

大洗研究所(北地区) HTTR原子炉施設

耐震重要施設の基礎地盤及び
周辺斜面の安定性評価について
(標準応答スペクトルを考慮した地震動による評価)

令和4年8月26日
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

基礎地盤及び周辺斜面の評価

➤ 既許可（令和2年6月3日）の評価

- ・耐震重要施設の原子炉建家を支持する地盤に「将来活動する可能性のある断層等」は認められない。
- ・基準地震動（ S_s-D 、 $S_s-1\sim 5$ ）による地震力に対して、基礎地盤のすべり安全率、基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜が、いずれも評価基準値を満足することを確認した。
- ・原子炉建家について、周辺地盤の変状（不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等）及び地殻変動の影響がないことを確認した。
- ・原子炉建家の周辺に評価対象とすべき斜面は存在せず、周辺斜面の影響はないことを確認した。
- ・以上のことから、原子炉建家の基礎地盤は十分な安定性を有しており、施設の安全機能が重大な影響を受けることがないことを確認した。



➤ 今回申請による評価

- ・基準地震動（ S_s-6 ）による地震力に対して、基礎地盤のすべり安全率、基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜が、いずれも評価基準値を満足することを確認した。
- ・既許可（令和2年6月3日）の評価及び上記のことから、原子炉建家の基礎地盤は十分な安定性を有しており、施設の安全機能が重大な影響を受けることがないことを確認した。

1. 評価方針	4
1.1 評価方針	
1.2 評価項目	
1.3 評価対象施設・評価条件	
1.4 基準地震動 S_s	
2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価	10
2.1 評価結果 (①すべり安全率)	
2.2 評価結果 (②基礎底面の接地圧)	
2.3 評価結果 (③基礎底面の傾斜)	
2.4 評価結果 まとめ	
3. まとめ	16
参考資料	18

1. 評価方針
2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
3. まとめ

1.1 評価方針(既許可申請と同じ)

HTTR原子炉施設のうち、評価対象施設(原子炉建家)の基礎地盤及び周辺斜面の安定性について、以下に示す事項を確認する。

【基礎地盤】

1. **将来活動する可能性のある断層等の有無** (既許可での評価にて確認済み)
評価対象施設が設置される地盤には、将来活動する可能性のある断層等が存在しないことを確認する。
2. **地震力に対する基礎地盤の安定性評価** (今回申請)
 - (1) 評価対象施設が設置される地盤の安定性について、以下を満足することを確認する。
 - ① 基礎地盤のすべり安全率が1.5を上回ること
 - ② 基礎底面の接地圧が評価基準値を下回ること
 - ③ 基礎底面の傾斜が1/2,000を下回ること
 - (2) 基礎地盤が液状化するおそれがないことを確認する※1 (既許可での評価にて確認済み)。
3. **周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価** (既許可での評価にて確認済み)
 - ① 地震発生に伴う周辺地盤の変状(不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等)による影響を受けないことを確認する。
 - ② 地震発生に伴う地殻変動による基礎地盤の傾斜及び撓みの影響を受けないことを確認する。

【周辺斜面】

4. **周辺斜面の影響** (既許可での評価にて確認済み)
基準地震動の地震力により対象施設に重大な影響を与える周辺斜面は存在しないことを確認する。

※1 基礎地盤が液状化検討の対象層でないことは既許可の評価にて確認済み。参考として液状化の可能性検討結果を参考資料4に示す。

1.2 評価項目(今回申請)

- ・ 今回の申請において基準地震動 (Ss-6) が追加となる。
- ・ 基準地震動 (Ss-6) による地震力に対する基礎地盤の安定性評価として、以下を満足することを確認する。

