

本資料のうち、枠囲みの内容は営業秘密又は防護上の観点から公開できません。

TK-1-2173 改0

平成30年10月4日

日本原子力発電株

屋外重要土木構造物の耐震安全性評価に係るコメント回答について

常設低圧代替注水系カルバートを支持する人工岩盤の安定性

1 人工岩盤（新設）の解析用物性値

人工岩盤の材料物性値を表-1 に示す。

表-1 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン 比	減衰定数 (%)
人工岩盤 (設計基準強度 18 N/mm <sup>2</sup> )	23.0* <sup>1</sup>	2.06×10 <sup>4</sup> * <sup>1</sup>	0.2* <sup>1</sup>	5* <sup>2</sup>

注記 \*1：コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] (土木学会, 2002 年制定)

\*2：原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 - 1987 ((社) 日本電気協会)

2 地盤

地盤剛性のばらつき及び地盤の液状化強度特性のばらつきの影響を考慮するため、表-2 に示す解析ケース (①～⑥) を設定する。

表-2 有効応力解析における解析ケース

	①	②	③	④	⑤	⑥
解析ケース	原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース (基本ケース)	地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮 (-1σ) した解析ケース	地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース	原地盤において非液状化の条件を仮定した解析ケース	地盤物性のばらつきを考慮 (+1σ) して非液状化の条件を仮定した解析ケース
地盤剛性の設定	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (+1σ)	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂のせん断波速度	原地盤のせん断波速度	原地盤のせん断波速度のばらつきを考慮 (+1σ)
液状化強度特性の設定	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	原地盤に基づく液状化強度特性 (-1σ)	敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性	液状化パラメータを非適用	液状化パラメータを非適用

### 3 人工岩盤の健全性

#### a. 局所安全係数

人工岩盤の支持地盤としての健全性評価は、妥当な安全余裕として、必要局所安全係数 1.5 以上を考慮する。局所安全係数は次式により算定する。

$$f_s = c / \tau$$

ここで、

$f_s$  : 局所安全係数

$c$  : 地盤改良体のせん断強度 (kN/m<sup>2</sup>)

$\tau$  : 各要素の発生せん断応力 (kN/m<sup>2</sup>)

#### b. すべり安全率

すべり安全率は、図-1 に示されるすべりに対する安全率算定フローにより、仮想すべり面における各要素のせん断強度及び残留強度を考慮して算定する。

すべり安全率は、妥当な安全余裕として、必要局所安全係数 1.5 以上を考慮する。

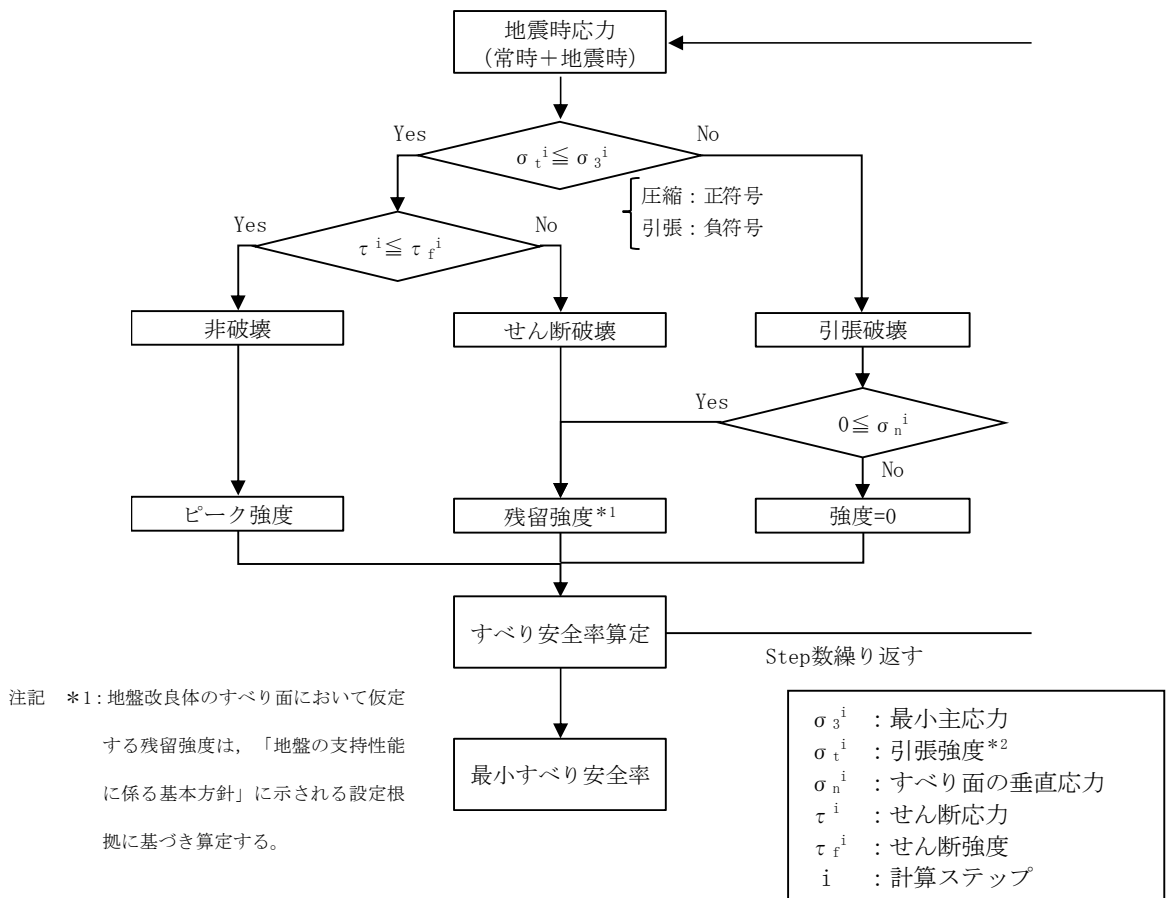


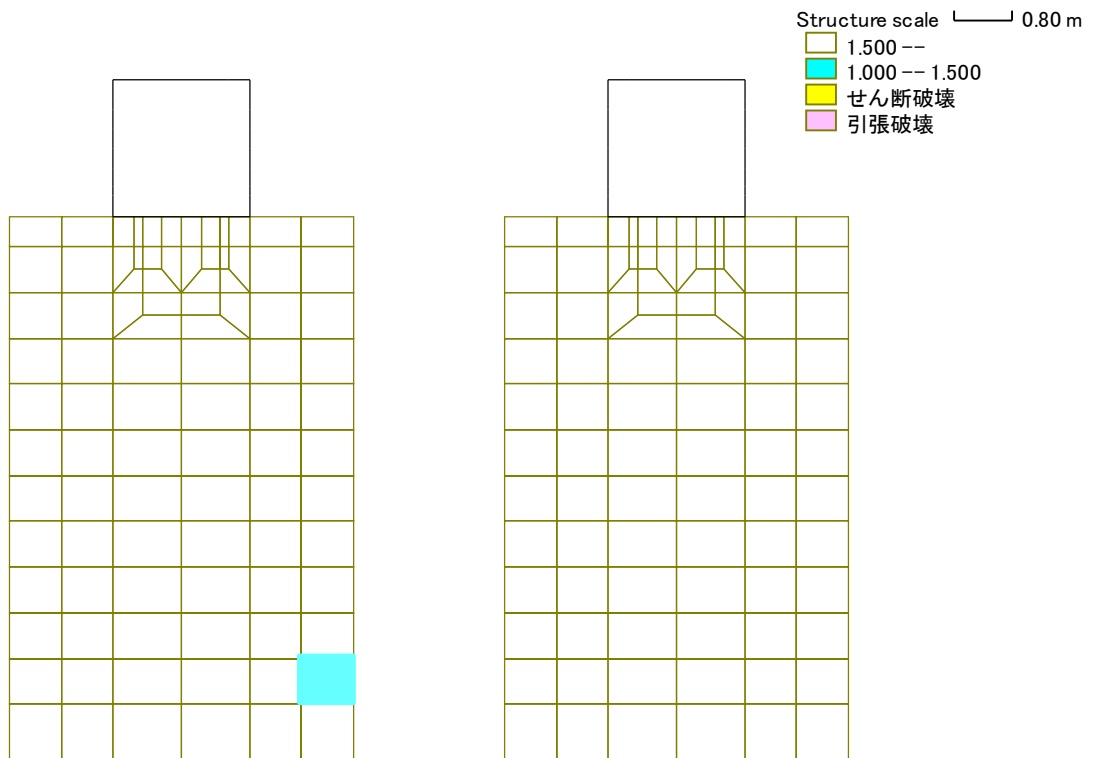
図-1 すべり安全率の算定フロー

#### 4 局所安全係数の算定

基準地震動  $S_s$  全 12 波による解析ケース①（基本ケース），及び追加解析ケース②～⑥において，カルバート躯体で最も厳しい照査値となった地震動  $S_s - 3 1$ （H+，V+）における人工岩盤の局所安全係数を算出した。その結果を図-2 から図-6 に示す。また，各ケースの局所安全係数の最小値を表-3 に示す。

さらに，④  $S_s - 3 1$ （H+，V+）において，引張応力照査を行った結果，Km 層と埋戻土層との境界部の 1 要素で局所的に引張強度を超える引張応力が生じ，局所引張安全率は 0.92 となった。

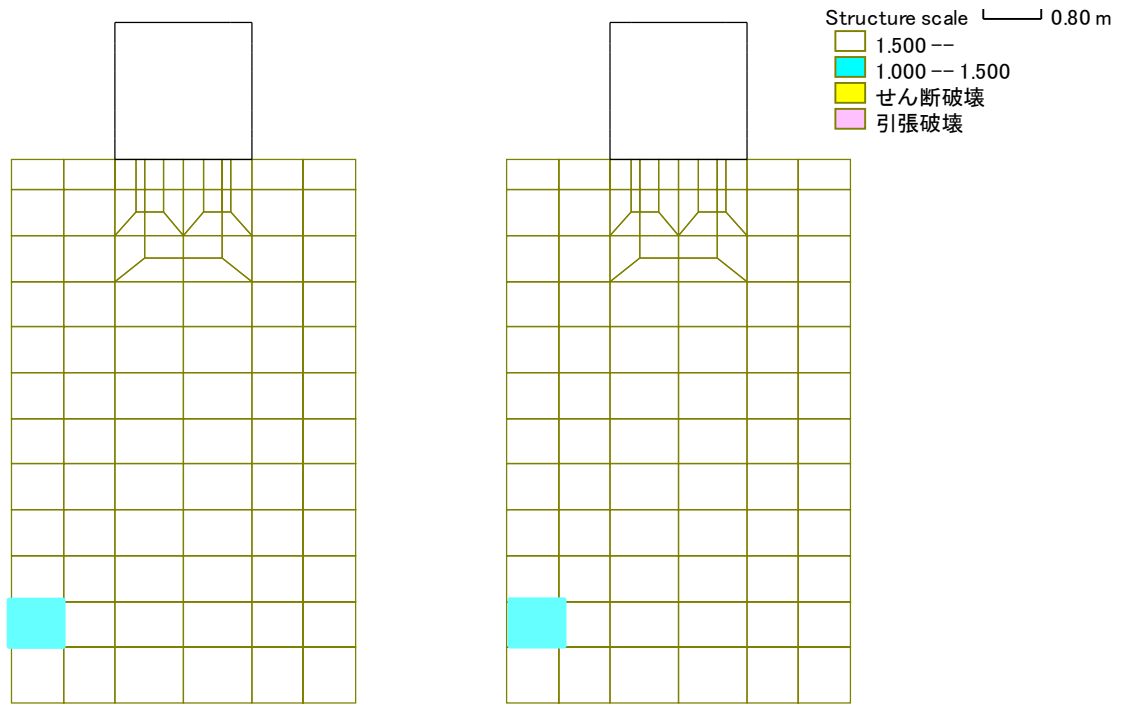
そこで，図-1 のすべり安全率の算定フローに基づき，すべり安全率の算定を行う。



+, V+)

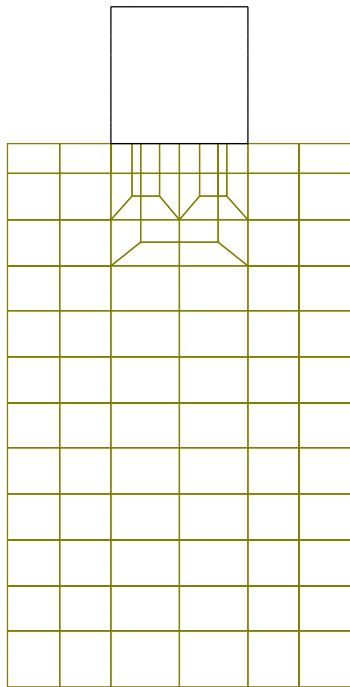
①  $S_s - D 1$  (H+, V-)

図-2 局所安全係数分布図（その1）

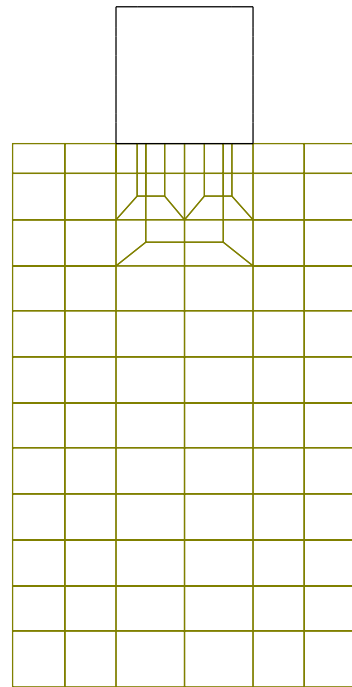


①S<sub>s</sub>-D 1 (H-, V+)

①S<sub>s</sub>-D 1 (H-, V-)

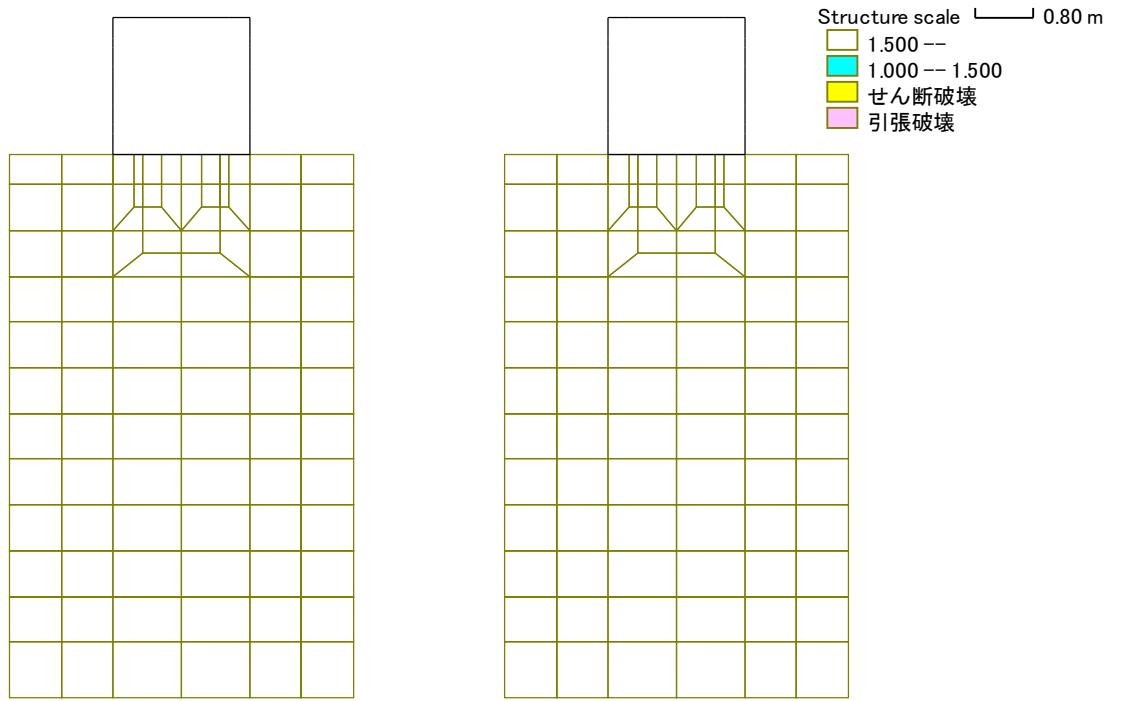


①S<sub>s</sub>-1 1



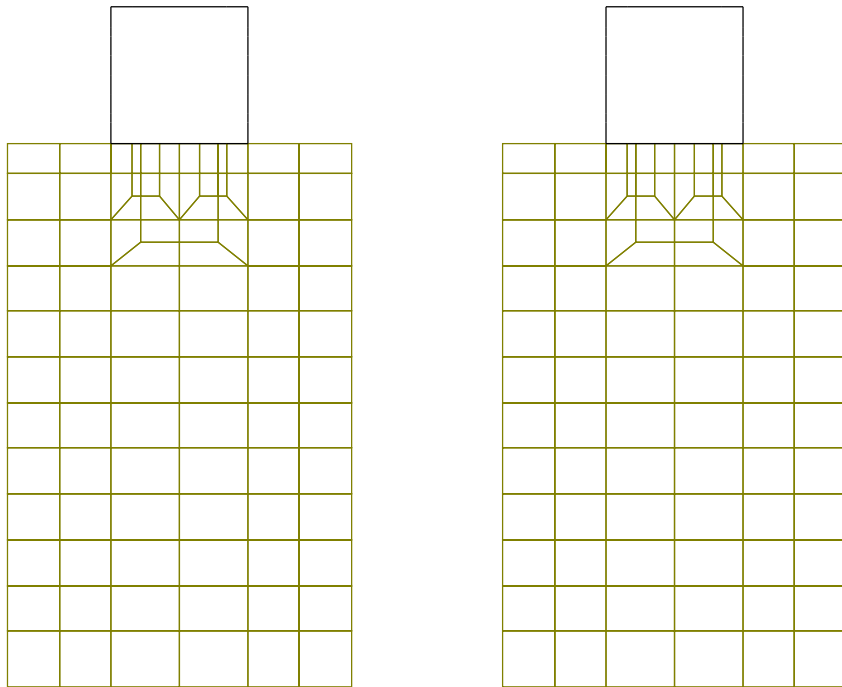
①S<sub>s</sub>-1 2

図-3 局所安全係数分布図 (その2)



