

島根原子力発電所第2号機 審査資料	
資料番号	NS2-添 2-014-39
提出年月日	2023年3月28日

VI-2-11-2-14 土留め工（親杭）の耐震性についての計算書

S2 補 VI-2-11-2-14 R0

2023年3月

中国電力株式会社

本資料のうち、枠囲みの内容は機密に係る事項のため公開できません。

目次

1.	概要	1
2.	基本方針	2
2.1	位置	2
2.2	構造概要	3
2.3	評価方針	5
2.4	適用規格・基準等	7
3.	評価方法	8
3.1	評価対象部位及び評価方針	8
3.2	評価対象断面	10
3.3	解析方法	12
3.3.1	地盤物性	12
3.3.2	減衰定数	13
3.3.3	地震応答解析の解析ケースの選定	14
3.4	荷重及び荷重の組合せ	15
3.4.1	荷重	15
3.4.2	荷重の組合せ	15
3.5	許容限界	16
3.5.1	親杭に対する許容限界	17
3.5.2	基礎地盤の支持性能に対する許容限界	17
3.5.3	グラウンドアンカの発生アンカー力に対する許容限界	18
3.6	入力地震動	19
3.7	解析モデル	24
3.7.1	解析モデル	24
3.7.2	使用材料及び材料の物性値	27
3.7.3	地盤の物性値	27
3.7.4	地下水位	27
4.	評価方法	28
4.1	施設の損傷、転倒による影響評価方法	28
4.1.1	構造部材の健全性に対する評価方法	28
4.1.2	基礎地盤の支持性能に対する評価方法	28
4.1.3	グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価方法	28

5.	耐震評価結果	29
5.1	施設の損傷，転倒による影響評価結果	29
5.1.1	構造部材の健全性に対する評価結果	29
5.1.2	基礎地盤の支持性能に対する評価結果	29
5.1.3	グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価結果	29

1. 概要

本資料は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、土留め工（親杭）が上位クラス施設である2号機原子炉建物、2号機廃棄物処理建物、第1ベントフィルタ格納槽、第1ベントフィルタ格納槽遮蔽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に対して、波及的影響を及ぼさないことを説明するものである。

その波及的影響の評価では、上位クラス施設の有する機能が保持されることを確認するため、基準地震動 S_s を用いた地震応答解析を行い、土留め工（親杭）の構造部材の健全性評価及び基礎地盤の支持性能評価により、施設が損傷及び転倒しないことを確認する。また、常時応力解析におけるグラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価を行う。

