

リサイクル燃料備蓄センター
設計及び工事の計画の変更認可申請書
(補足説明資料)

使用済燃料貯蔵建屋の耐震性

令和4年1月

リサイクル燃料貯蔵株式会社

目次

1. 添付記載事項と補足説明資料の関係	1
2. 基準地震動の見直しについて	4
3. 地盤の地震応答解析（地盤の剛性及び減衰）について	11
4. 基準地震動見直しに伴う応力及びひずみの変化について	18
5. 水平2方向入力検討について	20
5.1 水平2方向入力検討に用いる三次元モデルについて	20
5.2 水平2方向入力における加速度と応力の比較について	23
5.3 水平2方向入力の影響検討結果について	24
6. 液状化の検討について	25
6.1 使用済燃料貯蔵建屋設置位置付近の地質・地質構造について	25
6.2 液状化検討対象層の選定について	33
6.3 液状化検討手法について	34
6.4 液状化検討結果について	36
7. 遮蔽扉の検討について	37
7.1 遮蔽扉 SSD-1	39
7.2 遮蔽扉 SSD-2	59
7.3 遮蔽扉 SSD-4	62

1. 添付記載事項と補足説明資料の関係

「添付 5-2-1 使用済燃料貯蔵建屋の耐震性に関する計算書」では、建屋の耐震性の説明のため、以下の4つの内容を記載している。図書と下記内容との関係を図1に整理している。

- I. 設計条件の設定、荷重の設定及び荷重組み合わせ
- II. 建屋強度確認（静的地震力・保有水平耐力）
- III. 基準地震動 S_s に対する機能保持検討
- IV. 水平2方向及び鉛直方向地震力の組み合わせ

貯蔵建屋については、既設工認に基づき建設され竣工しており、その後の補強・改造がないため、上記のうちI及びIIに係る事項については、既設工認からの変更が生じない（図中網掛け部に対応）。

一方、基準地震動 S_s については、事業許可申請書の補正により見直しがなされている。この見直し前後の比較については、「2. 基準地震動の見直しについて」において後述する。

基準地震動 S_s の変更に伴い変更が生じる部分の図書と下記内容との関係を図2に整理している。

また、基準地震動 S_s が見直されて入力動が増加したことにより、地震動レベルが変化しており、これに応じて地盤のひずみが増加することを踏まえて、対応する地盤物性が変化に対応して減衰定数の見直しがなされている。詳細は、「3. 地盤モデルにおける減衰定数の見直しについて」において後述する。（図中②に対応）

上記の基準地震動の見直し及び地盤モデルの見直しに伴い、地震応答解析結果及び検討用地震力が変更となっている。その比較を「4. 基準地震動見直しに伴う応力及びひずみの変化について」において後述する。

さらに、既認可の設工認から、「審査ガイド」の要求に従い、水平2方向入力及び鉛直入力を考慮した荷重組み合わせの影響評価を追加している。検討にあたっては、3次元モデルによる評価を実施しており、その詳細を「5. 水平2方向入力検討に用いる3次元モデルについて」に記載している。

上記の水平2方向入力及び鉛直入力を考慮した、基礎スラブ及び杭の検討結果を踏まえて補正係数の考え方の詳細及び結果を合わせて示している。

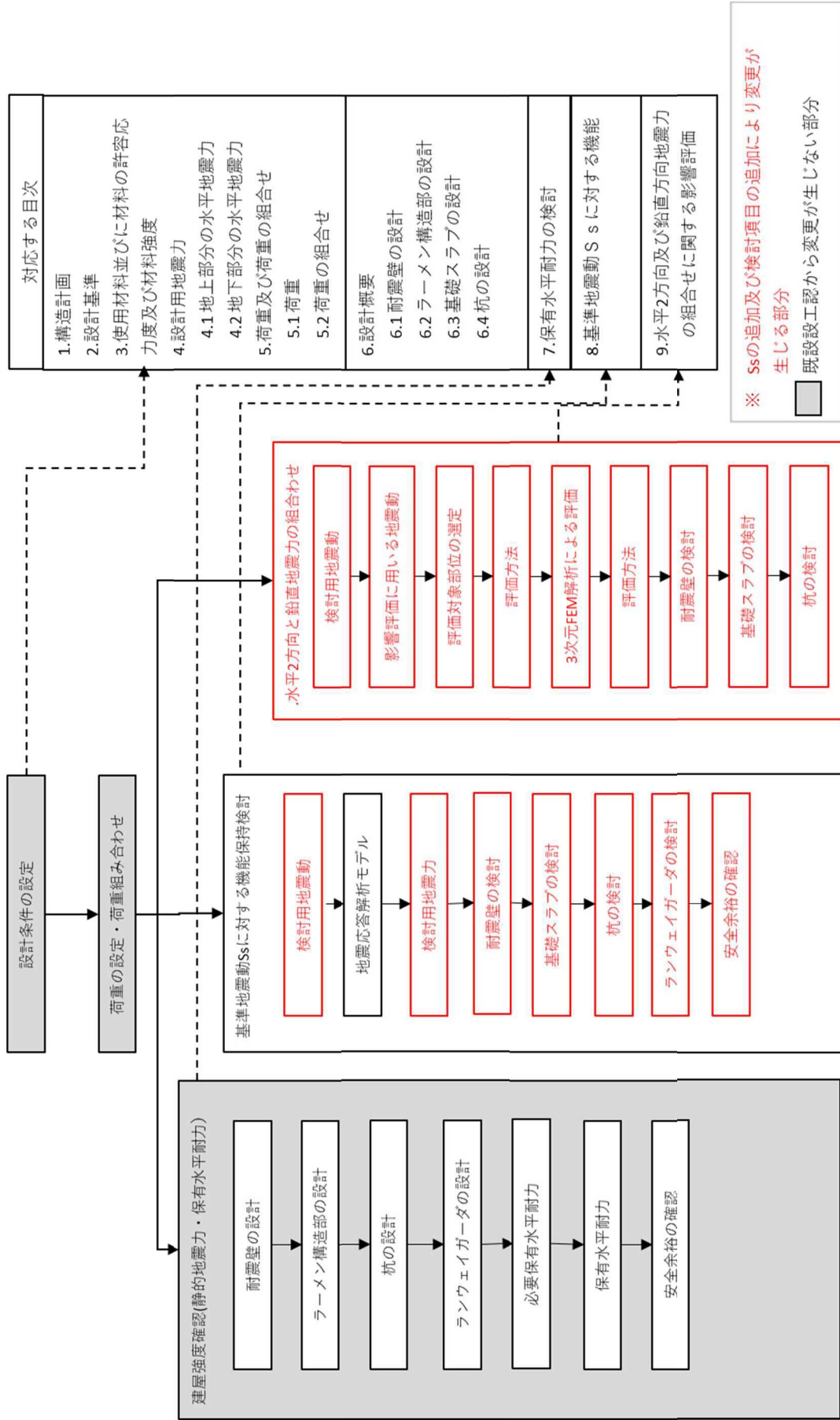


図 1(1) 設工認図書添付記載事項の分類と補足説明資料の関係 (1)

