

# 伊方発電所3号炉

## 基礎地盤及び周辺斜面の 安定性評価について

本資料のうち、枠囲み [ ] の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。

令和5年2月28日

四国電力株式会社

# 目次

---

1. 評価方針	3
2. 地質の概要	9
3. 解析用物性値	17
4. 評価方法	26
5. 基準地震動	33
6. 原子炉建屋等に関する評価	38
6.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価	40
(1) 断面選定	42
(2) モデルの作成	58
(3) 評価① 基礎地盤のすべり	74
(4) 評価② 基礎の支持力	79
(5) 評価③ 基礎底面の傾斜	82
6.2 周辺地盤の変状による施設への影響評価	85
6.3 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価	90
6.4 周辺斜面の安定性評価	94
(1) 評価断面の選定	96
(2) モデルの作成	121
(3) 評価 周辺斜面のすべり	130
7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価	134
7.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価	137
7.2 周辺地盤の変状および地殻変動による影響評価	142
7.3 周辺斜面の安定性評価	144

# 目次

---

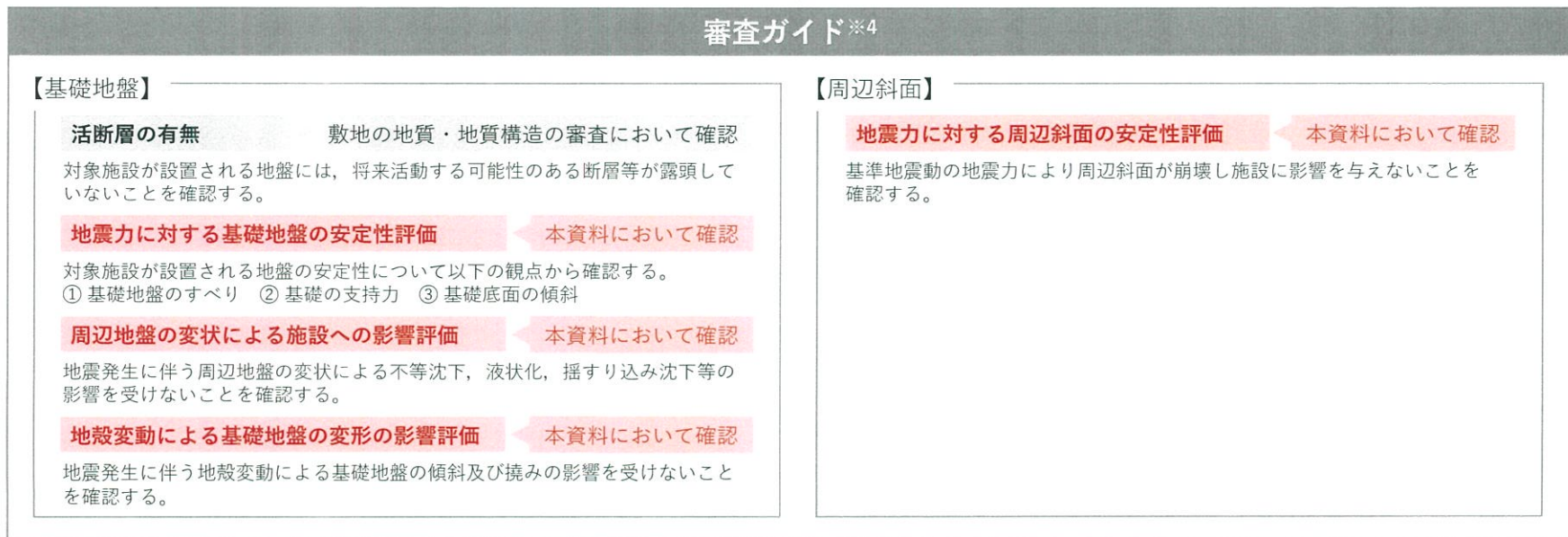
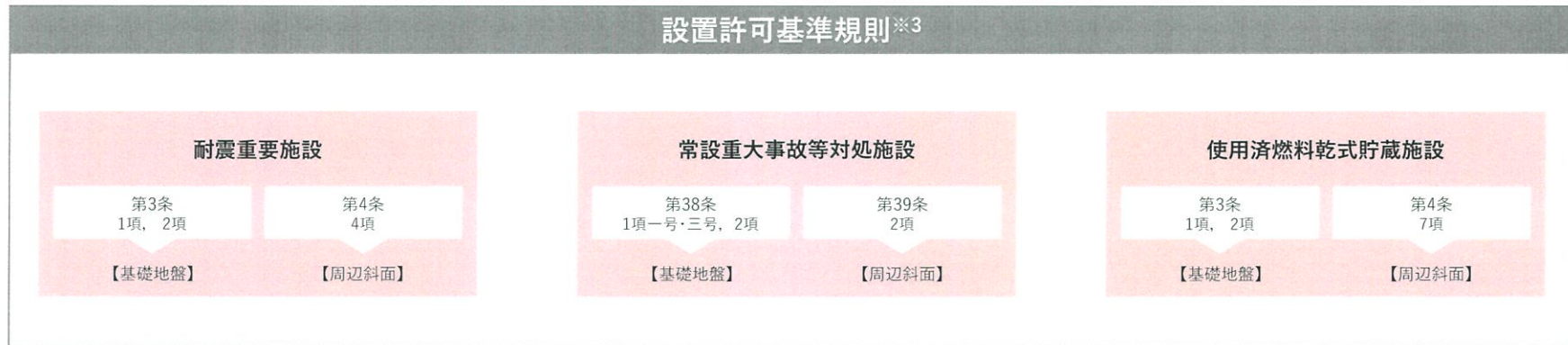
8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価	146
8.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価	149
(1) 断面の選定	149
(2) 解析モデルの作成	159
(3) 評価結果	164
8.2 周辺地盤の変状および地殻変動による影響評価	170
8.3 周辺斜面の安定性評価	173
(1) 断面の選定	173
(2) 解析モデルの作成	182
(3) 評価結果	186
9. まとめ	189

- 
1. 評価方針
  2. 地質の概要
  3. 解析用物性値
  4. 評価方法
  5. 基準地震動
  6. 原子炉建屋等に関する評価
  7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価
  8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価
  9. まとめ



# 評価対象施設の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について

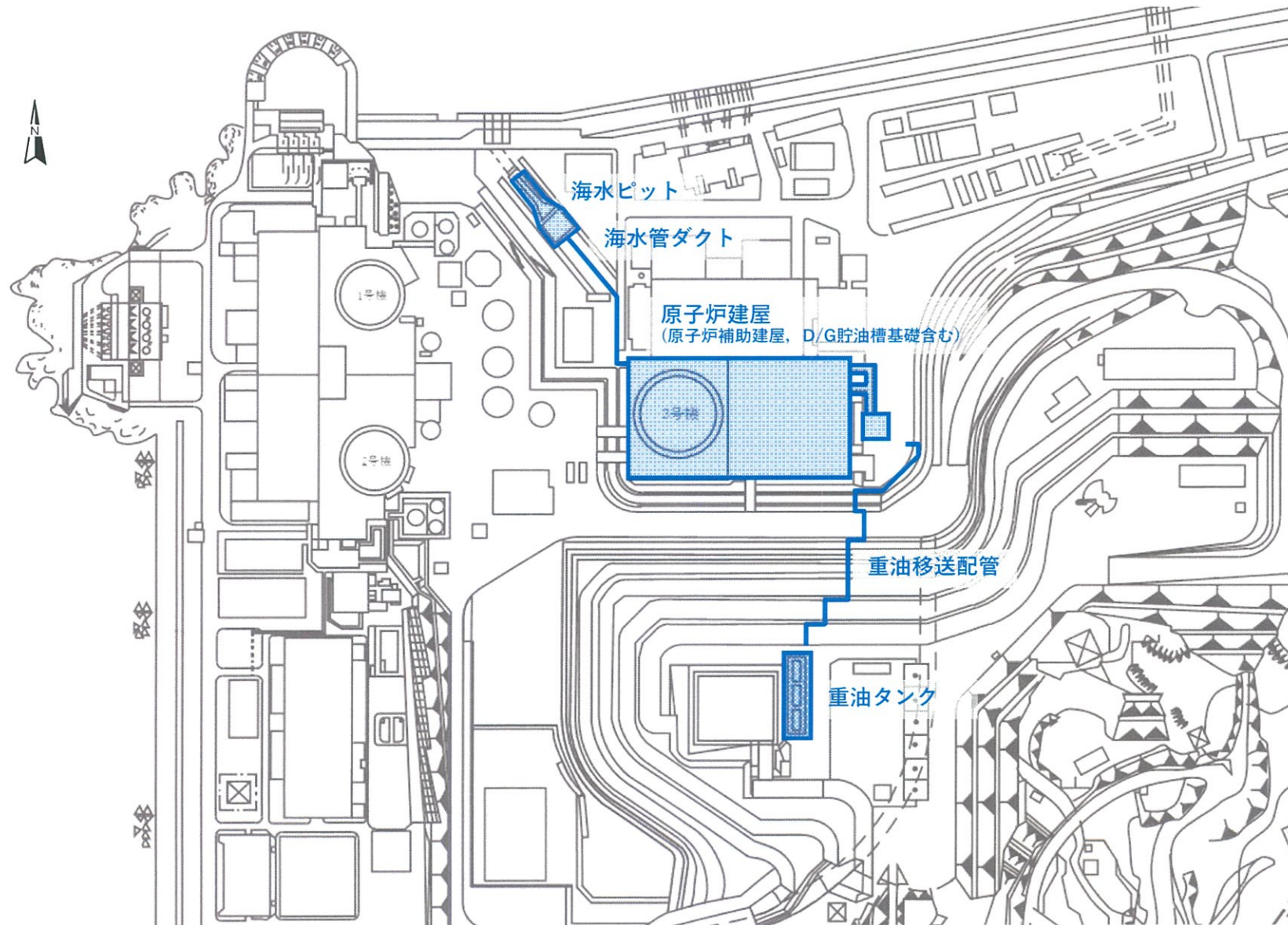
- 耐震重要施設・常設重大事故等対処施設<sup>※1</sup>・使用済燃料乾式貯蔵施設<sup>※2</sup>の基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価について、設置許可基準規則<sup>※3</sup> 第3条・第4条・第38条・第39条に適合していることを審査ガイド<sup>※4</sup>に準拠し確認する。



※1 常設耐震重要重大事故防止設備又は常設重大事故緩和設備が設置される重大事故等対処施設(特定重大事故等対処施設を除く)の総称  
 ※2 兼用キャスクである使用済燃料乾式貯蔵容器を内包する使用済燃料乾式貯蔵建屋を対象  
 ※3 実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則(解釈含む)  
 ※4 原子力発電所敷地内での輸送・貯蔵兼用乾式キャスクによる使用済燃料の貯蔵に関する審査ガイド、基礎地盤及び周辺斜面の安定性評価に係る審査ガイド

# ① 耐震重要施設 配置図

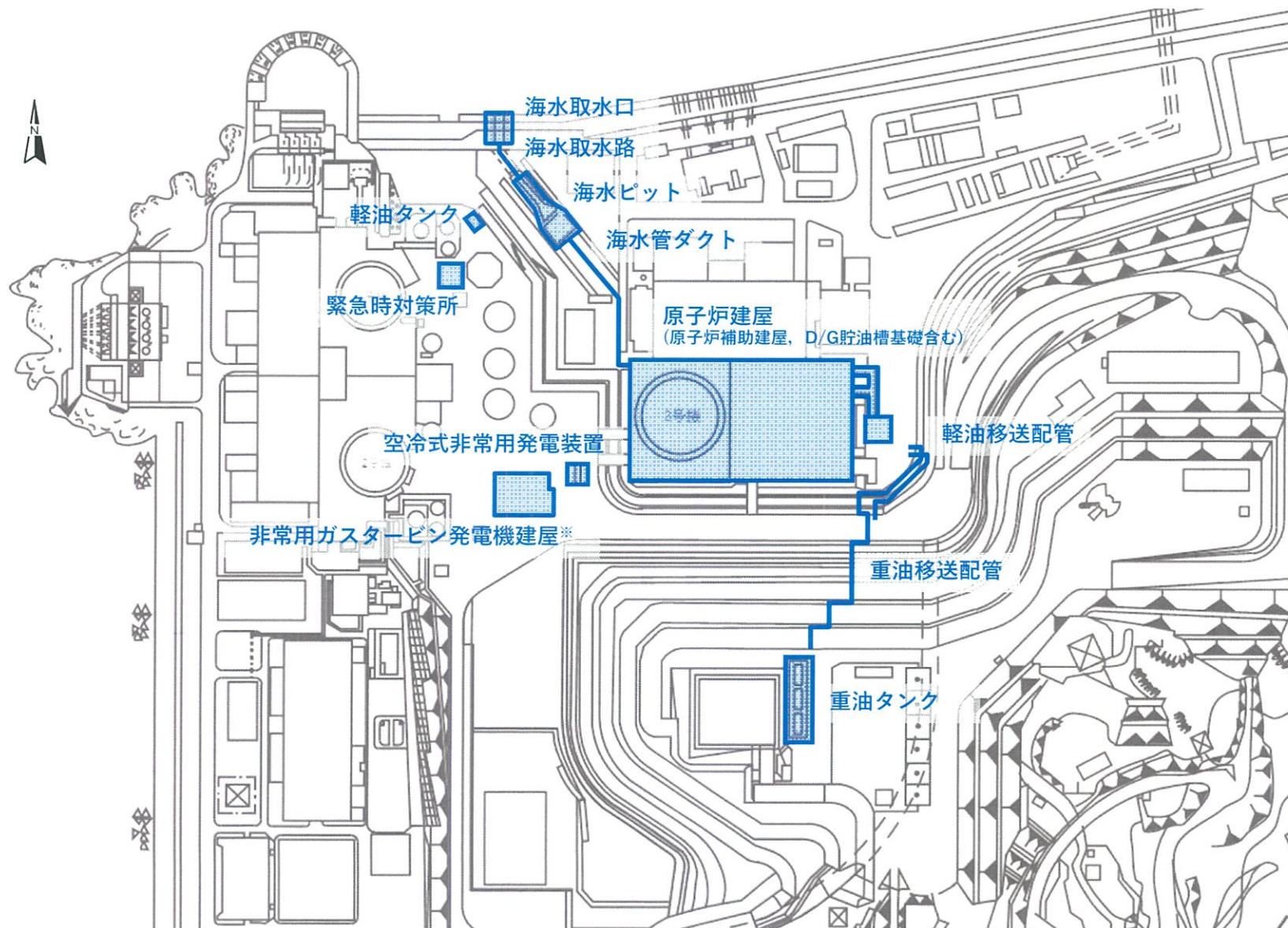
○ 設置許可基準規則3条・4条の対象となる耐震重要施設を以下に示す。





## ② 常設重大事故等対処施設 配置図

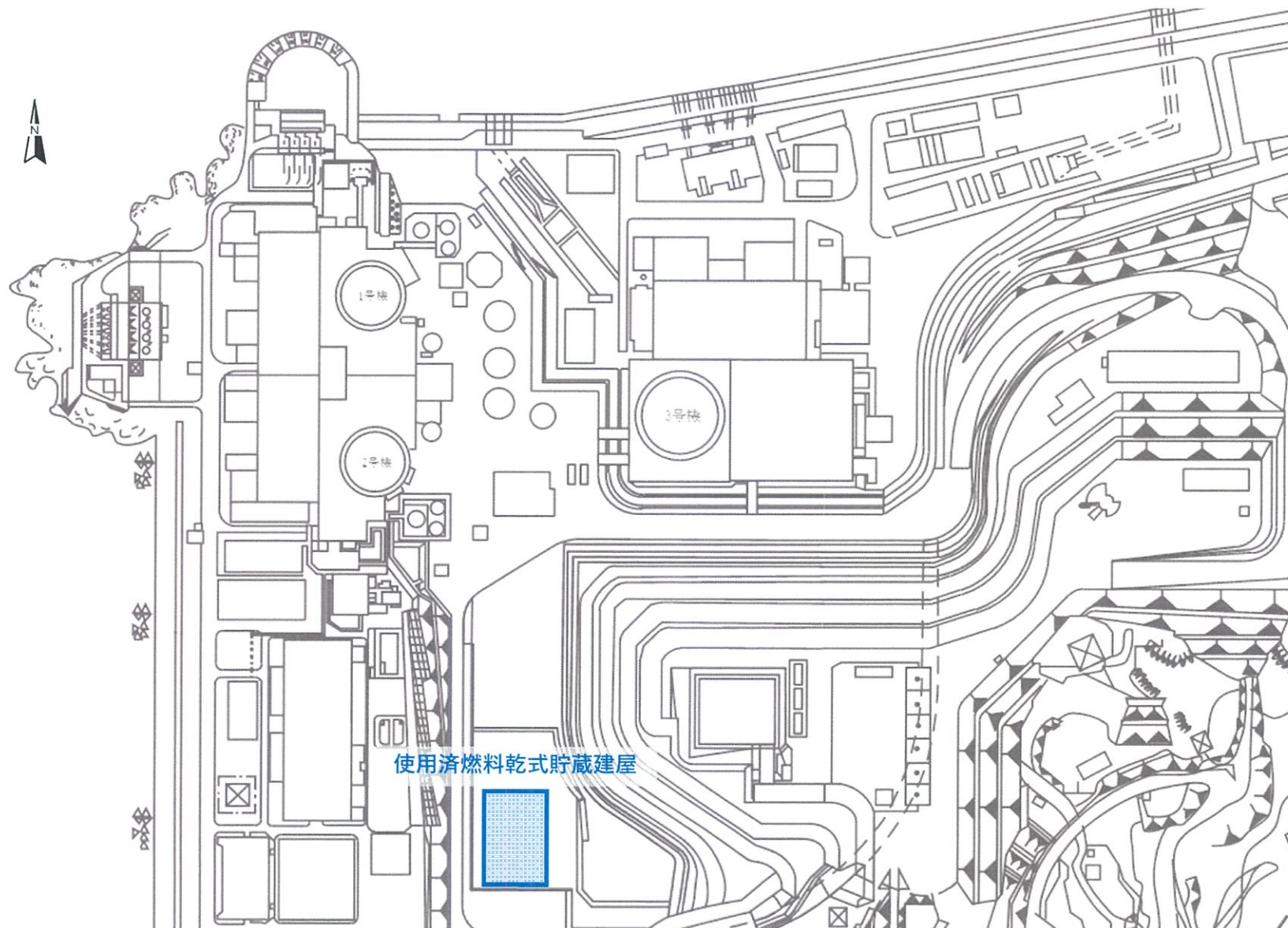
○ 設置許可基準規則38条・39条の対象となる常設重大事故等対処施設を以下に示す。



