

2. 津波防護対象設備

2.1 防波壁に関する補足説明

2.1.3 防波壁（逆T擁壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明

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	11
2.4 適用規格・基準等	16
3. 耐震評価	18
3.1 評価対象断面	18
3.2 解析方法	23
3.2.1 地震応答解析手法	23
3.2.2 施設	24
3.2.3 地盤物性のばらつき	24
3.2.4 減衰定数	25
3.2.5 解析ケース	26
3.3 荷重及び荷重の組合せ	27
3.3.1 耐震評価上考慮する状態	27
3.3.2 荷重	27
3.3.3 荷重の組合せ	28
3.4 入力地震動	29
3.4.1 ①－①断面	30
3.4.2 ④－④断面	42
3.4.3 ⑤－⑤断面	54
3.4.4 ⑦－⑦断面	66
3.5 解析モデル及び諸元	68
3.5.1 解析モデル	68
3.5.2 使用材料及び材料の物性値	93
3.5.3 地盤の物性値	98
3.5.4 地下水位	102
3.6 評価対象部位	102
3.6.1 施設・地盤の健全性評価	102

3.6.2	施設の変形性評価	102
3.6.3	基礎地盤の支持性能評価	102
3.7	許容限界	103
3.7.1	逆T擁壁	103
3.7.2	グラウンドアンカ	103
3.7.3	改良地盤	104
3.7.4	止水目地	104
3.7.5	基礎地盤	104
3.8	評価方法	105
3.8.1	逆T擁壁	105
3.8.2	グラウンドアンカ	107
3.8.3	改良地盤	110
3.8.4	止水目地	114
3.8.5	基礎地盤	115
4.	耐震評価結果	116
4.1	地震応答解析結果	116
4.1.1	解析ケースと照査値	117
4.1.2	逆T擁壁の曲げ照査	141
4.1.3	逆T擁壁のせん断照査	146
4.1.4	過剰間隙水圧分布	150
4.1.5	最大せん断ひずみ分布	159
4.2	逆T擁壁	168
4.2.1	曲げ照査	168
4.2.2	せん断照査	174
4.2.3	グラウンドアンカによる支圧照査	177
4.2.4	隣接する躯体同士の間支圧照査	180
4.3	グラウンドアンカ	184
4.3.1	グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査	184
4.3.2	逆T擁壁の滑動・転倒に対する耐力の確認	187
4.3.3	逆T擁壁の底版の最大傾斜	198
4.4	改良地盤	201
4.4.1	評価結果	201
4.4.2	局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について	204
4.4.3	内的安定評価のまとめ	212
4.5	止水目地	213
4.6	基礎地盤	219

4.7	施設護岸等の損傷による不確かさの検討	228
4.7.1	概要	228
4.7.2	評価方針	229
4.7.3	評価結果	232
4.7.4	解析ケース③と解析ケース④の照査値が同等となる原因の分析	235
5.	防波壁（逆T擁壁）の耐震性に関する影響検討	247
5.1	鋼管杭の影響検討	247
5.1.1	評価方針	248
5.1.2	評価結果	255
5.2	改良地盤⑧の影響検討	259
5.2.1	概要	259
5.2.2	評価方針	259
5.2.3	評価結果	261
5.3	⑤－⑤断面位置でのグラウンドアンカ仕様を反映した影響検討	265
5.3.1	概要	265
5.3.2	評価方針	267
5.3.3	評価結果	269

（参考資料1）グラウンドアンカの実態に即したモデル化，物性値及び許容限界の設定方法

（参考資料2）鋼管杭の影響検討について

（参考資料3）改良地盤①～③の物性値の設定方法について

（参考資料4）基礎底面の傾斜について

1. 概要

本資料は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に設定している構造強度及び機能維持の設計方針に基づき、防波壁（逆T擁壁）が基準地震動 S_s に対して十分な構造強度及び止水機能を有していることを確認するものである。

防波壁（逆T擁壁）に要求される機能の維持を確認するにあたっては、構造部材の健全性評価では、地震応答解析に基づく施設・地盤の健全性評価及び施設の変形性評価を行う。基礎地盤の支持性能評価では、基礎地盤に発生した接地圧を確認する。

漂流物対策工については、「補足-027-08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料 2.1.8 漂流物対策工に関する補足説明」で説明する。

2. 基本方針

2.1 位置

防波壁（逆T擁壁）の位置図を図2.1-1に示す。

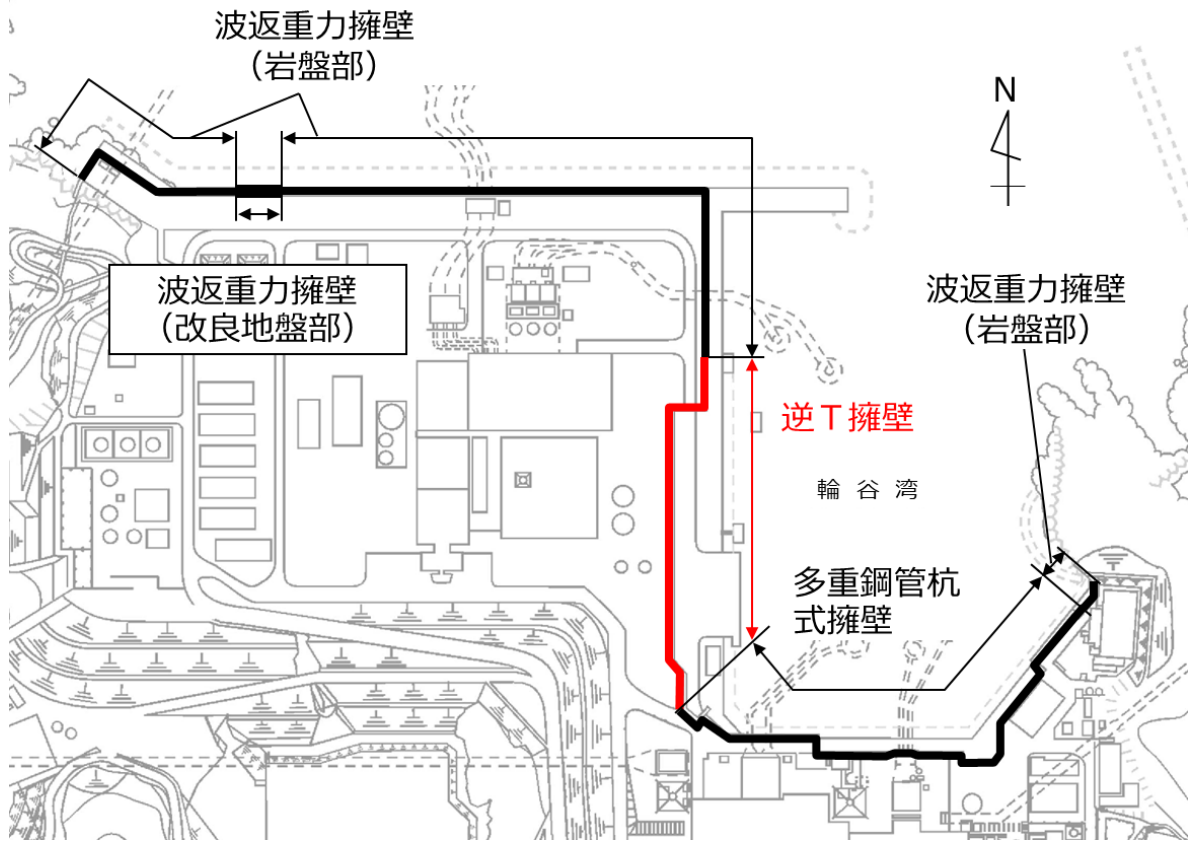


図 2.1-1 防波壁（逆T擁壁）の位置図

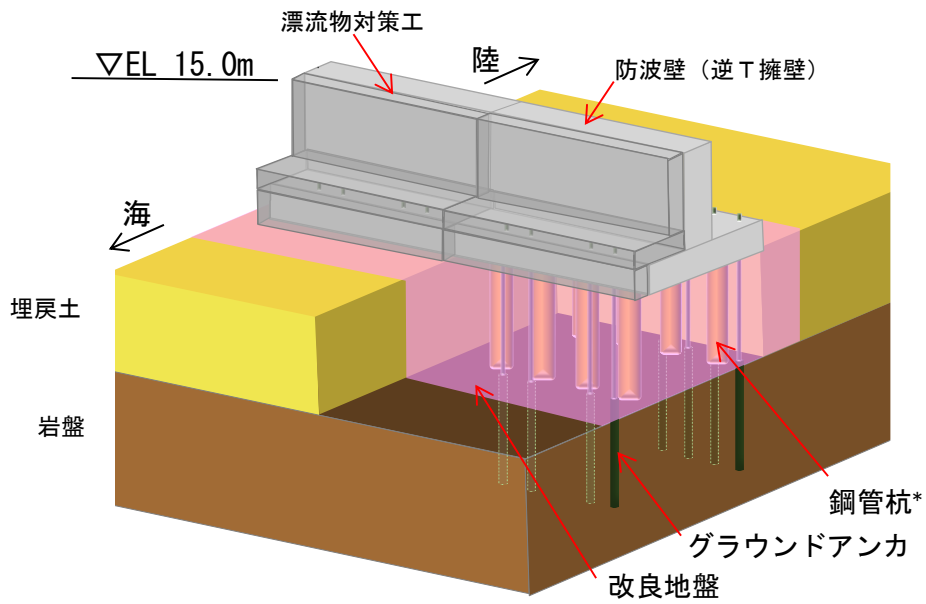
2.2 構造概要

防波壁（逆T擁壁）の構造概要図及び構造図を図2.2-1～図2.2-4に、目地材写真を図2.2-5に、概略配筋図を図2.2-6に、グラウンドアンカの配置図及び諸元を図2.2-7及び図2.2-8に、止水目地の概念図及び配置位置図を図2.2-9に示す。

防波壁（逆T擁壁）は、入力津波高さ（EL 11.9m）に対して余裕を考慮した天端高さ（EL 15.0m）とする。

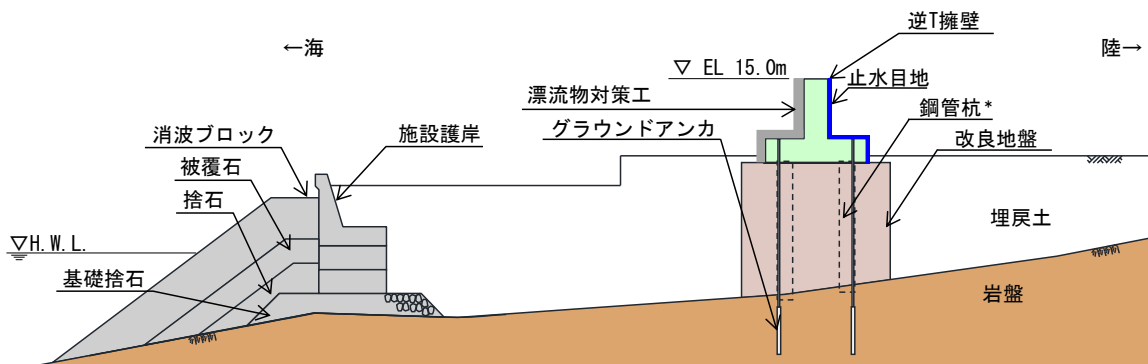
防波壁（逆T擁壁）は、改良地盤を介して岩盤に支持される鉄筋コンクリート造の逆T擁壁による直接基礎構造及びグラウンドアンカで構成し、十分な支持性能を有する岩盤及び改良地盤に支持させる構造とする。約16mを1ブロックの標準とした壁体を連続して設置し、1ブロックにおいて海側では8本、陸側では4本のグラウンドアンカを設置している。逆T擁壁の海側には、鉄筋コンクリート版により構成された漂流物対策工（以下「漂流物対策工（鉄筋コンクリート版）」という。）を設置し、グラウンドアンカのアンカーヘッド上部には鋼材により構成された漂流物対策工（以下「漂流物対策工（鋼材）」という。）を設置する。また、逆T擁壁の陸側の境界部には、試験等により止水性を確認した止水目地を設置する。

なお、構造概要図には鋼管杭を示しているが、その効果を期待せずに耐震評価を行う。



注記* : 防波壁 (逆T擁壁) は鋼管杭の効果을期待しない設計とする。

図 2.2-1 防波壁 (逆T擁壁) の構造概要図 (鳥瞰図)



注記* : 防波壁 (逆T擁壁) は, 鋼管杭の効果을期待しない設計とする。

図 2.2-2 防波壁 (逆T擁壁) の構造概要図 (断面図)

(単位：mm)

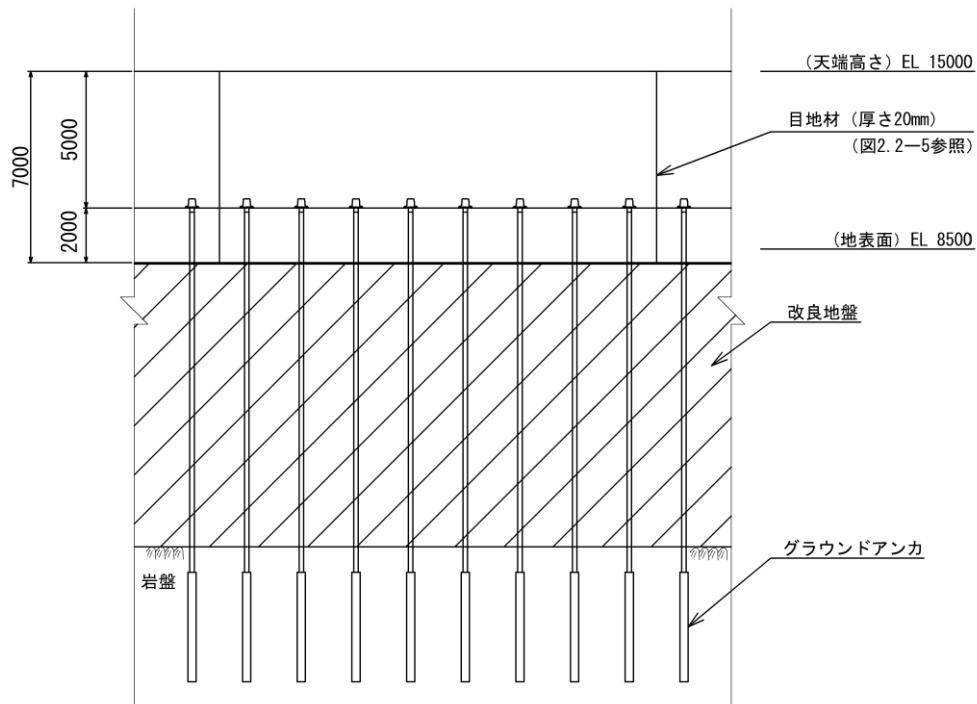


図 2.2-3 防波壁（逆T擁壁）の構造図（正面図）

(単位：mm)

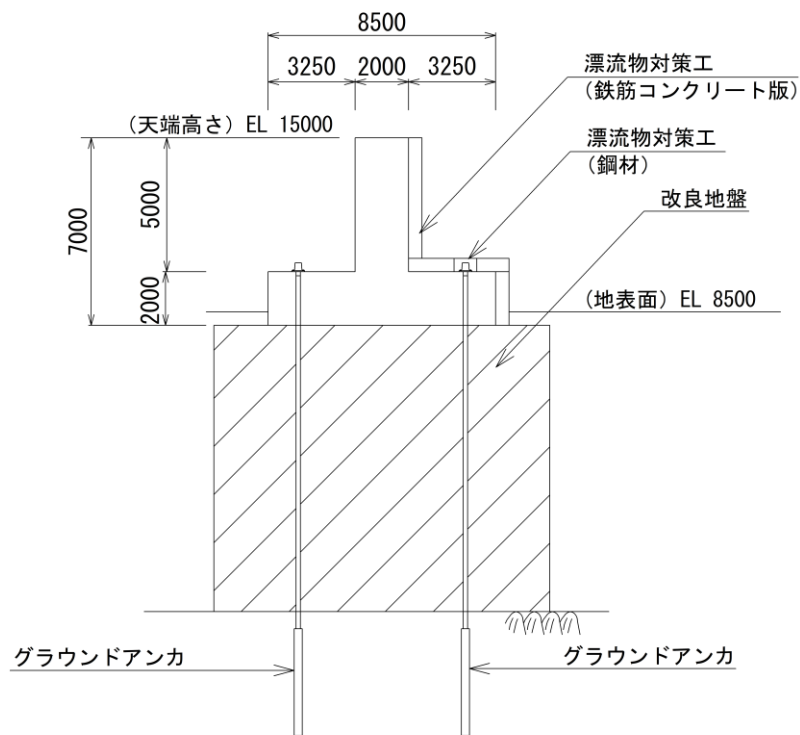


図 2.2-4 防波壁（逆T擁壁）の構造図（断面図）



図 2.2-5 目地材写真（樹脂発泡体目地材，厚さ 20mm）

（単位：mm）

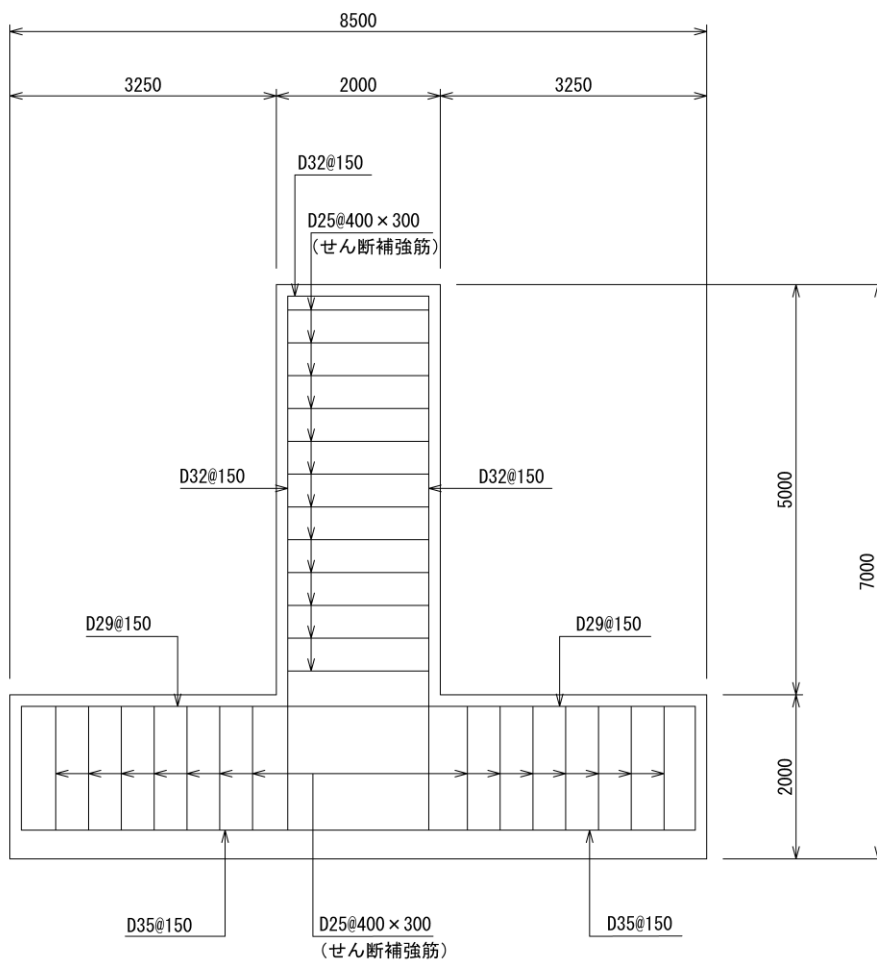
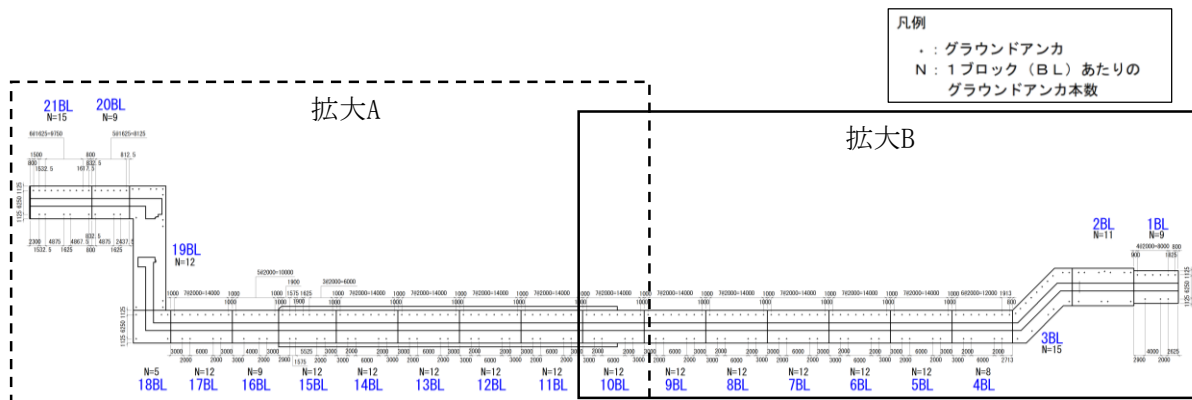
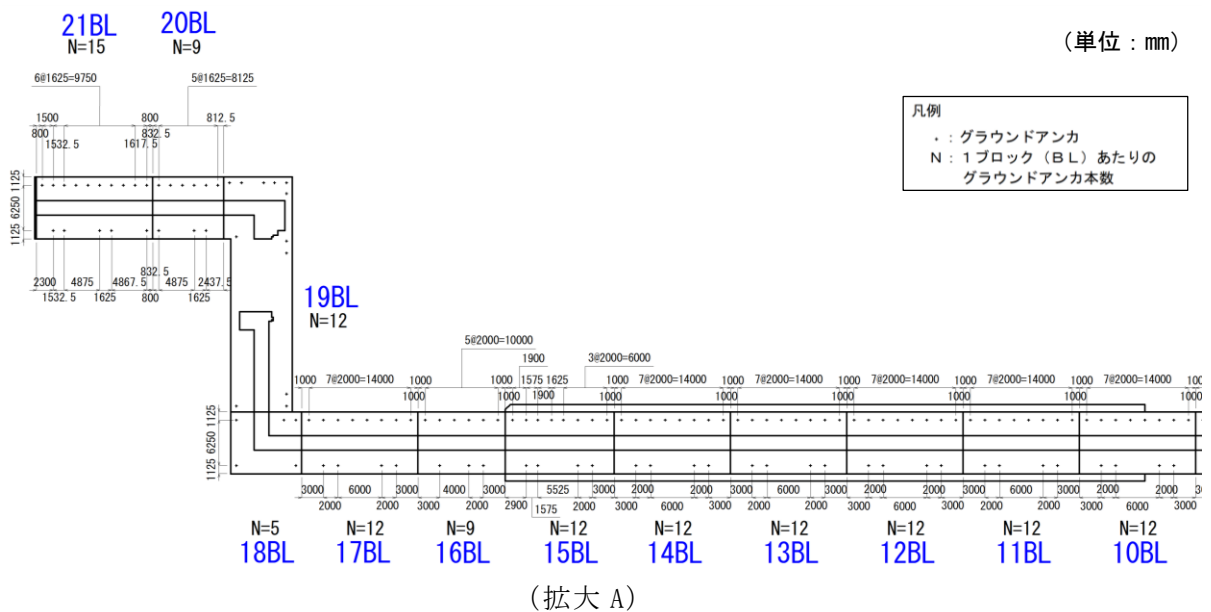


図 2.2-6 防波壁（逆T擁壁）の概略配筋図

(単位：mm)



(単位：mm)



(単位：mm)

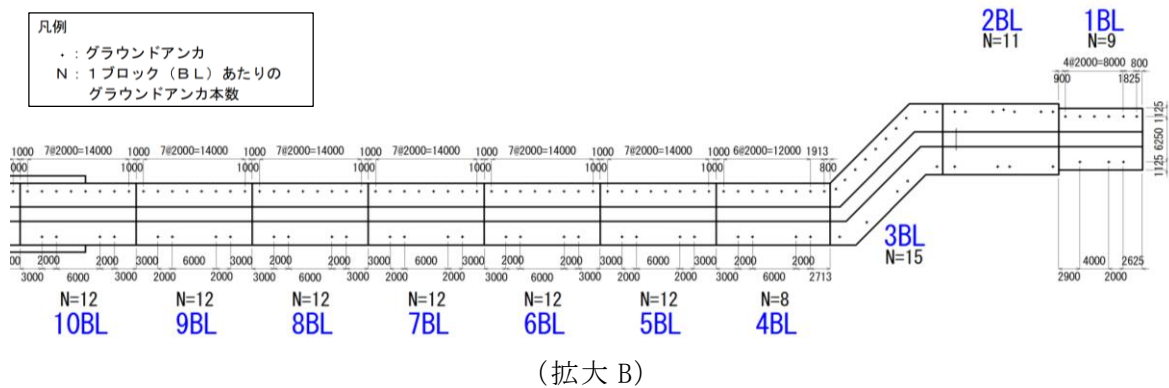
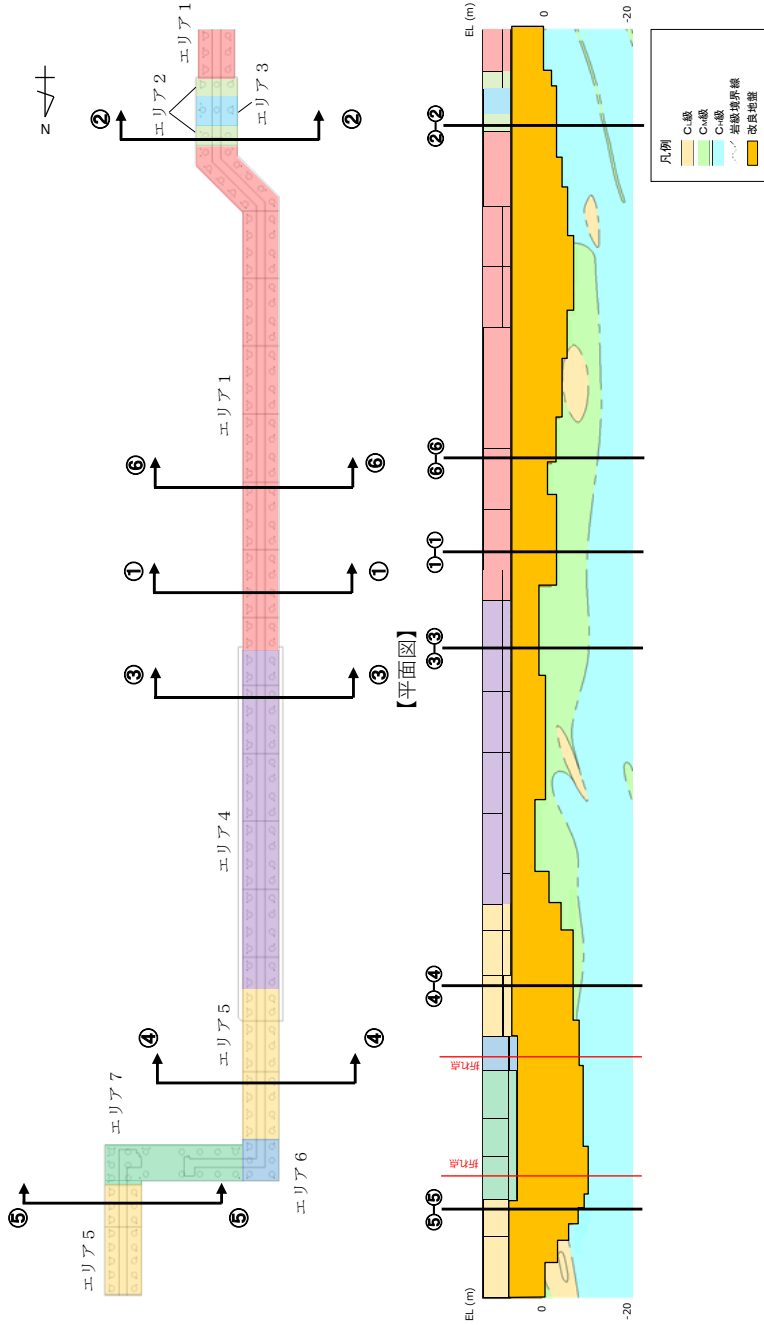


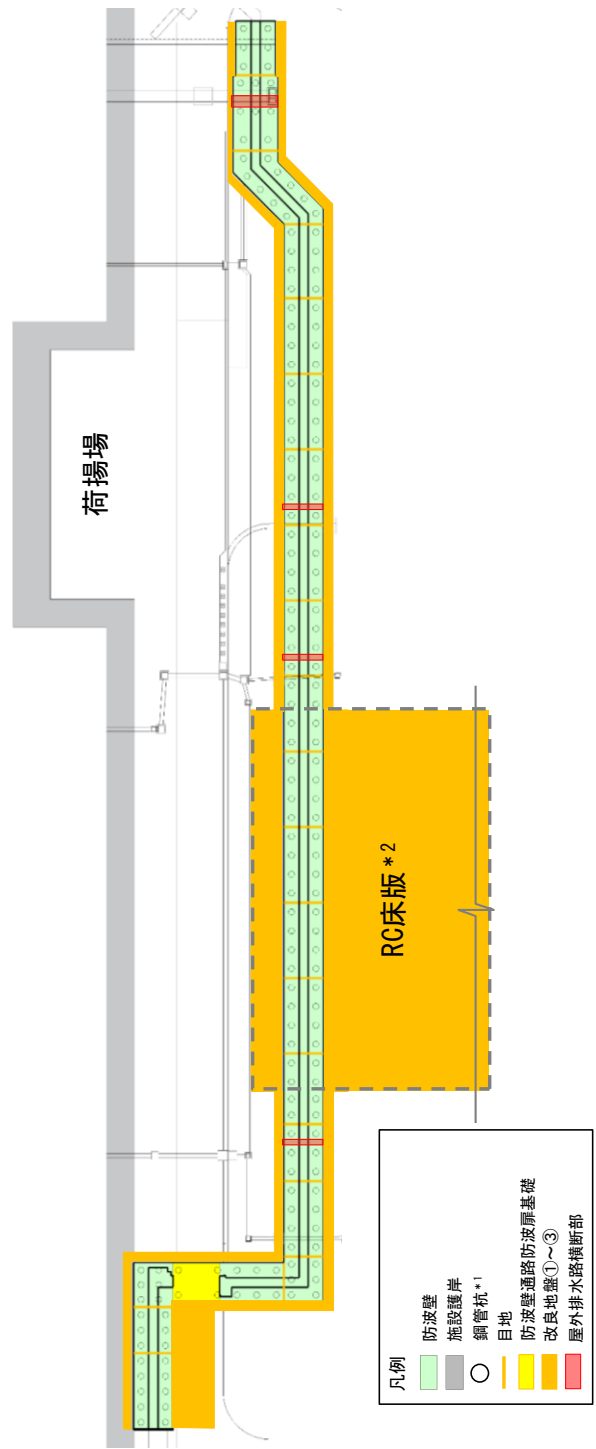
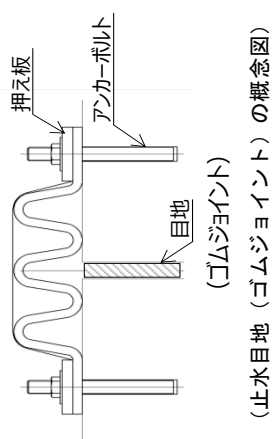
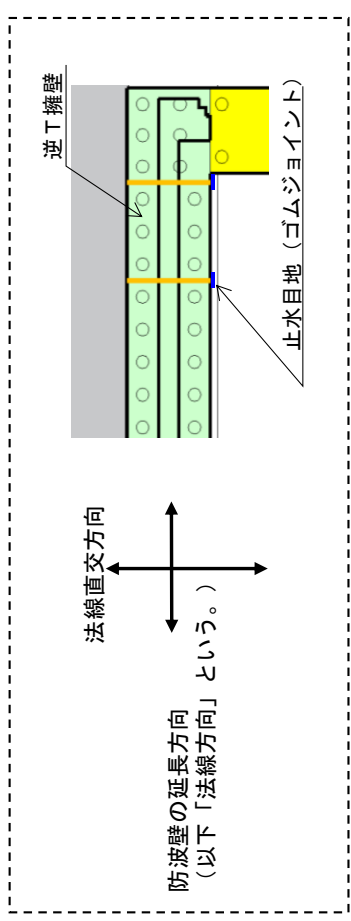
図 2.2-7 防波壁（逆 T 擁壁）のグラウンドアンカ配置図



【断面図】

エリア	アンカー種別	前孔径 (mm)	PC鋼φ (mm)	PC鋼本数 (本)	アンカー体長 (アンカー拘束長) (mm)	アンカー自由長* (mm)	テンドンの降伏引張力 (kN)	テンドンの強度引張力 (kN)	テンドンの見かけの周長 (mm)	設計アンカー力 (kN)	許容アンカー力 (kN)	海側のグラウンドアンカー設置間隔 (mm)	設計アンカー力/許容アンカー力
エリア1	VSL永久アンカー (E6-12)	135	15.2	11	8500	8000~18000	2400	2800	138.4	1440	1764	2000	0.82
エリア2					10000	11000~13500				1700	2076	1650	0.82
エリア3					9000	12500~13000				1500	1868	1535	0.80
エリア4					8500	7000~11500				1360	1764	2000	0.77
エリア5					7000	10000~20500				1170	1453	1625(北側) 2000(南側)	0.81
エリア6					9500	17000~18500				1550	1972	1650	0.79
エリア7					10000	17500~20000				1650	2076	1650	0.79

図 2.2-8 逆T擁壁に設置されているグラウンドアンカーの諸元



注記*1: 鋼管杭の効果を期待しない設計とする。
*2: RC床版については、保守的に改良地盤として扱う。

図 2.2-9 防波壁 (逆T擁壁) の止水目地の概念図及び配置位置図

2.3 評価方針

防波壁（逆T擁壁）は、Sクラス施設である津波防護施設に分類される。

防波壁（逆T擁壁）の各部位の役割及び性能目標を表2.3-1及び表2.3-2に示す。

防波壁（逆T擁壁）の耐震評価は、地震応答解析の結果に基づき、設計基準対象施設として、表2.3-3に示すとおり、施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を行う。

施設・地盤の健全性評価、基礎地盤の支持性能評価及び施設の変形性評価を実施することで、構造強度を有すること及び止水性を損なわないことを確認する。

施設・地盤の健全性評価については、施設・地盤ごとに定める照査項目（発生応力度、すべり安全率）が許容限界を満足することを確認する。

基礎地盤の支持性能評価においては、基礎地盤の接地圧が許容限界以下であることを確認する。

施設の変形性評価については、止水目地の変位量を算定し、有意な漏えいが生じないことを確認した許容限界以下であることを確認する。

防波壁（逆T擁壁）の耐震評価フローを図2.3-1に示す。

表 2.3-1 防波壁（逆T擁壁）の各部位の役割

	部位の名称	地震時の役割	津波時の役割
施設	逆T擁壁	・止水目地及び漂流物対策工を支持する。	・止水目地及び漂流物対策工を支持するとともに、遮水性を保持する。
	止水目地	・逆T擁壁間の変位に追従する。	・逆T擁壁間の変位に追従し、遮水性を保持する。
	グラウンドアンカ	・逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。	・逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒を抑止する。
	鋼管杭	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。
	漂流物対策工* ¹ (鉄筋コンクリート版)	・役割に期待しない(解析モデルに重量として考慮し、防波壁(逆T擁壁)への影響を考慮する)。	・衝突荷重を分散して防波壁(逆T擁壁)に伝達する。 ・衝突荷重による防波壁(逆T擁壁)の局所的な損傷を防止する。
	漂流物対策工* ¹ (鋼材)		・漂流物をグラウンドアンカに衝突させない。
地盤	改良地盤 ①～③* ²	・逆T擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆T擁壁を支持する。 ・難透水性を保持する。
	岩盤	・逆T擁壁を支持する。 ・基礎地盤のすべり安定性に寄与する。	・逆T擁壁を支持する。
	埋戻土	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁(逆T擁壁)への相互作用を考慮する)。	・防波壁(逆T擁壁)より陸側については、津波荷重に対して地盤反力として寄与する。
	施設護岸, 基礎捨石, 捨石, 被覆石	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁(逆T擁壁)への波及的影響を考慮する)。	・役割に期待しない(解析モデルに反映し、防波壁(逆T擁壁)への相互作用を考慮する)。
	消波ブロック	・役割に期待しない。	・役割に期待しない。

注記*1：漂流物対策工は「補足-027-08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料 2.1.8 漂流物対策工に関する補足説明」で説明する。

*2：RC床版については、保守的に改良地盤として扱う。

表 2.3-2 防波壁（逆T擁壁）の各部位の性能目標

部位		性能目標					
		鉛直支持	すべり安定性	耐震性	耐津波性 (透水性, 難透水性)		
施設	逆T擁壁	—	—	構造部材の健全性を保持するために、逆T擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。	止水目地の支持機能を喪失して逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、逆T擁壁がおおむね弾性状態にとどまること。		
	止水目地			逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地に、止水目地の変形性能を保持すること。	逆T擁壁間から有意な漏えいを生じないために、止水目地の変形・遮水性能を保持すること。		
	グラウンドアンカ			逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために許容アンカー力を確保すること。	逆T擁壁及び改良地盤の滑動・転倒抑止のために許容アンカー力を確保すること。		
	漂流物対策工*1(鉄筋コンクリート版)			—	—	防波壁(逆T擁壁)から分離しないために、漂流物対策工がおおむね弾性状態にとどまること。	衝突荷重を分散して、防波壁(逆T擁壁)に伝達するために、鉄筋コンクリート版がおおむね弾性状態にとどまること。
	漂流物対策工*1(鋼材)					グラウンドアンカに漂流物を直接衝突させないために、鋼材がおおむね弾性状態にとどまること。	
地盤	改良地盤 ①～③*2	逆T擁壁を鉛直支持するため、十分な支持力を保持すること。	基礎地盤のすべり安定性を確保するため、十分なすべり安全性を保持すること。	—	地盤中からの回り込みによる流入を防止(難透水性を保持)するため改良地盤①～③がすべり破壊しないこと。 (内的安定を保持)		
	岩盤				—		

注記*1：漂流物対策工は「補足-027-08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料

2.1.8 漂流物対策工に関する補足説明」で説明する。

*2：RC床版については、保守的に改良地盤として扱う。

表 2.3-3 防波壁(逆T擁壁)の評価項目

評価方針	評価項目	部位	評価方法	許容限界
構造強度を有すること	施設・地盤の健全性	逆T擁壁	発生する応力（曲げ応力、せん断応力及びグラウンドアンカによる支圧力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ*1	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	許容アンカー力
		漂流物対策工*2（鉄筋コンクリート版）	発生する応力（アンカーボルトの引張力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		漂流物対策工*2（鋼材）	発生する応力（鋼材の曲げ応力及びせん断応力並びにアンカーボルトの引張力及びせん断力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*3
止水性を損なわないこと	施設・地盤の健全性	逆T擁壁	発生する応力（曲げ応力、せん断応力及びグラウンドアンカによる支圧力）が許容限界以下であることを確認	短期許容応力度
		グラウンドアンカ*1	発生するアンカー力が許容限界以下であることを確認	許容アンカー力
		改良地盤①～③	すべり破壊しないこと（内的安定を保持）を確認	すべり安全率 1.2以上
	基礎地盤の支持性能	基礎地盤	発生する応力（接地圧）が許容限界以下であることを確認	極限支持力度*3
	施設の変形性	止水目地	発生変位量が許容限界以下であることを確認	有意な漏えいが生じないことを確認した変位量

注記*1：グラウンドアンカを考慮した滑動・転倒に対する照査も実施する。

*2：漂流物対策工は「補足-027-08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料

2.1.8 漂流物対策工に関する補足説明」で説明する。

*3：妥当な安全余裕を考慮する。

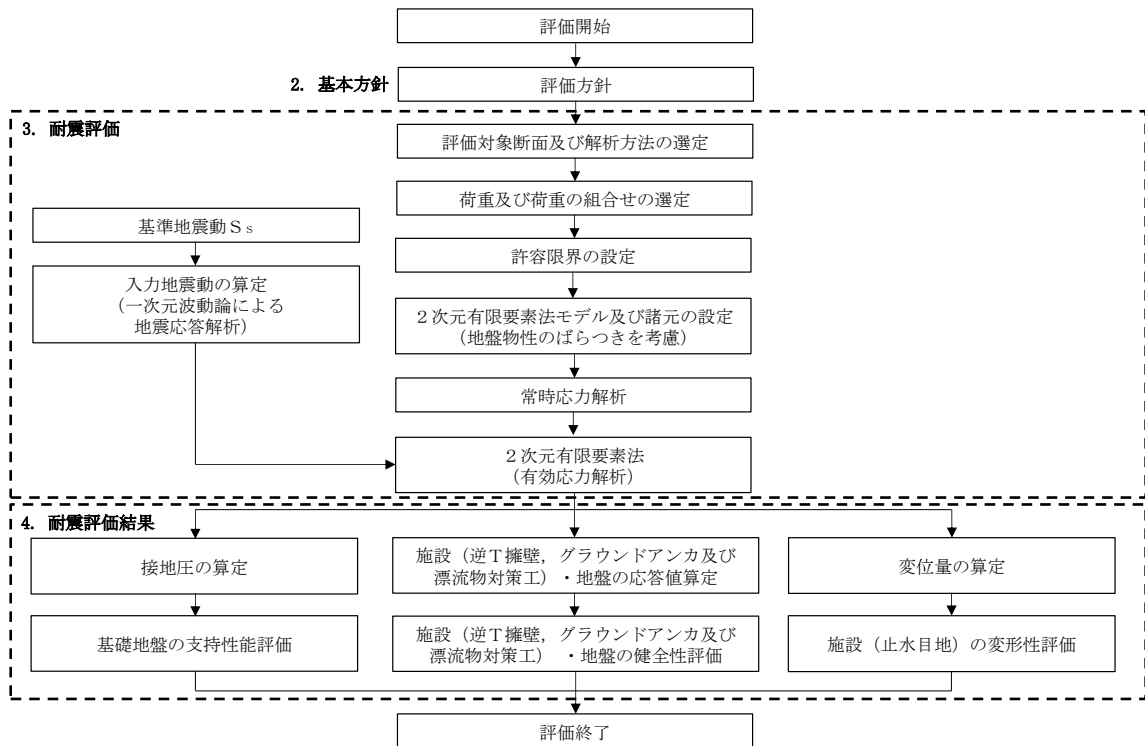


図 2.3-1 防波壁(逆T擁壁)の耐震評価フロー

2.4 適用規格・基準等

適用する規格・基準等を以下に示す。

- ・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)
- ・グラウンドアンカー設計・施工基準, 同解説((社) 地盤工学会, 2012 年)
- ・耐津波設計に係る工認審査ガイド(平成 25 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号)
- ・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)
- ・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)
- ・港湾の施設の技術上の基準・同解説(国土交通省港湾局, 2007 年版)
- ・港湾構造物設計事例集(沿岸技術研究センター, 平成 19 年 3 月)
- ・建築基準法・同施行令

表 2.4-1 適用する規格，基準類

項目		適用する規格，基準類	備考
使用材料及び 材料定数		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)	—
荷重及び 荷重の組合せ		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) 建築基準法・同施行令	永久荷重+偶発荷重+従たる変動荷重の適切な組合せを検討
許容 限界	逆 T 擁壁	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)	曲げ照査，せん断照査及び支圧照査は，発生応力度が短期許容応力度以下であることを確認
	グラウンドアンカー	グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説 ((社) 地盤工学会，2012 年)	発生アンカー力が，許容アンカー力以下であることを確認
	改良地盤 ①～③	耐津波設計に係る工認審査ガイド (平成 25 年 6 月 19 日原管地発第 1306196 号) 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)	すべり安全率が 1.2 以上であることを確認。 支持力照査は，接地圧が極限支持力度以下であることを確認
地震応答解析		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)	有限要素法による 2 次元モデルを用いた時刻歴非線形解析
		港湾の施設の技術上の基準・同解説 (国土交通省港湾局，2007 年版) 港湾構造物設計事例集 (沿岸技術研究センター，平成 19 年 3 月)	ジョイント要素の物性値の設定

3. 耐震評価

3.1 評価対象断面

防波壁（逆T擁壁）の評価対象断面は、設置変更許可段階における構造成立性評価断面として選定した断面を基本とした上で、「補足-027-08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料 1.8 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定」で記載したとおり、耐震評価においては、構造的特徴、周辺地盤状況、地下水位、周辺構造物の有無及び間接支持される機器・配管系の有無が耐震評価結果に及ぼす影響の観点から、耐震評価上厳しいと考えられる断面を評価対象断面として選定する。

評価対象断面選定結果を表 3.1-1 に、評価対象断面位置図を図 3.1-1 及び図 3.1-2 に、評価対象断面を図 3.1-3～図 3.1-9 に示す。

なお、⑦-⑦断面は変位量が最大となる⑤-⑤断面に直交する縦断方向の断面である。⑤-⑤断面位置における縦断方向の止水目地の変位量を求めるため、変形性評価の評価対象断面に選定した。

評価対象断面選定の詳細については、「補足-027-08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料 1.8 浸水防護施設の設計における評価対象断面の選定」の「1.8.2 防波壁」に示す。

表 3.1-1 評価対象断面選定結果（防波壁（逆T擁壁））

検討断面	評価対象断面整理上の観点				該当する 観点	選定理由
	(1) 岩盤上面の深さ (m)	(2) 改良地盤の幅 (m)	(3) 改良地盤と施設護岸 との位置関係	(4) 初期緊張力 /許容アンカー力		
①-①断面	10.9	12.6	改良地盤と施設護岸が 離れている	0.82	(2) (4)	・改良地盤の幅が狭いこと、許容アンカー力に占める初期緊張力の割合が最も高いこと及び設置変更許可段階における構造成立性評価断面であることから、評価対象断面に選定する。
②-②断面	10.5	12.6	改良地盤と施設護岸が 離れている	0.82	(2) (4)	・①-①断面に比べ、改良地盤の幅及び許容アンカー力に占める初期緊張力の割合が同等であり、岩盤上面の深さが浅いことから、①-①断面に代表させる。
③-③断面	6.8	33.8	改良地盤と施設護岸が 離れている	0.77	—	・⑤-⑤断面に比べ、岩盤上面の深さが浅いこと、改良地盤の幅が広いこと、改良地盤と施設護岸が離れていること及び許容アンカー力に占める初期緊張力の割合が低いことから、⑤-⑤断面に代表させる。
④-④断面	15.0	12.6	改良地盤と施設護岸が 離れている	0.81	(1) (2) (4)	・岩盤上面深さが深いこと、改良地盤の幅が狭いこと及び許容アンカー力に占める初期緊張力の割合が高いことから、評価対象断面に選定する。
⑤-⑤断面	18.5	19.5	改良地盤と施設護岸が 接している	0.79	(1) (3)	・岩盤上面の深さが最も深いこと及び改良地盤と施設護岸が接していることから、評価対象断面に選定する。
⑥-⑥断面	11.0	12.6	改良地盤と施設護岸が 離れている	0.82	(2) (4)	・①-①断面に比べ、岩盤上面の深さ、改良地盤の幅、許容アンカー力に占める初期緊張力の割合及び地表面最大加速度が同等であることから、設置変更許可段階における構造成立性評価断面である①-①断面に代表させる。

□: 番号を付与する観点

□: 観点の番号付与が多い

□: 選定した評価対象断面

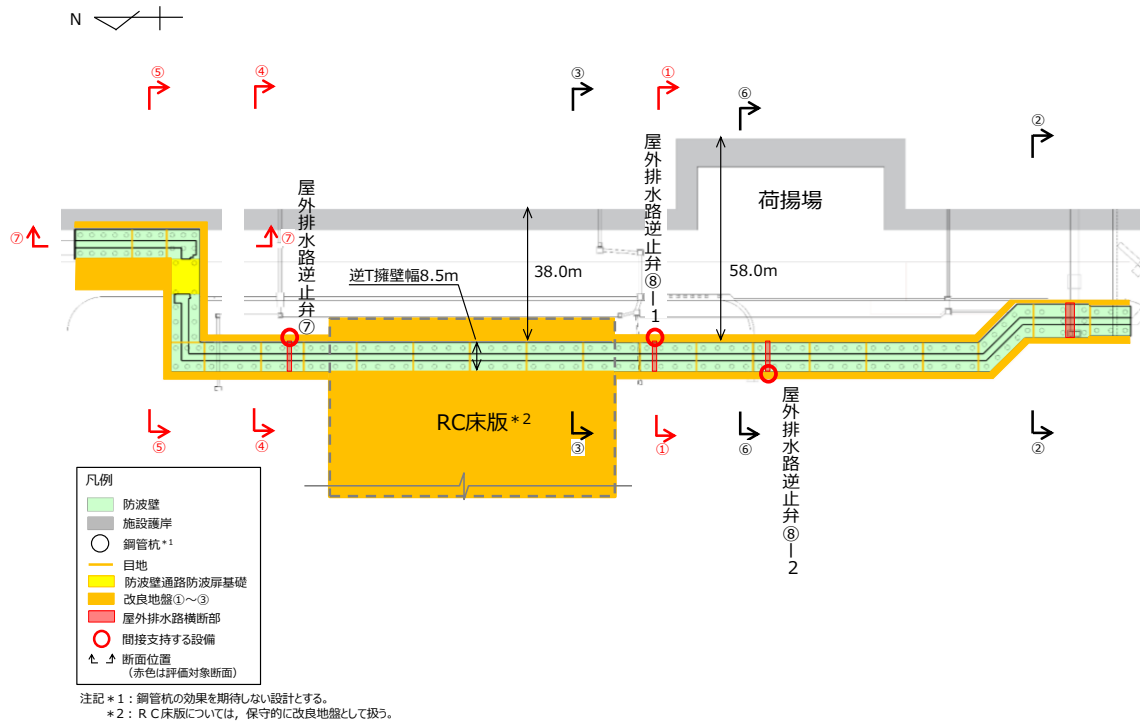


図 3.1-1 防波壁（逆T擁壁）の評価対象断面位置図（平面図）

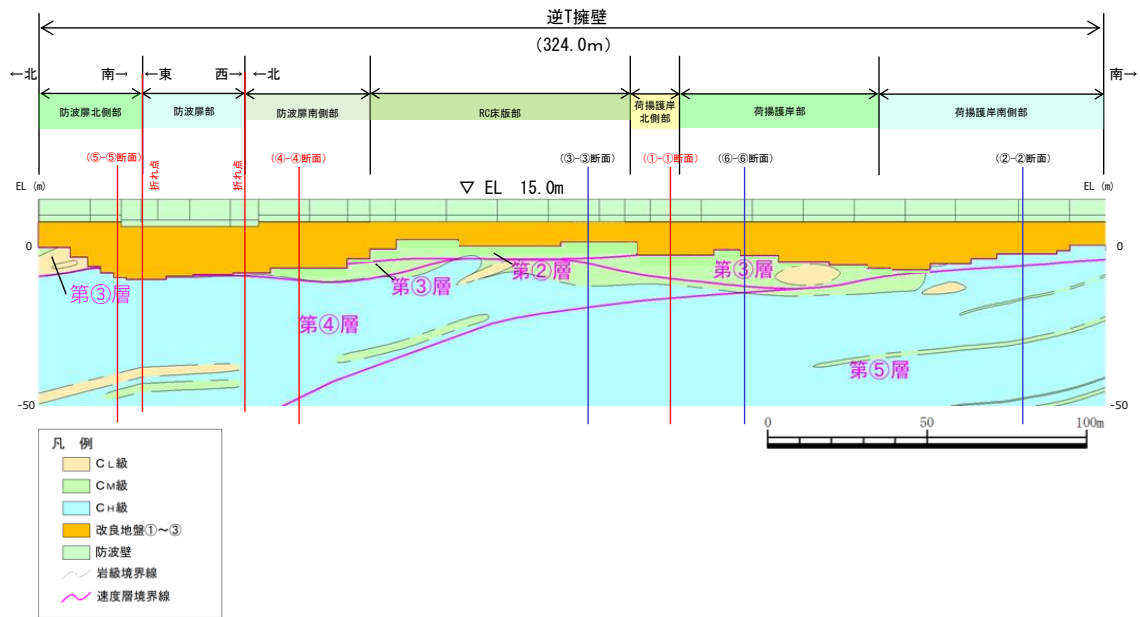


図 3.1-2 防波壁（逆T擁壁）の評価対象断面位置図（縦断面図）

(単位：m)

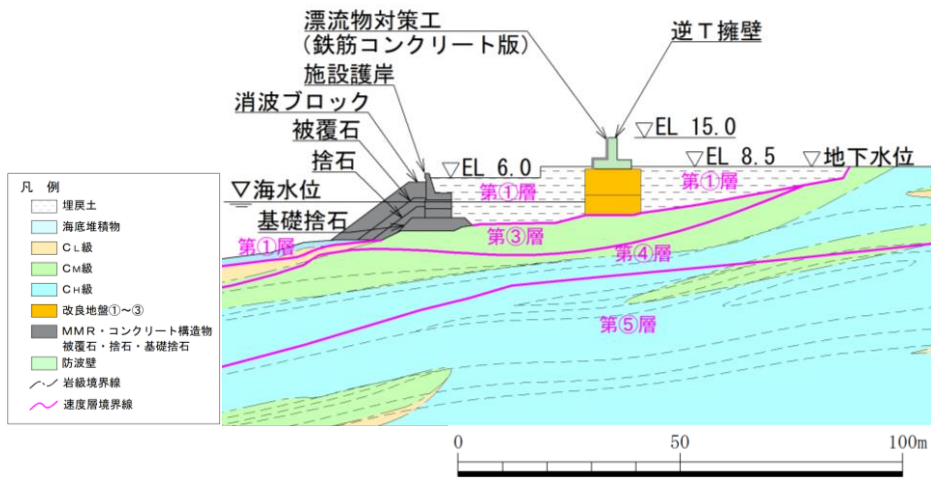


図 3.1-3 防波壁 (逆T擁壁) の横断面図 (①-①断面)

(単位：m)

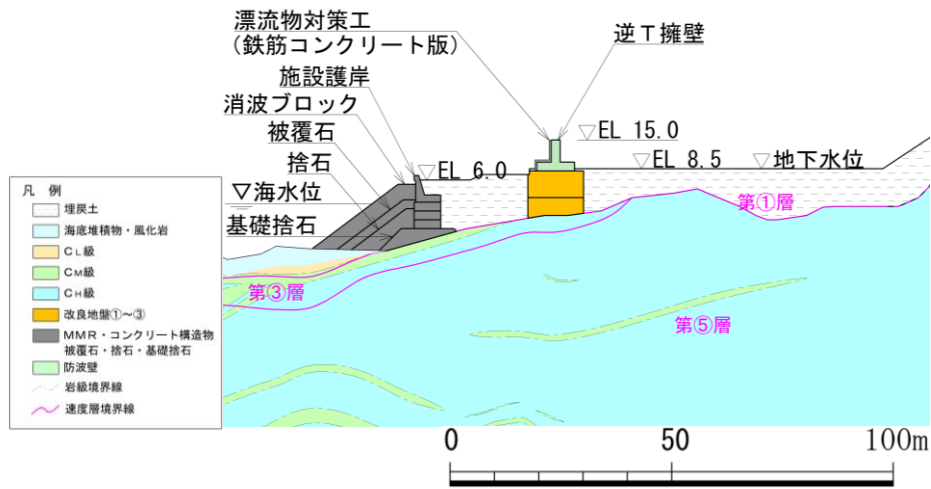


図 3.1-4 防波壁 (逆T擁壁) の横断面図 (②-②断面)

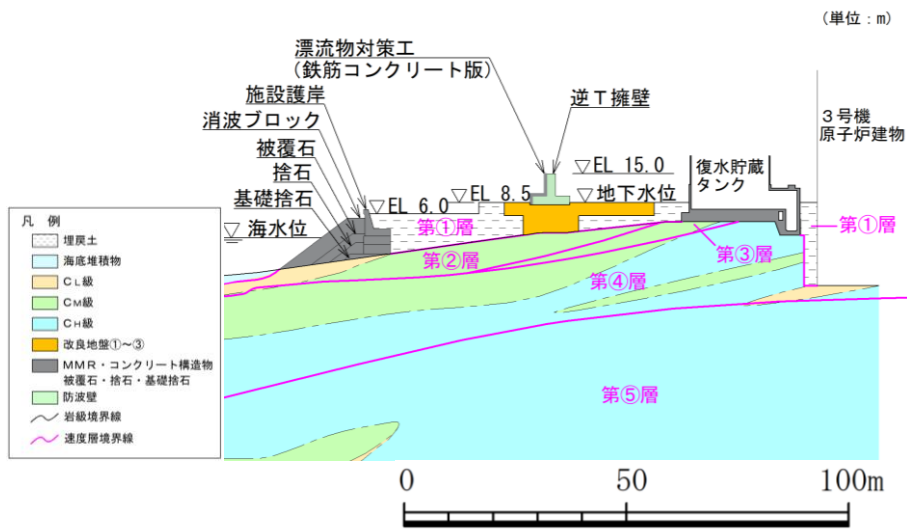


図 3.1-5 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（③-③断面）

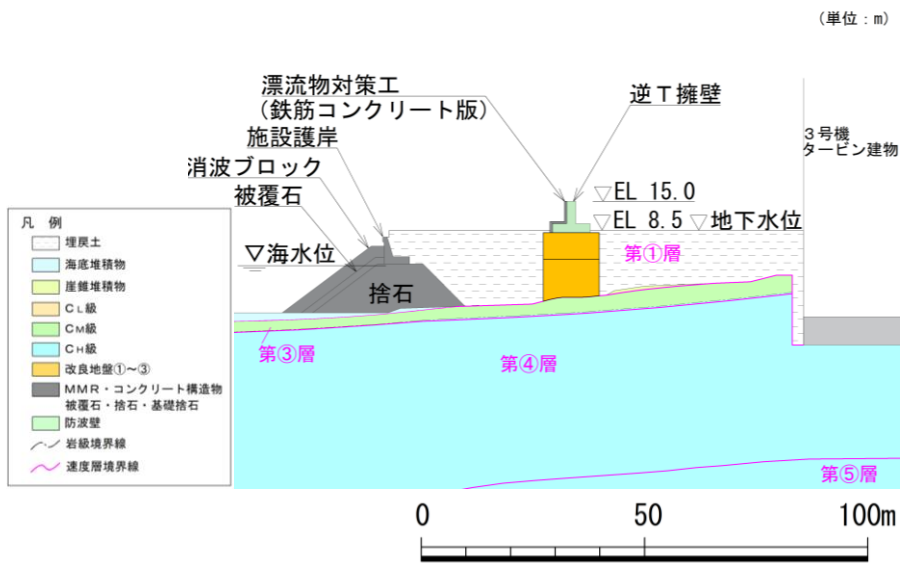


図 3.1-6 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（④-④断面）

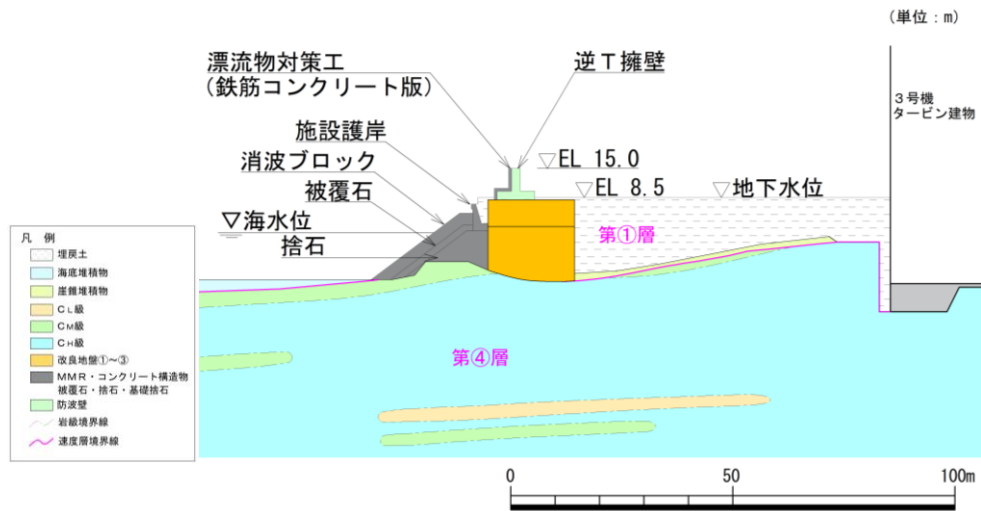


図 3.1-7 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（⑤-⑤断面）

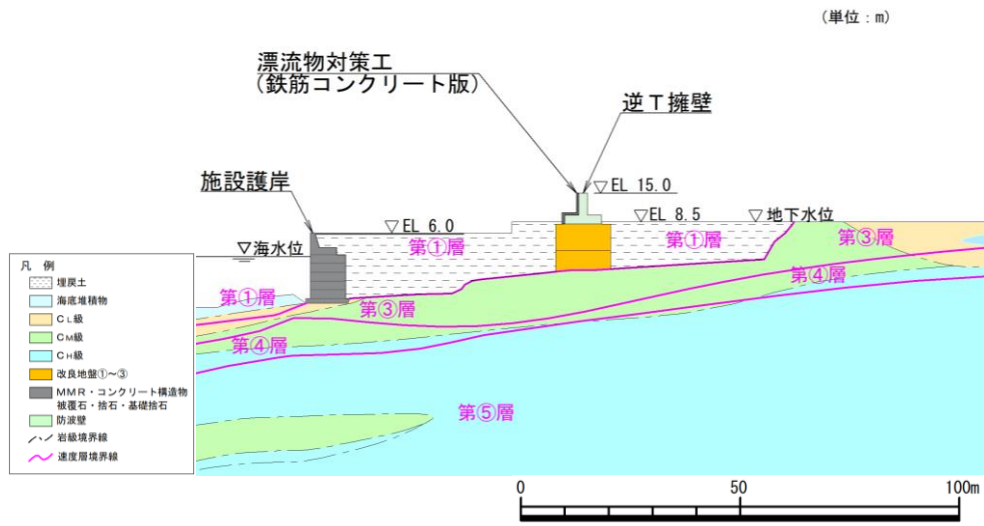


図 3.1-8 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（⑥-⑥断面）

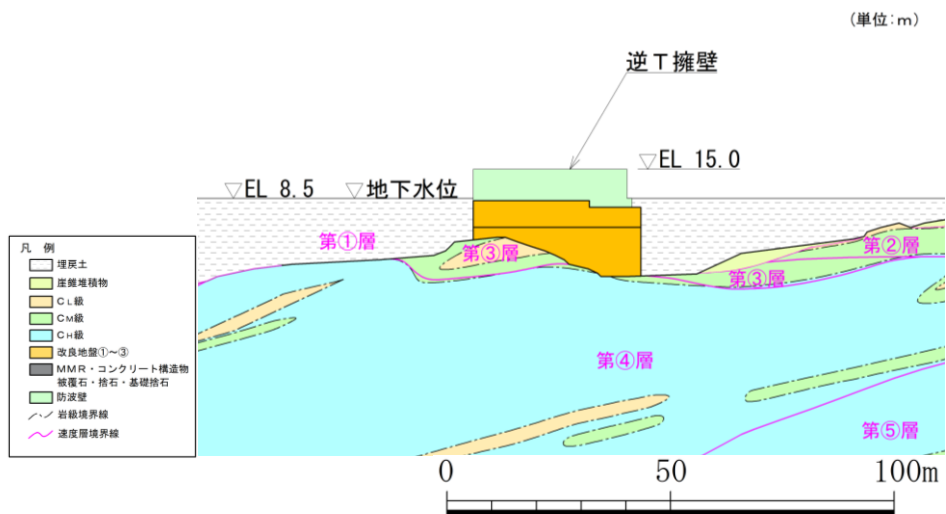


図 3.1-9 防波壁（逆T擁壁）の横断面図（⑦-⑦断面）

3.2 解析方法

防波壁（逆T擁壁）の地震応答解析は、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」に示す解析方法及び解析モデルを踏まえて実施する。

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次元有限要素法を用いて、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。地震時における地盤の有効応力の変化に伴う影響を考慮するため、解析方法は有効応力解析とする。

構造部材については、線形はり要素（ビーム要素）及び非線形ばねでモデル化する。また、地盤については地盤のひずみ依存性を適切に考慮できるようモデル化する。

地震応答解析については、解析コード「FLIP」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。

3.2.1 地震応答解析手法

防波壁（逆T擁壁）の地震応答解析は、地盤と構造物の動的相互作用を考慮できる連成系の地震応答解析を用いて、基準地震動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て行う。

地震応答解析手法の選定フローを図3.2.1-1に示す。

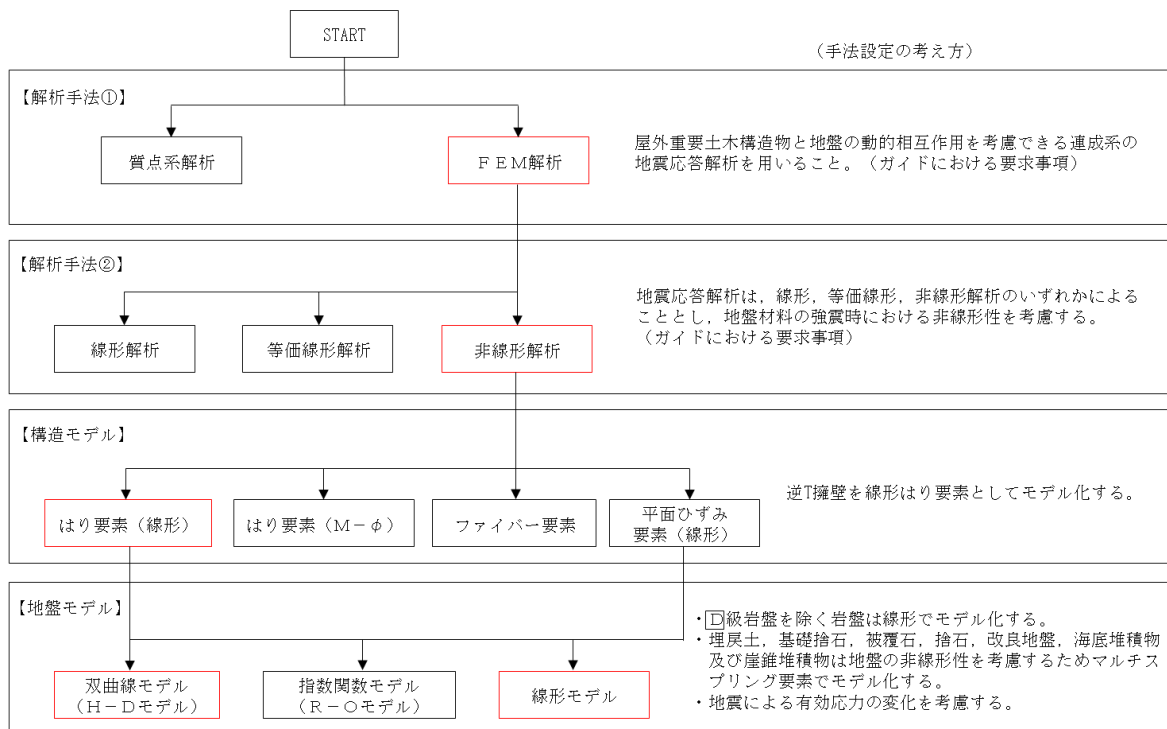


図 3.2.1-1 地震応答解析手法の選定フロー

3.2.2 施設

逆T擁壁は、線形はり要素（ビーム要素）によりモデル化する。

グラウンドアンカは、非線形ばね及びMPC（多点拘束）でモデル化する。

漂流物対策工は、逆T擁壁に固定して設置することから、漂流物対策工設置位置に漂流物対策工の重量を考慮する。

3.2.3 地盤物性のばらつき

防波壁（逆T擁壁）の地震時の応答は、周辺地盤との相互作用によることから、地盤物性のばらつきの影響を考慮する。地盤物性のばらつきについては、表3.2.3-1に示す解析ケースにおいて考慮する。

以下の理由から、防波壁（逆T擁壁）の応答に与える影響が大きいと考えられる埋戻土の物性（初期せん断弾性係数）のばらつきについて影響を確認する。

- ・広範囲に分布しており、動的変形特性にひずみ依存性があるため、地震時の繰返し載荷により剛性低下することから、剛性の違いが地盤応答に影響し、防波壁（逆T擁壁）の応答に影響する。
- ・地震時の繰返し載荷により液状化し、有効応力が低下することから、剛性の違いが改良地盤に対する主動土圧に影響し、防波壁（逆T擁壁）の応答に影響する。

詳細な解析ケースの考え方は、「3.2.5 解析ケース」に示す。

表 3.2.3-1 解析ケース

解析ケース	地盤物性	
	埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性係数)
ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
ケース②	平均値 + 1 σ	平均値
ケース③	平均値 - 1 σ	平均値

3.2.4 減衰定数

Rayleigh 減衰を考慮することとし，剛性比例型減衰 ($\alpha=0$, $\beta=0.002$) を考慮する。なお，係数 β の設定については，「FLIP 研究会 14 年間の検討成果のまとめ「理論編」」を参考に設定している。

3.2.5 解析ケース

耐震評価においては、すべての評価対象断面及び基準地震動 S_s に対し、解析ケース①（基本ケース）を実施する。すべての基準地震動 S_s に対して実施した解析ケース①（基本ケース）において、各照査値が最も厳しい地震動を用いて、解析ケース②及び③を実施する。

また、改良地盤と施設護岸、基礎捨石等（以下「施設護岸等」という。）が近接しており、施設護岸等が改良地盤の変形抑制に寄与する可能性が高いと考えられる⑤-⑤断面については、解析ケース①～③のうち照査値が最も厳しくなるケースで、防波壁前面の施設護岸等の損傷を考慮した解析ケースを実施する（「4.7 施設護岸等の損傷による不確かさの検討」参照）。

耐震評価における解析ケースを表 3.2.5-1 に示す。

表 3.2.5-1 耐震評価における解析ケース

解析ケース		ケース①	ケース②	ケース③	ケース④
		基本ケース	地盤物性のばらつき (+1 σ) を考慮した解析ケース	地盤物性のばらつき (-1 σ) を考慮した解析ケース	施設護岸等の損傷を考慮した解析ケース
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ	
地震動 (位相)	$S_s - D$	(++) *	○	基準地震動 S_s (6波) に位相反転を考慮した地震動 (6波) を加えた全 12 波に対し、ケース① (基本ケース) を実施し、曲げ・軸力系の破壊、せん断破壊及び基礎地盤の支持力照査の各照査項目ごとに照査値が 0.5 を超える照査項目に対して、最も厳しい (許容限界に対する余裕度が最も小さい) 地震動を用いてケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値がいずれも 0.5 以下の場合、照査値が最も厳しくなる地震動を用いてケース②及び③を実施する。	防波壁と施設護岸等の位置関係を踏まえ、施設護岸等が防波壁の変形抑制に寄与する可能性が高いと考えられる⑤-⑤断面において、ケース①～③のうち照査値が最も厳しくなるケースで実施する。
		(-+)	○		
		(+-)	○		
		(--)	○		
	$S_s - F1$	(++) *	○		
	$S_s - F2$	(++) *	○		
	$S_s - N1$	(++) *	○		
		(-+)	○		
	$S_s - N2$ (NS)	(++) *	○		
		(-+)	○		
$S_s - N2$ (EW)	(++) *	○			
	(-+)	○			

注記*：地震動の位相について、(++) の左側は水平動，右側は鉛直動を表し，「-」は位相を反転させたケースを示す。

3.3 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。

3.3.1 耐震評価上考慮する状態

防波壁（逆T擁壁）の地震応答解析において、地震以外に考慮する状態を以下に示す。

(1) 運転時の状態

発電用原子炉施設が運転状態にあり、通常の条件下におかれている状態。ただし、運転時の異常な過渡変化時の影響を受けないことから考慮しない。

(2) 設計基準事故時の状態

設計基準事故時の影響を受けないことから考慮しない。

(3) 設計用自然条件

積雪荷重及び風荷重を考慮する。

(4) 重大事故等時の状態

重大事故等時の状態の影響を受けないことから考慮しない。

3.3.2 荷重

防波壁（逆T擁壁）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、躯体自重及び機器・配管荷重を考慮する。

また、グラウンドアンカの初期緊張力を考慮する。

(2) 積載荷重（P）

積載荷重として、土圧及び水圧を考慮する。

(3) 積雪荷重（P_s）

積雪荷重として、発電所最寄りの気象官署である松江地方気象台（松江市）での観測記録（1941～2018年）より、観測史上1位の月最深積雪100cm（1971年2月4日）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工細則（平成17年3月31日、松江市規則第234号）」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。

(4) 風荷重（P_k）

風荷重については、設計基準風速を30m/sとし、「建築基準法・同施行令」に基づき算定する。

(5) 地震荷重 (S_s)

基準地震動 S_s による荷重を考慮する。

3.3.3 荷重の組合せ

荷重の組合せを表 3.3.3-1 に示す。

表 3.3.3-1 荷重の組合せ

外力の状態	荷重の組合せ
地震時 (S_s)	$G + P + P_s + P_k + S_s$

G : 固定荷重

P : 積載荷重

P_s : 積雪荷重

P_k : 風荷重

S_s : 地震時荷重 (基準地震動 S_s)

3.4 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。

図 3.4-1 に入力地震動算定の概念図を、図 3.4.1-1～図 3.4.1-12、図 3.4.2-1～図 3.4.2-12、図 3.4.3-1～図 3.4.3-12 及び図 3.4.4-1～図 3.4.4-12 に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を示す。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。

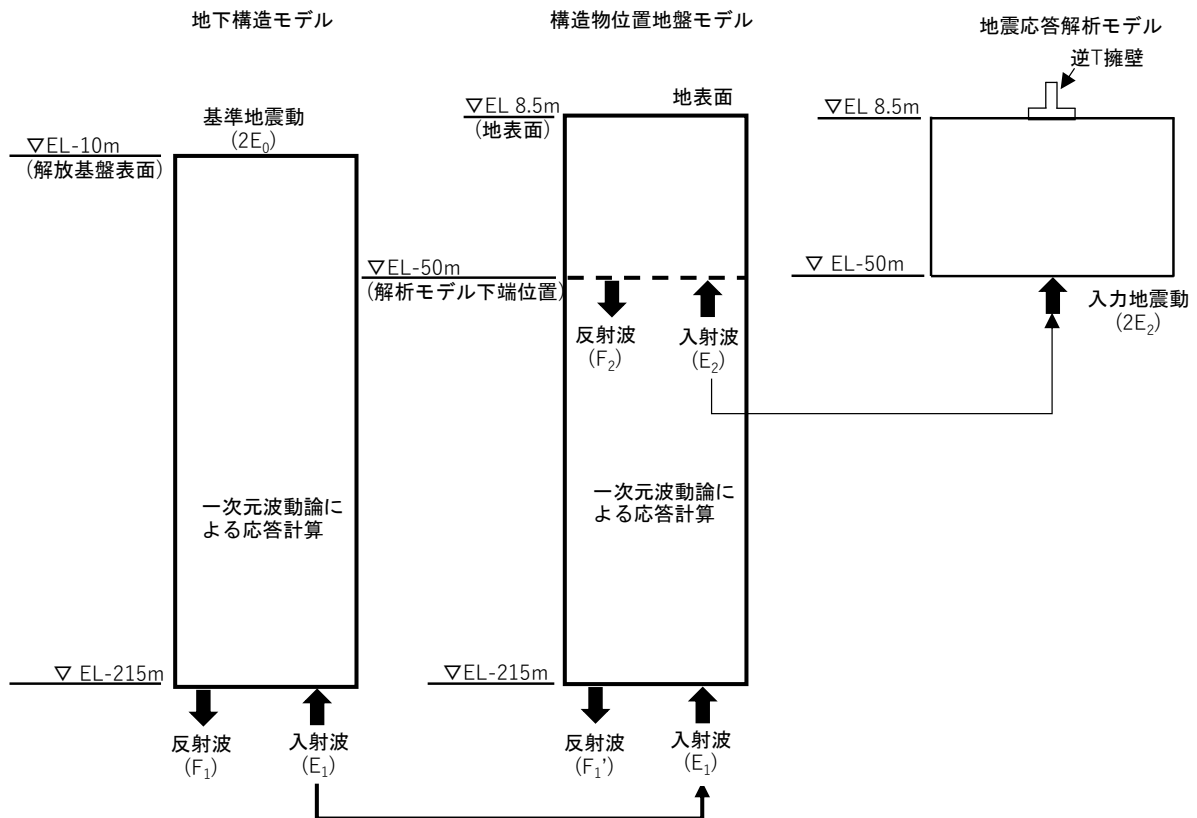
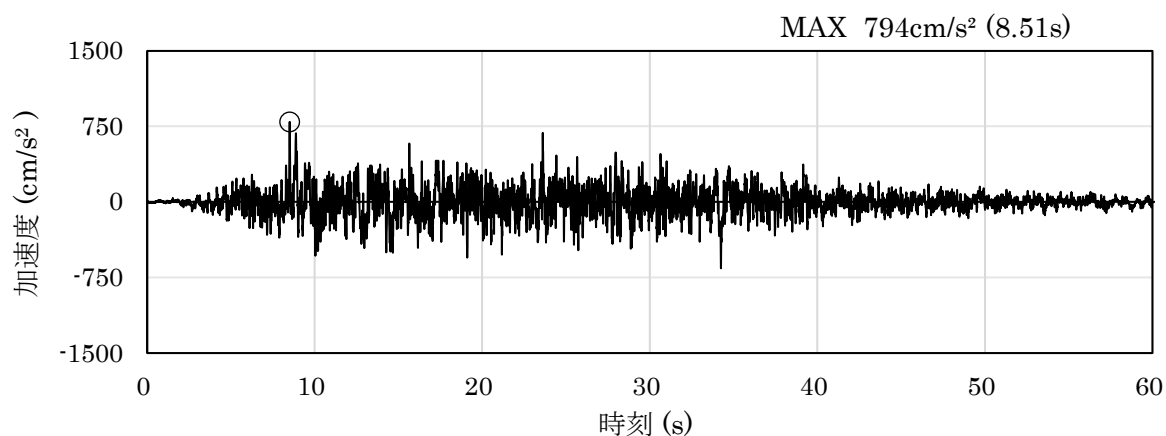
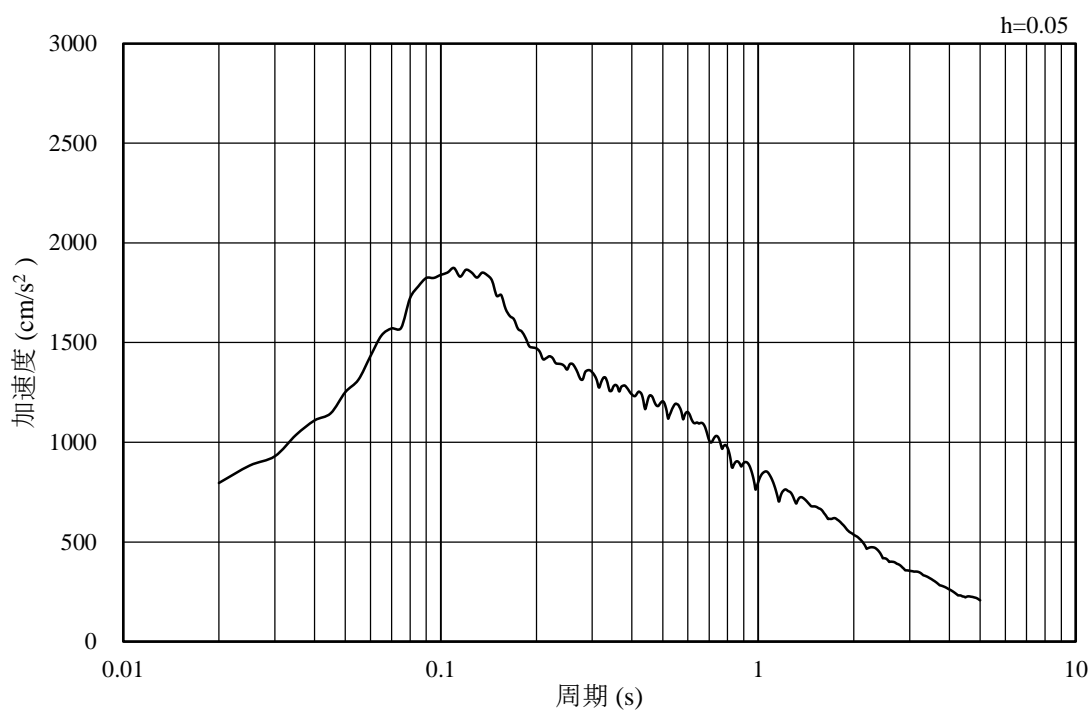


図 3.4-1 入力地震動算定の概念図

3.4.1 ①-①断面

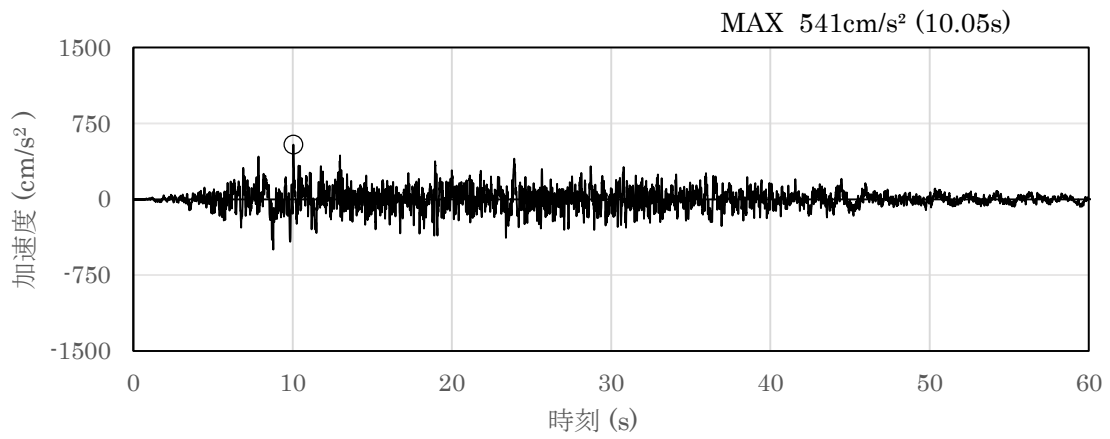


(a) 加速度時刻歴波形

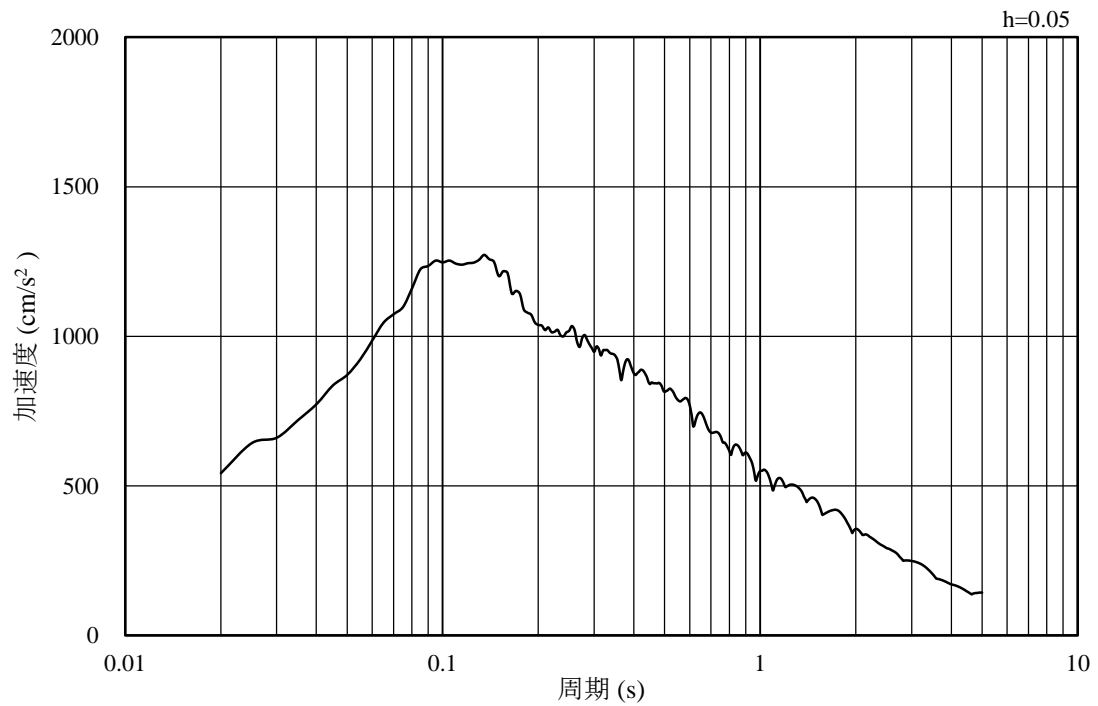


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-1 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)

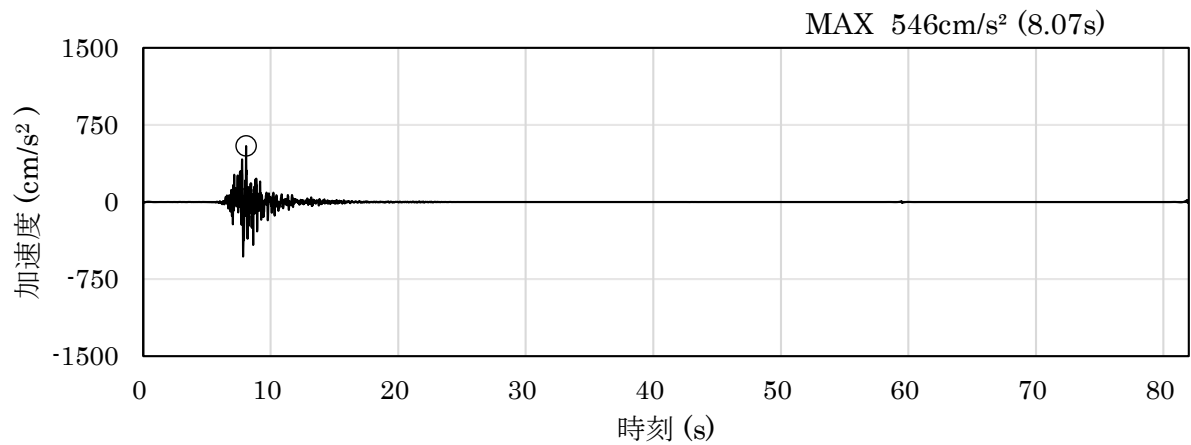


(a) 加速度時刻歴波形

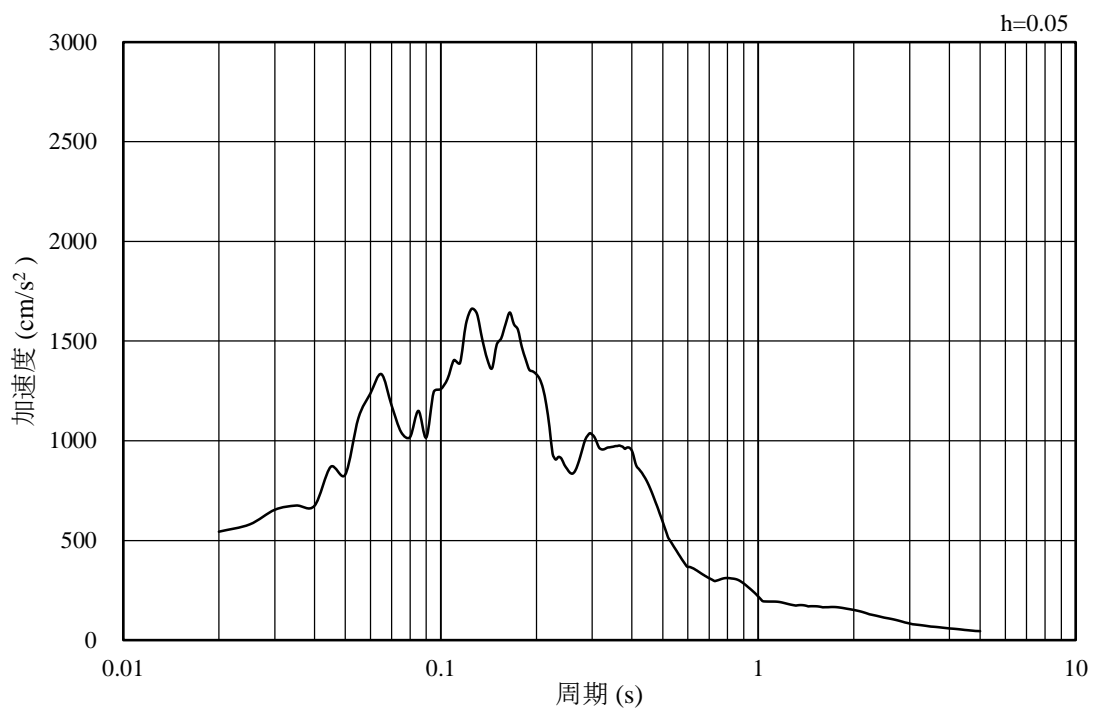


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-2 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)

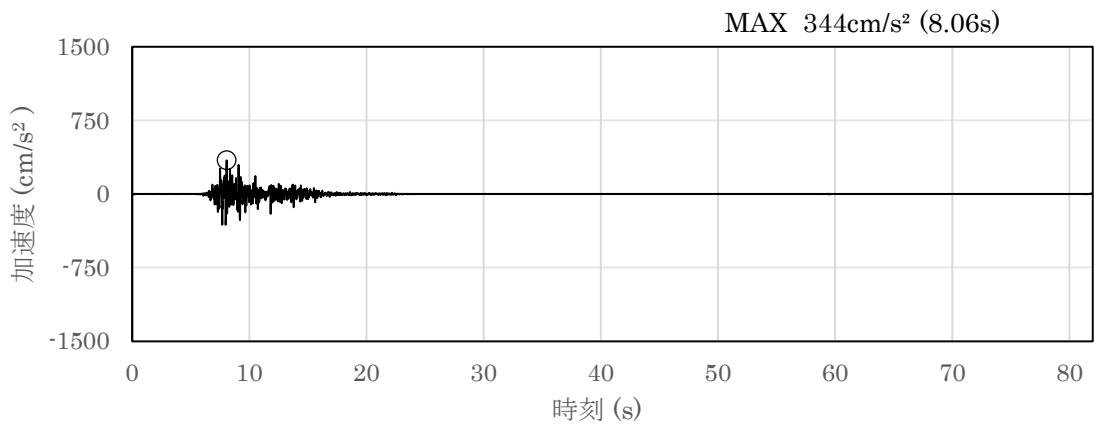


(a) 加速度時刻歴波形

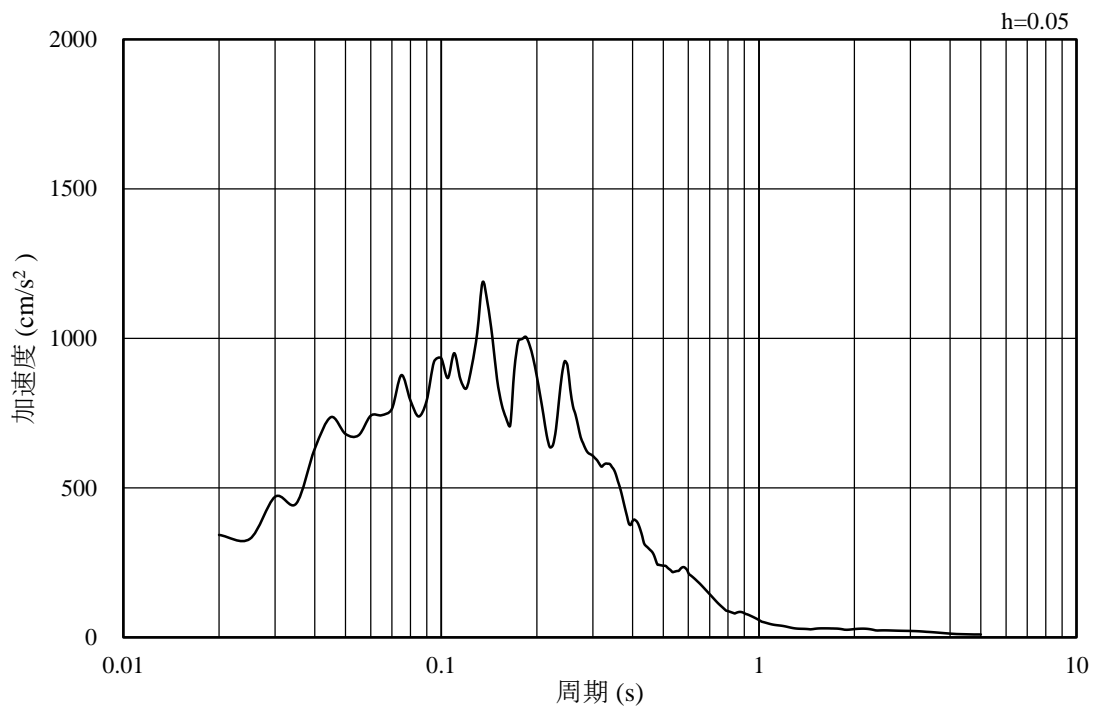


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-3 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 - F 1)

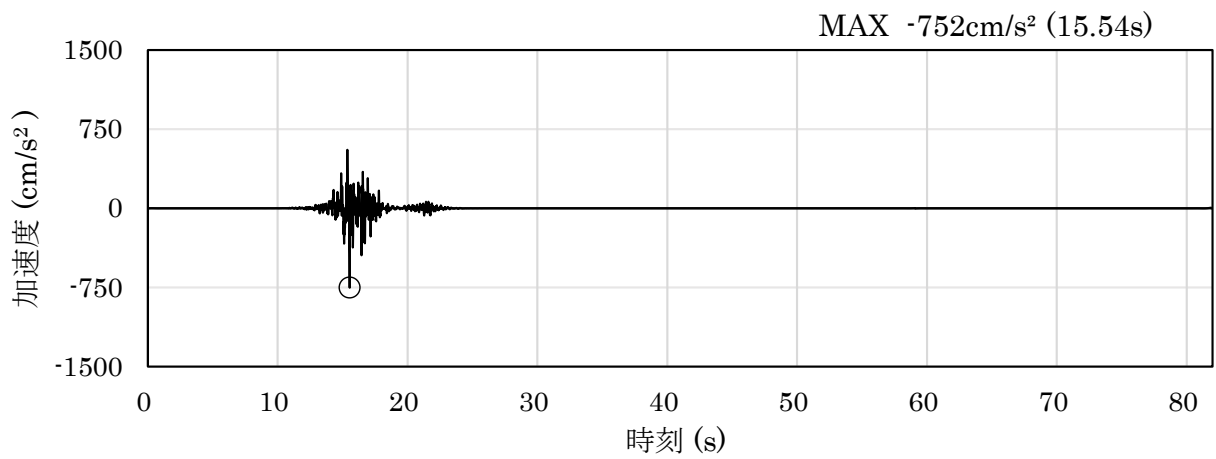


(a) 加速度時刻歴波形

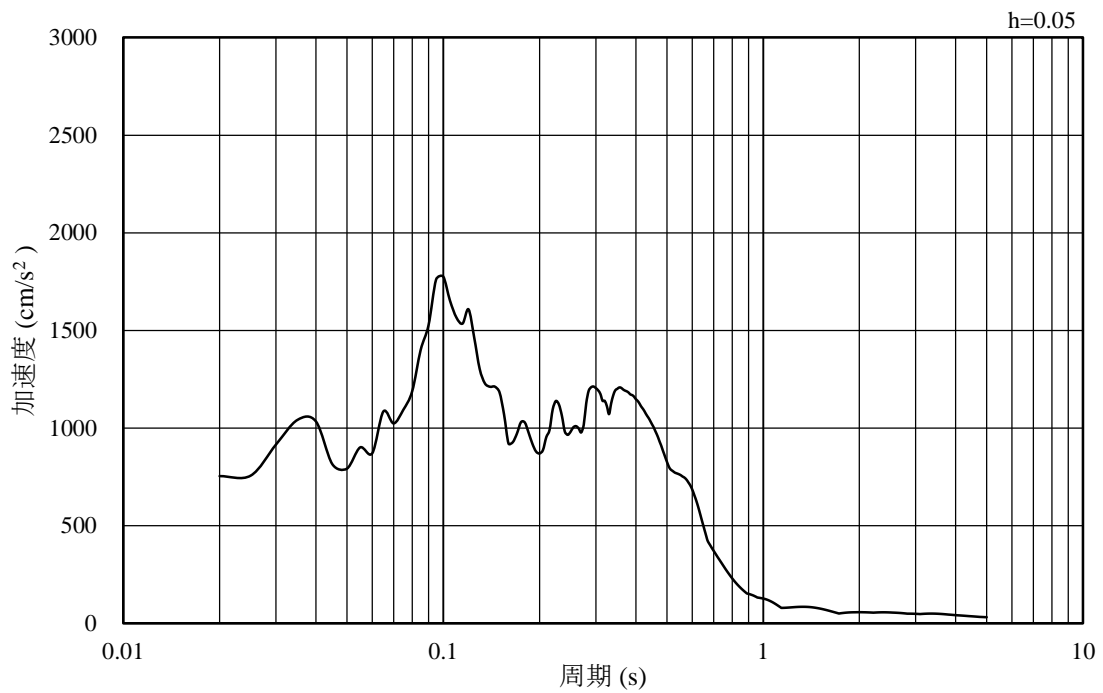


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-4 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 - F 1)

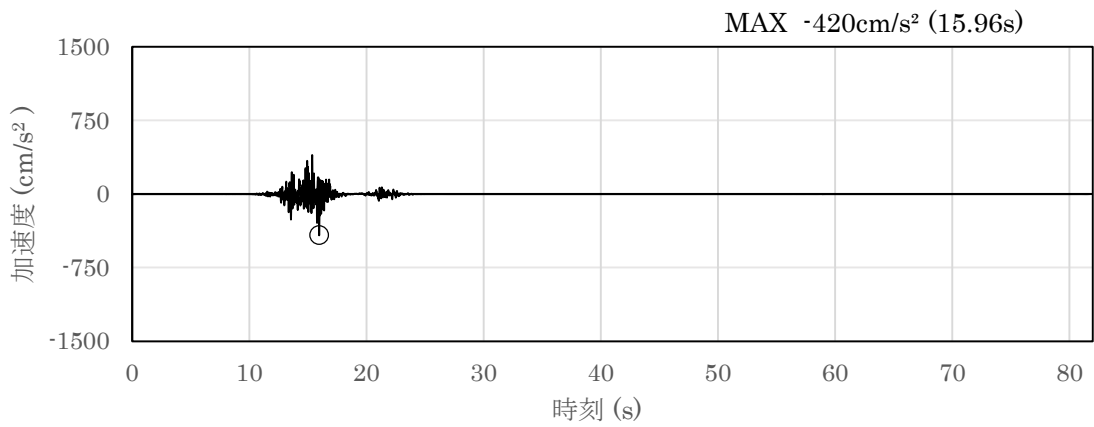


(a) 加速度時刻歴波形

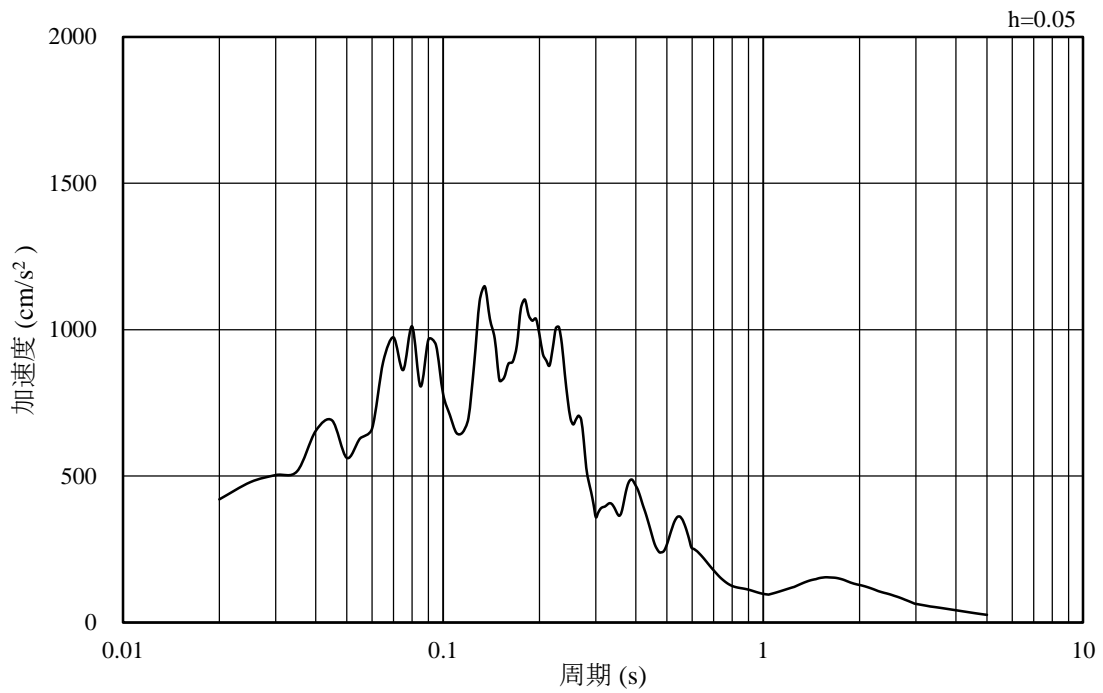


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-5 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 - F 2)

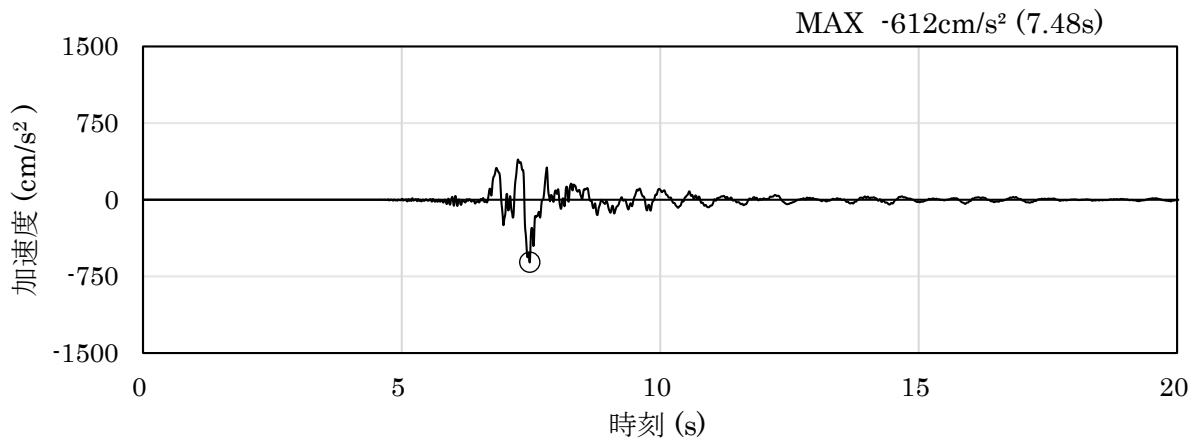


(a) 加速度時刻歴波形

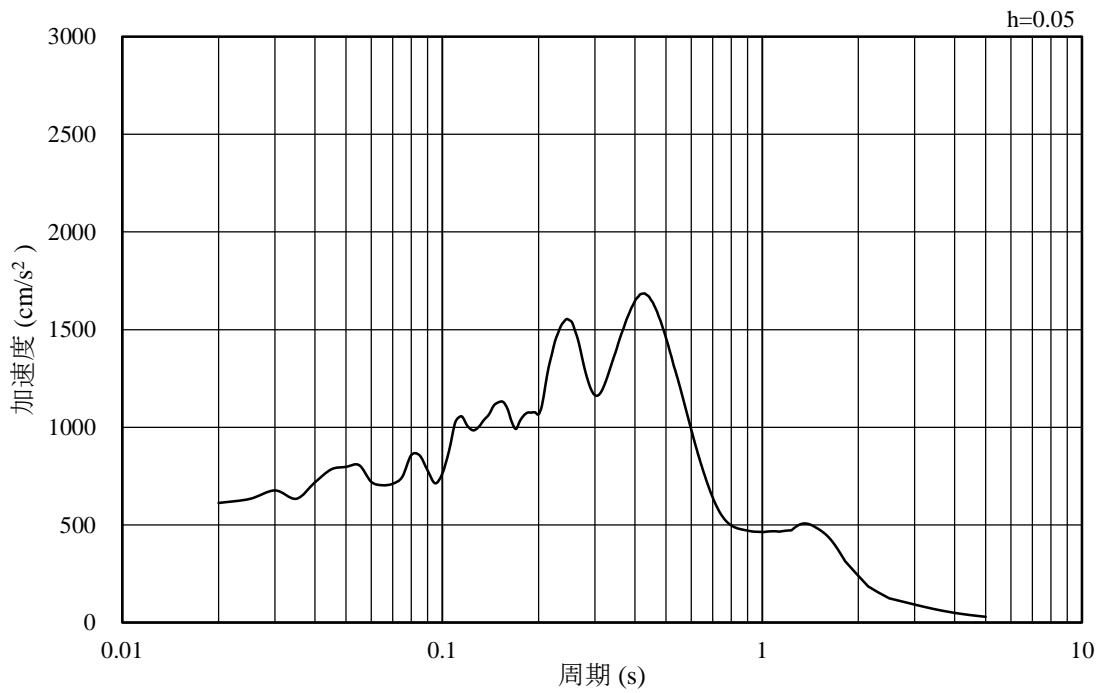


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-6 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 - F 2)

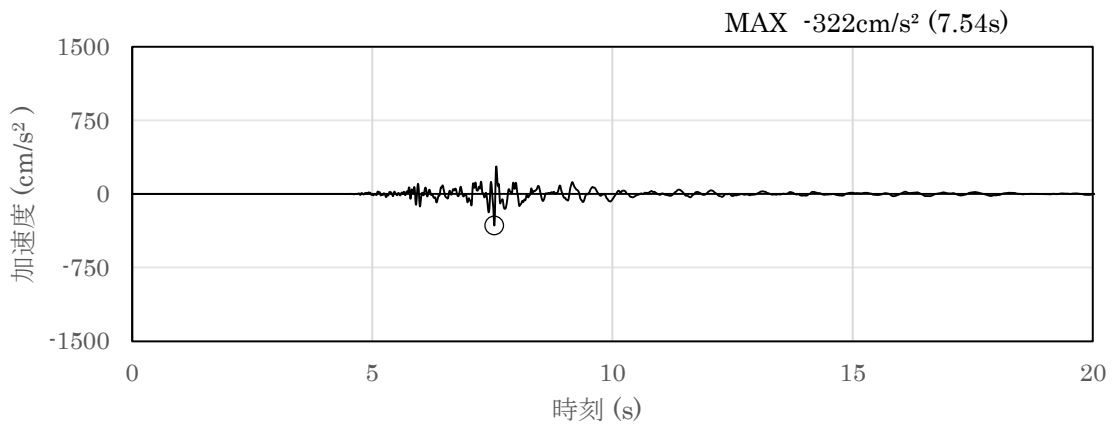


(a) 加速度時刻歴波形

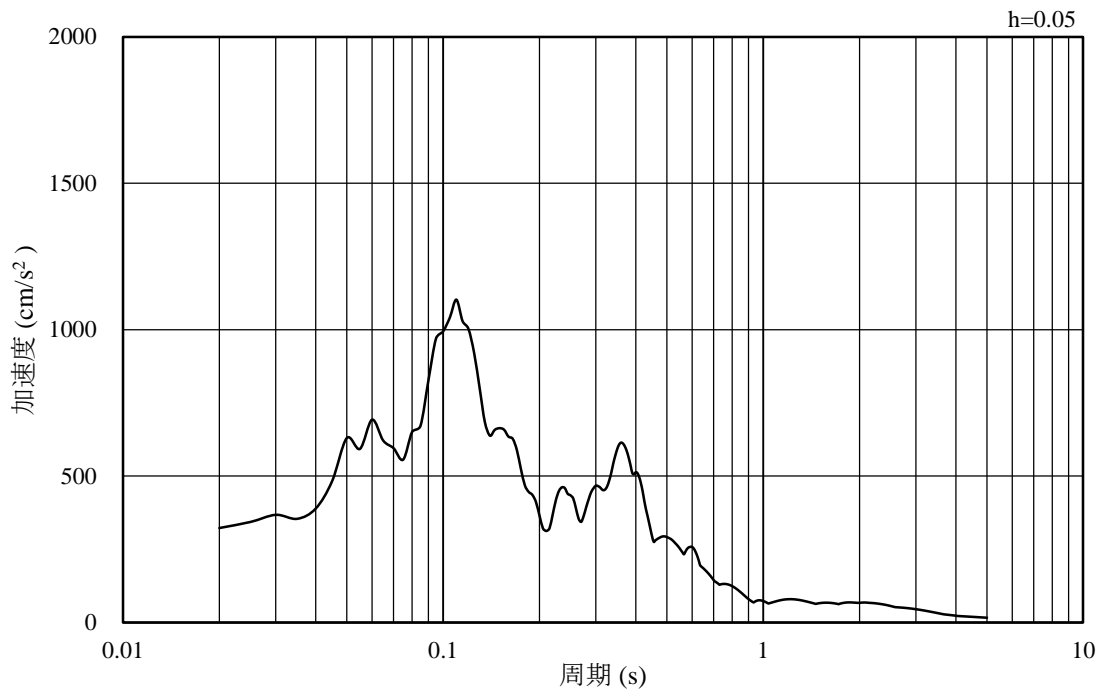


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-7 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)

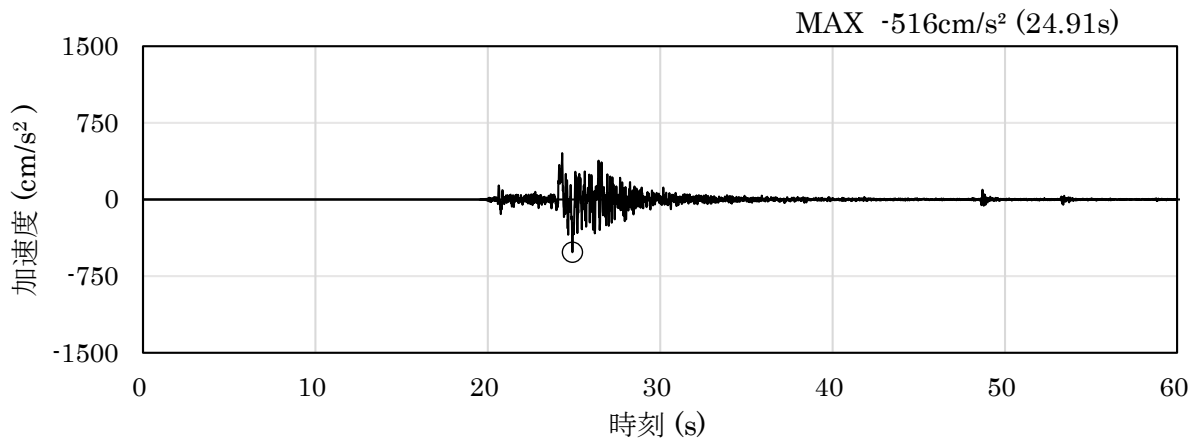


(a) 加速度時刻歴波形

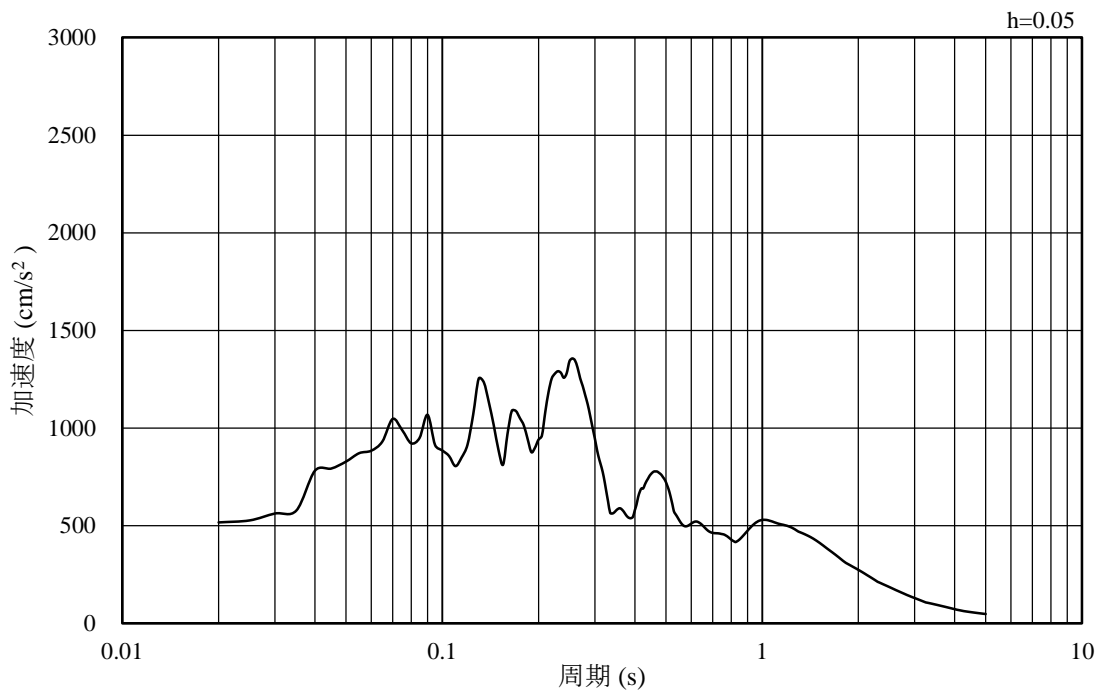


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-8 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)

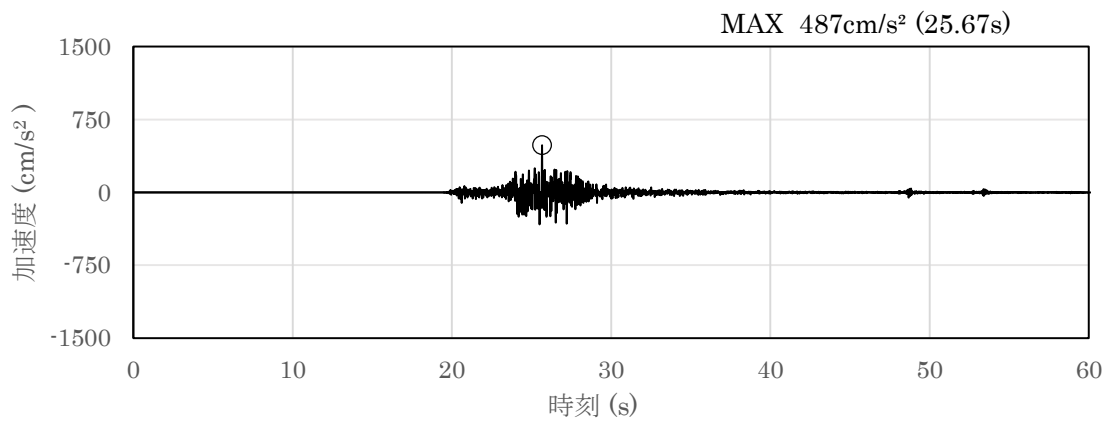


(a) 加速度時刻歴波形

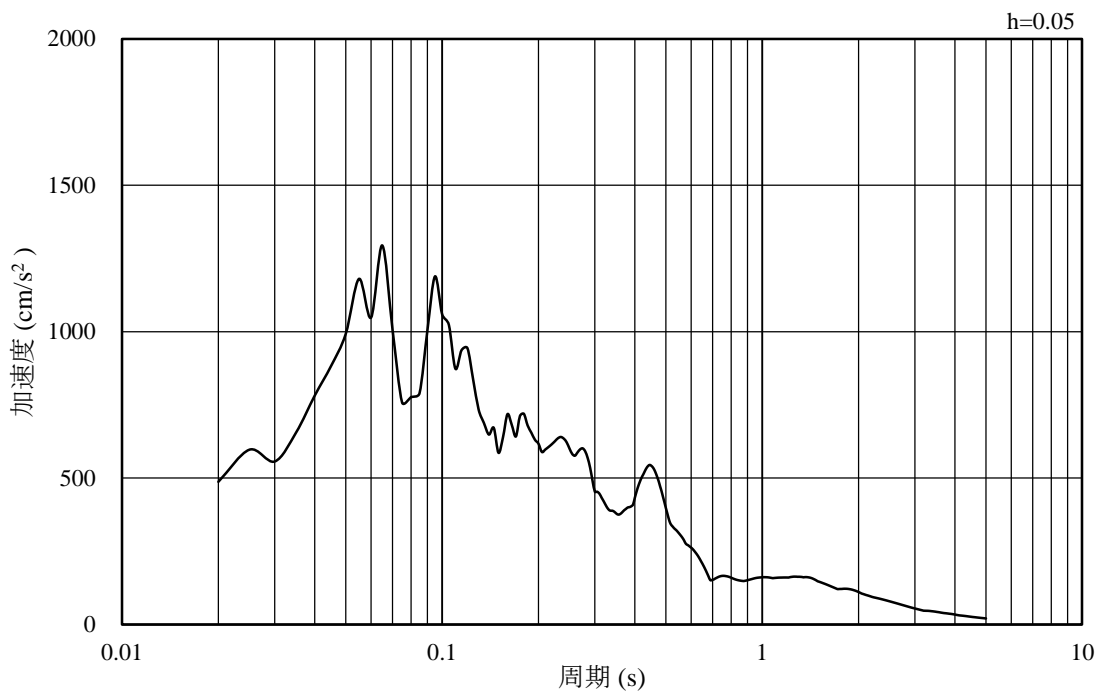


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-9 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 2 (N S))

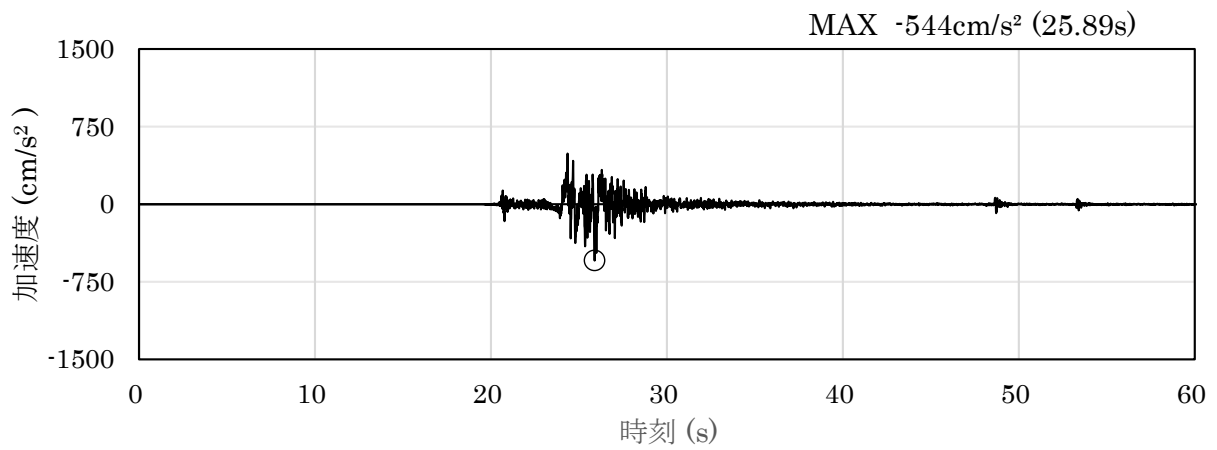


(a) 加速度時刻歴波形

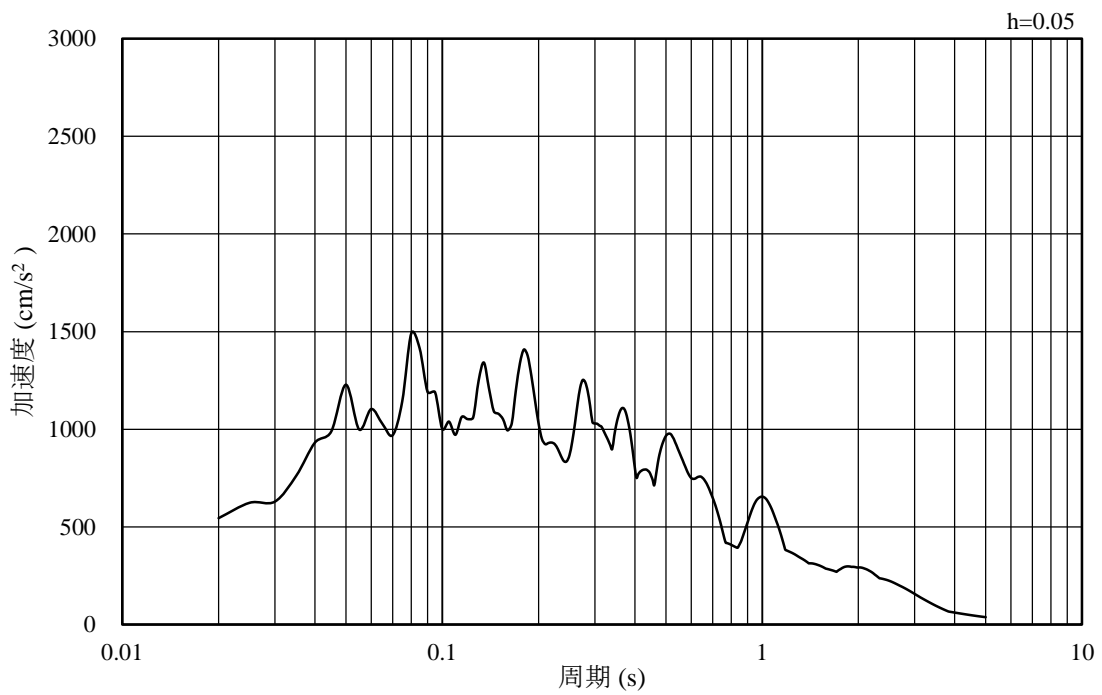


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-10 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-N₂(NS))