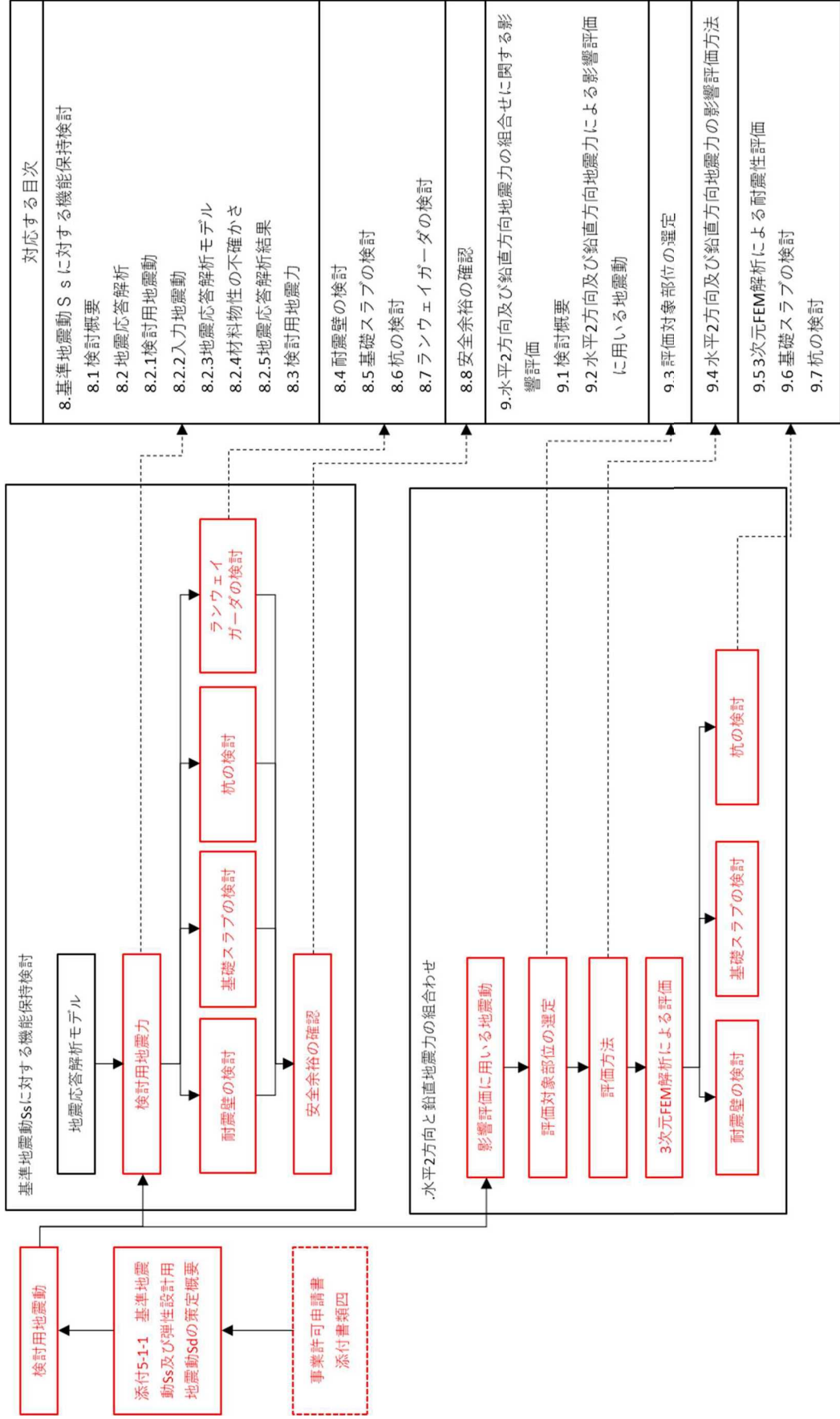


図 1 (2) 設工認図書添付記載事項の分類と補足説明資料の関係 (2)

2. 基準地震動の見直しについて

既設工認での基準地震動は、Ss-1, Ss-2 の 2 波（最大 450Gal）であったが、事業変更許可での審議を経て、基準地震動は Ss-A, Ss-B1～Ss-B4 の 5 波（最大 620Gal）に見直された。これらの加速度時刻歴波形の比較を表 1 に、加速度応答スペクトルの比較を図 2 に示す。

なお、基準地震動策定の考え方については、「添付 5-1-1 基準地震動の策定について」に記載している。

表 1(1) 基準地震動の比較

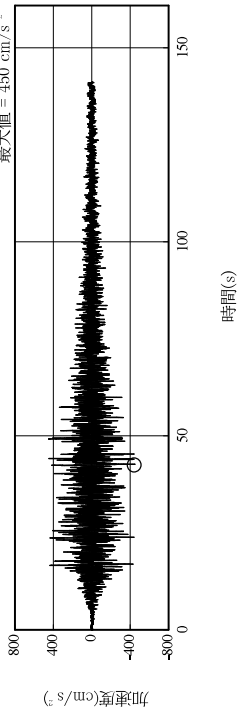
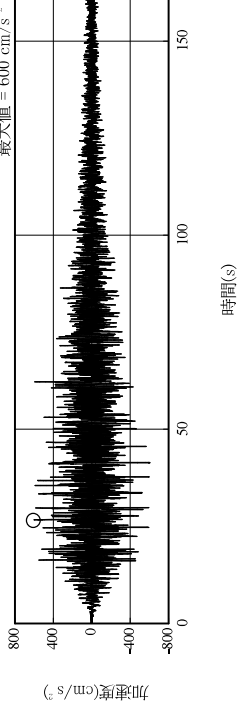
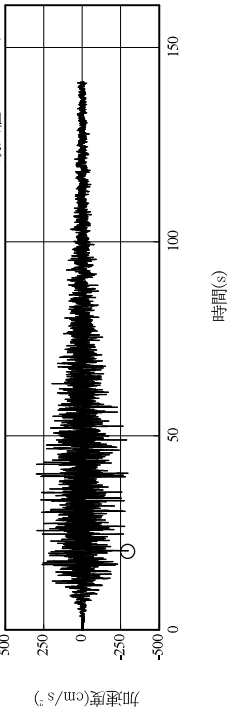
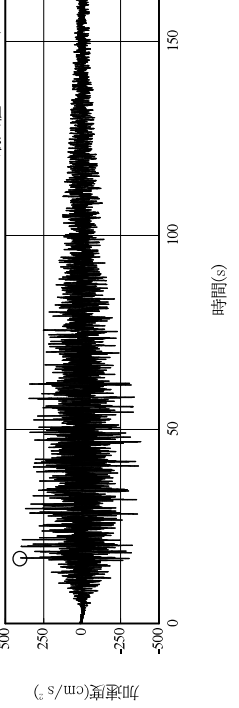
基準地震動 (既設工認)	基準地震動 (今回申請)
<p>SS-1H (水平方向)</p>  <p>最大値 = 450 cm/s²</p>	<p>SS-1AH (水平方向)</p>  <p>最大値 = 600 cm/s²</p>
<p>SS-1V (鉛直方向)</p>  <p>最大値 = 300 cm/s²</p>	<p>SS-1AV (鉛直方向)</p>  <p>最大値 = 400 cm/s²</p>

表 1 (2) 基準地震動の比較

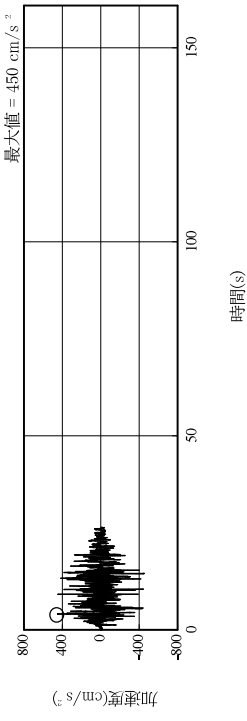
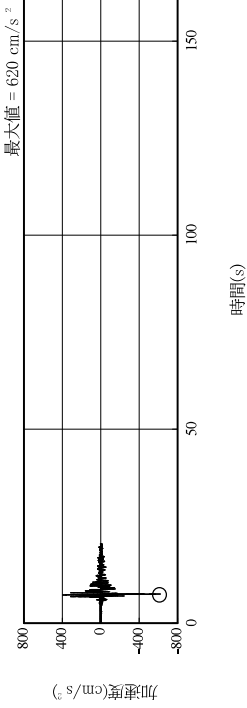
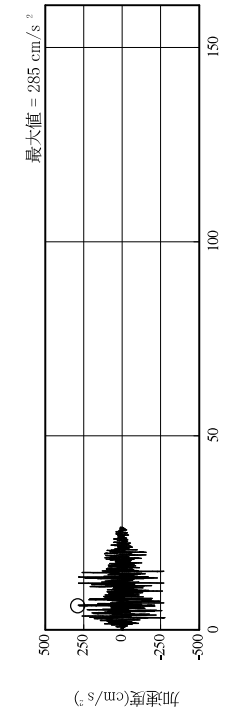
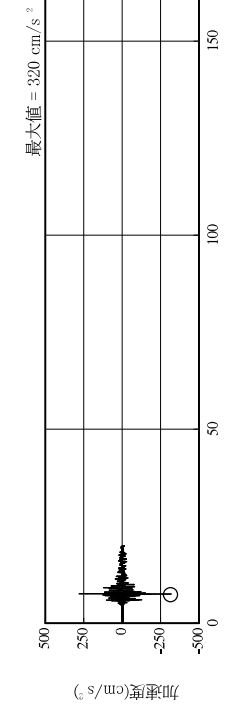
基準地震動 (既設工認)	基準地震動 (今回申請)
<p>SS-2H (水平方向)</p>  <p>最大値 = 450 cm/s²</p>	<p>SS-1B1H (水平方向)</p>  <p>最大値 = 620 cm/s²</p>
<p>SS-2V (鉛直方向)</p>  <p>最大値 = 285 cm/s²</p>	<p>SS-1B1V (鉛直方向)</p>  <p>最大値 = 320 cm/s²</p>