2. 基本方針

2.1 位置

土留め工の設置位置図を図 2-1 に示す。

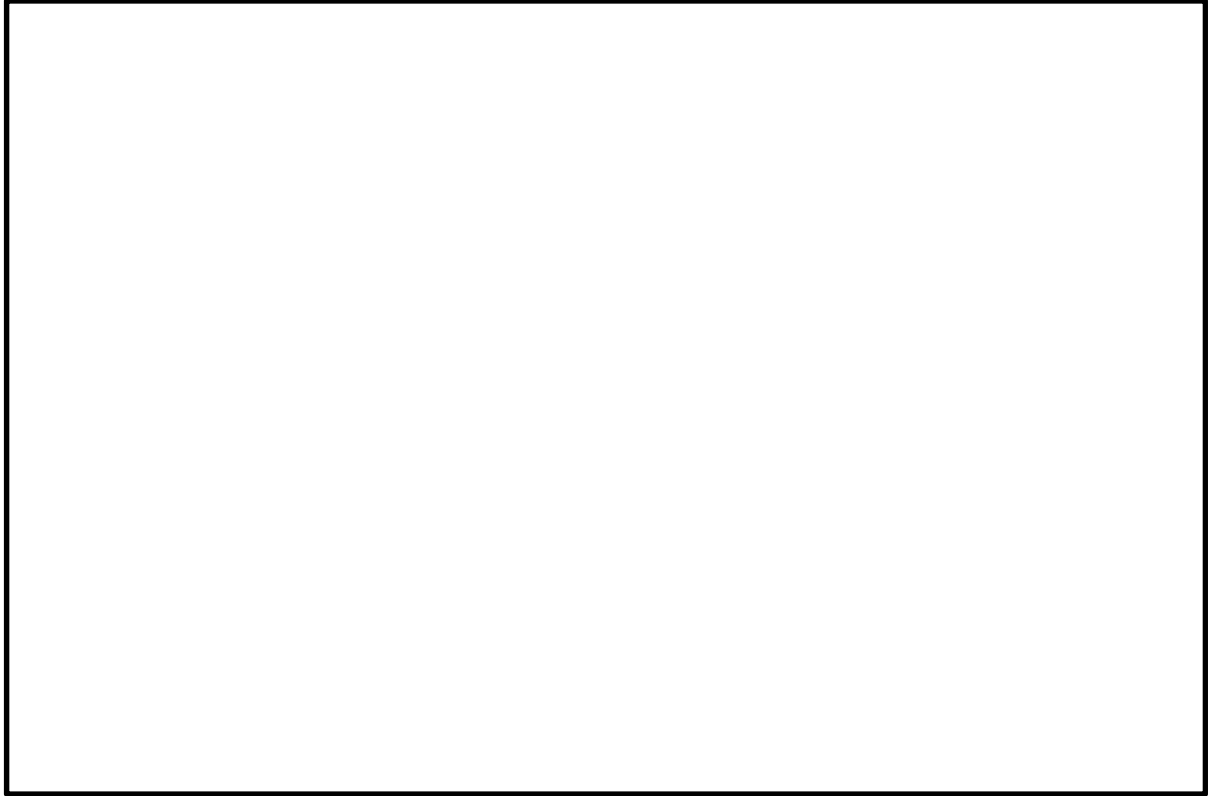


図 2-1 土留め工（親杭）の設置位置図

2.2 構造概要

土留め工（親杭）は、のH形鋼及びグラウンドアンカで構成される構造物であり、十分な支持性能を有する岩盤に設置されている。

土留め工の概略平面図を図2-2に、土留め工の概略断面図を図2-3に示す。

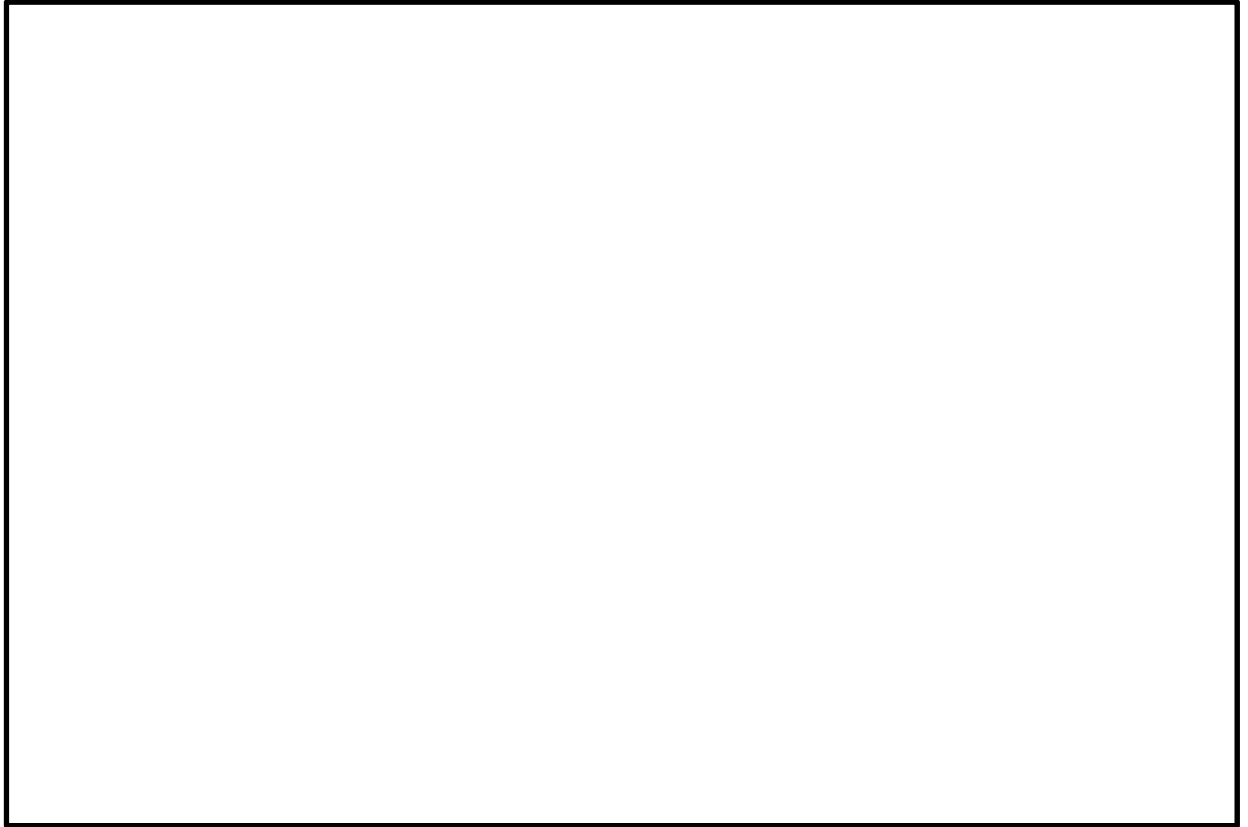
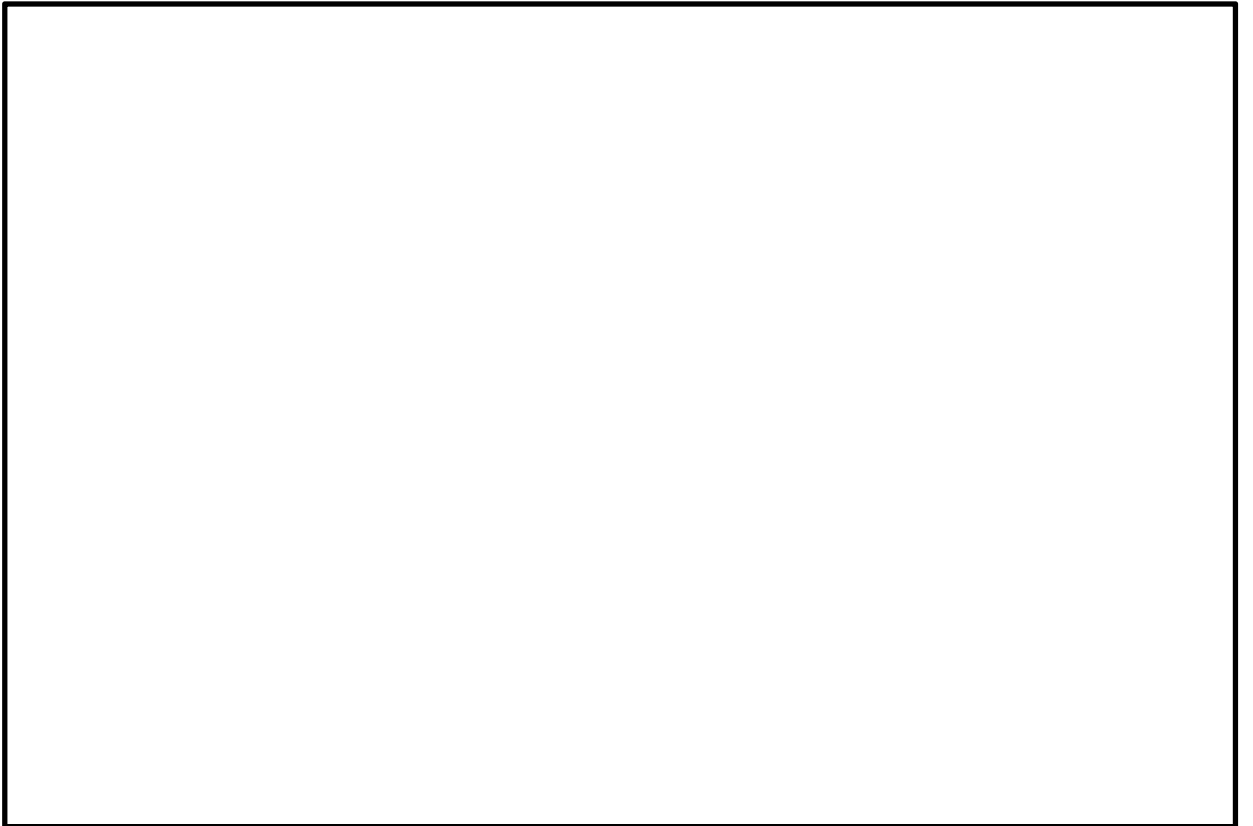


図2-2 土留め工の概略平面図



(A - A' 断面)



(B - B' 断面)

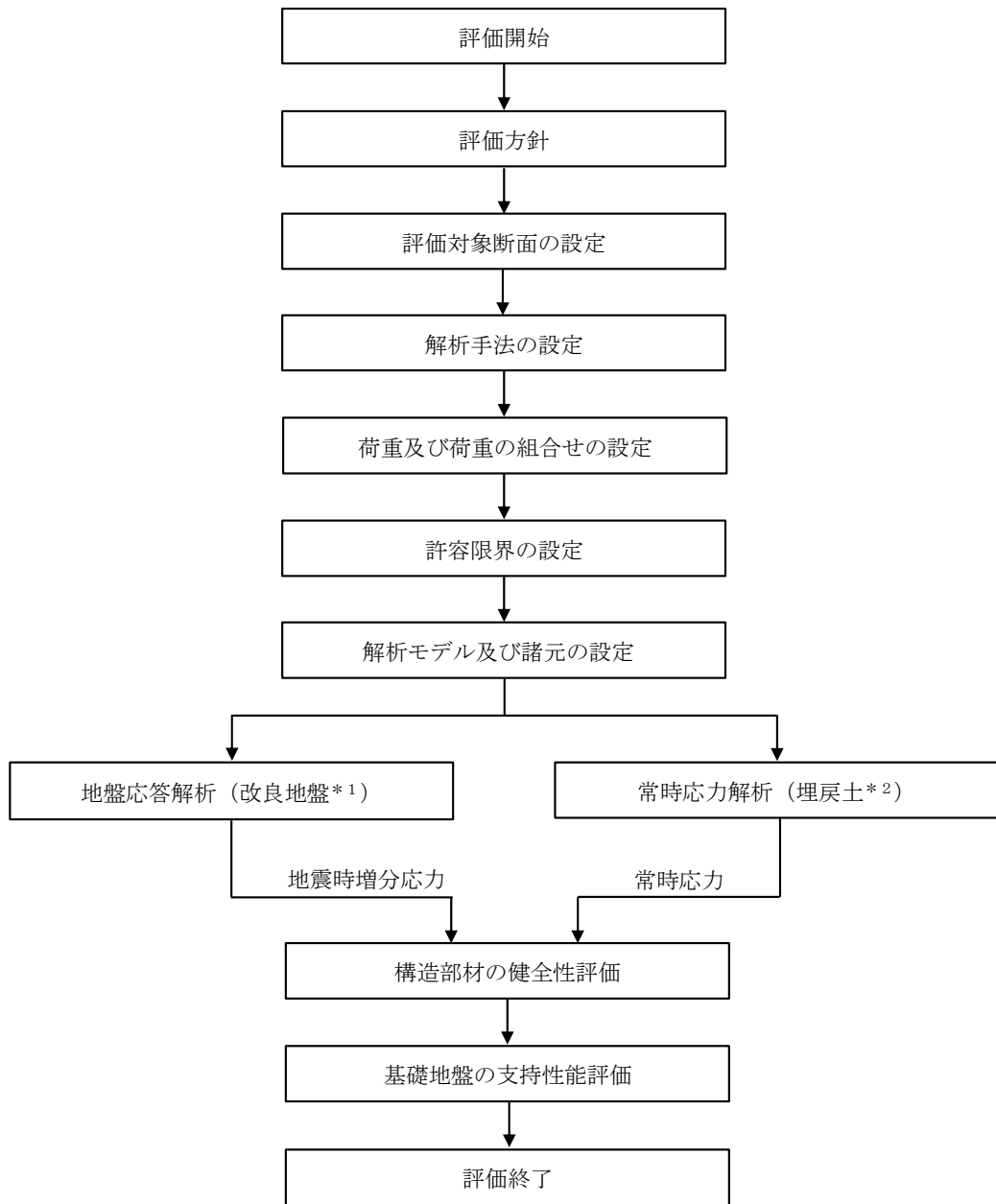
図 2-3 土留め工（親杭）の概略断面図

2.3 評価方針

土留め工（親杭）の設計基準対象施設及び重大事故等対処施設に対する波及的影響の評価においては、基準地震動 S_s に対する評価を行う。土留め工（親杭）の波及的影響の評価は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に基づき、地震応答解析による評価において、施設の損傷及び転倒による影響では、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき、構造部材の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価を行う。

また、グラウンドアンカのうち、頭部を埋戻土部に設置しているものについては、追加対策工（改良地盤）の施工時に撤去するため、常時応力解析時にのみ引張力を考慮することとし、常時応力解析におけるグラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価を行う。

波及的影響の評価フロー図を図 2-4 に示す。



注記*1：土留め工（親杭）背面が改良地盤の状態

*2：土留め工（親杭）背面が埋戻土の状態

図 2-4 土留め工（親杭）の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 平成 14 年 3 月（日本道路協会）
- ・グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（地盤工学会，2012 年制定）
- ・原子力発電所耐震設計技術指針 J E A G 4 6 0 1 -1987（社団法人 日本電気協会
電気技術基準調査委員会）

