため の施設で、Sク ラスに属さな い施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス
Bクラス		—	—	—	—	—	—	—	—

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設 (v)放射性物質の 放出を伴うよ うな場合に、そ の外部放散を 抑制するため の施設で、 Sクラスに属さ ない施設	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス
Bクラス		—	—	—	—	—	—	—	—

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表1の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検計用 地震動 (注6)
Cクラス	(i) 原子炉の反応度を制御するための施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉再循環流量制御系 制御棒駆動水圧系(Sクラス及びBクラスに属さない部分) 	C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 サイトバンカ建物 固体廃棄物貯蔵所 当該設備を支持する構造物 	Sc Sc Sc Sc Sc
	(ii) 放射性物質を内蔵しているか、又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	<ul style="list-style-type: none"> 試料採取系 ランドリ・ドレン系 シャワ・ドレン系 固化装置より下流の固体廃棄物の取扱設備(貯蔵設備を含む) 雑固体廃棄物の取扱設備 新燃料貯蔵庫 その他 	C C C C C C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 サイトバンカ建物 固体廃棄物貯蔵所 当該設備を支持する構造物 	Sc Sc Sc Sc Sc Sc Sc

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備*1		補助設備*2		直接支持構造物*3		間接支持構造物*4	
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検計用 地震動
Cクラス	(i) 原子炉の反応度を制御するための施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉再循環流量制御系 制御棒駆動水圧系(Sクラス及びBクラスに属さない部分) 	C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 廃棄物処理建物 	Sc Sc Sc
	(ii) 放射性物質を内蔵しているか、又はこれに関連した施設でSクラス及びBクラスに属さない施設	<ul style="list-style-type: none"> 試料採取系 ランドリ・ドレン系 シャワ・ドレン系 固化装置より下流の固体廃棄物の取扱設備(貯蔵設備を含む) 雑固体廃棄物の取扱設備 新燃料貯蔵庫 その他 	C C C C C C C	—	—	<ul style="list-style-type: none"> 機器・配管、電気計装設備等の支持構造物 	C	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 タービン建物 廃棄物処理建物 サイトバンカ建物 固体廃棄物貯蔵所 当該設備を支持する構造物 	Sc Sc Sc Sc Sc Sc Sc

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
 ○数字は表1の左端の番号に対応している

設置変更許可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 (注1)		補助設備 (注2)		直接支持構造物 (注3)		間接支持構造物 (注4)		
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 (注6)	
Cクラス	(iii)放射線安全に 関係しない施設 等	循環水系 (Sクラ スに属さない部 分) ・タービン補機冷却 系 (Sクラスに属 さない部分) ・所内ボイラ ・消火設備 ・開閉所、発電機、 変圧器 ・換気空調設備 (S クラスの換気空調 設備以外のもの) ・窒素ガス制御系 (S クラスに属さない 部分) ・補給水系 ・タービン建物天井 クレーン ・圧縮空気系 ・緊急時対策所 ・その他	C	—	—	—	機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	C	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・当該設備を支持 する構造物	S S S S S
		地下水位低下設備 (注12)	C	電気計装設備	C	機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	C	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物	S S S S	

今回工事計画認可

耐震重要度 分類	クラス別施設	主要設備 ^{*1}		補助設備 ^{*2}		直接支持構造物 ^{*3}		間接支持構造物 ^{*4}		
		適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	耐震 クラス	適用範囲	検討用 地震動 ^{*5}	
Cクラス	(iii)放射線安全に 関係しない施設 等	循環水系 (Sクラ スに属さない部 分) ・タービン補機冷却 系 (Sクラスに属 さない部分) ・所内ボイラ ・消火設備 ・開閉所、発電機、 変圧器 ・換気空調設備 (S クラスの換気空調 設備以外のもの) ・窒素ガス制御系 (Sクラスに属さ ない部分) ・補給水系 ・タービン建物天井 クレーン ・圧縮空気系 ・緊急時対策所 ・その他	C	—	—	—	機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	C	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・当該設備を支持 する構造物	S C S C S C S C
		地下水位低下設備 (注12)	C ^{*11}	電気計装設備	C ^{*11}	機器・配管、電 気計装設備等の 支持構造物	C ^{*11}	原子炉建物 ・制御室建物 ・廃棄物処理建物 ・タービン建物 ・当該設備を支持 する構造物 ^④	S S S S S	

■ : 今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表1の左端の番号に対応している

設置変更許可	今回工事計画認可
<p>(注1) 主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。</p> <p>(注2) 補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。</p> <p>(注3) 直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける構造物をいう。</p> <p>(注4) 間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物・構築物）をいう。</p> <p>(注5) 波及的影響を考慮すべき施設とは、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの破損等によって上位のクラスに属するものに波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。</p> <p>(注6) S_s：基準地震動S_sにより定まる地震力。 S_d：弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力。 S_B：Bクラス施設に適用される地震力。 S_C：Cクラス施設に適用される静的地震力。</p> <p>(注7) 压力容器内部構造物は、炉内にあることの重要性からSクラスに準ずる。</p> <p>(注8) 非常用電源の燃料油系を支持する構造物とは、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク基礎、屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)、屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)及び排気筒をいう。^㉔</p> <p>(注9) 建物開口部の竜巻防護対策設備は比較的大型の鋼製構造物であり、建物の上部に設置されているため、上位クラス施設は特定しないが、波及的影響を考慮すべき施設とする。^㉔</p> <p>(注10) Bクラスではあるが、弾性設計用地震動S_dに対し破損しないことの検討を行うものとする。</p> <p>(注11) 地震により逃がし安全弁排気管が破損したとしても、ドライウェル内に放出された蒸気はベント管を通してサブプレッション・チェンバのプール水中に導かれて凝縮するため、格納容器内圧が有意に上昇することはないと考えられるが、基準地震動S_sに対し破損しないことを確認する。^㉔</p> <p>(注12) Cクラスではあるが、基準地震動S_sに対し機能維持することを確認する。</p>	<p>注記*1：主要設備とは、当該機能に直接的に関連する設備をいう。</p> <p>*2：補助設備とは、当該機能に間接的に関連し、主要設備の補助的役割を持つ設備をいう。</p> <p>*3：直接支持構造物とは、主要設備、補助設備に直接取り付けられる支持構造物、若しくはこれらの設備の荷重を直接的に受ける構造物をいう。</p> <p>*4：間接支持構造物とは、直接支持構造物から伝達される荷重を受ける構造物（建物・構築物）をいう。</p> <p>*5：波及的影響を考慮すべき施設とは、耐震重要度分類の下位のクラスに属するものの破損等によって上位のクラスに属するものに波及的影響を及ぼすおそれのある施設をいう。</p> <p>*6：S_s：基準地震動S_sにより定まる地震力 S_d：弾性設計用地震動S_dにより定まる地震力 S_B：Bクラス施設に適用される地震力 S_C：Cクラス施設に適用される静的地震力</p> <p>*7：压力容器内部構造物は、炉内にあることの重要性からSクラスに準ずる。</p> <p>*8：非常用電源の燃料油系を支持する構造物とは、B-ディーゼル燃料貯蔵タンク格納槽、屋外配管ダクト(B-ディーゼル燃料貯蔵タンク～原子炉建物)、屋外配管ダクト(タービン建物～排気筒)、排気筒の基礎及び屋外配管ダクト(タービン建物～放水槽)をいう。^㉔</p> <p>*9：防護対策設備とは、取水槽海水ポンプエリア防護対策設備、取水槽循環水ポンプエリア防護対策設備及びディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備をいう。^㉔</p> <p>*10：燃料プール冷却ポンプ室冷却機、原子炉浄化系補助熱交換器、タービン補機海水系配管、給水系配管、タービンヒータドレン系配管、液体廃棄物処理系配管、床ドレン系配管、グランド蒸気排ガスフィルタ、消火系配管、2号機南側切取斜面、2号機西側切取斜面、ディーゼル燃料貯蔵タンク室及び循環水ポンプ渦防止板が含まれる。^㉔</p> <p>*11：タービン補機海水系配管、タービン補機冷却系熱交換器、タービン補機海水ストレーナ、2号機南側切取斜面、2号機西側切取斜面、防波壁(東端部)周辺斜面、防波壁(西端部)周辺斜面及びディーゼル燃料貯蔵タンク室が含まれる。^㉔</p> <p>*12：Bクラスではあるが、弾性設計用地震動S_dに対し破損しないことの検討を行うものとする。</p> <p>*13：地震により逃がし安全弁排気管が破損したとしても、ドライウェル内に放出された蒸気はベント管を通してサブプレッションチェンバのプール水中に導かれて凝縮するため、格納容器内圧が有意に上昇することはないと考えられるが、基準地震動S_sに対してドライウェル内の逃がし安全弁排気管が破損しないことを確認する。 また、逃がし安全弁排気管がサブプレッションチェンバ内の気相部で破損した場合、放出された蒸気は十分に凝縮することができないため、サブプレッションチェンバ内の逃がし安全弁排気管をSクラスとして設計する。^㉔</p> <p>*14：Cクラスではあるが、基準地震動S_sに対し機能維持することを確認する。</p>

■：今回工事計画認可と設置変更許可の変更点
○数字は表1の左端の番号に対応している

補足-023-09 建物・構築物の地震応答解析における入力地震動の
評価について

目 次

1. 概要	1
2. 入力地震動の評価方針	2
2.1 評価手法の選定	4
2.2 地盤モデル及び地盤物性値の設定	5
3. 評価手法及び地盤の物性値	10
3.1 評価手法	10
3.2 地盤の物性値	16
4. 入力地震動に関する検討	20
4.1 表層地盤の物性値に関する検討	20
4.2 一次元波動論による入力地震動評価の保守性に関する検討	32
4.3 D級岩盤の非線形性による影響に関する検討	45
4.4 2次元FEMのメッシュ分割高さに関する検討	53
4.5 観測記録を用いたシミュレーション解析による入力地震動評価に関する検証	81
4.6 隣接構造物及び地盤改良による影響に関する検討	86
4.7 安全対策工事に伴う掘削による影響に関する検討	92
5. まとめ	94
6. 参考文献	94

別紙-1 表層地盤の等価物性値の設定について

別紙-2 側面地盤からの地震動の入力に対する影響について

添付資料-1 主要建物における一次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較

添付資料-2 既工認モデルと今回工認のモデルによる入力地震動の比較

添付資料-3 D級岩盤の速度層区分の設定について

参考資料-1 2次元FEM解析モデル側面の境界条件

1. 概要

島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書（以下「既工認」という。）では、原子炉建物等の地震応答解析における入力地震動は一次元波動論、2次元FEM解析又は直接入力（以下「一次元波動論又は2次元FEM解析等」という。）により評価を実施している。

今回の工事計画認可申請（以下「今回工認」という。）では、既工認において採用実績のある一次元波動論又は2次元FEM解析等を採用しており、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、対象建物・構築物の地盤条件を適切に考慮したうえで、一次元波動論又は2次元FEM解析等により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。

本資料は、解析モデルに建設時以降の敷地内の追加地質調査結果の反映等を行っていることも踏まえて、今回工認で評価を行う建物・構築物について、入力地震動の評価方針、解析モデルの設定方法及びその妥当性を示すものである。

また、本資料は、以下の添付書類の補足説明をするもので、使用する計算機プログラムについても以下の資料に準ずる。

- ・ VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-5 「制御室建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-7 「タービン建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-9 「廃棄物処理建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-11 「緊急時対策所の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-13 「排気筒の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-16 「ガスタービン発電機建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-39 「屋外配管ダクト（排気筒）の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-1 「1号機原子炉建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-2 「1号機タービン建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-3 「1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-4 「サイトバンカ建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-5 「サイトバンカ建物（増築部）の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-2 「1号機排気筒の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-15 「ディーゼル燃料貯蔵タンク室の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-別添 7-1 「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」

2. 入力地震動の評価方針

入力地震動は、「2.1 評価手法の選定」にて、各建物・構築物の評価手法を選定し、「2.2 地盤モデル及び地盤物性値の設定」にて、設定した地盤モデルを用いた線形解析により評価する。

また、「3. 評価手法及び地盤の物性値」にて、今回工認で入力地震動評価に採用している評価手法及び地盤の物性値を既工認と比較して示す。

なお、「4. 入力地震動に関する検討」にて、入力地震動に影響を及ぼす可能性のある各種検討及び今回工認に用いる原子炉建物の地盤モデルの妥当性確認を実施する。

入力地震動の評価及び妥当性・保守性の確認に関する検討フローを図2-1に示す。

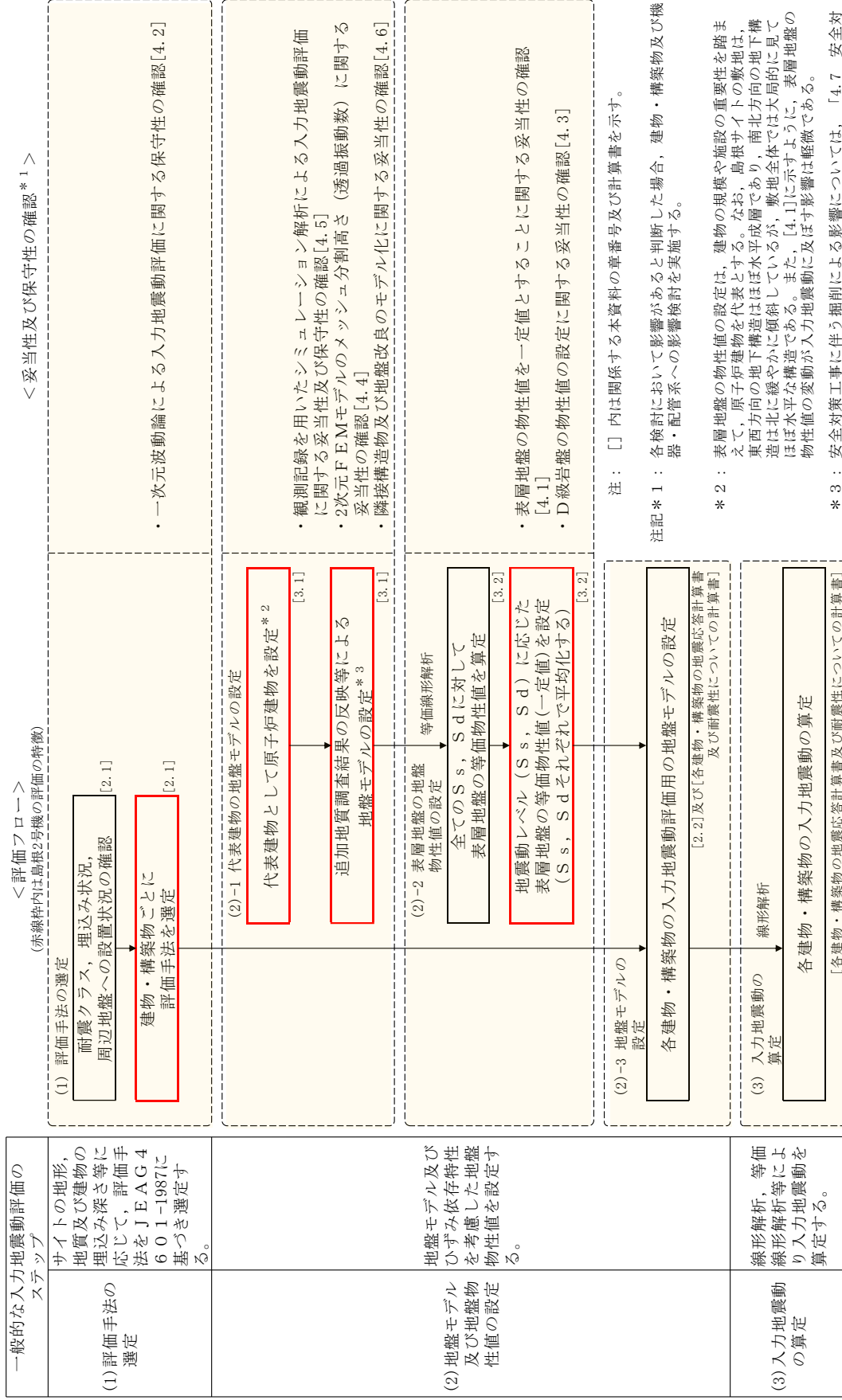


図 2-1 入力地震動の評価及び妥当性・保守性の確認に関する検討フロー

2.1 評価手法の選定

建物・構築物の入力地震動の評価手法は、耐震クラス、建物・構築物の埋込み状況及び周辺地盤への設置状況を踏まえて、以下のとおり使い分けを行う。なお、埋込み及び切欠きの影響については適切に評価する。

(1) 水平方向

「耐震Sクラス施設」の建物については、原子炉建物の既工認の考え方と同様に、速度層の傾斜及び建物周辺の地形等の影響を考慮するため、それらをより詳細にモデル化した「2次元FEM解析」を基本とする。

「耐震Sクラス施設以外」の建物については、タービン建物等の既工認の考え方と同様に、「一次元波動論」による評価を基本とする。

(2) 鉛直方向

入力地震動に対して建物直下地盤による影響が大きく、速度層の傾斜等の影響は小さいことから「一次元波動論」による評価を基本とする。(添付資料-1において、2次元FEM解析との比較により速度層の傾斜等の入力地震動への影響が小さいことを確認している。)

構内配置図を図2-2に、建物・構築物の入力地震動の評価手法の選定フローを図2-3に、建物・構築物の入力地震動の評価手法の一覧を表2-1に示す。

2.2 地盤モデル及び地盤物性値の設定

(1) 地盤モデル

土木構造物を含めた入力地震動の評価手法の概念図を図 2-4 に示す。また、各建物・構築物の入力地震動評価用の地盤モデルは、「1. 概要」に示す各建物・構築物の地震応答計算書又は耐震性についての計算書に示す。

(2) 地盤物性値

地盤物性値設定の基本方針を以下に示す。表層地盤の等価物性値の詳細な設定方法については、「3.2 地盤の物性値」及び「別紙-1 表層地盤の等価物性値の設定について」に示す。

1) 表層地盤

表層地盤の物性値は、原子炉建物を対象に、既工認から追加地質調査結果の反映等を行った今回工認モデルを用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の全波に対して等価線形解析を実施し、等価物性値を設定する。原子炉建物で算定した等価物性値を各建物・構築物に適用する。

2) 表層地盤を除く岩盤

表層地盤を除く岩盤の地盤物性値については、既工認で設定した値を用いる。

- : 耐震Sクラス施設 (埋込みあり)
- : 耐震Sクラス施設以外 (埋込みあり)
- : 耐震Sクラス施設以外
(高台に設置された埋込みを有しない建物)
- : 耐震Sクラス施設以外
(解放基盤相当の岩盤に設置された埋込みを有しない建物)

(注) 破線は波及的影響を及ぼすおそれのある建物・構築物を示す。

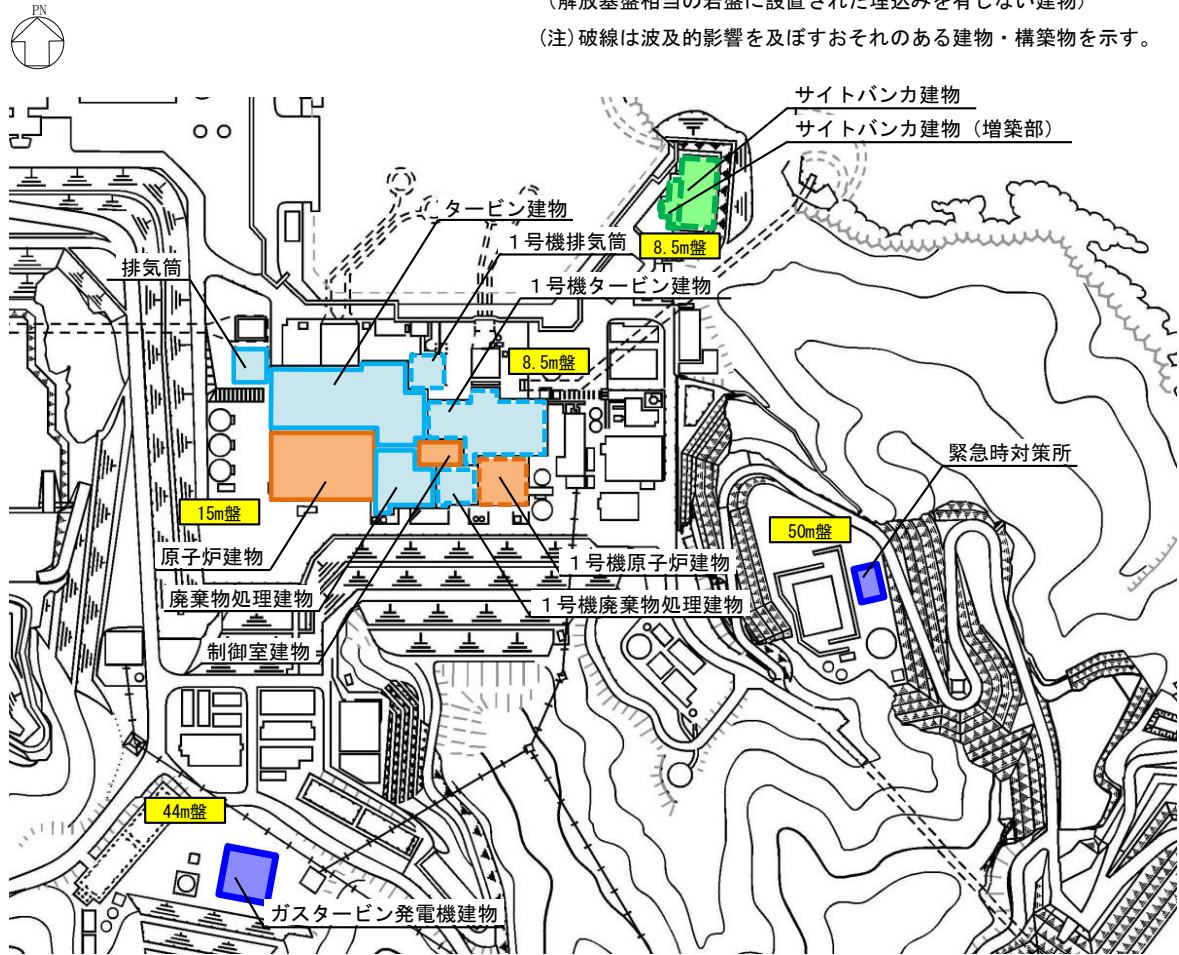


図 2-2 構内配置図

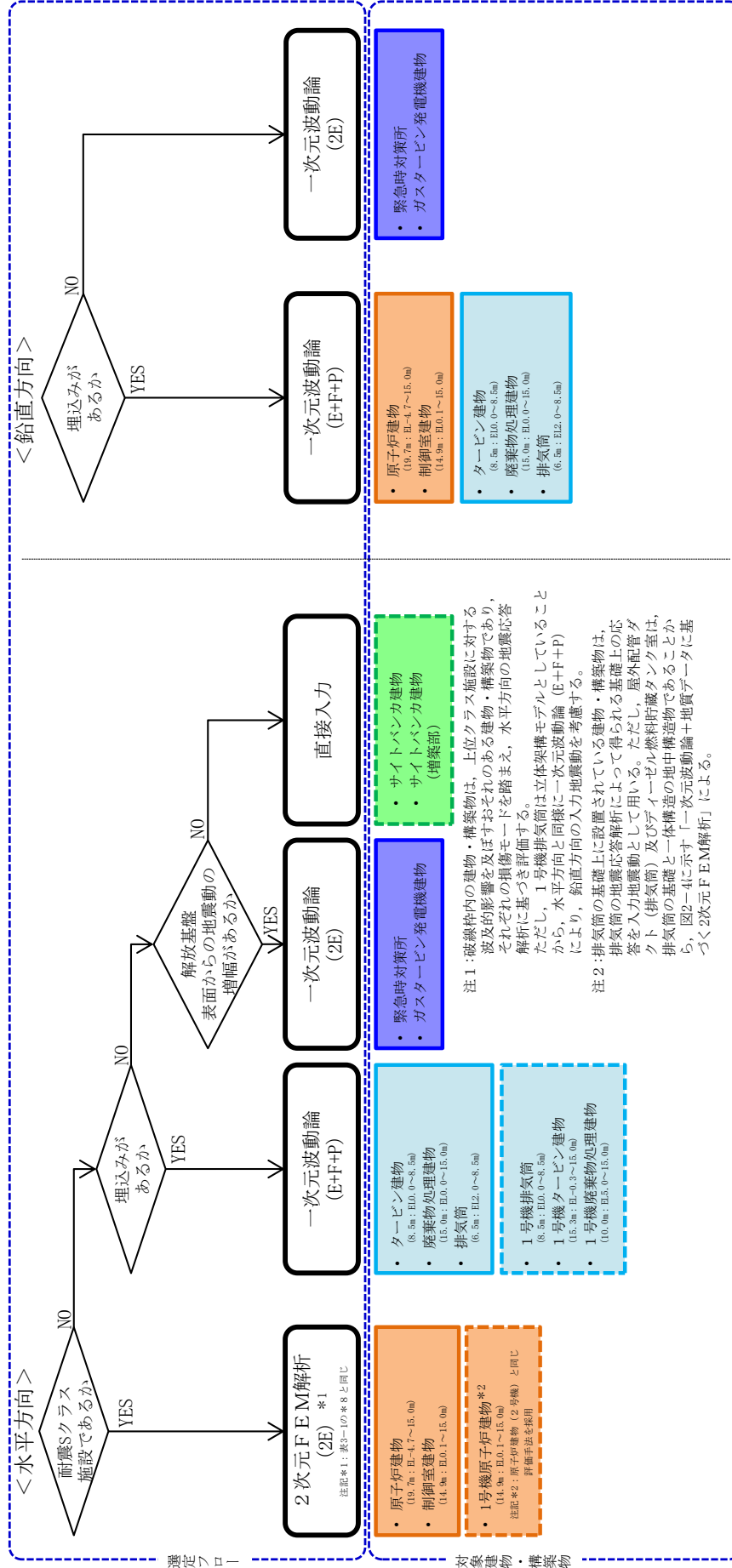


図2-3 建物・構築物の入力地震動の評価手法の選定フロー

表 2-1 建物・構築物の入力地震動の評価手法の一覧

耐震クラス	建物・構築物の設置状況	建物・構築物	入力地震動の評価手法		選定理由等
			水平	鉛直	
S クラス施設	埋込みあり	<ul style="list-style-type: none"> 原子炉建物 制御室建物 1号機原子炉建物*1 	2次元FEM (2E)*2	一次元波動論 (E+F+P)	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「Sクラス施設」として、既工認と同様に2次元FEMモデルを採用 「Sクラス施設」として、原子炉建物と同様に2次元FEMモデルを採用 原子炉建物であることを踏まえ、原子炉建物 (2号機) と同じ評価手法を採用 <p>【鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物の設置状況が「埋込みあり」のため、埋込みを考慮した一次元波動論 (E+F+P) を採用
					<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒 1号機タービン建物 1号機廃棄物処理建物 1号機排気筒 <p>【鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物の設置状況が「埋込みあり」として、埋込みを考慮した一次元波動論を採用 「Sクラス施設以外」、埋込みを考慮した一次元波動論を採用 同上 「Sクラス施設以外」、埋込みを考慮した一次元波動論 (2号機) と同じ評価手法を採用 「Sクラス施設以外」、埋込みを考慮した一次元波動論 (2号機) と同じ評価手法を採用 「Sクラス施設以外」、埋込みを考慮した一次元波動論 (2号機) と同じ評価手法を採用
S クラス施設以外	埋込みあり	<ul style="list-style-type: none"> タービン建物 廃棄物処理建物 排気筒 1号機タービン建物*1 1号機廃棄物処理建物*1 1号機排気筒*1 	一次元波動論 (E+F+P)	一次元波動論 (E+F+P)	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、高台のEL50m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がある」ことから、一次元波動論 (2E) を採用 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、高台のEL44m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がある」ことから、埋込みを有しない、一次元波動論 (2E) を採用 <p>【鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 建物の設置状況が「埋込みあり」のため、埋込みを考慮した一次元波動論 (E+F+P) を採用
					<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 緊急時対策所 ガスタービン発電機建物 <p>【鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、高台のEL50m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がある」ことから、埋込みを有しない、一次元波動論 (2E) を採用 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、高台のEL44m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がある」ことから、埋込みを有しない、一次元波動論 (2E) を採用
S クラス施設以外	埋込みなし	<ul style="list-style-type: none"> サイトバンカ建物*1 サイトバンカ建物 (増築部)*1 	直接入力	-	<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> サイトバンカ建物 <p>【鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、EL8.5m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がない」、解放基盤相当 (Vs=1600m/s) の岩盤に支持された建物であることから、既工認と同様に直接入力を採用 「Sクラス施設以外」の建物で、「埋込みを有しない」、EL8.5m盤に設置された「解放基盤表面からの地震動の増幅がない」、解放基盤相当 (Vs=1600m/s) の岩盤に支持された建物であることから、サイトバンカ建物と同じ評価手法を採用
					<p>【水平方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 排気筒モニタ室 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備 <p>【鉛直方向】</p> <ul style="list-style-type: none"> 「排気筒の基礎上に配置」されているため、排気筒の地震応答解析によって得られる基礎上の応答を入力地震動として採用 ディーゼル燃料移送ポンプエリア防護対策設備：同上

注記*1：上位クラス施設に対する波及的影響を及ぼすおそれのある建物・構築物については、それぞれの損傷モードに基づき評価する。ただし、1号機排気筒は立体構架モデルとしていることから、水平方向と同様に一次元波動論 (E+F+P) により、鉛直方向の入力地震動を考慮する。

*2：2次元FEMモデルの切欠き地盤の表面応答であるため「2E」と表記しているが、建物の埋込みによる切欠き地盤を詳細にモデル化しているため、埋込みと切欠きの影響は入力地震動に考慮されている。

注：屋外配管ダクト (排気筒) 及びディーゼル燃料貯蔵タンク室の入力地震動の評価手法は、排気筒の基礎と一体構造の地中構造物であることから、図2-4に示す「一次元波動論+地質データに基づく2次元FEM解析」による。

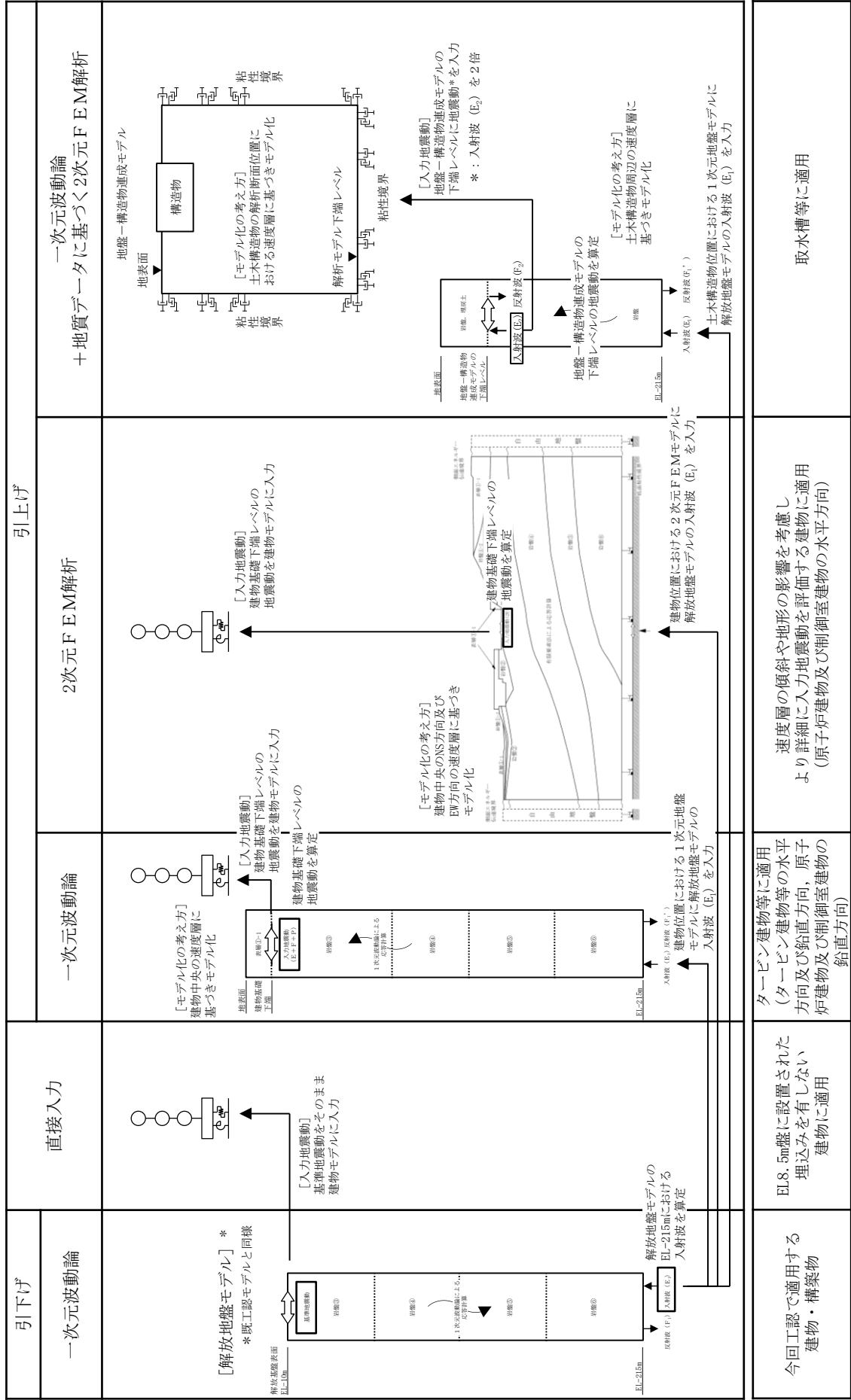


図2-4 入力地震動の評価手法の概念図

3. 評価手法及び地盤の物性値

3.1 評価手法

建物・構築物及び土木構造物における、既工認と今回工認の入力地震動の評価手法の比較を表3-1及び表3-2に示す。

建物・構築物の入力地震動は建物基礎底面位置で評価する。なお、今回工認の建物・構築物の地震応答解析モデルは、既工認と同様に質点系モデルを採用する。

土木構造物の入力地震動は構造物の基礎底面又はFEMモデルの下端位置で評価する。なお、今回工認の取水槽及び屋外配管ダクト（タービン建物～排気筒）の地震応答解析モデルは、既工認から変更し、地盤-構造物連成系の2次元FEMモデルを採用する。

建物・構築物を代表して原子炉建物の既工認と今回工認の入力地震動の評価手法の比較を表3-3及び表3-4に示す。なお、原子炉建物については、既工認と同様に、側面地盤が埋戻土であることを踏まえ、地震応答解析モデルにおいて側面地盤ばねは考慮しないこととするが、入力地震動評価においては、建物の埋込みによる切欠き地盤の影響を考慮した評価を行っていることから、側面地盤からの地震動の入力に対する影響について検討し、その結果を「別紙-2 側面地盤からの地震動の入力に対する影響について」に示す。

入力地震動評価のための解析モデルについては、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果の反映等により、最新のデータを基に、より詳細にモデル化したものである。なお、安全対策工事に伴う掘削による影響については、「4.7 安全対策工事に伴う掘削による影響に関する検討」に示す。

表層地盤の物性値については、建物の規模や施設の重要性を踏まえて、原子炉建物を代表として、等価物性値を設定する。原子炉建物で算定した等価物性値を各建物・構築物に適用する。なお、島根サイトの敷地は、東西方向の地下構造はほぼ水平成層であり、南北方向の地下構造は北に緩やかに傾斜しているが、敷地全体では大局的に見てほぼ水平な構造である。また、「4.1 表層地盤の物性値に関する検討」に示すように、表層地盤の物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響は軽微である。以上のことから、表層地盤の物性値の設定において、原子炉建物を代表することは妥当であるといえる。

表 3-1 入力地震動の評価手法の比較 (建物・構築物)

建物・構築物		入力地震動の評価手法						建物・構築物の地震応答解析モデル			
		既工認		今回工認		変更理由		入力地震動出力位置	相互作用モデル		建物・構築物の設置レベル*5
		水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直		水平*4	鉛直	
S ク ラ ス 施 設 の 間 接 支 持 構 造 物	原子炉建物	(引下げ) 一次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E*8	—	(引下げ) 一次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E*8	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	—	—	EL -4.7m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL -4.7m
	制御室建物	直接入力	—	(引下げ) 一次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E*8	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	Sクラス施設を含む 建物・構築物である ため、原子炉建物の 評価手法と合わせる	—	EL 0.1m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 0.1m
	タービン建物	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	埋込みによる影響を 詳細に評価するため、 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、切欠 き力を考慮する	—	EL 0.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 0.0m
	廃棄物処理建物	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	埋込みによる影響を 詳細に評価するため、 J E A G 4 6 0 1 - 1991 追補版に基づき、切欠 き力を考慮する	—	EL 0.0m	ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル		EL 0.0m
	排気筒	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論*1 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論*1 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	—	—	EL 2.0m	地盤ばねモデル (立体架構モデル)		EL 2.0m
	屋外配管ダクト (排気筒)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	—	—	EL -55.0m	地盤-構築物連成系の 2次元FEMモデル		EL 5.345m
重 要 S A 施 設	ガスタービン 発電機建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E*2	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E*2	—	—	EL 44.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 44.0m
	緊急時 対策所	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E*3	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E*3	—	—	EL 48.25m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 48.25m
波 的 影 響 を 及 ぼ す お そ れ の あ る 施 設	1号機 原子炉建物	直接入力	—	(引下げ) 一次元波動論 (引上げ) 2次元FEM解析 2E*8	—	2号機原子炉 建物の評価手法と 合わせる	—	EL 0.1m	ジョイント要素を 用いた 3次元FEM モデル	—	EL 0.1m
	1号機 タービン建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	—	—	—	EL -0.3m	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL -0.3m
	1号機 廃棄物 処理建物	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	—	—	—	EL 5.0m	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 5.0m
	1号機 排気筒	直接入力	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 E+F+P	2号機排気筒の 評価手法と 合わせる	—	EL 0.0m	地盤ばねモデル (立体架構モデル)		EL 0.0m
	サイトバンカ 建物	直接入力	—	直接入力*6	—	—	—	—	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 7.3m
	サイトバンカ 建物 (増築部)	—	—	直接入力*6	—	—	—	—	地盤ばねモデル (SRモデル)	—	EL 7.3m
	排気筒モニタ室	—	—	排気筒の基礎上の 地震応答解析 結果を用いる*7	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 8.8m (排気筒基礎上)
	ディーゼル燃料 移送ポンプエ リア防護対策 設備	—	—	排気筒の基礎上の 地震応答解析 結果を用いる*7	—	—	—	—	基礎固定モデル	—	EL 8.7m (排気筒基礎上)
ディーゼル燃料 貯蔵タンク室	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	—	—	EL -55.0m	地盤-構築物連成系の 2次元FEMモデル		EL 2.75m	

注記 * 1 : 排気筒の既工認は、改造工認 (平成 25 年) を示す。

* 2 : 高台の EL 44m 盤に設置された埋込みを有しない建物であることから、「2E」とする。

* 3 : 高台の EL 50m 盤に設置された埋込みを有しない建物であることから、「2E」とする。

* 4 : 水平方向の相互作用モデルにおいて、側面地盤ばねは考慮しない。

* 5 : 代表的な設置レベルを示す。

* 6 : EL 8.5m 盤に設置された埋込みを有しない建物であり、解放基盤相当 ($V_s=1600\text{m/s}$) に支持されていることから、既工認 (サイトバンカ建物 (増築部) においてはサイトバンカ建物) と同様に直接入力とする。

* 7 : 排気筒の基礎上に設置されている建物・構築物であるため、排気筒の地震応答解析によって得られる基礎上の応答を入力地震動として用いる。

* 8 : 2次元FEMモデルの切欠き地盤の表面応答であるため「2E」と表記しているが、建物の埋込みによる切欠き地盤を詳細にモデル化しているため、埋込みと切欠きの影響は入力地震動に考慮されている。

注 1 : 「E+F+P」は地盤の切欠き力の影響を考慮した建物基礎底面位置の地震動を表す。

注 2 : 「2E」は地盤表面の地震動を表す。ただし、地震応答解析モデルを地盤-構築物連成系の2次元FEMモデルとする屋外配管ダクト (排気筒) 及びディーゼル燃料貯蔵タンク室においては、地盤-構築物連成モデルに入力する、地盤の入射波の2倍の地震動を示す。

表 3-2(1) 入力地震動の評価手法の比較 (土木構造物)

土木構造物		入力地震動の評価手法				土木構造物の地震応答解析モデル			
		既工認		今回工認		入力地震動出力位置*1	相互作用モデル		土木構造物の設置レベル*2
		水平	鉛直	水平	鉛直		水平	鉛直	
屋外重要土木構造物	取水槽	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-65.0m EL-120.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-10.75m
	屋外配管ダクト (タービン建物 ~排気筒)	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 5.2m
	B-ディーゼル燃料貯蔵 タンク格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-35.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.85m
	屋外配管ダクト (B-ディーゼル燃料 貯蔵タンク~原子炉建物)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-140.0m EL-8.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 11.011m
	屋外配管ダクト (タービン建物~放水槽)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-30.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 1.60m
	取水管	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-100.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-17.812m
	取水口	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-100.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-22.0m
津波防護施設	防波壁 (多重鋼管杭式擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-19.1m
	防波壁 (逆T擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.0m
	防波壁 (波返重力擁壁)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m EL-25.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-13.0m
	1号機取水槽流路縮小工 (北側壁含む)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-85.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-6.575m (北側壁:EL-8.2m)
	防波壁通路防波扉 (荷揚場南)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.5m
	防波壁通路防波扉 (3号機東側)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-50.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 8.5m
重要SA施設	第1ベントフィルタ 格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-35.0m EL-130.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 1.7m
	低圧原子炉代替注水 ポンプ格納槽	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-35.0m EL-130.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-0.3m
	緊急時対策所用 燃料地下タンク	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL 35.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 46.8m
	ガスタービン発電機用 軽油タンク基礎	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E*3	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E*3	EL 45.8m	地盤ばねモデル (SRモデル)	地盤ばねモデル (底面鉛直ばね モデル)	EL 45.8m
	屋外配管ダクト (ガスタービン発電機用軽油 タンク~ガスタービン 発電機)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL 40.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 45.7m

注記*1: 地震応答解析モデル (2次元FEMモデル又は地盤ばねモデル) のモデル下端位置を示す。

*2: 代表的な設置レベルを示す。

*3: 高台のEL 44m盤に設置された埋込みを有しない土木構造物であることから、「2E」とする。

注: 「2E」は、地盤-構造物連成モデルに入力する、地盤の入射波の2倍の地震動を示す。

表 3-2(2) 入力地震動の評価手法の比較 (土木構造物)

土木構造物		入力地震動の評価手法				土木構造物の地震応答解析モデル			
		既工認		今回工認		入力地震動 出力位置*1	相互作用モデル		土木構造物の 設置レベル*2
		水平	鉛直	水平	鉛直		水平	鉛直	
波 及 的 影 響 を 及 ぼ す お そ れ の あ る 施 設	免震重要棟遮蔽壁	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL 30.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 43.85m (杭下端レベル)
	復水貯蔵タンク遮蔽壁	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-100.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 15.3m
	取水槽循環水ポンプエリア防 護対策設備	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる*3	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる*3	—	—		EL 8.8m (取水槽上)
	取水槽海水ポンプエリア防 護対策設備	—	—	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる*3	取水槽の地震応答 解析結果を 用いる*3	—	—		EL 8.8m (取水槽上)
	1号機取水槽ピット部及び1 号機取水槽漸拡ダクト部底版	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-85.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-0.3m
	仮設耐震構台	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-130.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL-2.02m (支持杭下端レベ ル)
	土留め工 (親杭)	—	—	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	(引下げ, 引上げ) 一次元波動論 2E	EL-130.0m	地盤-構造物連成系の 2次元FEMモデル		EL 0.72m (親杭下端レベ ル)

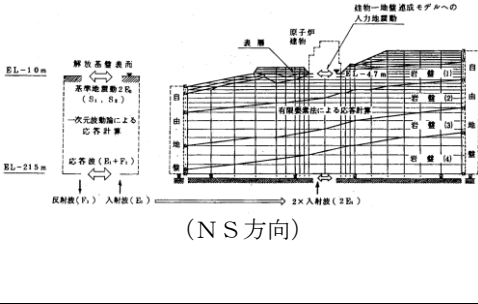
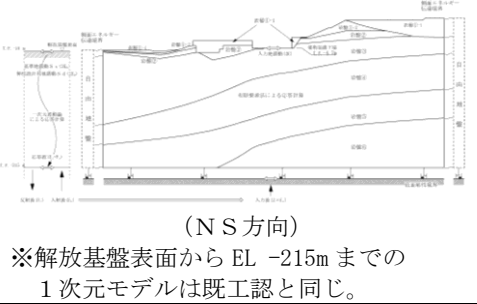
注記*1：地震応答解析モデル (2次元FEMモデル又は地盤ばねモデル) のモデル下端位置を示す。

*2：代表的な設置レベルを示す。

*3：取水槽に設置される土木構造物であるため、取水槽の地震応答解析による応答値を基に算定した静的震度を用いる。

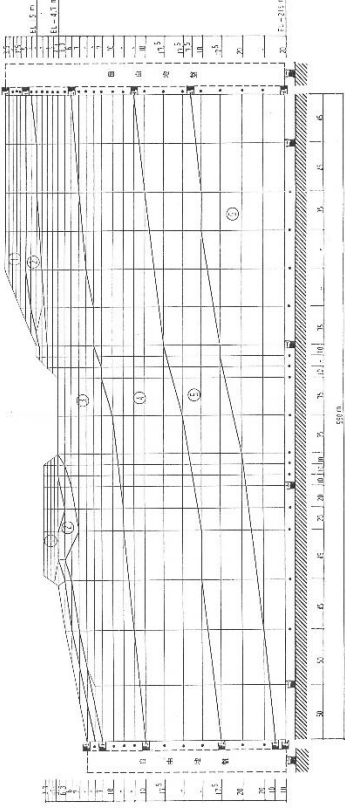
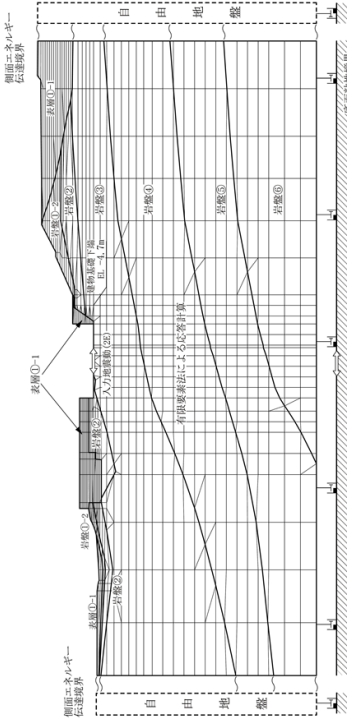
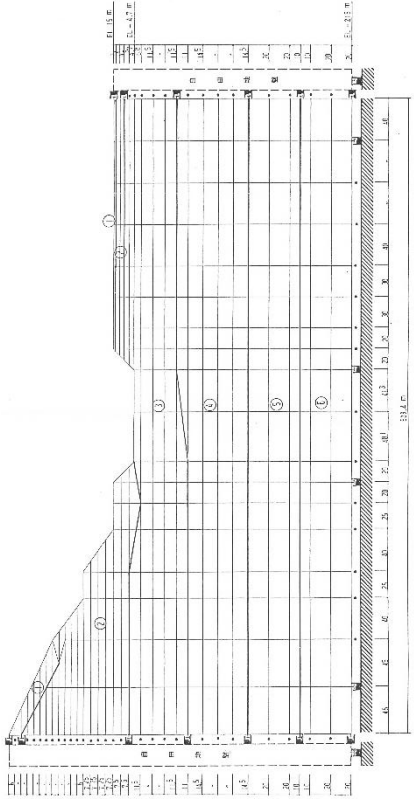
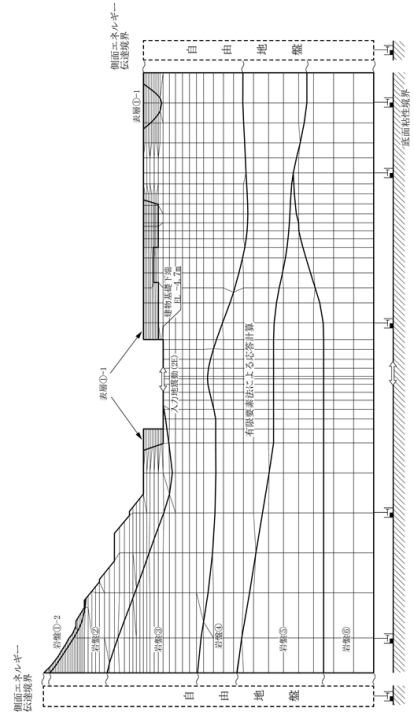
注：「2E」は、地盤-構造物連成モデルに入力する、地盤の入射波の2倍の地震動を示す。

表 3-3 原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の評価手法の比較（主な解析条件）

	既工認	今回工認
入力地震動の評価（概要）	 <p>(N S 方向)</p>	 <p>(N S 方向) ※解放基盤表面から EL -215m までの1次元モデルは既工認と同じ。</p>
評価手法		
解析方法	周波数応答解析	同左
入力地震動の算定方法 [計算機コード]	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：一次元波動論 [SHAKE] 引上げ：2次元 FEM 解析 [VESL-DYN] 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：一次元波動論 [SHAKE] 引上げ：2次元 FEM 解析 [SuperFLUSH]
入力地震動の解析モデル		
モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：解放基盤表面 (EL -10m) から EL -215m までをモデル化 引上げ：幅は約 600m の範囲とし、高さは EL -215m 以浅をモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：同左 引上げ：同左
速度層区分	建設時の地質調査結果に基づき設定	建設時の地質調査結果に加えて、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果（ボーリング、P S 検層）に基づき設定
地盤物性値*1	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤については、建設時の地質調査結果に基づき設定 表層地盤については、文献⁽¹⁾に基づく標準的な砂質土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 表層地盤については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定
境界条件*2 (2次元 FEM)	<ul style="list-style-type: none"> 底面：粘性境界 側面：粘性境界 	<ul style="list-style-type: none"> 底面：粘性境界 側面：エネルギー伝達境界※ <p>※側方地盤への波動の逸散をより詳細に評価する境界条件に変更</p>
入力地震動出力位置	EL -4.7m	同左
備考	建設工認 第1回 添付書類IV-2-4-1 「原子炉建物の地震応答計算書」による	今回工認 添付書類VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」による
地震応答解析モデル		
相互作用モデル	水平：地盤ばねモデル (SR モデル) 鉛直：—	水平：地盤ばねモデル (SR モデル) 鉛直：地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)
建物設置レベル	EL -4.7m	同左

注記*1：今回工認の入力地震動評価で用いる地盤物性値を表 3-5 に示す。
 *2：2次元 FEM 解析モデル側面の境界条件を参考資料-1 に示す。

表 3-4 原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の解析モデルの比較 (2次元 FEM 解析モデル)

	既工認	今回工認
NS		
EW		

注1：今回工認モデルでは建物基礎底面レベルの振動を同一とするため、建物基礎底面レベルの平面を保持する拘束条件を設けている。
また、建物床レベルの水平変位を同一とするため、切欠き地盤側面には水平変位を保持する拘束条件を設けている。

注2：既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の比較を添付資料-2に示す。

3.2 地盤の物性値

今回工認の入力地震動評価で用いる地盤物性値を表 3-5 に、地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値を表 3-6 に、表層地盤 (①-1 : 埋戻土) のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性と等価物性値の設定の考え方を、既工認と比較して表 3-7 に示す。

埋戻土の剛性と減衰のひずみ依存性は、既工認では文献⁽¹⁾に基づく標準的な砂質土のひずみ依存性としていたが、今回工認では試験結果に基づくひずみ依存性に変更する。表層地盤を除く岩盤 (①-2~⑥) の地盤物性値は、既工認で設定した値を用いる。

なお、島根原子力発電所の建物・構築物の支持地盤は硬質岩盤であるため、既工認において、表層地盤のみ地震動レベルに応じた非線形性を考慮することとし、表層地盤の物性値の変動による入力地震動に対する影響は小さいと判断していたことを踏まえ、剛性及び減衰定数はそれぞれの地震動レベル (S_s, S_d) に対してモデルの要素の大きさを考慮した等価物性値 (一定値) を設定する。

また、地震応答解析においては、表 3-5 に示す物性値を基本ケースとし、地盤物性の不確かさを考慮する。地盤物性の不確かさ (岩盤) については、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に示すとおり、地盤調査結果の平均値を基に設定した基本ケースの S 波速度及び P 波速度に対して標準偏差に相当するばらつき ($\pm\sigma$) を考慮して設定する。なお、表層地盤①-1 の地盤物性値の不確かさについては、P S 検層の結果により設定した岩盤①-2~⑥の変動係数 (岩盤①-2~② : $\pm 20\%$, 岩盤③~⑥ : $\pm 10\%$) に基づき、 $\pm 20\%$ を変動係数として設定する。

表 3-5 今回工認の入力地震動評価で用いる地盤物性値

層番号*1		S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積 重量*2 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数*2 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	S s	127*3	422*3	20.7	0.45	0.341*3	8*3
	S d	156*3	516*3	20.7	0.45	0.512*3	7*3
岩盤①-2		250	800	20.6	0.446	1.31	3*4
岩盤②		900	2100	23.0	0.388	19.0	3*4
岩盤③		1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④		1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤		2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥		2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*1：層番号は解析モデル図(表3-4)を参照

*2：単位体積重量及びせん断弾性係数については、今回工認では既工認の値（MKS 単位系）を単位換算（SI 単位系）した値を示す。

*3：地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

*4：既工認では、慣用値として5%としていたが、今回工認では他の岩盤（③～⑥）と同様に3%とする。

表 3-6 地盤物性の不確かさを考慮した解析用地盤物性値

(a) S波速度

層番号		地盤のS波速度 V_s (m/s)		
		基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	S s	127	153	102
	S d	156	187	125
岩盤①-2		250	300	200
岩盤②		900	1080	720
岩盤③		1600	1760	1440
岩盤④		1950	2145	1755
岩盤⑤		2000	2200	1800
岩盤⑥		2350	2585	2115

(b) P波速度

層番号		地盤のP波速度 V_p (m/s)		
		基本ケース	+ σ 相当	- σ 相当
表層①-1	S s	422	506	338
	S d	516	620	413
岩盤①-2		800	960	640
岩盤②		2100	2520	1680
岩盤③		3600	3960	3240
岩盤④		4000	4400	3600
岩盤⑤		4050	4455	3645
岩盤⑥		4950	5445	4455

表 3-7 表層地盤のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性と等価物性値の設定の考え方

	既工認	今回工認		
埋戻土のせん断剛性及び減衰定数のひずみ依存性		<p>VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」より引用</p>		
設定根拠	文献 ⁽¹⁾ に基づく標準的な砂質土のひずみ依存性	埋戻土における動的変形試験結果により設定したひずみ依存性		
評価フロー	<p>2号機原子炉建物の一次元モデルに基づき設定</p> <p>表層地盤の初期せん断弾性係数(G_0), ひずみ依存性($G/G_0-\gamma, h-\gamma$)を設定</p> <p>等価線形解析の概念図</p> <p>基準地震動 S1, S2</p> <p>等価線形解析による収束計算</p> <p>S1, S2による収束値から算定した平均的な剛性低下率に基づき, 等価せん断弾性係数(G)を設定</p> <p>各建物の表層地盤の物性値に設定</p> <p>表層地盤の有効ひずみ, 剛性及び減衰</p> <p>$G(\text{平均}) = \Sigma H/G / \Sigma H$ 剛性低下率 = $G(\text{平均}) / G_0$ ※剛性低下率は S1, S2 共通とし, 表層地盤の3層の平均値に基づき設定</p>	<p>2号機原子炉建物の NS 方向及び EW 方向の 2 次元 FEM モデルに基づき設定</p> <p>表層地盤の拘束圧依存性を考慮した初期せん断弾性係数(G_0), ひずみ依存性($G/G_0-\gamma, h-\gamma$)を設定</p> <p>等価線形解析の概念図</p> <p>基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d</p> <p>等価線形解析による収束計算</p> <p>各要素の収束値を要素面積の重み付け平均することにより地震動ごとの剛性低下率及び減衰定数を算定し, S s 及び S d それぞれで平均化することにより, 地震動レベルに応じた等価物性値を設定</p> <p>2号機原子炉建物の 2 次元 FEM で算定した等価物性値を各建物の表層地盤の物性値にも設定</p>		
等価物性値	基準地震動 S1, S2		基準地震動 S s, 弾性設計用地震動 S d	
	せん断剛性 (G)	減衰定数 (h)	せん断剛性 (G)	減衰定数 (h)
	0.65 (t/cm ²) (剛性低下率 G/G_0 0.485)	5% (慣用値)	表 3-5 参照 (等価物性値の設定方法については, 別紙-1 参照)	

4. 入力地震動に関する検討

4.1 表層地盤の物性値に関する検討

(1) 検討概要

入力地震動を算定する際の表層地盤①-1の物性値については、既工認において表層地盤の物性値の変動による入力地震動に対する影響は小さいと判断していたことを踏まえ、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d それぞれの地震動レベルに応じた一定値を設定することとしている。

本検討では、建物の規模や施設の重要性を踏まえて原子炉建物を代表として、表層地盤①-1のひずみ依存特性を考慮した等価線形解析（以下「等価線形解析ケース」という。）より得られた水平方向の入力地震動と表層地盤①-1を等価物性値とした線形解析（以下「今回工認ケース」という。）より得られた水平方向の入力地震動を比較し、今回工認ケースにおける表層地盤の物性値に関する設定方法の妥当性を確認する。

今回工認ケースと等価線形解析ケースの入力地震動を比較し、地震動レベルに応じた一定値を設定することによる入力地震動評価への影響があると判断された場合は、等価線形解析ケースによる入力地震動を用いた地震応答解析により、建物・構築物及び機器・配管系への影響検討を実施する。

なお、本検討は、地震動により収束物性値が異なることから、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の全波に対して影響を確認することとする。

(2) 検討条件

a. 表層地盤①-1の物性値の設定

(a) 今回工認ケース

今回工認ケースに用いる等価物性値を以下に示す。等価物性値の設定については、「別紙-1 表層地盤の等価物性値の設定について」に示す。

イ. 初期せん断弾性係数 G_0

初期せん断弾性係数は、拘束圧依存性を考慮した各要素の初期せん断弾性係数を要素面積に応じて重み付け平均した値とする。

$$G_0 = 1.707 \times 10^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

ロ. 剛性低下率 G/G_0

今回工認ケースで設定している剛性低下率 G/G_0 を表4-1に示す。

表4-1 剛性低下率 G/G_0

基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d
0.2	0.3

ハ. 減衰定数 h

今回工認ケースで設定している減衰定数 h を表4-2に示す。

表4-2 減衰定数 h

基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d
0.08	0.07

(b) 等価線形解析ケース

等価線形解析ケースに用いる物性値を以下に示す。物性値については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に記載の解析用物性値の算定式を用いることとする。

イ. 初期せん断弾性係数 G_0

初期せん断弾性係数は、拘束圧依存性を考慮して、以下の式により要素ごとに算定する。

$$G_0 = 749 \times \sigma_m'{}^{0.66} \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここで、

$$\sigma_m' = (1+2K) \cdot \sigma_v' / 3 : \text{平均拘束圧 (N/mm}^2)$$

$$\sigma_v' = \gamma \cdot H / 10^6 : \text{上載荷重 (N/mm}^2)$$

K : 静止土圧係数 (=0.5 : 慣用値)

γ : 単位体積重量 (=20.7×10³N/m³)

H : 各要素の中心深さ (m)

ν : 動ポアソン比 (=0.45)

ロ. 剛性低下率 G/G_0

剛性低下率 G/G_0 のひずみ依存特性は、以下の式により算定する。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \gamma / 0.00027}$$

ここで、 γ : せん断ひずみ

ハ. 減衰定数 h

減衰定数 h のひずみ依存特性は、以下の式により算定する。

$$h = \frac{0.0958 \gamma}{\gamma + 0.00020}$$

ここで、 γ : せん断ひずみ

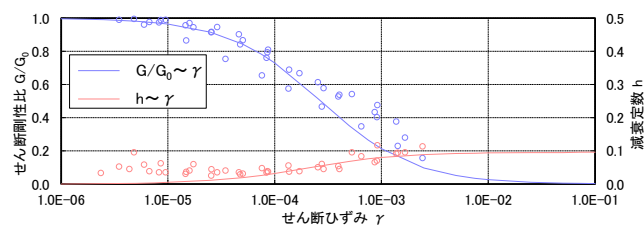


図 4-1 $G/G_0 - \gamma$ 関係及び $h - \gamma$ 関係

b. 解析モデル

本検討に用いる2次元FEMモデルを図4-2に、地盤物性値を表4-3に示す。

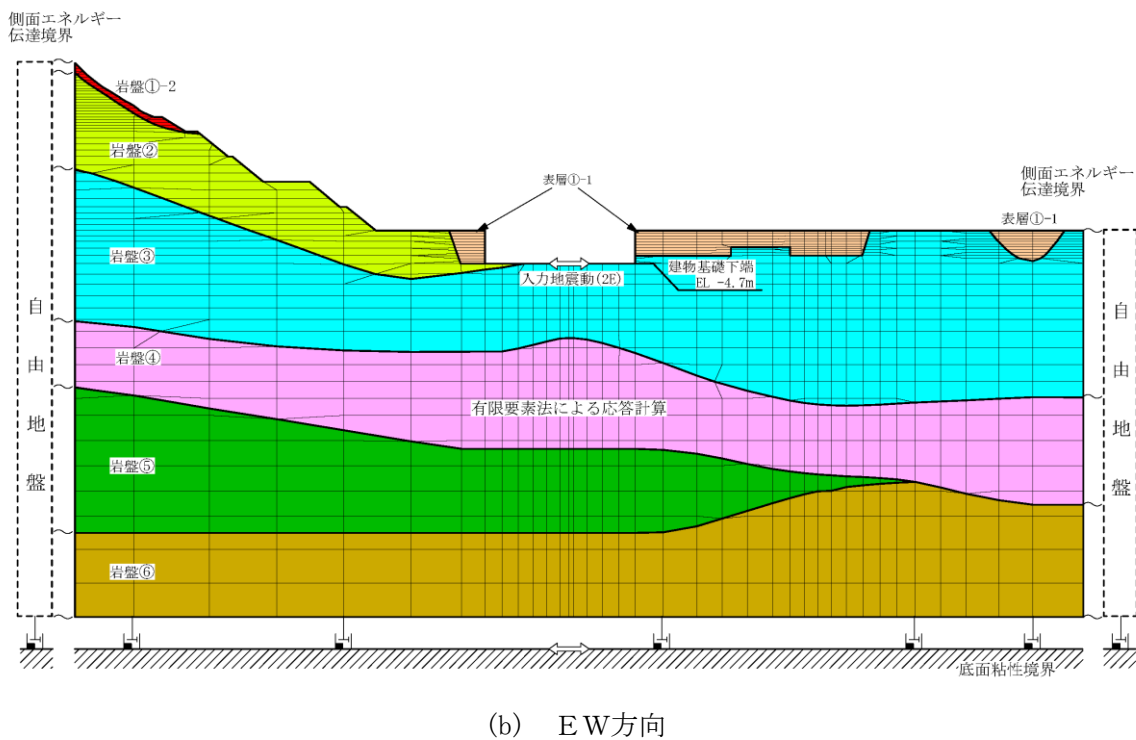
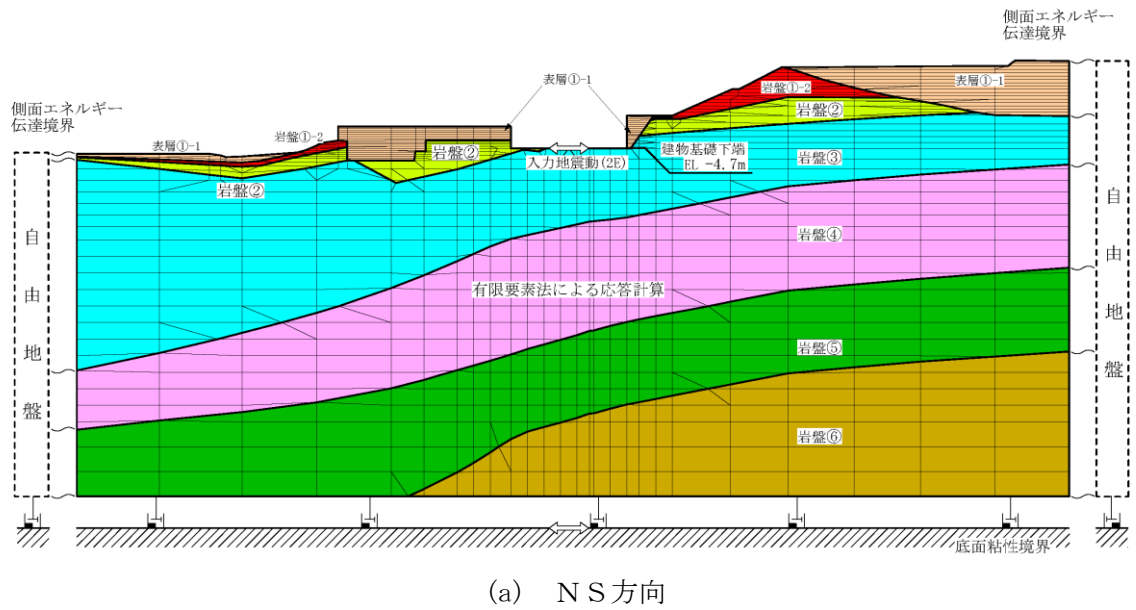


図4-2 2次元FEMモデル(原子炉建物)

表 4-3 地盤物性値

(a) 今回工認ケース

層番号		S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層 ①-1	S s	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
	S d	156*	516*	20.7	0.45	0.512*	7*
岩盤①-2		250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②		900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③		1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④		1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤		2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥		2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値
(4.1(2)a. (a)参照)

(b) 等価線形解析ケース

層番号		S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層 ①-1	S s	*	*	20.7	0.45	*	*
	S d	*	*	20.7	0.45	*	*
岩盤①-2		250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②		900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③		1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④		1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤		2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥		2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

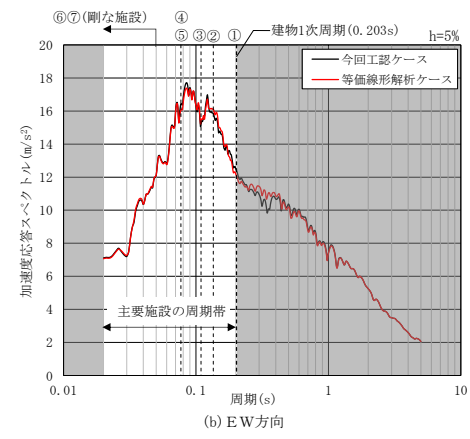
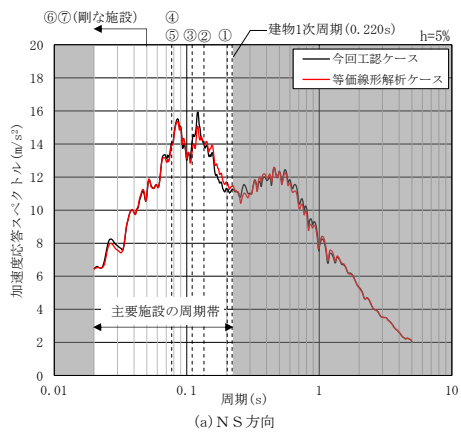
注記*：ひずみ依存性を要素ごとに考慮した物性値 (4.1(2)a. (b)参照)

(3) 検討結果

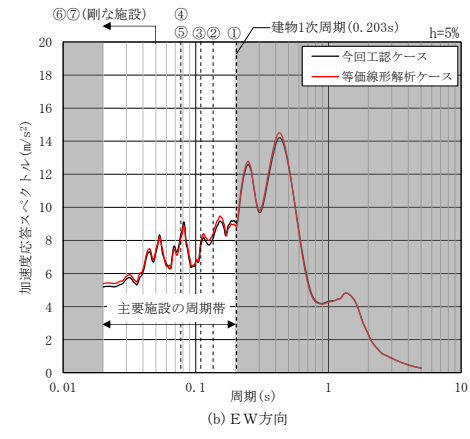
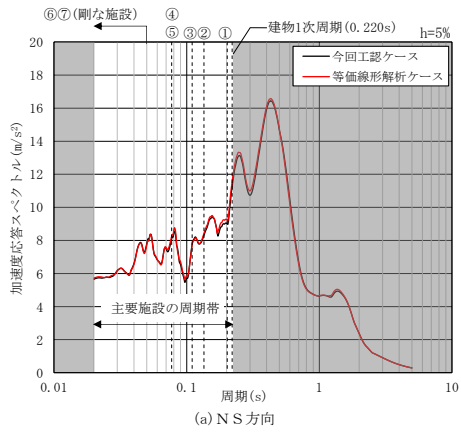
図 4-3 及び図 4-4 に入力地震動の加速度応答スペクトルの比較及び主要施設の固有周期を示す。今回工認ケースの入力地震動は等価線形解析による入力地震動の加速度応答スペクトルと比較すると、主要施設の周期帯（図中のグレーハッチング以外の部分）で概ね一致しており、有意な差がないことから、表層地盤①-1 の地盤物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響は小さいと判断できるため、今回工認ケースにおいて、表層地盤①-1 の物性値を一定値とする設定方法は妥当である。

表層地盤①-1 の地盤物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響が小さい要因として、島根原子力発電所の建物・構築物が硬質岩盤に支持されており、表層地盤①-1 の分布する領域が地盤全体に対して限定的であること及び建物直下地盤である岩盤③と比較して、表層地盤①-1 の地盤剛性は 10^{-2} 倍程度と小さいことから、表層地盤①-1 の剛性の変動が地盤全体の剛性に寄与する割合は小さく、建物直下地盤に与える影響が軽微であると考えられる。

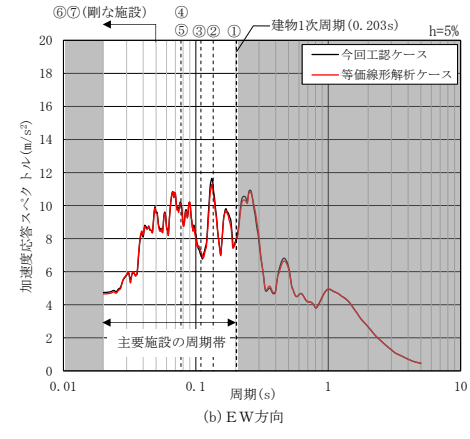
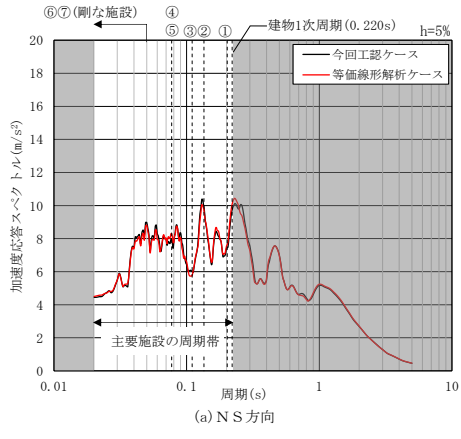
- 主要施設の名称
- ① 制御棒の挿入性 (燃料集合体)
 - ② 炉心支持構造物 (炉心シュラウド)
 - ③ 原子炉圧力容器
 - ④ 残留熱除去系配管
 - ⑤ 主蒸気系配管
 - ⑥ 残留熱除去ポンプ
 - ⑦ 原子炉格納容器



(1) S s - D



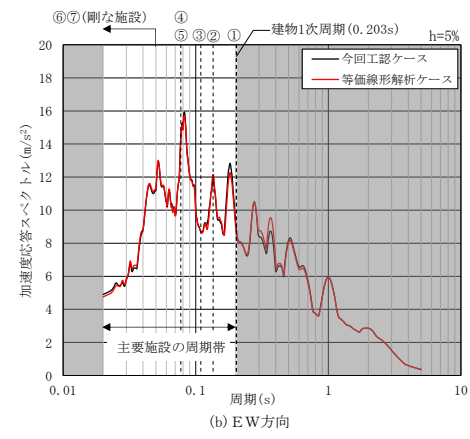
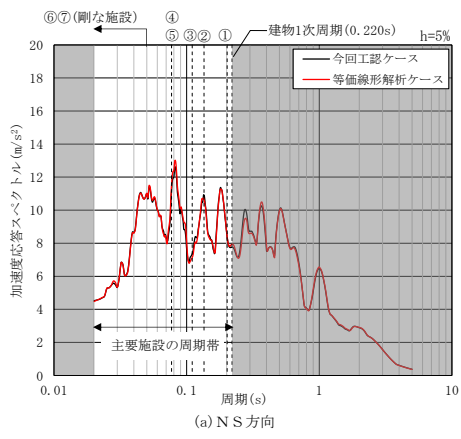
(2) S s - N 1



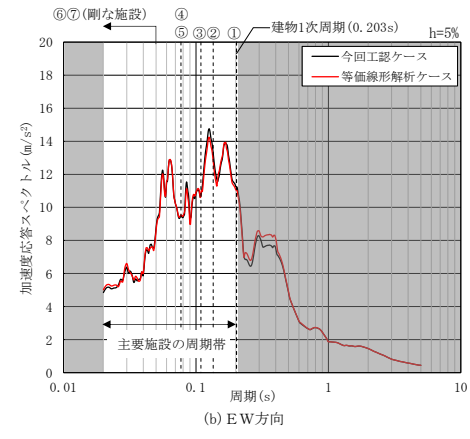
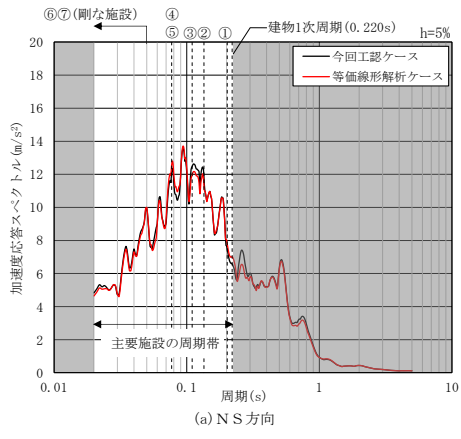
(3) S s - N 2 N S

図 4-3(1) 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉建物, 基準地震動 S s)

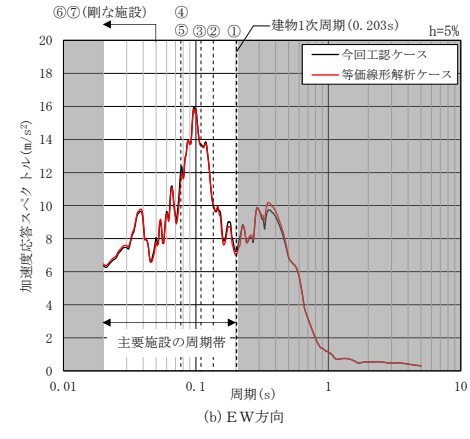
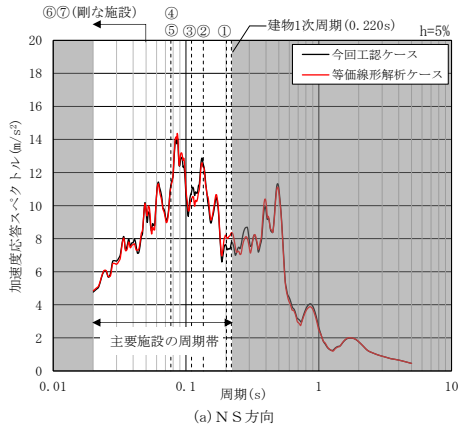
- 主要施設の名称
- ① 制御棒の挿入性 (燃料集合体)
 - ② 炉心支持構造物 (炉心シュラウド)
 - ③ 原子炉圧力容器
 - ④ 残留熱除去系配管
 - ⑤ 主蒸気系配管
 - ⑥ 残留熱除去ポンプ
 - ⑦ 原子炉格納容器



(4) S s - N 2 EW



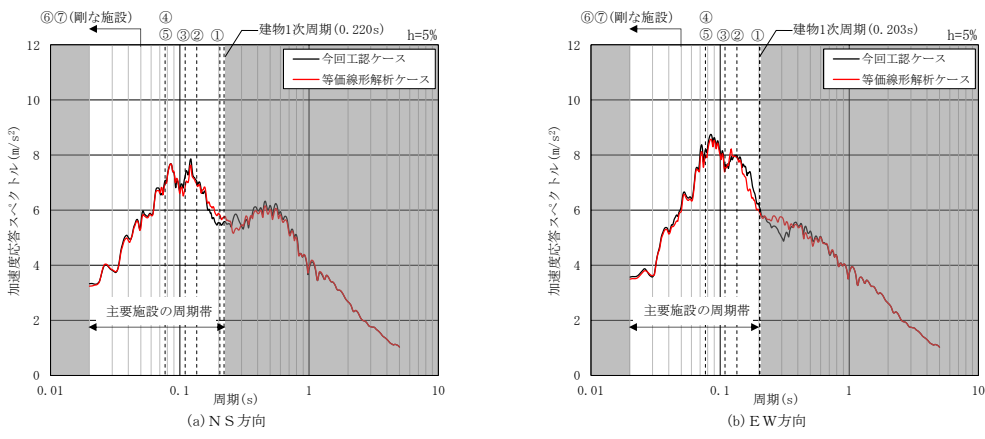
(5) S s - F 1



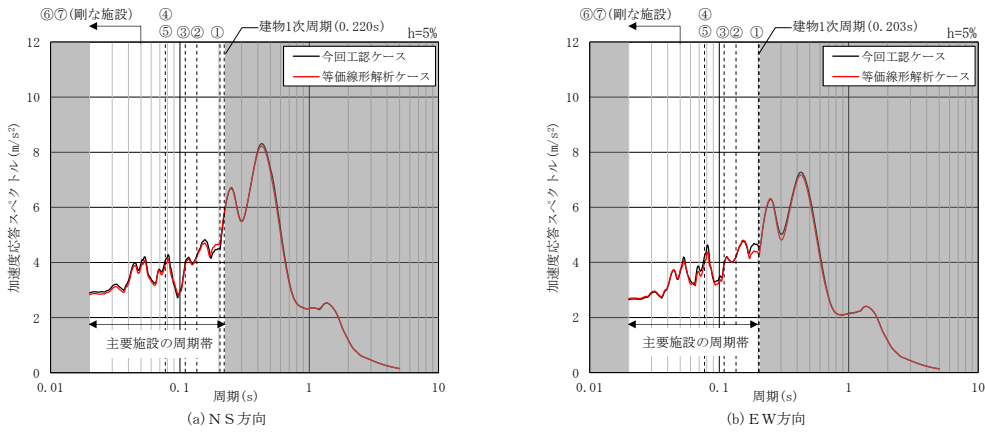
(6) S s - F 2

図 4-3(2) 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉建物, 基準地震動 S s)

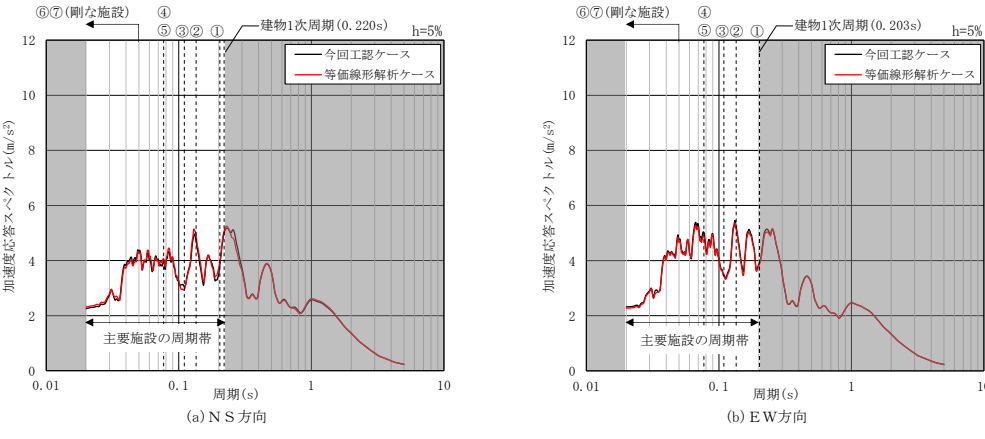
- 主要施設の名称
- ① 制御棒の挿入性 (燃料集合体)
 - ② 炉心支持構造物 (炉心シュラウド)
 - ③ 原子炉圧力容器
 - ④ 残留熱除去系配管
 - ⑤ 主蒸気系配管
 - ⑥ 残留熱除去ポンプ
 - ⑦ 原子炉格納容器



(1) S d - D



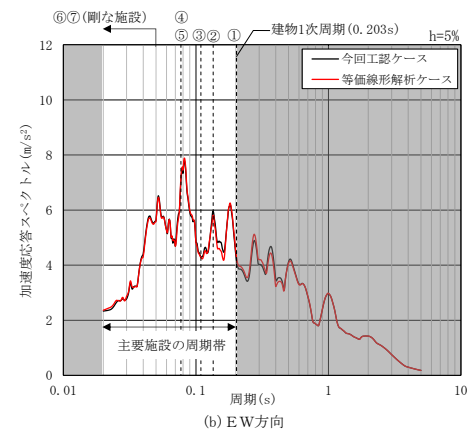
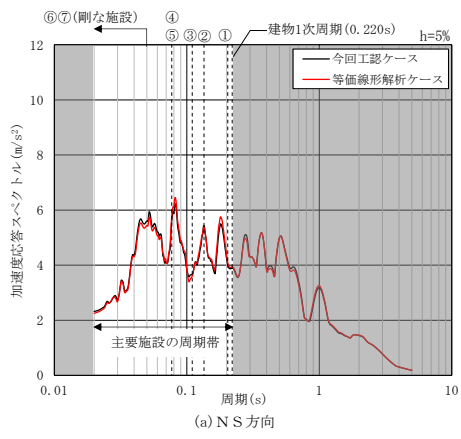
(2) S d - N1



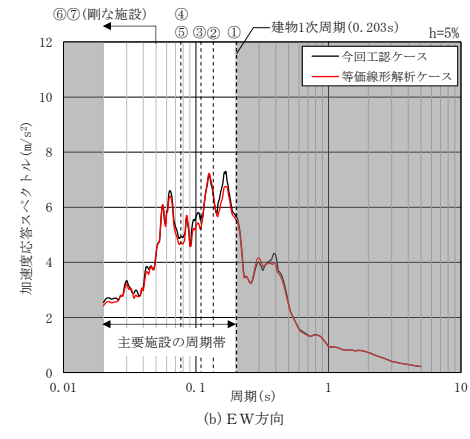
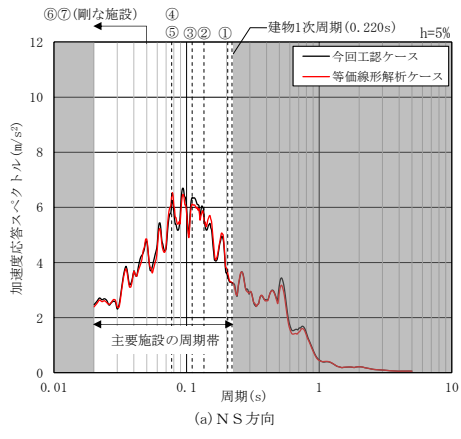
(3) S d - N2NS