①すべり安全率

地震時における基礎地盤のすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認する。

②基礎底面の接地圧

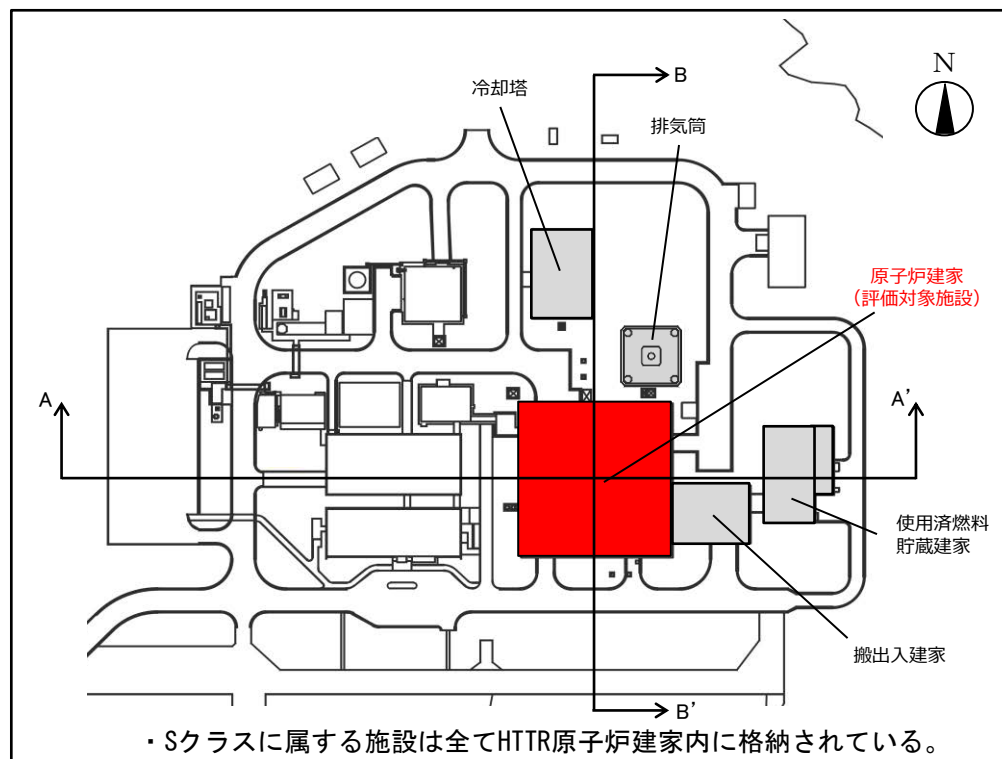
地震時における基礎底面の接地圧が評価基準値を下回ることを確認する。

③基礎底面の傾斜

地震時における基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認する。

1.3 評価対象施設・評価条件(既許可申請と同じ)

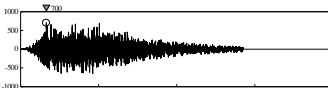
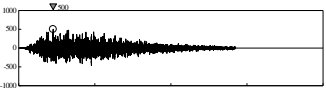
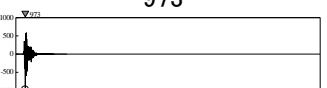
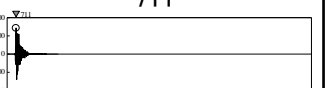
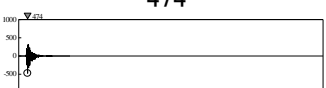
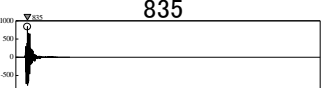
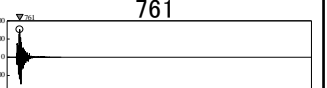
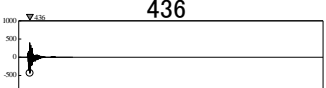
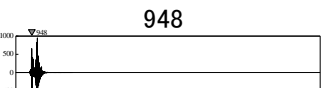
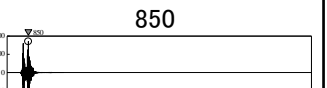
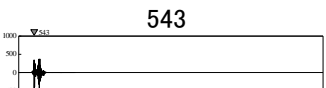
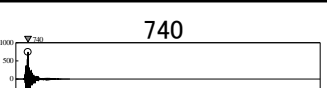
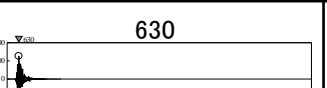
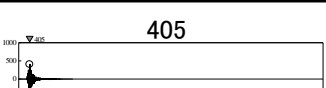
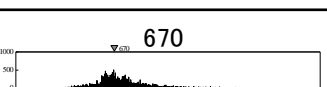
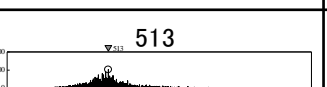
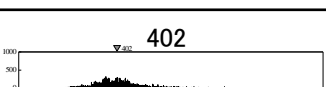
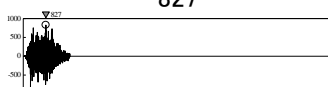
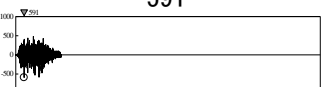
- ・評価対象施設は、HTTR原子炉施設のうち、耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器・配管系を支持する原子炉建家とする(既許可での評価から変更なし)。
- ・評価条件(解析モデル、解析用物性値、地下水位設定)は、既許可申請と同じとする。