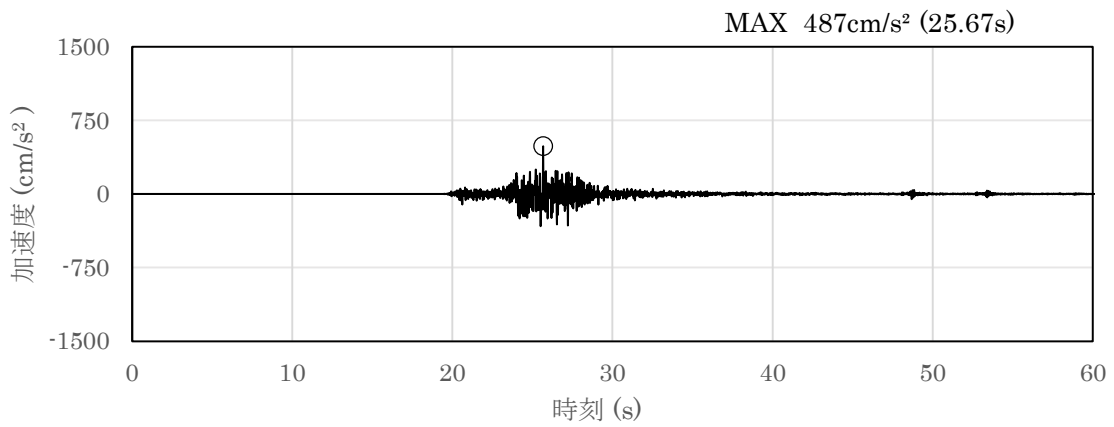


(a) 加速度時刻歴波形

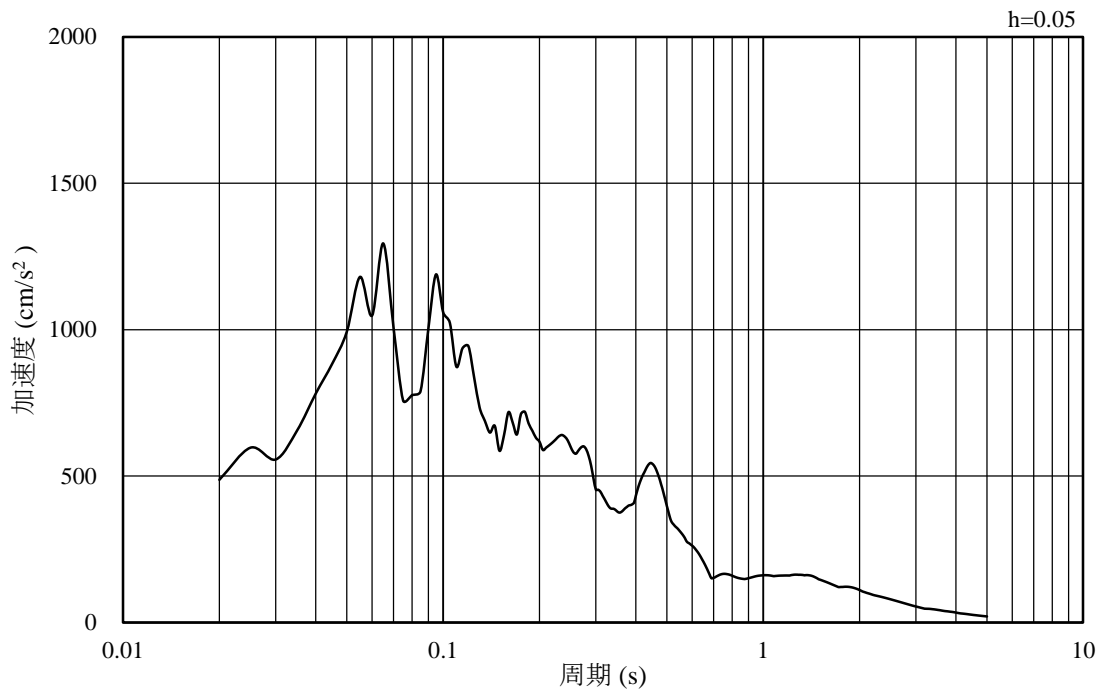


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-11 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 2 (E W))



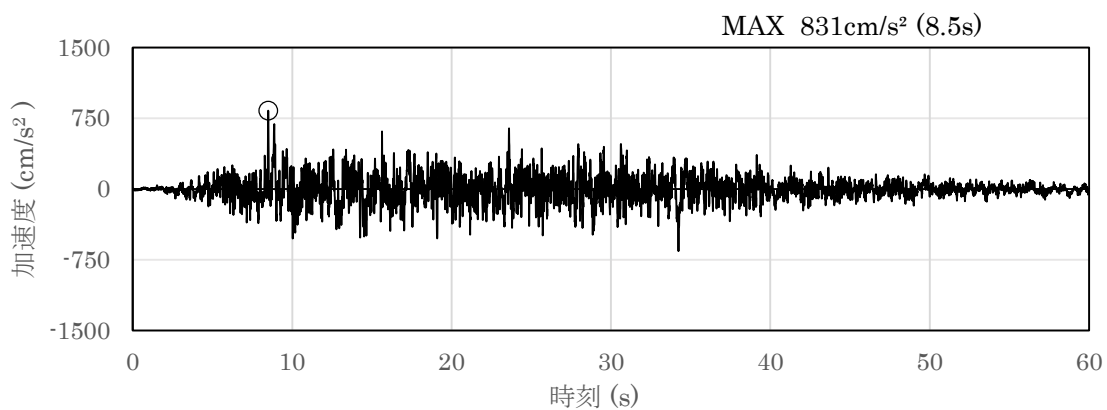
(a) 加速度時刻歴波形



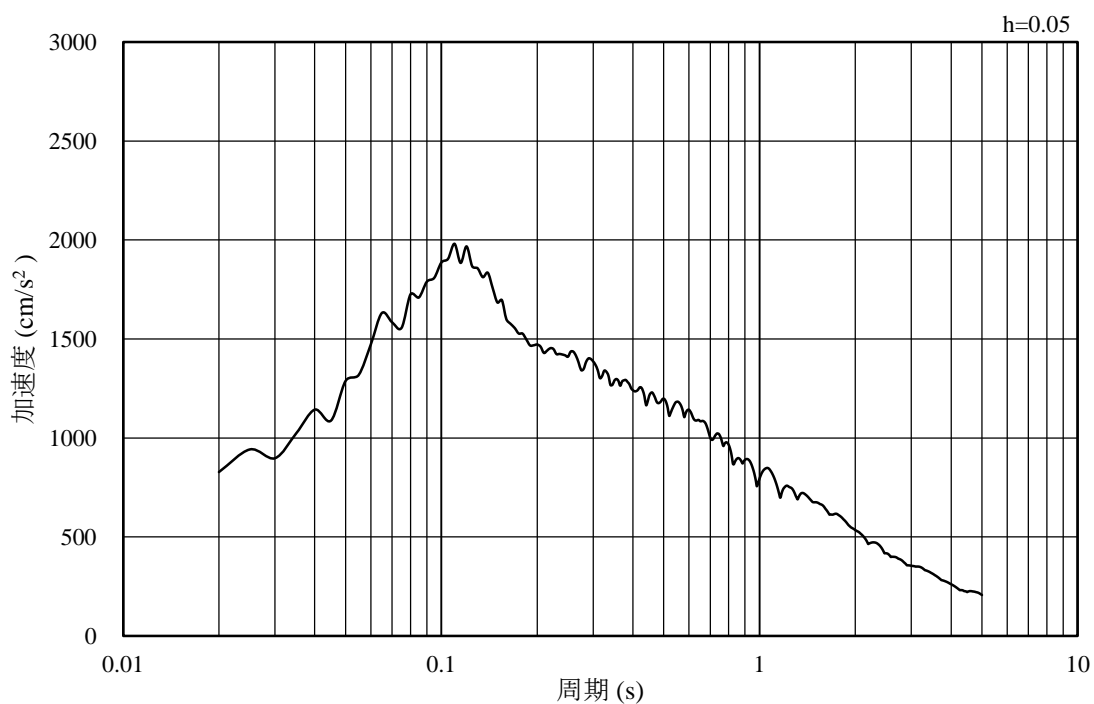
(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.1-12 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 2 (E W))

3.4.2 ④－④断面

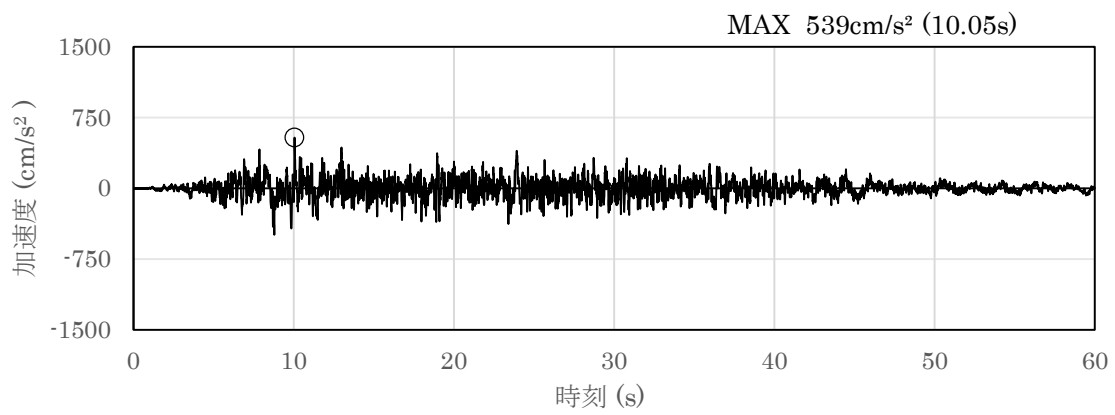


(a) 加速度時刻歴波形

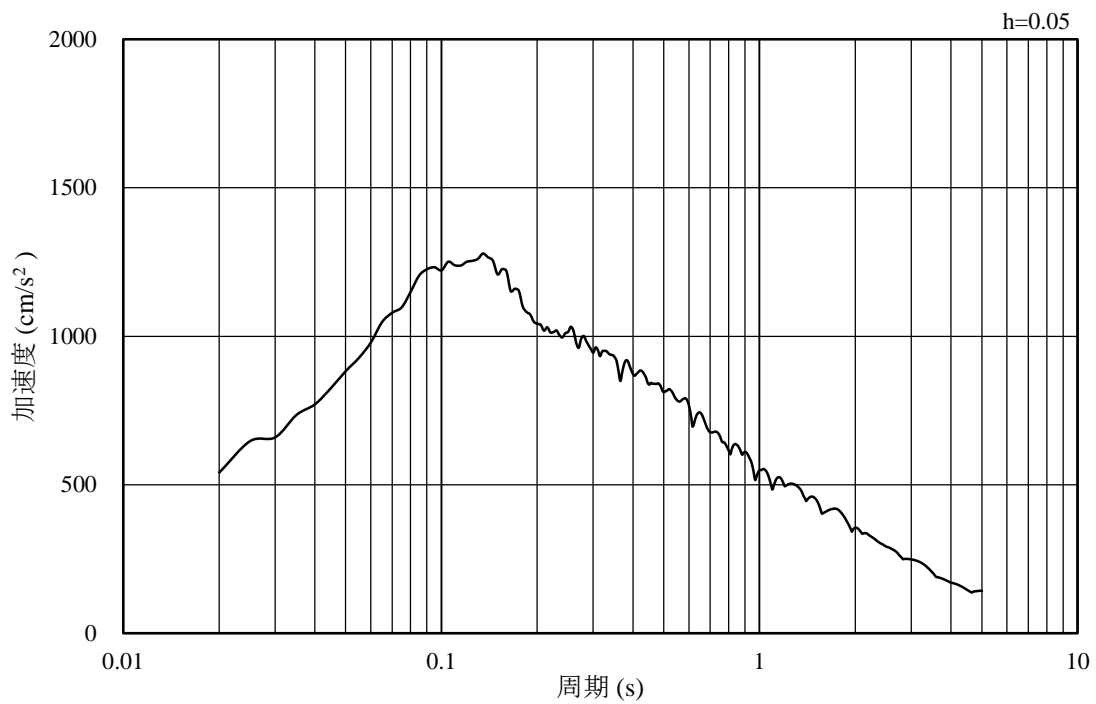


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-1 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)

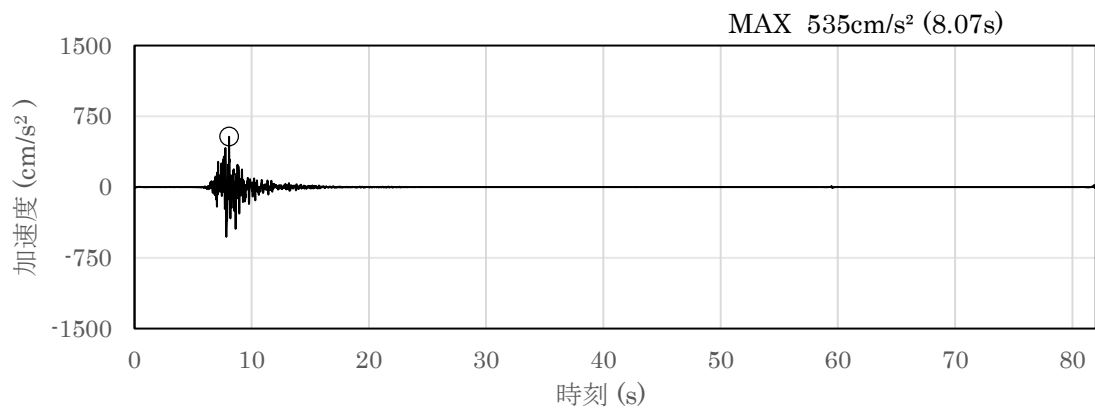


(a) 加速度時刻歴波形

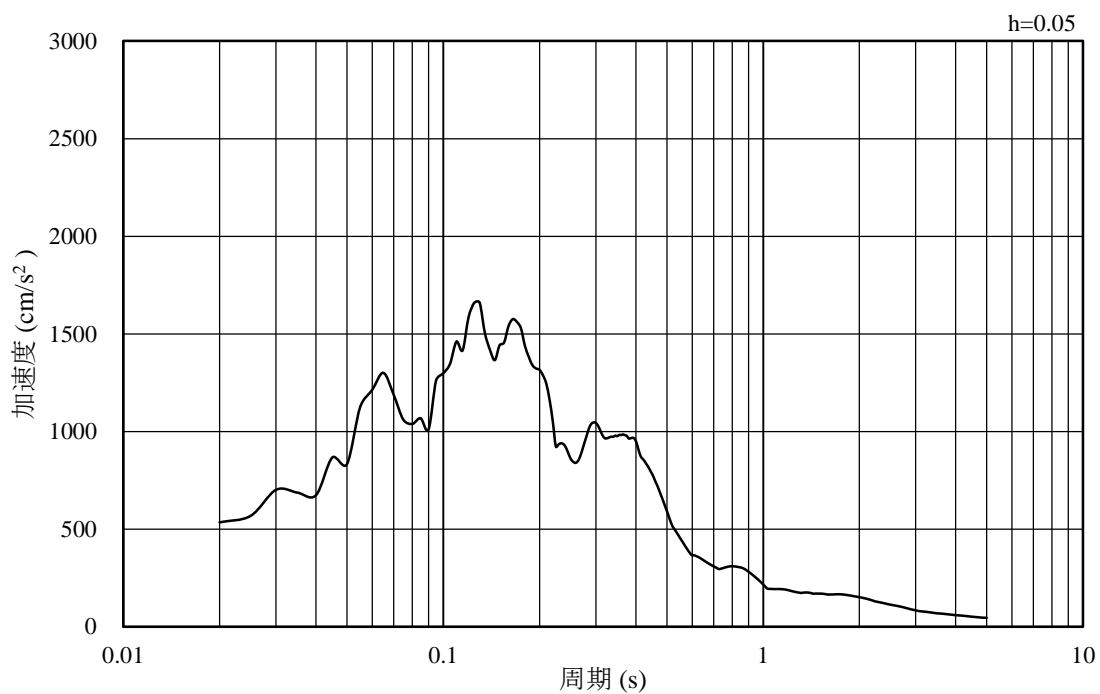


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-2 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)

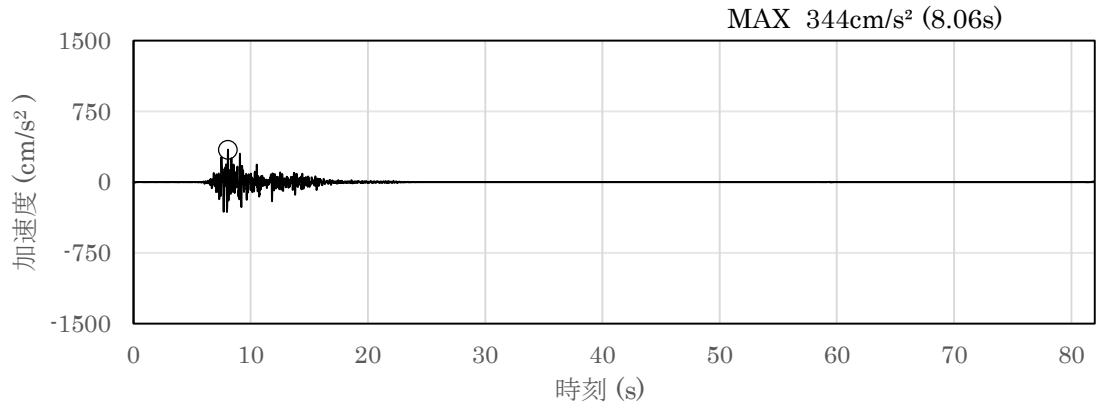


(a) 加速度時刻歴波形

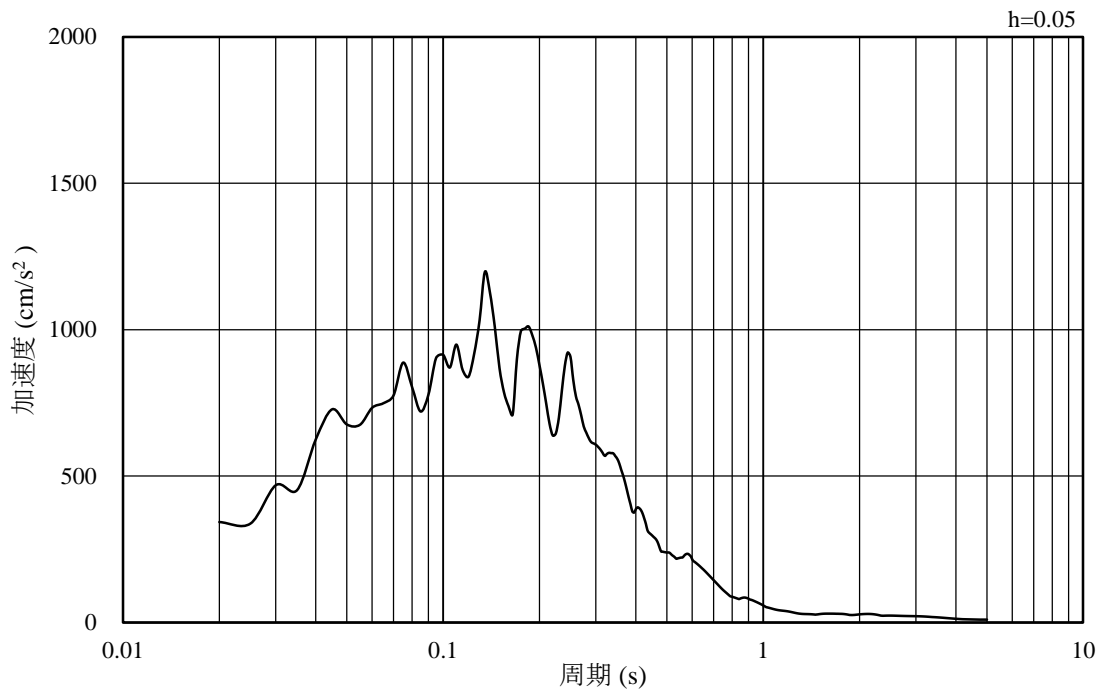


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-3 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 - F 1)

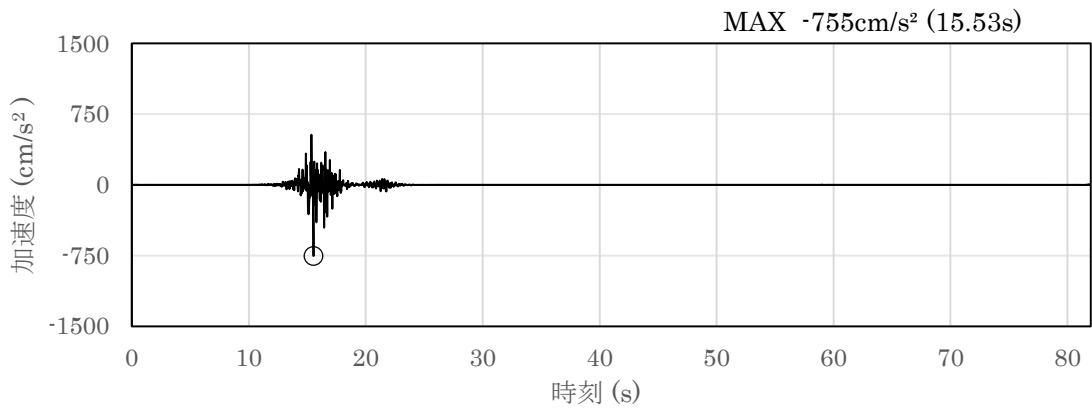


(a) 加速度時刻歴波形

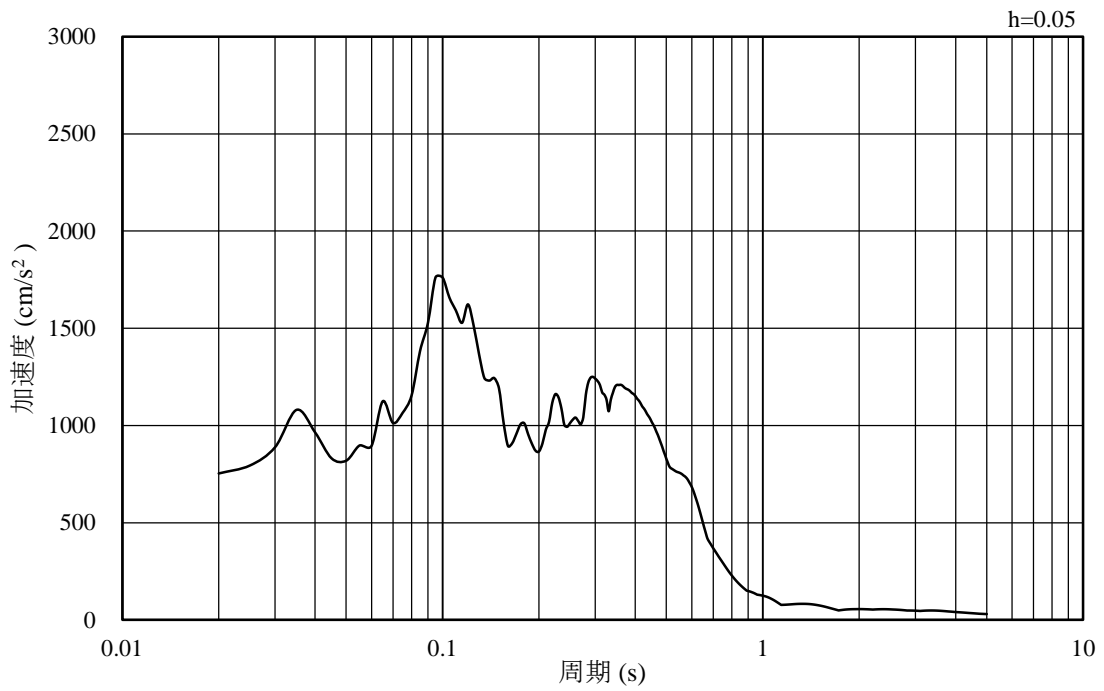


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-4 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 - F 1)

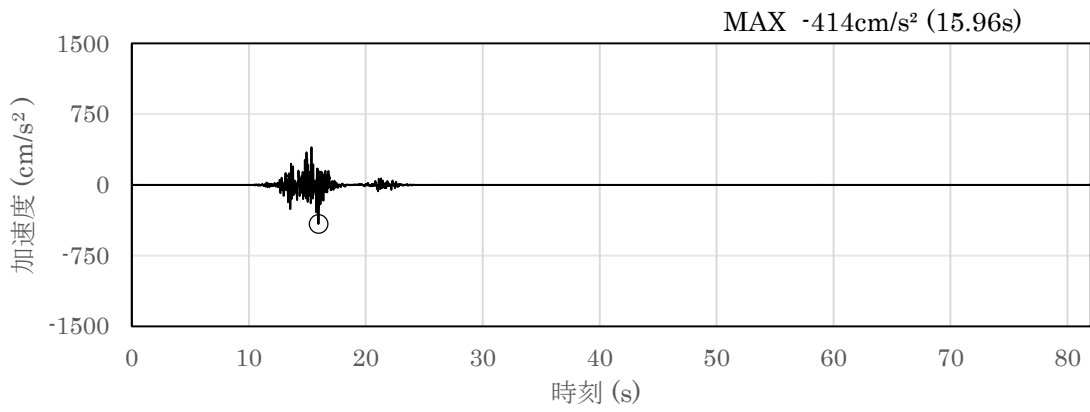


(a) 加速度時刻歴波形

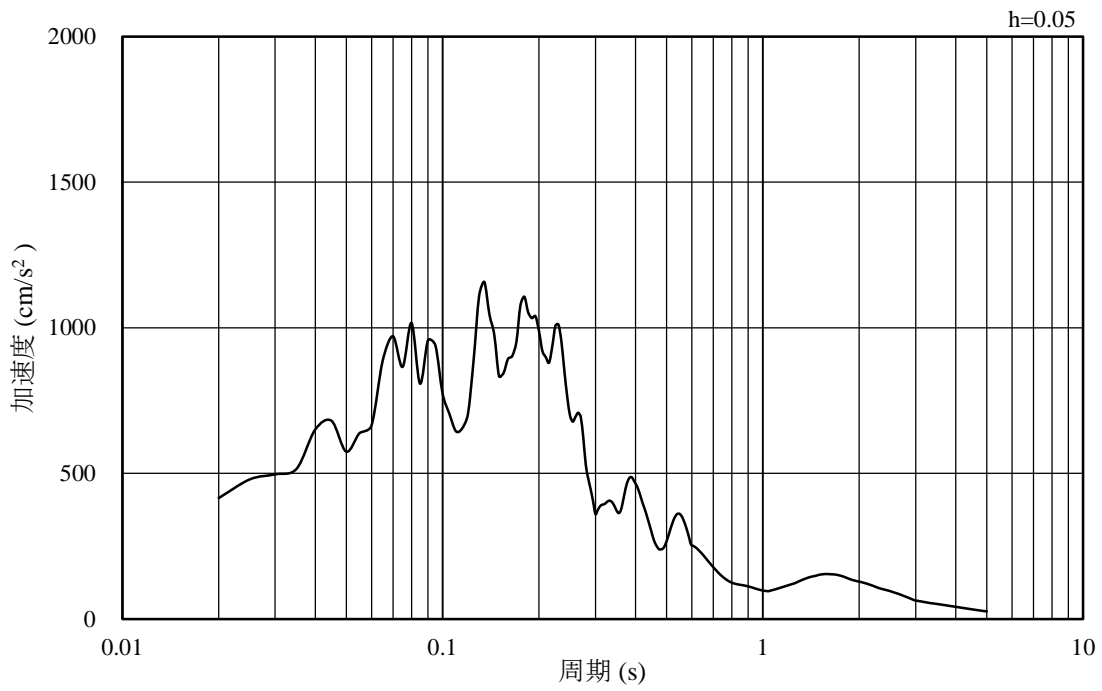


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-5 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 - F 2)

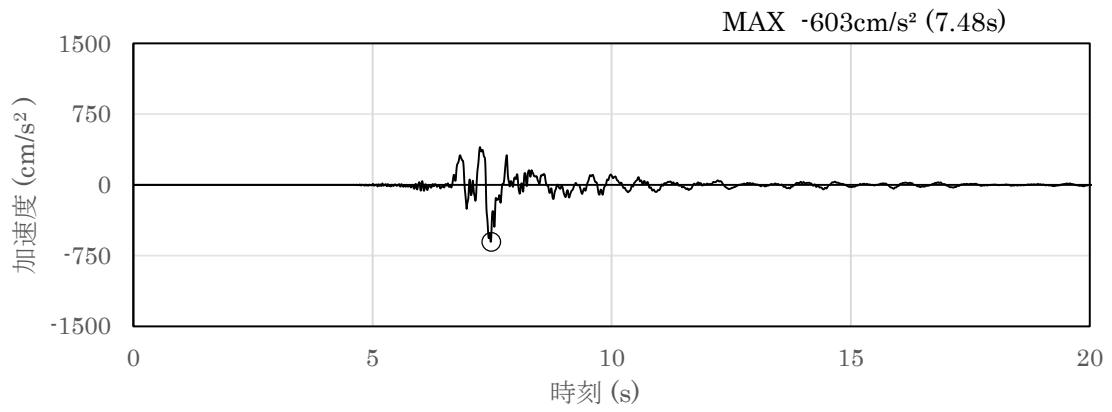


(a) 加速度時刻歴波形

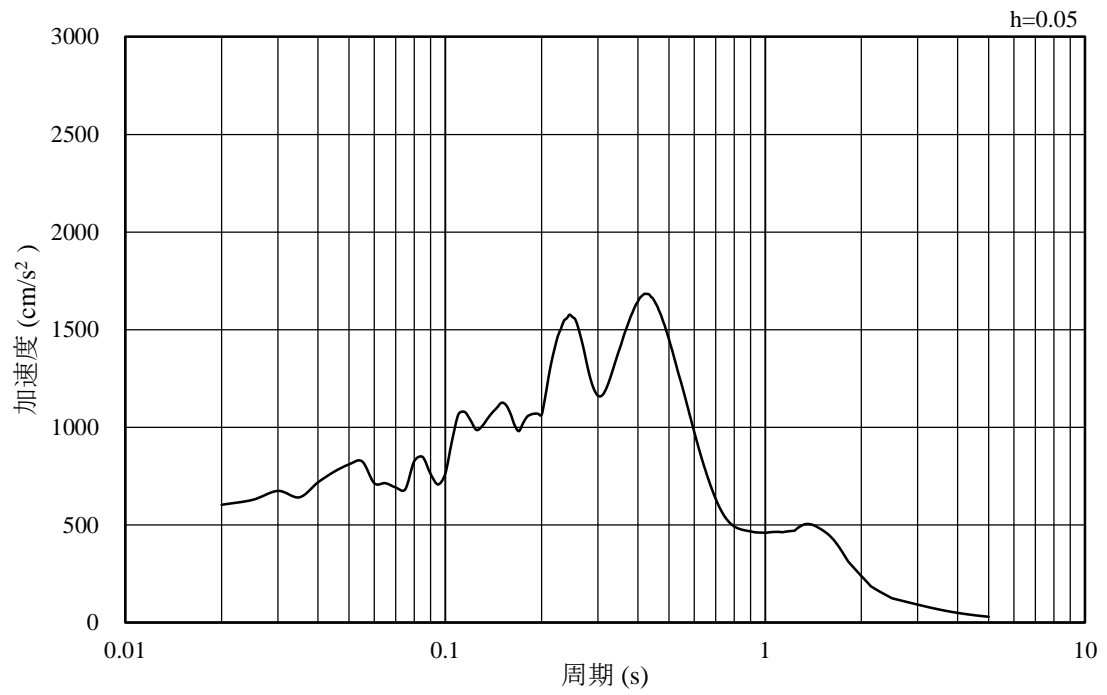


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-6 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 - F 2)

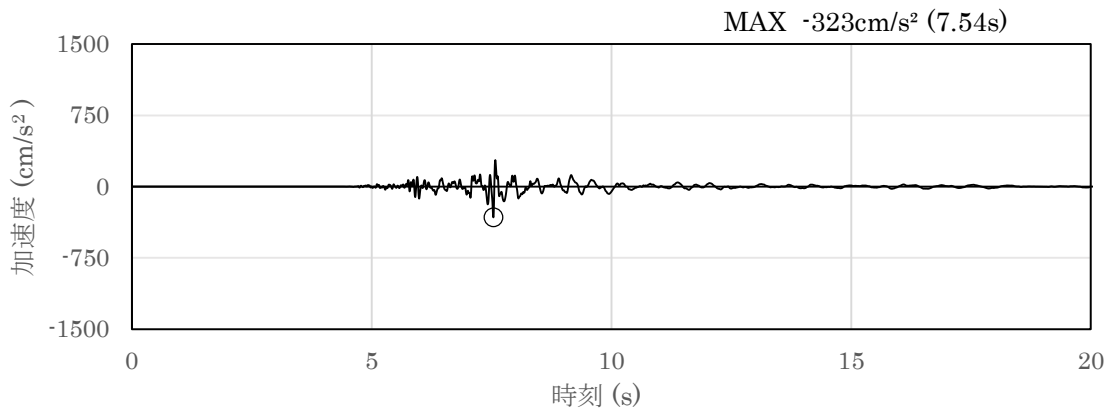


(a) 加速度時刻歴波形

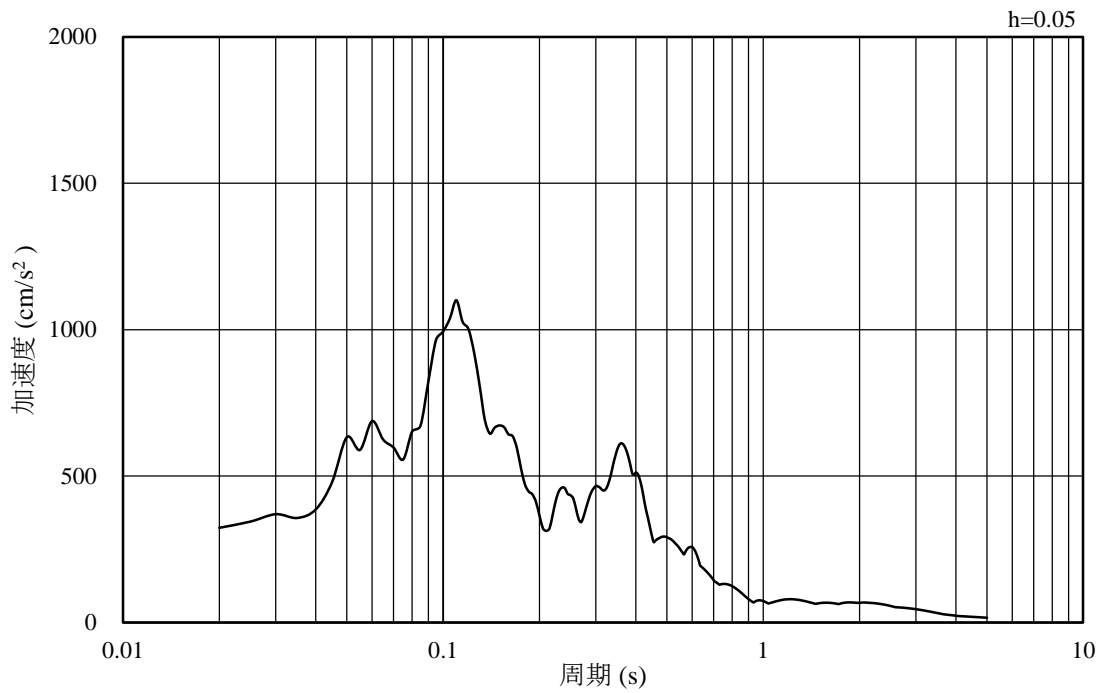


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-7 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)

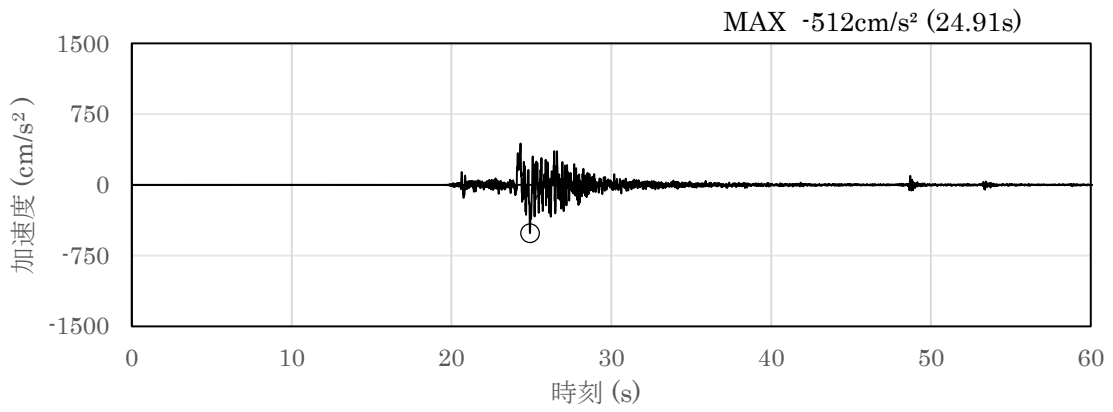


(a) 加速度時刻歴波形

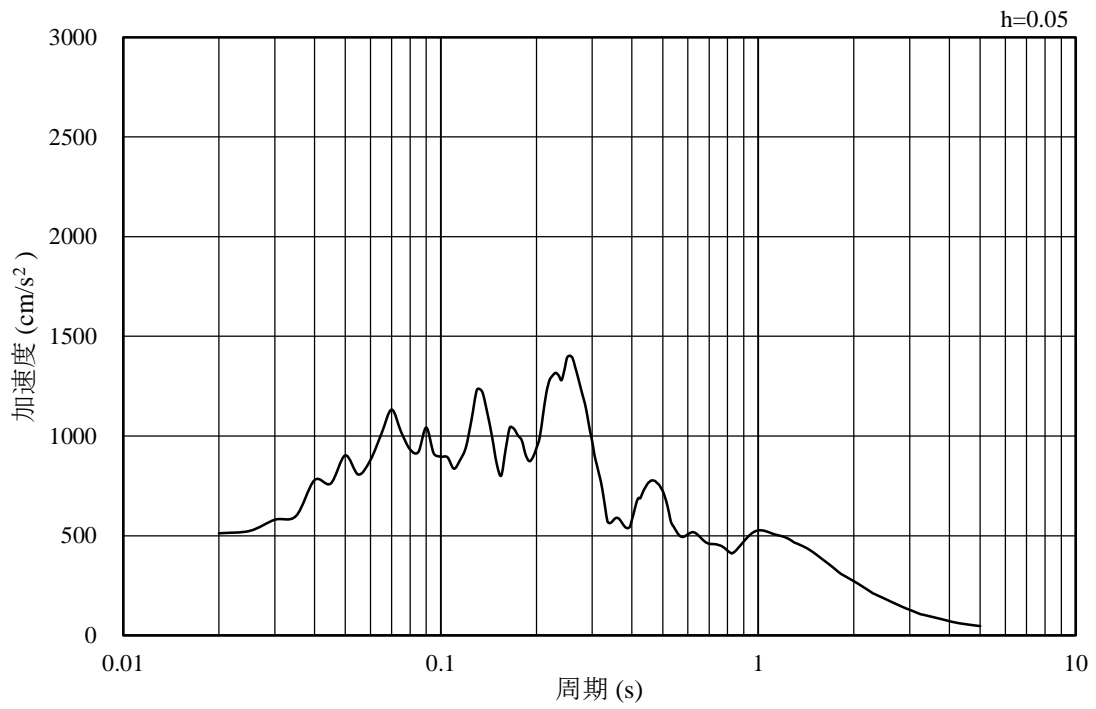


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-8 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)

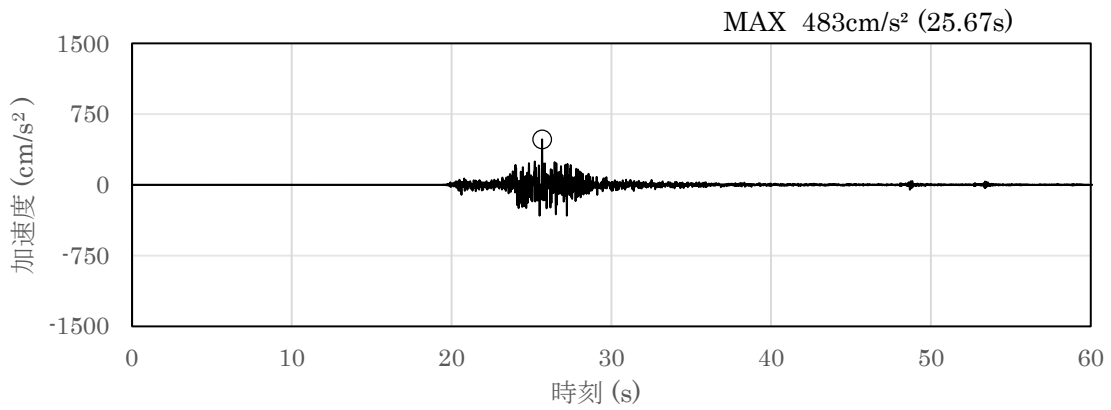


(a) 加速度時刻歴波形

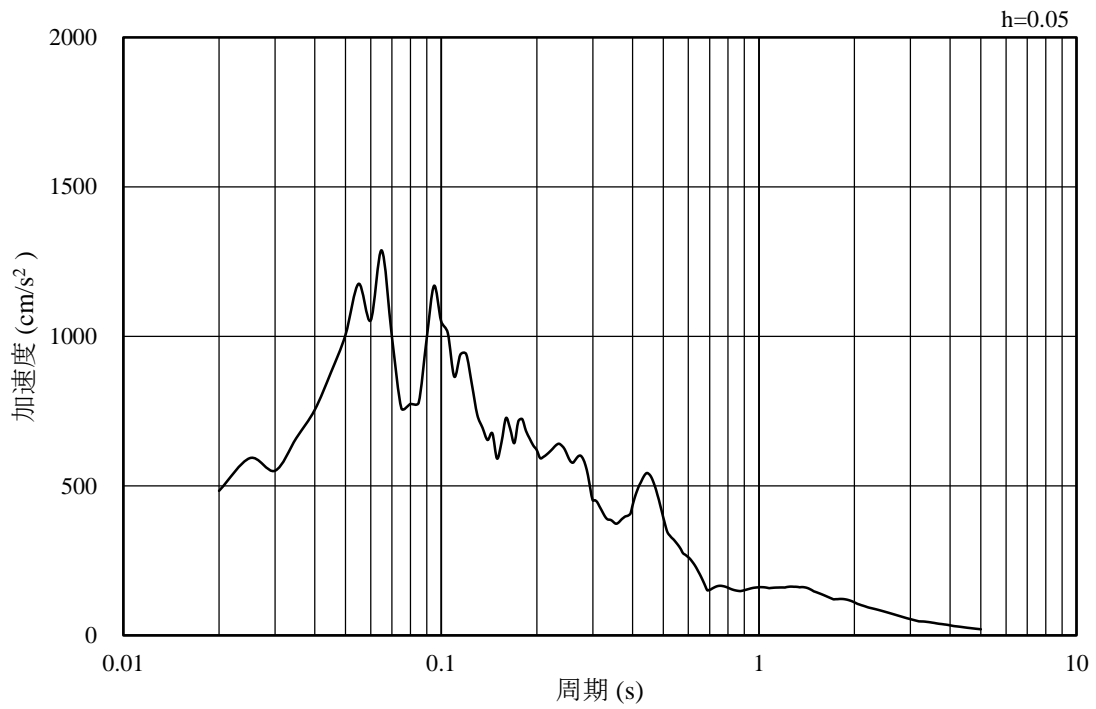


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-9 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 2 (N S))

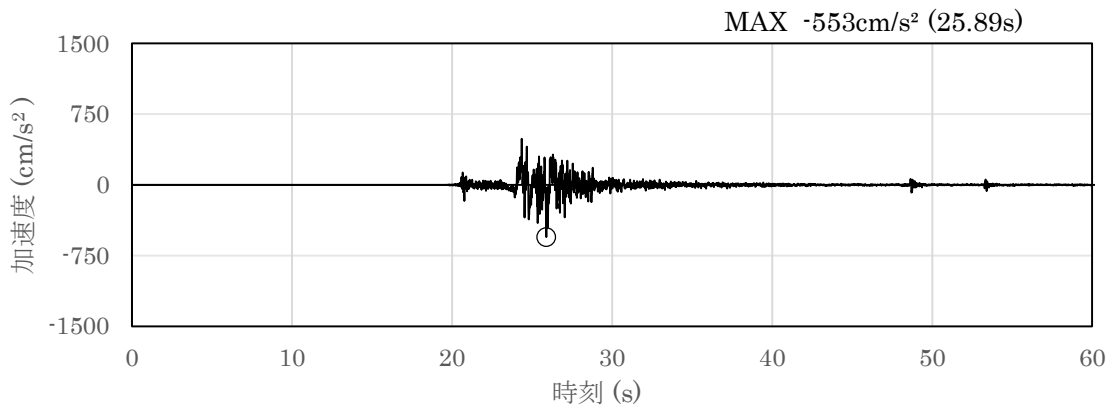


(a) 加速度時刻歴波形

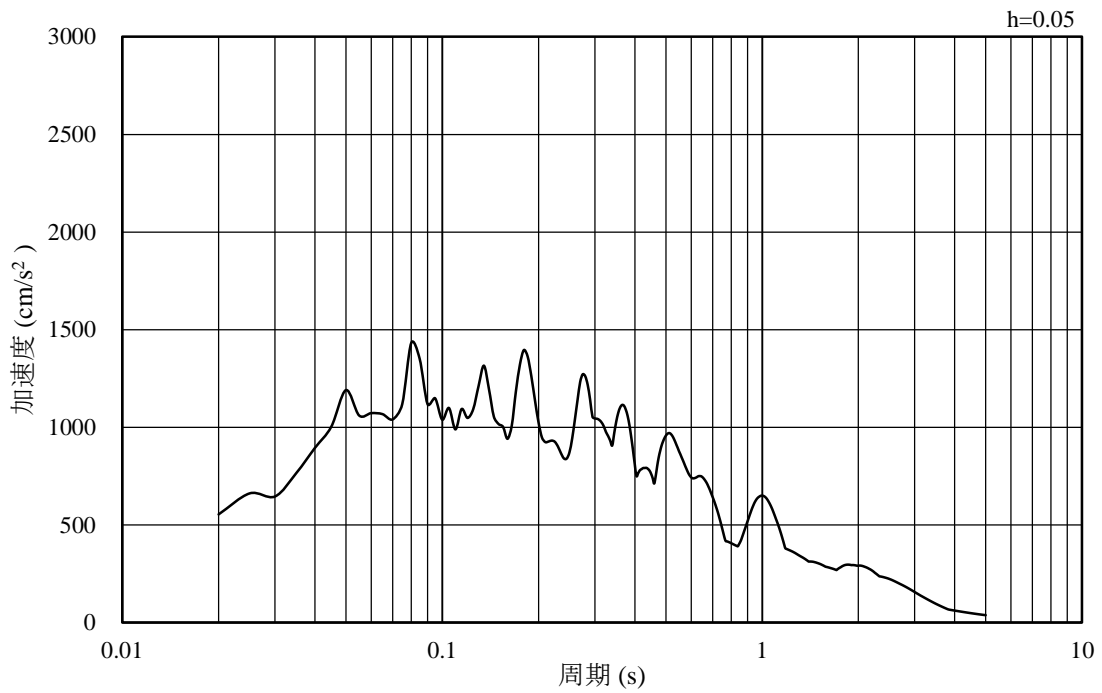


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-10 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 2 (N S))

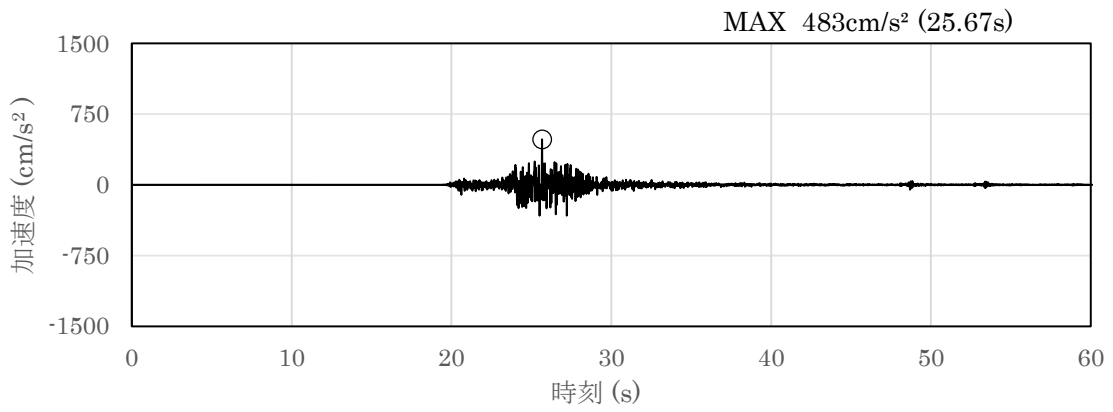


(a) 加速度時刻歴波形

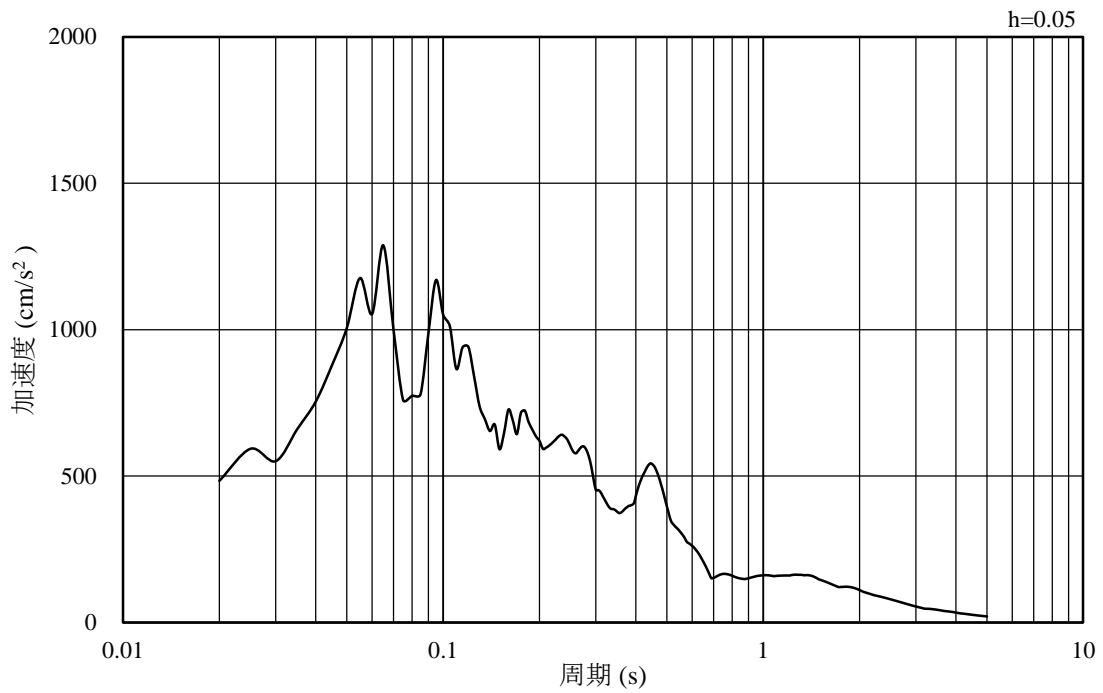


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-11 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 2 (E W))



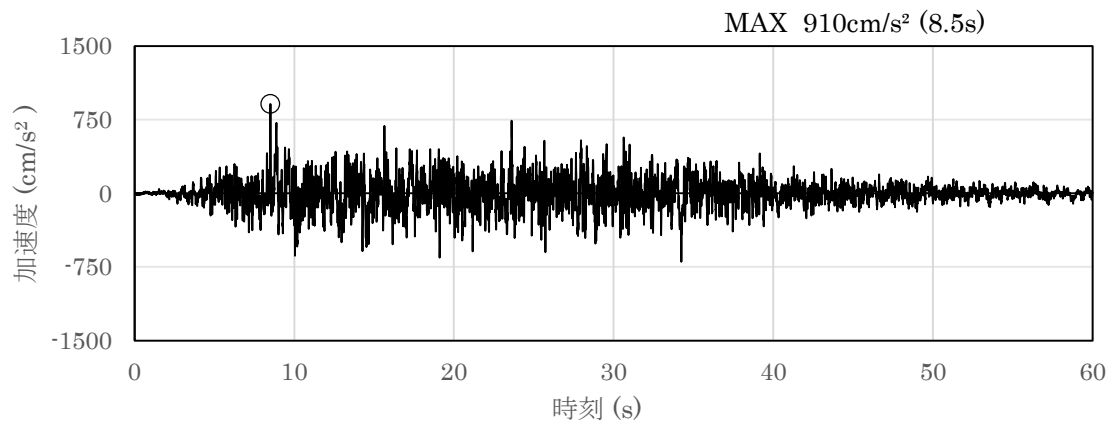
(a) 加速度時刻歴波形



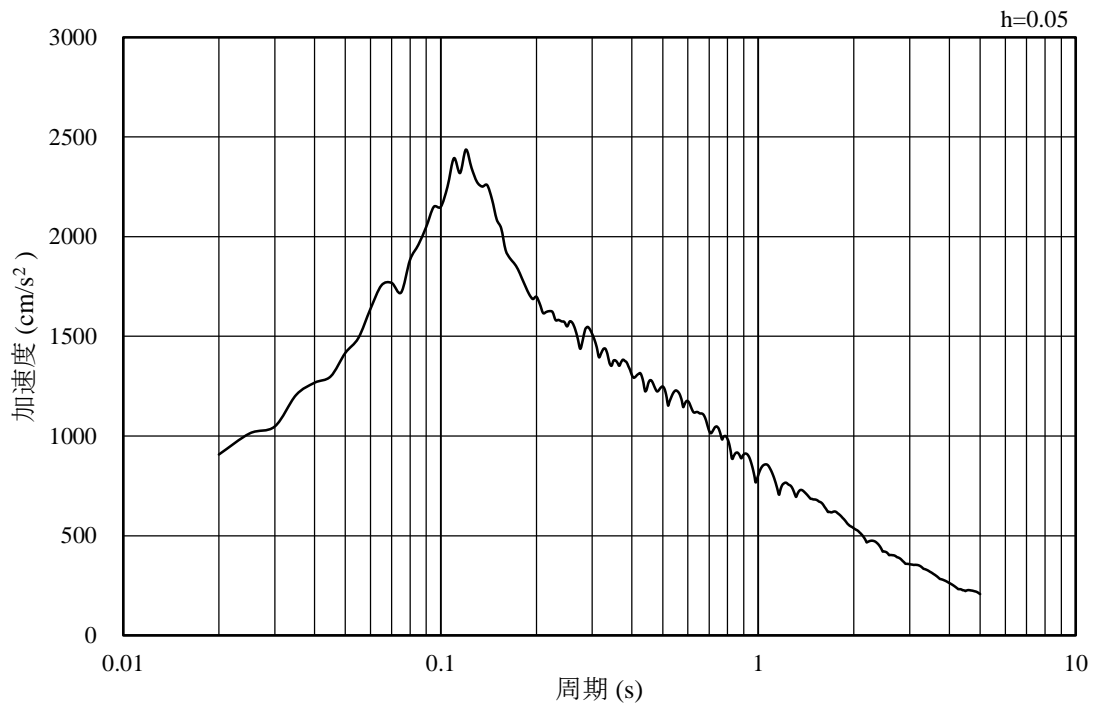
(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.2-12 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 2 (E W))

3.4.3 ⑤-⑤断面

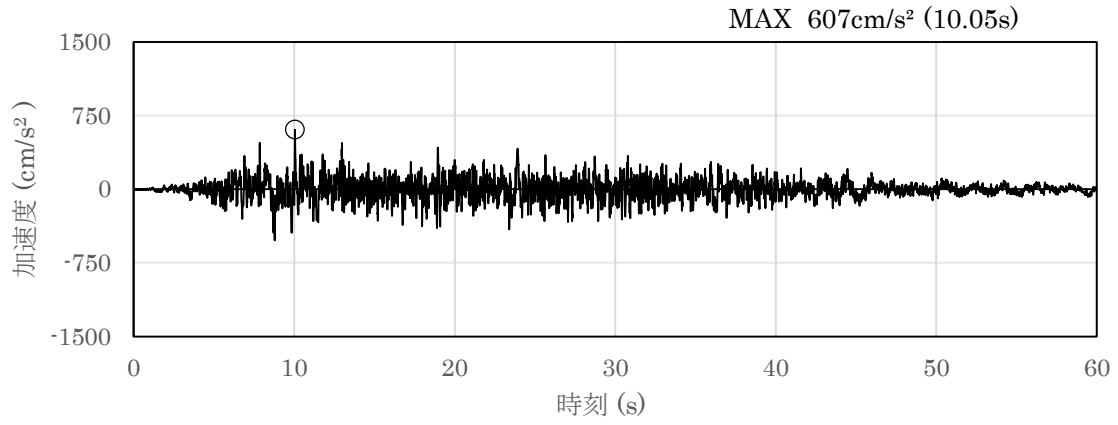


(a) 加速度時刻歴波形

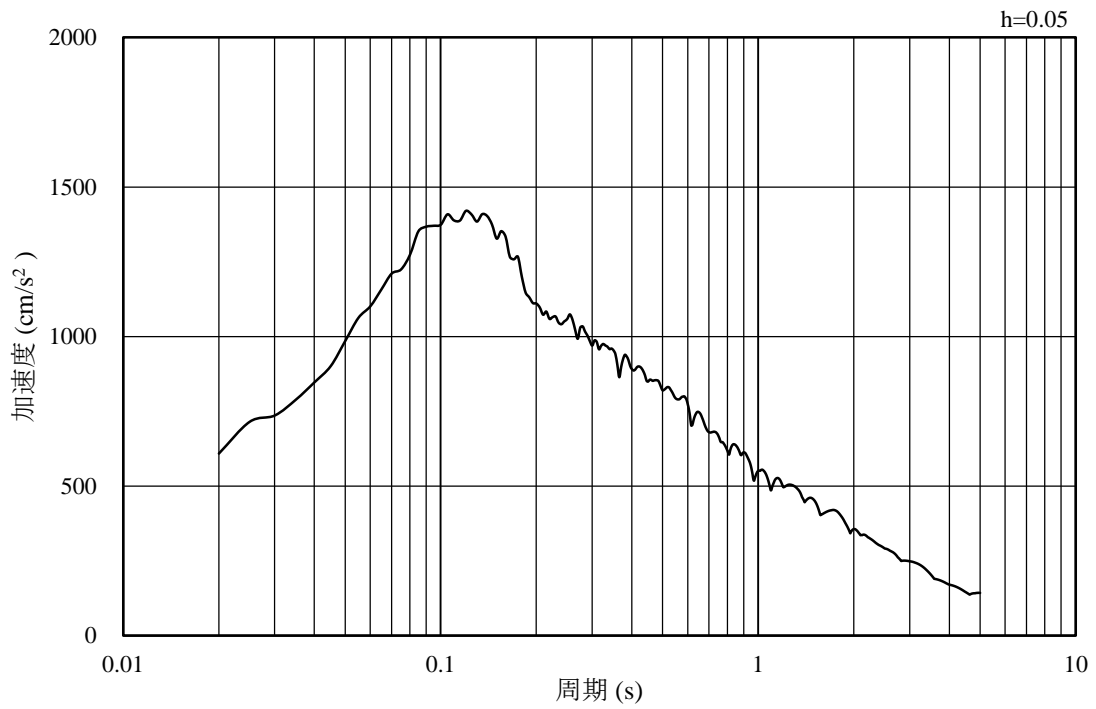


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-1 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)

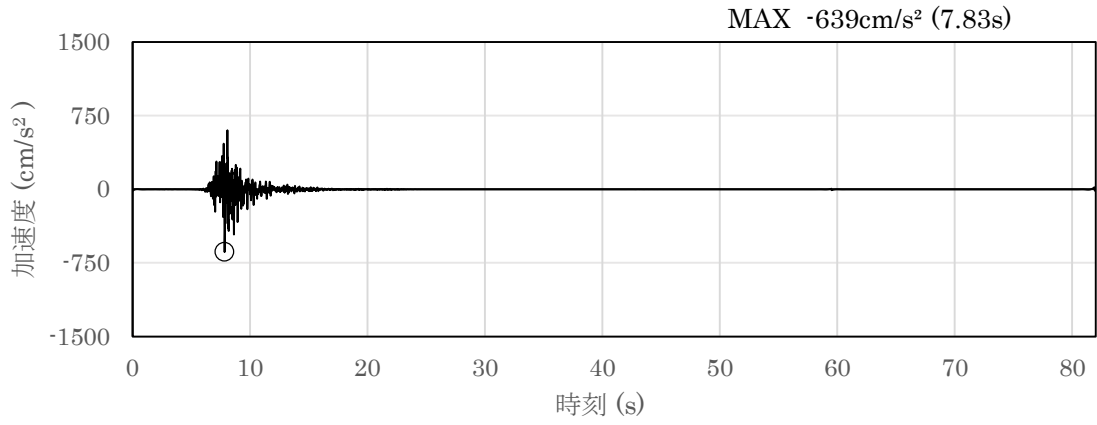


(a) 加速度時刻歴波形

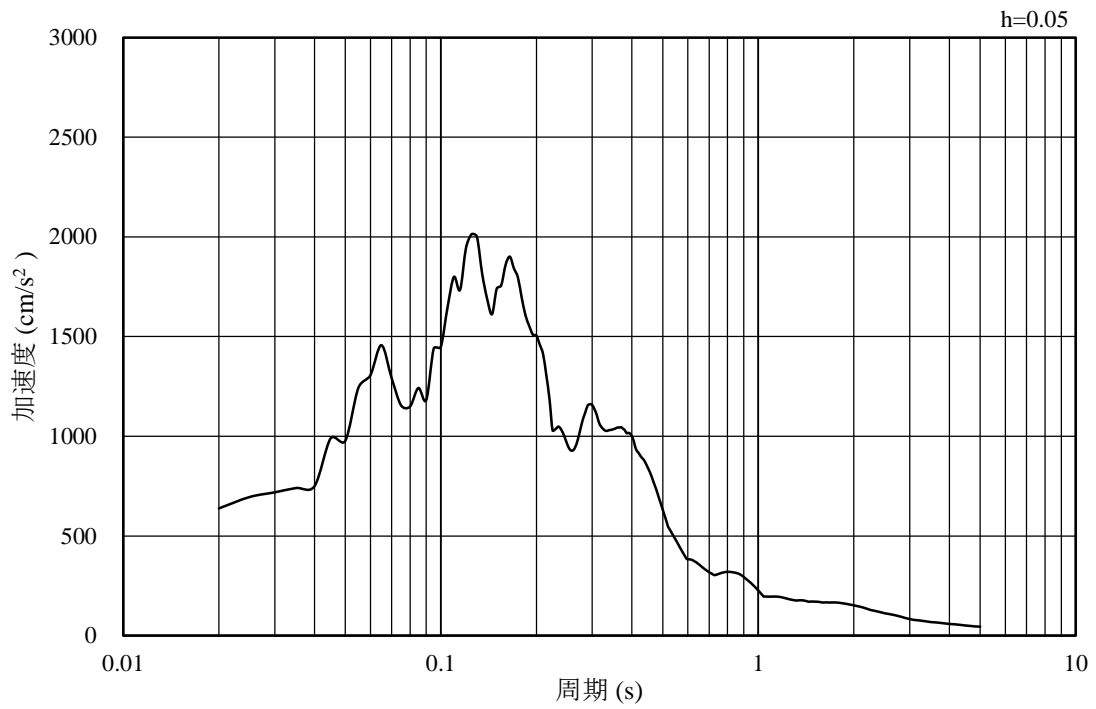


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-2 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)

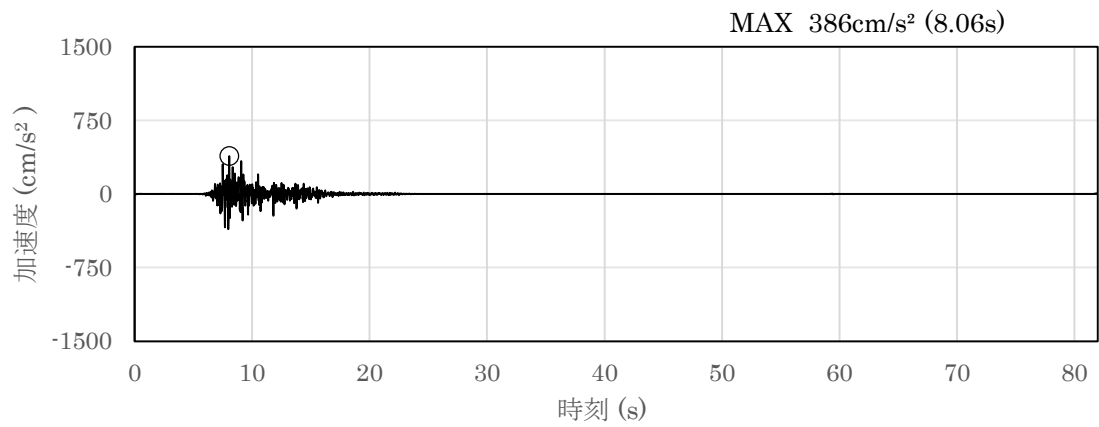


(a) 加速度時刻歴波形

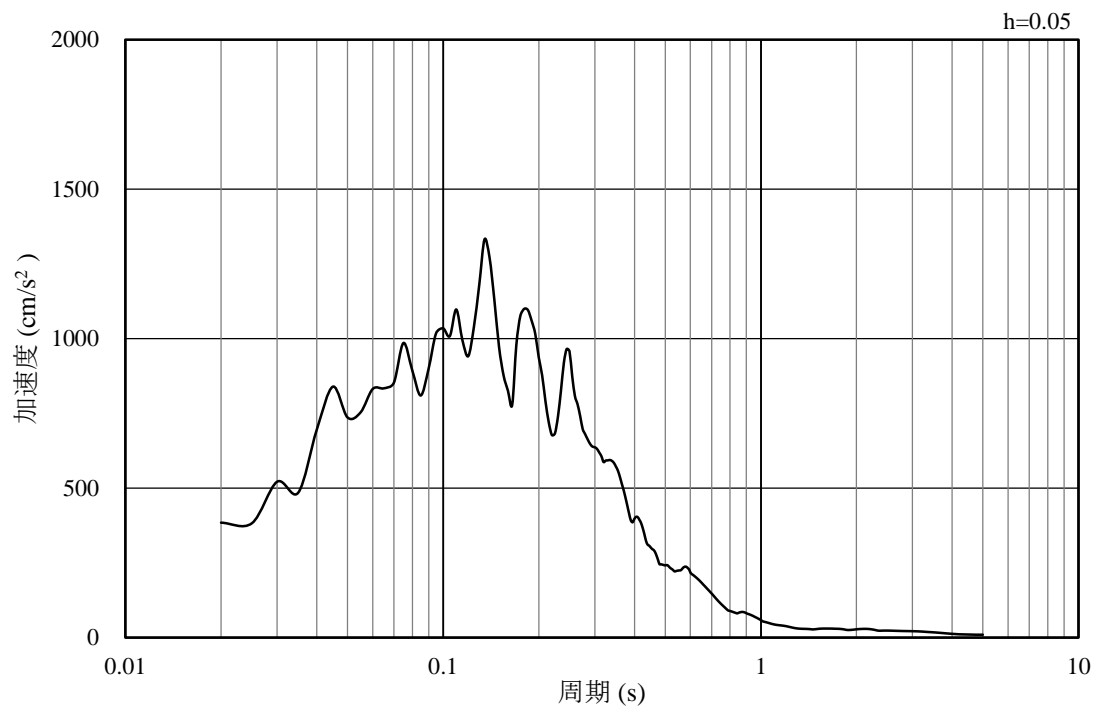


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-3 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 - F 1)

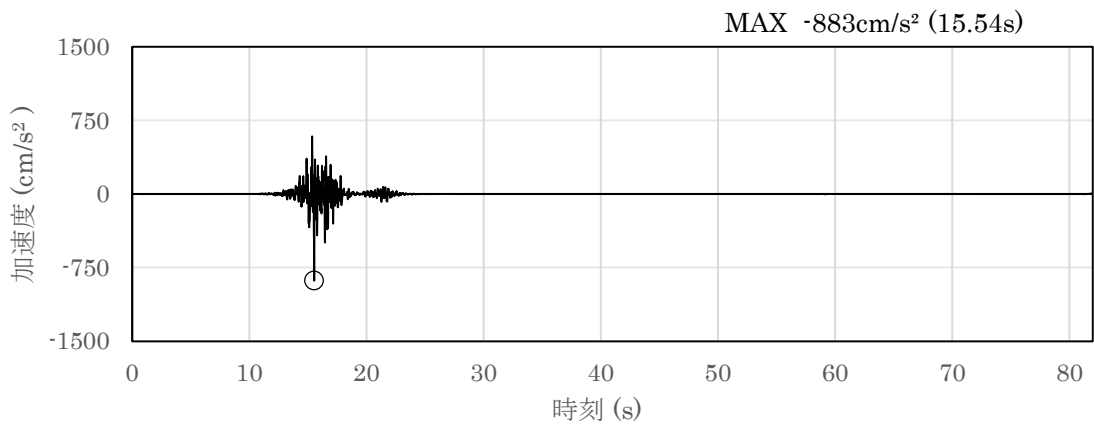


(a) 加速度時刻歴波形

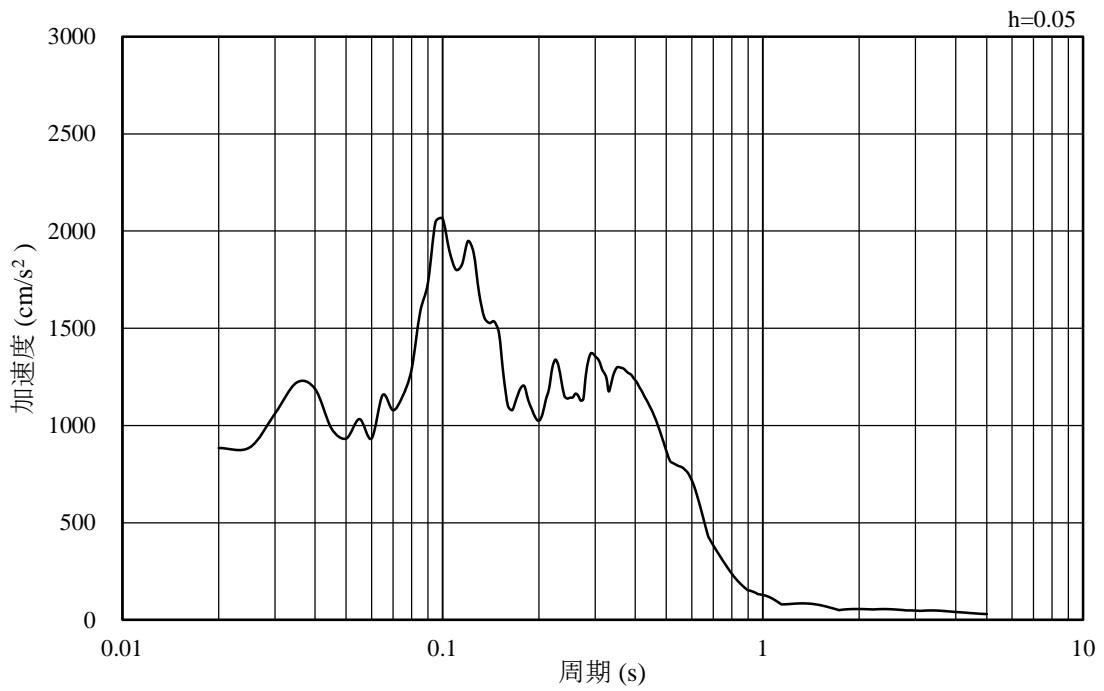


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-4 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-F 1)

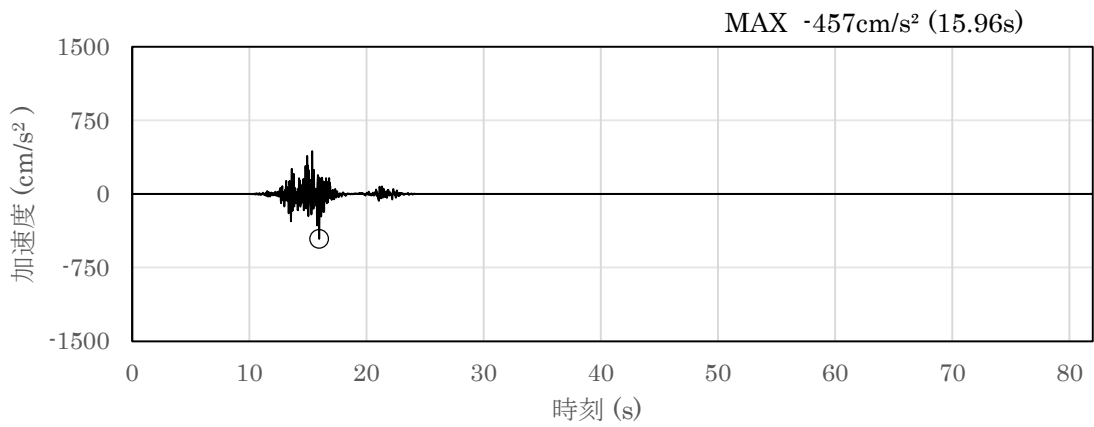


(a) 加加速度時刻歴波形

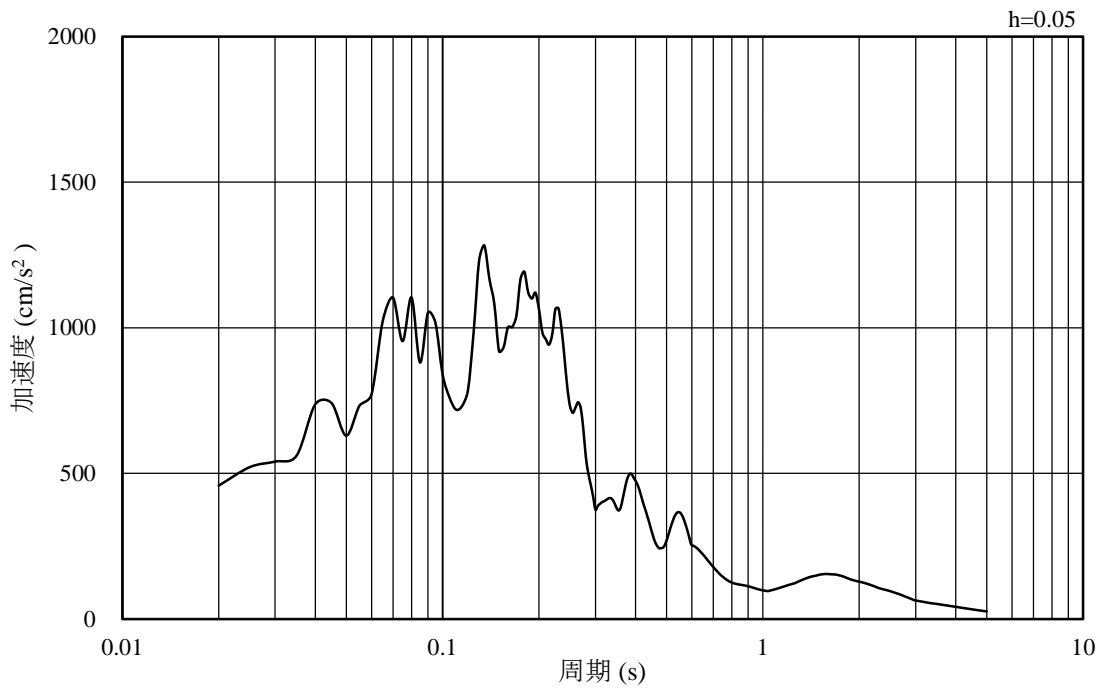


(b) 加加速度応答スペクトル

図 3.4.3-5 入力地震動の加加速度時刻歴波形及び加加速度応答スペクトル
(水平成分：S s-F 2)

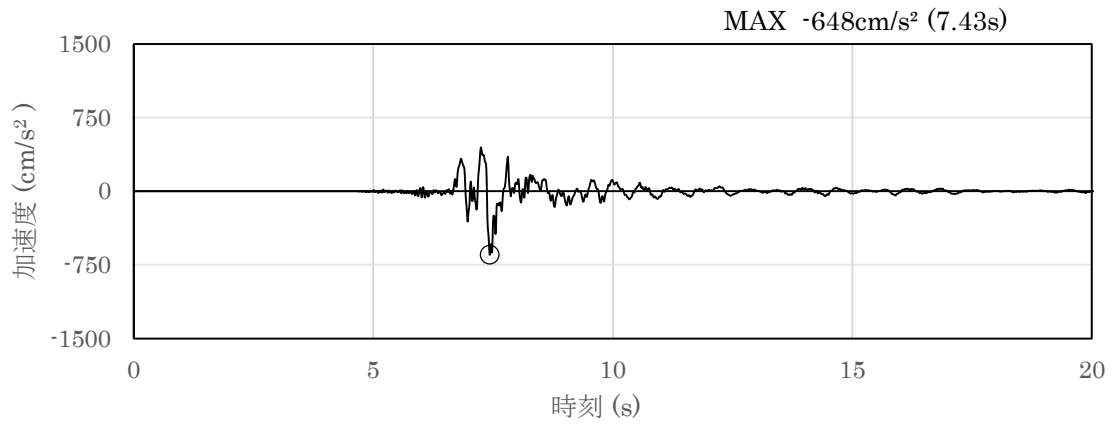


(a) 加速度時刻歴波形

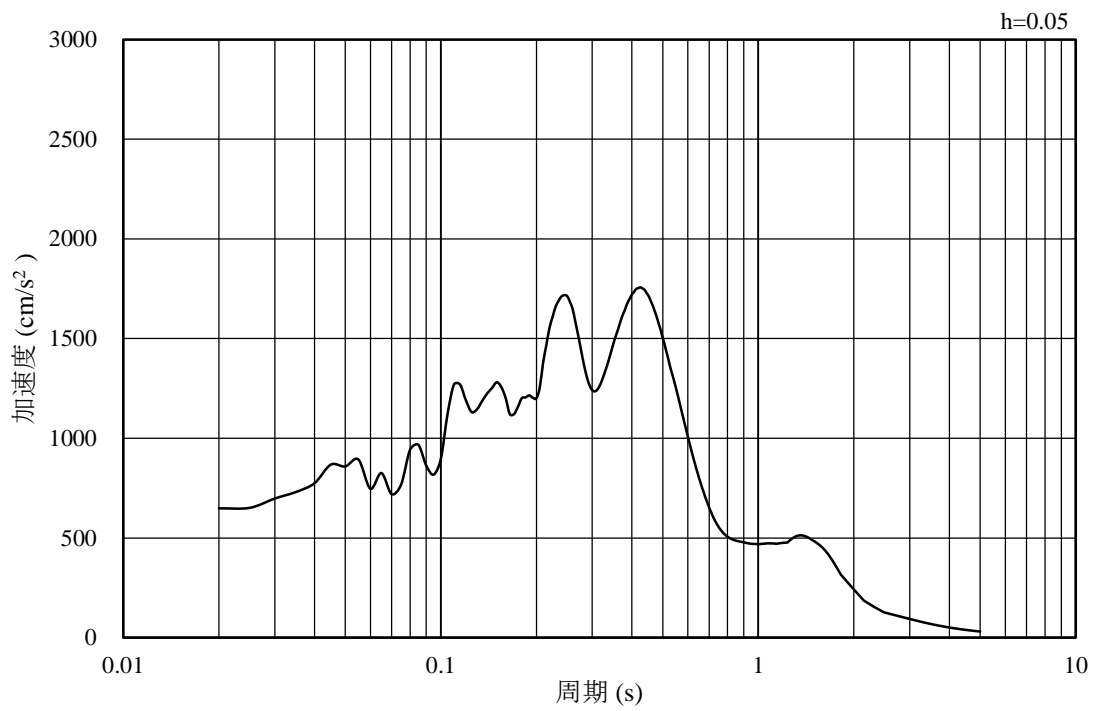


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-6 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-F 2)

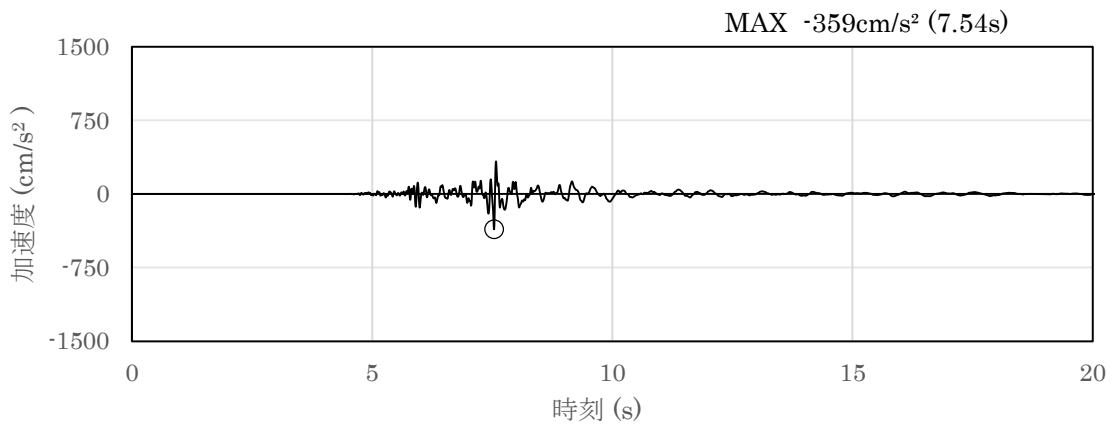


(a) 加速度時刻歴波形

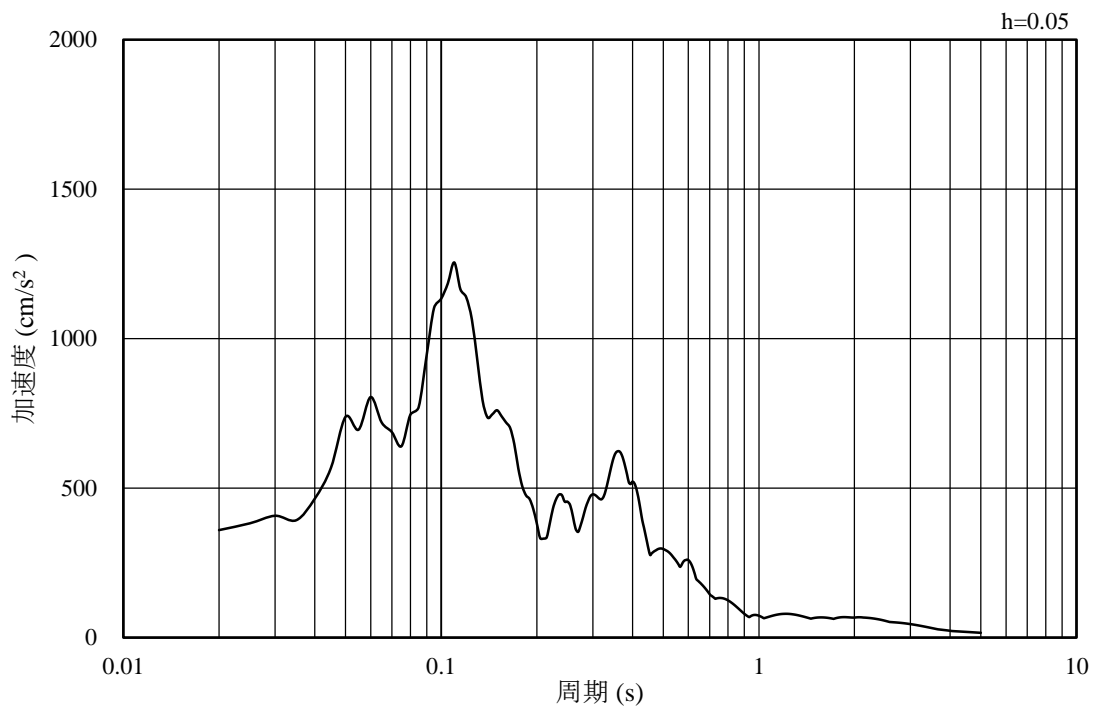


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-7 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)

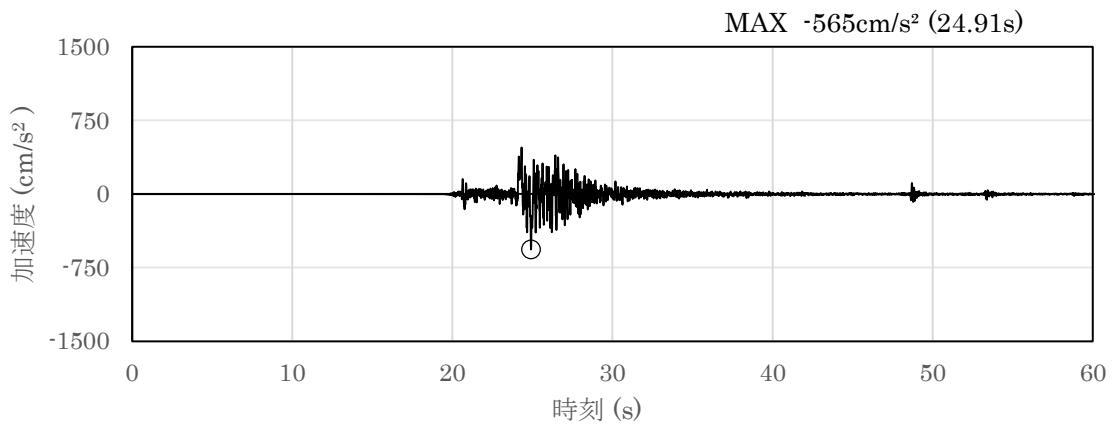


(a) 加速度時刻歴波形

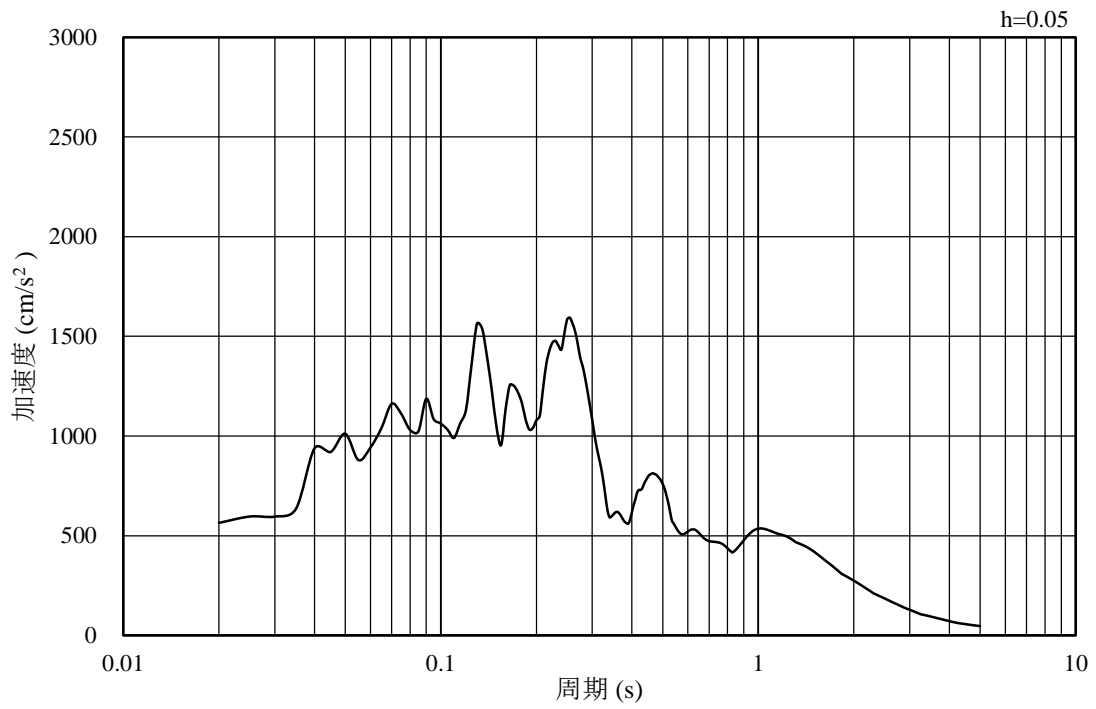


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-8 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)

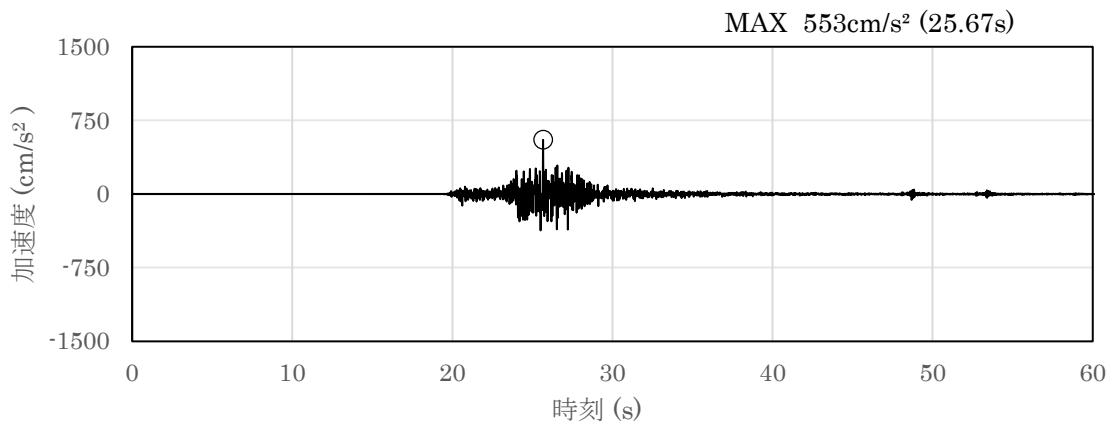


(a) 加速度時刻歴波形

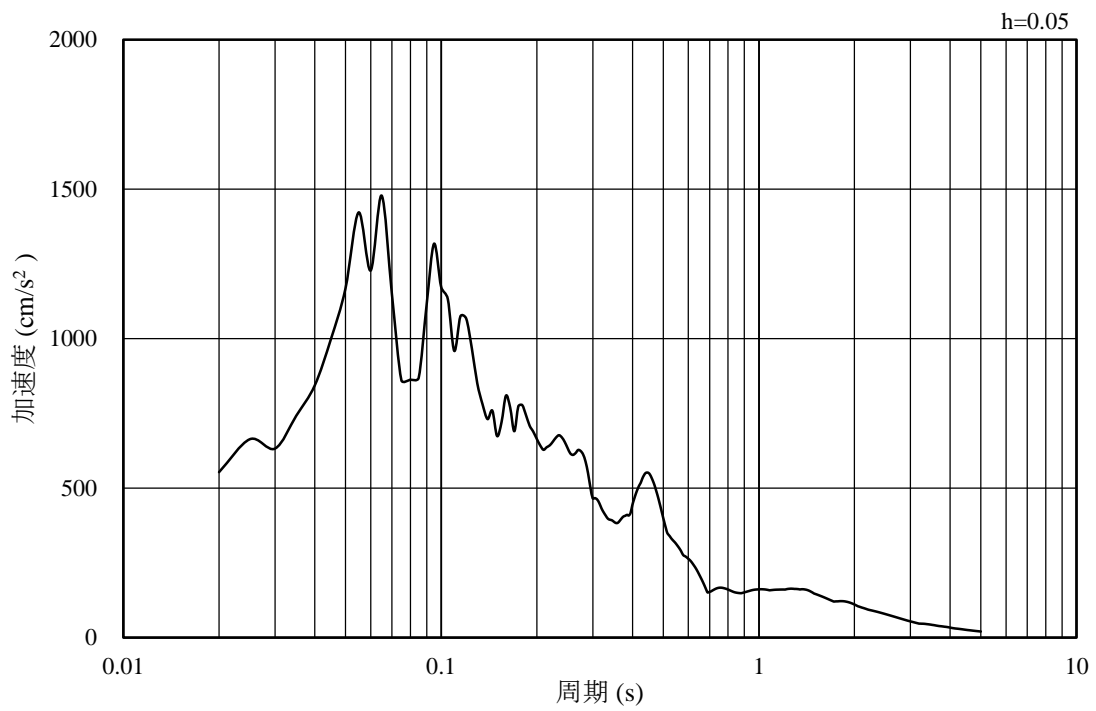


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-9 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 2 (NS))

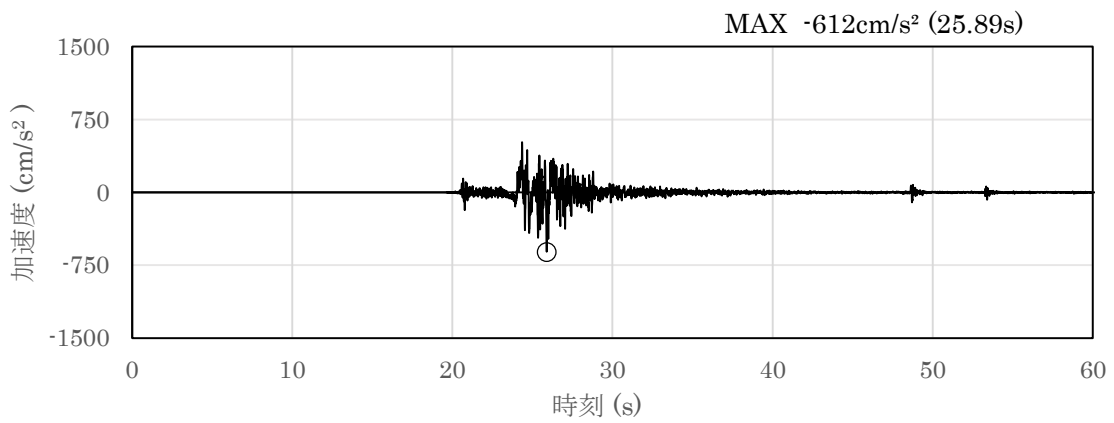


(a) 加速度時刻歴波形

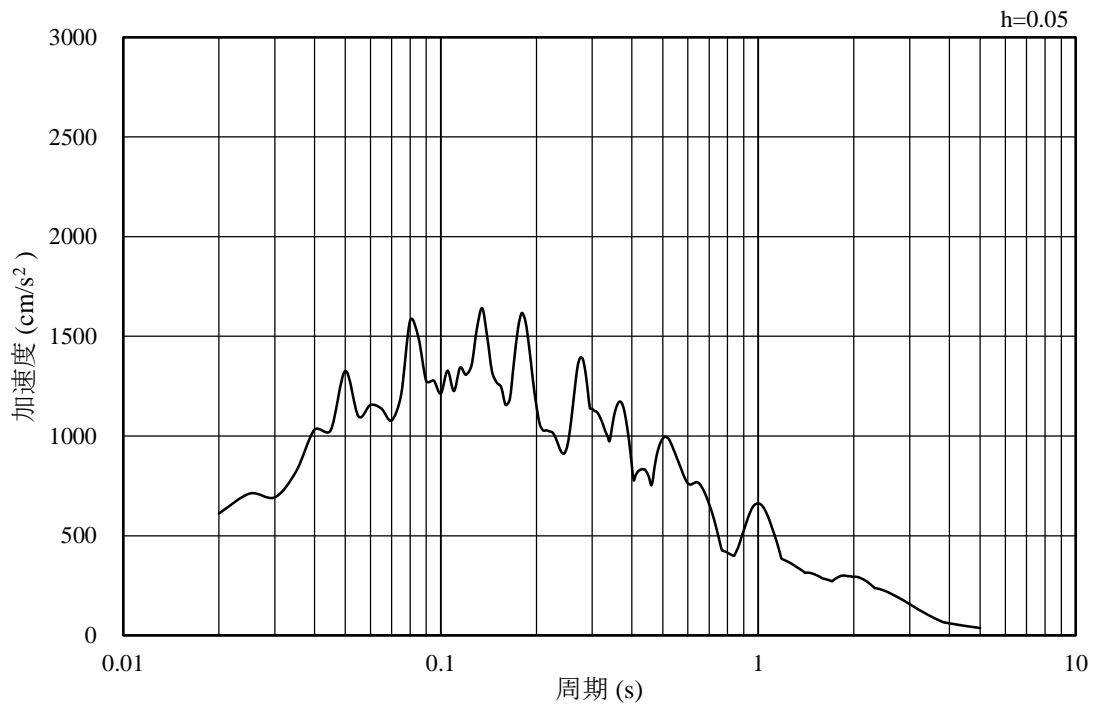


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-10 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-N2 (NS))

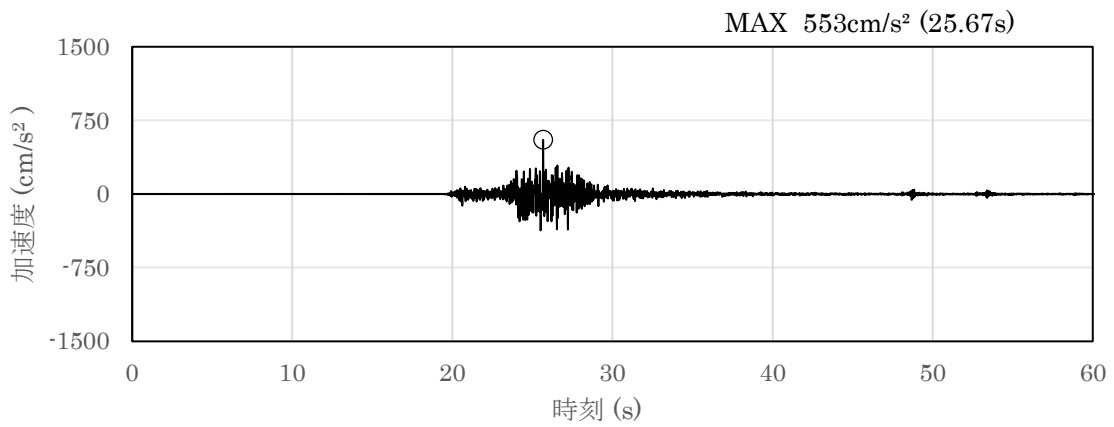


(a) 加速度時刻歴波形

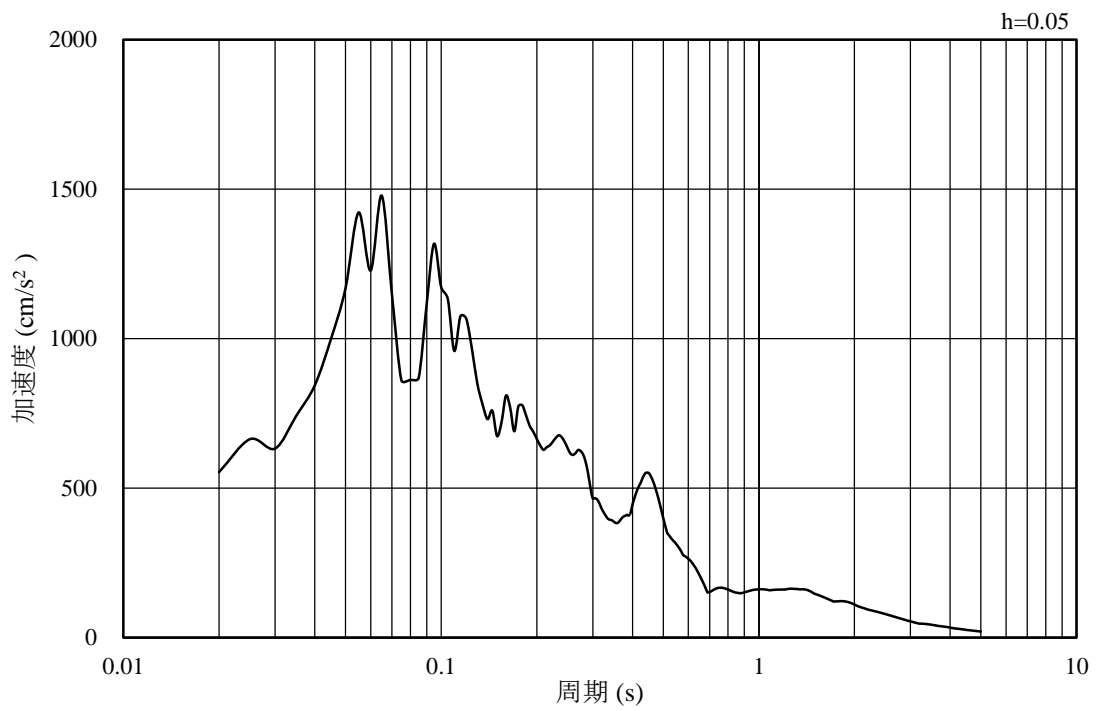


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-11 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-N2 (EW))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.3-12 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 2 (E W))

3.4.4 ⑦-⑦断面

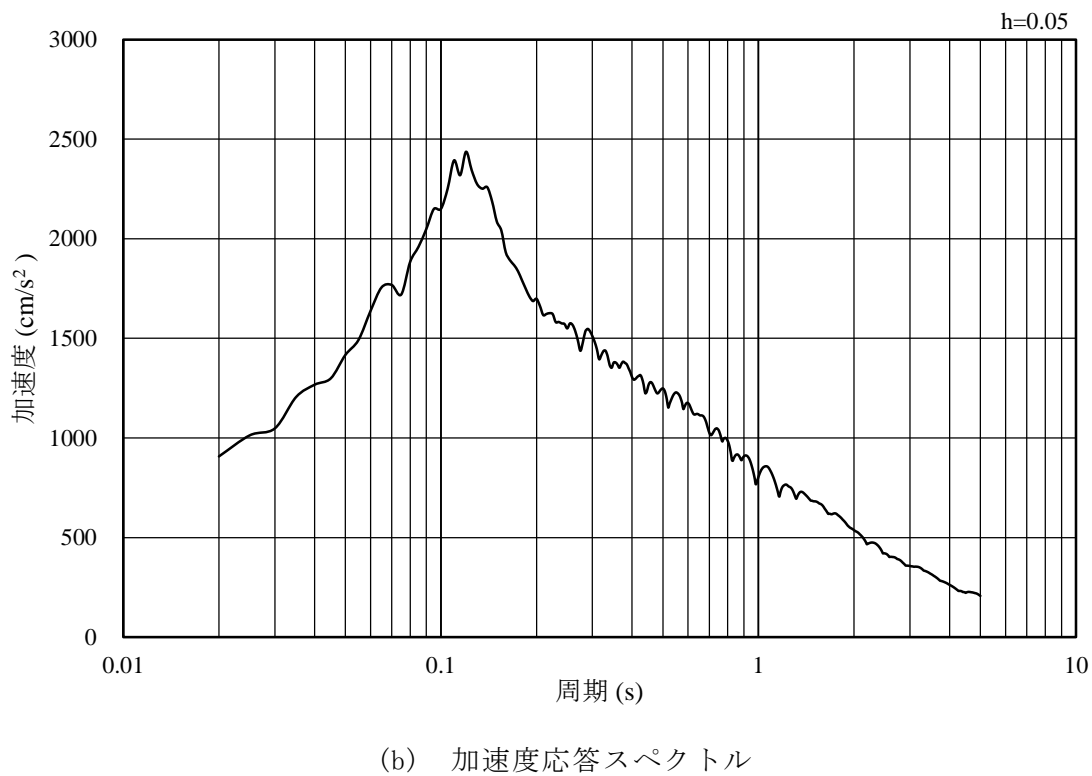
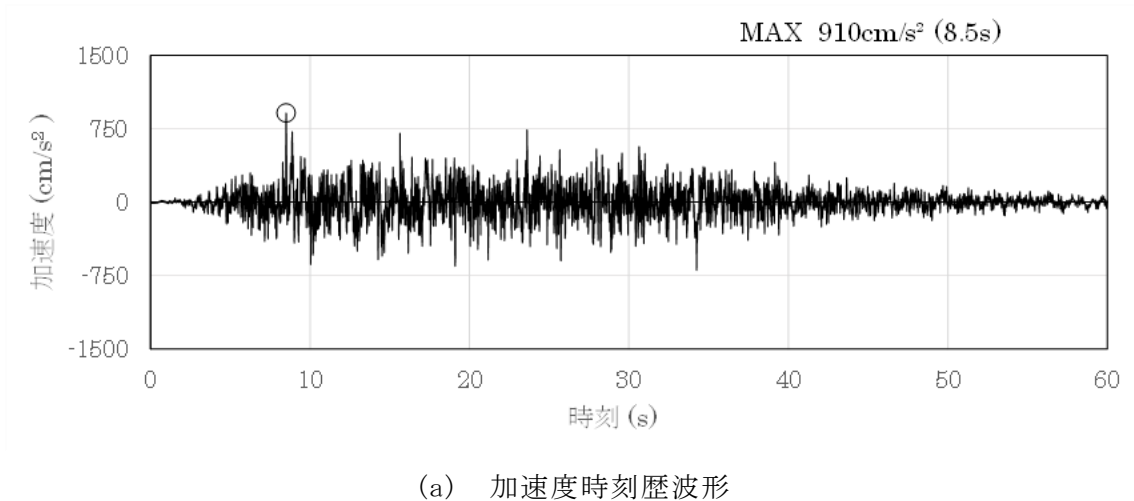
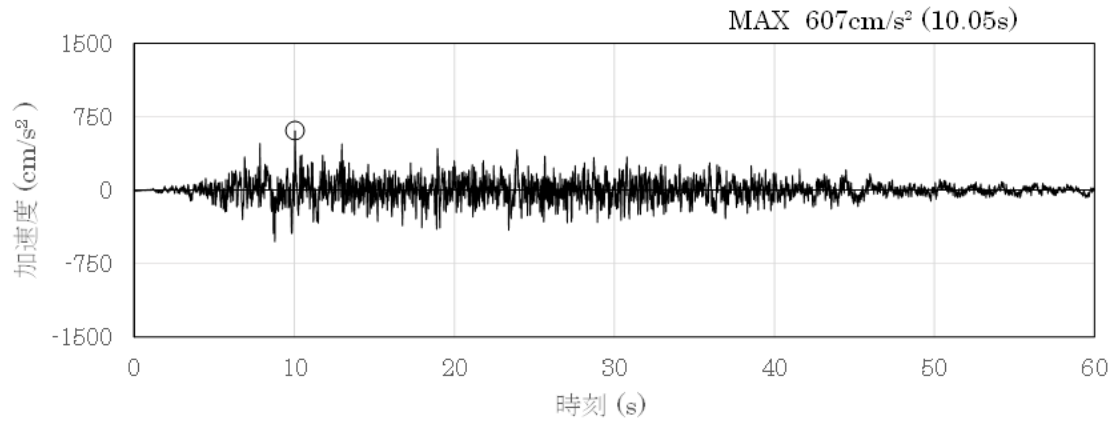
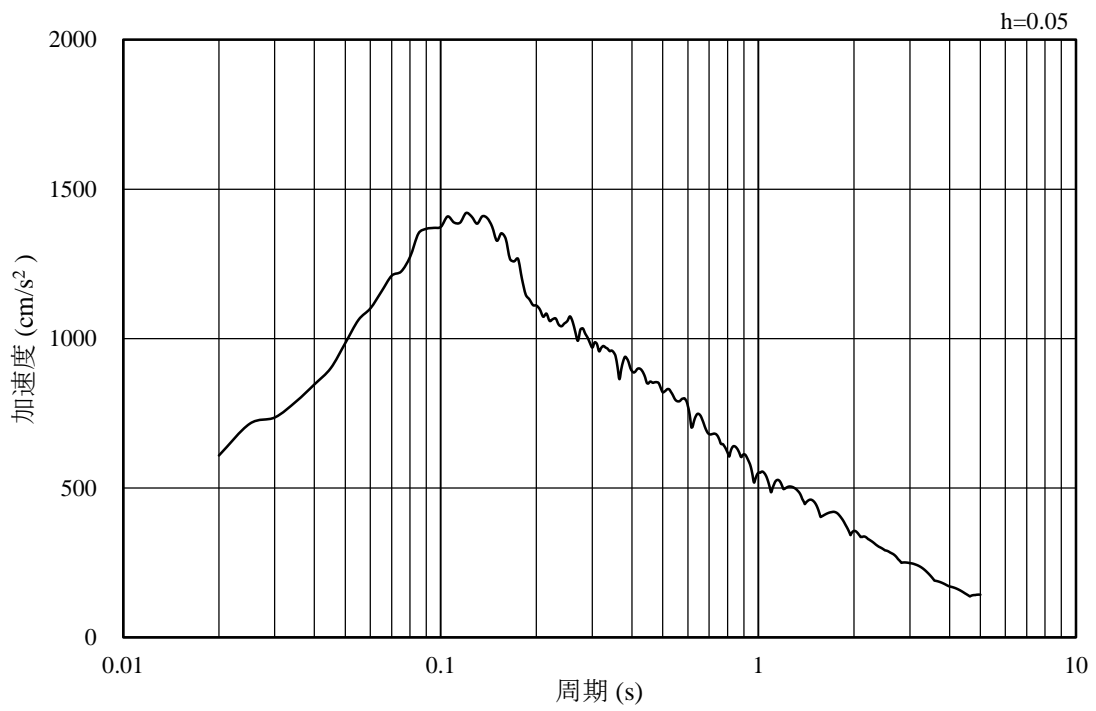


図 3.4.4-1 入力地震動の加速度時刻歴波形及び加速度応答スペクトル
(水平成分：S s-D)

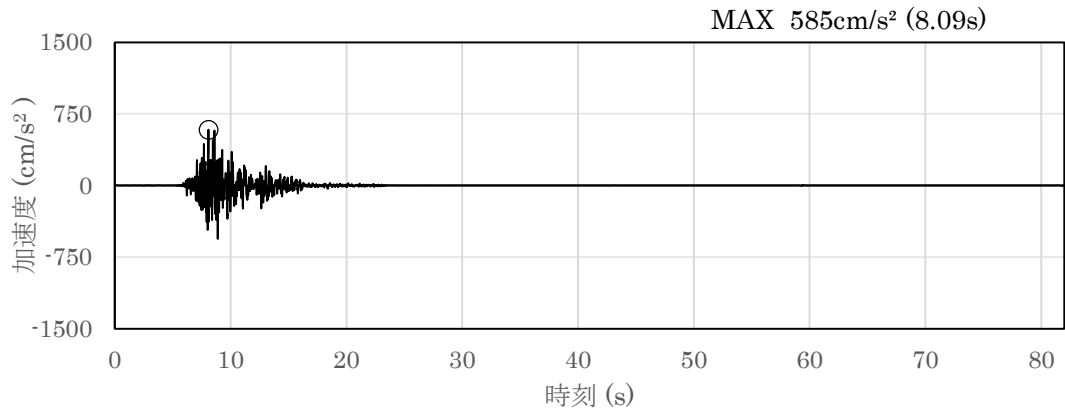


(a) 加速度時刻歴波形

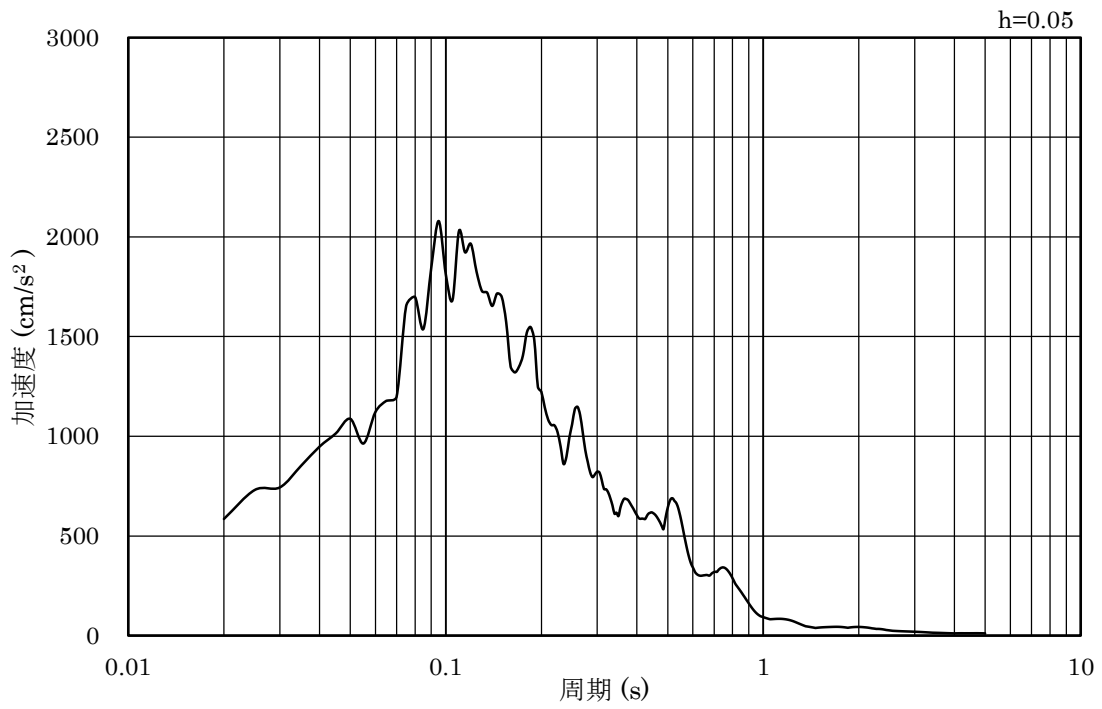


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-2 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)

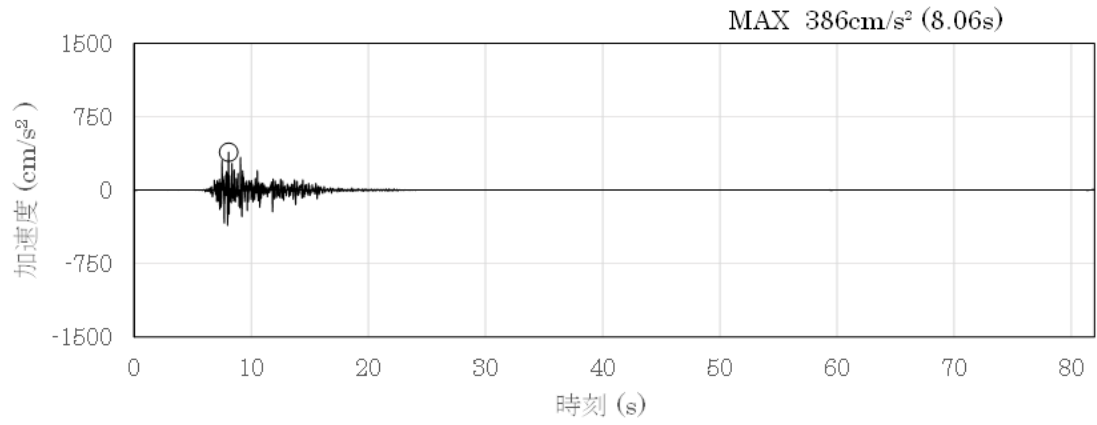


(a) 加速度時刻歴波形

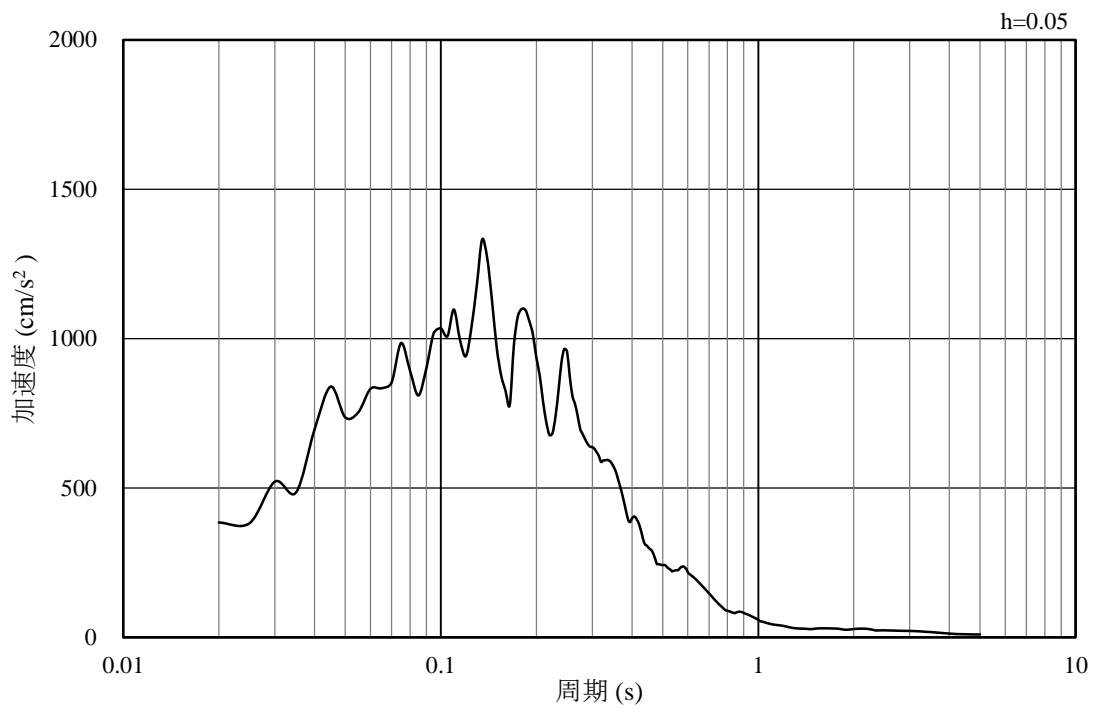


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-3 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 - F 1)

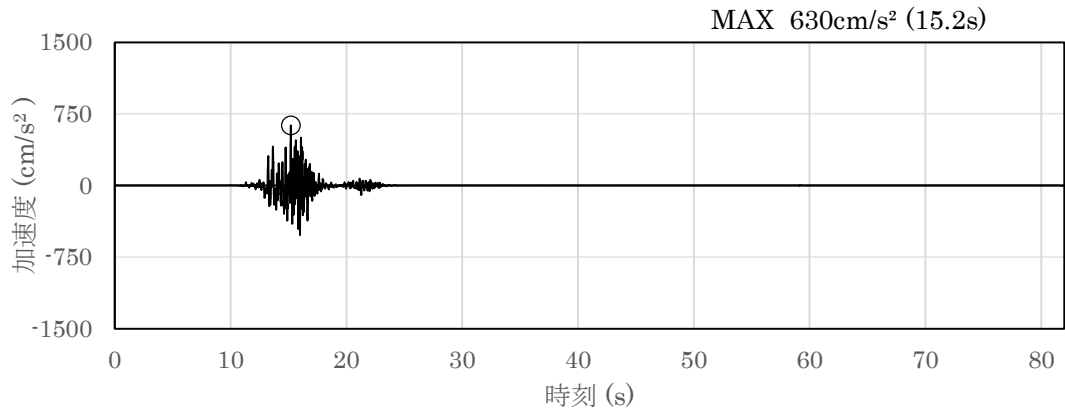


(a) 加速度時刻歴波形

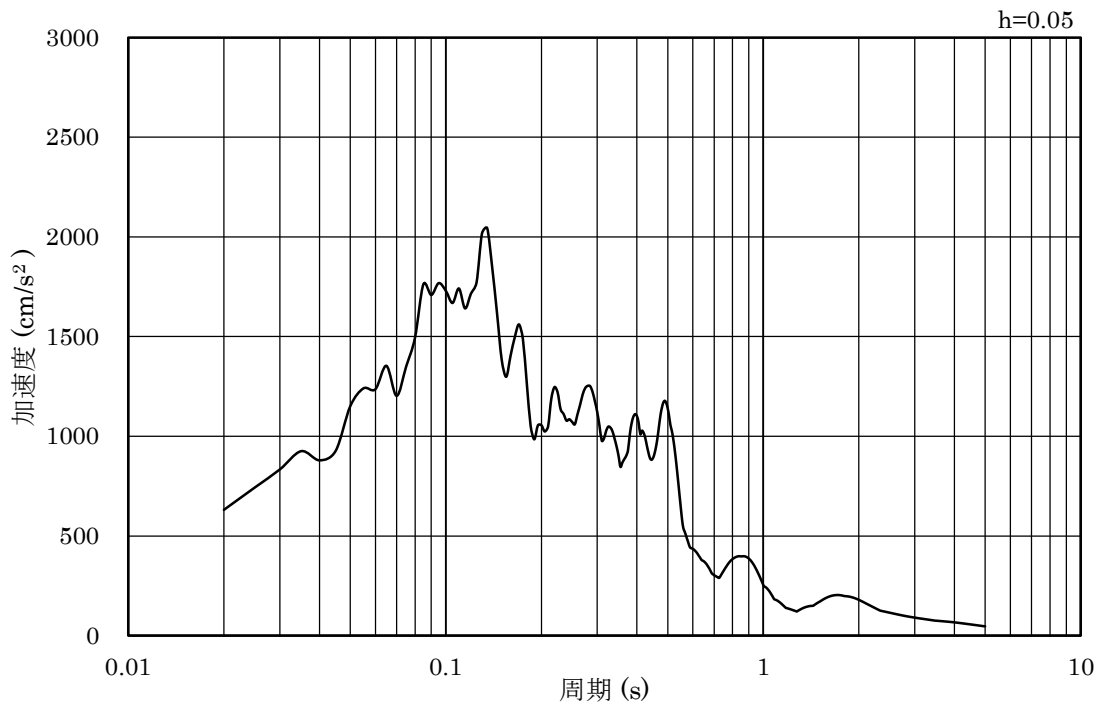


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-4 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-F 1)

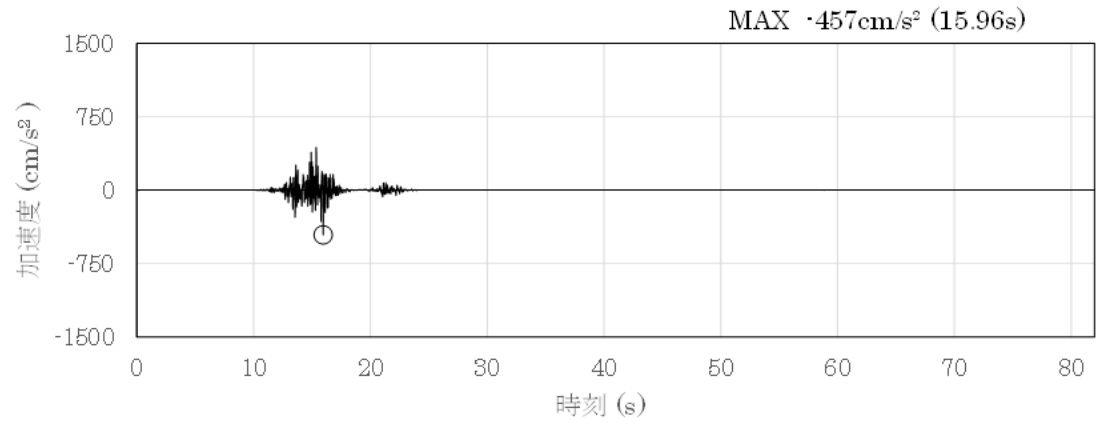


(a) 加速度時刻歴波形

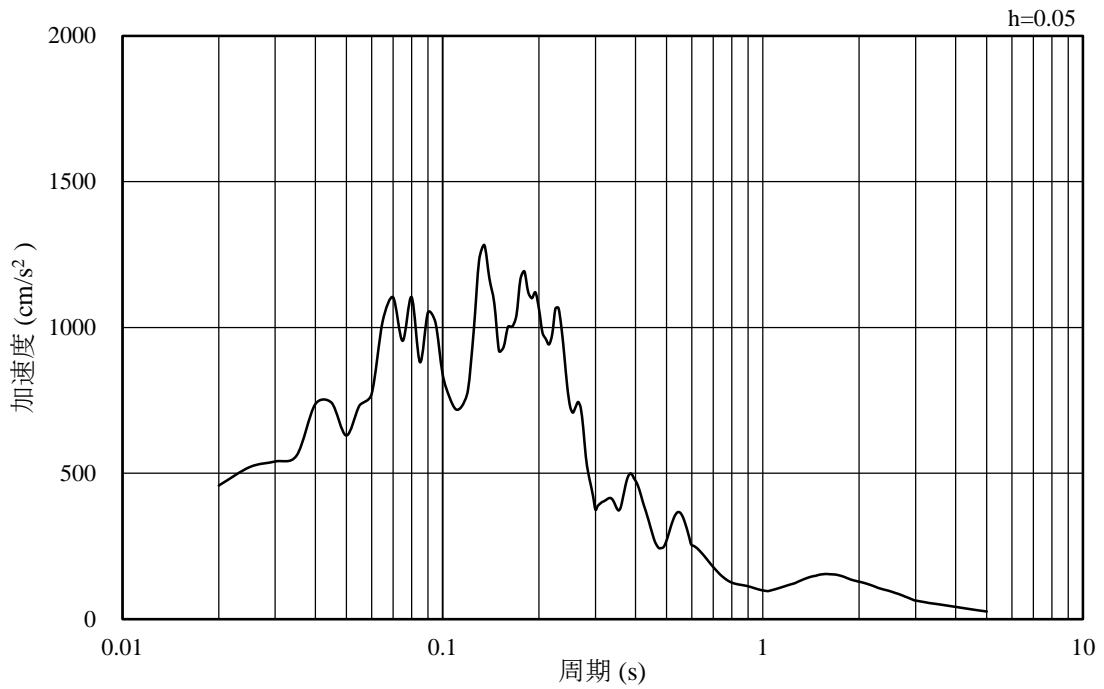


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-5 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 - F 2)

