



大洗研究所（常陽）

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

令和2年10月12日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構



目次

1. 評価方針	4
2. 将来活動する可能性のある断層等の有無	7
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価	17
3.1 評価項目	
3.2 安定性評価フロー	
3.3 基礎地盤のすべりに対する安定性評価のフロー	
3.4 評価対象断面	
3.5 解析モデル	
3.6 解析用物性値	
3.7 基準地震動 S_s	
3.8 すべり線の選定	
3.9 すべり安全率算定に用いる地盤の強度設定	
3.10 すべり安全率の評価内容	
3.11 すべり安全率評価結果	
3.12 抑止杭を考慮したすべり安全率評価内容	
3.13 抑止杭を考慮したすべり安全率評価結果	
3.14 抑止杭の照査	
3.15 基礎底面の接地圧評価結果	
3.16 基礎底面の傾斜評価結果	
3.17 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	62
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	67
6. まとめ	70
参考資料	71
参考文献	130



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

原子炉施設のうち、評価対象施設（原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物）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評価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

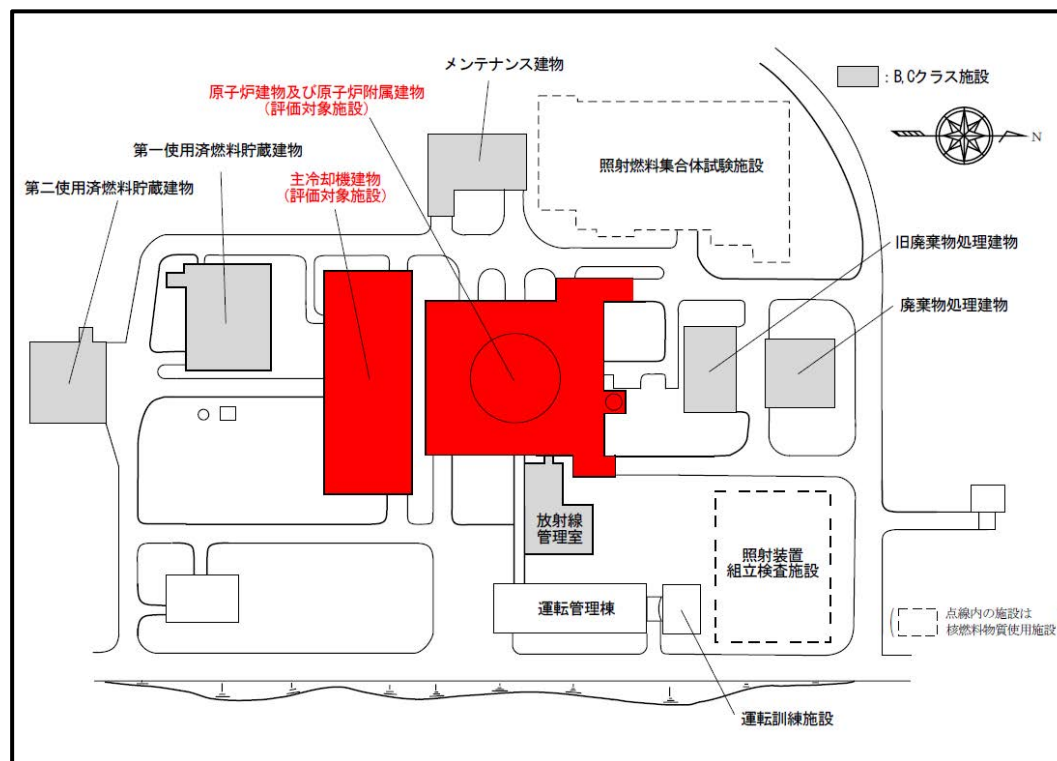
- 原子炉施設は、原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物、第一使用済燃料貯蔵建物、第二使用済燃料貯蔵建物、メンテナンス建物、廃棄物処理建物、旧廃棄物処理建物、放射線管理室で構成されている。

＜耐震重要施設（Sクラスに属する施設）を有する施設＞

- 原子炉建物及び原子炉附属建物
- 主冷却機建物

＜耐震重要施設（B、Cクラスに属する施設）を有する施設（上記建物以外）＞

- 第一使用済燃料貯蔵建物
 - 第二使用済燃料貯蔵建物
 - メンテナンス建物
 - 廃棄物処理建物
 - 旧廃棄物処理建物
 - 放射線管理室
- Sクラスに属する機器・配管系は、すべて原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物内に設置されている。

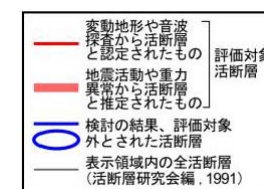
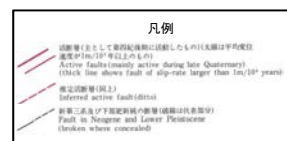
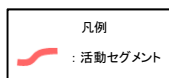
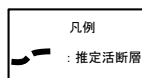
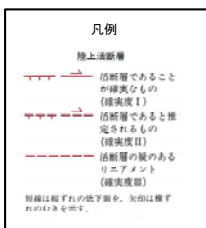


評価対象施設配置図

評価対象施設は、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物及び原子炉附属建物、主冷却機建物とする。

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

2. 将来活動する可能性のある断層等の有無 活構造に関する文献調査結果

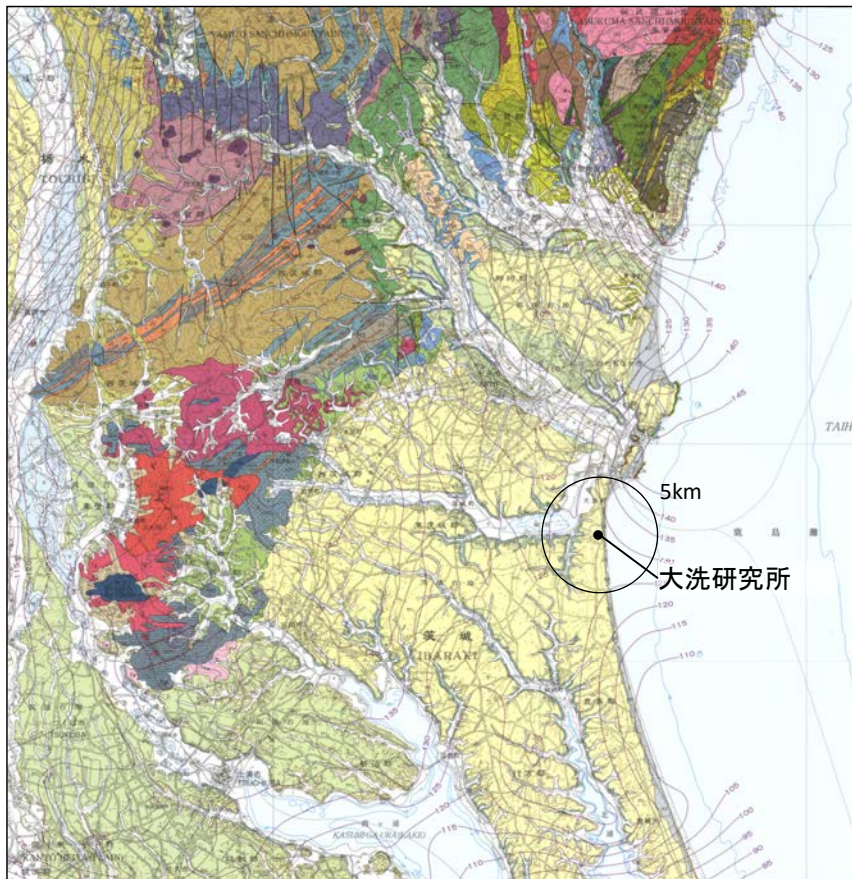


大洗研究所の敷地及び敷地近傍において、陸域では鹿島台地・行方台地周辺の活傾動、海域ではF3・F4断層が指摘されている。敷地周辺の地質・地質構造調査結果から、鹿島台地・行方台地周辺には文献で指摘される範囲には震源として考慮する活断層はないと評価し、海域のF3・F4断層(長さ約16km)について震源として考慮する活断層と評価している。



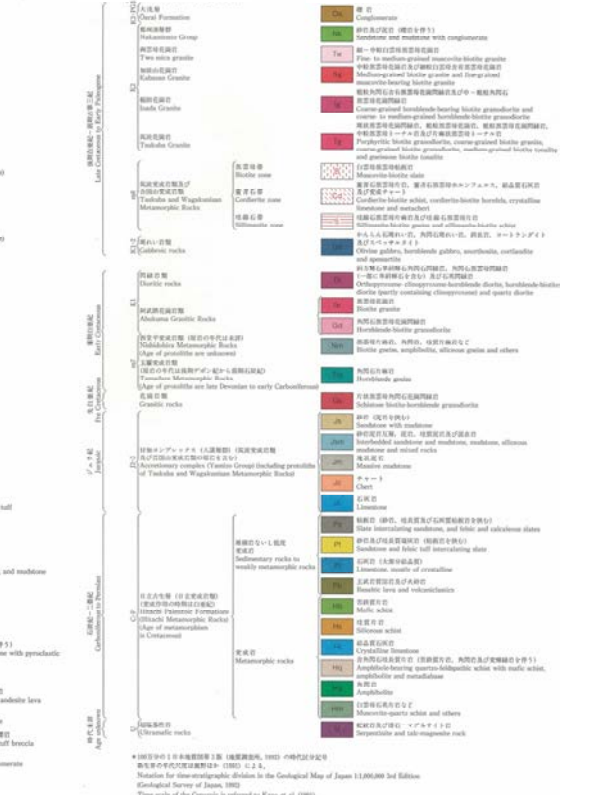
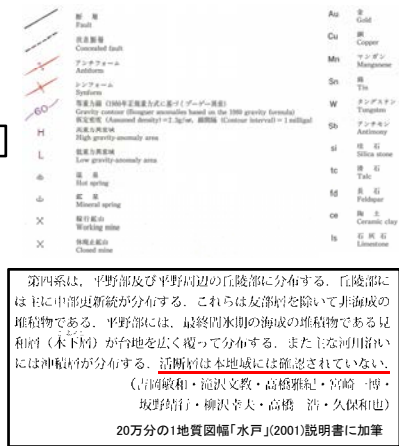
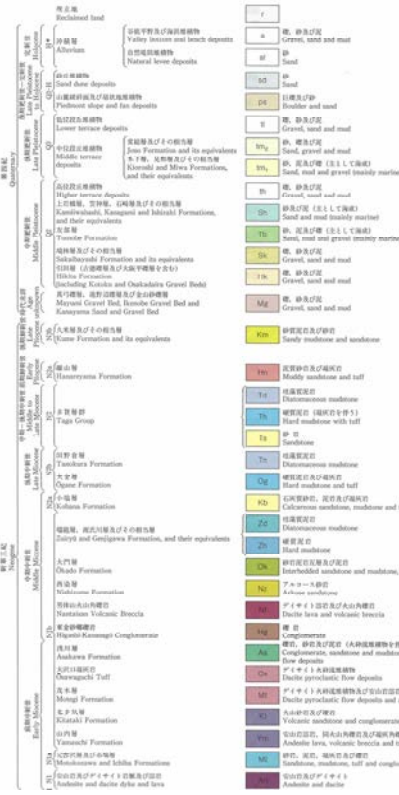
2. 将来活動する可能性のある断層等の有無

文献調査結果 20万分の1地質図幅「水戸」(2001)



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。



時代	岩種・炭水	新第三紀				太平洋系		区分	主要な岩種
		山方・水原	常陸大田	水戸・住友	水戸・住友	ひたもなか	日立		
新第三紀	大洗層群	多賀層	長谷層	水戸層	水戸層	水戸層	水戸層	IV	水戸層
		大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	V	大洗層
中新世	大洗層群	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	IV	大洗層
		大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	V	大洗層
中新世	大洗層群	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	IV	大洗層
		大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	V	大洗層
中新世	大洗層群	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	IV	大洗層
		大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	大洗層	V	大洗層

第2図 水戸河内盆地内の新第三紀の対比

第四系は、平野部及び平野周辺の丘陵部に分布する。丘陵部には主に中部更新統が分布する。これらは友部層を除いて非海成の堆積物である。平野部には、最終間氷期の海成の堆積物である見和川(木下川)が台地を広く覆って分布する。また主要河川沿いには沖積物が分布する。活断層は本地域には確認されていない。
(古河敏和・流沢文典・高橋雅弘・宮崎一博・坂野結行・柳沢幸夫・高橋 浩・久保和也)

20万分の1地質図幅「水戸」(2001)説明書に加筆

文献調査結果 5万分の1地質図幅「磯浜」(1975)

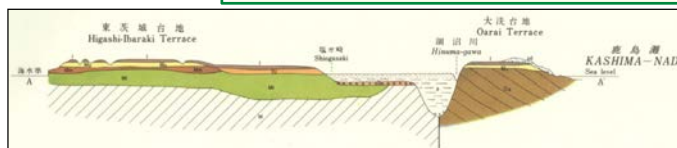
地質調査総合センター
「5万分の1地質図幅 磯浜(1975)」に加筆



 : 文献調査の対象とした図幅(5万分の1)

 : 文献調査の対象とした図幅(20万分の1)

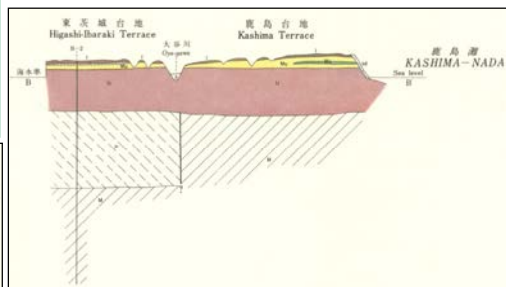
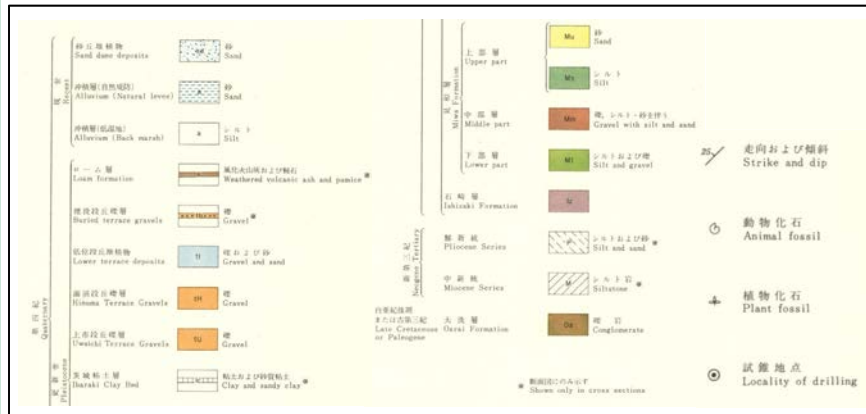
 : 5万分の1地質図幅が発行されている範囲



東茨城台地の主部は、海拔30m前後のきわめて平坦な地形を示す。鹿島台地も同様に平坦であるが、海拔40～45mの高さをもってあり、東茨城台地とは10m前後の高度差がある。両者のさかいには、埋谷面図(第1図)で見ると、南北に走るかなり明白な高度の峻い違いとして示されている。この鹿島台地の高まりは、一般に鹿島灘沿岸地域の隆起によるものとされてきた。しかし、地質調査の結果では、少なくとも本地域内では、むしろ台地構成層の厚さの差に起因するものと考えられる。東茨城台地は、本地域より西ではわずかに低くなり、それより西でふたたび高くなって、全体として、右岡一水「を結ぶ線」を軸とした浅い凹状の地形を呈する。これらの台地の主部は、いずれも第四紀の最終間氷期における海面上昇にともなって堆積した海成層(見知層=成田層上部)の構成する一連の隆起海岸平野として形成されたものである。

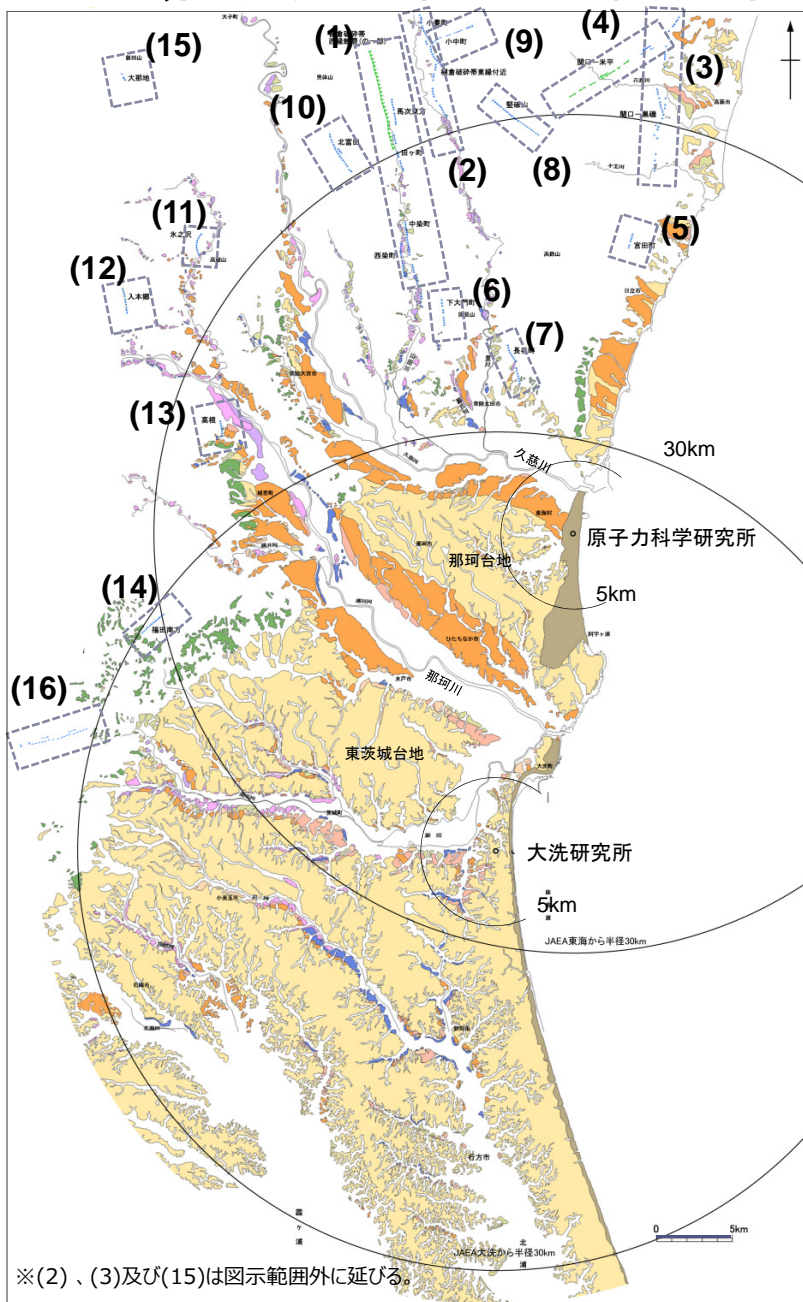
以上の述べた各層のうち、第四系はほとんど水平に分布しており、構造的な変形はうけていない、大洗層は、北東北へ約30°傾斜した単斜構造を示す。新第三系については、地表に露出していないので、その構造は不明である。大洗層と新第三系との相互関係も不明であるが、全般的な状況からみて、おそらく断層で接するものであろう。また、鹿島台地の中新統と東茨城台地の中新・鮮新統の間にも断層が存在することが予想される。

磯浜図幅説明書(1975)より抜粋



- ・「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、地形判読結果においても、周辺に広く分布するM1面にもリニアメントが判読されず、また地表地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。

敷地周辺陸域の調査結果【変動地形学的調査】



	名称
(1)	棚倉破碎帯西縁断層 (の一部)
(2)	棚倉破碎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)	宮田町リニアメント
(6)	下大門町リニアメント
(7)	長谷町リニアメント
(8)	豎破山リニアメント
(9)	小中町リニアメント
(10)	北富田リニアメント
(11)	氷之沢リニアメント
(12)	入本郷リニアメント
(13)	高根リニアメント
(14)	福田南方リニアメント
(15)	大那地リニアメント
(16)	吾国山断層

: 既往文献に記載されているものに相当するリニアメント
 : 既往文献に記載されていないリニアメント

凡 例

段丘面	南関東で対比される段丘面
L4 面	立川面 Tc3面
L3 面	立川面 Tc2面
L2 面	立川面 Tc1面
L1 面	
M4 面	武蔵野面 M3面
M3 面	武蔵野面 M2面
M2 面	下末吉～小原台面
M1 面	多摩面
高位面	

第四紀完新世 d

--- Lcリニアメント (変動地形である可能性が低いリニアメント)
--- Ldリニアメント (変動地形である可能性が非常に低いリニアメント)

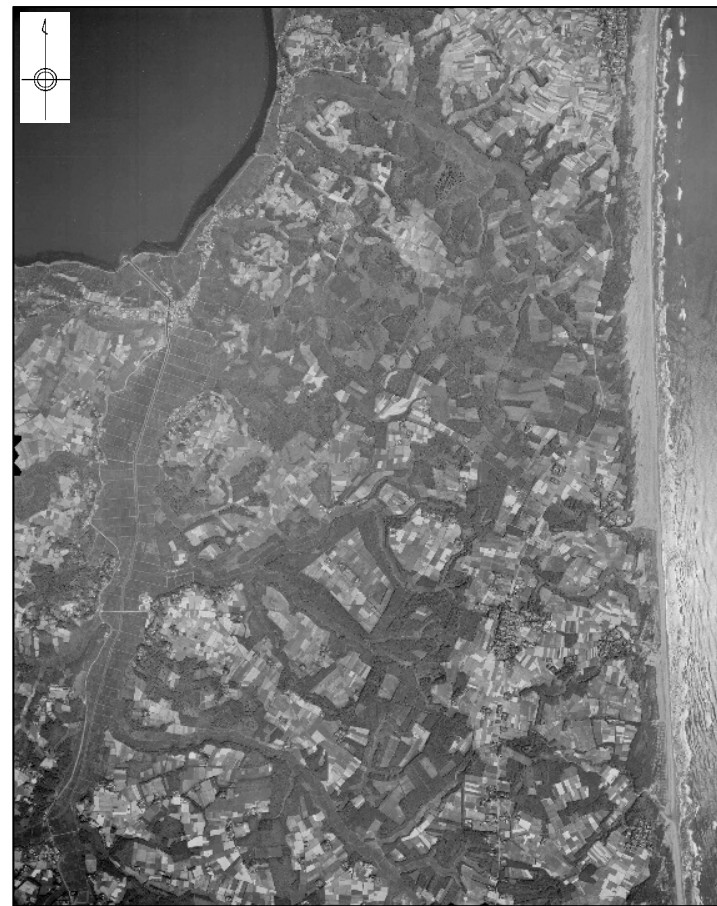
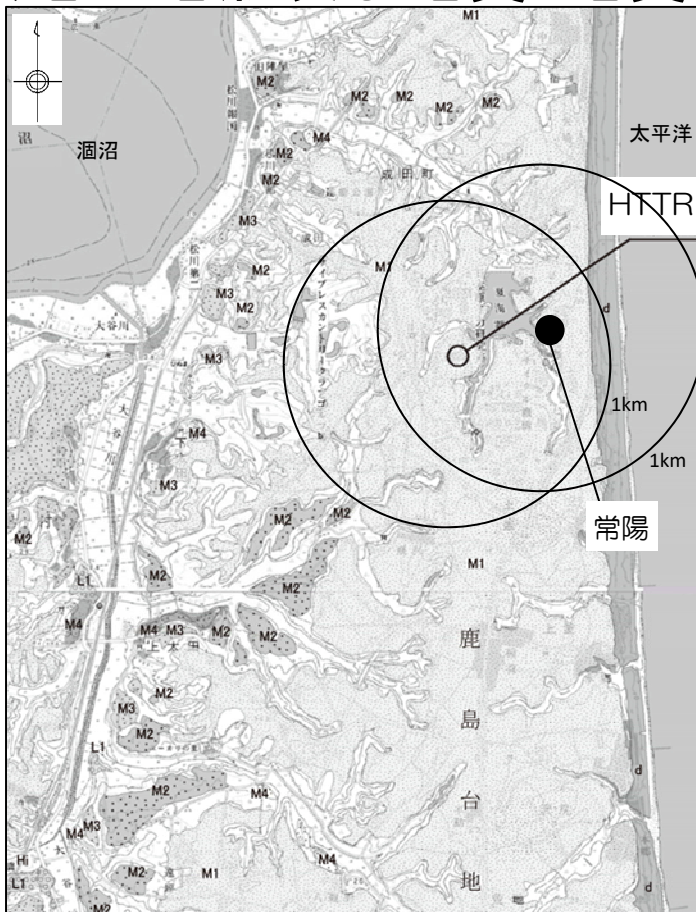
短線は地形的に低い側を、矢印は地形の屈曲方向を示す。
 短線がないリニアメントは両側で高度の不連続が認められない。

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。

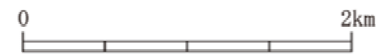


2. 将来活動する可能性のある断層等の有無

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、著しい地形改変はされていない。



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図200000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。
(承認番号 平26情保、第337号) 及び
(承認番号 平26情保、第540号)
本図面を第三者がさらに複製する場合は国土地理院の長の承認を得なければならない。

凡例	
第四紀 完新世	砂丘
第四紀 更新世	L1面
	M4面
	M3面
	M2面
	M1面

敷地近傍陸域の変動地形調査結果図


常陽建設前の空中写真
(1964年撮影)

- 敷地は、主に標高約30m～約40mの台地からなる。
- 台地は敷地近傍のM1面に相当し、敷地に広く分布する。
- 変動地形学的調査結果によると、敷地には地すべり地形及びリニアメントは認められない。

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	砂丘砂層	礫・砂・シルト	砂	敷地の低地部に分布する。	敷地の海岸付近に分布し、細粒砂から中粒砂よりなる。	-	-
		更新統	上部	M1段丘堆積物		礫・砂・シルト		下位の東茨城層群を不整合に覆う。 (MIS5e~5c)		見和層上部層	茨城層 見和層 (MIS5e~5c)
			中部	東茨城層群		礫・砂・シルト		建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)
			下部	久米層		砂質泥岩 凝灰岩を挟む		敷地の標高約-50mから標高約-130mに分布する。		鮮新統	-
	新第三系	鮮新統		多賀層群		砂質泥岩		敷地の標高約-130m以深に分布する。		中新統	-
		中新統	上部							-	-
			中部							-	-
			下部							-	-

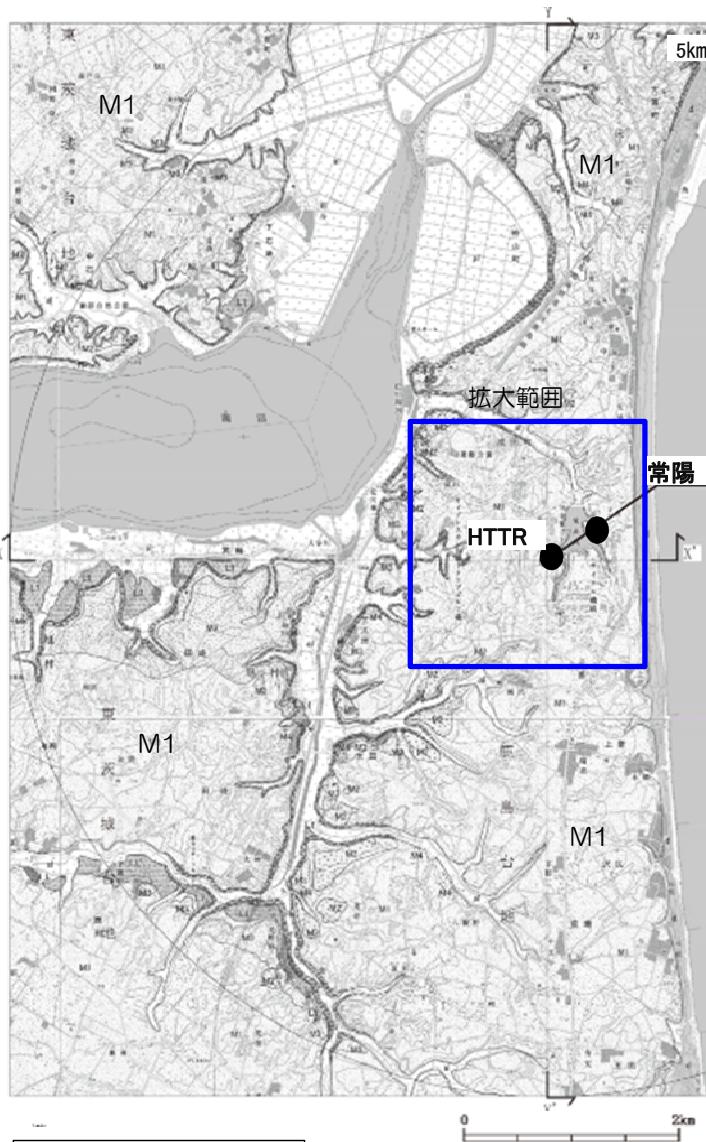
~~~~~ : 不整合  
 : 地層欠如

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。  
 なお、敷地内の地質層序について、坂本（1975）及び山元（2013）と整合性を確認した。山元（2013）は、東茨城台地に分布する更新統の層序について、海水準変動に関連付けた地層区分及びテフラの対比により検討を行い、下位から笠神層（MIS7e）、夏海層（MIS7a-c）、見和層（5e）、茨城層（5c）に区分しており、敷地の地質層序表に示される各層の年代観と整合している。



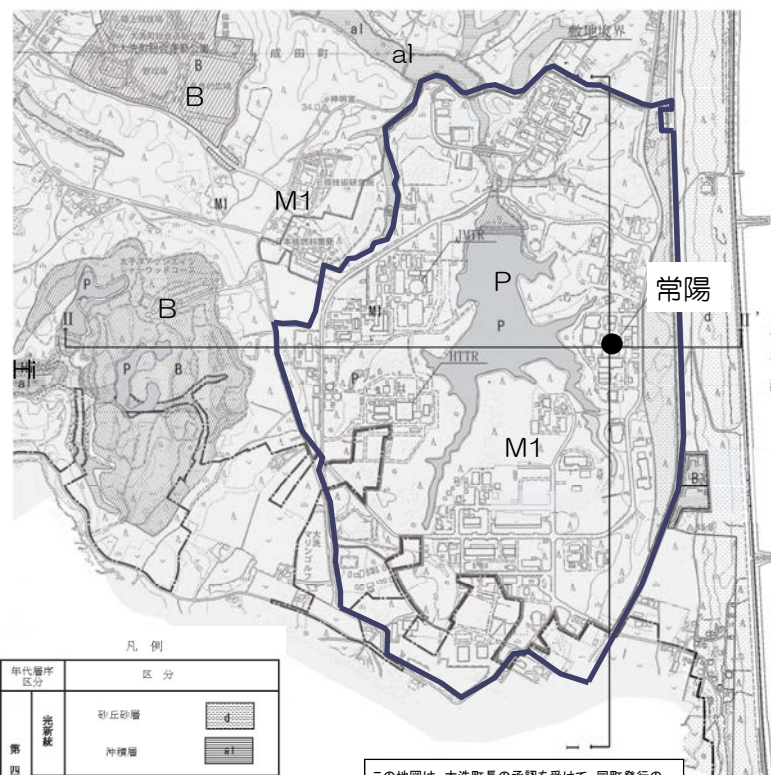
2. 将来活動する可能性のある断層等の有無

# 敷地の地形及び地質・地質構造の概要



この地図は、国土地理院長の承認を得て、同院発行の数値地図20000(地図画像)及び数値地図25000(地図画像)を複製したものである。  
 (承認番号 平26情覆、第337号) 及び  
 (承認番号 平26情覆、第540号)  
 本図面を第三者がさらに複製する場合は国土地理院の長の承認を得なければならない。

敷地近傍陸域の地質図



凡例

| 年代層序区分     | 区分         |    |
|------------|------------|----|
| 第四系<br>完新統 | 砂丘砂層       | d  |
|            | 沖積層        | al |
| 第四系<br>更新統 | M1段丘堆積物    | M1 |
|            | 東茨城層群      | H1 |
|            | 造成に伴う人工改変地 | ?  |
|            | ため池        | P  |

※本地质図は、施設準拠に伴う盛土・掘土を削いで表現した。

この地図は、大洗町長の承認を受けて、同町発行の1/10,000地形図を使用したものである。



敷地の地質平面図

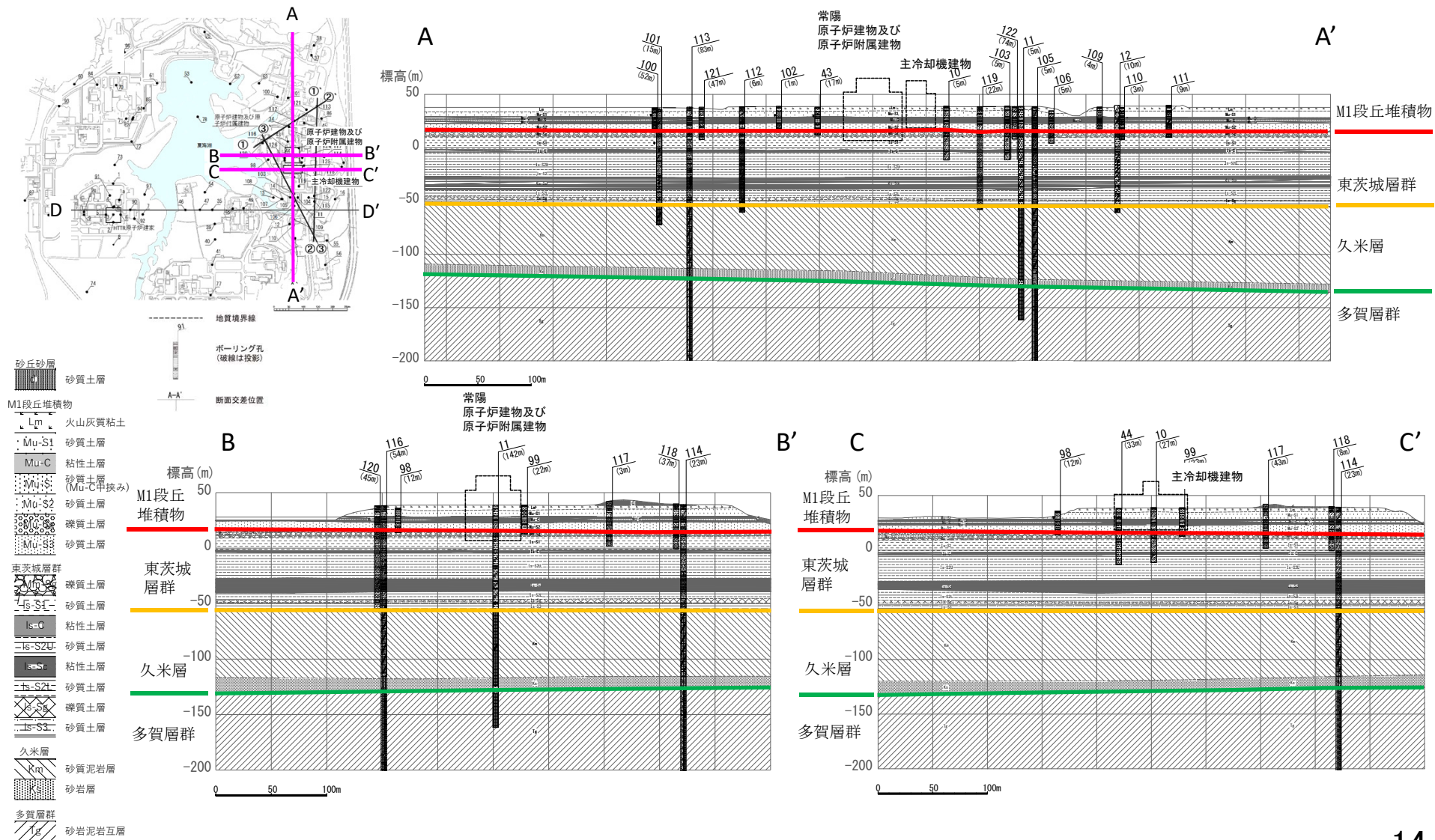
- 敷地には第四系更新統の東茨城層群、M1段丘堆積物、並びに第四系完新統砂丘砂層等が分布する。



## 2. 将来活動する可能性のある断層等の有無

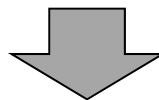
# 敷地の地質・地質構造(地質断面図 東西南北方向)

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、M1段丘堆積物の基底面はほぼ水平に分布する。また、東茨城層群及び久米層の基底面もほぼ水平に分布する。



## まとめ

- 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、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は認められ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





## 3.1 評価項目

(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。

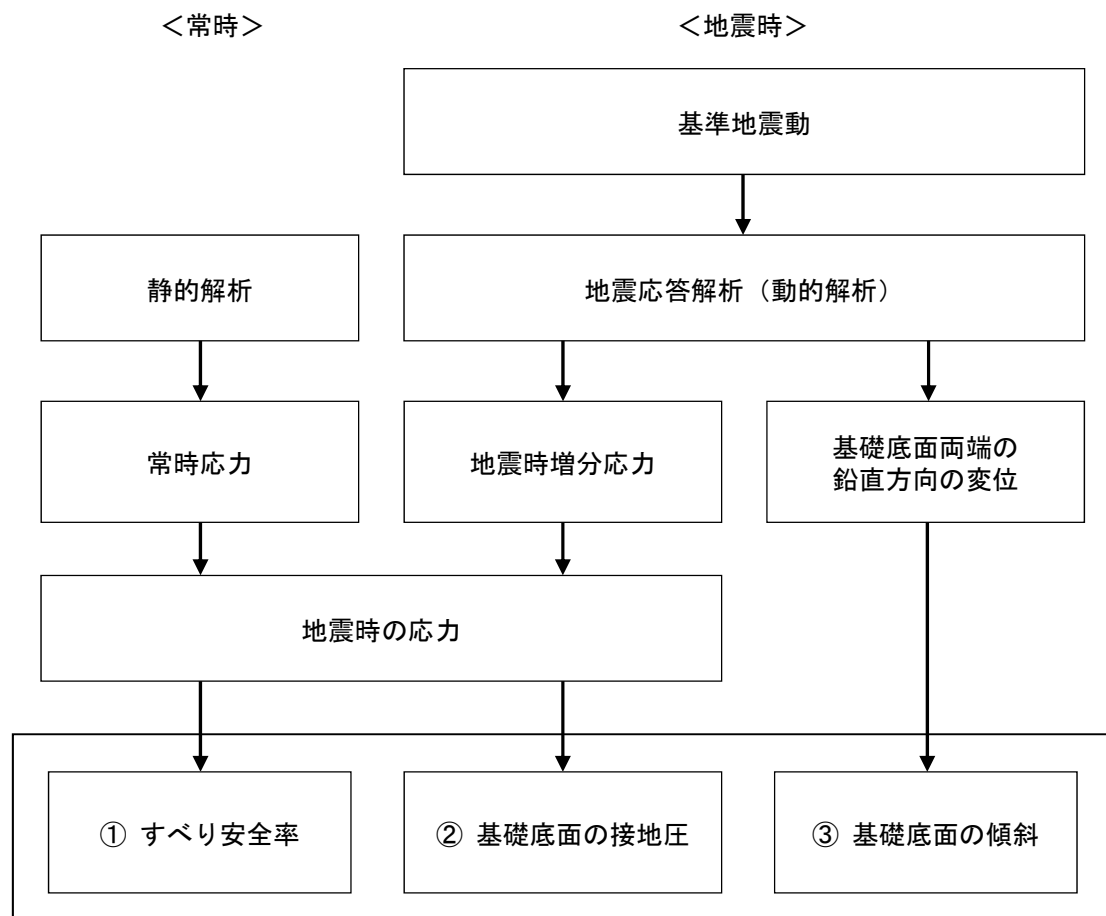
**③基礎底面の傾斜**

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。

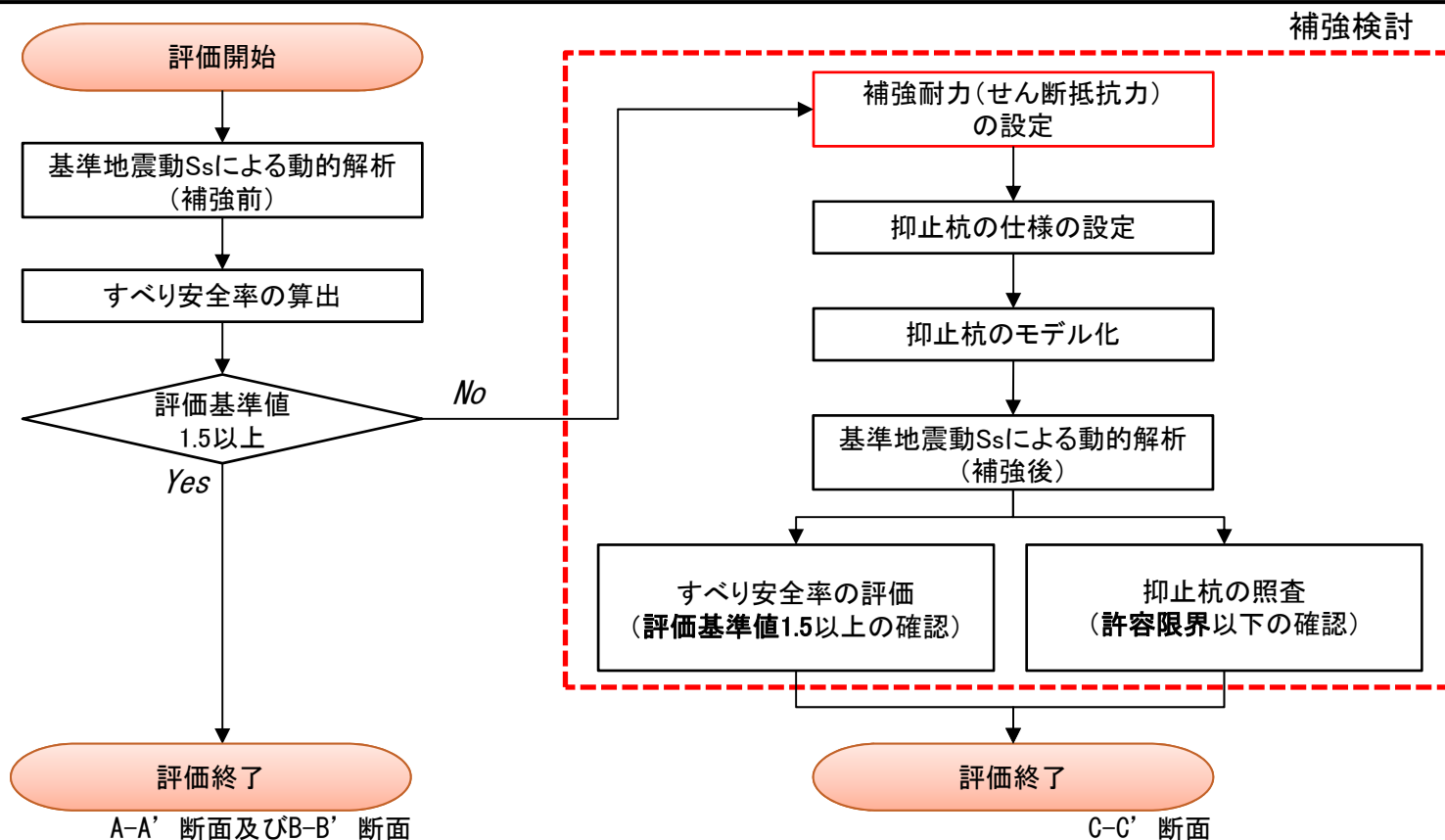
## 3.2 安定性評価フロー

- ・ 「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。



### 3.3 基礎地盤のすべりに対する安定性評価のフロー

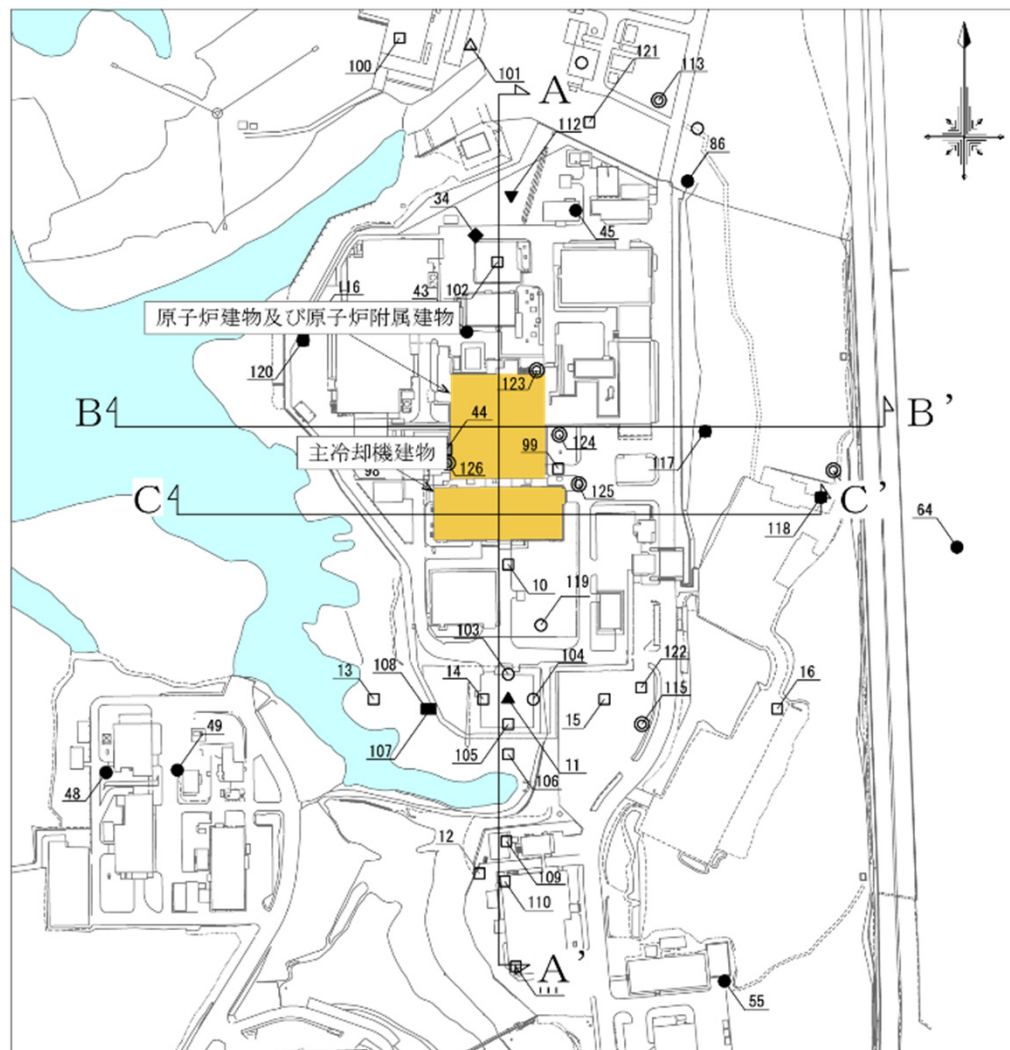
- 「基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド」に基づき、基準地震動 $S_s$ に対して、基礎地盤のすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認する。
- すべり安全率が評価基準値1.5を下回る場合、目標とする補強耐力を設定し、それを満足するように抑止杭の仕様を設定する。
- 設定した仕様をもとに抑止杭をモデル化し、抑止杭を考慮したすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認する。また、基準地震動 $S_s$ に対して抑止杭の照査を行い、すべりに対する安定性が確保できることを確認する。



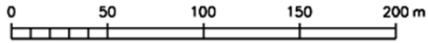
基礎地盤のすべりに対する安定性評価のフロー(補強検討含む)

### 3.4 評価対象断面

評価対象断面は、評価対象施設を中心に直交する3断面（A-A' 断面、B-B' 断面及びC-C' 断面）とする。



| 凡 例           |                                                 |
|---------------|-------------------------------------------------|
| ●             | ボーリング位置                                         |
| ⊙             | ボーリング位置<br>室内試験試料採取位置<br>PS検層実施位置               |
| ○             | ボーリング位置<br>室内試験試料採取位置<br>標準貫入試験実施位置             |
| ◆             | ボーリング位置<br>PS検層実施位置<br>標準貫入試験実施位置               |
| △             | ボーリング位置<br>標準貫入試験実施位置<br>地下水調査位置                |
| ▲             | ボーリング位置<br>室内試験試料採取位置<br>PS検層実施位置<br>標準貫入試験実施位置 |
| ▼             | ボーリング位置<br>室内試験試料採取位置<br>PS検層実施位置<br>地下水調査位置    |
| ▽             | ボーリング位置<br>室内試験試料採取位置                           |
| ◇             | ボーリング位置<br>PS検層実施位置                             |
| ■             | ボーリング位置<br>地下水調査位置                              |
| □             | ボーリング位置<br>標準貫入試験実施位置                           |
| A — A' 地質断面位置 |                                                 |



評価対象断面

### 3.4 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。

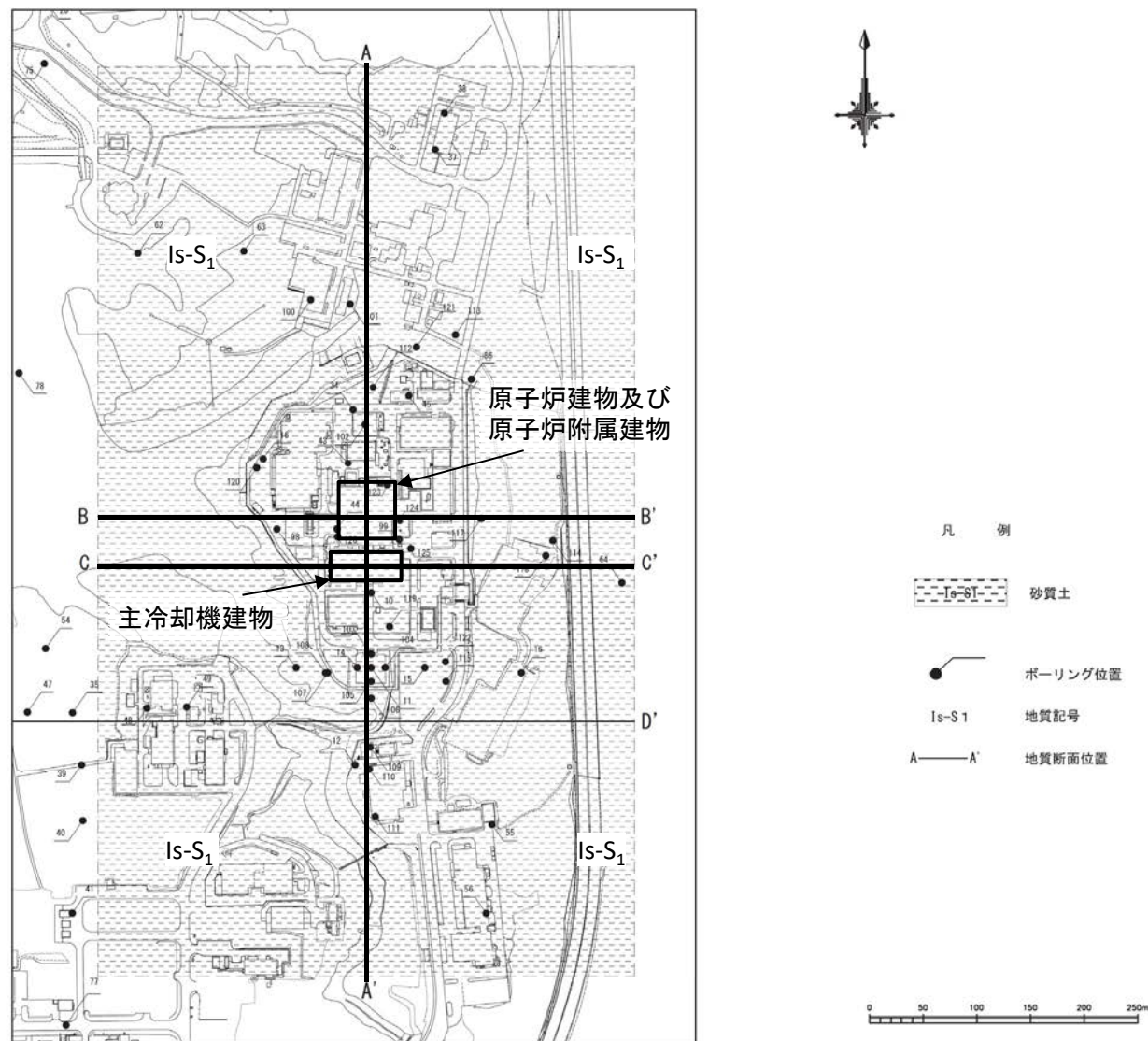
- ・多賀層群は、硬質岩盤に分類され、Tgとして区分した。
- ・久米層は軟質岩盤に分類され、KmとKsとして区分した。
- ・低固結～未固結地盤に分類される東茨城層群、M1段丘堆積物、沖積層及び砂丘砂層は、以下のように土質区分を行った。

| 年代層序区分 |                     | 地層区分  | 地質記号        | 主な層相                |      | 備考                   |                    |                     |
|--------|---------------------|-------|-------------|---------------------|------|----------------------|--------------------|---------------------|
| 新生界    | 第四系                 | 完新統   | 砂丘砂層<br>沖積層 |                     |      | 高速実験炉原子炉施設近傍には分布しない。 |                    |                     |
|        |                     | 上部    | M1段丘堆積物     | Lm                  | ローム  |                      | ロームからなり、部分的に砂が混じる。 |                     |
|        |                     |       |             | Mu-S <sub>1</sub>   | 砂質土  |                      | 細粒分を含む中砂からなる。      |                     |
|        |                     |       |             | Mu-C                | 粘性土  |                      | シルトを主体とする。         |                     |
|        |                     |       |             | Mu-S                | 砂質土  |                      | 細砂を主体とする。          |                     |
|        |                     |       |             | Mu-S <sub>2</sub>   | 砂質土  |                      | シルトを含んだ中砂からなる。     | 主冷却機建物の基礎地盤         |
|        |                     | 中部    | 東茨城層群       | Mm-Sg               | 礫質土  |                      | 垂円～円礫を主体とする砂礫からなる。 |                     |
|        |                     |       |             | Is-S <sub>1</sub>   | 砂質土  |                      | 概ね均質な細砂からなる。       | 原子炉建物及び原子炉附属建物の基礎地盤 |
|        |                     |       |             | Is-C                | 粘性土  |                      | 塊状の砂質シルトからなる。      |                     |
|        |                     |       |             | Is-S <sub>2</sub> U | 砂質土  |                      | 粒径不均一な細砂を主体とする。    |                     |
|        | Is-Sc               |       |             | 砂質土                 |      | シルトを含む細砂からなる。        |                    |                     |
|        | Is-S <sub>2</sub> L | 砂質土   |             | 粒径が均一な細砂からなる。       |      |                      |                    |                     |
|        | 下部                  | 東茨城層群 | Is-Sg       | 礫質土                 |      | 垂角～円礫を含む細砂からなる。      |                    |                     |
|        | 新第三系                | 鮮新統   | 久米層         | Km                  | 砂質泥岩 |                      | 細砂を多く含む泥岩からなる。     |                     |
|        |                     |       |             | Ks                  | 砂岩   |                      | 中砂を主体とする塊状の砂岩からなる。 |                     |
|        |                     | 中新統   | 多賀層群        | Tg                  | 砂岩泥岩 |                      | 泥岩優勢の砂岩泥岩互層からなる。   |                     |

