

HTTR 原子炉施設  
設置許可基準規則への適合性について  
第 3 条(地盤)

令和 2 年 6 月 12 日

日本原子力研究開発機構 大洗研究所  
高温ガス炉研究開発センター  
高温工学試験研究炉部

### 第 3 条: 試験研究用等原子炉施設の地盤

#### < 目次 >

1. 基本方針
  - 1.1 要求事項の整理
  - 1.2 設置許可申請書における記載
  - 1.3 設置許可申請書の添付書類における記載
    - 1.3.1 安全設計方針
    - 1.3.2 気象等
    - 1.3.3 設備等
  
2. HTTR 原子炉施設の地盤(適合性説明資料)

<概要>

試験研究用等原子炉施設の設置許可基準規則の要求事項を明確化するとともに、それら要求に対するHTTR原子炉施設の適合性を示す。

## 1. 基本方針

### 1.1 要求事項の整理

試験研究用等原子炉施設地盤について、設置許可基準規則第3条の要求事項を明確化する(表1)。

表1 設置許可基準規則第3条 要求事項

設置許可基準規則 第3条(試験研究用等原子炉施設の地盤)	備考
<p>試験研究用等原子炉施設(水冷却型研究炉、ガス冷却型原子炉及びナトリウム冷却型高速炉に係るものを除く。以下この章において同じ。)は、次条第二項の規定により算定する地震力(試験研究用等原子炉施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。)にあつては、同条第三項の地震力を含む。)が作用した場合においても当該試験研究用等原子炉施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。</p>	
<p>2 耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。</p>	
<p>3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。</p>	

## 1.2 設置許可申請書における記載

### 1.2.1 位置、構造及び設備

#### ロ 試験研究用等原子炉施設の一般構造

原子炉施設は、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」（以下「原子炉等規制法」という。）、「試験研究の用に供する原子炉等の設置、運転等に関する規則」、「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」（以下「試験炉設置許可基準規則」という。）等の国内の法令、規格、基準等の要求を満足する構造とする。さらに、黒鉛構造及び高温構造に関する設計については、「高温ガス炉炉心支持黒鉛構造物の構造設計指針」及び「高温ガス炉炉心黒鉛構造物の構造設計指針」並びに「高温ガス炉第1種機器の高温構造設計指針」に基づき、これを満足する設計とする。

これらの法令、規格、基準等で規定されていないものについては、必要に応じて国外の規格に準拠する。

#### (1) 耐震構造

原子炉施設は、原子炉建家、使用済燃料貯蔵建家、機械棟等からなり、原子炉建家には、原子炉、1次冷却設備、2次冷却設備、計測制御設備等を設置し、次の方針に基づき耐震設計を行い、「試験炉設置許可基準規則」に適合する設計とする。

- (i) 建物及び構築物は原則として剛構造にする。また、主要な建物・構築物は、想定される地震に対して十分に安全な地盤に支持させる。炉心は、黒鉛ブロックの積層構造であり、剛構造の炉心支持鋼構造物を介して原子炉圧力容器に支持させる。

### 1.3 設置許可申請書の添付書類における記載

#### 1.3.1 安全設計方針

##### (1)設計方針

#### 1. 安全設計

#### 1.4 耐震設計

##### 1.4.1 耐震設計の基本方針

原子炉施設の耐震設計は、「試験炉設置許可基準規則」に適合するように、以下の項目に従って行う。

- (3) 原子炉施設は、耐震重要度分類の各クラスに応じて算定する地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。

## (2) 適合性説明

(試験研究用等原子炉施設の地盤)

第三条 試験研究用等原子炉施設(水冷却型研究炉、ガス冷却型原子炉及びナトリウム冷却型高速炉に係るものを除く。以下この章において同じ。)は、次条第二項の規定により算定する地震力(試験研究用等原子炉施設のうち、地震の発生によって生ずるおそれがあるその安全機能の喪失に起因する放射線による公衆への影響の程度が特に大きいもの(以下「耐震重要施設」という。))にあっては、同条第三項の地震力を含む。)が作用した場合においても当該試験研究用等原子炉施設を十分に支持することができる地盤に設けなければならない。

- 2 耐震重要施設は、変形した場合においてもその安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設けなければならない。
- 3 耐震重要施設は、変位が生ずるおそれがない地盤に設けなければならない。

適合のための設計方針

### 1 について

耐震重要施設については、基準地震動による地震力が作用した場合においても、接地圧に対する十分な支持力を有する地盤に設置する。

また、上記に加え、基準地震動による地震力が作用することによって弱面上のずれが発生しないことを含め、基準地震動による地震力に対する支持性能を有する地盤に設置する。

### 2 について

耐震重要施設は、地震発生に伴う地殻変動によって生じる支持地盤の傾斜及び撓み並びに地震発生に伴う建物・構築物間の不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等の周辺地盤の変状により、その安全機能が損なわれるおそれがない地盤に設置する。

### 3 について

耐震重要施設は、将来活動する可能性のある断層等の露頭がないことが確認された地盤に設置する。

添付書類六の次の項目参照

3. 地 盤



### 1.3.2 気象等

#### 3.6 H T T R原子炉施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性

耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器・配管系及びそれらを支持する建物・構築物（耐震重要施設）が設置される基礎地盤について、十分な安定性を有することを確認する。

対象施設はH T T R原子炉建家とし、基礎地盤の地震時の支持性能については、基礎地盤のすべり、基礎地盤の支持力及び基礎底面の傾斜を評価する。

また、周辺地盤の変状による施設への影響評価、地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価及び周辺斜面の安定性評価を行い、対象施設の安全機能に重大な影響を及ぼさないことを確認する。

#### 3.6.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

##### 3.6.1.1 評価方法

###### (1) 解析手法

基礎地盤のすべり、基礎地盤の支持力及び基礎底面の傾斜に関する安定性について、2次元有限要素法による地震応答解析により検討した。

地震応答解析は、2次元有限要素モデルを用いた周波数応答解析とし、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰率のひずみ依存性を考慮する。

地震時の応力は、静的有限要素法解析による常時応力及び地震応答解析による地震時増分応力を重ね合わせることで求め、常時応力は建家の荷重及び地盤の初期応力を考慮して求め、地震時増分応力は水平地震動及び鉛直地震動を同時加振した場合の応答を考慮して求める。基礎地盤の安定性評価フローを第3.6.1図に示す。

###### (2) 解析条件

###### a. 解析断面

解析の対象とする断面は、基礎地盤の地質構造及び原子炉建家の配置を考慮し、原子炉建家を中心に直交する2断面A-A'及びB-B'とする。解析断面位置図を第3.6.2図に示す。

###### b. 解析モデル

有限要素法解析に用いる解析用地盤モデルは、原子炉建家建設前の原地盤とし、第3.5.13図(1)及び第3.5.13図(2)に示す鉛直地質断面図に基づき作成する。解析用建家モデルは、多質点系モデルに基づき作成する。解析モデルを第3.6.3図(1)及び第3.6.3図(2)に示す。

常時応力を算定する静的解析における境界条件は、モデル下端を固定境界、

側方を鉛直ローラー境界とする。また、動的解析における境界条件は、モデル下端を粘性境界、側方をエネルギー伝達境界とする。境界条件を第3.6.4図に示す。

c. 解析用物性値

解析用物性値は、原地盤の地盤調査結果に基づき設定する。また、地盤強度のばらつき（平均値 $-1.0 \times$ 標準偏差（ $\sigma$ ））を考慮した検討も実施する。解析用物性値を第3.6.1表（1）及び第3.6.1表（2）に示す。

なお、原地盤の物性値による評価を行うが、建設時に掘削された領域は周辺建家の地下部又は埋戻土となっているため、掘削範囲すべてを埋戻土と仮定し、強度を保守的にゼロとした評価も行う。

d. 解析用地下水位

すべり安全率の評価は、解析用地下水位を保守的に地表面に設定した解析を基本とし、基礎地盤がすべりに対して安定性を有していることを確認する。

なお、すべり安全率が最小となる想定すべり線及び地震動の抽出、基礎地盤の支持力及び基礎底面の傾斜は、昭和61年～63年の建設前に実施した地下水位測定結果（第3.5.14図）に基づき、解析用地下水位を標高9.5mとして検討する。

e. 入力地震動

入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動を第3.6.3図（1）及び第3.6.3図（2）に示す解析モデルの下端に入力する。なお、応答スペクトル手法に基づく基準地震動（ $S_s-D$ ）については水平地震動及び鉛直地震動の位相反転を考慮する。

### 3.6.1.2 評価内容

#### (1) 基礎地盤のすべり

すべり安全率は、想定すべり線上のせん断抵抗力の和を想定すべり線上のせん断力の和で除して求め、すべり安全率が1.5を上回ることを確認する。想定すべり線は建家の基礎底面を通り、地表面へ立ち上がる連続したすべり線とする。地表面へ立ち上がるすべり線は局所安全率、応力状態及び受働崩壊角を踏まえて設定する。

すべり安全率算定に用いる地盤強度は、せん断強度に達した要素では残留強度を用いる。また、引張応力が発生する要素ではすべり線の垂直応力が圧縮の場合には残留強度、引張の場合は強度をゼロとしてすべり安全率を算定する。

地下水位を保守的に地表面に設定した評価を基本とし、地盤強度のばらつきを

考慮した評価及び埋戻土の強度を保守的にゼロとした評価を行う。なお、すべり安全率が最小となる想定すべり線及び地震動の抽出は解析用地下水位を標高9.5 mとする。

(2) 基礎地盤の支持力

地震時における基礎底面の接地圧が評価基準値（支持力）を下回ることを確認する。

(3) 基礎底面の傾斜

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

### 3.6.1.3 評価結果

(1) 基礎地盤のすべり

すべり安全率が最小となる想定すべり線及び地震動の抽出結果を第3.6.2表(1)及び第3.6.2表(2)に示す。すべり安全率が最小となる想定すべり線は、基礎底面を通り、すべり線立ち上がり角度が25°のすべり線で、地震動はSs-Dである。

抽出した想定すべり線及び地震動に対して、解析用地下水位を保守的に地表面に設定したすべり安全率を第3.6.3表に示す。最小すべり安全率は1.9、最小すべり安全率を示すケースについて、地盤強度のばらつきを考慮した場合1.8、埋戻土の強度を保守的にゼロとした場合1.9であった。いずれも評価基準値1.5を上回ることから、基礎地盤はすべりに対して十分な安定性を有している。

(2) 基礎地盤の支持力

評価基準値は、原子炉建家直下の基礎地盤（東茨城層群I<sub>s</sub>-S<sub>1</sub>）における平板載荷試験の結果から、1.9 N/mm<sup>2</sup>とする。地震時における基礎底面の接地圧は、最大で1.14 N/mm<sup>2</sup>であり、評価基準値を下回ることから、基礎地盤は十分な支持性能を有している。

(3) 基礎底面の傾斜

基礎底面両端の鉛直方向の相対変位・傾斜を第3.6.4表に示す。基礎底面の最大傾斜は、1/3,800であり、評価の目安である1/2,000を下回ることから、施設の安全機能に支障を与えるものではない。

### 3.6.2 液状化に対する安全性

「建築基礎構造設計指針」<sup>(122)</sup>によると、液状化判定を行う必要がある土層は地表面から20 m程度以浅の飽和土層で、土の種類は「沖積層で、細粒分含有率が35%以下の土層」、「粘土分含有率が10%以下又は塑性指数が15%以下の埋立地盤ある

いは盛土地盤」又は「細粒土を含む礫や透水性の低い土層に囲まれた礫」とされている。

原子炉建家基礎地盤における飽和土層は地表面から27 m以深であり、支持地盤は中部更新統の東茨城層群（砂質土）であるため、液状化のおそれはなく、施設の安全機能に支障を与えるものではない。

### 3.6.3 地震発生に伴う周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

#### 3.6.3.1 周辺地盤の変状による施設への影響評価

原子炉建家は、十分な支持性能を有する地盤に支持されており、原子炉建家以外に耐震重要施設はないことから、不等沈下、液状化や揺すり込み沈下等の影響はなく、周辺地盤の変状により施設の安全機能が損なわれるおそれはない。

#### 3.6.3.2 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

敷地には将来活動する可能性のある断層等は認められないことから、地震活動に伴い生じる地殻変動による施設への影響は小さいと考えられるが、「5.地震」における地震動評価を踏まえ、敷地周辺に想定される断層のうち、すべり量が大きく、かつ、すべり域が敷地に近い「2011年東北地方太平洋沖型地震」の強震動生成域（SMGA）位置の不確かさを考慮したモデルについて地殻変動による基礎底面の傾斜を算出し、施設への影響評価を行った。

地殻変動による基礎底面の傾斜については、食い違い弾性論に基づき、Okada（1992）<sup>(123)</sup>の手法によって得られる地殻変動量より算出した。

地殻変動による基礎底面の最大傾斜は1/17,000であり、さらに基準地震動による基礎底面の最大傾斜1/3,800との足し合わせを考慮した場合においても基礎底面の傾斜は1/3,100であり、評価基準値の目安である1/2,000を下回ることから、施設の安全機能に支障を与えるものではない。

### 3.6.4 周辺斜面の安定性評価

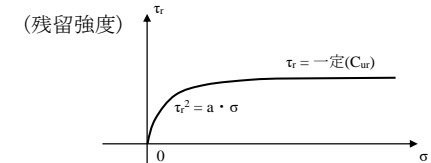
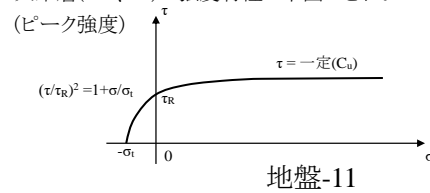
第3.5.13図の鉛直地質断面図に示すとおり、原子炉建家の周辺に評価対象とすべき斜面は存在せず、周辺斜面の影響はないことを確認した。

第 3.6.1 表(1) 解析用物性値

地層名	地質記号	物理特性		強度特性			強度特性(地盤物性のばらつき考慮)		
		湿潤密度 $\rho_t$ (g/cm <sup>3</sup> )	ピーク強度		残留強度 $\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> )	ピーク強度		残留強度 $\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> )	
			粘着力 C (N/mm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)		粘着力 C (N/mm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 $\phi$ (°)		
M1段丘堆積物	Lm	1.36	0.090	12.6	$\tau_r^2=0.105 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.077$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.066+\sigma \cdot \tan 17.1^\circ$ ( $\sigma \geq 0.077$ N/mm <sup>2</sup> )	0.089	12.6	$\tau_r^2=0.091 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.072$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.059+\sigma \cdot \tan 17.1^\circ$ ( $\sigma \geq 0.072$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Mu-S <sub>1</sub>	1.90	0.017	40.0	$\tau_r^2=0.080 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.006$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.018+\sigma \cdot \tan 33.3^\circ$ ( $\sigma \geq 0.006$ N/mm <sup>2</sup> )	0.003	40.0	$\tau_r^2=0.055 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.000$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.003+\sigma \cdot \tan 33.3^\circ$ ( $\sigma \geq 0.000$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Mu-C	1.75	0.067	10.5	$\tau_r^2=0.058 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.094$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.055+\sigma \cdot \tan 11.4^\circ$ ( $\sigma \geq 0.094$ N/mm <sup>2</sup> )	0.065	10.5	$\tau_r^2=0.048 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.088$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.047+\sigma \cdot \tan 11.4^\circ$ ( $\sigma \geq 0.088$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Mu-S <sub>2</sub>	1.90	0.017	40.0	$\tau_r^2=0.080 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.006$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.018+\sigma \cdot \tan 33.3^\circ$ ( $\sigma \geq 0.006$ N/mm <sup>2</sup> )	0.003	40.0	$\tau_r^2=0.055 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.000$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.003+\sigma \cdot \tan 33.3^\circ$ ( $\sigma \geq 0.000$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Mu-Sg	2.02	0.082	33.0	$\tau_r = \sigma \cdot \tan 35.2^\circ$	0.057	33.0	$\tau_r = \sigma \cdot \tan 33.7^\circ$	
	Mu-S <sub>3</sub>	1.81	0.017	40.0	$\tau_r^2=0.080 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.006$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.018+\sigma \cdot \tan 33.3^\circ$ ( $\sigma \geq 0.006$ N/mm <sup>2</sup> )	0.003	40.0	$\tau_r^2=0.055 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.000$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.003+\sigma \cdot \tan 33.3^\circ$ ( $\sigma \geq 0.000$ N/mm <sup>2</sup> )	
東茨城層群	Mm-Sg	2.02	0.082	33.0	$\tau_r = \sigma \cdot \tan 35.2^\circ$	0.057	33.0	$\tau_r = \sigma \cdot \tan 33.7^\circ$	
	Is-S <sub>1</sub>	1.87	0.208	16.8	$\tau_r^2=0.274 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.368$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.206+\sigma \cdot \tan 16.9^\circ$ ( $\sigma \geq 0.368$ N/mm <sup>2</sup> )	0.192	16.8	$\tau_r^2=0.250 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.356$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.190+\sigma \cdot \tan 16.9^\circ$ ( $\sigma \geq 0.356$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Is-C	1.88	0.410	0.0	$\tau_r^2=0.273 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.432$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.343$ ( $\sigma \geq 0.432$ N/mm <sup>2</sup> )	0.373	0.0	$\tau_r^2=0.205 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.388$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.282$ ( $\sigma \geq 0.388$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Is-S <sub>2</sub>	1.86	0.571	17.8	$\tau_r^2=0.863 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.590$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.524+\sigma \cdot \tan 17.8^\circ$ ( $\sigma \geq 0.590$ N/mm <sup>2</sup> )	0.428	17.8	$\tau_r^2=0.603 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.548$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.386+\sigma \cdot \tan 17.8^\circ$ ( $\sigma \geq 0.548$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Is-Sc	1.82	0.722	8.2	$\tau_r^2=0.861 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.820$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.722+\sigma \cdot \tan 8.2^\circ$ ( $\sigma \geq 0.820$ N/mm <sup>2</sup> )	0.717	8.2	$\tau_r^2=0.853 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.817$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.717+\sigma \cdot \tan 8.2^\circ$ ( $\sigma \geq 0.817$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Is-Sg	1.98	0.571	17.8	$\tau_r^2=0.863 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.590$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.524+\sigma \cdot \tan 17.8^\circ$ ( $\sigma \geq 0.590$ N/mm <sup>2</sup> )	0.428	17.8	$\tau_r^2=0.603 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.548$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.386+\sigma \cdot \tan 17.8^\circ$ ( $\sigma \geq 0.548$ N/mm <sup>2</sup> )	
	Is-S <sub>3</sub>	1.97	0.497	18.0	$\tau_r^2=0.726 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.762$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.496+\sigma \cdot \tan 18.0^\circ$ ( $\sigma \geq 0.762$ N/mm <sup>2</sup> )	0.424	18.0	$\tau_r^2=0.604 \cdot \sigma$ ( $\sigma < 0.709$ N/mm <sup>2</sup> ) $\tau_r=0.424+\sigma \cdot \tan 18.0^\circ$ ( $\sigma \geq 0.709$ N/mm <sup>2</sup> )	
久米層	Km	1.79	$\sigma t=0.148-0.000197 \cdot Z$ $\tau_R=0.332-0.000674 \cdot Z$ $Cu=1.062-0.00114 \cdot Z$ $\phi u=0^\circ$		$a=-0.006-0.00589 \cdot Z$ $Cur=0.376-0.00356 \cdot Z$ $\phi ur=0^\circ$		$\sigma t=0.095-0.000197 \cdot Z$ $\tau_R=0.261-0.000674 \cdot Z$ $Cu=1.004-0.00114 \cdot Z$ $\phi u=0^\circ$		
	Ks	1.88							

