



リサイクル燃料備蓄センター
使用済燃料貯蔵事業変更許可申請
使用済燃料貯蔵施設の基礎地盤及び周辺斜面の
安定性評価について

令和 2 年 7 月 2 7 日
リサイクル燃料貯蔵株式会社

余白

基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価結果 (概要)

【基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価概要】

➤ 申請時 (H26. 1. 15) の評価

- ・使用済燃料貯蔵建屋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」は認められない。
- ・基準地震動による地震力に対して、基礎地盤のすべり、基礎の支持力、基礎底面の傾斜について、いずれも評価基準値を満足しており、十分な安定性を有していることを確認した (慣用法及び動的解析)。



➤ 申請以降実施した検討

- ・基準地震動の見直しに伴い、基礎地盤安定性評価の見直しを行った (動的解析のみ)。
- ・砂子又層 (Sn₄層) の強度特性については、建屋を設置したことによる地盤への影響範囲内で再設定した。
- ・地殻変動による基礎地盤の変形の影響について、横浜断層に伴う地盤の傾斜を食い違い弾性論に基づき評価した。
- ・水平方向の地震動のみ定義されている基準地震動Ss-B4について、Ss-B4 (水平動) と一関東評価用地震動 (鉛直動) により基礎地盤のすべり、支持力及び傾斜の評価基準値を満足していることを確認した。



➤ 最終評価

- ・使用済燃料貯蔵建屋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」は認められない。
- ・基準地震動 (Ss-A, Ss-B1~B3) による地震力に対して、基礎地盤のすべり、基礎の支持力、基礎底面の傾斜 (地殻変動含む) について、いずれも評価基準値を満足することを確認した。また、水平方向の地震動のみ定義されている基準地震動Ss-B4による基礎地盤の安定性を確認した。
- ・以上のことから、使用済燃料貯蔵建屋の基礎地盤は、基準地震動による地震力に対して十分な安定性を有しており、使用済燃料貯蔵建屋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。

※使用済燃料貯蔵建屋には隣接する建物及び構造物がないことから、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く、評価対象外とする。

基準地震動の地震力により使用済燃料貯蔵建屋に重大な影響を与える周辺斜面は存在しないことから、評価対象外とする。

目次

1. 評価方針	4
2. 使用済燃料貯蔵施設の配置と諸元	5
3. 地質の概要	8
4. 地盤分類	13
5. 基礎地盤の安定性における基本事項の整理・検討	18
6. 基礎地盤の安定性評価	47
7. 周辺地盤の変状による建屋への影響評価	58
8. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価	60
9. 一関東評価用地震動による影響評価	63
10. 周辺斜面の安定性評価	68
11. まとめ	69

1. 評価方針

(1) 評価方針

使用済燃料貯蔵建屋※の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について、「使用済燃料貯蔵施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」(以下、「事業許可基準規則」という。)を踏まえ、「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」(以下「審査ガイド」という)に準拠し以下に示す事項を確認する。

■ 基礎地盤

1. 活断層の有無(事業許可基準規則第8条第3項)

使用済燃料貯蔵建屋が設置される地盤には、将来も活動する可能性のある断層等が露頭してい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(事業許可基準規則第8条第1項及び第2項)

使用済燃料貯蔵建屋が設置される地盤の安定性について以下を確認する。

- (1) 基礎地盤のすべり
- (2) 基礎の支持力
- (3) 基礎底面の傾斜

3. 周辺地盤の変状による建屋への影響評価(事業許可基準規則第8条第2項)

使用済燃料貯蔵建屋には隣接する建物及び構造物がないことから、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く、評価対象外とする。

4. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価(事業許可基準規則第8条第2項)

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により、使用済燃料貯蔵建屋が重大な影響を受けないことを確認する。

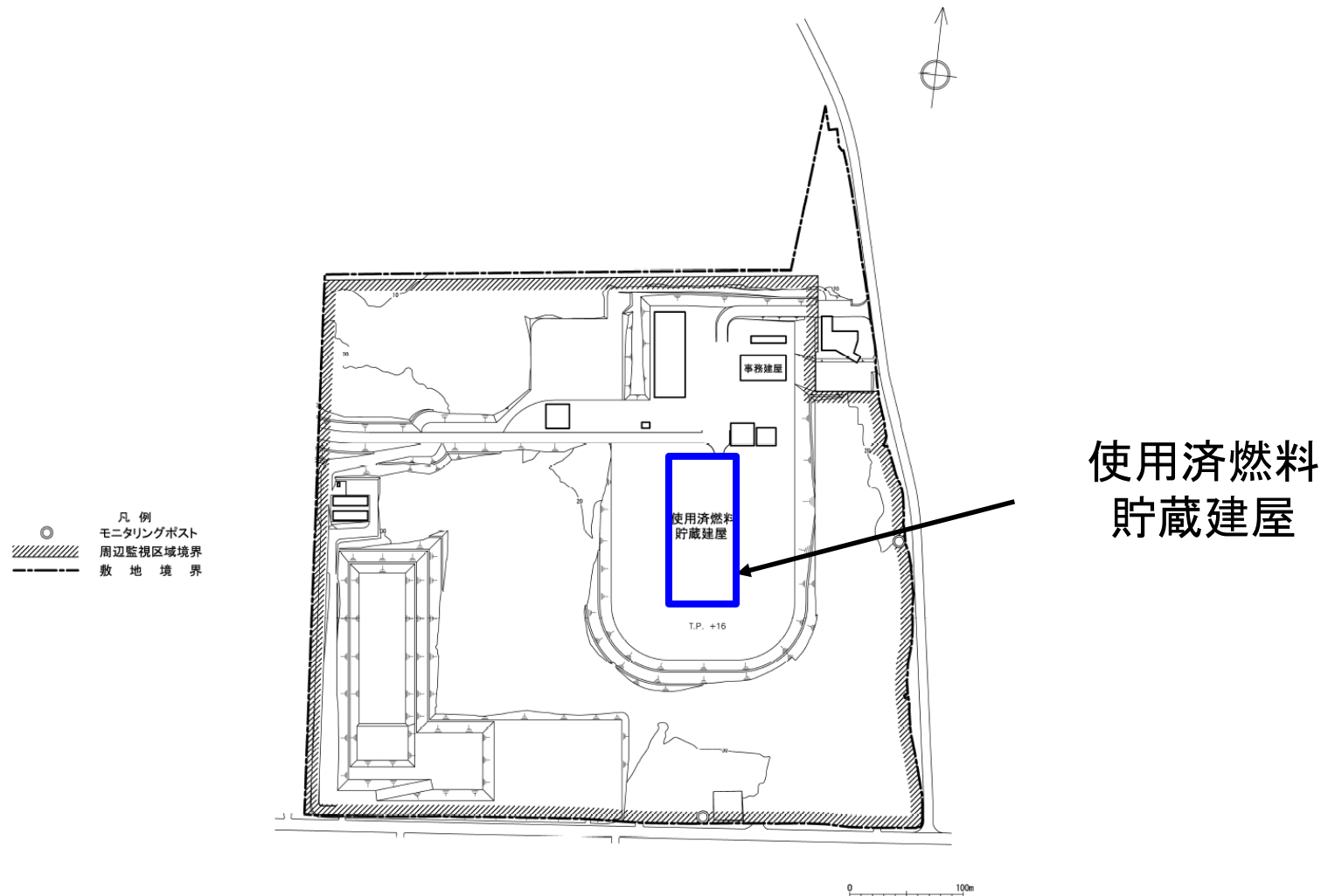
■ 周辺斜面(事業許可基準規則第9条第4項)

基準地震動の地震力により使用済燃料貯蔵建屋に重大な影響を与える周辺斜面は存在しないことから、評価対象外とする。

※ 使用済燃料貯蔵施設のうち「基本的安全機能を確保する上で必要な施設」の間接支持構造物

2. 使用済燃料貯蔵建屋の配置と諸元

(1) 建屋配置図



使用済燃料
貯蔵建屋

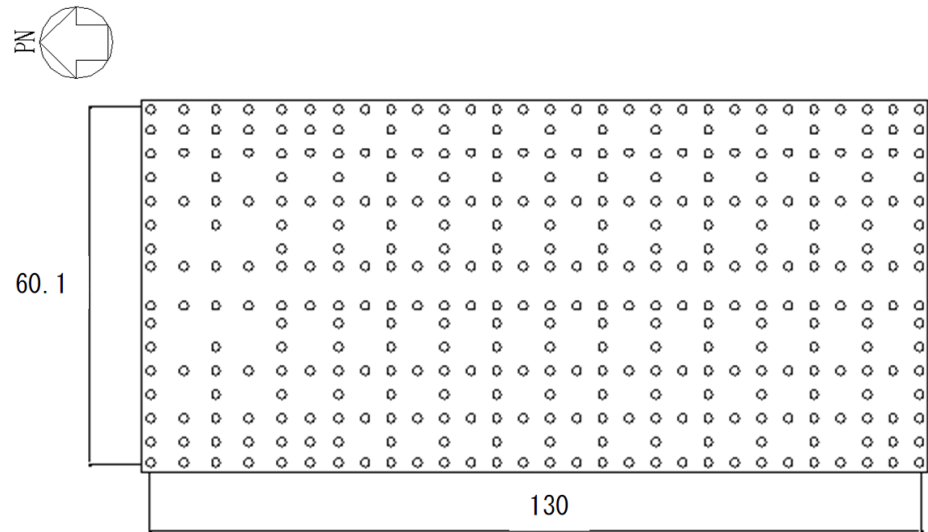
評価対象は使用済燃料貯蔵建屋のみ

2. 使用済燃料貯蔵建屋の配置と諸元

(2) 建屋の諸元

基礎形式	対象施設	施設の重量 (KN)	杭の本数	杭径 (m)	単位面積当 たりの重量 (KN/m ²)	杭の間隔 (m)
杭を介して 岩盤で支持 する施設	使用済燃料 貯蔵建屋	約162万※	358	1.5	約2,500	3.0~6.5

※キャスク満載時:288基×約1200KNを考慮



杭伏図 (T.P. 13.8) (単位 : m)