①S<sub>s</sub>-13

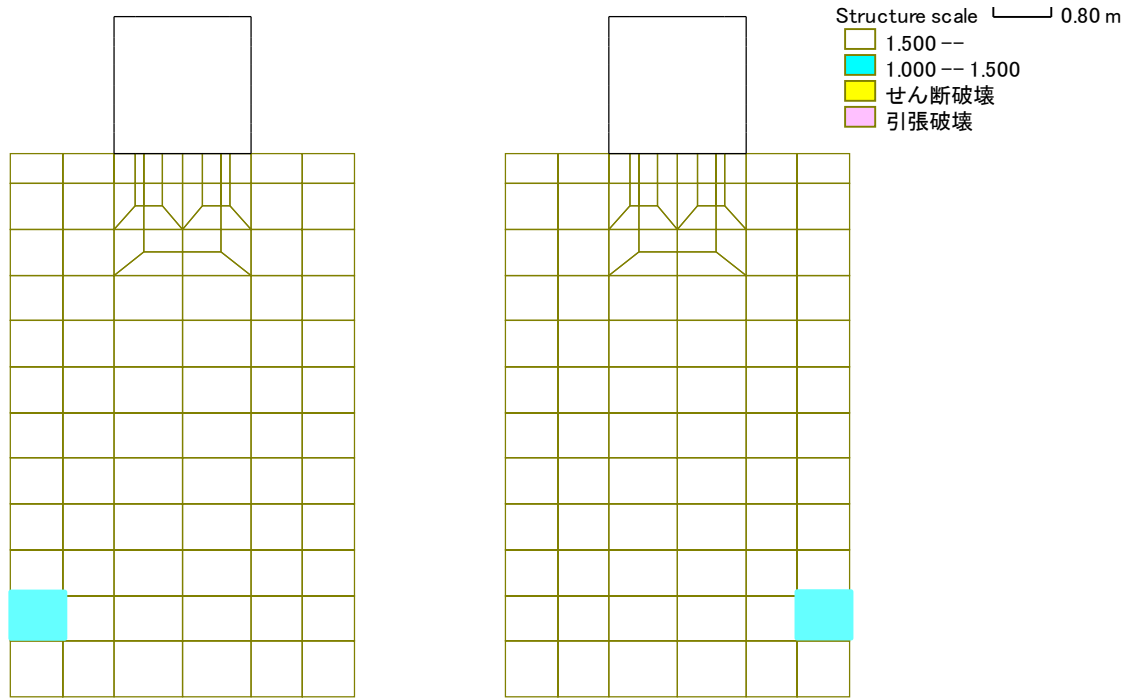
①S<sub>s</sub>-14



①S<sub>s</sub>-21

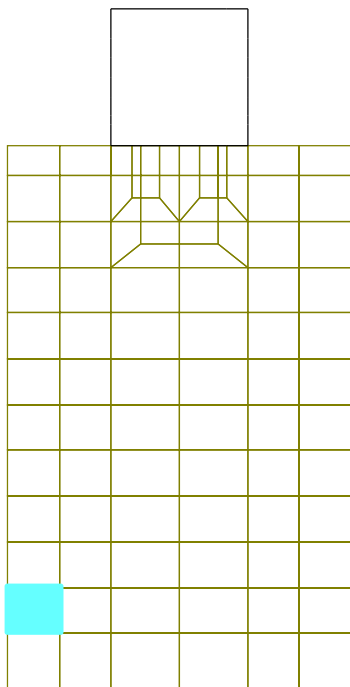
①S<sub>s</sub>-22

図-4 局所安全係数分布図 (その3)

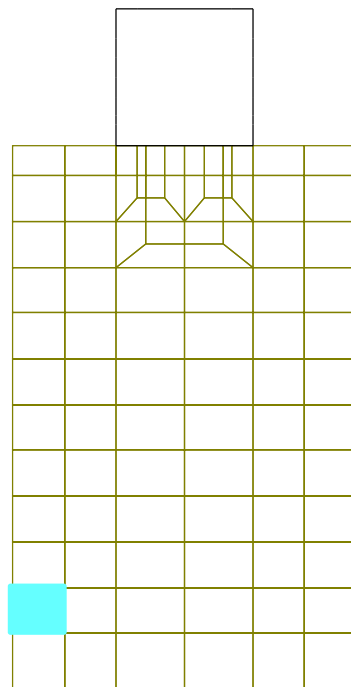


①  $S_s - 3 1$  (H+, V+)

①  $S_s - 3 1$  (H+, V+)

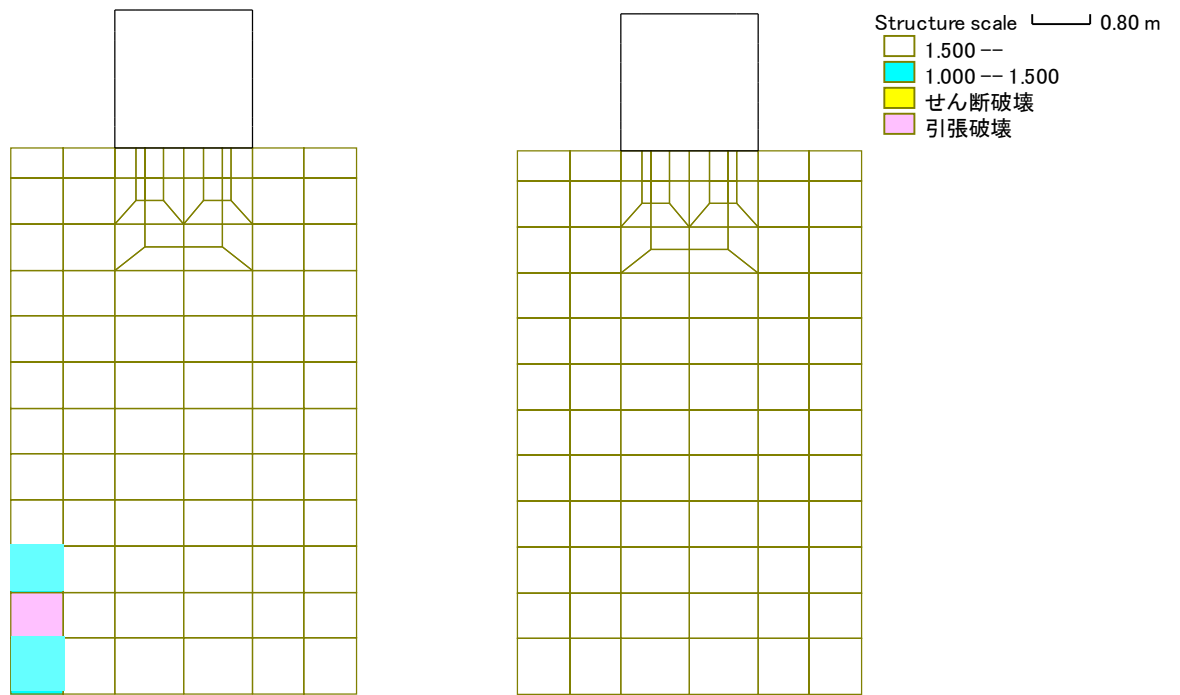


②  $S_s - 3 1$  (H+, V+)



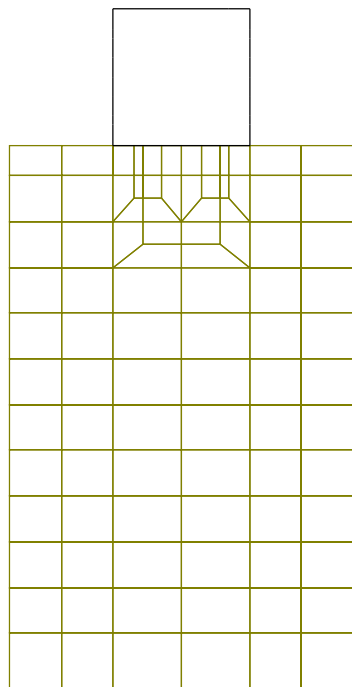
③  $S_s - 3 1$  (H+, V+)

図-5 局所安全係数分布図 (その3)



④  $S_s - 31$  (H+, V+)

⑤  $S_s - 31$  (H+, V+)



⑥  $S_s - 31$  (H+, V+)

図-6 局所安全係数分布図 (その4)



表-3 局所安全係数一覧表

地震波	引張抵抗力 R(kN/m)	せん断力 S(kN/m)	局所安全係数 F <sub>s</sub>	引張抵抗力 R(kN/m)	引張力 S(kN/m)	局所安全係数 F <sub>s</sub>	評価 基準値
①Ss-D1 (H+V+)	9000	764	11.78				1.5
①Ss-D1 (H+V-)	9000	769	11.70				
①Ss-D1 (H-V+)	9000	760	11.84				
①Ss-D1 (H-V-)	9000	764	11.78				
①Ss-11	9000	384	23.43				
①Ss-12	9000	478	18.82				
①Ss-13	9000	486	18.51				
①Ss-14	9000	380	23.68				
①Ss-21	9000	479	18.78				
①Ss-22	9000	653	13.78				
①Ss-31 (H+V+)	9000	865	10.40				
①Ss-31 (H-V+)	9000	825	10.90				
②Ss-31 (H+V+)	9000	864	10.41				
③Ss-31 (H+V+)	9000	867	10.38				
④Ss-31 (H+V+)	9000	1062	8.47	1580	1650	0.95	
⑤Ss-31 (H+V+)	9000	772	11.65				
⑥Ss-31 (H+V+)	9000	764	11.78				

## 5 すべり安全率の算定

④  $S_s - 31 (H+, V+)$  において、引張破壊が生じた個所をとる想定すべり線を設定してすべり安全率を算出した。設定した想定すべり線を図-7 に示す。すべり線は、すべり線①（破壊箇所と Km 層と埋戻し層の層境界を結んだ線）を起点として、人工岩盤上面までの区間を  $5^\circ$  間隔で設定した。

すべり安全率算定結果を表-4 に示す。同表によれば、最小すべり安全率はすべり線④で生じ、 $F_s=12.67$  であった。評価基準値 1.5 に対して十分安全裕度を有していることを確認した。

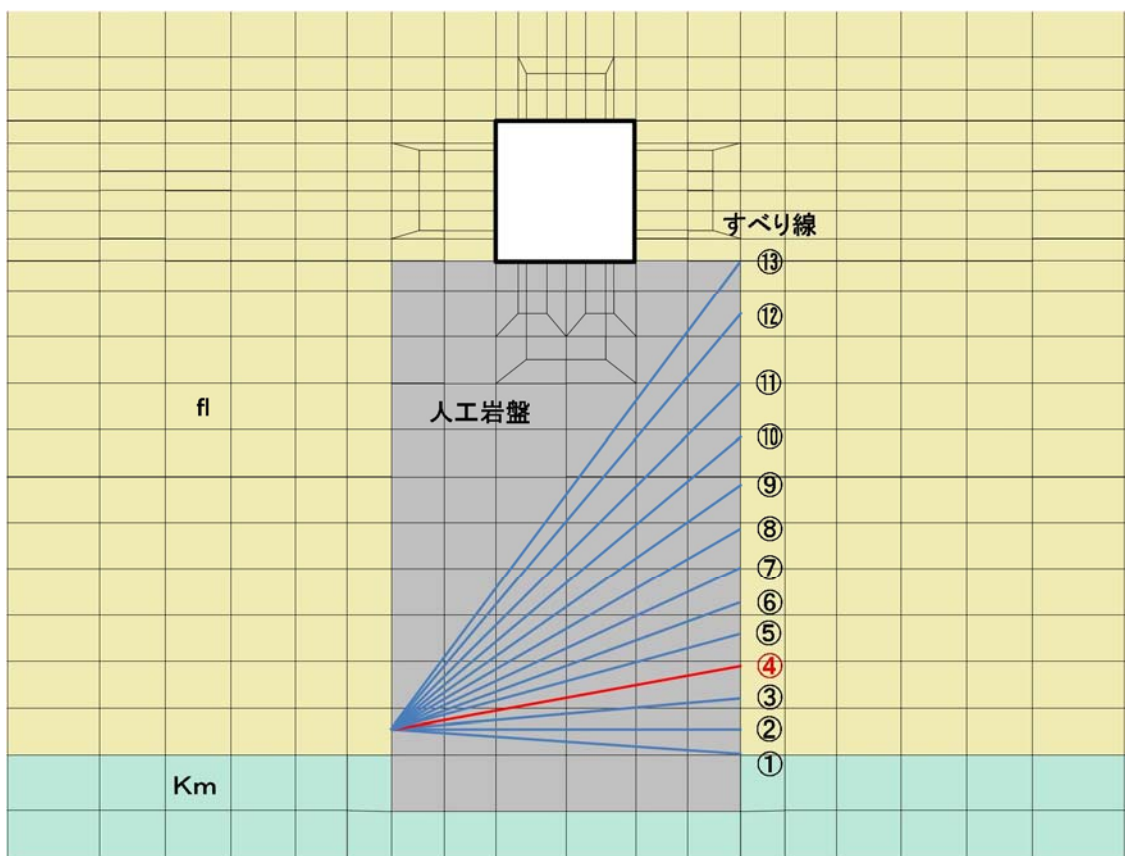


図-7 推定すべり線の設定

表-4 すべり安全率算定結果

検討ケース	想定すべり線	時刻	せん断抵抗力	せん断力	すべり安全率	評価基準値
		t(sec)	R(kN/m)	S(kN/m)	Fs	
ケース④ Ss-31(++)	すべり線①	8.78	57501	4231	13.59	1.5
	すべり線②	8.78	57375	4222	13.58	
	すべり線③	8.78	57593	4190	13.74	
	すべり線④	8.78	58261	4596	<b>12.67</b>	
	すべり線⑤	8.78	59399	4602	12.90	
	すべり線⑥	8.78	61057	4784	12.76	
	すべり線⑦	8.78	63830	4915	12.98	
	すべり線⑧	8.78	68940	4986	13.82	
	すべり線⑨	8.78	74557	5074	14.69	
	すべり線⑩	8.78	81114	5168	15.69	
	すべり線⑪	8.78	89097	5295	16.82	
	すべり線⑫	8.79	99137	5387	18.40	
	すべり線⑬	8.79	107986	5412	19.95	

コメントNo. 72 強軸断面方向の杭照査

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震安全性評価に関する参考資料

(参考3) 強軸断面における鋼管杭の照査結果

上部構造（壁構造）による杭の影響を確認するため、強軸断面における鋼管杭の照査を実施する。鋼管杭の照査方法及び許容限界は、弱軸断面と同様である。

鋼管杭の曲げ軸力に対する照査結果を表 3-1、鋼管杭のせん断力に対する照査結果を表 3-2 に示す。

以上より、鋼管杭の発生法力は、許容限界以下であることを確認した。

表 3-1 鋼管杭の曲げ軸力に対する照査結果

検討 ケース	地震動	評価 位置	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
④	S <sub>s</sub> -31 (H-, V+)	左	-5752	7176	273.2	442.5	0.62
		左中	-5703	3169	237.3	382.5	0.63
		中	-5503	705	209.0	382.5	0.55
		右中	-5493	-1588	-216.1	-382.5	0.57
		右	-5389	-4856	-240.1	-442.5	0.55