$\sigma$  : 垂直応力 Z: 標高(m)

久米層(Km、Ks)の強度特性 : 下図のとおり

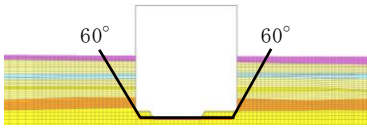
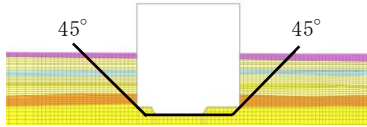
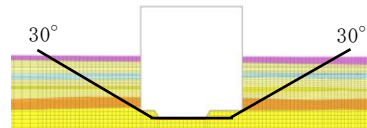
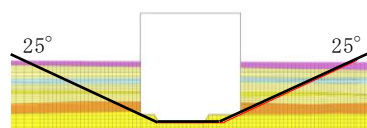


第 3.6.1 表(2) 解析用物性値

地層名	地質記号	変形特性				
		動的変形特性				静的変形特性
		初期動せん断弾性係数 $G_0$ (N/mm <sup>2</sup> )	動ポアソン比 $\nu_d$	$G/G_0 - \gamma$ (%)	$h$ (%) - $\gamma$ (%)	静弾性係数 $E_{50}$ (N/mm <sup>2</sup> )
M1段丘堆積物	Lm	42.3	0.47	$1/(1+7.42 \cdot \gamma^{0.763})$	$16.9 \cdot \gamma / (\gamma + 0.168) + 1.30$	16.9
	Mu-S <sub>1</sub>	222	0.44	$1/(1+20.4 \cdot \gamma^{0.805})$	$18.5 \cdot \gamma / (\gamma + 0.0273) + 0.481$	37.3
	Mu-C	150	0.46	$1/(1+3.61 \cdot \gamma^{0.671})$	$11.8 \cdot \gamma / (\gamma + 0.406) + 2.35$	52.6
	Mu-S <sub>2</sub>	354	0.41	$1/(1+11.7 \cdot \gamma^{0.911})$	$26.9 \cdot \gamma / (\gamma + 0.157) + 0.621$	37.3
	Mu-Sg	409	0.44	$1/(1+18.2 \cdot \gamma^{0.938})$	$16.5 \cdot \gamma / (\gamma + 0.0536) + 0.549$	55.4
	Mu-S <sub>3</sub>	386	0.38	$1/(1+11.6 \cdot \gamma^{0.872})$	$26.4 \cdot \gamma / (\gamma + 0.106) + 0.385$	37.3
東茨城層群	Mm-Sg	752	0.38	$1/(1+10.7 \cdot \gamma^{0.912})$	$18.0 \cdot \gamma / (\gamma + 0.0474)$	55.4
	Is-S <sub>1</sub>	359	0.46	$1/(1+7.27 \cdot \gamma^{0.935})$	$23.4 \cdot \gamma / (\gamma + 0.169) + 0.362$	104
	Is-C	275	0.47	$1/(1+4.49 \cdot \gamma^{0.893})$	$20.1 \cdot \gamma / (\gamma + 0.376) + 0.691$	173
	Is-S <sub>2</sub>	288	0.47	$1/(1+5.66 \cdot \gamma^{0.942})$	$22.1 \cdot \gamma / (\gamma + 0.285) + 0.307$	116
	Is-Sc	285	0.47	$1/(1+4.75 \cdot \gamma^{0.782})$	$29.2 \cdot \gamma / (\gamma + 0.760) + 0.859$	162
	Is-Sg	714	0.44	$1/(1+5.66 \cdot \gamma^{0.942})$	$22.1 \cdot \gamma / (\gamma + 0.285) + 0.307$	116
	Is-S <sub>3</sub>	485	0.45	$1/(1+6.00 \cdot \gamma^{0.898})$	$22.1 \cdot \gamma / (\gamma + 0.281) + 0.208$	249
久米層	Km	464	0.45	$1/(1+1.97 \cdot \gamma^{0.689})$	$13.9 \cdot \gamma / (\gamma + 0.870) + 2.07$	244-3.39・Z
	Ks	763	0.43	$1/(1+2.98 \cdot \gamma^{0.737})$	$20.7 \cdot \gamma / (\gamma + 1.12) + 1.88$	

G: 動せん断弾性係数  $\gamma$ : せん断ひずみ  $h$ : 減衰率 Z: 標高(m)

第 3.6.2 表(1) すべり安全率が最小となる想定すべり線及び地震動の抽出結果(C-C'断面)

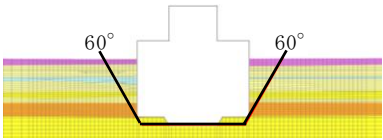
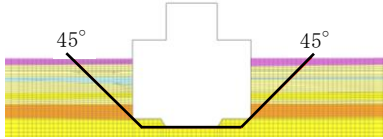
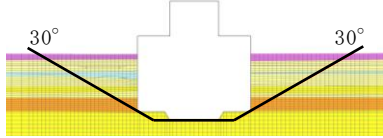
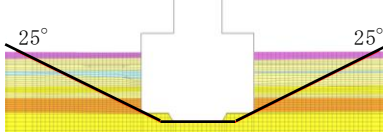
番号	想定すべり線形状	地震動 <sup>※1</sup>	すべり安全率 <sup>※2 ※3</sup>
1		Ss-D (-, -)	4.6 [46.66]
2		Ss-D (-, -)	3.2 [46.68]
3		Ss-D (-, -)	2.2 [46.69]
4		Ss-D (-, -)	2.0 [46.69]

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

※2[ ]は発生時刻(秒)

※3 最小すべり安全率を示すケースについて、すべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させてもすべり安全率は小さくならないことを確認している。

第 3.6.2 表(2) すべり安全率が最小となる想定すべり線及び地震動の抽出結果(D-D'断面)

番号	想定すべり線形状	地震動 <sup>※1</sup>	すべり安全率 <sup>※2 ※3</sup>
1		Ss-D (+, -)	4.7 [46.65]
2		Ss-D (+, -)	3.3 [46.68]
3		Ss-D (+, -)	2.3 [46.69]
4		Ss-D (+, -)	2.0 [46.69]

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

※2[ ]は発生時刻(秒)

※3 最小すべり安全率を示すケースについて、すべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させてもすべり安全率は小さくならないことを確認している。



第 3.6.3 表 すべり安全率

断面	想定すべり線形状	地震動※ <sup>1</sup>	すべり安全率※ <sup>2</sup>		
			基本モデル (地下水位地表面)	地盤強度 ばらつき考慮	埋戻土考慮
C-C'		Ss-D (-, -)	1.9 [46.69]	1.8 [46.69]	1.9 [46.69]
D-D'		Ss-D (+, -)	2.0 [46.69]	1.8 [46.69]	1.9 [46.69]

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

※2[ ]は発生時刻(秒)

第 3.6.4 表 基礎底面両端の鉛直方向の相対変位・傾斜

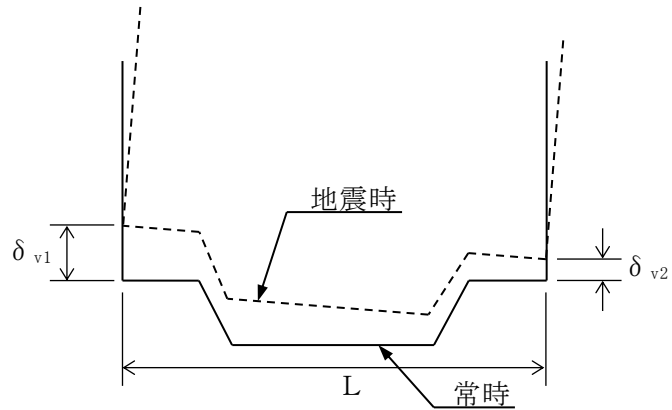
断面	地震動 <sup>※1</sup>	基礎底面両端の最大相対変位 <sup>※2</sup> ( $ \delta_{v1} - \delta_{v2} $ )	基礎底面両端の最大傾斜 ( $ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L^{※3}$ )
C-C'	Ss-D (-, +)	1.24 cm [39.73]	1/4,000
D-D'	Ss-D (-, +)	1.34 cm [46.74]	1/3,800

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

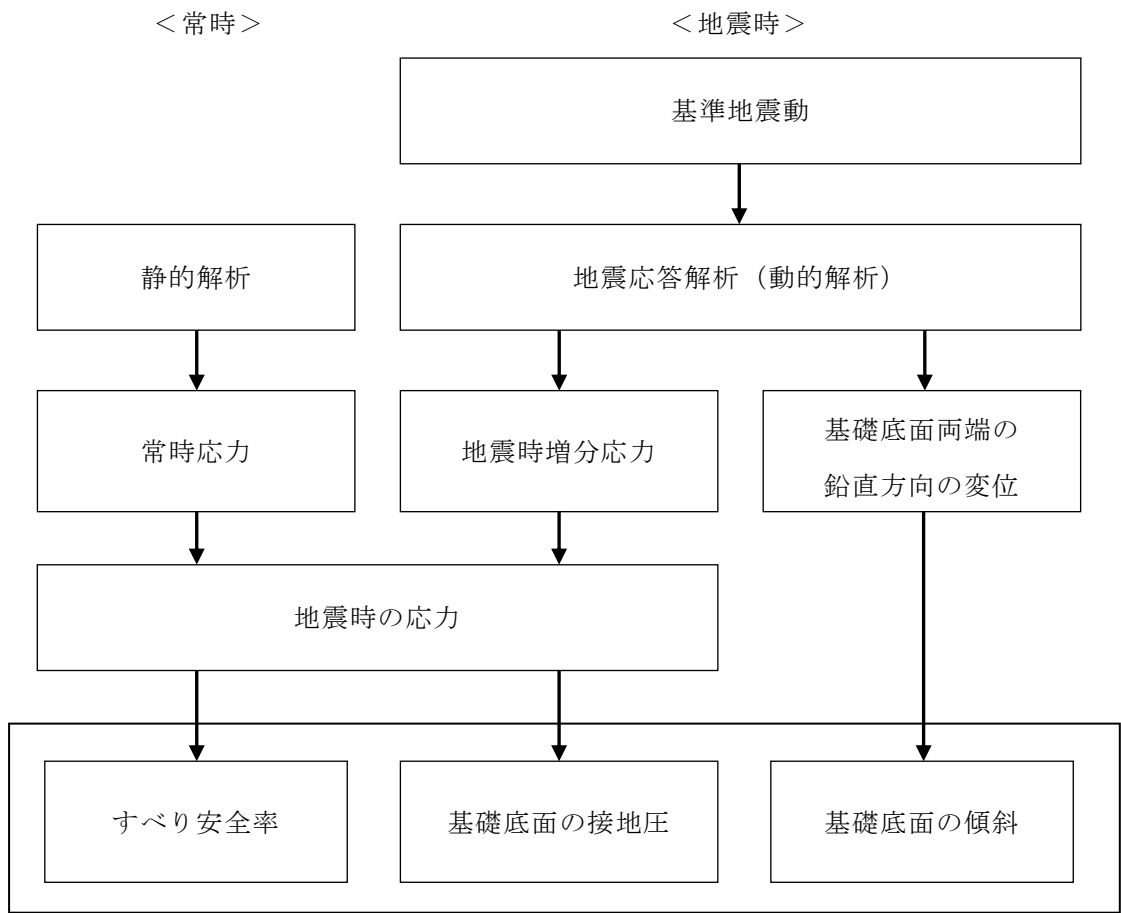
※2[ ]は発生時刻(秒)

※3 LはC-C'断面において50.0 m、D-D'断面において52.0 m

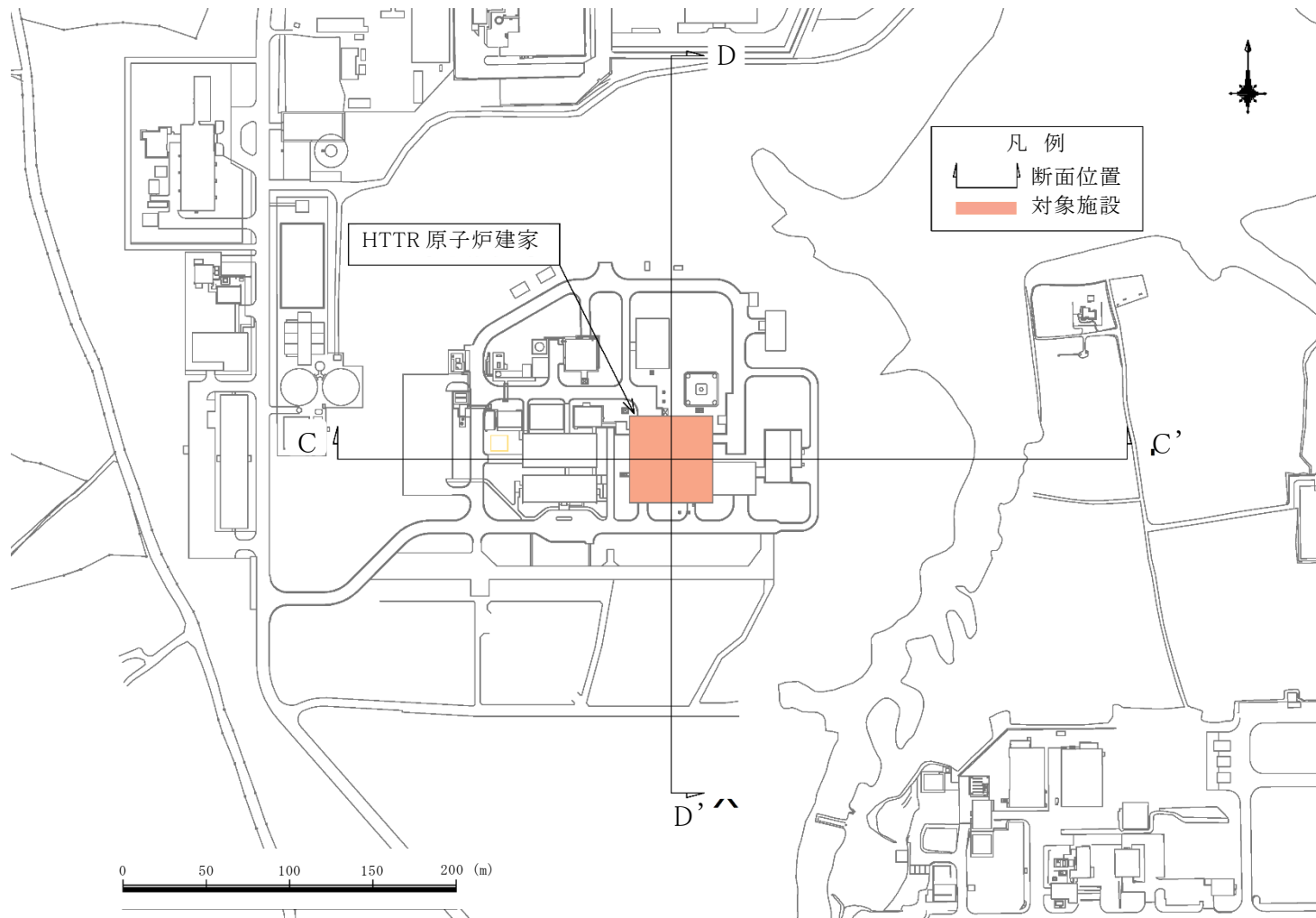
記号の説明



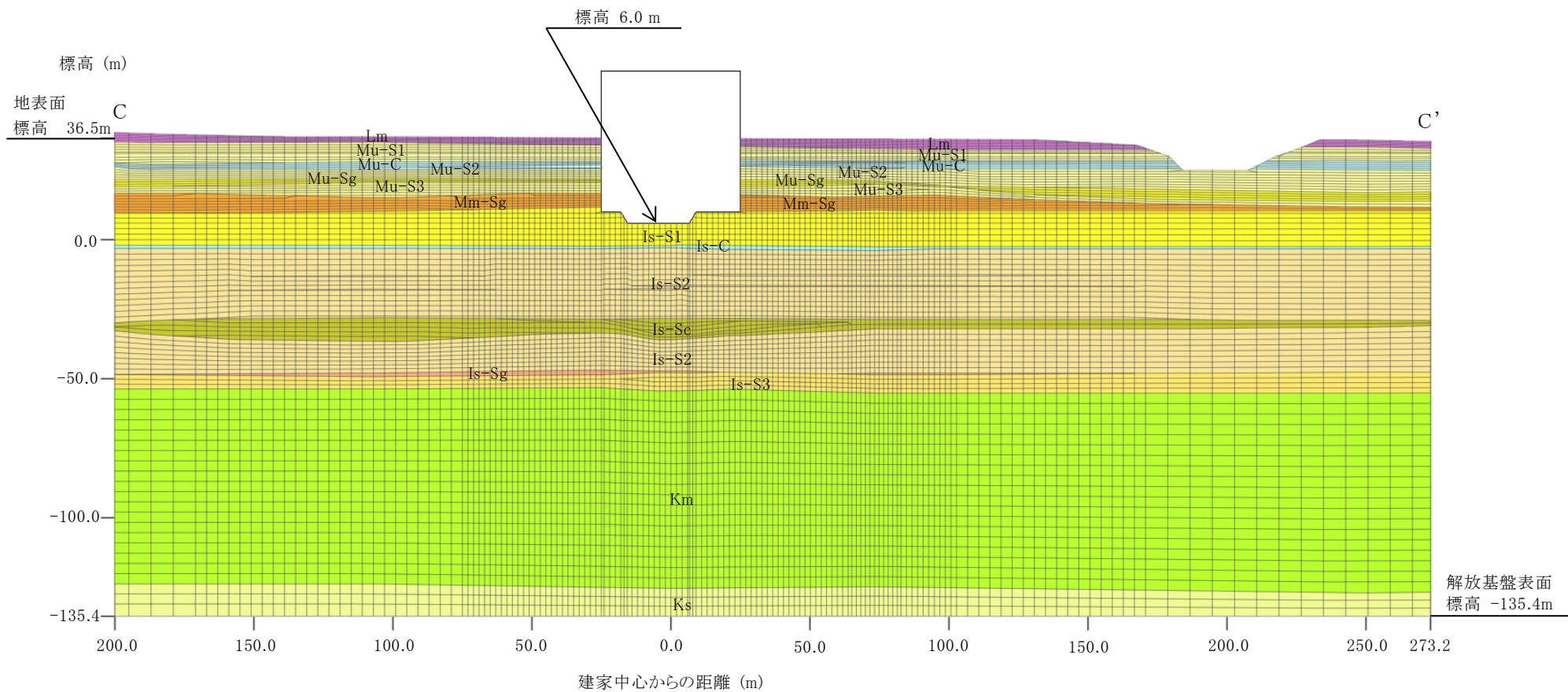
$\delta_{v1}$ 、 $\delta_{v2}$  は上向きを正とする



