

大規模地震時における係留施設の
使用可否判定手法マニュアル
(案)

令和4年2月

国土交通省 九州地方整備局 下関港湾空港技術調査事務所

目 次

第1章 はじめに.....	1-1
1. 背景と目的.....	1-1
1.1. 背景と目的.....	1-1
1.2. 検討履歴.....	1-2
2. 九州地整における判定方針の概要.....	1-3
3. 適用範囲とマニュアル使用者.....	1-5
4. 用語の定義.....	1-6
第2章 使用可否判定フロー.....	2-1
1. 全体フロー.....	2-1
1.1. 【参考】点検対象施設の優先順位の考え方.....	2-2
1.2. Berth Surveyor による変位量測定判断.....	2-2
2. 机上判定フロー.....	2-3
3. 被災直後現地判定フロー.....	2-6
4. 技調用判定フロー.....	2-12
第3章 速度の PSI 値算定プログラム.....	3-1
1. サイト増幅特性の違いを考慮した地震動の算定方法.....	3-1
1.1. 地表面の地震動を工学基盤に変換するプログラムの選定.....	3-1
2. 対象港湾(地区).....	3-5
3. 速度の PSI 値算定プログラム.....	3-6
3.1. サイト特性変換.xlsm.....	3-7
3.2. 出力用.xlsx.....	3-10
第4章 判定基準と閾値の設定方法.....	4-1
1. 使用可否判定の種類と定義.....	4-1
2. 判定基準の設定区分まとめ.....	4-4
3. 重力式係船岸の判定基準.....	4-6
3.1. 判定基準まとめ.....	4-6
3.2. 判定基準の設定根拠.....	4-7
3.2.1. 被災程度と変形量の目安.....	4-7
3.2.2. 兵庫県南部地震後の係船実績による変形量の目安.....	4-8
3.2.3. 岸壁の地震時水平方向残留変位の上限值について.....	4-10
4. 矢板・栈橋式における FLIP 解析による閾値設定法.....	4-12
4.1. 概要.....	4-12
4.2. FLIP 解析.....	4-13
4.2.1. 使用する地震動.....	4-13
4.2.2. 解析断面の選定方法.....	4-14
4.2.3. モデル化.....	4-16

4.2.4. 矢板式の解析例	4-25
4.2.5. 栈橋式の解析例	4-28
4.3. 評価線と閾値の設定	4-31
4.3.1. 概要	4-31
4.3.2. 矢板式係船岸	4-32
4.3.3. 栈橋式係船岸	4-39
4.3.4. 留意点	4-46
4.4. 特殊事例（引抜が先行する組杭式栈橋）の検討例	4-48
4.4.1. 工夫前のモデル化と結果（A 港 j 岸壁）	4-48
4.4.2. 検討モデルと検討内容	4-50
4.4.3. パラメータ設定	4-52
4.5. 耐震性能の評価分析	4-56
4.5.1. 矢板式係船岸	4-56
4.5.2. 栈橋式係船岸	4-60
4.6. 閾値一覧（FLIP 解析により設定）	4-62
5. 矢板・栈橋式の FLIP 解析未実施施設における暫定的判定基準	4-65
5.1. 矢板式係船岸	4-66
5.1.1. 水深-7.5m 未満施設の暫定的判定基準	4-66
5.1.2. フェーズⅡ・Ⅲ期施設の暫定的判定基準	4-67
5.2. 栈橋式係船岸	4-68
5.2.1. 判定手法	4-69
5.2.2. 降伏変位の計算例	4-74
第 5 章 参考資料	5-1
1. 現地載荷試験・牽引試験の例	5-1
1.1. 試験の概要	5-1
1.2. 試験の流れと留意点	5-6
2. 特殊事例（引抜が先行する組杭式栈橋）の解析例	5-8
2.1. 解析結果	5-9
2.2. 評価線と閾値の設定	5-13
2.3. A 港 j 岸壁の結論	5-15
3. 耐震性能の評価分析	5-16
3.1. 矢板式係船岸	5-16
3.2. 栈橋式係船岸	5-42
4. 各施設まとめ表と評価線一覧	5-53

第1章 はじめに

1. 背景と目的

1.1. 背景と目的

大規模地震が発生した後、被災地への支援物資の輸送は、トラックや鉄道、海運など多様なモードを整えておく必要がある。

地震により幹線道路が寸断された場合、海上ルートを使って被災地近郊の港湾から支援物資を輸送することやライフラインの復旧に必要な資材や機材を海上から搬入することは非常に有効な手段となる。

平成28年4月に最大震度7を観測した熊本地震では、甚大な被害が生じた。幸い熊本港をはじめとする周辺の港湾施設に大きな被害はなく、臨港道路等が受けた軽い損傷の復旧により港湾が利用できる状態であった。しかし、通常利用の貨物船に加え、支援物資を積んだ船舶の利用が集中・混雑したことから、非常災害時における港湾利用者との調整等を円滑に実施するための仕組みが必要となった。

このようなことから、平成29年に港湾法の一部を改正し、非常災害時において港湾管理者からの要請があった場合、国が港湾利用者との調整等の管理業務を実施することが可能となった。しかし、被災地周辺の港湾施設は、地震の影響により損傷が大きく安全に使用できないケースがあるため、地震後の施設点検により得られたデータから使用可否の判定が速やかに実施できるよう予め検討を行なっておくことが重要である。

地震の影響を受けた係留施設は、法線の凹凸の状況により、船舶の接岸・利用が可能かといった観点からの判断のほか、矢板式係船岸や栈橋式係船岸のような鋼構造物では、地震中における鋼材の応力状態を推定して構造上の安全性から使用可否を判断する必要がある。

本マニュアルは、地震後に国や港湾管理者が実施する施設点検により得られる変状のデータから、速やかに係留施設の使用可否の判定ができるよう地震後の岸壁天端の残留水平変位量を指標とした閾値を予め設定しておく手法をとりまとめたものである。

1.2. 検討履歴

表 1.1 に検討履歴を示す。マニュアルに記載されていない具体的検討内容や検討過程は各業務の報告書を参照されたい。

表 1.1 検討履歴

検討年	業務名	主な検討内容
2017年度	平成 29 年度 大規模地震時における係留施設の使用可否判定方策検討業務	<ul style="list-style-type: none"> ・全体計画の方針設定 ・矢板式 1 施設の FLIP 解析による検討
2018年度	平成 30 年度 大規模地震時における係留施設の使用可否判定方策検討業務	<ul style="list-style-type: none"> ・矢板式係船岸の検討 ・フェーズ I 期施設の FLIP 解析 ・フェーズ I 期以外施設の判定基準の設定
2019年度	令和元年度 大規模地震時における係留施設の使用可否判定方策検討業務	<ul style="list-style-type: none"> ・栈橋式係船岸の検討 ・フェーズ I 期施設の FLIP 解析 ・フェーズ I 期以外施設の判定基準の設定
2020年度	令和 2 年度 大規模地震時における係留施設の使用可否判定方策検討業務	<ul style="list-style-type: none"> ・栈橋式施設の検討 ・水中ドローンによる栈橋上部工下面調査の検討 ・最終的な判定法の検討、4 カ年のまとめ
2021年度	令和 3 年度 大規模地震時における係留施設の使用可否判定方策検討業務	<ul style="list-style-type: none"> ・耐震性能の分析 ・速度の PSI 値算定プログラムの作成 ・判定手法マニュアルの作成

2. 九州地整における判定方針の概要

地震の影響を受けた係留施設の使用可否を判断する場合、「法線の凹凸状態・エプロンや野積場の段差の大きさ等によって、船舶の係留・緊急物資の荷役を安全に実施できるかという使用上の観点からの判断」と、「損傷を受けた係留施設自体が船舶の接岸や上載荷重に耐えられるかという構造上の観点からの判断」が必要となる。

図 1.1 は九州地整における検討方針を示したものである。このうち、重力式係船岸は過去の被災事例より堤体自体の損傷は問題とならず、法線方向の凹凸変位や背後の段差等の観点から接岸・荷役が行えるかが問題となることが分かっている。したがって、外観調査の結果から使用可否判定が行える。一方、鋼構造式係船岸（矢板式・栈橋式）の使用可否は、構造の主部材である鋼部材の応力状態に大きく依存するため、外観調査から使用可否を判定することは困難である。そのため、二次元有効応力解析（FLIP）を活用し、様々な強さの地震動に対する鋼材の応力状態と岸壁天端の残留水平変位量の関係を把握したうえで、使用可否判定を行うこととする。

ただし、全ての施設において、すぐには FLIP 解析を行うことができないため、施設を水深、重要度から区分して、フェーズ I 期施設に FLIP 解析を適用し、それ以外の施設は暫定として判定基準を設定した。

■九州地整における使用可否判定手法

構造形式	施設規模	所有者	健全度	施設数 ^{※1}	使用可否判定(案)	フェーズ	備考
重力式	-7.5m未満の施設	補助施設	—	140	北陸方式 (凹凸変位0.5m以下、 傾斜角5°以下を目安)		
		直轄施設	—	58			
	-7.5m以深の施設 (緊急物資受入)	補助施設	—	81			
		直轄施設	—	88			
鋼構造式	-7.5m未満の施設	補助施設	—	48	既往文献を参照		
		直轄施設	—	4	既往文献を参照		
	-7.5m以深の施設 (緊急物資受入)	補助施設	A・B	10	補修後、FLIP解析を港湾管理者に奨励	Ⅲ期	予防保全事業と連携【耐震1施設含む】
			C・D	16	FLIP解析を港湾管理者に奨励	Ⅱ期	【耐震1施設含む】
		直轄施設	A・B	24	補修後、FLIP解析を検討	Ⅲ期	予防保全事業と連携【耐震1施設含む】
	C・D	19	FLIP解析	Ⅰ期	FLIP解析=16ケース ^{※2} 【耐震2施設含む】		

※1 施設数は予防保全計画書ベースで整理
 ※2 16ケースの選定はBCP計画等を踏まえ設定

■九州地整における使用可否判定手法のイメージ

1-4

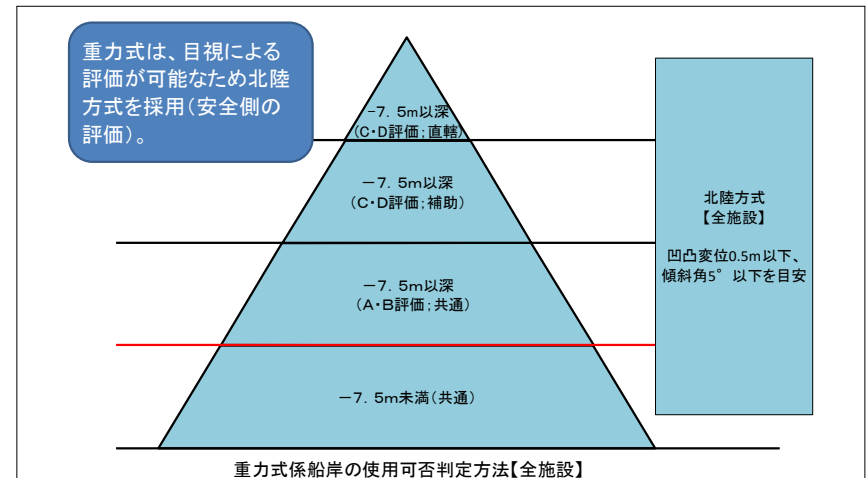
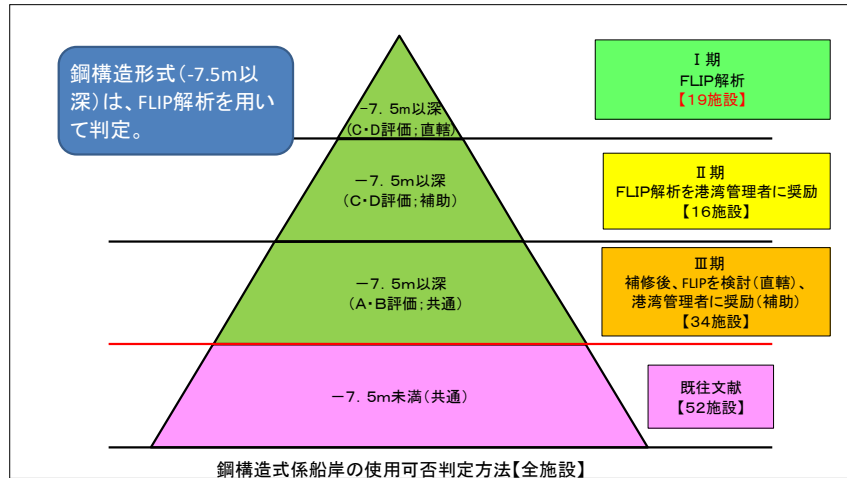


図 1.1 九州地整における使用可否判定方針

3. 適用範囲とマニュアル使用者

本マニュアルでは、使用可否判定の全体の流れ、速度の PSI 値算定プログラム、閾値の設定までの内容を記述する。

表 1.2 適用範囲と使用対象者

本マニュアルの内容	<ul style="list-style-type: none">・使用可否判定の全体の流れ・速度の PSI 値算定プログラム・判定基準、閾値の設定
適用範囲	<ul style="list-style-type: none">・九州管内
使用対象者	<ul style="list-style-type: none">・九州管内の国及び地方自治体の技術職員・新たに閾値を設定する業者（建設コンサルタント等）

4. 用語の定義

(1) フェーズⅠ期、Ⅱ期、Ⅲ期

九州地整管内では使用可否判定方策の検討を行うにあたって施設を分類している。まず、構造形式により重力式と鋼構造形式（矢板式・栈橋式）に分類。次に鋼構造形式（矢板式・栈橋式）は水深-7.5m未満と-7.5m以深で分類。さらに-7.5m以深の施設については、以下の通り施設の健全度及び国直轄施設か管理者施設かによってフェーズⅠ～Ⅲ期に分類している。

フェーズⅠ期：健全度 C, D の直轄施設

フェーズⅡ期：健全度 C, D の補助（管理者）施設

フェーズⅢ期：健全度 A, B の直轄及び補助（管理者）施設

これらの分類を整理したものが p.1-4 の図 1.1 である。

(2) 北陸方式

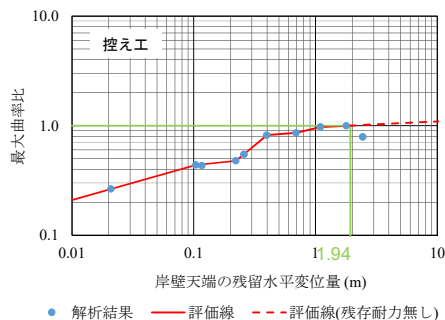
北陸地方整備局では、九州地方整備局の検討よりも前に、地震時の使用可否判定法が検討されている¹⁾。北陸地整の検討では、過去の被災事例に基づいて、使用可否判定基準が設定されており、この判定基準を北陸方式と呼ぶこととする。九州地整においては重力式係船岸のみ、北陸方式の判定基準を設定している。

(3) 閾値

鋼部材が限界曲率もしくは全塑性曲率（用語の定義(8)参照）に至るとき、つまり施設が使用不可となる際の岸壁天端水平変位量・速度の PSI 値・計測震度のことを指す。また上部工が設計耐力に至るときや鋼部材が降伏に至るときの岸壁天端水平変位量・速度の PSI 値・計測震度のこともある。閾値の詳細は第 4 章 4.3（p.4-31～）参照。

(4) 評価線

各種地震動による FLIP 解析から得られた結果（最大曲率比や設計耐力比等）をグラフ上にプロットし、プロット点を直線で結んだものである。プロット点 1 つ 1 つが各地震動の解析結果である。例えば、下図は縦軸に最大曲率比を横軸に岸壁天端の残留水平変位量を取りプロットしたものである。詳細は第 4 章 4.3（p.4-31～）参照。



¹⁾平成 28 年度 港湾施設の設計等に関する技術支援業務 報告書, 平成 28 年 5 月, 新潟港湾空港技術調査事務所

(5) 岸壁（栈橋）天端の残留水平変位量

係留施設の法線位置天端における地震後の法直方向への水平変位量である。使用可否判定においては、現地での変位量計測値と FLIP 解析で設定した使用可否の閾値を比較し判定を行う。この際、現地での計測値は地震後の値となるため、FLIP 解析に基づいて設定する閾値も地震中最大の値ではなく地震終了後（残留時）の値を設定する。

なお、厳密には栈橋は岸壁とは呼称されないため、栈橋については栈橋天端と称し、重力式・矢板式については岸壁天端と称する。

(6) 速度の PSI 値

PSI 値とは、野津²⁾により定義され、港湾構造物の変形量の推定に用いる評価指標として用いられている。今、地震動に対して、式 1.1、式 1.2 に示す時刻歴波形の振幅値の 2 乗の積分値を評価指標として用いることとする。これは、 $f(t)$ のフーリエ変換を $F(\omega)$ としたとき、式 1.3 が成り立つことから、周波数に対する積分値で表され、フーリエスペクトルから容易に計算することが可能である。したがって、加速度や速度の最大値よりも、スペクトル全体を対象に比較することができる(図 1.2 参照)。

また、図 1.3 に示す通り速度の PSI 値は変形量に対して非常に良い相関を示すことが分かっている。

$$\text{加速度} : \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} a^2(t) dt} \quad \text{式 1.1}$$

$$\text{速度} : \sqrt{\int_{-\infty}^{+\infty} v^2(t) dt} \quad \text{式 1.2}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f^2(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F^2(\omega) d\omega \quad \text{式 1.3}$$

($f(t)$ は $a(t)$ または $v(t)$ 、 $F(\omega)$ は $A(\omega)$ または $V(\omega)$ を表す)

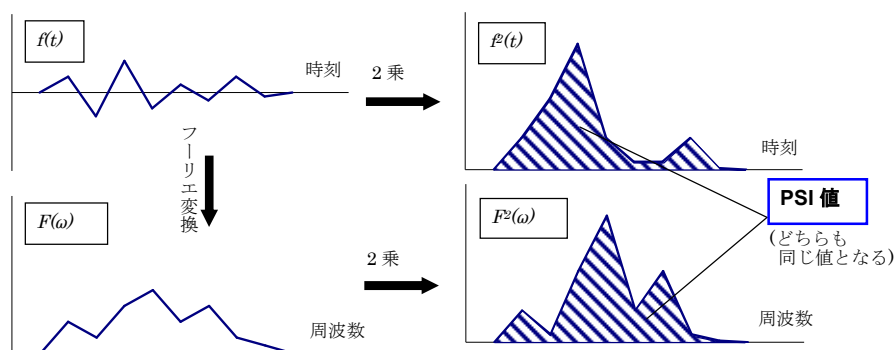


図 1.2 PSI 値の算定方法

²⁾ 野津厚, 井合進(2001): 岸壁の即時被害推定に用いる地震動指標に関する一考察, 第 28 回関東支部技術研究発表会講演概要集, 土木学会関東支部, pp.18-19.