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース  
評価位置は下図に示す。

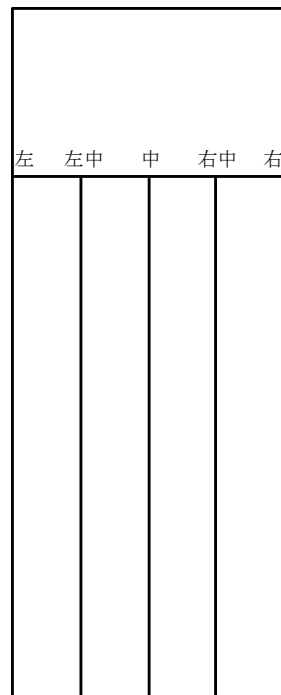
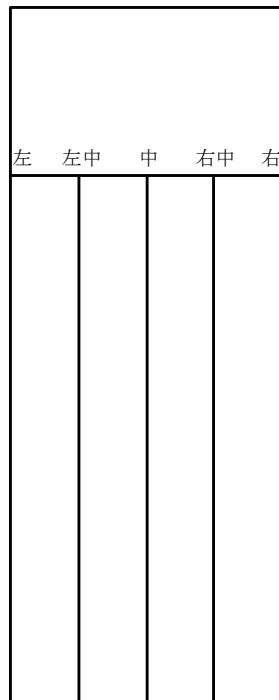


表 3-2 鋼管杭のせん断力に対する照査結果

検討 ケース	地震動	評価 位置	発生 せん断力 (kN)	せん断 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
④	S <sub>s</sub> -31 (H-, V+)	左	2901	49.37	255.0	0.20
		左中	2795	47.57	217.5	0.22
		中	2675	45.52	217.5	0.21
		右中	2691	45.80	217.5	0.22
		右	2691	45.81	255.0	0.18

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース  
評価位置は下図に示す。



可搬型設備用軽油タンク基礎の耐震安全性評価に関する参考資料

(参考3) 強軸断面における鋼管杭の照査結果

上部構造（壁構造）による杭の影響を確認するため、強軸断面における鋼管杭の照査を実施する。鋼管杭の照査方法及び許容限界は、弱軸断面と同様である。

鋼管杭の曲げ軸力に対する照査結果を表 3-1、鋼管杭のせん断力に対する照査結果を表 3-2 に示す。

以上より、鋼管杭の発生法力は、許容限界以下であることを確認した。

表 3-1 鋼管杭の曲げ軸力に対する照査結果

検討 ケース	地震動	評価 位置	曲げ モーメント (kN・m)	軸力 (kN)	発生 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
④	S <sub>s</sub> -D1 (H+, V-)	左	-4077	-3510	-180.3	-382.5	0.48
		左中	-3790	-420	-143.4	-382.5	0.38
		中	-3651	1491	147.4	382.5	0.39
		右中	-3662	3724	166.8	382.5	0.44
		右	-3969	7064	206.5	382.5	0.54

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース  
評価位置は下図に示す。

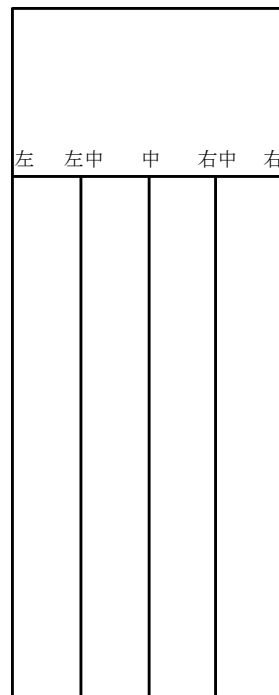
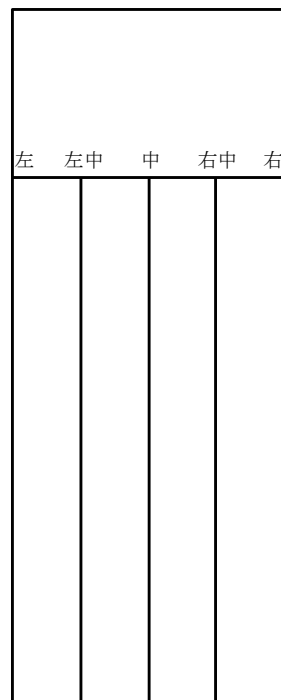




表 3-2 鋼管杭のせん断力に対する照査結果

検討 ケース	地震動	評価 位置	発生 せん断力 (kN)	せん断 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	短期許容 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	照査値
④	S <sub>s</sub> -D1 (H+, V-)	左	-2040	-34.72	217.5	0.16
		左中	-1846	-31.41	217.5	0.15
		中	-1831	-31.17	217.5	0.15
		右中	-1876	-31.93	217.5	0.15
		右	-2078	-35.37	217.5	0.17

注記 ④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定した解析ケース  
評価位置は下図に示す。



## コメントNo. 54 断面選定の根拠となる相対変位の明示

### 1.4.18 可搬型設備用軽油タンク基礎の断面選定の考え方

図 1.4.18-1 に可搬型設備用軽油タンク基礎の平面配置図を示す。

可搬型設備用軽油タンク基礎は、西側と南側に分散配置される可搬型設備保管場所に対応して、同様の構造形式\*となる可搬型設備用軽油タンク基礎を2箇所を設置する。内空幅約 11 m (タンク軸方向) × 約 13 m (タンク横断方向)、内空高さ約 4 m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり、2連のボックスで構成されており、杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。可搬型設備用軽油タンク基礎の平面図を図 1.4.18-2 に、断面図を図 1.4.18-3 に示す。

注記 \* : 杭長のみ異なる。



図 1.4.18-1 可搬型設備用軽油タンク基礎の平面配置図

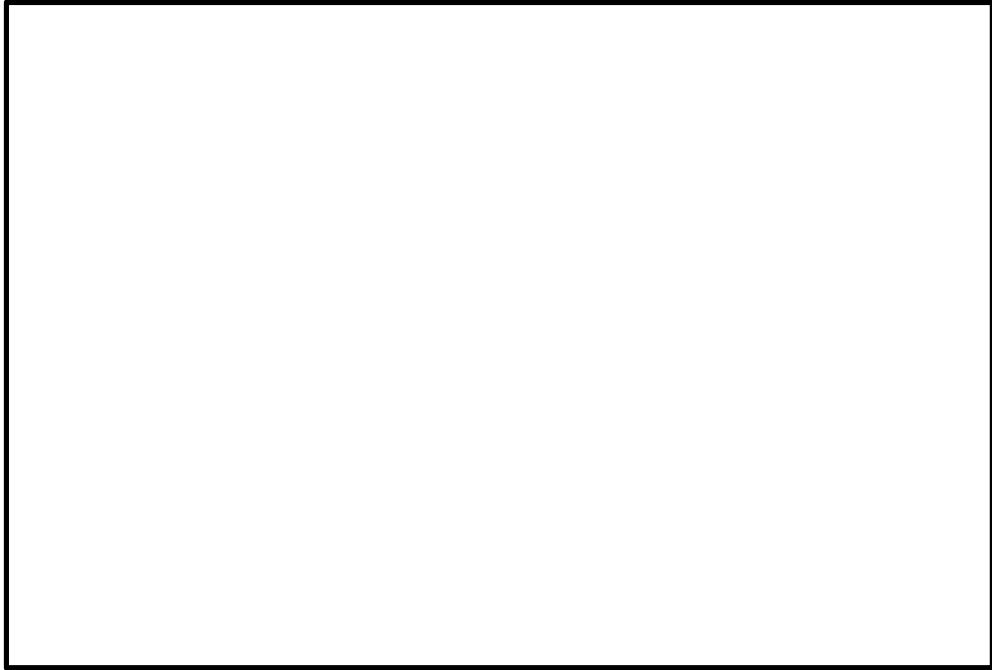


図 1.4.18-2 可搬型設備用軽油タンク基礎 平面図

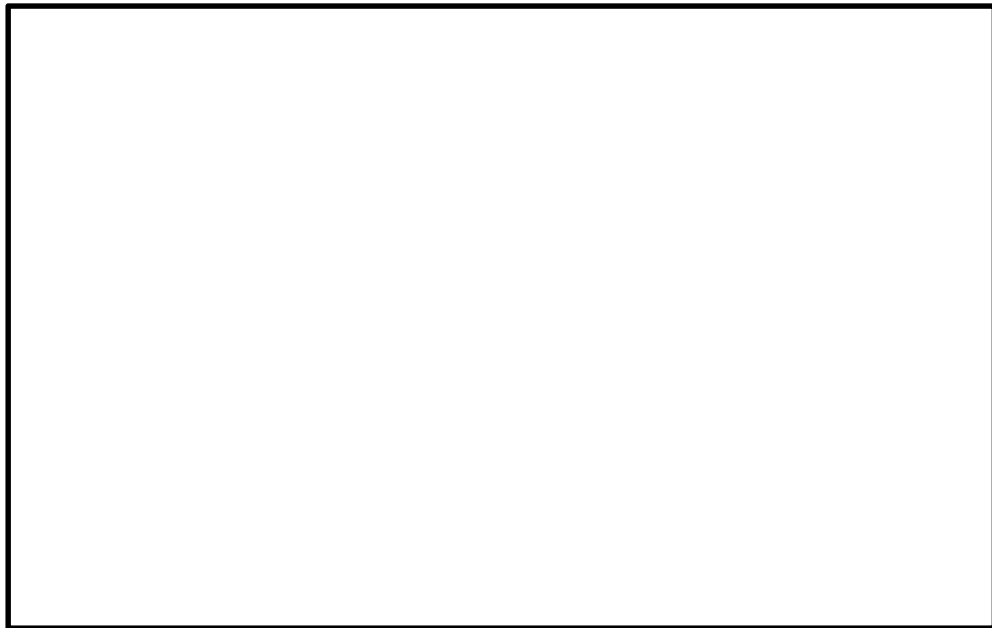


図 1.4.18-3 (1) 可搬型設備用軽油タンク基礎 断面図 (A-A 断面)



図 1.4.18-3 (2) 可搬型設備用軽油タンク基礎 断面図 (B-B 断面)

(1) 耐震評価候補断面の整理

「1.4.1 方針 ①断面評価候補断面の整理」に従い、耐震評価候補断面を整理する。可搬型設備用軽油タンク基礎は縦断方向（タンク軸方向）にほぼ一様な断面の比較的単純なボックスカルバート状の断面であり、縦断方向は加振方向と平行に配置される側壁又は隔壁を耐震設計上見込むことができるため、強軸方向断面となる。一方、横断方向（タンクの軸方向に対し直交する方向）は、タンクを格納するため、加振方向と平行に配置される構造部材が無いことから、弱軸方向断面となる。

耐震評価候補断面位置を図 1.4.18-4 に、断面図を図 1.4.18-5 に示す。各耐震評価候補断面図の特徴を表 1.4.18-1 に示す。

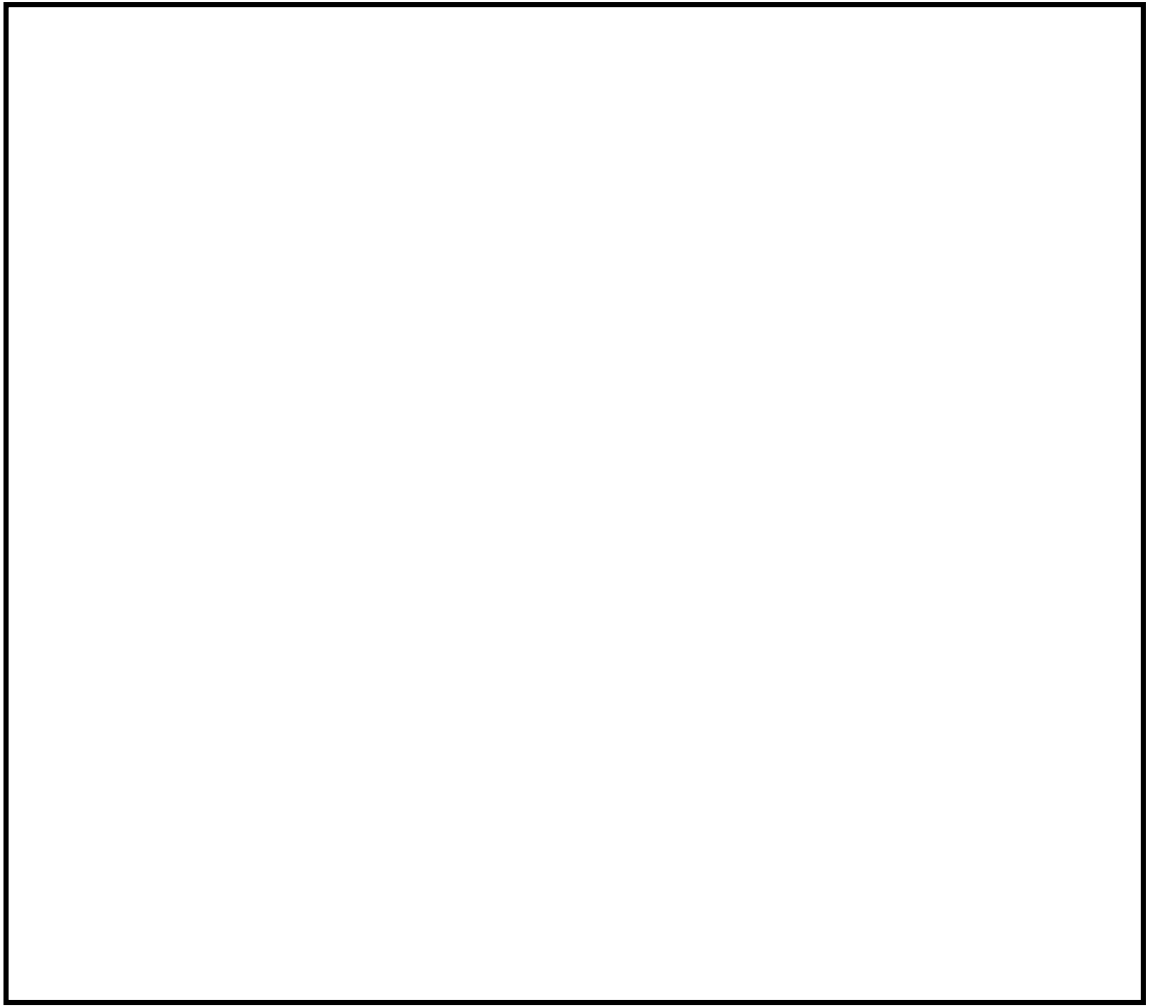
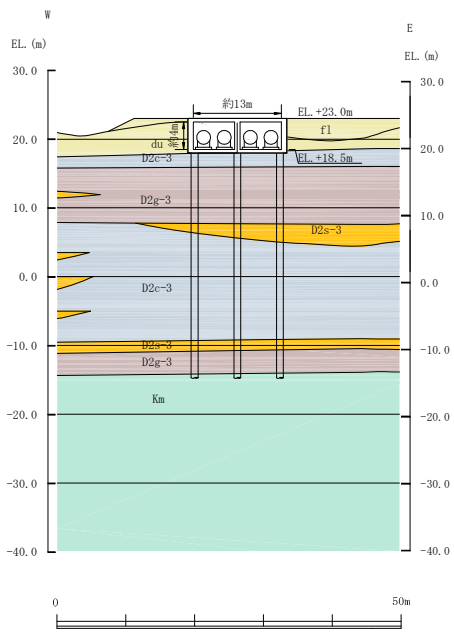
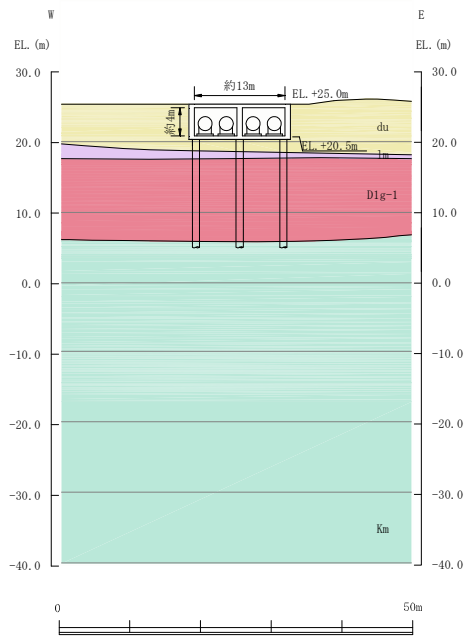