~~~~ 不整合    ||||| 地層欠如

3.4 評価対象断面(水平地質断面図(T.P.6.7 m))

原子炉建物及び原子炉附属建物基礎底面位置付近のT.P. 6.7 mには、Is-S₁が分布する。

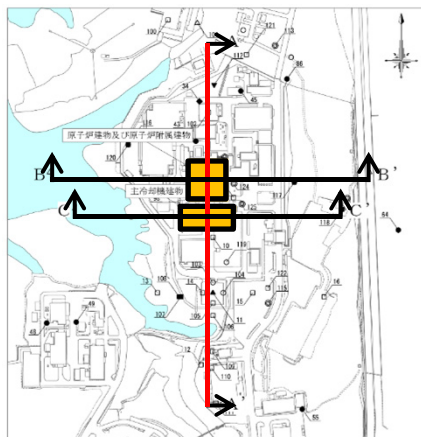


原子炉建物及び原子炉附属建物基礎底面位置付近 (T.P. 6.7 m) の水平地質断面図

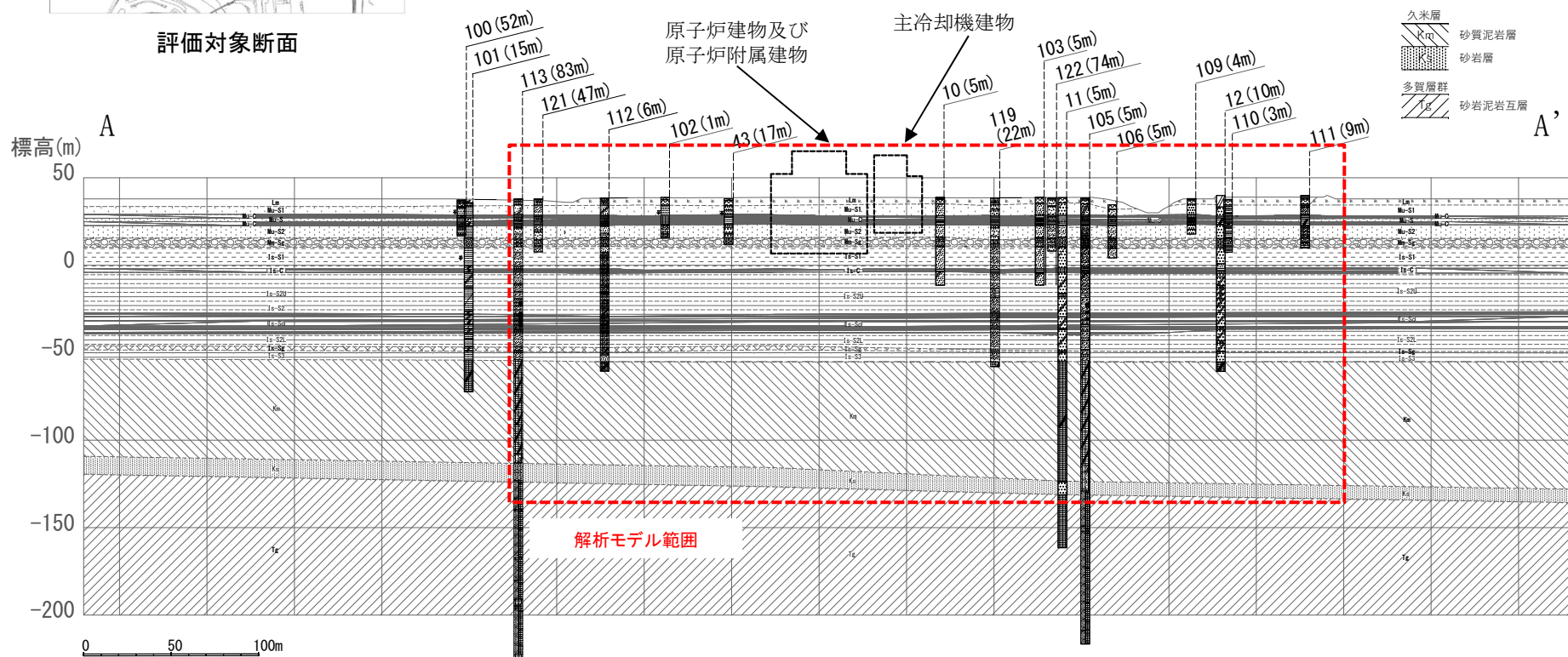


3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

3.4 評価対象断面(A-A'断面)



評価対象断面



- 砂丘砂層 砂質土層
- M1段丘堆積物
- Lm 火山灰質粘土
- Mu-S1 砂質土層
- Mu-C 粘性土層
- Mu-S 砂質土層 (Mu-C中挟み)
- Mu-S2 砂質土層
- Mu-S3 礫質土層
- Mu-S4 砂質土層
- 東茨城層群
- Is-S1 礫質土層
- Is-S1-1 砂質土層
- Is-C 粘性土層
- Is-S2U 砂質土層
- Is-S1 粘性土層
- Is-S2H 砂質土層
- Is-S3 礫質土層
- Is-S3-1 砂質土層
- 久米層
- Km 砂質泥岩層
- K 砂岩層
- 多質層群
- Ts 砂岩泥岩互層

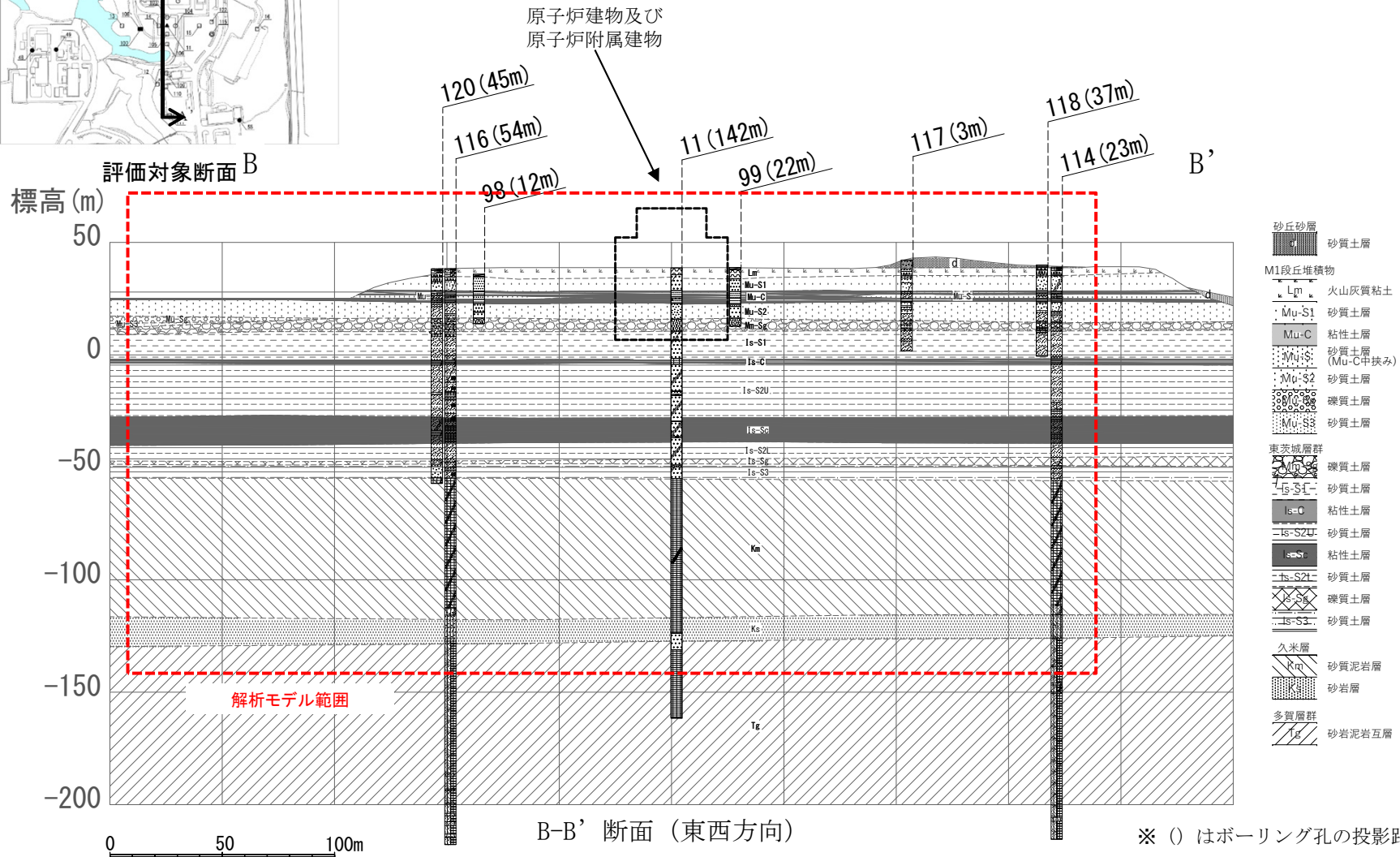
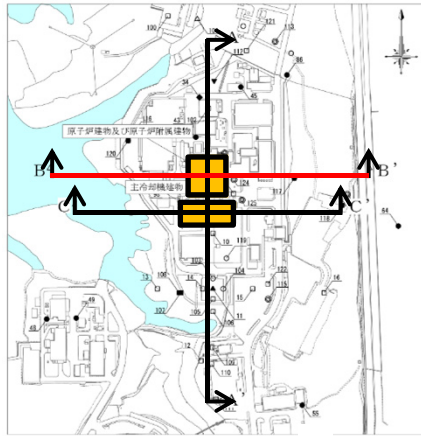
※ () はボーリング孔の投影距離

A-A' 断面 (南北方向)



3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

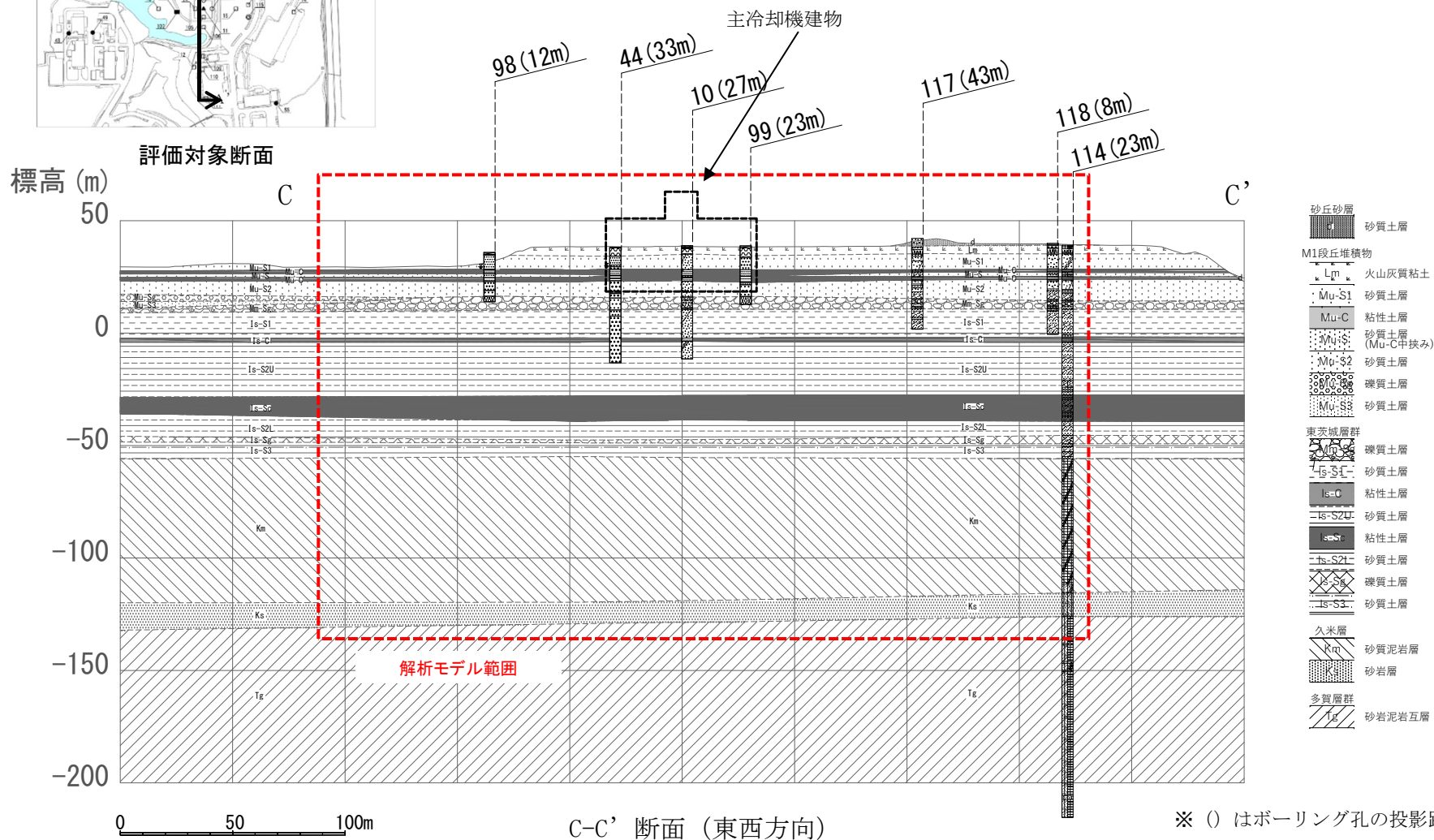
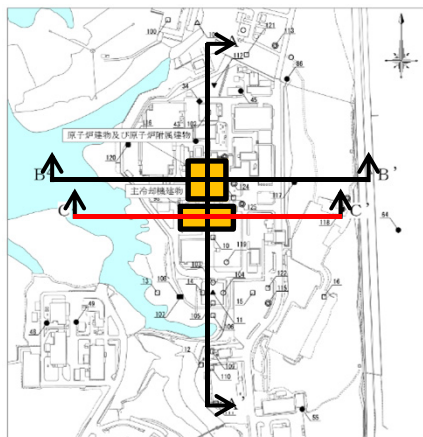
3.4 評価対象断面(B-B'断面)





3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

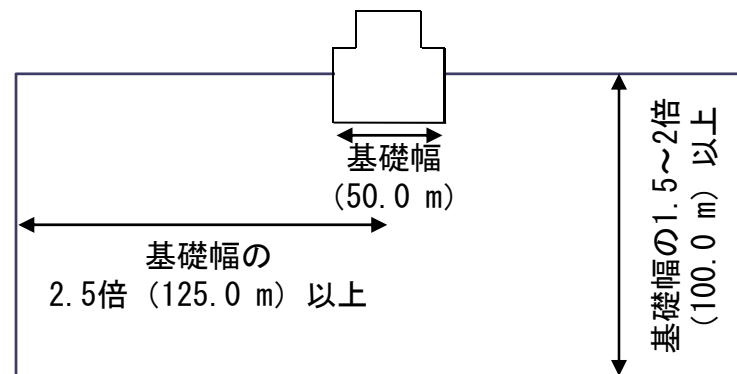
3.4 評価対象断面(C-C'断面)



3.5 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評価対象施設基礎幅の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より求め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。

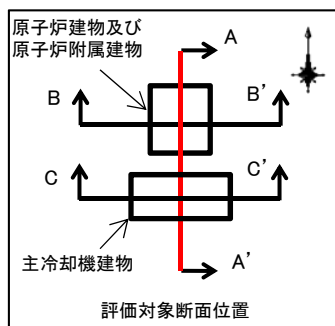
$$\text{最大要素高さ (m)} = \frac{1}{4} \times \frac{Vs \text{ (m/s)}}{20 \text{ (Hz)}}$$

- ・ 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。

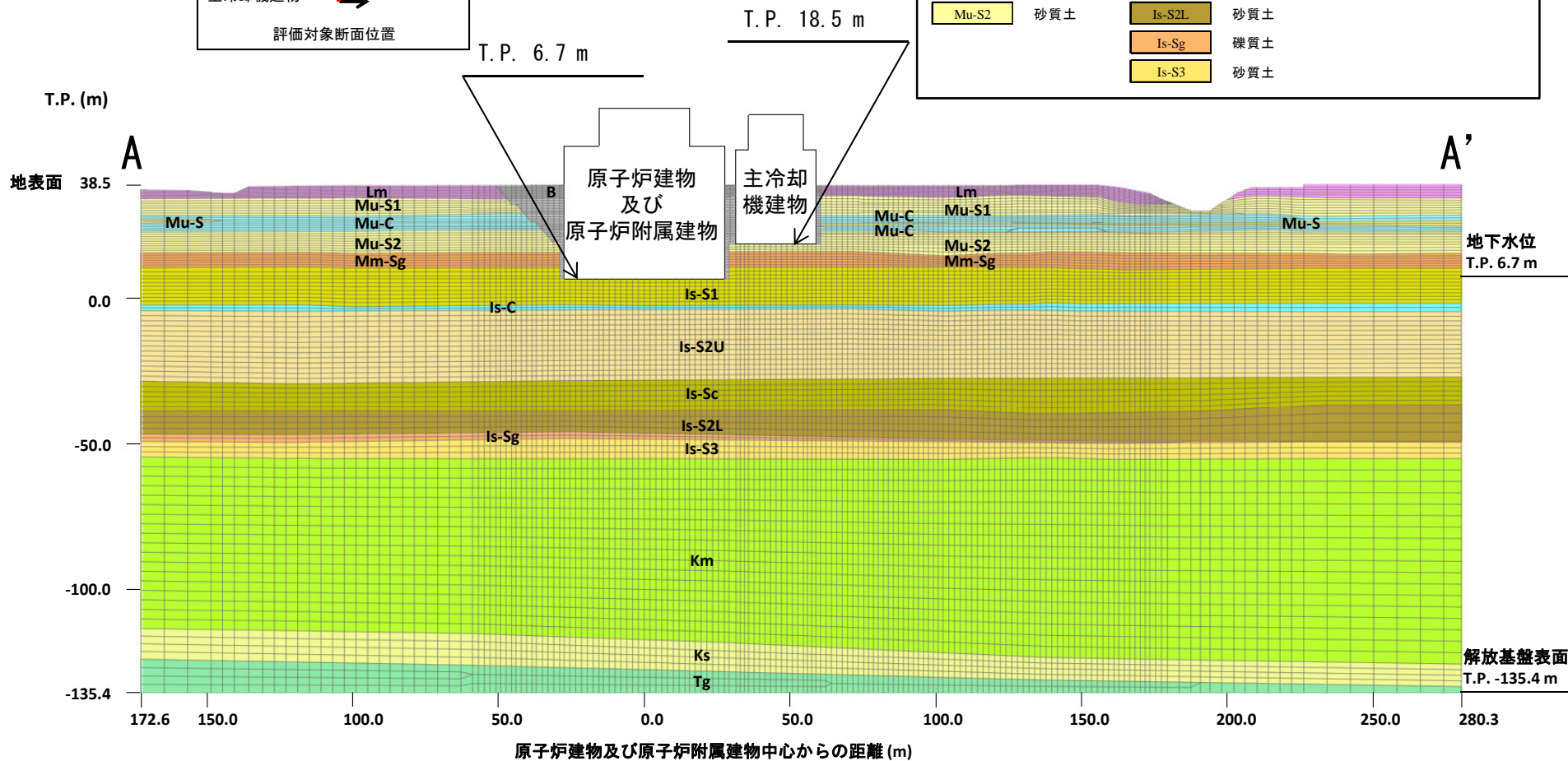


3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

3.5 解析モデル(A-A'断面)



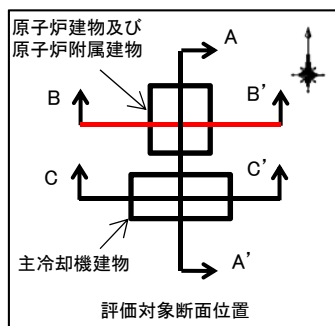
| 凡例 | | | | | |
|-------|-----|--------|-----|----|--------|
| B | 埋戻土 | Mm-Sg | 礫質土 | Km | 砂質泥岩 |
| Lm | ローム | Is-S1 | 砂質土 | Ks | 砂岩 |
| Mu-S1 | 砂質土 | Is-C | 粘性土 | Tg | 砂岩泥岩互層 |
| Mu-C | 粘性土 | Is-S2U | 砂質土 | | |
| Mu-S | 砂質土 | Is-Sc | 砂質土 | | |
| Mu-S2 | 砂質土 | Is-S2L | 砂質土 | | |
| | | Is-Sg | 礫質土 | | |
| | | Is-S3 | 砂質土 | | |



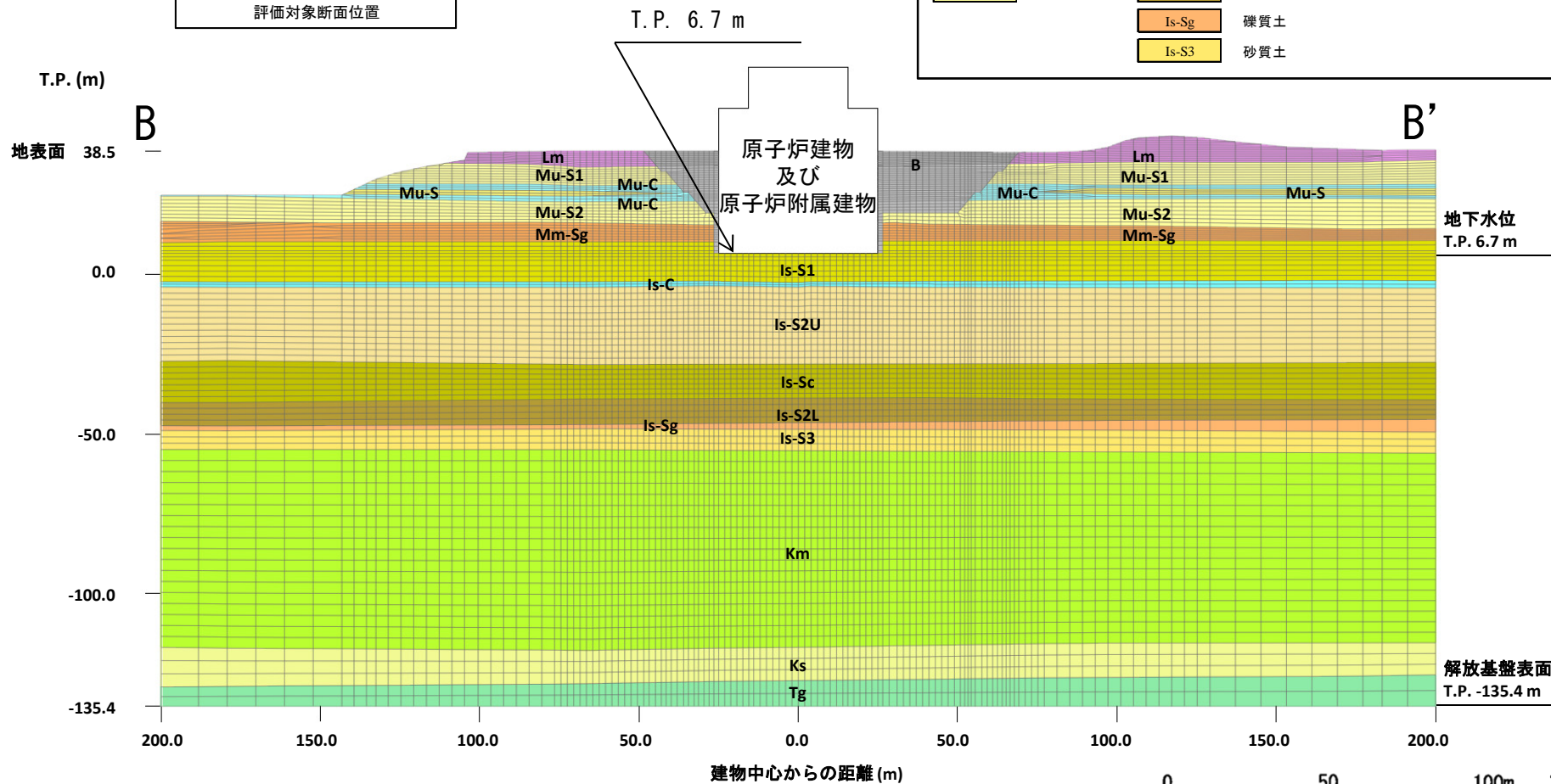


3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

3.5 解析モデル(B-B'断面)



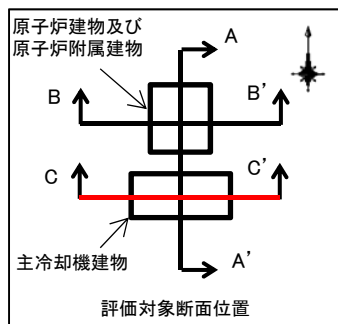
| 凡例 | | | | | |
|-------|-----|--------|-----|----|--------|
| B | 埋戻土 | Mm-Sg | 礫質土 | Km | 砂質泥岩 |
| Lm | ローム | Is-S1 | 砂質土 | Ks | 砂岩 |
| Mu-S1 | 砂質土 | Is-C | 粘性土 | Tg | 砂岩泥岩互層 |
| Mu-C | 粘性土 | Is-S2U | 砂質土 | | |
| Mu-S | 砂質土 | Is-Sc | 砂質土 | | |
| Mu-S2 | 砂質土 | Is-S2L | 砂質土 | | |
| | | Is-Sg | 礫質土 | | |
| | | Is-S3 | 砂質土 | | |



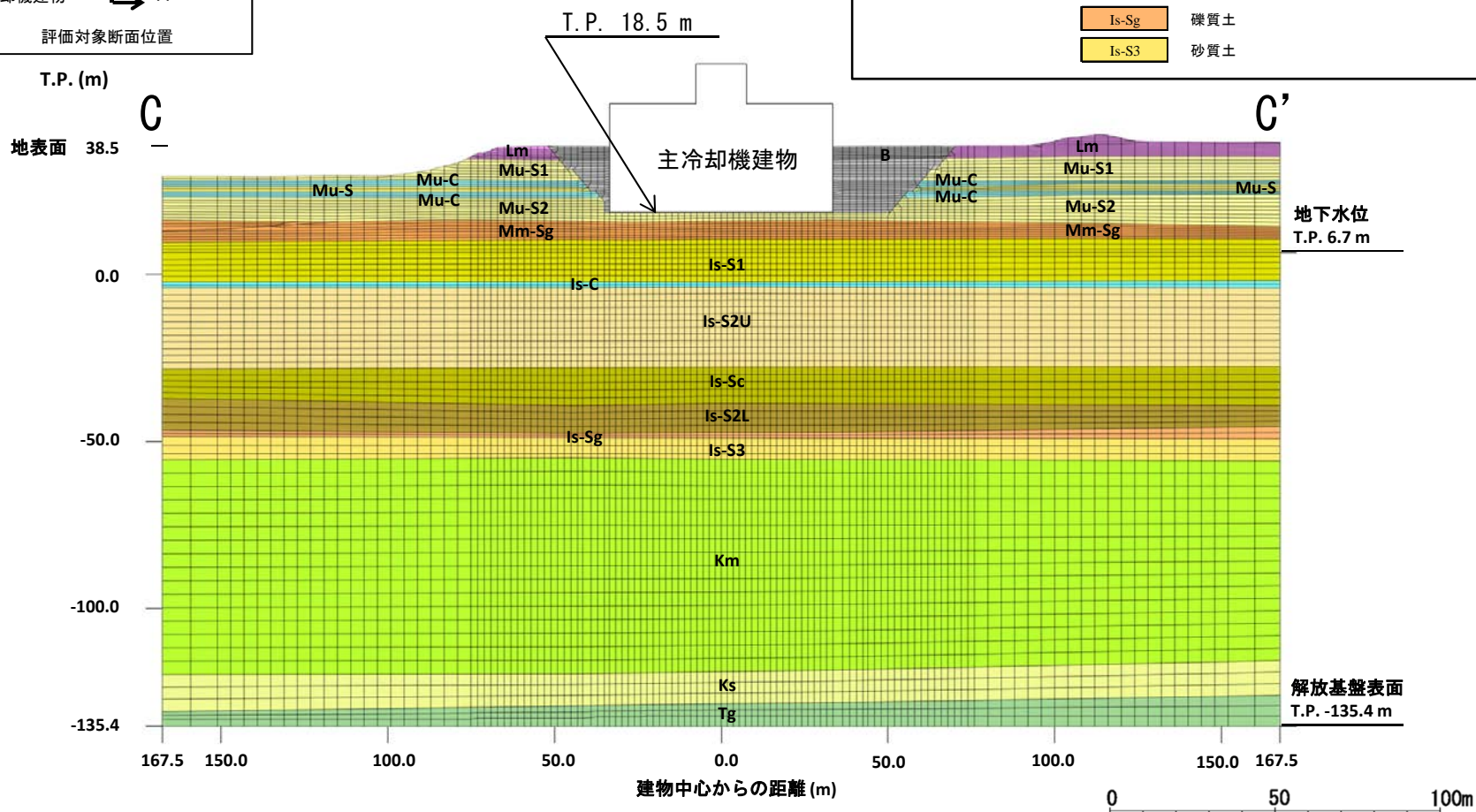


3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

3.5 解析モデル(C-C' 断面)



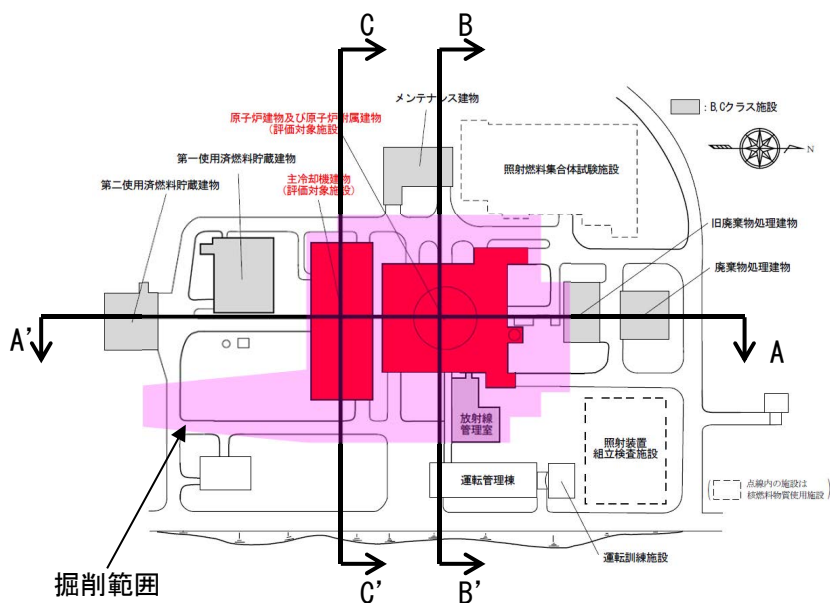
| 凡例 | | | | | |
|-------|-----|--------|-----|----|--------|
| B | 埋戻土 | Mm-Sg | 礫質土 | Km | 砂質泥岩 |
| Lm | ローム | Is-S1 | 砂質土 | Ks | 砂岩 |
| Mu-S1 | 砂質土 | Is-C | 粘性土 | Tg | 砂岩泥岩互層 |
| Mu-C | 粘性土 | Is-S2U | 砂質土 | | |
| Mu-S | 砂質土 | Is-Sc | 砂質土 | | |
| Mu-S2 | 砂質土 | Is-S2L | 砂質土 | | |
| | | Is-Sg | 礫質土 | | |
| | | Is-S3 | 砂質土 | | |



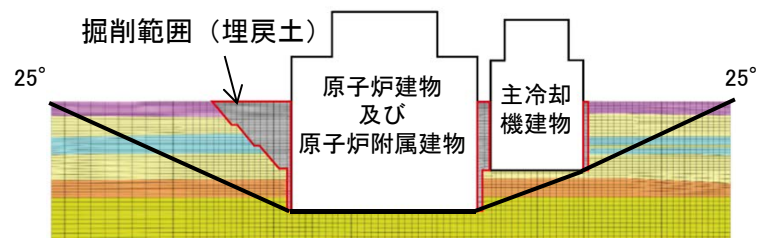
3.5 解析モデル(周辺建物と埋戻土について)

【周辺建物と埋戻土について】

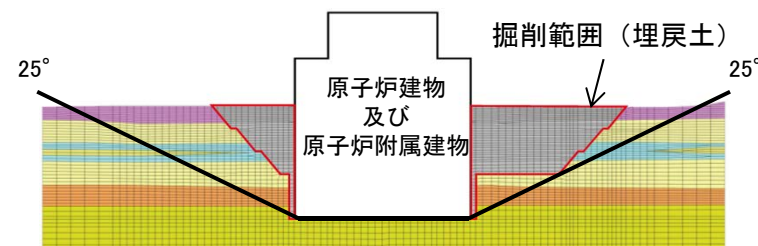
評価対象施設周辺の地盤は建設時に掘削されており、掘削領域は周辺建物の地下部又は埋戻土となっている。掘削領域をすべて埋戻土として解析モデルに反映する。すべり線として側面地盤の破壊を想定しているため、周辺建物はモデルに含めないものとする。
 ただし、周辺建物の有無による影響を確認するため、影響検討を行う。