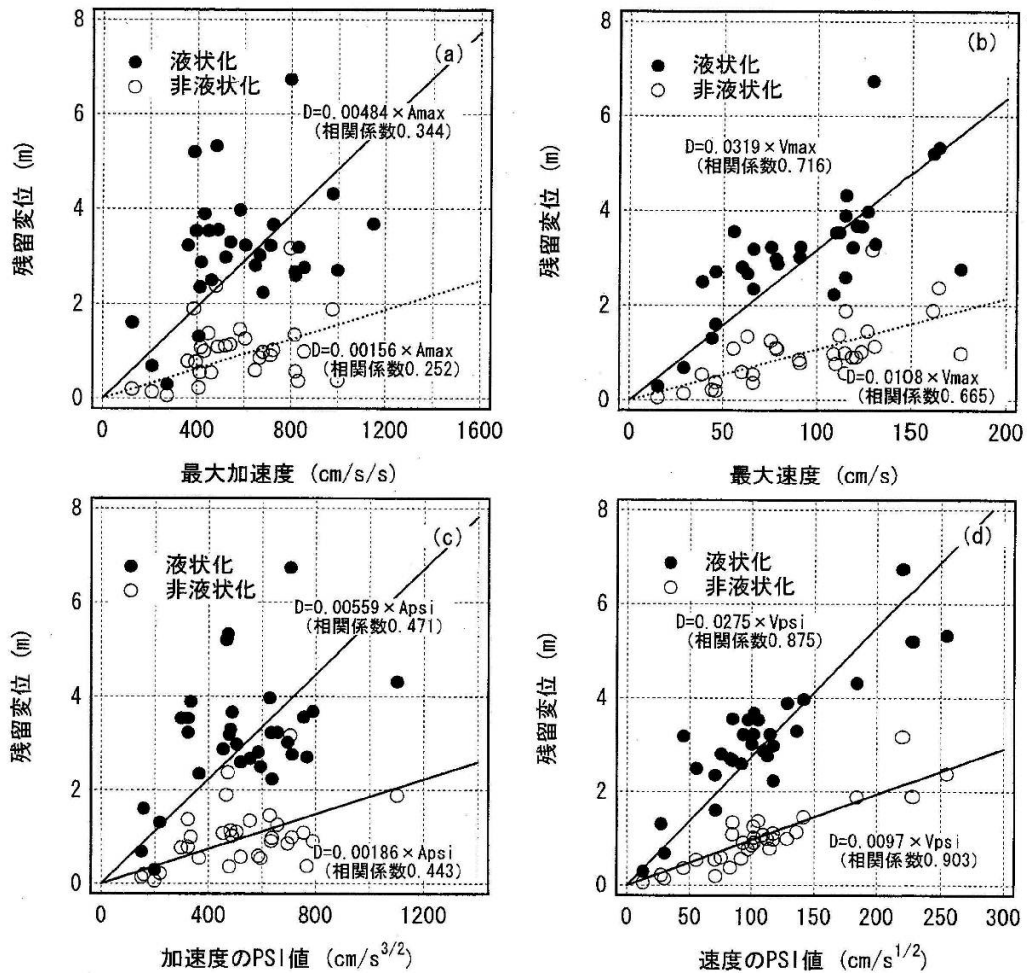


図 1.3 岸壁の変形量と地震動の指標との関係²⁾
 (速度のPSI値と非常に相関が高いが、最大加速度値との相関は低い)

(7) 計測震度

津波などで現地に行けず、岸壁天端の水平変位量から判定ができない場合、または速度の PSI 値が算定できない状況において、気象庁から発表される震度階級（計測震度）に基づいて簡易的に使用可否判定を行うことも可能である（※あくまでも使用可否判定の参考として）。この手法を用いるにあたって、施設が使用不可となる閾値（計測震度）を FLIP 解析結果に基づいて設定する。厳密には、気象庁発表の計測震度と FLIP 解析における計測震度の算定方法は若干異なるが、安全側の判定が行えるよう、FLIP 解析における計測震度を算定している。1)、2) にそれぞれの計測震度の算定方法を示す。

1) 計測震度の算定方法

計測震度の算定は、気象庁が発表する方法³⁾に従うものとした。計測震度は、震度計内部で以下のようなデジタル処理によって計算される。2000年10月6日に発生した鳥取県西部地震の米子市(計測震度=5.1)を例に示す。

- ① デジタル加速度記録 3 成分(水平動 2 成分、上下動 1 成分)(図 1.4)のそれぞれのフーリエ変換(図 1.5)を求める。
- ② 地震波の周期による影響を補正するフィルター(図 1.6)を掛ける。
- ③ 逆フーリエ変換を行い、時刻歴の波形(図 1.7)にもどす。
- ④ 得られたフィルター処理済みの 3 成分の波形をベクトルの的に合成する。
- ⑤ ベクトル波形(図 1.8)の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計を計算したとき、これがちょうど 0.3 秒となるような a を求める。この例では $a=127.85\text{gal}$ となる。
- ⑥ ⑤で求めた a を、 $I = 2 \log a + 0.94$ により計測震度 I を計算する。計算された I の小数第 3 位を四捨五入し、小数第 2 位を切り捨てたものを計測震度とする。

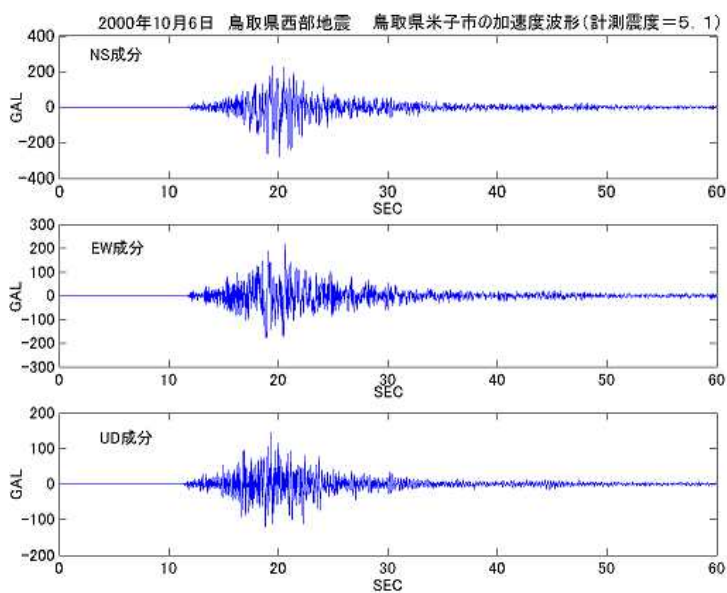


図 1.4 オリジナルの加速度波形

³⁾気象庁 HP : http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm

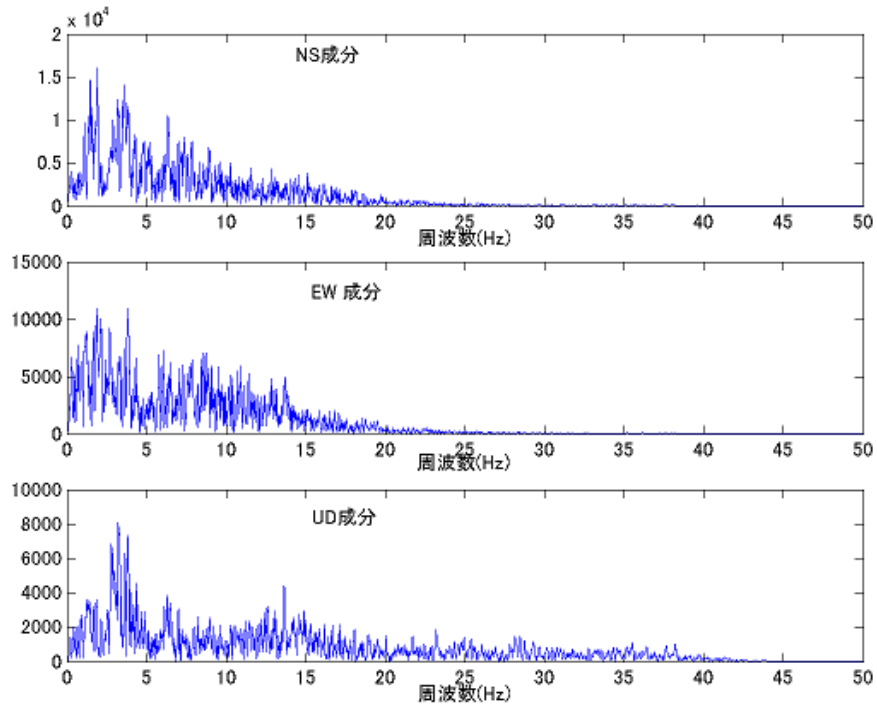


図 1.5 オリジナル加速度波形のフーリエスペクトル

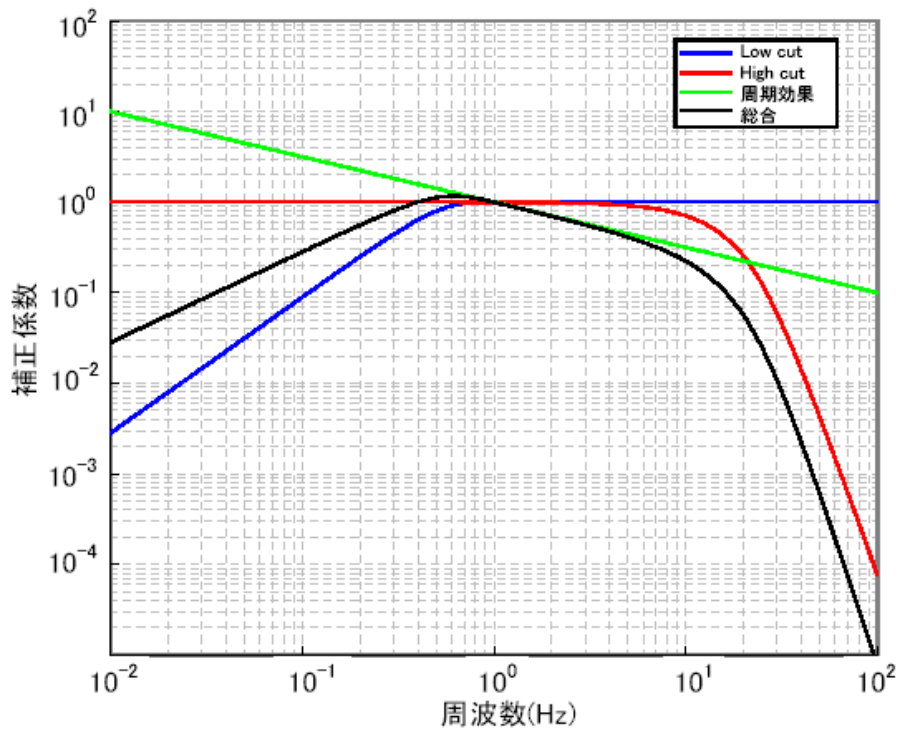


図 1.6 震度計算のためのフィルター特性

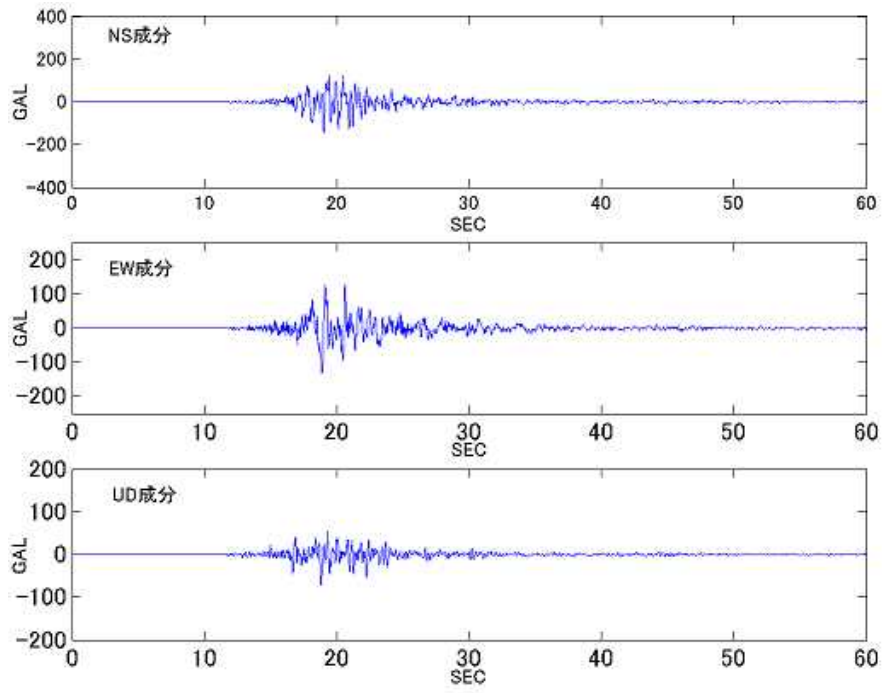


図 1.7 フィルター補正後の加速度波形

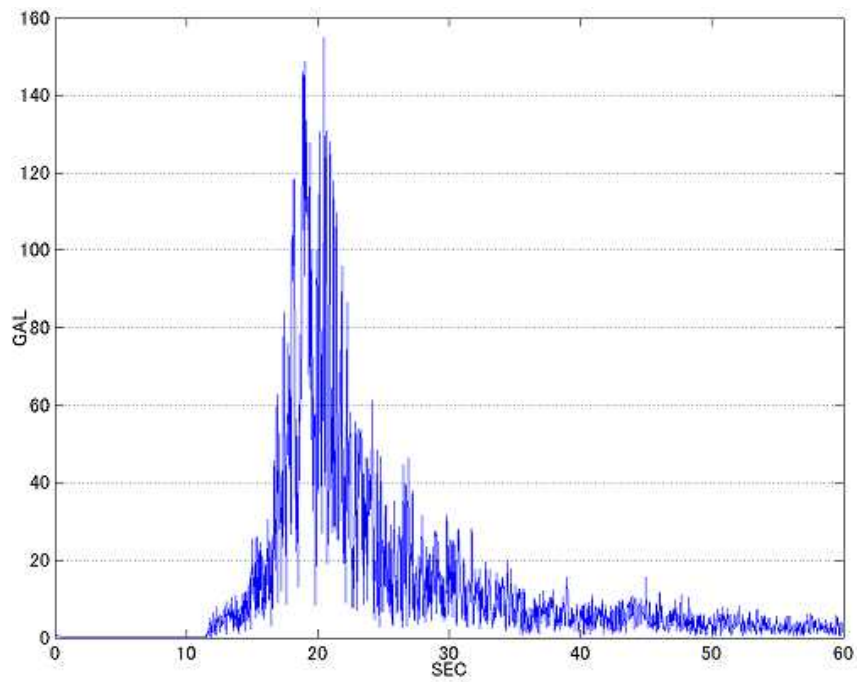


図 1.8 フィルター後の3成分合成加速度

2) 本マニュアルでの計測震度の算定方法

気象庁が発表する震度階級(震度階級と計測震度の関係は、表 1.3 参照)は、地表の強震計の観測データを用いて算定した結果である。この震度階級と整合性を確保するために、地表面の応答加速度波形より計測震度を算定する必要がある。FLIP を用いた地震応答解析では、側方の粘性境界(無限長の地盤を模擬)を作成するために、陸側地盤及び海側地盤の 1 次元解析モデルを用いた地震応答解析を実施する。陸側地盤の地震応答解析で得られる地表面の応答波形を計測震度の算定に利用する。計測震度を算定するためには、水平 2 成分、鉛直 1 成分の波形が必要であるが、地震応答解析では水平 1 成分の波形しか算定できないため、その値を採用する。一方で、図 1.8 に示す 3 成分合成加速度を算定する際に、1 成分の $\sqrt{2}$ 倍を入力する方法もあるが、使用可否を判定する評価線を設定する際には、安全側(小さい計測震度で変形量が大きくなる)の設定が望ましいことから $\sqrt{2}$ 倍等の補正をしないこととした。

表 1.3 震度階級と計測震度

震度階級	計測震度
0	0.5 未満
1	0.5 以上 1.5 未満
2	1.5 以上 2.5 未満
3	2.5 以上 3.5 未満
4	3.5 以上 4.5 未満
5 弱	4.5 以上 5.0 未満
5 強	5.0 以上 5.5 未満
6 弱	5.5 以上 6.0 未満
6 強	6.0 以上 6.5 未満
7	6.5 以上

(8) 最大曲率比、設計耐力比

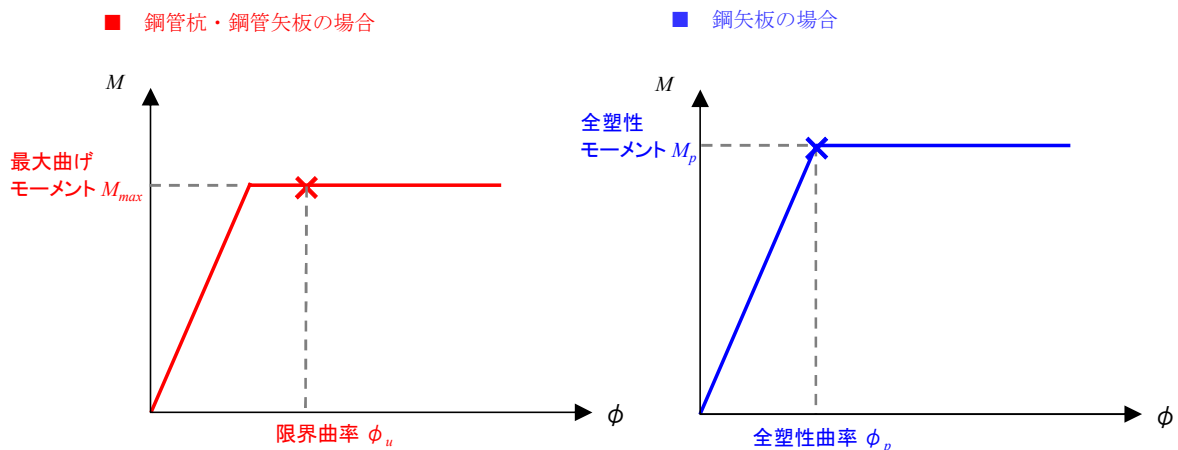
以下に最大曲率比、設計耐力比の定義を示す。

■ 矢板式の曲率比、設計耐力比等の定義

$$\begin{aligned} \text{最大曲率比} &= \frac{\text{地震中の発生最大曲率 } \phi_{\max}}{\text{限界曲率 } \phi_u} && (\text{鋼管杭・鋼管矢板の場合}) \\ &= \frac{\text{地震中の発生最大曲率 } \phi_{\max}}{\text{全塑性曲率 } \phi_p} && (\text{鋼矢板の場合}) \end{aligned}$$

$$\text{設計耐力比} = \frac{\text{船舶接岸・牽引時の発生モーメント } M}{\text{降伏モーメント } M_y}$$

$$\text{タイ材力比} = \frac{\text{地震中の発生最大張力}}{\text{設計破断強度}}$$



鋼部材の限界曲率 ϕ_u と全塑性曲率 ϕ_p のイメージ

■ 栈橋式の曲率比、設計耐力比等の定義

$$\text{最大曲率比} = \frac{\text{地震中の発生最大曲率 } \phi_{\max}}{\text{限界曲率 } \phi_u}$$

$$\text{栈橋杭の力比} = \frac{\text{地震中の発生最大軸力}}{\text{軸方向 (押込or引抜) 抵抗力}}$$

$$\text{栈橋杭の設計耐力比} = \frac{\text{船舶接岸・牽引時の発生モーメント } M}{\text{降伏モーメント } M_y}$$

$$\text{上部工の設計耐力比} = \frac{\text{地震中の発生最大モーメント}}{\text{曲げ耐力}} \quad (\text{曲げ})$$

$$= \frac{\text{地震中の発生最大せん断力}}{\text{せん断耐力}} \quad (\text{せん断})$$

(9) 甚大な被害

現地（対象施設）の点検診断を行うにあたり、最初に施設全体を遠望し、残留水平変位量による判定やダイバーによる目視調査をするまでもなく、甚大な被害が生じている場合は使用不可と判断する。この甚大な被害とは、立入りが危険、大部分が崩壊している等、一見で使用不可と判断できる大きな変状が発生している場合である。下図に甚大な被害の例を示す。



【甚大な被害の事例】

(10) 構造上の可否判定

使用可否判定において、構造部材の損傷程度に応じた判定を行う部分のことである。具体的には使用可否判定フローにおいて、事前検討（FLIP 解析・その他暫定判定基準）で設定した構造部材（矢板、栈橋杭、栈橋上部工 etc）の閾値と、RTK-GNSS により測定した岸壁天端の残留水平変位量を比較し判定を行う。第 2 章 3 被災直後現地判定フロー (p. 2-6～) 参照。

(11) 使用上の可否判定

使用可否判定において、「構造上の可否判定」で使用可とされた後に、実際に船舶が着岸し荷役が可能かどうかに関する判定を行う部分である。具体的には、法線の変位量、背後地の使用性、附帯設備（防舷材や係船柱）の損傷を確認し、船舶の接岸や緊急物資の荷下ろしに問題ないかを確認する。第 2 章 3 被災直後現地判定フロー (p. 2-6～) 参照。