※ 非常用ガスタービン発電機建屋は、所内常設直流電源設備(3系統目)を内包する。

### ③ 使用済燃料乾式貯蔵施設 配置図

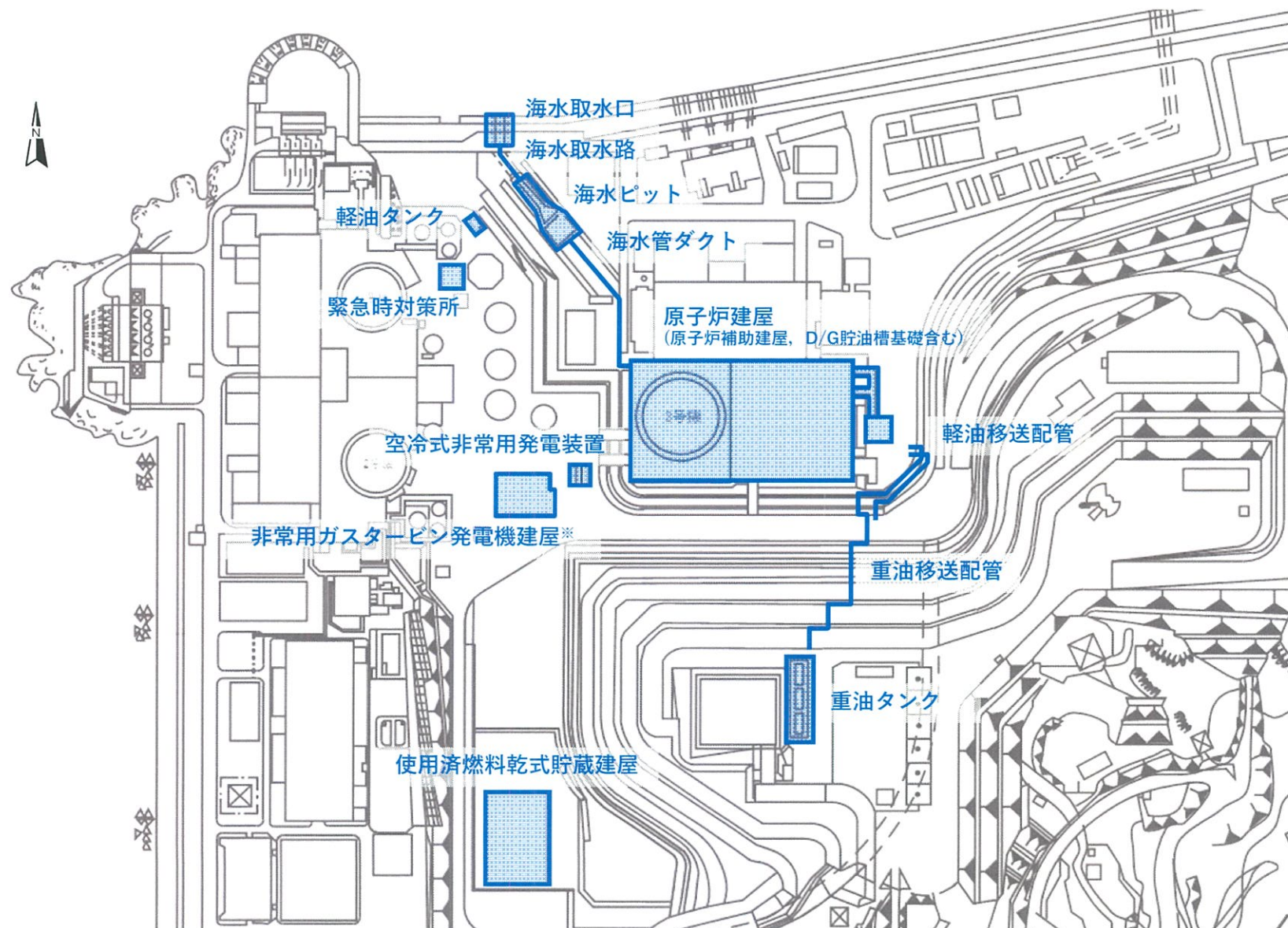
○ 設置許可基準規則3条・4条の対象となる使用済燃料乾式貯蔵施設を以下に示す。





# 評価対象施設(①～③) 配置図

○ 以上を整理し、評価対象施設を以下に示す。



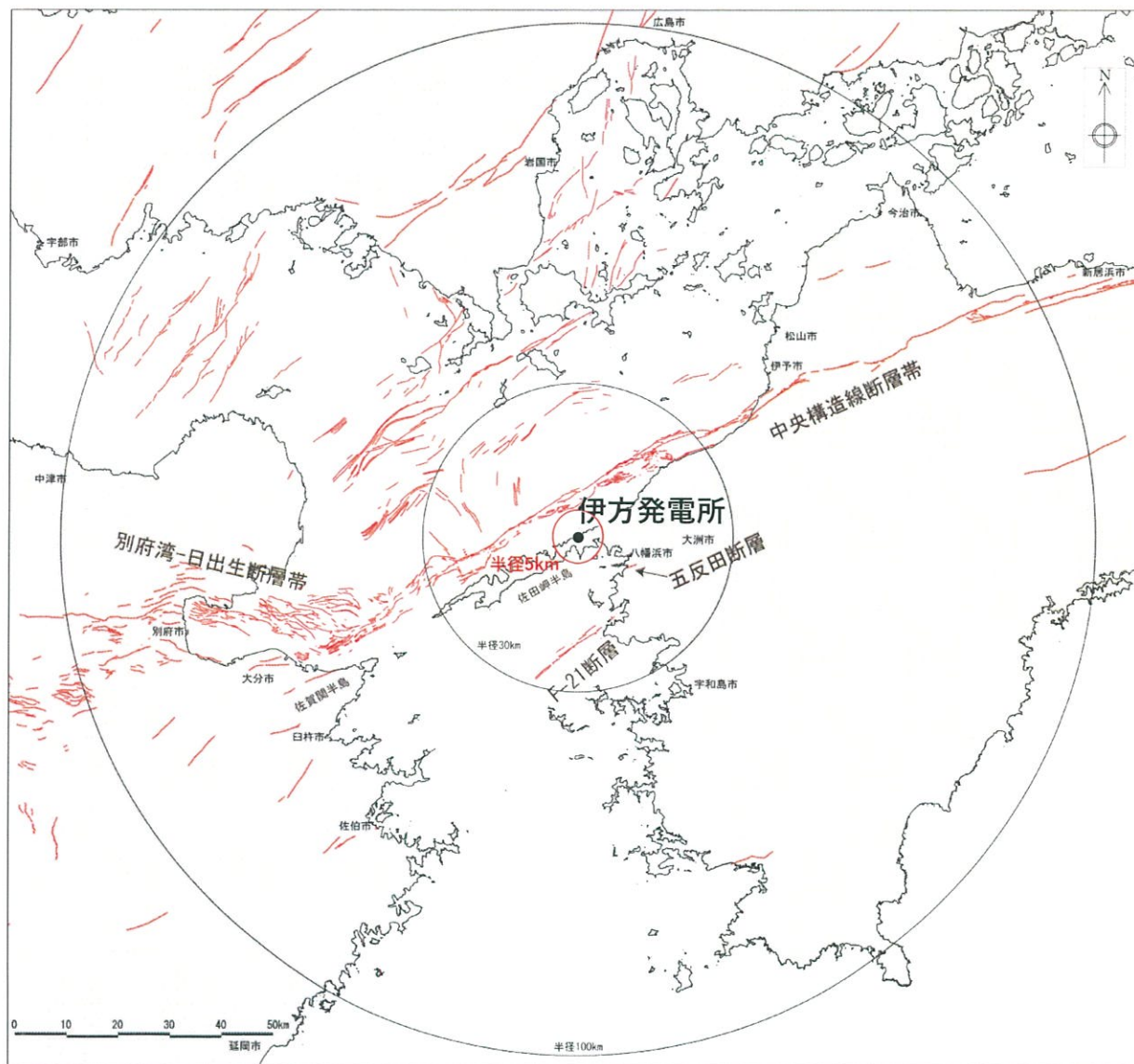
※ 非常用ガスタービン発電機建屋は、所内常設直流電源設備(3系統目)を内包する。



- 
1. 評価方針
  - 2. 地質の概要**
  3. 解析用物性値
  4. 評価方法
  5. 基準地震動
  6. 原子炉建屋等に関する評価
  7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価
  8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価
  9. まとめ

## 敷地周辺の主な活断層分布

○ 敷地内及び敷地近傍(発電所から半径5km)には活断層が分布していないことを確認している。

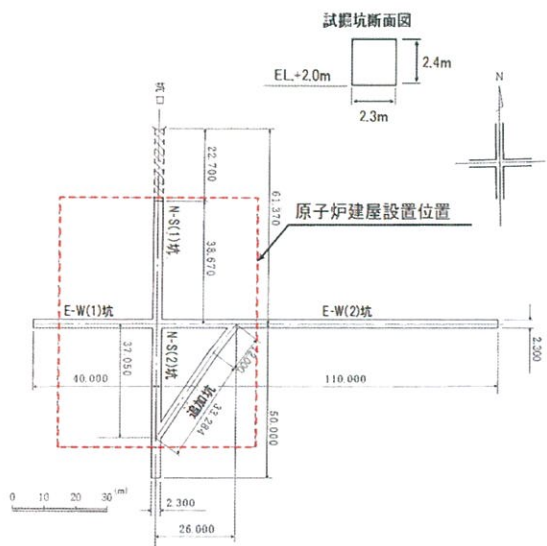


# 敷地における地質調査

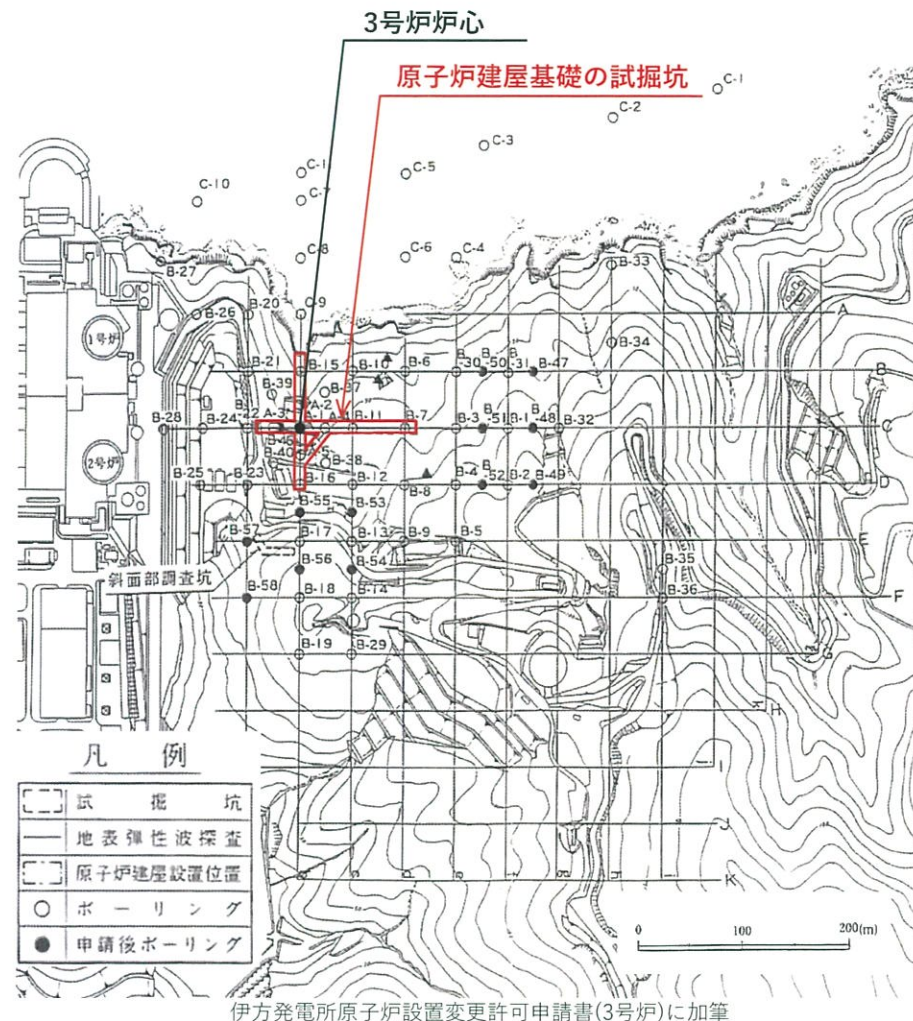
○ 敷地における地質調査としては、伊方発電所原子炉設置変更許可申請時(3号炉)に、地表弾性波探査、ボーリング調査、試掘坑での調査等を実施するなど、敷地の地質・地質構造を把握している。

設置変更許可申請時の主な調査内容

- 【地表弾性波探査】**  
東西方向：11測線、南北方向：12測線
- 【ボーリング調査】**  
ボーリング調査は敷地内50m間隔の格子状  
建屋設置位置では総延長1500m
- 【試掘坑での調査】**  
建屋基礎コンクリート底面高さ(最下部EL.+0.6m)を考慮して  
EL.+2.0mに試掘坑を掘削。本坑約260m(うち斜坑30m含む)  
と追加坑40mの合計約300m



伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆

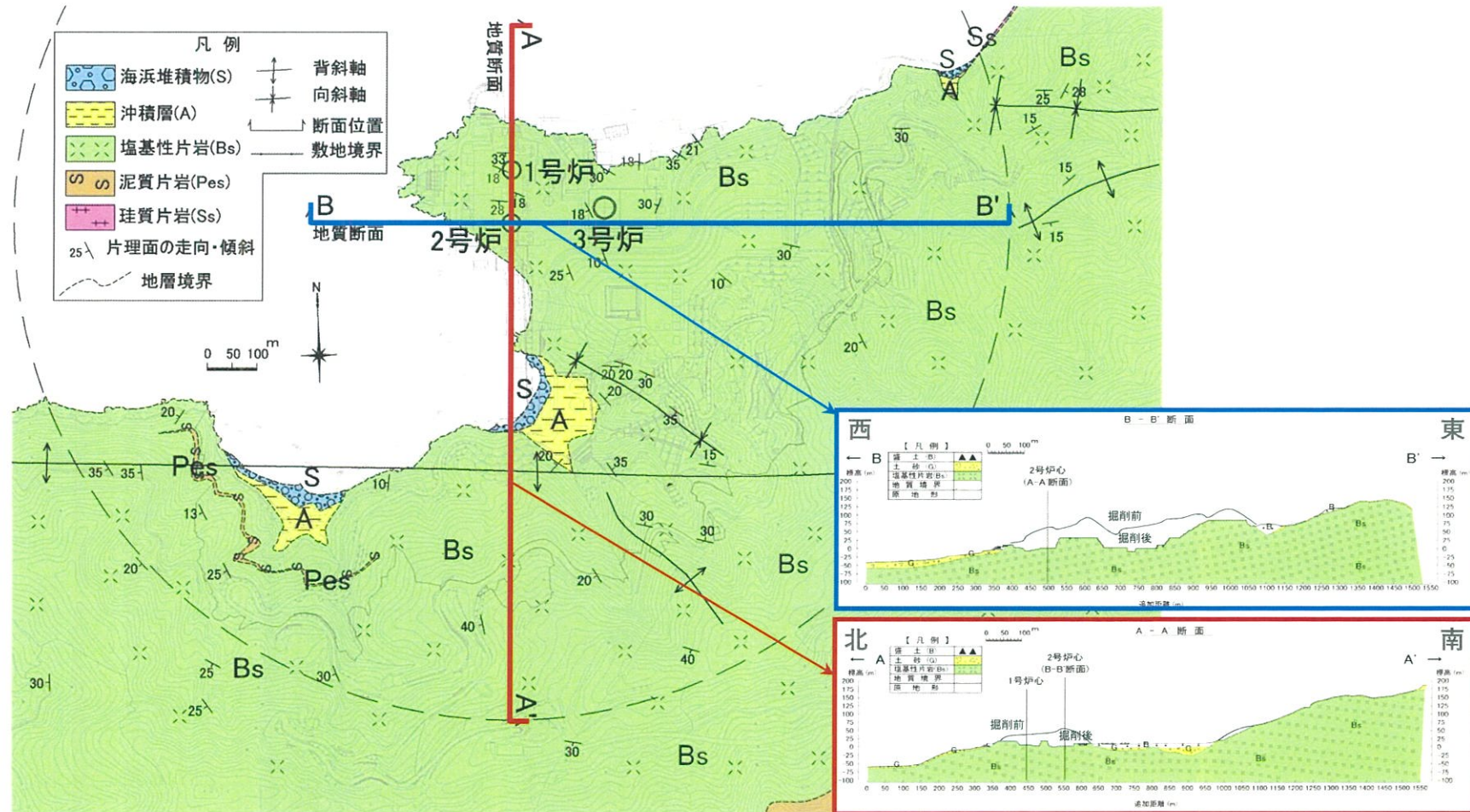


伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉)に加筆



## 敷地・敷地近傍における地質の特徴

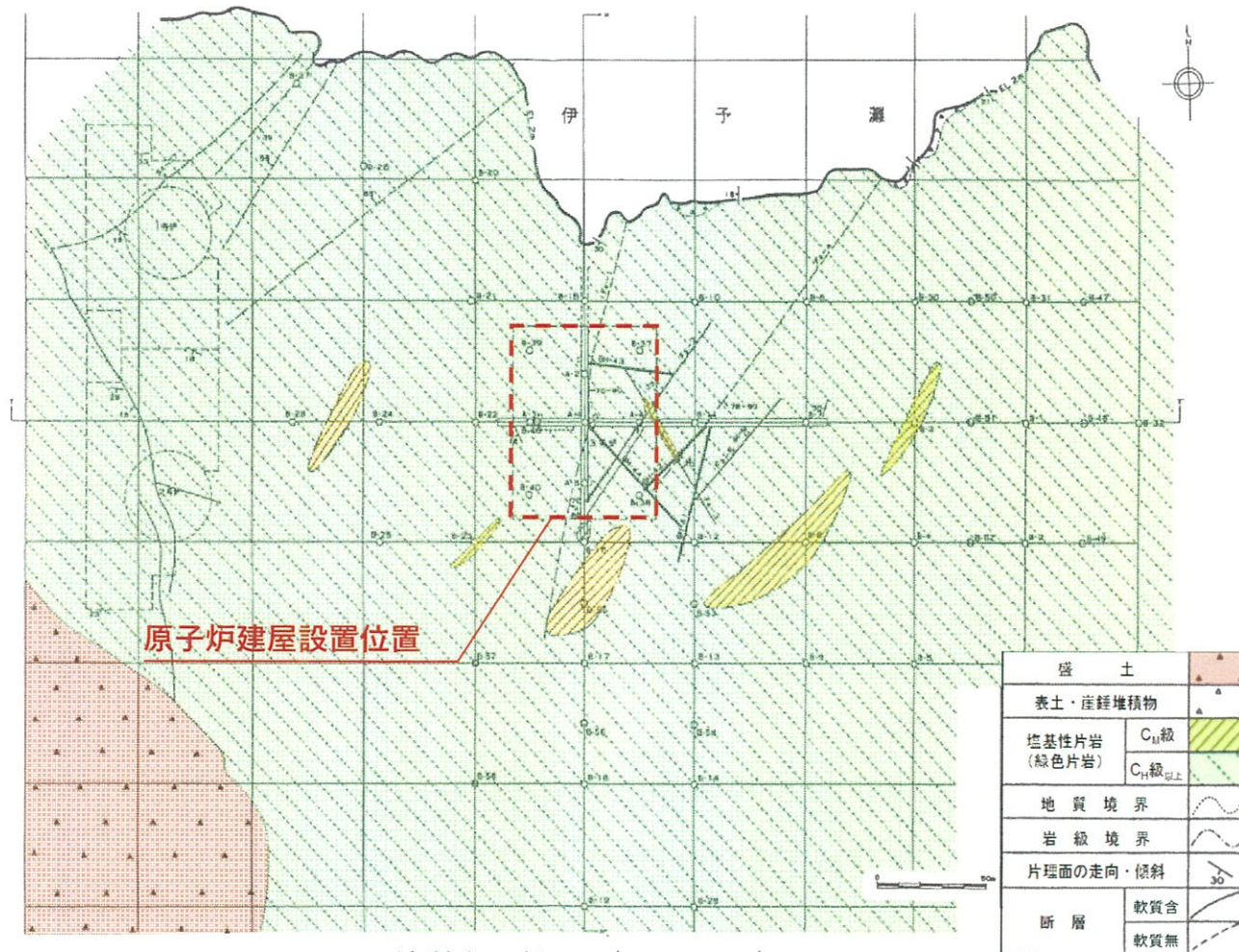
- 伊方発電所の敷地及びその近傍の地盤は、三波川変成岩類のうち、珪質片岩及び泥質片岩の薄層を局所に挟んでいるが、主に塩基性片岩(緑色片岩)からなる。