図 4-4(1) 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉建物, 弾性設計用地震動 S d)

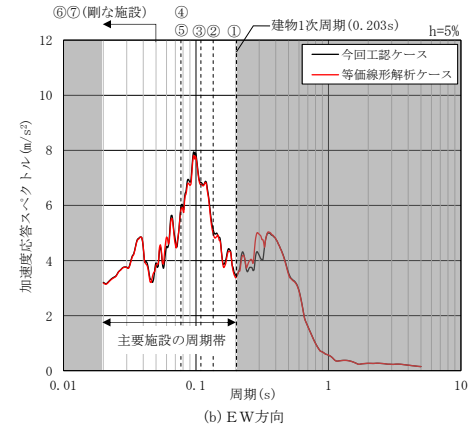
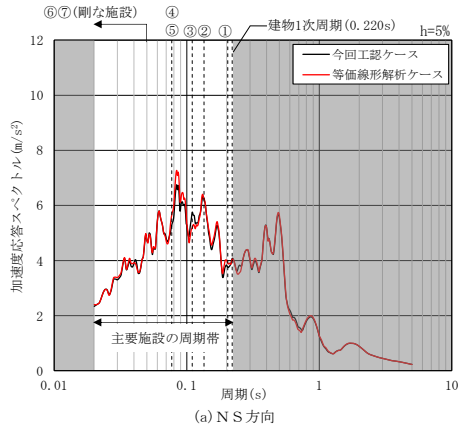
- 主要施設の名称
- ① 制御棒の挿入性 (燃料集合体)
 - ② 炉心支持構造物 (炉心シュラウド)
 - ③ 原子炉圧力容器
 - ④ 残留熱除去系配管
 - ⑤ 主蒸気系配管
 - ⑥ 残留熱除去ポンプ
 - ⑦ 原子炉格納容器



(4) S d - N 2 EW



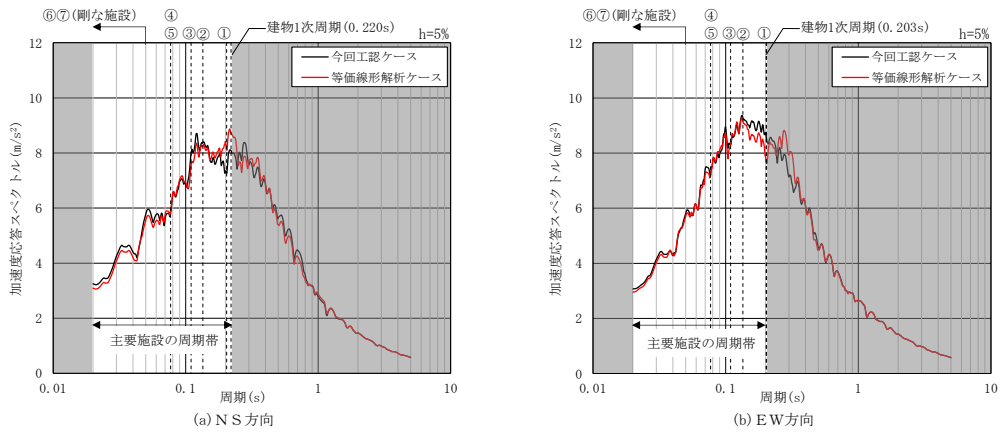
(5) S d - F 1



(6) S d - F 2

図 4-4(2) 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉建物, 弾性設計用地震動 S d)

- 主要施設の名称
- ①制御棒の挿入性 (燃料集合体)
 - ②炉心支持構造物 (炉心シュラウド)
 - ③原子炉圧力容器
 - ④残留熱除去系配管
 - ⑤主蒸気系配管
 - ⑥残留熱除去ポンプ
 - ⑦原子炉格納容器



(7) S d - 1

図 4-4(3) 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉建物, 弾性設計用地震動 S d)

(4) 保守性に関する詳細検討

本検討において、表層地盤①-1の地盤物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響は小さいことを示したが、一部のケースにおいて、今回工認ケースよりも等価線形解析ケースの応答が大きくなる周期帯があることを確認した。

ここでは、主要施設の周期帯において、今回工認ケースに対する等価線形解析ケースの応答比率が最も大きくなったケース（弾性設計用地震動Sd-1, NS方向）に対して、後述する「4.5 観測記録を用いたシミュレーション解析による入力地震動評価に関する検証」にて示す入力地震動評価用の地盤モデルが有する保守性の観点から、表層地盤①-1の地盤物性値の変動が入力地震動評価に及ぼす影響について、設計上の配慮の必要性を検討する。

表4-4に、弾性設計用地震動Sd-1（NS方向）における本検討（今回工認ケース及び等価線形解析ケース）及びシミュレーション解析（観測記録及びシミュレーション解析結果）における応答比率の比較を示す。

表4-4に示すように、等価線形解析ケースが今回工認ケースの応答を上回る周期において、本検討において確認した影響（応答比率②/①=1.15）は、シミュレーション解析により確認した保守性（応答比率④/③=1.35）より小さいことから、今回工認の入力地震動評価に用いている地盤モデルが有する保守性に対して表層地盤①-1の地盤物性値の変動が入力地震動評価に及ぼす影響は軽微であり、設計上の配慮は必要ないと判断できる。

表4-4 本検討及びシミュレーション解析における応答比率の比較

周期*1 (s)	本検討 (弾性設計用地震動Sd-1, NS方向) (図4-4(3))			シミュレーション解析*2 (2000年鳥取県西部地震, NS方向) (図4-29(a))		
	① 今回工認 ケース (m/s ²)	② 等価線形解析 ケース (m/s ²)	応答比率 (②/①)	③ 観測記録 (m/s ²)	④ 解析結果 (m/s ²)	応答比率 (④/③)
0.198	7.26	8.32	1.15	0.63	0.85	1.35

注記*1：応答比率（②/①）が最大となるときの周期

*2：「4.5 観測記録を用いたシミュレーション解析による入力地震動評価に関する検証」の「(3) 検討結果」参照

4.2 一次元波動論による入力地震動評価の保守性に関する検討

(1) 検討概要

一次元波動論により水平方向の入力地震動を算定している建物・構築物について、2次元FEM解析による入力地震動を算定し、一次元波動論による入力地震動の加速度応答スペクトルと比較することで、一次元波動論による入力地震動評価の保守性を確認する。

対象とする建物・構築物は、一次元波動論により入力地震動を算定している建物・構築物のうち、Sクラスの間接支持構造物であるタービン建物及び廃棄物処理建物を代表とする。

タービン建物及び廃棄物処理建物の入力地震動を算定するための2次元FEMモデルは、表3-4に示す今回工認の原子炉建物の2次元FEMモデルを基に、各建物位置での表層の掘削形状及び速度層境界レベルを反映することにより作成する。

今回工認では、対象建物・構築物に隣接する建物・構築物等地下部分は、埋戻土でモデル化することを基本としているが、本検討においては、対象建物・構築物の基礎底面が隣接する建物・構築物等の基礎底面よりも浅い位置にある場合、隣接する建物・構築物等の剛性をより詳細にモデル化するために、隣接する建物・構築物等を等価な物性値としてモデル化する。

一次元波動論と2次元FEM解析による入力地震動の加速度応答スペクトルを比較し、影響があると判断された場合は、2次元FEM解析による入力地震動を用いた地震応答解析により、建物・構築物及び機器・配管系への影響検討を実施する。

なお、本検討は、評価手法の違いによる入力地震動への影響について検討することから、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動S_s-Dに対して実施することとする。

(2) 検討条件

a. 隣接する建物・構築物等のモデル化

タービン建物のNS方向及び廃棄物処理建物のEW方向は、表4-5、図4-5及び図4-6に示すように、基礎底面が隣接する建物・構築物等の基礎底面よりも浅い位置にあることから、隣接する建物・構築物等の剛性をより詳細にモデル化するために、タービン建物のNS方向については南側に隣接する原子炉建物及び北側に隣接する取水槽の地下部分を、廃棄物処理建物のEW方向については東側に隣接する1号機廃棄物処理建物及び西側に隣接する原子炉建物の地下部分を等価な物性値としてモデル化する。

表4-5 隣接する建物・構築物等の基礎底面位置

(a) タービン建物

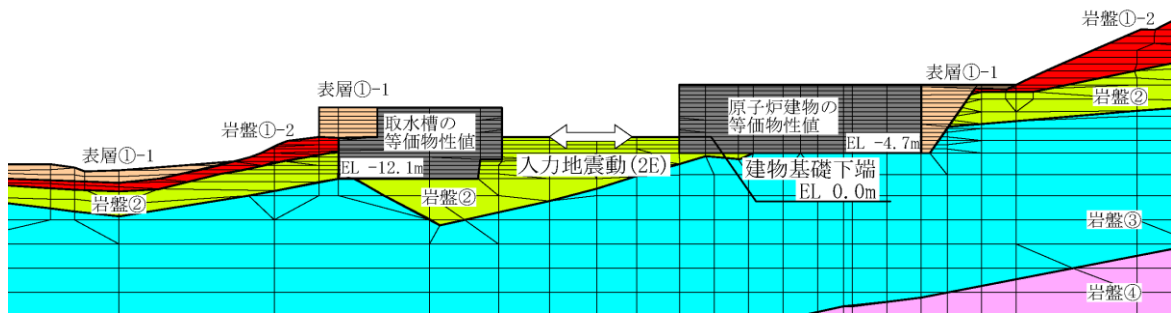
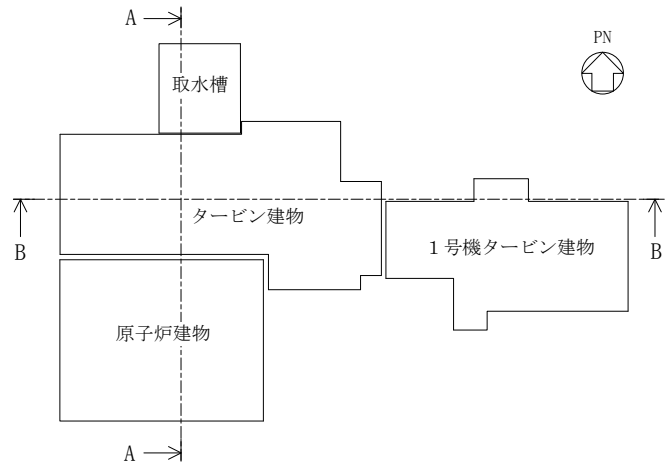
タービン 建物	隣接する建物・構築物等			
	東側 1号機タービン 建物*	西側 なし（埋戻土）	南側 原子炉建物	北側 取水槽
EL 0.0m	EL -0.3m	—	EL -4.7m	EL -12.1m

注記*：タービン建物の基礎底面より僅かに深い位置にあるが、概ね同じ高さにあることから、1号機タービン建物の地下部分は埋戻土でモデル化する。

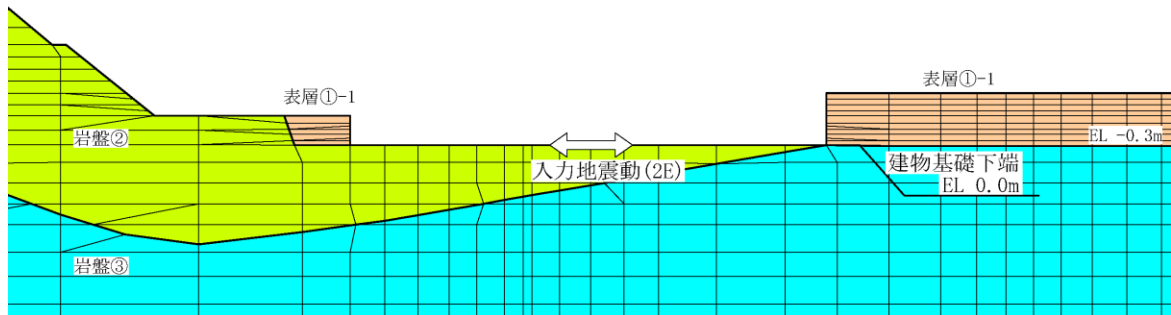
(b) 廃棄物処理建物

廃棄物 処理建物	隣接する建物・構築物等			
	東側 1号機廃棄物 処理建物*	西側 原子炉建物	南側 なし（埋戻土）	北側 タービン建物
EL 0.0m	EL 5.0m	EL -4.7m	—	EL 0.0m

注記*：廃棄物処理建物の基礎底面より浅い位置にあるが、西側にある原子炉建物の地下部分を等価な物性値でモデル化するため、東側についても西側に合わせて等価な物性値でモデル化する。

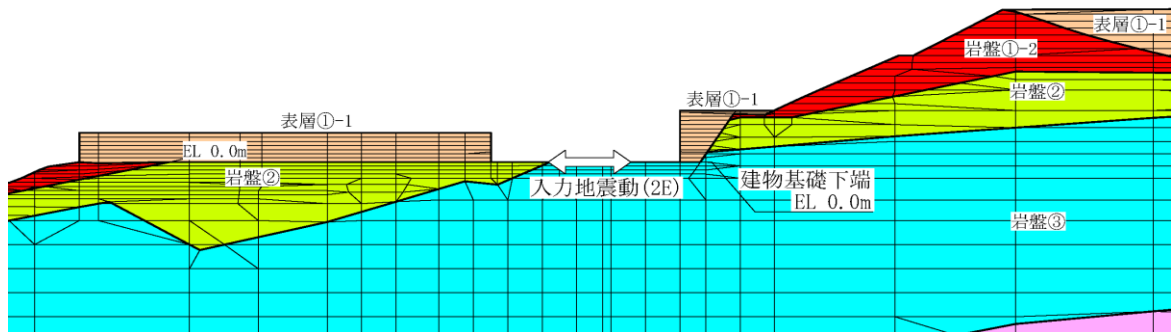
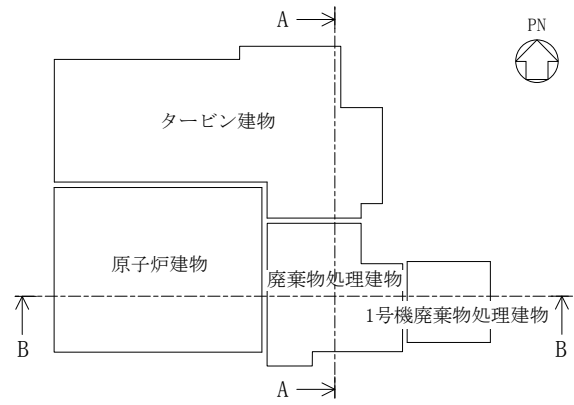


(a) NS方向 (A-A断面)

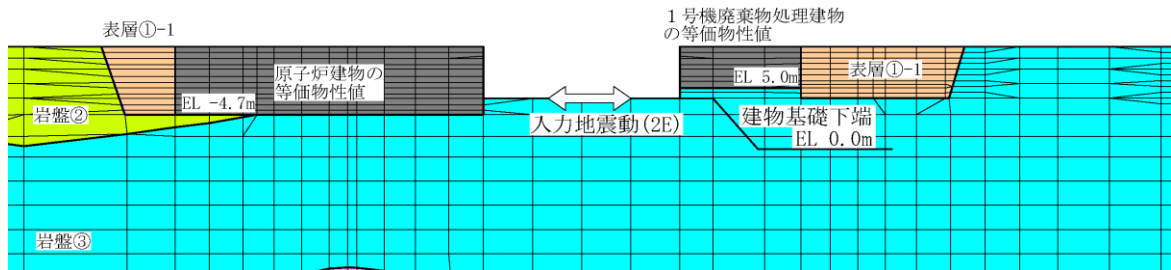


(b) EW方向 (B-B断面)

図 4-5 2次元FEMモデル詳細図 (タービン建物)



(a) NS方向 (A-A断面)



(b) EW方向 (B-B断面)

図 4-6 2次元FEMモデル詳細図 (廃棄物処理建物)

b. 隣接する建物・構築物等の等価剛性及び等価単位体積重量の算定

隣接する建物・構築物等の等価剛性及び等価単位体積重量の算定方法を以下に示す。

(a) 建物（原子炉建物及び1号機廃棄物処理建物）

隣接する建物の等価物性値は各建物の質点系地震応答解析モデル（以下「SRモデル」という。）に基づき設定する。

イ. 等価せん断弾性係数

隣接する建物モデルの等価せん断剛性は、SRモデルのせん断剛性に基づき設定する。i層の等価せん断弾性係数 G_i' は以下の式により算出する。

$$G_i' = \frac{A_{S_i}}{A} \times G$$

ここで、

G : 建物のせん断弾性係数

A_{S_i} : i層のせん断断面積(SRモデルのi層のせん断断面積の和)

A : 建物面積

i層の等価せん断弾性係数 G_i' を高さ方向に重み付け平均することにより、等価せん断弾性係数 ${}_{eq}G$ を以下の式により設定する。

$${}_{eq}G = \frac{\sum (h_i \times G_i')}{\sum h_i}$$

ここで、 h_i : i層支配高さ

ロ. 等価単位体積重量

隣接する建物モデルの等価単位体積重量は、SRモデルの質点重量に基づき設定する。i層の単位体積重量 γ_i は以下の式により算出する。

$$\gamma_i = \frac{w_i}{A \times H_i}$$

ここで、

w_i : i層の質点重量(SRモデルのi層の質点重量の和)

A : 建物面積

H_i : i層の支配高さ

i 層の単位体積重量を高さ方向に重み付け平均することにより, 等価単位体積重量 ${}_{eq}\gamma$ を以下の式により設定する。

$${}_{eq}\gamma = \frac{\sum(\gamma_i \times H_i)}{\sum H_i}$$

(b) 取水槽

取水槽の等価物性値は取水槽の 2 次元 FEM モデル (以下「取水槽 FEM モデル」という。) に基づき設定する。取水槽の構造モデルを図 4-7 に, 物性値を表 4-6 に示す。

イ. 等価せん断弾性係数

取水槽の等価せん断剛性は, 取水槽 FEM モデルのヤング係数及びポアソン比に基づき設定する。等価せん断弾性係数 ${}_{eq}G$ は以下の式により算出する。

$${}_{eq}G = \frac{\sum(A_i \times G_i)}{\sum A_i}$$

$$G_i = \frac{E_i}{2(1 + \nu)}$$

ここで,

- G_i : 区分 i のせん断弾性係数
- A_i : 区分 i の面積
- E_i : 区分 i のヤング係数
- ν : ポアソン比

ロ. 等価単位体積重量

取水槽の等価単位体積重量は, 取水槽 FEM モデルの単位体積重量に基づき設定する。等価単位体積重量 ${}_{eq}\gamma$ は以下の式により算出する。

$${}_{eq}\gamma = \frac{\sum(A_i \times \gamma_i)}{\sum A_i}$$

ここで,

- γ_i : 区分 i の単位体積重量
- A_i : 区分 i の面積

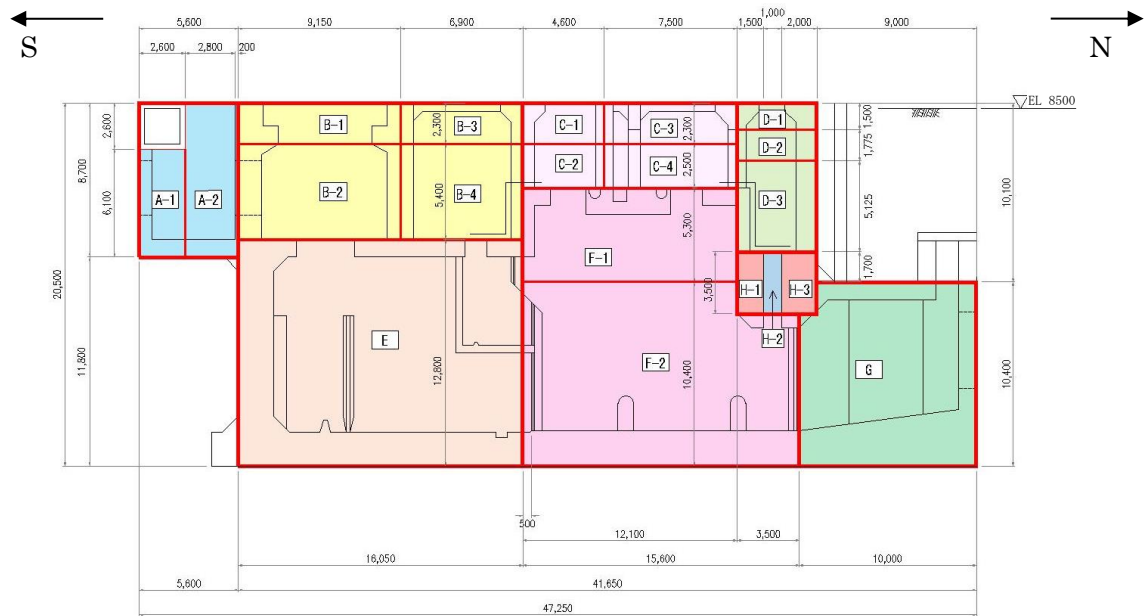


図 4-7 取水槽の構造モデル

(単位：mm)

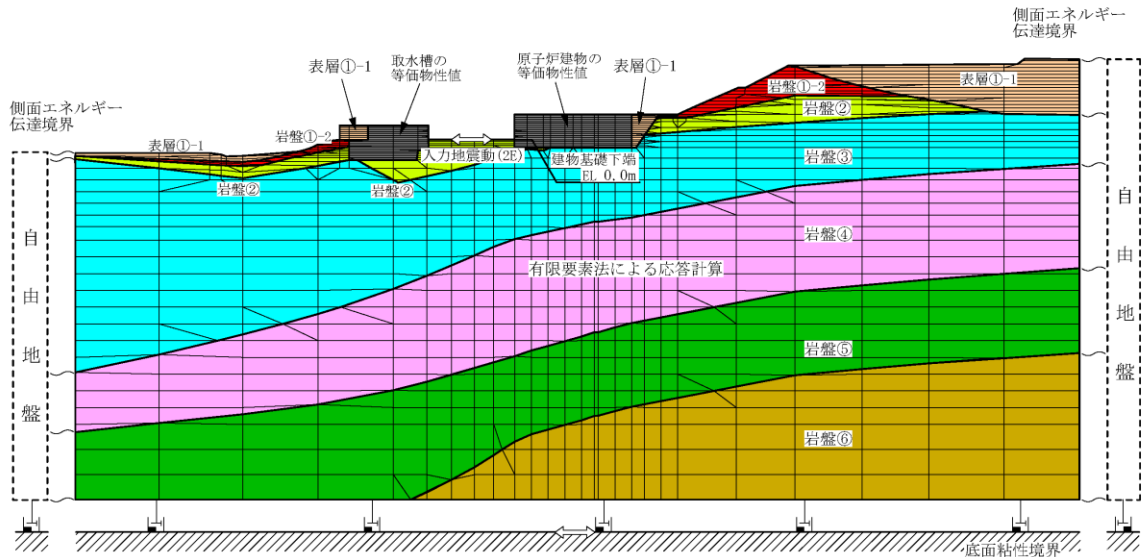
表 4-6 取水槽の物性値*

区分	ヤング係数 E (N/m ²)	せん断弾性係数 G (N/m ²)	ポアソン比 ν	単位体積重量 γ (N/m ³)	面積 A (m ²)	
A	A-1	1.983E+09	8.263E+08	0.200	1.194E+03	41.96
	A-2	9.914E+08	4.131E+08	0.200		
B	B-1	1.204E+09	5.017E+08	0.200	1.213E+03	123.59
	B-2	1.416E+09	5.900E+08	0.200		
	B-3	1.204E+09	5.017E+08	0.200		
	B-4	1.416E+09	5.900E+08	0.200		
C	C-1	4.780E+09	1.992E+09	0.200	3.993E+03	22.08
	C-2	4.868E+09	2.028E+09	0.200		
	C-3	1.204E+09	5.017E+08	0.200	1.959E+03	36.00
	C-4	1.416E+09	5.900E+08	0.200		
D	D-1	1.204E+09	5.017E+08	0.200	1.565E+03	37.80
	D-2	1.416E+09	5.900E+08	0.200		
	D-3	2.124E+09	8.850E+08	0.200		
E	E	4.874E+09	2.031E+09	0.200	4.054E+03	205.44
F	F-1	7.615E+09	3.173E+09	0.200	5.991E+03	220.07
	F-2	6.836E+09	2.848E+09	0.200		
G	G	5.232E+09	2.180E+09	0.200	3.606E+03	102.20
H	H-1	2.475E+10	1.031E+10	0.200	2.788E+04	12.25
	H-3					
	H-2	4.874E+09	2.031E+09	0.200	5.806E+03	3.50

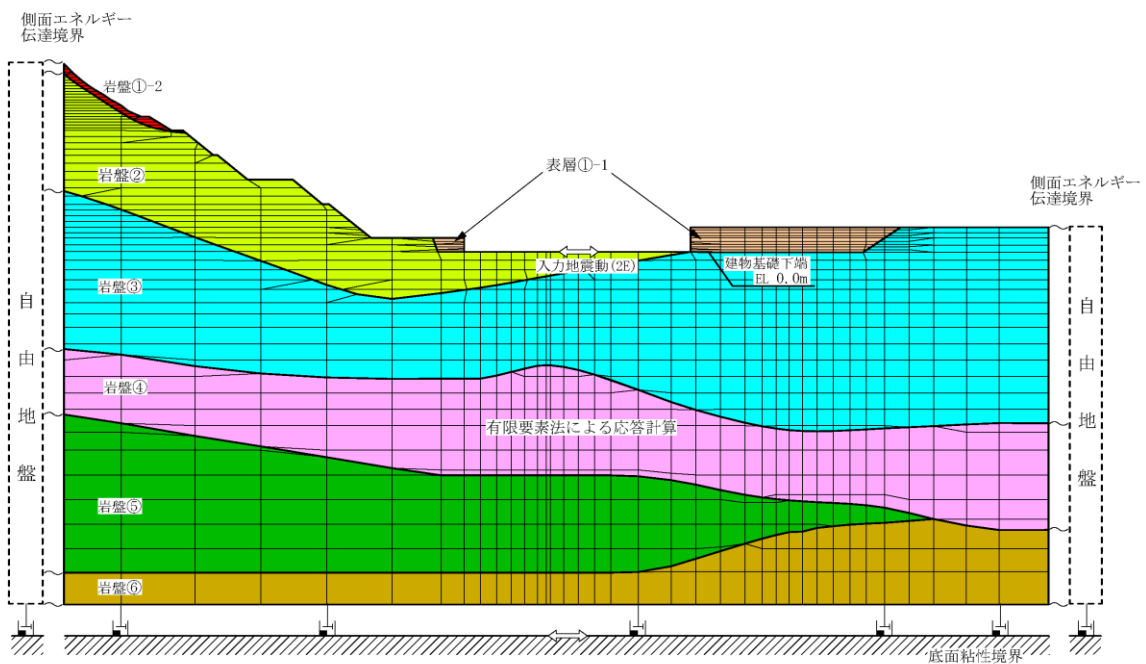
注記*：「補足-026-02 取水槽の地震応答計算書及び耐震性についての計算書に関する補足説明資料」参照

c. 解析モデル

本検討に用いる解析モデルを図 4-8 及び図 4-9 に、解析モデルの地盤物性値を表 4-7 に、隣接する建物・構築物等の物性値を表 4-8 に示す。

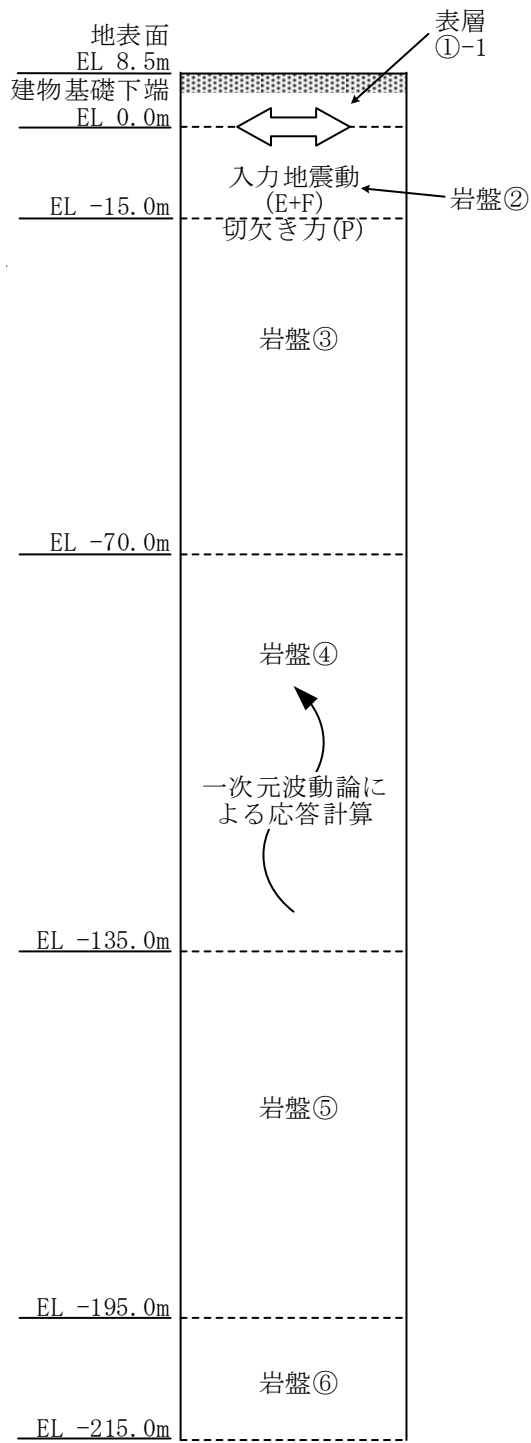


(a) 2次元FEM (NS方向)



(b) 2次元FEM (EW方向)

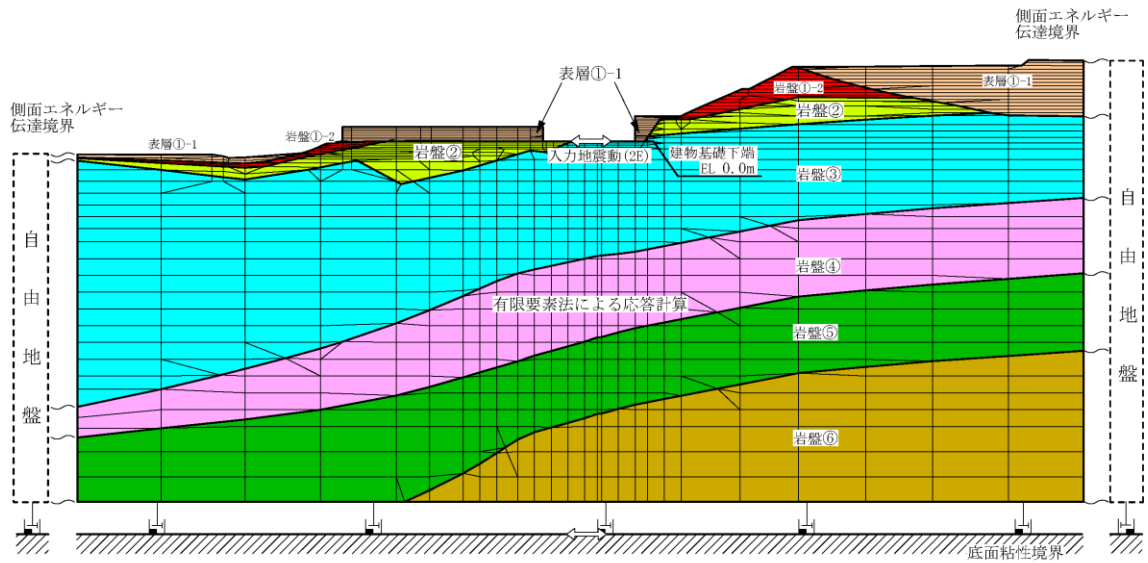
図 4-8(1) 解析モデル (タービン建物)



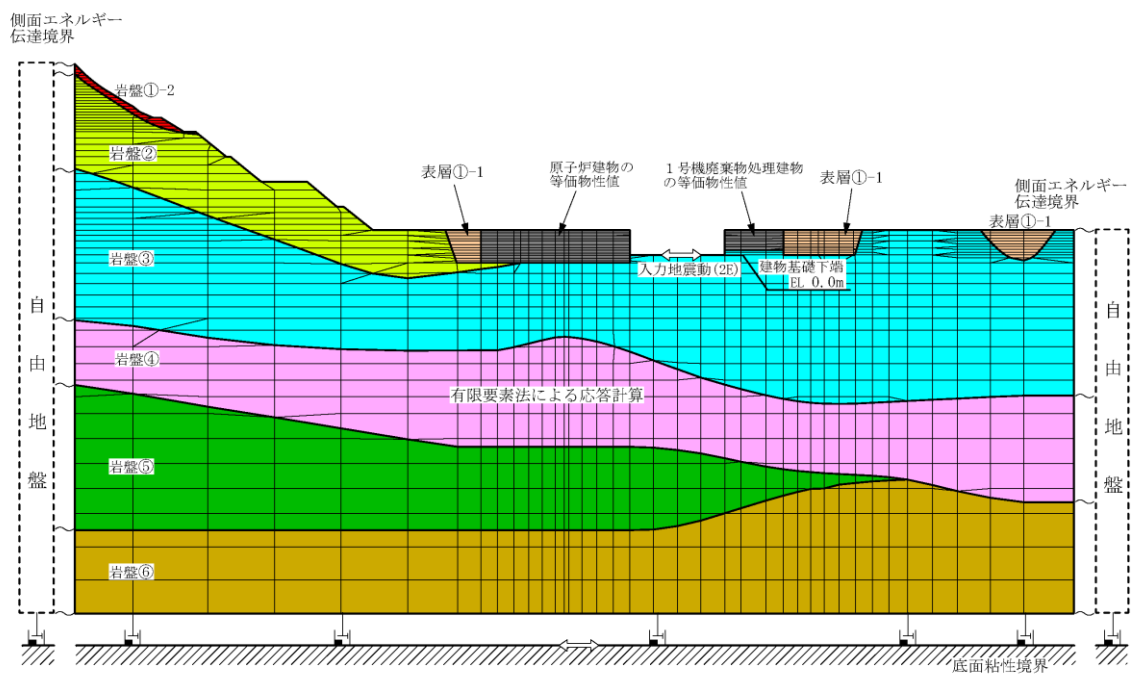
注：建物中央の速度層に基づきモデル化

(c) 一次元波動論

図 4-8(2) 解析モデル (タービン建物)

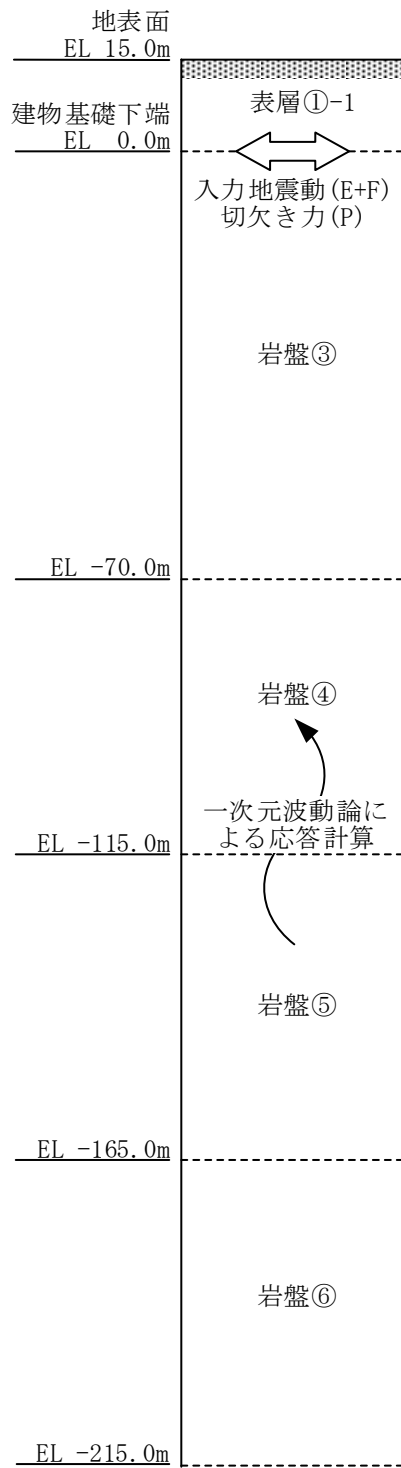


(a) 2次元FEM (NS方向)



(b) 2次元FEM (EW方向)

図 4-9(1) 解析モデル (廃棄物処理建物)



注：建物中央の速度層に基づきモデル化

(c) 一次元波動論

図 4-9(2) 解析モデル (廃棄物処理建物)

表 4-7 解析モデルの地盤物性値（タービン建物及び廃棄物処理建物）

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル（S_s）及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

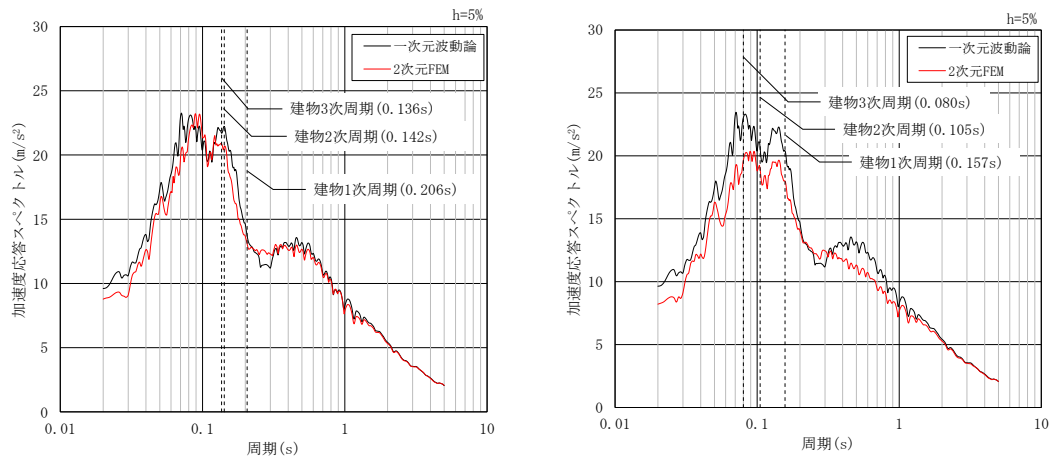
表 4-8 隣接する建物・構築物等の等価物性値

建物・構築物等	方向	単位体積重量 eq γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 eq G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
取水槽	N S	4.10	0.2	20.0	5
原子炉建物	N S	14.4	0.2	35.8	5
	E W	14.4	0.2	37.3	5
1号機廃棄物処理建物	E W	12.0	0.2	21.4	5

(3) 検討結果

図 4-10 及び図 4-11 に入力地震動の加速度応答スペクトルの比較及び各建物の主要な固有周期*を示す。一次元波動論による入力地震動と 2 次元 FEM 解析による入力地震動の加速度応答スペクトルは全周期帯にわたって概ね同等若しくは一次元波動論による入力地震動の方が保守的である。また、建物の主要な固有周期に対して、一次元波動論による入力地震動は 2 次元 FEM 解析による入力地震動を上回っている、若しくは、概ね同等の応答を示していることから、機器・配管系への影響の観点を含めて、入力地震動の算定に一次元波動論を採用することの保守性を確認することができた。

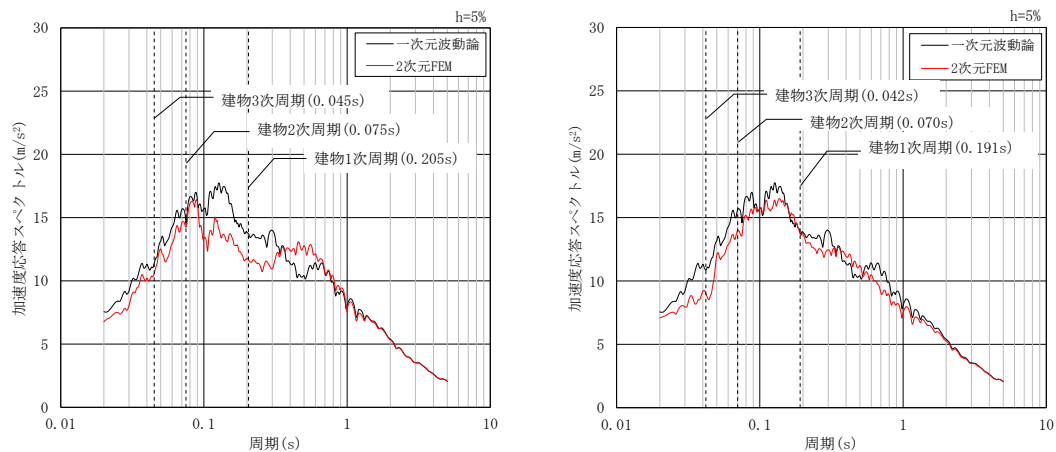
注記*：建物-地盤連成の固有周期のうち、刺激係数が概ね 1.0 を超えるものとして、1 次～3 次固有周期を示す。



(a) NS 方向

(b) EW 方向

図 4-10 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(タービン建物, 基準地震動 S s - D)



(a) NS 方向

(b) EW 方向

図 4-11 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(廃棄物処理建物, 基準地震動 S s - D)

4.3 D級岩盤の非線形性による影響に関する検討

(1) 検討概要

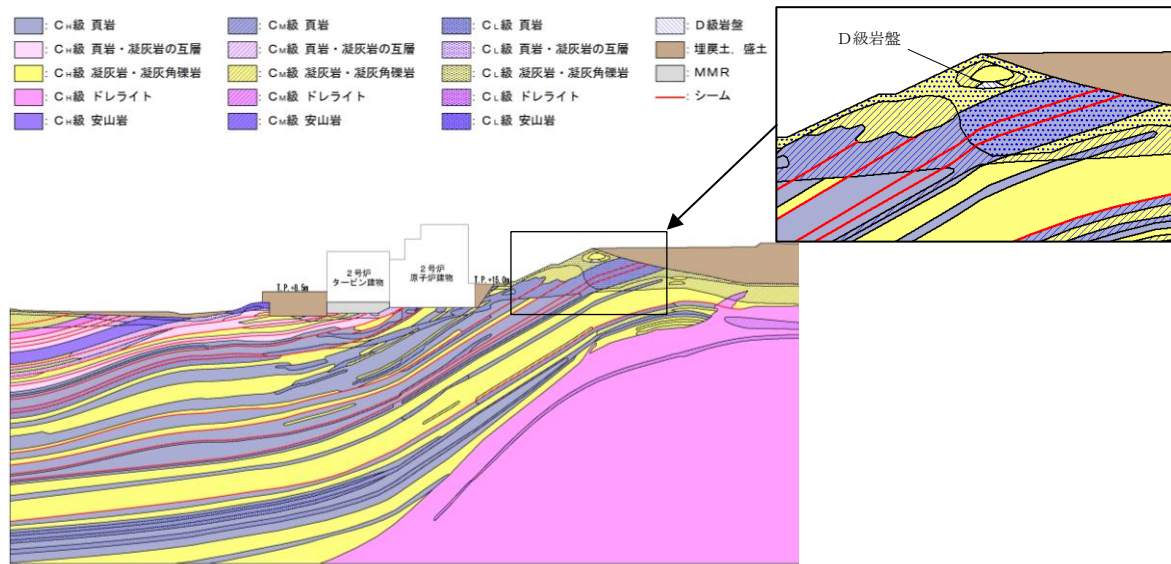
建物・構築物の入力地震動評価において、表層地盤①-1 については、地震動レベルに応じて定めた等価物性値を設定することで地盤のひずみ依存特性を考慮しているが、D級岩盤を含む岩盤①-2 については、S波速度は小さいものの、検討建物から離れたわずかな領域に分布しており、大部分がC_L級以上の岩盤で構成されていることから、地震時の非線形性が建物の入力に与える影響は小さいと判断し、地質調査結果に基づく地盤物性値を用い、線形として扱っている。なお、地質調査結果に基づくD級岩盤の速度層区分の設定については、添付資料-3 に示す。

一方で、原子炉建物の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価においては、図4-12 に示す岩盤①-2 のうちD級岩盤に対しては、地盤のひずみ依存特性を考慮して、地震応答解析を実施している。

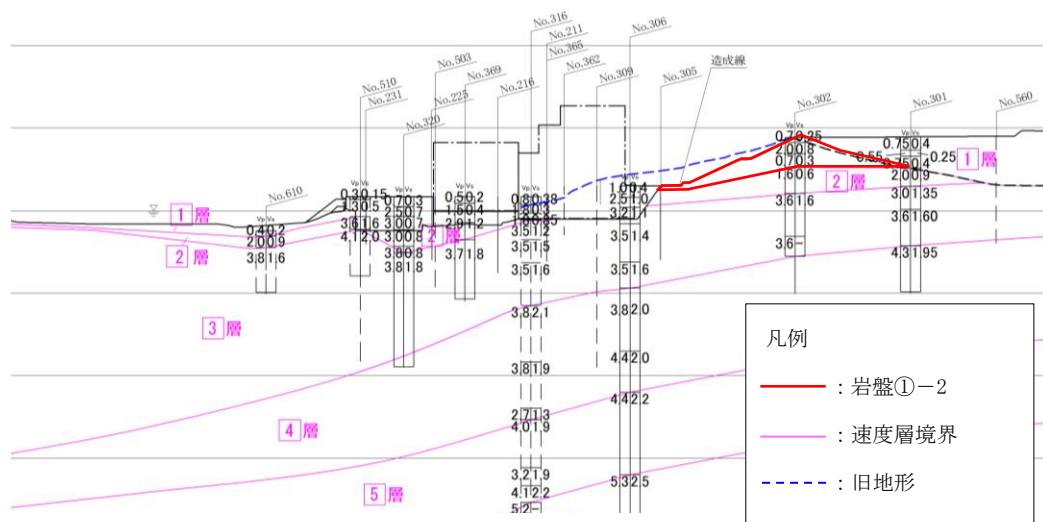
本検討では、原子炉建物を代表として、表4-9 に示すモデルにより算定した入力地震動の比較を行うことで、D級岩盤のひずみ依存特性の影響を確認する。

D級岩盤のひずみ依存特性の影響があると判断された場合は、D級岩盤のひずみ依存特性を考慮した2次元FEM解析による入力地震動を用いた地震応答解析により、建物・構築物及び機器・配管系への影響検討を実施する。

なお、D級岩盤はNS方向モデルのみに含まれるため、本資料ではNS方向を対象として検討を行う。また、本検討は、モデル化の違いによる入力地震動への影響について検討することから、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動S_{s-D}に対して検討を行う。



(a) 基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に用いた岩盤分類図



(b) 速度層区分図

図 4-12 岩盤分類図及び速度層区分図

表 4-9 比較検討ケース

検討ケース	物性値の設定		備考
	表層地盤①-1 (埋戻土)	岩盤①-2のうち D級岩盤	
ケース 1 (今回工認モデル)	線形 (等価物性値)	線形	
ケース 2 (等価線形モデル)	等価線形 (ひずみ依存特性考慮)	線形	表層地盤①-1 を等価線形としたケース
ケース 3 (等価線形モデル)	等価線形 (ひずみ依存特性考慮)	等価線形 (ひずみ依存特性考慮)	表層地盤①-1 及び岩盤①-2 のD級岩盤を等価線形としたケース

(2) 検討条件

a. 地盤物性値の設定

ケース 2 及びケース 3 に用いる物性値を以下に示す。物性値については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に記載の解析用物性値を用いることとする。

(a) 表層地盤①-1 (4.1(2) a. (b)に記載の物性値の設定方法と同じ)

イ. 初期せん断弾性係数 G_0

初期せん断弾性係数は、拘束圧依存性を考慮して、以下の式により算定する。

$$G_0 = 749 \times \sigma_m' ^{0.66} \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここで、

$$\sigma_m' = (1+2K) \cdot \sigma_v' / 3 : \text{平均拘束圧 (N/mm}^2)$$

$$\sigma_v' = \gamma \cdot H / 10^6 : \text{上載荷重 (N/mm}^2)$$

K : 静止土圧係数 (=0.5 : 慣用値)

γ : 単位体積重量 (=20.7×10³N/m³)

H : 各要素の中心深さ (m)

ν : 動ポアソン比 (=0.45)

ロ. 剛性低下率 G/G_0

剛性低下率 G/G_0 のひずみ依存特性は、以下の式により算定する。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \gamma / 0.00027}$$

ここで、 γ : せん断ひずみ

ハ. 減衰定数 h

減衰定数 h のひずみ依存特性は、以下の式により算定する。

$$h = \frac{0.0958 \gamma}{\gamma + 0.00020}$$

ここで、 γ : せん断ひずみ

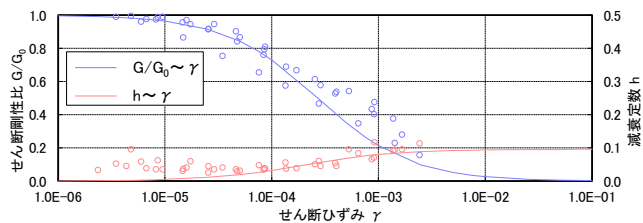


図 4-13 $G/G_0 - \gamma$ 関係及び $h - \gamma$ 関係 (表層地盤①-1)

(b) D級岩盤

イ. 初期せん断弾性係数 G_0

初期せん断弾性係数は、拘束圧依存性を考慮して、以下の式により算定する。

$$G_0 = 148 \times \sigma_m'{}^{0.49} \quad (\text{N/mm}^2)$$

ここで、

$$\sigma_m' = (1+2K) \cdot \sigma_v' / 3 : \text{平均拘束圧 (N/mm}^2)$$

$$\sigma_v' = \gamma \cdot H / 10^6 : \text{上載荷重 (N/mm}^2)$$

K : 静止土圧係数 (=0.5 : 慣用値)

γ : 単位体積重量 (=22.4×10³N/m³)

H : 各要素の中心深さ (m)

ν : 動ポアソン比 (=0.45)

ロ. 剛性低下率 G/G_0

剛性低下率 G/G_0 のひずみ依存特性は、以下の式により算定する。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \gamma / 0.00062}$$

ここで、 γ : せん断ひずみ

ハ. 減衰定数 h

減衰定数 h のひずみ依存特性は、以下の式により算定する。

$$h = 0.023 \quad (\gamma \leq 1 \times 10^{-4})$$

$$h = 0.023 + 0.071 \times \log(\gamma / 0.0001) \quad (\gamma > 1 \times 10^{-4})$$

ここで、 γ : せん断ひずみ

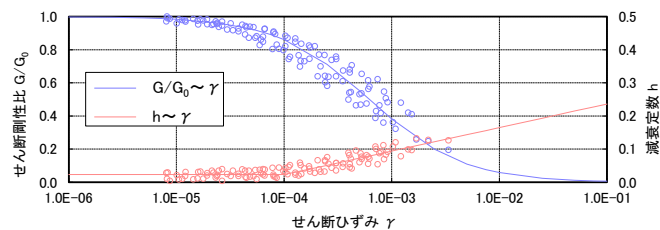
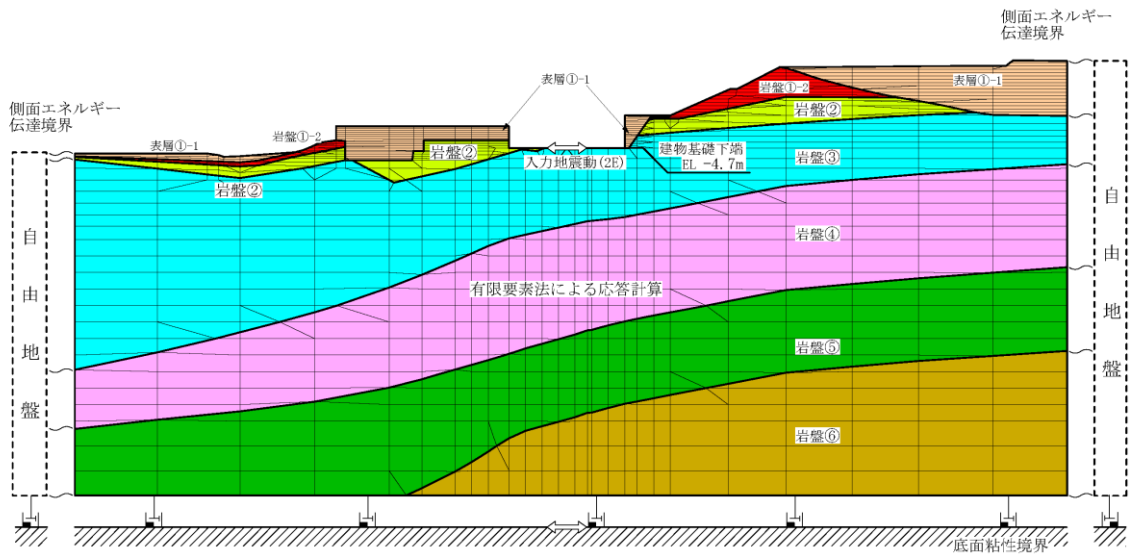


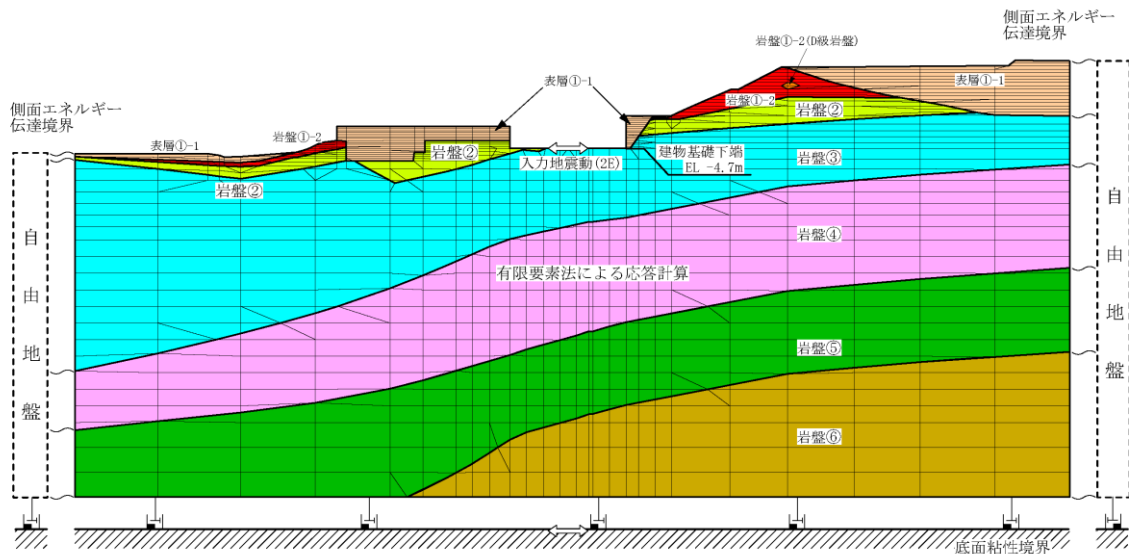
図 4-14 $G/G_0 - \gamma$ 関係及び $h - \gamma$ 関係 (D級岩盤)

b. 解析モデル

本検討に用いる 2 次元 F E M モデルを図 4-15 に、地盤物性値を表 4-10 に示す。



(a) ケース 1 及びケース 2



(b) ケース 3

図 4-15 2 次元 F E M モデル (原子炉建物)

表 4-10(1) 地盤物性値

(a) ケース 1

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル（S_s）及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

(b) ケース 2

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	*	*	20.7	0.45	*	*
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：ひずみ依存性を考慮した物性値

表 4-10(2) 地盤物性値

(c) ケース 3

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G ($\times 10^5$ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	*	*	20.7	0.45	*	*
岩盤①-2 (D級岩盤)	*	*	22.4	0.45	*	*
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記* : ひずみ依存性を考慮した物性値

(3) 検討結果

図 4-16 に入力地震動の加速度応答スペクトルの比較及び主要施設の固有周期を示す。

ケース 2 とケース 3 を比較すると、全周期帯において、加速度応答スペクトルに大きな差がないことから、D級岩盤のひずみ依存特性の考慮が入力地震動評価に及ぼす影響は小さいことが確認できた。また、ケース 1 とケース 3 を比較すると、主要な施設の周期帯において、大きな差がないことから、今回工認の入力地震動の評価において、D級岩盤のひずみ依存特性を考慮しないことの妥当性を確認した。

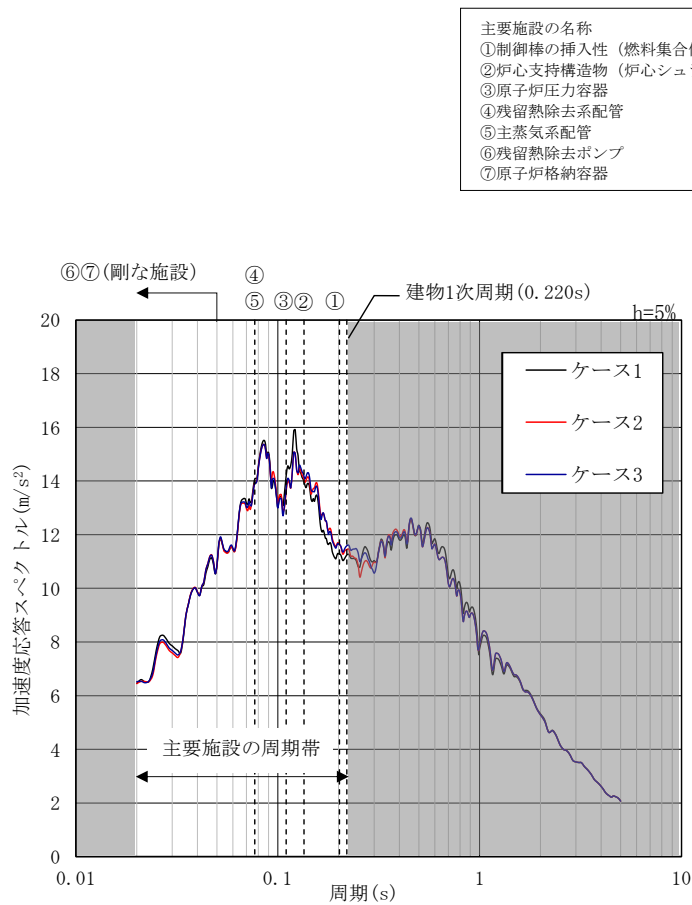


図 4-16 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉建物, 基準地震動 S s - D)

4.4 2次元FEMのメッシュ分割高さに関する検討

(1) 検討概要

2次元FEMモデルのメッシュ分割高さは、設備の耐震設計で考慮する振動数を踏まえて設定することとし、今回工認は既工認と同様に最高透過振動数（20Hz）に対して設定している。

メッシュ分割高さHは、「原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版（社）日本電気協会」に示された以下の基準を満足するように設定している。

$$H \leq \frac{1}{5} \frac{V_s}{f_{max}}$$

ここで、

V_s : S波速度 (m/s)

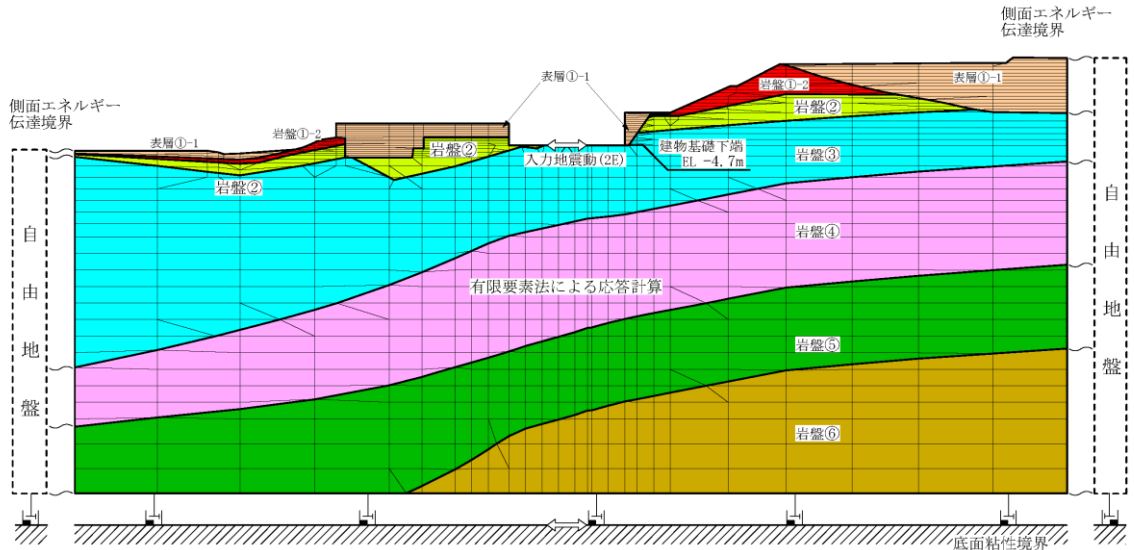
f_{max} : 最高透過振動数 (Hz)

本検討では、メッシュ分割高さの妥当性を確認するため、建物の規模や施設の重要性を踏まえて原子炉建物を代表として、最高透過振動数（50Hz）に対して設定した比較用のモデル（以下「50Hz 透過モデル」という。）による解析を実施し、入力地震動への影響を評価する。影響があると判断された場合には、高振動数領域の応答による影響が考えられる機器・配管系に対して、影響検討を実施する。

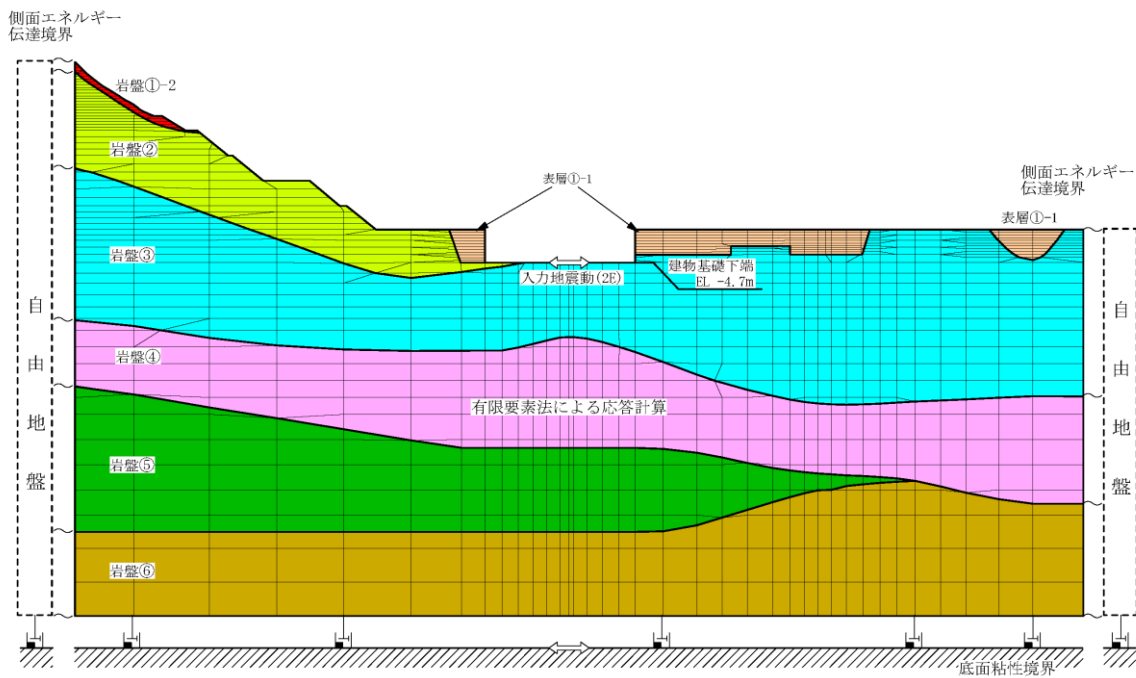
なお、本検討は、モデル化の違いによる入力地震動への影響について検討することから、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動 $S_s - D$ に対して実施することとする。

(2) 検討条件

本検討に用いる2次元FEMモデルを図4-17及び図4-18に、地盤物性値を表4-11に示す。

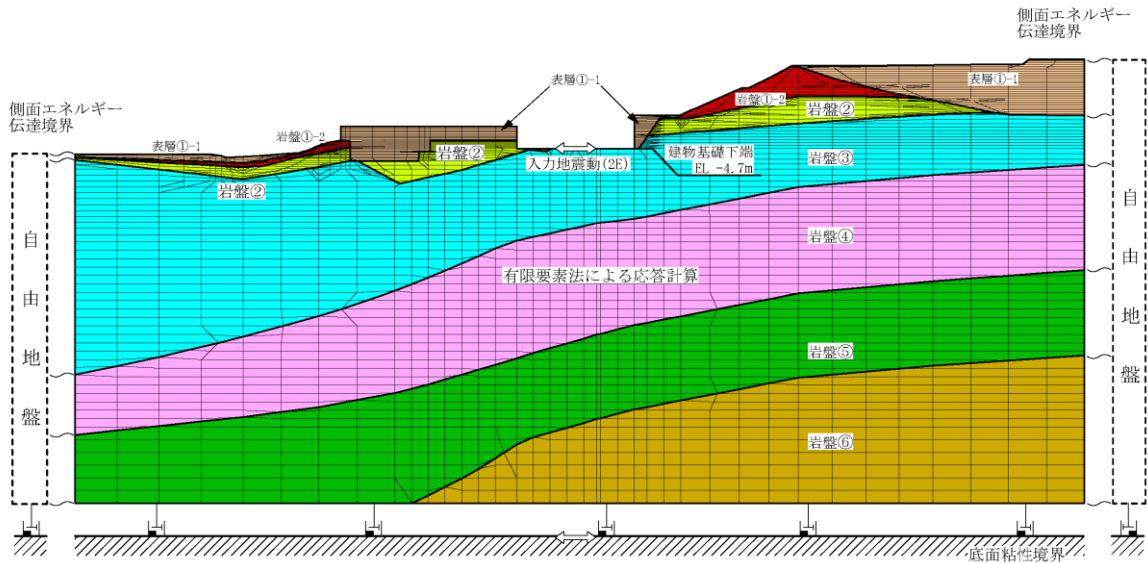


(a) NS方向

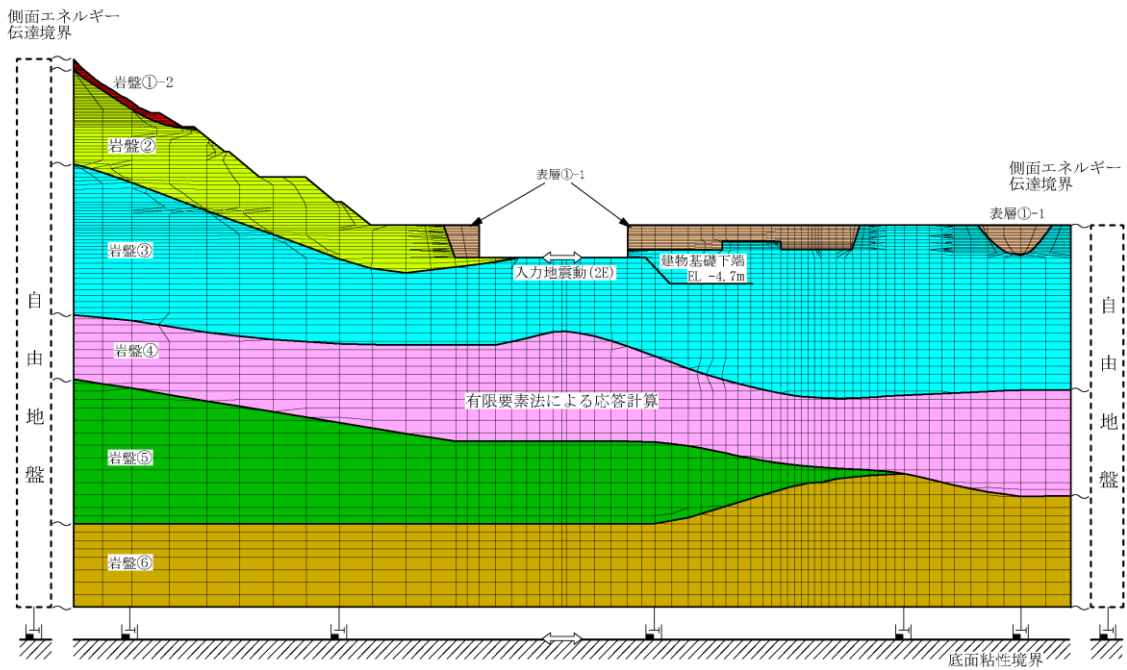


(b) EW方向

図4-17 2次元FEMモデル(今回工認モデル)



(a) NS方向



(b) EW方向

図 4-18 2次元FEMモデル (50Hz 透過モデル)

表 4-11 地盤物性値

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*	422*	20.7	0.45	0.341*	8*
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*：地震動レベル（S_s）及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

注：今回工認モデルと 50Hz 透過モデルで地盤物性値は共通

(3) 検討結果

図 4-19 に入力地震動の加速度応答スペクトルの比較及び主要施設の固有周期を示す。

今回工認モデル及び 50Hz 透過モデルを比較すると、主要施設の周期帯において、両モデルの加速度応答スペクトルは概ね一致していることから、今回工認においても既工認と同様に最高透過振動数が 20Hz となるようにメッシュ分割高さを設定する。なお、先行サイトの審査実績においても、建物・構築物の入力地震動の算定に用いる 2 次元 FEM モデルにおけるメッシュ分割高さは 20Hz を考慮して作成されている。

ただし、EW 方向については、両モデルの加速度応答スペクトルは概ね一致しているが、25Hz～30Hz より高振動数領域で 50Hz 透過モデルを用いた入力地震動の方が今回工認モデルを用いた入力地震動よりも大きいため、機器・配管系への影響検討を実施する。

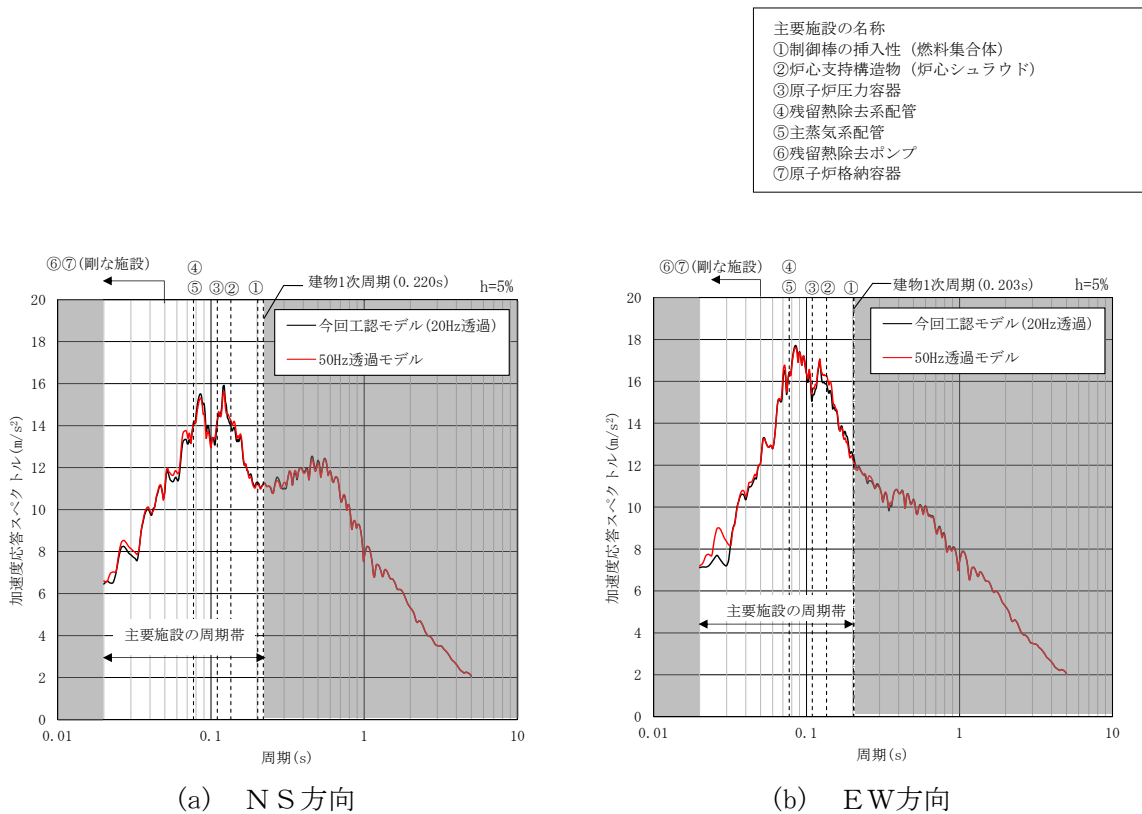


図 4-19 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較 (原子炉建物, 基準地震動 S s - D)

(4) 機器・配管系への影響評価

機器・配管系の評価（後述する弁の動的機能維持評価を除く）においては、動的解析において加速度応答スペクトルを考慮する固有振動数の閾値を 20Hz として評価を実施しており、高振動数領域の応答が設備の構造健全性に与える影響は小さいことを確認している（「補足-027-01 設計用床応答スペクトルの作成方法及び適用方法について」参照）。

一方で、弁の動的機能維持評価においては、機能確認済加速度と応答加速度の比較により健全性を確認する加速度評価であり、弁を支持する配管系の 20Hz 以上の領域の振動モードの影響を無視できないことから、20Hz を超える振動数領域まで考慮した地震応答解析により、弁駆動部の応答加速度を算定している（「補足-027-05 弁の動的機能維持評価について」参照）。

(3)に示すとおり、今回工認モデル及び 50Hz 透過モデルの応答を比較すると、20Hz 以下の周期帯において、両モデルの加速度応答スペクトルは概ね一致している。そのため、弁の動的機能維持評価を除く機器・配管系の評価においては、50Hz 透過モデルの応答を考慮しても影響は小さいといえる。一方で、E W方向の 25Hz～30Hz より高振動数側の領域で 50Hz 透過モデルを用いた入力地震動の方が今回工認モデルを用いた入力地震動よりも大きいことから、高振動数領域の応答による影響が考えられる弁の動的機能維持評価に対し影響検討を実施する。

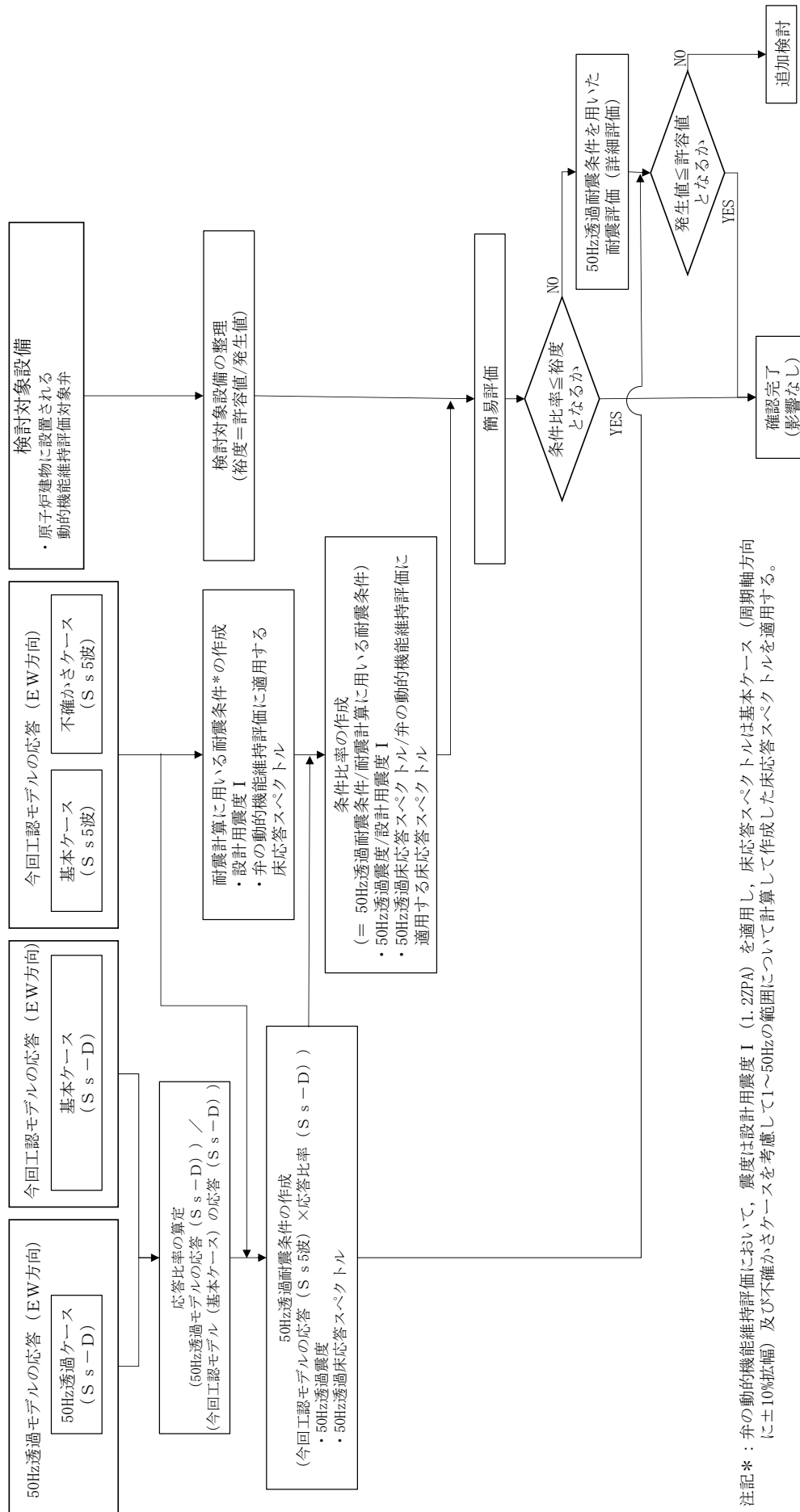
a. 検討方針

影響検討フローを図 4-20 に示し、以下のとおり、2次元 F E Mモデルのメッシュ分割高さによる影響検討を行う。

(a) 検討対象設備

原子炉建物に設置される以下の機器・配管系を影響検討の対象とする。

- ・原子炉建物に設置される動的機能維持評価対象弁
（「補足-027-05 弁の動的機能維持評価について」参照）



注記* : 弁の動的機能維持評価において、震度は設計用震度 I (1.2ZPA) を適用し、床応答スペクトルは基本ケース (周期軸方向に±10%拡幅) 及び不確かさケースを考慮して1~50Hzの範囲について計算して作成した床応答スペクトルを適用する。

図 4-20 2次元FEMモデルのメッシュ分割高さによる影響検討フロー

(b) 検討に用いる耐震条件

今回工認モデル（基本ケース）の地震応答解析結果と 50Hz 透過モデルの地震応答解析結果から、応答比率を以下のように算出する。

$$\text{応答比率} = \frac{\text{50Hz 透過モデルの応答 (S s - D)}}{\text{今回工認モデル (基本ケース) の応答 (S s - D)}}$$

応答比率算出のための 50Hz 透過モデルを用いた地震応答解析は、原子炉建物における検討方針と同様に基準地震動 S s のうち位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせ、機器・配管系の耐震性評価において支配的な基準地震動 S s - D を代表として用いる。

50Hz 透過モデルによる基準地震動 S s 5 波（以下「S s 5 波」という。）の震度（以下「50Hz 透過震度」という。）及び床応答スペクトル（以下「50Hz 透過床応答スペクトル」という。）（以下、50Hz 透過震度及び 50Hz 透過床応答スペクトルを総称して「50Hz 透過耐震条件」という。）は、今回工認モデル（基本ケース及び不確かさケース*）の S s 5 波を用いた地震応答解析結果と応答比率を用いてそれぞれ以下のとおり設定する。

注記*：「不確かさケース」は VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」に示すケース 2（地盤物性 + σ ）及びケース 3（地盤物性 - σ ）を示す。

イ. 50Hz 透過震度

各標高について、工認モデル（基本ケース）を用いた地震応答解析から得られる応答波の最大応答加速度に上記で算出した応答比率を乗じて作成したものと、工認モデル（不確かさケース）を用いた地震応答解析から得られる応答波の最大応答加速度に上記で算出した応答比率を乗じて作成したものを包絡させて作成する。50Hz 透過震度の作成フローを図 4-21 に示す。

ロ. 50Hz 透過床応答スペクトル

各標高・各減衰について、工認モデル（基本ケース）を用いた地震応答解析から得られる応答波を用いて作成した床応答スペクトルに上記で算出した周期ごとの応答比率を乗じ ±10% 拡幅したものと、工認モデル（不確かさケース）を用いた地震応答解析から得られる応答波を用いて作成した床応答スペクトルに上記で算出した周期ごとの応答比率を乗じたものを包絡させて作成する。50Hz 透過床応答スペクトルの作成フローを図 4-22 に示す。また、50Hz 透過床応答スペクトルの作成例を図 4-23 に示す。