余白

3. 地質の概要

(1) 敷地の地質層序

地質時代		地層名		主な層相・岩相	火山噴出物		
第四紀	完新世	盛土・埋土		粘土～シルト, 砂, 礫	洞爺火山灰層		
		沖積層		腐植質粘土～シルト, 砂, 礫		砂質シルト	
	後期	中位段丘堆積物	M ₁ '面堆積物	砂, 礫			
			M ₁ 面堆積物	砂, 礫			
	更新世	中期	田名部層	上部層 (H ₅ 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。	0s-Sk1 0s-Ft
				中部層 (H ₅ '面堆積物に相当)		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。	0s-Sh 0s-2
				下部層 (H ₄ 面堆積物に相当)		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。	
	前期						
	新第三紀	鮮新世	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碎屑岩を挟在する。	

~~~~~ : 不整合

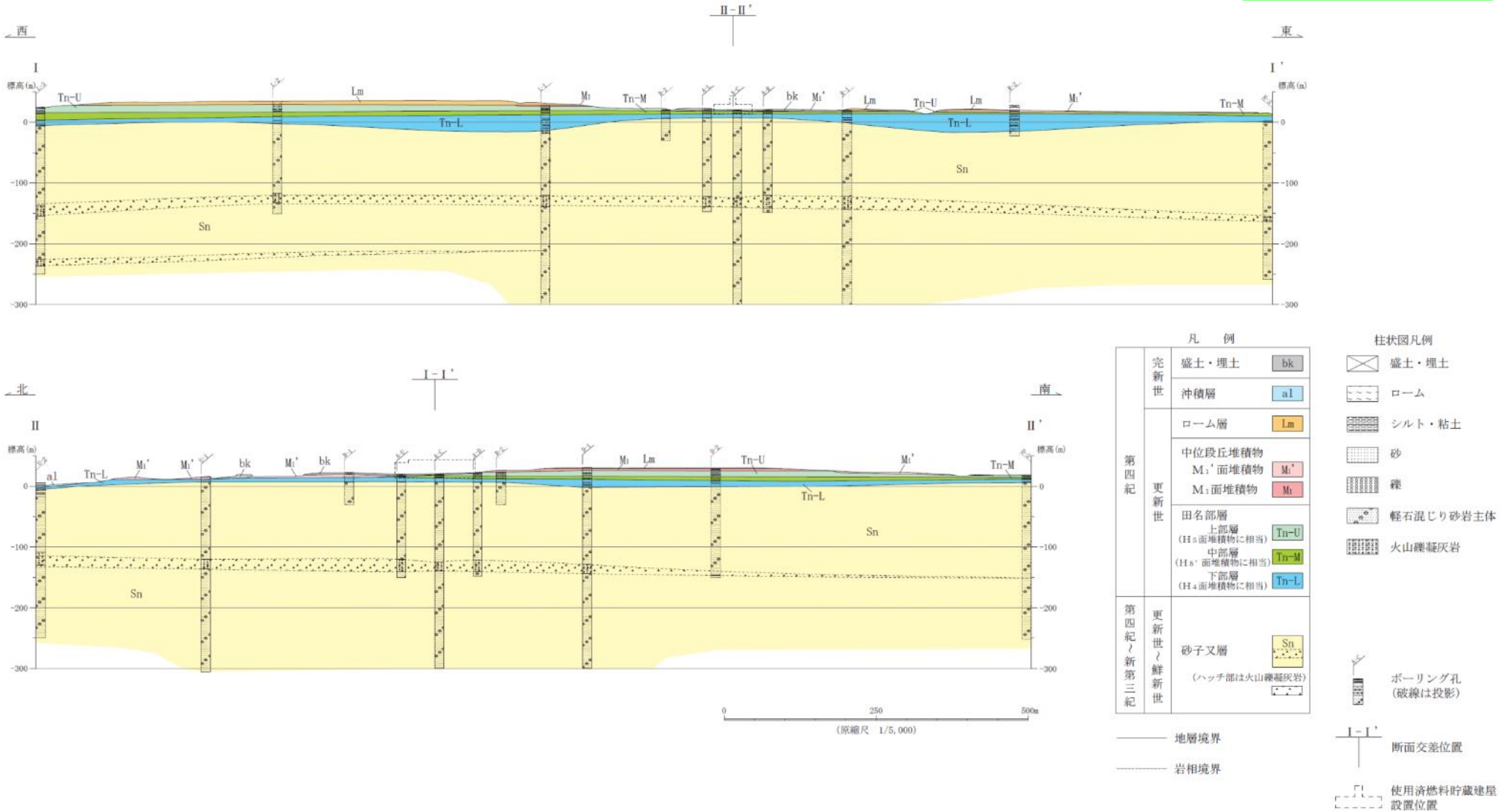
- 敷地の地質は, 新第三系鮮新統～第四系下部更新統の砂子又層, 第四系中部更新統の田名部層 (高位段丘堆積物相当) 及び第四系上部更新統の中位段丘堆積物並びにこれらの上位に載るローム層, 第四系完新統の沖積層等からなる。
- 杭先端付近に分布する砂子又層は, 軽石混じり砂岩を主体とし, 火山礫凝灰岩等を挟在する。
- 田名部層は, シルト, 砂等からなる陸成～谷埋め堆積物から淘汰の良い砂を主体とする海成堆積物に変化する堆積サイクルにより, 下部層, 中部層及び上部層に細分される。
- 中位段丘堆積物はM<sub>1</sub>面堆積物及びM<sub>1</sub>'面堆積物に細分され, いず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。



# 3. 地質の概要

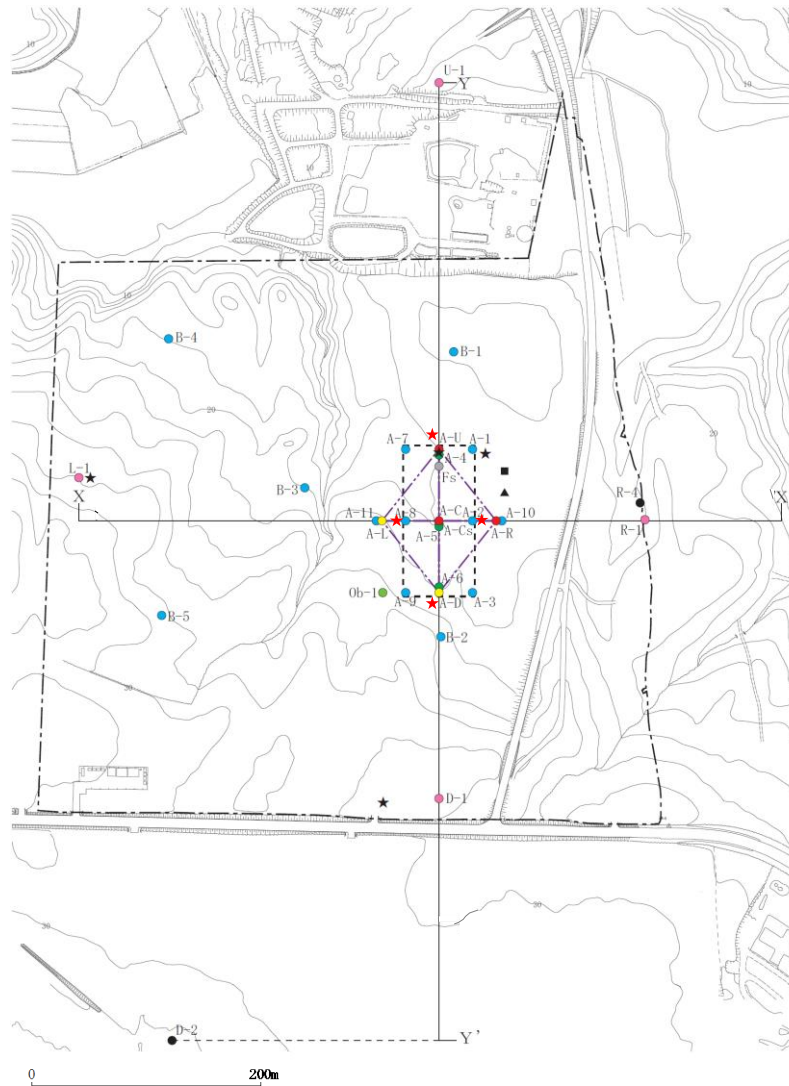
## (3) 敷地の地質断面図

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P10 再掲



# 3. 地質の概要

## (4) 使用済燃料貯蔵建屋設置位置付近の地質調査位置図



|   |                                             |
|---|---------------------------------------------|
| ● | 鉛直ボーリング<br>P S 検層<br>ボアホールテレビ調査<br>室内試験試料採取 |
| ● | 鉛直ボーリング<br>P S 検層<br>ボアホールテレビ調査             |
| ● | 鉛直ボーリング<br>P S 検層<br>室内試験試料採取               |
| ● | 鉛直ボーリング<br>標準貫入試験<br>室内試験試料採取               |
| ● | 鉛直ボーリング<br>標準貫入試験                           |
| ● | 鉛直ボーリング<br>地下水位調査                           |
| ● | 鉛直ボーリング<br>室内試験試料採取                         |
| ● | 鉛直ボーリング                                     |
| ◇ | 孔間反射法地震探査                                   |
| ★ | 室内試験試料採取(ブロック)                              |
| ▲ | 杭の押込み試験                                     |
| ■ | 杭の水平載荷試験<br>(標準貫入試験を含む)                     |

- 敷地境界
- 使用済燃料貯蔵建屋設置位置
- X X' 地質鉛直断面図位置

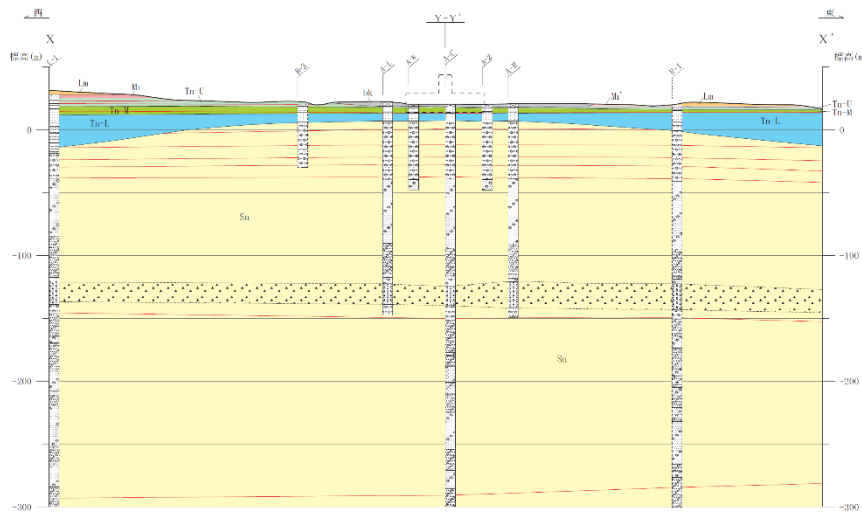
審査会合(H28.6.10)資料2 P6  
再掲資料への補足事項

★ 液状化検討で参考にした地下水位データの調査地点 (H28.4.1以降～)

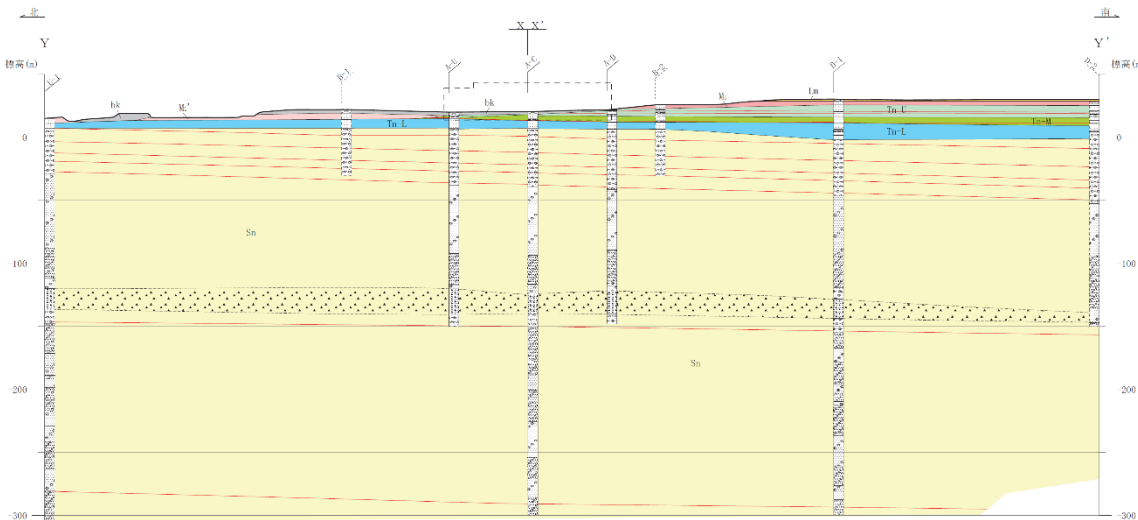
0 200m

# 3. 地質の概要

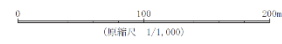
## (5) 使用済燃料貯蔵建屋設置位置付近の地質断面図



地質断面図 (X-X' 断面)



地質断面図 (Y-Y' 断面)



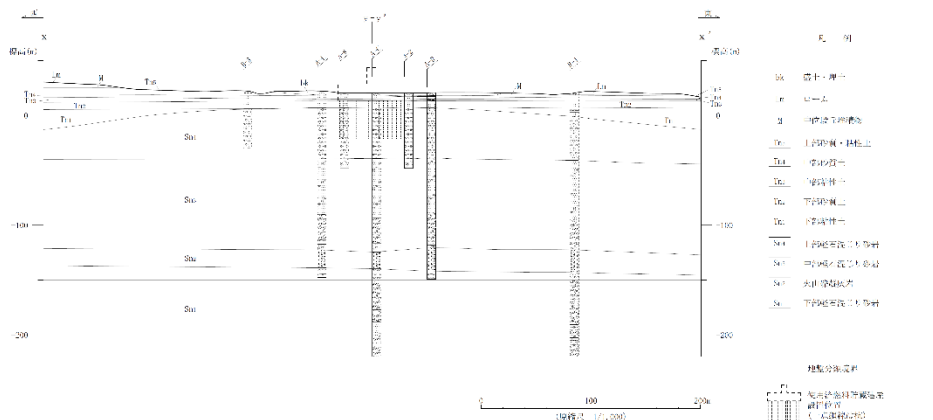
➤ 杭の支持層である砂子又層は、挟在する鍵層及び火山礫凝灰岩により、ほぼ水平であることが確認でき、断層は認められない。



➤ 使用済燃料貯蔵建屋が設置される地盤には、「将来も活動する可能性のある断層等」は認められない。

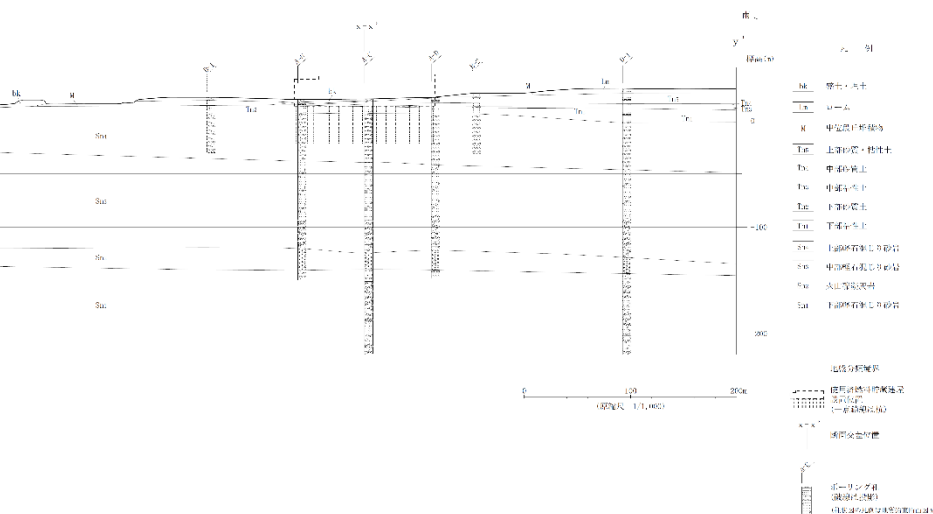
# 4. 地盤分類

## (1) 地質と地盤分類の対応①



地盤分類図 (X-X' 断面)

- 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。）(Sn<sub>1</sub>)、火山礫凝灰岩 (Sn<sub>2</sub>)、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。）(Sn<sub>3</sub>) 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。）(Sn<sub>4</sub>) 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。下部層及び中部層の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。）(Tn<sub>1</sub>)、下部層の砂を主体とする層準（以下「下部砂質土」という。）(Tn<sub>2</sub>)、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。）(Tn<sub>3</sub>)、中部層の砂を主体とする層準（以下「中部砂質土」という。）(Tn<sub>4</sub>) 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。）(Tn<sub>5</sub>) に区分した。
- 中位段丘堆積物については、M<sub>1</sub>面堆積物とM<sub>1</sub>'面堆積物が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。



地盤分類図 (Y-Y' 断面)

# 4. 地盤分類

## (1) 地質と地盤分類の対応②

使用済燃料貯蔵建屋設置位置付近に分布する地層の層相・岩相をもとに、堆積年代、生成環境及び固結の程度等の地質学的性質並びに土質分類及び力学特性に基づく工学的性質を考慮して地盤分類を行った。

| 地層区分        | 層相・岩相区分                                                         | 地盤分類の要素              |           |            |                             |                              | 地盤分類                       |                             |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------|-----------|------------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|             |                                                                 | 地質学的性質               |           |            | 工学的性質                       |                              |                            |                             |
|             |                                                                 | 堆積年代                 | 生成環境      | 固結の程度      | 風化の程度                       | 土質分類                         |                            | 力学特性                        |
| 盛土・埋土(bk)   | 粘土～シルト、砂、礫                                                      | 第四紀完新世               | 人工地質体     | 未固結        | 風化～新鮮                       | 火山灰質粘性土、<br>細粒分混じり砂          | 盛土・埋土(bk)                  |                             |
| ローム層(Lm)    | 砂質シルト                                                           | 第四紀完新世～更新世後期         | 風成堆積物     |            |                             | 砂混じりシルト、<br>砂混じり火山灰質<br>粘性土  | ローム(Lm)                    |                             |
| 中位段丘<br>堆積物 | M <sub>1</sub> '面堆積物(M <sub>1</sub> ')<br>砂、礫                   | 第四紀更新世後期             | 段丘堆積物     |            |                             | 細粒分質砂                        | 中位段丘堆積物(M)                 |                             |
|             | M <sub>1</sub> 面堆積物(M <sub>1</sub> )<br>砂、礫                     |                      |           |            |                             | 細粒分質砂                        | 中位段丘堆積物(M)                 |                             |
| 田名部層        | 上部層 (Tn-U)<br>H <sub>10</sub> 面堆積物相当<br>軽石質火山灰、火山灰質シルト・砂、軽石混じり砂 | 第四紀更新世中期             | 陰成～海成堆積物  |            |                             | 細粒分質砂、<br>砂質粘土               | 上部砂質・粘性土(Tn <sub>6</sub> ) |                             |
|             | 砂                                                               |                      | 海成堆積物     |            |                             | 細粒分質砂                        | 中部砂質土(Tn <sub>4</sub> )    |                             |
|             | 腐植混じりシルト・砂、火山灰質シルト・砂、<br>軽石混じり砂                                 |                      | 陰成・谷理め堆積物 |            |                             | 砂質粘土、<br>細粒分質砂               | 中部粘性土(Tn <sub>3</sub> )    |                             |
|             | 砂                                                               |                      | 海成堆積物     |            |                             | 細粒分混じり砂、<br>細粒分質砂            | 下部砂質土(Tn <sub>2</sub> )    |                             |
|             | 腐植質シルト、火山灰質シルト・砂                                                |                      | 陰成・谷理め堆積物 |            |                             | 細粒分質砂、<br>砂質粘土               | 下部粘性土(Tn <sub>1</sub> )    |                             |
|             |                                                                 |                      |           |            |                             |                              |                            |                             |
| 砂子又層(Sn)    | 軽石混じり砂岩主体                                                       | 第四紀更新世前期～<br>新第三紀鮮新世 | 砕屑岩       | 半固結        | 新鮮                          | 風化～新鮮                        | 深度依存性(強い)<br>を考慮する         | 上部軽石混じり砂岩(Sn <sub>4</sub> ) |
|             |                                                                 |                      |           |            |                             | 軽石混じり砂岩・軽石凝灰岩互層<br>(上部ほど褐色化) | 深度依存性(弱い)<br>を考慮する         | 中部軽石混じり砂岩(Sn <sub>3</sub> ) |
|             |                                                                 |                      |           |            |                             | 軽石混じり砂岩(塊状)                  | 深度依存性を考慮しない                | 火山礫凝灰岩(Sn <sub>2</sub> )    |
|             | 軽石混じり砂岩・軽石凝灰岩互層<br>(薬理発達)                                       | 火山砕屑岩                | 固結        | 深度依存性を考慮する | 下部軽石混じり砂岩(Sn <sub>1</sub> ) |                              |                            |                             |
|             | 火山礫凝灰岩                                                          | 砕屑岩                  | 半固結       |            |                             |                              |                            |                             |
| 岩軽石主体混じり砂   | 軽石混じり砂岩・軽石凝灰岩互層(薬理発達)<br>軽石混じり砂岩(塊状)                            | 互層                   | 砕屑岩       | 半固結        |                             |                              |                            |                             |

# 4. 地盤分類

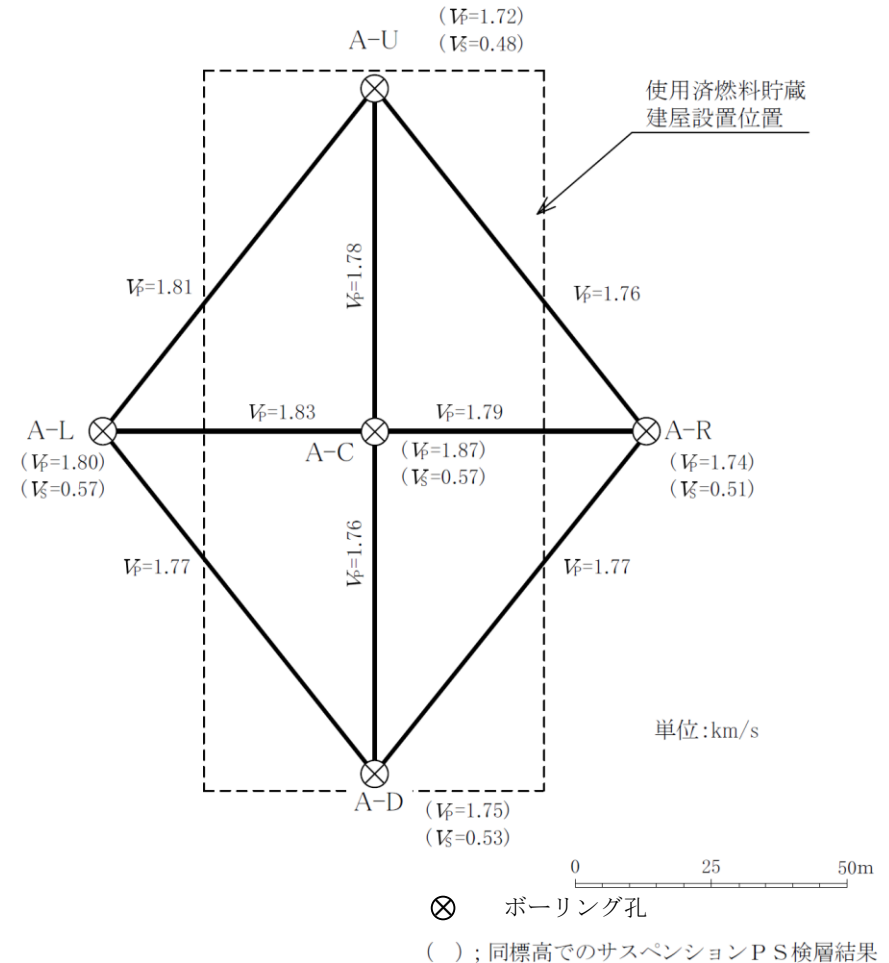
## (2) 支持地盤 (砂子又層) の異方性について

- 使用済燃料貯蔵建屋設置位置付近のサスペンションPS検層及び孔間弾性波速度測定を実施している。
- 杭先端付近のサスペンションPS検層結果及び孔間弾性波探査速度測定結果から、杭先端付近の地盤物性の場所的变化は小さく、異方性は認められない。

|             |    | 平均値<br>(km/s) | 標準偏差<br>(km/s) | 変動係数<br>(%) | 測定数 |
|-------------|----|---------------|----------------|-------------|-----|
| サスペンションPS検層 | P波 | 1.78          | 0.05           | 3.0         | 5   |
|             | S波 | 0.53          | 0.04           | 6.7         | 5   |
| 孔間弾性波速度測定   | P波 | 1.78          | 0.02           | 1.3         | 8   |

### ■ 変動係数の算出方法

$$\text{変動係数 (\%)} = \frac{\text{標準偏差}}{\text{平均値}} \times 100$$



サスペンションPS検層結果及び孔間弾性波探査速度測定結果  
(上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>), 標高-21.5m付近)



# 4. 地盤分類

## (3) 地盤材料試験① (試験種別)

■ 解析用物性値は、下表に示す試験・調査結果に基づき設定した。

|                              | 物理特性                    | 強度特性                      |               | 静的変形特性          |                                             | 動的変形特性                                      |                                   |                        |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|------------------------|
|                              | 湿潤密度<br>$\rho_t$        | ピーク強度<br>$C$              | 残留強度<br>$C_r$ | 初期変形係数<br>$E_0$ | 静ポアソン比<br>$\nu$                             | 動せん断弾性係数<br>$G_0$                           | 動ポアソン比<br>$\nu_d$                 | $G/G_0, h$ の<br>ひずみ依存性 |
| 盛土・埋土 (bk)                   | ブロック試料から採取した供試体の湿潤密度    | ブロック試料から採取した供試体の三軸圧縮試験    |               |                 | ブロック試料から採取した供試体の超音波速度測定による $V_s$ と湿潤密度により算定 | ブロック試料から採取した供試体の超音波速度測定による $V_p, V_s$ により算定 | ブロック試料から採取した供試体の繰返し三軸試験 (変形特性)    |                        |
| ローム (Lm)                     |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 中位段丘堆積物 (M)                  |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> )  | ボーリングコア試料から採取した供試体の湿潤密度 | ボーリングコア試料から採取した供試体の三軸圧縮試験 |               |                 | PS検層による $V_s$ と湿潤密度により算定                    | PS検層による $V_p, V_s$ により算定                    | ボーリングコア試料から採取した供試体の繰返し三軸試験 (変形特性) |                        |
| 中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )     |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )     |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )     |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )     |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 上部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>4</sub> ) |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 中部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>3</sub> ) |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 火山礫凝灰岩 (Sn <sub>2</sub> )    |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
| 下部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>1</sub> ) |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |
|                              |                         |                           |               |                 |                                             |                                             |                                   |                        |

# 4. 地盤分類

## (3) 地盤材料試験② (試験結果)

|                              | 物理特性                                                                                                                                           | 強度特性                                 |                                       | 静的変形特性                                  |                 | 動的変形特性                                    |                   |                                          |                                                       |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------|-------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                              | 湿潤密度<br>$\rho_t$<br>(g/cm <sup>3</sup> )                                                                                                       | ピーク強度<br>$C$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 残留強度<br>$C_r$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 初期変形係数<br>$E_0$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 静ポアソン比<br>$\nu$ | 動せん断弾性係数<br>$G_0$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 動ポアソン比<br>$\nu_d$ | 正規化せん断弾性係数のひずみ依存性<br>$G/G_0 \sim \gamma$ | 減衰率のひずみ依存性<br>$h \sim \gamma$                         |
| 盛土・埋土 (bk)                   | 1.75                                                                                                                                           | 0.035                                | 0.033                                 | 16.4                                    | 0.19            | 50.6                                      | 0.49              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.000495)^{0.860}}$  | $\frac{\gamma}{6.06 \cdot \gamma + 0.00455} + 0.0259$ |
