

大洗研究所(南地区) 高速実験炉原子炉施設(「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4年11月7日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価

➤ 申請時の評価

- ・耐震重要施設である原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物を支持する地盤に「将来活動する可能性のある断層等」は認められない。
- ・原子炉建物及び原子炉附属建物について、基準地震動による地震力に対して、すべり安全率、基礎底面の接地圧、傾斜がいずれも評価基準値を満足しており、十分な安全性を有している。
- ・主冷却機建物について、抑止杭による補強を行うことで、すべり安全率が評価基準値を満足する。また、基礎底面の接地圧、傾斜がいずれも評価基準値を満足しており、十分な安全性を有している。
- ・原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物について、周辺地盤の変状(不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等)及び地殻変動の影響はない。
- ・耐震重要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。

➤ 申請以降に実施した検討

- ・主冷却機建物周辺地盤の地盤補強方法について、抑止杭工法から地盤改良工法に見直した。
- ・解析用地盤物性値について、敷地全体の地盤調査結果から、常陽周辺のみ地盤調査結果による設定に見直した。
- ・改良地盤の物性値について、現地で実施した試験施工の結果により設定した。また、施工における改良地盤の品質管理方針を示し、確認項目(改良地盤の範囲、強度)及び基準値を定めた。
- ・解析用地下水位について、保守的な評価となるよう地表面に見直した。
- ・耐震補強による重量の増加等を考慮し、建物重量を見直した。
- ・基準地震動(S_s-D 、 $S_s-1\sim 6$)による地震力に対して、基礎地盤のすべり安全率、基礎底面の接地圧、基礎底面の傾斜がいずれも評価基準値を満足することを確認した。

➤ 最終評価

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ないことを確認した。

該当箇所

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

6. 改良地盤の品質管理方針

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. 改良地盤の品質管理方針
7. まとめ

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。

- 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。

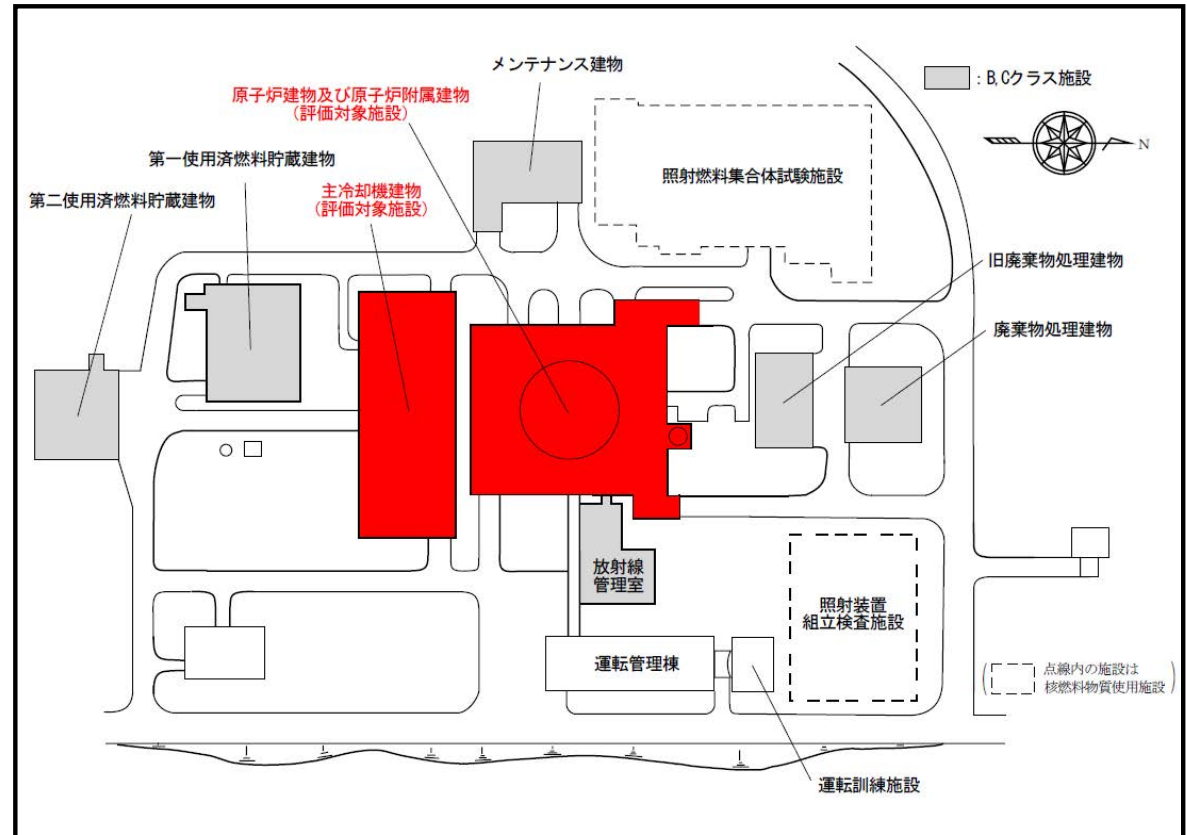
<耐震重要施設 (Sクラスの施設) を有する建物>

- 原子炉建物及び原子炉附属建物
- 主冷却機建物

※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。

<B、Cクラスの施設を有する建物>

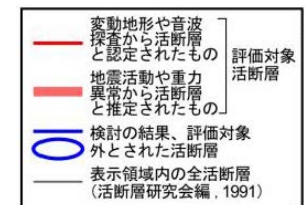
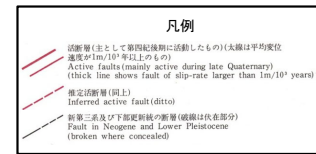
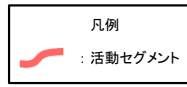
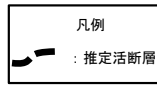
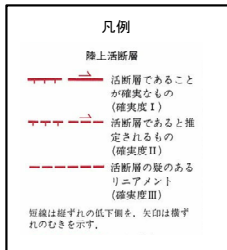
- 第一使用済燃料貯蔵建物
- 第二使用済燃料貯蔵建物
- メンテナンス建物
- 廃棄物処理建物
- 旧廃棄物処理建物
- 放射線管理室



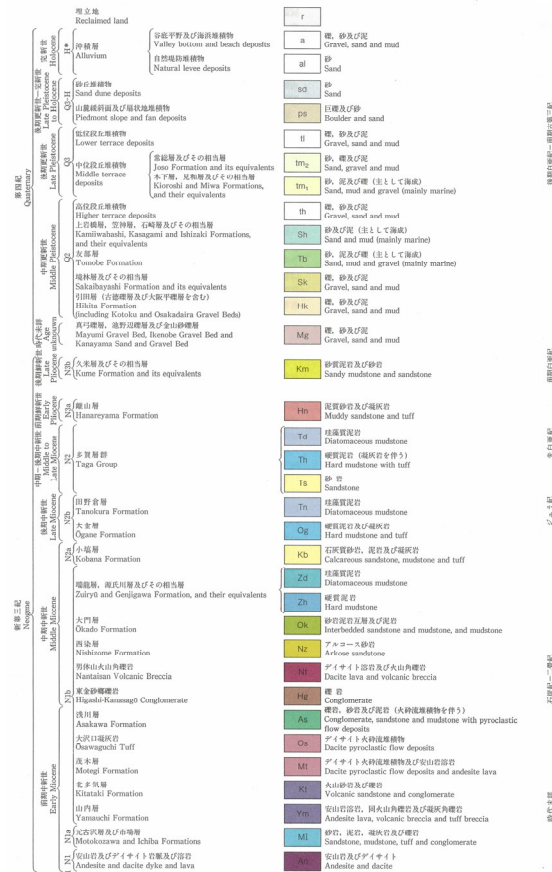
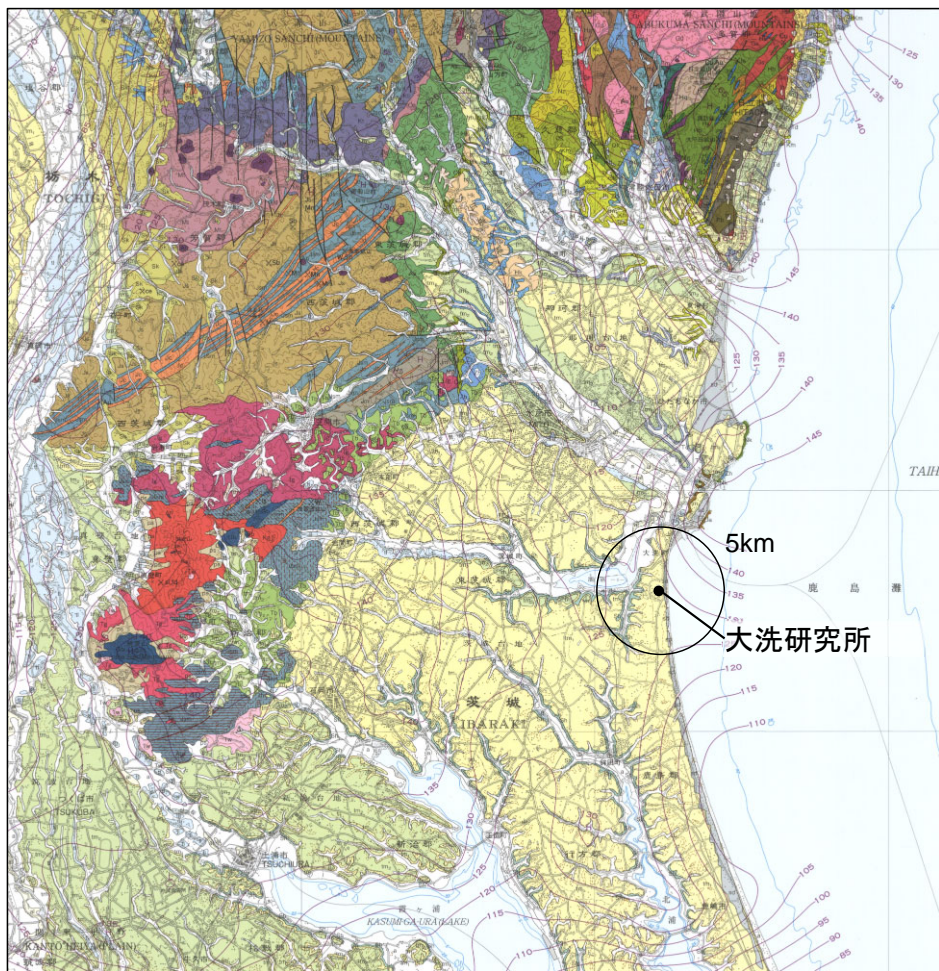
評価対象施設配置図

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. 改良地盤の品質管理方針
7. まとめ



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。



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

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底(木下層)が平地を広く覆って分布する。また主な河川沿いには沖積層が分布する。活断層は本地域には確認されていない。
(古岡敏和・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)
20万分の1地質図幅「水戸」(2001)説明書に加筆

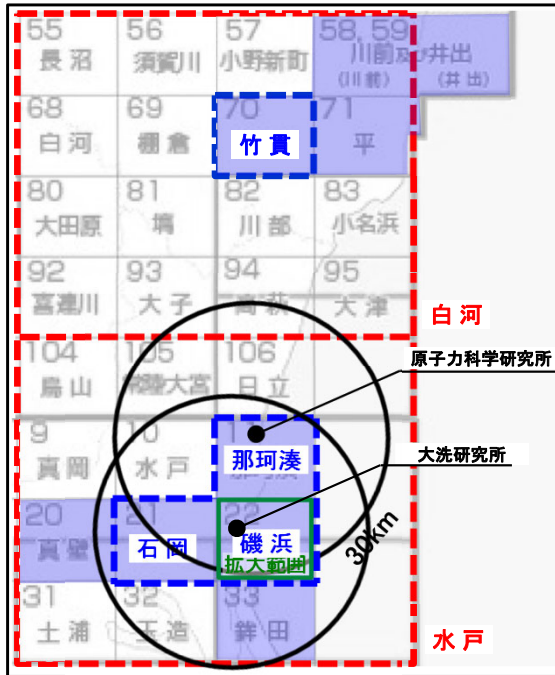
20万分の1地質図幅「水戸」において、本図幅の範囲に活断層は確認されていないとしている。

時代	島田・茂木	群合 碓氷帯		太平洋帯		区分	主要な岩相
		四方・水府	常陸太田	水戸・作楽・碓氷	ひたちなか		
後期							
前期							
中期							
前期							

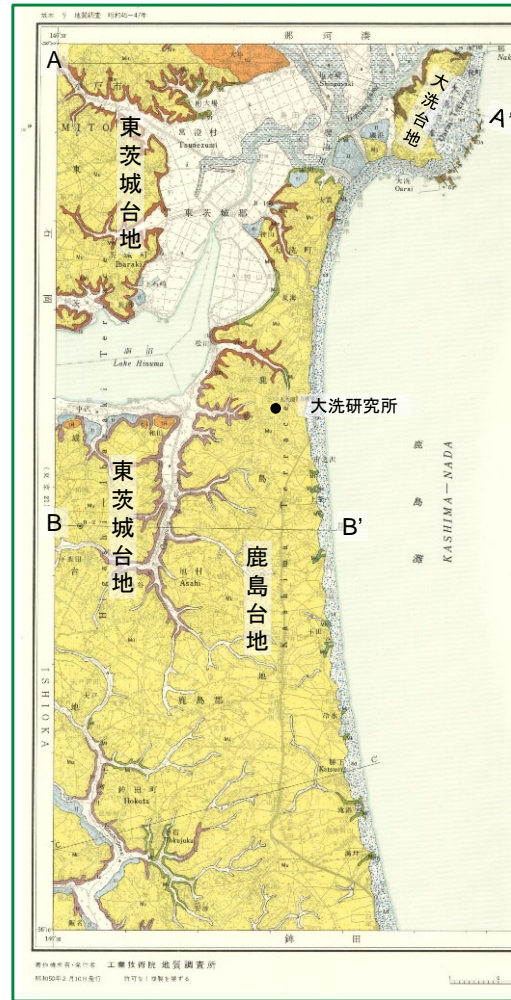
*入江野別は、本図幅域内に分布しない。
第2図 水戸図幅地域内の新第一系対比

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



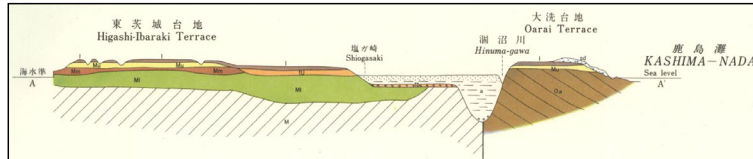
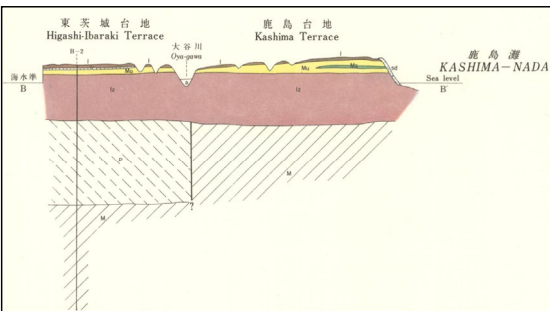
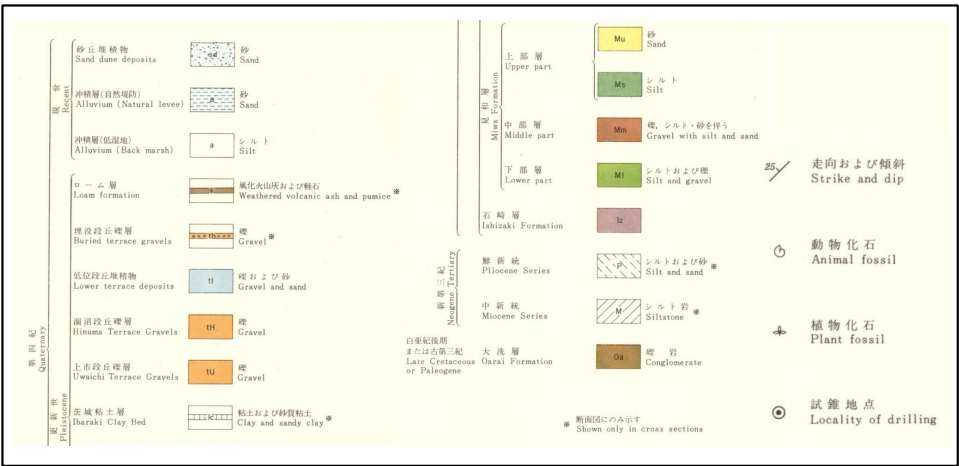
- : 文献調査の対象とした図幅(5万分の1)
- : 文献調査の対象とした図幅(20万分の1)
- : 5万分の1地質図幅が発行されている範囲



東茨城台地の上部は、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、東茨城台地とは10m前後の高度差がある。両者のさかいは、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喰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、石岡-水戸を結ぶ線を中心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。

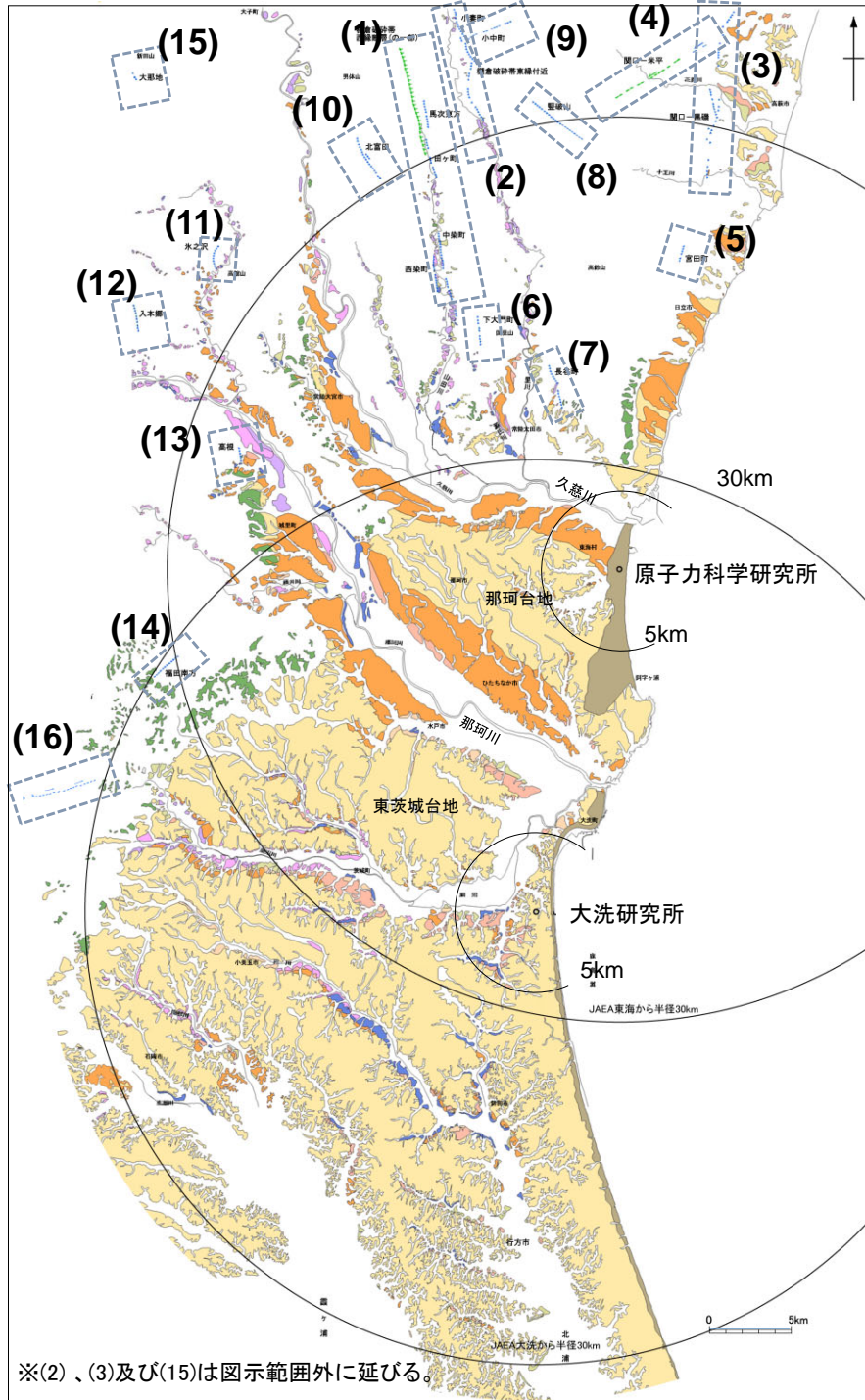
以上の述べた各層のうち、第四系はほとんど水平に分布しており、構造的な変形はうけていない。大洗層は、北東北へ約30°傾むく単斜構造を示す。新第三系については、地表に露出していないので、その構造は不明である。大洗層と新第三系との相互関係も不明であるが、全般的な状況からみて、おそらく断層で接するものである。また、鹿島台地の中新統と東茨城台地の中新・鮮新統の間にも断層が存在することが予想される。

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
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">L4面</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">L3面</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">L2面</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">L1面</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">M4面</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">M3面</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">M2面</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">M1面</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 10px; height: 10px; margin-right: 5px;"></div> <div style="font-size: 8px;">高位面</div> </div> </div>	

後

第四紀更新世

中期

立川面 Tc3面

立川面 Tc2面

立川面 Tc1面

武蔵野面 M3面

武蔵野面 M2面

下末吉~小原台面

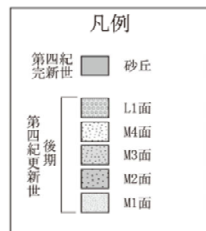
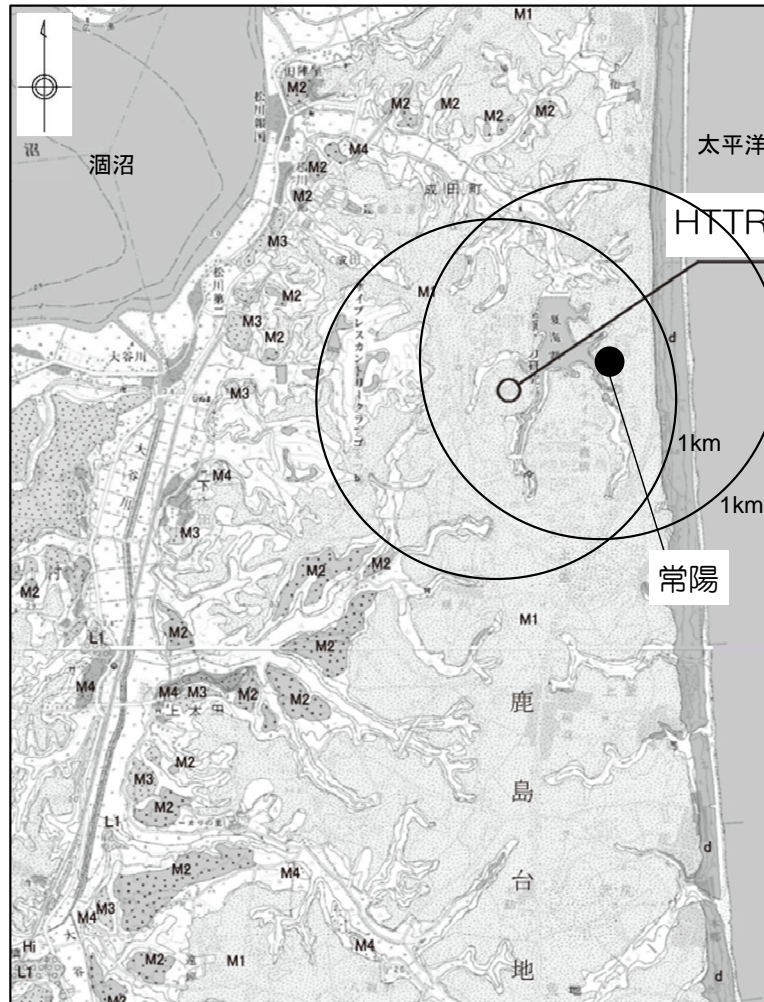
多摩面

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)

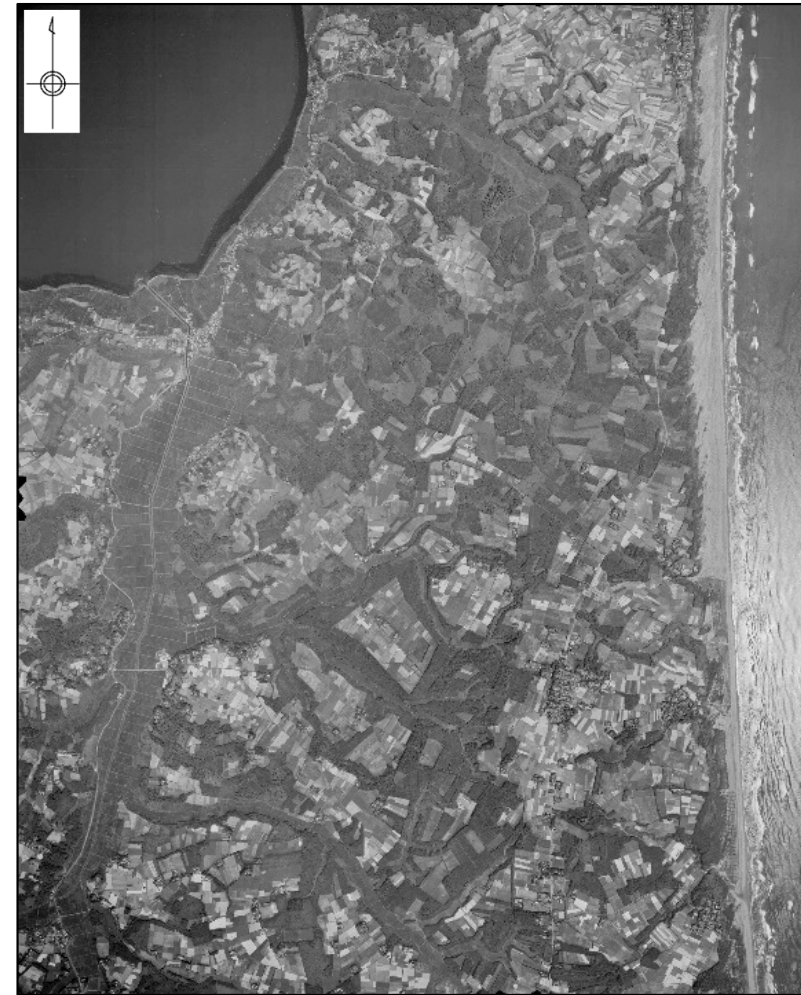
短線は地形的に低い側を、矢印は地形の屈曲方向を示す。
 短線がないリニアメントは両側で高度の不連続が認められない。

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。



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情復、第337号) 及び
(承認番号 平26情復、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。

敷地近傍陸域の変動地形調査結果図



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

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

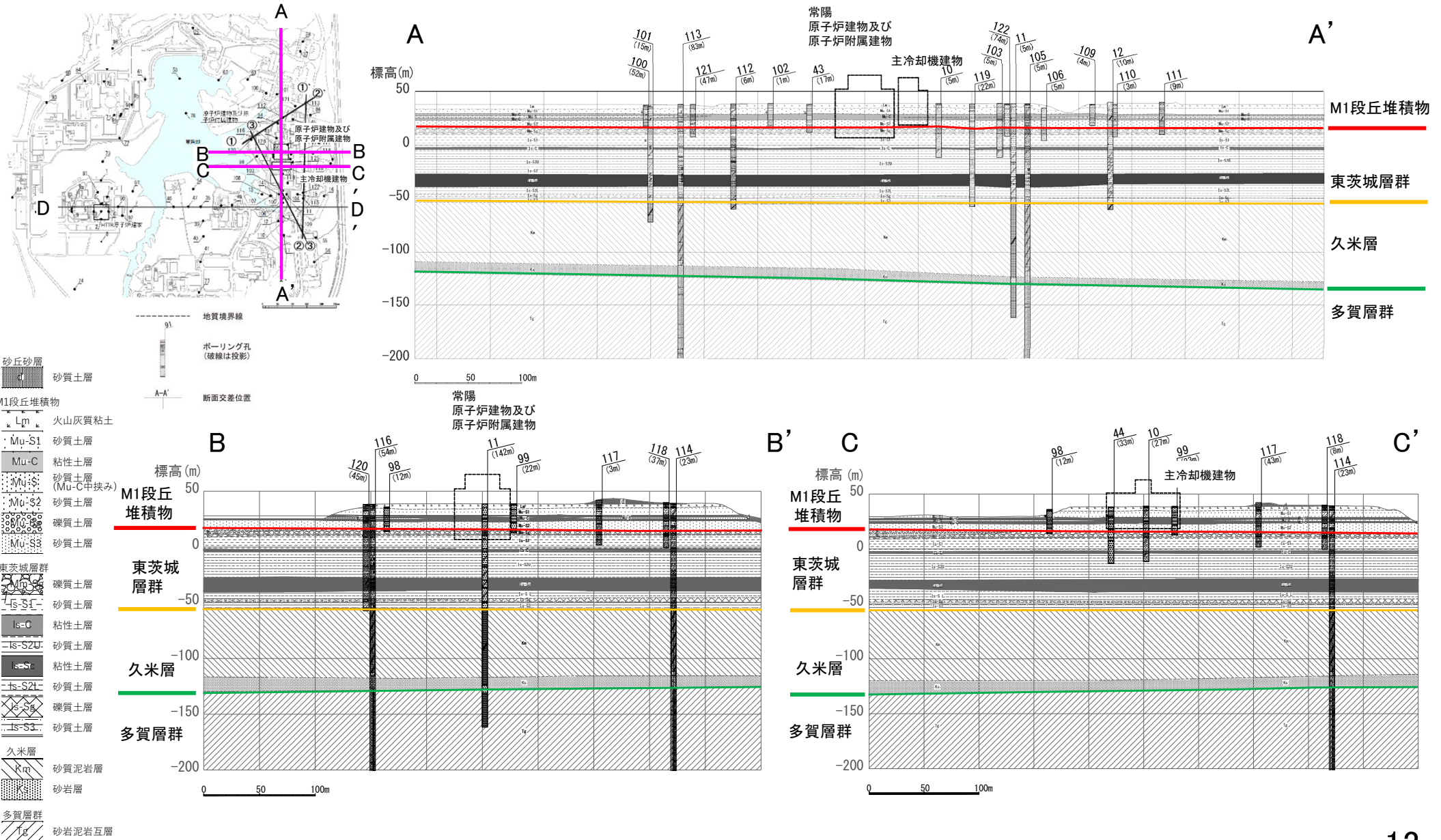
年代層序区分		地層名		主な層相		備考	坂本(1975) 「磯浜地域の地質」	山元(2013)			
新生界	第四系	完新統		沖積層	砂丘砂層	礫・砂・シルト	砂	敷地の低地部に分布する。	敷地の海岸付近に分布し、細粒砂から中粒砂よりなる。	—	—
		更新統	上部	M1段丘堆積物		礫・砂・シルト		下位の東茨城層群を不整合に覆う。 (MIS5e~5c)	見和層上部層	茨城層	見和層
			中部	東茨城層群		礫・砂・シルト		建家の基盤であり、M1段丘堆積物に不整合に覆われて分布する。 (MIS13~7)	見和層中部層 石崎層	夏海層	笠神層
			下部					—	—	—	—
	新第三系	鮮新統		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	—	—
		中新統	上部	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

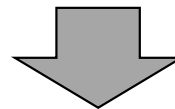
敷地には、下位から新第三系中新統で砂質泥岩からなる多賀層群、新第三系鮮新統～第四系下部更新統で主に砂質泥岩からなる久米層が分布し、これを覆って、第四系中部更新統で礫・砂・シルトからなる東茨城層群※、第四系上部更新統で礫・砂・シルトからなるM1段丘堆積物、第四系完新統で礫・砂・シルトからなる沖積層及び細粒砂・中粒砂からなる砂丘砂層が分布する。  
 なお、敷地内の地質層序について、坂本(1975)及び山元(2013)と整合性を確認した。山元(2013)は、東茨城台地に分布する更新統の層序について、海水準変動に関連付けた地層区分及びテフラの対比により検討を行い、下位から笠神層、夏海層、見和層、茨城層に区分しており、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。

※坂本・宇野沢(1976)による引田層等、坂本・宇野沢(1979)による友部層等、常磐海岸台地の南部ではH面を構成する堆積物、那珂台地、東茨城台地等では、坂本他(1981)による石崎層、笠神層、見和層下部及び見和層中部に、大井・横山(2011)による藪層、上泉層、清川層、横田層及び木下層の剣尺部層、山元(2013)による笠神層及び夏海層に相当する地層を、一括して「東茨城層群」と仮称する。

M1段丘堆積物は、下位の東茨城層群を覆って、敷地に広く分布しており、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。



- 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。
- 久米層以浅の地層には断層は認められず、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. 改良地盤の品質管理方針
7. 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**

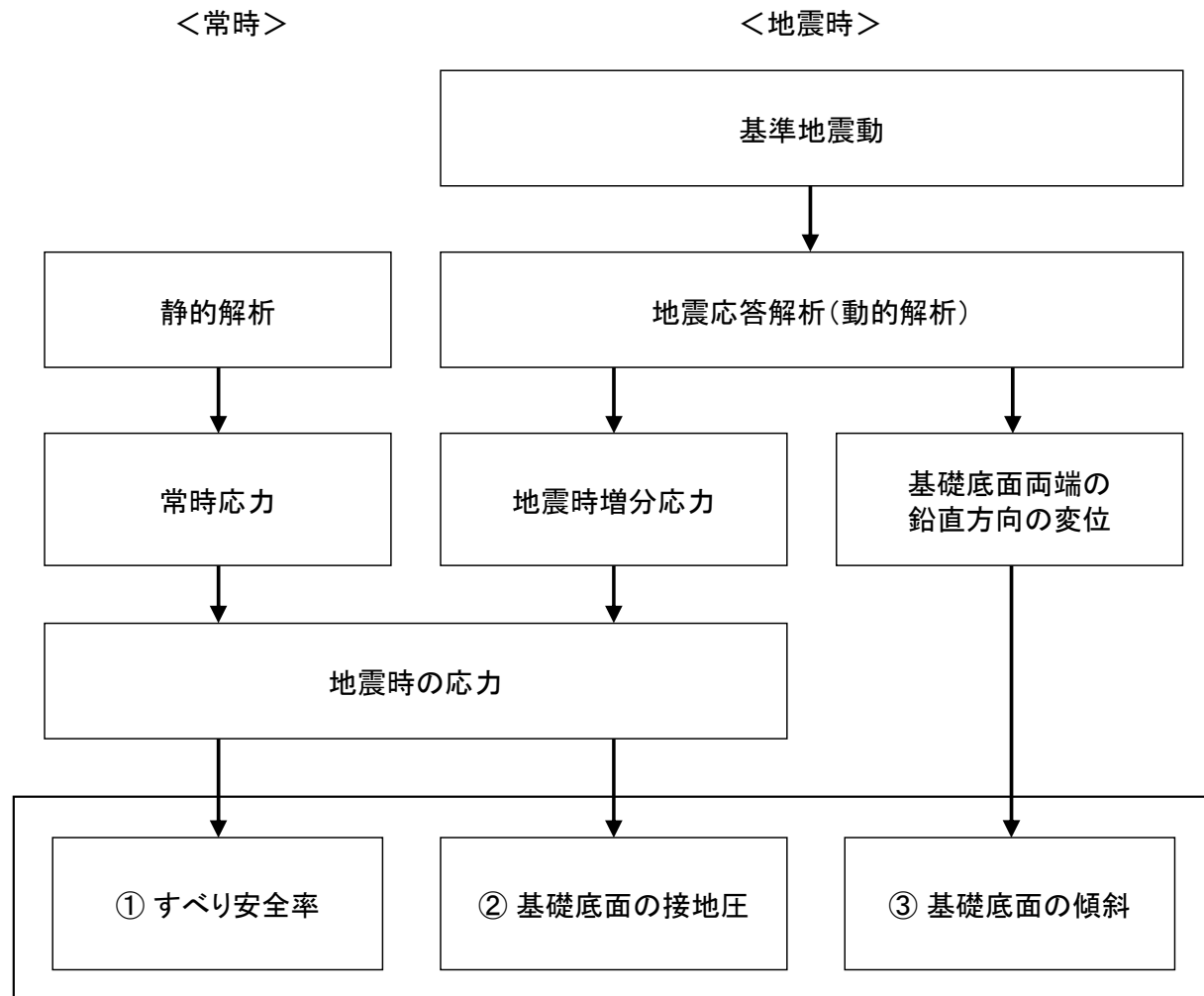
地震時における基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認する。

(2) 基礎地盤が液状化するおそれがないことを確認する。



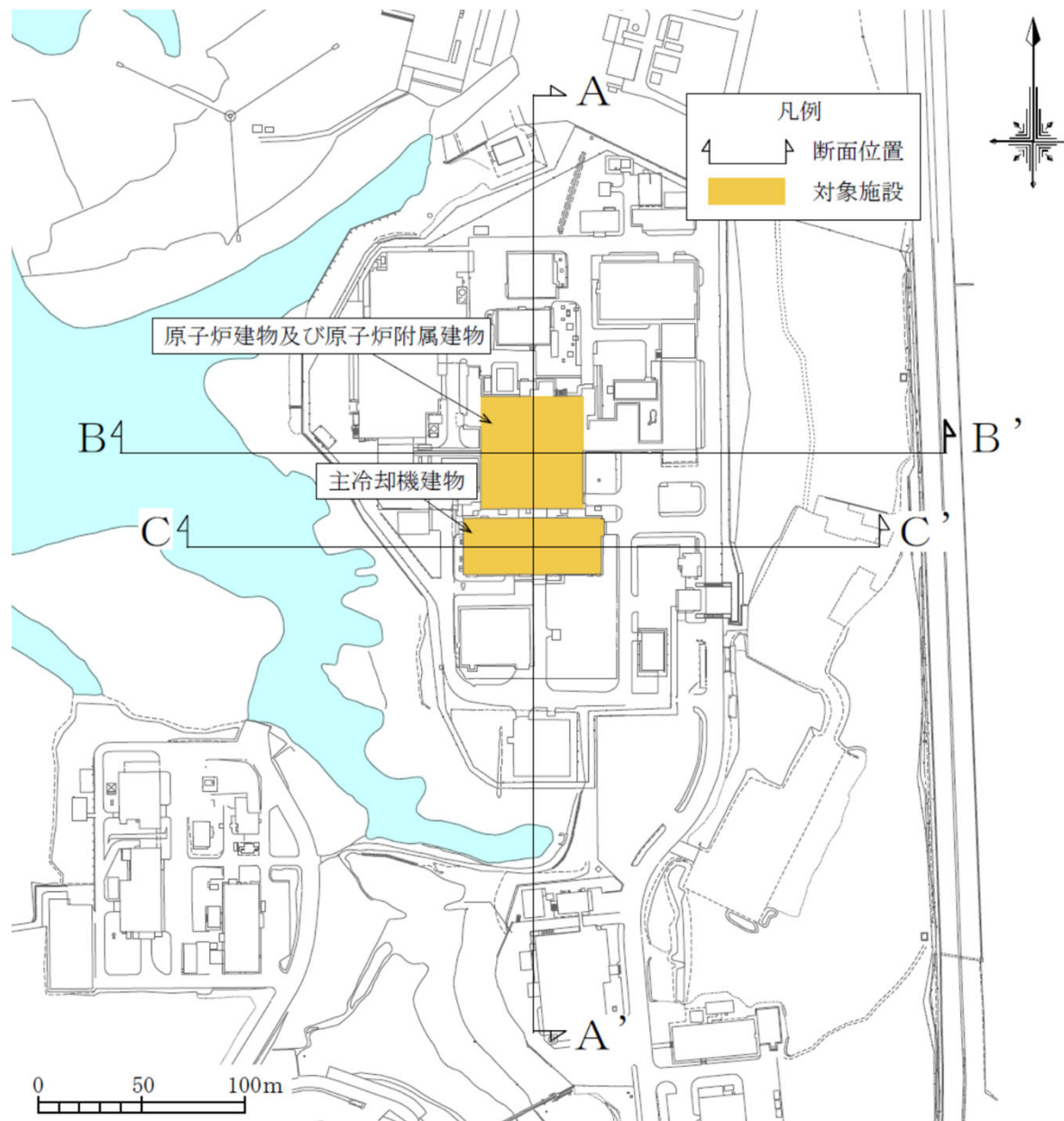
### 3.2 安定性評価フロー

- ・「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 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。



評価対象断面

### 3.4 評価対象断面(地盤分類)

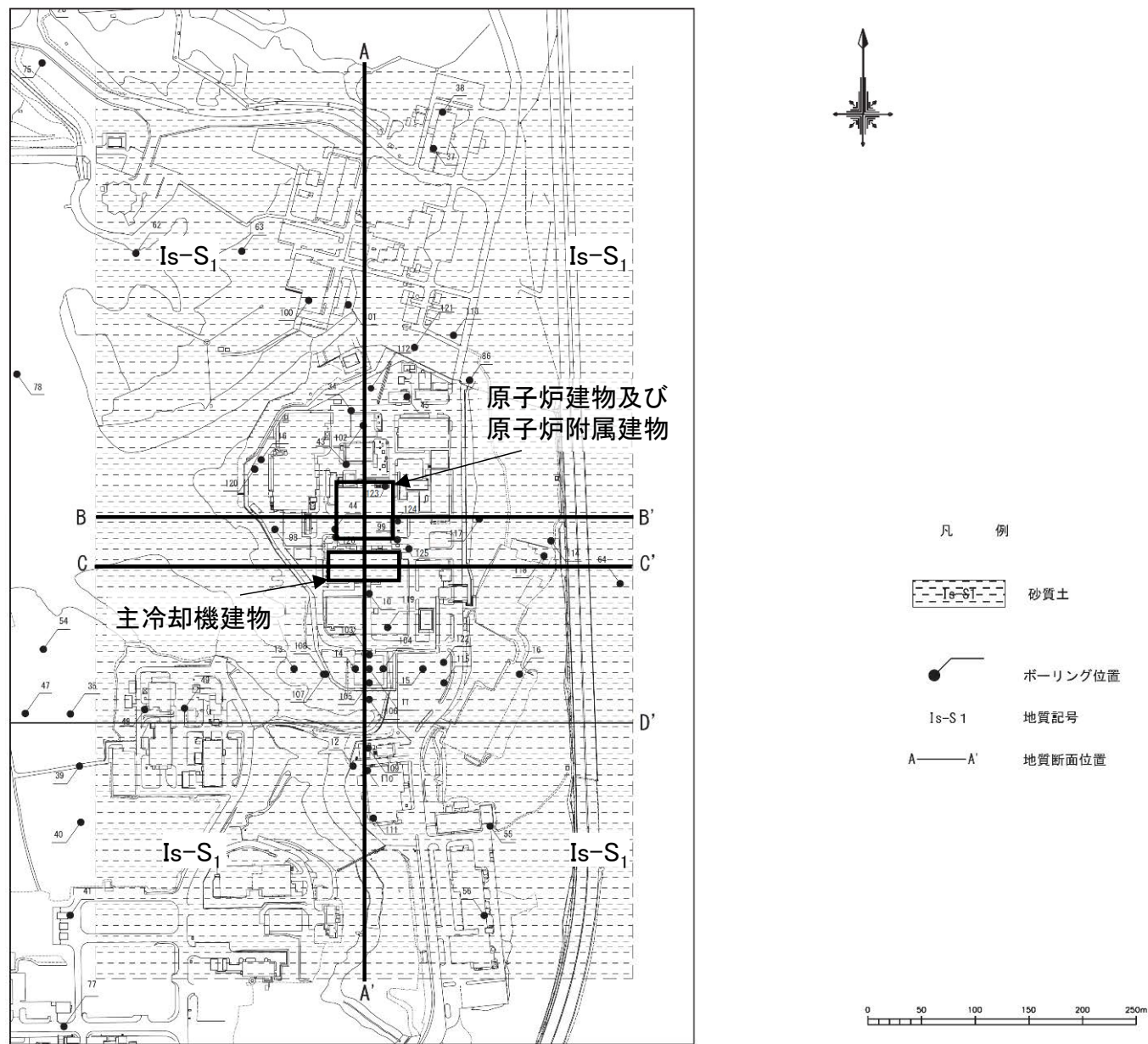
原子炉施設設置位置付近の地盤について、地質学的性質及び工学的性質の違いから、次のように区分した。

- ・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。

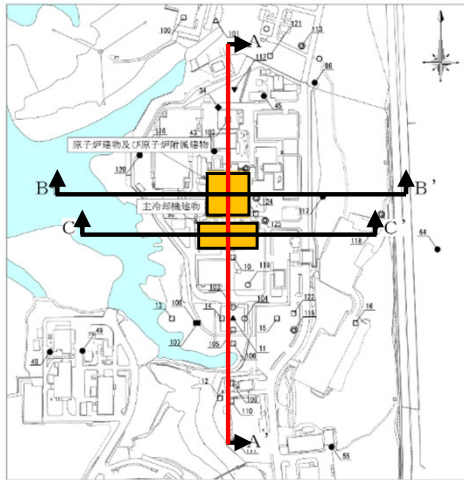
| 年代層序区分 |       | 地層区分 | 地質記号        | 主な層相            |                     | 備考                   |                  |                    |                     |
|--------|-------|------|-------------|-----------------|---------------------|----------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| 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。 |                  |                    |                     |
|        |       | 更新統  | 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         |
|        |       | 更新統  | 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。      |                     |
|        | Is-Sg | 礫質土  |             | 垂角～円礫を含む細砂からなる。 |                     |                      |                  |                    |                     |
|        | 更新統   | 下部   |             |                 |                     | —                    |                  |                    |                     |
|        | 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

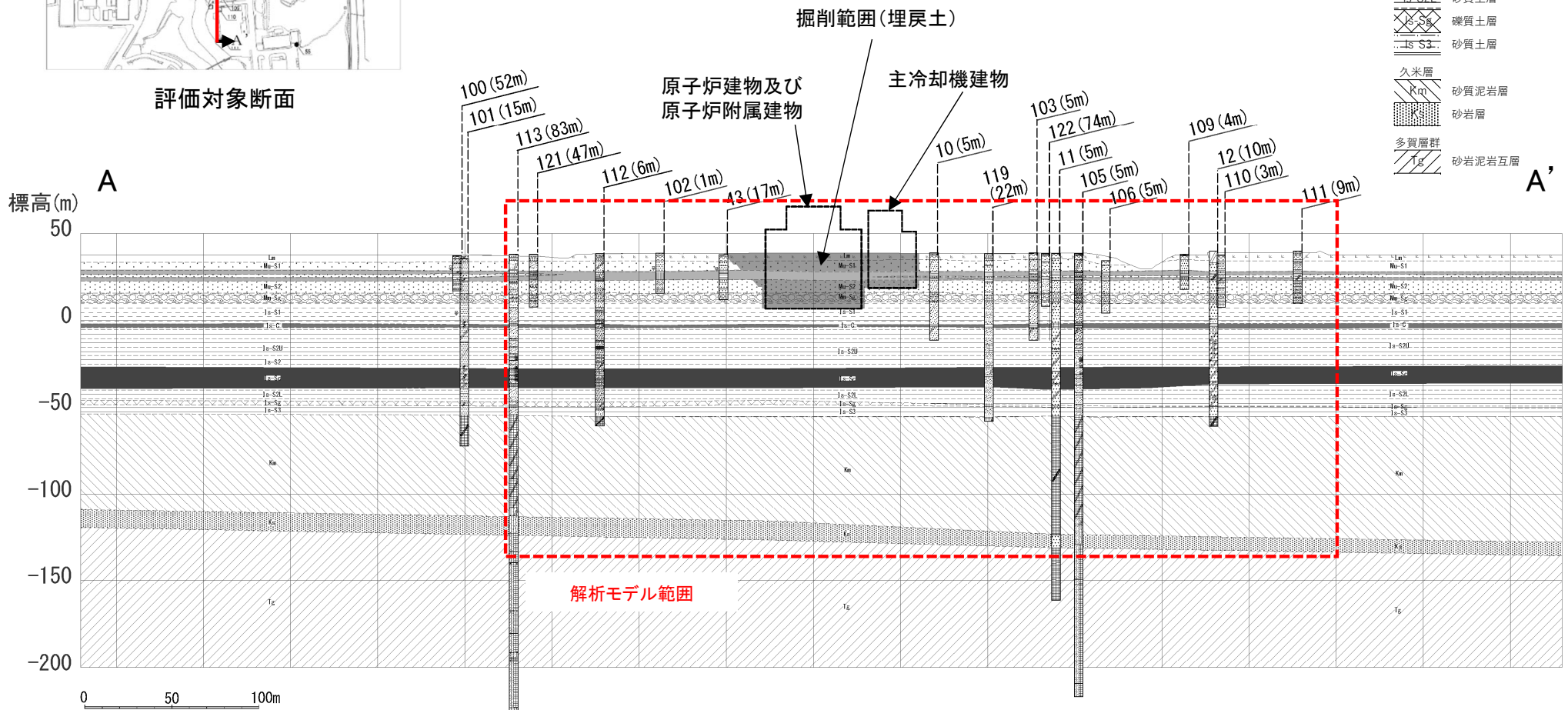
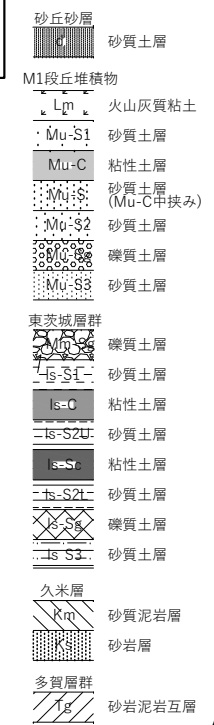
原子炉建物及び原子炉附属建物基礎底面位置付近のT.P.+6.7 mには、Is-S₁が分布する。



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

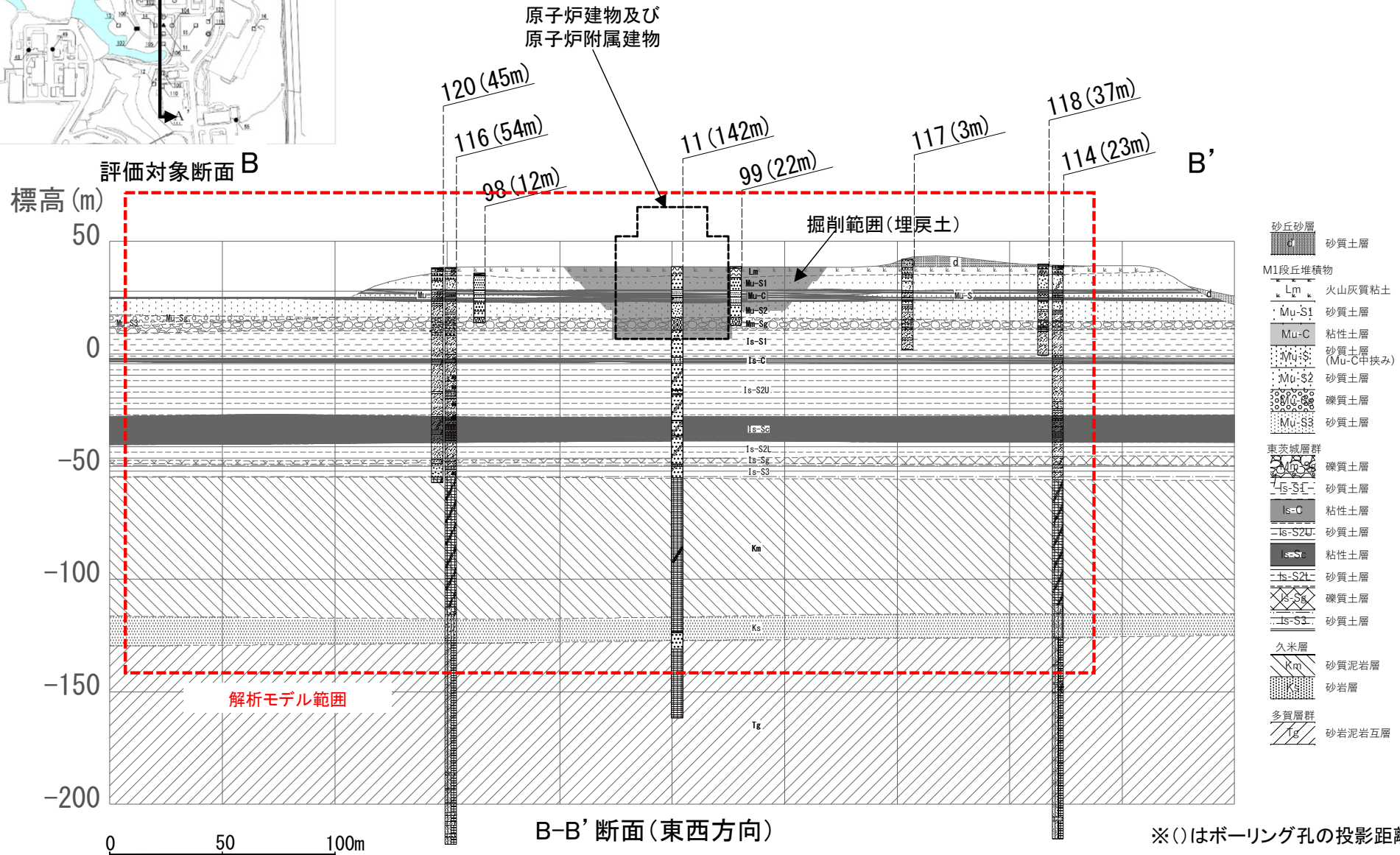
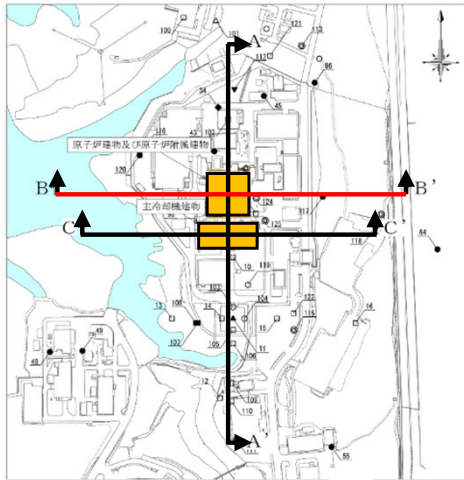


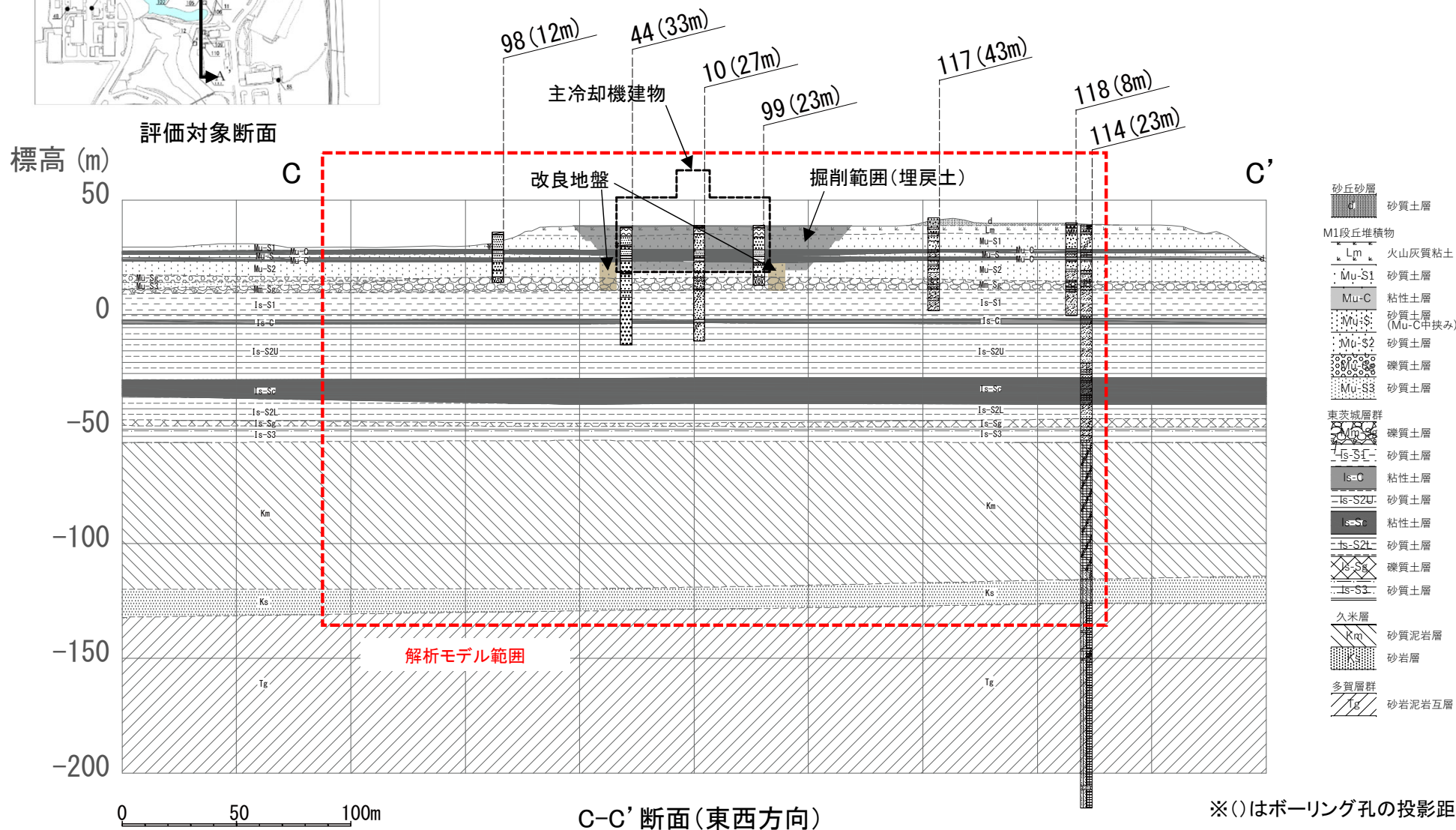
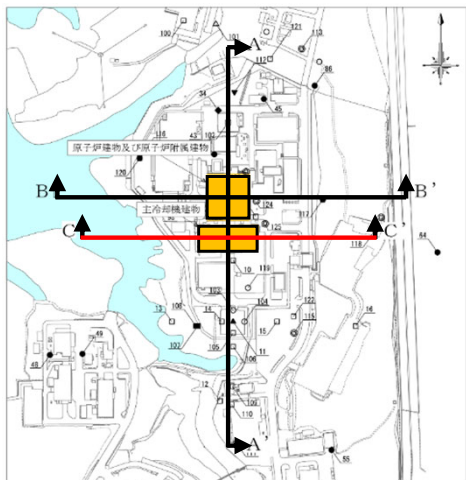
評価対象断面



※ () はボーリング孔の投影距離

A-A' 断面(南北方向)