3. 評価方法

3.1 評価対象部位及び評価方針

土留め工（親杭）の波及的影響の評価は、以下の方針に基づき行う。

評価対象部位は、親杭及びグラウンドアンカとする。土留め工（親杭）の構造部材を図3-1に示す。

構造部材の健全性評価では、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法による地震応答解析結果により求められる評価対象部位の曲げ軸力及びせん断力が、「道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 平成14年3月（日本道路協会）」により設定した許容限界を超えないことを確認する。

基礎地盤の支持性能評価では、構造物と地盤の相互作用を考慮できる2次元動的有限要素法による地震応答解析結果により求められる発生する応力（接地圧）が、土留め工（親杭）の設置地盤における許容限界を超えないことを確認する。

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価については、常時応力解析における発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

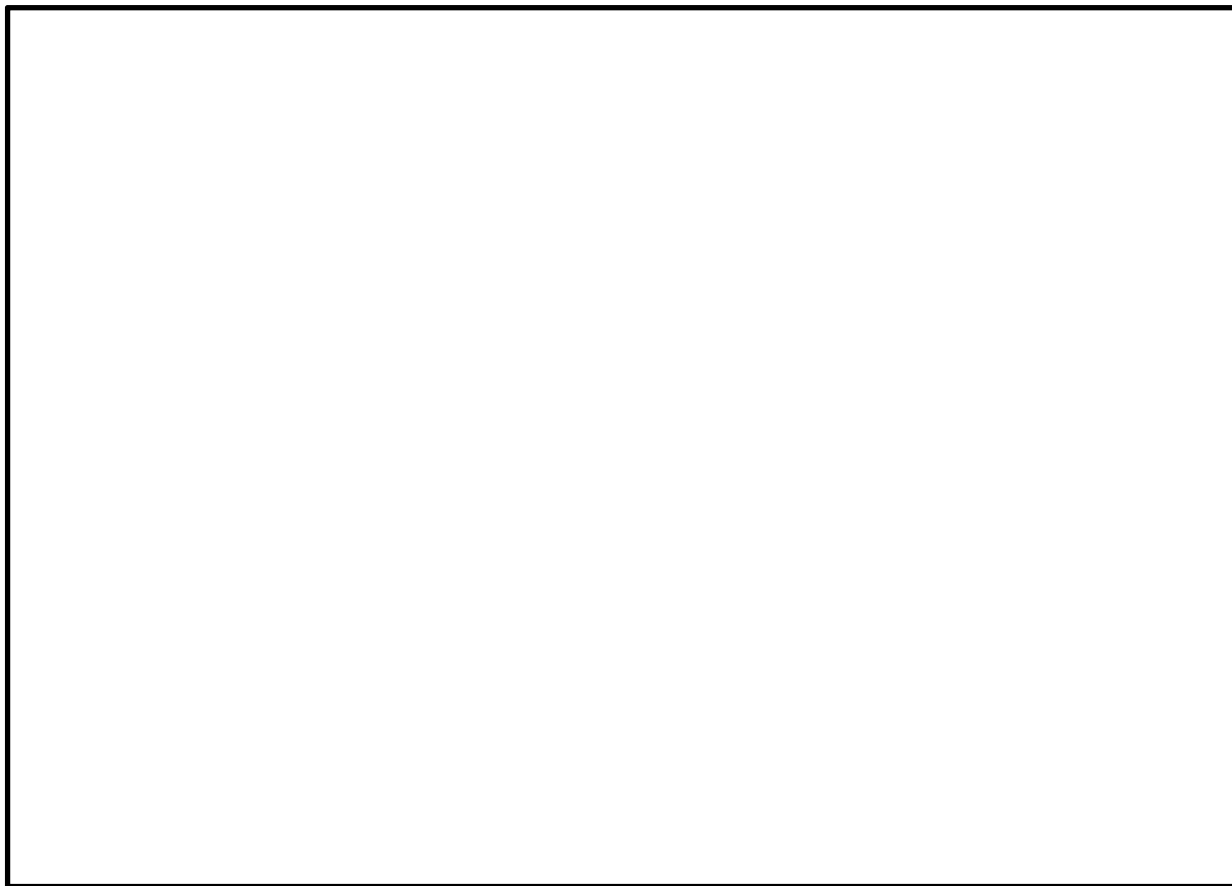


図 3-1 土留め工（親杭）の構造部材

3.2 評価対象断面

土留め工のうち，波及的影響を及ぼすおそれのある範囲から，評価対象断面を選定する。土留め工（親杭）の評価対象断面位置図を図 3-2 に示す。

評価対象断面は，背面が改良地盤であり，地震時に土圧の影響により土留め工（親杭）が損傷及び転倒する可能性がある A-A' 断面を選定する。

土留め工（親杭）の評価対象断面図を図 3-3 に示す。

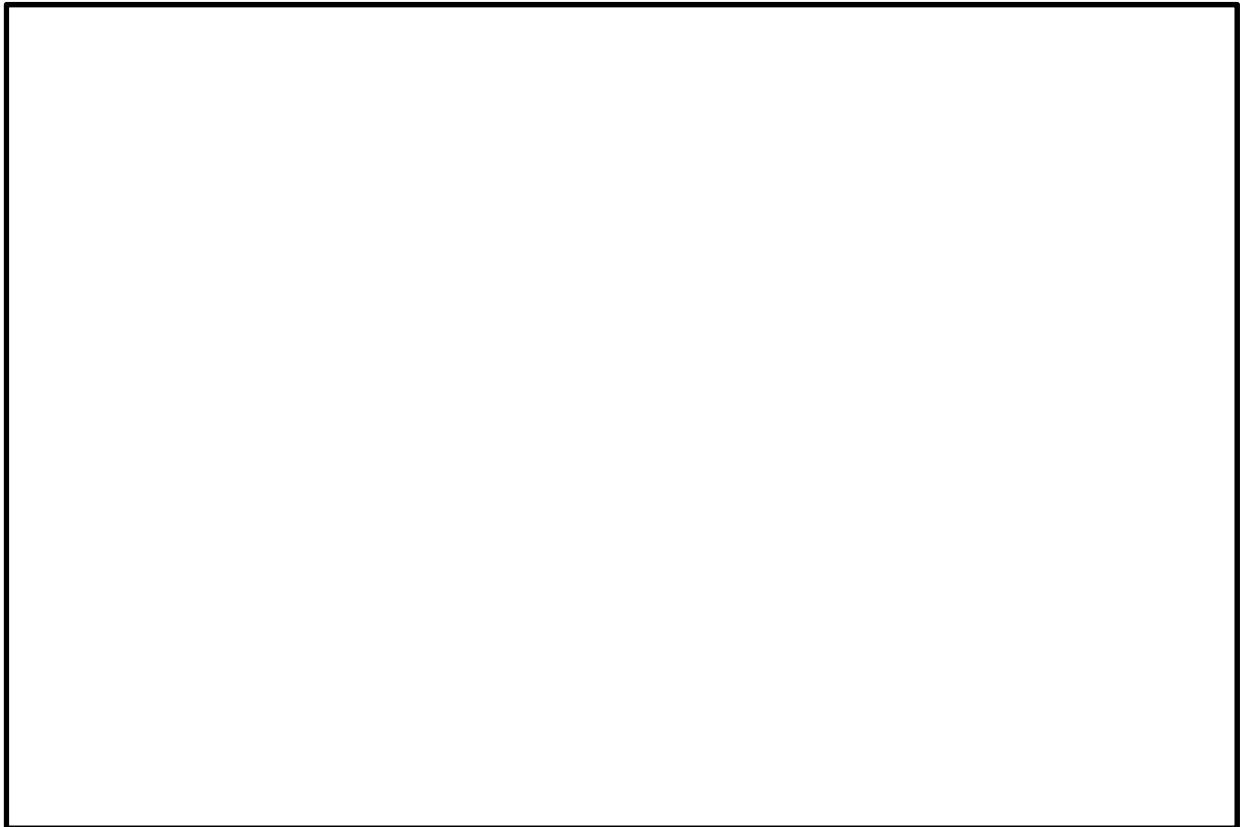


図 3-2 土留め工（親杭）の評価対象断面位置図

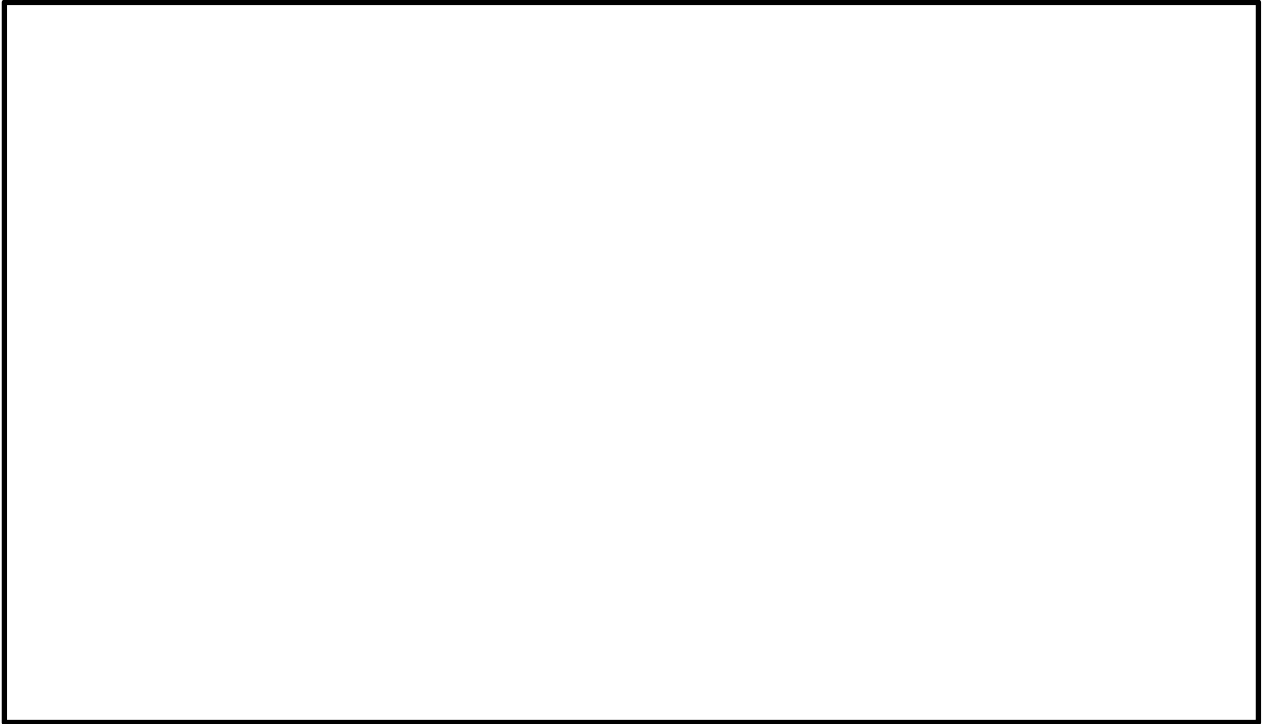


図 3-3 (1) 土留め工（親杭） 評価対象断面図（A-A' 断面）
（地盤改良前）

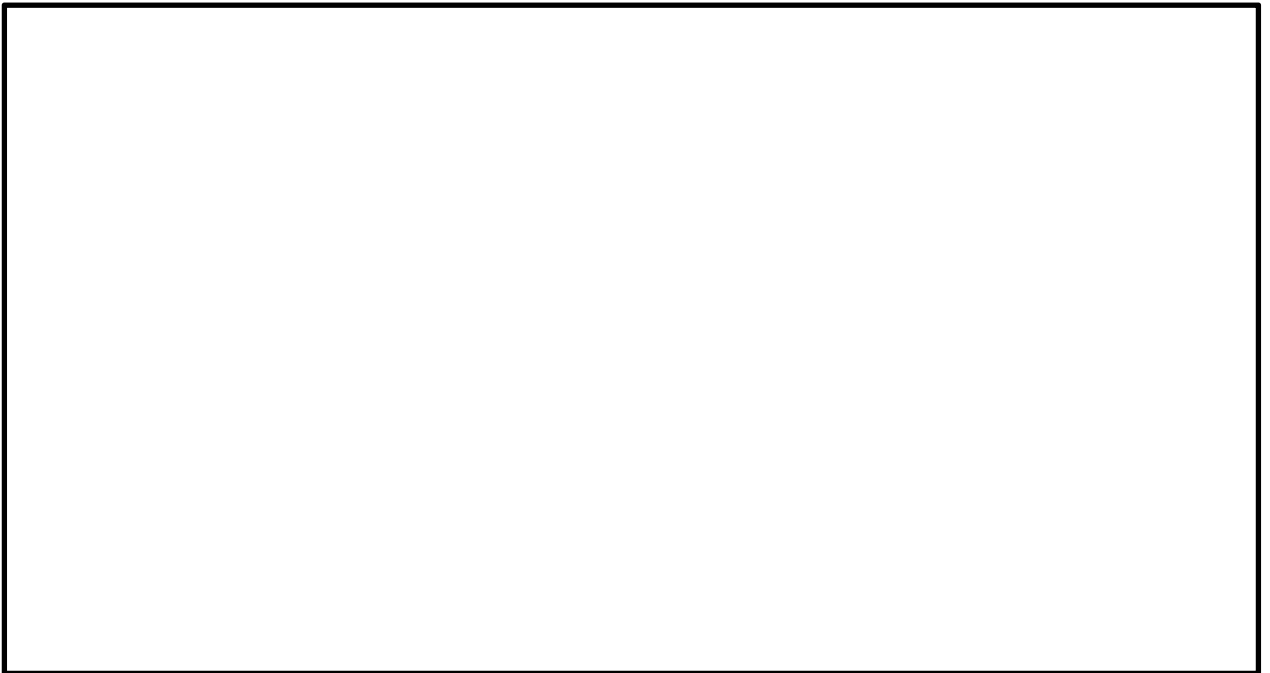


図 3-3 (2) 土留め工（親杭） 評価対象断面図（A-A' 断面）
（地盤改良後）

3.3 解析方法

地震応答解析は、構造物と地盤の相互作用を考慮できる２次元有限要素法により、基準地震動 S_s に基づき設定した水平地震動と鉛直地震動の同時加振による逐次時間積分の時刻歴応答解析により行うこととする。

土留め工（親杭）周辺の地下水位は親杭下端より高いが土留め工（親杭）周辺に地下水位以深の液状化対象層が存在しないため「全応力解析」を選定する。

地震応答解析については、解析コード「TDAPⅢ」を使用する。

なお、解析コードの検証及び妥当性確認等の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

3.3.1 地盤物性

地震応答解析に用いる埋戻土及び岩盤の物性は、平均物性を用いる。解析ケースを表 3-1 に示す。

土留め工（親杭）の耐震評価において支配的な改良地盤⑦については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のとおり、解析用物性値の設定において耐震評価上保守的になるように設定されていること、及び実施工において設計値を上回るように施工されることから、改良地盤のばらつきを踏まえても保守的な設定になっていると判断し、地盤のばらつきは考慮しないこととする。