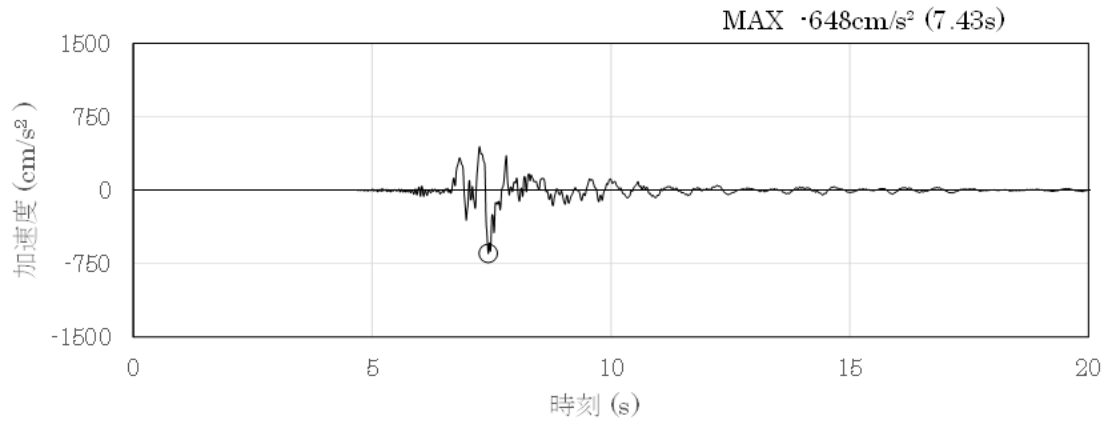


(a) 加速度時刻歴波形

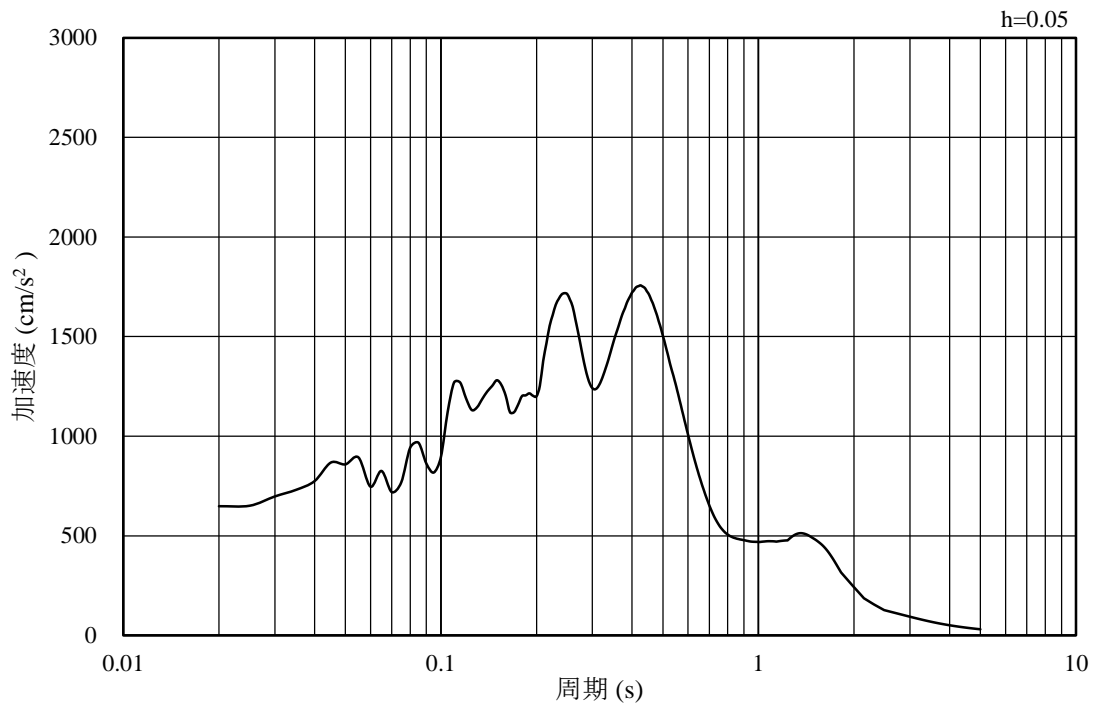


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-6 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-F 2)

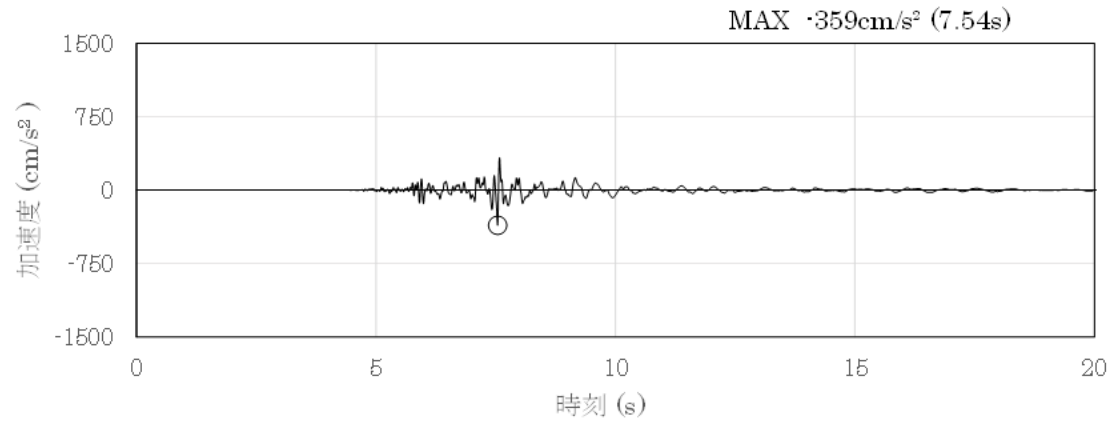


(a) 加速度時刻歴波形

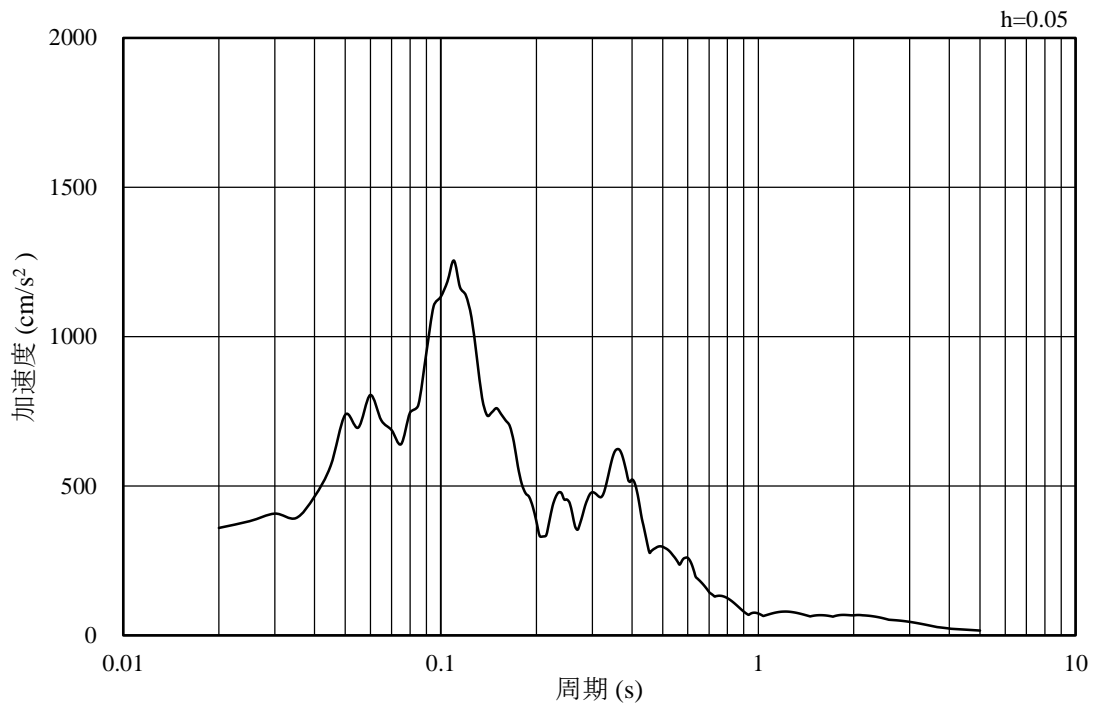


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-7 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)

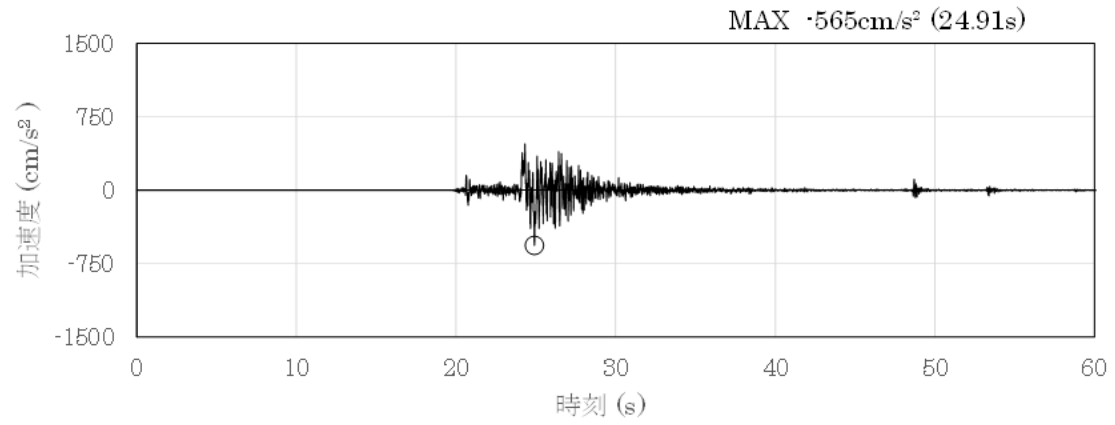


(a) 加速度時刻歴波形

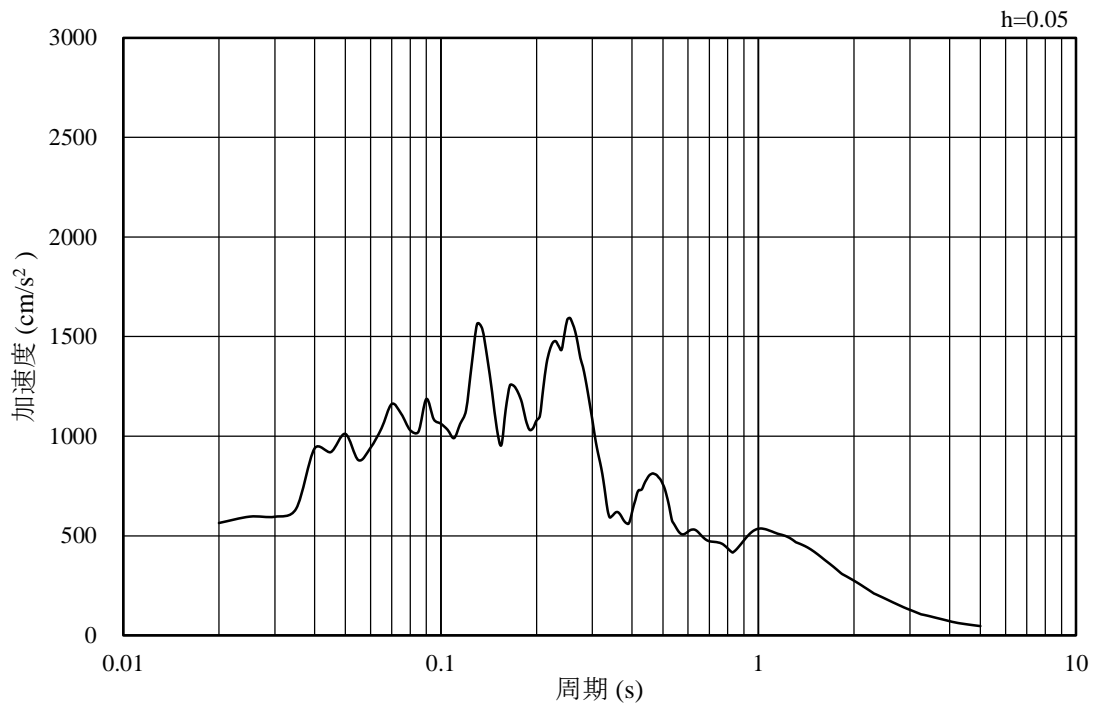


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-8 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)

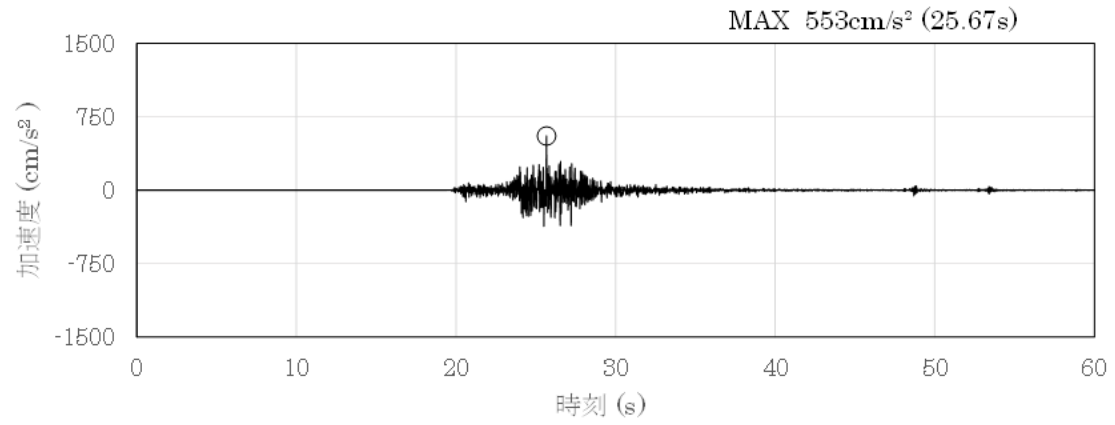


(a) 加速度時刻歴波形

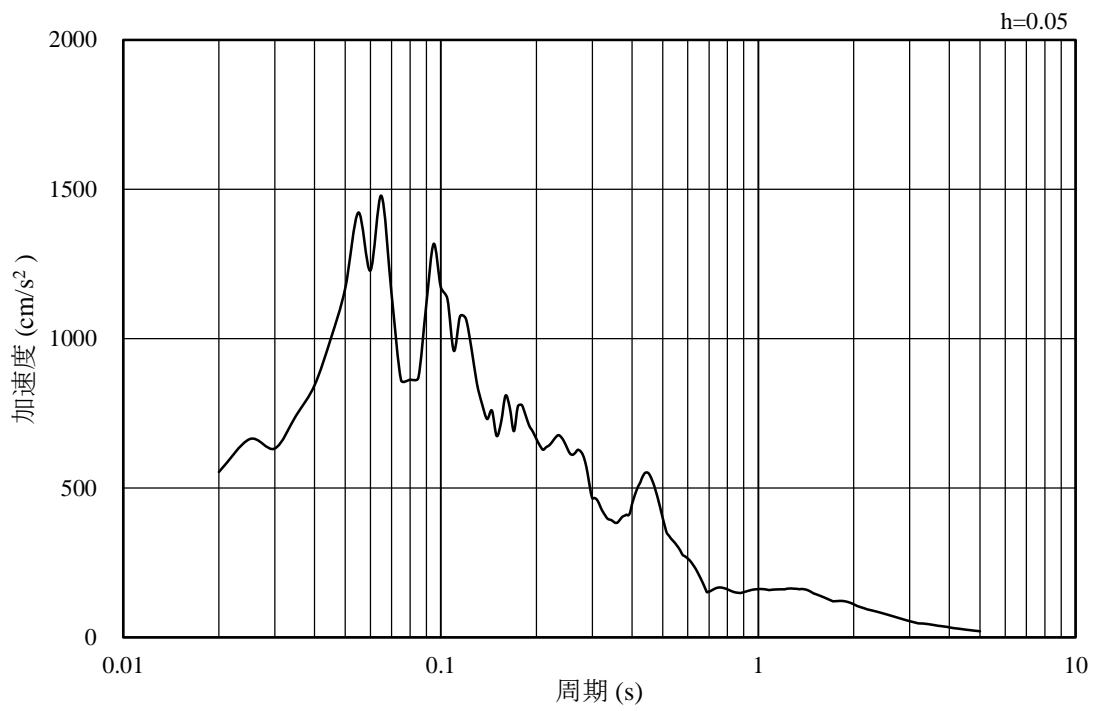


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-9 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 2 (NS))

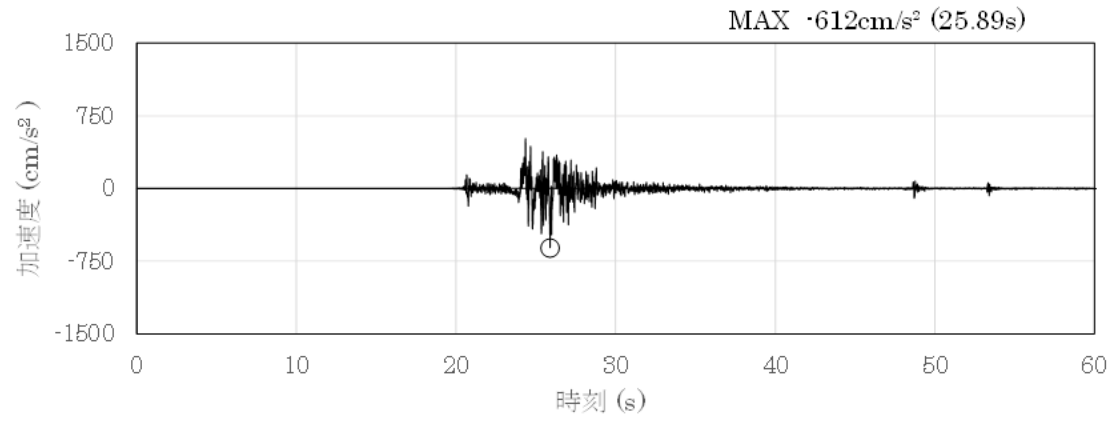


(a) 加速度時刻歴波形

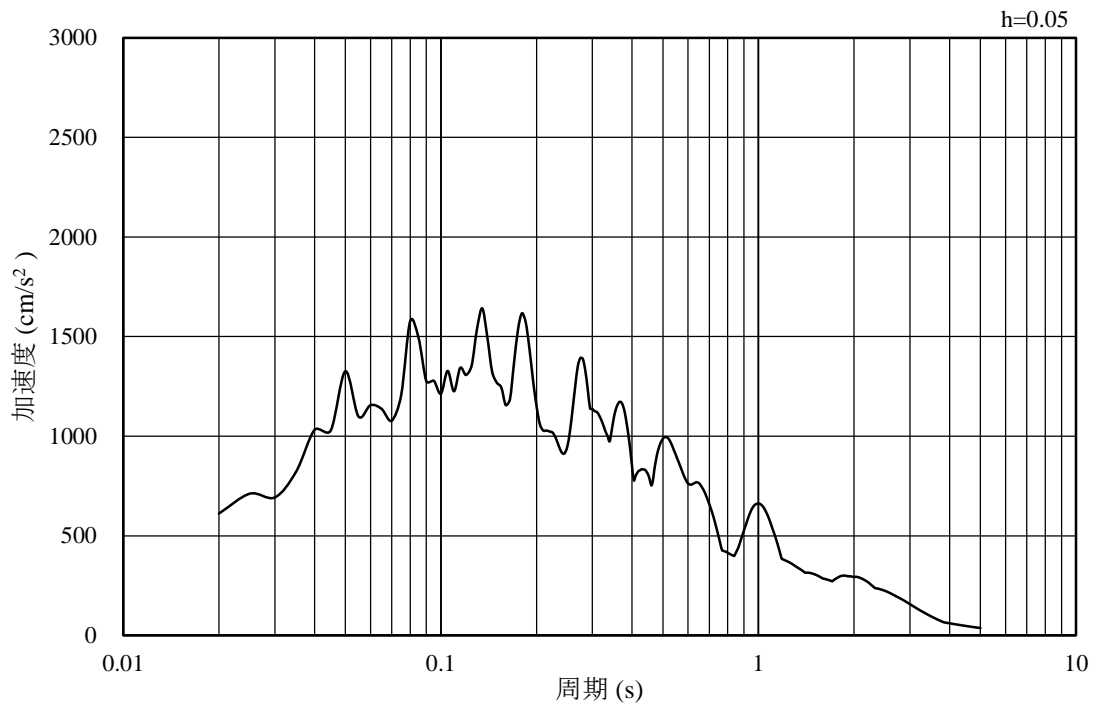


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-10 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-N2 (NS))

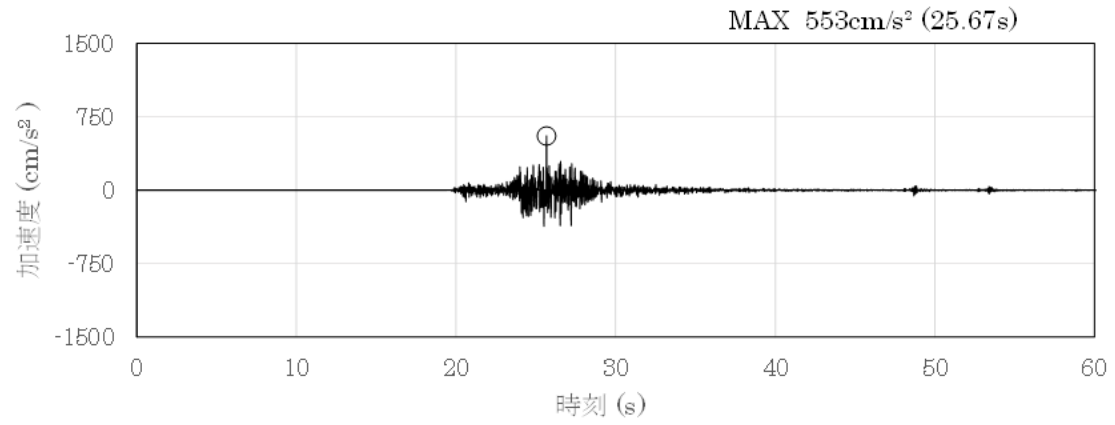


(a) 加速度時刻歴波形

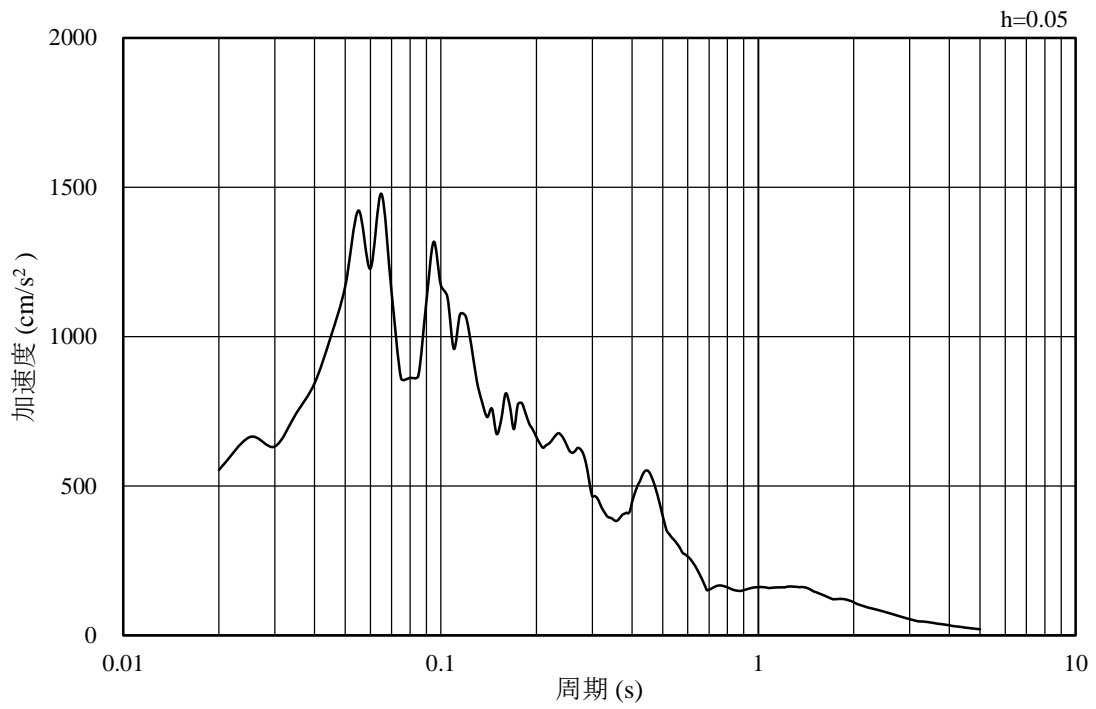


(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-11 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 2 (E W))



(a) 加速度時刻歴波形



(b) 加速度応答スペクトル

図 3.4.4-12 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 2 (E W))

3.5 解析モデル及び諸元

3.5.1 解析モデル

防波壁（逆T擁壁）の評価対象断面位置図を図3.5.1-1に、地震応答解析モデルを図3.5.1-2、図3.5.1-4、図3.5.1-6及び図3.5.1-8に、地質断面図を図3.5.1-3、図3.5.1-5、図3.5.1-7及び図3.5.1-9に示す。

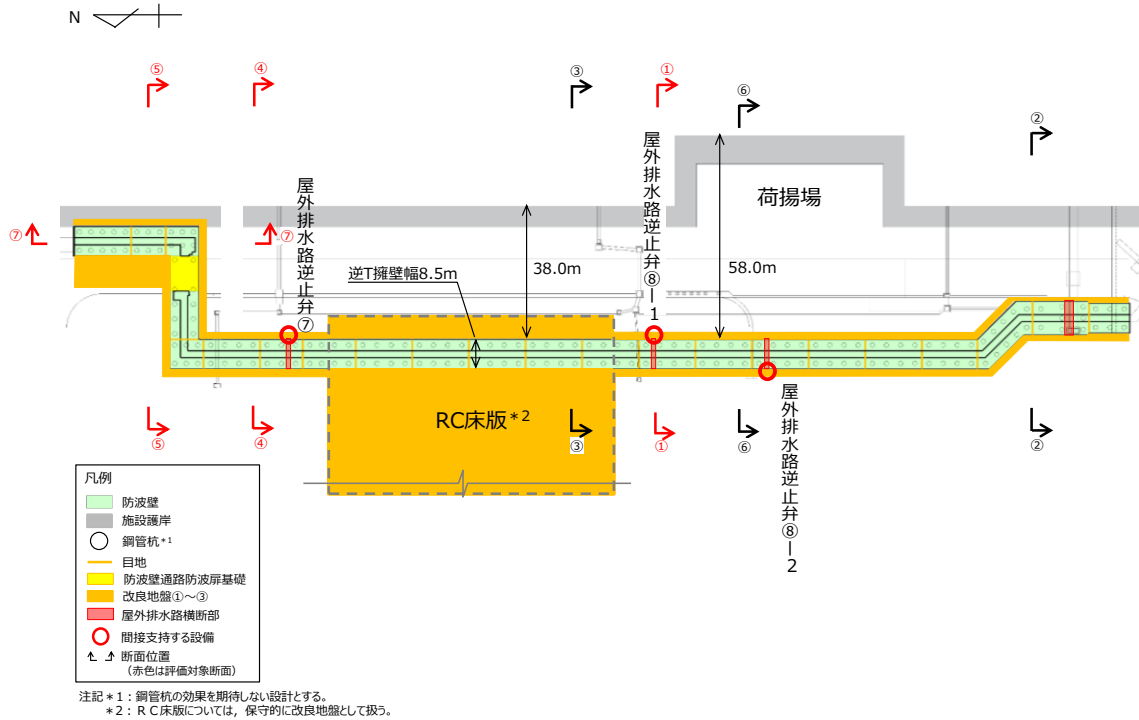


図3.5.1-1 防波壁（逆T擁壁）の評価対象断面位置図

- | | | | | |
|----------------|------------|------------------|---------------|---------------------|
| ■ : 岩盤 (第③速度層) | ■ : 海底堆積物 | ■ : 基礎捨石 | ■ : 防波壁 | ■ : グラウンドアンカ (自由長部) |
| ■ : 岩盤 (第④速度層) | ■ : 改良地盤①② | ■ : 護岸 | ■ : L型擁壁 | ■ : グラウンドアンカ (拘束長部) |
| ■ : 岩盤 (第⑤速度層) | ■ : 改良地盤③ | ■ : 埋戻土 (施設護岸背面) | ■ : ジョイント要素 | |
| ■ : 埋戻土 | ■ : 被覆石 | ■ : 海水 | ■ : 地下水面及び海水面 | |

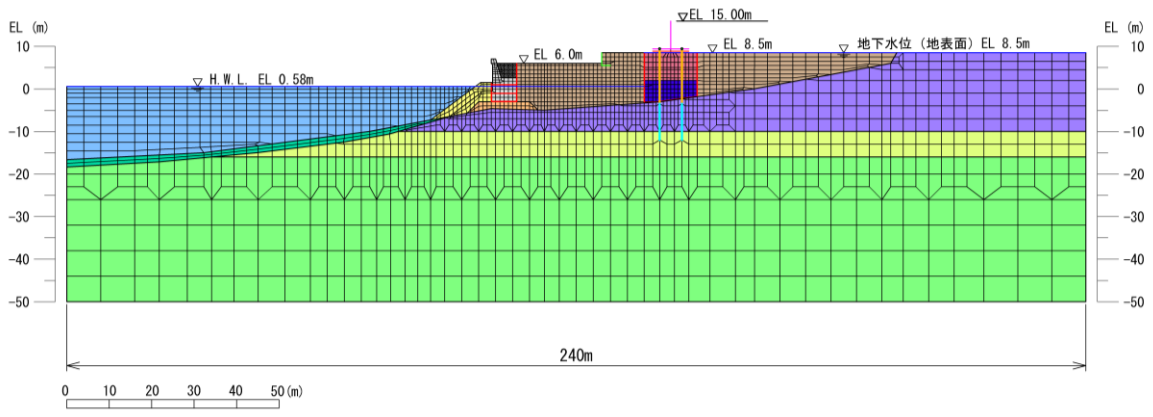


図 3.5.1-2 地震応答解析モデル (①-①断面)

(単位 : m)

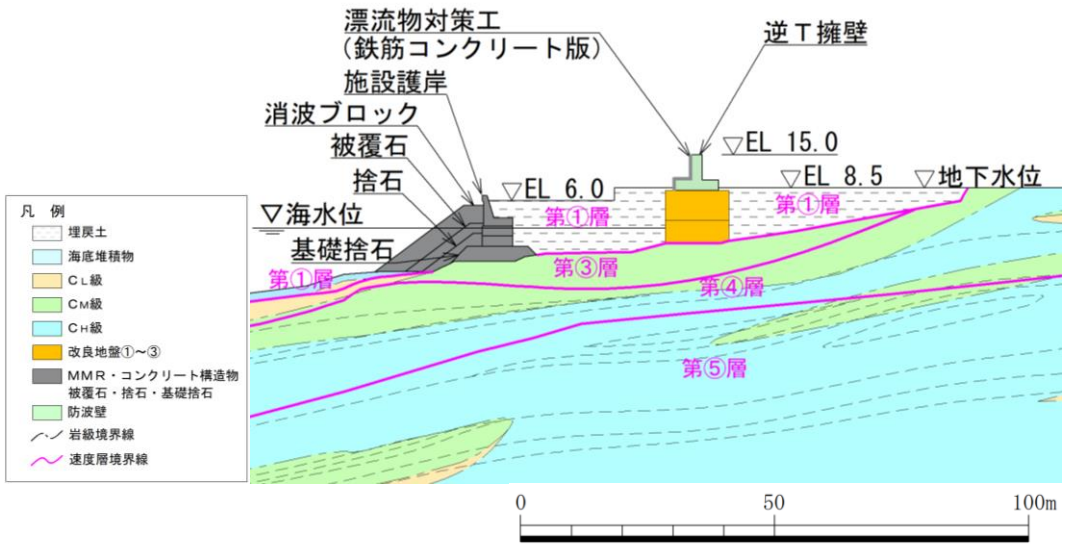


図 3.5.1-3 地質断面図 (①-①断面)

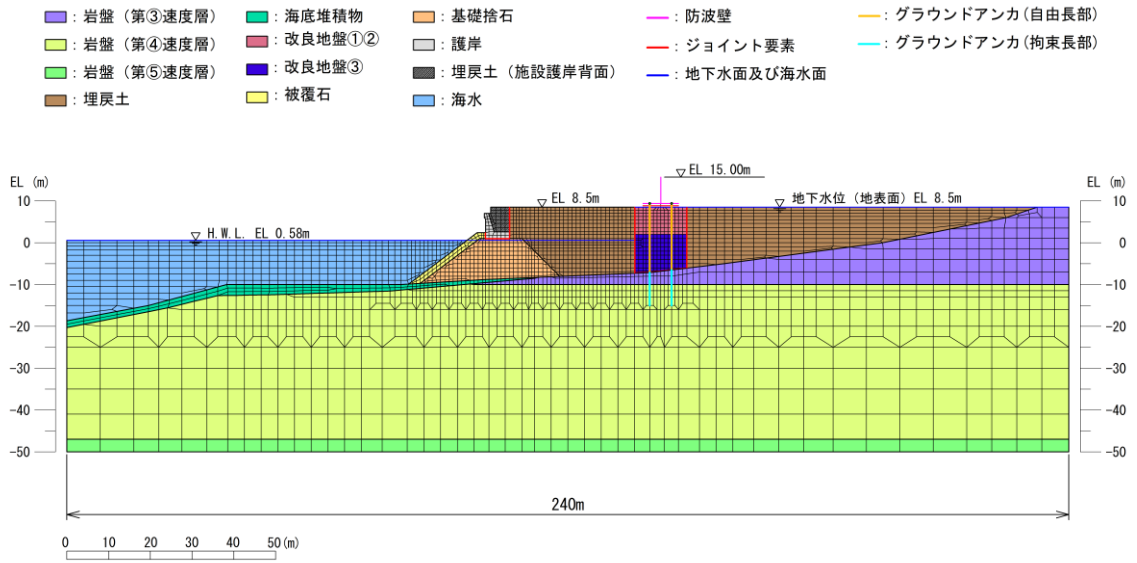


図 3.5.1-4 地震応答解析モデル (④-④断面)

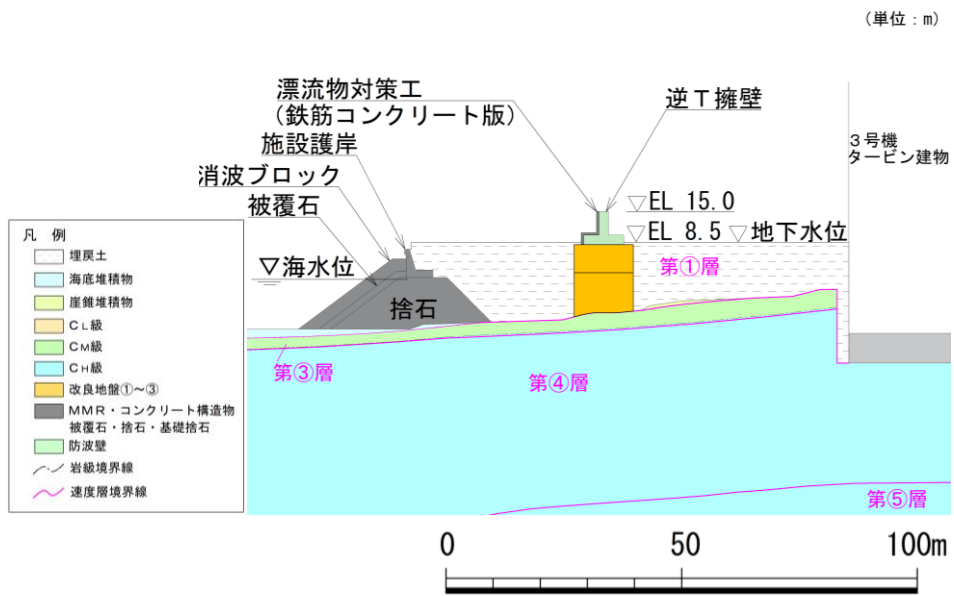


図 3.5.1-5 地質断面図 (④-④断面)

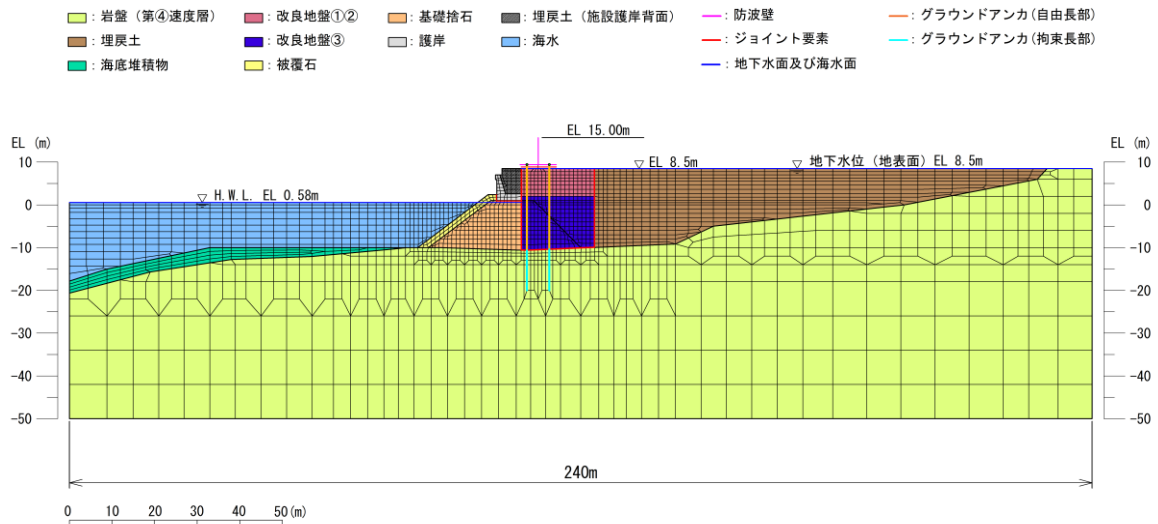


図 3.5.1-6 地震応答解析モデル (⑤-⑤断面)

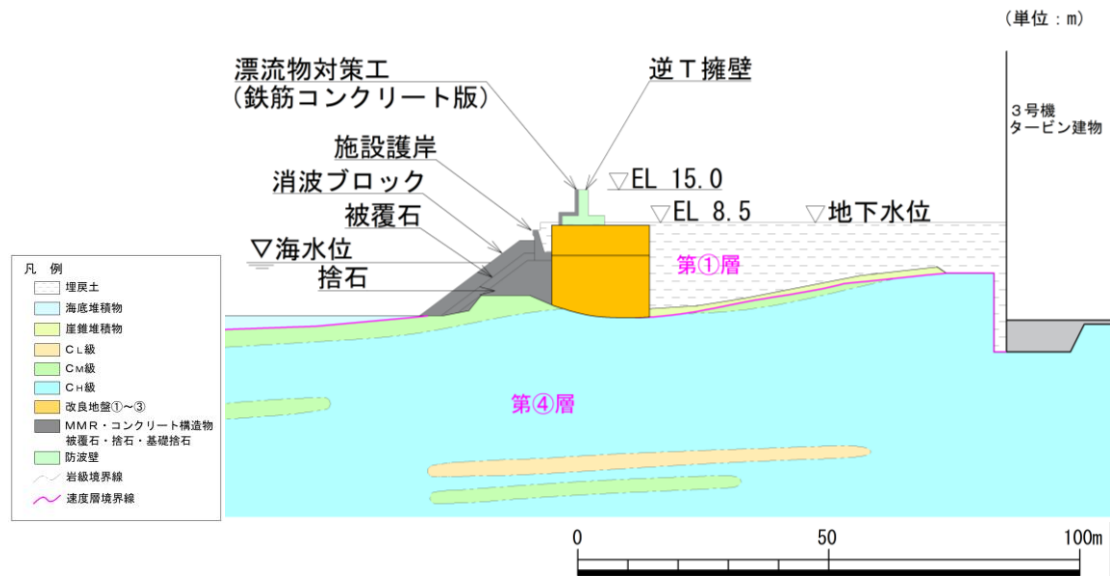


図 3.5.1-7 地質断面図 (⑤-⑤断面)

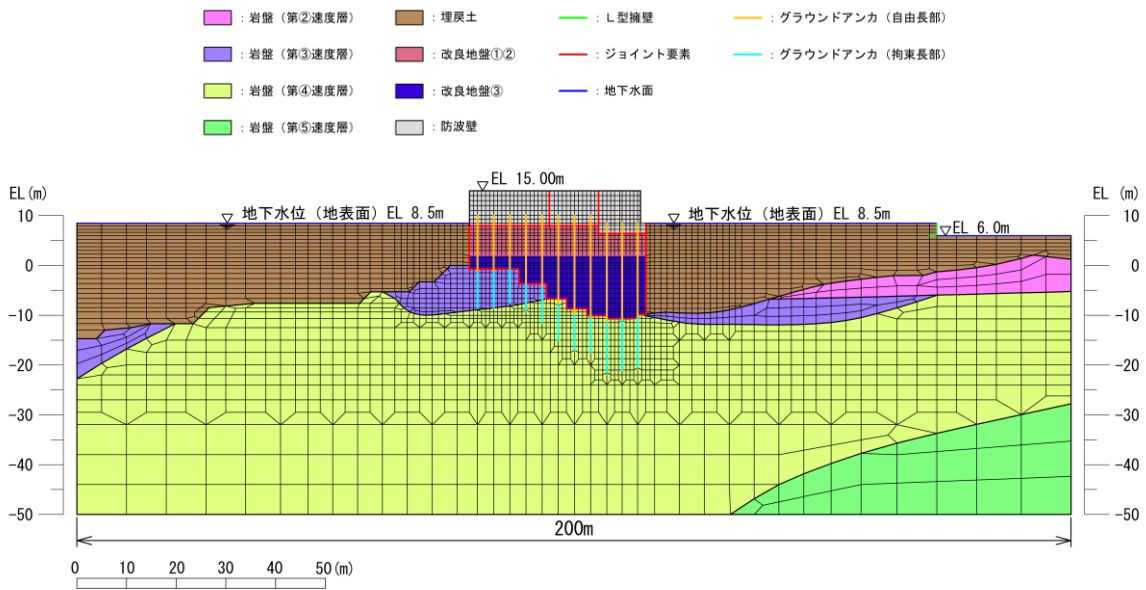


図 3.5.1-8 地震応答解析モデル (⑦-⑦断面)

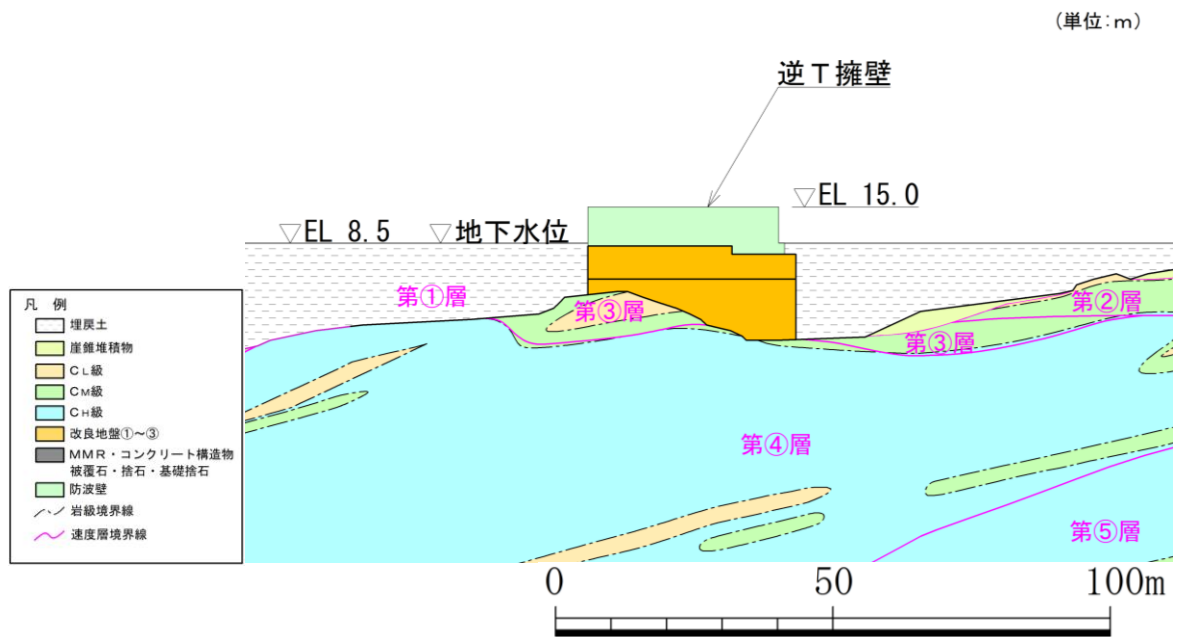


図 3.5.1-9 地質断面図 (⑦-⑦断面)

(1) 解析領域

地震応答解析モデルは、境界条件の影響が地盤及び構造物の応力状態に影響を及ぼさないよう、十分広い領域とする。具体的には、「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)」を参考に、図 3.5.1-10 に示すとおりモデル幅を構造物基礎幅の 5 倍以上、構造物下端からモデル下端までの高さを構造物幅の 2 倍以上確保する。なお、対象断面によって、地層形状に合わせてモデル化領域を調整する。

地盤の要素分割については、波動をなめらかに表現するために、対象とする波長の 5 分の 1 程度を考慮し、要素高さを 1m 程度以下まで細分割して設定する。

解析モデルの下端については、EL-50m までモデル化する。

地震応答解析モデルは、検討対象構造物とその周辺地盤をモデル化した不整形地盤に加え、この不整形地盤の左右に広がる地盤をモデル化した自由地盤で構成される。この自由地盤は、不整形地盤の左右端と同じ地質構成を有する一次元地盤モデルである。地震応答解析における自由地盤の常時応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフローを図 3.5.1-11 に示す。

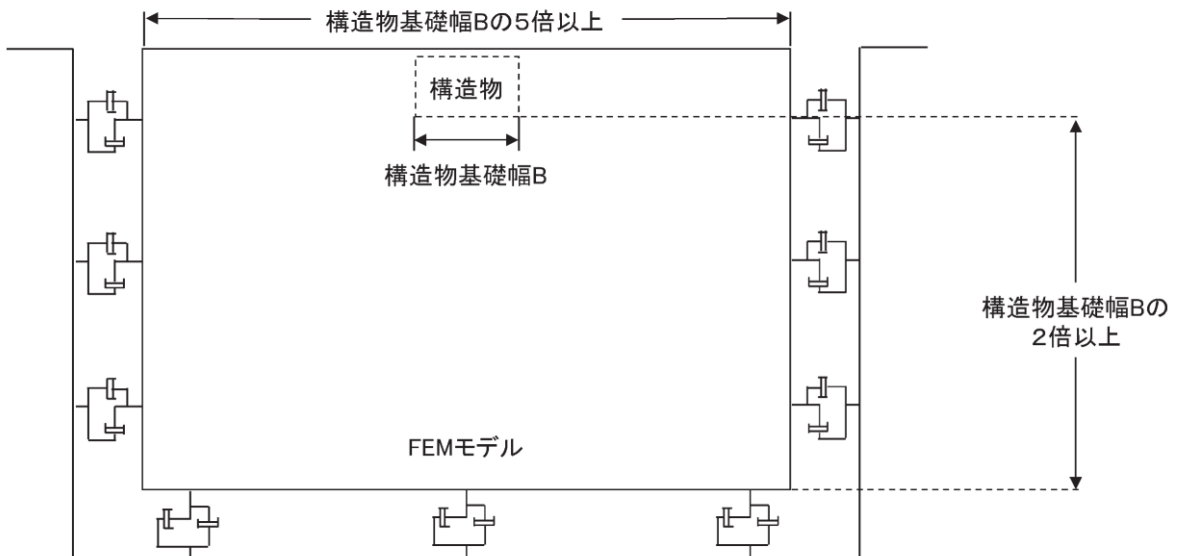


図 3.5.1-10 モデル化範囲の考え方

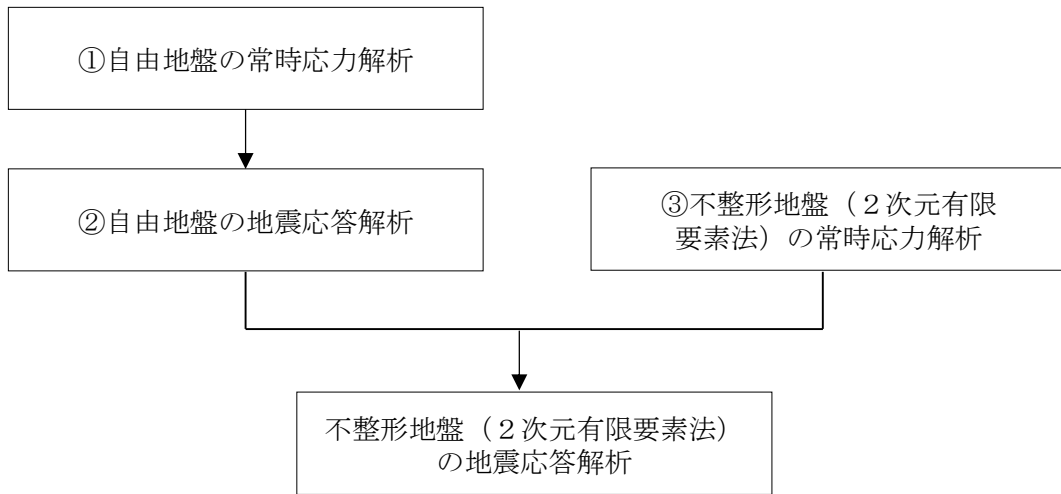


図 3.5.1-11 自由地盤の常時応力解析から不整形地盤の地震応答解析までのフロー

(2) 境界条件

a. 常時応力解析時

常時応力解析は、地盤や構造物の自重及び風荷重等の静的な荷重を載荷することによる常時応力を算定するために行う。そこで、常時応力解析時の境界条件は底面固定とし、側方は自重等による地盤の鉛直方向の変形を拘束しないよう鉛直ローラーとする。境界条件の概念図を図 3.5.1-12 に示す。

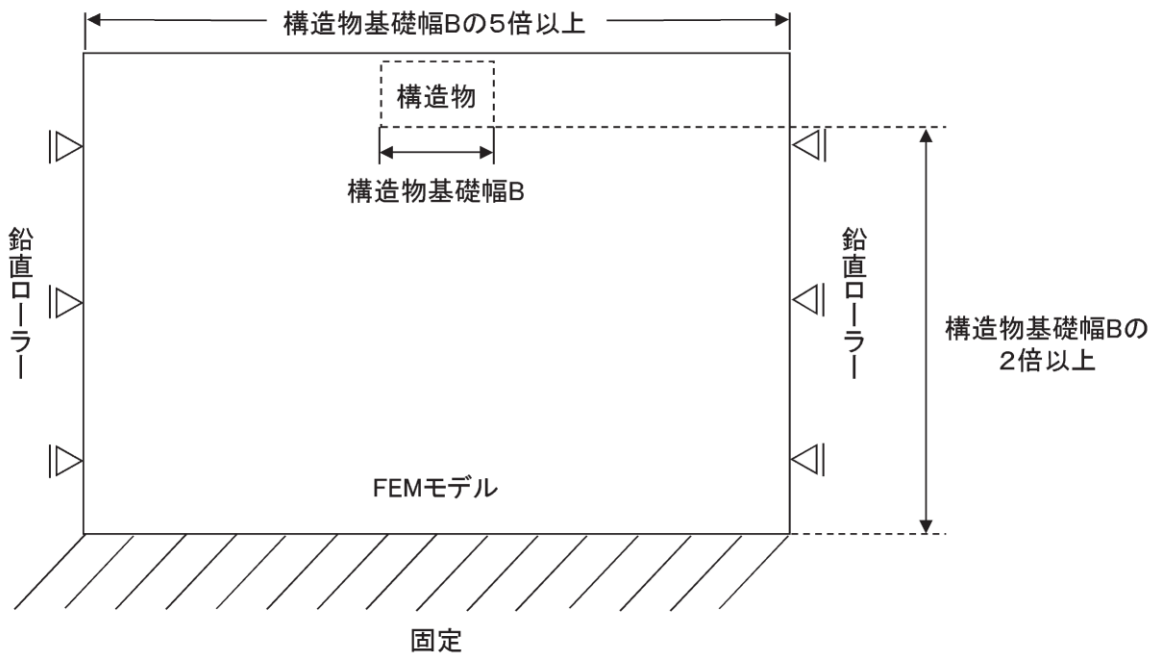


図 3.5.1-12 常時応力解析における境界条件の概念図

b. 地震応答解析時

地震応答解析時の境界条件については、有限要素解析における半無限地盤を模擬するため、粘性境界を設ける。底面の粘性境界については、地震動の下降波がモデル底面境界から半無限地盤へ通過していく状態を模擬するため、ダッシュポットを設定する。側方の粘性境界については、自由地盤の地盤振動と不整形地盤側方の地盤振動の差分が側方を通過していく状態を模擬するため、自由地盤の側方にダッシュポットを設定する。境界条件の概念図を図 3.5.1-13 に示す。

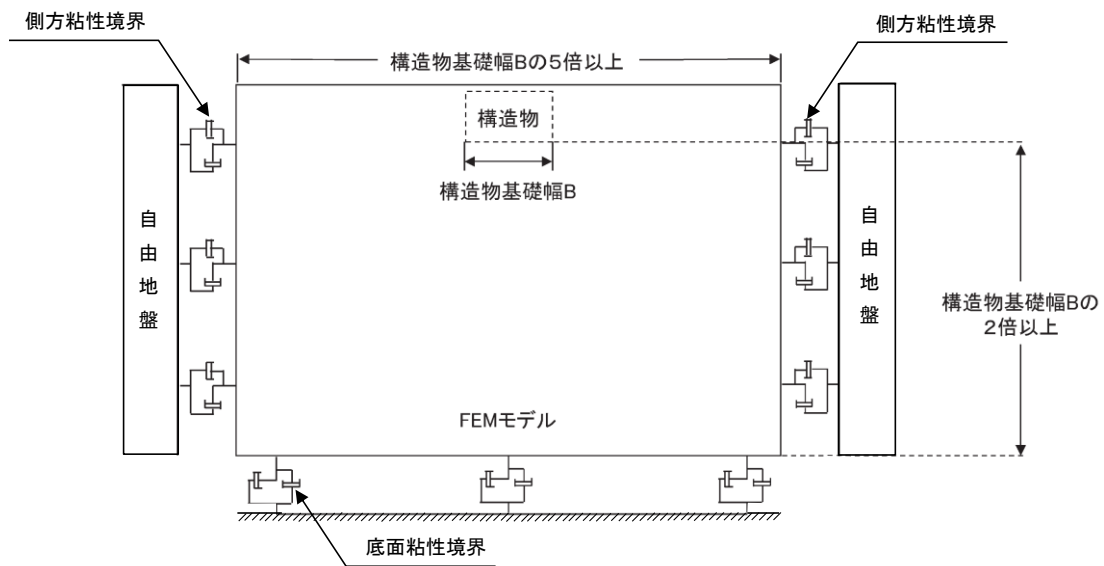


図 3.5.1-13 地震応答解析における境界条件の概念図

(3) 構造物のモデル化

逆T擁壁は、線形はり要素(ビーム要素)でモデル化する。底版は地盤に0.5m埋め込まれているが、埋め込み深さが浅く、土圧の影響は軽微であること、底版の軸心の高さ(EL 9.0m)でモデル化するより、堅壁のアーム長が長くなり、曲げ応力度の照査が保守的になると考えられることから、地表面(EL 8.5m)の高さでモデル化する。逆T擁壁の堅壁と底版の交差部においては、「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)」(以下「道路橋示方書」という。)(図3.5.1-14 参照)に準拠し、図3.5.1-15 に示すとおり、部材端から部材厚さの1/4 入った断面より内側を剛域とする。

曲げ応力度の照査実施範囲は、「道路橋示方書」及び「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)」(以下「コンクリート標準示方書(2002)」という。)(図3.5.1-16, 図3.5.1-17)に基づき、部材端までとする。

堅壁のせん断の照査実施範囲については、「コンクリート標準示方書(2002)」(図3.5.1-17)に記載されている柱の照査を準用し、底版の上面(部材端)までとする。底版のせん断の照査実施範囲については、「コンクリート標準示方書(2002)」に記載されているはりの照査を準用すると、堅壁前面(部材端)から部材高さ $D (=2m)$ の1/2 だけ離れた位置となるが、保守的に堅壁前面までとする。

剛域は、一般に次により定めることとする。

- ① ハンチがない場合には、部材端から部材厚さの 1/4 入った断面より内側を剛域とする（図-解 8.3.4 (a)参照）。
- ② 部材節点部において、部材の軸線に対して 25° 以上傾斜するハンチを有する場合には、部材厚さが 1.5 倍となる断面より内部を剛域とする。ただし、ハンチの傾斜が 60° 以上の場合は、ハンチの起点から部材厚さの 1/4 入った断面より内部を剛域と考えるものとする（図-解 8.3.4 (b)参照）。

ただし、地震時保有水平耐力法による照査では、耐震設計編 10.8 に従ってモデル化するものとする。

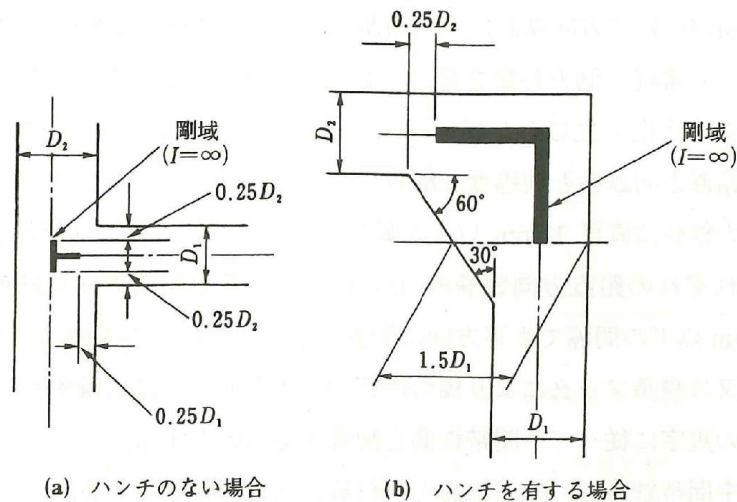


図-解 8.3.4 剛域の取り方

図 3.5.1-14 剛域の設定（「道路橋示方書」抜粋）

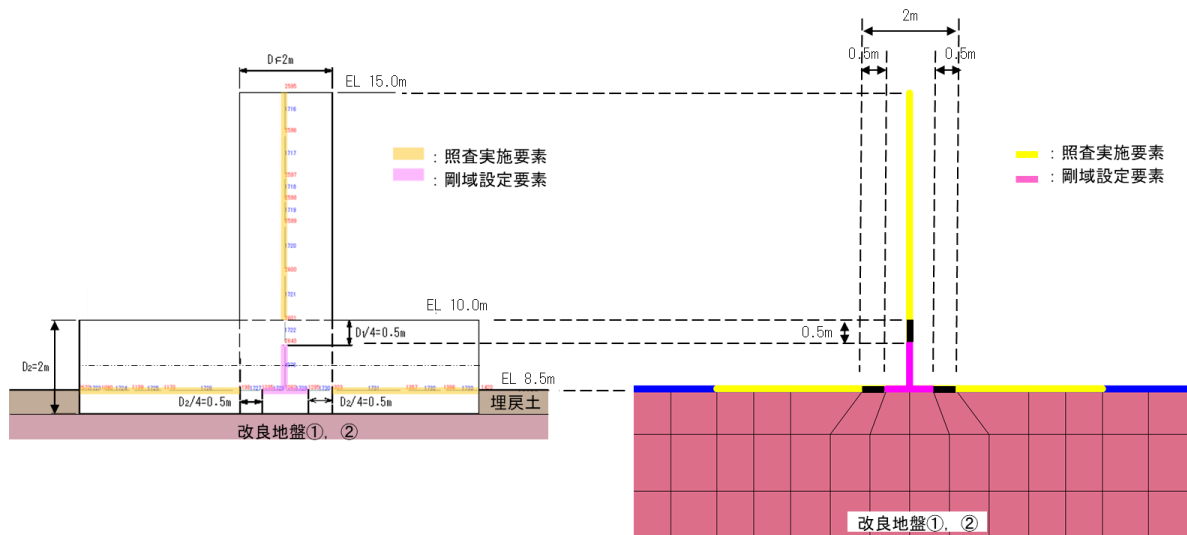


図 3.5.1-15 剛域設定の概念図及び照査範囲

5) ラーメン部材節点部の設計曲げモーメントは、図-8.3.2のとおりとする。

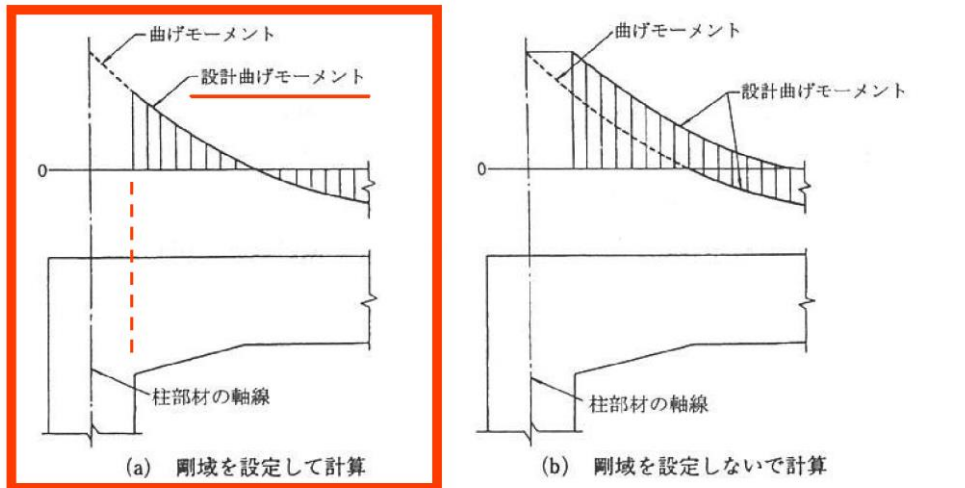


図-8.3.2 ラーメン部材節点部の設計曲げモーメント

図 3.5.1-16 照査に用いる断面力の算定位置の根拠（「道路橋示方書」抜粋）

(5) 部材端の断面の検討に用いるせん断力は、柱に対してははりの上下面におけるせん断力とし、はりに対しては柱前面から柱前面断面の部材高さの 1/2 だけ離れた位置のせん断力とする。ただし、断面計算において、ハンチは 1:3 より緩やかな部分を有効とする。

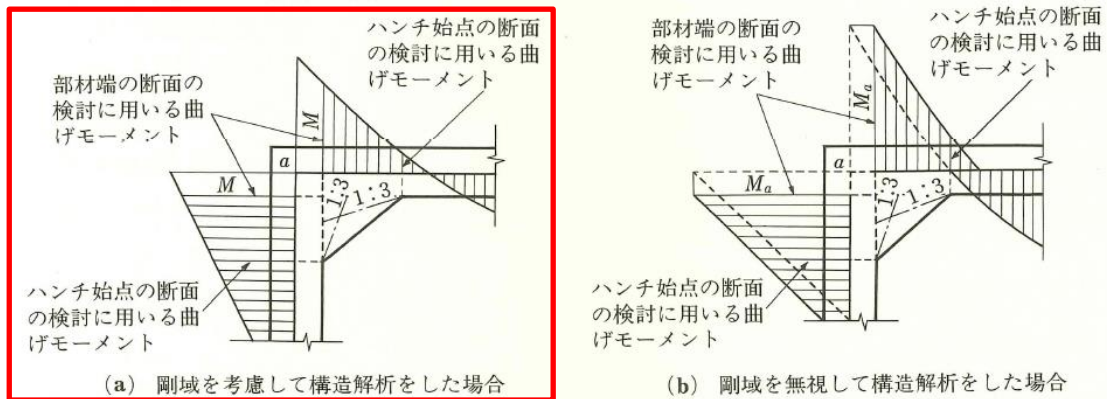


図 12.3.1 部材端の断面の検討に用いる曲げモーメント

図 3.5.1-17 照査に用いる断面力の算定位置の根拠（「コンクリート標準示方書(2002)」抜粋）

グラウンドアンカは、非線形ばね及びMPC（多点拘束）でモデル化する。グラウンドアンカの各部位のモデル化方法について表 3.5.1-1 及び図 3.5.1-18 に示す。モデル化の妥当性の検証の詳細については、「（参考資料1）グラウンドアンカの実態に即したモデル化、物性値及び許容限界の設定方法」に示す。

表 3.5.1-1 グラウンドアンカのモデル化方法及びその考え方

部位	特徴及び役割	モデル化方法	モデル化の考え方
頭部	鋼製のアンカーヘッド、ジョイントプレート及び支圧板で構成され、慣性力等に伴う逆T擁壁からの力を引張力として自由長部に伝達させるための部分。	節点共有	逆T擁壁の底版（梁要素）の接点とばね要素の端部接点を拘束することで力が伝達できるようモデル化した。
自由長部 （=引張部）	PC鋼線を組み立てたテンドンで構成され、テンドンの伸縮により、頭部からの引張力を拘束長部に伝達する部分。 施工時にテンドンに初期緊張力を与えることで、頭部及び拘束長部に常時、引張力が作用する。 地震時は、慣性力による逆T擁壁からの力が伝達し、テンドンが縮むとアンカー力は減少し、テンドンが伸びるとアンカー力は増加する。	非線形ばね	左記の自由長部の挙動（特に初期緊張力）を表現できる「非線形ばね要素」でモデル化した。
拘束長部 （アンカー体）	グラウト注入によりテンドンが堅硬な岩盤に定着・一体化されて造成され、自由長部からの引張力を地盤との摩擦抵抗もしくは支圧抵抗によって地盤に伝達する抵抗部分。	MPC （多点拘束）	岩盤と一体挙動するように、「MPC（多点拘束）」によりモデル化し、非線形ばねとの節点とその他の節点の鉛直方向の変位が拘束され、同様の挙動するように設定した。

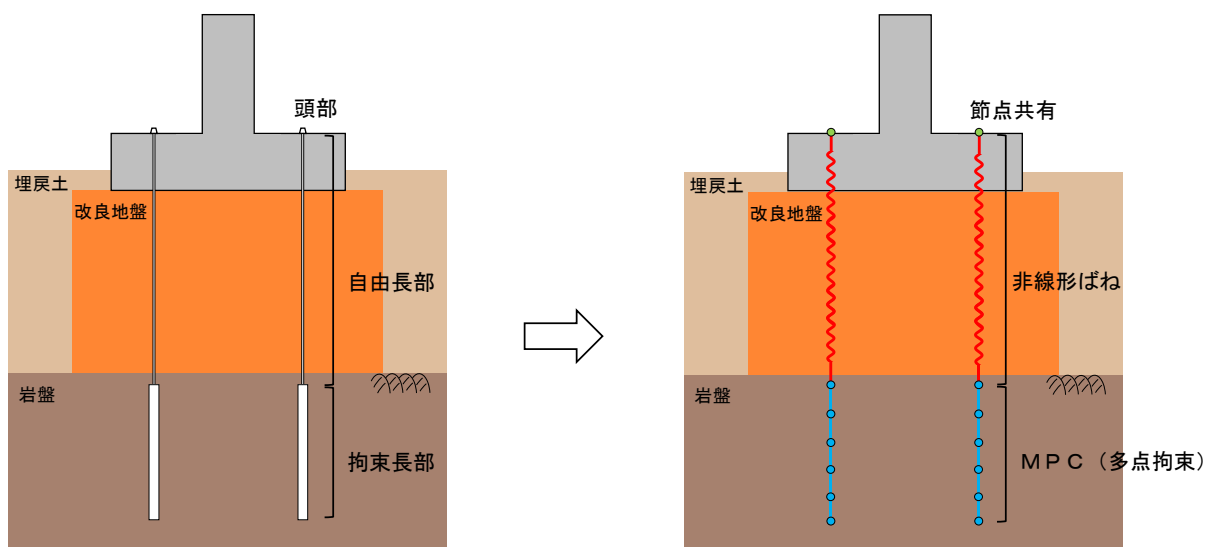


図 3.5.1-18 モデル化概念図

また、モデル化したグラウンドアンカの緊張力は以下の図 3.5.1-19 のとおり与えている。

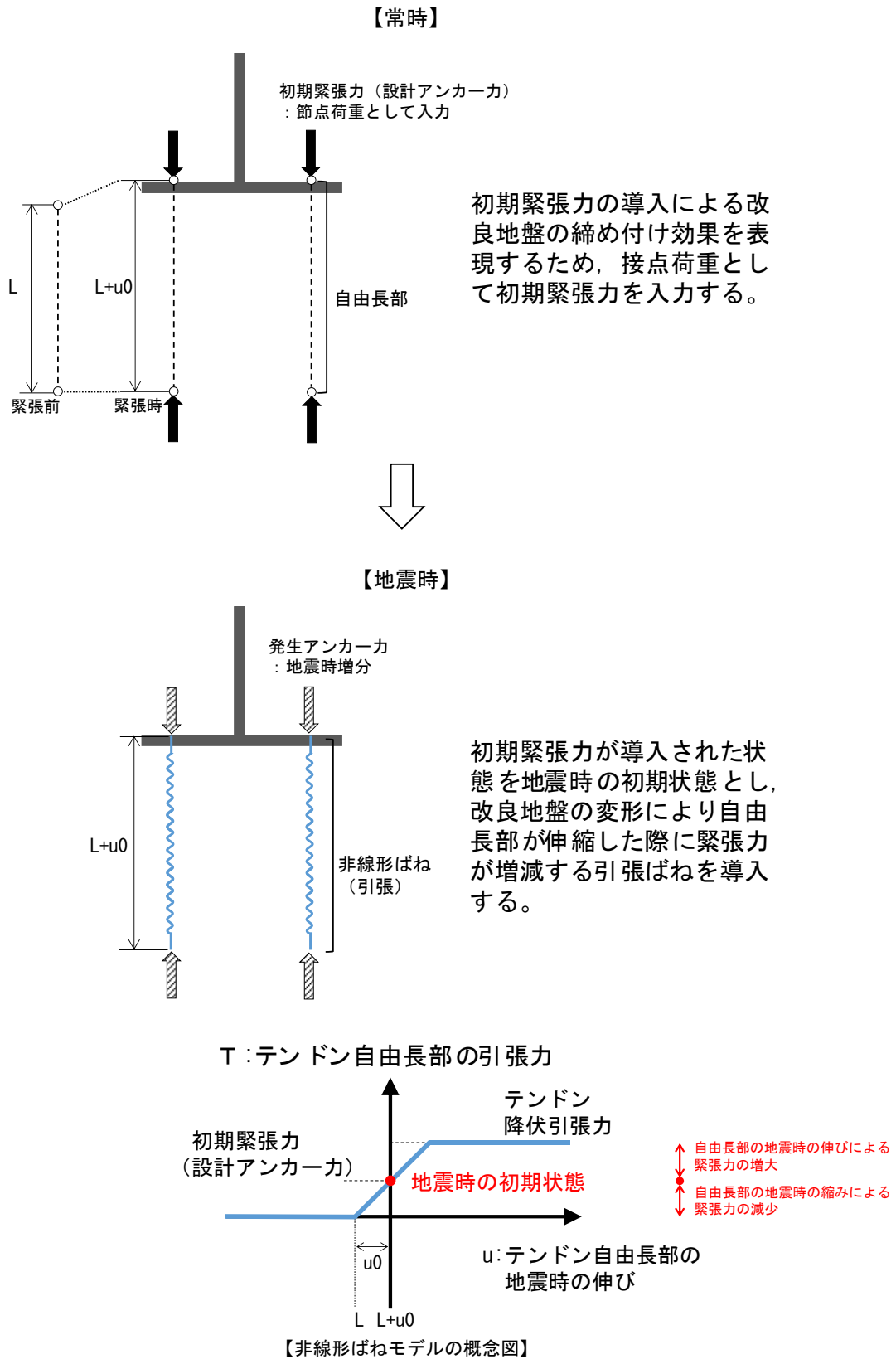


図 3.5.1-19 モデル化したグラウンドアンカの緊張力

(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。⑤-⑤断面は、東西方向の断面であるため、速度層を水平成層でモデル化する。

埋戻土（海底堆積物及び崖錐堆積物を含む）、基礎捨石、被覆石、捨石及び改良地盤は、地盤の非線形性を考慮するためマルチスプリング要素でモデル化し、地下水位以深の要素は間隙水要素を重ねて定義する。動的変形特性は双曲線モデル（H-Dモデル）を用いる。そのうち、埋戻土は、液状化パラメータを設定することで、地震時の有効応力の変化に応じた非線形せん断応力～せん断ひずみ関係を考慮する。

施設護岸は、線形の平面ひずみ要素でモデル化する。また、施設護岸の上部に位置する埋戻土（施設護岸背面）については、「港湾の施設の技術上の基準・同解析（国土交通省港湾局，2007年版）」（以下「港湾基準」という。）（図3.5.1-20参照）に準拠し、施設護岸の一部として、線形の平面ひずみ要素でモデル化し、剛性は施設護岸と同じ値を用い、背後の埋戻土及び改良地盤との境界にジョイント要素を設定する。

施設護岸、基礎捨石、被覆石及び捨石は、役割に期待しないが、解析モデルに取り込み、防波壁への波及的影響を考慮する。不確かさケースとして、施設護岸等が地震により損壊し、施設護岸等が損傷した場合の耐震評価を行う（「4.7 施設護岸等の損傷による不確かさの検討」参照）。

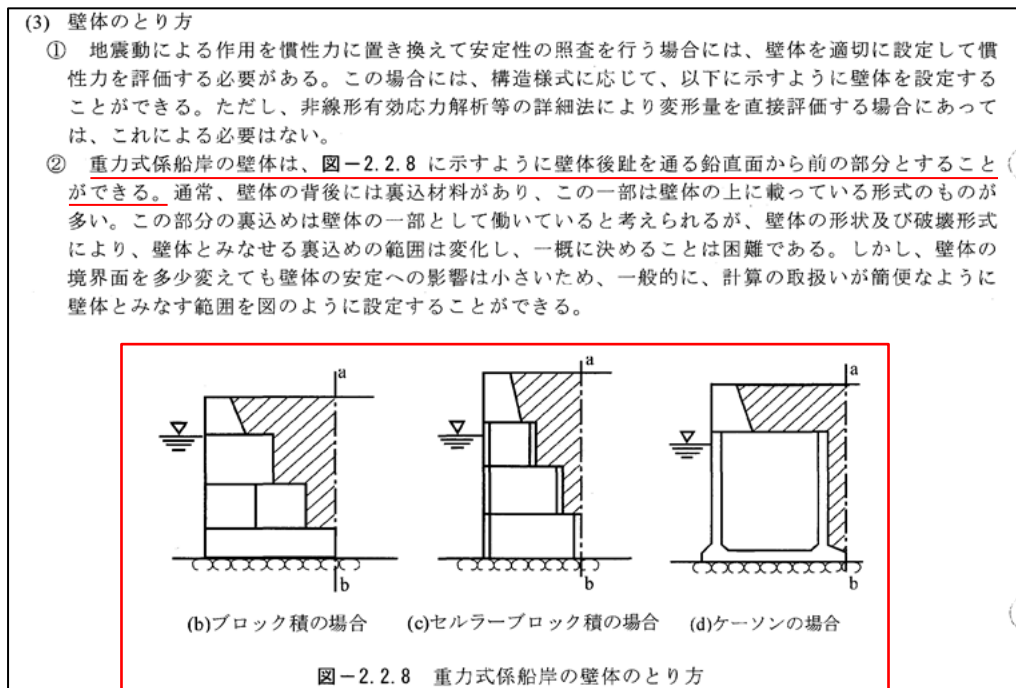


図 3.5.1-20 埋戻土（施設護岸背面）のモデル化について（「港湾基準」抜粋）

(5) ジョイント要素の設定

地盤と構造体の接合面の法線方向に対して地震時の引張荷重を与えると、地盤は構造体から剥離する特徴がある。また、地盤と構造体の接合面のせん断方向に対して地震時のせん断荷重を与え、せん断ひずみを増加させていくと、地盤及び構造体のせん断応力は上限に達し、それ以上はせん断応力が増加しなくなる特徴がある。

時刻歴応答解析では、地震時における実挙動を正確に把握するために、地盤と構造体の接合面にジョイント要素を設定し、地震時の地盤と構造体の接合面における剥離及びすべりを考慮する。

ジョイント要素は、地盤と構造体の接合面で法線方向及びせん断方向に対して設定する。法線方向については、常時状態以上の引張荷重が生じた場合、剛性及び応力をゼロとし、剥離を考慮する。せん断方向については、地盤と構造体の接合面におけるせん断抵抗力以上のせん断荷重が生じた場合、せん断剛性をゼロとし、すべりを考慮する。

せん断強度 τ_f は次式の Mohr-Coulomb 式により規定される。

鉛直方向のジョイント要素の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、「港湾基準」(図 3.5.1-21 参照) に準拠し、 $c=0$ 、 $\phi=15^\circ$ に設定する。

水平方向のジョイント要素の粘着力 c 及び内部摩擦角 ϕ は、「港湾構造物設計事例集(沿岸技術研究センター、平成 19 年 3 月)」(以下「港湾構造物設計事例集」という。)(図 3.5.1-22 参照)を参考に、静止摩擦係数 μ から、 $c=0$ 、 $\phi=\tan^{-1}(\mu)$ より設定する。静止摩擦係数 μ の値は、「港湾基準」(図 3.5.1-23 及び図 3.5.1-24 参照) に準拠し、隣り合う地盤等に応じた静止摩擦係数を用いる。

ジョイント要素の粘着力及び内部摩擦角を表 3.5.1-2 に、施設護岸断面を図 3.5.1-25 に、ジョイント要素の配置を図 3.5.1-26 に示す。

$$\tau_f = c + \sigma' \tan \phi$$

ここで、

τ_f : せん断強度

c : 粘着力

ϕ : 内部摩擦角

1. 3 地震時土圧

1. 3. 1 砂質土の土圧

構造物の壁面に作用する地震時土圧及び崩壊面が水平面と成す角度は、一般的に次に掲げるところによって算定する。

(1) 主働土圧及び崩壊面が水平面と成す角度

$$p_w = K_w \left[\sum \gamma h_i + \frac{\omega \cos \psi}{\cos(\psi - \beta)} \right] \cos \psi \quad (1.3.1)$$

$$\cot(\zeta_i - \beta) = -\tan(\phi_i + \delta + \psi - \beta) + \sec(\phi_i + \delta + \psi - \beta) \sqrt{\frac{\cos(\psi + \delta + \theta) \sin(\phi_i + \delta)}{\cos(\psi - \beta) \sin(\phi_i - \beta - \theta)}} \quad (1.3.2)$$

この場合において、

$$K_w = \frac{\cos^2(\phi_i - \psi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \psi \cos(\delta + \psi + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi_i + \delta) \sin(\phi_i - \beta - \theta)}{\cos(\delta + \psi + \theta) \cos(\psi - \beta)}} \right]^2}$$

(2) 受働土圧及び崩壊面が水平面と成す角度

$$p_w = K_w \left[\sum \gamma h_i + \frac{\omega \cos \psi}{\cos(\psi - \beta)} \right] \cos \psi \quad (1.3.3)$$

$$\cot(\zeta_i - \beta) = \tan(\phi_i - \delta - \psi + \beta) + \sec(\phi_i - \delta - \psi + \beta) \sqrt{\frac{\cos(\psi + \delta - \theta) \sin(\phi_i - \delta)}{\cos(\psi - \beta) \sin(\phi_i + \beta - \theta)}} \quad (1.3.4)$$

この場合において、

$$K_w = \frac{\cos^2(\phi_i + \psi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \psi \cos(\delta + \psi - \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi_i - \delta) \sin(\phi_i + \beta - \theta)}{\cos(\delta + \psi - \theta) \cos(\psi - \beta)}} \right]^2}$$

ここに、 p_w 、 p_{pw} 、 K_w 、 K_{pw} 、 ζ_i 、 ω 、 γ 、 h_i 、 ψ 、 β 、 δ 及び ϕ_i は、1. 2 永続状態における土圧に準じて、1. 2. 1 砂質土の土圧の式(1.2.1)～(1.2.4)と同じ数値を表すものとする。また、 θ は次の数値を表すものとする。

θ : 次の(a)又は(b)で表される地震合成角 (°)

(a) $\theta = \tan^{-1} k$

(b) $\theta = \tan^{-1} k'$

ここで、 k 及び k' は、それぞれ次の数値を表すものとする。

k : 震度

k' : 見掛けの震度

(3) 見掛けの震度は、1. 3. 3 見掛けの震度による。

(4) 地震時土圧は、物部¹⁾・岡部²⁾が提案した理論に基づいたものである。

(5) 壁面摩擦角

一般に、±15°以下とする。裏込材のせん断抵抗角 ψ の1/2程度を目安とすることができる。

(6) 残留水位以下の土圧

一般的に、残留水位以上においては空気中における震度を用いて土圧分布を求め、残留水位以下においては各境界面において1. 3. 3 見掛けの震度を用いて土圧分布を求める。

(7) 土圧係数等

土圧係数と崩壊角の算定図を図-1.3.1に示す。

(8) 上記土圧式は、土と間隙水が一体となって運動すると仮定しており、液状化した土には適用できない。その場合には別途、動的有効応力解析又は模型実験などで、地盤と構造物の地震時安定性を評価すべきである。

図 3.5.1-21 ジョイント要素（鉛直方向）の物性値の設定根拠（「港湾基準」抜粋）

よって、

$$\phi_{sp}^{\tau_f} = \tan^{-1}(0.838)$$

$$= 40(^{\circ})$$

⑧ケーソン
 図-1.54 にケーソン周辺のモデル化を示す。ケーソンのモデル化は、ケーソン本体、上部コンクリート、フーチング、ケーソン拡張部（陸側フーチング上部地盤）に分けてモデル化した。陸側フーチング上部の裏込石および裏埋土地盤は、剛性をケーソン本体と同じ値を用いて、単位体積重量は裏込石および裏埋土地盤の値を用いる⁹⁾。表-1.63 にケーソンの入力パラメータを示す。

⑨ジョイント要素
 ケーソン要素と基礎捨石および裏込石との間に生じる滑動と剥離はジョイント要素によりモデル化する⁹⁾。ジョイント要素は、圧縮側では垂直方向接線剛性 K_n に応じた応力を負担する。せん断方向（滑り方向）は、せん断応力がせん断強度に達するまではせん断方向接線剛性 K_s に応じた力を負担する。せん断強度 τ_f は垂直方向の有効拘束

圧 σ_n' に基づき式(1.62)より求める。剥離状態ではせん断強度は0となる。

$$\tau_f = C_f + \sigma_n' \tan \phi_f \quad (1.62)$$

よって、本事例のジョイント要素のせん断強度に関する定数は以下のとおり設定できる。まず、ケーソン底面と捨石の間の摩擦係数は摩擦増大マットが敷設されていないので $\mu=0.6$ と設定して、摩擦角 ϕ_f は $\tan^{-1}(0.6)=31^{\circ}$ を用いる。また、ケーソン背面と裏込石の間の摩擦角は $\phi_f=15^{\circ}$ を用いる。

・ジョイント要素のレーレー減衰の与え方
 FLIP 研究会では、ジョイント要素のレーレー減衰の与え方に関する検討が実施された²⁰⁾。従来の解析では、レーレー減衰行列の組立の際に、ジョイント要素の初期接線剛性 K_s や K_n に全体系の剛性比例係数 β を乗じたものを取り込んでいた(従来型)。 K_s や K_n の値は物理的な根拠に基づいて設定するのではなく、周囲の土の変形よりも大きな変形がジョイント要素の線形部分で生じることないように、比較的大きな値が指定される。この

図 3.5.1-22 ジョイント要素（水平方向）の物性値の設定根拠（「港湾構造物設計事例集」抜粋）

9 摩擦係数

(1) 施設の滑動に対する摩擦抵抗力の算定に用いる材料の摩擦係数は、静止摩擦係数とすることができる。この場合において、材料の摩擦係数は、対象となる施設の特性及び材料の特性等を勘案して適切に設定することが望ましい。

(2) 港湾の施設の性能照査に用いる静止摩擦係数の特性値は、一般に表-9.1 に掲げる数値を用いてもよい。同一条件のもとで繰り返し摩擦係数を実測する場合、一般にばらつきが多いことに注意が必要である。表-9.1 で示した値は、以前からなかば経験的に用いられてきたものであり、ここに明記していない場合については、実験を行って定めることが望ましい。

(3) 表-9.1 に示した値は、施設の滑動に対する安定性の照査に用いる場合の値であり、杭の支持力計算に用いる杭周面と土との間の摩擦係数、傾斜地の安定性の照査に用いる摩擦係数、斜路によるケーソンの進水計算に用いる摩擦係数、土圧計算に用いる壁面摩擦角等に対しては適用できない。なお、表-9.1 に示した値は、静的な作用が生じるときの静止摩擦係数であるが、地震動作用時のような動的な作用が生じる場合においては、適切な資料が皆無であるため、本数値を用いているのが実情である。

コンクリートとコンクリート	0.5
コンクリートと岩盤	0.5
水中コンクリートと岩盤	0.7~0.8
コンクリートと捨石	0.6
捨石と捨石	0.8
木材と木材	0.2(湿)~0.5(乾)
摩擦増大マットと捨石	0.75

注1) 水中コンクリートと岩盤の場合、標準的な条件のもとでは、0.8 とすることができる。ただし、基岩がぜい弱若しくは亀裂が多い場合、基岩を覆っている砂の移動が激しい場所等では、それらの条件に応じて0.7程度まで低減させることができる。

注2) セルラーブロックの性能照査における摩擦係数は、第4編第5章2.2 重力式係船岸を参照することができる。

図 3.5.1-23 ジョイント要素（水平方向）の物性値設定に用いる静止摩擦係数（「港湾基準」抜粋）

(8) セルラーブロックの性能照査

- ① 壁体が底版のないセルラーブロックで構成されている重力式係船岸は、他の重力式係船岸と異なり、中詰めにより壁体との一体性を保持する構造となっている。このため、他の重力式係船岸の安定検討に加えて、転倒に対して中詰めを考慮した検討を行うべきである。
- ② セルラーブロックの安定照査式
セルラーブロックの中詰めを考慮した転倒に対する検討は、次式によって行うことができる。

$$aW_d - bP_B + cP_V + M_f \geq \gamma_a(dP_H + eP_w + gP_{dw} + hP_F) \quad (2.2.19)$$

ここに、

- W : 壁体を構成する材料の重量 (kN/m)
- P_B : 壁体に作用する浮力 (kN/m)
- P_V : 壁体に作用する鉛直土圧合力 (kN/m)
- M_f : 中詰めによる壁面摩擦によって生じる抵抗モーメント (kN・m/m)
- P_H : 壁体に作用する水平土圧合力 (kN/m)
- P_w : 壁体に作用する残留水圧合力 (kN/m)
- P_{dw} : 堤体に作用する動水圧合力 (kN/m) (地震動作用時の場合のみ)
- P_F : 堤体に作用する慣性力 (kN/m) (地震動作用時の場合のみ)
- a : 壁体重量合力の作用線から堤体前趾までの距離 (m)
- b : 浮力の作用線から壁体前趾までの距離 (m)
- c : 鉛直土圧合力の作用線から壁体前趾までの距離 (m)
- d : 水平土圧合力の作用線から壁体底面までの距離 (m)
- e : 残留水圧合力の作用線から壁体底面までの距離 (m)
- g : 重力加速度 (m/s²)
- h : 動水圧合力の作用線から堤体底面までの距離 (m) (地震動作用時の場合のみ)
- γ_a : 構造解析係数

式中の設計用値は、式(2.2.9)及び以下の式(2.2.20)により算出することができる。

$$M_f = \gamma_M M_f \quad (2.2.20)$$

なお、ケーソンが海側と陸側の両側に長方形断面のフーチングを有する場合、浮力の設計用値 P_B は、式(2.2.12)に準じてよい。また、式中の壁体の重量の設計用値 W_d は、鉄筋コンクリートの重量 W_{RC} 、無筋コンクリートの重量 W_{NC} を用いて、次式により算定することができる。

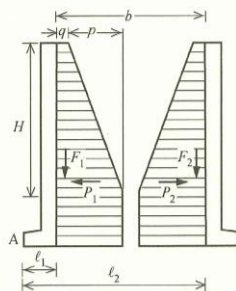
$$W_d = \sum \gamma_W W \quad (2.2.21)$$

③ 部分係数の値

セルラーブロックの性能照査に用いる標準的な部分係数の値は、表-2.2.2の転倒に関する部分係数を用いることができる。ただし、中詰めによる壁面摩擦によって生じる抵抗モーメント M_f の部分係数 γ_M については、中詰め砂の重量 W_{SAND} の部分係数 $\gamma_{W_{SAND}}$ と同じ値を用いてよい。

- ④ (耐力の設計用値) / (作用効果の設計用値) < 1 の場合は、作用による転倒モーメントが中詰めを除く全鉛直力及び中詰めによる壁面摩擦によって生じる抵抗モーメントより大きいことになり、中詰めを置いてセルラーブロックが抜け出すことになる。このような場合はセルラーブロックの重量を増すか、隔壁を設けるなどの対処が必要である。
- ⑤ 中詰めによる壁面摩擦力 F_1, F_2 によって生じる抵抗モーメントの特性値 M_f は次のようにして求め

る。図-2.2.14において、A点に対するモーメントは $\ell_1 F_1 + \ell_2 F_2$ となる。ここで、 $F_1 = P_1 f$ 、 $F_2 = P_2 f$ であり、 f の値としては中詰め材料と壁面との摩擦係数をとる。(P_1, P_2 はそれぞれ中詰土圧である。) 壁面に作用する中詰土圧の考え方については、本編第2章1.4セルラーブロックに準じることができる。なお、これと同様にセルラーブロックの隔壁に生じる摩擦抵抗も考慮することが望ましい。



- q : 上方から中詰に伝達される鉛直荷重による土圧強度
- H : $H=b$ とする
- p : 中詰材による土圧強度
- $p = KH\gamma'$
- K : 土圧係数
- γ' : 中詰材の水中単位体積重量
- P_1, P_2 : 土圧合力

図-2.2.14 壁面摩擦抵抗の求め方

- ⑥ 底版のないセルラーブロックの滑動の性能照査に用いる摩擦係数の特性値は、厳密には鉄筋コンクリート部底版の受ける反力については0.6、中詰石底部の受ける反力については0.8を用いて計算すべきであるが、便宜的に0.7としてもよい。

図 3.5.1-24 ジョイント要素 (水平方向) の物性値設定に用いる静止摩擦係数 (「港湾基準」抜粋)

表 3.5.1-2 ジョイント要素の粘着力と内部摩擦力

		接合条件		粘着力 c (N/mm ²)	内部 摩擦角 φ (°)	備考
		材料 1	材料 2			
鉛直方向	境界 1	改良地盤①, ②	埋戻土	0	15.00	構造物の壁面摩擦角の設定方法を準用し, c=0, φ=15° と設定
			施設護岸			
			埋戻土 (施設護岸背面)			
			逆 T 擁壁			
		改良地盤③	埋戻土			
			施設護岸			
			基礎捨石			
			岩盤			
		埋戻土	埋戻土 (施設護岸背面)			
			施設護岸			
被覆石	施設護岸					
境界 2	逆 T 擁壁目地部		0	0	目地部であるため, 保守的にゼロと設定	
水平方向	境界 3	逆 T 擁壁	改良地盤①, ②	0	26.57	剛性の高い岩盤等の境界であるため, 「コンクリートとコンクリート」及び「コンクリートと岩盤」の静止摩擦係数 (μ=0.50) より, φ=tan ⁻¹ (μ)≒26.57°
		岩盤	改良地盤③			
		施設護岸上部工	セルラーブロック			
		セルラーブロック	セルラーブロック			
	境界 4	セルラーブロック	基礎捨石	0	34.99	セルラーブロック (栗石充填) と基礎捨石の境界 (図 3.5.1-25 参照) であるため, 「コンクリートと捨石」の摩擦係数 μ=0.60 と「捨石と捨石」の摩擦係数 μ=0.8 の平均値 (μ=0.70) より, φ=tan ⁻¹ (μ)≒34.99 (図 3.5.1-24 参照)
境界 5	施設護岸上部工	基礎捨石	0	30.96	施設護岸上部工(コンクリート)と基礎捨石が接する境界であるため, コンクリートと捨石の摩擦係数 (μ=0.60) より, φ=tan ⁻¹ (μ)≒30.96°	

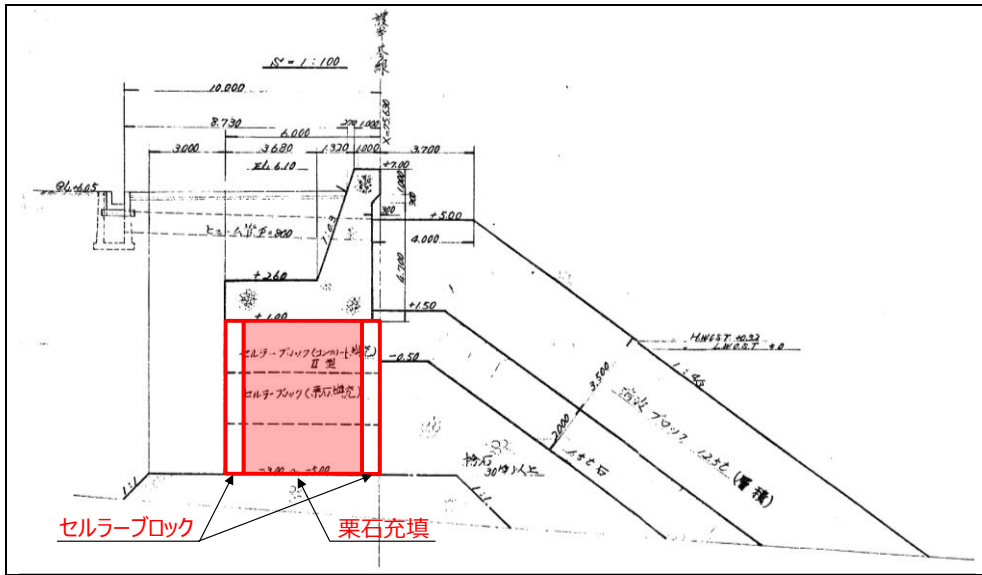
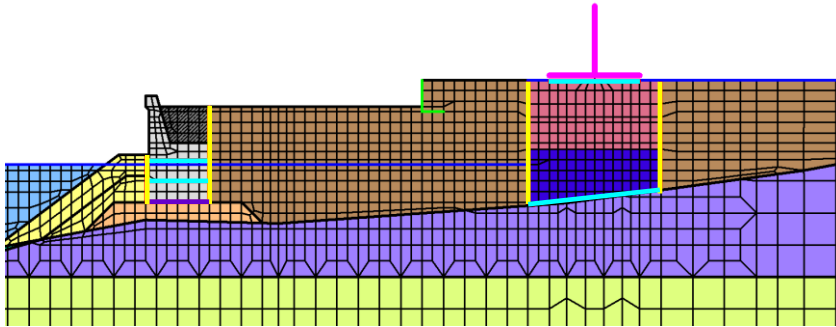


図 3.5.1-25 施設護岸断面図 (①-①断面)

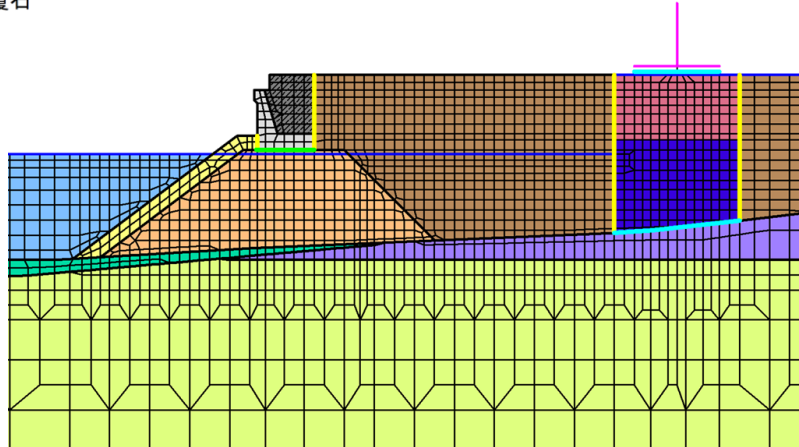
- : 岩盤 (第③速度層)
- : 岩盤 (第④速度層)
- : 埋戻土
- : 改良地盤①②
- : 改良地盤③
- : 被覆石
- : 基礎捨石
- : 護岸
- : 埋戻土 (施設護岸背面)
- : 海水
- : 防波壁
- : L型擁壁
- : 地下水面及び海水面
- : ジョイント要素(境界1)
- : ジョイント要素(境界3)
- : ジョイント要素(境界4)



項目		粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
鉛直方向	境界 1	0	15.0
水平方向	境界 3	0	26.57
	境界 4	0	34.99

図 3.5.1-26(1) ①-①断面におけるジョイント要素の配置図

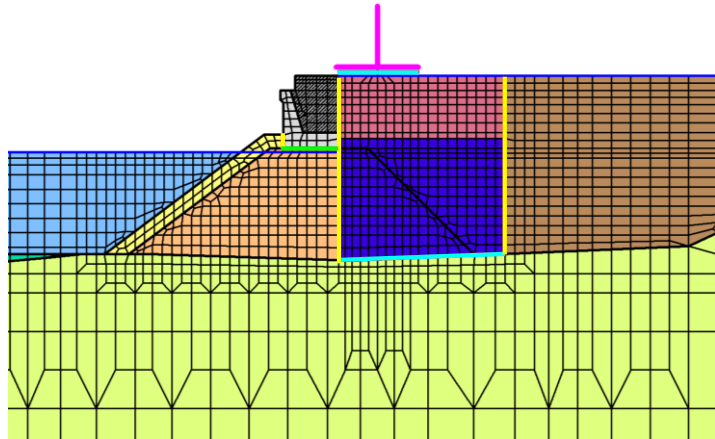
- : 岩盤 (第③速度層)
- : 岩盤 (第④速度層)
- : 埋戻土
- : 海底堆積物
- : 改良地盤①②
- : 改良地盤③
- : 被覆石
- : 基礎捨石
- : 護岸
- : 埋戻土 (施設護岸背面)
- : 海水
- : 防波壁
- : 地下水面及び海水面
- : ジョイント要素(境界1)
- : ジョイント要素(境界3)
- : ジョイント要素(境界5)



項目		粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ ($^{\circ}$)
鉛直方向	境界 1	0	15.0
水平方向	境界 3	0	26.57
	境界 5	0	30.96

図 3.5.1-26(2) ④-④断面におけるジョイント要素の配置図

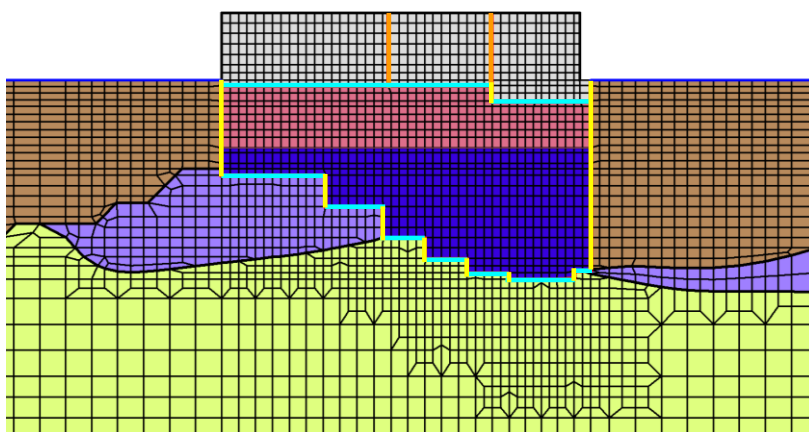
- : 岩盤 (第④速度層)
- : 埋戻土
- : 海底堆積物
- : 基礎捨石
- : 護岸
- : 埋戻土 (施設護岸背面)
- : 海水
- : 改良地盤①②
- : 改良地盤③
- : 被覆石
- : 防波壁
- : 地下水面及び海水面
- : ジョイント要素(境界1)
- : ジョイント要素(境界3)
- : ジョイント要素(境界5)



項目		粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ ($^{\circ}$)
鉛直方向	境界 1	0	15.0
水平方向	境界 3	0	26.57
	境界 5	0	30.96

図 3.5.1-26(3) ⑤-⑤断面におけるジョイント要素の配置図

- : 岩盤 (第③速度層) ■ : 改良地盤①② — : ジョイント要素(境界1)
- : 岩盤 (第④速度層) ■ : 改良地盤③ — : ジョイント要素(境界2)
- : 埋戻土 — : 地下水面 — : ジョイント要素(境界3)
- : 防波壁



項目		粘着力 c (N/mm^2)	内部摩擦角 ϕ ($^\circ$)
鉛直方向	境界 1	0	15.0
	境界 2	0	0
水平方向	境界 3	0	26.57

図 3.5.1-26(4) ⑦-⑦断面におけるジョイント要素の配置図

ジョイント要素のばね定数は、「港湾構造物設計事例集」を参考に、数値解析上、不安定な挙動を起こさない程度に周囲材料の剛性よりも十分に大きな値を設定する。表 3.5.1-3 にジョイント要素のばね定数を示す。

また、ジョイント要素の力学特性を図 3.5.1-27 に示す。

表 3.5.1-3 ジョイント要素のばね定数

項目	せん断剛性 k_s (kN/m^2)	圧縮剛性 k_n (kN/m^2)
境界 1, 3, 4, 5	1.0×10^6	1.0×10^6
境界 2	0*	1.0×10^6

注記*：せん断剛性を保守的にゼロに設定

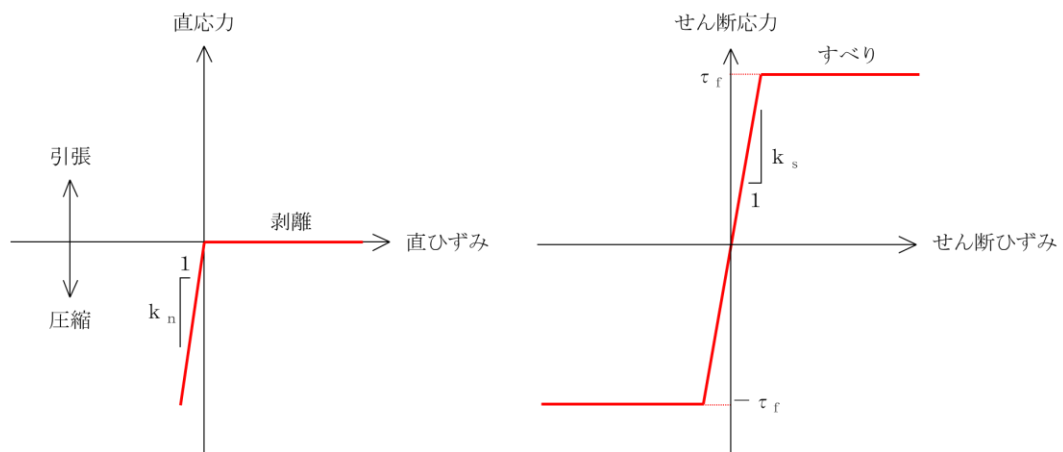


図 3.5.1-27 ジョイント要素の力学特性

3.5.2 使用材料及び材料の物性値

耐震評価に用いる材料定数は、適用基準類を参考に設定する。使用材料を表 3.5.2-1 に、材料の物性値を表 3.5.2-2 に、グラウンドアンカの解析用物性値を表 3.5.2-3 に示す。また、グラウンドアンカにおける非線形ばねモデルの概念図を図 3.5.2-1 に示す。

なお、岩盤上面深さが 17.9m と深く、逆 T 擁壁の地震応答加速度等が厳しくなると考えられる⑤-⑤断面のモデル化にあたっては、更なる保守性を考慮するため、図 3.5.2-2 のとおり、岩盤上面深さが 18.5m とさらに深い⑤'-⑤'断面位置での地質断面図及びアンカー仕様を用いている。

⑤-⑤断面位置（エリア 5）のアンカー仕様は、⑤'-⑤'断面位置（エリア 7）に比べ、グラウンドアンカの自由長及びアンカー体長が短く、設計アンカー力が小さい仕様となっている。⑤-⑤断面位置（エリア 5）はアンカー体長が短いことにより許容アンカー力は小さくなるが、設計アンカー力が小さいことにより地震時の発生アンカー力も小さくなり、「1.8.2 (2) a. (b) 評価候補断面の整理」に記載のとおり、グラウンドアンカの照査値は両断面で同等になると考えられる。

しかしながら、照査値が 0.8 以上と厳しくなると想定されることから、念のためアンカー仕様による影響を確認することとし、「5.3 ⑤-⑤断面位置でのグラウンドアンカ仕様を反映した影響検討」において、⑤-⑤断面位置（エリア 5）のアンカー仕様を用いた解析モデルによる影響検討を実施する。

表 3.5.2-1 使用材料

材料		諸元
逆 T 擁壁	鉄筋	SD345
	コンクリート	設計基準強度：24N/mm ²
グラウンドアンカ		アンカー長：17.5m～30.0m, 極限引張力：2800kN, 降伏引張力：2400kN

表 3.5.2-2 材料の物性値

材料		単位体積重量 (kN/m ³)	ヤング係数 (N/mm ²)	ポアソン比
逆 T 擁壁	鉄筋コンクリート	24.0*	2.5×10 ⁴ *	0.2*

注記*：コンクリート標準示方書(2002)

表 3.5.2-3 グラウンドアンカの解析用物性値

		引張剛性 k (kN/m)	テンドン降伏 引張力 (kN)	設計アンカー力 (kN)	初期変位量 (mm)	
①-①断面	陸側(アンカー1本)	20493	2400 (アンカー1本) 4800 (アンカー2本)	1440	70	
	海側(アンカー2本)	40986		2880		
④-④断面	陸側(アンカー1本)	15567		1170	75	
	海側(アンカー2本)	31134		2340		
⑤-⑤断面	陸側(アンカー1本)	14064		1650	117	
	海側(アンカー2本)	28128		3300		
⑦-⑦断面*	77(アンカー3本)	44331		2400 (アンカー1本) 7200 (アンカー3本)	4950	112
	78(アンカー1本)	14412			1650	114
	79(アンカー3本)	42192			4950	117
	80(アンカー3本)	41199			3510	85
	81(アンカー3本)	42192			3510	83
	82(アンカー3本)	46701			3510	75
	83(アンカー3本)	57438	3510		61	
	84(アンカー3本)	68727	3510		51	
	85(アンカー3本)	77916	3510		45	
	86(アンカー3本)	71541	3510		49	
	87(アンカー3本)	71541	3510		49	

注記* : アンカー番号は図 3.5.2-3(2)に示すグラウンドアンカ位置

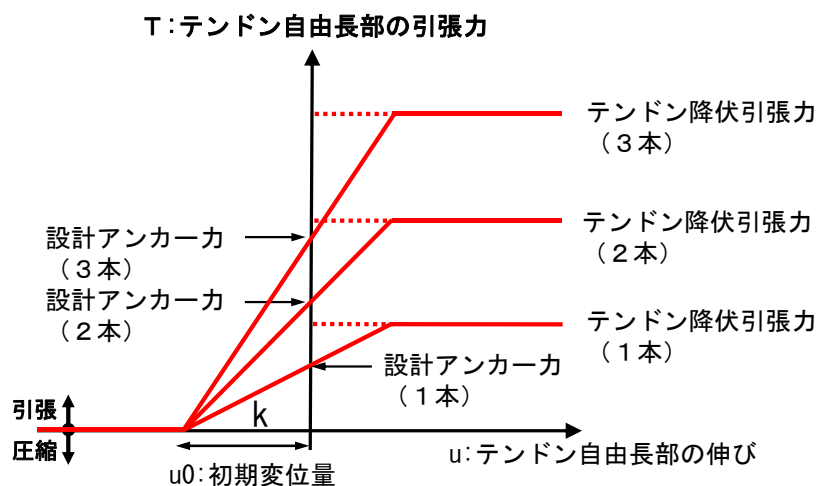
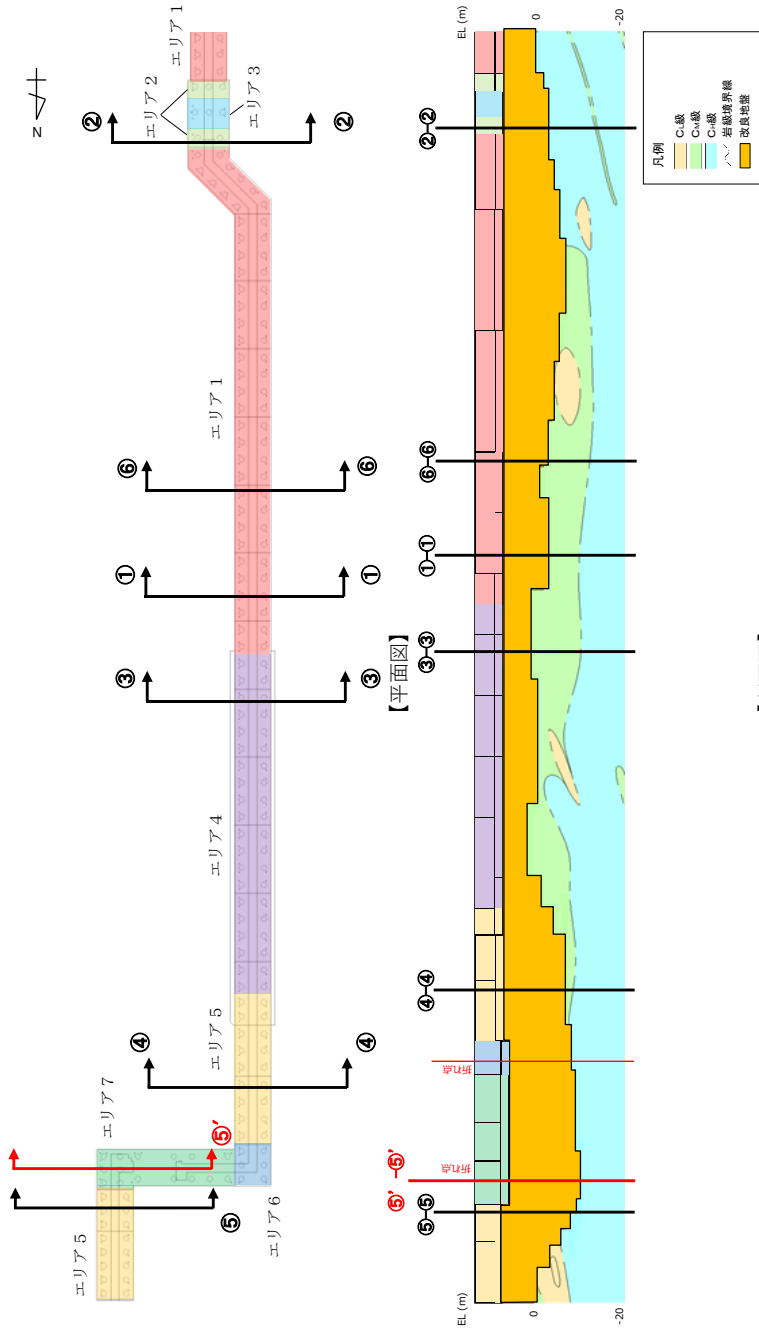


図 3.5.2-1 グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図

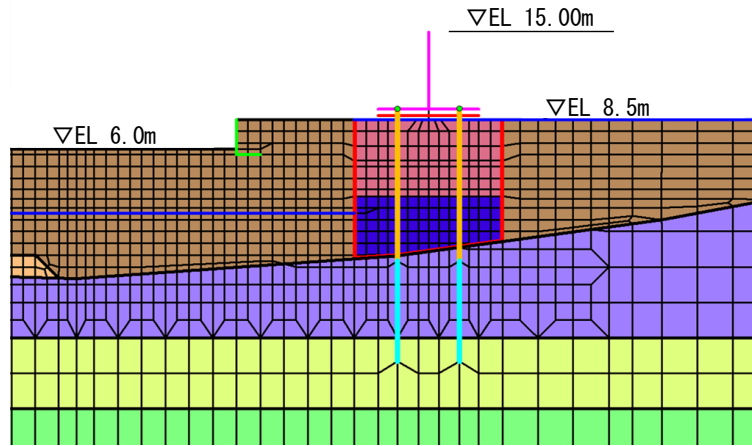


【断面図】

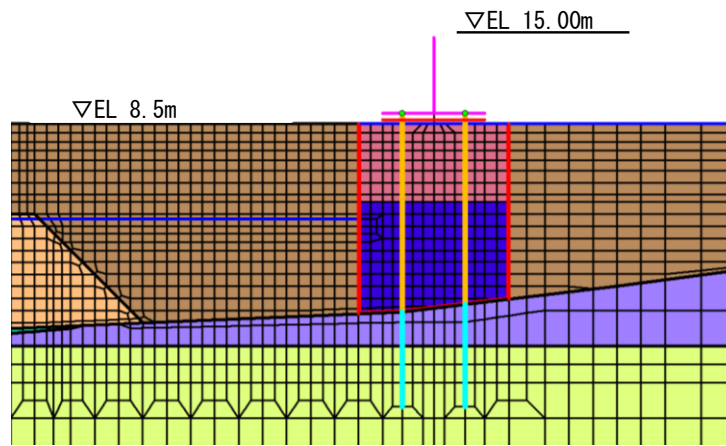
アンカー種別	粗孔径 (mm)	PC鋼φ (mm)	PC鋼本数 (本)	テンドン自由長* (mm)	アンカー体長 (テンドン拘束長) (mm)	テンドンの 極限引張力 (kN)	テンドンの 降伏引張力 (kN)	テンドンの 見かけの周長 (mm)	設計アンカー力 (kN)	許容アンカー力 (kN)	海側のグラウンド アンカー設置間隔 (mm)	設計アンカー力/ 許容アンカー力
エリア1				8000~18000	8500				1440	1764	2000	0.82
エリア2				11000~13500	10000				1700	2076	1650	0.82
エリア3				12500~13000	9000				1500	1868	1535	0.80
エリア4	135	15.2	11	7000~11500	8500	2800	2400	138.4	1360	1764	2000	0.77
エリア5				10000~20500	7000				1170	1453	1625 (北側) 2000 (南側)	0.81
エリア6				17000~18500	9500				1550	1972	1650	0.79
エリア7				17500~20000	10000				1650	2076	1650	0.79

注記*：テンドン自由頂部はアンカー体が岩盤に確実に定着するよう岩盤上面深さに合わせて長さを調整している。

図 3.5.2-2 ⑤-⑤断面及び⑤'-⑤' 断面の位置図

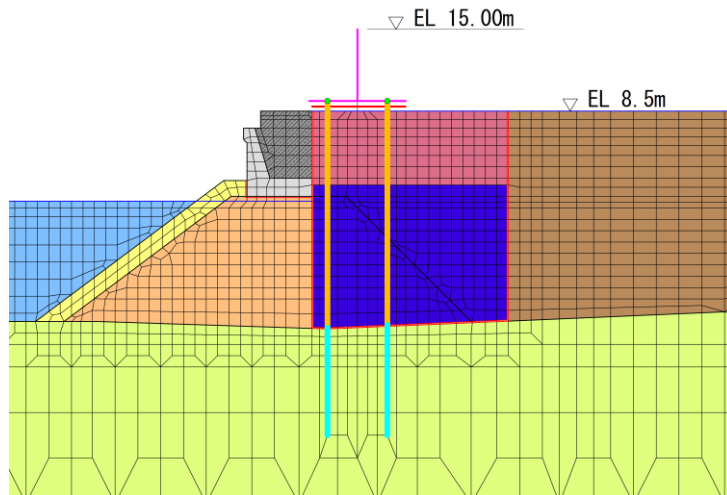


【①-①断面】

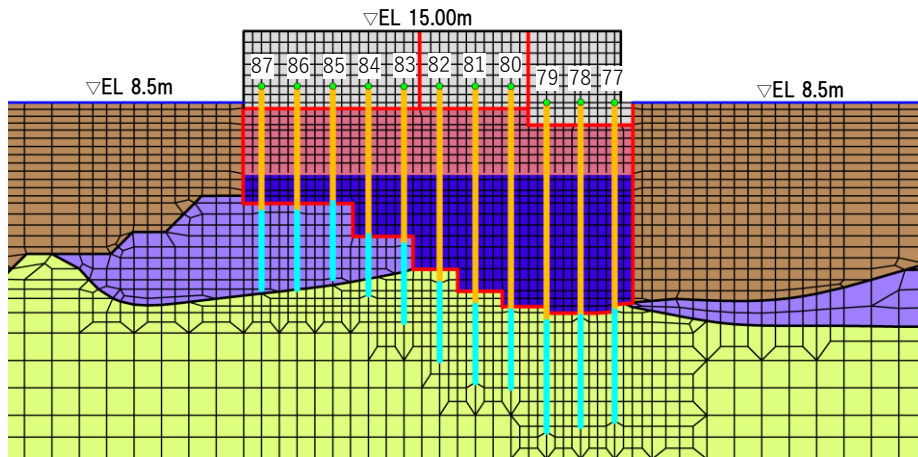


【④-④断面】

図 3.5.2-3(1) 各解析モデルにおけるグラウンドアンカ位置



【⑤－⑤断面】



【⑦－⑦断面】

図 3.5.2-3(2) 各解析モデルにおけるグラウンドアンカ位置

3.5.3 地盤の物性値

地盤の物性値は、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。地盤の物性値を表3.5.3-2～表3.5.3-7に示す。なお、改良地盤①～③の品質確認試験結果を踏まえた影響については、実施工において設計を上回るように施工しており、改良地盤①～③のS波速度が大きくなることでせん断弾性係数が大きくなり、逆T擁壁にかかる慣性力への影響が懸念されるが、以下の理由から逆T擁壁の照査値に与える影響が軽微であると判断した。

・「補足-027-08 浸水防護施設の耐震性に関する説明書の補足説明資料2.1.5 防波壁（波返重力擁壁）の耐震性についての計算書に関する補足説明」の「6. 防波壁（波返重力擁壁）の耐震性に関する影響検討」において、改良地盤⑥のP S 検層の結果を踏まえた物性値による耐震評価を実施した結果、重力擁壁の照査値が小さくなることを確認している。

・表3.5.3-1に示すとおり、改良地盤⑥と改良地盤①～③の解析用のS波速度及び試験結果の平均値の比率は、おおむね同様の値を示している。

表 3.5.3-1 解析用物性値と試験の平均値との比較（S波速度）

改良地盤	(1) 解析用物性値 (m/s)	(2) 試験の平均値 (m/s)	比率((2)/(1))
改良地盤⑥	500	895	1.79
改良地盤①, ②	590	1001	1.70
改良地盤③	670	1147	1.71

表 3.5.3-2 地盤の解析用物性値（有効応力解析，液状化検討対象層）

		埋戻土	
物理特性	密度 ρ^{*1} (g/cm ³)	2.11 【2.00】	
	間隙率 n	0.45	
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma}^{*2} (kN/m ²)	154600	
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.00	
	ポアソン比 ν	0.33	
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095	
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	0	
	内部摩擦角 ϕ'^{*2} (°)	40.17	
液状化特性	変相角 ϕ_p (°)	28	
	液状化パラメータ ^{*2}	S1	0.005
		w1	4.080
		P1	0.500
		P2	0.990
		C1	2.006

注記*1：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を示す。

*2：動せん断弾性係数，内部摩擦角及び液状化パラメータは代表的な数値を示す。

*3：海底堆積物は，埋戻土の物性を流用し，液状化影響を考慮する。

表 3.5.3-3 地盤の解析用物性値（有効応力解析，非液化化層）

		基礎捨石及び被覆石
物理特性	密度 ρ^{*1} (g/cm ³)	2.04 【1.84】
	間隙率 n	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma}^{*2} (kN/m ²)	180000
	基準平均有効拘束圧 $\sigma_{ma}'^{*2}$ (kN/m ²)	98.00
	ポアソン比 ν	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.24
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	20
	内部摩擦角 ϕ' (°)	35.00

注記*1：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を示す。

*2：動せん断弾性係数及び基準平均有効拘束圧は代表的な数値を示す。

表 3.5.3-4 地盤の解析用物性値（有効応力解析，改良地盤）

対象施設		防波壁	
		逆T擁壁	
種別（工法，地盤種別）		改良地盤①，②	改良地盤③
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	2.11	2.11
	間隙率 n	0.45	0.45
変形特性	動せん断弾性係数 G_{ma}^* (kN/m ²)	765800	956500
	基準平均有効拘束圧 σ_{ma}' (kN/m ²)	98.00	98.00
	ポアソン比 ν	0.33	0.33
	減衰定数の上限値 h_{max}	0.095	0.095
強度特性	粘着力 c (kN/m ²)	628	1140
	内部摩擦角 ϕ' (°)	38.00	40.54

注：動せん断弾性係数は代表的な数値を示す。

表 3.5.3-5 地盤の解析用物性値（有効応力解析，埋戻土（施設護岸背面））

対象施設	防波壁 (逆 T 擁壁)
密度 ρ^{*1} (g/cm ³)	2.11 【2.00】
ヤング係数 E^{*2} (N/mm ²)	2.5×10^4
ポアソン比 ν	0.20

注記*1：括弧内【】の数字は地下水位以浅の数値を表す。

*2：「港湾基準」を踏まえ、線形の平面ひずみ要素として、ヤング係数 $2.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ を設定。

表 3.5.3-6 改良地盤①～③の残留強度及び引張強度

地盤	残留強度*		引張強度*
	c' (N/mm ²)	ϕ' (°)	σ_t (N/mm ²)
改良地盤①, ②	0.091	46.08	0.258
改良地盤③	0.205	42.71	0.495

注記*：残留強度及び引張強度の設定は「(参考資料3)改良地盤①～③の物性値の設定方法について」に従い設定する。

表 3.5.3-7 地盤の解析用物性値 (有効応力解析, 3号機エリア)

	岩盤② 速度層	岩盤③ 速度層	岩盤④ 速度層	岩盤⑤ 速度層
P波速度 V_p (m/s)	1710	2270	3240	3860
S波速度 V_s (m/s)	620	960	1520	1900
単位体積重量 γ (kN/m ³)	23.3	23.4	24.5	25.2
動ポアソン比 ν_d	0.42	0.39	0.36	0.34
減衰定数 h	0.030	0.030	0.030	0.030
弾性係数 E (kN/m ²)	2601000	6118000	15690000	24860000

3.5.4 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。設計地下水位を表 3.5.4-1 に示す。

表 3.5.4-1 設計地下水位

施設名称	設計地下水位
防波壁（逆T擁壁）	防波壁より陸側：EL 8.5m* 防波壁より海側：EL 0.58m

注記*：地表面が EL 8.5m よりも低い地点については、地下水位を地表面とする。

3.6 評価対象部位

評価対象部位は、防波壁（逆T擁壁）の構造的特徴や周辺状況の特徴を踏まえ設定する。

3.6.1 施設・地盤の健全性評価

施設・地盤の健全性評価に係る評価対象部位は、逆T擁壁、グラウンドアンカ及び改良地盤①～③とする。

3.6.2 施設の変形性評価

施設の変形性評価に係る評価対象部位は、構造物間に設置する止水目地とする。

3.6.3 基礎地盤の支持性能評価

基礎地盤の支持性能評価に係る評価対象部位は、防波壁（逆T擁壁）を支持する基礎地盤（逆T擁壁直下の改良地盤及び改良地盤直下の岩盤）とする。

3.7 許容限界

許容限界は、VI-2-1-9「機能維持の基本方針」に基づき設定する。

3.7.1 逆T擁壁

逆T擁壁の許容限界は、「コンクリート標準示方書(2002)」に基づき、表3.7.1-1に示す短期許容応力度とする。

表 3.7.1-1 逆T擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* (N/mm ²)
	コンクリート ($f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	許容曲げ圧縮応力度 σ_{ca}	9.0
許容せん断応力度 τ_{a1}		0.45	0.67
支圧応力度 σ_{ba} (グラウンドアンカ)		12	18
支圧応力度 σ_{cv} (隣接躯体)		7.2	10.8
鉄筋 (SD345)	許容曲げ引張応力度 σ_{sa}	196	294