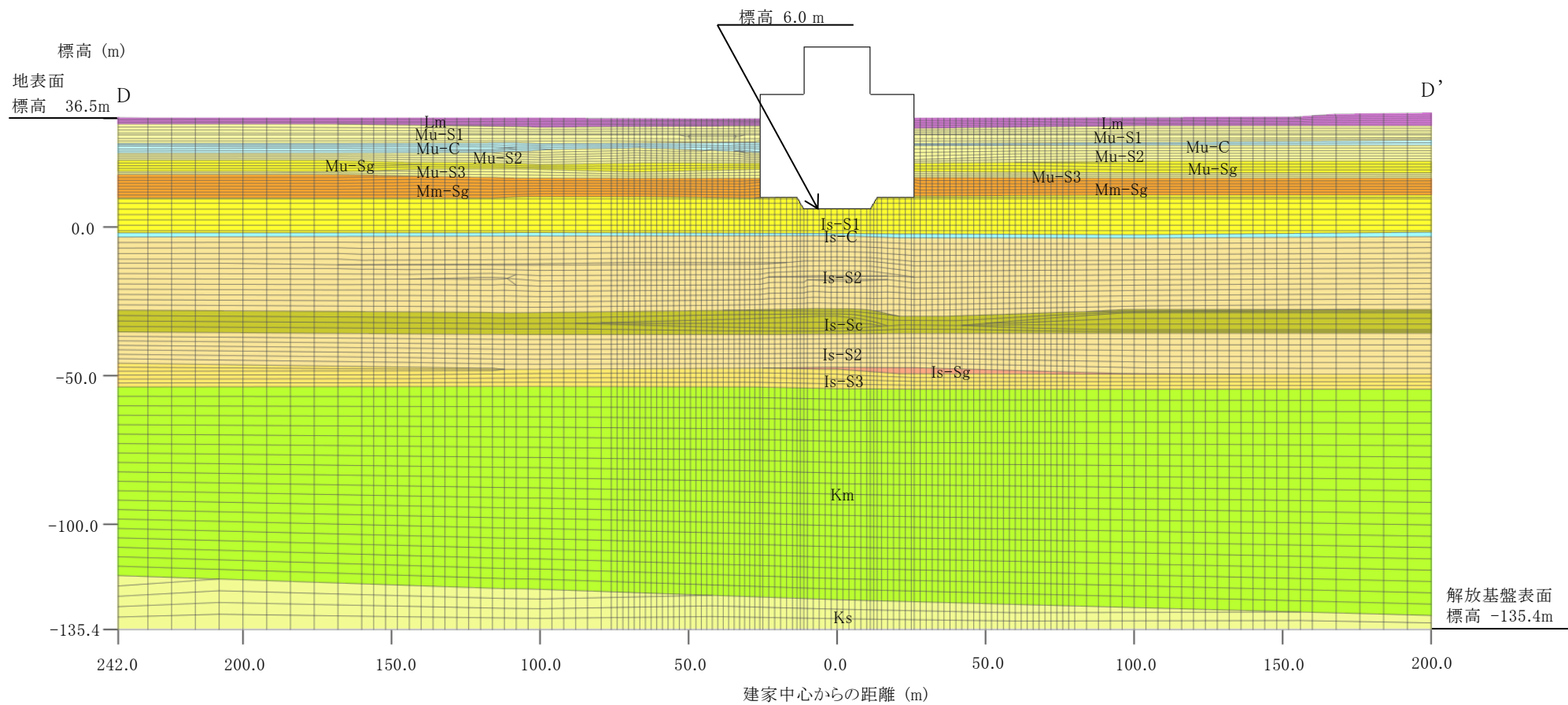
第 3.6.1 図 基礎地盤の安定性評価フロー



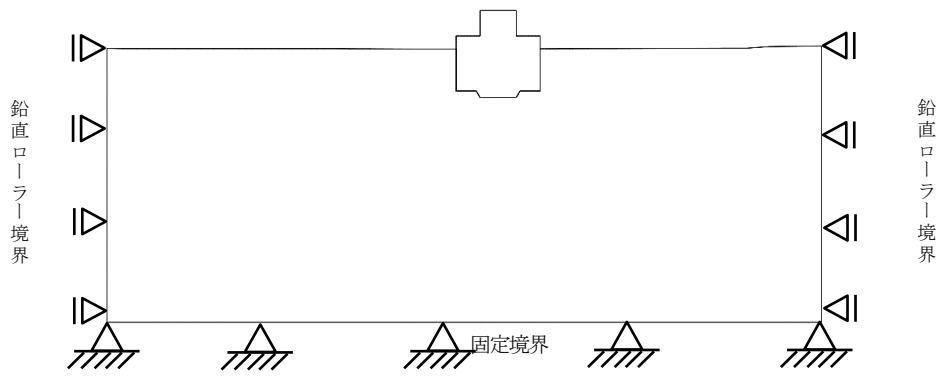
第 3.6.2 図 解析断面位置図



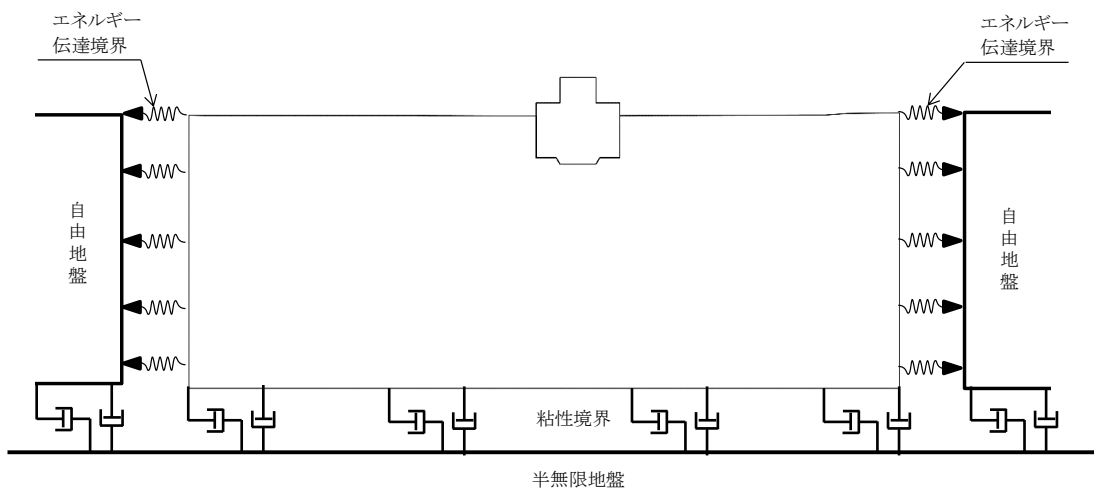
第3.6.3図(1) 解析モデル(C-C'断面)



第3.6.3図(2) 解析モデル(D-D'断面)



(a) 静的解析



(b) 動的解析

第 3.6.4 図 境界条件

### 1.3.3 設備等

該当なし。



## 2. HTTR 原子炉施設の地盤 (適合性説明資料)



## 大洗研究所（HTTR）

### 耐震重要施設の基礎地盤及び 周辺斜面の安定性評価について

#### コメント及び回答の骨子一覧

第225回審査会合  
資料2-5 再掲

	コメント	回答骨子	該当頁
1	参考として実施した地下水位を地表面まで上げた場合のすべり安全率評価結果の位置づけを整理すること。 (第218回審査会合、平成29年9月15日)	解析用地下水位を地表面とした場合を基本とし、それに対して、地盤強度のばらつきや埋戻土を考慮したすべり安全率を示し、評価基準値を満足することを記載した。	p.33、p.46、 pp48-50、p94、 p96、p109、p111、 p116
2	支持地盤の東茨城層群が液状化の判定要件に該当しないということを記載すること。 (第218回審査会合、平成29年9月15日)	東茨城層群が液状化判定要件のいずれの地盤にも該当しないという旨の記載とした。	p.53
3	標準貫入試験による実測N値は上限値50であるため、補正N値の算定では、この上限値を用いていることを記載すること。 (第218回審査会合、平成29年9月15日)	標準貫入試験による実測N値は上限値50であること及び補正N値の算定では、上限値と貫入量から推定したN値を用いたことを記載した。	p.114

# 審査を踏まえた検討・反映事項

第225回審査会合  
資料2-5 再掲

## 基礎地盤及び周辺斜面の評価

該当箇所

### 申請時の評価

- ・耐震重要施設の原子炉建家を支持する地盤に「将来活動する可能性のある断層等」は認められない。
- ・原子炉建家を中心に直交する2断面において、基準地震動による地震力に対して、基礎地盤のすべり安全率、基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜が、いずれも評価基準値を満足しており、十分な安定性を有していることを確認した。
- ・原子炉建家について、周辺地盤の変状（不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等）及び地殻変動の影響がないことを確認した。
- ・原子炉建家の周辺に評価対象とすべき斜面は存在せず、周辺斜面の影響はないことを確認した。



### 申請以降に実施した検討

- ・基準地震動の見直しに伴い、基礎地盤の安定性評価の見直しを行った。
- ・地下水位の変動を考慮し、解析用地下水位が地表面にある場合のすべり安全率を評価し、評価基準値を満足することを確認した。
- ・すべり安全率に対する地盤物性のばらつきを考慮するため、地盤強度を1σ低減した場合のすべり安全率を評価し、評価基準値を満足することを確認した。
- ・建設時に掘削された領域は周辺建家の地下部又は埋戻土となっているが、保守的にすべて埋戻土とし、強度をゼロとした場合のすべり安全率を評価し、評価基準値を満足することを確認した。



### 最終評価

- ・耐震重要施設の原子炉建家を支持する地盤に「将来活動する可能性のある断層等」は認められない。
- ・基準地震動（ $S_s-0$ 、 $S_s-1\sim 5$ ）による地震力に対して、基礎地盤のすべり安全率、基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜が、いずれも評価基準値を満足することを確認した。なお、地盤物性のばらつきを考慮した場合及び埋戻土を考慮した場合のすべり安全率が評価基準値を満足することも確認した。
- ・原子炉建家について、周辺地盤の変状（不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等）及び地殻変動の影響がないことを確認した。
- ・原子炉建家の周辺に評価対象とすべき斜面は存在せず、周辺斜面の影響はないことを確認した。
- ・以上のことから、原子炉建家の基礎地盤は十分な安定性を有しており、施設の安全機能が重大な影響を受けることがないことを確認した。

3.9 すべり安全率の評価内容

3.10 評価結果

3



## 目次

1. 評価方針	・ ・ ・ ・ 5
2. 将来活動する可能性のある断層等の有無	・ ・ ・ ・ 8
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価	・ ・ ・ ・ 21
3.1 評価項目	
3.2 安定性評価フロー	
3.3 評価対象断面	
3.4 解析モデル	
3.5 解析用物性値	
3.6 基準地震動 $S_s$	
3.7 すべり線の選定	
3.8 すべり安全率算定に用いる地盤の強度設定	
3.9 すべり安全率の評価内容	
3.10 評価結果	
3.11 液状化に対する安全性検討	
4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価	・ ・ ・ ・ 55
4.1 周辺地盤の変状による影響	
4.2 地殻変動による基礎地盤の傾斜の影響	
5. 周辺斜面の影響	・ ・ ・ ・ 60
6. まとめ	・ ・ ・ ・ 62
参考資料	・ ・ ・ ・ 64
参考文献	・ ・ ・ 117

4

1. 評価方針
2. 将来活動する可能性のある断層等の有無
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
5. 周辺斜面の影響
6. まとめ

## 1. 評価方針

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

### 【基礎地盤】

#### 1. 将来活動する可能性のある断層等の有無

評価対象施設が設置される地盤には、将来活動する可能性のある断層等が存在しないことを確認する。

#### 2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

(1) 評価対象施設が設置される地盤の安定性について、以下を満足することを確認する。

- ①基礎地盤のすべり安全率が1.5を上回ること
- ②基礎底面の接地圧が評価基準値を下回ること
- ③基礎底面の傾斜が1/2,000を下回ること

(2) 基礎地盤が液状化するおそれがないことを確認する。

#### 3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

- ①地震発生に伴う周辺地盤の変状（不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等）による影響を受けないことを確認する。
- ②地震発生に伴う地殻変動による基礎地盤の傾斜及び撓みの影響を受けないことを確認する。

### 【周辺斜面】

#### 4. 周辺斜面の影響

基準地震動の地震力により対象施設に重大な影響を与える周辺斜面は存在しないことを確認する。

## 評価対象施設配置図

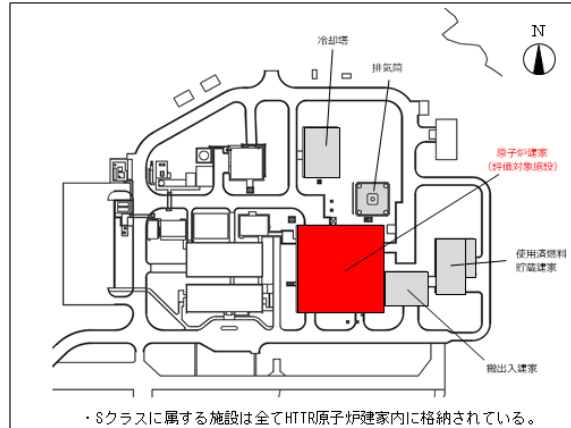
・HTTR原子炉施設は原子炉建家、冷却塔、排気筒、使用済燃料貯蔵建家、搬出入建家で構成される。

<耐震重要施設（Sクラスに属する施設）を有する施設>

・原子炉建家

<B、Cクラス施設>

・冷却塔、排気筒、使用済燃料貯蔵建家、搬出入建家



評価対象施設は、HTTR原子炉施設のうち、耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器・配管系を支持する原子炉建家とする。

7

## 1. 評価方針

### 2. 将来活動する可能性のある断層等の有無

### 3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

### 4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価

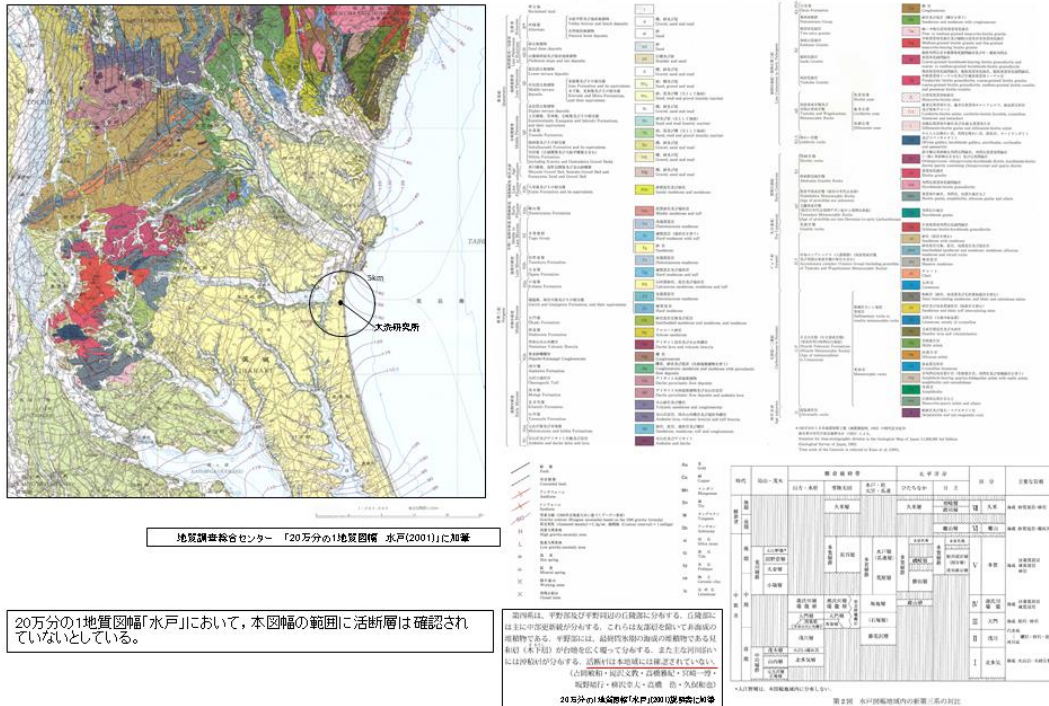
### 5. 周辺斜面の影響

### 6. まとめ

8



大洗研究所の敷地及び敷地近傍において、陸域では鹿島台地・行方台地周辺の活傾動、海域ではF3断層～F4断層が指摘されている。敷地周辺の地質・地質構造調査結果から、鹿島台地・行方台地周辺には文献で指摘される範囲には震源として考慮する活断層はないと評価し、海域のF3断層～F4断層(長さ約16km)について震源として考慮する活断層と評価している。