| ローム (Lm)                     | 1.47                                                                                                                                           | 0.085                                | 0.084                                 | 21.8                                    | 0.21            | 231                                       | 0.46              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.000743)^{0.744}}$  | $\frac{\gamma}{12.3 \cdot \gamma + 0.00625} + 0.0226$ |
| 中位段丘堆積物 (M)                  | 1.79                                                                                                                                           | 0.073                                | 0.071                                 | 11.6                                    | 0.13            | 71.8                                      | 0.49              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.000463)^{0.796}}$  | $\frac{\gamma}{10.9 \cdot \gamma + 0.00270} + 0.0216$ |
| 上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> )  | 1.80                                                                                                                                           | 0.231                                | 0.213                                 | 29.1                                    | 0.19            | 227                                       | 0.48              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.00151)^{0.775}}$   | $\frac{\gamma}{14.2 \cdot \gamma + 0.00876} + 0.0165$ |
| 中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )     | 1.59                                                                                                                                           | 0.140                                | 0.116                                 | 26.3                                    | 0.09            | 256                                       | 0.47              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.00147)^{0.632}}$   | $\frac{\gamma}{13.0 \cdot \gamma + 0.0122} + 0.0404$  |
| 中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )     | 1.91                                                                                                                                           | 0.297                                | 0.233                                 | 13.4                                    | 0.19            | 284                                       | 0.47              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.00105)^{0.730}}$   | $\frac{\gamma}{14.5 \cdot \gamma + 0.00549} + 0.0252$ |
| 下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )     | 1.92                                                                                                                                           | 0.621                                | 0.551                                 | 172                                     | 0.11            | 376                                       | 0.45              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.000819)^{0.814}}$  | $\frac{\gamma}{12.3 \cdot \gamma + 0.00287} + 0.0094$ |
| 下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )     | 1.69                                                                                                                                           | 0.277                                | 0.184                                 | 106                                     | 0.20            | 333                                       | 0.46              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.00594)^{0.448}}$   | $\frac{\gamma}{24.6 \cdot \gamma + 0.00273} + 0.0116$ |
| 上部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>4</sub> ) | 1.82                                                                                                                                           | 0.319-0.0127・Z                       | 0.320-0.0114・Z                        | 104-4.91・Z                              | 0.15            | 326-5.11・Z                                | 0.45              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.00173)^{0.809}}$   | $\frac{\gamma}{11.7 \cdot \gamma + 0.00784} + 0.0237$ |
| 中部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>3</sub> ) | 1.83                                                                                                                                           | 0.728-0.00289・Z                      | 0.741-0.00239・Z                       | 386                                     | 0.15            | 288-4.54・Z                                | 0.44              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.00228)^{0.957}}$   | $\frac{\gamma}{5.46 \cdot \gamma + 0.0205} + 0.0177$  |
| 火山礫凝灰岩 (Sn <sub>2</sub> )    | 2.01                                                                                                                                           | 1.34                                 | 1.24                                  | 422                                     | 0.19            | 1,230                                     | 0.41              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.00180)^{0.801}}$   | $\frac{\gamma}{6.45 \cdot \gamma + 0.0236} + 0.0229$  |
| 下部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>1</sub> ) | 1.77                                                                                                                                           | 1.12                                 | 1.04                                  | 606                                     | 0.14            | 172-3.77・Z                                | 0.42              | $\frac{1}{1+(\gamma/0.00271)^{0.956}}$   | $\frac{\gamma}{6.27 \cdot \gamma + 0.0232} + 0.0118$  |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Zは標高(m)を示す。</li> <li>・ 強度特性 (ピーク強度・残留強度) は右図により設定する。ただし、残留強度の場合は C を C<sub>r</sub> に置き換える。</li> </ul> |                                      |                                       |                                         |                 |                                           |                   |                                          |                                                       |

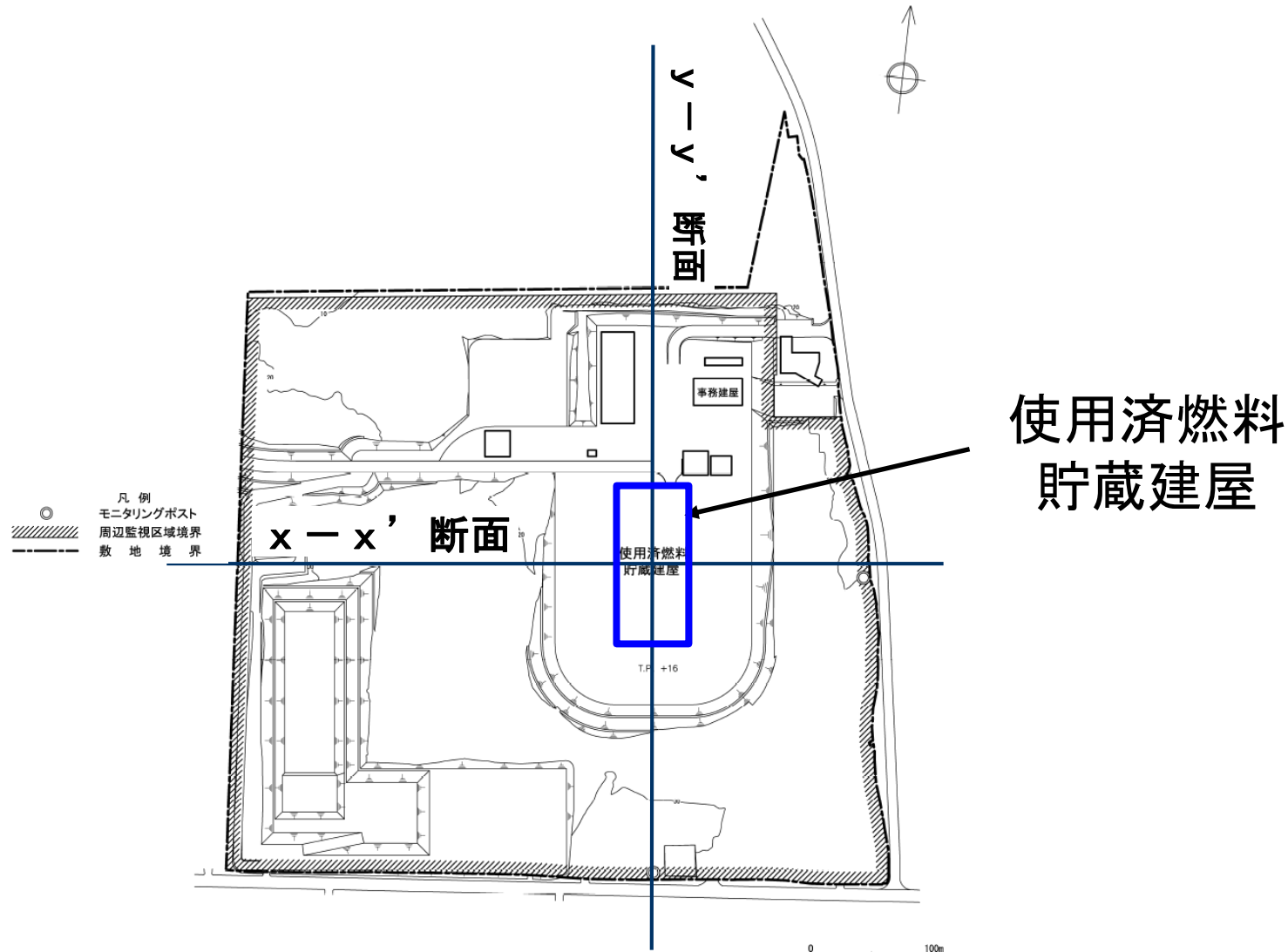
# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (1) 検討対象断面の設定

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P18 再掲

- 使用済燃料貯蔵建屋の建屋直交断面を解析対象断面として選定した。



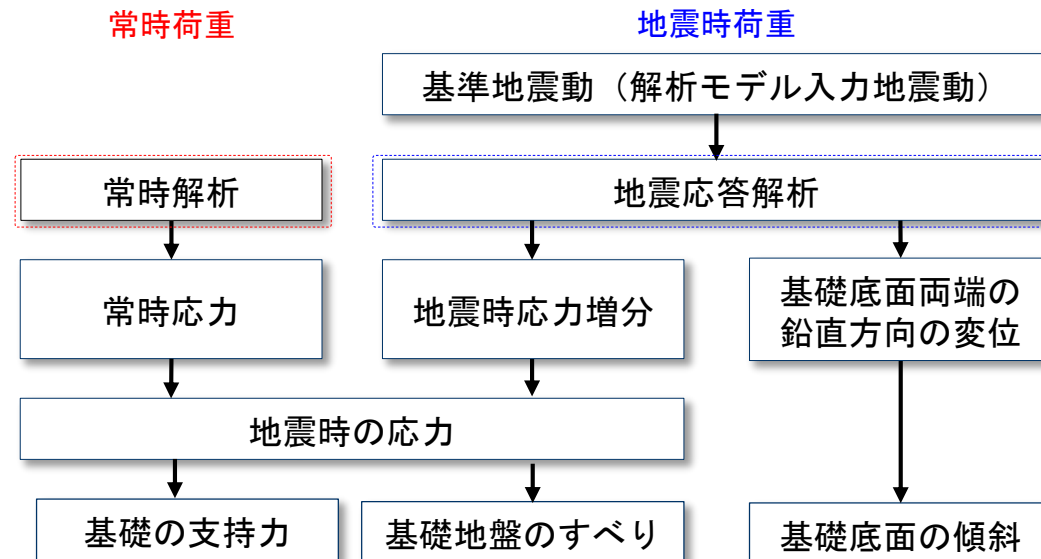
使用済燃料  
貯蔵建屋

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P19 再掲

## (2) 安定性評価フロー

- 使用済燃料貯蔵建屋の基礎地盤の安定性は、二次元有限要素法に基づく地震応答解析（周波数応答解析）により評価を実施した。
- 地震応答解析は、水平および鉛直地震動を同時に入力した。
- 地盤は、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を必要に応じて考慮した。また、初期の動せん断弾性係数及び動ポアソン比からあらかじめ体積弾性係数を求めておき、動せん断弾性係数が変動しても体積弾性係数は初期値一定として解析を実施した。
- 常時解析は、自重によって発生する地盤内の初期応力の算定を行った。建屋基礎掘削に伴う解放力及び建屋の荷重を考慮した。



### 安定性評価フロー

## 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

### (3) 評価項目

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P20 再掲

#### ■基礎地盤のすべり

基礎地盤のすべり安全率が評価基準値以上であることを確認する。

#### ■基礎の支持力

基礎地盤は接地圧に対して十分な支持力を有していることを確認する。

#### ■基礎底面の傾斜

基礎底面の傾斜は評価基準値の目安である1/2,000※を下回ることを確認する。

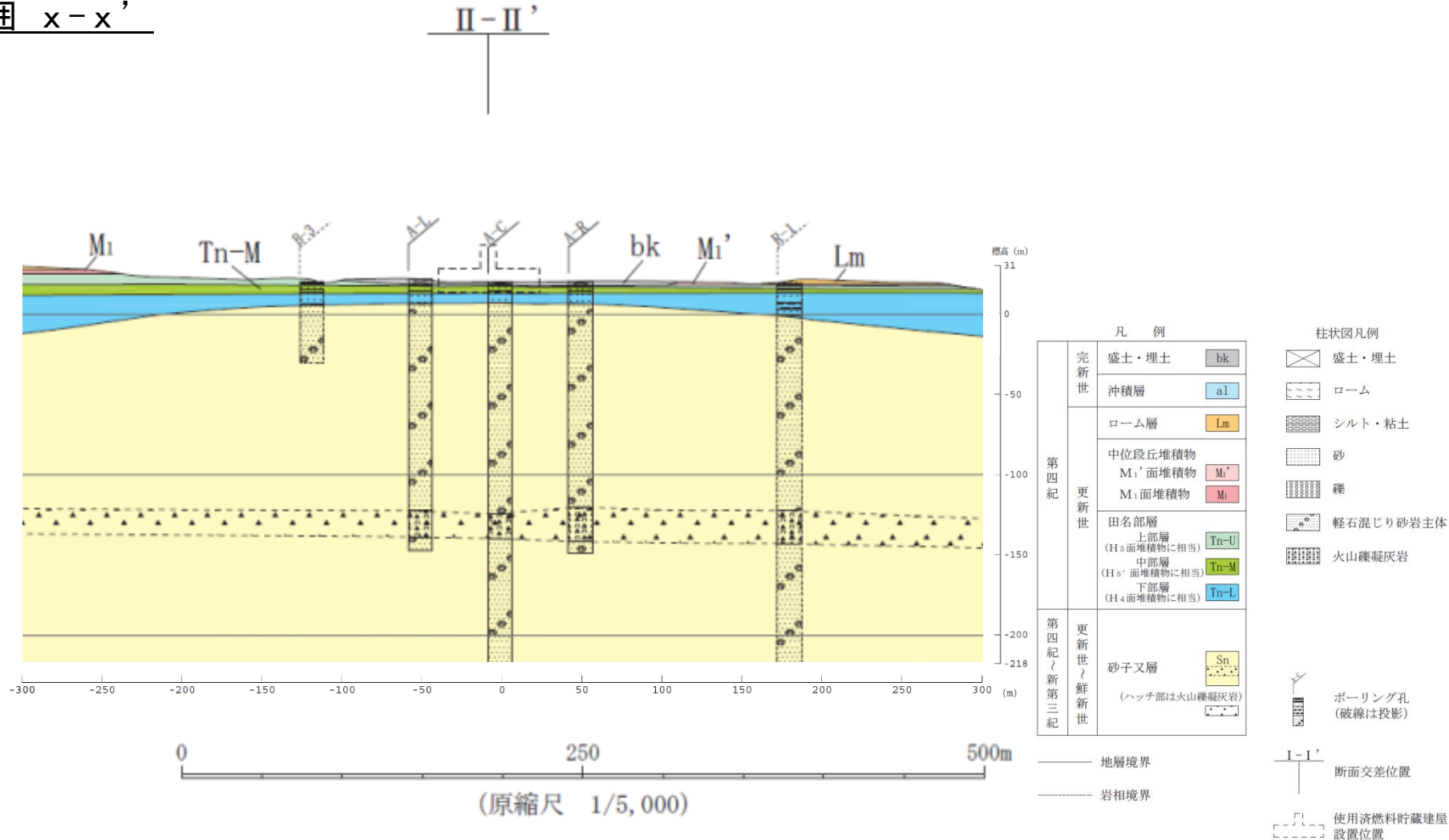
※ 審査ガイドでは、一般建築物の構造的な障害が発生する限界として、1/2,000以下（目安値）が示されている。

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (4) 解析モデル (モデル範囲) x-x'

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P21 再掲

モデル範囲 x-x'



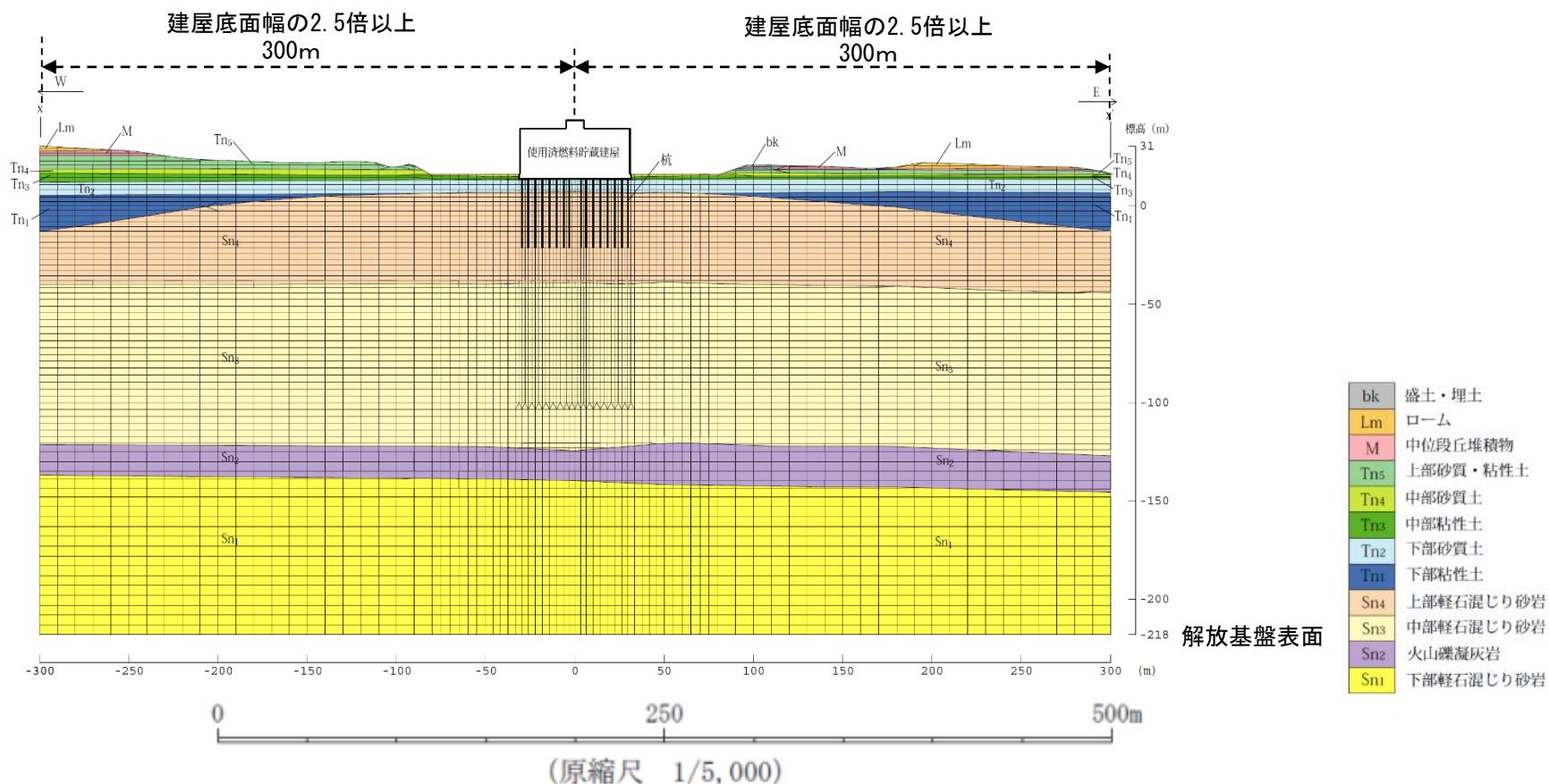
# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (4) 解析モデル (モデル領域) x-x'

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P22 再掲

モデル領域 (要素分割図) 使用済燃料貯蔵建屋 x-x'



【原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008 (日本電気協会)】<sup>1)</sup>

- ・動的解析用モデル下端の深さは、一般に建屋底面幅の1.5~2倍とする。
- ・動的解析用モデルの側方境界は建屋の振動方向にそれぞれ建屋幅の2.5倍以上離れた点に設ければよい。

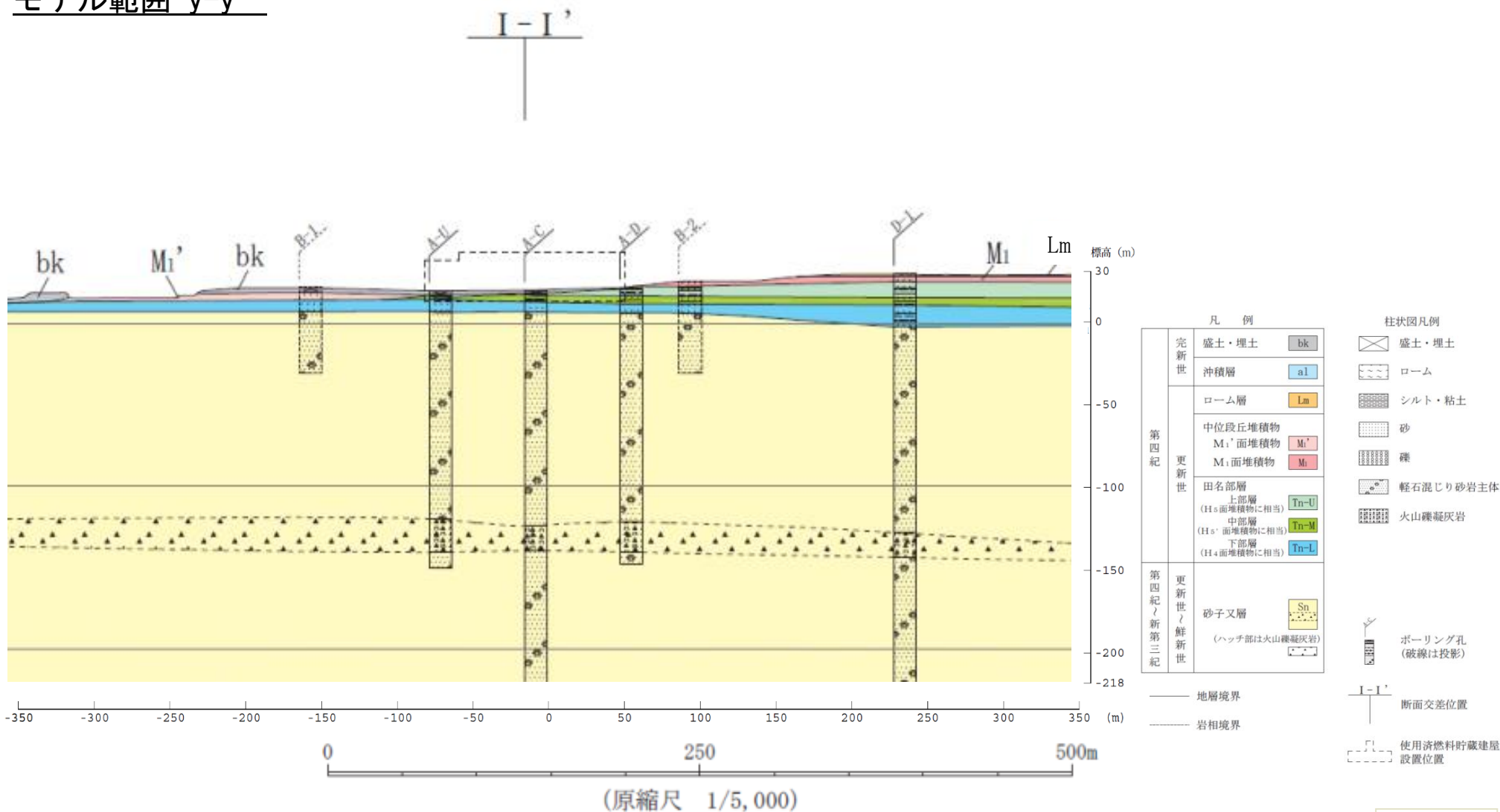
# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (4) 解析モデル (モデル範囲) $y-y'$

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P23 再掲

モデル範囲  $y-y'$



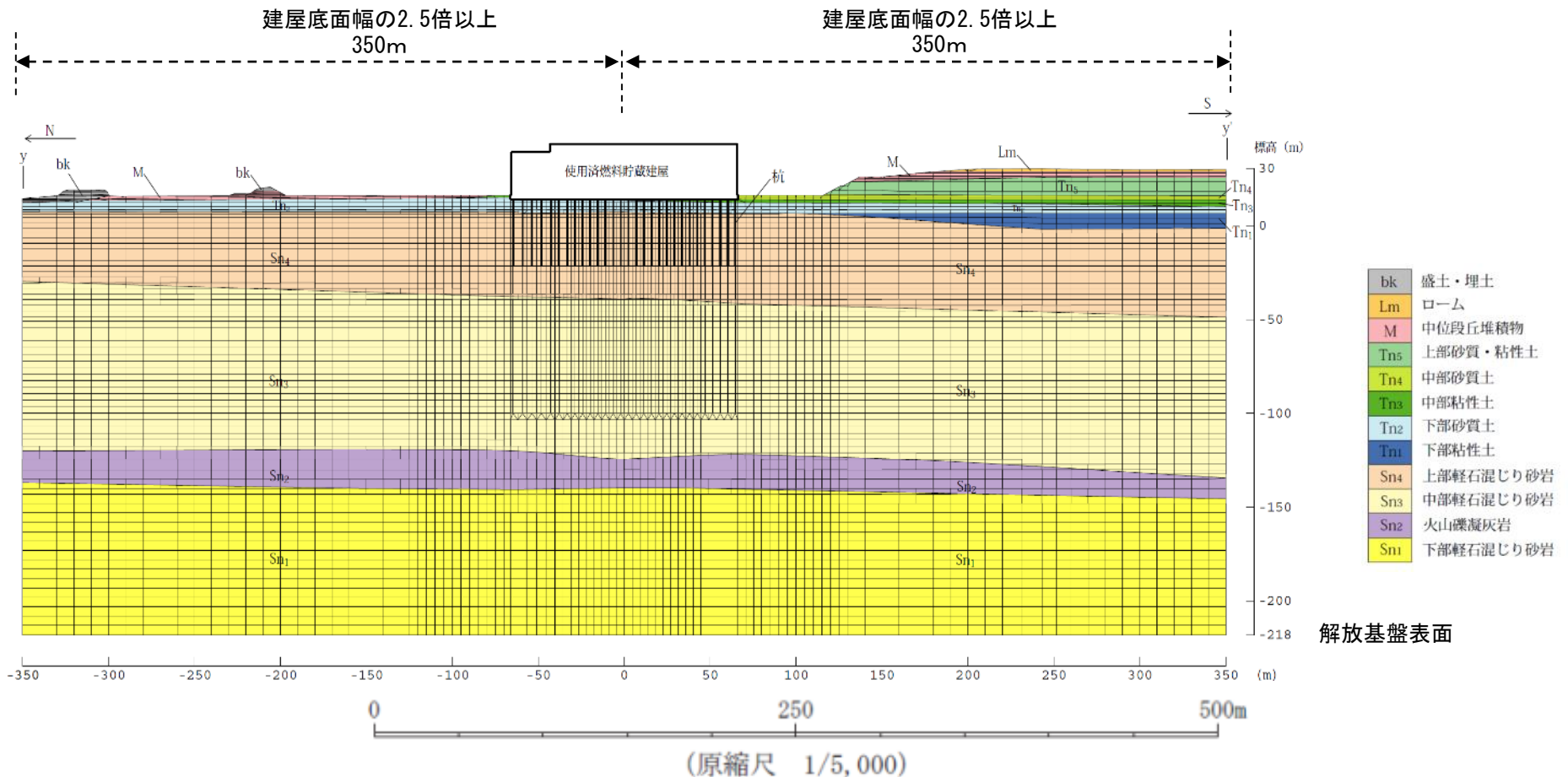


# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (4) 解析モデル (モデル領域) $y-y'$

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P24 再掲

モデル領域 (要素分割図) 使用済燃料貯蔵建屋  $y-y'$



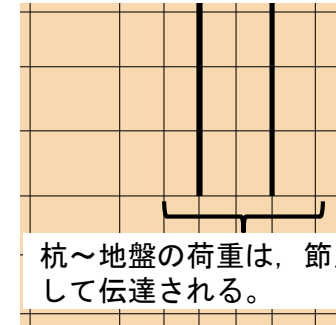
# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (4) 解析モデル（杭のモデル化）

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P25 再掲

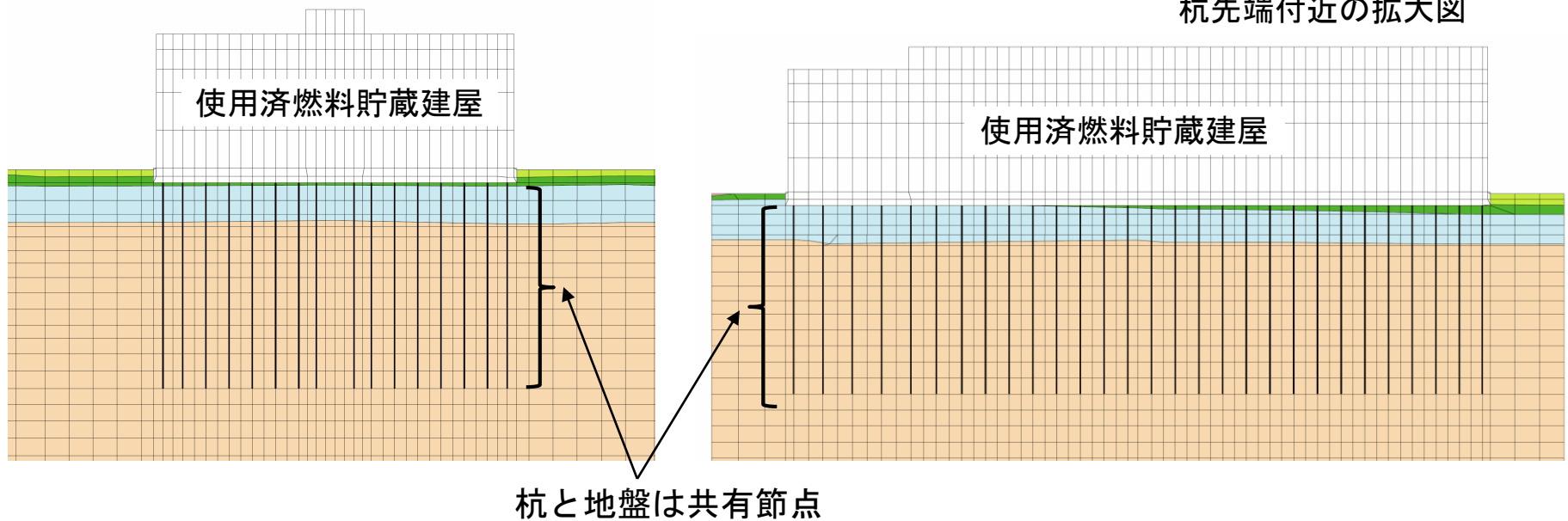
### 杭のモデル化

- 杭は、ビーム要素でモデル化している。



杭～地盤の荷重は、節点を通して伝達される。

杭先端付近の拡大図



杭と地盤は共有節点

要素分割図 (x - x' 断面 建屋一杭周辺)

要素分割図 (y - y' 断面 建屋一杭周辺)

## 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

### (4) 解析モデル (要素高さ)

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P26 再掲

#### 地盤要素のモデル化

- 地盤は、平面ひずみ要素でモデル化し、要素の最大高さ ( $H_{\max}$ ) は、応力の変化をなめらかに表現でき、地震波の伝播を十分に考慮できるような下式により算定した。

$$H_{\max} = \frac{1}{m} \cdot \lambda_s = \frac{1}{m} \cdot \frac{V_s}{f_{\max}}$$

$\lambda_s$ : せん断波の波長(m)

$V_s$ : せん断波の速度(m/s)

$f_{\max}$ : 考慮する地震動の最大周波数(20Hz)

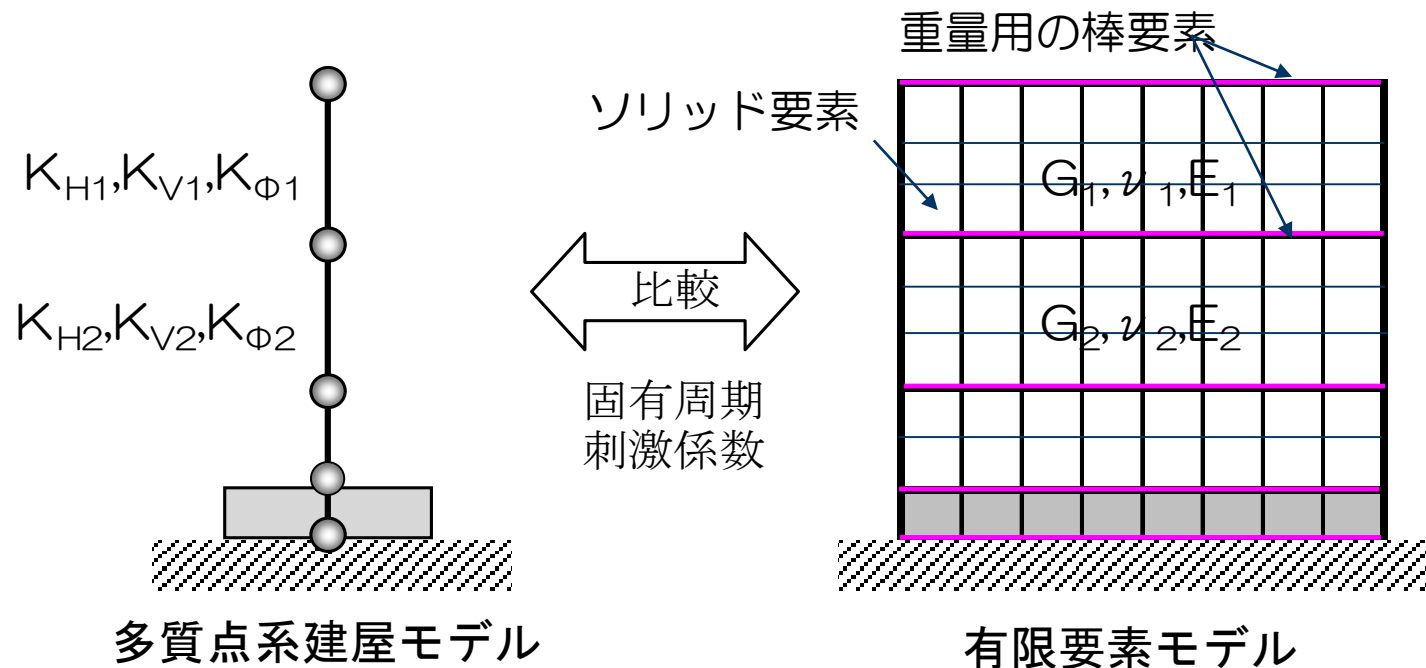
$m$ : 分割係数(=5とした)

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (4) 解析モデル（建屋モデル化）

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P27 再掲

- モデル化にあたっては、水平及び鉛直地震動の同時入力に対応したモデル化を実施した。
- モデル化にあたっては、多質点系建屋モデルから建屋各層の水平剛性 $K_H$ 、鉛直剛性 $K_V$ 及び曲げ剛性 $K_\phi$ を用いて、せん断剛性 $G$ 、変形係数 $\nu$ 及びポアソン比を求め、等価な有限要素モデルを作成した。



# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

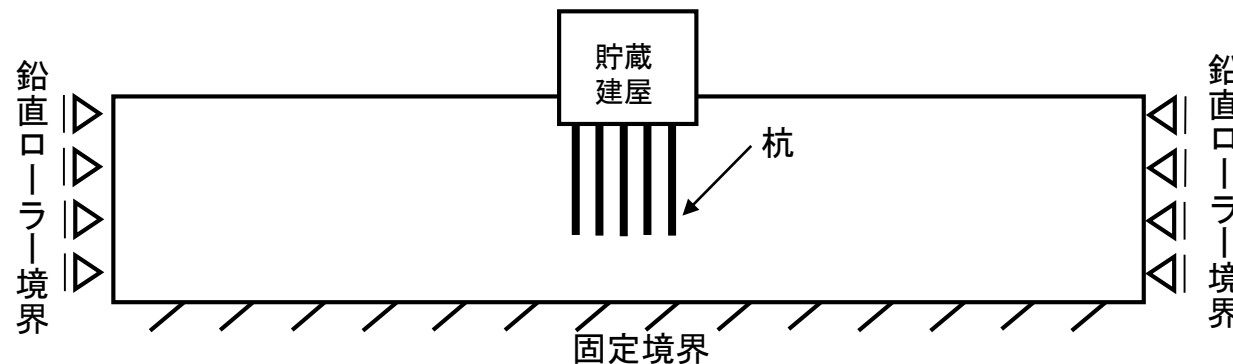
審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P28 再掲

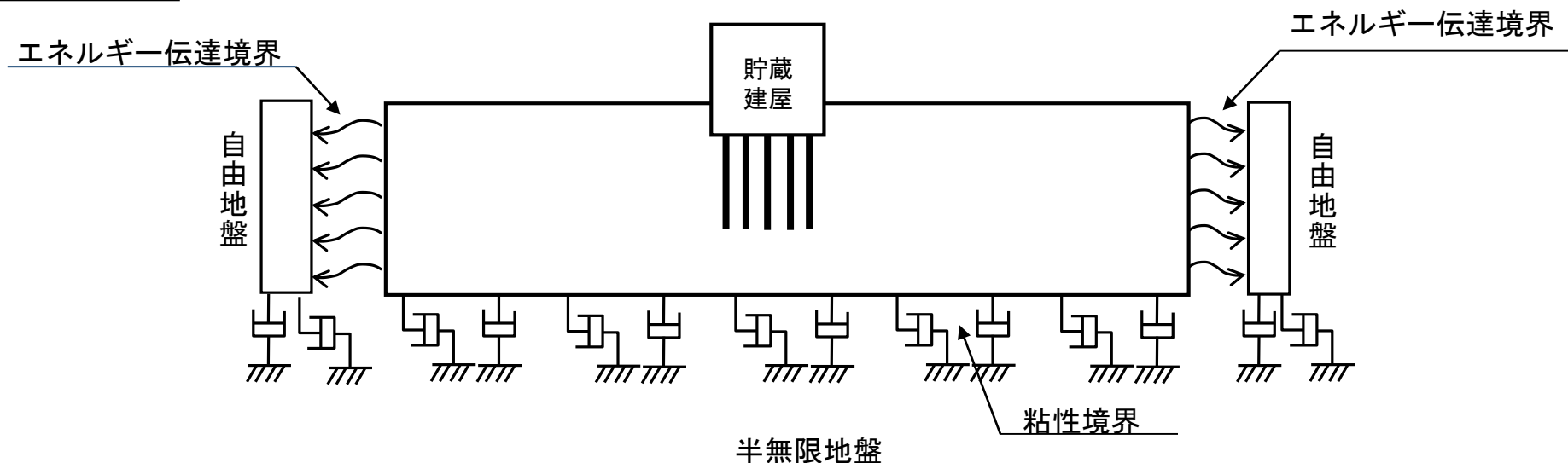
## (4) 解析モデル (境界条件, 地下水位)

- 静的解析時の境界条件は、底面を固定境界、側方を鉛直ローラー境界として設定した。
- 地震応答解析時の境界条件は、底面を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界とし、エネルギー逸散を考慮した。

### 静的解析



### 地震応答解析



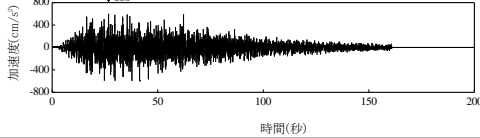
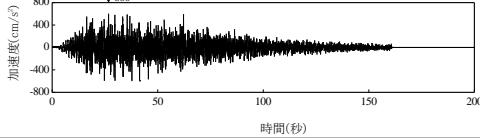
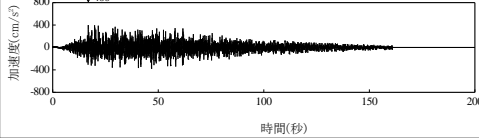




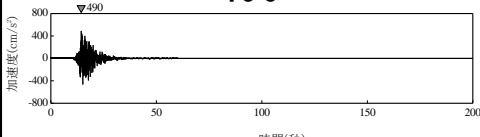



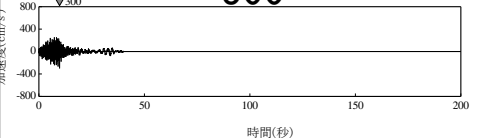
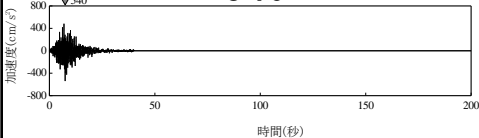


- 地下水位は、地表面に設定した。

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (5) 入力地震動

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P29 再掲

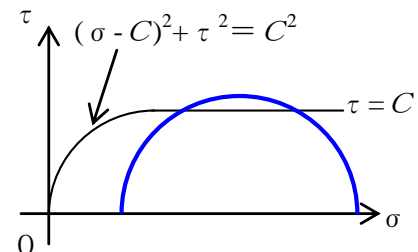
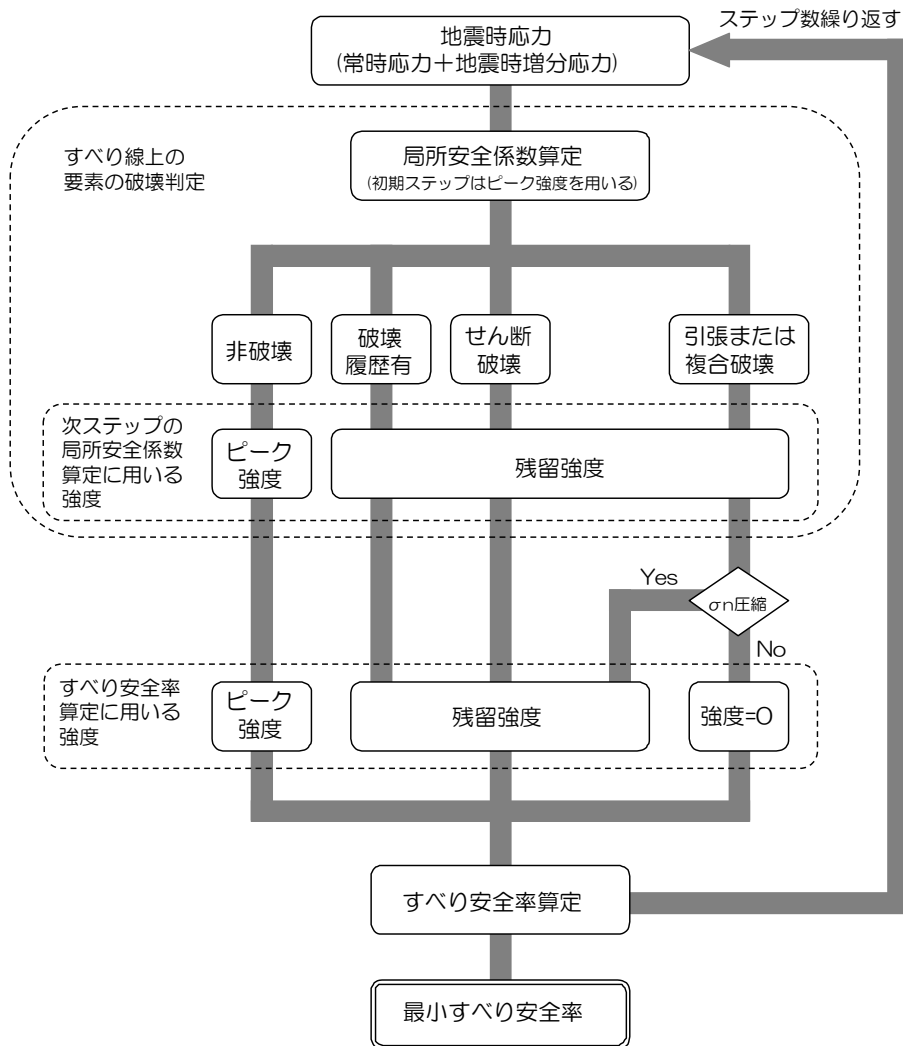
| 基準地震動 |                              | 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )                                                                 |                                                                                              |                                                                                             |
|-------|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                              | 水平方向 1                                                                                     | 水平方向 2                                                                                       | 鉛直方向                                                                                        |
| Ss-A  | 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動 | 600<br>  | 600<br>    | 400<br>  |
| Ss-B1 | 2004年北海道留萌支庁南部地震 (K-NET港町)   | 620<br>  | 620<br>    | 320<br>  |
| Ss-B2 | 2008年岩手・宮城内陸地震 (栗駒ダム右岸地山)    | 450<br>   | 490<br>   | 320<br>  |
| Ss-B3 | 2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net金ヶ崎)  | 430<br>  | 400<br>  | 300<br> |
| Ss-B4 | 2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net一関東)  | 540<br> | 500<br> | —<br>  |

- ・入力地震については、解析モデルの下端が解放基盤表面であるため、直接入力した。
- ・入力地震動は水平及び鉛直地震動の位相反転を考慮した。

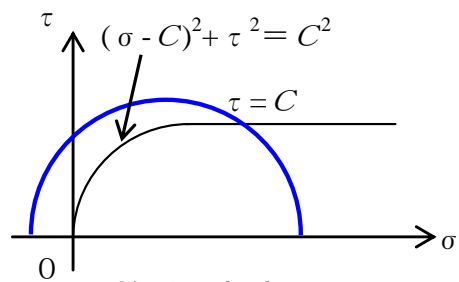
# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (6) すべり安全率算定時の地盤強度の考え方

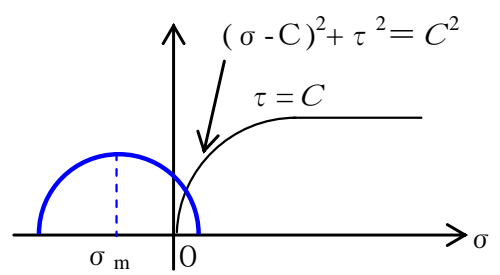
審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P30 再掲



せん断破壊



複合破壊



引張破壊 (σ<sub>m</sub> < 0)

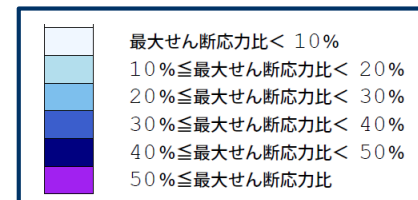
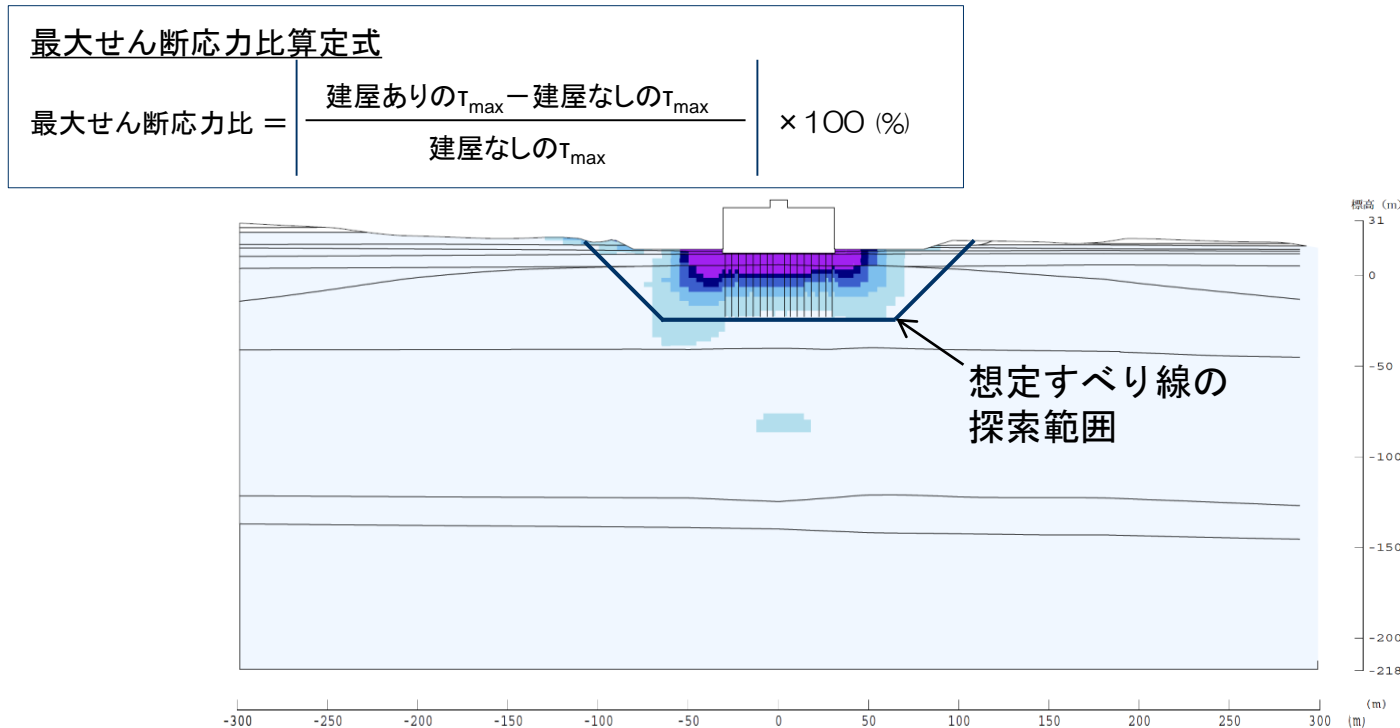
すべり安全率算定時の破壊の考え方

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (7) 影響範囲の検討① (x-x' 断面)

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P31 再掲

- 建屋がある場合とない場合の動的解析を行い、両者の解析によって得られる応力変動「最大せん断応力比」を指標として比較することにより、建屋の影響を受ける範囲を検討した (土木学会, 2009) <sup>2)</sup>。
- その結果、建屋の影響を受ける範囲は、杭を含む建屋直下近傍に限定される。
- これを踏まえ、想定すべり線を探索する範囲は、杭先端を通り建屋の影響で応力が変動する領域を概ね包含している範囲とした。



建屋影響範囲 x-x' 断面 (Ss-B1 (+, +) ※1)

※1 基準地震動Ssのうち、水平加速度が最も大きい基準地震動Ss-B1のケース。(+, +)は、位相反転なしを示す。



# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (7) 影響範囲の検討② (y-y' 断面)

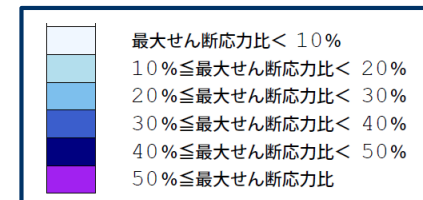
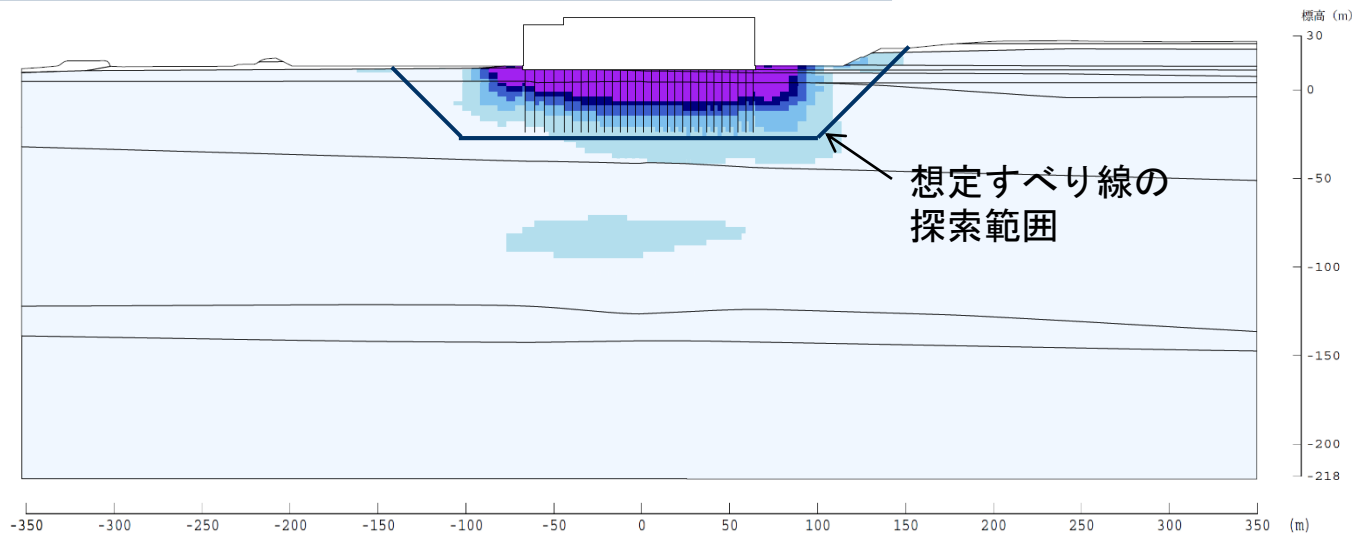
審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P32 再掲

- y-y' 断面についても、同様に建屋の影響を受ける範囲を検討した。
- その結果、y-y' 断面についても、建屋の影響を受ける範囲は、杭を含む建屋直下近傍に限定される。
- これを踏まえ、y-y' 断面についても、想定すべり線を探査する範囲は、杭先端を通り建屋の影響で応力が変動する領域を概ね包含している範囲とした。

### 最大せん断応力比算定式

$$\text{最大せん断応力比} = \frac{\text{建屋ありの}\tau_{\max} - \text{建屋なしの}\tau_{\max}}{\text{建屋なしの}\tau_{\max}} \times 100 (\%)$$



### 建屋影響範囲 y-y' 断面 (Ss-B1 (-, +) ※1)

※1 基準地震動Ssのうち、水平加速度が最も大きい基準地震動Ss-B1のケース。(-, +)は、水平反転を示す。

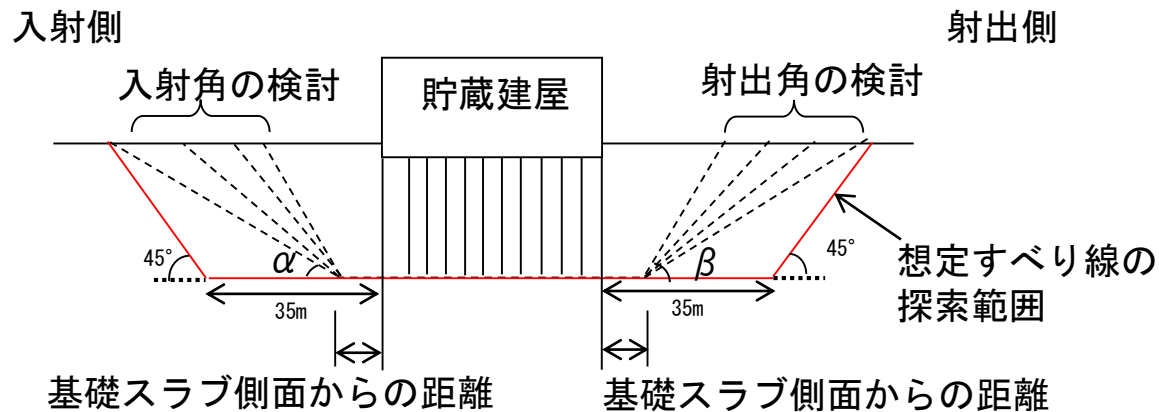
# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (8) 想定すべり線の設定