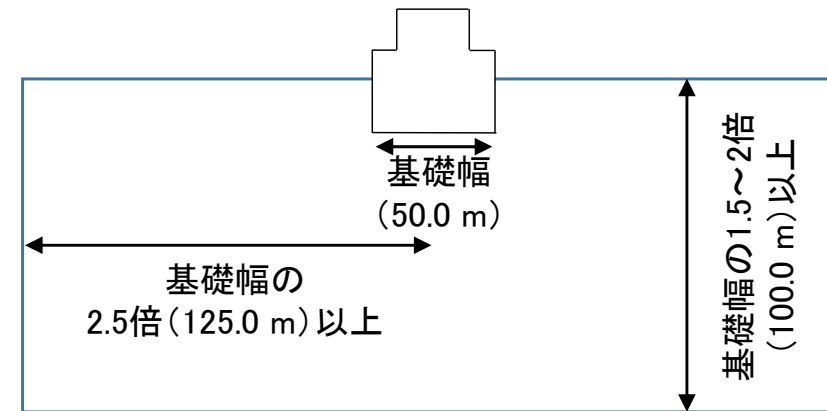




3.5 解析モデル(モデル領域・地盤のモデル化)

【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】

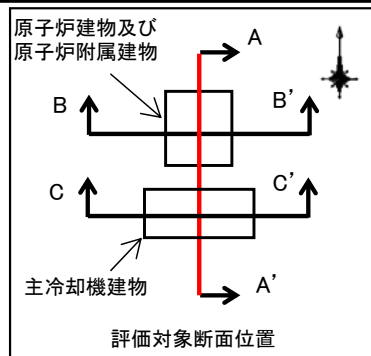
- ・地盤は、平面ひずみ要素でモデル化する。
- ・要素の高さは、JEAG4601-2015等を参考に、最大周波数(20 Hz)及び地盤のせん断波速度 V_s より求まる最大要素高さを上回らないよう設定し、浅くなるにつれて細かく分割している。

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

- ・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扁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。

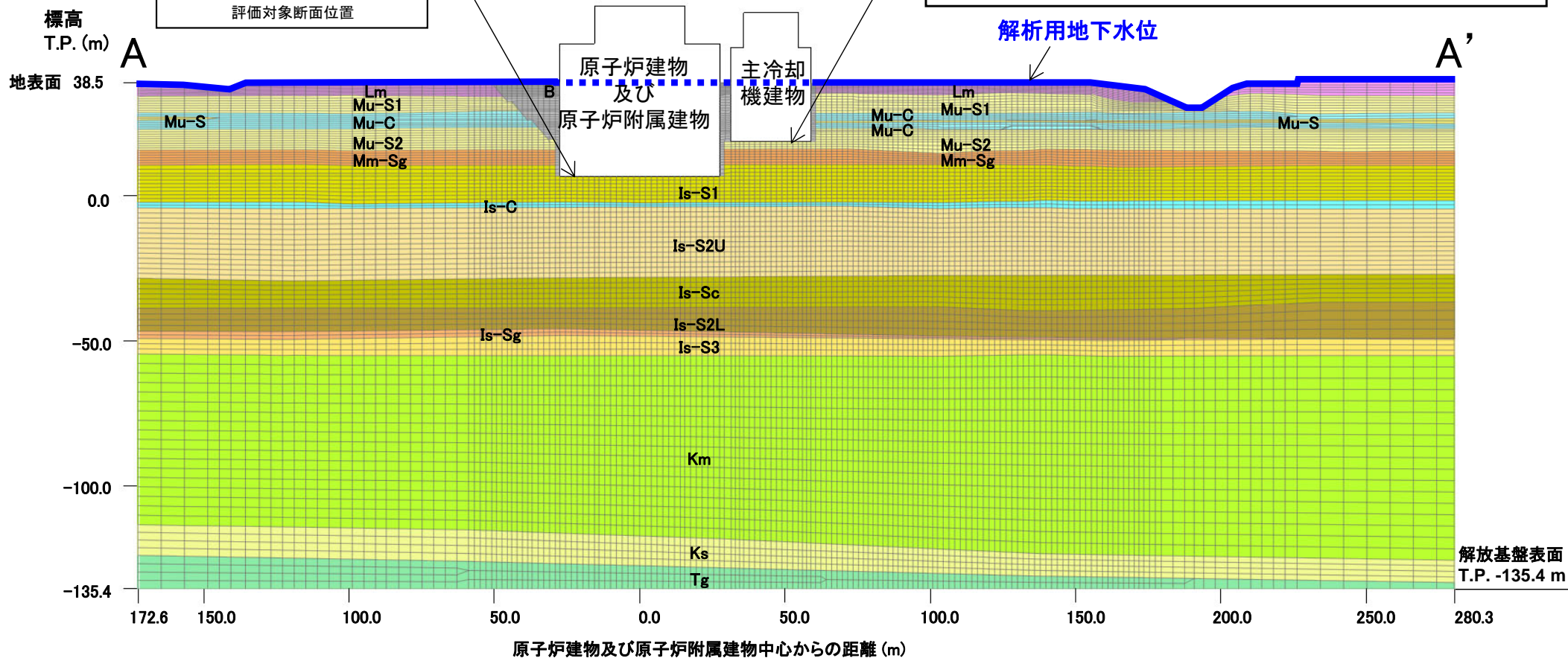
3.5 解析モデル(A-A'断面)

- ・解析モデルは、地盤を2次元FEMモデルとし、等価線形解析により行う。
- ・地盤の安定性評価に用いる解析用地下水位は、建物周辺での地下水位観測記録を踏まえ、保守的な評価として地表面に設定する。(地下水位の観測結果は参考資料 10に示す。)
- ・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ず地盤としてモデル化する。

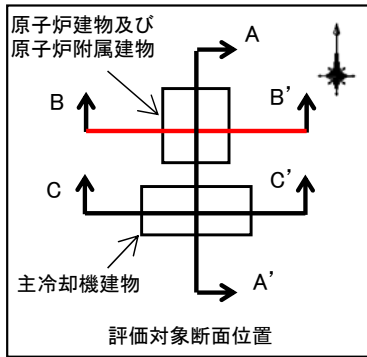


凡例

| | | | | | |
|-------|-----|--------|-----|----|--------|
| 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 | | |

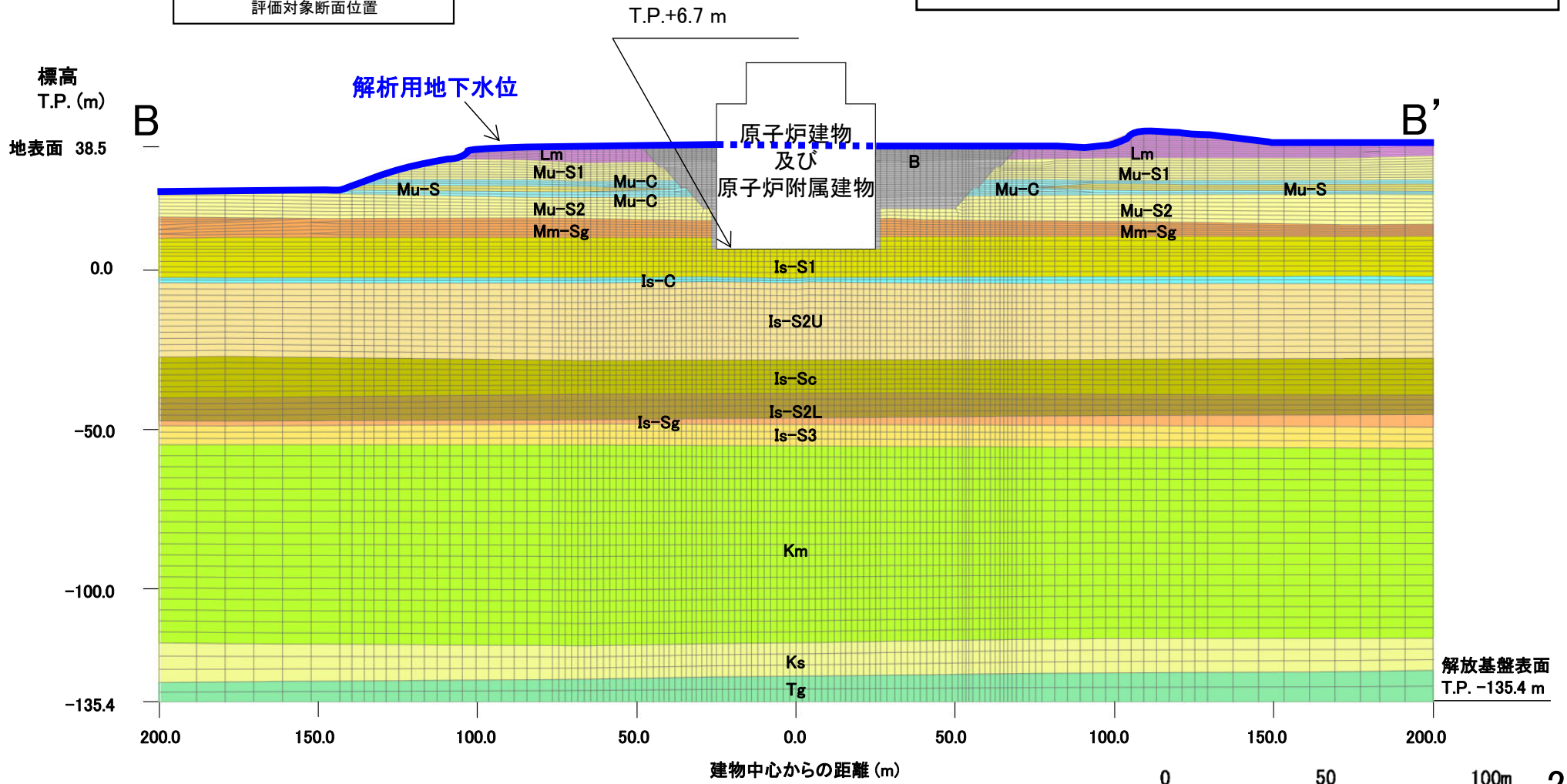


3.5 解析モデル(B-B'断面)



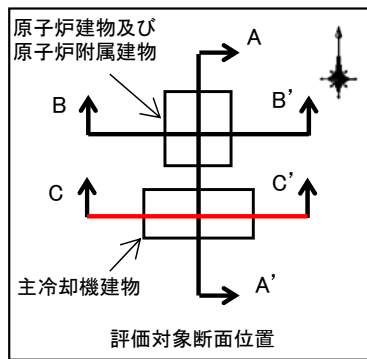
凡例

| | | | | | |
|-------|-----|--------|-----|----|--------|
| 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 | | |



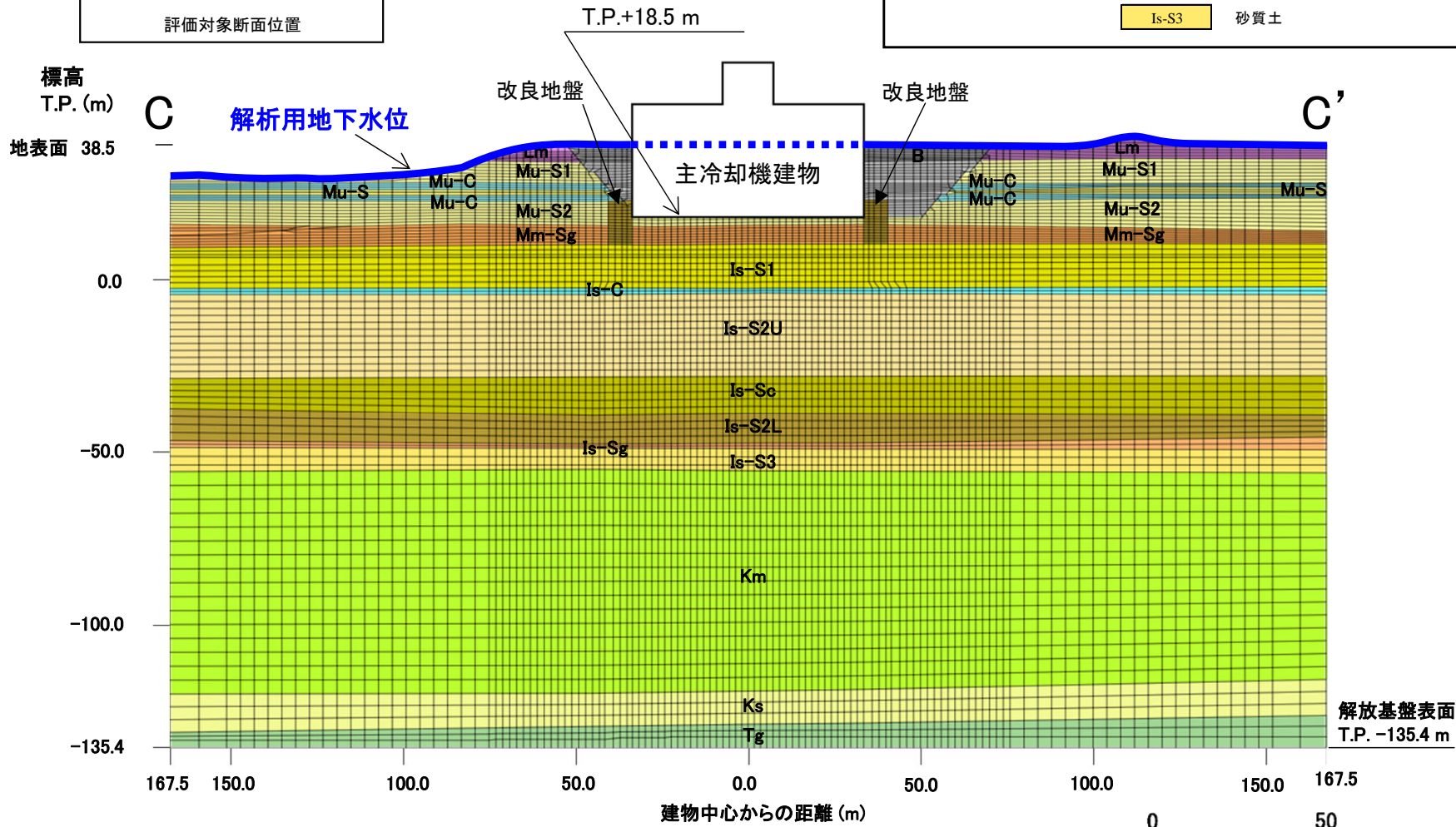
3.5 解析モデル(C-C'断面)

・主冷却機建物の東西断面は、すべり抵抗力を向上させるため、建物東側及び西側に改良地盤を設置する。
(改良地盤の解析用物性値を3.6章に示す。)



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 | I | 改良地盤 |
| 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 | | |

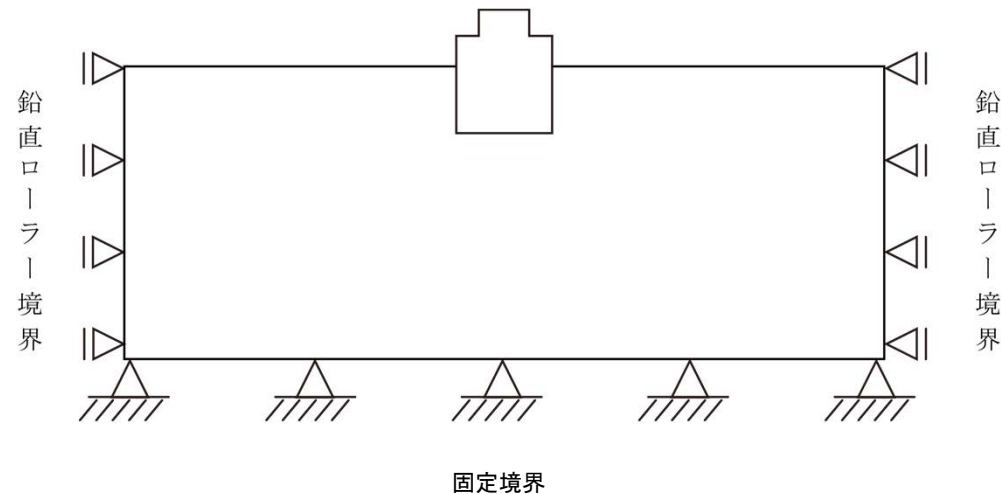


3.5 解析モデル(境界条件)

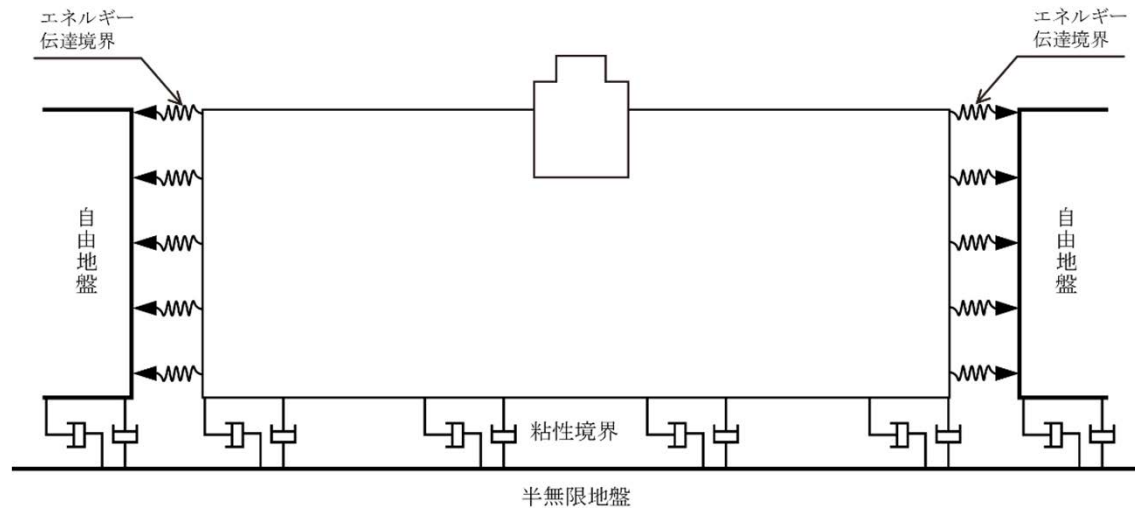
【境界条件】

- ・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

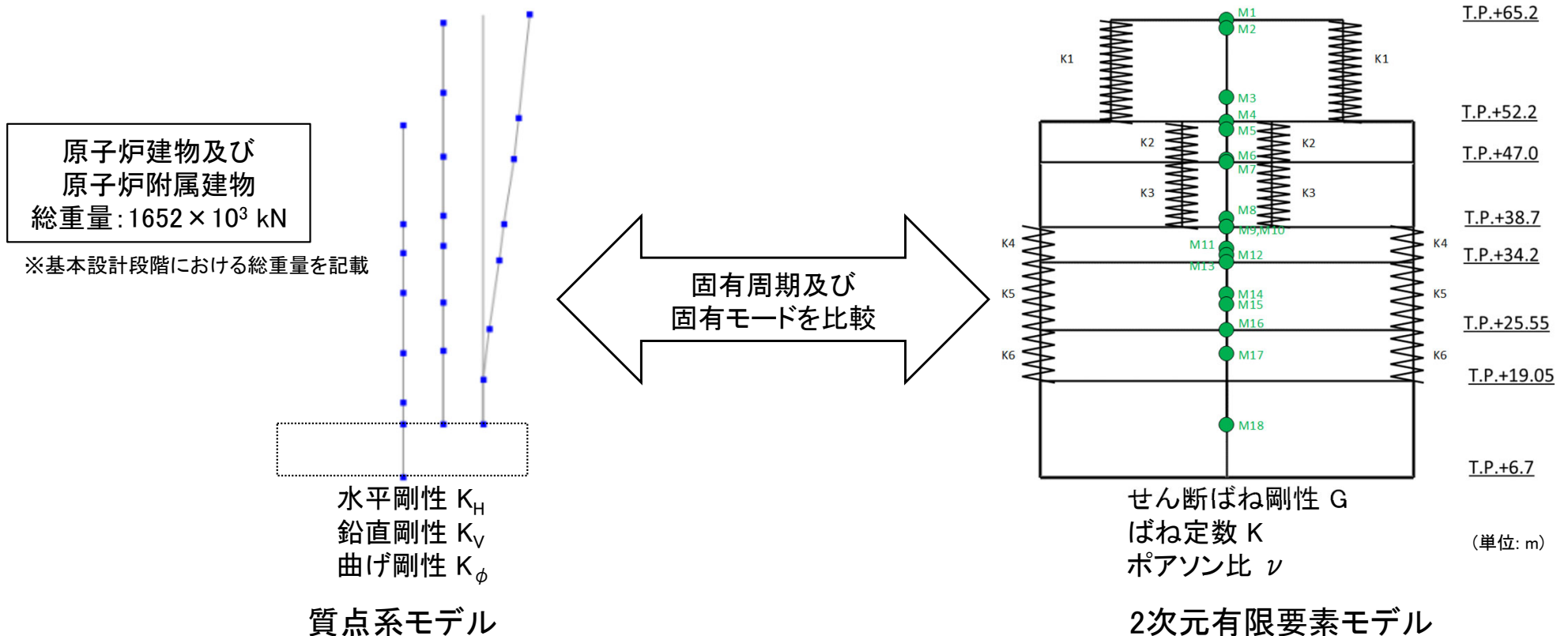


3.5 解析モデル(建物のモデル化)

【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、質点系モデルの建物各層の水平剛性 K_H 、鉛直剛性 K_V 及び曲げ剛性 K_ϕ を用いて、せん断ばね剛性 G 、ばね定数 K 、ポアソン比 ν を求め、等価な振動特性の2次元有限要素モデルを作成する。

(質点系モデル及び2次元有限要素モデルの振動特性(固有値解析)の確認結果は参考資料 2に示す。)



建物モデル化手法の概念図(例:B-B'断面)

- ・ 解析用物性値(原地盤)は、下表に示す試験・調査結果に基づき設定した。
- ・ 解析用物性値一覧を次ページに示す。

| 地層名 | 地質記号 | 物理特性 | 強度特性 | | 変形特性 | | | |
|---------|---------------------|------|--------|--------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------|----------------|
| | | 湿潤密度 | ピーク強度 | 残留強度 | 動的変形特性 | | | 静的変形特性 |
| | | | | | 初期動せん断弾性係数 | 動ポアソン比 | 正規化せん断弾性係数 G/G_0 、減衰率 h | 静弾性係数 |
| 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の解析用物性値にはIs-S₂Lの試験結果を適用する。

3.6 解析用物性値（原地盤）－物理特性、強度特性(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を考慮） | | |
|-------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|
| | | 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 | 0.042 | 19.7 | $\tau_r^2 = 0.052 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.066$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.040 + \sigma \cdot \tan 15.8^\circ$
($\sigma \geq 0.066$ N/mm ²) | 0.031 | 19.7 | $\tau_r^2 = 0.033 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.056$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.027 + \sigma \cdot \tan 15.8^\circ$
($\sigma \geq 0.056$ N/mm ²) |
| | Mu-S ₁ | 1.86 | 0.021 | 37.0 | $\tau_r^2 = 0.068 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.004$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.014 + \sigma \cdot \tan 33.0^\circ$
($\sigma \geq 0.004$ N/mm ²) | 0.002 | 37.0 | $\tau_r = \sigma \cdot \tan 32.9^\circ$ |
| | Mu-C | 1.72 | 0.227 | 16.6 | $\tau_r^2 = 0.227 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.196$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.179 + \sigma \cdot \tan 9.3^\circ$
($\sigma \geq 0.196$ N/mm ²) | 0.178 | 16.6 | $\tau_r^2 = 0.169 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.170$ N/mm ²)
$\tau_r = 0.142 + \sigma \cdot \tan 9.3^\circ$
($\sigma \geq 0.170$ 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 | 1.86 | 0.040 | 38.4 | $\tau_r = \sigma \cdot \tan 38.0^\circ$ | 0.001 | 38.4 | $\tau_r = \sigma \cdot \tan 36.0^\circ$ |
| 東茨城
層群 | Mm-Sg | 2.23 | 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（原地盤）－物理特性、強度特性(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を考慮） | | |
|-----------|---------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|-------------------------------|---------------------|---|
| | | | 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 | 1.83 | 0.399 | 27.7 | $\tau_r^2 = 0.660 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.228 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.268 + \sigma \cdot \tan 27.7^\circ$
$(\sigma \geq 0.228 \text{ N/mm}^2)$ | 0.322 | 27.7 | $\tau_r^2 = 0.455 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.149 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.182 + \sigma \cdot \tan 27.7^\circ$
$(\sigma \geq 0.149 \text{ N/mm}^2)$ |
| | Is-C | 1.85 | 0.543 | 0.0 | $\tau_r^2 = 0.409 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.527 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.464$
$(\sigma \geq 0.527 \text{ N/mm}^2)$ | 0.450 | 0.0 | $\tau_r^2 = 0.297 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.460 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.370$
$(\sigma \geq 0.460 \text{ N/mm}^2)$ |
| | Is-S ₂ U | 1.82 | 0.725 | 12.4 | $\tau_r^2 = 1.01 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.787 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.719 + \sigma \cdot \tan 12.4^\circ$
$(\sigma \geq 0.787 \text{ N/mm}^2)$ | 0.521 | 12.4 | $\tau_r^2 = 0.670 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.646 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.516 + \sigma \cdot \tan 12.4^\circ$
$(\sigma \geq 0.646 \text{ N/mm}^2)$ |
| | Is-Sc | 1.78 | 0.559 | 10.0 | $\tau_r^2 = 0.664 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.658 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.559 + \sigma \cdot \tan 8.8^\circ$
$(\sigma \geq 0.658 \text{ N/mm}^2)$ | 0.424 | 10.0 | $\tau_r^2 = 0.446 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.613 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.428 + \sigma \cdot \tan 8.8^\circ$
$(\sigma \geq 0.613 \text{ N/mm}^2)$ |
| | Is-S ₂ L | 1.91 | 0.631 | 20.0 | $\tau_r^2 = 1.02 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.793 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.611 + \sigma \cdot \tan 20.0^\circ$
$(\sigma \geq 0.793 \text{ N/mm}^2)$ | 0.413 | 20.0 | $\tau_r^2 = 0.621 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.627 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.396 + \sigma \cdot \tan 20.0^\circ$
$(\sigma \geq 0.627 \text{ N/mm}^2)$ |
| | Is-Sg | 1.91 | 0.631 | 20.0 | $\tau_r^2 = 1.02 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.793 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.611 + \sigma \cdot \tan 20.0^\circ$
$(\sigma \geq 0.793 \text{ N/mm}^2)$ | 0.413 | 20.0 | $\tau_r^2 = 0.621 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.627 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.396 + \sigma \cdot \tan 20.0^\circ$
$(\sigma \geq 0.627 \text{ N/mm}^2)$ |
| | Is-S ₃ | 1.94 | 0.888 | 16.9 | $\tau_r^2 = 1.27 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.812 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.768 + \sigma \cdot \tan 16.9^\circ$
$(\sigma \geq 0.812 \text{ N/mm}^2)$ | 0.701 | 16.9 | $\tau_r^2 = 0.939 \cdot \sigma$
$(\sigma < 0.686 \text{ N/mm}^2)$
$\tau_r = 0.594 + \sigma \cdot \tan 16.9^\circ$
$(\sigma \geq 0.686 \text{ N/mm}^2)$ |

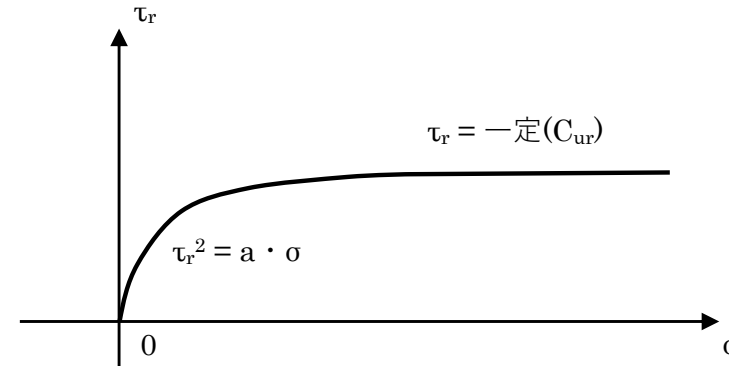
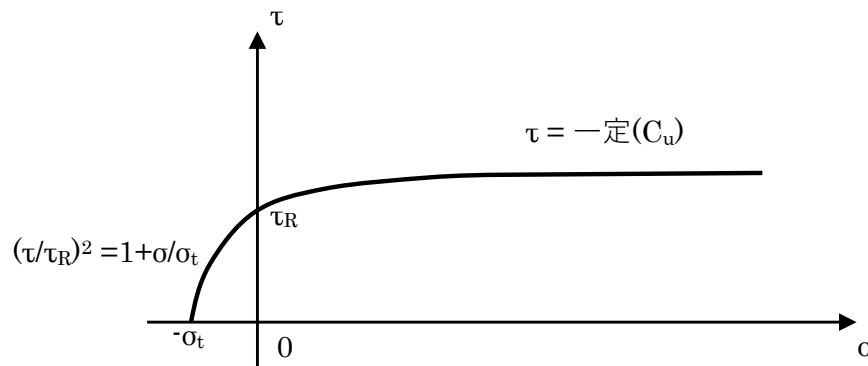
σ : 垂直応力

3.6 解析用物性値（原地盤）－物理特性、強度特性(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を考慮） | | |
|------|------|---|--|---------------------|---|--|---|---------------------------------------|
| | | | 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 [°] | |
| 久米層 | Km | 1.78 | Cu=0.660-0.00440 Z
$\sigma_t = 0.160$
$\tau_R = 0.359$ | | Cur=0.295-0.00495 Z
a= 0.208-0.00417 Z | Cu=0.588-0.00440 Z
$\sigma_t = 0.120$
$\tau_R = 0.314$ | Cur=0.196-0.00495 Z
a= 0.098-0.00417 Z | |
| | Ks | 1.81 | | | | | | |
| 多賀層群 | Tg | 1.86 | — | — | — | — | — | |

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。



ピーク強度 τ

残留強度 τ_r

3.6 解析用物性値（原地盤）－変形特性(1)－

| 地層名 | 地質記号 | 変形特性 | | | | |
|-------------|-------------------|---|-------------------|-----------------------------|---|--|
| | | 動的変形特性 | | | | 静的変形特性 |
| | | 初期せん断
弾性係数
G_0 [N/mm ²] | 動ポアソン比
ν_d | $G/G_0 \sim \gamma$ [%] | h [%] $\sim \gamma$ [%] | 静弾性係数
E_{50} [N/mm ²] |
| 埋戻土 | B | 733-19.8 Z | 0.35 | $1/(1+15.3 \gamma^{0.935})$ | $22.5 \gamma / (\gamma + 0.0734) + 0.171$ | 25.3 |
| M1段丘
堆積物 | Lm | 71.4 | 0.43 | $1/(1+4.56 \gamma^{0.711})$ | $8.80 \gamma / (\gamma + 0.0579) + 1.70$ | 9.38 |
| | Mu-S ₁ | 179 | 0.42 | $1/(1+13.6 \gamma^{0.873})$ | $20.7 \gamma / (\gamma + 0.0758) + 0.180$ | 45.0 |
| | Mu-C | 155 | 0.45 | $1/(1+4.34 \gamma^{0.791})$ | $10.1 \gamma / (\gamma + 0.148) + 1.82$ | 136 |
| | Mu-S | 191 | 0.46 | $1/(1+6.20 \gamma^{0.830})$ | $20.4 \gamma / (\gamma + 0.141) + 0.004$ | 59.9 |
| | Mu-S ₂ | 328 | 0.30 | $1/(1+6.86 \gamma^{0.827})$ | $22.8 \gamma / (\gamma + 0.130) + 0.472$ | 80.6 |
| 東茨城
層群 | Mm-Sg | 626 | 0.34 | $1/(1+6.69 \gamma^{0.801})$ | $13.2 \gamma / (\gamma + 0.0512) + 1.72$ | 188 |

G：せん断弾性係数、 γ ：せん断ひずみ、h：減衰率、Z：標高 (m)

3.6 解析用物性値（原地盤）－変形特性(2)－

| 地層名 | 地質記号 | 変形特性 | | | | |
|-----------|---------------------|---|-------------------|-----------------------------|--|--|
| | | 動的変形特性 | | | | 静的変形特性 |
| | | 初期せん断
弾性係数
G_0 [N/mm ²] | 動ポアソン比
ν_d | $G/G_0 \sim \gamma$ [%] | h [%] $\sim \gamma$ [%] | 静弾性係数
E_{50} [N/mm ²] |
| 東茨城
層群 | Is-S ₁ | 323 | 0.47 | $1/(1+5.08 \gamma^{0.817})$ | $23.7 \gamma / (\gamma + 0.203) + 0.374$ | 55.9 |
| | Is-C | 267 | 0.47 | $1/(1+5.21 \gamma^{0.913})$ | $13.6 \gamma / (\gamma + 0.149) + 1.19$ | 279 |
| | Is-S ₂ U | 263 | 0.47 | $1/(1+3.79 \gamma^{0.937})$ | $24.0 \gamma / (\gamma + 0.501) + 0.892$ | 109 |
| | Is-Sc | 299 | 0.47 | $1/(1+3.73 \gamma^{0.918})$ | $17.4 \gamma / (\gamma + 0.277) + 0.877$ | 251 |
| | Is-S ₂ L | 370 | 0.46 | $1/(1+5.30 \gamma^{1.04})$ | $28.1 \gamma / (\gamma + 0.453) + 0.803$ | 162 |
| | Is-Sg | 370 | 0.46 | $1/(1+5.30 \gamma^{1.04})$ | $28.1 \gamma / (\gamma + 0.453) + 0.803$ | 162 |
| | Is-S ₃ | 376 | 0.46 | $1/(1+4.72 \gamma^{1.00})$ | $29.6 \gamma / (\gamma + 0.517) + 0.740$ | 176 |

G：せん断弾性係数、 γ ：せん断ひずみ、h：減衰率

| 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 | $G/G_0 \sim \gamma$ [%] | h [%] $\sim \gamma$ [%] | 静弾性係数
E_{50} [N/mm ²] |
| 久米層 | Km | 463 | 0.45 | $1/(1+2.32\gamma^{1.04})$ | $15.3\gamma/(\gamma+0.763)+1.54$ | 327-2.74 Z |
| | Ks | 588 | 0.44 | $1/(1+3.09\gamma^{0.986})$ | $15.0\gamma/(\gamma+0.603)+1.30$ | |
| 多賀層群 | Tg | 1190 | 0.41 | $1/(1+1.75\gamma^{0.925})$ | $9.59\gamma/(\gamma+0.346)+1.00$ | 1080 |

G：せん断弾性係数、 γ ：せん断ひずみ、h：減衰率、Z：標高 (m)

- ・解析用物性値(改良地盤)について、現地にて試験施工を行い、下表に示す試験・調査結果に基づき設定した。
- ・改良地盤の解析用物性値一覧を次ページに示す。

※試験施工結果を参考資料 11に示す。

| 地層名 | 地質記号 | 物理特性 | 強度特性 | | 変形特性 | | | |
|------|------|------|--------------------|--------|------------------------------------|--------|---------------------------------|--------|
| | | 湿潤密度 | ピーク強度 | 残留強度 | 動的変形特性 | | | 静的変形特性 |
| | | | | | 初期動せん断
弾性係数 | 動ポアソン比 | 正規化せん断弾性係数 G/G_0 、
減衰率 h | 静弾性係数 |
| 改良地盤 | I | 物理試験 | 三軸圧縮試験
及び引張強さ試験 | 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 | | 繰返し三軸試験 | 三軸圧縮試験 |

・三軸圧縮試験はUU条件により行う。

3.6 解析用物性値（改良地盤） —物理特性、強度特性、変形特性—

| 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 [°] | |
| 改良地盤 | I | 2.05 | $\tau = 1.12 + \sigma \cdot \tan 21.0^\circ$

$\sigma_t = 0.300^*$ | | $\tau_r^2 = 1.10 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.314 \text{N/mm}^2$)

$\tau_r = 0.468 + \sigma \cdot \tan 21.0^\circ$
($\sigma \geq 0.314 \text{N/mm}^2$) | $\tau = 1.09 + \sigma \cdot \tan 21.0^\circ$

$\sigma_t = 0.300^*$ | | $\tau_r^2 = 1.05 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.302 \text{N/mm}^2$)

$\tau_r = 0.448 + \sigma \cdot \tan 21.0^\circ$
($\sigma \geq 0.302 \text{N/mm}^2$) |

σ : 垂直応力

※ 引張強さ σ_t は「2018年度版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法- (日本建築センター)」により設定。

| 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] |
| 改良地盤 | I | 1090 | 0.41 | $1/(1+3.44 \cdot \gamma^{0.998})$ | $12.5 \cdot \gamma / (\gamma + 0.393) + 1.40$ | 1720 |

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（地盤物性のばらつきについて）

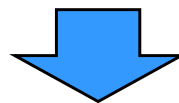
原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015(日本電気協会)

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±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係する地盤物性の影響が非常に大きく、剛性等の影響は比較的小さい。
- ・「代表値±係数×標準偏差(σ)」による確率的手法による地盤物性のばらつきの評価では、地盤物性値がばらついて「代表値-1.0×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1 σ 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。

3.7 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7波(S_s-D、S_s-1、S_s-2、S_s-3、S_s-4、S_s-5、S_s-6)を使用し、解析モデル下端(解放基盤表面)に水平及び鉛直地震動を同時入力する。

基準地震動S_sの最大加速度の一覧

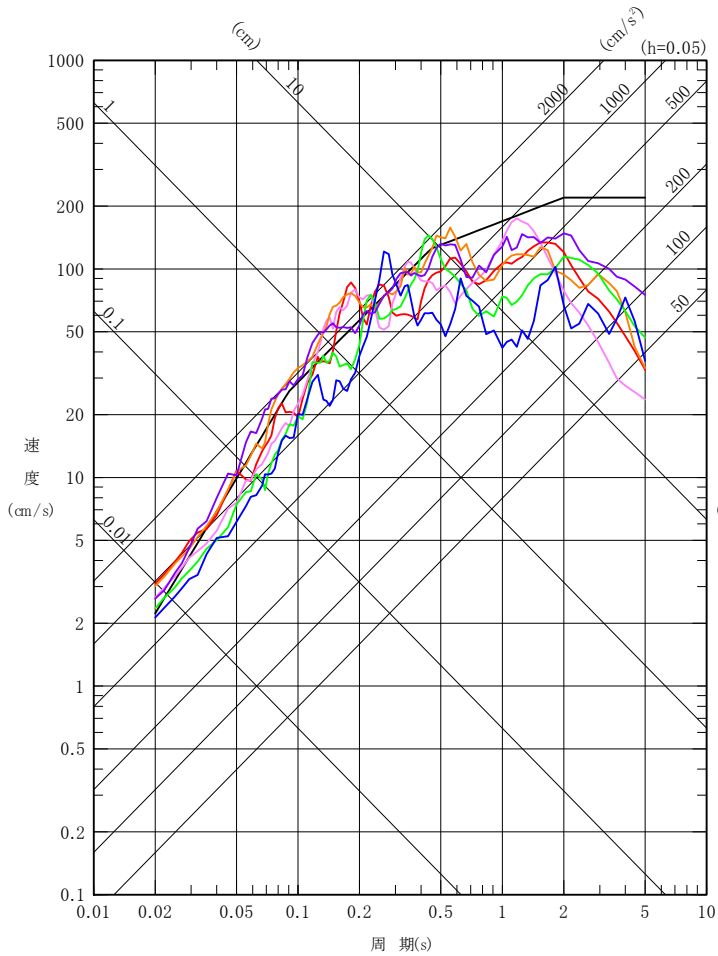
| 基準地震動 | | 最大加速度 (cm/s ²) | | |
|-------------------|---|----------------------------|---------|---------|
| | | NS成分 | EW成分 | UD成分 |
| S _s -D | 応答スペクトル手法による基準地震動 | 700
 | | 500
 |
| S _s -1 | F3断層～F4断層による地震
(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1) | 973
 | 711
 | 474
 |
| S _s -2 | F3断層～F4断層による地震
(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始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

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

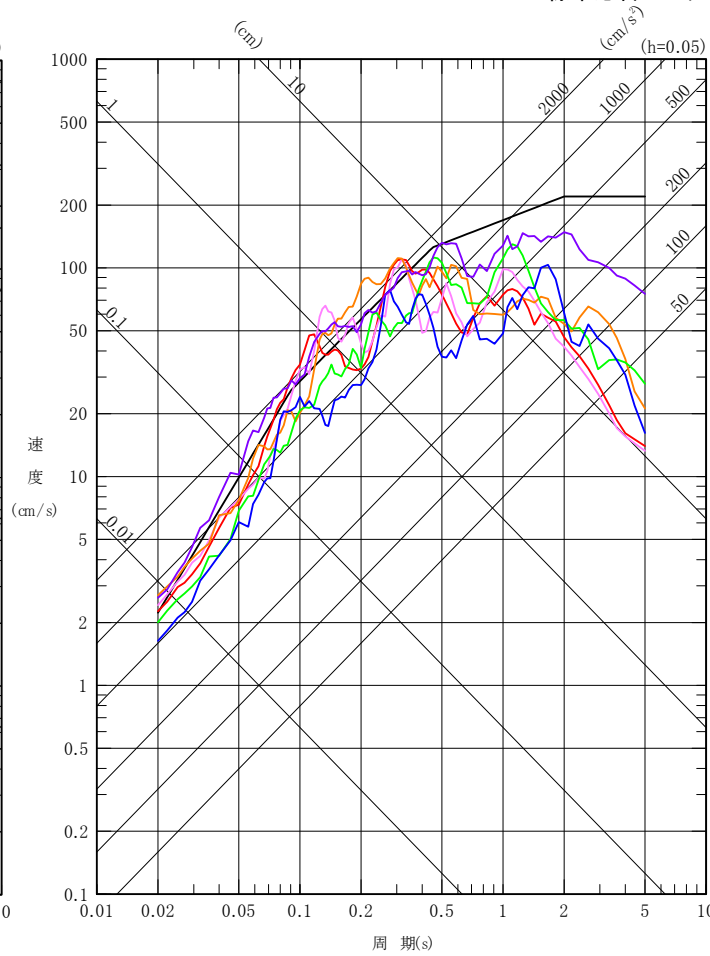
3.7 基準地震動S_s(2/2)

■ 基準地震動S_sの応答スペクトル

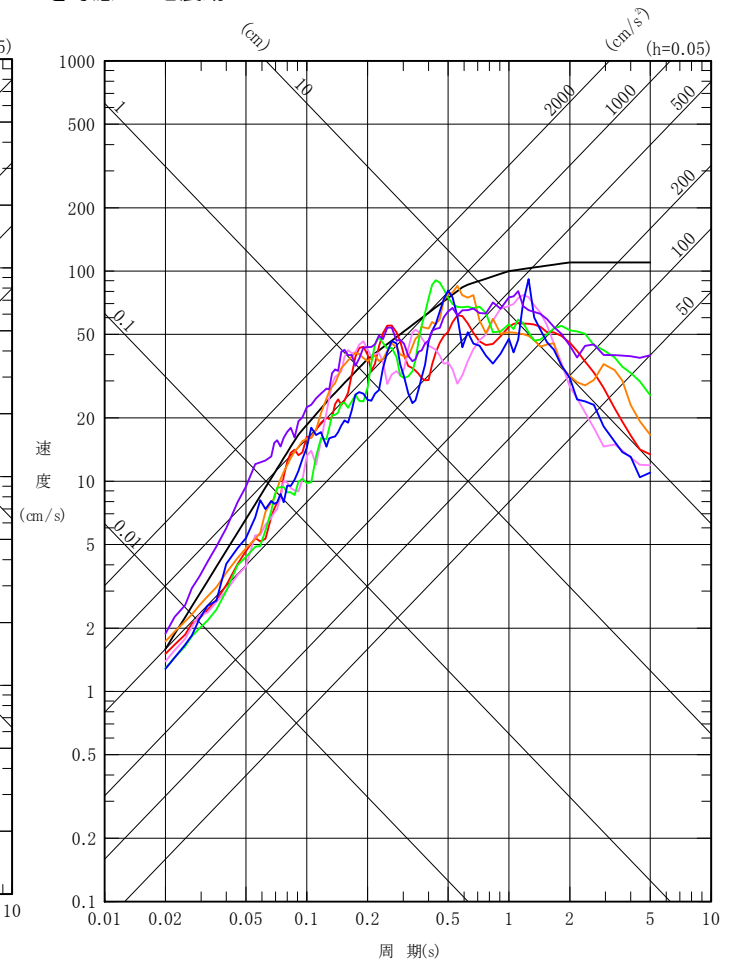
- S_s-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- S_s-1 F3断層~F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- S_s-2 F3断層~F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- S_s-3 F3断層~F4断層による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-4 F3断層~F4断層による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)
- S_s-5 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)
- S_s-6 標準応答スペクトルを考慮した地震動



NS成分



EW成分



UD成分

3.8 すべり線の選定

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。

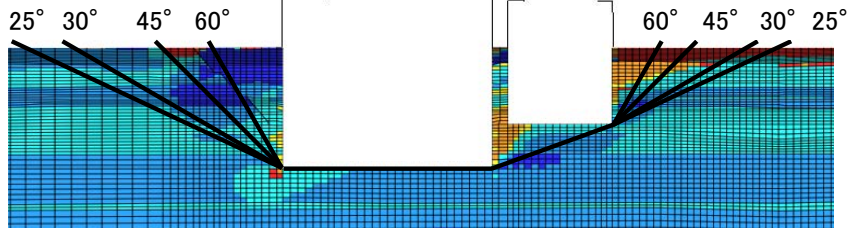
局所安全率等による検討※1

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: A-A'

発生時刻: 46.63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

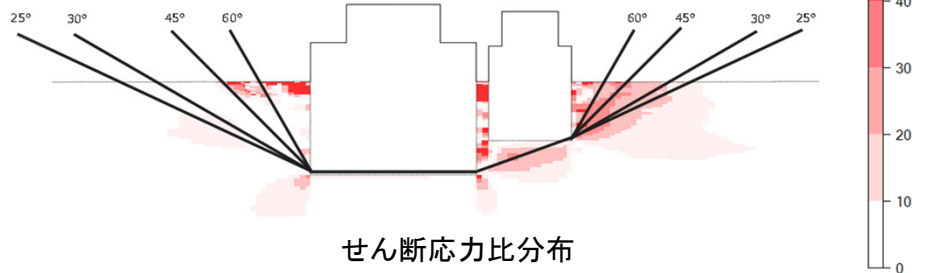
既往文献※2を参考にせん断応力比を求め、建物応答による影響範囲を検討

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

※ τ_{max} : 地盤の最大せん断応力

基準地震動: Ss-D(+, -)

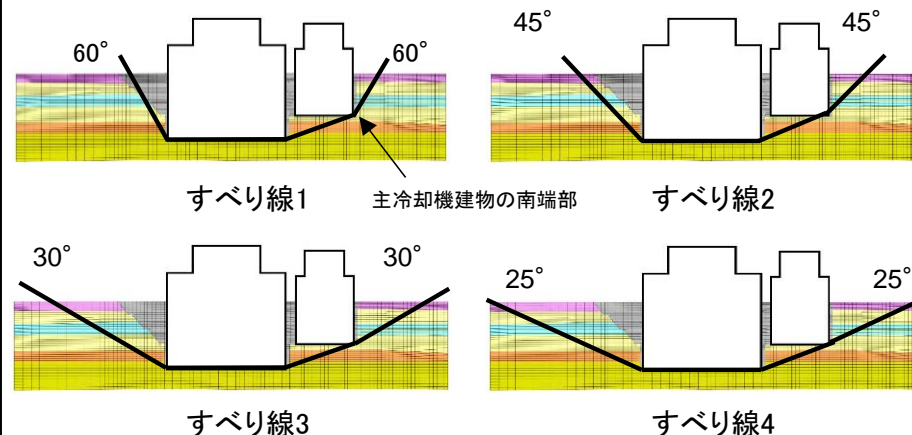
断面: A-A'



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(A-A'断面)

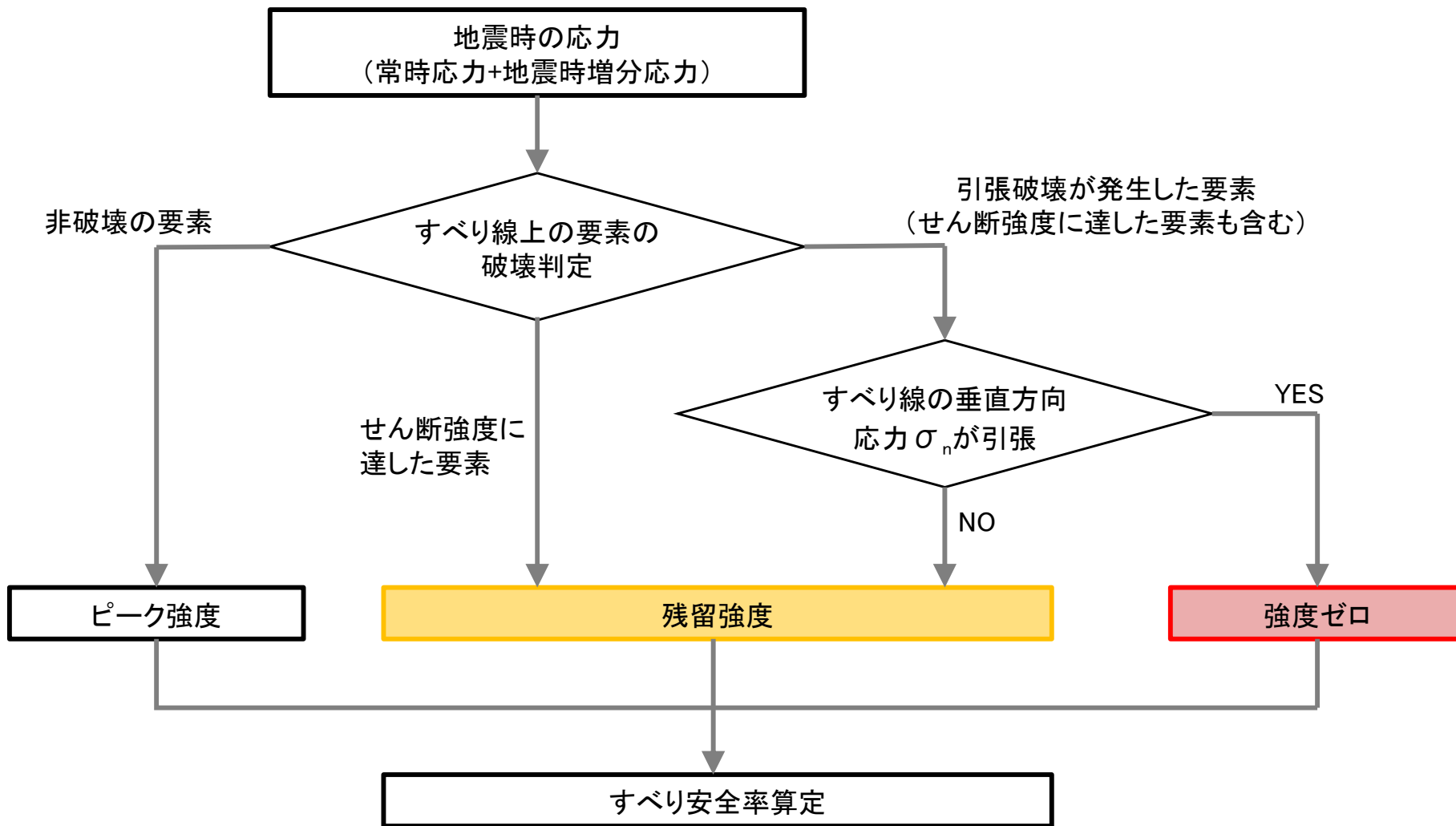
- ・評価対象施設の基礎底面を通り、左右の地表面へ立ち上がる連続したすべり線を設定する。
- ・局所安全率やモビライズド面の向きからは、明確なすべり線は確認されない。このため、建物端部から地表面へ立ち上がるすべり線の角度は、受働崩壊角(=45° - $\phi/2$, ϕ は約40°)を踏まえ、最低角度を25°とし、建物応答による影響が大きい建物近傍に15°ピッチ(60°、45°、30°、25°)の立ち上がり角度を設定する(すべり線1~4)。
- ・上記のうち、すべり安全率が最小となるすべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させた場合についてもすべり線を設定する。

※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 7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。

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た場合についてもすべり線を設定する。

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

すべり安全率の評価に用いる解析用地下水位は、保守的な評価として地表面に設定する。

【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層)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8(1)~(3)に示す)。

②改良地盤下端を通るすべり線の影響検討

主冷却機建物の改良地盤下端を通るすべり線におけるすべり安全率を確認し、改良地盤下端ですべらないことを確認した(検討結果は参考資料8(4)に示す)。

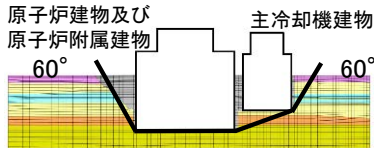
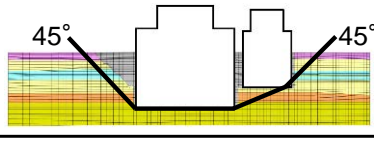
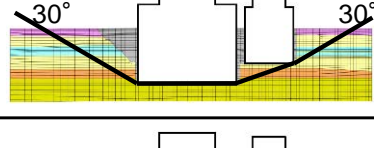
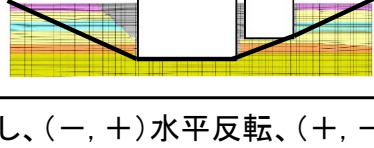
③周辺建物の影響検討

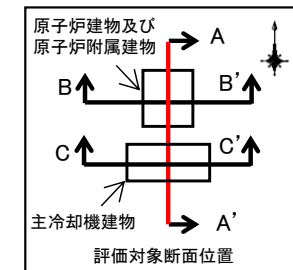
評価対象施設近傍にある周辺建物の評価対象施設に対する重量比を確認し、重量比が十分に小さく、すべり安全率に及ぼす影響が少ないと判断した(検討結果は参考資料8(7)に示す)。

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2.2(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。

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※3 | |
|----|---|----------------|-----------------|-----------------|
| | | | 基本モデル※2 | 地盤強度ばらつき考慮 |
| 1 | 
原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物 | Ss-D
(+, -) | 2.9
[46. 62] | — |
| 2 | 
45° | Ss-D
(+, -) | 2.6
[46. 63] | — |
| 3 | 
30° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46. 63] | — |
| 4 | 
25° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46. 63] | 1.9
[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 地盤強度を平均強度、解析用地下水位を地表面に設定したモデルを基本とする。

※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(1)~(4)に示す。

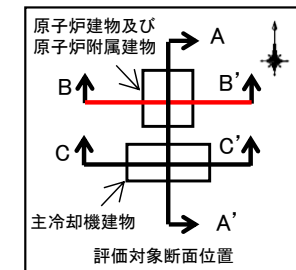
すべり安全率が最小となるすべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させてもすべり安全率は小さくならないことを確認している。結果を参考資料3(5)に示す。

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2.0(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。

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※3 | |
|----|----------|----------------|-----------------|-----------------|
| | | | 基本モデル※2 | 地盤強度ばらつき考慮 |
| 1 | | Ss-D
(+, -) | 3.6
[46. 62] | — |
| 2 | | Ss-D
(+, -) | 2.8
[46. 65] | — |
| 3 | | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46. 66] | — |
| 4 | | Ss-D
(+, -) | 2.0
[46. 67] | 1.8
[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 地盤強度を平均強度、解析用地下水位を地表面に設定したモデルを基本とする。

※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(1)~(4)に示す。

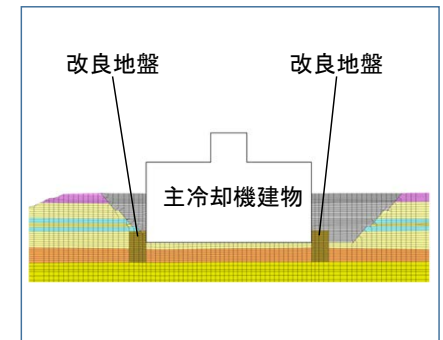
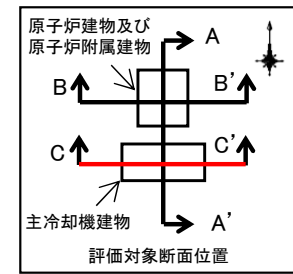
すべり安全率が最小となるすべり線の一方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させてもすべり安全率は小さくならないことを確認している。結果を参考資料3(6)に示す。

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°、60°」のすべり線で最小2.1(地盤強度のばらつきを考慮すると1.7)であり、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※3 | |
|-----|----------|----------------|----------------|----------------|
| | | | 基本モデル※2 | 地盤強度ばらつき考慮 |
| 1 | | Ss-6
(-, -) | 2.4
[14.53] | - |
| 2 | | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.64] | - |
| 3 | | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.64] | - |
| 4-1 | | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.64] | - |
| 4-2 | | Ss-D
(+, -) | 2.1
[46.63] | 1.7
[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 地盤強度を平均強度、解析用地下水位を地表面に設定したモデルを基本とする。

※3 []は発生時刻(秒)、すべり安全率は改良地盤の抵抗力を考慮した値を示す。

その他の地震動も含めた結果一覧を参考資料3(1)~(4)に示す。

すべり安全率が最小となるすべり線の方の立ち上がり角度を固定し、他方の角度を変化させたすべり安全率の確認結果を参考資料3(7)に示す。

3.12 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における平板載荷試験の結果※¹から、原子炉建物及び原子炉附属建物で2.94 N/mm²（東茨城層群(Is-S₁))、主冷却機建物で2.69 N/mm²（M1段丘堆積物(Mu-S₂))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1.14 N/mm²、主冷却機建物で最大0.62 N/mm²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 | 評価基準値 | 評価対象基礎地盤の地層 |
|---------|----------------|-------------------|-----------------------------------|------------------------|-------------------|
| A-A' 断面 | 原子炉建物及び原子炉附属建物 | Ss-2
(+, +) | 1.14 N/mm ²
[7.37] | 2.94 N/mm ² | Is-S ₁ |
| | 主冷却機建物 | Ss-3
(+, +) | 0.62 N/mm ²
[11.01] | 2.69 N/mm ² | Mu-S ₂ |
| B-B' 断面 | 原子炉建物及び原子炉附属建物 | Ss-D
(-, -) | 1.08 N/mm ²
[23.53] | 2.94 N/mm ² | Is-S ₁ |
| C-C' 断面 | 主冷却機建物 | Ss-D
(-, +) | 0.48 N/mm ²
[22.74] | 2.69 N/mm ² | Mu-S ₂ |

※¹ 参考資料 4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 4に示す。

3.13 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1/2,370、主冷却機建物で1/7,600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-D
(+, +) | 2.32 cm
[39.69] | 1/2,370 |
| | 主冷却機建物 | Ss-2
(+, +) | 0.36 cm
[8.09] | 1/7,600 |
| B-B' 断面 | 原子炉建物
及び原子炉附属建物 | Ss-D
(+, +) | 1.39 cm
[39.66] | 1/3,500 |
| C-C' 断面 | 主冷却機建物 | Ss-D
(+, +) | 0.84 cm
[22.88] | 1/7,900 |

※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 5に示す。

※3 L は以下の通り

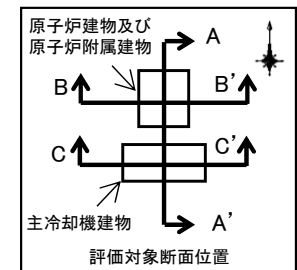
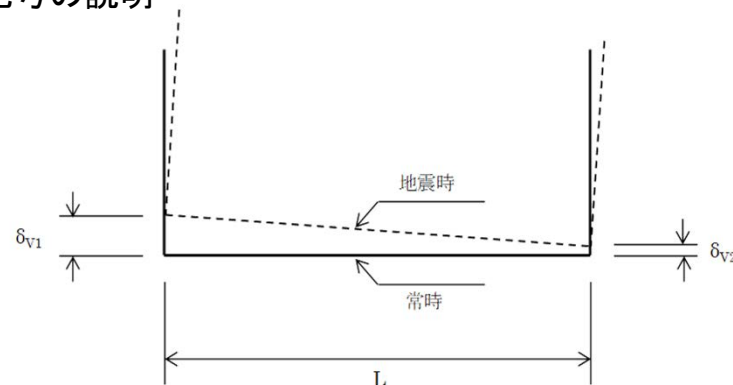
A-A' 断面(原子炉建物及び原子炉附属建物): 55.00 m