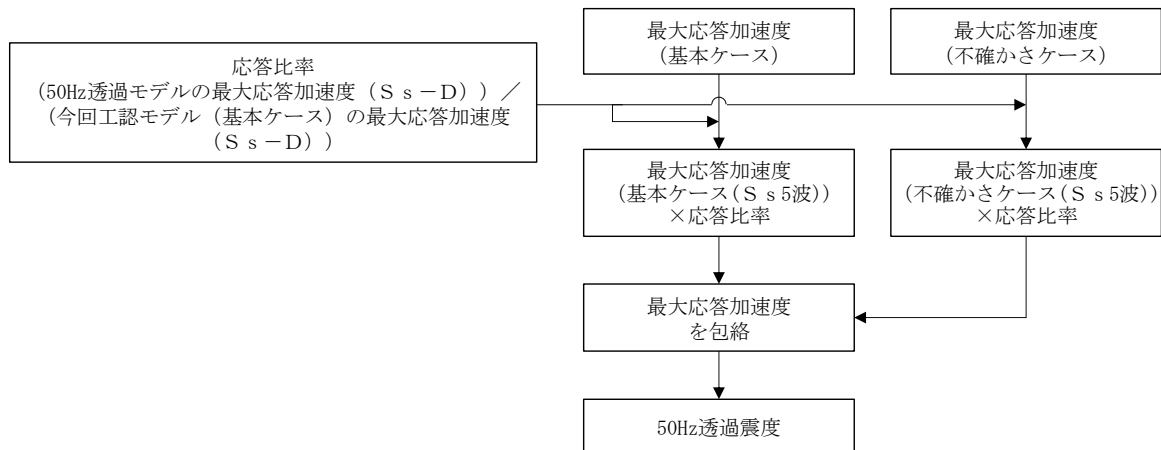


図 4-21 50Hz 透過震度の作成フロー

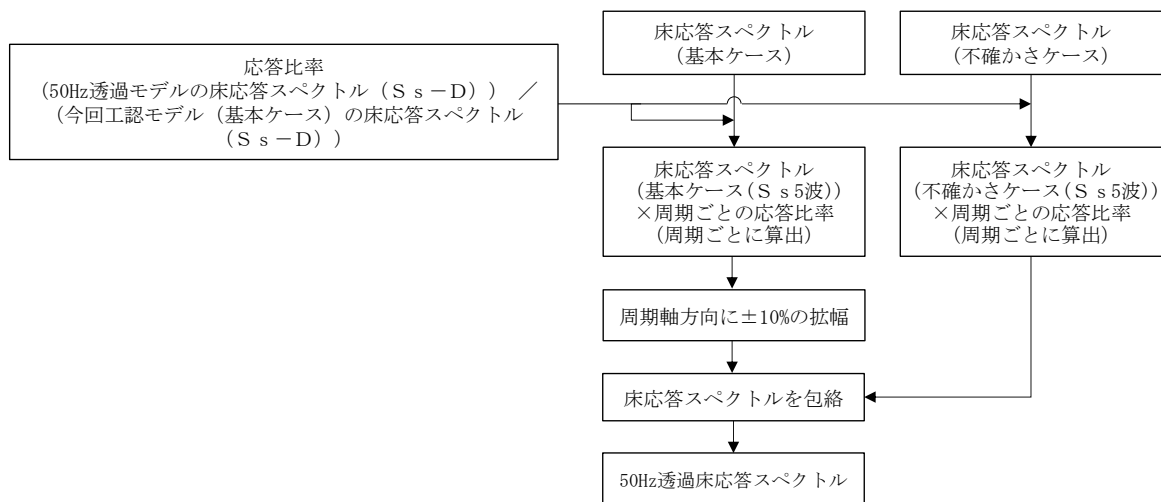


図 4-22 50Hz 透過床応答スペクトルの作成フロー

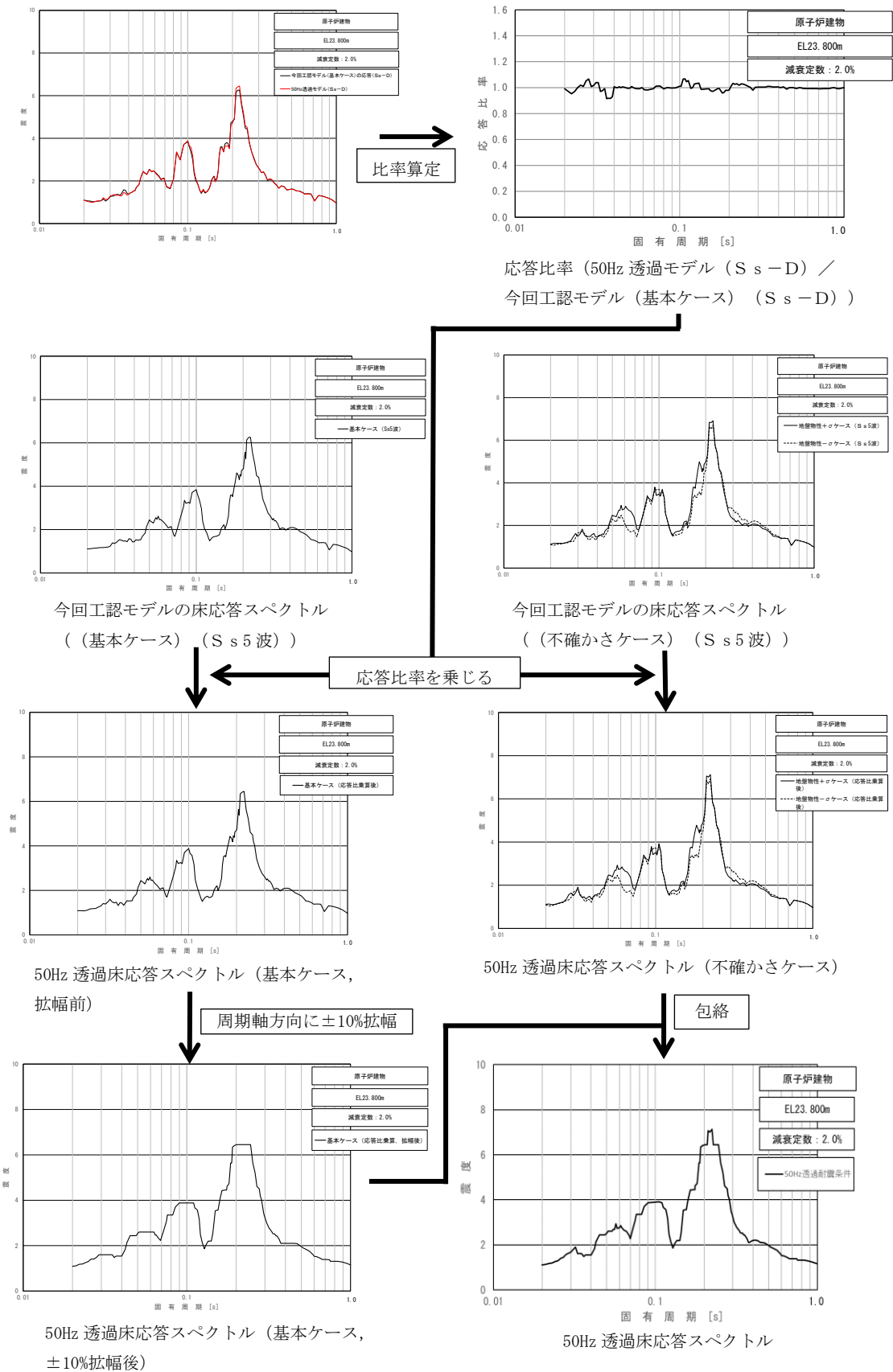


図 4-23 50Hz 透過床応答スペクトルの作成例
(水平方向 (E W), 原子炉建物 EL 23.800m, 基準地震動 S s, 減衰 2.0%)

(c) 条件比率の作成

(b)で作成した 50Hz 透過耐震条件と耐震計算に用いる耐震条件との条件比率について、以下のように作成する。

イ. 震度

$$\text{条件比率} = \frac{50\text{Hz 透過震度}}{\text{設計用震度 I (弁の動的機能維持評価に適用する震度)}}$$

ロ. 床応答スペクトル

$$\text{条件比率} = \frac{50\text{Hz 透過床応答スペクトル}}{\text{弁の動的機能維持評価に適用する床応答スペクトル}}$$

(d) 簡易評価

(a)の検討対象設備に対する裕度（許容値/発生値）を整理の上、(c)で作成した条件比率と設備の裕度との比較（以下「簡易評価」という。）を行い、簡易評価により条件比率が設備の裕度を下回ることを確認する。

条件比率の適用方法を以下に示す。なお、条件比率の適用方法及び簡易評価方法を以下に示す。

イ. 震度

各対象弁を支持する配管系の評価用震度（1.2ZPA）における条件比率を簡易評価に適用する。

ロ. 床応答スペクトル

各対象弁を支持する配管系の評価用床応答スペクトルにおける 0.02～1.0s 間の条件比率の最大値を簡易評価に適用する。床応答スペクトルの条件比率の適用方法を図 4-24 に示す。

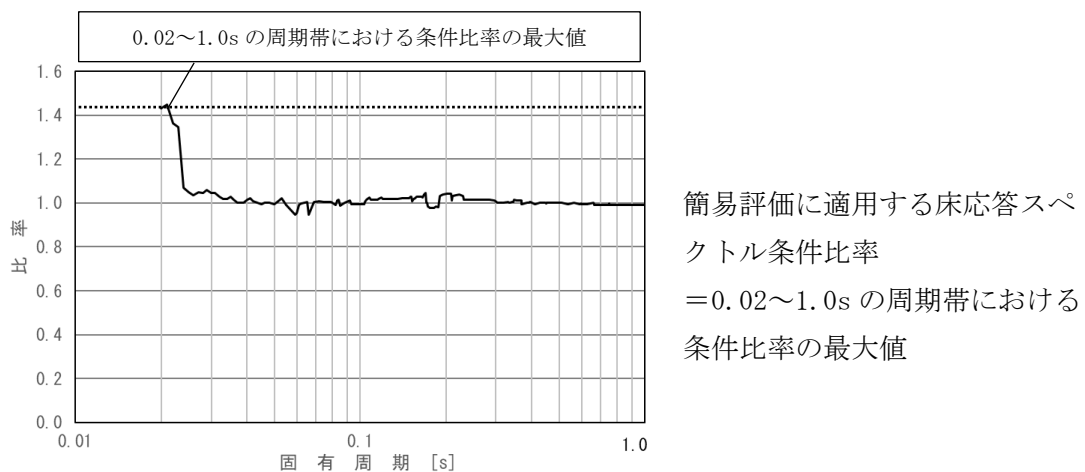


図 4-24 床応答スペクトルの条件比率の適用方法

b. 検討結果

(a) 50Hz 透過耐震条件（E W方向）の作成結果

弁の動的機能維持評価においては、震度（1.2ZPA）及び1～50Hzの周期範囲において計算して作成した床応答スペクトルを適用して評価する。原子炉建物に設置される動的機能維持評価対象弁の評価用の50Hz透過震度を表4-12及び表4-13に、50Hz透過床応答スペクトルを図4-25～図4-27に示す。また、同図には「補足-027-05 弁の動的機能維持評価について」に示される弁の動的機能維持評価に適用する床応答スペクトルを併記して示す。

50Hz透過床応答スペクトルと弁の動的機能維持評価に適用する床応答スペクトルを比較し、各標高・各減衰について、50Hz透過床応答スペクトル／弁の動的機能維持評価に適用する床応答スペクトルにより周期ごとの条件比率を算定する。

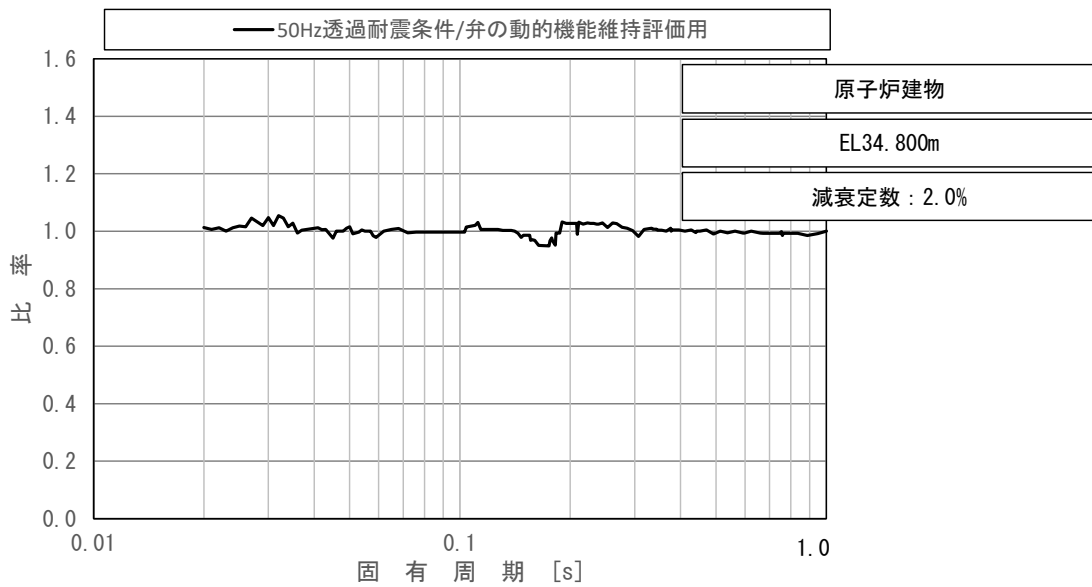
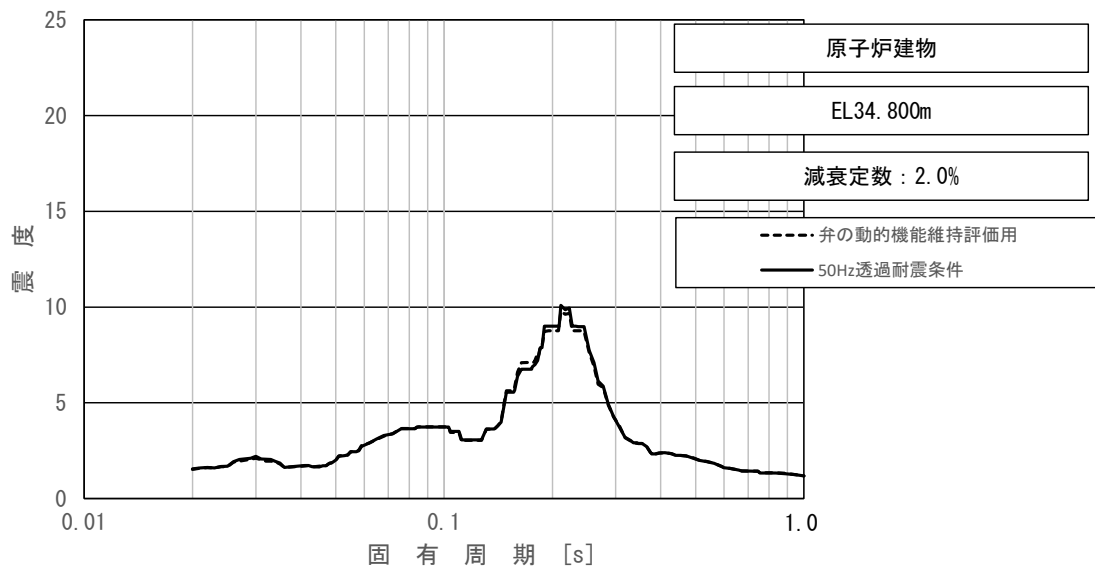
50Hz透過震度及び50Hz透過床応答スペクトルの条件比率の最大値は1.45であった。

表 4-12 震度 (原子炉建物)
 基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (EW)

構造物名	質点番号	標高 EL(m)	震度×1.2		条件比率
	EW方向		① 設計用 I	② 50Hz 透過 耐震条件	②/①
原子炉 建物	6, 12, 20, 24, 29	34.800	1.41	1.41	1.00
	7, 13, 21, 25, 30	30.500	1.75	1.75	1.00
	8, 14, 26, 31	23.800	1.17	1.17	1.00
	1, 9, 15, 27, 32	15.300	1.04	1.05	1.01
	2, 10, 28, 33	8.800	1.06	1.07	1.01

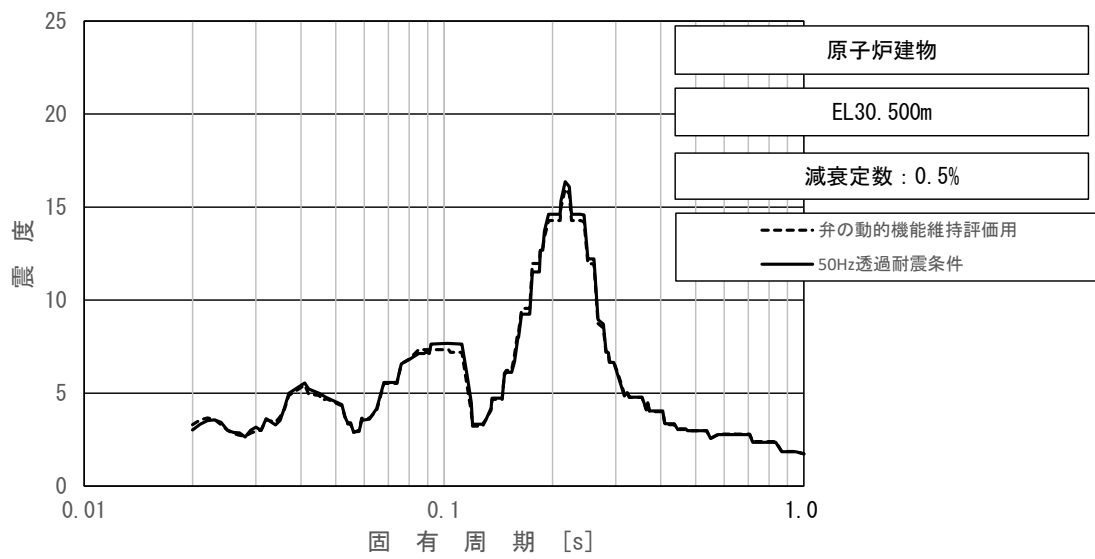
表 4-13 震度 (ガンマ線遮蔽壁及び原子炉压力容器ペデスタル)
 基準地震動 S_s , 1.2ZPA, 水平方向 (EW)

構造物名	質点番号	標高 EL(m)	震度×1.2		条件比率
	EW方向		① 設計用 I	② 50Hz 透過 耐震条件	②/①
ガンマ線遮蔽壁	55	26.981	2.60	2.68	1.04
	56	24.000	2.33	2.40	1.04
	57	21.500	1.98	2.02	1.03
原子炉压力容器 ペデスタル	59	15.944	1.37	1.39	1.02
	60	13.022	1.24	1.26	1.02



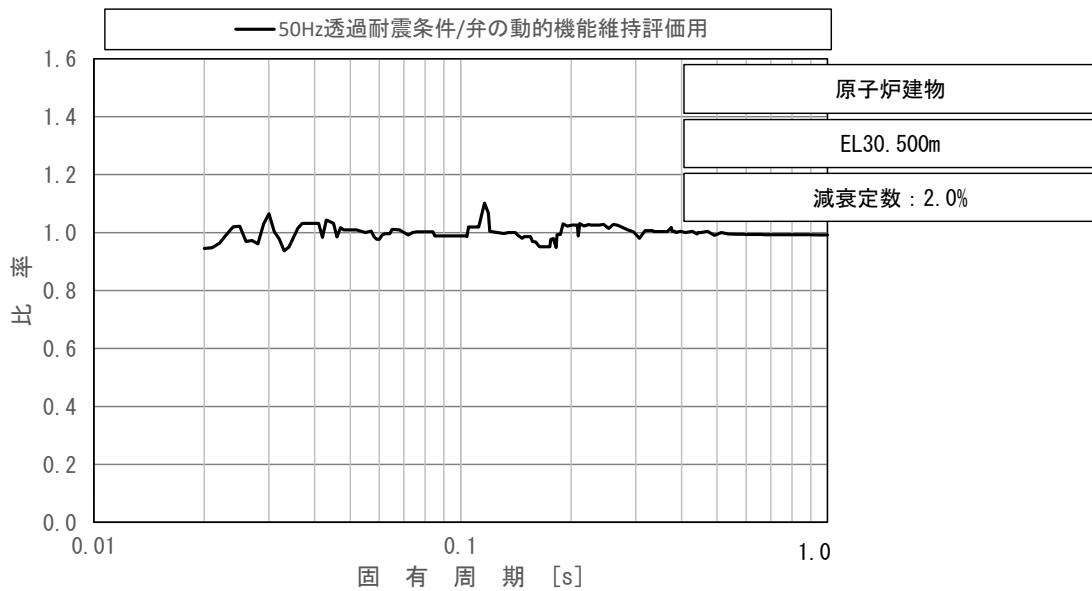
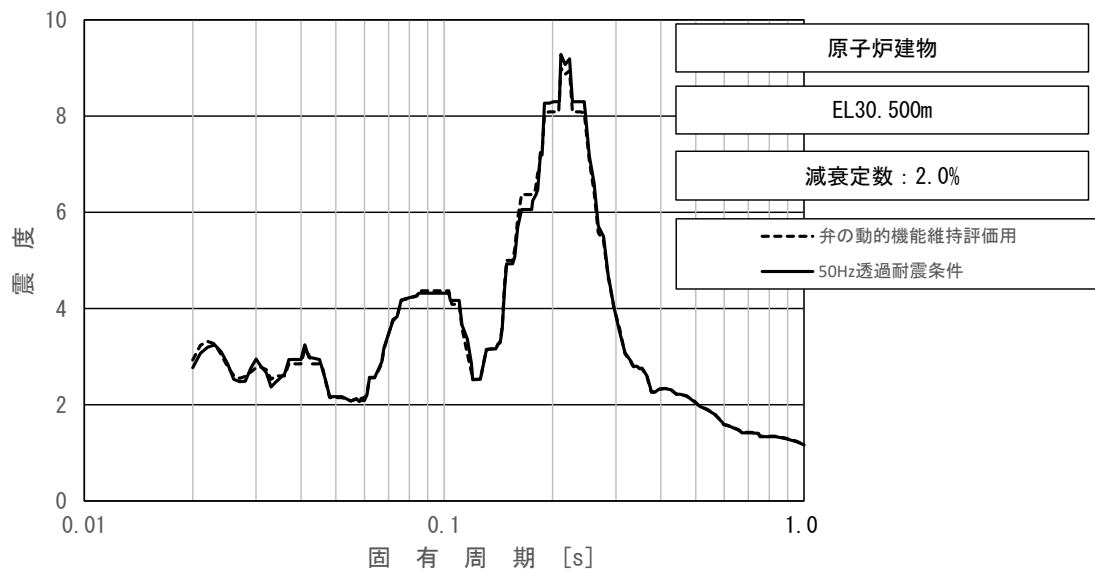
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-25(1/8) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉建物 EL 34.800m)



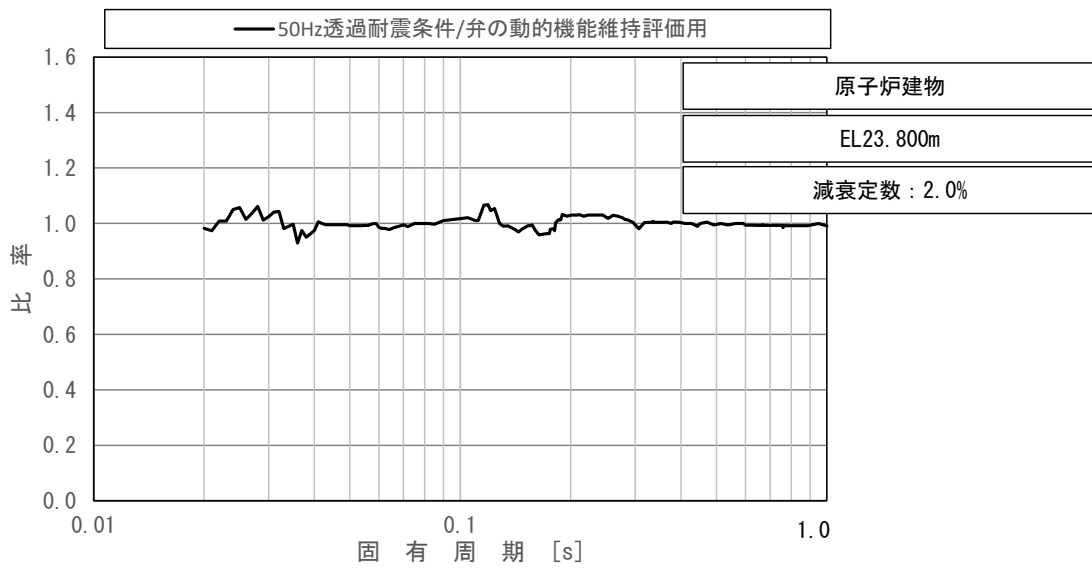
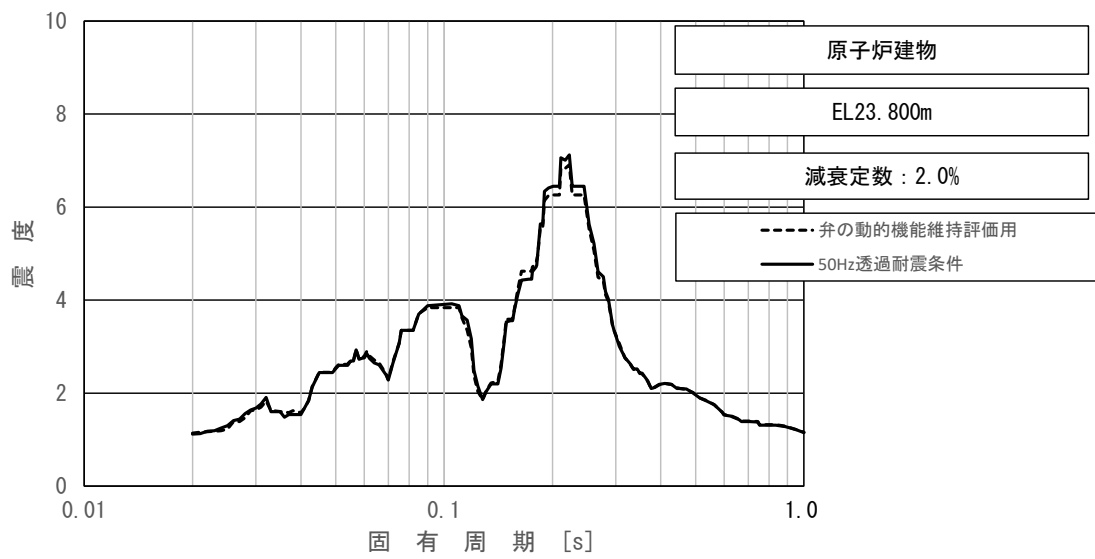
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-25 (2/8) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉建物 EL 30.500m)



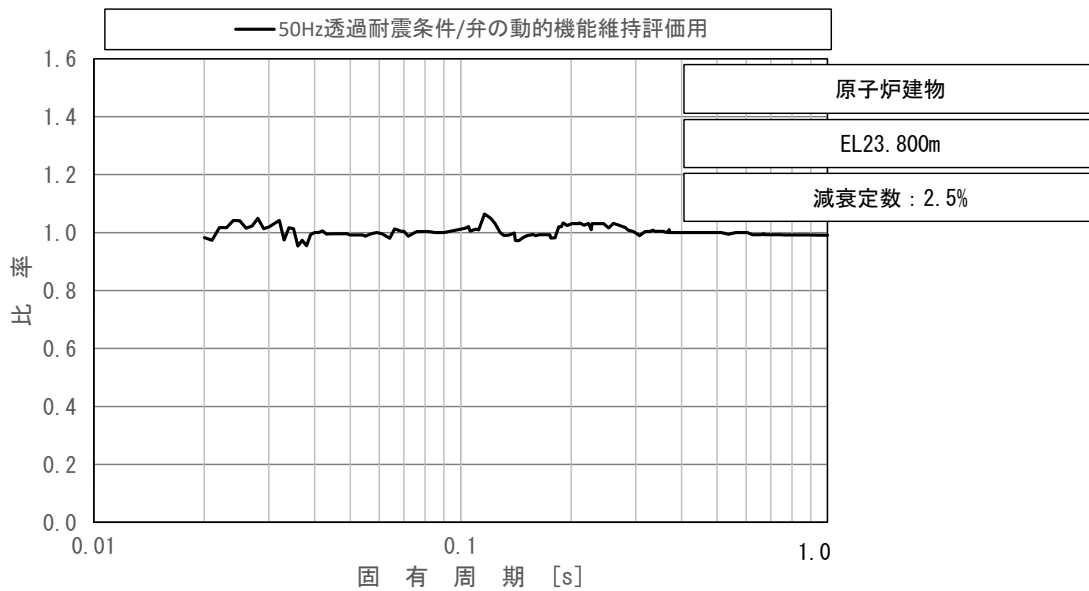
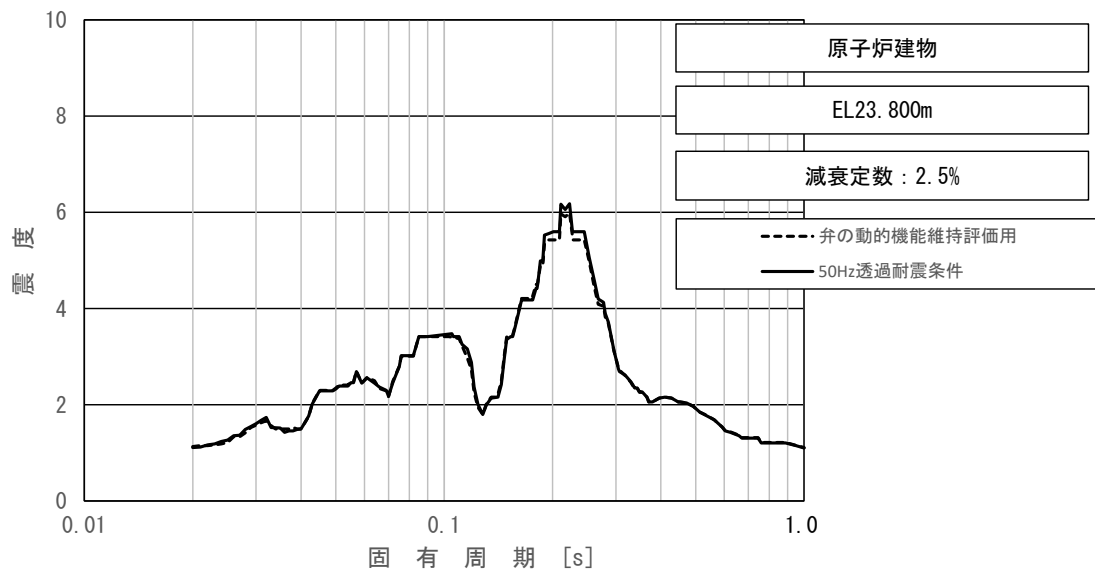
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-25(3/8) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉建物 EL 30.500m)



上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-25 (4/8) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (E W) : 原子炉建物 EL 23.800m)

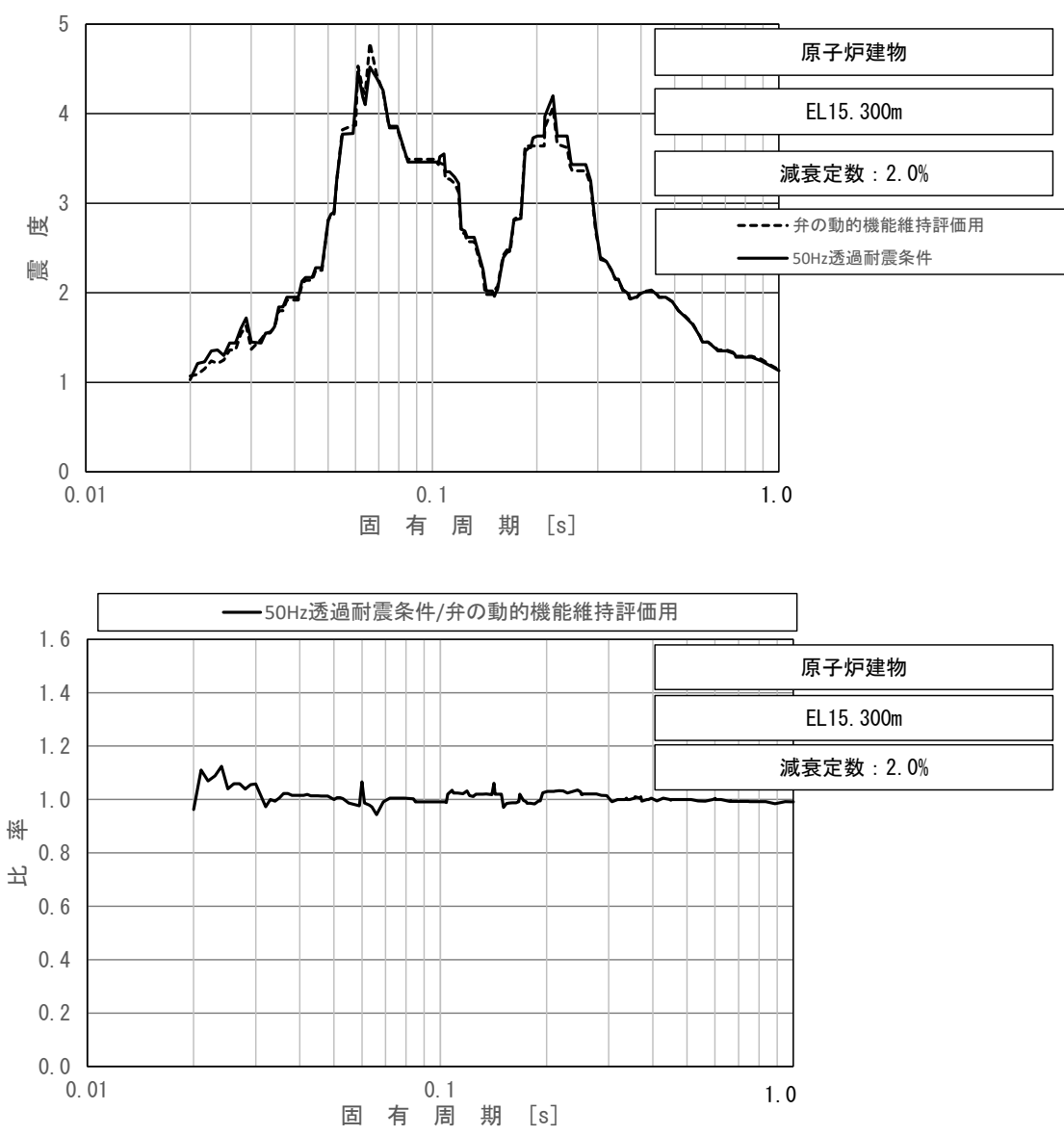


上段：床応答スペクトル

下段：床応答スペクトル条件比率

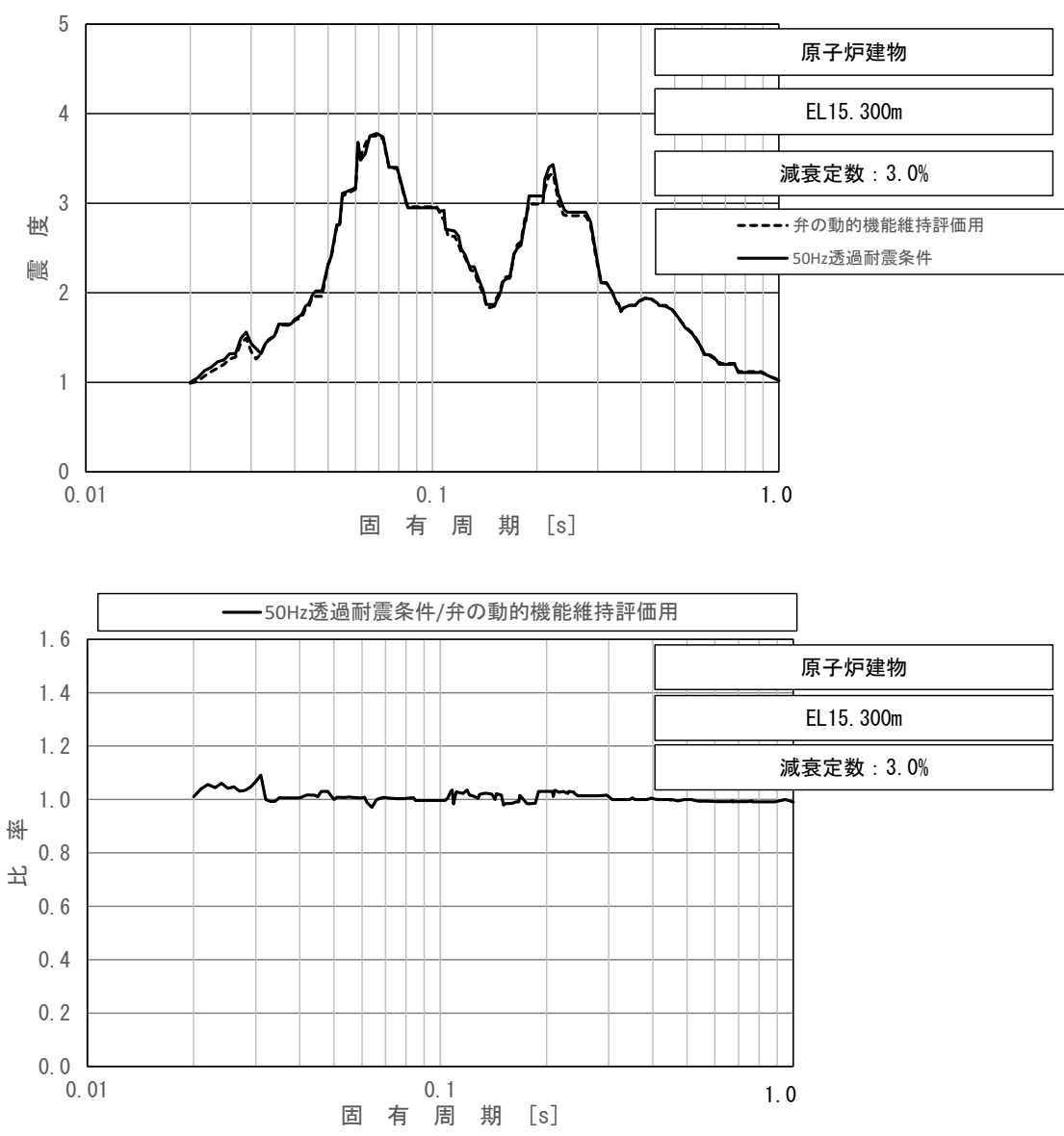
図 4-25(5/8) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
床応答スペクトル及び条件比率

(基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉建物 EL 23.800m)



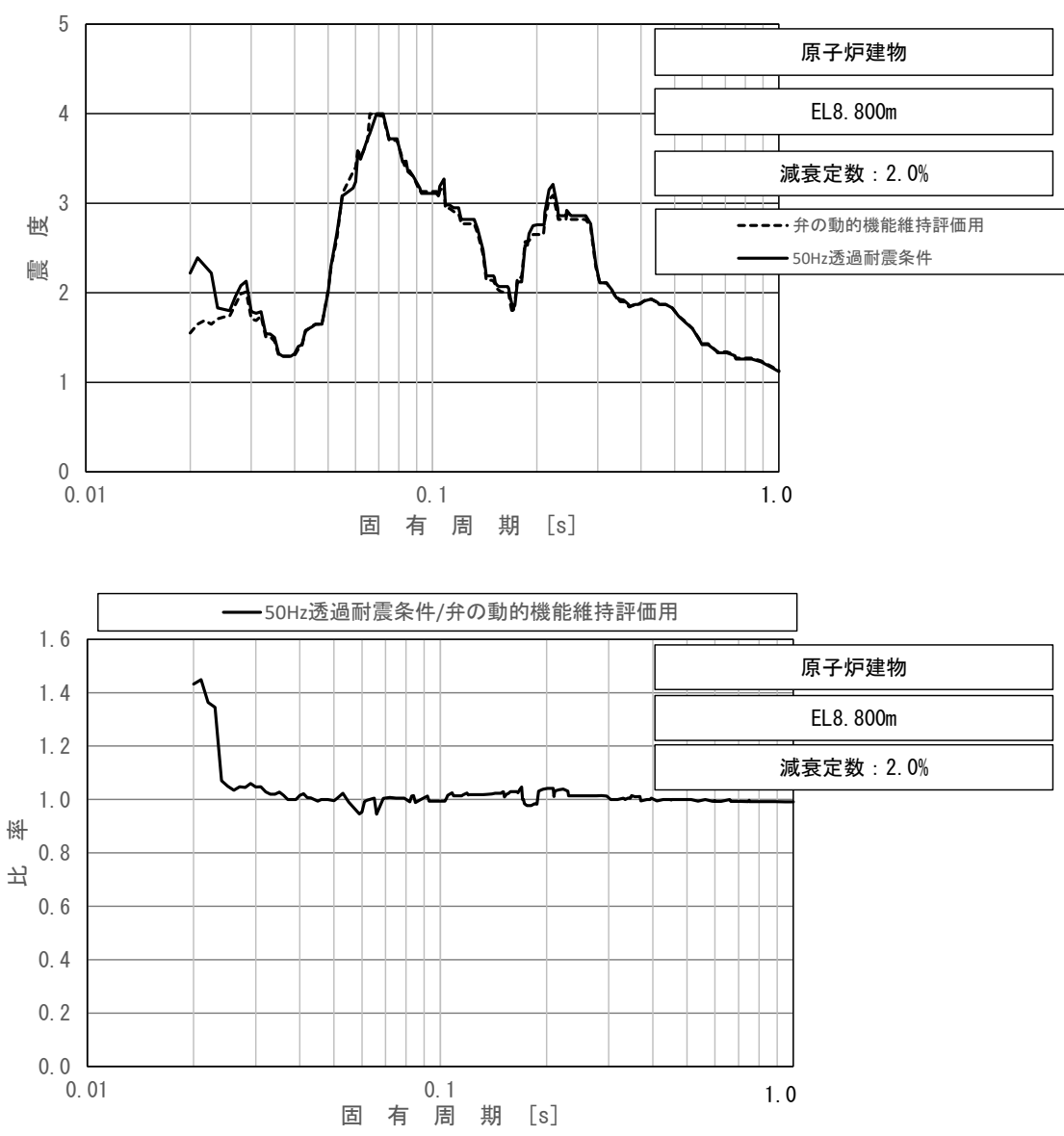
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-25(6/8) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉建物 EL 15.300m)



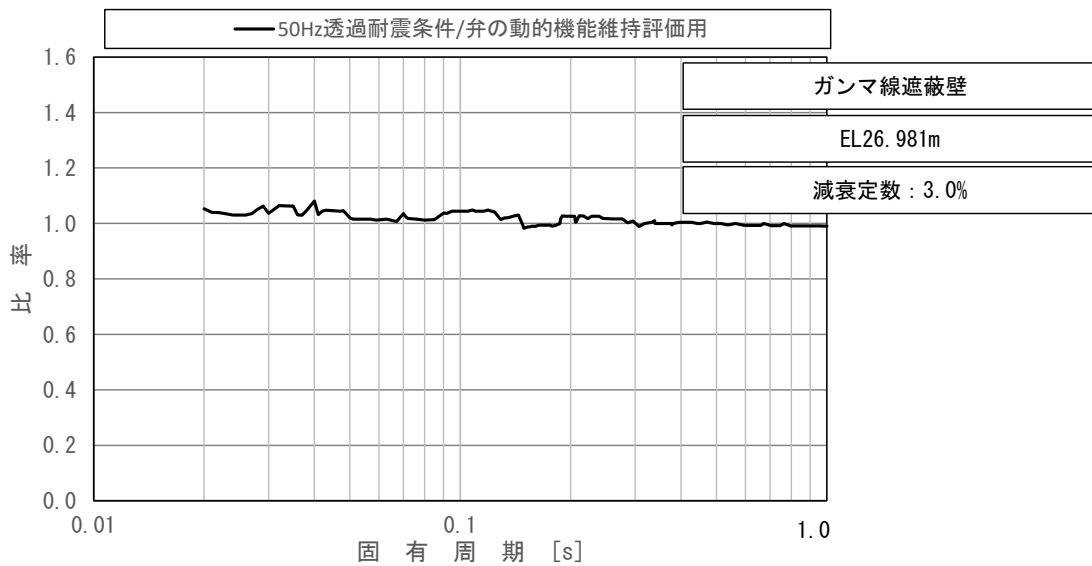
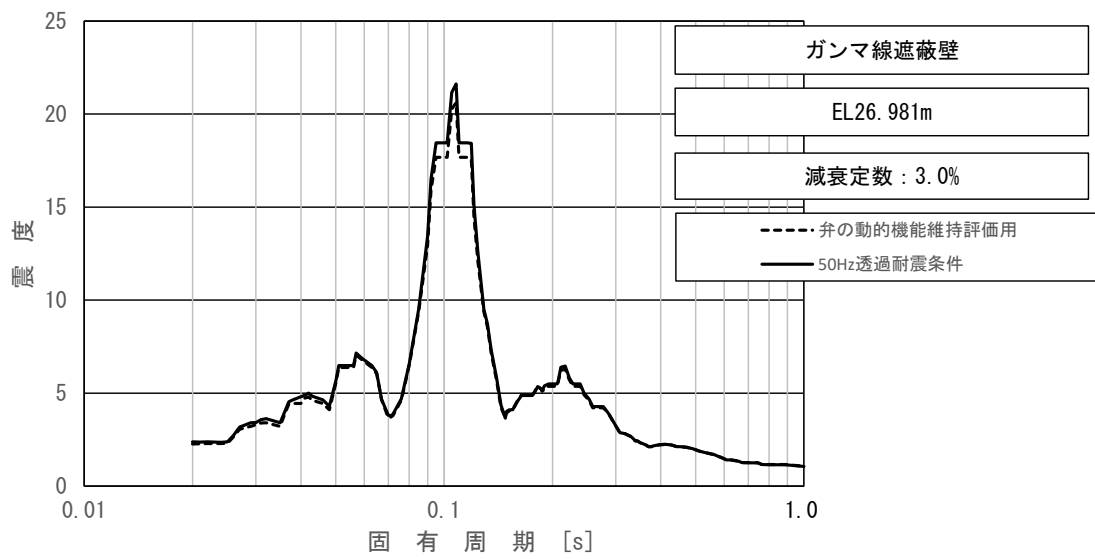
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-25(7/8) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉建物 EL 15.300m)



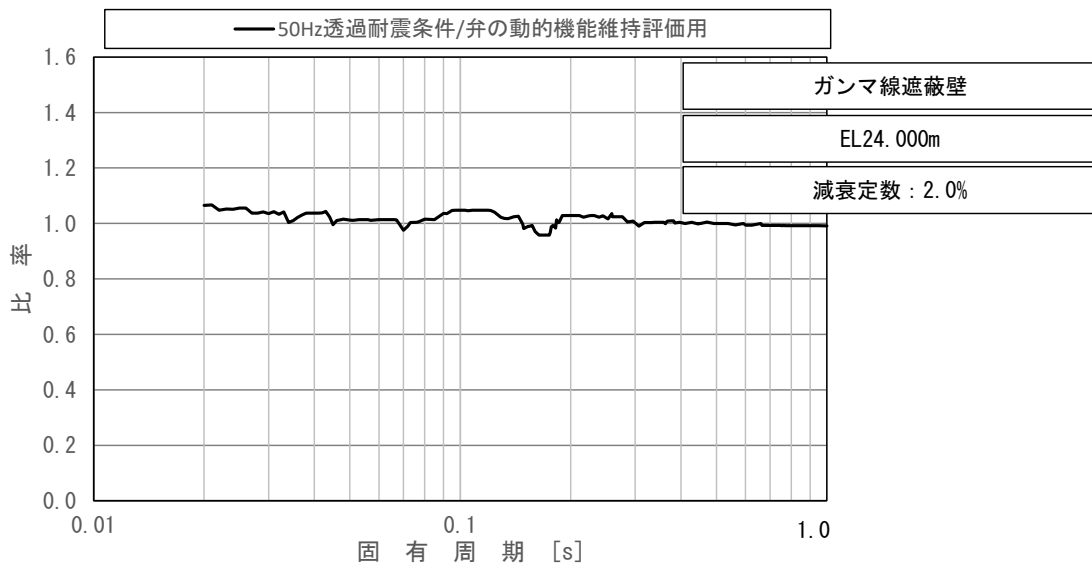
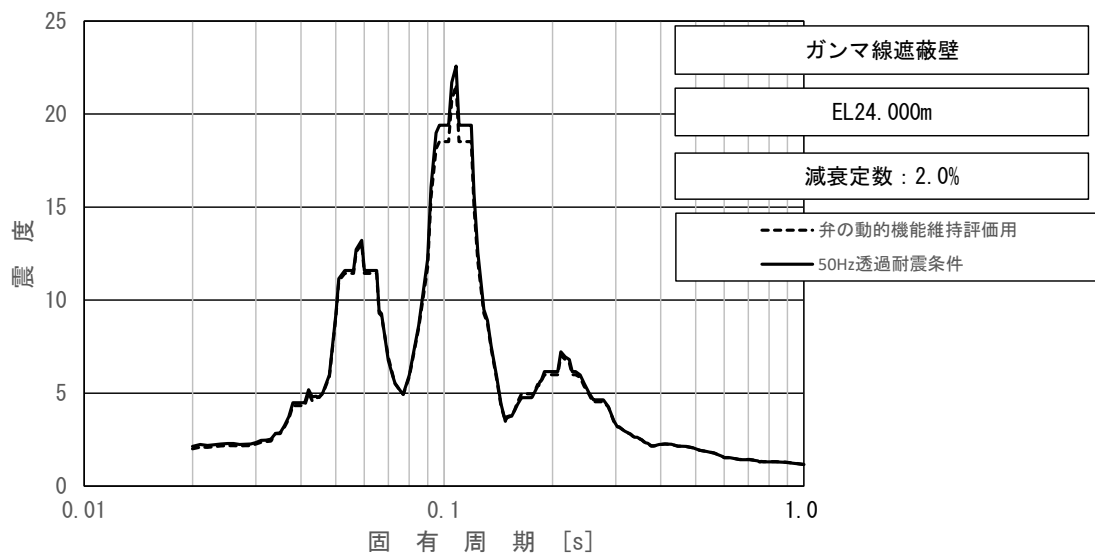
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-25 (8/8) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉建物 EL 8.800m)



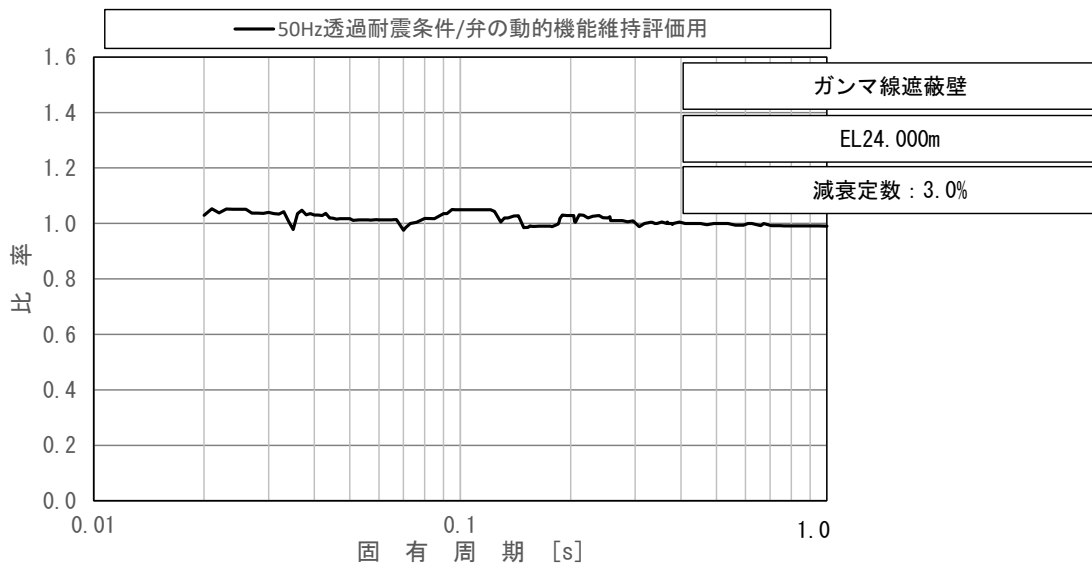
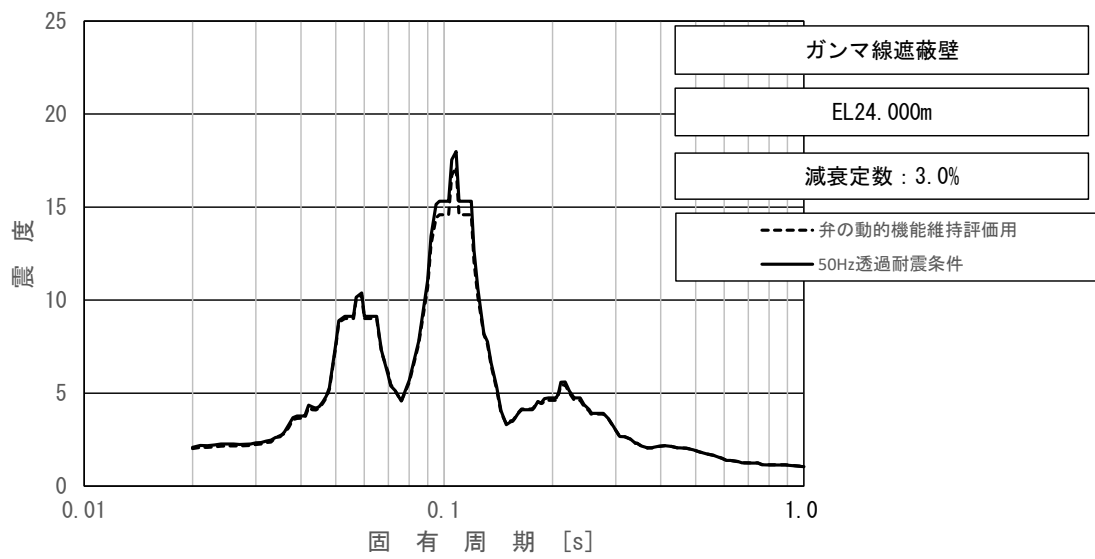
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-26(1/3) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : ガンマ線遮蔽壁 EL 26.981m)



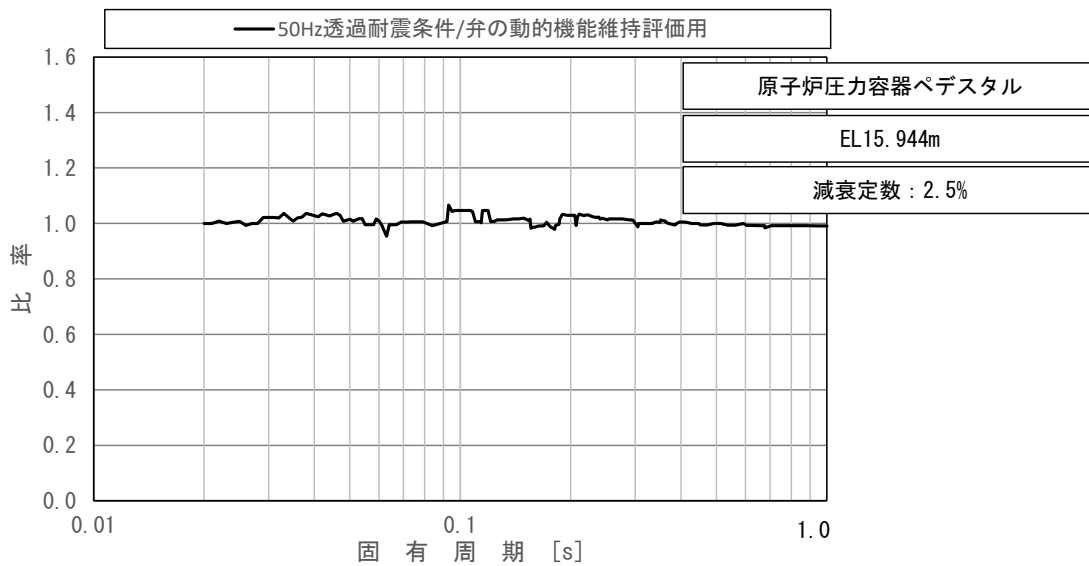
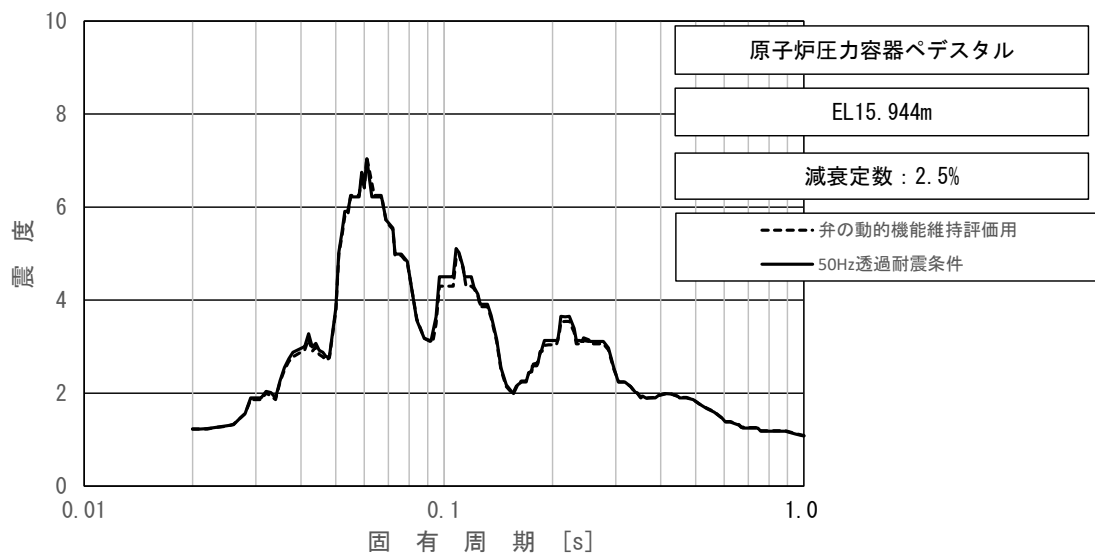
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-26 (2/3) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : ガンマ線遮蔽壁 EL 24.000m)



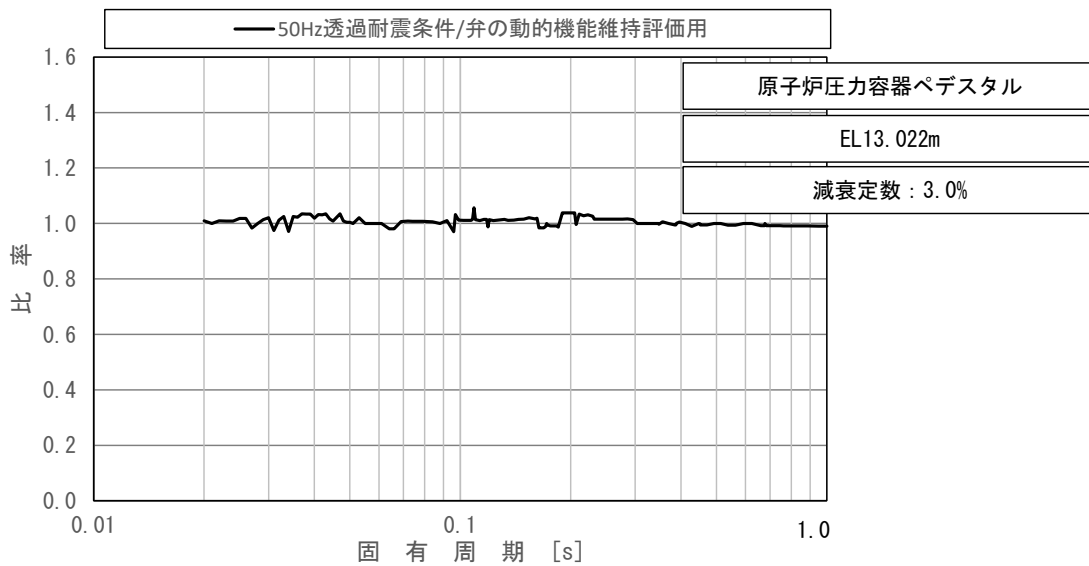
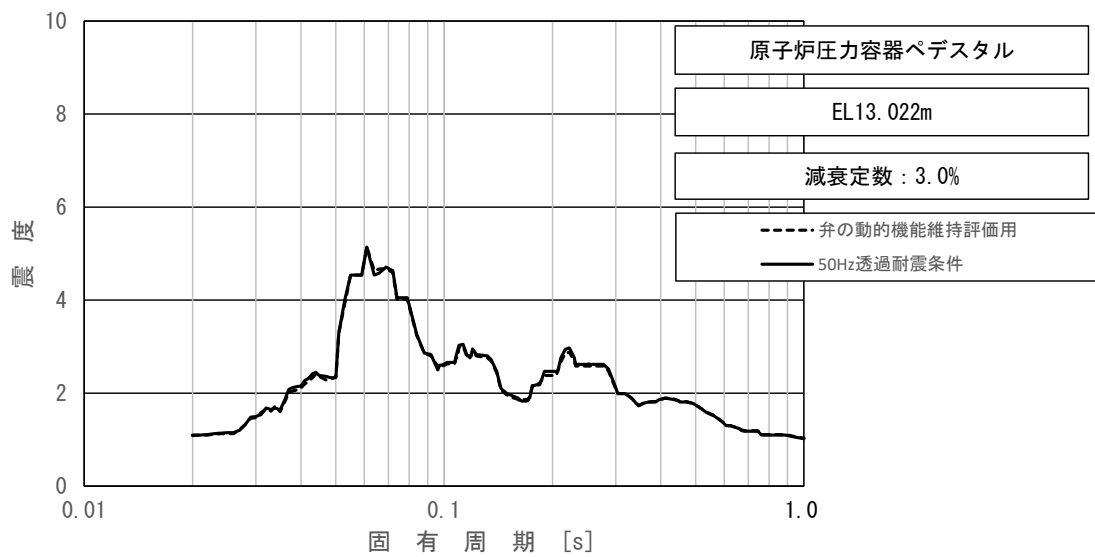
上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-26 (3/3) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : ガンマ線遮蔽壁 EL 24.000m)



上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-27(1/2) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉圧力容器ペDESTAL EL 15.944m)



上段：床応答スペクトル
 下段：床応答スペクトル条件比率

図 4-27(2/2) 弁の動的機能維持評価適用条件と 50Hz 透過耐震条件の
 床応答スペクトル及び条件比率
 (基準地震動 S_s , 水平方向 (EW) : 原子炉压力容器ペDESTAL EL 13.022m)

(b) 影響検討結果

原子炉建物に設置される動的機能維持評価対象弁に対して簡易評価を実施した。条件比率の最大値が 1.45 であるため、動的機能維持評価対象弁のうち、裕度 1.45 以下の弁 (No. 1~10) 及び条件比率が最大比率である 1.45 となる弁 (No. 11, 12) を選定し、簡易評価を実施した。ここで、No. 6~10 の弁の動的機能維持評価においては、動作機能確認済加速度に対する評価と構造強度評価を実施していることから、両方の評価に対して簡易評価を実施した。機能確認済加速度に対する簡易評価の結果を表 4-14 に、構造強度評価結果に対する簡易評価の結果を表 4-15 に示す。簡易評価の結果、No. 1, 3 以外の動的機能維持評価対象弁については条件比率が設備の裕度以下となっていることを確認した。

条件比率が設備の裕度を上回る No. 1, 3 の弁について 50Hz 透過耐震条件を用いて詳細評価を実施した結果を表 4-16 に示す。詳細評価の結果、どちらの弁についても構造強度評価上の最弱部位である操作部本体取付ボルト部における発生応力が許容応力を下回ることを確認した。

以上より、50Hz 透過モデルの応答を考慮しても動的機能維持評価対象弁の耐震性への影響がないことを確認した。

表 4-14 代表弁の動的機能維持評価に対する簡易評価結果 (機能確認済加速度)

No.	系統	弁番号	弁名称	弁型式	方向	機能維持評価用 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	機能確認済 加速度 ($\times 9.8\text{m/s}^2$)	裕度	条件比率	簡易評価 結果
1	RHR	AV222-1A	A-試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	5.92	6.0	1.01	1.06	×
2	RHR	AV222-1C	C-試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	4.90	6.0	1.22	1.06	○
3	RHR	AV222-3A	A-炉水戻り試験可能 逆止弁	空気作動逆止弁	水平	5.82	6.0	1.03	1.07	×
4	LPCS	AV223-1	試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	5.52	6.0	1.08	1.08	○
5	HPCS	AV224-1	試験可能逆止弁	空気作動逆止弁	水平	4.70	6.0	1.27	1.08	○
6	MS	RV202-1B	B-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	合成	14.31	20.0*	1.39	1.07	○
7	MS	RV202-1E	E-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	合成	14.20	20.0*	1.40	1.07	○
8	MS	RV202-1F	F-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	合成	17.54	20.0*	1.14	1.07	○
9	MS	RV202-1H	H-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	合成	15.30	20.0*	1.30	1.07	○
10	MS	RV202-1J	J-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	合成	14.19	20.0*	1.40	1.07	○
11	RHR	MV222-7	RHR 炉水入口外側 隔離弁	電動ゲート弁	水平	2.45	6.0	2.44	1.45	○
12	HPCS	MV224-2	HPCS ポンプトラス 入口弁	電動ゲート弁	水平	1.48	6.0	4.05	1.45	○

注記* : 動作機能確認済加速度を示す。

表 4-15 代表弁の動的機能維持評価に対する簡易評価結果（構造強度評価）

No.	系統	弁番号	弁名称	弁型式	評価部位	応力分類	耐震評価結果 (基準地震動 S s)			条件比率	簡易評価 結果
							発生値 (MPa)	許容値 (MPa)	裕度		
6	MS	RV202-1B	B-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	クーリング スプール	組合せ	202	305	1.50	1.07	○
7	MS	RV202-1E	E-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	クーリング スプール	組合せ	201	305	1.51	1.07	○
8	MS	RV202-1F	F-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	クーリング スプール	組合せ	246	305	1.23	1.07	○
9	MS	RV202-1H	H-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	クーリング スプール	組合せ	211	305	1.44	1.07	○
10	MS	RV202-1J	J-主蒸気逃がし 安全弁	安全弁	クーリング スプール	組合せ	202	305	1.50	1.07	○

表 4-16 50Hz 透過耐震条件を用いた詳細評価結果

No.	系統	弁番号	弁名称	評価部位	応力分類	詳細評価条件			50Hz透過耐震条件を 用いた評価		詳細評価 結果
						建物	EL(m)	減衰定数(%)	発生値(MPa)	許容値(MPa)	
1	RHR	AV222-1A	A-試験可能逆止弁	操作部本体取付 ボルト部	組合せ	ガンマ線遮蔽壁	24.000	3.0	31	886	○
3	RHR	AV222-3A	A-炉水戻り試験可能 逆止弁	操作部本体取付 ボルト部	組合せ	原子炉圧力容器 ペDESTAL	15.944	2.5	27	886	○

4.5 観測記録を用いたシミュレーション解析による入力地震動評価に関する検証

(1) 検討概要

本検討は、2000年10月6日鳥取県西部地震（以下「2000年鳥取県西部地震」という。）の観測記録を用いた水平方向及び鉛直方向の入力地震動に関する地盤のシミュレーション解析により、入力地震動評価に用いている地盤モデルの妥当性を示すものである。

(2) 検討条件

本検討では、建物の基礎直下において地震観測を行っている原子炉建物を対象に、2000年鳥取県西部地震時に観測されたEL-135mにおける鉛直アレイ観測記録を用いて評価した建物基礎直下での入力地震動と原子炉建物の基礎直下で観測された地震動の加速度応答スペクトルを比較し、今回工認で入力地震動評価に用いている地盤モデルの妥当性を確認する。

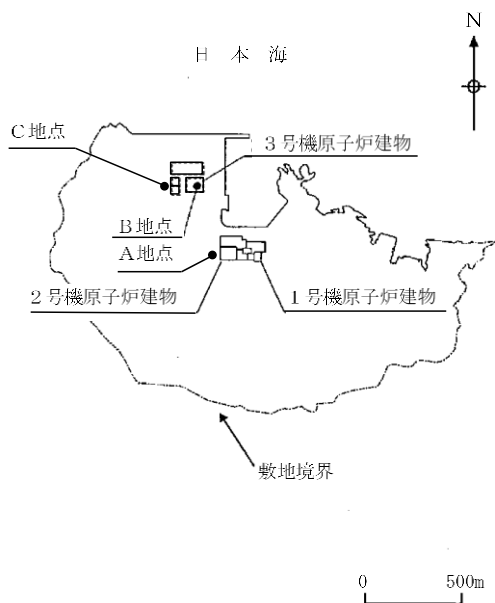
鉛直アレイの地震計配置図を図4-28に、本検討の検討概要を表4-17に、地盤物性値を表4-18に示す。シミュレーション解析に用いている観測記録は、原子炉建物近傍のA地点の記録とし、浅部地盤の影響の少ないEL-135mの記録を用いる。

地震動の引き下げについては、解放地盤モデルを用いて、鉛直アレイ観測記録をEL-135mに入力し、一次元波動論によりEL-215mにおける入射波を算定する。

地震動の引き上げについては、今回工認の評価手法と同様に、地盤モデル（水平方向は2次元FEMモデル、鉛直方向は1次元モデル）の底部EL-215mに地震動の引き下げにより算定した入射波を入力することで、原子炉建物の基礎直下での入力地震動を算定する。

なお、地震動の引き下げ及び引き上げに用いる解放地盤モデル、2次元FEMモデル及び1次元モデルは、今回工認の入力地震動評価に用いるモデルと同じであるが、表層地盤①-1の地盤剛性及び減衰定数については、2000年鳥取県西部地震による地震動レベルを踏まえて、ひずみ依存性を考慮せず、表4-18に示すとおり岩盤①-2と同じ値*とする。

注記*：今回工認モデルの表層地盤①-1の初期剛性については、 $G_0 = 1.707 \times 10^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ に設定しており、その直下の岩盤①-2（ $G = 1.31 \times 10^2 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ ）と概ね同程度であることから、本検討では、表層地盤①-1の地盤剛性及び減衰定数を直下の岩盤①-2と同じ値とする。



地点名	A地点	B地点	C地点
地震計 設置位置 (数値は標高 を表す。)	※1 +15m G. L. +15m	G. L. +46m	
	+10m	+8m	G. L. +8.5m
	※2 -6m (-5m)	-13m	-10m
	-135m	-100m	-135m
		-215m	-215m
		-221m	
観測期間	1988年9月 現在	1998年6月 2004年3月	2011年2月 現在

○：地震計位置
 ※1：2007年6月から観測開始
 ※2：2013年10月から設置深度を-5mから-6mに変更

図4-28 鉛直アレイの地震計配置図

表 4-17 検討概要

観測記録		2000年鳥取県西部地震 (EL-135mにおける鉛直アレイ観測記録)
地盤条件	引下げ	解放地盤モデル
	引上げ	水平方向：2次元FEMモデル 鉛直方向：1次元モデル
概念図	水平方向	<p>[2次元FEMモデル]</p>
	鉛直方向	<p>[1次元モデル]</p>

表 4-18 地盤物性値

層番号*	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	250	800	20.7	0.45	1.31	3
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

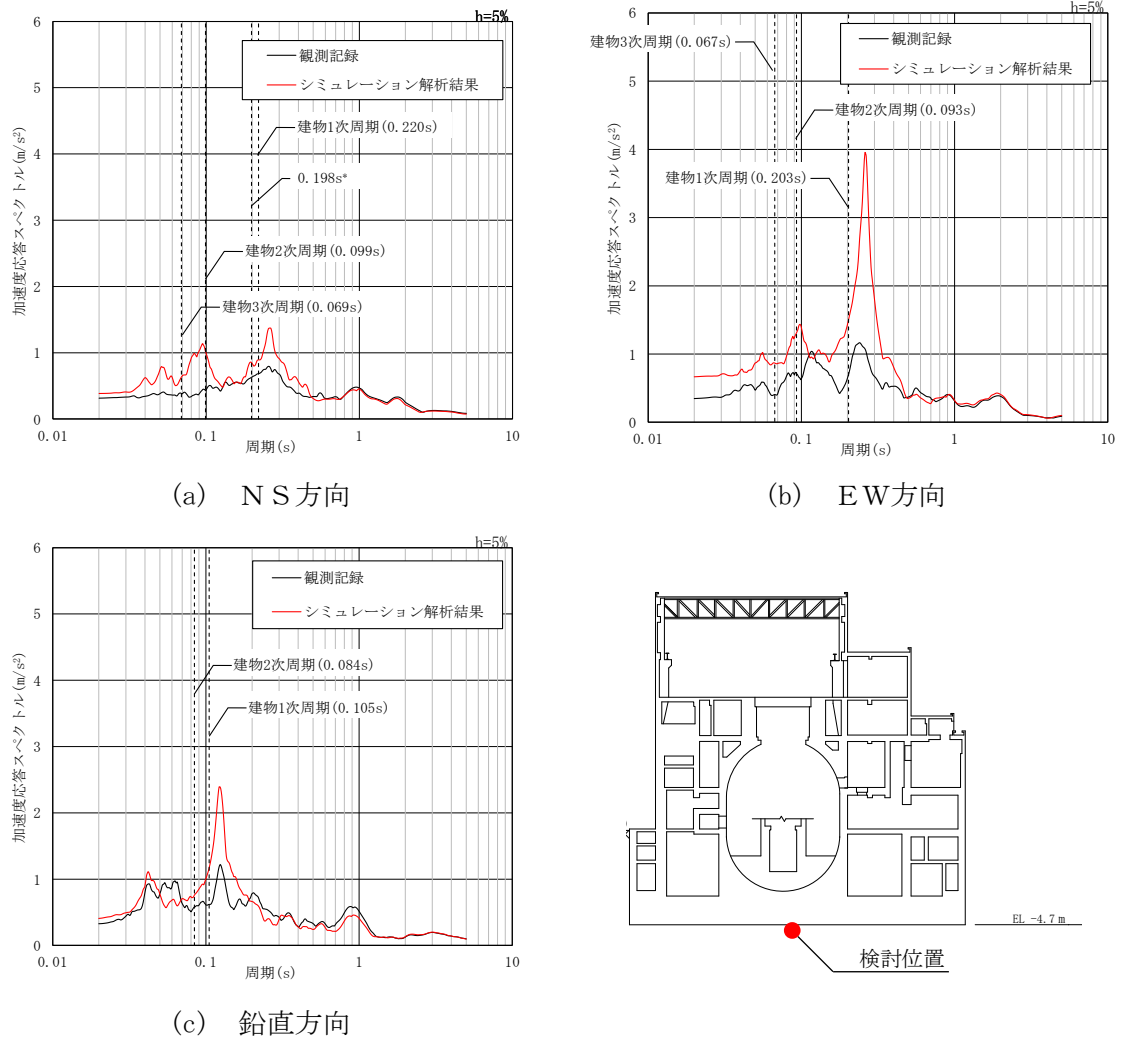
注記*：層番号は解析モデル図(表 4-17)を参照

(3) 検討結果

シミュレーション解析による建物基礎直下の入力地震動と建物基礎直下における観測記録の加速度応答スペクトルの比較及び建物の主要な固有周期*を図 4-29 に示す。

シミュレーション解析結果は、観測記録の1次ピークを捉えており、全周期帯において概ね保守的な評価となっていることから、今回工認に用いる地盤モデルは妥当である。

注記*：建物-地盤連成の固有周期のうち、刺激係数が概ね 1.0 を超えるものとして、水平方向は1次～3次固有周期、鉛直方向は1次及び2次固有周期を示す。



	NS方向				EW方向			鉛直方向	
	1次	2次	3次	0.198s*	1次	2次	3次	1次	2次
①観測記録 (m/s ²)	0.68	0.43	0.39	0.63	0.70	0.71	0.41	0.62	0.58
②解析結果 (m/s ²)	0.89	1.02	0.63	0.85	1.50	1.31	0.87	1.17	0.76
応答比率 (②/①)	1.31	2.38	1.64	1.35	2.15	1.84	2.13	1.89	1.31

注記*：「4.1 表層地盤の物性値に関する検討」の「(4) 保守性に関する詳細検討」にて着目した周期

図 4-29 加速度応答スペクトルの比較（原子炉建物の基礎直下，2000年鳥取県西部地震）

4.6 隣接構造物及び地盤改良による影響に関する検討

(1) 検討概要

今回工認において、2次元FEMモデルにより入力地震動を評価している場合、対象建物の周辺にある建物・構築物等地下部分は、表層地盤と同様に、埋戻土でモデル化することを基本としている。一方、実際の建物・構築物等地下部分は埋戻土よりも剛性が高く、また、一部の埋戻土は地盤改良を施しているため、埋戻土よりも剛性の高い地盤となっている。

本検討は、建物規模や施設の重要性を踏まえて原子炉建物を代表して、対象建物・構築物の周辺にある建物・構築物等地下部分及び改良地盤部分(以下「周辺地盤」という。)をより詳細にモデル化したモデル(以下「等価剛性モデル」という。)と今回工認モデルによる入力地震動の加速度応答スペクトルを比較し、周辺地盤を埋戻土でモデル化する妥当性を確認する。

なお、本検討は、モデル化の違いによる入力地震動への影響について検討することから、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動S_s-Dに対して実施することとする。

(2) 検討条件

今回工認は、NS方向においては、タービン建物、取水槽及び改良地盤を、EW方向においては、廃棄物処理建物、1号機廃棄物処理建物及び1号機原子炉建物を表層地盤と同様に埋戻土でモデル化している。本検討で用いる等価剛性モデルは、埋戻土でモデル化している周辺地盤を建物・構築物等及び改良地盤と等価な剛性でモデル化することとする。

a. 等価物性値の設定

(a) 建物・構築物等のモデル化

建物・構築物及び取水槽の等価剛性の算定方針は、「4.2 一次元波動論による入力地震動評価の保守性に関する検討」に示す「b. 隣接する建物・構築物等の等価剛性及び等価単位体積重量の算定」と同様とする。

(b) 改良地盤のモデル化

改良地盤の物性値を以下に示す。物性値の設定については、「補足-023-01 地盤の支持性能について」に記載の改良地盤の解析用物性値を用いることとする。

イ. 初期せん断弾性係数 G_0

$$G_0 = G_{ma} \cdot (\sigma_m' / \sigma_{ma}')^{0.5}$$

ここで、 G_{ma} : 基準せん断弾性係数 (=1135000kN/m²)

σ_{ma}' : 基準平均有効拘束圧 (=98kN/m²)

σ_m' : 平均有効拘束圧 (= $(1 + K_0) \cdot \sigma_v' / 2$, $K_0 = 0.5$) (kN/m²)

σ_v' : 上載荷重 (kN/m²)

ロ. 剛性低下率 G/G_0

剛性低下率 G/G_0 のひずみ依存特性は、以下の式により算定する。

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \gamma / 0.00110}$$

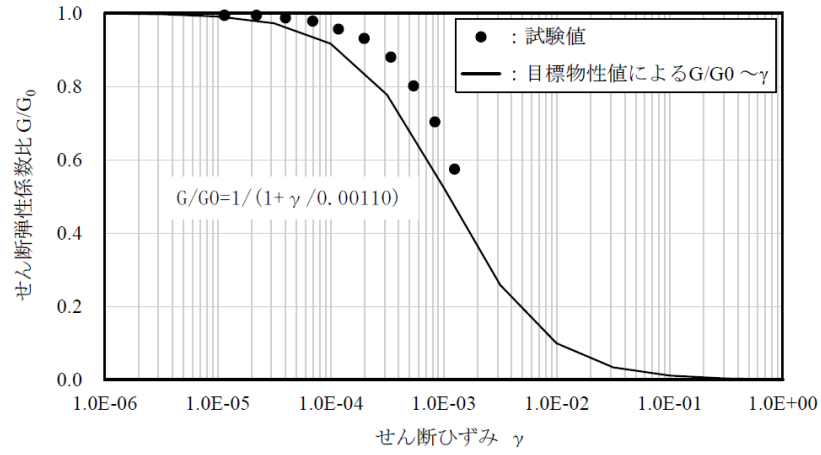
ここで、 γ : せん断ひずみ

ハ. 減衰定数 h

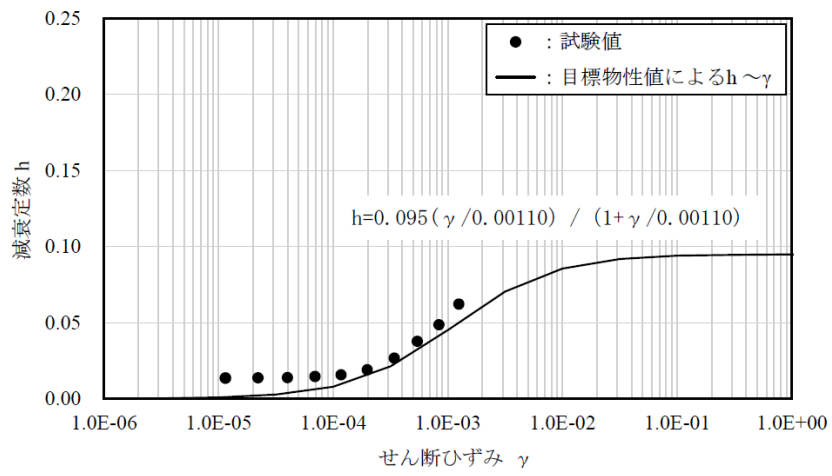
減衰定数 h のひずみ依存特性は、以下の式により算定する。

$$h = \frac{0.095 \gamma}{\gamma + 0.00110}$$

ここで、 γ : せん断ひずみ



(a) $G/G_0 - \gamma$ 曲線

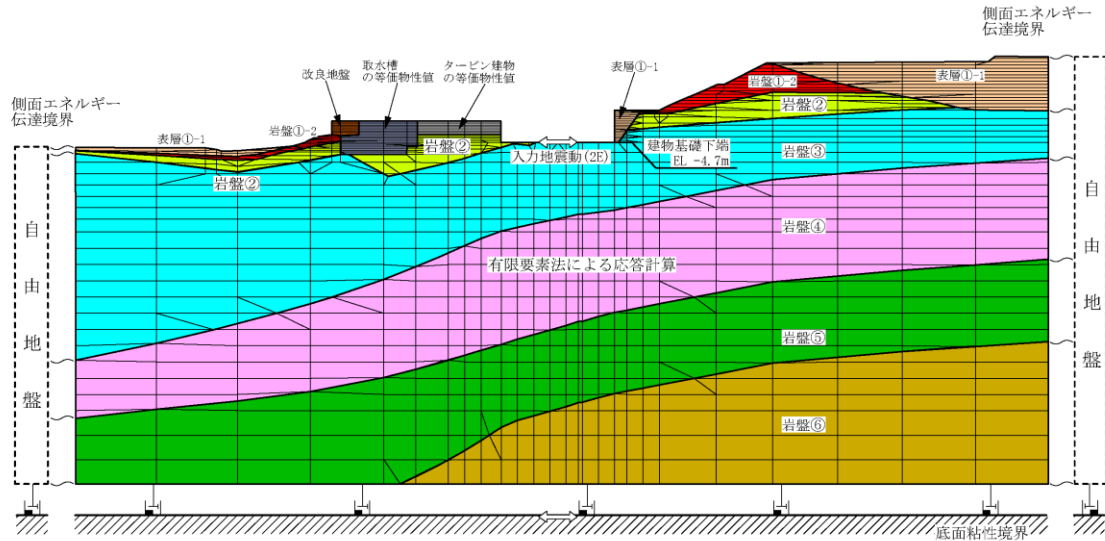


(b) $h - \gamma$ 曲線

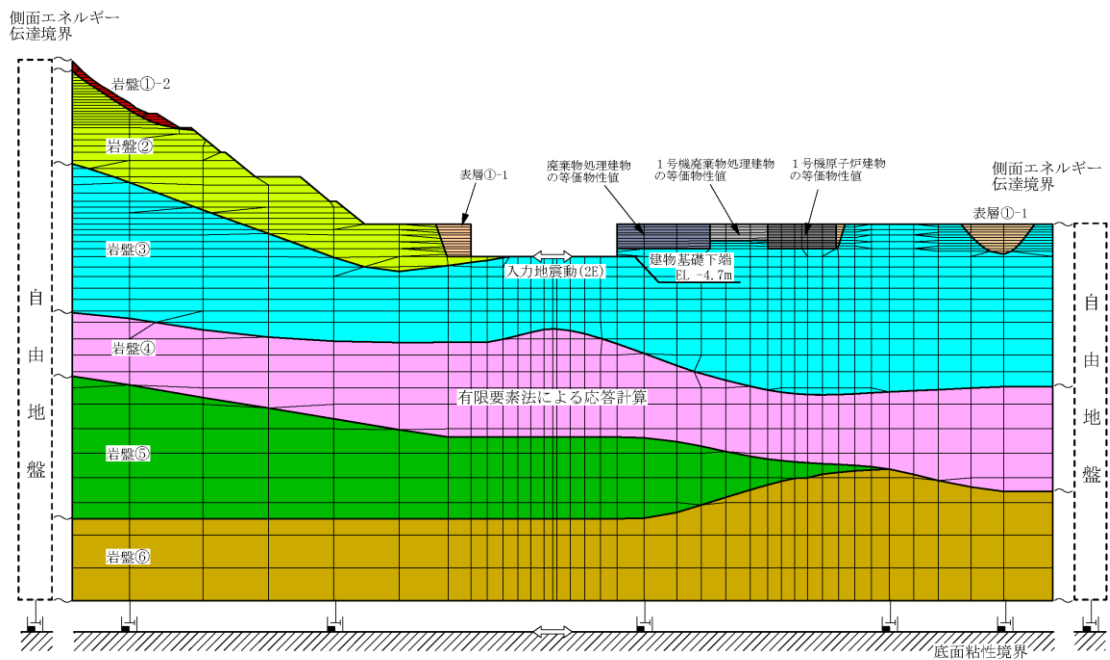
図 4-30 $G/G_0 - \gamma$ 関係及び $h - \gamma$ 関係 (改良地盤)

b. 解析モデル

本検討に用いる 2 次元 F E Mモデルを図 4-31 に、地盤物性値を表 4-19 に、建物・構築物等の物性値を表 4-20 に示す。



(a) N S方向



(b) E W方向

図 4-31 2次元 F E Mモデル (原子炉建物)