評価対象施設配置図

地震応答解析の入力地震動には基準地震動(S_s-6)を使用し、解析モデル下端(解放基盤表面)に水平及び鉛直地震動を同時に入力する。

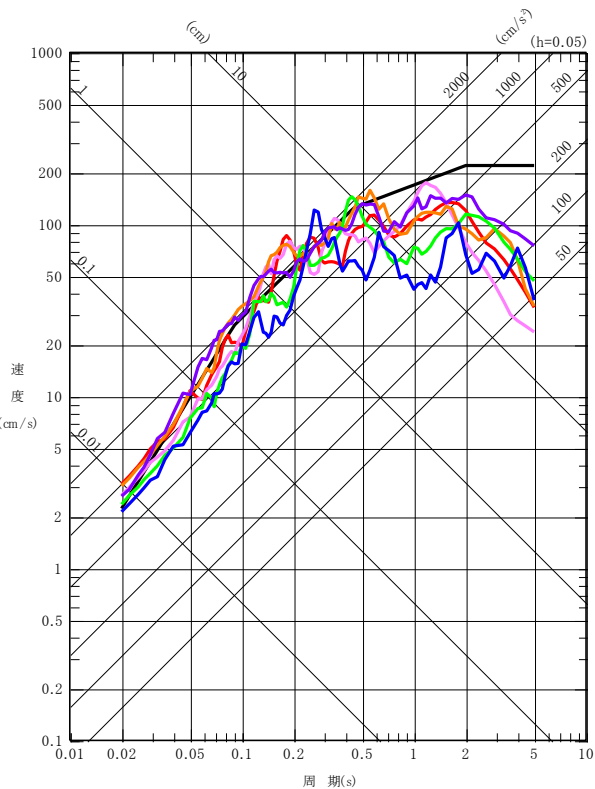
基準地震動S_sの最大加速度の一覧

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分
S _s -D	応答スペクトル手法による基準地震動	700 		500 
S _s -1	F3断層～F4断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	973 	711 	474 
S _s -2	F3断層～F4断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	835 	761 	436 
S _s -3	F3断層～F4断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	948 	850 	543 
S _s -4	F3断層～F4断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)	740 	630 	405 
S _s -5	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	670 	513 	402 
S _s -6	標準応答スペクトルを考慮した地震動	827 		591 

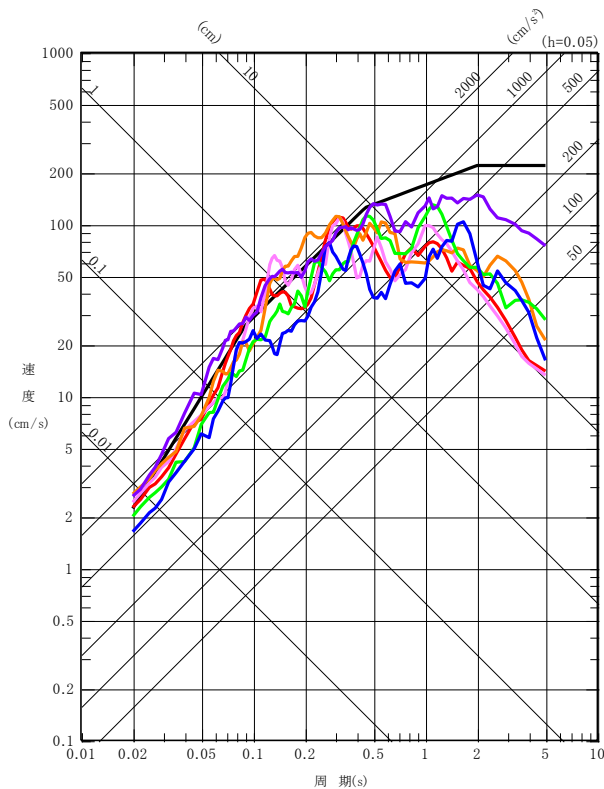
※表中のグラフは各基準地震動S_sの加速度時刻歴波形(縦軸:加速度[cm/s²], 横軸:時間[s])

■ 基準地震動S_sの応答スペクトル

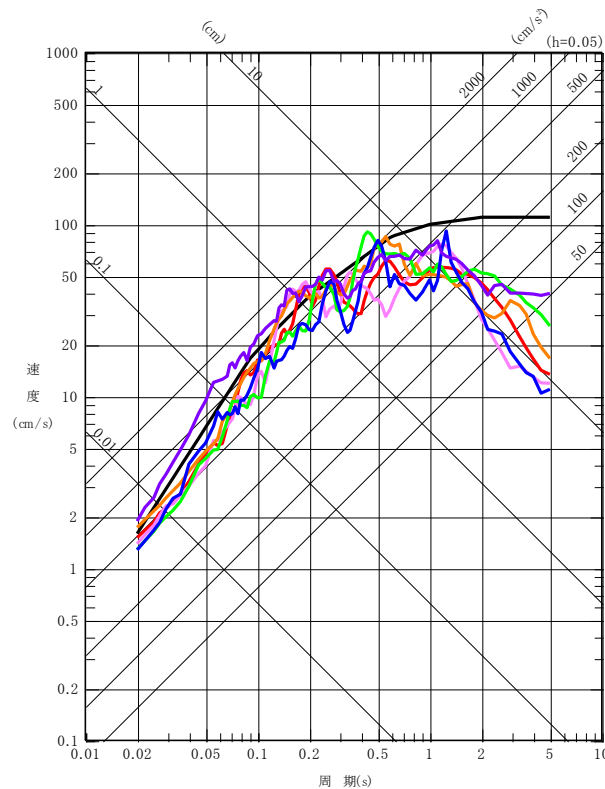
- S_s-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-1 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-2 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-3 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-4 F3断層～F4断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-5 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- S_s-6 標準応答スペクトルを考慮した地震動



NS成分



EW成分



UD成分

1. 評価方針
2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
3. まとめ

2.1 評価結果 (①すべり安全率(平均強度))

地震時における最小すべり安全率は2.0であり、評価基準値1.5を上回ることを確認した※¹ (基準地震動 Ss-6によるすべり安全率は最小とならず、既許可の評価結果に影響なし)。