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P33 再掲

- ▶ 影響範囲の検討を踏まえ、杭先端から左右方向に杭長と同じ35m程度及びその端部から立ち上がり45度の斜面で囲まれた範囲を想定すべり線の探索範囲として、建屋側面から地表面へ、入射角 $\alpha$ 、射出角 $\beta$ を5度刻み（最大で85度）で検討する。これを基礎スラブ側面から距離を0, 10, 20, 30, 35mだけ離れた位置で繰り返し行う。

### 【想定すべり線の探索ケース】



### 【想定すべり線の形状】

| 基礎スラブ側面から距離 (m) | 入射角 $\alpha$ ※ (度) | 射出角 $\beta$ ※ (度) |
|-----------------|--------------------|-------------------|
| 0               | 30~85              | 30~85             |
| 10              | 35~85              | 35~85             |
| 20              | 40~85              | 40~85             |
| 30              | 45~85              | 45~85             |
| 35              | 45~85              | 45~85             |

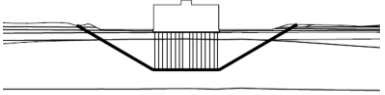
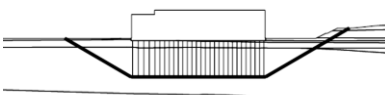
※5度刻み

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (9) 想定すべり線におけるすべり安全率の算定結果

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P34 再掲

- 基準地震動Ssを入力した結果、最小すべり安全率は  $y-y'$  断面における2.0である。

| 評価対象                       | 想定すべり線形状の<br>パターン<br>(建屋付近拡大図)                                                    | すべり安全率               |                             |                      |                      |                      |                      |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                            |                                                                                   | Ss-A                 | Ss-B1                       | Ss-B2<br>(水平<br>方向1) | Ss-B2<br>(水平<br>方向2) | Ss-B3<br>(水平<br>方向1) | Ss-B3<br>(水平<br>方向2) |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>$x-x'$ 断面 |  | 2.6(-, -)<br>[41.67] | <u>2.4</u> (+, +)<br>[7.99] | 8.1(+, +)<br>[14.40] | 4.5(-, +)<br>[14.77] | 5.2(+, +)<br>[11.25] | 4.4(-, +)<br>[11.17] |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>$y-y'$ 断面 |  | 2.1(+, -)<br>[41.68] | <u>2.0</u> (-, +)<br>[8.00] | 6.1(-, +)<br>[14.40] | 3.6(+, +)<br>[14.77] | 4.1(+, +)<br>[11.26] | 3.5(+, +)<br>[11.17] |

※ 下線は、各断面のすべり安全率の最小値を示す。

※ Ssに記載の、(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻(秒)を示す。

※ すべり安全率の算定には、安全側に盛土・埋土 (bk) , ローム層 (Lm) , 中位段丘堆積物 (M) の強度は無視する。






# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (10) 想定すべり線底面の検討

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P35 再掲

- 影響範囲の検討において、想定すべり線探索範囲下端より若干深部まで建屋影響が及んでいる (P31, 32) ことから、すべり安全率最小の  $y - y'$  断面を対象にすべり線底面のパラメータスタディーを実施した。
- 結果として杭先端を通るすべり線のすべり安全率が最も小さくなり、設定してる想定すべり線の妥当性を確認した。

| 評価対象断面<br>及び地震動                  | 想定すべり線形状のパターン<br>(建屋付近拡大図)                                                                         | すべり安全率           |
|----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| $y - y'$ 断面<br>【Ss-B1 (-, +) ※1】 | <br>—— 杭先端       | 2.0<br>[8.00] ※2 |
|                                  | <br>—— 杭先端-10m   | 2.3<br>[8.02] ※2 |
|                                  | <br>—— 杭先端-20m   | 2.9<br>[8.03] ※2 |
|                                  | <br>—— 杭先端-40m   | 4.7<br>[8.04] ※2 |
|                                  | <br>—— 杭先端-60m | 9.4<br>[8.12] ※2 |

※1 すべり安全率が最小となる基準地震動Ss-B1を入力地震動としたケース。(-, +)は、水平反転を示す。

※2 [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

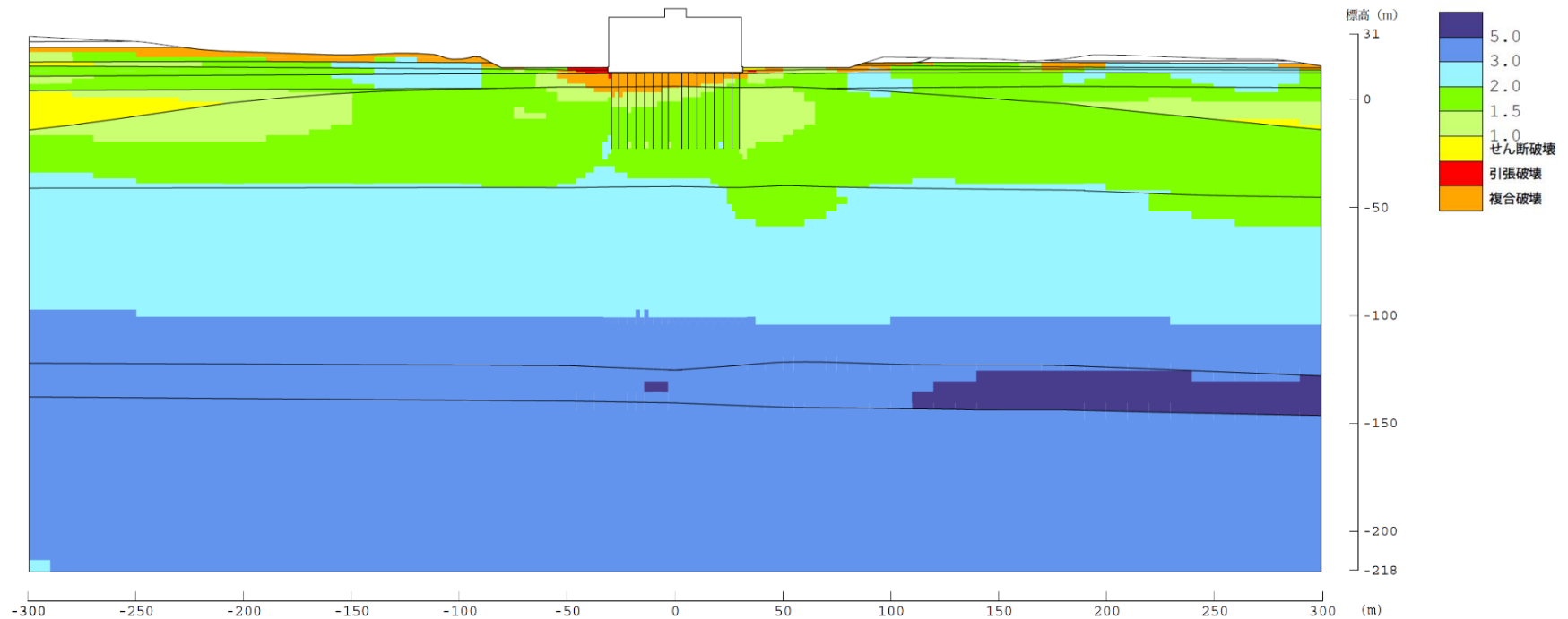
余白

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (11) 局所安全係数① (x-x' 断面)

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P37 再掲



※1 基準地震動Ss-B1の(+, +)は、位相反転なしを示す。

※2 [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

局所安全係数 (x-x' 断面 (Ss-B1(+, +)※1 [7.99] ※2) ) ※破壊履歴考慮

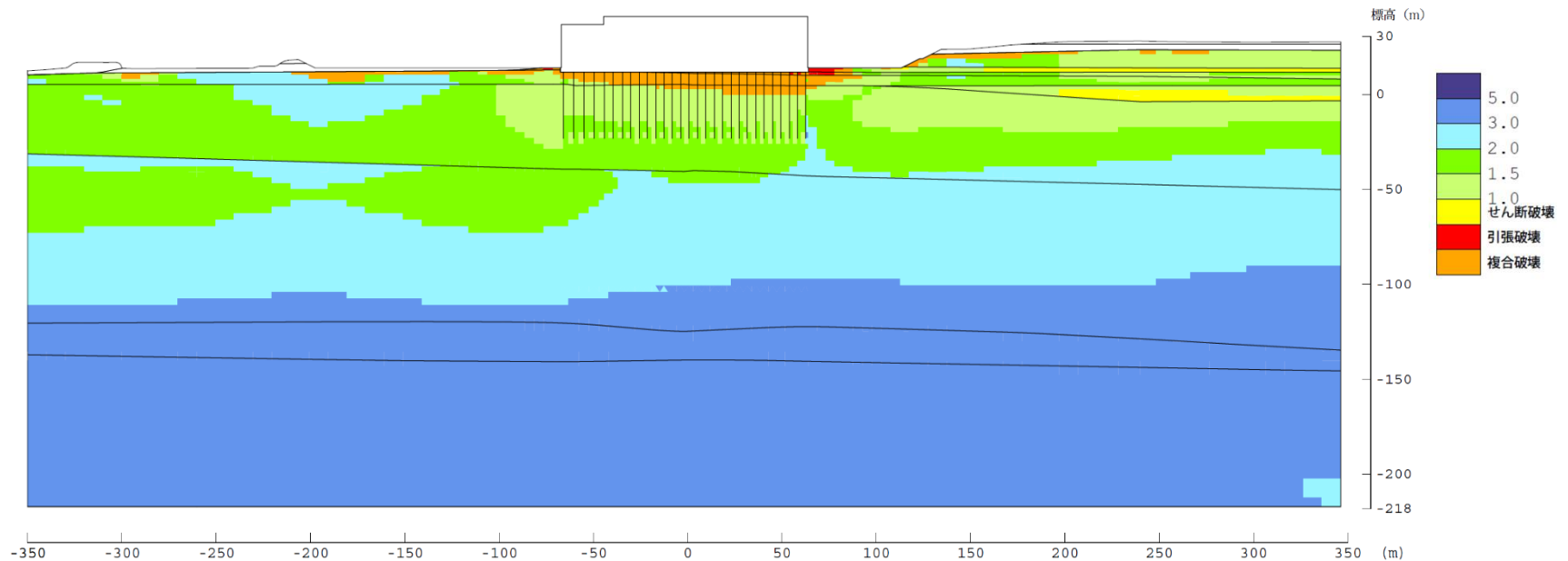
- 破壊している要素は、地表面を除いて、建屋直下近傍に限られる。
- また、深部になるほど局所安全係数が大きくなる傾向があり、前述した底面を通るすべり安全率の検討 (P35) と整合的である。

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (11) 局所安全係数② ( $y - y'$ 断面)

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P38 再掲



※1 基準地震動 $S_s-B1$ の(-, +)は, 水平反転を示す。

※2 [ ] は, 発生時刻 (秒) を示す。

局所安全係数 ( $y - y'$  断面 ( $S_s-B1$  (-, +) ※<sup>1</sup> [8.00] ※<sup>2</sup>) ) ※破壊履歴考慮

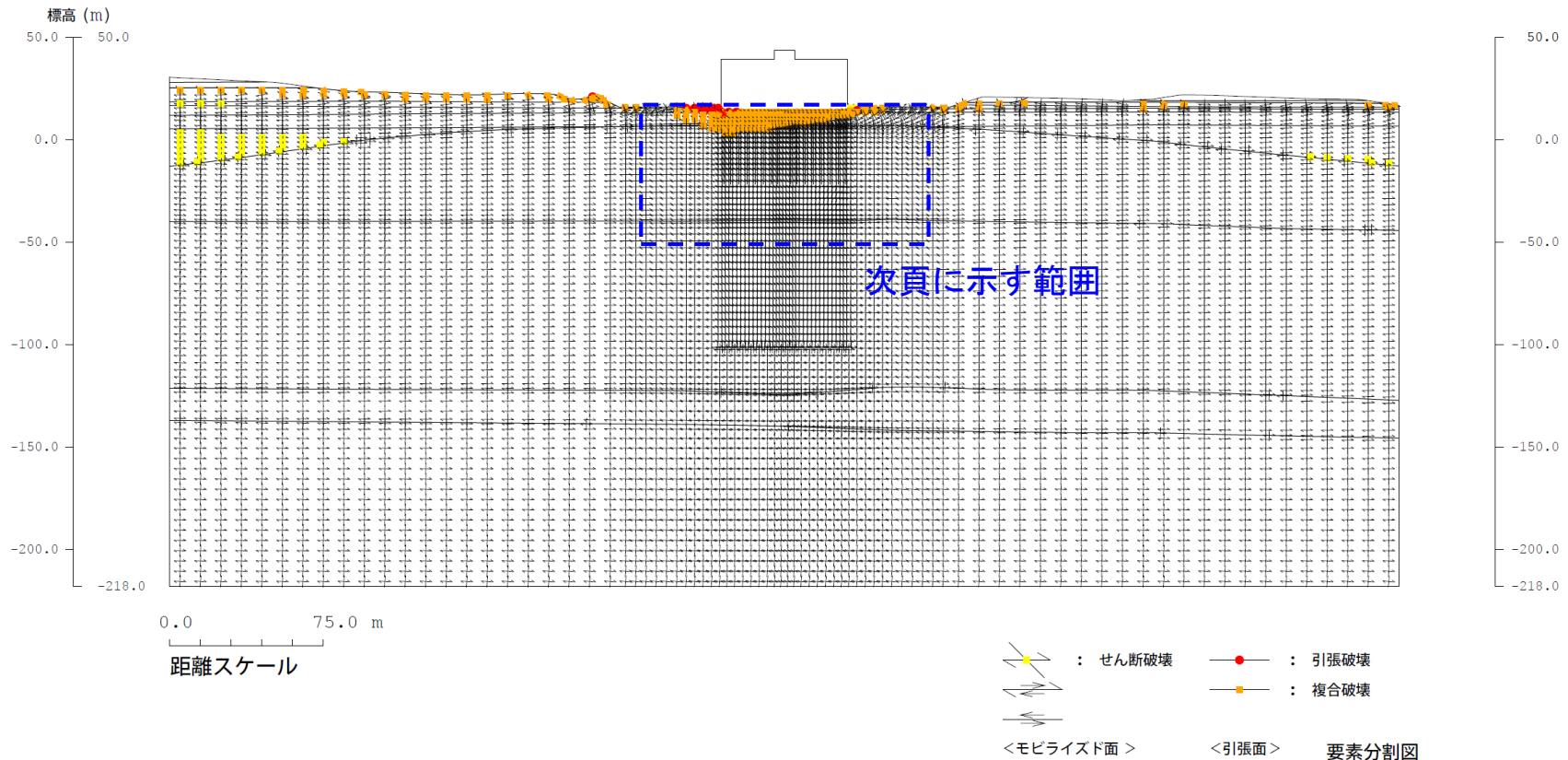
- $y - y'$  断面についても, 破壊している要素は, 地表面を除いて, 建屋直下近傍に限られる。
- $y - y'$  断面についても, 深部になるほど局所安全係数が大きくなる傾向があり, 前述した底面を通るすべり安全率の検討 (P35) と整合的である。

## 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (12) モビライズド面① (x-x' 断面)

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P39 再掲



※1 基準地震動Ss-B1の(+, +)は, 位相反転なしを示す。

※2 [ ] は, 発生時刻 (秒) を示す。

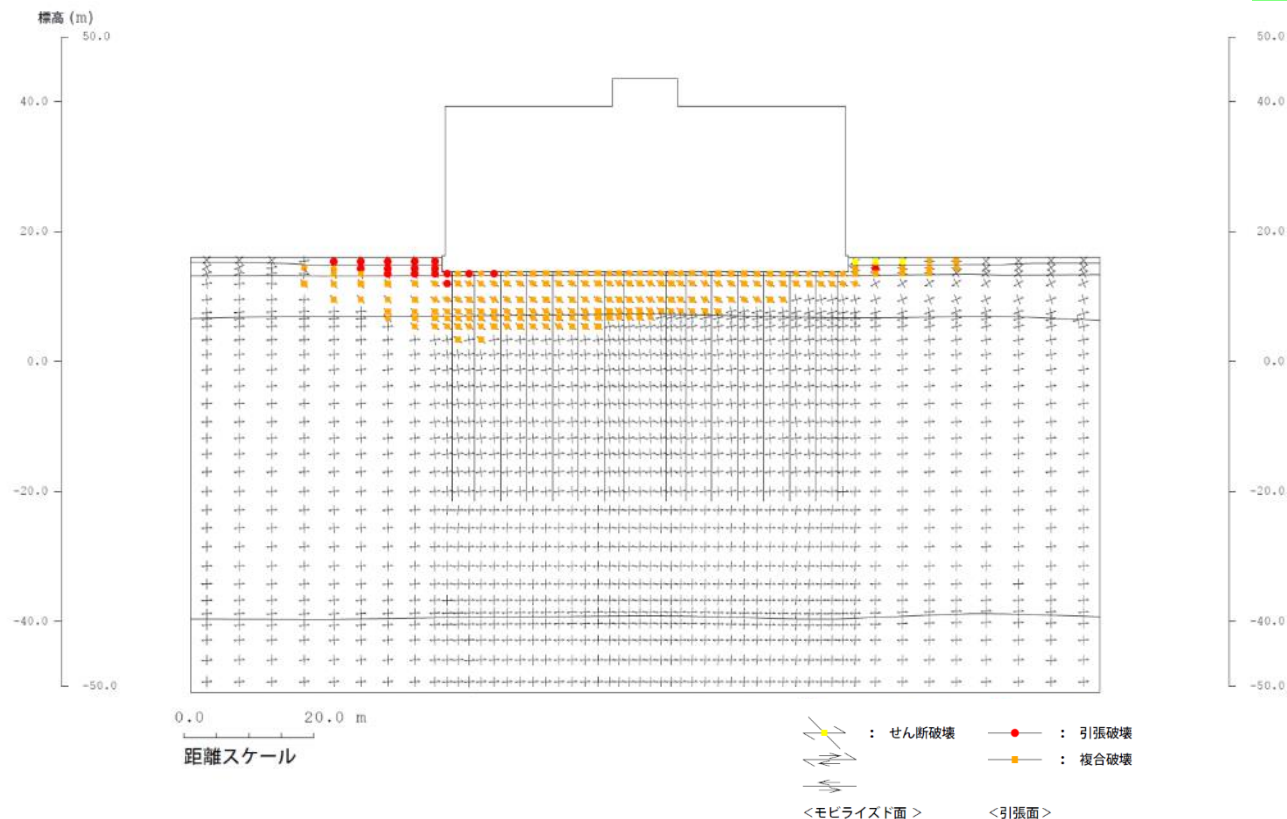
モビライズド面 (x-x' 断面 (Ss-B1 (+, +)<sup>※1</sup> [7.99]<sup>※2</sup>)) <sup>※破壊履歴考慮</sup>



## 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (12) モビライズド面① (x-x' 断面) 建屋付近拡大

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P40 再掲

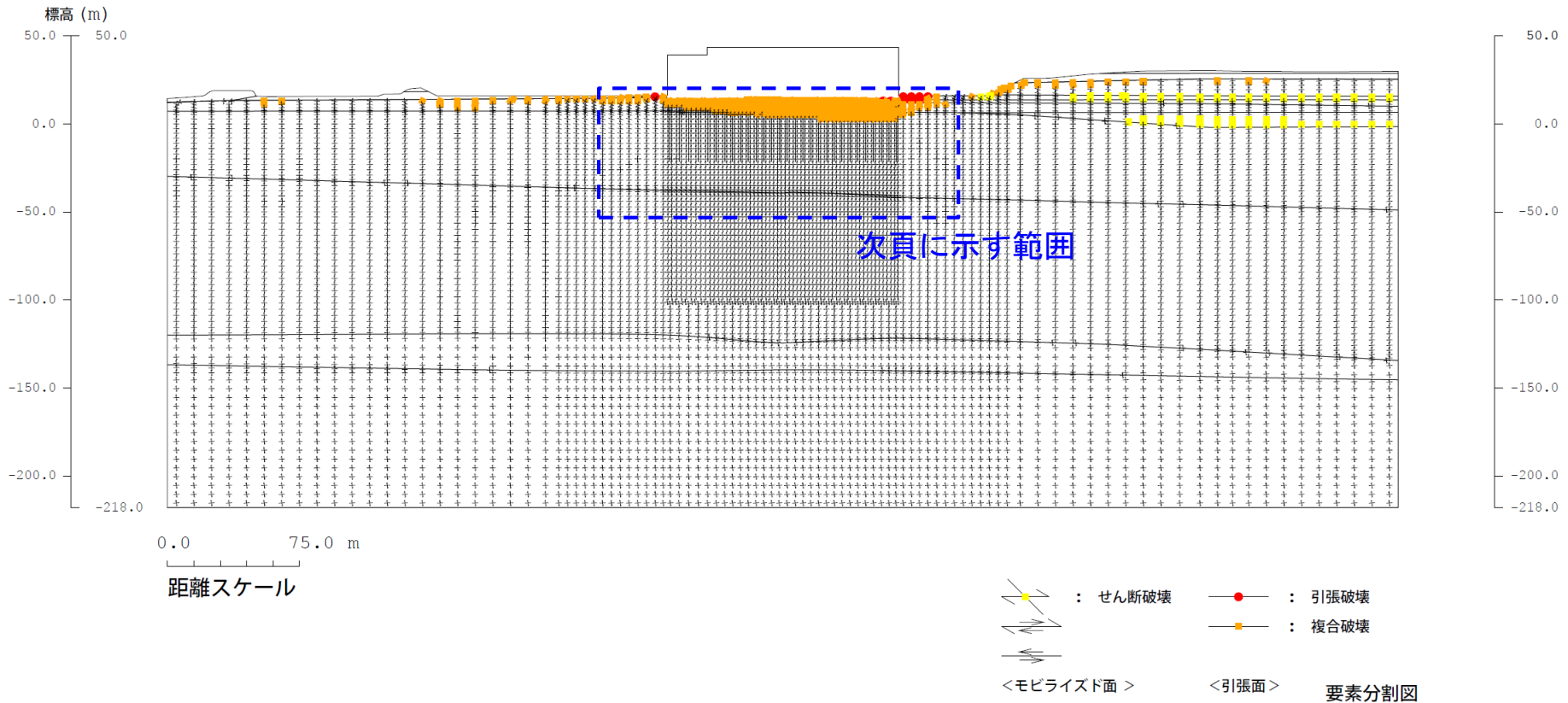


- モビライズド面の向きから，杭先端より下部では破壊の進展は水平または鉛直方向に限定される。
- 前述したように (P33)，すべり線は底面から地表面に抜けて斜めに立ち上がるように探索しており (現実的には生じない)，十分に保守的な評価を行っているといえる。

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (12) モビライズド面② (y-y' 断面)

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P41 再掲



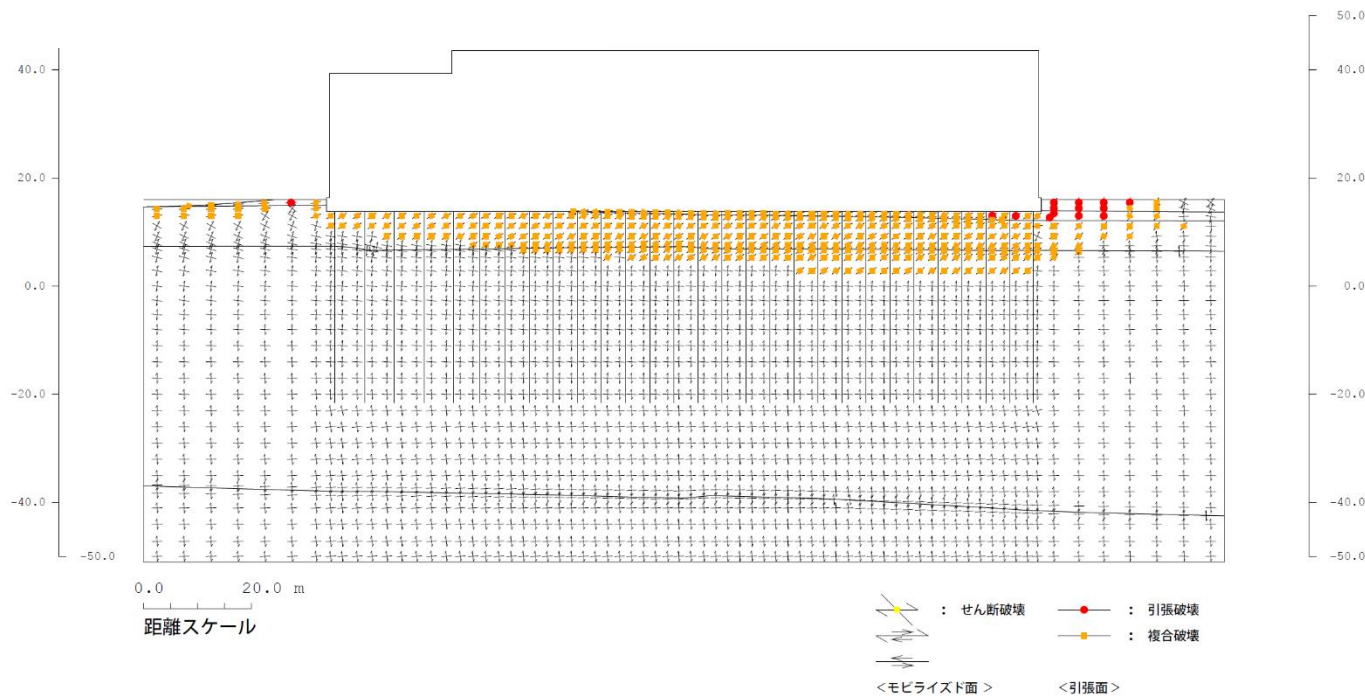
※1 基準地震動Ss-B1の(-, +)は、水平反転を示す。  
 ※2 [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

局所安全係数 (y-y' 断面 (Ss-B1 (-, +) ※1 [8.00] ※2) ) ※破壊履歴考慮

## 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (12) モビライズド面② (y-y' 断面) 建屋付近拡大

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P42 再掲



- y-y' 断面についても、モビライズド面の向きから、杭先端より下部では破壊の進展は水平または鉛直方向に限定される。
- y-y' 断面についても、x-x' 断面同様に十分に保守的な評価を行っているといえる。

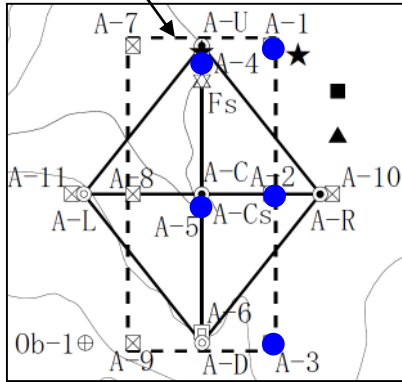
# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

## (13) 貯蔵建屋直下のN値①

審査会合 (R2. 2. 14)

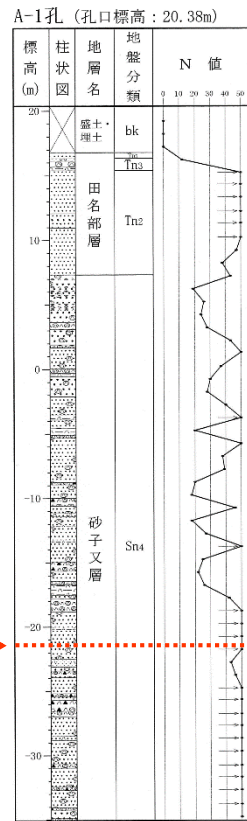
資料1-5 P43 再掲

使用済燃料  
貯蔵建屋範囲

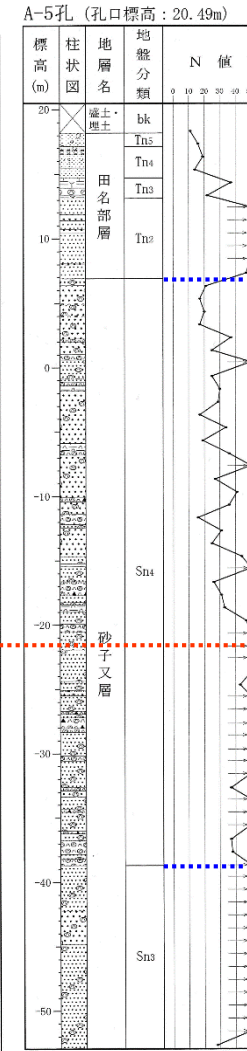
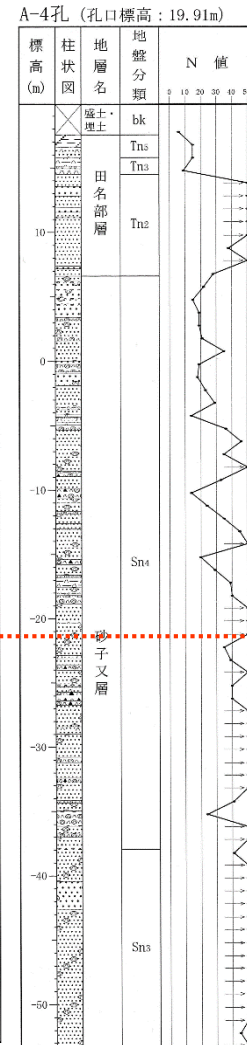
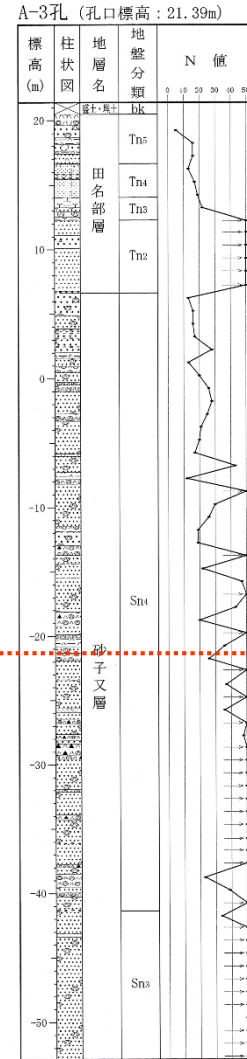
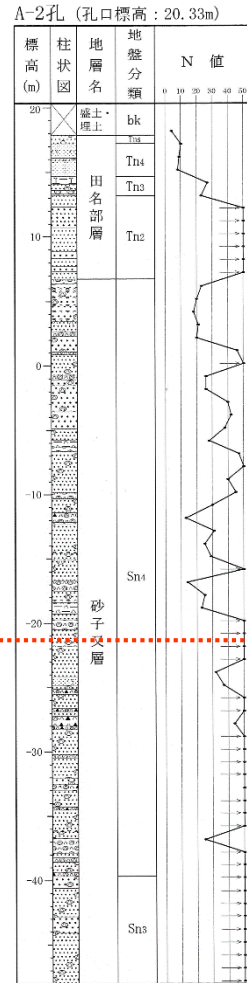


● 標準貫入試験実施位置

標高-21.5m杭先端 →



--- : N値50<



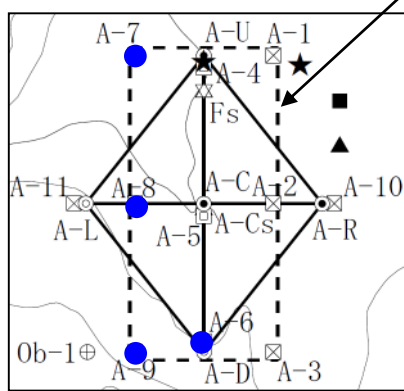
Sn<sub>4</sub>層の風化の程度

# 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P44 再掲

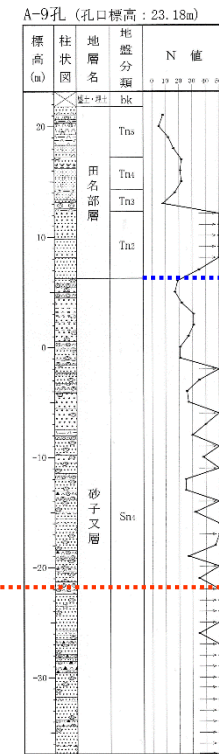
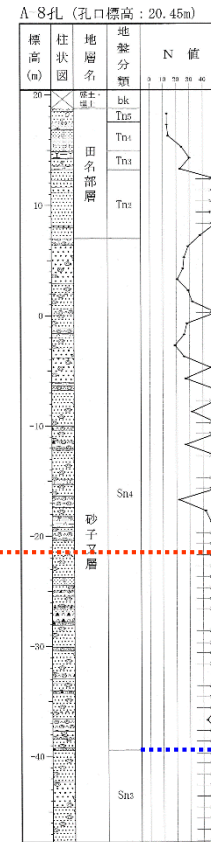
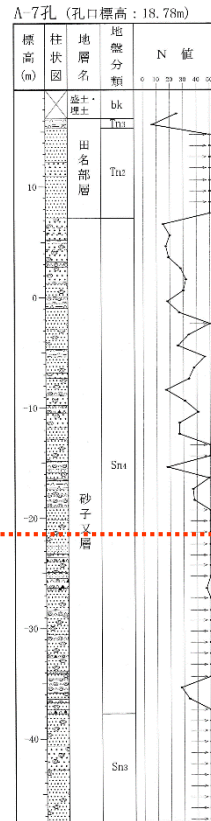
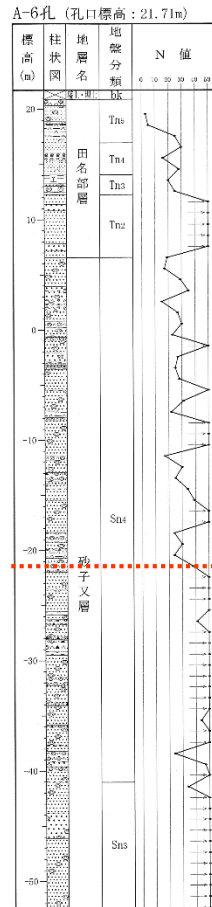
## (13) 貯蔵建屋直下のN値②

使用済燃料  
貯蔵建屋範囲



● 標準貫入試験実施位置

標高-21.5m杭先端



風化  
↑  
↓  
新鮮  
Sn<sub>4</sub>層の風化の程度

→ : N値50<

- 支持地盤であるSn<sub>4</sub>層のN値は、杭先端の上位で概ね20~50の範囲で変動しているのに対して、下位では概ね50以上が連続する。これは、地盤分類 (P14) における風化の程度と整合的である。
- また、Sn<sub>4</sub>層の杭先端より下位層は、強度特性としてはより深部のSn<sub>3</sub>層に近いものと推定される。

## 5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討

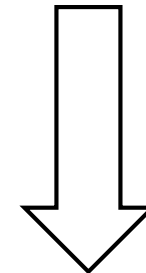
審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P45 再掲

### (14) まとめ

- 建屋を設置したことによる地盤への影響範囲は、杭を含む建屋直下近傍に限定される。
- 仮に深いすべり線を想定した場合でも、杭先端付近を通るすべり線のすべり安全率が最も小さい。
- 破壊している要素は、地表面を除いて、建屋直下近傍に限定される。
- モビライズド面の向きから、破壊の進展は水平または鉛直方向に限定され、斜めに立ち上がる破壊の進展は現実的にはない。

したがって、設定した想定すべり線探索範囲は妥当であり、かつ十分保守的な設定となっている。

- 支持地盤であるSn<sub>4</sub>層では杭先端の上位と下位でN値に有意な差が認められることから、風化の影響を受けているとされるSn<sub>4</sub>層の代表的強度特性は、杭先端以浅（想定すべり線探索範囲）に限定される。



**基礎地盤安定性の問題は、想定すべり線探索範囲内に限定される。**

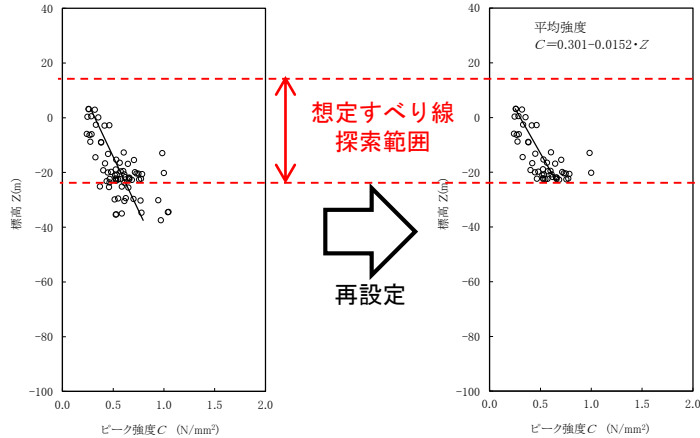
余白

# 6. 基礎地盤の安定性評価

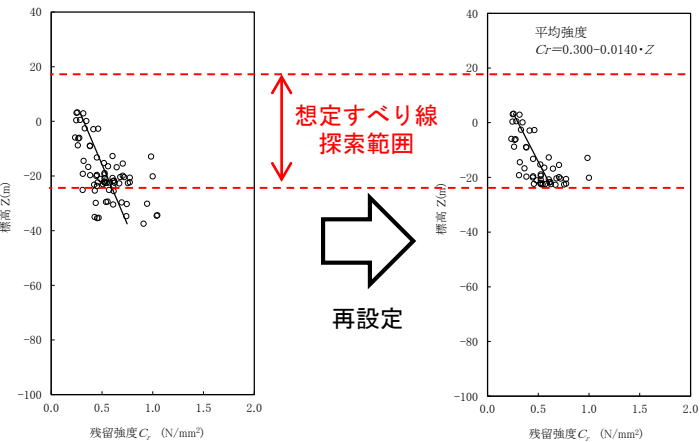
## (1) すべり安全率の算定① (強度特性の再設定)

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P47 再掲

- 「5. 基礎地盤の安定性評価における基本事項の整理・検討」を踏まえ、支持層地盤であるSn<sub>4</sub>層については、想定すべり線探索範囲内で強度特性を再設定した。

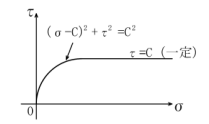


ピーク強度 (Sn<sub>4</sub>層)



残留強度 (Sn<sub>4</sub>層)

|                              | 強度特性 (平均の強度)                                                                                                                                                                                                         |                                                |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                              | ピーク強度<br>C<br>(N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                   | 残留強度<br>C <sub>r</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> )  | 0.231                                                                                                                                                                                                                | 0.213                                          |
| 中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )     | 0.140                                                                                                                                                                                                                | 0.116                                          |
| 中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )     | 0.297                                                                                                                                                                                                                | 0.233                                          |
| 下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )     | 0.621                                                                                                                                                                                                                | 0.551                                          |
| 下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )     | 0.277                                                                                                                                                                                                                | 0.184                                          |
| 上部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>4</sub> ) | 0.301 - 0.0152 · Z                                                                                                                                                                                                   | 0.300 - 0.0140 · Z                             |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Zは標高(m)を示す。</li> <li>・ 強度特性 (ピーク強度・残留強度) は右図により設定する。ただし、残留強度の場合はCをC<sub>r</sub>に置き換える。</li> <li>・ すべり安全率の算定には、安全側に盛土・埋土 (bk) , ローム層 (Lm) , 中段段丘堆積物 (M) の強度は無視する。</li> </ul> |                                                |



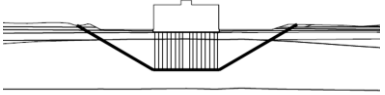
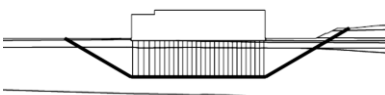


## 6. 基礎地盤の安定性評価

### (1) すべり安全率の算定② (安全率算定結果)

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P48 再掲

- 基準地震動Ssを入力した結果、最小すべり安全率は  $y - y'$  断面における2.1である。

| 評価対象                         | 想定すべり線形状の<br>パターン                                                                 | すべり安全率               |                             |                      |                      |                      |                      |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                              |                                                                                   | Ss-A                 | Ss-B1                       | Ss-B2<br>(水平<br>方向1) | Ss-B2<br>(水平<br>方向2) | Ss-B3<br>(水平<br>方向1) | Ss-B3<br>(水平<br>方向2) |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>$x - x'$ 断面 |  | 2.6(-, -)<br>[41.67] | 2.5(+, +)<br>[7.99]         | 8.3(+, +)<br>[14.40] | 4.6(+, +)<br>[14.80] | 5.5(+, +)<br>[11.25] | 4.6(-, +)<br>[11.17] |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>$y - y'$ 断面 |  | 2.2(+, -)<br>[41.68] | <u>2.1</u> (-, +)<br>[8.00] | 6.4(-, +)<br>[14.40] | 3.8(-, +)<br>[14.78] | 4.3(+, +)<br>[11.26] | 3.6(+, +)<br>[11.17] |

※ 下線は、すべり安全率の最小値を示す。

※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻(秒)を示す。

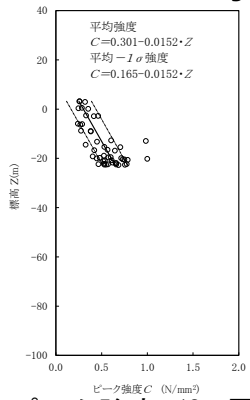
※すべり安全率の算定には、安全側に盛土・埋土(bk), ローム層(Lm), 中位段丘堆積物(M)の強度は無視する。

# 6. 基礎地盤の安定性評価

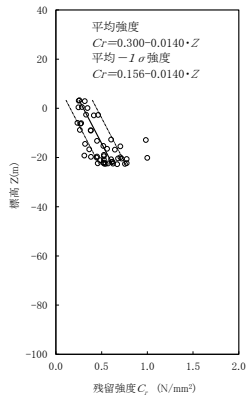
## (2) 地盤物性のばらつきを考慮した場合①

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P49 再掲

- 物性のばらつきのうち、評価に最も影響を及ぼす強度のばらつきについて検討を実施した。
- 物性のばらつきとして、強度を「平均-1σ強度」に設定した（日本電気協会，2008）<sup>1)</sup>，（土木学会，2009）<sup>2)</sup>。
- すべての評価ケースの中で、すべり安全率が最小（2.1）となったケースを対象に検討を実施した。
- 対象ケース：y - y' 断面，基準地震動Ss-B1 (-, +)

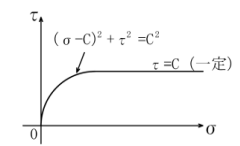


ピーク強度 (Sn<sub>4</sub>層)



残留強度 (Sn<sub>4</sub>層)

|                              | 強度特性 (-1σの強度)                                                                                                                                                                                                      |                                                |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                              | ピーク強度<br>C<br>(N/mm <sup>2</sup> )                                                                                                                                                                                 | 残留強度<br>C <sub>r</sub><br>(N/mm <sup>2</sup> ) |
| 上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> )  | 0.103                                                                                                                                                                                                              | 0.098                                          |
| 中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )     | 0.057                                                                                                                                                                                                              | 0.057                                          |