表 1 (3) 基準地震動の比較

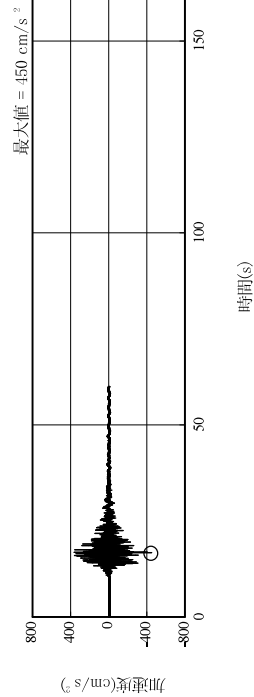
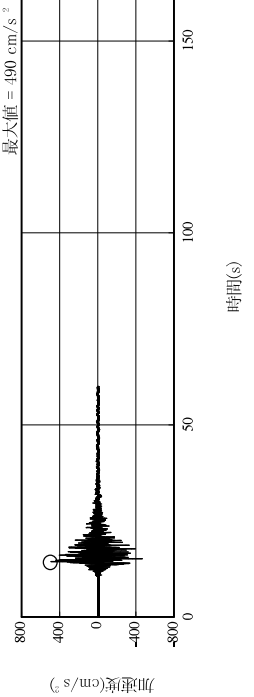
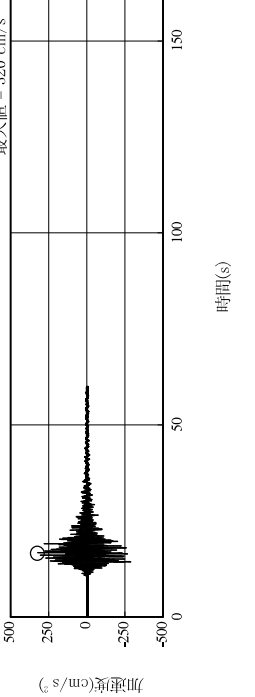
基準地震動 (既設工認)	基準地震動 (今回申請)
	<p>Ss-B2H1 (水平方向)</p>  <p>Ss-B2H2 (水平方向)</p>  <p>Ss-B2V (鉛直方向)</p> 

表 1 (4) 基準地震動の比較

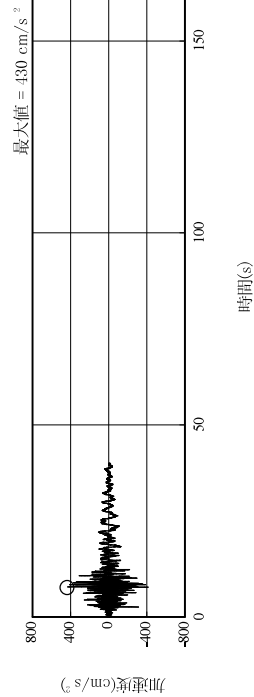
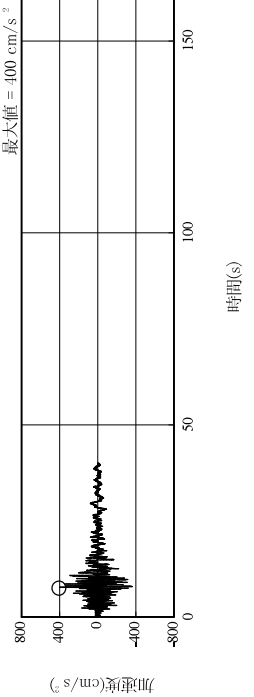
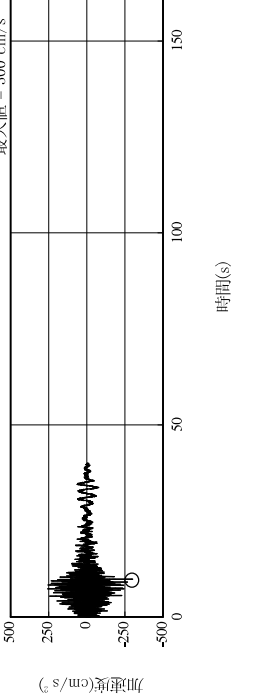
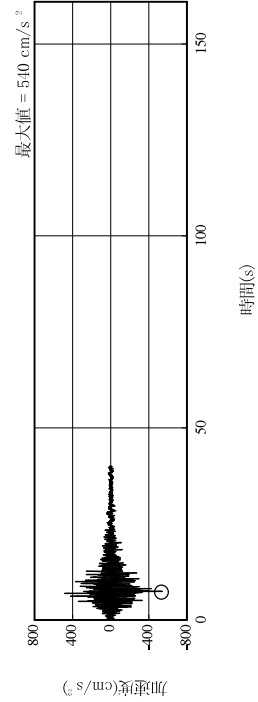
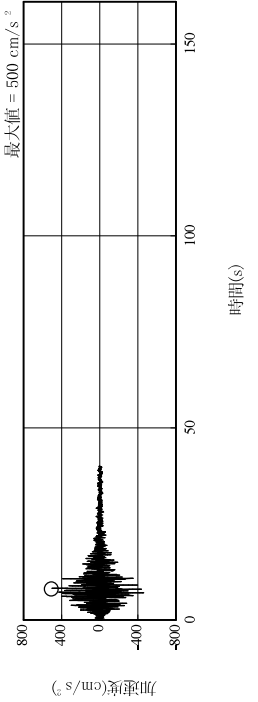
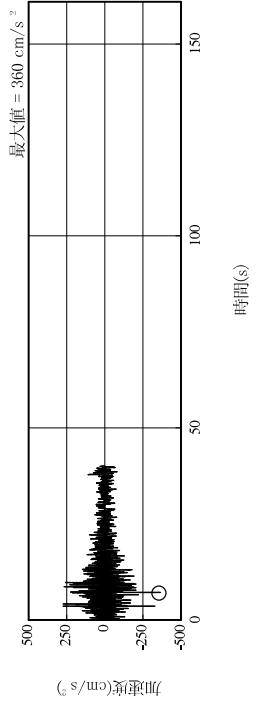
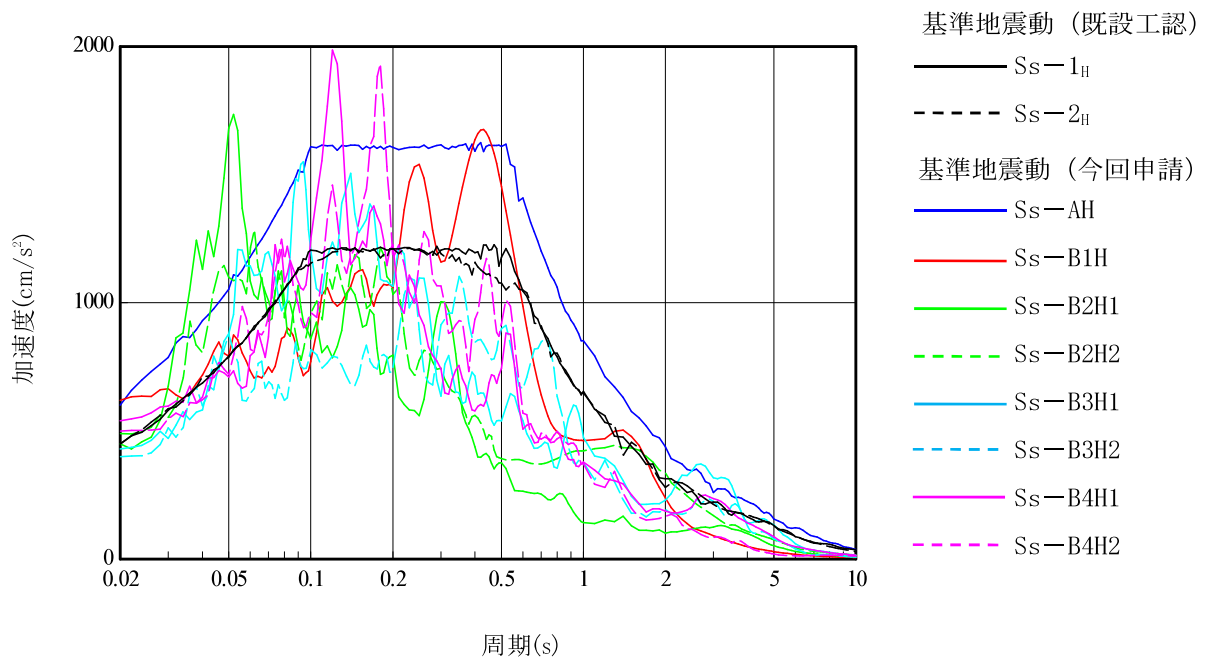
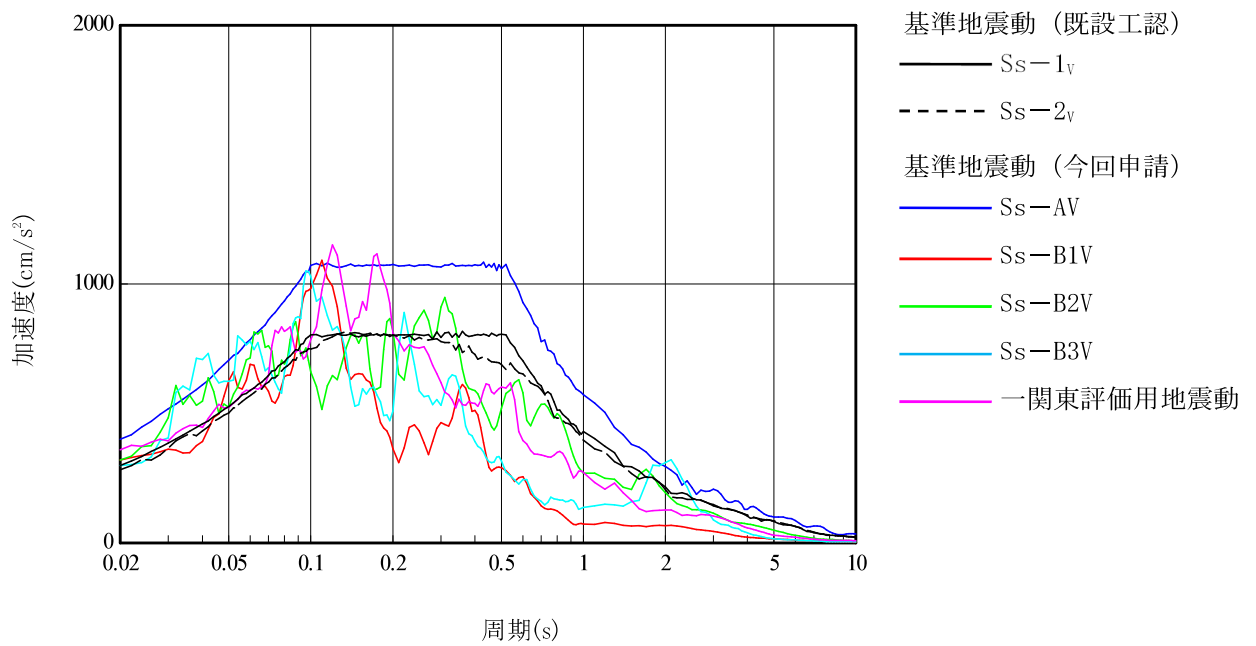
基準地震動 (既設工認)	基準地震動 (今回申請)
	<p>Ss-B3H1 (水平方向)</p>  <p>Ss-B3H2 (水平方向)</p>  <p>Ss-B3V (鉛直方向)</p> 