第2章 使用可否判定フロー

1. 全体フロー

全体フロー

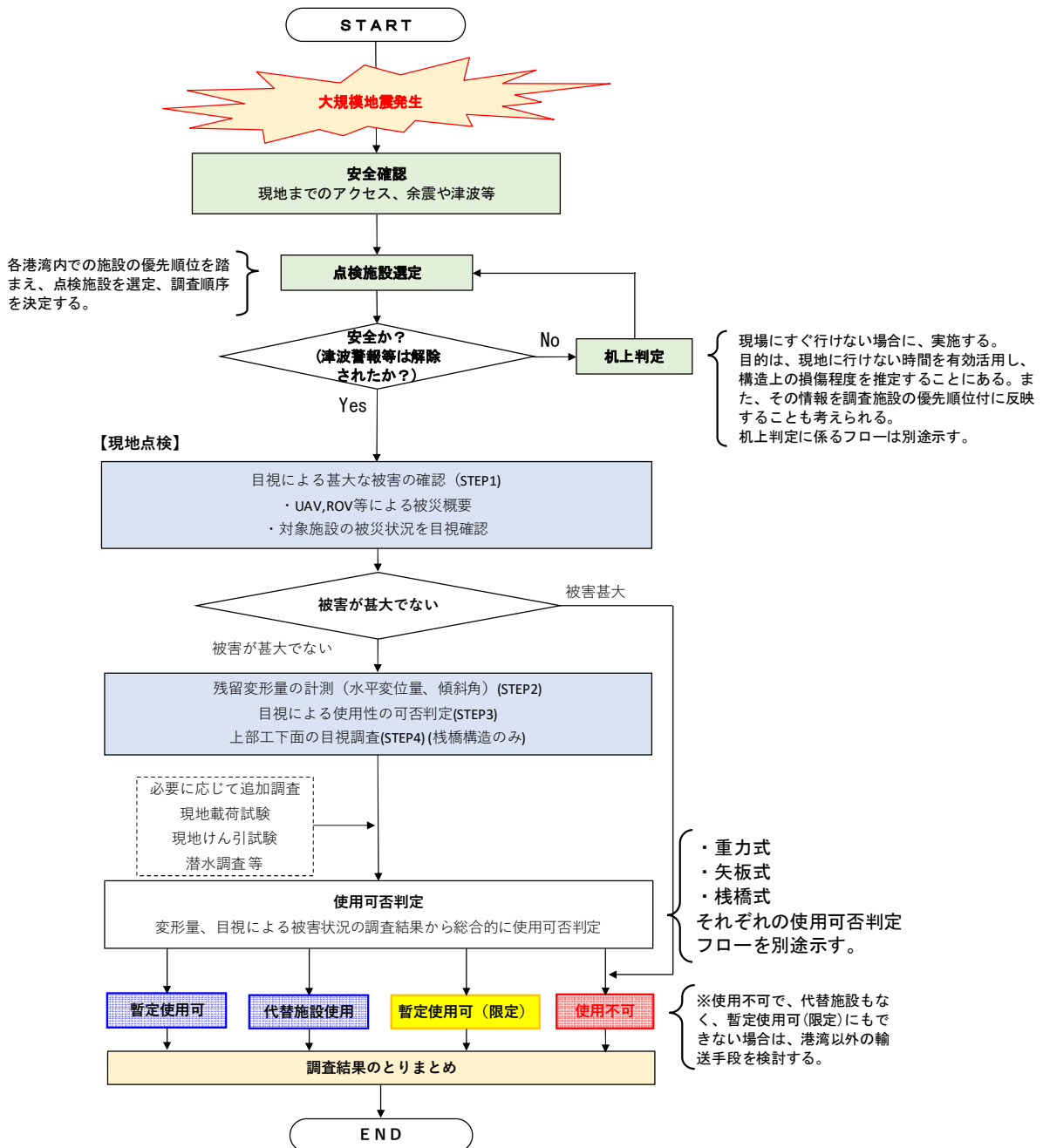


図 2.1 全体フロー

1.1. 【参考】点検対象施設の優先順位の考え方

点検にあたる人数が限られると想定されるため、港湾内で点検の順位付けが必要と考えられる。その際の考慮項目を以下に示す。

※ただし、この考慮項目は一般論であり、各港湾によって状況が異なるため、最終的には各港湾事務所で優先順位や点検の順番を決定することとする。

■点検順序の基本的な考え方

・アクセス可能で点検できる施設

※ここでのアクセスできる施設とは、地震後、現地に点検に行けるかどうかの観点である。

・使用できる可能性の高い施設

・使用可否判定が容易な施設

⇒重力式は、構造上の可否判定が不要である(被災事例から設定した凹凸変位量、傾斜角に基づいて接岸・荷役が可能かを判断する。)ため、比較的点検が容易であり、使用できる可能性も高い。

1.2. Berth Surveyor による変位量測定判断

九州地整の防危課では震度 4 以上で直ちに現地で目視点検を行うことになっている。一方で Berth Surveyor で変位量を計測する判断基準は決められていない。Berth Surveyor は九州地整に 1 台のみ保有されており、地震後に運搬する必要がある。また、これまでの震度 4 程度の揺れで施設に損傷が発生した事例もないことから、どの程度の揺れから Berth Surveyor で変位量を計測したらよいか予め決めておく必要がある。そこで、Berth Surveyor で変位量を計測する状態を以下の方針とする。

✓基本的には、地震後観測された速度の PSI 値と各施設の閾値との比較や目視による被災状況（エプロン沈下など）を踏まえて、総合的に判断して Berth Surveyor での計測を決定する。

※1：R03d 作成の速度の PSI 値算定プログラムでは、職員が港湾地域強震観測システムや防災科学技術研究所の HP で公開される地震動波形を取得し、各港湾の工学的基盤における速度の PSI 値を算定することが可能である。なお、HP で公開される地震動波形は速報値と確定値があり、速報値は地震後比較的早い段階で公開され、確定値は 1 日程度要する。確定値は観測された波形（速報値）から地震動以外の揺れを除外したものであり、速報値と確定値の差は小さい。

※2：速度の PSI 値が閾値を超えている場合でも、最終判断は実測の変位量で行う。

✓即時に使用可否判定が必要な場合

緊急支援物資の荷降しに使用したい場合等、使用可否判定を早急に行う必要がある場合は、速度の PSI 値の算出は省き、Berth Surveyor による計測を実施する。

2. 机上判定フロー

本フローは津波警報発令等、すぐに現地に行けない場合に係留施設の使用可否を推定する流れを示したものである。推定手法としては、「震度階級法」と「速度の PSI 値法」の2種類があるが、最終的な使用可否判定は施設点検を行った結果で判定する。

「震度階級法」は地震直後に気象庁から発表される実測震度を用いて判定できるが予測精度が劣る。一方「速度の PSI 値法」は地震波データを入手し計算する必要があるが、計測震度に比して判定精度が高いといった特徴がある。これまでは震度階級法を適用することとなっていたが、R03年度検討で各港湾の工学的基盤における速度の PSI 値を算定するプログラムを作成したため、速度の PSI 値法による判定も可能となる。

●震度階級法

気象庁発表の震度階級を用いて、あらかじめ設定しておいた震度階級の閾値と比較し、判定を行う手法である。

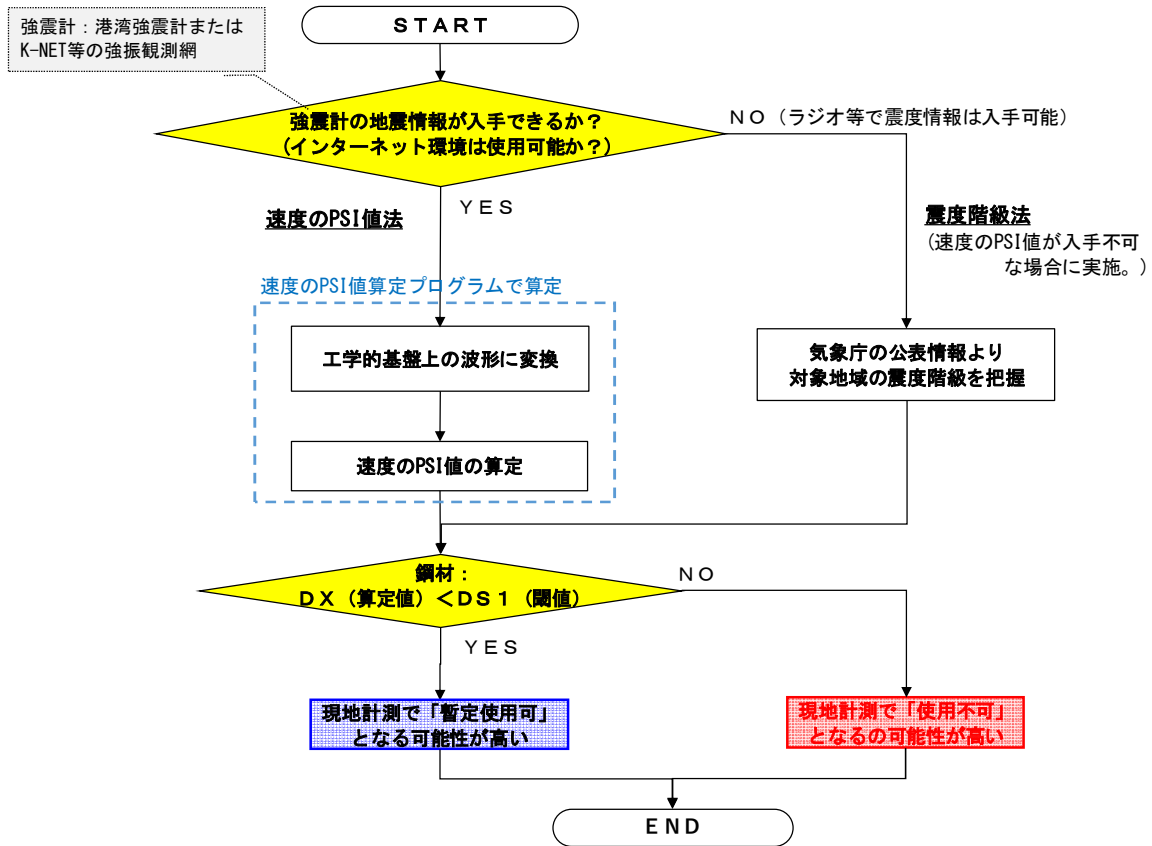
●速度の PSI 値法

強震観測記録から各港湾の工学的基盤位置における速度の PSI 値を算定し、あらかじめ設定しておいた速度の PSI 値の閾値と比較し、判定を行う手法である。

(1) 矢板式の机上判定フロー

机上判定(速度のPSI値・計測震度による判定)フロー (矢板式)

津波警報等の発令により現地への立ち入りが困難な場合に、現地の被災程度を推定することを目的とする。



■使用可否判定の閾値の定義

- ・ DX : 地震被災時の速度のPSI値もしくは計測震度
- ・ DS1 : 地震時に鋼部材が限界曲率あるいは全塑性曲率に至るときの速度のPSI値もしくは計測震度。
(もしくはタイ材が破断強度に至るときの速度のPSI値・計測震度。※R03dまでに検討した施設では、タイ材破断よりも鋼部材の限界曲率あるいは全塑性曲率超過が先に生じる。)
(もしくは控え組杭の場合に極限支持力(押込or引抜)に至るときの速度のPSI値・計測震度。
※R03dまでに検討した施設では、控え組杭の施設はない。)

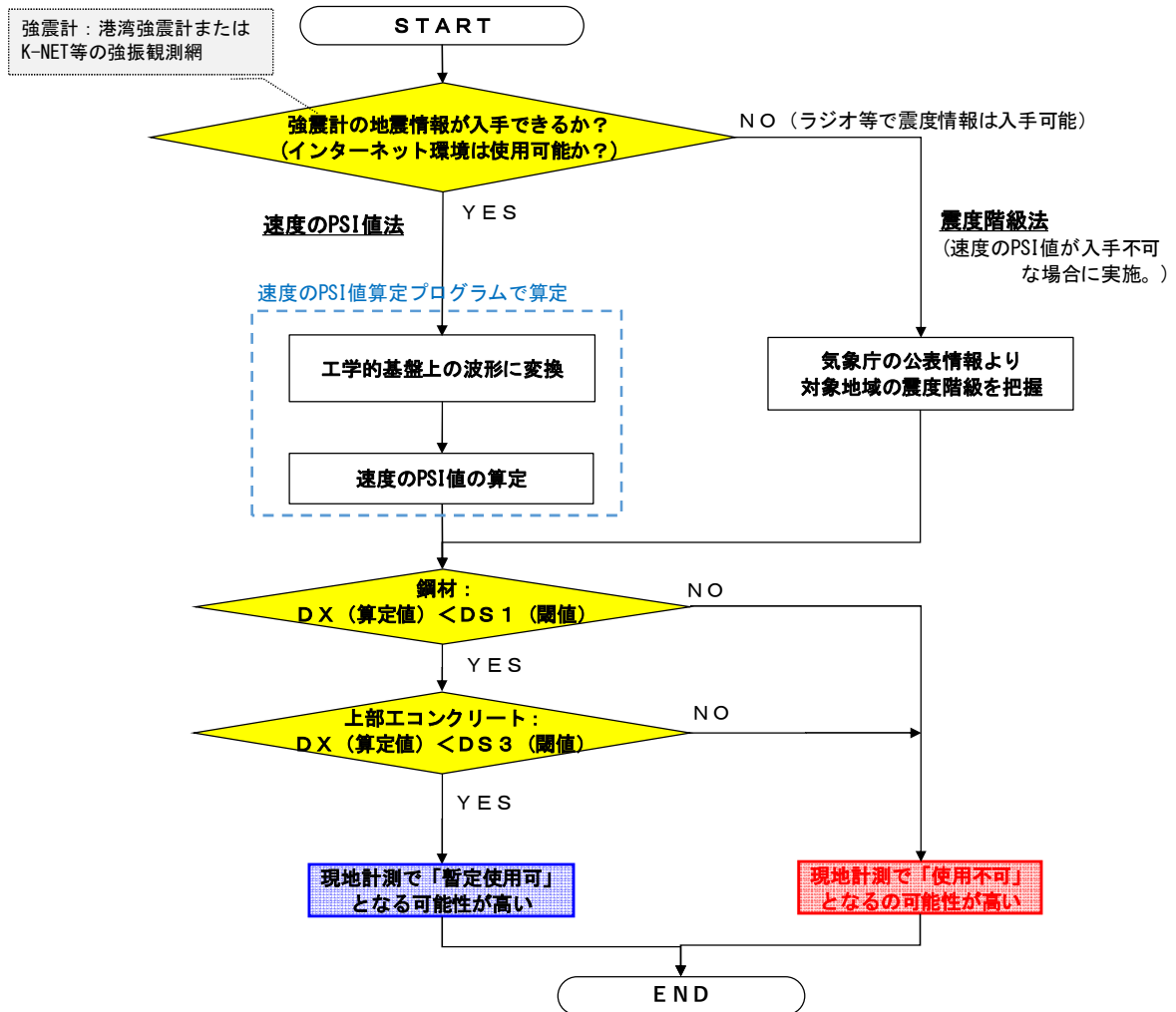
ここで、限界曲率：鋼部材が鋼管矢板・鋼管杭のとき
 全塑性曲率(全塑性モーメント発生時の曲率)：鋼部材が鋼矢板のとき
 速度のPSI値：速度のPSI値法で判定を行う場合
 計測震度：震度階級法で判定を行う場合

図 2.2 机上判定フロー (矢板式)

(2) 栈橋式の机上判定フロー

机上判定(速度のPSI値・計測震度による判定)フロー (栈橋式)

津波警報等の発令により現地への立ち入りが困難な場合に、現地の被災程度を推定することを目的とする。



■使用可否判定の閾値の定義

- ・ DX : 地震被災時の速度のPSI値もしくは計測震度
- ・ DS1 : 地震時に鋼部材が限界曲率に至るとき、または極限支持力(押込or引抜)に至るときの速度のPSI値もしくは計測震度。※限界曲率と極限支持力の厳しい方でDS1を設定。
- ・ DS3 : 地震時に栈橋上部工が設計耐力(曲げ耐力orせん断耐力)に至るときの速度のPSI値もしくは計測震度。

ここで、速度のPSI値：速度のPSI値法で判定を行う場合
計測震度：震度階級法で判定を行う場合

図 2.3 机上判定フロー (栈橋式)

3. 被災直後現地判定フロー

現地判定フローは、現地点検の結果に基づいて使用可否判定を行う際のフローである。当該フローの使い方は以下を想定する。

■方針

- ・ 現地点検診断を行った結果を“点検診断カルテ”に記載し、事務所等に持ち帰ったうえで現地判定フローにより使用可否判定を行う方針とする。（現地点検の場合には判定は行わない。）
 - ・ そのため、現地点検診断では“点検診断カルテ”における全ての点検項目をチェックする。そのうえで総合的な使用可否判定を行う。
- （当該フローでは分岐で NO の方向に進み使用不可となる場合には、その時点でフローが終了してしまうが、現地ではそのことは考えず全ての点検項目をチェックする。）

また、フローに登場する「構造上の可否判定」、「使用上の可否判定」については下記のとおりである。

① 構造上の可否判定

構造部材の損傷程度に関する判定。事前検討（FLIP 解析・その他暫定判定基準）で設定した閾値と、Berth Surveyor により測定した岸壁天端の残留水平変位量を比較し、判定を行う。

② 使用上の可否判定

実際に船舶が着岸し荷役が可能かどうかに関する判定。被災施設への接岸・荷役の可否は、“凹凸変位量 $\leq 0.5\text{m}$ ”を目安にしつつ、背後段差の有無やその程度、防舷材や係船柱の損傷、接岸船舶の船長、さらに船舶等の利用者の意見も参考に総合的に判断する。

各判定フローを表 2.1 に示す。

表 2.1 判定フロー一覧

フロー種類	図番号	
被災直後現地判定フロー (現地点検結果による判定)	重力式係船岸	図 2.5
	矢板式係船岸	図 2.8
	栈橋式係船岸	図 2.9

図 2.5～図 2.9 のフローに示す「甚大な被害」の定義と拡大写真を以下に示す。

現地（対象施設）の点検診断を行うにあたり、最初に施設全体を遠望し、残留水平変位量による判定やダイバーによる目視調査をするまでもなく、甚大な被害が生じている場合は使用不可と判断する。この甚大な被害とは、立入りが危険、大部分が崩壊している等、一見で判断できる大きな変状が発生している場合である。下図に甚大な被害の例を示す。



図 2.4 甚大な被害の事例

(1) 重力式の現地判定フロー

被災直後現地判定（現地点検結果による判定）フロー（重力式）

本判定フローでは、分岐においてNOの方向に進み使用不可となった場合、その時点でフローが終了しそれ以降の判定項目が実施されない流れとなっている。
 しかし、現地での点検診断は、現地診断カルテにおける全てのチェック項目を埋める。そのうえでカルテを持ち帰り使用可否判定を本フローに従い行うこととする。現地での点検順序は別途、地震後の係留施設点検マニュアルにフローを示す。

✓全延長を通して、使用が必要な範囲ごとに判定を行う。
 （全延長の一部で使用不可の状況であっても、接岸・荷役が可能な範囲があればその範囲は使用可とする。）

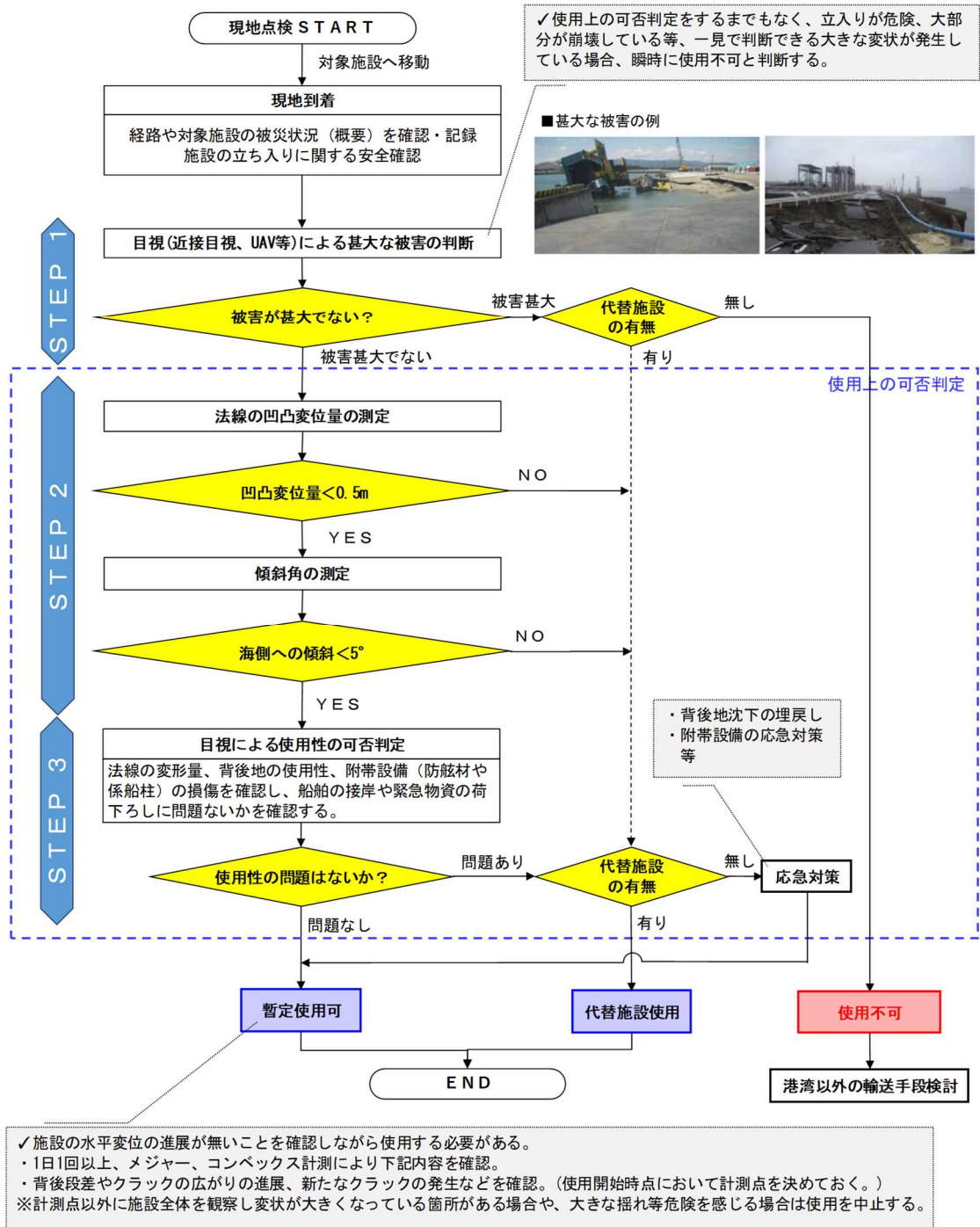


図 2.5 被災直後現地判定フロー（重力式）

(2) 矢板式の現地判定フロー

矢板式の変形モードは図 2.6 に示すように、矢板天端が海側に傾く“変形モード A”と矢板中腹部がはらみ出す“変形モード B”に分類される。

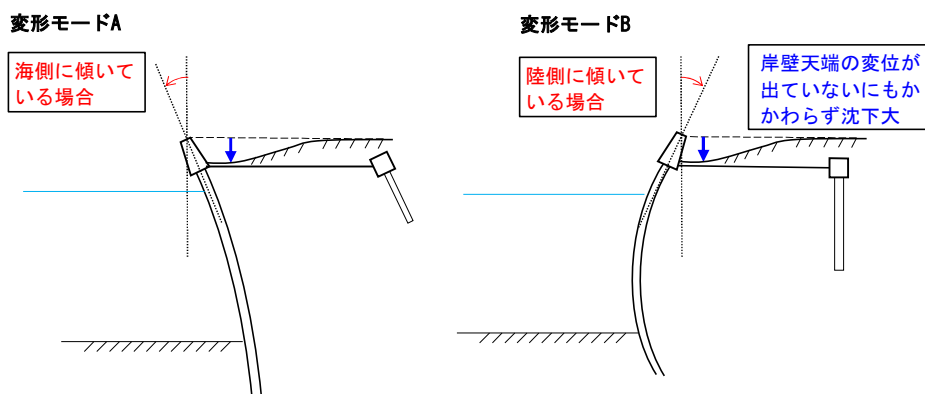


図 2.6 矢板の変形モードとその推定方法

変形モード B の場合は、矢板天端に変位量が生じにくい、海中部で矢板が損傷している可能性があり注意が必要である。また天端変位量が小さため、水平変位から応力状態を判断するのが難しく慎重な判断が必要となってくる。そのため、変形モード B の場合は、変位量の閾値に加えて“傾斜角の閾値”を設定し、両者を用いて使用可否判定を行うこととする。（閾値の設定方法は「第 4 章 4.3.2 矢板式係船岸(p.4-32～)」に示す。）具体的な判定の流れは、図 2.8 の判定フローに示すとおりである。