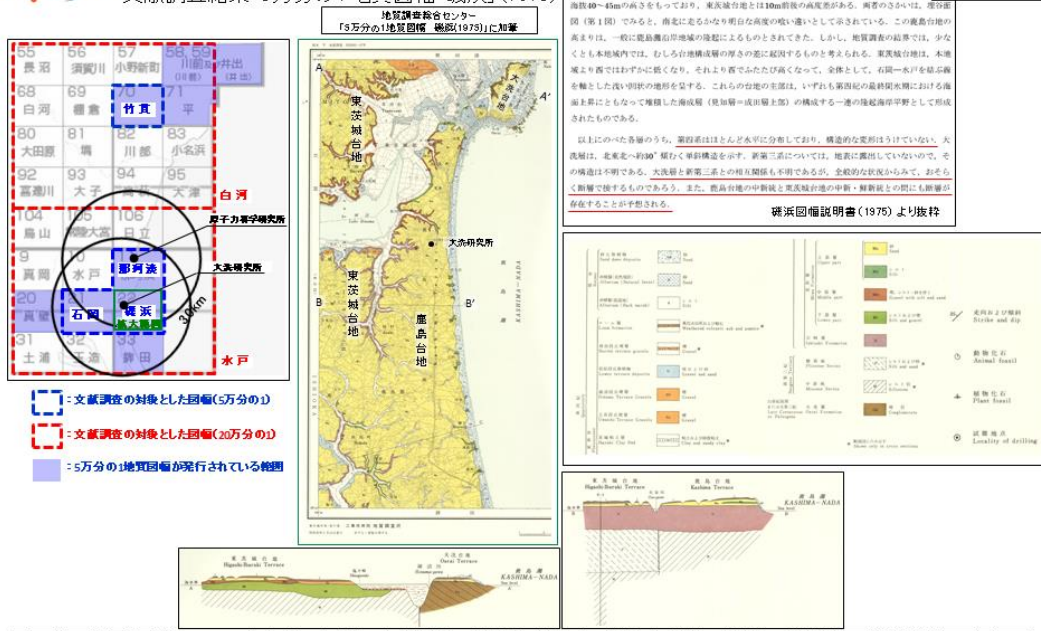
地質調査総合センター「20万分の1地質図幅 水戸(2001)」に加筆

20万分の1地質図幅「水戸」において、本図幅の範囲に活断層は確認されていないとしている。

図内断層は、平野部及び半野原部の白濁帯に分布する。白濁帯は主に粘土質凝結物からなる。これらの凝結帯は、凝結帯の周囲に硬質の凝結物である珪質(粘土質)が付着して形成される。また互に付着している凝結帯が分布する。活断層は本図幅には確認されていない。(古河断層・利根川・高橋断層・5号断層・坂野断層・利根川・高橋断層・5号断層・坂野断層)

第2図 水戸断層域内の新第三系(3系)の対比





「5万分の1地質図幅「磯浜」(1975)」によると、第四系の下位には、大洗台地では白亜系～古第三系の大洗層、鹿島台地では中新統、東茨城台地では鮮新統が分布しており、これらの地層の相互関係は不明であるが、境界に断層の存在を推定している。一方、これらの地層を覆う第四系については、「ほとんど水平に分布しており、構造的な変形は受けしていない」とされている。

「20万分の1地質図幅「水戸」(2001)」にこれらの断層は図示されていない。

上記に加えて、地形分析結果においても、周辺に広く分布するM1面でもリニアメントが判読されず、また地表面質調査等の結果においてもM1段丘堆積物の基底面がほぼ水平に分布していることから、後期更新世以降の活動は無いと判断される。



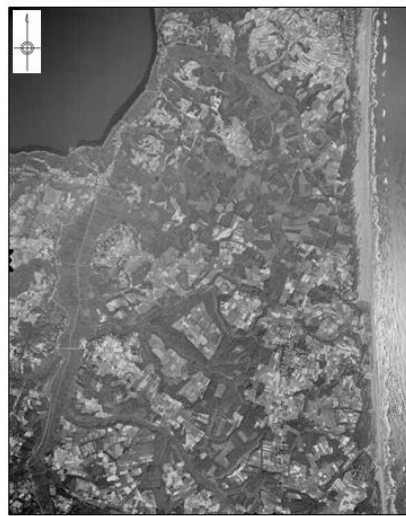
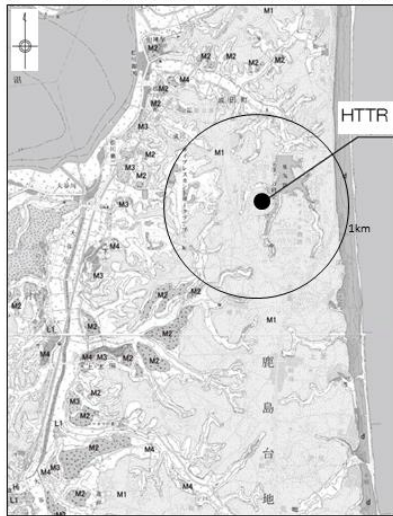
名称
(1) 棚倉破砕帯西縁断層 (の一部)
(2) 棚倉破砕帯東縁付近の推定活断層
(3) 関口 - 黒磯リニアメント
(4) 関口 - 米平リニアメント
(5) 日立市宮田町付近リニアメント
(6) 常陸太田市大門町付近リニアメント
(7) 常陸太田市長谷町付近リニアメント
(8) 笠原山南西付付近リニアメント
(9) 常陸太田市小中町東方リニアメント
(10) 久慈郡太子町北富田付近リニアメント
(11) 常陸大宮市氷之沢付近リニアメント
(12) 常陸大宮市入本郷付近リニアメント
(13) 東茨城郡城里町高根付付近リニアメント
(14) 笠間市福田南方付近リニアメント
(15) 栃木県那珂川大那地付近リニアメント
(16) 吾国山断層

図例	名称
■	L4面
■	L3面
■	L2面
■	L1面
■	M4面
■	M3面
■	M2面
■	M1面
■	高位面
■	Tc1面
■	Tc2面
■	Tc3面
■	Tc4面
■	M4面
■	M3面
■	M2面
■	M1面
■	多摩面

なお、既往文献において記載されている鹿島台地・行方台地周辺の活傾動については、当該位置において、リニアメントは判読されない。

第IV紀更新世 (L) リニアメント (変動地形である傾動性が低いリニアメント) Lのリニアメント (変動地形である傾動性が非常に低いリニアメント) 傾動は地形的に低い傾斜を、矢印は地形の傾斜方向を示す。傾動がないリニアメントは傾動で高度の不連続性が認められない。

## 敷地の地形及び地質・地質構造の概要



※) 撮影時点において、敷地は、耕作地、林地等であり、著しい地形変化はされていない。

HTTR建設前の空中写真  
(1964年撮影)

- 空中写真判読等の結果、敷地にはリニアメント及び地すべり地形は認められない。
- 文献等では、地すべり地形は報告されていない。

## 敷地の地形及び地質・地質構造の概要

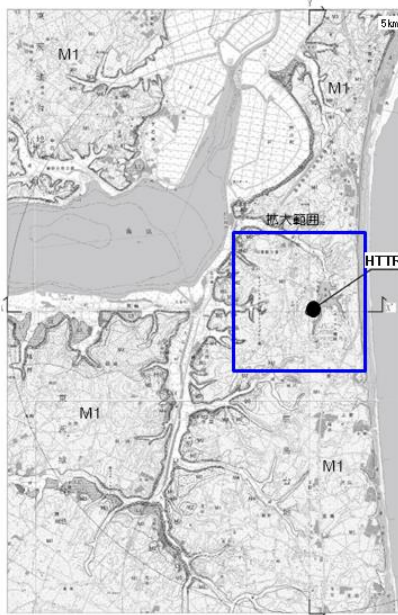
敷地の地質層序表

年代層序区分		地層名		主な層相	備考	坂本(1975) 「磯浜地域の地質」	山元(2013)	
新生界	第四系	完新統	沖積層	礫・砂・シルト	敷地の低地部に分布する。	-	-	
		更新統	上部	M1段丘堆積物	礫・砂・シルト	敷地の沿岸付近に分布し、堆積部から中粒砂よりなる。	見和層上部層	茨城層 (MIS5e~5c)
			中部	東茨城層群	礫・砂・シルト	濠家の基礎地盤であり、M1段丘堆積物に不整合に覆われて分布する。 (MIS13~7)	見和層中部層 石崎層	夏海層 笠神層 (MIS7e~7c)
	新第三系	鮮新統	久米層	砂質泥岩 城灰岩等様々	敷地の標高約50mから標高約130mに分布する。	鮮新統	-	
		中新統	上部	多賀層群	砂質泥岩	敷地の標高約130m以下に分布する。	中新統	-
			下部				-	-