| 中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )     | 0.061                                                                                                                                                                                                              | 0.061                                          |
| 下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )     | 0.271                                                                                                                                                                                                              | 0.211                                          |
| 下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )     | 0.189                                                                                                                                                                                                              | 0.135                                          |
| 上部軽石混じり砂岩 (Sn <sub>4</sub> ) | 0.165-0.0152・Z                                                                                                                                                                                                     | 0.156-0.0140・Z                                 |
|                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ Zは標高(m)を示す。</li> <li>・ 強度特性（ピーク強度・残留強度）は右図により設定する。ただし、残留強度の場合はCをC<sub>r</sub>に置き換える。</li> <li>・ すべり安全率の算定には、安全側に盛土・埋土 (bk) , ローム層 (Lm) , 中位段丘堆積物 (M) の強度は無視する。</li> </ul> |                                                |

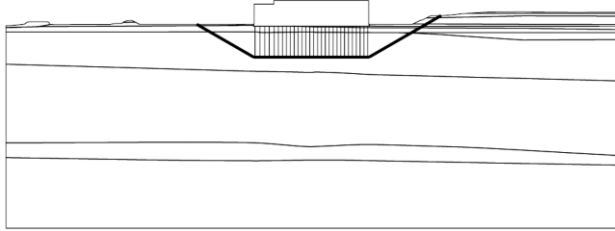


## 6. 基礎地盤の安定性評価

### (2) 地盤物性のばらつきを考慮した場合②

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P50 再掲

- 平均強度において、すべり安全率が最小 (2.1) となったケースについて、強度のばらつき (平均-1 $\sigma$ 強度) を考慮した評価を行った結果、すべり安全率は1.5以上であり、評価基準値1.5を満足していることを確認した。

| 評価対象断面<br>及び地震動                | 想定すべり線形状のパターン                                                                      | すべり安全率<br>〔平均強度〕 | すべり安全率<br>〔平均-1 $\sigma$ 強度〕 |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| y - y' 断面<br>【Ss-B1 (-, +) ※1】 |  | 2.1<br>〔8.00〕 ※2 | 1.5 ※3<br>〔8.01〕 ※2          |

※1 基準地震動Ss-B1の(-, +)は、水平反転を示す。

※2 [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

※3 すべり安全率1.54の小数第二位を切り捨てて表記

## 6. 基礎地盤の安定性評価

### (3) 支持力評価①

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P51 再掲

- 原位置試験の結果等に基づき、基礎地盤支持力の評価基準値を設定し、動的解析に基づいて求められた基礎の接地圧が評価基準値を超えていないことを確認する。

| 対象施設      | 基礎地盤支持力の評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> ) | 備考                                                   |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 使用済燃料貯蔵建屋 | 4.58                               | 平均N値 (45.8) から下式 (建築基礎構造設計指針) <sup>3)</sup> に従い算定した。 |

$$q_p = 100 \bar{N}$$

$q_p$ : 場所打ちコンクリート杭の極限先端支持力 (kN/m<sup>2</sup>) (砂質土)

$\bar{N}$ : 杭先端より上下に杭の直径 (1.5m) 分の範囲の平均N値 (P43, 44)

※杭周面摩擦力は考慮していない。

## 6. 基礎地盤の安定性評価

### (3) 支持力評価②

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P52 再掲

- 使用済燃料貯蔵建屋の地震時最大接地圧は $1.37\text{N/mm}^2$ であり、砂子又層の支持力の評価基準値である $4.58\text{N/mm}^2$ を超えていないことを確認した。

| 評価対象                   | 評価基準値<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | 地震時最大接地圧 ( $\text{N/mm}^2$ )  |                      |                       |                       |                      |                      |
|------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|                        |                              | Ss-A                          | Ss-B1                | Ss-B2<br>(水平方向1)      | Ss-B2<br>(水平方向2)      | Ss-B3<br>(水平方向1)     | Ss-B3<br>(水平方向2)     |
| 使用済燃料貯蔵建屋<br>x - x' 断面 | 4.58                         | 1.28(-, -)<br>[41.89]         | 1.08(+, +)<br>[7.73] | 1.17(+, +)<br>[17.27] | 1.16(-, +)<br>[17.28] | 1.10(-, +)<br>[9.51] | 1.11(+, +)<br>[9.51] |
| 使用済燃料貯蔵建屋<br>y - y' 断面 | 4.58                         | <u>1.37</u> (+, -)<br>[28.41] | 1.14(-, +)<br>[7.73] | 1.26(+, +)<br>[17.27] | 1.26(+, +)<br>[17.28] | 1.19(-, +)<br>[9.51] | 1.19(+, +)<br>[9.51] |

※ 下線は、地震時最大接地圧の最大値を示す。

※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

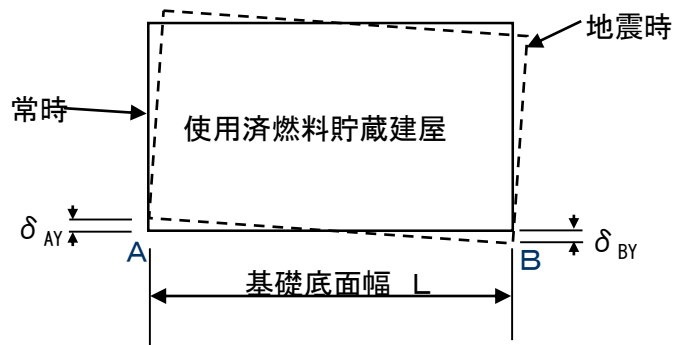
## 6. 基礎地盤の安定性評価

### (4) 傾斜評価①

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P53 再掲

- 動的解析の結果に基づいて求められた基礎底面の最大不等沈下量による傾斜が許容値の目安を下回ることを確認する。

| 対象施設      | 最大傾斜の許容値の目安 | 備考                                                                                                                       |
|-----------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 使用済燃料貯蔵建屋 | 1/2,000 程度  | <ul style="list-style-type: none"> <li>審査ガイドの目安値 : 1/2,000</li> <li>建築基礎構造設計指針<sup>3)</sup> : 1/1,000~1/2,000</li> </ul> |



- 使用済燃料貯蔵建屋基礎底面両端の鉛直方向の相対変位の最大値  
 $\max(|\delta_{AY} - \delta_{BY}|)$
- 使用済燃料貯蔵建屋基礎底面の傾斜の最大値  
 $\max(|\delta_{AY} - \delta_{BY}| / L)$

## 6. 基礎地盤の安定性評価

### (4) 傾斜評価②

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P54 再掲

- 使用済燃料貯蔵建屋の地震時の基礎底面の最大傾斜は1/10,000であり、許容値の目安である1/2,000を下回り、建屋や機器に対して影響を与えないことを確認した。

| 評価対象                       | 上段：最大相対変位 (cm), 下段：最大傾斜 |                     |                      |                      |                      |                     |
|----------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|
|                            | Ss-A                    | Ss-B1               | Ss-B2<br>(水平方向1)     | Ss-B2<br>(水平方向2)     | Ss-B3<br>(水平方向1)     | Ss-B3<br>(水平方向2)    |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x - x' 断面 | 0.5(+, +)<br>[41.95]    | 0.6(-, +)<br>[8.02] | 0.2(+, +)<br>[15.29] | 0.2(-, +)<br>[15.17] | 0.2(-, +)<br>[11.27] | 0.3(+, +)<br>[8.48] |
|                            | 1/13,000                | <u>1/10,000</u>     | 1/27,000             | 1/36,000             | 1/31,000             | 1/24,000            |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y - y' 断面 | 0.6(+, +)<br>[42.01]    | 0.4(-, +)<br>[8.11] | 0.2(-, +)<br>[15.96] | 0.2(+, +)<br>[18.51] | 0.2(+, +)<br>[9.48]  | 0.3(-, +)<br>[9.81] |
|                            | 1/22,000                | 1/36,000            | 1/65,000             | 1/60,000             | 1/74,000             | 1/49,000            |

※ 下線は、最大傾斜の最大値を示す。

※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

# 6. 基礎地盤の安定性評価

## (5) 液状化の検討①

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P55 再掲

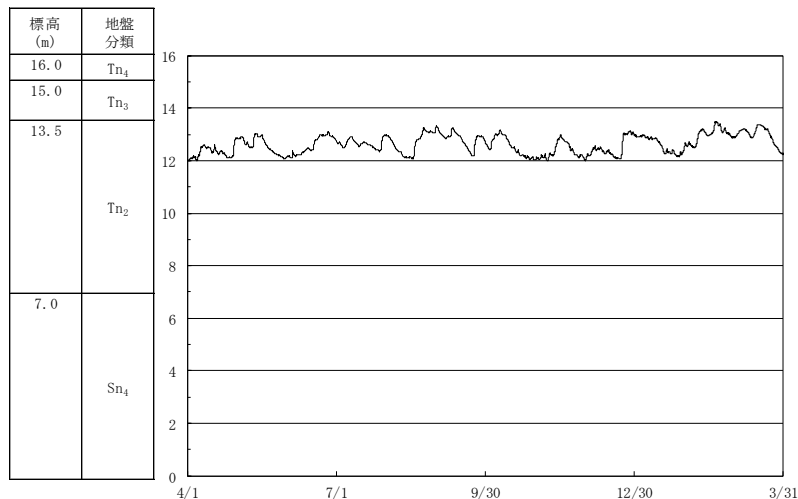
### (1) 準拠基準

乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程<sup>4)</sup>(以下、「JEAC4616-2009」という。)に示される方法に基づく検討を実施する。

### (2) 液状化検討対象層

地下水位以深の飽和砂質土層を対象とし、建屋直下地盤のうち田名部層下部砂質土(Tn<sub>2</sub>)層とする。

なお、田名部層中部粘性土(Tn<sub>3</sub>)は粘性土、砂子又層上部軽石混じり砂岩(Sn<sub>4</sub>)は半固結の岩石であるため検討対象から除外する。



地下水位の観測結果(2016.4.1~2017.3.31)

※ 地下水位の調査位置はP11参照

| No. | 地層名  | 地盤分類                          | 上端深度 T.P. (m) | 層厚 (m) |
|-----|------|-------------------------------|---------------|--------|
| 1   | 田名部層 | Tn <sub>4</sub> 田名部層中部砂質土     | 16.0          | 1.0    |
| 2   |      | Tn <sub>3</sub> 田名部層中部粘性土     | 15.0          | 1.5    |
| 3   |      | Tn <sub>2</sub> 田名部層下部砂質土     | 13.5          | 6.5    |
| 4   | 砂子又層 | Sn <sub>4</sub> 砂子又層上部軽石混じり砂岩 | 7.0           | 46.5   |

地下水位  
▽設定位置  
T.P. 14.0m

建屋直下地盤の概要



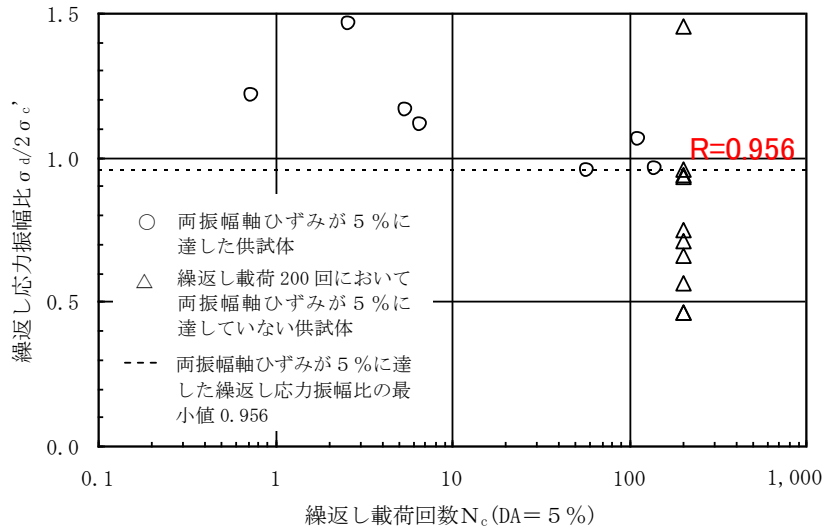
# 6. 基礎地盤の安定性評価

## (5) 液状化の検討②

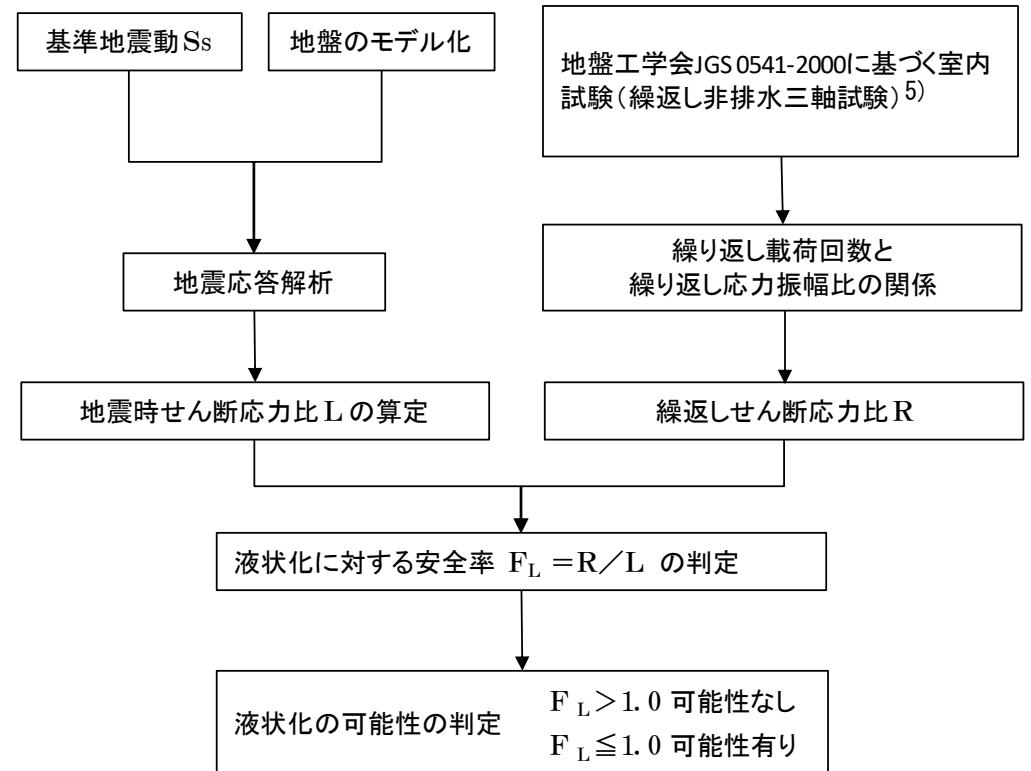
審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P56 再掲

### (3) 液状化検討手法

「JEAC4616-2009」<sup>4)</sup>に示されている $F_L (= \text{繰返しせん断応力比}(R) / \text{地震時せん断応力比}(L))$ 判定方法による。室内試験結果を下図に示す。



繰返し非排水三軸試験結果 (田名部層下部砂質土 ( $T_{n2}$ ))



### (4) 基準地震動 Ss に対する液状化判定結果

田名部層下部砂質土 ( $T_{n2}$ )

$$F_L = 1.40 > 1.0 \quad (R=0.956, L=0.681)$$

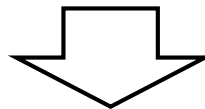
$T_{n2}$ 層に液状化発生の可能性はないと判断する。

地盤の地震応答解析を用いた液状化判定法

## 6. 基礎地盤の安定性評価 (6) まとめ

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P57 再掲

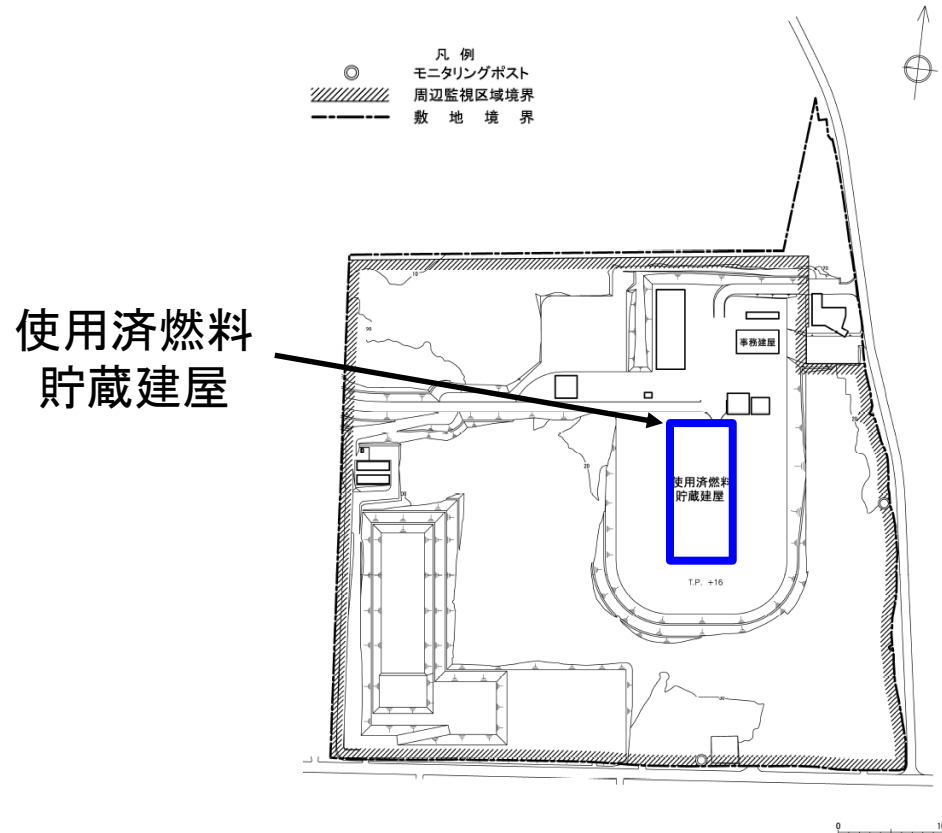
- 基準地震動Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3を入力した結果,
  - 最小すべり安全率はy-y' 断面における1.5であり, 評価基準値1.5を満足することを確認した。
  - 最大接地圧はy-y' 断面における $1.37\text{N/mm}^2$ であり, 評価基準値 $4.58\text{N/mm}^2$ を満足していることを確認した。
  - 基礎底面に生じる最大傾斜はx-x' 断面における $1/10,000$ であり, 評価基準値の目安である $1/2,000$ を十分に下回ることを確認した。



基準地震動Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3による基礎地盤の安定性を確認した。

## 7. 周辺地盤の変状による建屋への影響評価

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P58 再掲



基本的な安全機能を確保する上で必要な施設は、使用済燃料貯蔵建屋のみに設置され、基本的な安全機能を確保する上で必要な施設が設置される建物及び構造物が使用済燃料貯蔵建屋に隣接しないことから、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。

余白

## 8. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

### (1) 評価方法, 断層パラメータ

- 敷地及び敷地近傍には活断層が確認されていないことから、地震発生に伴う地殻変動により施設が重大な影響を受けることはないと考えられるが、敷地に最も近い断層（横浜断層に起因する地震動）の活動に伴い生ずる地盤の傾斜について、食い違いの弾性論に基づき評価する。
- 基準地震動による傾斜と地殻変動による傾斜を考慮し、基礎底面の傾斜が評価基準値の目安である1/2,000を下回ることを確認する。
- 評価に用いる断層パラメータは、地震動評価に基づき設定し、地殻変動量はOkada(1992)<sup>6)</sup>の手法により算出する。

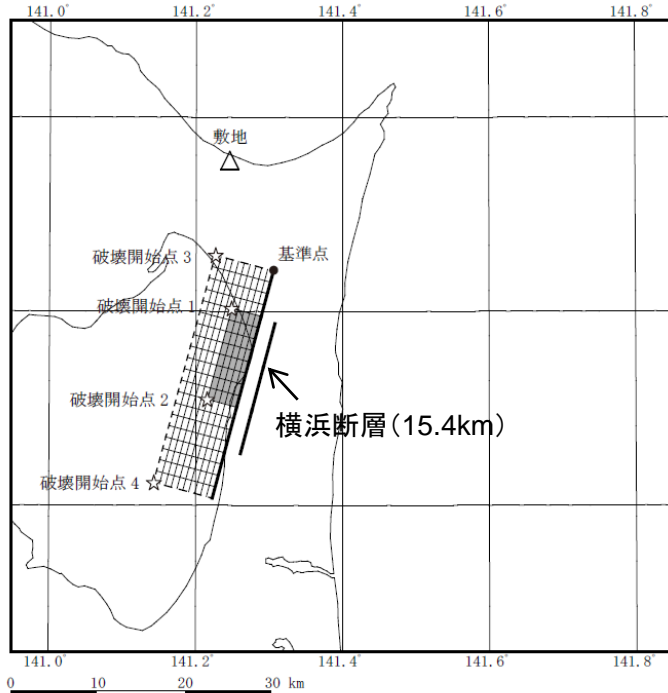
#### ■ 断層パラメータ

|                |        | 基本モデル※                | 傾斜角の不確かさ考慮ケース         |
|----------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| 傾斜角(°)         |        | 60                    | 45                    |
| 断層長さ(km)       |        | 27                    | 27                    |
| 断層幅(km)        |        | 13.9                  | 17.0                  |
| Mo(N・m)        |        | $7.83 \times 10^{18}$ | $1.17 \times 10^{19}$ |
| 剛性率(Pa)        |        | $3.45 \times 10^{10}$ | $3.45 \times 10^{10}$ |
| 平均すべり量<br>(cm) | アスペリティ | 121.1                 | 148.1                 |
|                | 背景領域   | 46.1                  | 53.1                  |

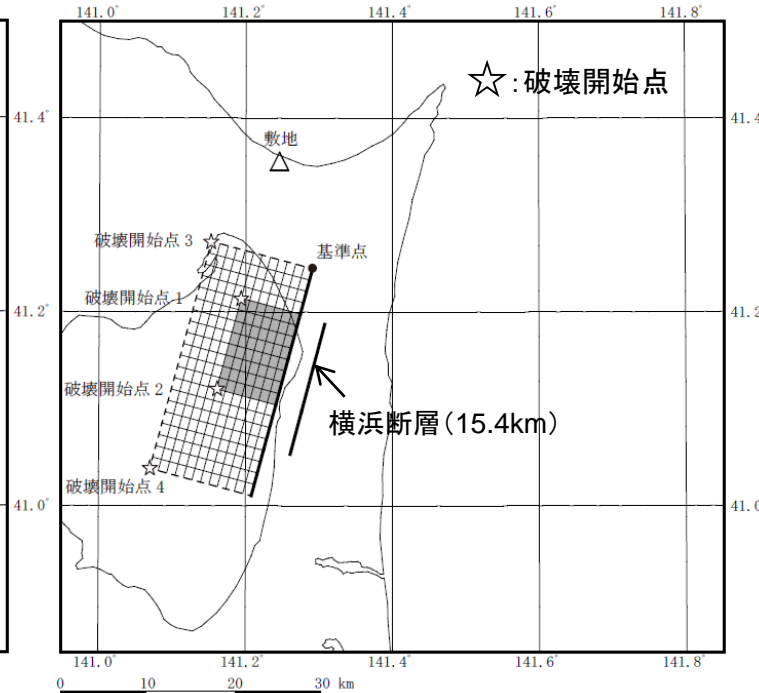
※応力降下量の不確かさを考慮したケースも全て同じパラメータ

# 8. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価 (2) 敷地及び断層位置図

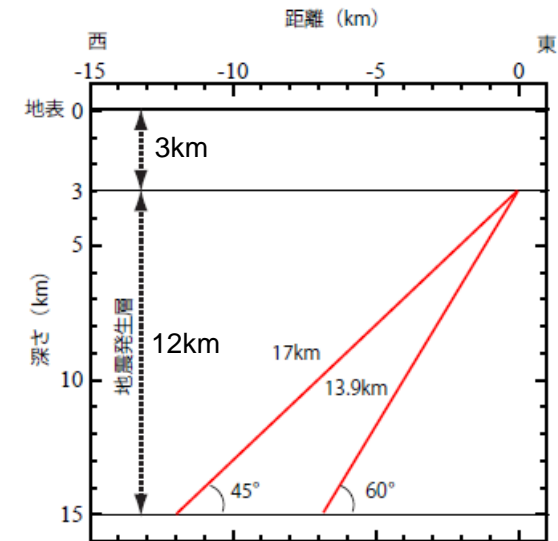
■ 検討ケースについて、断層面の平面図及び断面図を以下に示す。



基本震源モデル  
応力降下量の不確かさを考慮したケース



断層傾斜角の不確かさを考慮したケース



断面図

## 8. 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

### (3) 評価結果 (傾斜評価)

- 横浜断層に起因する地震動 (Ss-A) による最大傾斜と地殻変動による最大傾斜を用いた評価結果を以下に示す。

| ケース                                                                                   | ①地震動による最大傾斜 | ②地殻変動による最大傾斜        | ①+②※2    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|----------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>基本震源モデル</li> <li>応力降下量の不確かさを考慮したケース</li> </ul> | 1/13,000    | 1/610,000           | 1/12,000 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>断層傾斜角の不確かさを考慮したケース</li> </ul>                  | 1/13,000    | <u>1/460,000</u> ※1 | 1/12,000 |

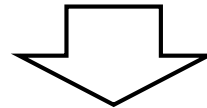
※1 下線は、地殻変動による最大傾斜の最大値を示す。

※2 分母は、千の単位で切り捨てて表記

基礎底面の最大傾斜は1/12,000であり、評価基準値の目安である1/2,000を十分に下回ることを確認した。

## 9. 一 関東評価用地地震動による影響評価 (1) 評価方法

- 基礎地盤の安定性評価は、審査ガイドに基づき、水平方向と鉛直方向の地震動を同時に入力した評価が必要になるが、基準地震動Ss-B4は、水平方向の地震動のみであることから評価できない。



- 基準地震動Ss-B4（水平方向）による基礎地盤の安定性を評価するため、基準地震動Ss-B4（水平方向）と一関東評価用地地震動（鉛直方向）※を同時に入力した基礎地盤の安定性評価を行う。

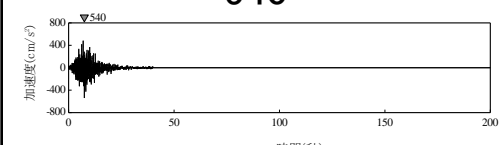
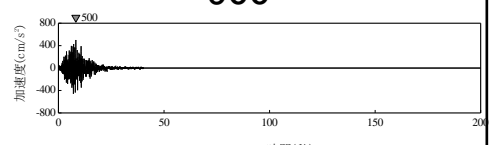
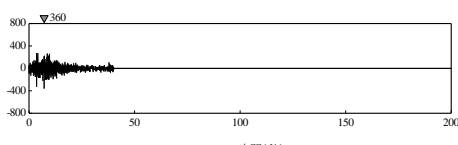
※ 審査会合資料 (H29. 11. 20) 資料1-5「耐震設計の基本方針について」より



# 9. 一関東評価用地地震動による影響評価 (2) 入力地震動, 評価結果 (すべり評価)

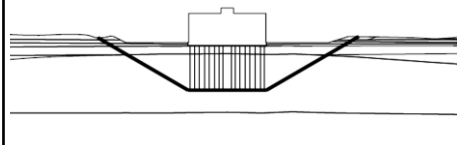
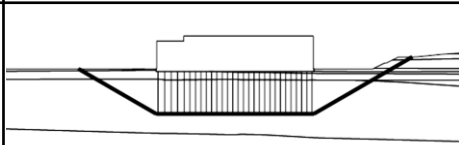
審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P64 再掲

■ 基準地震動Ss-B4(水平方向)及び一関東評価用地地震動(鉛直方向)の最大加速度値の一覧を示す

| 基準地震動 |                             | 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )                                                                |                                                                                            |                                                                                            |
|-------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                             | 水平方向1                                                                                     | 水平方向2                                                                                      | 鉛直方向 <sup>※</sup>                                                                          |
| Ss-B4 | 2008年岩手・宮城内陸地震 (KiK-net一関東) | 540<br> | 500<br> | 360<br> |

※ 審査会合資料 (H29. 11. 20) 資料1-5「耐震設計の基本方針について」より

■ すべり安全率は, 評価基準値1.5を上回ることを確認した。

| 評価対象                       | すべり線形状の<br>パターン<br>(建屋付近拡大図)                                                         | すべり安全率               |                             |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
|                            |                                                                                      | Ss-B4<br>(水平方向1)     | Ss-B4<br>(水平方向2)            |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x - x' 断面 |   | 6.3 (+, +)<br>[9.97] | 4.2 (-, +)<br>[8.68]        |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y - y' 断面 |  | 5.0 (-, +)<br>[7.99] | <b>3.6</b> (+, +)<br>[8.69] |

※ 下線は, すべり安全率の最小値を示す。

※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は, 発生時刻 (秒) を示す。

## 9. 一 関東評価用地震動による影響評価 (3) 評価結果 (支持力評価)

- 使用済燃料貯蔵建屋の地震時最大接地圧は、評価基準値4.58N/mm<sup>2</sup>を下回っていることを確認した。

| 評価対象                   | 評価基準値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 地震時最大接地圧 (N/mm <sup>2</sup> ) |                              |