## 敷地における地質の特徴

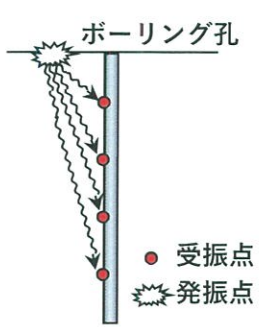
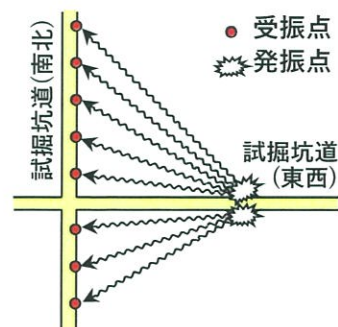
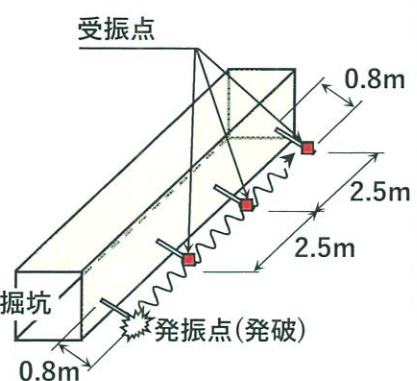
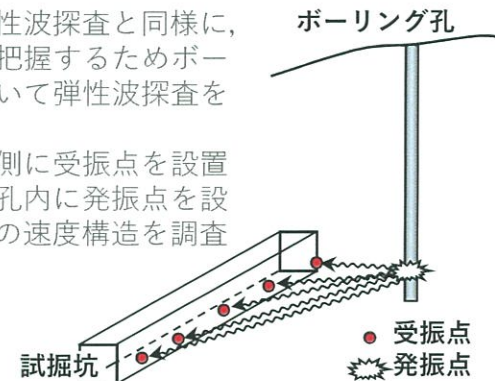
- 原子炉建屋基礎岩盤は、CH級以上の堅硬な塩基性片岩(緑色片岩)で構成されており、片理面を有するものの、塊状かつ堅硬であり剥離性も弱い。
- 片理面の走向はN30° ~40° Wで南西方向に10° ~30° で緩やかに傾斜している。





## 敷地における速度構造

- 敷地のほとんどが塩基性片岩であることから3号炉設置変更許可申請時に試掘坑およびボーリング孔より各種試験を実施し、速度構造について評価を実施している。

<p><b>【PS検層】</b></p> <p>原子炉建屋直下における深さ方向の速度構造を把握するため試掘坑内からのボーリング孔を利用してPS検層(ダウンホール法)を実施。</p> <p>なお、片理面の傾斜は10~30°と緩いことから、ボーリング孔を利用したPS検層では片理面と比較的高角に交差する方向の速度構造の確認ができる。</p> 	<p><b>【試掘坑の坑道間における弾性波探査】</b></p> <p>方向による速度構造の変化を確認するため試掘坑道間における弾性波探査を実施。</p> <p>試掘坑道間における弾性波探査は、南北方向の坑道側壁に受振点を設置し、東西方向の坑道に発振点を設けて試験を実施。</p> 
<p><b>【試掘坑道沿いの弾性波探査】</b></p> <p>平面的な速度構造を把握するため試掘坑道沿いにおいて屈折法により弾性波探査を実施。</p> <p>なお、試掘坑道沿いの弾性波探査では、試掘坑での片理面の傾斜が、10~30°と緩いことから片理面に沿う方向の速度構造を把握することができ</p> 	<p><b>【ボーリング孔と試掘坑道間における弾性波探査】</b></p> <p>試掘坑の坑道間における弾性波探査と同様に、方向による速度構造の変化を把握するためボーリング孔と試掘坑との間において弾性波探査を実施。</p> <p>探査は、南北方向の坑道両側に受振点を設置し、試掘坑周辺のボーリング孔内に発振点を設けてボーリング孔と坑道間との速度構造を調査したもの。</p> 

- 各種試験の結果、 $V_p = 5.3 \sim 5.5 \text{ km/s}$ ,  $V_s = 2.5 \sim 2.7 \text{ km/s}$ である。



## 敷地における断層の特徴

○ 伊方3号炉の原子炉設置位置付近において比較的破碎幅が大きく連続性がある断層はFa-1～Fa-5断層である。

また、3号炉の海水ピット付近にf1～f4断層が分布する。観察および分析等より、これらの断層は将来活動する可能性のある断層等には該当しない。

また、3号炉西方にS<sub>1</sub>断層、S<sub>3</sub>断層が分布するが、その付近に3号炉申請に係る重要施設はなく、変位が施設に影響を及ぼすものではない

### 【断層(軟質無)】

肉眼観察、物理試験、針貫入試験の結果として断層内物質が岩石相当の物性を有して粘土状の軟質部を介在しないと判断できる断層

### 【断層(軟質含)】

上記以外の断層

断層名	走向*・傾斜	破碎幅 粘土幅	fr : cm cl : cm	断層内物質 による区分
Fa-1断層	N5~22° E/67~82° SE	fr : 3~10		軟質無
Fa-2断層	N38° E/25° NW	fr : 3~10, cl : 0.3		軟質含
Fa-3断層	N31° W/50° NE	fr : 5~40 cl : 0.2~4		軟質含
Fa-4断層	N43° E/78~90° SE	fr : 1.5~4 (海岸でfr : 20~30)		軟質無
Fa-5断層	N44° E/54~58° NW	fr : 5~10, cl : 0.4		軟質含
f1断層	N40~54° E/54~77° N	fr : 2~10		軟質無
f2断層	N45° E/39° SE	fr : 5~10		軟質無
f3断層	N36° E/58° NW	fr : 5~20		軟質無
f4断層	N56° E/65° NW	fr : 5~10		軟質無
S <sub>1</sub> 断層	N12° W/38° W	fr : 2~50 cl : 部分的に細かく破碎		軟質含
S <sub>3</sub> 断層	N8° E~35° W/40~50° W	fr : 2~40 cl : 0.5~3		軟質含

※ 磁北での走向を示す

Fa-3断層(軟質含)



※基礎掘削面で平成2年撮影

Fa-4断層(軟質無)

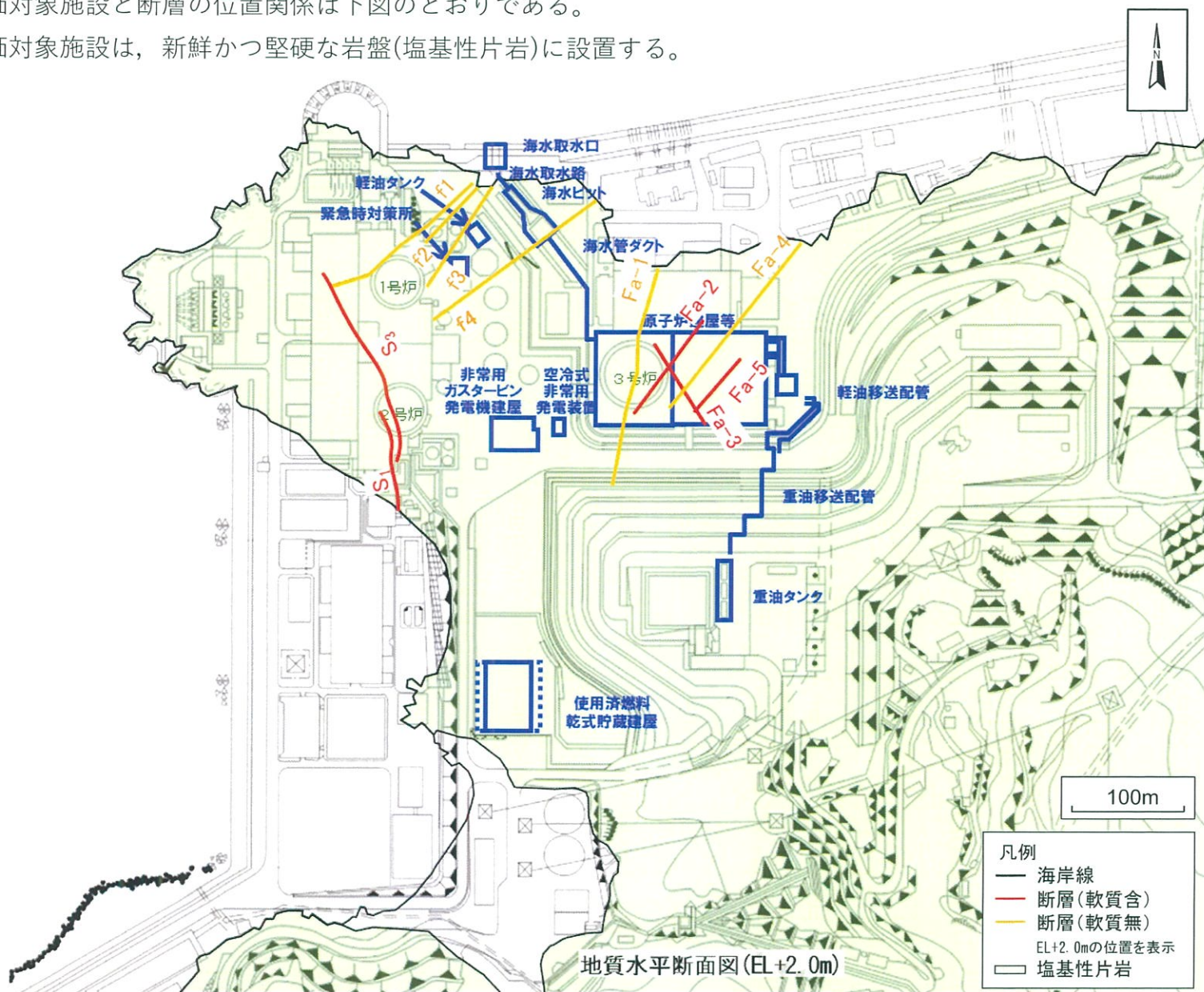


※基礎掘削面で平成2年撮影



## 敷地における断層の特徴

- 評価対象施設と断層の位置関係は下図のとおりである。
- 評価対象施設は、新鮮かつ堅硬な岩盤(塩基性片岩)に設置する。



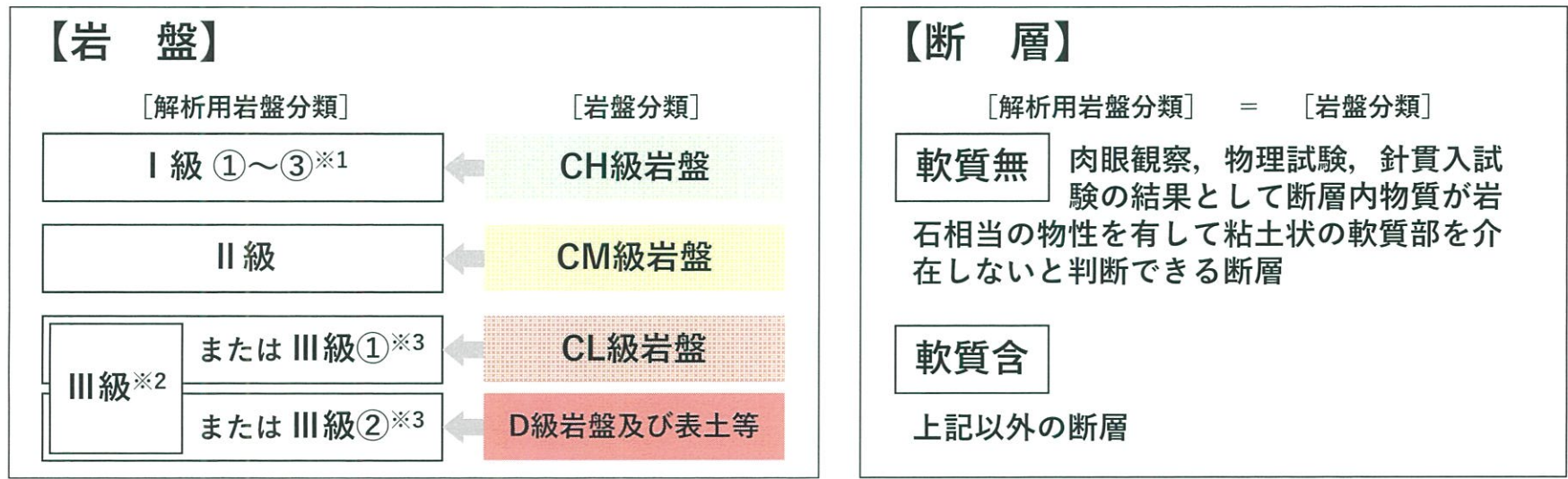
- 
1. 評価方針
  2. 地質の概要
  3. 解析用物性値
  4. 評価方法
  5. 基準地震動
  6. 原子炉建屋等に関する評価
  7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価
  8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価
  9. まとめ

## 解析用岩盤分類について

- 解析用岩盤分類を実施するにあたってはまず、電中研方式の分類法を基本的な考え方とし、これを参考に地質調査結果に基づきCH級、CM級、CL級及びD級岩盤の4段階に岩盤分類を行った。

<添付資料> pp.3-5参照 (I.1. 岩盤分類の考え方)

- 同一の岩盤分類においても、風化の程度、割れ目の状態等によって強度特性、変形特性及び動的特性に幅があることから、工学的分類として以下のとおり解析用岩盤分類に整理した。



※1 工学的観点から動的特性に応じて分類(①Vs=2.7km/s ②Vs=2.3km/s ③Vs=1.7km/s)

※2 III級：表土の物性を適用

※3 III級①, ②：評価対象の基礎地盤・斜面に対して、地震時安定性に直接影響する範囲にCL級岩盤並びにD級岩盤及び表土等が分布する場合は、より精緻な物性値として各々CL級岩盤の物性並びに非線形性を考慮した表土の物性を適用



# 解析用物性値

○ 解析用岩盤分類に応じた解析用物性値の設定の考え方を下表に示す。

CH級岩盤	CM級岩盤	CL級岩盤	非線形性を考慮した表土	表土	断層(軟質無)	断層(軟質含)
-------	-------	-------	-------------	----	---------	---------

項目	岩盤					断層	
	I級	II級	III級①	III級②	III級	軟質無	軟質含
単位体積重量	CH級岩盤の岩石供試体による物理試験結果	CM級岩盤の岩石供試体による物理試験結果	CL級岩盤の岩石供試体による物理試験結果	表土の物理試験結果		断層(軟質無)の物理試験結果	断層(軟質含)の物理試験結果
せん断強度	CH級岩盤の岩盤せん断試験結果	CM級岩盤の岩石試験および原位置岩盤せん断試験より総合評価して設定	CL級岩盤の三軸圧縮試験結果	表土の三軸圧縮試験結果		断層(軟質無)の静的ねじりせん断試験結果	断層(軟質含)の原位置断層せん断試験結果
内部摩擦角							
残留強度	CH級岩盤の岩盤せん断試験結果	同上( $\phi$ 成分のみ)	同上( $\phi$ 成分のみ)	同上( $\phi$ 成分のみ)		同上( $\phi$ 成分のみ)	同上( $\phi$ 成分のみ)
静弾性係数	CH級岩盤の平板載荷試験結果	CM級岩盤の孔内水平載荷試験と平板載荷試験より総合評価して設定	CL級岩盤の孔内水平載荷試験と平板載荷試験より総合評価して設定	表土の三軸圧縮試験結果		断層(軟質無)の静的ねじりせん断試験結果	断層(軟質含)の静的ねじりせん断試験結果
静的ポアソン比	CH級岩盤の岩石供試体による一軸圧縮試験結果	CM級岩盤の岩石供試体による一軸圧縮試験結果	II級岩盤の試験結果を流用	表土の三軸圧縮試験結果		II級岩盤の静的/動的の比率から算定	表土の試験結果を流用
動弾性係数	CH級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	CM級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	CL級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	表土の振動三軸試験結果	表土のPS検層等より算定	動的ねじりせん断試験より算定	動的ねじりせん断試験より算定
動的ポアソン比	CH級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	CM級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	CL級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	静的ポアソン比と同じ値を設定		II級とIII級の間値を設定	静的ポアソン比と同じ値を設定
減衰定数	CH級岩盤の弾性波探査, PS検層等より算定	一般的な値を設定	一般的な値を設定	表土の振動三軸試験結果	一般的な値を設定	動的ねじりせん断試験より算定	動的ねじりせん断試験より算定

< 添付資料 > pp.6-64参照 (II. 解析用物性値の設定根拠)

## 解析用物性値

○ 解析用岩盤分類に応じた解析用物性値を下表に示す。

	CH級岩盤		CM級岩盤		CL級岩盤		非線形性を考慮した表土		表土		断層(軟質無)		断層(軟質含)	
	岩盤			断層										
	I 級			II 級	III 級①	III 級②	III 級	軟質無	軟質含					
	①	②	③											
単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	29.4			27.5	25.5	18.6		26.5	19.6					
せん断強度 (kN/m <sup>2</sup> )	981			490	130	39		324	78					
内部摩擦角 (°)	50			41	23	17		34	24					
残留強度 (kN/m <sup>2</sup> )	$\tau = 569 + \sigma \tan 43^\circ$			$\tau = \sigma \tan 41^\circ$	$\tau = \sigma \tan 23^\circ$	$\tau = \sigma \tan 17^\circ$		$\tau = \sigma \tan 34^\circ$	$\tau = \sigma \tan 24^\circ$					
静弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> )	$3.63 \times 10^6$			$1.18 \times 10^6$	$0.49 \times 10^6$	$0.0392 \times 10^6$		$27000(\sigma_v)^{0.34}$	$1750(\sigma_v)^{0.60}$					
静的ポアソン比	0.29			0.32	0.32	0.45		0.36	0.45					
動弾性係数 ( $\times 10^6$ kN/m <sup>2</sup> )	58.8 <sup>*1</sup>	42.2 <sup>*2</sup>	23.5 <sup>*3</sup>	10.8	3.51	$G_d/G_0^{*4} = 1/(1+10.4\gamma^{0.787})$ $G_0 = 43900$ (kN/m <sup>2</sup> )		0.127	$G_d/G_0^{*4} = -0.33 \log \gamma - 0.58$ $G_0 = 294000$ (kN/m <sup>2</sup> )		$G_d/G_0^{*4} = -0.40 \log \gamma - 0.60$ $G_0 = 4130(\sigma_v)^{0.53}$ (kN/m <sup>2</sup> )			
動的ポアソン比	0.34			0.36	0.38	0.45		0.40	0.45					
減衰定数	2.0 (%)			3.0 (%)	3.0 (%)	$h = 1/\{0.062 + (3.90 \times 10^{-3}/\gamma)\} + 1.3$		10.0 (%)	$h = 0.08 \log \gamma + 0.36$ ( $\gamma > 10^{-4}$ )		$h = 0.17 \log \gamma + 0.58$ ( $\gamma \geq 10^{-3}$ ) $h = 0.017 \log \gamma + 0.09$ ( $\gamma < 10^{-3}$ )			