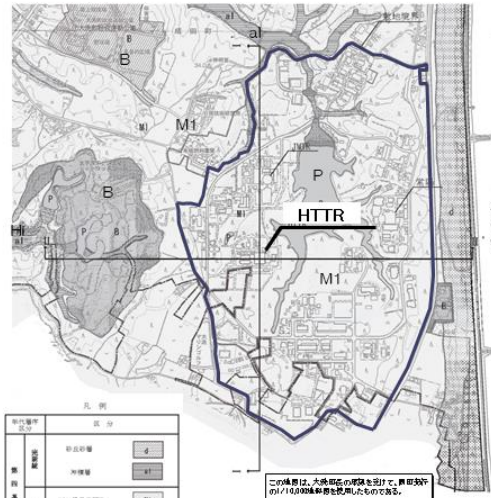
~~~~~ : 不整合  
||||||| : 地層欠如

- 敷地には、下位から新第三系中新統で砂質泥岩からなる多賀層群、新第三系鮮新統～第四系下部更新統で主に砂質泥岩からなる久米層が分布し、これを覆って、第四系の中部更新統で礫・砂・シルトからなる東茨城層群、第四系上部更新統で礫・砂・シルトからなるM1段丘堆積物、第四系完新統で礫・砂・シルトからなる沖積層及び細粒砂・中粒砂からなる砂丘砂層が分布する。



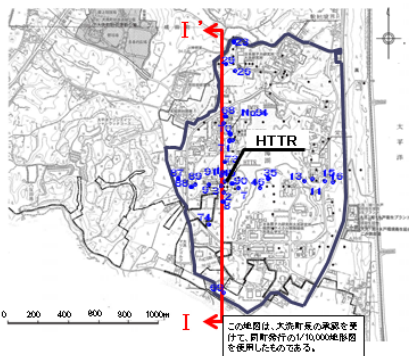


敷地近傍地域の地質図



敷地の地質平面図

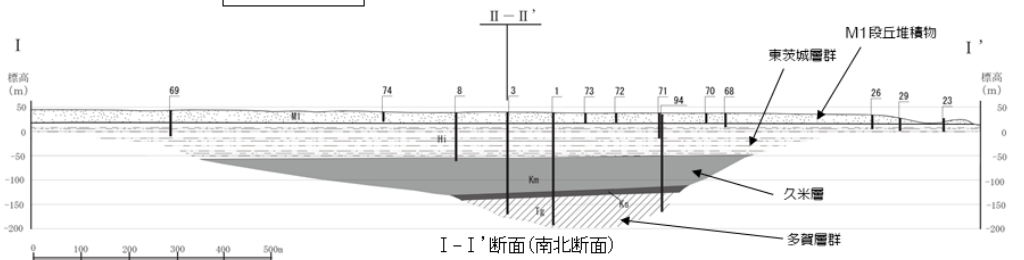
- 敷地には第四系更新統の東茨城層群、M1段丘堆積物、並びに第四系完新統砂丘砂層等が分布する。



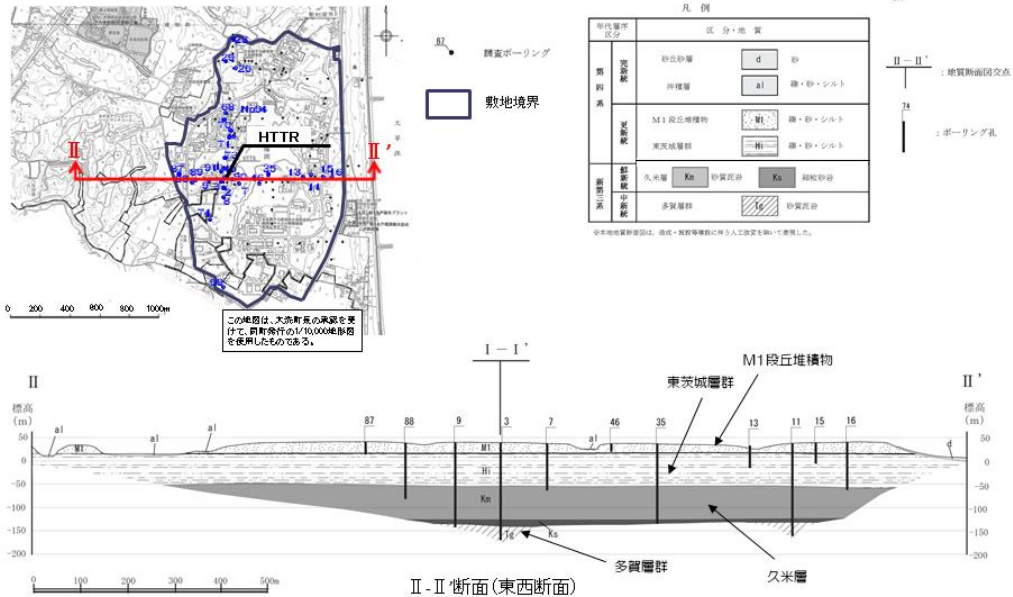
調査ボーリング  
敷地境界

| 年代層序区分   | 区分・地質   |            |
|----------|---------|------------|
| 第四系更新統   | 砂丘砂層    | d 砂        |
|          | 沖積層     | al 礫・砂・シルト |
| 第四系中部更新統 | M1段丘堆積物 | M1 礫・砂・シルト |
|          | 東茨城層群   | 東 礫・砂・シルト  |
| 第四系下部更新統 | 久米層     | Kn 砂質泥岩    |
|          | 多賀層群    | 多 砂質泥岩     |

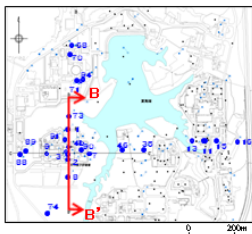
I-I' : 地質断面図交点  
74 : ボーリング孔



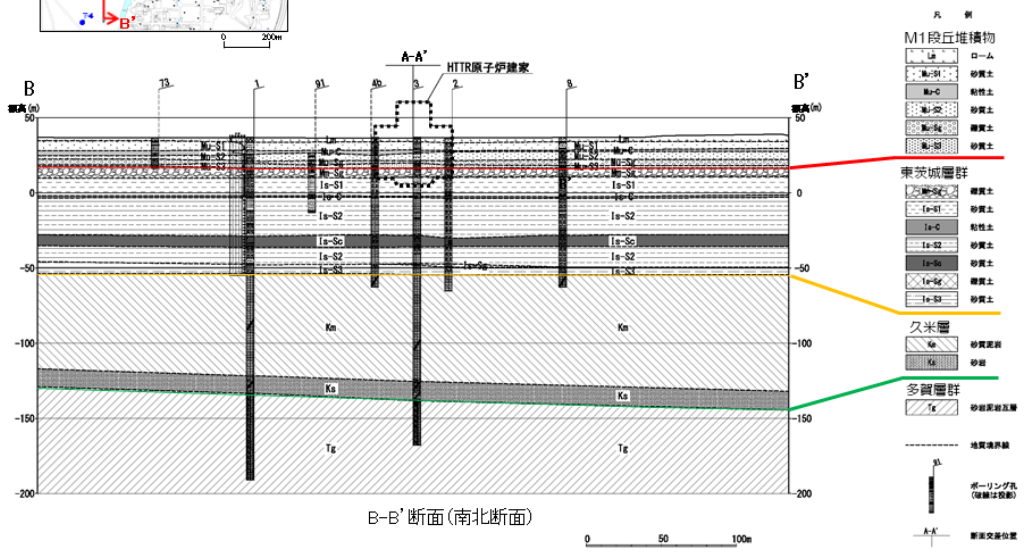
- 下位から新第三系中新統の多賀層群、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層が分布し、これを覆って、第四系の中中部更新統の東茨城層群、第四系上部更新統のM1段丘堆積物が分布する。

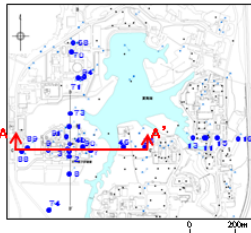


- 下位から新第三系中新統の多賀層群、新第三系鮮新統～第四系下部更新統の久米層が分布し、これを覆って、第四系の中中部更新統の東茨城層群、第四系上部更新統のM1段丘堆積物及び沖積層が分布する。

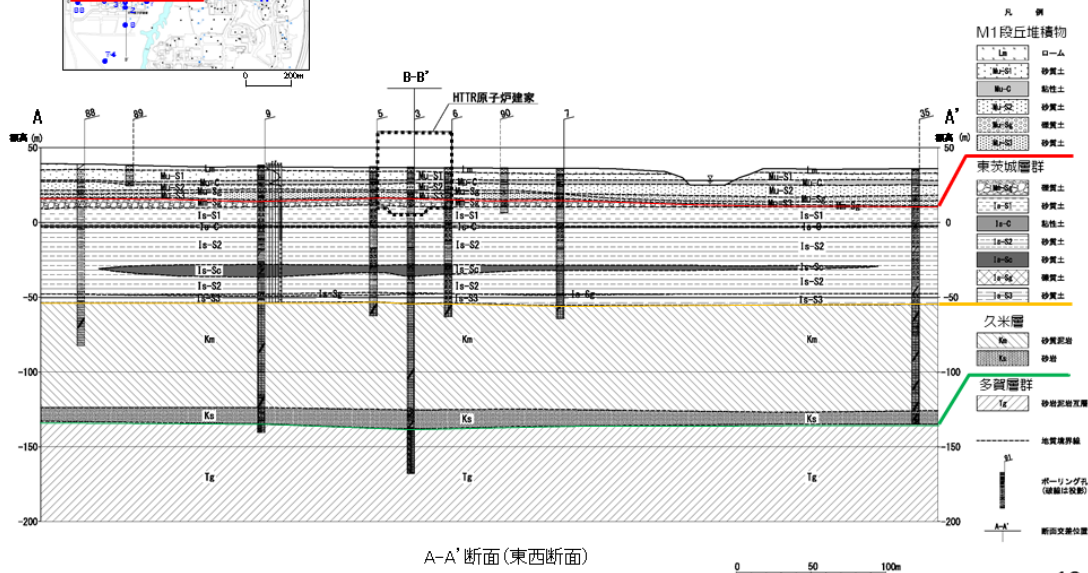


- M1段丘堆積物は、下位の東茨城層群を覆って、敷地に広く分布しており、東茨城層群及びM1段丘堆積物の基底（Mu-S3層の基底）は、ほぼ水平に分布する。





● M1段丘堆積物は、下位の東茨城層群を覆って、敷地に広く分布しており、東茨城層群及びM1段丘堆積物の基底（Mu-S3層の基底）は、ほぼ水平に分布する。



- 空中写真判読の結果、敷地を含めた敷地近傍にはリニアメント及び地すべり地形は認められない。
- 敷地には、新第三系中新統の多賀層群、新第三系鮮新統の久米層、第四系更新統の東茨城層群及びM1段丘堆積物並びに第四系完新統の沖積層及び砂丘砂層が分布する。
- M1段丘堆積物は、ボーリング柱状図及びボーリングコア確認から、下位の東茨城層群を覆って敷地に広く分布しており、M1段丘堆積物の基底面はほぼ水平に分布する。また、M1段丘堆積物の下位の東茨城層群、久米層基底面もほぼ水平に分布しており、断層を示唆する系統的な不連続や累積的な変位・変形は認められない。



大洗研究所敷地の地質・地質構造を把握すると共に、原子炉建家が設置される地盤には、将来活動する可能性のある断層等は存在しないことを確認した。



1. 評価方針
2. 将来活動する可能性のある断層等の有無
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
5. 周辺斜面の影響
6. まとめ

21



3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

### 3.1 評価項目

第225回審査会合  
資料2-5 再掲

- (1) 評価対象施設が設置される地盤の安定性について、以下を満足することを確認する。

①すべり安全率

地震時における基礎地盤のすべり安全率が1.5を上回ることを確認する。

②基礎底面の接地圧

地震時における基礎底面の接地圧が評価基準値を下回ることを確認する。

③基礎底面の傾斜

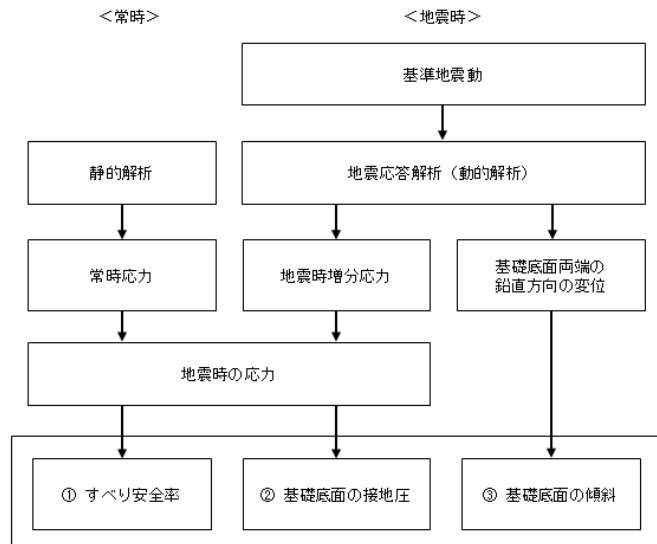
地震時における基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認する。

- (2) 基礎地盤が液状化するおそれがないことを確認する。

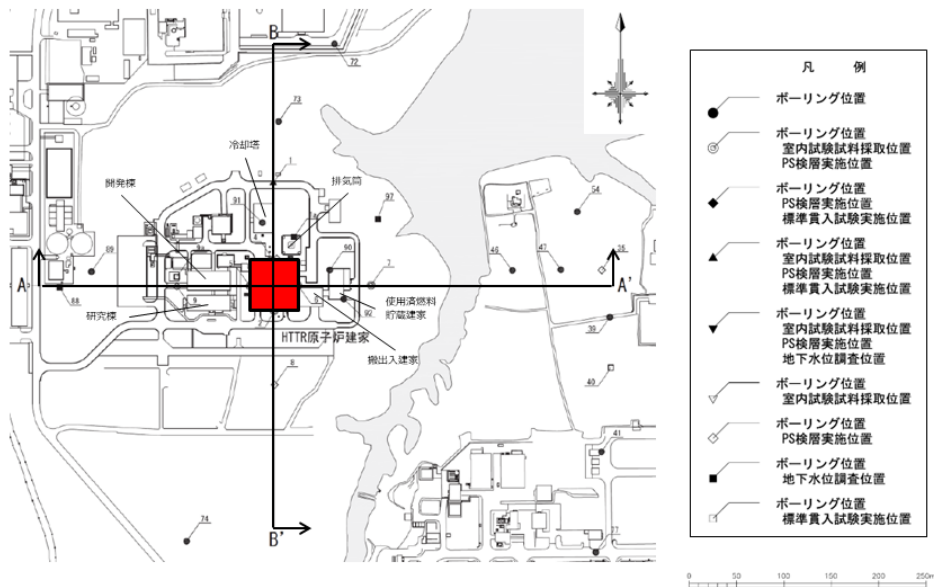
22



- ・「すべり安全率」及び「基礎底面の接地圧」は、静的解析による常時応力及び基準地震動を用いた地震応答解析による地震時増分応力により評価する。
- ・「基礎底面の傾斜」は、基準地震動を用いた地震応答解析による基礎底面両端の鉛直方向の変位により評価する。



評価対象断面は、原子炉建家を中心に直交する2断面（A-A' 断面及びB-B' 断面）とする。



評価対象断面

### 3.3 評価対象断面(地盤分類)

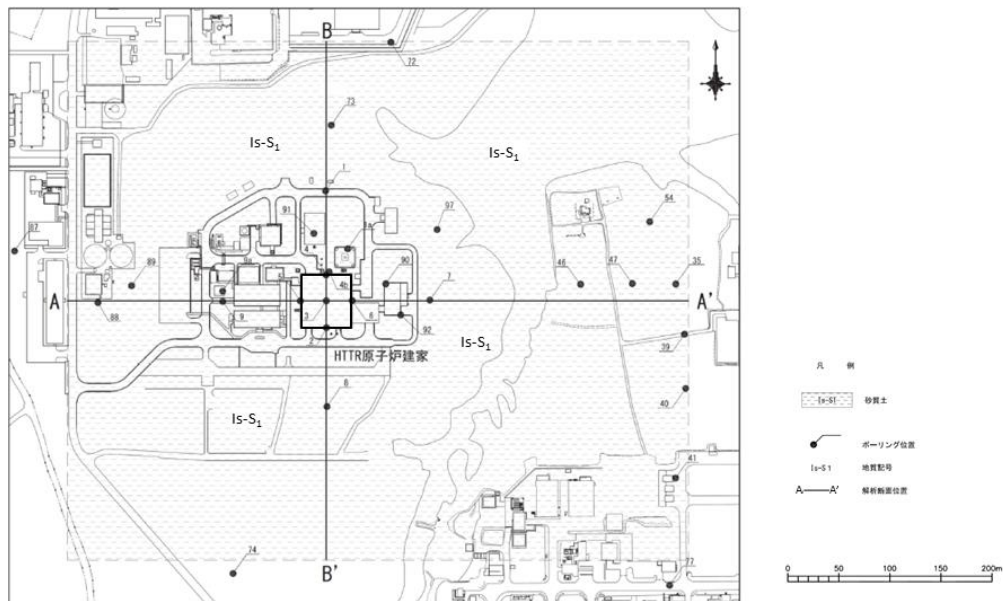
原子炉施設設置位置付近の地盤について、地質学的性質及び工学的性質の違いから、次のように区分した。  
 ・久米層は軟質岩盤に分類され、KmとKsとして区分した。  
 ・低固結～未固結地盤に分類される東茨城層群、M1段丘堆積物、沖積層及び砂丘砂層は、以下のように土質区分を行った。

| 年代層区分 | 地層区分 | 地質記号 | 主な層相              | 備考                  |                                   |
|-------|------|------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 新生界   | 完新統  | 砂丘砂層 |                   | HTTR原子炉建家近傍には分布しない。 |                                   |
|       |      | 沖積層  |                   |                     |                                   |
|       | 第四系  | 上部   | M1段丘堆積物           |                     |                                   |
|       |      |      | Lm                | ローム                 | ロームからなり、黄灰色の火山灰を含む。               |
|       |      |      | Mu-S <sub>1</sub> | 砂質土                 | 均質な中砂からなる。                        |
|       |      |      | Mu-C              | 粘性土                 | シルト質砂、シルトまじりシルトからなり、層相変化が見られる。    |
|       |      |      | Mu-S <sub>2</sub> | 砂質土                 | 細砂・中砂からなる。                        |
|       |      |      | Mu-S <sub>g</sub> | 礫質土                 | 円礫を主体とする砂礫からなる。                   |
|       | 更新統  | 中部   | Mm-S <sub>g</sub> | 礫質土                 | 円礫を主体とする砂礫、礫まじり細砂からなる。            |
|       |      |      | Is-S <sub>1</sub> | 砂質土                 | 細砂からなる。                           |
|       |      |      | Is-C              | 粘性土                 | 細砂まじりシルトからなる。                     |
|       |      |      | Is-S <sub>2</sub> | 砂質土                 | 均質な細砂、中砂からなる。                     |
|       |      |      | Is-S <sub>3</sub> | 砂質土                 | シルトまじり細砂、シルト及び細砂の互層からなる。          |
|       |      |      | Is-S <sub>g</sub> | 礫質土                 | 円礫を主体とする砂礫、礫まじり細砂からなる。            |
| 新第三系  | 鮮新統  | 久米層  | Km<br>Ks          | 砂質泥岩<br>細粒砂岩        | 敷地の標高約-50mから標高約-130mに分布する。凝灰岩を挟む。 |
|       | 中新統  | 多賀層群 | Tg                | 砂岩泥岩                | 敷地の標高約-130mに分布する。                 |

~~~~ 不整合 ||||| 地層欠如

### 3.3 評価対象断面(水平地質断面図(標高 6.0m))

原子炉建家基礎底面位置付近の標高 6.0 m(こは、Is-S<sub>1</sub>)が分布する。

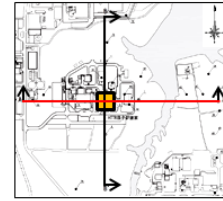


原子炉建家基礎底面位置付近(標高6.0 m)の水平地質断面図

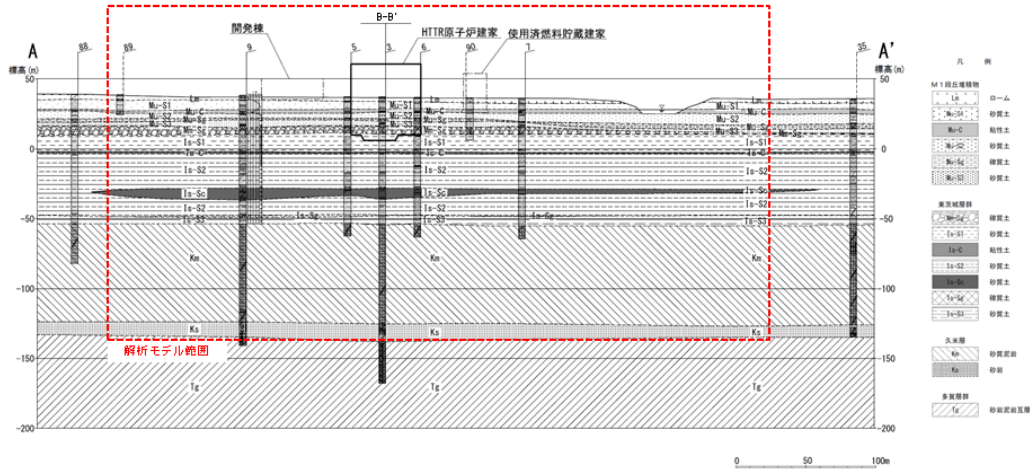


3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価  
3.3 評価対象断面(A-A'断面)

第225回審査会合  
資料2-5 修正



評価対象断面



27

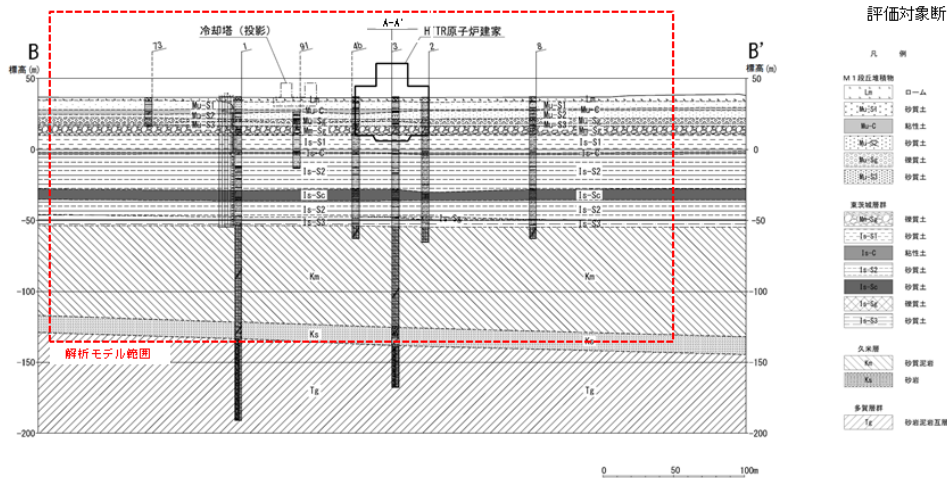


3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価  
3.3 評価対象断面(B-B'断面)

第225回審査会合  
資料2-5 修正

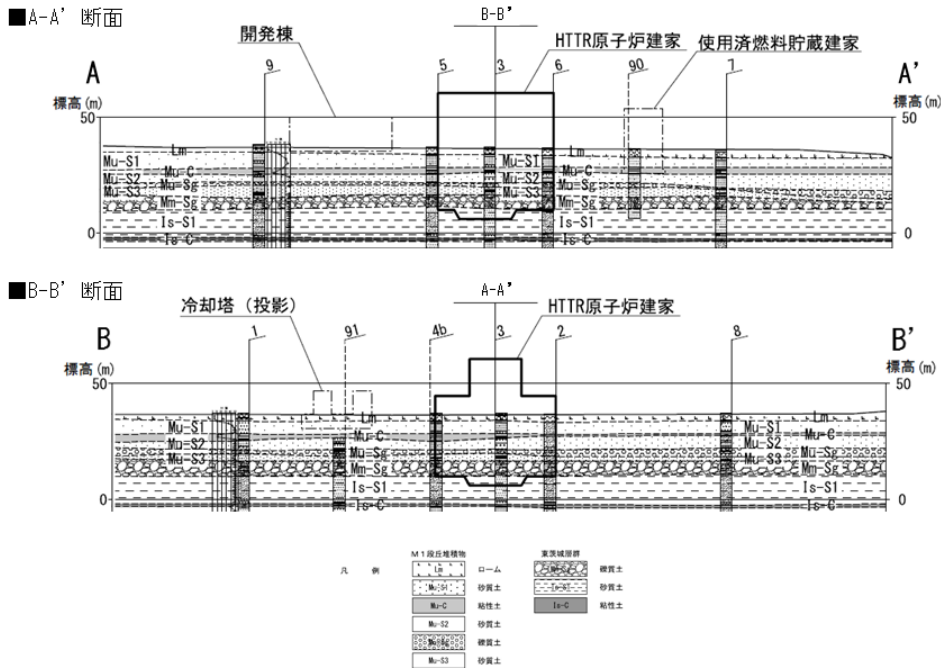


評価対象断面



28

### 3.3 評価対象断面(浅部拡大図)



### 3.4 解析モデル(モデル領域・地盤のモデル化)

**【モデル領域】**

- 解析モデル範囲は、境界条件の影響が地盤及び建家の応力状態に影響を及ぼさないよう十分に広い領域とする。
- 具体的には、JEAG4601-2015等を参考にモデル片幅を原子炉建家基礎幅の2.5倍以上、モデル高さを基礎幅の1.5~2倍以上を確保する。
- モデル下端の深さは解放基礎表面とする。

モデル領域設定の考え方 (例: B-B' 断面)