表 1 (5) 基準地震動の比較

基準地震動 (既設工認)	基準地震動 (今回申請)
	<p data-bbox="261 869 290 1182">Ss-B4H1 (水平方向)</p>  <p data-bbox="600 869 628 1182">Ss-B4H2 (水平方向)</p>  <p data-bbox="951 698 979 1182">一 関東評価用地地震動 (鉛直方向)</p> 



(水平方向)



(鉛直方向)

図2 基準地震動の加速度応答スペクトルの比較 (h=0.05)

3. 地盤の地震応答解析（地盤の剛性及び減衰）について

建屋への入力動は、基準地震動それぞれの波について地盤の地震応答解析を行い算定している。貯蔵建屋設置位置付近の地質構造である砂子又層及び田名部層は、鉛直地質断面図（図 6）によるとほぼ水平であることが分かる。このことから、地盤の地震応答解析は、一次元波動論に基づく解析コードである「SHAKE」を用いて行う。

地盤に生じるひずみは、基準地震動ごとに異なる。今回申請の基準地震動は既設工認と比べて大きくなっており、それに応じて地盤ひずみも大きくなっている。この地盤のひずみの増大に伴い、地盤の剛性は相対的に低下し、減衰は上昇することとなる。地盤の剛性と減衰は、地盤ひずみに応じて、図 3 の概念図に示すように決定される。

表 2 に示すように、既設工認においては、基準地震動は 2 波であり、地盤の剛性は基準地震動及び層ごとに地盤の応答ひずみに応じて設定することとしていたが、地盤の減衰は全ての基準地震動及び層で一律 3% とすることとしていた。これは、地盤の地震応答解析により算定される地盤の減衰の値（2.66%～5.90%）を地盤の減衰とした際の地盤の応答が小さかったため、これと地盤の応答が同等となる地盤の減衰（一律 3%）とすることとしたためである。

今回申請においては、基準地震動は 5 波であり、地盤の剛性は基準地震動及び層ごとに地盤の応答ひずみに応じて設定するとともに、地盤の減衰も基準地震動及び層ごとに地盤の応答ひずみに応じて設定することとした。これは、地盤の地震応答解析により算定される地盤の減衰の値（2%～6%）を地盤の減衰とした際の地盤の応答が既設工認に比べて大きくなることから、地盤の応答ひずみに応じて設定することとしたものである。

なお、地盤モデルの作成に当たっては、地盤のひずみに応じた剛性と減衰を定めるため、繰り返し計算による収束計算を行って地盤モデル各層のひずみを決め、この値に基づいた剛性と減衰を改めて設定している。この収束計算結果と採用した物性を用いた地盤の応答解析による建屋への入力動（基礎下端位置）の応答スペクトルの比較を図 4 に示す。建屋への入力地震動は過小評価としないことを確認している。