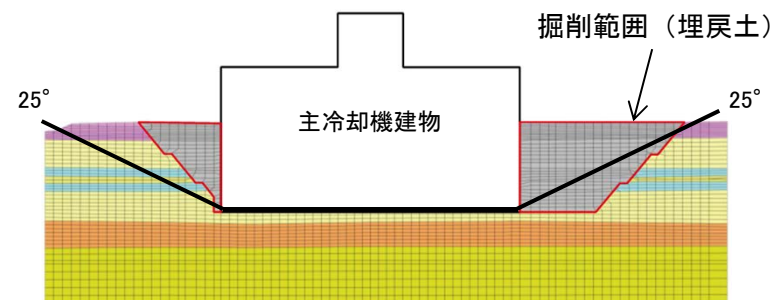
評価対象施設周辺の掘削範囲



すべり線と掘削範囲 (A-A' 断面)



すべり線と掘削範囲 (B-B' 断面)

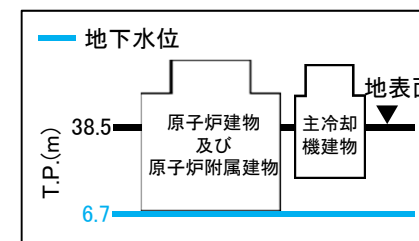
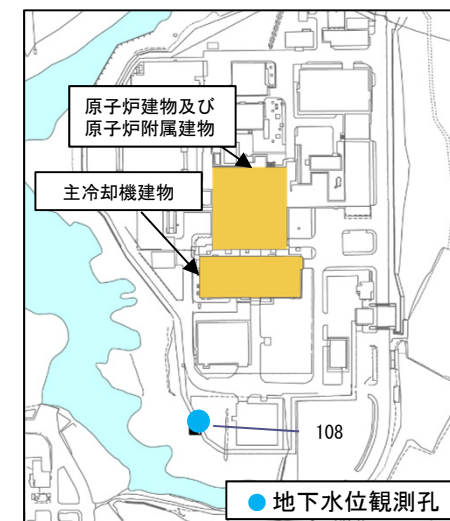
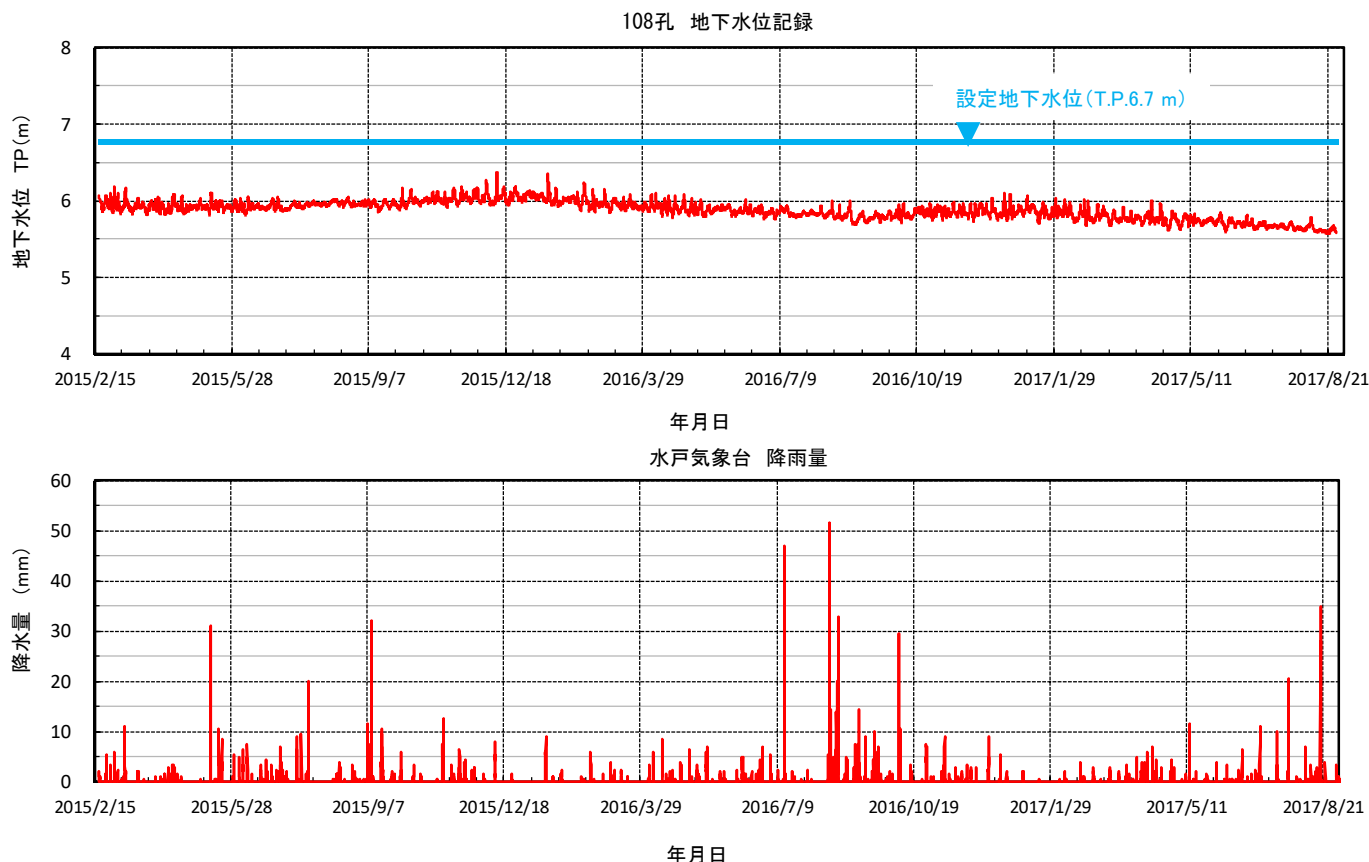


すべり線と掘削範囲 (C-C' 断面)

3.5 解析モデル(解析用地下水位の設定)

【解析用地下水位】

原子炉施設近傍において、2015年2月～2017年8月にかけて地下水位を観測している。観測記録より年間の季節変動は少なく地下水位は安定しており、観測記録を踏まえ、解析用地下水位をT.P. 6.7 mに設定した。



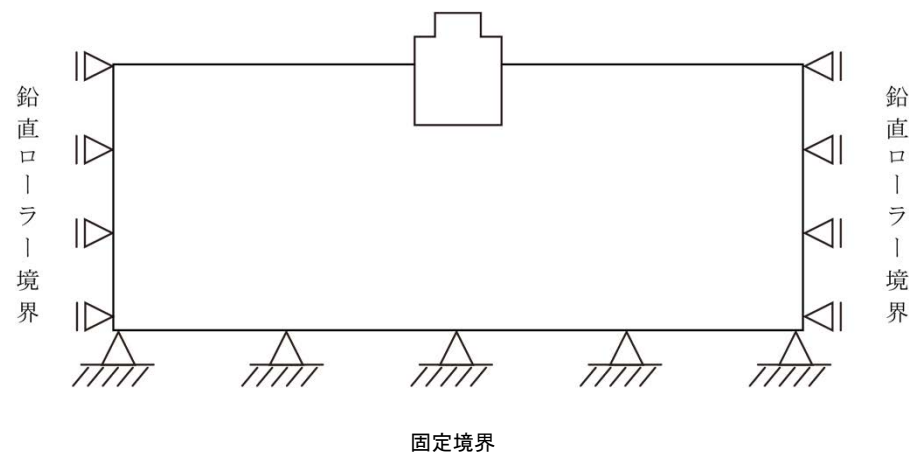
地下水位観測孔の地下水位及び水戸地方気象台の降水量

3.5 解析モデル(境界条件)

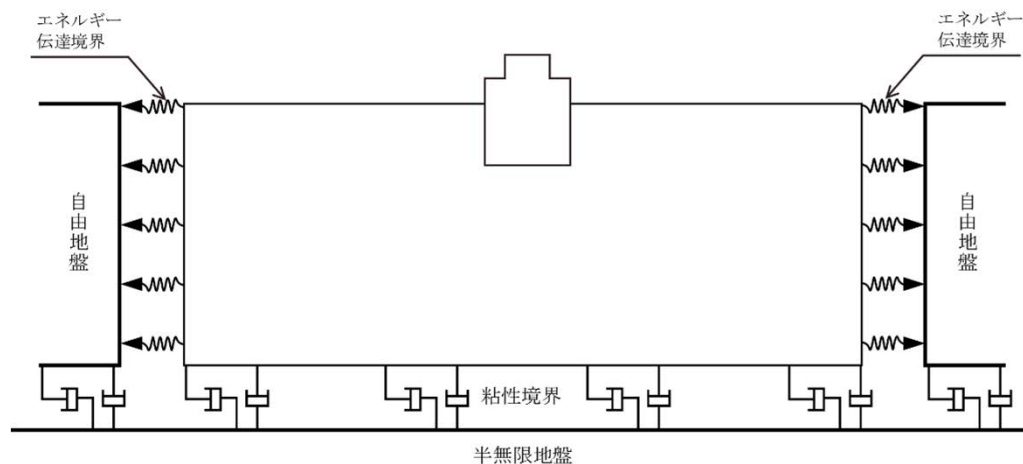
【境界条件】

- ・ 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



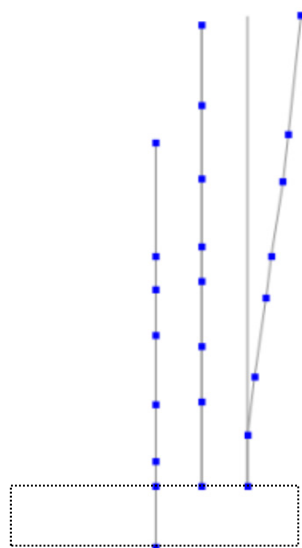
地震応答解析時



3.5 解析モデル(建物のモデル化)

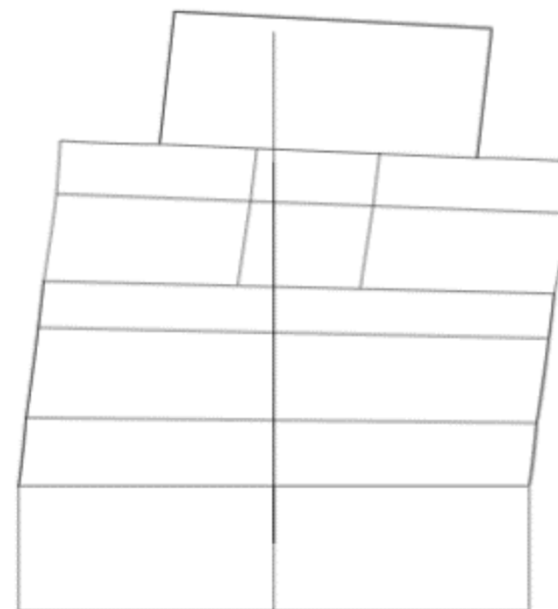
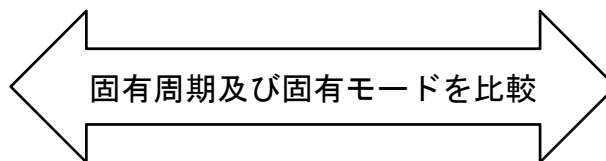
【建物のモデル化】

原子炉建物及び原子炉附属建物と主冷却機建物のモデル化は、「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。



質点系モデル

原子炉建物及び
原子炉附属建物
総重量 : 1648×10^3 kN



2次元有限要素モデル

建物モデル化手法の概念図 (例 : B-B' 断面)

3.6 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
湿潤密度 | 強度特性 | | 変形特性 | | | |
|---------|---------------------|--------------|--------------------|--------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------|
| | | | ピーク強度 | 残留強度 | 動の変形特性 | | | 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 |
| 埋戻土 | B | 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 | |
| M1段丘堆積物 | Lm | | | | | | | |
| | Mu-S ₁ | | | | | | | |
| | Mu-C | | | | | | | |
| | Mu-S | | | | | | | |
| | Mu-S ₂ | | | | | | | |
| 東茨城層群 | Mm-Sg | | | | | | | |
| | Is-S ₁ | | | | | | | |
| | Is-C | | | | | | | |
| | Is-S ₂ U | | | | | | | |
| | Is-Sc | | | | | | | |
| | Is-S ₂ L | | | | | | | |
| | Is-Sg | | | | | | | |
| 久米層 | Km | | 三軸圧縮試験
及び引張強さ試験 | | | | | |
| | Ks | | | | | | | |
| 多賀層群 | Tg | 三軸圧縮試験 | | | | | | |

- ・ 三軸圧縮試験は、LmではUU条件、埋戻土、Mu-S₁、Mu-S、Mu-S₂及びMm-SgではCD条件、その他ではCUU条件により行う。
- ・ Is-Sgのピーク強度、残留強度、正規化せん断弾性係数、減衰率及び静弾性係数にはIs-S₂Lの試験結果を引用する。

3.6 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
ρ_t (g/cm ³) | ピーク強度 | | 残留強度
τ_r (N/mm ²) | ピーク強度 | | 残留強度
τ_r (N/mm ²) |
| | | | 粘着力
C (N/mm ²) | 内部摩擦角
ϕ (°) | | 粘着力
C (N/mm ²) | 内部摩擦角
ϕ (°) | |
| 埋戻土 | B | 1.90 | 0.008 | 34.9 | $\tau_r=0.008+\sigma \cdot \tan 34.2^\circ$ | 0.000 | 34.0 | $\tau_r=\sigma \cdot \tan 34.0^\circ$ |
| M1段丘堆積物 | Lm | 1.35 | 0.061 | 15.1 | $\tau_r^2=0.073 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.069$ N/mm ²)
$\tau_r=0.057+\sigma \cdot \tan 11.4^\circ$
($\sigma \geq 0.069$ N/mm ²) | 0.045 | 15.1 | $\tau_r^2=0.047 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.056$ N/mm ²)
$\tau_r=0.040+\sigma \cdot \tan 11.4^\circ$
($\sigma \geq 0.056$ N/mm ²) |
| | Mu-S ₁ | 1.89 | 0.022 | 36.9 | $\tau_r^2=0.070 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.005$ N/mm ²)
$\tau_r=0.016+\sigma \cdot \tan 32.9^\circ$
($\sigma \geq 0.005$ N/mm ²) | 0.007 | 36.9 | $\tau_r=0.002+\sigma \cdot \tan 32.9^\circ$ |
| | Mu-C | 1.73 | 0.164 | 21.0 | $\tau_r^2=0.195 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.155$ N/mm ²)
$\tau_r=0.138+\sigma \cdot \tan 13.0^\circ$
($\sigma \geq 0.155$ N/mm ²) | 0.091 | 21.0 | $\tau_r^2=0.110 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.119$ N/mm ²)
$\tau_r=0.087+\sigma \cdot \tan 13.0^\circ$
($\sigma \geq 0.119$ N/mm ²) |
| | Mu-S | 1.87 | 0.060 | 36.0 | $\tau_r^2=0.124 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.003$ N/mm ²)
$\tau_r=0.018+\sigma \cdot \tan 35.5^\circ$
($\sigma \geq 0.003$ N/mm ²) | 0.034 | 36.0 | $\tau_r=\sigma \cdot \tan 34.8^\circ$ |
| | Mu-S ₂ | 1.87 | 0.031 | 38.8 | $\tau_r=\sigma \cdot \tan 38.0^\circ$ | 0.000 | 38.7 | $\tau_r=\sigma \cdot \tan 36.0^\circ$ |
| 東茨城層群 | Mm-Sg | 2.21 | 0.086 | 40.0 | $\tau_r=0.003+\sigma \cdot \tan 40.1^\circ$ | 0.007 | 40.0 | $\tau_r=\sigma \cdot \tan 38.8^\circ$ |

σ : 垂直応力

3.6 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
湿潤密度
ρ_t (g/cm ³) | 強度特性 | | | 強度特性(地盤物性のばらつき考慮) | | |
|-----------|---------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|
| | | | ピーク強度 | | 残留強度
τ_r (N/mm ²) | ピーク強度 | | 残留強度
τ_r (N/mm ²) |
| | | | 粘着力
C (N/mm ²) | 内部摩擦角
ϕ (°) | | 粘着力
C (N/mm ²) | 内部摩擦角
ϕ (°) | |
| 東茨城
層群 | Is-S ₁ | 1.86 | 0.388 | 26.8 | $\tau_r^2 = 0.632 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.243$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.268 + \sigma \cdot \tan 27.0^\circ$
($\sigma \geq 0.243$ N/mm ²) | 0.250 | 26.8 | $\tau_r^2 = 0.335 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.113$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.137 + \sigma \cdot \tan 27.0^\circ$
($\sigma \geq 0.113$ N/mm ²) |
| | Is-C | 1.87 | 0.524 | 0.0 | $\tau_r^2 = 0.396 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.505$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.447$
($\sigma \geq 0.505$ N/mm ²) | 0.425 | 0.0 | $\tau_r^2 = 0.278 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.435$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.348$
($\sigma \geq 0.435$ N/mm ²) |
| | Is-S ₂ U | 1.84 | 0.656 | 13.7 | $\tau_r^2 = 0.938 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.693$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.637 + \sigma \cdot \tan 13.7^\circ$
($\sigma \geq 0.693$ N/mm ²) | 0.484 | 13.7 | $\tau_r^2 = 0.638 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.573$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.465 + \sigma \cdot \tan 13.7^\circ$
($\sigma \geq 0.573$ N/mm ²) |
| | Is-Sc | 1.81 | 0.601 | 9.5 | $\tau_r^2 = 0.715 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.695$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.601 + \sigma \cdot \tan 8.5^\circ$
($\sigma \geq 0.695$ N/mm ²) | 0.474 | 9.5 | $\tau_r^2 = 0.509 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.647$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.477 + \sigma \cdot \tan 8.5^\circ$
($\sigma \geq 0.647$ N/mm ²) |
| | Is-S ₂ L | 1.91 | 0.654 | 19.3 | $\tau_r^2 = 1.03 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.757$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.618 + \sigma \cdot \tan 19.3^\circ$
($\sigma \geq 0.757$ N/mm ²) | 0.465 | 19.3 | $\tau_r^2 = 0.682 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.615$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.432 + \sigma \cdot \tan 19.3^\circ$
($\sigma \geq 0.615$ N/mm ²) |
| | Is-Sg | 1.98 | 0.654 | 19.3 | $\tau_r^2 = 1.03 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.757$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.618 + \sigma \cdot \tan 19.3^\circ$
($\sigma \geq 0.757$ N/mm ²) | 0.465 | 19.3 | $\tau_r^2 = 0.682 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.615$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.432 + \sigma \cdot \tan 19.3^\circ$
($\sigma \geq 0.615$ N/mm ²) |
| | Is-S ₃ | 1.96 | 0.777 | 17.5 | $\tau_r^2 = 1.12 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.788$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.691 + \sigma \cdot \tan 17.5^\circ$
($\sigma \geq 0.788$ N/mm ²) | 0.549 | 17.5 | $\tau_r^2 = 0.739 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.628$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.483 + \sigma \cdot \tan 17.5^\circ$
($\sigma \geq 0.628$ N/mm ²) |

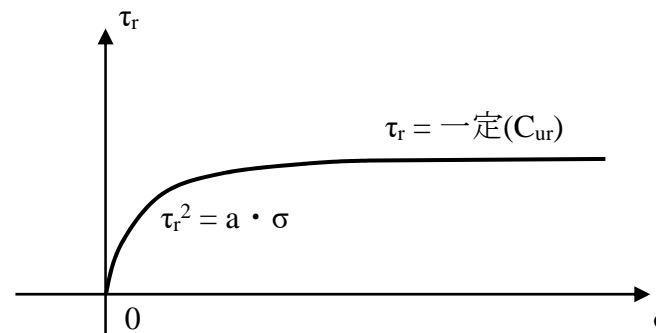
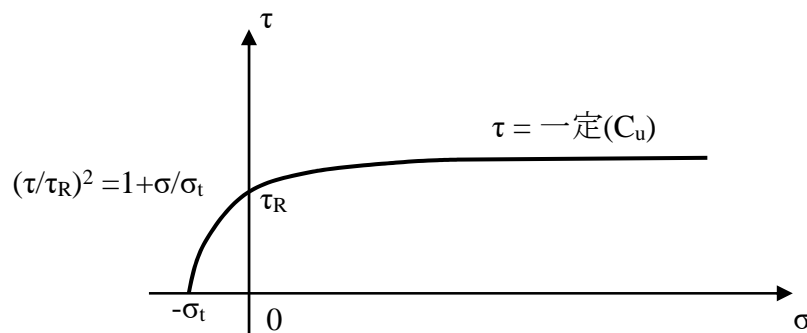
σ : 垂直応力

3.6 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
湿潤密度
ρ_t (g/cm ³) | 強度特性 | | 強度特性(地盤物性のばらつき考慮) | | | | | |
|------|------|---|---|---------------------------------------|--|---------------------------------------|---|---|--|---|
| | | | ピーク強度
τ (N/mm ²) | 残留強度
τ_r (N/mm ²) | ピーク強度
τ (N/mm ²) | 残留強度
τ_r (N/mm ²) | | | | |
| 久米層 | Km | 1.79 | $\sigma_t=0.161$
$\tau_R=0.366$
$C_u=0.780-0.00333 \cdot Z$
$\phi_u=0^\circ$ | | $a=0.241-0.00371 \cdot Z$
$C_{ur}=0.322-0.00455 \cdot Z$
$\phi_{ur}=0^\circ$ | | $\sigma_t=0.121$
$\tau_R=0.318$
$C_u=0.692-0.00333 \cdot Z$
$\phi_u=0^\circ$ | | $a=0.130-0.00371 \cdot Z$
$C_{ur}=0.221-0.00455 \cdot Z$
$\phi_{ur}=0^\circ$ | |
| | Ks | 1.83 | | | | | | | | |
| 多賀層群 | Tg | 1.89 | - | - | - | - | - | - | - | - |

σ : 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。



3.6 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 | | | | |
|-------------|-------------------|--|----------------|-----------------------------------|---|--|
| | | 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 ²) | 動ポアソン比 ν_d | $G/G_0 - \gamma$ (%) | h (%) - γ (%) | 静弾性係数
E_{50} (N/mm ²) |
| 埋戻土 | B | 733-19.8·Z | 0.35 | $1/(1+15.3 \cdot \gamma^{0.935})$ | $22.5 \cdot \gamma / (\gamma + 0.0734) + 0.171$ | 25.3 |
| M1段丘
堆積物 | Lm | 40.8 | 0.45 | $1/(1+5.35 \cdot \gamma^{0.734})$ | $11.9 \cdot \gamma / (\gamma + 0.117) + 1.82$ | 10.9 |
| | Mu-S ₁ | 195 | 0.43 | $1/(1+14.1 \cdot \gamma^{0.819})$ | $19.1 \cdot \gamma / (\gamma + 0.0527) + 0.490$ | 37.2 |
| | Mu-C | 148 | 0.44 | $1/(1+4.00 \cdot \gamma^{0.771})$ | $9.94 \cdot \gamma / (\gamma + 0.171) + 1.95$ | 124 |
| | Mu-S | 164 | 0.45 | $1/(1+6.20 \cdot \gamma^{0.830})$ | $20.4 \cdot \gamma / (\gamma + 0.141)$ | 59.9 |
| | Mu-S ₂ | 338 | 0.31 | $1/(1+8.24 \cdot \gamma^{0.858})$ | $25.7 \cdot \gamma / (\gamma + 0.164) + 0.667$ | 75.1 |
| 東茨城
層群 | Mm-Sg | 631 | 0.35 | $1/(1+7.14 \cdot \gamma^{0.815})$ | $13.5 \cdot \gamma / (\gamma + 0.0429) + 1.20$ | 188 |

G : せん断弾性係数、 γ : せん断ひずみ、h : 減衰率、Z : 標高 (m)



3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

3.6 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 | | | | |
|-------|---------------------|--|----------------|-----------------------------------|--|--|
| | | 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 ²) | 動ポアソン比 ν_d | $G/G_0 - \gamma$ (%) | h (%) - γ (%) | 静弾性係数
E_{50} (N/mm ²) |
| 東茨城層群 | Is-S ₁ | 358 | 0.46 | $1/(1+6.42 \cdot \gamma^{0.889})$ | $23.6 \cdot \gamma / (\gamma + 0.176) + 0.353$ | 60.2 |
| | Is-C | 274 | 0.47 | $1/(1+5.15 \cdot \gamma^{0.921})$ | $18.6 \cdot \gamma / (\gamma + 0.287) + 1.05$ | 264 |
| | Is-S ₂ U | 266 | 0.47 | $1/(1+5.34 \cdot \gamma^{0.966})$ | $22.6 \cdot \gamma / (\gamma + 0.297) + 0.349$ | 114 |
| | Is-Sc | 291 | 0.47 | $1/(1+4.14 \cdot \gamma^{0.876})$ | $23.3 \cdot \gamma / (\gamma + 0.502) + 0.969$ | 228 |
| | Is-S ₂ L | 383 | 0.46 | $1/(1+5.20 \cdot \gamma^{0.946})$ | $21.2 \cdot \gamma / (\gamma + 0.311) + 0.583$ | 149 |
| | Is-Sg | 714 | 0.44 | $1/(1+5.20 \cdot \gamma^{0.946})$ | $21.2 \cdot \gamma / (\gamma + 0.311) + 0.583$ | 149 |
| | Is-S ₃ | 477 | 0.45 | $1/(1+5.44 \cdot \gamma^{0.965})$ | $22.4 \cdot \gamma / (\gamma + 0.312) + 0.412$ | 194 |

G : せん断弾性係数、 γ : せん断ひずみ、h : 減衰率

3.6 解析用物性値(解析用物性値一覧(6))

| 地層名 | 地質記号 | 変形特性 | | | | 静的変形特性
静弾性係数
E_{50} (N/mm ²) |
|------|------|--|----------------|-----------------------------------|---|--|
| | | 動的変形特性 | | | | |
| | | 初期動せん断
弾性係数
G_0 (N/mm ²) | 動ポアソン比 ν_d | $G/G_0 - \gamma$ (%) | h (%) - γ (%) | |
| 久米層 | Km | 487 | 0.45 | $1/(1+2.02 \cdot \gamma^{0.808})$ | $15.2 \cdot \gamma / (\gamma + 0.861) + 1.82$ | 302-2.96 · Z |
| | Ks | 684 | 0.44 | $1/(1+2.74 \cdot \gamma^{0.853})$ | $16.9 \cdot \gamma / (\gamma + 0.779) + 1.47$ | |
| 多賀層群 | Tg | 1540 | 0.39 | $1/(1+1.66 \cdot \gamma^{0.863})$ | $9.63 \cdot \gamma / (\gamma + 0.370) + 1.14$ | 1080 |

G : せん断弾性係数、 γ : せん断ひずみ、h : 減衰率、Z : 標高 (m)

3.6 解析用物性値(地盤物性のばらつきについて)

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 $\pm 10\%$ 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値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 \pm 係数 \times 標準偏差(σ)による確率的手法による地盤物性値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 $-1.0 \times$ 標準偏差(σ)」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、試験結果をもとに標準偏差 σ を求め、強度特性(ピーク強度、残留強度)を 1σ 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。

3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

3.7 基準地震動S_s(1/2)

■ 基準地震動S_sの最大加速度の一覧を示す。

地震応答解析の地震動には、基準地震動6波（S_s-D、S_s-1、S_s-2、S_s-3、S_s-4、S_s-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入力する。

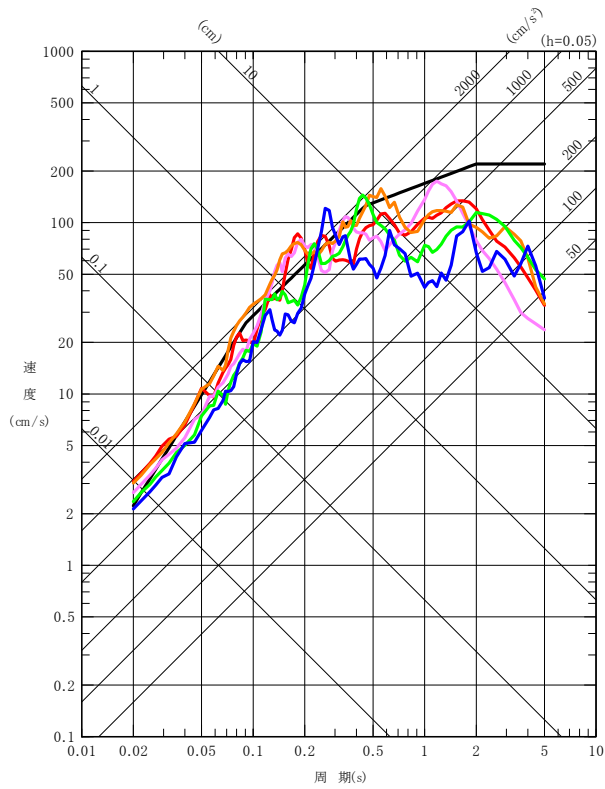
基準地震動S_sの最大加速度の一覧

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

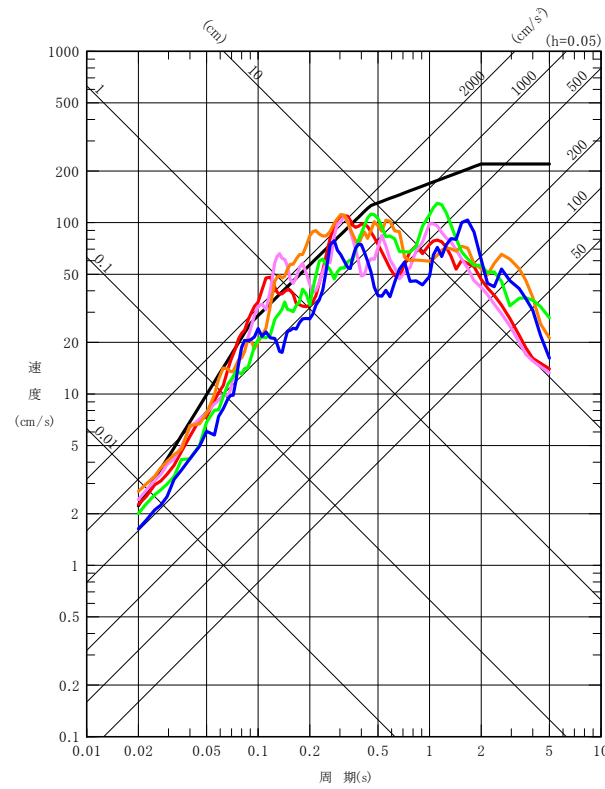
※表中のグラフは各基準地震動S_sの加速度時刻歴波形(縦軸: 加速度[cm/s²], 横軸: 時間[s])

■ 基準地震動S_sの応答スペクトル

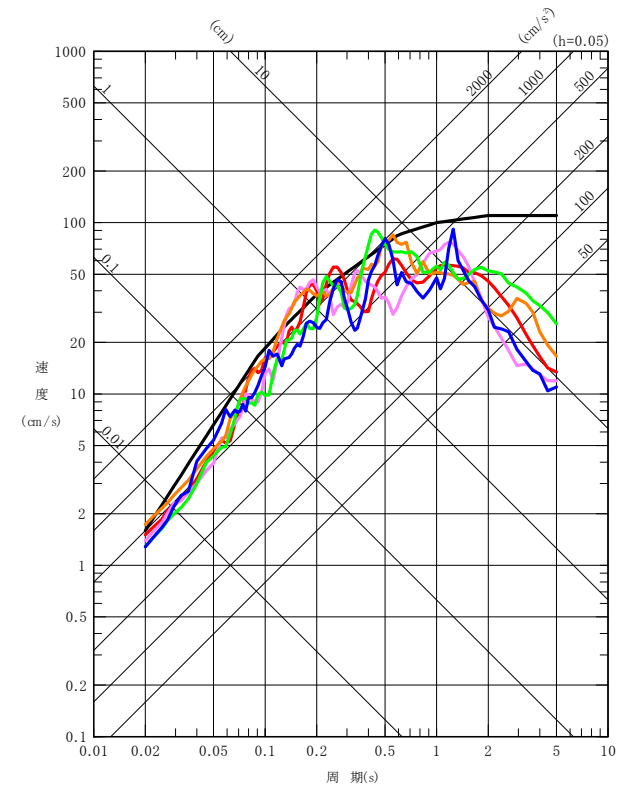
- S_s-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-1 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-2 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-3 F3断層～F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-4 F3断層～F4断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-5 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重量)



NS成分



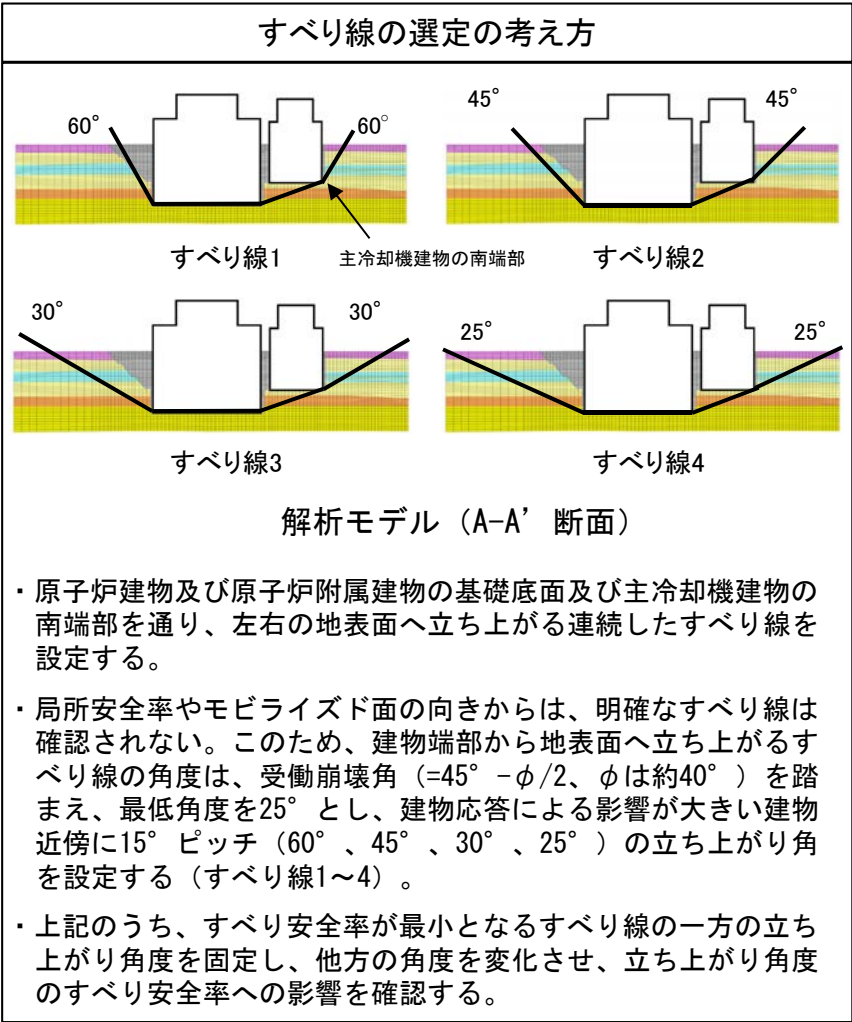
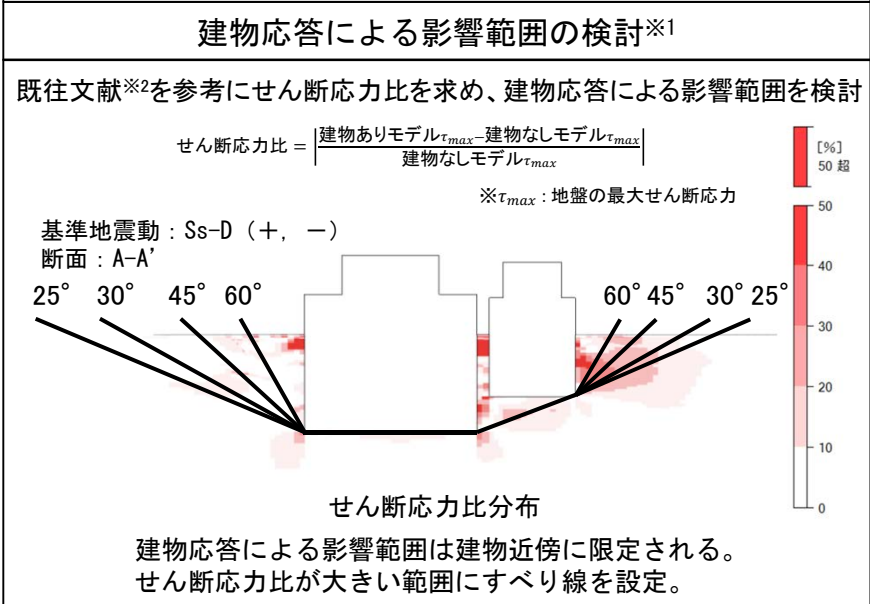
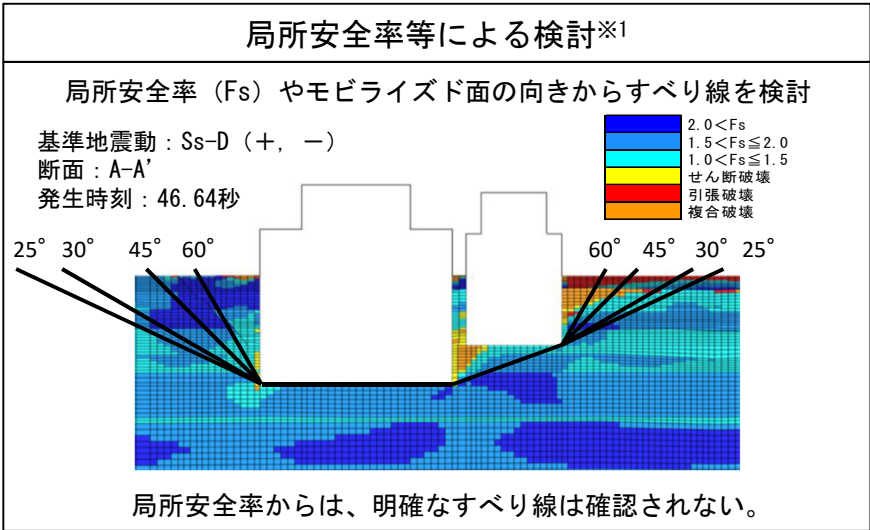
EW成分



UD成分

3.8 すべり線の選定(南北断面)

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（建物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 すべり線の選定(東西断面)

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（建物応答による影響範囲）等を踏まえ、すべり線を選定する。

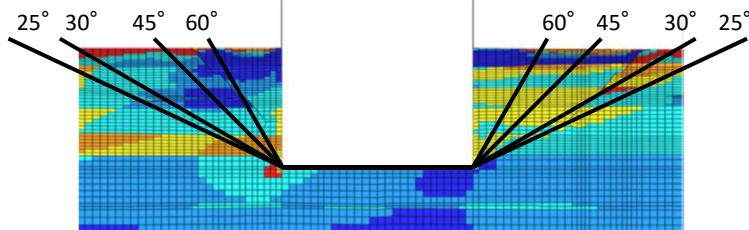
局所安全率等による検討※1

局所安全率 (Fs) やモビライズド面の向きからすべり線を検討

基準地震動：Ss-D (+, -)

断面：B-B'

発生時刻：46.67秒



局所安全率からは、明確なすべり線は確認されない。

建物応答による影響範囲の検討※1

既往文献※2を参考にせん断応力比を求め、建物応答による影響範囲を検討

$$\text{せん断応力比} = \frac{\text{建物ありモデル}\tau_{max} - \text{建物なしモデル}\tau_{max}}{\text{建物なしモデル}\tau_{max}}$$

※ τ_{max} ：地盤の最大せん断応力

基準地震動：Ss-D (+, -)

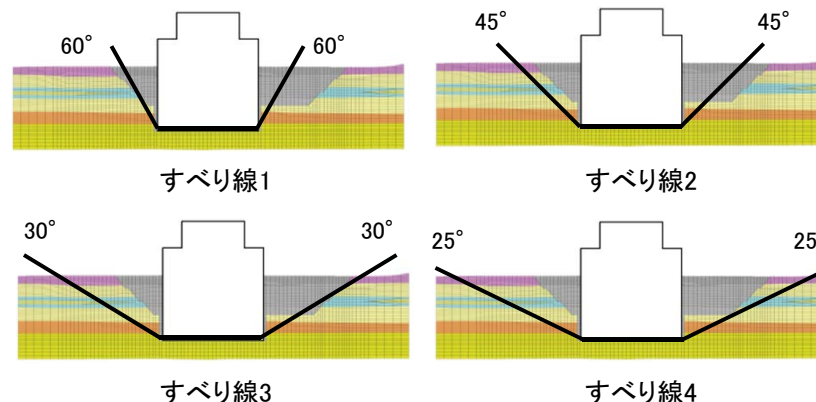
断面：B-B'



せん断応力比分布

建物応答による影響範囲は建物近傍に限定される。
せん断応力比が大きい範囲にすべり線を設定。

すべり線の選定の考え方



解析モデル (B-B' 断面)

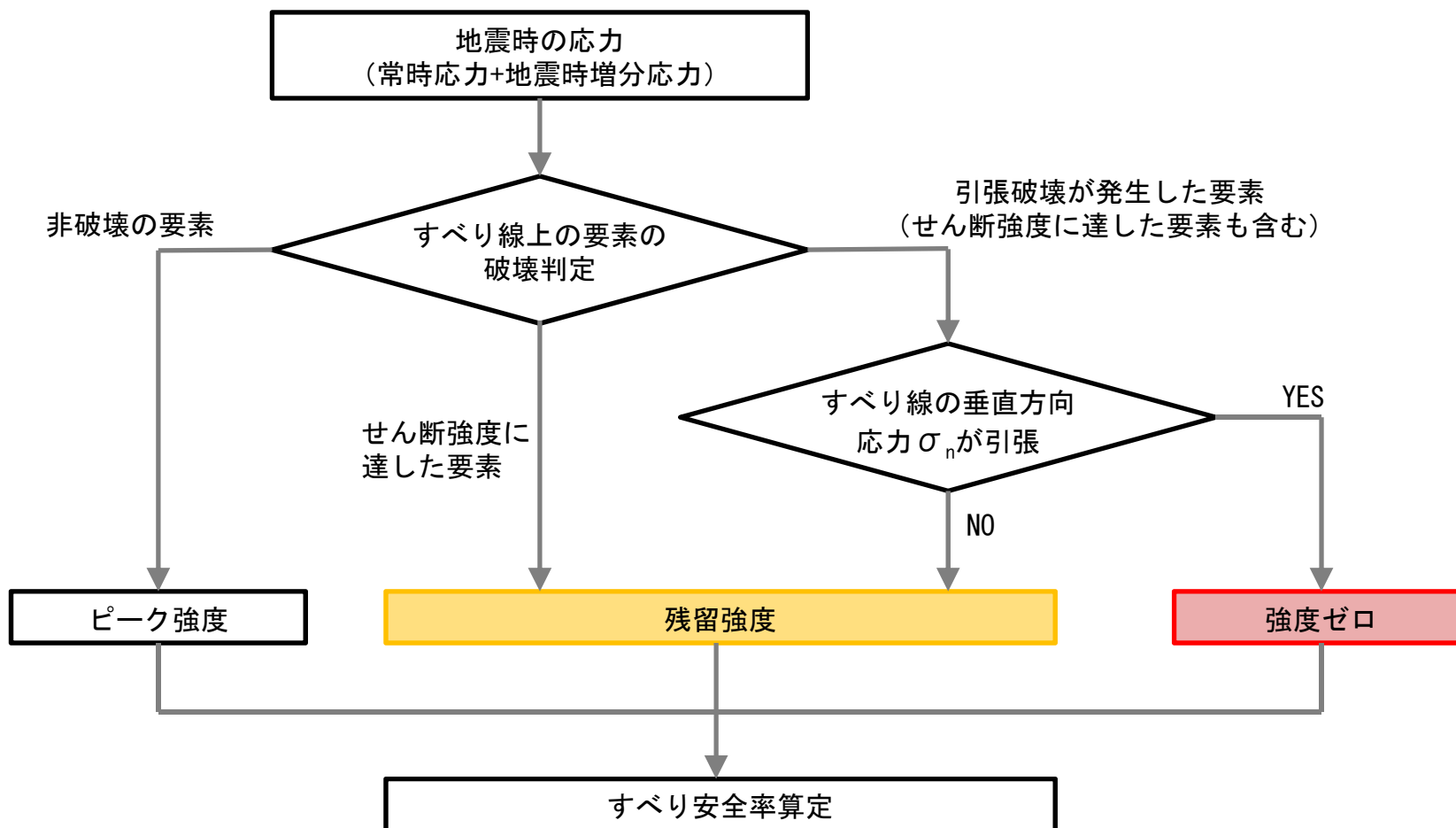
- ・評価対象施設の基礎底面を通り、左右の地表面へ立ち上がる連続したすべり線を設定する。
- ・局所安全率やモビライズド面の向きからは、明確なすべり線は確認されない。このため、建物端部から地表面へ立ち上がるすべり線の角度は、受働崩壊角(=45° - φ/2, φは約40°)を踏まえ、最低角度を25°とし、建物応答による影響が大きい建物近傍に15°ピッチ(60°、45°、30°、25°)の立ち上がり角を設定する(すべり線1~4)。
- ・上記のうち、すべり安全率が最小となるすべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させ、立ち上がり角度のすべり安全率への影響を確認する。