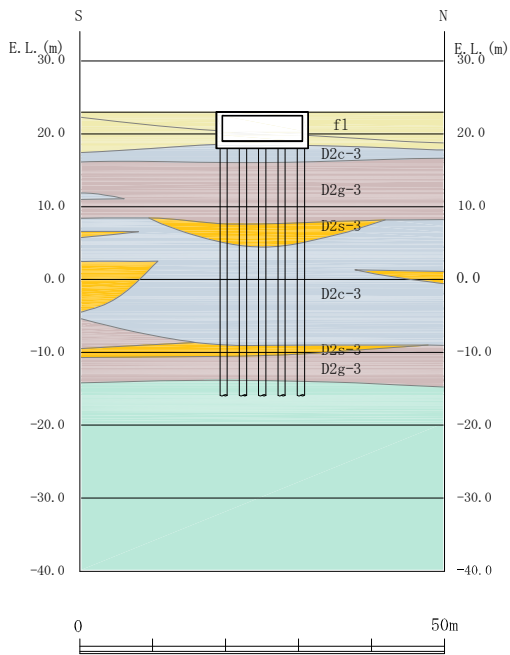
图 1.4.18-4 耐震評価候補断面位置図



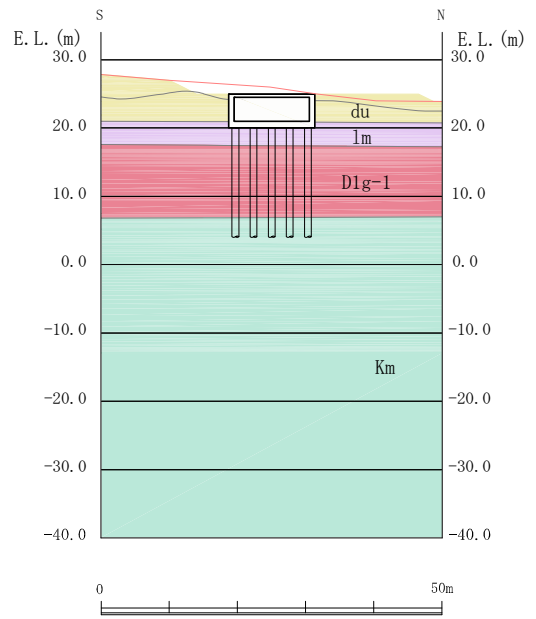
可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）  
 (①-①断面)



可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）  
 (②-②断面)



可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）  
 (③-③断面)



可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）  
 (④-④断面)

図 1.4.18-5 耐震評価候補断面の断面図

表 1.4.18-1 可搬型設備用軽油タンク基礎 耐震評価候補断面の特徴

方向	要求性能	断面	構造的特徴	周辺地質	間接支持する構造物
東西	間接支持	①-①	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弱軸断面方向</li> <li>・地中に埋設</li> <li>・一様な断面を有するボックスカルバート形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置</li> <li>・第四紀層が厚く（約 40 m）堆積</li> </ul>	可搬型設備用軽油タンク
	間接支持	②-②	<ul style="list-style-type: none"> <li>・弱軸断面方向</li> <li>・地中に埋設</li> <li>・一様な断面を有するボックスカルバート形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置</li> <li>・第四紀層が浅く（約 20 m）堆積</li> </ul>	可搬型設備用軽油タンク
南北	間接支持	③-③	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強軸断面方向</li> <li>・地中に埋設</li> <li>・一様な断面を有するボックスカルバート形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置</li> <li>・第四紀層が厚く（約 40 m）堆積</li> </ul>	可搬型設備用軽油タンク
	間接支持	④-④	<ul style="list-style-type: none"> <li>・強軸断面方向</li> <li>・地中に埋設</li> <li>・一様な断面を有するボックスカルバート形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置</li> <li>・第四紀層が浅く（約 20 m）堆積</li> </ul>	可搬型設備用軽油タンク

①-①断面は、構造物は地中に埋設しており、一様な断面を有するボックスカルバート形状である。杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置され、第四紀層が厚く（約 40 m）堆積している。

②-②断面は、構造物は地中に埋設しており、一様な断面を有するボックスカルバート形状である。杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置され、第四紀層が浅く（約 20 m）堆積している。

③-③断面は、構造物は地中に埋設しており、一様な断面を有するボックスカルバート形状である。杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置され、第四紀層が厚く（約 40 m）堆積している。

④-④断面は、構造物は地中に埋設しており、一様な断面を有するボックスカルバート形状である。杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置され、第四紀層が浅く（約 20 m）堆積している。

可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）と可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）にて1次元地震応答解析を行い応答の比較を行う。

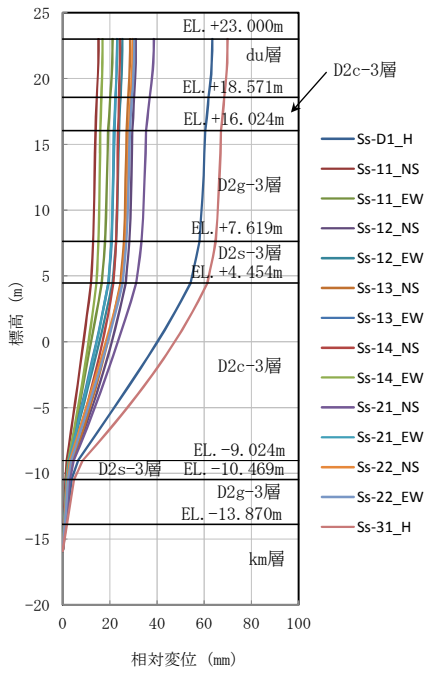


## (2) 評価対象断面の選定

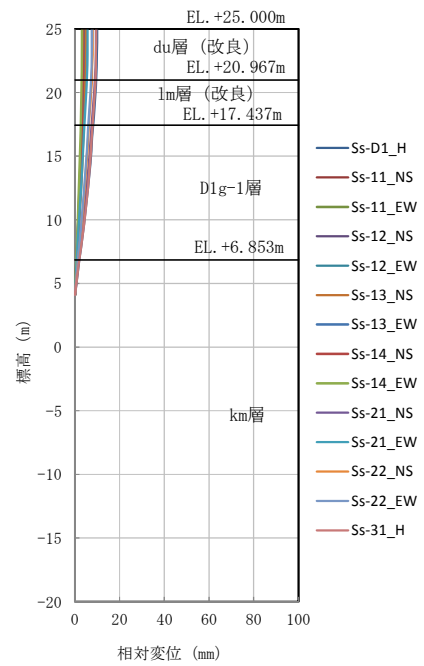
可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）及び可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）において実施した1次元地震応答解析結果の地表面最大変位発生時刻の変位分布を図1.4.18-6に、最大せん断ひずみ発生時刻のひずみ分布を図1.4.18-7に示す。また、1次元地震応答解析結果の一覧表を表1.4.18-2に示す。なお、可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）にせん断剛性が低い1m層が分布することで変位が大きくなるため、構造物及び杭基礎の耐震性向上の観点から地盤改良体（セメント改良）及び地盤改良体（薬液注入）を実施する。

表1.4.18-2より、可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）の方が相対変位およびせん断ひずみ大きい。よって、可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）の弱軸断面方向である①-①断面を耐震評価の評価対象断面として採用する。

また、機器・配管系への加速度応答の観点から、可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）の強軸断面方向の③-③断面及び可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）の強軸断面方向の④-④断面において、1次元地震応答解析を実施し評価対象断面を選定する。

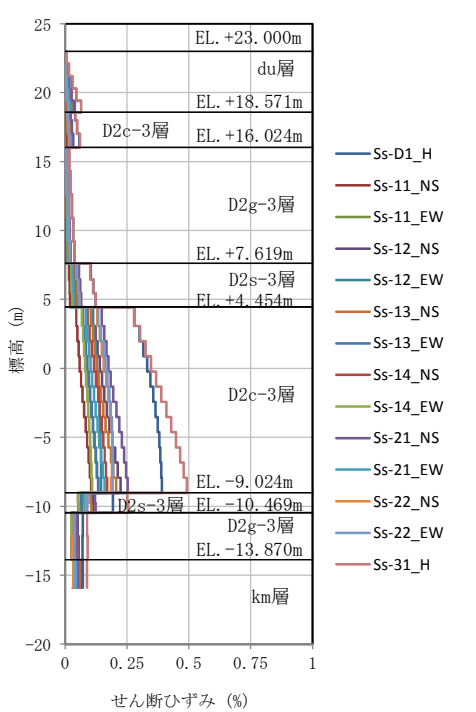


可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）

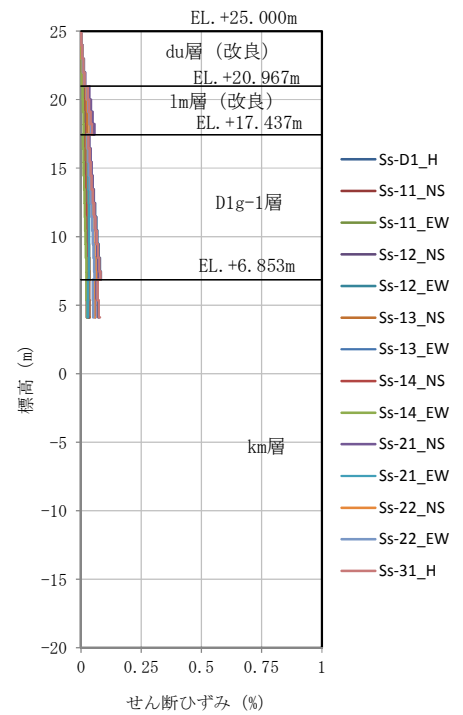


可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）

図 1. 4. 18-6 地表面最大変位発生時刻の変位分布



可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）



可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）

図 1. 4. 18-7 最大せん断ひずみ発生時刻のひずみ分布

表 1.4.18-2 1次元地震応答解析結果の結果一覧

評価対象	地表面加速度 の最大値 ( $\text{cm/s}^2$ )	頂版と底盤の 相対変位 (mm)	地表面最大 相対変位 (mm)	最大せん断 ひずみ (%)
可搬型設備用軽油タンク 基礎 (西側)	626.7 (水平方向 : $S_s - 2 2$ )	2.073 ( $S_s - 2 1$ )	69.9 ( $S_s - 3 1$ )	0.492 ( $S_s - 3 1$ )
可搬型設備用軽油タンク 基礎 (南側)	646.5 (水平方向 : $S_s - 2 1$ )	0.742 ( $S_s - 2 1$ )	9.93 ( $S_s - D 1$ )	0.083 ( $S_s - D 1$ )

表 1.4.18-2 より, 可搬型設備用軽油タンク基礎 (南側) の方が地表面加速度の最大値が大きくなるため, ④-④断面を機器・配管系への加速度応答の観点の評価断面とする。

(3) 断面選定結果

(2) より、構造物の耐震設計における評価対象断面は可搬型設備用軽油タンク基礎（西側）の弱軸断面方向である①－①断面とし、この断面について地震応答解析及び耐震評価を実施する。評価対象断面の選定結果を表 1.4.18－3 に、評価対象断面を図 1.4.18－8 に示す。

ただし、機器・配管系への加速度応答算出の観点から、可搬型設備用軽油タンク基礎（南側）の強軸断面方向である④－④断面にて、機器・配管系への加速度応答抽出断面図を図 1.4.18－9 に示す。

表 1.4.18－4 に耐震設計及び機器・配管系への加速度応答抽出に使用する断面の整理を示す。

表 1.4.18-3 評価候補断面の選定結果

方向	断面	要求性能	構造的特徴	周辺地質	間接支持する施設	今回工認 評価断面	選定理由
東西	①-①	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> <li>弱軸断面方向</li> <li>地中に埋設</li> <li>一様な断面を有するボックスカルバート形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置</li> <li>第四紀層が厚く(約40m)堆積</li> </ul>	可搬型設備用 軽油タンク	○	1次元地震応答解析により得られる相対変位及びせん断ひずみが比較的大きいため、評価対象断面とする。
	②-②	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> <li>弱軸断面方向</li> <li>地中に埋設</li> <li>一様な断面を有するボックスカルバート形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置</li> <li>第四紀層が浅く(約20m)堆積</li> </ul>	可搬型設備用 軽油タンク	—	1次元応答解析により得られる相対変位及びせん断ひずみが比較的小さいため、評価対象断面としない。
南北	③-③	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> <li>強軸断面方向</li> <li>地中に埋設</li> <li>一様な断面を有するボックスカルバート形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置</li> <li>第四紀層が厚く(約40m)堆積</li> </ul>	可搬型設備用 軽油タンク	—	強軸断面方向であるため、評価対象としない。
	④-④	間接支持	<ul style="list-style-type: none"> <li>強軸断面方向</li> <li>地中に埋設</li> <li>一様な断面を有するボックスカルバート形状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置</li> <li>第四紀層が浅く(約20m)堆積</li> </ul>	可搬型設備用 軽油タンク	—	強軸断面方向であるため、評価対象断面としないが、機器・配管系への加速度応答の観点より、地震応答解析の実施対象断面とする。

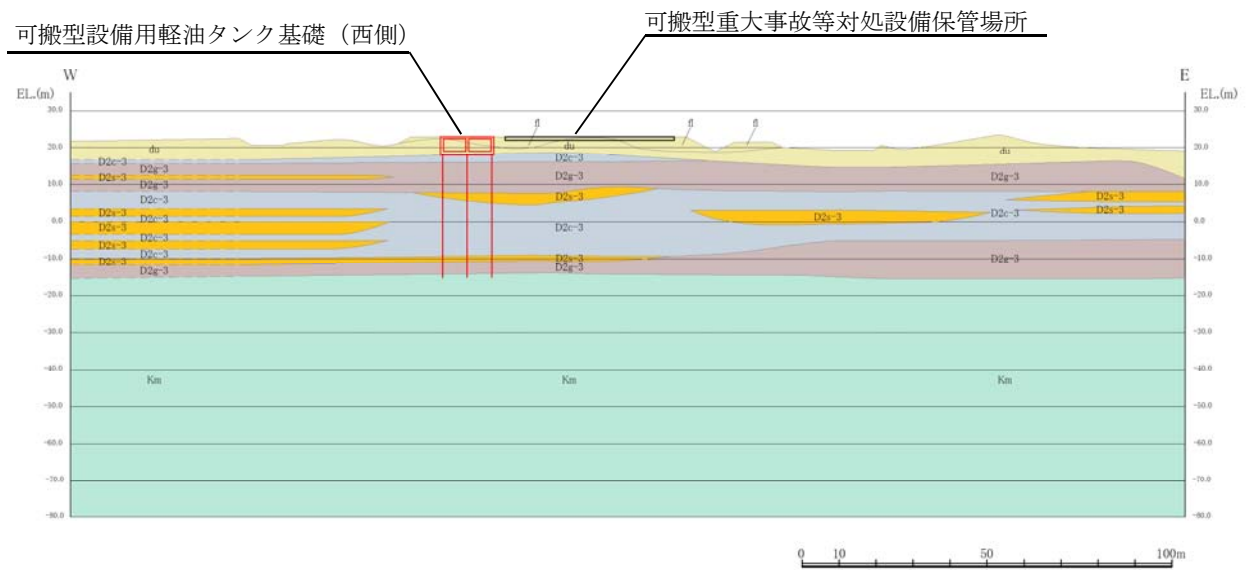


図 1. 4. 18—8 可搬型設備用軽油タンク基礎の評価対象断面図  
 (可搬型設備用軽油タンク基礎（西側） ①—①断面)

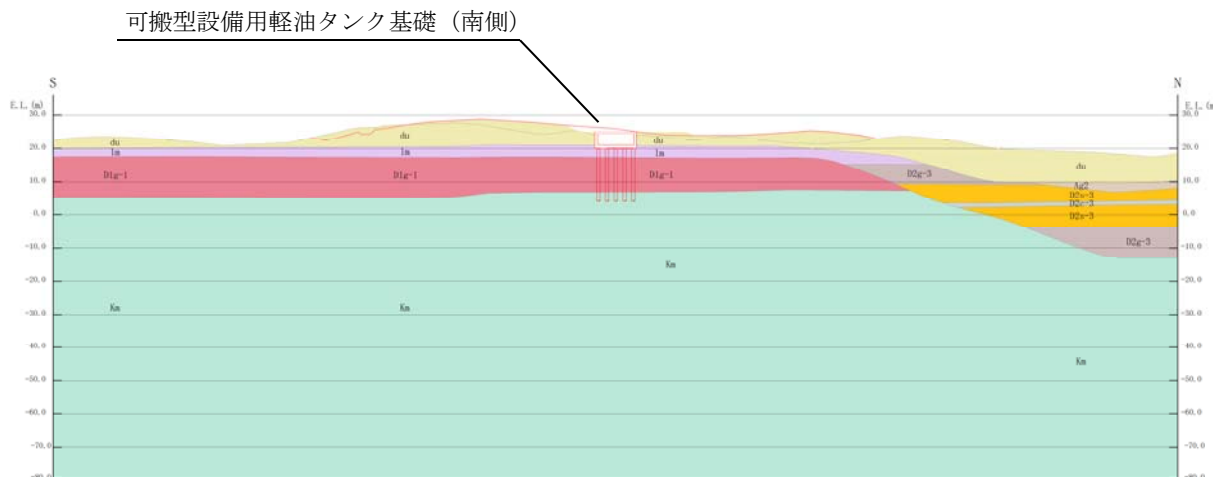


図 1. 4. 18—9 機器・配管系への加速度応答抽出断面図  
 (可搬型設備用軽油タンク基礎（南側） ④—④断面)