A-A' 断面(主冷却機建物): 27.40 m

B-B' 断面: 50.00 m

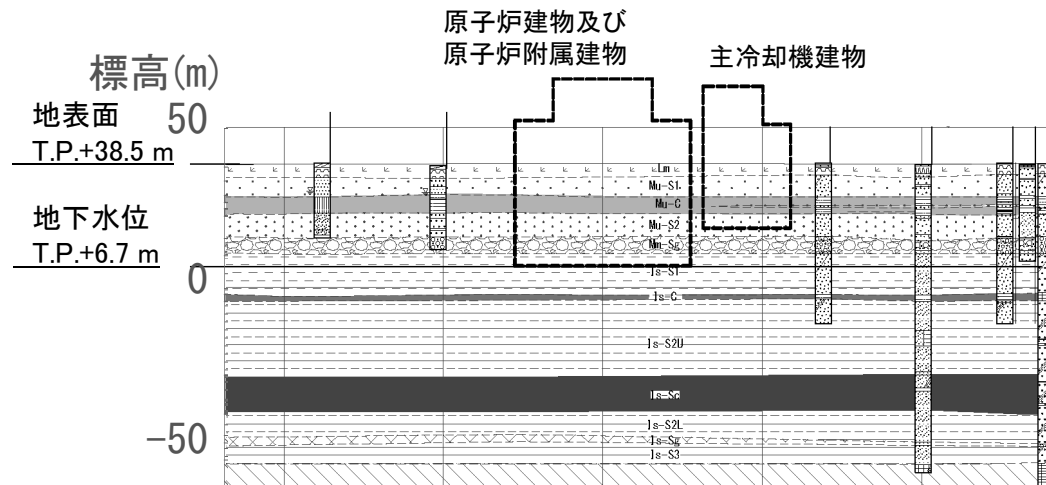
C-C' 断面: 67.00 m

記号の説明



δ_{v1} 、 δ_{v2} は上向きを正とする

- (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細粒土を含む礫又は透水性の低い土層に囲まれた礫」いずれにも該当しない。「主冷却機建物の支持地盤(Mu-S₂)」は不飽和土層であり該当しない。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 9に、地下水位の観測結果を参考資料 10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。

(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した。

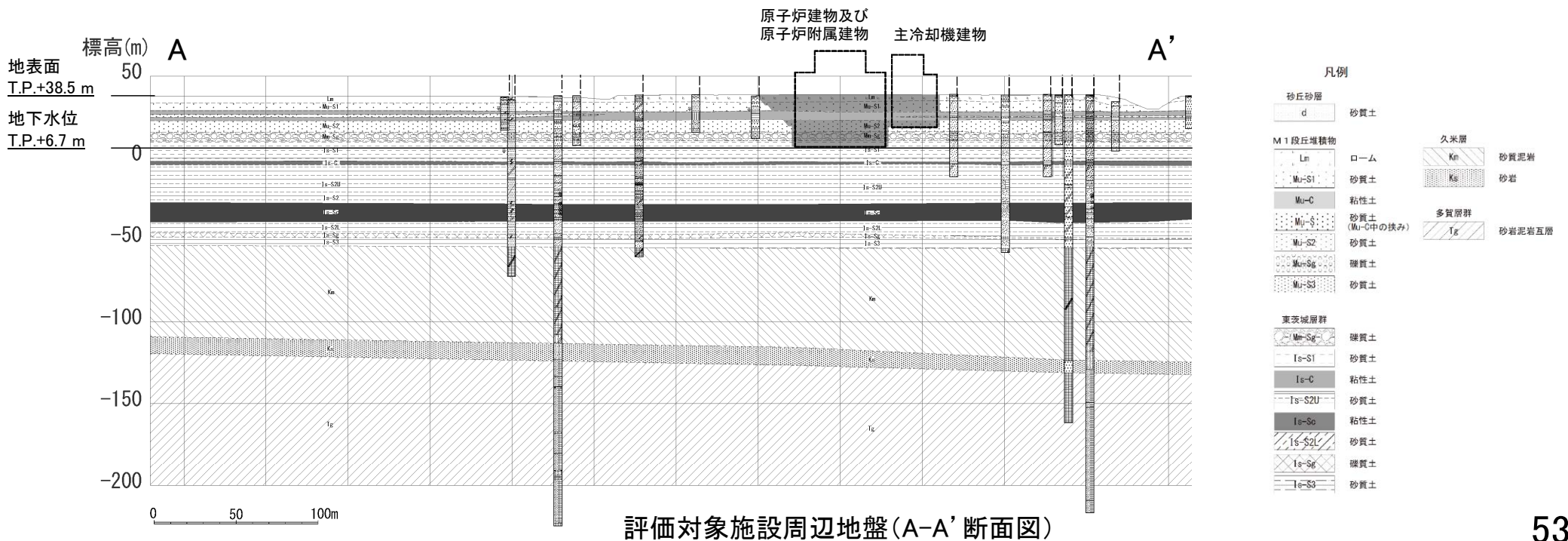
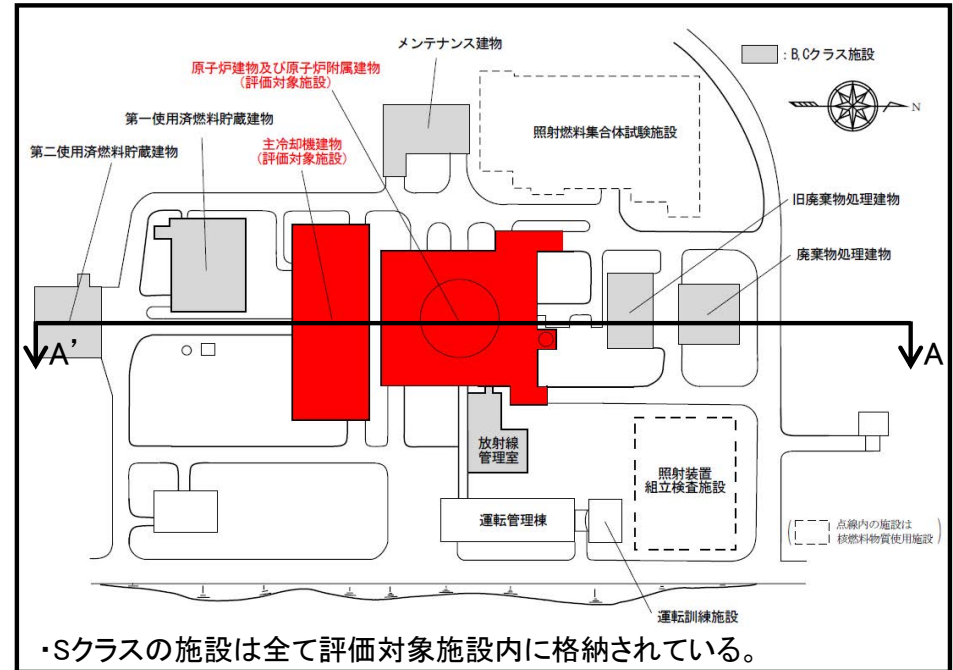
- ① 地震時におけるすべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認した。
評価に用いた改良地盤については、施工後に改良地盤の範囲及び強度が基準値以上であることを確認する。
- ② 地震時における基礎底面の接地圧が平板載荷試験結果から設定した評価基準値2.94 N/mm² (原子炉建物及び原子炉附属建物)、2.69 N/mm² (主冷却機建物)を下回ることを確認した。
- ③ 地震時における基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した。

(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。

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. 改良地盤の品質管理方針
7. まとめ

4.1 周辺地盤の変状による影響

- ・評価対象施設は原子炉施設のうち、耐震重要施設（Sクラスの施設）を有する原子炉建物及び原子炉附属建物、主冷却機建物であり、これら以外に耐震重要施設を有する建物はない。
- ・原子炉建物及び原子炉附属建物は、十分な支持性能を有する地盤（Is-S₁）に支持されている。
- ・主冷却機建物は、改良地盤によりすべり抵抗を向上させることで十分な支持性能を有する地盤（Mu-S₂）に支持される。
- ・以上のことから、評価対象施設が周辺地盤の変状（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 6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。

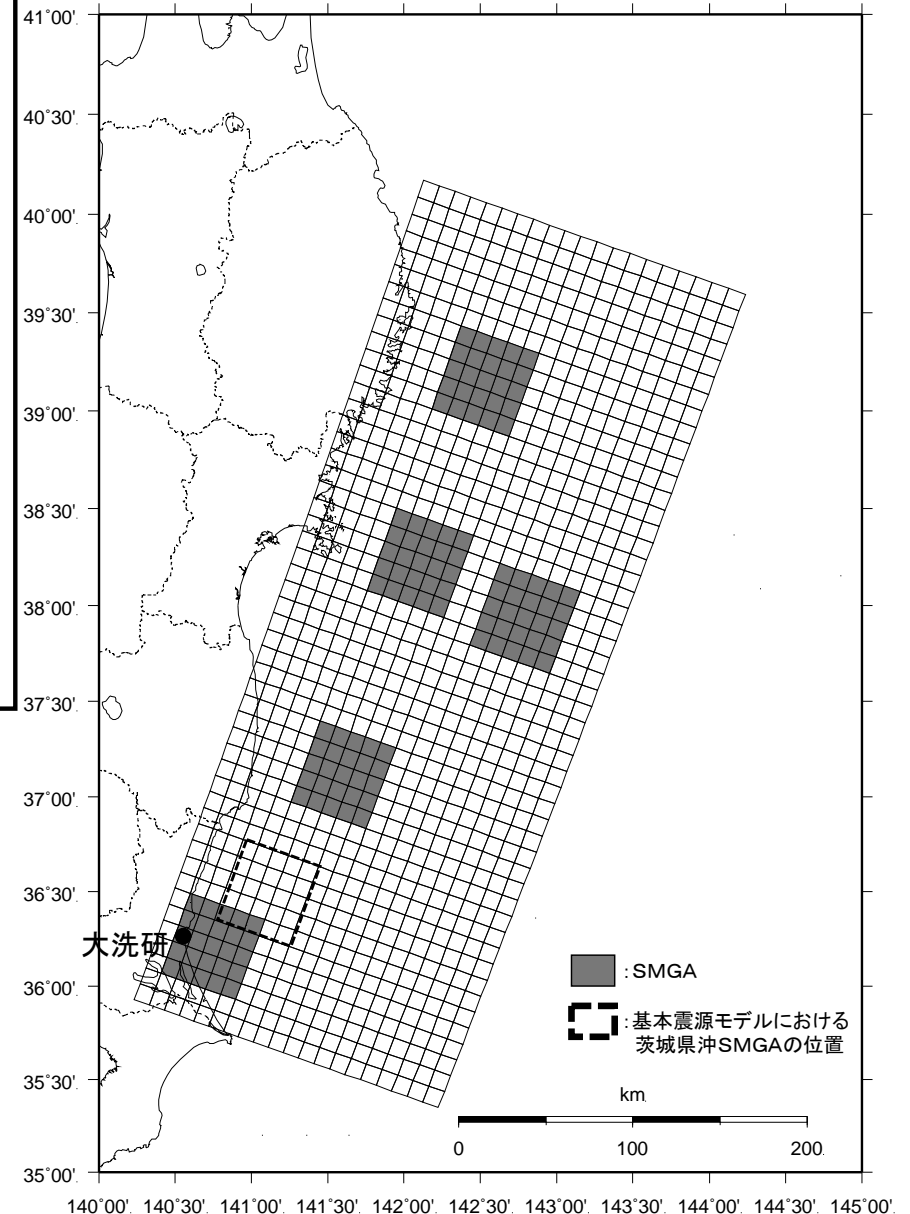
【評価基準値】

- ・ 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1/2,080、主冷却機建物の基礎底面の傾斜は1/5,200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。

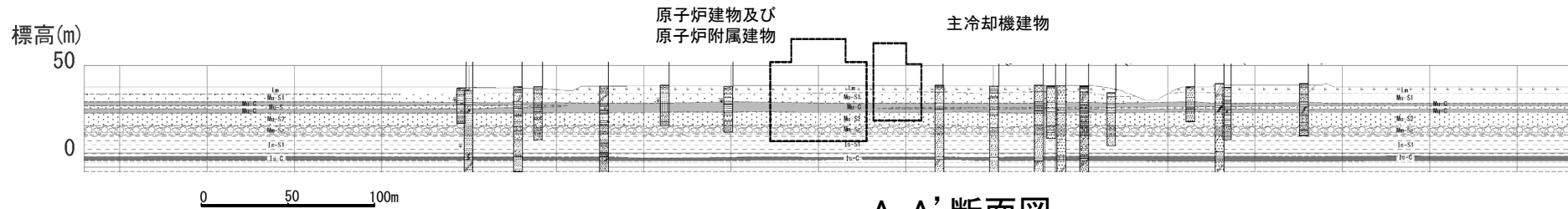
地殻変動と基準地震動による基礎底面の傾斜

| 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 | 1/2,370 | 1/2,080 |
| 主冷却機建物 | 1/17,000 | 1/7,600 | 1/5,200 |

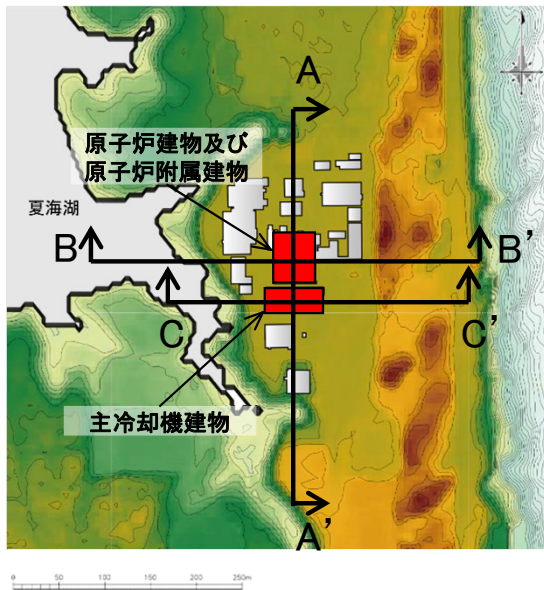
- ① 評価対象施設は十分な支持性能を有する地盤に支持されることから、周辺地盤の変状(不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等)による影響を受けるおそれはないことを確認した。
- ② 地殻変動による基礎地盤の傾斜の影響について、基礎底面の傾斜が評価の目安である1/2,000を下回ることを確認した。

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. 改良地盤の品質管理方針
7. まとめ

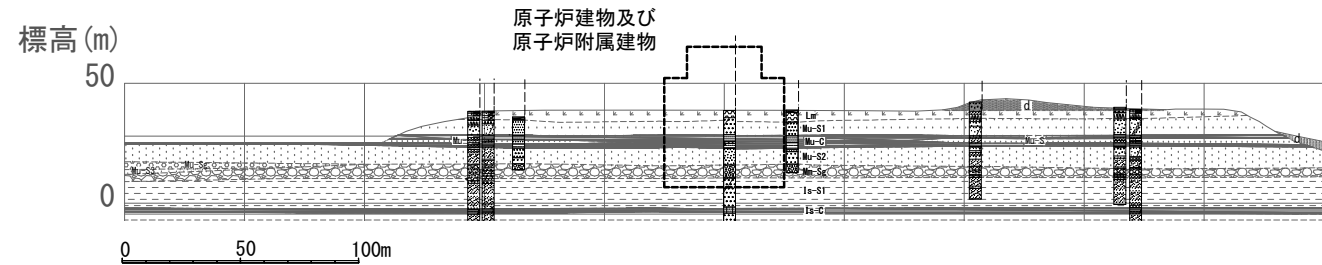
JEAG4601-2015に基づく評価対象とすべき斜面は「斜面法尻からSクラス施設との離間距離が、約50 m以内あるいは斜面高さの約1.4倍以内の斜面」とされており、評価対象施設の周辺に斜面は存在せず、周辺斜面の影響はない。



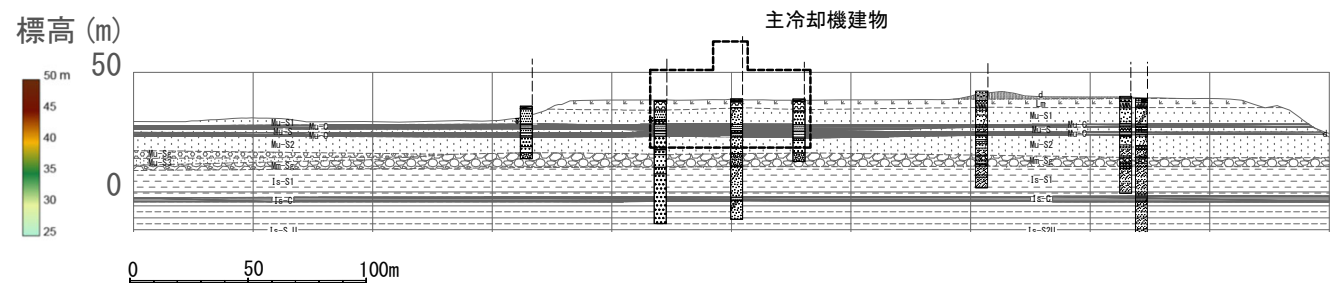
A-A' 断面図



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。

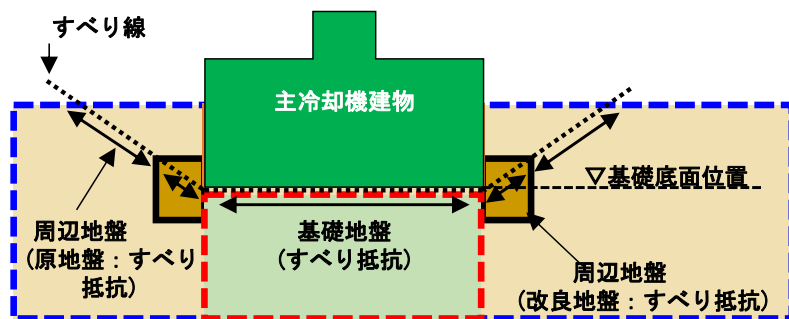
1. 評価方針
2. 将来活動する可能性のある断層等の有無
3. 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
4. 周辺地盤の変状及び地殻変動による影響評価
5. 周辺斜面の影響
- 6. 改良地盤の品質管理方針**
7. まとめ

改良地盤の品質管理方針

- 主冷却機建物は、すべり抵抗を向上させるため、改良地盤の範囲及び強度を設定し、基礎地盤の安定性評価を実施している。
- 改良地盤については設置許可後に施工することから、基礎地盤の安定性評価に変更がないよう設置許可段階で改良地盤の品質方針を示し、施工において改良地盤の範囲及び強度が基準値を満足することを確認する。

改良地盤の要求性能

| | |
|------|--|
| 役割 | 想定されるすべり面に対して周辺地盤を改良し、地震時のすべり抵抗を向上させる。 |
| 要求性能 | 地盤改良後の地盤が、十分なすべり抵抗(すべり安全率1.5以上)を有すること。 |



| 凡例 | |
|---|--------|
| ■ | : 施設 |
| - - - | : 周辺地盤 |
| - - - | : 基礎地盤 |

地盤安定性評価における各部位の区分

改良地盤の確認項目

| 確認項目 | 要求品質 |
|---------|-----------------------------------|
| 改良地盤の範囲 | 必要改良範囲が施工されていること |
| 改良地盤の強度 | 改良地盤の強度（粘着力、内部摩擦角、引張強さ）が確保されていること |

改良地盤の範囲

・ 地盤安定性評価で設定した改良地盤の必要改良範囲を以下に示す。

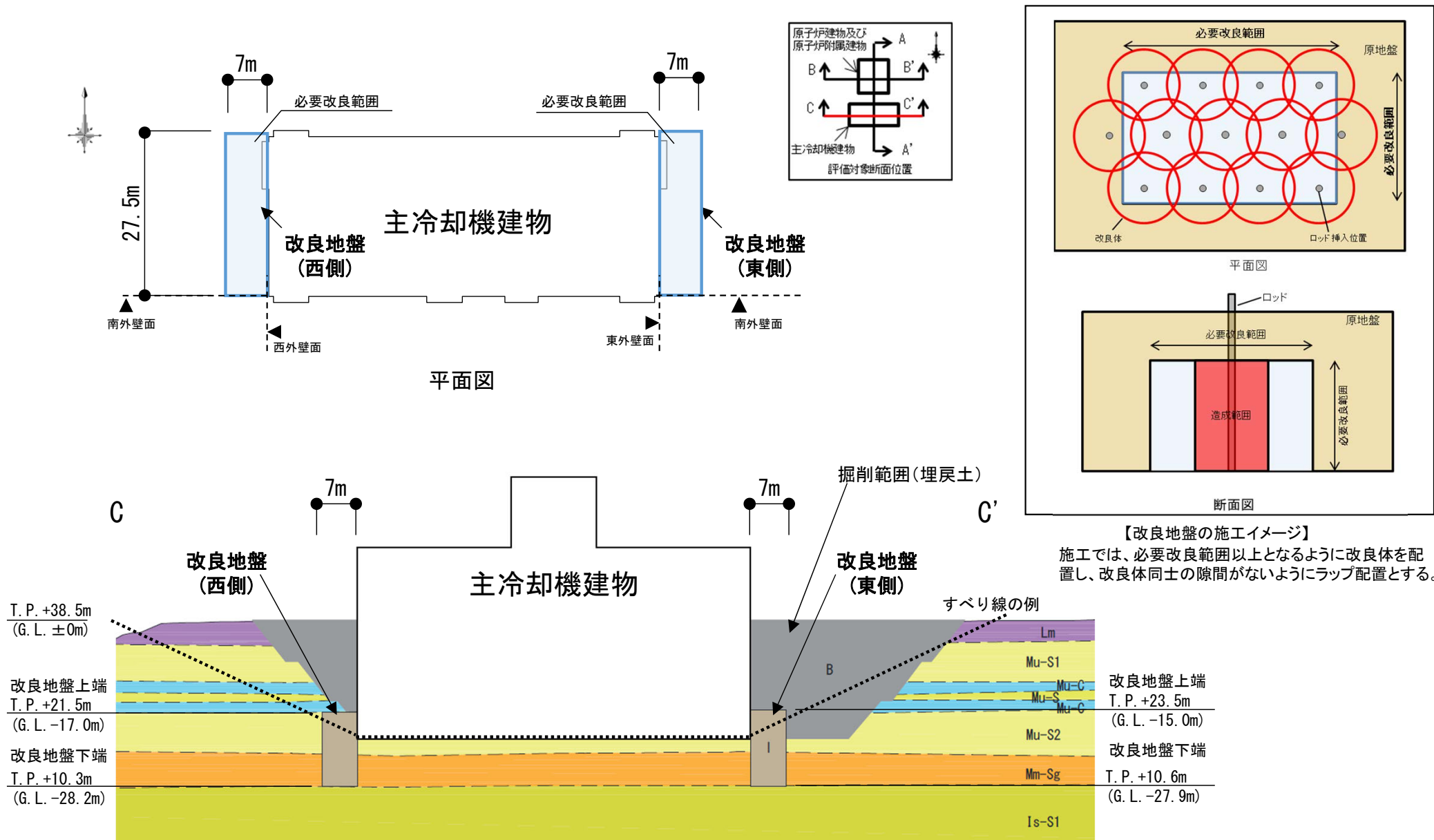


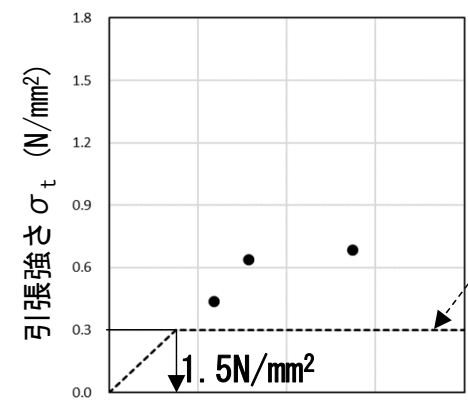
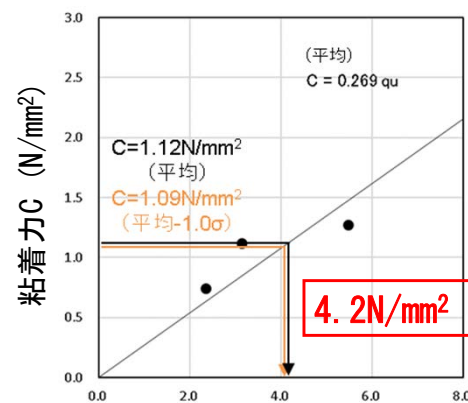
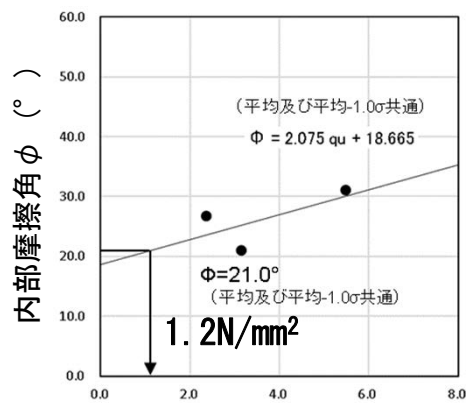
図 断面図 (東西 C-C' 断面)

- ・地盤安定性評価で設定した改良地盤の強度を以下に示す。
- ・また、文献※では、改良地盤の品質確認として一軸圧縮強度 q_u が指標とされていることから、強度特性（粘着力、内部摩擦角、引張強さ）と一軸圧縮強度 q_u との相関関係を室内配合試験により算出した。設定した強度に対応する一軸圧縮強度 q_u のうち、最大値は粘着力との相関関係から4.2 N/mm²となる。

※2018年度版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-、日本建築センター

解析用物性値（強度特性）

| 地層名 | 地質記号 | 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 [°] | |
| 改良地盤 | I | $\tau = 1.12 + \sigma \cdot \tan 21.0^\circ$ | | $\tau_r^2 = 1.10 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.314 \text{ N/mm}^2$) | $\tau = 1.09 + \sigma \cdot \tan 21.0^\circ$ | | $\tau_r^2 = 1.05 \cdot \sigma$
($\sigma < 0.302 \text{ N/mm}^2$) |
| | | $\sigma_t = 0.300$ | | $\tau_r = 0.468 + \sigma \cdot \tan 21.0^\circ$
($\sigma \geq 0.314 \text{ N/mm}^2$) | $\sigma_t = 0.300$ | | $\tau_r = 0.448 + \sigma \cdot \tan 21.0^\circ$
($\sigma \geq 0.302 \text{ N/mm}^2$) |



室内配合試験による一軸圧縮強度 q_u と評価に用いる強度特性の相関関係
(内部摩擦角 ϕ 、粘着力C、引張強さ σ_t)

・改良地盤の確認項目及び基準値を以下に示す。
 ・施工では、改良地盤の範囲及び改良地盤の強度が基準値以上であることを確認する。なお、検査の詳細等については、後段規制において示す。

改良地盤の確認項目及び基準値

| 確認項目 | 要求品質 | 必要改良範囲 | | 備考 |
|---------|------------------|--------|--|---|
| 改良地盤の範囲 | 必要改良範囲が施工されていること | 幅 | 基準位置(東西外壁面)から7m以上 | 改良体の配置(ロッド挿入位置)※の確認により、必要改良幅及び必要改良奥行き以上改良されていることを確認する。

※改良体の配置は、詳細設計段階においてロッドを中心とした改良可能範囲や干渉物等の現地時の状況を踏まえて定める。 |
| | | 奥行き | 基準位置(南外壁面)から27.5m以上 | |
| | | 高さ | 上端 東側 T.P.+23.5m以上
西側 T.P.+21.5m以上
下端 東側 T.P.+10.6m以下
西側 T.P.+10.3m以下 | 改良開始深度と改良終了深度のロッド長さの確認により、必要改良高さが改良されていることを確認する。 |

| 確認項目 | 要求品質 | 基準値 | 備考 |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 改良地盤の強度 | 改良地盤の強度特性(粘着力、内部摩擦角、引張強さ)が確保されていること | 一軸圧縮強度 q_u 4.2N/mm ² 以上 | 強度特性(粘着力、内部摩擦角、引張強さ)と一軸圧縮強度 q_u との相関関係から算出した一軸圧縮強度 q_u 4.2 N/mm ² を基準値として採用し、基準値以上であることを確認する。 |

品質確認準拠基準及び試験頻度

- ・地盤改良の工法は、深層混合処理工法（高圧噴射攪拌工法）とする。
- ・品質確認準拠基準は以下の基準・指針のうち、高圧噴射攪拌工法の品質管理に係る詳細な記載がされている建築センター指針を適用する。なお、その他の基準・指針についても適宜参考とする。
- ・施工における品質確認試験の頻度は、基準・指針の目安を満足するように設定する。

地盤改良工法の基準・指針（深層混合処理工法）

| 基準略称 | 基準・指針 |
|------------|--|
| 建築センター指針 | 2018年度版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-、日本建築センター |
| 建築基礎指針 | 建築基礎設計のための地盤改良設計指針案、日本建築学会 |
| JEAC4616 | 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程、日本電気協会 |
| 陸上工事マニュアル | 陸上工事における深層混合処理工法 設計施工マニュアル 改訂版、土木研究センター |
| 港湾・空港マニュアル | 港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル、沿岸技術研究センター |

改良地盤の試験頻度

| 基準略称 | 基準における試験頻度の目安 | 設定する試験頻度 |
|------------|--|---|
| 建築センター指針 | 検査対象層(改良範囲内の各土層)に対して、100本の改良コラムに1箇所以上かつ1検査対象群に1箇所以上。 | <ul style="list-style-type: none"> ・調査箇所は、改良土量が約5000m³(改良体本数100本未満)であることから、東側・西側の改良地盤に対して、各3箇所とする。 ・試験(一軸圧縮試験)は、改良範囲内の各土層に対して実施する。 |
| 建築基礎指針 | 改良体100本ごとに1本以上。 | |
| JEAC4616 | 改良体300本ごとに1本以上。 | |
| 陸上工事マニュアル | 設計強度ごとに改良体500本未満は3本×3深度、500本以上は250本ごとに1本追加。 | |
| 港湾・空港マニュアル | 改良土量10000m ³ ごとに1本程度。 | |

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. 改良地盤の品質管理方針
7. 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認められ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) 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した。

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。

評価に用いた改良地盤については、施工後に改良地盤の範囲及び強度が基準値以上であることを確認する。

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 評価対象施設は十分な支持性能を有する地盤に支持されることから、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

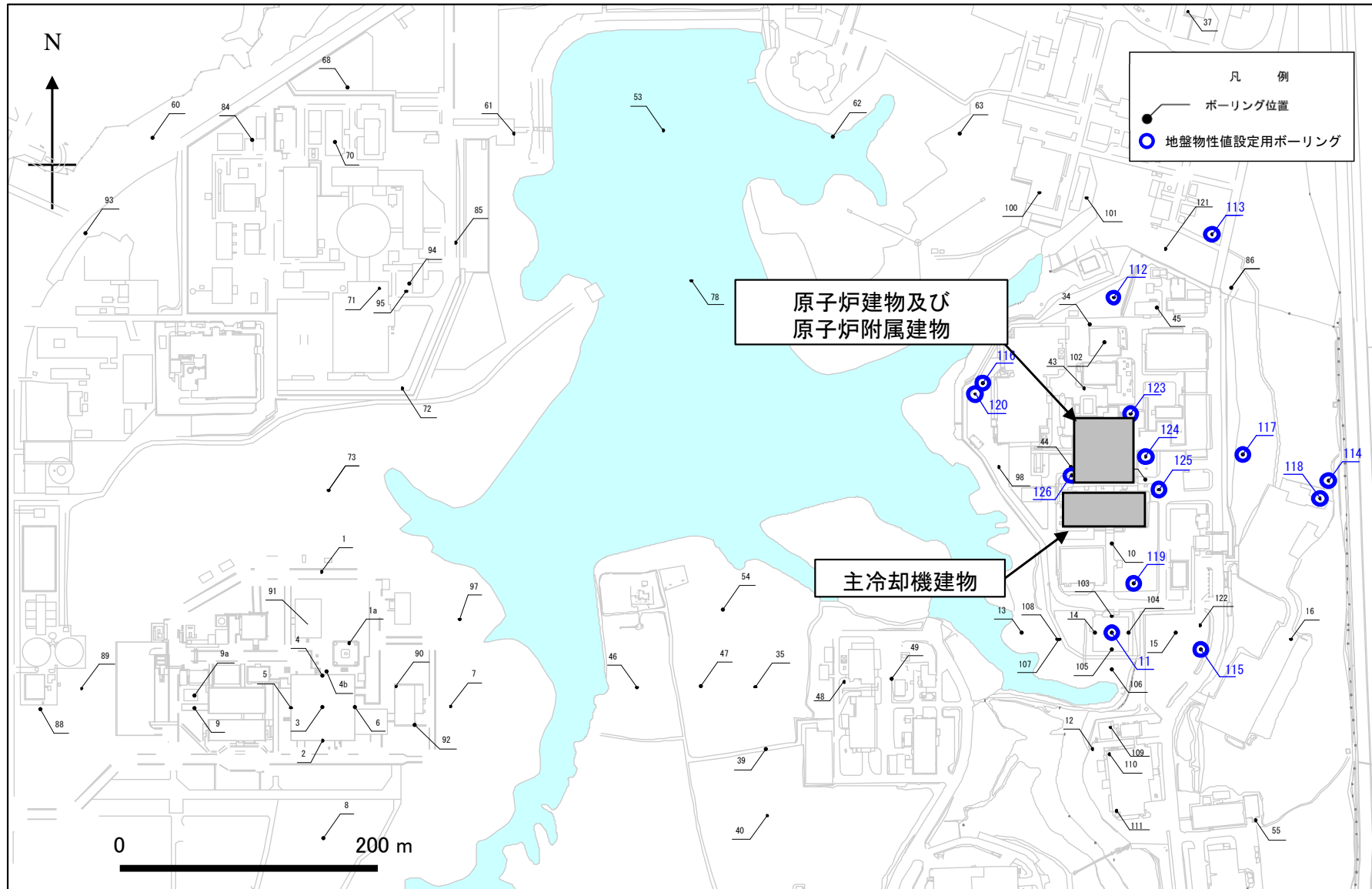
評価対象施設の周辺に評価対象とすべき斜面は存在せず、周辺斜面の影響はないことを確認した。

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ないことを確認した。

参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果
- 11 地盤改良の試験施工結果

1 解析用物性値の設定(敷地における地質調査)



「常陽」における地盤物性値設定用ボーリング調査位置

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 | | | 含水比
w | | | 土粒子の密度
ρ_s | | | 間隙比
e | | |
|-------------------|---------------------|--|------|------------|------------|------|------------|-----------------------------|------|------------|----------|------|------------|
| | | 平均値
(g/cm ³) | 標準偏差 | 試料数
(個) | 平均値
(%) | 標準偏差 | 試料数
(個) | 平均値
(g/cm ³) | 標準偏差 | 試料数
(個) | 平均値 | 標準偏差 | 試料数
(個) |
| 埋戻土 | B | 1.90 | 0.10 | 96 | 20.5 | 7.4 | 96 | 2.68 | 0.02 | 8 | 0.71 | 0.19 | 96 |
| M1段丘
堆積物 | Lm | 1.35 | 0.08 | 17 | 97.8 | 11.0 | 17 | 2.76 | 0.04 | 5 | 3.09 | 0.46 | 17 |
| | Mu-S ₁ | 1.86 | 0.07 | 65 | 18.1 | 3.4 | 65 | 2.69 | 0.03 | 10 | 0.71 | 0.07 | 65 |
| | Mu-C | 1.72 | 0.08 | 37 | 48.5 | 8.5 | 37 | 2.67 | 0.01 | 10 | 1.32 | 0.23 | 37 |
| | Mu-S | 1.87 | 0.08 | 40 | 31.8 | 6.6 | 40 | 2.71 | 0.02 | 9 | 0.91 | 0.16 | 40 |
| | Mu-S ₂ | 1.86 | 0.08 | 88 | 21.7 | 4.6 | 88 | 2.70 | 0.03 | 15 | 0.76 | 0.10 | 88 |
| 東茨城
層群 | Mm-Sg | 2.23 | 0.10 | 56 | 8.8 | 3.5 | 56 | 2.70 | 0.01 | 10 | 0.32 | 0.10 | 56 |
| | Is-S ₁ | 1.83 | 0.06 | 93 | 27.0 | 3.4 | 93 | 2.71 | 0.01 | 12 | 0.88 | 0.05 | 93 |
| | Is-C | 1.85 | 0.04 | 17 | 34.7 | 2.2 | 17 | 2.69 | 0.01 | 5 | 0.96 | 0.07 | 17 |
| | Is-S ₂ U | 1.82 | 0.05 | 21 | 33.8 | 2.5 | 21 | 2.68 | 0.04 | 4 | 0.96 | 0.05 | 21 |
| | Is-Sc | 1.78 | 0.03 | 20 | 38.6 | 4.0 | 20 | 2.66 | 0.02 | 3 | 1.07 | 0.09 | 20 |
| | Is-S ₂ L | 1.91 | 0.10 | 21 | 25.7 | 6.1 | 20 | 2.74 | 0.05 | 3 | 0.80 | 0.12 | 20 |
| | Is-Sg | Is-Sgの解析用地盤物性値にはIs-S ₂ Lの試験結果を適用する。 | | | | | | | | | | | |
| Is-S ₃ | 1.94 | 0.05 | 20 | 26.8 | 2.6 | 20 | 2.72 | 0.00 | 3 | 0.78 | 0.07 | 20 | |

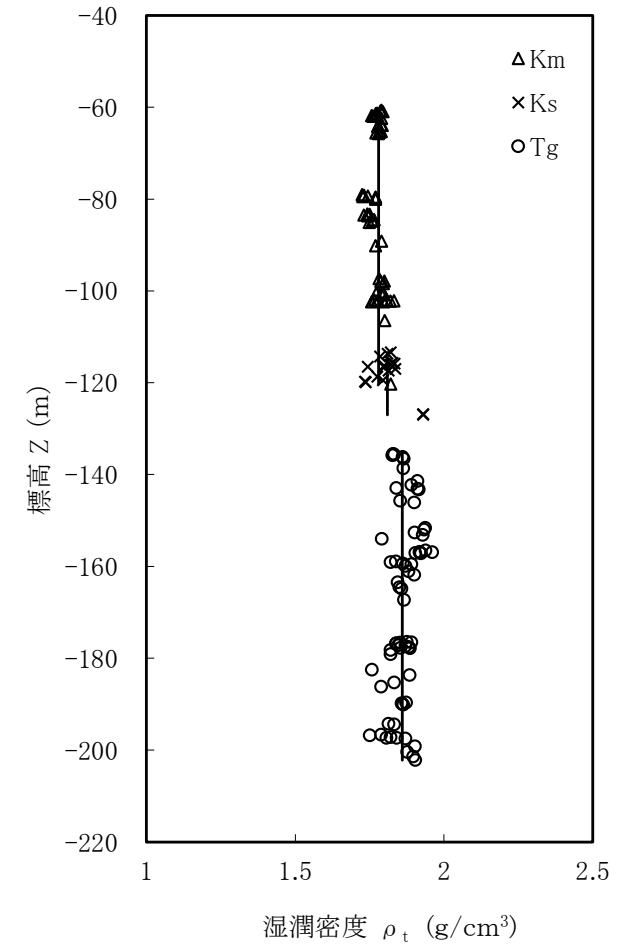
1 解析用物性値の設定(物理試験結果(2))

物理試験結果(2)

| 区 分 | | 湿潤密度 ^{※1} | | | 含水比 | | |
|------|----|-----------------------------|------|------------|------------|------|------------|
| | | ρ_t | | | w | | |
| | | 平均値
(g/cm ³) | 標準偏差 | 試料数
(個) | 平均値
(%) | 標準偏差 | 試料数
(個) |
| 久米層 | Km | 1.78 | 0.02 | 53 | 37.2 | 2.6 | 52 |
| | Ks | 1.81 | 0.05 | 18 | 32.6 | 2.2 | 18 |
| 多賀層群 | Tg | 1.86 | 0.04 | 67 | 26.5 | 4.4 | 66 |

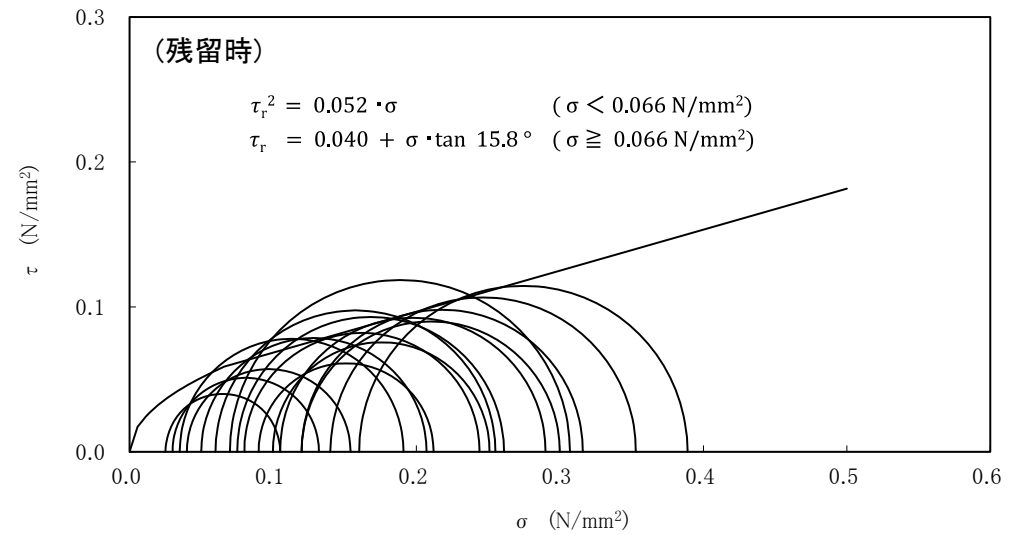
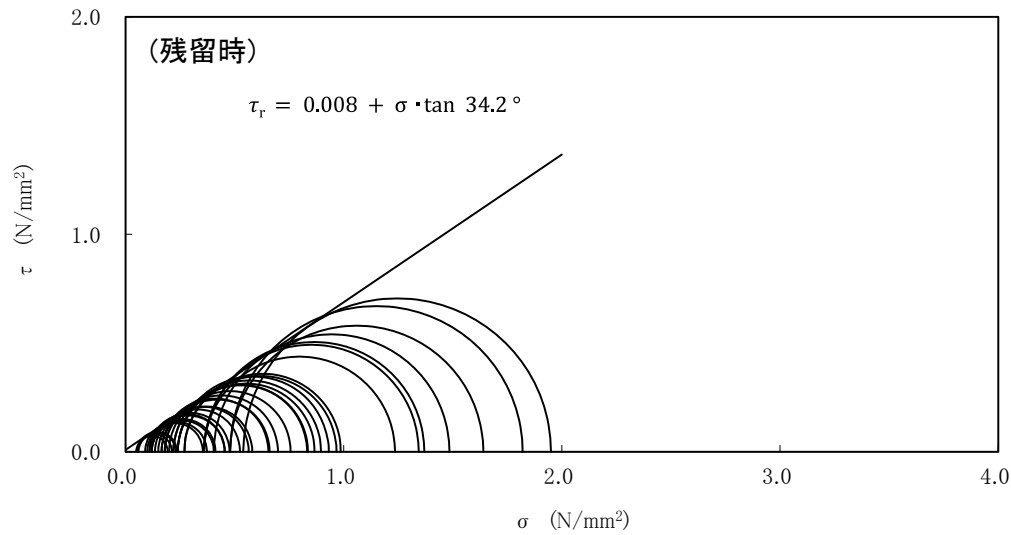
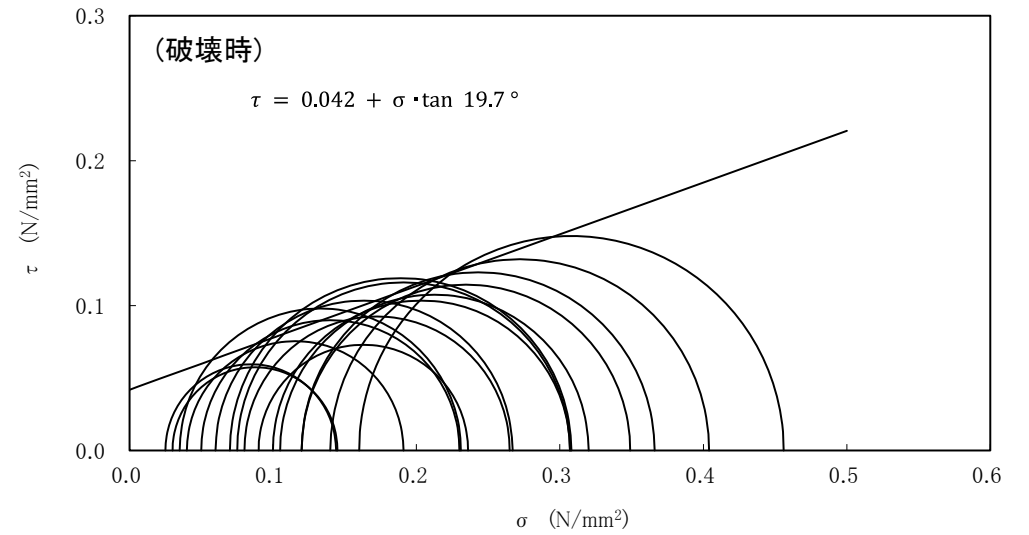
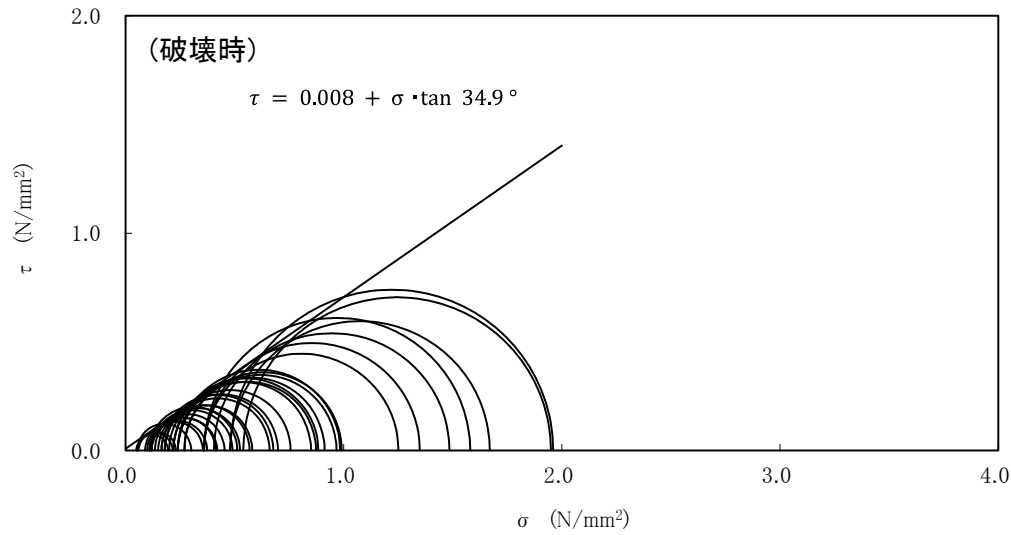
※1 湿潤密度は深度方向に同程度で分布しており、評価には代表値を設定した。

| 区 分 | | 土粒子の密度 | | | 間隙比 | | |
|------|----|-----------------------------|------|------------|------|------|------------|
| | | ρ_s | | | e | | |
| | | 平均値
(g/cm ³) | 標準偏差 | 試料数
(個) | 平均値 | 標準偏差 | 試料数
(個) |
| 久米層 | Km | 2.67 | 0.01 | 12 | 1.07 | 0.05 | 48 |
| | Ks | 2.66 | 0.01 | 4 | 0.97 | 0.04 | 16 |
| 多賀層群 | Tg | - | - | - | - | - | - |



湿潤密度試験結果
(Km、Ks、Tg)

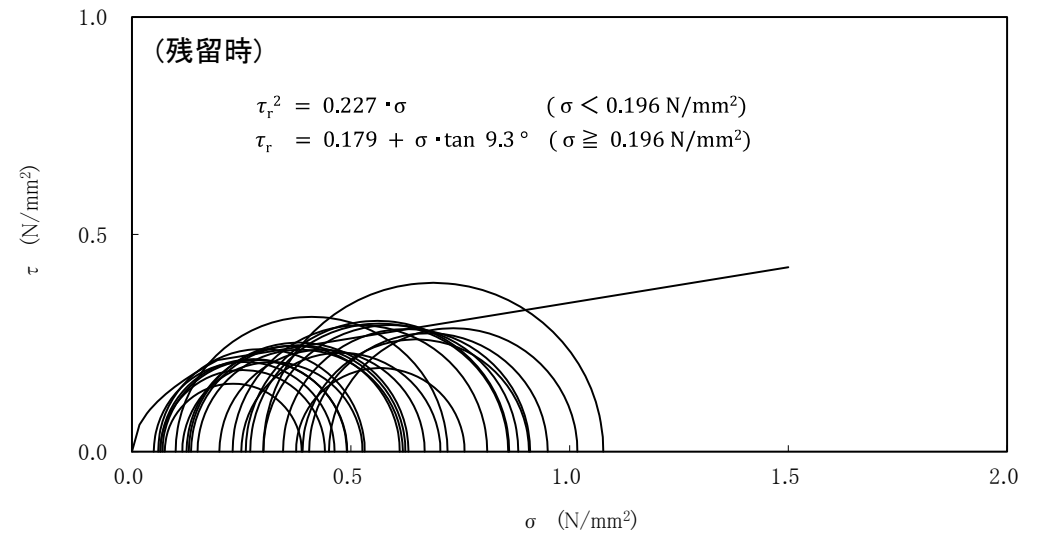
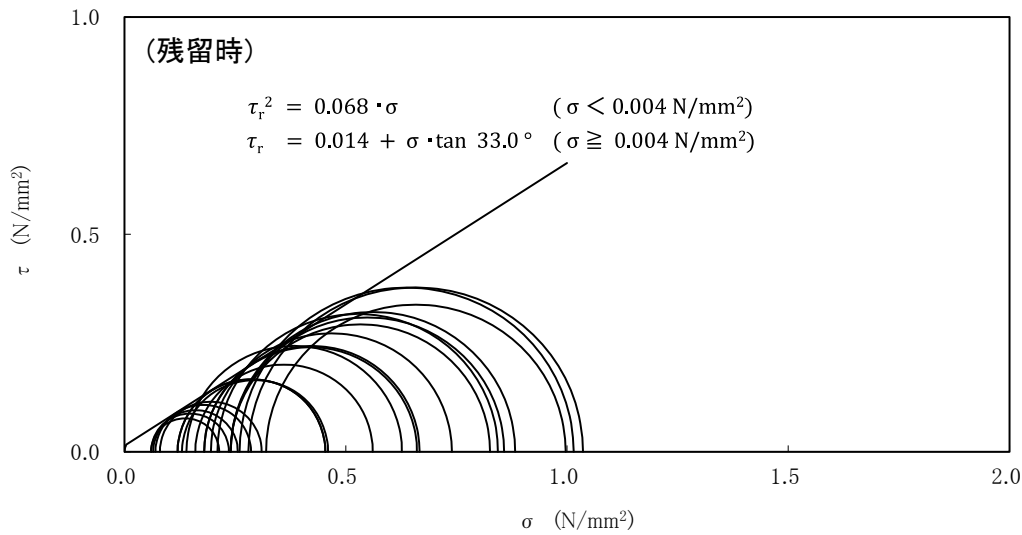
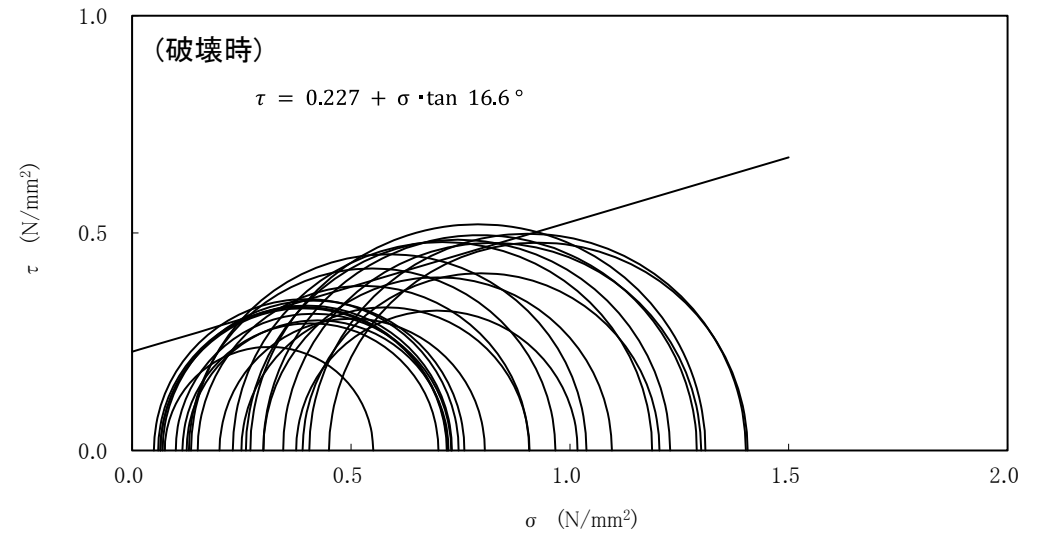
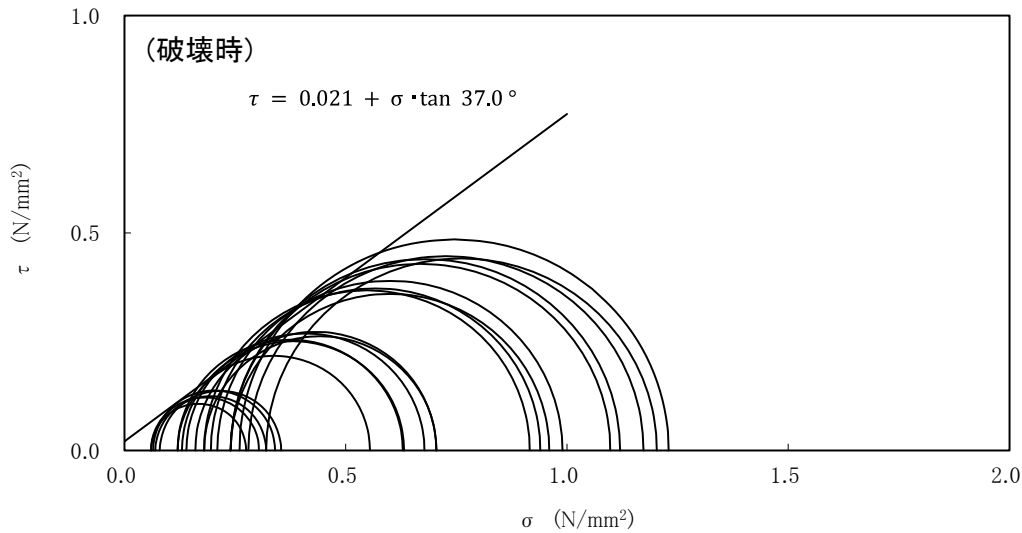
1 解析用物性値の設定(強度特性(埋戻土、Lm))



強度特性(埋戻土)

強度特性(Lm)

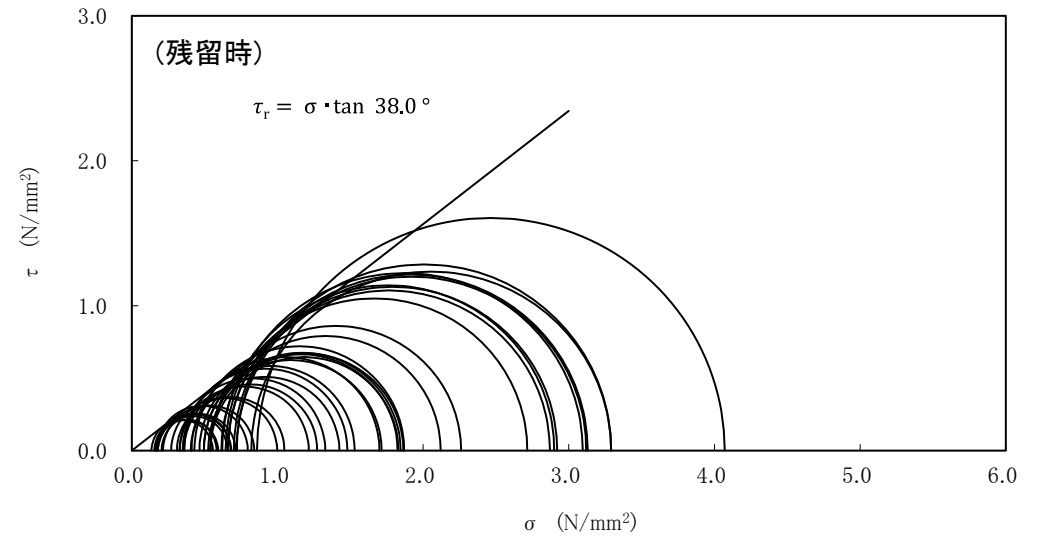
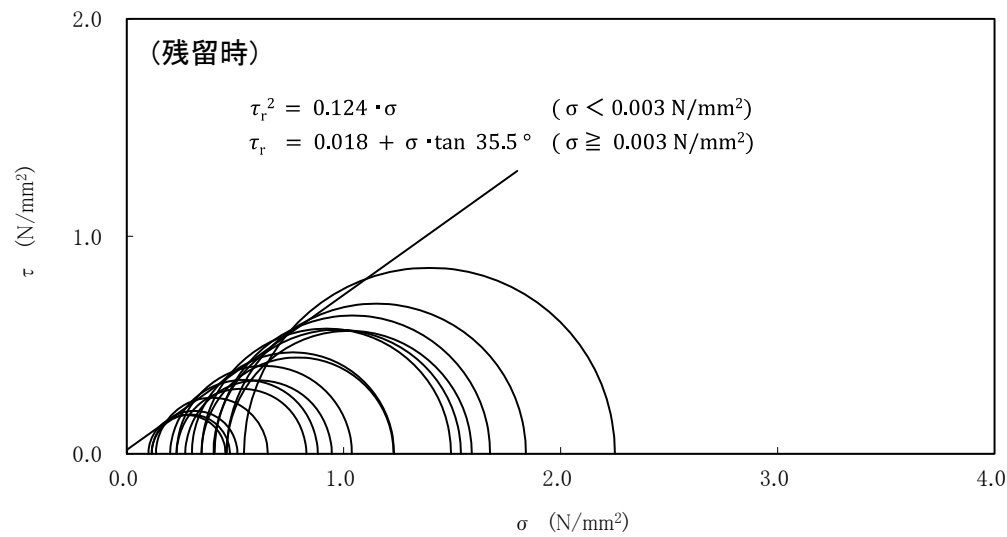
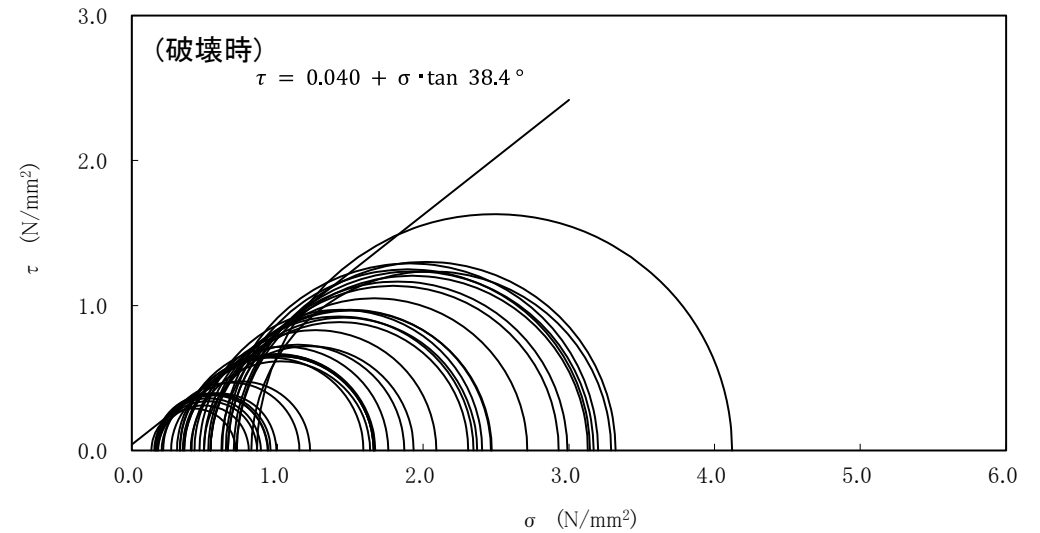
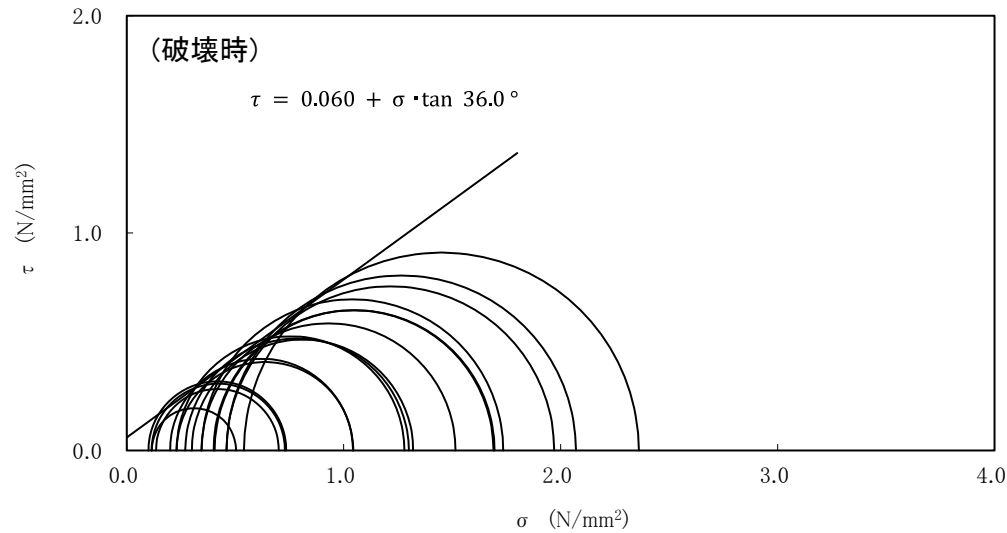
1 解析用物性値の設定(強度特性(Mu-S₁、Mu-C))