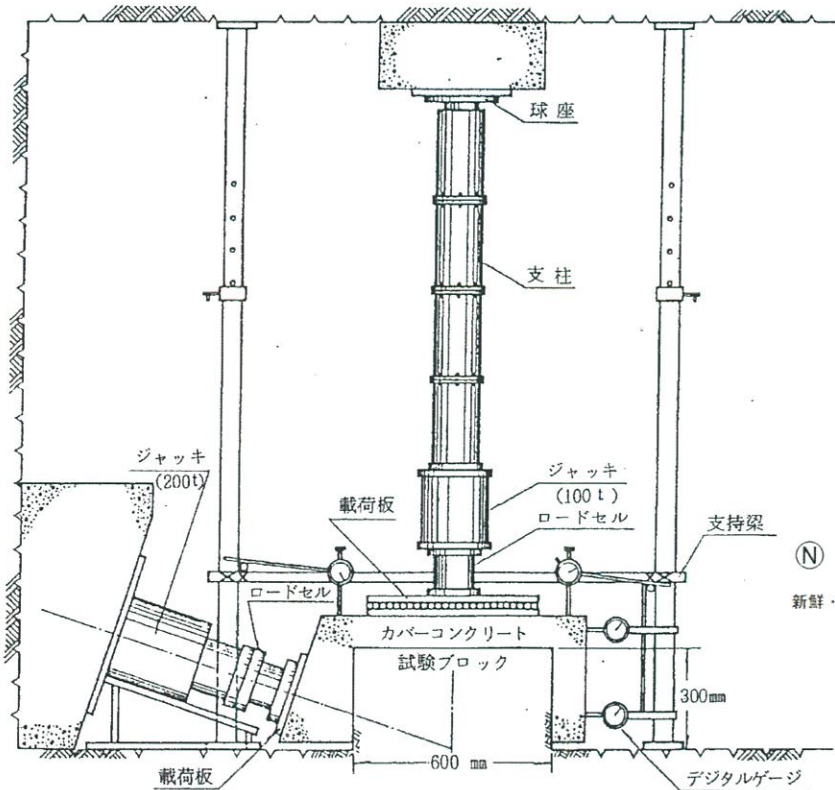
\*1 Vs=2.7km/s \*2 Vs=2.3km/s \*3 Vs=1.7km/s \*4 動せん断弾性係数



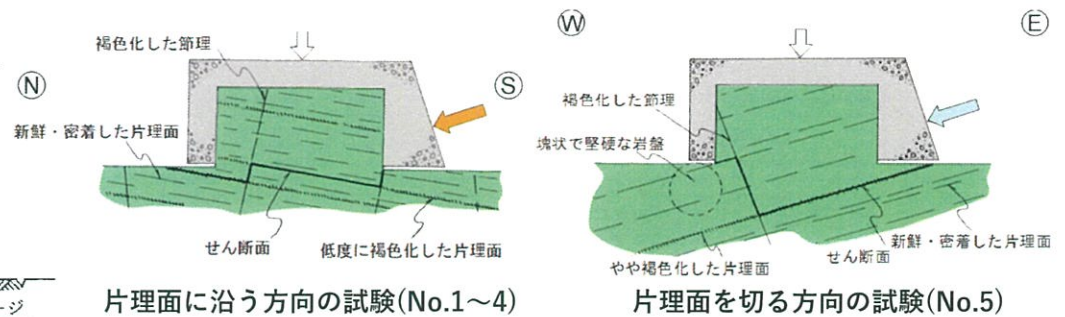
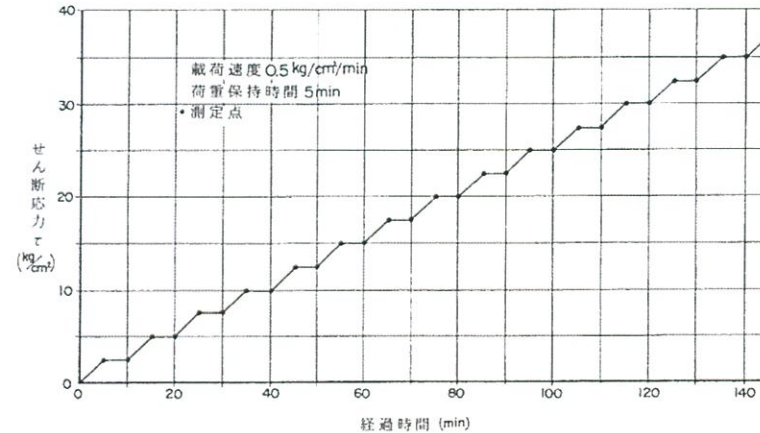
# (参考)原位置試験の例：原位置岩盤せん断試験

3号炉の基礎岩盤の強度特性を把握するために、CH級岩盤を対象に原位置せん断試験を実施した。  
試験は、試掘坑内の5箇所での位置で実施した。岩盤を幅60cm、長さ60cm、高さ30cmのブロックに切り出し、片理面による異方性を考慮し、片理面に沿う方向(南→北)の試験(No.1~4)と片理面を一部切る方向(東→西)の試験(No.5)を実施した。

原位置せん断試験装置



載荷パターン

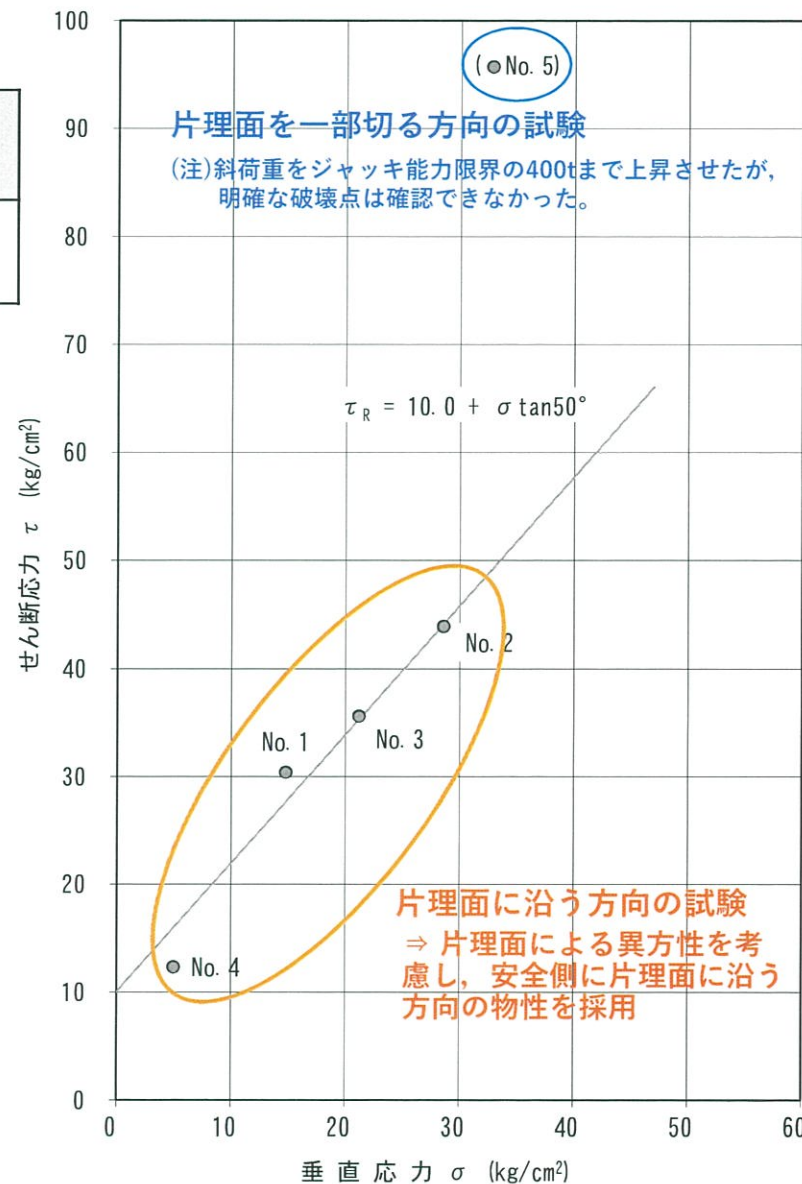
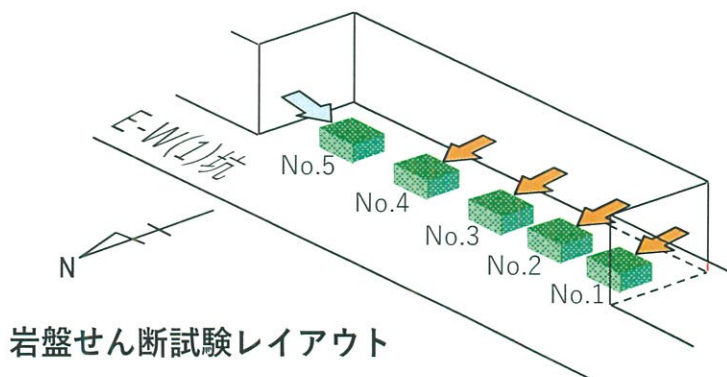
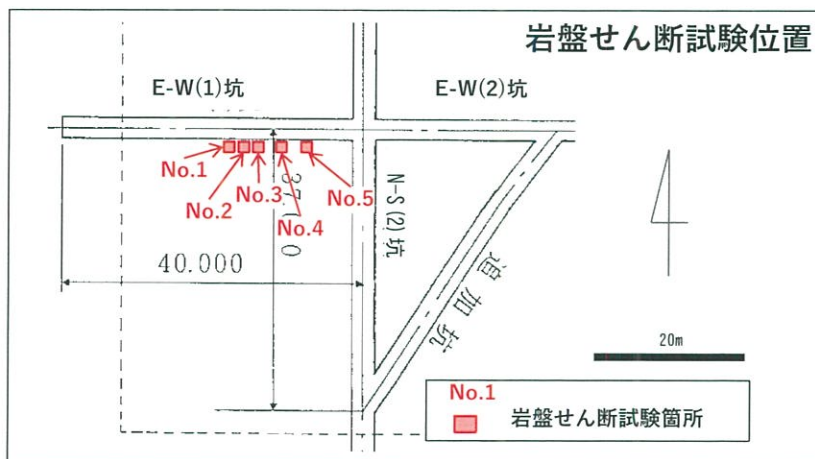


伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉増設)より抜粋・一部加筆

# (参考)原位置試験の例：原位置岩盤せん断試験

## 原位置せん断試験結果(CH級岩盤)

岩級	項目	せん断強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 (°)
CH級		10	50

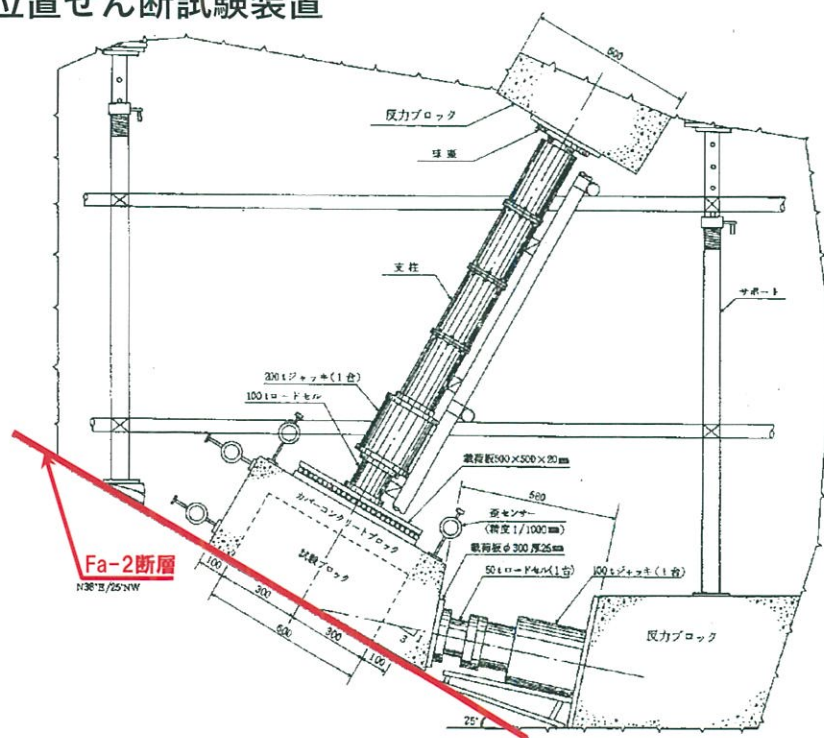




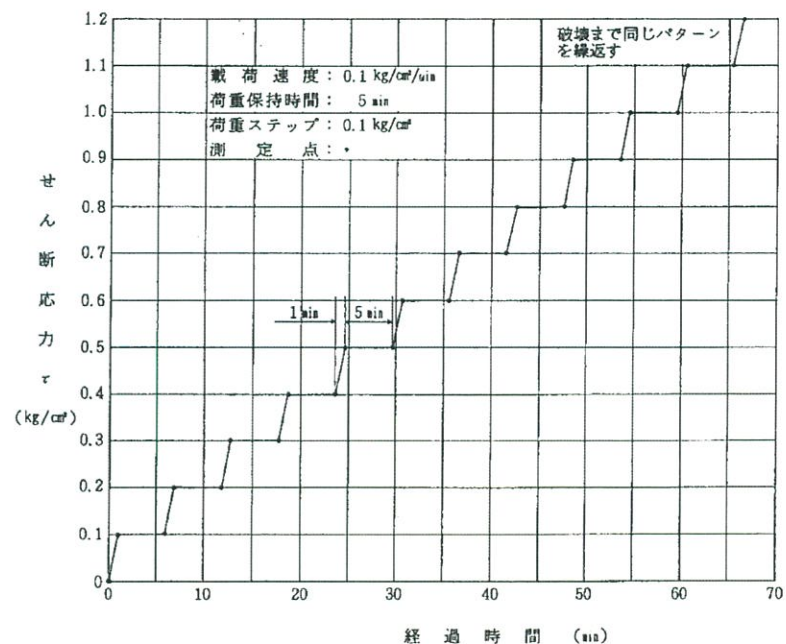
## (参考)原位置試験の例：原位置断層せん断試験

断層内物質の強度特性を把握するために、Fa-2断層(軟質含)を対象に原位置せん断試験を実施した。  
試験は、試掘坑内の5箇所の位置で実施した。Fa-2断層は、破碎幅数cm~10cmと小規模であるため、試験は断層上部の岩盤を幅60cm、長さ60cm、高さ30~50cmのブロックに切り出し、せん断面と断層面が一致するように整形して、断層面の下から上へ载荷して行った。

原位置せん断試験装置



载荷パターン

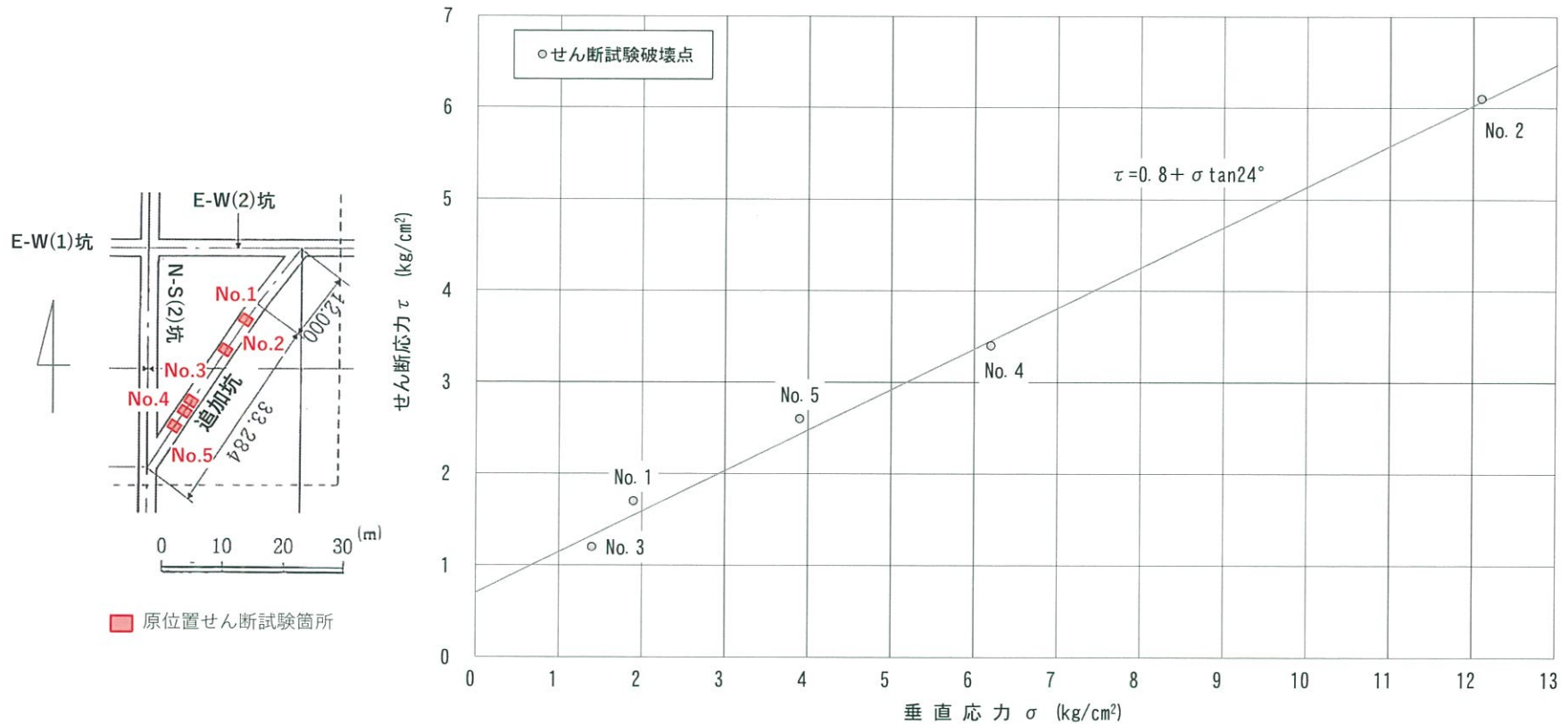




# (参考)原位置試験の例：原位置断層せん断試験

## 原位置せん断試験結果(Fa-2断層)

断層 \ 項目	せん断強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	内部摩擦角 (°)
Fa-2 (軟質含)	0.8	24



伊方発電所原子炉設置変更許可申請書(3号炉増設)より抜粋・一部加筆

## 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 JEAG4601-2008 (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および周辺斜面の安定性評価技術 (土木学会, 2009)

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

- ・ 地盤物性値を $\pm 10\%$ して算定したすべり安全率の差は、せん断強度等の抵抗力に係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 $\pm$ 係数 $\times$ 標準偏差」による確率論的手法による地盤物性のばらつきの評価では、地盤物性値がばらついても「代表値 $-1.0 \times$ 標準偏差」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。

- 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、地盤物性のうち強度特性に関するばらつきについて考慮する。

- 伊方発電所敷地の岩盤は、片理面を有する塩基性片岩で構成されており、本章及び<添付資料>に示したとおり、片理面と載荷方向を考慮した上で、強度の下限を示すと考えられる「片理面に沿う方向」に載荷した場合の原位置試験の結果に基づき、強度特性を設定している。したがって、設定している強度特性は、安全側にばらつきを考慮したものとなっている。
- また、断層等の非岩盤物性(断層(軟質無), 断層(軟質含), III級, III級②)については、試験結果をもとに標準偏差 $\sigma$ を求め、**強度特性を $1\sigma$ 低減させた物性値**ですべり安全率を算出し、結果に影響を与えないことを確認している。