注記*：短期許容応力度は、「コンクリート標準示方書(2002)」より許容応力度に対して1.5倍の割増を考慮する。

3.7.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの許容限界は、「グラウンドアンカー設計・施工基準，同解説（（社）地盤工学会，2012年）」により，テンドンの許容引張力 T_{as} ，テンドンの許容拘束力 T_{ab} 及びテンドンの許容引抜力 T_{ag} を表3.7.2-1のとおり設定し，この中で最小であるテンドンの許容拘束力 T_{ab} を許容限界である許容アンカー力 T_a として採用する。

許容限界の設定方法の詳細は，「（参考資料1）グラウンドアンカの実態に即したモデル化，物性値及び許容限界の設定方法」に示す。

表 3.7.2-1 グラウンドアンカの許容限界

項目	許容値 (kN)		
	①-①断面	④-④断面	⑤-⑤断面
テンドンの許容引張力 T_{as}	2160	2160	2160
テンドンの許容拘束力 T_{ab}	<u>1764</u> (採用)	<u>1453</u> (採用)	<u>2076</u> (採用)
テンドンの許容引抜力 T_{ag}	1802	1484	2120

3.7.3 改良地盤

改良地盤の施設・地盤の健全性評価に用いる許容限界は、「耐津波設計に係る工認審査ガイド（平成25年6月19日原管地発第1306196号）」を準用し、すべり安全率とする。表3.7.3-1に改良地盤の許容限界を示す。

表 3.7.3-1 改良地盤の許容限界

評価項目	許容限界
すべり安全率	1.2 以上

3.7.4 止水目地

止水目地（ゴムジョイント）の許容限界は、メーカー規格、漏水試験及び変形試験により、有意な漏えいが生じないことを確認した変位量とする。止水目地（ゴムジョイント）の変位量に対する許容限界を表3.7.4-1に示す。

表 3.7.4-1 止水目地（ゴムジョイント）の許容限界

評価項目	許容限界 (mm)
変位量	449

3.7.5 基礎地盤

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」に基づき設定する。基礎地盤の許容限界を表3.7.5-1に示す。

表 3.7.5-1 基礎地盤の許容限界

評価項目	基礎地盤	許容限界 (N/mm ²)	
極限支持力度	岩盤	C _H 級	9.8
		C _M 級	
		C _L 級	3.9
	改良地盤	1.4	

3.8 評価方法

防波壁（逆T擁壁）の耐震評価は，地震応答解析に基づいて算定した発生応力度が「3.7 許容限界」で設定した許容限界を満足することを確認する。

3.8.1 逆T擁壁

(1) 曲げ照査

コンクリート及び鉄筋の発生応力度が許容限界以下であることを確認する。応力度算定には，解析コード「EMR G I N G」を使用する。なお，解析コードの検証，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。

(2) せん断照査

コンクリートの発生応力度が許容限界以下であることを確認する。応力度算定には，解析コード「EMR G I N G」を使用する。なお，解析コードの検証，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) グラウンドアンカによる支圧照査

グラウンドアンカによる支圧照査は，発生アンカー力を用いて次式により算定される支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_b = T/S$$

ここで，

σ_b ：グラウンドアンカにより発生する支圧応力度（N/mm²）

T：発生アンカー力（引張）（N）

S：支圧板の面積（mm²）（≒142800mm²）

(4) 隣接する躯体同士の支圧照査

隣接する躯体同士の支圧応力度に対する照査は、躯体に発生する慣性力を用いて、次式により算定される隣接する躯体に作用する支圧応力度が、許容限界以下であることを確認する。

$$\sigma_{cv} = F/S$$

ここで、

σ_{cv} : 隣接する躯体の支圧応力度 (N/mm²)

F : 逆T擁壁に発生する慣性力 (N)

(= 「逆T擁壁の質量(kg)」 × 「地震時加速度(m/s²)」)

S : 衝突する面の面積 (逆T擁壁側面の面積) (mm²)

3.8.2 グラウンドアンカ

グラウンドアンカの耐震評価は、地震応答解析に基づいて算定した発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

なお、当該照査により確保されることを確認した設計アンカー力を用い、逆T擁壁の滑動、転倒に対する耐力を確認するとともに、グラウンドアンカによる変形抑制効果等を確認するため、逆T擁壁底面の傾斜を確認する。

滑動、転倒に対する耐力の確認は以下のとおり実施する。

(1) 逆T擁壁の滑動の照査

逆T擁壁の滑動の照査においては、地震時における逆T擁壁の滑動に対する耐力（摩擦抵抗）と逆T擁壁に発生する作用力（地震時荷重等）の比が1以上であることを確認する。

滑動の照査にあたっては、逆T擁壁と改良地盤の境界部の摩擦係数は、港湾基準に示されるコンクリート同士の摩擦係数 $\mu = 0.5$ を設定する。

水平方向の地震時荷重を算出する際には、逆T擁壁縦壁の天端の水平方向の変形量が最大となる時刻において、縦壁及び底版の全要素の水平方向の加速度を加算し、要素数で除して平均化した躯体全体の平均加速度により、水平方向の地震時荷重を求める。

鉛直方向については、上記と同一時刻において、同様の算出方法により算出する。

$$\text{安全率} = \text{耐力} / \text{作用力}$$

耐力（摩擦抵抗）：（自重、積雪荷重＋地震時荷重（鉛直方向））
× 静止摩擦係数

作用力：地震時荷重（水平方向）＋風荷重

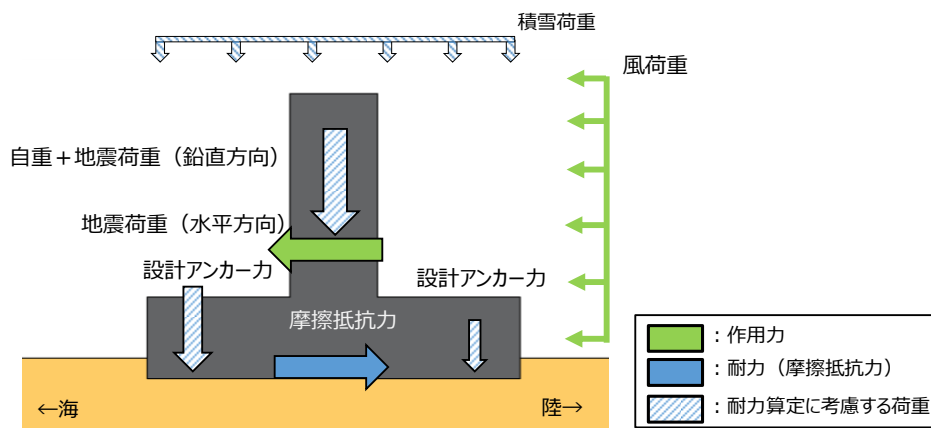


図 3.8.2-1 滑動の照査における荷重イメージ

(2) 逆T擁壁の転倒の照査

逆T擁壁の転倒の照査においては、地震時における逆T擁壁の転倒に対する耐力（自重、積雪荷重及び地震時荷重（鉛直方向）によるモーメント）と逆T擁壁に発生する作用力（地震時荷重（水平方向）及び風荷重によるモーメント）の比が1以上であることを確認する。

地震時荷重の算出方法は、滑動の照査と同様とする。

$$\text{安全率} = \text{耐力} / \text{作用力}$$

耐力：耐力算定に考慮する荷重（自重、積雪荷重及び地震時荷重（鉛直方向））のモーメントの総和

作用力：作用力算定に考慮する荷重（地震時荷重（水平方向）及び風荷重）のモーメントの総和

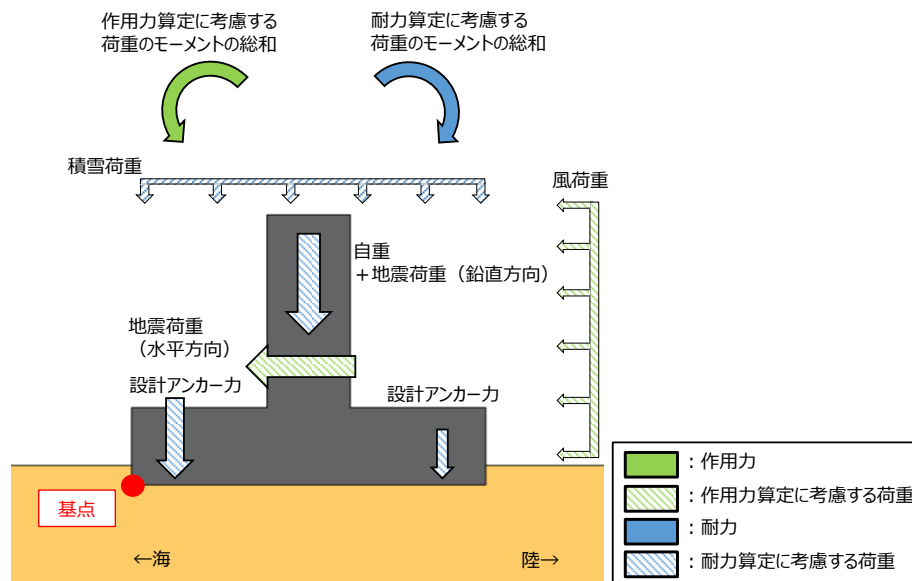


図 3.8.2-2 転倒の照査における荷重イメージ

(3) 逆T擁壁の底版の傾斜の照査

図 3.8.2-3 に示す逆T擁壁の底版の傾斜は、地震時における底版両端部の鉛直座標の差分 uz ($=|uz_2 - uz_1|$) を底版両端部の水平座標の差分 ux ($=|ux_2 - ux_1|$) で割ることにより算出する。

$$\text{底版傾斜} = uz / ux = |uz_2 - uz_1| / |ux_2 - ux_1|$$

ここで、

Uz : 底版両端部の鉛直座標の差分 (mm)

Ux : 底版両端部の水平座標の差分 (mm)

uz_1 : 底版西側端部の鉛直座標 (mm)

uz_2 : 底版東側端部の鉛直座標 (mm)

ux_1 : 底版西側端部の水平座標 (mm)

ux_2 : 底版東側端部の水平座標 (mm)

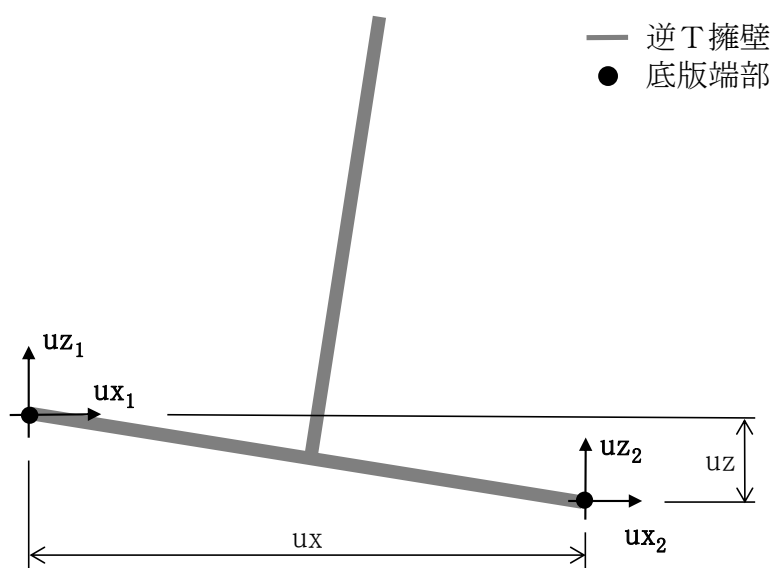


図 3.8.2-3 逆T擁壁底版の傾斜イメージ図

3.8.3 改良地盤

改良地盤の評価は、改良地盤を通るすべり線上のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認する。すべり安全率の算定フローを図 3.8.3-1 に示す。すべり安全率は、想定したすべり線上の応力状態を基に、すべり線上のせん断抵抗力の和をせん断力の和で除した値を求め、最小すべり安全率を算定する。

すべり安全率の算定には、解析コード「CPOSTSK」を使用する。なお、解析コードの検証、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。

改良地盤の想定すべり線を図 3.8.3-2 に示す。

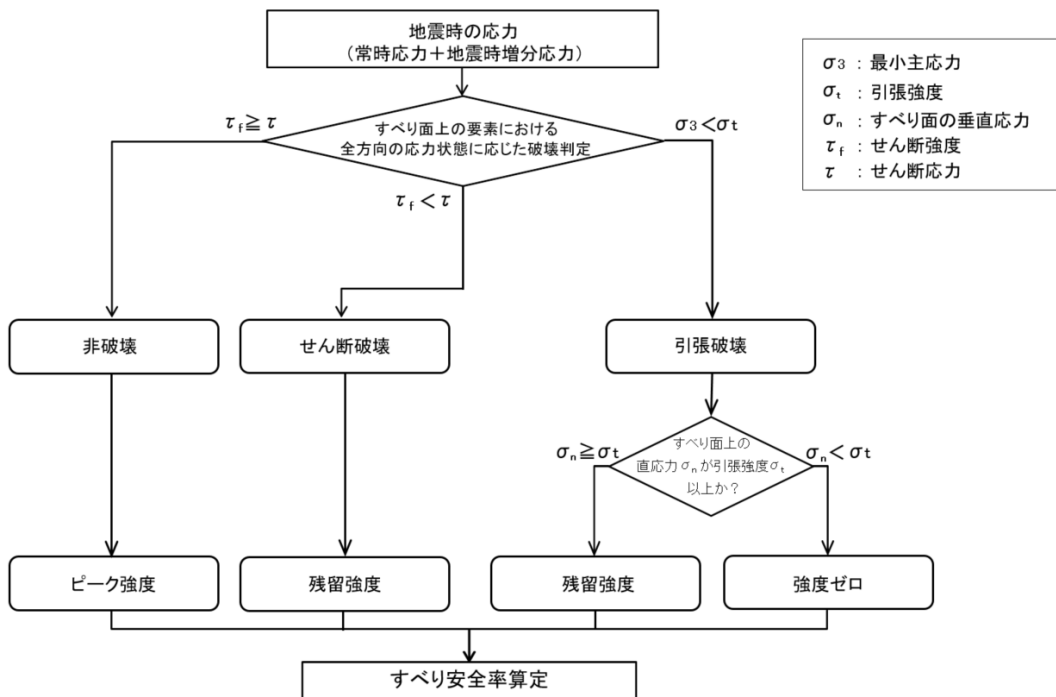


図 3.8.3-1 すべり安全率算定のフロー

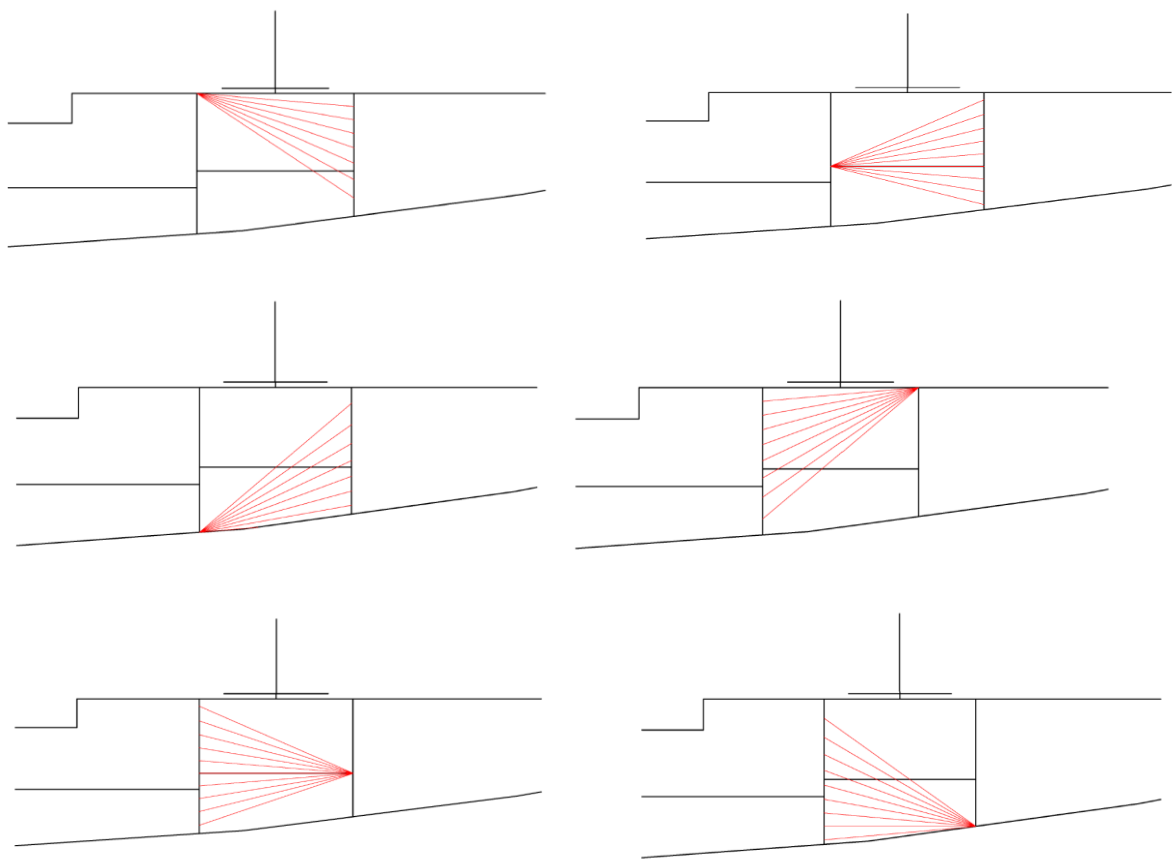


図 3.8.3-2(1) 改良地盤の想定すべり線 (①-①断面)

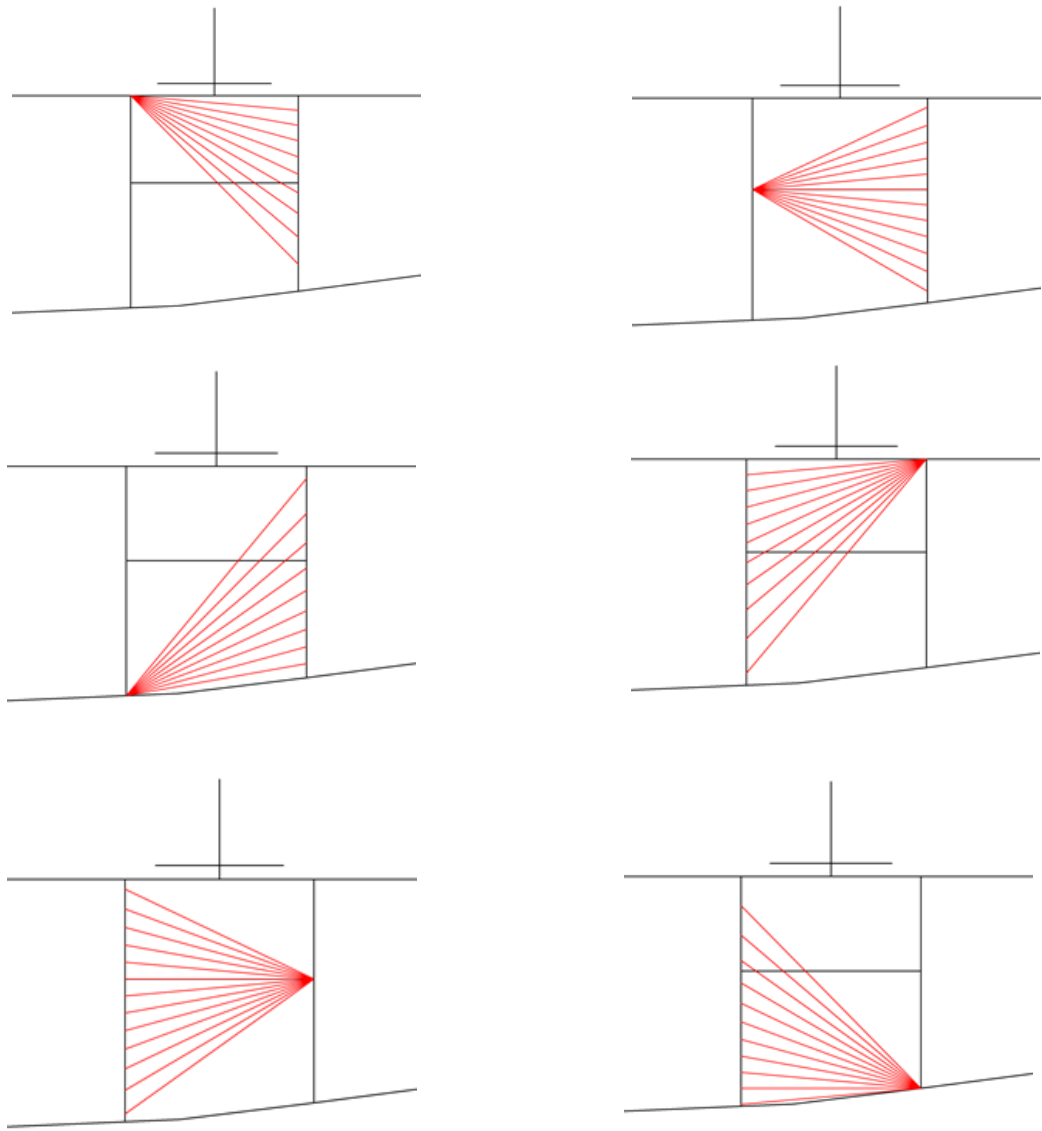


図 3.8.3-2(2) 改良地盤の想定すべり線 (④-④断面)

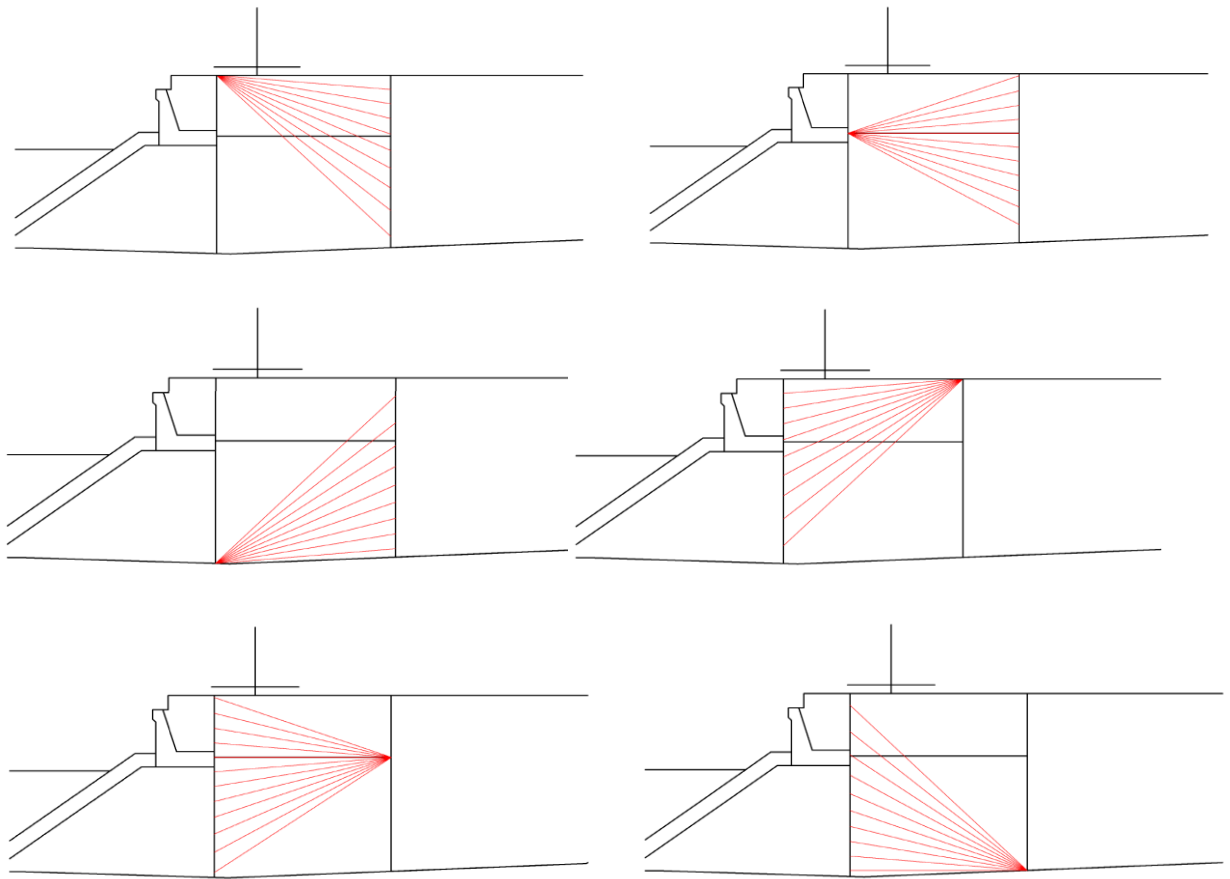


図 3.8.3-2(3) 改良地盤の想定すべり線 (⑤-⑤断面)

3.8.4 止水目地

止水目地（ゴムジョイント）の地震時の変形性評価について、法線直交方向、法線方向及び深度方向いずれも、防波壁（逆T擁壁）の地震時の最大変位量が許容限界以下であることを確認する。

x方向（法線直交方向）及びz方向（深度方向）の変位量は、図3.8.4-1に示すとおり、防波壁（逆T擁壁）天端における地震時の相対変位量とし、保守的に各ブロックの位相が逆になったことを考慮し、時刻歴最大の変位量を2倍したものを算定する。

y方向（法線方向）の変位量は、隣接する防波壁（逆T擁壁）の天端間の最大相対変位量とする。

$$\begin{aligned} x \text{ 方向（法線直交方向）の地震時の変位量} & \quad \delta_x : \delta_x = |\delta_x(T)| \times 2 \\ y \text{ 方向（法線方向）の地震時の変位量} & \quad \delta_y : \delta_y = |\delta_y(T)| \\ z \text{ 方向（深度方向）の地震時の変位量} & \quad \delta_z : \delta_z = |\delta_z(T)| \times 2 \end{aligned}$$

ここで、

$\delta_x(T)$: x方向（法線直交方向）の地震時の最大相対変位量

$\delta_y(T)$: y方向（法線方向）の地震時の最大相対変位量

$\delta_z(T)$: z方向（深度方向）の地震時の最大相対変位量

法線直交方向、法線方向及び深度方向の変位量を用い、下式のとおり合成方向（3方向合成）の変位量を求め、止水目地（ゴムジョイント）の地震時の最大変位量とする。

$$\text{最大変位量 } \delta : \delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2 + \delta_z^2}$$

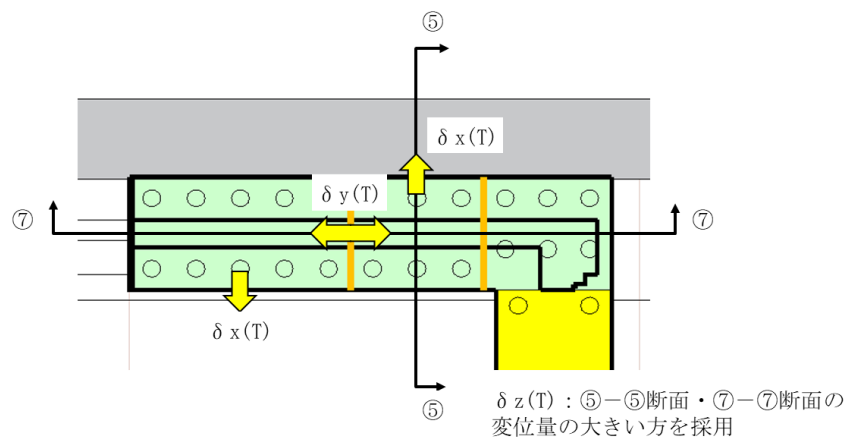


図 3.8.4-1 地震時の変位の概念図

止水目地の変位量の算定方法を表 3.8.4-1 に示す。①-①断面、④-④断面及び⑤-⑤断面を法線直交方向の変形性評価の評価対象断面に選定する。また、それぞれの断面位置における法線方向の止水目地の変位量を求めるため、それぞれの断面に直交する法線方向の⑦-⑦断面を法線方向の変形性評価の評価対象断面に選定する。深度方向の止水目地の変位量は、①-①断面、④-④断面及び⑤-⑤断面と⑦-⑦断面のより大きい変位量を用いる。

表 3.8.4-1 止水目地の変位量の算定方法

	δx	δy	δz
①-①断面	①-①断面の防波壁（逆T擁壁）天端の最大相対変位量（ $\delta x(T)$ ）の2倍	⑦-⑦断面の隣接する防波壁（逆T擁壁）の天端間の最大相対変位量 $\delta y(T)$	①-①断面及び⑦-⑦断面のうち、防波壁（逆T擁壁）天端の最大相対変位量（ $\delta z(T)$ ）の大きい変位量の2倍
④-④断面	④-④断面の防波壁（逆T擁壁）天端の最大相対変位量（ $\delta x(T)$ ）の2倍		④-④断面及び⑦-⑦断面のうち、防波壁（逆T擁壁）天端の最大相対変位量（ $\delta z(T)$ ）の大きい変位量の2倍
⑤-⑤断面	⑤-⑤断面の防波壁（逆T擁壁）天端の最大相対変位量（ $\delta x(T)$ ）の2倍		⑤-⑤断面及び⑦-⑦断面のうち、防波壁（逆T擁壁）天端の最大相対変位量（ $\delta z(T)$ ）の大きい変位量の2倍

3.8.5 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価においては、底版直下の改良地盤及び改良地盤直下の岩盤に生じる接地圧の最大値が許容限界以下であることを確認する。

4. 耐震評価結果

4.1 地震応答解析結果

地震応答解析結果として「断面力分布図」, 「過剰間隙水圧比最大分布」及び「最大せん断ひずみ分布」を記載する。なお, 断面力分布について, 逆T擁壁は単位奥行あたりの断面力を図示する。

耐震評価においては, 表 4.1-1 に示すとおり, すべての基準地震動 S_s に対して実施するケース①において, 曲げ・軸力系の破壊に対する照査, せん断破壊に対する照査, グラウンドアンカに対する照査及び基礎地盤の支持性能に対する照査の各照査項目のうち, 照査値が 0.5 を超える照査項目に対して, 最も厳しい(許容限界に対する裕度が最も小さい)地震動を用いて追加解析ケース②, ③を実施する。

表 4.1-1 照査値が 0.5 を超える最も厳しい地震動
(①-①断面, ④-④断面, ⑤-⑤断面)

断面	評価項目			
	逆T擁壁		グラウンドアンカ	基礎地盤
	曲げ	せん断		
①-①断面	$S_s - N 2 (EW) (-+)$ 解析ケース③ 0.64 (曲げ引張)	$S_s - D (- -)$ 解析ケース② 0.59	$S_s - N 1 (+ +)$ 解析ケース① 0.86	全地震動 において 0.5 以下
④-④断面	$S_s - D (+ -)$ 解析ケース③ 0.62 (曲げ引張)	$S_s - D (+ -)$ 解析ケース③ 0.54	$S_s - N 1 (+ +)$ 解析ケース② 0.88	全地震動 において 0.5 以下
⑤-⑤断面	$S_s - N 1 (+ +)$ 解析ケース① 0.69 (曲げ引張)	$S_s - D (- -)$ 解析ケース① 0.80	$S_s - N 1 (+ +)$ 解析ケース③ 0.85	全地震動 において 0.5 以下

4.1.1 解析ケースと照査値

(1) 逆T擁壁の曲げ照査

表 4.1.1-1～表 4.1.1-6 に逆T擁壁における曲げ・軸力系の破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1.1-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
実施ケースと照査値 (①-①断面)

地震動 \ 解析ケース		コンクリートの曲げ圧縮 応力度に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.32		
	(-+)	0.29		
	(+-)	0.32		
	(--)	0.29	0.29	0.29
S _s -F 1	(++)	0.29		
S _s -F 2	(++)	0.26		
S _s -N 1	(++)	0.23	0.23	0.21
	(-+)	0.21		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.26		
	(-+)	0.24		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.26		
	(-+)	0.29	0.29	0.29

表 4.1.1-2 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
実施ケースと照査値 (①-①断面)

地震動 \ 解析ケース		鉄筋の曲げ引張応力度に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.60		
	(-+)	0.60		
	(+-)	0.58		
	(--)	0.59	0.59	0.60
S _s -F 1	(++)	0.58		
S _s -F 2	(++)	0.50		
S _s -N 1	(++)	0.40	0.40	0.40
	(-+)	0.42		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.54		
	(-+)	0.53		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.56		
	(-+)	0.64	0.64	0.64

0.64 : 解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊に対する照査のうち、照査値 0.5 を超える最も厳しい照査値

表 4.1.1-3 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
実施ケースと照査値 (④-④断面)

地震動 \ 解析ケース		コンクリートの曲げ圧縮 応力度に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.26		
	(-+)	0.25		
	(+-)	0.29	0.29	0.29
	(--)	0.23		
S _s -F 1	(++)	0.24		
S _s -F 2	(++)	0.24		
S _s -N 1	(++)	0.23	0.23	0.23
	(-+)	0.22		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.23		
	(-+)	0.21		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.25		
	(-+)	0.23		

表 4.1.1-4 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
実施ケースと照査値 (④-④断面)

地震動 \ 解析ケース		鉄筋の曲げ引張応力度に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.57		
	(-+)	0.50		
	(+-)	0.62	0.61	0.62
	(--)	0.46		
S _s -F 1	(++)	0.47		
S _s -F 2	(++)	0.47		
S _s -N 1	(++)	0.47	0.47	0.47
	(-+)	0.46		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.45		
	(-+)	0.43		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.46		
	(-+)	0.48		

0.62 : 解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊に対する照査のうち、照査値 0.5 を超える最も厳しい照査値

表 4.1.1-5 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
実施ケースと照査値 (⑤-⑤断面)

地震動 \ 解析ケース		コンクリートの曲げ圧縮 応力度に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.32		
	(-+)	0.29		
	(+-)	0.32		
	(--)	0.30	0.30	0.30
S _s -F 1	(++)	0.26		
S _s -F 2	(++)	0.25		
S _s -N 1	(++)	0.33	0.33	0.32
	(-+)	0.25		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.28		
	(-+)	0.24		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.23		
	(-+)	0.26		

表 4.1.1-6 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
実施ケースと照査値 (⑤-⑤断面)

地震動 \ 解析ケース		鉄筋の曲げ引張応力度に対する 照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.65		
	(-+)	0.60		
	(+-)	0.65		
	(--)	0.60	0.61	0.61
S _s -F 1	(++)	0.55		
S _s -F 2	(++)	0.52		
S _s -N 1	(++)	0.69	0.69	0.69
	(-+)	0.62		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.53		
	(-+)	0.54		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.48		
	(-+)	0.57		

0.69 : 解析ケース①において、曲げ・軸力系の破壊に
対する照査のうち、照査値 0.5 を超える最も
厳しい照査値

(2) 逆T擁壁のせん断照査

表 4.1.1-7～表 4.1.1-9 に逆T擁壁におけるせん断破壊に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1.1-7 コンクリートのせん断破壊に対する照査における実施ケースと照査値 (①-①断面)

地震動		解析ケース	逆T擁壁のせん断応力度に対する照査値		
			①	②	③
S _s -D		(++)	0.56		
		(-+)	0.57		
		(+-)	0.56		
		(--)	0.59	0.59	0.59
S _s -F1		(++)	0.57		
S _s -F2		(++)	0.54		
S _s -N1		(++)	0.51	0.51	0.51
		(-+)	0.50		
S _s -N2 (NS)		(++)	0.54		
		(-+)	0.51		
S _s -N2 (EW)		(++)	0.53		
		(-+)	0.56	0.56	0.56

0.59 : 解析ケース①において、せん断破壊に対する照査のうち、照査値 0.5 を超える最も厳しい照査値

表 4.1.1-8 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
実施ケースと照査値 (④-④断面)

地震動 \ 解析ケース		逆 T 擁壁のせん断応力度 に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.48		
	(-+)	0.48		
	(+-)	0.54	0.54	0.54
	(--)	0.48		
S _s -F 1	(++)	0.47		
S _s -F 2	(++)	0.48		
S _s -N 1	(++)	0.45	0.45	0.45
	(-+)	0.45		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.45		
	(-+)	0.50		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.47		
	(-+)	0.48		

0.54 : 解析ケース①において、せん断破壊に対する
照査のうち、照査値 0.5 を超える最も
厳しい照査値

表 4.1.1-9 コンクリートのせん断破壊に対する照査における
実施ケースと照査値 (⑤-⑤断面)

地震動		解析ケース			逆T擁壁のせん断応力度 に対する照査値		
		①	②	③	①	②	③
S s - D	(++)	0.74					
	(-+)	0.72					
	(+-)	0.78					
	(--)	0.80	0.78	0.78			
S s - F 1	(++)	0.53					
S s - F 2	(++)	0.68					
S s - N 1	(++)	0.68	0.66	0.66			
	(-+)	0.57					
S s - N 2 (NS)	(++)	0.54					
	(-+)	0.57					
S s - N 2 (EW)	(++)	0.54					
	(-+)	0.56					

0.80 : 解析ケース①において、せん断破壊に対する
照査のうち、照査値 0.5 を超える最も
厳しい照査値

(3) 逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧照査

表 4.1.1-10～表 4.1.1-12 に逆T擁壁におけるグラウンドアンカの支圧
応力度に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1.1-10 グラウンドアンカによる支圧照査
における実施ケースと照査値 (①-①断面)

地震動 \ 解析ケース		グラウンドアンカによる支圧照査		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.59		
	(-+)	0.59		
	(+-)	0.59		
	(--)	0.58	0.58	0.58
S _s -F1	(++)	0.58		
S _s -F2	(++)	0.58		
S _s -N1	(++)	0.59	0.59	0.59
	(-+)	0.58		
S _s -N2 (NS)	(++)	0.58		
	(-+)	0.58	0.58	0.58
S _s -N2 (EW)	(++)	0.59		
	(-+)	0.58		

表 4.1.1-11 グラウンドアンカによる支圧照査
 における実施ケースと照査値 (④-④断面)

地震動 \ 解析ケース		グラウンドアンカによる支圧照査		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.49		
	(-+)	0.49		
	(+-)	0.50	0.50	0.50
	(--)	0.49		
S _s -F 1	(++)	0.48		
S _s -F 2	(++)	0.48		
S _s -N 1	(++)	0.50	0.50	0.50
	(-+)	0.48		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.48		
	(-+)	0.48		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.48		
	(-+)	0.48		

表 4.1.1-12 グラウンドアンカによる支圧照査
 における実施ケースと照査値 (⑤-⑤断面)

地震動 \ 解析ケース		グラウンドアンカによる支圧照査		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.68		
	(-+)	0.68		
	(+-)	0.68		
	(--)	0.68	0.68	0.68
S _s -F 1	(++)	0.67		
S _s -F 2	(++)	0.67		
S _s -N 1	(++)	0.69	0.69	0.69
	(-+)	0.67		
S _s -N 2 (NS)	(++)	0.68		
	(-+)	0.67		
S _s -N 2 (EW)	(++)	0.68		
	(-+)	0.67		

(4) グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査

表 4.1.1-13～表 4.1.1-15 にグラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1.1-13 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における実施ケースと照査値 (①-①断面)

地震動		解析ケース	グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査		
			①	②	③
S _s -D	(++)		0.85		
	(-+)		0.85		
	(+-)		0.85		
	(--)		0.85	0.85	0.85
S _s -F1	(++)		0.84		
S _s -F2	(++)		0.84		
S _s -N1	(++)		0.86	0.86	0.86
	(-+)		0.84		
S _s -N2 (NS)	(++)		0.84		
	(-+)		0.84		
S _s -N2 (EW)	(++)		0.85		
	(-+)		0.84	0.84	0.84

 : 解析ケース①において、グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査のうち、照査値 0.5 を超える最も厳しい照査値

表 4.1.1-14 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における
実施ケースと照査値 (④-④断面)

地震動 \ 解析ケース		グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.87		
	(-+)	0.87		
	(+-)	0.88	0.88	0.88
	(--)	0.87		
S _s -F1	(++)	0.84		
S _s -F2	(++)	0.84		
S _s -N1	(++)	0.88	0.88	0.88
	(-+)	0.85		
S _s -N2 (NS)	(++)	0.85		
	(-+)	0.84		
S _s -N2 (EW)	(++)	0.85		
	(-+)	0.84		

0.88 : 解析ケース①において、グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査のうち、照査値 0.5 を超える最も厳しい照査値

表 4.1.1-15 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における
実施ケースと照査値 (⑤-⑤断面)

地震動		解析ケース	グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査		
			①	②	③
S _s -D	(++)		0.84		
	(-+)		0.85		
	(+-)		0.84		
	(--)		0.84	0.84	0.84
S _s -F1	(++)		0.83		
S _s -F2	(++)		0.83		
S _s -N1	(++)		0.85	0.85	0.85
	(-+)		0.83		
S _s -N2 (NS)	(++)		0.84		
	(-+)		0.83		
S _s -N2 (EW)	(++)		0.84		
	(-+)		0.82		

 : 解析ケース①において、グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査のうち、照査値 0.5 を超える最も厳しい照査値

(5) 改良地盤のすべり安全率による評価

表 4.1.1-16～表 4.1.1-18 に改良地盤のすべり安全率による評価の実施ケースとすべり安全率を示す。

表 4.1.1-16 改良地盤のすべり安全率による評価の実施ケースとすべり安全率
(①-①断面)

解析ケース 地震動		改良地盤のすべりに対する安全率		
		①	②	③
S _s -D	(++)	3.99		
	(-+)	4.05		
	(+-)	3.94		
	(--)	3.99	4.00	3.99
S _s -F1	(++)	4.02		
S _s -F2	(++)	4.41		
S _s -N1	(++)	3.42	3.42	3.43
	(-+)	3.49		
S _s -N2 (NS)	(++)	4.30		
	(-+)	4.49		
S _s -N2 (EW)	(++)	4.06		
	(-+)	4.20	4.19	4.20

表 4.1.1-17 改良地盤のすべり安全率による評価の実施ケースとすべり安全率
(④-④断面)

地震動 \ 解析ケース		改良地盤のすべりに対する安全率		
		①	②	③
S _s -D	(++)	2.88		
	(-+)	2.73		
	(+-)	2.95	2.95	2.95
	(--)	2.91		
S _s -F1	(++)	4.34		
S _s -F2	(++)	4.54		
S _s -N1	(++)	2.50	2.49	2.50
	(-+)	2.71		
S _s -N2 (NS)	(++)	4.17		
	(-+)	3.71		
S _s -N2 (EW)	(++)	3.97		
	(-+)	3.66		

表 4.1.1-18 改良地盤のすべり安全率による評価の実施ケースとすべり安全率
(⑤-⑤断面)

解析ケース 地震動		改良地盤のすべりに対する安全率		
		①	②	③
S _s -D	(++)	3.37		
	(-+)	3.15		
	(+-)	3.46		
	(--)	3.26	3.26	3.26
S _s -F1	(++)	4.94		
S _s -F2	(++)	4.28		
S _s -N1	(++)	3.12	3.12	3.12
	(-+)	3.21		
S _s -N2 (NS)	(++)	4.25		
	(-+)	4.26		
S _s -N2 (EW)	(++)	3.89		
	(-+)	3.90		

(6) 基礎地盤の支持性能に対する照査

表 4.1.1-19～表 4.1.1-24 に基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値を示す。

表 4.1.1-19 基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値
(①-①断面, 改良地盤)

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の支持性能に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.36		
	(-+)	0.36		
	(+-)	0.36		
	(--)	0.36	0.36	0.36
S _s -F1	(++)	0.36		
S _s -F2	(++)	0.36		
S _s -N1	(++)	0.36	0.36	0.36
	(-+)	0.36		
S _s -N2 (NS)	(++)	0.36		
	(-+)	0.36		
S _s -N2 (EW)	(++)	0.36		
	(-+)	0.36	0.36	0.36

表 4.1.1-20 基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値
 (①-①断面, 岩盤)

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の支持性能に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.12		
	(-+)	0.12		
	(+-)	0.13		
	(--)	0.13	0.13	0.13
S _s -F1	(++)	0.12		
S _s -F2	(++)	0.11		
S _s -N1	(++)	0.11	0.11	0.11
	(-+)	0.12		
S _s -N2 (NS)	(++)	0.11		
	(-+)	0.11		
S _s -N2 (EW)	(++)	0.10		
	(-+)	0.11	0.11	0.11

表 4.1.1-21 基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値
 (④-④断面, 改良地盤)

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の支持性能に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.36		
	(-+)	0.36		
	(+-)	0.36	0.36	0.36
	(--)	0.36		
S _s -F1	(++)	0.29		
S _s -F2	(++)	0.36		
S _s -N1	(++)	0.29	0.29	0.29
	(-+)	0.36		
S _s -N2 (NS)	(++)	0.29		
	(-+)	0.36		
S _s -N2 (EW)	(++)	0.36		
	(-+)	0.36		

表 4.1.1-22 基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値
 (④-④断面, 岩盤)

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の支持性能に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.18		
	(-+)	0.18		
	(+-)	0.19	0.19	0.19
	(--)	0.17		
S _s -F1	(++)	0.14		
S _s -F2	(++)	0.15		
S _s -N1	(++)	0.16	0.16	0.16
	(-+)	0.20		
S _s -N2 (NS)	(++)	0.13		
	(-+)	0.15		
S _s -N2 (EW)	(++)	0.15		
	(-+)	0.17		

表 4.1.1-23 基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値
 (⑤-⑤断面, 改良地盤)

地震動		解析ケース	基礎地盤の支持性能に対する照査値		
			①	②	③
S _s -D	(++)		0.43		
	(-+)		0.43		
	(+-)		0.43		
	(--)		0.43	0.43	0.43
S _s -F1	(++)		0.43		
S _s -F2	(++)		0.43		
S _s -N1	(++)		0.36	0.36	0.36
	(-+)		0.43		
S _s -N2 (NS)	(++)		0.43		
	(-+)		0.43		
S _s -N2 (EW)	(++)		0.43		
	(-+)		0.43		

表 4.1.1-24 基礎地盤の支持性能に対する照査の実施ケースと照査値
(⑤-⑤断面, 岩盤)

地震動 \ 解析ケース		基礎地盤の支持性能に対する照査値		
		①	②	③
S _s -D	(++)	0.39		
	(-+)	0.39		
	(+-)	0.39		
	(--)	0.39	0.39	0.39
S _s -F1	(++)	0.39		
S _s -F2	(++)	0.36		
S _s -N1	(++)	0.39	0.39	0.39
	(-+)	0.39		
S _s -N2 (NS)	(++)	0.36		
	(-+)	0.36		
S _s -N2 (EW)	(++)	0.36		
	(-+)	0.39		

4.1.2 逆T擁壁の曲げ照査

逆T擁壁のコンクリート及び鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表 4.1.2-1～表 4.1.2-6 に示す。また、該当する解析ケースの断面力図を図 4.1.2-1～図 4.1.2-6 に示す。

表 4.1.2-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(①-①断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (+-)	①	1874	425	4.3	13.5	0.32

表 4.1.2-2 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(④-④断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - D (+-)	③	1602	325	3.9	13.5	0.29

表 4.1.2-3 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値
(⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S s - N 1 (++)	①	1924	128	4.4	13.5	0.33

表 4.1.2-4 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査
 における最大照査値 (①-①断面)

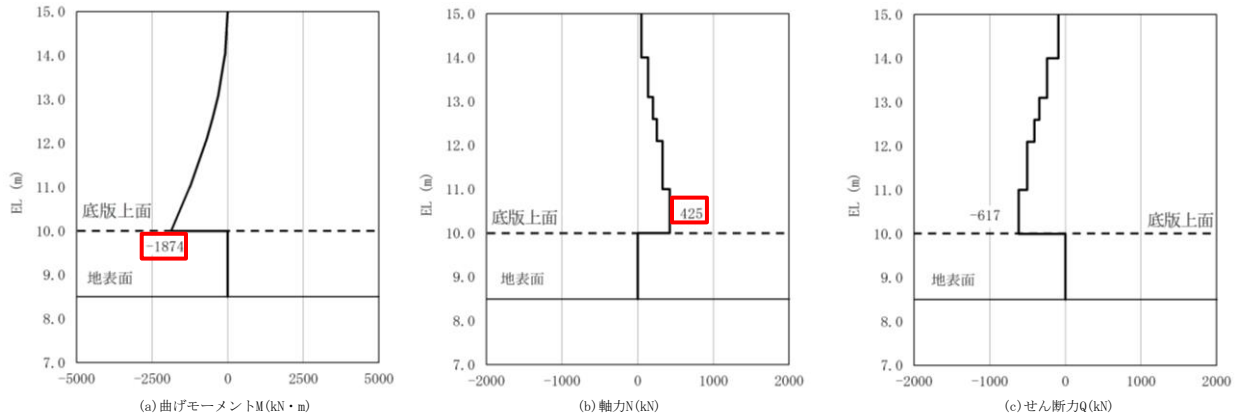
地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S _s -N2 (EW) (-+)	③	1606	279	186.3	294	0.64

表 4.1.2-5 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査
 における最大照査値 (④-④断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S _s -D (+-)	③	1602	325	180.9	294	0.62

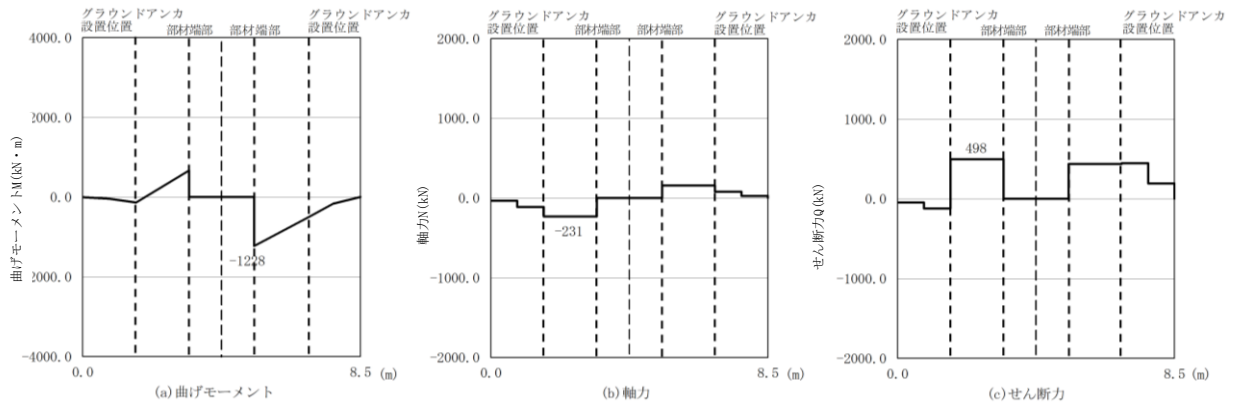
表 4.1.2-6 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査
 における最大照査値 (⑤-⑤断面)

地震動	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
S _s -N1 (++)	①	1924	128	200.5	294	0.69



(- : 引張, + : 圧縮)

(壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

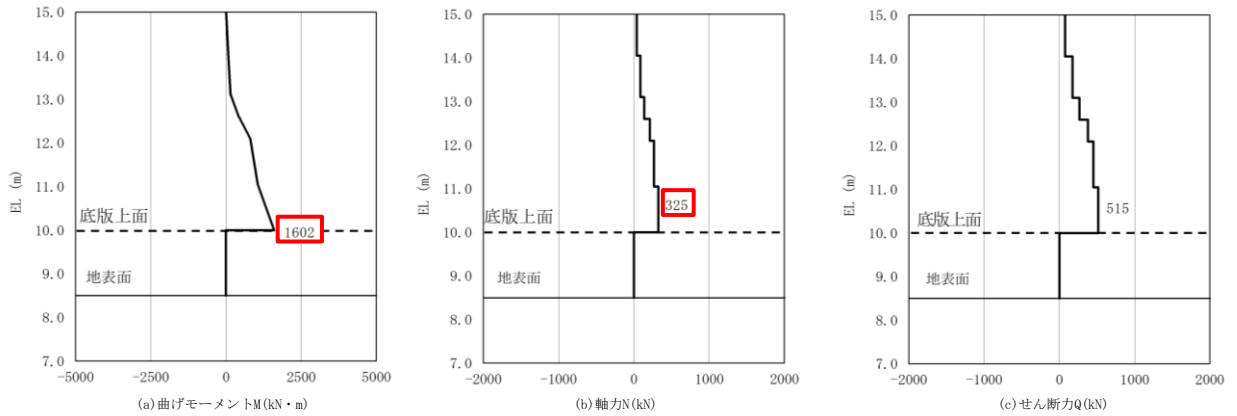
注：逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

(底版)

図 4.1.2-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

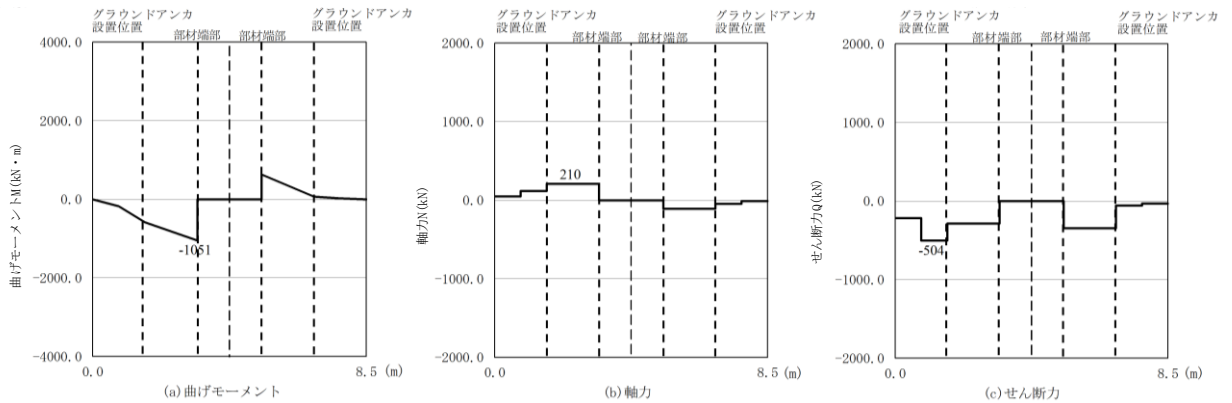
(①-①断面, S s - D (+ -), t=19.18s)

解析ケース①：基本ケース



(- : 引張, + : 圧縮)

(縦壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

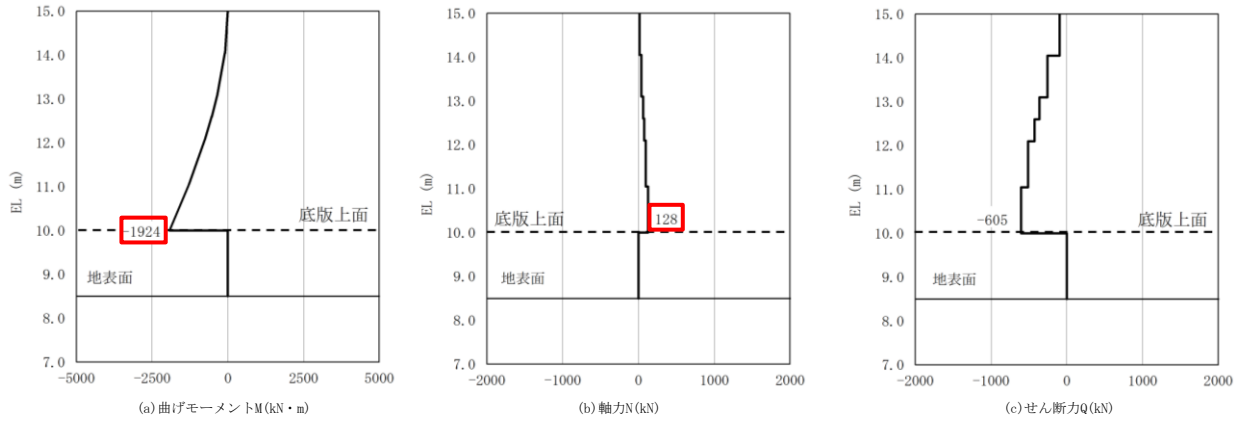
注：逆 T 擁壁(底版)西端をゼロとする。

(底版)

図 4.1.2-2 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

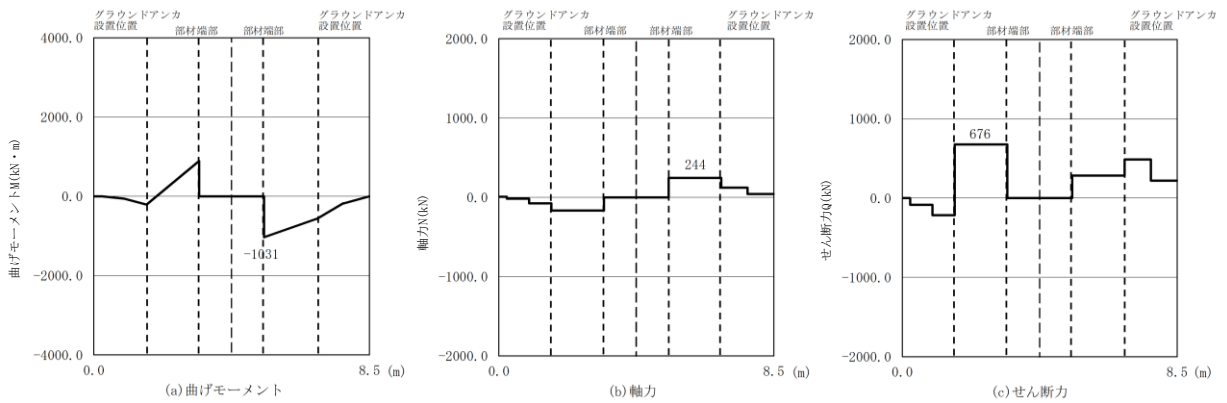
(④-④断面, S_s-D (+-), t=19.15s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)



(- : 引張, + : 圧縮)

(壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

注：逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

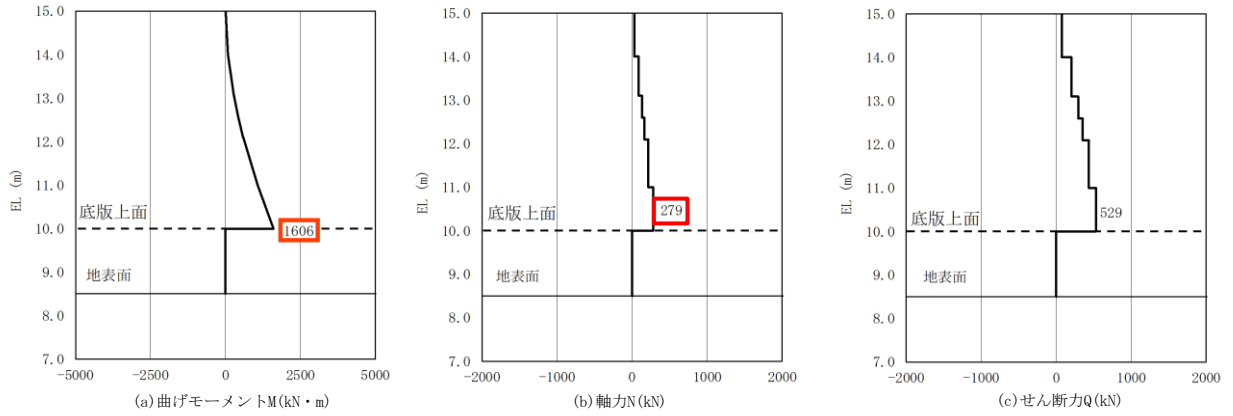
(底版)

図 4.1.2-3 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における

最大照査値の評価時刻での断面力

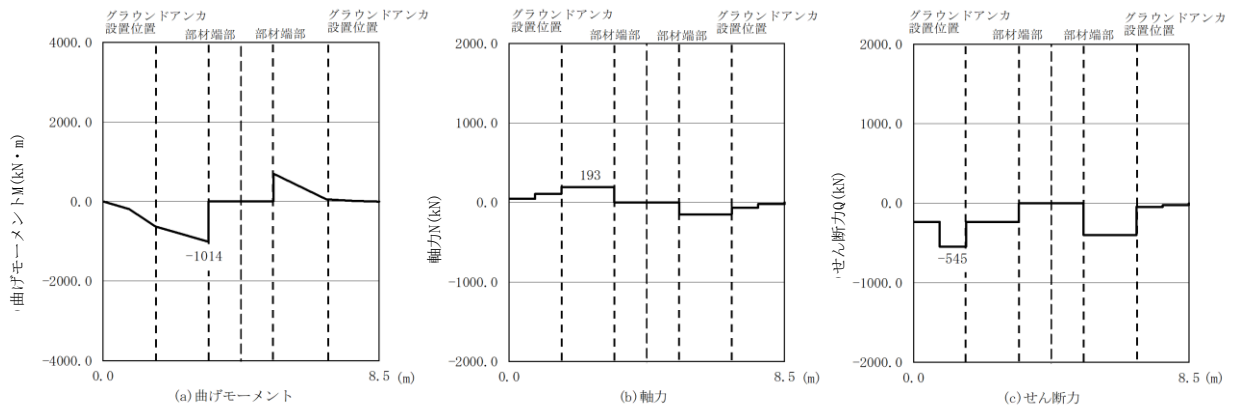
(⑤-⑤断面, S_s-N1 (++) , t=7.58s)

解析ケース①：基本ケース



(- : 引張, + : 圧縮)

(壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

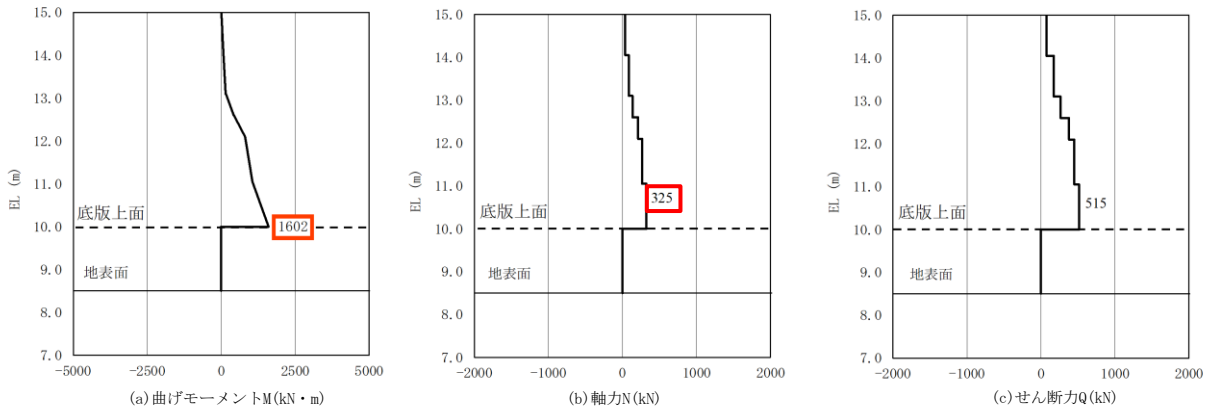
注：逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

(底版)

図 4.1.2-4 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

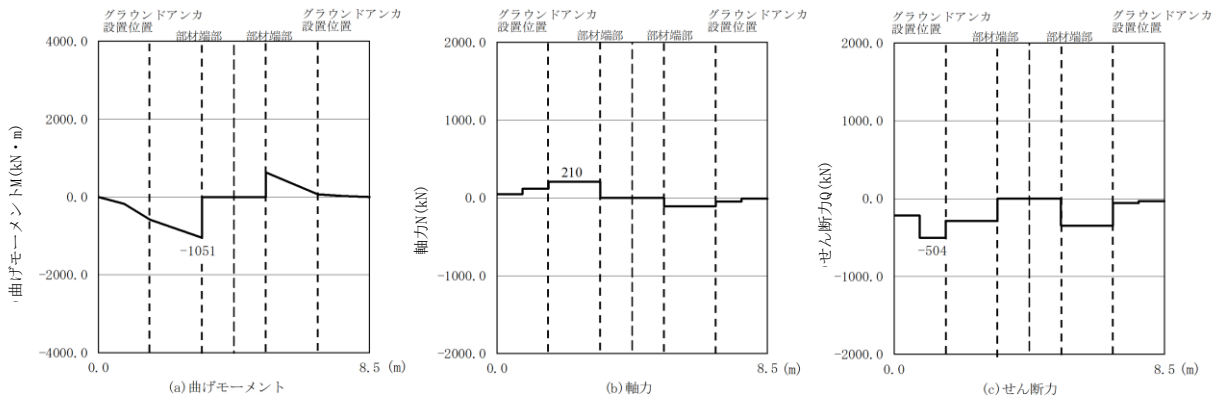
(①-①断面, S s - N 2 (EW) (-+), t=25.96s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)



(- : 引張, + : 圧縮)

(縦壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

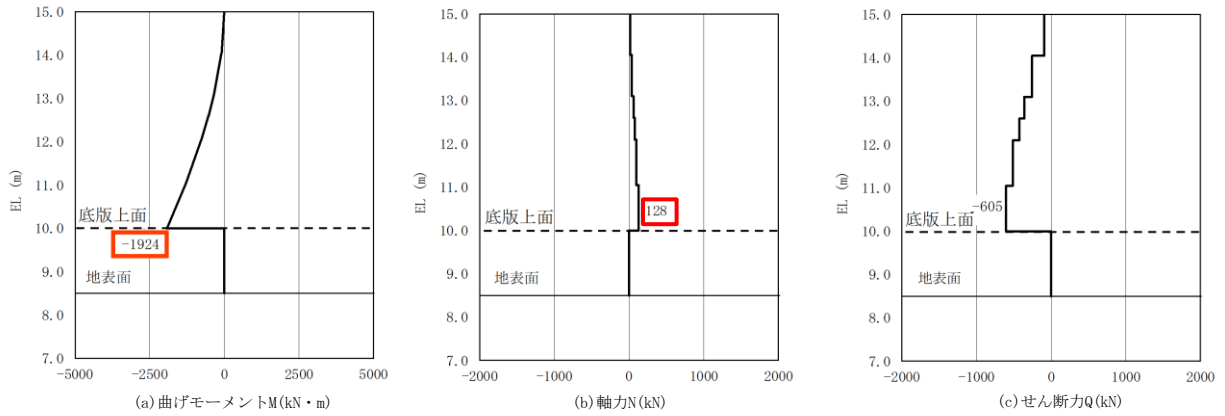
注：逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

(底版)

図 4.1.2-5 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

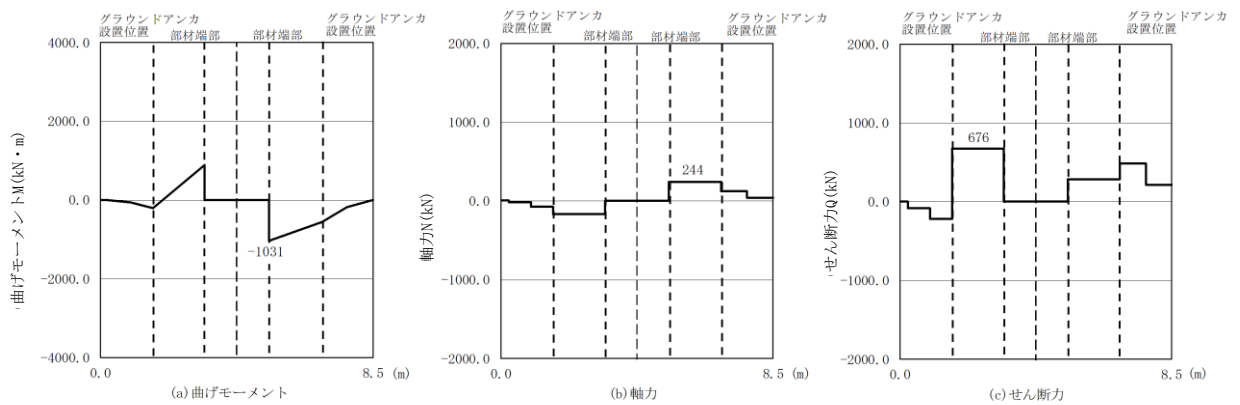
(④-④断面, S s - D (+ -), t=19.15s)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)



(- : 引張, + : 圧縮)

(壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

注：逆T擁壁（底版）西端をゼロとする。

(底版)

図 4.1.2-6 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(⑤-⑤断面, S_s-N1 (++) , t=7.58s)

解析ケース①：基本ケース

4.1.3 逆T擁壁のせん断照査

逆T擁壁のせん断破壊に対する照査において各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる結果を表4.1.3-1～表4.1.3-3に示す。また、該当する解析ケースの断面力図を図4.1.3-1～図4.1.3-3に示す。

表4.1.3-1 逆T擁壁のせん断破壊に対する照査における最大照査値（①-①断面）

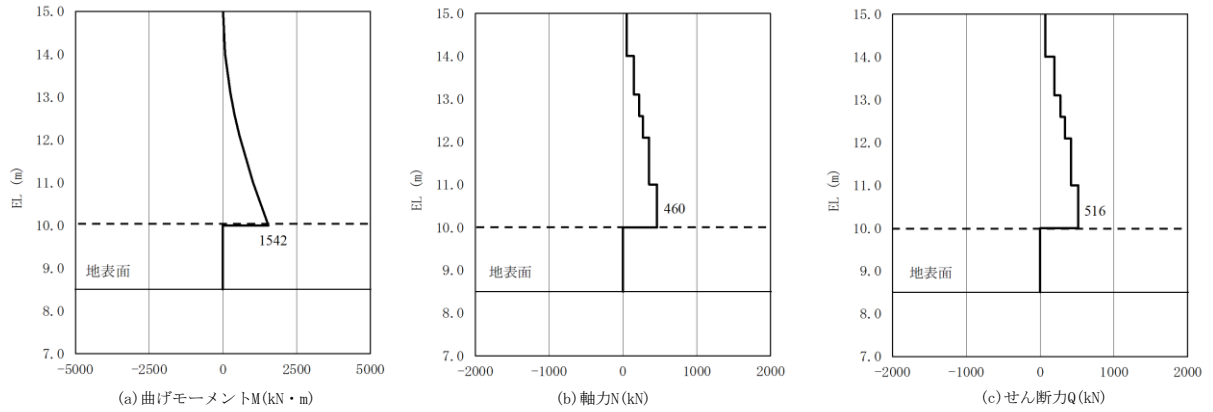
地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 Q (kN)			
S _s -D (--)	②	575	0.39	0.67	0.59

表4.1.3-2 逆T擁壁のせん断破壊に対する照査における最大照査値（④-④断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 Q (kN)			
S _s -D (+-)	③	529	0.36	0.67	0.54

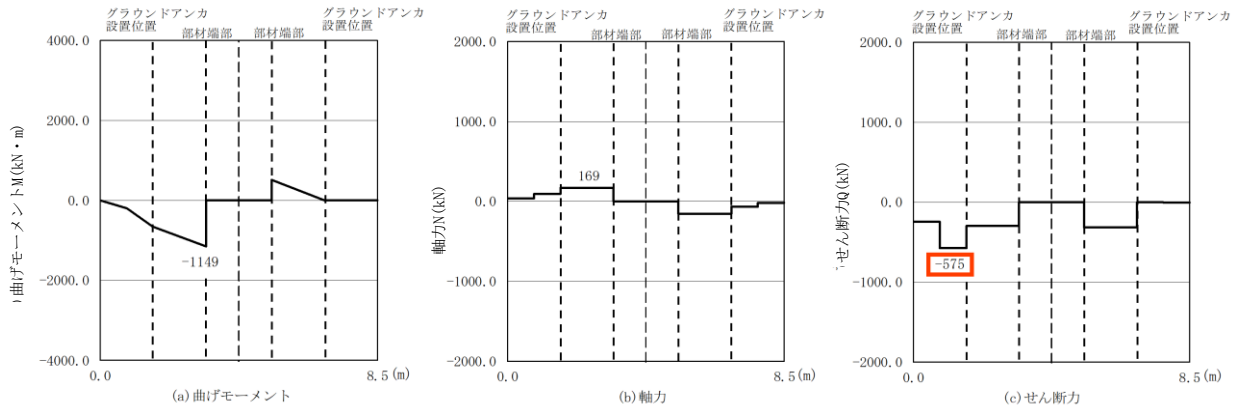
表4.1.3-3 逆T擁壁のせん断破壊に対する照査における最大照査値（⑤-⑤断面）

地震動	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{sa} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{sa}
		せん断力 Q (kN)			
S _s -D (--)	①	786	0.53	0.67	0.80



(- : 引張, + : 圧縮)

(壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

注：逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

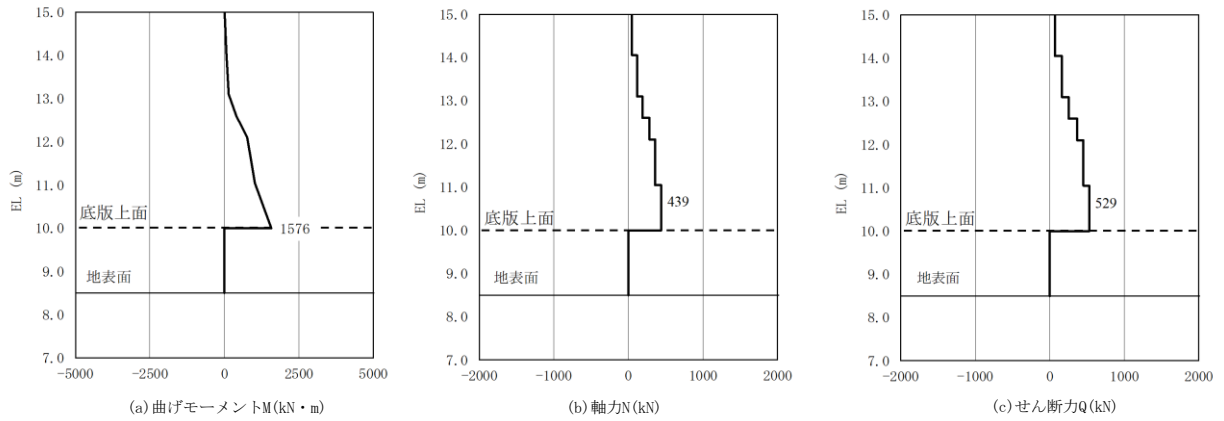
(底版)

図 4.1.3-1 逆T擁壁のせん断破壊に対する照査における

最大照査値の評価時刻での断面力

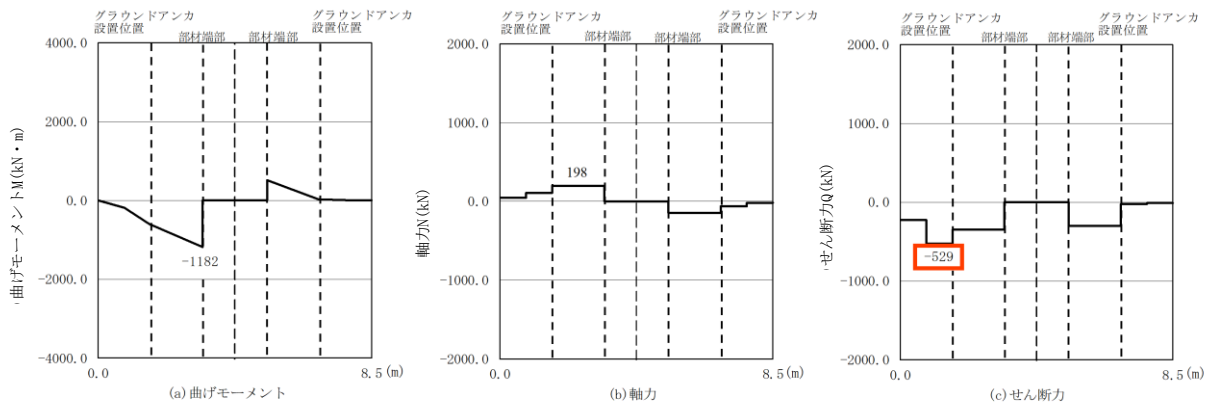
(①-①断面, S s - D (---), t=19.18s)

解析ケース②：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 + 1σ)



(- : 引張, + : 圧縮)

(壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

注：逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

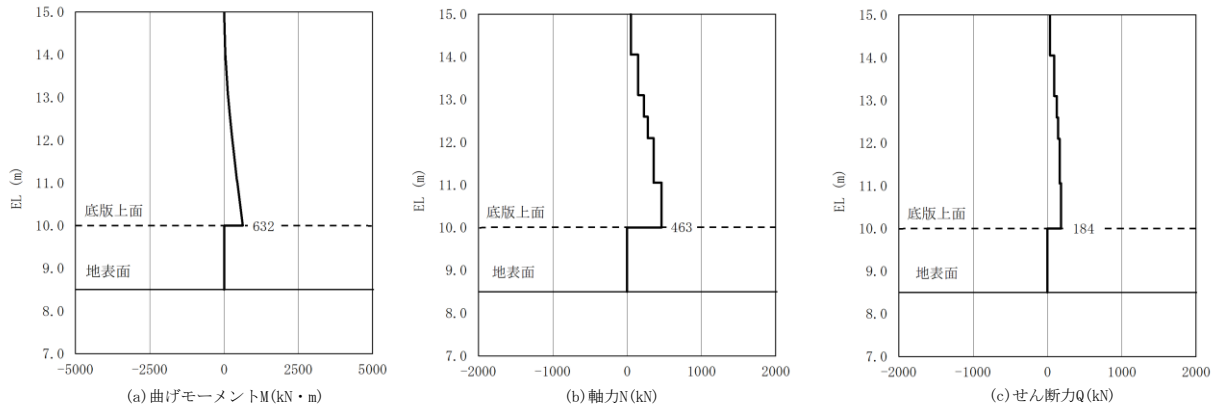
(底版)

図 4.1.3-2 逆T擁壁のせん断破壊に対する照査における

最大照査値の評価時刻での断面力

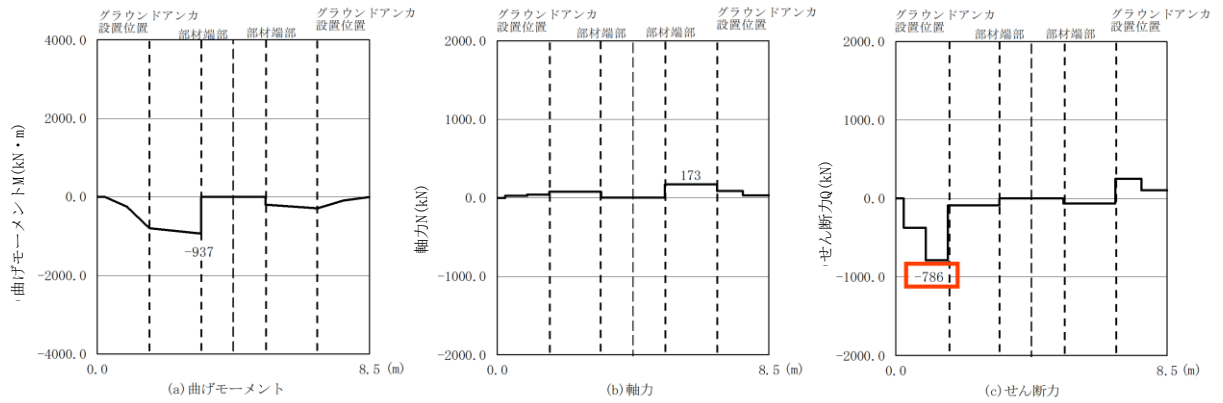
(④-④断面, $S_s - D (+)$, $t = 8.61s$)

解析ケース③：地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 -1σ)



(- : 引張, + : 圧縮)

(壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

注：逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

(底版)

図 4.1.3-3 逆T擁壁のせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(⑤ - ⑤ 断面, S s - D (- -) , t = 28.12s)

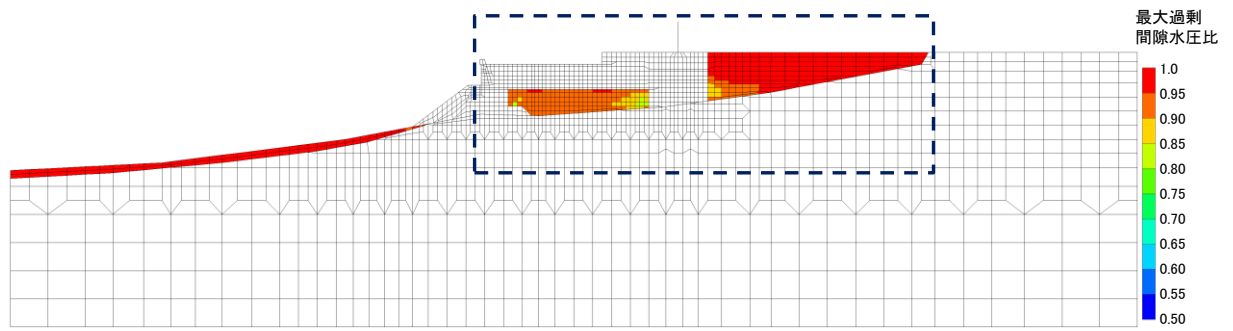
解析ケース①：基本ケース

4.1.4 過剰間隙水圧分布

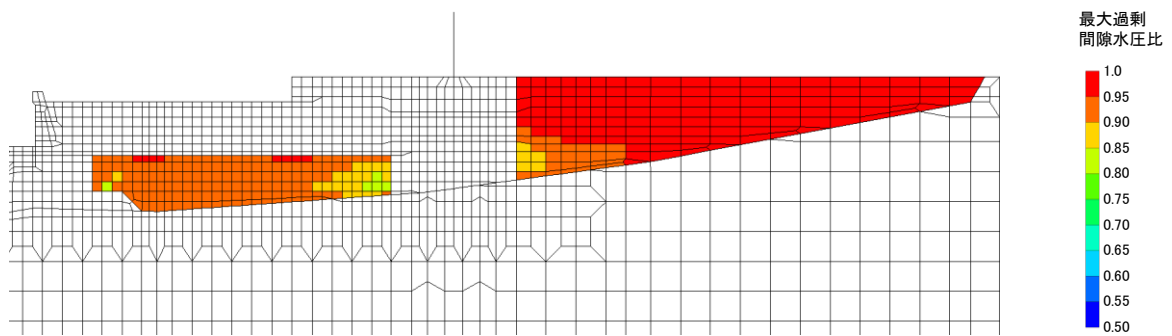
地盤の液状化対象層に発生した過剰間隙水圧比を確認するため、各施設（逆T擁壁、グラウンドアンカ及び基礎地盤）の照査値のうち0.5を超える照査値で最大の照査値を示す解析ケースを表4.1.4-1に、最大の照査値を示す解析ケースにおける地震応答解析の過剰間隙水圧比の最大値分布図を図4.1.4-1～図4.1.4-8に示す。

表 4.1.4-1 最大照査値を示す解析ケースの一覧

断面	評価項目			
	逆T擁壁		グラウンドアンカ	基礎地盤
	曲げ・軸力系	せん断		
①-①断面	S _s -N2 (EW) (-+) 解析ケース③ 0.64 (曲げ引張)	S _s -D (--) 解析ケース② 0.59	S _s -N1 (++) 解析ケース① 0.86	全地震動において 0.5以下
④-④断面	S _s -D (+-) 解析ケース③ 0.62 (曲げ引張)	S _s -D (+-) 解析ケース③ 0.54	S _s -N1 (++) 解析ケース② 0.88	全地震動において 0.5以下
⑤-⑤断面	S _s -N1 (++) 解析ケース① 0.69 (曲げ引張)	S _s -D (--) 解析ケース① 0.80	S _s -N1 (++) 解析ケース③ 0.85	全地震動において 0.5以下

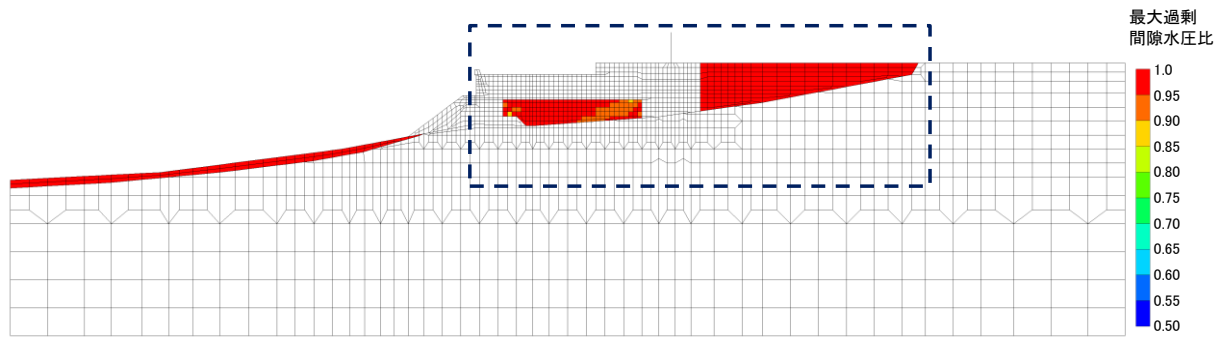


全体図

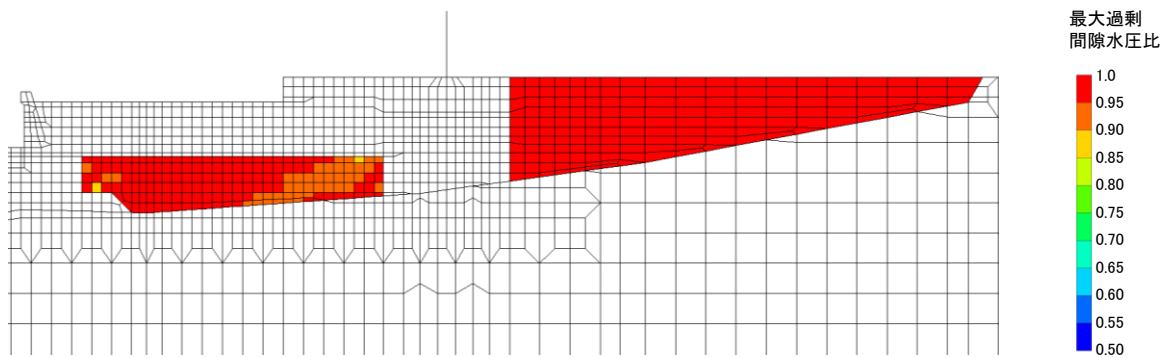


構造物周辺拡大図

図 4.1.4-1 ①-①断面の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース③, S_s-N2 (EW) (-+))

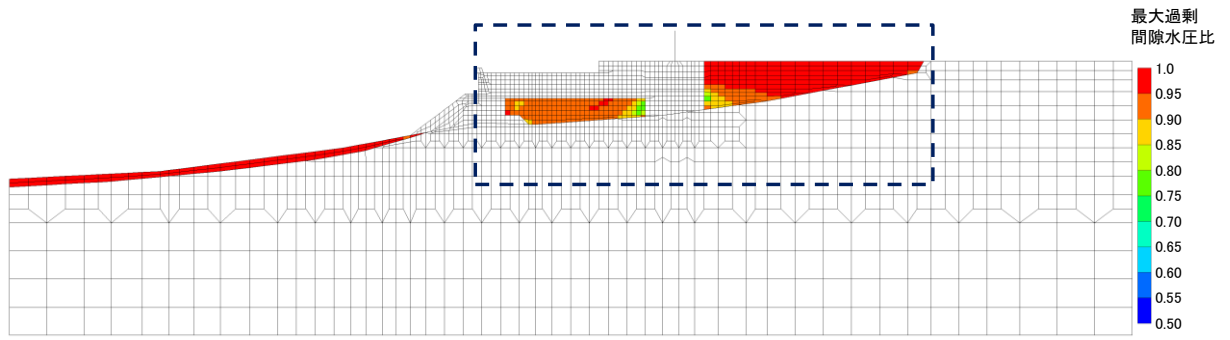


全体図

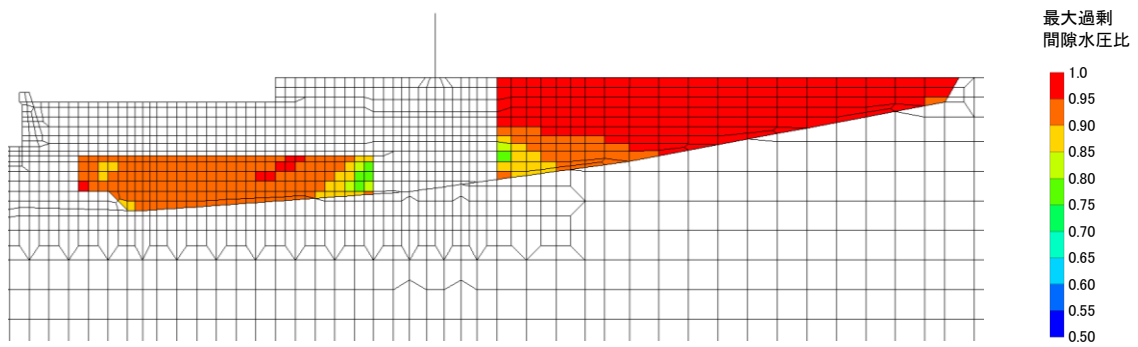


構造物周辺拡大図

図 4.1.4-2 ①-①断面の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース②, $S_s - D$ (---))

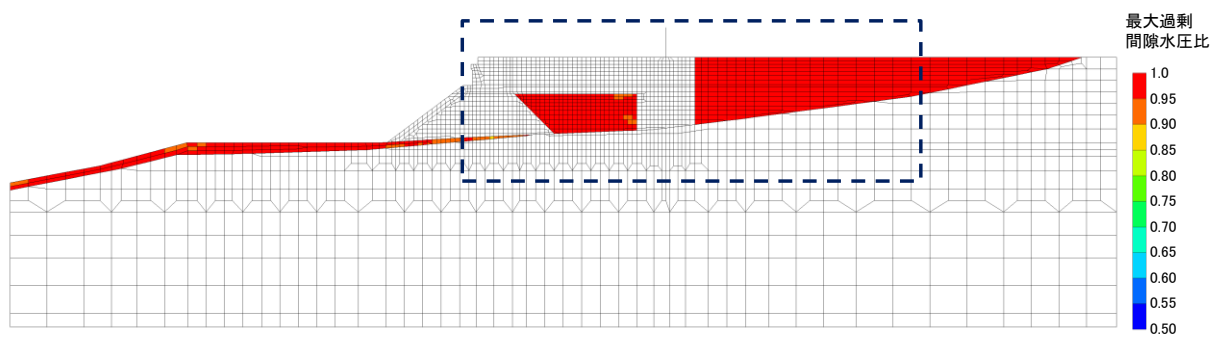


全体図

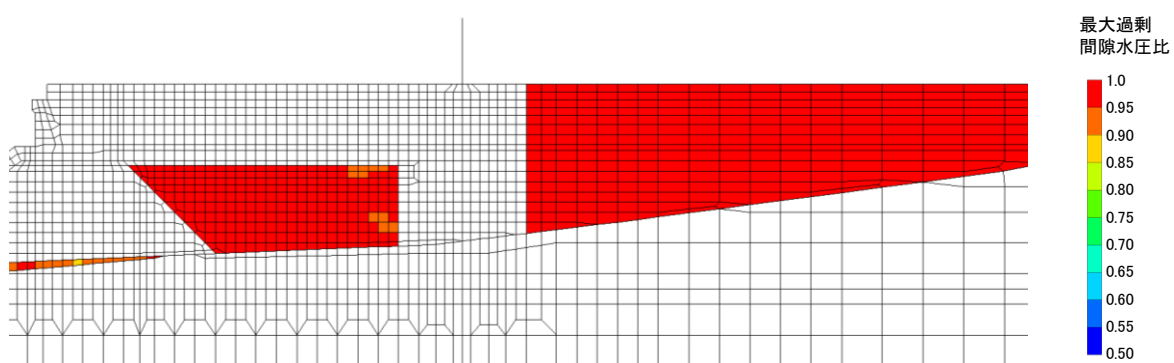


構造物周辺拡大図

図 4.1.4-3 ①-①断面の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース①, $S_s - N1$ (++))

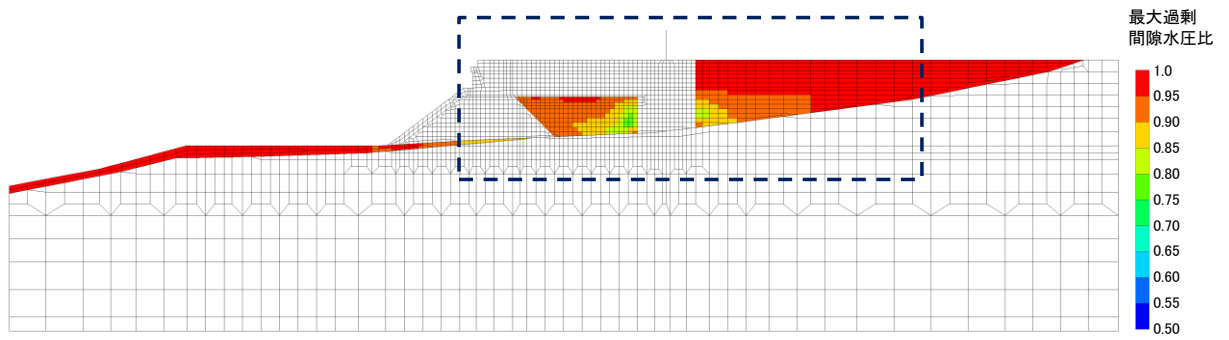


全体図

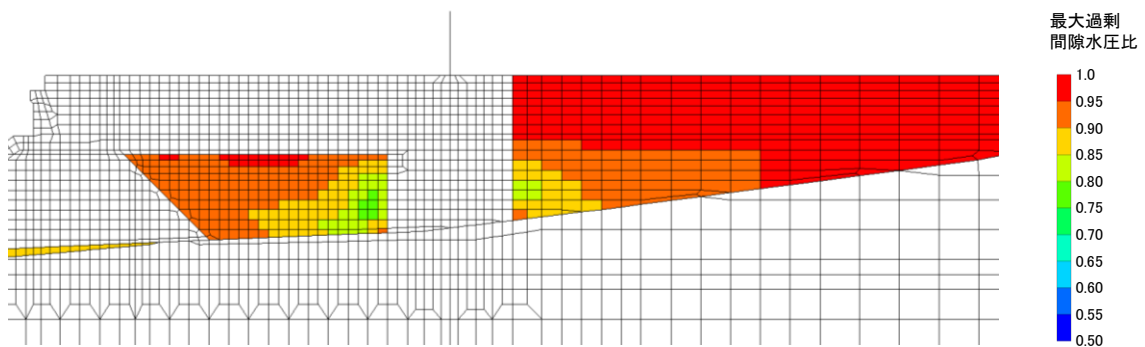


構造物周辺拡大図

図 4.1.4-4 ④-④断面の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース③, $S_s - D (+ -)$)

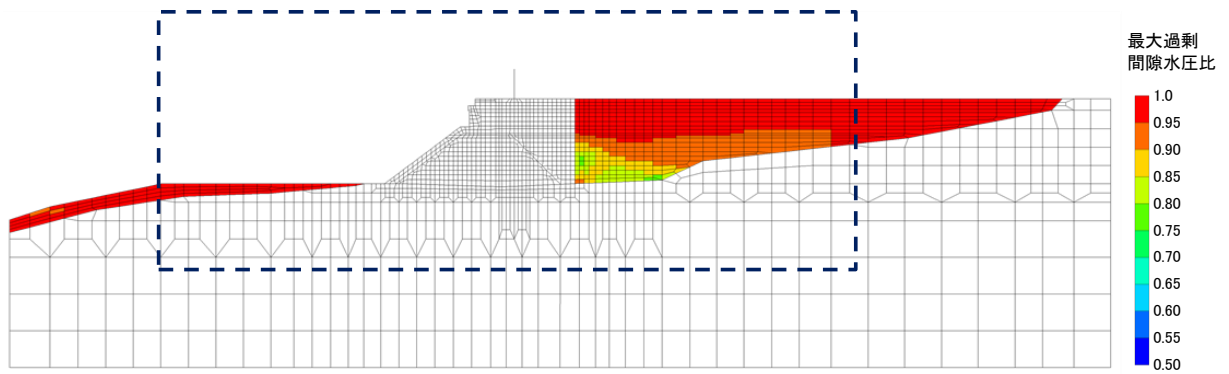


全体図

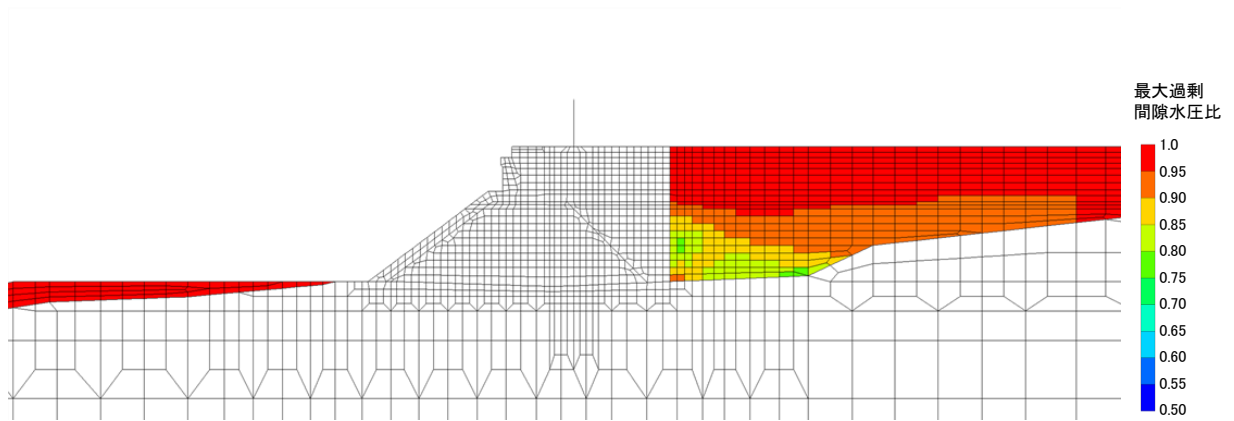


構造物周辺拡大図

図 4.1.4-5 ④-④断面の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース②, S_s-N1(++))

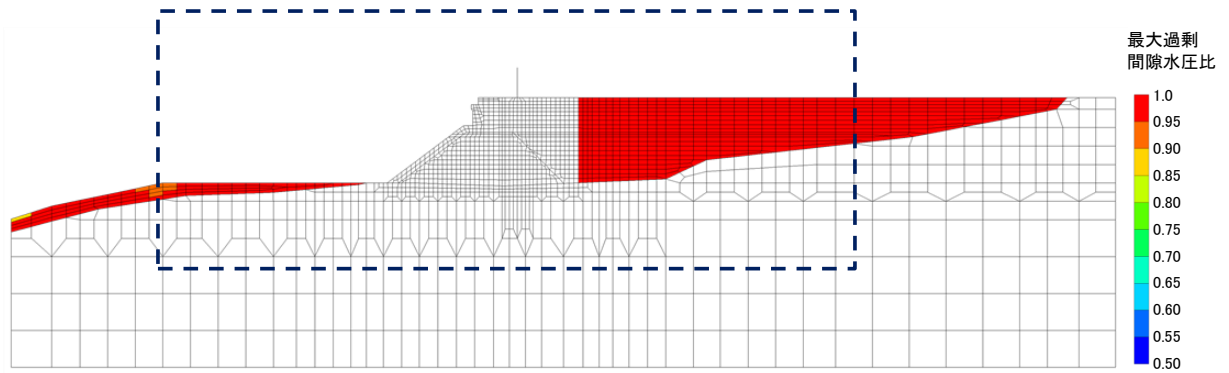


全体図

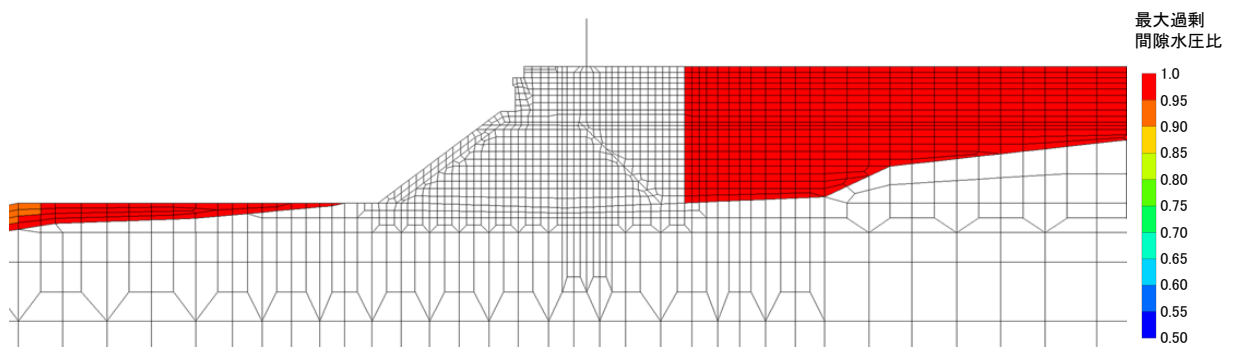


構造物周辺拡大図

図 4.1.4-6 ⑤-⑤断面の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース①, $S_s - N1$ (++))

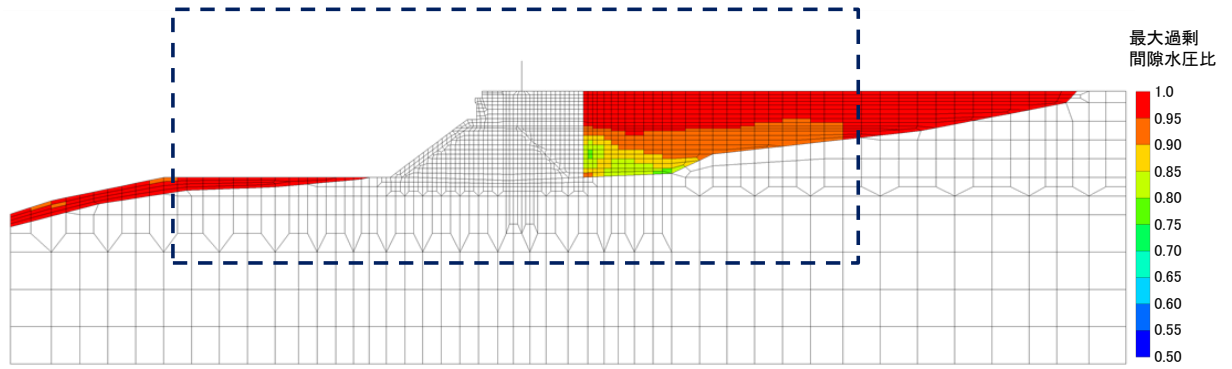


全体図

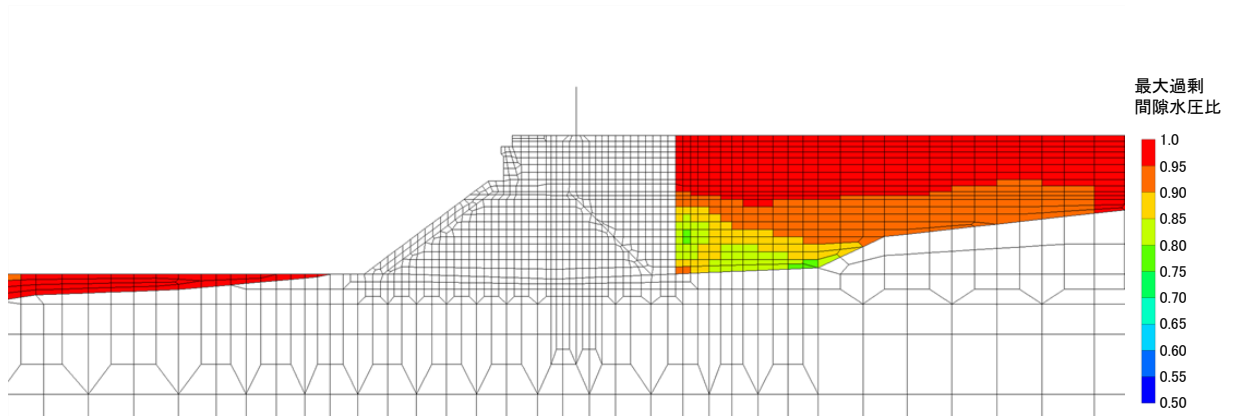


構造物周辺拡大図

図 4.1.4-7 ⑤-⑤断面の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース①, $S_s - D$ (---))



全体図



構造物周辺拡大図

図 4.1.4-8 ⑤-⑤断面の過剰間隙水圧比最大値分布
(解析ケース③, S_s-N1(++))

4.1.5 最大せん断ひずみ分布

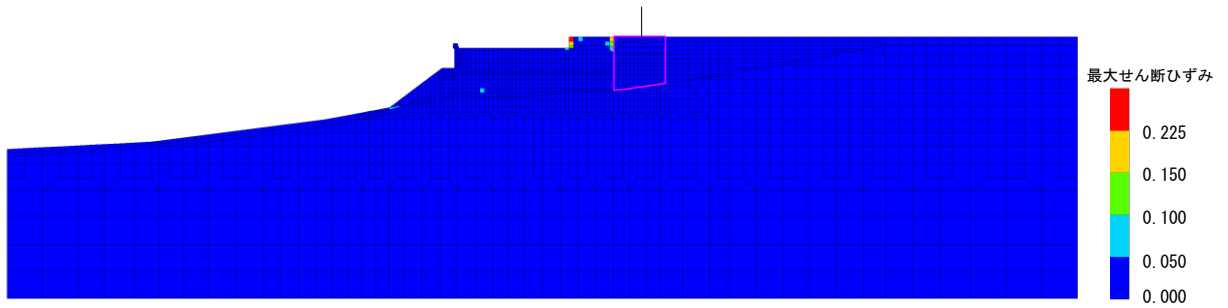
地盤の最大せん断ひずみ分布を確認するため、各施設設（逆T擁壁、グラウンドアンカ及び基礎地盤）の照査値のうち0.5を超える照査値で最大の照査値を示す解析ケースを表4.1.5-1に、最大の照査値を示す解析ケースにおける地震応答解析最大せん断ひずみ分布図を図4.1.5-1～図4.1.5-8に示す。

VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき、改良地盤内の最大せん断ひずみ分布を確認した結果、ひずみ依存特性の試験値範囲であるせん断ひずみ 1.0×10^{-3} を超える要素が認められるが、せん断ひずみ $1.4 \sim 1.6 \times 10^{-3}$ とわずかにを超える要素が大半であることから、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に記載のひずみ依存特性を用いて問題ないと考えられる。

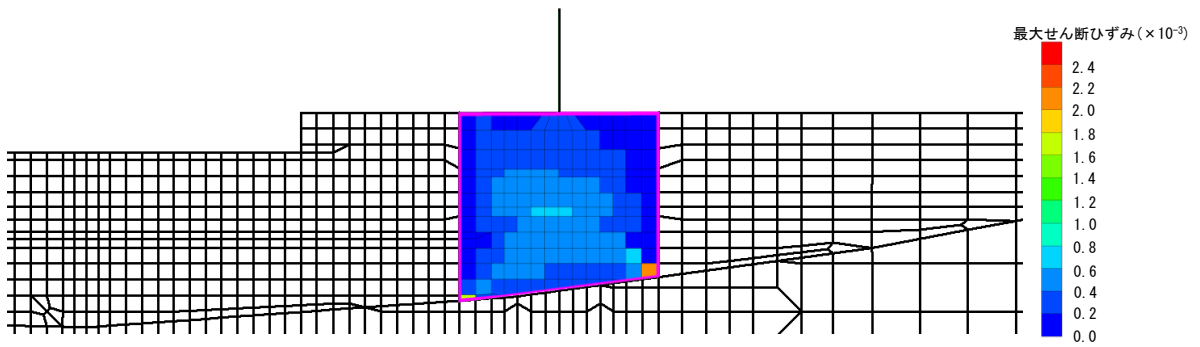
表 4.1.5-1 最大照査値を示す解析ケースの一覧

(①-①断面, ④-④断面, ⑤-⑤断面)

断面	評価項目			
	逆T擁壁		グラウンドアンカ	基礎地盤
	曲げ・軸力系	せん断		
①-①断面	S s - N 2 (E W) (-+) 解析ケース③ 0.64 (曲げ引張)	S s - D (--) 解析ケース② 0.59	S s - N 1 (++) 解析ケース① 0.86	全地震動において 0.5以下
④-④断面	S s - D (+-) 解析ケース③ 0.62 (曲げ引張)	S s - D (+-) 解析ケース③ 0.54	S s - N 1 (++) 解析ケース② 0.88	全地震動において 0.5以下
⑤-⑤断面	S s - N 1 (++) 解析ケース① 0.69 (曲げ引張)	S s - D (--) 解析ケース① 0.80	S s - N 1 (++) 解析ケース③ 0.85	全地震動において 0.5以下

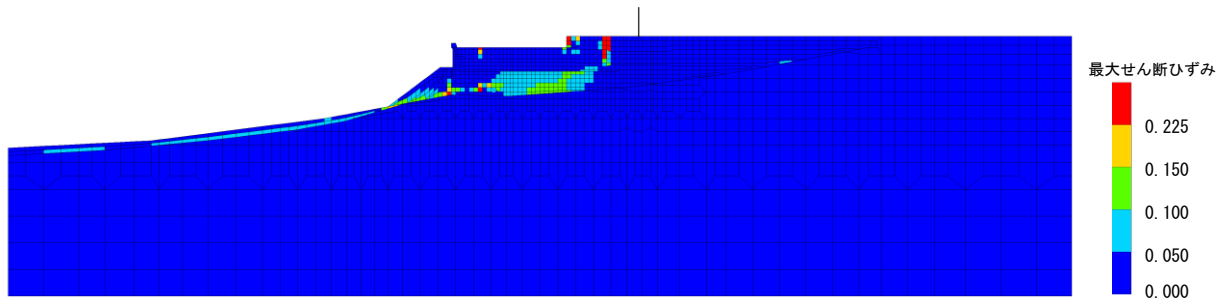


全体図

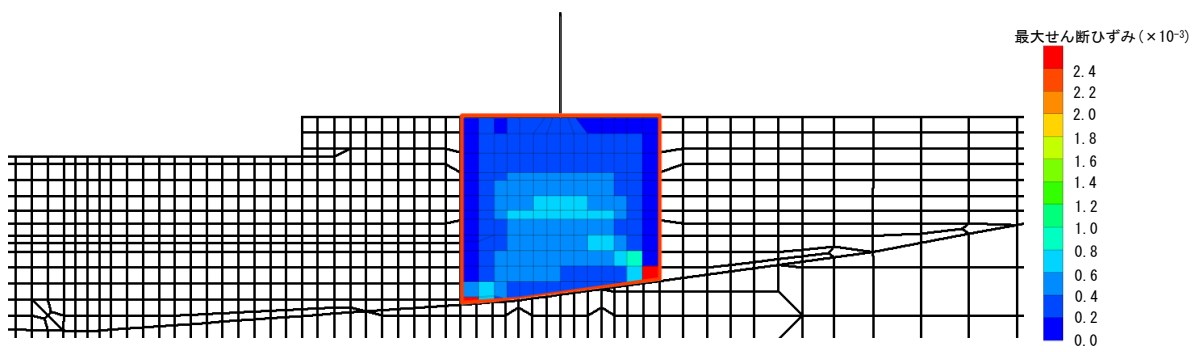


構造物周辺拡大図

図 4.1.5-1 ①-①断面の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース③, S_s-N2 (EW) (-+))

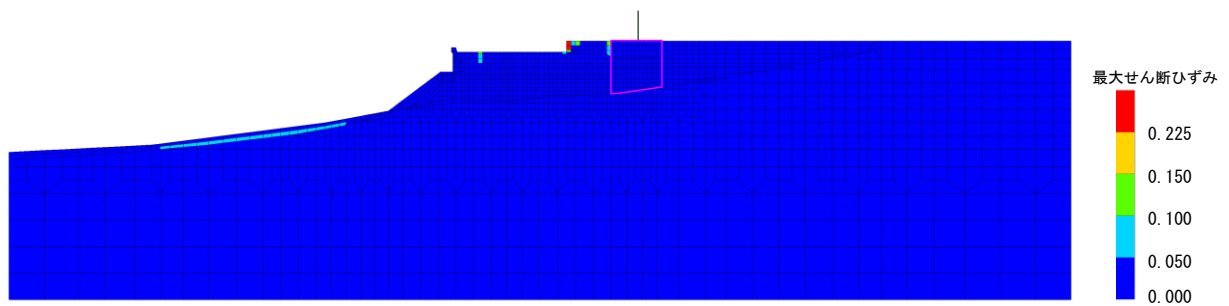


全体図

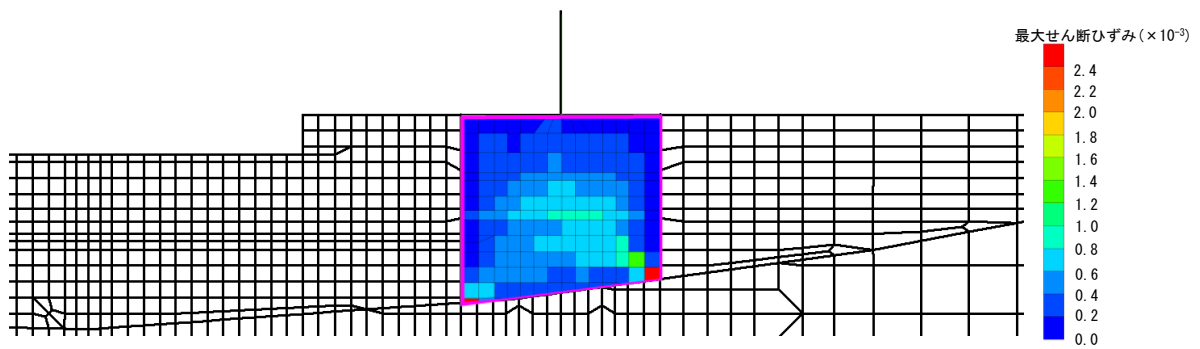


構造物周辺拡大図

図 4.1.5-2 ①-①断面の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース②, S_s-D (---))

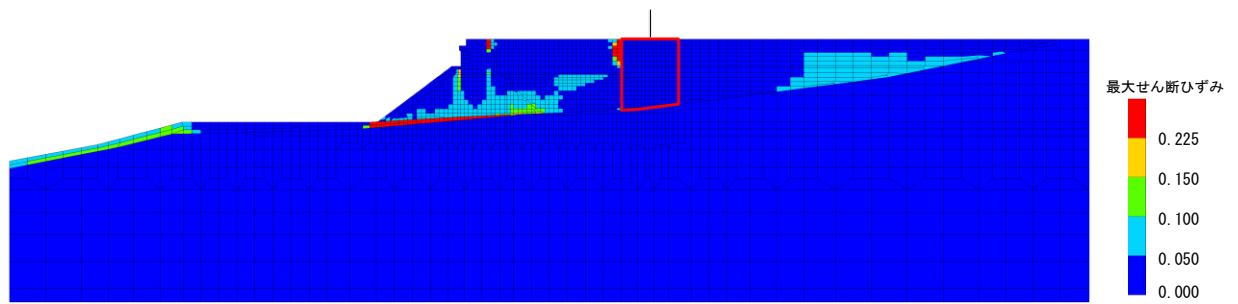


全体図

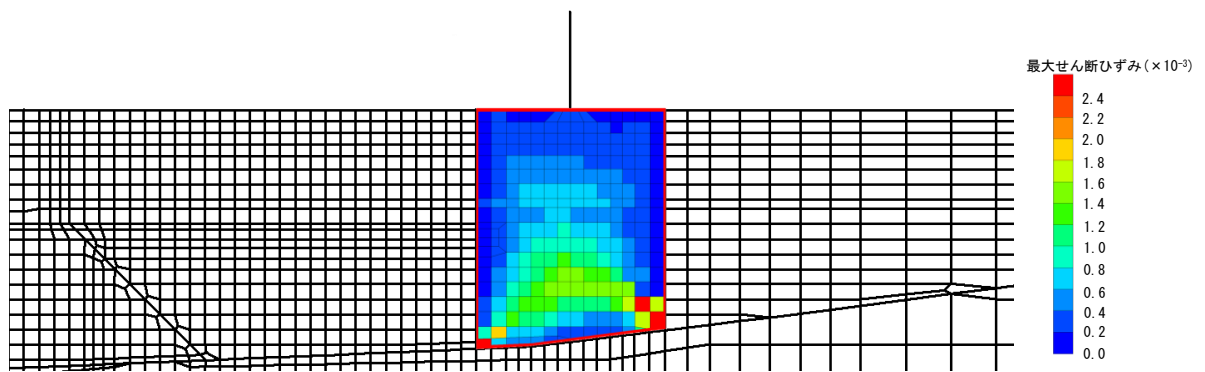


構造物周辺拡大図

図 4.1.5-3 ①-①断面の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, $S_s - N1$ (++))

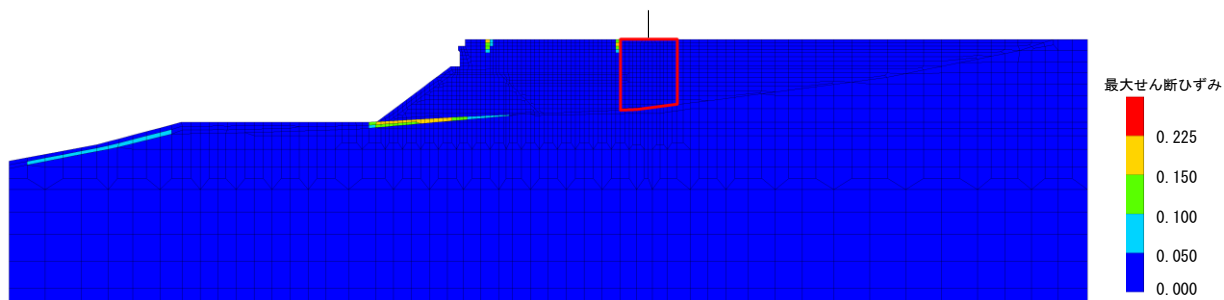


全体図

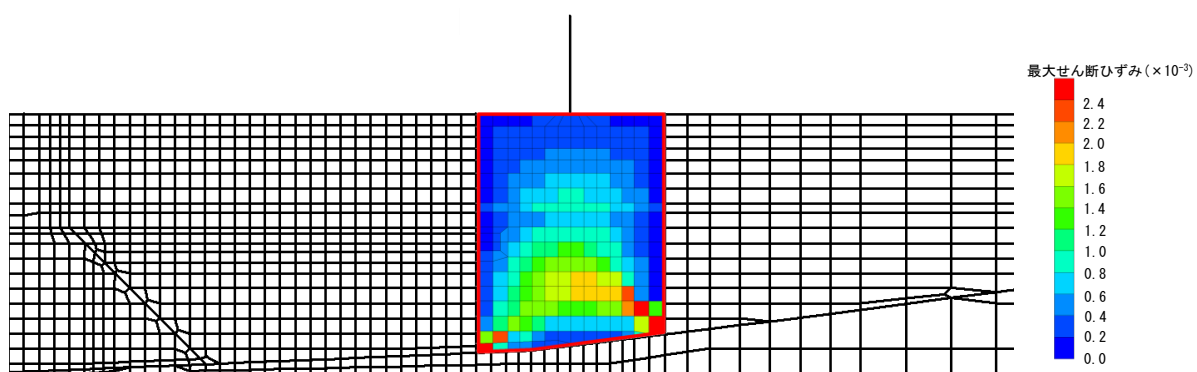


構造物周辺拡大図

図 4.1.5-4 ④-④断面の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース③, $S_s - D (+ -)$)

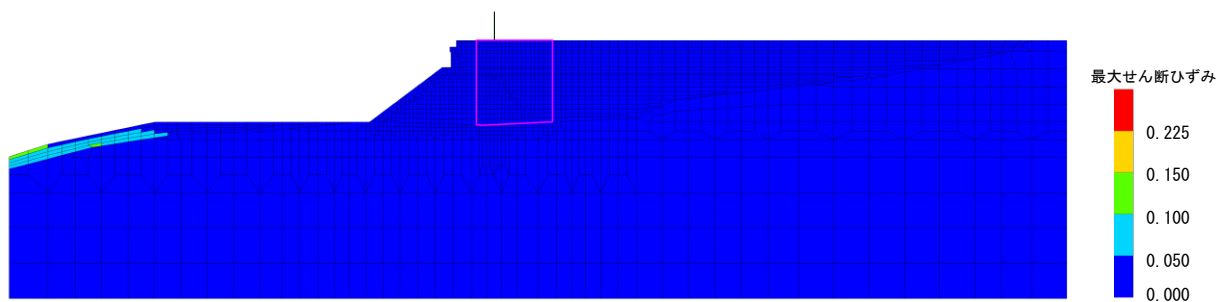


全体図

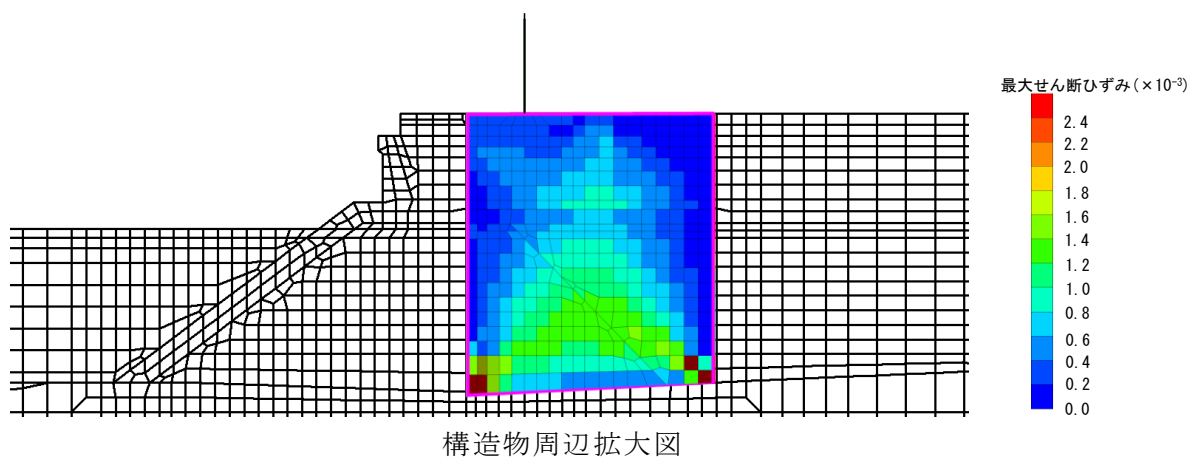


構造物周辺拡大図

図 4.1.5-5 ④-④断面の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース②, S_s-N1 (++))