強度特性(Mu-S₁)

強度特性(Mu-C)

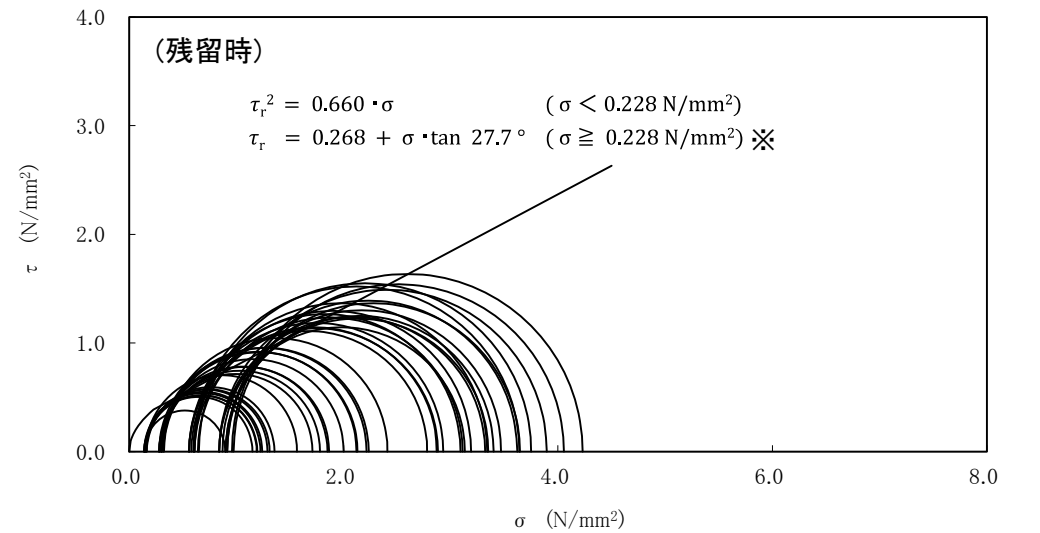
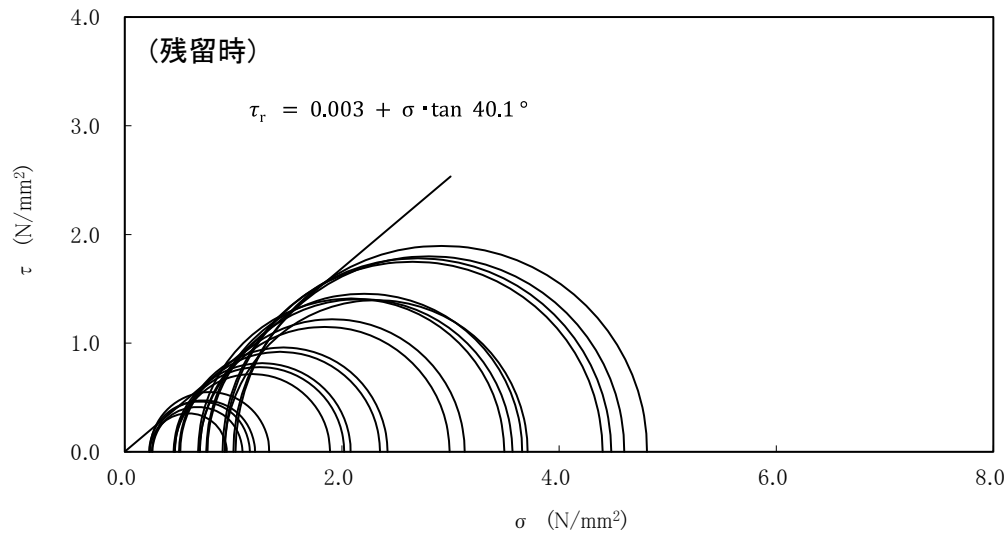
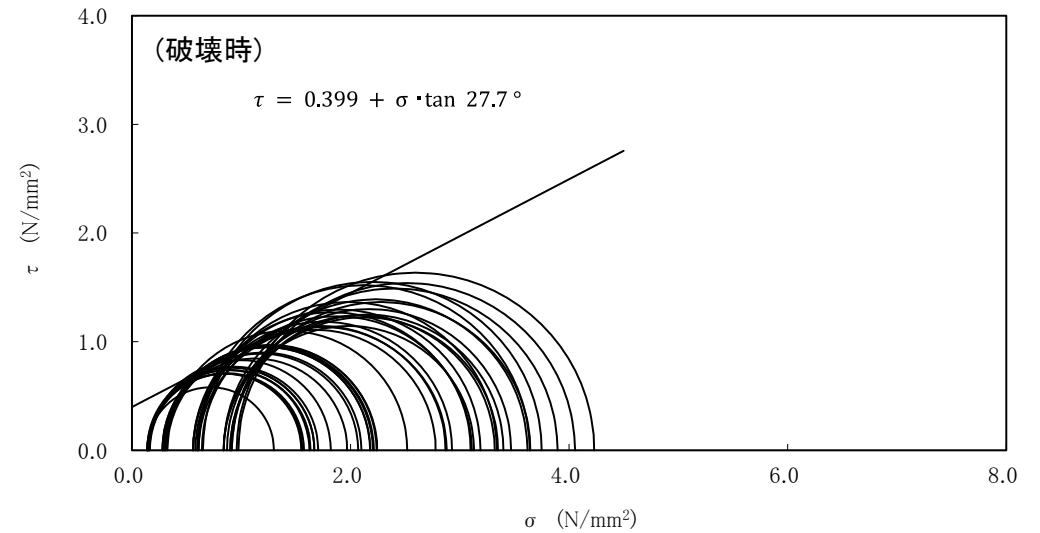
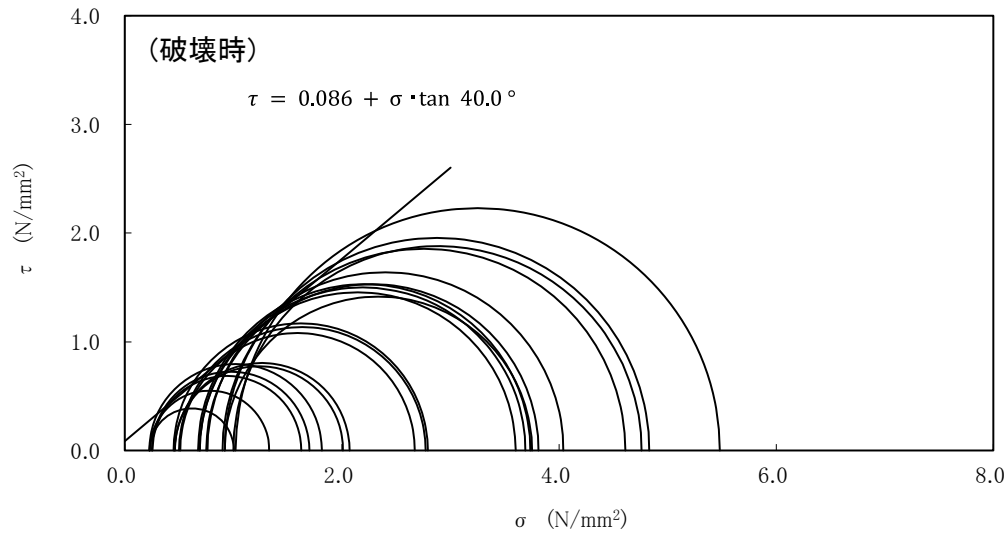
1 解析用物性値の設定(強度特性(Mu-S、Mu-S₂))



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))

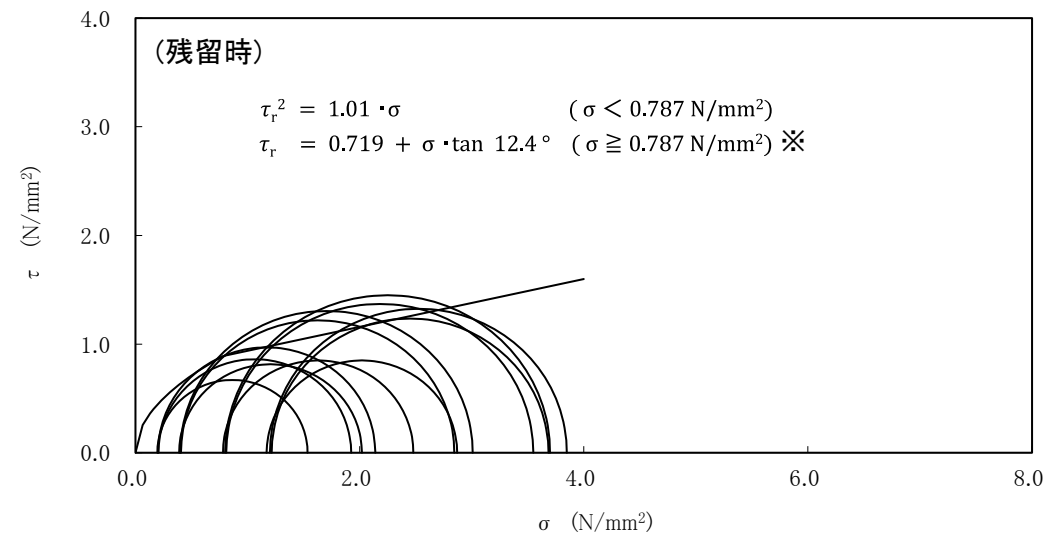
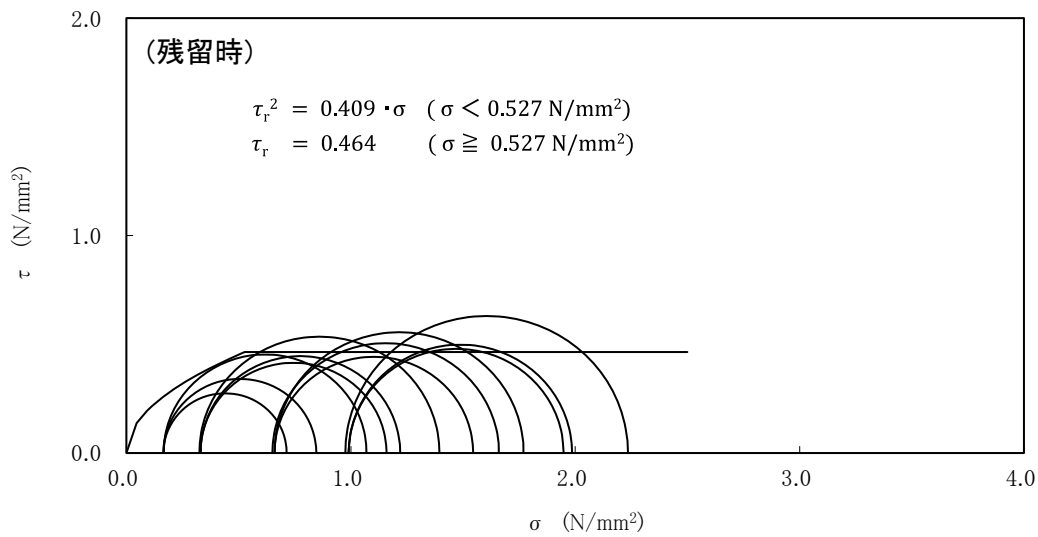
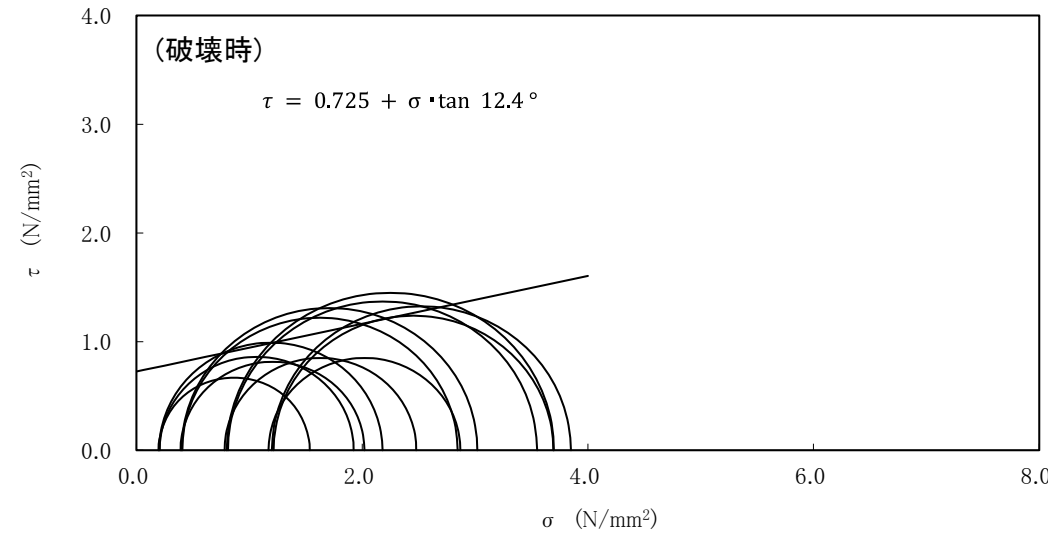
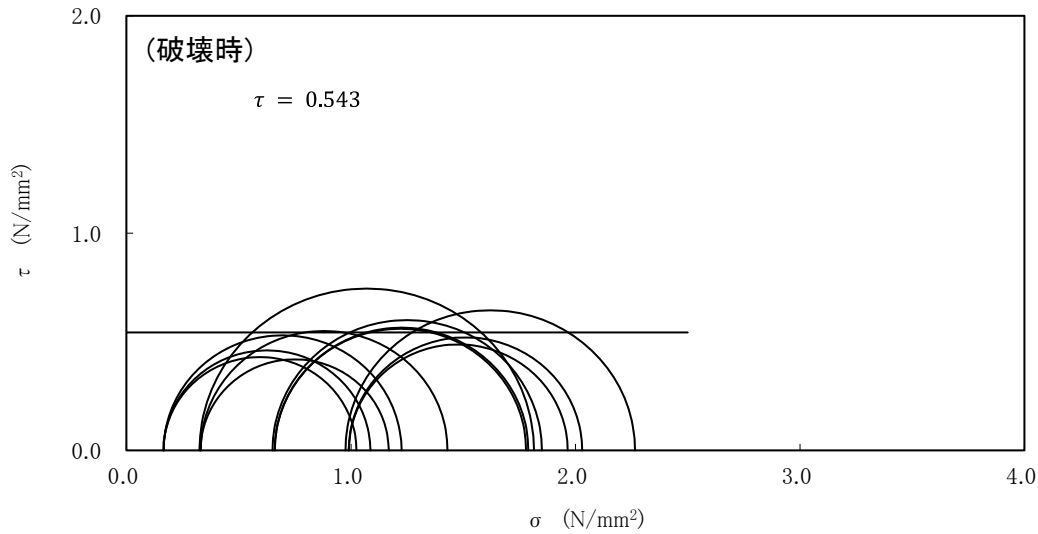


強度特性(Mm-Sg)

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0.228N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を27.7°に低減し、解析用地盤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))

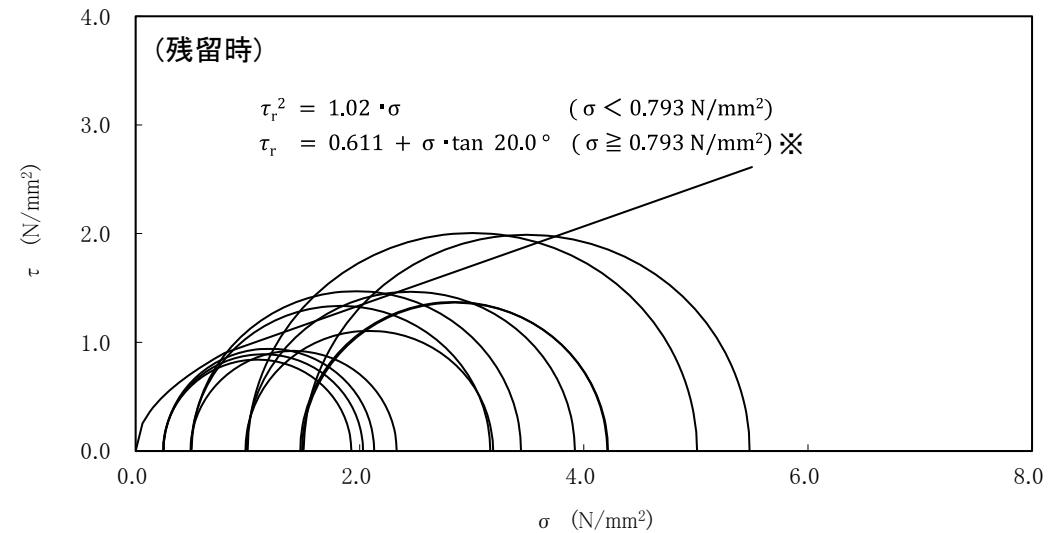
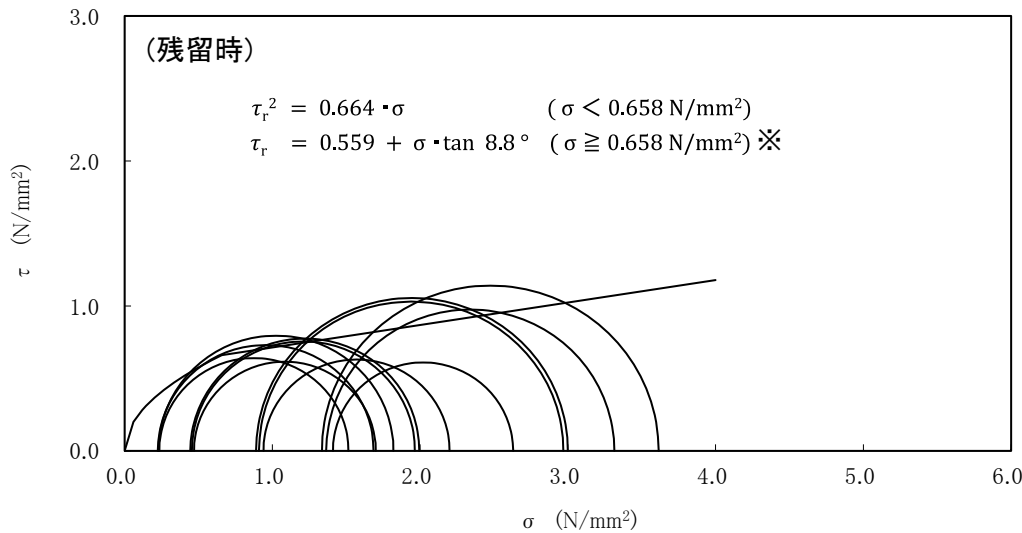
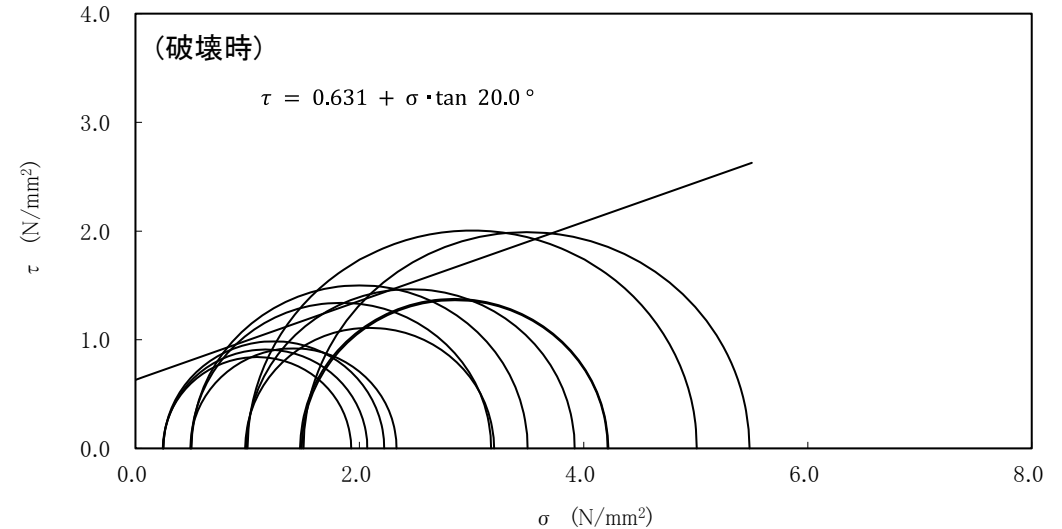
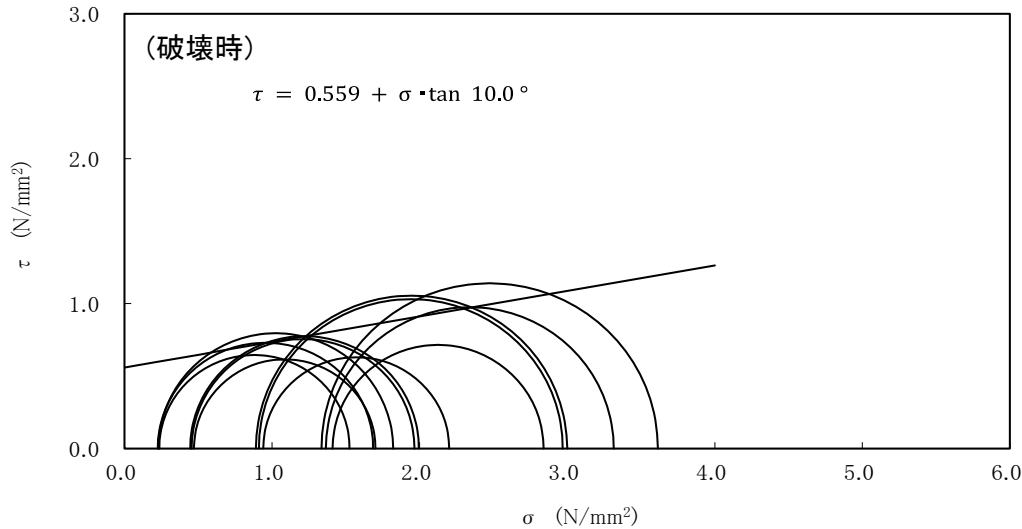


強度特性(Is-C)

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0.787N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を12.4°に低減し、解析用地盤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)

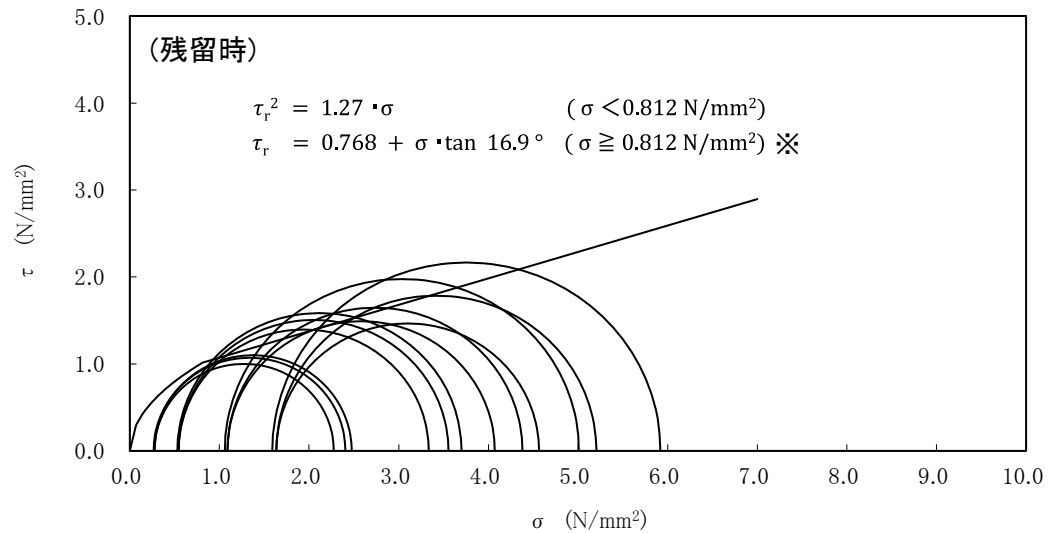
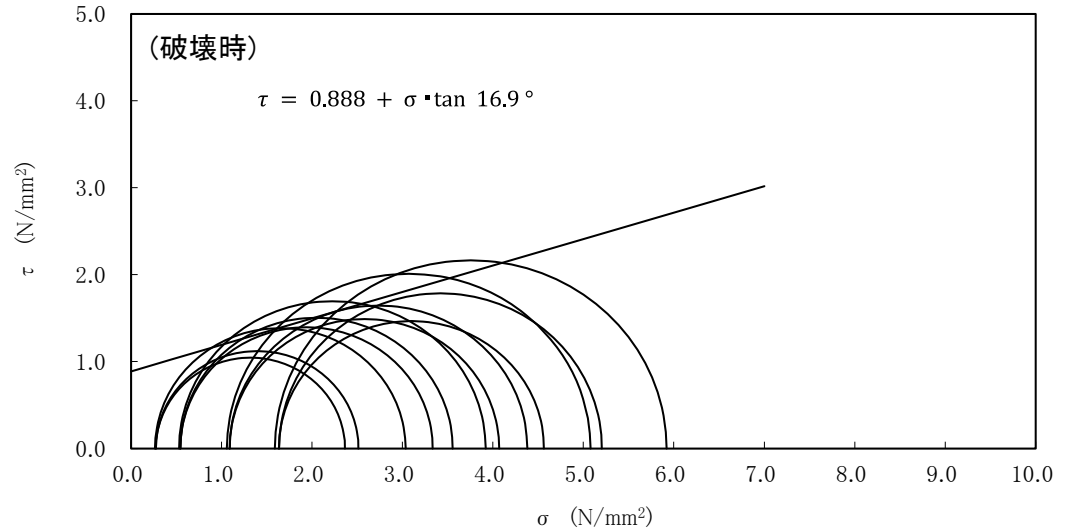
強度特性(Is-S₂L)

※部分的に残留強度がピーク強度を上回るため、 σ が0.658N/mm²以上の時の残留強度の粘着力を0.559に低減し、解析用地盤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0.793N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を20.0°に低減し、解析用地盤物性値として用いる。

1 解析用物性値の設定(強度特性(Is-S_g、Is-S₃))

※ Is-S_gの強度特性にはIs-S₂Lの試験結果を適用する。



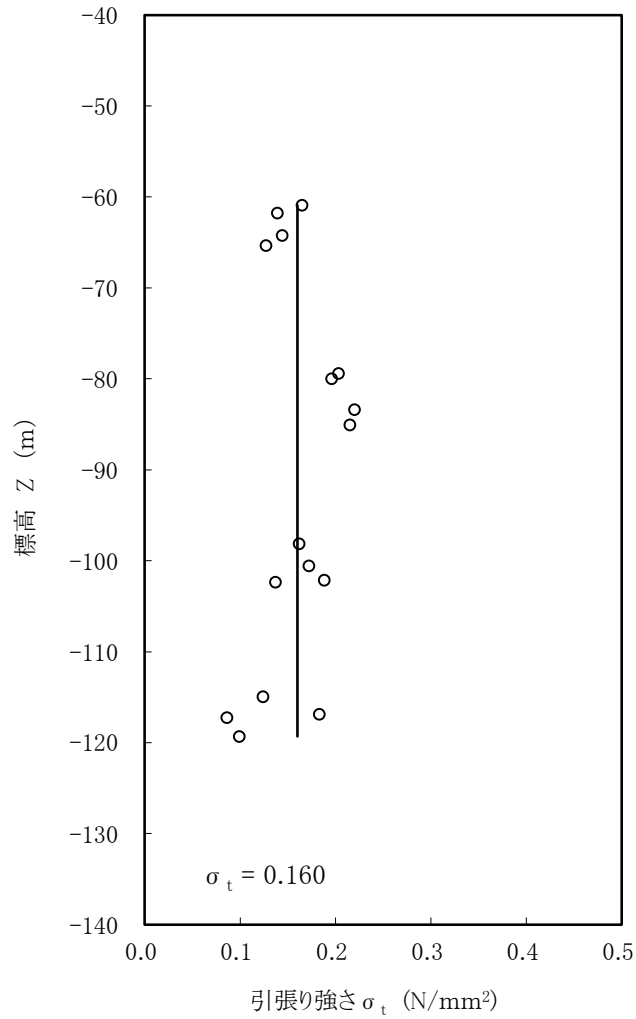
強度特性(Is-S_g)

強度特性(Is-S₃)

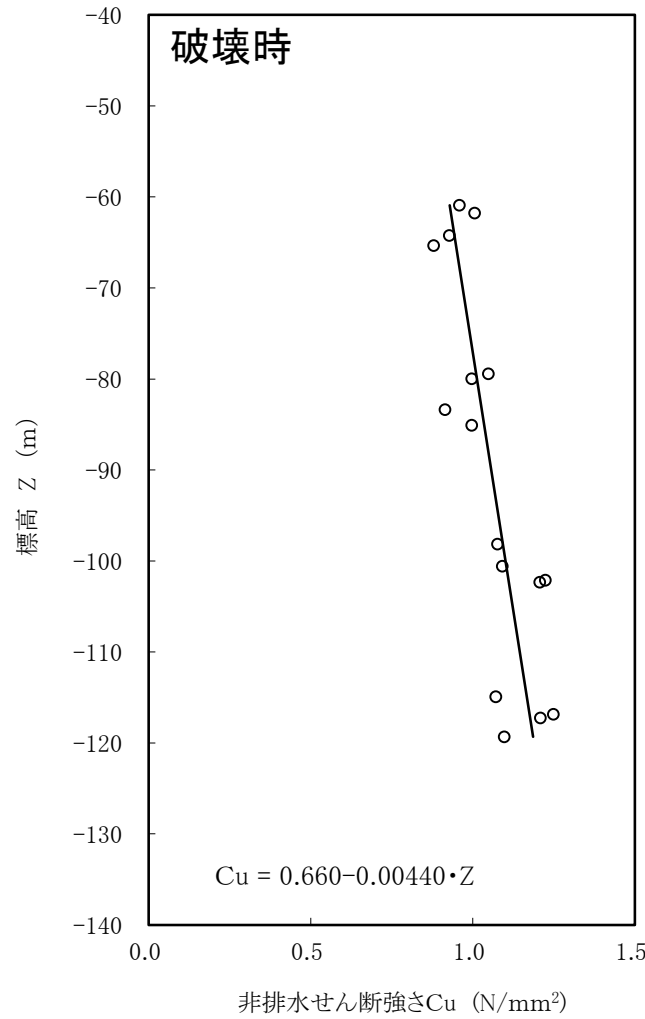
※部分的に残留強度がピーク強度を上回るため、σが0.812N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を16.9°に低減し、解析用地盤物性値として用いる。

1 解析用物性値の設定(強度特性(Km、Ks))

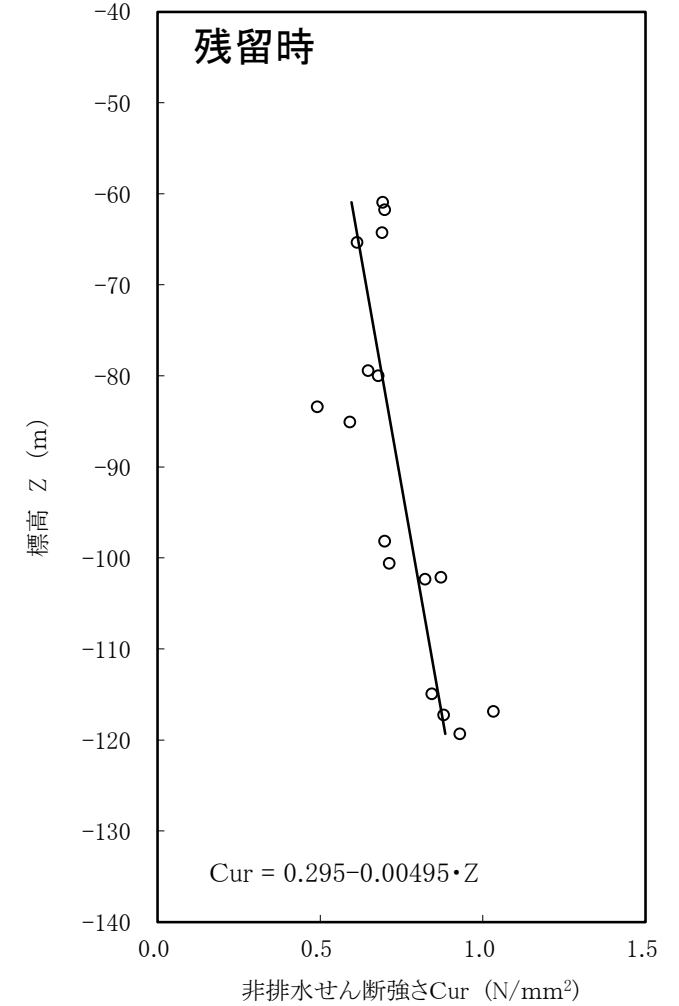
※ 標高との関係を近似式を用いて設定した。



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)

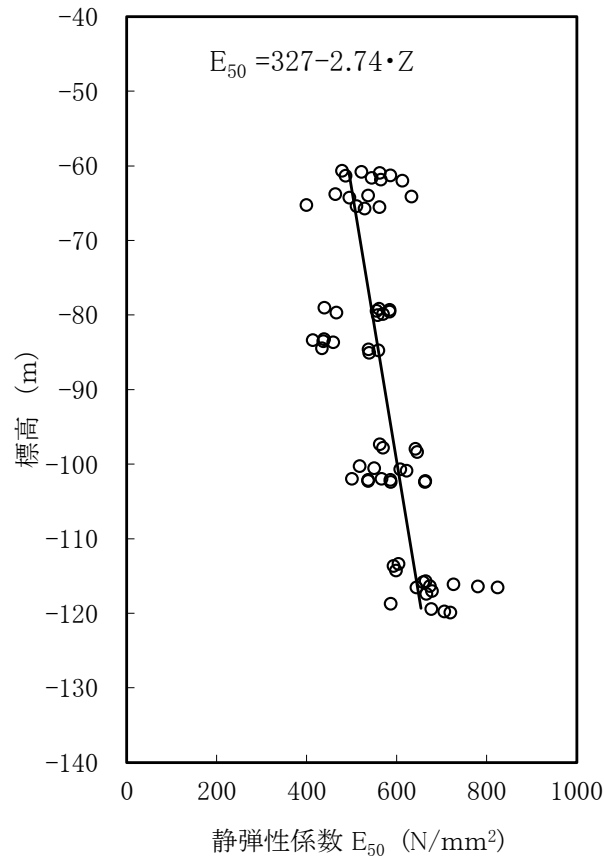
| 区 分 | | 静弾性係数 E ₅₀ | |
|-------------|---------------------|--------------------------|------|
| | | 平均値 (N/mm ²) | 試験個数 |
| 埋戻土 | B | 25.3 | 32 |
| M1段丘
堆積物 | Lm | 9.38 | 16 |
| | Mu-S ₁ | 45.0 | 20 |
| | Mu-C | 136 | 24 |
| | Mu-S | 59.9 | 16 |
| | Mu-S ₂ | 80.6 | 36 |
| 東茨城
層群 | Mm-Sg | 188 | 20 |
| | Is-S ₁ | 55.9 | 40 |
| | Is-C | 279 | 12 |
| | Is-S ₂ U | 109 | 12 |
| | Is-Sc | 251 | 12 |
| | Is-S ₂ L | 162 | 12 |
| | Is-Sg | 162 | 12 |
| | Is-S ₃ | 176 | 12 |

1 解析用物性値の設定（静的変形特性(2)）

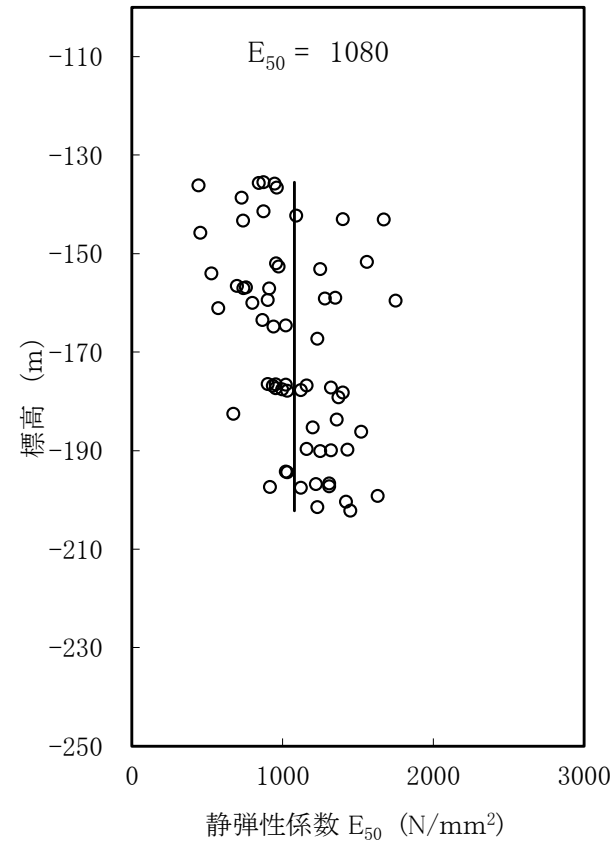
静弾性係数(2)

| 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 | $327-2.74 \cdot Z$ | 64 |
| 多賀層群 | Tg | 1080 | 62 |

Z: 標高(m)

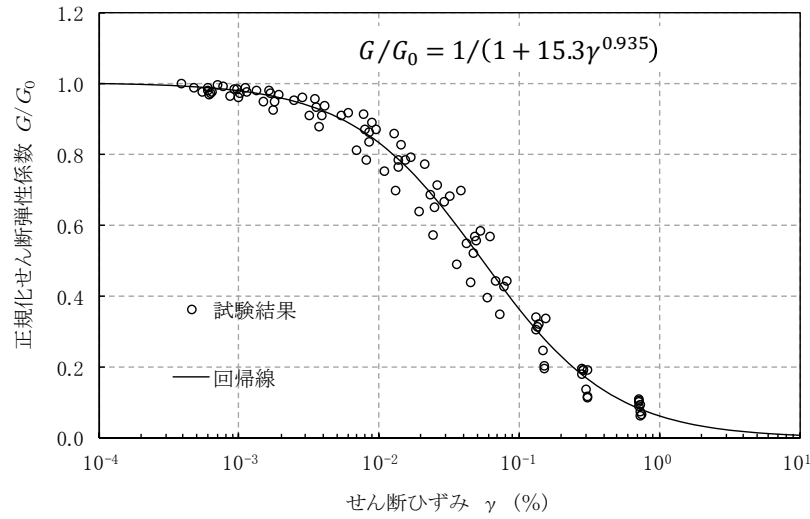


三軸圧縮試験による静弾性係数(Km、Ks)

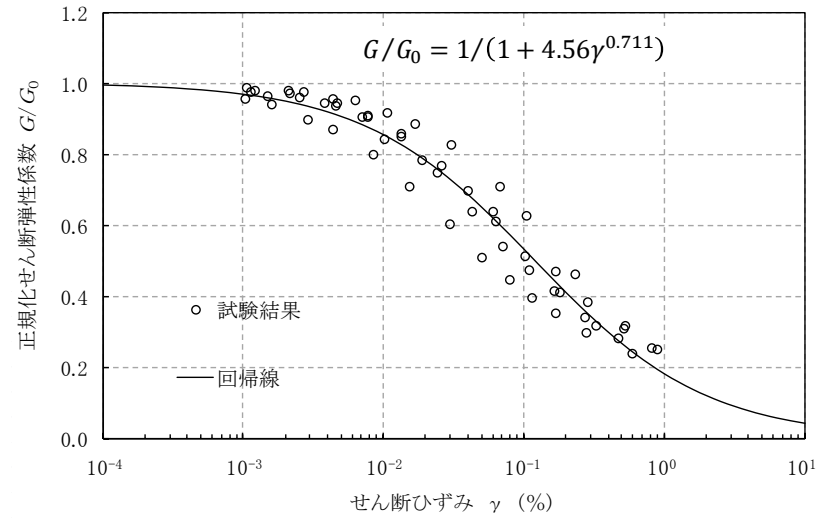


三軸圧縮試験による静弾性係数(Tg)

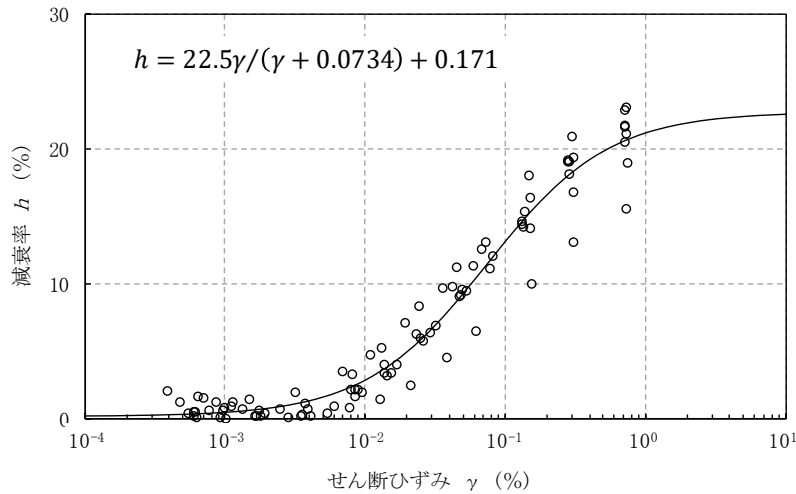
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(埋戻土、Lm))



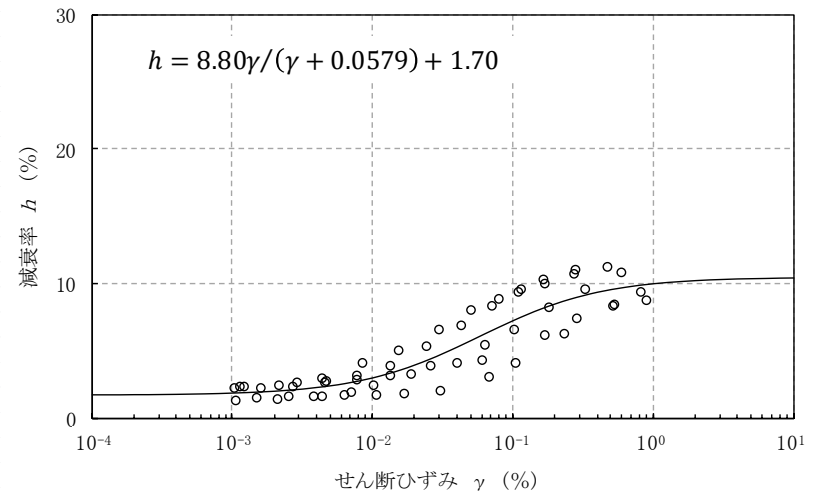
(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

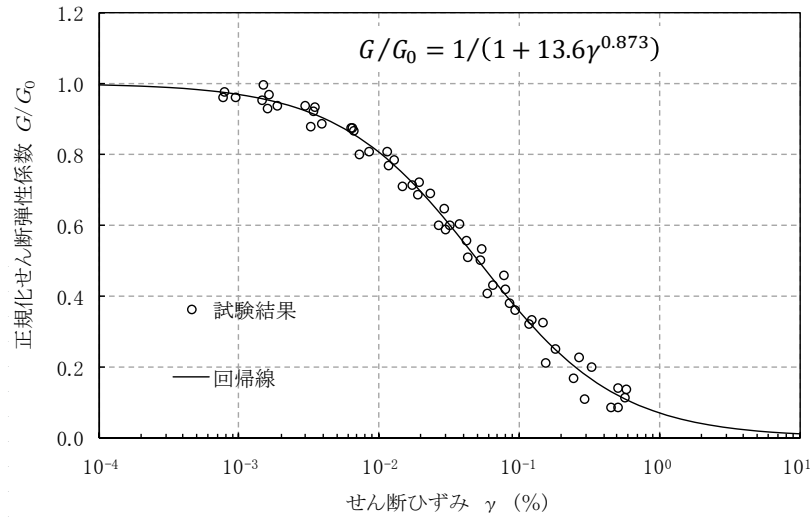


(b) 減衰率 h (%)

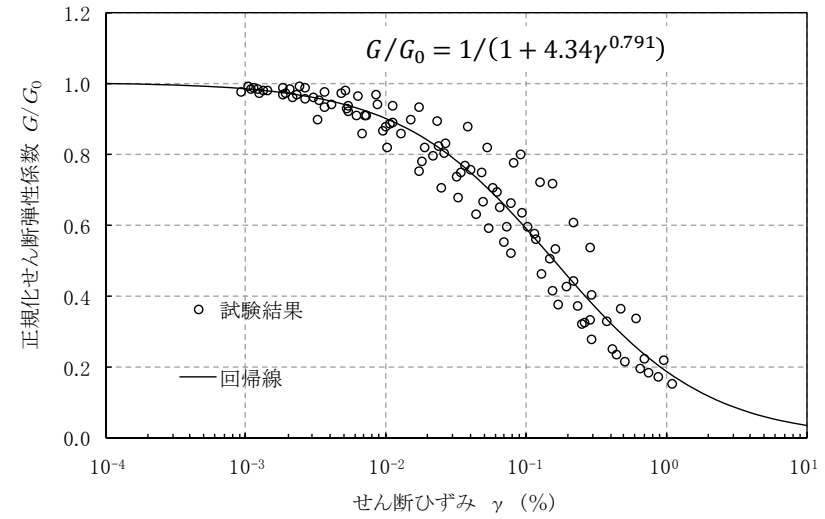
動的変形試験結果(埋戻土)

動的変形試験結果(Lm)

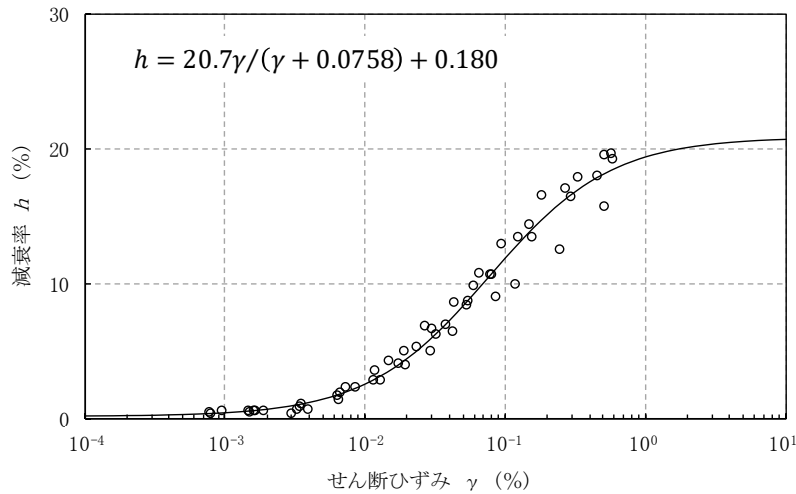
1 解析用物性値の設定 (動的変形試験結果 (Mu-S₁、Mu-C))



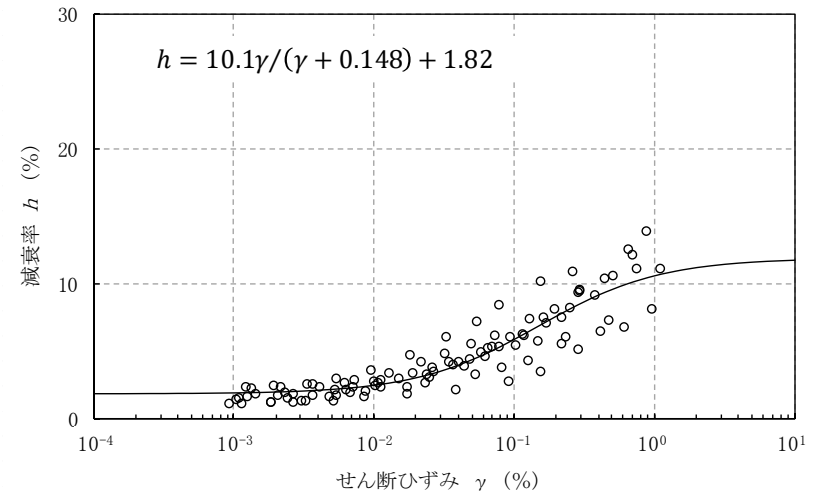
(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

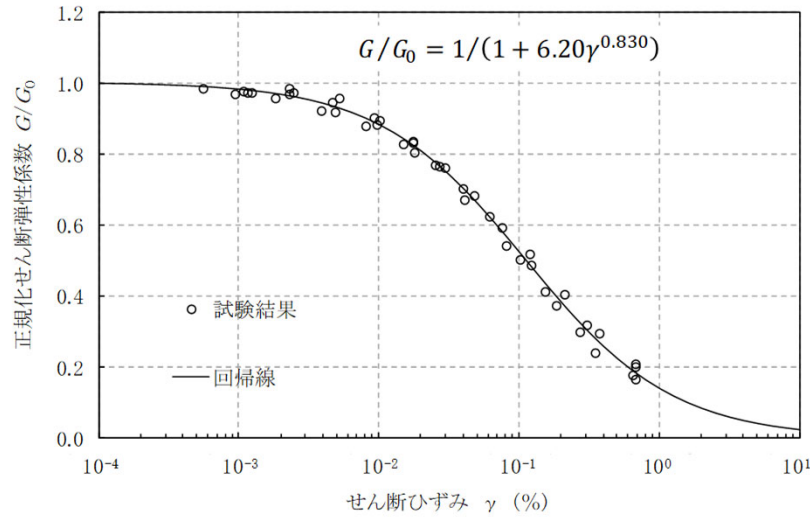


(b) 減衰率 h (%)

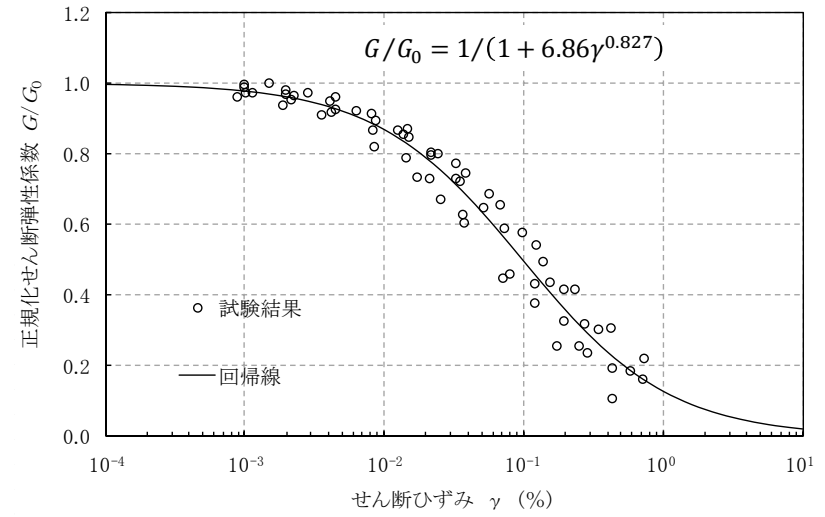
動的変形試験結果 (Mu-S₁)

動的変形試験結果 (Mu-C)

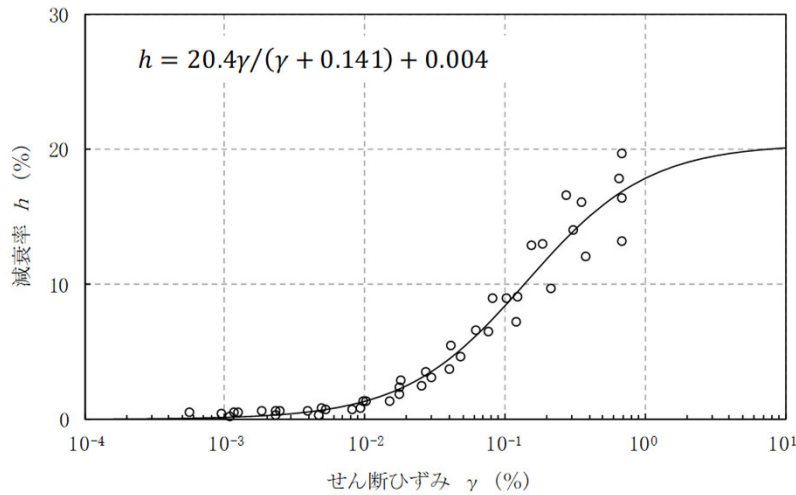
1 解析用物性値の設定 (動的変形試験結果 (Mu-S、Mu-S₂))



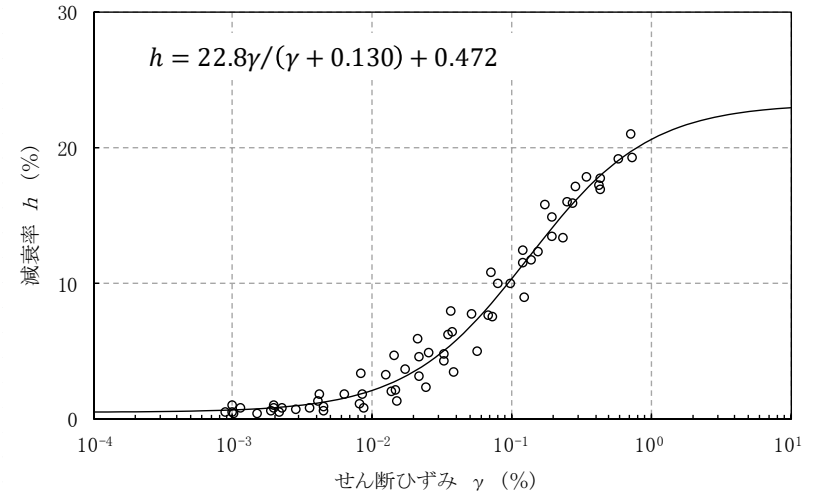
(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

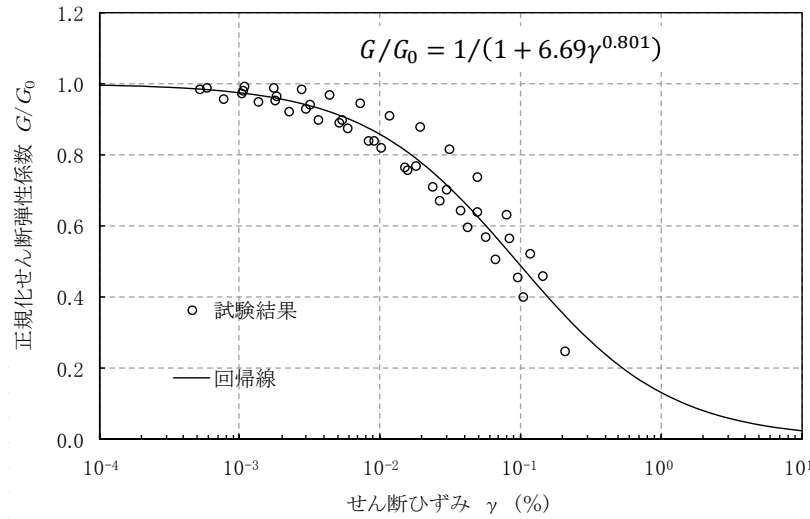


(b) 減衰率 h (%)

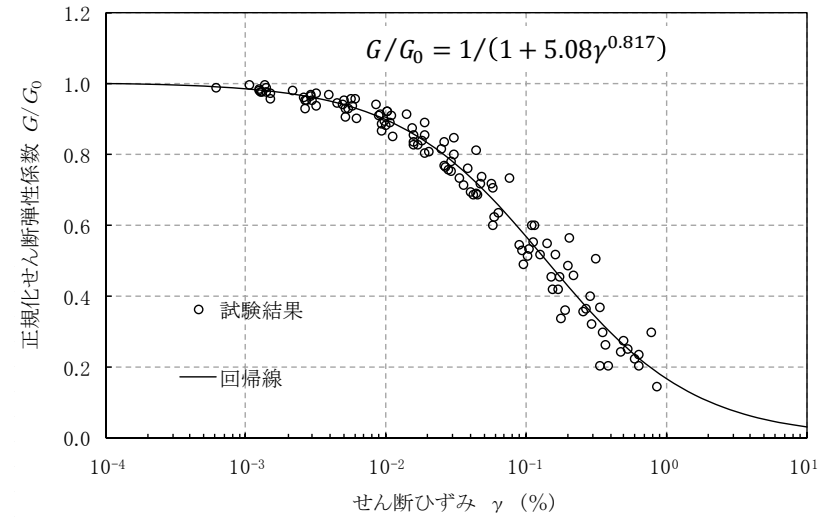
動的変形試験結果 (Mu-S)