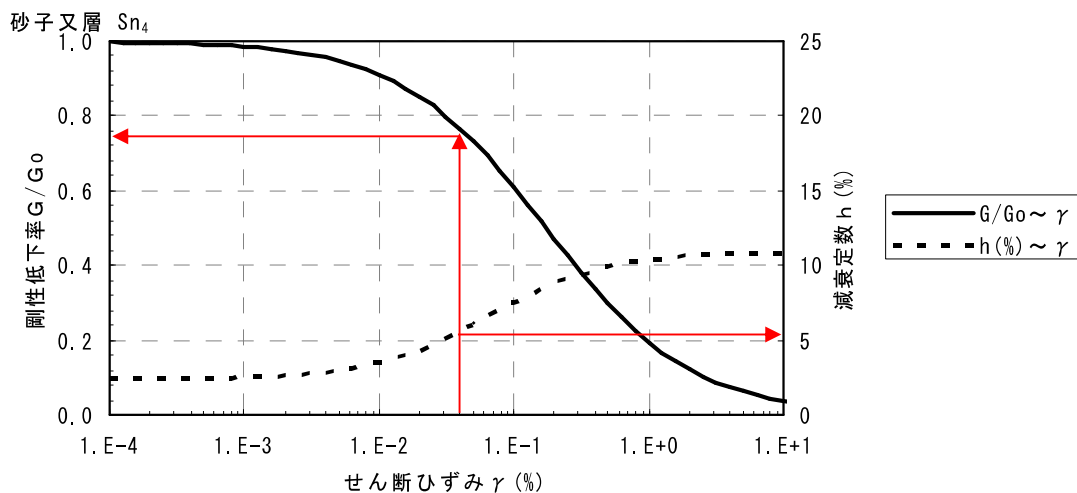


図 3 地盤の剛性と減衰のひずみ依存性（概念図）

表 2(1) 地盤モデル

既設工認													
標高 T.P. (m)	地層名	地盤 分類	密度 γ (g/cm^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	初期 ポアソン比 ν_0	剛性低下率*1 G/G_0		等価せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	等価減衰定数*1 h (%)		入力動算定用 減衰定数 h' (%)		
13.8	田名部層	Tn ₃	1.91	284,000	0.47	0.917	→	0.9	256,000	3.200	→	3.0	一律 3.0
13.5		Tn ₂	1.92	376,000	0.45	0.836	→	0.8	301,000	3.520	→	3.0	
7.0	砂子又層	Sn ₄	1.82	409,000	0.45	0.738	→	0.7	286,000	5.900	→	5.0	
-39.5		Sn ₃	1.83	655,000	0.44	0.825	→	0.8	524,000	3.720	→	3.0	
-122.0		Sn ₂	2.01	1,230,000	0.41	0.819	→	0.8	984,000	3.370	→	3.0	
-140.0		Sn ₁	1.77	847,000	0.42	0.867	→	0.9	762,000	2.660	→	2.0	
-218.0		解放基盤	1.99	1,274,000	0.41	1.000	→	1.0	1,274,000	0.0	→	0.0	

注記*1：等価線形解析での収束値を地層毎に層厚重み付け平均した値。
剛性低下率 G/G_0 は少数第1位に四捨五入，減衰定数 h は少数第1位を切り捨てとした端数処理。

Ss-1

今回申請

標高 T.P. (m)	地層名	地盤 分類	密度 γ (g/cm^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	初期 ポアソン比 ν_0	剛性低下率*1 G/G_0		等価せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	等価減衰定数*1 h (%)			
13.8	田名部層	Tn ₃	1.91	284,000	0.47	0.911	→	0.9	256,000	3.233	→	3.0
13.5		Tn ₂	1.92	376,000	0.45	0.820	→	0.8	301,000	3.754	→	3.0
7.0	砂子又層	Sn ₄	1.82	409,000	0.45	0.711	→	0.7	286,000	6.235	→	6.0
-39.5		Sn ₃	1.83	655,000	0.44	0.788	→	0.8	524,000	4.221	→	4.0
-122.0		Sn ₂	2.01	1,230,000	0.41	0.773	→	0.8	984,000	3.767	→	3.0
-140.0		Sn ₁	1.77	847,000	0.42	0.806	→	0.8	678,000	3.454	→	3.0
-218.0		解放基盤	1.99	1,274,000	0.41	1.000	→	1.0	1,274,000	0.0	→	0.0

注記*1：等価線形解析での収束値を地層毎に層厚重み付け平均した値。
剛性低下率 G/G_0 は少数第1位に四捨五入，減衰定数 h は少数第1位を切り捨てとした端数処理。

Ss-A

表 2(2) 地盤モデル

既設工認													
標高 T.P. (m)	地層名	地盤 分類	密度 γ (g/cm^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	初期 ポアソン比 ν_0	剛性低下率*1 G/G_0		等価せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	等価減衰定数*1 h (%)		入力動算定用 減衰定数 h' (%)		
13.8	田名部層	Tn ₃	1.91	284,000	0.47	0.917	→	0.9	256,000	3.200	→	3.0	一律 3.0
13.5		Tn ₂	1.92	376,000	0.45	0.834	→	0.8	301,000	3.550	→	3.0	
7.0	砂子又層	Sn ₄	1.82	409,000	0.45	0.746	→	0.7	286,000	5.810	→	5.0	
-39.5		Sn ₃	1.83	655,000	0.44	0.841	→	0.8	524,000	3.530	→	3.0	
-122.0		Sn ₂	2.01	1,230,000	0.41	0.813	→	0.8	984,000	3.430	→	3.0	
-140.0		Sn ₁	1.77	847,000	0.42	0.838	→	0.8	678,000	3.040	→	3.0	
-218.0		解放基盤	1.99	1,274,000	0.41	1.000	→	1.0	1,274,000	0.0	→	0.0	

注記*1：等価線形解析での収束値を地層毎に層厚重み付け平均した値。
剛性低下率 G/G_0 は少数第1位に四捨五入，減衰定数 h は少数第1位を切り捨てとした端数処理。

Ss-2

今回申請

標高 T.P. (m)	地層名	地盤 分類	密度 γ (g/cm^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	初期 ポアソン比 ν_0	剛性低下率*1 G/G_0		等価せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	等価減衰定数*1 h (%)			
13.8	田名部層	Tn ₃	1.91	284,000	0.47	0.909	→	0.9	256,000	3.267	→	3.0
13.5		Tn ₂	1.92	376,000	0.45	0.818	→	0.8	301,000	3.815	→	3.0
7.0	砂子又層	Sn ₄	1.82	409,000	0.45	0.693	→	0.7	286,000	6.452	→	6.0
-39.5		Sn ₃	1.83	655,000	0.44	0.799	→	0.8	524,000	4.076	→	4.0
-122.0		Sn ₂	2.01	1,230,000	0.41	0.824	→	0.8	984,000	3.333	→	3.0
-140.0		Sn ₁	1.77	847,000	0.42	0.854	→	0.9	762,000	2.838	→	2.0
-218.0		解放基盤	1.99	1,274,000	0.41	1.000	→	1.0	1,274,000	0.0	→	0.0

注記*1：等価線形解析での収束値を地層毎に層厚重み付け平均した値。
剛性低下率 G/G_0 は少数第1位に四捨五入，減衰定数 h は少数第1位を切り捨てとした端数処理。

Ss-B1

表 2(3) 地盤モデル

既設工認												
今回申請												
標高 T.P. (m)	地層名	地盤分類	密度 γ (g/cm^3)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m^2)	初期 ポアソン比 ν_0	剛性低下率*1 G/G_0		等価せん断 弾性係数 G (kN/m^2)	等価減衰定数*1 h (%)			
13.8	田名部層	Tn ₃	1.91	284,000	0.47	0.934	→	0.9	256,000	2.900	→	2.0
13.5		Tn ₂	1.92	376,000	0.45	0.874	→	0.9	338,000	2.462	→	2.0
7.0	砂子又層	Sn ₄	1.82	409,000	0.45	0.793	→	0.8	327,000	4.065	→	4.0
-39.5		Sn ₃	1.83	655,000	0.44	0.820	→	0.8	524,000	2.636	→	2.0
-122.0		Sn ₂	2.01	1,230,000	0.41	0.776	→	0.8	984,000	2.833	→	2.0
-140.0		Sn ₁	1.77	847,000	0.42	0.813	→	0.8	678,000	2.038	→	2.0
-218.0		解放基盤		1.99	1,274,000	0.41	1.000	→	1.0	1,274,000	0.0	→

注記*1：等価線形解析での収束値を地層毎に層厚重み付け平均した値。
剛性低下率 G/G_0 は少数第1位に四捨五入，減衰定数 h は少数第1位を切り捨てとした端数処理。

SS-B2

表 2(4) 地盤モデル

既設工認										
今回申請										
標高 T.P. (m)	地層名	地盤分類	密度 γ (g/cm ³)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	初期 ポアソン比 ν_0	剛性低下率*1 G/G_0		等価せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	等価減衰定数*1 h (%)	
13.8	田名部層	Tn ₃	1.91	284,000	0.47	0.935	→ 0.9	256,000	2.900	→ 2.0
13.5		Tn ₂	1.92	376,000	0.45	0.875	→ 0.9	338,000	2.638	→ 2.0
7.0	砂子又層	Sn ₄	1.82	409,000	0.45	0.799	→ 0.8	327,000	4.781	→ 4.0
-39.5		Sn ₃	1.83	655,000	0.44	0.867	→ 0.9	590,000	3.058	→ 3.0
-122.0		Sn ₂	2.01	1,230,000	0.41	0.864	→ 0.9	1,107,000	2.900	→ 2.0
-140.0		Sn ₁	1.77	847,000	0.42	0.900	→ 0.9	762,000	2.138	→ 2.0
-218.0		解放基盤	1.99	1,274,000	0.41	1.000	→ 1.0	1,274,000	0.0	→ 0.0

注記*1：等価線形解析での収束値を地層毎に層厚重み付け平均した値。
剛性低下率 G/G_0 は少数第1位に四捨五入、減衰定数 h は少数第1位を切り捨てとした端数処理。