**【地盤のモデル化】**

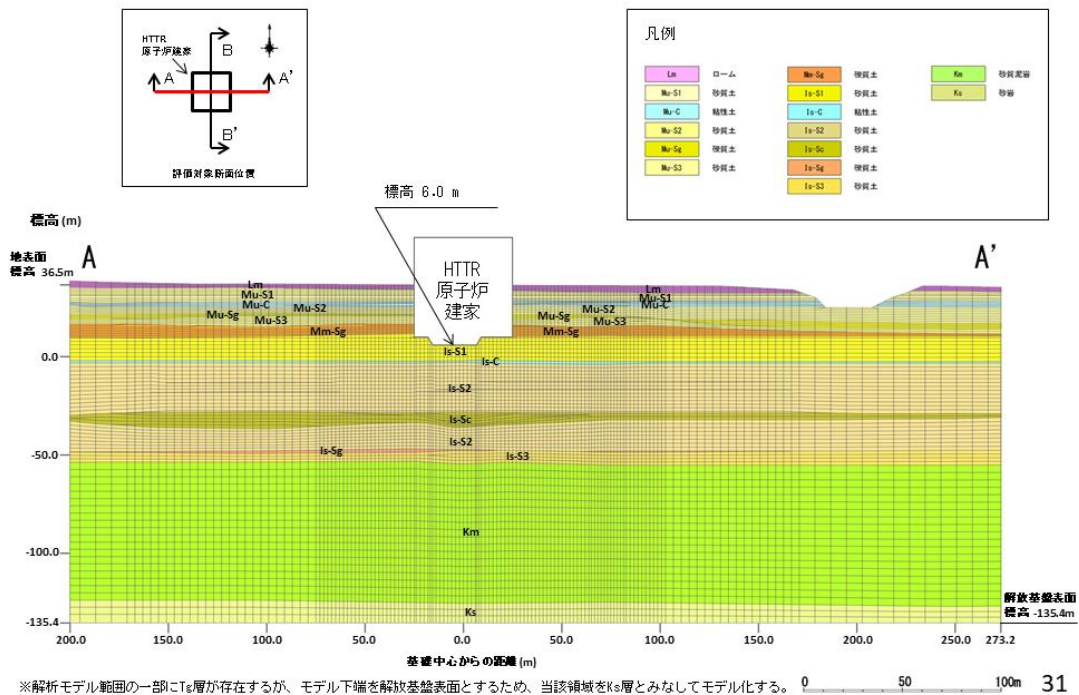
- 地盤は、平面ひずみ要素でモデル化する。
- 要素の高さは、JEAG4601-2015等を参考に、最大周波数(20 Hz)及び地盤のせん断波速度Vsより求まる最大要素高さを上回らないよう設定し、浅くなるにつれて細かく分割している。

$$\text{最大要素高さ (m)} = \frac{1}{4} \times \frac{Vs \text{ (m/s)}}{20 \text{ (Hz)}}$$

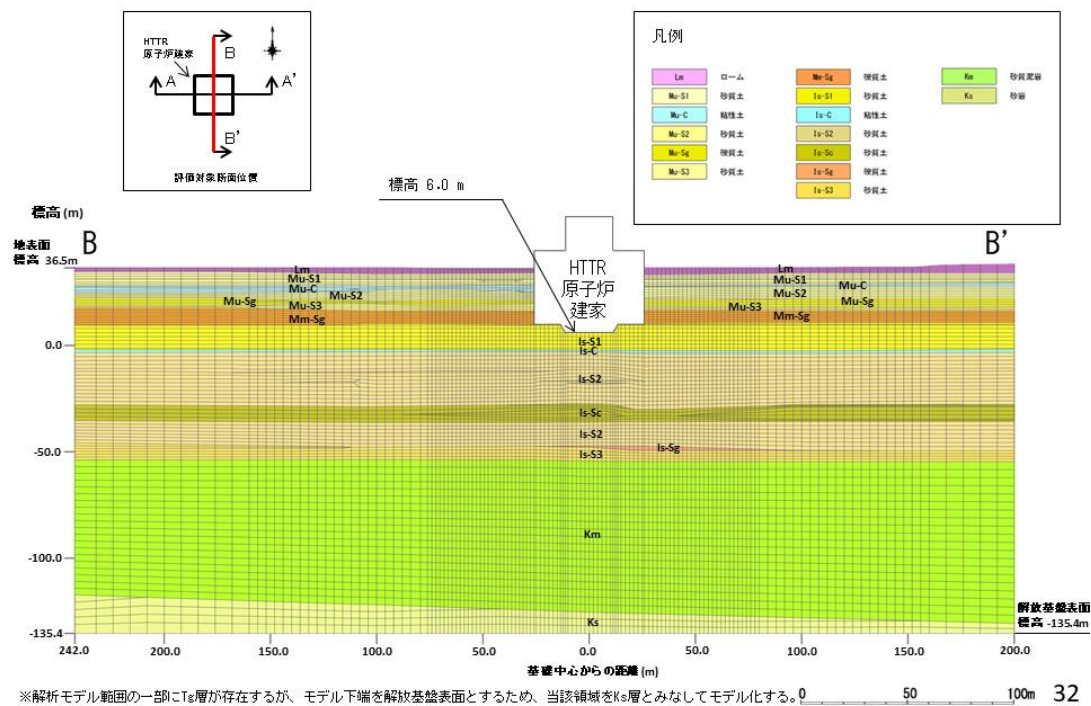
- 要素幅については、端部から中央に向けて細かく分割し、要素高さに対して極端に偏平とならないように分割している。また、建家直下については、建家のメッシュ分割に合わせて細分化している。



### 3.4 解析モデル(A-A'断面)



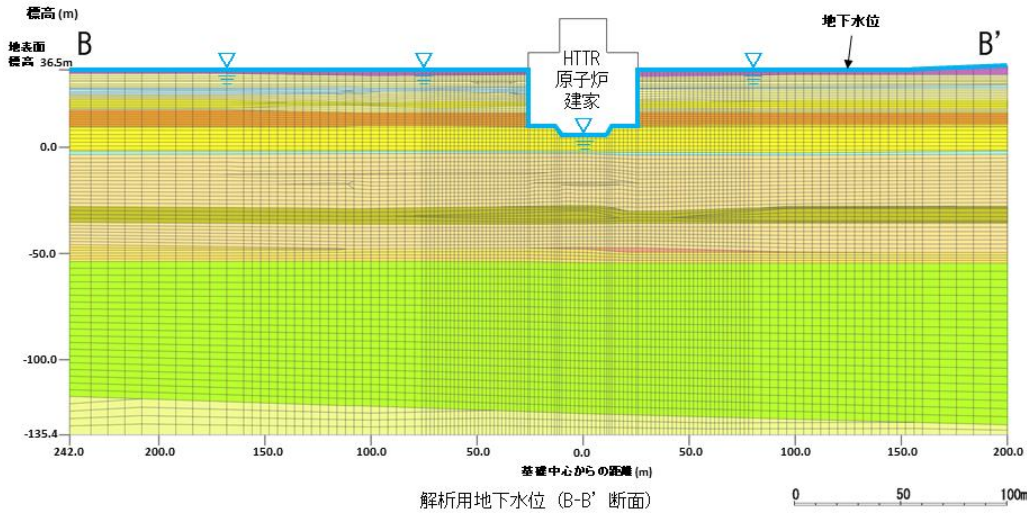
### 3.4 解析モデル(B-B'断面)



### 3.4 解析モデル(解析用地下水位の設定)

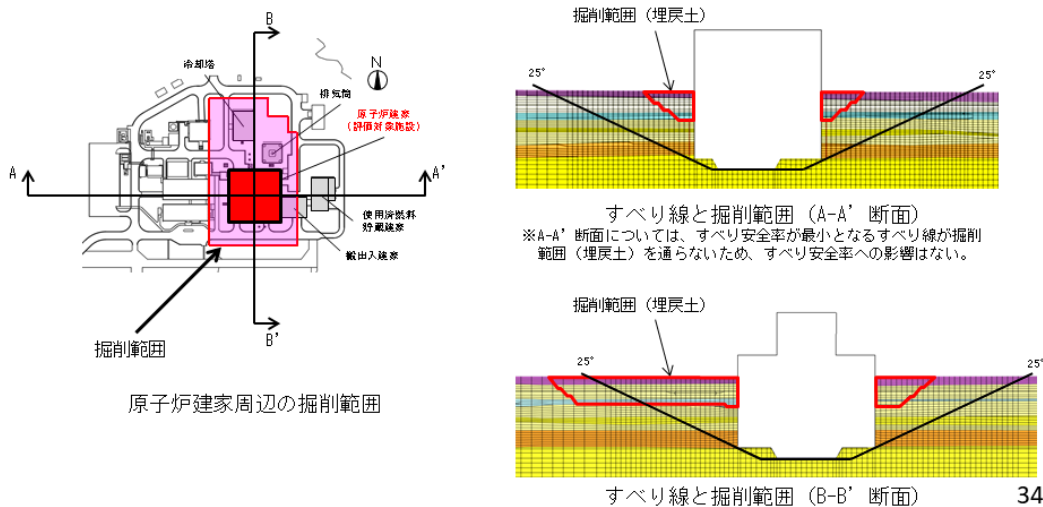
**【解析用地下水位】**

すべり安全率の評価は、保守的に地下水位を地表面に設定した解析を基本とし、基礎地盤がすべりに対して安定性を有していることを確認する。なお、「すべり安全率が最小となる想定すべり線及び地震動の抽出」については、昭和61年～63年の建設前に実施した地下水位観測記録（参考資料9）に基づき検討する。  
基礎底面の接地圧及び基礎底面の傾斜の評価は、観測記録に基づき実施する。なお、最も厳しい結果となる地震動に対しては、地下水位を地表面とした解析を行い、その影響を確認する。



### 3.4 解析モデル(周辺建家と埋戻土について)

原子炉建家周辺の地盤は建設時に掘削されており、掘削領域は周辺建家の地下部又は埋戻土となっている。すべり線として側面地盤の破壊を想定しているため、周辺建家はモデルに含めないものとする。また、埋戻土の範囲は限定的で、かつ締め固められていることから、掘削部の埋戻土の影響は小さいと考え、原地盤の物性値による評価を基本とする。  
ただし、周辺建家の有無及び埋戻土の物性値による影響を確認するため、影響検討を行う。

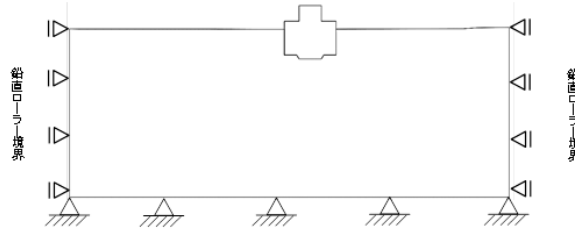


### 3.4 解析モデル(境界条件)

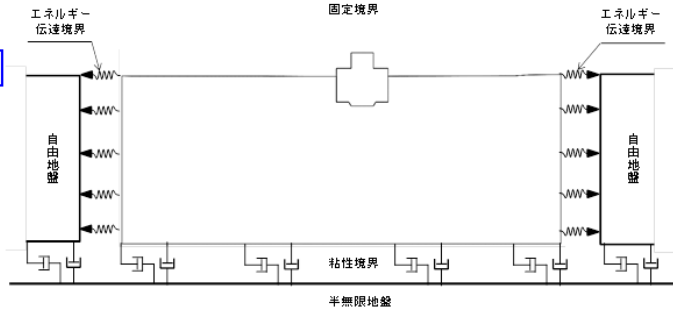
**【境界条件】**

- ・静的解析では、側方を鉛直ローラー境界、底面を固定境界とし、建家及び地盤の自重による常時応力を算出する。
- ・地震応答解析では、側方をエネルギー伝達境界、底面を粘性境界とし、エネルギーの逸散を考慮する。

静的解析時



地震応答解析時

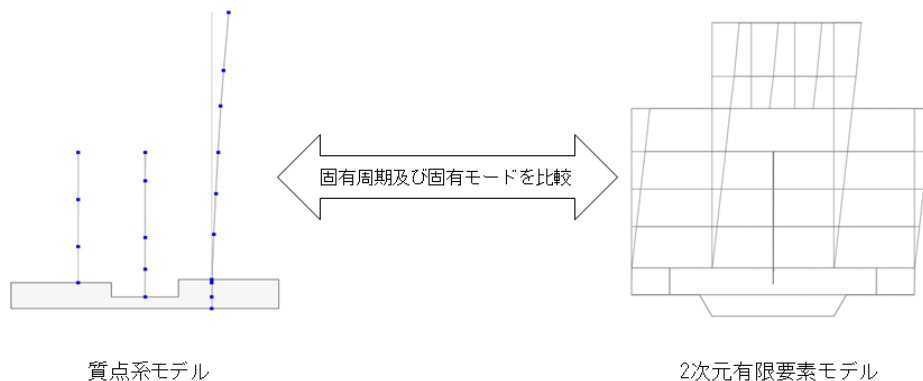


35

### 3.4 解析モデル(建家のモデル化)

**【建家のモデル化】**

原子炉建家のモデル化は、「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）」に基づき、質点系モデルと等価な振動特性の2次元有限要素モデルとする。



HTTR原子炉建家  
総重量：1072 × 10<sup>8</sup> kN

建家モデル化手法の概念図 (B-B' 断面)

36

### 3.5 解析用物性値(設定の考え方)

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。

| 地層名     | 地質記号              | 物理特性 | 強度特性   |        | 変形特性                            |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|---------|-------------------|------|--------|--------|---------------------------------|------------------------|--------|--------|-----------------------------|--------|---------------------------------|------------------------|--------|
|         |                   |      | 湿潤密度   | ピーク強度  | 残留強度                            | 動的変形特性                 |        | 静的変形特性 |                             |        |                                 |                        |        |
|         |                   |      |        |        |                                 | 初期動せん断弾性係数             | 動ポアソン比 |        | 正規化せん断弾性係数 $G/G_0$ 、減衰率 $h$ | 静弾性係数  |                                 |                        |        |
| M1段丘堆積物 | Lm                | 物理試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | PS検層による $V_s$ 、 $V_p$ 及び密度により算定 | 繰返し中空ねじりせん断試験又は繰返し三軸試験 | 三軸圧縮試験 |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Mu-S <sub>1</sub> |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Mu-C              |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Mu-S <sub>2</sub> |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Mu-S <sub>g</sub> |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Mu-S <sub>3</sub> |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
| 東茨城層群   | Mm-S <sub>g</sub> |      |        |        |                                 |                        |        | 物理試験   | 三軸圧縮試験                      | 三軸圧縮試験 | PS検層による $V_s$ 、 $V_p$ 及び密度により算定 | 繰返し中空ねじりせん断試験又は繰返し三軸試験 | 三軸圧縮試験 |
|         | Is-S <sub>1</sub> |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Is-C              |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Is-S <sub>2</sub> |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Is-Sc             |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Is-S <sub>g</sub> |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |
| 久米層     | Km                | 物理試験 | 三軸圧縮試験 | 三軸圧縮試験 | PS検層による $V_s$ 、 $V_p$ 及び密度により算定 | 繰返し中空ねじりせん断試験又は繰返し三軸試験 | 三軸圧縮試験 |        |                             |        |                                 |                        |        |
|         | Ks                |      |        |        |                                 |                        |        |        |                             |        |                                 |                        |        |

- ・三軸圧縮試験は、LmではUU条件、Mu-S<sub>1</sub>、Mu-S<sub>2</sub>、Mu-S<sub>g</sub>、Mu-S<sub>3</sub>及びMm-S<sub>g</sub>ではCU条件、その他ではCUU条件により行う。
- ・Is-S<sub>g</sub>のピーク強度、残留強度、動せん断弾性係数、減衰率のみすみ依存性及び静弾性係数にはIs-S<sub>2</sub>の試験結果を引用する。

### 3.5 解析用物性値(解析用物性値一覧(1))

| 地層名     | 地質記号              | 物理特性 | 強度特性                                  |                               |   |                                       | 強度特性(地盤物性のばらつき考慮)             |   |                                       |
|---------|-------------------|------|---------------------------------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|-------------------------------|---|---------------------------------------|
|         |                   |      | 湿潤密度<br>$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | ピーク強度                         |   | 残留強度<br>$\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> ) | ピーク強度                         |   | 残留強度<br>$\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> ) |
|         |                   |      |                                       | 粘着力<br>C (N/mm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>$\phi$ (°)   |                                       | 粘着力<br>C (N/mm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>$\phi$ (°)   |                                       |
| M1段丘堆積物 | Lm                | 1.36 | 0.090                                 | 12.6                          | $\tau_p^d = 0.105 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.077$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.066 + \sigma \cdot \tan 17.1^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.077$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.089                                 | 12.6                          | $\tau_r^d = 0.091 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.072$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_r = 0.059 + \sigma \cdot \tan 17.1^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.072$ N/mm <sup>2</sup> ) |                                       |
|         | Mu-S <sub>1</sub> | 1.90 | 0.017                                 | 40.0                          | $\tau_p^d = 0.080 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.006$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.018 + \sigma \cdot \tan 33.3^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.006$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.003                                 | 40.0                          | $\tau_r^d = 0.055 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.000$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_r = 0.003 + \sigma \cdot \tan 33.3^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.000$ N/mm <sup>2</sup> ) |                                       |
|         | Mu-C              | 1.75 | 0.067                                 | 10.5                          | $\tau_p^d = 0.058 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.094$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.055 + \sigma \cdot \tan 11.4^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.094$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.065                                 | 10.5                          | $\tau_r^d = 0.048 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.088$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_r = 0.047 + \sigma \cdot \tan 11.4^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.088$ N/mm <sup>2</sup> ) |                                       |
|         | Mu-S <sub>2</sub> | 1.90 | 0.017                                 | 40.0                          | $\tau_p^d = 0.080 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.006$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.018 + \sigma \cdot \tan 33.3^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.006$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.003                                 | 40.0                          | $\tau_r^d = 0.055 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.000$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_r = 0.003 + \sigma \cdot \tan 33.3^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.000$ N/mm <sup>2</sup> ) |                                       |
|         | Mu-S <sub>g</sub> | 2.02 | 0.082                                 | 33.0                          | $\tau_p = \sigma \cdot \tan 35.2^\circ$   | 0.057                                 | 33.0                          | $\tau_r = \sigma \cdot \tan 33.7^\circ$   |                                       |
|         | Mu-S <sub>3</sub> | 1.81 | 0.017                                 | 40.0                          | $\tau_p^d = 0.080 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.006$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.018 + \sigma \cdot \tan 33.3^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.006$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.003                                 | 40.0                          | $\tau_r^d = 0.055 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.000$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_r = 0.003 + \sigma \cdot \tan 33.3^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.000$ N/mm <sup>2</sup> ) |                                       |
| 東茨城層群   | Mm-S <sub>g</sub> | 2.02 | 0.082                                 | 33.0                          | $\tau_p = \sigma \cdot \tan 35.2^\circ$   | 0.057                                 | 33.0                          | $\tau_r = \sigma \cdot \tan 33.7^\circ$   |                                       |