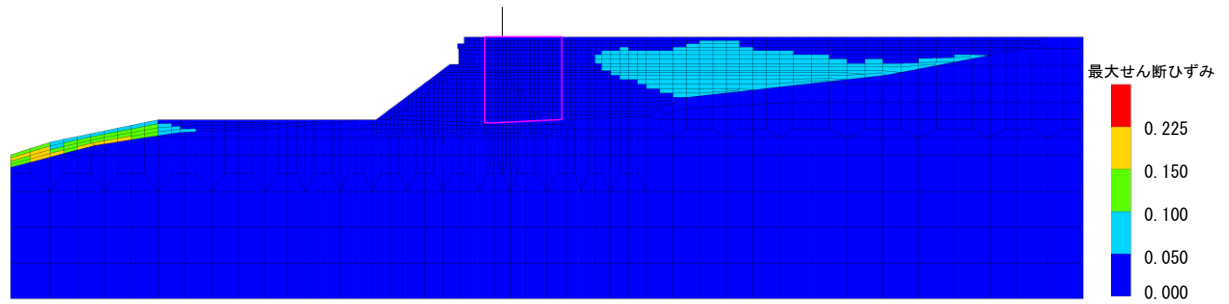


全体図

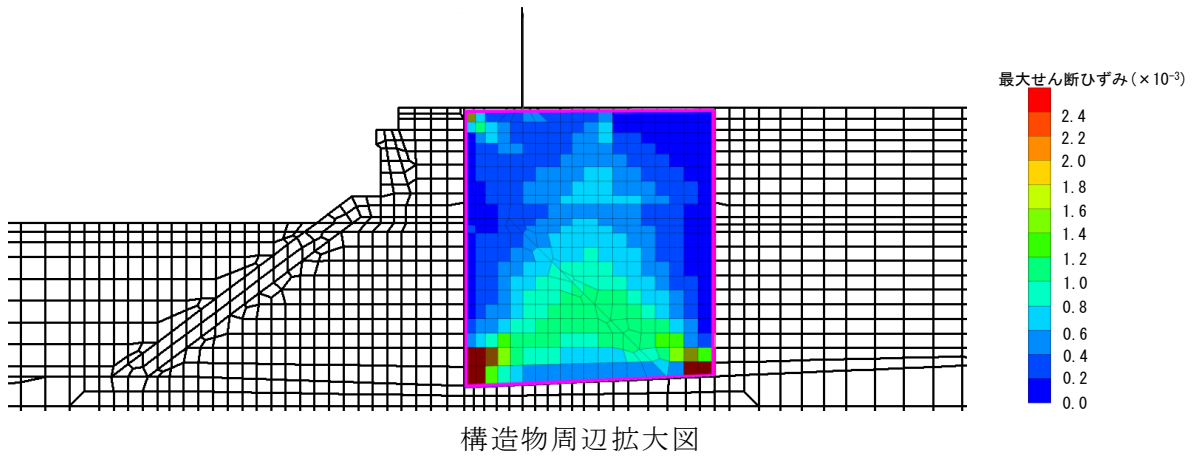


構造物周辺拡大図

図 4.1.5-6 ⑤-⑤断面の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, S_s-N1 (++))

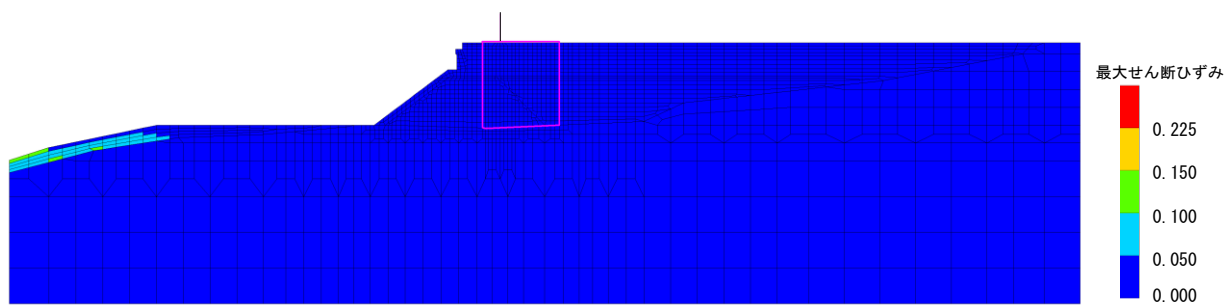


全体図

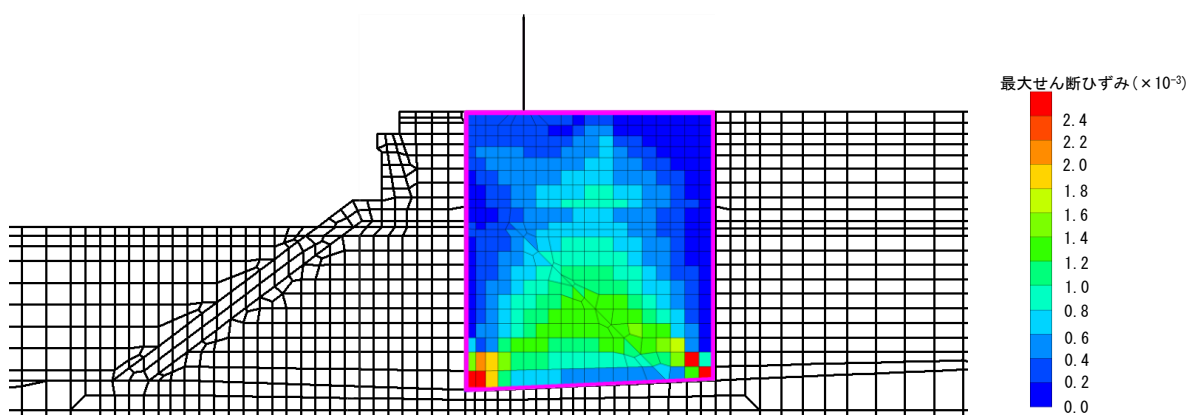


構造物周辺拡大図

図 4.1.5-7 ⑤-⑤断面の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース①, S_s-D (---))



全体図



構造物周辺拡大図

図 4.1.5-8 ⑤-⑤断面の最大せん断ひずみ分布
(解析ケース③, S_s-N1 (++))

4.2 逆T擁壁

4.2.1 曲げ照査

逆T擁壁のコンクリートの曲げ圧縮応力度に対する照査結果を表 4.2.1-1, 表 4.2.1-3 及び 4.2.1-5 に, 鉄筋の曲げ引張応力度に対する照査結果を表 4.2.1-2, 表 4.2.1-4 及び表 4.2.1-6 に示す。この結果から, 逆T擁壁の発生応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 4.2.1-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値 (①-①断面)

解析 ケース	地震動		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ圧縮 応力度 σ_c (kN)	短期許容 応力度 σ_{ca} (kN)	照査値 σ_c / σ_{ca}
①	S s - D	(++)	1825	295	4.2	13.5	0.32
		(-+)	1578	348	3.8	13.5	0.29
		(+-)	1874	425	4.3	13.5	0.32
		(--)	1583	378	3.9	13.5	0.29
	S s - F 1	(++)	1563	382	3.8	13.5	0.29
	S s - F 2	(++)	1379	382	3.4	13.5	0.26
	S s - N 1	(++)	1343	374	3.1	13.5	0.23
		(-+)	1151	320	2.8	13.5	0.21
	S s - N 2 (NS)	(++)	1449	354	3.5	13.5	0.26
		(-+)	1306	204	3.2	13.5	0.24
	S s - N 2 (EW)	(++)	1388	211	3.4	13.5	0.26
		(-+)	1604	281	3.9	13.5	0.29
②	S s - D	(--)	1579	379	3.9	13.5	0.29
	S s - N 1	(++)	1338	375	3.1	13.5	0.23
	S s - N 2 (EW)	(-+)	1605	281	3.9	13.5	0.29
③	S s - D	(--)	1592	365	3.9	13.5	0.29
	S s - N 1	(++)	1348	374	2.8	13.5	0.21
	S s - N 2 (EW)	(-+)	1606	279	3.9	13.5	0.29

表 4.2.1-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

(①-①断面)

解析 ケース	地震動		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ引張 応力度 σ_s (kN)	短期許容 応力度 σ_{sa} (kN)	照査値 σ_s / σ_{sa}
①	S _s -D	(++)	1825	295	175.3	294	0.60
		(-+)	1578	348	175.3	294	0.60
		(+-)	1874	425	169.5	294	0.58
		(--)	1583	378	172.7	294	0.59
	S _s -F 1	(++)	1563	382	169.6	294	0.58
	S _s -F 2	(++)	1379	382	144.9	294	0.50
	S _s -N 1	(++)	1343	374	115.7	294	0.40
		(-+)	1151	320	120.8	294	0.42
	S _s -N 2 (NS)	(++)	1449	354	157.3	294	0.54
		(-+)	1306	204	154.0	294	0.53
	S _s -N 2 (EW)	(++)	1388	211	164.4	294	0.56
		(-+)	1604	281	185.9	294	0.64
②	S _s -D	(--)	1579	379	172.2	294	0.59
	S _s -N 1	(++)	1338	375	115.1	294	0.40
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	1605	281	186.1	294	0.64
③	S _s -D	(--)	1592	365	175.3	294	0.60
	S _s -N 1	(++)	1348	374	116.4	294	0.40
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	1606	279	186.3	294	0.64

表 4.2.1-3 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値 (④-④断面)

解析 ケース	地震動		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ圧縮 応力度 σ_c (kN)	短期許容 応力度 σ_{ca} (kN)	照査値 σ_c / σ_{ca}
①	S _s -D	(++)	1447	280	3.5	13.5	0.26
		(-+)	1347	336	3.3	13.5	0.25
		(+-)	1594	327	3.9	13.5	0.29
		(--)	1233	374	3.0	13.5	0.23
	S _s -F1	(++)	1291	335	3.2	13.5	0.24
	S _s -F2	(++)	1296	356	3.2	13.5	0.24
	S _s -N1	(++)	1228	274	3.0	13.5	0.23
		(-+)	1206	253	2.9	13.5	0.22
	S _s -N2 (NS)	(++)	1276	393	3.0	13.5	0.23
		(-+)	1158	400	2.8	13.5	0.21
	S _s -N2 (EW)	(++)	1445	300	3.3	13.5	0.25
		(-+)	1255	275	3.1	13.5	0.23
②	S _s -D	(+-)	1585	329	3.9	13.5	0.29
	S _s -N1	(++)	1231	274	3.0	13.5	0.23
③	S _s -D	(+-)	1602	325	3.9	13.5	0.29
	S _s -N1	(++)	1224	274	3.0	13.5	0.23

表 4.2.1-4 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

(④-④断面)

解析 ケース	地震動		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ引張 応力度 σ_s (kN)	短期許容 応力度 σ_{sa} (kN)	照査値 σ_s / σ_{sa}
①	S _s -D	(++)	1447	280	164.8	294	0.57
		(-+)	1347	336	145.4	294	0.50
		(+-)	1594	327	179.6	294	0.62
		(--)	1099	144	135.2	294	0.46
	S _s -F 1	(++)	1291	335	138.1	294	0.47
	S _s -F 2	(++)	1296	356	136.4	294	0.47
	S _s -N 1	(++)	1228	274	136.0	294	0.47
		(-+)	1206	253	135.2	294	0.46
	S _s -N 2 (NS)	(++)	1029	102	129.9	294	0.45
		(-+)	1019	136	125.1	294	0.43
	S _s -N 2 (EW)	(++)	1445	300	133.2	294	0.46
		(-+)	1255	275	139.5	294	0.48
②	S _s -D	(+-)	1585	329	178.2	294	0.61
	S _s -N 1	(++)	1231	274	136.4	294	0.47
③	S _s -D	(+-)	1602	325	180.9	294	0.62
	S _s -N 1	(++)	1224	274	135.6	294	0.47

表 4.2.1-5 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における
最大照査値 (⑤-⑤断面)

解析 ケース	地震動		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ圧縮 応力度 σ_c (kN)	短期許容 応力度 σ_{ca} (kN)	照査値 σ_c / σ_{ca}
①	S _s -D	(++)	1902	237	4.3	13.5	0.32
		(-+)	1649	288	3.8	13.5	0.29
		(+-)	1770	467	4.3	13.5	0.32
		(--)	1641	443	4.0	13.5	0.30
	S _s -F 1	(++)	1397	429	3.4	13.5	0.26
	S _s -F 2	(++)	1356	423	3.3	13.5	0.25
	S _s -N 1	(++)	1924	128	4.4	13.5	0.33
		(-+)	1378	233	3.3	13.5	0.25
	S _s -N 2 (NS)	(++)	1499	458	3.7	13.5	0.28
		(-+)	1304	356	3.2	13.5	0.24
	S _s -N 2 (EW)	(++)	1234	251	3.0	13.5	0.23
		(-+)	1422	343	3.5	13.5	0.26
②	S _s -D	(--)	1639	443	4.0	13.5	0.30
	S _s -N 1	(++)	1921	129	4.4	13.5	0.33
③	S _s -D	(--)	1642	443	4.0	13.5	0.30
	S _s -N 1	(++)	1921	128	4.3	13.5	0.32

表 4.2.1-6 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における最大照査値

(⑤-⑤断面)

解析 ケース	地震動		曲げ モーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)	曲げ引張 応力度 σ_s (kN)	短期許容 応力度 σ_{sa} (kN)	照査値 σ_s / σ_{sa}
①	S _s -D	(++)	1902	237	188.7	294	0.65
		(-+)	1067	276	175.6	294	0.60
		(+-)	1770	467	188.5	294	0.65
		(--)	1073	269	175.7	294	0.60
	S _s -F1	(++)	931	294	159.0	294	0.55
	S _s -F2	(++)	870	292	150.5	294	0.52
	S _s -N1	(++)	1924	128	200.5	294	0.69
		(-+)	1130	257	182.1	294	0.62
	S _s -N2 (NS)	(++)	1499	458	153.0	294	0.53
		(-+)	931	278	157.2	294	0.54
	S _s -N2 (EW)	(++)	1234	251	139.4	294	0.48
		(-+)	988	275	164.7	294	0.57
②	S _s -D	(--)	1080	269	176.6	294	0.61
	S _s -N1	(++)	1921	129	200.1	294	0.69
③	S _s -D	(--)	1074	284	177.4	294	0.61
	S _s -N1	(++)	1921	128	200.2	294	0.69

4.2.2 せん断照査

逆T擁壁のせん断破壊に対する照査結果を表 4.2.2-1～表 4.2.2-3 に示す。この結果から、逆T擁壁の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4.2.2-1 コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値
(①-①断面)

解析 ケース	地震動		せん断力 Q (kN)	せん断 応力度 τ (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ / τ_{a1}
①	S _s -D	(++)	546	0.37	0.67	0.56
		(-+)	559	0.38	0.67	0.57
		(+-)	553	0.37	0.67	0.56
		(--)	575	0.39	0.67	0.59
	S _s -F 1	(++)	567	0.38	0.67	0.57
	S _s -F 2	(++)	539	0.36	0.67	0.54
	S _s -N 1	(++)	502	0.34	0.67	0.51
		(-+)	490	0.33	0.67	0.50
	S _s -N 2 (NS)	(++)	531	0.36	0.67	0.54
		(-+)	510	0.34	0.67	0.51
	S _s -N 2 (EW)	(++)	516	0.35	0.67	0.53
		(-+)	545	0.37	0.67	0.56
②	S _s -D	(--)	575	0.39	0.67	0.59
	S _s -N 1	(++)	500	0.34	0.67	0.51
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	545	0.37	0.67	0.56
③	S _s -D	(--)	574	0.39	0.67	0.59
	S _s -N 1	(++)	504	0.34	0.67	0.51
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	545	0.37	0.67	0.56

表 4.2.2-2 コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値

(④-④断面)

解析 ケース	地震動		せん断力 Q (kN)	せん断 応力度 τ (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ / τ_{a1}
①	S _s -D	(++)	476	0.32	0.67	0.48
		(-+)	472	0.32	0.67	0.48
		(+-)	528	0.36	0.67	0.54
		(--)	468	0.32	0.67	0.48
	S _s -F 1	(++)	462	0.31	0.67	0.47
	S _s -F 2	(++)	473	0.32	0.67	0.48
	S _s -N 1	(++)	445	0.30	0.67	0.45
		(-+)	453	0.30	0.67	0.45
	S _s -N 2 (NS)	(++)	442	0.30	0.67	0.45
		(-+)	488	0.33	0.67	0.50
	S _s -N 2 (EW)	(++)	467	0.31	0.67	0.47
		(-+)	474	0.32	0.67	0.48
②	S _s -D	(+-)	527	0.36	0.67	0.54
	S _s -N 1	(++)	445	0.30	0.67	0.45
③	S _s -D	(+-)	529	0.36	0.67	0.54
	S _s -N 1	(++)	444	0.30	0.67	0.45

表 4.2.2-3 コンクリートのせん断破壊に対する照査における最大照査値
(⑤-⑤断面)

解析 ケース	地震動		せん断力 Q (kN)	せん断 応力度 τ (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ / τ_{a1}
①	S _s -D	(++)	726	0.49	0.67	0.74
		(-+)	-21	0.48	0.67	0.72
		(+-)	772	0.52	0.67	0.78
		(--)	786	0.53	0.67	0.80
	S _s -F 1	(++)	534	0.35	0.67	0.53
	S _s -F 2	(++)	676	0.45	0.67	0.68
	S _s -N 1	(++)	676	0.45	0.67	0.68
		(-+)	584	0.38	0.67	0.57
	S _s -N 2 (NS)	(++)	538	0.36	0.67	0.54
		(-+)	572	0.38	0.67	0.57
	S _s -N 2 (EW)	(++)	548	0.36	0.67	0.54
		(-+)	554	0.37	0.67	0.56
②	S _s -D	(--)	785	0.52	0.67	0.78
	S _s -N 1	(++)	675	0.44	0.67	0.66
③	S _s -D	(--)	785	0.52	0.67	0.78
	S _s -N 1	(++)	676	0.44	0.67	0.66

4.2.3 グラウンドアンカによる支圧照査

逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧応力度に対する照査値を表 4.2.3-1～表 4.2.3-3 に示す。この結果から、逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧応力度が許容限界以下であることを確認した。

表 4.2.3-1 グラウンドアンカによる支圧応力度に対する
照査における最大照査値 (①-①断面)

解析 ケース	地震動		支圧 応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
①	S _s -D	(++)	10.5	18.0	0.59
		(-+)	10.5	18.0	0.59
		(+-)	10.5	18.0	0.59
		(--)	10.4	18.0	0.58
	S _s -F 1	(++)	10.3	18.0	0.58
	S _s -F 2	(++)	10.3	18.0	0.58
	S _s -N 1	(++)	10.6	18.0	0.59
		(-+)	10.3	18.0	0.58
	S _s -N 2 (NS)	(++)	10.4	18.0	0.58
		(-+)	10.3	18.0	0.58
	S _s -N 2 (EW)	(++)	10.5	18.0	0.59
		(-+)	10.3	18.0	0.58
②	S _s -D	(--)	10.4	18.0	0.58
	S _s -N 1	(++)	10.6	18.0	0.59
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	10.3	18.0	0.58
③	S _s -D	(--)	10.4	18.0	0.58
	S _s -N 1	(++)	10.6	18.0	0.59
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	10.3	18.0	0.58

表 4.2.3-2 グラウンドアンカによる支圧応力度に対する
照査における最大照査値 (④-④断面)

解析 ケース	地震動		支圧 応力度	短期許容 応力度	照査値 σ_b / σ_{ba}
			σ_b (N/mm ²)	σ_{ba} (N/mm ²)	
①	S _s -D	(++)	8.8	18.0	0.49
		(-+)	8.8	18.0	0.49
		(+-)	8.9	18.0	0.50
		(--)	8.8	18.0	0.49
	S _s -F 1	(++)	8.5	18.0	0.48
	S _s -F 2	(++)	8.5	18.0	0.48
	S _s -N 1	(++)	8.9	18.0	0.50
		(-+)	8.6	18.0	0.48
	S _s -N 2 (NS)	(++)	8.6	18.0	0.48
		(-+)	8.5	18.0	0.48
	S _s -N 2 (EW)	(++)	8.6	18.0	0.48
		(-+)	8.5	18.0	0.48
②	S _s -D	(+-)	8.9	18.0	0.50
	S _s -N 1	(++)	8.9	18.0	0.50
③	S _s -D	(+-)	8.9	18.0	0.50
	S _s -N 1	(++)	8.9	18.0	0.50

表 4.2.3-3 グラウンドアンカによる支圧応力度に対する
照査における最大照査値 (⑤-⑤断面)

解析 ケース	地震動		支圧 応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
①	S _s -D	(++)	12.2	18.0	0.68
		(-+)	12.2	18.0	0.68
		(+-)	12.1	18.0	0.68
		(--)	12.1	18.0	0.68
	S _s -F1	(++)	11.9	18.0	0.67
	S _s -F2	(++)	12.0	18.0	0.67
	S _s -N1	(++)	12.3	18.0	0.69
		(-+)	11.9	18.0	0.67
	S _s -N2 (NS)	(++)	12.1	18.0	0.68
		(-+)	11.9	18.0	0.67
	S _s -N2 (EW)	(++)	12.2	18.0	0.68
		(-+)	11.9	18.0	0.67
②	S _s -D	(--)	12.1	18.0	0.68
	S _s -N1	(++)	12.3	18.0	0.69
③	S _s -D	(--)	12.1	18.0	0.68
	S _s -N1	(++)	12.3	18.0	0.69

4.2.4 隣接する躯体同士の間支圧照査

逆T擁壁の隣接する躯体同士の間支圧応力度に対する照査においては、躯体同士の間境界の天端に発生する慣性力により照査を行う。図4.2.4-1に躯体同士の間天端における節点の節点番号を示す。

また、隣接する躯体同士の間接触面積を表4.2.4-1に示す。

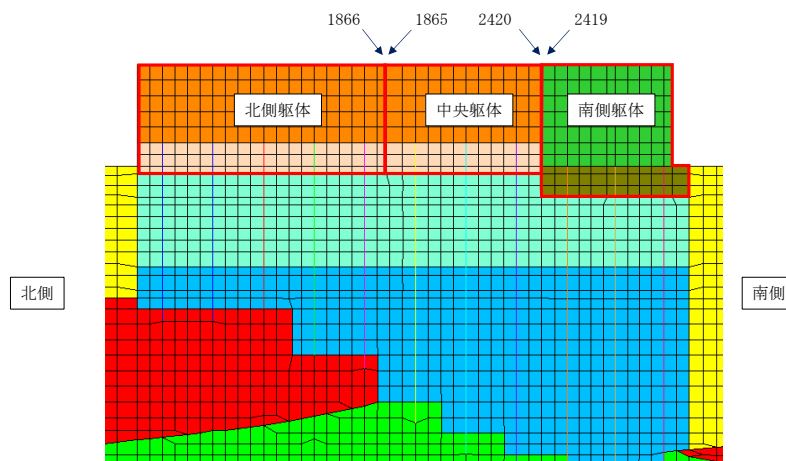


図4.2.4-1 躯体同士の間境界における天端の節点の節点番号

表4.2.4-1 天端の加速度が最大となる時刻の隣接する躯体同士の間接触面積

	接触面積 (m ²)
北側躯体－中央躯体間	27.00
中央躯体－南側躯体間	17.25

逆T擁壁の隣接する躯体同士の間支圧応力度に対する照査値を表4.2.4-2に示す。この結果から、逆T擁壁の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

また、隣接する躯体同士の間挙動を確認するため、照査値が最大となるS_s-D(ー)の解析ケース①における南側躯体及び中央躯体間の間天端の変位を確認した結果、図4.2.4-2のとおり、それぞれの躯体は同位相で変位しており、逆位相による躯体同士の間衝突は発生していないことから、片方の躯体の間応答加速度を考慮しない表4.2.4-2の評価は保守的であることを確認した。

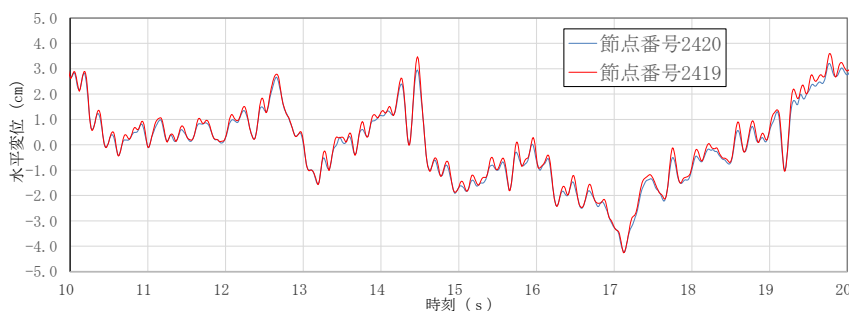


図4.2.4-2 南側躯体及び中央躯体間の間天端の変位 (南側正)

表 4.2.4-2(1) 隣接する躯体同士を支圧応力度に対する照査結果

解析 ケース	地震動		節点 番号	慣性力 の向き	慣性力 F (kN)	支圧 応力度 σ_{cv} (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_{cv}/σ_{ca}
①	S s - D	(++)	1866	南側	17368	0.643	10.80	0.06
			1865	北側	17477	0.647	10.80	0.06
				南側	9927	0.575	10.80	0.06
			2420	北側	20994	0.778	10.80	0.08
				南側	9918	0.575	10.80	0.06
			2419	北側	17737	1.028	10.80	0.10
		(-+)	1866	南側	18277	0.677	10.80	0.07
			1865	北側	19754	0.732	10.80	0.07
				南側	9547	0.553	10.80	0.06
			2420	北側	20827	0.771	10.80	0.08
				南側	9656	0.560	10.80	0.06
			2419	北側	23396	1.356	10.80	0.13
		(+-)	1866	南側	17227	0.638	10.80	0.06
			1865	北側	20701	0.767	10.80	0.08
				南側	9122	0.529	10.80	0.05
			2420	北側	20833	0.772	10.80	0.08
				南側	9101	0.528	10.80	0.05
			2419	北側	20574	1.193	10.80	0.12
		(--)	1866	南側	16518	0.612	10.80	0.06
			1865	北側	21271	0.788	10.80	0.08
				南側	9970	0.578	10.80	0.06
			2420	北側	23130	0.857	10.80	0.08
				南側	9954	0.577	10.80	0.06
			2419	北側	23716	1.375	10.80	0.13

表 4.2.4-2(2) 隣接する躯体同士の支圧応力度に対する照査結果

解析 ケース	地震動		節点 番号	慣性力 の向き	慣性力 F (kN)	支圧	短期許容	照査値 σ_{cv}/σ_{ca}
						応力度 σ_{cv} (N/mm ²)	応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	
①	S s - F 1	(++)	1866	南側	13932	0.516	10.80	0.05
			1865	北側	17207	0.637	10.80	0.06
				南側	6934	0.402	10.80	0.04
			2420	北側	17759	0.658	10.80	0.07
				南側	7001	0.406	10.80	0.04
			2419	北側	18918	1.097	10.80	0.11
	S s - F 2	(++)	1866	南側	16935	0.627	10.80	0.06
			1865	北側	13191	0.489	10.80	0.05
				南側	7903	0.458	10.80	0.05
			2420	北側	13003	0.482	10.80	0.05
				南側	7822	0.453	10.80	0.05
			2419	北側	17517	1.015	10.80	0.10
	S s - N 1	(++)	1866	南側	12245	0.454	10.80	0.05
			1865	北側	10665	0.395	10.80	0.04
				南側	9344	0.542	10.80	0.06
			2420	北側	9674	0.358	10.80	0.04
				南側	9351	0.542	10.80	0.06
			2419	北側	11535	0.669	10.80	0.07
		(-+)	1866	南側	13133	0.486	10.80	0.05
			1865	北側	14184	0.525	10.80	0.05
				南側	8555	0.496	10.80	0.05
			2420	北側	15235	0.564	10.80	0.06
				南側	8855	0.513	10.80	0.05
			2419	北側	16079	0.932	10.80	0.09

表 4.2.4-2(3) 隣接する躯体同士の支圧応力度に対する照査結果

解析 ケース	地震動		節点 番号	慣性力 の向き	慣性力 F (kN)	支圧	短期許容	照査値 σ_{cv}/σ_{ca}
						応力度 σ_{cv} (N/mm ²)	応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	
①	S _s -N2 (NS)	(++)	1866	南側	11740	0.435	10.80	0.05
			1865	北側	12112	0.449	10.80	0.05
				南側	6697	0.388	10.80	0.04
			2420	北側	10042	0.372	10.80	0.04
				南側	6672	0.387	10.80	0.04
			2419	北側	12555	0.728	10.80	0.07
		(-+)	1866	南側	11931	0.442	10.80	0.05
			1865	北側	12345	0.457	10.80	0.05
				南側	6607	0.383	10.80	0.04
			2420	北側	11336	0.420	10.80	0.04
				南側	6609	0.383	10.80	0.04
			2419	北側	11403	0.661	10.80	0.07
	S _s -N2 (EW)	(++)	1866	南側	13102	0.485	10.80	0.05
			1865	北側	11233	0.416	10.80	0.04
				南側	10272	0.595	10.80	0.06
			2420	北側	11341	0.420	10.80	0.04
				南側	10012	0.580	10.80	0.06
			2419	北側	14600	0.846	10.80	0.08
		(-+)	1866	南側	13854	0.513	10.80	0.05
			1865	北側	14385	0.533	10.80	0.05
				南側	7878	0.457	10.80	0.05
			2420	北側	12568	0.465	10.80	0.05
				南側	7896	0.458	10.80	0.05
			2419	北側	21959	1.273	10.80	0.12

4.3 グラウンドアンカ

4.3.1 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査結果を表 4.3.1-1～表 4.3.1-3 に示す。この結果から、グラウンドアンカの発生アンカー力が許容限界以下であることを確認した。

表 4.3.1-1 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査
における照査値 (①-①断面)

解析 ケース	地震動		発生時刻 (s)	発生アン カー力 T (KN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
①	S s - D	(++)	14.58	1498	1764	0.85
		(-+)	8.59	1493	1764	0.85
		(+-)	14.63	1494	1764	0.85
		(--)	8.98	1484	1764	0.85
	S s - F 1	(++)	7.93	1467	1764	0.84
	S s - F 2	(++)	16.63	1473	1764	0.84
	S s - N 1	(++)	7.56	1514	1764	0.86
		(-+)	7.33	1477	1764	0.84
	S s - N 2 (NS)	(++)	25.02	1480	1764	0.84
		(-+)	25.53	1477	1764	0.84
	S s - N 2 (EW)	(++)	25.98	1494	1764	0.85
		(-+)	25.97	1473	1764	0.84
②	S s - D	(--)	8.98	1484	1764	0.85
	S s - N 1	(++)	7.56	1514	1764	0.86
	S s - N 2 (EW)	(-+)	25.97	1472	1764	0.84
③	S s - D	(--)	8.98	1484	1764	0.85
	S s - N 1	(++)	7.56	1514	1764	0.86
	S s - N 2 (EW)	(-+)	25.97	1473	1764	0.84

表 4.3.1-2 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査
 における照査値 (④-④断面)

解析 ケース	地震動		発生時刻 (s)	発生アン カー力 T (kN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a	
①	S _s -D	(++)	34.40	1263	1453	0.87	
		(-+)	9.01	1259	1453	0.87	
		(+-)	34.39	1265	1453	0.88	
		(--)	28.09	1255	1453	0.87	
	S _s -F 1	(++)	8.20	1217	1453	0.84	
	S _s -F 2	(++)	16.68	1215	1453	0.84	
	S _s -N 1	(++)	7.65	1276	1453	0.88	
		(-+)	7.43	1232	1453	0.85	
	S _s -N 2 (NS)	(++)	25.04	1224	1453	0.85	
		(-+)	24.31	1212	1453	0.84	
	S _s -N 2 (EW)	(++)	26.02	1231	1453	0.85	
		(-+)	26.28	1213	1453	0.84	
	②	S _s -D	(+-)	34.39	1265	1453	0.88
		S _s -N 1	(++)	7.65	1276	1453	0.88
③	S _s -D	(+-)	34.39	1265	1453	0.88	
	S _s -N 1	(++)	7.65	1276	1453	0.88	

表 4.3.1-3 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査
 における照査値 (⑤-⑤断面)

解析 ケース	地震動	発生時刻 (s)	発生アン カー力 T (kN)	許容 アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a	
①	S _s -D	(++)	34.36	1737	2076	0.84
		(-+)	8.92	1745	2076	0.85
		(+-)	34.37	1728	2076	0.84
		(--)	8.90	1733	2076	0.84
	S _s -F1	(++)	7.72	1704	2076	0.83
	S _s -F2	(++)	16.68	1714	2076	0.83
	S _s -N1	(++)	7.57	1762	2076	0.85
		(-+)	7.36	1706	2076	0.83
	S _s -N2 (NS)	(++)	25.03	1735	2076	0.84
		(-+)	26.73	1704	2076	0.83
	S _s -N2 (EW)	(++)	24.91	1737	2076	0.84
		(-+)	25.90	1698	2076	0.82
②	S _s -D	(--)	8.90	1733	2076	0.84
	S _s -N1	(++)	7.57	1762	2076	0.85
③	S _s -D	(--)	8.90	1733	2076	0.84
	S _s -N1	(++)	7.57	1762	2076	0.85

4.3.2 逆T擁壁の滑動・転倒に対する耐力の確認

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査により確保されることを確認した設計アンカー力を用い、逆T擁壁の滑動、転倒に対する耐力を確認する。

逆T擁壁の滑動、転倒に対する照査は逆T擁壁に作用する鉛直力、水平力により、それぞれの照査項目に対する耐力、作用力を算定し、安全率により照査を行う。逆T擁壁に作用する鉛直力を表4.3.2-1～表4.3.2-3に、水平力を表4.3.2-4及び表4.3.2-5に、逆T擁壁に作用する荷重イメージを図4.3.2-1に示す。

表 4.3.2-1 逆T擁壁の躯体重量(1m当たり)

(①-①断面, ④-④断面, ⑤-⑤断面)

		幅 (m)		高さ (m)		単位体積 重量 (kN/m ³)		重量 (kN/m)
逆T擁壁	縦壁	2.0	×	5.0	×	24.0	=	240.0
	底版	8.5	×	2.0	×	24.0	=	408.0
積雪荷重		8.5	×			0.7	=	6.0
漂流物対策工荷重								250.0
合計								904.0

表 4.3.2-2(1) グラウンドアンカの緊張力 (1m 当たり) (①-①断面)

	設計アンカー力 (kN)		アンカー間隔 (m)		緊張力 (kN/m)
海側	2880 (1440×2)	÷	4.0	=	720.0
陸側	1440	÷	4.0	=	360.0

表 4.3.2-2(2) グラウンドアンカの緊張力 (1m 当たり) (④-④断面)

	設計アンカー力 (kN)		アンカー間隔 (m)		緊張力 (kN/m)
海側	2340 (1170×2)	÷	4.0	=	585.0
陸側	1170	÷	4.0	=	292.5

表 4.3.2-2(3) グラウンドアンカの緊張力 (1m 当たり) (⑤-⑤断面)

	設計アンカー力 (kN)		アンカー間隔 (m)		緊張力 (kN/m)
海側	3300 (1650×2)	÷	3.25	=	1015.4
陸側	1650	÷	3.25	=	507.7

表 4.3.2-3(1) 逆T擁壁に作用する慣性力（鉛直方向）（①-①断面）

照査用震度 (a/g)		躯体重量 (kN/m)		慣性力 (kN/m)
0.04	×	904.0	=	36.2

表 4.3.2-3(2) 逆T擁壁に作用する慣性力（鉛直方向）（④-④断面）

照査用震度 (a/g)		躯体重量 (kN/m)		慣性力 (kN/m)
-0.06	×	904.0	=	-54.2

表 4.3.2-3(3) 逆T擁壁に作用する慣性力（鉛直方向）（⑤-⑤断面）

照査用震度 (a/g)		躯体重量 (kN/m)		慣性力 (kN/m)
0.20	×	904.0	=	180.8

表 4.3.2-4(1) 逆T擁壁に作用する風荷重 (①-①断面)

	高さ (m)		風荷重 (kN/m ²)		風荷重 (kN/m)
縦壁	5.0	×	2.117	=	10.6
底版	1.5	×	2.117	=	3.2

表 4.3.2-4(2) 逆T擁壁に作用する風荷重 (④-④断面)

	高さ (m)		風荷重 (kN/m ²)		風荷重 (kN/m)
縦壁	5.0	×	2.117	=	10.6
底版	1.5	×	2.117	=	3.2

表 4.3.2-4(3) 逆T擁壁に作用する風荷重 (⑤-⑤断面)

	高さ (m)		風荷重 (kN/m ²)		風荷重 (kN/m)
縦壁	5.0	×	1.805	=	9.0
底版	1.5	×	1.805	=	2.7

表 4.3.2-5(1) 逆T擁壁に作用する慣性力（水平方向）（①-①断面）

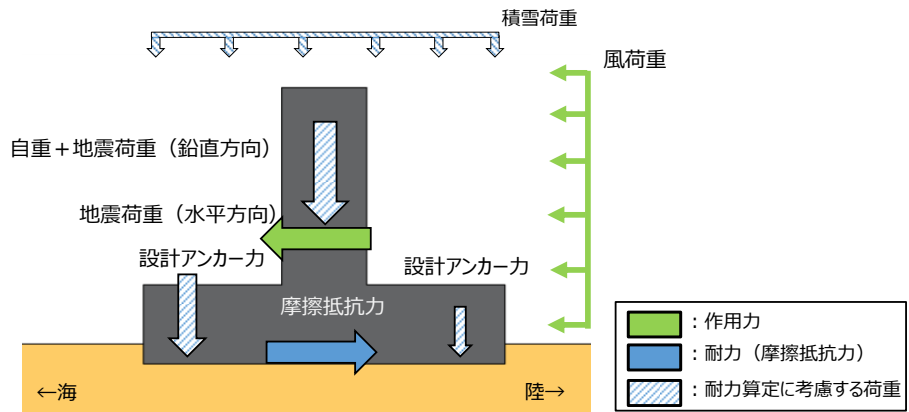
照査用震度 (a/g)		躯体重量 (kN/m)		慣性力 (kN/m)
0.30	×	904.0	=	271.2

表 4.3.2-5(2) 逆T擁壁に作用する慣性力（水平方向）（④-④断面）

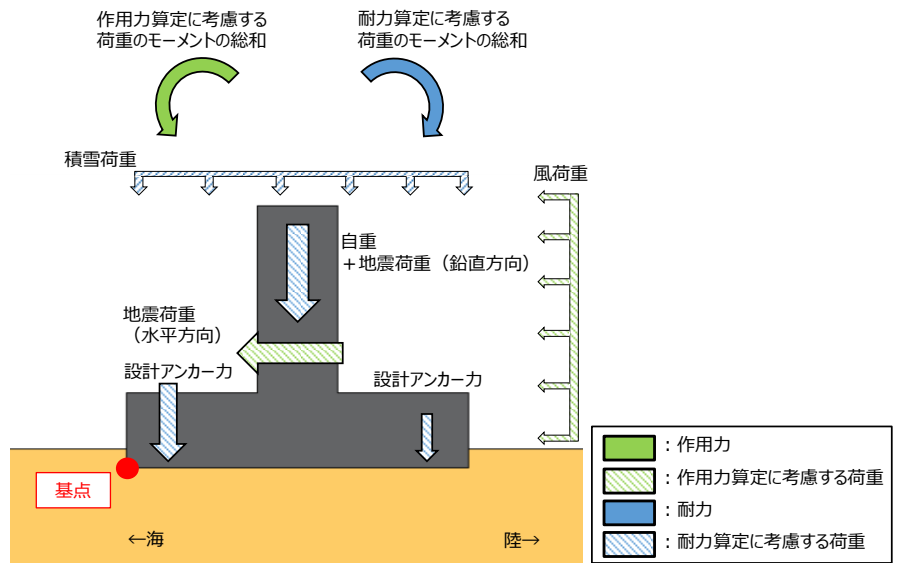
照査用震度 (a/g)		躯体重量 (kN/m)		慣性力 (kN/m)
0.25	×	904.0	=	226.0

表 4.3.2-5(3) 逆T擁壁に作用する慣性力（水平方向）（⑤-⑤断面）

照査用震度 (a/g)		躯体重量 (kN/m)		慣性力 (kN/m)
0.22	×	904.0	=	198.9



(滑動)



(転倒)

図 4.3.2-1 逆T擁壁に作用する荷重イメージ

(1) 滑動に対する照査

滑動に対する照査では、水平力の合計を滑動に対する作用力とし、鉛直力の合計に、「港湾基準」に示されるコンクリート同士の摩擦係数 0.5 を乗じたものを、滑動に対する耐力とする。

表 4.3.2-6 に逆 T 擁壁の滑動に対する照査結果を示す。この結果から、安全率 1.0 以上であることを確認した。

表 4.3.2-6(1) 逆 T 擁壁の滑動に対する照査結果(①-①断面)

滑動に対する耐力 (kN/m)	2020.1(鉛直力の合計)×0.5 (摩擦係数)
滑動に対する作用力 (kN/m)	284.9(水平力の合計)
安全率	3.54

表 4.3.2-6(2) 逆 T 擁壁の滑動に対する照査結果(④-④断面)

滑動に対する耐力 (kN/m)	1727.2(鉛直力の合計)×0.5 (摩擦係数)
滑動に対する作用力 (kN/m)	239.7(水平力の合計)
安全率	3.60

表 4.3.2-6(3) 逆 T 擁壁の滑動に対する照査結果(⑤-⑤断面)

滑動に対する耐力 (kN/m)	2607.8(鉛直力の合計)×0.5 (摩擦係数)
滑動に対する作用力 (kN/m)	210.6(水平力の合計)
安全率	6.19

(2) 転倒に対する照査

転倒に対する照査では、表 4.3.2-7 に示す各鉛直力によるモーメントの合計を転倒に対する耐力とし、表 4.3.2-8 に示す各水平力によるモーメントの合計を転倒に対する作用力とする。

表 4.3.2-9 に逆 T 擁壁の転倒に対する照査結果を示す。この結果から、安全率 1.0 以上であることを確認した。

表 4.3.2-7(1) 逆 T 擁壁の転倒に対する耐力(①-①断面)

	鉛直力 (kN/m)		アーム長 (m)		モーメント (kN・m/m)
躯体重量	904.0	×	4.250	=	3841.8
グラウンドアンカによる緊張力(海側)	720.0	×	7.375	=	5310.0
グラウンドアンカによる緊張力(陸側)	360.0	×	1.125	=	405.0
慣性力	36.2	×	4.250	=	153.7
合計					9710.5

表 4.3.2-7(2) 逆 T 擁壁の転倒に対する耐力(④-④断面)

	鉛直力 (kN/m)		アーム長 (m)		モーメント (kN・m/m)
躯体重量	904.0	×	4.250	=	3841.8
グラウンドアンカによる緊張力(海側)	585.0	×	7.375	=	4314.4
グラウンドアンカによる緊張力(陸側)	292.5	×	1.125	=	329.1
慣性力	-54.2	×	4.250	=	-230.5
合計					8254.7

表 4.3.2-7(3) 逆T擁壁の転倒に対する耐力(⑤-⑤断面)

	鉛直力 (kN/m)		アーム長 (m)		モーメント (kN・m/m)
躯体重量	904.0	×	4.250	=	3841.8
グラウンドアンカによる緊張力(海側)	1015.4	×	1.125	=	1142.3
グラウンドアンカによる緊張力(陸側)	507.7	×	7.375	=	3744.2
慣性力	180.8	×	4.250	=	768.4
合計					9496.7

表 4.3.2-8(1) 逆T擁壁の転倒に対する作用力(①-①断面)

	鉛直力 (kN/m)		アーム長 (m)		モーメント (kN・m/m)
風荷重(縦壁)	10.6	×	4.500	=	47.6
風荷重(底版)	3.2	×	1.250	=	4.0
慣性力	271.2	×	2.296	=	622.7
合計					674.3

表 4.3.2-8(2) 逆T擁壁の転倒に対する作用力(④-④断面)

	鉛直力 (kN/m)		アーム長 (m)		モーメント (kN・m/m)
風荷重(縦壁)	10.6	×	4.500	=	47.6
風荷重(底版)	3.2	×	1.250	=	4.0
慣性力	226.0	×	2.296	=	518.9
合計					570.5

表 4.3.2-8(3) 逆T擁壁の転倒に対する作用力(⑤-⑤断面)

	鉛直力 (kN/m)		アーム長 (m)		モーメント (kN・m/m)
風荷重(縦壁)	9.0	×	4.500	=	40.6
風荷重(底版)	2.7	×	1.250	=	3.4
慣性力	198.9	×	2.296	=	456.7
合計					500.7

表 4.3.2-9(1) 逆T擁壁の転倒に対する照査結果(①-①断面)

転倒に対する耐力 (kN・m/m)	9710.5
転倒に対する作用力 (kN・m/m)	674.3
安全率	14.40

表 4.3.2-9(2) 逆T擁壁の転倒に対する照査結果(④-④断面)

転倒に対する耐力 (kN・m/m)	8254.7
転倒に対する作用力 (kN・m/m)	570.5
安全率	14.46

表 4.3.2-9(3) 逆T擁壁の転倒に対する照査結果(⑤-⑤断面)

転倒に対する耐力 (kN・m/m)	9496.7
転倒に対する作用力 (kN・m/m)	500.7
安全率	18.96

4.3.3 逆T擁壁の底版の最大傾斜

グラウンドアンカによる変形抑制効果等を確認するため、逆T擁壁の底版の最大傾斜を算出した結果を表4.3.3-1～表4.3.3-3に示す。

表4.3.3-1 逆T擁壁の底版の最大傾斜（①-①断面）

解析 ケース	地震動		最大傾斜
①	S _s -D	(++)	1/1299
		(-+)	1/1343
		(+-)	1/1262
		(--)	1/1366
	S _s -F 1	(++)	1/1453
	S _s -F 2	(++)	1/1743
	S _s -N 1	(++)	1/1671
		(-+)	1/1553
	S _s -N 2 (NS)	(++)	1/1758
		(-+)	1/1823
S _s -N 2 (EW)	(++)	1/1455	
	(-+)	1/1430	
②	S _s -D	(--)	1/1372
	S _s -N 1	(++)	1/1671
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	1/1428
③	S _s -D	(--)	1/1359
	S _s -N 2	(++)	1/1672
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	1/1431

表 4.3.3-2 逆T擁壁の底版の最大傾斜 (④-④断面)

解析 ケース	地震動		最大傾斜
①	S _s -D	(++)	1/761
		(-+)	1/708
		(+-)	1/693
		(--)	1/695
	S _s -F 1	(++)	1/1132
	S _s -F 2	(++)	1/931
	S _s -N 1	(++)	1/654
		(-+)	1/699
	S _s -N 2 (NS)	(++)	1/973
		(-+)	1/1058
	S _s -N 2 (EW)	(++)	1/799
		(-+)	1/804
②	S _s -D	(+-)	1/694
	S _s -N 1	(++)	1/653
③	S _s -D	(+-)	1/692
	S _s -N 1	(++)	1/655

表 4.3.3-3 逆T擁壁の底版の最大傾斜 (⑤-⑤断面)

解析 ケース	地震動		最大傾斜
①	S _s -D	(++)	1/889
		(-+)	1/965
		(+-)	1/899
		(--)	1/894
	S _s -F 1	(++)	1/1030
	S _s -F 2	(++)	1/1076
	S _s -N 1	(++)	1/845
		(-+)	1/699
	S _s -N 2 (NS)	(++)	1/1103
		(-+)	1/1005
	S _s -N 2 (EW)	(++)	1/1049
		(-+)	1/914
②	S _s -D	(--)	1/894
	S _s -N 1	(++)	1/846
③	S _s -D	(--)	1/894
	S _s -N 1	(++)	1/845

なお、設置変更許可段階において 1/2000 を上回る傾斜を確認していた①－①断面において、表 4.3.3-4 のとおり、グラウンドアンカの変形抑制効果等により、傾斜が小さくなっていることを確認した。なお、逆 T 擁壁の底版の傾斜の詳細について、「(参考資料 4) 逆 T 擁壁の底版の傾斜について」に整理する。

表 4.3.3-4 地震時の傾斜の算定結果の比較

グラウンドアンカ モデル化前 (設置変更許可段階)	グラウンドアンカモデル化後 (今回：詳細設計段階)		
①－①断面	①－①断面	④－④断面	⑤－⑤断面
1/158* ¹ 1/446* ²	1/1262	1/653	1/699

注記*1：2次元有限要素法（全応力解析）

*2：2次元有限要素法（有効応力解析）

4.4 改良地盤

4.4.1 評価結果

改良地盤のすべり安全率による評価結果を表 4.4.1-1～表 4.4.1-3 に示す。これらの結果から、改良地盤のすべり安全率が 1.2 以上であることを確認した。

表 4.4.1-1 改良地盤のすべり安全率評価結果 (①-①断面)

解析 ケース	地震動		発生時刻 (s)	最小すべり安全率
①	S _s -D	(++)	14.58	3.99
		(-+)	14.63	4.05
		(+-)	14.59	3.94
		(--)	8.59	3.99
	S _s -F1	(++)	7.94	4.02
	S _s -F2	(++)	15.62	4.41
	S _s -N1	(++)	7.56	3.42
		(-+)	7.56	3.49
	S _s -N2 (NS)	(++)	24.97	4.30
		(-+)	25.00	4.49
	S _s -N2 (EW)	(++)	25.96	4.06
		(-+)	25.98	4.20
②	S _s -D	(--)	8.59	4.00
	S _s -N1	(++)	7.56	3.42
	S _s -N2 (EW)	(-+)	25.98	4.19
③	S _s -D	(--)	8.59	3.99
	S _s -N1	(++)	7.56	3.43
	S _s -N2 (EW)	(-+)	25.98	4.20

表 4.4.1-2 改良地盤のすべり安全率評価結果 (④-④断面)

解析 ケース	地震動		発生時刻 (s)	最小すべり安全率
①	S _s -D	(++)	8.99	2.88
		(-+)	8.98	2.73
		(+-)	8.98	2.95
		(--)	8.98	2.91
	S _s -F 1	(++)	7.98	4.34
	S _s -F 2	(++)	15.63	4.54
	S _s -N 1	(++)	7.61	2.50
		(-+)	7.62	2.71
	S _s -N 2 (NS)	(++)	25.06	4.17
		(-+)	25.07	3.71
	S _s -N 2 (EW)	(++)	26.07	3.97
		(-+)	26.07	3.66
②	S _s -D	(+-)	8.98	2.95
	S _s -N 1	(++)	7.61	2.49
③	S _s -D	(+-)	8.98	2.95
	S _s -N 1	(++)	7.61	2.50

表 4.4.1-3 改良地盤のすべり安全率評価結果 (⑤-⑤断面)

解析 ケース	地震動		発生時刻 (s)	最小すべり安全率
①	S _s -D	(++)	9.00	3.37
		(-+)	8.99	3.15
		(+-)	8.97	3.46
		(--)	8.97	3.26
	S _s -F 1	(++)	8.69	4.94
	S _s -F 2	(++)	15.62	4.28
	S _s -N 1	(++)	7.61	3.12
		(-+)	7.62	3.21
	S _s -N 2 (NS)	(++)	25.07	4.25
		(-+)	25.07	4.26
	S _s -N 2 (EW)	(++)	26.05	3.89
		(-+)	26.05	3.90
②	S _s -D	(--)	8.97	3.26
	S _s -N 1	(++)	7.61	3.12
③	S _s -D	(--)	8.97	3.26
	S _s -N 1	(++)	7.61	3.12

4.4.2 局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について

局所的な破壊が津波防護機能へ及ぼす影響を確認するため、①-①断面、④-④断面、⑤-⑤断面について、最小すべり安全率発生時刻において破壊が生じた要素及び全時刻の破壊履歴に着目した改良地盤の健全性評価を実施する。

(1) 局所安全係数分布図と検討すべり線の重ね合わせ

①-①断面、④-④断面及び⑤-⑤断面について、改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布に検討すべり線を重ね合わせた図を図4.4.2-1～図4.4.2-2に示す。

これにより、検討すべり線は、引張強度に達した要素をおおむね通過していることが確認できることから、改良地盤の最小すべり安全率時刻において、引張強度に達した要素を考慮し改良地盤の健全性を確保していることを確認した。

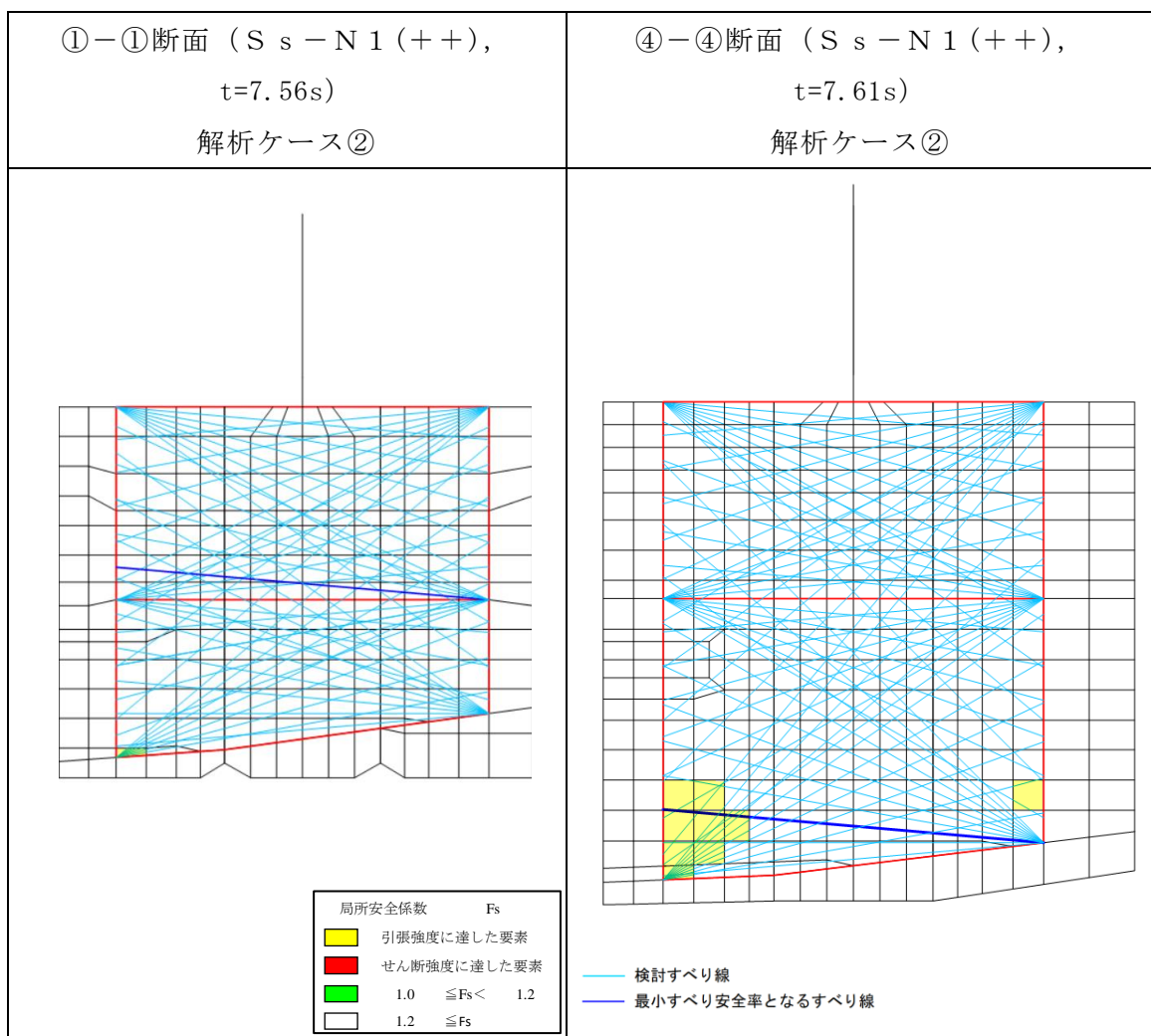


図 4.4.2-1 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布と検討すべり線の重ね合わせ (①-①断面, ④-④断面)

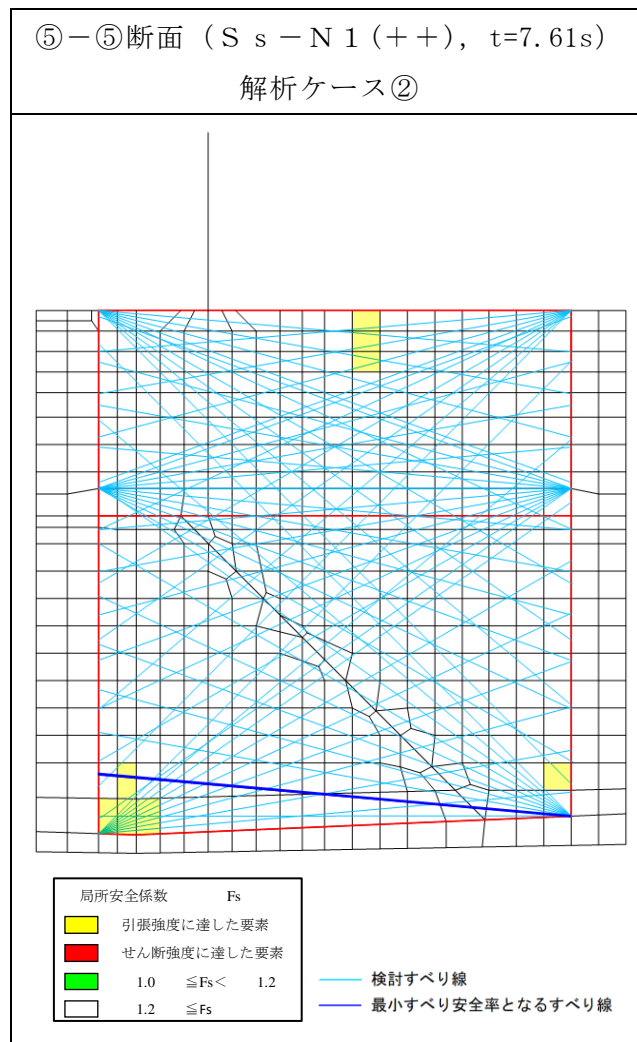


図 4.4.2-2 改良地盤の最小すべり安全率時刻における局所安全係数分布と
検討すべり線の重ね合わせ (⑤-⑤断面)

①-①断面，④-④断面及び⑤-⑤断面について，全時刻における破壊履歴図を図 4.4.2-3～図 4.4.2-4 に示す。

これにより，せん断破壊に達する要素はなく，引張強度に達する要素は限定的であるため，難透水性の保持に影響するような流入経路は形成されず，改良地盤の健全性を確保していることを確認した。

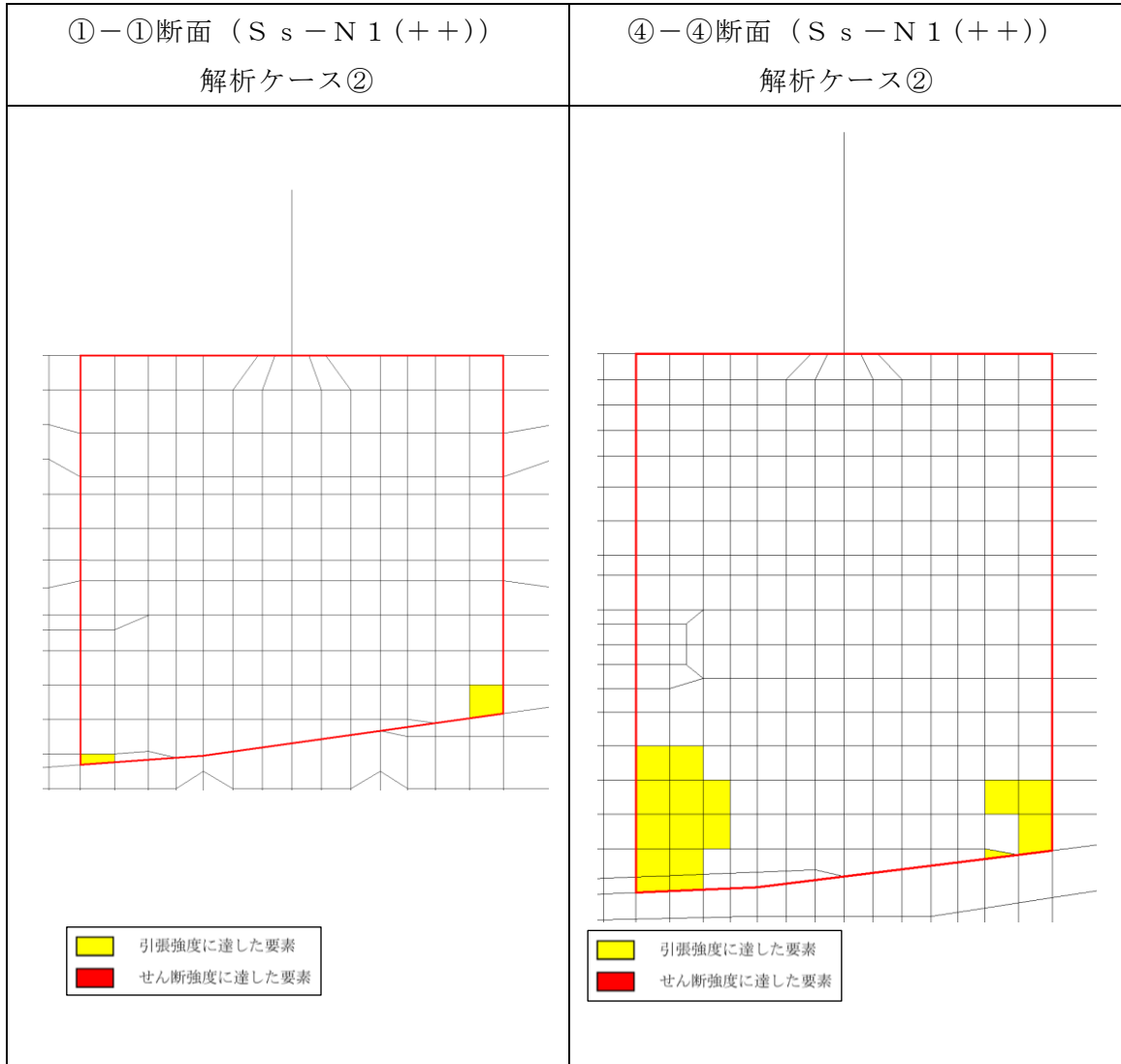


図 4.4.2-3 全時刻における破壊履歴図
(①-①断面，④-④断面)

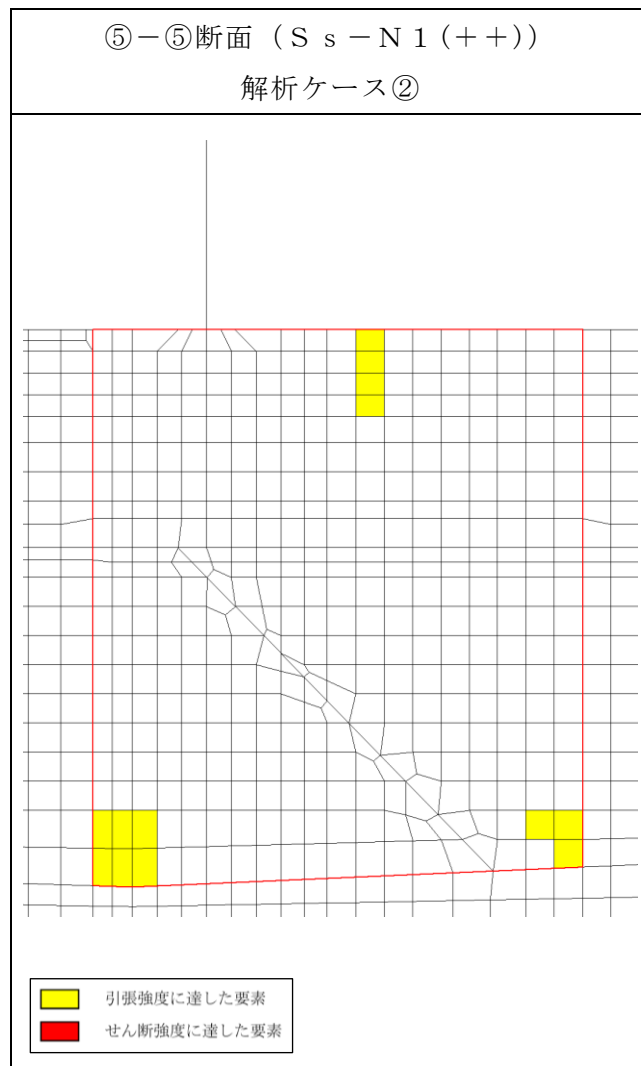


図 4.4.2-4 全時刻における破壊履歴図
(⑤-⑤断面)

(2) 応力状態に着目した追加すべり検討

改良地盤に局所的な引張破壊が生じている断面(①-①, ④-④断面, ⑤-⑤断面)について, 引張破壊している要素の応力状態に着目し, 引張強度に達した要素を基点とした, クラック方向のすべり線を追加しすべり安全率照査を行う。図 4.4.2-5~図 4.4.2-7 に①-①断面, ④-④断面及び⑤-⑤断面について, 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線を示す。ここで, クラック方向は, 引張強度に達した要素に生じている引張応力の直交方向とする。

図 4.4.2-5~図 4.4.2-7 に示した追加すべり線における最小すべり安全率を表 4.4.2-1 に示す。この結果より, 引張強度に達した要素を基点とした, クラック方向のすべり線を追加した場合において, 改良地盤のすべり安全率は, 当初のすべり線でのすべり安全率と比較し同程度又は同等以上であり, 許容限界である 1.2 以上であるため, 健全であることを確認した。

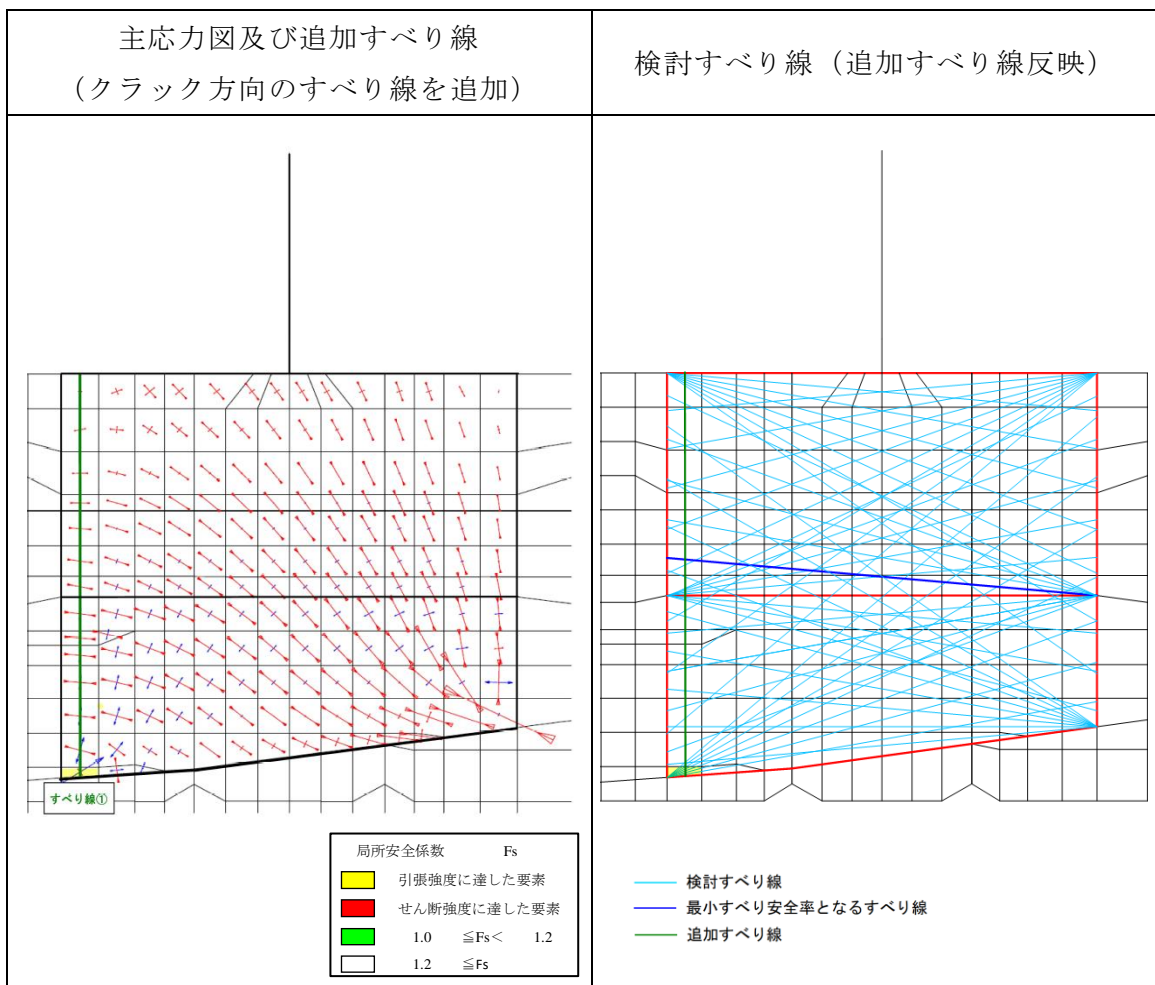


図 4.4.2-5 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線

(①-①断面, $S_s - N1 (+ +)$, $t=7.56s$)

解析ケース②

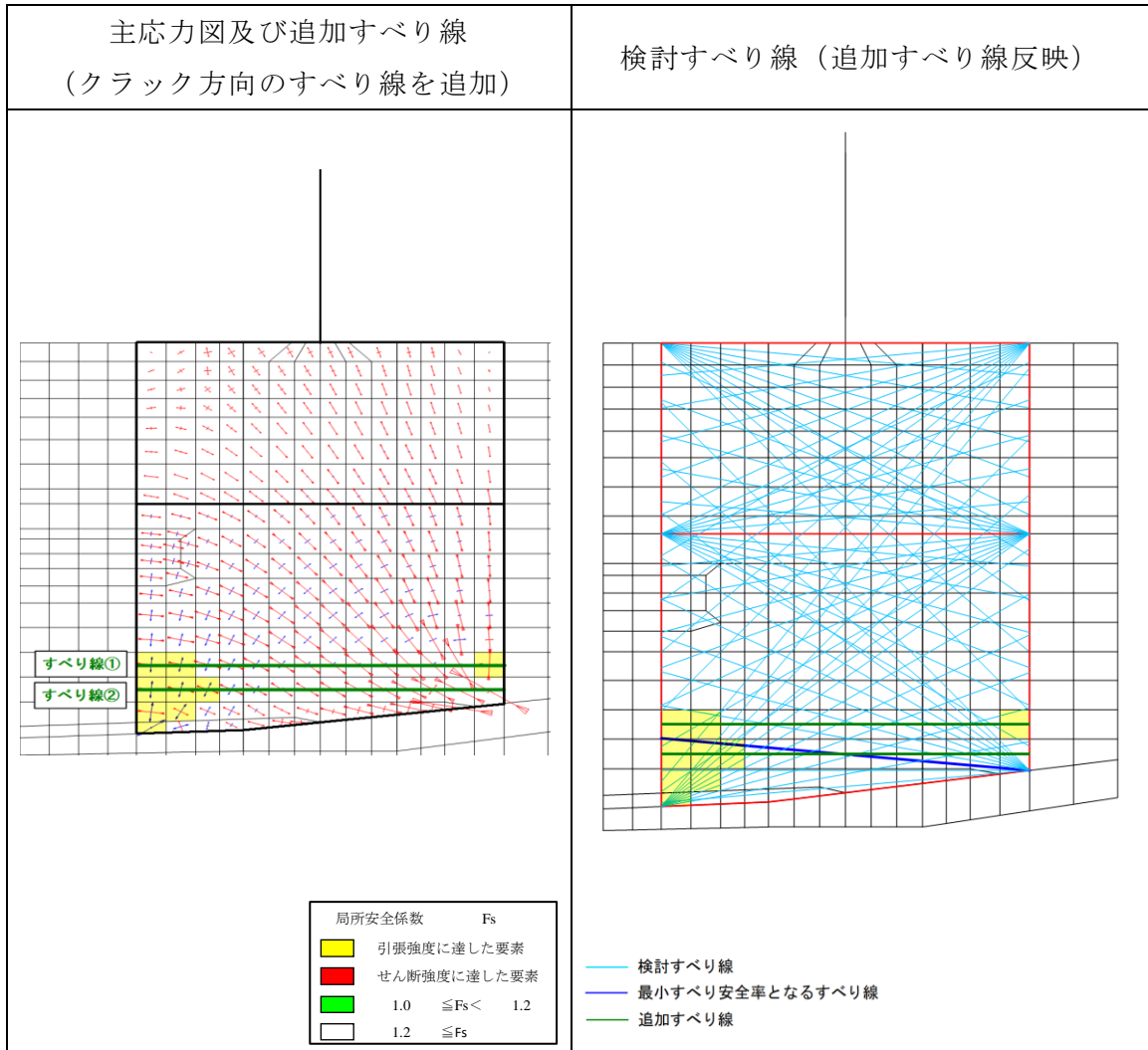


図 4.4.2-6 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線
 (④-④断面, S s - N 1 (++) , t=7.61s)
 解析ケース②

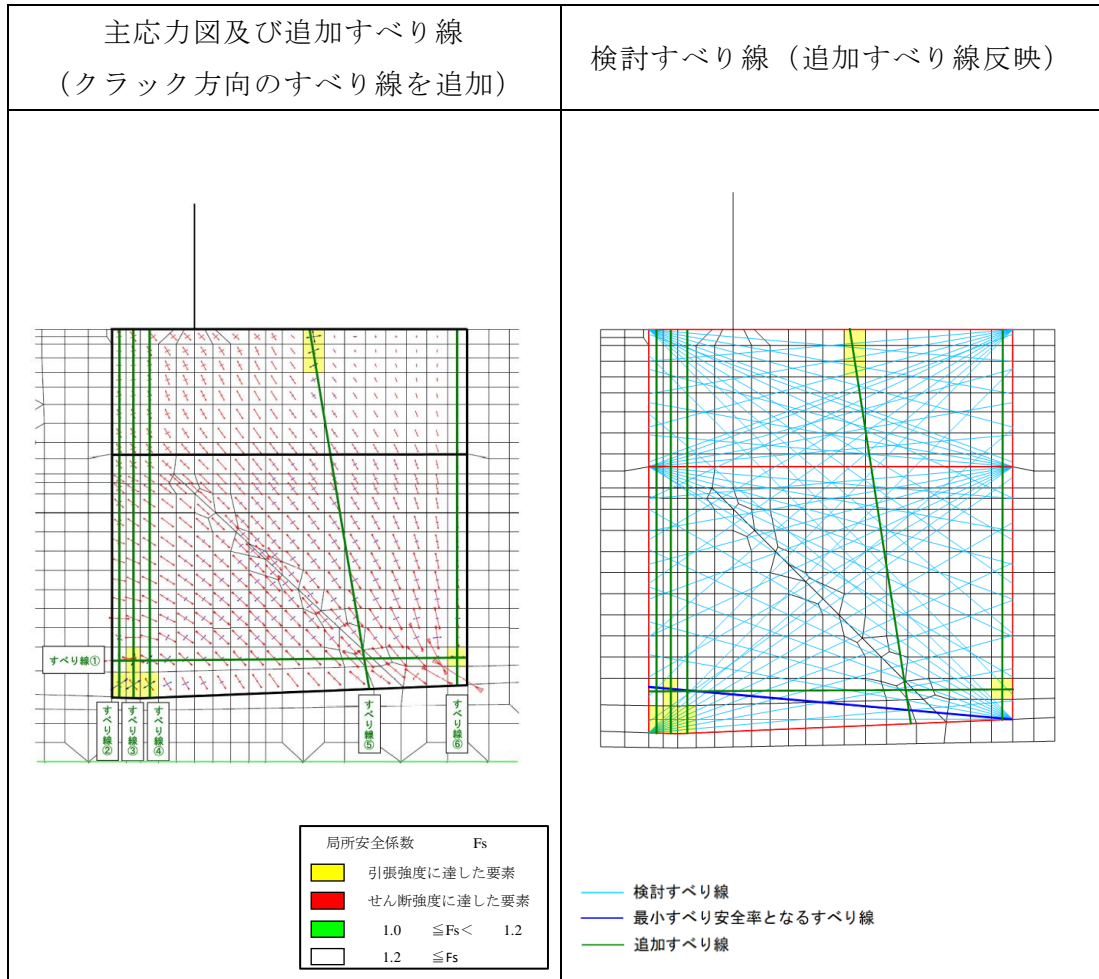


図 4.4.2-7 改良地盤の最小すべり安全率時刻における主応力図及び追加すべり線
(⑤-⑤断面, S s - N 1 (++) , t=7.61s)

解析ケース②

表 4.4.2-1 追加すべり線における最小すべり安全率

断面	追加すべり線	最小すべり安全率	(参考)追加すべり線を除く 最小すべり安全率
①-①断面	すべり線①	15.94	3.42
④-④断面	すべり線②	2.28	2.49
⑤-⑤断面	すべり線⑤	3.05	3.12

(3) まとめ

「(1) 局所安全係数分布図と検討すべり線の重ね合わせ」及び「(2) 応力状態に着目した追加すべり検討」より、改良地盤に発生している局所的な破壊が津波防護機能へ影響を及ぼさないことを確認した。

4.4.3 内的安定評価のまとめ

「4.4.1 評価結果」及び「4.4.2 局所破壊が津波防護機能へ及ぼす影響について」より、改良地盤のすべり安全率が許容限界である 1.2 以上であること、及び改良地盤に発生している局所的な破壊が津波防護機能へ影響を及ぼさないことを確認した。

4.5 止水目地

地震時の止水目地（ゴムジョイント）の変位量に対する照査結果を表 4.5-1～表 4.5-5 に示す。この結果から、変位量が許容限界以下であることを確認した。

表 4.5-1 地震時の止水目地（ゴムジョイント）の変位量（①-①断面）

解析 ケース	地震動		防波壁天端変位量	
			法線直交方向 $\delta_x(T)$ (mm)	深度方向 $\delta_z(T)$ (mm)
①	S _s -D	(++)	42	11
		(-+)	42	11
		(+-)	42	11
		(--)	41	10
	S _s -F 1	(++)	24	3
	S _s -F 2	(++)	22	4
	S _s -N 1	(++)	33	3
		(-+)	32	3
	S _s -N 2 (NS)	(++)	26	4
		(-+)	26	3
	S _s -N 2 (EW)	(++)	26	3
		(-+)	26	3
②	S _s -D	(--)	41	10
	S _s -N 1	(++)	33	3
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	26	3
③	S _s -D	(--)	41	10
	S _s -N 1	(++)	33	3
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	26	3

42 : 止水目地の変形性評価に対する照査に使用する変位量

表 4.5-2 地震時の止水目地（ゴムジョイント）の変位量（④-④断面）

解析 ケース	地震動		防波壁天端変位量	
			法線直交方向 $\delta_x(T)$ (mm)	深度方向 $\delta_z(T)$ (mm)
①	S _s -D	(++)	70	11
		(-+)	62	12
		(+-)	71	11
		(--)	59	10
	S _s -F 1	(++)	36	3
	S _s -F 2	(++)	33	3
	S _s -N 1	(++)	67	4
		(-+)	60	4
	S _s -N 2 (NS)	(++)	34	5
		(-+)	38	3
	S _s -N 2 (EW)	(++)	47	4
		(-+)	47	3
②	S _s -D	(+-)	70	11
	S _s -N 1	(++)	67	4
③	S _s -D	(+-)	71	11
	S _s -N 1	(++)	67	4

71 : 止水目地の変形性評価に対する照査に使用する変位量

表 4.5-3 地震時の止水目地（ゴムジョイント）の変位量（⑤-⑤断面）

解析 ケース	地震動		防波壁天端変位量	
			法線直交方向 $\delta_x(T)$ (mm)	深度方向 $\delta_z(T)$ (mm)
①	S _s -D	(++)	65	13
		(-+)	78	13
		(+-)	65	14
		(--)	73	13
	S _s -F 1	(++)	31	5
	S _s -F 2	(++)	32	6
	S _s -N 1	(++)	56	6
		(-+)	63	7
	S _s -N 2 (NS)	(++)	37	6
		(-+)	36	5
	S _s -N 2 (EW)	(++)	46	5
		(-+)	51	5
②	S _s -D	(--)	73	13
	S _s -N 1	(++)	56	6
③	S _s -D	(--)	73	13
	S _s -N 1	(++)	57	6

78 : 止水目地の変形性評価に対する照査に使用する変位量

表 4.5-4 地震時の止水目地（ゴムジョイント）の変位量（⑦-⑦断面）

解析 ケース	地震動		防波壁天端変位量	
			法線直交方向 $\delta y(T)$ (mm)	深度方向 $\delta z(T)$ (mm)
①	S s - D	(++)	3	13
		(-+)	3	13
		(+-)	3	13
		(--)	3	14
	S s - F 1	(++)	1	5
	S s - F 2	(++)	2	5
	S s - N 1	(++)	2	3
		(-+)	2	6
	S s - N 2 (NS)	(++)	2	5
		(-+)	2	4
	S s - N 2 (EW)	(++)	3	4
		(-+)	1	5

 : 止水目地の変形性評価に対する照査に使用する変位量

表 4.5-5(1) 止水目地（ゴムジョイント）の変位量に対する照査結果
（①-①断面）

方向	地震動	解析 ケース	地震時最大 変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ①-①断面 (法線直交方向)	S _s -D (+-)	①	85	-
δy : ⑦-⑦断面* (法線方向)	S _s -D (-+)	①	3	-
δz : ⑦-⑦断面 (深度方向)	S _s -D (--)	①	28	-
合成方向 (3方向合成)	-	-	89	449

注記* : 保守的に⑤-⑤断面位置の縦断方向の断面である⑦-⑦断面を用いる。

表 4.5-5(2) 止水目地（ゴムジョイント）の変位量に対する照査結果
（④-④断面）

方向	地震動	解析 ケース	地震時最大 変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ④-④断面 (法線直交方向)	S _s -D (+-)	③	141	-
δy : ⑦-⑦断面* (法線方向)	S _s -D (-+)	①	3	-
δz : ⑦-⑦断面 (深度方向)	S _s -D (--)	①	28	-
合成方向 (3方向合成)	-	-	144	449

注記* : 保守的に⑤-⑤断面位置の縦断方向の断面である⑦-⑦断面を用いる。

表 4.5-5(3) 止水目地（ゴムジョイント）の変位量に対する照査結果
（⑤-⑤断面）

方向	地震動	解析 ケース	地震時最大 変位量 (mm)	許容限界 (mm)
δx : ⑤-⑤断面 (法線直交方向)	S s - D (-+)	①	157	-
δy : ⑦-⑦断面 (法線方向)	S s - D (-+)	①	3	-
δz : ⑦-⑦断面 (深度方向)	S s - D (---)	①	28	-
合成方向 (3方向合成)	-	-	159	449

4.6 基礎地盤

基礎地盤の支持性能評価結果を表 4.6-1～表 4.6-6 に示す。この結果から、防波壁（逆 T 擁壁）の基礎地盤に生じる最大接地圧が許容限界以下であることを確認した。

表 4.6-1 基礎地盤の支持性能評価結果（①-①断面，改良地盤）

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
①	S _s -D	(++)	0.5	1.4	0.36
		(-+)	0.5	1.4	0.36
		(+-)	0.5	1.4	0.36
		(--)	0.5	1.4	0.36
	S _s -F 1	(++)	0.5	1.4	0.36
	S _s -F 2	(++)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 1	(++)	0.5	1.4	0.36
		(-+)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 2 (NS)	(++)	0.5	1.4	0.36
		(-+)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 2 (EW)	(++)	0.5	1.4	0.36
		(-+)	0.5	1.4	0.36
②	S _s -D	(--)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 1	(++)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	0.5	1.4	0.36
③	S _s -D	(--)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 1	(++)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	0.5	1.4	0.36

表 4.6-2 基礎地盤の支持性能評価結果 (①-①断面, 岩盤)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
①	S _s -D	(++)	1.1	9.8	0.12
		(-+)	1.1	9.8	0.12
		(+-)	1.2	9.8	0.13
		(--)	1.2	9.8	0.13
	S _s -F 1	(++)	1.1	9.8	0.12
	S _s -F 2	(++)	1.0	9.8	0.11
	S _s -N 1	(++)	1.0	9.8	0.11
		(-+)	1.1	9.8	0.12
	S _s -N 2 (NS)	(++)	1.0	9.8	0.11
		(-+)	1.0	9.8	0.11
	S _s -N 2 (EW)	(++)	0.9	9.8	0.10
		(-+)	1.0	9.8	0.11
②	S _s -D	(--)	1.2	9.8	0.13
	S _s -N 1	(++)	1.0	9.8	0.11
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	1.0	9.8	0.11
③	S _s -D	(--)	1.2	9.8	0.13
	S _s -N 1	(++)	1.0	9.8	0.11
	S _s -N 2 (EW)	(-+)	1.0	9.8	0.11

表 4.6-3 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, 改良地盤)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
①	S _s -D	(++)	0.5	1.4	0.36
		(-+)	0.5	1.4	0.36
		(+-)	0.5	1.4	0.36
		(--)	0.5	1.4	0.36
	S _s -F 1	(++)	0.4	1.4	0.29
	S _s -F 2	(++)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 1	(++)	0.4	1.4	0.29
		(-+)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 2 (NS)	(++)	0.4	1.4	0.29
		(-+)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 2 (EW)	(++)	0.5	1.4	0.36
		(-+)	0.5	1.4	0.36
②	S _s -D	(+-)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 1	(++)	0.4	1.4	0.29
③	S _s -D	(+-)	0.5	1.4	0.36
	S _s -N 1	(++)	0.4	1.4	0.29

表 4.6-4 基礎地盤の支持性能評価結果 (④-④断面, 岩盤)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u	
	S _s -D	(++)	1.7	9.8	0.18	
		(-+)	1.7	9.8	0.18	
		(+-)	1.8	9.8	0.19	
		(--)	1.6	9.8	0.17	
	S _s -F 1	(++)	1.3	9.8	0.14	
	S _s -F 2	(++)	1.4	9.8	0.15	
	S _s -N 1	(++)	1.5	9.8	0.16	
		(-+)	1.9	9.8	0.20	
	S _s -N 2 (NS)	(++)	1.2	9.8	0.13	
		(-+)	1.4	9.8	0.15	
	S _s -N 2 (EW)	(++)	1.4	9.8	0.15	
		(-+)	1.6	9.8	0.17	
	②	S _s -D	(+-)	1.8	9.8	0.19
		S _s -N 1	(++)	1.5	9.8	0.16
③	S _s -D	(+-)	1.8	9.8	0.19	
	S _s -N 1	(++)	1.5	9.8	0.16	

表 4.6-5 基礎地盤の支持性能評価結果 (⑤-⑤断面, 改良地盤)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
①	S _s -D	(++)	0.6	1.4	0.43
		(-+)	0.6	1.4	0.43
		(+-)	0.6	1.4	0.43
		(--)	0.6	1.4	0.43
	S _s -F 1	(++)	0.6	1.4	0.43
	S _s -F 2	(++)	0.6	1.4	0.43
	S _s -N 1	(++)	0.5	1.4	0.36
		(-+)	0.6	1.4	0.43
	S _s -N 2 (NS)	(++)	0.6	1.4	0.43
		(-+)	0.6	1.4	0.43
	S _s -N 2 (EW)	(++)	0.6	1.4	0.43
		(-+)	0.6	1.4	0.43
②	S _s -D	(--)	0.6	1.4	0.43
	S _s -N 1	(++)	0.5	1.4	0.36
③	S _s -D	(--)	0.6	1.4	0.43
	S _s -N 1	(++)	0.5	1.4	0.36

表 4.6-6 基礎地盤の支持性能評価結果 (⑤-⑤断面, 岩盤)

解析 ケース	地震動		最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
①	S _s -D	(++)	1.5	3.9	0.39
		(-+)	1.5	3.9	0.39
		(+-)	1.5	3.9	0.39
		(--)	1.5	3.9	0.39
	S _s -F1	(++)	1.5	3.9	0.39
	S _s -F2	(++)	1.4	3.9	0.36
	S _s -N1	(++)	1.5	3.9	0.39
		(-+)	1.5	3.9	0.39
	S _s -N2 (NS)	(++)	1.4	3.9	0.36
		(-+)	1.4	3.9	0.36
	S _s -N2 (EW)	(++)	1.4	3.9	0.36
		(-+)	1.5	3.9	0.39
②	S _s -D	(--)	1.5	3.9	0.39
	S _s -N1	(++)	1.5	3.9	0.39
③	S _s -D	(--)	1.5	3.9	0.39
	S _s -N1	(++)	1.5	3.9	0.39

基礎地盤の支持性能評価において、各解析ケースのうち最も厳しい照査値となる解析ケースの基礎地盤の接地圧分布図を図 4.6-1~4.6-3 に示す。

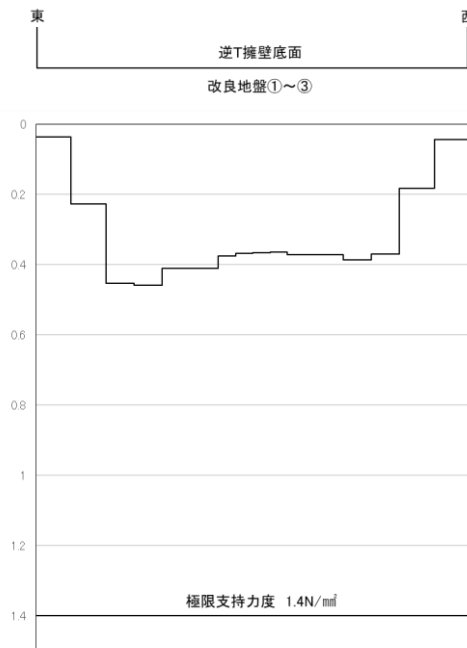


図 4.6-1(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (①-①断面, 改良地盤)
 (S_s-D(---))
 解析ケース①: 基本ケース

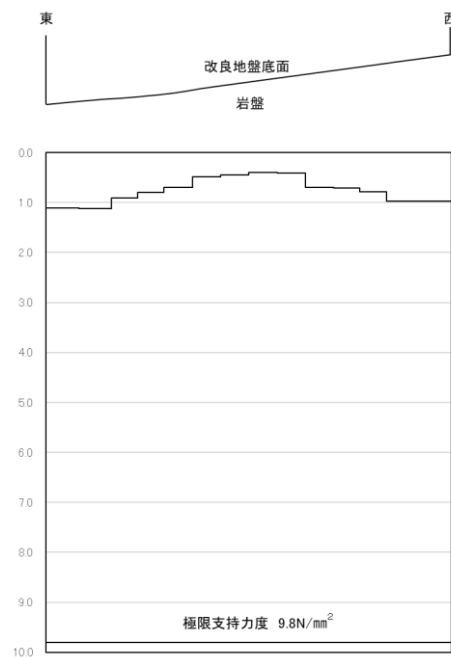


図 4.6-1(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (①-①断面, 岩盤)
 (S_s-D(+))
 解析ケース①: 基本ケース

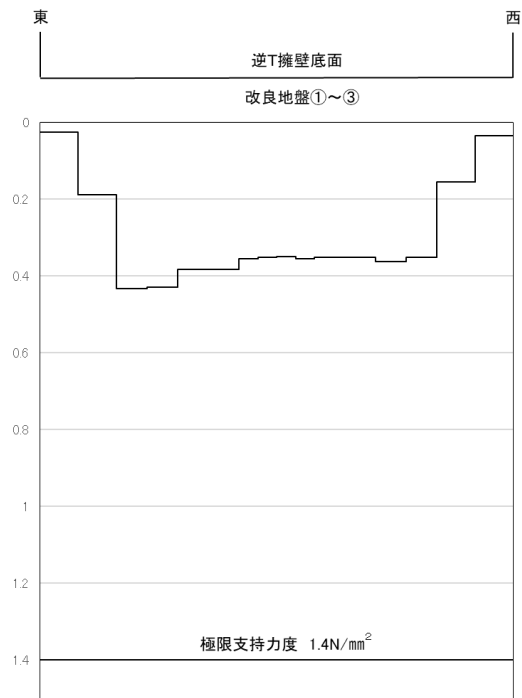


図 4.6-2(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 改良地盤)
($S_s - D (+ -)$)

解析ケース③: 地盤物性のばらつきを考慮した解析ケース (平均値 - 1σ)

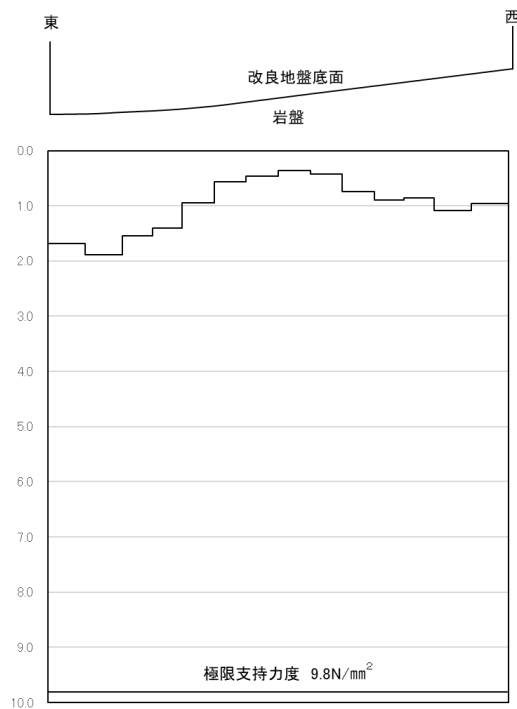


図 4.6-2(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (④-④断面, 岩盤)
($S_s - N1 (- +)$)

解析ケース①: 基本ケース

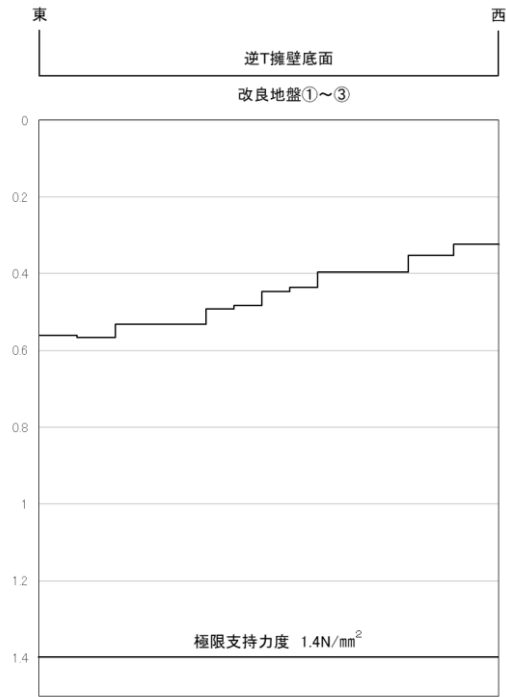


図 4.6-3(1) 基礎地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 改良地盤)
 (S_s-N2 (EW) (-+))
 解析ケース①: 基本ケース

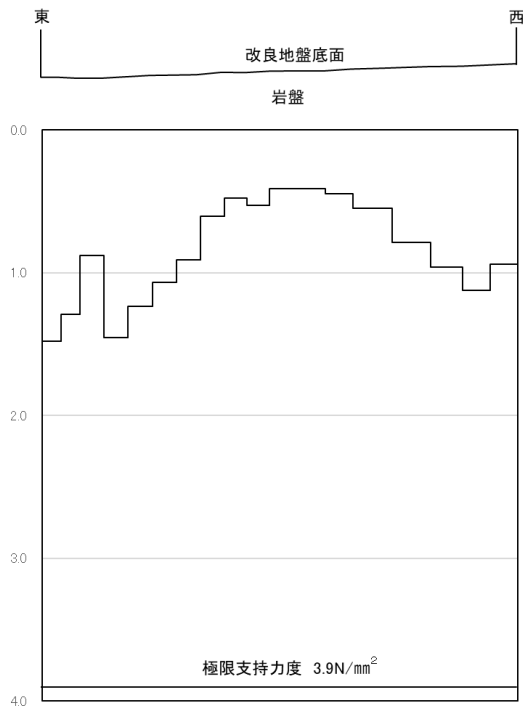


図 4.6-3(2) 基礎地盤の接地圧分布図 (⑤-⑤断面, 岩盤)
 (S_s-N1 (-+))
 解析ケース①: 基本ケース

4.7 施設護岸等の損傷による不確かさの検討

4.7.1 概要

防波壁（逆T擁壁）の前面には、図4.7.1-1のとおり全線にわたって施設護岸が設置されており、施設護岸の基礎には基礎捨石及び被覆石を設置している。

施設護岸等の役割を表4.7.1-1に示す。

施設護岸等は、その形状を適切にモデル化し防波壁（逆T擁壁）の評価を実施する方針としているが、施設護岸等は耐震性が低いことから、施設護岸等が損傷した場合の解析ケースを実施する。

防波壁（逆T擁壁）の前面に耐震性の低い施設護岸等が設置される断面においては、これらが改良地盤の変形抑制に寄与する可能性があることから、不確かさケースとして施設護岸等が損傷した場合を想定し、これがない場合の検討を実施する。

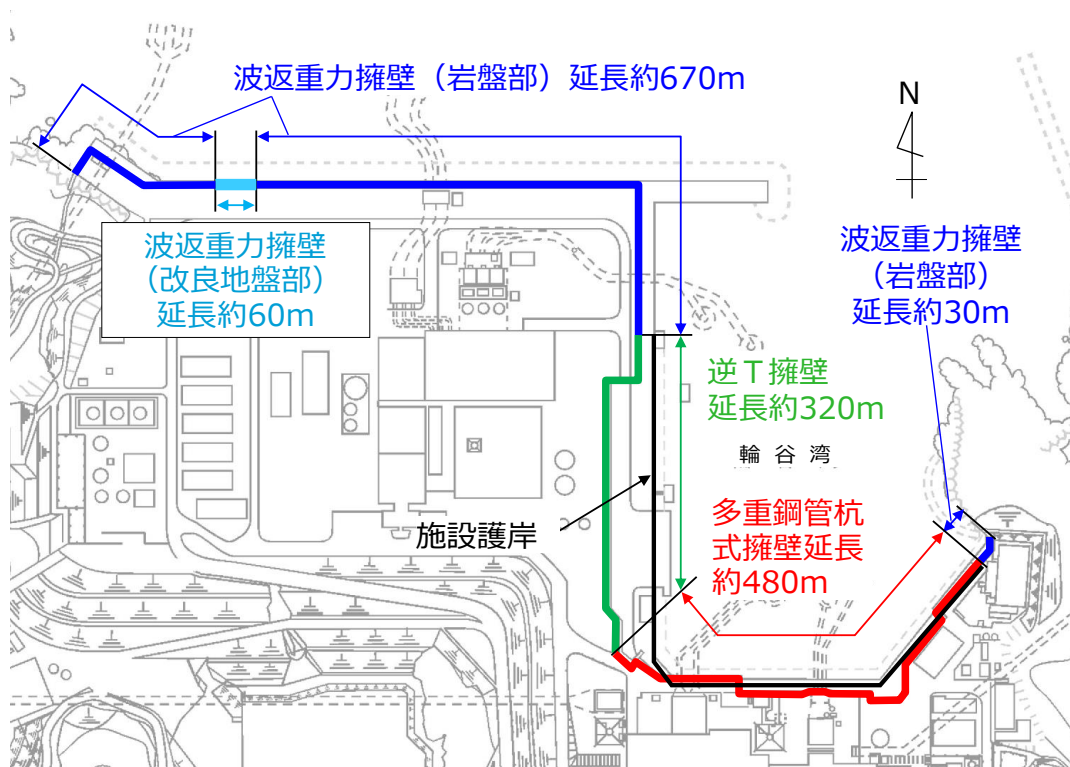


図4.7.1-1 防波壁と施設護岸の配置（全体平面図）

表 4.7.1-1 施設護岸等の役割

部位	役割
施設護岸	役割に期待しない (解析モデルに反映し、防波壁(逆T擁壁)への波及的影響を考慮する)
基礎捨石及び被覆石	役割に期待しない (解析モデルに反映し、防波壁(逆T擁壁)への波及的影響を考慮する)

4.7.2 評価方針

改良地盤と施設護岸の間に分布する埋戻土は、液状化により傾斜方向(海側)に流動化するため、改良地盤と施設護岸が離れている断面では、施設護岸等が改良地盤の変形抑制に寄与する可能性は低いと考えられる。

このため、評価対象断面については、改良地盤と施設護岸等が近接しており、施設護岸等が改良地盤の変形抑制に寄与する可能性が高いと考えられる⑤-⑤断面とする。

⑤-⑤断面の施設護岸等が損傷した場合の地震応答解析モデルを図 4.7.2-1 に示す。

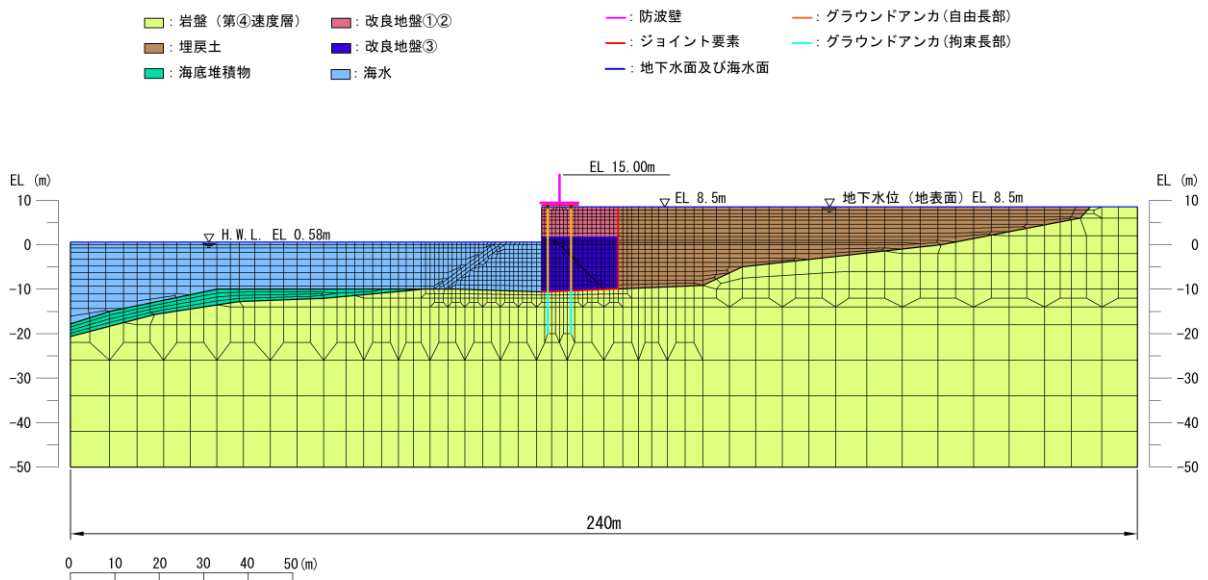


図 4.7.2-1 ⑤-⑤断面における施設護岸等が損傷した場合の地震応答解析モデル

解析ケース④に用いる地震動及び地盤物性については、⑤－⑤断面の解析ケース①～③において、照査値が最も厳しいことから、「 $S_s - N1(++)$ 、 $\text{平均値} - 1\sigma$ 」とする。

なお、表 4.7.2-1 に示すとおり、①－①断面、④－④断面及び⑤－⑤断面における各評価項目の地震動、照査値等を確認したところ、以下の観点から、地震動の選定は妥当と判断する。

- ・グラウンドアンカについては、いずれの断面においても $S_s - N1(++)$ で照査値が最大となっていること。

- ・⑤－⑤断面では、曲げ・軸力系の照査においても、 $S_s - N1(++)$ で照査値が最大となっていること。

表 4.7.2-1 最大照査値を示す解析ケースの一覧
(①－①断面、④－④断面、⑤－⑤断面)

断面	評価項目			
	逆T擁壁		グラウンドアンカ	基礎地盤
	曲げ・軸力系	せん断		
①－①断面	$S_s - N2(EW)(-+)$ 解析ケース③ 0.64 (曲げ引張)	$S_s - D(--)$ 解析ケース② 0.59	$S_s - N1(++)$ 解析ケース① 0.86	全地震動において 0.5以下
④－④断面	$S_s - D(+)$ 解析ケース③ 0.62 (曲げ引張)	$S_s - D(+)$ 解析ケース③ 0.54	$S_s - N1(++)$ 解析ケース② 0.88	全地震動において 0.5以下
⑤－⑤断面	$S_s - N1(++)$ 解析ケース① 0.69 (曲げ引張)	$S_s - D(--)$ 解析ケース① 0.80	$S_s - N1(++)$ 解析ケース③ 0.85	全地震動において 0.5以下

注：解析ケース①；平均値，解析ケース②；平均値 $+1\sigma$ ，解析ケース③；平均値 -1σ

また、不確かさの検討を行う解析ケースについては、表 4.7.2-2 に示す解析ケースに対して施設護岸等が損傷した場合を考慮する。

表 4.7.2-2 (1) 解析ケース

解析ケース	施設護岸等	地盤物性	
		埋戻土 (G_0 : 初期せん断弾 性係数)	岩盤 (G_d : 動せん断弾性 係数)
ケース③ (「4. 評価結果」 にて評価済み)	有	平均値 - 1σ	平均値
ケース④	無	平均値 - 1σ	平均値

表 4.7.2-2 (2) 耐震評価における解析ケース (参考)

解析ケース		ケース ①	ケース ②	ケース ③	ケース ④
		基本 ケース	地盤物性のば らつき (+1 σ) を考慮し た解析ケース	地盤物性のば らつき (-1 σ) を考慮した解析 ケース	施設護岸等の損傷 を考慮した解析ケ ース
地盤物性		平均値	平均値 + 1 σ	平均値 - 1 σ	
地震動 (位相)	S s - D	(++) *	○	基準地震動 S s (6 波) に位 相反転を考慮した地震動 (6 波) を加えた全 12 波に対し、 ケース① (基本ケース) を実 施し、曲げ・軸力系の破壊、 せん断破壊及び基礎地盤の 支持力照査の各照査項目ご とに照査値が 0.5 を超える 照査項目に対して、最も厳し い (許容限界に対する裕度が 最も小さい) 地震動を用いて ケース②及び③を実施する。 すべての照査項目の照査値 がいずれも 0.5 以下の場合 は、照査値が最も厳しくなる 地震動を用いてケース②及 び③を実施する。	防波壁と施設 護岸等の位置 関係を踏まえ、 施設護岸等が 防波壁の変形 抑制に寄与す る可能性が高 いと考えられ る⑤-⑤断面 において、ケ ース①~③の うち照査値が最 も厳しくなる ケースで実施 する。
		(-+) *	○		
		(+-) *	○		
		(--)*	○		
	S s - F 1	(++) *	○		
	S s - F 2	(++) *	○		
	S s - N 1	(++) *	○		
		(-+) *	○		
	S s - N 2 (NS)	(++) *	○		
		(-+) *	○		
S s - N 2 (EW)	(++) *	○			
	(-+) *	○			

注記* : 地震動の位相について, (++) の左側は水平動, 右側は鉛直動を表し, 「-」は位相を反転させたケースを示す。

4.7.3 評価結果

施設護岸等が損傷した場合の評価結果を表 4.7.3-1～表 4.7.3-7 に示す。
本検討の結果，施設護岸等が損傷した場合においても，逆 T 擁壁の主部材の発生応力が許容限界以下であることを確認した。

表 4.7.3-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値
(⑤-⑤断面，S_s-N₁(++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモー メントM (kN・m)	軸力 N (kN)			
③ (「4.2 逆 T 擁壁」 にて評価済み)	7.58	1921	128	4.3	13.5	0.32
④	7.65	1431	318	3.3	13.5	0.25

表 4.7.3-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値
(⑤-⑤断面，S_s-N₁(++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモー メントM (kN・m)	軸力 N (kN)			
③ (「4.2 逆 T 擁 壁」にて評価済み)	7.58	1921	128	200.2	294	0.69
④	7.65	1431	318	130.1	294	0.45

表 4.7.3-3 コンクリートのせん断破壊に対する照査における照査値

(⑤-⑤断面, S s - N 1 (++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	発生断面力	せん断 応力度 τ (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ / τ_{a1}
		せん断力 Q (kN)			
③ (「4.2 逆 T 擁壁」 にて評価済み)	7.58	676	0.44	0.67	0.66
④	7.56	552	0.36	0.67	0.54

表 4.7.3-4 逆 T 擁壁のグラウンドアンカによる支圧応力度に対する照査における照

査値 (⑤-⑤断面, S s - N 1 (++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	支圧 応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
③ (「4.2 逆 T 擁壁」 にて評価済み)	7.57	12.3	18.0	0.69
④	7.56	12.4	18.0	0.69

表 4.7.3-5 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における照査値
 (⑤-⑤断面, S_s-N1 (++))

解析 ケース	発生時刻 (s)	発生アンカー力 T(kN)	許容アンカー 力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
③ (「4.3 グラウンドア ンカ」にて評価済み)	7.57	1762	2076	0.85
④	7.56	1776	2076	0.86

表 4.7.3-6 基礎地盤の支持性能評価結果 (改良地盤①~③)
 (⑤-⑤断面, S_s-N1 (++))

解析 ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
③ (「4.6 基礎地盤」 にて評価済み)	0.5	1.4	0.36
④	0.6	1.4	0.43

表 4.7.3-7 基礎地盤の支持性能評価結果 (岩盤)
 (⑤-⑤断面, S_s-N1 (++))

解析 ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
③ (「4.6 基礎地盤」 にて評価済み)	1.5	3.9	0.39
④	1.5	3.9	0.39

4.7.4 解析ケース③と解析ケース④の照査値が同等となる原因の分析

解析ケース④（施設護岸等無）は，施設護岸等が無いことから，海側に大きく変形し，照査値が厳しくなると想定されたが，解析ケース③（施設護岸等有）に比べ，照査値が若干小さくなったことから，変形図等によりその原因を分析する。

照査値の最も厳しい照査項目である，グラウンドアンカの最大照査値発生時刻での解析ケース③（施設護岸等有）の変形図を図4.7.4-1に，解析ケース④（施設護岸等無）の変形図を図4.7.4-2に示す。

- ・ 図4.7.4-1より，解析ケース③（施設護岸等有）では，逆T擁壁及び改良地盤は陸側に変形している。
- ・ 改良地盤には，逆T擁壁前面の施設護岸，基礎捨石等の主働土圧，及び逆T擁壁背面の埋戻土の受働土圧が作用していると考えられる。

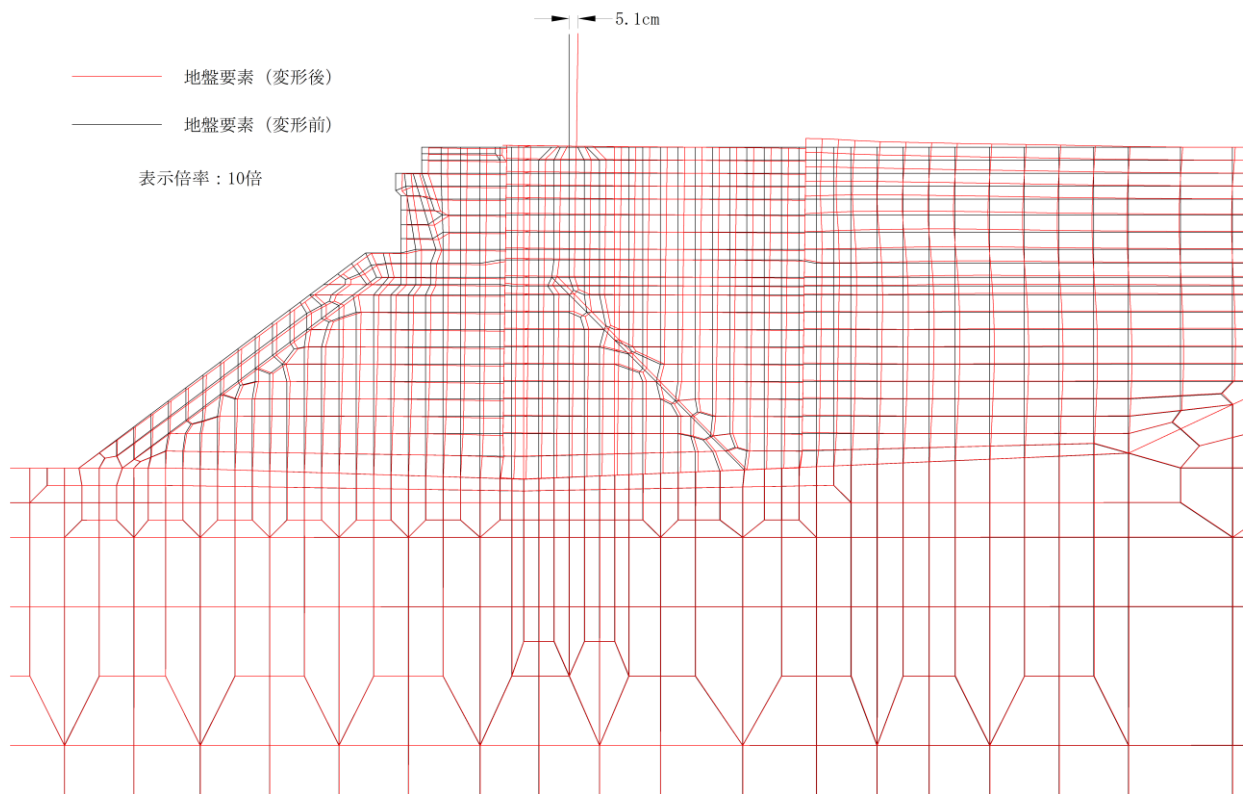


図4.7.4-1 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における最大照査値の評価時刻での変形図（施設護岸等有）
（⑤-⑤断面，解析ケース③， $S_s - N1$ （++）， $t=7.57s$ ）

- ・ 図 4.7.4-2 より，解析ケース④（施設護岸等無）においても，逆 T 擁壁及び改良地盤は陸側に変形している。
- ・ 改良地盤には，逆 T 擁壁背面の埋戻土の受働土圧が作用していると考えられる。
- ・ 解析ケース④（施設護岸等無）の変形量は，解析ケース③（施設護岸等有）と比べて小さくなっていることから，照査値が小さくなったものと考えられる。

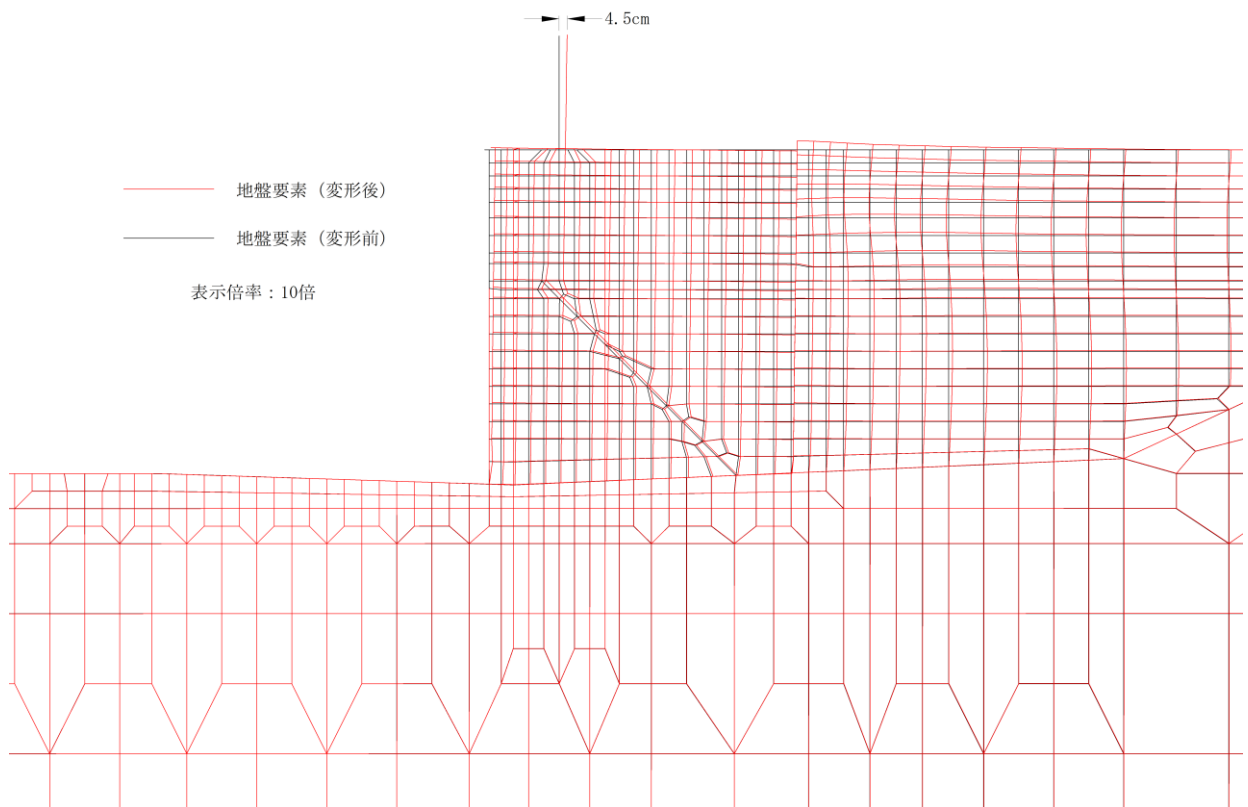
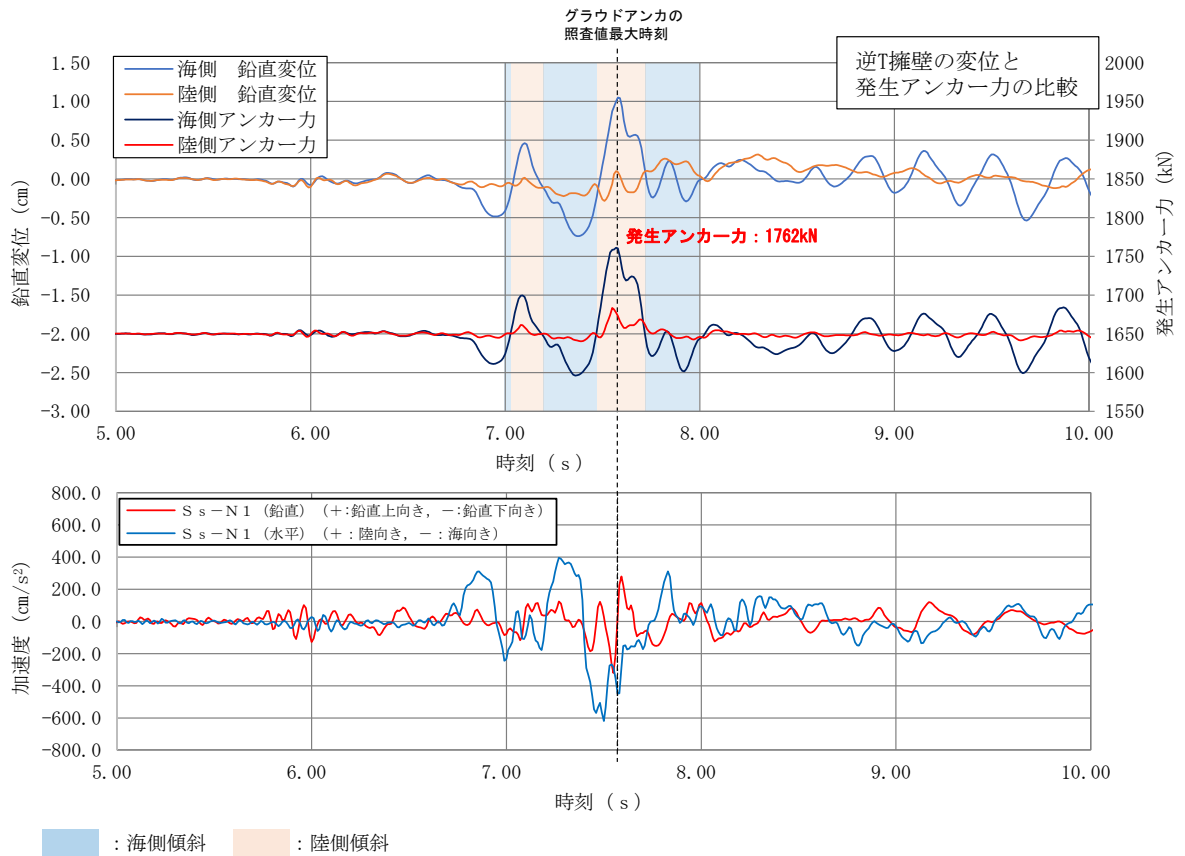


図 4.7.4-2 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における
 最大照査値の評価時刻での変形図（施設護岸等無）
 (⑤-⑤断面，解析ケース④， $S_s - N1$ (++)， $t=7.56s$)

解析ケース③（施設護岸等有）及び解析ケース④（施設護岸等無）のどちらも陸側に変形していることから、図 4.7.4-3 より、グラウンドアンカの照査値最大時刻における慣性力の作用方向を確認した。

- ・水平方向の加速度は海側に、慣性力は陸側に作用しており、これにより逆 T 擁壁及び改良地盤は陸側に変形しているものと考えられる。
- ・鉛直方向の加速度はおおむねゼロとなっているが、当該時刻直前に発生した鉛直下向きの加速度のピークにより、鉛直上向きの慣性力が作用し、逆 T 擁壁底盤が上方に変位したため、グラウンドアンカの発生アンカー力及び照査値が大きくなっていると考えられる。



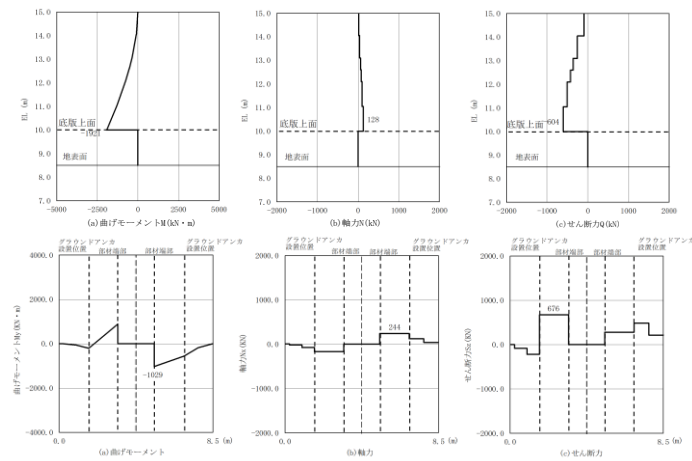
注：逆T擁壁の変位が大きい7.0s～8.0sにおいて傾斜方向を表示

図 4.7.4-3 逆 T 擁壁底版端部の鉛直変位と基準地震動 S_s の比較
 (⑤-⑤断面，解析ケース③， $S_s - N1$ (++))

逆T擁壁の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査時刻における逆T擁壁の断面力図を図4.7.4-4に、加速度を表4.7.4-1に示す。

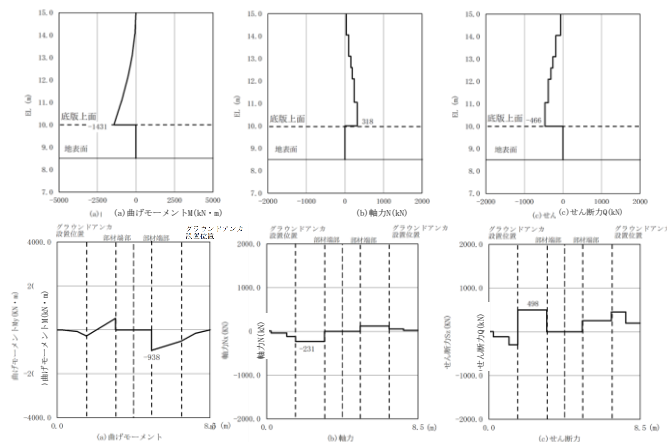
・前述のとおり、解析ケース③（施設護岸等有）及び解析ケース④（施設護岸等無）はどちらも陸側に変形しており、変形モードが同様である。図4.7.4-4の断面力図でも、解析ケース③（施設護岸等有）及び解析ケース④（施設護岸等無）は同様の傾向を示している。

・表4.7.4-1に示すとおり、解析ケース③（施設護岸等有）は、解析ケース④（施設護岸等無）に比べ、水平加速度の絶対値が大きいことから、曲げモーメントの絶対値は大きくなっている。一方で、鉛直加速度が鉛直下向きに大きく、上向きの慣性力が大きくなることから、軸力が小さくなっている。これは上述の変形モード等が類似することを踏まえると、発生時刻の違い（解析ケース③：7.58s、解析ケース④：7.65s）によるものと考えられる。



(- : 引張, + : 圧縮) 注: 逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

(⑤-⑤断面, 解析ケース③, S s - N 1 (++) , t=7.58s)



(- : 引張, + : 圧縮) 注: 逆T擁壁(底版)西端をゼロとする。

(⑤-⑤断面, 解析ケース④, S s - N 1 (++) , t=7.65s)