ただし、R03d までの検討でモード B となった事例では、岸壁天端の変位量がある程度出ているため変位量による判定が可能であるが、今後モード B で変位量が小さい場合は、変位量による判定が難しくなる可能性もある。

変形モード A か B の推定方法は図 2.6 に示すとおりである。また、図 2.7 の写真に示すように、天端変位が小さいにもかかわらず背後沈下が生じている場合は、変形モード B の可能性がある。



(1983 年日本海中部地震、秋田港)



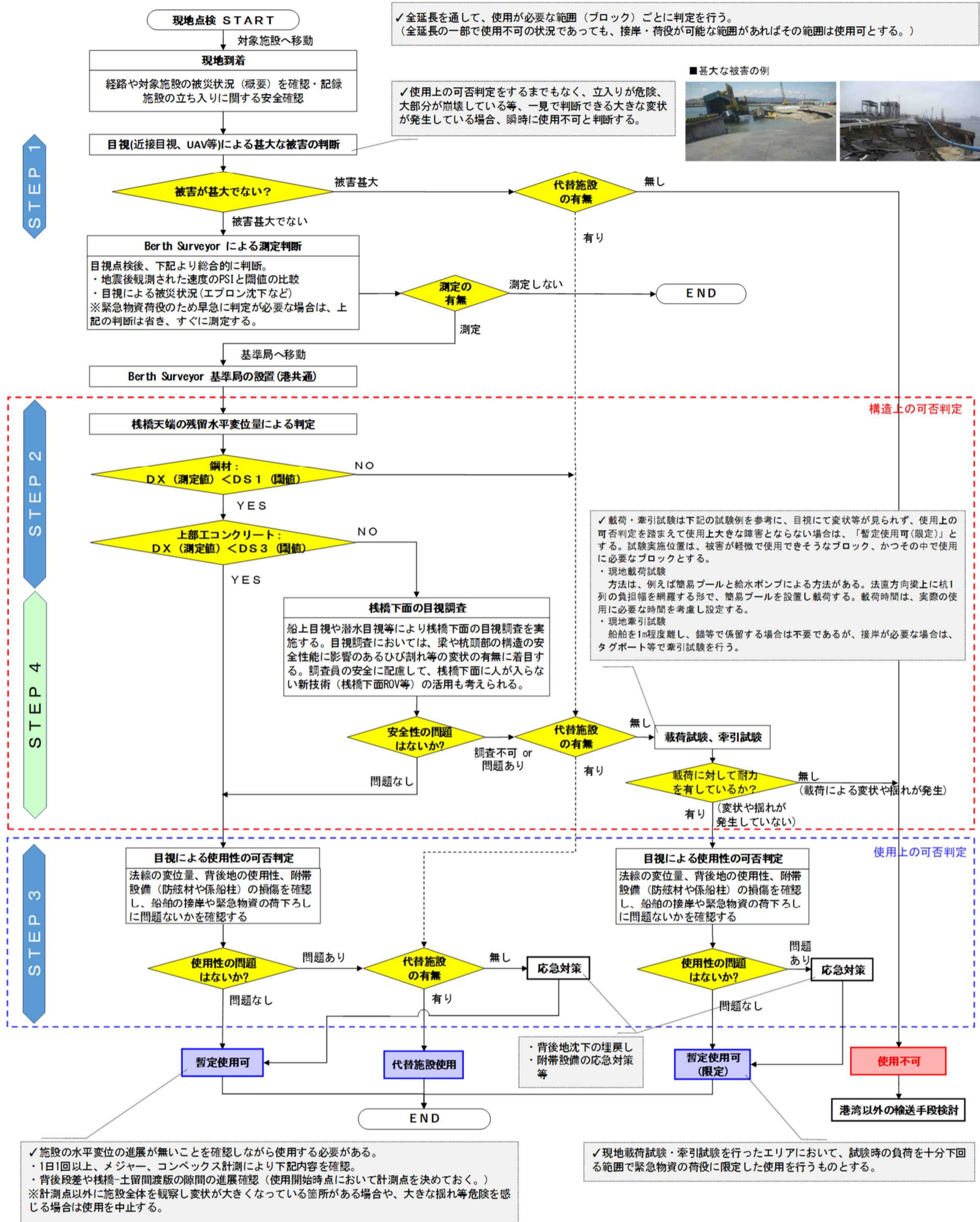
(1993 年釧路沖地震、釧路港)

図 2.7 変形モード B の事例（背後沈下の様子）※港湾空港技術研究所提供

(3) 栈橋式の現地判定フロー

被災直後現地判定（現地点検結果による判定）フロー（栈橋式）

本判定フローでは、分岐においてNOの方向に進み使用不可となった場合、その時点でフローが終了しそれ以降の判定項目が実施されない流れとなっている。
 しかし、現地での点検診断は、現地診断カルテにおける全てのチェック項目を埋める。そのうえでカルテを持ち帰り使用可否判定を本フローに従い行うこととする。現地での点検順序は別途、地震後の係留施設点検マニュアルにフローを示す。



■ 構造上の可否判定
 使用可否判定において、構造部材の損傷程度に関する判定を行う部分。具体的には、事前検討（FLIP解析・その他暫定判定基準）で設定した構造部材（矢板、栈橋杭、栈橋上部工等）の閾値と、Berth Surveyorにより測定した岸壁天端の残留水平変位量を比較し判定を行う。

■ 使用上の可否判定
 使用可否判定において、「構造上の可否判定」で使用可とされた後に、実際に船舶が着岸し荷役が可能かどうかに関する判定を行う部分。具体的には、法線の変位量、背後地の使用性、附帯設備（防舷材や係船柱）の損傷を確認し、船舶の接岸や緊急物資の荷下ろしに問題がないかを確認する。

■ 使用可否判定の閾値の定義
 ・DX：被災後測定した岸壁天端の残留水平変位量
 ・DS1：地震時に鋼部材が限界曲率に至るとき、または極限支持力（押し込み力）に至るときの水平変位量。※限界曲率と極限支持力の厳しい方の変位量をDS1として設定。
 ・DS2：接岸力・牽引力作用時に鋼部材が設計耐力（降伏応力）に至るときの水平変位量 ※なお、被災直後の判定フロー（本フロー）では登場しない。
 ・DS3：地震時に栈橋上部工が設計耐力（曲げ耐力やせん断耐力）に至るときの水平変位量
 ※1：FLIP解析においては上部工が比較的早く設計耐力を超過し、閾値DS3が小さく設定される場合が多い。そのため、 $DX \geq DS3$ となる場合は上部工の下面調査を行い、構造上問題となる損傷が生じていないかを確認する。
 ※2：FLIP解析を行っておらず暫定的な判定基準（閾値：杭が降伏に至るときの栈橋天端の水平変位量を、簡易な構造計算で算出）を設定している施設は、上記のフローにおいてDS1=降伏変位として判定を行う。また、「構造上の可否判定」における「上部工の判定部分」を省略して判定を行う。

図 2.9 被災直後現地判定フロー（栈橋式）

4. 技調用判定フロー

技調用フローは被災直後の緊急物資輸送における使用可否判定では使用せず、通常の荷役に向けた詳細な点検や補修の優先順位付けに参考として用いることを想定する。なお、暫定使用可（長期）と判定、すなわち鋼部材が降伏未満と判断されても、通常の荷役で使用する際は詳細点検を実施し、必要な補修を行う必要がある。暫定使用可とは、あくまでも大規模地震発生直後の緊急物資輸送を対象としている。

※過年度報告書では（長期）：“暫定的に「通常使用可」”、（短期）：“暫定的に「条件付き使用可」”と表現している場合があるが、フロー中に“暫定”“限定”“条件付き”等、似通った文言が混在すると混乱が生じるため、“長期”“短期”の表現に統一した。

表 2.2 とおり判定フローを示す。

表 2.2 判定フロー一覧

フロー種類		図番号
技調用判定フロー	矢板式係船岸	図 2.10
	栈橋式係船岸	図 2.11

第3章 速度の PSI 値算定プログラム

強震計を設置していない重要港湾以上において、近傍の強震観測点(K-net 等)とのサイト増幅特性の違いを考慮して、対象港湾における工学的基盤位置での地震動を算定し、速度の PSI 値を算出するプログラムを作成する。

1. サイト増幅特性の違いを考慮した地震動の算定方法

サイト増幅特性の違いを考慮した地震動の算定方法を図 3.1 に示す。

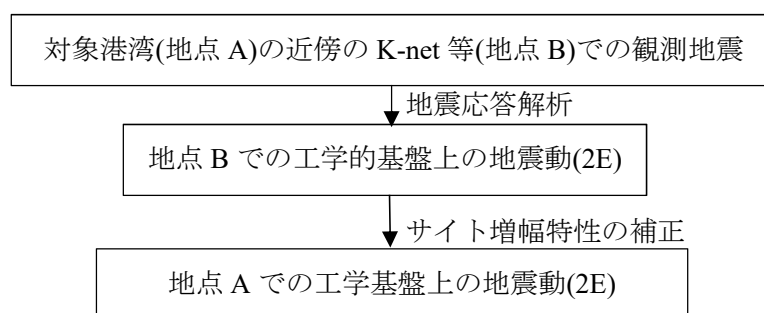


図 3.1 サイト増幅特性の違いを考慮した地震動の算定方法

地点 B のサイト増幅特性は、港湾空港技術研究所資料 No.1112⁴⁾に記載されている値を用いる。地点 A のサイト増幅特性は、国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室の HP(<https://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>)に記載されている値を用いる。

地点 B のサイト増幅特性は、地震基盤から地表面までの値($\Delta f=0.024414\text{Hz}$)であり、地点 B の地盤モデルで地震基盤から工学的基盤までの値を設定する。地点 A のサイト増幅特性は、地震基盤から工学的基盤までの値($\Delta f=0.0061035\text{Hz}$)である。

地点 B のサイト増幅特性の周波数ピッチを地点 A の周波数ピッチにあわせる必要があるため、地点 B の値を線形補間する。

1.1. 地表面の地震動を工学基盤に変換するプログラムの選定

(1) 各プログラムの概要

地盤中の地震波形は、(入射波、反射波、複合波)に区分される。図 3.2 に示すように、鉛直方向に伝播する地震動を考える。基盤面での地震波形すなわち入力地震波形に注目した場合、地震波形は震源から伝播してくる入射波 E と表層地盤からの反射波 F の和として与えられる。基盤の露頭部分では、表層地盤からの反射波は存在せず、反射波 F は入射波 E と同一となり、地震波形は 2E として与えられる。

強震計で観測された地震波形は入射波と反射波の和、つまり E+F(複合波)であり、ある観測地点の基盤面で得られた地震記録を他の地点での入力地震動として適用しようとする場合、露頭波で

4) 野津厚,長尾毅:スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性, 港湾空港技術研究所資料, No.1112, 2005.12

なければ、観測地点固有の表層地盤の震動特性の影響すなわち F を除いて分離する必要がある。この場合、入力地震波を露頭波と同じ 2E(入射波の 2 倍)として定義することが一般的である。

対象施設が強震計の直近である場合は、地震応答解析(FLIP)に用いる工学的基盤の地震波形は、複合波(地中の強震計で観測される成分は複合波(入射波と反射波が混合))で良い。しかし、係留施設供用可否簡易判定手法は、工学的基盤での入射波の 2 倍(2E)を用いた地震応答解析結果より作成していることから、同じ条件での解析を行わなければ判定ができない。従って、係留施設供用可否簡易判定においては、複合波(E+F)から入射波の 2 倍(2E)を算定する必要がある。また、サイト増幅特性のゾーニングにおいて同じゾーンでも強震計位置から離れると工学的基盤から地表面までの地盤の差異が影響するため、地震応答解析(FLIP)に輸入する工学的基盤の地震波形としては、入射波の 2 倍(2E)が必要となる。地表面の波形より工学的基盤での入射波の 2 倍(2E)を算定するためには、周波数領域で計算を行う SHAKE を用いる必要がある。

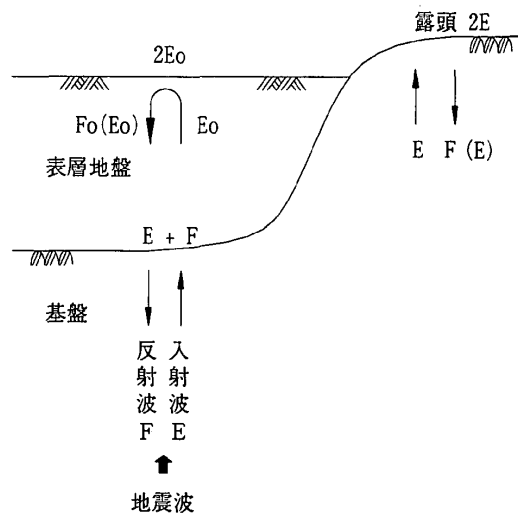


図 3.2 入射波及び反射波⁵⁾

ひずみの値は時々刻々変化する。したがって剛性や減衰特性も時々刻々変化する。しかし、SHAKE は、周波数領域での計算のため、材料特性は時間によって変わらないとして扱わなければならない。この点を改良するために、等価線形化法が用いられている。すなわち、解析の全時間を通じ材料特性は変わらないとする。このため、高周波成分の応答を過小評価する場合がある。図 3.3 には、杉戸ら⁶⁾によって報告されている東京湾埋立地における鉛直アレー地震観測で得られた地表の地中に対する増幅比と SHAKE より得られた増幅比を示している。SHAKE は 6Hz 以上で観測記録に比べて増幅比が小さい。

なお、材料特性の値は、

$$\gamma_{eff} = \alpha \gamma_{max} \quad (1.1)$$

により求められる有効ひずみ γ_{eff} に対する値として定義される。ここで、 γ_{max} は最大ひずみ、 α は等価線形化のための係数である。 α の値としては 0.65 がよく用いられる。

⁵⁾ 平成 11 年度 実務者のための耐震設計入門 土木学会
⁶⁾ 杉戸真太,合田尚義,増田民夫:周波数特性を考慮した等価ひずみによる地盤の地震応答解析法に関する一考察,土木学会論文集, No.493/III-27, pp.49-58, 1994

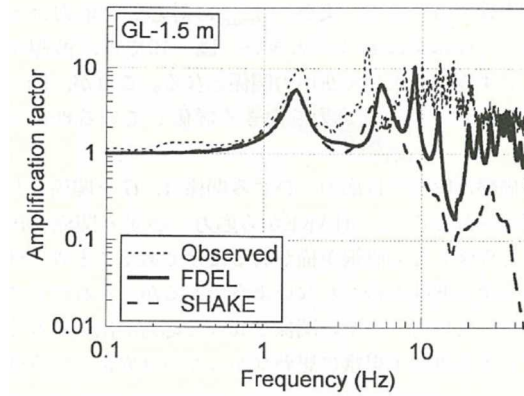


図 3.3 東京湾埋立地における鉛直アレーから求めた増幅特性⁶⁾

この欠点(高周波成分の応答を過小評価する)は、地震動の引き下げで顕著に現れる。図 3.4 は台湾の羅東で行われた鉛直アレーの解析で地表の地震動を与え、地下の地震動を求めている。図の●が観測値、実線が SHAKE である。2 つの地震が解析されているが、ひずみが小さいケース(No.11)に対しては比較的良いシミュレーションをしているが、ひずみが大きいケース(No.16)では地下に行くに従って最大加速度が増加するという異常な結果となっている。

そこで、杉戸ら⁶⁾は応答解析で得られるひずみの時刻歴波形を周波数領域に分解し、各周波数成分のひずみに応じたせん断剛性及び減衰を設定して計算する手法を SHAKE に取り入れた FDEL を提案した。

具体的には、周波数毎の有効ひずみを下式より算定し周波数毎のせん断剛性及び減衰を設定している。

$$\gamma_{eff}(\omega) = \alpha \gamma_{max} \frac{F(\omega)}{F_{max}} \quad (1.2)$$

ここで、 $F(\omega)$ はひずみ波形のフーリエスペクトル、 F_{max} はその最大値である。

この FDEL により、図 3.3 に示す 6Hz 以上での落ち込みが改善され、図 3.4 に示す地中での最大加速度の急激な増加も改善され、地中で観測された最大加速度を模擬できている。

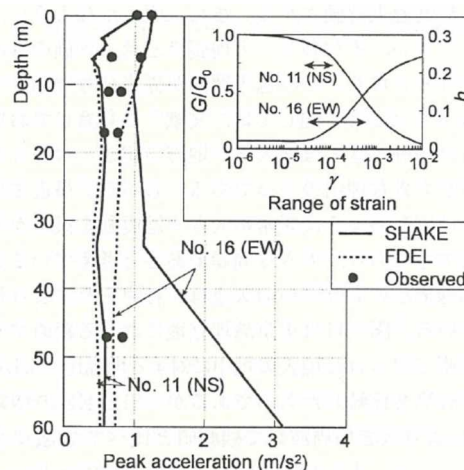


図 3.4 羅東での検討例⁷⁾

⁷⁾ 上島照幸,中園直秀:「歪みの周波数特性を考慮した等価線形化手法」の羅東地点地震データへの適用,土木学会 51 会年次学術講演会,第Ⅲ部門,pp.408-409,1996

また、吉田⁸⁾は、SHAKE に対して下記の 3 点を改良している。

①係数 α をパラメータとしない。

SHAKE、FDEL で用いられている有効ひずみを算定するための係数 α (通常 0.65 を使用) を 1.0 とした。大ひずみ時の最大加速度を合わせようとするれば式(1.1)、式(1.2)の係数 α は変動してはいけないとしている。

②周波数毎にせん断剛性、減衰定数を設定する。

FDEL と同じであるが、有効ひずみを式(1.3)で定義する。

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_{\text{eff}} = \gamma_{\text{max}} \\ \gamma_{\text{eff}} = \gamma_{\text{max}} \left\{ 1 - \left(\frac{\log f - \log f_p}{\log f_e - \log f_p} \right) \right\} \\ \gamma_{\text{eff}} = 0 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} f_p > f \\ f_p \leq f \leq f_e \\ f > f_e \end{array} \right. \quad (1.3)$$

ここで、 f_p は最大ひずみが現れた時の周波数、 f_e は弾性挙動にいたる周波数であり、通常 6Hz を用いている。

③散乱による減衰を考慮する。

散乱減衰は、地盤の不均質性により波動が散乱しながら伝播する間に発生する減衰で、式(1.4)に示すように周波数依存性や地震波の伝播経路依存性が指摘されている。

$$h = \alpha f^\beta \quad (1.4)$$

ここで、 h は散乱減衰、 f は周波数、 α と β は散乱減衰のパラメータである。ただし、散乱減衰の地震波の周波数依存については、研究段階であり一般的な地盤において定量的な評価は困難である。

SHAKE、FDEL、DYNEQ の比較を表 3.1 に示す。

表 3.1 SHAKE、FDEL、DYNEQ の比較

プログラム	解析手法	有効ひずみを算定する際の係数 (最大ひずみに乗じる係数)	周波数毎のせん断剛性、 減衰定数の設定	散乱減衰 の考慮
SHAKE	周波数領域での解析	0.65が一般的	無し	無し
FDEL	周波数領域での解析	0.65が一般的	有り	無し
DYNEQ	周波数領域での解析	大きなひずみでは、最大ひずみの1.0倍とし、 係数が周波数に応じて変化する。	有り	有り

地表面の観測波形から地中での地震波形に引き戻すためには、周波数毎のせん断剛性、減衰定数を設定できるプログラムが適している。また、このことは、地中での観測波形(複合波)から入射波成分を取り出すことも関連しており、観測波形から地震応答解析を実施する工学的基盤での入射波を設定するには、周波数毎のせん断剛性、減衰定数を設定できるプログラム(FDEL、DYNEQ)が適している。

⁸⁾ 吉田 望 : DYNEQ , A computer program for DYNAMIC response analysis of level ground by EQUIVALENT linear method, 東北学院大学工学部, <http://www.civil>.