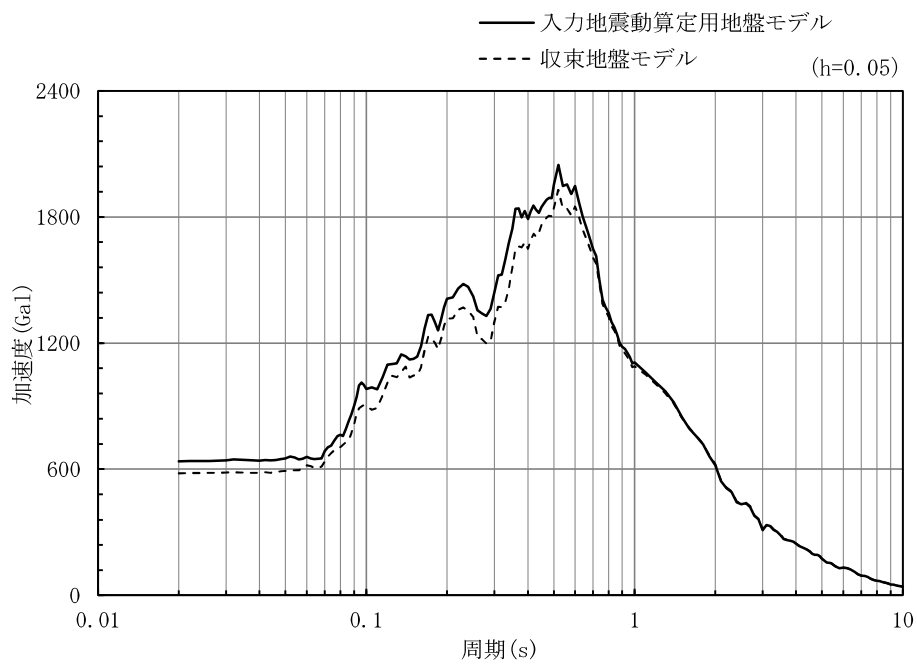
SS-B3

表 2(5) 地盤モデル

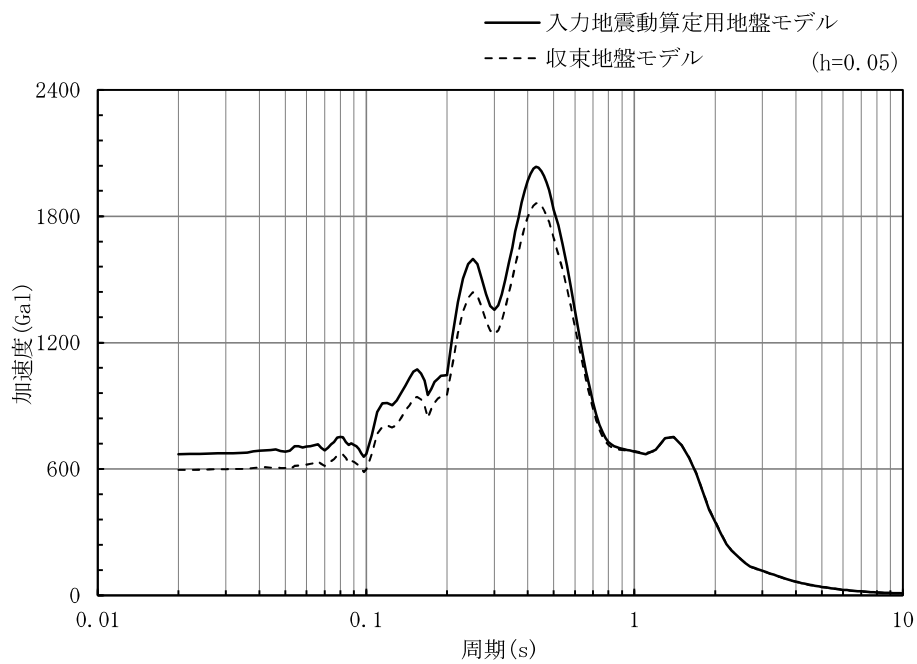
既設工認												
今回申請												
標高 T.P. (m)	地層名	地盤分類	密度 γ (g/cm ³)	初期せん断 弾性係数 G_0 (kN/m ²)	初期 ポアソン比 ν_0	剛性低下率*1 G/G_0		等価せん断 弾性係数 G (kN/m ²)	等価減衰定数*1 h (%)			
13.8	田名部層	Tn ₃	1.91	284,000	0.47	0.920	→	0.9	256,000	3.033	→	3.0
13.5		Tn ₂	1.92	376,000	0.45	0.843	→	0.8	301,000	2.931	→	2.0
7.0	砂子又層	Sn ₄	1.82	409,000	0.45	0.776	→	0.8	327,000	4.639	→	4.0
-39.5		Sn ₃	1.83	655,000	0.44	0.881	→	0.9	590,000	2.979	→	2.0
-122.0		Sn ₂	2.01	1,230,000	0.41	0.861	→	0.9	1,107,000	3.000	→	3.0
-140.0		Sn ₁	1.77	847,000	0.42	0.879	→	0.9	762,000	2.162	→	2.0
-218.0		解放基盤	1.99	1,274,000	0.41	1.000	→	1.0	1,274,000	0.0	→	0.0

注記*1：等価線形解析での収束値を地層毎に層厚重み付け平均した値。
剛性低下率 G/G_0 は少数第1位に四捨五入、減衰定数 h は少数第1位を切り捨てとした端数処理。

SS-B4



(a) Ss-AH (水平方向)



(b) Ss-B1H (水平方向)

図4 建屋への入力動の加速度応答スペクトルの比較 (基礎下端位置)

4. 基準地震動見直しに伴う応力及びひずみの変化について

今回申請において、基準地震動の見直しを反映したことで各部の設計において応力及びひずみが増加している。既設工認と今回申請における応力及びひずみの最大値の比較を以下に示す。

なお、基準地震動見直しを踏まえても各部の応力は許容限界以下である。

(1) 耐震壁のひずみ

表3 耐震壁のひずみ

	耐震壁最大ひずみ	許容限界
既設工認	0.20×10^{-3}	2.0×10^{-3}
今回申請	0.23×10^{-3} ※2	

※1 最大ひずみ発生位置はいずれも1層 T.P. 16.3 m～29.22 m (EW) の値である。

※2 地震応答解析結果のうち、地盤剛性+1σのケースによる値。

(2) 基礎スラブの応力

表4 基礎スラブの応力

	必要鉄筋断面積 a_t (mm ² /m)	設計配筋 断面積 (mm ² /m)	検定比
既設工認	6500	11400	0.58
今回申請	10000	11400	0.88

(3) 杭の応力

表 5 杭の応力

	発生応力 M (kN・m/本)	許容値 M _u (kN・m/本)	検定比
既設工認	3887 ^{*1}	7095	0.55
今回申請 ^{*2}	4163 ^{*1}	6866	0.88

※1 上杭, 最小軸力時

(4) クレーンガーダの応力

表 6 クレーンガーダの応力

	発生応力 (N/mm ²)	許容値 (N/mm ²)	検定比
既設工認	58.09	199	0.30
今回申請	4163	199	0.36

5. 水平 2 方向入力検討について

5.1 水平 2 方向入力検討に用いる三次元モデルについて

(1) 検討に用いるモデル

水平 2 方向入力検討に用いる解析モデルは、貯蔵建屋を 3 次元でモデル化しており、使用プログラムは「NASTRAN」である。

解析は周波数領域の解析であり、線形解析を前提としている。

(2) 検討用地震動と入力

上記の解析において適切な結果を得るためには、建屋が線形応答範囲内となるように、基準地震動 S_s-A 及び S_s-B1 の加速度振幅を 1/2 倍した波形を用いて水平 2 方向及び上下動を同時入力している。