動的変形試験結果 (Mu-S₂)

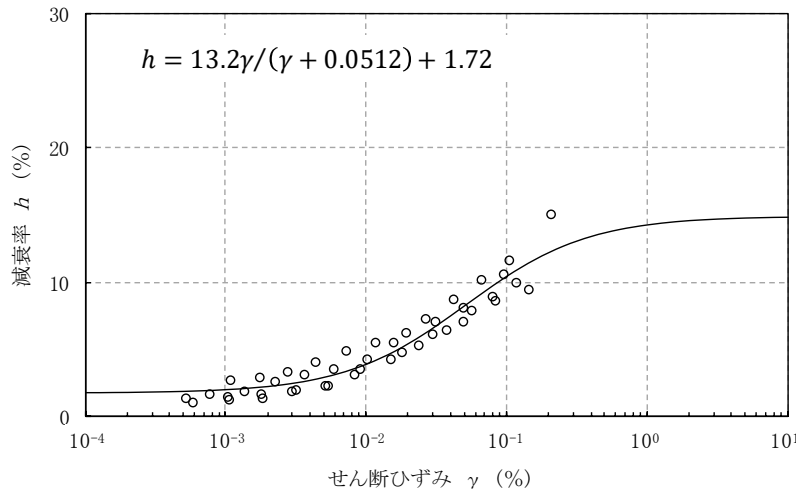
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Mm-Sg、Is-S₁))



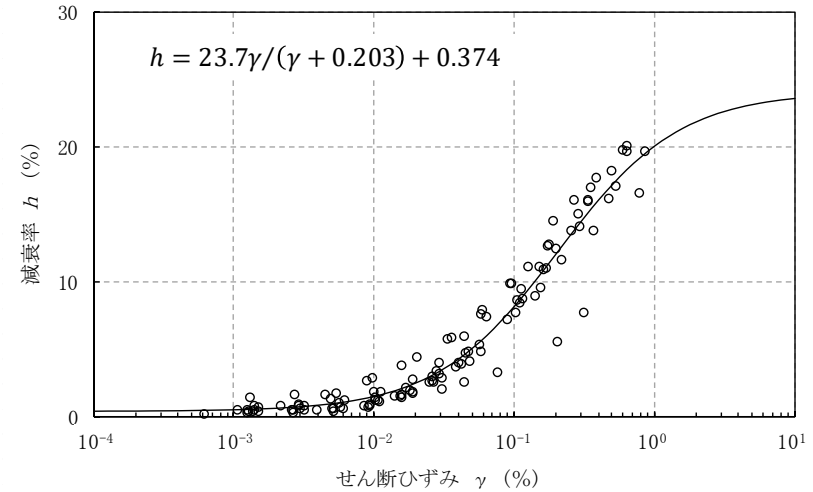
(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

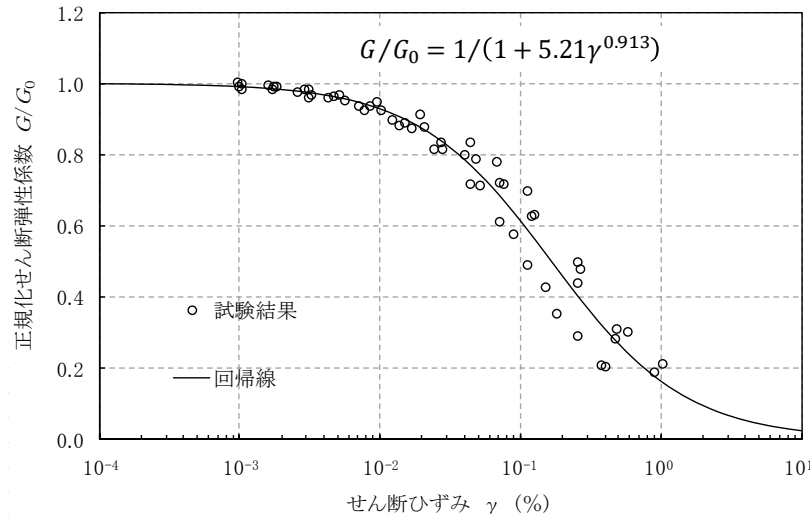


(b) 減衰率 h (%)

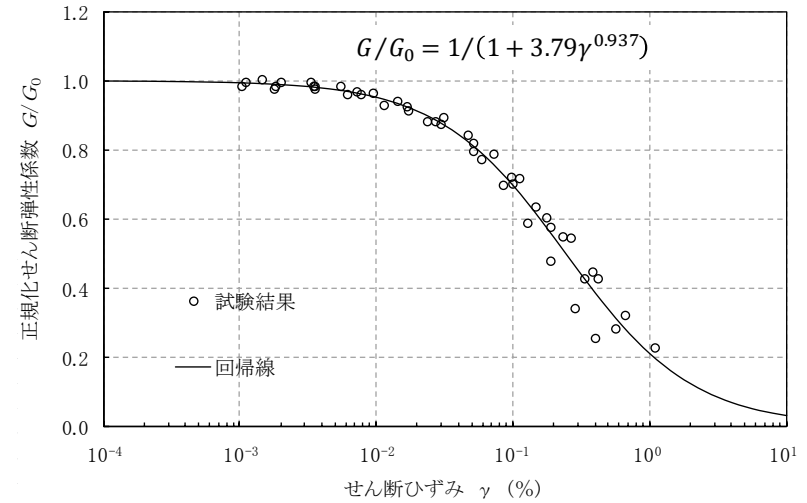
動的変形試験結果(Mm-Sg)

動的変形試験結果(Is-S₁)

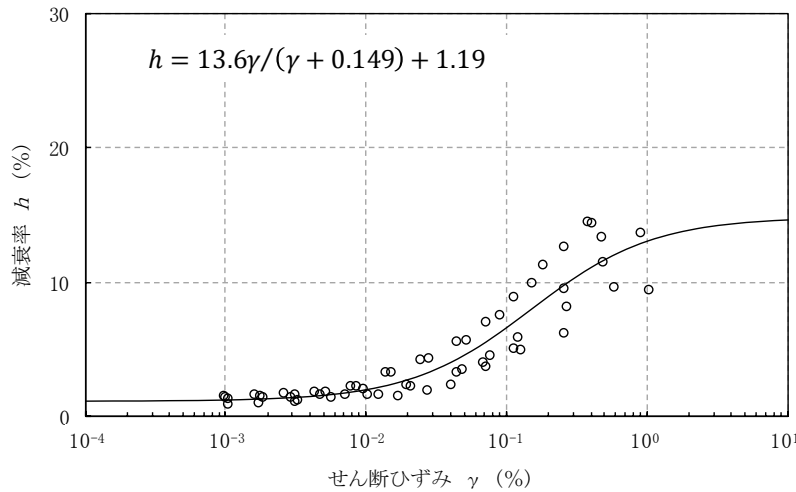
1 解析用物性値の設定 (動的変形試験結果 (Is-C、Is-S₂U))



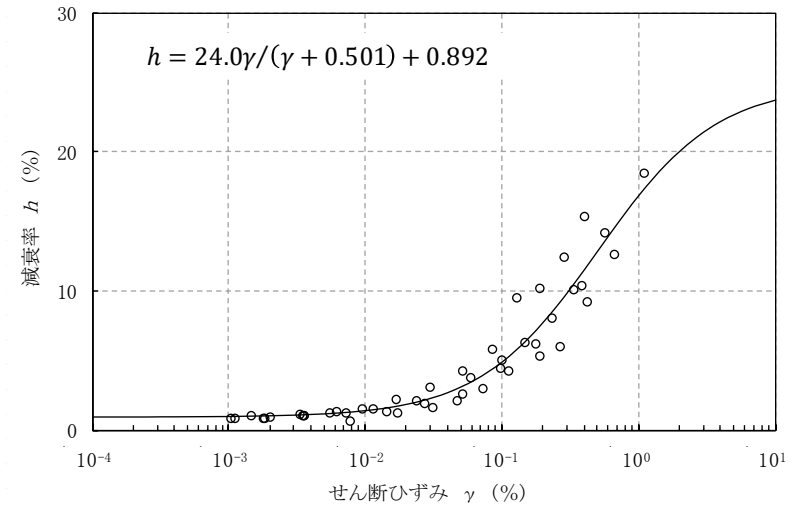
(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

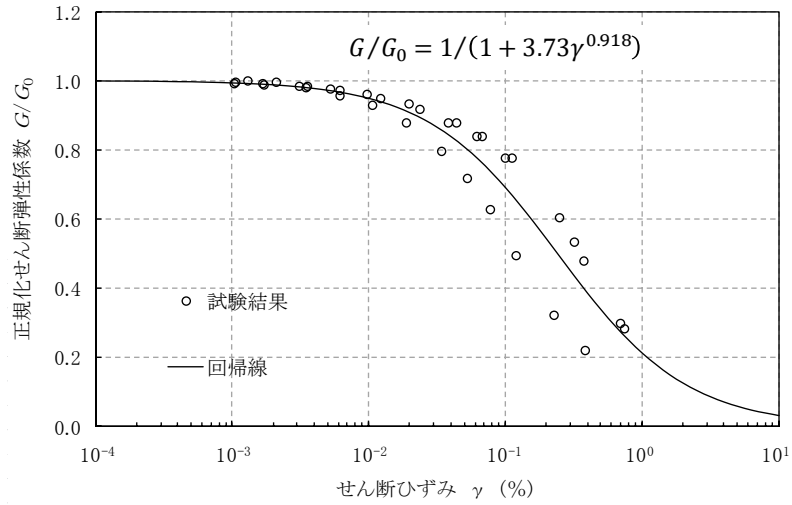


(b) 減衰率 h (%)

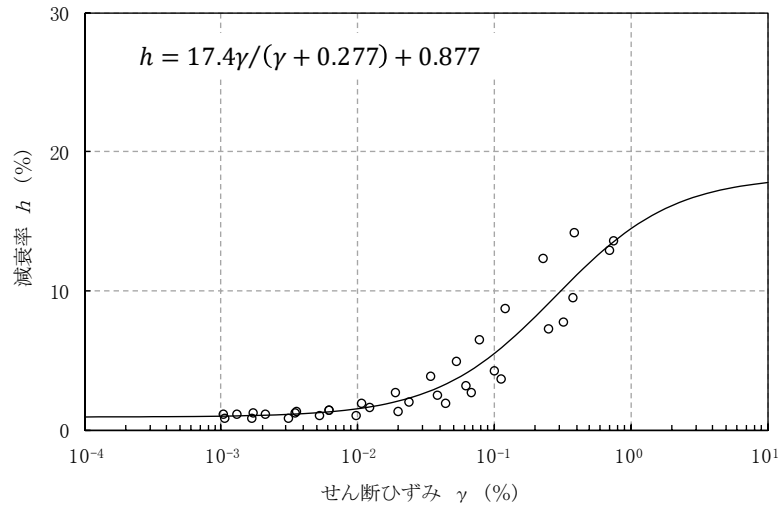
動的変形試験結果 (Is-C)

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))

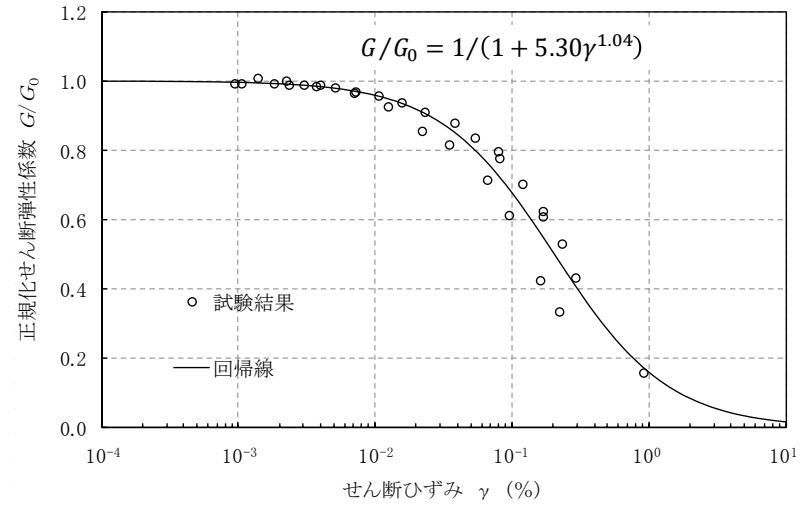


(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

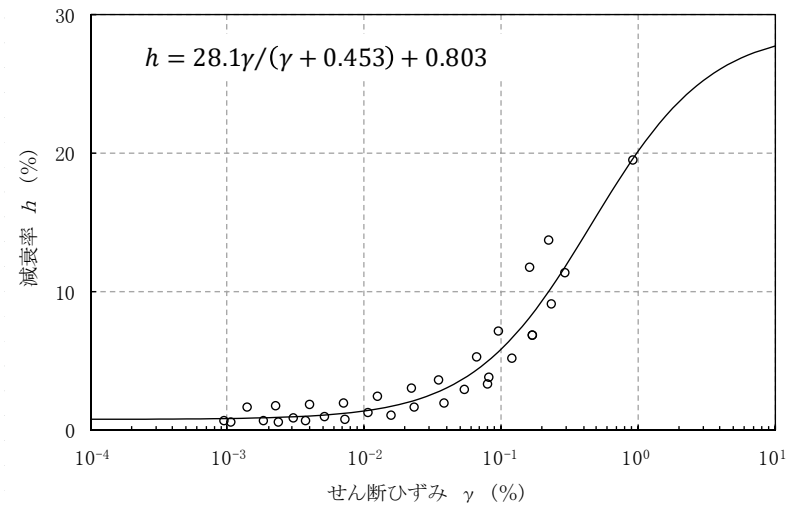


(b) 減衰率 h (%)

動的変形試験結果 (Is-Sc)



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

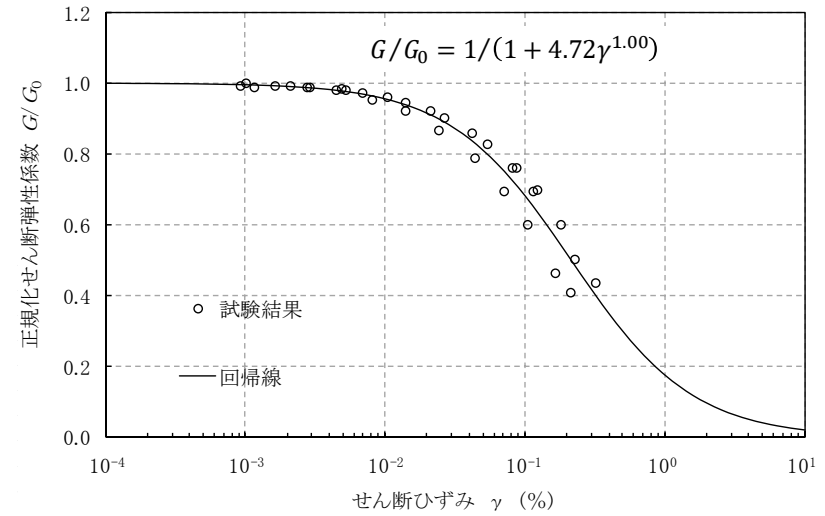


(b) 減衰率 h (%)

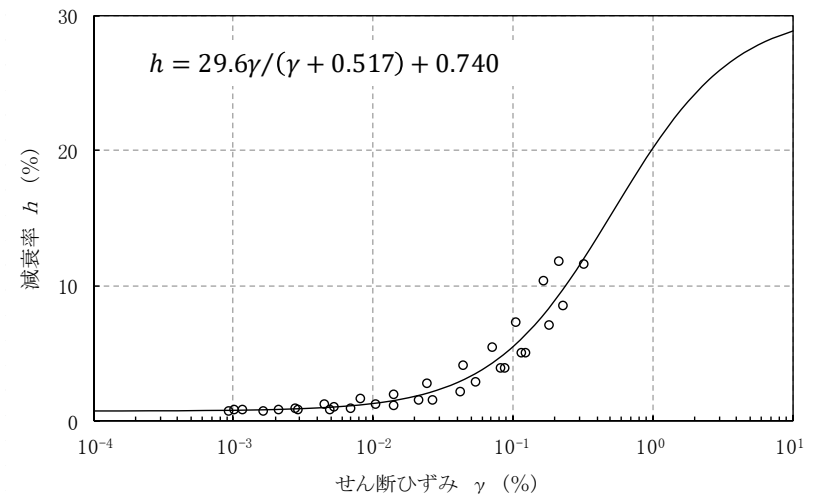
動的変形試験結果 (Is-S₂L)

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

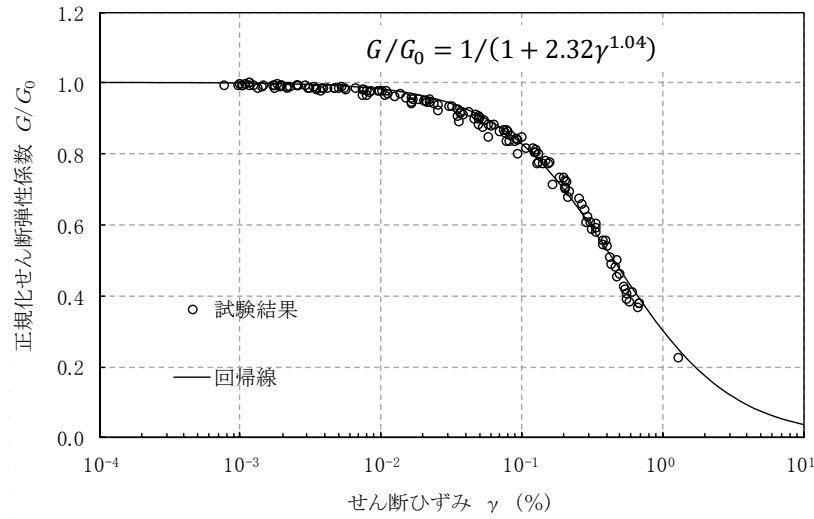


(b) 減衰率 h (%)

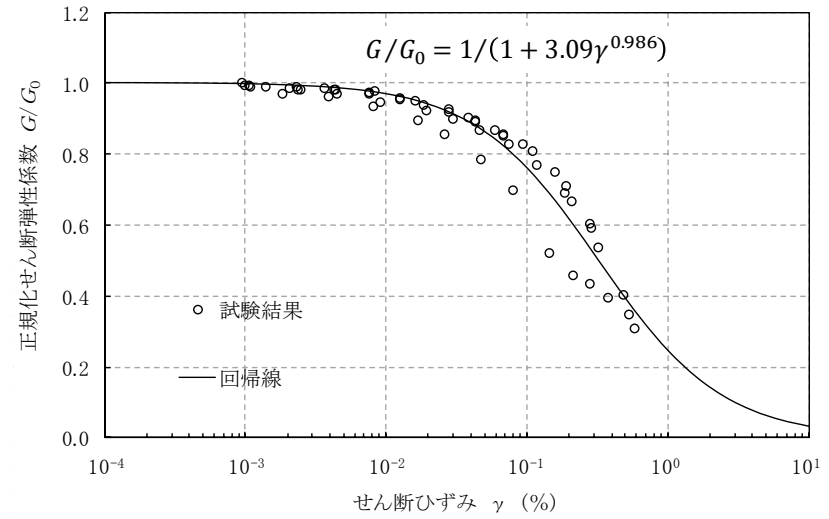
動的変形試験結果 (Is-Sg)

動的変形試験結果 (Is-S₃)

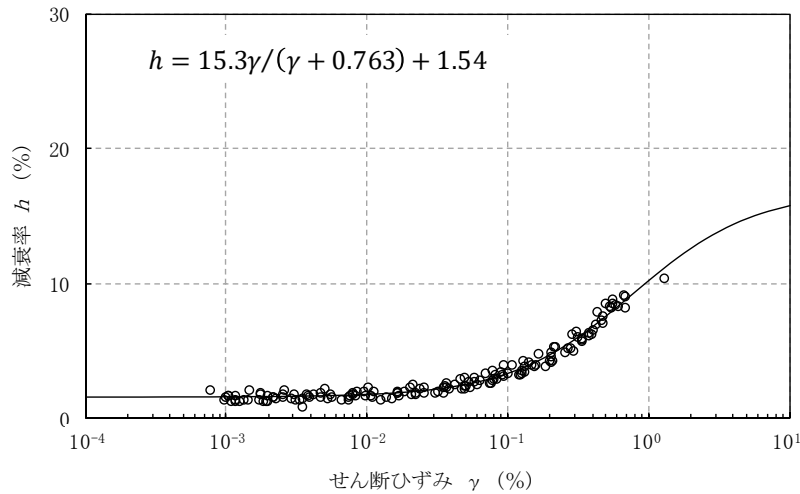
1 解析用物性値の設定(動的変形試験結果(Km、Ks))



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0

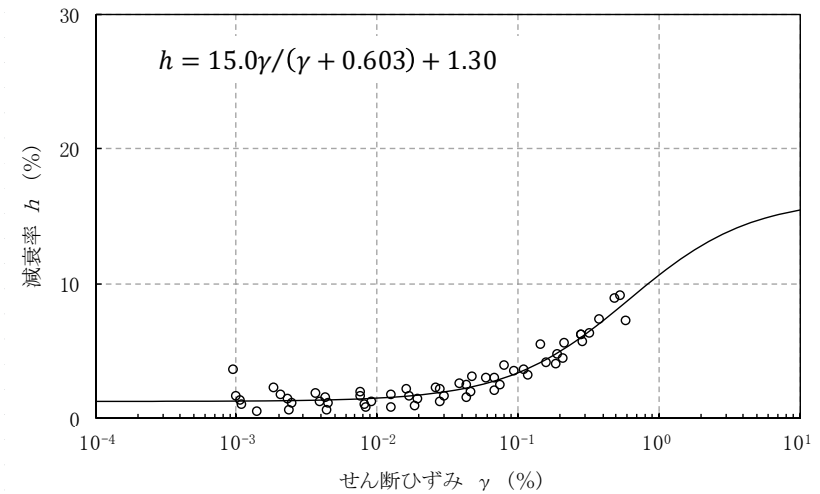


(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

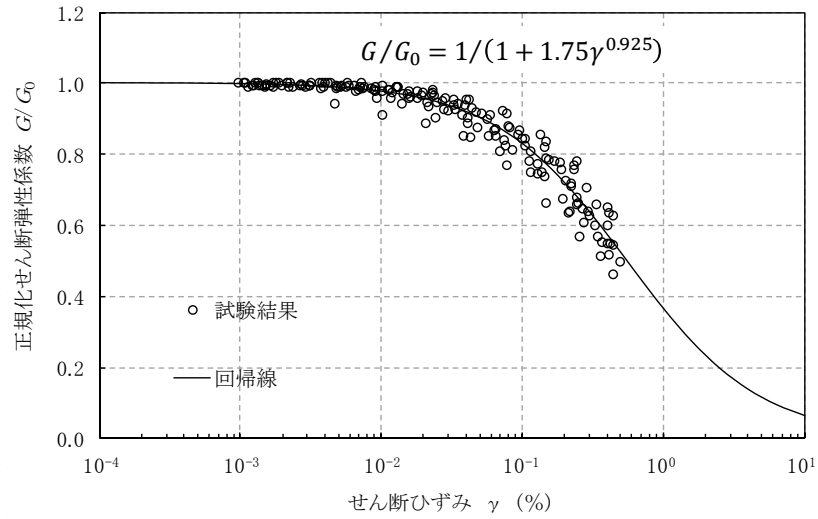
動的変形試験結果(Km)



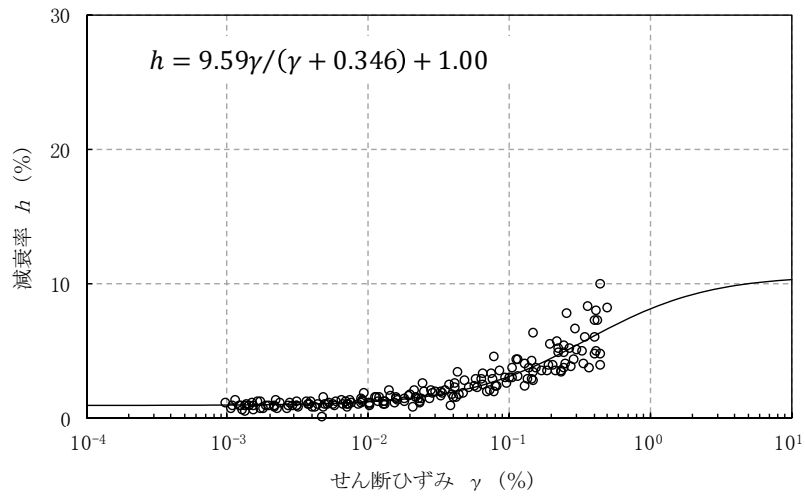
(b) 減衰率 h (%)

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



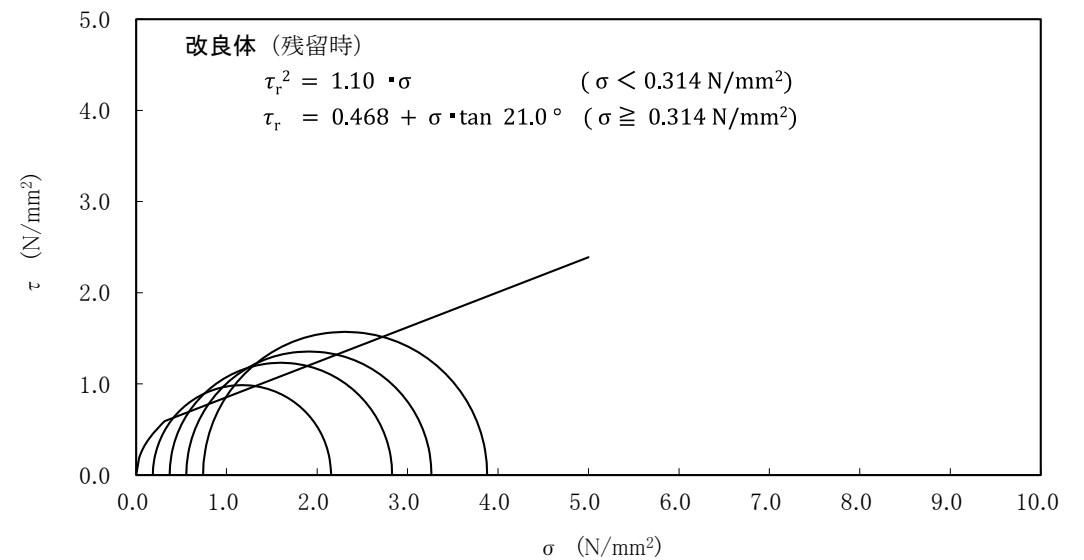
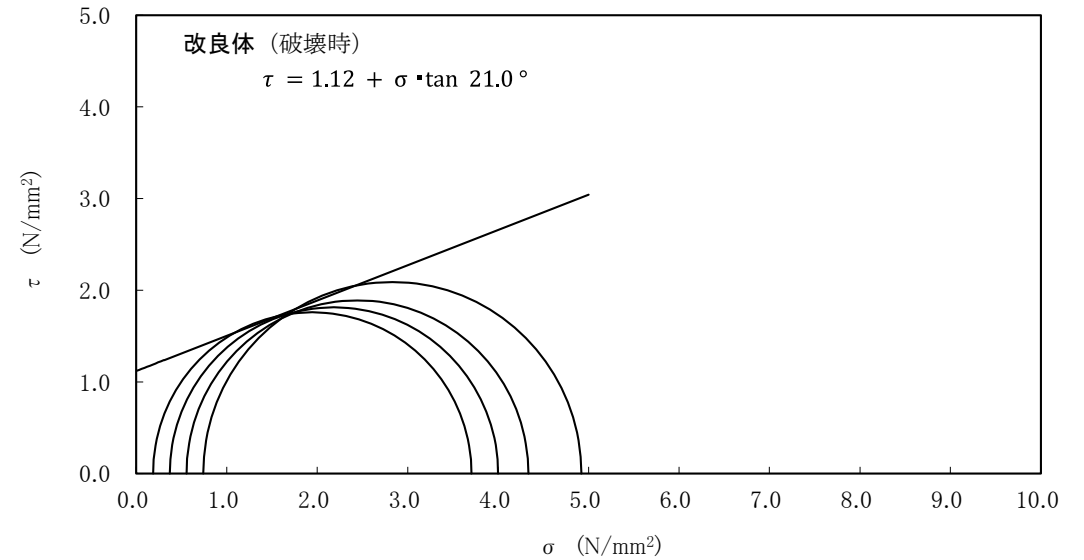
(b) 減衰率 h (%)

動的変形試験結果(Tg)

1 解析用物性値の設定(物理試験結果、強度特性(改良地盤))

物理試験結果(改良地盤)

| | 湿潤密度
ρ_t (g/cm ³) | 試料数 |
|------|---------------------------------------|-----|
| 平均値 | 2.05 | 32 |
| 標準偏差 | 0.22 | |



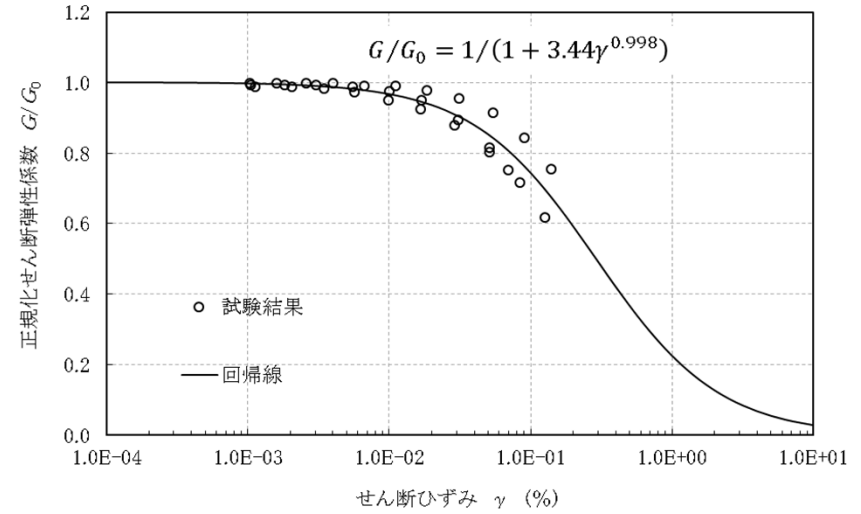
強度特性(改良地盤)

※部分的に残留強度がピーク強度を上回るため、σが0.314N/mm²以上の時の残留強度の内部摩擦角を21.0°に低減し、解析用地盤物性値として用いる。

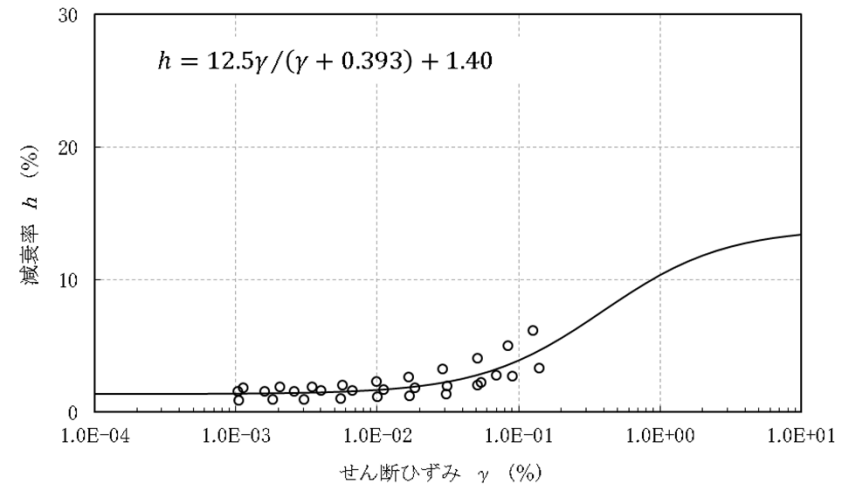
1 解析用物性値の設定 (静的変形特性、動的変形試験結果(改良地盤))

静弾性係数(改良地盤)

| 区分 | | 静弾性係数 E_{50} | |
|------|---|--------------------------|------|
| | | 平均値 (N/mm ²) | 試験個数 |
| 改良地盤 | I | 1720 | 12 |



(a) 正規化せん断弾性係数 G/G_0



(b) 減衰率 h (%)

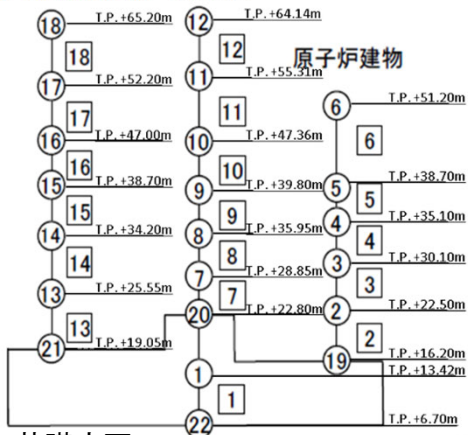
動的変形試験結果(改良地盤)

参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果
- 11 地盤改良の試験施工結果

2 建物のモデル化に関する検討(原子炉建物及び原子炉附属建物(NS方向)のモデル化)

原子炉附属建物 格納容器



基礎底面

質点系モデル

○:質点番号
□:部材番号

質点系モデル物性値(NS方向)

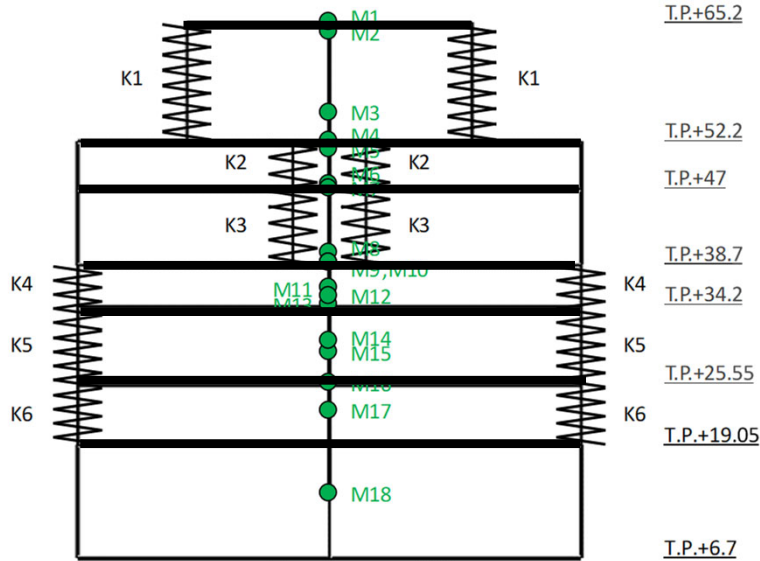
| 部位 | 質点番号 | 標高 (m) | 重量 W(kN) | NS方向
回転慣性
$\times 10^5$
(kNm^2) | NS方向 | | |
|---------------------|------|--------|----------|---|------|-------------------------------|--|
| | | | | | 部材番号 | せん断
断面積
$A(\text{m}^2)$ | 断面2次
モーメント
$I \times 10^9(\text{m}^4)$ |
| 原子炉
附属建物
(AB) | 21 | 19.05 | — | — | 13 | 448.7 | 179.7 |
| | 13 | 25.55 | 182,401 | 669.0 | 14 | 372.4 | 208.6 |
| | 14 | 34.20 | 156,693 | 573.9 | 15 | 356.2 | 182.2 |
| | 15 | 38.70 | 125,226 | 438.4 | 16 | 109.0 | 61.92 |
| | 16 | 47.00 | 89,799 | 315.6 | 17 | 120.5 | 56.57 |
| | 17 | 52.20 | 60,930 | 182.7 | 18 | 23.6 | 5.968 |
| | 18 | 65.20 | 8,512 | 10.7 | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| 部位 | 質点番号 | 標高 (m) | 重量 W(kN) | NS方向
回転慣性
$\times 10^5$
(kNm^2) | NS方向 | | |
|---------------------|------|--------|----------|---|------|-------------------------------|--|
| | | | | | 部材番号 | せん断
断面積
$A(\text{m}^2)$ | 断面2次
モーメント
$I \times 10^9(\text{m}^4)$ |
| 原子炉
格納容器
(CV) | 20 | 22.80 | — | — | 7 | 1.101 | 0.2160 |
| | 7 | 28.85 | 2,051 | — | 8 | 1.101 | 0.2160 |
| | 8 | 35.95 | 1,385 | — | 9 | 1.101 | 0.2160 |
| | 9 | 39.80 | 2,040 | — | 10 | 1.101 | 0.2160 |
| | 10 | 47.36 | 1,395 | — | 11 | 0.501 | 0.0887 |
| | 11 | 55.31 | 934 | — | 12 | 0.341 | 0.0280 |
| | 12 | 64.14 | 427 | — | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

| 部位 | 質点番号 | 標高 (m) | 重量 W(kN) | NS方向
回転慣性
$\times 10^5$
(kNm^2) | NS方向 | | |
|---------------|------|--------|----------|---|------|-------------------------------|--|
| | | | | | 部材番号 | せん断
断面積
$A(\text{m}^2)$ | 断面2次
モーメント
$I \times 10^9(\text{m}^4)$ |
| 基礎 | 1 | 13.42 | 833,944 | 2441.1 | 1 | 2750.0 | 693.2 |
| | 22 | 6.70 | — | — | | | |
| 原子炉建物
(RB) | 19 | 16.20 | — | — | 2 | 87.7 | 13.03 |
| | 2 | 22.50 | 59,215 | 34.0 | 3 | 87.4 | 11.34 |
| | 3 | 30.10 | 40,466 | 23.6 | 4 | 98.4 | 12.15 |
| | 4 | 35.10 | 46,053 | 20.1 | 5 | 56.5 | 6.572 |
| | 5 | 38.70 | 28,696 | 19.6 | 6 | 12.2 | 3.356 |
| | 6 | 51.20 | 11,804 | 9.6 | | | |

RC造: ヤング率 $E=0.221(\times 10^8 \text{kN/m}^2)$ 、ポアソン比 $\nu=0.20$
 S造: ヤング率 $E=2.050(\times 10^8 \text{kN/m}^2)$ 、ポアソン比 $\nu=0.30$
 ※基本設計段階における重量を記載

●: 質点重量、—: 水平剛ビーム
: 鉛直ばね



基礎底面

有限要素モデル

(水平・鉛直同時加振モデル)

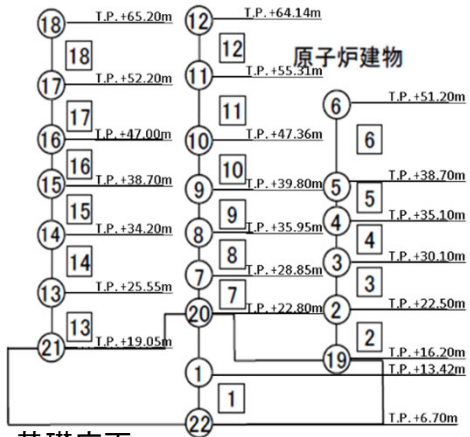
有限要素モデル物性値(NS方向)

| 標高 (m) | 質点 | 重量 (kN/m) | 材料番号 | 等価せん断剛性 Gf ($\times 10^5 \text{kN/m}^2/\text{m}$) | 等価ポアソン比 νf | 鉛直ばね要素番号 | 等価ばね剛性 Kf ($\times 10^5 \text{kN/m}^2/\text{m}$) |
|--------|-----|-----------|------|---|-----------------|----------|--|
| 65.20 | M1 | 170.24 | - | - | - | - | - |
| 64.14 | M2 | 8.54 | 1 | 1.65 | 0.32 | K1 | 1.85 |
| 55.31 | M3 | 18.68 | | | | | |
| 52.20 | M4 | 1218.57 | 2 | 4.06 | 0.33 | K2 | 31.62 |
| 51.20 | M5 | 236.08 | | | | | |
| 47.36 | M6 | 27.90 | | | | | |
| 47.00 | M7 | 1795.99 | | | | | |
| 39.80 | M8 | 40.80 | 3 | 3.38 | 0.29 | K3 | 32.52 |
| 38.70 | M9 | 2504.52 | | | | | |
| 38.70 | M10 | 573.92 | | | | | |
| 38.70 | M10 | 573.92 | 4 | 12.17 | 0.30 | K4 | 63.52 |
| 35.95 | M11 | 27.70 | | | | | |
| 35.10 | M12 | 921.06 | | | | | |
| 34.20 | M13 | 3133.81 | | | | | |
| 30.10 | M14 | 809.32 | 5 | 11.94 | 0.31 | K5 | 34.02 |
| 28.85 | M15 | 41.02 | | | | | |
| 25.55 | M16 | 3647.98 | | | | | |
| 22.50 | M17 | 1184.25 | 6 | 15.37 | 0.34 | K6 | 36.87 |
| 19.05 | - | - | | | | | |
| 13.42 | M18 | 16679.15 | 7 | 102594.58 | 0.20 | - | - |
| 6.70 | - | - | | | | | |

※単位奥行当りの物性値、基本設計段階における重量を記載

2 建物のモデル化に関する検討(原子炉建物及び原子炉附属建物(EW方向)のモデル化)

原子炉附属建物 格納容器



基礎底面

質点系モデル

○:質点番号
□:部材番号

質点系モデル物性値(EW方向)

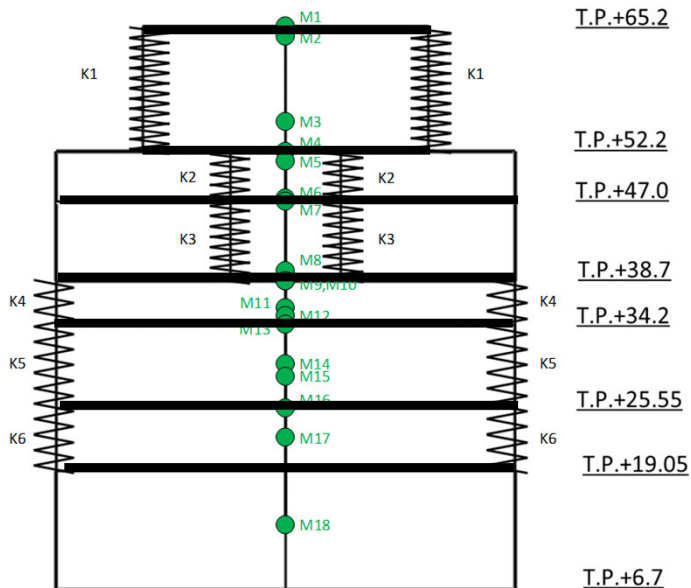
| 部位 | 質点番号 | 標高 (m) | 重量 W(kN) | EW方向 | | 部材番号 | EW方向 | |
|--------------|------|--------|----------|--|---------------------------|-------|---|---|
| | | | | 回転慣性 $\times 10^5$ (kNm ²) | せん断断面積 A(m ²) | | 断面2次モーメント $I \times 10^8$ (m ⁴) | 断面2次モーメント $I \times 10^8$ (m ⁴) |
| 原子炉附属建物 (AB) | 21 | 19.05 | — | — | 13 | 421.1 | 141.7 | |
| | 13 | 25.55 | 182,401 | 498.9 | 14 | 328.6 | 137.1 | |
| | 14 | 34.20 | 156,693 | 469.0 | 15 | 340.4 | 116.1 | |
| | 15 | 38.70 | 125,226 | 375.0 | 16 | 163.1 | 54.80 | |
| | 16 | 47.00 | 89,799 | 256.4 | 17 | 139.6 | 46.63 | |
| | 17 | 52.20 | 60,930 | 148.8 | 18 | 24.0 | 5.873 | |
| | 18 | 65.20 | 8,512 | 10.4 | | | | |
| | 18 | 65.20 | 8,512 | 10.4 | | | | |
| | 12 | 64.14 | 427 | — | | | | |

| 部位 | 質点番号 | 標高 (m) | 重量 W(kN) | EW方向 | | 部材番号 | EW方向 | |
|--------------|-------|--------|----------|--|---------------------------|-------|---|---|
| | | | | 回転慣性 $\times 10^5$ (kNm ²) | せん断断面積 A(m ²) | | 断面2次モーメント $I \times 10^8$ (m ⁴) | 断面2次モーメント $I \times 10^8$ (m ⁴) |
| 原子炉格納容器 (CV) | 20 | 22.80 | — | — | 7 | 1.101 | 0.2160 | |
| | 7 | 28.85 | 2,051 | — | 8 | 1.101 | 0.2160 | |
| | 8 | 35.95 | 1,385 | — | 9 | 1.101 | 0.2160 | |
| | 9 | 39.80 | 2,040 | — | 10 | 1.101 | 0.2160 | |
| | 10 | 47.36 | 1,395 | — | 11 | 0.501 | 0.0887 | |
| | 11 | 55.31 | 934 | — | 12 | 0.341 | 0.0280 | |
| | 12 | 64.14 | 427 | — | | | | |
| | 19 | 16.20 | — | — | | | | |
| | 2 | 22.50 | 59,215 | 31.3 | | | | |
| | 3 | 30.10 | 40,466 | 26.5 | | | | |
| | 4 | 35.10 | 46,053 | 20.8 | | | | |
| | 5 | 38.70 | 28,696 | 18.5 | | | | |
| 6 | 51.20 | 11,804 | 10.2 | | | | | |

| 部位 | 質点番号 | 標高 (m) | 重量 W(kN) | EW方向 | | 部材番号 | EW方向 | |
|------------|------|--------|----------|--|---------------------------|-------|---|---|
| | | | | 回転慣性 $\times 10^5$ (kNm ²) | せん断断面積 A(m ²) | | 断面2次モーメント $I \times 10^8$ (m ⁴) | 断面2次モーメント $I \times 10^8$ (m ⁴) |
| 基礎 | 1 | 13.42 | 833,944 | 1931.2 | | | | |
| | 22 | 6.70 | — | — | | | | |
| 原子炉建物 (RB) | 19 | 16.20 | — | — | 2 | 106.3 | 15.46 | |
| | 2 | 22.50 | 59,215 | 31.3 | 3 | 92.1 | 14.34 | |
| | 3 | 30.10 | 40,466 | 26.5 | 4 | 99.1 | 17.18 | |
| | 4 | 35.10 | 46,053 | 20.8 | 5 | 76.5 | 8.743 | |
| | 5 | 38.70 | 28,696 | 18.5 | 6 | 15.5 | 2.856 | |
| | 6 | 51.20 | 11,804 | 10.2 | | | | |

RC造: ヤング率 $E=0.221(\times 10^8 \text{ kN/m}^2)$ 、ポアソン比 $\nu=0.20$
 S造: ヤング率 $E=2.050(\times 10^8 \text{ kN/m}^2)$ 、ポアソン比 $\nu=0.30$
 ※基本設計段階における重量を記載

●: 質点重量、—: 水平剛ビーム
: 鉛直ばね



基礎底面 有限要素モデル

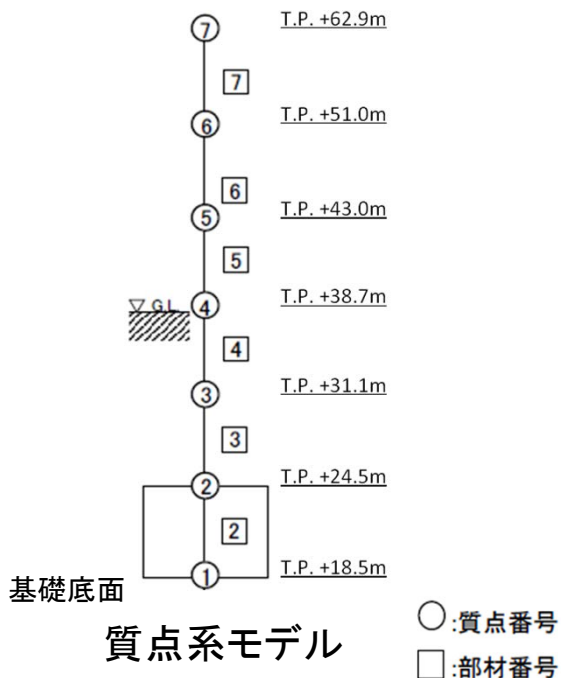
(水平・鉛直同時加振モデル)

有限要素モデル物性値(EW方向)

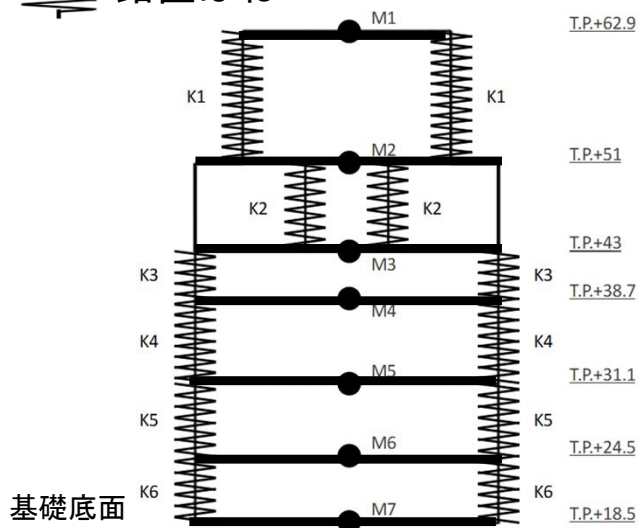
| 標高 (m) | 質点 | 重量 (kN/m) | 材料番号 | 等価せん断剛性 Gf ($\times 10^5$ kN/m ² /m) | 等価ポアソン比 νf | 鉛直ばね要素番号 | 等価ばね剛性 Kf ($\times 10^5$ kN/m ² /m) |
|--------|-----|-----------|------|--|-----------------|----------|---|
| 65.20 | M1 | 154.76 | - | - | - | - | - |
| 64.14 | M2 | 7.76 | 1 | 1.39 | 0.34 | K1 | 1.68 |
| 55.31 | M3 | 16.98 | | | | | |
| 52.20 | M4 | 1107.86 | | | | | |
| 51.20 | M5 | 214.62 | 2 | 4.41 | 0.34 | K2 | 18.32 |
| 47.36 | M6 | 25.36 | | | | | |
| 47.00 | M7 | 1632.71 | | | | | |
| 39.80 | M8 | 37.09 | 3 | 5.34 | 0.30 | K3 | 9.95 |
| 38.70 | M9 | 2276.81 | | | | | |
| 38.70 | M10 | 521.74 | | | | | |
| 35.95 | M11 | 25.18 | 4 | 9.89 | 0.34 | K4 | 63.08 |
| 35.10 | M12 | 837.33 | | | | | |
| 34.20 | M13 | 2848.93 | | | | | |
| 30.10 | M14 | 735.74 | 5 | 10.29 | 0.34 | K5 | 31.91 |
| 28.85 | M15 | 37.29 | | | | | |
| 25.55 | M16 | 3316.41 | | | | | |
| 22.50 | M17 | 1076.67 | 6 | 12.73 | 0.39 | K6 | 38.54 |
| 19.05 | - | - | | | | | |
| 13.42 | M18 | 15163.04 | | | | | |
| 6.70 | - | - | - | - | - | - | - |

※単位奥行当りの物性値、基本設計段階における重量を記載

2 建物のモデル化に関する検討(主冷却機建物(NS方向)のモデル化)



●:質点重量、—:水平剛ビーム
:鉛直ばね



質点系モデル物性値(NS方向)

| 質点 No. | 重量 W (kN) | 回転慣性 $\times 10^6$ (kNm ²) | 部材 No. | せん断断面積 As (m ²) | 断面2次モーメント $I \times 10^4$ (m ⁴) |
|--------|-----------|--|--------|-----------------------------|---|
| ⑦ | 6,776 | 0.42 | 7 | 8.7 | 0.0982 |
| ⑥ | 42,596 | 3.83 | 6 | 34.4 | 0.300 |
| ⑤ | 13,754 | 1.05 | 5 | 40.7 | 0.283 |
| ④ | 79,648 | 7.57 | 4 | 105.0 | 0.986 |
| ③ | 88,319 | 7.92 | 3 | 129.3 | 1.713 |
| ② | 137,293 | 10.30 | 2 | 1835.8 | 11.490 |
| ① | 128,448 | 9.81 | | | |

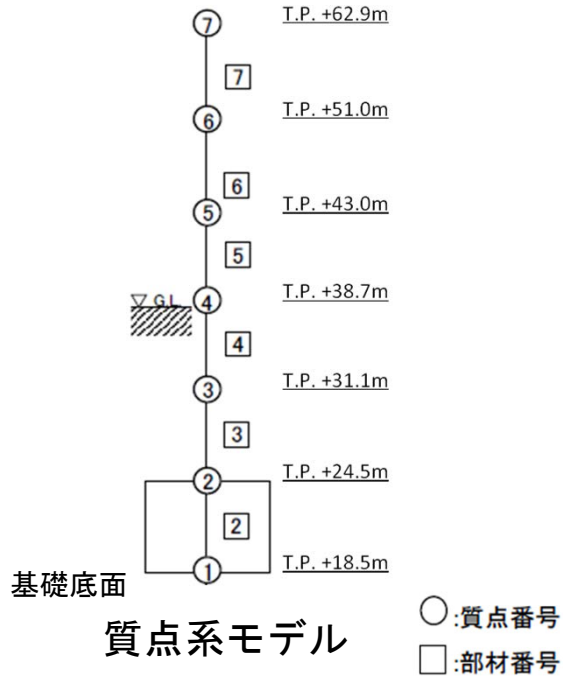
RC造:ヤング率 $E=0.215(\times 10^9 \text{kN/m}^2)$ 、ポアソン比 $\nu=0.20$
 ※基本設計段階における重量を記載

有限要素モデル物性値(NS方向)

| 標高 (m) | 質点 | 重量 (kN/m) | 材料番号 | 等価せん断剛性 Gf ($\times 10^5$ kN/m ² /m) | 等価ポアソン比 νf | 鉛直ばね要素番号 | 等価ばね剛性 Kf ($\times 10^5$ kN/m ² /m) |
|--------|----|-----------|------|--|-----------------|----------|---|
| 62.90 | M1 | 101.13 | - | - | - | - | - |
| 51.00 | M2 | 635.76 | 1 | 0.55 | 0.39 | K1 | 1.85 |
| 43.00 | M3 | 205.28 | 2 | 1.40 | 0.44 | K2 | 31.62 |
| 38.70 | M4 | 1188.77 | 3 | 1.80 | 0.44 | K3 | 32.52 |
| 31.10 | M5 | 1318.19 | 4 | 3.36 | 0.44 | K4 | 63.52 |
| 24.50 | M6 | 2049.15 | 5 | 3.98 | 0.44 | K5 | 34.02 |
| 18.50 | M7 | 1917.13 | 6 | 42.36 | 0.44 | K6 | 36.87 |
| | | | - | - | - | - | - |

※単位奥行当りの物性値、基本設計段階における重量を記載

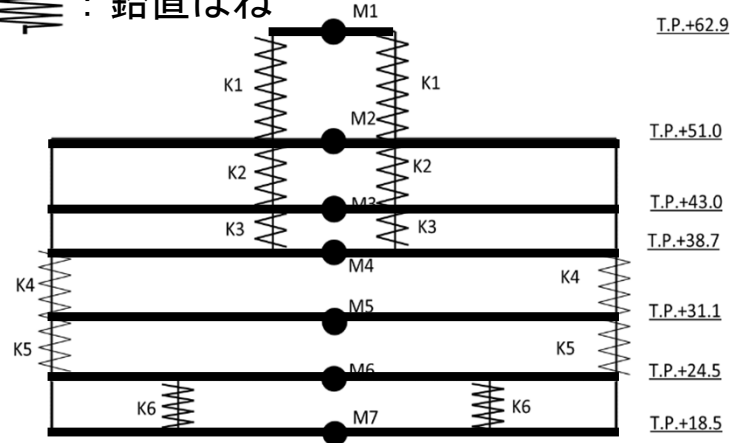
2 建物のモデル化に関する検討(主冷却機建物(EW方向)のモデル化)



質点系モデル物性値 (EW方向)

| 質点 No. | 重量 W (kN) | 回転慣性 $\times 10^9$ (kNm ²) | 部材 No. | せん断断面積 As (m ²) | 断面2次モーメント 1×10^4 (m ⁴) |
|--------|-----------|--|--------|-----------------------------|---|
| ⑦ | 6,776 | 0.22 | 7 | 6.4 | 0.0396 |
| ⑥ | 42,596 | 16.53 | 6 | 36.7 | 1.907 |
| ⑤ | 13,754 | 5.33 | 5 | 36.5 | 2.383 |
| ④ | 79,648 | 35.51 | 4 | 151.9 | 8.627 |
| ③ | 88,319 | 36.19 | 3 | 194.0 | 10.355 |
| ② | 137,293 | 54.87 | 2 | 1835.8 | 68.674 |
| ① | 128,448 | 51.33 | | | |

RC造: ヤング率 $E=0.215(\times 10^9 \text{kN/m}^2)$ 、ポアソン比 $\nu=0.20$
 ※基本設計段階における重量を記載



有限要素モデル物性値 (EW方向)

| 標高 (m) | 質点 | 重量 (kN/m) | 材料番号 | 等価せん断剛性 Gf ($\times 10^5$ kN/m ² /m) | 等価ポアソン比 νf | 鉛直ばね要素番号 | 等価ばね剛性 Kf ($\times 10^5$ kN/m ² /m) |
|--------|----|-----------|------|--|-----------------|----------|---|
| 62.90 | M1 | 247.30 | - | - | - | - | - |
| 51.00 | M2 | 1554.60 | 1 | 1.68 | 0.45 | K1 | 1.72 |
| 43.00 | M3 | 501.97 | 2 | 2.15 | 0.09 | K2 | 12.50 |
| 38.70 | M4 | 2906.86 | 3 | 2.09 | 0.02 | K3 | 30.30 |
| 31.10 | M5 | 3223.32 | 4 | 5.85 | 0.47 | K4 | 1.88 |
| 24.50 | M6 | 5010.70 | 5 | 6.90 | 0.47 | K5 | 9.26 |
| 18.50 | M7 | 4687.88 | 6 | 60.43 | 0.21 | K6 | 0.04 |
| | | | - | - | - | - | - |

※単位奥行当りの物性値、基本設計段階における重量を記載

2 建物のモデル化に関する検討(固有値解析結果の検証)

質点系モデル及び有限要素モデルについて、固有値解析を実施した結果、水平方向・鉛直方向ともに固有周期は概ね一致し、作成した有限要素モデルが妥当であることを確認した。

原子炉建物及び原子炉附属建物 NS-UD方向

| | | 質点系モデル | | 有限要素モデル | |
|------|----|----------|------|----------|------|
| | | 固有周期 (s) | 刺激係数 | 固有周期 (s) | 刺激係数 |
| NS方向 | 1次 | 0.14 | 2.04 | 0.14 | 1.89 |
| | 2次 | 0.12 | 1.90 | 0.12 | 1.91 |
| | 3次 | 0.09 | 1.75 | 0.09 | 1.75 |
| UD方向 | 1次 | 0.05 | 1.74 | 0.05 | 1.73 |
| | 2次 | 0.05 | 1.93 | 0.05 | 1.74 |
| | 3次 | 0.03 | 1.84 | 0.03 | 1.84 |