|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|
|                        |                               | Ss-B4<br>(水平方向1)              | Ss-B4<br>(水平方向2)             |
| 使用済燃料貯蔵建屋<br>x - x' 断面 | 4.58                          | 1.13(-, +)<br>[8.77]          | 1.15(-, +)<br>[8.76]         |
| 使用済燃料貯蔵建屋<br>y - y' 断面 | 4.58                          | 1.23(+, +)<br>[8.77]          | <u>1.23</u> (+, +)<br>[8.76] |

※ 下線は、地震時最大接地圧の最大値を示す。

※ Ssに記載の、(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

## 9. 一 関東評価用地地震動による影響評価 (4) 評価結果 (傾斜評価)

- 使用済燃料貯蔵建屋の地震時の基礎底面の傾斜は、許容値の目安である1/2,000を下回り、建屋や機器に対して影響を与えないことを確認した。

| 評価対象                       | 上段：最大相対変位 (cm), 下段：最大傾斜 |                      |
|----------------------------|-------------------------|----------------------|
|                            | Ss-B4<br>(水平方向1)        | Ss-B4<br>(水平方向2)     |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x - x' 断面 | 0.2 (-, +)<br>[8.65]    | 0.3 (+, +)<br>[8.72] |
|                            | 1/29,000                | <u>1/19,000</u>      |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y - y' 断面 | 0.2 (-, +)<br>[10.10]   | 0.3 (+, +)<br>[8.78] |
|                            | 1/56,000                | 1/43,000             |

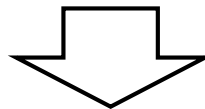
※ 下線は、最大傾斜の最大値を示す。

※ Ssに記載の、(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

## 9. 一関東評価用地地震動による影響評価 (5) まとめ

- 基準地震動Ss-B4（水平方向）と一関東評価用地地震動（鉛直方向）を同時に入力した結果、
  - 最小すべり安全率はy-y' 断面における3.6であり、評価基準値1.5を満足することを確認した。
  - 最大接地圧はy-y' 断面における $1.23\text{N/mm}^2$ であり、評価基準値 $4.58\text{N/mm}^2$ を満足していることを確認した。
  - 基礎底面に生じる最大傾斜はx-x' 断面における $1/19,000$ であり、評価基準値の目安である $1/2,000$ を十分に下回ることを確認した。

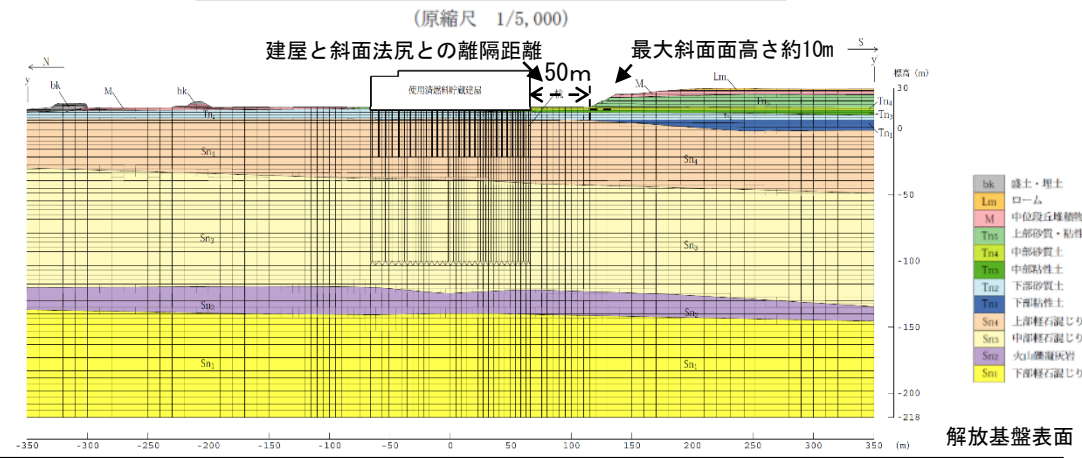
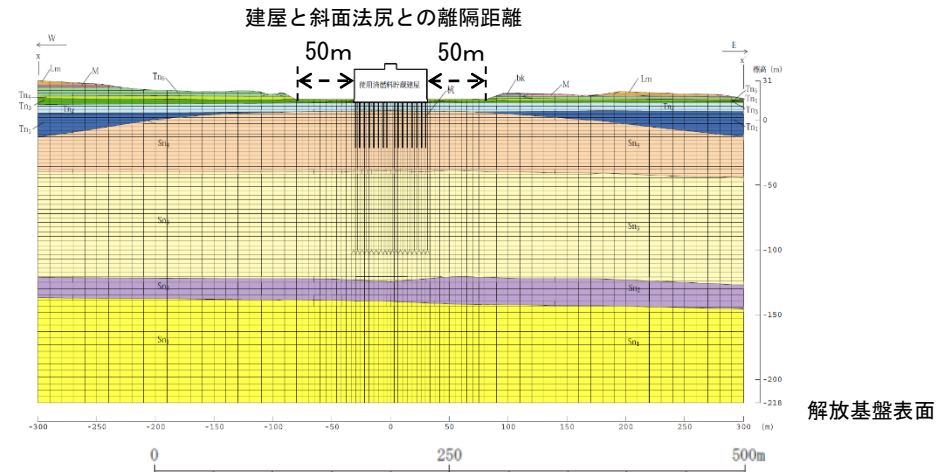
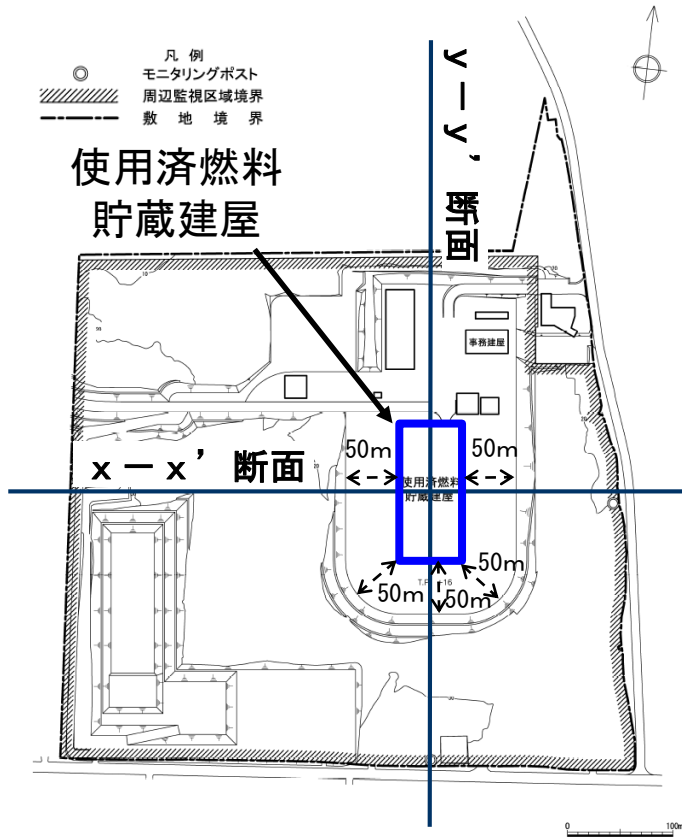


水平方向の地震動のみ定義されている基準地震動Ss-B4による基礎地盤の安定性を確認した。

# 10. 周辺斜面の安定性評価

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P68 再掲

■ 使用済燃料貯蔵建屋の建屋直交断面を検討断面として選定した。



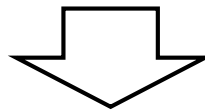
使用済燃料貯蔵建屋は、斜面法尻から十分な離隔距離※を確保しており、安定性評価の対象とすべき斜面がないことを確認した。

※ 斜面崩壊土砂の到達距離に関する参考文献『原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術』<sup>2)</sup> 斜面高さの1.4倍もしくは50m, 『宅地防災マニュアルの解説』<sup>7)</sup> 斜面高さの2倍 (上限50m)

# 1 1. 周辺斜面の安定性評価

## ■ 基礎地盤

- 使用済燃料貯蔵建屋が設置される地盤には、「将来も活動する可能性のある断層等」は認められない。
- 使用済燃料貯蔵建屋が設置される地盤は、基準地震動 $S_s$ による地震力に対して、基礎地盤のすべり、基礎の支持力、基礎底面の傾斜（地殻変動含む）について、いずれも評価基準値を満足することを確認した。
- 使用済燃料貯蔵建屋には隣接する建物及び構造物がないことから、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く、評価対象外とする。



- 使用済燃料貯蔵建屋の基礎地盤は、基準地震動による地震力に対して十分な安定性を有しており、使用済燃料貯蔵建屋が重大な影響を受けることがないことを確認した。

## ■ 周辺斜面

- 基準地震動の地震力により使用済燃料貯蔵建屋に重大な影響を与える周辺斜面は存在しないことから、評価対象外とする。

## 参考資料 目次

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| ① 物性値の設定根拠                                   | 71  |
| ② 地震力に対する安定性評価                               | 85  |
| ③ 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価                        | 94  |
| ④ 「5. 基礎地盤の安定性における基本事項の整理・検討」に対する<br>補足（その1） | 95  |
| ⑤ 「5. 基礎地盤の安定性における基本事項の整理・検討」に対する<br>補足（その2） | 97  |
| ⑥ 参考文献におけるばらつきの考え方                           | 99  |
| ⑦ 一関東評価用地震動（鉛直方向）                            | 100 |
| ⑧ 参考文献                                       | 102 |

参考資料：①物性値の設定根拠  
**室内試験等の基準**

審査会合 (R2. 2. 14)  
 資料1-5 P71 再掲

| 試験項目              | 基準                           |                              |
|-------------------|------------------------------|------------------------------|
|                   | 岩石試験 <sup>5)8)9)</sup>       | 土質試験 <sup>5)8)9)</sup>       |
| 湿潤密度試験            | JGS2132に準拠                   | JIS A 1225に準拠                |
| 三軸圧縮試験            | JGS2534, JGS2532, JGS2531に準拠 | JGS0524, JGS0522, JGS0521に準拠 |
| PS検層              | JGS1122に準拠                   | JGS1122に準拠                   |
| 超音波速度測定           | —                            | JGS2110に準拠                   |
| 繰返し三軸試験<br>(変形特性) | JGS0542に準拠                   | JGS0542に準拠                   |

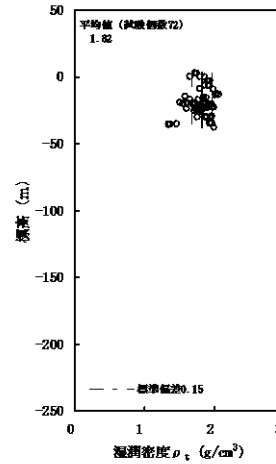
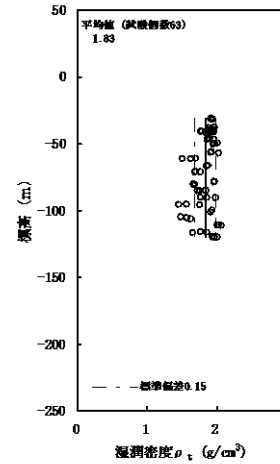
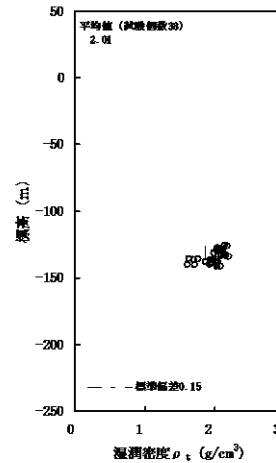
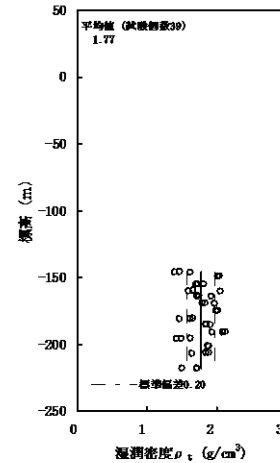
5) 土質試験の方法と解説, 地盤工学会, 2000.

8) 岩の試験・調査方法の基準・解説書 平成14年度版, 地盤工学会, 2003.

9) 地盤調査の方法と解説, 地盤工学会, 2004.



## 物理特性（砂子又層） 湿潤密度

(1) 上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>)(2) 中部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>3</sub>)(3) 火山礫凝灰岩 (Sn<sub>2</sub>)(4) 下部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>1</sub>)

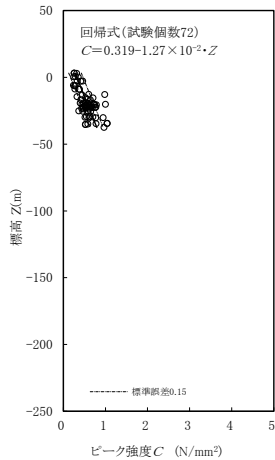
## 湿潤密度と標高の関係

参考資料：①物性値の設定根拠

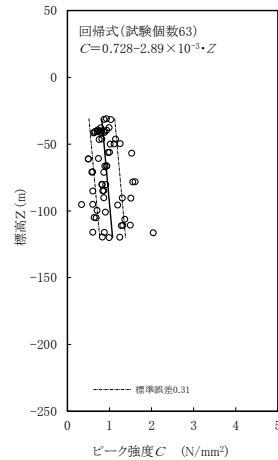
# 強度特性（砂子又層） ピーク強度， 残留強度

審査会合 (R2. 2. 14)

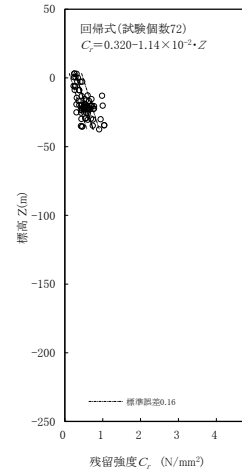
資料1-5 P73 再掲



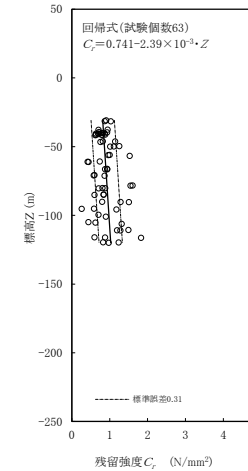
(a) 上部軽石混じり砂岩 (Sn4)



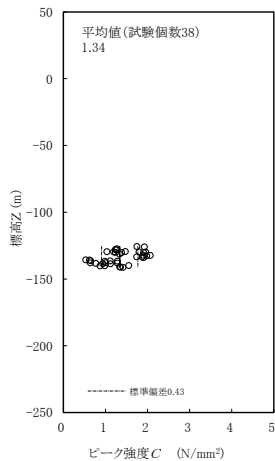
(b) 中部軽石混じり砂岩 (Sn3)



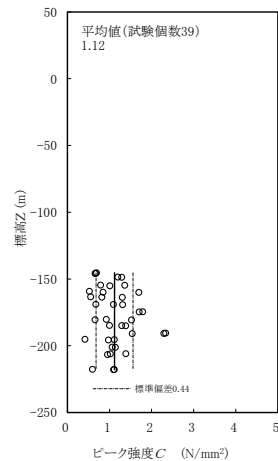
(a) 上部軽石混じり砂岩 (Sn4)



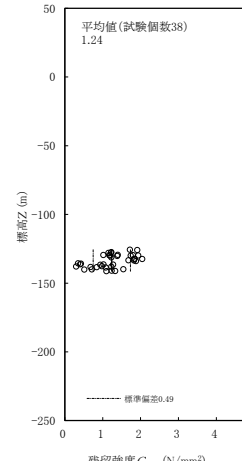
(b) 中部軽石混じり砂岩 (Sn3)



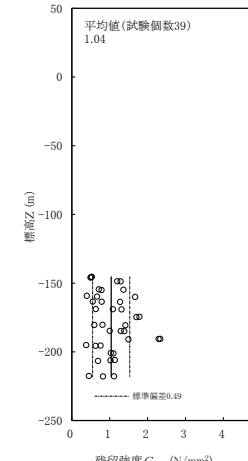
(c) 火山礫凝灰岩 (Sn2)



(d) 下部軽石混じり砂岩 (Sn1)



(c) 火山礫凝灰岩 (Sn2)



(d) 下部軽石混じり砂岩 (Sn1)

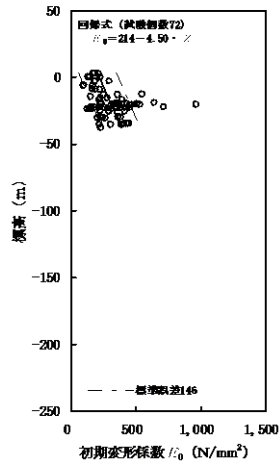
三軸圧縮試験 (CUU条件) 結果  
(ピーク強度と標高の関係)

三軸圧縮試験 (CUU条件) 結果  
(残留強度と標高の関係)

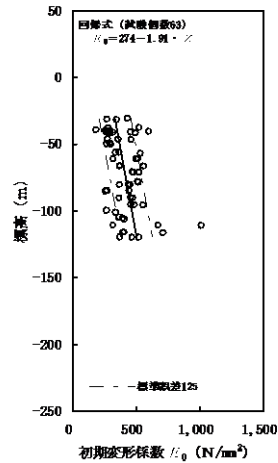
参考資料：①物性値の設定根拠

# 静的変形特性（砂子又層） 初期変形係数， 静ポアソン比

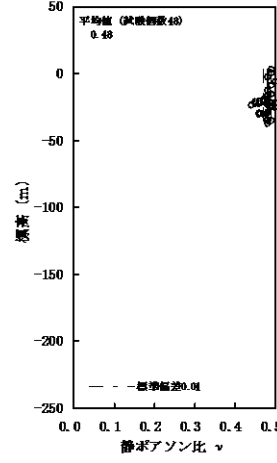
審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P74 再掲



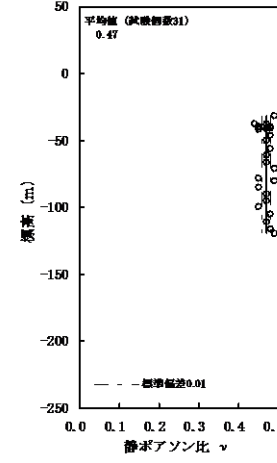
(a) 上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>)



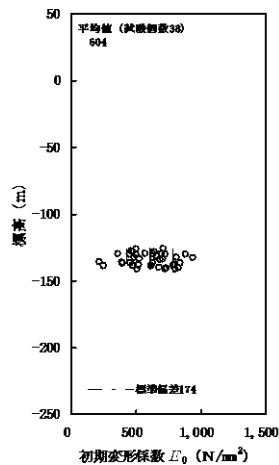
(b) 中部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>3</sub>)



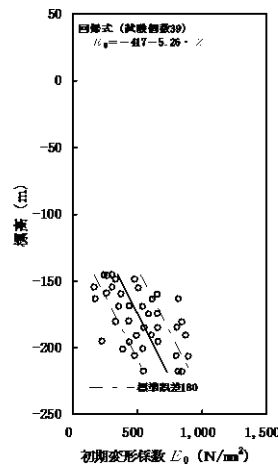
(a) 上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>)



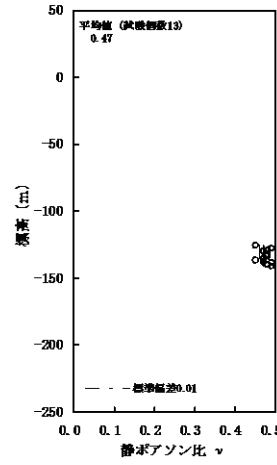
(b) 中部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>3</sub>)



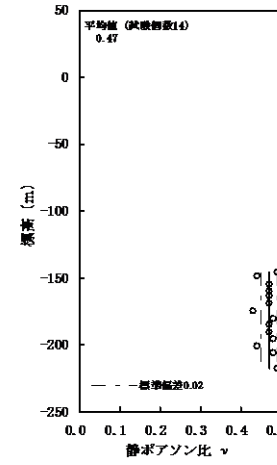
(c) 火山礫凝灰岩 (Sn<sub>2</sub>)



(d) 下部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>1</sub>)



(a) 火山礫凝灰岩 (Sn<sub>2</sub>)



(d) 下部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>1</sub>)

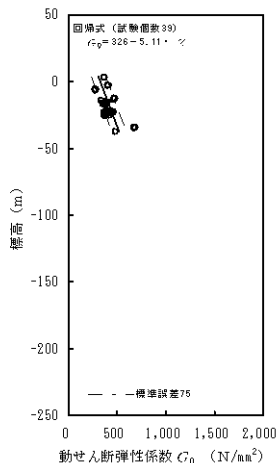
三軸圧縮試験 (CUU条件) 結果  
(初期変形係数と標高の関係)

三軸圧縮試験 (CUU条件) 結果  
(静ポアソン比と標高の関係)

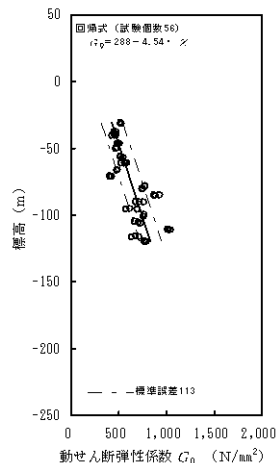
参考資料：①物性値の設定根拠

# 動的変形特性（砂子又層） 動せん断弾性係数， 動ポアソン比

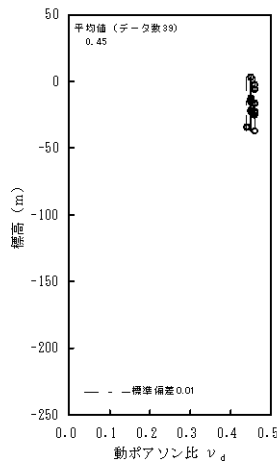
審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P75 再掲



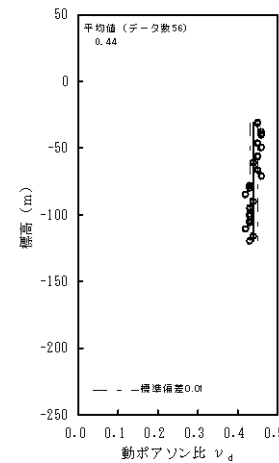
(1) 上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>)



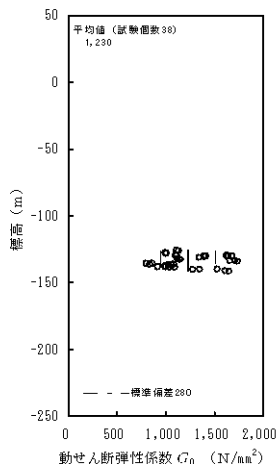
(2) 中部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>3</sub>)



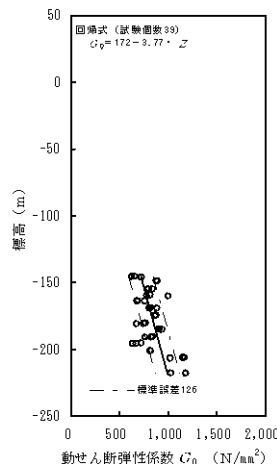
(1) 上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>)



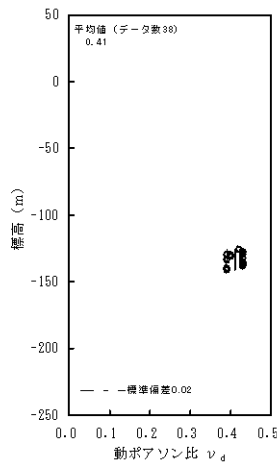
(2) 中部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>3</sub>)



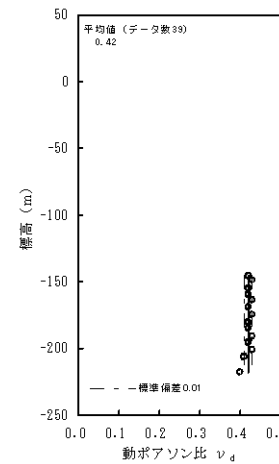
(3) 火山礫凝灰岩 (Sn<sub>2</sub>)



(4) 下部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>1</sub>)



(3) 火山礫凝灰岩 (Sn<sub>2</sub>)



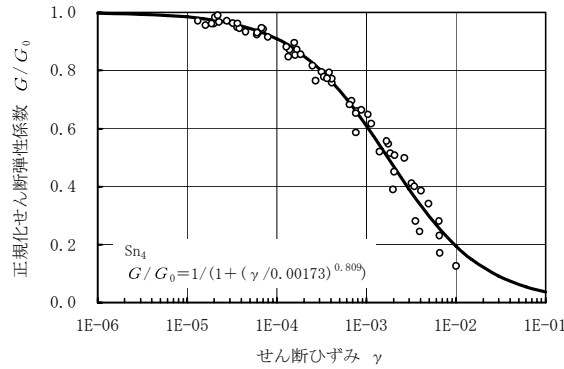
(4) 下部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>1</sub>)

動せん断弾性係数と標高の関係

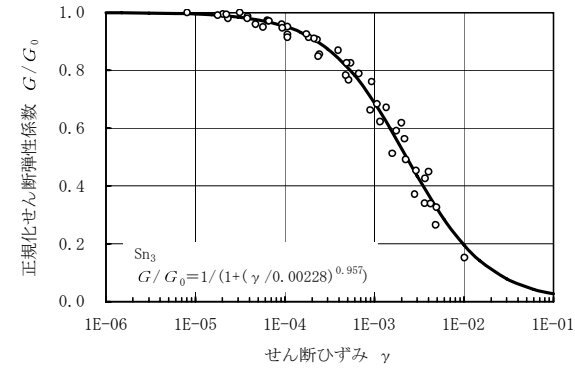
動ポアソン比と標高の関係

参考資料：①物性値の設定根拠

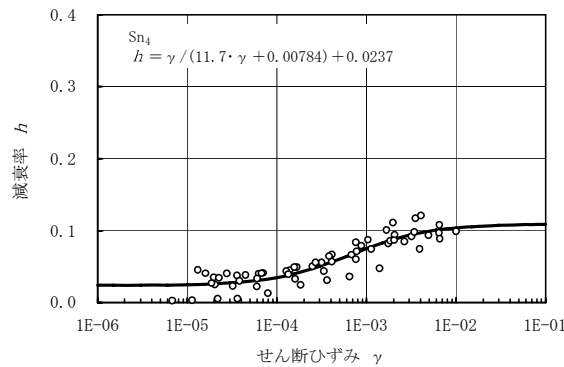
# 動的変形特性 (砂子又層) ひずみ依存性①



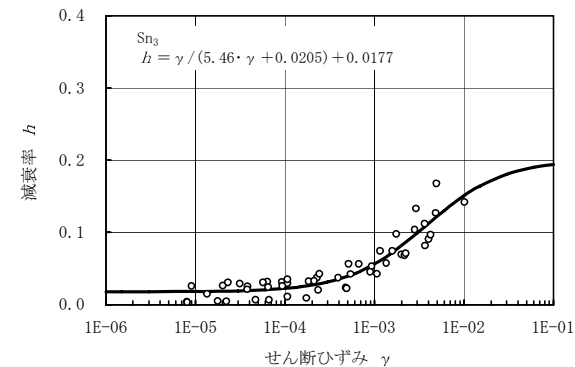
(a) 動的変形特性



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性



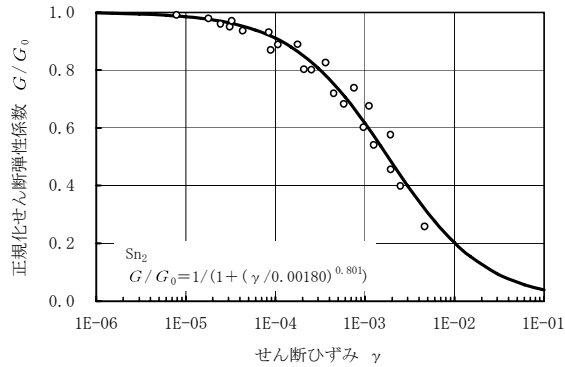
(b) 減衰特性

繰返し三軸試験 (変形特性) 結果  
(上部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>4</sub>))

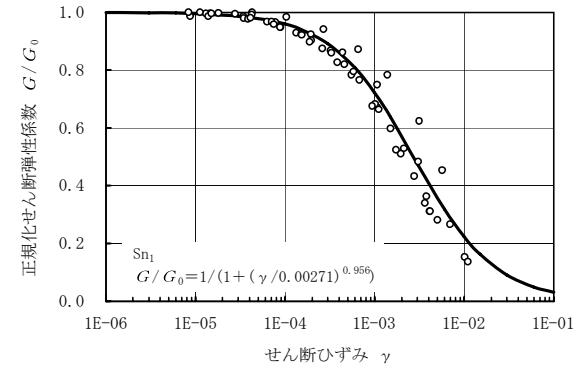
繰返し三軸試験 (変形特性) 結果  
(中部軽石混じり砂岩 (Sn<sub>3</sub>))

参考資料：①物性値の設定根拠

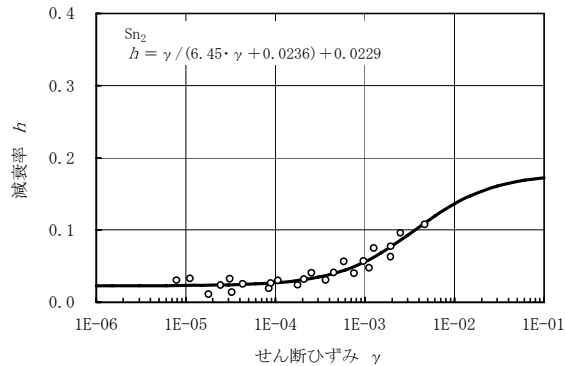
## 動的変形特性 (砂子又層) ひずみ依存性②



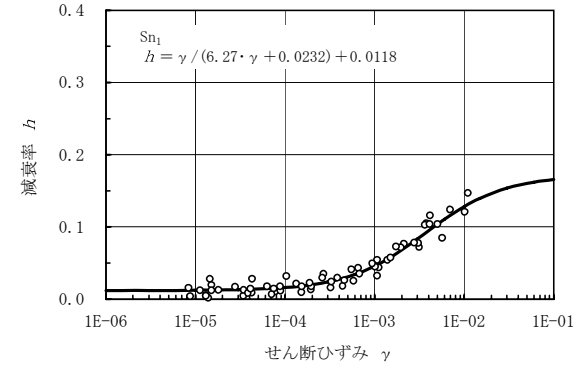
(a) 動の変形特性



(a) 動の変形特性



(b) 減衰特性



(b) 減衰特性

繰返し三軸試験 (変形特性) 結果  
(火山礫凝灰岩 ( $S_{n2}$ ))繰返し三軸試験 (変形特性) 結果  
(下部軽石混じり砂岩 ( $S_{n1}$ ))

参考資料：①物性値の設定根拠

## 物理特性 (田名部層・表層)

物理試験結果 (土質)

| 地盤分類                        | 試験<br>個数 | 湿潤密度<br>$\rho_t$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |      | 含水比<br>$w$<br>(%) |      | 間隙比<br>$e$ |      | 試験<br>個数 | 土粒子の密度<br>$\rho_s$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) |      |
|-----------------------------|----------|------------------------------------------|------|-------------------|------|------------|------|----------|--------------------------------------------|------|
|                             |          | 平均値                                      | 標準偏差 | 平均値               | 標準偏差 | 平均値        | 標準偏差 |          | 平均値                                        | 標準偏差 |
| 盛土・埋土 (bk)                  | 18       | 1.56                                     | 0.24 | 91.8              | 44.8 | 2.56       | 1.14 | 5        | 2.77                                       | 0.06 |
| ローム (Lm)                    | 9        | 1.47                                     | 0.10 | 56.9              | 9.5  | 1.94       | 0.38 | 3        | 2.73                                       | 0.01 |
| 中位段丘堆積物 (M)                 | 9        | 1.79                                     | 0.04 | 34.0              | 0.8  | 1.16       | 0.05 | 3        | 2.88                                       | 0.00 |
| 上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> ) | 10       | 1.80                                     | 0.21 | 47.6              | 24.6 | 1.40       | 0.75 | 3        | 2.84                                       | 0.04 |
| 中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )    | 8        | 1.59                                     | 0.09 | 71.7              | 18.2 | 2.04       | 0.54 | 4        | 2.80                                       | 0.05 |
| 中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )    | 12       | 1.91                                     | 0.31 | 35.4              | 28.4 | 1.09       | 0.93 | 4        | 2.76                                       | 0.02 |
| 下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )    | 10       | 1.92                                     | 0.10 | 29.5              | 6.4  | 0.90       | 0.20 | 3        | 2.79                                       | 0.08 |
| 下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )    | 7        | 1.69                                     | 0.10 | 54.4              | 15.1 | 1.53       | 0.41 | 4        | 2.85                                       | 0.15 |

参考資料：①物性値の設定根拠

## 強度特性・静的変形特性（田名部層・表層）①

審査会合（R2.2.14）

資料1-5 P79 再掲

三軸圧縮試験（CUU条件）結果

| 地盤分類                        | 試験<br>個数 | ピーク強度<br>$C$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |       | 残留強度<br>$C_r$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |       | 初期変形係数<br>$E_0$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      | 試験<br>個数 | 静ポアソン比<br>$\nu$ |      |
|-----------------------------|----------|--------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|-----------------------------------------|------|----------|-----------------|------|
|                             |          | 平均値                                  | 標準偏差  | 平均値                                   | 標準偏差  | 平均値                                     | 標準偏差 |          | 平均値             | 標準偏差 |
| 中位段丘堆積物 (M)                 | 9        | 0.073                                | 0.009 | 0.071                                 | 0.010 | 19.1                                    | 3.2  | 3        | 0.49            | 0.01 |
| 上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> ) | 10       | 0.231                                | 0.127 | 0.213                                 | 0.115 | 40.8                                    | 13.3 | 4        | 0.49            | 0.00 |
| 中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )    | 8        | 0.140                                | 0.083 | 0.116                                 | 0.050 | 50.1                                    | 37.5 | 2        | 0.49            | 0.01 |
| 中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )    | 12       | 0.297                                | 0.236 | 0.233                                 | 0.172 | 80.7                                    | 74.7 | 4        | 0.49            | 0.01 |
| 下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )    | 10       | 0.621                                | 0.351 | 0.551                                 | 0.340 | 108                                     | 115  | 4        | 0.49            | 0.01 |
| 下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )    | 7        | 0.277                                | 0.088 | 0.184                                 | 0.049 | 86.9                                    | 11.3 | 3        | 0.49            | 0.00 |

三軸圧縮試験（UU条件）結果

| 地盤分類       | 試験<br>個数 | ピーク強度<br>$C$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |       | 残留強度<br>$C_r$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |       | 初期変形係数<br>$E_0$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) |      | 試験<br>個数 | 静ポアソン比<br>$\nu$ |      |
|------------|----------|--------------------------------------|-------|---------------------------------------|-------|-----------------------------------------|------|----------|-----------------|------|