表 1.4.18-4 耐震設計及び機器・配管系への加速度応答抽出に使用する断面の整理

断面条件	可搬型設備用軽油タンク基礎の 耐震設計 (V-2-2-24 緊急時対策所用発電機燃料油貯 蔵タンク基礎の耐震性についての計算書)	機器・配管系への 加速度応答抽出 (V-2-2-23 緊急時対策所用発電機燃料油貯 蔵タンク基礎の地震応答計算書)
①-①断面	○	○
④-④断面	—	○

17.2.4 評価対象断面の選定

図 17.2-3, 図 17.2-4 及び図 17.2-5 に緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面位置図, 断面図及び構造概要図を示す。

緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎は, 内空幅 9 m (タンク軸方向) × 約 5 m (タンク横断方向), 内空高さ約 5.3 m の鉄筋コンクリート造の地中構造物であり, タンク軸方向に 2 基併設している。また, 杭を介して十分な支持性能を有する岩盤に設置する。鋼管杭は, 2 種類の材質を用いる。A-A 断面方向では両端の杭の材質を SBHS500 とする。B-B 断面方向においても, 両端の杭の材質を SBHS500 とする。タンク下中央の鋼管杭の材質は SM570 とする。なお, 構造安全性を確保すること及び基礎地盤の安定性の観点から構造物下部から Km 層まで地盤改良 (セメント改良) 及び地盤改良 (薬液注入) を行う。

併設する 2 基の緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎は同様の構造形式である。一方の緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の耐震評価を実施することで, 双方の仕様を決定するものとする。

評価対象断面は, 「1.4.17 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面選定の考え方」で記載したとおり, 第四紀層の液状化検討層の厚さが比較的厚く, 構造物の弱軸断面方向である①-①断面を代表として耐震評価を実施する。なお, ②-②断面についても, 機器・配管系への加速度応答を抽出するため地震応答解析を実施する。



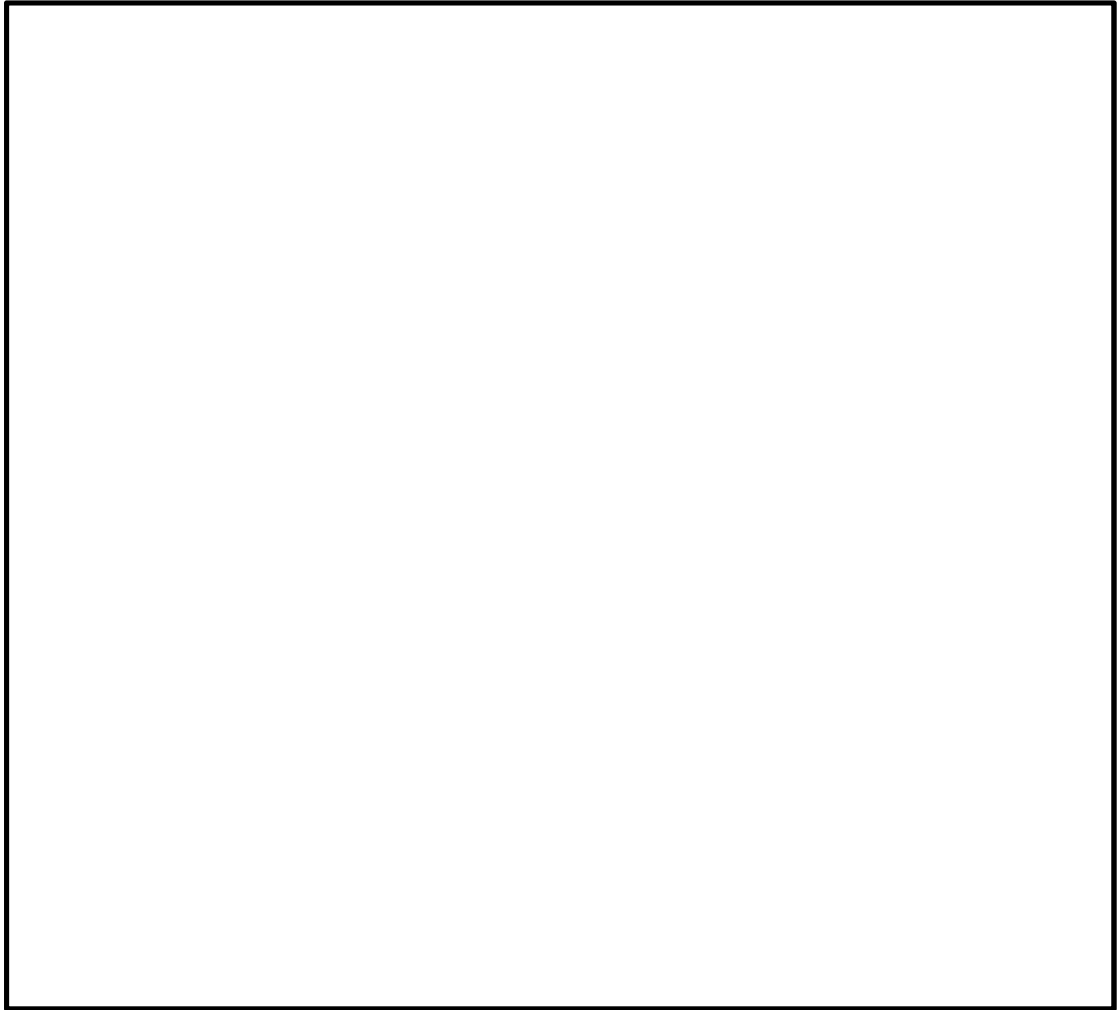


図 17.2-3 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面位置図

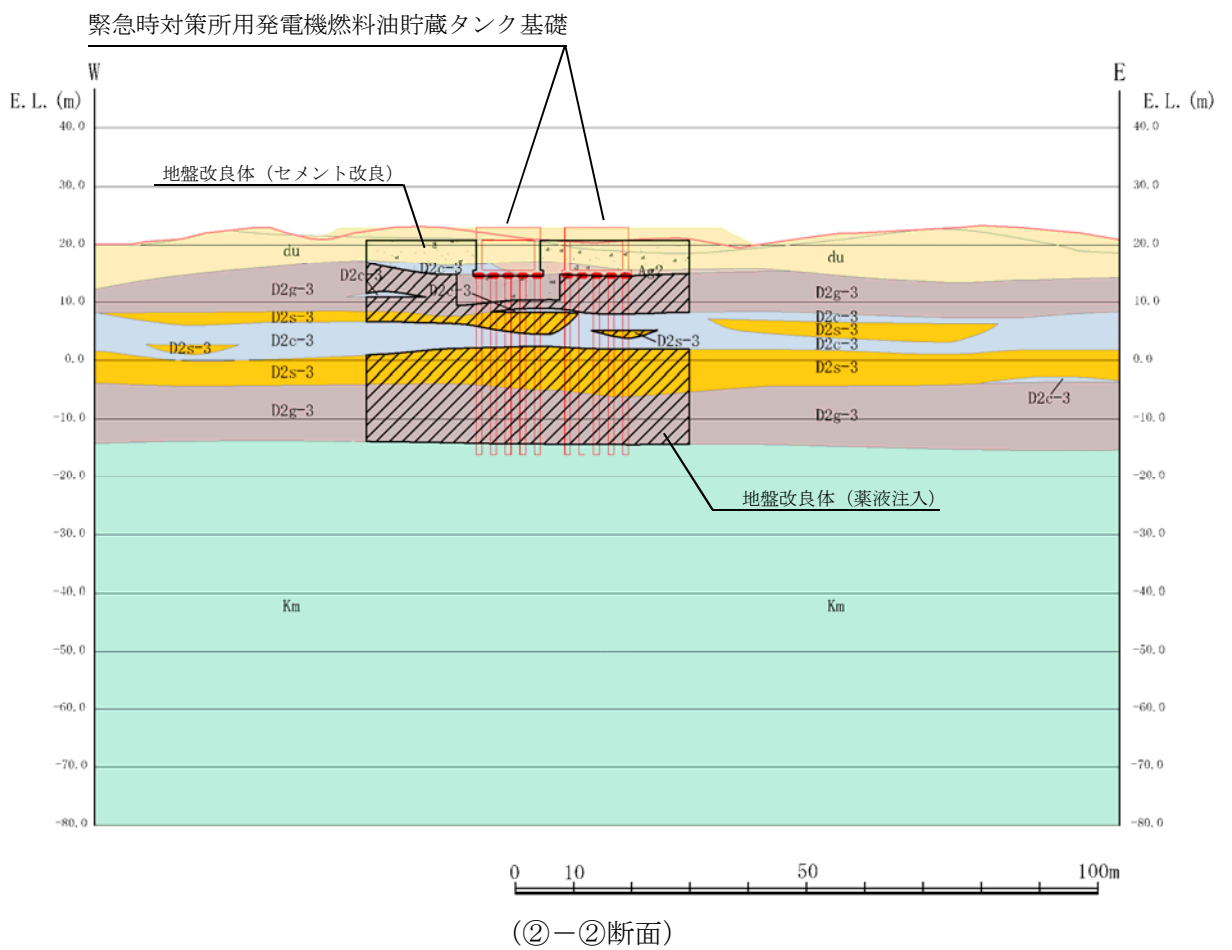
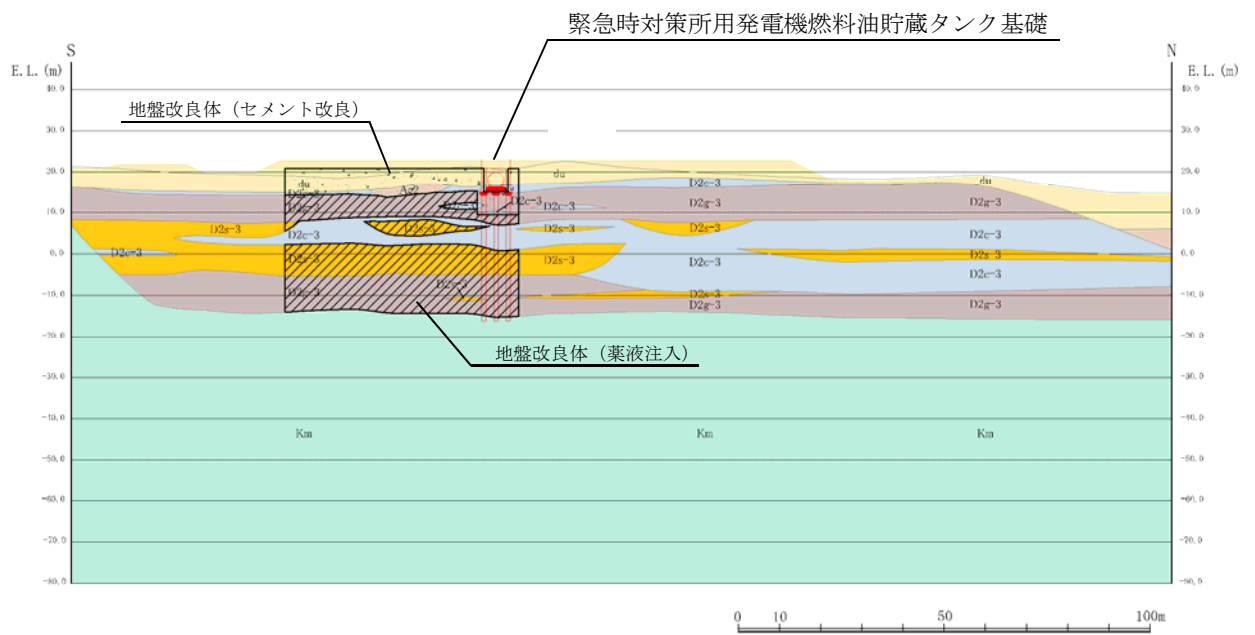