原子炉建物及び原子炉附属建物 EW-UD方向

| | | 質点系モデル | | 有限要素モデル | |
|------|----|----------|------|----------|------|
| | | 固有周期 (s) | 刺激係数 | 固有周期 (s) | 刺激係数 |
| EW方向 | 1次 | 0.13 | 2.01 | 0.13 | 1.90 |
| | 2次 | 0.12 | 1.89 | 0.12 | 1.91 |
| | 3次 | 0.09 | 1.75 | 0.09 | 1.77 |
| UD方向 | 1次 | 0.05 | 1.74 | 0.05 | 1.77 |
| | 2次 | 0.05 | 1.93 | 0.05 | 1.74 |
| | 3次 | 0.03 | 1.84 | 0.03 | 1.84 |

主冷却機建物 NS-UD方向

| | | 質点系モデル | | 有限要素モデル | |
|------|----|----------|-------|----------|-------|
| | | 固有周期 (s) | 刺激係数 | 固有周期 (s) | 刺激係数 |
| NS方向 | 1次 | 0.16 | 2.06 | 0.16 | 2.24 |
| | 2次 | 0.08 | -1.91 | 0.09 | -1.88 |
| | 3次 | 0.06 | 1.05 | 0.07 | -0.66 |
| UD方向 | 1次 | 0.05 | 2.13 | 0.05 | 2.63 |
| | 2次 | 0.03 | -1.99 | 0.03 | -2.10 |
| | 3次 | 0.02 | 0.90 | 0.02 | 0.75 |

主冷却機建物 EW-UD方向

| | | 質点系モデル | | 有限要素モデル | |
|------|----|----------|-------|----------|-------|
| | | 固有周期 (s) | 刺激係数 | 固有周期 (s) | 刺激係数 |
| EW方向 | 1次 | 0.12 | 2.49 | 0.12 | 2.56 |
| | 2次 | 0.08 | -1.93 | 0.08 | -2.12 |
| | 3次 | 0.05 | 0.57 | 0.06 | -0.75 |
| UD方向 | 1次 | 0.05 | 2.13 | 0.05 | 1.94 |
| | 2次 | 0.03 | -1.99 | 0.02 | -1.95 |
| | 3次 | 0.02 | 0.90 | 0.02 | 1.03 |

参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果
- 11 地盤改良の試験施工結果

3 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 |
| Ss-D
(+, -) | 2.9
[46.62] | Ss-D
(+, -) | 3.6
[46.62] | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.63] |
| Ss-1
(+, +) | 3.3
[6.76] | Ss-1
(+, +) | 6.4
[7.05] | Ss-1
(+, +) | 3.7
[7.07] |
| Ss-2
(+, +) | 3.1
[8.03] | Ss-2
(+, +) | 6.0
[7.86] | Ss-2
(+, +) | 3.1
[7.87] |
| Ss-3
(+, +) | 3.4
[14.46] | Ss-3
(+, +) | 5.5
[10.97] | Ss-3
(+, +) | 3.2
[10.99] |
| Ss-4
(+, +) | 3.8
[8.44] | Ss-4
(+, +) | 7.4
[8.87] | Ss-4
(+, +) | 4.7
[8.89] |
| Ss-5
(+, +) | 4.9
[55.11] | Ss-5
(+, +) | 7.0
[56.90] | Ss-5
(+, +) | 4.7
[56.93] |
| Ss-6
(-, -) | 3.1
[14.52] | Ss-6
(+, -) | 4.0
[14.51] | Ss-6
(-, -) | 2.4
[14.53] |

※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 |
| Ss-D
(+, -) | 2.6
[46.63] | Ss-D
(+, -) | 2.8
[46.65] | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.64] |
| Ss-1
(+, +) | 3.0
[6.76] | Ss-1
(+, +) | 4.9
[7.06] | Ss-1
(+, +) | 3.6
[7.07] |
| Ss-2
(+, +) | 2.9
[8.03] | Ss-2
(+, +) | 4.5
[7.87] | Ss-2
(+, +) | 3.3
[7.87] |
| Ss-3
(+, +) | 3.1
[14.46] | Ss-3
(+, +) | 4.5
[10.99] | Ss-3
(+, +) | 3.2
[11.00] |
| Ss-4
(+, +) | 3.4
[8.45] | Ss-4
(+, +) | 5.8
[8.95] | Ss-4
(+, +) | 4.6
[8.90] |
| Ss-5
(+, +) | 4.5
[55.11] | Ss-5
(+, +) | 5.6
[56.91] | Ss-5
(+, +) | 4.6
[56.93] |
| Ss-6
(-, -) | 2.9
[14.52] | Ss-6
(-, -) | 3.2
[14.52] | Ss-6
(-, -) | 2.5
[14.53] |

※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 |
| Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.63] | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.66] | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.64] |
| Ss-1
(+, +) | 2.5
[6.67] | Ss-1
(+, +) | 3.4
[7.07] | Ss-1
(+, +) | 3.3
[7.08] |
| Ss-2
(+, +) | 2.7
[8.03] | Ss-2
(+, +) | 3.4
[7.88] | Ss-2
(+, +) | 3.3
[7.87] |
| Ss-3
(+, +) | 2.8
[14.46] | Ss-3
(+, +) | 3.6
[11.02] | Ss-3
(+, +) | 3.1
[11.00] |
| Ss-4
(+, +) | 2.9
[8.47] | Ss-4
(+, +) | 4.2
[8.95] | Ss-4
(+, +) | 4.3
[8.90] |
| Ss-5
(+, +) | 3.7
[62.42] | Ss-5
(+, +) | 4.4
[56.92] | Ss-5
(+, +) | 4.2
[56.93] |
| Ss-6
(-, -) | 2.6
[14.52] | Ss-6
(+, -) | 2.5
[14.52] | Ss-6
(-, -) | 2.5
[14.53] |

※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 |
| Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.63] | Ss-D
(+, -) | 2.0
[46.67] | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.64] |
| Ss-1
(+, +) | 2.4
[6.67] | Ss-1
(+, +) | 2.9
[7.08] | Ss-1
(+, +) | 3.1
[7.08] |
| Ss-2
(+, +) | 2.6
[8.03] | Ss-2
(+, +) | 3.1
[7.88] | Ss-2
(+, +) | 3.1
[7.88] |
| Ss-3
(+, +) | 2.7
[14.46] | Ss-3
(+, +) | 3.3
[11.03] | Ss-3
(+, +) | 3.0
[11.01] |
| Ss-4
(+, +) | 2.7
[8.48] | Ss-4
(+, +) | 3.8
[8.95] | Ss-4
(+, +) | 4.1
[8.91] |
| Ss-5
(+, +) | 3.4
[62.42] | Ss-5
(+, +) | 4.1
[56.92] | Ss-5
(+, +) | 4.0
[56.94] |
| Ss-6
(-, -) | 2.5
[14.52] | Ss-6
(+, -) | 2.3
[14.52] | Ss-6
(-, -) | 2.4
[14.53] |

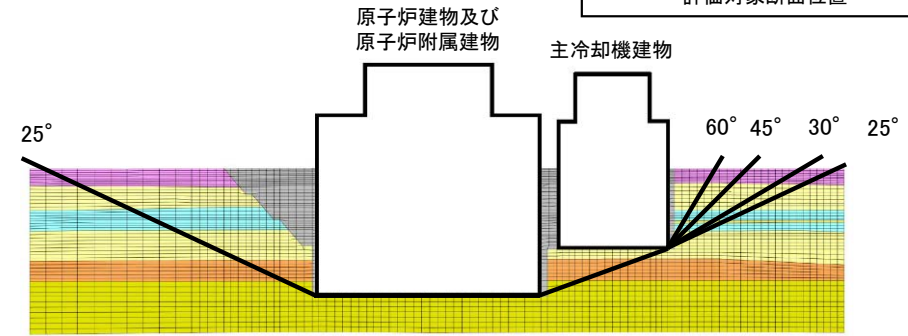
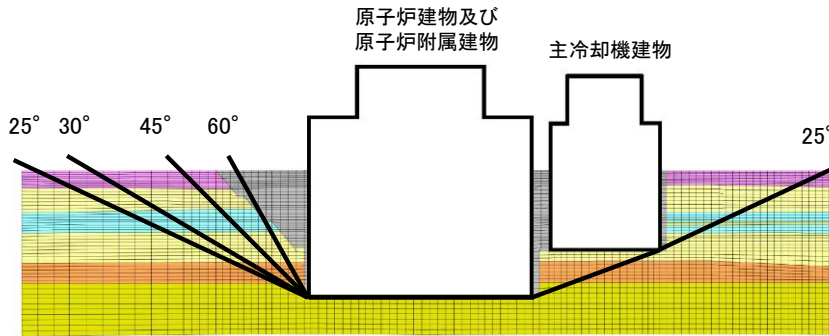
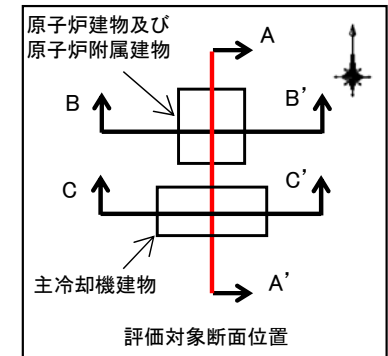
※1(+, +)位相反転なし、(-, +)水平反転、(+, -)鉛直反転、(-, -)水平反転かつ鉛直反転

※2[]は発生時刻(秒)

3 すべり安全率に関する検討(5)

すべり線の立ち上がり角度の組合せ(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合せを検討した結果、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
(+, -) | 2.8
[46.63] |
| 45°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.6
[46.63] |
| 30°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.63] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.63] |

| 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
(+, -) | 2.3
[46.63] |
| 25°、45° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.63] |
| 25°、30° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.63] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.63] |

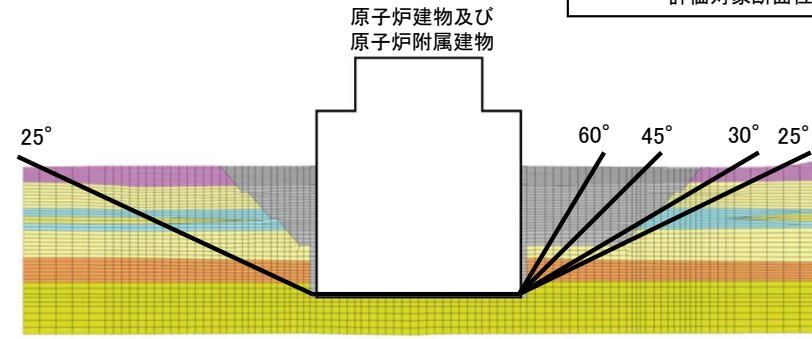
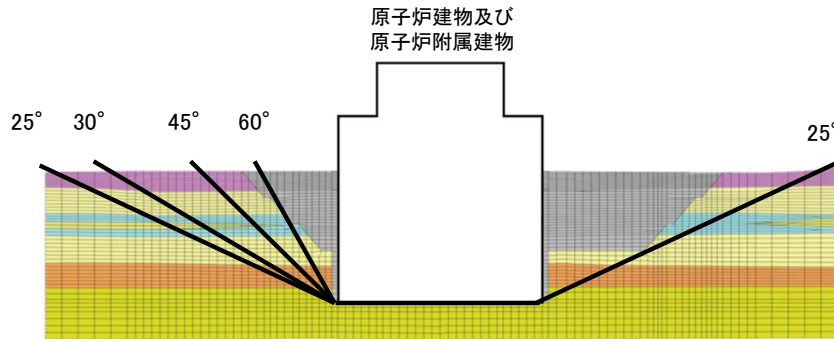
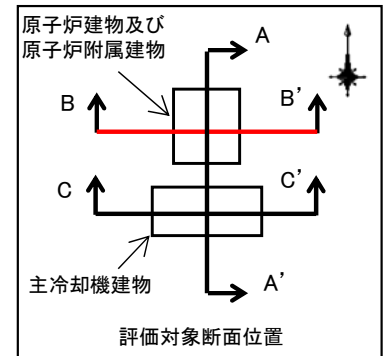
※1(+, +)位相反転なし、(-, +)水平反転、(+, -)鉛直反転、(-, -)水平反転かつ鉛直反転

※2[]は発生時刻(秒)

3 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合せ(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合せを検討した結果、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
(+, -) | 2.5
[22.79] |
| 45°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.4
[46.66] |
| 30°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.1
[46.67] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.0
[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
(+, -) | 2.2
[46.66] |
| 25°、45° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.66] |
| 25°、30° | Ss-D
(+, -) | 2.1
[46.66] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.0
[46.67] |

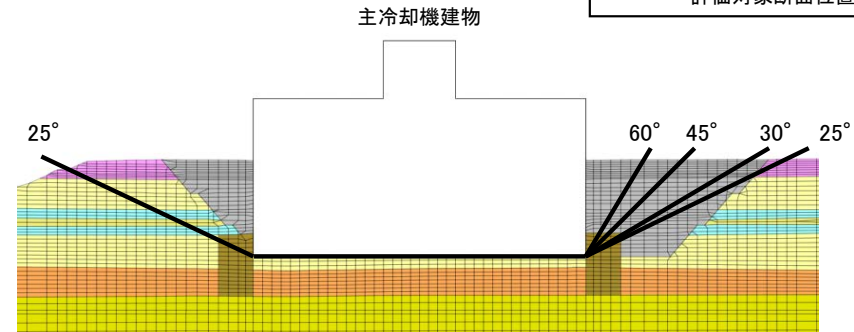
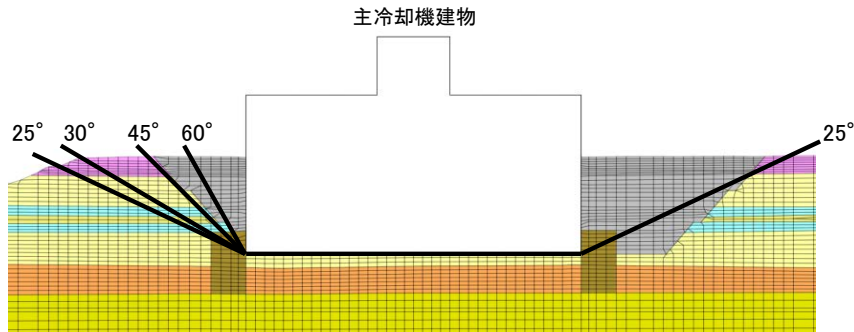
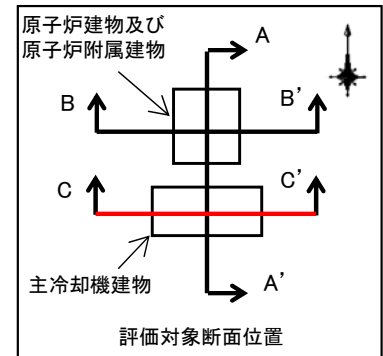
※1(+, +)位相反転なし、(-, +)水平反転、(+, -)鉛直反転、(-, -)水平反転かつ鉛直反転

※2[]は発生時刻(秒)

3 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合せ(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合せを検討した結果、すべり安全率は25°、60°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
(+, -) | 2.3
[22.78] |
| 45°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.63] |
| 30°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.64] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.64] |

| 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
(+, -) | 2.1
[46.63] |
| 25°、45° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[46.64] |
| 25°、30° | Ss-D
(+, -) | 2.3
[46.64] |
| 25°、25° | Ss-D
(+, -) | 2.2
[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 すべり安全率に関する検討(8) すべり安全率の時刻歴

- すべり安全率の評価結果について、最小すべり安全率発生時刻が異なるケースがあるため、時刻歴で最小値の発生状況を確認した。一例としてB-B' 断面のすべり線の立ち上がり角度25°、25°と60°、25°のすべり安全率を示す。
- 約22秒、約39秒、約46秒にすべり安全率が小さくなる時刻が複数あり、検討ケースにより最小すべり安全率の発生時刻に差が生じている。

すべり安全率の時刻歴 B-B' 断面

| | 想定すべり線形状 | 地震動 | | すべり安全率※1 |
|---------|--|----------------|----------------|----------|
| B-B' 断面 | <p>原子炉建物及び
原子炉附属建物</p> <p>25°</p> | Ss-D
(+, -) | 2.0
[46.67] | |
| | <p>原子炉建物及び
原子炉附属建物</p> <p>60°</p> <p>25°</p> | Ss-D
(+, -) | 2.5
[22.79] | |

※1 []は発生時刻 (秒)

参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料**
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果
- 11 地盤改良の試験施工結果

4 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。

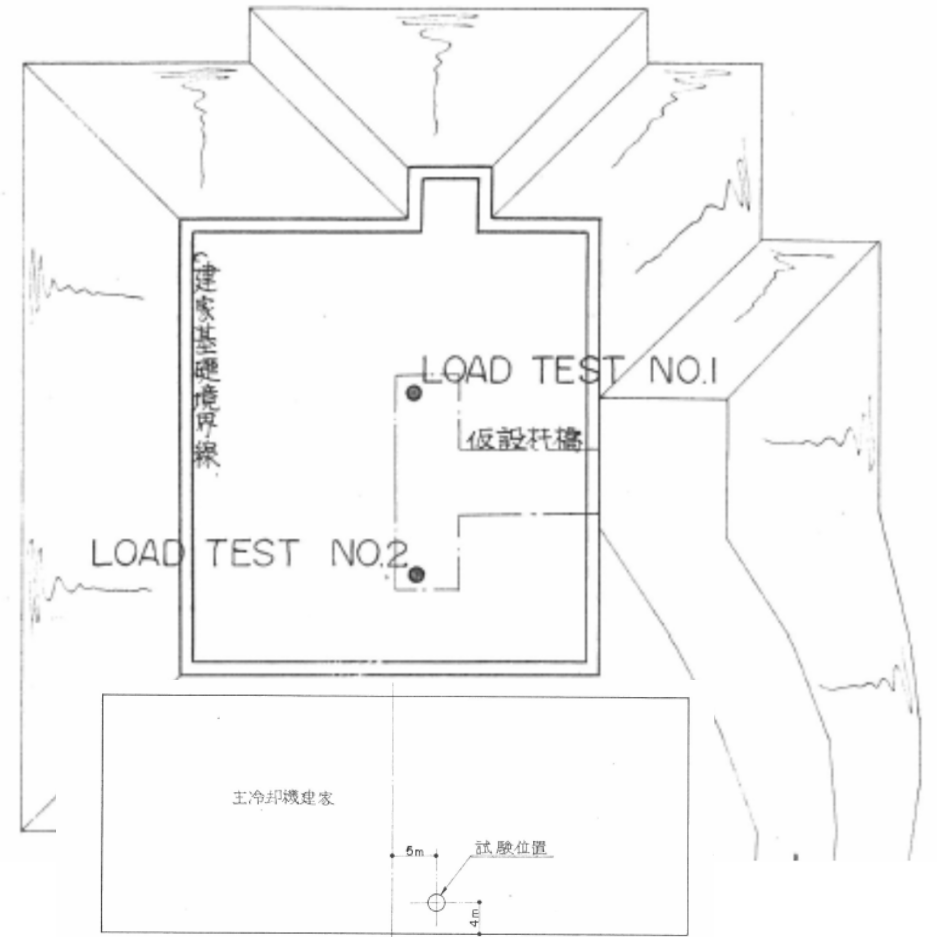
平板載荷試験結果

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

4 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
(+, +) | 1.08
[22.77] |
| | Ss-1
(+, +) | 0.89
[6.38] |
| | Ss-2
(+, +) | 1.14
[7.37] |
| | Ss-3
(+, +) | 1.05
[14.01] |
| | Ss-4
(+, +) | 1.14
[7.78] |
| | Ss-5
(+, +) | 0.99
[55.19] |
| | Ss-6
(+, -) | 1.00
[12.74] |

| | 地震動※1 | 最大接地圧※2
[N/mm ²] |
|---------|----------------|---------------------------------|
| B-B' 断面 | Ss-D
(-, -) | 1.08
[23.53] |
| | Ss-1
(+, +) | 0.98
[7.30] |
| | Ss-2
(+, +) | 0.94
[8.05] |
| | Ss-3
(+, +) | 0.92
[10.93] |
| | Ss-4
(+, +) | 0.96
[8.23] |
| | Ss-5
(+, +) | 0.87
[52.99] |
| | Ss-6
(-, -) | 0.99
[12.91] |

※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)

4 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
(-, +) | 0.53
[22.77] |
| | Ss-1
(+, +) | 0.53
[6.69] |
| | Ss-2
(+, +) | 0.54
[8.07] |
| | Ss-3
(+, +) | 0.62
[11.01] |
| | Ss-4
(+, +) | 0.47
[8.51] |
| | Ss-5
(+, +) | 0.48
[54.60] |
| | Ss-6
(+, -) | 0.53
[5.59] |

| | 地震動※1 | 最大接地圧※2
[N/mm ²] |
|---------|----------------|---------------------------------|
| C-C' 断面 | Ss-D
(-, +) | 0.48
[22.74] |
| | Ss-1
(+, +) | 0.44
[6.39] |
| | Ss-2
(+, +) | 0.46
[7.37] |
| | Ss-3
(+, +) | 0.45
[14.01] |
| | Ss-4
(+, +) | 0.47
[7.78] |
| | Ss-5
(+, +) | 0.42
[47.40] |
| | Ss-6
(+, -) | 0.48
[5.59] |

※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 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果
- 11 地盤改良の試験施工結果

5 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
(+, +) | 2.32 cm
[39.69] | 1/2,370 | 1.39 cm
[39.66] | 1/3,500 |
| Ss-1
(+, +) | 2.15 cm
[6.80] | 1/2,550 | 1.10 cm
[7.09] | 1/4,500 |
| Ss-2
(+, +) | 2.08 cm
[8.09] | 1/2,640 | 0.75 cm
[8.90] | 1/6,600 |
| Ss-3
(+, +) | 2.21 cm
[14.50] | 1/2,480 | 1.18 cm
[14.22] | 1/4,200 |
| Ss-4
(+, +) | 1.99 cm
[8.53] | 1/2,760 | 0.84 cm
[8.93] | 1/5,900 |
| Ss-5
(+, +) | 1.10 cm
[55.18] | 1/5,000 | 0.65 cm
[53.98] | 1/7,600 |
| Ss-6
(+, +)
(+, -) | 1.71 cm
[13.70] | 1/3,200 | 1.11 cm
[13.68] | 1/4,500 |

※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)= 55.00 m

L(B-B' 断面、原子炉建物及び原子炉附属建物)= 50.00 m

5 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
(+, +) | 0.31 cm
[17.89] | 1/8,800 | 0.84 cm
[22.88] | 1/7,900 |
| Ss-1
(+, +) | 0.31 cm
[6.86] | 1/8,800 | 0.50 cm
[6.36] | 1/13,400 |
| Ss-2
(+, +) | 0.36 cm
[8.09] | 1/7,600 | 0.27 cm
[8.56] | 1/24,800 |
| Ss-3
(+, +) | 0.34 cm
[11.22] | 1/8,000 | 0.48 cm
[14.65] | 1/13,900 |
| Ss-4
(+, +) | 0.22 cm
[7.86] | 1/12,400 | 0.39 cm
[8.07] | 1/17,100 |
| Ss-5
(+, +) | 0.31 cm
[55.32] | 1/8,800 | 0.33 cm
[62.30] | 1/20,300 |
| Ss-6
(+, -) | 0.23 cm
[13.33] | 1/11,900 | 0.60 cm
[13.73] | 1/11,100 |

※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)

※³L(A-A' 断面、主冷却機建物)= 27.40 m

L(C-C' 断面、主冷却機建物)= 67.00 m

参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価**
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果
- 11 地盤改良の試験施工結果

6 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 |

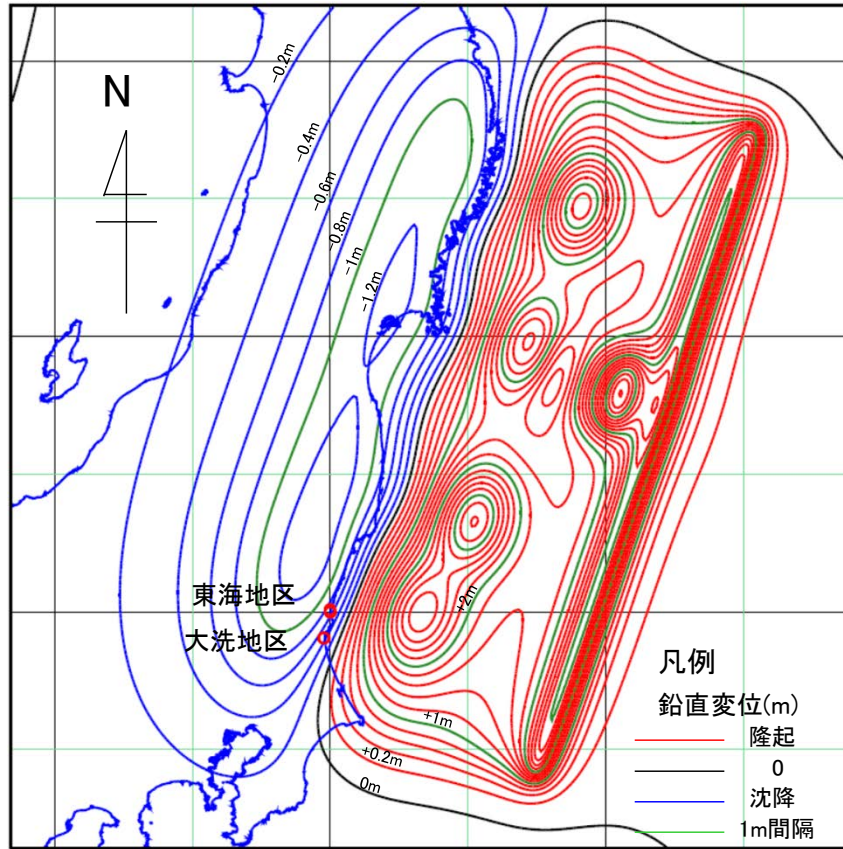
6 地殻変動による影響評価

- 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一様な半無限弾性体※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。

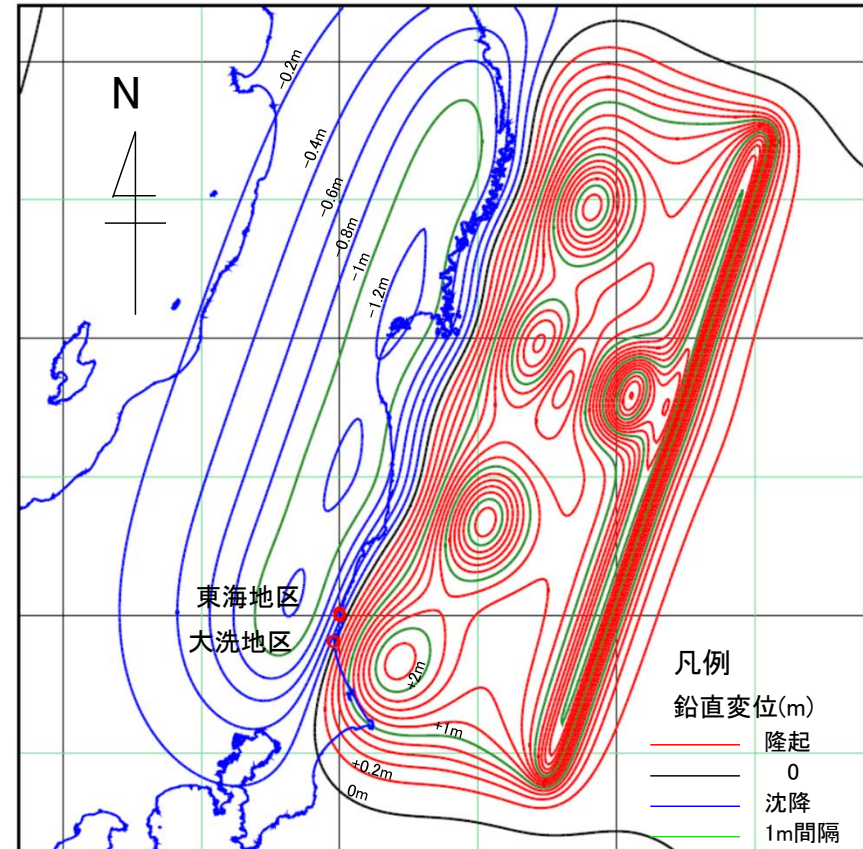
※ 上部マントルから地殻にかけての広い範囲(断層によるずれを設定する深度を含む)におけるVp/Vs比がほぼ一定(約1.7)であることから設定した。

- 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) |



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)

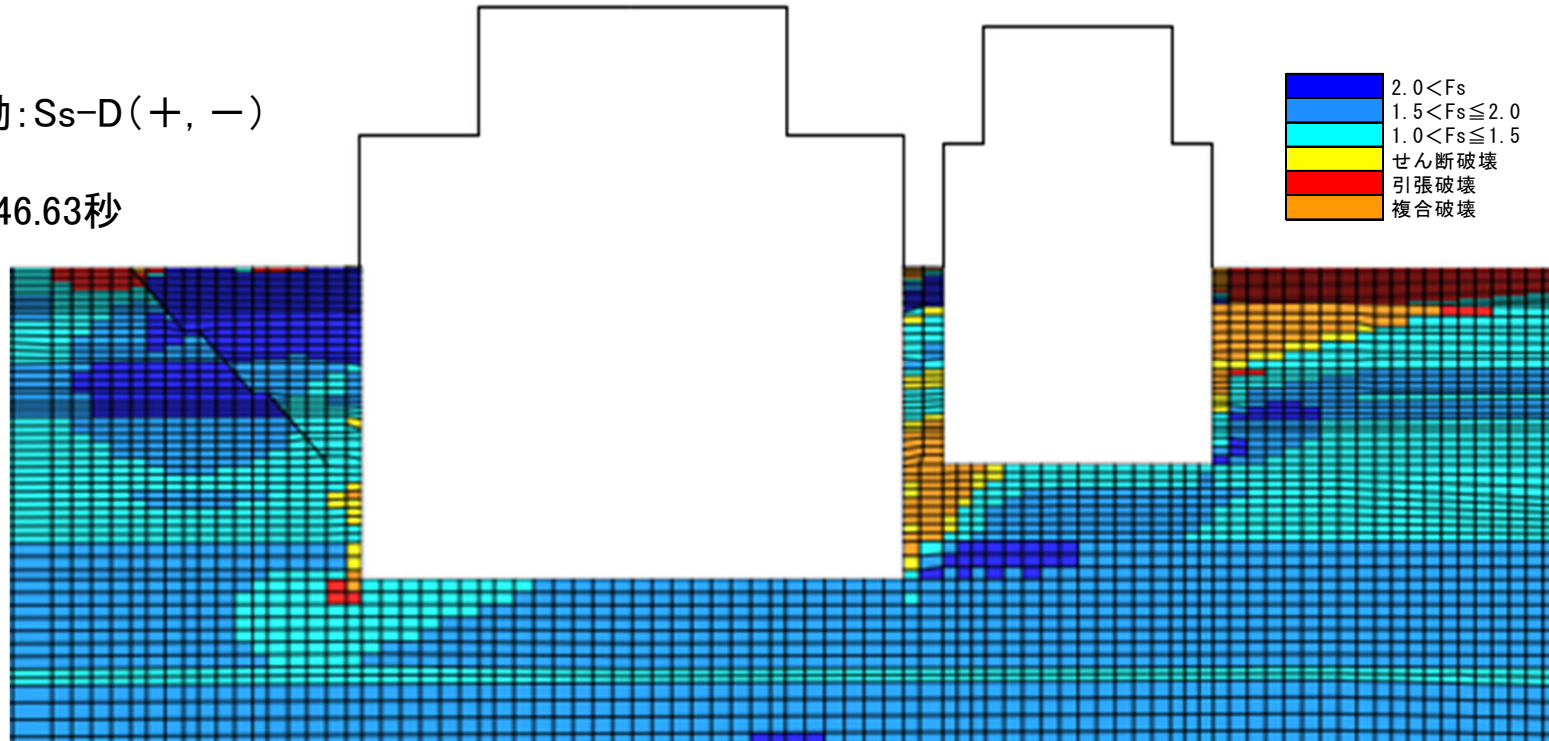
参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討**
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果
- 11 地盤改良の試験施工結果

7 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: 46.63秒



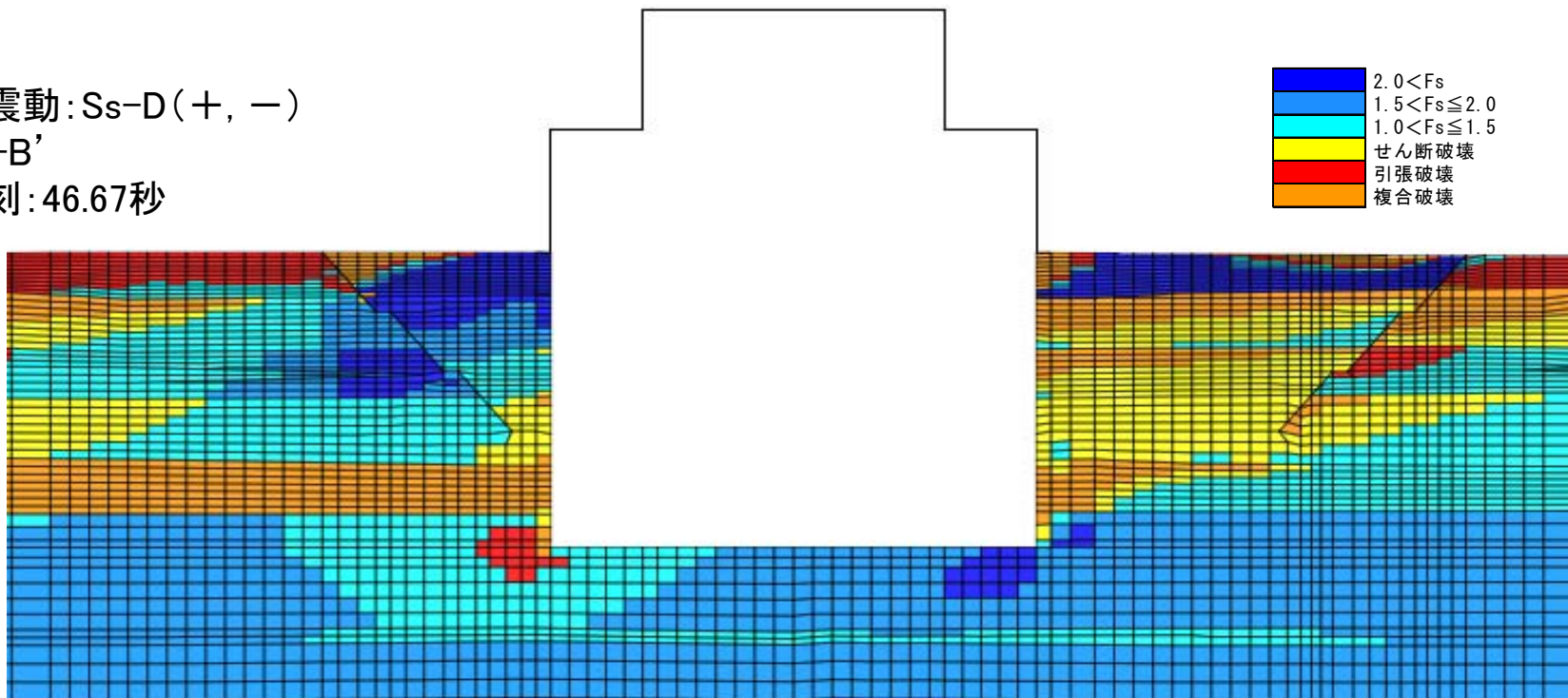
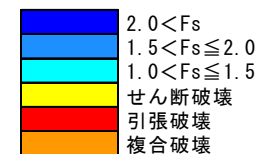
局所安全率

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。

7 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



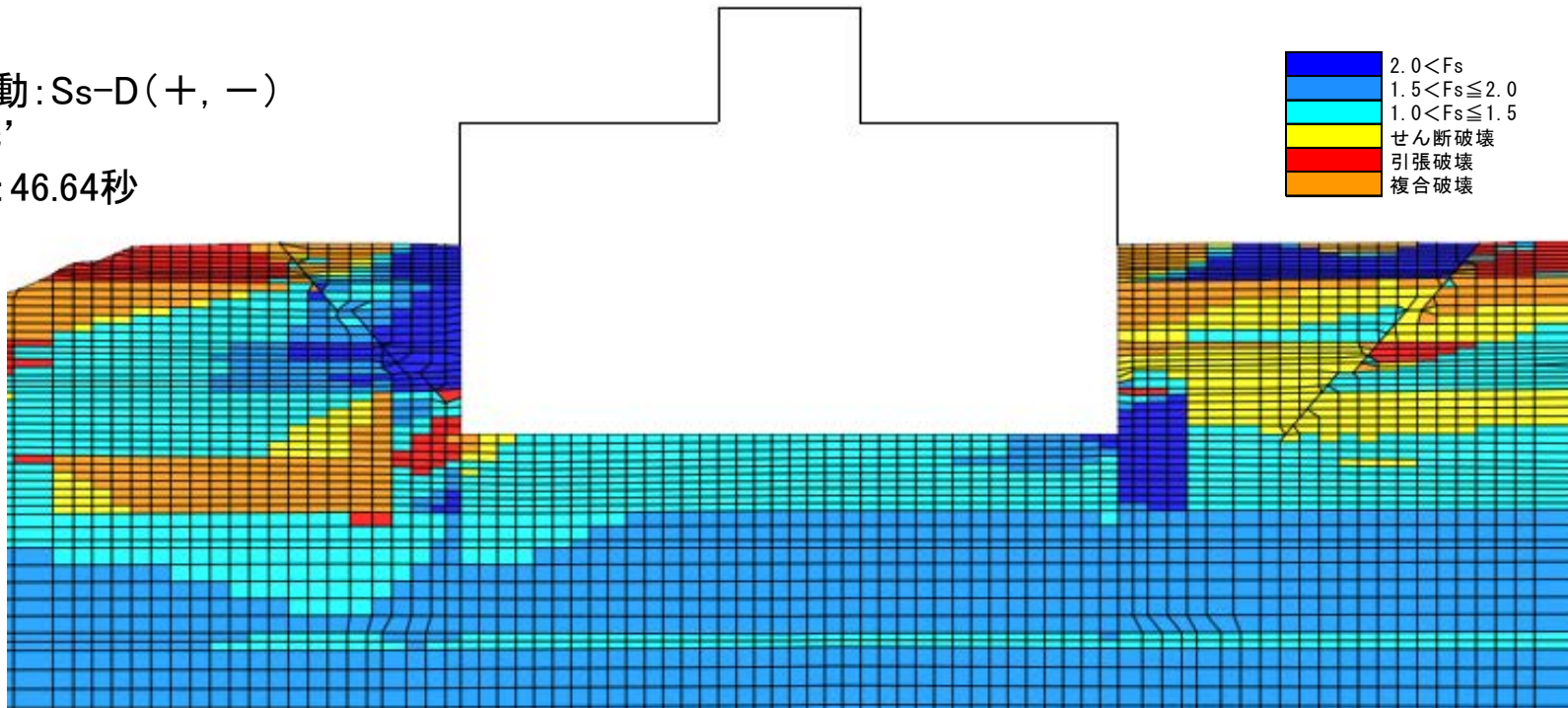
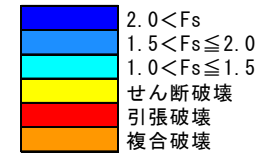
局所安全率

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。

7 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: 46.64秒



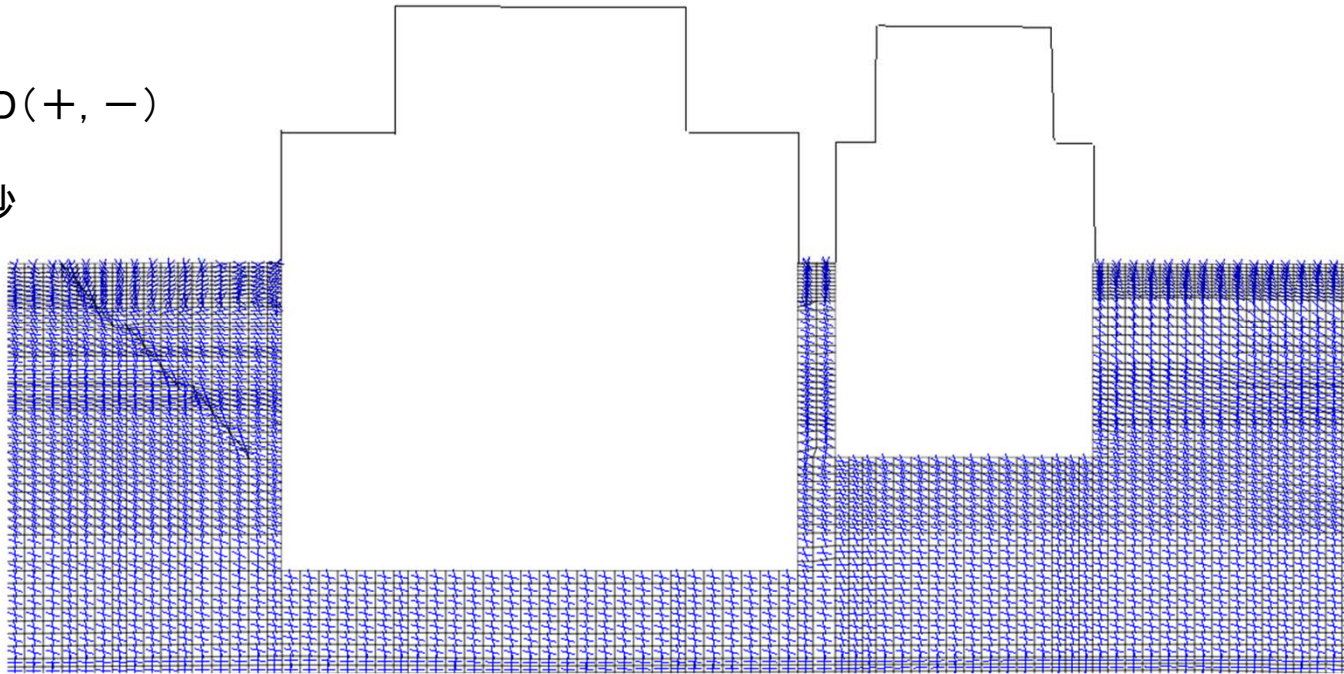
局所安全率

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。

7 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: 46.63秒

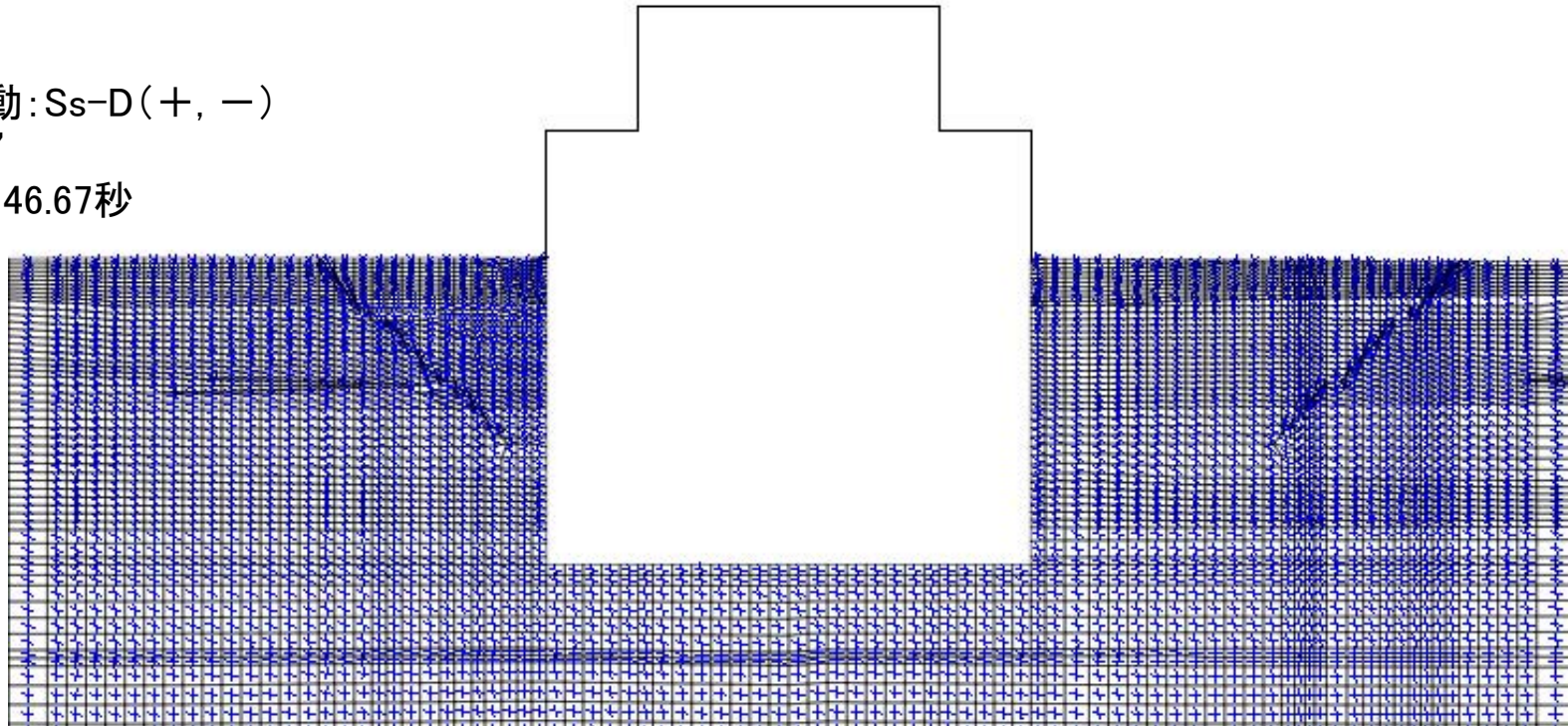


モビライズド面

7 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

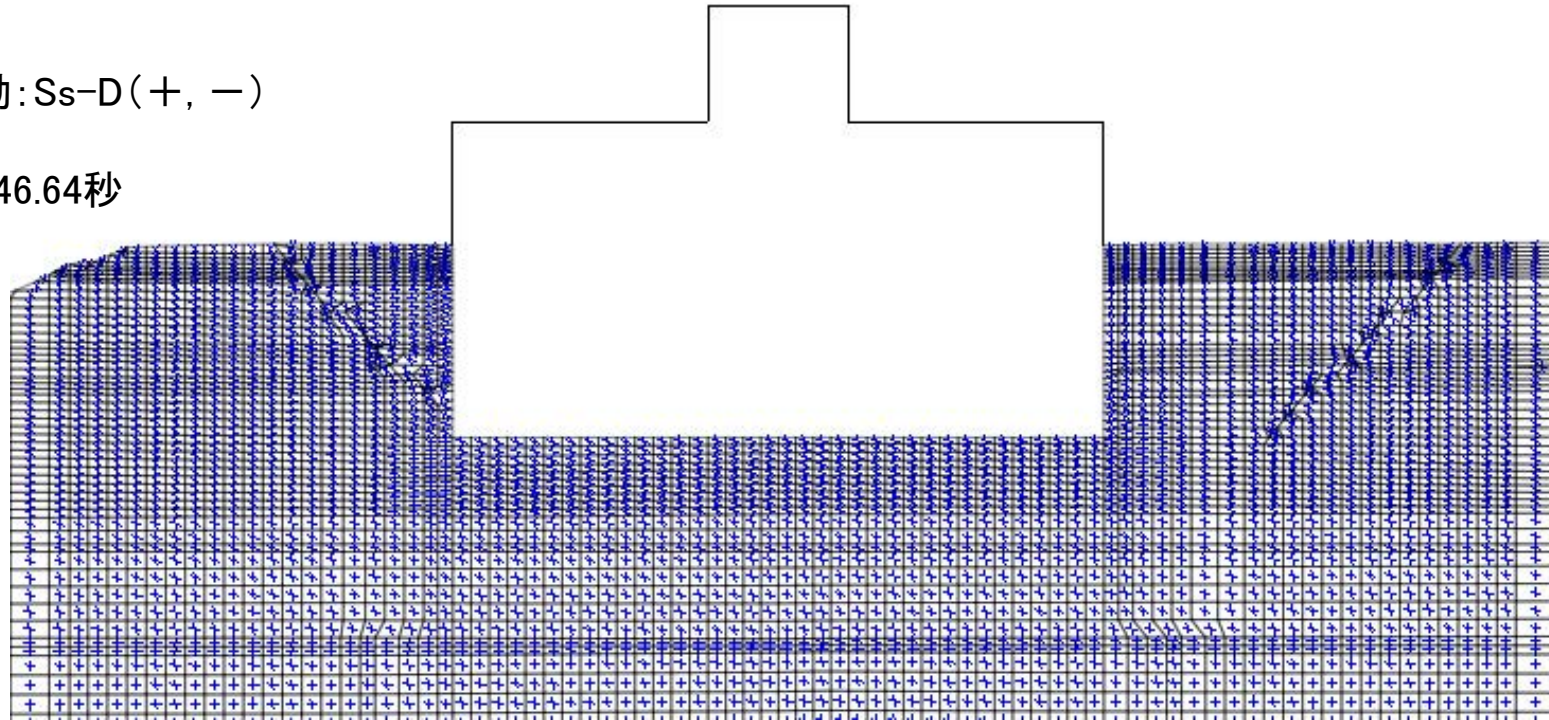


モビライズド面

7 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: 46.64秒



モビライズド面

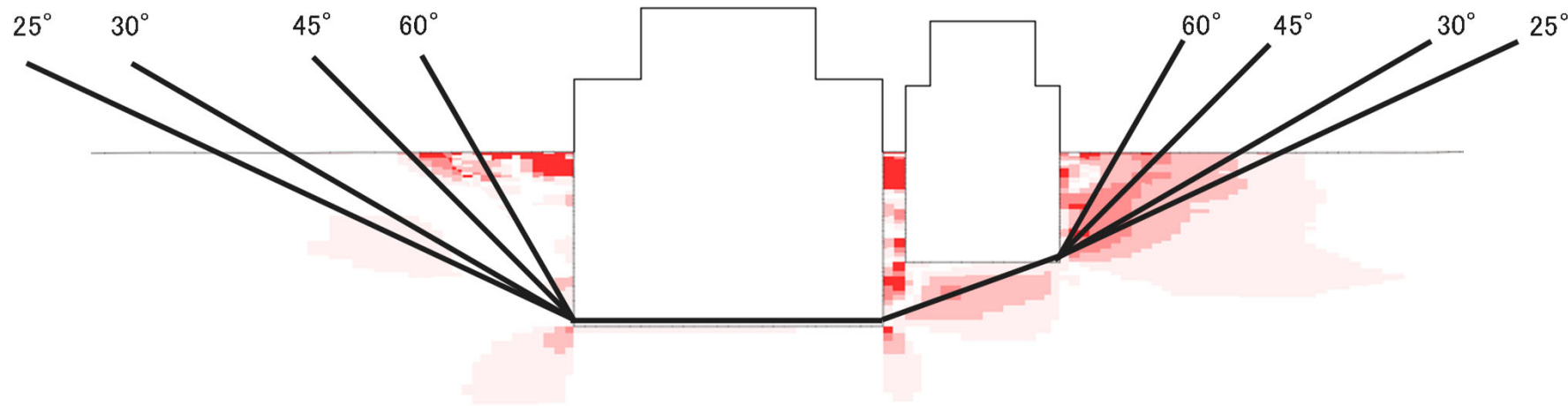
7 すべり線の選定に関する検討(せん断応力比分布(1))

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。

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

※ τ_{max} : 地盤の最大せん断応力

基準地震動: Ss-D(+, -)
断面: A-A'



せん断応力比分布

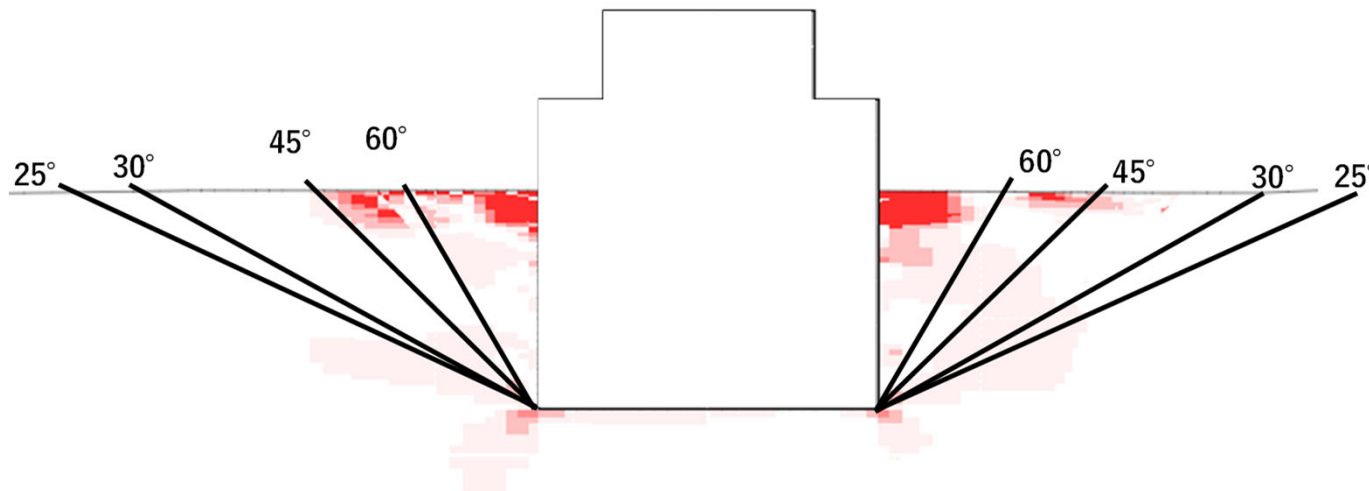
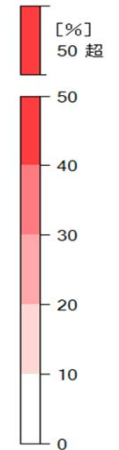
7 すべり線の選定に関する検討(せん断応力比分布(2))

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。

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

※ τ_{max} : 地盤の最大せん断応力

基準地震動: Ss-D(+, -)
断面: B-B'



せん断応力比分布

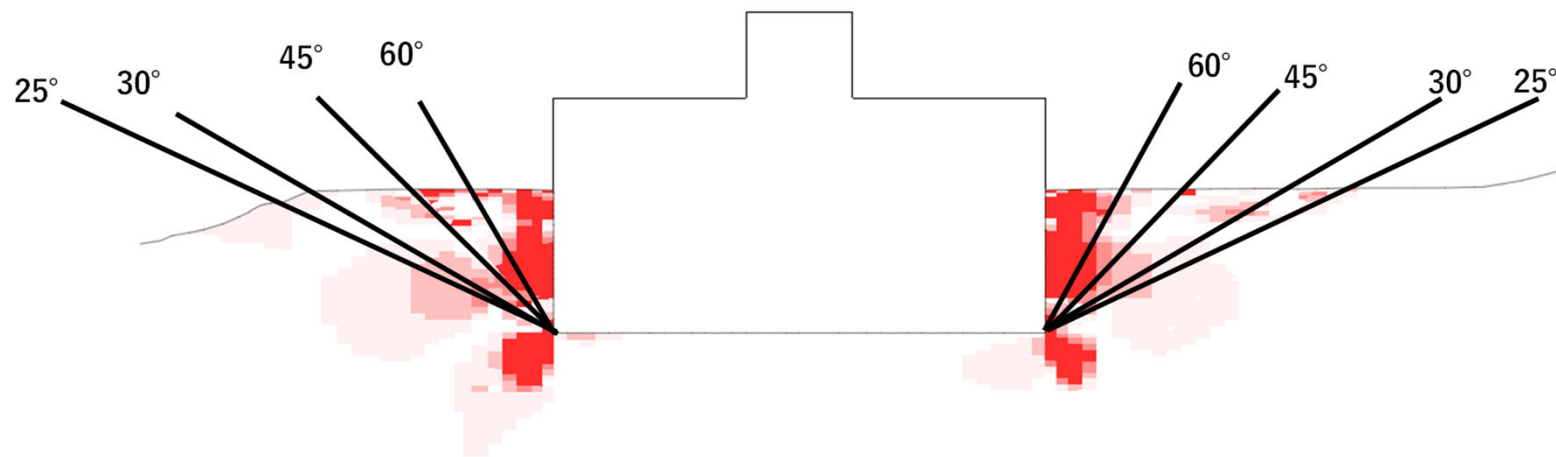
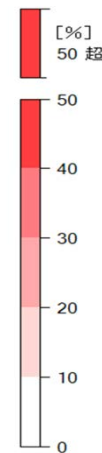
7 すべり線の選定に関する検討(せん断応力比分布(3))

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

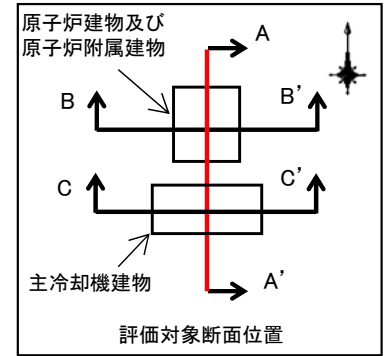
参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討**
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の設定
- 11 地盤改良の試験施工結果

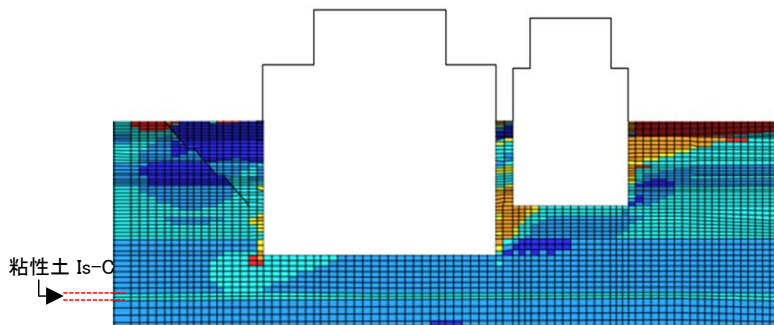
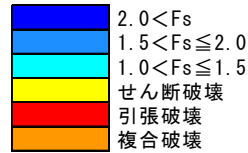
8 すべり安全率に関する影響検討(1)

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。



基準地震動: Ss-D(+, -)
断面: A-A'
発生時刻: 46.63秒



局所安全率

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 | <p>原子炉建物及び原子炉附属建物
主冷却機建物
25°</p> | Ss-D (+, -) | 2.2
[46.63] |
| | <p>粘性土 Is-C</p> | Ss-D (+, -) | 2.3
[46.63] |

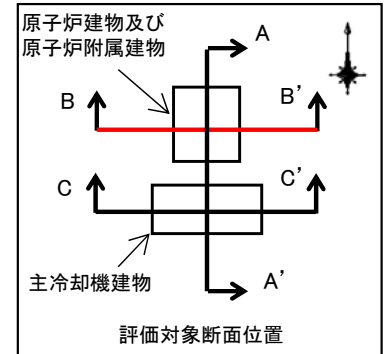
※1 (+, +)位相反転なし、(-, +)水平反転、(+, -)鉛直反転、(-, -)水平反転かつ鉛直反転

※2 []は発生時刻(秒)

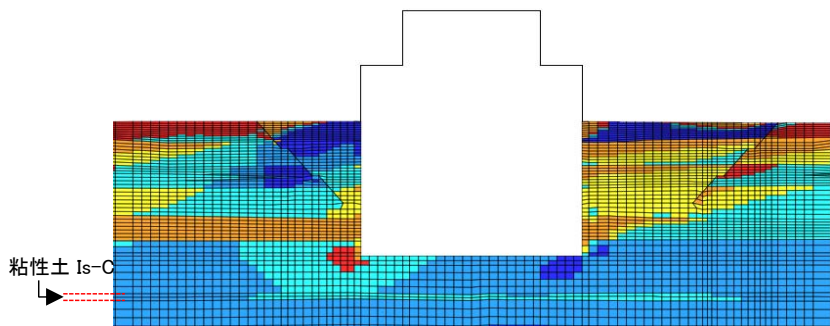
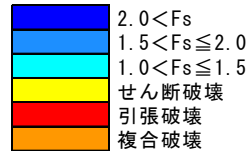
8 すべり安全率に関する影響検討(2)