|            |          | 平均値                                  | 標準偏差  | 平均値                                   | 標準偏差  | 平均値                                     | 標準偏差 |          | 平均値             | 標準偏差 |
| 盛土・埋土 (bk) | 15       | 0.035                                | 0.031 | 0.033                                 | 0.030 | 10.3                                    | 5.9  | 5        | 0.38            | 0.08 |
| ローム (Lm)   | 9        | 0.085                                | 0.028 | 0.084                                 | 0.029 | 21.8                                    | 6.0  | 3        | 0.21            | 0.02 |



参考資料：①物性値の設定根拠

## 強度特性・静的変形特性（田名部層・表層）②

三軸圧縮試験（CD条件）結果

| 地盤分類                        | 試験<br>個数 | 初期変形係数<br>$E_0$<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 静ポアソン比<br>$\nu$ |
|-----------------------------|----------|-----------------------------------------|-----------------|
| 盛土・埋土 (bk)                  | 1        | 16.4                                    | 0.19            |
| 中位段丘堆積物 (M)                 | 1        | 11.6                                    | 0.13            |
| 上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> ) | 3        | 29.1                                    | 0.19            |
| 中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )    | 1        | 26.3                                    | 0.09            |
| 中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )    | 1        | 13.4                                    | 0.19            |
| 下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )    | 1        | 172                                     | 0.11            |
| 下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )    | 2        | 106                                     | 0.20            |

注) 圧密圧力  $P$  は土被り圧相当である。

上部砂質・粘性土 (Tn<sub>5</sub>) 及び下部粘性土 (Tn<sub>1</sub>) は平均値である。

参考資料：①物性値の設定根拠

## 動的変形特性（田名部層・表層） 動せん断弾性係数，動ポアソン比

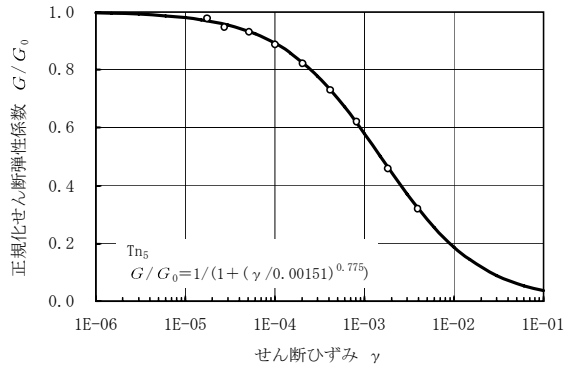
動せん断弾性係数及び動ポアソン比

| 地盤分類                        | データ数 | 動せん断弾性係数<br>$G_0$ (N/mm <sup>2</sup> ) |      | 動ポアソン比<br>$\nu_d$ |      |
|-----------------------------|------|----------------------------------------|------|-------------------|------|
|                             |      | 平均値                                    | 標準偏差 | 平均値               | 標準偏差 |
| 盛土・埋土 (bk)                  | 5    | 50.6                                   | 19.4 | 0.49              | 0.01 |
| ローム (Lm)                    | 3    | 231                                    | 13   | 0.46              | 0.00 |
| 中位段丘堆積物 (M)                 | 3    | 71.8                                   | 11.2 | 0.49              | 0.00 |
| 上部砂質・粘性土 (Tn <sub>5</sub> ) | 10   | 227                                    | 72   | 0.48              | 0.01 |
| 中部砂質土 (Tn <sub>4</sub> )    | 8    | 256                                    | 117  | 0.47              | 0.02 |
| 中部粘性土 (Tn <sub>3</sub> )    | 12   | 284                                    | 171  | 0.47              | 0.02 |
| 下部砂質土 (Tn <sub>2</sub> )    | 10   | 376                                    | 85   | 0.45              | 0.02 |
| 下部粘性土 (Tn <sub>1</sub> )    | 7    | 333                                    | 88   | 0.46              | 0.01 |

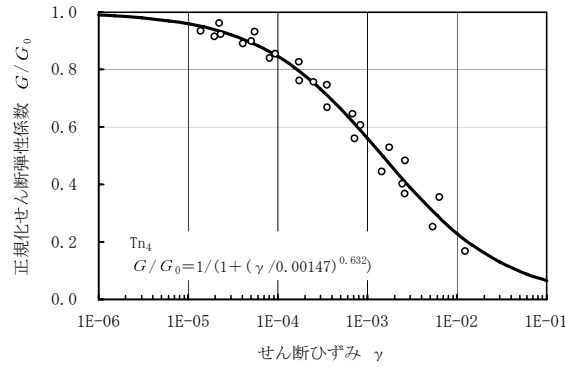
参考資料：①物性値の設定根拠

# 動的変形特性（田名部層） ひずみ依存性①

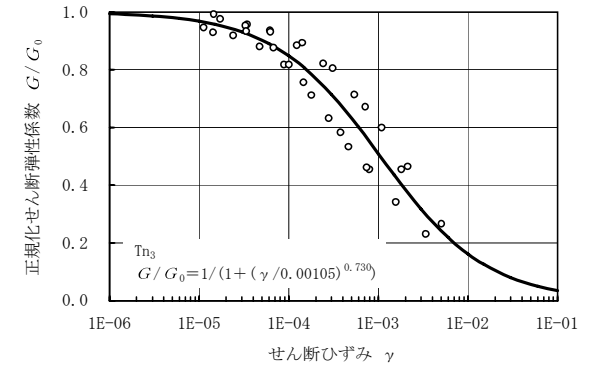
審査会合 (R.2.14)  
資料1-5 P82 再掲



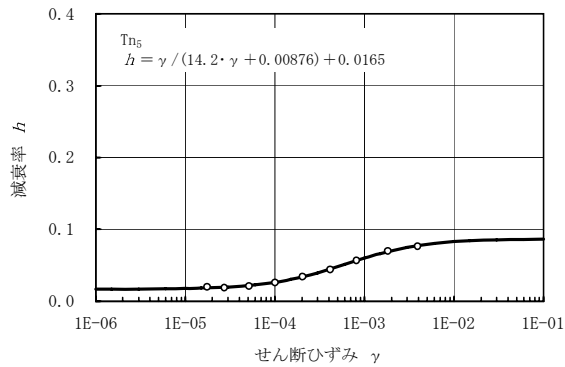
(a) 動的変形特性



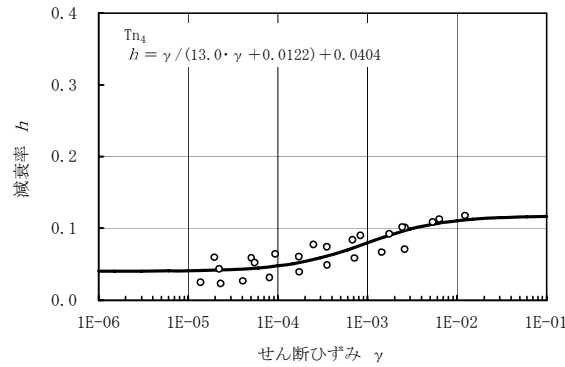
(a) 動的変形特性



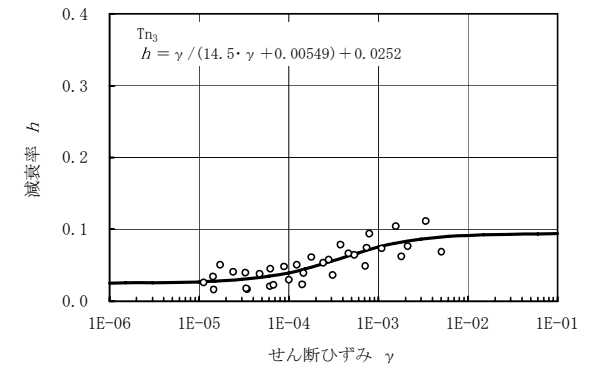
(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性



(b) 減衰特性



(b) 減衰特性

繰返し三軸試験（変形特性）結果  
（上部砂質・粘性土（ $T_{n5}$ ））

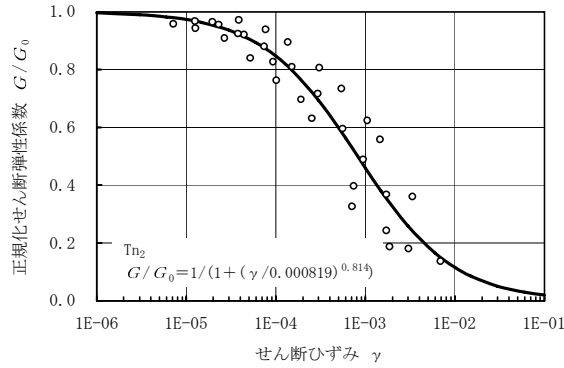
繰返し三軸試験（変形特性）結果  
（中部砂質土（ $T_{n4}$ ））

繰返し三軸試験（変形特性）結果  
（中部粘性土（ $T_{n3}$ ））

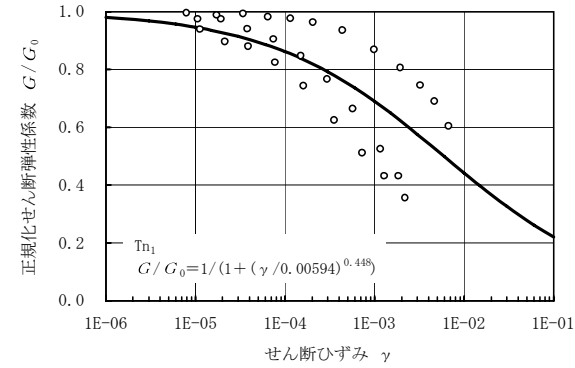
参考資料：①物性値の設定根拠

# 動的変形特性（田名部層） ひずみ依存性②

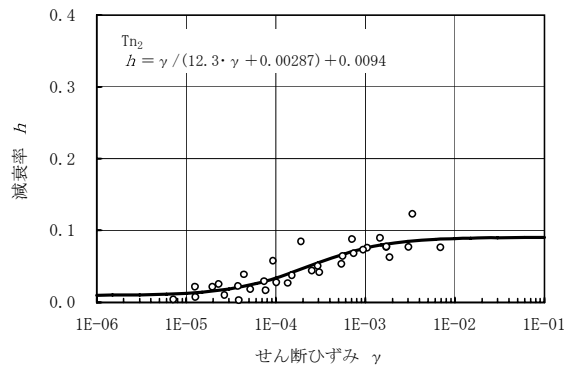
審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P83 再掲



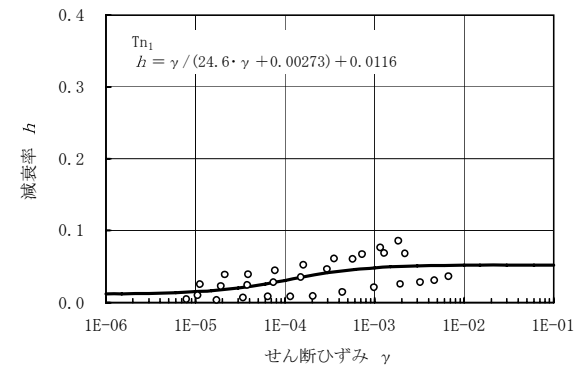
(a) 動的変形特性



(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性



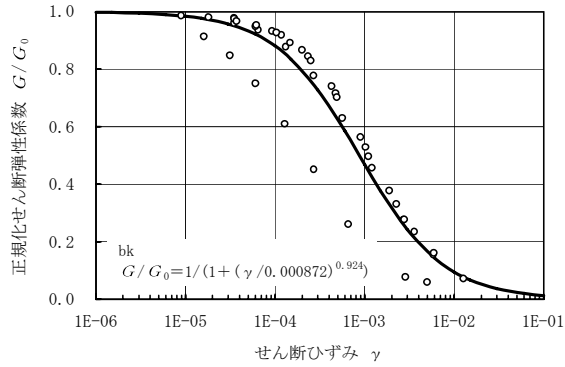
(b) 減衰特性

繰返し三軸試験（変形特性）結果  
（下部砂質土（ $T_{n2}$ ））

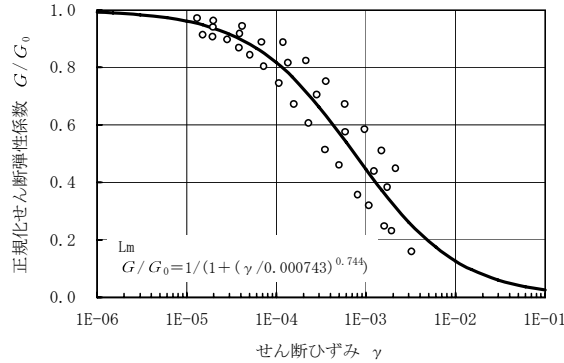
繰返し三軸試験（変形特性）結果  
（下部粘性土（ $T_{n1}$ ））

参考資料：①物性値の設定根拠  
**動的変形特性（表層） ひずみ依存性**

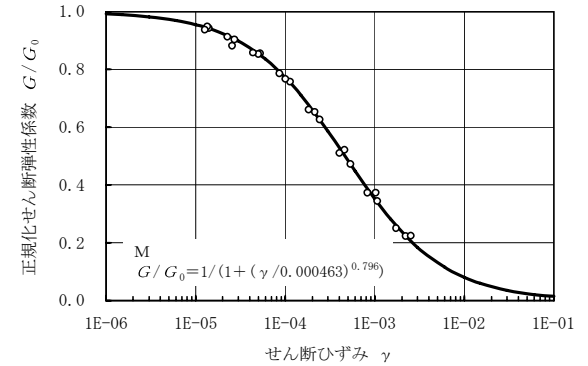
審査会合 (R2. 2. 14)  
 資料1-5 P84 再掲



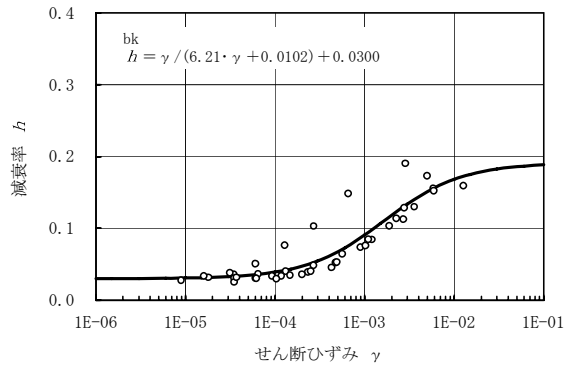
(a) 動的変形特性



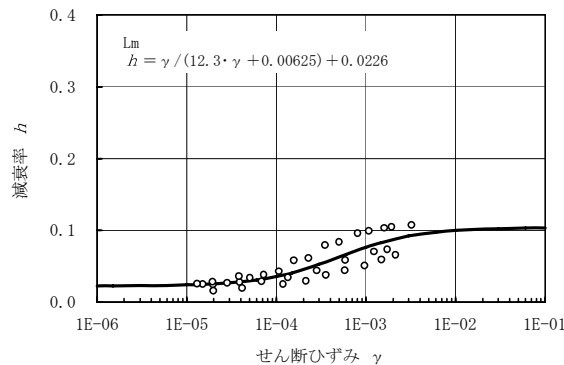
(a) 動的変形特性



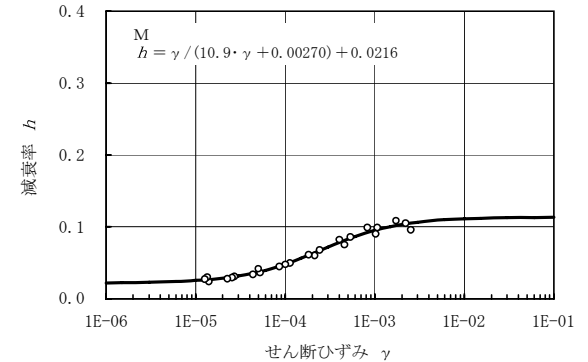
(a) 動的変形特性



(b) 減衰特性



(b) 減衰特性



(b) 減衰特性

繰返し三軸試験（変形特性）結果  
 （埋土・盛土 (bk)）

繰返し三軸試験（変形特性）結果  
 （ローム (lm)）

繰返し三軸試験（変形特性）結果  
 （中位段丘堆積物 (M)）

## すべり安全率一覧 (Ss-A, Ss-B1)

## ■基礎地盤のすべり評価 (Ss-A, Ss-B1)

| 評価対象                       | 想定すべり線形状の<br>パターン<br>(建屋付近拡大図) | すべり安全率         |                |                |                |               |                      |
|----------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------------|
|                            |                                | Ss-A           |                |                |                | Ss-B1         |                      |
|                            |                                | (+, +)         | (+, -)         | (-, +)         | (-, -)         | (+, +)        | (-, +)               |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x - x' 断面 |                                | 2.9<br>[41.67] | 2.7<br>[41.67] | 2.9<br>[41.67] | 2.6<br>[41.67] | 2.5<br>[7.99] | 2.5<br>[7.99]        |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y - y' 断面 |                                | 2.3<br>[41.68] | 2.2<br>[41.68] | 2.4<br>[41.68] | 2.2<br>[41.68] | 2.1<br>[8.01] | <u>2.1</u><br>[8.00] |

※ 下線は、すべり安全率の最小値を示す。

※ Ssに記載の、(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

※ すべり安全率の算定には、安全側に盛土・埋土 (bk)、ローム層 (Lm)、中位段丘堆積物 (M) の強度は無視する。

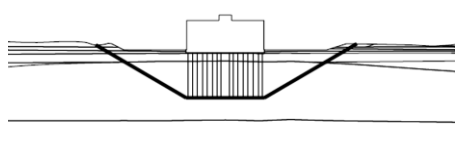
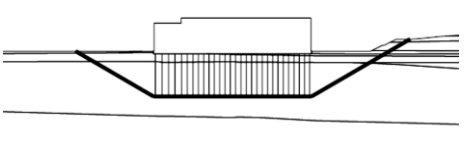
参考資料：②地震力に対する安定性評価

## すべり安全率一覧 (Ss-B2, Ss-B3)

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P86 再掲

## ■基礎地盤のすべり評価 (Ss-B2, Ss-B3)

| 評価対象                       | 想定すべり線形状の<br>パターン<br>(建屋付近拡大図)                                                    | すべり安全率         |                |                |                |                |                |                |                |
|----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                            |                                                                                   | Ss-B2 (水平方向1)  |                | Ss-B2 (水平方向2)  |                | Ss-B3 (水平方向1)  |                | Ss-B3 (水平方向2)  |                |
|                            |                                                                                   | (+, +)         | (-, +)         | (+, +)         | (-, +)         | (+, +)         | (-, +)         | (+, +)         | (-, +)         |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x - x' 断面 |  | 8.3<br>[14.40] | 8.9<br>[14.41] | 4.6<br>[14.80] | 4.6<br>[14.79] | 5.5<br>[11.25] | 5.5<br>[11.25] | 4.6<br>[11.17] | 4.6<br>[11.17] |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y - y' 断面 |  | 7.2<br>[14.40] | 6.4<br>[14.40] | 3.8<br>[14.77] | 3.8<br>[14.78] | 4.3<br>[11.26] | 4.5<br>[11.26] | 3.6<br>[11.17] | 3.8<br>[11.18] |

※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は, 発生時刻 (秒) を示す。

※ すべり安全率の算定には, 安全側に盛土・埋土 (bk), ローム層 (Lm), 中位段丘堆積物 (M) の強度は無視する。

## すべり安全率一覧 (Ss-B4)

## ■基礎地盤のすべり評価 (Ss-B4)




| 評価対象                       | 想定すべり線形状の<br>パターン<br>(建屋付近拡大図) | すべり安全率         |                |               |               |
|----------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|
|                            |                                | Ss-B4(水平方向1)   |                | Ss-B4(水平方向2)  |               |
|                            |                                | (+, +)         | (-, +)         | (+, +)        | (-, +)        |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x - x' 断面 |                                | 6.3<br>[9.97]  | 6.4<br>[11.55] | 4.3<br>[8.68] | 4.2<br>[8.68] |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y - y' 断面 |                                | 5.3<br>[11.56] | 5.0<br>[7.99]  | 3.6<br>[8.69] | 3.7<br>[8.69] |

- ※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。  
 ※ [ ] は, 発生時刻(秒)を示す。  
 ※ Ss-B4の鉛直動は, 一関東評価用地震動(鉛直動)を入力している。  
 ※ すべり安全率の算定には, 安全側に盛土・埋土(bk), ローム層(Lm), 中位段丘堆積物(M)の強度は無視する。



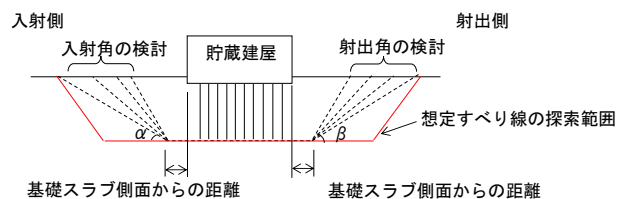
## 最小すべり安全率の確認

- 平均強度において、地震動Ss-B1(-, +)のすべり安全率が最小(2.1)となった。以下に、同じ地震動に対して、すべり安全率が低い順に選定されたすべり線を3本示す。

| 評価対象断面<br>及び地震動            | 順位  | 想定すべり線形状の<br>パターン<br>(建屋付近拡大図)                                                    | 想定すべり線の形状                |                     |                    | すべり安全率<br>〔平均強度〕 |
|----------------------------|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------|------------------|
|                            |     |                                                                                   | 基礎スラブ<br>側面からの<br>距離 (m) | 入射角 $\alpha$<br>(度) | 射出角 $\beta$<br>(度) |                  |
| y - y' 断面<br>【Ss-B1(-, +)】 | 第1位 |  | 0                        | 30                  | 30                 | 2.10<br>〔8.00〕   |
|                            | 第2位 |  | 0                        | 30                  | 35                 | 2.13<br>〔8.00〕   |
|                            | 第3位 |  | 0                        | 35                  | 30                 | 2.15<br>〔8.00〕   |

※ 基準地震動Ss-B1の(-, +)は、水平反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻(秒)を示す。



参考資料：②地震力に対する安定性評価

# 地震時最大接地圧一覧 (Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3)

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P89 再掲

## ■基礎の支持力評価 (Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3)

| 評価対象              | 評価基準値 (N/mm <sup>2</sup> ) | 地震時最大接地圧 (N/mm <sup>2</sup> ) |                        |                 |                 |                |                |                 |                 |                 |                 |                |                |                |                |
|-------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                   |                            | Ss-A                          |                        |                 |                 | Ss-B1          |                | Ss-B2 (水平方向1)   |                 | Ss-B2 (水平方向2)   |                 | Ss-B3 (水平方向1)  |                | Ss-B3 (水平方向2)  |                |
|                   |                            | (+, +)                        | (+, -)                 | (-, +)          | (-, -)          | (+, +)         | (-, +)         | (+, +)          | (-, +)          | (+, +)          | (-, +)          | (+, +)         | (-, +)         | (+, +)         | (-, +)         |
| 使用済燃料貯蔵建屋 x-x' 断面 | 4.58                       | 1.27<br>[20.00]               | 1.27<br>[41.89]        | 1.27<br>[19.99] | 1.28<br>[41.89] | 1.08<br>[7.73] | 1.06<br>[7.73] | 1.17<br>[17.27] | 1.16<br>[17.27] | 1.16<br>[17.28] | 1.16<br>[17.28] | 1.09<br>[9.51] | 1.10<br>[9.51] | 1.11<br>[9.51] | 1.10<br>[9.51] |
| 使用済燃料貯蔵建屋 y-y' 断面 | 4.58                       | 1.36<br>[20.00]               | <u>1.37</u><br>[28.41] | 1.36<br>[20.00] | 1.36<br>[41.89] | 1.13<br>[8.12] | 1.14<br>[7.73] | 1.26<br>[17.27] | 1.26<br>[17.27] | 1.26<br>[17.28] | 1.25<br>[17.27] | 1.18<br>[9.51] | 1.19<br>[9.51] | 1.19<br>[9.51] | 1.18<br>[9.51] |

※ 下線は、地震時最大接地圧の最大値を示す。

※ Ssに記載の、(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

## 地震時最大接地圧一覧 (Ss-B4)

## ■基礎の支持力評価 (Ss-B4)

| 評価対象                       | 評価<br>基準値<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 地震時最大接地圧 (N/mm <sup>2</sup> ) |                |                  |                |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------|----------------|
|                            |                                   | Ss-B4<br>(水平方向1)              |                | Ss-B4<br>(水平方向2) |                |
|                            |                                   | (+, +)                        | (-, +)         | (+, +)           | (-, +)         |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x - x' 断面 | 4.58                              | 1.13<br>[8.77]                | 1.13<br>[8.77] | 1.14<br>[8.76]   | 1.15<br>[8.76] |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y - y' 断面 | 4.58                              | 1.23<br>[8.77]                | 1.21<br>[8.77] | 1.23<br>[8.76]   | 1.22<br>[8.76] |

※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は, 発生時刻 (秒) を示す。

※ Ss-B4の鉛直動は, 一関東評価用地震動 (鉛直動) を入力している。

参考資料：②地震力に対する安定性評価

## 地震時最大傾斜一覧 (Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3)

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P91 再掲

## ■基礎底面の傾斜評価 (Ss-A, Ss-B1, Ss-B2, Ss-B3)

| 評価対象                     | 上段：最大相対変位 (cm), 下段：最大傾斜 |                |                |                |               |                 |                  |                |                  |                |                  |                |                  |               |