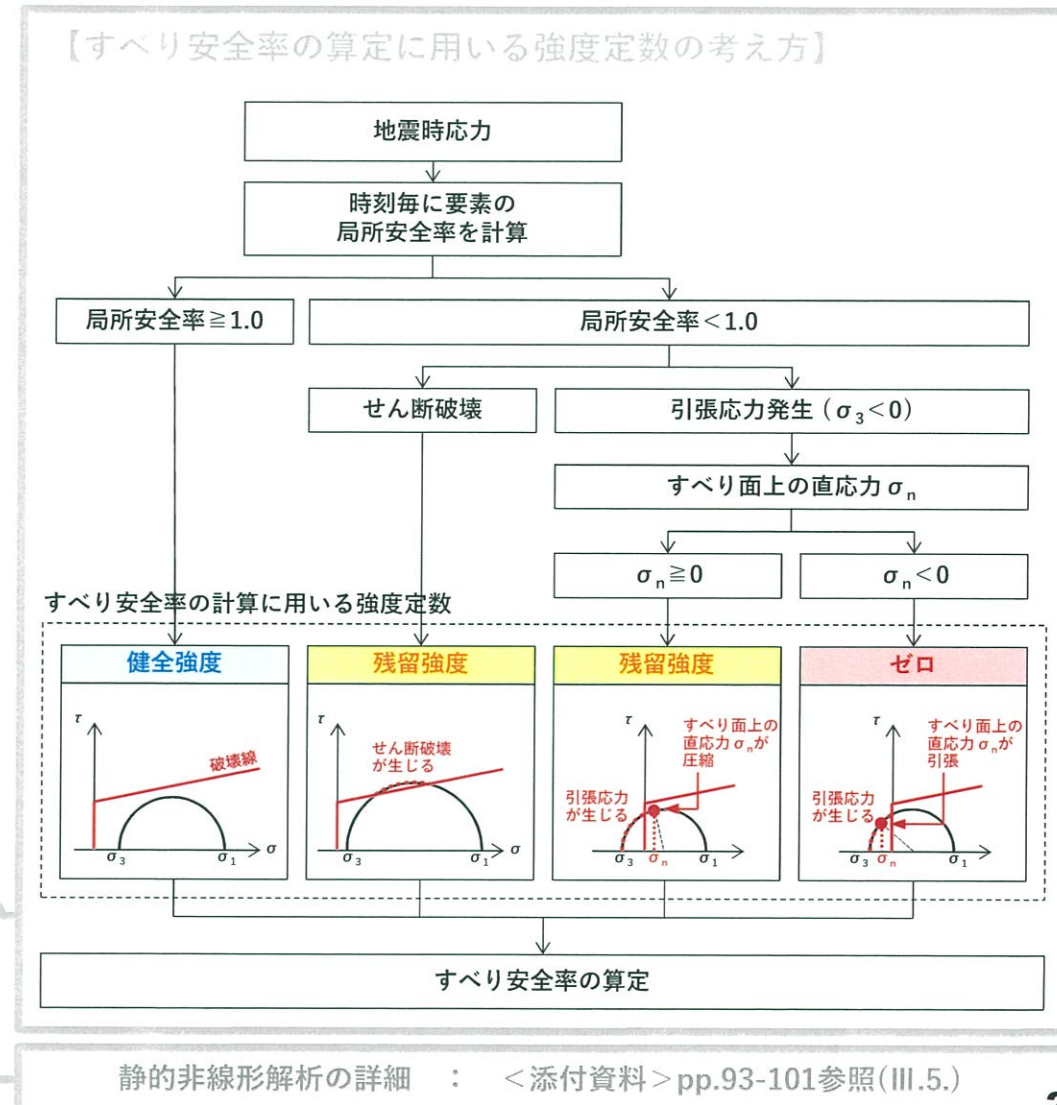
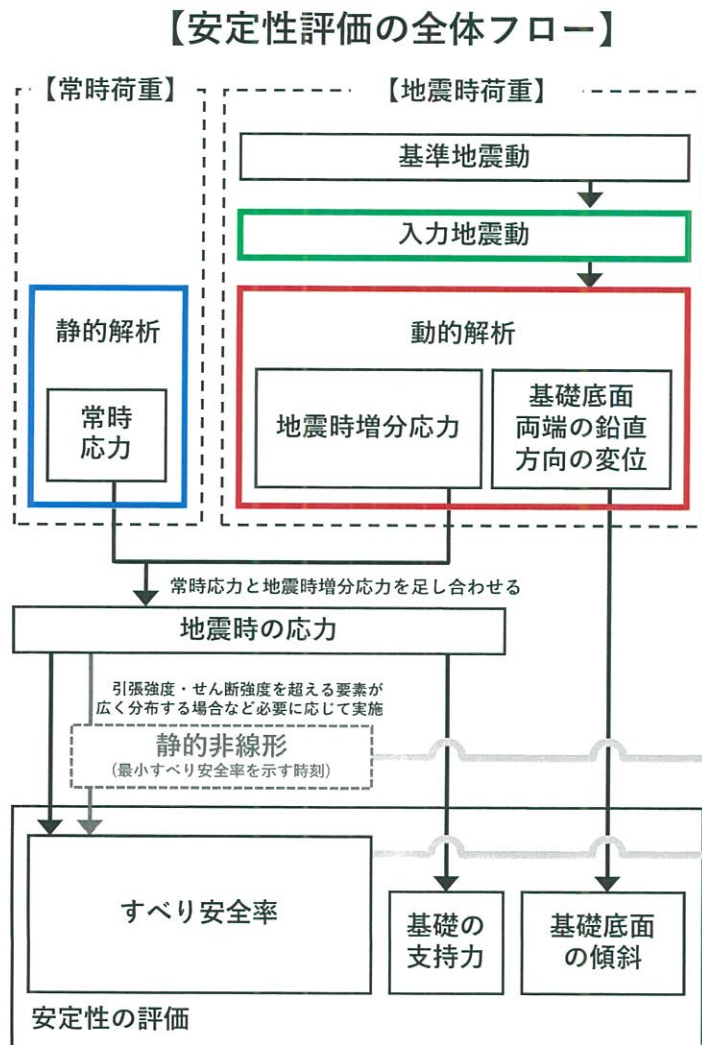
<添付資料> pp.102-107参照 (III.6. 断層等の非岩盤物性における強度のばらつきに関する検討)



- 
1. 評価方針
  2. 地質の概要
  3. 解析用物性値
  - 4. 評価方法**
  5. 基準地震動
  6. 原子炉建屋等に関する評価
  7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価
  8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価
  9. まとめ

# 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

- 下図に示す地盤の動的解析(周波数応答解析)により評価を実施する。動的解析は二次元動的有限要素法により実施し、水平動及び鉛直動を同時入力する。また、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を必要に応じて考慮する。





## 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

### 【基礎地盤のすべり】

- 想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。

$$\text{すべり安全率} = \frac{\Sigma(\text{すべり面上のせん断抵抗力})}{\Sigma(\text{すべり面上のせん断力})}$$

- すべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認する。
- すべり面は、簡便法によるすべり、応力状態を考慮したすべり、断層沿いのすべり等を想定する。

<添付資料> pp.67-74参照 (Ⅲ.1. すべり面設定の考え方)

### 【基礎の支持力】

- 基礎底面の地震時最大接地圧が、評価基準値7.84N/mm<sup>2</sup>を超えないことを確認する。

※ CH級・CM級岩盤の極限支持力は、平板載荷試験結果において、載荷強さ7.84N/mm<sup>2</sup>までの範囲では破壊に至らず、変曲点も認められないことから、7.84N/mm<sup>2</sup>以上であると評価する。

<添付資料> pp.65-66参照 (Ⅱ.6. 支持力の評価基準値)

### 【基礎底面の傾斜】

- 基礎底面の両端それぞれの鉛直方向の変位の差を基礎底面幅で除して傾斜を求め、評価基準値の目安(1/2,000)を超えないことを確認する。

## 周辺地盤の変状および地殻変動による影響評価

---

### 【周辺地盤の変状による施設への影響評価】

- 各施設の接地状況を踏まえ、不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等の影響が生じないことを確認する。

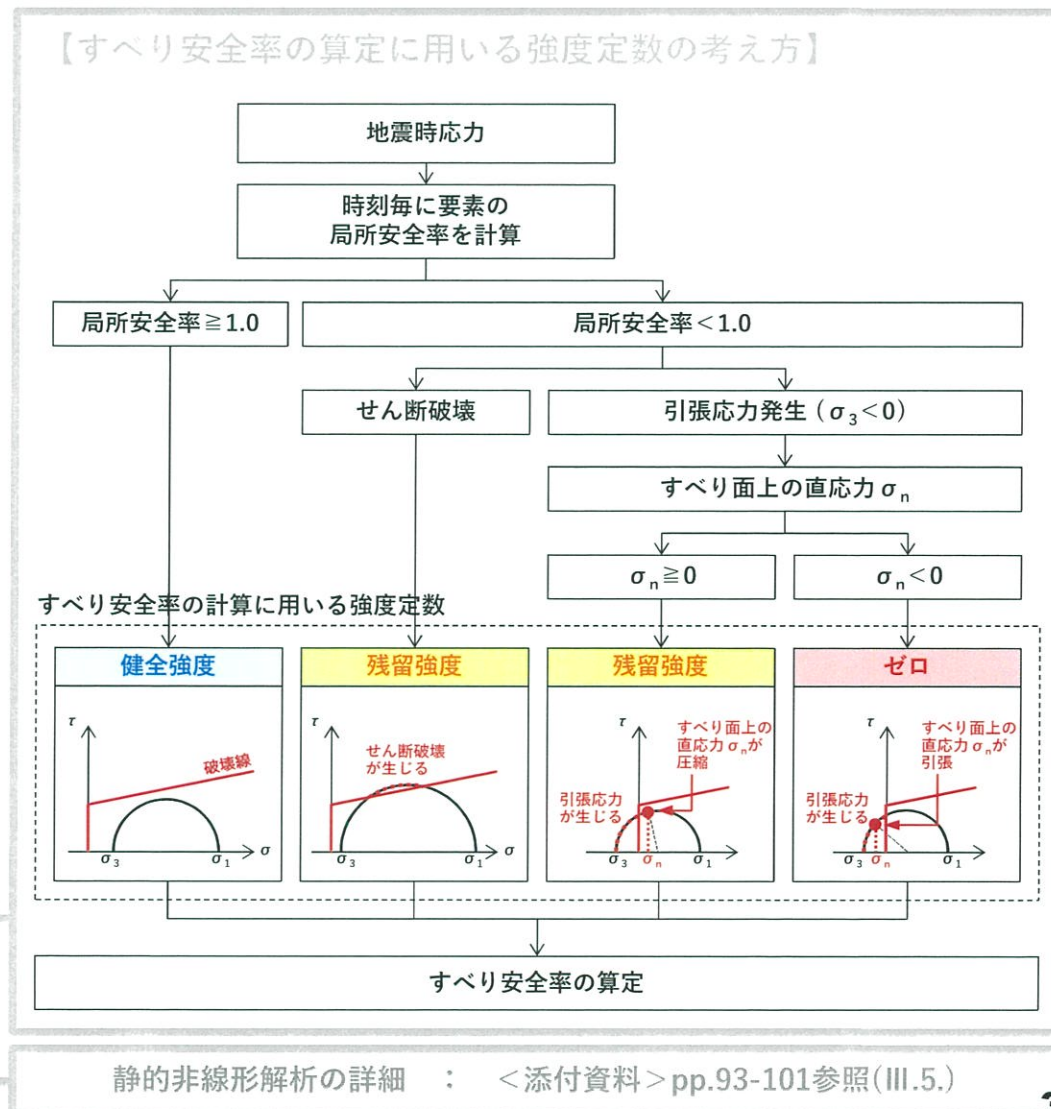
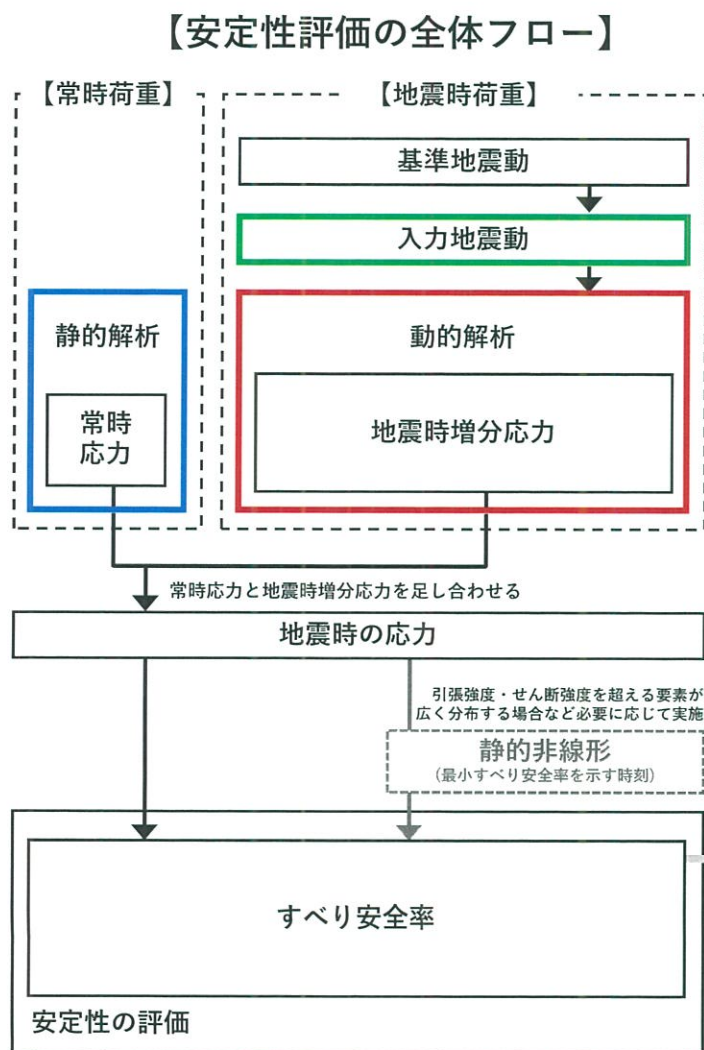
### 【地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価】

- 地震発生に伴う地殻変動による地盤の傾斜を算出し、地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜が、評価基準値の目安(1/2,000)を超えないことを確認する。



# 周辺斜面の安定性評価

- 下図に示す地盤の動的解析(周波数応答解析)により評価を実施する。動的解析は二次元動的有限要素法により実施し、水平動及び鉛直動を同時入力する。また、等価線形化法により動せん断弾性係数及び減衰定数のひずみ依存性を必要に応じて考慮する。



## 周辺斜面の安定性評価

### 【周辺斜面のすべり】

- 想定したすべり面上の応力状態をもとに、すべり面上のせん断抵抗力の和をすべり面上のせん断力の和で除して求める。

$$\text{すべり安全率} = \frac{\Sigma(\text{すべり面上のせん断抵抗力})}{\Sigma(\text{すべり面上のせん断力})}$$

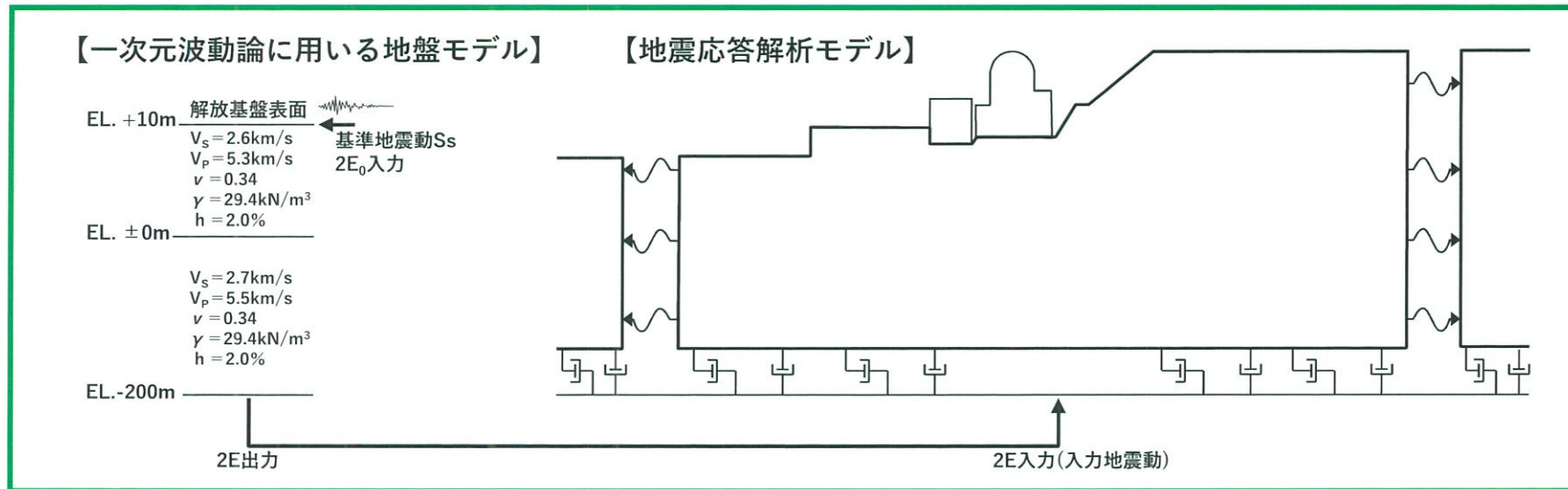
- すべり安全率が評価基準値1.2を上回ることを確認する。
- すべり面は、簡便法によるすべり、応力状態を考慮したすべり、断層沿いのすべり等を想定する。

< 添付資料 > pp.67-74参照 (Ⅲ.1. すべり面設定の考え方)

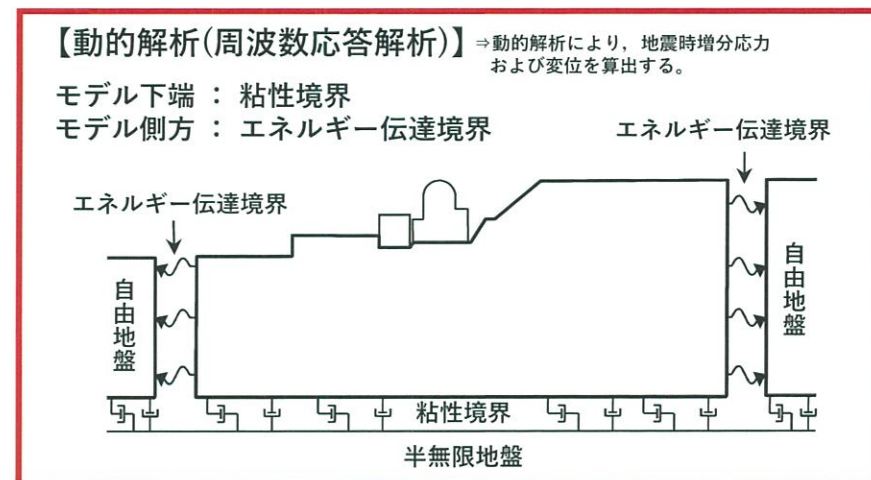
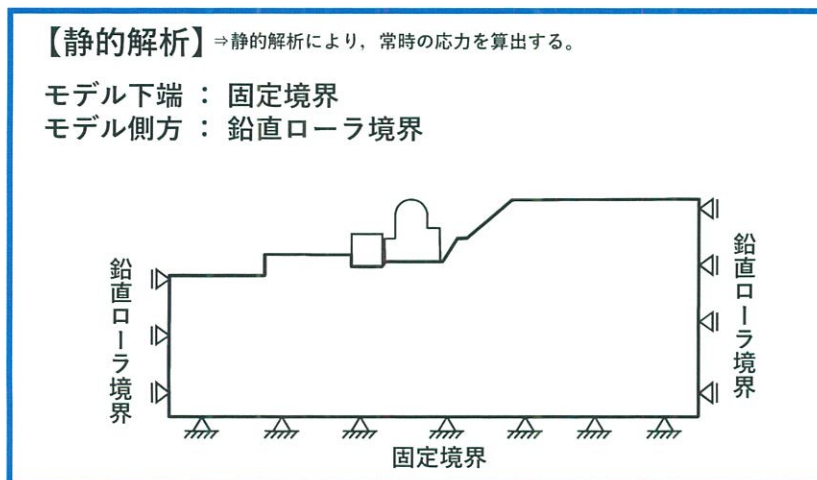