表 3-1 解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	改良地盤⑦	岩盤
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値

3.3.2 減衰定数

減衰定数は、粘性減衰及び履歴減衰で考慮する。

固有値解析にて求められる固有周期と各材料の減衰比に基づき、質量マトリックス及び剛性マトリックスの線形結合で表される以下の Rayleigh 減衰を解析モデル全体に与える。

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

[C] : 減衰係数マトリックス

[M] : 質量マトリックス

[K] : 剛性マトリックス

α , β : 係数

表 3-2 Rayleigh 減衰における係数 α , β の設定結果

α	β
Rayleigh 減衰の設定については迫而とする。	

3.3.3 地震応答解析の解析ケースの選定

土留め工（親杭）の耐震評価における解析ケースは、掘削箇所に設置した地上構造物であり、水平方向の慣性力による影響が支配的であるため、基準地震動 S_s のうち、水平動が卓越した $S_s - D$ 及び $S_s - N1$ とする。

$S_s - N1$ については地震動の指向性を考慮し、親杭の転倒に対し最も厳しいと考えられる $S_s - N1$ (--) のみとする。

耐震評価における解析ケースは、表 3-3 に示す。

表 3-3 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	
		基本ケース	
地盤物性		平均値	
地震動 (位相)	$S_s - D$	++*	○
	$S_s - D$	+ - *	○
	$S_s - D$	- + *	○
	$S_s - D$	--*	○
	$S_s - N1$	--*	○

注記*：地震動の位相について、左側は水平動，右側は鉛直動を表し、「++」は反転なしケースを示す。

3.4 荷重及び荷重の組合せ

荷重及び荷重の組合せは，VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.4.1 荷重

土留め工（親杭）の地震応答解析において，考慮する荷重を以下に示す。

(1) 固定荷重（G）

固定荷重として，躯体自重を考慮する。

(2) 積雪荷重（P_s）

積雪荷重として，発電所敷地に最も近い気象官署である松江地方気象台で観測された観測史上1位の月最深積雪100cmに平均的な積雪荷重を与えるための係数0.35を考慮し35.0cmとする。積雪荷重については，松江市建築基準法施行細則により，積雪量1cmごとに20N/m²の積雪荷重が作用することを考慮し設定する。

(3) 風荷重（P_k）

地表面より下に設置されていることから，風荷重を考慮しない。

(4) 地震荷重（S_s）

基準地震動S_sによる荷重を考慮する。

3.4.2 荷重の組合せ

荷重の組合せを表3-4に示す。

表3-4 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時（S _s ）	G + P _s + S _s