(2) プログラムの選定

中部地方整備局で整備している施設診断システムで、工学的基盤に引き戻した際に、速度のPSI値がFDELよりも大きく算定される傾向にあるDYNEQを採用している。本マニュアルでもDYNEQを採用する。

2. 対象港湾(地区)

対象港湾(地区)の一覧を表3.2に示す。表3.2には、既往のサイト増幅特性を設定する際に利用した観測点を示している。本マニュアルで作成するプログラムでは、この既往のサイト増幅特性を設定する際に利用した観測点のデータから対象港湾(地区)の地震動を算定する。

表 3.2 対象港湾(地区)一覧

No	港湾名	地区	サイト増幅特性				本マニュアルで参照する観測点
			整理番号	ラング	強震観測点	サイト増幅特性設定の際に利用した観測点	
1	下関港		s9511	梅	FKOH01	FKOH01	FKOH01
2	下関港	前田地区	s9737	松	下関港(前田地区)臨時観測地点	YMG011	YMG011
3	下関港	長府地区	s9738	松	下関港(長府地区)臨時観測地点	YMG011	YMG011
4	下関港	新港地区	s9739	松	下関港(新港地区)臨時観測地点	YMG011とYMGH07	YMG011とYMGH07
5	下関港	西山地区	s9747	竹	下関港(新港地区)臨時観測地点	新港地区	YMG011とYMGH07
6	北九州港	響灘地区、田野浦地区	s9702	松	北九州港(響灘地区)臨時観測地点	FKO003とFKOH01	FKO003とFKOH01
7	北九州港	新門司地区	s9735	竹	YMG011	YMG011	YMG011
8	北九州港	新門司沖地区	s9741	松	北九州港(新門司沖地区)臨時観測地点	FKO004	FKO004
9	北九州港	新門司南地区	s9742	松	北九州港(新門司南地区)臨時観測地点	FKO004と長府	FKO004とYMG011とYMGH07
10	苅田港	新松山地区	s9703	松	苅田港臨時観測地点	FKO004	FKO004
11	三池港		s9704	松	三池港臨時観測地点	FKO015とKMMH17	FKO015とKMMH17
12	唐津		s9713	松	唐津港臨時観測地点	SAG002	SAG002
13	伊万里港	七ノ島地区	s9714	松	伊万里港臨時観測地点	SAG004とSAGH02	SAG004とSAGH02
14	長崎港	小ヶ倉柳地区、松が枝地区	s9705	松	長崎港臨時観測地点	NGS010とNGSH06	NGS010とNGSH06
15	佐世保港		s9706	梅	NGSH02	NGSH02	NGSH02
16	佐世保港	三浦地区	s9743	松	佐世保港(三浦地区)臨時観測地点	確認できない	NGSH02
17	佐世保港	浦頭地区	s9748	竹	佐世保港(三浦地区)臨時観測地点	確認できない	NGSH02
18	厳原港		s9707	松	NGS022	NGS022	NGS022
19	郷ノ浦港		s9708	松	郷ノ浦港臨時観測地点	確認できない	NGS023
20	福江港	大津地区	s9709	松	福江港臨時観測地点	NGS003とNGSH01	NGS003とNGSH01
21	熊本港	夢咲島地区	s9716	松	熊本港臨時観測地点	KMM009とKMMH07	KMM009とKMMH07
22	八代港		s9717	松	八代港臨時観測地点	確認できない	KMM012
23	三角港		s9718	松	KMM010	KMM010	KMM010
24	中津港	田尻地区	s9710	松	中津港臨時観測地点	OIT002	OIT002
25	津久見港		s9711	松	OIT014	OIT014	OIT014
26	佐伯港		s9712	松	OIT016	OIT016	OIT016
27	大分港	西大分地区	s9745	松	大分港(西大分地区)臨時観測地点	OIT010とOITH05	OIT010とOITH05
28	大分港	住吉、津留、乙津、鶴崎地区	s9750	松	産総研観測点新日鏡敷地内	OIT010	OIT010
29	油津港		s9715	梅	MYZH14	MYZH14	MYZH14
30	油津港	東地区	s9749	松	臨時観測点	MYZ016とMYZH14	MYZ016とMYZH14
31	川内港		s9719	梅	KGS04	KGS04	KGS04
32	西之表港		s9720	松	KGS025	KGS025	KGS025
33	名瀬港		s9721	松	名瀬港臨時観測地点	KGS030	KGS030

※ <https://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html> に加筆

3. 速度の PSI 値算定プログラム

速度の PSI 値算定プログラムは、エクセルで実行する。

必要なファイルのフォルダー構成は、図 3.5 のとおりである。空白を含むフォルダー名があるパスに置かないようにしてください。

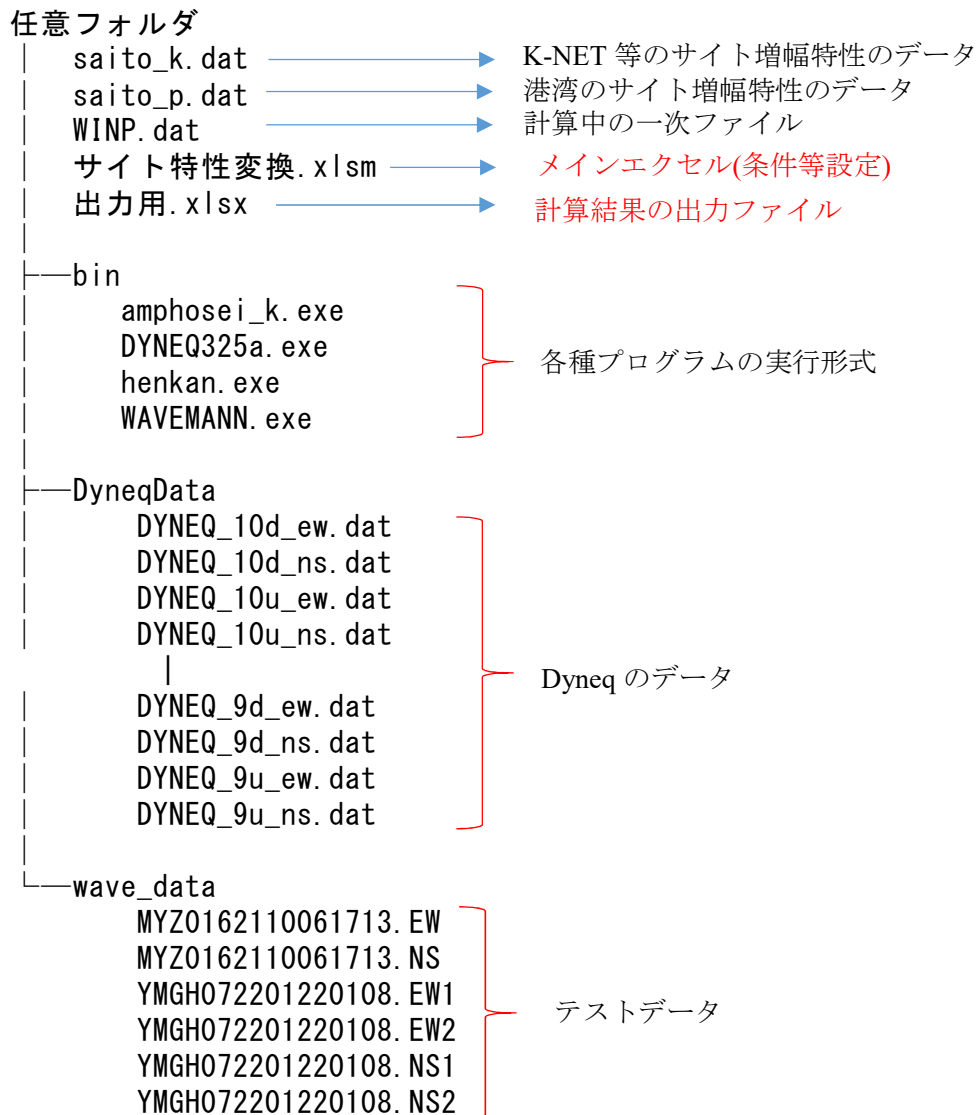


図 3.5 速度の PSI 値算定プログラムのフォルダー構成

変更するのは、「サイト特性変換.xlsx」と「出力用.xlsx」である。「出力用.xlsx」は、計算する度に同じファイル名「出力用.xlsx」で保存されるため、ファイルの名前を変えて保存する必要がある。

「サイト特性変換.xlsx」は、ファイル名を変更してはならない。

以下に、「サイト特性変換.xlsx」と「出力用.xlsx」の内容を説明する。

3.1. サイト特性変換.xlsxm

下記に示す様にエクセルのボタンで、変換する波形のフォルダー(図 3.7 参照)とファイル(図 3.8 参照)を選択する。次に、対象港湾及び強震計(観測点)をプルダウンから選択する。プルダウンのリストは、図 3.9~図 3.10 の通りである。最後に、「PSI 値の計算」ボタンで計算を実施する。

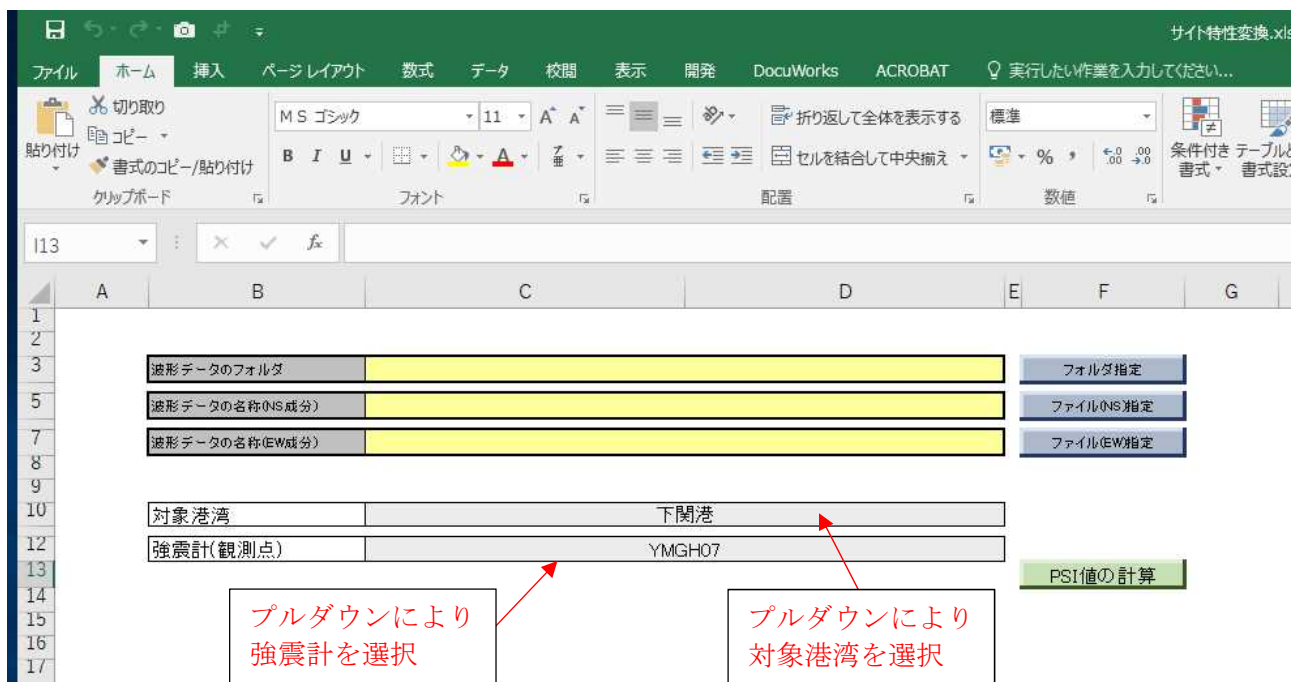


図 3.6 サイト特性変換.xlsxm の画面

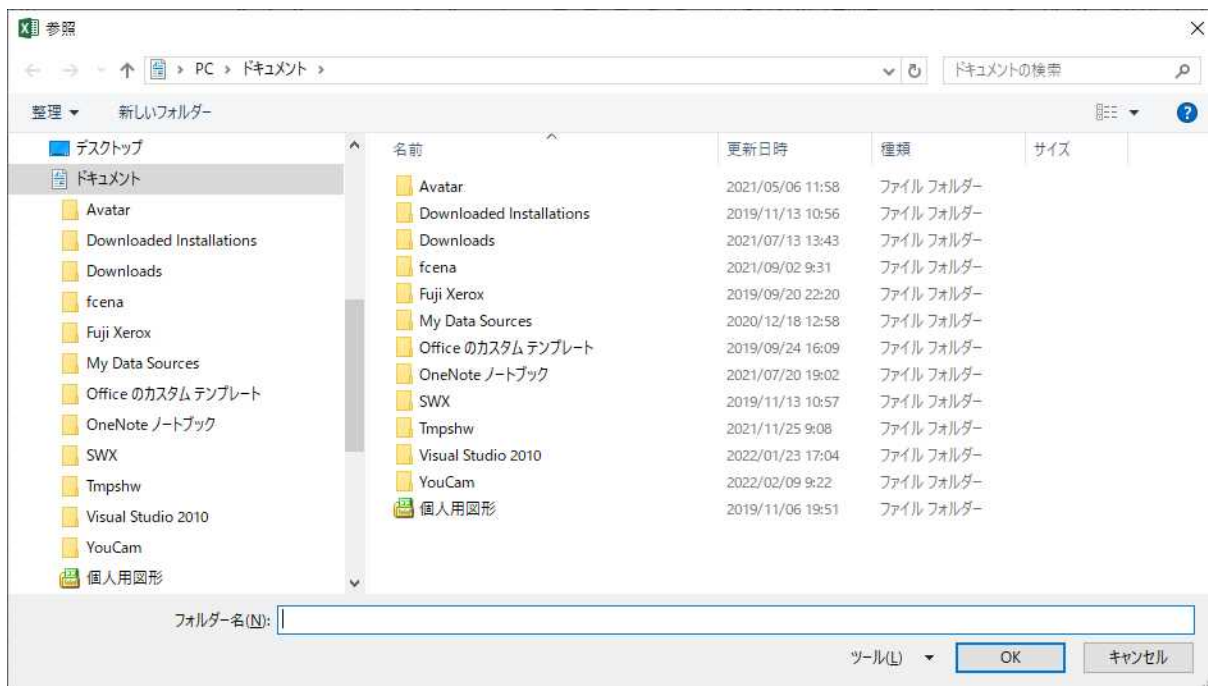


図 3.7 フォルダー指定画面

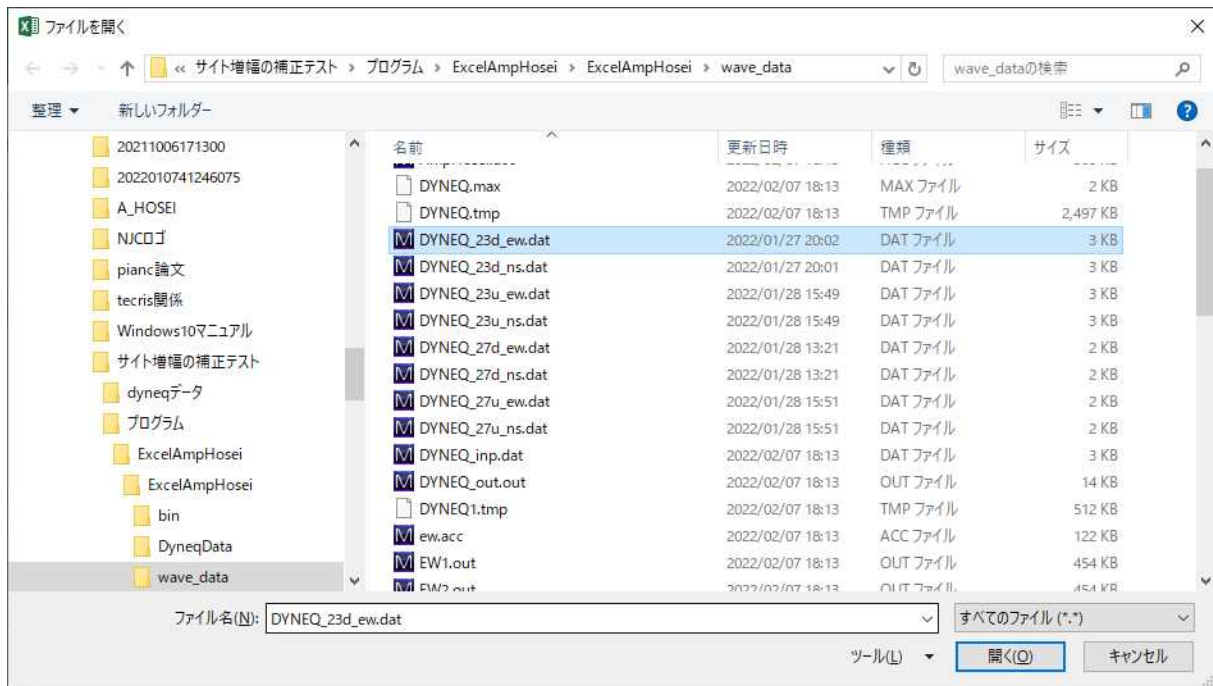


図 3.8 ファイル指定画面

対象港湾	nsp
下関港	1
下関港 前田地区	2
下関港 長府地区	3
下関港 新港地区	4
下関港 西山地区	5
北九州港 響灘地区、田野浦地区	6
北九州港 新門司地区	7
北九州港 新門司沖地区	8
北九州港 新門司南地区	9
苅田港 新松山地区	10
三池港	11
唐津港	12
伊万里港 七ツ島地区	13
長崎港 小ヶ倉柳地区、松が枝地区	14
佐世保港	15
佐世保港 三浦地区	16
佐世保港 浦頭地区	17
巖原港	18
郷ノ浦港	19
福江港 大津地区	20
熊本港 夢咲島地区	21
八代港	22
三角港	23
中津港 田尻地区	24
津久見港	25
佐伯港	26
大分港 大在地区	27
大分港 西大分地区	28
大分港 住吉、津留、乙津、鶴崎地区	29
油津港	30
油津港 東地区	31
川内港	32
西之表港	33
名瀬港	34

図 3.9 対象港湾のプルダウンリスト

強震計(観測点)	nsk
YMG011	1
YMGH07	2
FK0003	3
FK0004	4
FK0015	5
FKOH01	6
SAG002	7
SAG004	8
SAGH02	9
NGS003	10
NGS010	11
NGS022	12
NGS023	13
NGSH01	14
NGSH02	15
NGSH06	16
KMM009	17
KMM010	18
KMM012	19
KMMH07	20
KMMH17	21
OIT002	22
OIT010	23
OIT014	24
OIT016	25
OITH05	26
MYZ016	27
MYZH14	28
KGS025	29
KGS030	30
KGSH04	31