表 4-19 2次元FEMモデルの地盤物性値

層番号	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
改良地盤	* 1	* 1	20.7	0.33	* 1	* 1
表層①-1	127* ²	422* ²	20.7	0.45	0.341* ²	8* ²
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記* 1 : ひずみ依存性を考慮した物性値

注記* 2 : 地震動レベル (S_s) 及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

表 4-20 建物・構築物等の物性値

建物・構築物等	方向	単位体積重量 eq γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断弾性係数 eq G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
タービン建物	N S	16.8	0.2	26.8	5
取水槽	N S	4.10	0.2	20.0	5
廃棄物処理建物	E W	12.9	0.2	28.6	5
1号機廃棄物処理建物	E W	12.0	0.2	21.4	5
1号機原子炉建物	E W	12.3	0.2	31.7	5

(3) 検討結果

図 4-32 に入力地震動の加速度応答スペクトルの比較及び主要施設の固有周期を示す。主要施設の周期帯（図中のグレーハッチング以外の部分）において、等価剛性モデルの応答は今回工認モデルの応答と比較して、概ね同等以下であることから、周辺地盤等を埋戻土でモデル化することの妥当性を確認した。

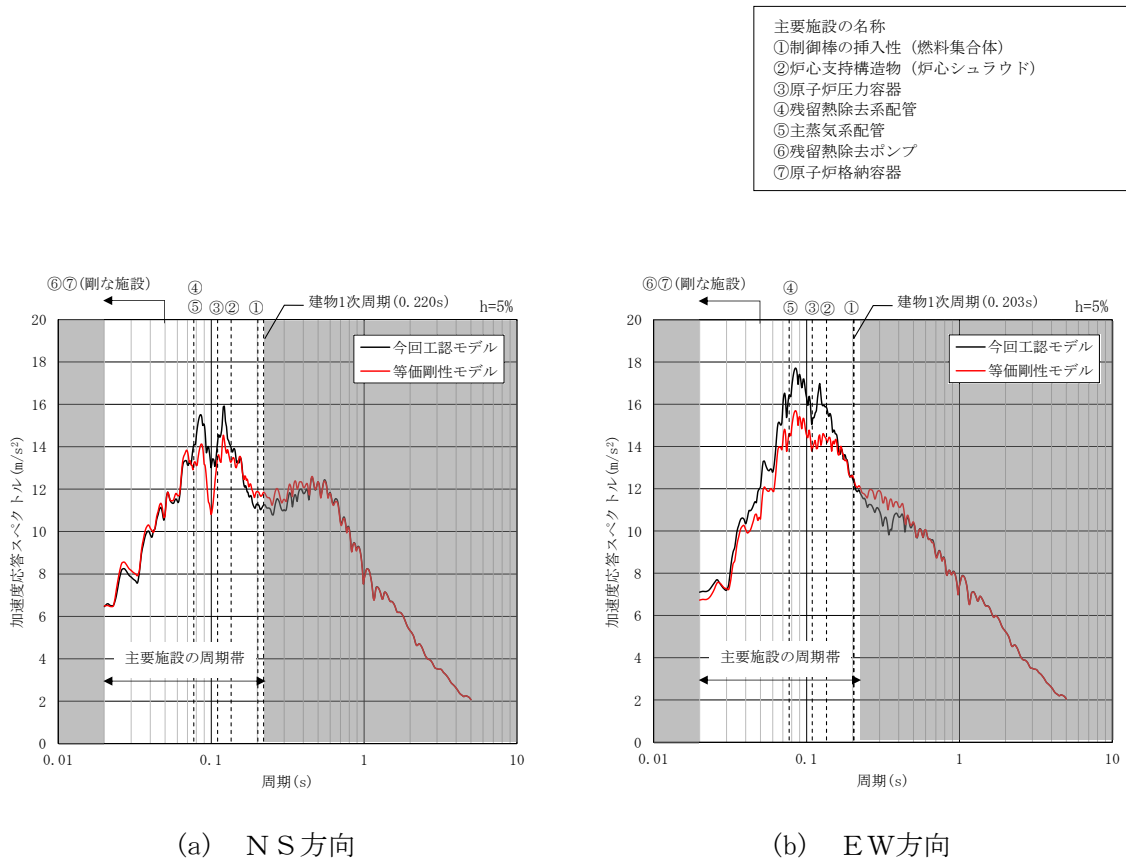


図 4-32 入力地震動の加速度応答スペクトルの比較（原子炉建物，基準地震動S s-D）

4.7 安全対策工事に伴う掘削による影響に関する検討

(1) 検討概要

本検討は、VI-2-別添 7-1「安全対策工事に伴う掘削前の状態における耐震計算の方針」に基づき、原子炉建物等の入力地震動の評価に対する安全対策工事に伴う掘削による影響について整理するものである。

なお、原子炉建物の今回工認の入力地震動評価に用いる2次元FEMモデルは、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果の反映等により、最新のデータを基に、より詳細にモデル化したものであり、評価手法等の詳細は「3. 評価手法及び地盤の物性値」に示す。

(2) 検討条件

a. 掘削後の状態

安全対策工事に伴う掘削範囲を図4-33に示す。

(3) 検討結果

安全対策工事に伴う掘削による影響については、掘削範囲は解析モデルにおける表層地盤の局所的な範囲であり、解析モデル全体に対して限定的となっている。

また、建物・構築物（原子炉建物等）の耐震評価では、建物側方地盤による拘束効果を考慮していないこと、及び「4.1 表層地盤の物性値に関する検討」の原子炉建物の入力地震動の評価において表層地盤の地盤物性値の変動が入力地震動に与える影響は小さいことを確認していることから、入力地震動評価に用いる2次元FEMモデルには掘削による影響を考慮しないこととする。

さらに、「4.5 観測記録を用いたシミュレーション解析による入力地震動評価に関する検証」において、入力地震動評価に用いている2次元FEMモデルを用いた観測記録によるシミュレーション解析により今回工認で用いている地盤モデルに十分な保守性を有していることを確認していることから、建物側方地盤の一部を掘削した場合の耐震評価は不要と整理する。

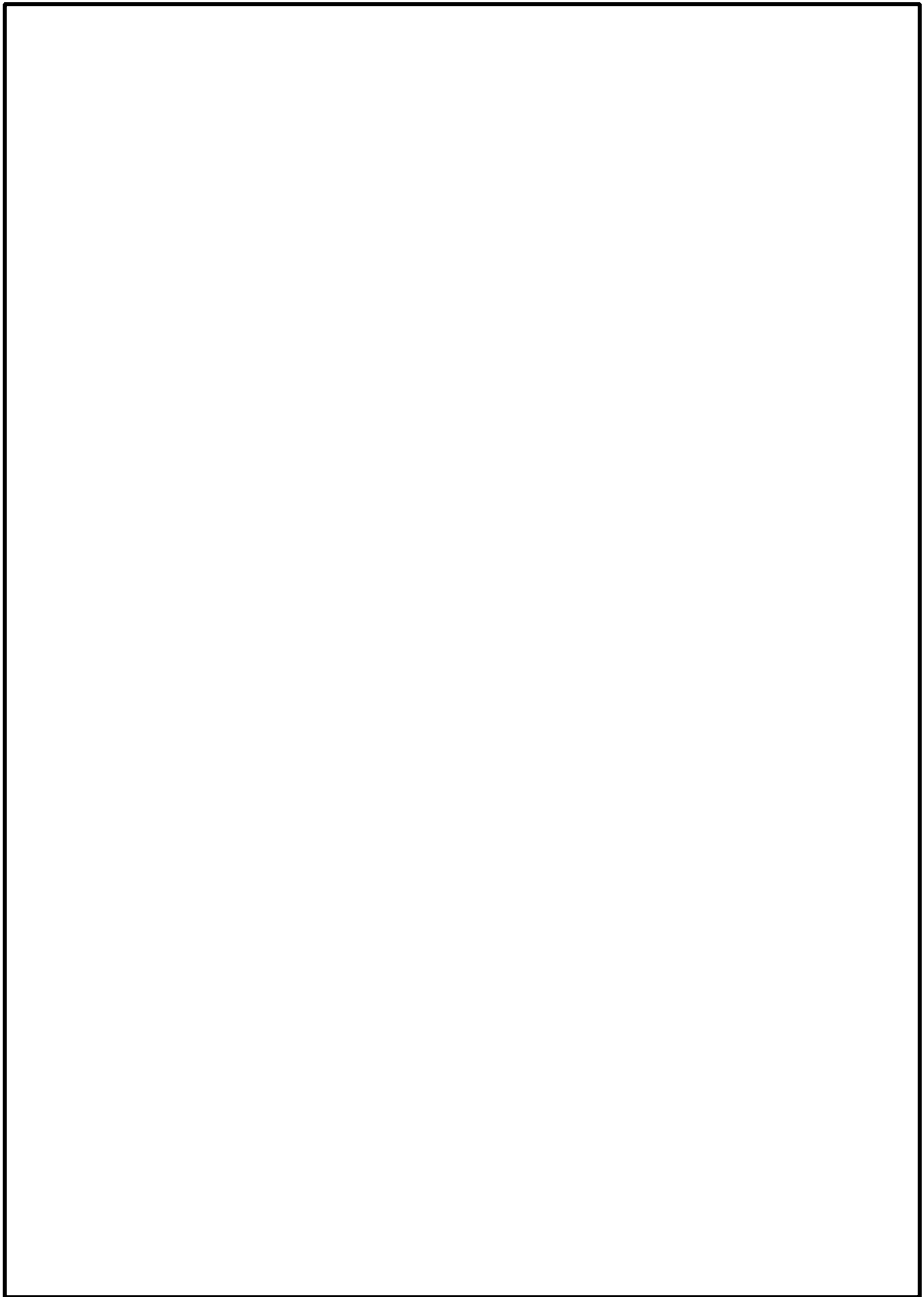


図 4-33 安全対策工事に伴う掘削範囲

5. まとめ

今回工認で評価を行う建物・構築物について、入力地震動の評価手法及び解析モデルの妥当性を確認した。

6. 参考文献

(1) 大崎他, 地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例, 第5回 日本地震工学シンポジウム, 1978

表層地盤の等価物性値の設定について

1. はじめに

入力地震動を算定する際の表層地盤①-1の物性値については、既工認において表層地盤の物性値の変動による入力地震動に対する影響は小さいと判断していたことを踏まえ、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d それぞれの地震動レベルに応じた一定値として物性値を設定している。

このような設定方法を採用するメリット及びデメリットを表1-1に示す。

本資料は、地震動レベルに応じた一定値として設定している等価物性値についての設定根拠を示すものである。

表1-1 表層地盤物性値の設定方法のメリット及びデメリット

	内容	備考
メリット	<ul style="list-style-type: none"> 等価物性値を設定することにより、地震動によって地盤物性値を変更する必要がないため、数多くある入力地震動評価の解析を効率的に実施できる。 等価線形解析において局所的にせん断ひずみが大きくなる要素があるが、平均化し等価物性値とすることで、表層地盤のひずみ依存特性を設定した試験範囲内に収まり、解析用物性値の妥当性が確保される。 	—
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> 地盤物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響を確認する必要がある。 	本文の「4.1 表層地盤の物性値に関する検討」にて、表層地盤①-1の地盤物性値の変動が入力地震動に及ぼす影響は小さいことを確認している。

2. 剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h の設定

剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h については、原子炉建物の地盤 2 次元 FEM モデルを用いて、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d の全波を対象に、表層地盤①-1 のひずみ依存性を考慮した等価線形解析により算定する。

具体的な剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h の算定方法を以下に示す。

- ① 表層地盤①-1 のひずみ依存性を考慮した等価線形解析より得られた各要素の収束物性値を要素面積に応じた重み付け平均をすることで、地震動ごとに表層地盤①-1 の剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h を算定する。地震動ごとの剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h は、NS 方向と EW 方向のそれぞれで算定し、それらを平均した値とする。
- ② ①で算定した地震動ごとの剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h を基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d のそれぞれで平均化することで、地震動レベルに応じた剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h を算定する。

表 2-1 及び表 2-2 に地震動ごとの剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h 並びにその平均値を示す。これらの結果を踏まえ、今回工認の入力地震動評価の際に用いる地震動レベルに応じた剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h を表 2-3 のとおり設定する。

なお、入力地震動を算定する際の地盤物性値の設定について、等価線形解析の結果から求めた収束物性値の平均値を採用する等、等価な地盤物性値を設定している事例を調査した結果、先行審査プラントの事例として、以下の事例を確認した。

- (a) 一次元波動論による入力地震動の算定において、1 つの層を細分化した各層の収束物性値を等価線形解析により算定し、それを各層の高さに応じた重み付け平均をすることで、1 つの層としての物性値を設定している事例がある。これは、上記①の各要素の収束物性値を要素面積に応じた重み付け平均をする手法に類似した手法であるといえる。
- (b) NS 方向と EW 方向のそれぞれで地震動が定義される断層モデルに基づく地震動に対する地盤物性値の設定について、等価線形解析により各方向の収束物性値を算定し、それを単純平均する等、断層モデルに基づく地震動の物性値を方向によらず 1 つの物性値として設定している事例がある。これは、上記②の地震動レベルで 1 つの物性値を設定する手法に類似した手法であるといえる。

表 2-1 剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h (基準地震動 S_s)

(a) 剛性低下率 G/G_0

S_s-D	S_s-N1	S_s-N2 NS	S_s-N2 EW	S_s-F1	S_s-F2	平均
0.099	0.144	0.175	0.180	0.236	0.204	0.173

(b) 減衰定数 h

S_s-D	S_s-N1	S_s-N2 NS	S_s-N2 EW	S_s-F1	S_s-F2	平均
0.088	0.085	0.082	0.082	0.077	0.080	0.082

表 2-2 剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h (弾性設計用地震動 S_d)

(a) 剛性低下率 G/G_0

S_d-D	S_d-N1	S_d-N2 NS	S_d-N2 EW	S_d-F1	S_d-F2	S_d-1	平均
0.245	0.271	0.406	0.332	0.383	0.345	0.256	0.320

(b) 減衰定数 h

S_d-D	S_d-N1	S_d-N2 NS	S_d-N2 EW	S_d-F1	S_d-F2	S_d-1	平均
0.076	0.074	0.063	0.069	0.065	0.068	0.075	0.070

表 2-3 地震動レベルに応じた剛性低下率 G/G_0 及び減衰定数 h

剛性低下率 G/G_0		減衰定数 h	
基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d	基準地震動 S_s	弾性設計用地震動 S_d
0.2	0.3	0.08	0.07

3. 等価物性値の設定

等価線形解析に基づき設定した地震動レベルごとの剛性低下率 G/G_0 を基に、入力地震動の算定に用いる等価物性値を以下に示す。なお、初期せん断弾性係数 G_0 は、拘束圧依存性を考慮した各要素の初期せん断弾性係数を要素面積に応じて重み付け平均した 1.707×10^5 (kN/m²) とする。

(1) S_s地震時

S_s地震時のせん断弾性係数 G 、S波速度 V_S 及びP波速度 V_P の設定根拠を以下に示す。

剛性低下率 $G/G_0=0.2$ より

$$\bullet G = G_0 \times 0.2 = 0.341 \times 10^5 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\bullet V_S = \sqrt{G / \rho} = 127 \text{ (m/s)}$$

$$\bullet V_P = V_S \times \sqrt{2(1-\nu) / (1-2\nu)} = 422 \text{ (m/s)}$$

ただし、

$$\rho : \text{密度 (} = 2.11 \times 10^3 \text{ kg/m}^3\text{)}$$

$$\nu : \text{ポアソン比 (} = 0.45\text{)}$$

(2) S_d地震時

S_d地震時のせん断弾性係数 G 、S波速度 V_S 及びP波速度 V_P の設定根拠を以下に示す。

剛性低下率 $G/G_0=0.3$ より

$$\bullet G = G_0 \times 0.3 = 0.512 \times 10^5 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$\bullet V_S = \sqrt{G / \rho} = 156 \text{ (m/s)}$$

$$\bullet V_P = V_S \times \sqrt{2(1-\nu) / (1-2\nu)} = 516 \text{ (m/s)}$$

ただし、

$$\rho : \text{密度 (} = 2.11 \times 10^3 \text{ kg/m}^3\text{)}$$

$$\nu : \text{ポアソン比 (} = 0.45\text{)}$$

側面地盤からの地震動の入力に対する影響について

1. はじめに

入力地震動の評価においては、埋込みによる影響を考慮しているが、建物の地震応答解析においては、側面地盤ばねを設けていないため、側面地盤からの入力には考慮していない。

一般的に、側面地盤と建物を連成することで建物の拘束効果が得られることから、側面入力を考慮しても建物の応答は低減されるため、今回工認モデルのように側面に地盤ばねを設けないことは保守的な設定である。参考として、先行審査プラントにおける入力地震動の評価手法及び側面地盤ばねの考え方について、原子炉建物を代表として、表 1-1 に示す。

本資料は、建物の地震応答解析において、側面地盤と建物を連成しないことが保守的であることを示すため、原子炉建物のNS方向を代表して、地盤2次元FEMモデルと質点系地震応答解析モデル（以下「SRモデル」という。）を連成したモデル（以下「地盤-建物一体モデル」という。）を用いて、側面地盤からの地震動の入力を考慮することが建物応答に与える影響を検討するものである。なお、側面地盤からの地震動の入力を検討するにあたり、地盤-建物一体モデルの方が側面地盤ばねを設けたSRモデルよりも側面地盤の分布状況等をより詳細にモデル化しており、側面地盤からの地震動の入りの影響及び側面地盤の拘束をより精緻に評価できることから、本検討では、地盤-建物一体モデルと今回工認モデルを比較することとする。

表 1-1 入力地震動の評価手法及び側面地盤ばねの設定の考え方の比較
(原子炉建物)

		島根 2 号機	女川 2 号機
入力地震動	評価手法	2次元FEMモデルによる 周波数応答解析	一次元地盤モデルによる 逐次非線形解析
	表層地盤	モデル化	モデル化
側面地盤ばね		考慮しない	考慮しない

2. 検討条件

本検討では、地盤－建物一体モデルと今回工認で用いているSRモデルの床応答スペクトルを比較することで、側面地盤からの地震動の入力を考慮することが建物応答に与える影響を検討する。

検討条件を表2-1に、解析モデルを図2-1に示す。地盤物性値及び建物の解析諸元は工認モデルと同じである。

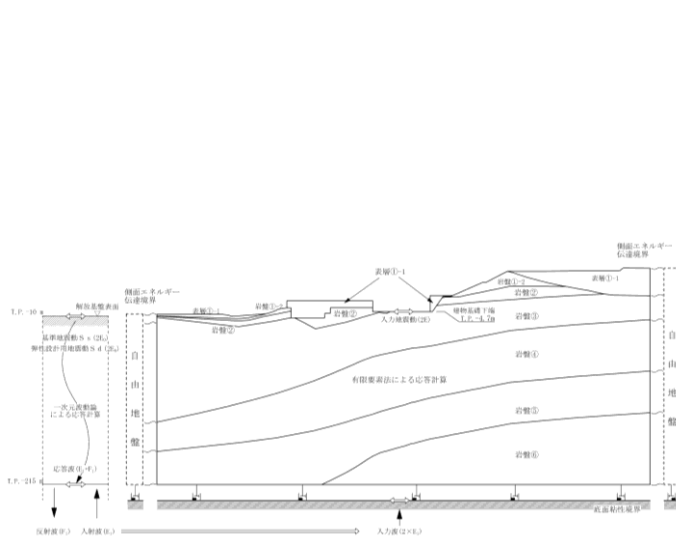
地盤－建物一体モデルは、質点5 (EL 8.8m)、質点33 (EL 8.8m) 及び質点34 (EL 1.3m) を側面地盤と剛なはり要素で、質点35 (EL -4.7m) を底面地盤と節点共有させることで、地盤と建物を一体化させる。

ケース2の検討は周波数応答解析を用いることから、地盤－建物一体モデル及びSRモデルは線形とし、弾性設計用地震動Sdを対象とする。また、モデル化の違いによる入力地震動への影響についての検討を実施することから、位相特性の偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる弾性設計用地震動Sd-Dに対して検討を行う。

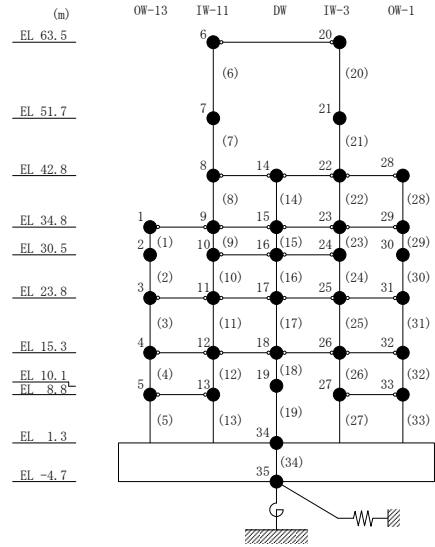
表2-1 検討条件

	ケース1	ケース2
解析モデル	今回工認モデル (SRモデル (線形*))	地盤－建物一体モデル (線形)
側面地盤	考慮しない	考慮する (剛なはり要素により連成する)
対象地震動	弾性設計用地震動Sd-D	

注記*：今回工認モデルは非線形特性を考慮しているが、弾性設計用地震動Sd-Dにおいては、建物応答が線形領域に収まっていることを確認している。

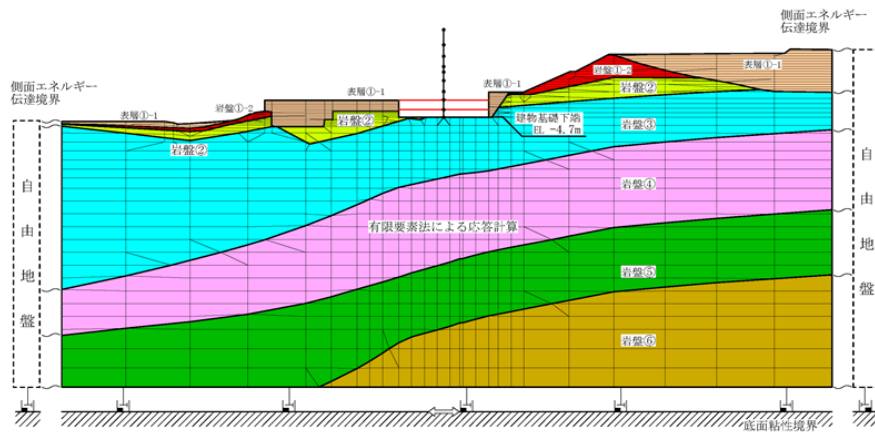


(入力地震動評価用の地盤モデル)

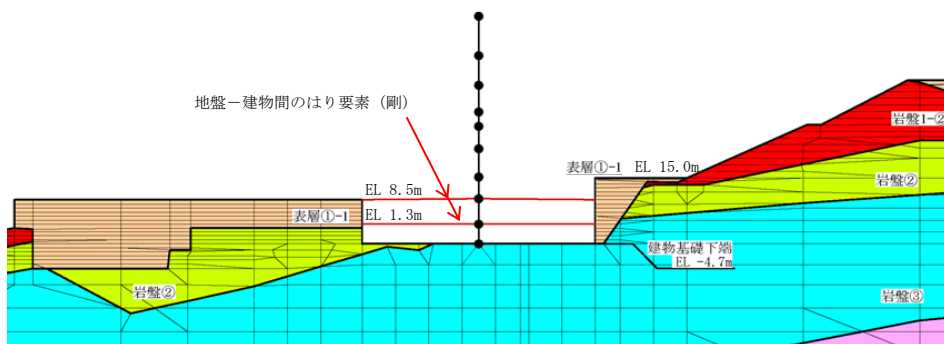


(SRモデル)

(a) 今回工認モデル



(全体)



(詳細)

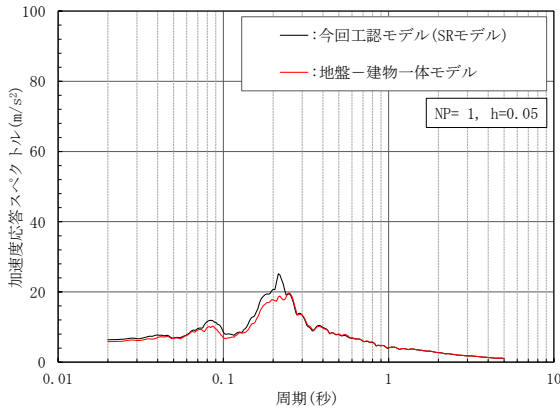
(b) 地盤-建物一体モデル

図 2-1 解析モデル (NS方向)

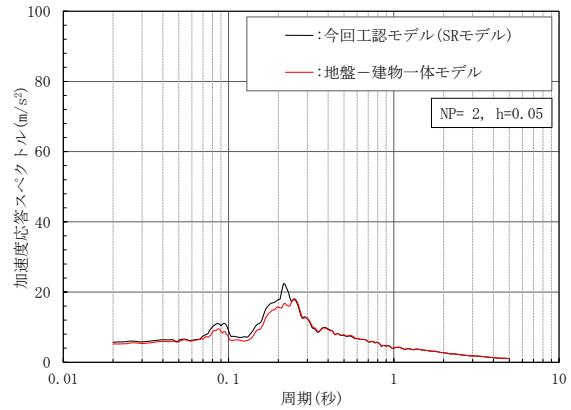
3. 検討結果

床応答スペクトルの比較を図3-1に示す。

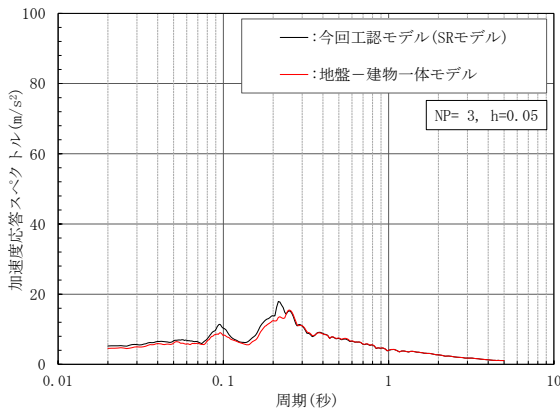
今回工認モデルの床応答スペクトルは、地盤-建物一体モデルの床応答スペクトルよりも全周期帯で概ね大きな応答を示しており、今回工認モデルの保守性を確認することができた。



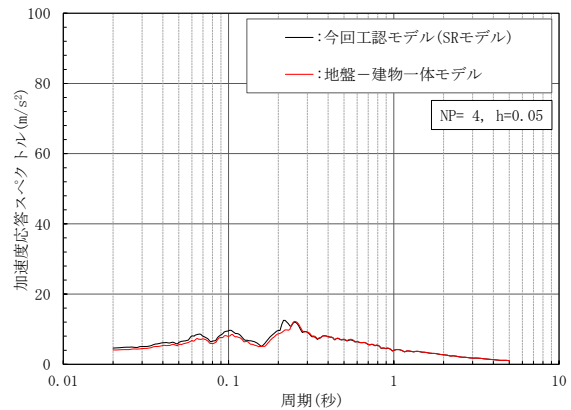
(a) 質点 1, 9, 15, 23, 29



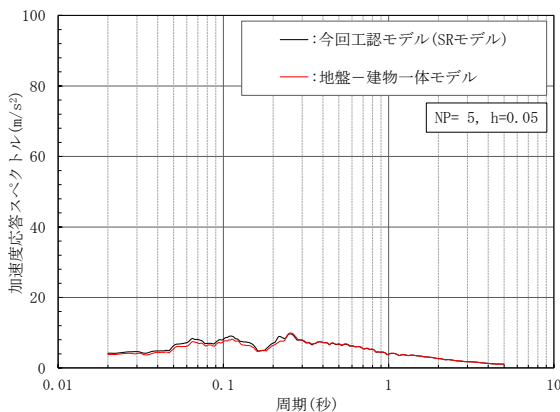
(b) 質点 2



(c) 質点 3, 11, 17, 25, 31



(d) 質点 4, 12, 18, 26, 32



(e) 質点 5, 13

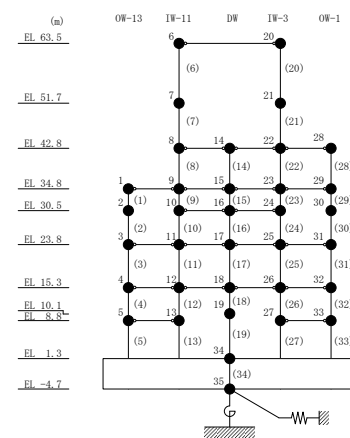
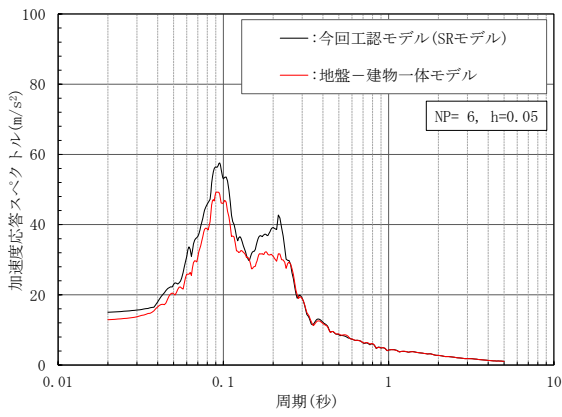
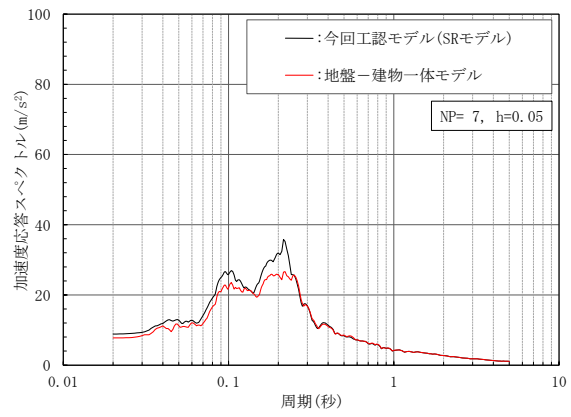


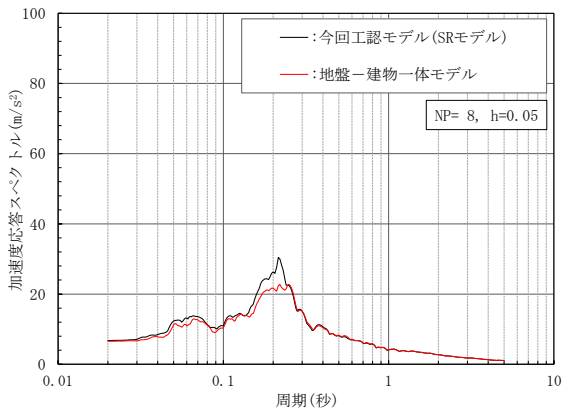
図3-1(1) 床応答スペクトルの比較 (NS方向)



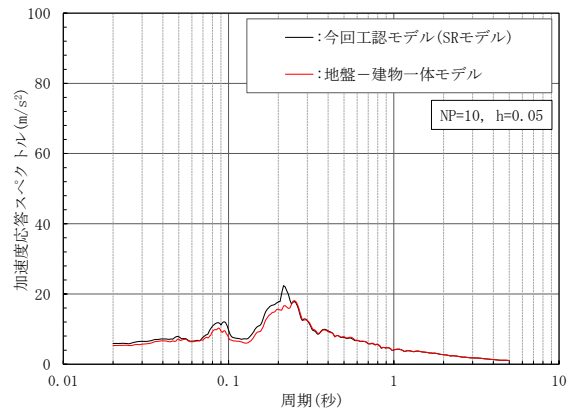
(f) 質点 6, 20



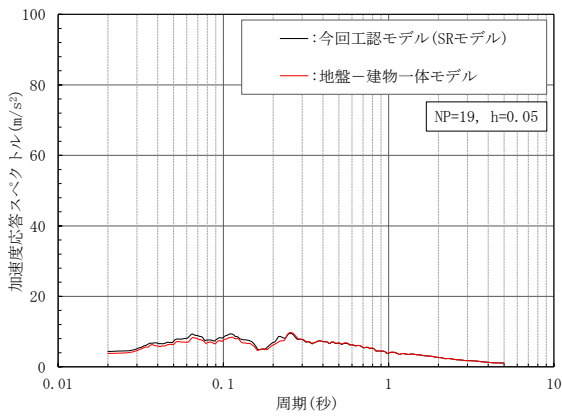
(g) 質点 7



(h) 質点 8, 14, 22, 28



(i) 質点 10, 16, 24



(j) 質点 19

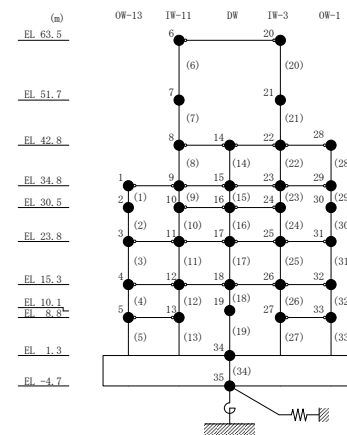
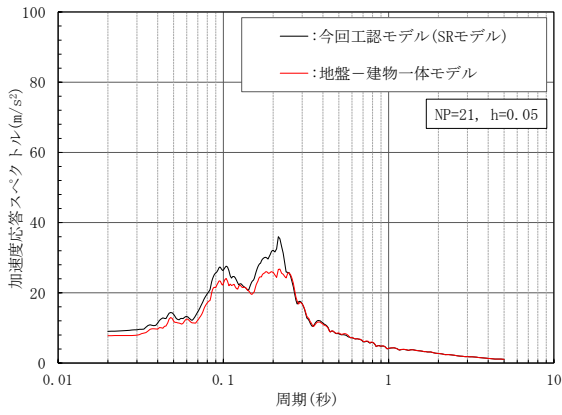
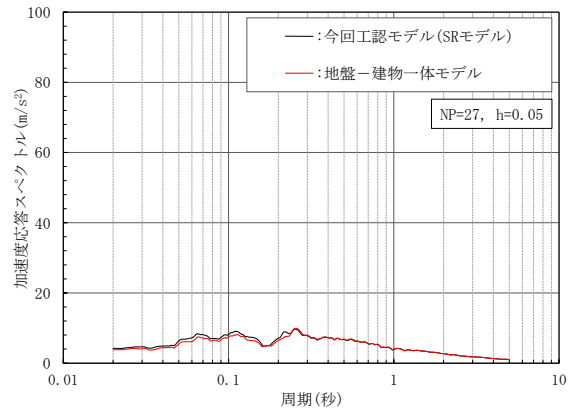


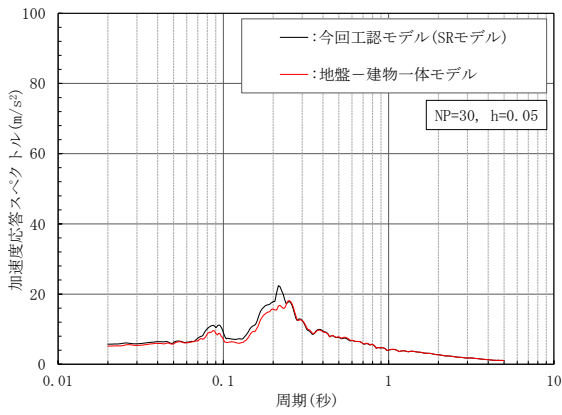
図 3-1(2) 床応答スペクトルの比較 (NS方向)



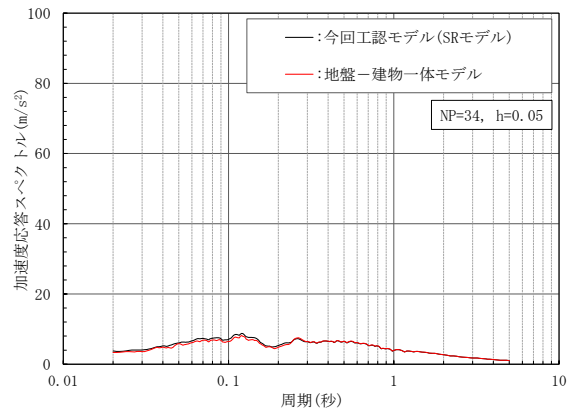
(k) 質点 21



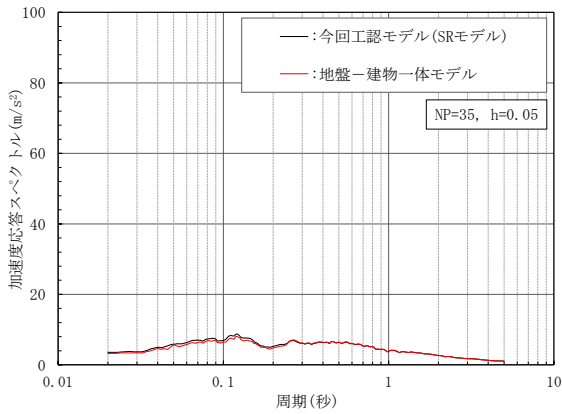
(l) 質点 27, 33



(m) 質点 30



(n) 質点 34



(o) 質点 35

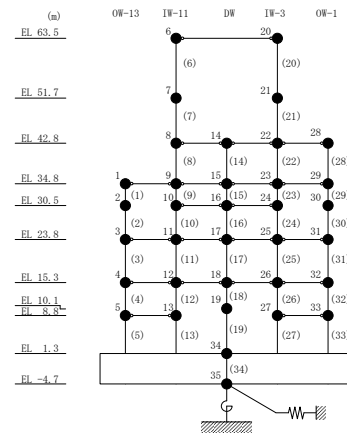


図 3-1(3) 床応答スペクトルの比較 (NS方向)

主要建物における一次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較

1. はじめに

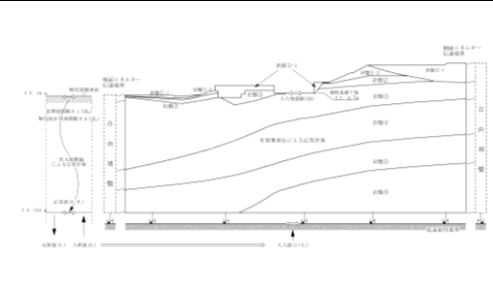
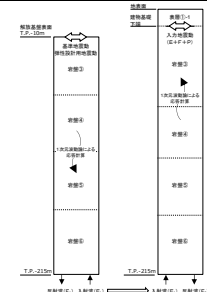
今回工認におけるSクラス施設を含む2号機の主要な建物・構築物である原子炉建物及び制御室建物の入力地震動は、以下のとおり算定することとする。

水平方向は、原子炉建物の既工認と同様に、速度層の傾斜及び建物周辺の地形等の影響を考慮するため、2次元FEMモデルを採用する。鉛直方向は、入力地震動に対する建物直下地盤による影響が大きく、速度層の傾斜等の影響は小さいと考えられることから、一次元波動論モデルを採用する。

原子炉建物及び制御室建物の入力地震動の算定方法について、今回工認の評価手法及び解析モデルを表1-1に示す。

本資料は、原子炉建物及び制御室建物の入力地震動評価に用いる解析モデルの妥当性を示すものである。

表1-1 今回工認の原子炉建物及び制御室建物の入力地震動の算定方法

	水平方向	鉛直方向
入力地震動の評価(概念図)		
評価手法		
入力地震動の算定方法 [計算機コード]	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：一次元波動論[SHAKE] 引上げ：2次元FEM解析[SuperFLUSH] 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：一次元波動論[SHAKE] 引上げ：一次元波動論[SHAKE]
解析モデル		
モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：解放基盤表面(EL -10m)からEL -215mまでをモデル化 引上げ：幅は約600mの範囲とし、高さはEL -215m以浅をモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：解放基盤表面(EL -10m)からEL -215mまでをモデル化 引上げ：EL -215m以浅の地盤を水平成層にモデル化
速度層区分	建設時の地質調査結果に加えて、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果(ボーリング、PS検層)に基づき設定	同左
地盤物性値	岩盤については、建設時の地質調査結果に基づき設定 表層地盤については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定	同左

2. 検討条件

原子炉建物及び制御室建物について、解析モデルの違いによる入力地震動への影響を確認するため、基準地震動 $S_s - D$ を用いて、表 2-1 に示す比較検討を実施した。

表 2-1 主要建物の入力地震動の解析モデルの比較
(引上げモデル)

	今回工認モデル	比較用モデル
水平方向	2次元FEMモデル	一次元波動論モデル
鉛直方向	一次元波動論モデル	2次元FEMモデル

3. 検討結果

入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を図 3-1 に示す。また、原子炉建物については主要施設の固有周期、制御室建物については建物の主要な固有周期*を併せて図 3-1 に示す。

注記*：建物-地盤連成の固有周期のうち、刺激係数が概ね 1.0 を超えるものとして、1 次固有周期を示す。

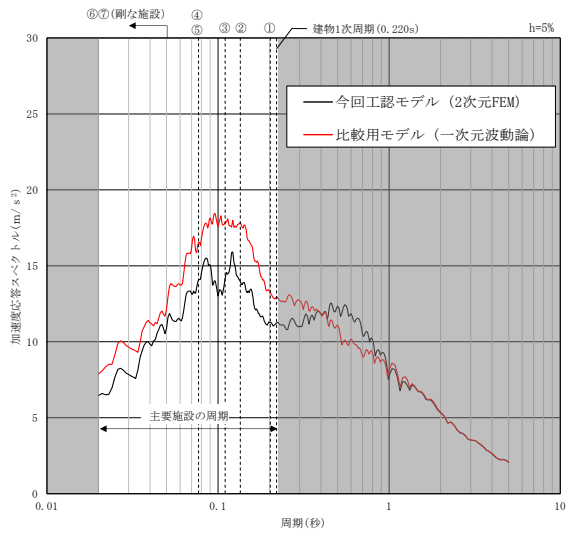
3.1 水平方向

水平方向は、2次元FEMモデル及び一次元波動論モデルで多少の差異が認められ、また、地盤の傾斜をモデル化しているNS方向においてその差が大きくなっているが、2次元FEMモデルでは地盤の速度層の傾斜及び建物周辺の地形の影響等をより詳細に評価できると考えられることから、原子炉建物の既工認と同様に、水平方向の解析において2次元FEMモデルによって求められる入力地震動を用いることは適切である。

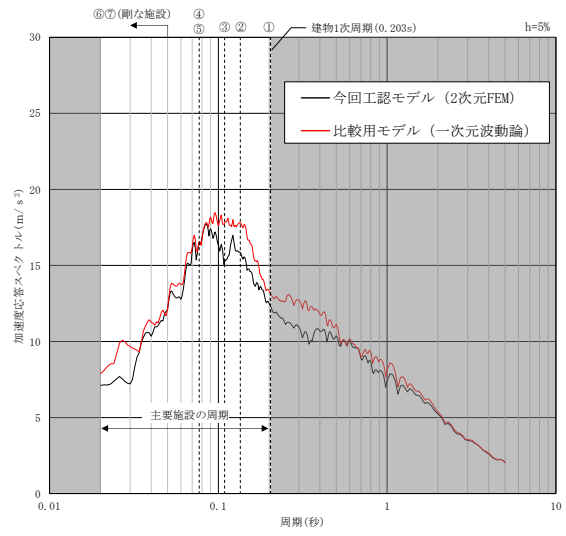
2次元FEMモデルによる入力地震動の方が小さくなる要因については、2次元FEMモデルは地盤の速度層の傾斜及び山地形を詳細にモデル化していることに加え、建物が地盤に埋込まれている効果を詳細に評価しているためであると考えられる。

3.2 鉛直方向

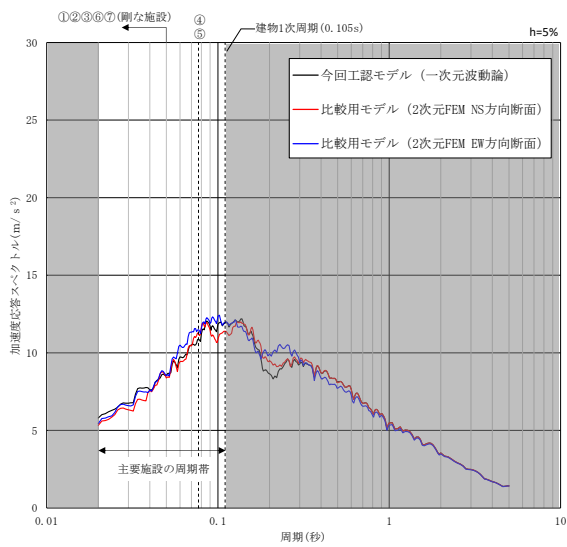
鉛直方向は、建物直下地盤による影響が大きく、主要な施設の固有周期帯において、一次元波動論モデルと2次元FEMモデルの加速度応答スペクトルは概ね一致している。また、それぞれの建物の1次固有周期における加速度応答スペクトルの値に大きな差はない。よって、モデルの違いによる入力地震動への影響は軽微であり、鉛直方向の解析において一次元波動論モデルによって求められる入力地震動を用いることは適切である。



(a) NS方向



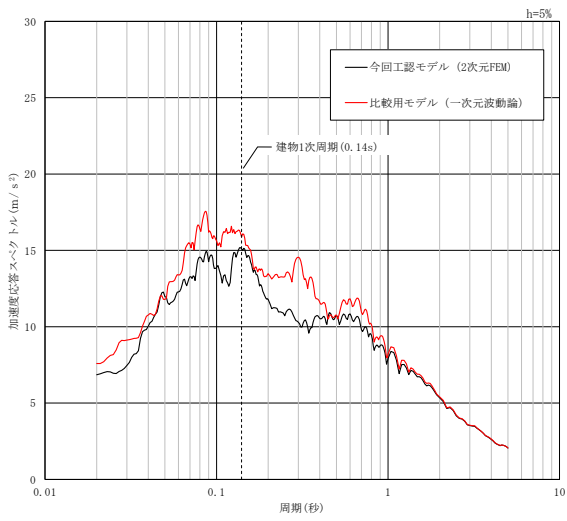
(b) EW方向



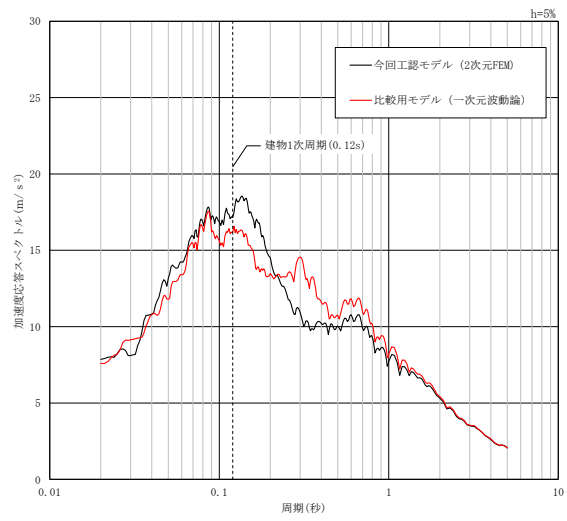
(c) 鉛直方向

- | |
|--|
| <p>主要施設の名称</p> <p>①制御棒の挿入性 (燃料集合体)</p> <p>②炉心支持構造物 (炉心シールド)</p> <p>③原子炉圧力容器</p> <p>④残留熱除去系配管</p> <p>⑤主蒸気系配管</p> <p>⑥残留熱除去ポンプ</p> <p>⑦原子炉格納容器</p> |
|--|

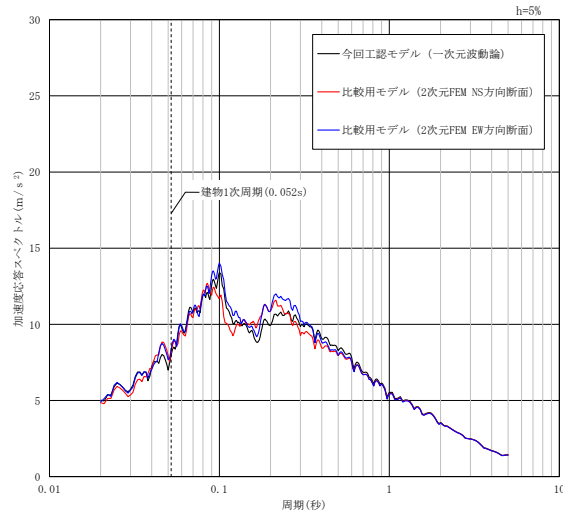
図3-1(1) 一次元波動論及び2次元FEMによる入力地震動の比較
(原子炉建物, 基準地震動 S s - D)



(a) NS方向



(b) EW方向



(c) 鉛直方向

図 3-1(2) 一次元波動論及び 2 次元 F E M による入力地震動の比較
(制御室建物, 基準地震動 S s - D)

既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の比較

1. はじめに

原子炉建物の入力地震動を評価に用いる地盤 2 次元 F E Mモデルは、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果の反映等を行い、より詳細にモデル化している。

本資料は、既工認のモデルにより評価した入力地震動と今回工認のモデルにより評価した入力地震動の加速度応答スペクトルを比較することで、既工認からの変更点が入力地震動に及ぼす影響を示すものである。

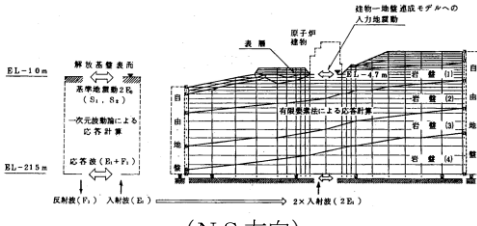
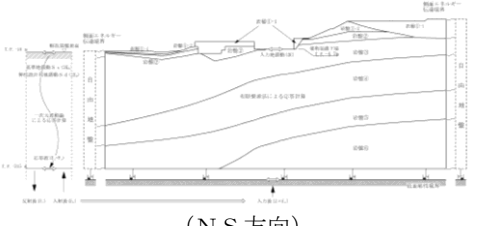
2. 検討条件

原子炉建物の入力地震動の評価に用いる 2 次元 F E Mモデルについて、既工認と今回工認の比較を表 2-1～表 2-3 に示す。

本検討は、表 2-1～表 2-3 に示す既工認モデルと今回工認モデルを用いて、基準地震動 $S_s - D$ による入力地震動を比較する。なお、既工認モデルの表層地盤の物性値及び減衰定数については既工認の値を用い、今回工認モデルの表層地盤の物性値及び減衰定数については、 $G/G_0=0.2$ 及び $h=8\%$ と設定した。

解析プログラムは、既工認モデル及び今回工認モデルともに「SuperFLUSH」を用いる。

表 2-1 原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の評価手法の比較（主な解析条件）

	既工認	今回工認
入力地震動の評価（概要）	 <p>(NS方向)</p>	 <p>(NS方向) ※解放基盤表面から EL -215m までの 1 次元モデルは既工認と同じ。</p>
評価手法		
解析方法	周波数応答解析	同左
入力地震動の算定方法 〔計算機コード〕	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：一次元波動論 [SHAKE] 引上げ：2次元 FEM 解析 [VESL-DYN] <p>※本検討では [SuperFLUSH] を用いる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：一次元波動論 [SHAKE] 引上げ：2次元 FEM 解析 [SuperFLUSH]
入力地震動の解析モデル		
モデル化範囲	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：解放基盤表面 (EL -10m) から EL -215m までをモデル化 引上げ：幅は約 600m の範囲とし、高さは EL -215m 以浅をモデル化 	<ul style="list-style-type: none"> 引下げ：同左 引上げ：同左
速度層区分	建設時の地質調査結果に基づき設定	建設時の地質調査結果に加えて、建設時以降の敷地内の追加地質調査結果（ボーリング、PS 検層）に基づき設定
地盤物性値*1	<ul style="list-style-type: none"> 岩盤については、建設時の地質調査結果に基づき設定 表層地盤については、文献⁽¹⁾に基づく標準的な砂質土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 表層地盤については、地震動レベル及び試験結果に基づく埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値を設定
境界条件*2 (2次元 FEM)	<ul style="list-style-type: none"> 底面：粘性境界 側面：粘性境界 	<ul style="list-style-type: none"> 底面：粘性境界 側面：エネルギー伝達境界* <p>※側方地盤への波動の逸散をより詳細に評価する境界条件に変更</p>
入力地震動出力位置	EL -4.7m	同左
備考	建設工認 第 1 回 添付書類 IV-2-4-1 「原子炉建物の地震応答計算書」による	今回工認 添付書類 VI-2-2-2 「原子炉建物の地震応答計算書」による
地震応答解析モデル		
相互作用モデル	水平：地盤ばねモデル (SR モデル) 鉛直：—	水平：地盤ばねモデル (SR モデル) 鉛直：地盤ばねモデル (底面鉛直ばねモデル)
建物設置レベル	EL -4.7m	同左

____ 箇所：主な相違点

注記*1：今回工認の入力地震動評価で用いる地盤物性値を表 2-3 に示す。

*2：2次元 FEM 解析モデル側面の境界条件を参考資料-1 に示す。

表 2-2 原子炉建物の地震応答解析に用いる入力地震動の解析モデルの比較 (2次元FEM解析モデル)

	既工認	今回工認
NS		
EW		

注：今回工認モデルでは建物基礎底面レベルの振動を同一とするため、建物基礎底面レベルの平面を保持する拘束条件を設けている。
また、建物床レベルの水平変位を同一とするため、切欠き地盤側面には水平変位を保持する拘束条件を設けている。

表 2-3 入力地震動評価で用いる地盤物性値

(a) 既工認

層番号*1	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①	174*2	558*2	20.6	0.446	0.637*2	5
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	5
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

(b) 今回工認

層番号*1	S波速度 V _s (m/s)	P波速度 V _p (m/s)	単位体積 重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	せん断 弾性係数 G (×10 ⁵ kN/m ²)	減衰定数 h (%)
表層①-1	127*2	422*2	20.7	0.45	0.341*2	8*2
岩盤①-2	250	800	20.6	0.446	1.31	3
岩盤②	900	2100	23.0	0.388	19.0	3
岩盤③	1600	3600	24.5	0.377	64.0	3
岩盤④	1950	4000	24.5	0.344	95.1	3
岩盤⑤	2000	4050	26.0	0.339	105.9	3
岩盤⑥	2350	4950	27.9	0.355	157.9	3

注記*1：層番号は解析モデル図(表 2-2)を参照

*2：埋戻土のひずみ依存性を考慮した等価物性値

3. 検討結果

既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の加速度応答スペクトルの比較を図 3-1 に示す。

既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動を比較すると、加速度応答スペクトルの形状傾向は概ね同等であるが、一部の周期帯において差が認められる。これは、表層地盤の物性値の違いに加え、地盤モデル側面の境界条件や速度層区分の相違が複合的に影響していることが要因であると考えられる。

なお、今回工認モデルは、建設時の地質調査結果に加えて、建設時以降の追加地質調査結果に基づき設定していることから、より精緻なモデルである。

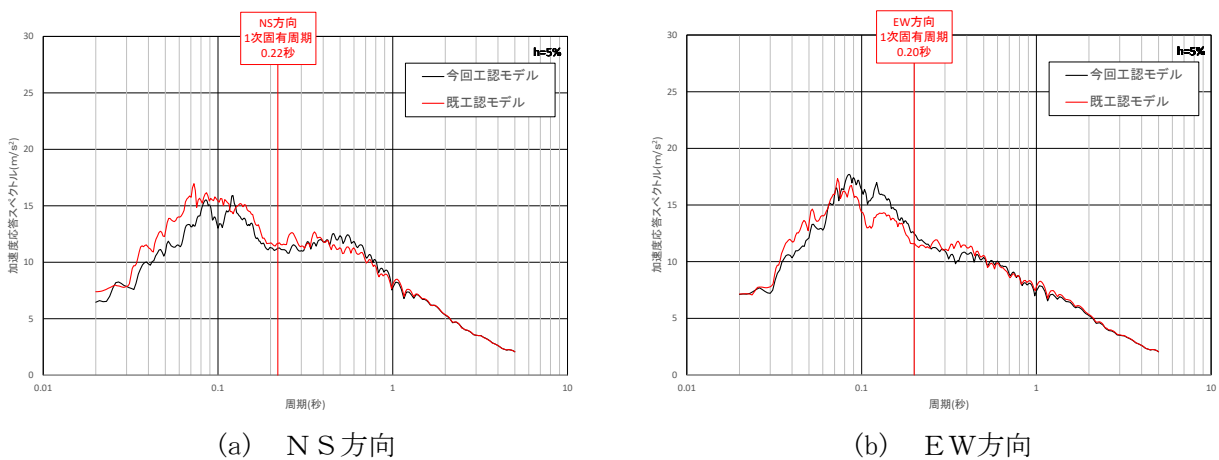


図 3-1 既工認モデルと今回工認モデルによる入力地震動の加速度応答スペクトルの比較
(原子炉建物、基準地震動 S s - D)

4. 参考文献

- (1) 大崎他，地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例，第 5 回 日本地震工学シンポジウム，1978

D級岩盤の速度層区分の設定について

1. はじめに

本資料は、原子炉建物のNS方向の入力地震動評価に用いている2次元FEMモデルにおいて、岩盤①-2に含まれるD級岩盤をC_L級岩盤と同じ速度層として設定する根拠を示すものである。

2. PS検層結果

2号機基礎地盤（NS方向）の鉛直断面図（岩級区分図及び速度層区分図）を図2-1に、D級岩盤を含む地盤のPS検層結果を図2-2に示す。

図2-2に示すとおり、D級岩盤を含む区間の速度値は、 $V_P=0.7\text{km/s}$ 、 $V_S=0.3\text{km/s}$ を示しており、岩盤①-2の速度値（ $V_P=0.8\text{km/s}$ 、 $V_S=0.25\text{km/s}$ ）相当の速度値であることから、D級岩盤を含む区間を岩盤①-2に区分している。

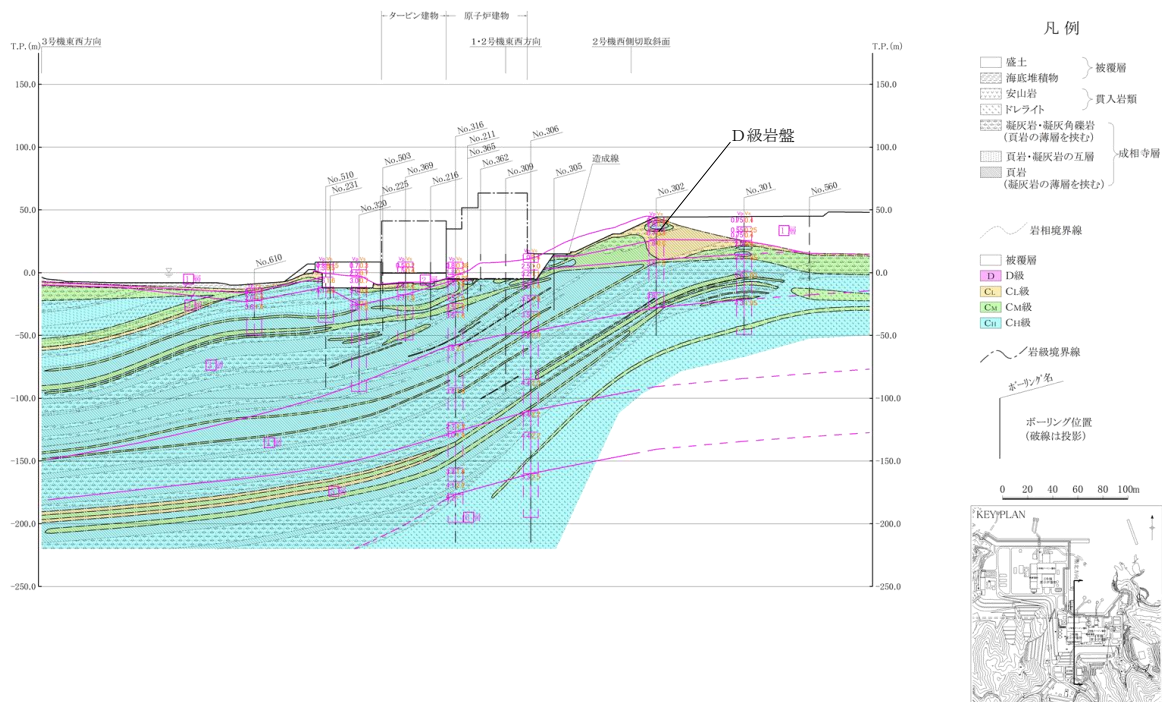


図2-1 2号機基礎地盤（NS方向）の鉛直断面図（岩級区分図及び速度層区分図）

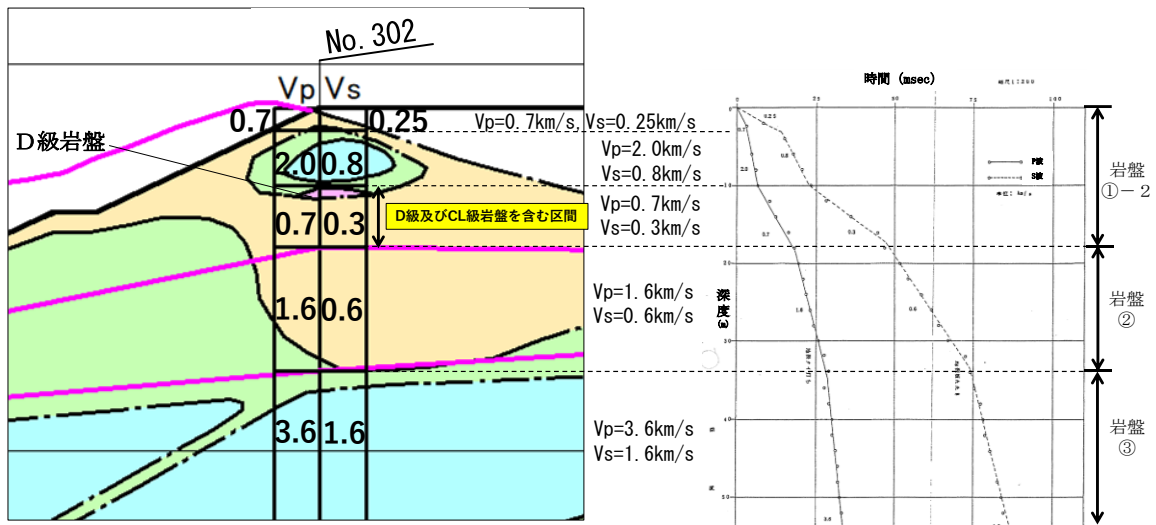


図 2-2 P S 検層結果

2次元FEM解析モデル側面の境界条件

1. 2次元FEM解析モデル側面の境界条件

2次元FEM解析モデルの側面の境界条件については、既工認では粘性境界を用いていたが、今回工認ではエネルギー伝達境界に変更する。

側面の境界条件はFEM部分から側方地盤への波動の逸散を考慮したものであり、粘性境界は隣接する側方地盤との変位の関係から、エネルギー伝達境界はFEM部分と側方地盤全体の変位分布の関係からこの逸散を考慮している。

粘性境界とエネルギー伝達境界の比較を表1-1に示す。

粘性境界はダッシュポットを用いた速度比例型の減衰力により、側方地盤への波動の逸散を考慮する。解の精度が良く、計算も容易である。

一方、エネルギー伝達境界はFEM部分の境界節点と側方地盤との変位分布の差から、側方地盤への波動の逸散を考慮する。解の精度がとても良く、より現実に即した解析結果を得ることができる。なお、先行プラントの工認において適用実績がある。

表1-1 側面の境界条件⁽¹⁾

境界処理法	概念図	説明	定式化の難易度	計算上の特徴	解の精度	その他
粘性境界		速度比例型の減衰力により波動逸散波を吸収	容易	計算は容易 [K*]は対角またはバンドマトリクス	○	手間と精度のバランスが良い 周波数応答/時刻歴解析の双方に適用可能 1~3次元で適用可能
エネルギー伝達境界		一般化表面波の固有モードを合成し、側方の水平成層地盤と結合	難解	計算は煩雑、かつ固有値解析に計算時間を要する 側方の[K*]はフルマトリクス	◎	2次元および軸対称の周波数応答のみ適用可能

(参考文献(1)より引用)

2. 参考文献

- (1) 日本建築学会：入門・建物と地盤との動的相互作用，1996

補足-023-10 建物の地震応答解析モデルについて
(地震応答解析モデルにおける建物基礎底面の付着力)

目 次

1. 概要
2. 検討方針及び地震応答解析モデルの選定
 - 2.1 基礎浮上り評価法に関する既往の知見
 - 2.2 地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）について
3. まとめ
4. 参考文献

別紙－1 付着力を考慮した3次元FEMモデルの適用性について

別紙－2 建物基礎底面の付着力に関する検討

別紙－3 付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討

添付資料－1 既工認実績における付着力試験方法との比較

添付資料－2 岩盤－レベルコンクリート間における付着力試験実施後の破断面について

添付資料－3 設定付着力に関する統計的な考察について

添付資料－4 既工認実績における設定付着力との比較

添付資料－5 試験地盤と建物直下地盤の同等性について

参考資料－1 島根原子力発電所 敷地の地質・地質構造について

参考資料－2 建物直下地盤周囲の地盤状況について

1. 概要

島根原子力発電所の建設時の工事計画認可申請書（以下「既工認」という。）では、原子炉建物等の地震応答解析における基礎浮上り評価について、線形地震応答解析又は浮上り非線形地震応答解析を実施している。

今回の工事計画認可申請（以下「今回工認」という。）では、入力地震動の増大に伴い、基準地震動 S_s による検討においては、一部解析結果で浮上り非線形地震応答解析を適用できる接地率に満たないことから、個別に解析の妥当性を確認した上で採用する解析手法を選定する。

本資料は、低接地率となる場合の解析手法において、基礎浮上り評価法に関する既往の知見を整理した上で、建物基礎底面に考慮する付着力の設定及び今回工認で採用する建物の地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）の選定について説明するものである。

また、本資料は、以下の添付書類の補足説明をするもので、使用する計算機プログラムについても以下の資料に準ずる。

- ・ VI-2-2-5 「制御室建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-2-9 「廃棄物処理建物の地震応答計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-1 「1号機原子炉建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-3 「1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書」
- ・ VI-2-11-2-1-5 「サイトバンカ建物（増築部）の耐震性についての計算書」

2. 検討方針及び地震応答解析モデルの選定

基礎浮上り評価法に関する既往の知見を整理し、低接地率となる解析結果について個別に解析の妥当性を確認する。これらを踏まえて採用する地震応答解析モデルについて検討を行う。

2.1 基礎浮上り評価法に関する既往の知見

島根原子力発電所第2号機（以下「島根2号機」という。）の地震応答解析にあたっては、建物形状に応じ、建物と地盤の相互作用を考慮することとしている。「原子力発電所耐震設計技術指針J E A G 4 6 0 1（以下「J E A G 4 6 0 1」という。）-1987」においては、建物と地盤の相互作用の影響を適切に考慮できるモデルとしてSRモデルや離散系モデル（FEMモデルを含む）が列举されている。また、「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」においては、接地率に応じた地震応答解析手法の適用性が示されており、接地率 $\eta_{NL} < 65\%$ の場合は別途検討となっている（図2-1参照）。

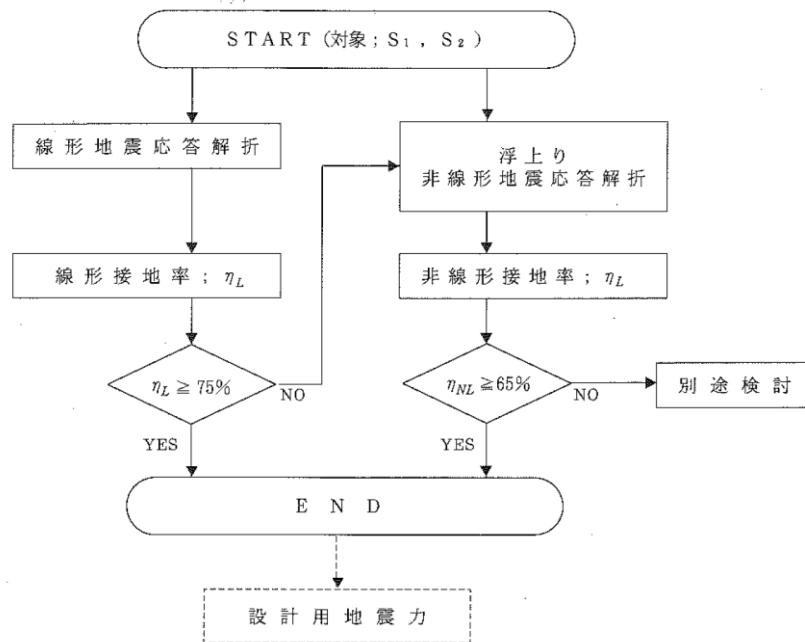


図2-1 基礎浮上り評価フロー

（「J E A G 4 6 0 1-1991 追補版」より抜粋）

参考として、接地率 $\eta_{NL} < 65\%$ となる場合の別途検討の手法として、「原子力発電所耐震設計技術規程J E A C 4 6 0 1（以下「J E A C 4 6 0 1」という。）-2008」では、誘発上下動を考慮したSRモデルや、特別な検討としてジョイント要素を用いた3次元FEMモデルが提案されている（図2-2参照）。

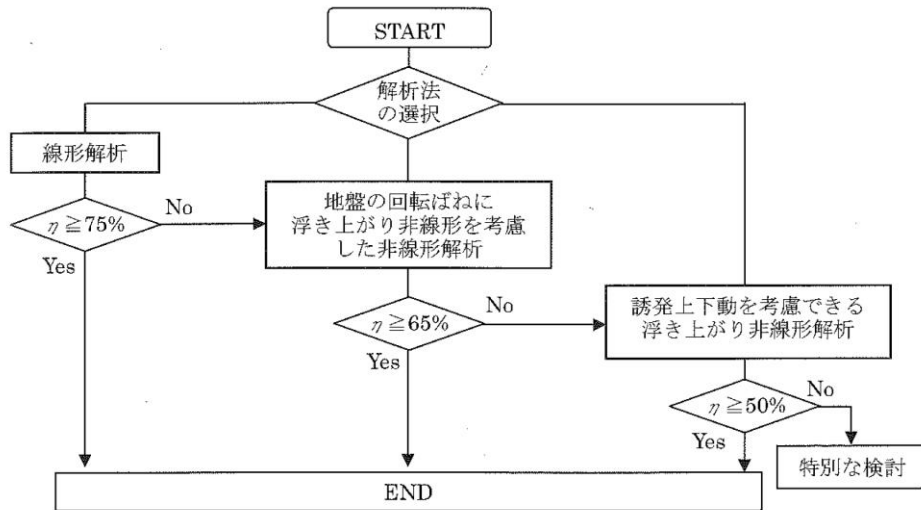


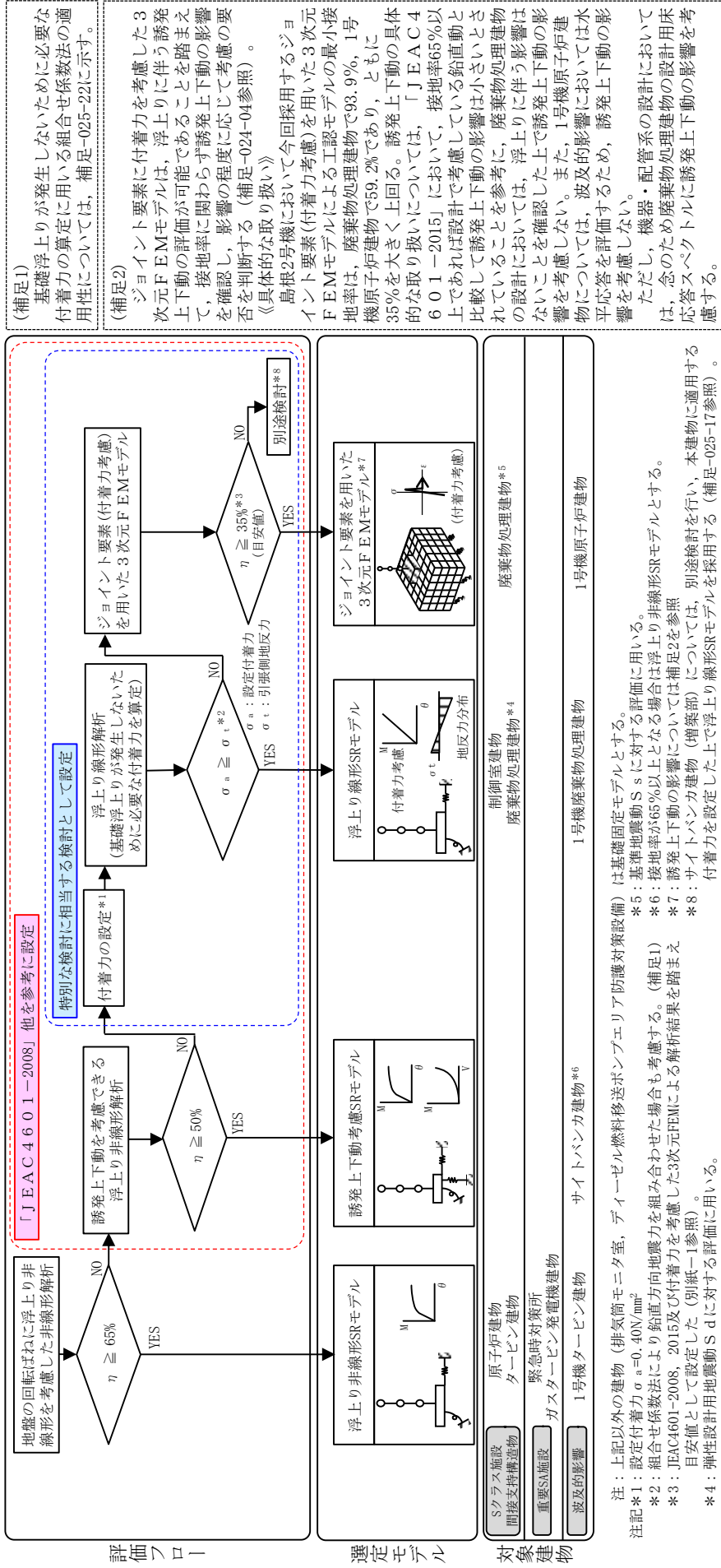
図 2-2 基礎浮上り評価フロー
 (「J E A C 4 6 0 1 -2008」より抜粋)

2.2 地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）について

(1) 基礎浮上り評価方針

島根2号機の建物・構築物は「J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版」に示される浮上り非線形地震応答解析により基準地震動 S_s に対して接地率を算定することを基本とする。接地率 $\eta < 65\%$ となる場合の別途検討は、「J E A C 4 6 0 1 -2008」及び「J E A C 4 6 0 1 -2015」の評価フローを参考とした。

上記を踏まえた島根2号機における各建物(重要SA施設及び波及的影響に係る施設を含む)の地震応答解析モデル(基礎浮上り評価法)の選定フローを図2-3に示す。



(補足1)

基礎浮上りが発生しないために必要な付着力の算定に用いる組合せ係数法の適用性については、補足-025-22に示す。

(補足2)

ジョイント要素に付着力を考慮した3次元FEMモデルは、浮上りに伴う誘発上下動の評価が可能であることを踏まえ、接地震率に関わらず誘発上下動の影響を確認し、影響の程度に応じて考慮の要否を判断する（補足-024-04参照）。

《具体的な取り扱い》

島根2号機において今回採用するジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルによる工認モデルの最小接地率は、廃棄物処理建物で93.9%、1号機原子炉建物で59.2%であり、ともに35%を大きく上回る。誘発上下動の具体的な取り扱いについては、「J E A C 4 6 0 1 - 2 0 1 5」において、接地率65%以上であれば設計で考慮している鉛直動と比較して誘発上下動の影響は小さいとされていることを参考に、廃棄物処理建物の設計においては、浮上りに伴う影響はないことを確認した上で誘発上下動の影響を考慮しない。また、1号機原子炉建物については、波及的影響においては水平応答を評価するため、誘発上下動の影響を考慮しない。

ただし、機器・配管系の設計においては、念のため廃棄物処理建物の設計用床応答スペクトルに誘発上下動の影響を考慮する。

図 2-3 島根 2 号機における各建物の地震応答解析モデルの選定フロー

(2) 採用する地震応答解析モデルの選定

制御室建物、廃棄物処理建物、1号機原子炉建物及び1号機廃棄物処理建物は誘発上下動を考慮できる浮上り非線形解析において、接地率 $\eta < 50\%$ となることから、図2-3に示す「特別な検討に相当する検討」として、建物の基礎底面の付着力を考慮した地震応答解析等を行い、その適用性を確認した上で、採用する地震応答解析モデルを選定する。

建物の基礎底面と地盤間の付着力は、島根原子力発電所における付着力試験の結果（追加試験結果を含む）に基づき 0.40N/mm^2 とした。（別紙-2参照）

なお、図2-3のフローに基づき付着力を考慮する場合に採用した地震応答解析モデルについては、VI-2-2-5「制御室建物の地震応答計算書」の補足説明資料である「補足-024-02 制御室建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」、VI-2-2-9「廃棄物処理建物の地震応答計算書」の補足説明資料である「補足-024-04 廃棄物処理建物の地震応答計算書に関する補足説明資料」、VI-2-11-2-1-1「1号機原子炉建物の耐震性についての計算書」の補足説明資料である「補足-025-13 1号機原子炉建物の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」、VI-2-11-2-1-3「1号機廃棄物処理建物の耐震性についての計算書」の補足説明資料である「補足-025-15 1号機廃棄物処理建物についての計算書に関する補足説明資料」及びVI-2-11-2-1-5「サイトバンカ建物（増築部）の耐震性についての計算書」の補足説明資料である「補足-025-17 サイトバンカ建物（増築部）の耐震性についての計算書に関する補足説明資料」にて詳細を説明する。

(3) 建物基礎底面の付着力有無による建物応答への影響検討

建物基礎底面の付着力は、地震応答解析における解析精度の確保（接地率の改善）を目的として設定したものであり、建物基礎底面の付着力の考慮の有無による建物応答への影響を把握するため、図2-3において、付着力を考慮しない地震応答解析モデルを採用する建物のうち、建物・内包する施設の重要度及び接地率を踏まえ、原子炉建物を代表として、付着力を考慮しないモデルと付着力を考慮したモデルを用いた地震応答解析を行った。その結果、付着力により接地率は改善され、両モデルとも同等の応答値を示した（別紙-3参照）。

また、付着力を考慮する地震応答解析モデルを採用する建物のうち廃棄物処理建物について、付着力の考慮の有無による最大水平応答加速度の比較を行った。その結果、最大水平応答加速度は付着力の有無によらずほぼ一致した（別紙-1参照）。

これらのことから付着力の考慮の有無による建物応答（水平方向）への影響は軽微であることを確認した。

3. まとめ

建物の地震応答解析により低接地率となる場合の解析手法において、基礎浮上り評価法に関する既往の知見を整理した上で、建物基礎底面に考慮する付着力の設定(0.40N/mm²)及び今回工認で採用する建物の地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）の選定を行った。

検討の結果、島根2号機の今回工認で採用する建物・構築物の地震応答解析モデルは、表3-1のとおりとする。

表3-1 採用する地震応答解析モデル（基礎浮上り評価法）

採用する地震応答解析モデル (基礎浮上り評価法)	付着力の 考慮	建物	添付書類
SRモデル (浮上り非線形地震応答解析)	—	原子炉建物	VI-2-2-2
		タービン建物	VI-2-2-7
		緊急時対策所	VI-2-2-11
		ガスタービン発電機建物	VI-2-2-16
		1号機タービン建物	VI-2-11-2-1-2
誘発上下動考慮SRモデル (浮上り非線形地震応答解析)	—	サイトバンカ建物*2	VI-2-11-2-1-4
SRモデル (浮上り線形地震応答解析)	○*1	制御室建物	VI-2-2-5
		廃棄物処理建物*3	VI-2-2-9
		1号機廃棄物処理建物	VI-2-11-2-1-3
		サイトバンカ建物(増築部)	VI-2-11-2-1-5
ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル	○	廃棄物処理建物*4	VI-2-2-9
		1号機原子炉建物	VI-2-11-2-1-1

注記*1:基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が付着力試験に基づき設定した値(0.40N/mm²)を超えないことを確認する。ただし、サイトバンカ建物(増築部)に適用する付着力は0.68N/mm²とする。

*2:接地率が65%以上となる場合はSRモデル(浮上り非線形地震応答解析)とする。

*3:弾性設計用地震動S_dに対する評価に用いる。

*4:基準地震動S_sに対する評価に用いる。

4. 参考文献

- (1) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987
- (2) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1991 追補版
- (3) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2008
- (4) 日本電気協会：原子力発電所耐震設計技術規程 J E A C 4 6 0 1 -2015

付着力を考慮した3次元FEMモデルの適用性について

1. 概要

廃棄物処理建物及び1号機原子炉建物の基準地震動 S_s に対する評価に用いる地震応答解析モデルは「J E A C 4 6 0 1 -2015」を参考に、ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルを採用している。本資料は、ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルが適用可能な接地率を35%以上としていることの妥当性を説明するものである。

2. 既往文献の整理

「J E A C 4 6 0 1 -2015」におけるジョイント要素を用いた3次元FEMモデルの適用性について、以下の通り整理した。

(1) ジョイント要素（付着力無視）を用いた3次元FEMモデルの適用範囲及び適用性

「J E A C 4 6 0 1 -2015 参考資料 3.5(3)」及び引用している既往論文⁽¹⁾によると、時間領域のグリーン関数法の地震応答解析結果との比較を行い、接地率 η が30%程度まで時間領域のグリーン関数法の結果と概ね一致するとされている。この結果を基に、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルの適用範囲として接地率 $\eta \geq 35\%$ を提案している。

「J E A C 4 6 0 1 -2015 参考資料 3.5(3)」を補足1に示す。

既往論文の解析条件と、島根2号機においてジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルを採用する廃棄物処理建物の解析条件の比較を表2-1に示す。基礎底面の付着力以外は、実際の建物の大きさや解析モデル規模も含めて、ほぼ同じ解析条件となっている。

(2) ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルの適用性

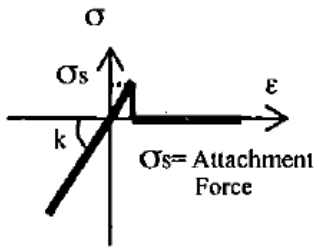
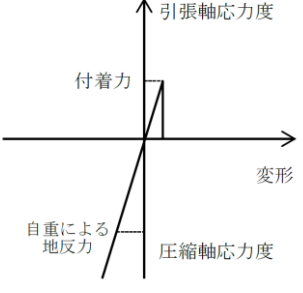
「J E A C 4 6 0 1 -2015 参考資料 3.5(7)」及び引用している既往論文⁽¹⁾では、上記(1)のモデルをベースに更に現実に近い解析条件を設定した検討として、建物基礎底面の付着力を考慮した検討を実施し、最大加速度が900Galの地震波を入力した際に、基礎底面の付着力として0.49N/mm²を考慮した時の接地率は約30~50%となっていることが示されている。既往論文におけるジョイント要素を用いた3次元FEMモデルを図2-1に、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデルの応答解析結果を図2-2に示す。