G : 固定荷重

P_s : 積雪荷重

S_s : 地震荷重（基準地震動S_s）

3.5 許容限界

土留め工（親杭）の耐震評価における許容限界は、VI-2-11-1「波及的影響を及ぼすおそれのある下位クラス施設の耐震評価方針」に記載の許容限界に基づき設定する。

土留め工（親杭）の耐震評価における許容限界を表 3-5 に示す。

表 3-5 土留め工（親杭）の耐震評価における許容限界

機能設計上の性能目標	地震力	断面	部位	機能維持のための考え方	許容限界
原子炉建物， 廃棄物処理建物，第1ベントフィルタ格納槽及び低圧原子炉代替注水ポンプ格納槽に波及的影響を及ぼさないこと	基準地震動 S _s	A-A' 断面	親杭	発生する応力（曲げ軸力，せん断力）が許容限界を超えないことを確認	短期許容曲げ圧縮応力度* ¹ 277.5N/mm ²
					短期許容せん断応力度* ¹ 157.5N/mm ²
			基礎地盤	発生する接地圧が許容限界を超えないことを確認	極限支持力度* ² 9.8N/mm ²
	—* ⁴		グラウンドアンカ	グラウンドアンカの発生アンカー力が許容アンカー力を超えないことを確認	許容アンカー力別途算出* ³

注記*¹：「3.5.1 親杭に対する許容限界」に示す。

*²：VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に示す妥当な安全余裕を考慮する。

*³：「3.5.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する許容限界」に示す。

*⁴：「3. 評価方法」のとおり，常時応力解析による照査を行う。

3.5.1 親杭に対する許容限界

(1) 曲げ軸力に対する許容限界

親杭の曲げ軸力に対する許容限界は、「道路橋示方書・同解説 下部構造編 平成14年3月（日本道路協会）」に基づき、以下のとおり設定する。

表 3-6 評価対象部位（親杭）の曲げ軸力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容曲げ圧縮応力度	277.5

(2) せん断力に対する許容限界

親杭のせん断に対する許容限界は、「道路橋示方書・同解説 下部構造編 平成14年3月（日本道路協会）」に基づき、以下のとおり設定する。

表 3-7 評価対象部位（親杭）のせん断力に対する許容限界

評価項目	許容限界 (N/mm ²)
短期許容せん断応力度	157.5

3.5.2 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

基礎地盤に発生する接地圧に対する許容限界は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、岩盤の極限支持力度とする。

基礎地盤の支持性能に対する許容限界を表 3-8 に示す。

表 3-8 基礎地盤の支持性能に対する許容限界

評価項目		許容限界 (N/mm ²)
極限支持力度	C _M 級岩盤	9.8

3.5.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する許容限界

グラウンドアンカの許容アンカー力は、「グラウンドアンカーの設計・施工基準，同解説（地盤工学会，2012年）」に基づき，テンドンの許容引張力，テンドンの許容拘束力，アンカーの許容引抜き力のうち，最も小さい値を設定する。

表 3-9 許容アンカー力及び設計アンカー力の設定(単位奥行あたり)

	2 段目	3 段目
テンドンの許容引張力 (kN)	396.5	158.6
テンドンの許容拘束力 (kN)	433.9	108.8
アンカーの許容引抜き力 (kN)	612.6	282.7
許容アンカー力 (kN)	396.5	108.8
設計アンカー力 (kN)	150.0	30.0

3.6 入力地震動

入力地震動は、VI-2-1-6「地震応答解析の基本方針」のうち「2.3 屋外重要土木構造物」に示す入力地震動の設定方針を踏まえて設定する。

地震応答解析に用いる入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s を一次元波動論により地震応答解析モデル下端位置で評価したものをを用いる。なお、入力地震動の設定に用いる地下構造モデルは、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」のうち「7.1 入力地震動の設定に用いる地下構造モデル」を用いる。

入力地震動算定の概念図を図4-1に示す。入力地震動の算定には、解析コード「SHAKE」を使用する。解析コードの検証及び妥当性確認の概要については、VI-5「計算機プログラム（解析コード）の概要」に示す。

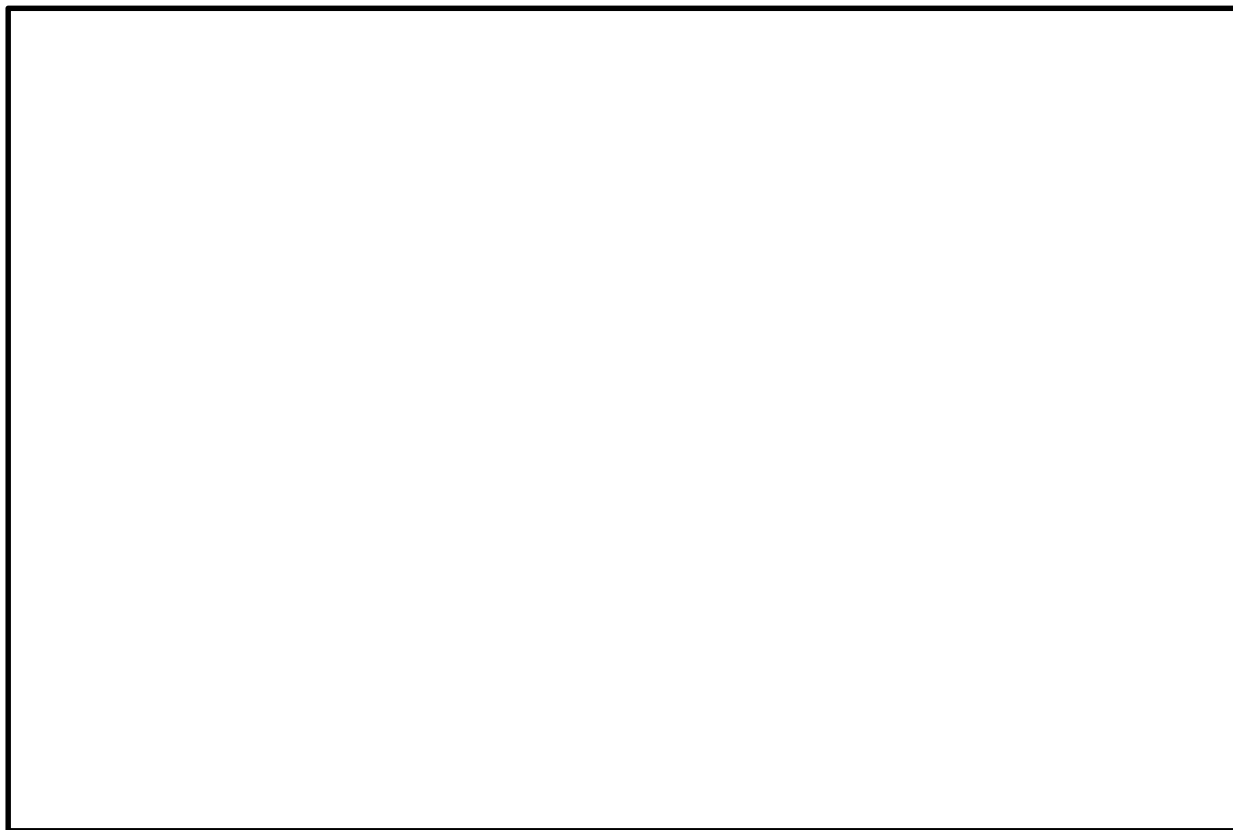
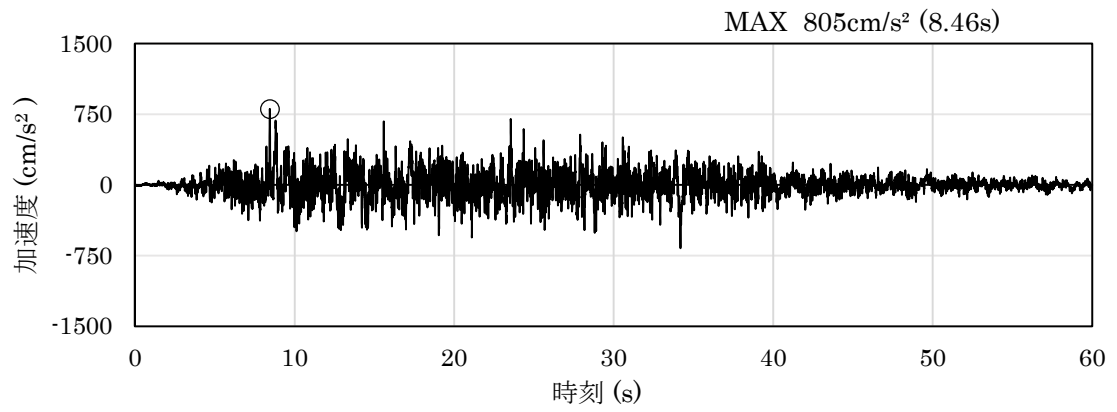
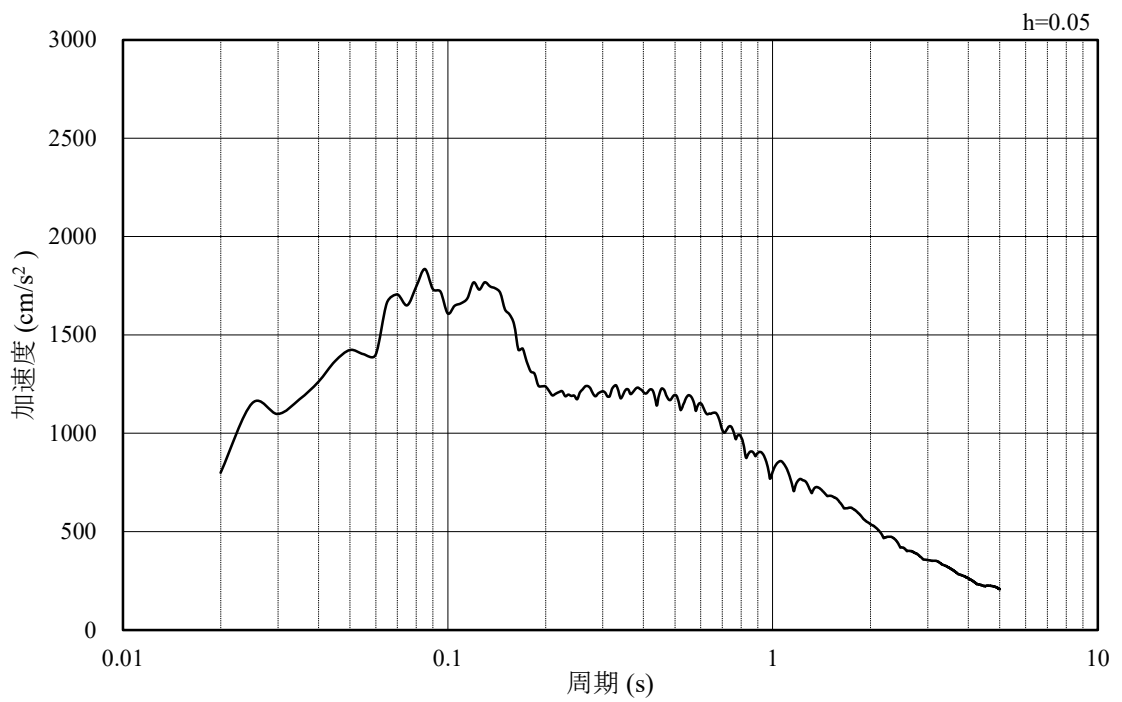