図 17.2-4 緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎の断面図

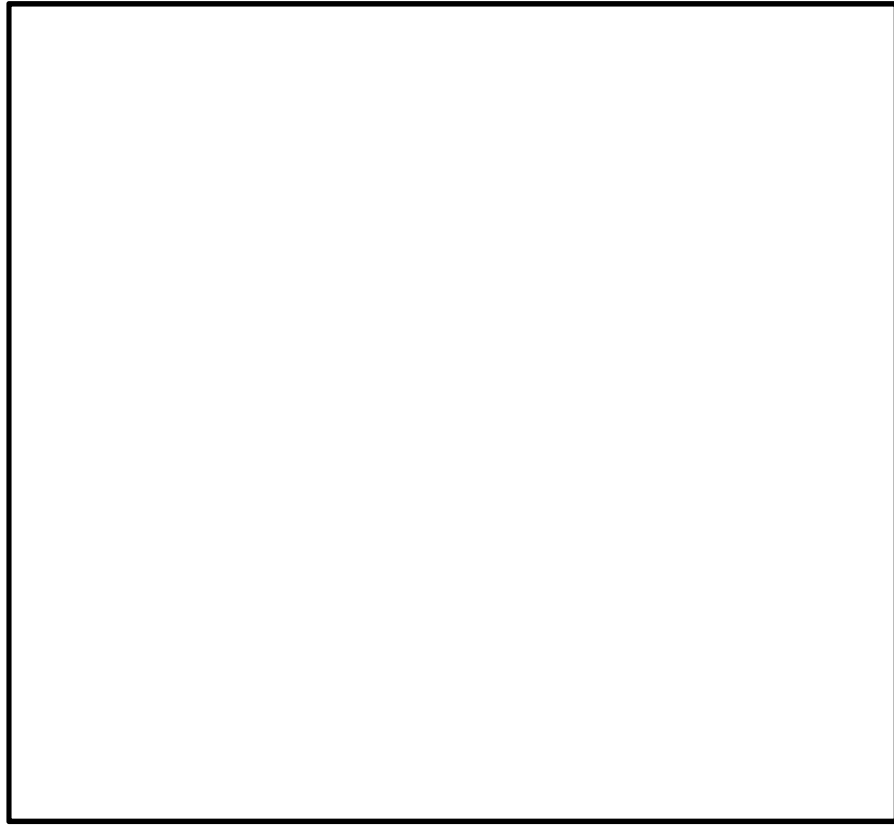


图 17.2-5 (1) 構造概要図 平面図

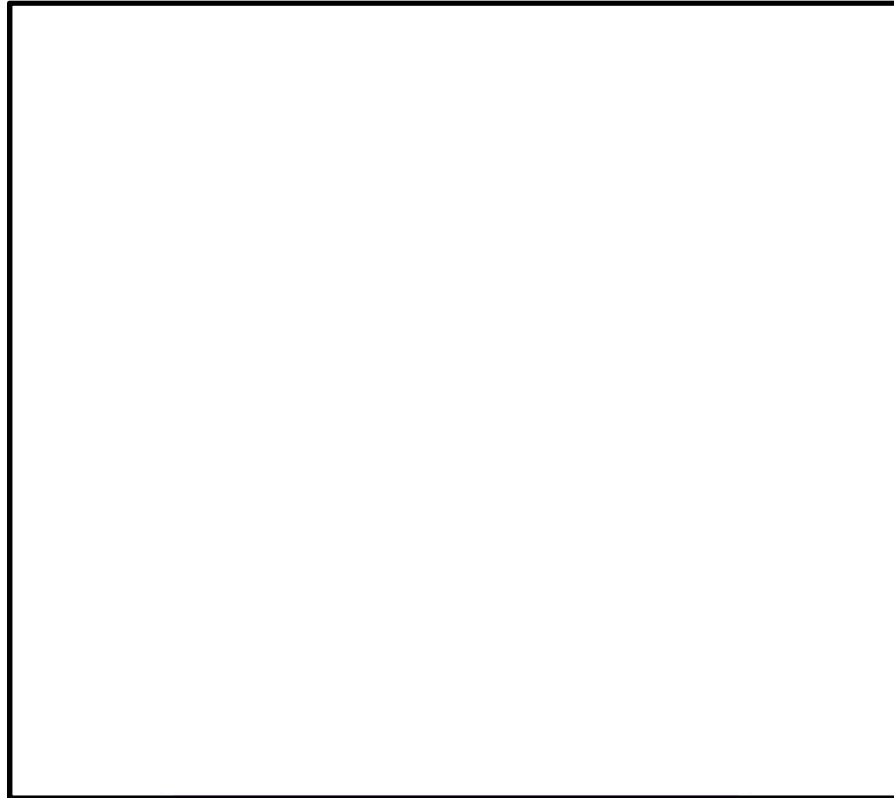


图 17.2-5 (2) 構造概要図 A-A断面図

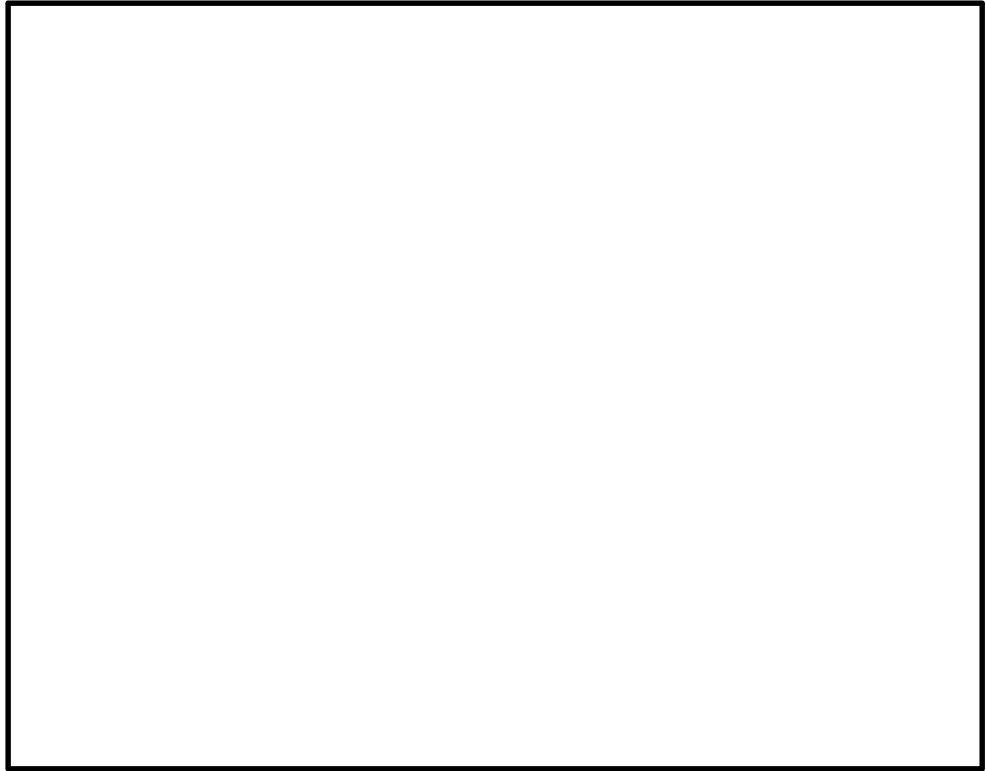


图 17.2-5 (3) 构造概要图 B-B 断面图

### 17.2.5 使用材料及び材料定数

耐震評価に用いる材料定数は、規格、基準類を基に設定する。構造物の使用材料を表 17.2-2 に、材料物性値を表 17.2-3 に示す。

地盤の諸元は、添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している物性値を用いる。なお、地盤については、有効応力の変化に応じた地震時挙動を適切に考慮できるモデルとする。地盤の物性値を表 17.2-4 に、地盤改良体（セメント改良）の物性値を表 17.2-5 に示す。また、地盤改良体（薬液注入）については、改良対象の原地盤の解析用物性値と同等の物性値を用いると共に、非液状化層とする。

表 17.2-2 使用材料

諸元	
コンクリート	設計基準強度 40 N/mm <sup>2</sup>
鉄筋	SD490
鋼管杭	SM570
	SBHS500

表 17.2-3 材料物性値

材料	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	減衰定数 (%)
鉄筋コンクリート	24.5 <sup>*1</sup>	3.1×10 <sup>4*1</sup>	0.2 <sup>*1</sup>	5 <sup>*2</sup>
鋼管杭	77 <sup>*3</sup>	2.0×10 <sup>5*3</sup>	0.3 <sup>*3</sup>	3 <sup>*4</sup>

注記 \*1：コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕（土木学会，2002年制定）

\*2：J E A G 4 6 0 1 -1987（（社）日本電気協会）

\*3：道路橋示方書（I 共通編・IV 下部構造編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

\*4：道路橋示方書（V 耐震設計編）・同解説（（社）日本道路協会，平成 14 年 3 月）

## 1.2 屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価内容

屋外重要土木構造物は、Sクラスの機器・配管系の間接支持構造物又は非常用取水設備であることを考慮し、その要求性能については、想定する地震動に対して次のように設定する。

- ① 支持性能：Sクラスの機器・配管系を間接支持する構造物について、機器・配管系の各機能を安全に支持できること。
- ② 通水性能：非常用取水設備のうち、通水断面を有する構造物について、通水機能を保持できること。
- ③ 貯水性能：非常用取水設備について、著しい漏水がなく、所要の海水を貯留できること。
- ④ 止水性能：津波防護施設、浸水防止設備を間接支持する構造物について、止水機能を有すること。

上記性能維持については、必ずしも同一の評価基準を満足することで確認できるものではないことから、以下のとおり、要求性能毎に条件を整理し、基本となる評価内容及び要求性能を踏まえた追加検討内容について定める。

なお、屋外重要土木構造物の要求性能と要求性能に対する耐震評価は、以下の基本設計方針に基づく。

- ・添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」
- ・添付書類「V-2-1-3 地盤の支持性能に係る基本方針」
- ・添付書類「V-2-1-6 地震応答解析の基本方針」
- ・添付書類「V-2-1-9 機能維持の基本方針」

### 1.2.1 支持性能

支持性能については、屋外重要土木構造物が間接支持する機器・配管系による耐荷性能を維持できることと同義であることから、構造物が終局状態に至らないことを目標性能とする。したがって、目標性能に対応した許容限界として、曲げについては限界層間変形角又は終局曲率、せん断についてはせん断耐力（限界層間変形角、終局曲率及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせる。）を設定する。

ただし、構造物が間接支持する機器・配管系の機能維持のための与条件がある場合は、当該項目について別途検討を行う。具体的には、Sクラス施設又は設備である浸水防護施設を間接支持する構造物の耐震安全性評価においては、構造部材の損傷程度がおおむね弾性範囲内であることを確認する。

### 1.2.2 通水性能

通水性能については、屋外重要土木構造物の構造部材が損傷した場合でも、所定の水量を確保できるだけの通水断面が保持されればよい。ため、「1.2.1 支持性能」と同様に、構造物が終局状態に至らないことを目標性能とする。

### 1.2.3 貯水性能及び止水性能

貯水性能及び止水性能について、鉄筋コンクリート部材においては、構造部材を貫通するような顕著なひび割れが生じていない状態であれば、構造部材からの漏水は無いと判断できることから、断面が降伏に至らないことを目標性能とする。鋼材においては、構造部材が破断していない状態であれば、構造部材からの漏水は無いと判断できることから、構造部材が終局状態に至らないことを目標性能とする。また、構造部材のせん断について、せん断破壊が脆性的な破壊形態を示すことから、せん断耐力に至るまでは部材を貫通するような顕著なひび割れは発生しないと判断し、終局状態に至らないことを目標性能とする。

### 1.2.4 屋外重要土木構造物の耐震安全性に関する整理

上述のとおり、屋外重要土木構造物の要求性能に対応した構造物の状態は、降伏状態又は終局状態に至らないことである。

なお、新設屋外重要土木構造物は、許容応力度法による評価を基本としており、短期許容応力度を許容限界とする場合は、発生応力度が許容限界以下であることを確認することで、降伏状態又は終局状態に至らないことは自明であるため、支持性能、通水性能、貯水性能及び止水性能に対する目標性能の全てを満足することとなる。各要求性能と短期許容応力度の関係の概念を図 1.2-1 に示す。

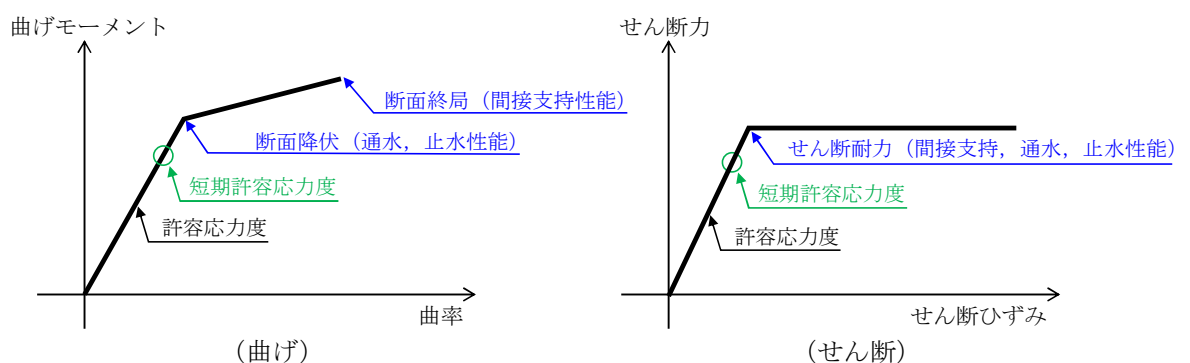


図 1.2-1 各要求性能と短期許容応力度の関係の概念

表 1.2-1 に、屋外重要土木構造物の要求性能及び目標性能の整理表を示す。また、表 1.2-2 に屋外重要土木構造物の要求性能一覧を示す。

表 1.2-1 屋外重要土木構造物の要求性能及び目標性能の整理表

		屋外重要土木構造物に求められる性能	
		①支持性能	②通水性能
要求性能		Sクラスの機器・配管系を安全に指示できる	海水の通水断面を閉塞しない
目標性能		<p>&lt;鉄筋コンクリート部材及び鋼材&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造物が終局状態に至らない</li> <li>・機器・配管系の制約条件を満足する</li> </ul>	<p>&lt;鉄筋コンクリート部材及び鋼材&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・構造物が終局状態に至らない</li> </ul>
設定理由		<p>機器・配管系の支持性能は、耐荷性能を維持することと同義であり、構造物が終局状態に至らないことを目標性能とする。ただし、支持するSクラスの機器・配管系の機能維持のための与条件がある場合は、別途確認を行う。</p>	<p>構造物が終局状態に至った場合でも、直ちに通水断面の閉塞に繋がる事象には至らないが、保守的に①と同様に、終局状態に至らないことを目標性能とする。</p>
許容限界		終局耐力（全塑性モーメント）	同左
主な照査結果・許容限界	曲げ	<p>&lt;鉄筋コンクリート部材&gt;</p> <p>発生曲率&lt;限界曲率<sup>*1, *2</sup></p> <p>&lt;鋼材&gt;</p> <p>発生曲率&lt;限界曲率<sup>*1, *3</sup></p>	<p>&lt;鉄筋コンクリート部材&gt;</p> <p>鉄筋の引張応力&lt;鉄筋の降伏強度</p> <p>&lt;鋼材&gt;</p> <p>発生曲率&lt;限界曲率<sup>*1, *3</sup></p>
	せん断	<p>&lt;鉄筋コンクリート部材及び鋼材&gt;</p> <p>発生せん断力&lt;せん断耐力<sup>*1</sup></p>	同左
			降伏耐力

注記 \*1 許容限界として設定する限界曲率及びせん断耐力は、各種係数を見込むことで安全余裕を考慮する。

\*2 鉄筋コンクリート部材の限界曲率：圧縮縁コンクリートひびきみ 1.0%に対応する曲率

\*3 鋼材の限界曲率：終局曲率



表 1.2-2 屋外重要土木構造物の要求性能一覧

構造物名称	要求性能			新設/既設	間接支持する 浸水防護施設
	① 支持性能	② 通水性能	③, ④ 貯水性能及び 止水性能		
取水構造物	○	○	○	既設	<ul style="list-style-type: none"> <li>取水路点検用開口部浸水防止蓋</li> <li>海水ポンプ室ケーブル点検口浸水防止蓋</li> <li>海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁</li> <li>取水ピット空気抜き配管逆止弁</li> </ul>
屋外二重管	○	-	-	新設/新設	-
常設代替高压電源装置置場及び西側淡水貯水設備	○	-	○	新設	-
常設代替高压電源装置用カルバート (トンネル部)	○	-	-	新設	-
常設代替高压電源装置用カルバート (立坑部)	○	-	○	新設	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設代替高压電源装置用カルバート原子炉建屋側水密扉</li> </ul>
常設代替高压電源装置用カルバート (カルバート部)	○	-	-	新設	-
代替淡水貯槽	○	-	○	新設	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設低圧代替注水系格納槽可搬型ポンプ用水密ハッチ</li> </ul>
常設低圧代替注水系ポンプ室	○	-	○	新設	<ul style="list-style-type: none"> <li>常設低圧代替注水系格納槽点検用水密ハッチ</li> </ul>
常設低圧代替注水系配管カルバート	○	-	-	新設	-
格納容器圧力逃がし装置用配管カルバート	○	-	-	新設	<ul style="list-style-type: none"> <li>格納容器圧力逃がし装置格納槽点検用水密ハッチ</li> </ul>
緊急用海水ポンプピット	○	-	○	新設	<ul style="list-style-type: none"> <li>緊急用海水ポンプピット点検用開口部浸水防止蓋</li> <li>緊急用海水ポンプ点検用開口部浸水防止蓋</li> <li>緊急用海水ポンプ室人員用開口部浸水防止蓋</li> <li>緊急用海水ポンプグラントドレン排出口逆止弁</li> <li>緊急用海水ポンプ室床ドレン排出口逆止弁</li> </ul>
緊急用海水取水管	-	○	-	新設	-
SA用海水ピット	○	-	○	新設	<ul style="list-style-type: none"> <li>SA用海水ピット開口部浸水防止蓋</li> </ul>
海水引込み管	-	○	-	新設	-
SA用海水ピット取水塔	-	○	-	新設	-
緊急時対策所用発電機燃料油貯蔵タンク基礎	○	-	-	新設	-
可搬型設備用軽油タンク基礎	○	-	-	新設	-

### 1.3 安全係数

屋外重要土木構造物の許容限界については、添付書類「V-2-1-1 耐震設計の基本方針」のとおり、以下の基本方針としている。

新設屋外重要土木構造物は、構造部材の曲げ軸力に対しては短期許容応力度、構造部材のせん断力に対しては短期許容せん断応力度を許容限界とするが、構造部材のうち、鉄筋コンクリートの曲げ軸力に対しては限界層間変形角又は終局曲率、鋼材の曲げ軸力に対しては終局曲率、鉄筋コンクリート及び鋼材のせん断力に対してはせん断耐力を許容限界とする場合がある。

既設屋外重要土木構造物の構造部材のうち、鉄筋コンクリートの曲げ軸力に対しては限界層間変形角又は終局曲率、鋼材の曲げ軸力に対しては終局曲率、鉄筋コンクリート及び鋼材のせん断力に対してはせん断耐力を許容限界とする。

なお、限界層間変形角、終局曲率及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせることとし、それぞれ安全余裕については各施設の機能要求等を踏まえ設定する。

上記の基本方針に基づき、既設屋外重要土木構造物である取水構造物の耐震評価にあたっては、鉄筋コンクリート部材及び鋼管杭の曲げ軸力照査は終局曲率（具体的には、全塑性モーメントに相当する曲率での変形性能照査を実施する。）、せん断力照査はせん断耐力を許容限界とした終局状態を想定した評価を実施する。また、その他の屋外重要土木構造物については、構造部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査は短期許容応力度を許容限界として評価を実施する。

曲げ軸力照査について全塑性モーメントを用いる耐震安全性評価及び、せん断力照査についてせん断耐力を用いる耐震安全性評価では、当該許容限界値に対して妥当な安全余裕を確保するため、構造部材の照査の過程において複数の安全係数を考慮する。

安全係数は、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数及び構造物係数の5種に分けられる。それぞれの安全係数の考え方を図1.3-1に示す。

安全係数の設定については、屋外重要土木構造物の構造的な特徴を踏まえ、その適用性を判断した上で参考とする規格・基準類を表1.3-1のとおり選定した。

表1.3-2に、鉄筋コンクリート部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査に用いる安全係数とその設定の考え方を示す。また、表1.3-3に、鋼管杭の曲げ軸力照査及びせん断力照査に用いる安全係数とその設定の考え方を示す。

安全係数については、各規格・基準類で、必ずしも一定の値が定められているわけではないことから、屋外重要土木構造物の特徴、耐震評価における解析手法及び物性値の設定根拠等を考慮し、表1.3-2及び表1.3-3に示すとおり設定する。