すべり安全率の評価結果

断面	想定すべり線形状	すべり安全率※ ² ※ ³ ※ ⁴ ※ ⁵						
		Ss-D	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6
A-A'		<u>2.0</u> [46.69] (-, -)	2.7 [7.08] (+, +)	2.7 [7.89] (+, +)	2.4 [14.59] (+, +)	3.7 [8.97] (+, +)	3.5 [66.96] (+, +)	2.4 [13.71] (+, -)
B-B'		<u>2.0</u> [46.69] (+, -)	2.1 [6.68] (+, +)	2.2 [7.29] (+, +)	2.2 [11.04] (+, +)	2.6 [8.51] (+, +)	2.8 [72.45] (+, +)	2.6 [13.71] (-, -)

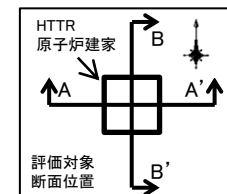
※¹ Ss-6による評価結果について、各位相の組合せの最小すべり安全率を参考資料1に示す。

※² (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転

※³ [] は発生時刻 (秒)

※⁴ 下線は各断面においてすべり安全率が最小となるケース。

※⁵ 地下水位を標高9.5mに設定して解析を実施し、最も厳しい地震動と想定すべり線を抽出。

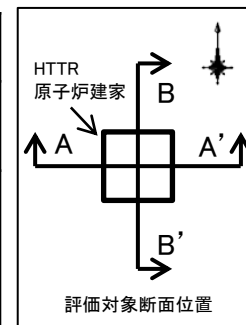


2.1 評価結果 (①すべり安全率(地盤強度のばらつき・埋戻土考慮))

平均強度においてすべり安全率が最小となったケースに対し、地盤強度のばらつきと埋戻土を考慮して評価を行った結果、最小すべり安全率は1.8となっており、評価基準値1.5を上回ることを確認した(基準地震動Ss-6によるすべり安全率(平均強度)は最小とならず、既許可の評価結果に影響なし)。

すべり安全率の評価結果

断面	想定すべり線形状	地震動※1	すべり安全率※2※3		
			基本モデル	地盤強度ばらつき考慮	埋戻土考慮※4
A-A'		Ss-D (-, -)	1.9 [46.69]	1.8 [46.69]	1.9 [46.69]
B-B'		Ss-D (+, -)	2.0 [46.69]	1.8 [46.69]	1.9 [46.69]



※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転

※2 [] は発生時刻(秒)

※3 地下水位を地表面に設定して解析を実施。

※4 埋戻土範囲の地盤強度を保守的にゼロとして解析を実施。

2.2 評価結果 (②基礎底面の接地圧)

- ・ 評価基準値は、HTTR原子炉建家直下の基礎地盤（東茨城層群）における平板載荷試験の結果から、 1.9 N/mm^2 と設定する。
- ・ 地震時における基礎底面の接地圧は、最大で 1.14 N/mm^2 であり、評価基準値を下回ることを確認した※1（基準地震動Ss-6による基礎底面の接地圧は最大とならず、既許可の評価結果に影響なし）。

基礎底面の接地圧の評価結果

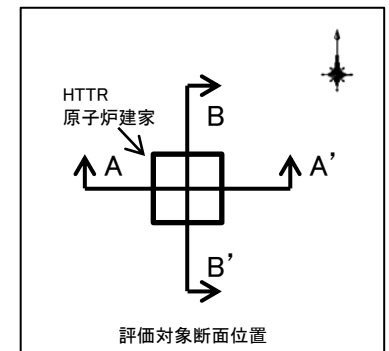
断面	評価基準値	原子炉建家基礎底面の最大接地圧※2※3※4						
		Ss-D	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6
A-A'	1.9 N/mm^2	<u>0.99 N/mm^2</u> [46.68] (+, +)	0.86 N/mm^2 [7.06] (+, +)	0.81 N/mm^2 [7.21] (+, +)	0.89 N/mm^2 [10.99] (+, +)	0.80 N/mm^2 [8.22] (+, +)	0.84 N/mm^2 [65.18] (+, +)	0.94 N/mm^2 [14.52] (+, +)
B-B'	1.9 N/mm^2	1.03 N/mm^2 [46.68] (-, +)	0.96 N/mm^2 [6.79] (+, +)	<u>1.14 N/mm^2</u> [8.06] (+, +)	0.98 N/mm^2 [14.49] (+, +)	1.07 N/mm^2 [7.77] (+, +)	0.93 N/mm^2 [65.13] (+, +)	0.96 N/mm^2 [14.52] (-, +)

※1 Ss-6による評価結果について、各位相の組合せの最大接地圧を参考資料2に示す。

※2 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転

※3 [] は発生時刻 (秒)

※4 下線は各断面において接地圧が最大となるケース。



2.3 評価結果 (③基礎底面の傾斜)

地震時における基礎底面の傾斜は最大で1/3,800であり、評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した※1 (基準地震動Ss-6による基礎底面の傾斜は最大とならず、既許可の評価結果に影響なし)。