図 3-4 入力地震動算定の概念図

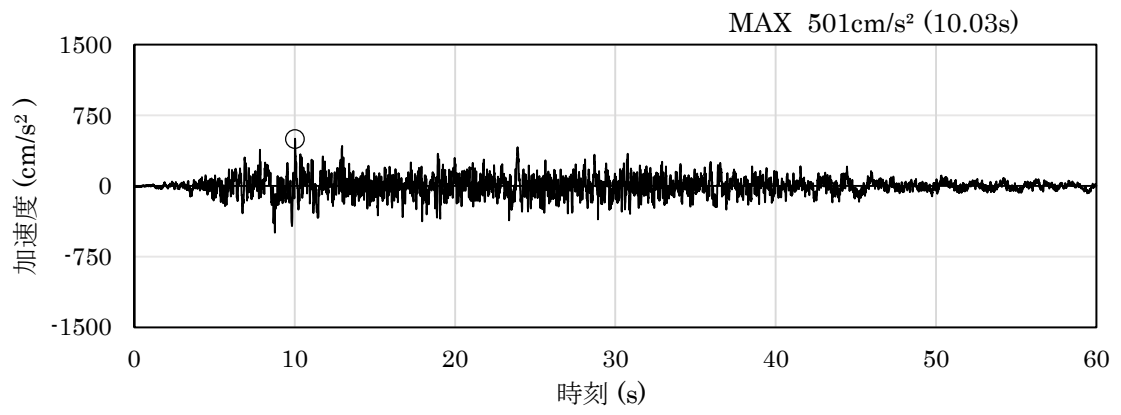


(a) 加速度時刻歴波形

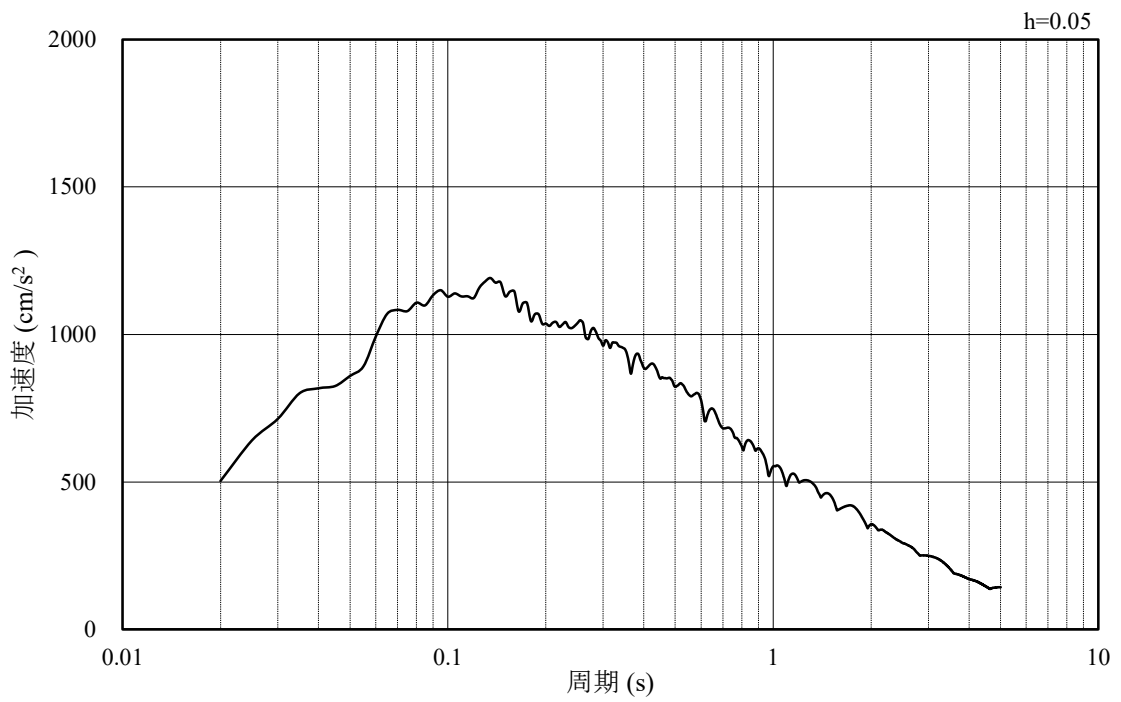


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-5 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - D, EL-130m)