(3) モデルの概要

解析に当たっては、図 5 に示すように建屋全体をシェル要素，ソリッド要素（基礎スラブ）を用いてモデル化し，杭と地盤の相互作用を考慮した地盤ばねを取り付けている。

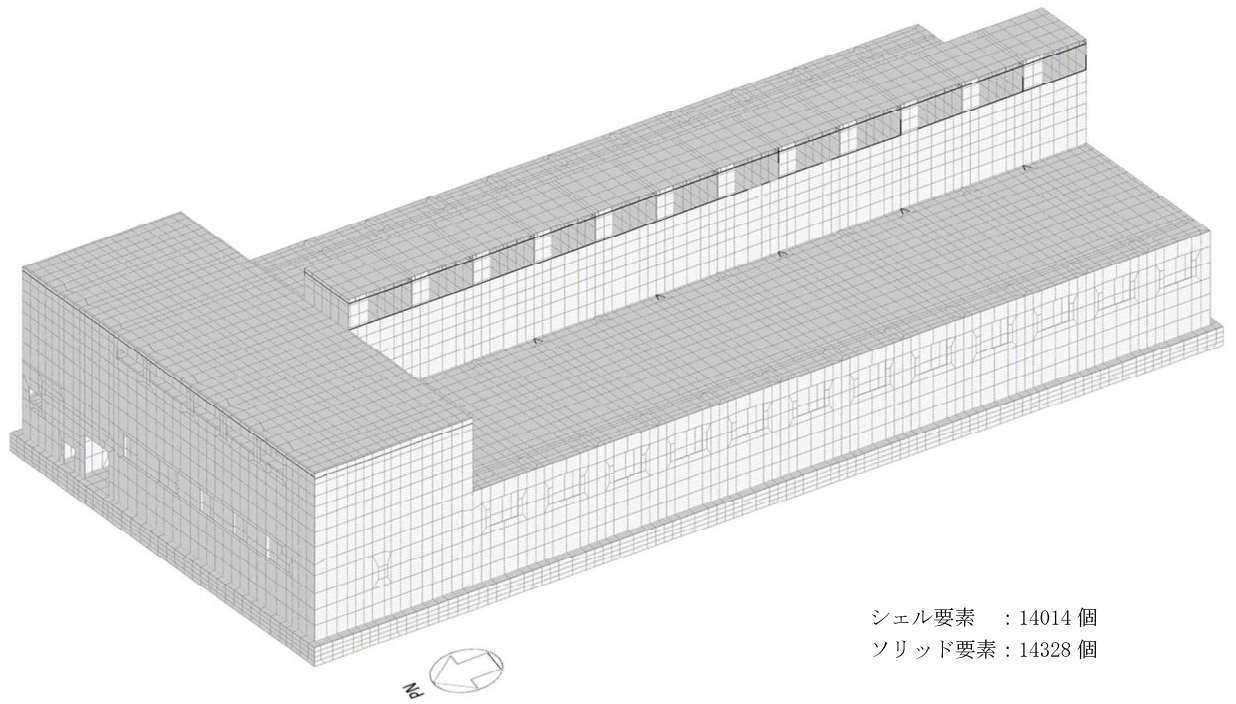


図 5(1) 解析モデル (全体)

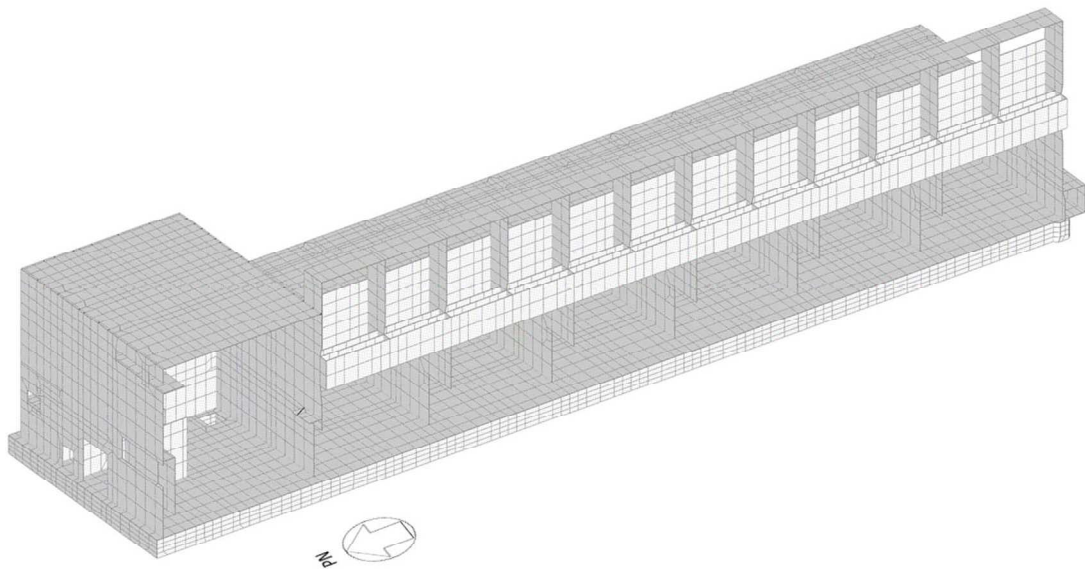


図 5(2) 解析モデル (断面)

(4) 解析結果を踏まえた補正係数の算出

水平 2 方向入力及び上下動を同時に考慮した応答の変動を算出するためには、1 次元解析と 3 次元解析の差異に加え、用いているモデルによる応答の差異を補正しており、両者の積が補正係数となる。このため、以下の 2 種の補正係数を考慮している。

$$\text{応答補正比率 } \xi = \alpha \times \beta \quad (\text{ただし, } \alpha \geq 1.0, \beta \geq 1.0)$$

ここで、

$$\text{応答補正比率 } \alpha = \frac{\text{3方向同時入力による最大応答加速度}}{\text{1方向入力による最大応答加速度}}$$

$$\text{応答補正比率 } \beta = \frac{\text{FEMモデルの最大応答加速度}}{\text{質点系モデルの最大応答加速度}}$$

応答補正後の耐震壁のせん断ひずみは、表 7 に示すように許容値以内となっている。

表 7 応答補正後の耐震壁のせん断ひずみ

入 力	補正前 せん断ひずみ	応答補正 比率 ξ	補正後 せん断ひずみ	許容値
Ss-AH	0.23×10^{-3}	1.13	0.28×10^{-3}	2.0×10^{-3}
Ss-B1H	0.21×10^{-3}	1.15	0.28×10^{-3}	2.0×10^{-3}

※ いずれも 1 層 T.P. 16.3 m~29.22 m (EW) の値。

5.2 水平2方向入力における加速度と応力の比較について

水平2方向入力及び上下動を同時に考慮した応答の変動の計算に用いる有限要素法解析は、既認可のプラントの手法に倣い、周波数領域の解析を用いており、線形解析である。

建屋応答が非線形になる場合については、設工認図書に記載のように、エネルギー等価の考え方にに基づき応答を変換することとなるが、評価対象点の貯蔵建屋の地震応答解析結果は弾性範囲内であり、解析結果により生じた加速度応答と応力は比例関係にあることから、加速度の比率を用いて応力補正を行っている。

5.3 水平2方向入力の影響検討結果について

(1) 組合せ係数法について

基礎スラブ及び杭については、水平2方向及び鉛直方向地震力を組み合わせる方法として、米国 Regulatory Guide 1.92 の「2. Combining Effects Caused By Three Spatial Components of an Earthquake」*の考え方を参考に、組合せ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）に基づいた評価を行う。

* : Regulatory Guide 1.92 (2006). Combining Modal Responses and Spatial Components in Seismic Response Analysis, Rev.2, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC.