図4.7.4-4 逆T擁壁の曲げ・軸力系の最大照査時刻での断面力

表 4.7.4-1 逆 T 擁壁の曲げ・軸力系の破壊に対する最大照査時刻での加速度

解析 ケース	発生時刻 (s)	発生断面力		逆 T 擁壁頂部の 水平加速度*1 (cm/s ²)	逆 T 擁壁頂部の 鉛直加速度*2 (cm/s ²)
		曲げモー メント M (kN・m)	軸力 N (kN)		
③ (「4.2 逆 T 擁壁」 にて評価済み)	7.58	1921	128	-2302	-616
④	7.65	1431	318	-1701	-175

注記*1：＋；陸向き，－；海向き

*2：＋；鉛直上向き，－；鉛直下向き

なお、⑤-⑤断面において、逆T擁壁底版のせん断破壊に対する最大照査値発生時刻での変形図を確認した結果、施設護岸及び改良地盤は陸側に変形しており、底版のせん断についても、陸側変形時の方が厳しくなっていることを確認した。その原因としては、陸側に変形する際に、陸側よりも大きな緊張力が作用している海側のグラウンドアンカ周辺にせん断力が集中しているためと考えられる。

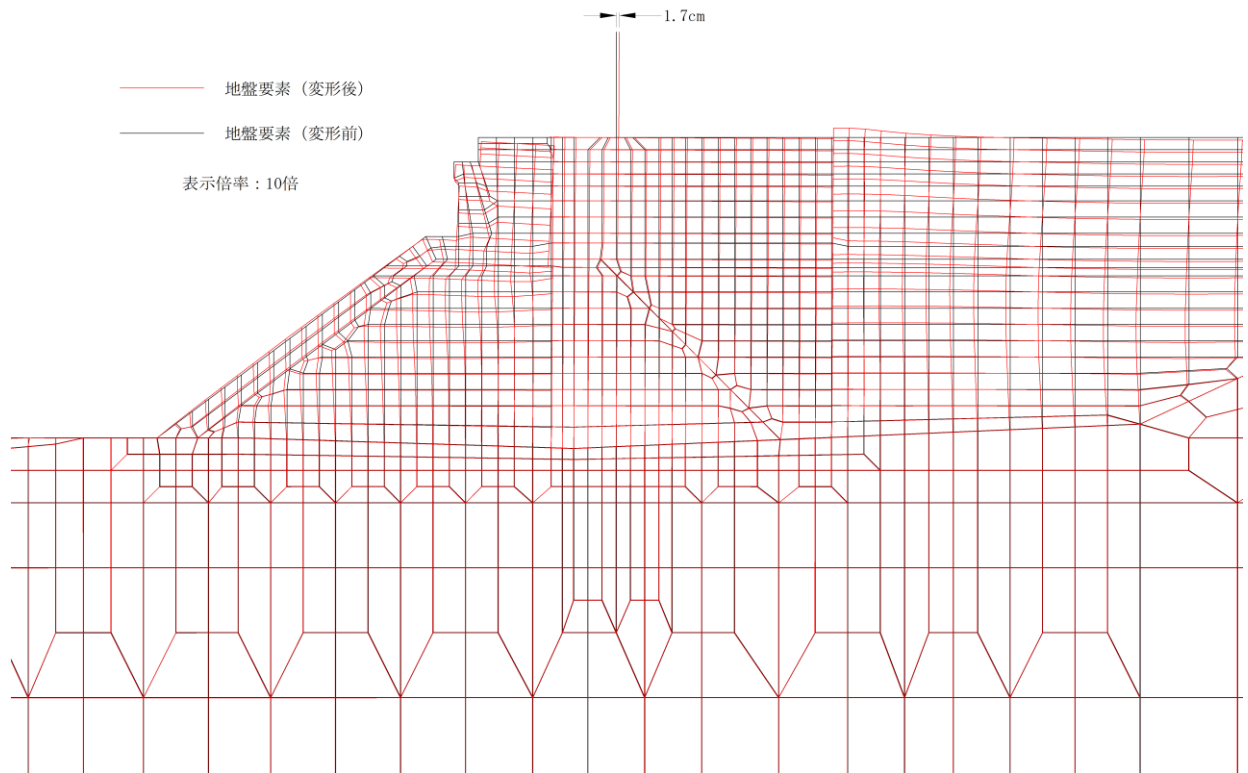
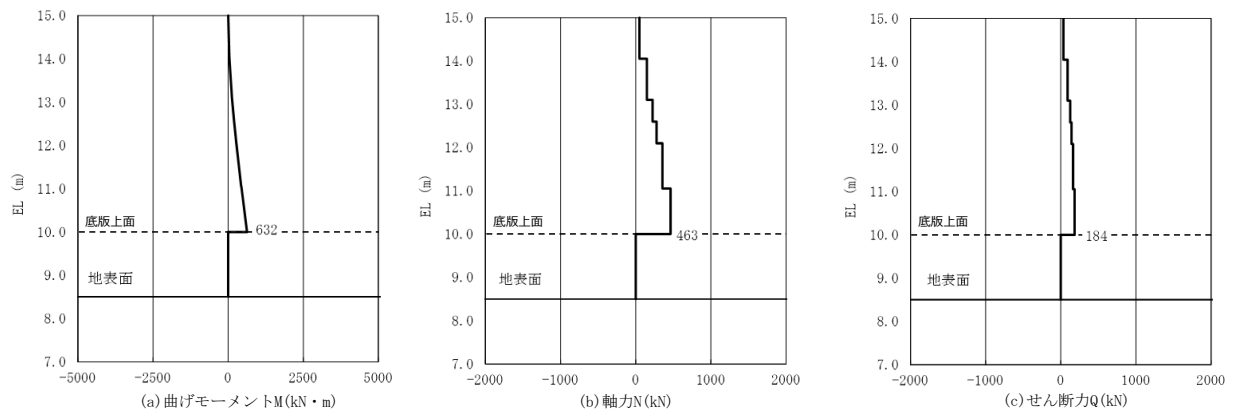
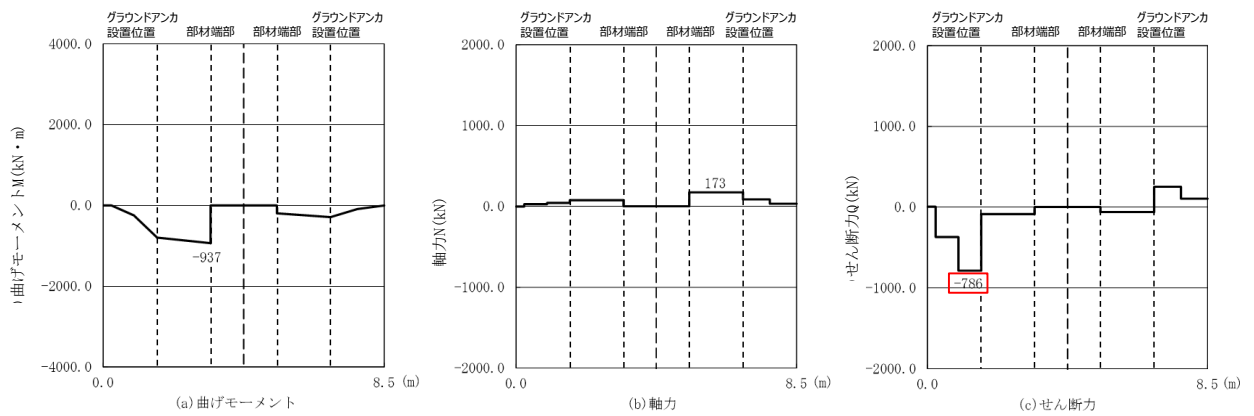


図 4.7.4-5 逆T擁壁のせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での変形図（施設護岸等有）
（⑤-⑤断面，解析ケース①， $S_s - D$ （--）， $t=28.12s$ ）



(- : 引張, + : 圧縮)

(壁)



(- : 引張, + : 圧縮)

注：逆T擁壁(底板)西端をゼロとする。

(版)

図 4.7.4-6 逆T擁壁のせん断破壊に対する照査における
最大照査値の評価時刻での断面力

(⑤-⑤断面, 解析ケース①, S_s-D (---), t=28.12s)

また、⑤-⑤断面において、解析ケース③の施設護岸天端（陸側端部）の海側への変位が最大となる時刻での変形図を図 4.7.4-7 に、施設護岸天端（陸側端部）及び改良地盤地表面（海側端部）における水平変位を図 4.7.4-8 に示す。

- ・施設護岸天端（陸側端部）の海側への変位が最大となる時刻において、施設護岸天端（陸側端部）は、改良地盤地表面（海側端部）に比べ、海側に大きく変位しているため、改良地盤には施設護岸等の受動土圧が作用せず、改良地盤の変形抑制に寄与していないと考えられる。

- ・そのため、解析ケース④（施設護岸等無）の照査値が、解析ケース③（施設護岸有）と比べて厳しくならなかったものと考えられる。

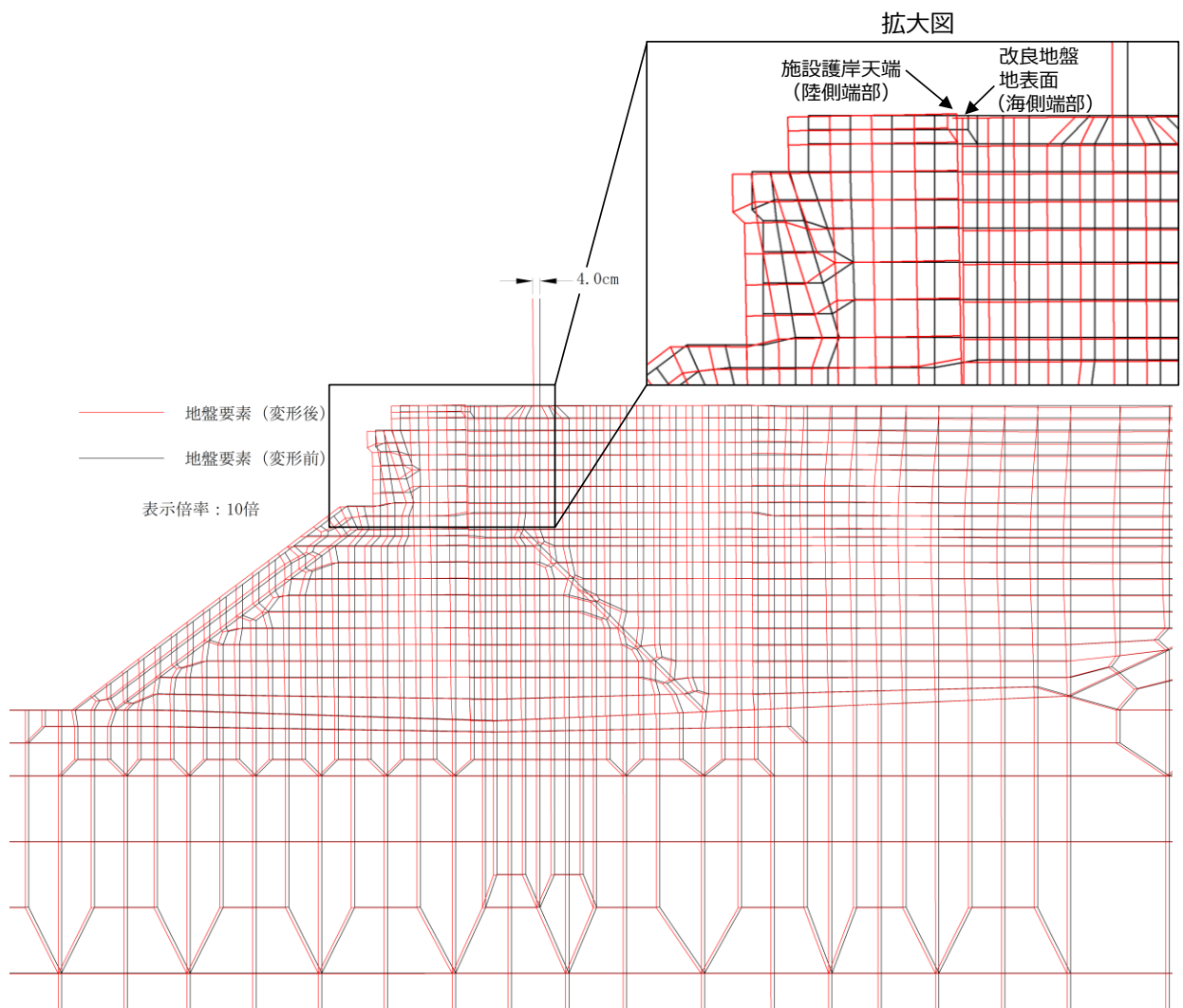


図 4.7.4-7 施設護岸天端（陸側端部）の海側への変位最大時刻での変形図（施設護岸等有）（⑤-⑤断面，解析ケース③， $S_s - N1$ （++）， $t=7.41s$ ）

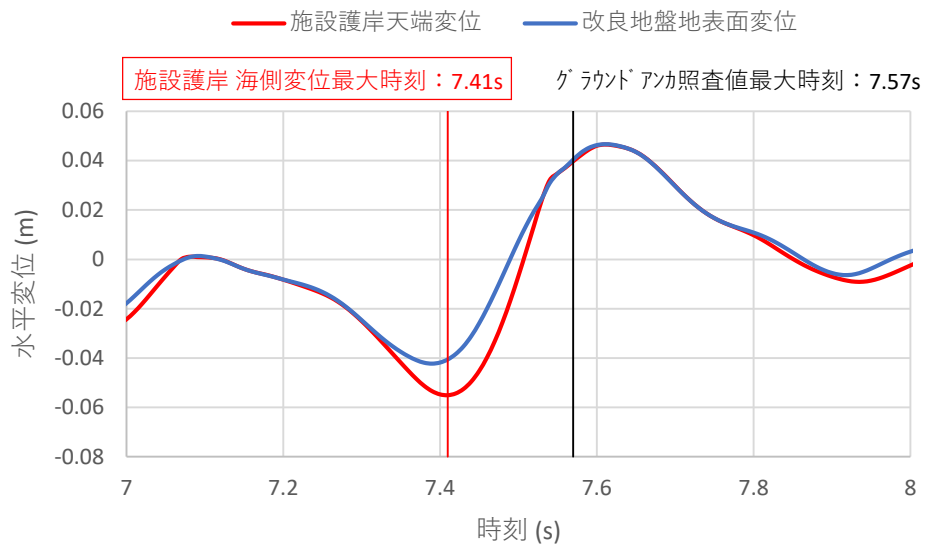
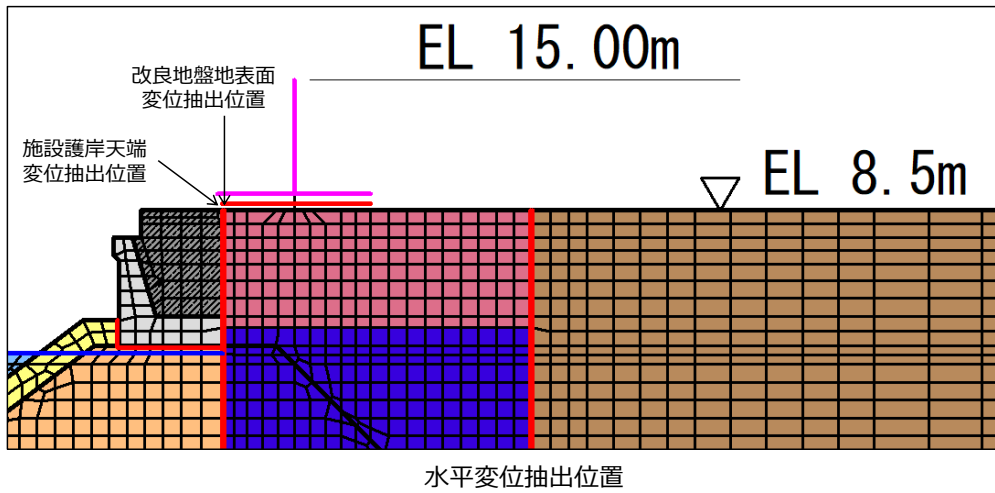


図 4.7.4-8 施設護岸天端（陸側端部）及び改良地盤地表面（海側端部）の水平変位
 (⑤-⑤断面, 解析ケース③, $S_s - N1$ (++))

また、⑤-⑤断面において、逆T擁壁底版の傾斜最大時刻での変形図を図4.7.4-9に示す。

・図4.7.4-9より、逆T擁壁の底版の傾斜が最大となる時刻において、逆T擁壁及び改良地盤は海側に変形している。

・施設護岸天端（陸側端部）は、改良地盤地表面（海側端部）に比べ、海側に大きく変位しているため、改良地盤には施設護岸、基礎捨石等の受動土圧が作用せず、改良地盤の変形抑制に寄与していないと考えられる。

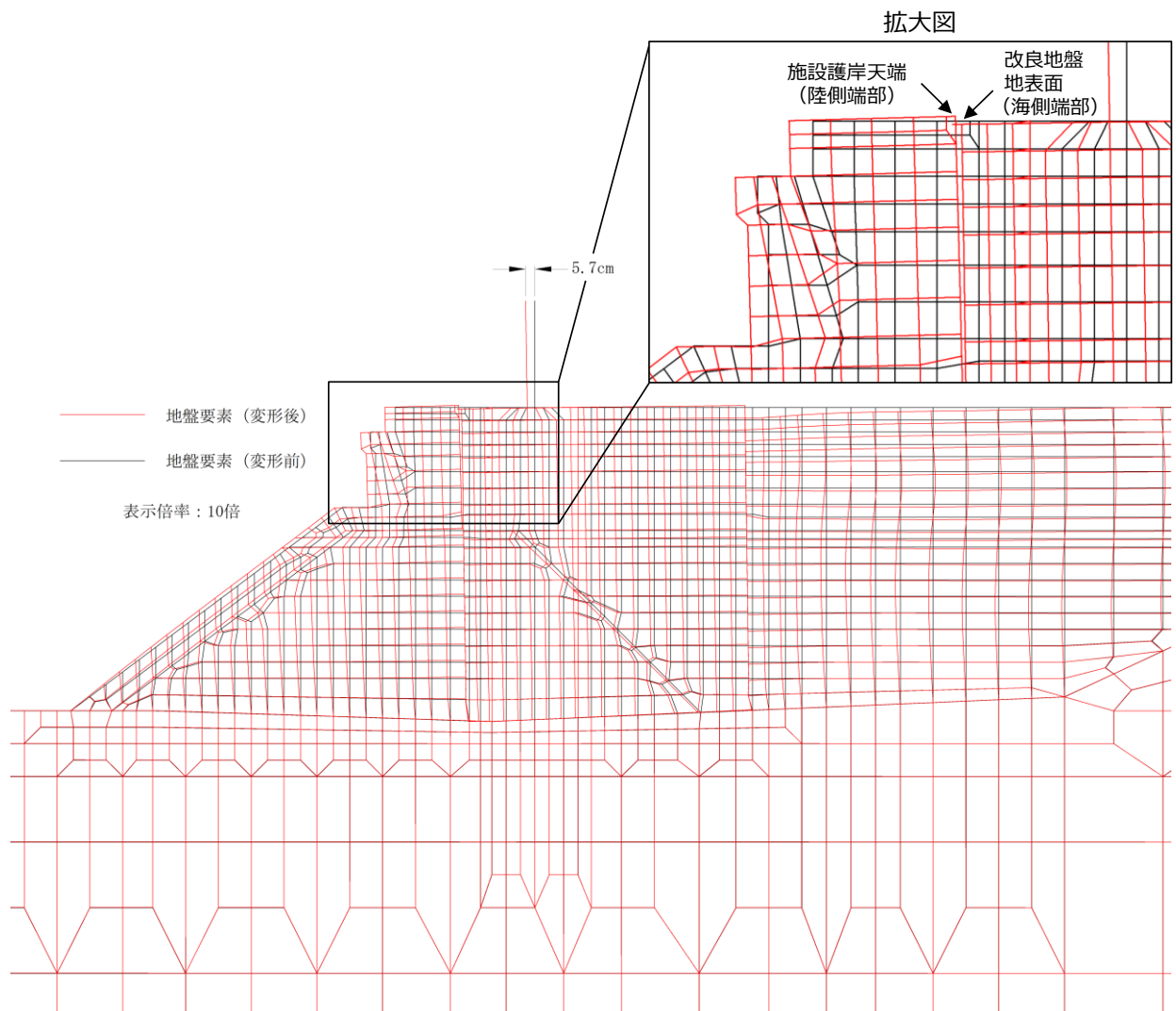


図4.7.4-9 逆T擁壁底版の傾斜最大時刻での変形図（施設護岸等有）
 (⑤-⑤断面, 解析ケース②, S s - N 1 (-+), t=7.56s)

逆T擁壁底版の傾斜最大時刻において、逆T擁壁が海側に変形していることから、図4.7.4-10より、逆T擁壁底版の傾斜最大時刻における慣性力の作用方向を確認した。

- ・ 水平方向の加速度は陸側に、慣性力は海側に作用しており、これにより逆T擁壁及び改良地盤は海側に変形しているものと考えられる。
- ・ 海側に変形した場合に傾斜が最大となる理由としては、以下が考えられる。
 - 逆T擁壁は、改良地盤の中心位置より海側に位置しており、逆T擁壁の自重及びグラウンドアンカの初期緊張力が改良地盤の海側に作用していること。
 - 当該時刻において、施設護岸天端（陸側端部）は、改良地盤地表面（海側端部）に比べ、海側に大きく変位しているため、改良地盤には施設護岸等の受動土圧が作用せず、改良地盤の変形抑制に寄与していないと考えられること。
- ・ 陸側に変形した場合にグラウンドアンカの照査値が最大となる理由としては、以下が考えられる。
 - 逆T擁壁底版の傾斜が最大となる $S_s - N1 (-+)$ では、最大傾斜時に逆T擁壁底版（改良地盤）は鉛直下向きに変位が生じており、発生アンカー力が減少している。一方で、グラウンドアンカの照査値が最大となる $S_s - N1 (++)$ では、図4.7.4-3に示すとおり、傾斜最大時刻と同等の時刻において、逆T擁壁底版（改良地盤）は鉛直上向きに変位しており、陸側に変形した場合に発生アンカー力が増加し、グラウンドアンカの照査値が厳しくなっていると考えられる。

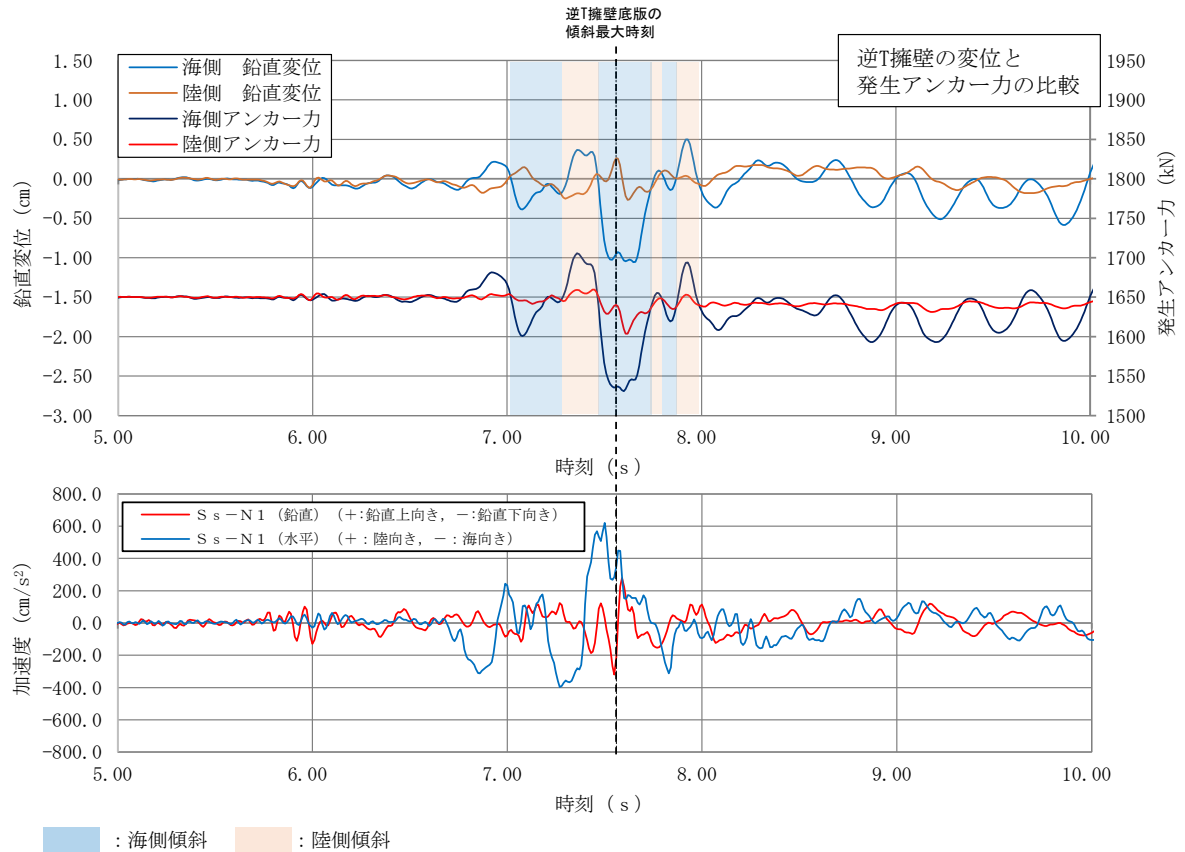


図 4.7.4-10 逆T擁壁底版端部の鉛直変位と基準地震動 S_s の比較
 (⑤-⑤断面, 解析ケース②, S_s-N1 (-+))

5. 防波壁（逆T擁壁）の耐震性に関する影響検討

5.1 鋼管杭の影響検討

鋼管杭を残置することによる防波壁（逆T擁壁）への悪影響の有無を確認するため、「（参考資料2）鋼管杭の影響検討について」より、杭頭載荷実験等を踏まえてヒンジ結合に移行しないことを確認したことから、鋼管杭を剛結合としてモデル化した影響検討を実施し、基準地震動 S_s に対して、浸水防護機能が喪失しないことを確認する。

鋼管杭の影響検討フローを図 5.1-1 に示す。

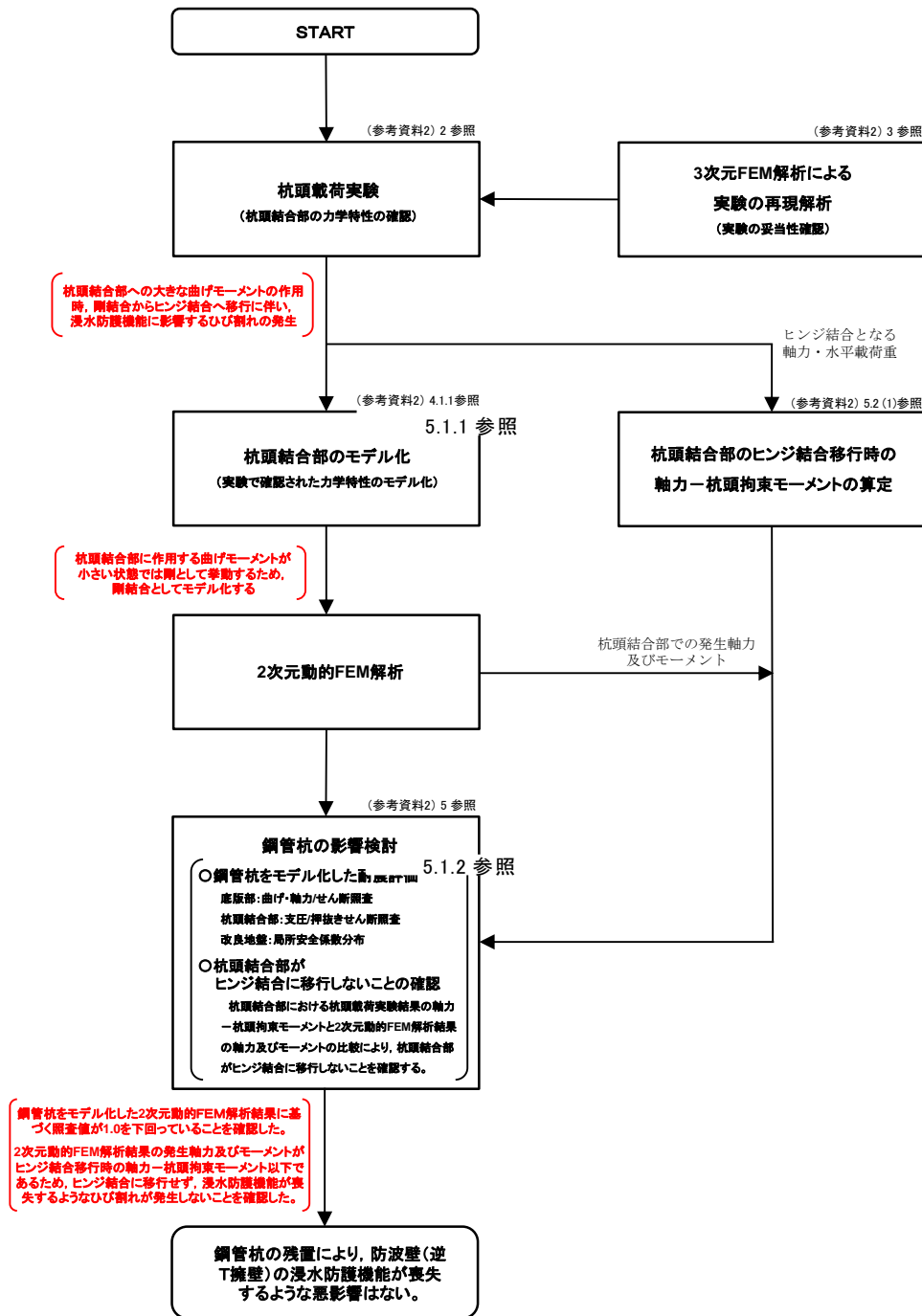


図 5.1-1 鋼管杭の影響検討フロー

5.1.1 評価方針

評価対象断面，評価部位および入力地震動については，耐震計算書の「4. 耐震評価結果」のうち解析ケース①（基本ケース）において，照査結果が最も厳しい「⑤－⑤断面，S s－D（－）」とする。鋼管杭をモデル化し，鋼管杭による地震時の耐震評価への影響を確認する。図 5.1.1－1 に鋼管杭周辺の解析モデルを示す。

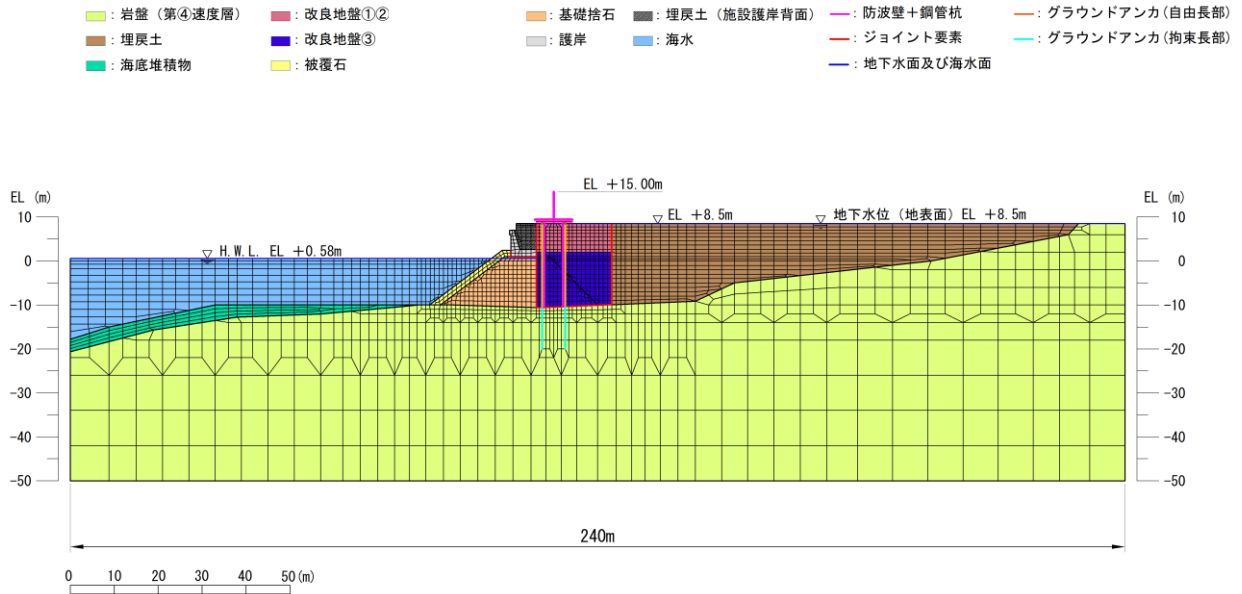


図 5.1.1－1 鋼管杭周辺の解析モデル

(1) 鋼管杭のモデル化

a. 杭頭結合部

「（参考資料 2）鋼管杭の影響検討について」に示す実験結果及び解析結果より，鋼管杭頭部は地震時を想定した正負交番载荷重下では剛結合の挙動を示すため，杭頭結合部は「剛結合」としてモデル化を行う。

一方，杭頭载荷実験でプッシュオーバーした際には，ヒンジ結合への移行に伴い，杭頭結合部でのひび割れの発生を確認している。逆 T 擁壁の役割は「止水性の保持」であり，「おおむね弾性状態にとどまること」を性能目標にしていることから，杭頭载荷実験結果と 2 次元有限要素法の結果の杭頭結合部の応力とを比較することで，鋼管杭の影響検討における杭頭結合部のモデルを「剛結合」とした妥当性及び当該ひび割れが発生せず，津波防護機能が喪失しないことを確認する。

b. 杭支持部

表 5.1.1-1 のとおり，鋼管杭支持部は支持地盤への根入れが 0.5m と浅く，水平力に対する支持性能を期待できないと考えられるため，岩盤からのせん断抵抗に期待しないケースを実施する。

また，フーチング部への岩盤からの悪影響を考慮するため，X 方向（せん断方向）にジョイント要素を設定したケースも実施する。ジョイント要素の力学特性を図 5.1.1-2 に示し，ジョイント要素のばね定数及び物性値を表 5.1.1-2 に示す。ジョイント要素のばね定数は，解析上不安定な挙動を起さないよう十分大きな値を設定し，ジョイント要素の物性値は，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のうち，岩盤（凝灰岩，C_H級）の物性値を用いる。

表 5.1.1-1 杭支持部モデル化ケース

ケース	X 方向	Y 方向
1	—	ジョイント B (剥離を考慮)
2	ジョイント A (すべりを考慮)	ジョイント B (剥離を考慮)

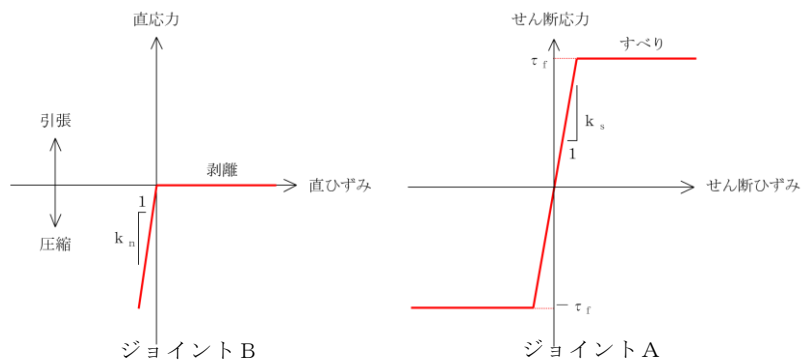


図 5.1.1-2 ジョイント要素の力学特性

表 5.1.1-2 杭支持部ジョイント要素のばね定数及び物性値

	せん断剛性 k_s [kN/m ³]	圧縮剛性 k_n [kN/m ³]	粘着力 c [kN/m ²]	内部摩擦角 ϕ [°]
ジョイント A	1.0×10^6	—	1.54	55.00
ジョイント B	—	1.0×10^6	—	—

c. 鋼管杭本体

鋼管杭は線形はり要素でモデル化し、鋼管杭と埋戻土との間には、地震時に鋼管杭の間を改良地盤がすり抜ける効果を考慮するため、杭-地盤相互作用バネ要素でモデル化する。当該要素は、図 5.1.1-3 に示すとおり、鋼管杭の線形はり要素の節点と改良地盤の要素の節点を結ぶ非線形ばね要素であり、力～バネ変位関係を有する。バネ力は、杭と地盤の相対変位と地盤の状態に基づき、時々刻々と算定される。

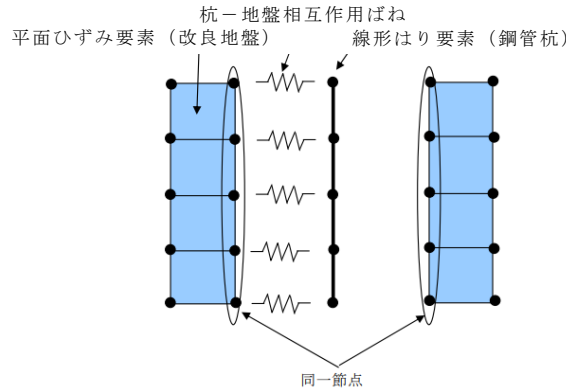


図 5.1.1-3 杭-地盤相互作用バネ要素

鋼管杭の使用材料を表 5.1.1-3 に、材料の物性値を表 5.1.1-4 に示す。また、鋼管杭モデルを図 5.1.1-4 に示す。中詰めコンクリートの剛性については考慮しない方が鋼管杭の変形が大きくなり、逆T擁壁の地震時応答加速度が大きくなると考えられることから、保守的に剛性は考慮せず、単位体積重量のみ考慮する。

表 5.1.1-3 使用材料

材料	諸元
鋼管杭	$\phi 1300\text{mm}$ $t = 22\text{mm (SKK490)}$
中詰めコンクリート	設計基準強度 $f'_{ck} = 18\text{N/mm}^2$ (杭部) 24N/mm^2 (杭頭接合部)

表 5.1.1-4 材料の物性値

材料	単位体積重量*1 (kN/m ³)	ヤング係数*2 (N/mm ²)	ポアソン比*2
鋼管杭 (SKK490)	77.0	2.0×10 ⁵	0.3
中詰めコンクリート	22.6	—	—

注記*1: 「港湾基準」に記載の単位体積重量を用いる。

*2: 「コンクリート標準示方書(2002)」より設定

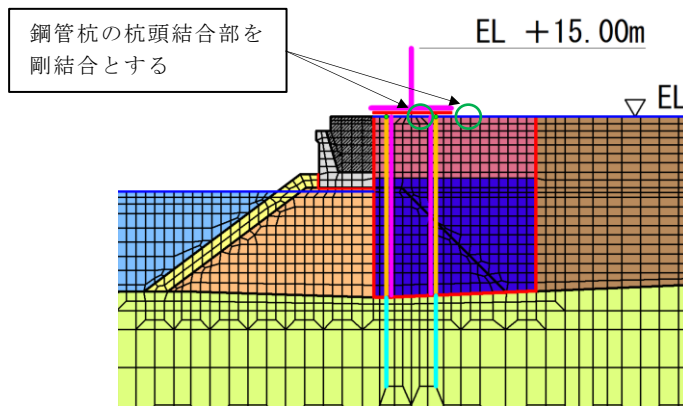


図 5.1.1-4 鋼管杭モデル

(2) 解析ケース

鋼管杭の影響検討を行う解析ケースについては、「4. 耐震評価結果」から解析ケース①～③の結果のうち、逆T擁壁における照査値が最も厳しい「⑤-⑤断面、解析ケース①、S s-D (—)」とする。表 5.1.1-5 に解析ケースを示す。

表 5.1.1-5 解析ケース

	鋼管杭	解析ケース	地盤物性	
			埋戻土 (G ₀ : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G _d : 動せん断弾性係数)
「4. 耐震評価結果」にて評価済み	無	ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
		ケース②	平均値 + 1σ	平均値
		ケース③	平均値 - 1σ	平均値
影響検討	有	ケース①	平均値	平均値

(3) 部材照査

鋼管杭による地震時の耐震評価への影響確認は、地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「3.7 許容限界」で設定したコンクリートの許容限界を満足することに加え、鋼管杭結合部に作用する押抜きせん断応力度と支圧応力度が許容限界以下であることを確認する。

a. 許容限界

逆T擁壁の許容限界は、「コンクリート標準示方書(2002)」に基づき、短期許容応力度とする。表 5.1.1-6 に逆T擁壁の許容限界を示す。

表 5.1.1-6 逆T擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ² (N/mm ²)
	コンクリート ($f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$)	許容押抜きせん断応力度 τ_{pa}	0.90
支圧応力度 σ_{ba} * ¹ (鋼管杭)		7.2	10.8

注記*1: 「コンクリート標準示方書(2002)」より支圧応力度の算出式

$$\sigma_{ba}=0.3f_{ck} \text{ を用いて求める。}$$

*2: 短期許容応力度は、「コンクリート標準示方書(2002)」より許容応力度に対し 1.5 倍の割増を考慮する。(押抜きせん断応力度については割増を行わない。)

b. 断面照査

鋼管杭の影響検討として、「杭基礎設計便覧(日本道路協会, 2007年制定)」(以下「杭基礎設計便覧」という。)により、押込み力に対する照査及び水平力に対する照査を行う。

(a) 押込み力に対する照査

鋼管杭の押込み力に対する照査は、図 5.1.1-5 に示す算定される垂直支圧応力 σ_{cv} 及び押抜きせん断応力度 τ_v が許容限界以下であることを確認する。押込み力に対する照査図を図 5.1.1-6 に示す。

$$\sigma_{cv} = P / (\pi D^2 / 4)$$

$$\tau_v = P / \pi (D+h)h$$

ここに、

- σ_{cv} : 杭頭結合部に発生する垂直支圧応力度 (N/mm²)
- τ_v : 杭頭結合部に発生する垂直押抜きせん断応力度 (N/mm²)
- P : 杭頭結合部に作用する押込み力 (N)
- D : 鋼管杭径 (mm) (=1300mm)
- H : 垂直方向の押し抜きせん断に抵抗するフーチング有効高 (mm) (=1790mm)

6-3-2 照査方法

図-III.6.1, 図-III.6.2 に示す杭頭荷重に対して、次の照査を行う。

1) フーチングコンクリートの垂直支圧応力度の照査

$$\sigma_{cv} = \frac{P}{\pi D^2 / 4} \leq \sigma_{ba} \dots\dots\dots(\text{III.6.1})$$

一般的には杭の支持力、杭本体の耐力ならびにフーチングのせん断耐力等を考慮すれば、フーチングコンクリートの垂直支圧応力が問題になることはない。

図-III.6.1 方法 A による場合

図-III.6.2 方法 B による場合

2) フーチングコンクリートの押抜きせん断応力度の照査

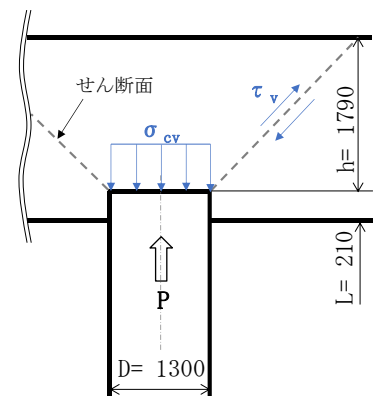
$$\tau_v = \frac{P}{\pi(D+h)h} \leq \tau_a \dots\dots\dots(\text{III.6.2})$$


図 5.1.1-5 押込み力に対する照査
(「杭基礎設計便覧」より引用に一部加筆)

図 5.1.1-6 押込み力に対する照査図

(b) 水平力に対する照査

鋼管杭の水平力に対する照査は、図 5.1.1-7 に示す水平支圧応力 σ_{ch} 及び水平方向の押抜きせん断応力 τ_h が許容限界以下であることを確認する。水平力に対する照査図を図 5.1.1-8 に示す。

$$\sigma_{ch} = H/DL$$

$$\tau_h = H/h'(2L+D+2h')$$

ここに、

- σ_{ch} : 杭頭結合部に発生する水平支圧応力度 (N/mm²)
- τ_h : 杭頭結合部に発生する水平押抜きせん断応力度 (N/mm²)
- H : 杭頭結合部に作用する水平力 (N)
- D : 鋼管杭径 (mm) (=1300mm)
- L : 杭の埋込長 (mm) (=210mm)
- h' : 水平方向の押し抜きせん断に抵抗するフーチング有効厚 (=975mm)

4) フーチングコンクリートの水平支圧応力度の照査

a. 方法 A の場合

$$\sigma_{ca} = \frac{H}{Dl} + \frac{6M}{Dl^2} \leq \sigma_{ba} \dots\dots\dots(\text{III. 6. 5})$$

b. 方法 B の場合

$$\sigma_{cb} = \frac{H}{Dl} \leq \sigma_{ba} \dots\dots\dots(\text{III. 6. 6})$$

5) フーチング端部の杭に対する水平方向の押抜きせん断応力度の照査

$$\tau_h = \frac{H}{h'(2l+D+2h')} \leq \tau_a \dots\dots\dots(\text{III. 6. 7})$$

図 5.1.1-7 水平力に対する照査
(「杭基礎設計便覧」より引用に一部加筆)

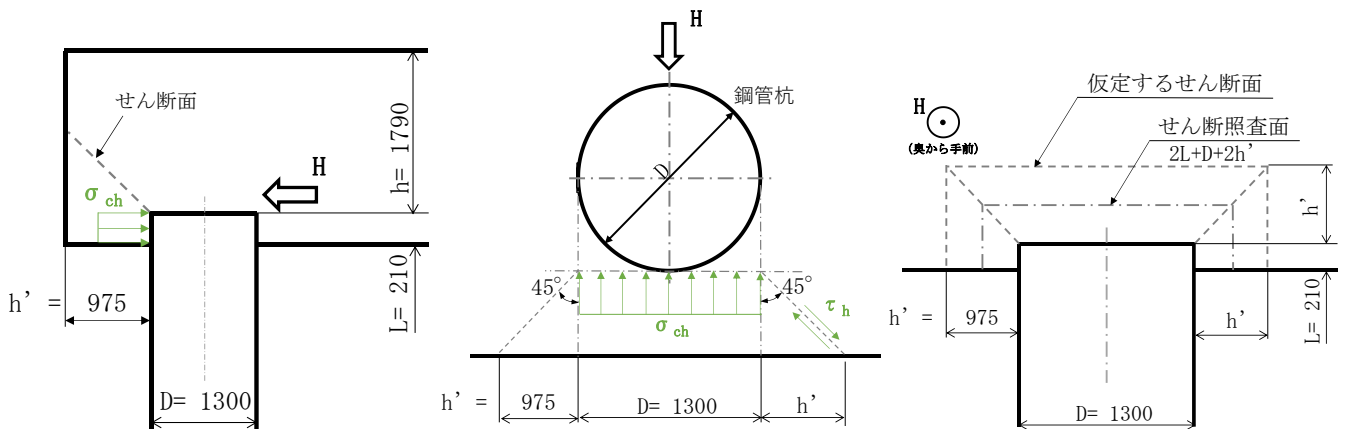


図 5.1.1-8 水平力に対する照査図

5.1.2 評価結果

(1) 鋼管杭をモデル化した耐震評価

a. 逆T擁壁への影響について

杭頭部を剛結合とした2次元有限要素法の結果に対する底版及び杭頭結合部の照査結果を表5.1.2-1及び表5.1.2-2に示す。いずれの部材においても照査値が許容値を満足しており、基準地震動 S_s に対し鋼管杭を残置することによる防波壁（逆T擁壁）の津波防護機能を喪失するような悪影響はないことを確認した。

表 5.1.2-1 2次元有限要素法に対する部材照査結果
(杭支持部：岩盤からのせん断抵抗に期待しないケース)

		発生応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)		照査値	
底版	曲げ・ 軸力	(σ_c)	2.5	(σ_{ca})	13.5	σ_c / σ_{ca}	0.19
		(σ_s)	89.9	(σ_{sa})	294	σ_s / σ_{sa}	0.31
	せん断	(τ)	0.57	(τ_a)	0.67	τ / τ_a	0.86
杭頭 結合部	押込み力 に対する 照査	(σ_{cv})	2.1	(σ_{ba})	10.8	$\sigma_{cv} / \sigma_{ba}$	0.20
		(τ_v)	0.16	(τ_{va})	0.90	τ_v / τ_{va}	0.18
	水平力 に対する 照査	(σ_{ch})	4.0	(σ_{ba})	10.8	$\sigma_{ch} / \sigma_{ba}$	0.38
		(τ_h)	0.31	(τ_{ha})	0.90	τ_h / τ_{ha}	0.35

表 5.1.2-2 2次元有限要素法に対する部材照査結果

(杭支持部：X方向（せん断方向）にジョイント要素を設定したケース)

		発生応力度 (N/mm ²)	短期許容応力度 (N/mm ²)	照査値	
底版	曲げ・ 軸力	(σ_c) 2.5	(σ_{ca}) 13.5	σ_c / σ_{ca}	0.19
		(σ_s) 87.9	(σ_{sa}) 294	σ_s / σ_{sa}	0.30
	せん断	(τ) 0.58	(τ_a) 0.67	τ / τ_a	0.87
杭頭 結合部	押込み力 に対する 照査	(σ_{cv}) 2.1	(σ_{ba}) 10.8	$\sigma_{cv} / \sigma_{ba}$	0.20
		(τ_v) 0.16	(τ_{va}) 0.90	τ_v / τ_{va}	0.18
	水平力 に対する 照査	(σ_{ch}) 4.0	(σ_{ba}) 10.8	$\sigma_{ch} / \sigma_{ba}$	0.38
		(τ_h) 0.31	(τ_{ha}) 0.90	τ_h / τ_{ha}	0.35

(2) 改良地盤への影響について

鋼管杭の変位による改良地盤への影響を局所安全係数分布図により確認する。評価時刻については、鋼管杭の変位が最大となる時刻において、改良地盤への影響が最も大きくなると考えられるため、鋼管杭の杭頭部と杭支持部の相対変位が最大となる時刻とした。

図 5.1.2-1 に示す鋼管杭の杭頭部と杭支持部の相対変位が最大となる時刻における局所安全係数分布図より、引張強度に達した要素は局所的であり、おおむね健全である。

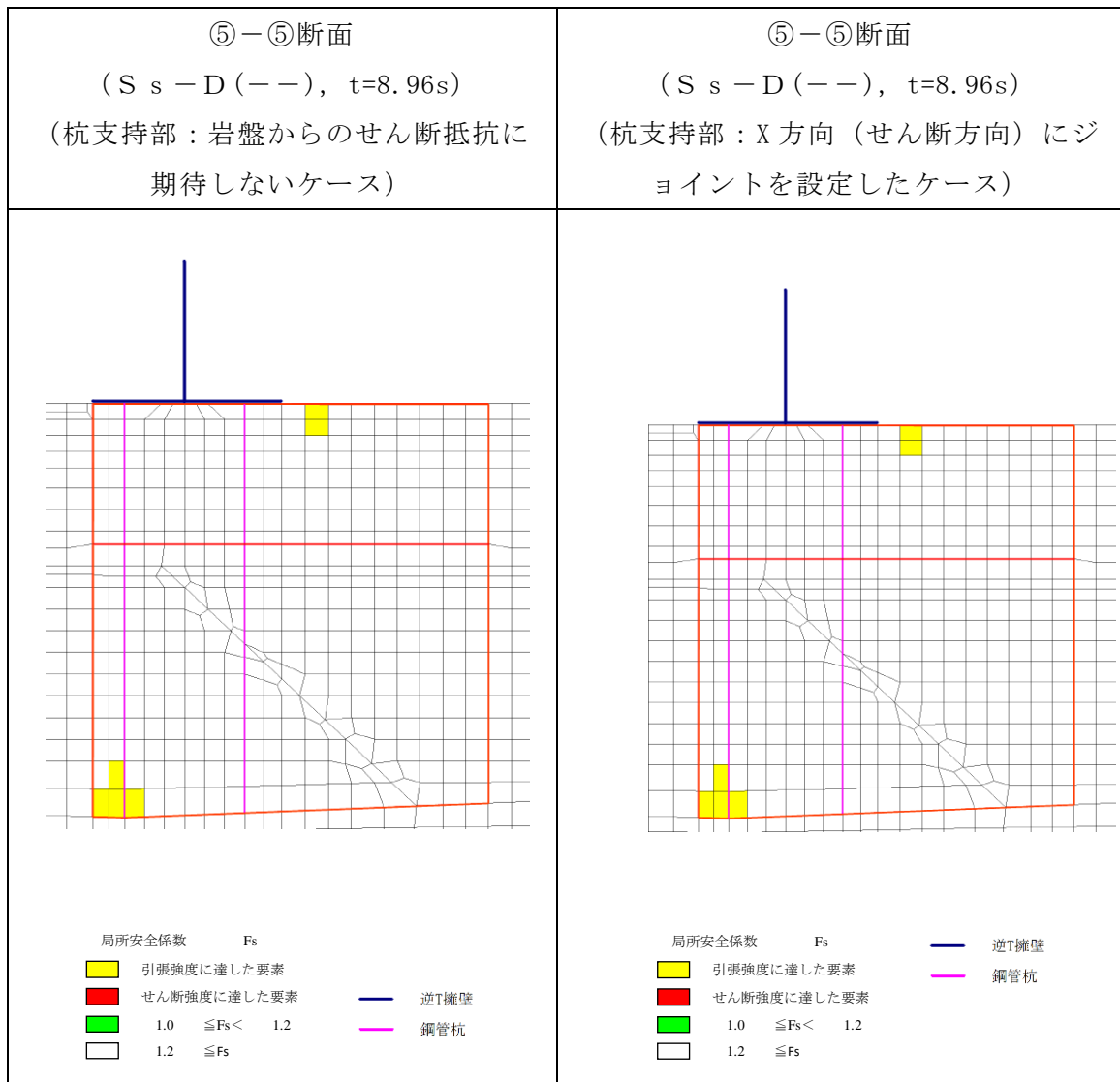


図 5.1.2-1 鋼管杭をモデル化した改良地盤の局所安全係数分布
(杭頭部と杭支持部の変位が最大となる時刻)

図 5.1.2-2 に示す全時刻における破壊履歴図より、せん断破壊に達する要素はなく、引張強度に達する要素は局所的であるため、難透水性の保持に影響するような流入経路は形成されないと考えられる。

以上より、鋼管杭を残置することによる防波壁（逆T擁壁）の津波防護機能を喪失するような悪影響はないと判断する。

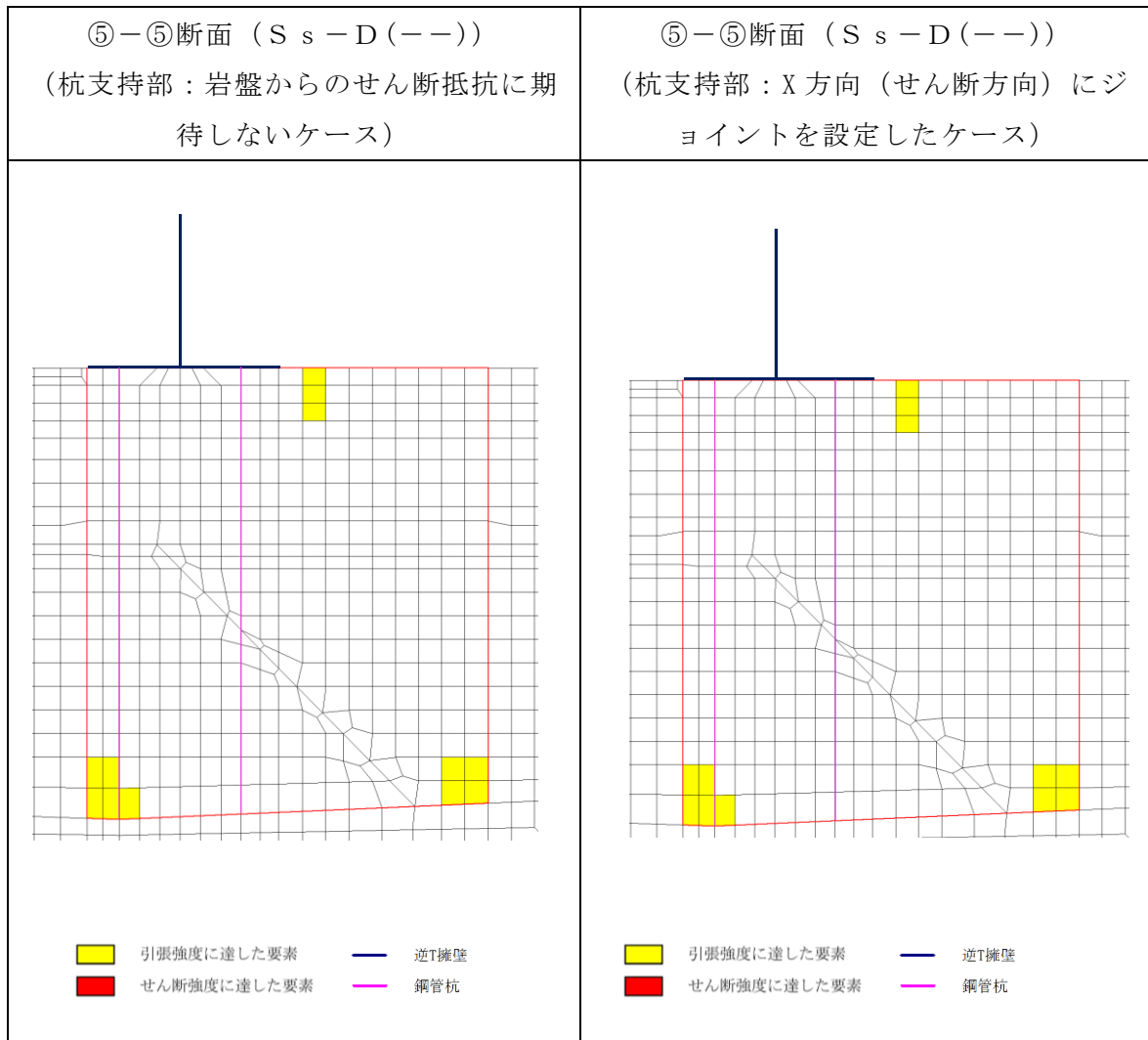


図 5.1.2-2 鋼管杭をモデル化した改良地盤の全時刻における破壊履歴図

5.2 改良地盤⑧の影響検討

5.2.1 概要

防波壁（逆T擁壁）の近傍には、基礎地盤のすべり安定性の向上を目的として、改良地盤⑧が施工されている。改良地盤⑧については、自主的な対策であることから、防波壁（逆T擁壁）の耐震評価では、当該改良地盤を考慮しないこととしているが、改良地盤⑧による防波壁（逆T擁壁）への影響を確認するため、改良地盤⑧をモデル化した影響検討を実施する。

5.2.2 評価方針

評価対象断面については、改良地盤⑧の近傍に位置する①－①断面において評価を実施する。評価に用いる入力地震動については、「4. 耐震評価結果」において、照査結果が最も厳しいケースの「S_s-N1(++)」, 解析ケース①とする。

改良地盤⑧をモデル化し、改良地盤⑧による地震時の耐震評価への影響を確認する。解析モデルを図5.2.2-1に示す。

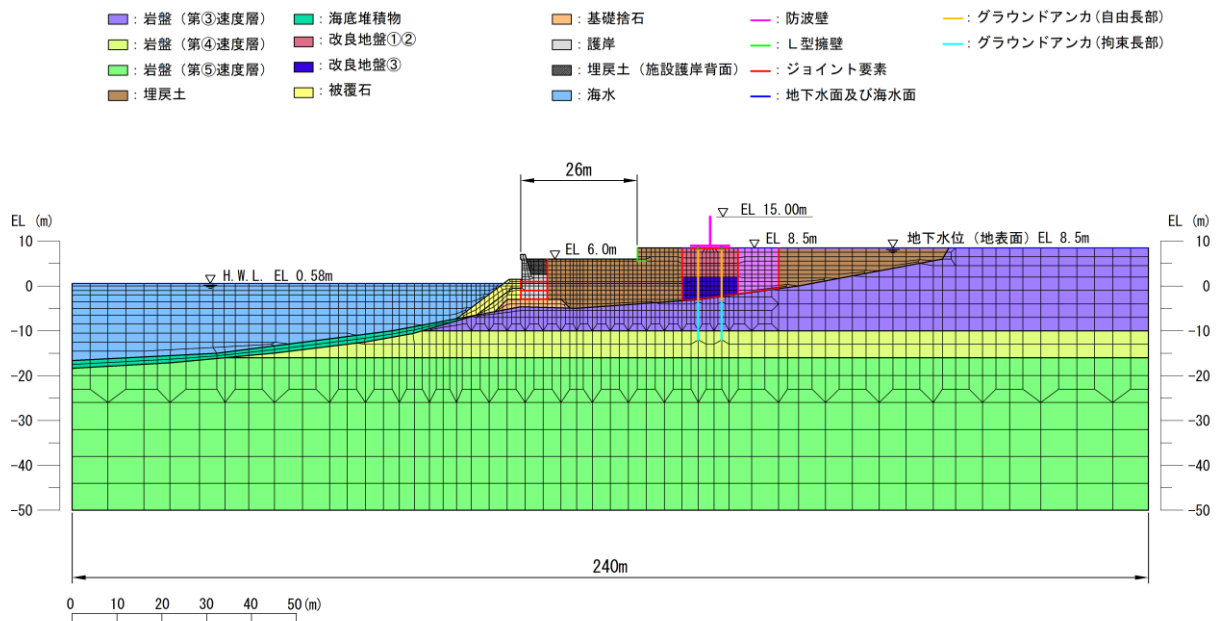


図 5.2.2-1 改良地盤⑧をモデル化した①－①断面の解析モデル

(1) 改良地盤⑧の解析用物性値

改良地盤⑧における解析用物性値はVI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に基づき設定し，改良地盤⑧の解析用物性値を表 5.2.2-1 に示す。

表 5.2.2-1 改良地盤⑧における解析用物性値

		解析用物性値 (改良地盤⑧)
物理特性	密度 ρ (g/cm ³)	1.89
	間隙率 n	0.45
変形特性	弾性係数 E (kN/m ²)	9.108×10^6
	ポアソン比 ν	0.33
強度特性	粘着力 c' (kN/m ²)	1550
	内部摩擦角 ϕ'	38.71

(2) 解析ケース

改良地盤の影響検討を行う解析ケースについては，「4. 耐震評価結果」から解析ケース①～③の結果のうち，逆T擁壁における照査値が最も厳しい「解析ケース①，S_s-N1(++)」とする。表 5.2.2-2 に解析ケースを示す。

表 5.2.2-2 解析ケース

	改良地盤⑧	解析ケース	地盤物性	
			埋戻土 (G ₀ : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G _d : 動せん断弾性係数)
「4. 耐震評価結果」にて評価済み	無	ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
		ケース②	平均値 + 1 σ	平均値
		ケース③	平均値 - 1 σ	平均値
影響検討	有	ケース①	平均値 - 1 σ	平均値

5.2.3 評価結果

改良地盤⑧をモデル化した場合の評価結果を表 5.2.3-1～表 5.2.3-7 に示す。

本検討の結果，改良地盤⑧をモデル化した場合の評価は改良地盤⑧をモデル化しない場合と比べて有意な差は無く，その影響は軽微であることを確認した。

表 5.2.3-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値
(S s - N 1 (++))

	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
「4.2 逆T擁 壁」にて評価済 み	①	1343	374	3.1	13.5	0.23
	②	1338	375	3.1	13.5	0.23
	③	1348	374	2.8	13.5	0.21
影響検討	①	1227	374	2.9	13.5	0.22

表 5.2.3-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値

(S s - N 1 (++))

	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモーメント M (kN・m)	軸力 N (kN)			
「4.2 逆 T擁壁」に て評価済み	①	1343	374	115.7	294	0.40
	②	1338	375	115.1	294	0.40
	③	1348	374	116.4	294	0.40
影響検討	①	1227	374	103.1	294	0.36

表 5.2.3-3 コンクリートのせん断破壊に対する照査における照査値

(S s - N 1 (++))

	解析 ケース	発生断面力		せん断 応力度 τ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ_s / τ_{a1}
		せん断力 Q (kN)				
「4.2 逆 T擁壁」に て評価済み	①	502		0.34	0.67	0.51
	②	500		0.34	0.67	0.51
	③	504		0.34	0.67	0.51
影響検討	①	451		0.30	0.67	0.45

表 5.2.3-4 逆T擁壁のグラウンドアンカによる支圧応力度に対する照査
 における照査値 (S s - N 1 (++))

	解析 ケース	支圧 応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
「4.2 逆T擁 壁」にて評価済み	①	10.6	18.0	0.59
	②	10.6	18.0	0.59
	③	10.6	18.0	0.59
影響検討	①	10.4	18.0	0.58

表 5.2.3-5 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における照査値
 (S s - N 1 (++))

	解析 ケース	発生アンカー力 T (kN)	許容アンカー力 T _a (kN)	照査値 T/T _a
「4.3 グラウ ンドアンカ」に て評価済み	①	1514	1764	0.86
	②	1514	1764	0.86
	③	1514	1764	0.86
影響検討	①	1492	1764	0.85

表 5.2.3-6 基礎地盤の支持性能評価結果（改良地盤）

(S_s - N1 (++))

	解析 ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R / R _u
「4.6 基礎 地盤」にて評 価済み	①	0.5	1.4	0.36
	②	0.5	1.4	0.36
	③	0.5	1.4	0.36
影響検討	①	0.5	1.4	0.36

表 5.2.3-7 基礎地盤の支持性能評価結果（岩盤）

(S_s - N1 (++))

	解析 ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R / R _u
「4.6 基礎 地盤」にて評 価済み	①	1.0	9.8	0.11
	②	1.0	9.8	0.11
	③	1.0	9.8	0.11
影響検討	①	0.8	9.8	0.09

5.3 ⑤－⑤断面位置でのグラウンドアンカー仕様を反映した影響検討

5.3.1 概要

防波壁（逆T擁壁）の地震応答加速度等が厳しくなると考えられる⑤－⑤断面のモデル化にあたっては、更なる保守性を考慮するため、図5.3.1-1のとおり、岩盤上面深さがさらに深い⑤’－⑤’断面位置での地質断面図及びアンカー仕様を用いている。

⑤－⑤断面位置（エリア5）のアンカー仕様は、⑤’－⑤’断面位置（エリア7）に比べ、グラウンドアンカーの自由長及びアンカー体長が短く、設計アンカー力が小さい仕様となっている。⑤－⑤断面位置（エリア5）はアンカー体長が短いことにより許容アンカー力は小さくなるが、以下の理由から、グラウンドアンカーの照査値は両断面で同等になると考えられる。⑤－⑤断面位置と⑤’－⑤’断面の各諸元を表5.3.1-1に示す。

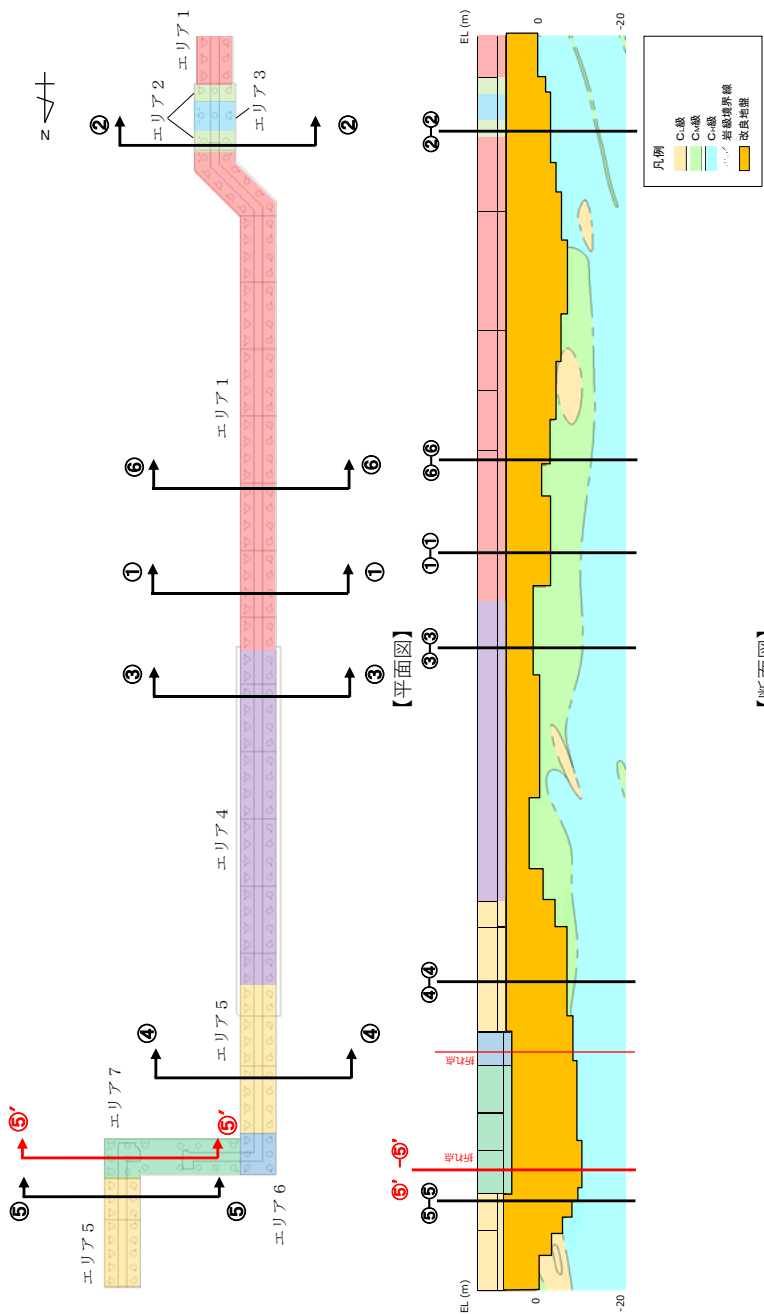
- ・グラウンドアンカーの照査に用いる発生アンカー力は、初期緊張力（設計アンカー力）に地震時緊張力増分を加えたものであり、大半を初期緊張力が占め、地震時増分は微小と考えられることから、許容アンカー力に占める初期緊張力の割合は、照査値と同等になる。
- ・初期緊張力については、耐震評価において、防波壁（逆T擁壁）が転倒しないよう、エリア毎に異なる値を設定している。
- ・一方で、初期緊張力に応じてアンカー体長を変更することで、許容アンカー力に占める初期緊張力の割合が0.8程度となるように設計している。

しかし、照査値が0.8以上と厳しくなると想定されることから、念のため実態に即したアンカー仕様による影響を確認するため、⑤’－⑤’断面位置（エリア7）での地質断面図と⑤－⑤断面位置（エリア5）のアンカー仕様を用いた解析モデルによる影響検討を実施する。

表 5.3.1-1 ⑤－⑤断面位置と⑤’－⑤’断面の各諸元

	⑤－⑤断面位置	⑤’－⑤’断面位置
構造物	逆T擁壁横断方向	逆T擁壁縦断方向
岩盤深さ	17.9m	18.5m
設計アンカー力 (A)	1170 kN (エリア5)	1650 kN (エリア7)
許容アンカー力 (B)	1453 kN (エリア5)	2076 kN (エリア7)
設計アンカー力/許容アンカー力 (A/B)	0.81	0.79
発生アンカー力 (C)	1170 kN + α	1650 kN + α
グラウンドアンカー照査値 (C/B)	0.8程度 (推定)	0.8程度 (推定)

注：□ ⑤－⑤断面の解析モデルに採用



【断面図】

アンカー種別	削孔径 (mm)	PC鋼φ (mm)	PC鋼本数 (本)	テンドン自由長* (mm)	アンカー体長 (テンドン拘束長) (mm)	テンドンの極限引張力 (kN)	テンドンの降伏引張力 (kN)	テンドンの見かけの周長 (mm)	設計アンカー力 (kN)	許容アンカー力 (kN)	海側のグラウンドアンカー設置間隔 (mm)	設計アンカー力/許容アンカー力	
エリア1	135	15.2	11	8000~18000	8500	2800	2400	138.4	1440	1764	2000	0.82	
エリア2				11000~13500	10000				1700	2076	1650	0.82	
エリア3				12500~13000	9000				1500	1868	1535	0.80	
エリア4				7000~11500	8500				2800	1764	2000	0.77	
エリア5				10000~20500	7000				2400	1170	1453	1625(北側) 2000(南側)	0.81
エリア6				17000~18500	9500				1550	1972	1650	1650	0.79
エリア7				17500~20000	10000				1650	2076	1650	1650	0.79

注記*：テンドン自由頂部はアンカー体が岩盤に確実に定着するよう岩盤上面深さに合わせて長さを調整している。

図 5.3.1-1 ⑤-⑤断面及び⑤'-⑤'断面の位置図

5.3.2 評価方針

評価対象断面については、⑤－⑤断面において評価を実施する。評価に用いる入力地震動については、「4. 耐震評価結果」において、照査結果が最も厳しいケースの「S_s-N1(++)」, 解析ケース③とする。

⑤'－⑤'断面位置における地質断面図に⑤－⑤断面におけるグラウンドアンカの設計アンカー力及びアンカー体長を設定し、アンカー仕様による地震時の防波壁（逆T擁壁）の照査への影響を確認する。解析モデルを図5.3.2-1に示す。

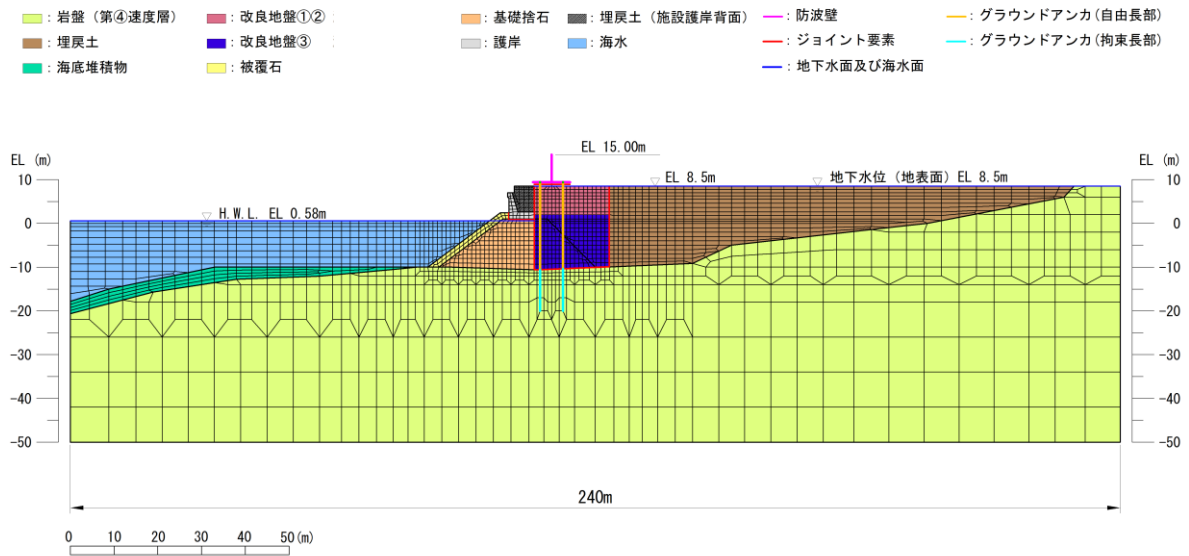


図 5.3.2-1 ⑤'－⑤'断面位置における地質断面図に⑤－⑤断面におけるグラウンドアンカの仕様を反映した解析モデル

(1) 影響検討におけるグラウンドアンカの仕様

影響検討におけるグラウンドアンカの仕様を表 5.3.2-1 に示す。

表 5.3.2-1 影響検討におけるグラウンドアンカの仕様

	諸元	
	⑤-⑤断面	影響検討
緊張時自由長 L_{sf} (m)	20.72	
アンカー体長(テンドン拘束長) (m)	10.0	7.0
設計アンカー力 (kN)	1650	1170
許容アンカー力 (kN)	2076	1453
引張剛性 (kN/m)	14064 (陸側) , 28128 (海側)	
テンドンの降伏引張力 T_p (kN)	2400.0	
アンカー本数	陸側 1 本, 海側 2 本	

(2) 解析ケース

改良地盤の影響検討を行う解析ケースについては、「4. 耐震評価結果」から解析ケース①～③の結果のうち、⑤-⑤断面のグラウンドアンカにおける照査値が最も厳しい「解析ケース③, $S_s - N1 (+ +)$ 」とする。表 5.3.2-2 に解析ケースを示す。

表 5.3.2-2 解析ケース

	解析ケース	地盤状況	アンカー仕様
「4. 耐震評価結果」にて評価済み	ケース③	⑤'-⑤'断面	⑤'-⑤'断面
影響検討	ケース③	⑤'-⑤'断面	⑤-⑤断面

5.3.3 評価結果

アンカー仕様を⑤-⑤断面とした場合の評価結果を表 5.3.3-1～表 5.3.3-8 に示す。本検討の結果、アンカー仕様を⑤-⑤断面とした場合の評価はアンカー仕様が⑤'-⑤'断面の場合と比べて有意な差は無く、その影響は軽微であることを確認した。

表 5.3.3-1 コンクリートの曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値
(⑤-⑤断面, S_s-N1 (++) , 解析ケース③)

	解析 ケース	発生断面力		曲げ圧縮 応力度 σ_c (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ca} (N/mm ²)	照査値 σ_c / σ_{ca}
		曲げモー メントM (kN・m)	軸力 N (kN)			
「4.2 逆T擁壁」 にて評価済み	③	1921	128	4.3	13.5	0.32
影響検討	③	1707	165	3.9	13.5	0.29

表 5.3.3-2 鉄筋の曲げ・軸力系の破壊に対する照査における照査値
(⑤-⑤断面, S_s-N1 (++) , 解析ケース③)

	解析 ケース	発生断面力		曲げ引張 応力度 σ_s (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{sa} (N/mm ²)	照査値 σ_s / σ_{sa}
		曲げモー メントM (kN・m)	軸力 N (kN)			
「4.2 逆T擁壁」 にて評価済み	③	1921	128	200.2	294	0.69
影響検討	③	1707	165	173.5	294	0.60

表 5.3.3-3 コンクリートのせん断破壊に対する照査における照査値
 (⑤-⑤断面, S s - N 1 (++) , 解析ケース③)

	解析 ケース	発生断面力	せん断 応力度 τ (N/mm ²)	短期許容 応力度 τ_{a1} (N/mm ²)	照査値 τ / τ_{a1}
		せん断力 Q (kN)			
「4.2 逆 T 擁壁」 にて評価済み	③	676	0.44	0.67	0.66
影響検討	③	512	0.34	0.67	0.51

表 5.3.3-4 逆 T 擁壁のグラウンドアンカによる支圧応力度に対する照査における
 照査値 (⑤-⑤断面, S s - N 1 (++) , 解析ケース③)

	解析 ケース	支圧 応力度 σ_b (N/mm ²)	短期許容 応力度 σ_{ba} (N/mm ²)	照査値 σ_b / σ_{ba}
「4.2 逆 T 擁壁」に て評価済み	③	12.3	18.0	0.69
影響検討	③	9.0	18.0	0.50

表 5.3.3-5 グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査における照査値
 (⑤-⑤断面, S s - N 1 (++) , 解析ケース③)

	解析 ケース	発生アンカー力 T (kN)	許容アンカー力 T _a (kN)	照査値 T / T _a
「4.3 グラウンドア ンカ」にて評価済み	③	1762	2076	0.85
影響検討	③	1279	1453	0.89

表 5.3.3-6 逆 T 擁壁底版の最大傾斜

(⑤-⑤断面, S_s-N1 (++) , 解析ケース③)

	解析 ケース	最大傾斜
「4.3 グラウンドアンカ」 にて評価済み	③	1/845
影響検討	③	1/890

表 5.3.3-7 基礎地盤の支持性能評価結果 (改良地盤①~③)

(⑤-⑤断面, S_s-N1 (++) , 解析ケース③)

	解析 ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
「4.6 基礎地 盤」にて評価済み	③	0.5	1.4	0.36
影響検討	③	0.5	1.4	0.36

表 5.3.3-8 基礎地盤の支持性能評価結果 (岩盤)

(⑤-⑤断面, S_s-N1 (++) , 解析ケース③)

	解析 ケース	最大接地圧 R (N/mm ²)	極限支持力度 R _u (N/mm ²)	照査値 R/R _u
「4.6 基礎地 盤」にて評価済み	③	1.5	3.9	0.39
影響検討	③	1.5	3.9	0.39

グラウンドアンカの仕様の変更による影響確認において、全体的に照査値は小さくなったものの、グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査値は大きくなったことから（基本ケース：0.85，影響検討：0.89（基本ケースの1.04倍）），⑤－⑤断面を対象とした「4.7 施設護岸等の損傷による不確かさの検討」においてもグラウンドアンカの仕様の変更による影響を確認した。（表 5.3.3-9 参照）

その結果，「4.7 施設護岸等の損傷による不確かさの検討」においても，照査値は 1.0 を下回っており，グラウンドアンカの機能を損なわないことを確認した。

表 5.3.3-9 他の⑤－⑤断面を用いた影響検討における
アンカー仕様による影響の確認

	(A) グラウンドアンカの発生 アンカー力に対する照査値	(B) = 1.04 × (A) ⑤－⑤断面のアンカー仕様 を反映した照査値
「4.7 施設護岸 等の損傷による不 確かさの検討」	0.86	0.89

(参考資料1) グラウンドアンカの実態に即したモデル化、物性値及び許容限界の設定方法

1. 概要

グラウンドアンカについては、表1-1に記載のとおり、実態に即したモデル化、施工後の品質保証試験等を踏まえた物性値・許容限界の設定及びグラウンドアンカを反映した耐震評価を実施することが申し送り事項である。

申し送り事項を踏まえ、本資料では、「試験施工（基本調査試験）及び施工後の品質保証試験により設定した設計アンカー力を用い、各部位の役割を踏まえて実態に即したモデル化、物性設定及び許容限界の設定」を説明する。

表1-1 グラウンドアンカに係る申し送り事項

申し送り事項	説明方針
1. グラウンドアンカーについては、詳細設計段階において逆T擁壁の転倒時の照査において見込むことを説明する。	<ul style="list-style-type: none">・グラウンドアンカについて、試験施工（基本調査試験）及び施工後の品質保証試験により設定した設計アンカー力を用い、各部位の役割を踏まえて実態に即したモデル化、物性設定及び許容限界の設定を行う。（左記の2～4に対応）・グラウンドアンカを反映した耐震評価を実施し、部材照査、躯体同士の支圧の照査、止水目地の変位量照査、グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査を実施し、いずれも許容限界以下であることから、地盤が傾斜しても、防波壁（逆T擁壁）の浸水防護機能に影響がないことを確認する。（左記の1、5に対応）
2. 鋼管杭式逆T擁壁のモデル化方針について、実態に即したグラウンドアンカーのモデル化方法を詳細設計段階で説明すること。	
3. グラウンドアンカーの津波時の解析手法については、詳細設計段階で適切な手法を設定する方針であることが明確となるよう、まとめ資料において説明すること。	
4. 詳細設計段階で検討するグラウンドアンカーの許容限界（設計アンカー力）の設定根拠や安全率については、施工後の品質保証試験によって設定すること等を説明する。	
5. グラウンドアンカーによる変形抑制効果を踏まえた設計を行い、施設の安全機能に影響を及ぼさないように設計すること。	

グラウンドアンカの設計から評価までのフローを図 1-1 に示す。

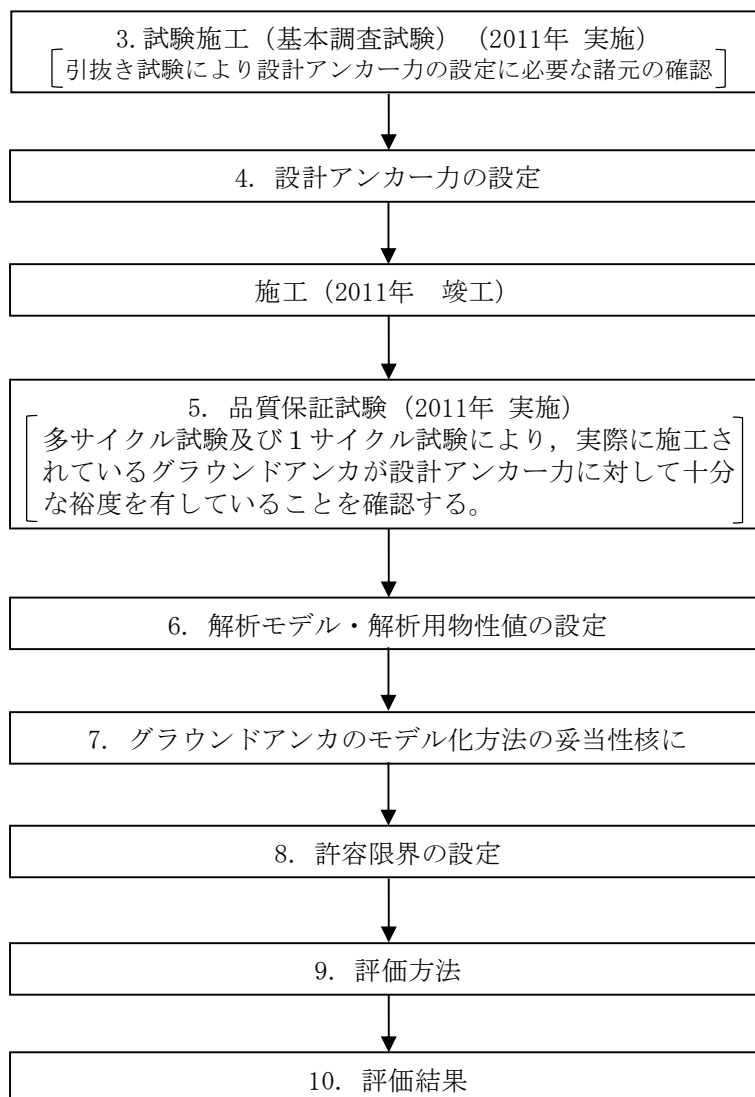


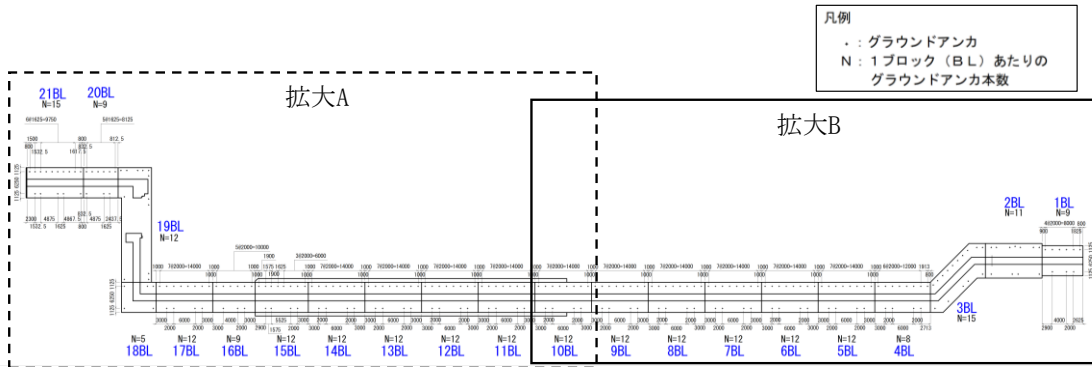
図 1-1 グラウンドアンカの設計から評価までのフロー

2. グラウンドアンカの概要

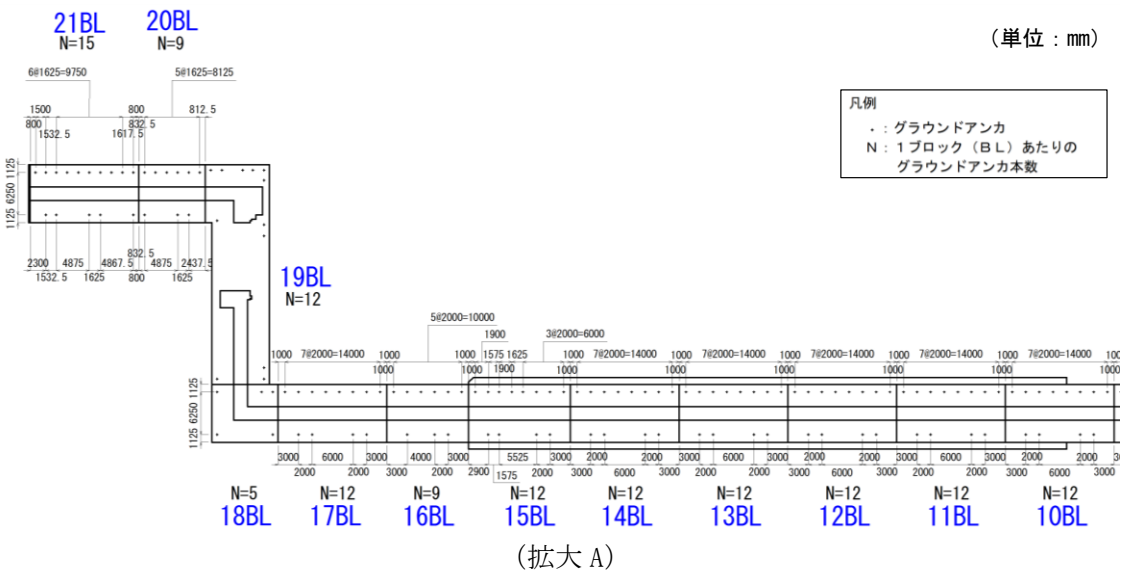
(1) 構造及び設置状況

グラウンドアンカは、「グラウンドアンカー設計・施工基準、同解説（2000, 2012, (社)地盤工学会）」（以下「設計・施工基準」という。）に基づき設計・施工されており、逆T擁壁の1ブロックにおいて、海側では8本、陸側では4本設置し、緊張力を与えている。図2-1に逆T擁壁におけるグラウンドアンカ配置図、図2-2に逆T擁壁の構造概要図、図2-3にグラウンドアンカの構造概要図、図2-4にグラウンドアンカの諸元を示す。

(単位 : mm)



(単位 : mm)



(単位 : mm)

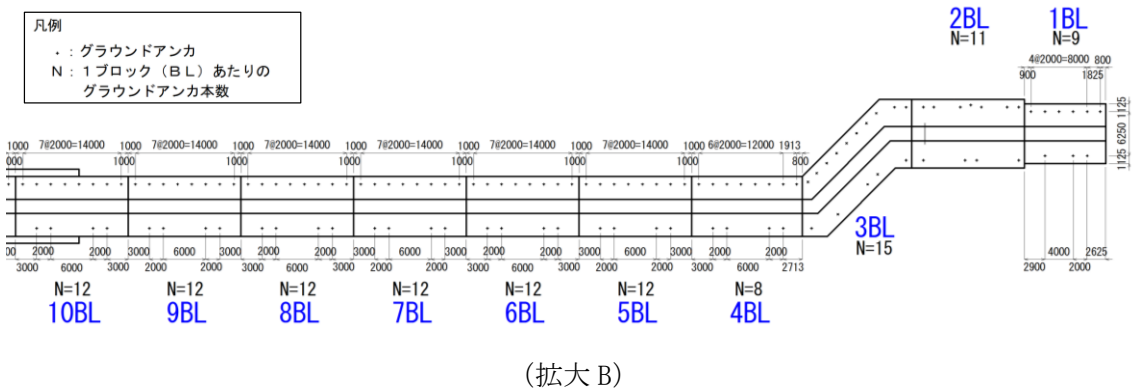
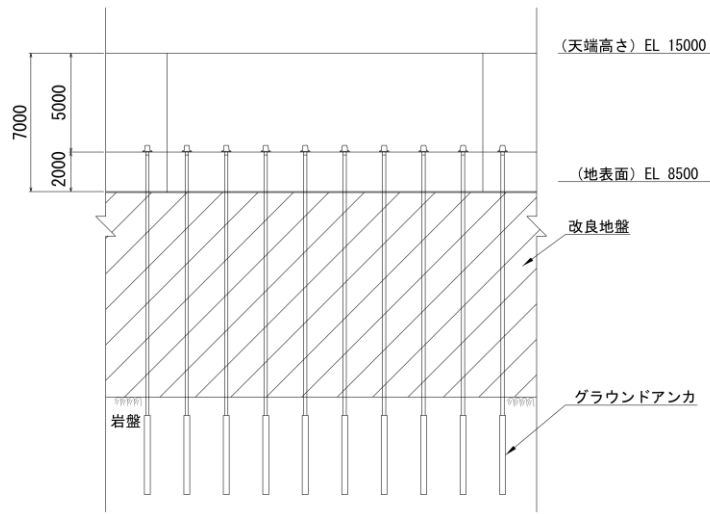


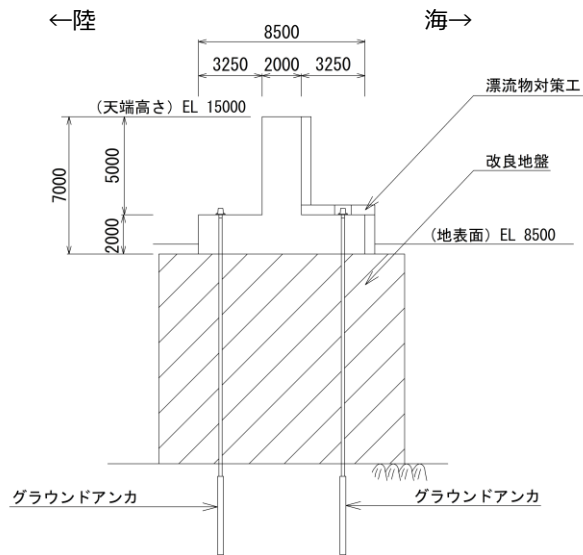
図 2-1 逆T擁壁におけるグラウンドアンカ配置図

(単位：mm)



(正面図)

(単位：mm)



(断面図)

図 2-2 逆 T 擁壁の構造概要図

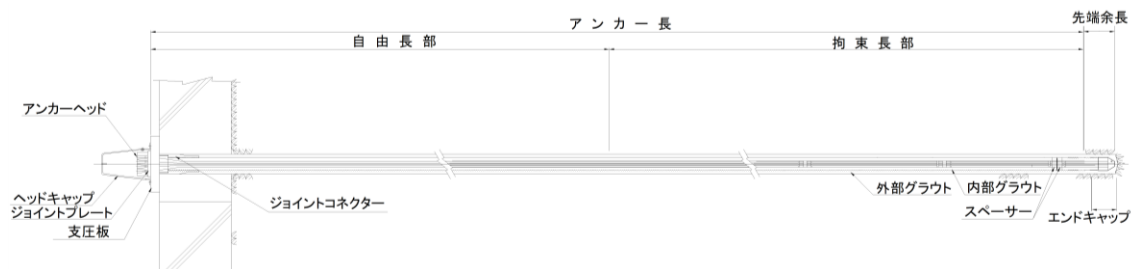
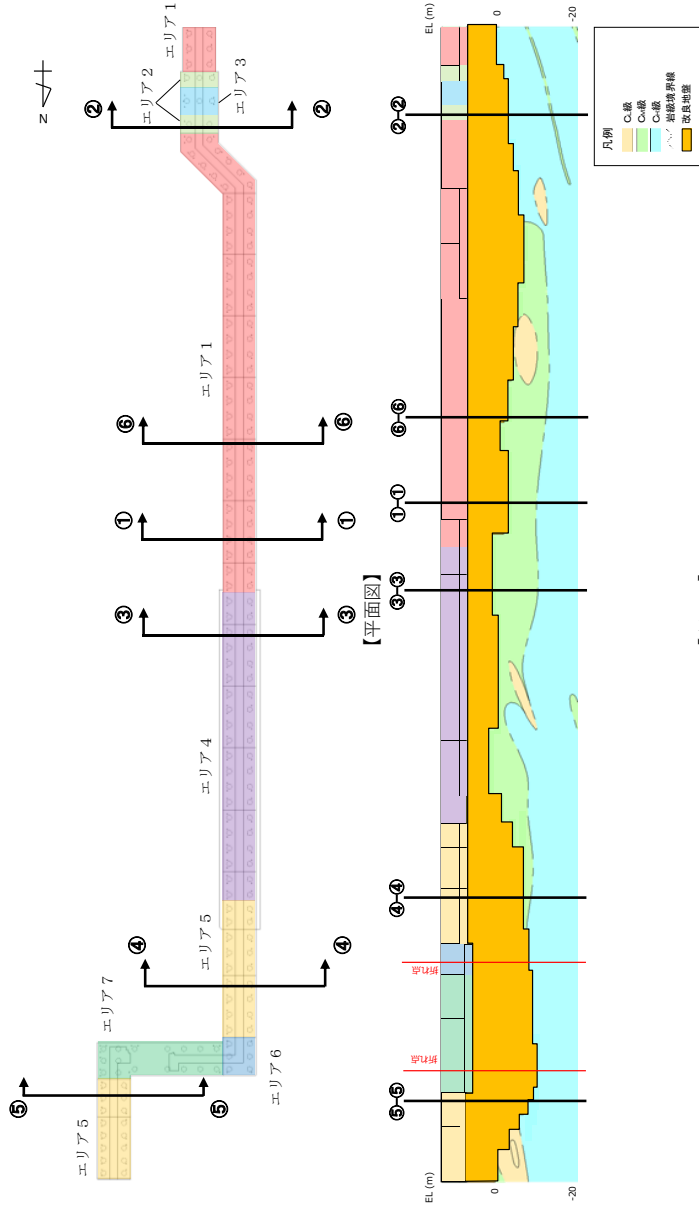


図 2-3 グラウンドアンカの構造概要図



アンカー種別	削孔径 (mm)	PC鋼φ (mm)	PC鋼本数 (本)	テンドン自由長* (mm)	アンカー一体長 (テンドン拘束長) (mm)	テンドンの 種別引張力 (kN)	テンドンの 降伏引張力 (kN)	テンドンの 見かけの周長 (mm)	設計アンカー力 (kN)	許容アンカー力 (kN)	海側のグラウンド アンカー設置間隔 (mm)	設計アンカー力/ 許容アンカー力
エリア1	135	15.2	11	8000~18000	8500	2800	2400	138.4	1440	1764	2000	0.82
エリア2				11000~13500	10000				1700	2076	1650	0.82
エリア3				12500~13000	9000				1500	1868	1535	0.80
エリア4				7000~11500	8500				1360	1764	2000	0.77
エリア5				10000~20500	7000				1170	1453	1625 (北側) 2000 (南側)	0.81
エリア6				17000~18500	9500				1550	1972	1650	0.79
エリア7				17500~20000	10000				1650	2076	1650	0.79

注記*：テンドン自由長部はアンカー一体が岩盤に確実に定着するよう岩盤上面深さに合わせて長さを調整している。

図 2-4 グラウンドアンカーの諸元

3. 試験施工（基本調査試験）

基本調査試験では、引抜き試験を実施し、設計アンカー力を設定するための諸元の確認を行う。

以下の理由から、岩盤とアンカー体の周面摩擦抵抗が $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であることを引抜き試験により確認する。

- ・設計アンカー力は「4. 設計アンカー力の設定」に記載のとおり、許容アンカー力より小さい値とする。許容アンカー力は、①テンドンの許容引張り力、②テンドンの許容拘束力及び③アンカの許容引抜き力のうちの最も小さい値とする。
- ・①テンドンの許容引張り力は、「4. (1) テンドンの許容引張り力の設定」に記載のとおり、VSL 永久アンカ・②テンドンの許容拘束力は、「4. (2) テンドンの許容拘束力の設定」に記載のとおり、テンドンの拘束長・周長及びテンドンとアンカー体間の許容付着応力度により求まる。
- ・③アンカの極限引抜き力は、「4. (3) グラウンドアンカの許容引抜き力の設定」に記載のとおり、岩盤とアンカー体周面の摩擦抵抗が必要であり、「設計・施工基準」に記載されている慣用値（保守的に軟岩との周面摩擦抵抗 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ を採用）を用いている。
- ・島根サイトは、硬岩サイトに分類され、グラウンドアンカ設置場所の岩級は図 3-3 に示すとおりおおむね C_M 級～ C_H 級であることから周面摩擦抵抗 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ は十分保守的な設定と考えられるが、引抜き試験により、当該慣用値の妥当性を確認する。

(1) 試験機器及び試験位置

a. 試験機器

試験装置は加力装置、反力装置、計測装置、試験アンカからなる。試験装置を図3-1に示す。

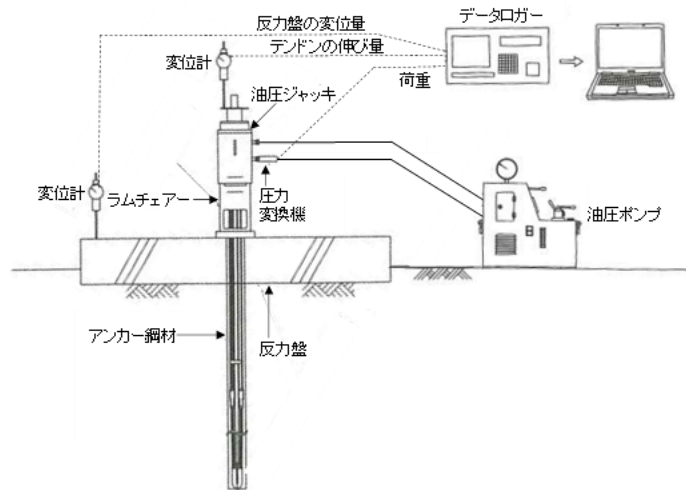


図3-1 試験装置

試験に使用するグラウンドアンカの諸元を表 3-1 に、イメージを図 3-2 に示す。引抜き試験は、岩盤とアンカー体の周面摩擦抵抗が 1.0 以上であることを確認する目的で実施する。

表 3-1 引抜き試験使用グラウンドアンカの諸元

	諸元
グラウンドアンカ種別	VSL 永久アンカ (E5-3)
削孔径 (mm)	90
PC 鋼 ϕ (mm)	12.7
PC 鋼本数 (本)	3
テンドン長 (mm)	12000
余長 (mm)	1000
緊張時自由長 (mm)	10410
アンカー体長 (テンドン拘束長) (mm)	1000
テンドンの極限引張力 (kN)	549
テンドンの降伏引張力 (kN)	468

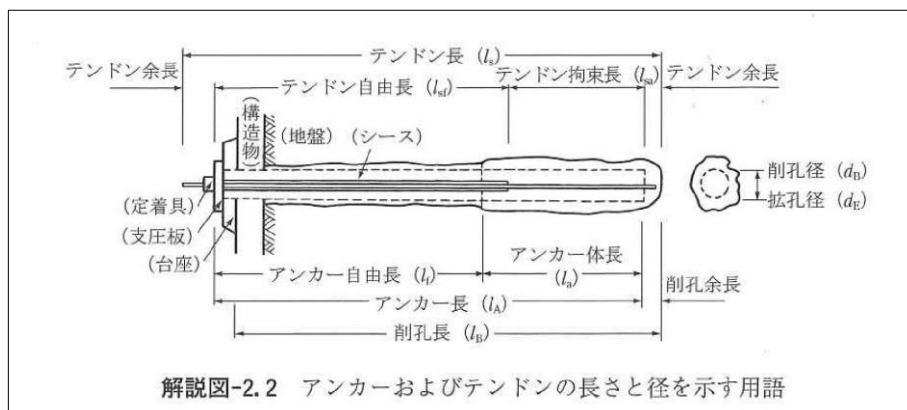


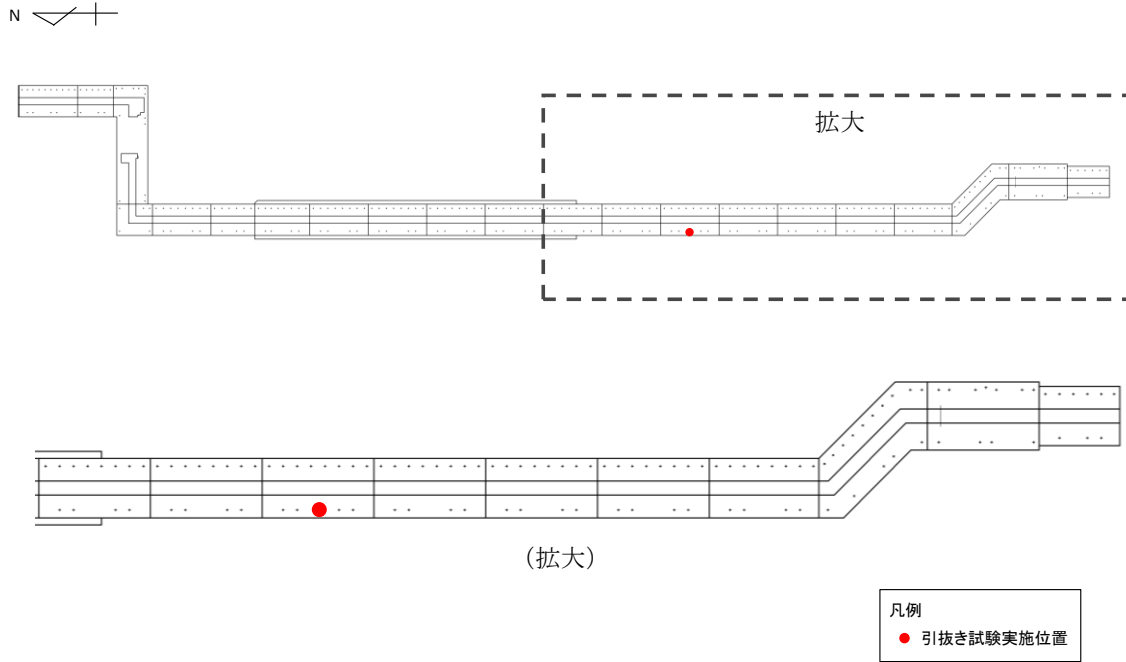
図 3-2 引抜き試験使用グラウンドアンカイメージ図 (「設計・施工基準」から抜粋)

b. 試験位置

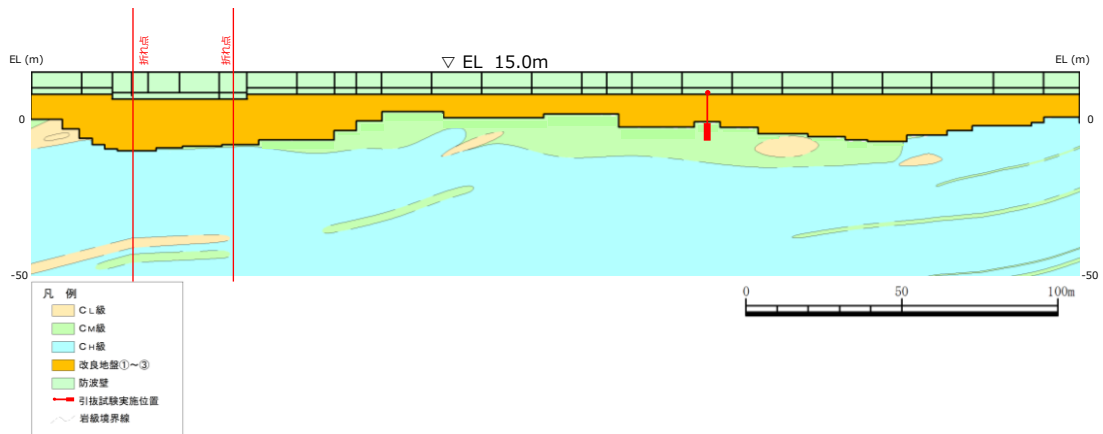
引抜き試験を実施する試験位置を図 3-3 に示す。

引抜き試験の実施位置については、逆T擁壁の直下に広く C_M級岩盤が分布しており、周辺地盤状況の観点から代表的な位置と考えられることから、図 3-3 に示す位置を選定した。

なお、部分的に C_L級岩盤が分布する範囲においても、逆T擁壁施工後の品質保証試験において、グラウンドアンカの引き抜きが発生しないことを確認している。



【平面図】*



【断面図】*

注記*：逆T擁壁設置前の試験施工であり、逆T擁壁設置予定位置にて実施。

図 3-3 引抜き試験実施位置

(2) 荷重方法と計測項目

引抜き試験の計画最大荷重は、「設計・施工基準」記載に基づき（図3-4及び図3-5参照），岩盤とアンカー体の極限周面摩擦抵抗の慣用値 1.00N/mm^2 を用いて，下式により算定する。計画最大荷重でも引き抜かれないことを確認することで，岩盤とアンカー体の周面摩擦抵抗 1.00N/mm^2 の妥当性を確認する。

$$l_a = f_s \frac{T_d}{\pi \cdot d_A \cdot \tau}$$

ここに， T_d ：設計アンカー力
 d_A ：アンカー体径
 τ ：周面摩擦抵抗
 f_s ：安全率（解説表-6.4）

図3-4 計画最大荷重の設定方法

$$\begin{aligned} \text{計画最大荷重} &= L_a \times \phi \times \pi \times \tau / f_s \\ &= 1000 \times 90 \times \pi \times 1.00 / (1000 \times 1.0) \\ &= 282.74 \div 282.80 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

ここで，

L_a ：アンカー体長（=1000mm）

ϕ ：削孔径（=90mm）

τ ：岩盤とアンカー体の周面摩擦抵抗（図3-4により $\tau = 1.00\text{N/mm}^2$ と仮定。）

地盤の種類		摩擦抵抗 (MN/m ²)
岩盤	硬岩	1.50~2.50
	軟岩	1.00~1.50 ※1
	風化岩	0.60~1.00
	土丹	0.60~1.20
砂礫	N値	10
		20
		30
		40
		50
砂	N値	10
		20
		30
		40
		50
粘性土		1.0c (cは粘着力)

図3-5 「設計・施工基準」記載の極限周面摩擦抵抗

図 3-6 に荷重サイクルを示す。各荷重サイクルでは、連続して荷重と変位を測定する。
図 3-7 に載荷時の試験実施状況を示す。

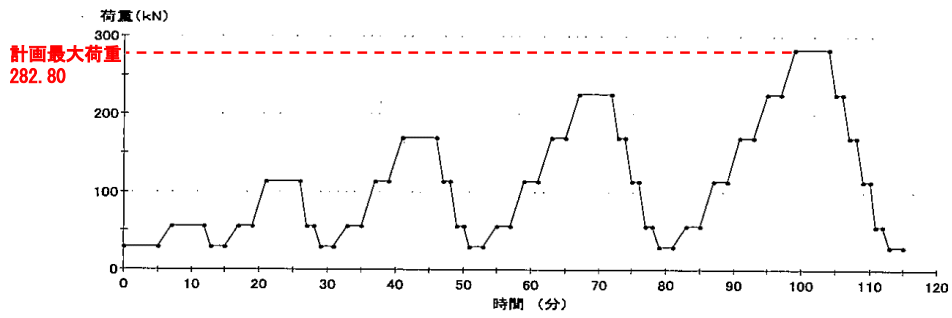


図 3-6 荷重サイクル



図 3-7 引抜き試験実施状況写真 (2011 年実施)

(3) 試験結果

引抜き試験における荷重-変位量図を図3-8に示す。

荷重-変位曲線は弾性的な挙動を示し、計画最大荷重でも引き抜きが発生しなかったため、設計上の単位面積あたりの周面摩擦抵抗が $1.00\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であることを確認した。

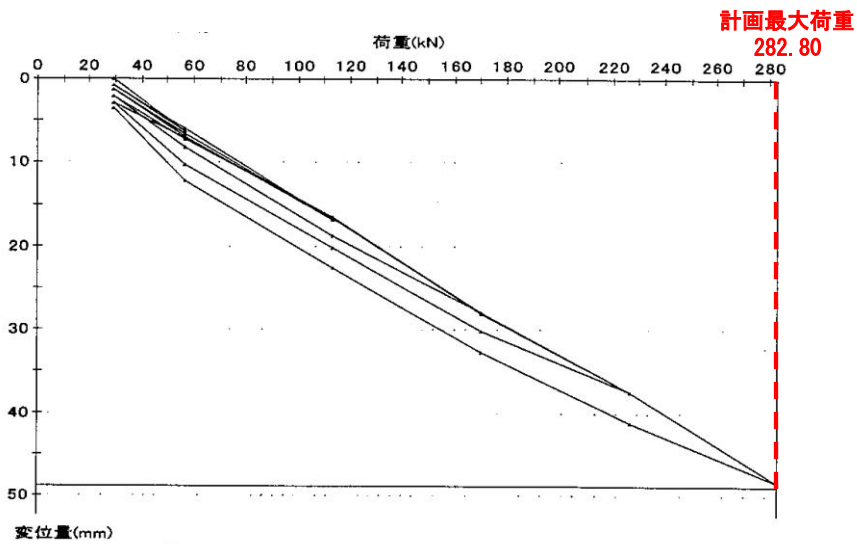


図3-8 引抜き試験における荷重-変位量図

4. 設計アンカー力の設定

設計アンカー力は、「設計・施工基準」（図 4-1 参照）に基づき、許容アンカー力を超えない値として設定する。

また、許容アンカー力は、「設計・施工基準」（図 4-1 参照）に基づき、極限アンカー力に安全率を考慮して算定した①テンドンの許容引張力、②テンドンの許容拘束力、③グラウンドアンカの許容引抜き力のうち、最も小さい値を設定する。③グラウンドアンカーの許容引抜き力は、「3. 試験施工（基本調査試験）」の試験結果を踏まえ算定する。

6.6 テンドンに鋼材を用いる場合のアンカー力

(1) 設計アンカー力(T_d)は、許容アンカー力(T_a)を超えないものとする。

(2) 許容アンカー力(T_a)は、以下の3項目について検討を行い、最も小さい値を採用する。

1) テンドンの許容引張り力(T_{as})

テンドンの許容引張り力(T_{as})は、テンドンの極限引張り力(T_{us})およびテンドンの降伏引張り力(T_{ys})に対して、安全率を考慮していずれか小さい値とする。

2) テンドンの許容拘束力(T_{ab})

テンドンの許容拘束力(T_{ab})は、テンドンの極限拘束力(T_{ub})に対して、安全率を考慮して決定する。

3) アンカーの許容引抜き力(T_{ag})

アンカーの許容引抜き力(T_{ag})は、アンカーの極限引抜き力(T_{ug})に対して、安全率を考慮して決定する。

図 4-1 設計アンカー力等の設定（「設計・施工基準」抜粋）

グラウンドアンカの破壊概念図を図4-2に、グラウンドアンカのイメージ図を図4-3に示す。

- ① テンドンの破壊は、テンドン自体が破断する場合であり、これに抵抗する力がテンドンの極限引張力である。
- ② テンドンがアンカー体から引き抜かれることによる破壊は、テンドンとグラウトとの付着切れや、グラウトの拘束力不足によりグラウトが破壊した場合に発生する。これに抵抗する力がテンドンの極限拘束力である。
- ③ アンカー体が岩盤から引き抜かれることによる破壊は、岩盤とアンカー体の摩擦切れや、岩盤の支圧破壊・せん断破壊により発生する。このうち、岩盤とアンカー体の摩擦切れに抵抗する力がアンカーの極限引抜き力である。

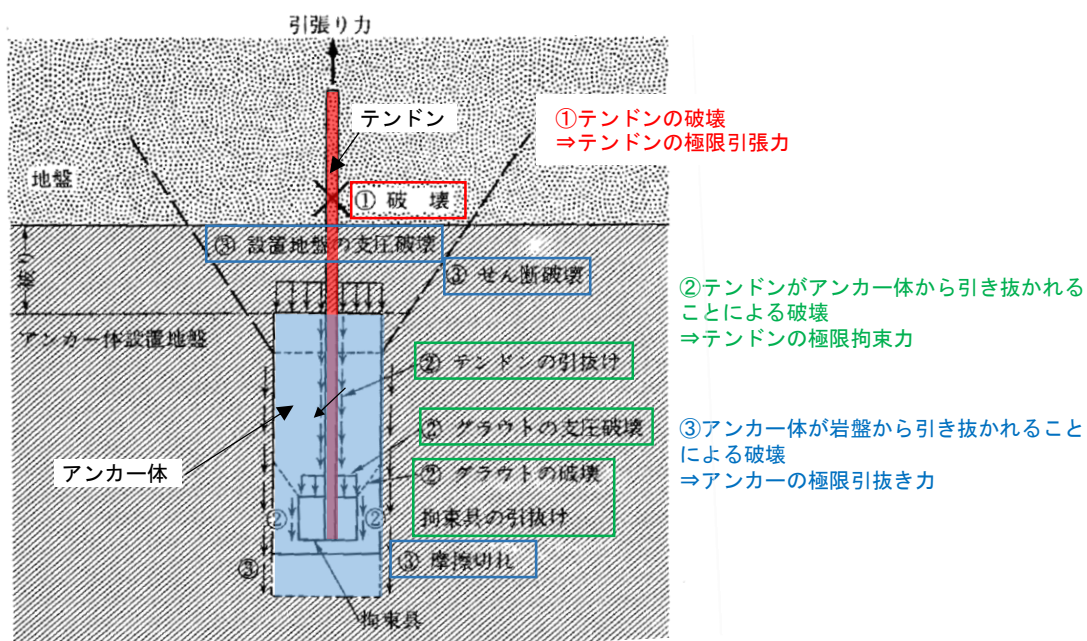


図4-2 アンカーの破壊概念図（「設計・施工基準」に赤・緑・青線で加筆）

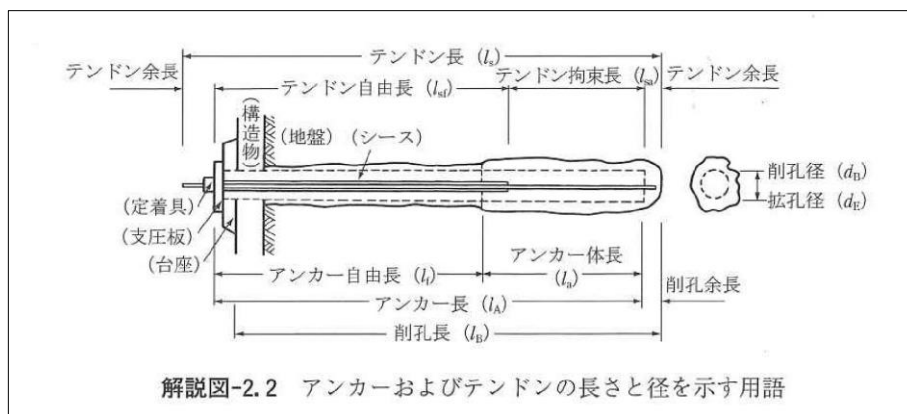


図4-3 グラウンドアンカイメージ図（「設計・施工基準」から抜粋）

(1) テンドンの許容引張力の設定

図 4-4 のとおり、テンドンの許容引張力は、地震時の低減率を考慮し、テンドン極限引張力の 0.8 倍またはテンドン降伏引張力の 0.9 倍のうち、いずれか小さい値を採用する。

	テンドン極限引張り力 (T_{us})に対して	テンドン降伏引張り力 (T_{ys})に対して
仮設アンカー	0.65	0.80
永久アンカー	(常時)	0.75
	(地震時)	0.90

① 仮設アンカー
許容引張り力(T_{as})は、 $0.65 T_{us}$ または $0.80 T_{ys}$ のいずれか小さい方とする。
ここに、 T_{us} ：テンドン極限引張り力
 T_{ys} ：テンドン降伏引張り力

② 永久アンカー（常時）
許容引張り力(T_{as})は、 $0.60 T_{us}$ または $0.75 T_{ys}$ のいずれか小さい方とする。

③ 永久アンカー（地震時）
一時的な荷重（地震力）が作用するため低減率を考慮し、許容引張り力(T_{as})は $0.8 T_{us}$ または $0.90 T_{ys}$ のいずれか小さい方とする。

④ 初期緊張時，試験時
初期緊張時，試験時に与える引張り力は $0.90 T_{ys}$ 以下とする。

図 4-4 テンドンの許容引張力の設定方法（「設計・施工基準」に赤枠で加筆）

上記を踏まえ、テンドンの許容引張力 T_{as} は、表 4-1 のとおり、 $T_{as}=2160\text{kN}$ に設定した。

表 4-1 テンドンの許容引張力 T_{as} の設定

	引張力(kN) (A)	乗率 (B)	(A×B)
テンドン極限引張力	2800	0.8	2240
テンドン降伏引張力	2400	0.9	2160
採用値			2160

(2) テンドンの許容拘束力の設定

図 4-5 の赤枠で示した式に基づき、次式により算定する。グラウトとテンドンの許容付着応力度はグラウトのテストピースの一軸圧縮強度試験結果が 40N/mm² 以上であることから、図 4-5 の青枠に基づき 1.0N/mm² に設定する。グラウトの一軸圧縮強度試験結果及びテストピース写真を表 4-2 及び図 4-7 に示す。

$$\begin{aligned}
 T_{ab} &= l_a \times U \times \tau_{ba} \times 1.5^* \\
 &= 10000 \text{ (mm)} \times 138.4 \text{ (mm)} \times 1.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \times 1.5 \\
 &= 2076 \text{ (kN)} \quad (\text{⑤-⑤断面})
 \end{aligned}$$

注記*：地震時の割増係数

解説表-6.3 に土木学会コンクリート標準示方書を参考に設定した許容付着応力度を示す。グラウトとテンドンとの許容付着力より、必要なテンドン拘束長は式 (6.1) より求めることができる。

$$l_{sa} = \frac{T_d}{U \cdot \tau_{ba}} \quad (6.1)$$

ここに、 T_d ：設計アンカー力
 U ：テンドンの見掛けの周長
 τ_{ba} ：許容付着応力度（解説表-6.3）
 l_{sa} ：テンドン拘束長

解説表-6.3 許容付着応力度²⁾ (N/mm²)

分類	引張り材の種類	グラウトの設計基準強度			
		18	24	30	40以上
ランク B	PC 鋼線 PC 鋼棒 PC 鋼より線 多重 PC ヶ	1.0	1.2	1.35	1.5
	異形 PC 鋼棒	1.4	1.6	1.8	2.0
ランク A	PC 鋼線 PC 鋼棒 PC 鋼より線 多重 PC ヶ	—	0.8	0.9	1.0
	異形 PC 鋼棒	—	1.6	1.8	2.0

注) ランク A, B の区分は、解説表-6.1 による

図 4-5 テンドンの許容拘束力の設定方法（「設計・施工基準」に赤・青枠で加筆）

逆 T 擁壁に施工されたグラウンドアンカは永久アンカであるため、「設計・施工基準」に基づきランク A のアンカに分類される。（図 4-6 参照）。

解説表-6.1 アンカーの供用期間と構造物の置かれる条件による分類

構造物の種類	供用期間	2年未満	2年以上
一般の構造物		ランクB	ランクA
特殊な条件下にある構造物		ランクA	

解説表-6.1 は、アンカーを、供用期間と構造物の置かれる条件により分類したものである。一般的なアンカーのうち、供用期間が2年を超えるものについてはランクAとしている。また、ケーブルクレーンの基礎のように常に繰り返し荷重が作用する場合、あるいは温泉地帯や海岸沿いなどの高腐食条件下で使用されるアンカーについては、供用期間によらずランクAに分類している。ランクAのアンカーに関しては、仕様や安全率などを、その重要度やアンカーの使用方法などを勘案して設定する。

図 4-6 「設計・施工基準」記載のアンカの分類

表 4-2 グラウトの一軸圧縮強度試験結果

供試体 No.	材齢(日)	一軸圧縮強度 (N/mm ²)	平均強度 (N/mm ²)
1	7	42.2	43.8
2		45.2	
3		44.0	



図 4-7 グラウトの一軸圧縮強度試験テストピース

上記を踏まえテンドンの許容拘束力 T_{ab} は表 4-3 のとおり設定した。

表 4-3 テンドンの許容拘束力 T_{ab} の設定

	テンドンの許容引張力 T_{ab} (kN)
①-①断面	1764
④-④断面	1453
⑤-⑤断面	2076

(3) グラウンドアンカの許容引抜き力の設定

グラウンドアンカの許容引抜き力は図 4-8 の青枠に示す次式により算定する。逆T擁壁に施工されたグラウンドアンカは永久アンカであり、ランク A のアンカに分類されるため、図 4-8 の赤枠で示すとおり、保守的に極限引抜き力に対する安全率 2.0 を考慮する。また、グラウンドアンカの極限周面摩擦抵抗については、「3. 試験施工(基本調査試験)」を踏まえ、保守的に軟岩の摩擦抵抗 1.0N/mm² を採用する。

$$T_{ag} = l_{sa} \times \pi \times d_a \times \tau / f_s$$

$$= 10000 \text{ (mm)} \times \pi \times 135 \text{ (mm)} \times 1.0 \text{ (N/mm}^2) / 2.0$$

$$= 2120 \text{ (kN)} \text{ (⑤-⑤断面)}$$

解説表-6.5 極限引抜き力 (T_u) に対する安全率 f_s

アンカ-の分類		安全率 f_s
ランク B		1.5
ランク A	(常時)	2.5
	(地震時)	1.5-2.0

注) ランク A, B の区分は、解説表-6.1 による

地盤とアンカ-体周面の摩擦抵抗に期待するアンカ-のアンカ-体長 (l_a) は式 (6.2) により算出する。

$$l_a = f_s \frac{T_d}{\pi \cdot d_a \cdot \tau} \quad (6.2)$$

ここに、 T_d : 設計アンカ-力
 d_a : アンカ-体径
 τ : 周面摩擦抵抗
 f_s : 安全率 (解説表-6.5)