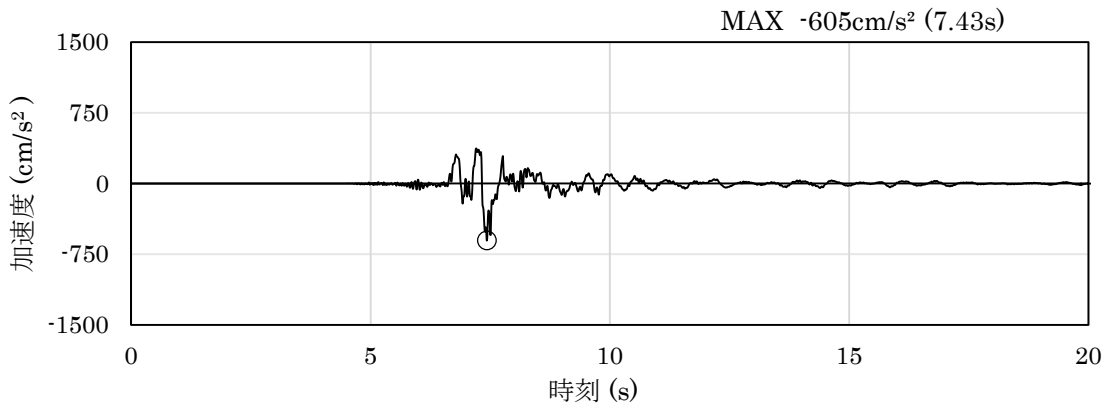


(a) 加速度時刻歴波形

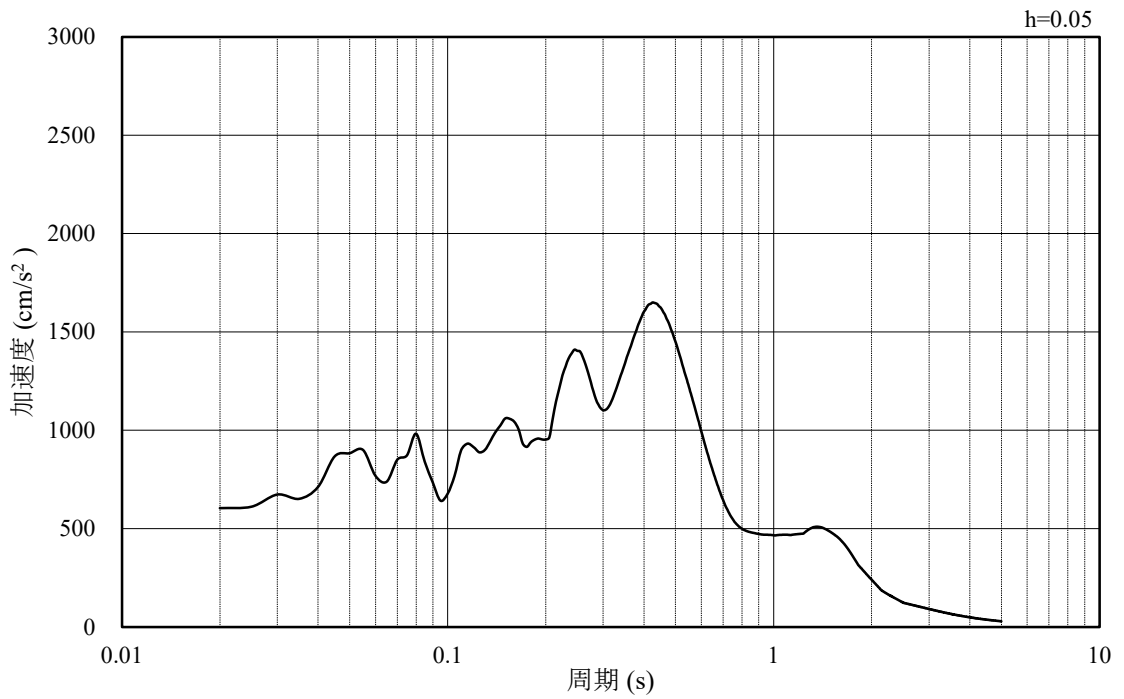


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-6 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - D, EL-130m)

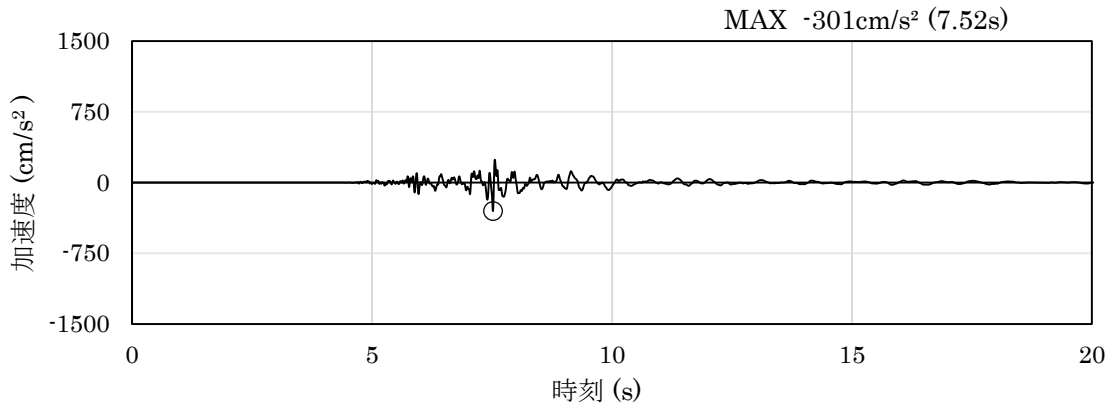


(a) 加速度時刻歴波形

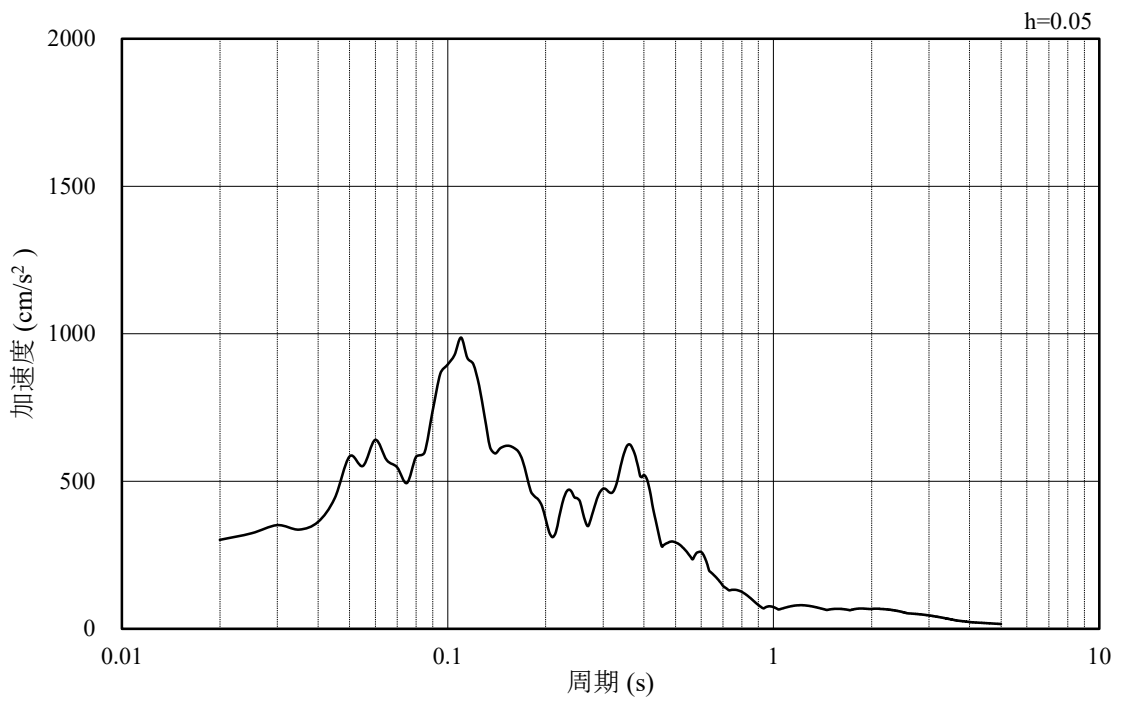


(b) 加速度応答スペクトル

図 3-7 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s - N 1, EL-130m)



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3-8 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(鉛直成分：S s - N 1, EL-130m)

3.7 解析モデル

3.7.1 解析モデル

土留め工（親杭）の地震応答解析モデルを図 3-9 に示す。

(1) 解析領域

解析領域は，側方境界及び底面境界が構造物の応答に影響しないよう，構造物と側方境界及び底面境界との距離を十分に大きく設定する。

(2) 境界条件

解析領域の側方及び底面には，エネルギーの逸散効果を考慮するため，粘性境界を設ける。

(3) 構造物のモデル化

評価対象部位（親杭）は，線形はり要素によりモデル化する。

評価対象部位（グラウンドアンカ）は，埋戻土時点での常時応力解析でのみモデル化し，頭部を節点共有，自由長部を非線形ばね，拘束長部を MPC によりモデル化する。

なお，矢板及び腹起しの重量については，線形はり要素の節点に付加重量として与えることで考慮する。

(4) 地盤のモデル化

岩盤は線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また，埋戻土及び改良地盤は，地盤の非線形性をマルチスプリング要素で考慮した平面ひずみ要素でモデル化する。

(5) MMR 及び埋戻コンクリートのモデル化

MMR 及び埋戻コンクリートは無筋コンクリートとして線形の平面ひずみ要素でモデル化する。

(6) ジョイント要素の設定

「地盤と構造物」，「構造物と埋戻コンクリート」，「MMR と埋戻コンクリート」及び「地盤と MMR」の接合面における接触，剥離及びすべりを考慮するため，これらの接合面にジョイント要素を設定する。