図 3.10 強震計のプルダウンリスト

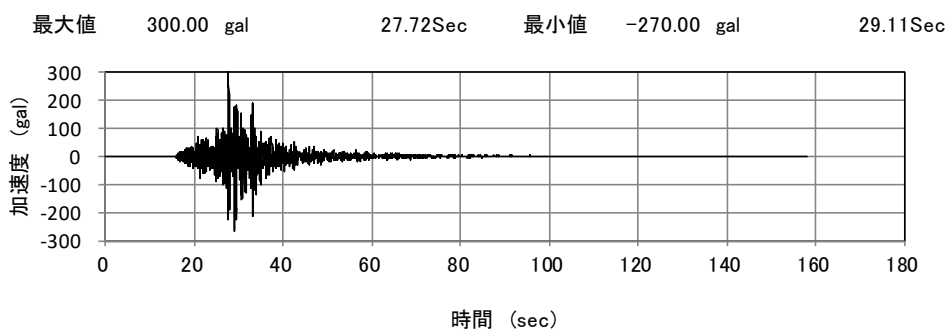
3.2. 出力用.xlsx

「出力用.xlsx」には、図 3.11 に示す速度の PSI 値算定結果と図 3.12 に示す加速度波形時刻歴図が出力される。なお、シート「波形データ」には、図 3.13 に示すテキストが出力される。

波形データのフォルダ	C:\Users\sonekt\Desktop\サイト増幅の補正テスト\プログラム\ExcelAmpHo	
波形データの名称(NS成分)	OIT0102201220108.NS	
波形データの名称(EW成分)	OIT0102201220108.EW	
対象港湾	下関港	
強震計(観測点)	YMGH07	
対象港湾における工学的基盤		
	NS成分	EW成分
最大加速度(Gal)	300	246
速度のPSI値(cm/s ^{3/2})	18.06	15.73

図 3.11 速度の PSI 値算定結果

NS成分の波形



EW成分の波形

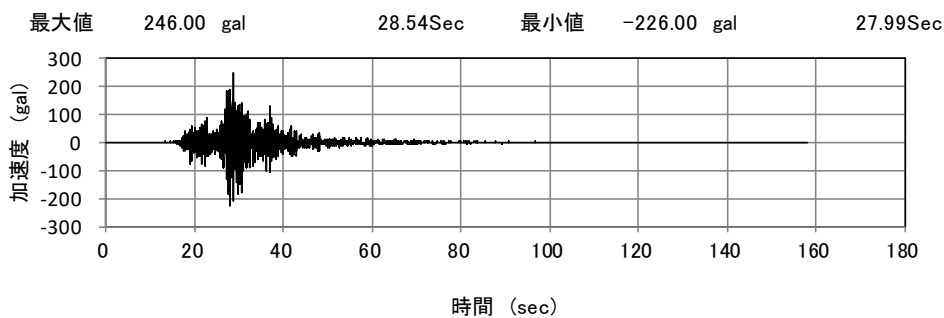


図 3.12 出力される加速度時刻歴

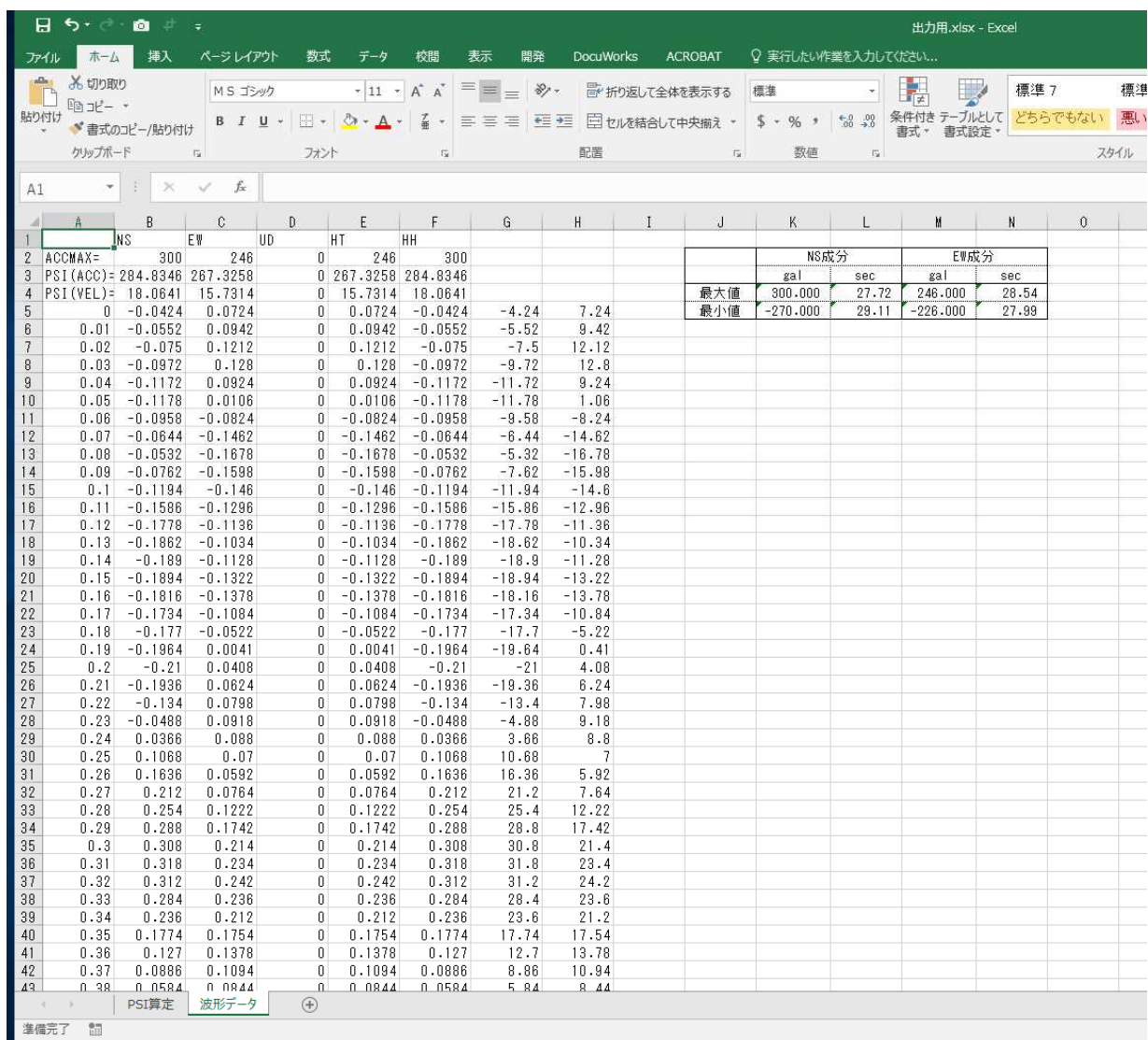


図 3.13 加速度波形のテキストデータ

第4章 判定基準と閾値の設定方法

1. 使用可否判定の種類と定義

被災直後現地判定フローに登場する「暫定使用可」、「暫定使用可（限定）」、「使用不可」をまとめると、表 4.1 のとおりとなる。あわせて被災直後現地判定フロー（「第 2 章 3 被災直後現地判定フロー」 p.2-6～）もご参照いただきたい。

表 4.1 使用可否判定の種類（被災直後現地判定用）

判定	定義	備考
暫定 使用可	構造上の可否判定において、鋼部材が限界曲率未満（鋼管杭・鋼管矢板）もしくは全塑性未満（鋼矢板）の状態。かつ使用上の可否判定において、船舶の接岸・荷役に係る使用性に問題のない状態。 ⇒水平変位の進展がないことを確認しながら、緊急物資輸送において暫定的な使用を行う。	被災直後は緊迫しているため、降伏の有無までは確認しない。 降伏の有無にかかわる判定は表 4.2 の暫定使用可（長期・短期）を参照。
暫定 使用可 （限定）	構造上の可否判定の結果、使用不可とされたが、現地載荷・牽引試験を行い、使用上問題なしとされた状態。 ⇒現地載荷試験・牽引試験を行ったエリアにおいて、試験時の負荷を十分下回る範囲で緊急物資の荷役に限定した使用を行うものとする。また、「暫定使用可」と同様、水平変位の進展がないことを確認しながら、暫定的な使用を行うものとする。	現地載荷・牽引試験は、どうしてもその施設を使う必要がある場合に行う。
使用 不可	①構造上の可否判定、使用上の可否判定をするまでもなく、明らかに大きな変状が生じ、瞬時に使用出来ないと判断できる状態。 ②構造上の可否判定を行った結果、使用できないと判定された状態。 ③使用上の可否判定を行った結果、使用できないと判定された状態。 ④現地載荷・牽引試験を行って、変状が見られ、暫定使用可(限定)にもできない状態。 ⇒代替施設が無い場合において、①②④となった場合は港湾以外の輸送手段を検討、③となった場合は使用上の問題に対して対策を講じる（ex：防舷材、係船柱の補修、散乱物の撤去等）。	

※使用不可以外の判定であっても、通常使用を行う際は詳細点検を実施し、必要な補修を行う必要がある。暫定使用可とは、あくまでも大規模地震発生直後の緊急物資輸送を対象とする。

技調用フローに登場する「暫定使用可（長期・短期）」を表 4.2 にまとめる。あわせて技調用フロー（「第 2 章 4 技調用判定フロー」 p.2-12～）もご参照いただきたい。なお、技調用フローは被災直後の緊急物資輸送における使用可否判定では使用せず、通常荷役による使用に向けた詳細な点検や補修の優先順位付けに参考として用いることを想定する。

表 4.2 使用可否判定の種類（技調用フローに登場する暫定使用可（長期・短期））

判定	定義	解説
暫定 使用可 (長期)	<ul style="list-style-type: none"> 地震中に鋼部材が限界曲率未満(鋼管杭・鋼管矢板)もしくは全塑性未満(鋼矢板)である上で、地震後、船舶接岸力・牽引力を作用させた場合に、鋼部材が降伏未満となっている状態。 施設変状が使用に問題とならない場合は、数年程度使用できる。なお、使用に際しては水平変位を確認しながら使用することとし、通常の荷役に移行する際は、詳細な点検を行う必要がある。 	<p>表 4.3 の B-1 参照。</p> <p>FLIP では、鋼部材をバイリニア型の M-ϕ 関係でモデル化しているため、第 1 折れ点までが弾性範囲内である。弾性範囲内であれば、荷重が除去されると同じ M-ϕ 経路を辿るようにして応力が変化するため、地震中のある時刻に瞬間的に降伏モーメント M_y を超えたとしても、限界曲率 ϕ_u に至っていなければ鋼材の耐力は有しているものと考え、地震終了後、船舶接岸時の発生モーメントが降伏モーメント M_y に至っていなければ、降伏未満とする。</p>
暫定 使用可 (短期)	<ul style="list-style-type: none"> 地震中に鋼部材が限界曲率未満(鋼管杭・鋼管矢板)もしくは全塑性未満(鋼矢板)である上で、地震後、船舶接岸力・牽引力を作用させた場合に、鋼部材が降伏以上の状態。 平常時の機能を有していないが、緊急物資輸送などの短期的使用については水平変位を確認しながら使用できる。通常の荷役に移行する際は、詳細な点検を行う必要がある。 	<p>表 4.3 の B-2 参照。</p> <p>暫定使用可(長期)と同様、地震中のある時刻に瞬間的に降伏モーメント M_y を超えたとしても、限界曲率 ϕ_u に至っていなければ鋼材の耐力は有しているものとする。しかし、この状態は地震終了後に船舶が接岸した時の発生モーメントが降伏モーメント M_y を超えているため、構造上問題がある状態であり、水平変位の進展が無いことに特に注意しながら使用する必要がある。</p>

※1：暫定使用可（長期）と判定、すなわち鋼部材が降伏未満と判断されても、通常の荷役を行う際は詳細な点検を実施し、必要な補修を行う必要がある。暫定使用可とは、あくまでも大規模地震発生直後の緊急物資輸送を対象とする。

※2：技調用フローの「暫定使用可（長期・短期）」の区分は、被災直後の緊急物資輸送における使用可否判定では使用せず、通常の荷役に向けた詳細な点検や補修の優先順位付けに参考として用いることを想定する。

※3：過年度報告書では（長期）：“暫定的に「通常使用可」”、（短期）：“暫定的に「条件付き使用可」”と表現している場合があるが、“暫定”“限定”“条件付き”等、似通った文言が混在すると混乱が生じるため、“長期”“短期”の表現に統一した。

表 4.3 使用可否の判定と鋼部材の応答イメージ

「使用不可」のケース	ケース	A-1：使用不可の例①	A-2：使用不可の例②
	鋼部材の応答イメージ		
	状態解説	地震中に限界曲率 ϕ_u を超えている(上図●)。一方で、船舶接岸時(上図●)の計算結果は数値上、A-1： ϕ_u 未満・ M_y 未満、A-2： M_y 未満となっている。これら2ケースはどちらも使用不可である。 なぜならFLIP解析では、地震中に ϕ_u を超過したとしても、荷重が除去されると同じM- ϕ 経路を辿るようにして応力が下がる(例えば、上図●)。そのため、地震終了後や船舶接岸時に数値上、 ϕ_u 未満や M_y 未満となっている場合があるが、地震中に限界曲率 ϕ_u を一度でも超えていれば、使用不可である。	
判定	使用不可		
「暫定使用可」のケース	状態	B-1：暫定使用可(長期)の例	B-2：暫定使用可(短期)の例
	鋼部材の応答イメージ		
	状態解説	暫定使用可(長期)の一例として、上図の状態が考えられる。地震中に限界曲率 ϕ_u を超えておらず(上図●)、残留時(上図●)に応力は降伏 M_y 未満まで下がる。その後、船舶接岸時には接岸力・牽引力作用により残留時(●)から少し応力が上がっている(上図●)。ただし、発生モーメントは降伏 M_y 未満である。このように地震中に限界曲率 ϕ_u 未満であり、船舶接岸時に降伏 M_y 未満となる場合、暫定使用可(長期)とする。	暫定使用可(短期)の一例として、上図の状態が考えられる。地震中に限界曲率 ϕ_u を超えておらず(上図●)、残留時(上図●)に応力は降伏 M_y 未満まで下がる。その後、船舶接岸時には接岸力・牽引力作用させることにより残留時(●)から応力がある程度上がり(上図●)。発生モーメントは降伏 M_y 以上となっている。このように地震中に限界曲率 ϕ_u 未満であるが、船舶接岸時に降伏 M_y 以上となる場合、暫定使用可(短期)とする。
判定	暫定的使用可(長期)	暫定的使用可(短期)	
凡例	M_y ：降伏モーメント M_{max} ：最大曲げ耐力 ϕ_u ：限界曲率 ● ：地震中の最大応答値 ● ：残留時(地震終了時) ● ：地震後の船舶接岸時(接岸力・牽引力載荷終了時)		

2. 判定基準の設定区分まとめ

表 4.4 の通り、重力式は凹凸変位量、傾斜角に基づき、船舶が接岸可能な範囲で使用可とする。矢板式・栈橋式は、基本的に FLIP 解析を行って閾値を設定し判定を行う。これまでの検討で、フェーズ I 期施設は判定基準を設定済みである。それ以外の施設は、すぐには FLIP 解析を行えないことから、表 4.5 に示す暫定的な方法で判定を行うこととする。

表 4.4 九州地整における使用可否の判定基準

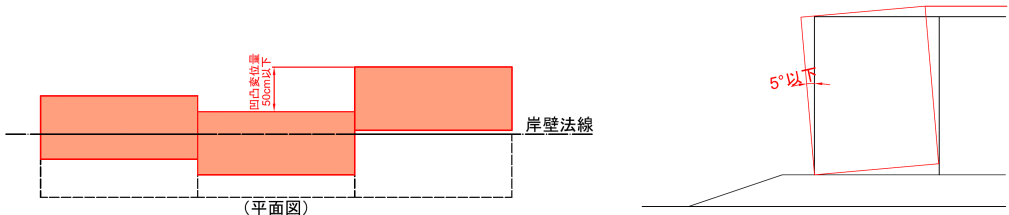
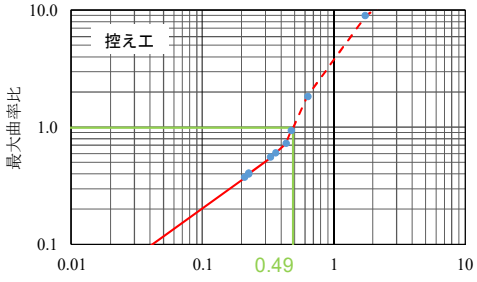
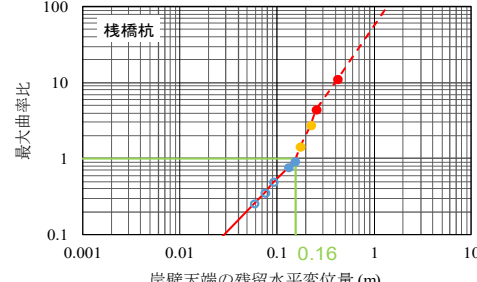
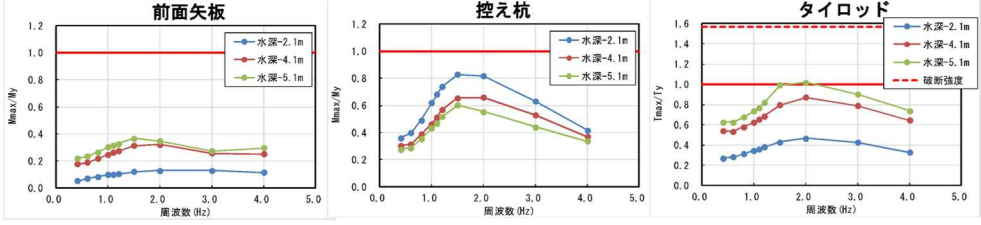
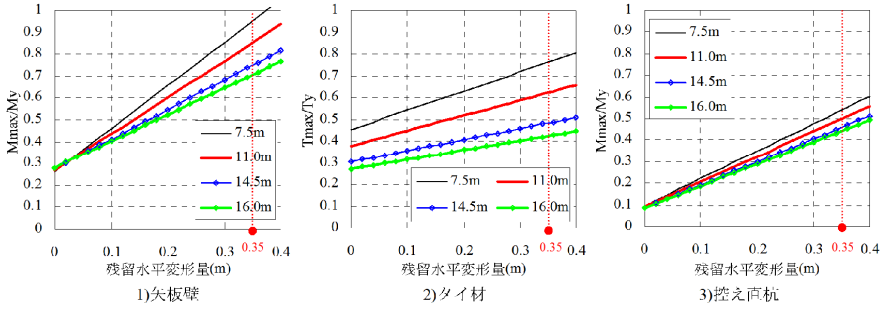
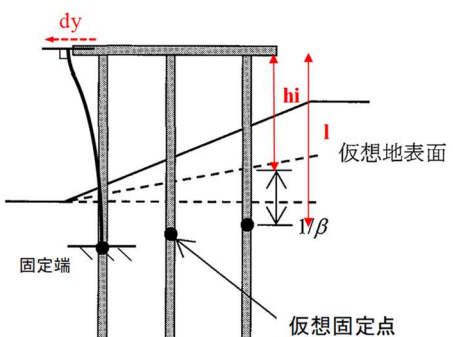
対象 構造形式	使用可否の判定基準
<p>重力式 係船岸</p>	<p>北陸方式を採用 過去の被災事例による経験則に基づき判定する。被災時に使用可能な現場条件より、船長間での凹凸変位量 0.5m 以下、傾斜角 5° 以下を目安とし、船舶接岸・荷役が可能な範囲で暫定使用可とする。</p> 
<p>鋼構造式 係船岸 (矢板式・ 栈橋式)</p>	<p>基本的には、FLIP 解析を行って作成した評価線（下図）に基づき設定した閾値により使用可否判定を行う。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="383 1041 861 1456"> <p>□矢板式</p>  <p>最大曲率比</p> <p>岸壁天端の残留水平変位量 (m)</p> <p>● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)</p> <p>※D 港 e 岸壁の結果</p> </div> <div data-bbox="893 1041 1372 1456"> <p>□栈橋式</p>  <p>最大曲率比</p> <p>岸壁天端の残留水平変位量 (m)</p> <p>● 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2) ● 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4) ● 解析結果(応力状態5) ● 解析結果(応力状態4) - - - 評価線(残存耐力無し) — 評価線</p> <p>※G 港 p 岸壁の結果</p> </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> ▶フェーズ I 期 (-7.5m 以深・直轄施設・健全度 CD) 矢板式・栈橋式とも、FLIP 解析により閾値を設定済み ▶フェーズ II 期 (-7.5m 以深・補助施設・健全度 CD) 今後、港湾管理者に FLIP 解析を奨励 ▶フェーズ III 期 (-7.5m 以深・直轄施設、補助施設・健全度 AB) 補修後、FLIP 解析を検討(直轄施設)、港湾管理者に FLIP 解析を奨励(補助施設) ▶ -7.5m 未満施設 離島の生活航路となる重要インフラ等については、FLIP 解析を個別に検討する必要がある。 <p>※健全度：D に行くほど劣化が少なく健全</p>