「J E A C 4 6 0 1 -2015 参考資料 3.5(7)」において、ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルは、付着力の考慮に加えて浮上りに伴う誘発上下動の評価が可能であり、低接地率の範囲まで適用可能とされている。「J E A C 4 6 0 1 -2015 参考資料 3.5(7)」を補足2に示す。

これは既往論文⁽¹⁾においてジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルが接地率30%程度まで適用された事例であることから、ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルは接地率30%程度まで適用可能であることを示唆しているとい

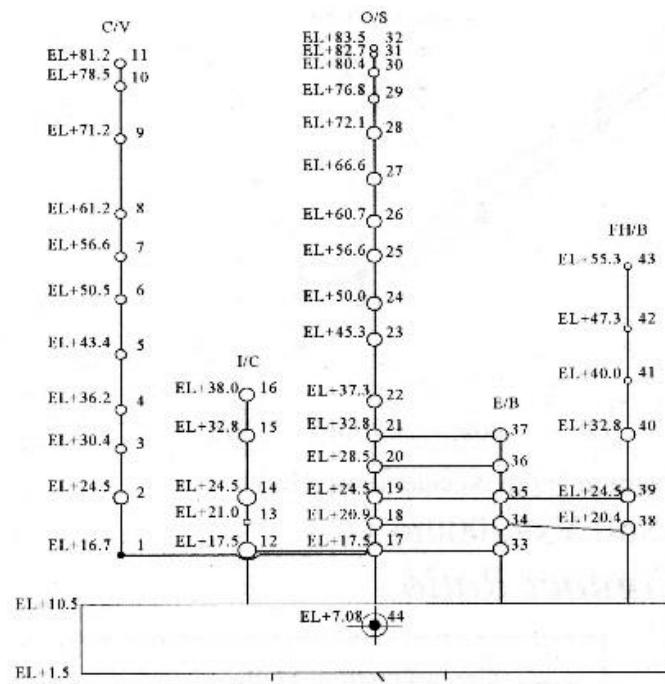
える。

表 2-1 ジョイント要素を用いた 3 次元 FEM モデルの既往論文との解析条件の比較

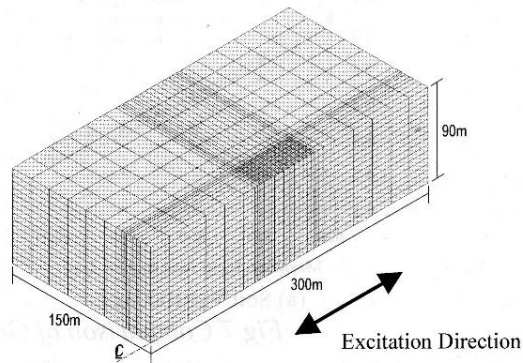
項目	既往論文	評価対象建物	
対象建物	PWR 原子炉建屋	BWR 2号機廃棄物処理建物	
建物モデル (減衰)	多軸多質点系モデル (ひずみエネルギー比例型)	単軸多質点系モデル (ひずみエネルギー比例型)	
地盤のせん断波速度	1,000m/s 及び 2,000m/s	約 1,660m/s (標準地盤の等価せん断波速度)	
基礎浮上り	ジョイント要素で考慮 	ジョイント要素で考慮 	
基礎幅	約 60m	N S : 53.07m E W : 53.64m	
地盤モデル化 範囲	水平	基礎幅の 5 倍	基礎幅の約 5 倍
	鉛直	基礎幅の 1.5 倍	基礎幅の約 1.5 倍
基礎底面の付着力	無視*1, 考慮*2 (0.49N/mm ² , 0.98N/mm ²)	考慮 (0.40N/mm ²)	

注記*1: 接地率の適用範囲に関する検討 (「2. (1) ジョイント要素(付着力無視)を用いた 3 次元 FEM モデル」に対応)

*2: 現実に近い解析条件を設定した検討 (「2. (2) ジョイント要素(付着力考慮)を用いた 3 次元 FEM モデル」に対応)

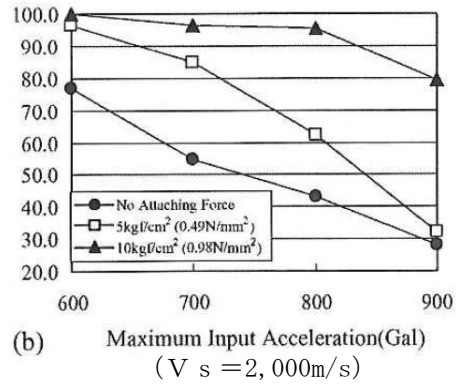
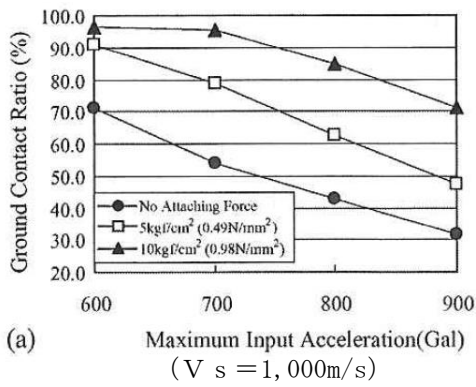


(a) 建物モデル

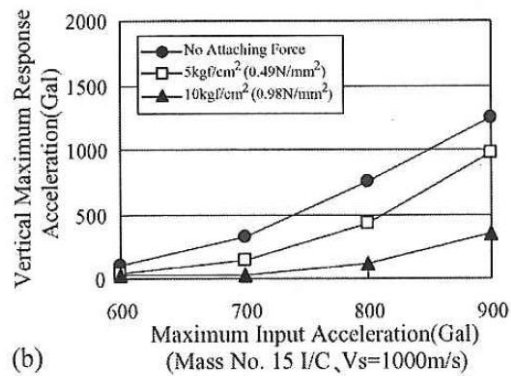
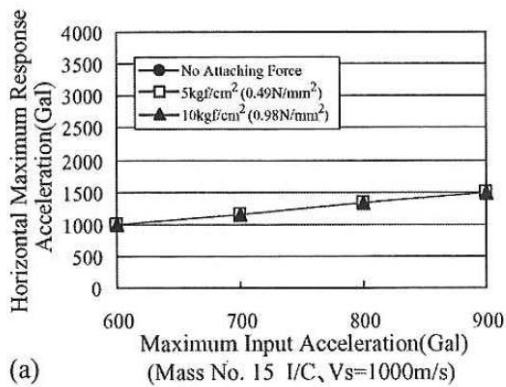


(b) 地盤モデル

図 2-1 既往論文におけるジョイント要素を用いた 3次元 FEMモデル



(1) 付着力の違いによる接地率の比較



(水平応答加速度)

(誘発上下動に伴う鉛直応答加速度)

(2) 付着力の違いによる最大応答加速度の比較

図2-2 既往論文におけるジョイント要素を用いた3次元FEMモデルの応答解析結果

3. 付着力を考慮した3次元FEMモデルの適用性に関する解析的検討について

3.1 検討方針

検討においては、ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルを採用している廃棄物処理建物を対象として、入力地震動を係数倍した地震応答解析を行い、最小接地率、入力地震動の倍率、水平応答加速度及び誘発上下動に伴う鉛直応答加速度の関係が既往論文と同様の傾向になることを確認する。

3.2 解析条件

地震応答解析モデルは図3-1に示す廃棄物処理建物の基本ケースのモデルとする。基礎形状が「NS方向：53.07m×EW方向：53.64m」であることから、基礎幅の小さいNS方向を代表して検討する。なお、基礎浮上り非線形性に与える付着力の影響を把握する事が目的である事から、建物の非線形性は考慮しない。

解析は、付着力を考慮しない場合（0N/mm²）と、付着力を考慮した場合（0.40N/mm²）の2ケース実施した。入力地震動は位相特性に偏りがなく、全周期帯において安定した応答を生じさせる基準地震動S_s-Dとし、一次元波動論に基づき、建物基礎底面レベル（EL 0.0m）での地盤応答を評価した地震動を用いる。本解析ではこの地震動を用いて、入力倍率を乗じた地震動を入力する。入力地震動は既往論文との比較のため、付着力を考慮しない条件で接地率が30%となる時の入力倍率を1.0倍として基準化し、接地率が100%となる0.5倍から、接地率が10%を下回る1.3倍まで0.1倍刻みで漸増させた。また、応答加速度について入力倍率が1.0倍のときの最大水平応答加速度及び最大鉛直応答加速度を応答倍率1.0倍として基準化した。なお、接地率が概ね30%を下回る範囲（入力倍率1.1～1.3）については参考として解析を実施した。

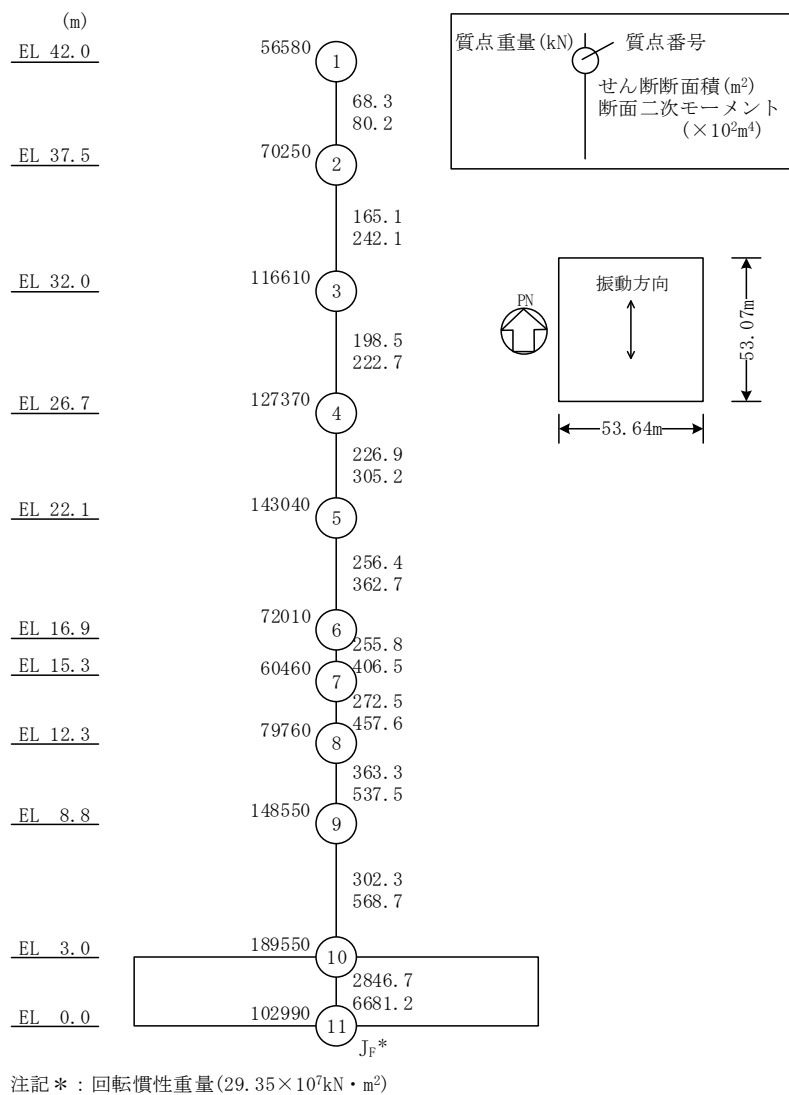
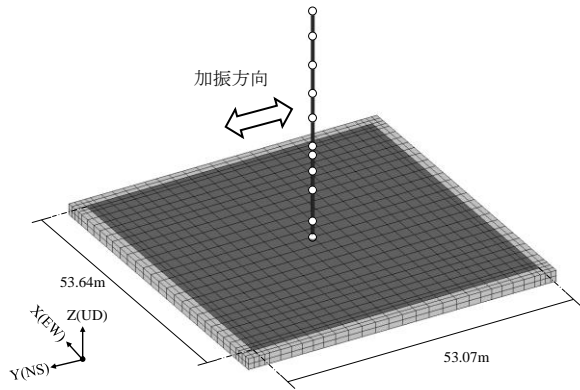
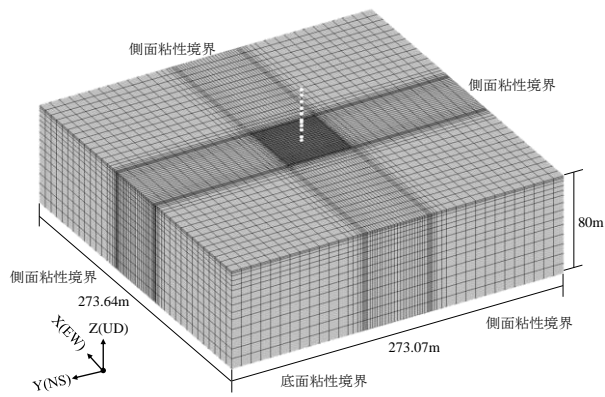


図 3-1 廃棄物処理建物の地震応答解析モデル

3.3 検討結果

付着力と最小接地率の関係を図 3-2 に示す。付着力を考慮しない場合と付着力を考慮する場合のいずれにおいても既往論文と同様の傾向を示しているとともに、接地率は入力地震動の大きさに応じて連続的に変化し、低接地率の領域においても特異な応答を生じていないことが確認できる。

付着力の有無による最大水平応答加速度への影響を図 3-3 に示す。最大水平応答加速度は付着力の有無によらずほぼ一致しており、既往論文と同様の傾向を示している。また、最大水平応答加速度は接地率に応じて連続的に変化し、低接地率の領域においても特異な応答を生じていないことが確認できる。

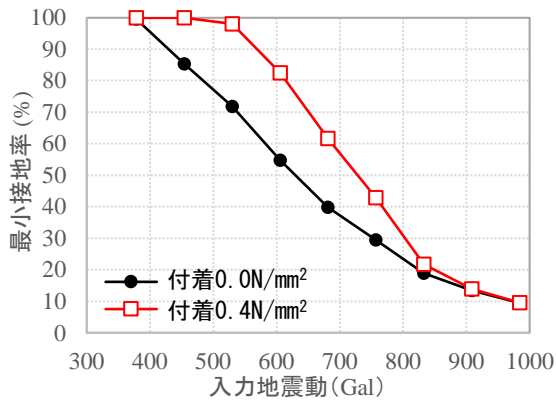
付着力の有無による誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度への影響を図 3-4 に示す。付着力の有無と誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度の関係は、既往論文と同様の傾向を示している。また、誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度は接地率に応じて連続的に変化し、低接地率の領域においても特異な応答を生じていないことが確認できる。

最大水平応答加速度は、入力倍率に応じて直線的に変化し、接地率が水平応答に与える影響は小さいが、鉛直応答は接地率が小さくなると、基礎浮き上がりの発生による誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度が急激に増大する傾向にある。

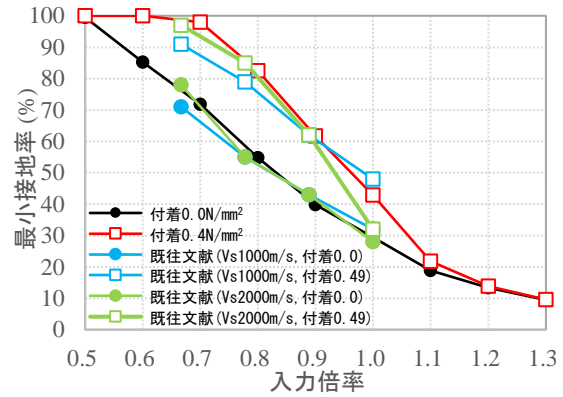
また、図 3-2(a) に示す接地率及び図 3-4(a) に示す誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度について、接地率 65%以上の範囲では誘発上下動の影響は小さく、65%を下回ると誘発上下動の影響が現れ、50%を下回ると誘発上下動が増大する傾向となっている。これは J E A C 4 6 0 1 - 2008 の基礎浮上り評価フローにおいて示されている各評価手法の適用範囲と整合している。

なお、既往論文と廃棄物処理建物は、表 2-1 に示すとおり、ほぼ同じ解析条件となっているが、建物形状、支持地盤、比較する質点位置等の相違点があることから、入力倍率及び応答加速度を基準化して比較し、その応答の傾向が同様であることを確認した。

以上の結果から、ジョイント要素（付着力考慮）を用いた 3 次元 F E M モデルによる応答は低接地率の範囲まで緩やかに変化し、既往論文と同様の傾向を示すことを確認した。

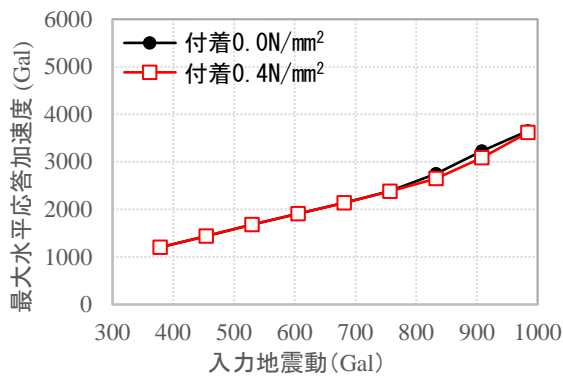


(a) 廃棄物処理建物

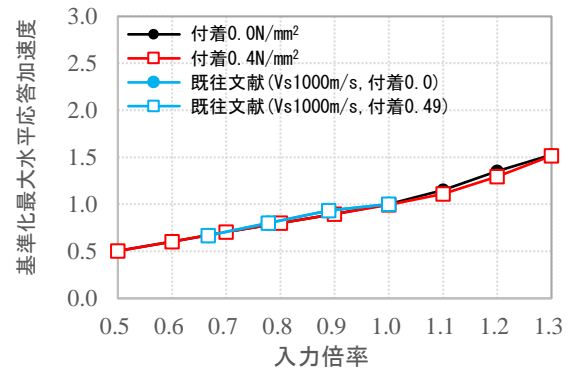


(b) 廃棄物処理建物と既往論文の比較

図 3-2 付着力の有無による接地率の比較



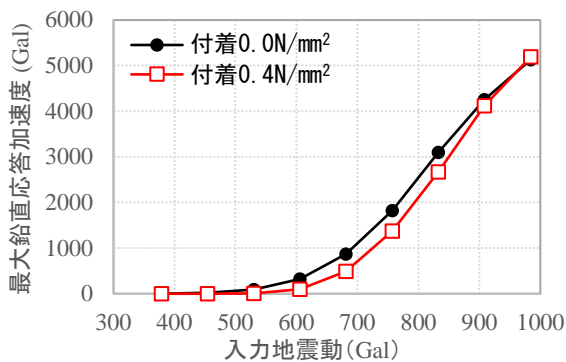
(a) 廃棄物処理建物



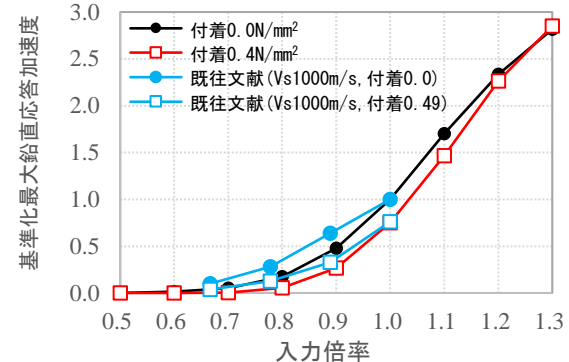
(b) 廃棄物処理建物と既往論文の比較

図 3-3 付着力の有無による最大水平応答加速度の比較

(廃棄物処理建物：質点 1, 既往論文モデル：質点 15)



(a) 廃棄物処理建物



(b) 廃棄物処理建物と既往論文の比較

図 3-4 付着力の有無による誘発上下動に伴う最大鉛直応答加速度の比較

(廃棄物処理建物：質点 1, 既往論文モデル：質点 15)

注：入力地震動は建物基礎底面レベル (EL 0.0m) で評価した地震動とする。既往論文との比較における入力倍率について、廃棄物処理建物では、付着力を考慮しない場合の接地率が 30%となる時の入力地震動を 1.0 倍として基準化し、既往論文では、付着力を考慮しない場合の接地率が概ね 30%となる時の入力地震動 900Gal を 1.0 倍として基準化した。なお、図 3-3 及び図 3-4 の既往論文との比較において、既往論文には Vs=1000m/s の結果のみ掲載されているため、Vs=1000m/s の結果と比較した。

4. 島根2号機におけるジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルの適用性について

島根2号機において採用したジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルは、既往論文における接地率の適用範囲に関する検討及び基礎底面に付着力を考慮した検討とほぼ同じ解析条件となっている。

「J E A C 4 6 0 1 - 2 0 1 5」において、ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルが提案されており、低接地率の範囲まで適用可能とされていることから、当社が付着力を考慮した場合も適用できると判断し、接地率 $\eta \geq 35\%$ を目安値として設定した。

また、廃棄物処理建物のジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルの解析結果について既往論文と比較検討した。

その結果、廃棄物処理建物のジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルの解析結果は既往論文で示された応答結果と同様の傾向を示していること及び低接地率となる領域においても特異な応答を生じていないことが確認でき、ジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルが適用可能な接地率を、付着力を考慮しない場合と同様に35%以上としていることの妥当性を確認した。

なお、島根2号機において今回採用するジョイント要素（付着力考慮）を用いた3次元FEMモデルによる工認モデル（基本ケース）の最小接地率は廃棄物処理建物で93.9%（S s - D, E W方向）、1号機原子炉建物で59.2%（S s - N 1, E W方向）であり、ともに35%を大きく上回る。

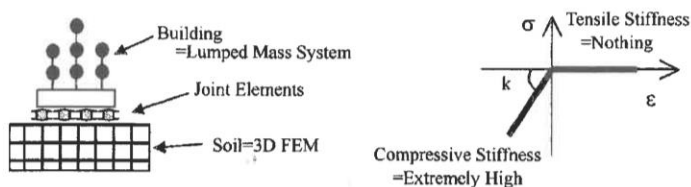
5. 参考文献

- (1) Nakamura, N. et al. : An estimation method for basemat uplift behavior of nuclear power plant buildings, Nuclear Engineering and Design, Vol.237, 2007.7, pp.1275-1287

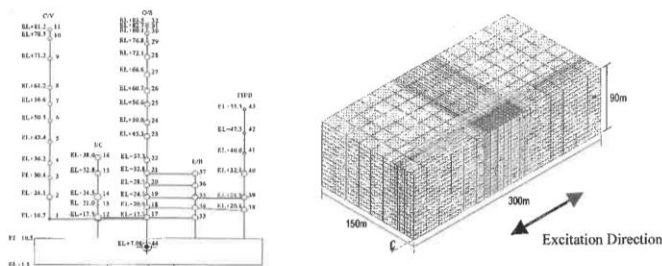
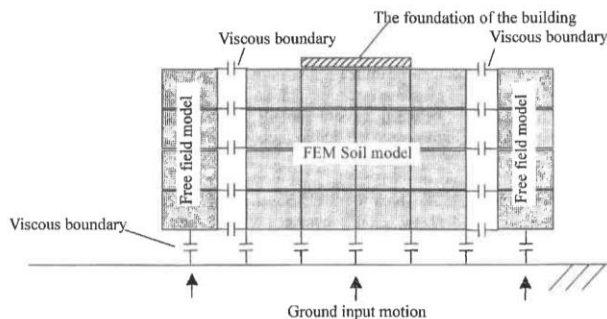
「J E A C 4 6 0 1 - 2015 参考資料 3.5(3) ジョイント要素を用いた 3次元 FEM地盤モデル」 (注: 1. (1)への引用箇所を下線で示す)

(3) ジョイント要素を用いた 3次元 FEM 地盤モデル (参 3.5-3)

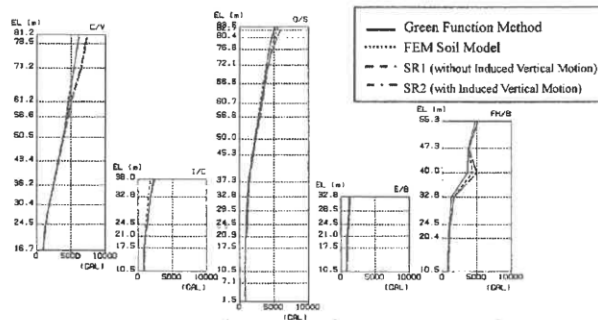
参图 3.5-9~参图 3.5-11 に提案されたモデルの概要を示す。地盤は 3次元の FEM でモデル化し、建物は質点系でモデル化している。基礎底面と地盤との間に引張りを負担しないジョイント要素を用いることにより、浮き上がり进行评估している。また、参图 3.5-10 に示すように、時間領域での解析であるため、地盤の各境界には粘性ダンパを設けている。



参图 3.5-9 提案された 3次元 FEM モデルの概念 (参 3.5-3)

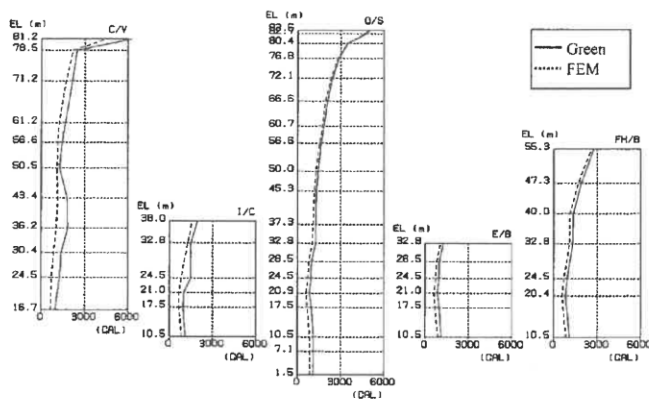


参図 3.5-12 に接地率が 30%程度の場合について、時間領域のグリーン関数法、3次元 FEM モデル、従来モデル（誘発上下動を考慮しない地盤の回転ばねに浮き上がり非線形を考慮したモデルで図中では SR1 と標記）、誘発上下動考慮の SR モデル（図中では SR2 と標記）の水平応答加速度を比較して示している。4 つの手法による応答結果はよく対応している。



参図 3.5-12 各解析法による水平応答加速度の比較 ($\eta=30\%$)

参図 3.5-13 に接地率が 30%程度の場合について、時間領域のグリーン関数法と 3次元 FEM モデルの鉛直応答加速度（誘発上下動）を比較している。両者はよく対応している。

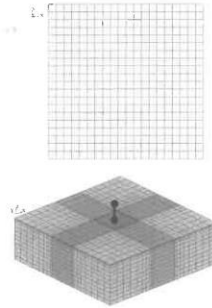


参図 3.5-13 グリーン関数法と 3次元 FEM モデルによる鉛直応答加速度（誘発上下動）の比較 ($\eta=30\%$)

ジョイント要素を用いた 3次元 FEM モデルの応答結果は、接地率 η が 30%程度まで時間領域のグリーン関数法の結果と概ね一致する。この結果をもとに文献（参 3.5-3）ではジョイント要素を用いた 3次元 FEM モデルの適用範囲として $\eta \geq 35\%$ を提案している。

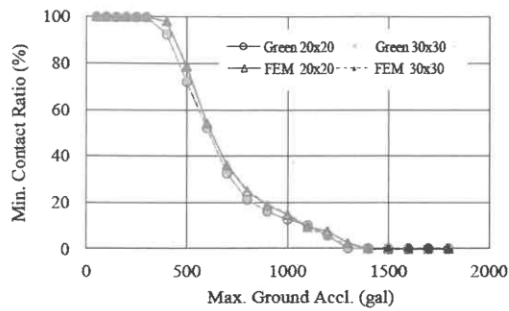
最新の研究では、低接地率時 ($\eta \leq 35\%$) における 3 次元 FEM モデルの妥当性について検討されている。硬質岩盤上に立つ原子炉建屋を模擬した基礎-上部建物の 1 質点系モデルを対象として、グリーン関数法および地盤の 3 次元 FEM モデルによる地震応答解析が行われ、両者の応答性状を比較することで低接地率時の 3 次元 FEM モデルの適用範囲が検討されている (参 3.5.4)。

グリーン関数法及び 3 次元 FEM モデルともに、参図 3.5-14 のように基礎部のメッシュ分割を均等 20 分割及び 30 分割とした 2 つを解析ケースとしている (検討結果において、Green20×20 : グリーン関数法で 20 分割, Green30×30 : グリーン関数法で 30 分割, FEM20×20 : FEM モデルで 20 分割, FEM30×30 : FEM モデルで 30 分割と記載)。

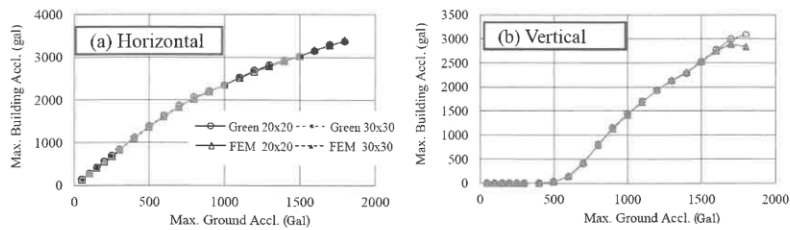


参図 3.5-14 検討モデル図 (20 分割の例 上 : 基礎部拡大, 下 : 全体鳥瞰図)

参図 3.5-15~参図 3.5-17 に各応答の結果を比較して示している。参図 3.5-16 の鉛直応答 (入力 1700Gal 以降) にやや差異が現れるものの、3 次元 FEM モデルのそれぞれの応答結果は、時間領域のグリーン関数法の結果と概ね対応している。この結果をもとに文献 (参 3.5.4) では、低接地率時 ($\eta \leq 35\%$) において完全に剥離 ($\eta = 0\%$) する場合を除き、3 次元 FEM モデルとグリーン関数法の両者の応答が良く対応することを示している。



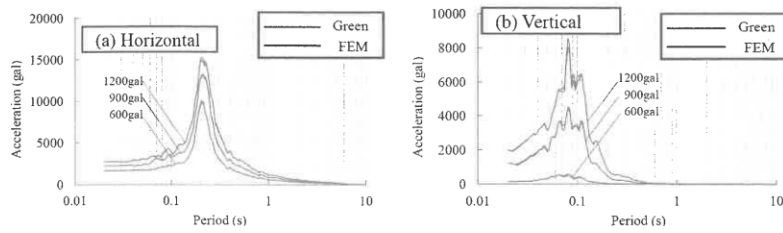
参图 3.5-15 最小接地率と地表最大加速度の比較



水平応答

鉛直応答

参图 3.5-16 入力加速度と建物最大応答加速度



水平応答

鉛直応答

参图 3.5-17 建物加速度応答スペクトル ($h=5\%$)

(20×20 分割: $\eta=55\%$ (600Gal 入力), 15% (900Gal 入力), 5% (1200Gal 入力) の比較)

「J E A C 4 6 0 1 - 2015 参考資料 3.5(7) 基礎底面の付着力を考慮した
基礎浮き上がり解析法」 (注: 1. (2)への引用箇所を下線で示す)

(7) 基礎底面の付着力を考慮した基礎浮き上がり解析法

基礎底面と地盤間の付着力を考慮した基礎浮き上がり解析法として、現在以下の方法が提案されている。

- ①付着力をジョイント要素で考慮した3次元 FEM 地盤モデルによる方法 (参 3.5-3)
- ②付着力を離散化した地盤ばねに考慮した方法 (参 3.5-8)
- ③付着力を SR モデルの回転地盤ばねに考慮した方法 (参 3.5-9)

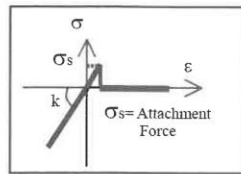
基礎底面の付着力はいずれの方法においても浮き上がりに対する引張抵抗としてモデル化されているが、地盤のモデル化方法や基礎浮き上がりの考慮方法などは各方法にそれぞれの特徴があり、浮き上がりを考慮した非線形地震応答解析としての適用範囲も異なっている。

①の方法は、地盤を3次元 FEM でモデル化し、基礎地盤間の剥離・滑り現象や付着力の影響をジョイント要素で考慮する方法である(本参考資料(3)参照)。②の方法は、地盤をウィングラ型の離散化ばねでモデル化し、剥離現象や付着力の影響を離散化ばねに考慮する方法である(本参考資料(6)参照)。③の方法は、地盤を集約した地盤ばね(水平ばね、回転ばね)でモデル化し、剥離現象や付着力の影響を基礎底面の回転地盤ばねに考慮した方法である。

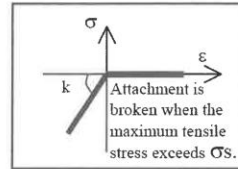
①、②の方法は付着力の考慮に加えて浮き上がりに伴う誘発上下動の評価が可能であり、これらの解析法は低接地率の範囲まで適用可能である。③の方法は浮き上がりに伴う誘発上下動が考慮されていないため、その適用範囲は誘発上下動の影響が大きくない範囲(目安として接地率 65%以上)と考えられる。

これらの解析法の中では、①の方法が基礎浮き上がり現象や付着力の影響を最も詳細にモデル化した方法と考えられ、これまでの検討例も多い。以下に、この解析法による PWR 型原子炉建屋を対象とした付着力の影響に関する解析例を示す。

参図 3.5-35 は、付着力を考慮したジョイント要素の特性を示している。付着力を超える引張応力が作用した以後は付着力が失われるモデルとなっている。参図 3.5-36 は付着力の違いによる接地率の比較を示し、参図 3.5-37 は付着力による最大応答値(水平加速度、鉛直加速度)の影響について示している。付着力は接地率や浮き上がりに伴う鉛直方向加速度(誘発上下動)に大きく影響するが、水平応答への影響は小さいことが示されている。

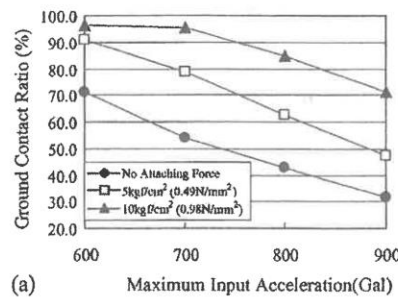


(a) 付着力が切れる前の特性



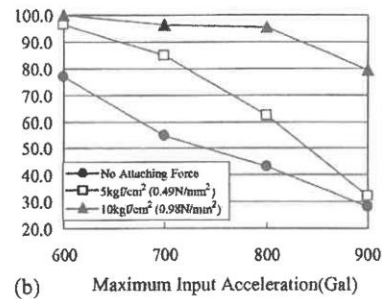
(b) 付着力が切れた後の特性

参図 3.5-35 付着力を考慮したジョイント要素 (参 3.5-3)



(a)

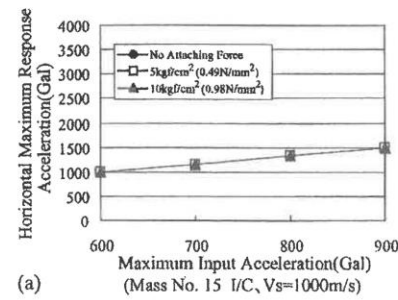
(a) $V_s=1000\text{m/s}$ 地盤



(b)

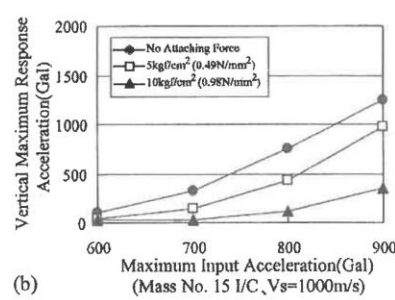
(b) $V_s=2000\text{m/s}$ 地盤

参図 3.5-36 付着力の違いによる接地率の比較 (参 3.5-3)



(a)

(a) 水平加速度



(b)

(b) 鉛直加速度

参図 3.5-37 付着力の違いによる最大応答値の比較 (参 3.5-3)

建物基礎底面の付着力に関する検討

1. 概要

本資料は、建物・構築物の地震応答解析モデルの基礎底面に設定した付着力に関して、その設定の妥当性について説明する。

2. 検討方針

地震応答解析に考慮する付着力について、既往の知見及び島根原子力発電所で実施した付着力試験の結果を踏まえて設定する。

3. 「JNES報告書」による付着力に関する研究

建物基礎と地盤間の付着力に関しては系統だった研究はあまり行われておらず、知見も限られる状況の中、「(独)原子力安全基盤機構の報告書⁽¹⁾」(以下「JNES報告書」という。)では付着力について試験及び解析的検討が実施され、次の知見が得られたとされている。

- ・直接引張による付着力試験結果を用いたシミュレーション解析により、面的な広がりをもつ試験体の基礎浮上り挙動をよく再現できた。(付着力を $1\text{N}/\text{mm}^2$ として、引張塑性を考慮した付着特性を用いて有限要素法解析した結果、中規模試験とほぼ等しい最大荷重が得られた。)
- ・基礎浮上り評価においては、実際の発電所サイトの岩盤やレベルコンクリートの状況から付着力を推定するあるいは試験等で付着力を確認することによって、基礎浮上り評価に付着力を考慮することが可能と考えられる。

注記：「JNES報告書」からの引用箇所を下線で示す。

これらの知見の島根原子力発電所への適用性の確認と、「JNES報告書」の試験方法を参考とした試験計画の策定を目的として、「JNES報告書」の研究内容を確認した。

以下に「JNES報告書」の概要を示す。

3.1 研究概要

既往の原子炉施設は、図 3-1 に示すように岩盤に直接支持されており、表層土を掘削した後、岩盤上に直接コンクリートを打設するのが一般的である。この場合コンクリートと岩盤の境界面には付着力が生じていると予想され、地震時の基礎浮上り挙動に影響を与えると考えられる。しかし、付着力に関しては系統だった研究は少なく、知見が十分ではないことから、建物基礎-岩盤間の付着力把握試験及び解析を実施し、実際の原子炉施設において付着力が基礎浮上り性状に与える影響を検討するための基礎データを取得することを目的として、本検討が実施された。

図 3-1 に示すように岩盤と基礎との間にはレベルコンクリートが打設されるため、接合面としては、岩盤とレベルコンクリート間 (図 3-1 の①)、及びレベルコンクリートと基礎コンクリート間 (図 3-1 の②) が存在する。本検討では、①を模擬した 10cm×10cm の接合面での付着力を検討する要素試験体による直接引張試験及び曲げ引張試験と、①、②を模擬した 150cm×150 cm の接合面で付着力を検討する中規模試験体による静的引き上げ実験及び 3 次元 FEM 解析を用いた解析的検討が行われた。

検討の結果、3次元 FEM 解析に設定する付着力の材料特性値としては、要素試験体による直接引張試験結果が適切と考えられるとしている。

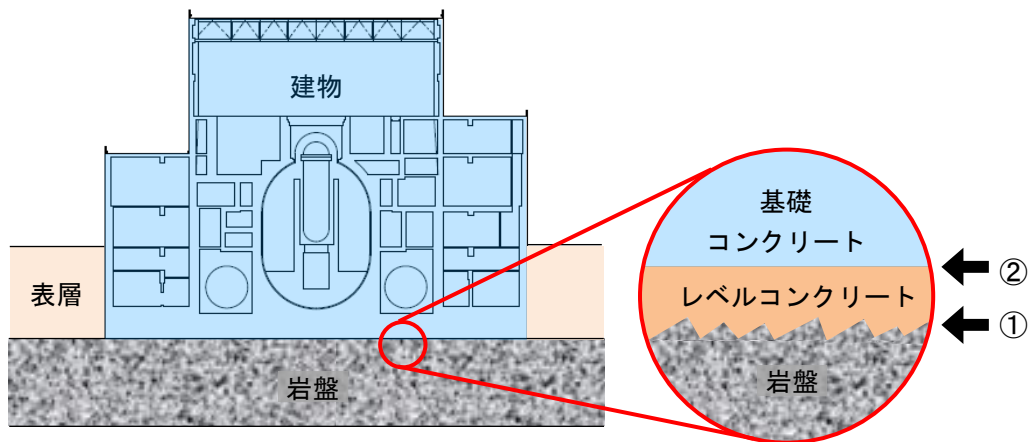


図 3-1 原子炉施設の建物基礎と岩盤

3.2 要素試験

3.2.1 実験因子と水準

要素試験の実験因子と水準を表 3-1 に示す。岩盤種類は硬岩として花崗岩、軟岩として凝灰岩、硬岩と軟岩の間間的な一軸圧縮強度レベルとして砂岩としている。岩盤の表面は自然破断面としている。レベルコンクリートの強度は、代表的なレベルコンクリート（推定強度 180kg/cm²）と同程度と考えられる呼び強度 15N/mm²としている。

表 3-1 実験因子と水準

実験因子	水準
岩盤の種類	①花崗岩（圧縮強度 150N/mm ² 程度） ②砂 岩（圧縮強度 100N/mm ² 程度） ③凝灰岩（圧縮強度 20N/mm ² 程度）
岩盤の表面粗さ	平滑面（自然破断面：凹凸 10～20mm 程度）
コンクリート強度	呼び強度 15N/mm ²

3.2.2 試験方法

(1) 岩盤の物性

岩盤の物性は、一軸圧縮強度（JGS 2521-2000）、圧裂引張強度（JGS 2551-2000）、及び超音波伝播速度（JGS 2110-1998）を測定している。

(2) コンクリートの物性

コンクリートの物性は、材齢 28 日及び直接引張試験材齢における圧縮強度と割裂引張強度を測定している。

(3) 直接引張試験

試験体寸法は 60cm×10cm×20cm とした。高さ 10cm の岩盤の上部にコンクリートを厚さ 10cm で打設し、湿布養生を行ったとしている。

試験体は 1 種類の岩盤に対して 6 体作製し、1 試験体について 2 箇所実施している。試験体にはあらかじめ下部の岩盤に達するまでの切れ込みをコンクリートカッターで入れたとしている。加力箇所上面には 10cm×10cm の鋼製治具をエポキシ樹脂で接着したとしている。加力は図 3-2 に示す方法で行い、岩盤とコンクリートの界面が剥離破壊するまでの荷重を測定している。直接引張試験による付着力 F_t は、下式より算定している。

$$F_t = \frac{P}{A}$$

ここで、 F_t : 付着力 (N/mm²)

P : 最大荷重 (N)

A : 破断面積 (mm²)

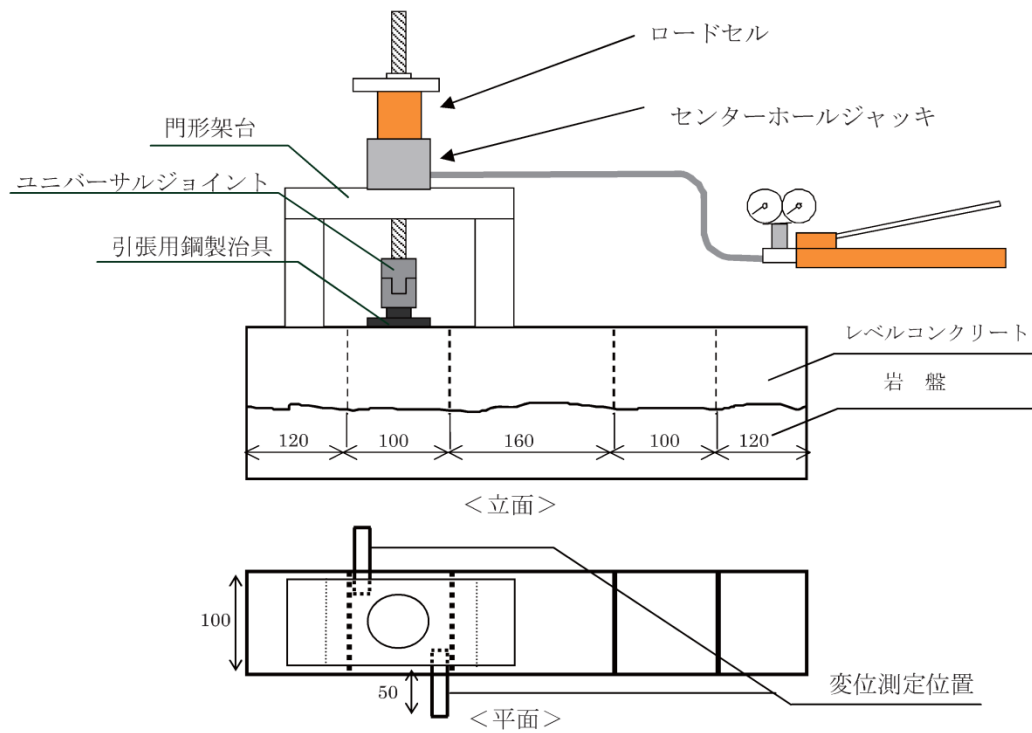


図 3-2 直接引張試験方法

(4) 曲げ試験

試験体寸法は長さ 40cm×幅 10cm×高さ 10cm としている。長さ 20cm の岩盤を縦に設置し、その上部にレベルコンクリートを厚さ 20cm で打設して湿布養生を行ったとしている。加力は図 3-3 に示す方法で行い、界面が剥離破壊するまでの荷重を測定している。曲げ試験による付着力 F_b は、下式より算定している。

$$F_b = \frac{P L}{B H^2}$$

- ここで、 F_b : 付着力 (N/mm^2)
P : 最大荷重 (N)
L : 支点間距離 (300mm)
B : 破断面幅 (mm)
H : 破断面高さ (mm)

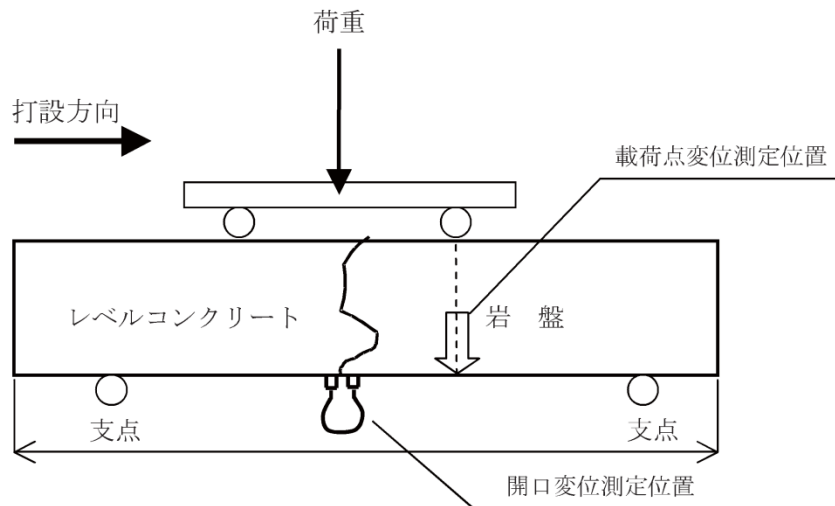


図 3-3 曲げ引張試験方法

3.2.3 実験結果

(1) 岩盤の物性

岩盤の超音波伝播速度測定結果及び圧縮強度と圧裂引張強度試験結果を図3-4に示す。

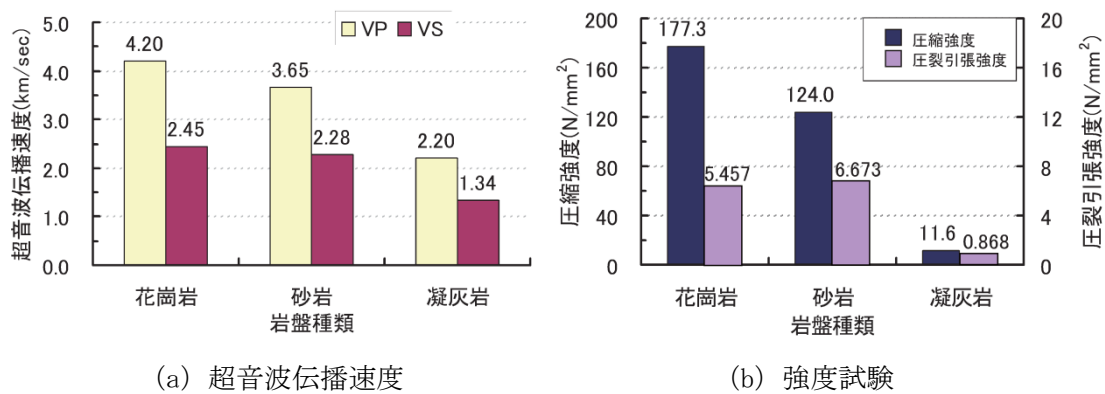


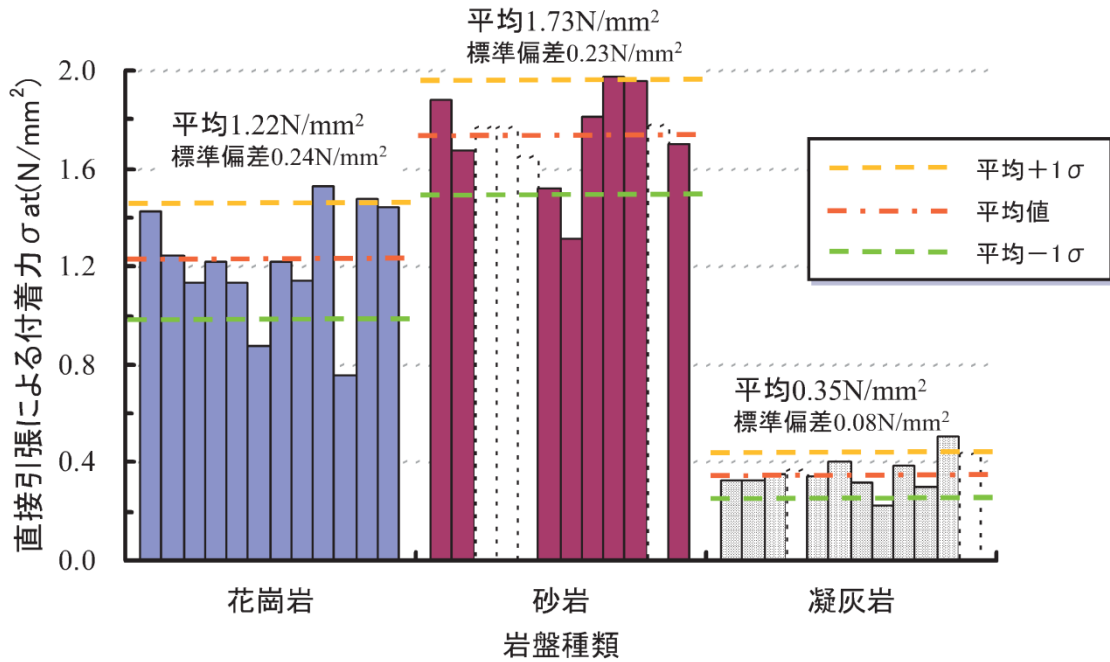
図3-4 岩盤の試験結果

(2) コンクリートの物性

レベルコンクリートの圧縮強度は、材齢28日では平均21.9N/mm²、直接引張試験と曲げ試験を実施した材齢30日では平均24.7N/mm²であったとしている。また、割裂引張強度は材齢28日では平均2.25N/mm²、材齢30日では平均2.38N/mm²であり、圧縮強度の約1/10であったとしている。

(3) 直接引張試験

図 3-5 に直接引張試験結果を示す。界面で破壊しなかった結果は点線で示している。付着力の平均値は、砂岩 (1.73N/mm^2) > 花崗岩 (1.22N/mm^2) > 凝灰岩 (0.35N/mm^2) となった。岩盤の圧裂引張強度は、砂岩 (6.7N/mm^2) > 花崗岩 (5.5N/mm^2) > 凝灰岩 (0.9N/mm^2) の順となっており、付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向となったとしている。



※破線のデータは、岩盤がスリットから斜めに破壊した値を示す。(平均値からは除外)

図 3-5 直接引張試験による付着力

(4) 曲げ試験

図 3-6 に曲げ試験結果を示す。付着力の平均値は、砂岩 (1.98N/mm^2) > 花崗岩 (1.86N/mm^2) > 凝灰岩 (1.04N/mm^2) となったとしている。付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向にあり、これは直接引張試験の場合と同様であるとしている。

直接引張試験による付着力に対する曲げ試験による付着力の比は、花崗岩では 1.5, 砂岩では 1.15, 凝灰岩では 3.0 となったとしている。コンクリートでは一般的に曲げ強度は引張強度の 1.2 倍～3 倍程度とされており、今回の試験結果は概ね同じ程度であったとしている。

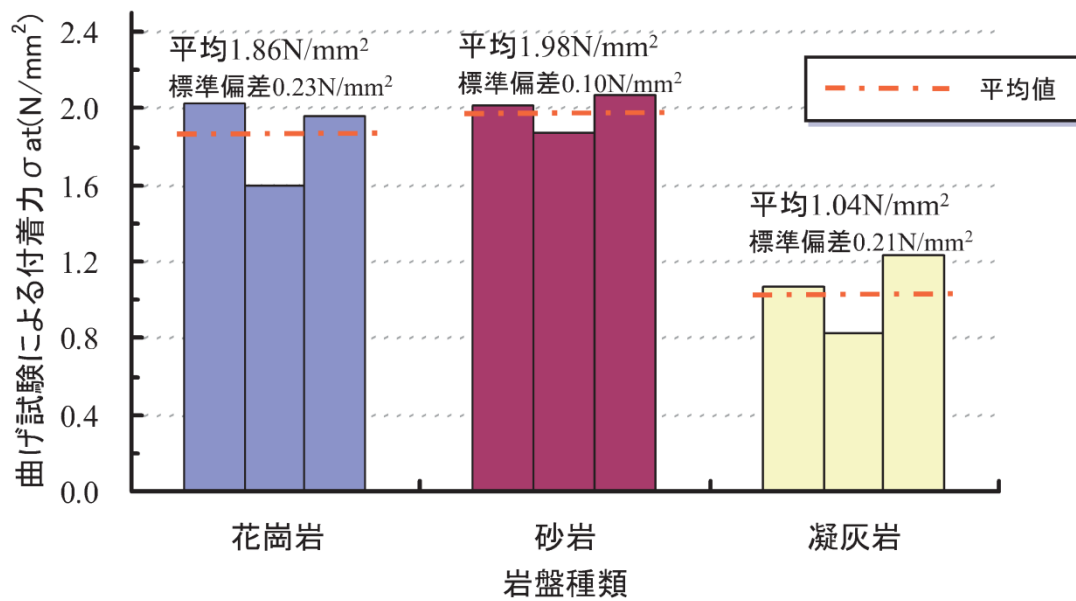


図 3-6 曲げ試験による付着力

3.3 中規模試験

3.3.1 実験因子と水準

中規模試験シリーズの実験変数を表 3-2 に示す。岩盤とレベルコンクリート間を対象とした RC シリーズでは、岩盤を花崗岩とし、その表面は粗面と平滑面の 2 種類の自然破砕面としている。粗面及び平滑面の最大凹凸差は、それぞれ、80mm 程度と 20mm 程度としている。また、レベルコンクリートと基礎コンクリート間を対象とした CB シリーズでは、実施工の状況を考慮し、レベルコンクリートの表面を木ごて仕上げとし、レイタンスの除去等の処理を施さない状態で接合面に基礎コンクリートを打設したとしている。試験体は各試験シリーズにつき 3 体としている。岩盤は「3.2 要素試験」と同一種類の花崗岩を使用している。

表 3-2 中規模試験体シリーズ

試験シリーズ	下層材	上層材	下層材表面
RC-N	花崗岩 (圧縮強度 150N/mm ² 程度)	レベルコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	粗面 (凹凸 80mm 程度)
RC-F	花崗岩 (圧縮強度 150N/mm ² 程度)	レベルコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	平滑面 (凹凸 20mm 程度)
CB	レベルコンクリート (呼び強度 15N/mm ²)	基礎コンクリート (呼び強度 30N/mm ²)	木ごて仕上げ

3.3.2 試験方法

RC シリーズの形状・寸法を図 3-7 に示す。接合面の寸法は、1.5m×1.5m であり、接合面は、岩盤下面から 400mm～480mm 程度の高さに位置している。CB シリーズ試験体では、下層材と上層材の厚さを 400mm とし、他の形状寸法は RC シリーズと同一としている。

図 3-8 に加力方法を示す。下層材の 3 辺を PC 鋼棒により反力床に固定し、基礎浮上り時における付着力の応力勾配を模擬するため、上層材の偏心位置に引張力を载荷したとしている。

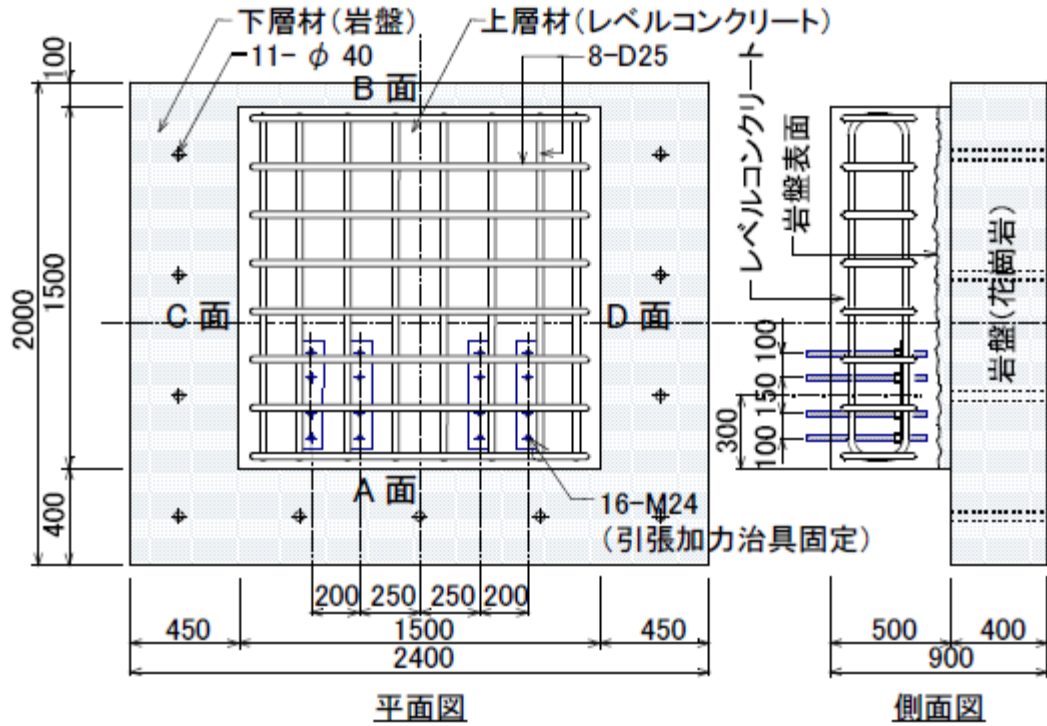


図 3-7 試験体形状・寸法 (RCシリーズ)

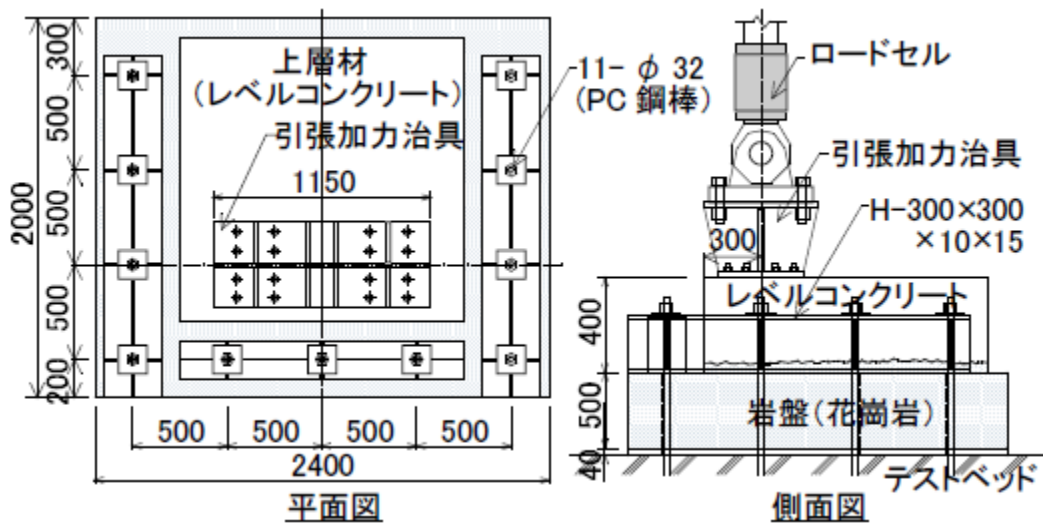


図 3-8 加力方法

3.3.3 実験結果

各試験シリーズのコンクリートの強度試験結果を表3-3に示す。

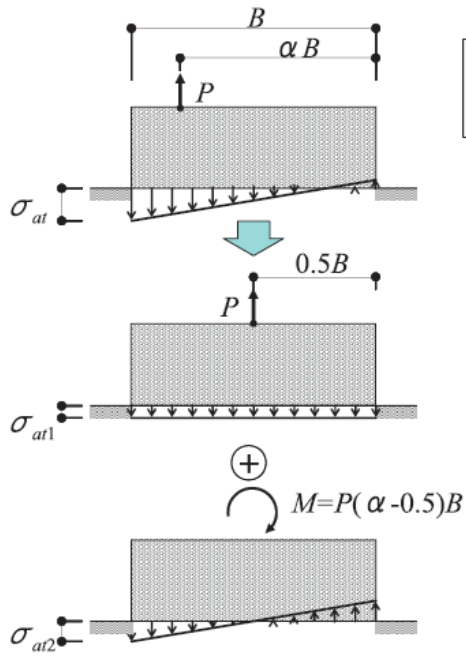
表3-3 コンクリートの強度試験結果

試験シリーズ	部位	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
RC-N	レベルコンクリート	19.5	1.96	2.26×10 ⁴
RC-F	レベルコンクリート	20.7	1.89	2.28×10 ⁴
CB	レベルコンクリート	20.5	2.19	2.27×10 ⁴
	基礎コンクリート	33.6	2.68	2.84×10 ⁴

実験結果の一覧を表3-4に示す。最大荷重は上層材と加力治具の重量を差し引いた値としている。また、付着力は、偏心引き上げ荷重に対して接合面の付着応力分布を線形と仮定して力のつり合いより評価した値であるとしている(図3-9)。こうした評価方法による付着力は、花崗岩とレベルコンクリート間で花崗岩表面の粗度によらず、0.5N/mm²程度となり、また、レベルコンクリートと基礎コンクリート間で0.6N/mm²程度となったとしている。

表3-4 実験結果

試験体	最大荷重 (kN)	付着力 (N/mm ²)	平均付着力 (N/mm ²)
RC-N1	360.9	0.45	0.53
RC-N2	462.9	0.58	
RC-N3	447.1	0.56	
RC-F1	437.0	0.54	0.54
RC-F2	442.8	0.55	
RC-F3	415.5	0.52	
CB-W1	550.8	0.69	0.63
CB-W2	404.3	0.50	
CB-W3	572.3	0.71	



- 線形付着応力分布の仮定
- レベルコン・加力治具重量補正

$$P = P_{\max} - W_D$$

P_{\max} : 最大荷重

W_D : レベルコン・
加力治具重量

$$\sigma_{at} = \sigma_{at1} + \sigma_{at2} = (3\alpha - 1) \frac{2P}{B^2}$$

$$\sigma_{at1} = \frac{P}{B^2}$$

$$\sigma_{at2} = \frac{M}{Z} = \frac{6P(\alpha - 0.5)}{B^2}$$

図 3-9 中規模試験による付着力評価方法

3.4 中規模試験体を対象とした3次元FEM解析

3.4.1 解析概要

花崗岩とレベルコンクリートの付着力は、直接引張試験では平均値が 1.2N/mm^2 程度であり、偏心引き上げ荷重に対して付着応力に線形分布を仮定した場合の中規模試験結果は 0.5N/mm^2 程度となったとしている。両者による付着力の評価結果の差を検討するため、RCシリーズ試験体を対象に、接合面の付着特性をジョイント要素でモデル化した3次元FEM解析を実施している。

図3-10に解析モデルを示す。対称性を考慮し、試験体の半分を解析モデルとしている。

花崗岩とレベルコンクリートはソリッド要素、両者の界面はジョイント要素でモデル化したとしている。花崗岩とレベルコンクリートは弾性体とし、弾性定数は表3-5に示す材料試験結果を用いたとしている。また、ジョイント要素は、図3-11に示すように相対変位が 0.002mm までは付着力を保持するものとし、この付着力は直接引張試験結果を参考に 1N/mm^2 としたとしている。

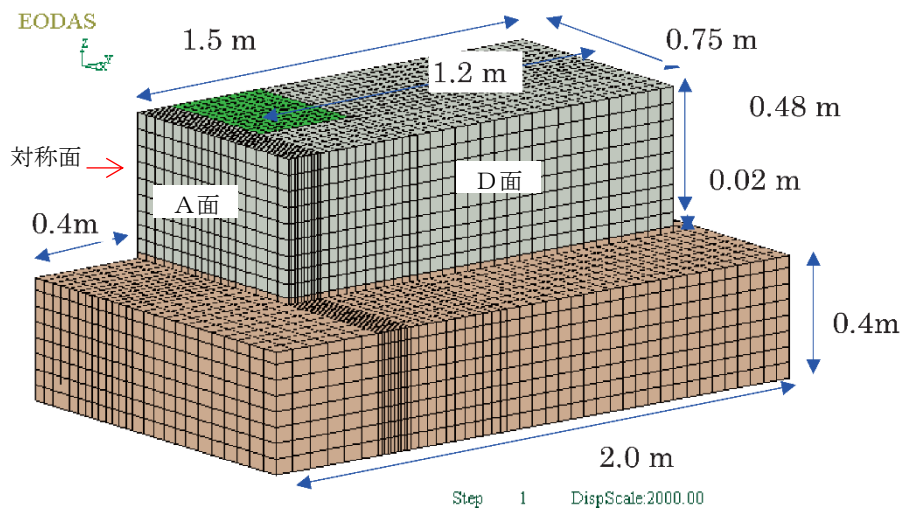


図3-10 解析モデル（「JNES報告書」記載図に一部加筆）

表3-5 弾性定数

材料	ヤング係数 (N/mm^2)	ポアソン比
レベルコンクリート	2.3×10^4	0.18
花崗岩	4.45×10^4	0.24

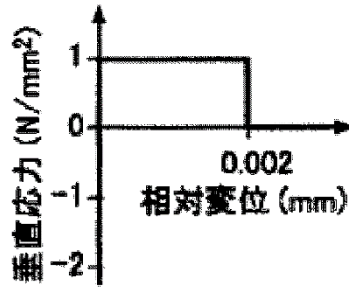


図 3-11 ジョイント要素の特性

3.4.2 解析結果

解析の結果、引き上げ荷重が 448kN で接合前面面に剥離が生じ、最大荷重に達したとしている。RC シリーズ試験体の最大荷重は 361kN～463kN (表 3-4) であり、最大荷重の解析結果は中規模試験結果と概ね良好に対応したとしている。

最大荷重時のジョイント要素の、対称面 ($x=0\text{m}$) と D 面 ($X=0.75\text{m}$)、及び加力治具近傍の $X=0.25\text{m}$ での垂直応力分布を図 3-12 に示す。

レベルコンクリート側面 (D 面) におけるジョイント要素の垂直応力分布はほぼ線形と見なせるものの、中心軸近傍では、加力点側の端面 (A 面) に大きな垂直応力が生じる非線形分布を呈している。

中規模試験と直接引張試験による付着力の評価結果の差は、接合面の付着応力分布の評価方法に起因していると考えられ、付着力の材料特性値としては、直接引張試験による値がより適切と考えられるとしている。

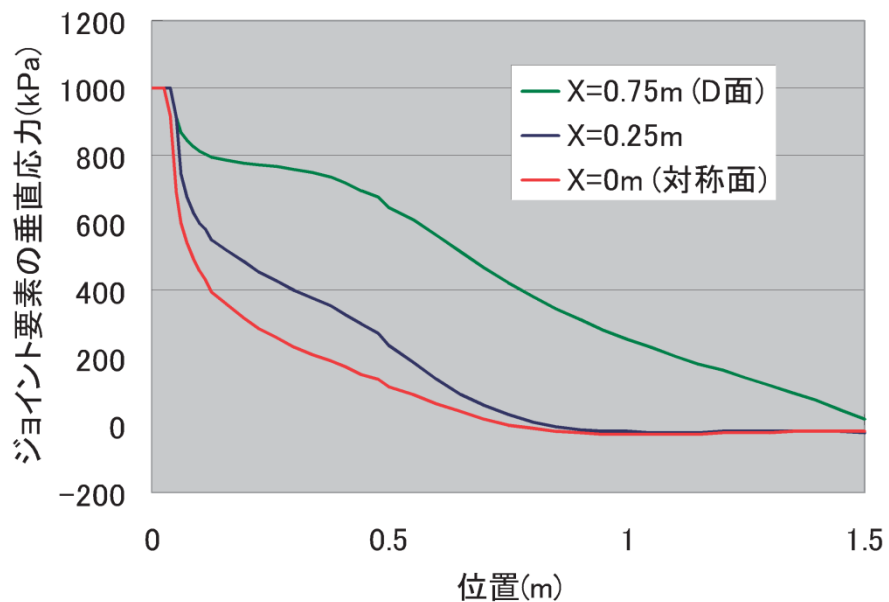


図 3-12 ジョイント要素の垂直応力分布 (断面)

3.5 まとめ

「JNES 報告書」の知見の島根原子力発電所への適用性の確認と、「JNES 報告書」の試験方法を参考とした4章の試験計画の策定を目的として、「JNES 報告書」の研究内容を確認した。

確認の結果、「JNES 報告書」で対象としている岩盤は実機と同程度の硬岩であり、レベルコンクリートは一般的な強度のものを用いていることから、その知見は島根原子力発電所において適用することが可能と考えられる。

また、4章の試験計画の策定にあたっては、「JNES 報告書」の知見を踏まえた考察を行った。

「JNES 報告書」では以下の知見が得られたとされている。

- ・面的な広がりをもつ中規模試験体の試験及びそのシミュレーション解析結果から、基礎浮上り挙動時の建物－地盤間の接合面の付着応力分布（図 3-12）は、基礎浮上りが生じている側の端面に大きな垂直応力が生じる非線形分布（引上げ側の端部で集中的に大きくなっている）となる。
- ・付着力として設定する値として、接合面を 100mm×100mm とした直接引張による付着力試験結果を用いることで基礎浮上り挙動をよく再現できた。
（試験体加力断面の大きさ 10cm×10cm の試験体を作製して、直接引張試験を行う。）
（界面に設けたジョイント要素は、付着力を引張試験で得られている値を参考に 1N/mm²（1MPa）とした。）
（岩盤とレベルコンクリートとの界面をジョイント要素でモデル化し、有限要素法により中規模試験体の解析を実施した結果、付着力を 1N/mm² と設定した場合に、最大引き上げ荷重の試験結果と解析結果が良好に一致した。）

注記：「JNES 報告書」からの引用箇所を下線で示す。

これに対し、以下の考察を行い、4章の試験計画を策定した。

- ・実際の建物・構築物は面的な広がりをもつことから、基礎浮上り挙動時の建物－地盤間の接合面の付着応力分布は、中規模試験体と同様に、基礎浮上りが生じている側の端面に大きな垂直応力が生じる非線形分布となると考えられる。
- ・基礎浮上り挙動の接合面の応力状態は、各要素レベルでは上向きの引張応力に対し付着力が抵抗する状態となることから、解析においては、接合面の各要素レベルに設定する付着力の値は単純引張の応力状態での試験結果に基づく必要があると考えられる。
- ・単純引張の応力状態を試験体で再現するにあたっては、試験体のスケールが大きいとせん断や曲げが生じやすく、また、スケールが小さいと粗骨材等の影響を受け試験結果が安定しないことから、試験体形状を適切に設定しなければならないと考えられる。
「JNES 報告書」の直接引張試験の結果は、中規模試験体の基礎浮上り挙動をよく再現できていることから、直接引張試験体の接合面（100mm×100mm 程度）は単純引張の応力状態を測定するにあたり、適切なスケールであると考えられる。

4. 付着力試験

「JNES 報告書」の結果を踏まえて、実際の建物・構築物の建物―地盤間に設定する付着力として、直接引張試験結果を用いることとする。よって、島根原子力発電所の地震応答解析モデルに設定する付着力の値を求めるため、発電所サイトの岩を用いた付着力試験を実施した。付着力試験方法の策定にあたっては、強度試験の項目・試験内容及び接合面の形状（スケール）について、「JNES 報告書」を参考とした。付着力試験方法の策定概要を図 4-1 に示す。

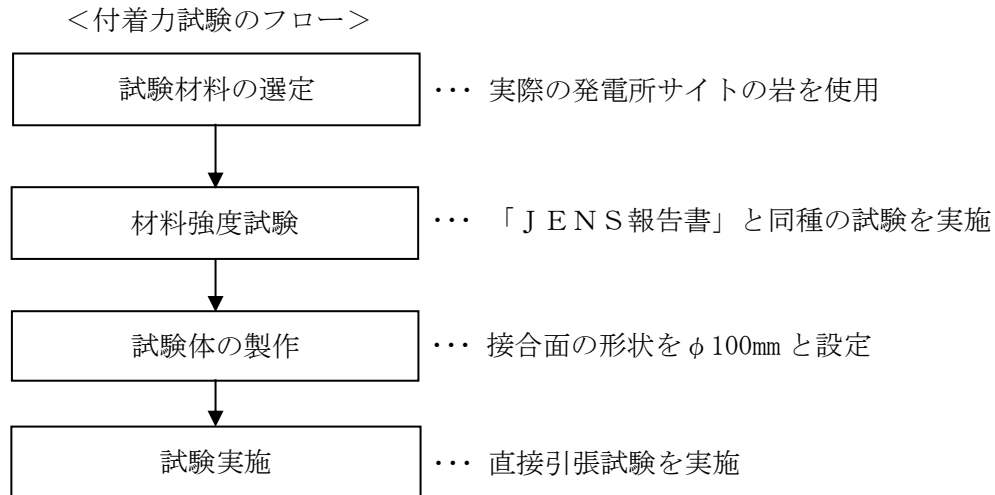


図 4-1 付着力試験方法の策定概要

4.1 試験概要

建物の建設にあたっては、施工精度確保の観点から岩盤上にコンクリート（レベルコンクリート）を打設し基礎底面を平坦にした後、基礎コンクリートの打設を行っている。

そこで、建物基礎底面と地盤（岩盤）間に生じる付着力を把握するため、岩盤―レベルコンクリート間、及びレベルコンクリート―基礎コンクリート間を模擬した試験体を用いて付着力試験を行った。なお、岩盤―レベルコンクリート間の付着力試験は、敷地の岩盤状況の影響を考慮するため敷地内の岩盤上で実施する。

地震応答解析に用いる付着力はこれらの試験結果に基づき設定する。

4.2 岩盤―レベルコンクリート間の付着力試験

4.2.1 使用材料の概要

(1) 岩盤の種類

島根原子力発電所の耐震上重要な建物が設置されている岩盤（以下「建物直下地盤」という。）と同種の岩を用いることとし、付着力試験に用いた岩盤の種類を表 4-1 に示す。いずれも岩盤の表面は自然面とした。

敷地の地質水平断面図を図 4-2 に、地質鉛直断面図を図 4-3 に示す。

建物直下地盤は主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成されている。

表 4-1 岩盤の種類

No.	岩盤種類	岩盤表面の状態	試験(付着力試験種別)
①	黒色頁岩	自然面：比較的平滑	現地試験*
②	凝灰岩	自然面：凹凸数 mm 程度	現地試験*

注記*：敷地内の岩盤に直接コンクリートを打設

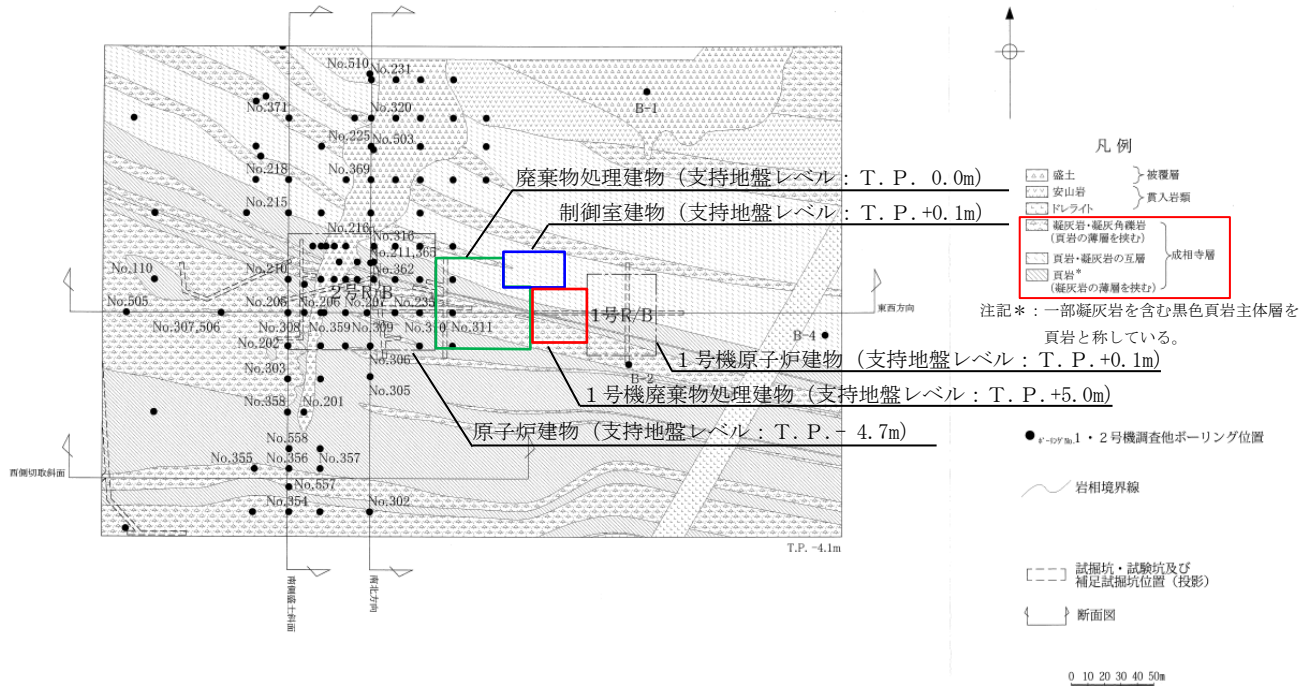
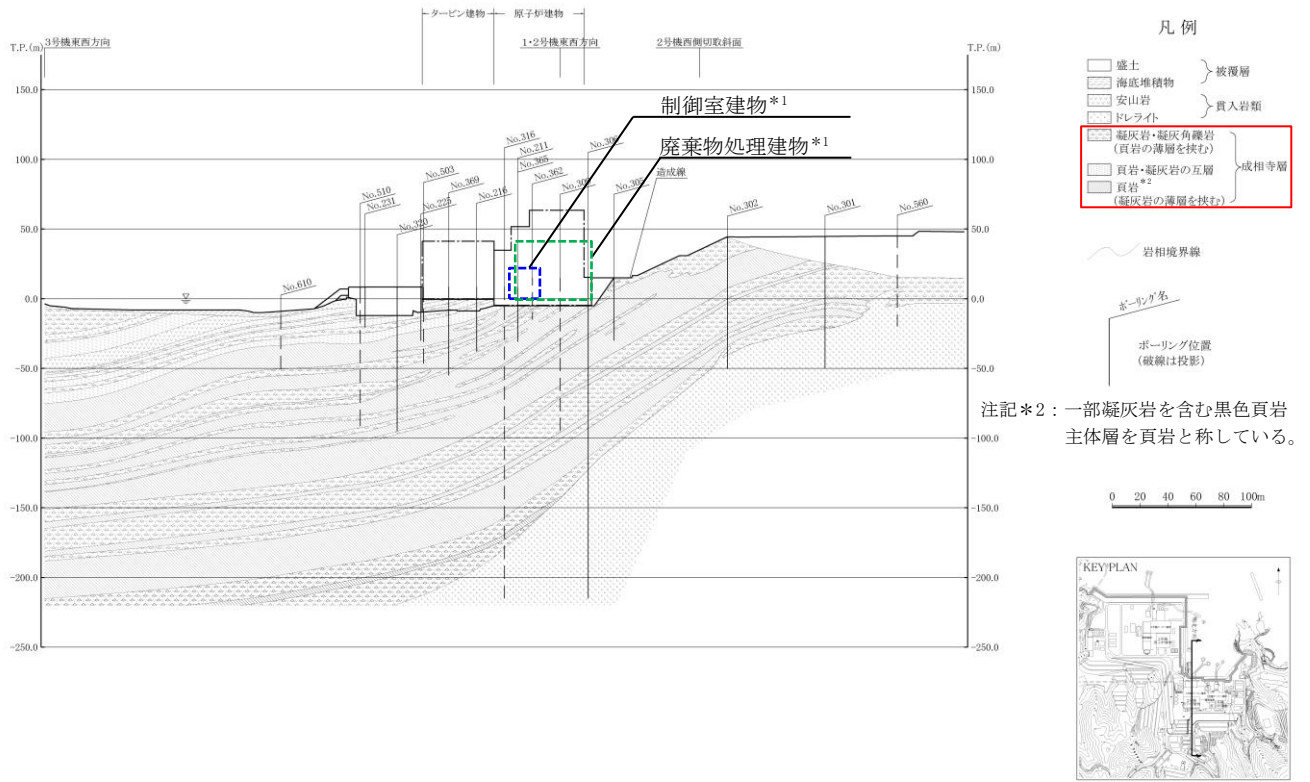
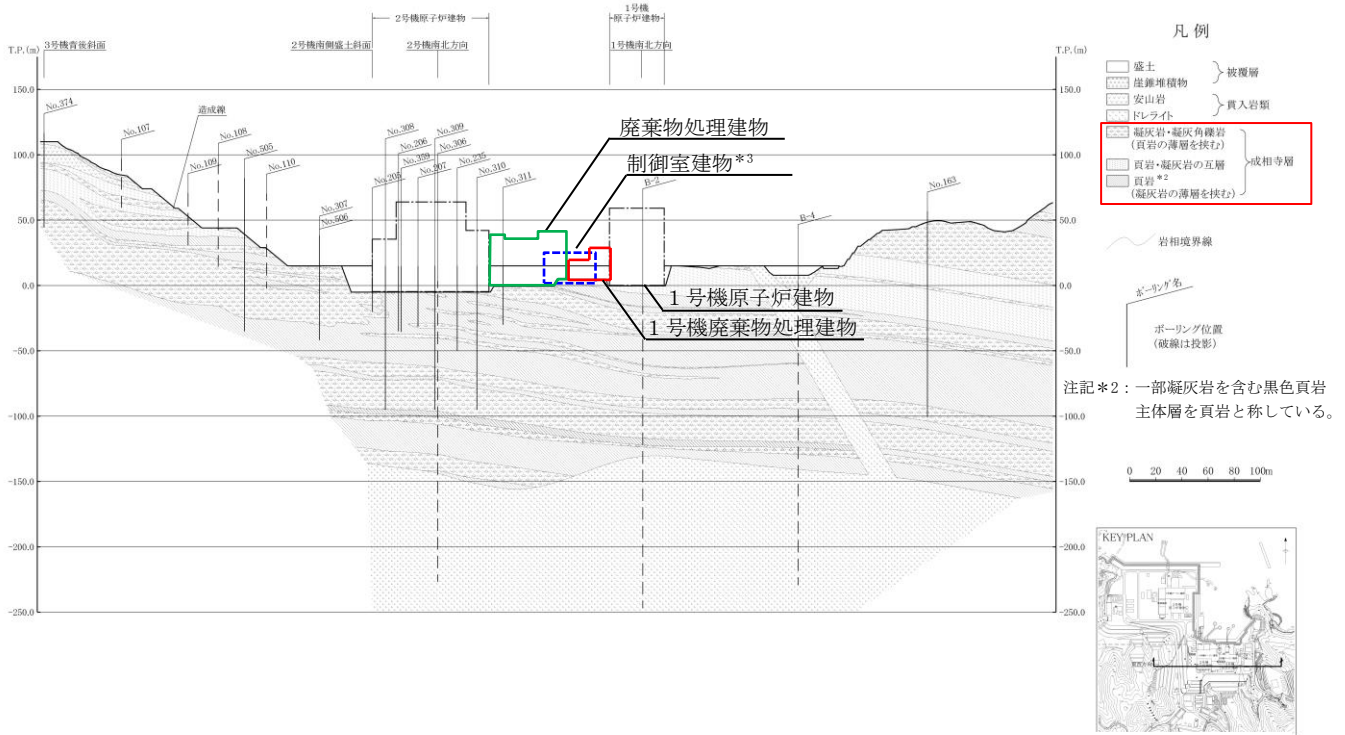