# (補足)入力地震動及び解析用要素分割図作成の考え方

○ 入力地震動の設定方法は下図のとおりである。



○ 静的解析及び動的解析(周波数応答解析)に用いる解析用要素分割図は、下図に示す考え方に基づき、次頁以降のとおり作成した。



- 
1. 評価方針
  2. 地質の概要
  3. 解析用物性値
  4. 評価方法
  - 5. 基準地震動**
  6. 原子炉建屋等に関する評価
  7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価
  8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価
  9. まとめ



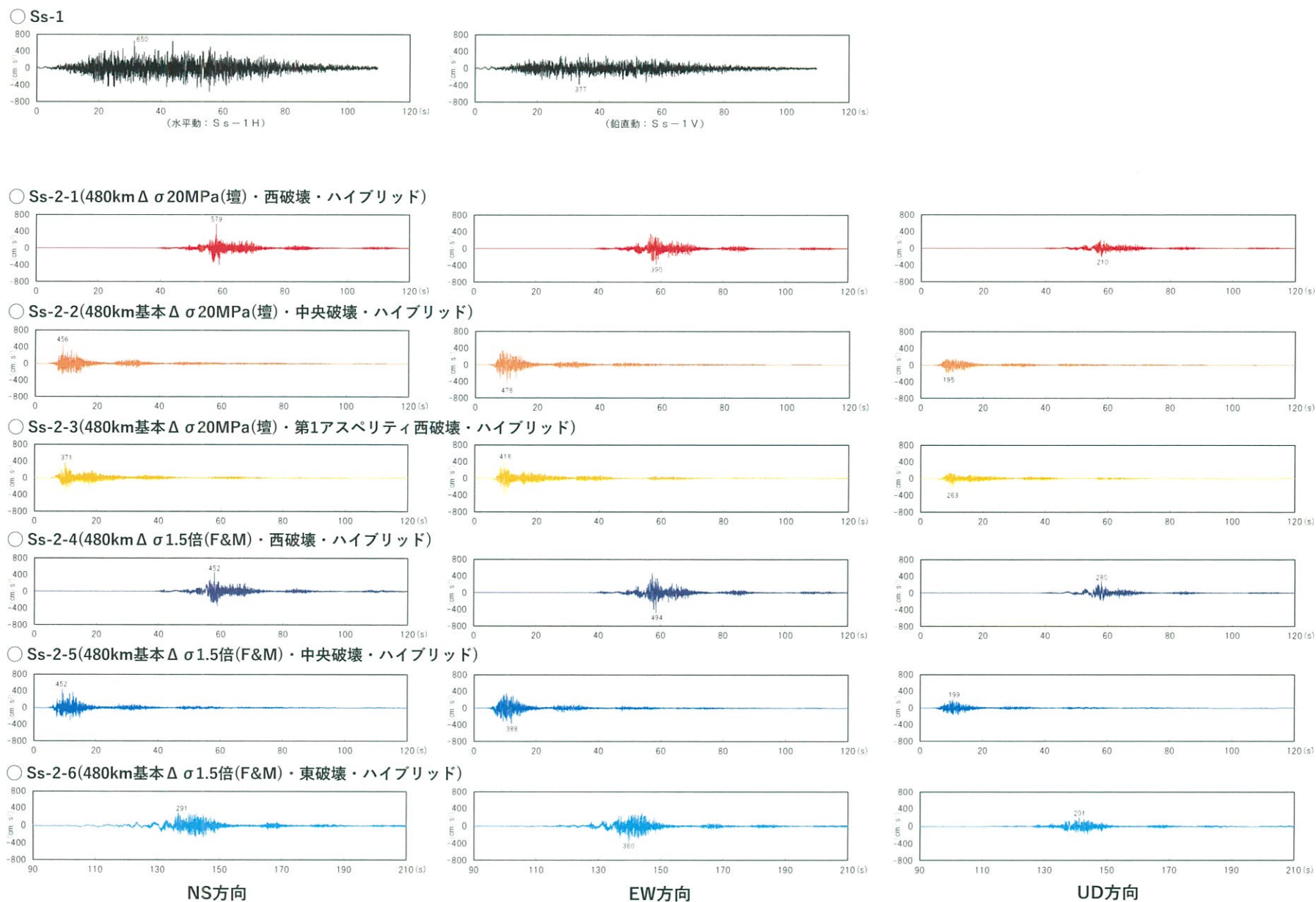
# 基準地震動

令和4年12月6日  
標準応答スペクトル許可まとめ資料再掲

基準地震動Ss			最大加速度振幅(cm/s <sup>2</sup> )			
震源を特定して策定する地震動	応答スペクトルに基づく手法	設計用模擬地震波	水平動	Ss-1H	650	
			鉛直動	Ss-1V	377	
	断層モデルを用いた手法	敷地前面海域の断層群(中央構造線断層帯)	480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・西破壊	水平動NS	Ss-2-1NS	579
				水平動EW	Ss-2-1EW	390
				鉛直動UD	Ss-2-1UD	210
			480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊	水平動NS	Ss-2-2NS	456
				水平動EW	Ss-2-2EW	478
				鉛直動UD	Ss-2-2UD	195
			480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・第1アスペリティ西破壊	水平動NS	Ss-2-3NS	371
				水平動EW	Ss-2-3EW	418
				鉛直動UD	Ss-2-3UD	263
			480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・西破壊	水平動NS	Ss-2-4NS	452
				水平動EW	Ss-2-4EW	494
				鉛直動UD	Ss-2-4UD	280
			480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊	水平動NS	Ss-2-5NS	452
				水平動EW	Ss-2-5EW	388
				鉛直動UD	Ss-2-5UD	199
			480km連動・F&Mの手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・東破壊	水平動NS	Ss-2-6NS	291
				水平動EW	Ss-2-6EW	360
				鉛直動UD	Ss-2-6UD	201
54km・入倉・三宅の手法・ $\Delta\sigma$ 1.5倍・中央破壊	水平動NS	Ss-2-7NS	458			
	水平動EW	Ss-2-7EW	371			
	鉛直動UD	Ss-2-7UD	178			
480km連動・壇の手法・ $\Delta\sigma$ 20MPa・中央破壊・入れ替え	水平動NS	Ss-2-8NS	478			
	水平動EW	Ss-2-8EW	456			
	鉛直動UD	Ss-2-8UD	195			
震源を特定せず策定する地震動	2004年北海道留萌支庁南部地震を考慮した地震動	水平動	Ss-3-1H	620		
		鉛直動	Ss-3-1V	320		
	2000年鳥取県西部地震賀祥ダムの観測記録	水平動NS	Ss-3-2NS	528		
		水平動EW	Ss-3-2EW	531		
	標準応答スペクトル	鉛直動UD	Ss-3-2UD	485		
		水平動	Ss-3-3H	600		
		鉛直動	Ss-3-3V	400		

# 基準地震動(時刻歴波形)

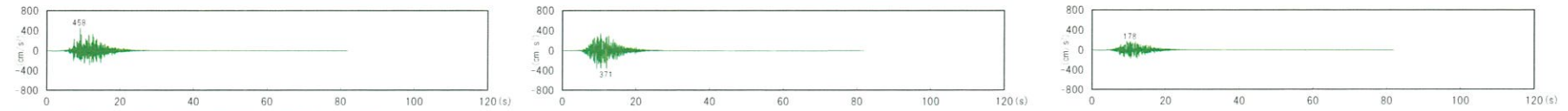
令和4年12月6日  
標準応答スペクトル許可まとめ資料再掲



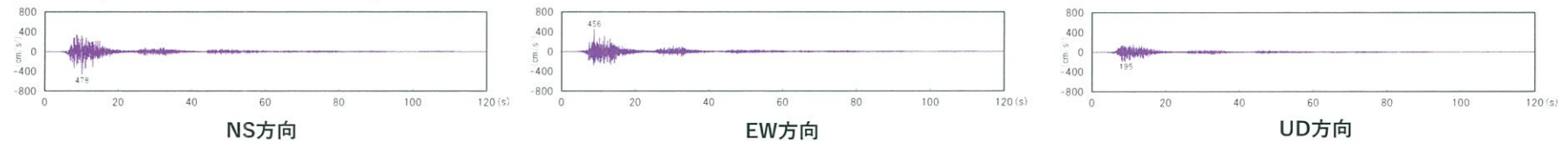


## 基準地震動(時刻歴波形)

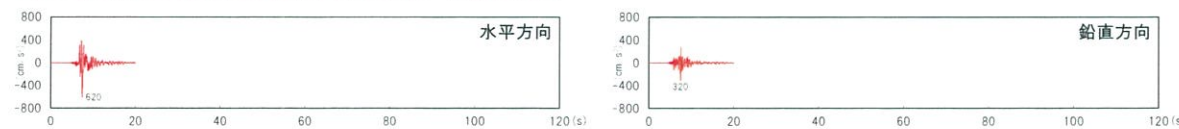
○ Ss-2-7(54km Δ σ1.5倍(入倉・三宅)・中央破壊・ハイブリッド)



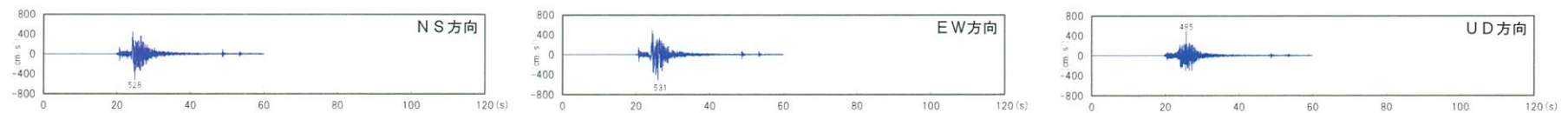
○ Ss-2-8(Ss-2-2 NS・EW入れ替えケース)



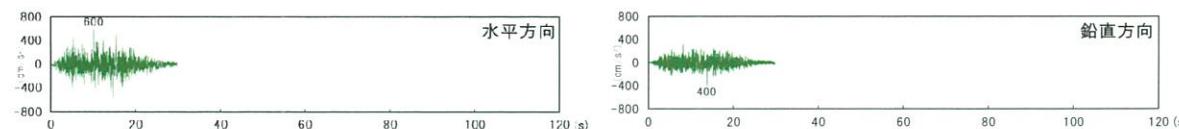
○ Ss-3-1(2004年北海道留萌支庁南部地震 解放基盤波)



○ Ss-3-2(2000年鳥取県西部地震 賀祥ダム観測記録)



○ Ss-3-3(標準応答スペクトル)



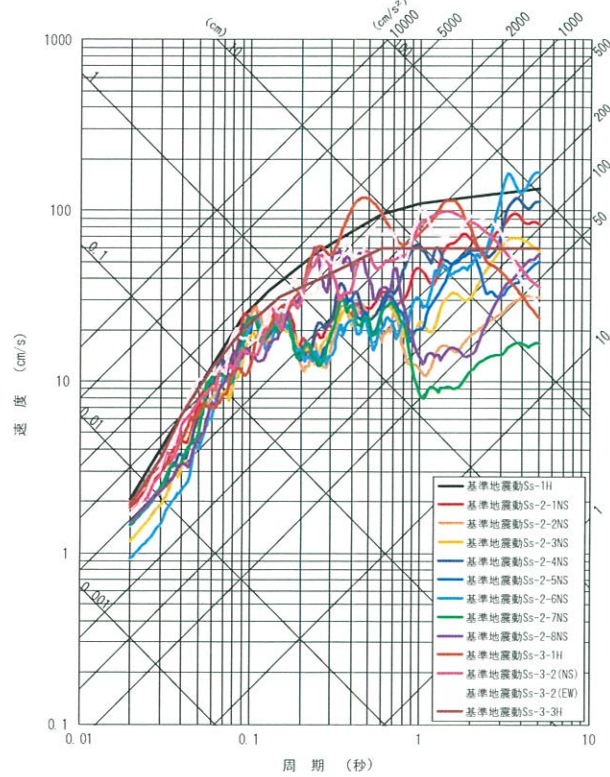
※ Ss-2(断層モデルを用いた手法による基準地震動)については、工学的判断としてEWとNSを入れ替えたケースをSs-2-8として設定している。

- 基準地震動Ss-2の策定においては、要素地震のNS成分の長周期側が小さい特徴を補うため、ハイブリッド合成を行い、長周期側には理論地震動をあてがった波を基準地震動に設定している。ハイブリッドに際しては、極力短周期側まで理論地震動を採用する方針とし、結果的に接続周期を0.8秒とした。
- これより、NS方向の周期0.02~0.2秒の短周期側および0.8秒以上の長周期側については、信頼性の高い、保守的な評価となっていると考える。周期0.2~0.8秒の間は観測記録のパワーが小さいが、断層モデル波における一部の周期帯の落ち込みは、基準地震動Ss-1によってカバーされるものとする。
- しかしながらEGFの結果においては、EW方向の周期0.2~0.3秒付近でSs-1を超過する結果が得られている。仮に、要素地震のNS方向の波がEW方向の波と同程度のレベルであった場合には、NS方向でもSs-1を超過する可能性を否定できない。
- そこで、工学的判断として、EW方向の周期0.2~0.3秒でSs-1を超過するケースについて、EWとNSを入れ替えたケースをSs-2として設定することとする。NSとEWを入れ替えるケースとしては、Ss-1を超過する度合いが大きく、かつスケーリング則として基本的に考えている壇の手法に基づく結果である、480km応力降下量20MPaの中央破壊ハイブリッドを選定する。

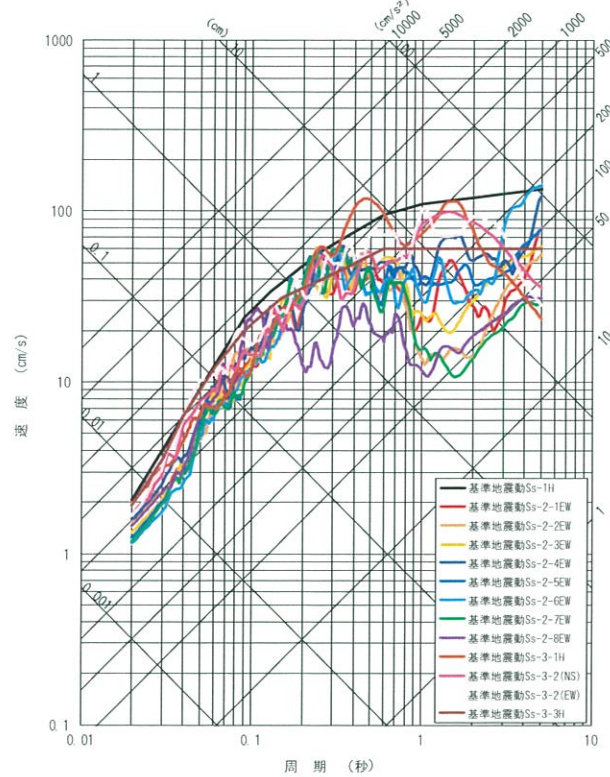
5. 基準地震動

# 基準地震動(応答スペクトル)

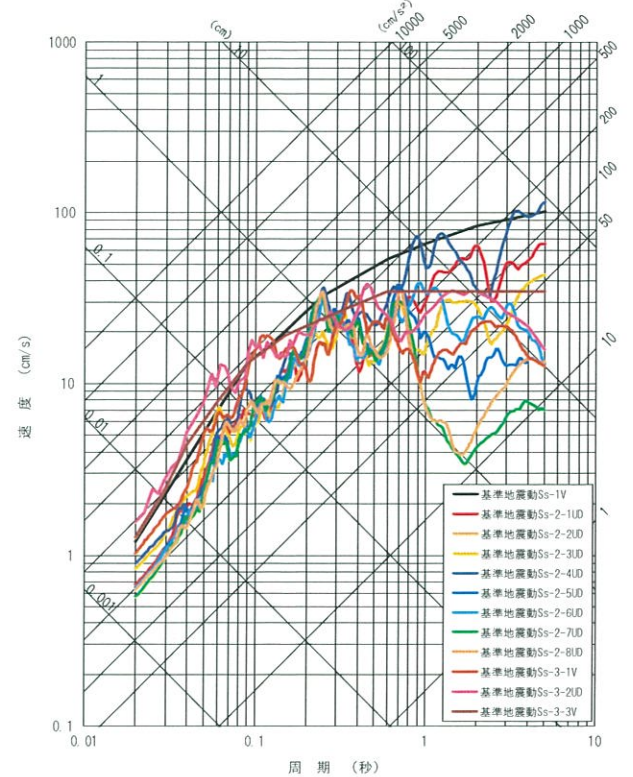
○ 全Ssの応答スペクトル図



NS方向



EW方向



UD方向

○ Ss-1 (応答スペクトルに基づく手法による基準地震動)及びSs-3-3 (震源を特定せず策定する地震動)

指向性を有さない地震動として策定されているため、評価断面の方位に依らず方位補正を行わず入力する。位相反転考慮時は、水平動及び鉛直動の反転を考慮する。

○ Ss-2 (断層モデルを用いた手法による基準地震動)

指向性を有する地震動として策定されているため、東西断面には東西成分、南北断面には南北成分、東西・南北方向から角度を有する断面には断面方向に合うよう、方位変換を実施した成分を入力する。指向性を有する地震動であることから、位相反転は実施しない。

○ Ss-3-1及びSs-3-2 (震源を特定せず策定する地震動)

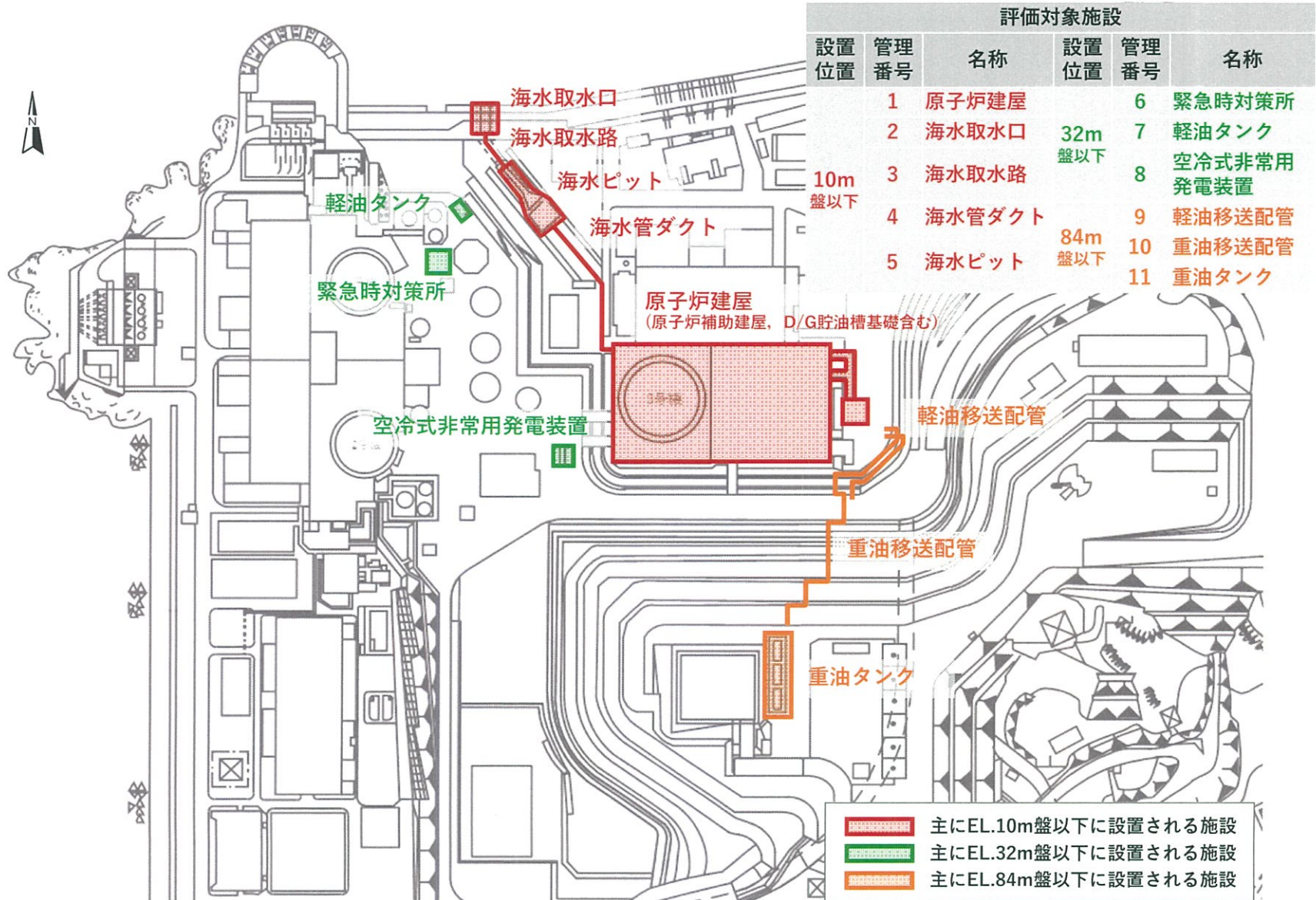
水平方向に指向性を有さない地震動として策定されているため、評価断面の方位に依らず方位補正を行わず入力する。位相反転考慮時は、水平成分について指向性を有さないことに鑑み、水平動の反転を考慮する。