|--------------------------|-------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|----------------|------------------|---------------|
|                          | Ss-A                    |                |                |                | Ss-B1         |                 | Ss-B2<br>(水平方向1) |                | Ss-B2<br>(水平方向2) |                | Ss-B3<br>(水平方向1) |                | Ss-B3<br>(水平方向2) |               |
|                          | (+, +)                  | (+, -)         | (-, +)         | (-, -)         | (+, +)        | (-, +)          | (+, +)           | (-, +)         | (+, +)           | (-, +)         | (+, +)           | (-, +)         | (+, +)           | (-, +)        |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x-x' 断面 | 0.5<br>[41.95]          | 0.4<br>[41.95] | 0.4<br>[41.95] | 0.5<br>[41.95] | 0.6<br>[8.01] | 0.6<br>[8.02]   | 0.2<br>[15.29]   | 0.1<br>[14.98] | 0.2<br>[14.69]   | 0.2<br>[15.17] | 0.2<br>[9.10]    | 0.2<br>[11.27] | 0.3<br>[8.48]    | 0.2<br>[8.48] |
|                          | 1/13,000                | 1/13,000       | 1/13,000       | 1/13,000       | 1/11,000      | <u>1/10,000</u> | 1/27,000         | 1/49,000       | 1/37,000         | 1/36,000       | 1/33,000         | 1/31,000       | 1/24,000         | 1/27,000      |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y-y' 断面 | 0.6<br>[42.01]          | 0.4<br>[61.77] | 0.4<br>[61.77] | 0.6<br>[42.01] | 0.4<br>[8.10] | 0.4<br>[8.11]   | 0.2<br>[14.78]   | 0.2<br>[15.96] | 0.2<br>[18.51]   | 0.2<br>[15.23] | 0.2<br>[9.48]    | 0.2<br>[9.43]  | 0.3<br>[8.54]    | 0.3<br>[9.81] |
|                          | 1/22,000                | 1/31,000       | 1/31,000       | 1/22,000       | 1/36,000      | 1/36,000        | 1/69,000         | 1/65,000       | 1/60,000         | 1/84,000       | 1/74,000         | 1/76,000       | 1/49,000         | 1/49,000      |

※ 下線は、最大傾斜の最大値を示す。

※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は、発生時刻 (秒) を示す。

## 地震時最大傾斜一覧 (Ss-B4)

## ■基礎底面の傾斜評価 (Ss-B4)

| 評価対象                       | 上段：最大相対変位 (cm), 下段：最大傾斜 |                |                  |               |
|----------------------------|-------------------------|----------------|------------------|---------------|
|                            | Ss-B4<br>(水平方向1)        |                | Ss-B4<br>(水平方向2) |               |
|                            | (+, +)                  | (-, +)         | (+, +)           | (-, +)        |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>x - x' 断面 | 0.2<br>[8.65]           | 0.2<br>[8.65]  | 0.3<br>[8.72]    | 0.3<br>[8.72] |
|                            | 1/29,000                | 1/29,000       | 1/19,000         | 1/20,000      |
| 使用済燃料<br>貯蔵建屋<br>y - y' 断面 | 0.2<br>[8.95]           | 0.2<br>[10.10] | 0.3<br>[8.78]    | 0.2<br>[7.80] |
|                            | 1/62,000                | 1/56,000       | 1/43,000         | 1/63,000      |

※ Ssに記載の, (+, +)は位相反転なし, (-, +)は水平反転, (+, -)は鉛直反転, (-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

※ [ ] は, 発生時刻 (秒) を示す。

※ Ss-B4の鉛直動は, 一関東評価用地震動 (鉛直動) を入力している。

# 安定性評価結果の申請時と今回の比較

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P93 再掲

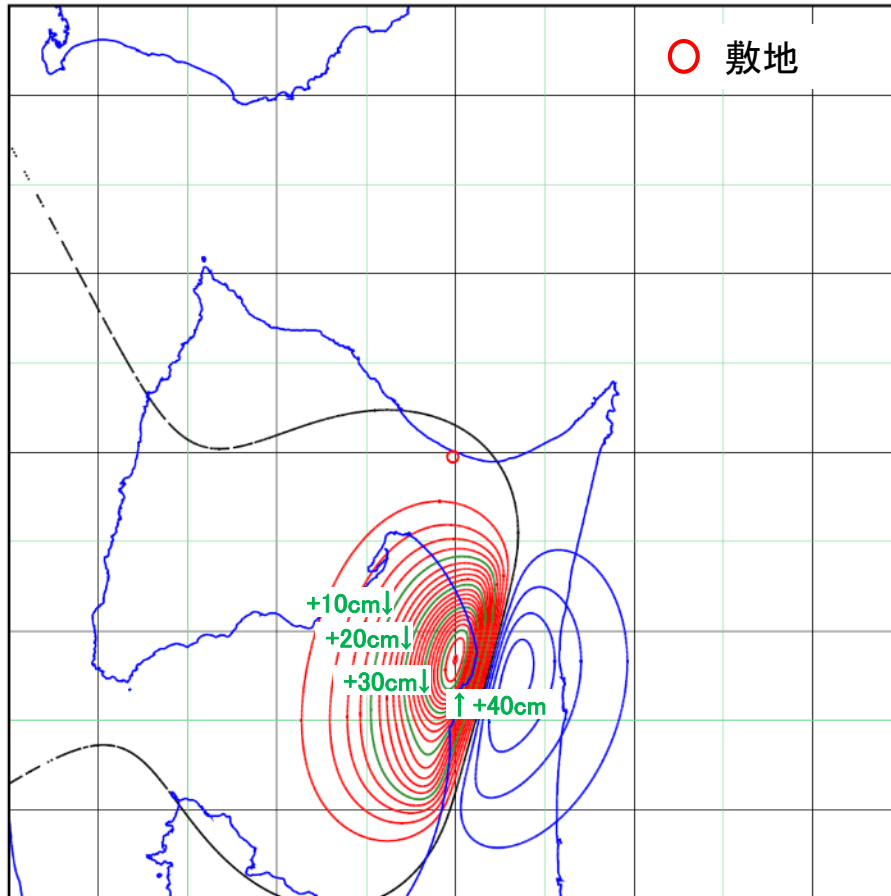
| 評価対象断面<br>及び地震動  | 基準地震動<br>Ss                                              | 基礎地盤のすべり<br>(すべり安全率)          | 基礎の支持力<br>(最大接地圧)             | 基礎底面の傾斜<br>(傾斜)               |  |  |
|------------------|----------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| 申請時<br>(平成26年1月) | 基準地震動<br>は1波<br>Ss                                       | 2.0 (平均値)                     | 1.42N/mm <sup>2</sup>         | 1/11,000                      |  |  |
|                  |                                                          | y-y' 断面, Ss(+, +), 17.40(秒)   | y-y' 断面, Ss(+, -), 41.32(秒)   | x-x' 断面, Ss(+, -), 29.73(秒)   |  |  |
| 変更後<br>今回        | 基準地震動<br>は5波<br>Ss-A<br>Ss-B1<br>Ss-B2<br>Ss-B3<br>Ss-B4 | 2.1 (平均値)                     | 1.37N/mm <sup>2</sup>         | 1/10,000                      |  |  |
|                  |                                                          | y-y' 断面, Ss-B1(-, +), 8.00(秒) |                               |                               |  |  |
|                  |                                                          | 1.5 (バラツキ考慮)                  |                               |                               |  |  |
|                  |                                                          | y-y' 断面, Ss-B1(-, +), 8.01(秒) | y-y' 断面, Ss-A(+, -), 28.41(秒) | x-x' 断面, Ss-B1(-, +), 8.02(秒) |  |  |
|                  |                                                          | 参考：Ss-A<br>2.2 (平均値)          | —                             | 参考：Ss-A<br>1/13,000           |  |  |
|                  |                                                          | y-y' 断面, Ss-A(+, -), 41.68(秒) |                               | x-x' 断面, Ss-A(+, +), 41.95(秒) |  |  |

※ 評価値の下段は、断面方向、入力地震動、発生時刻を示す。

※ Ssに記載の、(+, +)は位相反転なし、(-, +)は水平反転、(+, -)は鉛直反転、(-, -)は水平反転かつ鉛直反転を示す。

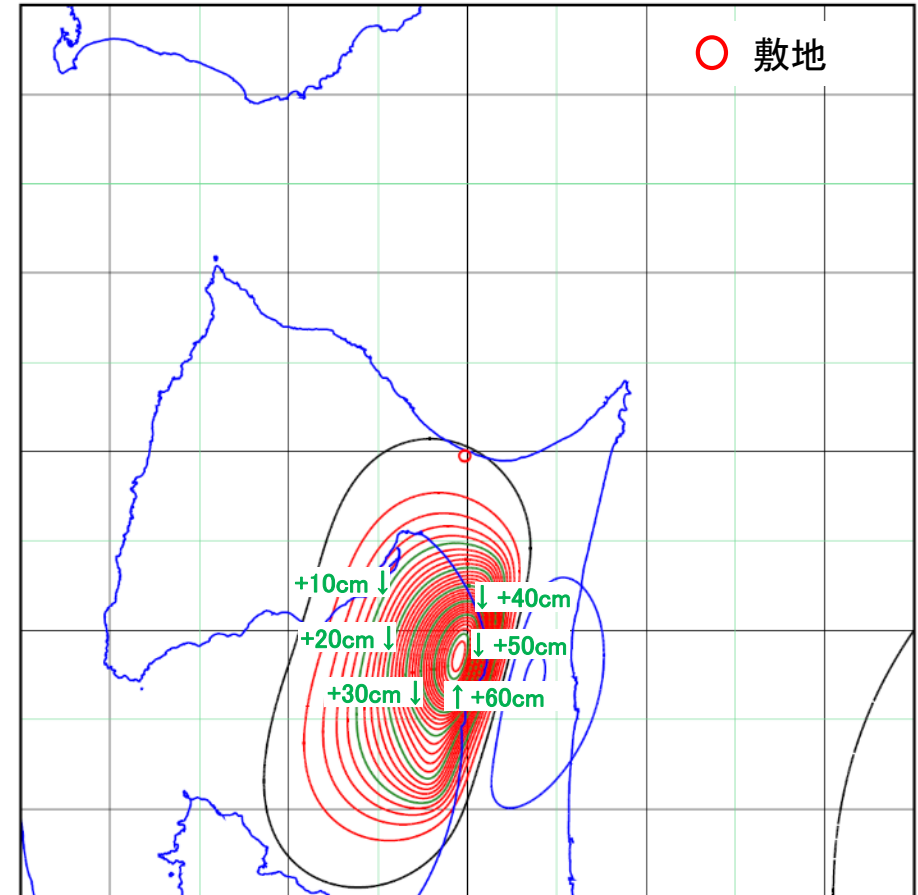
## 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

## ■ 鉛直変位分布図(平面)



基本震源モデル

応力降下量の不確かさを考慮したケース



断層傾斜角の不確かさを考慮したケース

※コンター間隔2cm

(赤：隆起側，青：沈降側，黒：0cm)

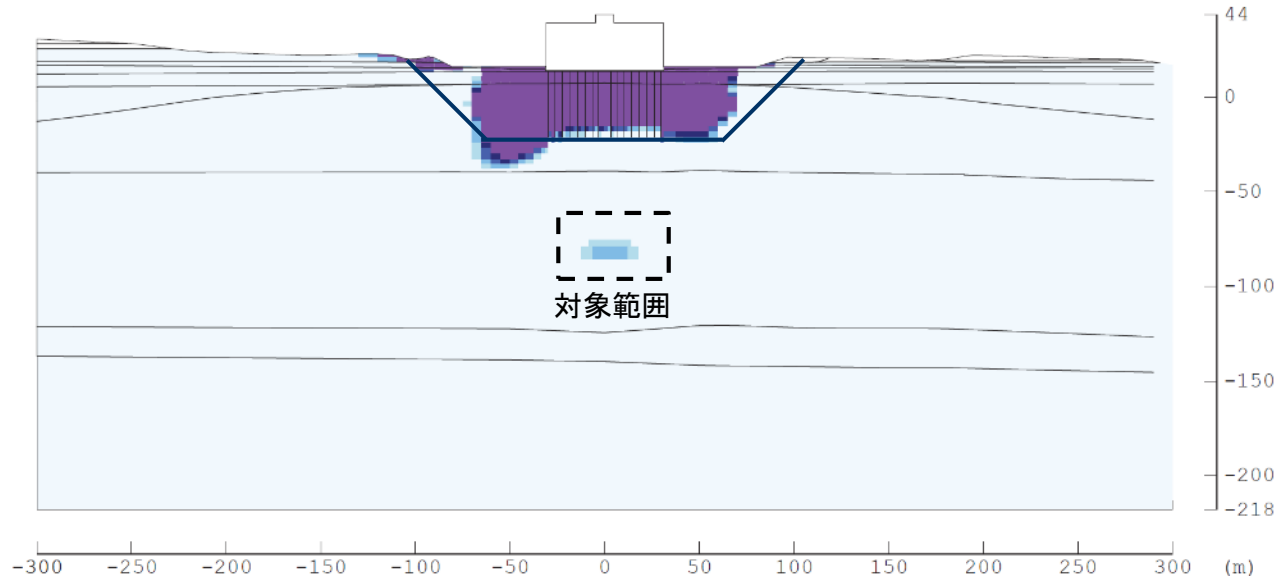
参考資料:④ 「5. 基礎地盤の安定性における基本事項の整理・検討」に対する補足 (その1)

## 影響範囲下部に出現している最大せん断応力比10~20%の領域に対する考察① x-x' 断面

- 前出 (P31) に見られる影響範囲下部の最大せん断応力比10~20%の領域の具体的な数値は11%以下となっている。この領域は上部の最大せん断応力比が大きい領域と連続せず、離隔も大きいことに加え、数値も小さいことから有意なものとは考えられない。

### 最大せん断応力比算定式

$$\text{最大せん断応力比} = \left| \frac{\text{建屋ありの}\tau_{\max} - \text{建屋なしの}\tau_{\max}}{\text{建屋なしの}\tau_{\max}} \right| \times 100 (\%)$$



対象範囲の  
レンジ

※P31とは凡例のレンジが異なる。

### 建屋影響範囲 x-x' 断面 (Ss-B1 (+, +) ※1)

※1 基準地震動Ssのうち、水平加速度が最も大きい基準地震動Ss-B1のケース。(+, +)は、位相反転なしを示す。



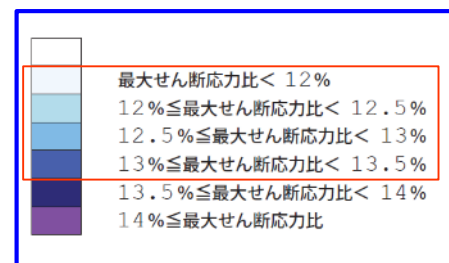
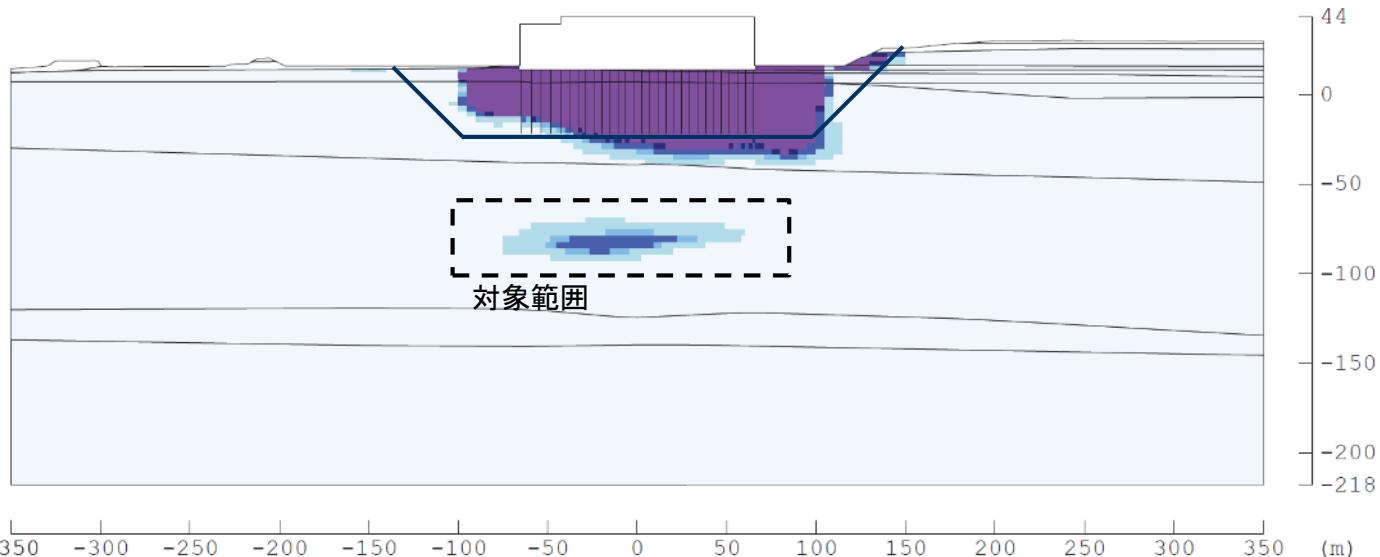
参考資料:④ 「5. 基礎地盤の安定性における基本事項の整理・検討」に対する補足 (その1)

## 影響範囲下部に出現している最大せん断応力比10~20%の領域に対する考察② y-y' 断面

- 前出 (P32) に見られる影響範囲下部の最大せん断応力比10~20%の領域の具体的な数値は13.5%以下となっている。この領域は、x-x' 断面と同様に上部の最大せん断応力比が大きい領域と連続せず、離隔も大きいことに加え、数値も小さいことから有意なものとは考えられない。

### 最大せん断応力比算定式

$$\text{最大せん断応力比} = \frac{\text{建屋ありの}\tau_{\max} - \text{建屋なしの}\tau_{\max}}{\text{建屋なしの}\tau_{\max}} \times 100 (\%)$$



対象範囲のレンジ

※P32とは凡例のレンジが異なる。

### 建屋影響範囲 y-y' 断面 (Ss-B1 (-, +) ※1)

※1 基準地震動Ssのうち、水平加速度が最も大きい基準地震動Ss-B1のケース。(-, +)は、水平反転を示す。

参考資料:⑤「5. 基礎地盤の安定性における基本事項の整理・検討」に対する補足(その2)

## 土木学会(2009)におけるすべり線検討範囲の考え方

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P97 再掲

### ■ 土木学会(2009)においては、すべり線検討範囲について、以下の記載がある。

- ① はじめに、地質・地盤調査等に基づいて設定した対象となるシームあるいは断層を考慮しない地盤モデルに対して、発電所構築物がある場合と無い場合の動的解析を行い、両者の解析によって得られる応力変動を比較することにより、構築物の影響を受けると見なし得る範囲を決定する。(解析範囲の設定)
- ② 上記の①で求めた解析範囲に対して、シームや断層を考慮した地盤モデルを対象として、地震時の地盤の安定性をすべり安全率で定量的に評価する。この場合のすべり安定性評価領域は、あくまでも発電所構築物の存在が地盤の安定性に及ぼす影響の評価であるという観点に立って考えると、上記のようにして定められた解析範囲で、地表から地表に抜けるようにすべり線を設定すれば良いものとする。なお、解析モデルの両側の境界に至るようなすべりに対する安定性は、前述した地質

### ■ また、すべり線探索範囲を大きくすることによる不具合について、以下の記載がある。

- 一方、最近の原子炉建屋基礎地盤の安定性評価においては、低角あるいは水平に数キロ以上にわたってシームや断層が存在している基礎地盤に対して2次元のすべり面法、静的解析を行う場合、解析上以下のような矛盾が生じている。
- ・解析断面によっては、シームあるいは断層が境界から境界まで連続するモデルとなり、両端を自由境界とした場合、震度法によって地盤のすべり安定性を評価すると、結果的に、検討対象すべり線の側方への検討領域を大きくするほど、あるいは深部に存在するすべり線ほど、すべり安全率が低下するなどの非現実的なすべり安全率の評価結果となる<sup>1) 2)</sup>。
  - ・境界を遠方に設定したとしても、その効果はすべり安全率の評価に寄与せず、逆にすべり線を大きく設定するほど安全率が低下するという矛盾が生じる。

参考資料:⑤「5. 基礎地盤の安定性における基本事項の整理・検討」に対する補足(その2)

## すべり線を大きく設定した場合の検討例

審査会合 (R2. 2. 14)

資料1-5 P98 再掲

- すべり線を大きくした場合の検討例として、すべり線の立ち上がり角度を低角にした場合の解析を行った。その結果、土木学会(2009)<sup>2)</sup>に記載されているとおり、すべり安全率が小さくなる傾向が認められ、現実にそぐわない結果となっている。

| 評価対象断面<br>及び地震動                           | 想定すべり線形状のパターン | すべり安全率<br>〔平均強度〕            |
|-------------------------------------------|---------------|-----------------------------|
| y - y' 断面<br>【Ss-B1(-, +) <sup>※1</sup> 】 |               | 2.0<br>〔8.00〕 <sup>※2</sup> |
|                                           |               | 1.9<br>〔8.00〕 <sup>※2</sup> |
|                                           |               | 1.8<br>〔8.00〕 <sup>※2</sup> |

※1 基準地震動Ss-B1の(-, +)は、水平反転を示す。

※2 [ ] は、発生時刻(秒)を示す。

## 参考文献におけるばらつきの考え方

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P99 再掲

地盤物性のばらつきの考え方を以下に示す

### ■ 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2008 (日本電気協会) 1)

すべり安全率に対する地盤物性値のばらつきの影響については、一般に強度特性が支配的であり、変形特性の影響は小さい。したがって、一般に強度特性のばらつきのみ考慮しておけばよい。

### ■ 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料> (土木学会, 2009) 2)

地盤物性値のばらつき評価法について確率論的な検討を行い、以下の結論が得られている。

- 地盤物性値を±10%して算定したすべり安全率の差を算定した結果、すべり安全率に関しては、せん断強度等の抵抗力に関係する地盤物性値の影響が非常に強く、剛性等の影響は比較的小さい。
- 「代表値±係数×標準偏差」を用いた確率論的手法による地盤物性値のばらつき評価の結果、確率論的手法によって評価したすべり安全率が、確定論的に地盤物性値を「代表値-1.0×標準偏差」に設定して評価したすべり安全率を下回る確率は小さい。

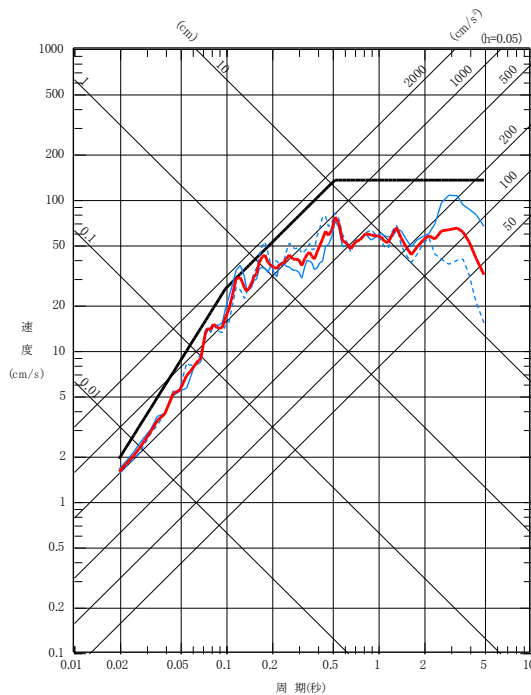


- 地盤物性のばらつきを考慮したすべり安全率は、試験結果をもとに標準偏差 $\sigma$ を求め、強度特性（ピーク強度、残留強度）を $1\sigma$ 低減した物性値で算出する。
- すべての評価ケースの中で、最もすべり安全率が最小となったケースを対象に地盤のばらつきを考慮して評価する。

# 一関東評価用地震動(鉛直方向)の設定方法

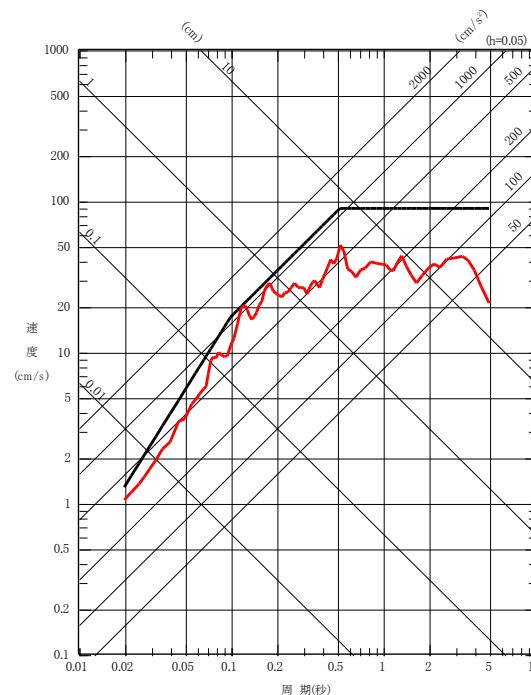
- ① NS方向及びEW方向のはぎとり解析により算定した基盤地震動の応答スペクトルを平均し、平均応答スペクトルを作成。
- ② 水平方向に対する鉛直方向の地震動の比2/3を考慮し、平均応答スペクトルを2/3倍した応答スペクトルを作成。
- ③ 一関東観測点における岩手・宮城内陸地震の鉛直方向地中記録の位相を用いて、設定した応答スペクトルに適合するよう作成。
- ④ 基準地震動Ss-B4の最大加速度は水平方向1が540Gal及び水平方向2が500Galであり、これらの2/3がそれぞれ360Gal及び333Galであることから、作成した模擬地震波(321Gal)に保守性を考慮し、360Galに振幅調整を行った地震動を、一関東評価用地震動(鉛直方向)とする。

- ①
- 基準地震動Ss-A(水平方向)
  - KiK-net一関東はぎとり波(NS方向)
  - KiK-net一関東はぎとり波(EW方向)
  - 平均応答スペクトル



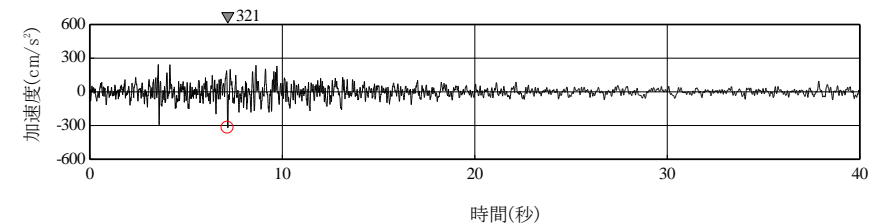
応答スペクトル図(水平方向)

- ②
- 基準地震動Ss-A(鉛直方向)
  - 平均応答スペクトル×2/3



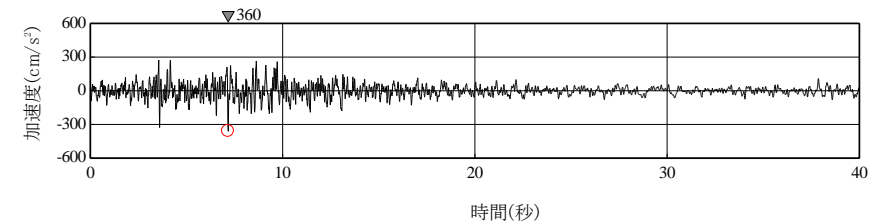
応答スペクトル図(鉛直方向)

- ③



模擬地震波の時刻歴波形(鉛直方向)

- ④

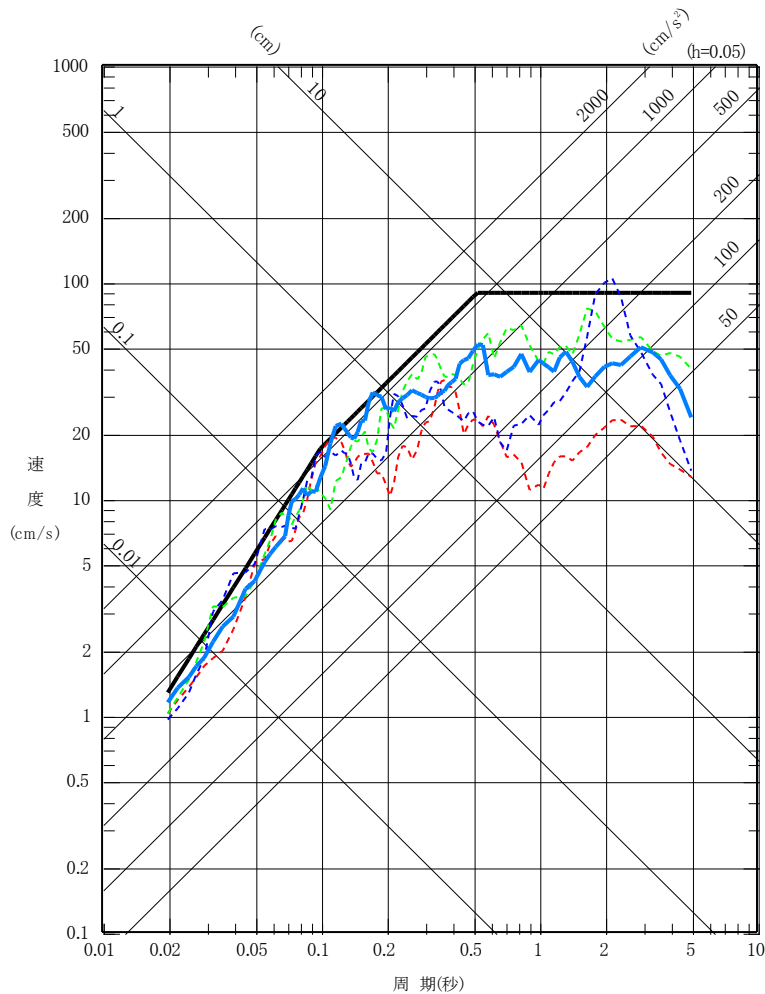


振幅調整後の模擬地震波の時刻歴波形(鉛直方向)  
(一関東評価用地震動(鉛直方向))

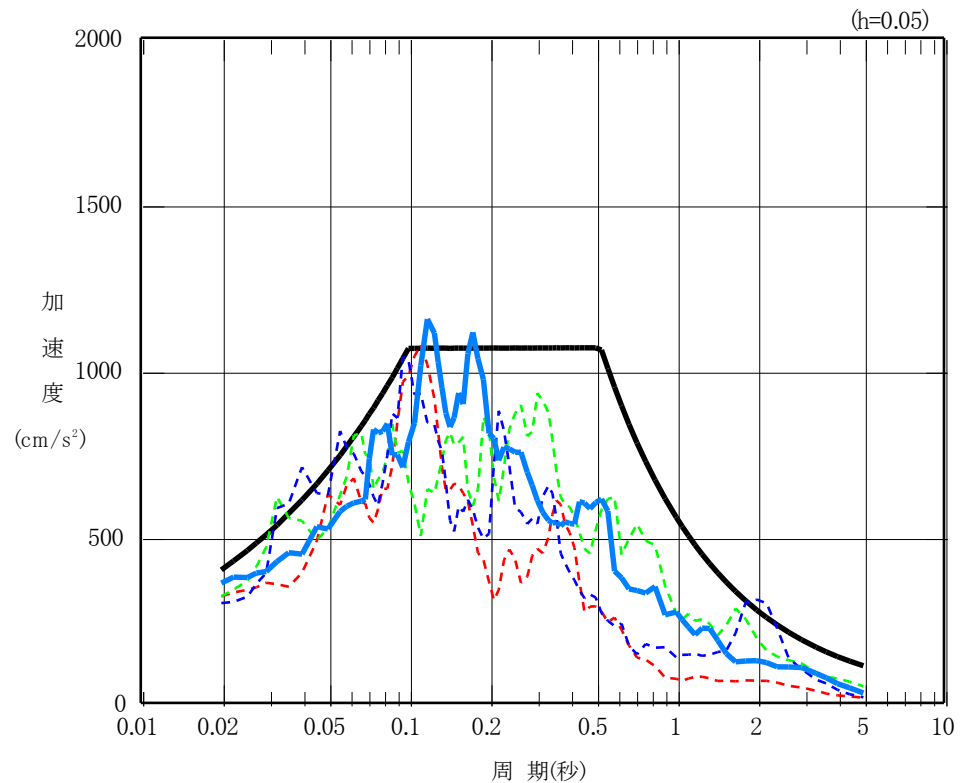
参考資料: ⑦一関東評価用地震動(鉛直方向)

審査会合 (R2. 2. 14)  
資料1-5 P101 再掲

# 基準地震動と一関東評価用地震動の比較(鉛直方向)



- 基準地震動Ss-A 敷地ごとに震源を特定して策定する地震動に基づく基準地震動
- - - 基準地震動Ss-B1 2004年北海道留萌支庁南部地震(K-NET港町)
- - - 基準地震動Ss-B2 2008年岩手・宮城内陸地震(栗駒ダム[右岸地山])
- - - 基準地震動Ss-B3 2008年岩手・宮城内陸地震(KiK-net金ヶ崎)
- 一関東評価用地震動



応答スペクトル図(鉛直方向)

参考資料:⑧

## 有限要素モデルの物性値

## 解析対象施設

## ■ 使用済燃料貯蔵建屋

規模：131.30m(NS) × 61.60m(EW)，総重量：約1,620,000kN

NS方向 固有周期 水平：0.129秒 鉛直：0.042秒

| 棒要素<br>番号 | 標高<br>EL(m) | 質量密度<br>$\rho_i(t/m^3)$ | ソリッド要素<br>番号 | 弾性係数<br>$E_i(kN/m^2)$ | せん断弾性係数<br>$G_i(kN/m^2)$ | ポアソン比<br>$\nu_i$ |
|-----------|-------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|------------------|
| ①         | 43.50       | 0.377                   | 1            | 1.260E+04             | 4.213E+03                | 0.495            |
| ②         | 39.30       | 0.746                   |              |                       |                          |                  |
| ③         | 33.22       | 0.647                   | 2            | 4.065E+05             | 1.497E+05                | 0.358            |
| ④         | 29.27       | 4.468                   | 3            | 8.639E+05             | 3.180E+05                | 0.358            |
| ⑤         | 16.30       | 10.693                  | 4            | 1.218E+06             | 4.486E+05                | 0.358            |
| ⑥         | 13.80       | 3.149                   | 5            | 2.451E+07             | 1.050E+07                | 0.167            |

EW方向 固有周期 水平：0.106秒 鉛直：0.042秒

| 棒要素<br>番号 | 標高<br>EL(m) | 質量密度<br>$\rho_i(t/m^3)$ | ソリッド要素<br>番号 | 弾性係数<br>$E_i(kN/m^2)$ | せん断弾性係数<br>$G_i(kN/m^2)$ | ポアソン比<br>$\nu_i$ |
|-----------|-------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------------------|------------------|
| ①         | 43.50       | 1.937                   | 1            | 1.213E+06             | 4.260E+05                | 0.424            |
| ②         | 39.30       | 0.752                   |              |                       |                          |                  |
| ③         | 33.22       | 0.653                   | 2            | 3.942E+05             | 1.384E+05                | 0.424            |
| ④         | 29.27       | 4.506                   | 3            | 5.554E+05             | 1.951E+05                | 0.424            |
| ⑤         | 16.30       | 10.693                  | 4            | 1.042E+06             | 3.658E+05                | 0.424            |
| ⑥         | 13.80       | 3.149                   | 5            | 2.451E+07             | 1.050E+07                | 0.167            |

参考資料:⑨

## 参考文献

- 1) 原子力発電所耐震設計技術指針JEAG4601-2008, 一般社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会, 2008.
- 2) 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術<技術資料>, 土木学会 原子力土木委員会, 2009.
- 3) 建築基礎構造設計指針, 日本建築学会, 2001.
- 4) 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程JEAC4616-2009 ,  
一般社団法人 日本電気協会 原子力規格委員会, 2009
- 5) 土質試験の方法と解説, 地盤工学会, 2000.
- 6) Okada(1992) : Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, Bulletin of the  
Seismological Society of America, Vol. 82, No. 2, pp. 1018-1040.
- 7) 宅地防災マニュアルの解説〔第二次改訂版〕〔Ⅱ〕, 〔編集〕宅地防災研究会, 2007.
- 8) 岩の試験・調査方法の基準・解説書 平成14年度版, 地盤工学会, 2003.
- 9) 地盤調査の方法と解説, 地盤工学会, 2004.