※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)

3.9 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。



安全率算定のフロー

3.10 すべり安全率の評価内容

【基本方針】

①評価対象地盤

評価対象の地盤は評価対象施設建設後の地盤とし、建設時に掘削された領域を埋戻土として反映する（基本モデル）。

②評価対象断面

評価対象の断面は評価対象施設の南北断面（A-A' 断面）、東西断面2断面（B-B' 断面：原子炉建物及び原子炉附属建物、C-C' 断面：主冷却機建物）の3断面とする。

③すべり線

すべり線は、評価対象施設の基礎底面を通り、建物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3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。

④地盤強度のばらつき

地盤強度のばらつき（平均強度-1 σ ）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。

⑤解析用地下水位

解析用地下水位は対象施設近傍の観測記録から設定したT.P. 6.7 mとする。ただし、地下水位の変動を考慮し、解析用地下水位を地表面（評価対象施設近傍はT.P. 38.5 m）に設定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

評価対象施設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)、(2)、(3) に示す）。

②周辺建物の影響検討

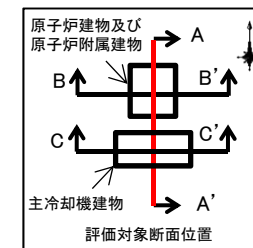
評価対象施設近傍にある周辺建物の評価対象施設に対する重量比を確認し、重量比が十分に小さく、すべり安全率に及ぼす影響が少ないと判断した（検討結果は参考資料 7 (4) に示す）。

3.11 すべり安全率評価結果(A-A' 断面)

A-A' 断面のすべり安全率は、すべり線の立ち上がり角度が25° のすべり線で最小2.4（地盤強度のばらつきを考慮すると1.9）であり、評価基準値1.5を上回ることを確認した。また、解析用地下水位を地表面とした場合のすべり安全率は2.3となり、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

| 番号 | 想定すべり線形状 | 地震動※1 | すべり安全率※2 | | |
|----|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | 基本モデル※3 | 地盤強度ばらつき考慮 | 地下水位変動考慮(地表面) |
| 1 | | Ss-D
(+, -) | 3.1
[46.62] | — | — |
| 2 | | Ss-D
(+, -) | 2.8
[46.63] | — | — |
| 3 | | Ss-D
(+, -) | 2.5
[46.64] | — | — |
| 4 | | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.64] | 1.9
[46.65] | 2.3
[46.64] |



※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。

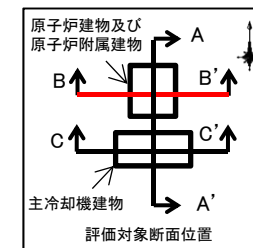
すべり安全率が最小となるすべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させてもすべり安全率は小さくならないことを確認している。結果を参考資料 2 (5)に示す。

3.11 すべり安全率評価結果(B-B' 断面)

B-B' 断面のすべり安全率は、すべり線の立ち上がり角度が25° のすべり線で最小2.2（地盤強度のばらつきを考慮すると1.8）であり、評価基準値1.5を上回ることを確認した。また、解析用地下水位を地表面とした場合のすべり安全率は2.1となり、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

| 番号 | 想定すべり線形状 | 地震動※1 | すべり安全率※2 | | |
|----|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | 基本モデル※3 | 地盤強度ばらつき考慮 | 地下水位変動考慮(地表面) |
| 1 | | Ss-D
(+, -) | 4.1
[46.62] | — | — |
| 2 | | Ss-D
(+, -) | 3.1
[46.65] | — | — |
| 3 | | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.66] | — | — |
| 4 | | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.67] | 1.8
[46.67] | 2.1
[46.67] |



※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)

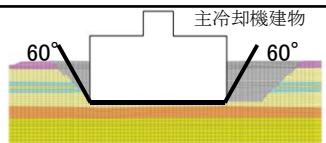
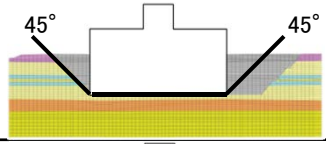

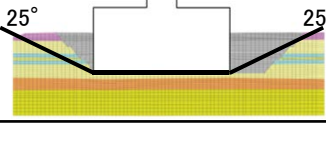
※3 その他の地震動も含めた結果一覧を参考資料 2 (1)~(4)に示す。

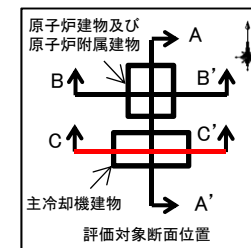
すべり安全率が最小となるすべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させてもすべり安全率は小さくならないことを確認している。結果を参考資料 2 (6)に示す。

3.11 すべり安全率評価結果(C-C' 断面)

C-C' 断面のすべり安全率は、すべり線の立ち上がり角度が 25° のすべり線で最小1.5（地盤強度のばらつきを考慮すると1.3）、解析用地下水位を地表面とした場合のすべり安全率は1.4となった。地盤強度ばらつき考慮の場合と解析用地下水位を地表面とした場合のすべり安全率が、評価基準値1.5を下回ったため、抑止杭を設置しすべりに対する安定性を確保する。

すべり安全率の評価結果

| 番号 | 想定すべり線形状 | 地震動※1 | すべり安全率※2 | | |
|----|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | 基本モデル | 地盤強度ばらつき考慮 | 地下水位変動考慮(地表面) |
| 1 |  | Ss-D
(+, -) | 1.6
[22.77] | — | — |
| 2 |  | Ss-D
(+, -) | 1.7
[46.64] | — | — |
| 3 |  | Ss-D
(+, -) | 1.6
[46.64] | — | — |
| 4 |  | Ss-D
(+, -) | 1.5
[46.64] | 1.3
[22.78] | 1.4
[46.68] |



※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)

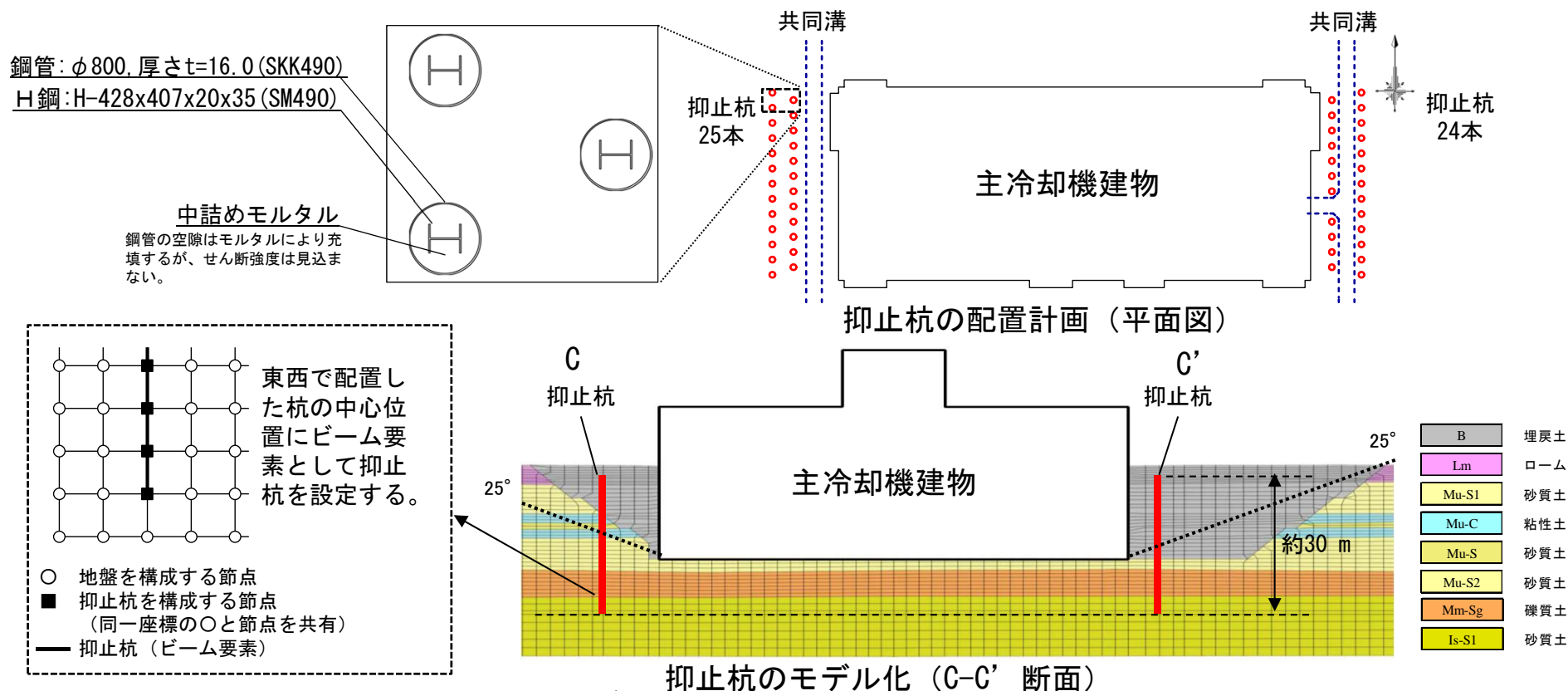
3.12 抑止杭を考慮したすべり安全率の評価内容(抑止杭のモデル化(1))

【補強耐力の設定】

- すべり安全率が他断面と同程度まで向上することを目標に、抑止杭の補強耐力及び本数を設定する。

【抑止杭の仕様】

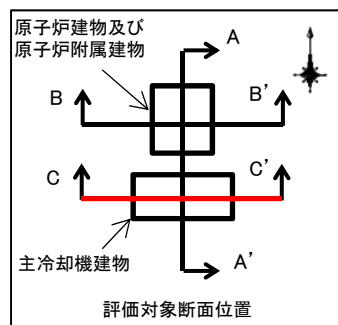
- 抑止杭の補強耐力を鋼管及びH鋼で確保できるように寸法、材質を設定する。設定においては、鋼管の外径1mmを腐食しろとして考慮する。
- 抑止杭の配置は、想定すべり線を抑止杭が通るように主冷却機建物の東側及び西側に計画する。
- 抑止杭の下端は、原子炉建物及び原子炉附属建物の支持地盤（基礎底面T.P. 6.7 m）以深とする。



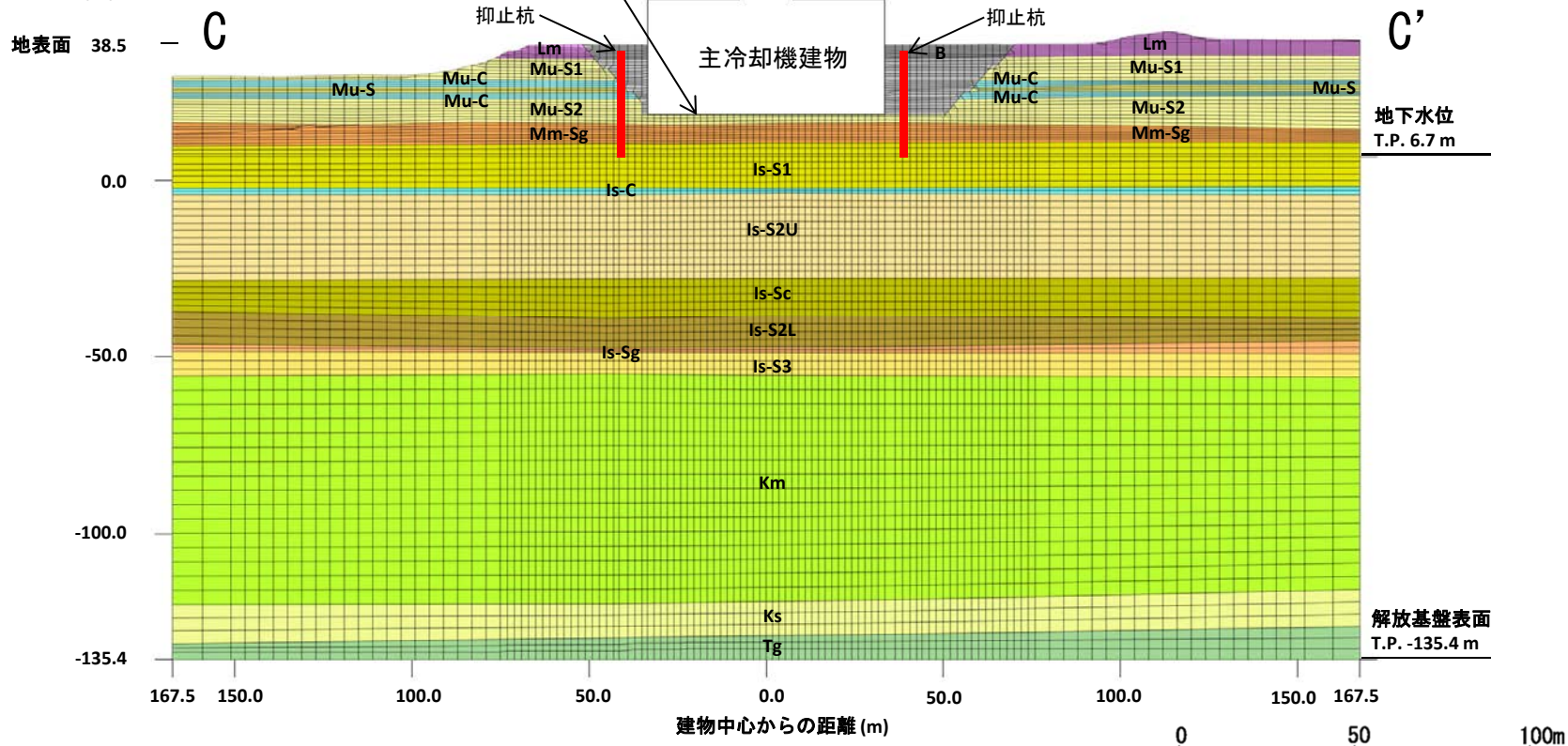
※抑止杭の仕様・配置計画は基本設計段階の情報に基づく

※抑止杭は鋼管、H鋼及び中詰めモルタルからなり、鋼管及びH鋼の抵抗力のみ考慮する

3.12 抑止杭を考慮したすべり安全率の評価内容(抑止杭のモデル化(2))



T.P. (m)



| 凡例 | | | | | |
|-------|-----|--------|-----|----|--------|
| B | 埋戻土 | Mm-Sg | 礫質土 | Km | 砂質泥岩 |
| Lm | ローム | Is-S1 | 砂質土 | Ks | 砂岩 |
| Mu-S1 | 砂質土 | Is-C | 粘性土 | Tg | 砂岩泥岩互層 |
| Mu-C | 粘性土 | Is-S2U | 砂質土 | | |
| Mu-S | 砂質土 | Is-Sc | 砂質土 | | |
| Mu-S2 | 砂質土 | Is-S2L | 砂質土 | | |
| | | Is-Sg | 礫質土 | | |
| | | Is-S3 | 砂質土 | | |

3.12 抑止杭を考慮したすべり安全率の評価内容(すべり安全率の算出方法)

- 抑止杭を考慮したすべり安全率は、基礎地盤のせん断抵抗力に抑止杭のせん断抵抗力を累加して算出する。
- 鋼管及びH鋼のせん断抵抗力を考慮して抑止杭のせん断抵抗力を算出する。

抑止杭を考慮したすべり安全率の算出方法

$$F_s' = \frac{S + S_k}{Q + Q_k}$$

抑止杭のせん断抵抗力 S_k を考慮することにより、すべり安全率が向上する

F_s' : 抑止杭を考慮したすべり安全率

S : 想定すべり線上の地盤のせん断抵抗力

S_k : 単位奥行当りの抑止杭のせん断抵抗力

Q : 想定すべり線上の地盤に生じるせん断力

Q_k : 単位奥行当りの抑止杭に生じる最大せん断力

抑止杭のせん断抵抗力^{※1}

$$S_k = \frac{\tau_p A_p}{\alpha} + \tau_H A_H$$

S_k : 抑止杭1本のせん断抵抗力

τ_p : 鋼管の許容応力度 (短期) (157.5 N/mm²) ^{※2}

A_p : 鋼管のせん断断面積 (腐食しろ: 外径1mm考慮)

α : 鋼管の形状係数 (=2.0)

τ_H : H鋼の許容応力度 (短期) (157.5 N/mm²) ^{※2}

A_H : H鋼の断面積

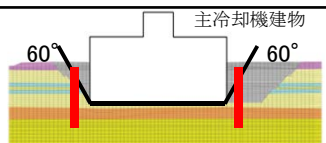
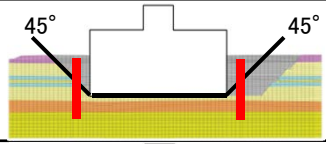

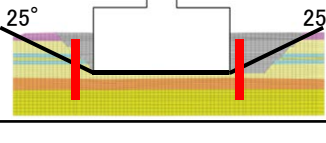
※1 最新斜面・土留め技術総覧 (産業技術サービスセンター、1991)

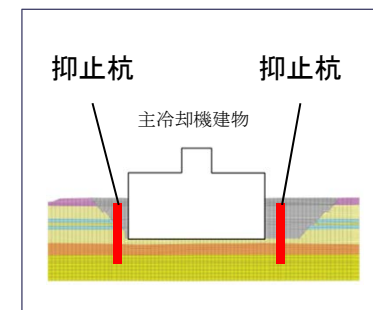
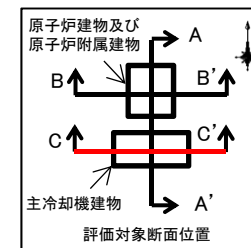
※2 道路橋示方書・同解説II鋼橋編 (日本道路協会、2002)

3.13 抑止杭を考慮したすべり安全率評価結果(C-C'断面)

C-C'断面のすべり安全率は、すべり線の立ち上がり角度が25°のすべり線で最小2.3（地盤強度のばらつきを考慮すると2.1）であり、評価基準値1.5を上回ることを確認した。また、解析用地下水位を地表面とした場合のすべり安全率は2.2となり、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

| 番号 | 想定すべり線形状 | 地震動※1 | すべり安全率※2 | | |
|----|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | 基本モデル※3 | 地盤強度ばらつき考慮 | 地下水位変動考慮(地表面) |
| 1 |  | Ss-D
(+, -) | 2.9
[46.64] | - | - |
| 2 |  | Ss-D
(+, -) | 2.7
[46.64] | - | - |
| 3 |  | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.65] | - | - |
| 4 |  | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.65] | 2.1
[46.65] | 2.2
[46.67] |



※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)、すべり安全率は抑止杭による抵抗力を考慮した値を示す。
 ※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 (7)に示す。

3.13 抑止杭を考慮したすべり安全率の評価結果(補強前後の比較)

抑止杭による補強を行うことにより、せん断抵抗力が大きくなり、すべり安全率が最小1.3から最小2.1に向上した。

| | 想定すべり線形状 | 地震動※ | すべり安全率 | | |
|-----|----------|----------------|--------|----------------|-------------------|
| | | | 基本モデル | 地盤強度
ばらつき考慮 | 地下水位変動
考慮(地表面) |
| 補強前 | | Ss-D
(+, -) | 1.5 | 1.3 | 1.4 |
| ↓ | | | | | |
| 補強後 | | Ss-D
(+, -) | 2.3 | 2.1 | 2.2 |

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

3.14 抑止杭の照査

- 地震力によって抑止杭に発生する応力に対しせん断・曲げの照査を行う※1。
- 動的解析結果より抑止杭に発生する応力の最大値が許容限界を下回ることから、抑止杭が破断せずすべりに対する安定性が確保できることを確認した。

抑止杭の照査結果

| 照査項目 | 単位 | 許容限界 | 最大発生応力 |
|------|-------------------|---------|--------|
| せん断 | kN/本 | 8,500※3 | 269 |
| 曲げ | N/mm ² | 277※2 | 55.8※4 |

※1 最新斜面・土留め技術総覧（産業技術サービスセンター、1991）

※2 道路橋示方書・同解説 II鋼橋編（日本道路協会、2002）

※3 抑止杭の許容せん断力 S_k

$$S_k = \frac{\tau_P A_P}{\alpha} + \tau_H A_H$$

※4 抑止杭に発生する曲げ応力度 σ_{\max}

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{\max}}{A_P + A_H} + \frac{M_{\max}}{Z_P + Z_H}$$

S_k :抑止杭1本のせん断抵抗力

τ_P :鋼管の許容応力度（短期）（157.5 N/mm²）※2

A_P :鋼管のせん断断面積（腐食しろ：外径1 mm考慮）

α :鋼管の形状係数（=2.0）

τ_H :H鋼の許容応力度（短期）（157.5 N/mm²）※2

A_H :H鋼の断面積

σ_{\max} :抑止杭1本に発生する曲げ応力

N_{\max} :抑止杭1本に発生する最大軸力

M_{\max} :抑止杭1本に発生する最大曲げモーメント

Z_P :鋼管の断面係数（腐食しろ：外径1 mm考慮）

Z_H :H鋼の断面係数

3.15 基礎底面の接地圧評価結果

- ・評価基準値は、評価対象施設直下の基礎地盤（東茨城層群（ I_s-S_1 ）、M1段丘堆積物（ $Mu-S_2$ ））における平板載荷試験の結果※1から、 2.94 N/mm^2 （原子炉建物及び原子炉附属建物）、 2.69 N/mm^2 （主冷却機建物）と設定する。
- ・地震時における基礎底面の接地圧は、原子炉建物及び原子炉附属建物で最大 1.13 N/mm^2 であり、主冷却機建物で最大 0.56 N/mm^2 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

| | 施設名 | 地震動※2 | 基礎底面の最大接地圧※3 |
|---------|--------------------|----------------|----------------------------------|
| A-A' 断面 | 原子炉建物
及び原子炉附属建物 | Ss-2
(+, +) | 1.13 N/mm^2
[7.37] |
| | 主冷却機建物 | Ss-3
(+, +) | 0.56 N/mm^2
[11.00] |
| B-B' 断面 | 原子炉建物
及び原子炉附属建物 | Ss-D
(+, +) | 1.11 N/mm^2
[22.75] |
| C-C' 断面 | 主冷却機建物 | Ss-D
(-, +) | 0.48 N/mm^2
[22.75] |

※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。

3.16 基礎底面の傾斜評価結果

地震時における基礎底面の傾斜は、原子炉建物及び原子炉附属建物で最大1/2,700であり、主冷却機建物で1/6,000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

| | 施設名 | 地震動※1 | 基礎底面両端の最大相対変位※2
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $) | 基礎底面両端の最大傾斜
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L$ ※3) |
|---------|--------------------|----------------|--|--|
| A-A' 断面 | 原子炉建物
及び原子炉附属建物 | Ss-1
(+, +) | 1.99 cm
[6.82] | 1/2,700 |
| | 主冷却機建物 | Ss-1
(+, +) | 0.39 cm
[6.67] | 1/7,000 |
| B-B' 断面 | 原子炉建物
及び原子炉附属建物 | Ss-D
(+, +) | 1.21 cm
[39.67] | 1/4,100 |
| C-C' 断面 | 主冷却機建物 | Ss-D
(+, +) | 1.11 cm
[22.89] | 1/6,000 |

※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 は以下の通り

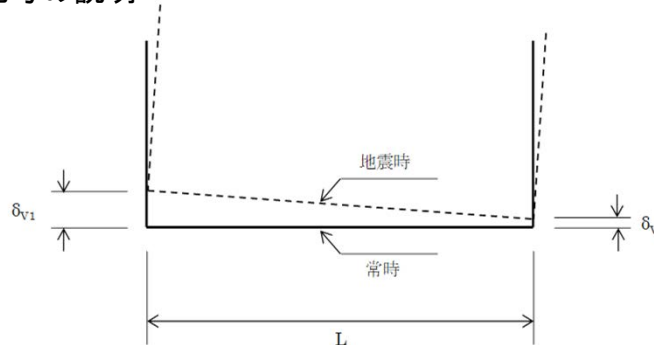
A-A' 断面 (原子炉建物及び原子炉附属建物) : 55.00 m

A-A' 断面 (主冷却機建物) : 27.40 m

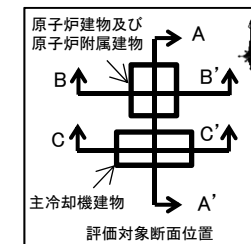
B-B' 断面 : 50.00 m

C-C' 断面 : 67.00 m

記号の説明



δ_{v1} 、 δ_{v2} は上向きを正とする



3.17 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。

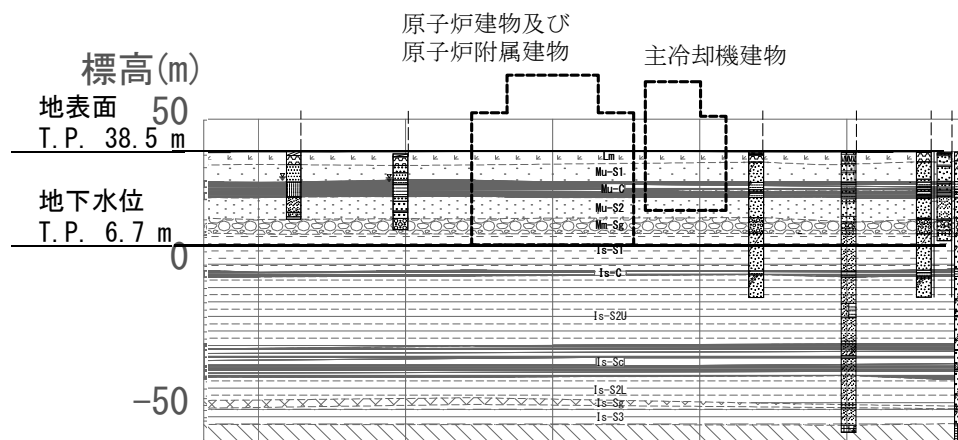
- ① 沖積層で、細粒分含有率が35%以下の土層
- ② 埋立地盤、盛土地盤において、粘土分含有率が10%以下又は塑性指数が15%以下の土層
- ③ 細粒土を含む礫又は透水性の低い土層に囲まれた礫

「原子炉建物及び原子炉附属建物」の支持地盤 (Is-S₁) の飽和土層は、地表面から31.8 m (T.P. 6.7 m) 以深である。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細粒分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。

「主冷却機建物の支持地盤 (Mu-S₂)」は、不飽和土層である。

したがって、評価対象施設の支持地盤は液状化のおそれがなく、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飽和土層であるIs-S₁の液状化に対する検討結果を参考資料 8に示す)



評価対象施設の周辺断面 (A-A' 断面)

飽和土層※の液状化判定

| 液状化判定が必要な土層
(①~③のいずれかで、
全項目を満たす場合) | 原子炉建物及び
原子炉附属建物
の支持地盤 (Is-S ₁) | 液状化判定が必要な土層に該当する
かの判定 |
|---|--|---|
| ① 沖積層
かつ、
細粒分含有率35%以下 | 東茨城層群
(砂質土)

9.4 % | 「沖積層」ではない
ため該当しない。 |
| ② 埋立地盤又は盛土地盤
かつ、
粘土分含有率10%以下
又は塑性指数15%以下 | 東茨城層群
(砂質土)

粘土分含有率
1.3 % | 「埋立地盤又盛土
地盤」ではないた
め該当しない。 |
| ③ 細粒土を含む礫又は透
水性の低い土層に囲ま
れた礫 | 東茨城層群
(砂質土) | 「細粒土を含む礫
又は透水性の低い
土層に囲まれた
礫」ではないため
該当しない。 |

※地表面から20 m程度以浅の飽和土層が対象となる。

まとめ

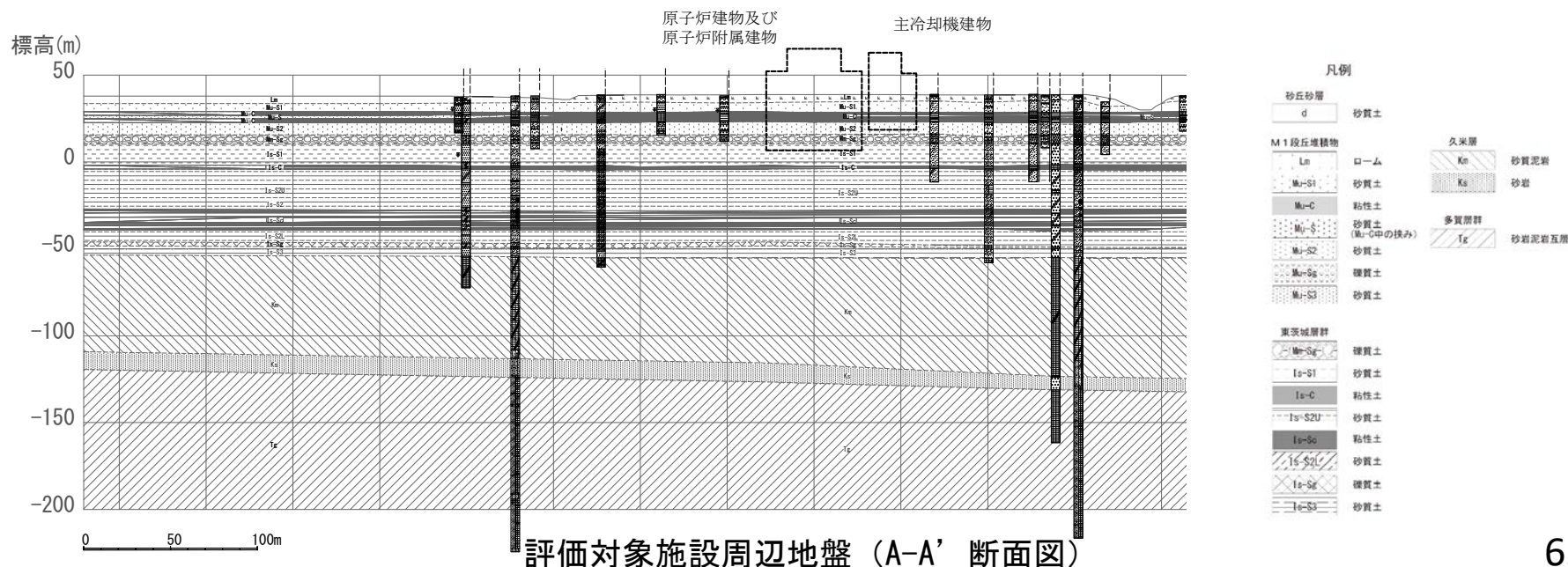
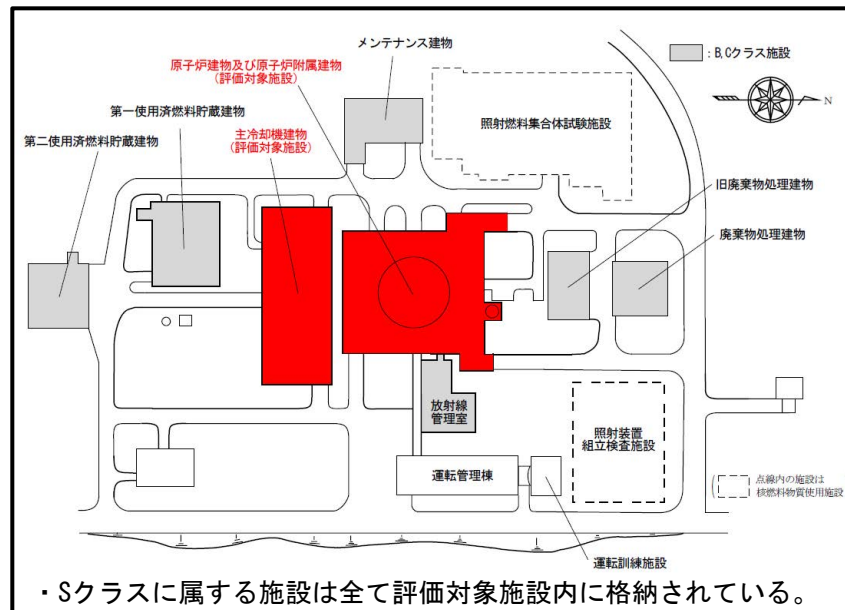
- ① 地震時におけるすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認した。また、抑止杭による補強を考慮することですべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認した。
- ② 地震時における基礎底面の接地圧が平板載荷試験結果から設定した評価基準値 2.94 N/mm^2 （原子炉建物及び原子炉附属建物）、 2.69 N/mm^2 （主冷却機建物）を下回ることを確認した。
- ③ 地震時における基礎底面の傾斜が評価の目安である $1/2,000$ を下回ることを確認した。

評価対象施設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. 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

4.1 周辺地盤の変状による影響

原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物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。



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。

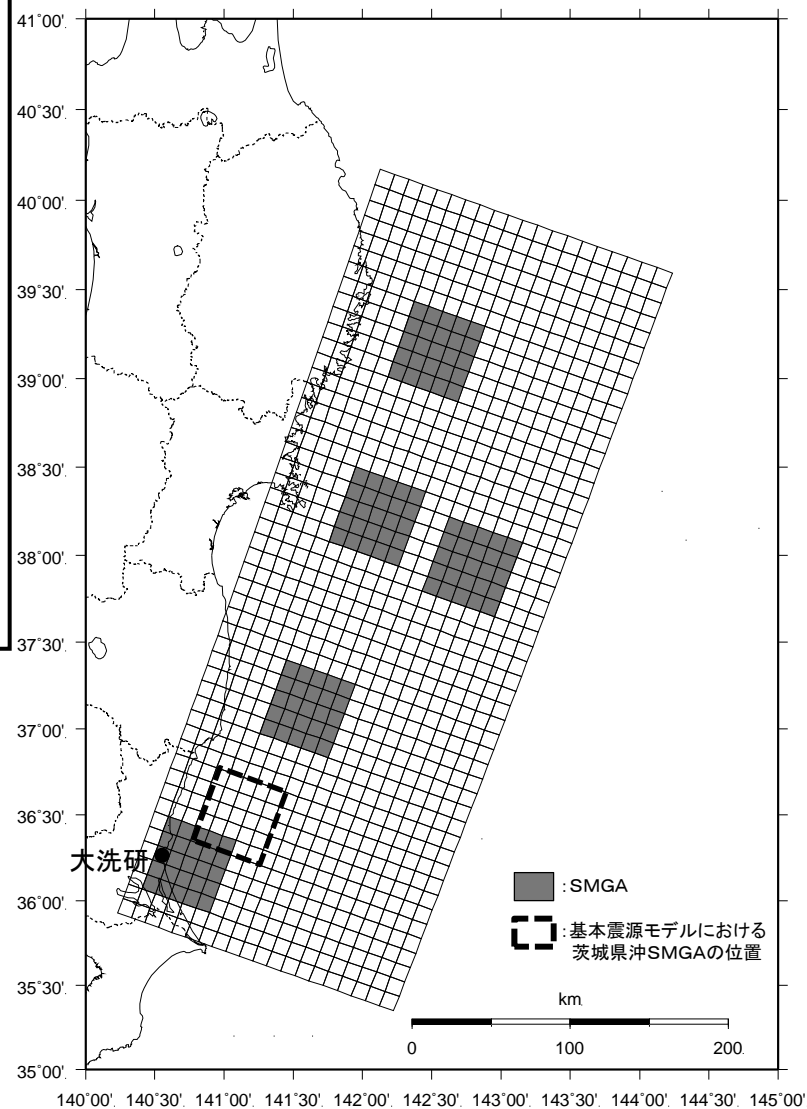
【評価基準値】

- ・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 ² |
| 地震モーメント | | 4.00×10^{22} Nm |
| 剛性率 | | 4.68×10^{10} N/m ² |
| 平均すべり量 | SMGA | 17.1 m |
| | 背景領域 | 7.3 m |

敷地及び断層位置図



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)



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。
原子炉建物及び原子炉附属建物の基礎底面の傾斜は1/2, 300であり、主冷却機建物の基礎底面の傾斜は1/4, 400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

| 評価対象施設 | 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 |
|----------------|--------------|---------------|----------|
| 原子炉建物及び原子炉附属建物 | 1/17, 000 | 1/2, 700 | 1/2, 300 |
| 主冷却機建物 | 1/17, 000 | 1/6, 000 | 1/4, 400 |



まとめ

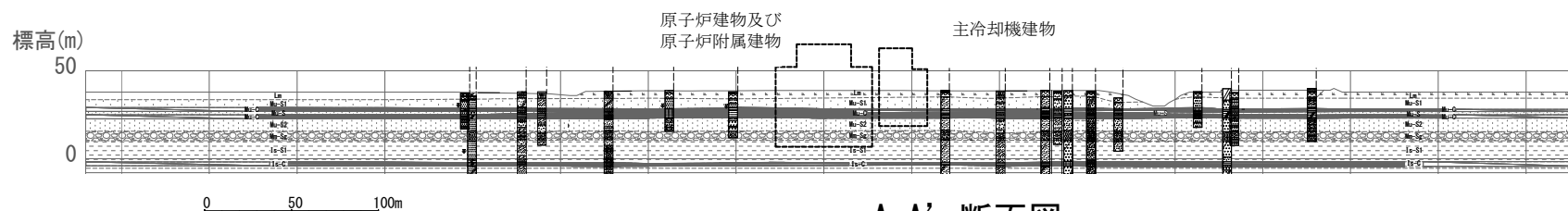
- ① 評価対象施設以外に耐震設計上の重要度分類Sクラスの機器・配管系及びそれらを支持する建物・構築物はないことから、周辺地盤の変状(不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等)による影響を受けるおそれはないことを確認した。

- 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。

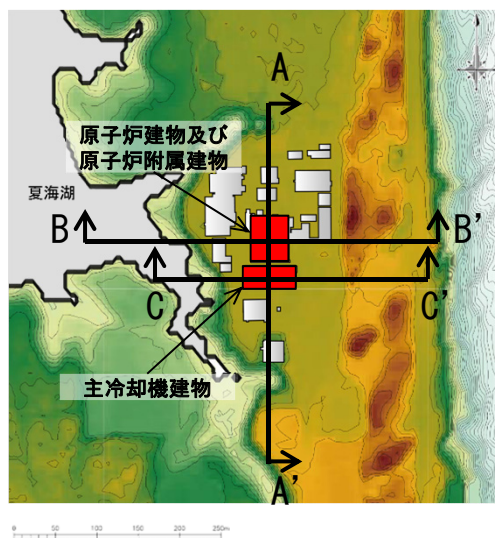
1. 評価方針
2. 将来活動する可能性のある断層等の有無
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
5. **周辺斜面の影響**
6. まとめ

5. 周辺斜面の影響

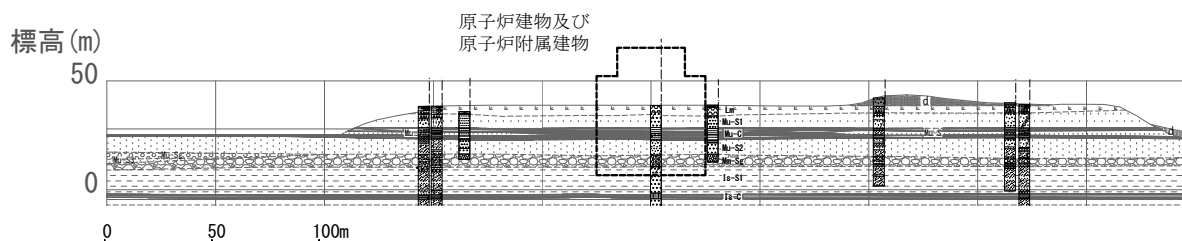
JEAG4601-2015に基づく評価対象とすべき斜面は「斜面法尻からSクラス施設との離間距離が、約50 m以内あるいは斜面高さの約1.4倍以内の斜面」とされており、評価対象施設の周辺に斜面は存在せず、周辺斜面の影響はない。



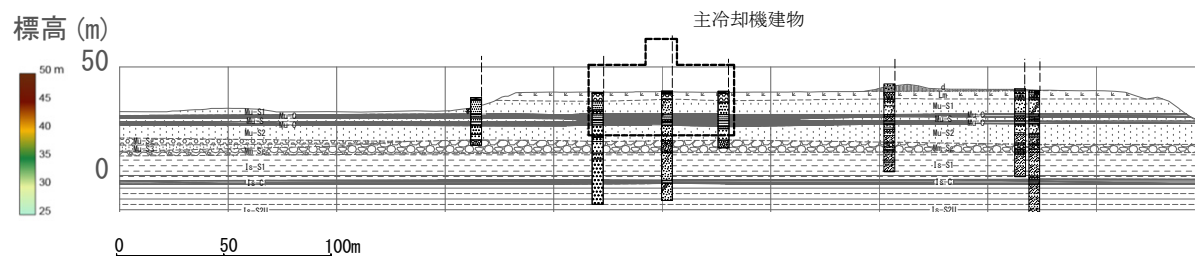
A-A' 断面図



評価対象施設配置図



B-B' 断面図



C-C' 断面図

評価対象施設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。



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**

6. まとめ

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。C-C'断面については、抑止杭による補強を考慮することで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 2.94 N/mm^2 （原子炉建物及び原子炉附属建物）、 2.69 N/mm^2 （主冷却機建物）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) 評価対象施設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評価対象施設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

評価対象施設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。

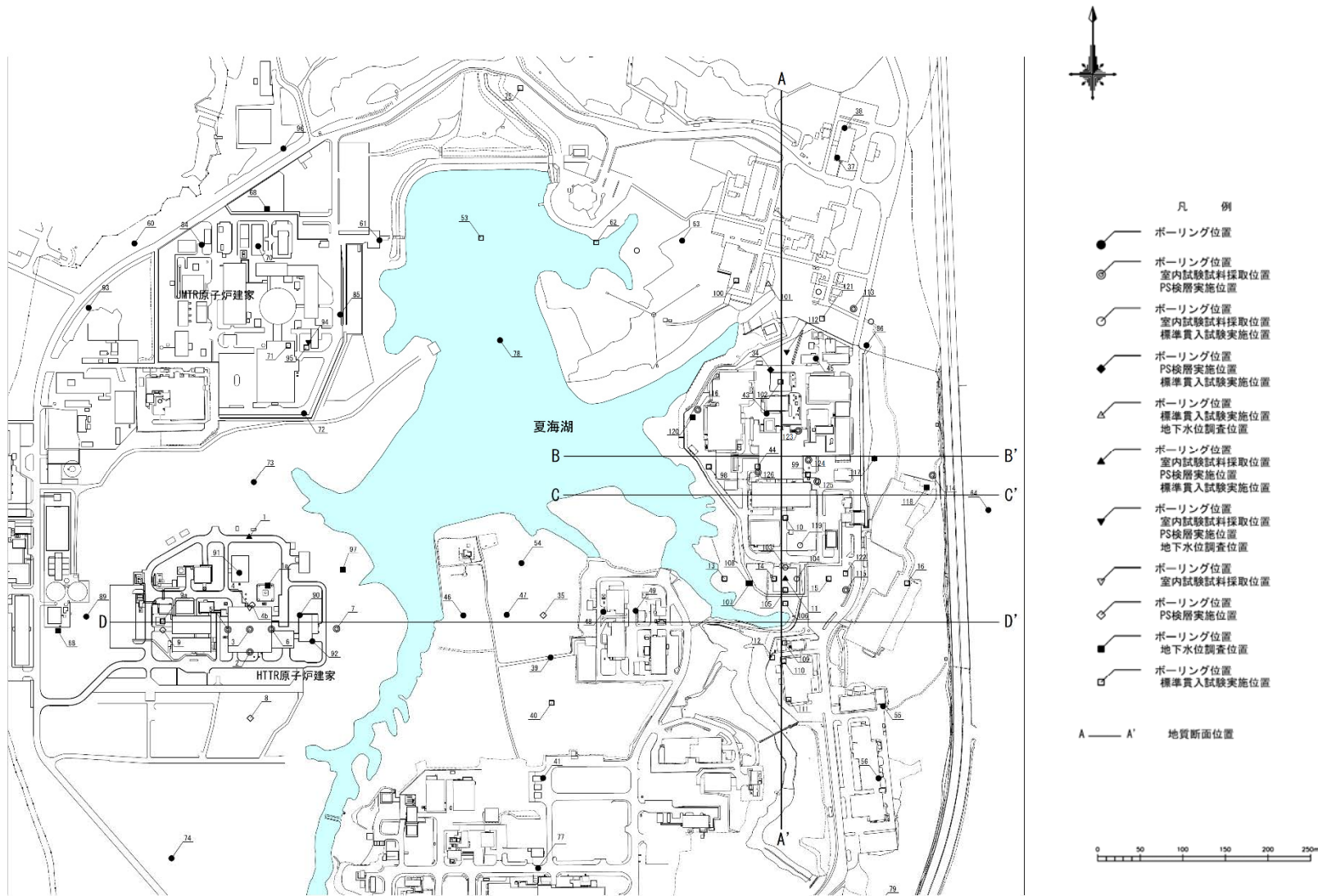
以上より、評価対象施設の基礎地盤は十分な安定性を有しており、施設の安全機能が重大な影響を受けることがないことを確認した。