基礎底面の傾斜の評価結果

断面	原子炉建家基礎底面の最大傾斜※2※3※4							
	地震動	Ss-D	Ss-1	Ss-2	Ss-3	Ss-4	Ss-5	Ss-6
A-A'	基礎底面両端の最大相対変位 ($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $)	1.24 cm [39.73] (-, +)	0.99 cm [7.13] (+, +)	0.53 cm [7.94] (+, +)	0.94 cm [11.08] (+, +)	0.70 cm [8.99] (+, +)	0.59 cm [67.00] (+, +)	0.93 cm [13.74] (-, +)
	基礎底面両端の最大傾斜 ($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L^{※5}$)	<u>1/4,000</u>	1/5,000	1/9,400	1/5,300	1/7,000	1/8,500	1/5,300
B-B'	基礎底面両端の最大相対変位 ($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $)	1.34 cm [46.74] (-, +)	1.30 cm [6.78] (+, +)	1.23 cm [8.13] (+, +)	1.20 cm [11.08] (+, +)	1.09 cm [8.55] (+, +)	0.82 cm [65.21] (+, +)	0.92 cm [13.74] (-, +)
	基礎底面両端の最大傾斜 ($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L^{※5}$)	<u>1/3,800</u>	1/4,000	1/4,200	1/4,300	1/4,700	1/6,300	1/5,600

※1 Ss-6による評価結果について、各位相の組合せの最大傾斜を参考資料3に示す。

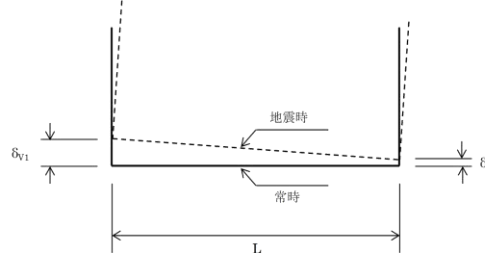
※2 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転

※3 [] は発生時刻 (秒)

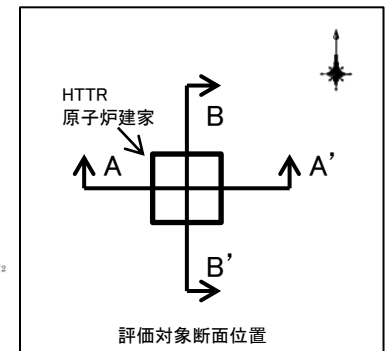
※4 下線は各断面において傾斜が最大となるケース。

※5 L はA-A' 断面において50.0 m、B-B' 断面において52.0 m

記号の説明



δ_{v1} 、 δ_{v2} は上向きを正とする



2.4 評価結果 まとめ

- ① 地震時における基礎地盤のすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認した(既許可の評価結果に影響なし)。
- ② 地震時における基礎底面の接地圧が平板載荷試験結果から設定した評価基準値1.9 N/mm²を下回ることを確認した(既許可の評価結果に影響なし)。
- ③ 地震時における基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した(既許可の評価結果に影響なし)。

1. 評価方針
2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
3. まとめ

1. 将来活動する可能性のある断層等の有無 (既許可での評価にて確認済み)

原子炉建家が設置される地盤には、将来活動する可能性のある断層等は存在しないことを確認した。

2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価 (今回申請)

(1) ①地震時におけるすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認した。

②地震時における基礎底面の接地圧が平板載荷試験結果から設定した評価基準値1.9 N/mm²を下回ることを確認した。

③地震時における基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した。

(2) 原子炉建家が設置される地盤は液状化するおそれがないことを確認した (既許可での評価にて確認済み)。

3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価 (既許可での評価にて確認済み)

①原子炉建家以外に耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器・配管系及びそれらを支持する建物・構築物はないことから、周辺地盤の変状（不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等）による影響を受けるおそれはないことを確認した。

②地殻変動による基礎地盤の傾斜の影響について、基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した。

4. 周辺斜面の影響 (既許可での評価にて確認済み)

原子炉建家の周辺に評価対象とすべき斜面は存在せず、周辺斜面の影響はないことを確認した。

以上より、HTTR原子炉建家の基礎地盤は十分な安定性を有しており、施設の安全機能が重大な影響を受けることがないことを確認した。

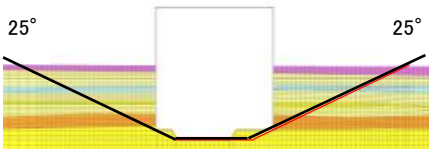
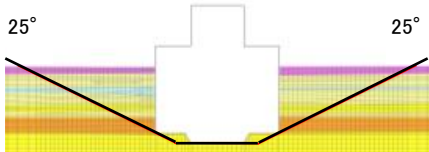
参考資料

- 1 すべり安全率に関する検討
- 2 接地圧に関する検討
- 3 傾斜に関する検討
- 4 液状化に関する検討

すべり安全率一覧 (Ss-6)

基準地震動Ss-6による各位相の組合せの最小すべり安全率を以下に示す。

最小すべり安全率一覧 (Ss-6)

断面	想定すべり線形状	すべり安全率※1※2※3			
		(+, +)	(+, -)	(-, +)	(-, -)
A-A'		2.7 [13.67]	2.4 [13.71]	2.8 [14.57]	2.6 [13.71]
B-B'		2.9 [13.36]	2.7 [13.71]	2.8 [13.36]	2.6 [13.71]

※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転

※2 [] は発生時刻 (秒)

※3 地下水位を標高9.5mに設定して解析を実施。

参考資料

- 1 すべり安全率に関する検討
- 2 接地圧に関する検討
- 3 傾斜に関する検討
- 4 液状化に関する検討

基礎底面の接地圧一覽 (Ss-6)