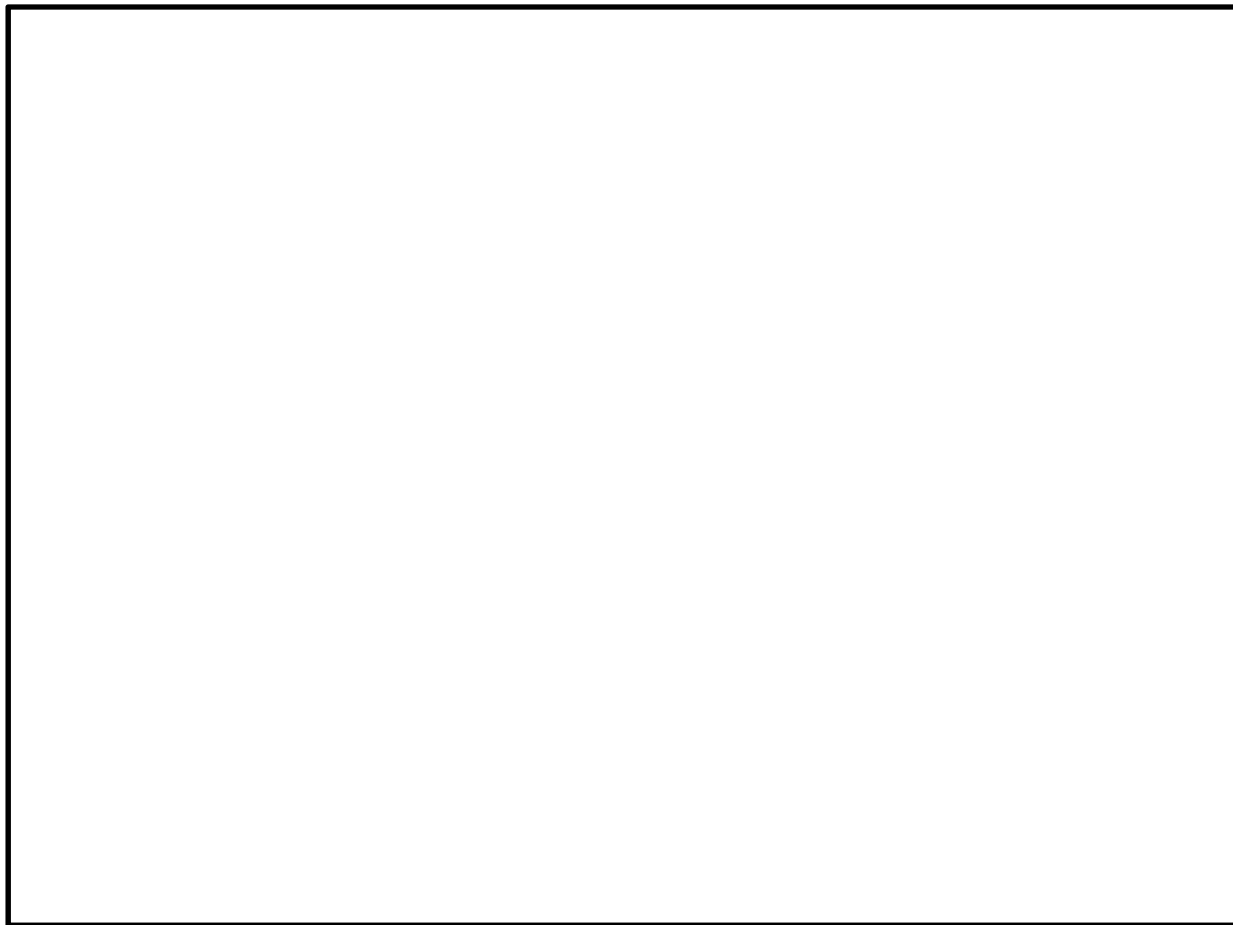


図 3-9(1) 常時応力解析モデル図
(A-A' 断面, 地盤改良前)

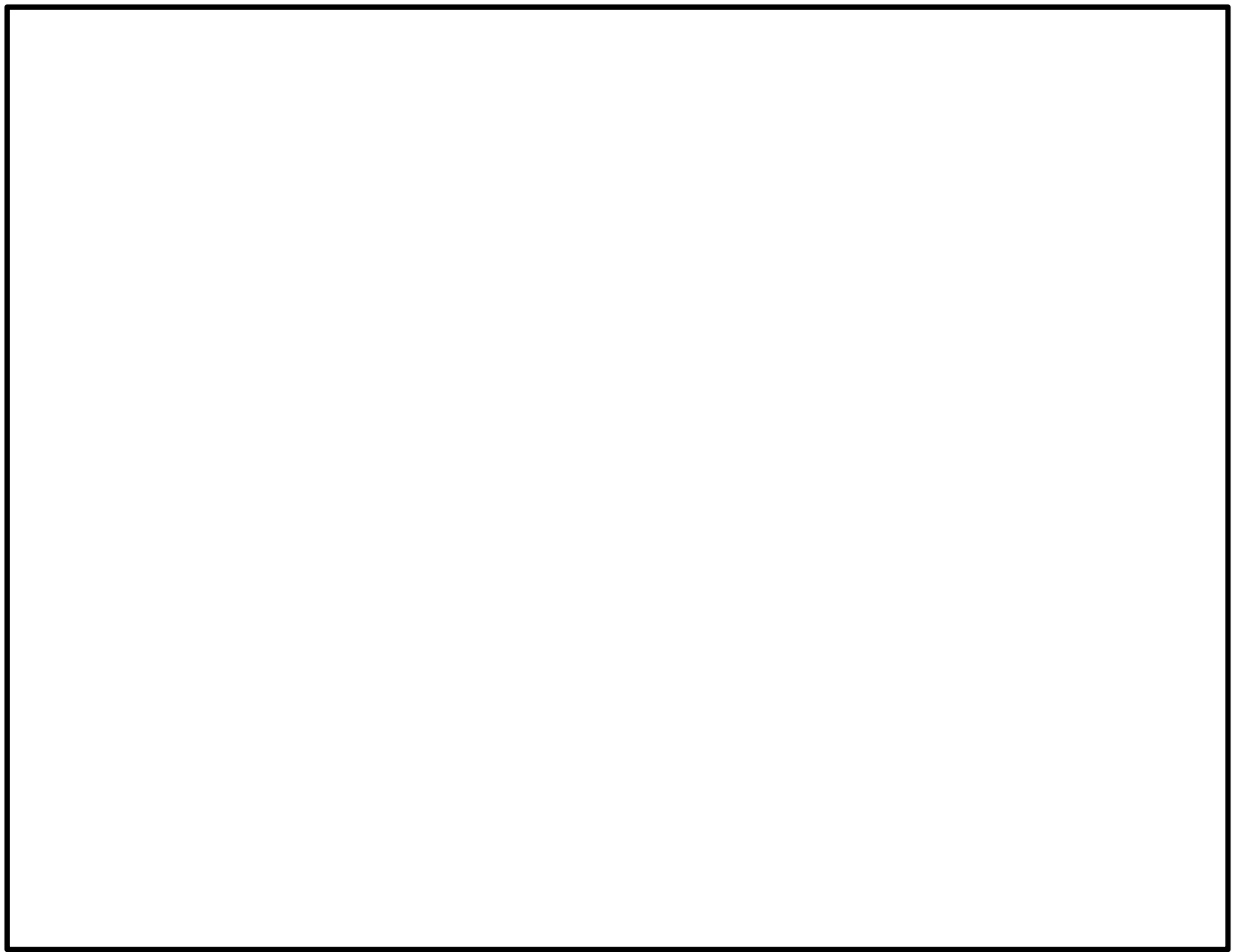


図 3-9(2) 地震応答解析モデル図
(A-A' 断面, 地盤改良後)

3.7.2 使用材料及び材料の物性値

構造物の使用材料を表 3-10 に、材料の物性値を表 3-11 に示す。

表 3-10 使用材料

材料		仕様
親杭	H700×300×13×24	SM490
グラウンドアンカ(2段目)	アンカー体長 6.5(m)	SWPR7B
グラウンドアンカ(3段目)	アンカー体長 3.0(m)	SWPR7B

表 3-11(1) 材料の物性値 (評価対象部位)

材料	単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 E (N/mm ²)	ポアソン比 ν
親杭	77.0	2.0×10^5	0.3

表 3-11(2) 材料の物性値 (評価対象部位)

材料	引張剛性 k (kN/m)	テンドン 降伏引張り力* ² (kN)	設計 アンカー力* ² (kN)
グラウンドアンカ* ¹ (2段目)	5687	520	150
グラウンドアンカ* ¹ (3段目)	4634	208	30

注記* 1 : グラウンドアンカについては常時応力解析のみモデル化する。

* 2 : テンドン降伏引張り力及び設計アンカー力は単位奥行当たりの値とする。

3.7.3 地盤の物性値

地盤については、VI-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。

3.7.4 地下水位

設計地下水位は、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に従い設定する。設計地下水位の一覧を表 3-12 に示す。

表 3-12 設計地下水位の一覧

施設名称	解析断面	設計地下水位 (EL m)
土留め工 (親杭)	A-A' 断面	

4. 評価方法

土留め工（親杭）の耐震評価は，常時応力解析及び地震応答解析により算定した照査用応答値が「4.2 許容限界の設定」において設定した許容限界以下であることを確認する。

4.1 施設の損傷，転倒による影響評価方法

4.1.1 構造部材の健全性に対する評価方法

親杭に対する評価においては，地震時応答解析に基づく発生断面力に対する部材の曲げ軸力照査及びせん断力照査を行う。曲げ軸力照査については，「3.5.1 親杭に対する許容限界」の「(1) 曲げ軸力に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。せん断力照査については，「3.5.1 親杭に対する許容限界」の「(2) せん断力に対する許容限界」に示す許容限界以下であることを確認する。

4.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価方法

基礎地盤の支持性能評価においては，地震時応答解析により基礎地盤に生じる接地圧が極限支持力度に基づく許容限界以下であることを確認する。

4.1.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価方法

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価については，常時応力解析における発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

5. 耐震評価結果

5.1 施設の損傷，転倒による影響評価結果

5.1.1 構造部材の健全性に対する評価結果

5.1.2 基礎地盤の支持性能に対する評価結果

5.1.3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する評価結果

評価結果については追而とする。