図 4-2 地質水平断面図 (2号機)



注記*1：制御室建物，廃棄物処理建物位置を投影

図 4-3(1) 地質鉛直断面図（南北方向）（2号機）



注記*3：制御室建物位置を投影

図 4-3(2) 地質鉛直断面図（東西方向）（2号機）

(2) レベルコンクリートの強度

レベルコンクリートの強度は、 $18\text{N}/\text{mm}^2$ とした。

4.2.2 岩盤及びレベルコンクリートの強度試験

(1) 岩盤の強度試験

岩盤の強度試験として、地盤工学会の「地盤工学関係規格・基準⁽²⁾」に基づき、圧縮強度、圧裂引張強度の測定を行った。

(2) コンクリートの強度試験

コンクリートの強度試験として、付着力試験材齢における圧縮強度（J I S A 1 1 0 8）と割裂引張強度（J I S A 1 1 1 3）の測定を行った。

4.2.3 付着力試験

試験は、建物直下地盤と同等な岩盤を対象に、敷地内の岩盤（黒色頁岩及び凝灰岩）上に $\phi 100\text{mm}$ 、高さ約 100mm のコンクリートを直接打設した。試験位置を図4-4に、試験位置付近の地質断面図（水平、鉛直）を図4-5に、試験体の概要を図4-6に、岩盤の状況を図4-7に示す。図4-5は、敷地地盤の傾斜から試験位置の地質を推定したものであり、図4-7のスケッチ図と比較的整合していることが分かる。

試験体は試験材齢前に型枠を脱型し、上部の引張治具をロードセルに接続し、岩盤とコンクリート境界面が剥離破壊する際の最大荷重を測定した。

付着力試験装置の概要を図4-8に示す。既工認実績における付着力試験方法との比較を添付資料-1に示す。

付着力 F_t は下式により算出した。

$$F_t = \frac{P}{A}$$

ここで、 F_t : 付着力 (N/mm^2)

P : 最大荷重 (N)

A : 断面積 (mm^2)

標本数は、「J N E S 報告書」と同様に1岩種あたり12個とし、全部で24個の試験体を用いて付着力試験を実施した。なお、標本数の妥当性について、他の原位置試験における標本数を確認すると、土木学会指針⁽³⁾に規定されている原位置における岩盤試験の標本数は、3ないし4個以上*とされており、地盤工学会の「岩盤の原位置一軸引張り試験方法（J G S 3 5 5 1 - 2020）」においても3個以上とされていることから、これらと比べても十分な標本数といえる。

注記*：土木学会指針に規定された試験の標本数（原位置岩盤の平板載荷試験：3個以上、原位置岩盤のせん断試験：4個以上、岩盤の孔内載荷試験：3点以上）

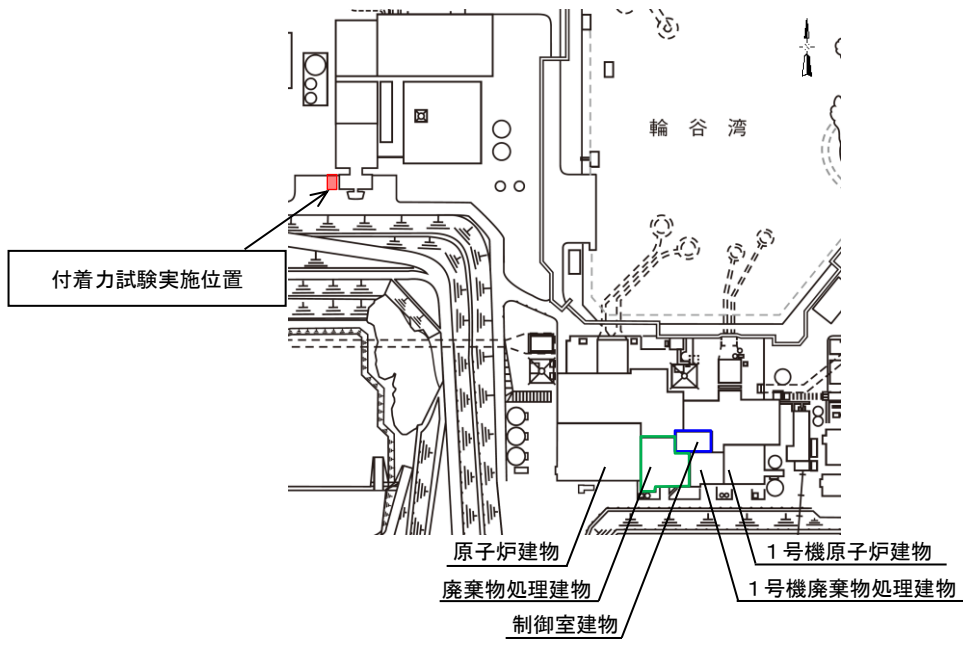


図 4-4 試験位置

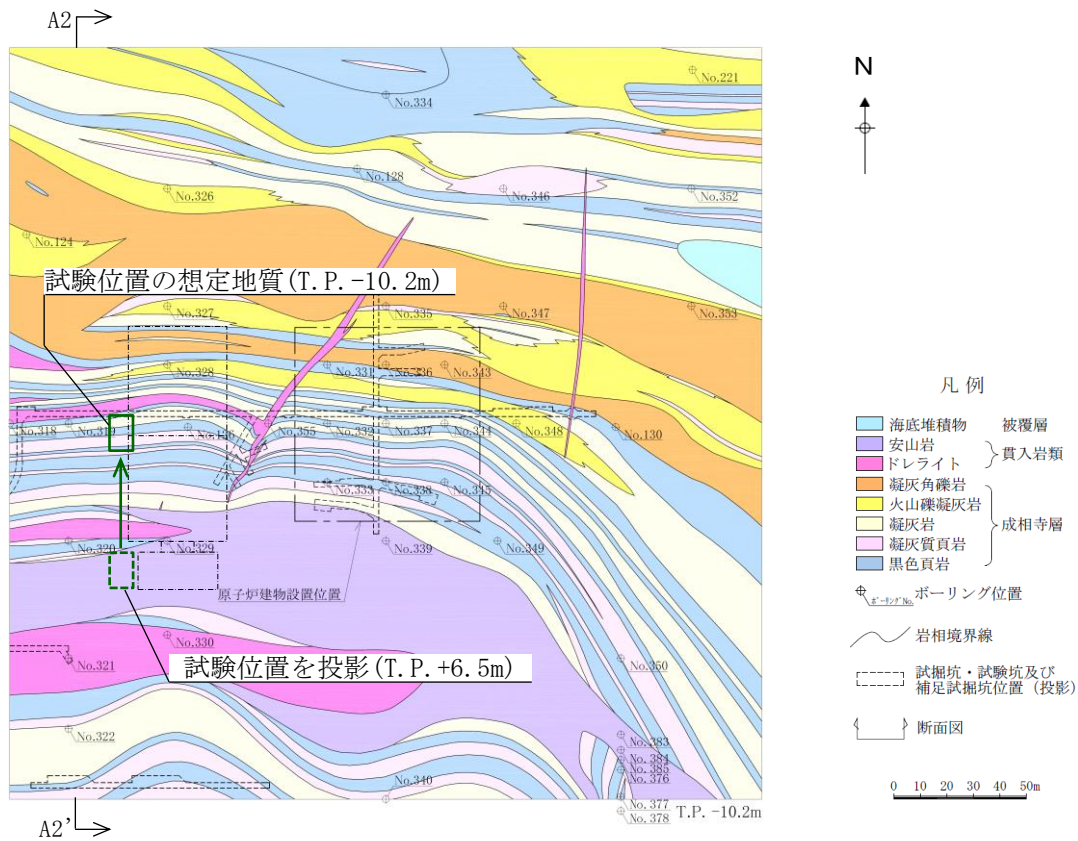


図 4-5(1) 試験位置付近の水平地質断面図 (T.P. -10.2m)

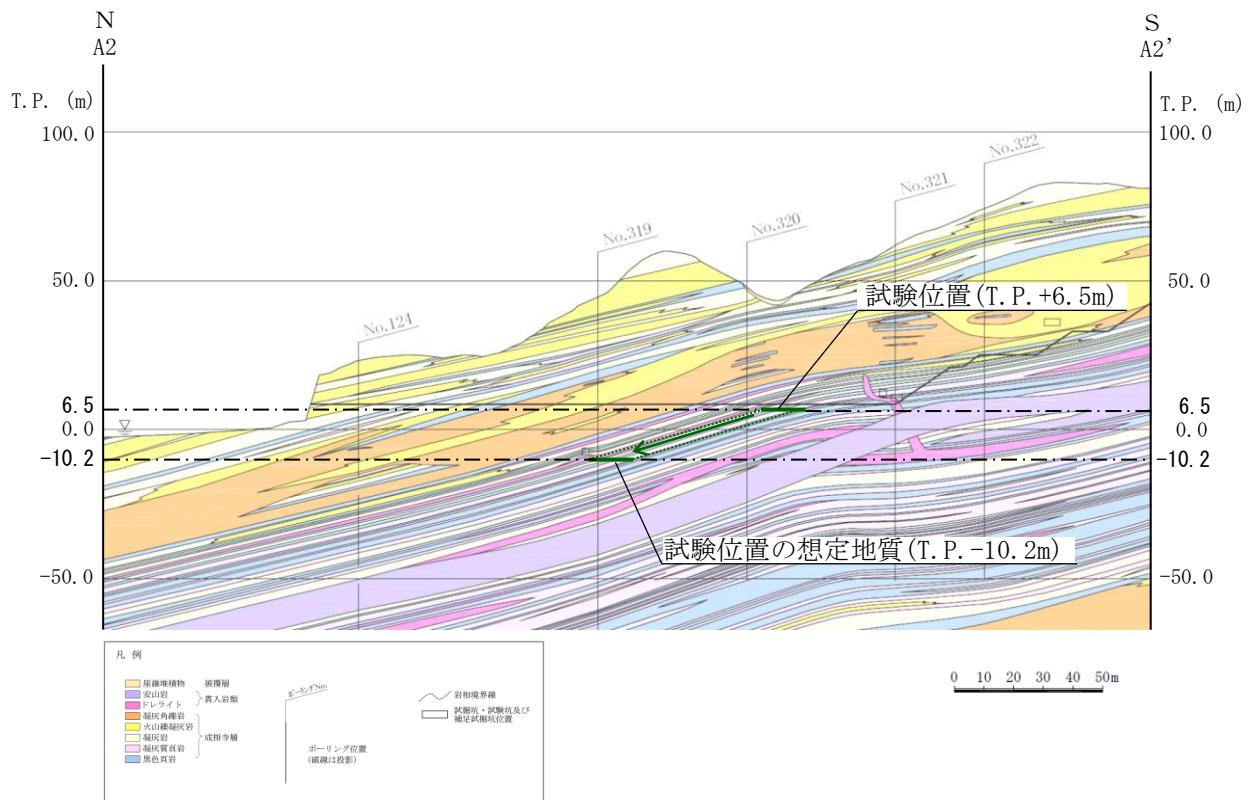


図 4-5(2) 試験位置付近の鉛直地質断面図 (A2-A2' 断面)

4.2.4 試験結果

(1) 岩盤の強度

試験に用いた岩盤の圧縮強度及び圧裂引張強度の試験結果を表 4-2 に示す。

表 4-2 岩盤の物性試験結果*

岩盤種類	圧縮強度 (N/mm ²)	圧裂引張強度 (N/mm ²)
黒色頁岩	47.6	7.14
凝灰岩	49.1	9.36

注記* : 試験体 6 本の平均値

(2) コンクリートの強度

試験に用いたコンクリートの圧縮強度及び割裂引張強度を表 4-3 に示す。

表 4-3 コンクリートの物性試験結果*

材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)
7	26.5	2.52

注記* : 試験体 6 本の平均値

(3) 付着力

付着力試験の結果を表 4-4, 図 4-9 に示す。

建物直下地盤は主に黒色頁岩と凝灰岩で構成されていることを踏まえ、岩盤全体として評価した付着力の平均値は 0.98N/mm² (標準偏差 : 0.30N/mm²) となった。

なお、個々の岩盤における付着力の平均値は、黒色頁岩 0.81N/mm² (標準偏差 : 0.26N/mm²) , 凝灰岩 1.15N/mm² (標準偏差 : 0.24N/mm²) であった。

表 4-4 付着力試験の結果 (岩盤-レベルコンクリート)

試験体の種類	平均値 (N/mm ²)	
岩盤-レベルコンクリート	0.98	
黒色頁岩-レベルコンクリート		0.81
凝灰岩-レベルコンクリート		1.15

岩盤－レベルコンクリート間における付着力試験実施後の破断面の状況を、添付資料－2に示す。

なお、凝灰岩－レベルコンクリート間の付着力は、「JNES報告書」に比べて大きな値となっている（島根： 1.15N/mm^2 、「JNES報告書」： 0.35N/mm^2 ）が、「JNES報告書」では、「直接引張試験による付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向となった。」と報告されていることを踏まえ、付着力と圧裂引張強度に関係性があると判断し、両者の圧裂引張強度を比較すると、島根が「JNES報告書」に比べて約11倍大きな値（島根： 9.36N/mm^2 、「JNES報告書」： 0.868N/mm^2 ）となっていることから、この差は凝灰岩自体の物性（圧裂引張強度）の違いによることが一因であるといえる。

また、「JNES報告書」によると、試験に用いている岩盤の種類は、軟岩サイトの代表例として凝灰岩を、硬岩サイトの代表例として花崗岩を取り上げており、両者の付着力を比較すると、硬岩である花崗岩の付着力が大きいことが示されている（花崗岩：平均 1.22N/mm^2 、凝灰岩：平均 0.35N/mm^2 ）。

よって、付着力は岩種や強度により差が生じるものであるといえるが、今回の試験は原位置で直接引張試験を行っていることから妥当なものといえる。

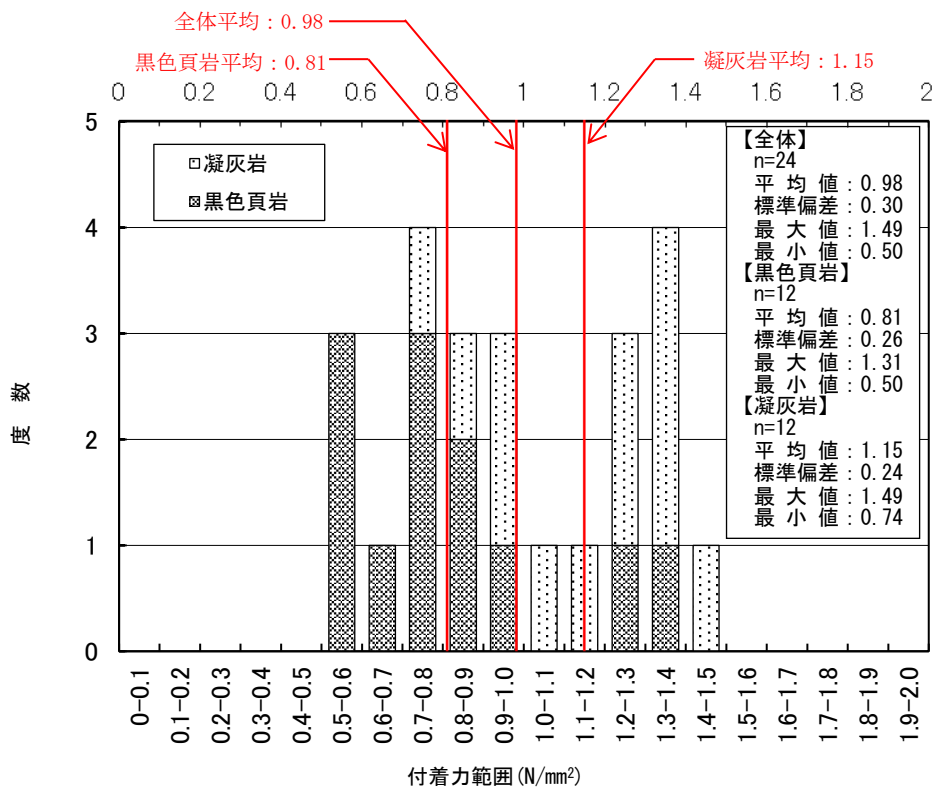


図4-9 付着力試験の結果（岩盤－レベルコンクリート）

4.3 レベルコンクリートー基礎コンクリート間の付着力試験

4.3.1 レベルコンクリート及び基礎コンクリートの強度

レベルコンクリートの強度は 18N/mm^2 とし、基礎コンクリートの強度は 21N/mm^2 とした。

4.3.2 コンクリートの強度試験

コンクリートの強度試験として、付着力試験材齢における圧縮強度（J I S A 1 1 0 8）と割裂引張強度（J I S A 1 1 1 3）の測定を行った。

4.3.3 付着力試験

試験体は、高さ約 100mm に打設したレベルコンクリートを 7 日間養生した後に、高さ約 100mm の基礎コンクリートを打設し、 $\phi 100\text{mm} \times$ 高さ 200mm の試験体を作製し、さらに 7 日間養生した後に試験を実施した。レベルコンクリートの接合面の状態は木ごて押えとした。

付着力は、岩盤ーレベルコンクリート間の付着試験と同様に、コンクリート相互の境界面が剥離破壊する際の最大荷重を測定し算出した。試験体及び付着力試験方法の概要を図 4-10 に示す。

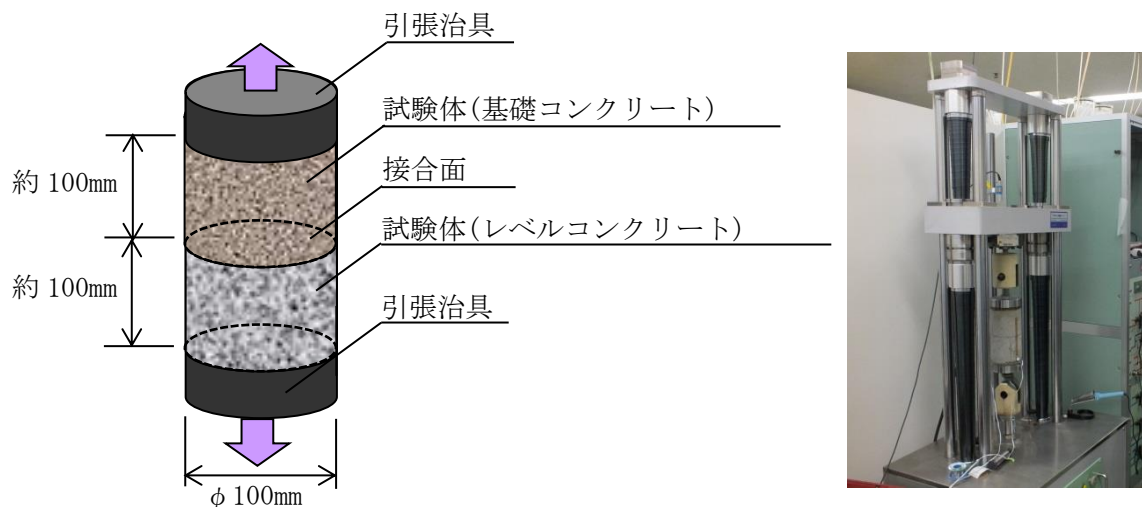


図 4-10 試験体及び付着力試験方法の概要（室内試験）

4.3.4 試験結果

(1) コンクリートの強度

コンクリートの圧縮強度及び割裂引張強度の試験結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 コンクリートの物性試験*

種類	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)
レベルコンクリート(F c 18)	14	33.3	3.04
基礎コンクリート(F c 21)	7	27.2	2.79

注記* : 試験体 3 本の平均値

(2) 付着力

付着力試験の結果を図 4-11 に示す。

付着力の平均値は、1.61N/mm² (標準偏差 : 0.12N/mm²) であった。

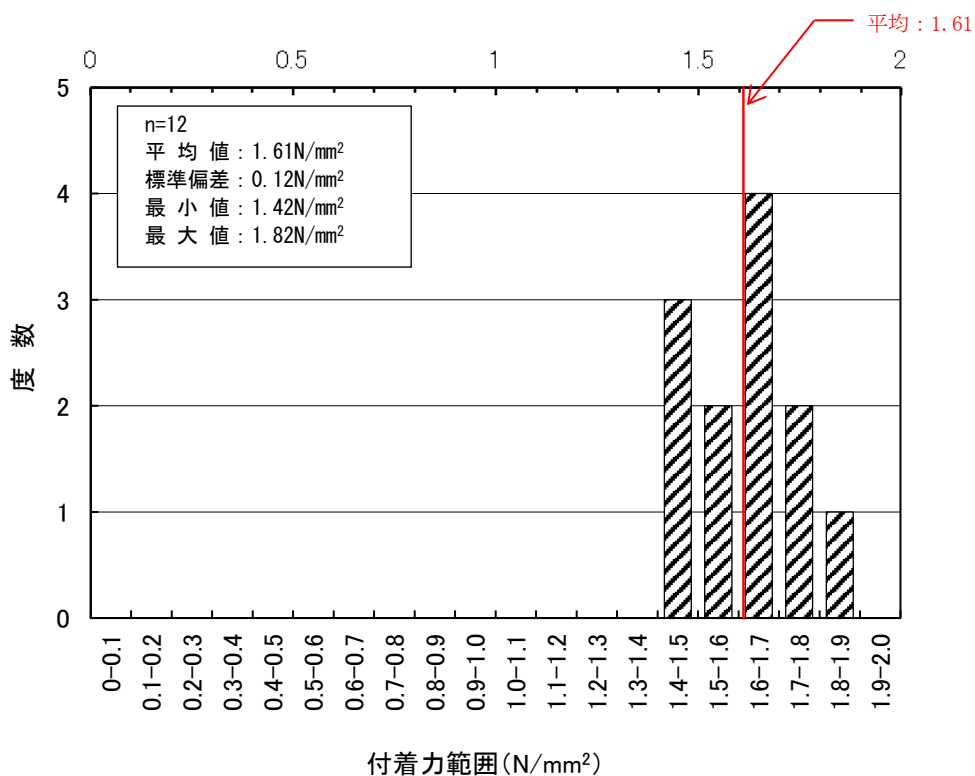


図 4-11 付着力試験の結果
(レベルコンクリート-基礎コンクリート)

5. 地震応答解析に用いる付着力の設定

「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」及び「レベルコンクリート－基礎コンクリート間の付着力試験」の結果並びに設定付着力を表5-1に示す。「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」の付着力の方が小さいことから、「岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験」の付着力試験結果より、地震応答解析に用いる付着力を設定する。

表5-1に示すとおり、地震応答解析に用いる付着力は、2種の岩種のうち平均値の小さい黒色頁岩の平均値 0.81N/mm^2 に対して2倍の安全率を考慮し 0.40N/mm^2 を採用した。

表5-1 付着力試験の結果及び設定付着力

試験	試験体の種類	平均値 (N/mm^2)	設定付着力 (N/mm^2)
原位置 試験*1	岩盤－レベルコンクリート		0.40*2
	黒色頁岩－レベルコンクリート	0.81	
	凝灰岩－レベルコンクリート	1.15	
室内 試験	レベルコンクリート－基礎コンクリート	1.61	

注記*1：直接引張試験

*2：各試験のうち、平均値の小さい黒色頁岩の平均値に対して2倍の安全率を考慮

ここで、設定付着力 0.40N/mm^2 について、定量的な評価を行い、その保守性を確認する。

表5-1に示すとおり、「岩盤－レベルコンクリート」の付着力の平均値は 0.98N/mm^2 となっている。また、岩種別の平均値では、黒色頁岩は 0.81N/mm^2 、凝灰岩は 1.15N/mm^2 となっており、黒色頁岩は凝灰岩より付着力の平均値が小さくなっている。

岩盤物性を用いる解析では一般に試験結果の平均値を用いるが、今回実施した付着力試験では、物性値のばらつき、原位置試験の不確実性を踏まえて、平均値をそのまま用いるのではなく、保守性を考慮し、平均値に対して2倍の安全率を考慮した。

なお、安全率については、一般的な地盤に関する安全率として、基礎地盤の許容支持力度の例を挙げると、短期許容支持力度は極限支持力度に対して1.5倍の安全率を考慮している。一方で、建物基礎底面と地盤の付着力を考慮した設計においては、適用例も少ないことからデータの信頼性を鑑みて、十分な保守性を確保している。

また、建物直下地盤は主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成されているが、実際の建物直下地盤における黒色頁岩と凝灰岩の構成割合を定量的に確認できないこと、建物毎でその構成割合が異なることを踏まえ、付着力の設定には、岩盤全体の平均値ではなく、保守的に値の小さい黒色頁岩のみ建物直下地盤を構成するものと見なして黒色頁岩の平均値 0.81N/mm^2 に2倍の安全率を考慮した 0.40N/mm^2 を採用した。なお、設定した付着力は、試験結果の最低値 0.50N/mm^2 を下回る値となっている。

次に、設定した付着力について、統計的な観点も含めた考察を行う。岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験結果のヒストグラムを図5-1に、岩盤－レベルコンクリート間の付着力試験結果と設定付着力の関係を図5-2に示す。

設定付着力 (0.40N/mm^2) は、平均値の小さい黒色頁岩の平均値 (0.81N/mm^2) に対して -1.58σ に相当する。参考として、凝灰岩の平均値 (1.15N/mm^2) に対して -3.13σ 、黒色頁岩と凝灰岩を合わせた全体の平均値 (0.98N/mm^2) に対して -1.93σ となる (添付資料-3 参照)。

なお、設定した付着力は、既工認実績と比較しても試験結果に対して十分な保守性を考慮した値である (添付資料-4 参照)。

以上より、地震応答解析に用いる付着力 0.40N/mm^2 は十分に保守的な値である。

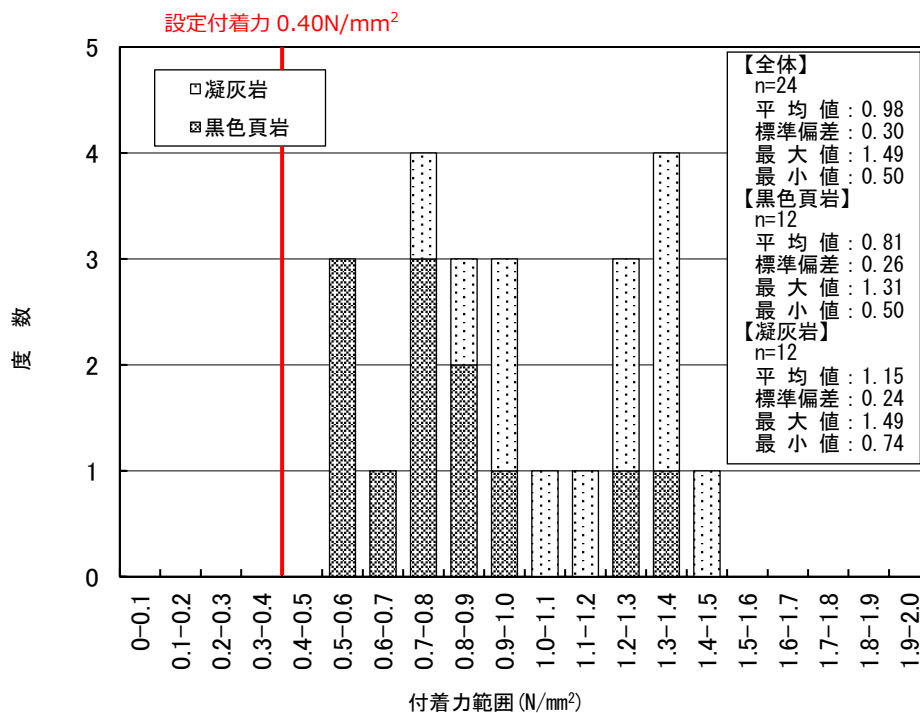


図 5-1 付着力試験の結果 (ヒストグラム)
(黒色頁岩, 凝灰岩)

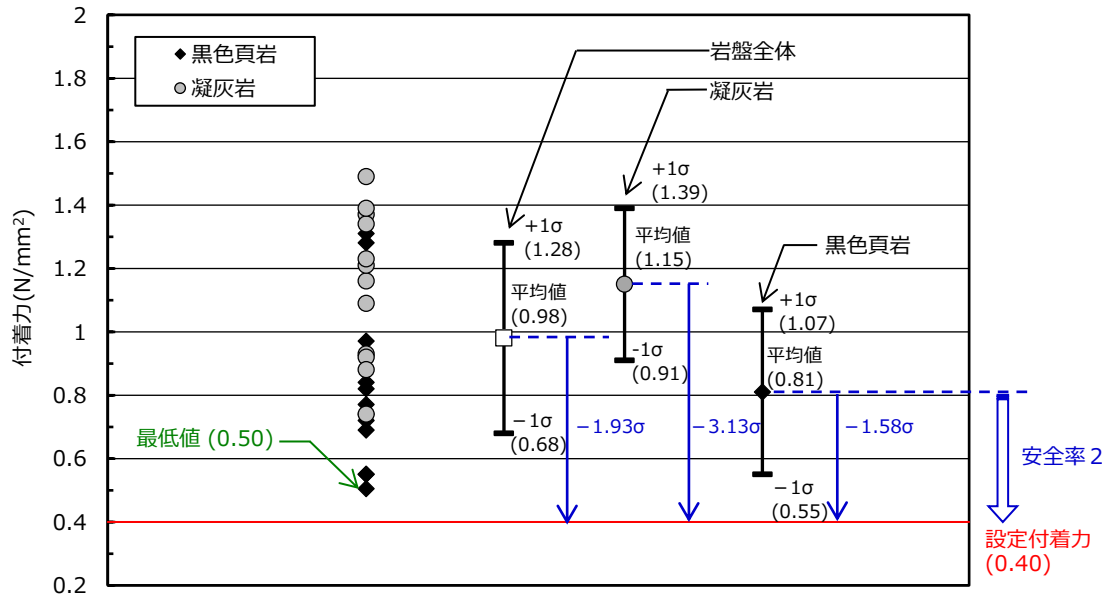


図 5-2 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験の結果と設定付着力の関係

6. 適用性の確認

付着力について、島根原子力発電所の建物・構築物への適用性を以下のとおり検討した。

6.1 材料条件

6.1.1 岩盤

建物直下地盤及び試験地盤における岩盤物性を表6-1に示す。

物性値を比較すると建物直下地盤と試験地盤はほぼ同等と見なせることから、地盤の差異による試験結果への影響はない。

両者の比較の詳細を添付資料-5に示す。

表6-1 建物直下地盤及び試験地盤における岩盤物性

	建物直下地盤*2	試験地盤
岩種	主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成される	黒色頁岩、凝灰岩
岩の状態	岩盤分類:大部分がC _H 級及びC _M 級*1	亀裂, 風化等がないことを目視で確認
弾性波速度 (建物直下地盤: P S 検層 試験地盤: 超音波速度測定)	黒色頁岩 縦波: 約 4.4km/s 横波: 約 2.1km/s 凝灰岩 縦波: 約 4.2km/s 横波: 約 2.0km/s	黒色頁岩 縦波: 約 3.8km/s 横波: 約 2.3km/s 凝灰岩 縦波: 約 2.9km/s 横波: 約 1.5km/s
圧裂引張強度	黒色頁岩: 8.82N/mm ² 凝灰岩: 9.03N/mm ²	黒色頁岩: 7.14N/mm ² 凝灰岩: 9.36N/mm ²

注記*1: 電研式岩盤分類(田中治雄 土木技術者のための地質学入門, 1966)による。

C_H級: 造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用を受けてはいるが、岩質は比較的堅硬である。一般に褐鉄鉱などに汚染せられ、節理あるいは亀裂間の粘着力はわずかに減少しており、ハンマーの強打によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の薄層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば、少し濁った音を出す。

C_M級: 造岩鉱物及び粒子は石英を除けば風化作用を受けて多少軟質化しており、岩質も多少軟らかくなっている。節理あるいは亀裂間の粘着力は多少減少しており、ハンマーの普通程度の打撃によって割れ目に沿って岩塊が剥脱し、剥脱面には粘土質物質の層が残留することがある。ハンマーによって打診すれば、多少濁った音を出す。

*2: 島根2号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験。

(島根原子力発電所原子炉設置変更許可申請書(令和3年9月15日許可))

6.1.2 レベルコンクリート

レベルコンクリートの強度は、「JNES 報告書」を参考に、代表的なレベルコンクリート（推定強度 $180\text{kg}/\text{cm}^2$ ）と同程度の呼び強度 $18\text{N}/\text{mm}^2$ としたことから、レベルコンクリート強度による試験結果への影響はない。

6.1.3 基礎コンクリート

基礎コンクリートの強度は、試験においては $21\text{N}/\text{mm}^2$ 、実機においては $23.5\text{N}/\text{mm}^2$ （ただし制御室建物は $22.1\text{N}/\text{mm}^2$ ）であり、試験と実機は同程度であることから、基礎コンクリート強度による試験結果への影響はない。

6.2 試験体

6.2.1 岩盤－レベルコンクリート間

試験体形状については、接合面寸法は $\phi 100\text{mm}$ とし、表面形状は黒色頁岩、凝灰岩共に凹凸 10mm 程度とした。

これは、「3. JNES 報告書による付着力試験に関する研究」の「3.2 要素試験」の直接引張試験とほぼ同一の接合面寸法としている。

一方、表面形状は「JNES 報告書」に比べて平滑であるが、「3.3 中規模試験」によると、表面粗度によらず同程度の付着力が得られている。

以上より、試験体による影響はない。

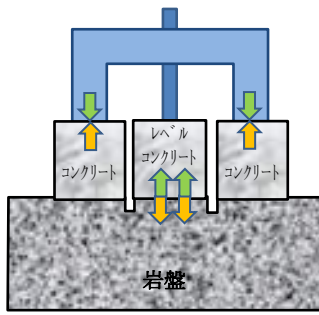
6.2.2 レベルコンクリート－基礎コンクリート間

接合面寸法は、 $\phi 100\text{mm}$ とした。表面形状はレベルコンクリートの標準的な仕上げである木ごて仕上げとした。

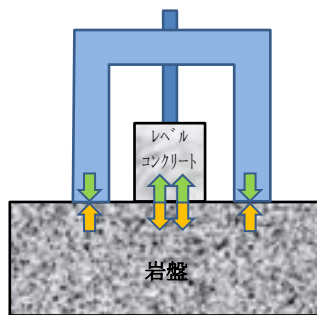
これは、「3. JNES 報告書による付着力試験に関する研究」の「3.2 要素試験」の直接引張試験とほぼ同一の接合面寸法及び表面形状であることから試験体による影響はない。

6.2.3 試験方法の違いについて

「JNES 報告書」による直接引張試験及び本章の付着力試験（直接引張試験及び室内試験）の試験方法の違いを図 6-1 に示す。各試験方法は反力の取り方は異なるが、接合面はほぼ同一形状であり、接合面の応力状態も同一である。また、付着力に対して、コンクリート及び岩盤の引張強度及び圧縮強度は十分に大きいことから、基本的には接合面以外での破壊は生じない。以上より、それぞれの試験から求まる付着力について、試験方法の違いによる影響はない。



(A) 「J N E S 報告書」による
直接引張試験



(B) 直接引張試験



(C) 室内試験

図 6-1 試験方法の違い

7. 設計用付着力としての信頼性、保守性及び地盤のばらつきを踏まえた網羅性・代表性について

5. 及び6.1のとおり、建物基礎底面の付着力として設定した値に十分な保守性・妥当性があると判断しているが、試験地盤と建物直下地盤が離れており、建物直下地盤近傍での直接的な付着力試験データが得られていないため、設計に用いる付着力について、信頼性、保守性及び地盤のばらつきを踏まえた網羅性・代表性に対する説明性を向上させる観点から、1, 2号機建物近傍において追加試験を実施した。

7.1 試験場所の選定

1, 2号機エリアを対象に、耐震上重要な建物が設置されている岩盤と同様な岩盤とした。また、追加試験の目的、3号機エリアで実施した試験(以下「前回試験」という。)条件を踏まえて、以下の岩相、岩級が確認される場所を選定した。追加試験位置を図7-1に、試験位置付近の地質断面図(水平、鉛直)を図7-2に、岩盤の状況を図7-3に示す。

- ・岩相：黒色頁岩
- ・岩級：CH級

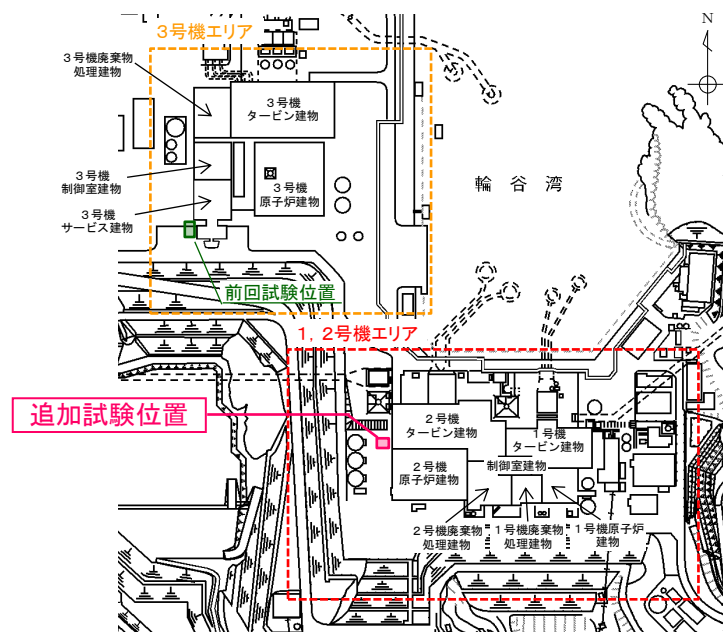


図7-1 追加試験位置

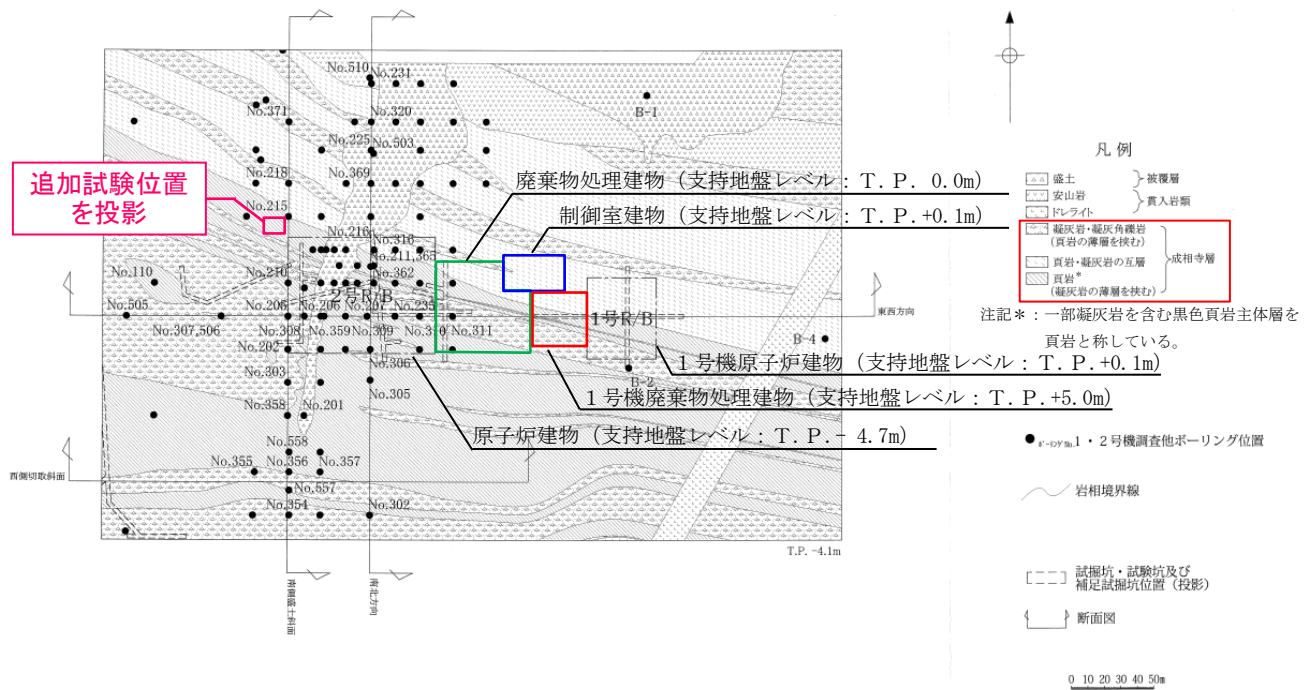
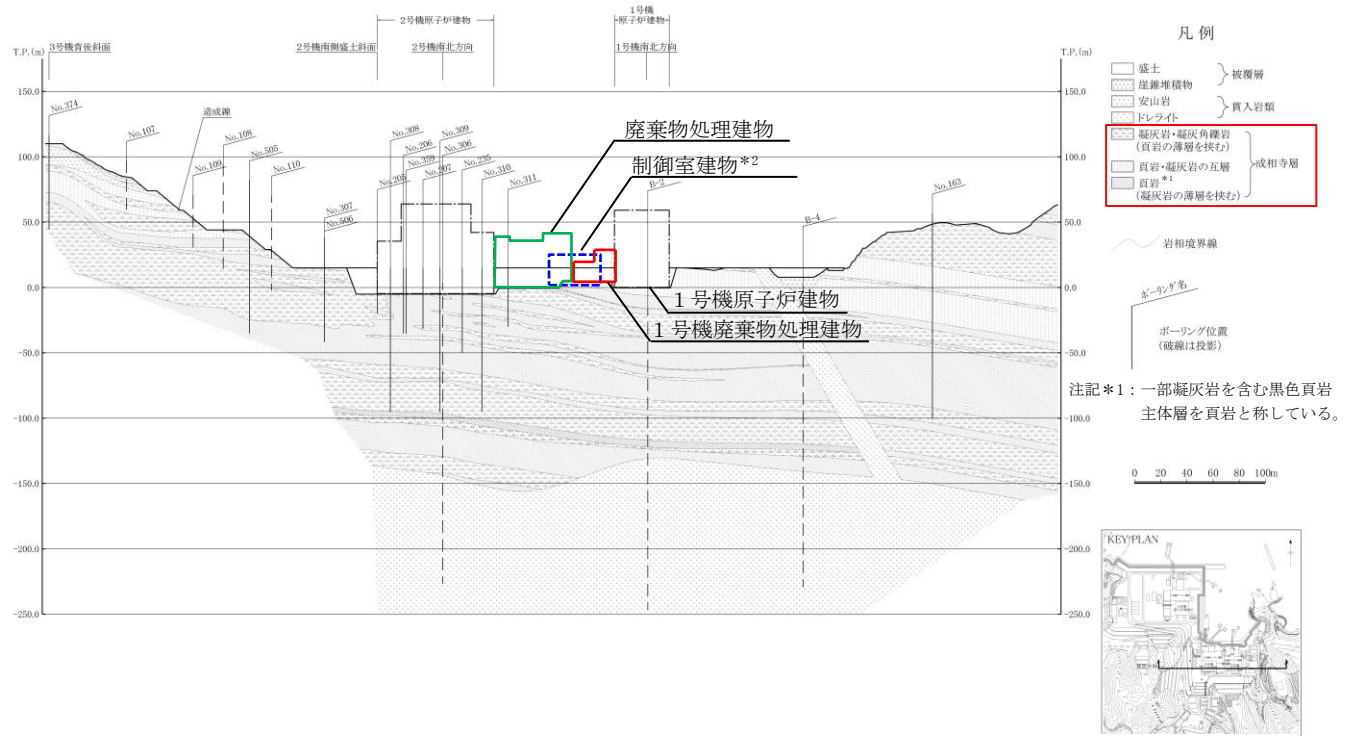


図 7-2(1) 地質水平断面図



注記*2: 制御室建物位置を投影

図 7-2(2) 地質鉛直断面図 (東西方向)

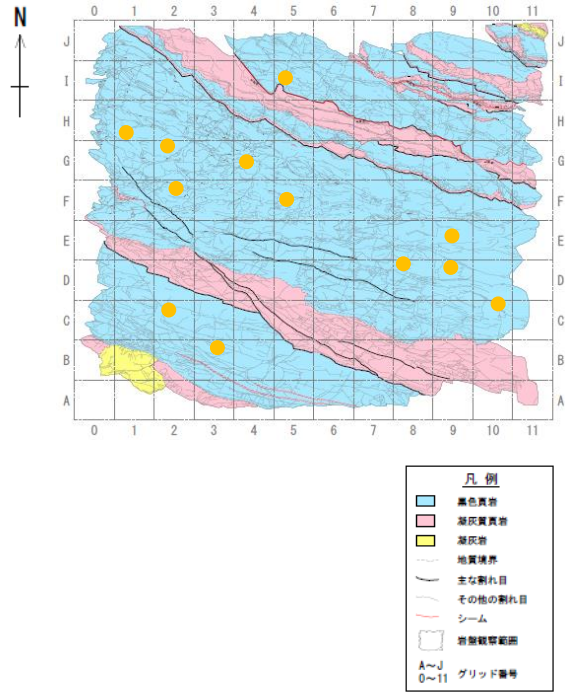
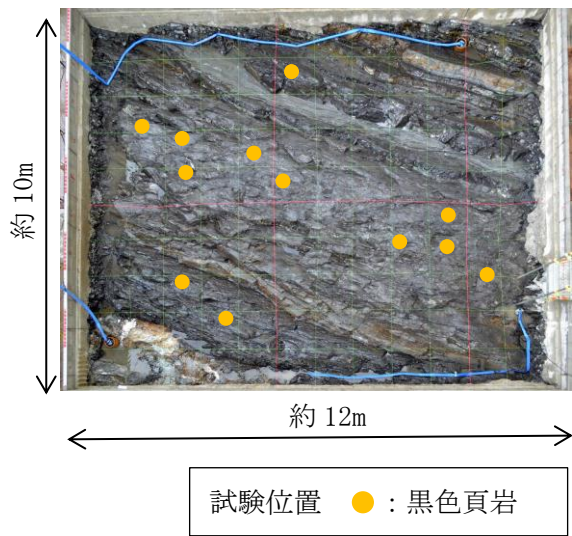


図 7-3 岩盤の状況 (直接引張試験)

7.2 追加付着力試験

7.2.1 試験方法

試験方法は、前回試験と同様の試験方法(原位置試験(直接引張試験))である。
(4.2を参照)

7.2.2 試験結果

(1) コンクリートの強度

コンクリートの圧縮強度及び割裂引張強度の試験結果を表7-1に示す。

表7-1 コンクリートの物性試験*

種類	材齢 (日)	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂引張強度 (N/mm ²)
レベルコンクリート(F c 18)	7	24.1	2.35

注記* : 試験体6本の平均値

(2) 付着力

付着力試験の結果を図7-4に示す。

付着力の平均値は、0.97N/mm² (標準偏差 : 0.23N/mm²) であった。

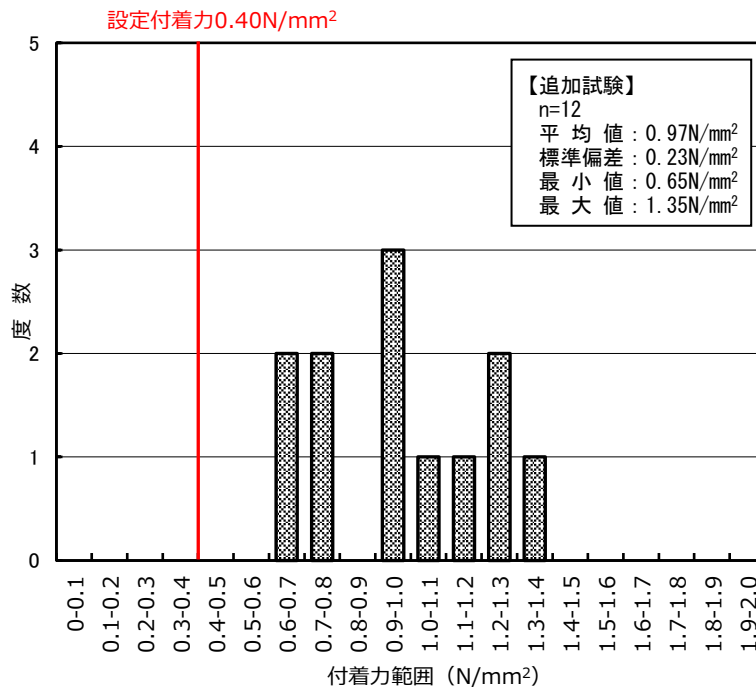


図7-4 付着力試験の結果 (岩盤-レベルコンクリート)

7.3 追加試験結果を踏まえた設計用付着力の妥当性について

追回試験結果と前回試験結果を合わせた試験結果のヒストグラムを図 7-5 に、追加試験結果と前回試験結果の比較（黑色頁岩）を図 7-6 に示す。

平均値は、追加試験結果（ 0.97N/mm^2 ）が前回試験結果（ 0.81N/mm^2 ）を上回り、最低値も追加試験結果（ 0.65N/mm^2 ）が前回試験結果（ 0.50N/mm^2 ）を上回った。一方最大値は、追加試験結果（ 1.35N/mm^2 ）と前回試験結果（ 1.31N/mm^2 ）は同程度であった。また、追加試験結果と前回試験結果を合わせた全体の平均値は 0.89N/mm^2 （標準偏差： 0.26N/mm^2 ）であった。

比較の結果、追加試験結果は前回試験結果と同等以上の値であったことから、設計用付着力として設定した値（ 0.40N/mm^2 ）は、追加試験結果を踏まえても十分な保守性を有しており妥当であると判断した。

なお、両者の標準偏差を比較すると、前回試験は 0.26N/mm^2 、今回試験は 0.23N/mm^2 であり、ばらつきは同程度であった。また、設計用付着力（ 0.40N/mm^2 ）は、追加試験結果の平均値（ 0.97N/mm^2 ）に対して -2.48σ 、追加試験結果と前回試験結果を合わせた全体の平均値（ 0.89N/mm^2 ）に対して -1.88σ に相当する。

以上より、地震応答解析に用いる付着力 0.40N/mm^2 は十分に保守的な値である。

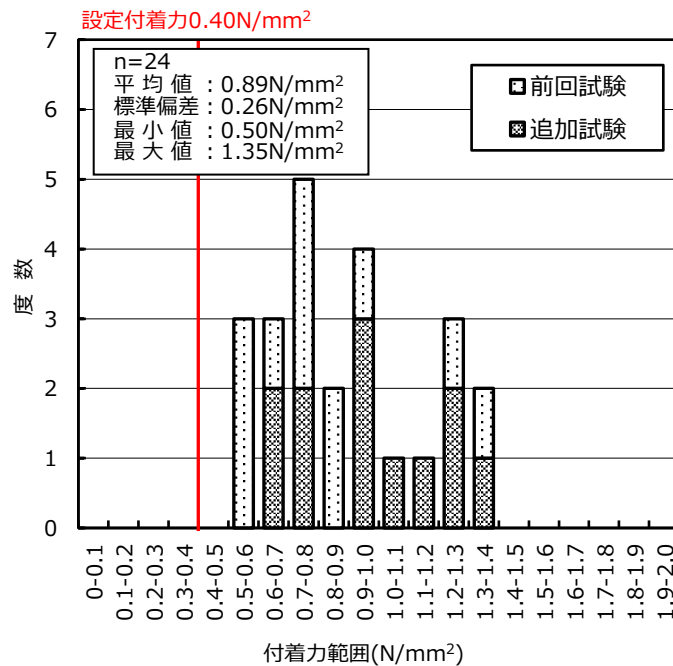


図 7-5 付着力試験の結果（ヒストグラム）
（黑色頁岩）

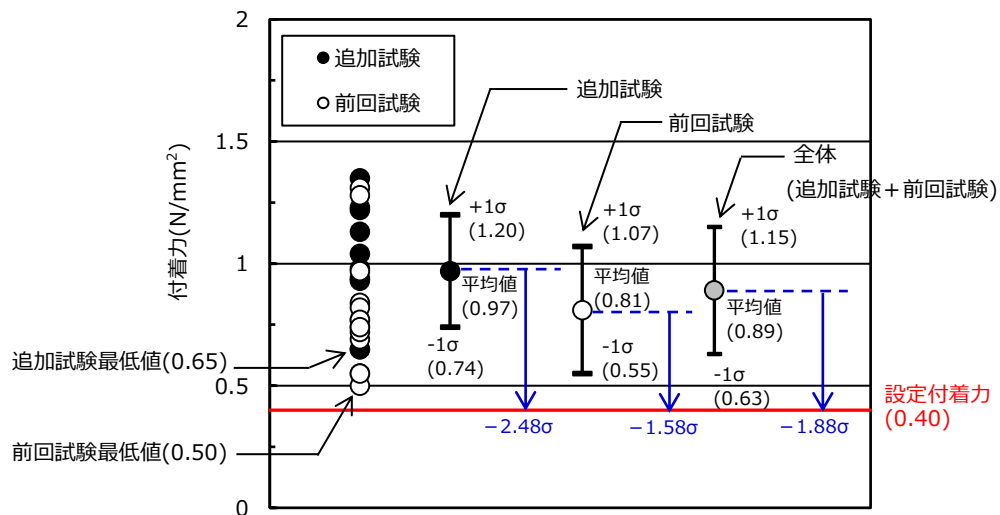


図 7-6 追加試験結果と前回試験結果の比較 (黒色頁岩)

8. 参考文献

- (1) 独立行政法人 原子力安全基盤機構：平成 18 年度 原子力施設等の耐震性評価技術に関する試験及び調査 原子力施設の非線形地盤・構造物相互作用試験及び基準整備 基礎浮上り評価手法の調査に関する報告書，2007
- (2) 地盤工学会：地盤工学関係 規格・基準
J G S 2 5 2 1 -2009 岩石の一軸圧縮試験方法
J G S 2 5 5 1 -2009 圧裂による岩石の引張り強さ試験方法
- (3) 土木学会：原位置岩盤試験法の指針，2000

付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討

1. 概要

1.1 検討概要

島根2号機の建物の地震応答解析には、SRモデル、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル及び基礎固定モデルを用いている。今回工認で採用する地震応答解析モデルにおける付着力の考慮の有無を表1-1に示す。

付着力試験結果を踏まえ、建物の基礎底面と地盤間には付着力が存在すると考えられることから、今回、ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル及びSRモデル（浮上り線形地震応答解析）では付着力を考慮することとした。一方で、SRモデル（浮上り非線形地震応答解析）については、既工認でも実績のある手法として、付着力を考慮していない。また、基礎固定モデルについては、建物と地盤の相互作用を考慮していない。

以上を踏まえ、付着力を考慮していないSRモデル（浮上り非線形地震応答解析）について、付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討を行う。

検討は、建物の重要度、内包する施設の重要度及び接地率を踏まえ代表建物の選定を行う。表1-2に付着力を考慮していないSRモデル（浮上り非線形地震応答解析）を用いる建物の重要度、内包する施設の重要度及び接地率の比較を示す。建物の重要度及び内包する施設の重要度が高く、接地率が小さい原子炉建物を代表として、今回工認で採用する地震応答解析モデル（以下「今回工認モデル」という。）と、今回工認モデルに基礎底面の付着力を考慮したモデル（以下「付着力考慮モデル」という。）を用いた地震応答解析を行い、解析結果の比較を行う。

表 1-1 地震応答解析モデルにおける付着力の考慮の有無

採用する地震応答解析モデル (基礎浮上り評価法)	建物名	付着力の 考慮
ジョイント要素を用いた 3次元FEMモデル	廃棄物処理建物* ¹ , 1号機原子炉建物	考慮する
SRモデル (浮上り線形地震応答解析)	制御室建物, 廃棄物処理建物* ² , 1号機廃棄物 処理建物, サイトバンカ建物 (増築部)	考慮する* ³
SRモデル (浮上り非線形地震応答解析)	原子炉建物, タービン建物, ガスタービン発電 機建物, 緊急時対策所, 1号機タービン建物	考慮 しない
誘発上下動考慮SRモデル (浮上り非線形地震応答解析)	サイトバンカ建物* ⁴	考慮 しない
基礎固定モデル	排気筒モニタ室, ディーゼル燃料移送ポンプエ リア防護対策設備	—

注記*1: 基準地震動 S_s に対する評価に用いる。

*2: 弾性設計用地震動 S_d に対する評価に用いる。

*3: 基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が付着力試験に基づき設定した値 ($0.40\text{N}/\text{mm}^2$) を超えないことを確認する。ただし, サイトバンカ建物 (増築部) に適用する付着力は $0.68\text{N}/\text{mm}^2$ とする。

*4: 接地率が65%以上となる場合はSRモデル (浮上り非線形地震応答解析) とする。

表 1-2 付着力を考慮していないSRモデル（浮上り非線形地震応答解析）を用いる建物の重要度、内包する施設の重要度及び接地率の比較

建物名	建物の重要度*1, 2	内包する施設の重要度*1, 2	最小接地率*3, 4	
			NS方向	EW方向
原子炉建物	S	S	68.9% (S _s -D)	82.3% (S _s -D)
	常設/緩和	常設耐震/防止, 常設/緩和, 常設/防止 (DB拡張)		
タービン建物	B (S _s)	S	92.3% (S _s -N1)	100%
	- (S _s)	常設/緩和, 常設/防止 (DB拡張)		
緊急時対策所	C	C	86.3% (S _s -D)	70.5% (S _s -D)
	- (S _s)	常設耐震/防止, 常設/緩和		
ガスタービン 発電機建物	-	-	85.5% (S _s -D)	83.0% (S _s -D)
	- (S _s)	常設耐震/防止, 常設/緩和		
1号機	-	-	100%	100%
タービン建物*5	-	-		
サイトバンカ 建物*5	B	B	88.3% (S _s -D)	64.3% (S _s -F1)
	-	-		

注記*1：上段は設計基準対象施設，下段は重大事故等対処施設を示す。

*2：重大事故等対処施設の種類

- ・常設耐震/防止：常設耐震重要重大事故防止設備
- ・常設/緩和：常設重大事故緩和設備
- ・常設/防止 (DB拡張)：常設重大事故防止設備 (設計基準拡張)

*3：最小接地率は基準地震動S_sにより算定したものであり，()内は，最小接地率となる地震動を示す。

*4：各建物の最小接地率は下記図書に基づく。

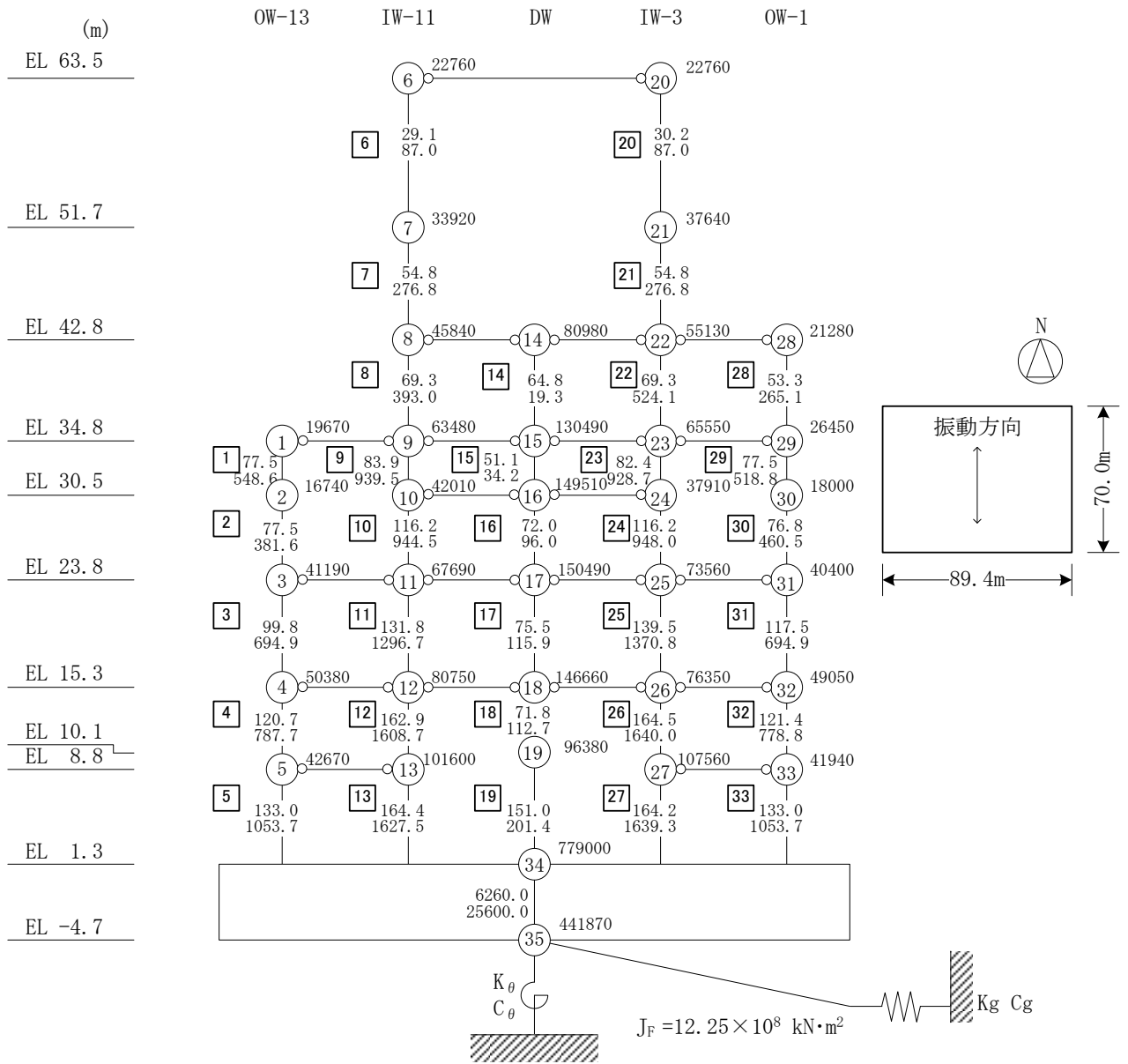
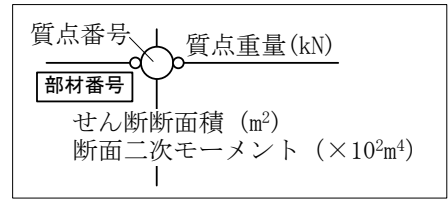
- ・VI-2-2-2 原子炉建物の地震応答計算書
- ・VI-2-2-7 タービン建物の地震応答計算書
- ・VI-2-2-11 緊急時対策所の地震応答計算書
- ・VI-2-2-16 ガスタービン発電機建物の地震応答計算書
- ・補足-025-14 1号機タービン建物の耐震性についての計算書に関する補足説明資料
- ・補足-025-16 サイトバンカ建物の耐震性についての計算書に関する補足説明資料

*5：波及的影響の設計対象とする下位クラス施設を示す。

2. 解析モデル

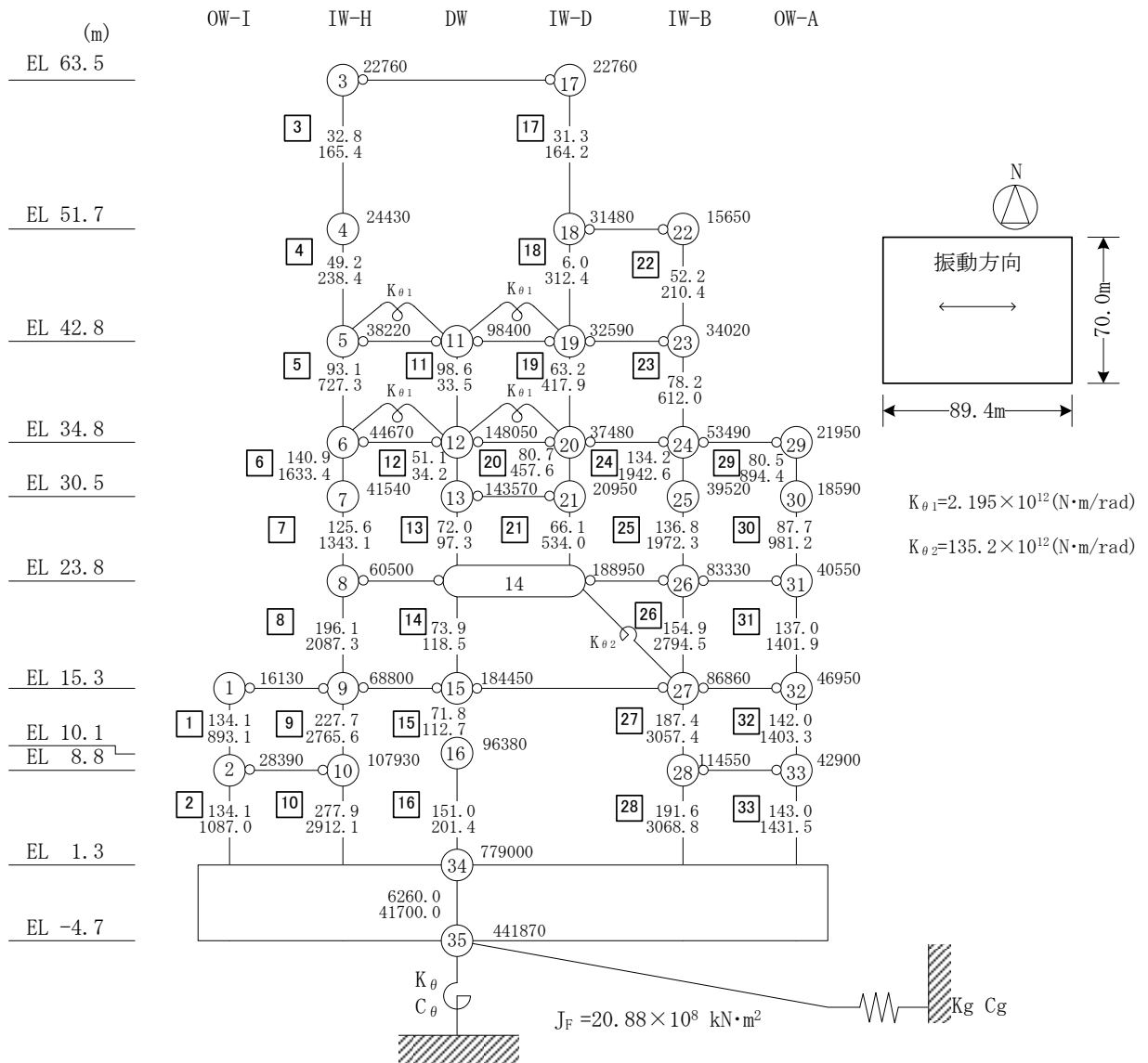
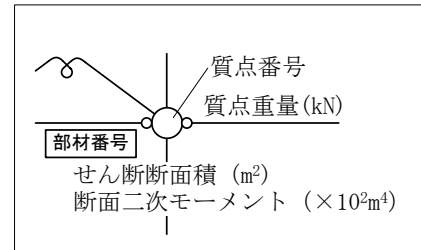
2.1 今回工認モデル

今回工認モデルは、SRモデル（浮上り非線形地震応答解析）とし、地震応答解析モデルを図2-1及び図2-2に示す。



地盤ばね	ばね定数	減衰係数
基礎底面水平ばね (Kg, Cg)	1.55×10^{12} (N/m)	2.23×10^{10} (N·s/m)
基礎底面回転ばね (Kθ, Cθ)	2.13×10^{15} (N·m/rad)	4.32×10^{12} (N·m·s/rad)

図 2-1 原子炉建物の地震応答解析モデル (NS 方向)



地盤ばね	ばね定数	減衰係数
基礎底面水平ばね (K_g, C_g)	$1.51 \times 10^{12} \text{ (N/m)}$	$2.13 \times 10^{10} \text{ (N}\cdot\text{s/m)}$
基礎底面回転ばね (K_{θ}, C_{θ})	$3.02 \times 10^{15} \text{ (N}\cdot\text{m/rad)}$	$9.01 \times 10^{12} \text{ (N}\cdot\text{m}\cdot\text{s/rad)}$

図 2-2 原子炉建物の地震応答解析モデル (EW方向)

2.2 付着力考慮モデル

付着力考慮モデルは、今回工認モデルを基本とし、田中ほか⁽¹⁾に基づき、基礎底面と地盤間における付着力を考慮した基礎浮上り特性によるSRモデルとする。

付着力を考慮した基礎浮上り特性について、基礎下の転倒モーメントMと回転角 θ の関係を図2-3に示す。なお、付着力は島根原子力発電所における付着力試験結果に基づき設定した 0.40N/mm^2 （別紙-2参照）を用いた。

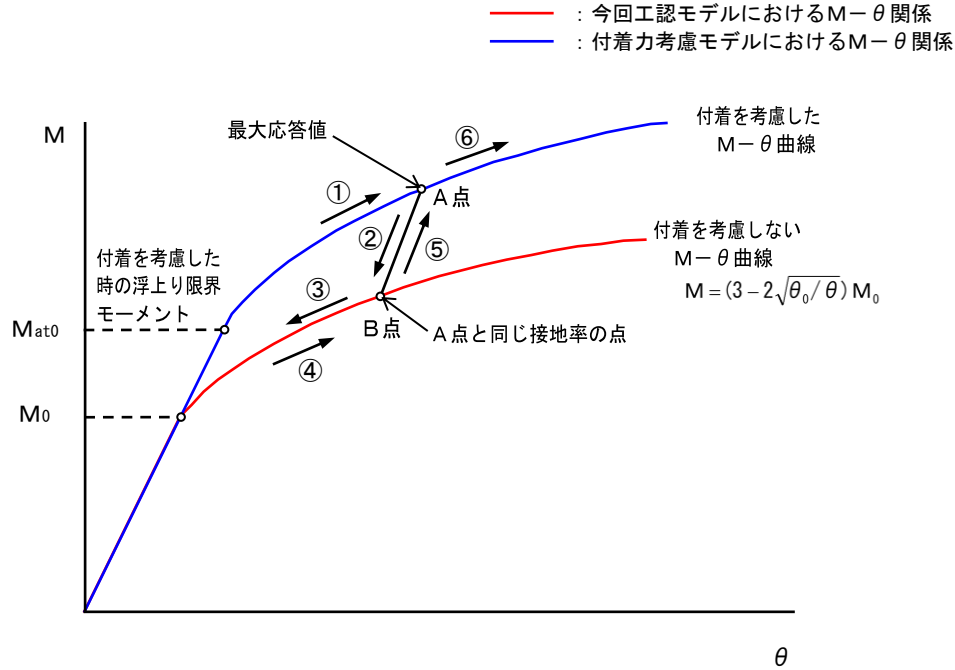


図2-3 基礎下の転倒モーメントMと回転角 θ の関係

3. 検討用地震動

検討に用いる地震動は、最小接地率となった基準地震動 $S_s - D$ とする。

4. 地震応答解析結果

4.1 最大応答加速度

最大応答加速度を表4-1及び表4-2に示す。

表 4-1 原子炉建物の最大応答加速度 (NS方向)

質点 番号	最大応答加速度 (m/s ²)		比率 (付着力考慮モデル/今回工認モデル)
	付着力考慮モデル	今回工認モデル	
1	10.2	10.2	1.00
2	10.1	10.2	0.990
3	8.71	8.58	1.02
4	8.61	8.61	1.00
5	8.02	8.02	1.00
6	24.0	24.1	0.996
7	16.6	16.8	0.988
8	12.4	12.5	0.992
9	10.2	10.2	1.00
10	9.39	9.39	1.00
11	8.71	8.58	1.02
12	8.61	8.61	1.00
13	8.02	8.02	1.00
14	12.4	12.5	0.992
15	10.2	10.2	1.00
16	9.39	9.39	1.00
17	8.71	8.58	1.02
18	8.61	8.61	1.00
19	9.93	9.37	1.06
20	24.0	24.1	0.996
21	17.4	17.6	0.989
22	12.4	12.5	0.992
23	10.2	10.2	1.00
24	9.39	9.39	1.00
25	8.71	8.58	1.02
26	8.61	8.61	1.00
27	8.06	8.06	1.00
28	12.4	12.5	0.992
29	10.2	10.2	1.00
30	10.2	10.1	1.01
31	8.71	8.58	1.02
32	8.61	8.61	1.00
33	8.06	8.06	1.00
34	6.91	6.91	1.00
35	6.76	6.76	1.00

表 4-2 原子炉建物の最大応答加速度（E W方向）

質点 番号	最大応答加速度（m/s ² ）		比率 （付着力考慮モデル／今回工認モデル）
	付着力考慮モデル	今回工認モデル	
1	8.39	8.39	1.00
2	8.26	8.26	1.00
3	26.9	27.0	0.996
4	17.9	17.9	1.00
5	13.7	13.7	1.00
6	11.3	11.3	1.00
7	12.6	12.2	1.03
8	8.61	8.67	0.993
9	8.39	8.39	1.00
10	8.26	8.26	1.00
11	13.7	13.7	1.00
12	11.3	11.3	1.00
13	11.7	11.6	1.01
14	8.61	8.67	0.993
15	8.39	8.39	1.00
16	9.42	9.42	1.00
17	26.9	27.0	0.996
18	17.2	17.2	1.00
19	13.7	13.7	1.00
20	11.3	11.3	1.00
21	11.7	11.6	1.01
22	17.2	17.2	1.00
23	13.7	13.7	1.00
24	11.3	11.3	1.00
25	11.1	10.4	1.07
26	8.61	8.67	0.993
27	8.39	8.39	1.00
28	8.44	8.44	1.00
29	11.3	11.3	1.00
30	10.0	10.8	0.926
31	8.61	8.67	0.993
32	8.39	8.39	1.00
33	8.44	8.44	1.00
34	7.65	7.65	1.00
35	7.52	7.52	1.00

4.2 最大応答せん断ひずみ

最大応答せん断ひずみを表 4-3 及び表 4-4 に示す。

表 4-3 原子炉建物の最大応答せん断ひずみ (NS方向)

部材 番号	最大応答せん断ひずみ (γ) ($\times 10^{-3}$)		比率 (付着力考慮モデル/今回工認モデル)
	付着力考慮モデル	今回工認モデル	
1	0.289	0.280	1.03
2	0.357	0.349	1.02
3	0.355	0.356	0.997
4	0.370	0.364	1.02
5	0.434	0.406	1.07
6	0.281	0.268	1.05
7	0.307	0.293	1.05
8	0.335	0.324	1.03
9	0.330	0.316	1.04
10	0.327	0.324	1.01
11	0.353	0.355	0.994
12	0.368	0.363	1.01
13	0.432	0.405	1.07
14	0.115	0.115	1.00
15	0.148	0.139	1.06
16	0.155	0.156	0.994
17	0.215	0.218	0.986
18	0.659	0.609	1.08
19	0.201	0.197	1.02
20	0.253	0.235	1.08
21	0.360	0.361	0.997
22	0.337	0.327	1.03
23	0.330	0.316	1.04
24	0.327	0.324	1.01
25	0.353	0.355	0.994
26	0.355	0.355	1.00
27	0.446	0.413	1.08
28	0.341	0.330	1.03
29	0.266	0.259	1.03
30	0.344	0.337	1.02
31	0.344	0.346	0.994
32	0.351	0.350	1.00
33	0.445	0.413	1.08

表 4-4 原子炉建物の最大応答せん断ひずみ (EW方向)

部材 番号	最大応答せん断ひずみ (γ) ($\times 10^{-3}$)		比率 (付着力考慮モデル/今回工認モデル)
	付着力考慮モデル	今回工認モデル	
1	0.322	0.324	0.994
2	0.226	0.226	1.00
3	0.284	0.293	0.969
4	0.374	0.368	1.02
5	0.187	0.186	1.01
6	0.181	0.181	1.00
7	0.392	0.389	1.01
8	0.484	0.477	1.01
9	0.309	0.312	0.990
10	0.221	0.221	1.00
11	0.0818	0.0818	1.00
12	0.0644	0.0648	0.994
13	0.257	0.255	1.01
14	0.353	0.347	1.02
15	0.288	0.287	1.00
16	0.160	0.163	0.982
17	0.231	0.234	0.987
18	0.431	0.433	0.995
19	0.169	0.168	1.01
20	0.173	0.172	1.01
21	0.389	0.387	1.01
22	0.455	0.458	0.993
23	0.202	0.201	1.00
24	0.252	0.262	0.962
25	0.361	0.351	1.03
26	0.487	0.481	1.01
27	0.219	0.218	1.00
28	0.299	0.303	0.987
29	0.315	0.325	0.969
30	0.322	0.315	1.02
31	0.488	0.481	1.01
32	0.219	0.218	1.00
33	0.298	0.303	0.983

4.3 床応答スペクトル

床応答スペクトル（ $h = 1\%$ 及び $h = 5\%$ ）の比較を図4-1～図4-16に示す。

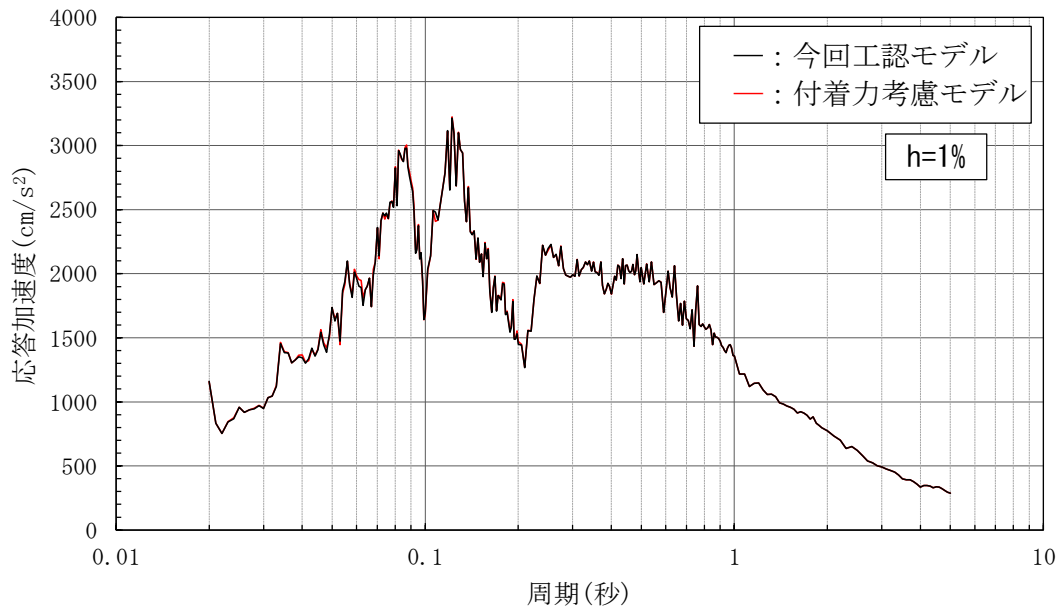


図4-1 床応答スペクトル（ $h=1\%$ ）の比較
（NS方向 EL 1.3m（質点番号 34））

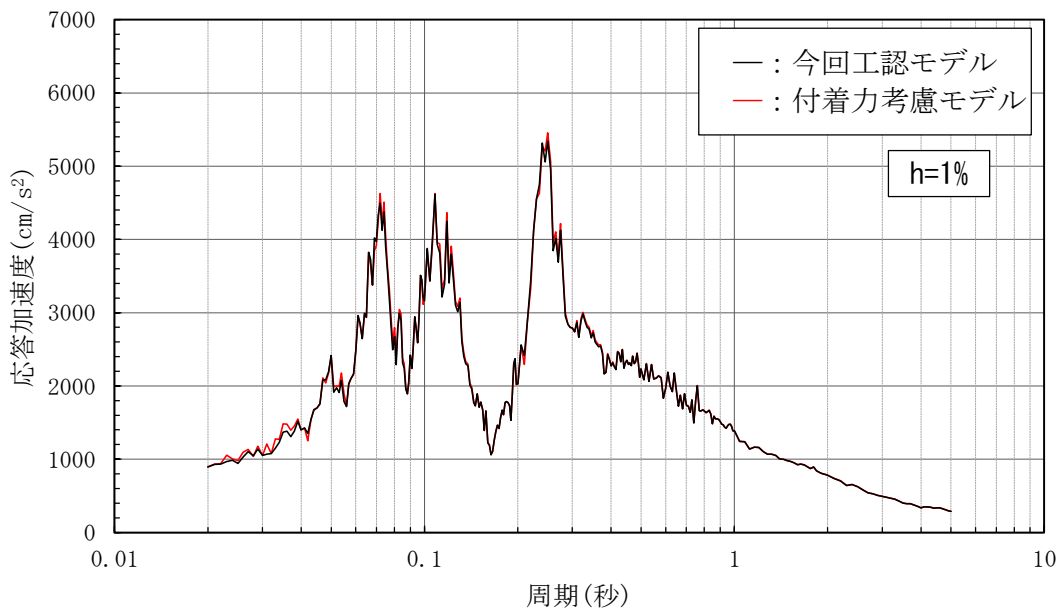


図4-2 床応答スペクトル（ $h=1\%$ ）の比較
（NS方向 EL 15.3m（質点番号 4））

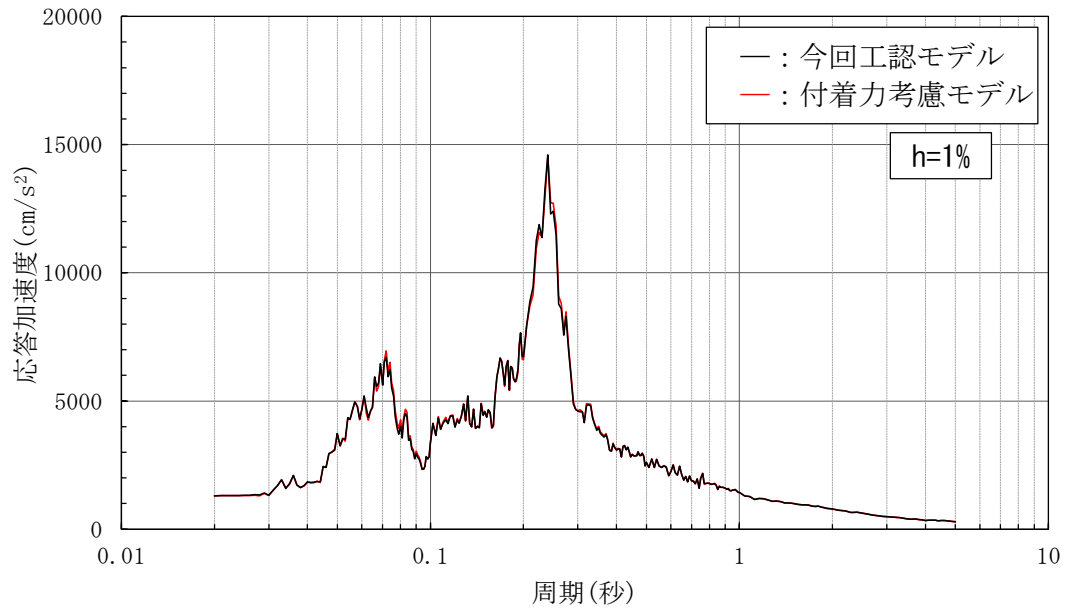


図4-3 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(NS方向 E L 42.8m (質点番号8))