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。



基準地震動: Ss-D(+, -)
断面: B-B'
発生時刻: 46.67秒



局所安全率

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 | <p>原子炉建物及び原子炉附属建物
25°</p> | Ss-D (+, -) | 2.0
[46.67] |
| | <p>粘性土 Is-C</p> | Ss-D (+, -) | 2.1
[46.64] |

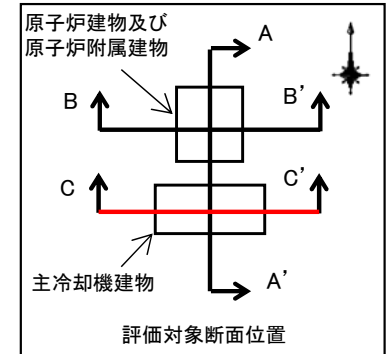
※1 (+, +)位相反転なし、(-, +)水平反転、(+, -)鉛直反転、(-, -)水平反転かつ鉛直反転

※2 []は発生時刻(秒)

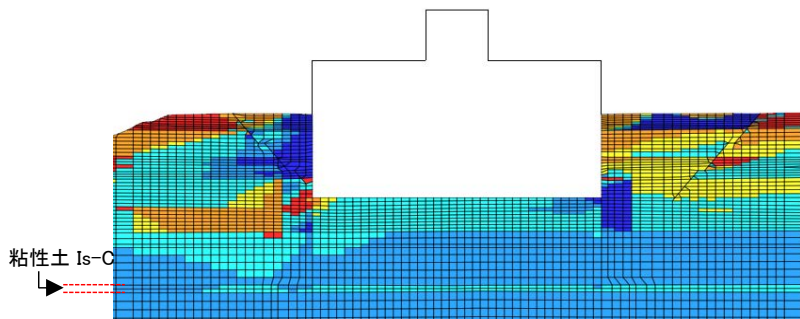
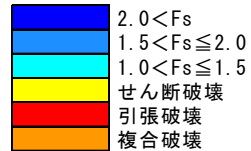
8 すべり安全率に関する影響検討(3)

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、立ち上がり角度25°のすべり線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。



基準地震動: Ss-D(+, -)
断面: C-C'
発生時刻: 46.64秒



局所安全率

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
(+, -) | 2.2
[46.64] |
| | | Ss-D
(+, -) | 2.8
[46.63] |

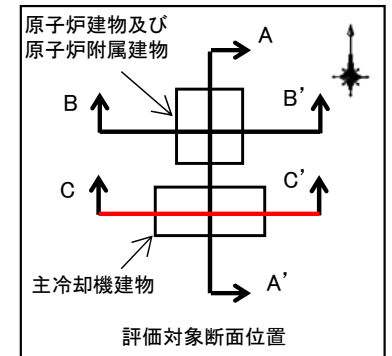
※1 (+, +)位相反転なし、(-, +)水平反転、(+, -)鉛直反転、
(-, -)水平反転かつ鉛直反転

※2 []は発生時刻(秒)

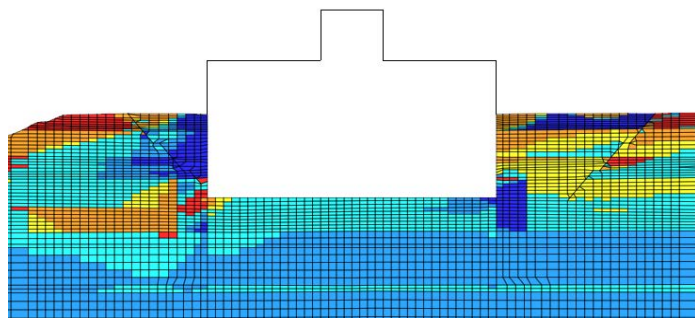
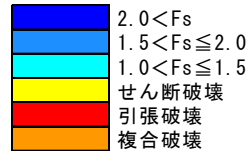
8 すべり安全率に関する影響検討(4)

改良地盤下端を通るすべり線の影響検討(C-C' 断面)

主冷却機建物について、改良地盤下端ですべることがないか確認を行った。
局所安全率より、改良地盤下端で破壊は連続していないことを確認した。
また、立ち上がり角度25°のすべり線と改良地盤下端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、改良地盤下端ですべらないことを確認した。



基準地震動: Ss-D(+, -)
断面: C-C'
発生時刻: 46.64秒



局所安全率

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
(+, -) | 2.2
[46.64] |
| | | Ss-D
(+, -) | 2.5
[46.64] |

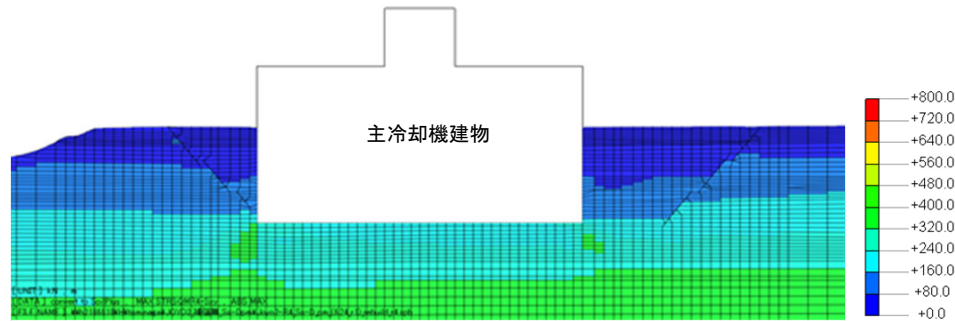
※1 (+, +)位相反転なし、(-, +)水平反転、(+, -)鉛直反転、
(-, -)水平反転かつ鉛直反転

※2 []は発生時刻(秒)

8 すべり安全率に関する影響検討(5) 地盤のせん断応力・せん断ひずみ

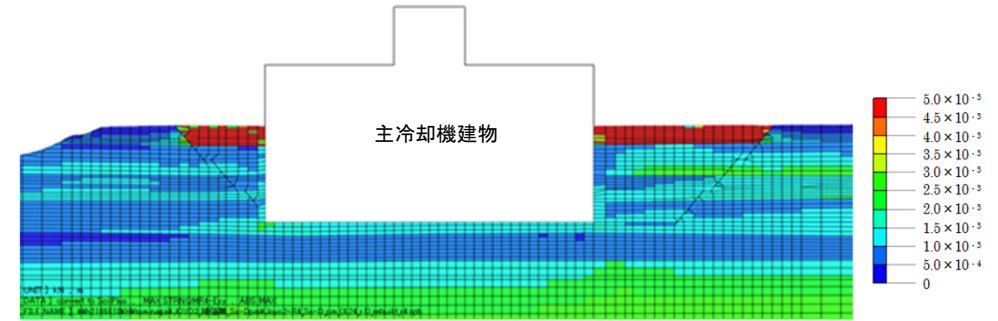
地盤改良による地盤応答への影響を確認するため、地盤改良前後における建物周辺の応答分布を比較する。地盤改良前後で地盤の最大応答分布(せん断応力・せん断ひずみ)はおおむね同等であり、改良地盤により建物周辺地盤への影響は見られない。

改良前



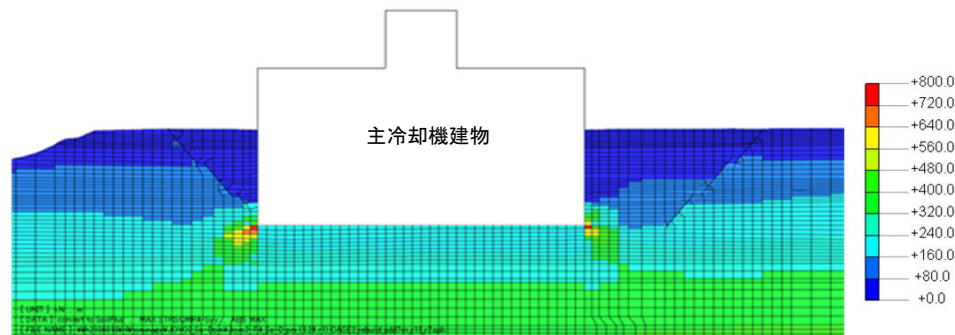
最大せん断応力(kN/m²)

改良前



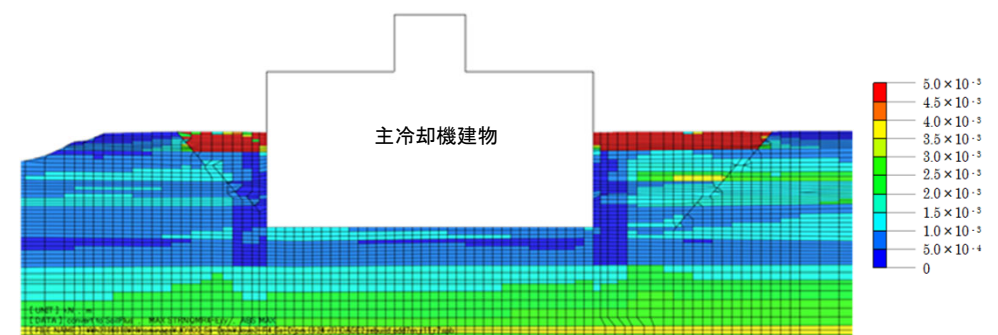
最大せん断ひずみ(-)

改良後



最大せん断応力(kN/m²)

改良後

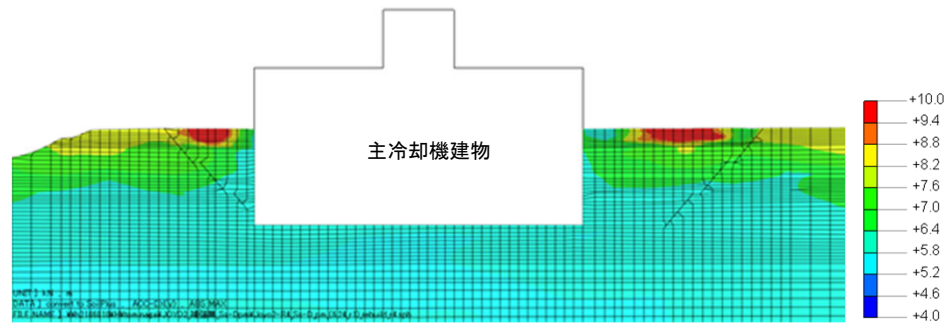


最大せん断ひずみ(-)

8 すべり安全率に関する影響検討(6) 地盤の加速度・変位(水平成分)

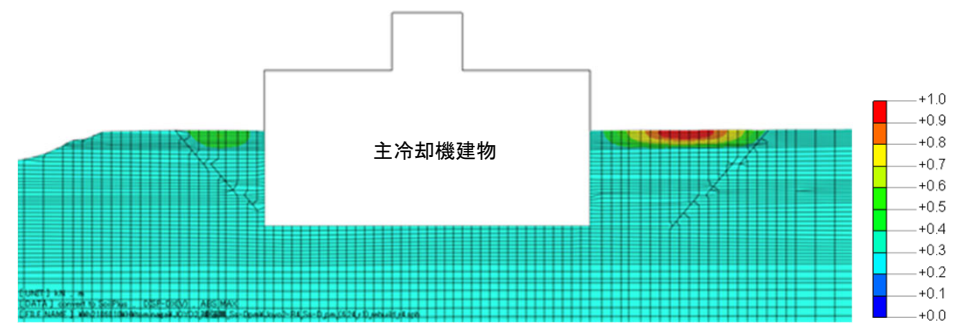
地盤改良前後で地盤の最大応答分布(水平加速度・水平変位)はおおむね同等であり、改良地盤により建物周辺地盤への影響は見られない。

改良前



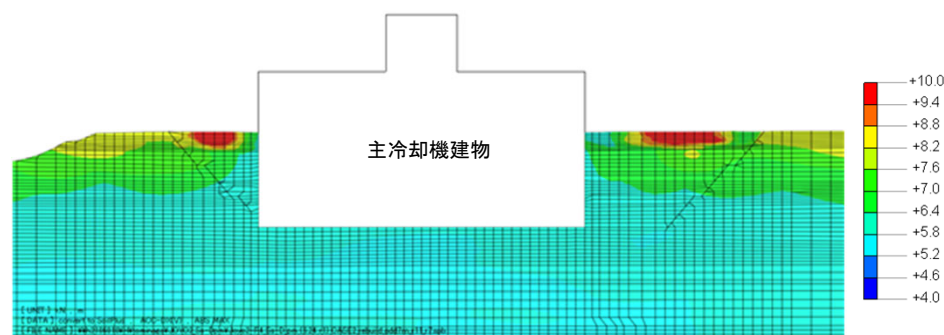
最大加速度(水平成分)(m/s²)

改良前



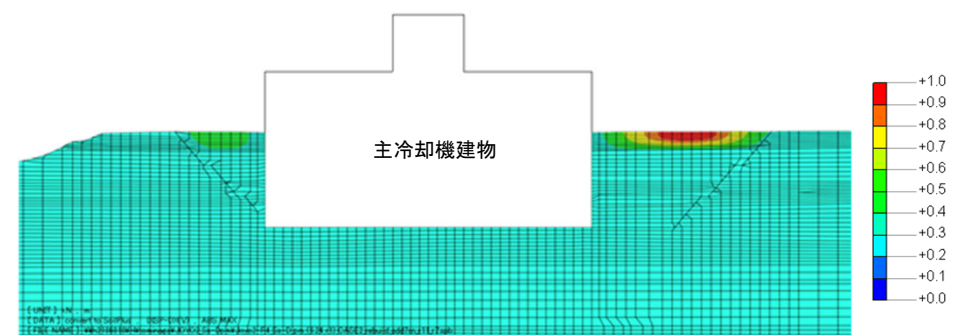
最大変位(水平成分)(m)

改良後



最大加速度(水平成分)(m/s²)

改良後

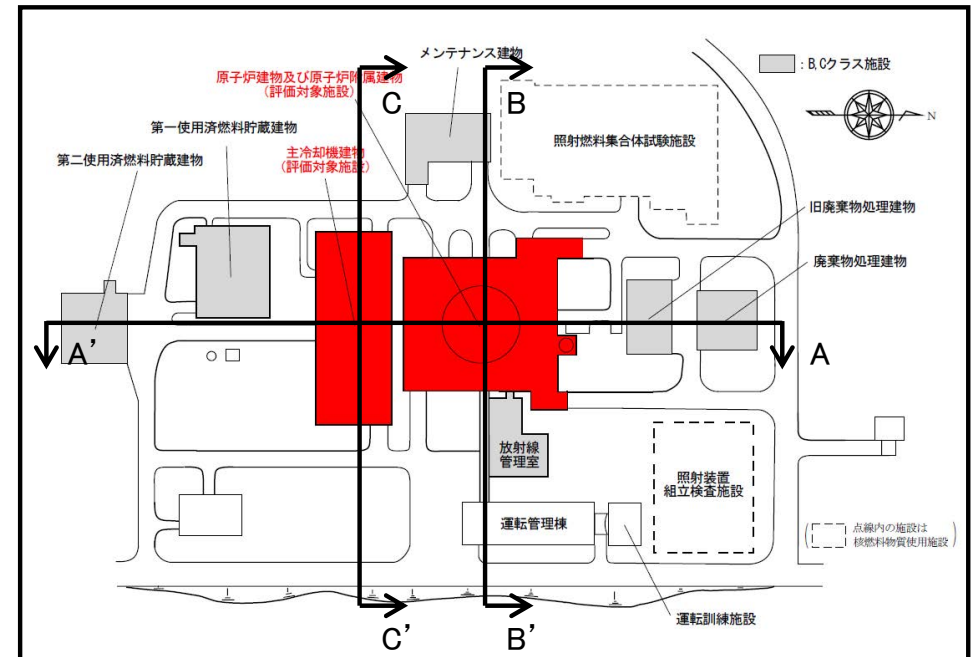


最大変位(水平成分)(m)

8 すべり安全率に関する影響検討(7) 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
(× 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) | 2149
(1652+497) | — |
| 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 | 90 | 0.04 |
| 5 | 旧廃棄物処理建物 | 41 | 0.02 |
| 6 | 廃棄物処理建物 | 108 | 0.05 |
| 7 | 放射線管理室 | 2 | 0.00 |
| 8 | 運転管理棟 | 62 | 0.03 |
| 9 | 運転訓練棟 | 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

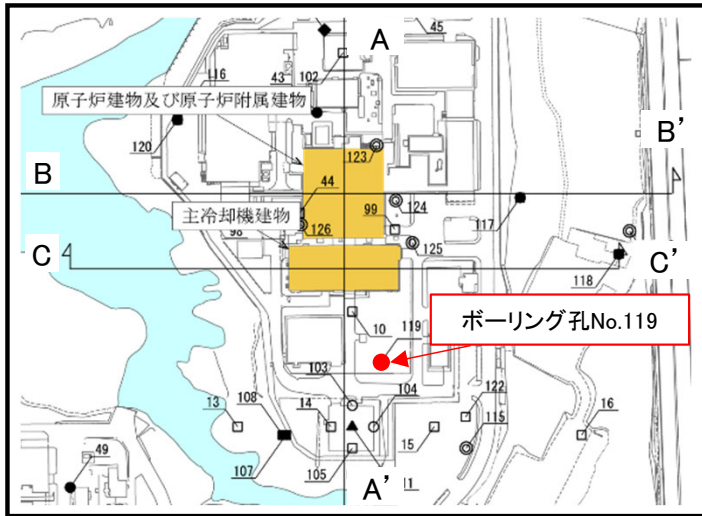
※基本設計段階における建物重量を記載

参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討**
- 10 地下水位の観測結果
- 11 地盤改良の試験施工結果

9 液状化に関する検討 検討対象地盤の物性値

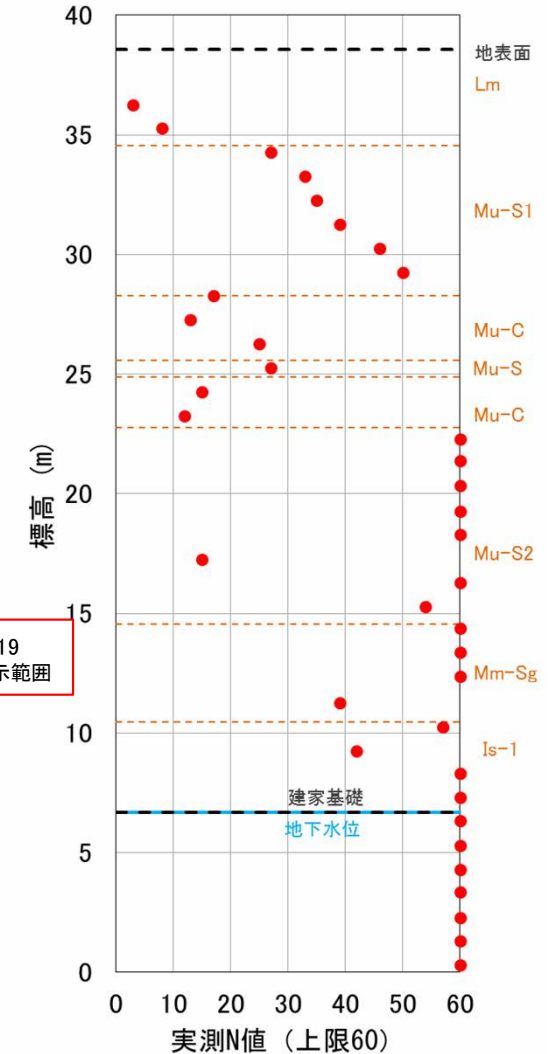
原子炉建物及び原子炉附属建物の支持地盤における飽和土層(Is-S₁)は、実測N値50以上の砂層である。



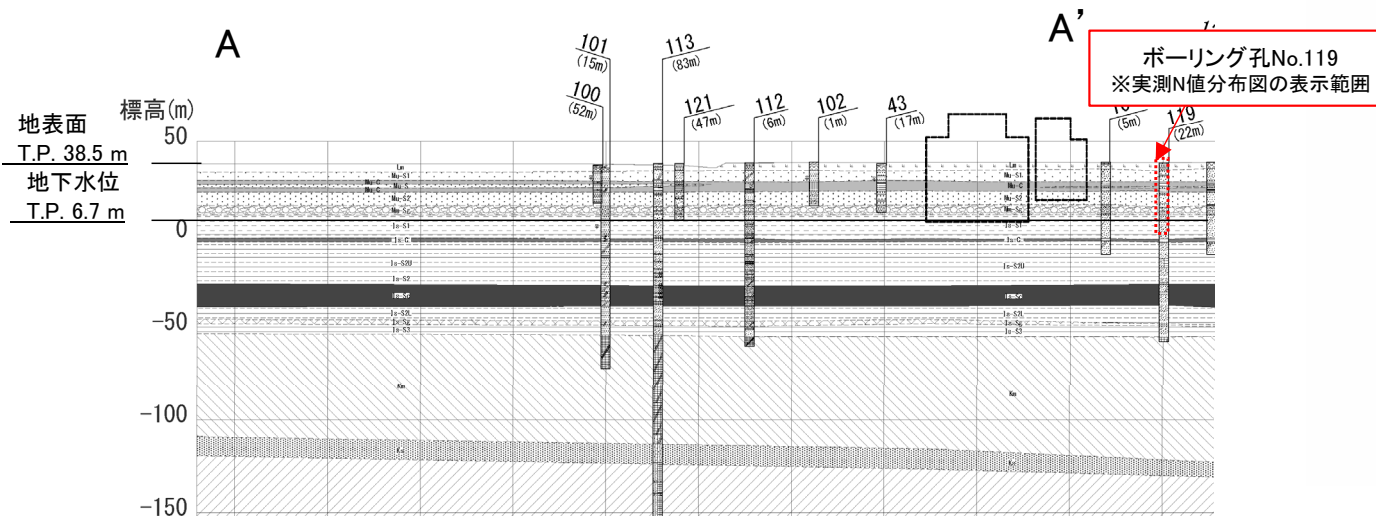
ボーリング位置図

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
Fc
(%) | 50%粒径
D ₅₀
(mm) |
|-------------------|---------------------|----------------------------------|
| Is-S ₁ | 9.4 | 0.151 |



実測N値分布図
(ボーリング孔No.119)



地質断面図(A-A'断面)

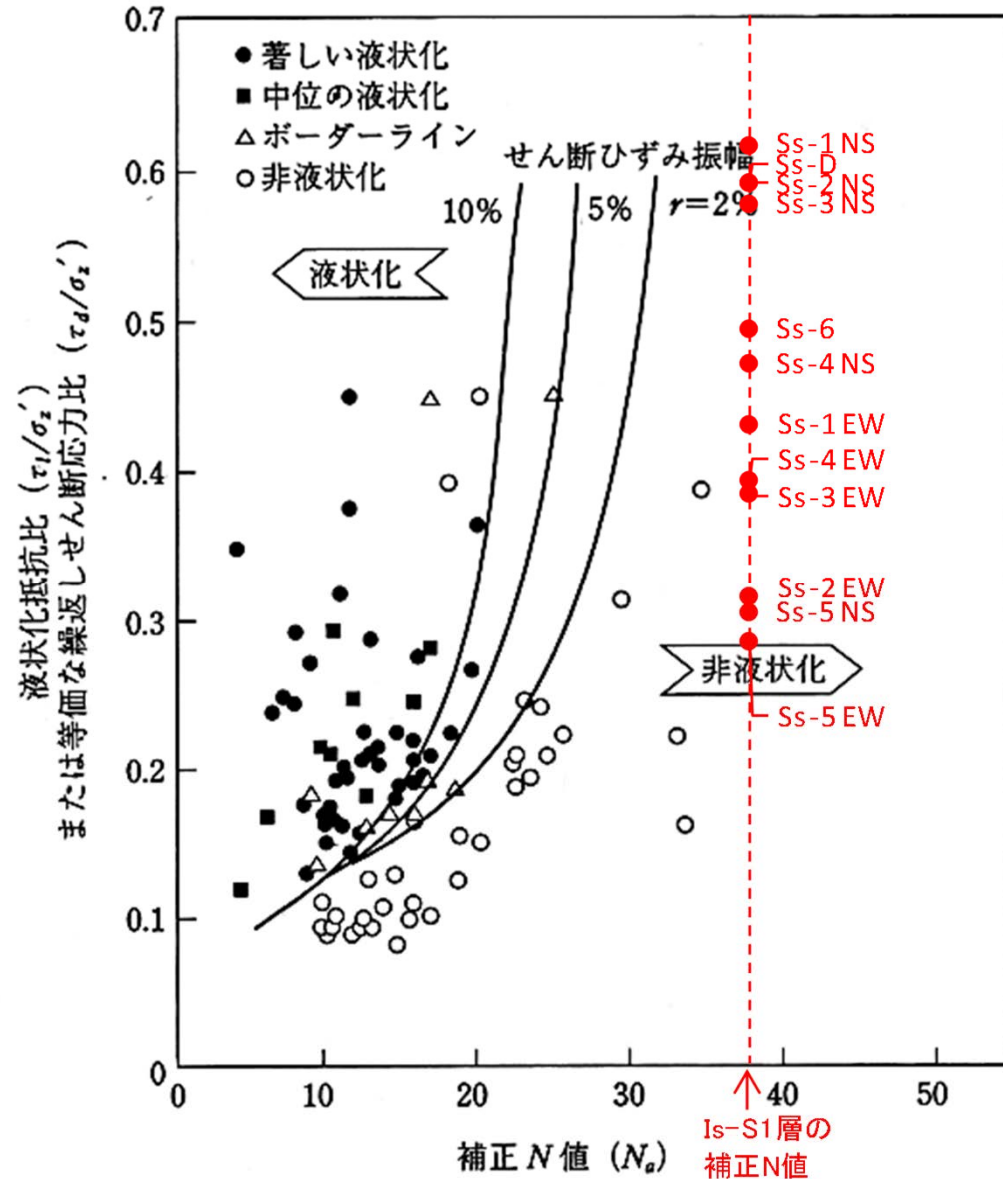
9 液状化に関する検討

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(Is-S₁)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Is-S₁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。

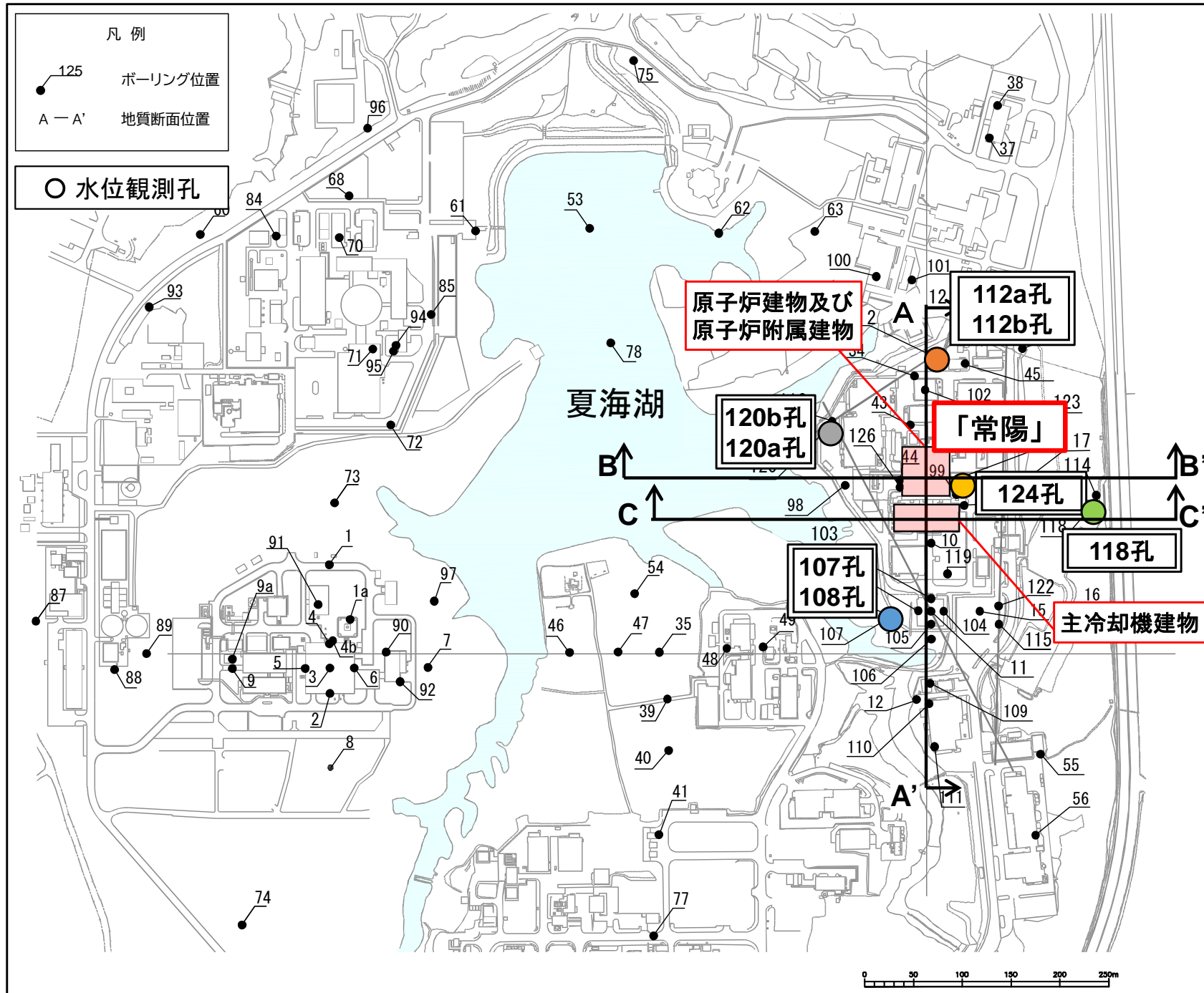


補正N値と液状化抵抗、動的せん断ひずみの関係
(建築基礎構造設計指針、日本建築学会、2001)

参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果**
- 11 地盤改良の試験施工結果

10 地下水位の観測結果 地下水位観測孔位置図



10 地下水位の観測結果 敷地周辺の地下水位変動

- ・「常陽」周辺の地下水位分布については、2016年3月以降、観測孔を追加し、複数地点で観測を継続している。
- ・地下水位変動は年間で1 m程度であり、大きな変動はない。
- ・地下水位観測より、原子炉建物の近傍(124孔)での地下水位はT.P.+約6 m程度である。

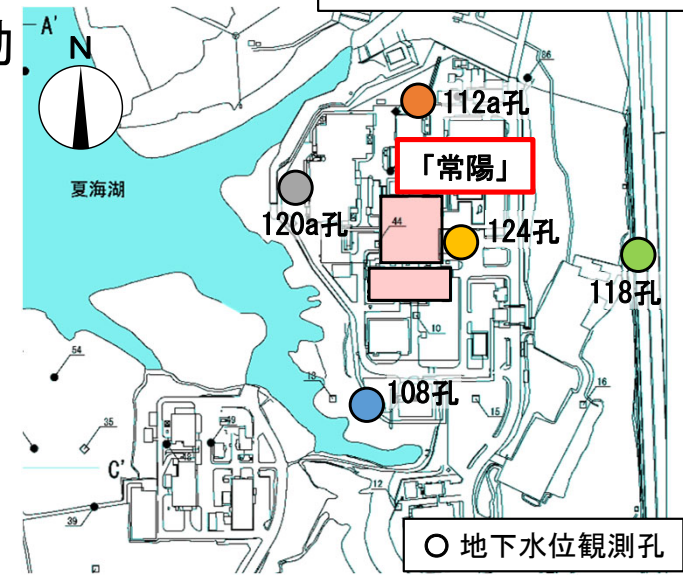
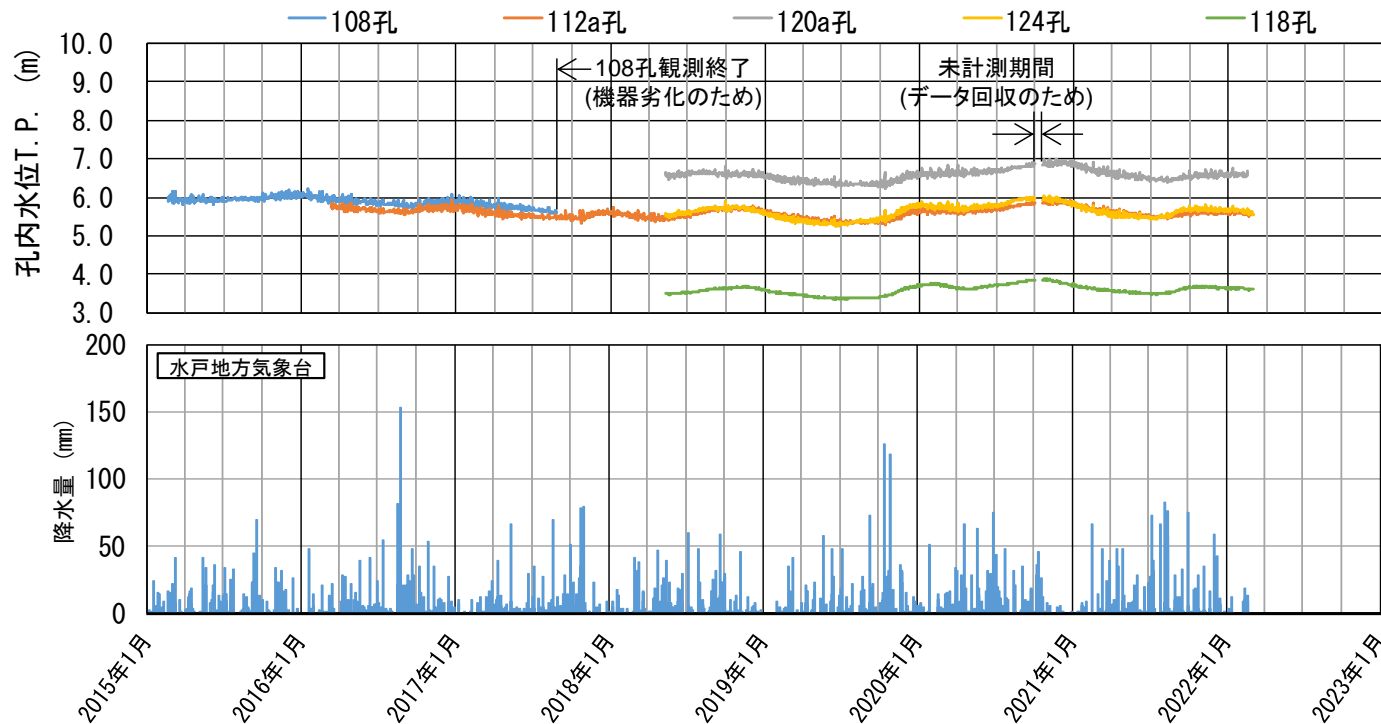
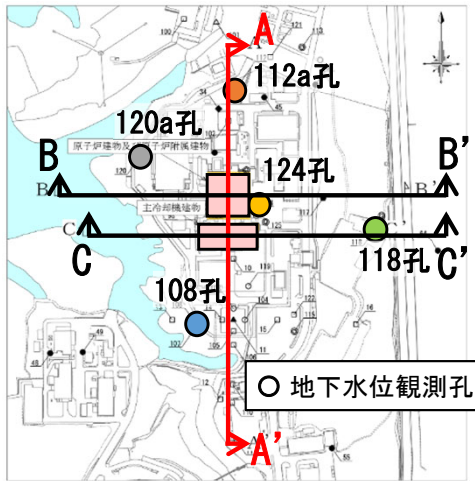


図 地下水位観測孔位置

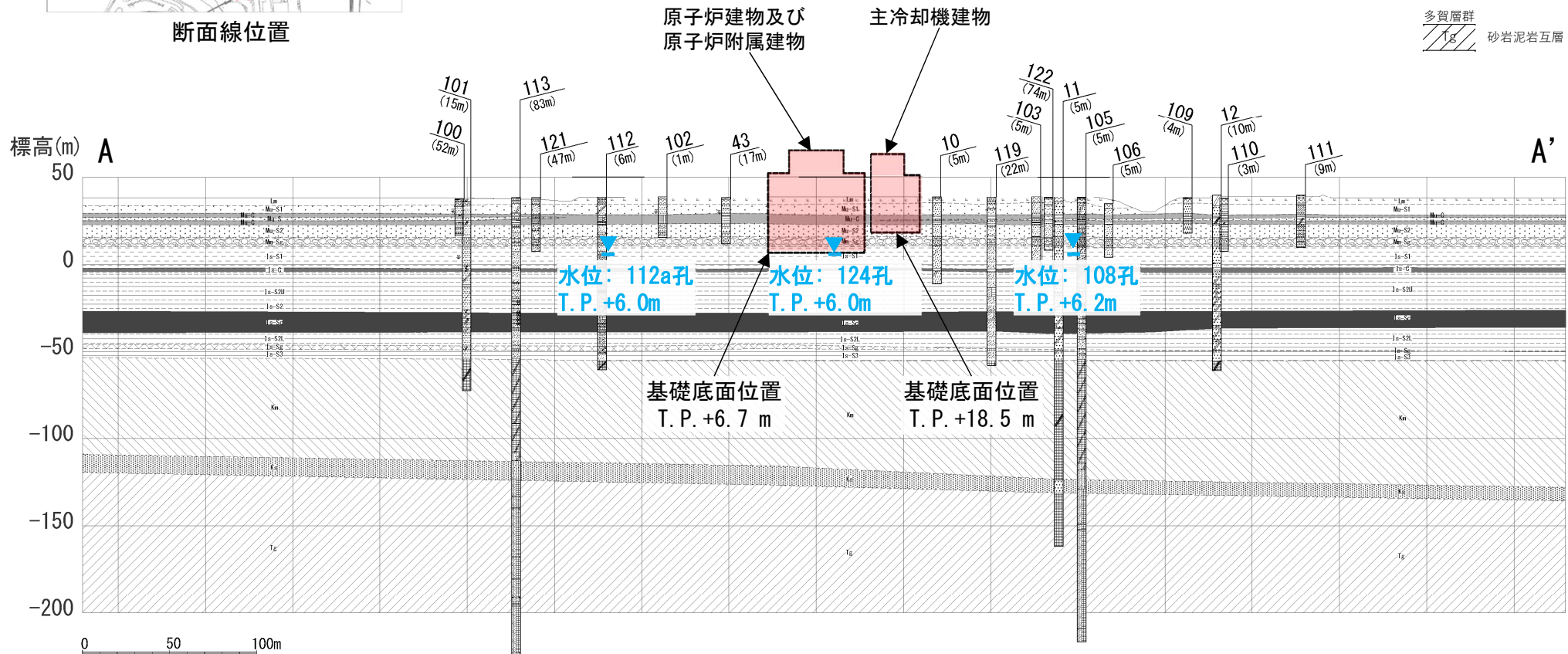
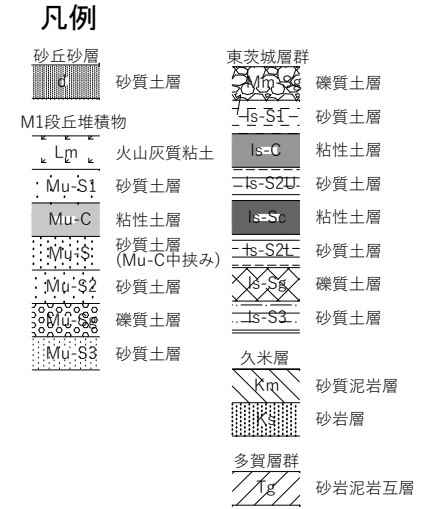


10 地下水位の観測結果 敷地周辺の地下水位分布(A-A'断面図)



断面線位置

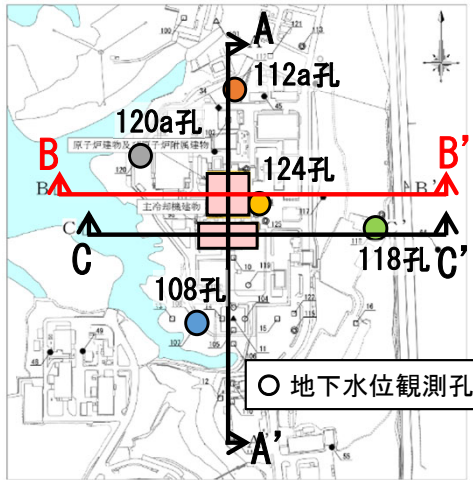
・南北方向の地下水位分布について、「常陽」周辺(112a孔、124孔、108孔)では、T.P.+約6 mでほぼ一定である。



A-A' 断面(南北方向)

※()内はボーリング孔の投影距離(m)を示す。

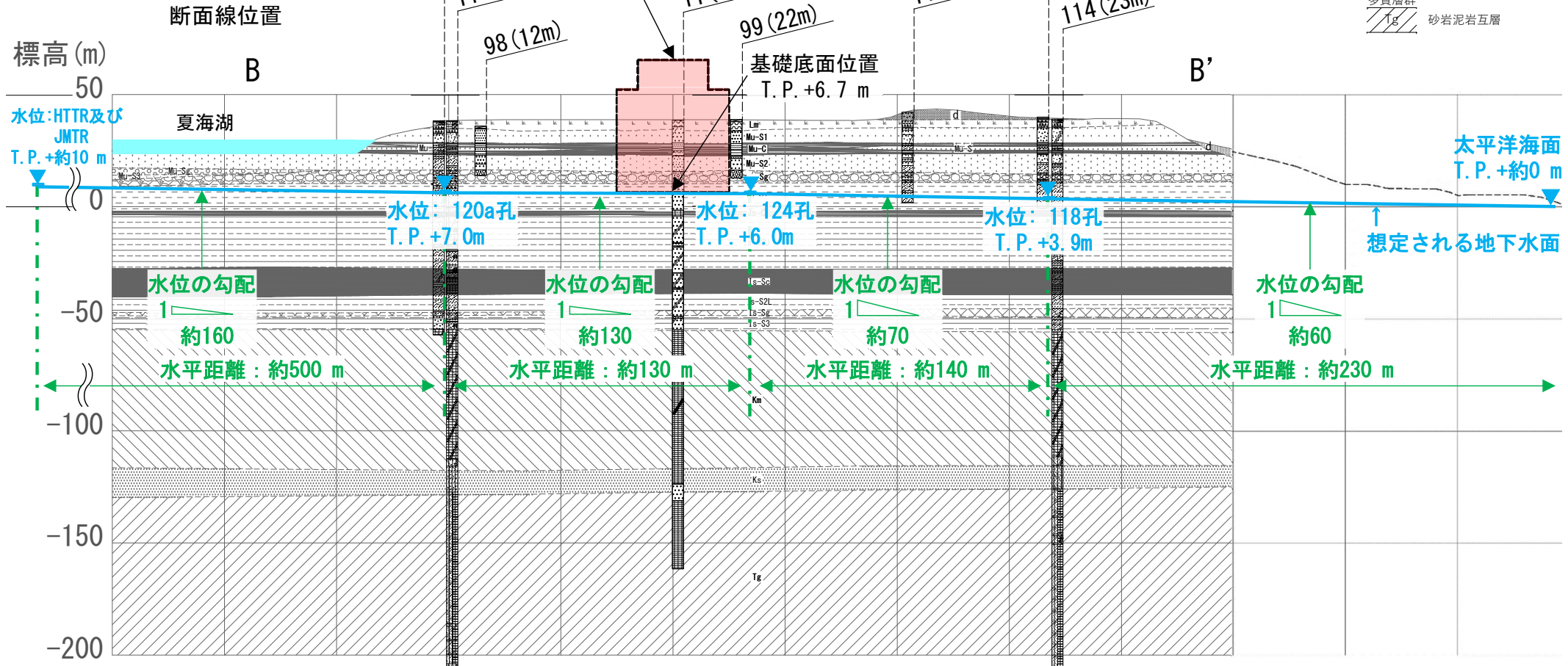
10 地下水位の観測結果 敷地周辺の地下水位分布(B-B'断面図)



・東西方向の地下水位分布について、原子炉建物近傍にある124孔でT.P.+6.0 m、西側(陸側)にある120a孔でT.P.+7.0 m、東側(海側)にある118孔でT.P.+3.9 mである。
 ・地下水位は西側(陸側)から東側(海側)方向に向かって低下している。

凡例

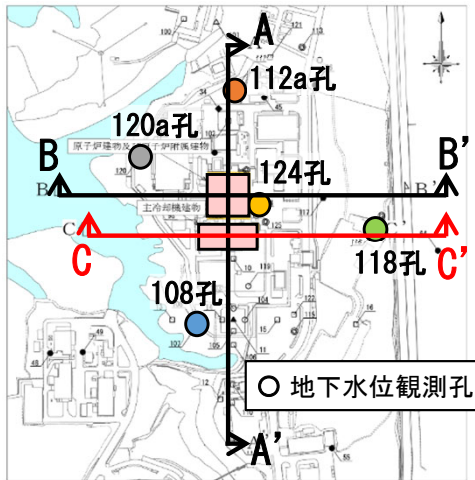
| | | | |
|---------|----------------|--------|--------|
| 砂丘砂層 | 砂質土層 | 東茨城層群 | 礫質土層 |
| M1段丘堆積物 | 火山灰質粘土 | Is-S1 | 砂質土層 |
| Mu-S1 | 砂質土層 | Is-C | 粘性土層 |
| Mu-C | 粘性土層 | Is-S2U | 砂質土層 |
| Mu-S | 砂質土層 (Mu-C中挟み) | Is-S2L | 砂質土層 |
| Mu-S2 | 砂質土層 | Is-S2c | 粘性土層 |
| Mu-S3 | 砂質土層 | Is-S3 | 砂質土層 |
| | | 久米層 | 砂質泥岩層 |
| | | Km | 砂岩層 |
| | | 多賀層群 | 砂岩泥岩互層 |
| | | Tg | 砂岩泥岩互層 |



B-B'断面(東西方向)

※()内はボーリング孔の投影距離(m)を示す。

10 地下水位の観測結果 敷地周辺の地下水位分布(C-C' 断面図)

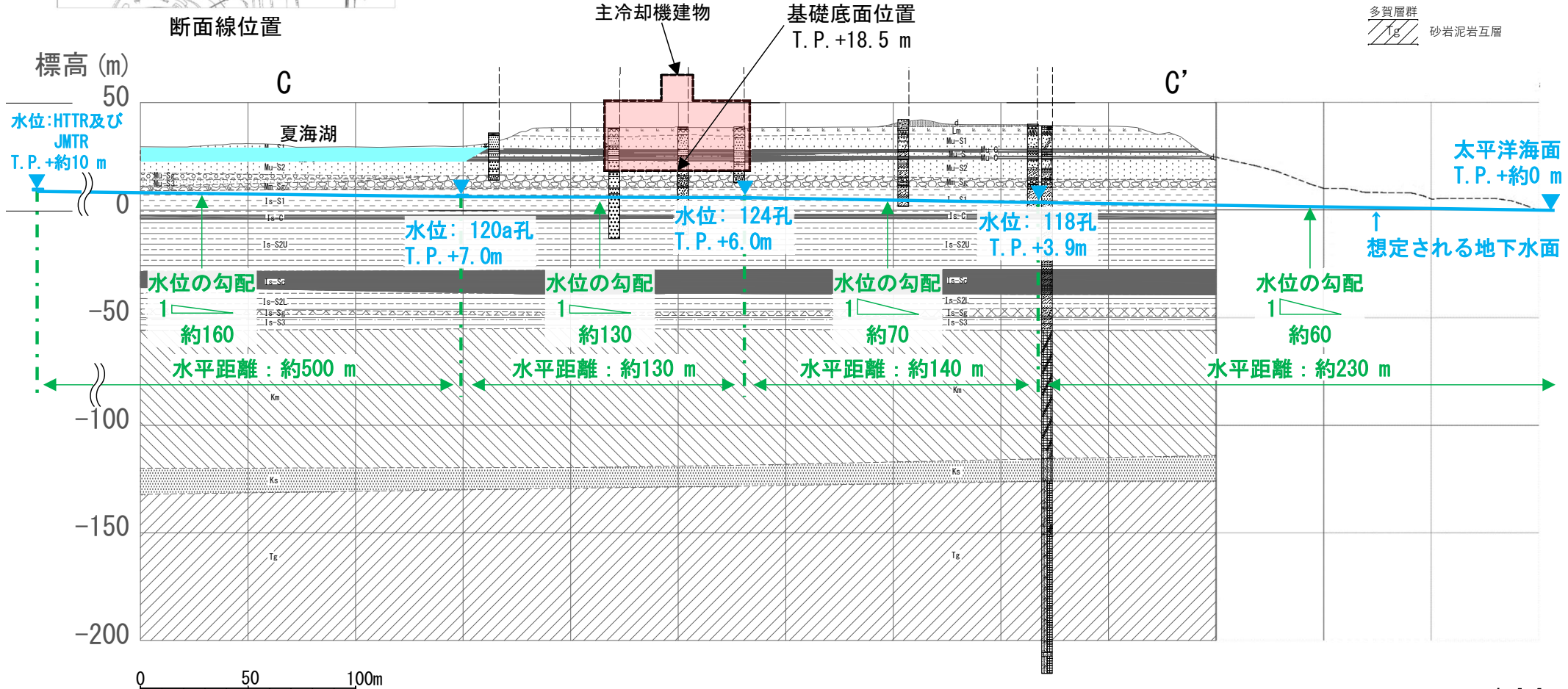


・東西方向の地下水位について、大洗研内の広域的な水位は、敷地西側にあるHTTR及びJMTRでT.P.+約10 m、敷地東側にある「常陽」近傍(124孔)でT.P.+約6 m、「常陽」東側(118孔)でT.P.+3.9 mである。

・地下水位は西側(陸側)から東側(海側)方向に向かって低下しており、さらに東側の太平洋海面に到達する。

凡例

| | | | |
|---------|----------------|--------|--------|
| 砂丘砂層 | 砂質土層 | 東茨城層群 | 礫質土層 |
| M1段丘堆積物 | 砂質土層 | Is-S1 | 砂質土層 |
| Lm | 火山灰質粘土 | Is-C | 粘性土層 |
| Mu-S1 | 砂質土層 | Is-S2U | 砂質土層 |
| Mu-C | 粘性土層 | Is-S3 | 粘性土層 |
| Mu-S | 砂質土層 (Mu-C中挟み) | Is-S2L | 砂質土層 |
| Mu-S2 | 砂質土層 | Is-Sg | 礫質土層 |
| Mu-S3 | 礫質土層 | Is-S3 | 砂質土層 |
| Mu-S3 | 砂質土層 | 久米層 | |
| | | Km | 砂質泥岩層 |
| | | Ks | 砂岩層 |
| | | 多賀層群 | |
| | | Tg | 砂岩泥岩互層 |



C-C' 断面(東西方向)

10 地下水位の観測結果 宙水観測結果

- ・既往の設置許可において、粘性土層 (Mu-C層) 上部の水位を宙水として観測しており、宙水の水位はT.P.+29.41~28.69 m (Mu-C層上端T.P.+28.2 mの上部に厚さ0.5~1.2 m)とされている。現在の宙水の状況については、2015年以降に3箇所 (107孔、120b孔、112b孔) で水位を観測している。
- ・既往の設置許可における観測孔を再利用している107孔では、既往の設置許可と現在で水位は同程度となっており、変化は見られない。
- ・各観測孔の水位は、降水による短期的な変動が認められるが、平均的にはT.P.+28.4~30 m程度となっており、地山 (Mu-C層) 上部に厚さ0.2~2.0 m程度で薄く分布している。
- ・なお、建物近傍では建設工事時に地山 (Mu-C層) を掘削し、砂質土で埋め戻しており、当該埋戻土に宙水はないと考えている。

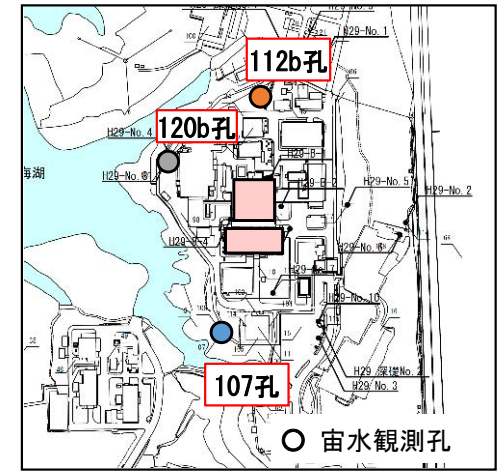
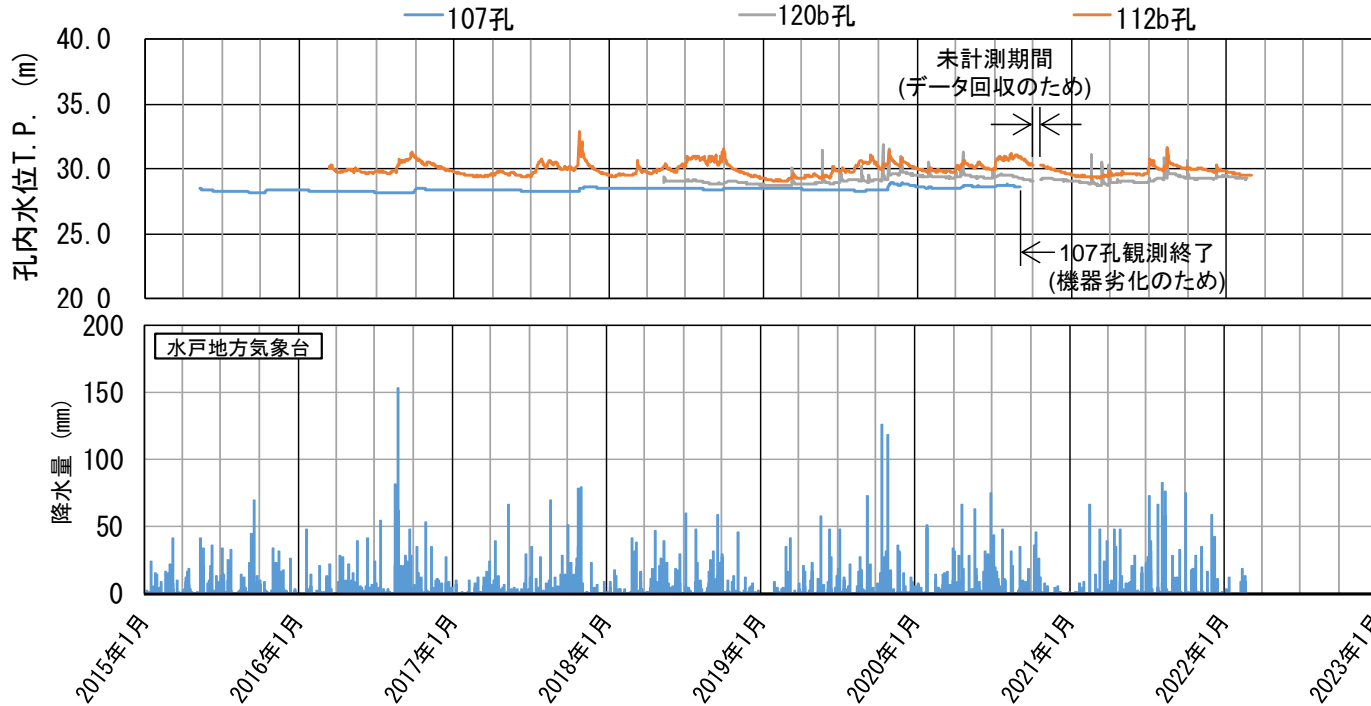


図 宙水観測孔位置

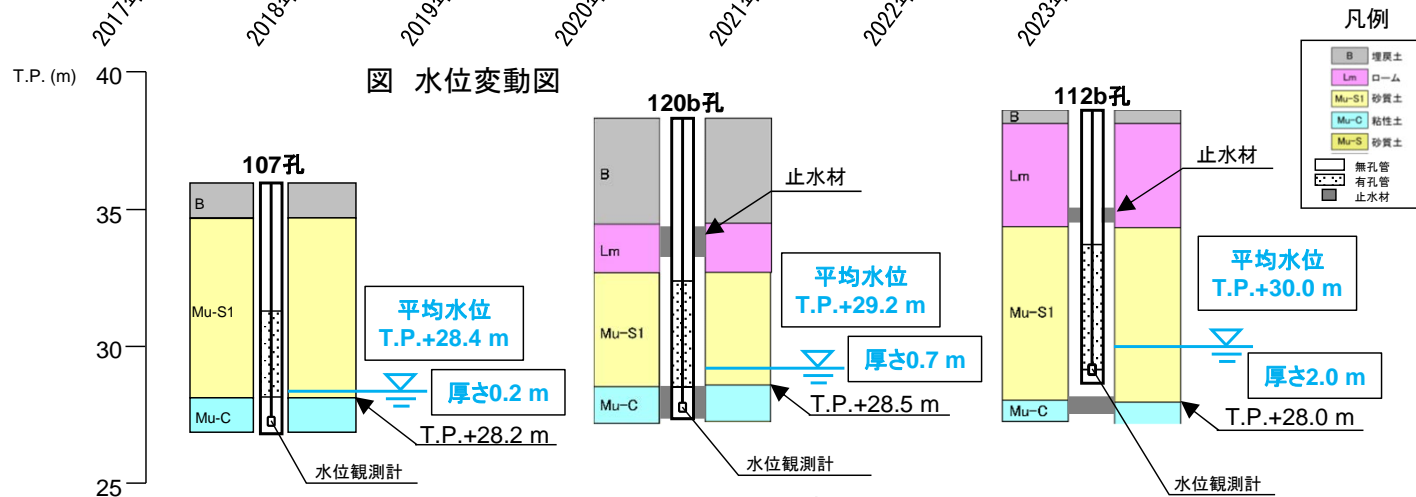


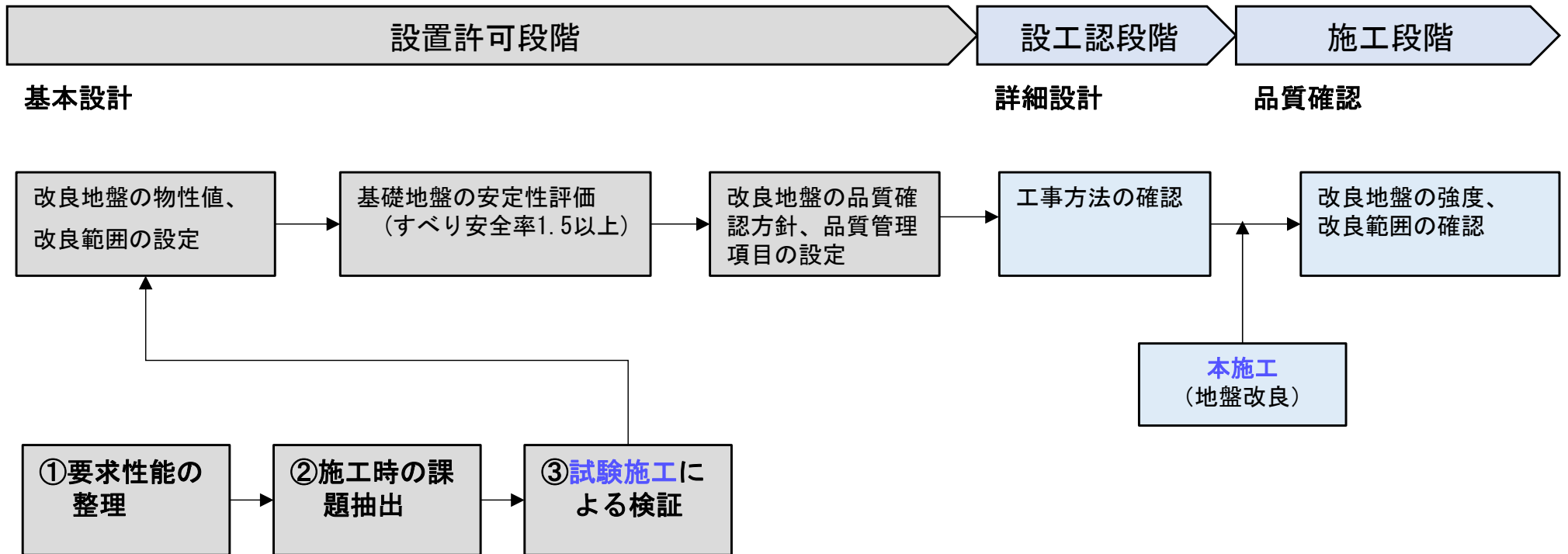
図 宙水観測孔構造図

参考資料

- 1 解析用物性値の設定
- 2 建物のモデル化に関する検討
- 3 すべり安全率に関する検討
- 4 接地圧に関する参考資料
- 5 傾斜に関する参考資料
- 6 地殻変動による影響評価
- 7 すべり線の選定に関する検討
- 8 すべり安全率に関する影響検討
- 9 液状化に関する検討
- 10 地下水位の観測結果
- 11 **地盤改良の試験施工結果**