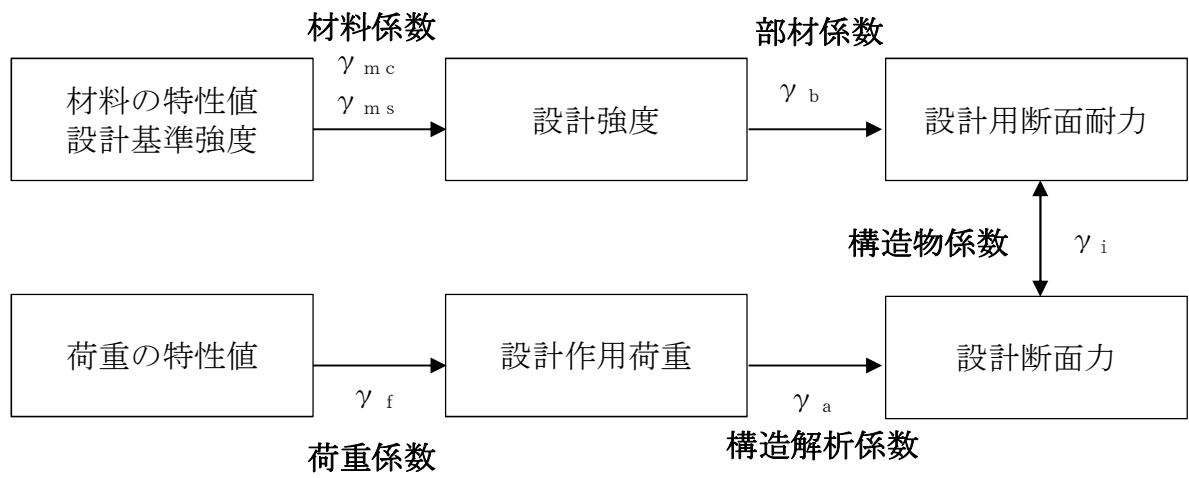


図 1.3-1 安全係数の考え方

表 1.3-1 安全係数の設定において参考とした規格・基準類とその適用性

参考とした規格・基準	規格・基準の適用範囲・対象構造物	適用性	部材毎の参照先	
			RC 部材	鋼管杭
①コンクリート標準示方書 [構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002 年制定) * 1	一般のコンクリート構造物及びプレストレストコンクリート及び鋼コンクリート合成構造 (設計基準強度 80N/mm <sup>2</sup> 以下)	土木系コンクリート構造物の設計から維持管理に至るまで幅広く活用されているとともに、工認実績のある規格・基準であることから適用性は高いと判断。	○	
②原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震設計性能照査指針・マニュアル ( (社) 土木学会, 2005 年)	原子力発電所屋外重要土木構造物 (①Sクラスの機器・配管を支持する鉄筋コンクリート構造物または①と同等の耐震安全性が要求される鉄筋コンクリート構造物)	原子力発電所屋外重要土木構造物に特化した規格・基準であり、屋外重要土木構造物の特徴 (埋設されたRC構造) を十分に考慮されたものであることから適用性は高いと判断。	○	△ (参考)
③鉄道構造物等設計基準・同解説耐震設計 (鉄道総合研究所, 2012 年)	鉄道の橋梁, 高架橋, 橋台, 擁壁, 特殊な条件下のトンネル等の鉄道構造物	対象とする構造物 (例えば開削トンネル (ボックスカルバート等) ) の構造上の特徴が、屋外重要土木構造物と比較的類似していることから適用性は高いと判断。	○	
④鋼・合成構造標準示方書 [耐震設計編] ( (社) 土木学会, 2008 年制定)	一般の鋼構造物, 合成桁, 及び合成梁	一般の鋼構造物の設計から維持管理に至るまで幅広く活用されていることから、鋼管杭に対して適用性は高いと判断。		○

注記 \* 1 : 耐震設計にかかわる工認審査ガイド (原子力規制委員会, 2013) において適用実績のある耐震設計に関連した規格及び基準

表 1.3-2 (1) 鉄筋コンクリート部材の耐震評価における安全計数の考え方 (せん断力照査)

安全計数	係数の概要・ 設定に至る背景	考慮の方法	各種規格・基準に基づく標準定期な値*1				屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値及び設定 の考え方	
			①*2	②*3	③*4	④		
材料係数	$\gamma_{mc}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐力評価に用いる材料の設計用値の評価</li> <li>物性のばらつきや供試体と構造物中との材料特性の差異, 材料特性の経時的変化を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する</li> </ul>	1.3	1.3	1.3	1.3	文献に基づく標準的な値を設定。
	$\gamma_{ms}$		<ul style="list-style-type: none"> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する</li> </ul>	1.0	1.0	1.0	1.0	文献に基づく標準的な値を設定。
部材係数	$\gamma_{bc}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計用断面耐力の評価</li> <li>部材耐力の計算上の不確実性, 部材寸法のばらつきの影響, 部材の重要度を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートが分担するせん断耐力を当該値で除する</li> </ul>	1.3	1.3	1.1~1.3	1.3	文献に基づく標準的な値を設定。
	$\gamma_{bs}$		<ul style="list-style-type: none"> <li>せん断補強筋が分担するせん断耐力を当該値で除する</li> </ul>	1.1	1.1	1.1	1.1	文献に基づく標準的な値を設定。
荷重係数	$\gamma_f$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計荷重評価</li> <li>荷重の変動, 荷重の算定方法の不確実性, 設計耐用期間中の荷重の変化, 荷重特性が限界状態に及ぼす影響, 環境作用の変動等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久荷重, 変動荷重, 偶発荷重 (地震荷重) の特性値に当該荷重を乗じる</li> </ul>	1.0~1.2 (偶発荷重は1.0)	1.0	1.0	1.0	偶発荷重については, 文献に基づく標準的な値を設定。永久荷重については, FEM解析の適用により評価精度は高いことから, 1.0に設定。変動荷重は, 設計上見込んでいない。
構造解析係数	$\gamma_a$	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面力の評価</li> <li>断面力算定時の構造解析の不確実性等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる</li> </ul>	1.0	1.05~	1.0	1.05	保守的に文献②)に基づき1.05に設定。
構造物係数	$\gamma_i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の総合的な安全性評価</li> <li>構造物の重要度, 限界状態に達したときの社会的影響を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる</li> </ul>	1.0~1.2	1.0	1.0	1.0	構造物の重要度及び限界状態に達したときの社会的影響については, 屋外重要土木構造物として基準地震動 $S_a$ による地震力を適用することで十分に考慮されているとして1.0として設定。

注記 \*1: 規格・基準①, ③における曲げ軸力照査は, 材料係数を見込んだ設計強度から設計用断面耐力にて照査する手法であるのに対し, 規格・基準②は変形量による照査手法を標準としている。

\*2: コンクリート標準示方書[構造性能照査編] ( (社) 土木学会, 2002年制定)

\*3: 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル ( (社) 土木学会, 2005年)

\*4: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計 (鉄道総合研究所, 2012年)

表 1.3-2 (2) 鉄筋コンクリート部材の耐震評価における安全係数の考え方 (変形による曲げ軸力照査)

安全計数	係数の概要・設定に至る背景	考慮の方法	各種規格・基準に基づく標準定期な値*1				屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値及び設定の考え方
			①*2	②*3	③*4	④*4	
材料係数	$\gamma_{mc}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐力評価に用いる材料の設計用値の評価</li> <li>物性のばらつきや供試体と構造物中との材料特性の差異、材料特性の経時的変化を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>コンクリートの設計圧縮強度を当該値で除する</li> <li>鉄筋の降伏強度を当該値で除する</li> </ul>	1.3	1.0	1.3	1.0
	$\gamma_{ms}$			1.0	1.0	1.0	文献に基づく標準的な値を設定。
部材係数	$\gamma_b$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計用断面耐力の評価</li> <li>部材耐力の計算上の不確実性、部材寸法のばらつきの影響、部材の重要度を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>曲げに対する限界値を当該値で除する</li> </ul>	1.1	1.0	1.0~1.15	1.0
荷重係数	$\gamma_f$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計荷重評価</li> <li>荷重の変動、荷重の算定方法の不確実性、設計耐用期間中の荷重の変化、荷重特性が限界状態に及ぼす影響、環境作用の変動等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久荷重、変動荷重、偶発荷重(地震荷重)の特性値に当該荷重を乗じる</li> </ul>	1.0~1.2 (偶発荷重は1.0)	1.0	1.0	1.0
構造解析係数	$\gamma_a$	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面力の評価</li> <li>断面力算定時の構造解析の不確実性等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる</li> </ul>	1.0	1.2	1.0	1.2
構造物係数	$\gamma_i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の総合的な安全性評価</li> <li>構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的影響を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる</li> </ul>	1.0~1.2	1.0	1.0	1.0

注記 \*1: 規格・基準①、③における曲げ軸力照査は、材料係数を見込んだ設計強度から設計用断面耐力にて照査する手法であるのに対し、規格・基準

②は変形量による照査手法を標準としている。

\*2: コンクリート標準示方書〔構造性能照査編〕( (社) 土木学会, 2002年)

\*3: 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル( (社) 土木学会, 2005年)

\*4: 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計(鉄道総合研究所, 2012年)

表 1.3-3 鋼管杭の耐震評価における安全係数の考え方（曲げ軸力照査及びせん断力照査）

安全係数	係数の概要・ 設定に至る背景	考慮の方法	各種規格・基準に基づく 標準的な値		屋外重要土木構造物の耐震評価で採用した値及び 設定の考え方
			②*1 (RC 構造を対象とした 基準につき参考扱い)	④*2	
材料係数 $\gamma_m$	<ul style="list-style-type: none"> <li>耐力評価に用いる材料の設計用値の評価</li> <li>物性のばらつきや供試体と構造物中との材料特性の差異, 材料特性の経時的変化を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼材の降伏強度を当該値で除する</li> </ul>	1.0	1.0*3	1.0*4 文献に基づき標準的な値を設定
部材係数 $\gamma_b$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計用断面耐力の評価</li> <li>部材耐力の計算上の不確実性, 部材寸法のバラツキの影響, 部材の重要度を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>各種限界値を当該値で除する</li> </ul>	1.1 (せん断) 1.0 (曲げ)	1.1*3	1.1*4 文献に基づき標準的な値を設定
荷重係数 $\gamma_f$	<ul style="list-style-type: none"> <li>設計荷重評価</li> <li>荷重の変動, 荷重の算定方法の不確実性, 設計耐用期間中の荷重の変化, 荷重特性が限界状態に及ぼす影響, 環境作用の変動等を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>永久荷重, 変動荷重, 偶発荷重 (地震荷重) の特性値に当該荷重を乗じる</li> </ul>	1.0	1.0*3	1.0*4 文献に基づき標準的な値を設定
構造解析係数 $\gamma_a$	<ul style="list-style-type: none"> <li>断面力の評価</li> <li>断面力算定時の構造解析の不確実性を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる</li> </ul>	1.05 (せん断) 1.20 (曲げ)	1.05*3	1.05*4 鋼材に対応した規格・基準である文献④に基づき 1.05 に設定
構造物係数 $\gamma_i$	<ul style="list-style-type: none"> <li>構造物の総合的な安全性評価</li> <li>構造物の重要度, 限界状態に達したときの社会的影響を考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>発生断面力に当該値を乗じる</li> </ul>	1.0	1.0*3	1.0*4 文献に基づき標準的な値を設定

注記 \*1：原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル（（社）土木学会，2005 年）

\*2：鋼・合成構造標準示方書（（社）土木学会，2008 年制定）

\*3：④の規格・基準においては，安全係数を曲げ軸力照査及びせん断力照査で区別していない。

\*4：曲げ軸力照査及びせん断力照査共通の安全係数として設定する。

コメントNo. 282 浮き上がりの検討

常設低圧代替注水系配管カルバートの耐震安全性評価に関する参考資料



## 2 構造物の浮き上がりに係る評価

### 2.1 評価方針

地盤中の構造物の浮き上がりに係る評価は、「共同溝設計指針（日本道路協会，昭和61年3月）」に準拠し，以下の式により算定した安全率が所要安全率1.1以上であることを確認する。ここで，「検討ケース④：敷地に存在しない豊浦標準砂の液状化強度特性により地盤を強制的に液状化させることを仮定したケース」の有効応力解析において，上載土のせん断抵抗面及び構造物側面の過剰間隙水圧比が0.95以上となる要素は，以下の式における上載土のせん断抵抗面における各要素のせん断抵抗 $Q_{S i}$ 及び構造物側面における各要素の摩擦抵抗 $Q_{B i}$ を考慮しない。また，構造物の両側面は流動化処理土により埋戻しを行うこととし，次式における $U_D$ を考慮しない。流動化処理土の物性値は，埋戻土の解析用物性値を用いる。

なお，共同溝設計指針の適用及び有効応力解析における地下水位の設定は，地表面とする。

$$F_S = (W_S + W_B + Q_S + Q_B) / (U_S + U_D)$$

ここに，

$F_S$ ：安全率（所要安全率：1.1）

$W_S$ ：上載土の荷重（水の重量含む）（k N/m）

$W_B$ ：構造物の自重（k N/m）

$Q_S$ ：上載土のせん断抵抗（k N/m）

$Q_B$ ：構造物側面の摩擦抵抗（k N/m）

$U_S$ ：構造物底面に作用する静水圧による揚圧力（k N/m）

$U_D$ ：構造物底面に作用する過剰間隙水圧による揚圧力（k N/m）

上載土のせん断抵抗及び構造物側面の摩擦抵抗は，次式を用いて算出する。

$$Q_S = \sum Q_{S i}$$

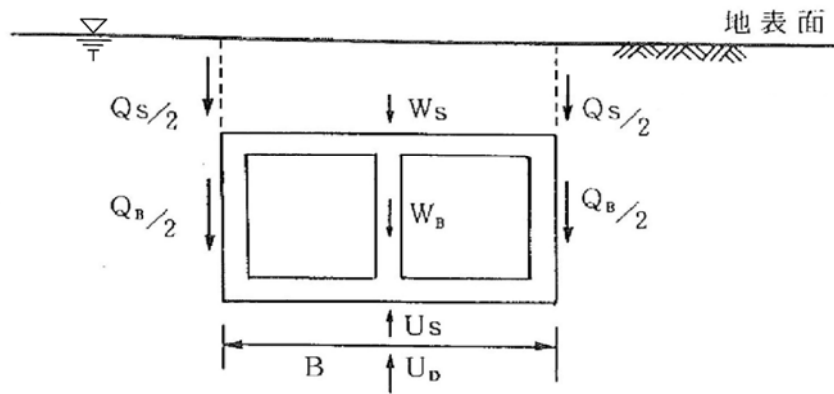
$$Q_B = \sum Q_{B i}$$

ここに，

$Q_{S i}$ ：上載土のせん断抵抗面における各要素のせん断抵抗（k N/m）

$Q_{B i}$ ：構造物側面における各要素の摩擦抵抗（k N/m）

$i$ ：安全率を算定する上載土のせん断抵抗面及び構造物側面の各 FEM 要素



「共同溝設計指針（日本道路協会，昭和61年3月）に一部加筆」

図 11-3 地盤中の構造物に作用する力

## 2.2 評価結果

検討ケースは、「検討ケース①：原地盤に基づく液状化強度特性を用いた解析ケース」において最も過剰間隙水圧比が高くなる地震動を用いて「検討ケース④：敷地に存在しない豊浦砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した解析ケース」にて評価した。

表 11-1 安全率の算定結果

$F_s$	$\frac{W_s + W_B + W_p + Q_s + Q_B}{U_s + U_D} = \frac{646.0 + 205.8 + 6.8 + 0.0 + 179.0}{460.5 + 0.0}$	= 2.25 > 1.1
$W_s$	$\gamma_s \times H_s \times B$ $19.4\text{kN/m}^3 \times (\text{EL} + 8.0\text{m} - \text{EL} - 1.0\text{m}) \times 3.70\text{m}$	= 646.0kN/m
$W_B$	$\gamma_c \times (B \times H_B - B_1 \times H_1)$ $24.5\text{kN/m}^3 \times (3.70\text{m} \times 3.70\text{m} - 2.30\text{m} \times 2.30\text{m})$	= 205.8kN/m
$W_p$	$w_p^{*1} \times B_1$ $2.971\text{kN/m}^2 \times 2.30\text{m}$	= 6.8kN/m
$Q_s$	$K_0 \times \sigma_v'^{*2} \times H_s \times \tan\phi_s^{*3}$ 上載土の過剰間隙水圧比が 0.95 以上であり、非液状化層は存在しない	= 0.0kN/m
$Q_B$	$K_0 \times (\sigma_v'^{*4} \times H_{B左} + \sigma_v'^{*5} \times H_{B右}) \times \tan\phi_B^{*6}$ $0.5 \times (104.2\text{kN/m}^2 \times 3.70\text{m} + 104.2\text{kN/m}^2 \times 3.70\text{m}) \times \tan 24.9^\circ$	= 179.0kN/m
$U_s$	$\gamma_w \times (H_s + H_B) \times B$ $9.8\text{kN/m}^3 \times (\text{EL} + 8.0\text{m} - (\text{EL} - 4.7\text{m})) \times 3.70\text{m}$	= 460.5kN/m