(2) 基礎スラブの応力

組合せ係数法を用いて検討した結果は以下のとおりであり、許容値以内となっている。

表8 基礎スラブの応力（軸力及び曲げモーメントに対する検討）

必要鉄筋断面積 at (mm ² /m)	設計配筋断面積 (mm ² /m)	検定比
10500	11400	0.93

(3) 杭の応力

組合せ係数法を用いて検討した結果は以下のとおりであり、許容値以内となっている。

表9 杭の応力（曲げモーメントに対する検討）

発生応力 M (kN・m/本)	許容値 M _u (kN・m/本)	検定比
4386 ^{※1}	6596	0.67

※1 上杭, 最小軸力時

6. 液状化の検討について

6.1 使用済燃料貯蔵建屋設置位置付近の地質・地質構造について

以下、「事業許可申請書 添付書類四 3.5 使用済燃料貯蔵建屋設置位置付近の地質・地質構造について」より、液状化の検討に関連する内容の抜粋を示す。

(1) 地質

地質層序表を表 10 に、地質鉛直断面図を図 6 に示す。

貯蔵建屋設置位置付近の地質は、下位より砂子又層、田名部層、中位段丘堆積物、ローム層及び盛土・埋土からなる。

a. 砂子又層

砂子又層は、標高約 7 m 以深からボーリング下端の標高約 -300 m まで分布することが確認されている。半固結の軽石混じり砂岩を主体とし、礫混じり砂岩、砂岩等を伴い、火山礫凝灰岩、軽石凝灰岩、凝灰岩及び凝灰質シルト岩からなる火山砕屑岩を挟在する。火山礫凝灰岩は、標高約 -120 m ~ 約 -140 m に分布し、層厚は最大約 20 m である。安山岩、デイサイト礫等を多く含み、固結している。また、軽石凝灰岩、凝灰岩及び凝灰質シルト岩の一部は、層厚、構成粒子及び上位、下位の火山砕屑岩の組み合わせ等の特徴から鍵層として追跡することができ、水平方向によく連続することが確認されている。本層の上限付近では、風化により一部が褐色を呈する。

b. 田名部層

田名部層は、標高約 26 m ~ 約 -19 m に分布している。

下部層の層厚は、約 4 m ~ 約 33 m である。下部は、腐植質シルト、火山灰質シルト及び火山灰質砂を主体とし、砂及び礫を伴う。貯蔵建屋設置位置の周囲に分布し、貯蔵建屋設置位置には分布しない。上部は、淘汰の良い砂を主体とする。

中部層の層厚は、約 2 m ~ 約 5 m である。下部は、腐植混じり砂、腐植混じりシルト、火山灰質砂及び火山灰質シルトを主体とし、軽石層を挟在する。上部は、淘汰の良い砂及び軽石混じり砂を主体とする。

上部層の層厚は、約 1 m ~ 約 10 m である。軽石質火山灰、火山灰質砂、火山灰質シルト及び軽石混じり砂を主体とし、礫混じり砂及び礫を伴う。

c. 中位段丘堆積物

中位段丘堆積物は、 M_1 面堆積物及び M_1' 面堆積物からなる。

M_1 面堆積物は、貯蔵建屋設置位置付近の南部及び西部に分布する。層厚は、約 2 m ~ 約 3 m である。砂を主体とし、基底部に礫を伴う。

M_1' 面堆積物は、貯蔵建屋設置位置付近の北部及び東部に分布する。層厚は、約 1 m ~ 約 6 m である。砂を主体とし、基底部に礫を伴う。

d. ローム層

ローム層は、貯蔵建屋設置位置付近に広く分布する。層厚は、約 0.5 m ~ 約 2 m である。褐色 ~ 黄褐色を呈する砂質シルトからなる。

e. 盛土・埋土

盛土・埋土は、貯蔵建屋設置位置付近に分布する。層厚は、約1 m～約4 mである。粘土～シルト、砂及び礫からなる。

(2) 地盤分類

貯蔵建屋設置位置付近には、砂子又層、田名部層下部層～上部層、中位段丘堆積物のM₁面堆積物及びM₁'面堆積物、ローム層並びに盛土・埋土が分布する。これらの地層の大部分は半固結ないし未固結の堆積物からなるため、各地層の年代、層相・岩相、固結の程度等の地質学的及び工学的性質の違いから、貯蔵建屋基礎地盤を次のように分類した。

砂子又層は、半固結の軽石混じり砂岩等と固結した火山礫凝灰岩に区分されること、砂子又層上限付近には風化の影響が認められることから、火山礫凝灰岩より下位の軽石混じり砂岩を主体とする層準（以下、「下部軽石混じり砂岩」という。）

(Sn₁)、火山礫凝灰岩 (Sn₂)、火山礫凝灰岩より上位の新鮮な軽石混じり砂岩を主体とする層準（以下、「中部軽石混じり砂岩」という。）(Sn₃)及び風化の影響が認められる層準（以下、「上部軽石混じり砂岩」という。）(Sn₄)に区分した。

田名部層は、陸成堆積物ないし谷埋め堆積物と海成堆積物の組み合わせから構成される。下部層及び中部層は、陸成堆積物ないし谷埋め堆積物はシルトを主体とし、海成堆積物は淘汰の良い砂を主体とする。上部層は砂とシルトが混在している。以上のことから、田名部層は、下位から下部層のシルトを主体とする層準（以下、「下部粘性土」という。）(Tn₁)、下部層の砂を主体とする層準（以下、「下部砂質土」という。）(Tn₂)、中部層のシルトを主体とする層準（以下、「中部粘性土」という。）

(Tn₃)、中部層の砂を主体とする層準（以下、「中部砂質土」という。）(Tn₄)及び上部層のシルト及び砂からなる層準（以下、「上部砂質・粘性土」という。）(Tn₅)に区分した。

中位段丘堆積物については、M₁面堆積物とM₁'面堆積物はいずれも砂を主体とすることから、一括して中位段丘堆積物 (M) とした。

また、ローム層及び盛土・埋土については単一の区分とし、それぞれローム (Lm)、盛土・埋土 (bk) とした。

(3) 地質構造

a. 砂子又層

ボーリング調査結果等によると、砂子又層中の鍵層の分布は、東西断面ではほぼ水平であり、南北断面では南方に約1°～約2°傾斜している。

b. 田名部層

田名部層下部層は、貯蔵建屋設置位置では下位の砂子又層を覆って標高約7 m以浅に分布するが、貯蔵建屋設置位置の東方及び西方では砂子又層上面の谷を埋めて厚く堆積している。ボーリング調査結果によると、この谷の最深部は標高約-19 mである。

田名部層中部層及び上部層は、下部層を覆ってほぼ水平に分布している。

(4) 標準貫入試験

貯蔵建屋設置位置のボーリング孔で実施した標準貫入試験によるN値と標高の関係を図7に示す。

おおむね標高-20m以深でN値50以上が連続する。

(5) 地下水位調査

地下水位の観測結果(2016.4.1~2021.3.31)を図8に示す。

観測期間中における地下水面は、田名部層内にあり、多少の変動はあるものの、貯蔵建屋付近で地表下2m~4mにある。

表 10 地質層序表

地質時代	地層名	主な層相・岩相	火山噴出物
第四紀	更新世	盛土・埋土	火山噴出物 礫層火山灰層
		沖積層	
	後期	M ₁ '面堆積物	粘土～シルト, 砂, 礫
		M ₁ 面堆積物	腐植質粘土～シルト, 砂, 礫 砂, 礫 砂, 礫
中期	中位段丘堆積物	ローム層	
	田名部層	上部層 (H ₅ 面堆積物に相当) 中部層 (H ₅ '面堆積物に相当) 下部層 (H ₄ 面堆積物に相当)	軽石質火山灰, 火山灰質シルト・砂, 軽石混じり砂を主体とする。 上部は淘汰の良い砂を主体とする。 下部は腐植混じりシルト・砂, 火山灰質シルト・砂, 軽石混じり砂を主体とする。 上部は淘汰の良い砂を主体とする。 下部は腐植質シルト, 火山灰質シルト・砂を主体とする。
	砂子又層	砂質シルト	
鮮新世	前期	砂子又層	0s-Sk1 0s-Ft 0s-Sh 0s-2
		砂子又層	軽石混じり砂岩を主体とし, 礫混じり砂岩, 砂岩等を伴う。火山礫凝灰岩, 軽石凝灰岩, 凝灰岩及び凝灰質シルト岩からなる火山砕屑岩を挟在する。
新第三紀			

敷地の地質は, 新第三系鮮新統～第四系更新統の砂子又層, 第四系中部更新統の田名部層(高位段丘堆積物相当)及び第四系上部更新統の中位段丘堆積物並びにこれらの上に載るローム層, 第四系更新統の沖積層等からなる。
 杭先端付近に分布する砂子又層は, 軽石混じり砂岩を主体とし, 火山礫凝灰岩等を挟在する。
 田名部層は, シルト, 砂等からなる陸成～谷埋め堆積物から淘汰の良い砂を主体とする海成堆積物に変化する堆積サイクルにより, 下部層, 中部層及び上部層に細分される。
 中位段丘堆積物はM₁面堆積物及びM₁'面堆積物に細分され, いずれも砂及び礫からなる。沖積層は粘土～シルト, 砂, 礫からなる。

~~~~~:不整合