解説表-6.6 アンカ-の極限周面摩擦抵抗^{注)}

地盤の種類		摩擦抵抗 (MN/m ²)	
岩盤	硬岩	1.50-2.50	
	軟岩	1.00-1.50 ※1	
	風化岩	0.80-1.00	
	土丹	0.60-1.20	
砂礫	N 値	10	0.10-0.20
		20	0.17-0.25
		30	0.25-0.35
		40	0.35-0.45
		50	0.45-0.70
砂	N 値	10	0.10-0.14
		20	0.18-0.22
		30	0.23-0.27
		40	0.29-0.35
		50	0.30-0.40
粘性土		1.0e (e は粘着力)	

注1) 加圧注入アンカ-に対するデータを統計的に整理したものである。
 注2) 本解説表については、本解説を十分に理解のうえ、取扱いに注意する必要がある。
 注3) 粘板岩・第三紀泥岩・凝灰岩等の場合は、岩質区分から示される最小値よりも更に小さい摩擦抵抗しか得られない場合がある (付録 6-5 参照)。

図 4-8 アンカ-の許容引張力の設定方法 (「設計・施工基準」に赤・青・緑枠で加筆)

上記のとおりアンカ-の許容拘束力 T_{ag} は表 4-4 のとおり、設定した。

表 4-4 アンカ-の許容引抜き力 T_{ag} の設定

	アンカ-の許容引抜き力 T_{ag} (kN)
①-①断面	1802
④-④断面	1484
⑤-⑤断面	2120

なお、グラウンドアンカが密に設置されている場合、図 4-9 に示す「設計・施工基準」記載のグループ効果により、グラウンドアンカの極限引抜き力が減少する可能性があるが、逆T擁壁に設置されているグラウンドアンカは「設計・施工基準」に準拠し、設置間隔 1.5m 以上で設置されており、グループ効果により極限引抜き力が減少するおそれはない。

(3) アンカー体設置間隔

アンカー体設置間隔は、設計アンカー力、アンカー体径、アンカー体長などアンカー諸元を考慮して決定する。この場合、グループ効果によりアンカーの極限引抜き力が減少する可能性があることに注意しなければならない。

グループ効果の影響はアンカー体設置間隔、アンカー体長、アンカー体径、地盤との関係により求まる。一般的には 1.5m 以上確保すればグループ効果は考慮しなくてよいと考えられている。もし、間隔をこれより狭くして設置する場合には、アンカー傾角をずらした千鳥配置とすることによりアンカー体相互の離隔を確保する方法もある。アンカー体設置間隔を設定するための影響円錐の考え方の例、浮力に対する考え方、グループ効果を考慮した設計の考え方の例を付録 6-2 に示す。

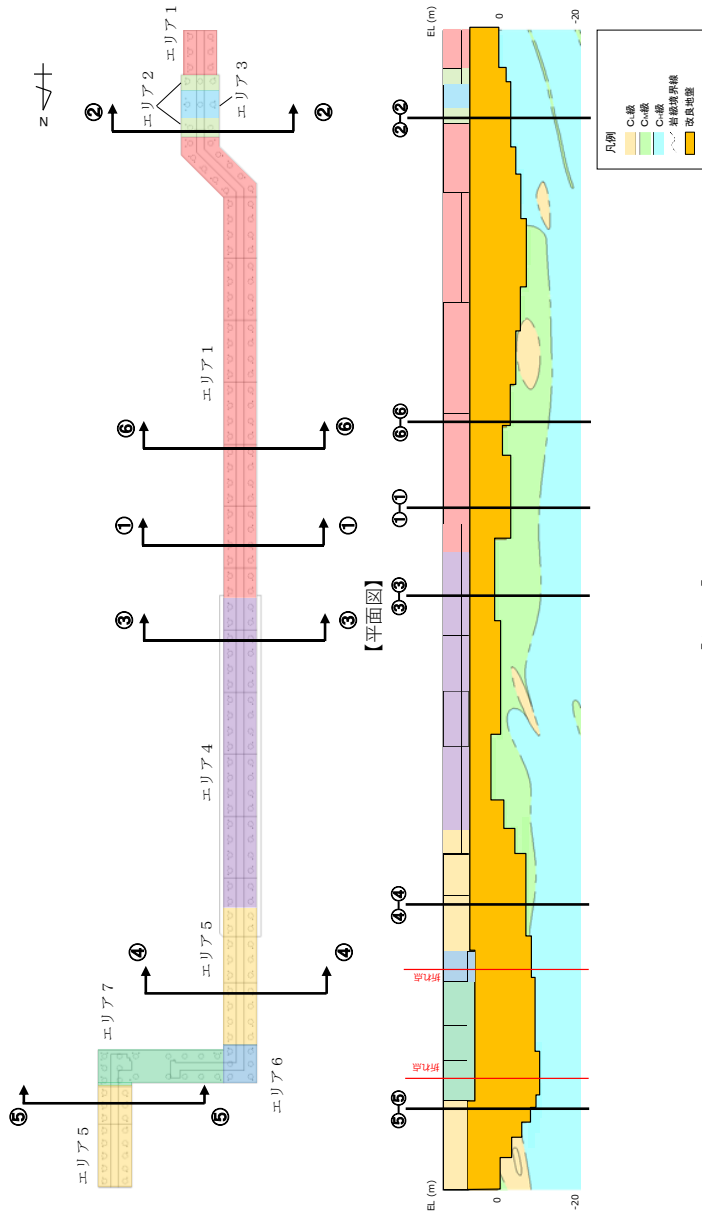
図 4-9 「設計・施工基準」のグラウンドアンカのグループ効果に係わる記載

(4) 許容アンカー力及び設計アンカー力の設定

表 4-5 のとおり、テンドンの許容引張力、テンドンの許容拘束力、アンカの許容引抜き力を比較し、最も小さい値を許容アンカー力とする。設計アンカー力は許容アンカー力を超えない値に保守的に設定した。また、⑤-⑤断面以外の箇所には設置されているグラウンドアンカの許容アンカー力は図 4-10 に示すとおりである。

表 4-5 許容アンカー力及び設計アンカー力の設定

	①-①断面	④-④断面	⑤-⑤断面
テンドンの許容引張力 (kN)	2160		
テンドンの許容拘束力 (kN)	1764	1453	2076
アンカの許容引抜き力 (kN)	1802	1484	2120
許容アンカー力 (kN)	1764	1453	2076
設計アンカー力 (kN)	1440	1170	1650



【断面図】

アンカー種別	削孔径 (mm)	PC鋼φ (mm)	PC鋼本数 (本)	テンドン自由長* (mm)	アンカー体長 (テンドン拘束長) (mm)	テンドンの極限引張力 (kN)	テンドンの降伏引張力 (kN)	テンドンの見かけの周長 (mm)	設計アンカー力 (kN)	許容アンカー力 (kN)	海側のグラウンドアンカー設置間隔 (mm)	設計アンカー力/許容アンカー力	
エリア 1	135	15.2	11	8000~18000	8500	2800	2400	138.4	1440	1764	2000	0.82	
エリア 2				11000~13500	10000				1700	2076	1650	0.82	
エリア 3				12500~13000	9000				1500	1868	1535	0.80	
エリア 4				7000~11500	8500				2800	1360	1764	2000	0.77
エリア 5				10000~20500	7000				1170	1453	1625 (北側) 2000 (南側)	0.81	
エリア 6				17000~18500	9500				1550	1972	1650	0.79	
エリア 7				17500~20000	10000				1650	2076	1650	0.79	

注記*: テンドン自由長部はアンカー一体が岩盤に確実に定着するよう岩盤上面深さに合わせて長さを調整している。

図 4-10 グラウンドアンカーの諸元

5. 品質保証試験

実際に供用するグラウンドアンカを用い、「設計・施工基準」(図5-1参照)に示す多サイクル試験及び1サイクル試験を実施し、施工されているグラウンドアンカが設計アンカー力に対し十分な裕度を有していることを確認する。

<p>8.3 品質保証試験</p> <p>(1) 試験アンカー</p> <p>多サイクル確認試験に用いるアンカーは、実際に用いるアンカーの一部から選定し、アンカー体を設置した地盤、アンカーの諸元、打設方法などを考慮し、施工数量の5%かつ3本以上とする。</p> <p>1サイクル確認試験に用いるアンカーは、多サイクル確認試験に用いたアンカーを除くすべしとする。</p> <p>(2) 多サイクル確認試験</p> <p>1) 載荷方法と計測項目</p> <p>① 計画最大荷重はテンドンの強度特性などを考慮して定める。ただし次に示す荷重を超えないものとする。</p> <p>i) 永久アンカー：設計アンカー力(常時)の1.5倍、または設計アンカー力(地震時)の1.0倍のうち大なる荷重</p> <p>ii) 仮設アンカー：設計アンカー力の1.2倍</p> <p>② 初期荷重は計画最大荷重の約0.1倍とし、引抜き試験に準じた方法で載荷と除荷を繰り返す。</p> <p>③ 計測項目は引抜き試験に準じる。</p> <p>2) 試験結果の整理と判定</p> <p>試験結果は引抜き試験に準じて整理し、設計アンカー力に対して十分に安全であることを確認する。</p> <p>(3) 1サイクル確認試験</p> <p>1) 載荷方法と計測項目</p> <p>① 計画最大荷重はテンドンの強度特性などを考慮したうえで、以下のとおりとする。</p> <p>i) 永久アンカー：設計アンカー力(常時)の1.2倍以上、かつ設計アンカー力(地震時)の1.0倍以上</p> <p>ii) 仮設アンカー：設計アンカー力の1.1倍以上</p> <p>② 載荷は次のように行うものとする。</p> <p>初期荷重は計画最大荷重の約0.1倍とし、計画最大荷重まで載荷した後、初期荷重まで除荷する1サイクル方式とする。</p> <p>③ 計測項目は、荷重、変位量、時間などとする。</p> <p>2) 試験結果の整理と判定</p> <p>アンカーの荷重-変位量の関係を多サイクル確認試験の結果と比較して、アンカーが設計アンカー力に対して十分に安全であることを確認する。</p> <p>(4) その他の確認試験</p> <p>所定の緊張力が導入されているかを確認する、緊張定着直後の定着時緊張力確認試験、また、定着後ある時間経過後に行う残存引張り力確認試験などがある。</p>

図5-1 「設計・施工基準」記載の品質保証試験(赤線で追記)

(1) 多サイクル試験

a. 試験機器及び試験位置

試験装置は加力装置，反力装置，計測装置は引抜き試験と同様のものを使用する。試験アンカは実際に供用するグラウンドアンカを用いる。

「設計・施工基準」では，多サイクル試験における試験アンカー数は施工本数の 5% かつ 3 本以上と定められており，今回逆T擁壁全体でのグラウンドアンカの本数が 237 本であることから，その5%の12本で実施する。

図 5-2 に多サイクル試験を実施するグラウンドアンカの位置を示す。このうち，図 5-2 に示す①のグラウンドアンカにおける試験諸元及び結果を示す。

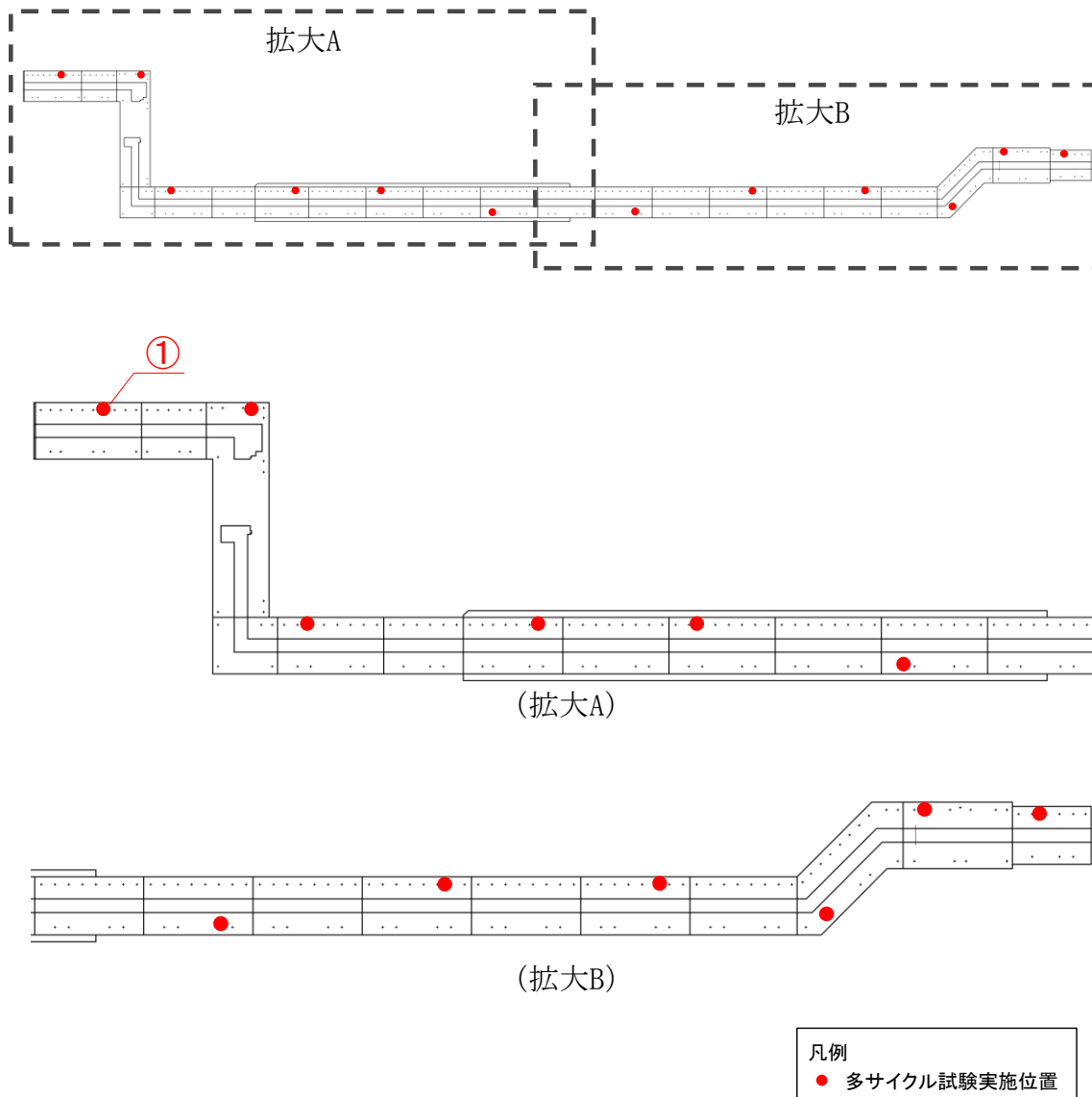


図 5-2 多サイクル試験を実施したグラウンドアンカ位置

b. 載荷方法と計測項目

載荷方法は基本調査試験の引抜き試験と同様に 5 回の載荷と除荷を繰り返し、連続して荷重と変位を測定する。

多サイクル試験の計画最大荷重は、「設計・施工基準」に基づき、図 5-2 に示す各グラウンドアンカの設計アンカー力 T_p の 1.5 倍とした。荷重サイクルを図 5-3 に示す。

**計画最大荷重
(設計アンカー力の1.5倍)**

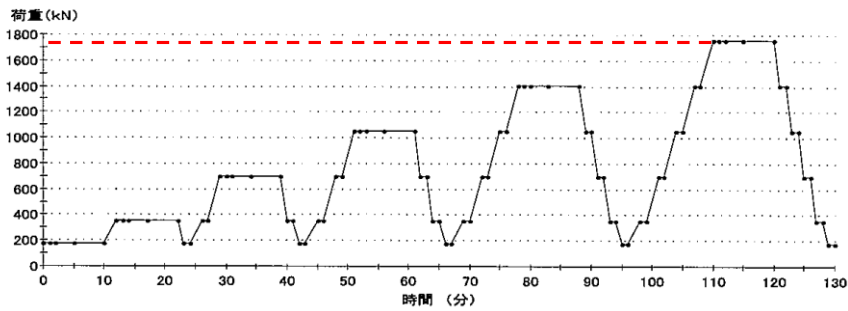


図 5-3 多サイクル試験における荷重サイクル
(図 5-2 の①のグラウンドアンカ：図 4-10 のエリア 5,
設計アンカー力 1170kN, 計画最大荷重 1175kN)

c. 判定基準

「設計・施工基準」(図5-4参照)に基づき、以下の3つの判定基準により、施工されているグラウンドアンカが適切に施工されていることを確認する。

② 判定

設計および施工が適性であるか否かの判定は、以下の項目に対し次の判定基準により行う。

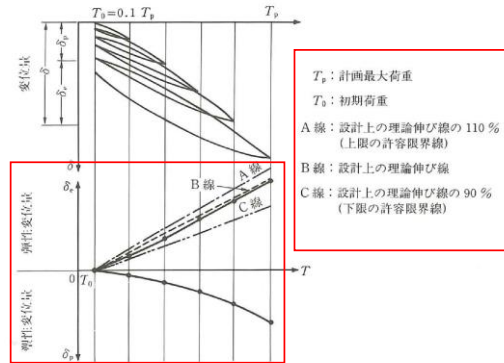
i) 設計アンカー力に対して安全かどうか。

計画最大荷重は設計アンカー力より大きく設定されており、これに耐えられれば設計および施工が適性であると判定する。

ii) 荷重-変位量関係が適性かどうか。

解説図-8.9の荷重-弾-塑性変位量曲線において、図中に示す許容範囲に入っていれば設計および施工が適性と判定する。許容範囲は設計上の理論伸び量に対し、±10%とする。

この範囲から外れた場合には、そのアンカーを供用しないものとする。この範囲から逸脱した場合の対処としてBS11では、さらに計画最大荷重まで2サイクルの載荷試験を行い、その荷重-変位量曲線、荷重-弾性変位量曲線、荷重-試験荷重



解説図-8.9 荷重-変位量曲線、荷重-弾性変位量曲線、荷重-塑性変位量曲線

塑性変位量曲線によって、当該アンカーが「弾性的な性質を有している」と責任技術者が判断した場合、あるいは、計画最大荷重を載荷したのち15min間で荷重の低下が5%以内(もし5%以上のときには2サイクル繰り返していずれも5%以下)である場合には、これを供用して差し支えないとしている。イギリスと日本では地盤種類が異なるが、対処の際の参考になると思われる。

iii) クリープ係数(Δc)が適性かどうか。

クリープ係数(Δc)が大きいと、6.7に記述されているように、プレストレスを与えた後の残存引張り力が小さくなり、構造物の安定が保てない恐れがある。短い荷重保持時間の試験結果でこの値を評価することは多少大胆ではあるが、短い時間内でもクリープ挙動は現れると考えた。

クリープ係数(Δc)の判定の目安を以下に示す。載荷の初期段階において頭部変位量が安定しない場合は、安定してからデータで評価するとよい。

1~10 min : $\Delta c < 1 \text{ mm}$

これを満足できれば、設計および施工が適性と判定する。

$\Delta c < 1 \text{ mm}$ を満足できない場合には、クリープ係数(Δc)が1mm未満になるまで試験を継続する。試験時間が長時間になると予想される場合には、試験を継続するかどうか、試験アンカーの品質をどう判定するかは責任技術者の判断によるものとする。また、判定基準を満足できない場合の計画、設計の見直しも責任技術者の判断による。

図5-4 「設計・施工基準」記載の多サイクル試験における判定基準(赤線で追記)

①設計アンカー力に対して安全かどうか

設計アンカー力の 1.5 倍に設定された計画最大荷重を載荷しても、引抜きが発生していないことを確認する。

②荷重－変位量関係が適正かどうか

載荷荷重に対する弾性変位が、設計上の理論伸び量 δ_{et} の $\pm 10\%$ の範囲に収まっていることを確認する。載荷荷重に対する設計上の理論伸び量を「設計・施工基準」(図 5-5 参照) に基づき下式により算定する。

tendon自由長 (l_{sf}) は、荷重-弾性変位量曲線の直線部分の勾配 ($\Delta\delta_e/\Delta T$)、 tendonの断面積 (A_s)、 tendonの弾性係数 (E_s) から求める。

$$l_{sf} = KE_s A_s = \frac{\Delta\delta_e E_s A_s}{\Delta T} \quad (8.1)$$

ここに、 l_{sf} : tendon自由長
 K : 荷重-弾性変位量曲線の直線部分の勾配 (kN/mm)
 E_s : tendonの弾性係数 (kN/mm²)
 A_s : tendonの断面積 (mm²)
 $\Delta\delta_e$: 荷重-弾性変位量曲線の直線部分における変位量 (mm)
 ΔT : 荷重-弾性変位量曲線の直線部分における荷重 (kN)

図 5-5 「設計・施工基準」記載の tendonの理論伸び量の算定方法

理論値 : $\delta_{et} = ((T_p - T_0) \times L_{sf}) / (E_s \times A_s)$
 $= ((1755.0 - 175.5) \times 11220) / (191.0 \times 1525.7)$
 $= 60.81\text{mm}$

上限値 : $\delta_{et}' = \delta_{et} \times 1.10$
 $= 60.81 \times 1.10$
 $= 66.89\text{mm}$

上限値 : $\delta_{et}'' = \delta_{et} \times 0.90$
 $= 60.81 \times 0.90$
 $= 54.73\text{mm}$

ここで、

T_p : 計画最大荷重 = 1755.0kN

T_0 : 初期荷重 = 175.5kN

(「設計・施工基準」に基づき計画最大荷重の 0.1 倍に設定 : 図 5-6 参照)

L_{sf} : 緊張時自由長 = 11220mm

E_s : tendon弾性係数 = 191.0kN/mm²

A_s : 鋼材断面積 = 1525.7mm²

解説表-8.6 載荷方法 (多サイクル確認試験)		
荷重段階数	5段階以上	
サイクル数	5サイクル以上	
初期荷重	計画最大荷重の約0.1倍	
載荷速度 (目安)	増荷重時:	$\frac{\text{計画最大荷重}}{10\sim20}$ kN/min の一定速度
	減荷重時:	増荷重時の2倍程度
荷重保持時間 (目安)	新規荷重段階	10min 以上の一定時間
	履歴内の荷重段階	粘性土 : 2 min 以上の一定時間 岩盤・砂質土 : 1 min 以上の一定時間
注) 変位が安定しない場合には、荷重保持時間を安定するまで延長する。安定の目安はクリープ係数 Δc が1 mm 未満(1~10min)とする。		

図 5-6 「設計・施工基準」における初期荷重の記載

③クリープ係数 Δc が適正かどうか

計画最大荷重継続時において、クリープ係数 Δc は1mm以下であることを確認する。クリープ係数 Δc の算定方法は「設計・施工基準」に基づき(図5-7参照)算定する。

$$\Delta c = \frac{\delta_{i2} - \delta_{i1}}{\log(t_2/t_1)} \quad (8.7)$$

ここで、 δ_{i2}, δ_{i1} : t_2, t_1 における頭部変位量(mm)
 t_2, t_1 : 設計アンカー力時の荷重保持時間(min)
 t_2/t_1 は 10 になるように設定する

図 5-7 「設計・施工基準」におけるクリープ係数 Δc の算定方法

d. 多サイクル試験結果

試験を実施したグラウンドアンカのうち、図 5-2 に示す①のグラウンドアンカの試験結果を示す。

図 5-8 に荷重-変位曲線を、図 5-9 に荷重-弾塑性変位量曲線、図 5-10 に時間-変位曲線を示す。

以下のとおり、試験結果は判定基準を満足しており、設計及び施工が適正であると判定した。

①設計アンカー力に対して安全かどうか

図 5-8 のとおり、設計アンカー力の 1.5 倍に設定された計画最大荷重を載荷しても、引抜きが発生していないことを確認した。

②荷重-変位量関係が適正かどうか

図 5-9 のとおり、載荷荷重に対する弾性変位が設計上の理論伸び量の±10%の範囲に収まっていることを確認した。

③クリープ係数 Δc が適正かどうか

図 5-10 のとおり、計画最大荷重継続時において、頭部変位は変動しておらず、図 5-7 に基づき下式によりクリープ係数 Δc を算定すると、 Δc は 0mm であり、1mm 以下であることを確認した。

$$\begin{aligned}\Delta c &= (\delta_{t2} - \delta_{t1}) / (\log(t2/t1)) \\ &= (61 - 61) / (\log(10/1)) \\ &= 0(\text{mm})\end{aligned}$$

なお、ここで示した結果以外の 11 本のグラウンドアンカについても同様に試験結果が設計を満足していることを確認している。

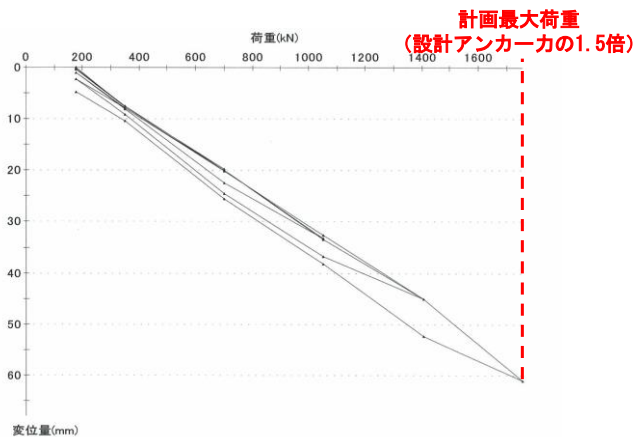


図 5-8 荷重-変位曲線

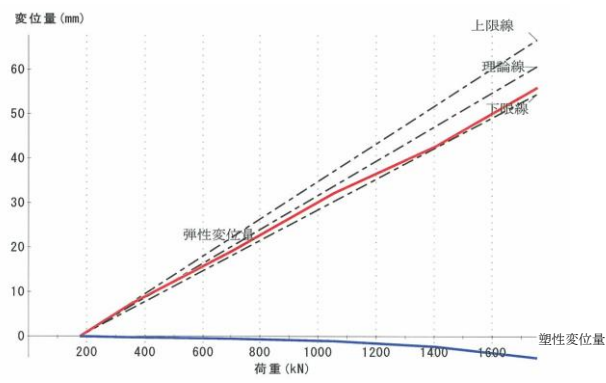


図 5-9 荷重-弾塑性変位量曲線

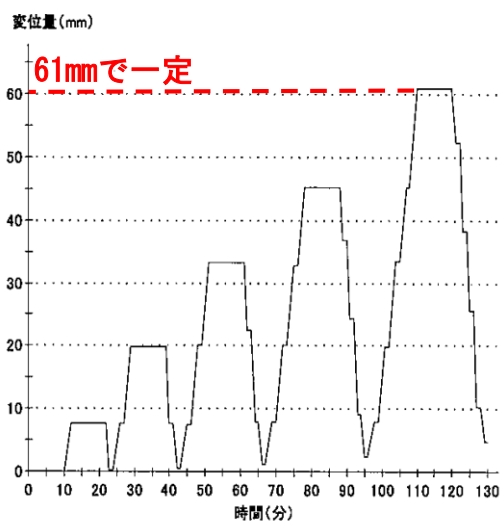


図 5-10 時間-変位量曲線

(2) 1 サイクル試験

a. 試験機器及び試験位置

試験装置は加力装置, 反力装置, 計測装置は多サイクル試験と同様のものを使用する。試験アンカーは実際に供用するグラウンドアンカーを用いる。1 サイクル試験は多サイクル試験を実施したグラウンドアンカー以外のすべてのグラウンドアンカーにおいて実施する。図 5-11 に 1 サイクル試験を実施するグラウンドアンカーの位置を示す。このうち, 図 5-11 に示す②のグラウンドアンカーにおける試験諸元及び結果を示す。

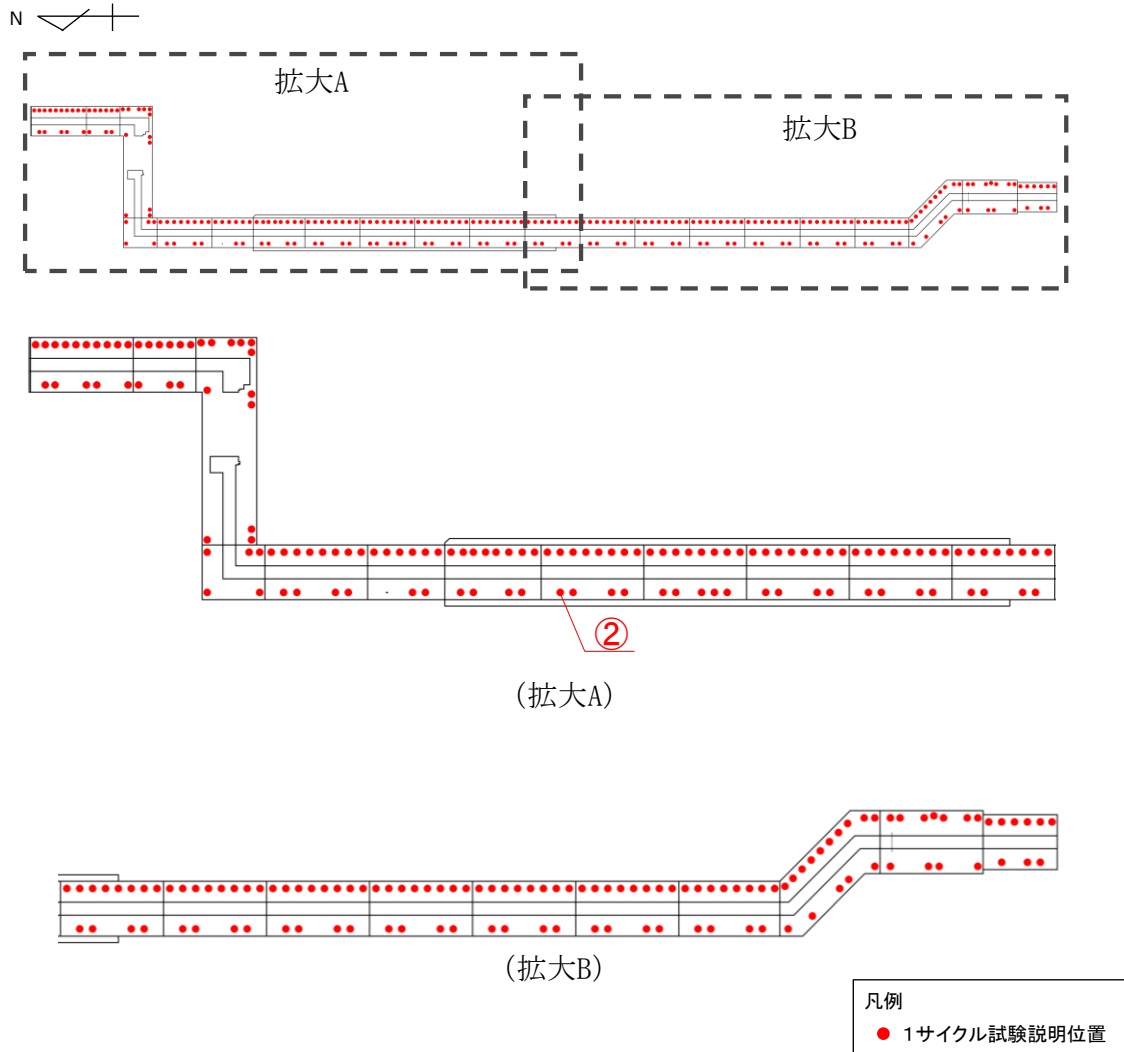


図 5-11 1 サイクル試験結果説明位置

b. 荷重方法と計測項目

1 サイクル試験の計画最大荷重は「設計・施工基準」に基づき、図 5-11 に示す各グラウンドアンカの設計アンカー力の 1.2 倍とした。

1 サイクル試験の荷重方法は、図 5-12 に示すように 1 サイクルの荷重と除荷を行い、その後、初期緊張力で定着する。計測項目は、多サイクル試験と同様とする。

計画最大荷重
(設計アンカー力の1.2倍)

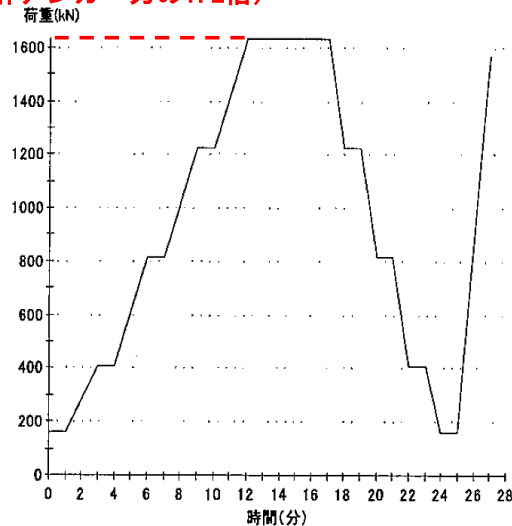


図 5-12 確認試験における荷重サイクル

(図 5-11 の②のグラウンドアンカ：図 4-10 のエリア 4,
設計アンカー力 1360kN, 計画最大荷重 1632kN)

c. 判定基準

「設計・施工基準」(図 5-13 参照)に基づき、以下に示す 2 つの判定基準により施工されているグラウンドアンカが適切に施工されていることを確認する。

② 判定

計画最大荷重は設計アンカー力より大きく設定されており、これに耐えられれば適性と判定する。加えて、多サイクル確認試験の結果と対比して、荷重-変位量関係(計画最大荷重時の変位量、初期荷重まで除荷したときの塑性変位量)に大きな差異のないことをもって適性と判定する。許容範囲は設計上の理論伸び量に対し、±10%とする。

図 5-13 「設計・施工基準」に記載の 1 サイクル試験における判定基準

①設計アンカー力に対して安全かどうか

設計アンカー力の1.2倍に設定された計画最大荷重を載荷しても、引抜きが発生していないことを確認する。

②荷重－変位量関係が適正かどうか

載荷荷重に対する弾性変位が設計上の理論伸び量の±10%の範囲に収まっていることを確認する。「設計・施工基準」に基づき（図5-14参照），設計上の理論伸び量を下式により算定する。

テンドン自由長 (l_{sf}) は、荷重-弾性変位量曲線の直線部分の勾配 ($\Delta \delta_e / \Delta T$)、
 テンドンの断面積 (A_s)、テンドンの弾性係数 (E_s) から求める。

$$l_{sf} = KE_s A_s = \frac{\Delta \delta_e E_s A_s}{\Delta T} \quad (8.1)$$

ここに、 l_{sf} : テンドン自由長
 K : 荷重-弾性変位量曲線の直線部分の勾配 (kN/mm)
 E_s : テンドンの弾性係数 (kN/mm²)
 A_s : テンドンの断面積 (mm²)
 $\Delta \delta_e$: 荷重-弾性変位量曲線の直線部分における変位量 (mm)
 ΔT : 荷重-弾性変位量曲線の直線部分における荷重 (kN)

図5-14 「設計・施工基準」記載のテンドンの理論伸び量の算定方法

理論値： $\delta_{et} = ((T_p - T_0) \times L_{sf}) / (E_s \times A_s)$
 $= ((1632.0 - 163.2) \times 9720) / (191.0 \times 1525.7)$
 $= 48.99\text{mm}$

上限値： $\delta_{et}' = \delta_{et} \times 1.10$
 $= 48.99 \times 1.10$
 $= 53.89\text{mm}$

下限値： $\delta_{et}'' = \delta_{et} \times 0.90$
 $= 48.99 \times 0.90$
 $= 44.09\text{mm}$

ここで、

T_p : 設計アンカー力 = 1632kN

T_0 : 初期荷重 = 163.2kN

(「設計・施工基準」に基づき計画最大荷重の10分の1に設定：図5-15参照)

L_{sf} : 緊張時自由長 = 9720mm

E_s : テンドン弾性係数 = 191.0kN/mm²

A_s : 鋼材断面積 = 1525.7 mm²

解説表-8.8 荷重方法（1サイクル確認試験）

荷重段階数	4段階以上	
サイクル数	1サイクル	
初期荷重	計画最大荷重の約0.1倍	
載荷速度 (目安)	増荷重時： $\frac{\text{計画最大荷重}}{10\sim 20}$ kN/minの一定速度 減荷重時：増荷重時の2倍程度	
荷重保持時間 (目安)	新規荷重段階	1 min以上の一定時間
	計画最大荷重時	5 min以上の一定時間

注) 変位が安定しない場合には、荷重保持時間を安定するまで延長する。
 安定の目安は、最後の3 min間の変位量が1 mm以下とする。

図 5-15 「設計・施工基準」における初期荷重の記載

d. 1 サイクル試験結果

1 サイクル試験を実施したグラウンドアンカのうち、図 5-11 に示す②のグラウンドアンカにおける試験結果を一例として示す。

図 5-16 に荷重-変位曲線を、図 5-17 に荷重-弾・塑性変位量曲線を示す。

以下のとおり、試験結果は判定基準を満足しており、設計及び施工が適正であると判定した。

設計アンカー力の 1.2 倍に設定された計画最大荷重を載荷しても、引抜きが発生していないことを確認する。

①設計アンカー力に対して安全かどうか

図 5-16 のとおり、設計アンカー力の 1.2 倍に設定された計画最大荷重を載荷しても、引抜きが発生していないことを確認した。

②荷重-変位量関係が適正かどうか

図 5-17 のとおり、載荷荷重に対する弾性変位が設計上の理論伸び量の±10%の範囲に収まっていることを確認した。

なお、ここで示した結果以外のグラウンドアンカについても同様に試験結果が設計を満足していることを確認している。

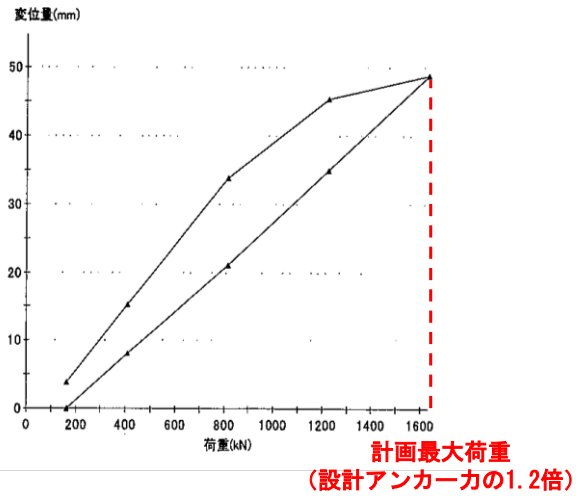


図 5-16 荷重-変位曲線

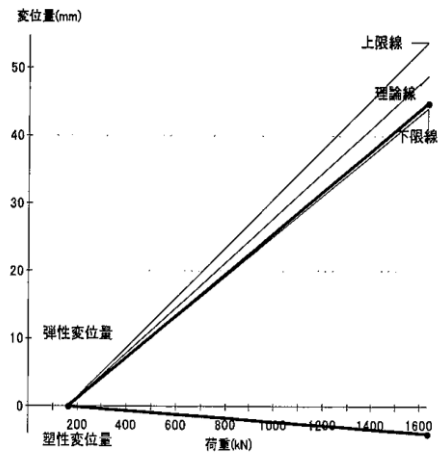


図 5-17 荷重-弾・塑性変位量曲線

6. 解析モデル・解析用物性値の設定

(1) 解析モデルの設定

グラウンドアンカは、図 6-1 に逆 T 擁壁の構造概要に示すとおり、その構造から、「頭部」、「自由長部」及び「拘束長部」の 3 つに区分される。グラウンドアンカのモデル化は、各部位の特徴及び役割を踏まえてモデル化を行った。グラウンドアンカのモデル化方法及びその考え方を表 6-1、グラウンドアンカのモデル化概念図を図 6-2、モデル化したグラウンドアンカの緊張力の与え方を図 6-3 に、解析モデルを図 6-4 に示す。

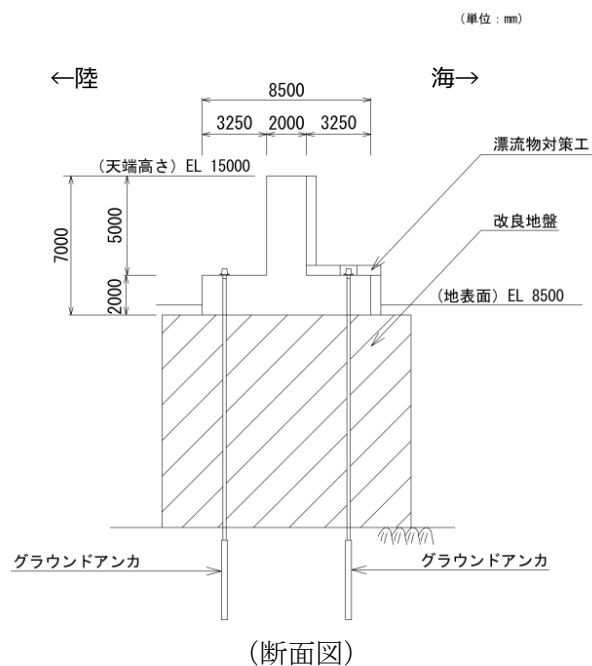
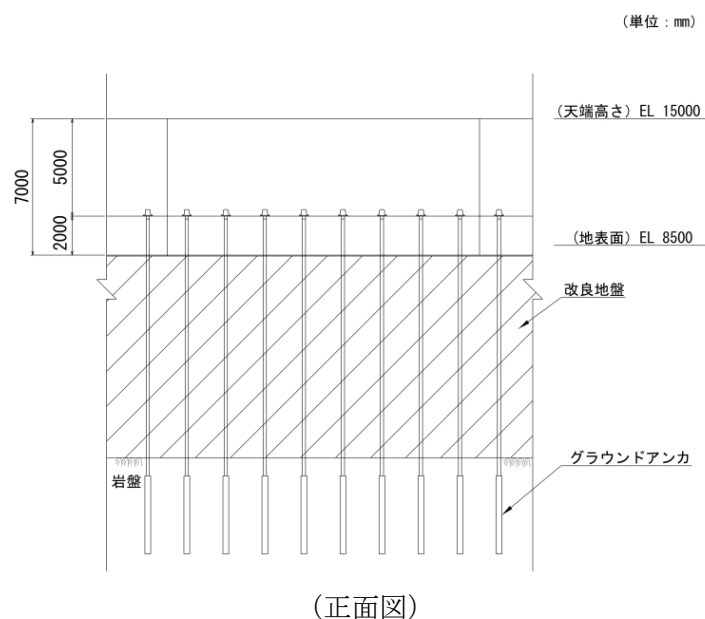


図 6-1 逆 T 擁壁の構造概要図

表 6-1 グラウンドアンカのモデル化方法及びその考え方

部位	特徴及び役割	モデル化方法	モデル化の考え方
頭部	鋼製のアンカーヘッド、ジョイントプレート及び支圧板で構成され、慣性力等に伴う逆T擁壁からの力を引張力として自由長部に伝達させるための部分。	節点共有	逆T擁壁の底盤（はり要素）の接点とばね要素の端部接点を拘束することで力が伝達できるようモデル化した。
自由長部 (=引張部)	PC鋼線を組み立てたテンドンで構成され、テンドンの伸縮により、頭部からの引張力を拘束長部に伝達する部分。 施工時にテンドンに初期緊張力を与えることで、頭部及び拘束長部に常時、引張力が作用する。 地震時は、慣性力による逆T擁壁からの力が伝達し、テンドンが縮むとアンカー力は減少し、テンドンが伸びるとアンカー力は増加する。	非線形ばね	左記の自由長部の挙動（特に初期緊張力）を表現できる「非線形ばね要素」でモデル化した。
拘束長部 (アンカー体)	グラウト注入によりテンドンが堅硬な岩盤に定着・一体化されて造成され、自由長部からの引張力を地盤との摩擦抵抗もしくは支圧抵抗によって地盤に伝達する抵抗部分。	MPC (多点拘束)	岩盤と一体挙動するように、「MPC（多点拘束）」によりモデル化し、非線形ばねなどの節点とその他の節点の鉛直方向の変位が拘束され、同様の挙動をするように設定した。

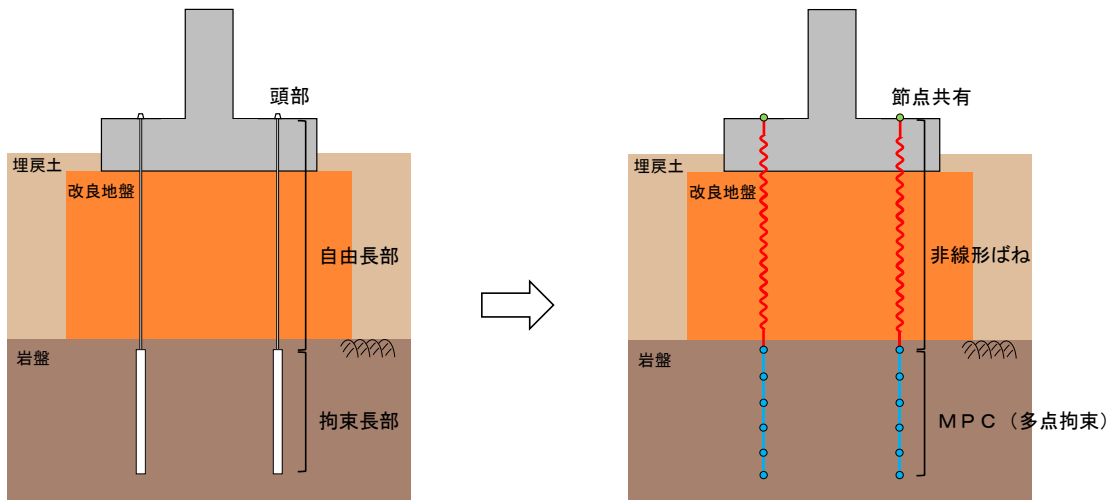
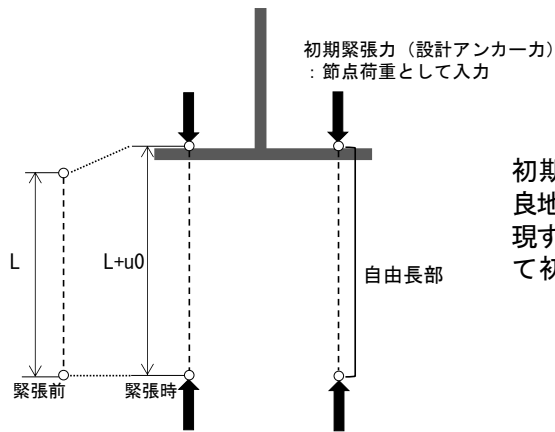


図 6-2 グラウンドアンカのモデル化概念図

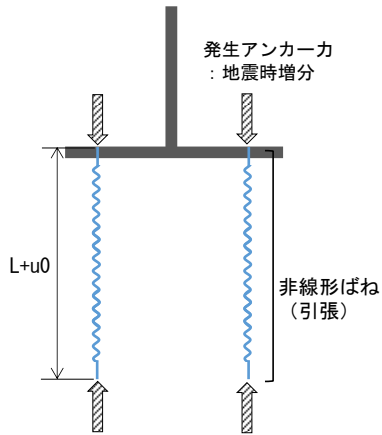
【常時】



初期緊張力の導入による改良地盤の締め付け効果を実現するため、接点荷重として初期緊張力を入力する。

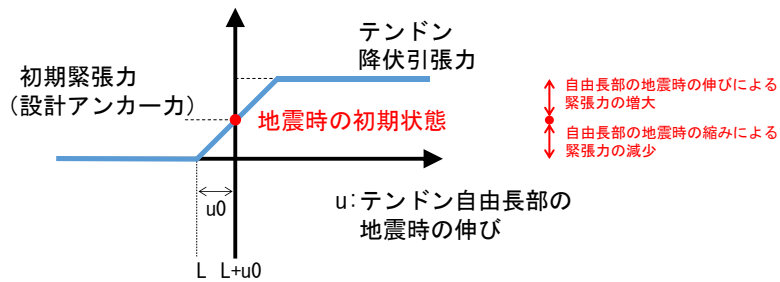


【地震時】



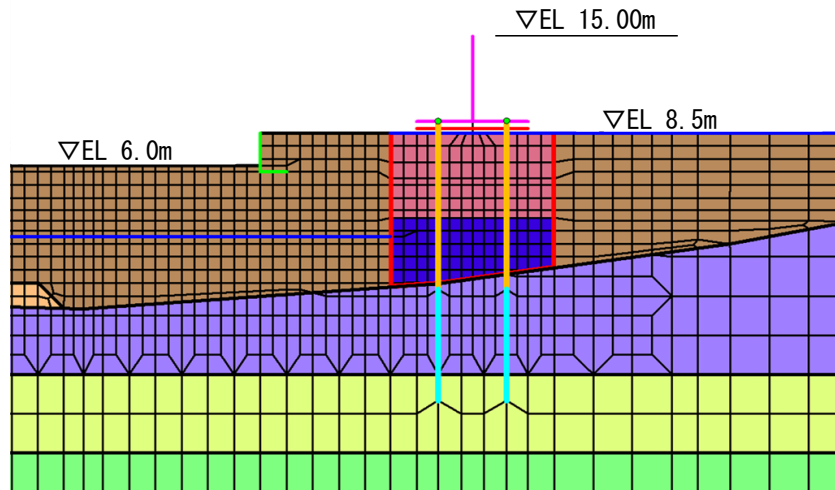
初期緊張力が導入された状態を地震時の初期状態とし、改良地盤の変形により自由長部が伸縮した際に緊張力が増減する引張ばねを導入する。

T : テンドン自由長部の引張力

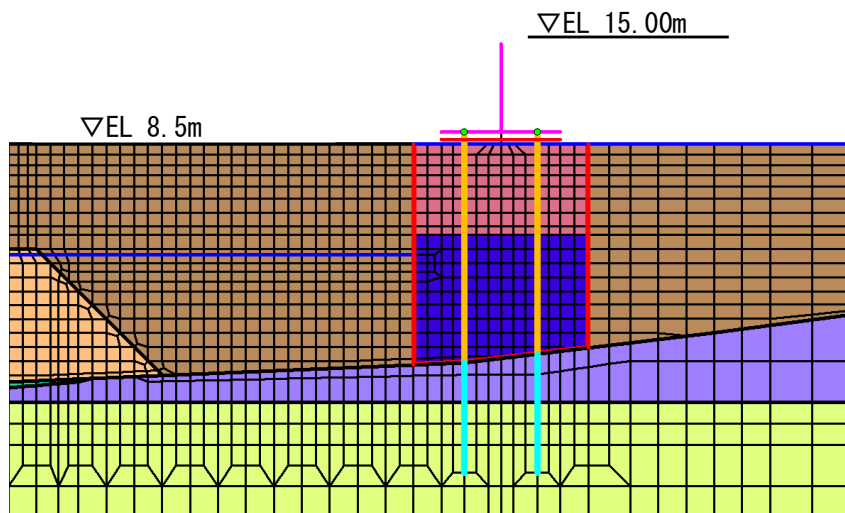


【非線形ばねモデルの概念図】

図 6-3 モデル化したグラウンドアンカの緊張力



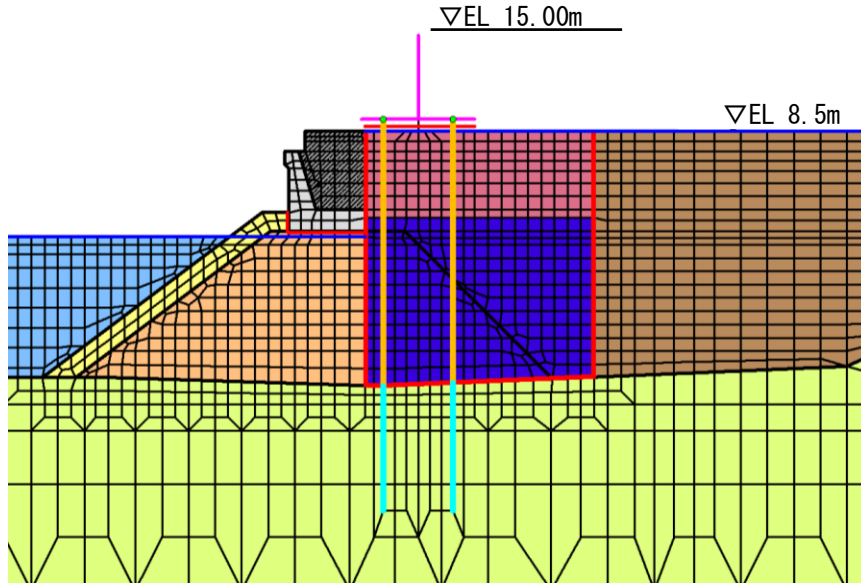
【①-①断面】



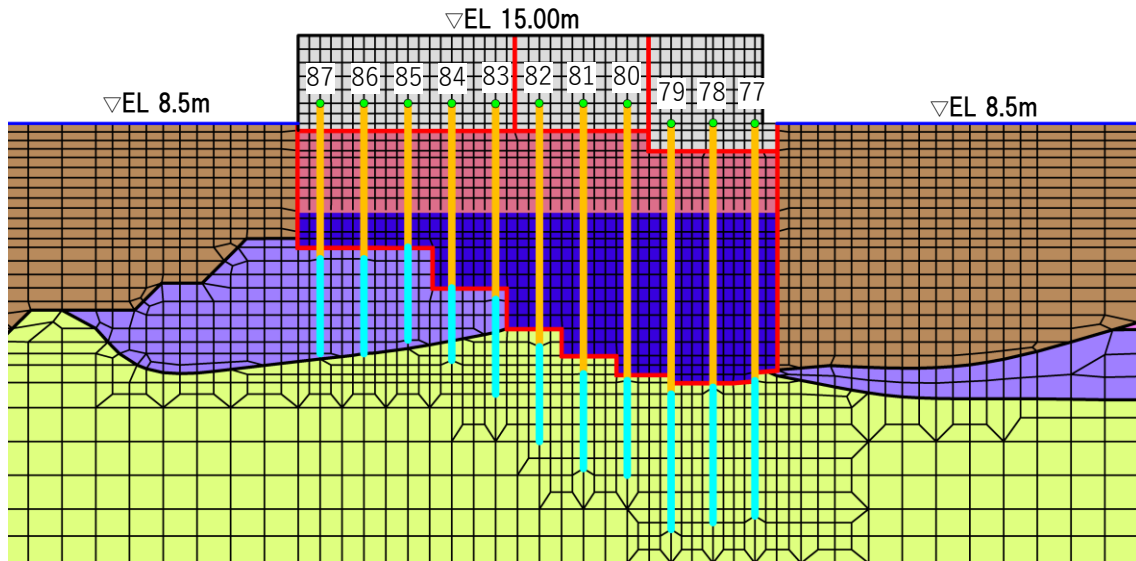
【④-④断面】

- | | | | | |
|----------------|------------|------------------|----------------|---------------------|
| ■ : 岩盤 (第③速度層) | ■ : 海底堆積物 | ■ : 基礎捨石 | ■ : 防波壁 | ■ : グラウンドアンカ (自由長部) |
| ■ : 岩盤 (第④速度層) | ■ : 改良地盤①② | ■ : 護岸 | ■ : L型擁壁 | ■ : グラウンドアンカ (拘束長部) |
| ■ : 岩盤 (第⑤速度層) | ■ : 改良地盤③ | ■ : 埋戻土 (施設護岸背面) | ■ : ジョイント要素 | |
| ■ : 埋戻土 | ■ : 被覆石 | ■ : 海水 | ■ : 地下水水面及び海水面 | |

図 6-4(1) 解析モデル図



【⑤-⑤断面】



【⑦-⑦断面】

- | | | | | |
|----------------|------------|------------------|---------------|---------------------|
| ■ : 岩盤 (第③速度層) | ■ : 海底堆積物 | ■ : 基礎捨石 | ■ : 防波壁 | ■ : グラウンドアンカ (自由長部) |
| ■ : 岩盤 (第④速度層) | ■ : 改良地盤①② | ■ : 護岸 | ■ : L型擁壁 | ■ : グラウンドアンカ (拘束長部) |
| ■ : 岩盤 (第⑤速度層) | ■ : 改良地盤③ | ■ : 埋戻土 (施設護岸背面) | ■ : ジョイント要素 | |
| ■ : 埋戻土 | ■ : 被覆石 | ■ : 海水 | ■ : 地下水面及び海水面 | |

図 6-4(2) 解析モデル図

(2) 解析用物性値の設定

グラウンドアンカの解析用物性値を表 6-2 に示す。

また、グラウンドアンカ（自由長部）における非線形ばねモデルの概念図を図 6-5 に示す。

グラウンドアンカは、逆T擁壁の1ブロックにおいて、海側では8本、陸側では4本設置しており、引張剛性 k の値は①-①断面及び⑤-⑤断面においてはモデル化対象となる海側2本、陸側1本分、⑦-⑦断面においては海側と陸側の合計1本もしくは3本分を記載している。

表 6-2 グラウンドアンカの解析用物性値

		引張剛性 k (kN/m)	テンドン降伏引張力 (kN)	設計アンカー力 (kN)	初期変位量 (mm)
①-①断面	陸側(アンカー1本)	20493	2400(アンカー1本) 4800(アンカー2本)	1440	70
	海側(アンカー2本)	40986		2880	
④-④断面	陸側(アンカー1本)	15567		1170	75
	海側(アンカー2本)	31134		2340	
⑤-⑤断面	陸側(アンカー1本)	14064		1650	117
	海側(アンカー2本)	28128		3300	
⑦-⑦断面*	77(アンカー3本)	44331		4950	112
	78(アンカー1本)	14412		1650	114
	79(アンカー3本)	42192		4950	117
	80(アンカー3本)	41199		3510	85
	81(アンカー3本)	42192	3510	83	
	82(アンカー3本)	46701	2400(アンカー1本) 7200(アンカー3本)	3510	75
	83(アンカー3本)	57438	3510	61	
	84(アンカー3本)	68727	3510	51	
	85(アンカー3本)	77916	3510	45	
	86(アンカー3本)	71541	3510	49	
	87(アンカー3本)	71541	3510	49	

注記* : アンカー番号は図 3.5.2-3(2)に示すグラウンドアンカ位置

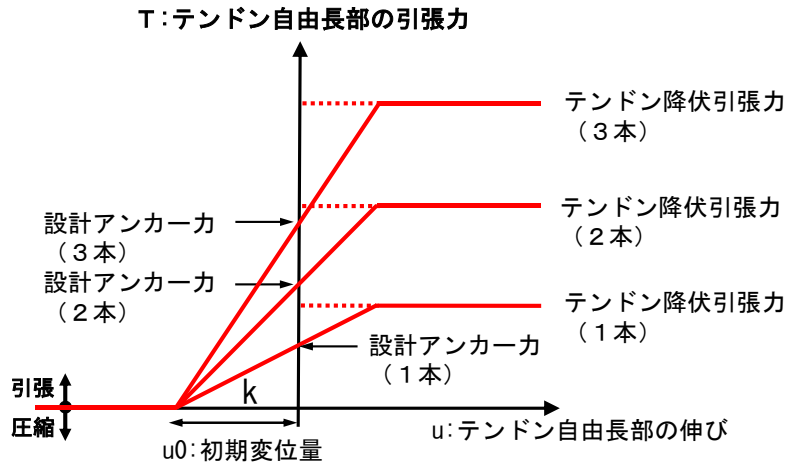


図 6-5 グラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図

引張剛性は「設計・施工基準」記載の式 (図 6-6 参照) に基づき下式により設定する。
引張剛性の算定に必要な諸元を表 6-3 に示す。

2) アンカー頭部の変位量

アンカー頭部は引張り力を受け変位するが、許容変位量は、対象とする構造物により異なる。したがって、設計の際にはあらかじめ許容変位量を設定し、計算による変位量が許容値以内におさまるようにしなければならない。

アンカー頭部の変位量としては、テンドン自由長部の伸び縮みのほかにアンカー一体自身の変位 (地盤との相対変位) や地表面の膨れ上がりなどが考えられる。アンカー頭部の変位量の大部分は、テンドン自由長部の伸びに起因する。テンドン自由長の引張り材の各々の長さが同じ場合のテンドン自由長の伸びを式 (6.3) に示す。なお、テンドン自由長部の伸びは適性試験により必ず確かめなければならない。

$$\mu = \frac{T \cdot l_d}{A_s \cdot E_s} \quad (6.3)$$

ここで、 μ : テンドン自由長部の伸び
 T : テンドン自由長部の引張り力
 l_d : テンドン自由長
 A_s : 引張り材断面積
 E_s : 引張り材弾性係数

図 6-6 「設計・施工基準」記載の引張剛性設定方法 (赤で加筆)

$$u = (T \times L_{sf}) / (A_s \times E_s)$$

また $k = T / u$ より

$$k = T / u = A_s \times E_s / L_{sf} \times n$$

ここで,

k : 引張剛性

T : テンドン自由長部の引張力 (kN)

U : テンドン自由長部の伸び (mm)

A_s : 鋼材断面積 (mm²)

E_s : テンドンの弾性係数 (kN/mm²)

L_{sf} : テンドンの自由長 (m)

N : アンカー本数

$$\begin{aligned} k &= 1525.7 \times 191 / 14.22 \times 1 \doteq 20493 \text{ (①-①断面, 陸側)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 14.22 \times 2 \doteq 40986 \text{ (①-①断面, 海側)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 18.72 \times 1 \doteq 15567 \text{ (④-④断面, 陸側)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 18.72 \times 2 \doteq 31134 \text{ (④-④断面, 海側)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 20.72 \times 1 \doteq 14064 \text{ (⑤-⑤断面, 陸側)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 20.72 \times 2 \doteq 28128 \text{ (⑤-⑤断面, 海側)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 19.72 \times 3 \doteq 44332 \text{ (⑦-⑦断面, 77)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 20.22 \times 1 \doteq 14412 \text{ (⑦-⑦断面, 78)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 20.72 \times 3 \doteq 42192 \text{ (⑦-⑦断面, 79)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 21.22 \times 3 \doteq 41199 \text{ (⑦-⑦断面, 80)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 20.72 \times 3 \doteq 42192 \text{ (⑦-⑦断面, 81)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 18.72 \times 3 \doteq 46701 \text{ (⑦-⑦断面, 82)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 15.22 \times 3 \doteq 57438 \text{ (⑦-⑦断面, 83)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 12.72 \times 3 \doteq 68727 \text{ (⑦-⑦断面, 84)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 11.22 \times 3 \doteq 77916 \text{ (⑦-⑦断面, 85)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 12.22 \times 3 \doteq 71541 \text{ (⑦-⑦断面, 86)} \\ &= 1525.7 \times 191 / 12.22 \times 3 \doteq 71541 \text{ (⑦-⑦断面, 87)} \end{aligned}$$

表 6-3 ①-①断面, ④-④断面, ⑤-⑤断面及び⑦-⑦断面における
グラウンドアンカの引張剛性設定諸元

	諸元			
	①-①断面	④-④断面	⑤-⑤断面	⑦-⑦断面
緊張時自由長 L_{sf} (m)	14.22	18.72	20.72	11.22~21.22
テンドンの降伏引張力 T_p (kN)	2400.0			
テンドン弾性係数 E_s (kN/mm ²)	191			
テンドン断面積 A_s (mm ²)	1525.7			
初期変位量 u_0 (mm)	70	75	117	49
アンカー本数	陸側 1 本, 海側 2 本			

7. グラウンドアンカのモデル化方法の妥当性確認

(1) 基本調査試験の再現解析による確認

グラウンドアンカの解析モデルの妥当性を確認するため、「3. 試験施工（基本調査試験）」で示した、引抜き試験を再現した解析を実施し、解析により得られた荷重-変位関係と引抜き試験結果の荷重-変位関係を比較することで、グラウンドアンカのモデル化方法が妥当であることを確認する。

a. 解析条件

(a) 解析モデルの設定

解析モデルは図7-3に示す引抜き試験実施位置の速度層構造を考慮し、図7-1のとおり解析モデルを作成した。解析コードは「FLIP」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。

引抜き試験は、逆T擁壁設置前に実施した試験であるため、逆T擁壁はモデル化しない。図7-2に引抜き試験実施時の状況写真を示す。また、引抜き試験実施位置は、図7-3に示すとおり評価候補断面の⑥-⑥断面近傍に位置し、図7-4の⑥-⑥断面の地質断面図に示すとおり、当該位置の速度層構造はおおむね東西水平成層であることから、速度層の分布は水平でモデル化した。

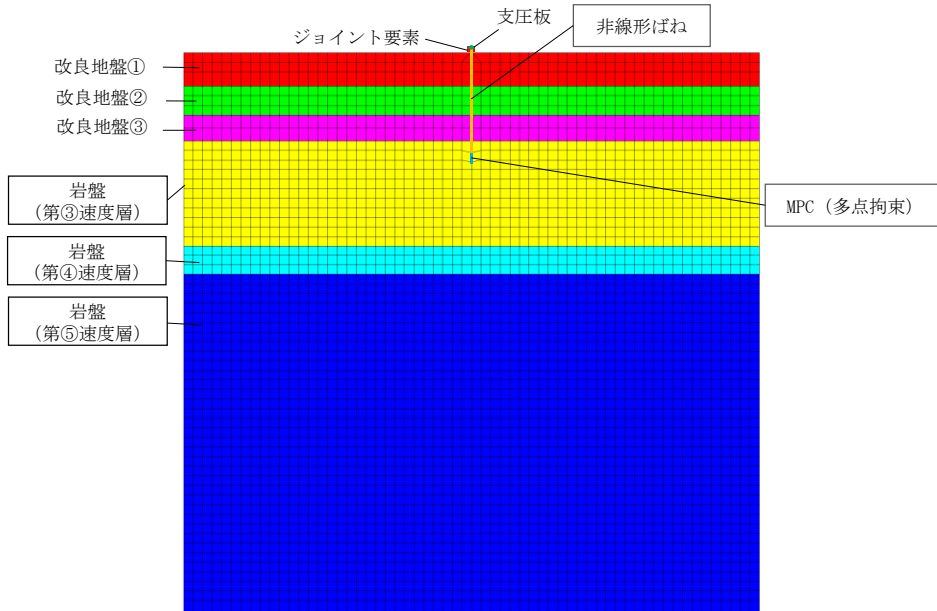


図7-1 解析モデル図



図7-2 引抜き試験実施状況写真（2011年実施）

(b) 解析用物性値

再現解析に使用する改良地盤の解析用物性値を表 7-1 に示す。再現解析で使用する改良地盤の物性値は、引抜き試験実施当時（2011 年）に実施した PS 検層の結果より設定した。改良地盤の物性値設定に使用した PS 検層実施位置を図 7-5 に示す。

また、グラウンドアンカの諸元及び物性値を表 7-2 及び表 7-3 に示す。

表 7-1 再現解析に使用する改良地盤の解析用物性値

	密度 ρ (g/cm^3)	せん断波速度 V_s (m/s)	静弾性係数 E (N/mm^2)	ポアソン比 ν
改良地盤①	2.11	440	1087000	0.33
改良地盤②	2.11	400	898000	0.33
改良地盤③	2.11	610	2088000	0.33

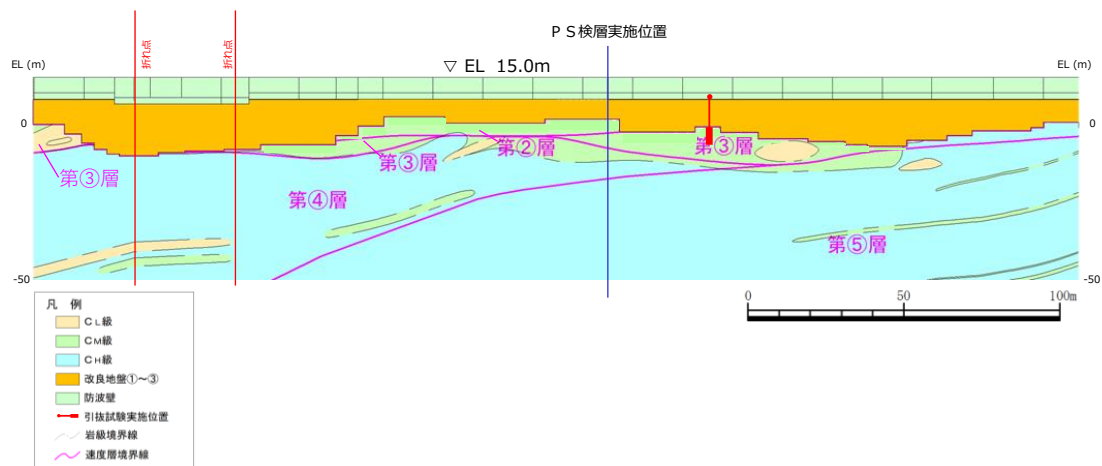


図 7-5 改良地盤の物性値設定に使用した PS 検層実施位置

表 7-2 引抜き試験使用アンカーの諸元

	諸元
アンカー種別	VSL 永久アンカ (E5-3)
削孔径 (mm)	90
PC 鋼 ϕ (mm)	12.7
PC 鋼本数 (本)	3
テンドン弾性係数 (kN/mm ²)	191.0
鋼材断面積 (mm ²)	296.1
テンドン長 (mm)	12000
余長 (mm)	1000
緊張時自由長 (mm)	10410
アンカー体長 (テンドン拘束長) (mm)	1000
テンドンの極限引張力 (kN)	549
テンドンの降伏引張力 (kN)	468

表 7-3 再現解析におけるグラウンドアンカの物性値

	引張剛性 k (kN/m)	テンドン降伏引張力 (kN)
引抜き試験	5433.0	468

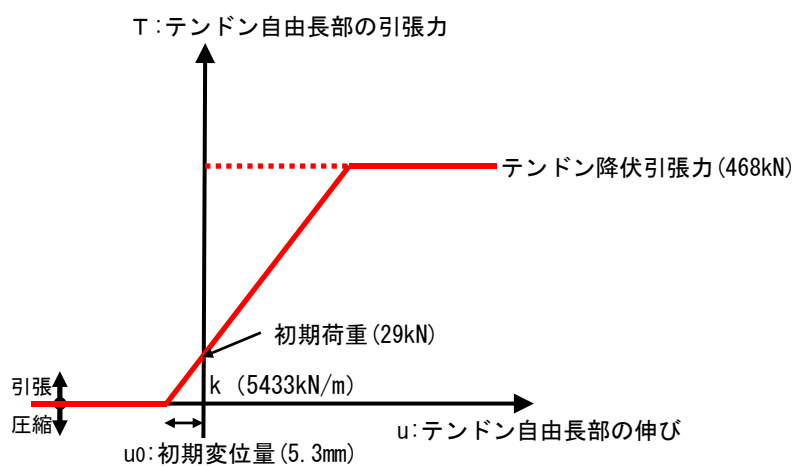


図 7-6 再現解析におけるグラウンドアンカの非線形ばねモデルの概念図

(c) 荷重パターン

荷重荷重パターンは引抜き試験の荷重パターンを再現し、動的に荷重することで引抜き試験を再現する。再現解析における荷重パターンを図 7-7 に示す。

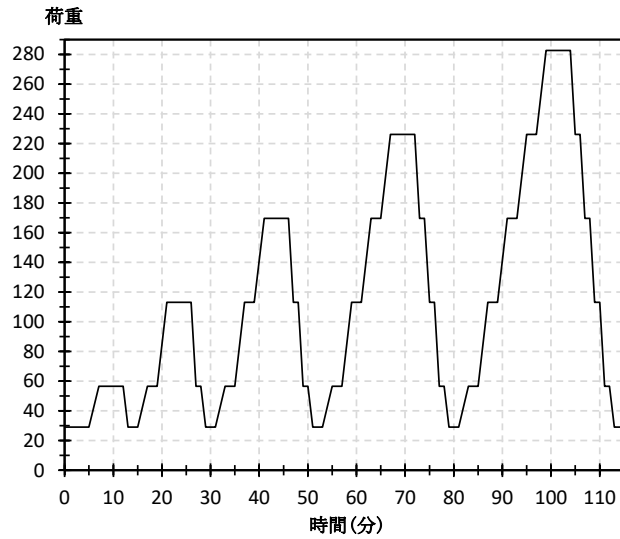


図 7-7 再現解析における荷重パターン

b. 評価結果

図 7-8 に示す引抜き試験結果の荷重-変位関係と再現解析による荷重変位関係により、再現解析による荷重-変位関係は引抜き試験結果と同等であること、再現解析による荷重-変位関係が弾性的な挙動を示していることからモデル化方法が妥当であることを確認した。

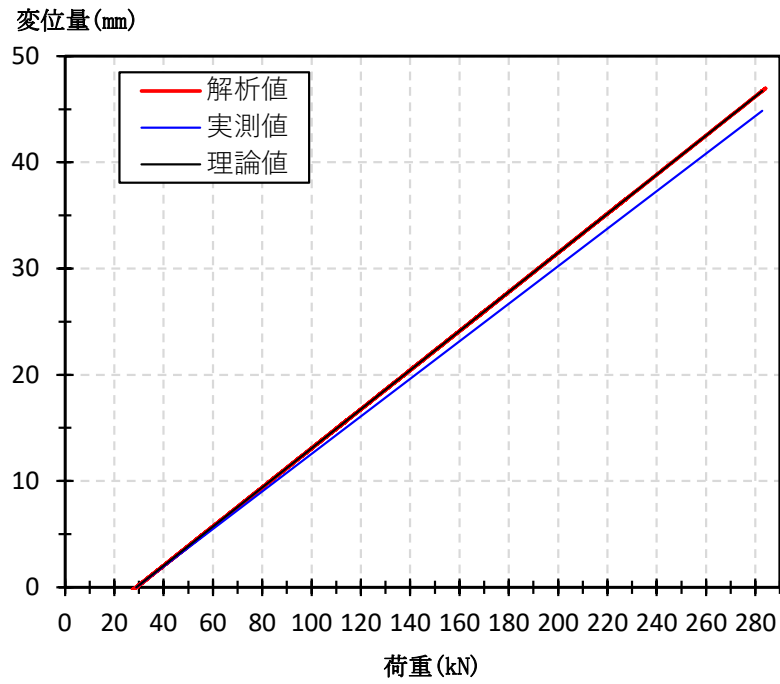
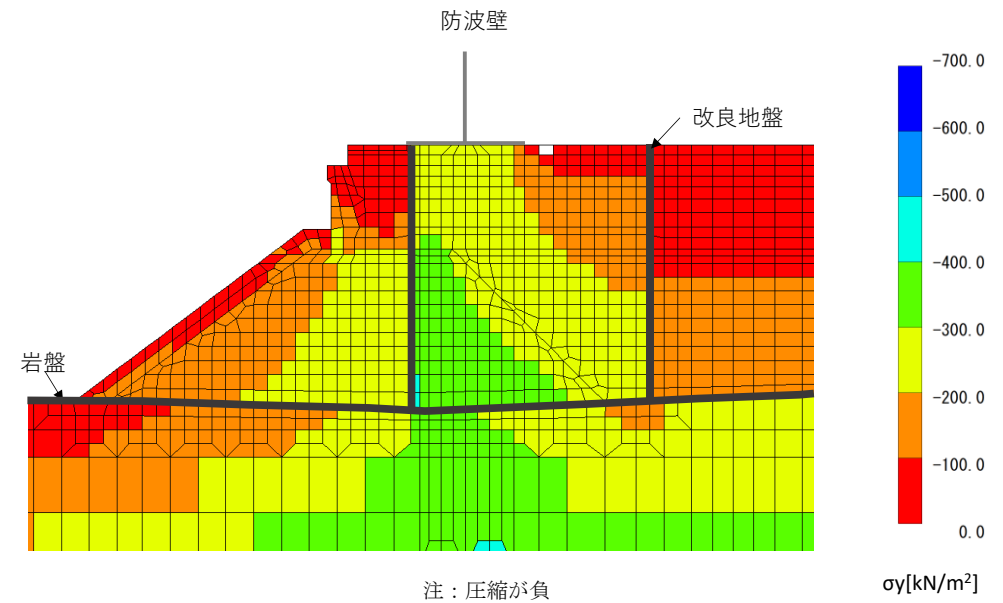


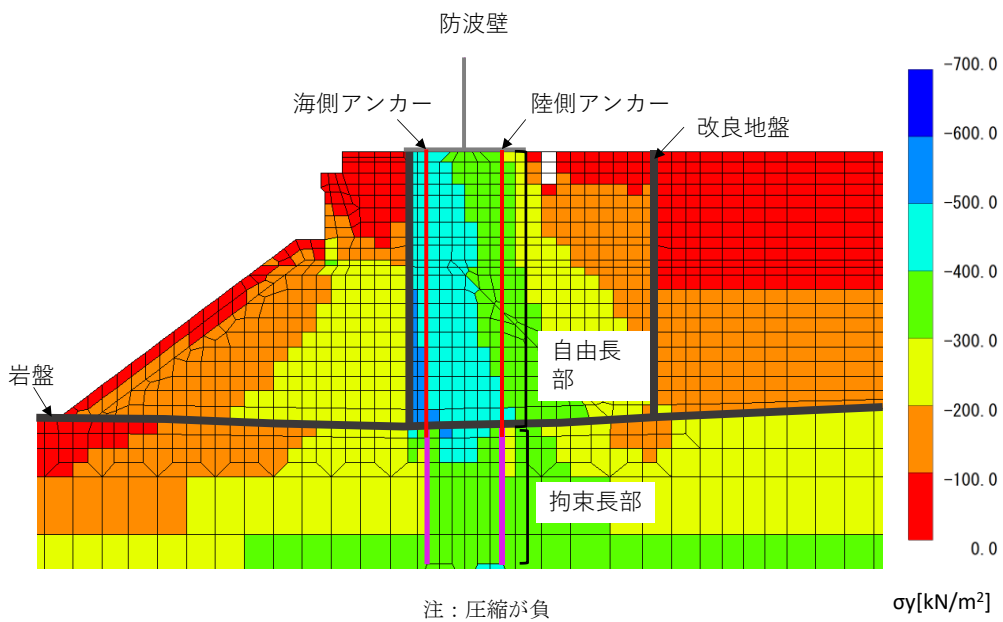
図 7-8 引抜き試験と再現解析による荷重-変位関係の比較

(2) 常時応力によるモデルの妥当性確認

図 7-9 に示す⑤—⑤断面の常時応力分布図により、グラウンドアンカの初期緊張力により地盤応力の高まりを確認したことからモデル化方法が妥当であることを確認した。



【グラウンドアンカなし】



【グラウンドアンカあり】

図 7-9 ⑤—⑤断面の常時応力分布図

(3) 地震時におけるモデルの検証

非線形ばね及びMPCによるグラウンドアンカのモデル化は、「4.3.2 逆T擁壁の滑動・転倒に対する耐力の確認」において、逆T擁壁が転倒・滑動しないことを確認したため、改良地盤の変形によりグラウンドアンカの tendon が伸縮することで発生アンカー力が増減すると想定されることから、逆T擁壁底版の鉛直変位の時刻歴と、グラウンドアンカの発生アンカー力の時刻歴を対比することで、地震時の動的解析においてこれらの現象が再現されているか検証する。

使用するケースはグラウンドアンカの照査値が最も厳しくなる $S_s - N1 (+ +)$ の解析ケース③とする。変位の出力位置は逆T擁壁底版両端とする。

図7-10及び図7-11に⑤-⑤断面における逆T擁壁の底版端部の変位とグラウンドアンカの発生アンカー力を示す。

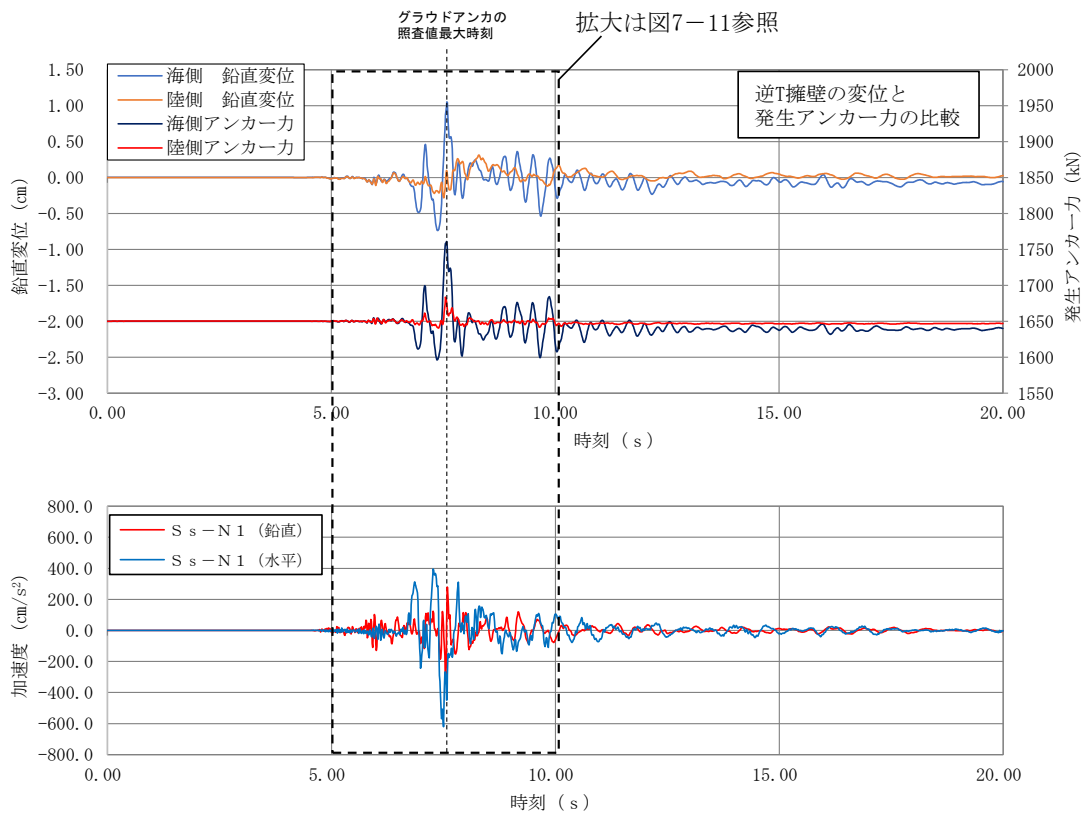


図7-10 逆T擁壁底版端部の鉛直変位とグラウンドアンカの発生アンカー力との挙動の比較

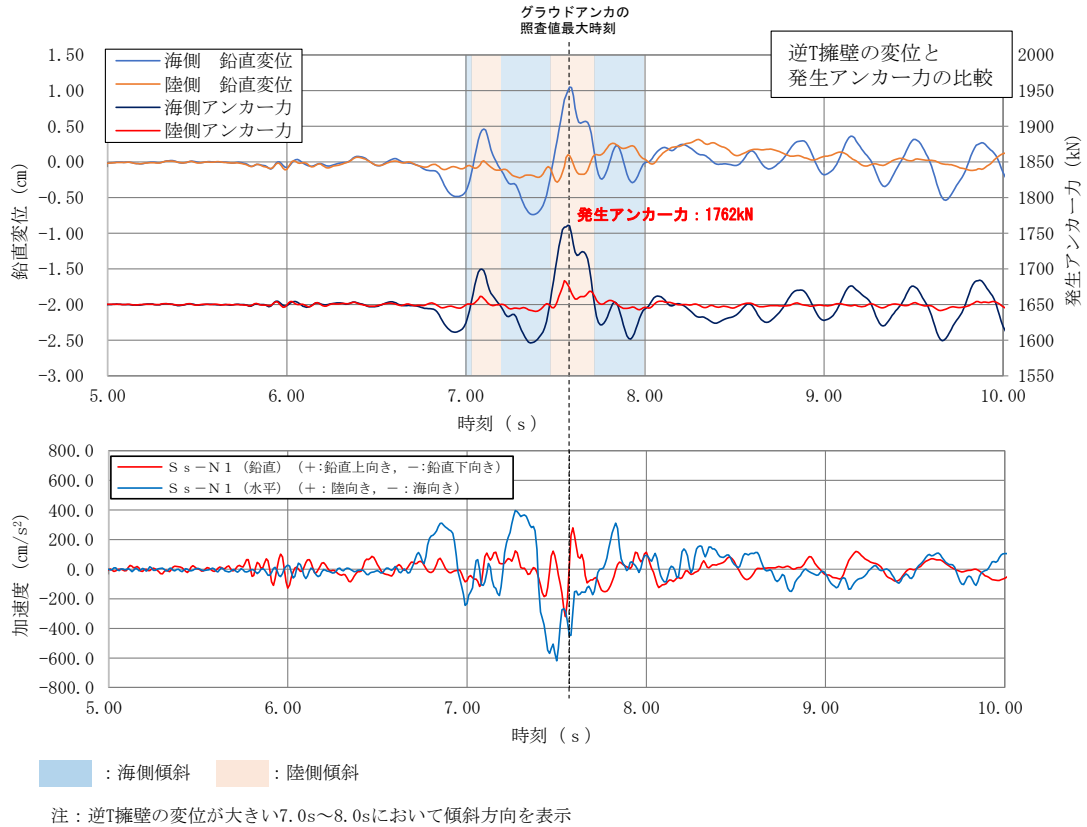


図 7-11 逆T擁壁底版端部の鉛直変位とグラウンドアンカの発生アンカー力との挙動の比較 (拡大)

図 7-10 及び図 7-11 より、海側、陸側のグラウンドアンカともに、逆T擁壁底版の変位が増大した際に、それを抑えるようにグラウンドアンカの発生アンカー力が増大する挙動を確認したことから、改良地盤の変形によりグラウンドアンカのテンドンが伸縮することで発生アンカー力が増減する現象が再現されていることを検証した。

8. 許容限界の設定

「設計・施工基準」に基づき、試験施工（基本調査試験）等を踏まえ、「4. 設計アンカー力の設定」に記載のとおり設定する。許容アンカー力の設定結果を表 8-1 に再掲する。

なお、許容アンカー力は、おおむね設計アンカー力の 1.2 倍であり、品質保証試験において設計アンカー力の 1.2 倍もしくは 1.5 倍の载荷でも引き抜かれないことを確認していることから、その妥当性を確認している。

表 8-1 許容アンカー力の設定

	①-①断面	④-④断面	⑤-⑤断面
テンドンの許容引張力 (kN)	2160		
テンドンの許容拘束力 (kN)	1764	1453	2076
アンカーの許容引抜き力 (kN)	1802	1484	2120
許容アンカー力 (kN)	1764	1453	2076
設計アンカー力 (kN)	1440	1170	1650

9. 評価方法

グラウンドアンカの耐震評価は、地震応答解析に基づいて算定した発生アンカー力が許容限界以下であることを確認する。

10. 評価結果

グラウンドアンカの発生アンカー力に対する照査値を補足説明資料本編「4.3 グラウンドアンカ」に示す。この結果から、グラウンドアンカの発生アンカー力が許容限界以下であることを確認した。

(参考資料 2) 鋼管杭の影響検討について

1. 概要

防波壁（逆 T 擁壁）における設計の経緯を図 1-1 に示す。

当初設計時は、杭頭部の結合方式を剛結としていたが、杭頭部の曲げモーメントが降伏モーメントを超える結果となったため、おおむね弾性範囲内となるよう、杭頭部の結合方式をヒンジ結合に変更した。その際に、鋼管杭の変形を抑制するため、杭周辺において薬液注入工法による地盤改良を実施した。

第 870 回審査会合（令和 2 年 6 月 30 日）において、鋼管杭については、支持地盤への根入れが 0.5m と浅いため、杭先端のせん断抵抗に期待できない旨の指摘を受け、以降の審査では、鋼管杭の役割に期待しない（モデル化しない）設計に変更し、耐震評価及び耐津波評価を実施している。

一方で、鋼管杭自体は施工されていることから、表 1-1 に記載のとおり、鋼管杭と逆 T 擁壁との接続部について、「道路土工擁壁工指針（(社)日本道路協会，1999 年 3 月）」及び「道路橋示方書・同解説（IV 下部構造編）（(社)日本道路協会，2017 年 12 月）」の記載を踏まえ（図 1-2 及び図 1-3 参照），杭頭載荷実験及び 3 次元静的有限要素法による再現解析を実施し、上記の力学挙動を確認することが申し送り事項の説明方針となっている。

また、鋼管杭を残置することによる逆 T 擁壁への悪影響の有無を確認するため、杭頭載荷実験等を踏まえて鋼管杭をモデル化した影響検討を実施し、基準地震動 S_s に対し、防波壁（逆 T 擁壁）の津波防護機能が喪失しないことを確認することが申し送り事項の説明方針の 2 つ目となっている。

上記を踏まえ、杭頭載荷実験及び 3 次元静的有限要素法による再現計算を説明する。

	当初設計時	第870回 会合 (令和2年6月30日) 時点	第870回 会合以降 (設置許可時)
設計概要図			
鋼管杭の役割	期待する	期待する	期待しない
杭頭結合部	剛結合	ヒンジ結合	(ヒンジ結合)
地盤改良	なし	あり	あり
グラウンドアンカ	期待しない	期待しない	期待する
設計の考え方	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭部の結合方式を剛結とすると杭頭部の曲げモーメントが降伏モーメントを超え、杭が降伏する結果となった。 	<ul style="list-style-type: none"> 杭頭部における曲げモーメントを減少させるため、杭頭部にヒンジ結合を採用した。 ヒンジ結合への変更に伴い、鋼管杭の変形を抑制するため、鋼管杭周辺において薬液注入工法による地盤改良を実施した。 杭頭部については、作用する曲げモーメントが小さい状態では剛として挙動し、曲げモーメントが増加すると杭頭部補強鉄筋周辺のコックリにクランクが発生し、ヒンジ状態に移行すると考えられることから、模型実験により杭頭部の力学的特性について確認することとした。 	<ul style="list-style-type: none"> 第870回会合において、杭の根入れが0.5mと浅いため、杭先端のせん断抵抗に期待できない旨の指摘を受け、鋼管杭の役割に期待しない (モデル化しない) 設計に変更した。 主に以下の2つが設工認審査への申し送り事項となった。 <ol style="list-style-type: none"> 杭頭部載荷実験及び3次元静的FEM解析による再現解析を実施して力学挙動を確認する。 鋼管杭を残置することによる防波壁 (逆T擁壁) への悪影響の有無を確認するため、杭頭部載荷実験の力学挙動を踏まえて鋼管杭をモデル化した影響検討を実施し、基準地震動Ssに対し、防波壁 (逆T擁壁) の浸水防護機能が喪失しないことを説明する。

図 1-1 防波壁 (逆T擁壁) における設計の経緯

表 1-1 鋼管杭に係る申し送り事項

申し送り事項	説明方針
<p>1. 杭頭接合部の構造について、道路橋示方書で剛結合を原則としている規定や剛結合以外の結合方法の実験等による力学特性検証等、道路橋示方書の記載内容との対応を踏まえて整理すること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼管杭と逆T擁壁との接続部について、道路土工擁壁工指針及び道路橋示方書の記載を踏まえ、杭頭載荷実験及び3次元静的有限要素法による再現解析を実施し、上記の力学挙動を確認する。 (左記の1, 3に対応)
<p>2. 鋼管杭式逆T擁壁の底盤について、詳細設計段階で杭頭部がピン結合に移行する力学挙動を模型実験と解析により検証する際に、底盤がおおむね弾性域内に留まることを説明すること。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 鋼管杭を残置することによる逆T擁壁への悪影響の有無を確認するため、杭頭載荷実験等を踏まえて鋼管杭をモデル化した影響検討を実施し、基準地震動S_sに対し、防波壁（逆T擁壁）の津波防護機能が喪失しないことを確認する。（左記の2, 4, 5に対応）
<p>3. 鋼管杭式逆T擁壁の杭頭部のヒンジ結合について、準拠する道路土工擁壁工指針の適用性を説明すること。</p>	
<p>4. 防波壁（鋼管杭式逆T擁壁）の杭頭結合条件について、杭頭部のヒンジ形成過程と防波壁の損傷の関係性を踏まえた上で、杭頭をピン結合として評価する場合の設計の考え方を説明すること。</p>	
<p>5. 鋼管杭式逆T擁壁の鋼管杭の根入れ部について、支持地盤への根入れが浅く、水平力に対する支持性能を期待できない可能性があるため、杭先端のせん断抵抗に期待しない設計方針を検討し、構造成立性を説明すること。</p> <p>設計方針は、杭周辺の地盤改良及びグラウンドアンカーの効果に期待して実態に即した内容とし、地盤改良がない区間について地盤改良の追加を検討すること。</p>	

(4) 杭頭と底版の結合方法

杭頭と底版の結合方法は、一般に剛結合とヒンジ結合があり、擁壁への適用にあたっては、重要度、変位に対する制約、杭本体の強度、経済性などを考慮して結合方法を決定しなければならない。

一般の擁壁では杭本体を経済的に設計できるヒンジ結合を採用するものとする。ただし、地震時の設計を行なう場合や、変位量を小さくする必要のある場合、軟弱地盤上に擁壁を設置する場合などには剛結合とすることが望ましい。

杭頭結合部の設計方法は、剛結合の場合「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」に準じるものとする。ヒンジ結合の場合は「剛結合の方法B」の考え方を適用し、表2-7に示すように杭頭での押し込み力、引き抜き力、水平力に対して抵抗できるように設計する。

表 2-7 杭頭ヒンジ結合部における支持力分担

鉛直力	押し込み力	杭頭部の底版コンクリートの支圧および押し抜きせん断抵抗
	引き抜き力	杭頭鉄筋の引張り抵抗
水平力		杭前面の底版コンクリートの支圧抵抗

図 1-2 杭とフーチングの接合部についての規定

(「道路土工擁壁工指針 ((社)日本道路協会, 1999年3月)」 p.116 より引用)

10.8.7 杭とフーチングの接合部

- (1) 杭とフーチングの接合部は、杭が限界状態3に達したときの断面力も含めて、部材相互の断面力を確実に伝達できるようにしなければならない。
- (2) 杭基礎を 10.6.1(2)1)に従ってモデル化する場合には、杭とフーチングの接合部は剛結とみなせる構造としなければならない。
- (3) 1)から3)に従う場合には、(1)及び(2)を満足するとみなしてよい。
 - 1) フーチングの厚さについて、7.7.2(2)を満足する。
 - 2) 最外縁の杭の中心とフーチング縁端との距離を杭径以上とすることを標準とする。
 - 3) 杭とフーチングの接合部は、鉄筋により十分に結合する。

(2) 杭とフーチングとの接合部は、原則として剛結とすることが規定されている。杭頭部を剛結として設計した方が水平変位によって設計が支配される場合には有利であり、また、不静定次数が大きいため耐震上の安全性が高いとみなし得る。

なお、10.6に規定される杭反力等の計算モデルにおいても杭とフーチングの接合部を剛結と仮定することを標準としている。このため、剛結としない場合には、接合方法の力学特性等を実験等により検証したうえで、個別にモデル化等について検討する必要がある。

図 1-3 杭とフーチングの接合部についての規定

(「道路橋示方書・同解説 (IV 下部構造編) ((社)日本道路協会, 2017年12月)」 p.284 より引用)

申し送り事項を踏まえ、図 1-4 のフローに基づき、鋼管杭をモデル化した場合の影響検討を実施する。

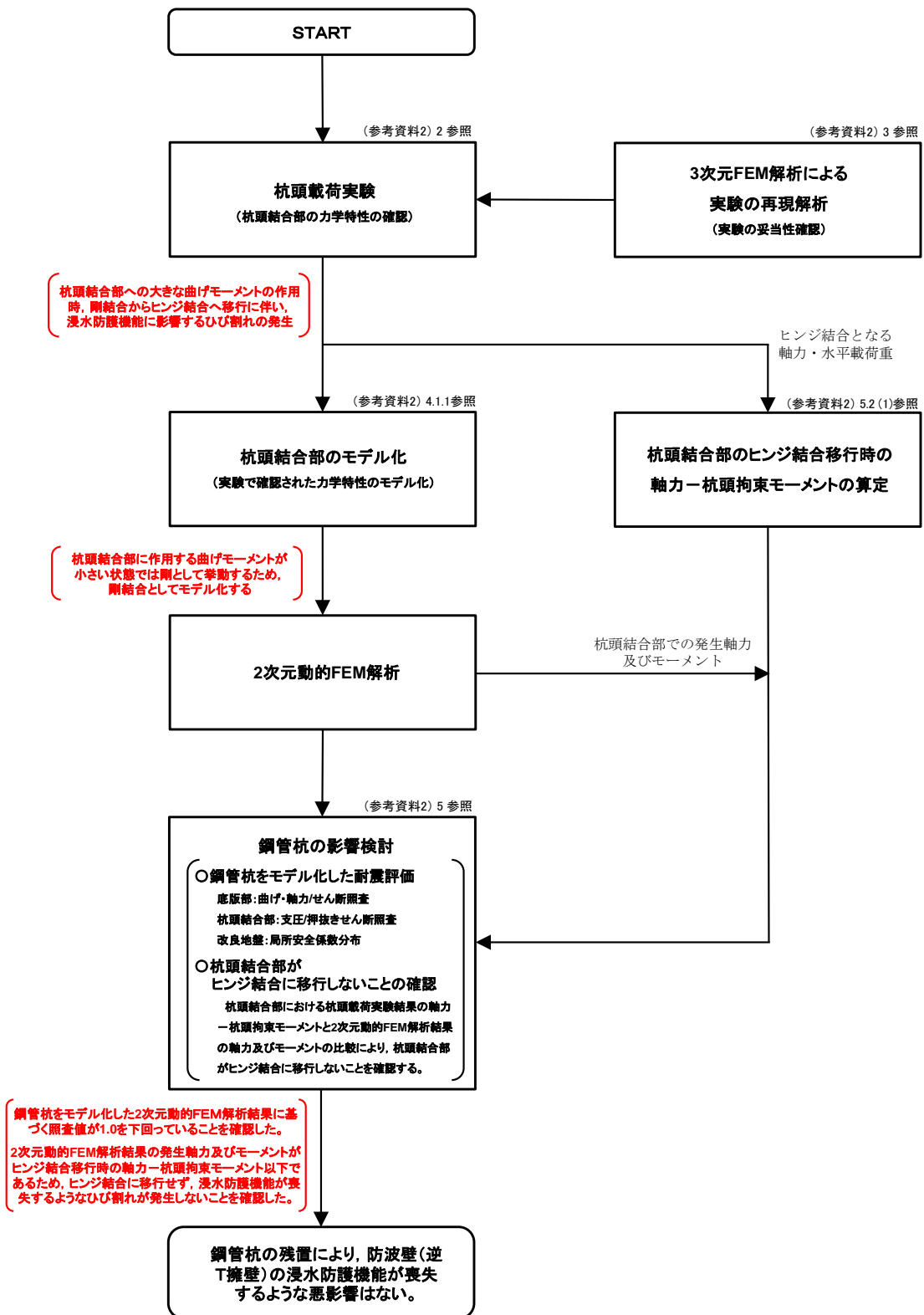


図 1-4 鋼管杭の影響検討フロー

2. 杭頭載荷実験

2.1 試験概要

杭頭部をおおむね 1/2 スケールで模擬し、杭頭結合部に曲げモーメントを作用させた際の力学特性を把握する。

逆T擁壁の概要図（実構造物）を図 2.1-1 に示す。赤枠内で示した範囲について杭頭部を模擬した試験体を製作する。杭頭載荷実験では、鋼管杭及びフーチングコンクリートで構成される試験体に、地震力の作用方向を考慮した正負交番載荷を実施する。図 2.1-2 に実験概要図を示す。

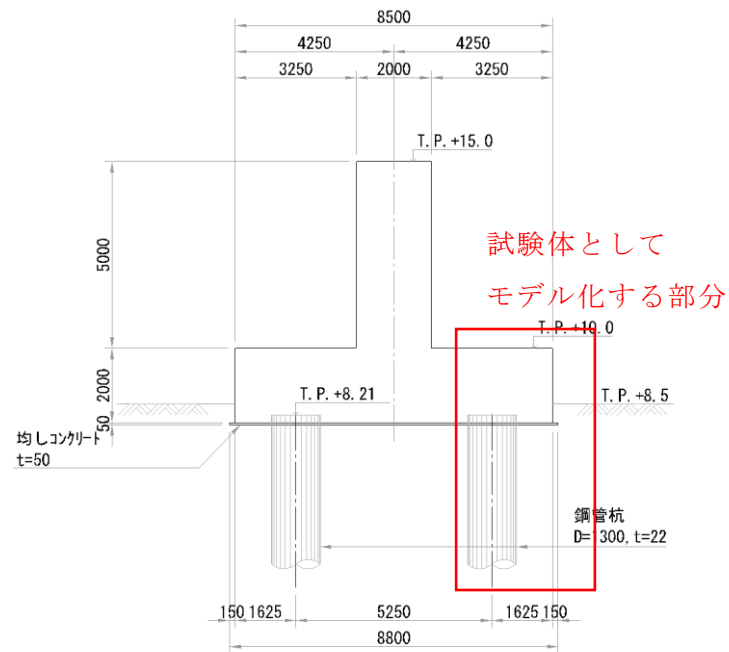


図 2.1-1 逆T擁壁の概要図（実構造物）

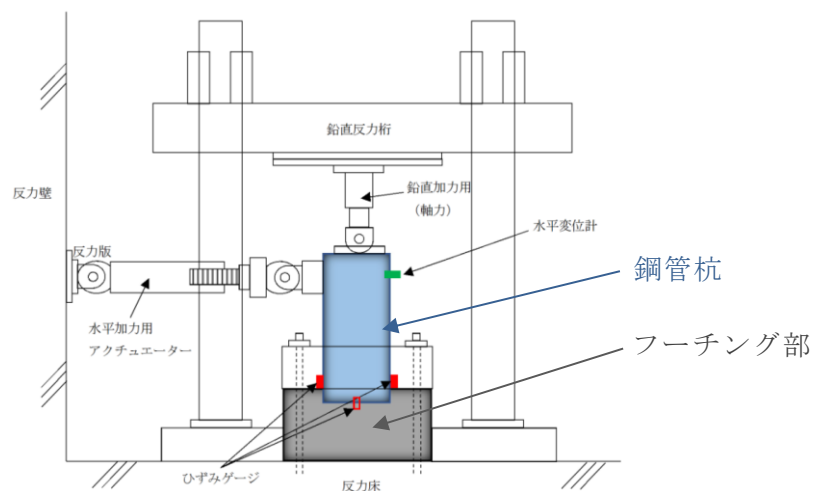


図 2.1-2 実験概要図

2.2 試験方法

2.2.1 試験体

試験体はフーチング部と鋼管杭から成り、試験体の各寸法や実験時の荷重等については、鋼管杭径の縮尺を基準に設計する。試験体に用いた鋼管杭の径はφ600mm、実構造物の鋼管杭はφ1300mmであることから、試験体の縮尺 α は $\alpha = 600/1300 = 6/13$ 、荷重比は $\alpha^2 = (6/13)^2$ となる。表2.2.1-1に実験の縮尺を示し、表2.2.1-2に実構造物及び試験体の使用材料を示す。実験の縮尺は「橋の耐震性能の評価に活用する実験に関するガイドライン(案)(橋脚の正負交番荷重実験方法及び振動台実験方法)(土木研究所, 2006年8月)」に記載の相似則(図2.2.1-1参照)を準用する。

物理量	縮小率
長さ	S_L
時間	$S_L^{0.5}$
振動数	$S_L^{-0.5}$
応力	1
弾性係数	1
力	S_L^2
曲げモーメント	S_L^3
曲率	S_L^{-1}
加速度	1
質量	S_L^2
重量	S_L^2

図2.2.1-1 相似則の整理例

(「橋の耐震性能の評価に活用する実験に関するガイドライン(案)(橋脚の正負交番荷重実験方法及び振動台実験方法)(土木研究所, 2006年8月)」より抜粋)

表2.2.1-1 実験の縮尺

	長さ α	荷重 α^2	モーメント α^3
縮尺	6/13	$(6/13)^2$	$(6/13)^3$

表2.2.1-2 実構造物及び試験体の使用材料

材料	仕様		備考 (縮尺の考え方)
	実構造物	試験体	
フーチング コンクリート	設計基準強度 24N/mm 厚さ: 2000mm	設計基準強度 24N/mm 厚さ: 923mm	$2000\text{mm} \times (6/13) = 923.077$ $\approx 923\text{mm}$
杭頭部鉄筋	主筋: SD345 D25 フープ: SD345 D13	主筋: SD345 D13 フープ筋: SD345 D6	$D25 \times (6/13) = 11.538 \approx D13$ $D13 \times (6/13) = 6.000 \approx D6$
鋼管杭	SKK490 D=1300mm, t=22mm	SKK490 D=600mm, t=12mm	$1300\text{mm} \times (6/13) = 600\text{mm}$

図 2.2.1-2 に杭頭載荷実験試験体を示す。また、図 2.2.1-3 に試験体構造図及び杭頭部詳細図を示す。



図 2.2.1-2 杭頭載荷実験試験体 (2020 年実施)

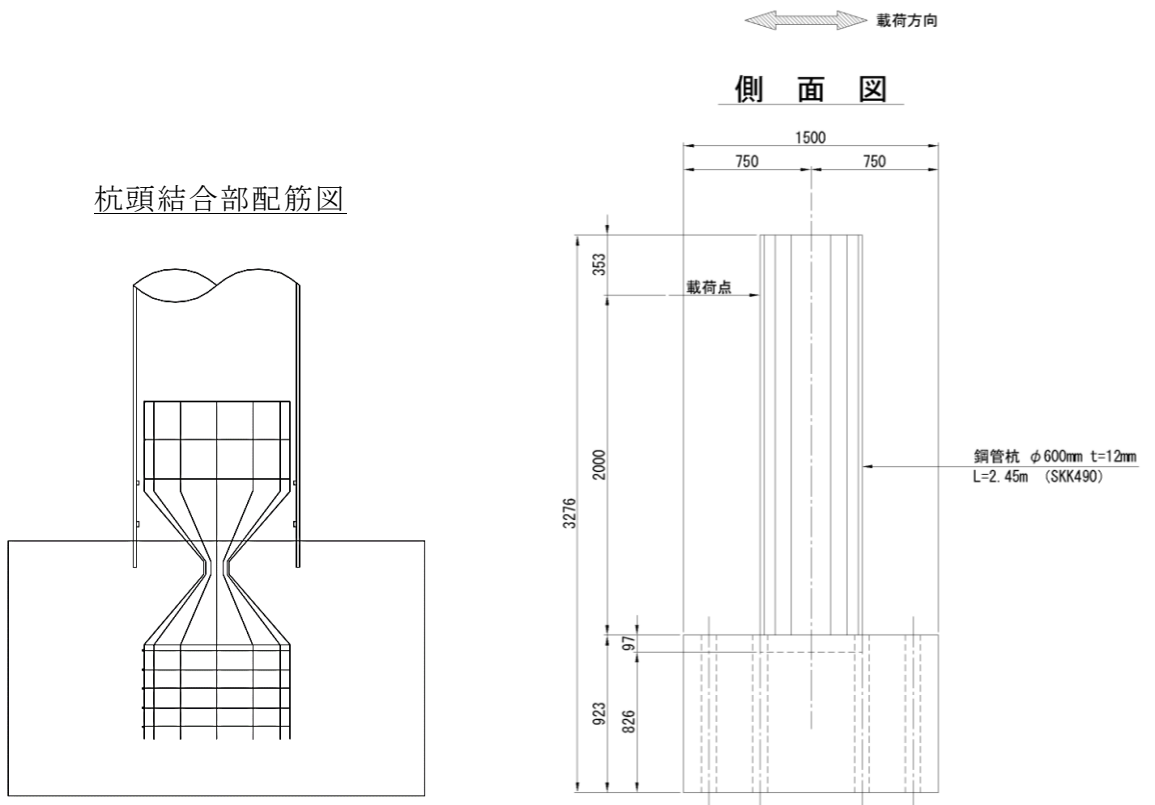


図 2.2.1-3 試験体構造図及び杭頭結合部配筋図

2.2.2 荷重方法

荷重実験は試験体のフーチング部をテストフロアにボルトで固定し、鋼管杭に軸力を与えながら水平方向に正負交番荷重を実施する。図 2.2.2-1 に荷重実験の概要図を、図 2.2.2-2 に荷重実験状況を示す。

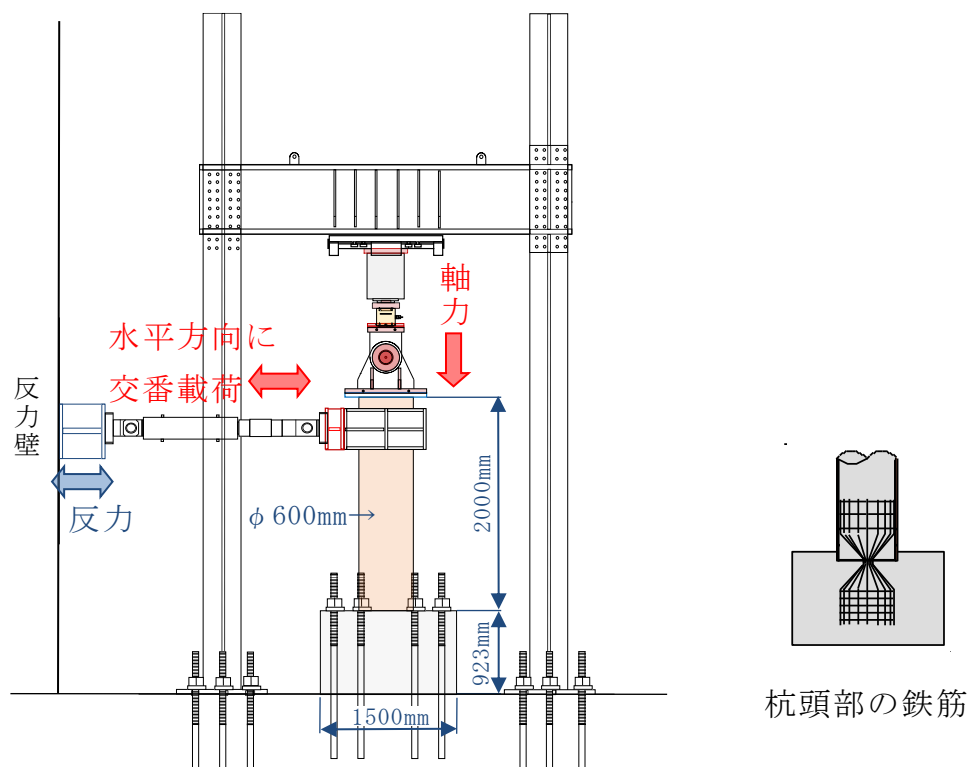


図 2.2.2-2 荷重実験状況

2.2.3 水平加力パターン

水平加力パターンを図 2.2.3-1 に示す。「橋の耐震性能の評価に活用する実験に関するガイドライン(案) (橋脚の正負交番載荷実験方法及び振動台実験方法) (2006)」を準用し、図 2.2.3-1 のように $0.25P_{y0} \rightarrow 0.5P_{y0} \rightarrow 0.75P_{y0}$ の正負予備加力の後、 $1\delta_y$ で 3 回の正負交番載荷を実施する。その後、杭頭結合部がヒンジに移行するまで 1 方向に加力 (プッシュオーバー) する。

ここに、

- P_{y0} : 計算上の初降伏荷重 (材料の実強度を用い、鉄筋が絞られた部分での RC 断面計算により算出する。)
- $1\delta_y$: 鉄筋が絞られている部分の最外縁鉄筋が降伏する時 (初降伏時) の変位。最外縁鉄筋の降伏は、実験中に計測している鉄筋ひずみが降伏ひずみ (材料試験から $1,815\mu$) に達した時と判定する。

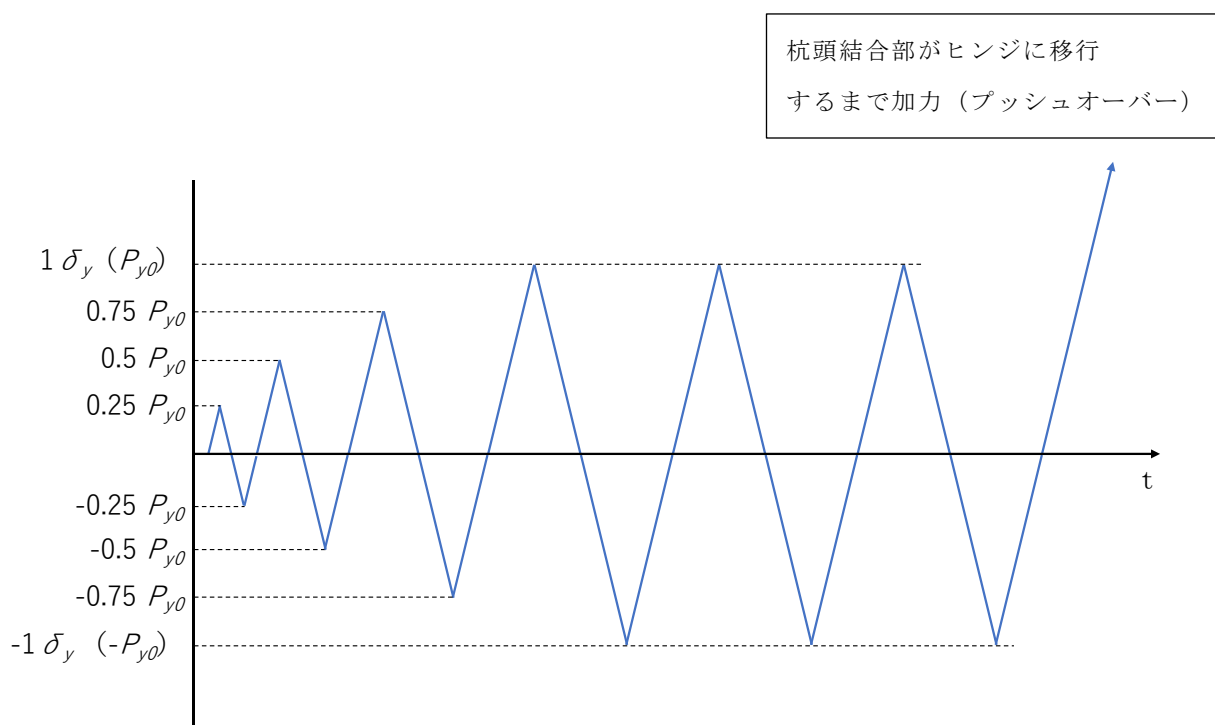


図 2.2.3-1 水平加力パターン

2.2.4 試験ケース

杭頭結合部に発生する曲げモーメントの大きさは軸力の影響を受けると考えられることから，表 2.2.4-1 に示す 4 ケースの軸力について試験を行う。

表 2.2.4-1 試験ケース

実験ケース	軸力 (kN)	水平力 (kN)				備考 (軸力の設定)
		$0.25P_{y0}$	$0.5P_{y0}$	$0.75P_{y0}$	$1P_{y0}$	
①	0	10.5	21.1	31.6	42.1	軸力が作用しないケース
②	500	22.5	45.0	67.5	90.0	実験ケース④の軸力 1500kNを踏まえ，段階的 に設定した。
③	1,000	32.7	65.3	98.0	130.6	
④	1,500	41.8	83.6	125.5	167.3	基準地震動 $S_s - D$ による最大軸力 (6,995kN) 相当 ^{*1}

注記*1：杭頭結合部を剛結合とした地震時の解析結果の軸力 6,995kN に，模型縮尺 $(6/13)^2$ を考慮した値 $6,995\text{kN}^{*2} \times (6/13)^2 = 1,490\text{kN} \approx 1,500\text{kN}$

*2：設置変更許可時のモデルを用いた 2次元有限要素法における鋼管杭に作用する軸力の最大値

2.3 試験結果

2.3.1 水平荷重—水平変位

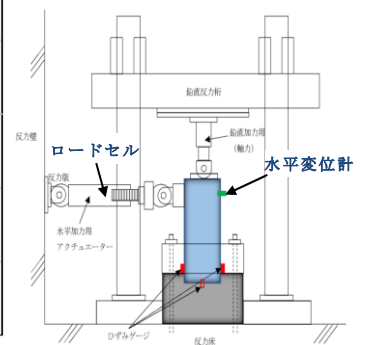
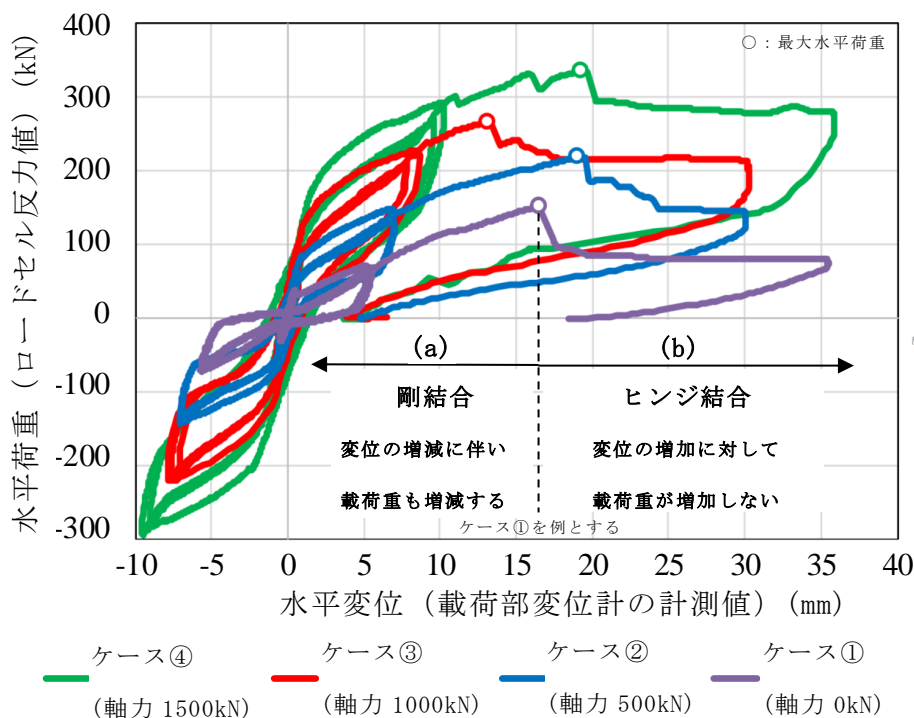
実験ケース①～④の水平荷重（水平載荷によるロードセル反力値）と水平変位（載荷部水平変位計による計測値）の関係を図 2.3.1-1 に示す。実験の結果及び考察は以下のとおりであり、当初の設計通り、大きな曲げモーメントが作用する際に剛結合からヒンジ結合に移行する力学特性を確認した。

(1) 最大水平荷重までの区間（正負交番載荷～プッシュオーバー）

- ・結果：各ケースともに変位の増減に伴い、載荷水平荷重も増減している。
- ・考察：杭頭結合部が剛結合の挙動を示し、回転が拘束されているため発生するモーメント（以下、拘束モーメントとする）が増加することで、水平変位を与えた際に載荷水平荷重が増加したと考えられる。

(2) 最大水平荷重以降の区間（プッシュオーバー）

- ・結果：各ケースともに一定区間、荷重を保持したまま変位が進行している。
- ・考察：杭頭結合部がヒンジ結合の挙動を示し、回転が自由となり、拘束モーメントが増加していないため、変位の進行に対して載荷水平荷重が増加していないと考えられる。



実験概要図

図 2.3.1-1 水平荷重と水平変位の関係（実験ケース 1～4 の比較）

2.3.2 杭頭結合部におけるひび割れ状況

杭頭載荷実験により杭頭結合部に発生したフーチング上面のひび割れ状況を図 2.3.2-1～図 2.3.2-3 に示す。フーチング上面に生じたひび割れは、 $1\delta_y$ までの載荷では載荷側（北側）に対し 90° 及び 270° 方向（東西方向）に数本のひび割れを確認し、その後のプッシュオーバー時には載荷側（北側）を中心にひび割れを確認した。

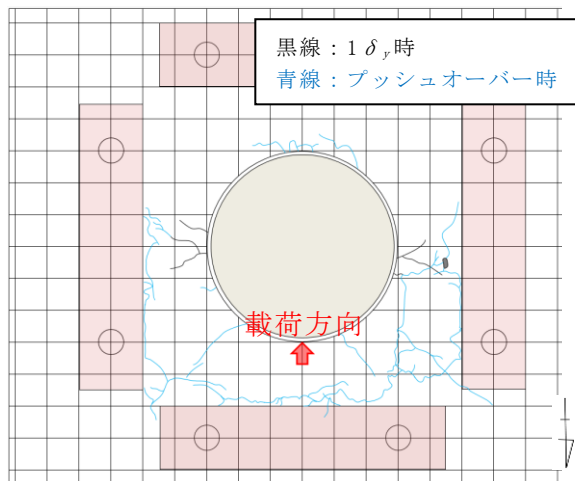
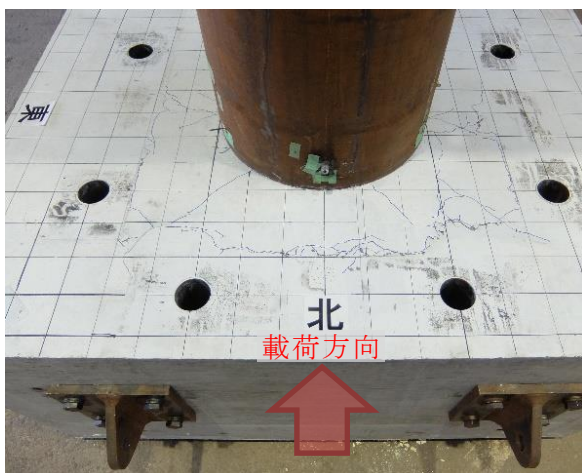


図 2.3.2-1 フーチング上面のひび割れ状況（ケース④）

図 2.3.2-2 フーチング上面のひび割れ状況図（ケース④）

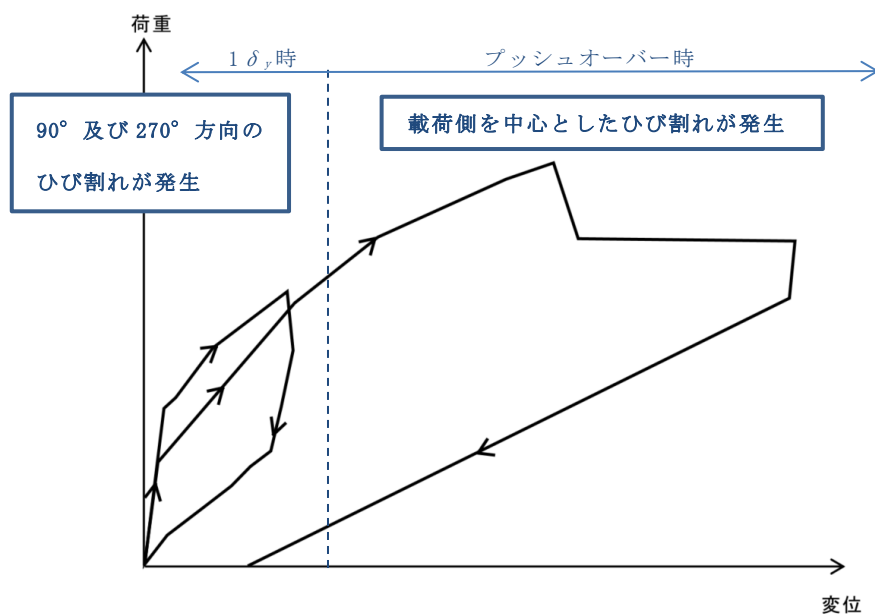


図 2.3.2-3 荷重変位関係とひび割れ状況

実験後に試験体をワイヤーソーで図 2.3.2-4 に示す方向で輪切りにし、杭頭内部のひび割れ状況を確認した。写真及びひび割れイメージ図を図 2.3.2-5 及び図 2.3.2-6 に示す。杭頭内部では、鉄筋くびれ部から鋼管下端に向かう水平方向のひび割れと鋼管下端からフーチング表面の固定プレートに向かう斜め方向のひび割れを確認した。