$\sigma$ : 垂直応力

### 3.5 解析用物性値(解析用物性値一覧(2))

| 地層名       | 地質記号              | 物理特性                                  |                               | 強度特性                |   |                               | 強度特性(地盤物性のばらつき考慮)   |   |  |
|-----------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|--|
|           |                   | 湿潤密度<br>$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | ピーク強度                         |                     | 残留強度<br>$\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> )   | ピーク強度                         |                     | 残留強度<br>$\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> )   |  |
|           |                   |                                       | 粘着力<br>C (N/mm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>$\phi$ (°) |   | 粘着力<br>C (N/mm <sup>2</sup> ) | 内部摩擦角<br>$\phi$ (°) |   |  |
| 東茨城<br>層群 | Is-S <sub>1</sub> | 1.87                                  | 0.208                         | 16.8                | $\tau_p^2 = 0.274 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.368$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.206 + \sigma \cdot \tan 16.9^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.368$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.192                         | 16.8                | $\tau_p^2 = 0.250 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.356$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.190 + \sigma \cdot \tan 16.9^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.356$ N/mm <sup>2</sup> ) |  |
|           | Is-C              | 1.88                                  | 0.410                         | 0.0                 | $\tau_p^2 = 0.273 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.432$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.343$<br>( $\sigma \geq 0.432$ N/mm <sup>2</sup> )                                | 0.373                         | 0.0                 | $\tau_p^2 = 0.205 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.388$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.282$<br>( $\sigma \geq 0.388$ N/mm <sup>2</sup> )                                |  |
|           | Is-S <sub>2</sub> | 1.86                                  | 0.571                         | 17.8                | $\tau_p^2 = 0.863 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.590$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.524 + \sigma \cdot \tan 17.8^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.590$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.428                         | 17.8                | $\tau_p^2 = 0.603 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.548$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.366 + \sigma \cdot \tan 17.8^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.548$ N/mm <sup>2</sup> ) |  |
|           | Is-Sc             | 1.82                                  | 0.722                         | 8.2                 | $\tau_p^2 = 0.861 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.820$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.722 + \sigma \cdot \tan 8.2^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.820$ N/mm <sup>2</sup> )  | 0.717                         | 8.2                 | $\tau_p^2 = 0.853 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.817$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.717 + \sigma \cdot \tan 8.2^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.817$ N/mm <sup>2</sup> )  |  |
|           | Is-Sg             | 1.98                                  | 0.571                         | 17.8                | $\tau_p^2 = 0.863 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.590$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.524 + \sigma \cdot \tan 17.8^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.590$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.428                         | 17.8                | $\tau_p^2 = 0.603 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.548$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.366 + \sigma \cdot \tan 17.8^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.548$ N/mm <sup>2</sup> ) |  |
|           | Is-S <sub>3</sub> | 1.97                                  | 0.497                         | 18.0                | $\tau_p^2 = 0.726 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.762$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.496 + \sigma \cdot \tan 18.0^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.762$ N/mm <sup>2</sup> ) | 0.424                         | 18.0                | $\tau_p^2 = 0.604 \cdot \sigma$<br>( $\sigma < 0.709$ N/mm <sup>2</sup> )<br>$\tau_p = 0.424 + \sigma \cdot \tan 18.0^\circ$<br>( $\sigma \geq 0.709$ N/mm <sup>2</sup> ) |  |

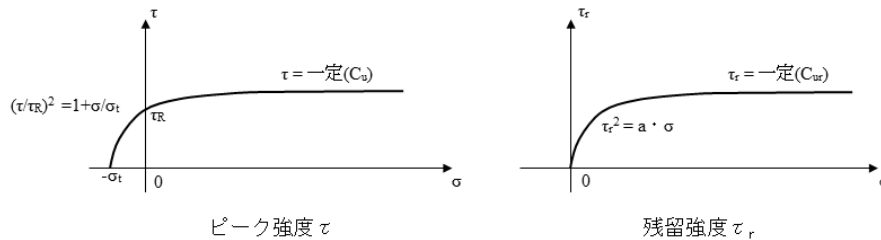
$\sigma$  : 垂直応力

### 3.5 解析用物性値(解析用物性値一覧(3))

| 地層名 | 地質記号 | 物理特性                                  |   | 強度特性  |   | 強度特性(地盤物性のばらつき考慮)   |      |
|-----|------|---------------------------------------|---|---|---|---|------|
|     |      | 湿潤密度<br>$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ) | ピーク強度<br>$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )  | 残留強度<br>$\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> )   | ピーク強度<br>$\tau$ (N/mm <sup>2</sup> )  | 残留強度<br>$\tau_r$ (N/mm <sup>2</sup> )   |      |
| 久米層 | Km   | 1.79                                  | $\sigma t = 0.148 - 0.000197 \cdot Z$<br>$\tau_u = 0.332 - 0.000674 \cdot Z$<br>$C_u = 1.062 - 0.00114 \cdot Z$<br>$\phi_u = 0^\circ$ | $a = -0.006 - 0.00589 \cdot Z$<br>$C_{ur} = 0.376 - 0.00356 \cdot Z$<br>$\phi_{ur} = 0^\circ$ | $\sigma t = 0.095 - 0.000197 \cdot Z$<br>$\tau_u = 0.261 - 0.000674 \cdot Z$<br>$C_u = 1.004 - 0.00114 \cdot Z$<br>$\phi_u = 0^\circ$ | $a = -0.174 - 0.00589 \cdot Z$<br>$C_{ur} = 0.240 - 0.00356 \cdot Z$<br>$\phi_{ur} = 0^\circ$ |      |
|     | Ks   |                                       |   |   |   |   | 1.88 |

$\sigma$  : 垂直応力、Z : 標高 (m)

久米層 (Km, Ks) のピーク強度及び残留強度は、以下の図のとおり設定する。





### 3.5 解析用物性値(解析用物性値一覧(4))

| 地層名     | 地質記号              | 変形特性  |                       |                                |                         | 静的変形特性<br>静弾性係数<br>E <sub>50</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) |
|---------|-------------------|---|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|---|
|         |                   | 初期動せん断弾性係数<br>G <sub>0</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) | 動ポアソン比 ν <sub>d</sub> | G/G <sub>0</sub> -γ (%)        | h (%) - γ (%)           |   |
| M1段丘堆積物 | Lm                | 42.3  | 0.47                  | 1/(1+7.42・γ <sup>0.763</sup> ) | 16.9・γ/(γ+0.168)+1.30   | 16.9  |
|         | Mu-S <sub>1</sub> | 222   | 0.44                  | 1/(1+20.4・γ <sup>0.805</sup> ) | 18.5・γ/(γ+0.0273)+0.481 | 37.3  |
|         | Mu-C              | 150   | 0.46                  | 1/(1+3.61・γ <sup>0.871</sup> ) | 11.8・γ/(γ+0.406)+2.35   | 52.6  |
|         | Mu-S <sub>2</sub> | 354   | 0.41                  | 1/(1+11.7・γ <sup>0.811</sup> ) | 26.9・γ/(γ+0.157)+0.621  | 37.3  |
|         | Mu-S <sub>g</sub> | 409   | 0.44                  | 1/(1+18.2・γ <sup>0.838</sup> ) | 16.5・γ/(γ+0.0536)+0.549 | 55.4  |
|         | Mu-S <sub>3</sub> | 386   | 0.38                  | 1/(1+11.6・γ <sup>0.872</sup> ) | 26.4・γ/(γ+0.106)+0.385  | 37.3  |
| 東茨城層群   | Mm-S <sub>g</sub> | 752   | 0.38                  | 1/(1+10.7・γ <sup>0.812</sup> ) | 18.0・γ/(γ+0.0474)       | 55.4  |

G: せん断弾性係数、γ: せん断ひずみ、h: 減衰率

### 3.5 解析用物性値(解析用物性値一覧(5))

| 地層名   | 地質記号              | 変形特性  |                       |                                |                        | 静的変形特性<br>静弾性係数<br>E <sub>50</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------------|---|-----------------------|--------------------------------|------------------------|---|
|       |                   | 初期動せん断弾性係数<br>G <sub>0</sub> (N/mm <sup>2</sup> ) | 動ポアソン比 ν <sub>d</sub> | G/G <sub>0</sub> -γ (%)        | h (%) - γ (%)          |   |
| 東茨城層群 | Is-S <sub>1</sub> | 359   | 0.46                  | 1/(1+7.27・γ <sup>0.825</sup> ) | 23.4・γ/(γ+0.169)+0.362 | 104   |
|       | Is-C              | 275   | 0.47                  | 1/(1+4.49・γ <sup>0.893</sup> ) | 20.1・γ/(γ+0.376)+0.691 | 173   |
|       | Is-S <sub>2</sub> | 288   | 0.47                  | 1/(1+5.66・γ <sup>0.842</sup> ) | 22.1・γ/(γ+0.285)+0.307 | 116   |
|       | Is-Sc             | 285   | 0.47                  | 1/(1+4.75・γ <sup>0.782</sup> ) | 29.2・γ/(γ+0.760)+0.859 | 162   |
|       | Is-S <sub>g</sub> | 714   | 0.44                  | 1/(1+5.66・γ <sup>0.842</sup> ) | 22.1・γ/(γ+0.285)+0.307 | 116   |
|       | Is-S <sub>3</sub> | 485   | 0.45                  | 1/(1+6.00・γ <sup>0.886</sup> ) | 22.1・γ/(γ+0.281)+0.208 | 249   |
| 久米層   | Km                | 464   | 0.45                  | 1/(1+1.97・γ <sup>0.889</sup> ) | 13.9・γ/(γ+0.870)+2.07  | 244-3.39・Z  |
|       | Ks                | 763   | 0.43                  | 1/(1+2.98・γ <sup>0.772</sup> ) | 20.7・γ/(γ+1.12)+1.88   |   |

G: せん断弾性係数、γ: せん断ひずみ、h: 減衰率、Z: 標高 (m)

原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015 (日本電気協会)

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)

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は、せん断強度等の抵抗力に関する地盤物性の影響が非常に大きく、剛性等の影響は比較的小さい。  
 ・「代表値±係数×標準偏差( $\sigma$ )による確率的手法による地盤物性のばらつきの評価では、地盤物性値がばらついても「代表値-1.0×標準偏差( $\sigma$ )」によって確率論的に評価したすべり安全率を下回る確率が小さい。



地盤物性のばらつきを考慮したすべり安全率

- ・すべり安全率に対しては強度特性のばらつきが大きく影響することから、試験結果を基に標準偏差 $\sigma$ 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。
- ・各断面のうち、最小すべり安全率を示すすべり線に対して地盤強度のばらつきを考慮して評価する。

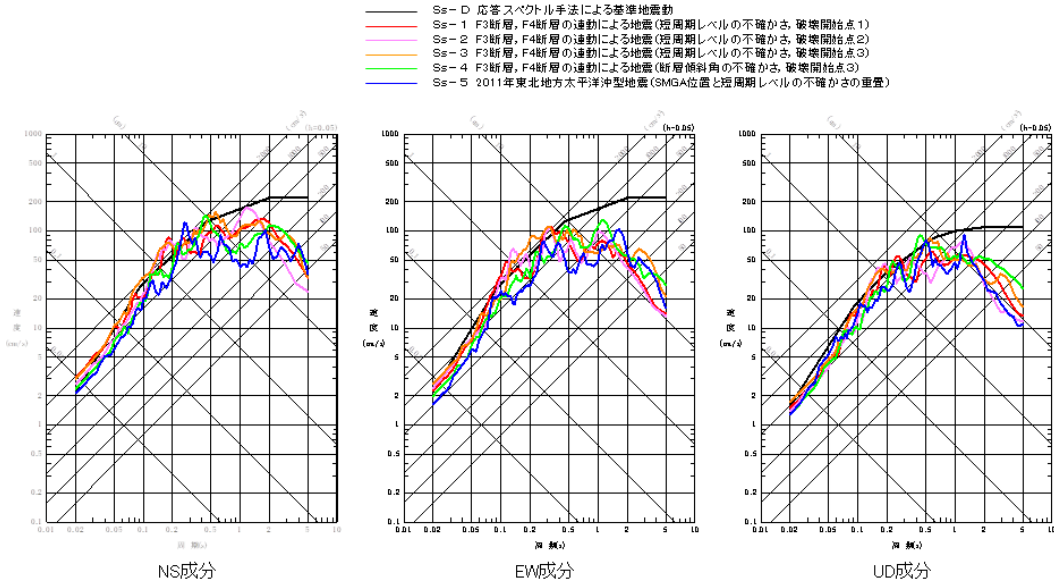
地震応答解析の入力地震動には、基準地震動6波(Ss-D、Ss-1、Ss-2、Ss-3、Ss-4、Ss-5)を使用し、解析モデル下端(解放基盤表面)に水平及び鉛直地震動を同時に入力する。

基準地震動Ssの最大加速度の一覧

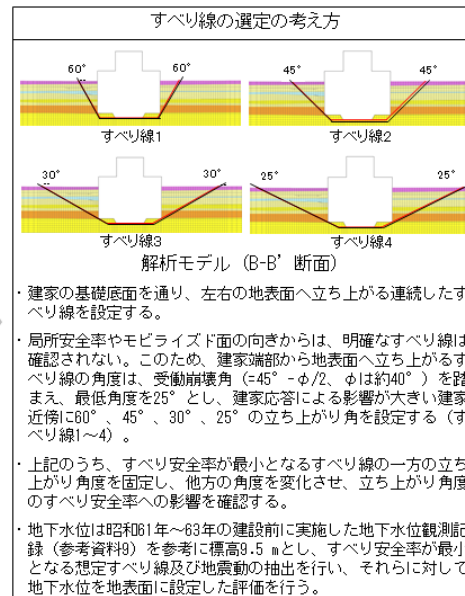
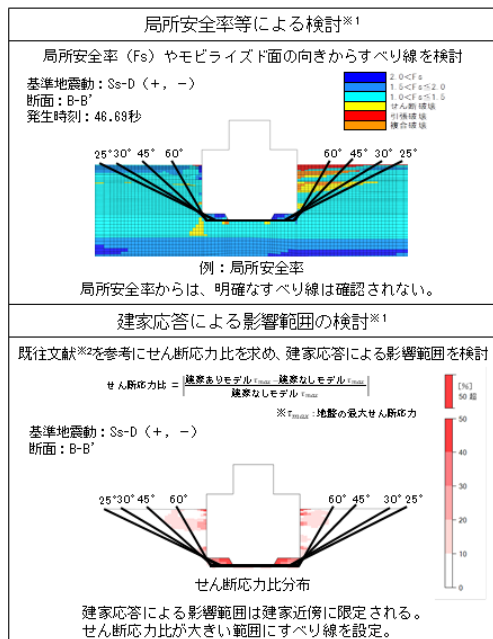
| 基準地震動 |   | 最大加速度(cm/s <sup>2</sup> ) |      |      |
|-------|---|---------------------------|------|------|
|       |   | NS成分                      | EW成分 | UD成分 |
| Ss-D  | 応答スペクトル手法による基準地震動                           | 700                       |      | 500  |
| Ss-1  | F3断層, F4断層の運動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1) | 973                       | 711  | 474  |
| Ss-2  | F3断層, F4断層の運動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2) | 835                       | 761  | 436  |
| Ss-3  | F3断層, F4断層の運動による地震<br>(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3) | 948                       | 650  | 543  |
| Ss-4  | F3断層, F4断層の運動による地震<br>(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)  | 740                       | 630  | 405  |
| Ss-5  | 2011年東北地方太平洋沖型地震<br>(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳) | 670                       | 513  | 402  |

※表中のグラフは各基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(縦軸:加速度[cm/s<sup>2</sup>], 横軸:時間[s])

■ 基準地震動Ssの応答スペクトル



基礎底面を通るすべり線を基本とし、局所安全率や応力状態（建家応答による影響範囲）等を踏まえ、すべり線を選定する。

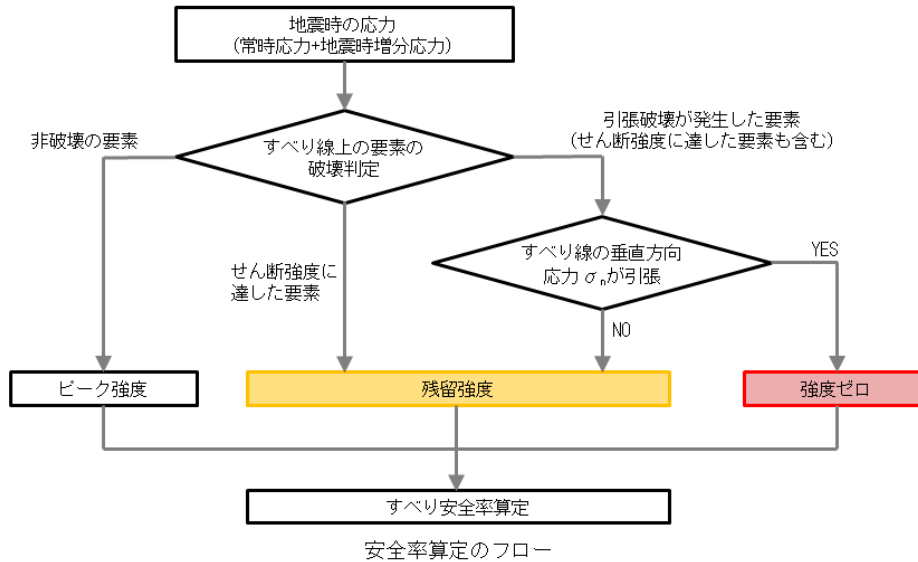


※1 局所安全率、モビライズド面、せん断応力比分布は参考資料 6を参照。  
 ※2 原子力発電所の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価技術(技術資料)(土木学会, 2009)