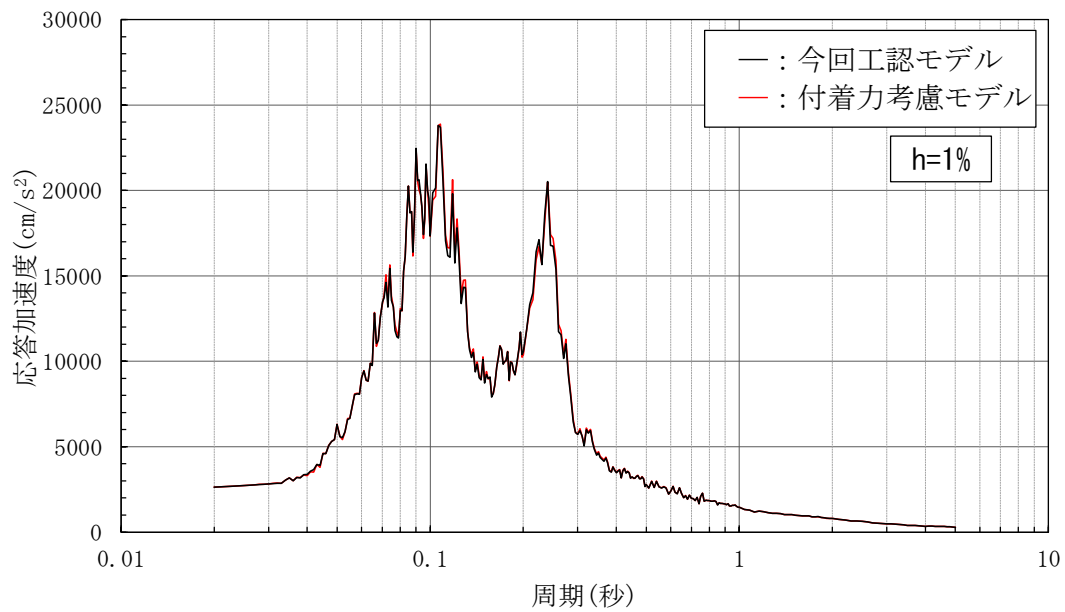


図4-4 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(NS方向 E L 63.5m (質点番号6))

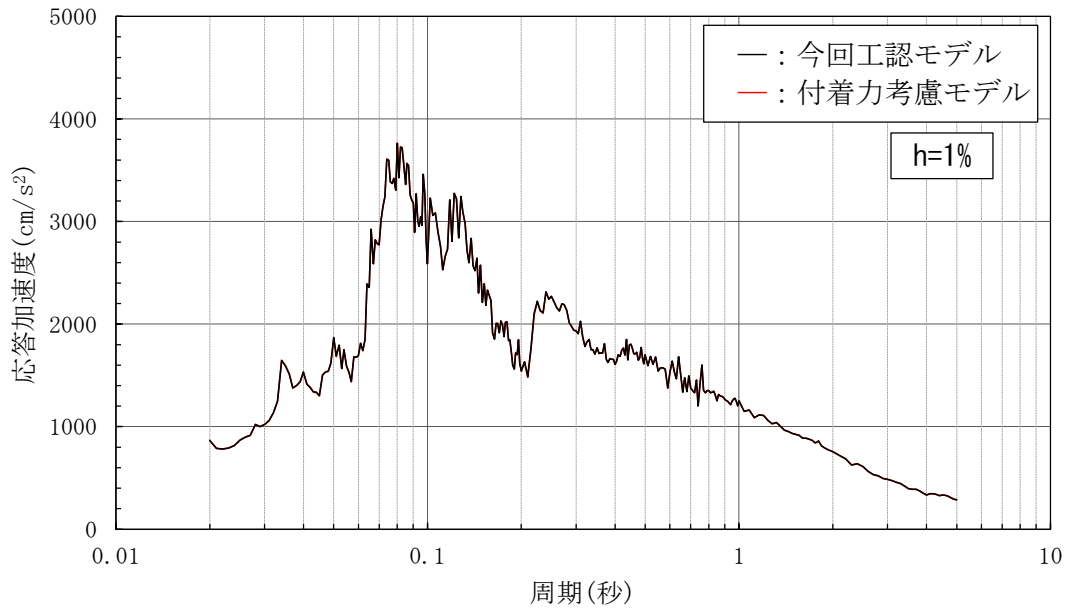


図 4-5 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(EW方向 E L 1.3m (質点番号 34))

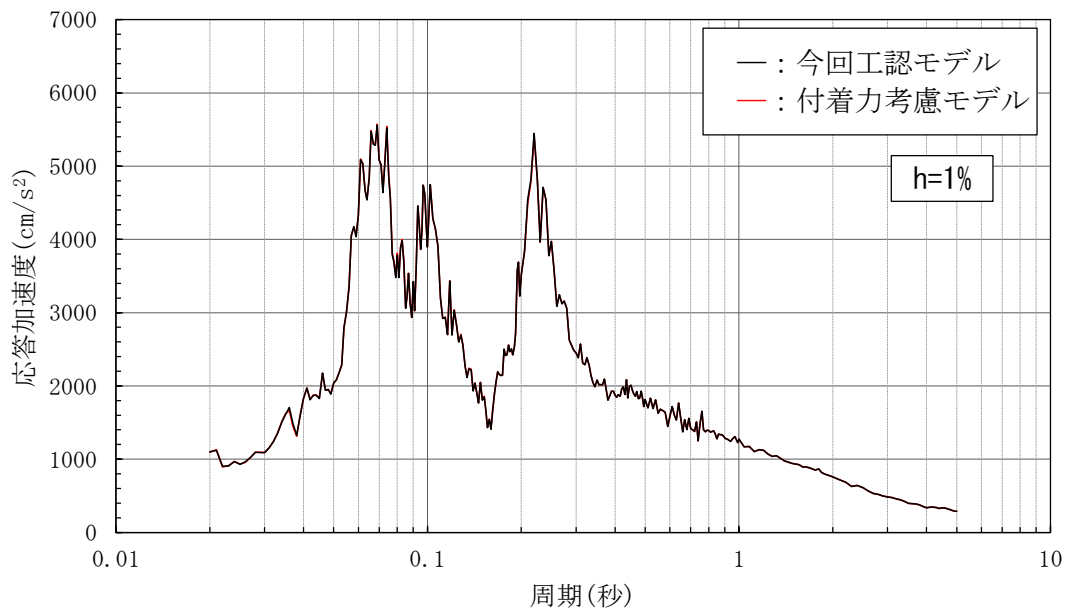


図 4-6 床応答スペクトル (h=1%) の比較
(EW方向 E L 15.3m (質点番号 1))

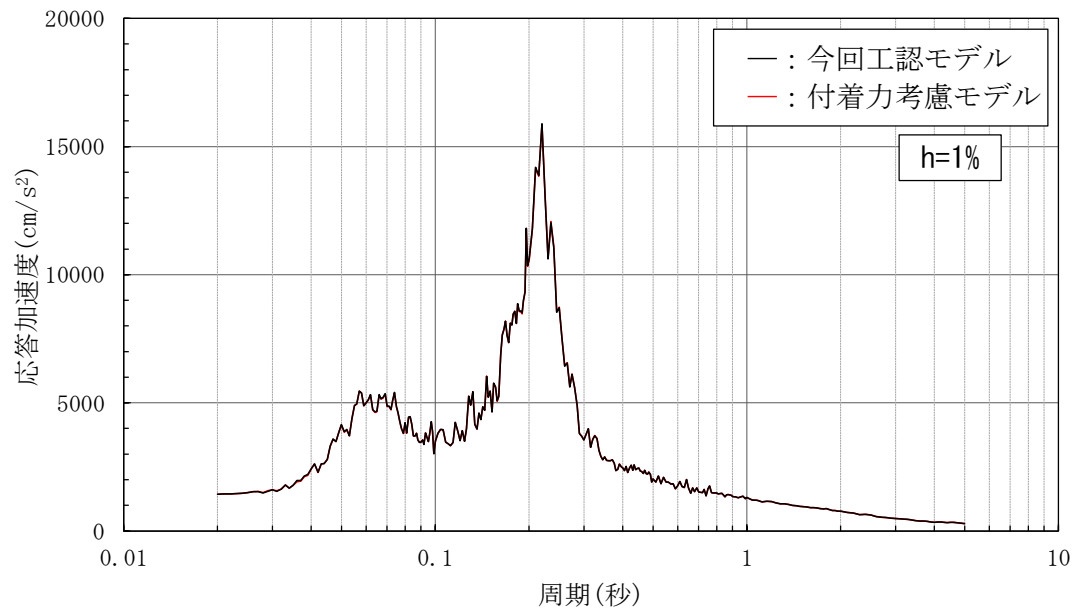


図4-7 床応答スペクトル (h=1%) の比較
 (EW方向 E L 42.8m (質点番号5))

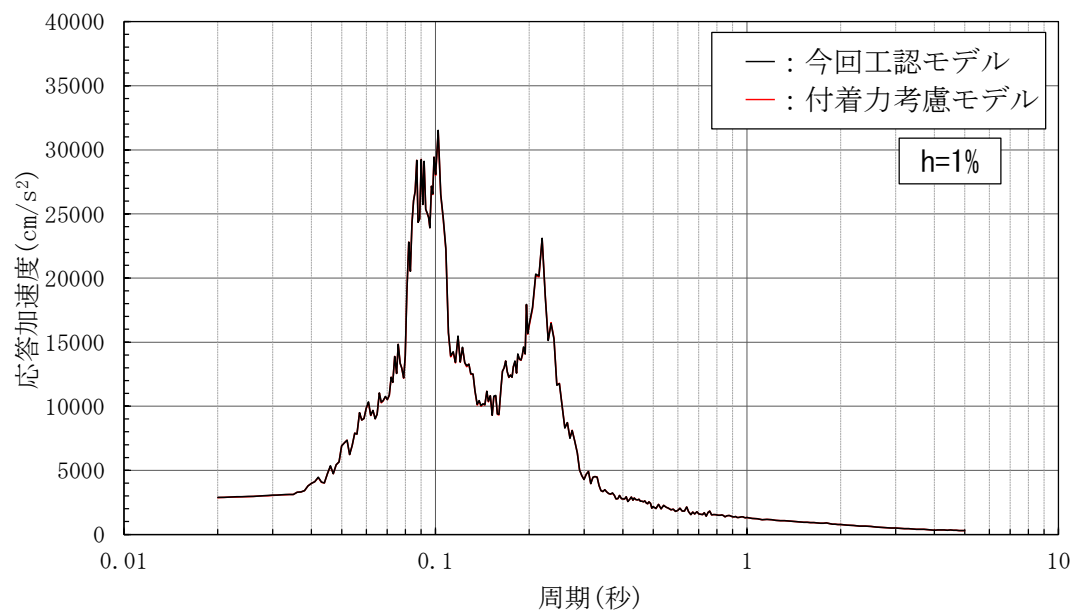


図4-8 床応答スペクトル (h=1%) の比較
 (EW方向 E L 63.5m (質点番号3))

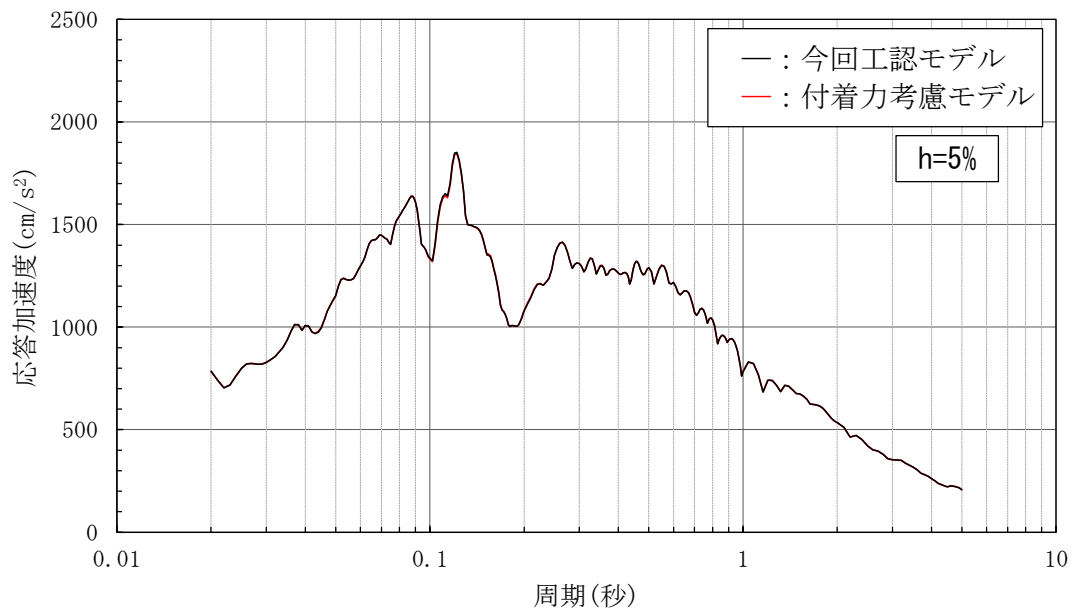


図 4-9 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(NS方向 EL 1.3m (質点番号 34))

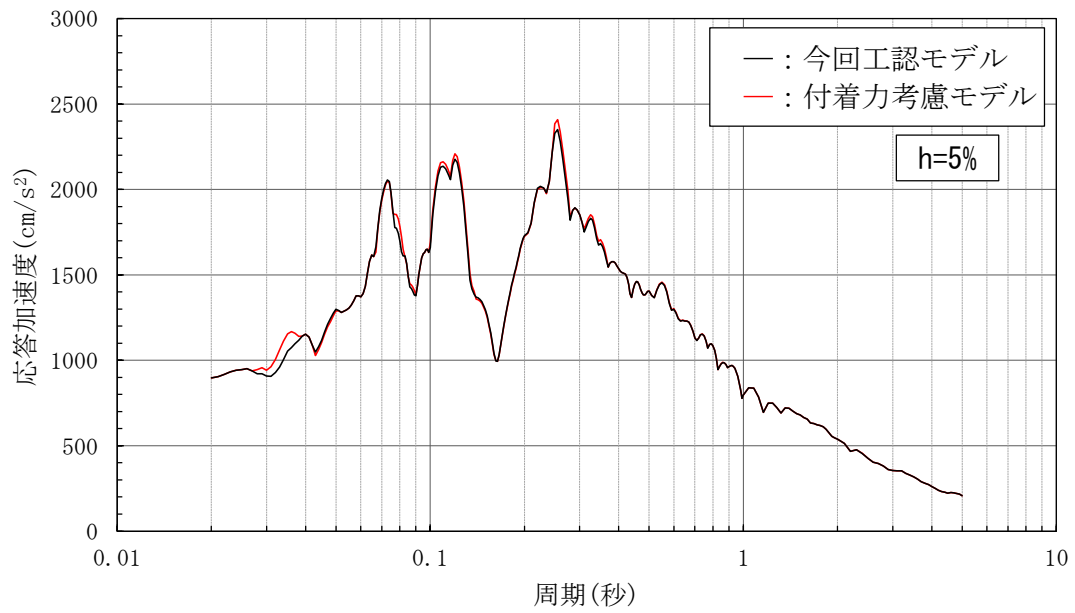


図 4-10 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(NS方向 EL 15.3m (質点番号 4))

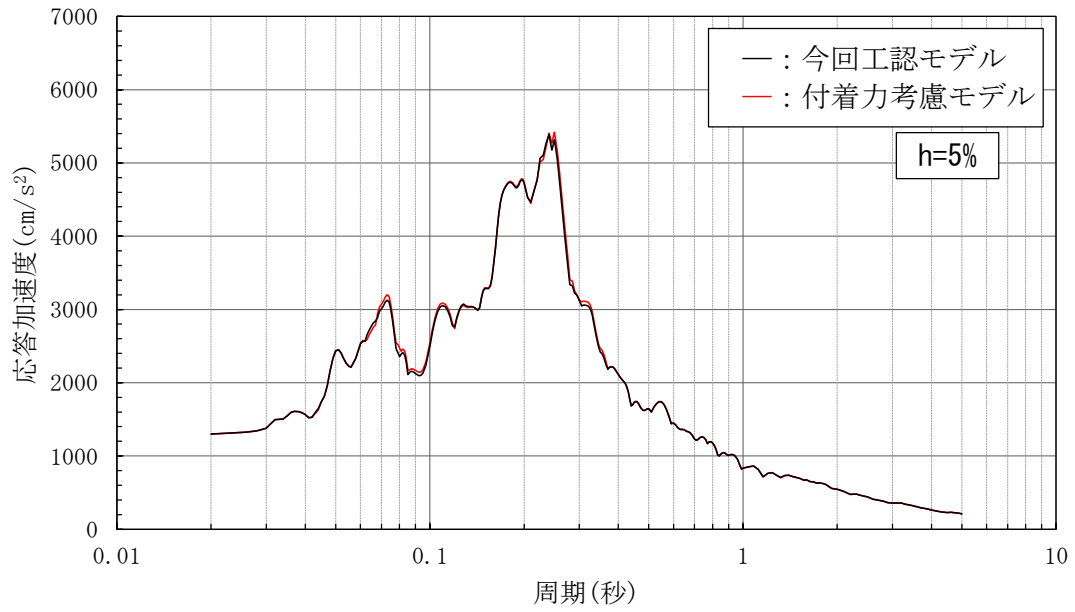


図 4-11 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(NS方向 E L 42.8m (質点番号 8))

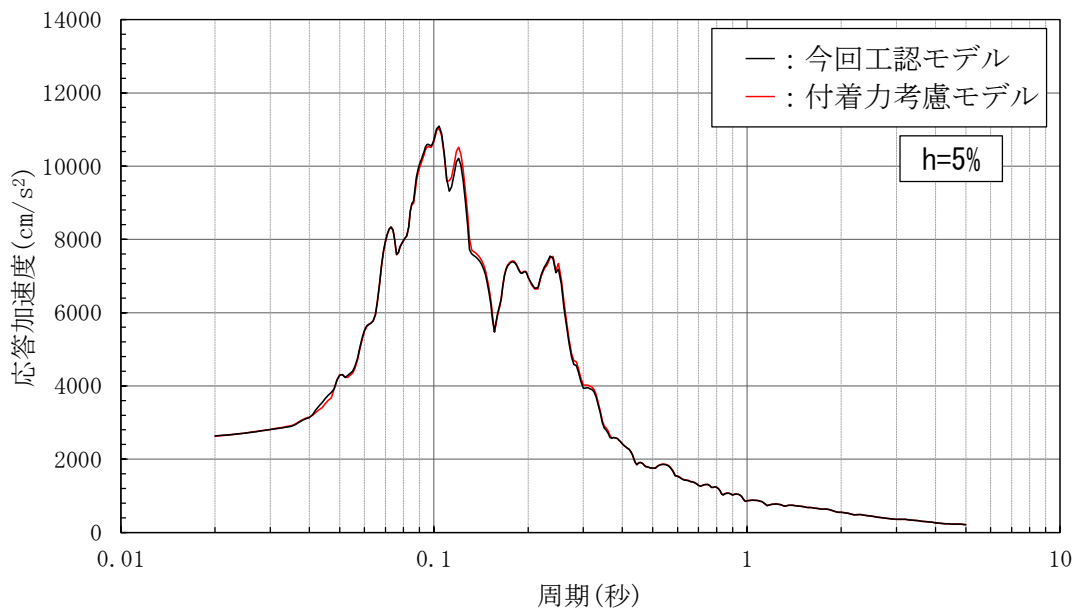


図 4-12 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(NS方向 E L 63.5m (質点番号 6))

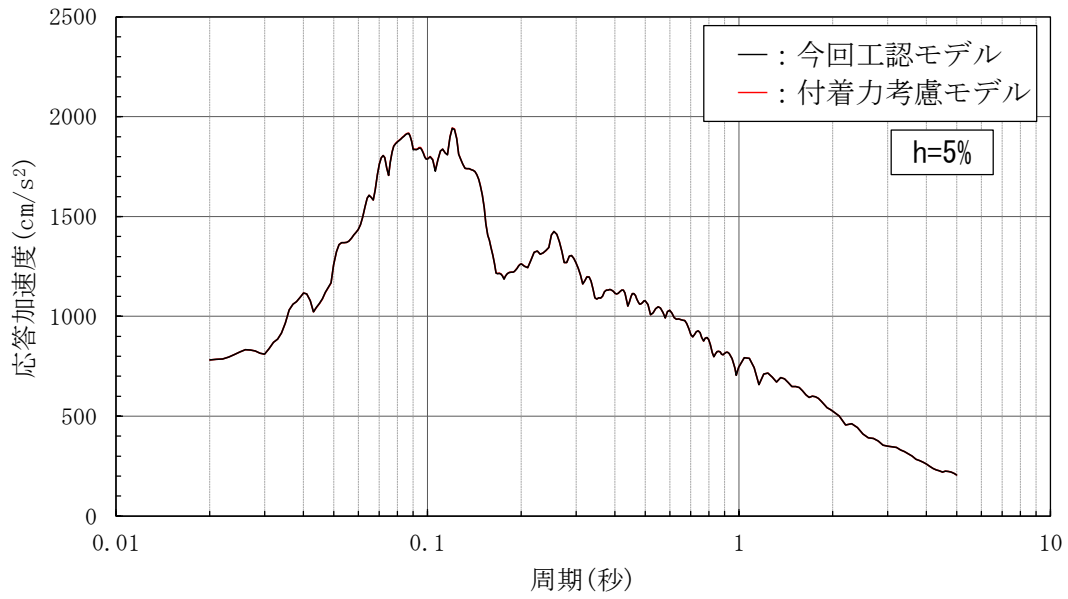


図 4-13 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(EW方向 E L 1.3m (質点番号 34))

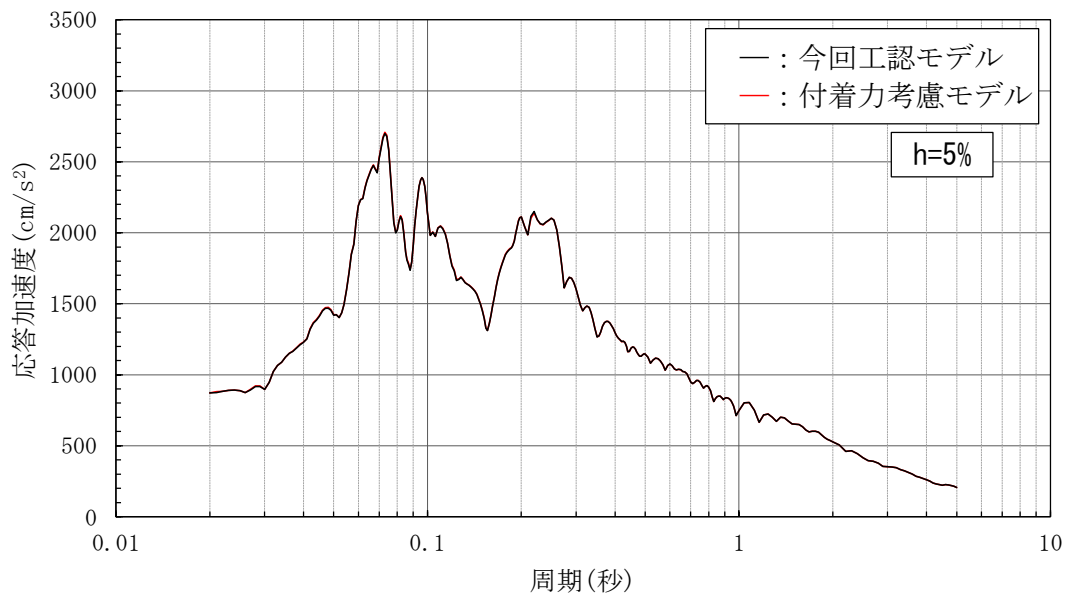


図 4-14 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(EW方向 E L 15.3m (質点番号 1))

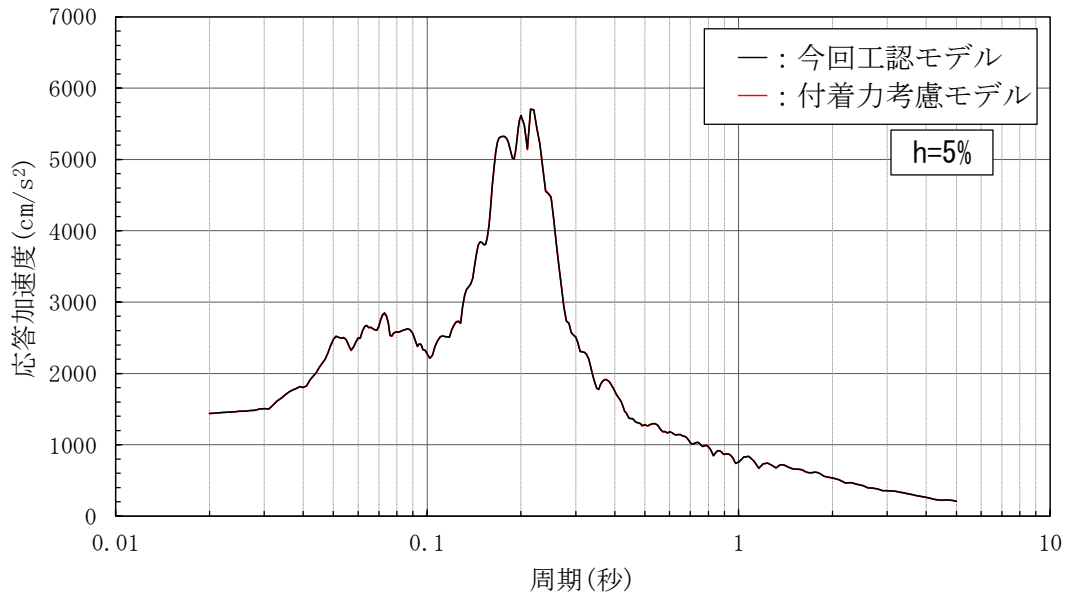


図 4-15 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(EW方向 E L 42.8m (質点番号 5))

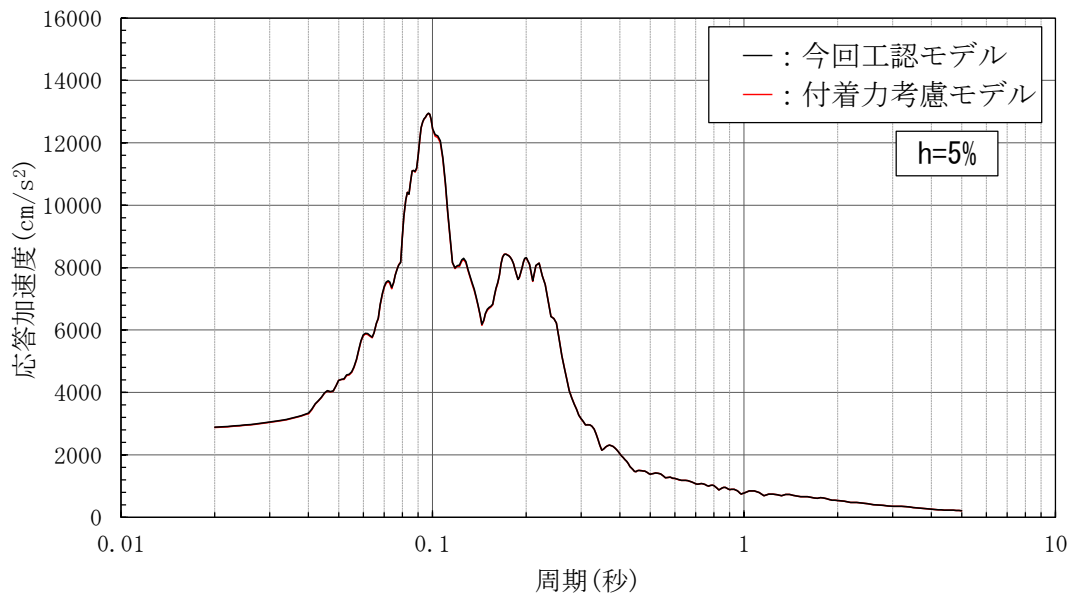


図 4-16 床応答スペクトル (h=5%) の比較
(EW方向 E L 63.5m (質点番号 3))

4.4 接地率の比較

接地率の比較を表 4-5 に示す。

表 4-5 接地率の比較

地震応答解析モデル	接地率 η (%)	
	NS方向	EW方向
今回工認モデル	68.9	82.3
付着力考慮モデル	100	100

5. 付着力の考慮の有無による建物応答への影響の検討結果

原子炉建物を対象とし、今回工認モデルと付着力考慮モデルを用いた地震応答解析を行った結果、付着力により接地率は改善され、両モデルとも同等の応答値を示した。このことから、付着力の考慮の有無による建物応答（水平方向）への影響は軽微である。

6. 参考文献

- (1) 田中英朗ほか：基礎底面の付着力を考慮した基礎浮き上がり解析法，日本建築学会学術講演梗概集（中国），2008年9月，pp.1069-1070

既工認実績における付着力試験方法との比較

島根サイトと既工認実績における付着力試験方法を表1に示す。なお、参考に「JNES報告書」及び地盤工学会の「岩盤の原位置一軸引張り試験方法（JGS 3551-2020）」の試験方法も同表に示す。

表1 島根サイトと既工認実績における付着力試験方法の比較

サイト	試験体形状	接合面の凹凸の状態	レベルコンクリート		対象岩種等	標本数	
			圧縮強度(N/mm ²)	養生日数			
島根	直円柱 ^① (φ10 cm)	10mm 程度 ^②	18 ^③	7日 ^④	黒色頁岩, 凝灰岩	24 ^⑤ (1岩種当り12)	
既工認実績	高浜	直四角柱 (10 cm×10 cm)	10~20mm 程度	15	27日	流紋岩	27
	大飯	直四角柱 (10 cm×10 cm)	10~20mm 程度	15	28日	石英閃緑岩	19
	美浜	直四角柱 (10 cm×10 cm)	10~20mm 程度	15	28日	花崗岩	15(現地)+25(室内)
	川内*1	直四角柱 (150 cm×150 cm)	木ごて仕上げ	15 30	62~68日 31~37日	レベルコンクリート 基礎コンクリート	3
参考	JNES 報告書	直四角柱 (10 cm×10 cm)	10~20mm 程度	15	28日	花崗岩, 砂岩, 凝灰岩	36(1岩種当り12)
		直四角柱 (150 cm×150 cm)	粗面(80mm 程度) 平滑面(20mm 程度)	15	28日	花崗岩	6(1水準当り3)
	地盤 工学会*3	直円筒, 直円柱, 直四角柱 (100~1000mm)	規定なし	規定なし	規定なし	軟岩から硬岩まで を対象	3以上

《既工認実績と異なる方法を採用した理由》

① コンクリートの充填性を考慮し試験体形状を直円柱とした。なお、地盤工学会の試験方法では直円柱も採用されている。

② 「JNES報告書」によると、「岩盤表面の凹凸状況の差が接合面の剥離性状にほとんど影響を及ぼしていないことが認められた。」とあることから、接合面の凹凸による付着力への影響は軽微であると考え10mm程度に設定した。

③ 市中生コンプラントで調達可能で最も低い $F_c = 18\text{N/mm}^2$ とした。

④ 養生期間を短縮するため、早強コンクリート(調合材齢7日)を採用した。

⑤ 標本数は、土木学会指針に規定されている原位置における岩盤試験では、3ないし4個以上*2、地盤工学会の「岩盤の原位置一軸引張り試験方法（JGS 3551-2020）」では3個以上とされているが、試験結果を用いる施設の重要性及び圧縮試験と比較して結果のばらつきが大きいことを踏まえて、「JNES報告書」を参考に1岩種当り12個とし十分な標本数を確保した。

注：他サイトの情報等に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

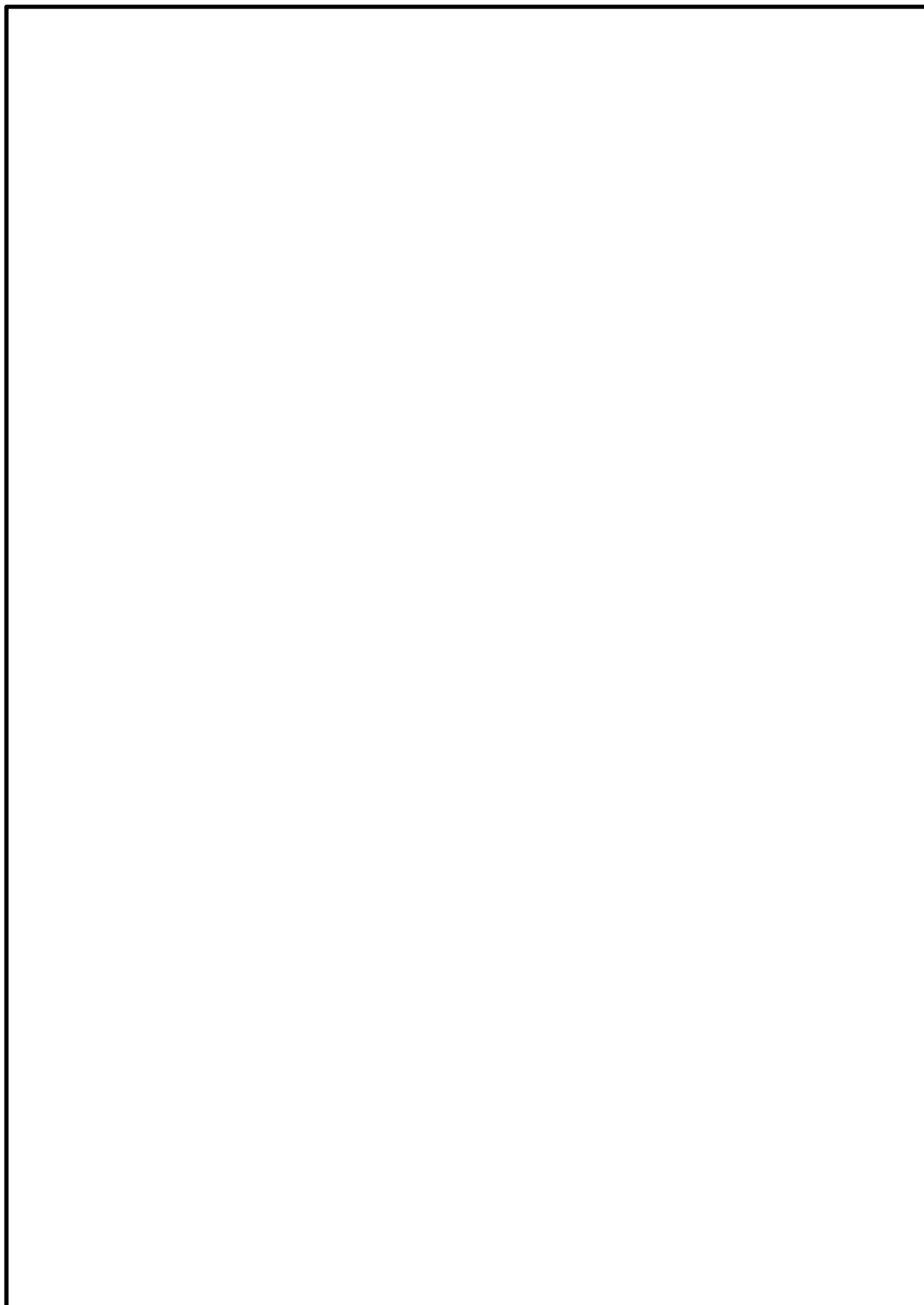
注記*1：「JNES報告書」のレベルコンクリートと基礎コンクリート間の付着力試験結果を用いている。

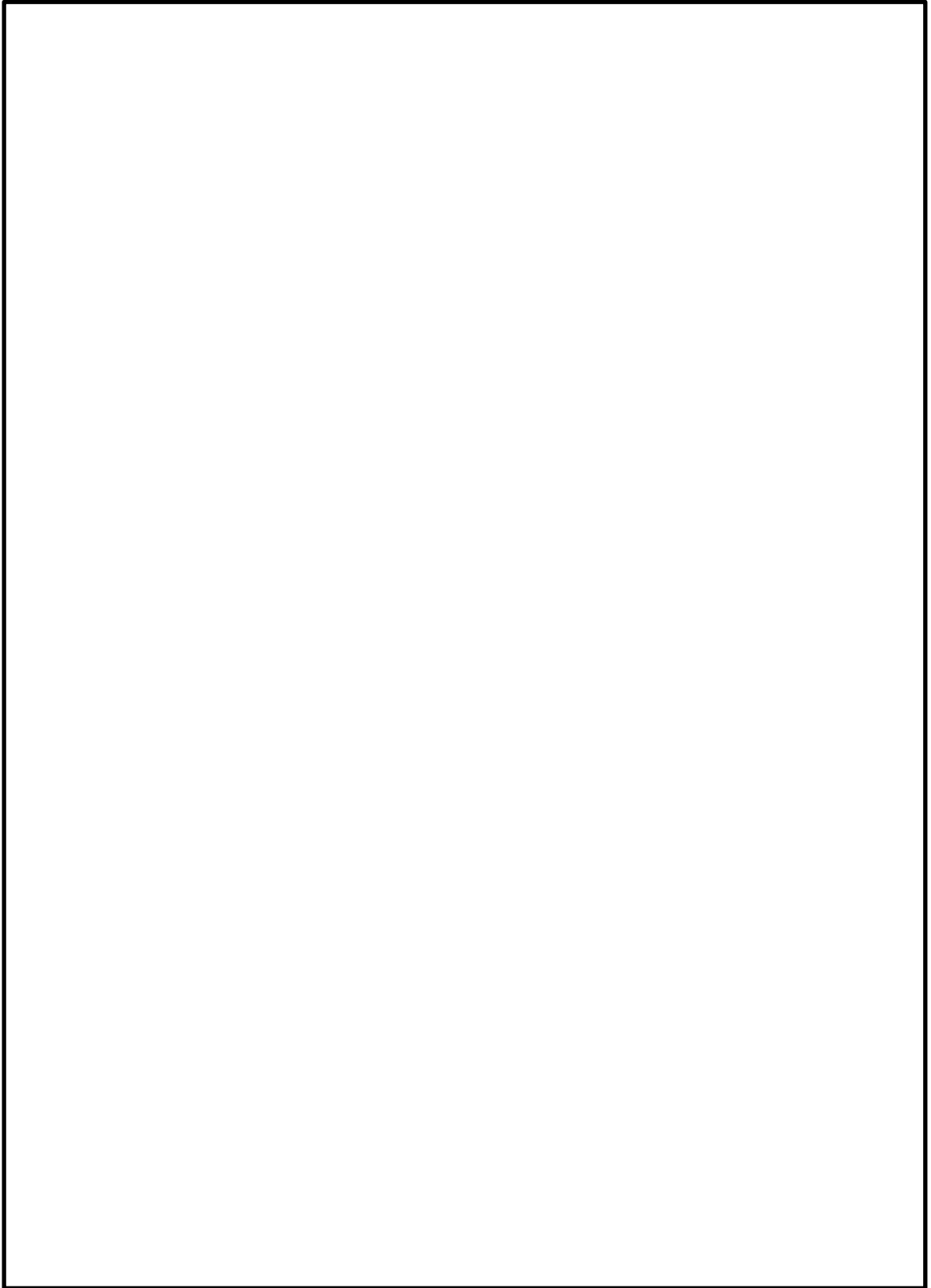
*2：土木学会指針に規定された試験の標本数（原位置岩盤の平板載荷試験：3個以上、原位置岩盤のせん断試験：4個以上、岩盤の孔内載荷試験：3点以上）

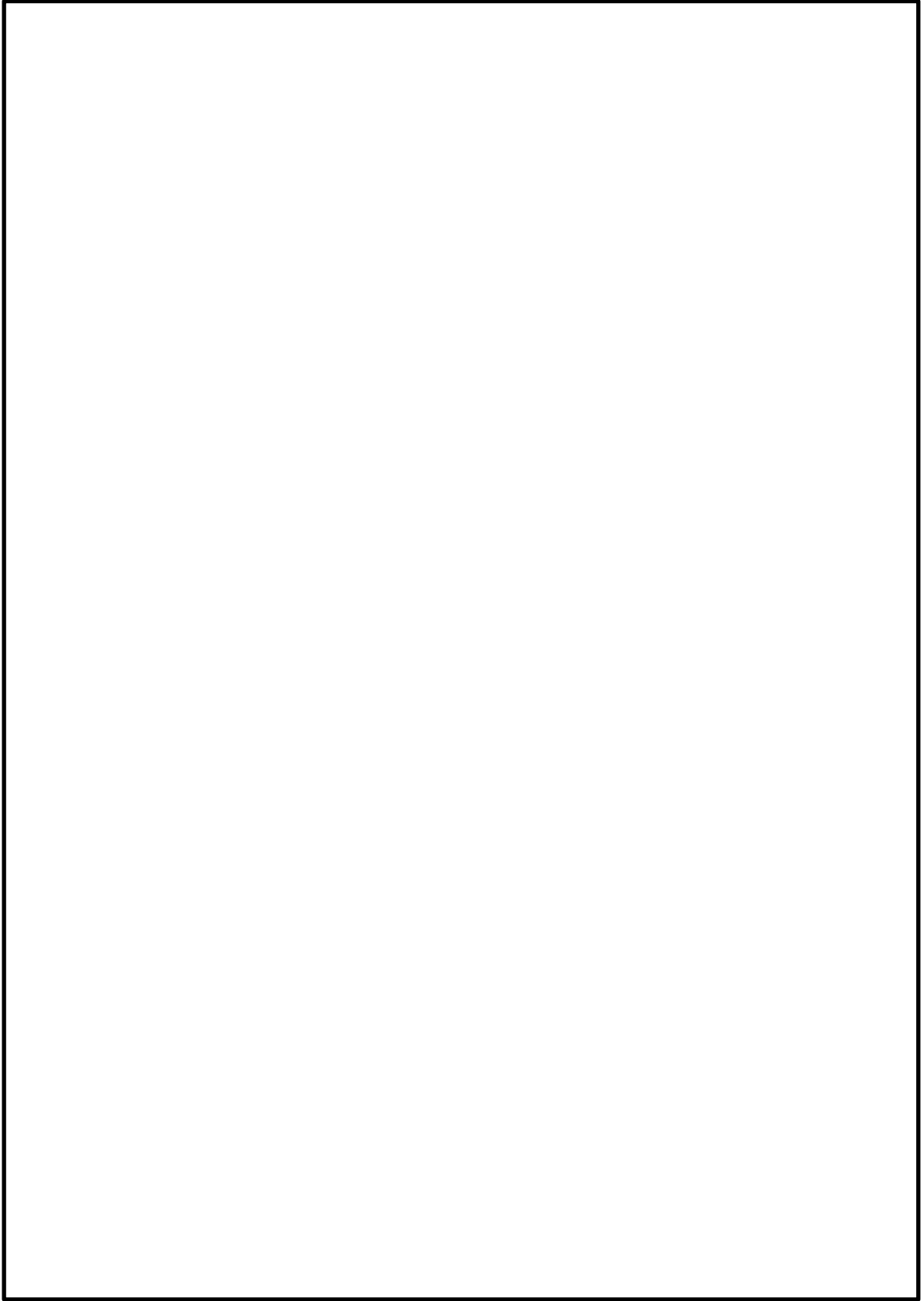
*3：地盤工学会の「岩盤の原位置一軸引張り試験方法（JGS 3551-2020）」について補足1に示す。

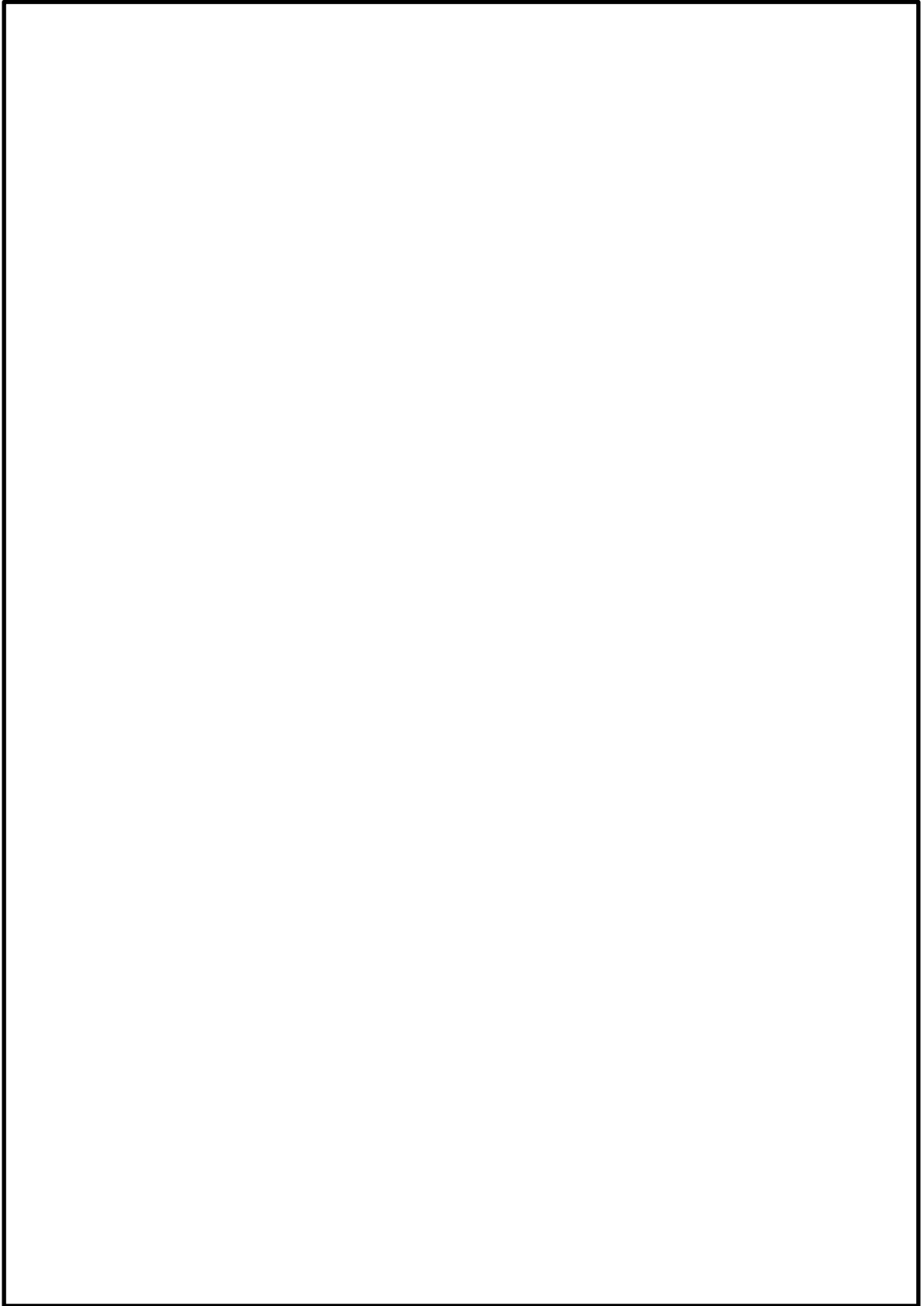
(補足 1)

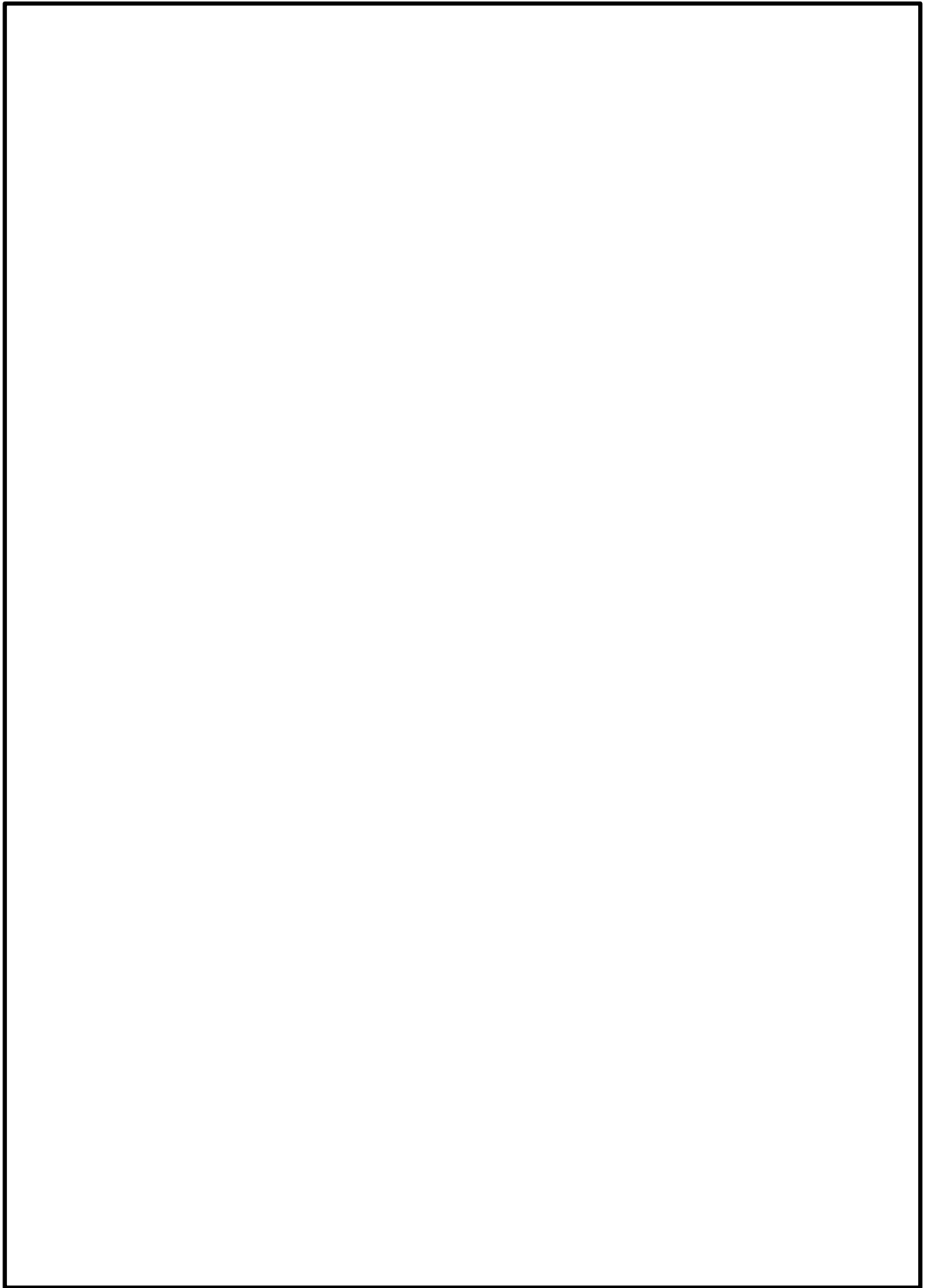
地盤工学会の試験方法「岩盤の原位置一軸引張り試験方法 (J G S 3 5 5 1 -2020)」
について

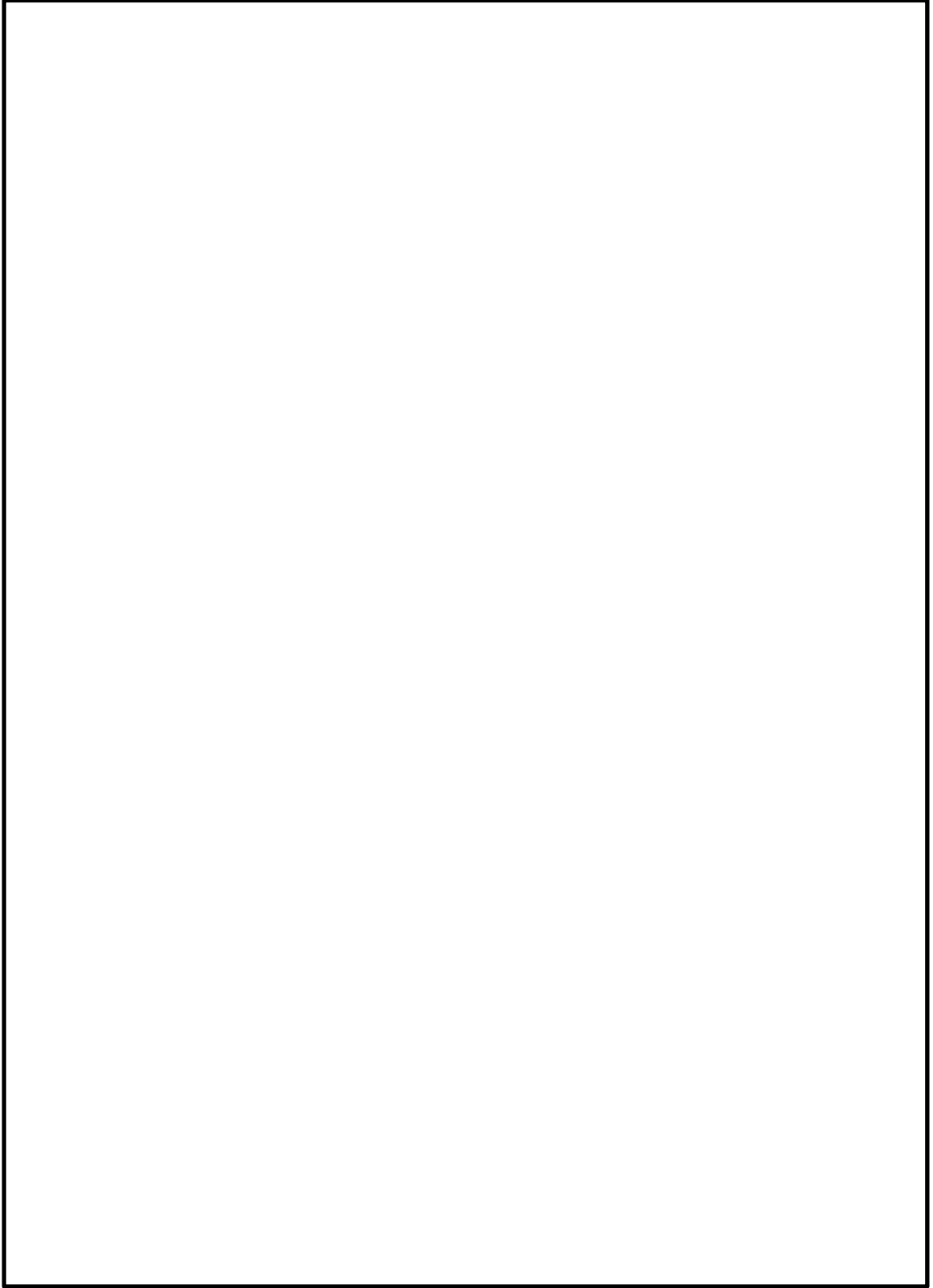


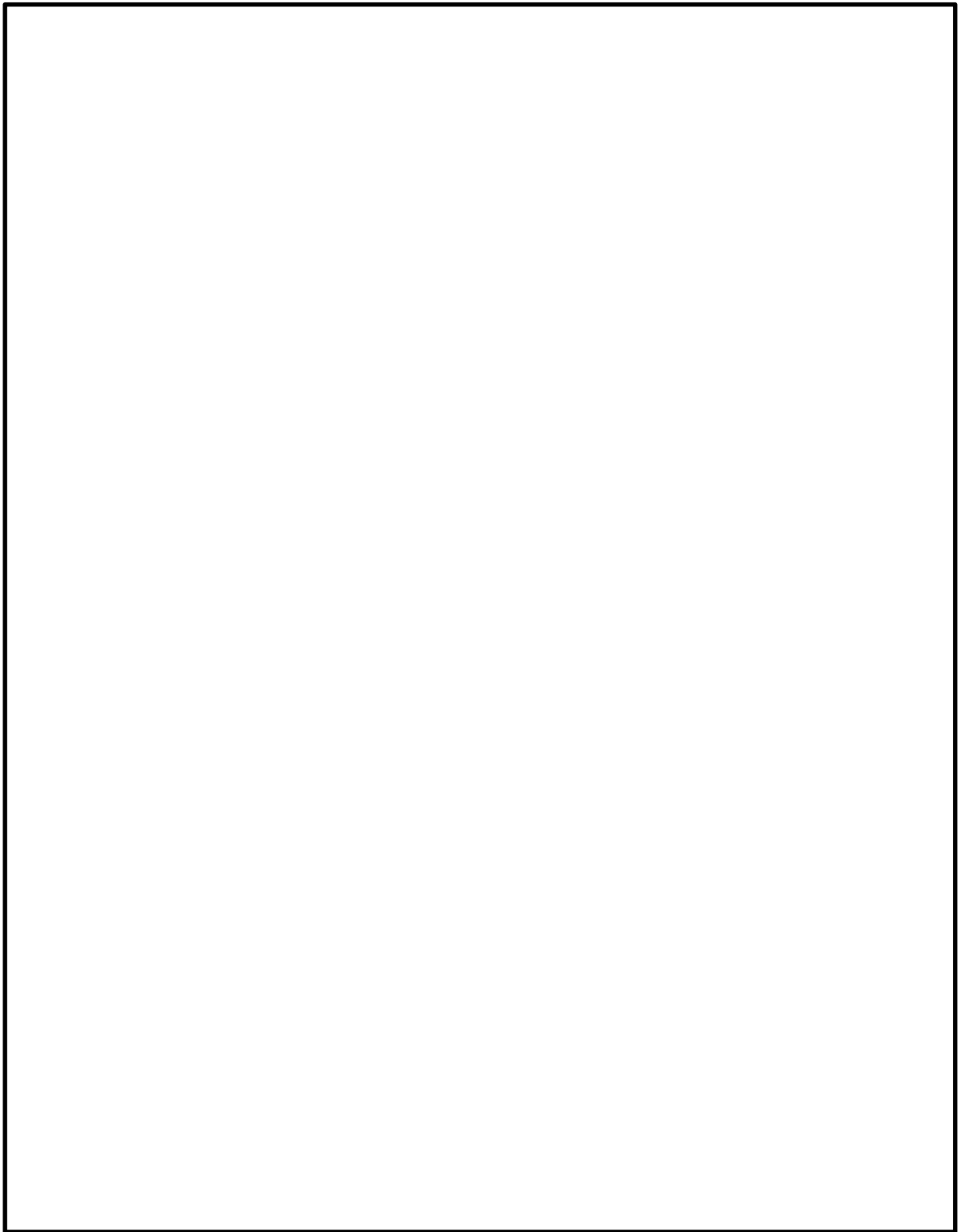


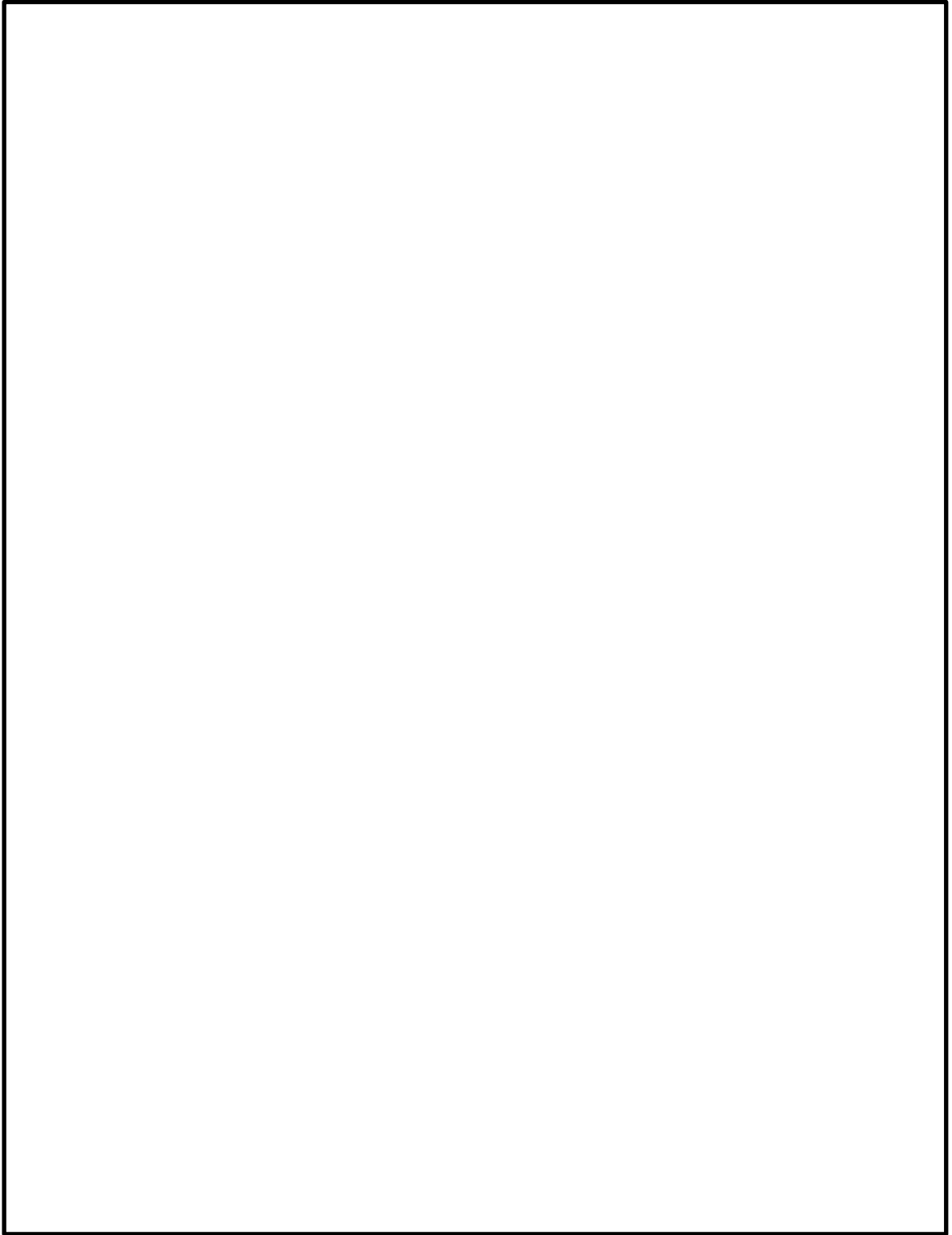












岩盤-レベルコンクリート間における付着力試験実施後の破断面について

1. 概要

岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験実施後の破断面の写真及びスケッチ図に基づき考察を行う。

2. 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験実施後の破断面の状況

図2-1, 図2-2に黒色頁岩-レベルコンクリート間及び凝灰岩-レベルコンクリート間における付着力試験後の破断面の状況（写真及びスケッチ図）を示す。

岩種に関わらず、岩盤面には薄いコンクリートの層が広く付着しているが、破断位置はいずれも岩盤とレベルコンクリートの境界面であったことから、試験値は岩盤とレベルコンクリート間の付着力を示しているといえる。

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-1 (1) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

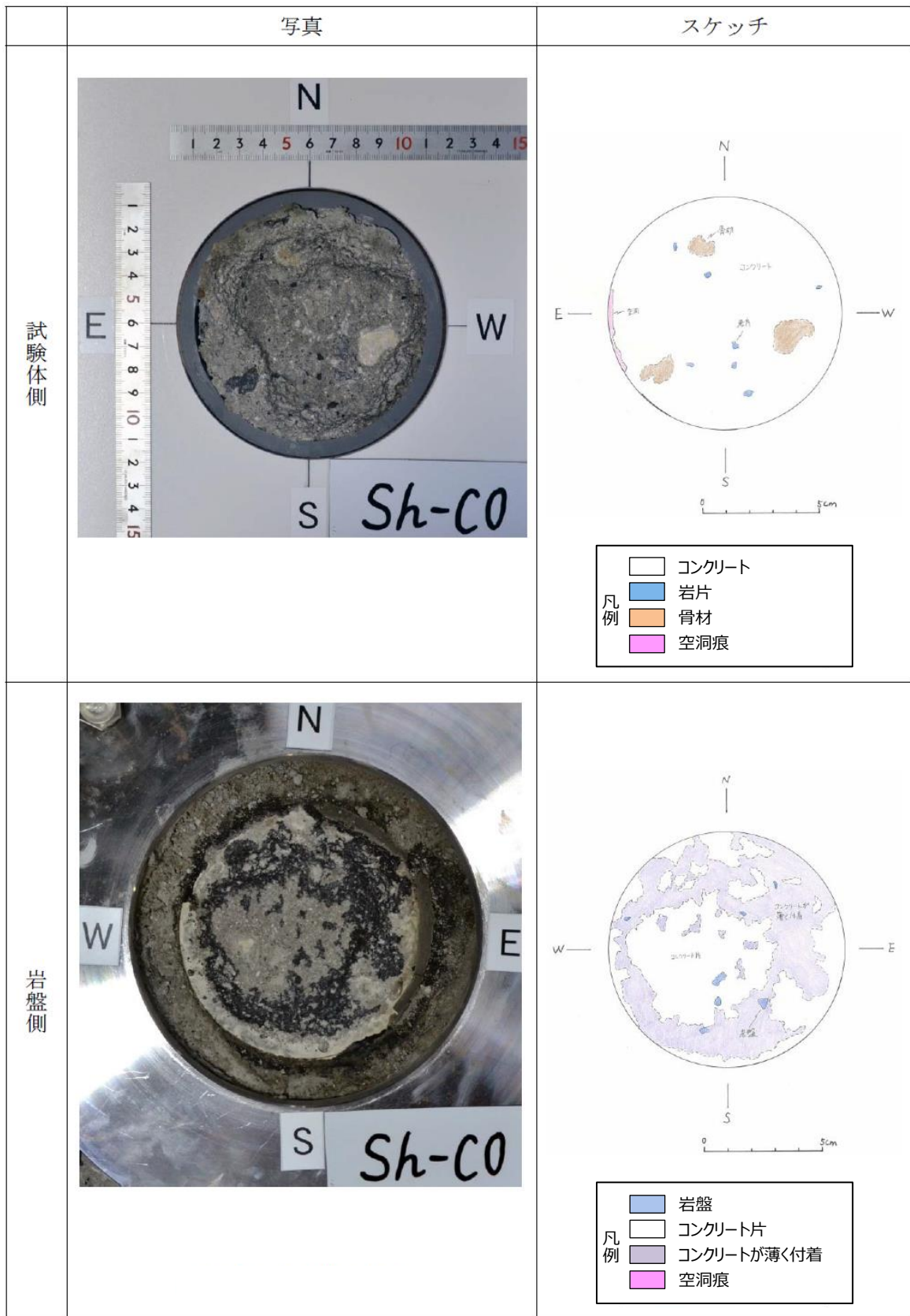


図 2-1 (2) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-1 (3) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

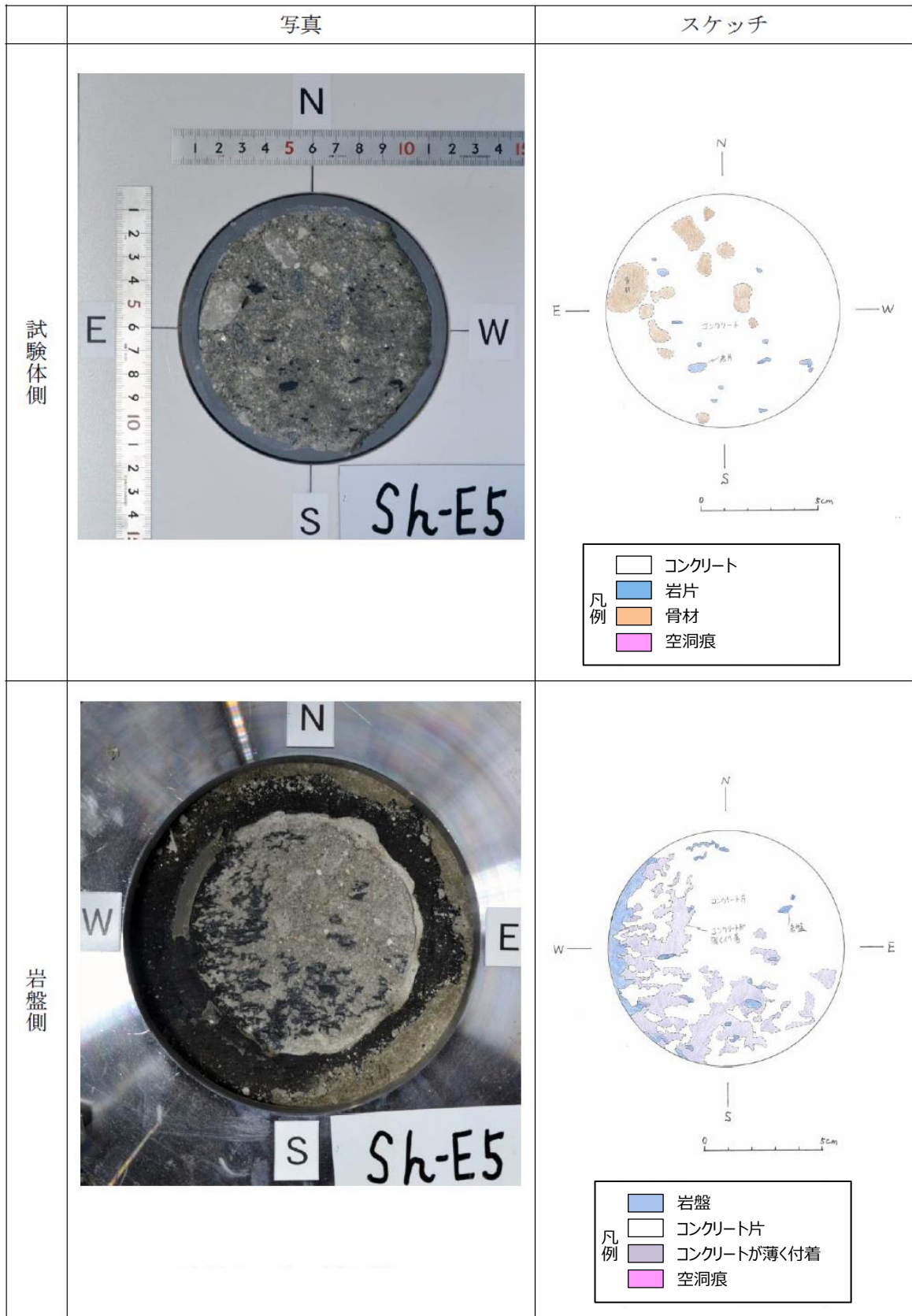


図 2-1 (4) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

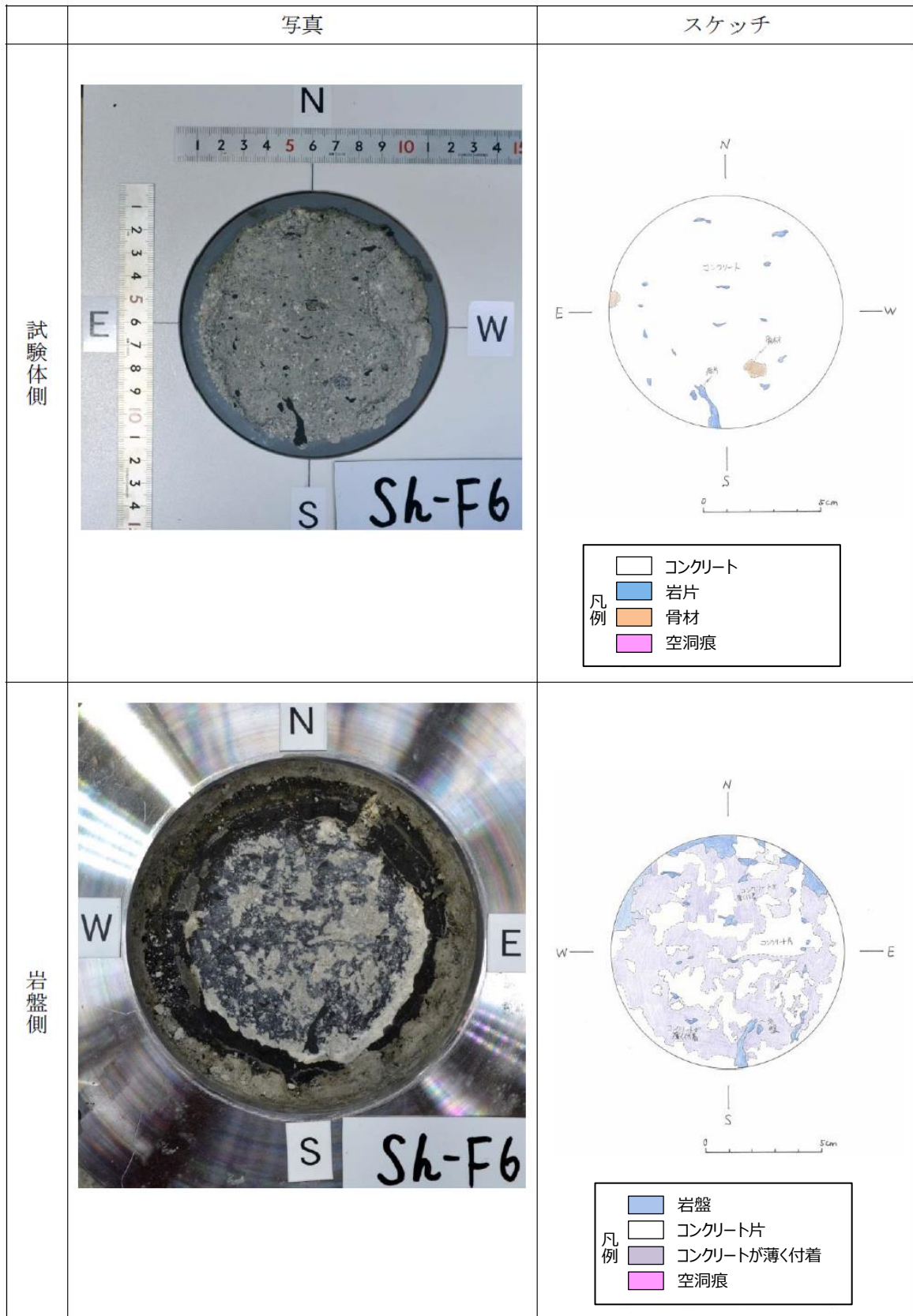


図 2-1 (5) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-1 (6) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-1 (7) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-1 (8) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

図 2-1 (9) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

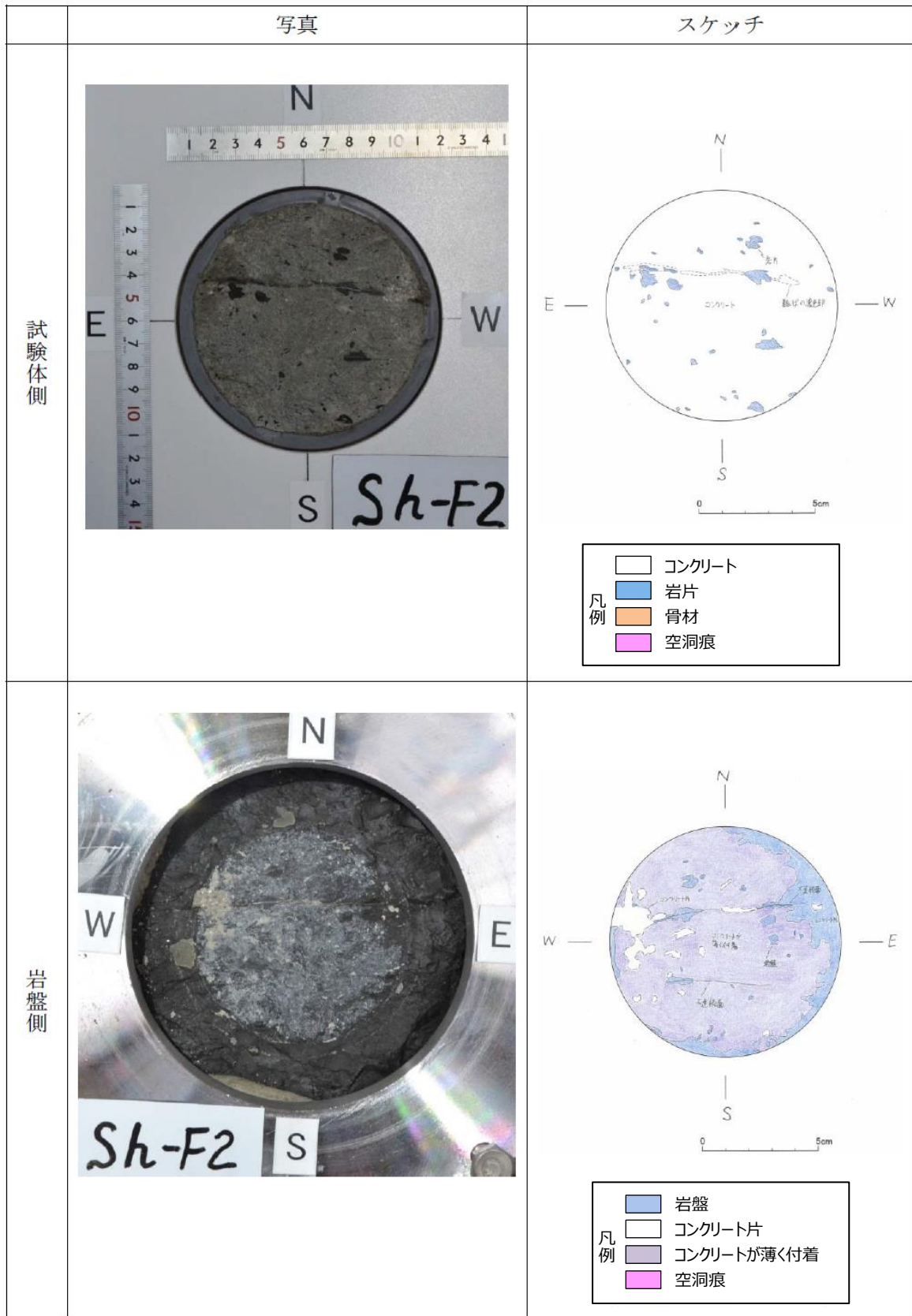


図 2-1 (10) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-1 (11) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

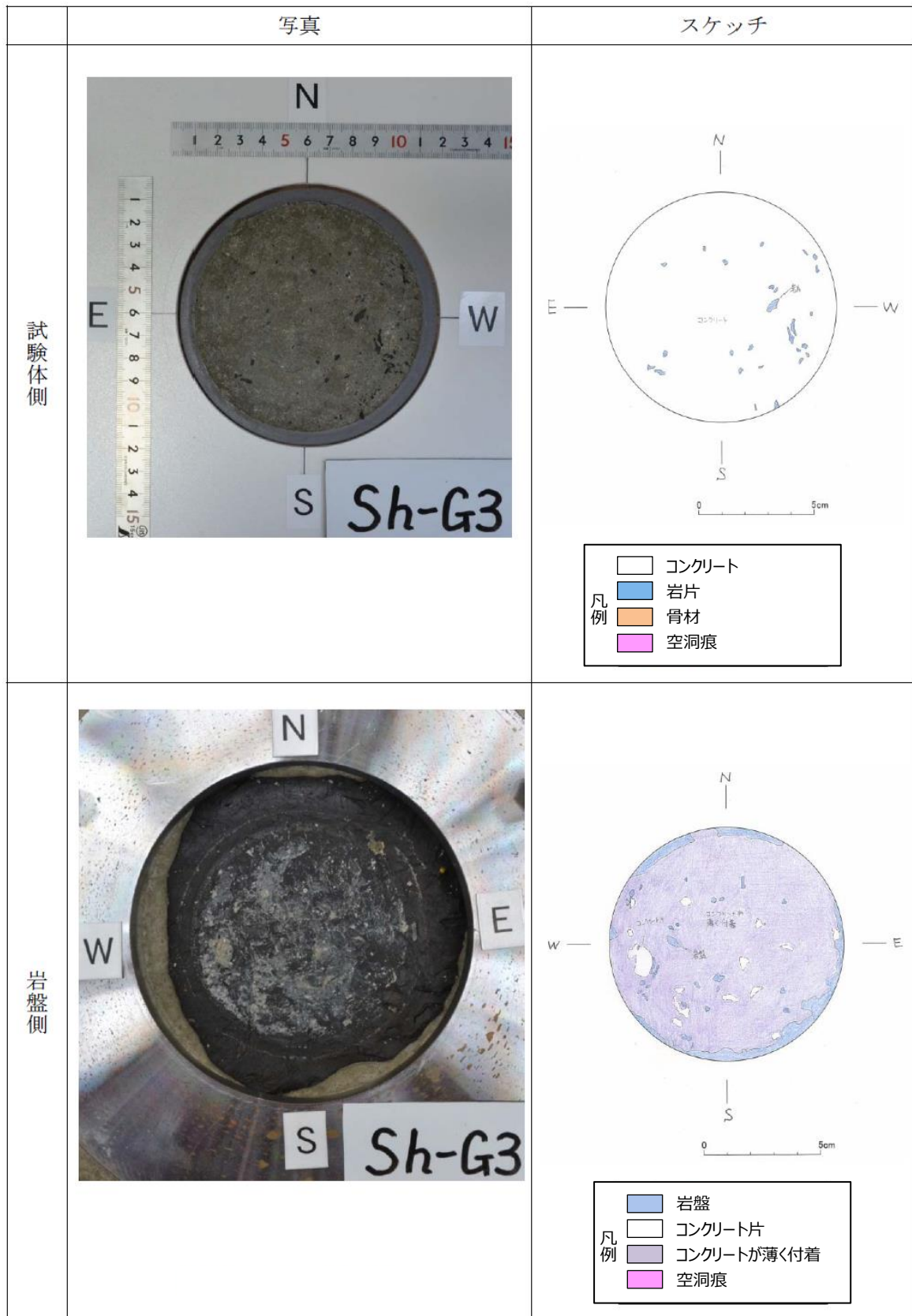


図 2-1 (12) 付着力試験後の破断面の状況
(黒色頁岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

図 2-2 (1) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

図 2-2 (2) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く附着 ■ 空洞痕

図 2-2 (3) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-2 (4) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