基準地震動Ss-6による、各位相の組合せの基礎底面の最大接地圧を以下に示す。

基礎底面の最大接地圧一覽 (Ss-6)

断面	評価基準値 (N/mm ²)	原子炉建家基礎底面の最大接地圧 ^{※1※2※3}			
		(+, +)	(+, -)	(-, +)	(-, -)
A-A'	1.9 N/mm ²	0.94 N/mm ² [14.52]	0.84 N/mm ² [14.56]	0.93 N/mm ² [14.52]	0.85 N/mm ² [18.48]
B-B'	1.9 N/mm ²	0.95 N/mm ² [14.52]	0.89 N/mm ² [18.48]	0.96 N/mm ² [14.52]	0.88 N/mm ² [18.48]

※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転

※2 [] は発生時刻 (秒)

※3 地下水位を標高9.5mに設定して解析を実施。

参考資料

- 1 すべり安全率に関する検討
- 2 接地圧に関する検討
- 3 傾斜に関する検討
- 4 液状化に関する検討

基礎底面の傾斜一覧 (Ss-6)

基準地震動Ss-6による各位相の組合せの基礎底面の最大傾斜を以下に示す。

基礎底面の最大傾斜一覧 (Ss-6)

断面	原子炉建家基礎底面の最大傾斜 ^{※1※2※3}				
	地震動	(+, +)	(+, -)	(-, +)	(-, -)
A-A'	基礎底面両端の最大相対変位 ($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $)	0.80 cm [13.73]	0.93 cm [13.74]	0.93 cm [13.74]	0.80 cm [13.73]
	基礎底面両端の最大傾斜 ($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L^{※4}$)	1/6, 200	1/5, 300	1/5, 300	1/6, 200
B-B'	基礎底面両端の最大相対変位 ($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $)	0.92 cm [13.74]	0.92 cm [13.74]	0.92 cm [13.74]	0.92 cm [13.74]
	基礎底面両端の最大傾斜 ($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L^{※4}$)	1/5, 600	1/5, 600	1/5, 600	1/5, 600

※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転

※2 [] は発生時刻 (秒)

※3 地下水位を標高9.5mに設定して解析を実施。

※4 L はA-A' 断面において50.0 m、B-B' 断面において52.0 m

参考資料

- 1 すべり安全率に関する検討
- 2 接地圧に関する検討
- 3 傾斜に関する検討
- 4 液状化に関する検討

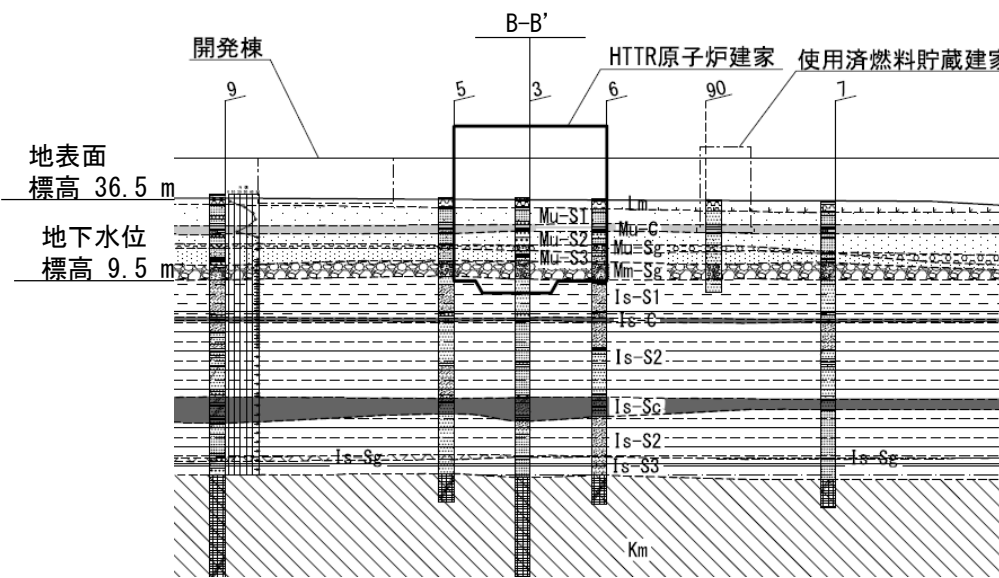
液状化に対する安全性検討

(1) 「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」では「建物及び構築物が設置される地盤が第四紀層等の砂地盤又は砂礫地盤で地下水位が高い場合には、液状化の可能性を検討していること。」とされている。

(2) 日本建築学会の「建築基礎構造設計指針」では、建物・構築物の支持地盤について、液状化判定を行う必要がある飽和土層として、地表面から20 m程度以浅の以下の条件を満たす土層が記載されている。

- ① 沖積層で、細粒分含有率が35%以下の土層
- ② 埋立地盤、盛土地盤において、粘土分含有率が10%以下又は塑性指数が15%以下の土層
- ③ 細粒土を含む礫又は透水性の低い土層に囲まれた礫