### 3.8 すべり安全率算定に用いる地盤の強度設定

地盤の強度設定は、すべり線上の要素の破壊状態、応力状態に応じて、ピーク強度、残留強度、強度ゼロを使い分け、すべり安全率を算定する。



### 3.9 すべり安全率の評価内容

#### 【基本方針】

##### ①評価対象地盤

評価対象の地盤は原子炉建家建設前の原地盤とし、原地盤に原子炉建家が設置された場合の評価を基本とする（基本モデル）。

##### ②評価対象断面

評価対象の断面は東西断面（A-A' 断面）及び南北断面（B-B' 断面）の2断面とする。

##### ③解析用地下水位

すべり安全率の評価は、保守的に地下水位を地表面に設定した解析を基本とし、基礎地盤がすべりに対して安定性を有していることを確認する。なお、「すべり安全率が最小となる想定すべり線及び地震動の抽出」については、昭和61年～63年の建設前に実施した観測記録に基づき検討する。

##### ④すべり線

すべり線は、原子炉建家基礎底面を通り、建家端部から地表面に立ち上がるすべり線とする。検討すべり線はA-A' 断面、B-B' 断面とも4ケースとする。すべり安全率が最小となるすべり線については、すべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させ、立ち上がり角度のすべり安全率への影響を確認する。

##### ⑤地盤強度のばらつき

地盤強度のばらつき（平均強度-1σ）を考慮した評価を最小すべり安全率を示すすべり線に対して行う。

##### ⑥埋戻土

建設時に掘削された領域は周辺建家の地下部又は埋戻土となっているが、掘削範囲すべてを埋戻土と仮定し、強度を保守的にゼロとした場合の評価を最小すべり安全率を示すすべり線に対して行う。

#### 【影響検討】

以下の検討を実施し、すべり安全率に及ぼす影響を確認した。

##### ①粘性土層を通るすべり線の影響検討

原子炉建家の支持地盤の下部に存在する粘性土（Is-C）を通るすべり線におけるすべり安全率を確認し、Is-C層ですべらないことを確認した（検討結果は参考資料 7 (1)に示す）。

##### ②周辺建家の影響検討

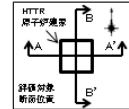
原子炉建家近傍にある周辺建家の原子炉建家に対する重量比を確認し、重量比が十分に小さく、すべり安全率に及ぼす影響が少ないと判断した（検討結果は参考資料 7 (2)に示す）。

### 3.10 評価結果(①すべり安全率(抽出結果))

地下水位を標高9.5 mとし、すべり安全率が最小となる想定すべり線及び地震動の抽出を行った。すべり安全率が最小(赤枠で示したケース)となる想定すべり線は、A-A'断面、B-B'断面とも基礎底面を通り、すべり線立ち上がり角度が25°のすべり線形状で、地震動はA-A'断面がSs-D(-, -)、B-B'断面がSs-D(+, -)となっている。

| 抽出結果 (A-A'断面) |          |                   |                        | 抽出結果 (B-B'断面) |          |                   |                        |
|---------------|----------|-------------------|------------------------|---------------|----------|-------------------|------------------------|
| 番号            | 想定すべり線形状 | 地震動 <sup>※1</sup> | すべり安全率 <sup>※2※3</sup> | 番号            | 想定すべり線形状 | 地震動 <sup>※1</sup> | すべり安全率 <sup>※2※3</sup> |
| 1             |          | Ss-D (-, -)       | 4.6 [46.66]            | 1             |          | Ss-D (+, -)       | 4.7 [46.65]            |
| 2             |          | Ss-D (-, -)       | 3.2 [46.68]            | 2             |          | Ss-D (+, -)       | 3.3 [46.68]            |
| 3             |          | Ss-D (-, -)       | 2.2 [46.69]            | 3             |          | Ss-D (+, -)       | 2.3 [46.69]            |
| 4             |          | Ss-D (-, -)       | 2.0 [46.69]            | 4             |          | Ss-D (+, -)       | 2.0 [46.69]            |

※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転  
 ※2 [ ] は発生時刻 (秒)  
 ※3 その他の地震動も含めた結果一覧を参考資料 2 (1)~(4)に示す。  
 すべり安全率が最小となるすべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させてもすべり安全率は小さくならないことを確認している。結果を参考資料 2(5)~(6)に示す。



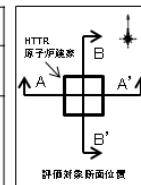
### 3.10 評価結果(①すべり安全率)

最小すべり安全率は、A-A'断面の基礎底面を通り、すべり線立ち上がり角度が25°のすべり線で1.9となっており、評価基準値1.5を上回ることを確認した。また、地盤強度のばらつきを考慮した場合の最小すべり安全率は1.8、埋戻土を考慮した場合の最小すべり安全率は1.9となり、いずれも評価基準値1.5を上回ることを確認した。

すべり安全率の評価結果

| 断面   | 想定すべり線形状 | 地震動 <sup>※1</sup> | すべり安全率 <sup>※2</sup> |                |             |
|------|----------|-------------------|----------------------|----------------|-------------|
|      |          |                   | 基本モデル<br>(地下水位地表面)   | 地盤強度<br>ばらつき考慮 | 埋戻土考慮       |
| A-A' |          | Ss-D (-, -)       | 1.9 [46.69]          | 1.8 [46.69]    | 1.9 [46.69] |
| B-B' |          | Ss-D (+, -)       | 2.0 [46.69]          | 1.8 [46.69]    | 1.9 [46.69] |

※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転  
 ※2 [ ] は発生時刻 (秒)



### 3.10 評価結果(②基礎底面の接地圧)

- ・評価基準値は、HTTR原子炉建家直下の基礎地盤（東茨城層群）における平板載荷試験の結果※1から、1.9 N/mm<sup>2</sup>と設定する。
- ・地震時における基礎底面の接地圧は、最大で1.14 N/mm<sup>2</sup>であり、評価基準値を下回ることを確認した。

基礎底面の接地圧の評価結果

|         | 地震動※2          | 原子炉建家<br>基礎底面の最大接地圧※3             |
|---------|----------------|-----------------------------------|
| A-A' 断面 | Ss-D<br>(+, +) | 0.99 N/mm <sup>2</sup><br>[46.68] |
| B-B' 断面 | Ss-2<br>(+, +) | 1.14 N/mm <sup>2</sup><br>[ 8.06] |

- ※1 参考資料 3を参照  
 ※2 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、  
 (-, -) 水平反転かつ鉛直反転  
 ※3 [ ] は発生時刻 (秒)  
 その他の地震動も含めた結果一覧を参考資料 3に示す。

### 3.10 評価結果(③基礎底面の傾斜)

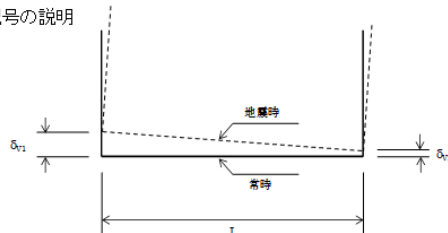
地震時における基礎底面の傾斜は、最大で1/3,800であり、評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した。

基礎底面の傾斜の評価結果

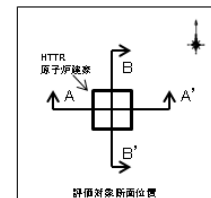
|         | 地震動※1          | 基礎底面両端の最大相対変位※2<br>( $ \delta_{v1} - \delta_{v2} $ ) | 基礎底面両端の最大傾斜<br>( $ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L$ ※3) |
|---------|----------------|--|--|
| A-A' 断面 | Ss-D<br>(-, +) | 1.24 cm<br>[39.73]                                   | 1/4,000  |
| B-B' 断面 | Ss-D<br>(-, +) | 1.34 cm<br>[46.74]                                   | 1/3,800  |

- ※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転  
 ※2 [ ] は発生時刻 (秒)  
 その他の地震動も含めた結果一覧を参考資料 4に示す。  
 ※3 L はA-A' 断面において50.0 m、B-B' 断面において52.0 m

記号の説明



$\delta_{v1}$ 、 $\delta_{v2}$  は上向きを正とする



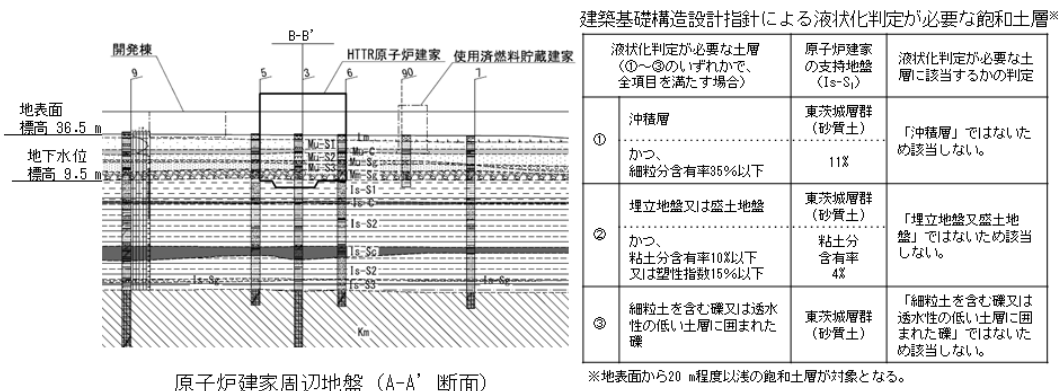
### 3.11 液状化に対する安全性検討

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

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

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

原子炉建家の支持地盤 (Is-S<sub>1</sub>) の飽和土層は、地表面から27 m (標高9.5 m) 以深であり、地表面から20 m程度以浅という条件には該当しない。また、この支持地盤は中部更新統の東茨城層群 (砂質土) であり、上記の「①沖積層」、「②埋立地盤、盛土地盤」又は「③細粒土を含む礫又は透水性の低い土層に囲まれた礫」いずれにも該当しないため、液状化のおそれはなく、施設の安全機能に支障を与えるものではない (参考として実施した液状化に対する検討結果を参考資料 8 に示す)。



### 3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価(まとめ)

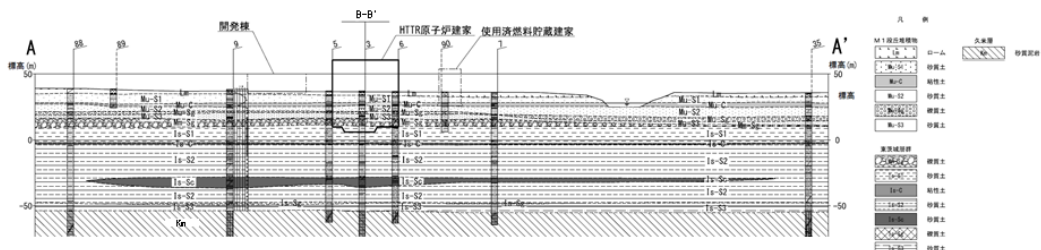
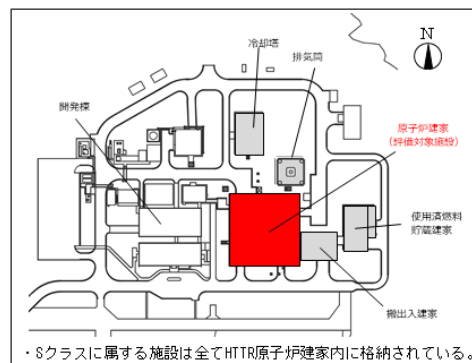
- ① 地震時におけるすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認した。
- ② 地震時における基礎底面の接地圧が平板載荷試験結果から設定した評価基準値1.9 N/mm<sup>2</sup>を下回ることを確認した。
- ③ 地震時における基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した。

原子炉建家が設置される地盤は液状化するおそれがないことを確認した。

1. 評価方針
2. 地質の概要(将来活動する活断層等の有無)
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
5. 周辺斜面の影響
6. まとめ

4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価  
**4.1 周辺地盤の変状による影響**

原子炉建家は、十分な支持性能を有する地盤（東茨城層群(I<sub>s</sub>-S<sub>1</sub>)）に支持されており、原子炉建家以外に耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器・配管系及びそれらを支持する建物・構築物はないことから、周辺地盤の変状（不等沈下、液化化、揺すり込み沈下等）による影響を受けるおそれはない。



原子炉建家周辺地盤 (A-A' 断面図)

## 4.2 地殻変動による基礎地盤の傾斜の影響

- ・敷地には将来活動する可能性のある断層等は認められない。したがって、地震活動に伴い生ずる地殻変動による施設への影響は小さいと考えられるが、敷地周辺に想定される地震活動を踏まえ、地殻変動による施設への影響評価を行う。
- ・敷地周辺に想定される断層のうち、すべり量が大きくかつすべり域が敷地に近い「2011年東北地方太平洋沖型地震」のSMGA位置の不確かさを考慮したモデルを用いる。(その他の震源による影響は参考資料5を参照)

**【評価方法】**

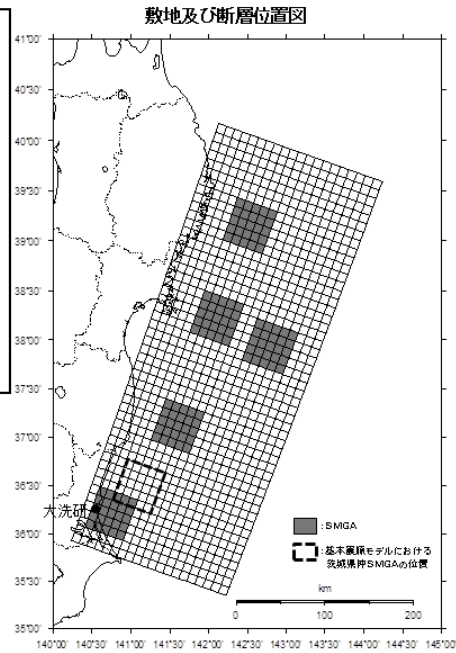
- ・地殻変動による傾斜は、食い違い弾性論 (Okada (1992)) に基づく解析により得られる地表面の変形より算出する。
- ・評価に用いる断層パラメータは地震動評価に基づき設定する。

**【評価基準値】**

- ・上記の地殻変動による傾斜と前述の基準地震動による傾斜を足し合わせた基礎底面の傾斜が、評価の目安である1/2,000を下回ることを確認する。

**主な断層パラメータ**

|         |      | 2011年東北地方太平洋沖型地震                       |
|---------|------|--|
| 断層長さ    |      | 500 km                                 |
| 断層幅     |      | 200 km                                 |
| 断層面積    |      | 100,000 km <sup>2</sup>                |
| 地震モーメント |      | $4.00 \times 10^{22}$ Nm               |
| 剛性率     |      | $4.68 \times 10^{19}$ N/m <sup>2</sup> |
| 平均すべり量  | SMGA | 17.1 m                                 |
|         | 背景領域 | 7.3 m                                  |



2011年東北地方太平洋沖型地震の震源断層モデル (SMGA位置の不確かさを考慮したモデル)

57

## 4.2 地殻変動による基礎地盤の傾斜の影響

地殻変動による最大傾斜と基準地震動による最大傾斜を足し合わせた基礎底面の傾斜を以下に示す。基礎底面の傾斜は1/3,100であり、評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した。

**地殻変動と基準地震動による基礎底面の傾斜**

| ①地殻変動による最大傾斜 | ②基準地震動による最大傾斜 | ①+②     |
|--------------|---------------|---------|
| 1/17,000     | 1/3,800       | 1/3,100 |

58



#### 4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価(まとめ)

第225回審査会合  
資料2-5 再掲

- ① 原子炉建家以外に耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器・配管系及びそれらを支持する建物・構築物はないことから、周辺地盤の変状(不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等)による影響を受けるおそれはないことを確認した。
- ② 地殻変動による基礎地盤の傾斜の影響について、基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した。

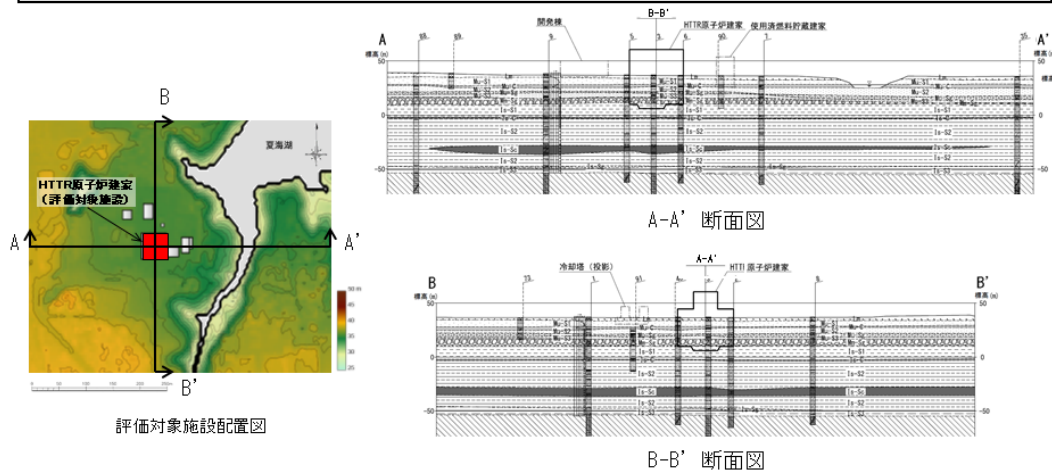
59



1. 評価方針
2. 地質の概要(将来活動する活断層等の有無)
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
5. 周辺斜面の影響
6. まとめ

60

JEAG4601-2015に基づく評価対象とすべき斜面は「斜面法尻からSクラス施設との離間距離が、約50 m以内あるいは斜面高さの約1.4倍以内の斜面」とされており、原子炉建家の周辺に斜面は存在せず、周辺斜面の影響はない。



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

61

1. 評価方針
2. 地質の概要(将来活動する活断層等の有無)
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
5. 周辺斜面の影響
6. まとめ

62



**1. 将来活動する可能性のある断層等の有無**

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

**2. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価**

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

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

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

(2)原子炉建家が設置される地盤は液状化するおそれがないことを確認した。

**3. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価**

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

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

**4. 周辺斜面の影響**

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

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