- 
1. 評価方針
  2. 地質の概要
  3. 解析用物性値
  4. 評価方法
  5. 基準地震動
  - 6. 原子炉建屋等に関する評価**
  7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価
  8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価
  9. まとめ

## 評価対象施設配置図

○「原子炉建屋等に関する評価」における評価対象施設を以下に示す。





- 
1. 評価方針
  2. 地質の概要
  3. 解析用物性値
  4. 評価方法
  5. 基準地震動
  6. 原子炉建屋等に関する評価
    - 6.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
      - (1) 断面選定
      - (2) モデルの作成
      - (3) 評価① 基礎地盤のすべり
      - (4) 評価② 基礎の支持力
      - (5) 評価③ 基礎底面の傾斜
    - 6.2 周辺地盤の変状による施設への影響評価
    - 6.3 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価
    - 6.4 周辺斜面の安定性評価
      - (1) 評価断面の選定
      - (2) モデルの作成
      - (3) 評価 周辺斜面のすべり
  7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価
  8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価
  9. まとめ

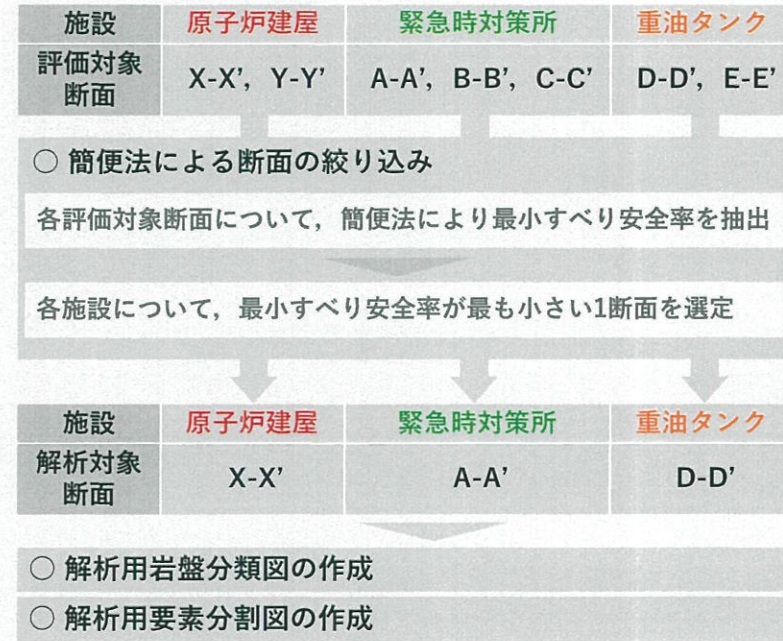
## 6.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

### 6.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

#### (1) 評価断面の選定

設置位置	管理番号	評価対象施設	評価対象断面
10m 盤 以下	1	原子炉建屋	原子炉建屋の評価で代表 X-X', Y-Y'
	2	海水取水口	
	3	海水取水路	
	4	海水管ダクト	
	5	海水ピット	
32m 盤 以下	6	緊急時対策所	緊急時対策所の評価で代表 A-A', B-B', C-C'
	7	軽油タンク	
	8	空冷式非常用発電装置	
84m 盤 以下	9	重油タンク	重油タンクの評価で代表 D-D', E-E'
	10	重油移送配管	
	11	軽油移送配管	

#### (2) モデルの作成



#### (3) 評価① 基礎地盤のすべり

- すべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認。

#### (4) 評価② 基礎の支持力

- 基礎底面の地震時最大接地圧が評価基準値7.84N/mm<sup>2</sup>を超えないことを確認。

#### (5) 評価③ 基礎底面の傾斜

- 基礎底面の傾斜が評価基準値の目安(1/2,000)を超えないことを確認。

### 6.2 周辺地盤の変状による施設への影響評価

- 各施設の接地状況を踏まえ、不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等の影響が生じないことを確認。

### 6.3 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

- 地震発生に伴う地殻変動による地盤の傾斜を算出し、地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜が評価基準値の目安(1/2,000)を超えないことを確認。



- 
1. 評価方針
  2. 地質の概要
  3. 解析用物性値
  4. 評価方法
  5. 基準地震動
  6. 原子炉建屋等に関する評価
    - 6.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価
      - (1) 断面選定
      - (2) モデルの作成
      - (3) 評価① 基礎地盤のすべり
      - (4) 評価② 基礎の支持力
      - (5) 評価③ 基礎底面の傾斜
    - 6.2 周辺地盤の変状による施設への影響評価
    - 6.3 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価
    - 6.4 周辺斜面の安定性評価
      - (1) 評価断面の選定
      - (2) モデルの作成
      - (3) 評価 周辺斜面のすべり
  7. 非常用ガスタービン発電機建屋に関する評価
  8. 使用済燃料乾式貯蔵施設に関する評価
  9. まとめ

# (1) 評価断面の選定(原子炉建屋, 緊急時対策所, 重油タンク)

## 6.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価

### (1) 評価断面の選定

設置位置	管理番号	評価対象施設	評価対象断面
10m 盤 以下	1	原子炉建屋	X-X', Y-Y'
	2	海水取水口	
	3	海水取水路	
	4	海水管ダクト	
	5	海水ピット	
32m 盤 以下	6	緊急時対策所	A-A', B-B', C-C'
	7	軽油タンク	
	8	空冷式非常用発電装置	
84m 盤 以下	9	重油タンク	D-D', E-E'
	10	重油移送配管	
	11	軽油移送配管	

### (2) モデルの作成

施設	原子炉建屋	緊急時対策所	重油タンク
評価対象断面	X-X', Y-Y'	A-A', B-B', C-C'	D-D', E-E'

○ 簡便法による断面の絞り込み

各評価対象断面について、簡便法により最小すべり安全率を抽出

各施設について、最小すべり安全率が最も小さい1断面を選定

施設	原子炉建屋	緊急時対策所	重油タンク
解析対象断面	X-X'	A-A'	D-D'

○ 解析用岩盤分類図の作成

○ 解析用要素分割図の作成

### (3) 評価① 基礎地盤のすべり

○ すべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認。

### (4) 評価② 基礎の支持力

○ 基礎底面の地震時最大接地圧が評価基準値7.84N/mm<sup>2</sup>を超えないことを確認。

### (5) 評価③ 基礎底面の傾斜

○ 基礎底面の傾斜が評価基準値の目安(1/2,000)を超えないことを確認。

## 6.2 周辺地盤の変状による施設への影響評価

○ 各施設の接地状況を踏まえ、不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等の影響が生じないことを確認。

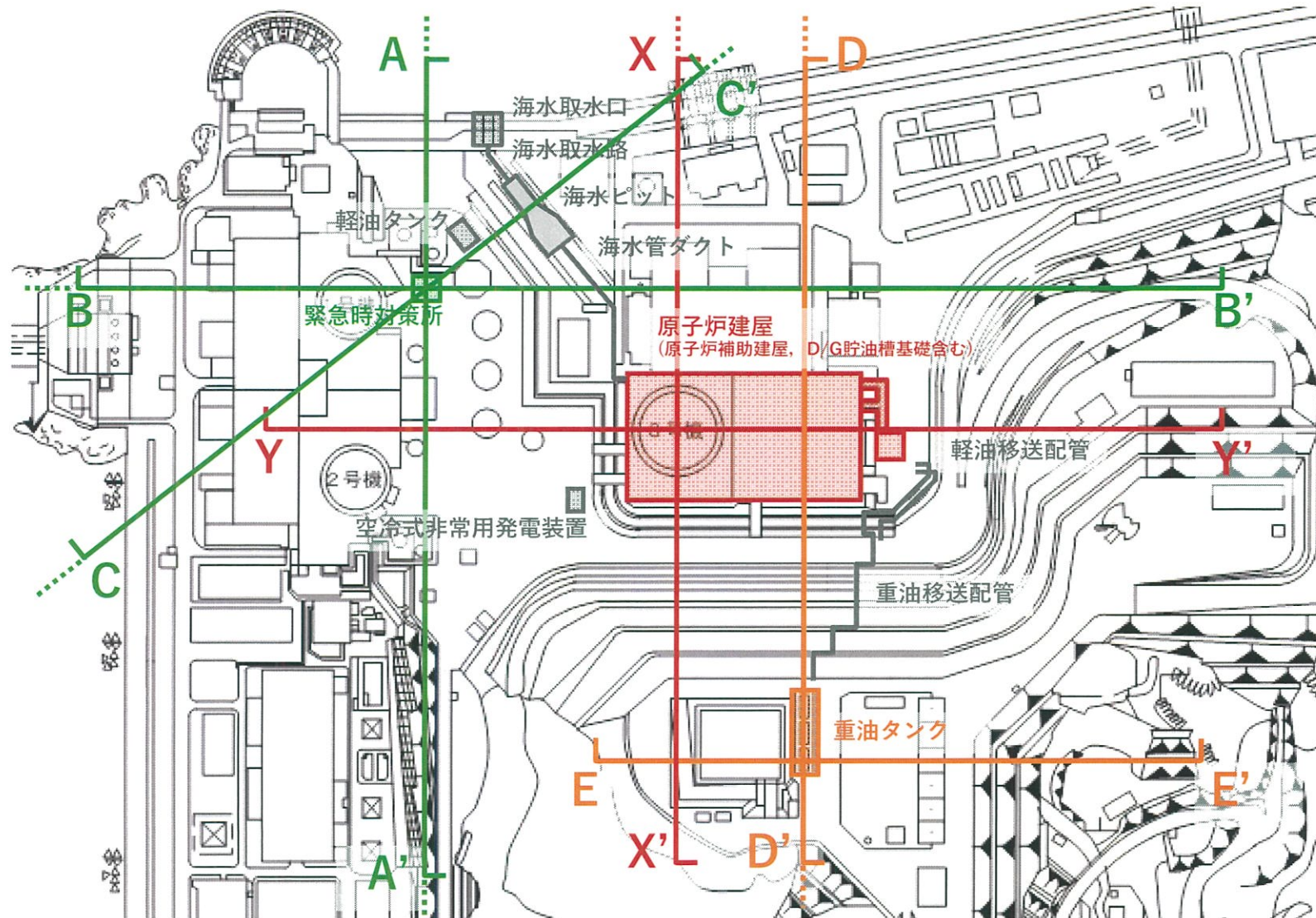
## 6.3 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価

○ 地震発生に伴う地殻変動による地盤の傾斜を算出し、地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜が評価基準値の目安(1/2,000)を超えないことを確認。



## 評価断面の選定(原子炉建屋, 緊急時対策所, 重油タンク)

- 原子炉建屋, 緊急時対策所及び重油タンクに対する評価断面として, 地形・地質・断層性状を考慮し, 各施設の直交2断面を基本とし, **X-X'**, **Y-Y'**断面(原子炉建屋), **A-A'**, **B-B'**断面(緊急時対策所), **D-D'**, **E-E'**断面(重油タンク)を選定する。
- 加えて, 緊急時対策所については, 北東側の斜面に正対する断面として**C-C'**断面(緊急時対策所)も選定する。

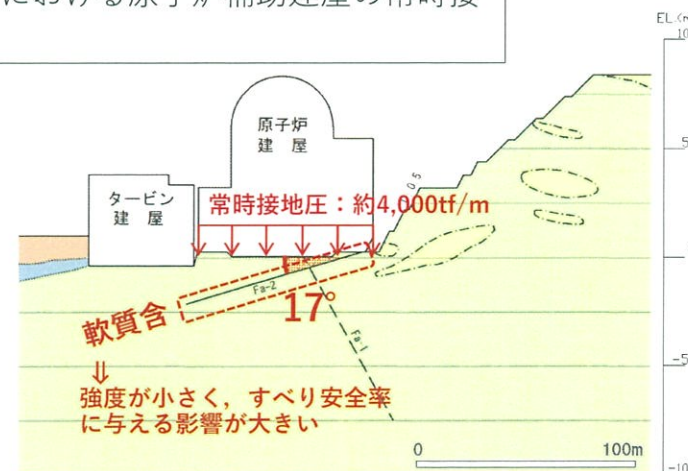
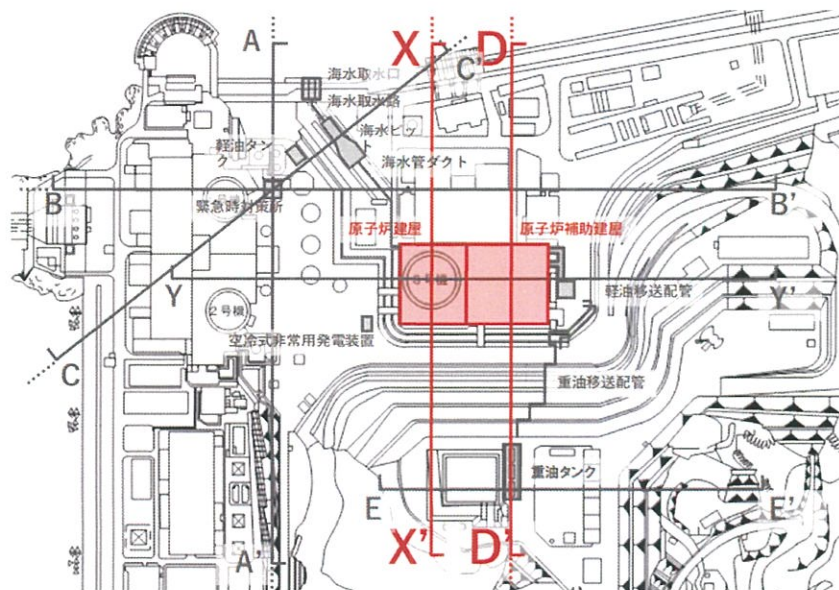




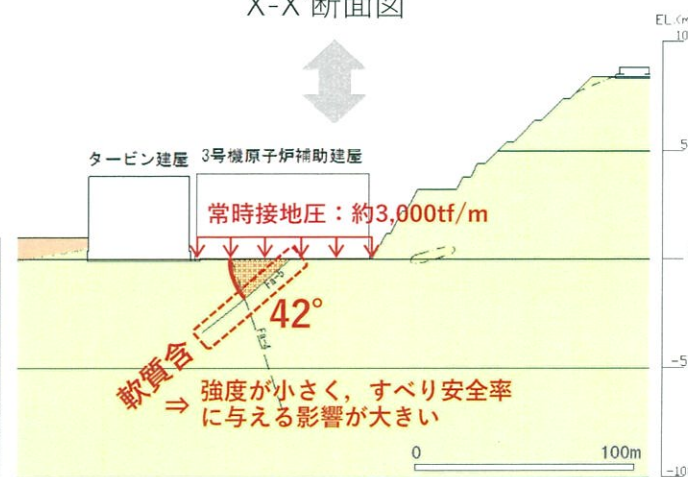
## 評価断面の選定(原子炉建屋, 緊急時対策所, 重油タンク)

○ なお, 原子炉建屋の直交2断面のうち, 南北断面については**X-X'断面(原子炉建屋を通る南北断面)**と**D-D'断面(原子炉補助建屋を通る南北断面)**が想定されるが, 下記の理由からX-X'断面を選定している。

- ・ X-X'断面・D-D'断面のいずれにも, すべり安全率に影響を及ぼしやすい**軟質含**の断層(強度が小さい断層)が分布しているが, X-X'断面のFa-2断層は**低角(約17°)**, D-D'断面のFa-5断層は**高角(約42°)**であり, X-X'断面のほうが厳しい。
- ・ X-X'断面における原子炉建屋の常時接地圧は**約4,000tf/m**, D-D'断面における原子炉補助建屋の常時接地圧は**約3,000tf/m**であり, X-X'断面のほうが厳しい。



X-X'断面図



D-D'断面図

FL 例	
岩	土
海底堆積物	①級
緑色片岩	②級
	③級
	④級以上
断層	軟質含
	軟質含
地質境界	
岩層境界	



**(1) 評価断面の選定** (海水取水口, 海水取水路, 海水ピット, 海水管ダクト, 軽油タンク, 空冷式非常用発電装置, 重油移送配管, 軽油移送配管)

**6.1 地震力に対する基礎地盤の安定性評価**

**(1) 評価断面の選定**

設置位置	管理番号	評価対象施設	評価対象断面
10m 盤 以下	1	原子炉建屋	X-X', Y-Y'
	2	海水取水口	
	3	海水取水路	
	4	海水管ダクト	
	5	海水ピット	
原子炉建屋の評価で代表			
32m 盤 以下	6	緊急時対策所	A-A', B-B', C-C'
	7	軽油タンク	
	8	空冷式非常用発電装置	
緊急時対策所の評価で代表			
84m 盤 以下	9	重油タンク	D-D', E-E'
	10	重油移送配管	
	11	軽油移送配管	
重油タンクの評価で代表			

**(2) モデルの作成**

施設	原子炉建屋	緊急時対策所	重油タンク
評価対象断面	X-X', Y-Y'	A-A', B-B', C-C'	D-D', E-E'

○ 簡便法による断面の絞り込み

各評価対象断面について、簡便法により最小すべり安全率を抽出

各施設について、最小すべり安全率が最も小さい1断面を選定

施設	原子炉建屋	緊急時対策所	重油タンク
解析対象断面	X-X'	A-A'	D-D'