参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 すべり安全率に関する検討
- 3 接地圧に関する参考資料
- 4 傾斜に関する参考資料
- 5 地殻変動による影響評価
- 6 すべり線の選定に関する検討
- 7 すべり安全率に関する影響検討
- 8 液状化に関する検討

1 解析用物性値の設定(敷地における地質調査)



1 解析用物性値の設定(物理試験結果(1))

物理試験結果 (1)

| 区分 | | 湿潤密度
ρ_t (g/cm ³) | 含水比
w (%) | 土粒子の密度
ρ_s (g/cm ³) | 間隙比
e | 試料数 (個) | | | |
|-------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------|---|----------|---------|------------|------------|----|
| | | | | | | 湿潤密度 | 含水比
間隙比 | 土粒子の
密度 | |
| 埋戻土 | B | 平均値 | 1.90 | 20.5 | 2.68 | 0.71 | 96 | 96 | 8 |
| | | 標準偏差 | 0.10 | 7.4 | 0.02 | 0.19 | | | |
| M1段丘
堆積物 | Lm | 平均値 | 1.35 | 97.8 | 2.72 | 3.03 | 43 | 43 | 11 |
| | | 標準偏差 | 0.08 | 12.0 | 0.07 | 0.47 | | | |
| | Mu-S ₁ | 平均値 | 1.89 | 18.6 | 2.70 | 0.70 | 119 | 113 | 20 |
| | | 標準偏差 | 0.08 | 3.3 | 0.03 | 0.07 | | | |
| | Mu-C | 平均値 | 1.73 | 44.6 | 2.66 | 1.24 | 63 | 58 | 16 |
| | | 標準偏差 | 0.08 | 11.1 | 0.02 | 0.23 | | | |
| | Mu-S | 平均値 | 1.87 | 31.8 | 2.71 | 0.91 | 40 | 40 | 9 |
| | | 標準偏差 | 0.08 | 6.6 | 0.02 | 0.16 | | | |
| | Mu-S ₂ | 平均値 | 1.87 | 21.0 | 2.70 | 0.75 | 128 | 128 | 25 |
| | | 標準偏差 | 0.08 | 5.0 | 0.03 | 0.11 | | | |
| 東茨城
層群 | Mm-Sg | 平均値 | 2.21 | 8.9 | 2.70 | 0.33 | 61 | 61 | 15 |
| | | 標準偏差 | 0.12 | 3.6 | 0.01 | 0.11 | | | |
| | Is-S ₁ | 平均値 | 1.86 | 27.2 | 2.72 | 0.87 | 250 | 237 | 43 |
| | | 標準偏差 | 0.07 | 4.4 | 0.02 | 0.07 | | | |
| | Is-C | 平均値 | 1.87 | 33.5 | 2.69 | 0.92 | 46 | 46 | 10 |
| | | 標準偏差 | 0.03 | 2.1 | 0.01 | 0.07 | | | |
| | Is-S ₂ U | 平均値 | 1.84 | 33.9 | 2.67 | 0.95 | 164 | 149 | 47 |
| | | 標準偏差 | 0.07 | 5.2 | 0.04 | 0.11 | | | |
| | Is-Sc | 平均値 | 1.81 | 37.6 | 2.65 | 1.02 | 60 | 51 | 15 |
| | | 標準偏差 | 0.04 | 3.3 | 0.02 | 0.08 | | | |
| | Is-S ₂ L | 平均値 | 1.91 | 28.1 | 2.71 | 0.82 | 66 | 57 | 15 |
| | | 標準偏差 | 0.07 | 5.1 | 0.04 | 0.10 | | | |
| | Is-Sg | 平均値 | 1.98 | 21.7 | 2.74 | 0.64 | 11 | 2 | 4 |
| | | 標準偏差 | 0.10 | 7.9 | 0.04 | 0.16 | | | |
| Is-S ₃ | 平均値 | 1.96 | 26.5 | 2.72 | 0.76 | 40 | 40 | 9 | |
| | 標準偏差 | 0.05 | 3.6 | 0.01 | 0.08 | | | | |

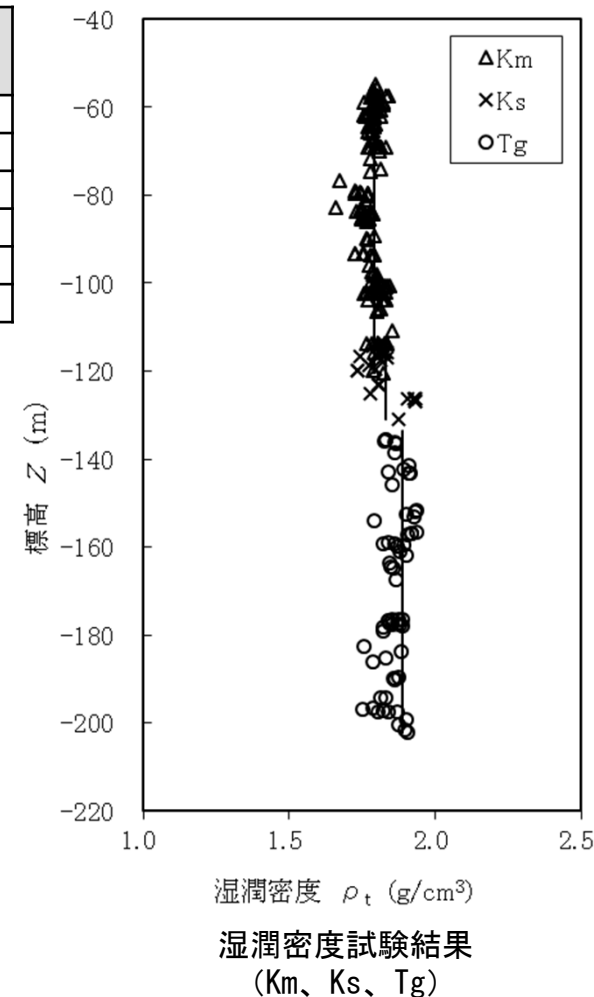
1 解析用物性値の設定(物理試験結果(2))

物理試験結果 (2)

| 区 分 | | | 湿潤密度※1
ρ_t (g/cm ³) | 含水比
w (%) | 土粒子の密度
ρ_s (g/cm ³) | 間隙比
e |
|-----|----|------|---|--------------|---|----------|
| 久米層 | Km | 平均値 | 1.79 | 39.1 | 2.66 | 1.06 |
| | | 標準偏差 | 0.03 | 2.9 | 0.02 | 0.05 |
| | Ks | 平均値 | 1.83 | 32.3 | 2.68 | 0.95 |
| | | 標準偏差 | 0.06 | 2.6 | 0.03 | 0.06 |
| 多賀層 | Tg | 平均値 | 1.89 | 26.1 | - | - |
| | | 標準偏差 | 0.07 | 4.7 | - | - |

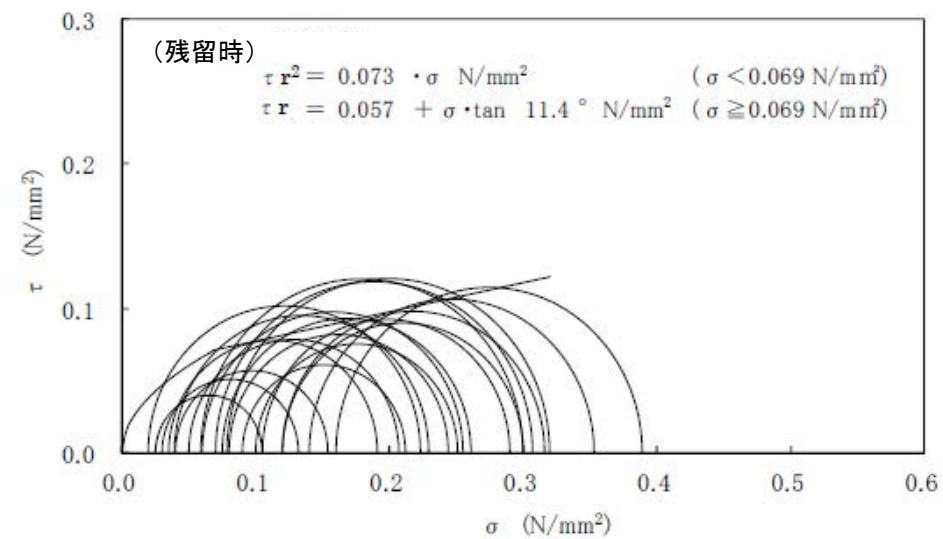
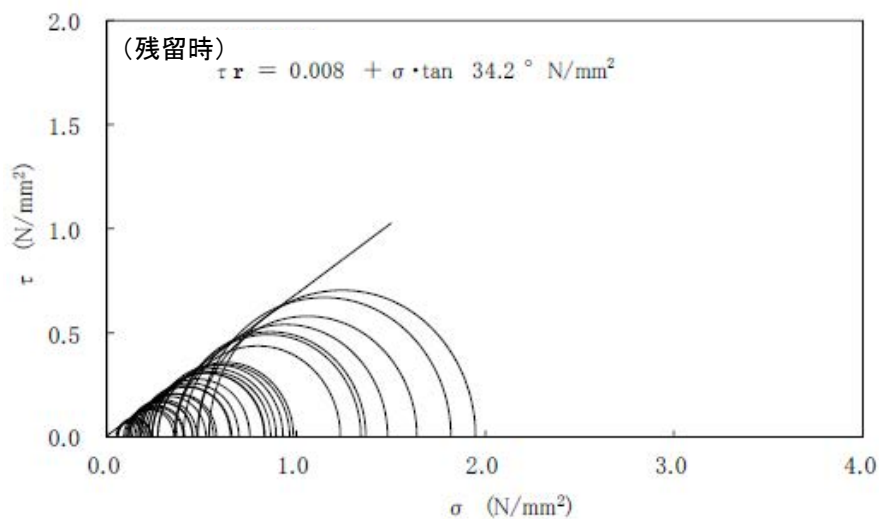
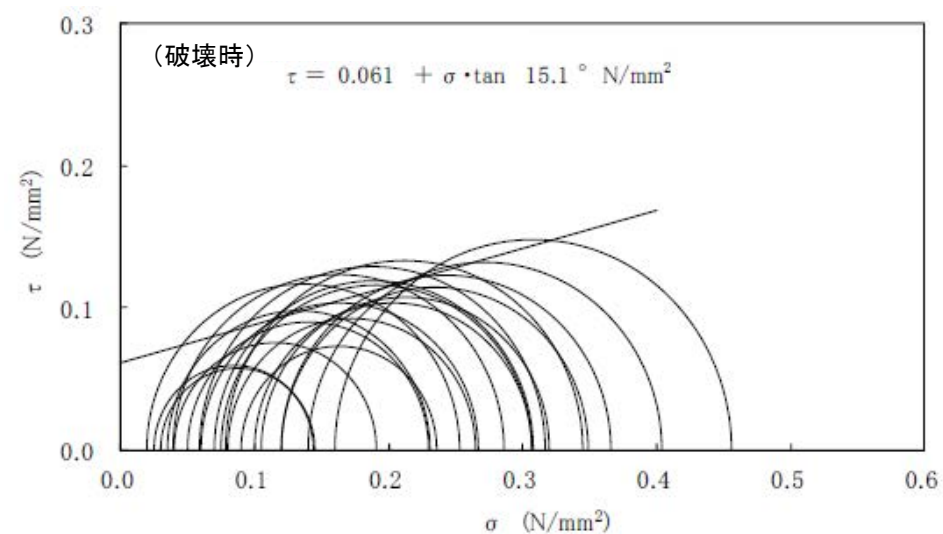
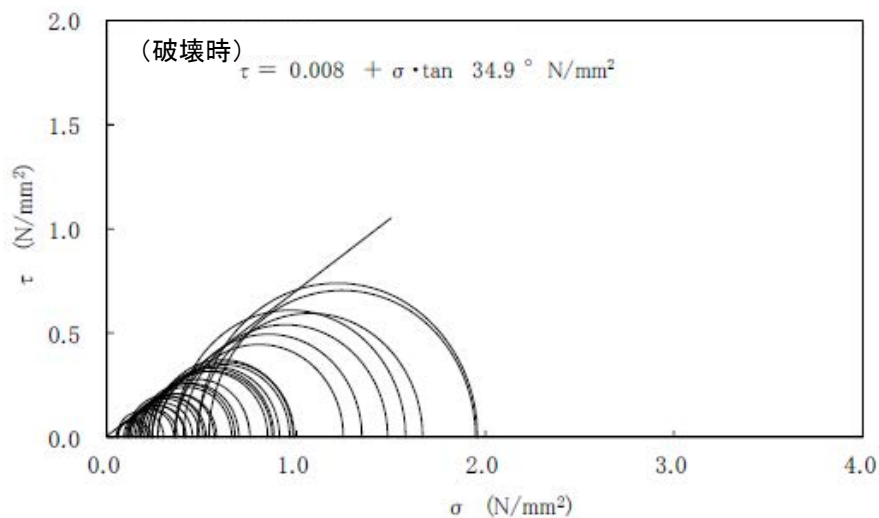
※1 湿潤密度は深度方向に同程度で分布しており、評価には代表値を設定した。

| 区 分 | | 試料数 (個) | | | |
|-----|----|---------|-----|--------|-----|
| | | 湿潤密度 | 含水比 | 土粒子の密度 | 間隙比 |
| 久米層 | Km | 159 | 121 | 25 | 62 |
| | Ks | 26 | 23 | 5 | 20 |
| 多賀層 | Tg | 95 | 80 | - | - |





1 解析用物性値の設定(強度特性(埋戻土、Lm))

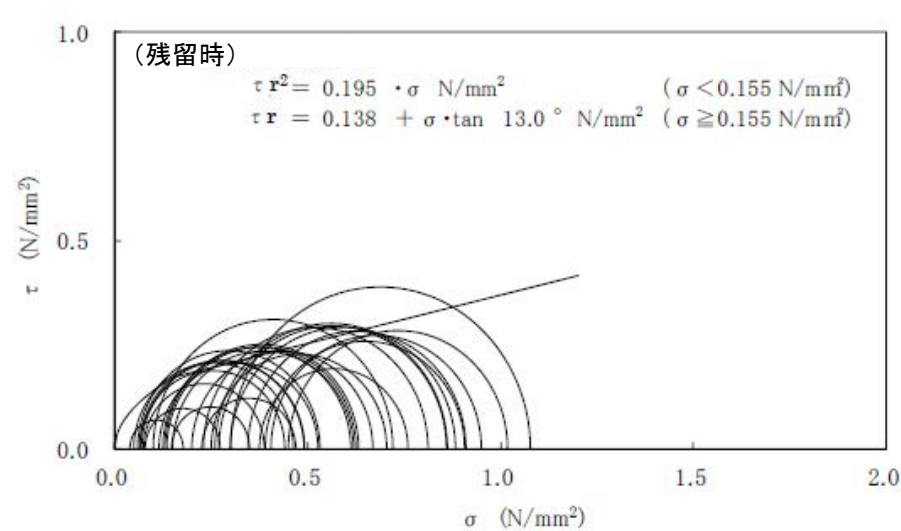
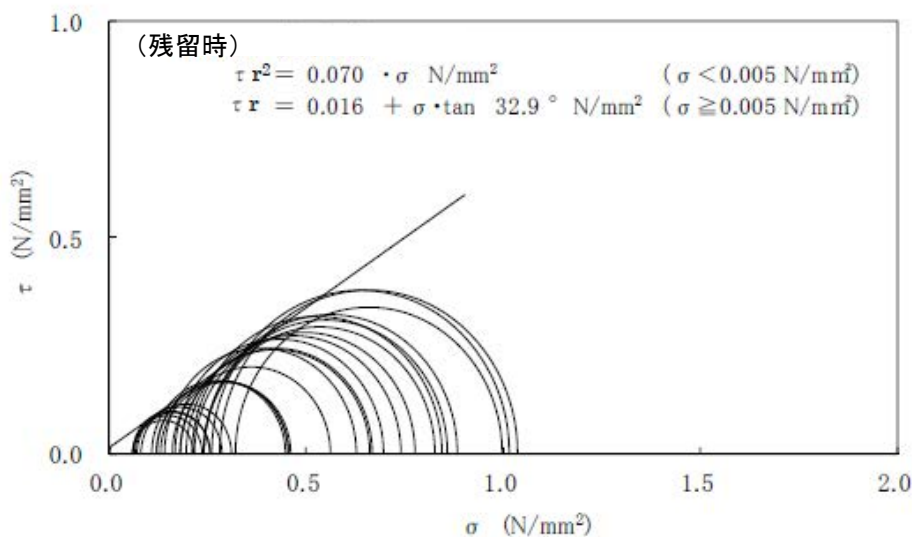
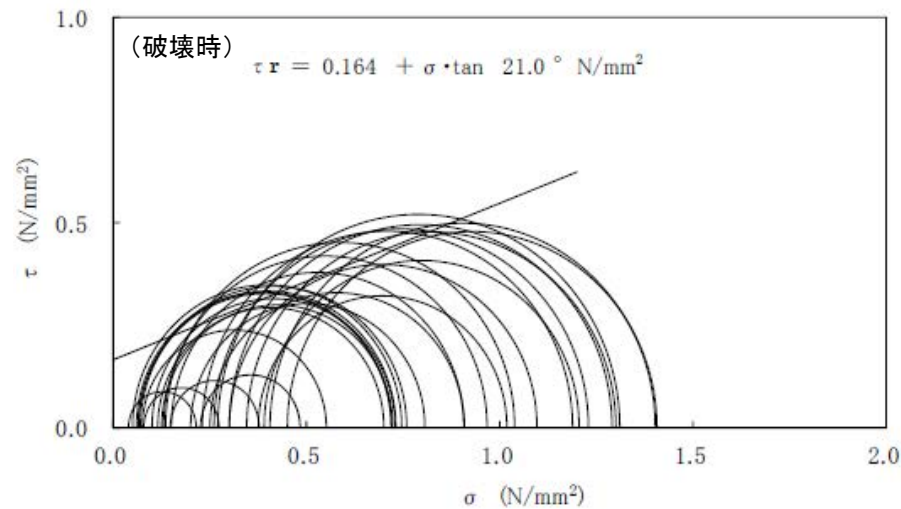
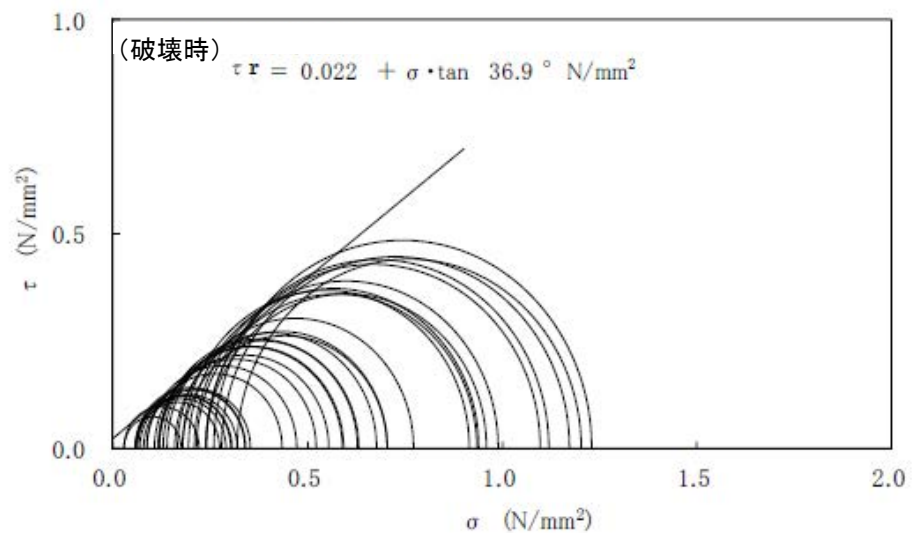


強度特性 (埋戻土)

強度特性 (Lm)



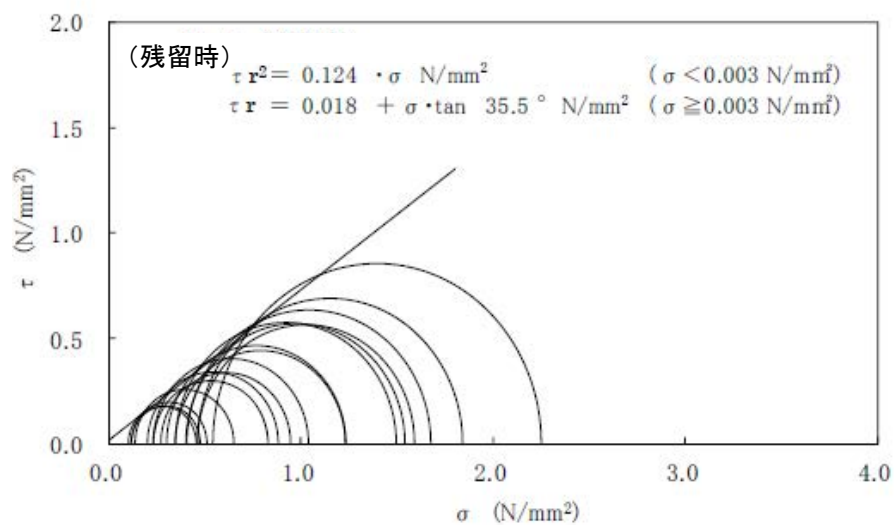
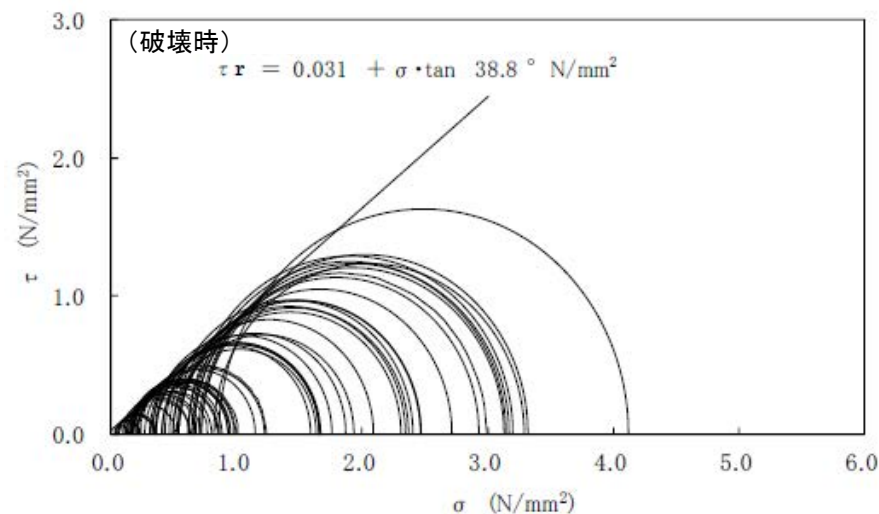
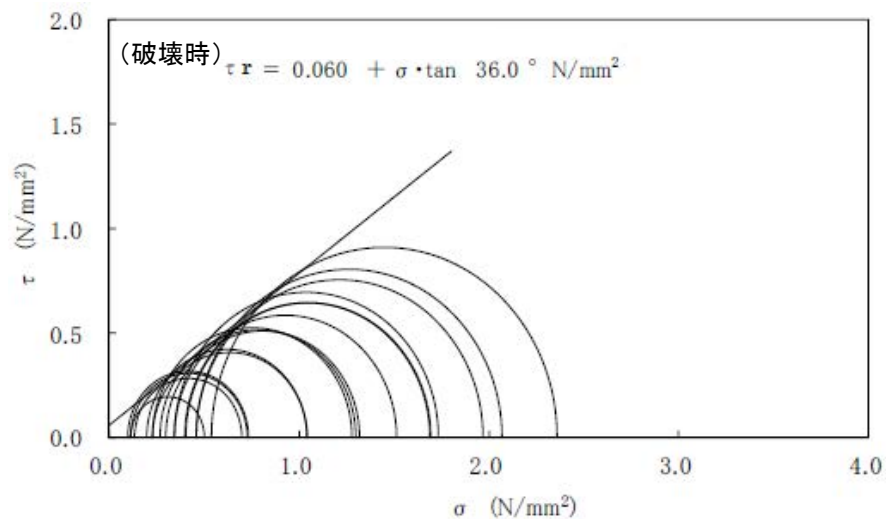
1 解析用物性値の設定(強度特性(Mu-S₁、Mu-C))



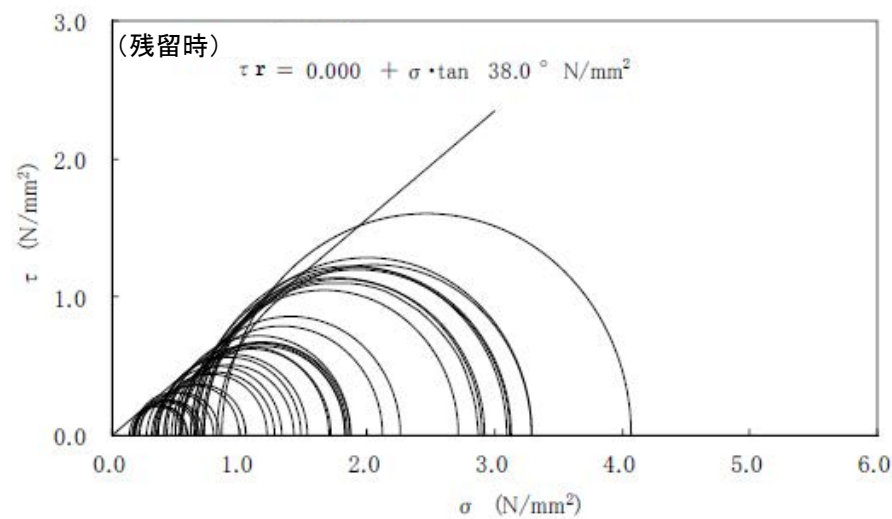
強度特性 (Mu-S₁)

強度特性 (Mu-C)

1 解析用物性値の設定(強度特性(Mu-S、Mu-S₂))

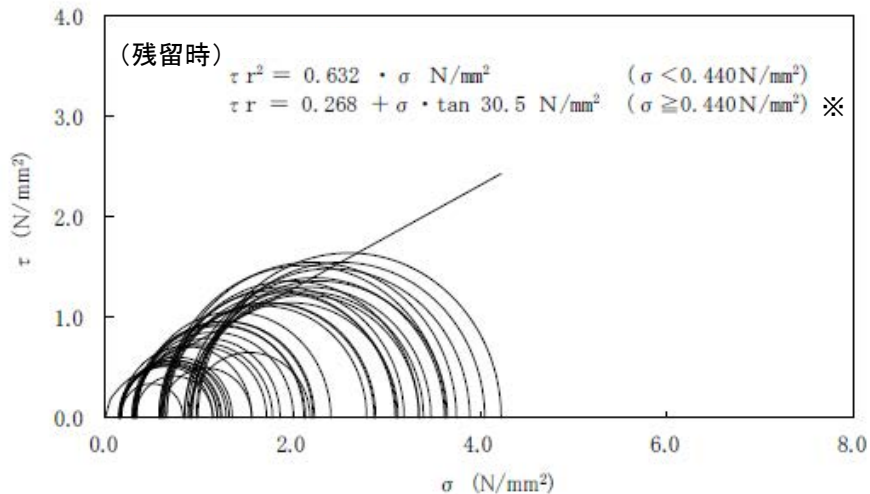
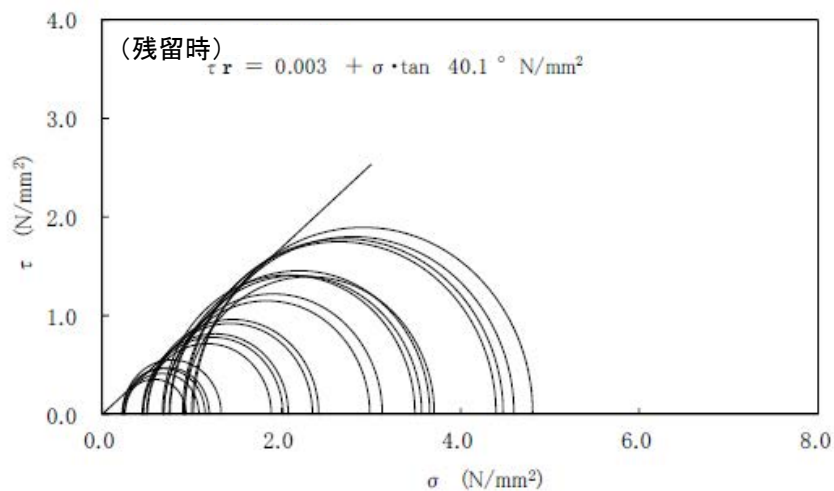
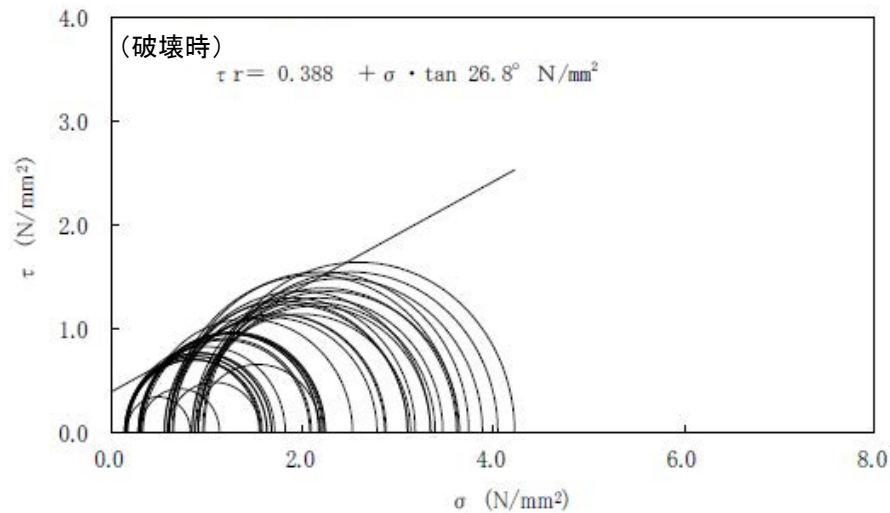
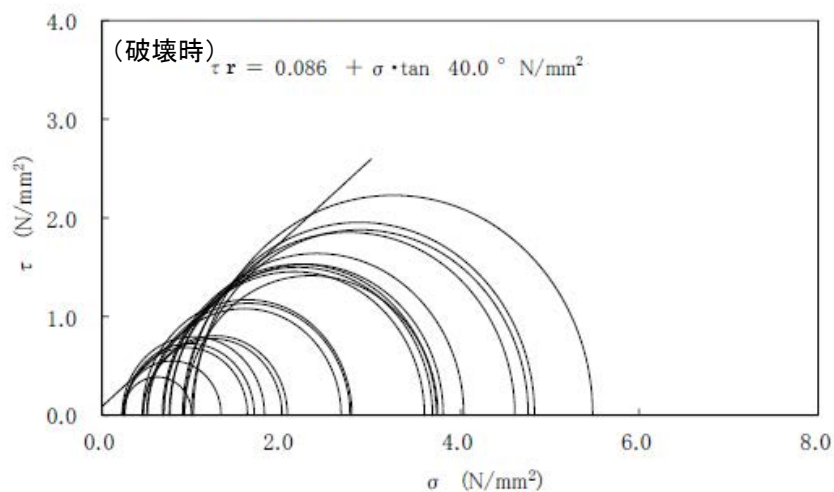


強度特性 (Mu-S)



強度特性 (Mu-S₂)

1 解析用物性値の設定(強度特性(Mm-Sg、Is-S₁))

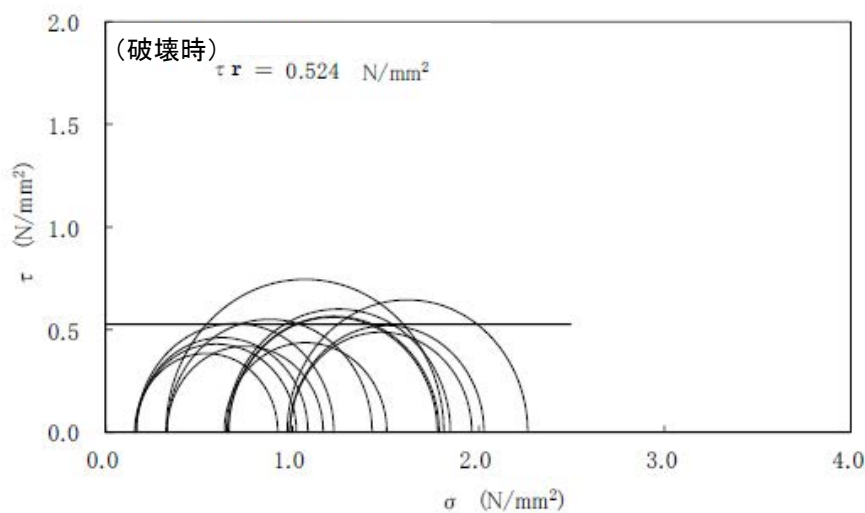


強度特性 (Mm-Sg)

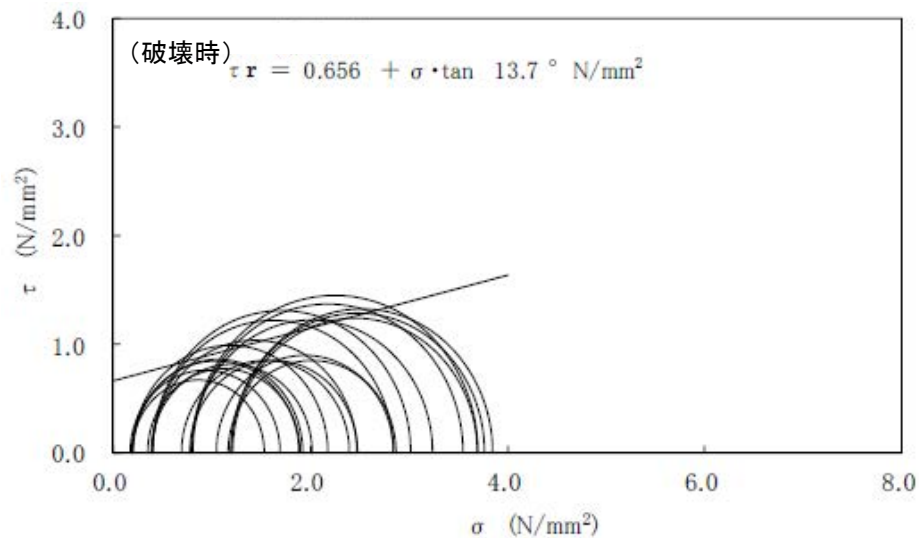
強度特性 (Is-S₁)

※部分的に残留強度がピーク強度を上回るため、σが0.243N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を27.0°に低減し、解析用物性値として用いる。

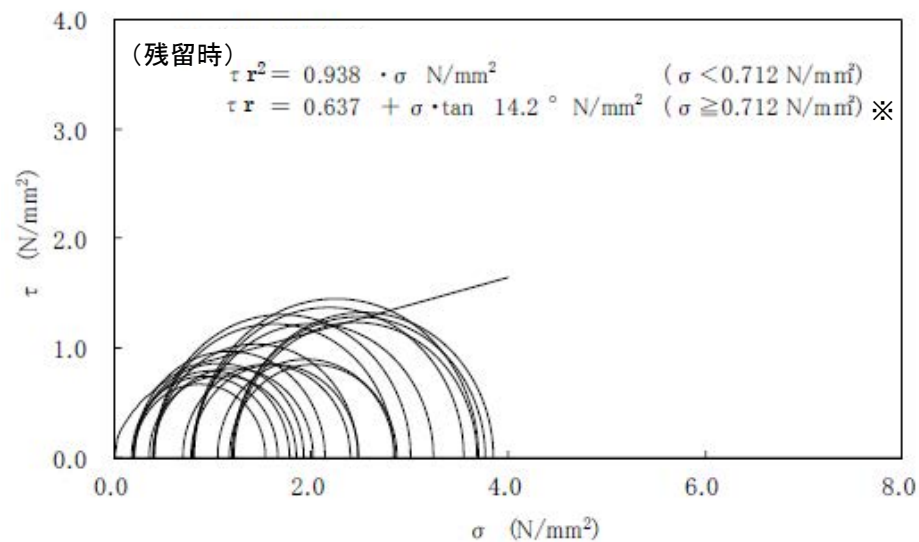
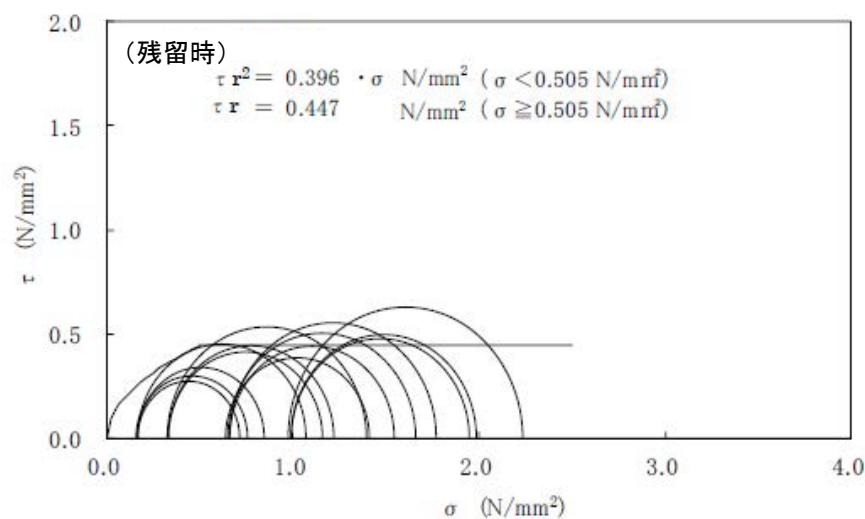
1 解析用物性値の設定(強度特性(Is-C、Is-S₂U))



強度特性 (Is-C)

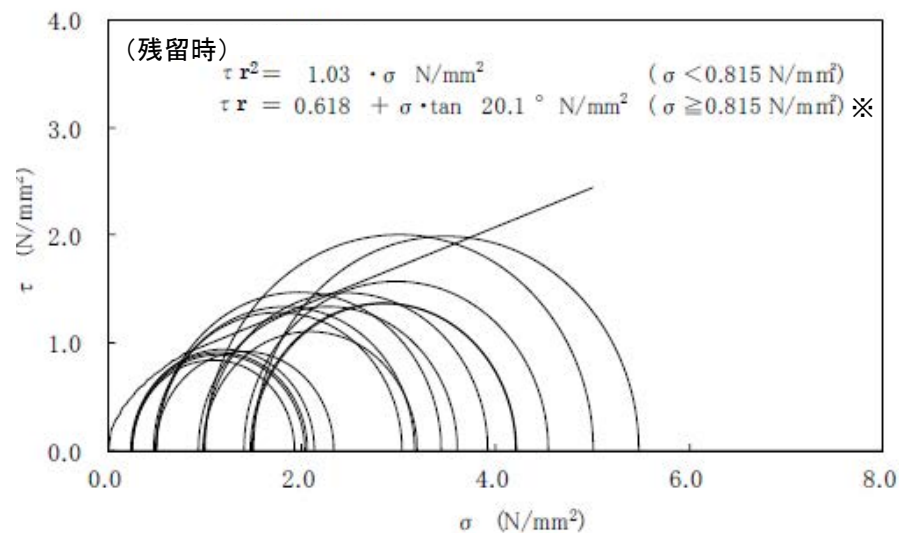
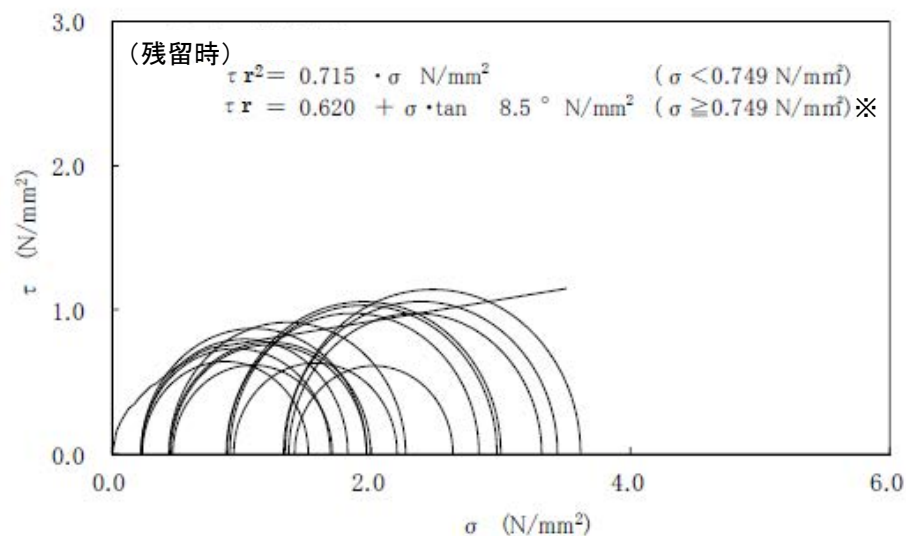
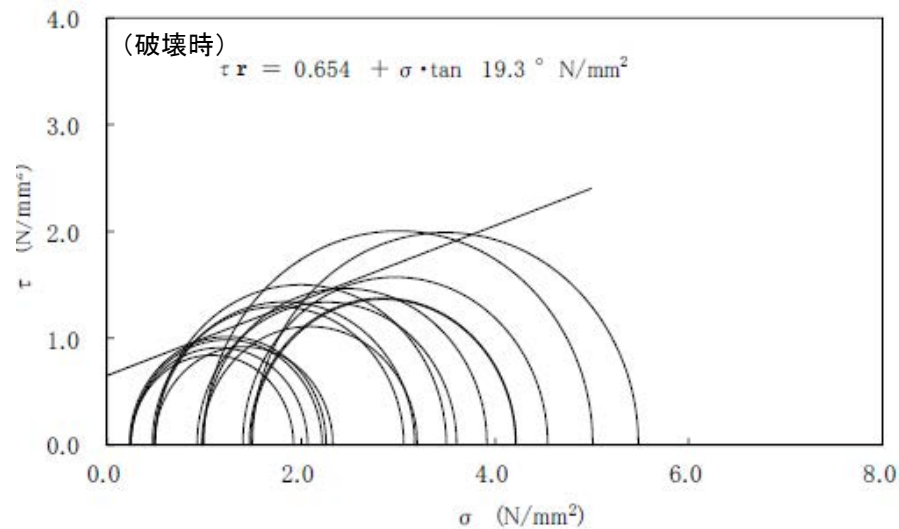
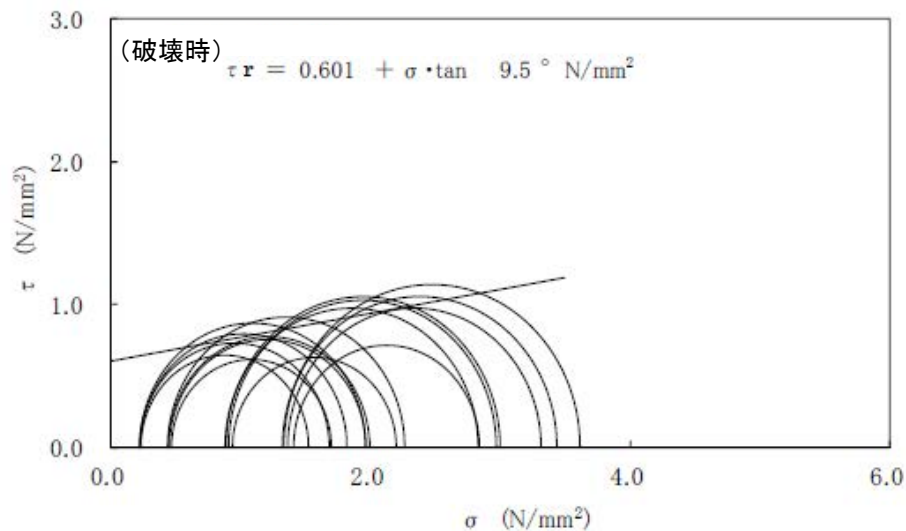