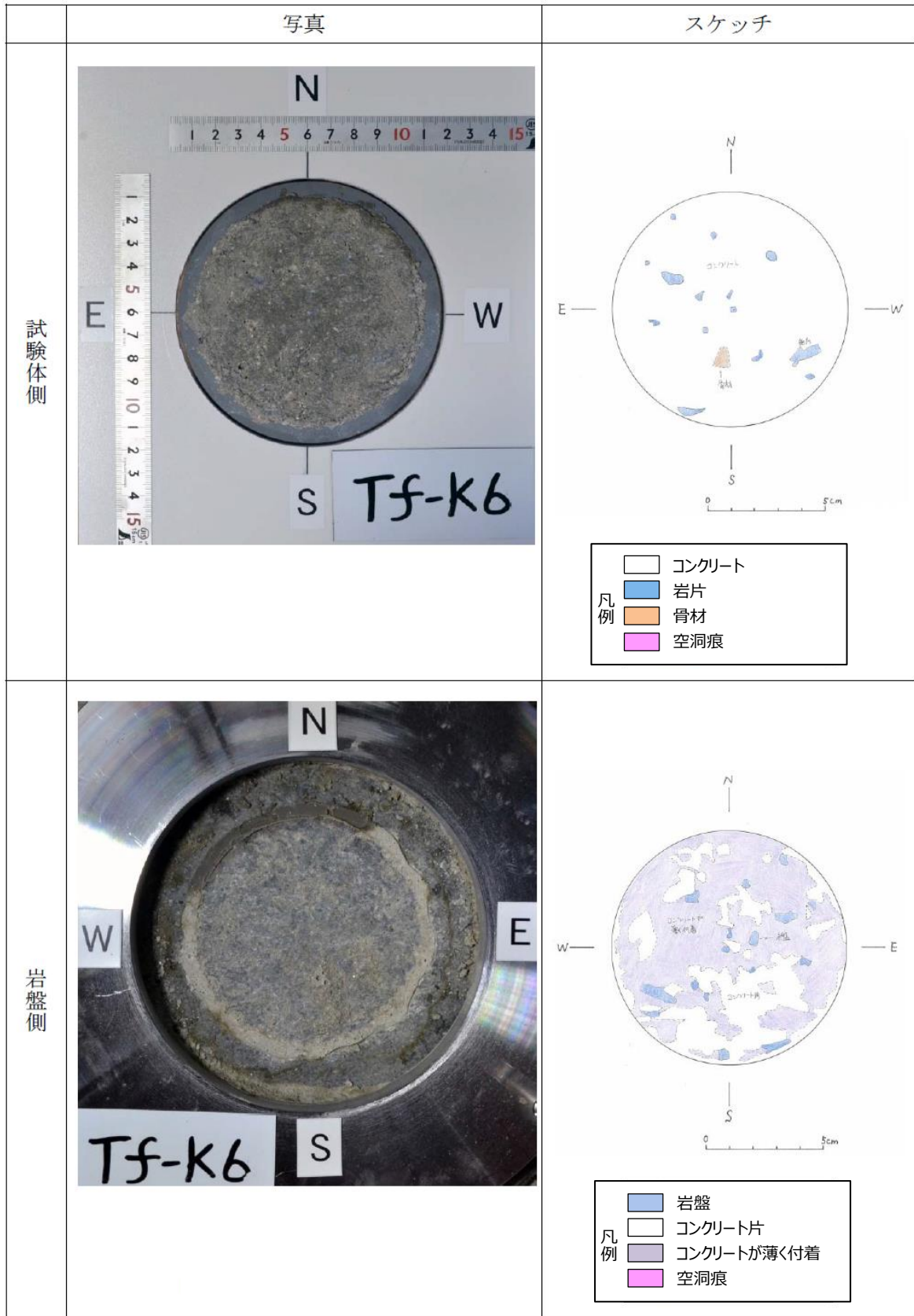


図 2-2 (5) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

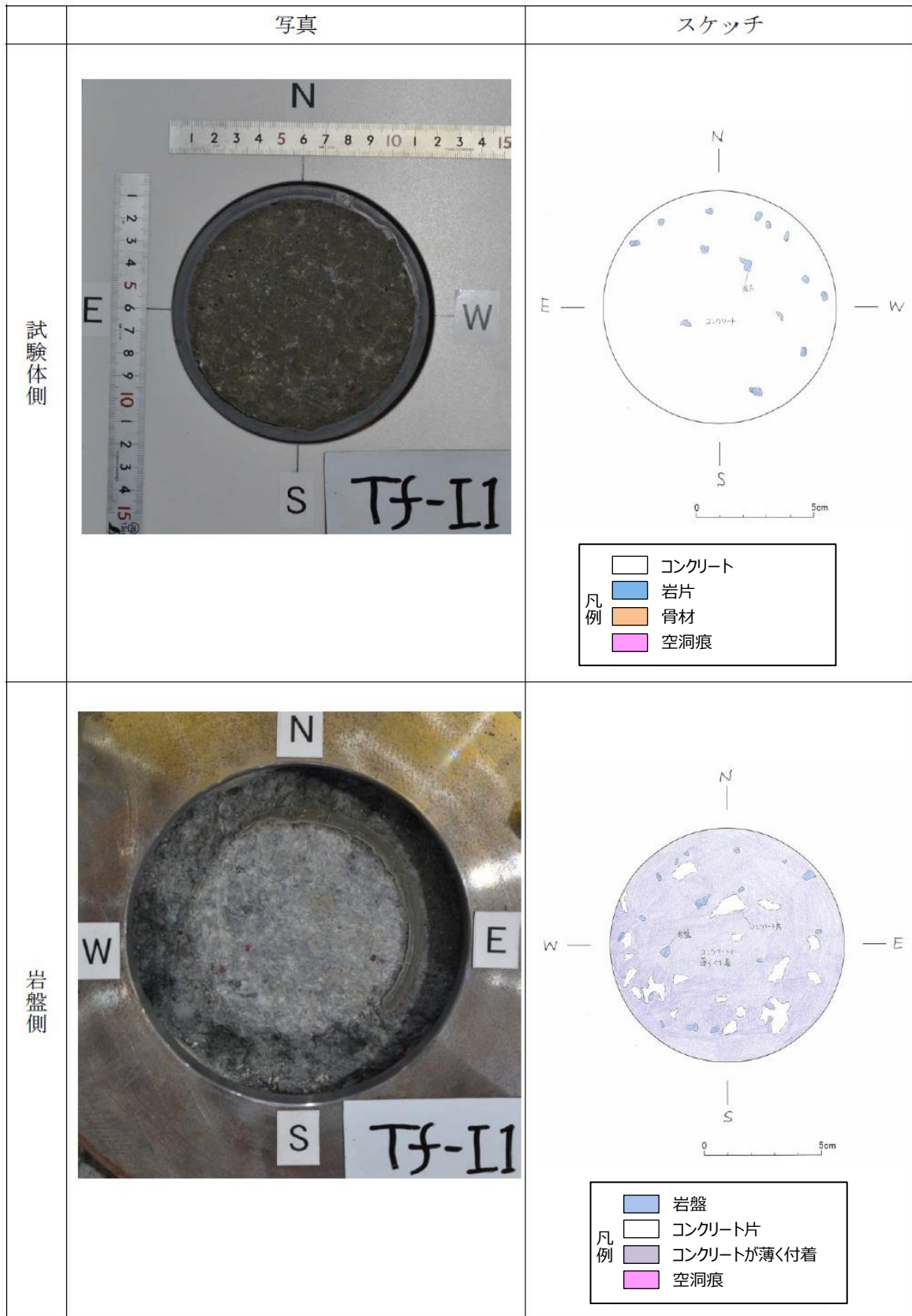


図 2-2 (6) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-2 (7) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く附着 ■ 空洞痕

図 2-2 (8) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く附着 ■ 空洞痕

図 2-2 (9) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		
岩盤側		

図 2-2 (10) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

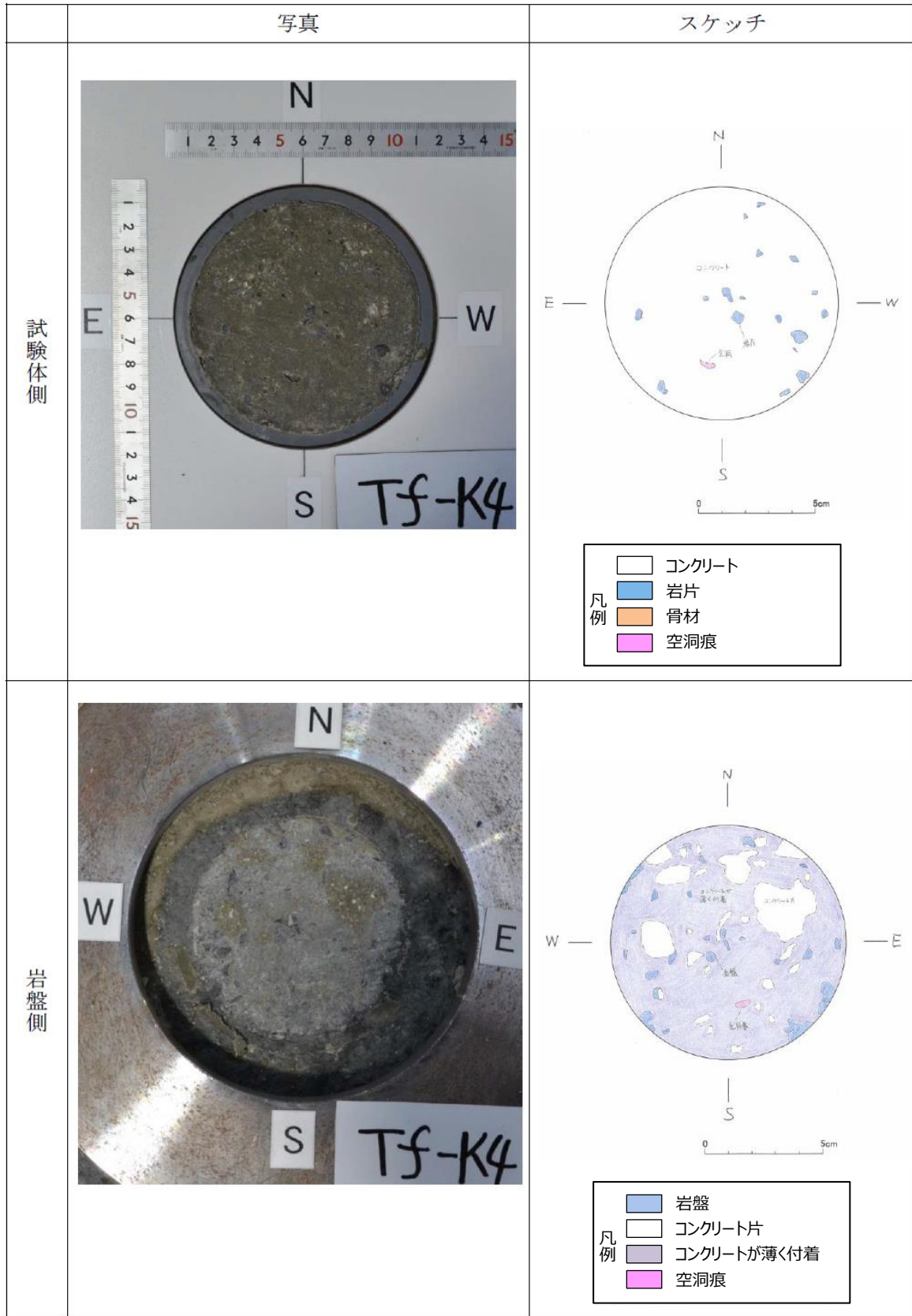


図 2-2 (11) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

	写真	スケッチ
試験体側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> □ コンクリート ■ 岩片 ■ 骨材 ■ 空洞痕
岩盤側		<p>凡例</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 岩盤 □ コンクリート片 ■ コンクリートが薄く付着 ■ 空洞痕

図 2-2 (12) 付着力試験後の破断面の状況
(凝灰岩-レベルコンクリート)

設定付着力に関する統計的な考察について

1. 概要

今回設定した付着力について統計的な観点も含めた考察を行う。

2. 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験結果と設定付着力の関係

図2-1に岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験結果と設定付着力の関係を示す。

設定付着力 (0.40N/mm^2) は、平均値の小さい黒色頁岩の平均値 (0.81N/mm^2) に対して -1.58σ に相当する。参考として、凝灰岩の平均値 (1.15N/mm^2) に対して -3.13σ 、黒色頁岩と凝灰岩を合わせた全体の平均値 (0.98N/mm^2) に対して -1.93σ となる。

なお、試験結果のばらつきについて、岩種毎に評価した場合は試験によるものであるが、岩盤全体として評価した場合には試験によるものと岩種の違いによるものが含まれている。

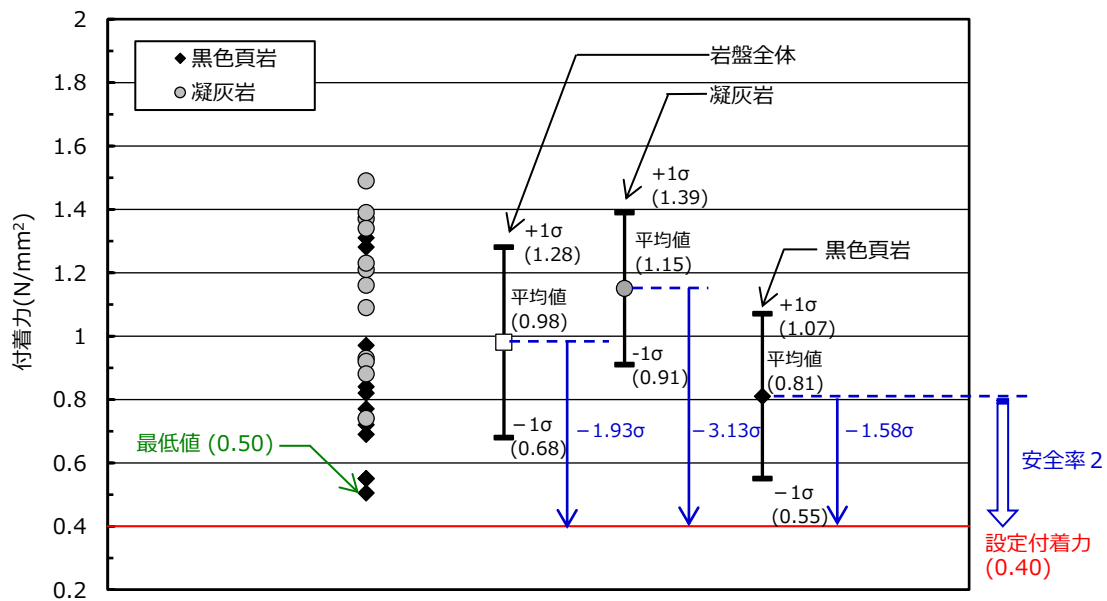


図2-1 岩盤-レベルコンクリート間の付着力試験の結果と設定付着力の関係

既工認実績における設定付着力との比較

島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較を表1に示す。

島根サイトの建物直下地盤は主に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層から構成されており、実際の建物直下地盤における黒色頁岩と凝灰岩の構成割合を定量的に確認できないこと、建物毎でその構成割合が異なることから、付着力の設定には、岩盤全体の平均値(0.98N/mm²)ではなく、保守的に値の小さい黒色頁岩の平均値(0.81N/mm²)に基づき設定した。また、物性値のばらつき、原位置試験の不確実性を踏まえて、平均値をそのまま用いるのではなく、保守性を考慮し、平均値に2倍の安全率を考慮し、かつ試験結果の最低値を下回るよう設定した。

よって、島根サイトの設定付着力は、岩盤全体の平均値(0.98N/mm²)に対して2.5倍程度、岩種毎に見れば2.0~2.9倍の余裕があることから、既工認実績と比較しても試験結果に対して十分な保守性を考慮した値である。

なお、安全率については、一般的な地盤に関する安全率として、基礎地盤の許容支持力度の例を挙げると、短期許容支持力度は極限支持力度に対して1.5倍の安全率を考慮している。一方で、建物基礎底面と地盤の付着力を考慮した設計においては、適用例も少ないことからデータの信頼性を鑑みて、十分な保守性を確保している。

表1 島根サイトと既工認実績における設定付着力の比較

サイト	建物	採用する地震 応答解析モデル (基礎浮上り評価法)	付着力の設定					
			試験の 平均値 (N/mm ²)	試験の 最小値 (N/mm ²)	設定 付着力 (N/mm ²)	安全率*4	保守性の考え方等	
島根	廃棄物処理建物	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル*1	0.98 (全体) 1.15 (凝灰岩)	0.50	0.40	2.5 (全体) 2.9 (凝灰岩) 2.0 (黒色頁岩)	2種の岩種のうち平均値の小さい黒色頁岩の平均値に対して2倍の安全率を考慮するとともに最小値0.50を下回るよう設定	
	制御室建物	SRモデル*2 (浮上り線形地震応答解析)	0.81 (黒色頁岩)					
既工認実績	高浜	中間建屋	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル*1	0.92	0.55	0.3	3.1	平均値に対して十分な余裕を考慮するとともに最小値0.55を下回るよう設定
	大飯	制御建屋	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル*1	0.71	0.44	0.3	2.4	平均値に対して十分な余裕を考慮するとともに最小値0.44を下回るよう設定
	美浜	原子炉建屋	ジョイント要素を用いた3次元FEMモデル*1	0.91	0.57	—	—	補足説明資料において工認ケースとの比較ケース(側面回転ばね非考慮モデル)に平均値(0.91N/mm ²)を設定*3
	川内	ディーゼル建屋, 主蒸気管室建屋	基礎固定モデル*2	0.63	0.50	0.18 (必要付着力)	—	「JNES報告書」のレベルコンクリートと基礎コンクリート間の試験結果の平均値(0.6N/mm ²)と比較

注：他サイトの情報に係る記載内容については、公開資料を基に当社の責任において記載したものです。

注記*1：ジョイント要素に付着力を考慮。

*2：基礎浮上りが発生しないために必要な付着力が設定付着力を超えないことを確認。

*3：工認ケースにおいては、付着力を考慮していない。

*4：試験の平均値/設定付着力により算定。

試験地盤と建物直下地盤の同等性について

1. 概要

試験地盤は、建物直下地盤から離れているため、両者の同等性を確認し試験地盤における付着力試験結果を基に設定した付着力を建物直下地盤に適用することの妥当性を以下に示す。

2. 検討方法

試験地盤と建物直下地盤の同等性について、地質・地質構造の観点から比較を行う。また、参考に岩盤物性の観点からも比較を行う。

試験地盤と建物直下地盤の同等性確認の流れを図2-1に示す。

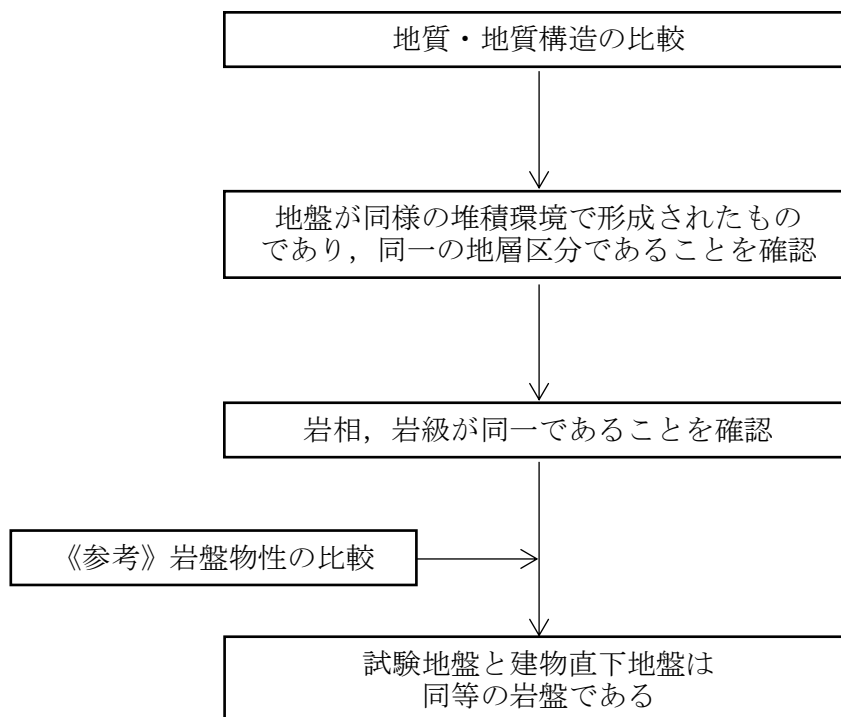


図2-1 試験地盤と建物直下地盤の同等性確認の流れ

3. 試験地盤と建物直下地盤の地質・地質構造の比較

3.1 敷地地盤について

敷地地盤における地質断面図を図3-1に示す。また、2号機エリア（1号機エリア含む）及び3号機エリアの地質・地質構造を参考資料-1に示す。

敷地地盤は、新第三紀中新世の堆積岩類から成る成相寺層と貫入岩類から構成されており、2号機及び3号機原子炉建物基礎地盤周辺は北に向かって約10～30°傾斜している。

これまでのボーリング調査の結果、成相寺層中において、連続性の高い堆積層（フローユニット）が、2号機エリア（1号機エリア含む）から3号機エリアまで連続していることを確認しており、試験地盤及び建物直下地盤を構成する地質は、いずれもこの連続性の高い堆積層の上位に位置し、同一の「下部頁岩部層」に区分される。

このことから、試験地盤及び建物直下地盤の地質は、同様の堆積環境で形成されたものであり、岩相及び岩種が同一であれば、両者の岩盤は同等であると判断する。

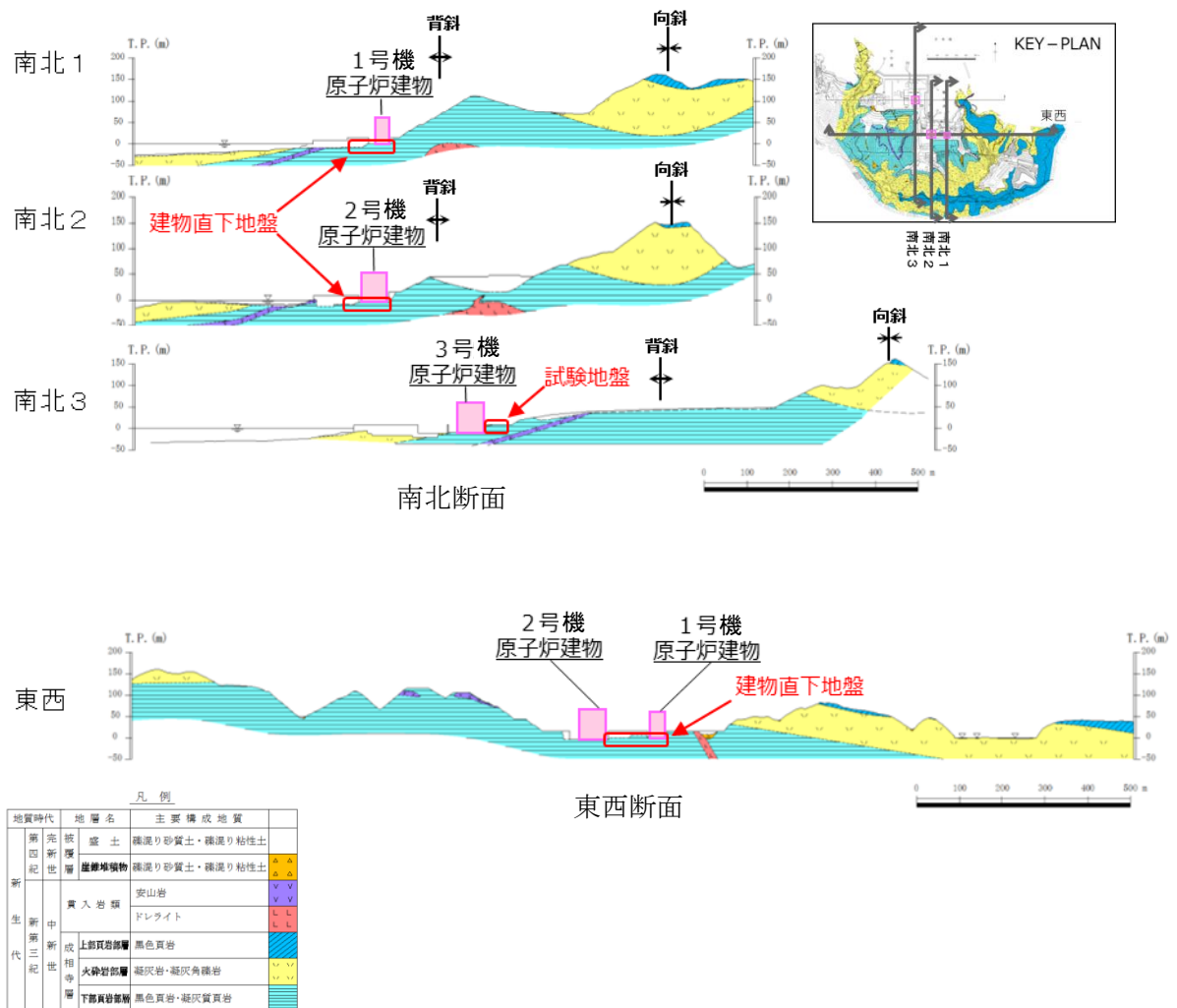


図3-1 敷地地盤における地質断面図

3.2 試験地盤と建物直下地盤の岩相及び岩級について

試験地盤と建物直下地盤の岩相及び岩級の比較を行う。

(1) 岩相の比較

試験地盤と建物直下地盤における岩相の比較を図 3-2 に示す。

試験地盤は黒色頁岩及び凝灰岩で構成されており、建物直下地盤は試験地盤と同様に黒色頁岩、凝灰岩及びこれらの互層が広く分布している。

また、試験地盤が局所的であるため、試験地盤を含む建物直下地盤（3号機）及び原子炉建物南側に隣接する原子炉建物南側地盤における岩相区分の比較を行う。図 3-3 にそれぞれの地盤における岩相区分及び位置関係を示す。

いずれの地盤においても主に黒色頁岩及び凝灰岩から構成されている。

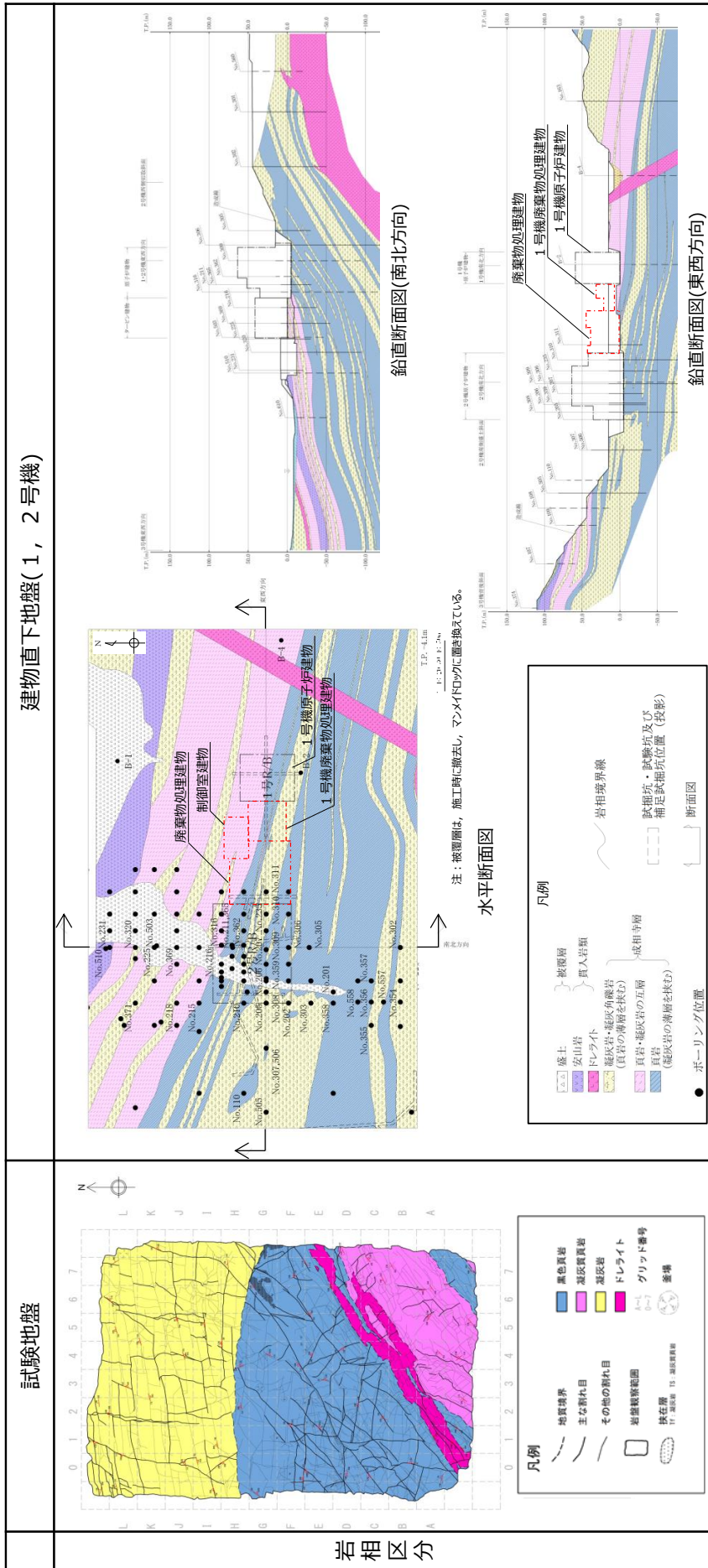


図 3-2 試験地盤と建物直下地盤における岩相の比較

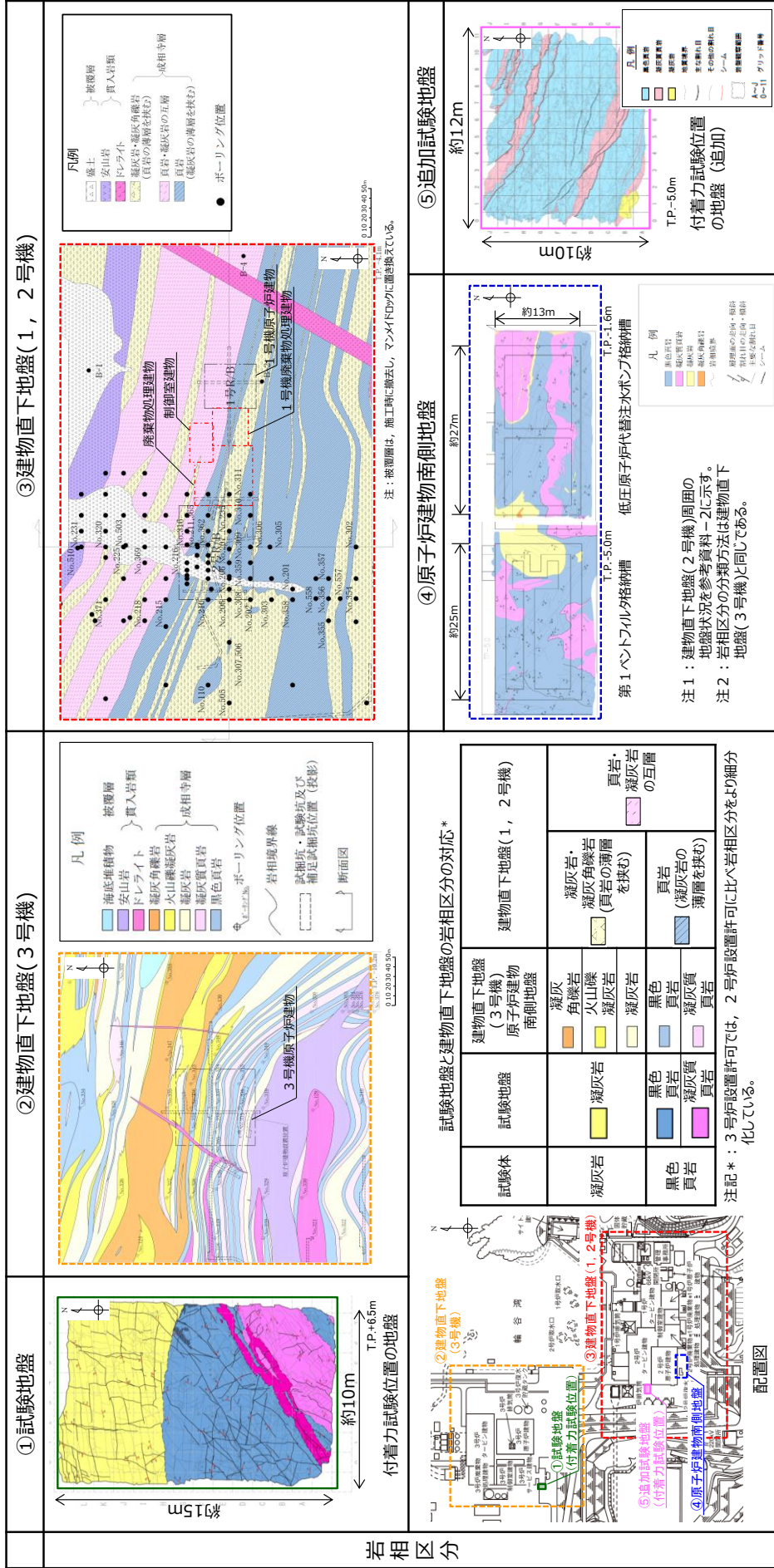


図 3-3 試験地盤と建物直下地盤における岩相区分の比較及び位置関係

(2) 岩級の比較

試験地盤と建物直下地盤における岩級区分の比較を図 3-4 に示す。

試験地盤における岩級は主に CH 級であり、建物直下地盤における岩級は試験地盤と同様に主に CH 級である。

また、試験地盤が局所的であるため、試験地盤を含む建物直下地盤（3 号機）及び原子炉建物南側に隣接する原子炉建物南側地盤における岩級区分の比較を行う。図 3-5 にそれぞれの地盤における岩級区分及び位置関係を示す。

いずれの地盤においても岩級は主に CH 級である。

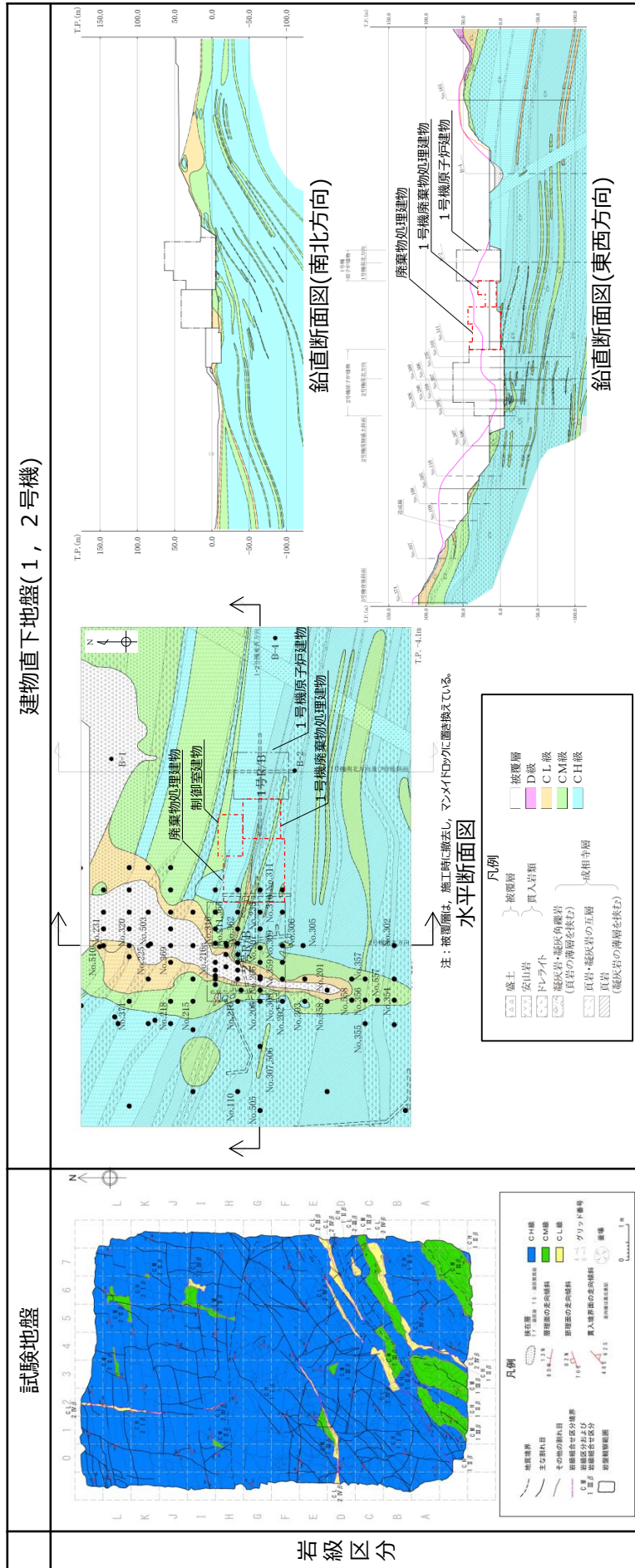


図3-4 試験地盤と建物直下地盤における岩級の比較

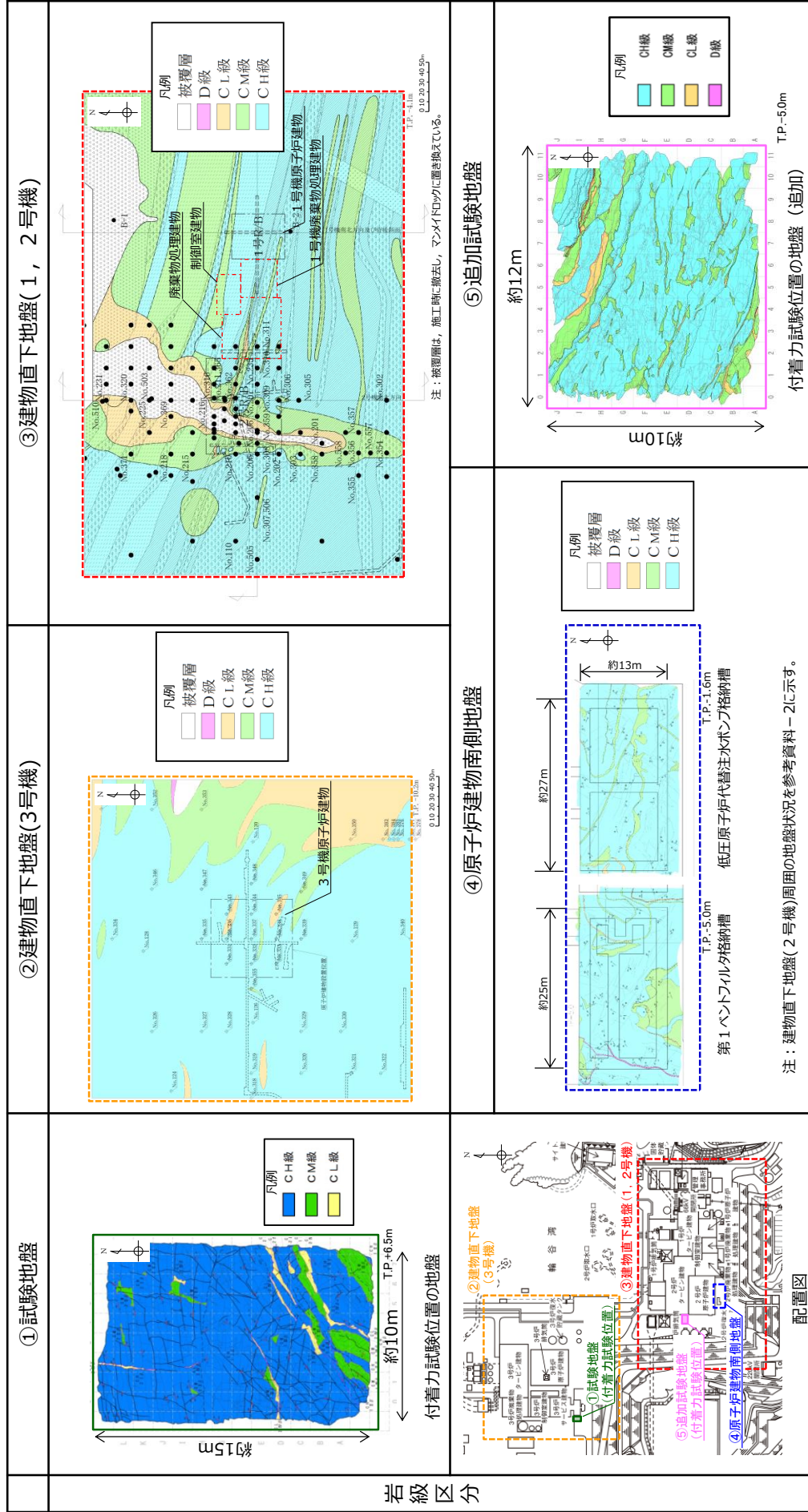


図3-5 試験地盤と建物直下地盤における岩級区分の比較及び位置関係

4. 試験地盤と建物直下地盤の岩盤物性値の比較

参考として、試験地盤と建物直下地盤（2号機）の岩盤物性値の比較を行う。

岩盤物性値については、「JNES報告書」によると、「直接引張試験による付着力は岩盤の圧裂引張強度の順と同じ傾向となった。^{*1}」とされていることから、付着力は岩盤の圧裂引張強度と関係性があると判断し、ここでは試験地盤と建物直下地盤（2号機）における圧裂引張強度^{*2}の比較を行う。併せて3号機原子炉建物直下地盤における圧裂引張強度^{*3}も示す。

図4-1に試験地盤及び建物直下地盤（2号機及び3号機）における圧裂引張強度の比較を示す。

黒色頁岩、凝灰岩とも試験地盤の圧裂引張強度の平均値は、建物直下地盤（2号機）の圧裂引張強度の平均値と同程度であり、試験地盤の個々の圧裂引張強度も建物直下地盤（2号機）の $\pm 1\sigma$ の範囲内に概ね収まっていることから、試験地盤と建物直下地盤（2号機）は同等の岩盤である。また、3号機建物直下地盤の値とも同程度であることを確認した。

注記*1：「JNES報告書」では、岩盤物性試験として、一軸圧縮強度、圧裂引張強度、超音波伝播速度を計測しており、このうち圧裂引張強度の順と付着力の順が同じ傾向（砂岩 > 花崗岩 > 凝灰岩）となったことが示されている。

*2：島根2号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験
（島根原子力発電所原子炉設置許可変更申請書（令和3年9月15日許可））

*3：島根3号炉原子炉建物位置のボーリング孔から採取した試料による試験
（島根原子力発電所原子炉設置許可変更申請書（平成17年4月26日許可））

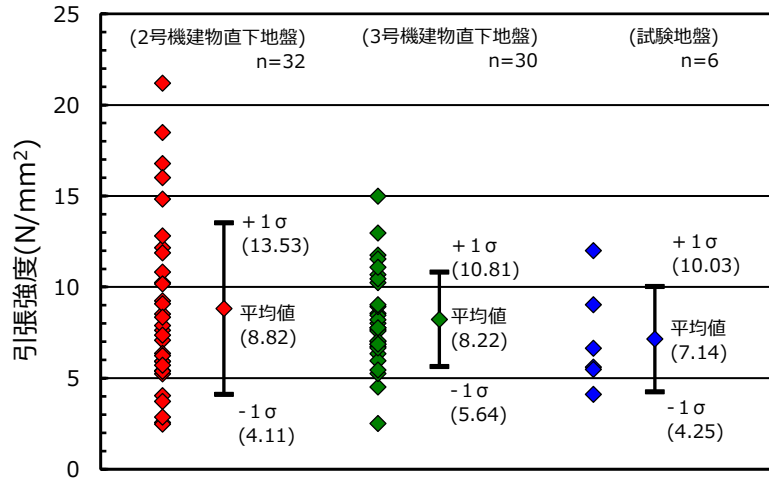


図 4-1 (1) 試験地盤及び建物直下地盤 (2号機及び3号機) における岩盤の圧裂引張強度の比較 (黒色頁岩)

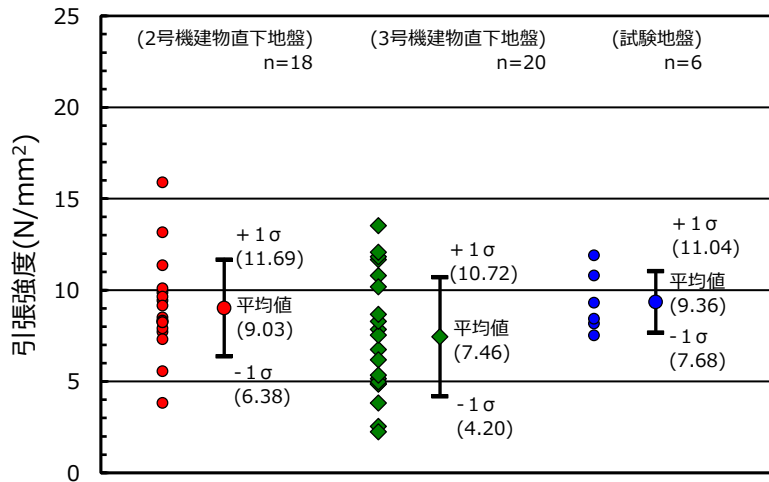


図 4-1 (2) 試験地盤及び建物直下地盤 (2号機及び3号機) における岩盤の圧裂引張強度の比較 (凝灰岩)

5. まとめ

試験地盤と建物直下地盤の同等性を地質・地質構造の観点から確認した。

試験地盤と建物直下地盤の地質が同様の堆積環境で形成されたものであり、同一の地層区分であることを確認した。

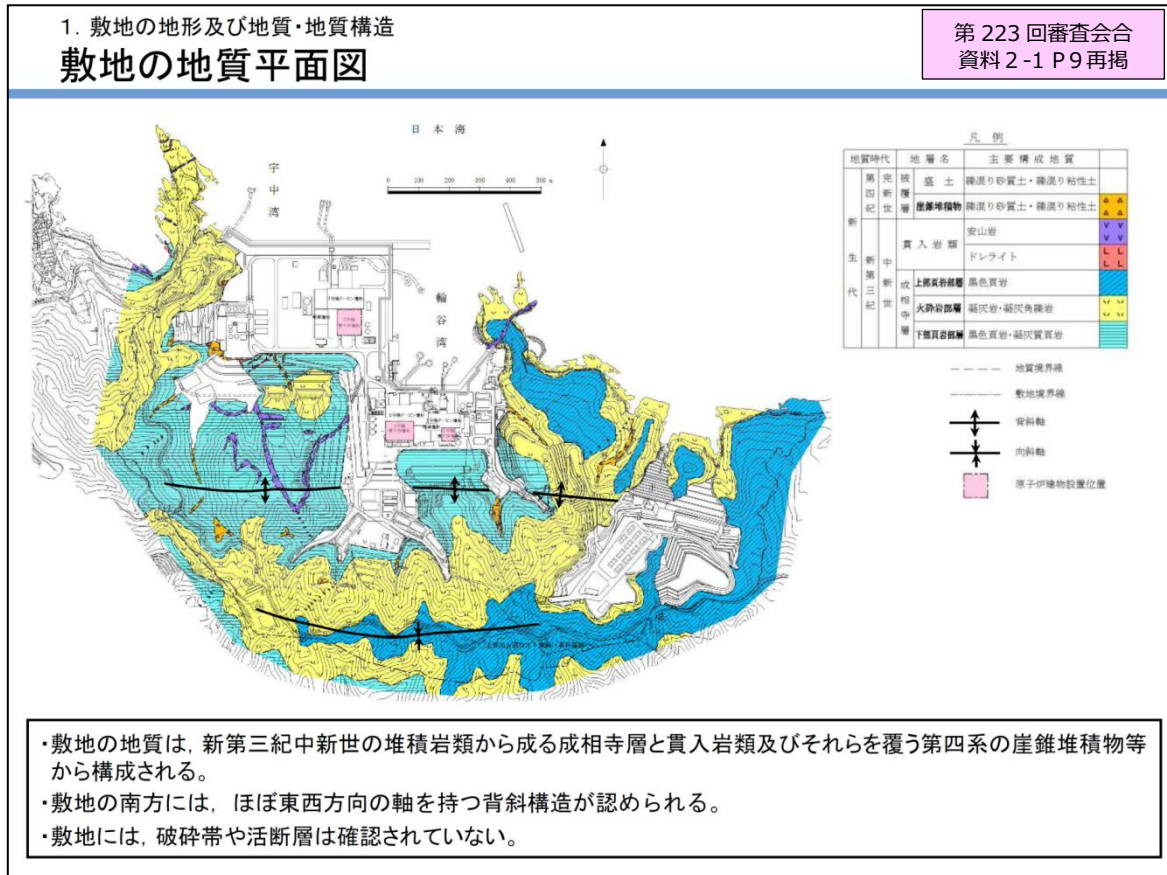
試験地盤と建物直下地盤の岩相は主に黒色頁岩及び凝灰岩で構成されていること、及び岩級はCH級であり、岩相及び岩級が同一であることを確認した。

また、参考として、試験地盤と建物直下地盤の岩盤物性値（圧裂引張強度）を比較し、同程度であることを確認した。

以上より、試験地盤と建物直下地盤は同等のものであり、試験地盤における付着力試験結果を基に設定した付着力を建物直下地盤に適用することは妥当であると判断する。

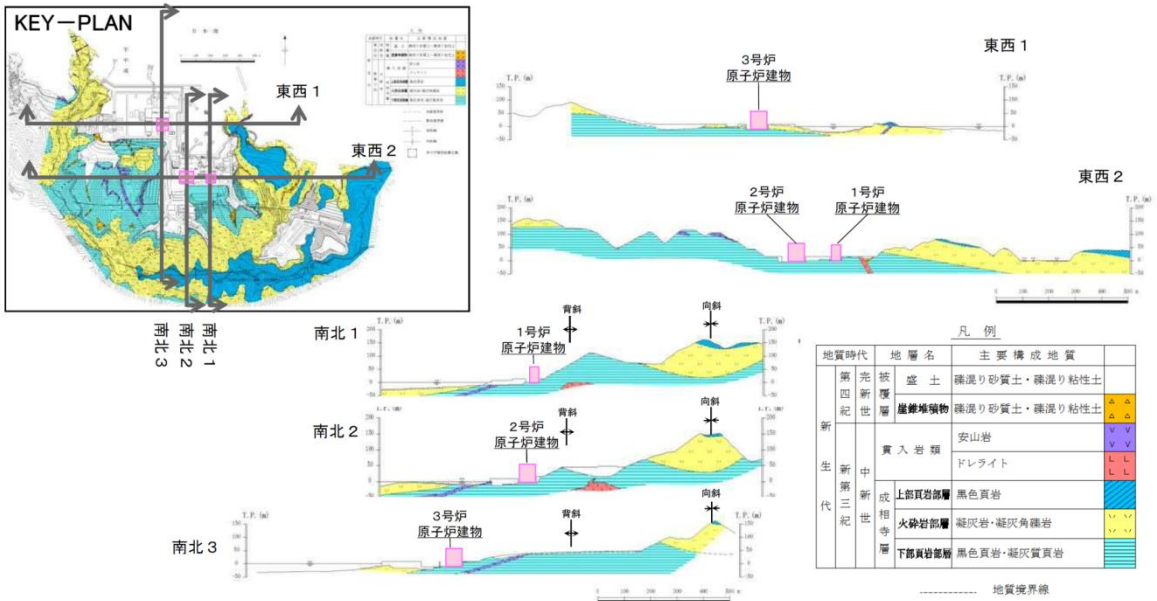
島根原子力発電所 敷地の地質・地質構造について
(第 223 回審査会合資料再掲)

以下に、島根原子力発電所の2号機エリア（1号機エリア含む）及び3号機エリアの地質・地質構造を示す（第 223 回審査会合、資料 2-1 の再掲）。



1. 敷地の地形及び地質・地質構造
敷地の地質断面図

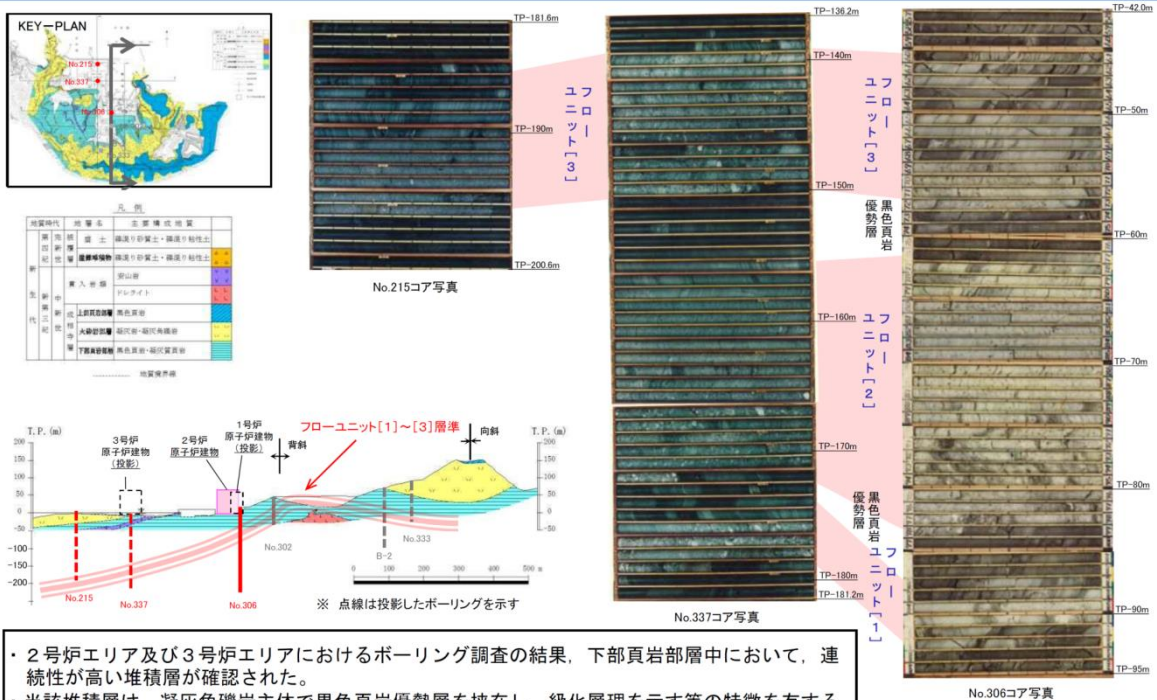
第 223 回審査会合
資料 2-1 P10 再掲



- ・敷地に分布する成相寺層は、下位より下部頁岩部層、火砕岩部層、上部頁岩部層の3つの部層に区別される。
- ・1～3号炉原子炉建物基礎地盤においては、主として黒色頁岩、凝灰質頁岩より成る「下部頁岩部層」が広く分布する。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造
敷地に分布する鍵層①

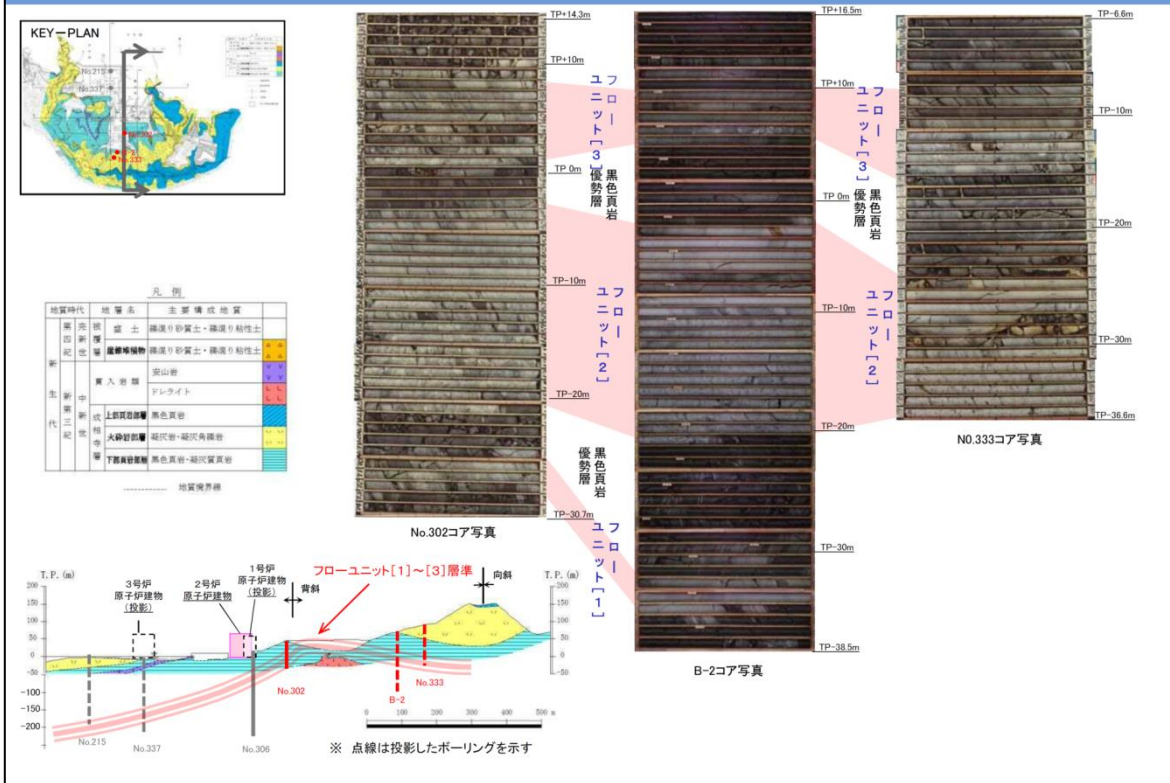
第 223 回審査会合
資料 2-1 P11 再掲



- ・2号炉エリア及び3号炉エリアにおけるボーリング調査の結果、下部頁岩部層中において、連続性が高い堆積層が確認された。
- ・当該堆積層は、凝灰角礫岩主体で黒色頁岩優勢層を挟み、級化層理を示す等の特徴を有することから、水中火砕流により堆積したものと考えており、フローユニットと呼称している。
- ・当該フローユニットは、地層の対比がし易いため、敷地の地質構造把握において鍵層となる。

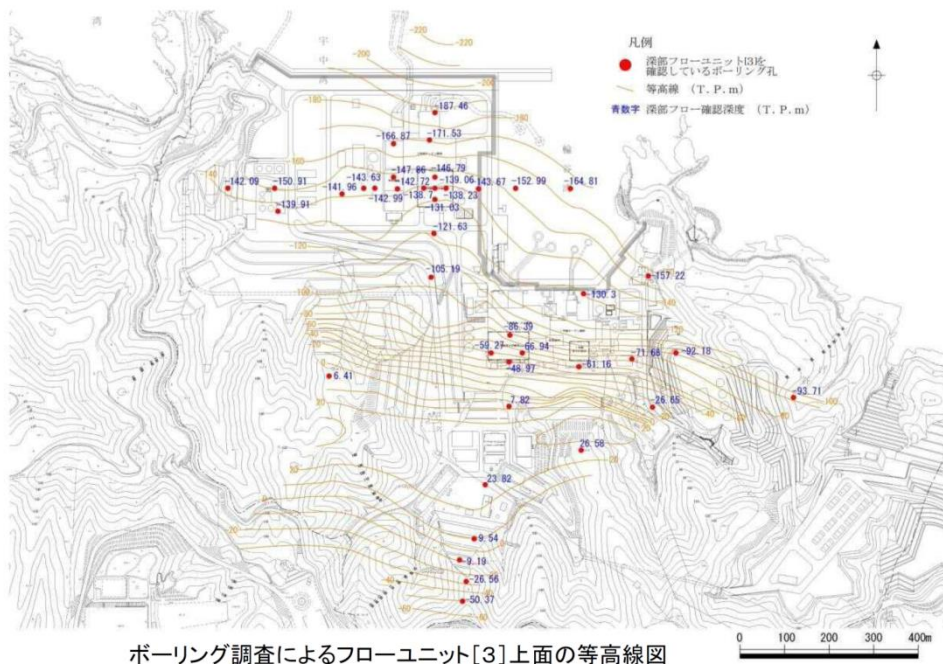
1. 敷地の地形及び地質・地質構造
敷地に分布する鍵層②

第 223 回審査会合
資料 2-1 P12 再掲



1. 敷地の地形及び地質・地質構造
鍵層の連続性

第 223 回審査会合
資料 2-1 P13 再掲

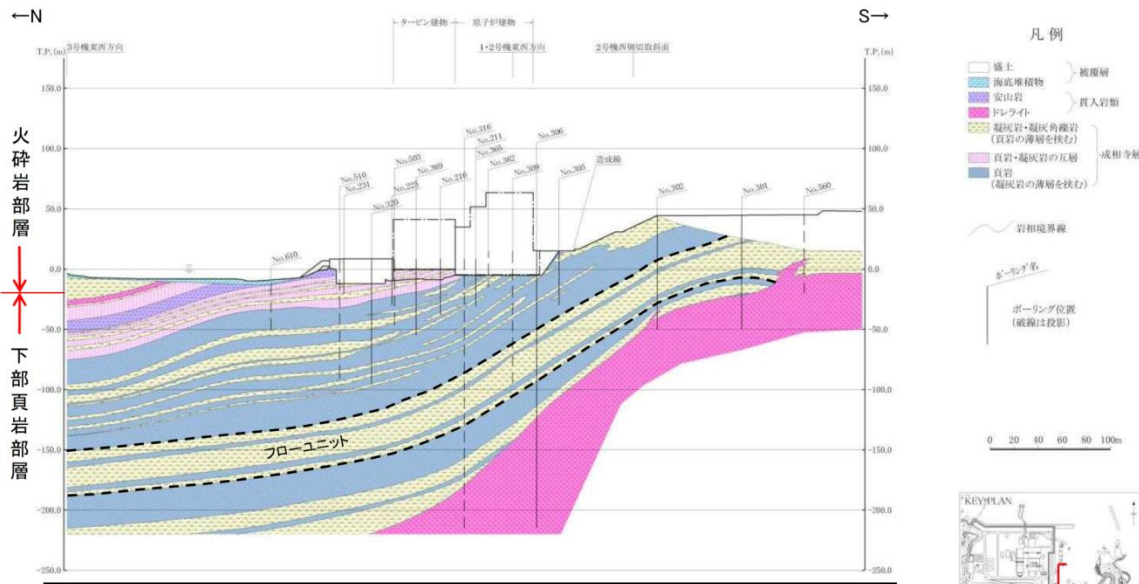


・フローユニットの分布等に基づき敷地の地質構造を検討した結果、下部頁岩部層中の同一層準は、2号炉エリア及び3号炉エリアに連続的に分布すると考えられる。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質鉛直断面図(2号炉原子炉建物基礎地盤)

第 223 回審査会合
資料 2-1 P15 再掲

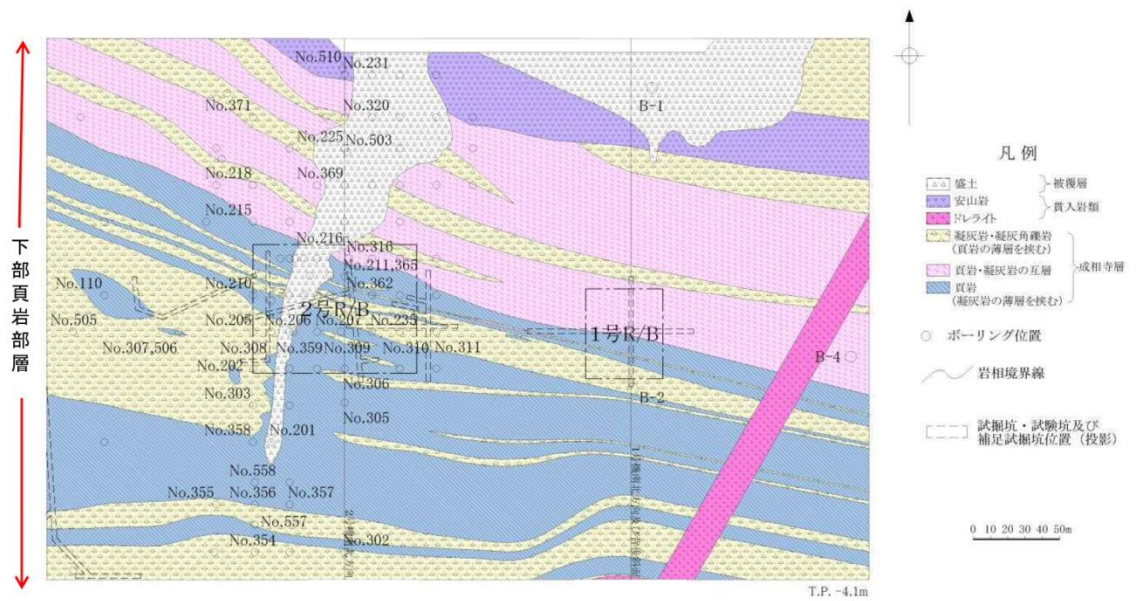


- ・2号炉原子炉建物基礎地盤には、主として下部頁岩部層、貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は、頁岩(黒色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし、凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・成相寺層の構造は、概ね西北西-東南東の走向を示し、北へ向かって約 10° ~ 30° 傾斜している。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

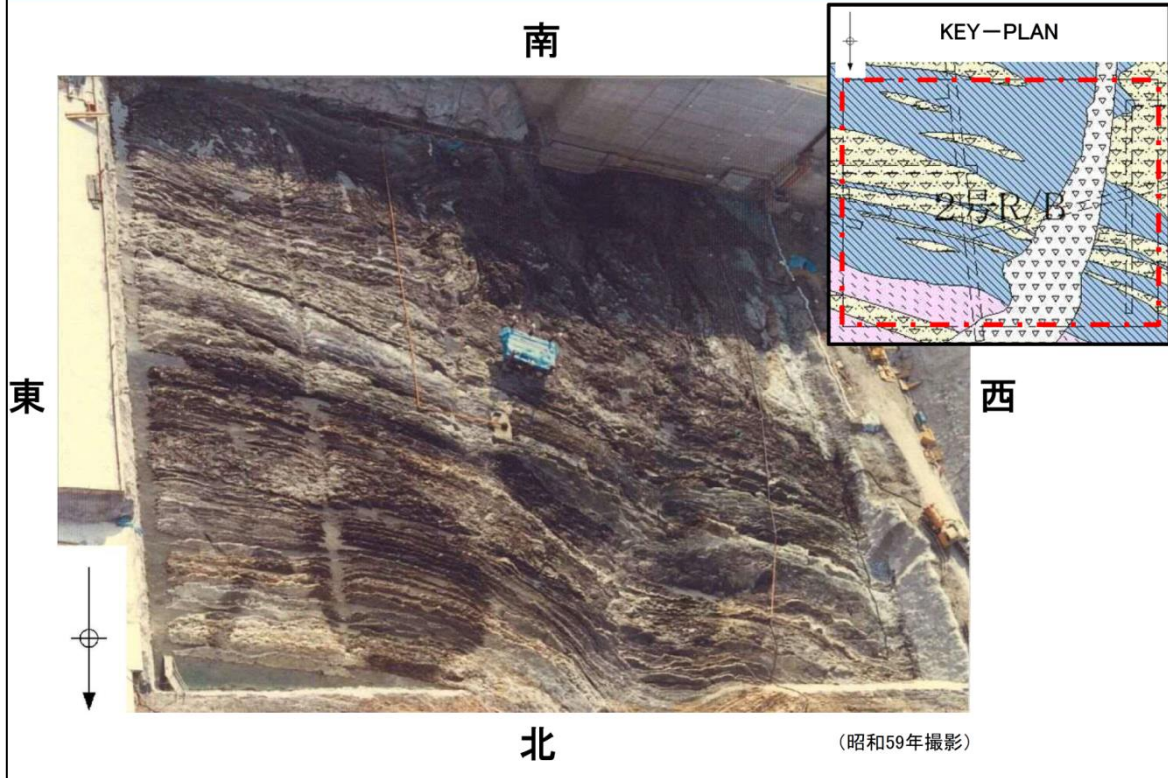
地質水平断面図(1・2号炉原子炉建物基礎地盤)

第 223 回審査会合
資料 2-1 P17 再掲

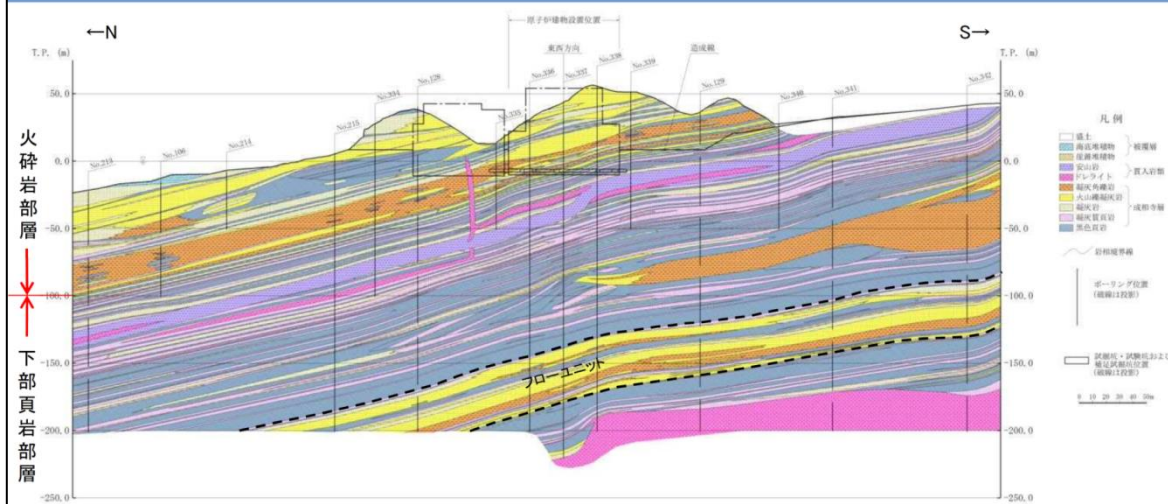


- ・成相寺層の構造は、概ね西北西-東南東の走向を示す。

底面付近写真(2号炉原子炉建物基礎地盤)



地質鉛直断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤)



- ・3号炉原子炉建物基礎地盤には、成相寺層(下部頁岩部層、火砕岩部層)及び貫入岩類が分布する。
- ・下部頁岩部層は、頁岩(黒色頁岩及び凝灰質頁岩)を主体とし、凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩並びにこれらの互層から構成される。
- ・火砕岩部層は、主として凝灰岩、火山礫凝灰岩及び凝灰角礫岩から構成される。
- ・成相寺層の構造は、ほぼ東西方向の走向を示し、北へ向かって約 10° ~ 20° 緩く傾斜している。

KEY PLAN

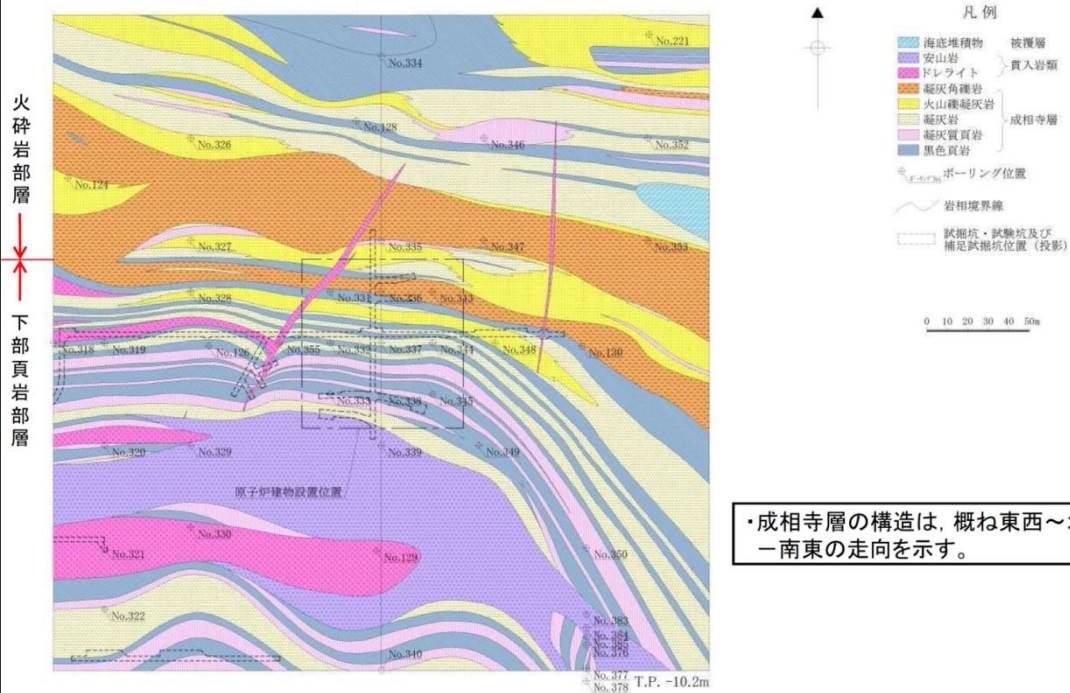
※ BTV解析結果は補足説明資料「BTV解析による見掛けの傾斜(3号炉南北断面)」参照

注：3号炉の地質断面図では、2号炉の地質断面図で互層として区分していた地質を細分している。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

地質水平断面図(3号炉原子炉建物基礎地盤)

第 223 回審査会合
資料 2-1 P21 再掲

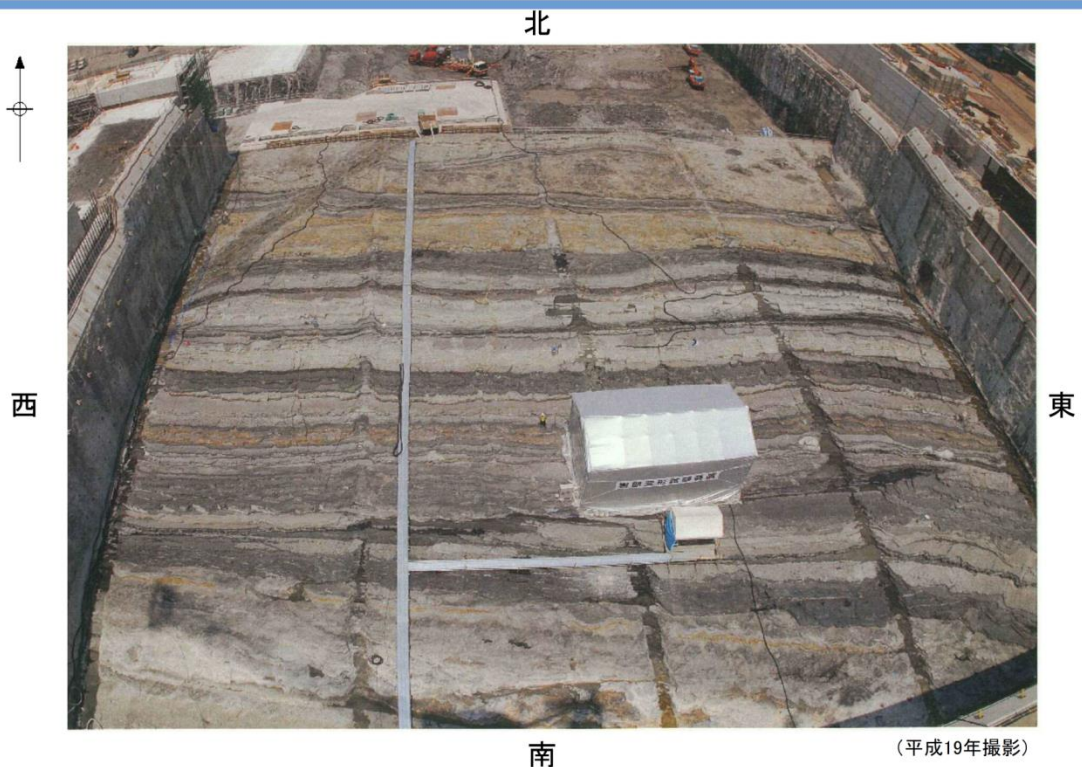


注：3号炉の地質断面図では、2号炉の地質断面図で互層として区分していた地質を細分している。

1. 敷地の地形及び地質・地質構造

底面付近写真(3号炉原子炉建物基礎地盤)

第 223 回審査会合
資料 2-1 P22 再掲



建物直下地盤周囲の地盤状況について

建物直下地盤周囲の地盤状況として、原子炉建物南側に隣接した土木構造物（第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽）の設置地盤における岩相区分及び岩級区分を図1に示す。

建物直下地盤周囲における岩相は黒色頁岩（一部凝灰質頁岩）及び凝灰岩が確認され、岩級は主にCH級であることから、試験地盤は建物直下地盤と同等の地盤である。

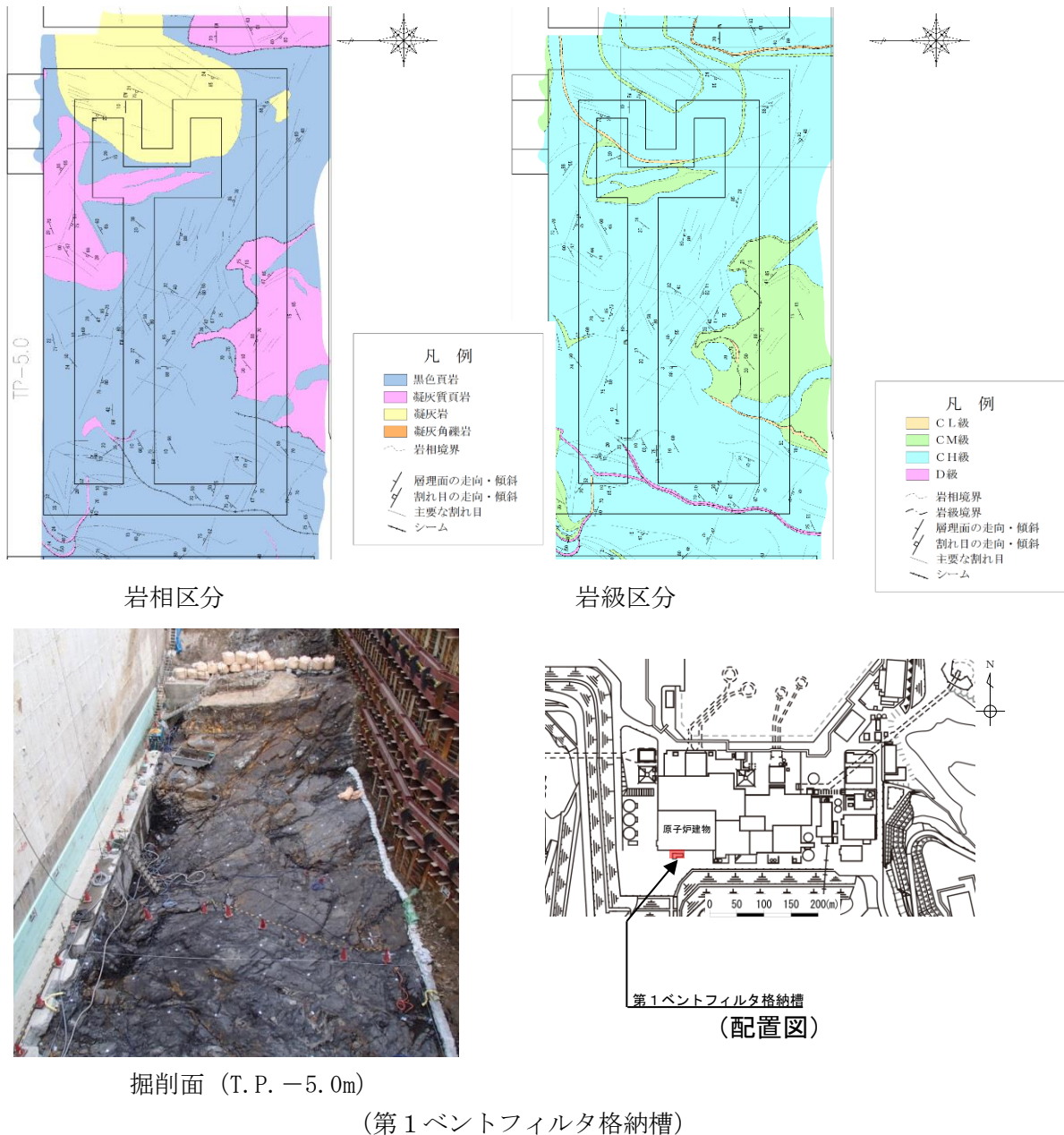
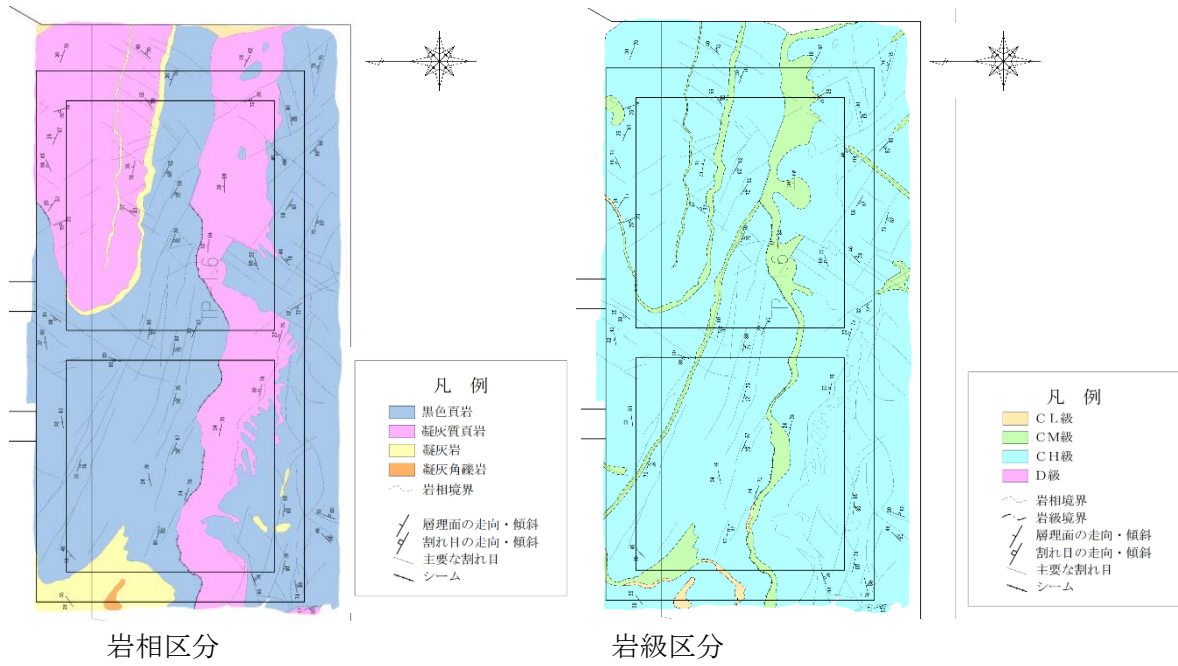


図1 (1) 原子炉建物南側に隣接する土木構造物の設置地盤における岩相区分及び岩級区分

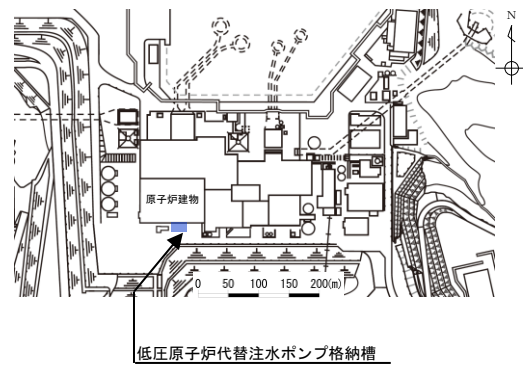


岩相区分

岩級区分



掘削面 (T. P. -1.6m)



(配置図)

注：岩相区分及び岩級区分と方位を合わせるため、
写真を180°回転させている。

(低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽)

図1 (2) 原子炉建物南側に隣接する土木構造物の設置地盤における
岩相区分及び岩級区分