○ 解析用岩盤分類図の作成

○ 解析用要素分割図の作成

**(3) 評価① 基礎地盤のすべり**

○ すべり安全率が評価基準値1.5を上回ることを確認。

**(4) 評価② 基礎の支持力**

○ 基礎底面の地震時最大接地圧が評価基準値7.84N/mm<sup>2</sup>を超えないことを確認。

**(5) 評価③ 基礎底面の傾斜**

○ 基礎底面の傾斜が評価基準値の目安(1/2,000)を超えないことを確認。

**6.2 周辺地盤の変状による施設への影響評価**

○ 各施設の接地状況を踏まえ、不等沈下、液状化、揺すり込み沈下等の影響が生じないことを確認。

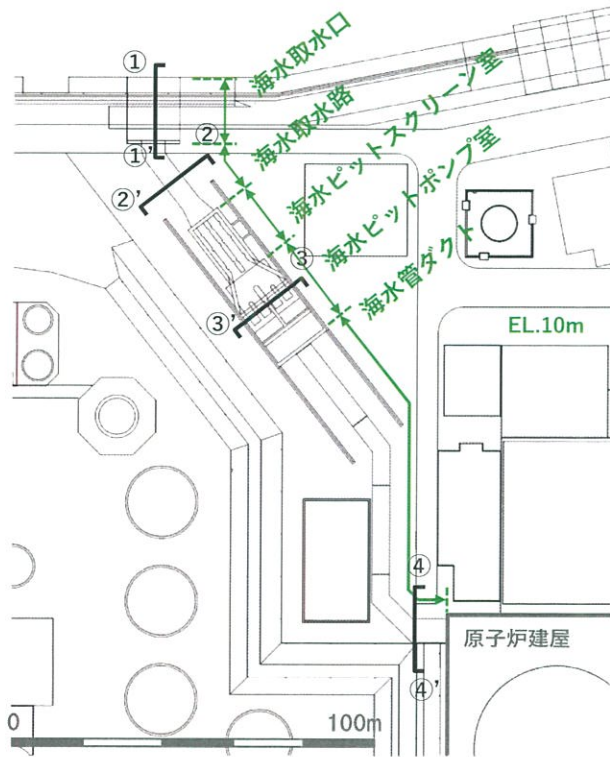
**6.3 地殻変動による基礎地盤の変形の影響評価**

○ 地震発生に伴う地殻変動による地盤の傾斜を算出し、地殻変動及び地震動を考慮した最大傾斜が評価基準値の目安(1/2,000)を超えないことを確認。



# 評価断面の選定(海水取水口, 海水取水路, 海水ピット, 海水管ダクト)

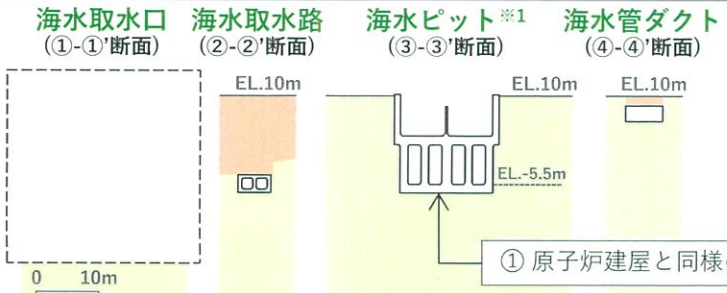
本資料のうち、枠囲み [ ] の内容は商業機密または核物質防護情報に属しますので公開できません。



- 海水取水口・海水取水路・海水ピット※1・海水管ダクトはEL.10m盤以下に位置し、CH級岩盤(塩基性片岩)に支持されている。
- 原子炉建屋もEL.10m盤以下に位置し、CH級岩盤(塩基性片岩)に支持されている。
- 海水取水口・海水取水路・海水ピット・海水管ダクトは、以下の理由により**原子炉建屋の評価に代表させる**。

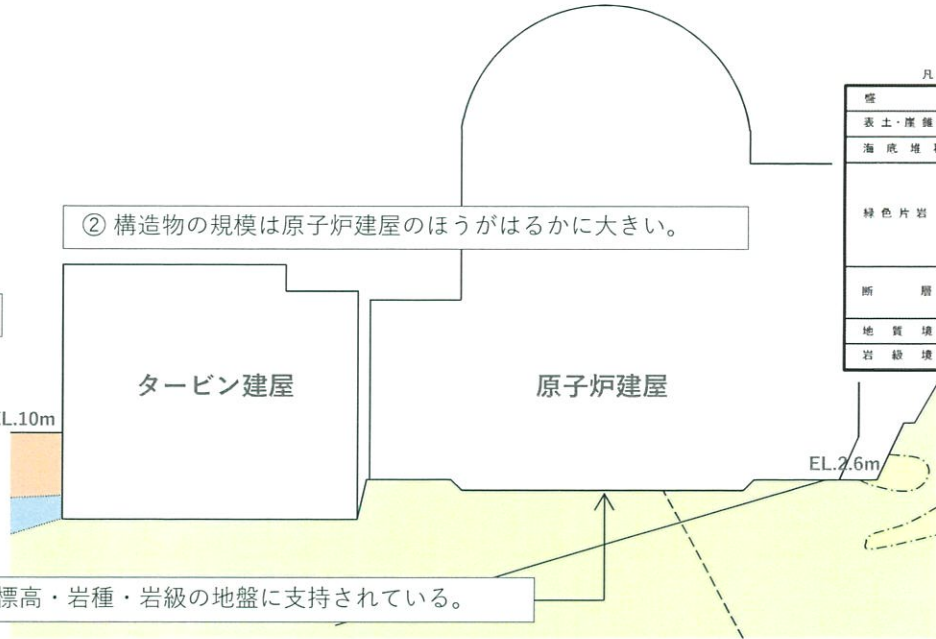
- ① 原子炉建屋と同様の標高・岩種・岩級の地盤に支持されている。
- ② 構造物の規模は原子炉建屋のほうがはるかに大きい。
- ③ 原子炉建屋と異なり、岩掘削による掘り込み式の構造物である。
- ④ 断層性状(位置・形状等の分布状況, 断層内物質による区分等)の観点では、原子炉建屋のほうが厳しい。

③ 原子炉建屋と異なり、岩掘削による掘り込み式の構造物である。



※1 海水ピットスクリーン室と海水ピットポンプ室を合わせた総称

② 構造物の規模は原子炉建屋のほうがはるかに大きい。



① 原子炉建屋と同様の標高・岩種・岩級の地盤に支持されている。

凡 例	
盤	土
表土・産鍾堆積物	[Color]
海底堆積物	[Color]
緑色片岩	①級
	②級
	③級
	④級上
断 層	軟質無
	軟質含
地 質 境 界	[Symbol]
岩 級 境 界	[Symbol]

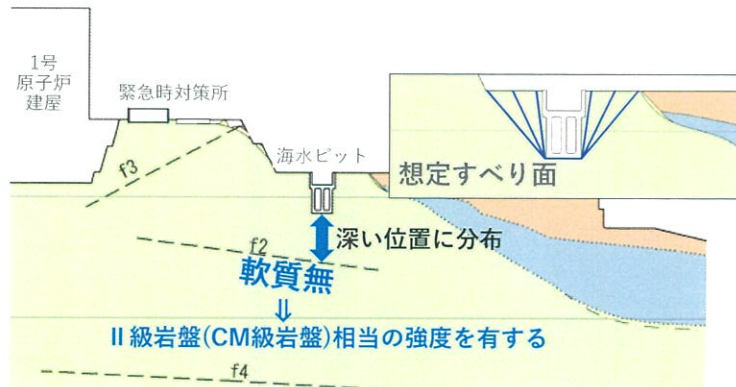


## 評価断面の選定(海水取水口, 海水取水路, 海水ピット, 海水管ダクト)

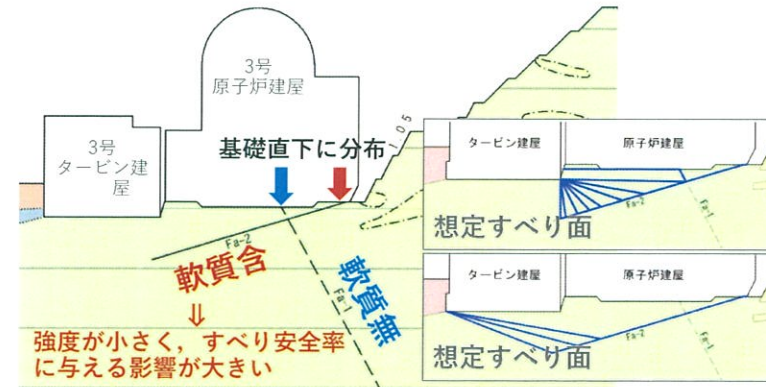
④ 断層性状(位置・形状等の分布状況, 断層内物質による区分等)の観点では, 原子炉建屋のほうが厳しい。

(ア) 原子炉建屋は基礎直下に断層が分布し, 想定すべり面を形成し得るが, 海水ピットは深い位置に断層が分布し, 想定すべり面を形成し難い。

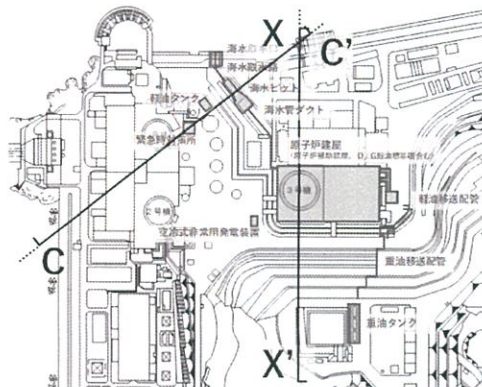
(イ) 原子炉建屋の基礎直下に分布する断層は, すべり安全率にとって厳しい**軟質含**の断層(強度が小さい)であるが, 海水ピットの下方に分布する断層は, **軟質無**の断層(II級岩盤(CM級岩盤)相当の強度を有する)である。



C-C'断面図



X-X'断面図



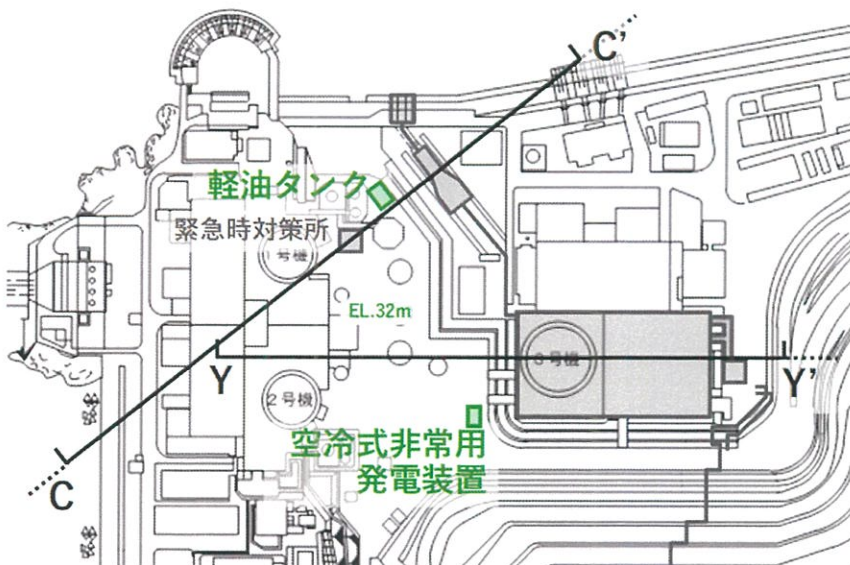
X-X'断面

C-C'断面

断層名	走向*・傾斜	破碎幅 fr : cm 粘土幅 cl : cm	断層内物質による区分
Fa-1断層	N5~22° E/67~82° SE	fr : 3~10	軟質無
Fa-2断層	N38° E/25° NW	fr : 3~10, cl : 0.3	軟質含
Fa-3断層	N31° W/50° NE	fr : 5~40, cl : 0.2~4	軟質含
Fa-4断層	N43° E/78~90° SE	fr : 1.5~4(海岸でfr : 20~30)	軟質無
Fa-5断層	N44° E/54~58° NW	fr : 5~10, cl : 0.4	軟質含
f1断層	N40~54° E/54~77° N	fr : 2~10	軟質無
f2断層	N45° E/39° SE	fr : 5~10	軟質無
f3断層	N36° E/58° NW	fr : 5~20	軟質無
f4断層	N56° E/65° NW	fr : 5~10	軟質無
S <sub>1</sub> 断層	N12° W/38° W	fr : 2~50, cl : 部分的に細かく破碎	軟質含
S <sub>2</sub> 断層	N8° E~35° W/40~50° W	fr : 2~40, cl : 0.5~3	軟質含

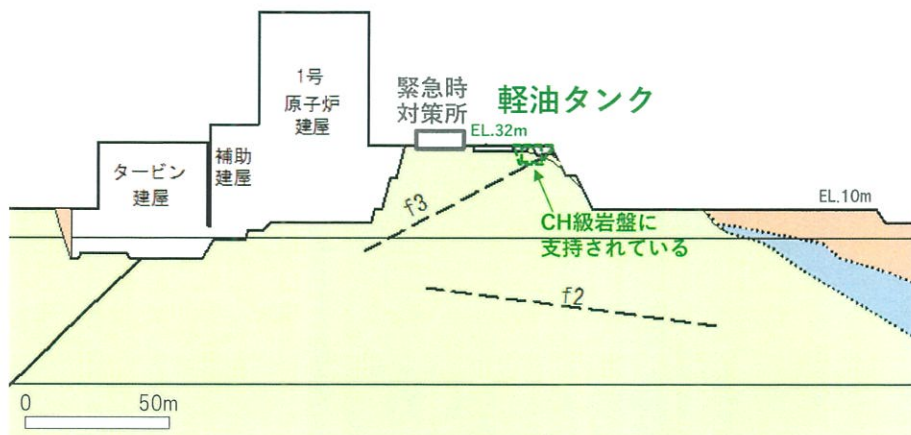
平成27年6月3日  
再稼働許可まとめ資料再掲

## 評価断面の選定(軽油タンク, 空冷式非常用発電装置)

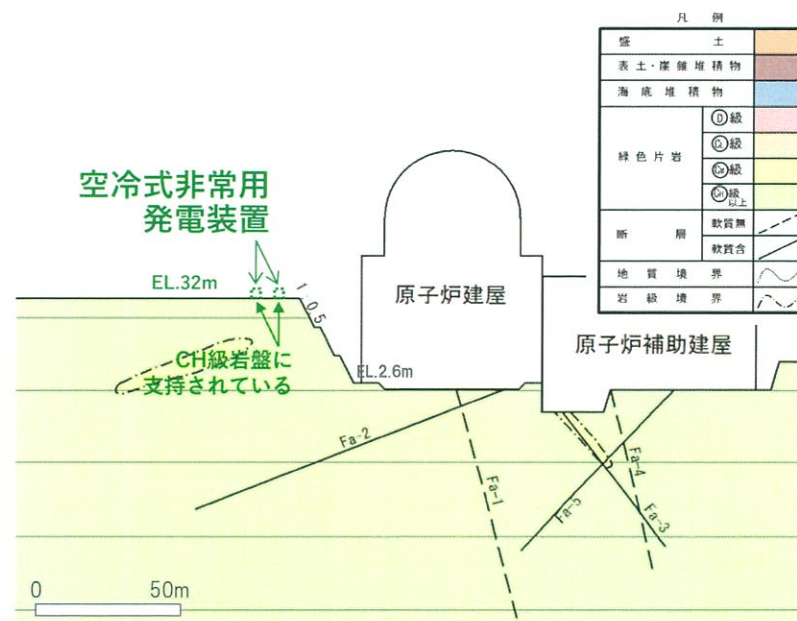


- 軽油タンク及び空冷式非常用発電装置はEL.32m盤に位置し、CH級岩盤(塩基性片岩)に支持されている。
- 緊急時対策所もEL.32m盤に位置し、CH級岩盤(塩基性片岩)に支持されている。
- 軽油タンク及び空冷式非常用発電装置は、緊急時対策所と同様の標高・岩種・岩級の地盤に支持されている。構造物の規模について、軽油タンクは緊急時対策所と同等、空冷式非常用発電装置は緊急時対策所よりも小さい。断層性状について、軽油タンクは緊急時対策所と同じであり、空冷式非常用発電装置は直下に断層が無い。

したがって、軽油タンク及び空冷式非常用発電装置の評価は緊急時対策所の評価に代表させる。



C-C'断面図

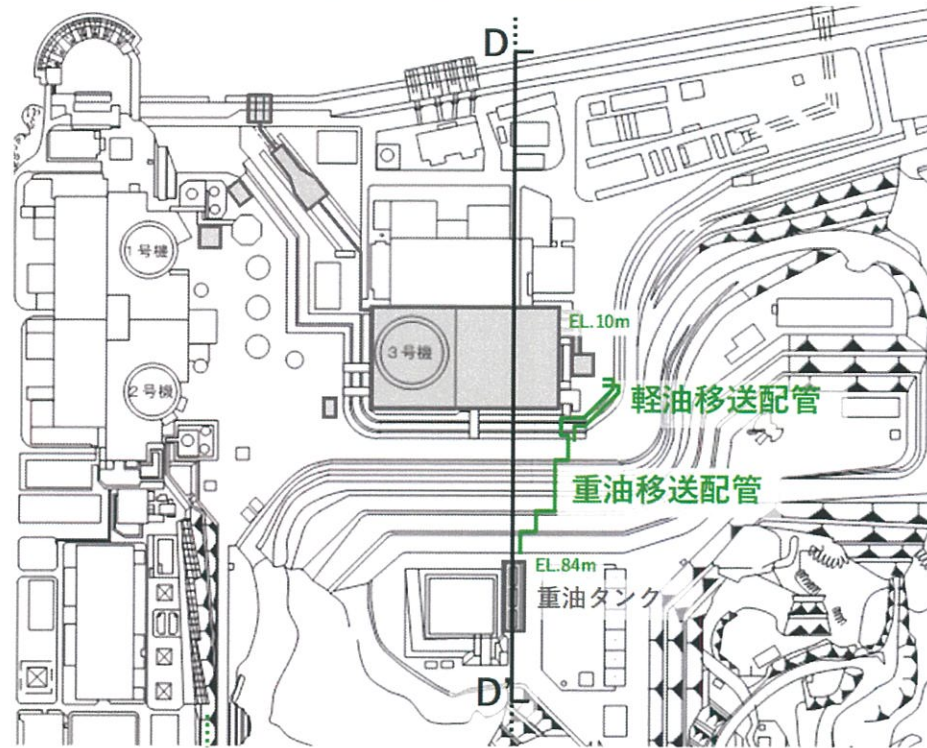


Y-Y'断面図

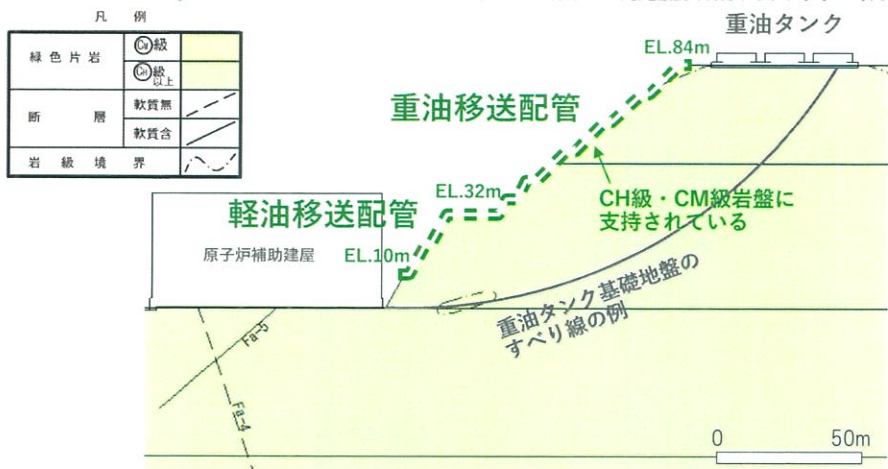
凡例	
盛土	(Orange)
表土・産物堆積物	(Brown)
海底堆積物	(Blue)
緑色片岩	①級
	②級
	③級
	④級以上
断層	軟弱無
	軟弱有
地質境界	(Wavy line)
岩級境界	(Dashed line)



## 評価断面の選定(重油移送配管, 軽油移送配管)



- **重油移送配管**及び**軽油移送配管**はEL.84m～10m盤にかけて位置し、CH級・CM級岩盤(塩基性片岩)に支持されている。
- 重油タンクはEL.84m盤に位置し、CH級岩盤(塩基性片岩)に支持されており、EL.84m～10m盤にかけて基礎地盤の安定性評価を行う。
- 断層性状について、重油移送配管及び軽油移送配管の直下には断層が無い。
- したがって、重油移送配管及び軽油移送配管の評価は**重油タンク**の評価に代表させる。



凡例

緑色片岩	◎級	
	◎級以上	
断層	軟質無	
	軟質含	
岩級境界		

D-D'断面図