強度特性 (Is-S₂U)



※部分的に残留強度がピーク強度を上回るため、σが0.693N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を13.7°に低減し、解析用物性値として用いる。

1 解析用物性値の設定(強度特性(Is-Sc、Is-S₂L))



強度特性 (Is-Sc)

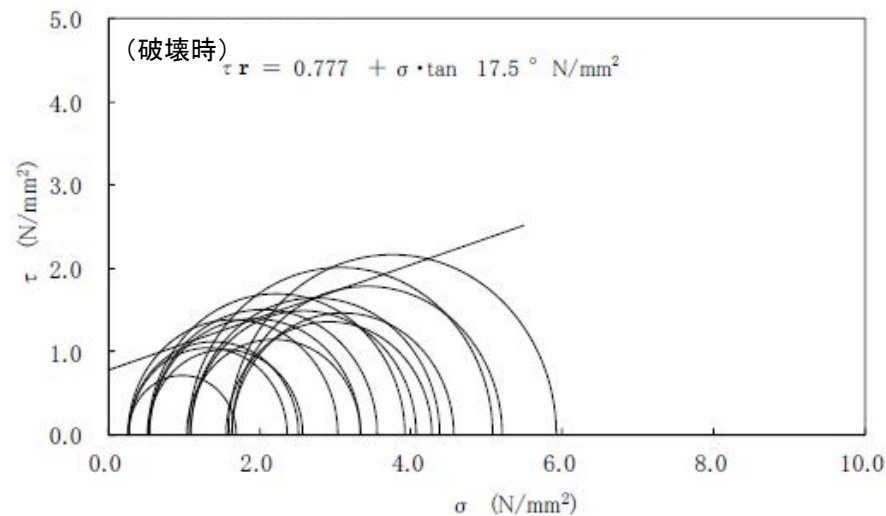
強度特性 (Is-S₂L)

※部分的に残留強度がピーク強度を上回るため、σが0.695N/mm²以上の時の残留強度の粘着力を0.601に低減し、解析用物性値として用いる。

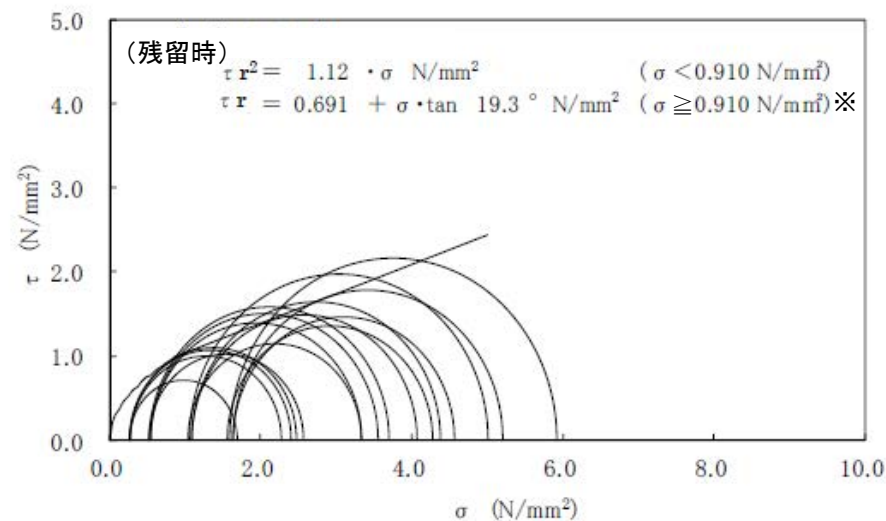
※部分的に残留強度がピーク強度を上回るため、σが0.757N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を19.3°に低減し、解析用物性値として用いる。

1 解析用物性値の設定(強度特性(Is-Sg、Is-S₃))

※ Is-Sgの強度特性にはIs-S₂Lの試験結果を引用する。



強度特性 (Is-Sg)

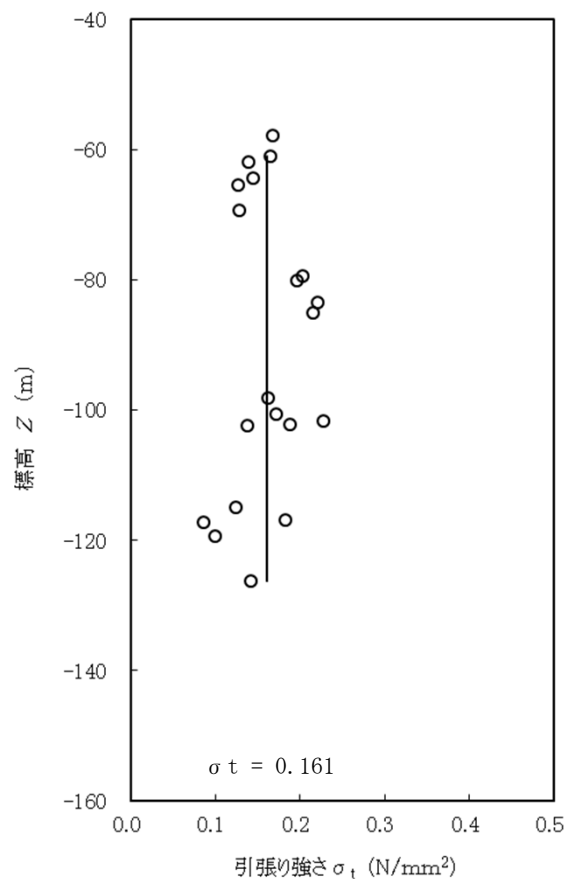


強度特性 (Is-S₃)

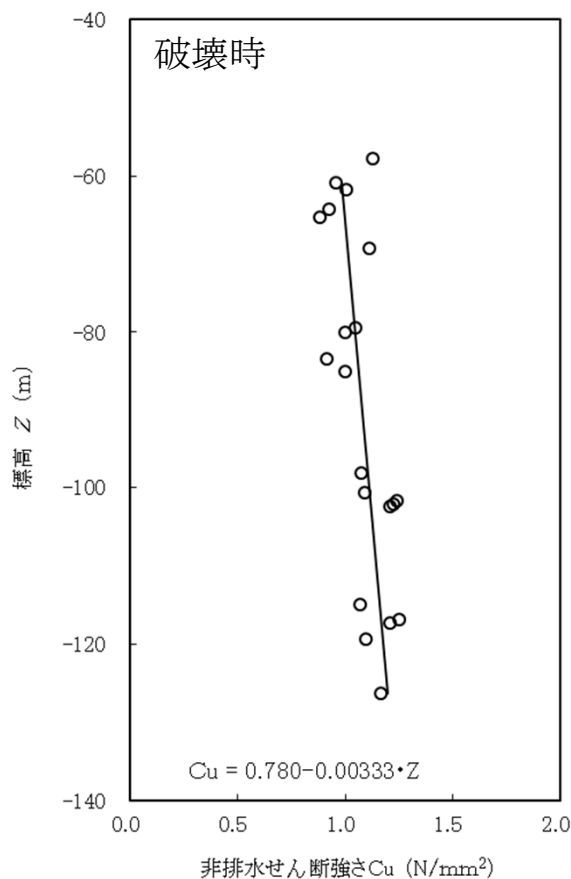
※部分的に残留強度がピーク強度を上回るため、σが0788. N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を17.5°に低減し、解析用物性値として用いる。

1 解析用物性値の設定(強度特性(Km、Ks))

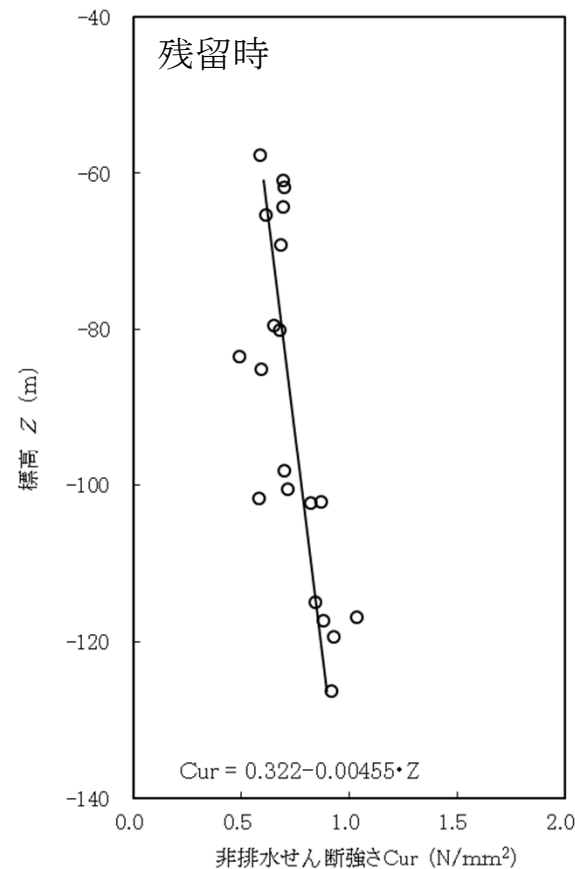
※ 標高との関係を近似式を用いて設定した。



引張強さ試験結果 (Km、Ks)



三軸圧縮試験による非排水せん断強さ (Km、Ks)



1 解析用物性値の設定(静的変形特性(1))

静弾性係数 (1)

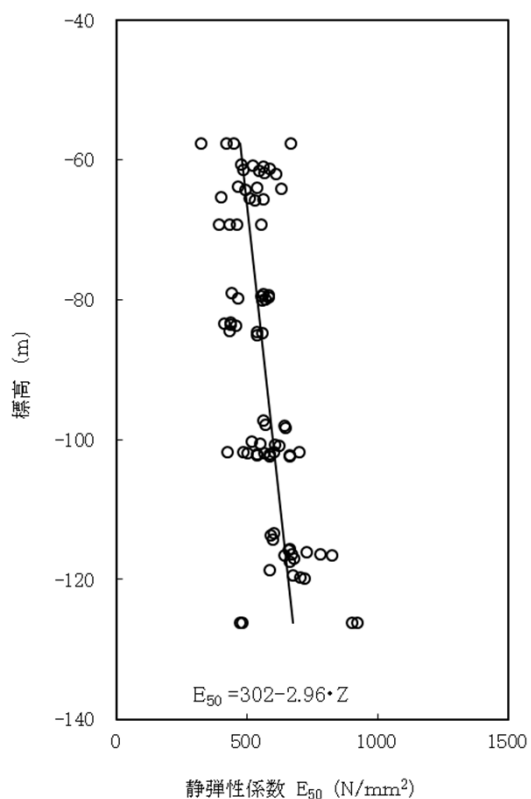
| 区 分 | | 静弾性係数 E_{50} | |
|-------------|---------------------|--------------------------|------|
| | | 平均値 (N/mm ²) | 試験個数 |
| 埋戻土 | B | 25.3 | 32 |
| M1段丘
堆積物 | Lm | 10.9 | 20 |
| | Mu-S ₁ | 37.2 | 32 |
| | Mu-C | 124 | 28 |
| | Mu-S | 59.9 | 16 |
| | Mu-S ₂ | 75.1 | 44 |
| 東茨城
層群 | Mm-Sg | 188 | 20 |
| | Is-S ₁ | 60.2 | 44 |
| | Is-C | 264 | 14 |
| | Is-S ₂ U | 114 | 20 |
| | Is-Sc | 228 | 16 |
| | Is-S ₂ L | 149 | 16 |
| | Is-Sg | 149 | 16 |
| | Is-S ₃ | 194 | 16 |

1 解析用物性値の設定(静的変形特性(2))

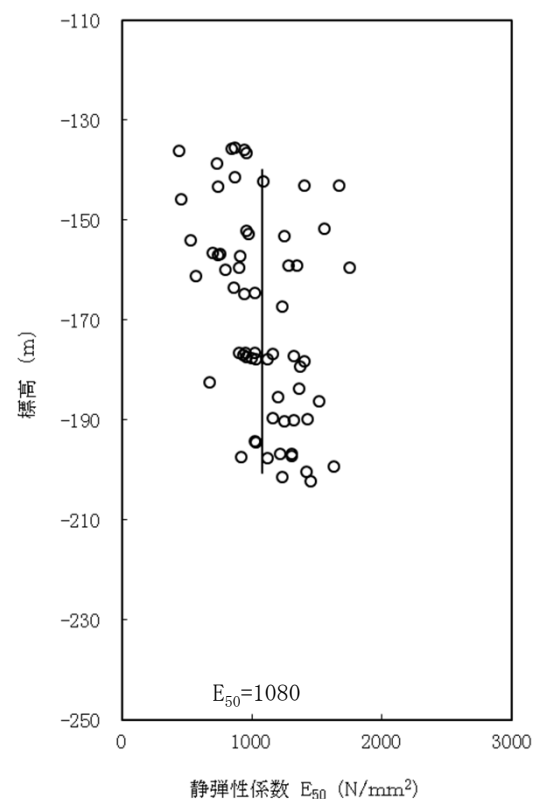
静弾性係数 (2)

| 区 分 | | 静弾性係数 E_{50} | |
|-----|-------|----------------------|------|
| | | 深度依存式 (N/mm^2) | 試験個数 |
| 久米層 | Km、Ks | $302 - 2.96 \cdot Z$ | 80 |
| 多賀層 | Tg | 1080 | 62 |

Z: 標高 (m)

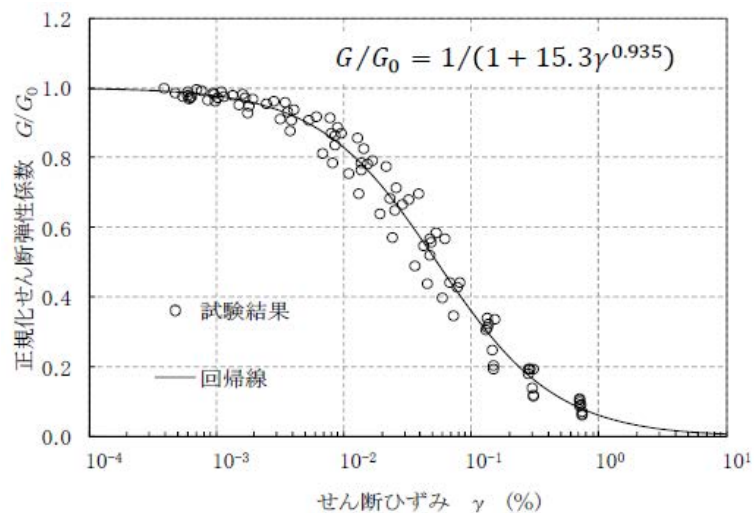


三軸圧縮試験による静弾性係数 (Km、Ks)

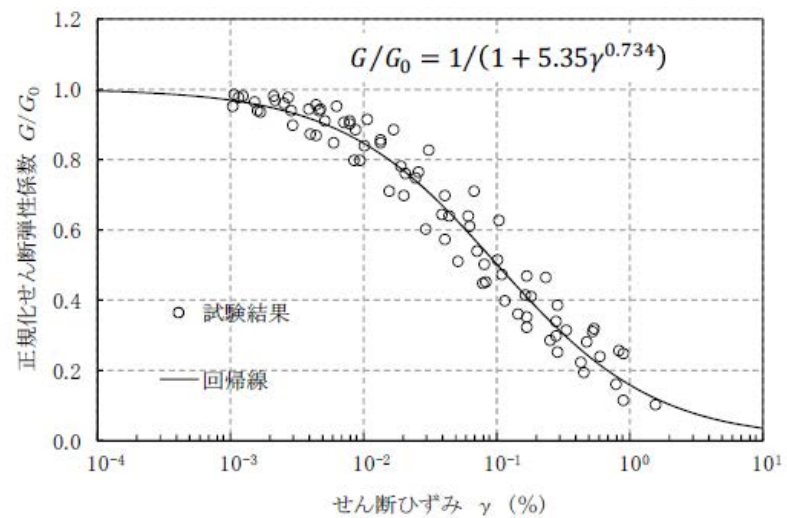


三軸圧縮試験による静弾性係数 (Tg)

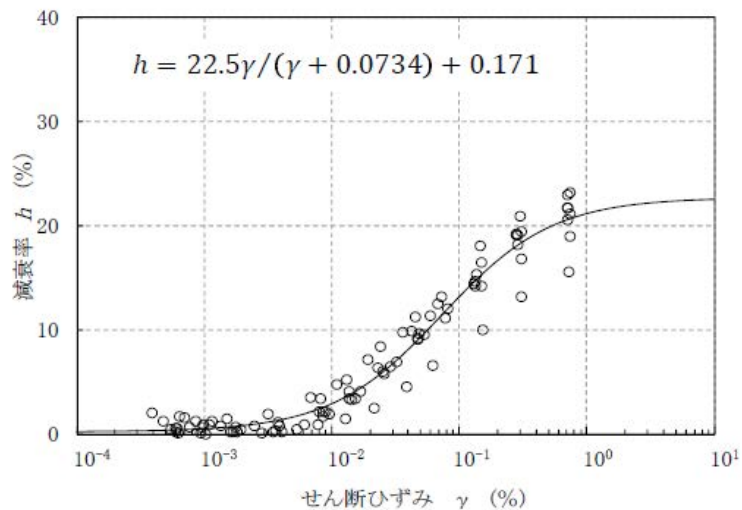
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(埋戻土、Lm))



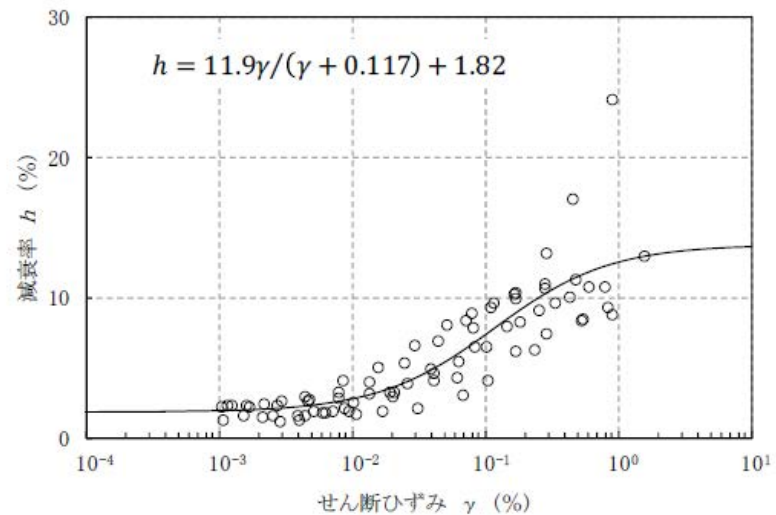
(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

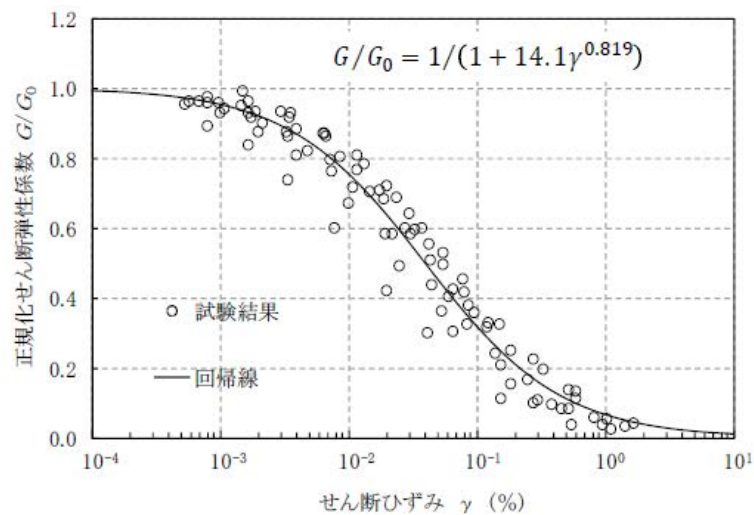


(b) 減衰率 h (%)

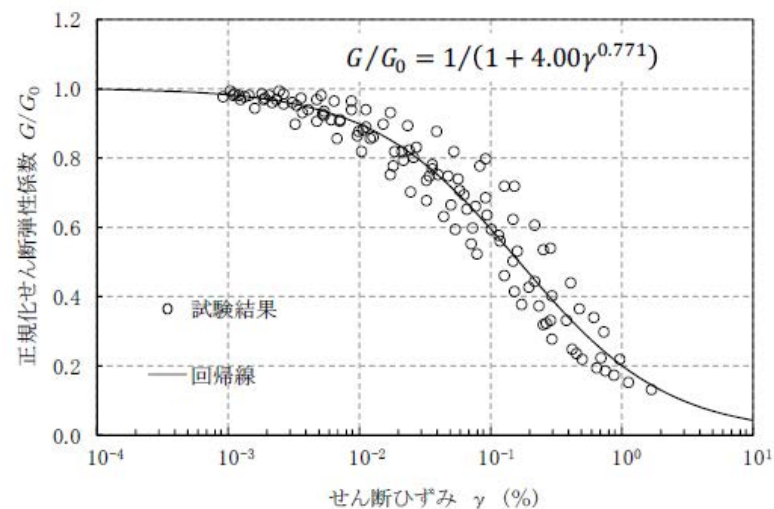


(b) 減衰率 h (%)

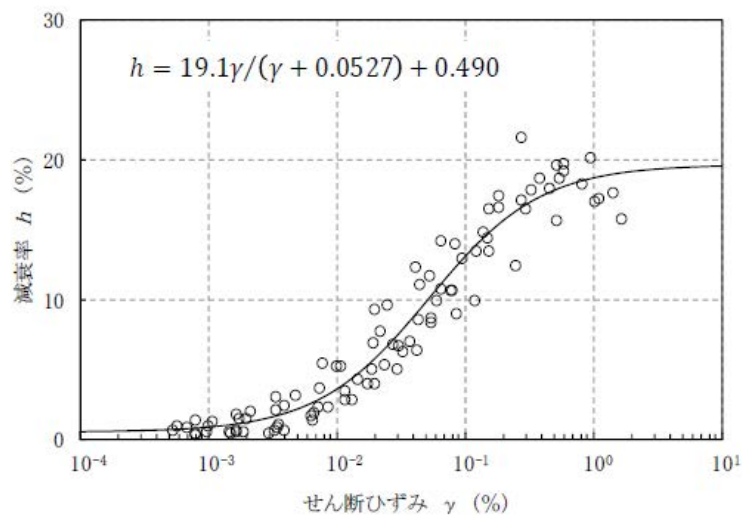
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Mu-S₁、Mu-C))



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

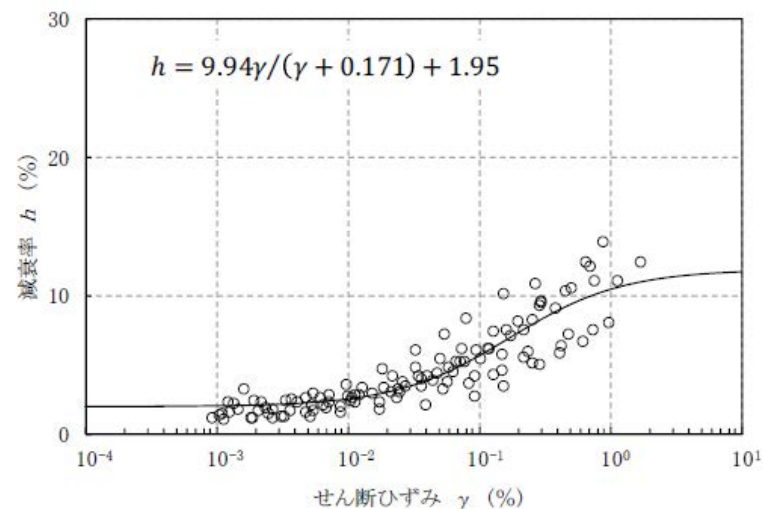


(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

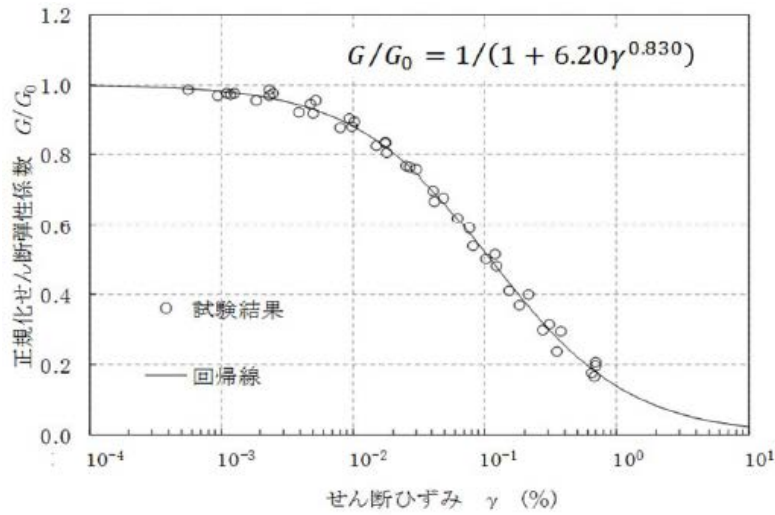
動的変形試験結果 (Mu-S₁)



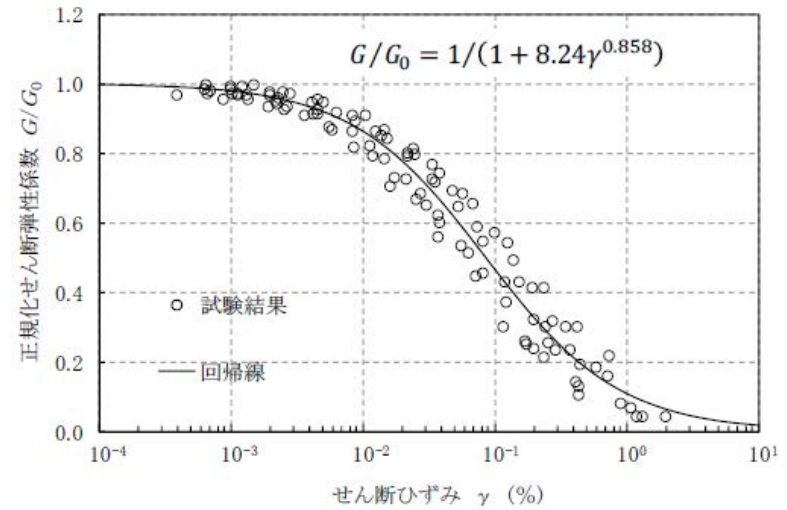
(b) 減衰率 h (%)

動的変形試験結果 (Mu-C)

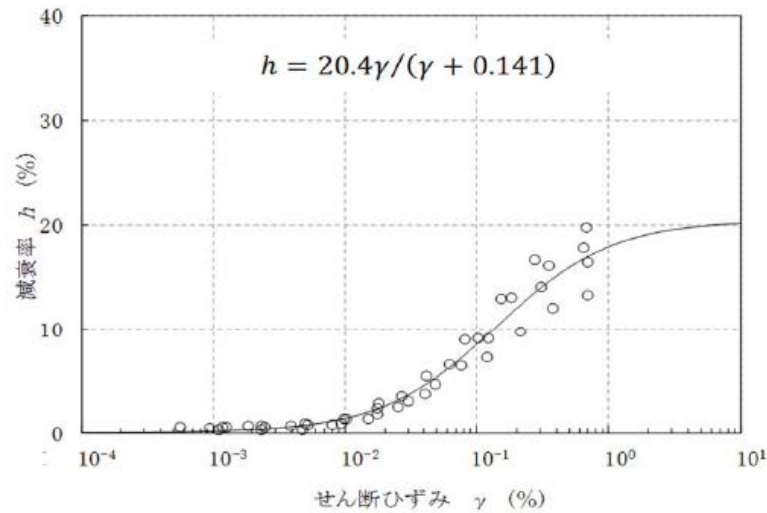
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Mu-S、Mu-S₂))



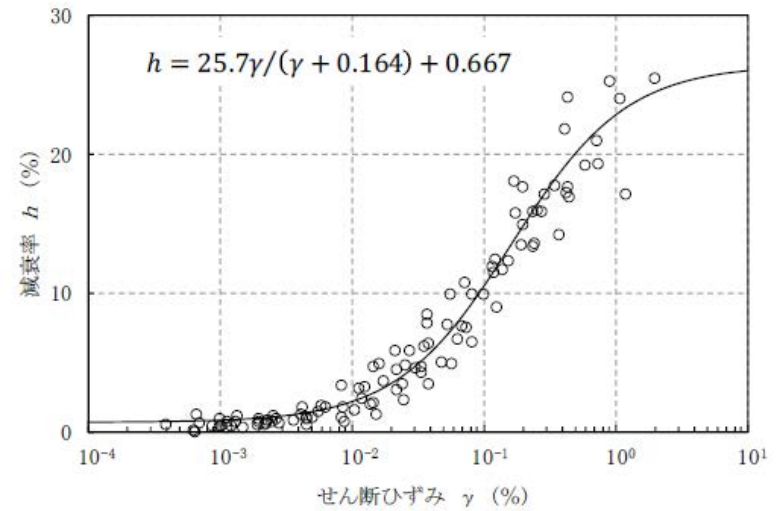
(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

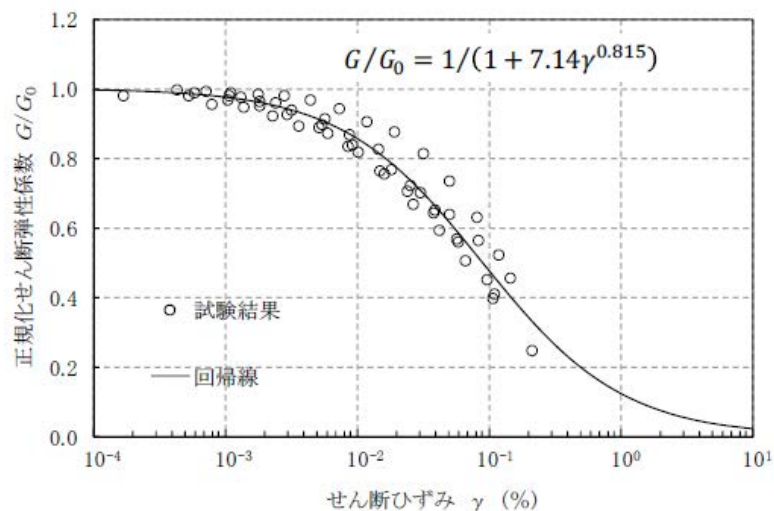


(b) 減衰率 h (%)

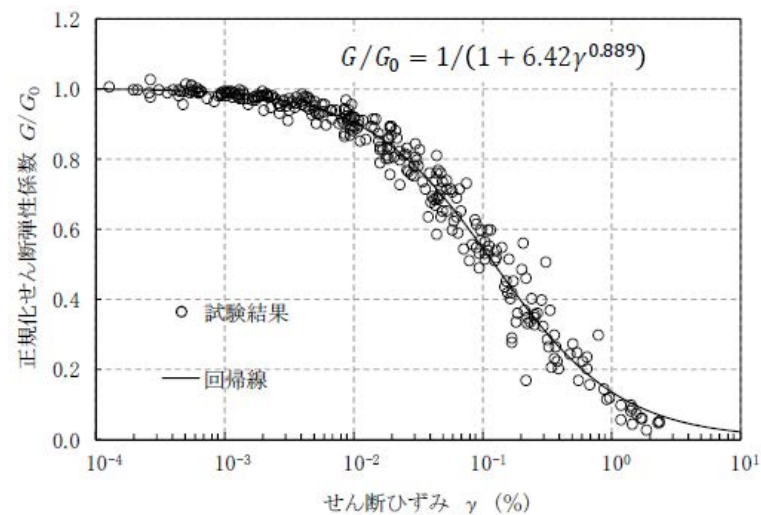


(b) 減衰率 h (%)

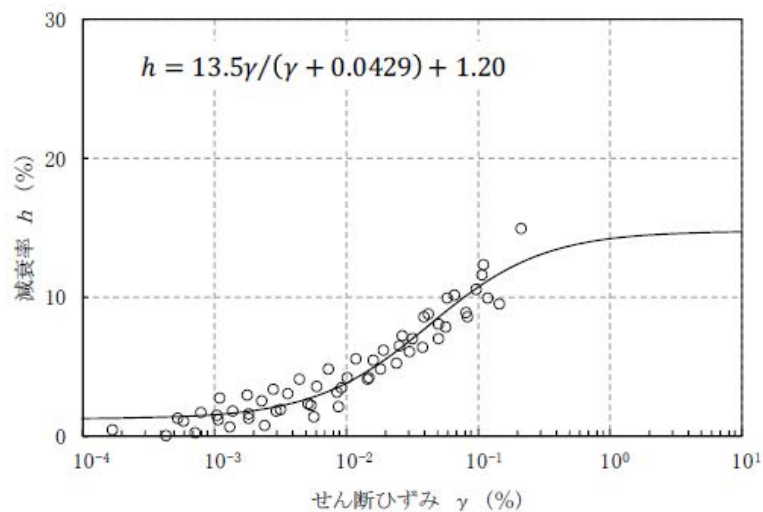
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Mm-Sg、Is-S₁))



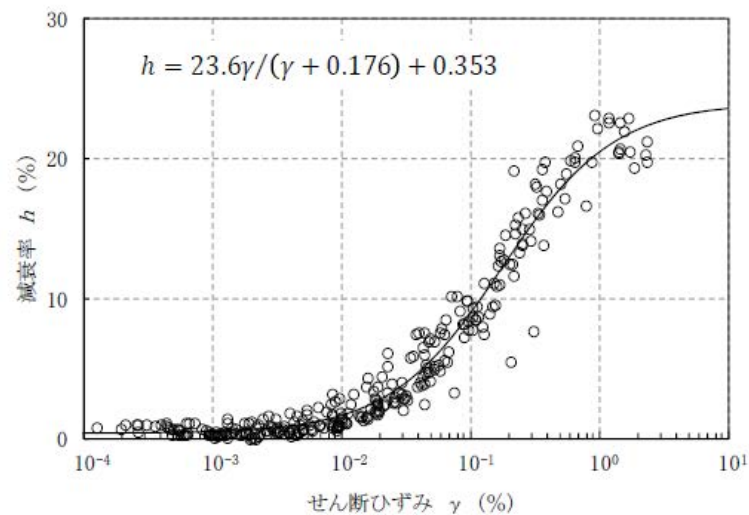
(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

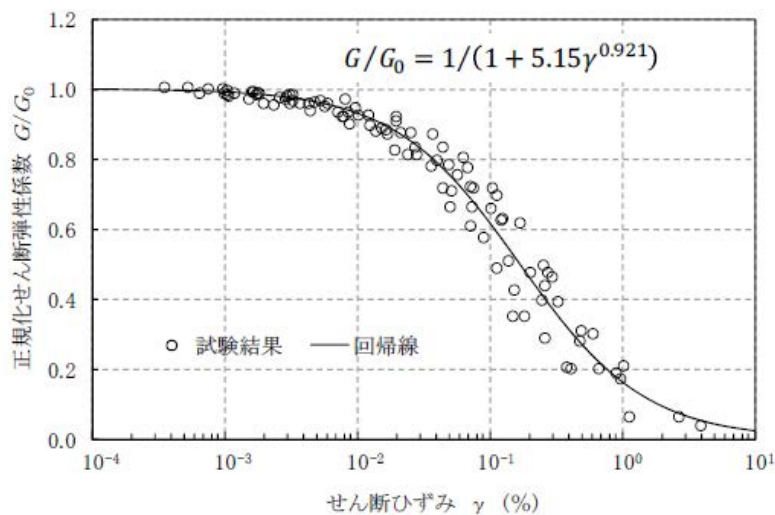


(b) 減衰率 h (%)

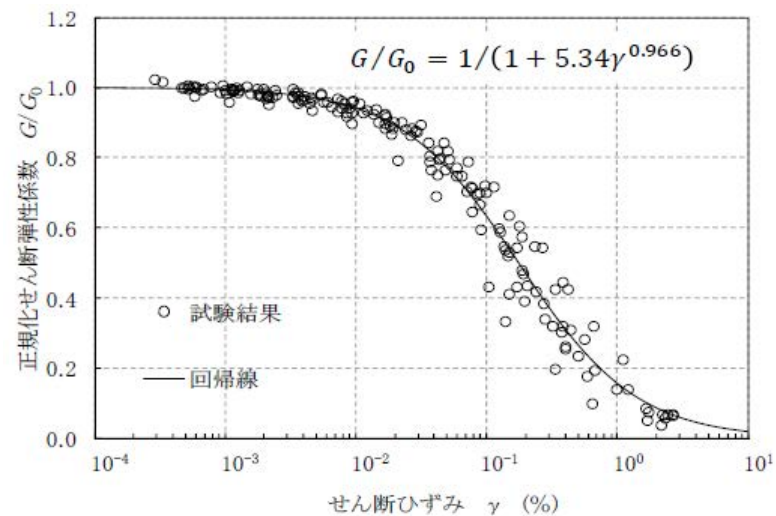


(b) 減衰率 h (%)

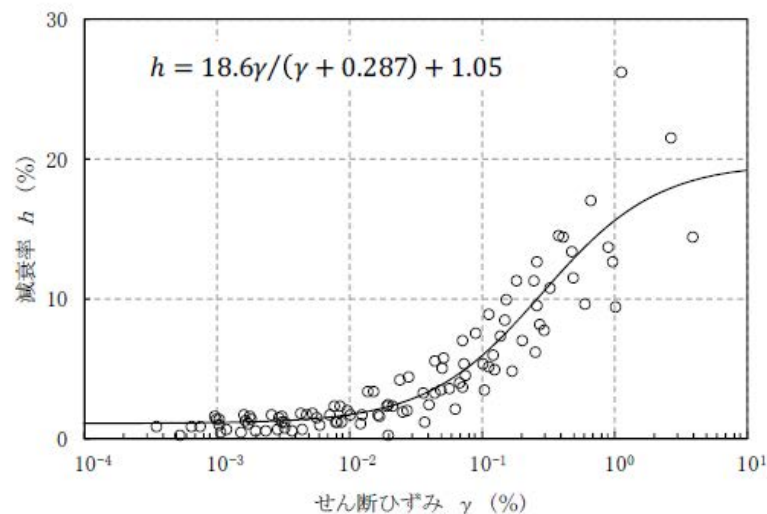
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Is-C、Is-S₂U))



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

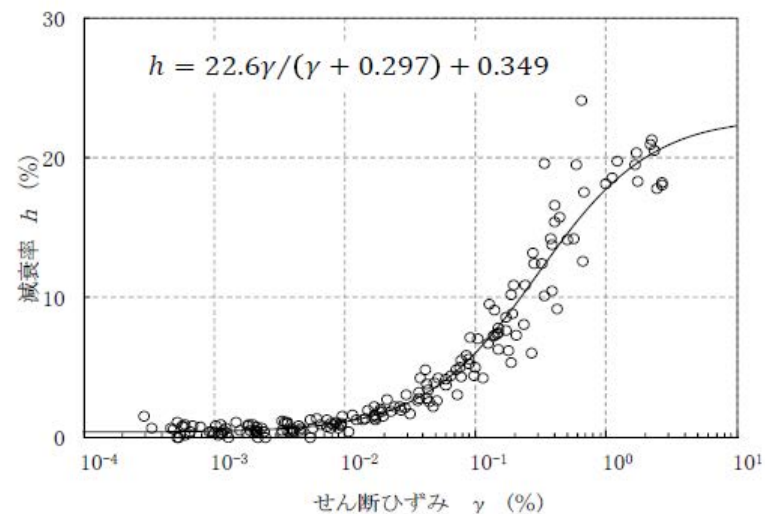


(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

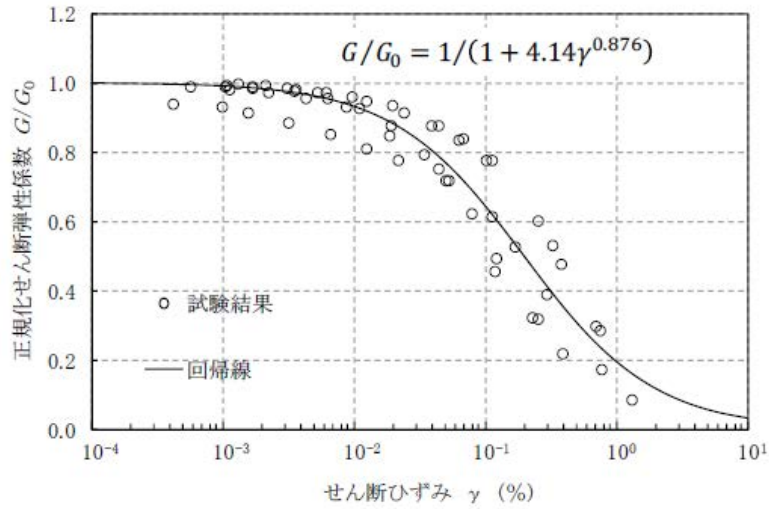
動的変形試験結果 (Is-C)



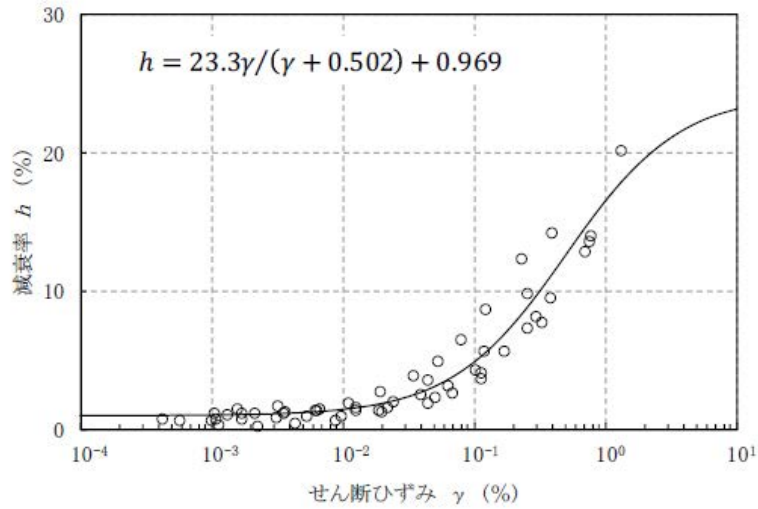
(b) 減衰率 h (%)

動的変形試験結果 (Is-S₂U)

1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Is-Sc、Is-S₂L))

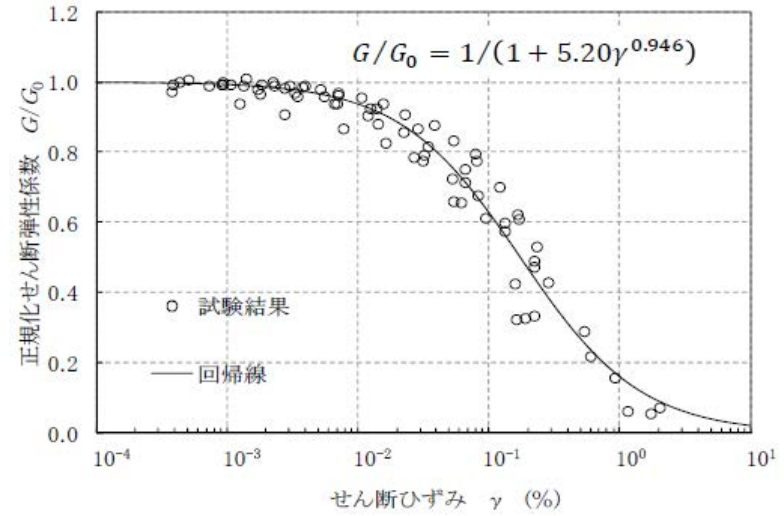


(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

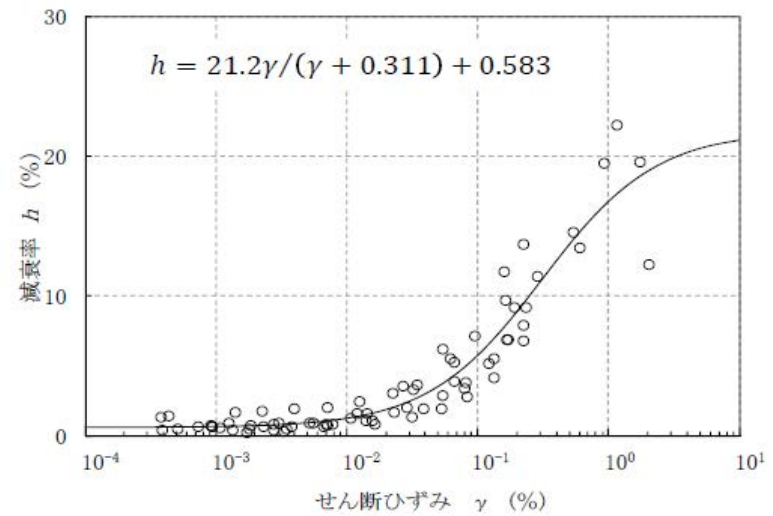


(b) 減衰率 h (%)