原子炉建家の支持地盤 (Is-S₁) の飽和土層は、地表面から27 m (標高9.5 m) 以深であり、地表面から20 m程度以浅という条件には該当しない。また、この支持地盤は中部更新統の東茨城層群 (砂質土) であり、上記の「①沖積層」、「②埋立地盤、盛土地盤」又は「③細粒土を含む礫又は透水性の低い土層に囲まれた礫」いずれにも該当しないため、液状化のおそれなく、施設の安全機能に支障を与えるものではない (参考として実施した液状化に対する検討結果を次ページに示す)。



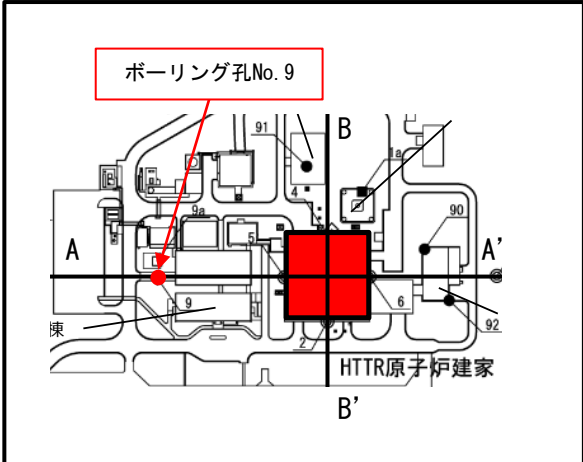
原子炉建家周辺地盤 (A-A' 断面)

建築基礎構造設計指針による液状化判定が必要な飽和土層※

液状化判定が必要な土層 (①~③のいずれかで、 全項目を満たす場合)	原子炉建家の支持地盤 (Is-S ₁)	液状化判定が必要な土層 に該当するかの判定
① 沖積層 かつ、 細粒分含有率35%以下	東茨城層群 (砂質土) 11%	「沖積層」ではないため 該当しない。
② 埋立地盤又は盛土地盤 かつ、 粘土分含有率10%以下 又は塑性指数15%以下	東茨城層群 (砂質土) 粘土分 含有率 4%	「埋立地盤又盛土地盤」 ではないため該当 しない。
③ 細粒土を含む礫又は透水性 の低い土層に囲まれた 礫	東茨城層群 (砂質土)	「細粒土を含む礫又は 透水性の低い土層に 囲まれた礫」ではない ため該当しない。

※地表面から20 m程度以浅の飽和土層が対象となる。

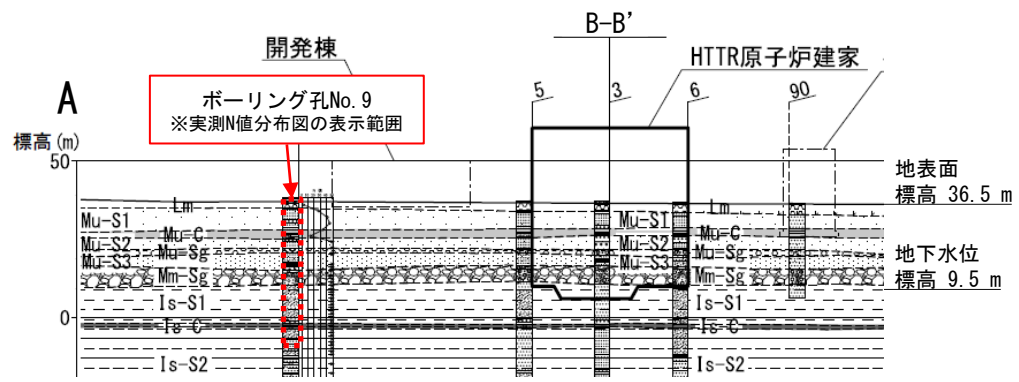
原子炉建家の支持地盤における飽和土層 (Is-S₁) は、実測N値50以上の密実な砂層である。



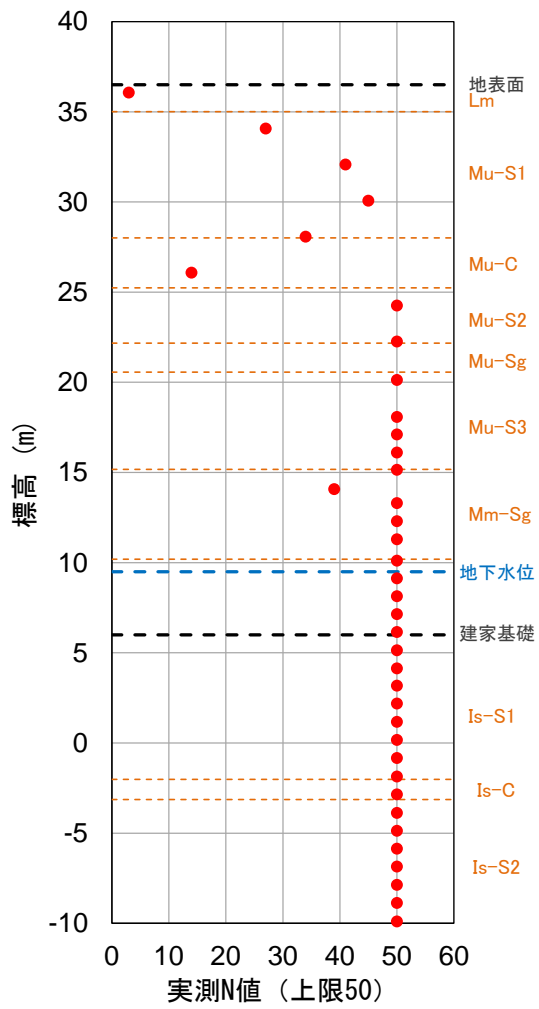
ボーリング位置図

Is-S₁の細粒分含有率及び50%粒径
(ボーリング孔No. 9)