11 地盤改良の試験施工結果 —地盤改良のフロー—

- ・「常陽」主冷却機建物の周辺地盤については、地盤を改良し抵抗力を向上させることにより、基準地震動に対し所定のすべり安全率を確保する。
- ・設置許可段階において、改良体の物性値及び改良範囲を設定するとともに、すべり安全率を評価し、設置許可基準規則第3条第1項に適合することを確認する。
- ・地盤改良については、他の原子力施設、一般産業施設での実績がある工法を用いるとともに、主冷却機建物周辺地盤において試験施工により成立性を確認し、改良地盤の物性値を設定する。



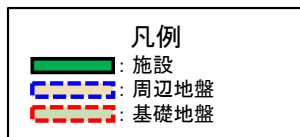
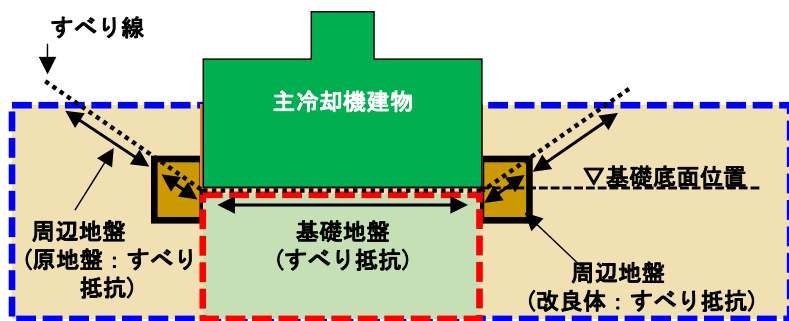
- ① 改良地盤の役割及び要求される品質を整理する。
- ② 地盤改良における施工上の課題、一般産業施設や原子力施設での施工実績等を整理する。
- ③ 試験施工により施工成立性を確認する。

11 地盤改良の試験施工結果 –地盤改良の成立性確認 ①要求性能の整理–

- ・「常陽」主冷却機建物のすべりに対する安全性を高めるため、建物の周辺地盤に対して地盤改良を行う。
- ・地盤改良の工法については、すべり抵抗を向上することができる固結工法から、深い施工深度に適用でき、既設設備への影響が小さい工法として高圧噴射攪拌工法を選定した。高圧噴射攪拌工法については、他の原子力施設での施工実績がある。

地盤改良の要求性能

| | |
|---------|--|
| 役割 | 想定されるすべり面に対して周辺地盤を改良し、地震時のすべり抵抗を向上させる。 |
| 要求される品質 | 地盤改良後の地盤が、十分なすべり抵抗(すべり安全率1.5以上)を有すること。 |



地盤安定性評価における各部位の区分

地盤改良工法の種類と適用地盤・効果

| 工法 | 適用地盤 | | | | 工法の効果 | | | | | |
|--|------|-----|-------------------|----------|------------|-----------|------------------|------------|------------------|------------|
| | 粘性土 | 砂質土 | 粘性土
砂質土
の互層 | 有機
質土 | 沈下対策 | | 安定対策 | | | |
| | | | | | 圧密沈
下促進 | 沈下量
減少 | せん断
変形の
抑制 | 強度増
加促進 | すべり
抵抗の
付与 | 液状化
の防止 |
| 表層処理工法
表層排水工法
サンドマット工法
敷設材工法
浅層混合処理工法 | ○ | | | ○ | | | ○ | ○ | ○ | |
| 置換工法
掘削置換工法
強制置換工法 | ○ | | ○ | ○ | | ○ | | | | ○ |
| 押え盛土工法
押え盛土工法
緩斜面工法 | ○ | | ○ | ○ | | | | ○ | | ○ |
| 緩速載荷工法
漸増載荷工法
段階載荷工法 | ○ | | ○ | ○ | | | | ○ | | |
| 載荷重工法
盛土荷重載荷工法
大気圧載荷工法
地下水低下工法 | ○ | | ○ | ○ | | | | | ○ | |
| バーチカル
ドレーン工法
サンドコンパ
クション工法 | ○ | | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | ○ |
| 締固め工法
振動棒工法
動圧密工法 | | ○ | | | | | | ○ | | ○ |
| 固結工法
深層混合処理工法
生石灰パイル工法
薬液注入工法 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | ○ |
| 構造物による
工法
矢板工法
打設グイ工法
スラブ工法
カルバート工法 | ○ | ○ | ○ | ○ | | | | | | ○ |

引用：陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル 改訂版, (財)土木研究センター, 平成16年3月

11 地盤改良の試験施工結果 ー地盤改良の成立性確認 ②施工時の課題抽出ー

- ・「常陽」主冷却機建物の周辺地盤における改良地盤の要求品質を確保する上で、既往の知見や他の原子力施設での実績等を踏まえた地盤改良の施工上の課題及び特異性について整理を行った。
- ・特異性の有無の考え方は、対処が必要となる施工上の課題に対し、既往の知見から十分対応可能であると考えられる事項を特異性「無」、それ以外を特異性「有」とした。
- ・特異性の有無を踏まえて、試験施工を実施し、地盤改良の施工成立性を確認する。

地盤改良の施工上の課題

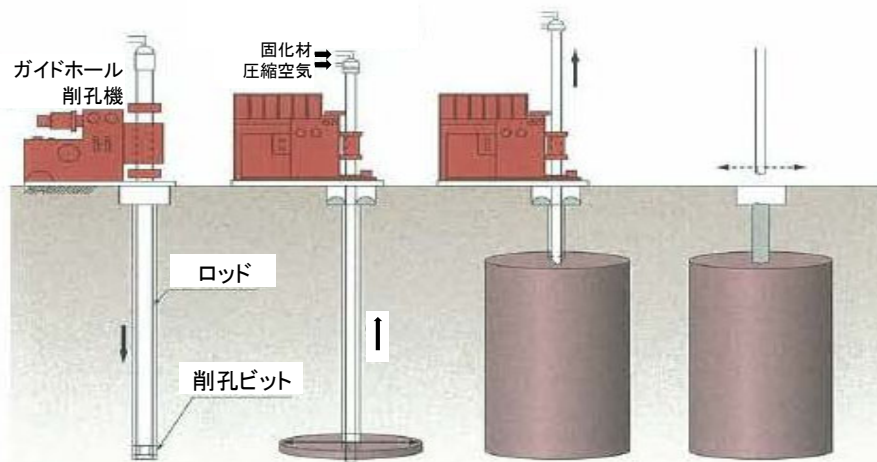
| 地盤改良による施工上の課題 | | 一般産業施設での施工事例、他の原子力施設での施工実績等の確認による特異性の検討 | 特異性 |
|---------------|--|--|-----|
| 分類 | 概要 | | |
| (1) 地盤への適用性 | ・改良する地盤の一部に硬い地層(N値50以上)があるため、攪拌不能や改良径の不足がなく、確実に改良できるかどうかを確認する必要がある。 | ・一般産業施設におけるN値50以上の硬い層を改良対象とした施工実績は存在するが、当該地盤での適用性を確認する必要があることから、特異性「有」とする。 | 有 |
| (2)大深度 | ・改良対象層が深度約30mであるため、深い地盤に対して確実に改良できるかどうかを確認する必要がある。 | ・一般産業施設における同深度以上の施工事例は存在するが、当該地盤での適用性を確認する必要があることから、特異性「有」とする。 | 有 |
| (3)既設埋設物 | ・地盤改良範囲は深度13mより深く、埋設物が存在しない範囲となる。
なお、建物周囲の浅い位置には、共同溝、既設埋設物が敷設されているが、ロード設置位置の調整により、既設埋設物を避けて改良体を造成することが可能であり、施工に支障がない。 | — | 無 |

11 地盤改良の試験施工結果

—地盤改良の成立性確認 ③試験施工による検証(地盤改良工法の手順)—

- ・ 本施工の地盤改良は、高圧噴射攪拌工法を用いる。
- ・ 施工は、改良体の中心にロッドを建て込み、計画深度まで削孔し、ロッドの先端から固化材を水平方向に噴射して原地盤を切削・攪拌混合しながら改良体を築造する。
- ・ 施工中は、固化材の噴射流量・圧力、引上げ時間、ロッド回転数等を管理する。
- ・ 試験施工では、同様の手順で実施した。

①削孔 → ②施工仕様確認・開始 → ③造成 → ④造成完了

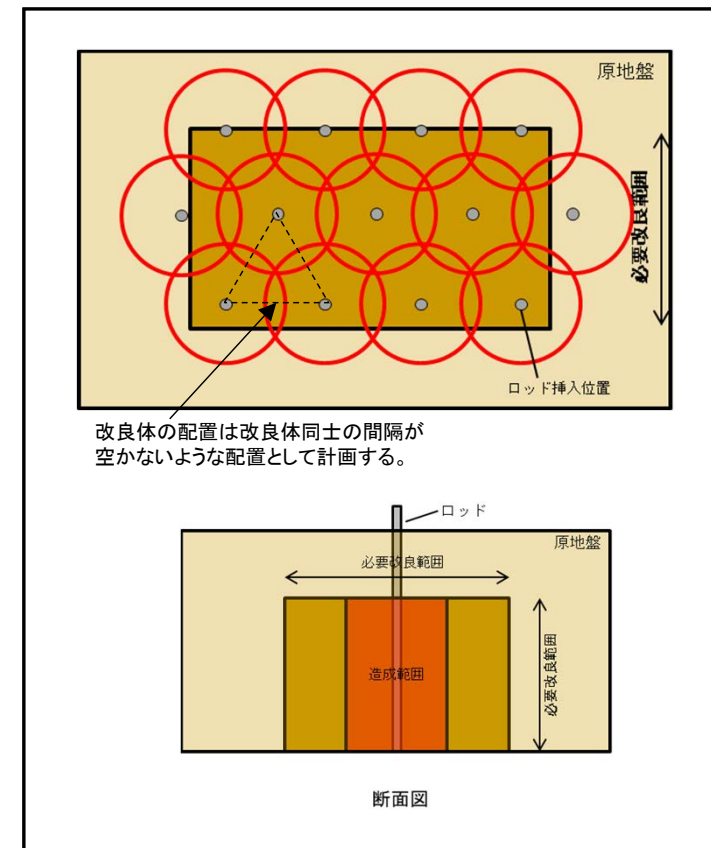


出典: 新技術情報データベースNeTIDa1に加筆

高圧噴射攪拌工法による地盤改良手順

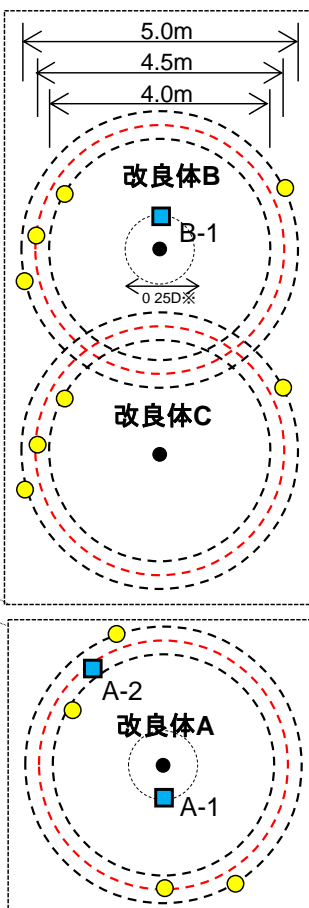
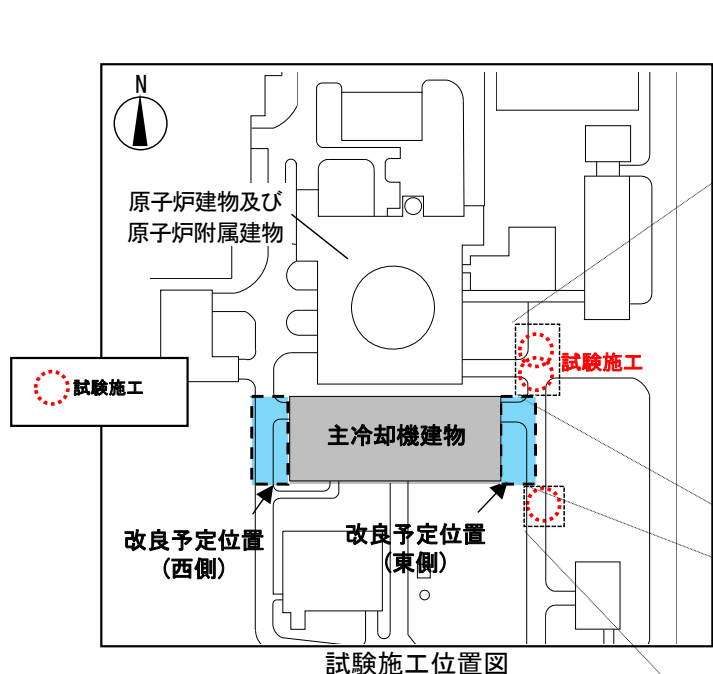


高圧噴射攪拌工法による地盤改良
(「常陽」敷地における試験施工の状況)



11 地盤改良の試験施工結果 - 地盤改良の成立性確認③試験施工による検証(施工概要)

- ・試験施工は、建物の東西で同じ地層が水平に連続していることから、施工ヤードが確保できる東側で本施工に重複しない位置とした。3箇所のうち2箇所はラップさせる配置として実施した。
- ・改良は、本施工と同じ深度で改良体を造成し、改良体の範囲及び改良径を確認した。

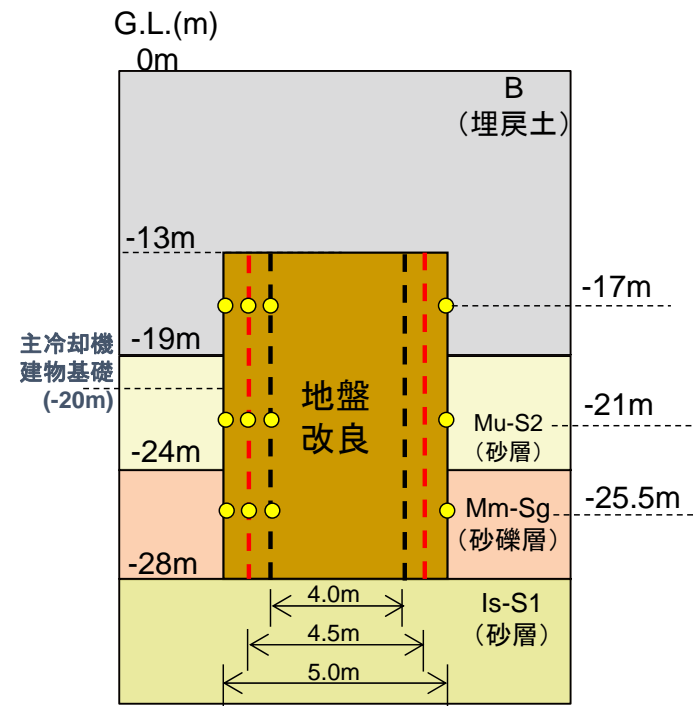


凡例

- 改良中心位置
- 地盤改良の改良径
- 改良径計測位置(熱電対)
- ボーリング位置

※「陸上工事における深層混合処理工法 設計・施工マニュアル 改訂版, (財)土木研究センター」に基づき改良体径の1/4で実施した

| | |
|-------|--|
| 工法 | 高圧噴射攪拌工法 |
| 対象土質 | B(埋戻土)、Mu-S ₂ (砂層)、Mm-Sg(砂礫層) |
| 目標改良径 | Φ 4.0m ~ 5.0m |
| 改良深度 | G.L.-28m ~ -13m |



確認項目※1

- ・改良範囲の確認(熱電対、ボーリングコア)
- ・物性試験(一軸圧縮試験、三軸圧縮試験※2、動的変形試験※2、引張試験※2、PS検層※2)

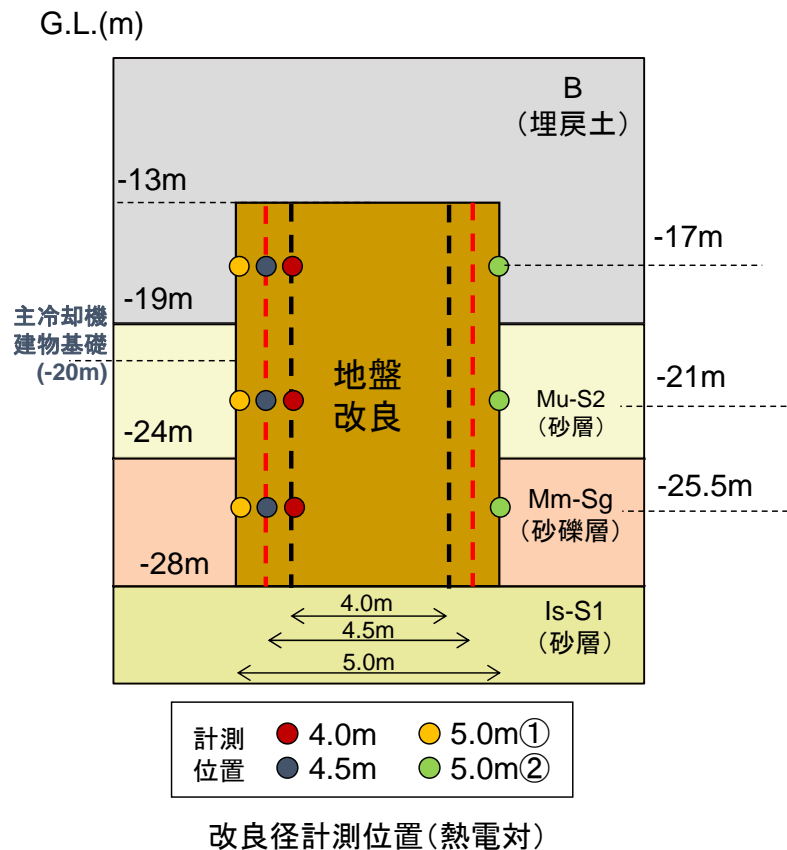
※1 「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法- 日本建築センター」を参考に実施

※2 解析用物性値設定に用いる

11 地盤改良の試験施工結果

—地盤改良の成立性確認 ③試験施工による検証(改良範囲の確認:熱電対測定結果)—

・熱電対測定により地中の温度変化を計測し、固化材の到達有無から、地盤改良の改良範囲を確認した。



改良体B

[凡例] ○:到達を確認した
×:到達を確認できなかった

| 設置位置 | | 4.0m | 4.5m | 5.0m ① | 5.0m ② |
|------|------------|------|------|--------|--------|
| 設置深度 | G.L.-17m | ○ | ○ | ○ | × |
| | G.L.-21m | ○ | ○ | × | × |
| | G.L.-25.5m | ○ | ○ | × | × |

改良体C

| 設置位置 | | 4.0m | 4.5m | 5.0m ① | 5.0m ② |
|------|------------|------|------|--------|--------|
| 設置深度 | G.L.-17m | ○ | ○ | × | ○ |
| | G.L.-21m | ○ | ○ | ○ | ○ |
| | G.L.-25.5m | ○ | ○ | × | × |

改良体A

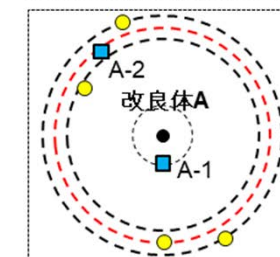
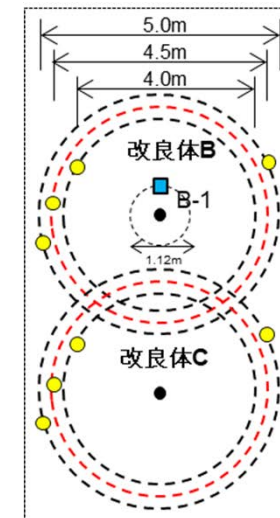
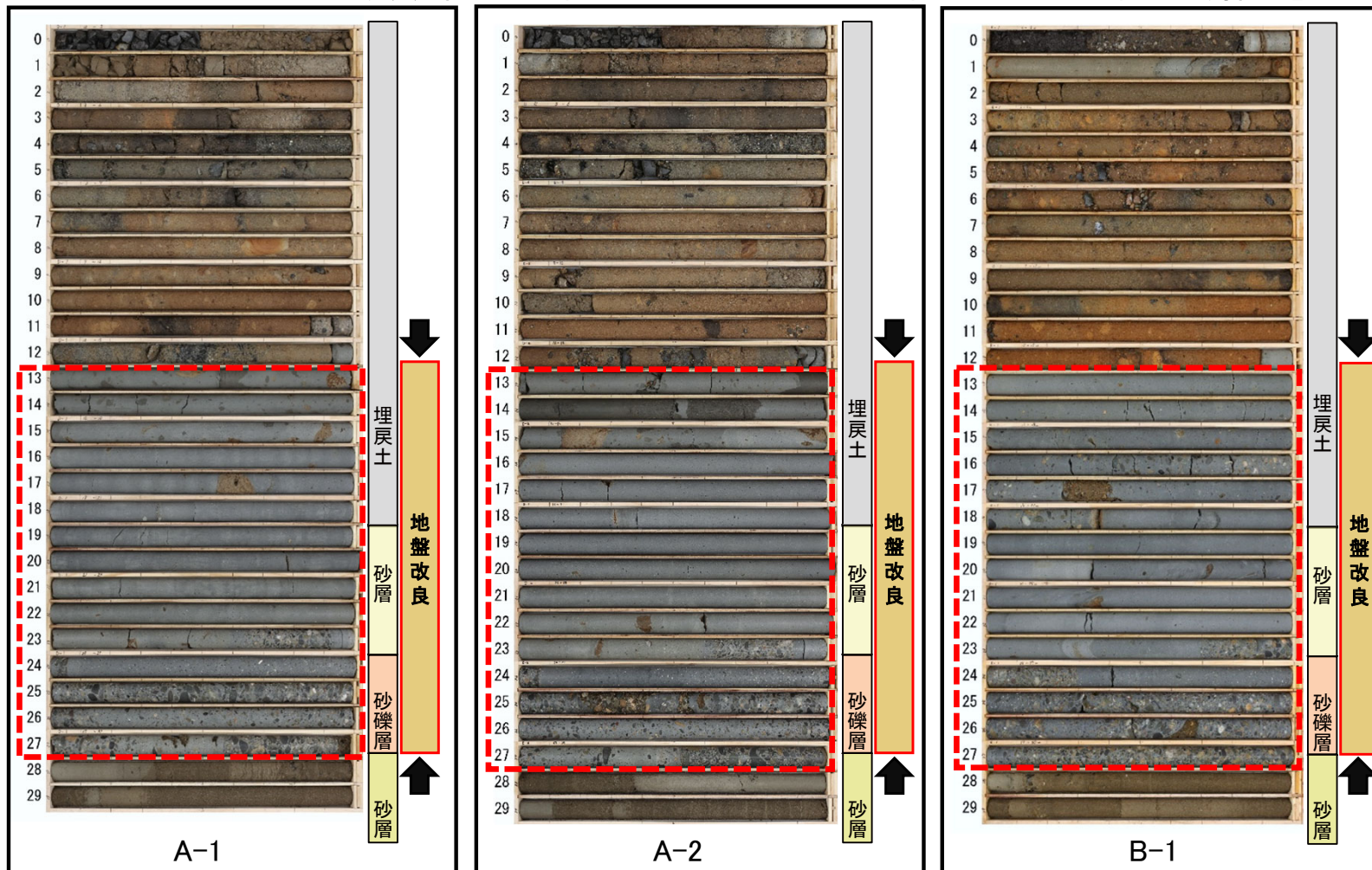
| 設置位置 | | 4.0m | 4.5m | 5.0m ① | 5.0m ② |
|------|------------|------|------|--------|--------|
| 設置深度 | G.L.-17m | ○ | ○ | ○ | × |
| | G.L.-21m | ○ | ○ | ○ | × |
| | G.L.-25.5m | ○ | ○ | ○ | × |

- ・測定結果から、径4.0m及び4.5m位置に設置した各層のすべての観測点で固化材の到達を確認し、径5m位置では一部の観測点でのみ固化材の到達が確認された。
- ・試験施工により造成された改良体の径は4.5mであり、改良径4.5mで確実に施工できることを確認した。

11 地盤改良の試験施工結果

—地盤改良の成立性確認 ③試験施工による検証(改良範囲の確認:ボーリングコア)—

- ・地盤改良実施後、改良体から採取したボーリングコア写真を示す。
- ・ボーリングコアについては、改良体中心位置から0.25D (D=4.5m) の位置及び4.5mの位置から、採取を行った。



試験施工 配置平面図

- 凡例
- 改良中心位置
 - 地盤改良の改良径
 - 改良径計測位置(熱電対)
 - ボーリング位置

地盤改良範囲

- ・各コアの確認から、礫が多い範囲含めて全深度において連続的にコア採取ができており、また改良範囲全深度の目視確認及びフェノールフタレイン反応による固化剤の混合状況から対象層は改良されており、これらのことから改良範囲(G.L.-28mからG.L.-13m)が確実に施工できることを確認した。
- ・A-2のコア確認から、改良径φ4.5m位置においても、他の孔と同様に改良されていることを確認した。

11 地盤改良の試験施工結果 —地盤改良の成立性確認 まとめ—

・地盤改良における施工成立性の確認結果について以下に示す。

| 地盤改良による施工上の課題 | | 特異性 |
|---------------|--|-----|
| 分類 | 概要 | |
| (1) 地盤への適用性 | ・改良する地盤の一部に硬い地層(N値50以上)があるため、攪拌不能や改良径の不足がなく、確実に改良できるかどうかを確認する必要がある。 | 有 |
| (2)大深度 | ・改良対象層が深度約30mであるため、深い地盤に対して確実に改良できるかどうかを確認する必要がある。 | 有 |
| (3)既設埋設物 | ・地盤改良範囲は深度13mより深く、埋設物が存在しない範囲となる。
なお、建物周囲の浅い位置には、共同溝、既設埋設物が敷設されているが、ロード設置位置の調整により、既設埋設物を避けて改良体を造成することが可能であり、施工に支障がない。 | 無 |



| 確認結果 |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・改良対象(埋戻土、砂層、砂礫層)に対して、確実に改良できることを確認した。 ・改良範囲(G.L.-28mからG.L.-13m)に対して、確実に改良できることを確認した。 ・改良体の径については、4.5mが施工できることを確認した。 |

試験施工の結果から、地盤改良（改良深度約30m、改良径4.5m）の施工が可能であることを確認した。

11 地盤改良の試験施工結果 — 解析用物性値 改良地盤の解析用物性値(設定方法)

- ・改良地盤の解析用物性値は、下表に示す試験・調査結果に基づき設定する。
- ・強度特性については、改良する地層から採取した試料を用いた室内配合試験から目標強度を設定し、解析用物性値とする。
- ・物理特性及び変形特性については、目標強度を得られることが確認された試験施工の改良体から採取したコアを用いた試験結果から設定する。

改良地盤の解析用物性値の設定方法

| 強度特性 | | 物理特性 | 変形特性 | | | |
|--|----------------------|-----------------------|--|--------|-------------------------------------|----------------------|
| ピーク強度 | 残留強度 | 湿潤密度 | 動的変形特性 | | | 静的変形特性 |
| | | | 初期動せん断
弾性係数 | 動ポアソン比 | 正規化せん断弾
性係数 G/G_0 、
減衰率 h | 静弾性係数 |
| 三軸圧縮試験
(JGS 2531)
岩石の引張り強さ試験
(JGS 2551) | 三軸圧縮試験
(JGS 2531) | 岩石の密度試験
(JGS 2132) | PS検層(JGS 1122)による V_s 、 V_p
及び密度により算定 | | 繰返し三軸試験
(JGS 0542) | 三軸圧縮試験
(JGS 2531) |

・三軸圧縮試験は、UU条件により行う。

(1) 強度特性(室内配合試験)

(2) 物理特性、変形特性(試験施工の改良体を用いた試験)

11 地盤改良の試験施工結果 —解析用物性値 (1)強度特性(室内配合試験)—

改良地盤の強度を定めるため、現地の地盤を採取して室内配合試験を実施した。

①室内配合試験（一軸圧縮試験）による確認

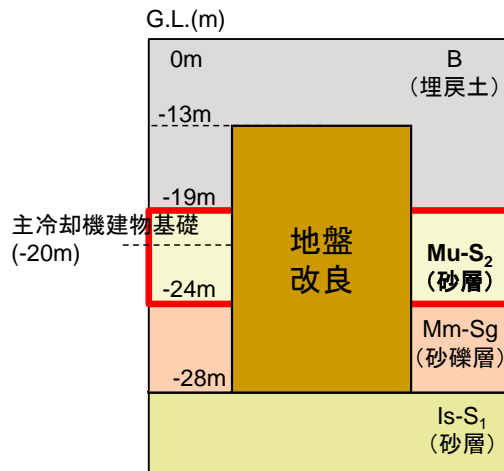
改良対象層（埋戻土(B)、砂層(Mu-S₂)、砂礫層(Mm-Sg)) から採取した試料を用いて一軸圧縮試験を実施した結果、砂層(Mu-S₂)の一軸圧縮強度が最も小さい値となった。

②室内配合試験（三軸圧縮試験、引張試験）

強度特性（粘着力、内部摩擦角、引張強さ）は、砂層(Mu-S₂)を用いた三軸圧縮試験及び引張試験により設定した。

【①室内配合試験（一軸圧縮試験）による確認】

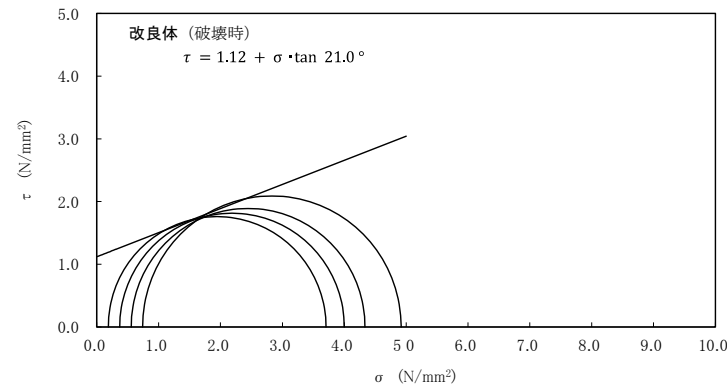
| | 一軸圧縮強度 q_u
(N/mm^2) |
|-----------------------------|------------------------------|
| 埋戻土(B) | 10.73 |
| 砂層(Mu-S₂) | 5.87 |
| 砂礫層(Mm-Sg) | 7.40 |



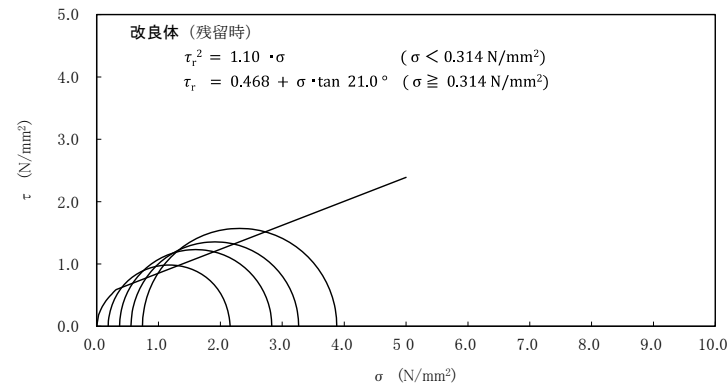
試験施工断面図

【②室内配合試験（三軸圧縮試験、引張試験）】

■強度特性（粘着力、内部摩擦角）



ピーク強度(Mu-S₂)



残留強度(Mu-S₂)

引張試験結果

| 試料数 | 引張強さ σ_t (N/mm^2) |
|-----|------------------------------|
| 3 | 0.438 |



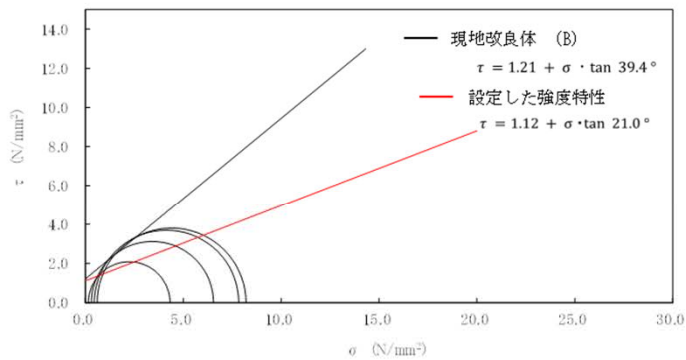
文献※を参考に、
保守的に0.3N/mm²を設定

※「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 日本建築センター」では「(引張り強さ/一軸圧縮強さ)の値は一軸圧縮強さが大きくなると小さくなる傾向がある」とされており、その上限値は0.3N/mm²とされている。

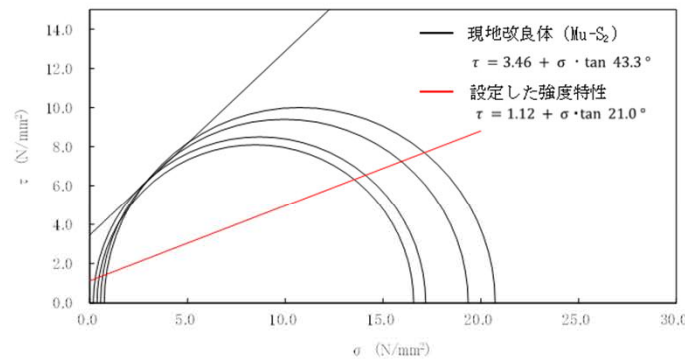
11 地盤改良の試験施工結果

—解析用物性値 (1)強度特性(試験施工の改良体の強度確認[粘着力、内部摩擦角、引張強さ])—

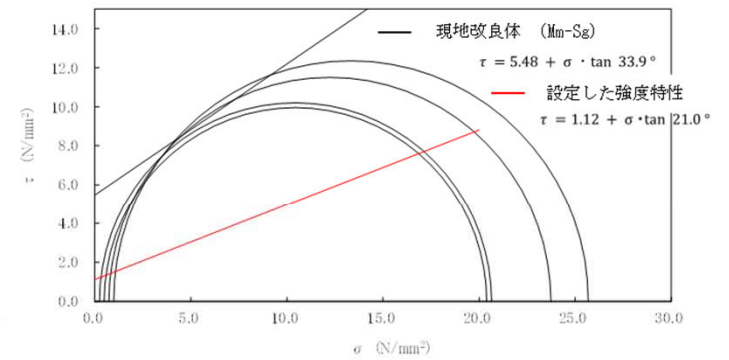
- ・ 設定した強度特性（粘着力、内部摩擦角、引張強さ）が現地で確保できることを確認するため、試験施工の改良体のコア（ボーリングB-1孔）を用いて試験を実施した。
- ・ 試験施工の改良体のコアを用いた試験結果と設定した強度特性との比較を以下に示す。
- ・ 各層の強度特性は、設定した強度特性を上回っていることを確認した。



現地改良体 B (埋戻土)

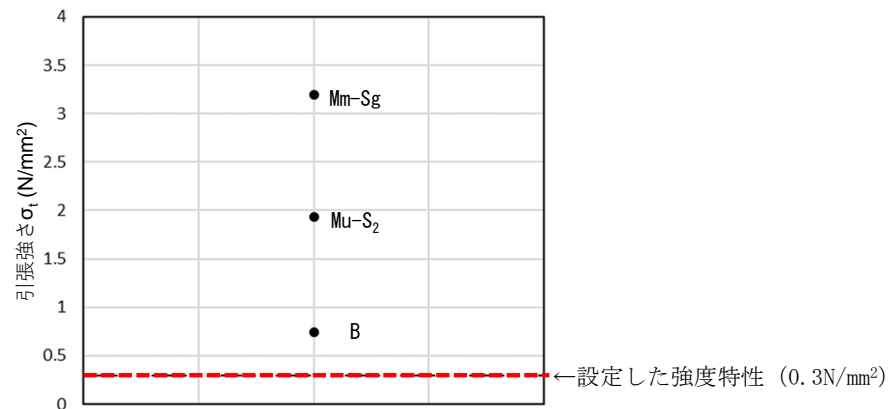


現地改良体 Mu-S₂ (砂層)



現地改良体 Mm-Sg (砂礫層)

強度特性（粘着力、内部摩擦角）



現地改良体 B (埋戻土)、Mu-S₂ (砂層)、Mm-Sg (砂礫層)

強度特性（引張強さ）

11 地盤改良の試験施工結果

－解析用物性値 (1)強度特性(試験施工の改良体の強度確認[一軸圧縮強度])－

- ①改良地盤の品質確認として、一軸圧縮強度 q_u が指標とされている※。このため、強度特性（粘着力、内部摩擦角、引張強さ）と一軸圧縮強度 q_u との相関関係を室内配合試験により算出した。設定した強度に対応する一軸圧縮強度 q_u は粘着力で 4.2N/mm^2 （目標強度）となる。[図1]
- ②試験施工による改良体（ボーリング孔A-1, B-1）より採取した試料を用いて一軸圧縮試験を実施した。
- ③試験結果からは、一軸圧縮強度は 4.2N/mm^2 以上となっており、設定した強度を上回っていることを確認した。 [図2]

※ 2018年度版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-、日本建築センター

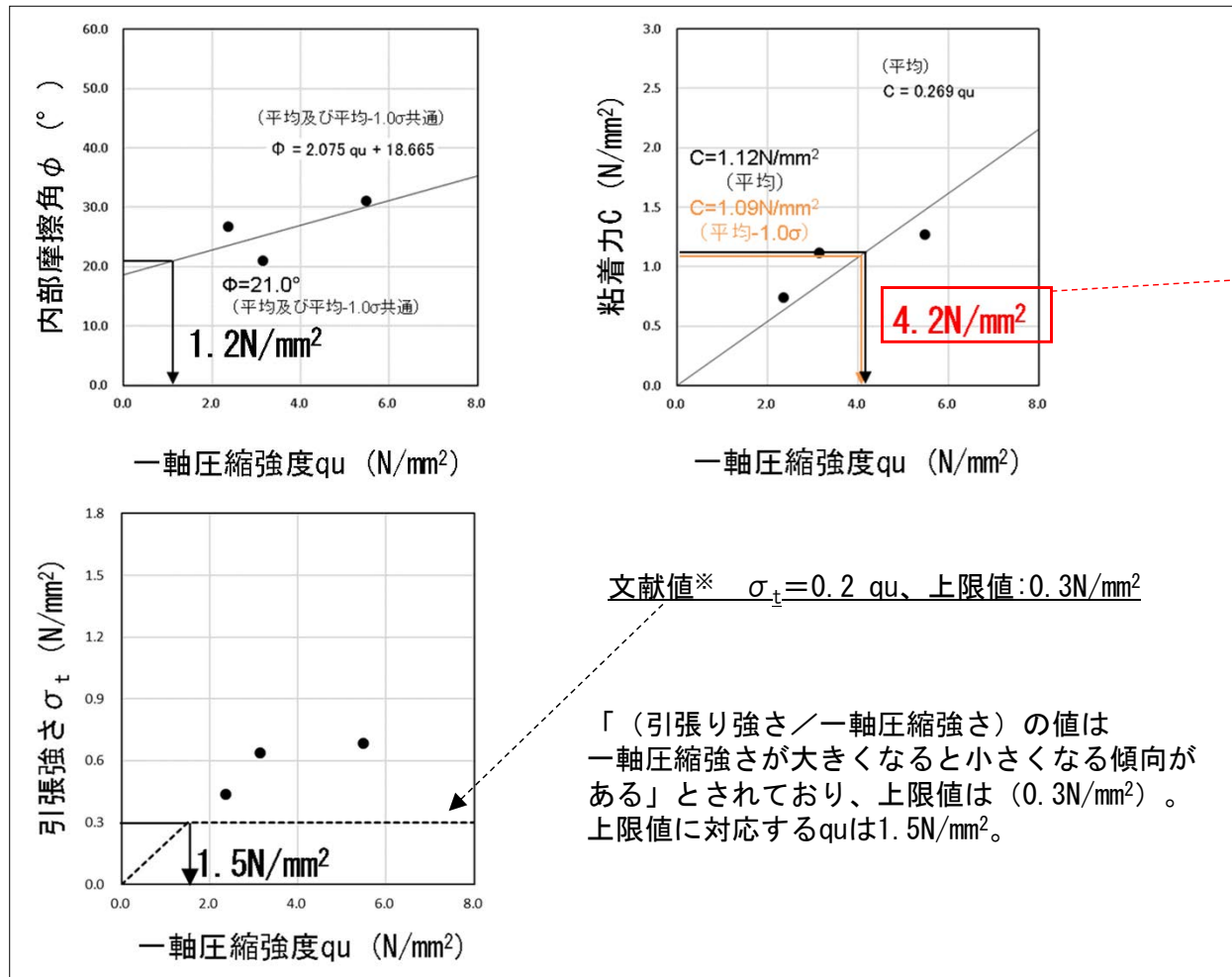


図1 室内配合試験による一軸圧縮強度 q_u と評価に用いる強度特性の相関関係(Mu-S₂層)
(内部摩擦角 ϕ 、粘着力 C 、引張強さ σ_t)

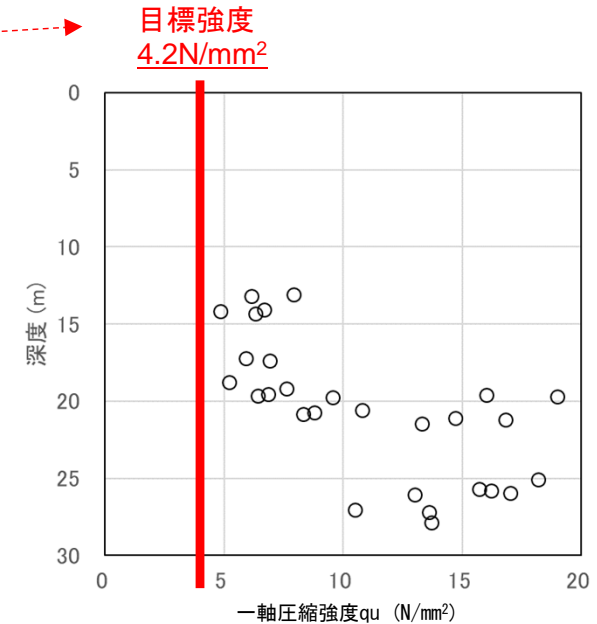


図2 試験施工の改良体のコアを用いた一軸圧縮試験結果

11 地盤改良の試験施工結果

－解析用物性値 (2)物理特性、変形特性(試験施工の改良体を用いた試験)－

・改良地盤の物理特性、変形特性は、試験施工の改良体（ボーリング孔B-1）より採取した試料を用いて試験を実施した。

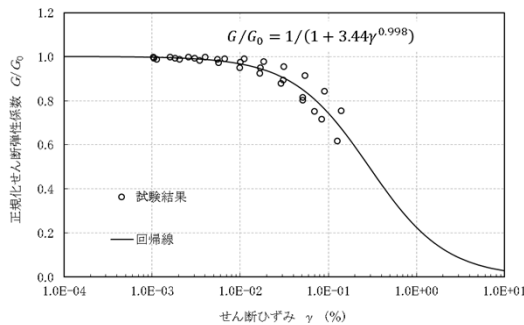
■物理特性
(湿潤密度)

| | 湿潤密度
ρ_t (g/cm ³) | 試料数 |
|------|---------------------------------------|-----|
| 平均値 | 2.05 | 32 |
| 標準偏差 | 0.22 | |

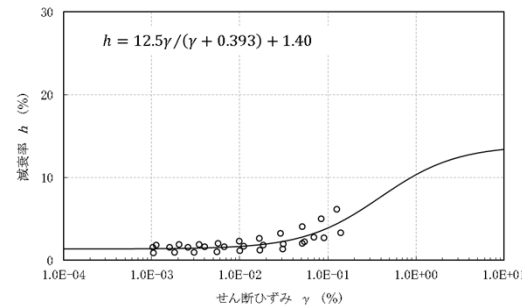
■変形特性
(静的変形特性)

| | 静弾性係数
E_{50} (N/mm ²) | 試料数 |
|------|--|-----|
| 平均値 | 1720 | 12 |
| 標準偏差 | 914 | |

■変形特性
(動的変形特性 正規化せん断弾性係数 G/G_0 、減衰率 h)

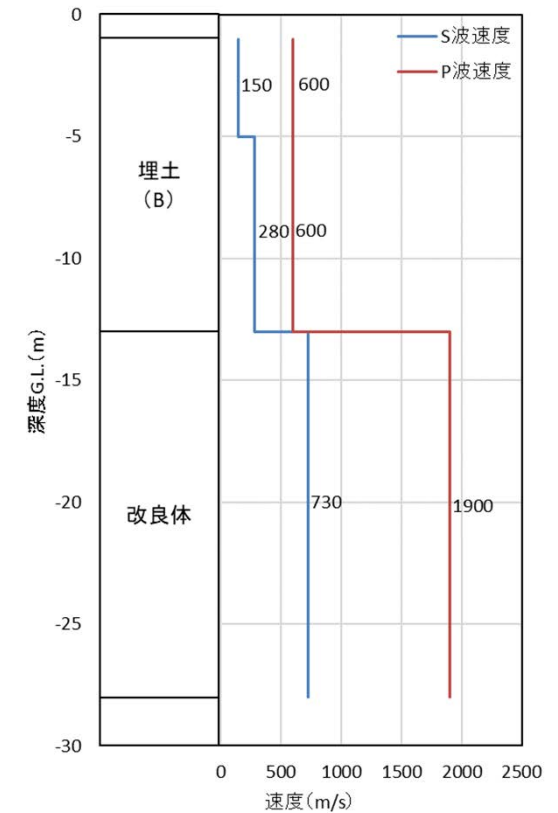


正規化せん断弾性係数 G/G_0



減衰率 h

■変形特性
(動的変形特性 PS検層)



- [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] Yoshimitsu Okada, 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] 坂本亨・相原輝雄・野間泰二, 石岡地域の地質, 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 1981
- [13] 坂本亨・宇野沢昭, 茨城県瓜連丘陵の第四系と久慈川・那珂川の河谷発達史, 地質調査所月報, vol. 27, pp.655-664, 1976
- [14] 坂本亨・宇野沢昭, 茨城県中部, 友部丘陵の第四系, 地質調査所月報, vol. 30, pp.269-283, 1979
- [15] 大井信三・横山芳春, 常陸台地の第四系下総層群の層序と堆積システムの時空変化, 日本地質学会第118年学術大会見学旅行案内書, pp. 103-120, 2011
- [16] 山元孝弘, 東茨城台地に分布する更新統の新層序とMIS5-7海面変化との関係: 地下地質とテフラ対比による茨城層, 見和層, 夏海層, 笠神層の再定義, 地質調査研究報告, 第64巻, 第9/10号, pp. 225-249, 2013
- [17] 日本建築学会, 建築基礎構造設計指針, 2001
- [18] 日本建築センター, 2018年度版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-, 2018
- [19] 日本建築学会, 建築基礎設計のための地盤改良設計指針案, 2006
- [20] 日本電気協会, 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程, 2009
- [21] 土木研究センター, 陸上工事における深層混合処理工法 設計施工マニュアル 改訂版, 2004
- [22] 沿岸技術研究センター, 港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル, 2014

添付資料

設置許可申請の記載内容について（改良地盤の品質確認）

改良地盤の品質確認について、以降に目次、文章、図表の案を示す。

3. 地盤

3.1 調査の経緯

3.2 敷地周辺の地質・地質構造

3.3 敷地近傍の地質・地質構造

3.4 敷地の地質・地質構造

3.5 原子炉施設設置位置付近の地質・地質構造及び地盤

3.6 原子炉施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性

3.7 地質調査に関する実証性

3.8 改良地盤の品質確認（次ページ以降に文章及び図表の抜粋を示す。）

3.9 参考文献

3.8 改良地盤の品質確認

基礎地盤の安定性評価に用いる改良地盤については、施工において改良地盤の品質確認を以下のとおり実施する。

主冷却機建物のすべり安全率の評価において改良地盤の範囲及び強度を設定し、基礎地盤の安定性評価を実施していることから、改良地盤の品質管理では、改良地盤の範囲及び強度が基準値を満足することを確認する。改良地盤の範囲を第3.8.1図に、改良地盤の確認項目及び基準値を第3.8.1表に示す。

地盤改良の工法は、深層混合処理工法（高圧噴射攪拌工法）とし、品質確認準拠基準は高圧噴射攪拌工法の品質管理に係る詳細な記載がされている「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」（2018）を適用する。なお、その他の基準についても適宜参考とする。

品質確認試験の頻度は、各基準の目安を満足するように設定する。改良地盤の試験頻度を第3.8.2表に示す。

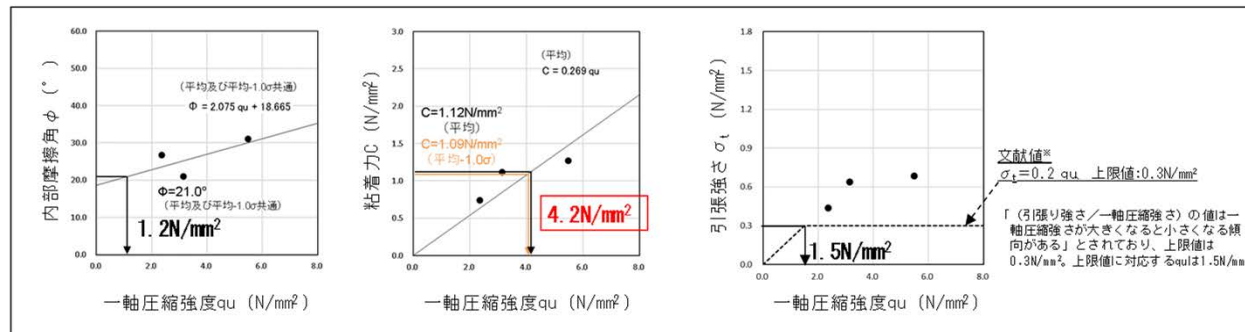
設置許可申請の記載内容について（改良地盤の品質確認 表案(1/2)）

第 3. 8. 1 表 改良地盤の確認項目及び基準値

| 確認項目 | 要求品質 | 必要改良範囲 | | 備考 | | |
|---------|--|--------|---|---|--|----|
| 改良地盤の範囲 | 必要改良範囲が施工されていること | 幅 | 基準位置（東西外壁面）から 7m 以上 | 改良体の配置（ロッド挿入位置）※の確認により、必要改良幅及び必要改良奥行き以上改良されていることを確認する。

※改良体の配置は、詳細設計段階においてロッドを中心とした改良可能範囲や干渉物等の現地状況を踏まえて定める。 | | |
| | | 奥行き | 基準位置（南外壁面）から 27.5m 以上 | | | |
| | | 高さ | <table border="1"> <tr> <td>上端</td> <td>東側 T.P. +23.5m 以上
西側 T.P. +21.5m 以上</td> </tr> <tr> <td>下端</td> <td>東側 T.P. +10.6m 以下
西側 T.P. +10.3m 以下</td> </tr> </table> | 上端 | 東側 T.P. +23.5m 以上
西側 T.P. +21.5m 以上 | 下端 |
| 上端 | 東側 T.P. +23.5m 以上
西側 T.P. +21.5m 以上 | | | | | |
| 下端 | 東側 T.P. +10.6m 以下
西側 T.P. +10.3m 以下 | | | | | |

| 確認項目 | 要求品質 | 基準値 | 備考 |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 改良地盤の強度 | 改良地盤の強度特性（粘着力、内部摩擦角、引張強さ）が確保されていること | 一軸圧縮強度 q_u 4.2N/mm ² 以上 | 強度特性（粘着力、内部摩擦角、引張強さ）と一軸圧縮強度 q_u との相関関係から算出した一軸圧縮強度 q_u 4.2 N/mm ² を基準値として採用し、基準値以上であることを確認する。 |

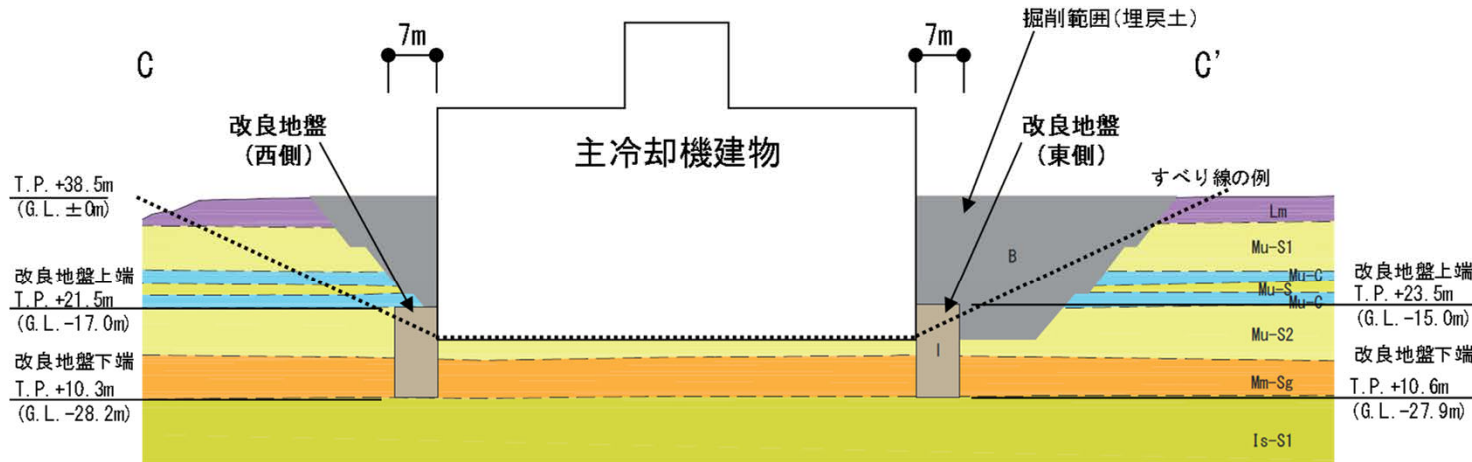
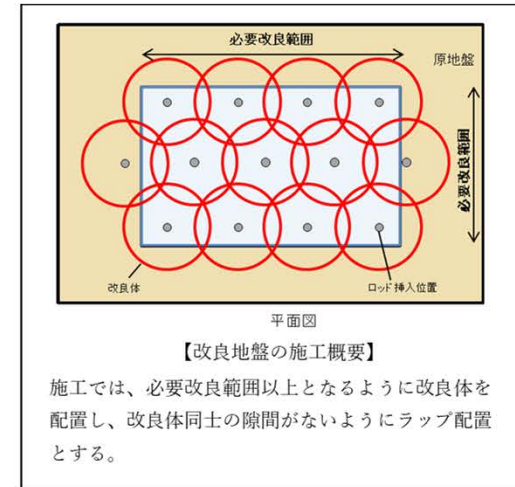
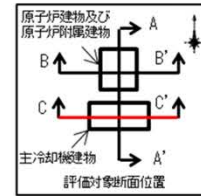
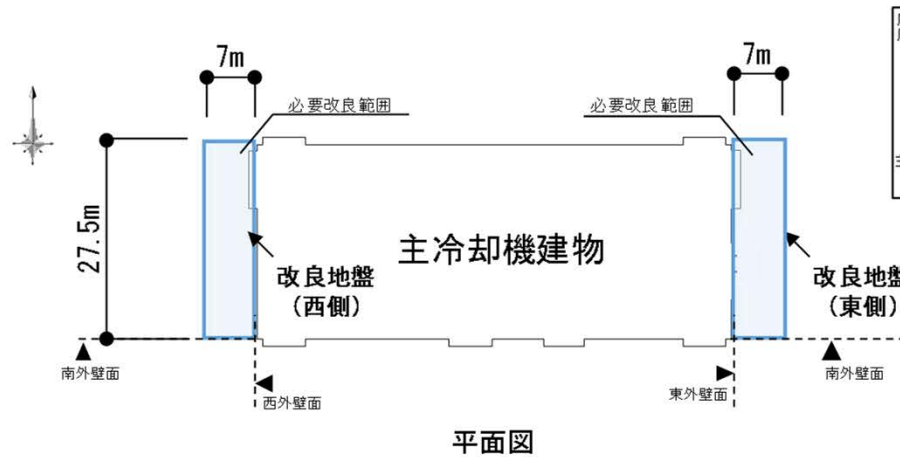


室内配合試験による一軸圧縮強度 q_u と評価に用いる強度特性の相関関係
(内部摩擦角 ϕ 、粘着力 C 、引張強さ σ_t)

第 3.8.2 表 改良地盤の試験頻度

| 基準名称 | 基準における試験頻度の目安 | 設定する試験頻度 |
|--|---|--|
| 2018 年度版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-
(日本建築センター) | 検査対象層（改良範囲内の各土層）に対して、100 本の改良コラムに 1 箇所以上かつ 1 検査対象群に 1 箇所以上。 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 調査箇所は、改良土量が約 5000m³（改良体本数 100 本未満）であることから、東側・西側の改良地盤に対して、各 3 箇所とする。 ・ 試験（一軸圧縮試験）は、改良範囲内の各土層に対して実施する。 |
| 建築基礎設計のための地盤改良設計指針案
(日本建築学会) | 改良体 100 本ごとに 1 本以上。 | |
| 乾式キャスクを用いる使用済燃料中間貯蔵建屋の基礎構造の設計に関する技術規程
(日本電気協会) | 改良体 300 本ごとに 1 本以上。 | |
| 陸上工事における深層混合処理工法 設計施工マニュアル 改訂版
(土木研究センター) | 設計強度ごとに改良体 500 本未満は 3 本×3 深度、500 本以上は 250 本ごとに 1 本追加。 | |
| 港湾・空港における深層混合処理工法技術マニュアル
(沿岸技術研究センター) | 改良土量 10000m ³ ごとに 1 本程度。 | |

設置許可申請の記載内容について（改良地盤の品質確認 図案）



第 3.8.1 図 改良地盤の範囲