動的変形試験結果 (Is-Sc)



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

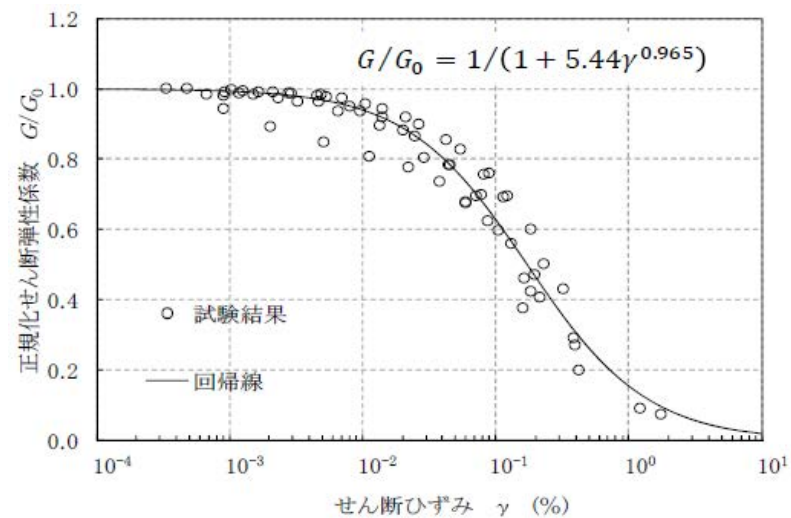


(b) 減衰率 h (%)

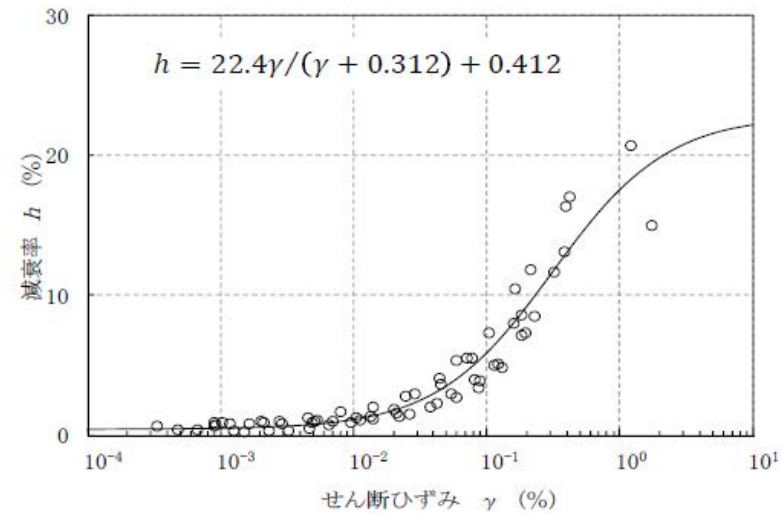
動的変形試験結果 (Is-S₂L)

1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Is-Sg、Is-S₃))

※ Is-Sgの動的変形特性には Is-S₂Lの試験結果を引用する。

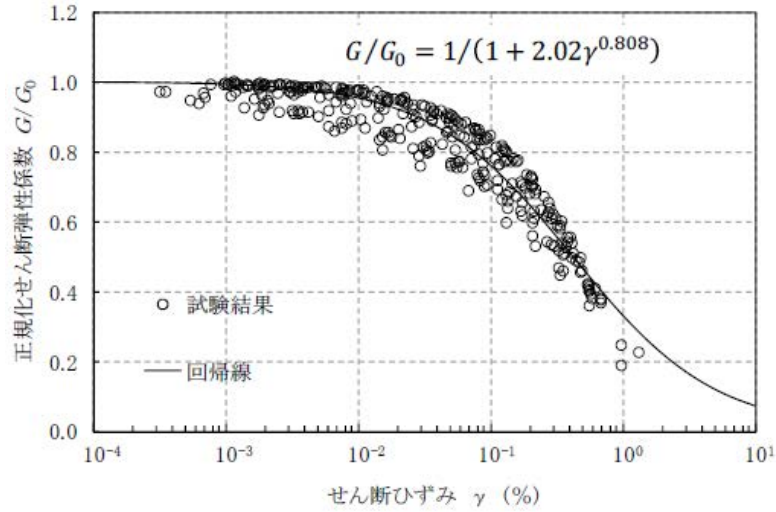


(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

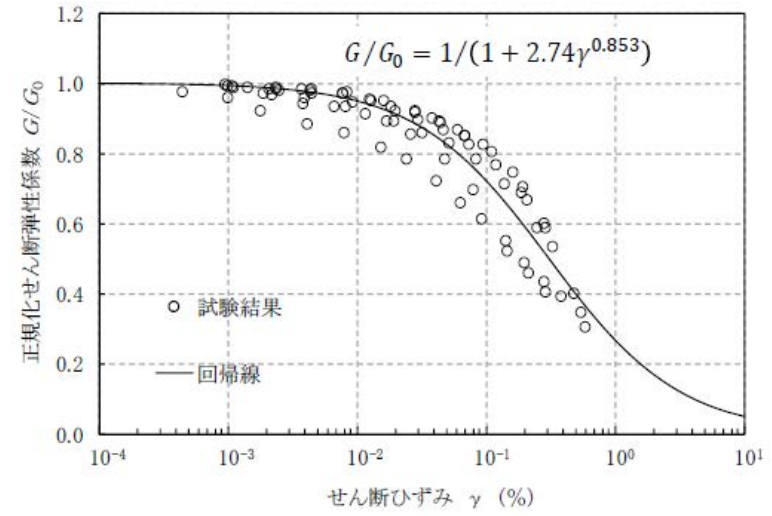


(b) 減衰率 h (%)

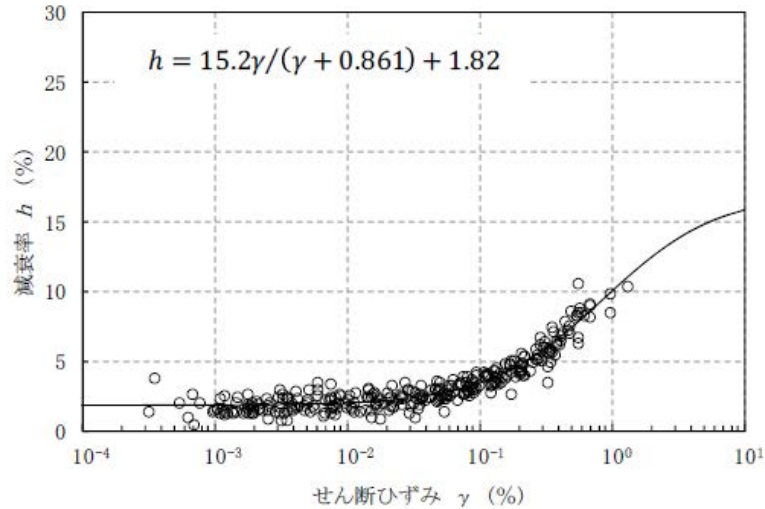
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Km、Ks))



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

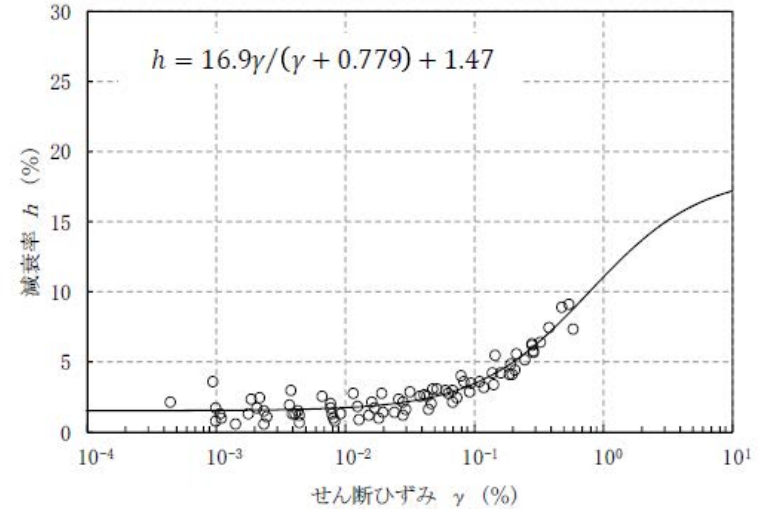


(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

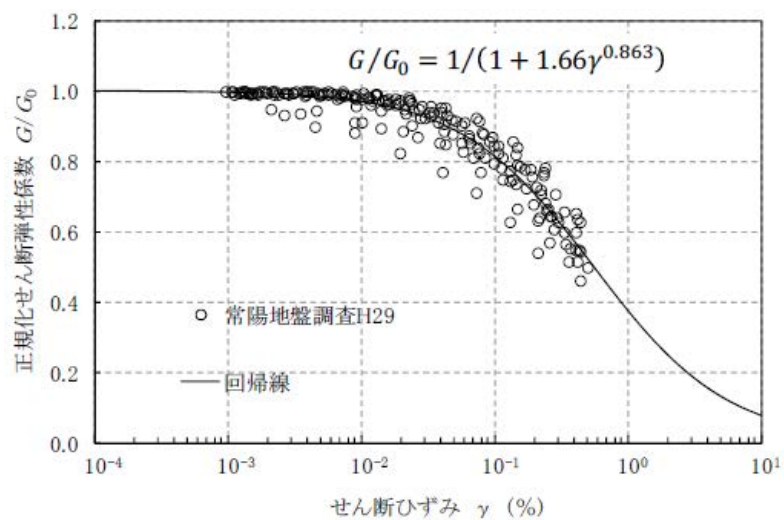
動的変形試験結果 (Km)



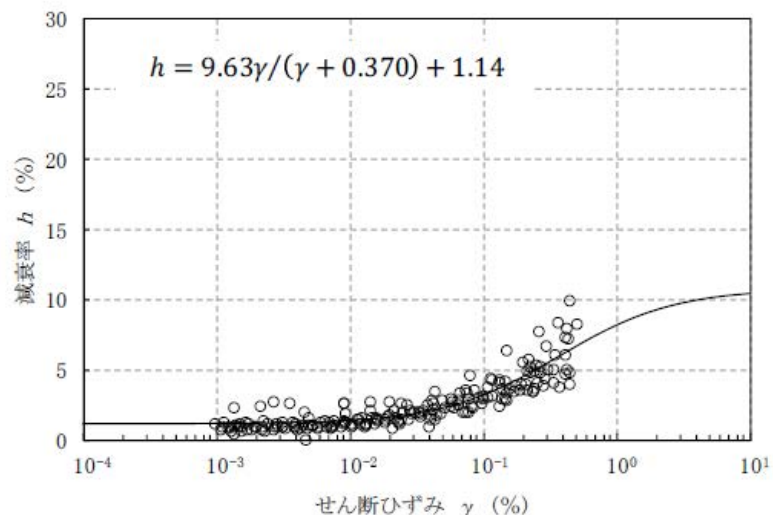
(b) 減衰率 h (%)

動的変形試験結果 (Ks)

1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Tg))



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

動的変形試験結果 (Tg)



参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 すべり安全率に関する検討**
- 3 接地圧に関する参考資料
- 4 傾斜に関する参考資料
- 5 地殻変動による影響評価
- 6 すべり線の選定に関する検討
- 7 すべり安全率に関する影響検討
- 8 液状化に関する検討

2 すべり安全率に関する検討(1) すべり安全率一覧

想定すべり線形状：基礎底面のすべり（立ち上がり角度60°）

| A-A' 断面 | | B-B' 断面 | | C-C' 断面 | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 地震動※1 | すべり安全率※2 | 地震動※1 | すべり安全率※2 | 地震動※1 | すべり安全率※2※3 |
| Ss-D
(+, -) | 3.1
[46.62] | Ss-D
(+, -) | 4.1
[46.62] | Ss-D
(+, -) | 2.9
[46.64] |
| Ss-1
(+, +) | 3.7
[6.77] | Ss-1
(+, +) | 7.1
[7.03] | Ss-1
(+, +) | 4.0
[7.08] |
| Ss-2
(+, +) | 3.4
[8.03] | Ss-2
(+, +) | 7.2
[7.85] | Ss-2
(+, +) | 3.9
[7.87] |
| Ss-3
(+, +) | 3.9
[14.46] | Ss-3
(+, +) | 5.6
[10.96] | Ss-3
(+, +) | 3.5
[11.00] |
| Ss-4
(+, +) | 4.1
[8.44] | Ss-4
(+, +) | 7.4
[8.87] | Ss-4
(+, +) | 4.9
[8.90] |
| Ss-5
(+, +) | 5.0
[64.19] | Ss-5
(+, +) | 7.8
[66.90] | Ss-5
(+, +) | 4.6
[66.92] |

※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 すべり安全率は抑止杭による抵抗力を考慮した値を示す。

2 すべり安全率に関する検討(2) すべり安全率一覧

想定すべり線形状：基礎底面のすべり（立ち上がり角度45°）

| A-A' 断面 | | B-B' 断面 | | C-C' 断面 | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 地震動※1 | すべり安全率※2 | 地震動※1 | すべり安全率※2 | 地震動※1 | すべり安全率※2※3 |
| Ss-D
(+, -) | 2.8
[46.63] | Ss-D
(+, -) | 3.1
[46.65] | Ss-D
(+, -) | 2.7
[46.64] |
| Ss-1
(+, +) | 3.4
[6.77] | Ss-1
(+, +) | 5.5
[7.04] | Ss-1
(+, +) | 3.6
[7.08] |
| Ss-2
(+, +) | 3.1
[8.03] | Ss-2
(+, +) | 5.2
[7.86] | Ss-2
(+, +) | 3.8
[7.87] |
| Ss-3
(+, +) | 3.6
[14.47] | Ss-3
(+, +) | 4.7
[10.98] | Ss-3
(+, +) | 3.4
[11.00] |
| Ss-4
(+, +) | 3.7
[8.45] | Ss-4
(+, +) | 6.1
[8.88] | Ss-4
(+, +) | 4.6
[8.90] |
| Ss-5
(+, +) | 4.5
[64.19] | Ss-5
(+, +) | 6.1
[66.91] | Ss-5
(+, +) | 4.4
[66.92] |

※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 すべり安全率は抑止杭による抵抗力を考慮した値を示す。

2 すべり安全率に関する検討(3) すべり安全率一覧

想定すべり線形状：基礎底面のすべり（立ち上がり角度30°）

| A-A' 断面 | | B-B' 断面 | | C-C' 断面 | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 地震動※1 | すべり安全率※2 | 地震動※1 | すべり安全率※2 | 地震動※1 | すべり安全率※2※3 |
| Ss-D
(+, -) | 2.5
[46.64] | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.66] | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.65] |
| Ss-1
(+, +) | 2.8
[6.67] | Ss-1
(+, +) | 3.8
[7.07] | Ss-1
(+, +) | 3.1
[7.08] |
| Ss-2
(+, +) | 2.8
[8.04] | Ss-2
(+, +) | 3.9
[7.88] | Ss-2
(+, +) | 3.5
[7.87] |
| Ss-3
(+, +) | 3.2
[14.47] | Ss-3
(+, +) | 3.8
[11.01] | Ss-3
(+, +) | 3.1
[11.01] |
| Ss-4
(+, +) | 3.2
[8.46] | Ss-4
(+, +) | 4.5
[8.95] | Ss-4
(+, +) | 4.2
[8.91] |
| Ss-5
(+, +) | 3.8
[72.41] | Ss-5
(+, +) | 4.6
[66.92] | Ss-5
(+, +) | 3.9
[66.93] |

※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 すべり安全率は抑止杭による抵抗力を考慮した値を示す。

2 すべり安全率に関する検討(4) すべり安全率一覧

想定すべり線形状：基礎底面のすべり（立ち上がり角度25°）

| A-A' 断面 | | B-B' 断面 | | C-C' 断面 | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 地震動※1 | すべり安全率※2 | 地震動※1 | すべり安全率※2 | 地震動※1 | すべり安全率※2※3 |
| Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.64] | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.67] | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.65] |
| Ss-1
(+, +) | 2.6
[6.68] | Ss-1
(+, +) | 3.2
[7.07] | Ss-1
(+, +) | 2.9
[7.08] |
| Ss-2
(+, +) | 2.7
[8.04] | Ss-2
(+, +) | 3.7
[7.88] | Ss-2
(+, +) | 3.3
[7.88] |
| Ss-3
(+, +) | 3.0
[14.47] | Ss-3
(+, +) | 3.6
[11.02] | Ss-3
(+, +) | 3.0
[11.01] |
| Ss-4
(+, +) | 3.0
[8.47] | Ss-4
(+, +) | 4.0
[8.95] | Ss-4
(+, +) | 3.9
[8.91] |
| Ss-5
(+, +) | 3.6
[72.42] | Ss-5
(+, +) | 4.1
[66.92] | Ss-5
(+, +) | 3.7
[66.93] |

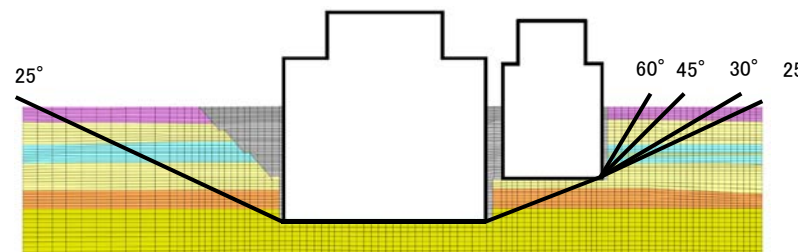
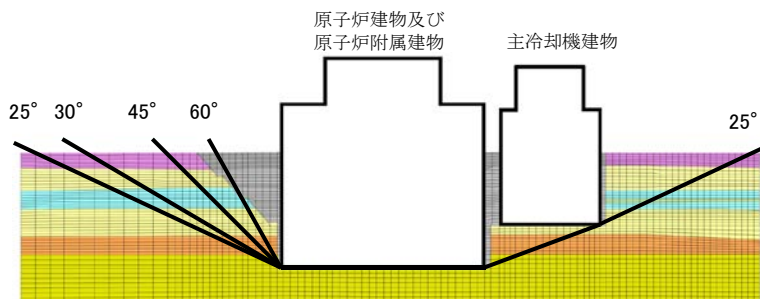
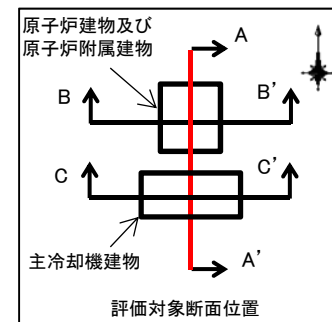
※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転

※2 [] は発生時刻 (秒)

※3 すべり安全率は抑止杭による抵抗力を考慮した値を示す。

2 すべり安全率に関する検討(5) すべり線の立ち上がり角度の組み合わせ(A-A'断面)

A-A'断面においてすべり安全率が最小となるすべり線(すべり線の立ち上がり角度25°、25°)について、すべり線の立ち上がり角度の組み合わせを検討した結果、すべり安全率は25°、25°のケースが最小となっている。



想定すべり線形状：基礎底面のすべり

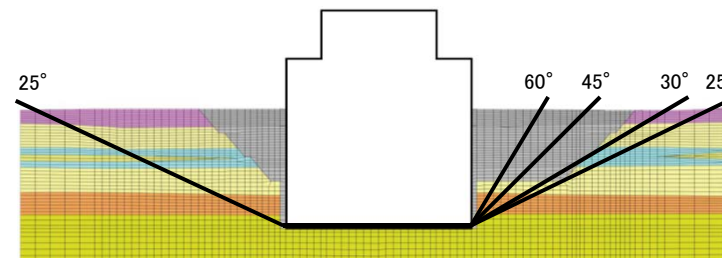
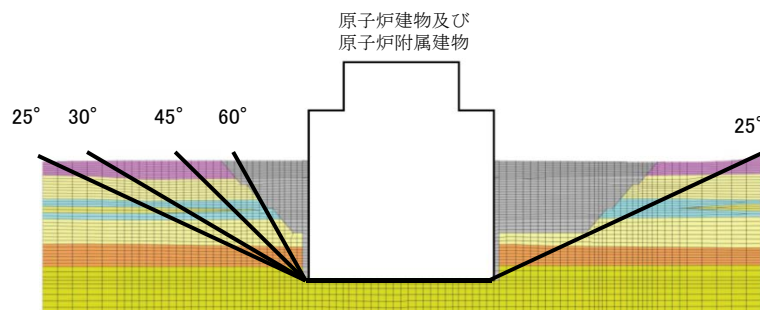
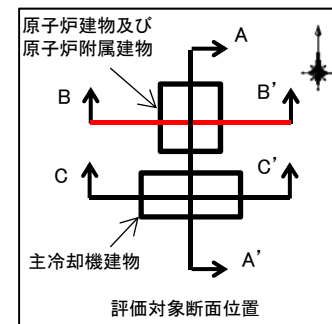
| A-A' 断面 | | |
|--------------|----------------|----------------|
| すべり線の立ち上がり角度 | 地震動※1 | すべり安全率※2 |
| 60°、25° | Ss-D
(+, -) | 3.0
[46.63] |
| 45°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.7
[46.63] |
| 30°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.5
[46.64] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.64] |

| A-A' 断面 | | |
|--------------|----------------|-----------------|
| すべり線の立ち上がり角度 | 地震動※1 | すべり安全率※2 |
| 25°、60° | Ss-D
(+, -) | 2.48
[46.63] |
| 25°、45° | Ss-D
(+, -) | 2.48
[46.64] |
| 25°、30° | Ss-D
(+, -) | 2.44
[46.64] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.42
[46.64] |

※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)

2 すべり安全率に関する検討(6) すべり線の立ち上がり角度の組み合わせ(B-B' 断面)

B-B' 断面においてすべり安全率が最小となるすべり線（すべり線の立ち上がり角度25°、25°）について、すべり線の立ち上がり角度の組み合わせを検討した結果、すべり安全率は25°、25°のケースが最小となっている。



想定すべり線形状：基礎底面のすべり

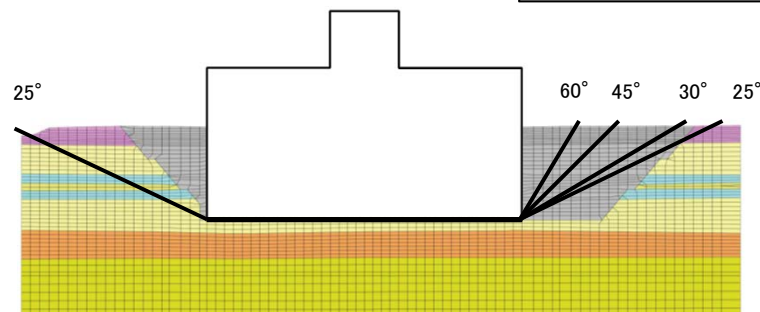
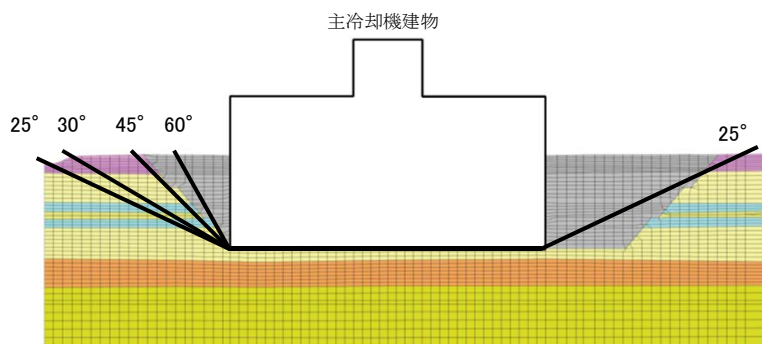
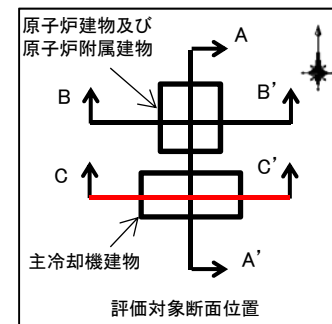
| B-B' 断面 | | |
|--------------|----------------|----------------|
| すべり線の立ち上がり角度 | 地震動※1 | すべり安全率※2 |
| 60°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.7
[22.82] |
| 45°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.6
[46.66] |
| 30°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.67] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.67] |

| B-B' 断面 | | |
|--------------|----------------|----------------|
| すべり線の立ち上がり角度 | 地震動※1 | すべり安全率※2 |
| 25°、60° | Ss-D
(+, -) | 2.5
[46.66] |
| 25°、45° | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.66] |
| 25°、30° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.66] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.67] |

※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)

2 すべり安全率に関する検討(7) すべり線の立ち上がり角度の組み合わせ(C-C' 断面)

C-C' 断面においてすべり安全率が最小となるすべり線（すべり線の立ち上がり角度25°、25°）について、すべり線の立ち上がり角度の組み合わせを検討した結果、すべり安全率は25°、25°のケースが最小となっている。



想定すべり線形状：基礎底面のすべり

| C-C' 断面 | | |
|--------------|----------------|----------------|
| すべり線の立ち上がり角度 | 地震動※1 | すべり安全率※2 |
| 60°、25° | Ss-D
(-, -) | 2.7
[46.64] |
| 45°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.6
[46.65] |
| 30°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.65] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.65] |

| C-C' 断面 | | |
|--------------|----------------|-----------------|
| すべり線の立ち上がり角度 | 地震動※1 | すべり安全率※2 |
| 25°、60° | Ss-D
(+, -) | 2.46
[46.64] |
| 25°、45° | Ss-D
(+, -) | 2.47
[46.65] |
| 25°、30° | Ss-D
(+, -) | 2.40
[46.65] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.65] |

※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)、すべり安全率は抑止杭による抵抗力を考慮した値を示す。



参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 すべり安全率に関する検討
- 3 接地圧に関する参考資料**
- 4 傾斜に関する参考資料
- 5 地殻変動による影響評価
- 6 すべり線の選定に関する検討
- 7 すべり安全率に関する影響検討
- 8 液状化に関する検討

3 接地圧に関する参考資料(平板載荷試験結果)

基礎地盤（東茨城層群 (Is-S₁)、M1段丘堆積物 (Mu-S₂)）における平板載荷試験の結果から、接地圧の評価基準値をそれぞれ2.94N/mm²、2.69N/mm²と設定した。

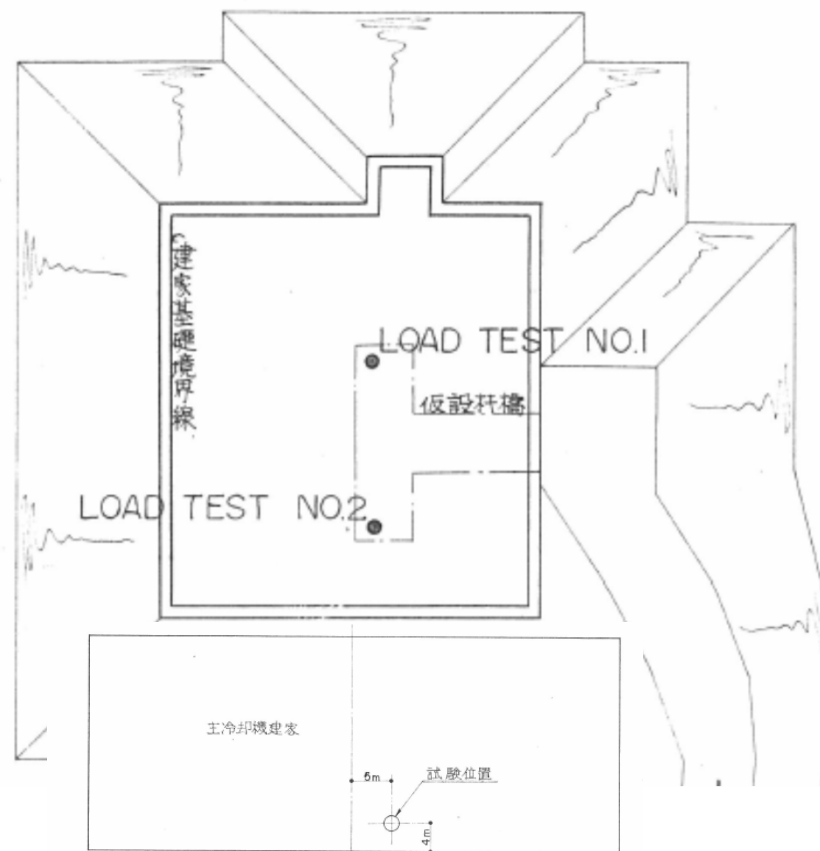
平板載荷試験結果

原子炉建物及び原子炉附属建物

| 試験箇所 | 地層 | 平板載荷試験
最大荷重
(N/mm ²) |
|---------------------------|-------------------------------|--|
| No. 1
(T. P. +6. 7m) | 東茨城層群
(Is-S ₁) | 2. 94 N/mm ² |
| NO. 2
(T. P. +6. 7m) | 東茨城層群
(Is-S ₁) | 2. 94 N/mm ² |
| 平均 | — | 2. 94 N/mm ² |

主冷却機建物

| 試験箇所 | 地層 | 平板載荷試験
最大荷重
(N/mm ²) |
|---------------------------|---------------------------------|--|
| 試験位置
(T. P. +18. 4m) | M1段丘堆積物
(Mu-S ₂) | 2. 69 N/mm ² |



原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物
地耐力検査位置

3 接地圧に関する参考資料(基礎底面の接地圧一覧) (原子炉建物及び原子炉附属建物)

基礎底面の接地圧一覧(原子炉建物及び原子炉附属建物)

| | 地震動※1 | 最大接地圧※2
[N/mm ²] |
|---------|----------------|---------------------------------|
| A-A' 断面 | Ss-D
(+, +) | 1.07
[22.76] |
| | Ss-1
(+, +) | 0.89
[6.38] |
| | Ss-2
(+, +) | 1.13
[7.37] |
| | Ss-3
(+, +) | 1.00
[14.01] |
| | Ss-4
(+, +) | 1.12
[7.78] |
| | Ss-5
(+, +) | 0.96
[55.19] |

| | 地震動※1 | 最大接地圧※2
[N/mm ²] |
|---------|----------------|---------------------------------|
| B-B' 断面 | Ss-D
(+, +) | 1.11
[22.75] |
| | Ss-1
(+, +) | 0.92
[7.30] |
| | Ss-2
(+, +) | 0.94
[8.05] |
| | Ss-3
(+, +) | 0.94
[13.45] |
| | Ss-4
(+, +) | 0.98
[8.23] |
| | Ss-5
(+, +) | 0.86
[57.83] |

※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 接地圧に関する参考資料(基礎底面の接地圧一覧) (主冷却機建物)

基礎底面の接地圧一覧(主冷却機建物)

| | 地震動※1 | 最大接地圧※2
[N/mm ²] |
|---------|----------------|---------------------------------|
| A-A' 断面 | Ss-D
(-, +) | 0.52
[22.77] |
| | Ss-1
(+, +) | 0.48
[6.70] |
| | Ss-2
(+, +) | 0.53
[8.07] |
| | Ss-3
(+, +) | 0.56
[11.00] |
| | Ss-4
(+, +) | 0.47
[8.49] |
| | Ss-5
(+, +) | 0.48
[55.14] |

| | 地震動※1 | 最大接地圧※2
[N/mm ²] |
|---------|----------------|---------------------------------|
| C-C' 断面 | Ss-D
(-, +) | 0.48
[22.75] |
| | Ss-1
(+, +) | 0.47
[7.30] |
| | Ss-2
(+, +) | 0.46
[7.37] |
| | Ss-3
(+, +) | 0.45
[14.02] |
| | Ss-4
(+, +) | 0.46
[7.77] |
| | Ss-5
(+, +) | 0.41
[60.27] |

※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)



参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 すべり安全率に関する検討
- 3 接地圧に関する参考資料
- 4 傾斜に関する参考資料**
- 5 地殻変動による影響評価
- 6 すべり線の選定に関する検討
- 7 すべり安全率に関する影響検討
- 8 液状化に関する検討

4 傾斜に関する参考資料(基礎底面の傾斜一覧) (原子炉建物及び原子炉附属建物)

基礎底面の傾斜一覧 (原子炉建物及び原子炉附属建物)

| 地震動 ^{※1} | A-A' 断面 | | B-B' 断面 | |
|-------------------|---|--|---|--|
| | 基礎底面の
最大相対変位量 ^{※2}
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $) | 基礎底面の傾斜
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L$ ^{※3}) | 基礎底面の
最大相対変位量 ^{※2}
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $) | 基礎底面の傾斜
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L$ ^{※3}) |
| Ss-D
(+, +) | 1.95 cm
[39.70] | 1/2, 800 | 1.21 cm
[39.67] | 1/4, 100 |
| Ss-1
(+, +) | 1.99 cm
[6.82] | 1/2, 700 | 1.16 cm
[7.08] | 1/4, 300 |
| Ss-2
(+, +) | 1.91 cm
[8.09] | 1/2, 800 | 0.71 cm
[9.51] | 1/7, 000 |
| Ss-3
(+, +) | 1.82 cm
[14.50] | 1/3, 000 | 1.09 cm
[14.21] | 1/4, 500 |
| Ss-4
(+, +) | 1.59 cm
[8.54] | 1/3, 400 | 0.82 cm
[8.94] | 1/6, 000 |
| Ss-5
(+, +) | 0.97 cm
[55.18] | 1/5, 600 | 0.69 cm
[53.97] | 1/7, 200 |

※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 (A-A' 断面、原子炉建物及び原子炉附属建物) = 55.00m

L (B-B' 断面、原子炉建物及び原子炉附属建物) = 50.00m

4 傾斜に関する参考資料(基礎底面の傾斜一覧) (主冷却機建物)

基礎底面の傾斜一覧 (主冷却機建物)

| 地震動 ^{※1} | A-A' 断面 | | C-C' 断面 | |
|-------------------|---|--|---|--|
| | 基礎底面の
最大相対変位量 ^{※2}
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $) | 基礎底面の傾斜
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L$ ^{※3}) | 基礎底面の
最大相対変位量 ^{※2}
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} $) | 基礎底面の傾斜
($ \delta_{v1} - \delta_{v2} /L$ ^{※3}) |
| Ss-D
(+, +) | 0.33 cm
[18.28] | 1/8,300 | 1.11 cm
[22.89] | 1/6,000 |
| Ss-1
(+, +) | 0.39 cm
[6.67] | 1/7,000 | 0.87 cm
[6.35] | 1/7,700 |
| Ss-2
(+, +) | 0.38 cm
[8.09] | 1/7,200 | 0.43 cm
[8.55] | 1/15,500 |
| Ss-3
(+, +) | 0.33 cm
[11.00] | 1/8,300 | 0.76 cm
[14.63] | 1/8,800 |
| Ss-4
(+, +) | 0.28 cm
[7.98] | 1/9,700 | 0.53 cm
[8.06] | 1/12,600 |
| Ss-5
(+, +) | 0.33 cm
[55.32] | 1/8,300 | 0.45 cm
[64.29] | 1/14,800 |

※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 (A-A' 断面、主冷却機建物) = 27.40m

L (C-C' 断面、主冷却機建物) = 67.00m



参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 すべり安全率に関する検討
- 3 接地圧に関する参考資料
- 4 傾斜に関する参考資料
- 5 地殻変動による影響評価**
- 6 すべり線の選定に関する検討
- 7 すべり安全率に関する影響検討
- 8 液状化に関する検討

5 地殻変動による影響評価

- ・ 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。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。
- ・ 敷地周辺で想定される地震活動のうち、「F3断層～F4断層の連動」及び「2011年東北地方太平洋沖型地震」については大規模な地殻変動を伴うと想定される。
- ・ これらの震源の活動による施設の傾斜への影響について検討を行う。

| 地震発生様式 | 内陸地殻内地震 | プレート間地震 |
|------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| 震源
(地震規模) | F3断層～F4断層の連動
(M7.0) | 2011年
東北地方太平洋沖型地震
(Mw9.0) |
| 震源断層モデル
(基本震源モデル) | | |
| 断層面積[km ²] | 367 | 100,000 |
| 地震モーメント[Nm] | 7.50×10^{18} | 4.00×10^{22} |
| 剛性率[N/m ²] | 3.50×10^{10} | 4.68×10^{10} |
| 平均すべり量[m] | アスペリティ: 1.2
背景領域: 0.4 | SMGA: 17.1
背景領域: 7.3 |

5 地殻変動による影響評価

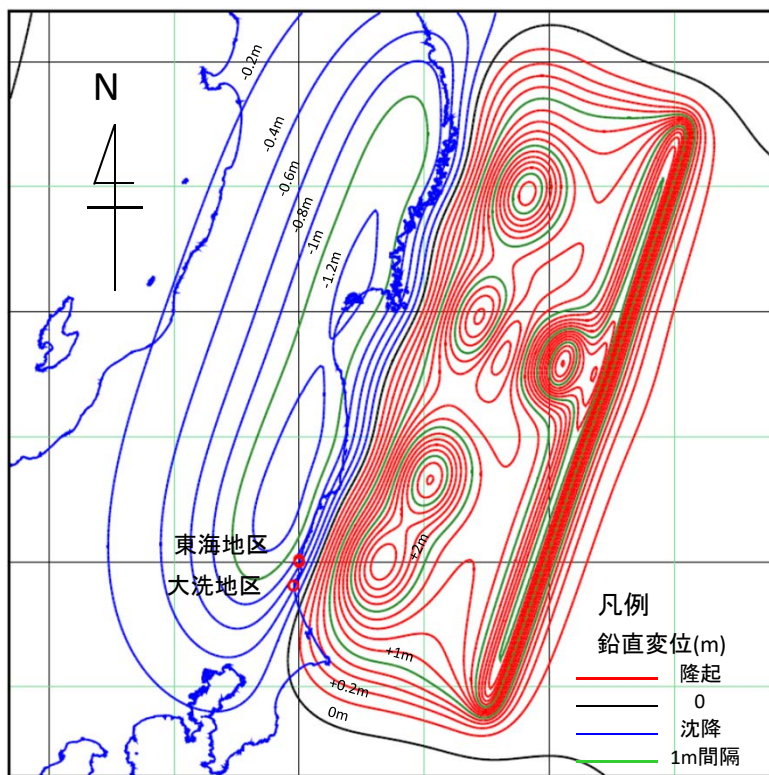
- 地震発生に伴う地殻変動による傾斜については、断層がずれ動いた際の地表面の変形について食い違い弾性論に基づく解析を用いて算出する。なお、本評価では地盤モデル全体を様な半無限弾性体※とした上で、Okada(1992)の方法を用いて地殻変動による地表面の変形を算出した。

※ 上部マントルから地殻にかけての広い範囲(断層によるずれを設定する深度を含む)におけるVp/Vs比がほぼ一定(約1.7)であることから設定した。

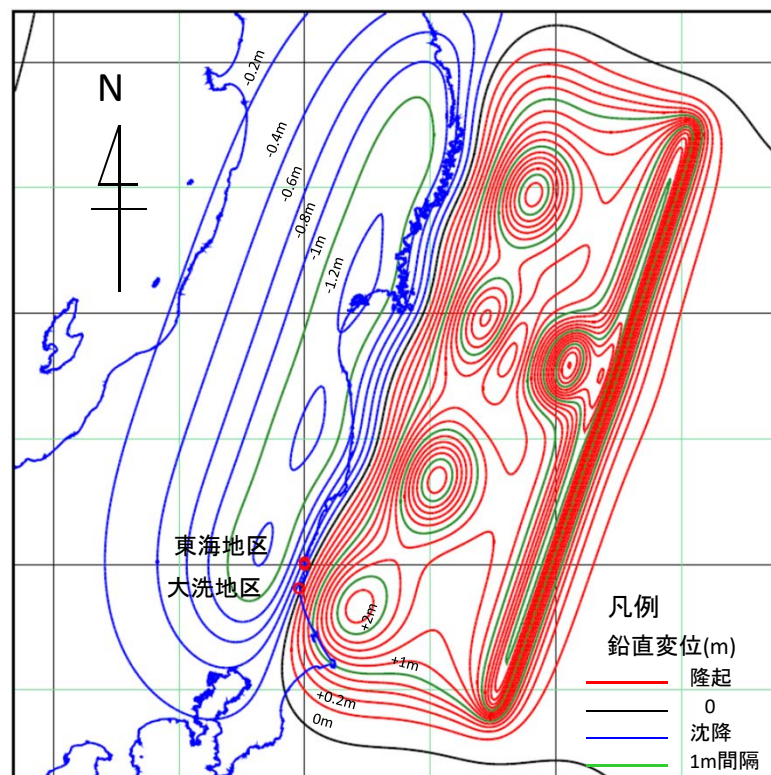
- 高速実験炉原子炉施設の基礎底面の傾斜について評価した結果、最も大きい傾斜となるのは2011年東北地方太平洋沖型地震である。

| 地震発生様式 | | 内陸地殻内地震 | プレート間地震 |
|---------------|--------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 震源及び地震規模 | | F3断層～F4断層の連動
(M7.0) | 2011年
東北地方太平洋沖型地震
(Mw9.0) |
| 鉛直変位量分布図※ | | | |
| ※分布図は□のケースを表示 | | | |
| 基礎底面の傾斜 | 基本震源モデル | 1/28,000 | 1/26,000 |
| | 不確かさを考慮したモデル | —
(基本震源モデルの検討結果から大きな影響はないと判断) | 1/17,000
(SMGA位置の不確かさを考慮) |

5 地殻変動による影響評価



基本震源モデル



SMGA位置の不確かさ考慮ケース(大洗地区)

※ コンター間隔 0.2 m (赤 : 隆起側、青 : 沈降側、黒 : 0 m)

2011年東北地方太平洋沖型地震における
鉛直変位分布図 (平面)



参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 すべり安全率に関する検討
- 3 接地圧に関する参考資料
- 4 傾斜に関する参考資料
- 5 地殻変動による影響評価
- 6 すべり線の選定に関する検討**
- 7 すべり安全率に関する影響検討
- 8 液状化に関する検討

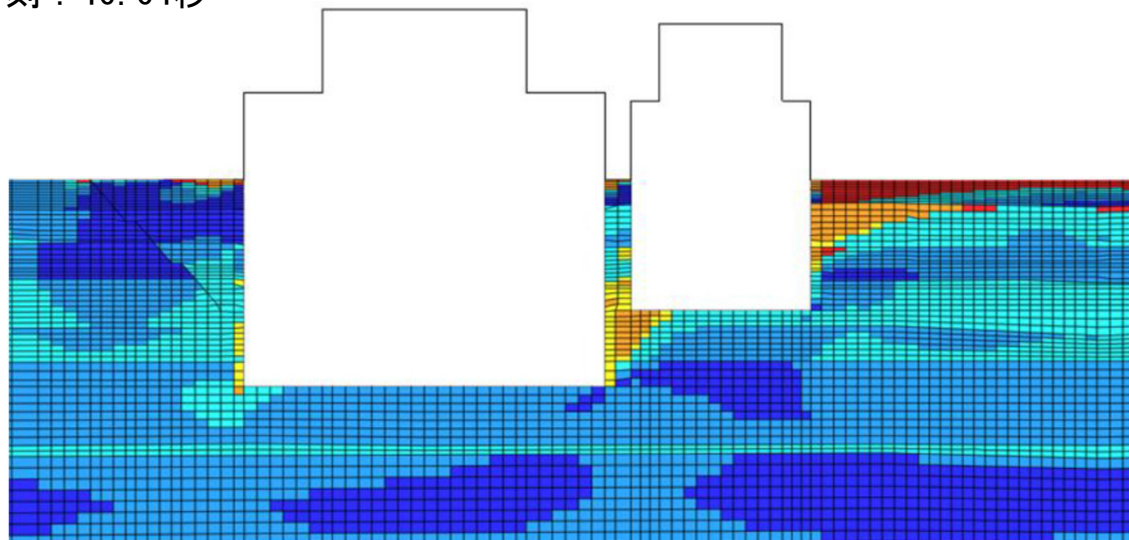
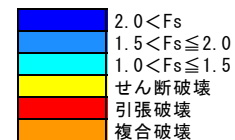
6 すべり線の選定に関する検討(局所安全率(1))