表 4.5 九州地整における使用可否の判定基準 (FLIP 解析を行うまでの暫定判定法)

対象 構造形式	使用可否の判定基準 (FLIP を行うまでの暫定手法)
鋼構造式 係船岸	<p>▶-7.5m 未満施設 水産庁の検討結果(下図)より、使用可否判定を行う。使用可否の閾値 10cm</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div> <p style="text-align: right;">※10cm変形時の検討結果</p> <p>▶フェーズ I 期施設 FLIP 解析により、閾値を設定済み</p> <p>▶フェーズ II 期、III期施設 今後 FLIP 解析実施を検討もしくは管理者に奨励するが、現状は、国総研の検討結果(下図)より使用可否判定を行う。使用可否の閾値 35cm(控え直杭、控え矢板式)、15cm(控え組杭式)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">  </div>
	<p>▶-7.5m 未満施設 下記より算定した降伏変位を閾値として設定する。</p> $\delta_y = \frac{My \cdot l^2}{6EI}$ <p> δ_y : 降伏変位(m) EI : 鋼材の曲げ剛性(kN・m²) l : 仮想固定点から岸壁天端までの長さ(m) My : 鋼材の降伏モーメント(kNm) </p> <div style="display: flex; align-items: center;">  </div> <p>▶フェーズ I 期施設 FLIP 解析により、閾値を設定済み</p> <p>▶フェーズ II 期、III期施設 -7.5m 未満施設と同様の手法とする。</p>

3. 重力式係船岸の判定基準

3.1. 判定基準まとめ

重力式係船岸の判定基準は、過去の被災事例による経験則に基づき判定する北陸地整の方式を採用することとする。以下に判定基準を示す。

船長間での凹凸変位量 0.5m 以下、傾斜角 5° 以下を目安とし、船舶接岸・荷役が可能な範囲で暫定使用可とする。

※上記値を目安とするが、最終的には現場判断により船舶の着岸・荷役が可能であれば暫定使用可とする。また、変位や傾斜により生じた背後段差を解消する際に投入する土の重量増加が、被災後の土留部材の安定性に影響を与えることも想定されるため、復旧の際にはこれに留意する必要がある。

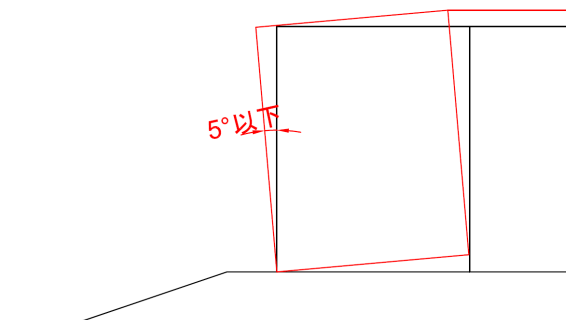
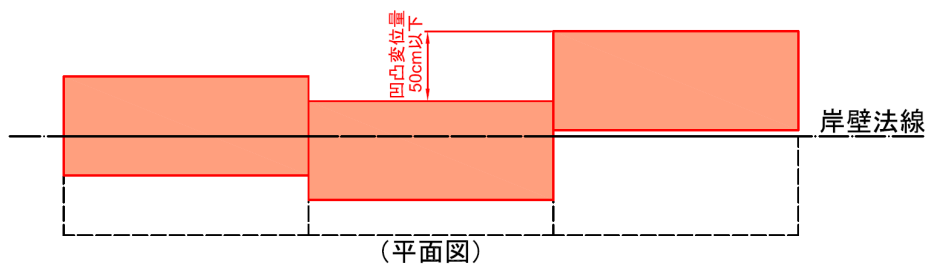


図 4.1 凹凸変位、傾斜角のイメージ

3.2. 判定基準の設定根拠

上記の判定基準の設定根拠を、北陸地整の報告書⁹⁾に基づき以下に整理する。

3.2.1. 被災程度と変形量の目安

重力式係船岸の被害程度の基準は、港湾技研資料 No.912、港湾空港技術研究所資料 No.1018、No.1145 では、以下の通り示されている。

表 4.6 重力式岸壁の被災程度と変形量の範囲 (No.912 より抜粋)

表-2.8 重力式岸壁の被災程度と変形量の範囲¹²⁾

被災程度	最大ひび出し量 (cm)	平均ひび出し量 (cm)	天端沈下量 (cm)	エプロン沈下量 (cm)	傾斜角 (°)
0	0	0	0	0	0
I	25 以下	25 以下	30 以下	50 以下	5° 以下
II	25~70	40 以下	50 以下	20~80	1~8°
III	70~200	40~200	100 以下	30~100	2~15°
IV	200 以上	200 以上	100 以上	100 以上	15° 以上

表 4.7 重力式岸壁の許容被害程度基準の目安¹⁰⁾¹¹⁾

(No.1145 より抜粋 No.1018 も同様)

表-4.2 重力式岸壁の許容被害程度基準の目安

許容被害程度		被害程度 I	被害程度 II	被害程度 III	被害程度 IV
壁体本体	法線変形率 (d/H) *	1.5%未満**	1.5~5%	5~10%	10%以上
	海側への残留傾斜角	3° 未満	3~5°	5~8°	8° 以上
エプロン	エプロン上の段差	0.03~0.1m未満	N/A***	N/A	N/A
	エプロン背後地間の段差	0.3~0.7m未満	N/A	N/A	N/A
	海側への傾斜	2~3° 未満	N/A	N/A	N/A

* d: 壁体天端の残留水平変位; H: 重力式壁体の高さ

** 代替基準に「法線の出入りが30cm未満」もある

*** 該当なし

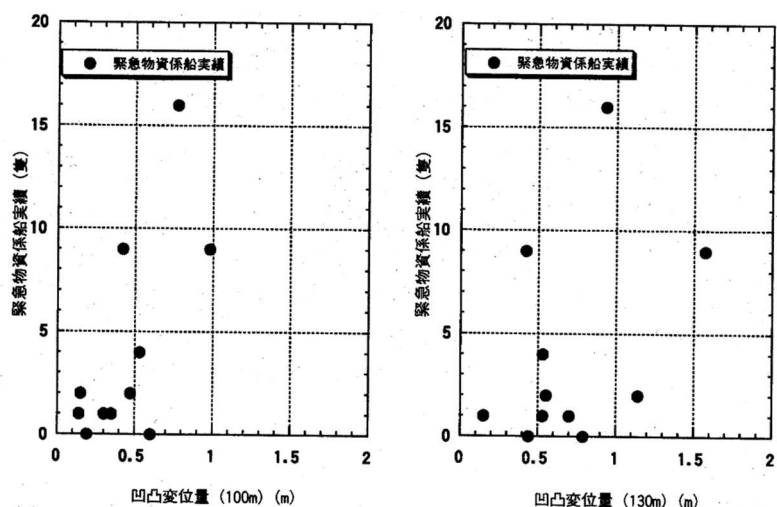
⁹⁾平成 28 年度 港湾施設の設計等に関する技術支援業務 報告書, 平成 28 年 5 月, 新潟港湾空港技術調査事務所

¹⁰⁾港湾技研資料 No.1018 「港湾構造物の耐震照査型設計体系について」

¹¹⁾港湾空港技術研究所資料 No.1145 「地震による岸壁の被災・復旧工法・耐震補強工法」

3.2.2. 兵庫県南部地震後の係船実績による変形量の目安

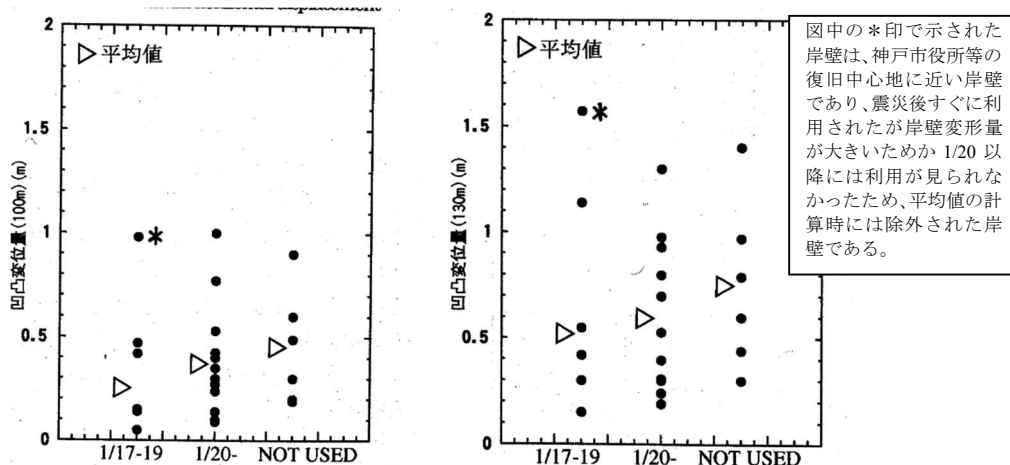
兵庫県南部地震での被災岸壁の利用実績に関する事例¹²⁾も報告されている。図 4.2 は凹凸変位量と緊急物資係船実績をまとめたものであり、図 4.3 は係船開始日時と凹凸変位量の関係についてとりまとめられたものである。ここで示す凹凸変位量とはある一定の範囲を考えた場合、その範囲内での法線の凹凸のことである。また、一井らはこの凹凸変位量と緊急物資係船実績の関係を、仮定した水深-7.5m 岸壁でのバース長さ 130m と、仮定した水深-5.5m 岸壁でのバース長さ 100m の範囲で整理している。図 4.2、図 4.3 をみると被災後の凹凸変位量が 0.5m 以下であれば、緊急物資輸送船舶の係船実績も多く、地震後 3 日程度から岸壁が利用されたことがわかる。被災後の凹凸変位量が小さいにもかかわらず、緊急物資輸送船舶の係船実績のなかった岸壁については、ケーソンが大きく傾斜し、岸壁上の建築物が崩壊状態にあり危険だったためと考えられる。



(1)連続する 100m 範囲の場合

(2)連続する 130m 範囲の場合

図 4.2 凹凸変位量と緊急物資係船実績の関係¹²⁾



(1)連続する 100m 範囲の場合

(2)連続する 130m 範囲の場合

図 4.3 係船開始月日と凹凸変位量の関係¹²⁾

¹²⁾一井康二、高橋宏直、中村隆、赤倉康寛：地震時における重力式岸壁の許容被災変形量の評価、第 10 回日本地震工学シンポジウム、K-4、1998

以上より、発災直後の係船実績の観点から、被災施設の残留水平変位量が重要な判断指標であるといえる。

さらに、一井らは最大はらみだし量と法線凹凸変位量の関係を図 4.4 に示すようにとりまとめており、これをみると凹凸変位量は最大法線はらみ出し量の概ね半分以下であることがわかる。なお、ここでの最大法線はらみだし量は凹凸変位量を算定した範囲ではなく、全バース延長における最大法線はらみだし量である。ただし、これらの結果は設計水深-10m 前後の係留施設についてとりまとめられたものである。イメージ図は図 4.5 に示す通りである。

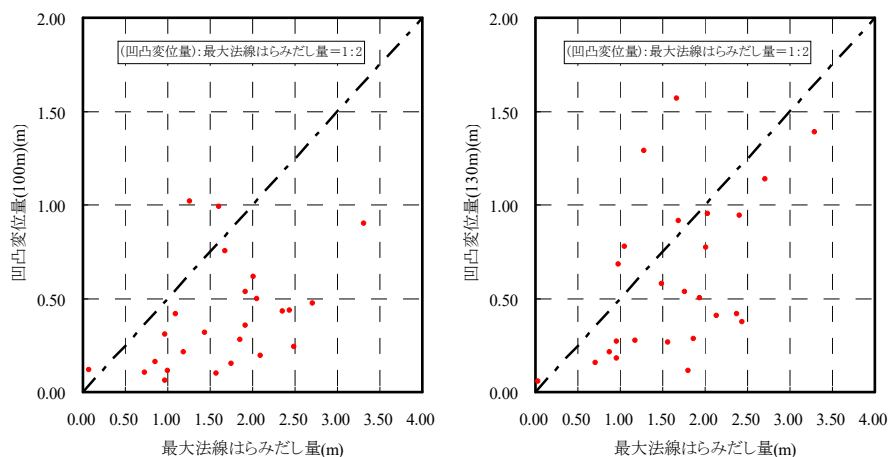
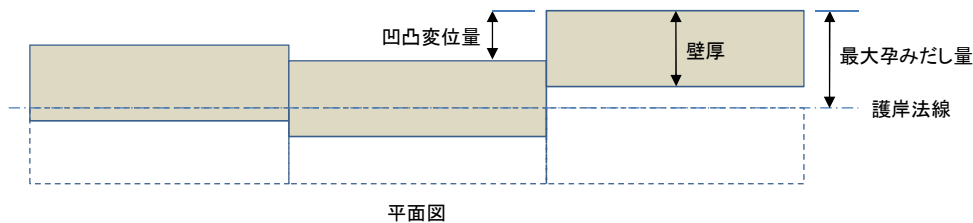


図 4.4 最大法線はらみだし量と凹凸変位量の関係⁽¹²⁾に加筆)



兵庫県南部地震の事例調査結果(一井ら)より、連続するケーソンの凹凸変位量は最大孕みだし量の1/2倍となる。
 今、護岸・岸壁の残留水平変位量の性能規定を行うにあたり、最大孕みだし量=残留水平変位と置き換えれば、残留水平変位は凹凸変位量の2倍以下に抑えなければならないと言える。隣り合うケーソンとの目地が開く限界は凹凸変位量が壁厚以上となった場合であることから、次の関係が成立する。

凹凸変位量 = 最大孕みだし量 / 2 (一井らより) → **残留水平変位 ≤ 壁厚 × 2**

↑
 残留水平変位 = 最大孕みだし量
 凹凸変位量 ≤ 壁厚 (要求される性能)

図 4.5 土留構造の残留水平変位と壁厚の関係のイメージ図

3.2.3. 岸壁の地震時水平方向残留変位の上限值について

H21年3月31日の国土交通省港湾局通達資料¹³⁾によると、下図に示すように岸壁の残留水平変位量と背後の段差の相関性（背後地盤の段差は岸壁天端水平変位量の0.6~0.7倍）の整理がなされており、背後地盤の「段差」を解消するのに必要な土工量を計算し、岸壁機能を復旧させるために必要な土工量から岸壁の残留水平変位量の上限値の整理がなされている。

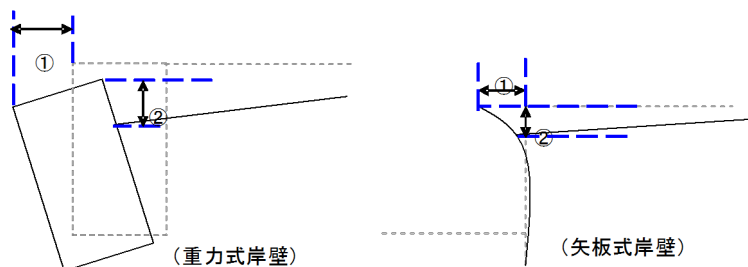


図4 語句の定義(重力式岸壁・矢板式岸壁)

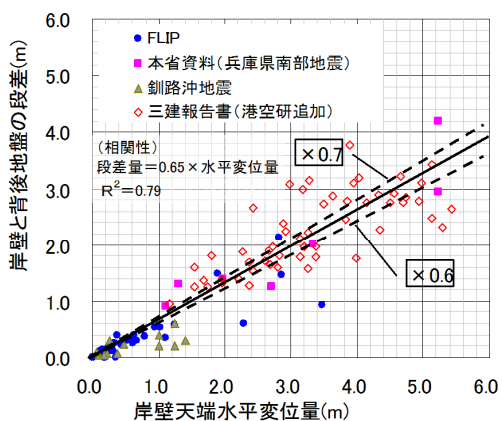


図5 岸壁水平変位量と「段差」量の関係

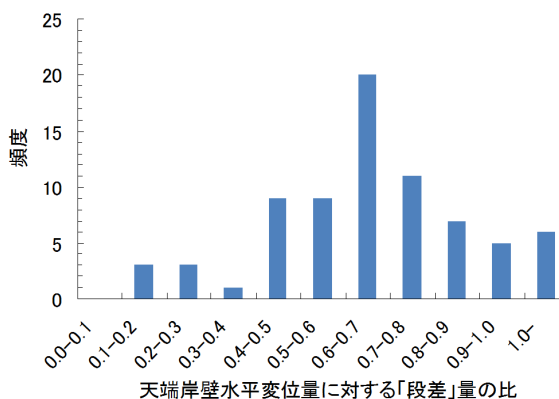


図6 岸壁水平変位量に対する「段差」量の比(ヒストグラム)

図 4.6 岸壁天端の残留水平変位量と段差の関係

「段差」を解消するための復旧土工作业を全て機械作業で行った場合、図 4.7 に示すように 1 週間で復旧可能な限界段差量は 1.2m と試算されることから、許容水平変位量は 1.7~2.0m と整理されている。ただし、これらの整理結果は埋戻し幅を 100m と設定して試算された結果であり、図 4.8 に示すように実際の岸壁復旧時には緊急物資輸送車が通行する必要最低幅(大凡 10~20m)の復旧を想定すると 1 日程度での対応が可能であると想定される。

【留意事項※】

「段差」を解消する際に投入する土の重量増加が、被災後の土留部材の安定性に影響を与えることも想定されるため、復旧の際にはこれに留意する必要がある。

¹³⁾港湾局 技術企画課 技術監理室「緊急物資対応の耐震強化岸壁の水平変位量の標準値の取扱いについて」

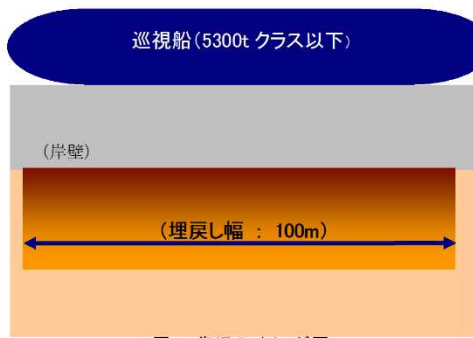


図7 復旧のイメージ図

- 【段差解消に必要な土工量・算定条件】
- 埋戻しの際の勾配：10%
(トラックが通行可能となるような勾配)
 - 埋戻し土の幅：100m

必要な土量：

$$= \left(\frac{d \times 10d}{2} \right) \times 100 = 500d^2 \quad (m^3)$$

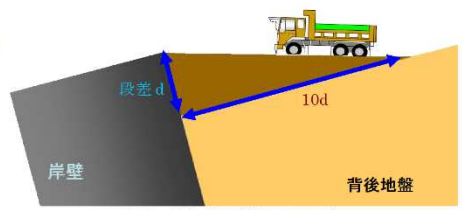


図8 埋戻しの際のイメージ

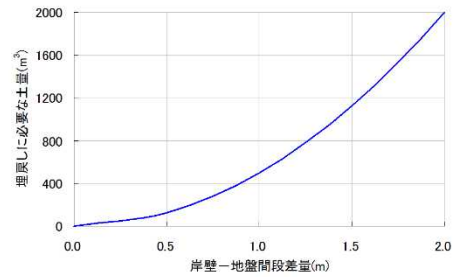


図9 岸壁—地盤間段差量と埋戻しの際に必要な土工量の関係(左式使用)

用いる復旧手段		土藁		土砂のみ		機械
単位あたり復旧可能土工量(m³/人・日) <機械はm³/日>		2		4.35		103
復旧作業人員(人)		10	20	10	20	-
復旧日数7日 (「標準」を想定)	1週間での復旧可能土工量(m³)	140	280	305	609	721
	限界「段差」量(m)	0.5	0.7	0.8	1.1	1.2
	許容水平変位量(m)	0.7~0.8	1.0~1.2	1.1~1.3	1.6~1.8	1.7~2.0