地層区分	細粒分含有率 Fc (%)	50%粒径 D ₅₀ (mm)
Is-S ₁	11	0.20



地質断面図 (A-A' 断面)



実測N値分布図
(ボーリング孔No. 9)

補正N値及び繰返しせん断応力比に基づく液状化検討結果

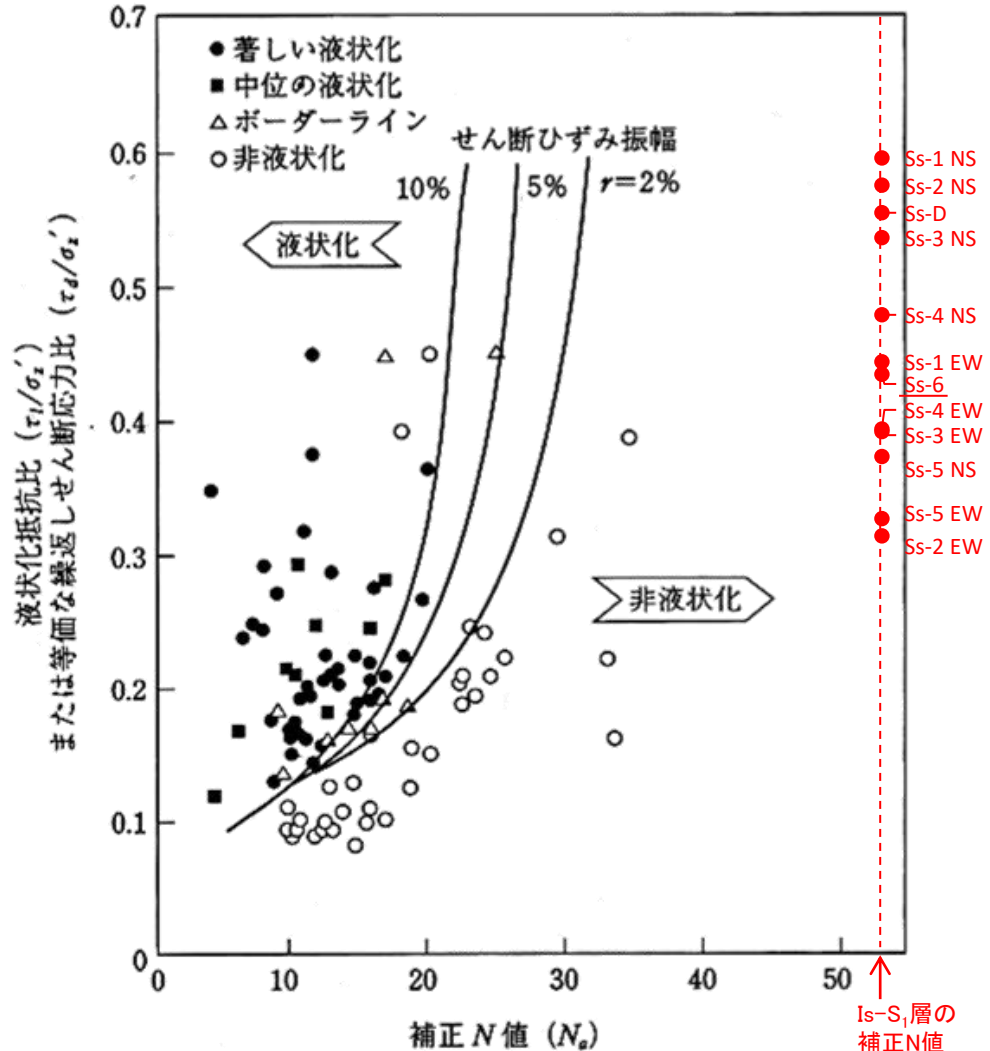
第225回審査会合
資料2-5 改2 加筆

原子炉建家の支持地盤である砂質土 (I_s-S_1) は「建築基礎構造設計指針」によれば液状化検討の対象外であるが、参考として、補正N値及び繰返しせん断応力比に基づき、液状化の可能性を検討した。

補正N値は「建築基礎構造設計指針」に基づき、実測N値及び細粒分含有率から算定し、繰返しせん断応力比は地盤の地震応答解析（等価線形解析）の結果から算定し、右図に重ね書きを行った。

なお、実際の標準貫入試験では打ち止め回数を50回とし、この上限値を当該層の実測N値として記録しているが、補正N値の算定に当たっては、50回で貫入した深さ δ (cm) から、規定値である30 cmに達するまでに要すると推定される打撃回数 ($50 \times 30 / \delta$) を実測N値として用いている。

いずれの基準地震動においても I_s-S_1 層は非液状化の範囲となっており、原子炉建家の支持地盤が液状化するおそれはないことを確認した。



補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係
(建築基礎構造設計指針、日本建築学会、2001)