\*1  $w_p$ : 機器配管重量  $303\text{kg/m}^2 \times 9.80665 \div 1000 = 2.971\text{kN/m}^2$

\*2  $\sigma_v'$ : 上載土層中間深度での有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

\*3  $\phi_s$ : 上載土の内部摩擦角 (°)

\*4  $\sigma_v'$ : 構造物左側面の非液状化層の中間深度での有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$$\sigma_v' = (19.4\text{kN/m}^3 - 9.8\text{kN/m}^3) \times (\text{EL} + 8.0\text{m} - (\text{EL} - 1.00\text{m}) + (\text{EL} - 4.70\text{m})) \div 2) \\ = 104.2\text{kN/m}^2$$

\*5  $\sigma_v'$ : 構造物右側面の非液状化層の中間深度での有効上載圧 (kN/m<sup>2</sup>)

$$\sigma_v' = (19.4\text{kN/m}^3 - 9.8\text{kN/m}^3) \times (\text{EL} + 8.0\text{m} - (\text{EL} - 1.00\text{m}) + (\text{EL} - 4.70\text{m})) \div 2) \\ = 104.2\text{kN/m}^2$$

\*6  $\phi_B$ : 構造物側面の壁面摩擦角 (°) ( $\phi_B = 2/3 \phi_s$ )

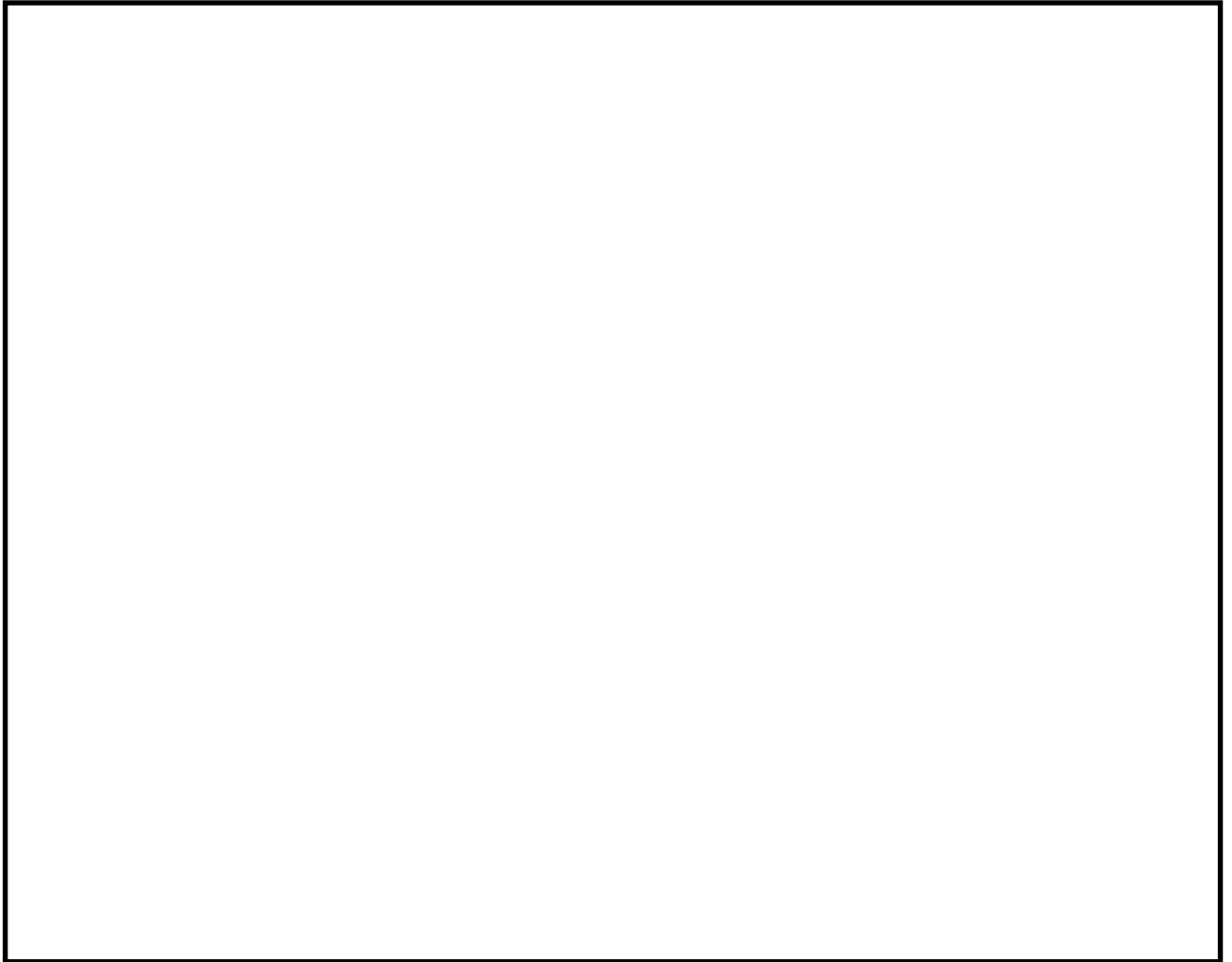


図 11-4 A-A断面の過剰間隙水圧比分布 ( $S_s-D1$  (H-, V-))  
(ケース④: 敷地に存在しない豊浦砂の液状化強度特性により強制的に液状化させることを仮定した解析ケース)

上記の結果より、安全率  $F_s$  は 2.25 であり、所要安全率 1.1 以上であることを確認した。

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの耐震安全性評価に関する参考資料

(参考3) 人工岩盤について

格納容器圧力逃がし装置用配管カルバートの人工岩盤について施工性の観点で踏まえた妥当性について整理する。

3.1 人工岩盤と原子炉建屋間の干渉について

人工岩盤と原子炉建屋間の干渉について、原子炉建屋に対して影響がないことを確認する。人工岩盤の打設範囲を図 11-6 に示す。

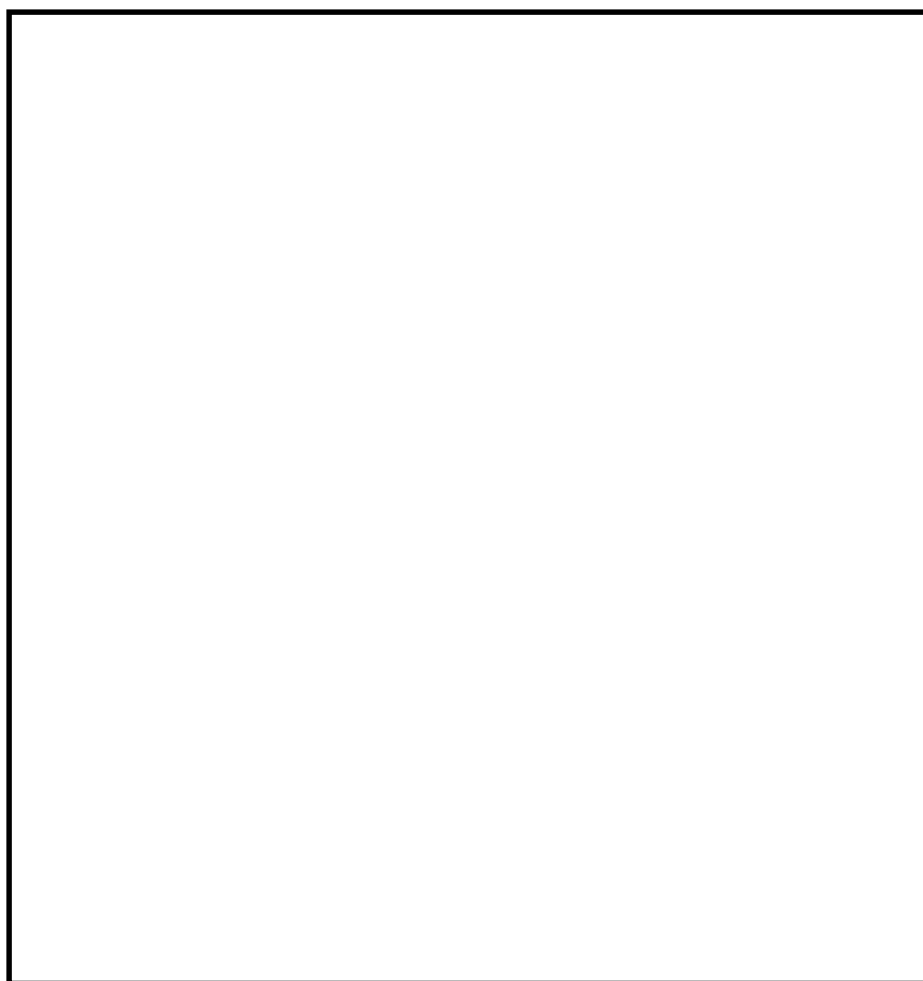


図 11-5 人工岩盤の打設範囲

図 11-5 に示すとおり、人工岩盤と原子炉建屋 (R/W) の離隔については 2.85 m 確保することから、原子炉建屋に対して影響がないことを確認した。

### 3.2 人工岩盤の幅について

人工岩盤の幅について、施工性の観点から踏まえた上で妥当性を確認する。施工性を踏まえた人工岩盤の幅を図 11-6 に示す。

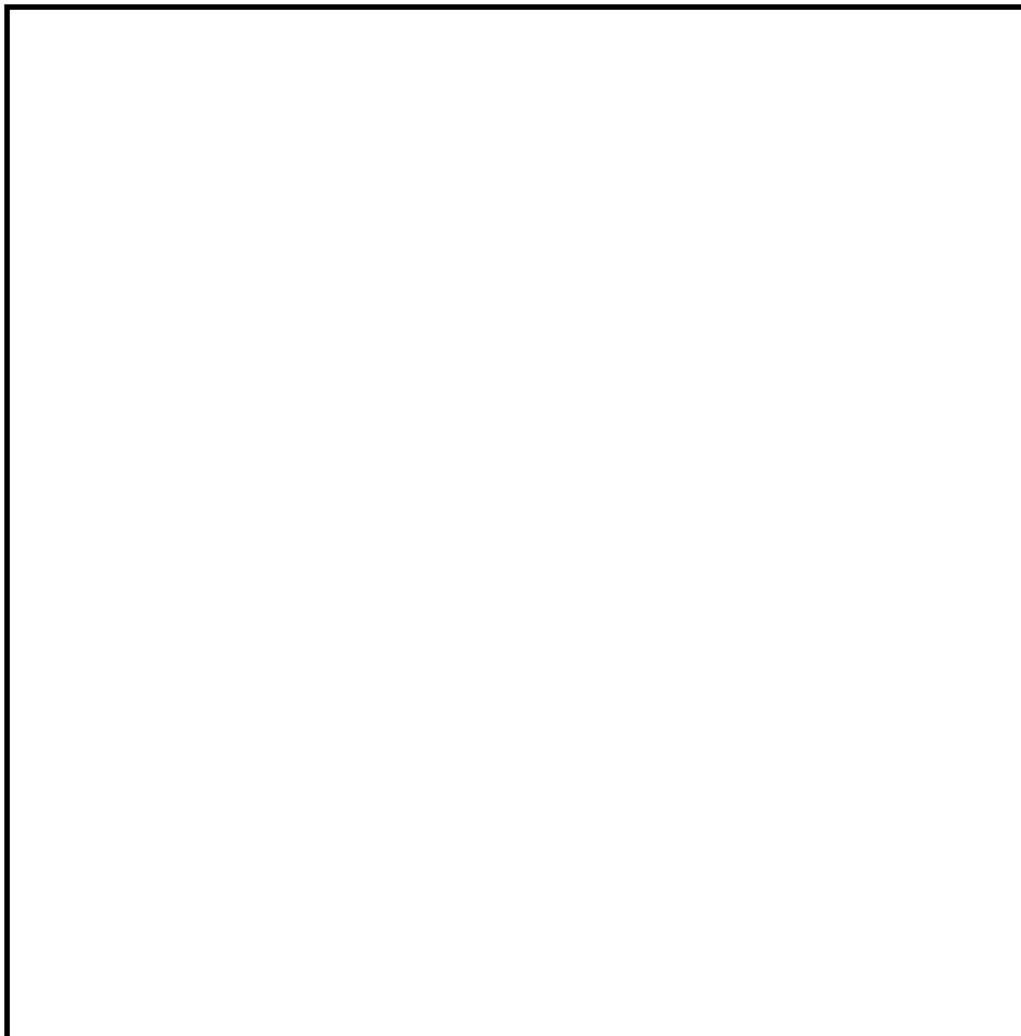


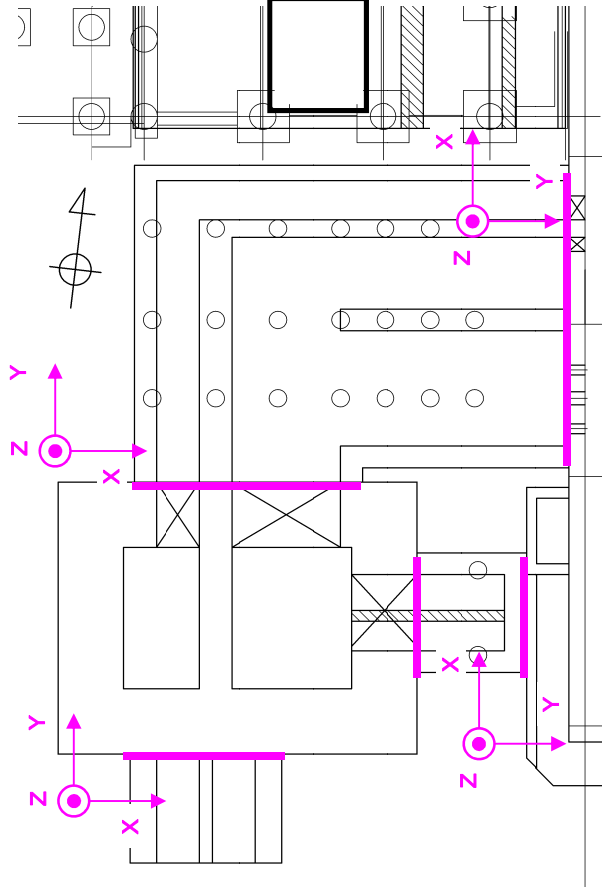
図 11-6 施工性を踏まえた人工岩盤の幅

人工岩盤は、廃棄物処理建屋から 2 m 程度離れた既設構造物（連壁）を土留め壁として打設する。解析モデルにおける人工岩盤の幅が 14.65 m であることから、解析モデルにおける人工岩盤の幅については施工性の観点から踏まえた上で妥当であることを確認した。

高圧電源装置用カルバート（立坑部・カルバート部）相対変位量（絶対値最大）

■水電気カルバート—立坑接続部

方向	原地盤液状化		豊浦砂液状化	
	変位量	決定ケース	変位量	決定ケース
X方向	16mm	Ss-D1++	20mm	Ss-D1+-
Y方向	12mm	Ss-D1--	15mm	Ss-D1--
Z方向	9mm	Ss-D1+-	9mm	Ss-D1--



■トンネル—立坑接続部

方向	原地盤液状化		豊浦砂液状化	
	変位量	決定ケース	変位量	決定ケース
X方向	34mm	Ss-31++	26mm	Ss-D1--
Y方向	25mm	Ss-12NS++	27mm	Ss-D1--
Z方向	9mm	Ss-D1-+	7mm	Ss-14EW++

■軽油カルバート—立坑接続部

方向	原地盤液状化		豊浦砂液状化	
	変位量	決定ケース	変位量	決定ケース
X方向	12mm	Ss-D1--	17mm	Ss-D1--
Y方向	3mm	Ss-D1-+	5mm	Ss-D1-+
Z方向	2mm	Ss-31++	2mm	Ss-D1--

■軽油カルバート—R/B接続部

方向	原地盤液状化		豊浦砂液状化	
	変位量	決定ケース	変位量	決定ケース
X方向	36mm	Ss-D1+-	42mm	Ss-D1+-
Y方向	37mm	Ss-D1++	54mm	Ss-D1--
Z方向	13mm	Ss-D1-+	16mm	Ss-D1--

■水電気カルバート—R/B接続部

方向	原地盤液状化		豊浦砂液状化	
	変位量	決定ケース	変位量	決定ケース
X方向	31mm	Ss-D1+-	35mm	Ss-D1+-
Y方向	32mm	Ss-D1--	47mm	Ss-D1--
Z方向	26mm	Ss-D1--	36mm	Ss-D1--

※建屋相対変位10mm加算

※建屋相対変位10mm加算

-0-