局所安全率からは、明確なすべり線は確認されない。

基準地震動：Ss-D (+, -)

断面：A-A'

発生時刻：46.64秒



局所安全率

せん断破壊や引張破壊が発生する要素が評価対象施設の側面地盤や基礎端部に見られるものの、評価対象施設直下にはほとんど見られず、すべり線に沿って破壊要素が連続していない。

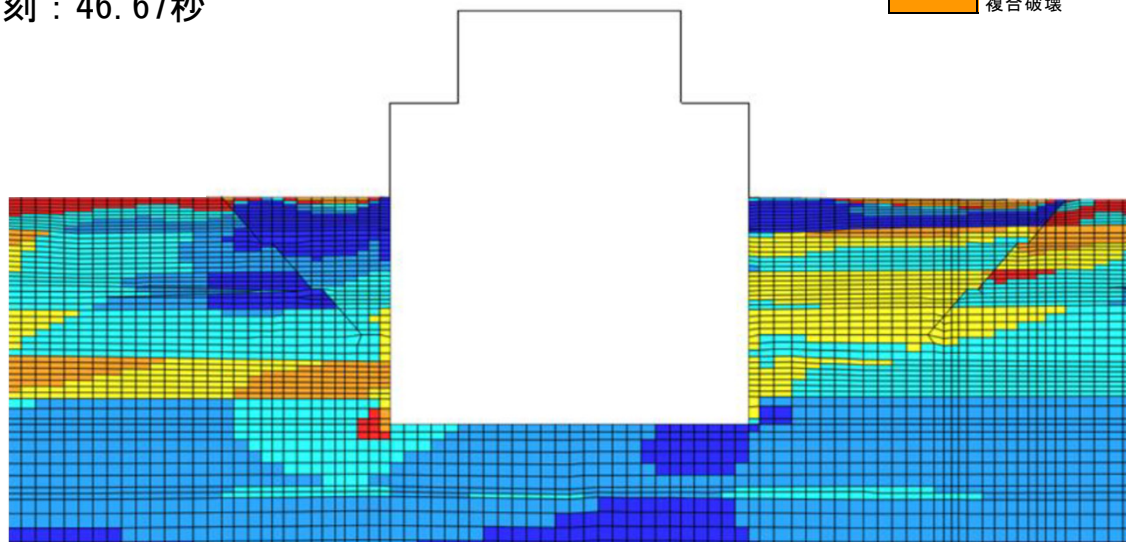
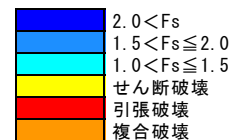
6 すべり線の選定に関する検討(局所安全率(2))

局所安全率からは、明確なすべり線は確認されない。

基準地震動 : Ss-D (+, -)

断面 : B-B'

発生時刻 : 46.67秒



局所安全率

せん断破壊や引張破壊が発生する要素が評価対象施設の側面地盤や基礎端部に見られるものの、評価対象施設直下にはほとんど見られず、すべり線に沿って破壊要素が連続していない。

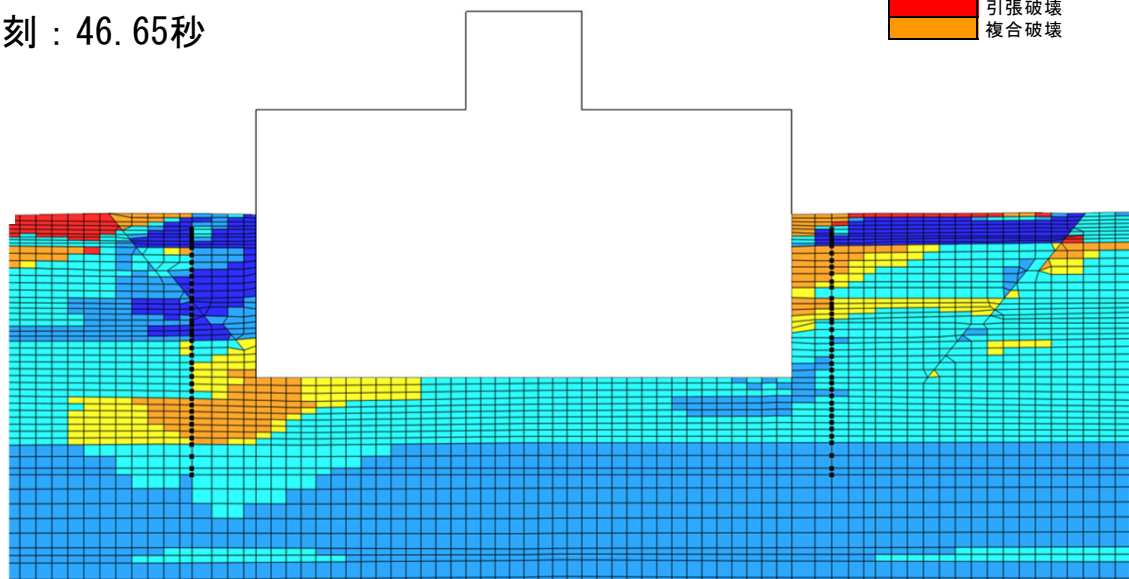
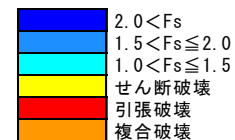
6 すべり線の選定に関する検討(局所安全率(3))

局所安全率からは、明確なすべり線は確認されない。

基準地震動 : Ss-D (+, -)

断面 : C-C'

発生時刻 : 46.65秒



局所安全率

せん断破壊や引張破壊が発生する要素が主冷却機建物の基礎直下の一部で見られるが、すべり線に沿って破壊要素が連続していない。

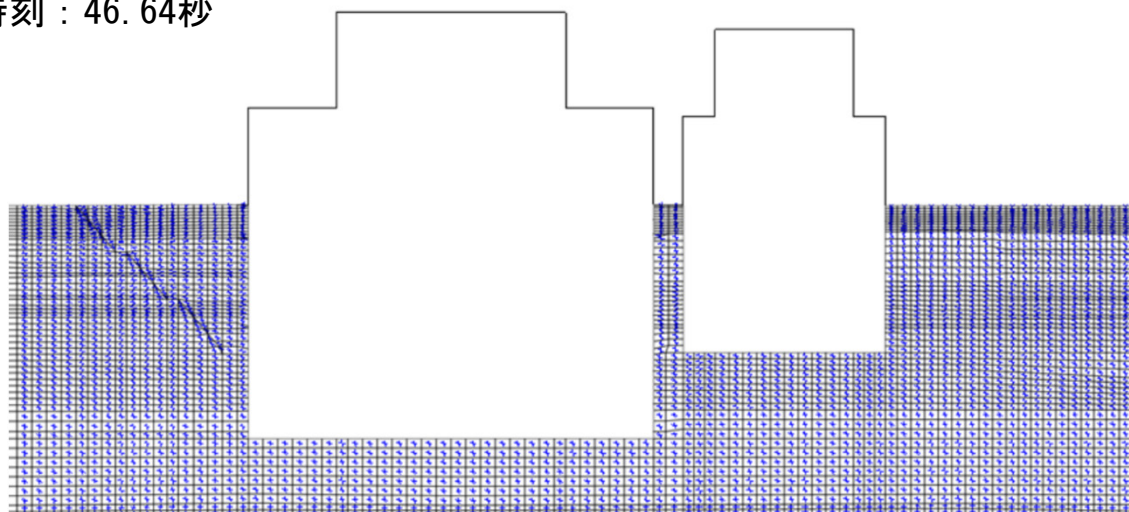
6 すべり線の選定に関する検討(モビライズド面(1))

モビライズド面からは、明確なすべり線は確認されない。

基準地震動 : Ss-D (+, -)

断面 : A-A'

発生時刻 : 46.64秒



モビライズド面

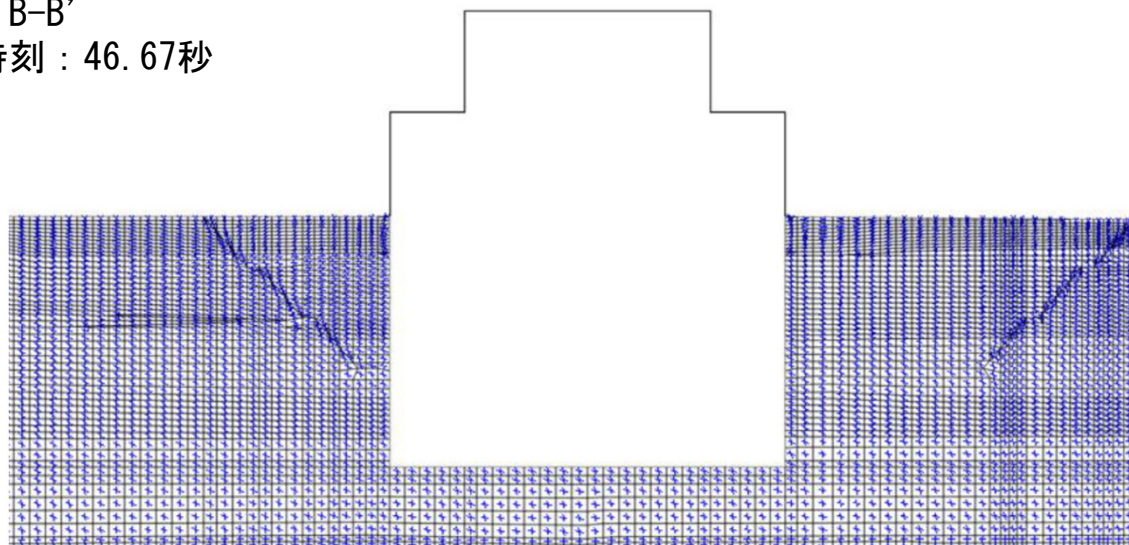
6 すべり線の選定に関する検討(モビライズド面(2))

モビライズド面からは、明確なすべり線は確認されない。

基準地震動 : Ss-D (+, -)

断面 : B-B'

発生時刻 : 46.67秒



モビライズド面

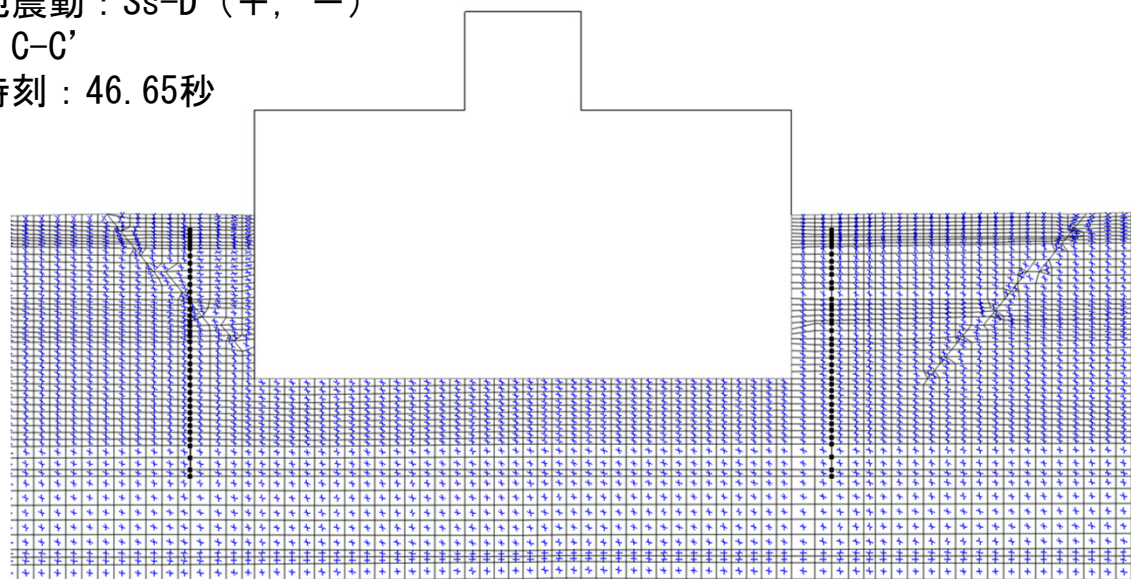
6 すべり線の選定に関する検討(モビライズド面(3))

モビライズド面からは、明確なすべり線は確認されない。

基準地震動 : Ss-D (+, -)

断面 : C-C'

発生時刻 : 46.65秒



モビライズド面

6 すべり線の選定に関する検討(せん断応力比分布(1))

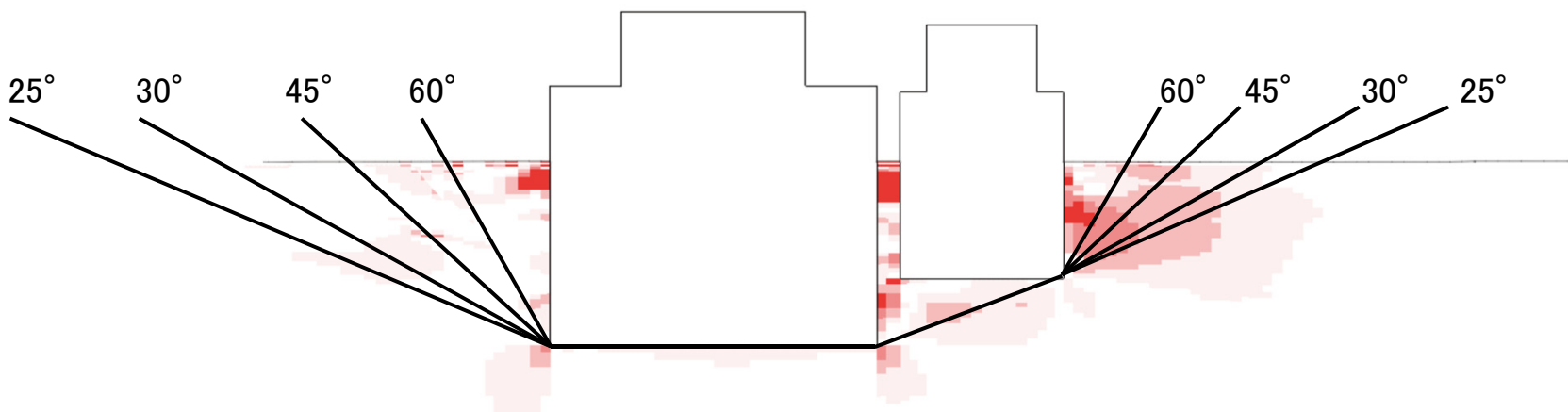
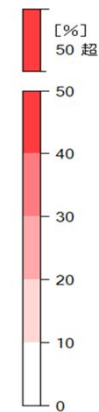
建物応答による影響範囲は建物近傍に限定される。せん断応力比が大きい範囲にすべり線を設定した。

$$\text{せん断応力比} = \left| \frac{\text{建物ありモデル}\tau_{max} - \text{建物なしモデル}\tau_{max}}{\text{建物なしモデル}\tau_{max}} \right|$$

※ τ_{max} : 地盤の最大せん断応力

基準地震動 : Ss-D (+, -)

断面 : A-A'



せん断応力比分布

6 すべり線の選定に関する検討(せん断応力比分布(2))

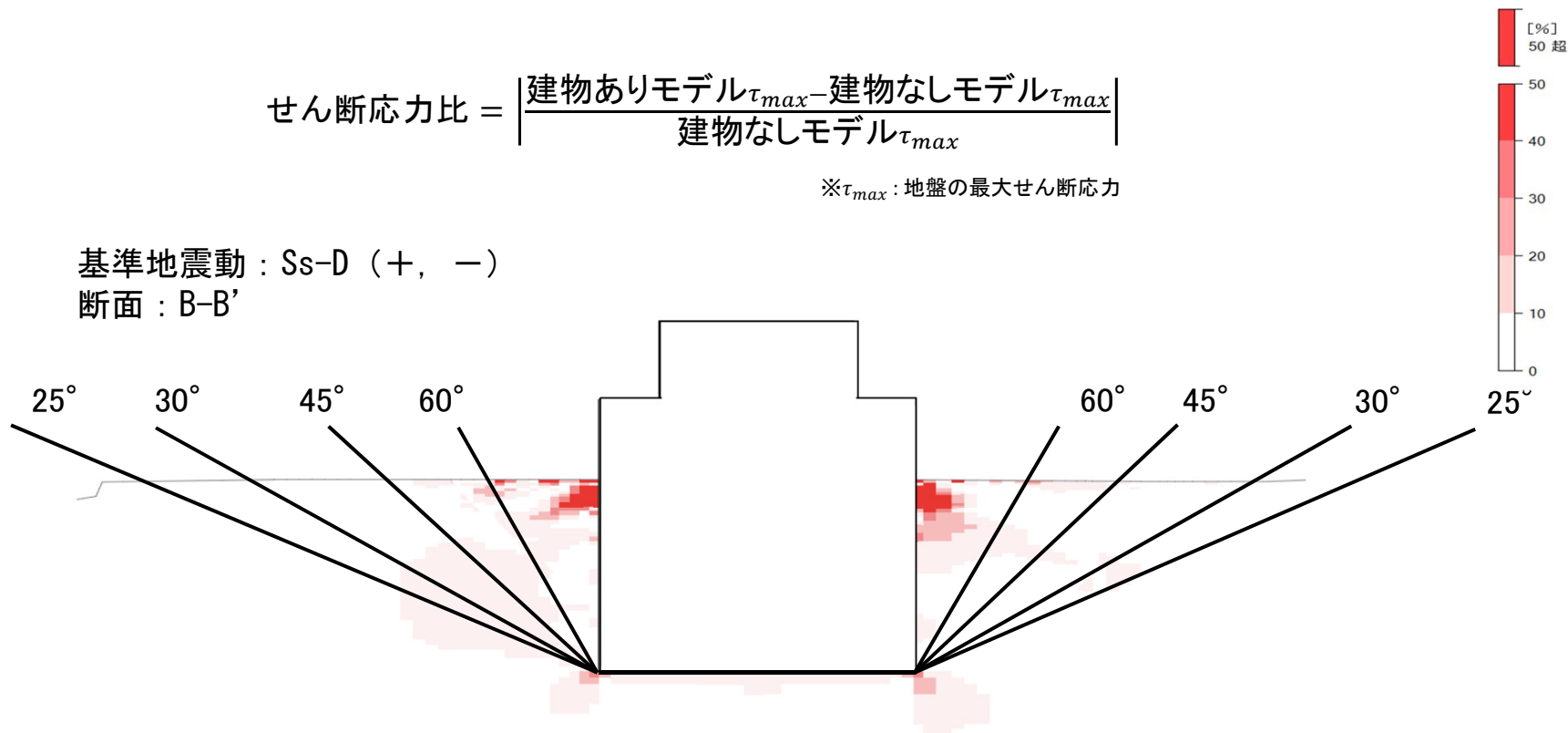
建物応答による影響範囲は建物近傍に限定される。せん断応力比が大きい範囲にすべり線を設定した。

$$\text{せん断応力比} = \frac{|\text{建物ありモデル}\tau_{max} - \text{建物なしモデル}\tau_{max}|}{\text{建物なしモデル}\tau_{max}}$$

※ τ_{max} : 地盤の最大せん断応力

基準地震動 : Ss-D (+, -)

断面 : B-B'



せん断応力比分布

6 すべり線の選定に関する検討(せん断応力比分布(3))

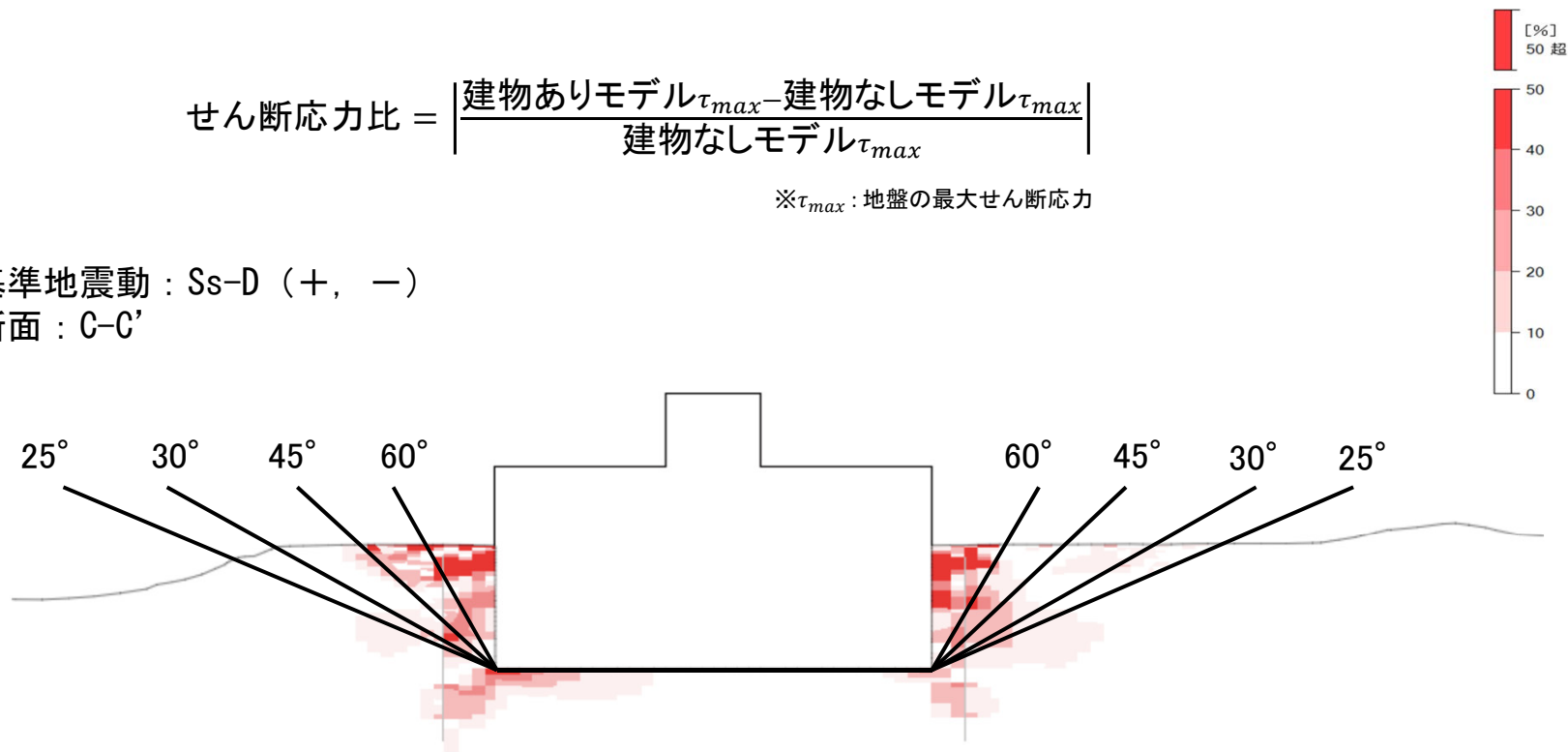
建物応答による影響範囲は建物近傍に限定される。せん断応力比が大きい範囲にすべり線を設定した。

$$\text{せん断応力比} = \frac{|\text{建物ありモデル}\tau_{max} - \text{建物なしモデル}\tau_{max}|}{\text{建物なしモデル}\tau_{max}}$$

※ τ_{max} : 地盤の最大せん断応力

基準地震動 : Ss-D (+, -)

断面 : C-C'



せん断応力比分布

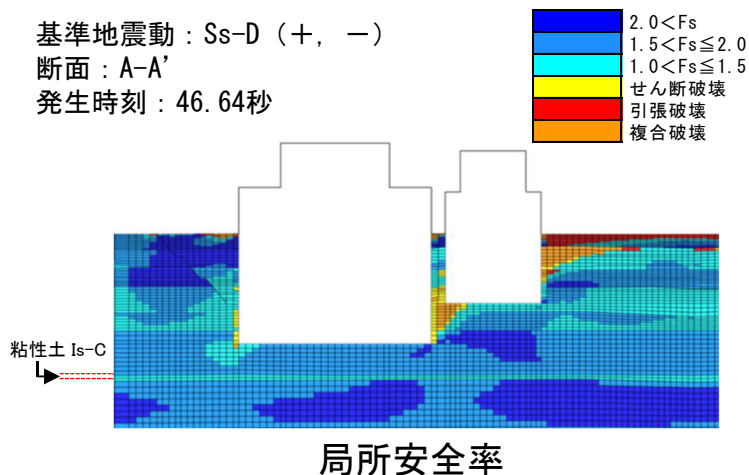
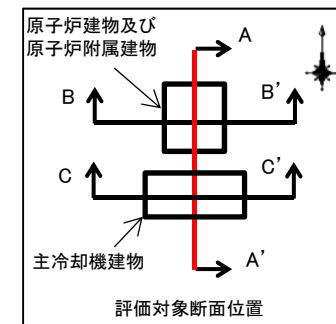


参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 すべり安全率に関する検討
- 3 接地圧に関する参考資料
- 4 傾斜に関する参考資料
- 5 地殻変動による影響評価
- 6 すべり線の選定に関する検討
- 7 すべり安全率に関する影響検討**
- 8 液状化に関する検討

7 すべり安全率に関する影響検討(1) 粘性土層を通るすべり線の影響検討(A-A'断面)

原子炉建物及び原子炉附属建物の支持地盤は砂質土 (Is-S₁) であるが、下部に地層の異なる粘性土 (Is-C) が存在するため、Is-C層ですべることがないか確認を行った。
局所安全率より、Is-C層で破壊は連続していないことを確認した。
また、すべり安全率が最小となるすべり線 (立ち上がり角度25°) と下部の粘性土を通るすべり線のすべり安全率を確認した結果、同程度であり、Is-C層ですべらないことを確認した。



すべり安全率の評価結果

| | 想定すべり線形状 | 地震動※1 | すべり安全率※2 |
|---------|----------|-------------|--------------|
| A-A' 断面 | | Ss-D (+, -) | 2.42 [46.64] |
| | | Ss-D (+, -) | 2.46 [46.64] |

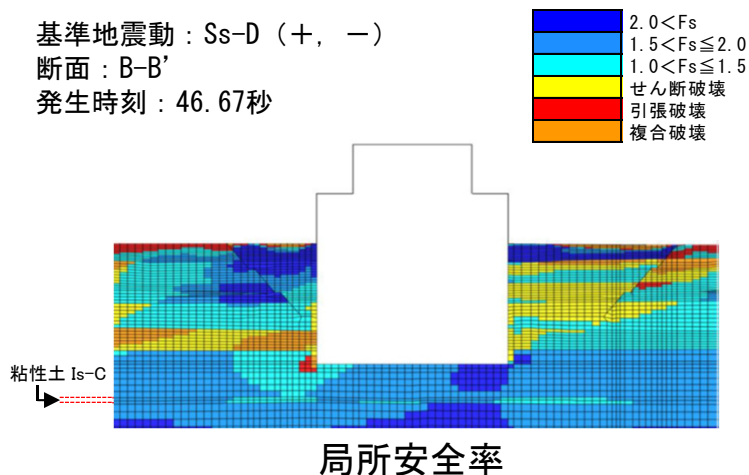
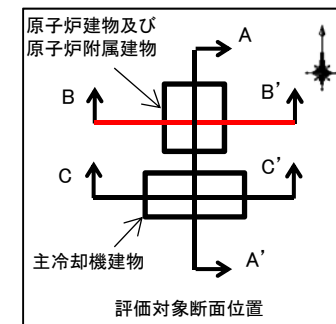
※1 (+, +) 位相反転なし、(-, +) 水平反転、(+, -) 鉛直反転、(-, -) 水平反転かつ鉛直反転
 ※2 [] は発生時刻 (秒)

7 すべり安全率に関する影響検討(2) 粘性土層を通るすべり線の影響検討(B-B'断面)

原子炉建物及び原子炉附属建物の支持地盤は砂質土 (Is-S₁) であるが、下部に地層の異なる粘性土 (Is-C) が存在するため、Is-C層ですべることがないか確認を行った。

局所安全率より、Is-C層で破壊は連続していないことを確認した。

また、すべり安全率が最小となるすべり線 (立ち上がり角度25°) と下部の粘性土を通るすべり線のすべり安全率を確認した結果、同程度であり、Is-C層ですべらないことを確認した。



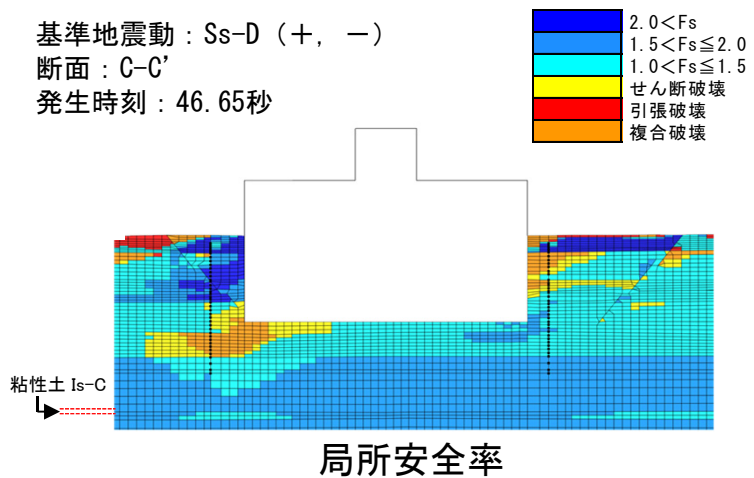
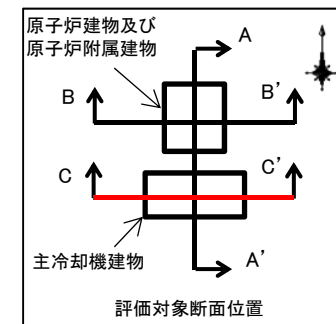
すべり安全率の評価結果

| | 想定すべり線形状 | 地震動※ ¹ | すべり安全率※ ² |
|---------|----------|-------------------|----------------------|
| B-B' 断面 | | Ss-D (+, -) | 2.2 [46.67] |
| | | Ss-D (+, -) | 2.3 [46.65] |

※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)

7 すべり安全率に関する影響検討(3) 粘性土層を通るすべり線の影響検討(C-C' 断面)

主冷却機建物の支持地盤は砂質土 (Mu-S₂) であるが、下部に地層の異なる粘性土 (Is-C) が存在するため、Is-C層ですべることがないか確認を行った。
局所安全率より、Is-C層で破壊は連続していないことを確認した。
また、すべり安全率が最小となるすべり線 (立ち上がり角度25°) と下部の粘性土を通るすべり線のすべり安全率を確認した結果、同程度以上であり、Is-C層ですべらないことを確認した。



すべり安全率の評価結果

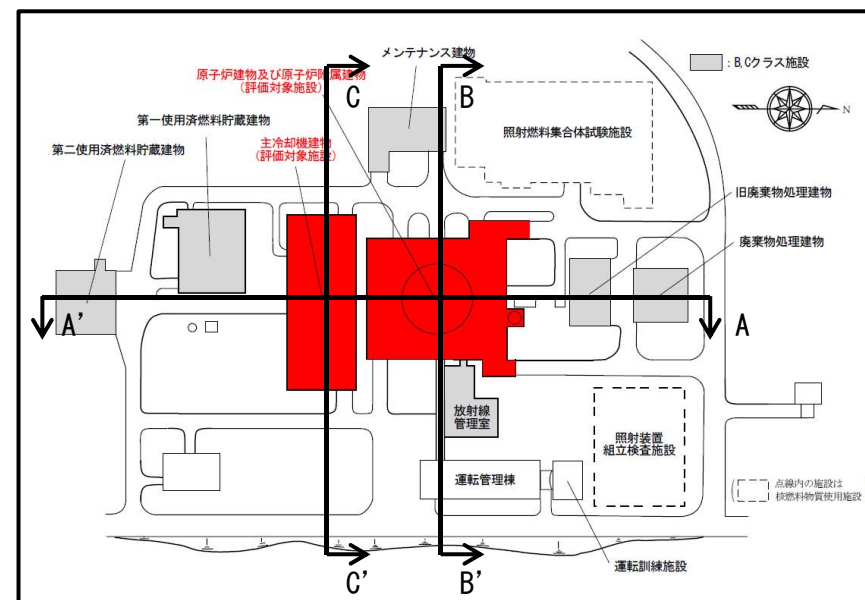
| | 想定すべり線形状 | 地震動※1 | すべり安全率※2 |
|---------|----------|-------------|-------------|
| C-C' 断面 | | Ss-D (+, -) | 2.3 [46.65] |
| | | Ss-D (+, -) | 2.9 [46.63] |

※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)、すべり安全率は抑止杭による抵抗力を考慮した値を示す。

7 すべり安全率に関する影響検討(4) 周辺建物の影響検討

評価対象施設近傍にある周辺建物は、いずれも重量比が小さく、評価対象施設のすべり安全率に対する影響は少ないと判断した。

| | 建物 | 建物重量
($\times 10^3$ kN) | 評価対象施設
との重量比 |
|----|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | 評価対象施設
(原子炉建物及び原子炉附属建物、
主冷却機建物) | 2144
(1648+496) | — |
| 2 | 第一使用済燃料貯蔵建物 | 257 | 0.12 |
| 3 | 第二使用済燃料貯蔵建物 | 258 | 0.12 |
| 4 | メンテナンス建物 | 71 | 0.03 |
| 5 | 旧廃棄物処理建物 | 40 | 0.02 |
| 6 | 廃棄物処理建物 | 99 | 0.05 |
| 7 | 放射線管理室 | 1 | 0.00 |
| 8 | 運転管理棟 | 59 | 0.03 |
| 9 | 運転訓練施設 | 13 | 0.01 |
| 10 | 照射装置組立検査施設 | 152 | 0.07 |
| 11 | 照射燃料集合体試験施設 | 319 | 0.15 |



評価対象施設配置図

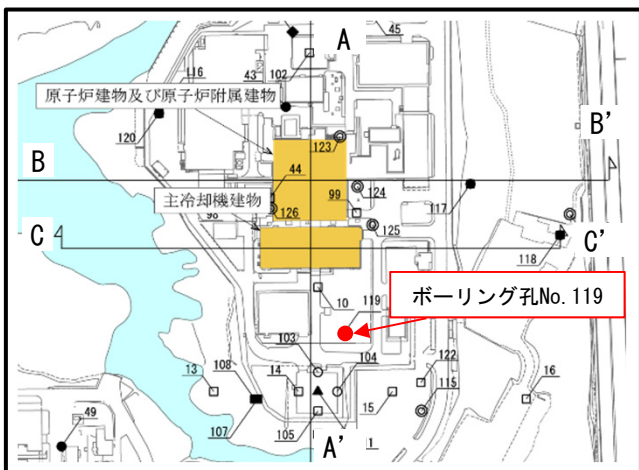


参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 すべり安全率に関する検討
- 3 接地圧に関する参考資料
- 4 傾斜に関する参考資料
- 5 地殻変動による影響評価
- 6 すべり線の選定に関する検討
- 7 すべり安全率に関する影響検討
- 8 液状化に関する検討

8 液状化に関する検討 検討対象地盤の物性値

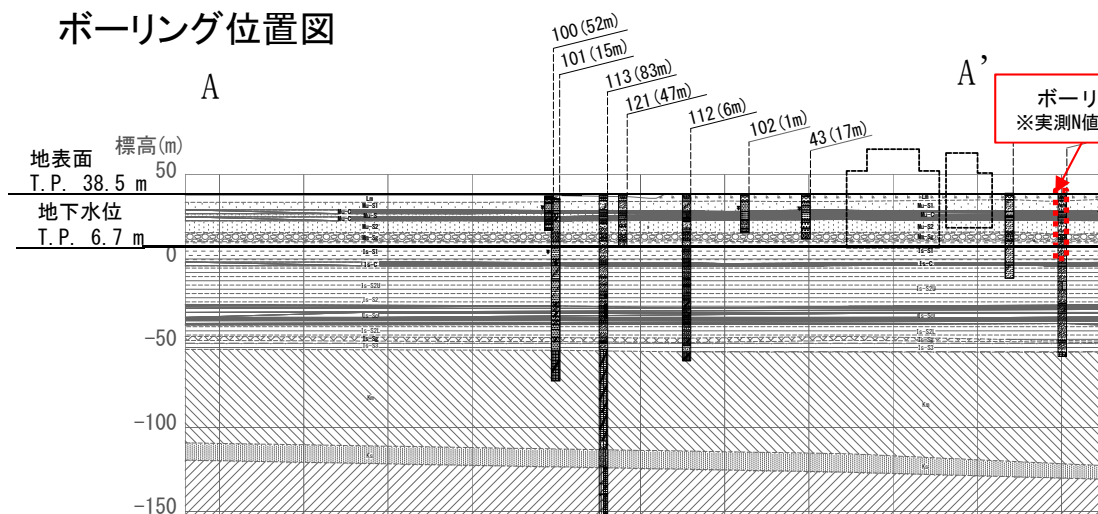
原子炉建物及び原子炉附属建物の支持地盤における飽和土層 (Is-S₁) は、実測N値50以上の密実な砂層である。



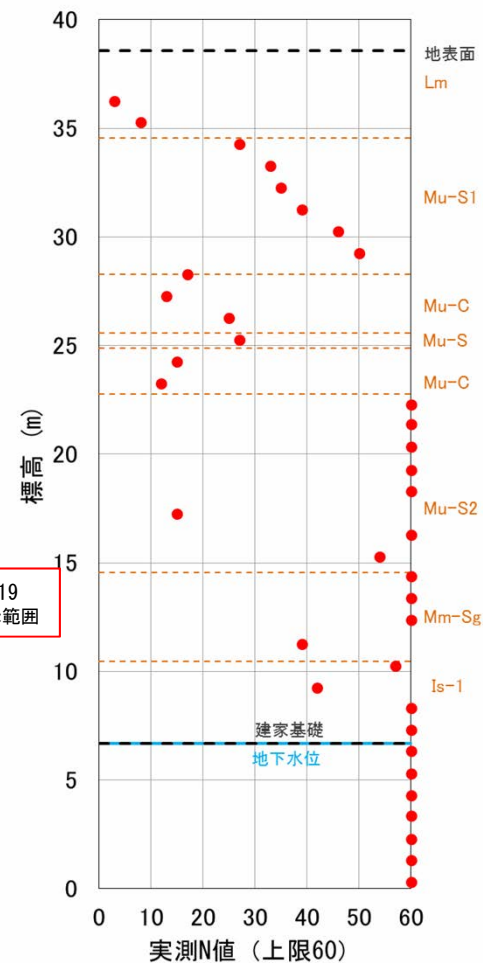
ボーリング位置図

Is-S₁の細粒分含有率及び50%粒径
(ボーリング孔No. 119)

| 地層区分 | 細粒分含有率
F _c
(%) | 50%粒径
D ₅₀
(mm) |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| Is-S ₁ | 9.4 | 0.151 |



地質断面図 (A-A' 断面)



実測N値分布図
(ボーリング孔No. 119)

8 液状化に関する検討

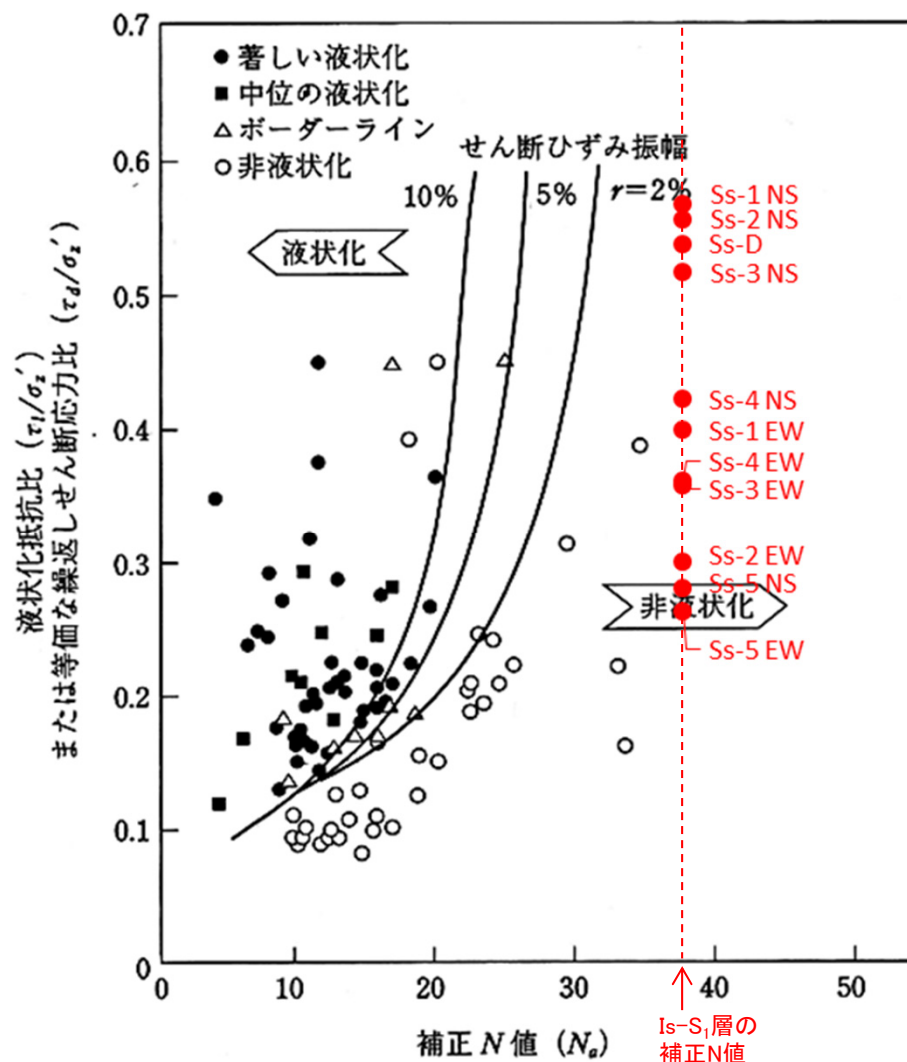
補正N値及び繰返しせん断応力比に基づく液状化検討結果

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

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

なお、実際の標準貫入試験では打ち止め回数を60回とし、この上限値を当該層の実測N値として記録しているが、補正N値の算定に当たっては、60回で貫入した深さ δ (cm) から、規定値である30 cmに達するまでに要すると推定される打撃回数 ($60 \times 30 / \delta$) を実測N値として用いている。

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



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

- [1] 日本電気協会 原子力規格委員会, 原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015, 2015
- [2] 土木学会 原子力土木委員会, 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>, 2009
- [3] Okada, Y. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. Bulletin of the Seismological Society of America. vol.82-2, 1992, pp.1018-1040
- [4] 活断層研究会編, [新編] 日本の活断層一分布図と資料, 東京大学出版会, 1991
- [5] 今泉俊文・宮内崇裕・堤浩之・中田高編, 活断層詳細デジタルマップ[新編], 東京大学出版会, 2018
- [6] 産業技術総合研究所, 活断層データベース 2015年8月11日変更, 2015
- [7] 杉山雄一・須貝俊彦・井村隆介・水野清秀・遠藤秀典・下川浩一・山崎晴雄, 50万分の1活構造図「東京」(第2版), 地質調査所, 1997
- [8] 加藤碩一・栗田泰夫・下川浩一, 50万分の1活構造図「新潟」, 地質調査所, 1984
- [9] 地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 関東地域の活断層の長期評価(第一版), 2015
- [10] 吉岡敏和・滝沢文教・高橋雅紀・宮崎一博・坂野靖行・柳沢幸夫・高橋浩・久保和也・関陽児・駒澤正夫・広島俊男, 20万分の1地質図幅「水戸」(第2版), 地質調査所, 2001
- [11] 坂本亨, 5万分の1地質図幅「磯浜」, 地質調査所, 1975
- [12] 日本建築学会, 建築基礎構造設計指針, 2001
- [13] 産業技術サービスセンター, 最新斜面・土留め技術総覧, 1991
- [14] 日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 II鋼橋編, 2002