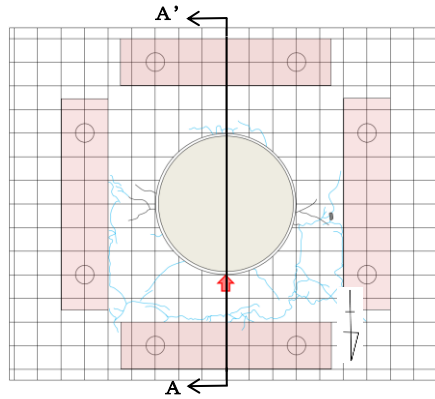


図 2.3.2-4 試験体輪切り方向

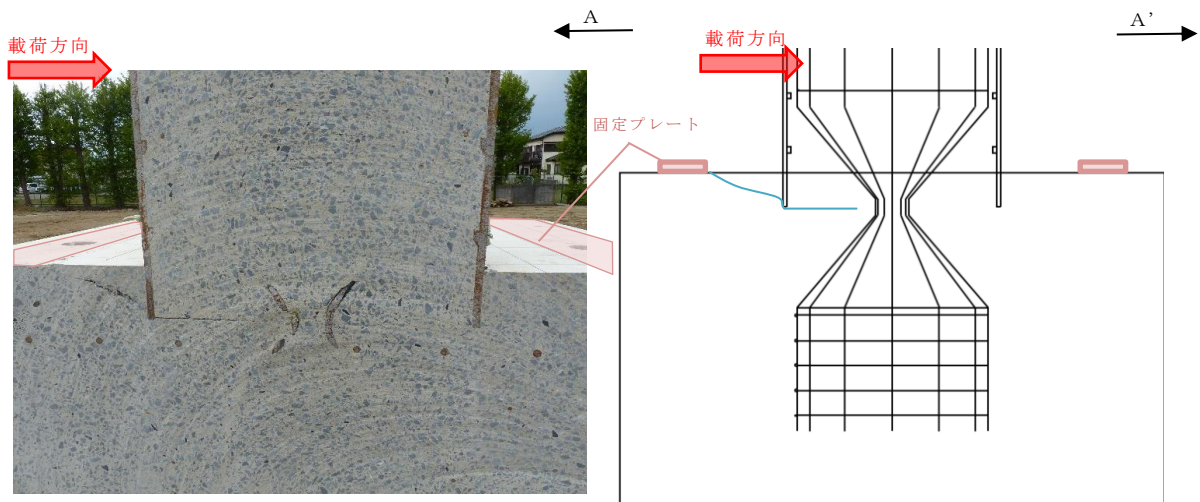
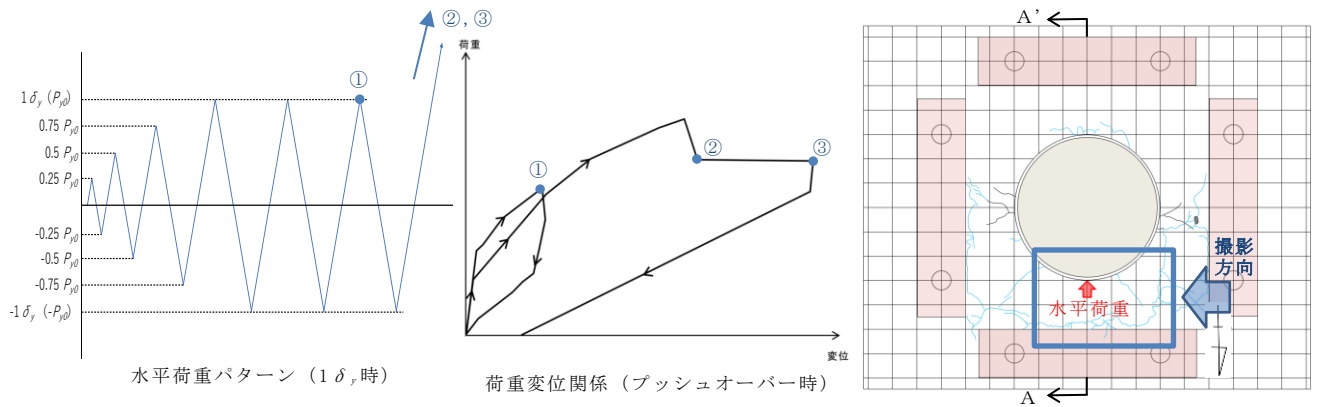


図 2.3.2-5 杭頭内部のひび割れ状況

図 2.3.2-6 杭頭内部のひび割れ状況図

図 2.3.2-7 に杭頭結合部の荷重側のひび割れ進展状況を示す。プッシュオーバー時に初めて荷重側にひび割れが発生し、杭頭内部ではその他の損傷は認められないことから、杭頭結合部の鉄筋が降伏する荷重下において、荷重側のひび割れによる損傷により、杭頭部が剛結合からヒンジ結合に移行したと考えられる。



	撮影写真	断面ひび割れイメージ図 (A - A')
①		
②		
③		

図 2.3.2-7 杭頭結合部のひび割れ進展状況

2.4 杭頭載荷実験まとめ

最大水平荷重発生までは、鉄筋が絞られている部分の最外縁鉄筋が降伏($1\delta_y$ 時)した以後も剛結合の挙動を示し、変位の増加に伴い水平荷重の増加がみられるが、これは鋼管杭がフーチングコンクリートに拘束されていることによるものと考えられる。

最大水平荷重発生以降では、載荷側のひび割れ発生に伴い、おおむね鉄筋降伏荷重レベルまで水平載荷重が低下しており、これは載荷側のひび割れにより、フーチングコンクリートが抵抗できなくなったためと考えられる。

ヒンジ結合への移行に伴い、杭頭結合部でのひび割れの発生を確認しており、逆T擁壁の役割は「止水性の保持」であり、「おおむね弾性状態にとどまること」を性能目標にしていることから、杭頭載荷実験結果と2次元有限要素法の結果の杭頭結合部の応力とを比較することで、基準地震動 S_s に対しては当該ひび割れが発生せず、津波防護機能が喪失しないことを確認する。

3. 3次元静的有限要素法による実験の再現解析

3.1 概要

杭頭載荷実験の試験体に対してモデルを作成し、3次元静的有限要素法により再現解析を実施することで、杭頭載荷実験における杭頭部の挙動を確認する。また、杭頭載荷実験の結果と再現解析の結果を比較し、実験の再現性及び結果の妥当性について検証する。表 3.1-1 に再現解析対象の試験体を示す。

表 3.1-1 再現解析対象の試験体

解析ケース	実験ケース	軸力 (kN)
i	①	0
ii	②	500
iii	③	1,000
iv	④	1,500

3.2 評価フロー

杭頭載荷実験の試験体モデルを用いて3次元有限要素法を実施し、杭頭載荷実験結果と比較することで実験の妥当性を評価する。

3次元有限要素法の評価フローを図 3.2-1 に示す。

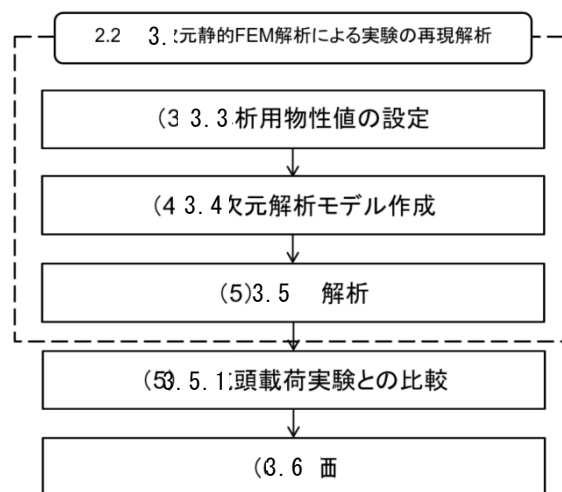


図 3.2-1 3次元有限要素法の評価フロー

3.3 解析用物性値の設定

3.3.1 コンクリート

表 3.3.1-1 にコンクリートの解析用物性値を示す。圧縮強度は試験体打設時に採取した供試体の強度試験結果を用い、コンクリートのヤング係数については表 3.3.1-2 に示す値を線形補間して求める。その他の物性値は「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）」（以下「コンクリート標準示方書(2002)」という。）により求める。

表 3.3.1-1 コンクリートの解析用物性値

解析ケース	部材	単位重量*1 (N/mm ³)	ポアソン比*2 ν	ヤング係数 (N/mm ²)	圧縮強度 f_c (N/mm ²)	引張強度 f_t *3 (N/mm ²)
i	杭部	23.0×10^{-6}	0.2	26550	27.1	2.075
	杭頭部	23.0×10^{-6}		29560	35.2	2.470
	フーチング	24.5×10^{-6}		29620	35.4	2.480
ii	杭部	23.0×10^{-6}		26950	27.9	2.116
	杭頭部	23.0×10^{-6}		30280	37.6	2.581
	フーチング	24.5×10^{-6}		30430	38.1	2.604
iii	杭部	23.0×10^{-6}		27600	29.2	2.181
	杭頭部	23.0×10^{-6}		30490	38.3	2.613
	フーチング	24.5×10^{-6}		28690	32.3	2.333
iv	杭部	23.0×10^{-6}		27950	29.9	2.216
	杭頭部	23.0×10^{-6}		30670	38.9	2.641
	フーチング	24.5×10^{-6}		29050	33.5	2.390

注記*1：「コンクリート標準示方書(2002)」に記載の単位重量表のうち、杭部及び杭頭部は無筋コンクリートの単位重量を用い、フーチング部は鉄筋コンクリートの単位重量を用いる。

*2：「コンクリート標準示方書(2002)」よりポアソン比を 0.2 とする。

*3：「コンクリート標準示方書(2002)」より引張強度の算出式

$$f_t = 0.23 f_c^{2/3} \text{ を用いて求める。}$$

表 3.3.1-2 コンクリートのヤング係数
 (「コンクリート標準示方書(2002)」より引用)

f'_{ck} (N/mm ²)		18	24	30	40	50	60	70	80
E_c (kN/mm ²)	普通コンクリート	22	25	28	31	33	35	37	38
	軽量骨材コンクリート*	13	15	16	19	-	-	-	-

* 骨材を全部軽量骨材とした場合

(1) 圧縮応力-ひずみ関係

コンクリートの圧縮応力-ひずみ関係には、図 3.3.1-1 に示す G_c/h より圧縮軟化曲線が定義される Feenstra の放物線型モデルを用い、引張応力-ひずみ関係には図 3.3.1-2 に示す G_f/h より引張軟化曲線が定義される Hordijk モデルを用いる。ここで、圧縮破壊エネルギー G_c 、引張破壊エネルギー G_f 及び要素の等価長さ h は以下により算定する。

- ・ 圧縮破壊エネルギー G_c

$$G_c = 8.77 \sqrt{f_c} \quad (\text{N/mm})$$

ここで、

f_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

- ・ 引張破壊エネルギー G_f

$$G_f = 1/100 \cdot d_{\max}^{1/3} \cdot f_c^{1/3} \quad (\text{N/mm})$$

ここで、

d_{\max} : 粗骨材最大寸法 (mm) (=13mm)

- ・ 要素の等価長さ h

$$h = \sqrt{2 \times A} \quad h = \sqrt[3]{V}$$

ここで、

V : 要素の体積 (mm³)

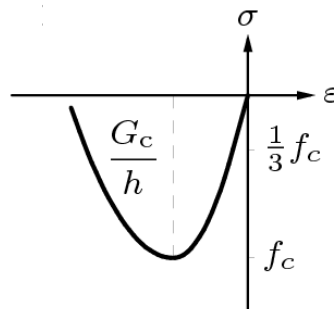


図 3.3.1-1 圧縮応力-ひずみ関係 (Feenstra の放物線型モデル)

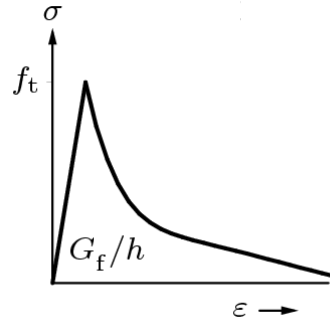


図 3.3.1-2 引張応力-ひずみ関係 (Hordijk モデル)

(2) ひび割れ面でのせん断伝達

ひび割れ発生後のひび割れ面でのせん断伝達モデルには、図 3.3.1-3 に示す Al-Mahaidi モデルを用いる。

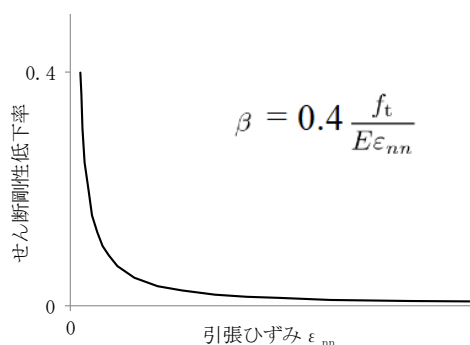


図 3.3.1-3 ひび割れ面でのせん断伝達モデル (Al-Mahaidi モデル)

(3) ひび割れによる圧縮強度低減

ひび割れたコンクリートの圧縮強度低減モデルには、図 3.3.1-4 に示す、低減係数を破壊パラメータに乗じることで、ひび割れ発生後の圧縮強度の低下を考慮する。

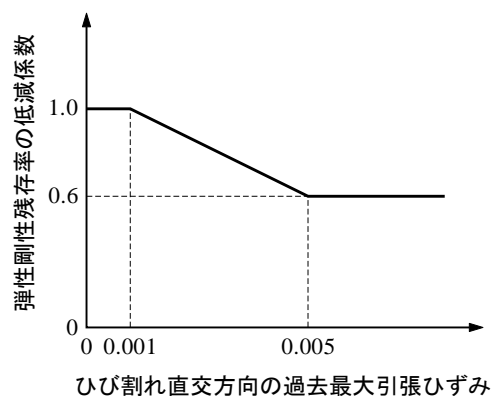


図 3.3.1-4 弾性剛性残存率の低減係数
(「コンクリート標準示方書(2012)」より引用)

3.3.2 鋼材

表 3.3.2-1 に鋼材の解析用物性値を示す。鉄筋及び鋼管のモデルには図 3.3.2-1 に示す von Mises の降伏規準を適用したバイリニアモデルを用い、降伏強度は試験体の製作に用いた鋼材の材料試験結果を用いる。

表 3.3.2-1 鋼材の解析用物性値

	単位重量* ¹ (N/mm ³)	ヤング係数 E* ² (N/mm ²)	降伏強度 f_y	断面積* ³ (mm ²)
鋼管	77.0×10^{-6}	2.0×10^5	435	—
D6	—	2.0×10^5	421	31.67
D13	—	2.0×10^5	363	126.7
D19	—	2.0×10^5	369	286.5
D25	—	2.0×10^5	379	506.7

注記*1：「コンクリート標準示方書(2002)」に記載の鋼の単位重量を用いる。

*2：「コンクリート標準示方書(2002)」より鋼材のヤング係数を 2.0×10^5 N/mm² とする。

*3：「JIS G 3112」に記載されている公称断面積を用いる。

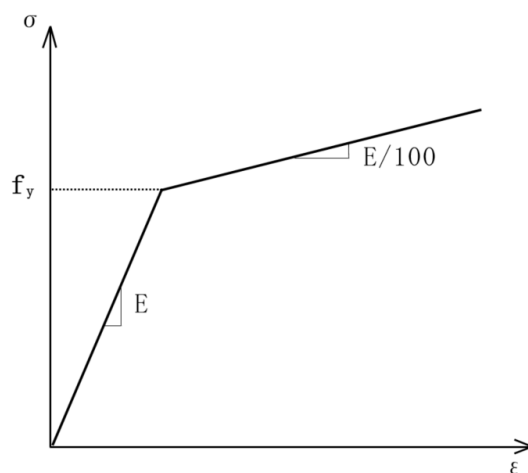


図 3.3.2-1 von Mises の降伏規準を適用したバイリニアモデル

3.3.3 鋼管とコンクリート間

鋼管とコンクリート間の解析用物性値を表 3.3.3-1 に示す。鋼管とコンクリート間の要素には，クーロン摩擦モデルを適用し，図 3.3.3-1 に示す「複合構造標準示方書 [設計編] ((社)土木学会，2015 年 5 月)」より引用した鋼管柱と充填コンクリート間要素の物性値を設定する。鋼管とコンクリート間のクーロン摩擦モデルを図 3.3.3-2 に示す。

表 3.3.3-1 鋼管とコンクリート間の解析用物性値

せん断付着強度 c (N/mm^2)	引張付着強度 f_t (N/mm^2)	摩擦角 ϕ (摩擦係数)
0.7	0.7	20.0° (0.364)

柱と充填コンクリートの間の摩擦応力は，式 (解 12.4.3) のクーロンの破壊基準に従うものとして算定してよい。

$$\tau_{\max} = c + \sigma_n \cdot \tan \phi \quad (\text{解 12.4.3})$$

ここに、
 c : 粘着力
 σ_n : 界面に作用する直応力
 ϕ : 摩擦角

なお，式 (解 12.4.3) に用いる粘着力 c および摩擦角 ϕ は，平鋼管を用いる場合， $c = 0.7\text{N}/\text{mm}^2$ ， $\phi = 20^\circ$ ，既製のリブ付き圧延鋼管を用いる場合には， $c = 8.0\text{N}/\text{mm}^2$ ， $\phi = 0^\circ$ としてよい。

図 3.3.3-1 鋼管柱と充填コンクリート間要素の物性値
 (「複合構造標準示方書 [設計編] ((社)土木学会，2015 年 5 月)」
 より引用に一部加筆)

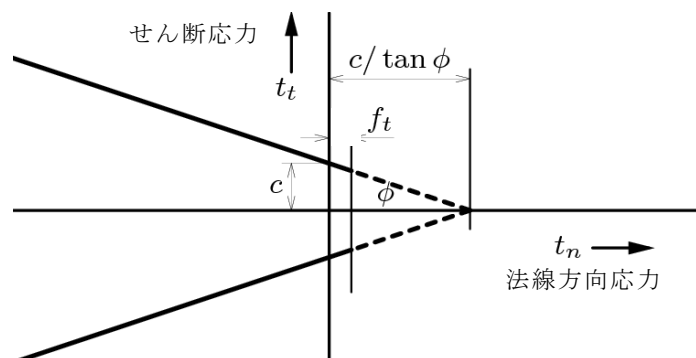


図 3.3.3-2 鋼管とコンクリート間のクーロン摩擦モデル

3.3.4 鉄筋とコンクリート間

鉄筋とコンクリート間の付着特性には図 3.3.4-1 に示す付着応力-すべり-ひずみ関係を適用する。

$$\tau_d = 0.73 f_{cd}' \frac{(\ln(1 + 5000 S / \phi))^3}{1 + 10^5 \times \varepsilon}$$

ここに、 τ_d : 鉄筋軸に沿った各点における局所付着応力 (N/mm²)

$$f_{cd}' = f_{ck}' / \gamma_c$$

f_{ck}' : コンクリートの圧縮強度の特性値 (N/mm²)

γ_c : コンクリートの材料係数

S : 検討する点における鉄筋とコンクリートの相対変位 (mm)

ϕ : 鉄筋の直径 (mm)

ε : 検討する点における鉄筋のひずみ

図 3.3.4-1 付着応力-すべり-ひずみ関係
(「コンクリート標準示方書(2012)」より引用)

3.4 3次元解析モデル作成

3.4.1 解析領域の設定

杭頭載荷実験の試験体に対して3次元モデルを作成する。この解析モデルのメッシュは4ケース共通とし、対称性を考慮して試験体の半分をモデル化する。図3.4.1-1に3次元有限要素法モデルの概形を、表3.4.1-1に使用要素を示す。

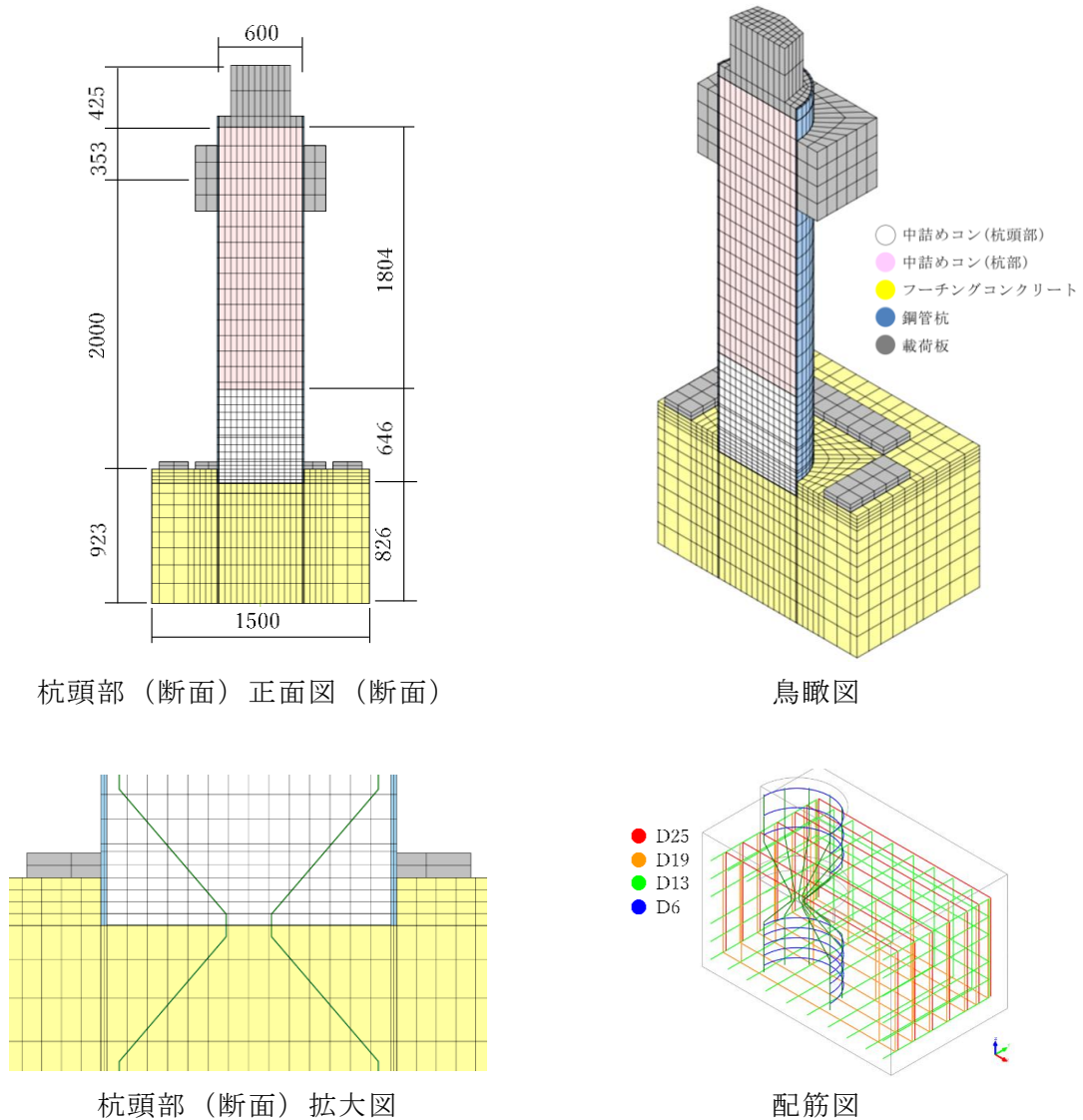


図 3.4.1-1 3次元有限要素法モデルの概形

表 3.4.1-1 解析モデル使用要素

部材	使用要素
中詰コンクリート，フーチングコンクリート，鋼管杭，載荷板	8 節点ソリッド要素
鉄筋	埋め込み鉄筋要素（トラス要素）
鋼管杭－コンクリート間	インターフェース要素

3.4.2 境界条件及び荷重条件

以下の条件で設定した境界条件及び荷重条件を図 3.4.2-1 に示す。

(1) 境界条件

モデル底面は完全拘束とし、対称面はY方向拘束とする。

(2) 荷重条件

自重+軸力+フーチング上面プレートの鉛直荷重を載荷した後、水平荷重を変位制御で漸増載荷する。

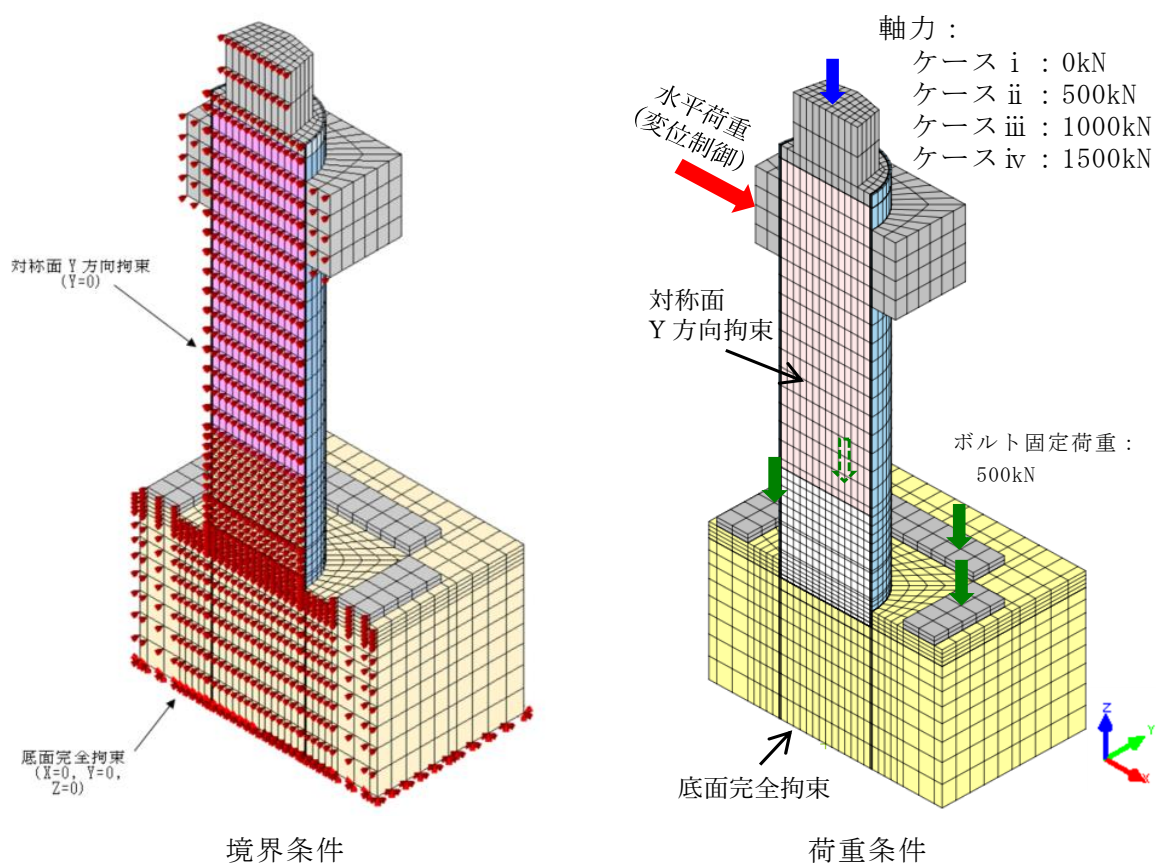


図 3.4.2-1 境界条件及び荷重条件

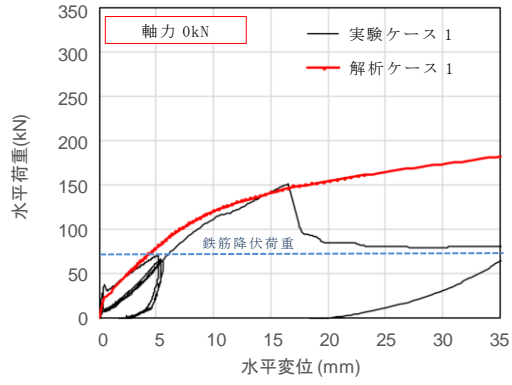
3.5 再現解析

実験の再現性及び結果の妥当性について検証するため、3次元静的有限要素法による再現解析を実施する。解析コードは「D I A N A」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。実験と同じ高さでY方向に強制変位を与えた際の反力を水平荷重として取り出す。このとき、解析モデルが半分であることを考慮し反力を2倍した値を水平荷重としている。

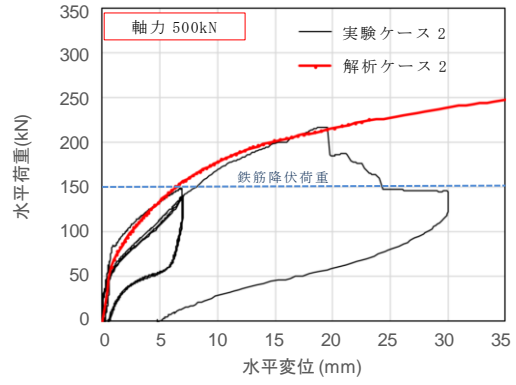
3.5.1 杭頭載荷実験との比較

図 3.5.1-1 に実験と3次元有限要素法の荷重-変位関係の比較を示す。荷重-変位関係は、実験の最大荷重レベルまでの範囲で、実験結果とおおむね同じ挙動をしていると考えられる。

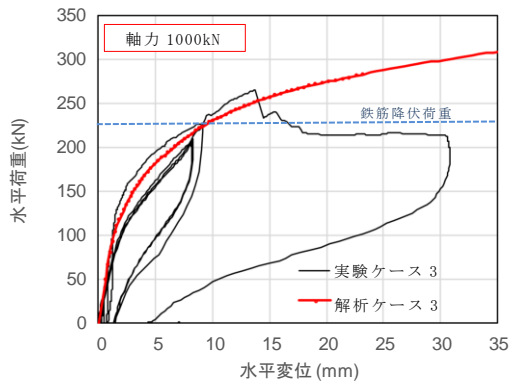
一方で、最大荷重レベル以降は再現できていない。「2.3.2 杭頭結合部におけるひび割れ状況」に示すように、実験では載荷側にひび割れが発生し、おおむね杭頭結合部の鉄筋降伏荷重まで荷重低下している。この載荷側のひび割れによる不連続面の形成が解析上では再現されておらず、解析上で鉄筋が降伏していても載荷側のフーチングコンクリートが拘束し続けるため、荷重が増加し続けると考えられる。



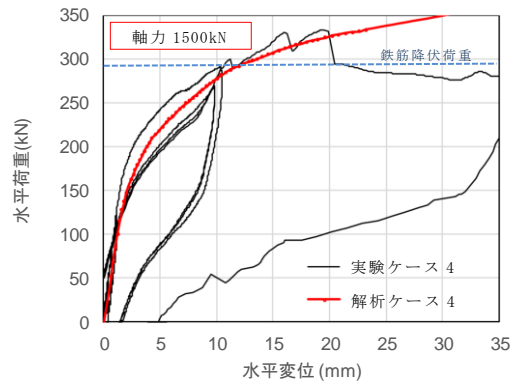
ケース 1 (軸力 0kN)



ケース 2 (軸力 500kN)



ケース 3 (軸力 1000kN)



ケース 4 (軸力 1500kN)

図 3.5.1-1 実験と 3 次元有限要素法の荷重－変位関係の比較

3.6 再現解析結果

3次元静的有限要素法による再現解析結果は、実験結果とおおむね同じ挙動をしていると考えられることから、杭頭載荷実験の力学的に想定される事象がおおむね再現されていると判断する。

防波壁（逆T擁壁）の役割は「止水性の保持」であり、「おおむね弾性状態にとどまること」を性能目標にしていることから、杭頭載荷実験結果と2次元有限要素法の結果の杭頭結合部の応力とを比較することで、当該ひび割れが発生せず、津波防護機能が喪失しないことを確認する。

4. 評価方針

評価対象断面，評価部位および入力地震動については，耐震計算書の「4. 耐震評価結果」のうち解析ケース①（基本ケース）において，照査結果が最も厳しい「⑤－⑤断面，S s－D（－）」とする。鋼管杭をモデル化し，鋼管杭による地震時の耐震評価への影響を確認する。

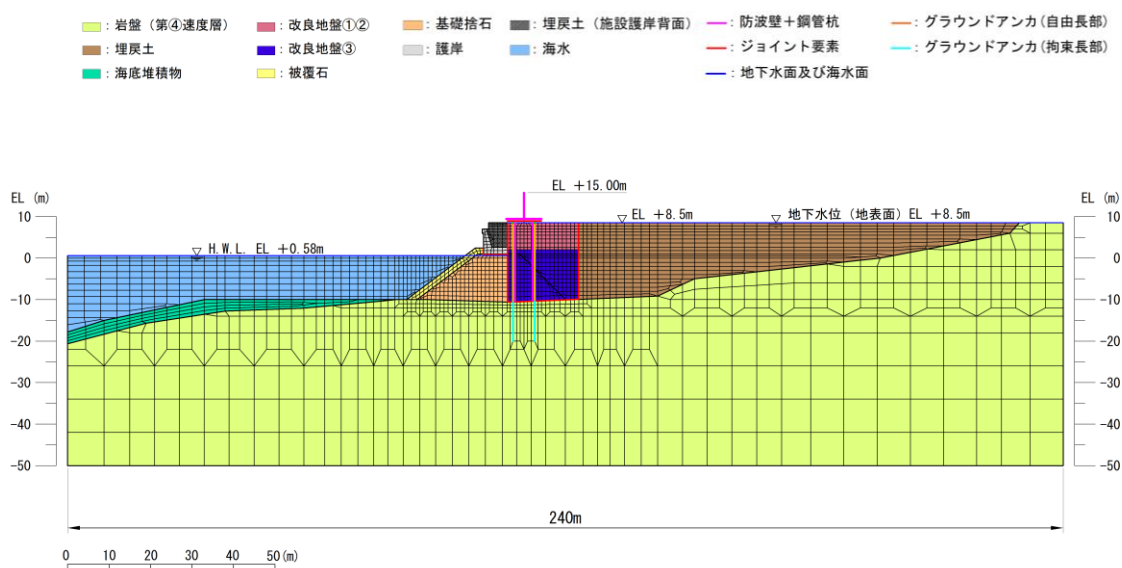


図 4-1 鋼管杭周辺の解析モデル

4.1 鋼管杭のモデル化

4.1.1 杭頭結合部

「2. 杭頭載荷実験」に示す実験結果及び「3. 3次元静的有限要素法による実験の再現解析」に示す解析結果より，鋼管杭頭部は地震時を想定した正負交番載荷重下では剛結合の挙動を示すため，杭頭結合部は「剛結合」としてモデル化を行う。

一方，杭頭載荷実験でプッシュオーバーした際には，ヒンジ結合への移行に伴い，杭頭結合部でのひび割れの発生を確認している。逆T擁壁の役割は「止水性の保持」であり，「おおむね弾性状態にとどまること」を性能目標にしていることから，杭頭載荷実験結果と2次元有限要素法の結果の杭頭結合部の応力とを比較することで，鋼管杭の影響検討における杭頭結合部のモデルを「剛結合」とした妥当性及び当該ひび割れが発生せず，津波防護機能が喪失しないことを確認する。

4.1.2 杭支持部

表 4.1.2-1 のとおり, 鋼管杭支持部は支持地盤への根入れが 0.5m と浅く, 水平力に対する支持性能を期待できないと考えられるため, 岩盤からのせん断抵抗に期待しないケースを実施する。

また, フーチング部への岩盤からの悪影響を考慮するため, X 方向 (せん断方向) にジョイント要素を設定したケースも実施する。ジョイント要素の力学特性を図 4.1.2-1 に示し, ジョイント要素のばね定数及び物性値を表 4.1.2-2 に示す。ジョイント要素のばね定数は, 解析上不安定な挙動を起さないよう十分大きな値を設定し, ジョイント要素の物性値は, 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のうち, 岩盤 (凝灰岩, C_H級) の物性値を用いる。

表 4.1.2-1 杭支持部モデル化ケース

ケース	X 方向	Y 方向
1	—	ジョイント B (剥離を考慮)
2	ジョイント A (すべりを考慮)	ジョイント B (剥離を考慮)

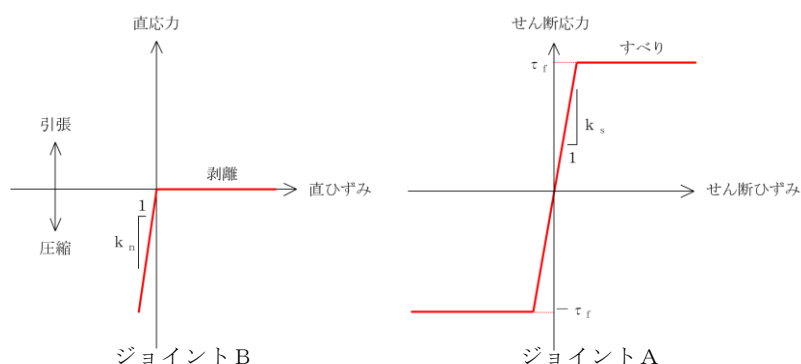


図 4.1.2-1 ジョイント要素の力学特性

表 4.1.2-2 杭支持部ジョイント要素のばね定数及び物性値

	せん断剛性 k_s [kN/m ³]	圧縮剛性 k_n [kN/m ³]	粘着力 c [kN/m ²]	内部摩擦角 ϕ [°]
ジョイント A	1.0×10^6	—	1.54	55.00
ジョイント B	—	1.0×10^6	—	—

4.1.3 鋼管杭本体

鋼管杭は線形はり要素でモデル化し、鋼管杭と埋戻土との間には、地震時に鋼管杭の間を改良地盤がすり抜ける効果を考慮するため、杭-地盤相互作用バネ要素でモデル化する。当該要素は、図 4.1.3-1 に示すとおり、鋼管杭の線形はり要素の節点と改良地盤の要素の節点を結ぶ非線形ばね要素であり、力～バネ変位関係を有する。バネ力は、杭と地盤の相対変位と地盤の状態に基づき、時々刻々と算定される。

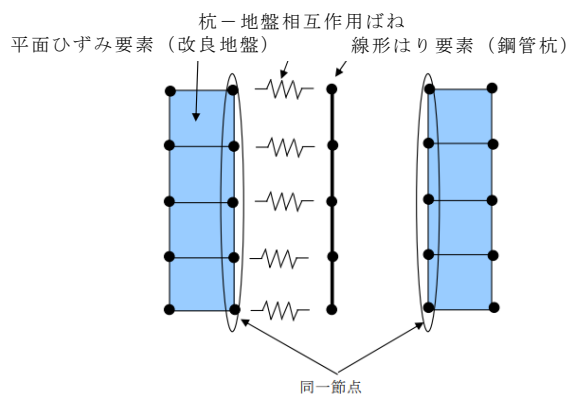


図 4.1.3-1 杭-地盤相互作用バネ要素

鋼管杭の使用材料を表 4.1.3-1 に、材料の物性値を表 4.1.3-2 に示す。また、鋼管杭モデルを図 4.1.3-2 に示す。中詰コンクリートの剛性については考慮しない方が鋼管杭の変形が大きくなり、逆 T 擁壁の地震時応答加速度が大きくなると考えられることから、保守的に剛性は考慮せず、単位体積重量のみ考慮する。

表 4.1.3-1 使用材料

材料	諸元
鋼管杭	$\phi 1300\text{mm}$ $t = 22\text{mm (SKK490)}$
中詰コンクリート	設計基準強度 $f'_{ck} = 18\text{N/mm}^2$ (杭部) 24N/mm^2 (杭頭結合部)

表 4.1.3-2 材料の物性値

材料	単位体積重量* ¹ (kN/m ³)	ヤング係数* ² (N/mm ²)	ポアソン比* ³
鋼管杭 (SKK490)	77.0	2.0×10^5	0.3
中詰コンクリート	22.6	—	—

注記*1: 「港湾基準」に記載の単位体積重量を用いる。

*2: 「コンクリート標準示方書(2002)」よりヤング係数を
 2.0×10^5 N/mm²とする。

*3: 「コンクリート標準示方書(2002)」よりポアソン比を
0.3とする。

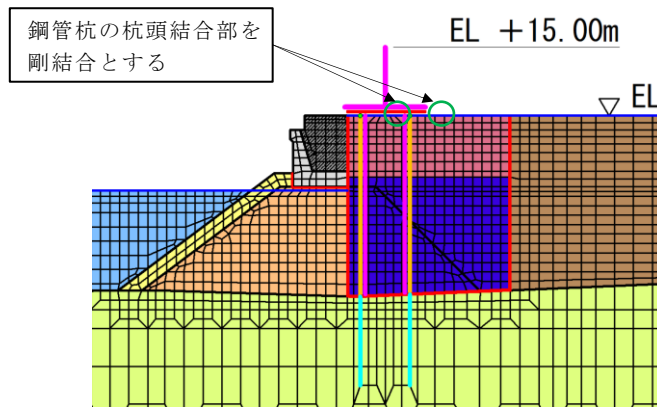


図 4.1.3-2 鋼管杭モデル

4.2 解析ケース

鋼管杭の影響検討を行う解析ケースについては、「4. 耐震評価結果」から解析ケース①～③の結果のうち、逆T擁壁における照査値が最も厳しい「⑤-⑤断面、解析ケース①, S_s-D(--)」とする。

表 4.2-1 解析ケース

	鋼管杭	解析ケース	地盤物性	
			埋戻土 (G ₀ : 初期せん断弾性係数)	岩盤 (G _d : 動せん断弾性係数)
「4. 耐震評価結果」にて 評価済み	無	ケース① (基本ケース)	平均値	平均値
		ケース②	平均値 + 1σ	平均値
		ケース③	平均値 - 1σ	平均値
影響検討	有	ケース①	平均値	平均値

4.3 部材照査

鋼管杭による地震時の耐震評価への影響確認は、地震応答解析に基づいて算定した発生応力が「3.5 許容限界」で設定したコンクリートの許容限界を満足することに加え、鋼管杭結合部に作用する押抜きせん断応力と支圧応力が許容限界以下であることを確認する。

4.3.1 許容限界

逆T擁壁の許容限界は、「コンクリート標準示方書(2002)」に基づき、短期許容応力度とする。

表 4.3.1-1 逆T擁壁の許容限界

種別	許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度* ² (N/mm ²)
	コンクリート (f' _{ck} =24N/mm ²)	許容押抜きせん断応力度 τ _{a1}	0.90
支圧応力度 σ _{ba} * ¹ (鋼管杭)		7.2	10.8

注記*1: 「コンクリート標準示方書(2002)」より支圧応力度の算出式

$\sigma_{ba}=0.3f_{ck}$ を用いて求める。

*2: 短期許容応力度は、「コンクリート標準示方書(2002)」より許容応力度に対し1.5倍の割増を考慮する。(押抜きせん断応力度については割増を行わない。)

4.3.2 断面照査

鋼管杭の影響検討として、「杭基礎設計便覧(社)日本道路協会, 2007年制定)」に基づき、押込み力に対する照査及び水平力に対する照査を行う。

(1) 押込み力に対する照査

鋼管杭の押込み力に対する照査は、図 4.3.2-1 に示す算定される垂直支圧応力 σ_{cv} 及び押抜きせん断応力 τ_v が許容限界以下であることを確認する。押込み力に対する照査図を図 4.3.2-2 に示す。

$$\sigma_{cv} = P / (\pi D^2 / 4)$$

$$\tau_v = P / \pi (D+h)h$$

ここに、

σ_{cv} : 杭頭結合部に発生する垂直支圧応力度 (N/mm²)

τ_v : 杭頭結合部に発生する垂直押抜きせん断応力度 (N/mm²)

- P : 杭頭結合部に作用する押込み力 (N)
D : 鋼管杭径 (mm) (=1300mm)
h : 垂直方向の押し抜きせん断に抵抗するフーチング有効高 (mm)
(=1790mm)

6-3-2 照査方法

図-III.6.1, 図-III.6.2に示す杭頭荷重に対して, 次の照査を行う。

1) フーチングコンクリートの垂直支圧応力度の照査

$$\sigma_{cv} = \frac{P}{\pi D^2/4} \leq \sigma_{ba} \dots\dots\dots(III.6.1)$$

一般的には杭の支持力, 杭本体の耐力ならびにフーチングのせん断耐力等を考慮すれば, フーチングコンクリートの垂直支圧応力が問題になることはない。

図-III.6.1 方法Aによる場合

図-III.6.2 方法Bによる場合

2) フーチングコンクリートの押し抜きせん断応力度の照査

$$\tau_v = \frac{P}{\pi(D+h)h} \leq \tau_a \dots\dots\dots(III.6.2)$$

図 4.3.2-1 押し込み力に対する照査
(「杭基礎設計便覧 ((社) 日本道路協会, 2007 年制定)」より引用に一部加筆)

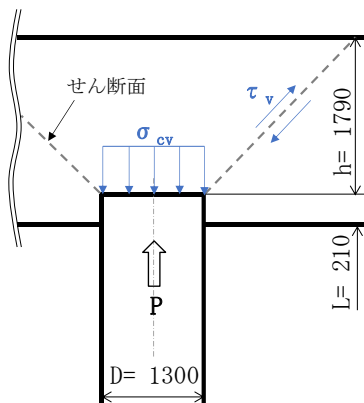


図 4.3.2-2 押し込み力に対する照査図

(2) 水平力に対する照査

鋼管杭の水平力に対する照査は、図 4.3.2-3 に示す水平支圧応力 σ_{ch} 及び水平方向の押し抜きせん断応力 τ_h が許容限界以下であることを確認する。水平力に対する照査図を図 4.3.2-4 に示す。

$$\sigma_{ch} = H/DL$$

$$\tau_h = H/h'(2L+D+2h')$$

ここで、

- σ_{ch} : 杭頭結合部に発生する水平支圧応力度 (N/mm²)
- τ_h : 杭頭結合部に発生する水平押し抜きせん断応力度 (N/mm²)
- H : 杭頭結合部に作用する水平力 (N)
- D : 鋼管杭径 (mm) (=1300mm)
- L : 杭の埋込長 (mm) (=210mm)
- h' : 水平方向の押し抜きせん断に抵抗するフーチング有効厚 (mm) (=975mm)

4) フーチングコンクリートの水平支圧応力度の照査

a. 方法 A の場合

$$\sigma_{ch} = \frac{H}{Dl} + \frac{6M}{Dl^2} \leq \sigma_{ba} \dots\dots\dots(\text{III. 6. 5})$$

b. 方法 B の場合

$$\sigma_{ch} = \frac{H}{Dl} \leq \sigma_{ba} \dots\dots\dots(\text{III. 6. 6})$$

5) フーチング端部の杭に対する水平方向の押し抜きせん断応力度の照査

$$\tau_h = \frac{H}{h'(2l+D+2h')} \leq \tau_a \dots\dots\dots(\text{III. 6. 7})$$

図 4.3.2-3 水平力に対する照査

(「杭基礎設計便覧 ((社) 日本道路協会, 2007 年制定)」より引用に一部加筆)

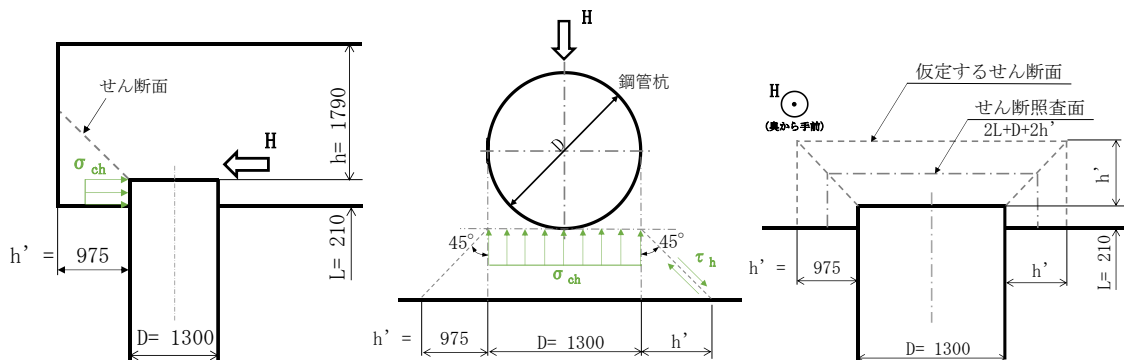


図 4.3.2-4 水平力に対する照査図

5. 評価結果

5.1 鋼管杭をモデル化した耐震評価

5.1.1 逆T擁壁への影響について

杭頭部を剛結合とした2次元有限要素法の結果に対する底版及び杭頭結合部の照査結果を表5.1.1-1及び表5.1.1-2に示す。いずれの部材においても照査値が許容値を満足しており、基準地震動 S_s に対し、鋼管杭を残置することによる防波壁（逆T擁壁）の津波防護機能を喪失するような悪影響はないことを確認した。

表 5.1.1-1 2次元有限要素法に対する部材照査結果
(杭支持部：岩盤からのせん断抵抗に期待しないケース)

		応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	照査値	
底版	曲げ・ 軸力	(σ_c) 2.5	(σ_{ca}) 13.5	σ_c / σ_{ca}	0.19
		(σ_s) 89.9	(σ_{sa}) 294	σ_s / σ_{sa}	0.31
	せん断	(τ) 0.57	(τ_a) 0.67	τ / τ_a	0.86
杭頭 結合部	押込み力 に対する 照査	(σ_{cv}) 2.1	(σ_{ba}) 10.8	$\sigma_{cv} / \sigma_{ba}$	0.20
		(τ_v) 0.16	(τ_{va}) 0.90	τ_v / τ_{va}	0.18
	水平力 に対する 照査	(σ_{ch}) 4.0	(σ_{ba}) 10.8	$\sigma_{ch} / \sigma_{ba}$	0.38
		(τ_h) 0.31	(τ_{ha}) 0.90	τ_h / τ_{ha}	0.35

表 5.1.1-2 2次元有限要素法に対する部材照査結果
 (杭支持部：X方向（せん断方向）にジョイント要素を設定したケース)

		応力度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	照査値	
底版	曲げ・ 軸力	(σ_c) 2.5	(σ_{ca}) 13.5	σ_c / σ_{ca}	0.19
		(σ_s) 87.9	(σ_{sa}) 294	σ_s / σ_{sa}	0.30
	せん断	(τ) 0.58	(τ_a) 0.67	τ / τ_a	0.87
杭頭 結合部	押込み力 に対する 照査	(σ_{cv}) 2.1	(σ_{ba}) 10.8	$\sigma_{cv} / \sigma_{ba}$	0.20
		(τ_v) 0.16	(τ_{va}) 0.90	τ_v / τ_{va}	0.18
	水平力 に対する 照査	(σ_{ch}) 4.0	(σ_{ba}) 10.8	$\sigma_{ch} / \sigma_{ba}$	0.38
		(τ_h) 0.31	(τ_{ha}) 0.90	τ_h / τ_{ha}	0.35

5.1.2 改良地盤への影響について

鋼管杭の変位による改良地盤への影響を局所安全係数分布図により確認する。評価時刻については、鋼管杭の変位が最大となる時刻において、改良地盤への影響が最も大きくなると考えられるため、鋼管杭の杭頭部と杭支持部の相対変位が最大となる時刻とした。

図 5.1.2-1 に示す鋼管杭の杭頭部と杭支持部の相対変位が最大となる時刻における局所安全係数分布図より、引張強度に達した要素は局所的であり、おおむね健全である。

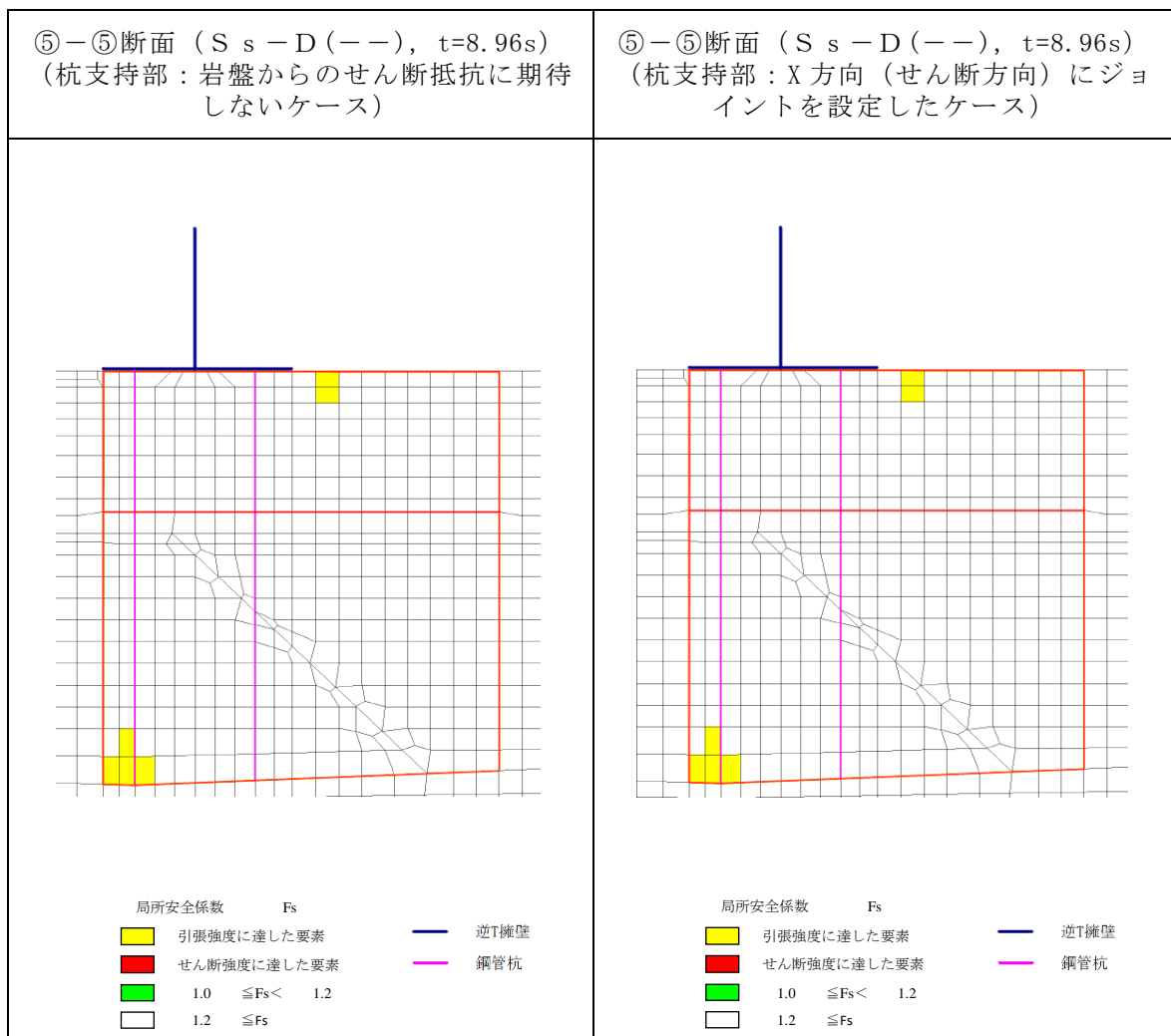


図 5.1.2-1 鋼管杭をモデル化した改良地盤の局所安全係数分布
(杭頭部と杭支持部の変位が最大となる時刻)

図 5.1.2-2 に示す全時刻における破壊履歴図より、せん断破壊に達する要素はなく、引張強度に達する要素は局所的であるため、難透水性の保持に影響するような流入経路は形成されないと考えられる。

以上より、鋼管杭を残置することによる防波壁（逆T擁壁）の津波防護機能を喪失するような悪影響はないと判断する。

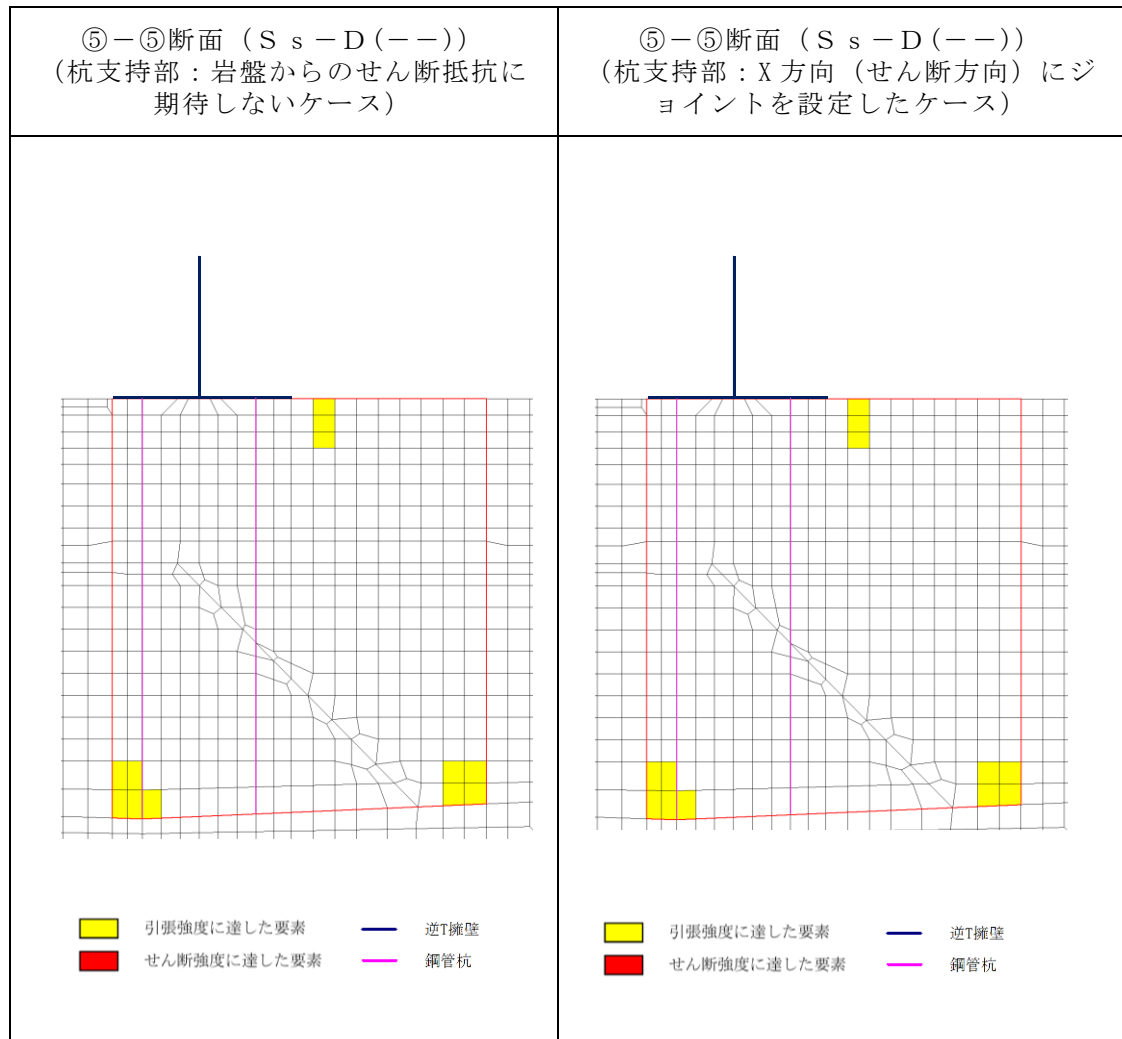


図 5.1.2-2 鋼管杭をモデル化した改良地盤の全時刻における破壊履歴図

5.2 杭頭結合部での応力比較

「2. 杭頭載荷実験」に示す試験結果と2次元有限要素法の結果の杭頭結合部の応力とを比較することで、鋼管杭の影響検討において杭頭結合部のモデルを「剛結合」とした妥当性及びヒンジ結合への移行に伴うひび割れが発生せず、津波防護機能が喪失しないことを確認する。応力の比較に用いる杭頭拘束モーメントの算定方法を以下に示す。

5.2.1 杭頭拘束モーメントの算定方法

2次元有限要素法の結果から得られる杭頭部の断面力から杭頭部の状態を評価するために、載荷実験結果から「軸力-杭頭拘束モーメント関係」について整理する。ここで「杭頭拘束モーメント」とは、載荷実験における水平荷重に図5.2.1-1に示す載荷点と杭頭部間のアーム長2.097mを乗じ、軸力による付加モーメント（軸力×水平変位）を加算することで算出したモーメントを指す。

$$\text{杭頭拘束モーメント} = \text{水平荷重} \times 2.097\text{m} + \text{軸力} \times \text{水平変位}$$

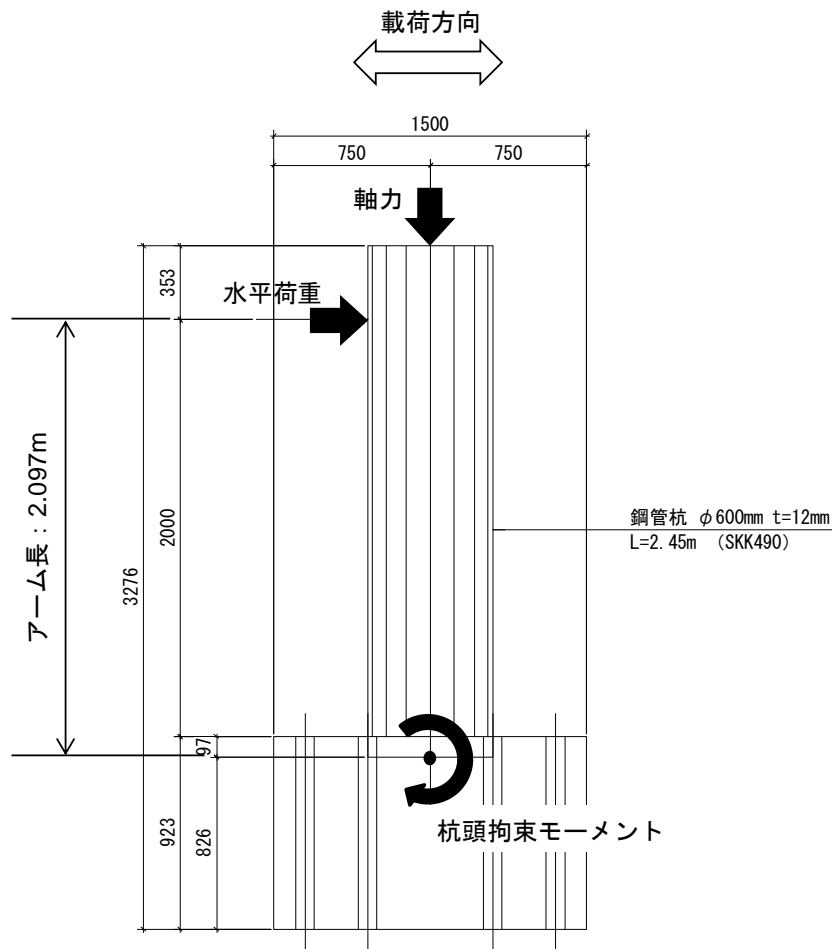


図 5.2.1-1 供試体側面図

杭頭部がヒンジ結合に移行した際の杭頭拘束モーメントは、図 5.2.1-2 に示す杭頭載荷実験結果のうち、保守的に水平荷重が低下し荷重を保持したまま変位が進行し始めた時 (①) と、実験終了時 (②) の水平荷重及び水平変位の平均値を用いて算出するものとする。ヒンジ結合移行時の杭頭拘束モーメントの算出結果を表 5.2.1-1 に示す。

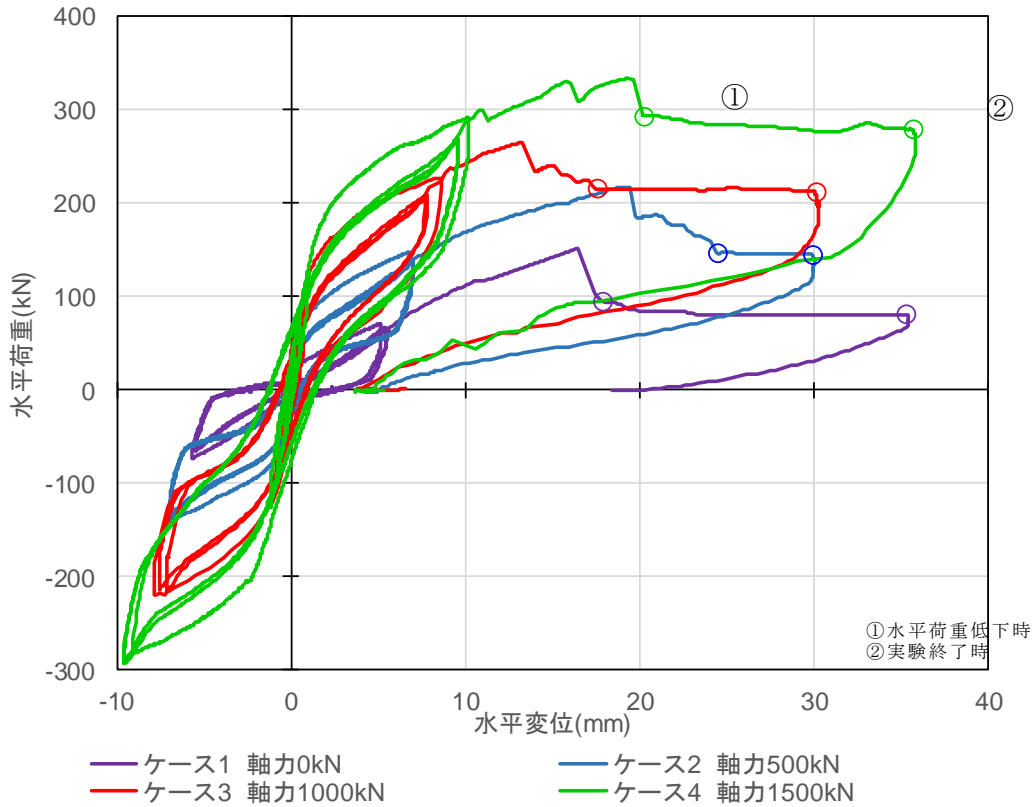


図 5.2.1-2 杭頭載荷実験結果（水平荷重－水平変位関係） ヒンジ結合移行時

表 5.2.1-1 ヒンジ結合移行時の杭頭拘束モーメント（実験値）

ケース	軸力	①水平荷重 低下時		②実験終了時		平均		アーム長 (m)	杭頭拘束 モーメン ト (kN・m)
		水平 荷重 (kN)	水平 変位 (mm)	水平 荷重 (kN)	水平 変位 (mm)	水平 荷重 (kN)	水平 変位 (mm)		
1	0	95.2	17.87	80.9	35.29	88.1	26.58	2.097	185
2	500	146.9	24.49	145.6	29.93	146.3	27.21	2.097	320
3	1000	216.0	17.56	212.8	30.11	214.4	23.84	2.097	473
4	1500	294.0	20.24	279.5	35.68	286.8	27.96	2.097	643

試験では軸力を引張方向に載荷していないことから、軸方向引張側の「軸力－杭頭拘束モーメント関係」を補完する。

図 5.2.1-3 に軸方向耐力と曲げ耐力の関係（M-N 曲線）を示す。試験で求めた軸力（圧縮）－曲げモーメント関係は、杭頭結合部の耐力を現す曲線であることから、図 5.2.1-3 の関係を用い、M=0 の時の軸力耐力を算定し、軸方向引張側の軸力（引張）－曲げモーメント関係の補完を行う。

軸引張耐力の算定式を以下に示す。このとき、コンクリートの引張強度を 0 としており、算定対象断面は杭頭載荷実験の試験体の杭頭結合部としている。図 5.2.1-4 に対象断面とする杭頭部断面の模式図を示す。

$$N_t = -n \times A_s \times f_y$$

$$= -552 \text{ (kN)}$$

ここで、

N_t : 軸引張耐力 (kN)

n : 杭頭結合鉄筋の本数 (12 本)

A_s : 杭頭結合鉄筋 1 本あたりの断面積 (mm^2)
(=D13 : 126.7 mm^2)

f_y : 杭頭結合鉄筋の降伏強度 (N/mm^2)
(=D13 : 363 N/mm^2)

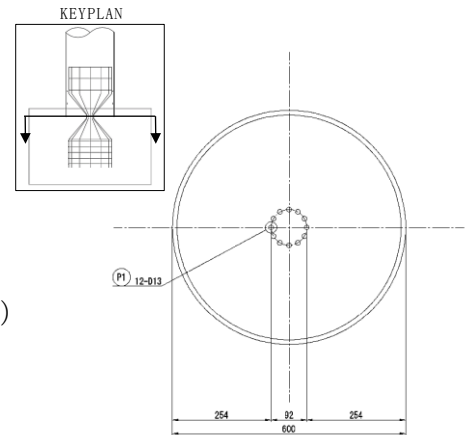


図 5.2.1-4 杭頭部断面の模式図

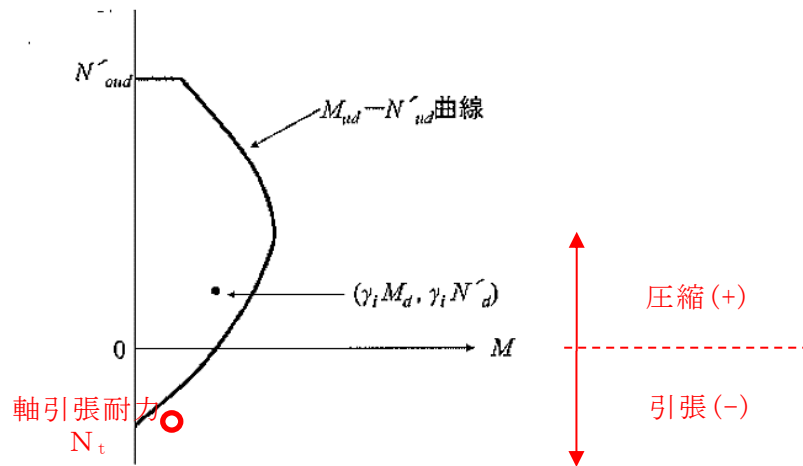


図 5.2.1-3 軸方向耐力と曲げ耐力の関係
(コンクリート標準示方書「設計編」2012 より抜粋に加筆)

表 5.2.1-1 で求めた杭頭載荷実験値の軸力，杭頭拘束モーメント及び軸引張耐力を実構造物のスケールに換算する。表 5.2.1-2 に軸力及び杭頭拘束モーメントを示す。杭頭載荷実験の縮尺 $\alpha = 6/13$ より，実構造物換算値の軸力は実験値の $\alpha^2 = (13/6)^2$ 倍とし，モーメントは $\alpha^3 = (13/6)^3$ 倍としている。図 5.2.1-5 に換算した軸力－杭頭拘束モーメント関係を示す。

表 5.2.1-2 軸力及び杭頭拘束モーメント

ケース	実験値		実構造物換算値	
	軸力 (kN)	杭頭拘束 モーメント (kN・M)	軸力 (kN)	杭頭拘束 モーメント (kN・M)
(縮尺)	×1	×1	×(13/6) ²	×(13/6) ³
1	0	185	0	1882
2	500	320	2347	3255
3	1000	473	4697	4811
4	1500	643	7042	6540
—	-552	0	-2591	0

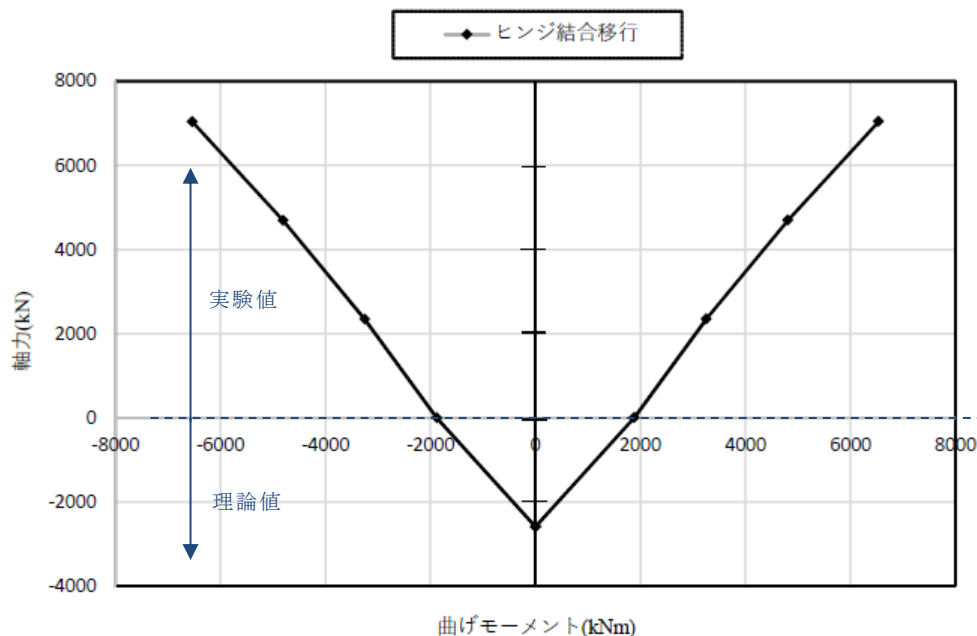


図 5.2.1-5 軸力－杭頭拘束モーメント関係（実構造物換算）

5.2.2 解析結果との比較による応力状態の確認

「2. 杭頭載荷実験」に示す試験結果と2次元有限要素法の結果の杭頭結合部の応力とを比較することで、鋼管杭の影響検討において杭頭結合部のモデルを「剛結合」とした妥当性及びヒンジ結合への移行に伴うひび割れが発生せず、津波防護機能が喪失しないことを確認する。

実験結果におけるヒンジ結合移行時の杭頭結合部の曲げモーメントを図5.2.2-1に示す。解析結果を図5.2.2-1にプロットした結果、2次元動的有限要素法の結果から得られた軸力及び発生モーメントは、実験結果から得られたヒンジ結合に移行する応力状態に達していないため、杭頭部はヒンジ結合に移行していないと考えられる。

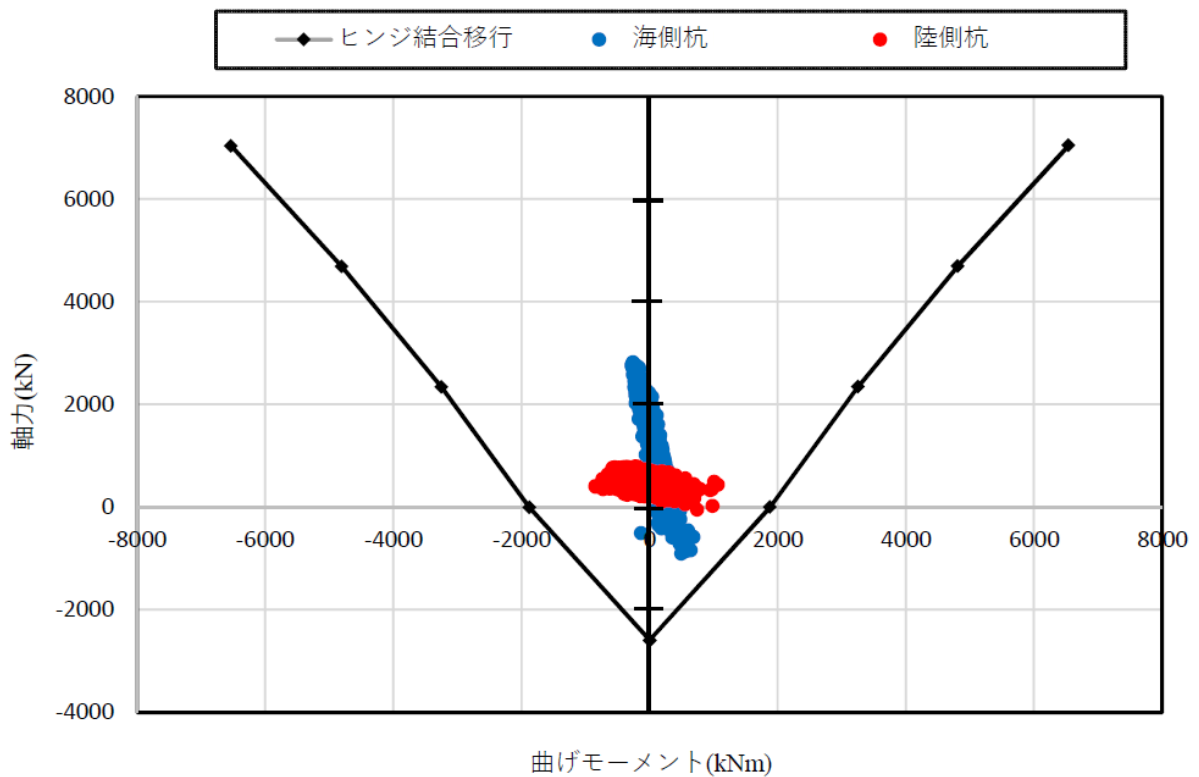


図 5.2.2-1 杭頭載荷実験結果と2次元有限要素法の結果の応力比較

5.2.3 杭頭結合部の応力比較結果

杭頭載荷実験結果と2次元動的有限要素法の結果の杭頭結合部の発生応力を比較した結果、2次元動的有限要素法の結果から得られた軸力及び発生モーメントは、実験結果から得られたヒンジ結合に移行する応力状態に達していないことを確認したため、鋼管杭の影響検討における杭頭結合部のモデルを「剛結合」としたことは妥当であり、鋼管杭を残置することによる防波壁（逆T擁壁）の津波防護機能が喪失するような悪影響はないと判断する。

5.3 まとめ

鋼管杭をモデル化した２次元動的有限要素法による耐震評価を実施した結果、照査値が許容値を満足しており、鋼管杭を残置することによる防波壁（逆Ｔ擁壁）の津波防護機能を喪失するような悪影響はないことを確認した。

また、杭頭載荷実験結果と２次元動的有限要素法の結果の杭頭結合部の発生応力を比較した結果、２次元動的有限要素法の結果から得られた軸力及び発生モーメントは、実験結果から得られたヒンジ結合に移行する応力状態に達していないことを確認したため、ヒンジ結合への移行に伴うひび割れが発生せず、津波防護機能が喪失するような悪影響はないと判断する。

(参考資料 3) 改良地盤①～③の物性値の設定方法について

1. 概要

防波壁（逆 T 擁壁）の耐震評価に必要な地盤の物性値は，VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」において説明している。

防波壁（逆 T 擁壁）の耐震評価の前提となる改良地盤①～③の内的安定評価に必要な物性値について，室内試験の結果を踏まえ新たに設定したことから，説明を行う。

2. 地盤の物性値

地盤の物性値は、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。改良地盤①～③の物性値のうち、引張強度及び残留強度(粘着力、内部摩擦角)については、室内試験の結果等を踏まえて設定する。

本章では、当該試験結果及び物性値の設定について説明する。図2-1及び図2-2に改良地盤①～③の配置図を示す。

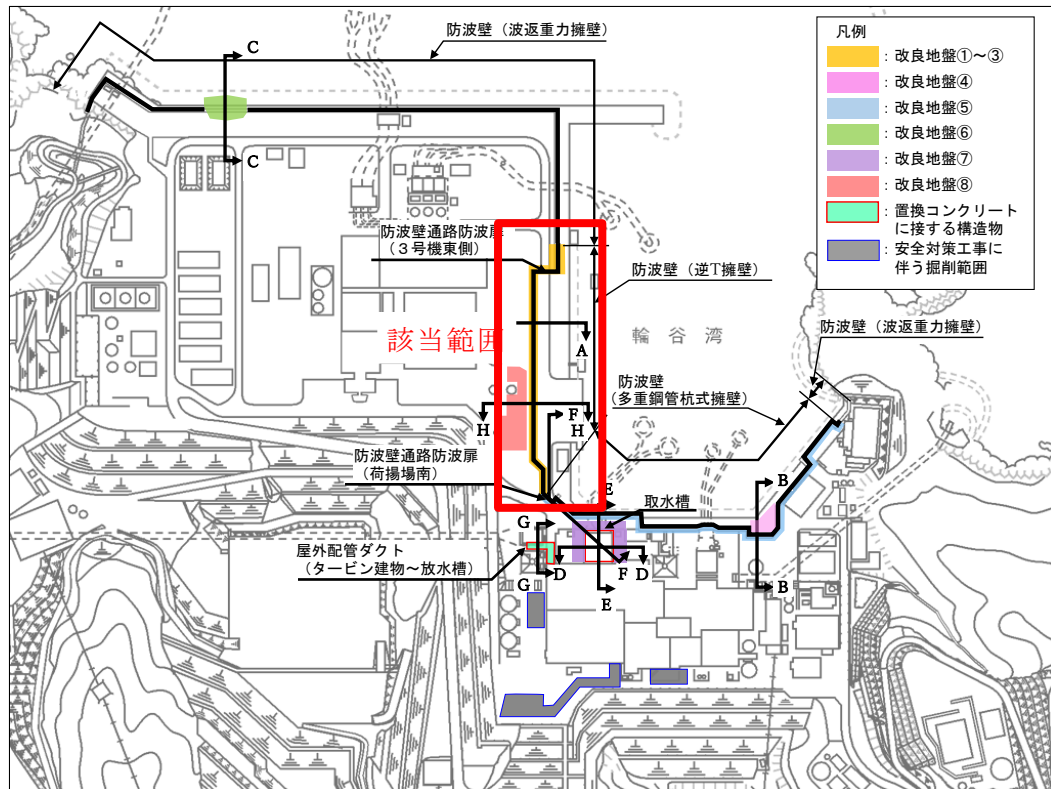


図2-1 改良地盤①～③の平面配置図

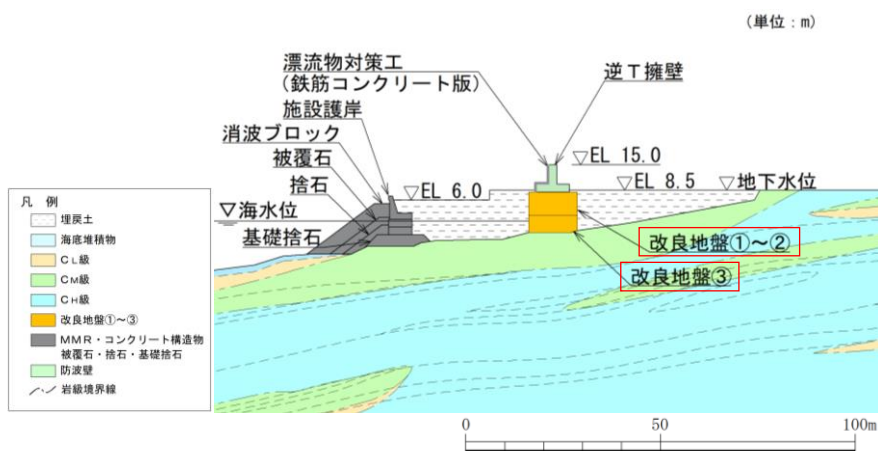


図2-2 改良地盤①～③の配置図
(防波壁 (逆T擁壁), A-A断面)

2.1 室内試験を踏まえた解析用物性値の設定

2.1.1 試験方法

室内試験は、地盤工学会（JGS）の試験基準に基づき実施する。供試体は VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」で示した室内配合試験によって作成されたものを用いる。

表 2.1.1-1 改良地盤①～③の改良地盤の試験項目

項目	規格・基準名称	試験規格	必要試験数量
引張強度	岩石の圧裂引張り試験方法	JGS 2551	3 以上
残留強度 (粘着力, 内部摩擦角)	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法	JGS 0523	3 以上

2.1.2 解析用物性値の設定方法

(1) 残留強度

残留強度については、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」に記載のせん断強度の設定に用いた三軸圧縮試験結果において、せん断破壊後のせん断強さを用いて設定を行う。

(2) 引張強度 σ_t

引張強度については、文献調査を実施し、圧裂引張試験結果と比較検討して保守的な物性値を設定する。

「薬液注入工法における施工管理に関する研究（その3）（1984）」（以下「川地ら（1984）」という。）によると、引張強度 σ_t と一軸圧縮強度 q_u の関係にはバラツキはあるものの一定の相関性が認められるとされている。また、固結砂の特性に関する検討をする中で、表 2.1.2-1 に示すように注入材によって固結された砂の特性値が示されており、引張強度と一軸圧縮強度の関係は $\sigma_t = q_u \times 0.11 \sim 0.28$ となっている。

表 2.1.2-1 水ガラス濃度 50% の固結砂についての特性値
 （「川地ら（1984）」より引用に一部加筆修正）

	川 砂		珪 砂		
	瞬 結	緩 結	瞬 結	緩 結	
一軸圧縮試験	圧縮強度 q_u kgf/cm ²	1.60	1.80	1.75	4.23
	破壊ヒズミ ϵ %	1.2	1.1	1.4	0.8
	変形係数 E_{30} kgf/cm ²	118	310	295	547
三軸圧縮試験	粘着力 C kgf/cm ²	0.33	0.1~1.1	0.33~0.57	0.33~0.70
	内部摩擦角 ϕ	34°~41°50'	42°10'~49°50'	34°20'~41°50'	41°50'~52°30'
	圧裂引張強度 σ_T kgf/cm ²	0.45 <small>= 0.28 × q_u</small>	0.46 <small>= 0.25 × q_u</small>	0.25 <small>= 0.14 × q_u</small>	0.46 <small>= 0.11 × q_u</small>
	注入前の間隙率	32.1%		37.5%	

「弾性波試験を用いた薬液注入材による改良土の強度発現機構に関する検討(2020)」(以下「佐々木ら(2020)」という。)では、その検討の中で、表2.1.2-2に示すように薬液注入による砂層の改良地盤の引張強度や一軸圧縮強度等の特性値を示している。引張強度と一軸圧縮強度の関係は $\sigma_t = q_u \times 0.1 \sim 0.12$ となっている。

表 2.1.2-2 珪砂6号を用いたサンドゲルの物理・力学特性
(「佐々木ら(2020)」より引用に一部加筆修正)

C_s	day	ρ_{tsg}	q_{usg} *1	ε_{tsg}	E_{50sg}	σ_{tsg} *2
6	1	1.91	209	1.28	19.8	21.6
	3	1.91	214	1.28	18.8	26.9
	7	1.91	220	1.25	19.5	28.1
	14	1.90	237	1.34	21.1	32.3
	28	1.91	253	1.42	21.2	31.4 = $0.12 \times q_{usg}$
9	1	1.90	279	1.37	23.2	33.4
	3	1.91	323	1.41	28.6	39.8
	7	1.90	352	1.44	30.7	43.3
	14	1.90	373	1.44	33.6	43.8
	28	1.91	374	1.23	38.2	43.5 = $0.12 \times q_{usg}$
12	1	1.93	389	1.35	31.8	48.7
	3	1.93	465	1.18	42.2	46.6
	7	1.93	512	1.21	49.1	47.7
	14	1.93	569	1.56	40.5	57.5
	28	1.93	580	1.39	52.6	57.7 = $0.10 \times q_{usg}$

注記*1: $q_{usg} \Rightarrow$ 一軸圧縮強度 ($= q_u$)

*2: $\sigma_{tsg} \Rightarrow$ 引張強度 ($= \sigma_t$)

これらの文献を踏まえ、保守的に $\sigma_t = q_u \times 0.1$ の関係を用いて一軸圧縮強度から引張強度を算定する。一軸圧縮強度の算定に用いる地盤の物性値は保守的になるよう、VI-2-1-3「地盤の支持性能に係る基本方針」にて設定している解析用物性値を用い、 $q_u = 2c \times \tan(45^\circ + \phi/2)$ より算定する。

また、この文献による算定値と試験値を比較し、保守的な値を引張強度に採用する。

2.1.3 解析用物性値の設定

(1) 試験結果

改良地盤①～③の室内試験における試験数量を表 2.1.3-1 に示す。また、試験結果を表 2.1.3-2, 図 2.1.3-1 及び図 2.1.3-2 に示す。

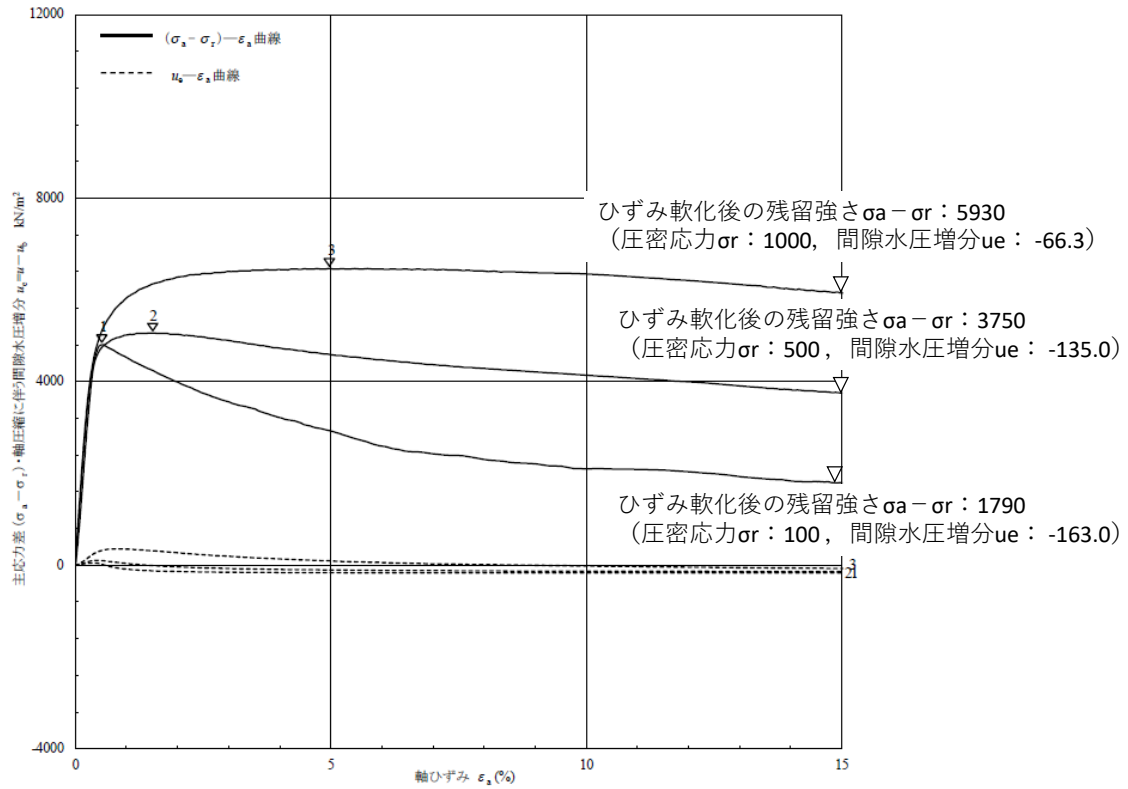
残留強度については、図 2.1.3-1 に示す三軸圧縮試験により得られた軸差応力-軸ひずみ関係において、せん断破壊・ひずみ軟化後の残留強さをを用い、図 2.1.3-2 に示すモールの応力円を描き、粘着力及び内部摩擦角を求めた。

表 2.1.3-1 改良地盤①～③の室内試験における試料数量

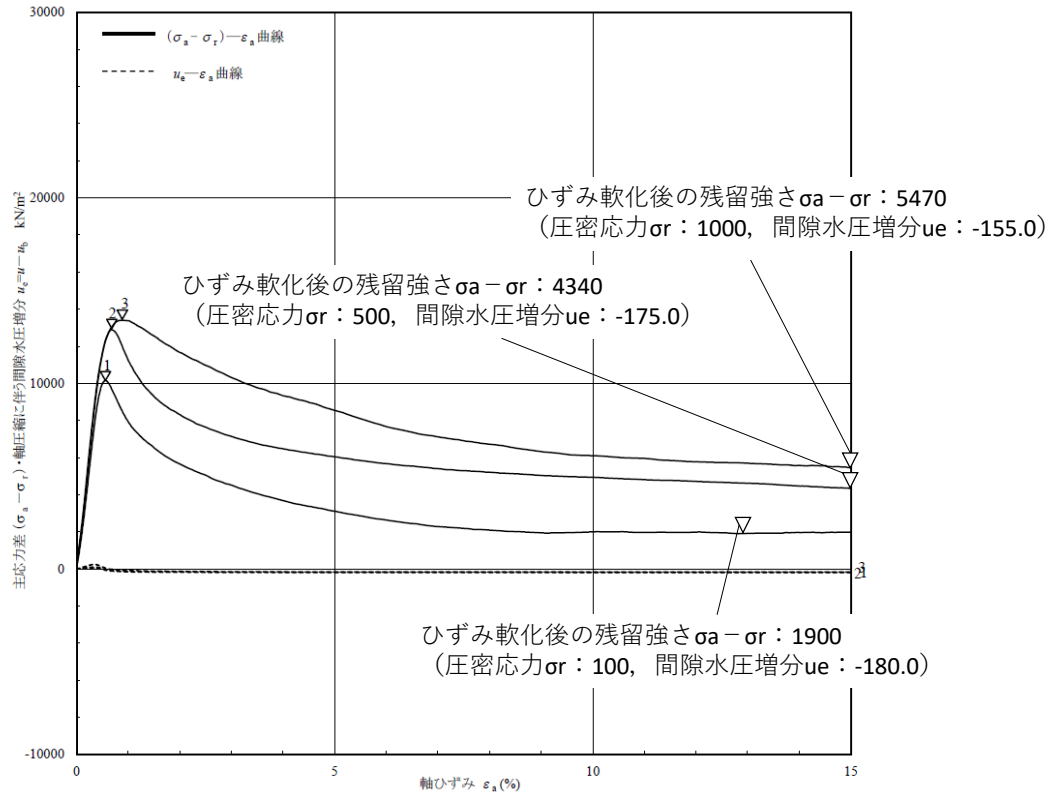
項目	規格・基準名称	試験規格	試験数量	
			供試体 1 (W/C=200%) 改良地盤③	供試体 2 (W/C=300%) 改良地盤①, ②
引張強度	岩石の圧裂引張り試験方法	JGS 2551	3	3
残留強度 (粘着力, 内部摩擦角)	土の圧密非排水三軸圧縮試験方法	JGS 0523	3	3

表 2.1.3-2 改良地盤①～③における圧裂引張試験結果

地盤	引張強さ σ_t [kN/m ²]	平均値
改良地盤 ①, ②	775	998
	1170	
	1050	
改良地盤③	1340	1460
	1540	
	1490	

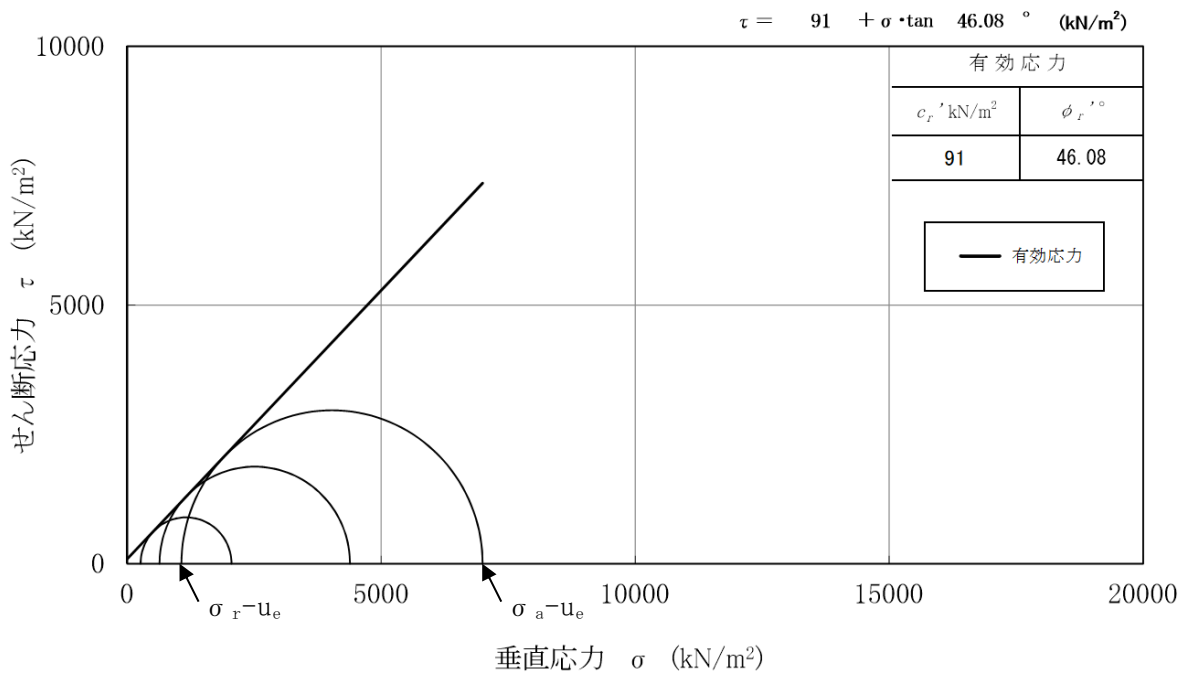


(1) 改良地盤①, ②の軸差応力-軸ひずみ関係

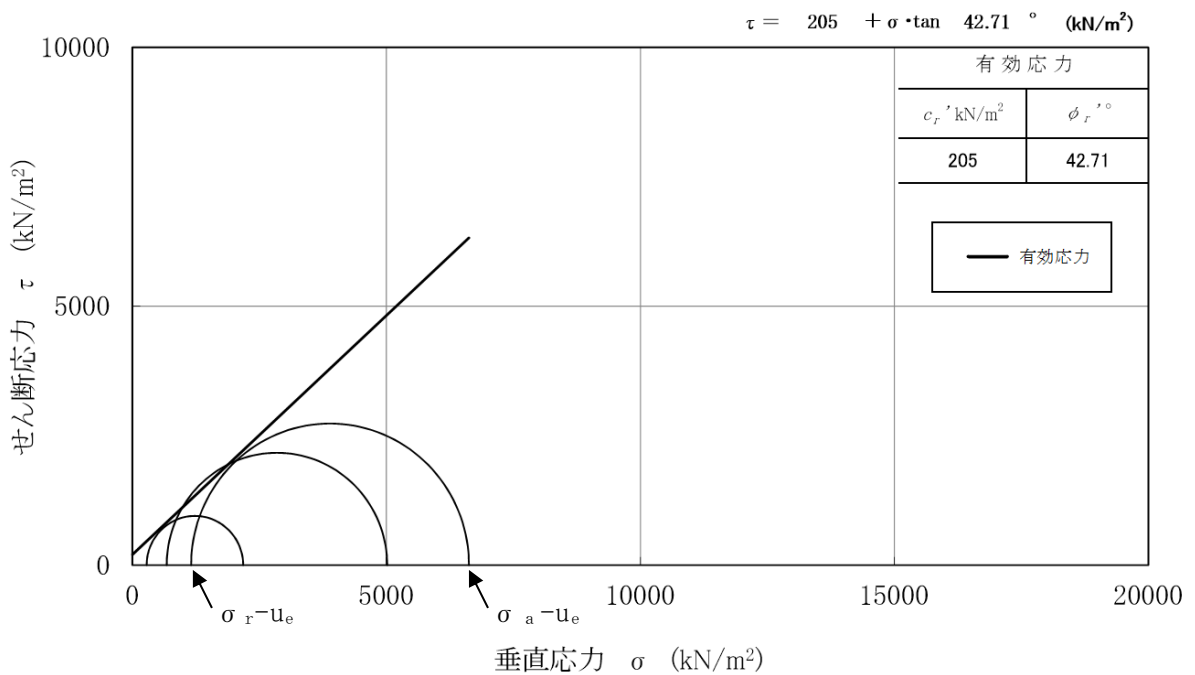


(2) 改良地盤③の軸差応力-軸ひずみ関係

図 2.1.3-1 三軸圧縮試験における軸差応力-軸ひずみ関係



(1) 改良地盤①, ②の三軸圧縮試験結果



(2) 改良地盤③の三軸圧縮試験結果

図 2.1.3-2 改良地盤①~③における三軸圧縮試験結果

(2) 解析用物性値の設定

a. 残留強度

室内試験の結果を踏まえた残留強度の物性値を表 2.1.3-3 に示す。

表 2.1.3-3 残留強度の物性値

	粘着力 c' [kN/m ²]	内部摩擦角 ϕ' [°]
改良地盤①, ②	91	46.08
改良地盤③	205	42.71

b. 引張強度

文献による算定値と圧裂引張試験における試験値の比較を表 2.1.3-4 に示す。引張強度が小さいほうが保守的になることから、引張強度は文献による算定値を採用する。

表 2.1.3-4 文献による算定値と圧裂引張試験における試験値の比較 (引張強度)

	文献による算定値			試験値	
	解析用物性値		一軸圧縮強度 q_u [kN/m ²]	引張強度 σ_t [kN/m ²]	
	粘着力 c [kN/m ²]	内部摩擦角 ϕ [°]			引張強度 σ_t [kN/m ²]
改良地盤 ①, ②	628	38.00	2580	258 採用	998
改良地盤③	1140	40.54	4950	495 採用	1460

2.2 改良地盤の物性値

以上を踏まえ、改良地盤①～③の物性値を表 2.2-1 に、その設定根拠を表 2.2-2 に示す。

表 2.2-1 改良地盤①～③の解析用物性値

		解析用物性値	
		改良地盤①, ②	改良地盤③
残留強度	粘着力 c' [kN/m ²]	91	205
	内部摩擦角 ϕ' [°]	46.08	42.71
引張強度	σ_t [kN/m ²]	258	495

表 2.2-2 改良地盤①～③における解析用物性値の設定根拠

		設定根拠 (改良地盤①, ②及び改良地盤③は共通)
残留強度	粘着力 c' [kN/m ²]	室内試験結果を踏まえた粘着力を設定
	内部摩擦角 ϕ' [°]	室内試験結果を踏まえた内部摩擦角を設定
引張強度	σ_t [kN/m ²]	薬液注入による改良地盤に関する文献より、保守的に設定した算定式から求まる引張強度と比較して、圧裂引張試験における引張強度が上回ることから、文献による算定値を設定

(参考資料 4) 逆 T 擁壁の底版の傾斜について

1. 概要

防波壁（逆 T 擁壁）は，設置変更許可段階において逆 T 擁壁の底版の最大傾斜が 1/2000 を大きく上回る結果となったが，詳細設計段階においては，グラウンドアンカをモデル化する等，精緻な解析条件を設定することにより，「4. 耐震評価結果」に示すとおり，逆 T 擁壁の底版の傾斜は小さくなり，防波壁（逆 T 擁壁）の安全機能が損なわれないことを確認した。ここでは，設置変更許可段階及び詳細設計段階における逆 T 擁壁の底版に生じる傾斜について整理した。

2. 設置変更許可段階における逆 T 擁壁の底版の傾斜

2.1 2次元有限要素法（全応力解析）における検討

防波壁（逆 T 擁壁）の基礎地盤の安定解析における 2次元有限要素法（全応力解析）では，以下のとおり解析条件を設定した（図 2.1-1）。

- ・逆 T 擁壁直下の改良地盤については，表 2.1-1 に示す設置変更許可段階で示した P S 検層結果を踏まえた剛性を解析用物性値として設定した。
- ・逆 T 擁壁と改良地盤のモデル化では，両者の節点を共有した。
- ・逆 T 擁壁及び改良地盤の転倒等を抑止する機能を有するグラウンドアンカを保守的にモデル化していない。

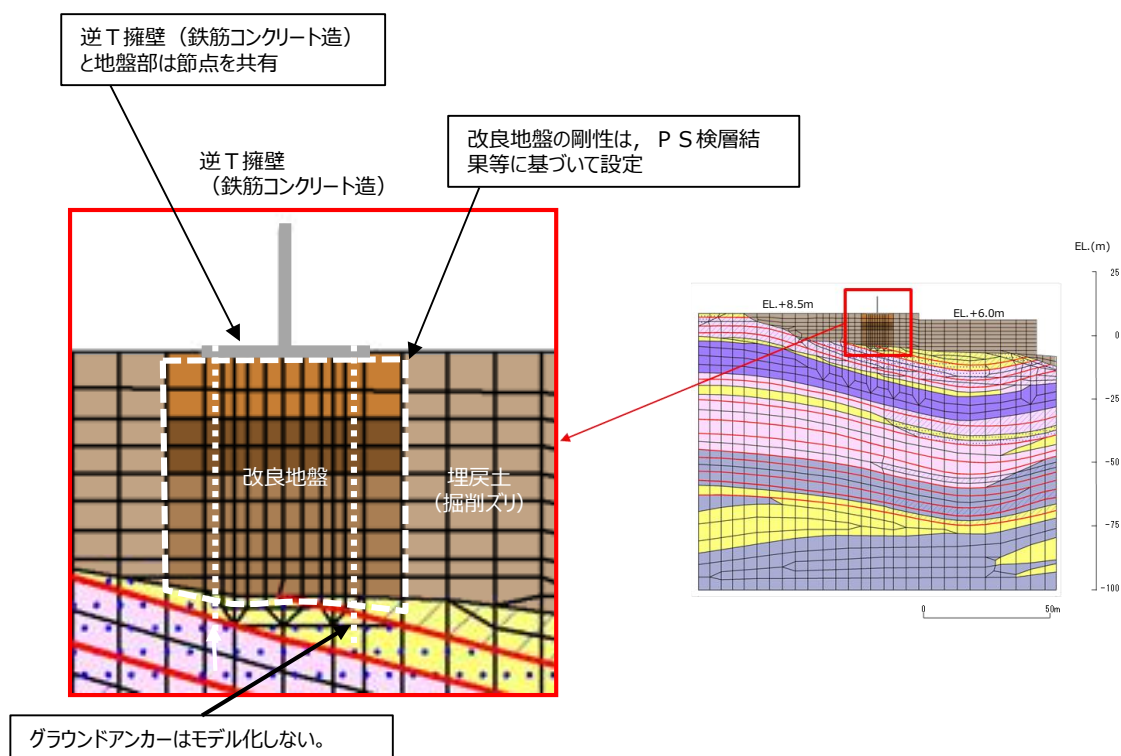


図 2.1-1 2次元有限要素法（全応力解析）解析モデル図

表 2.1-1 設置変更許可段階で示した S 波速度

	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
設置変更許可段階で示した S 波速度 (m/s)	440	400	610

地震時における逆 T 擁壁の底版の傾斜が最大となる時刻 (S s - D, 34.51 秒) における変形図及び主応力図を図 2.1-2 及び図 2.1-3 に示す。また、表 2.1-2 に示すとおり、逆 T 擁壁及びその直下の改良地盤部は接点を共有しているため、逆 T 擁壁に作用した地震時慣性力の作用による影響が大きく、逆 T 擁壁の底版に生じた傾斜は 1/158 となった。

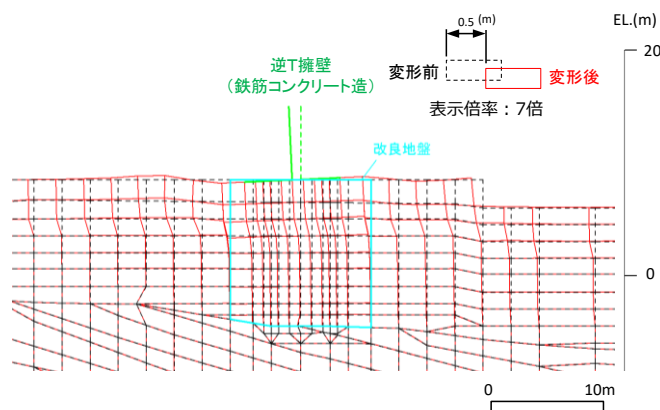


図 2.1-2 最大傾斜発生時の変形図 (S s - D, 34.51 秒)
(2次元有限要素法 (全応力解析))

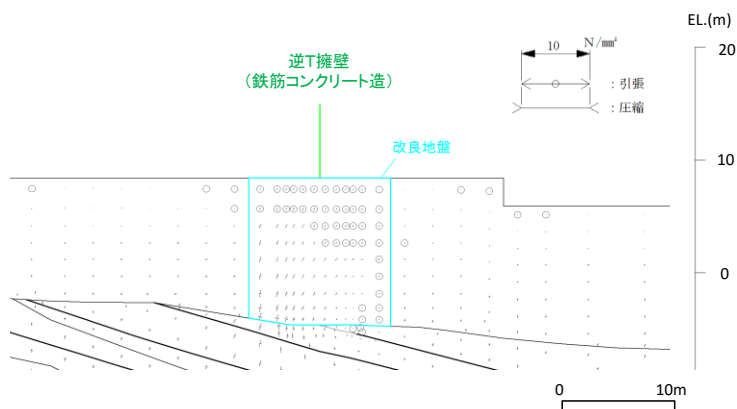


図 2.1-3 最大傾斜発生時の主応力図 (S s - D, 34.51 秒)
(2次元有限要素法 (全応力解析))

表 2.1-2 地震動による最大傾斜

	全応力解析
地震動による傾斜	1/158

2.2 2次元有限要素法（有効応力解析）における検討

防波壁（逆T擁壁）の構造成立性を確認した2次元有限要素法（有効応力解析）では、以下のとおり解析条件を設定した（図2.2-1）。

- ・ 逆T擁壁直下の改良地盤については、表2.1-1に示す設置変更許可段階で示したPS検層結果を踏まえた剛性を解析用物性値として設定した。
- ・ 逆T擁壁と周辺地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化した。
- ・ 逆T擁壁及び改良地盤の転倒等を抑止する機能を有するグラウンドアンカを保守的にモデル化していない。

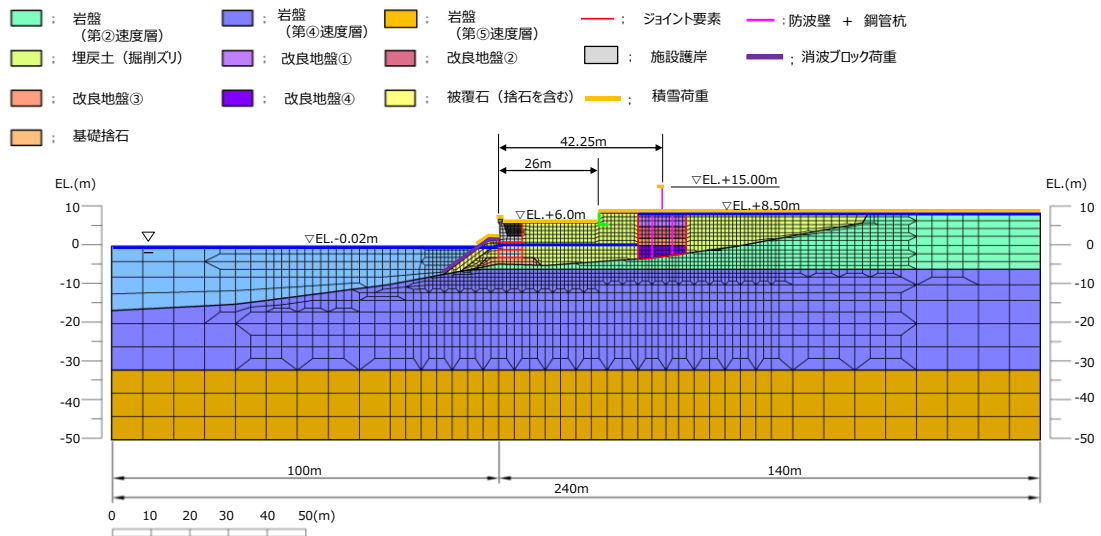
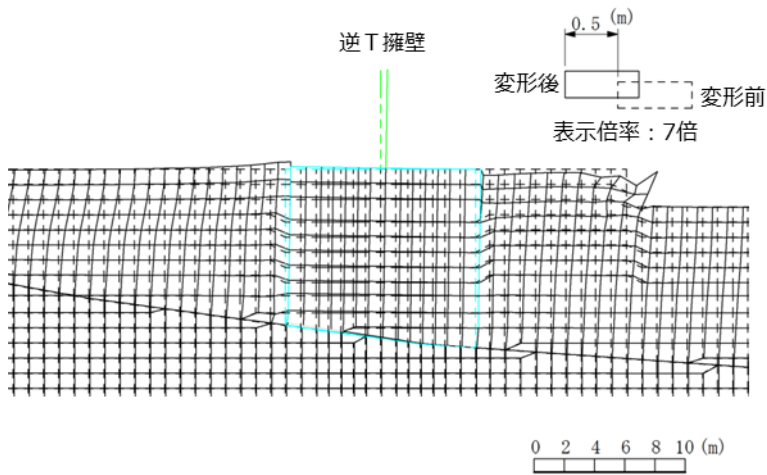


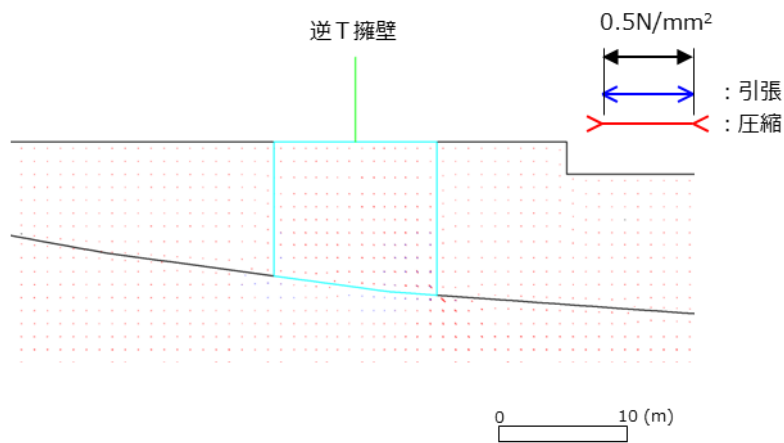
図 2.2-1 防波壁（逆T擁壁）の解析モデル図（①-①断面）

2次元有限要素法（有効応力解析）の最大傾斜発生時の変形図及び主応力図を図2.2-2及び図2.2-3に示す。最大傾斜発生時には、逆T擁壁の直下の改良地盤部及び周辺地盤に大きな変形は生じておらず、逆T擁壁の底版の傾斜は、表2.2-1に示す結果となり、2次元有限要素法（全応力解析）と比較して小さくなった。



※動的有限要素法（全応力解析）の変形図に合わせ、左右反転している。

図 2.2-2 最大傾斜発生時の変形図
（2次元有限要素法（有効応力解析））



※動的有限要素法（全応力解析）の主応力図に合わせ、左右反転している。

図 2.2-3 最大傾斜発生時の主応力図
（2次元有限要素法（有効応力解析））

表 2.2-1 地震動による最大傾斜

	有効応力解析
地震動による傾斜	1/446

3. 詳細設計段階における逆T擁壁の底版の傾斜

詳細設計段階では、以下のとおり解析条件を設定した（図3-1）。

- ・逆T擁壁直下の改良地盤については、設置変更許可段階において設定したPS検層等に基づく改良地盤の物性値（管理目標値）が確保されるよう、未改良範囲の地盤改良に加えて、施工済の範囲についても新たに設定する配合で地盤改良することとし、表3-1に示す設計用S波速度を踏まえた剛性を解析用物性値として設定した。なお、実施工における品質確認試験において、設計用S波速度の約1.5～1.8倍のS波速度を確認した。
- ・防波壁と周辺地盤など、要素間の滑り・剥離を考慮する箇所は、ジョイント要素でモデル化した。
- ・グラウンドアンカは、非線形ばね及びMPC（多点拘束）でモデル化する。グラウンドアンカの各部位のモデル化方法について表3-2及び図3-2に示す。

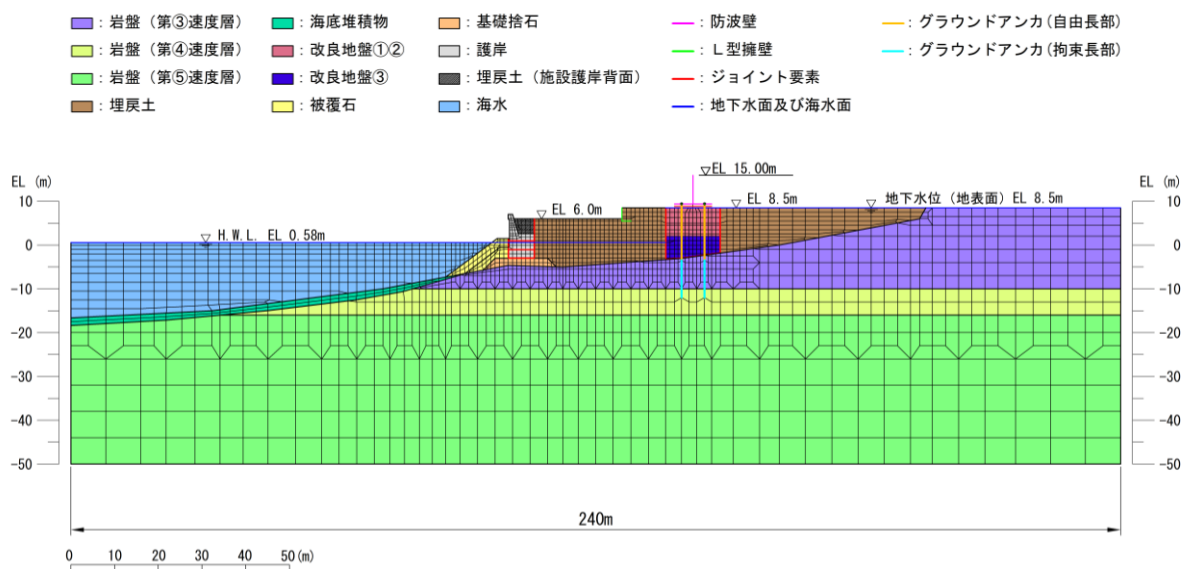


図3-1 防波壁（逆T擁壁）の解析モデル図（①-①断面）

表3-1 詳細設計段階で示したS波速度

	改良地盤①	改良地盤②	改良地盤③
設計用S波速度 (m/s)	590		670
(参考) 品質確認試験で確認 したS波速度(m/s)	933～1062		1037～1250

表 3-2 グラウンドアンカのモデル化方法及びその考え方

部位	特徴及び役割	モデル化方法	モデル化の考え方
頭部	鋼製のアンカーヘッド、ジョイントプレート及び支圧板で構成され、慣性力等に伴う逆T擁壁からの力を引張力として自由長部に伝達させるための部分。	節点共有	逆T擁壁の底版（梁要素）の接点とばね要素の端部接点を拘束することで力が伝達できるようモデル化した。
自由長部 (=引張部)	PC鋼線を組み立てたテンドンで構成され、テンドンの伸縮により、頭部からの引張力を拘束長部に伝達する部分。 施工時にテンドンに初期緊張力を与えることで、頭部及び拘束長部に常時、引張力が作用する。 地震時は、慣性力による逆T擁壁からの力が伝達し、テンドンが縮むとアンカー力は減少し、テンドンが伸びるとアンカー力は増加する。	非線形ばね	左記の自由長部の挙動（特に初期緊張力）を表現できる「非線形ばね要素」でモデル化した。
拘束長部 (アンカー体)	グラウト注入によりテンドンが堅硬な岩盤に定着・一体化されて造成され、自由長部からの引張力を地盤との摩擦抵抗もしくは支圧抵抗によって地盤に伝達する抵抗部分。	MPC (多点拘束)	岩盤と一体挙動するように、「MPC（多点拘束）」によりモデル化し、非線形ばねとの節点とその他の節点の鉛直方向の変位が拘束され、同様の挙動をするように設定した。

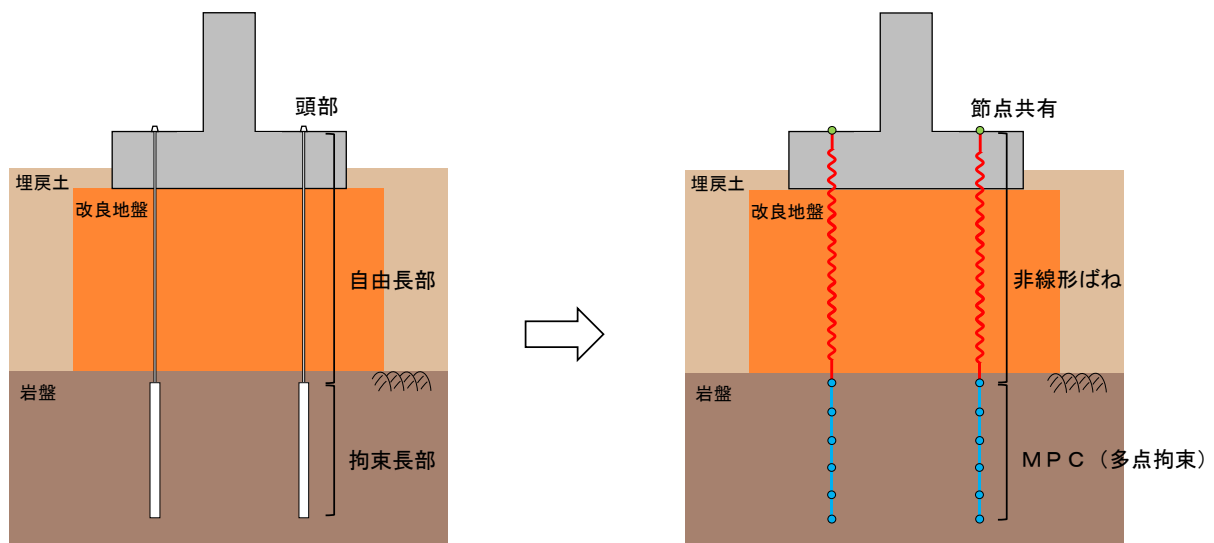


図 3-2 モデル化概念図

「4.3.3 逆T擁壁の底版の最大傾斜」に示すとおり，設置変更許可段階において1/2000を大きく上回る傾斜を確認していた①－①断面において地震時の傾斜を確認した結果，表3-3のとおり，傾斜が小さくなっていることを確認した。その理由として，追加の地盤改良による剛性の向上及びグラウンドアンカの変形抑制効果が考えられる。なお，表3-1に示すとおり，実施工における品質確認において，設計用S波速度の約1.5～1.8倍のS波速度を確認したことから，傾斜は更に小さくなると想定される。

また，傾斜の影響により防波壁（逆T擁壁）の要求機能を喪失する事象として表3-4に示す事象が挙げられるが，「4. 耐震評価結果」に示すとおり，すべての照査項目において許容限界以下であることを確認した。

表3-3 地震時の傾斜の算定結果の比較（①－①断面）

設置変更許可段階		詳細設計段階
全応力解析	有効応力解析	有効応力解析
1/158	1/446	1/1262

表3-4 詳細設計段階での検討結果

施設	部位の名称	要求機能を喪失する事象	照査項目	詳細設計段階での検討結果
防波壁（逆T擁壁）	逆T擁壁	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより曲げ・せん断破壊し，遮水性を喪失する。 	曲げ・せん断	<ul style="list-style-type: none"> 動的有限要素法（有効応力解析）を行い，逆T擁壁が損傷しないことを確認した。
		<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより逆T擁壁の隣接する躯体同士が相互に支圧することにより破壊し，遮水性を喪失する。 	曲げ・せん断	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁（逆T擁壁）の法線方向の動的有限要素法（有効応力解析）を行い，隣接する躯体の挙動を把握し，防波壁が損傷しないことを確認した。
	止水目地（支持部含む）	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することにより隣接する躯体間（法線方向，法線直交方向）の変形により，止水目地の許容限界を超える変形が生じ，遮水性を喪失する。 	変形水圧	<ul style="list-style-type: none"> 防波壁の法線直交方向及び法線方向の動的有限要素法（有効応力解析）を行い，止水目地の変位量が許容限界以下であることを確認した。 また，止水目地にかかる水圧が許容水圧以下であることを確認した。
	グラウンドアンカ	<ul style="list-style-type: none"> 地盤が傾斜することによりグラウンドアンカが破損し，逆T擁壁が転倒する。 	引張	<ul style="list-style-type: none"> グラウンドアンカをモデル化した動的有限要素法（有効応力解析）を行い，許容アンカー力により逆T擁壁が転倒しないことを確認した。