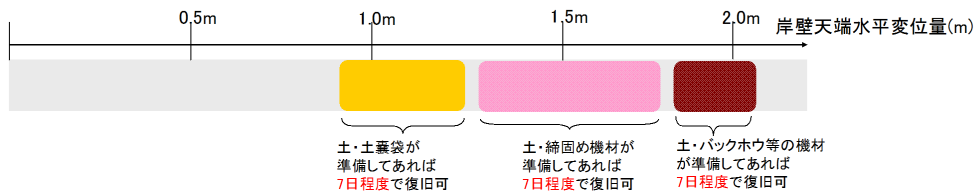


図 4.7 岸壁と背後地盤の「段差」解消のために必要な土工量について



(1) 石巻港雲雀野埠頭



(2) 大船渡港野々田地区棧橋-13m

図 4.8 背後地盤の「段差」解消の事例

4. 矢板・栈橋式における FLIP 解析による閾値設定法

4.1. 概要

閾値の設定手順を図 4.9 に示す。

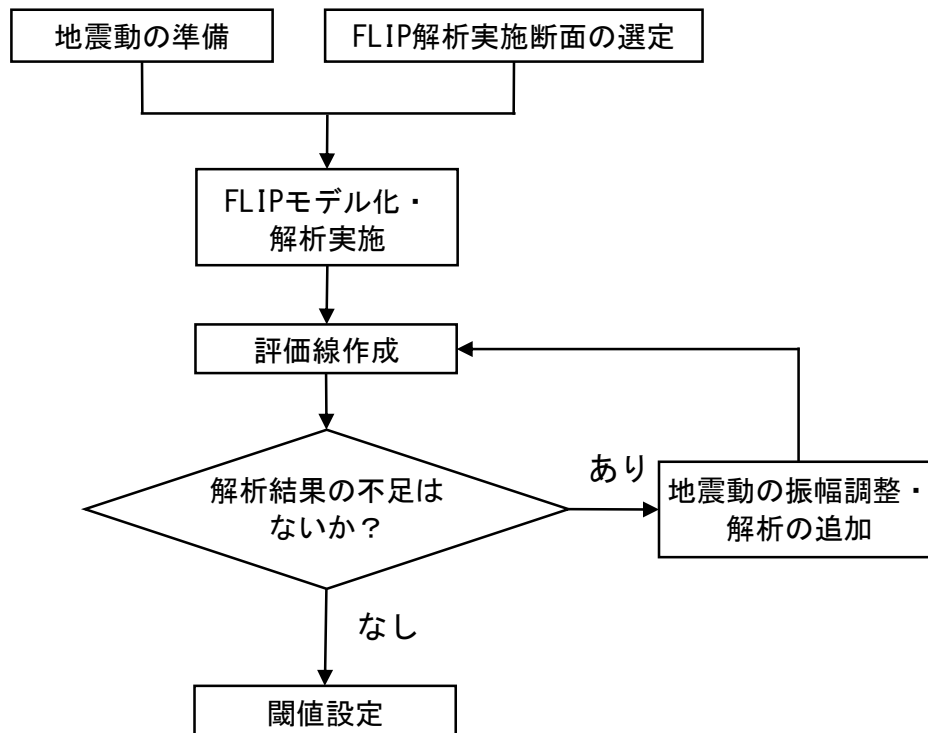


図 4.9 閾値設定までの手順

4.2. FLIP 解析

4.2.1. 使用する地震動

FLIP 解析に用いる地震動は、表 4.8 に示す通り、確率論的地震危険度解析により算定された地震動（以下「確率波」と略称。再現期間 50 年、75 年、100 年、150 年、200 年、500 年の 6 波形）と、各港で設定されているレベル 2 地震動である。確率波のうち、再現期間 75 年の確率波がレベル 1 地震動に該当し、国土技術総合研究所 HP¹⁴⁾で公開されているが、その他の確率波は別途、国土技術総合研究所港湾空港研究室に提供依頼し入手する。また、レベル 2 地震動は各港湾事務所や下関港湾空港技術調査事務所に問い合わせ入手する。

なお、後述するが、解析を行う中で、施設が使用不可となる結果や、閾値周辺の結果が得られない場合は、既存の地震動の加速度振幅を調整（例：0.5 倍、1.5 倍、2 倍等）し用いる。

表 4.8 各施設の対象地震動一覧

地震動	内容
確率波	<ul style="list-style-type: none">・再現期間 50 年、75 年（レベル 1 地震動に該当）、100 年、150 年、200 年、500 年の確率波 6 波形・国土技術総合研究所に依頼し入手する。
レベル 2 地震動	<ul style="list-style-type: none">・各港湾事務所、下関港湾空港技術調査事務所より入手する。・レベル 2 地震動は方向成分を持っているため、使用する際は対象施設に直角になるよう角度補正を行う。・港湾によってはレベル 2 地震動が作成されていない場合もある。
その他	<ul style="list-style-type: none">・上記の「確率波」、「レベル 2 地震動」で、閾値設定に必要な解析結果が得られない場合は、これらの地震動の加速度振幅を調整し使用する。 <p>※必要な解析結果が得られない場合の例：施設が使用不可となる解析結果が得られない、閾値周辺の解析結果が得られない、など。</p>

¹⁴⁾ 国土交通省 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室ホームページ
<https://www.ysk.nilim.go.jp/kakubu/kouwan/sisetu/sisetu.html>

4.2.2. 解析断面の選定方法

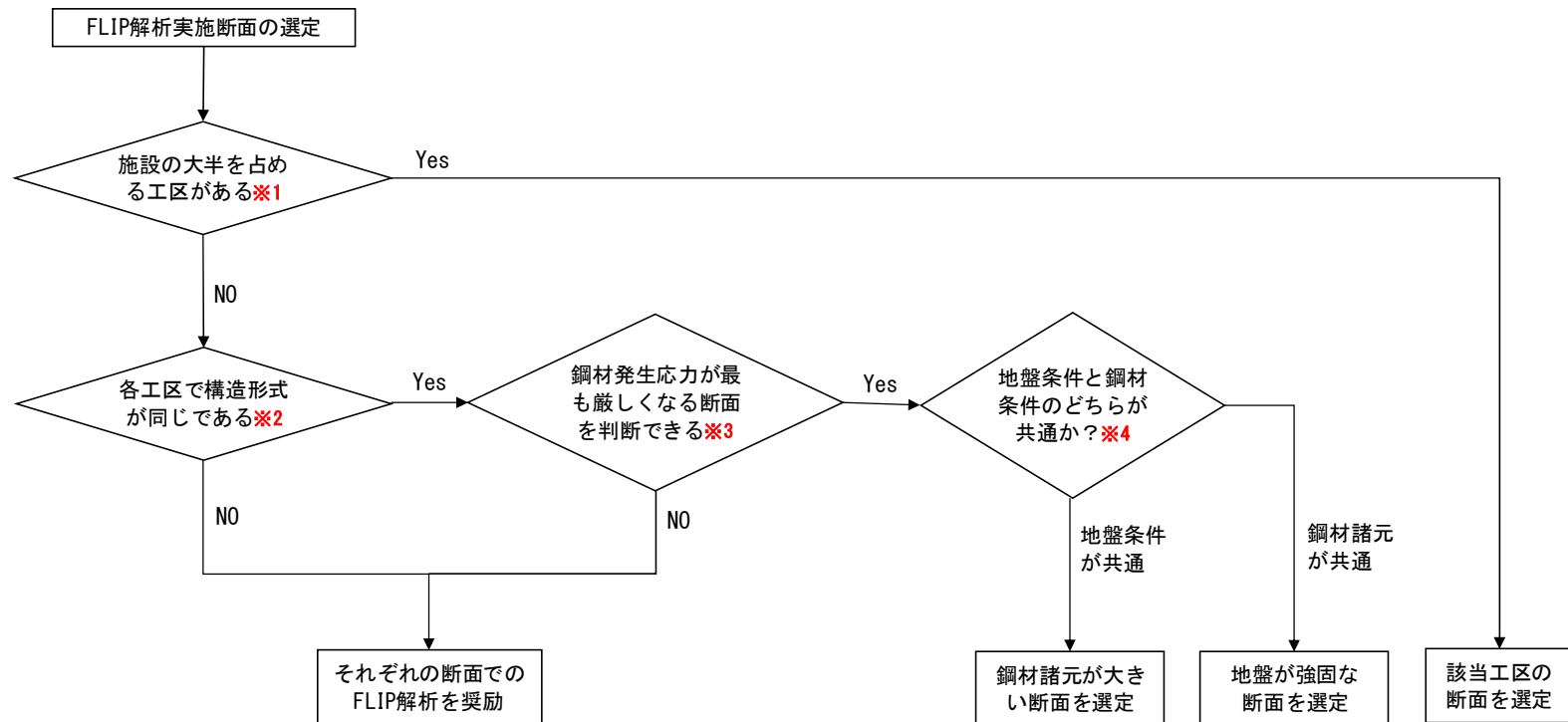
一般的に係留施設は地盤条件等により工区区分がなされ複数の断面が存在する。そのため、FLIP 解析モデルを作成する断面を選定し、その断面による結果を施設全体に適用する。ここで、九州地整における使用可否判定は現地での変位量測定に基づく。代表断面の結果を施設全延長に適用することから、安全側の判定を行うためには、より小さい変位量で使用不可となる断面を選定することが必要である。

そこで、表 4.9 に示す点を考慮し、FLIP 解析モデルを作成する断面を選定する。図 4.10 は、表 4.9 の選定の考え方に基づいて、断面選定の流れをフローにまとめたものである。

表 4.9 FLIP 解析断面選定時の着目点

着目点	内容
①施設延長	FLIP 解析を実施する施設の使用可否判定では、施設のなかで選定した 1 断面の結果を施設全体の代表として判定を行うことになる。地震被災時の緊急物資輸送においては、延長が長い施設ほど船舶の係留や利用性の観点で有利である。そのため、施設の大半を占めている工区がある場合はその工区を選定する。
②構造形式	各工区で構造形式が異なる場合(特に既設構造物がある場合)は、どの断面が最も厳しい結果になるか予想できないため、各断面で FLIP 解析を実施することが望ましい。
③地盤条件と構造諸元	より小さい変位量で、鋼材の発生応力が大きくなる断面を選定する。 <ul style="list-style-type: none"> ・地盤条件が同じ場合 根入れ長が長いほど鋼材は変形しにくくなり、鋼材の発生応力は大きくなる。また、剛性が大きいほど鋼材の発生応力が大きくなる。 ・鋼材諸元が同じ場合 根入れ地盤が強固なほど鋼材の発生応力は大きくなる。

FLIP解析実施断面選定フロー



- ※1：施設延長が長いほど船舶の係留や利用性の観点で有利なため、施設の大半を占めている工区がある場合はその工区を選定する。
- ※2：各工区で構造形式が異なる場合（特に既設構造物がある場合）は、どの断面が最も厳しい結果になるか予想できないため、各断面でFLIP解析を実施することが望ましい。
- ※3：地盤条件が異なる場合、鋼材根入れ部地盤が強固で根入れ長が短い断面と、鋼材根入れ部が軟弱で根入れ長が長い断面のどちらで鋼材に発生する応力が厳しくなるかはケースバイケースと考えられるため、両方について確認することが望ましい。
- ※4：地盤条件が同一の場合 → 鋼材諸元が大きい断面で応力がより厳しくなると想定される。
 鋼材諸元が同一の場合 → 鋼材根入れ部分の地盤が強固な断面で発生応力が厳しくなると想定される。

図 4.10 FLIP 解析断面選定フロー

4.2.3. モデル化

(1) 一般

港湾の施設の技術上の基準・同解説、FLIP 研究会の 14 年間の研究成果（平成 23 年 8 月）等に準じて、モデル化を行い前述の地震動により解析を行う。なお、今後基準改定等が行われた場合は、それに準じる。

本節では、モデル化と解析結果の一例を示すが、これまでに FLIP 解析を行ったその他施設の解析結果は H29d、H30d、R01d、R02d 報告書を参照されたい。

(2) 接岸力・牽引力の設定

「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に記載されている栈橋式係船岸のレベル 2 地震動に関する偶発状態の性能規定は、地震中の発生応力に対するものであり、地震後の船舶接岸時を考慮したものではない。係留施設の使用可否判定では、地震によって変状した係留施設に対して緊急物資輸送船舶等が接岸、係留できるかが重要な項目となる。

そこで、動的解析終了後に接岸力及び牽引力を作用させ、鋼部材等の断面力照査を実施し、船舶接岸時の検討を行う。FLIP 解析では、地震後に岸壁天端節点に対して、接岸力あるいは牽引力相当の節点集中荷重、エプロン部および背後地盤に上載荷重相当の分布荷重を作用させ、栈橋杭の応力等の照査を行う。なお、栈橋上部工は、FLIP 解析で地震時の上載荷重を栈橋重量に見込んだ検討を行うため、常時の上載荷重から地震時の上載荷重を差し引いた分布荷重を作用させる。載荷方法は、不平衡力を小さくするため、段階的に荷重を大きくし、10 秒後に所定の荷重となるようにする。

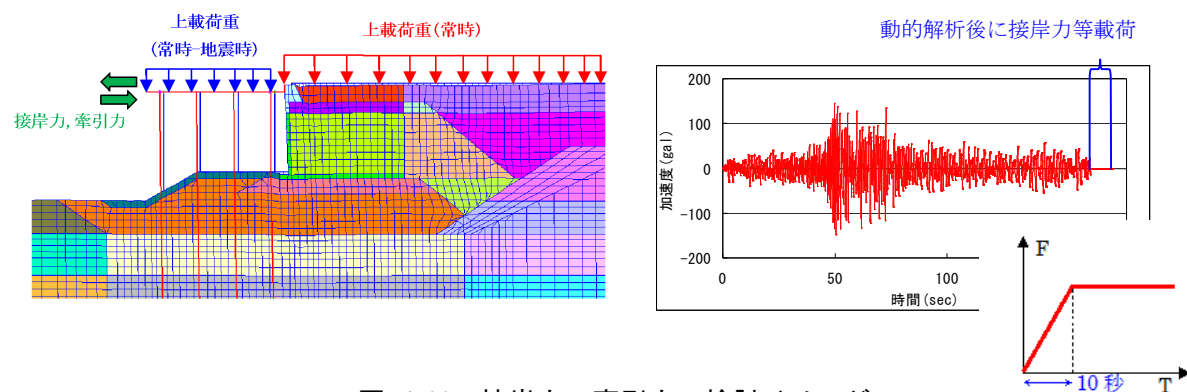


図 4.11 接岸力・牽引力の検討イメージ

(3) 栈橋式における修正武田モデルによる上部工モデル化

上部工（鉄筋コンクリート）は非線形はり要素を用いてモデル化する。鉄筋コンクリート部材は鉄筋の配置が非対称になる場合があることから、そのM- ϕ 関係を表すために修正武田モデルを用いる。図 4.12 に、修正武田モデルの応力履歴のイメージを示す。

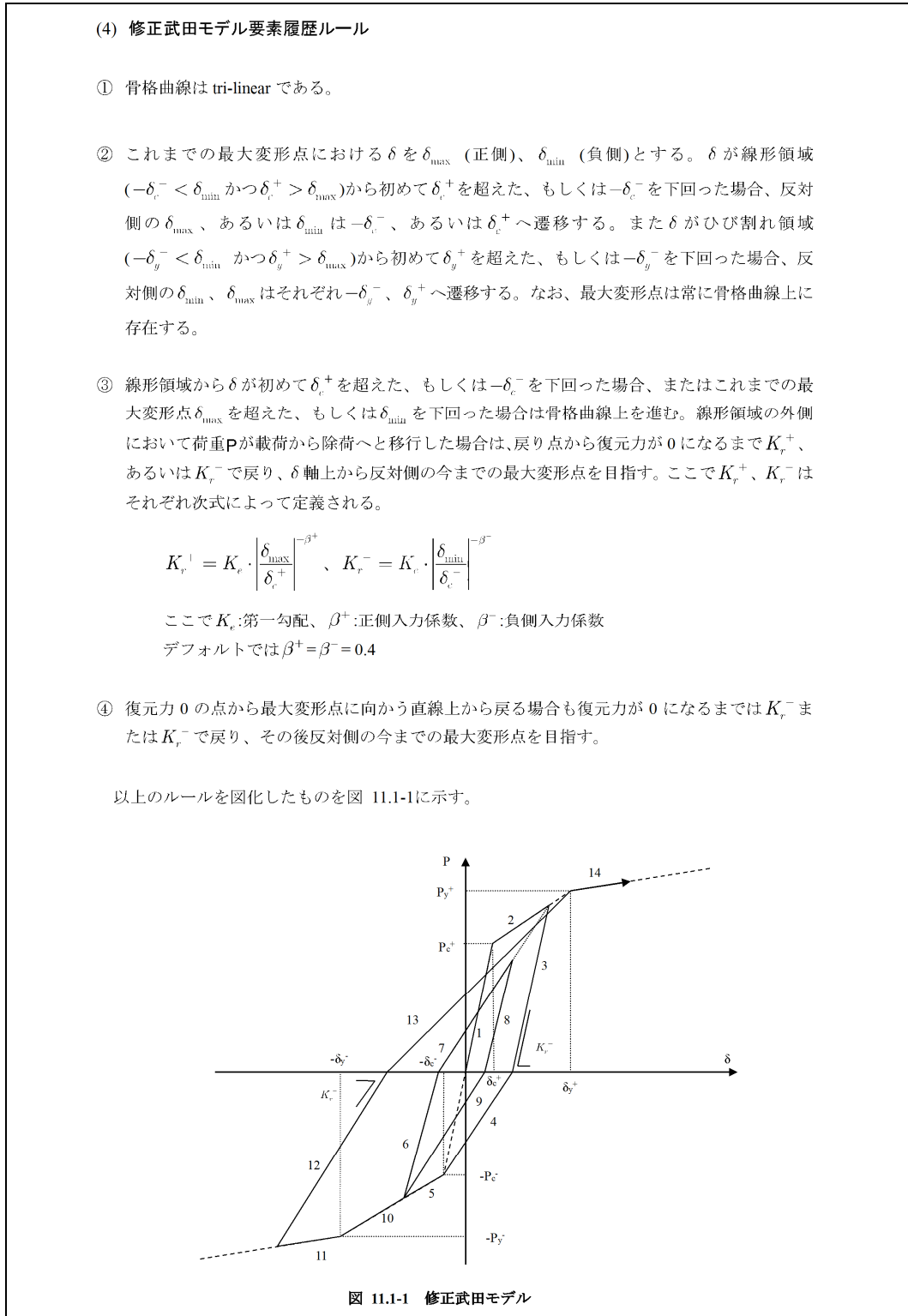


図 4.12 FLIP 解析における修正武田モデルの応力履歴 (FLIP ROSE(Ver.8.0)取扱説明書より)

次に必要なパラメータを以下に列挙する。

1行目	カラム	
GS	1~10	せん断弾性係数 G
POI	11~20	ポアソン比
RHO	21~30	質量密度 ρ
AREA	31~40	断面積 A
RIN	41~50	断面 2 次モーメント I 通常は 0.0 とする
EFA	51~60	有効せん断面積率 e_f
L	61~65	積分次数 デフォルトでは L = 1
IUST	66~70	基準変位 デフォルトでは IUST = 1
IRYL	71~75	要素別レーレー減衰の使用 デフォルトでは IRYL = 0
KILL	76~80	KILL スイッチ

2行目	カラム	
WIDTH	1~10	要素奥行き幅 デフォルトでは WIDTH = 1.0
ALPHAE	11~20	要素別レーレー減衰定数 α IRYL = 1 のときのみ
BETAE	21~30	要素別レーレー減衰定数 β IRYL = 1 のときのみ
iasym	71~75	0:対称型 1:非対称型 デフォルトでは iasym=0
initlz	76~80	強制初期化スイッチ デフォルトは 0

※左側海、右側海で
上部工を左側 i 端、
右側 j 端として
モデル化すると、

3行目	カラム	
EI0	1~10	第一勾配 K_e
EI1	11~20	第二勾配 (正方向) K_c^+
EI2	21~30	第三勾配 (正方向) K_y^+
RM1	31~40	第一折れ点曲げモーメント (正方向) M_c^+
RM2	41~50	第二折れ点曲げモーメント (正方向) M_y^+
GAM	51~60	除荷剛性低下指数 (正方向) γ^+ デフォルトでは $\gamma^+ = 0.4$ (注1)

正曲げ側
(鉄筋は下側鉄筋
をモデル化)

4行目	(iasym = 1 のときのみ必要)	
EI1N	11~20	第二勾配 (負方向) K_c^- デフォルトでは EI1 = EI1N
EI2N	21~30	第三勾配 (負方向) K_y^- デフォルトでは $K_y^+ = K_y^-$
RM1N	31~40	第一折れ点曲げモーメント (負方向) M_c^- デフォルトでは $M_c^- = M_c^+$
RM2N	41~50	第二折れ点曲げモーメント (負方向) M_y^- デフォルトでは $M_y^- = M_y^+$
GAMN	51~60	除荷剛性低下指数 (負方向) γ^- デフォルトでは $\gamma^- = \gamma^+ (= 0.4)$ (注1)

負曲げ側
(鉄筋は上側鉄筋
をモデル化)

注 1) 除荷剛性低下指数について
除荷剛性低下指数 γ^+ および γ^- は以下の条件を満たしていなければならない。

$$K_c^+ \cdot |\varphi_y^+ / \varphi_c^+|^{\gamma^+} \geq M_y^+ / \varphi_y^+$$

$$K_c^- \cdot |\varphi_y^- / \varphi_c^-|^{\gamma^-} \geq M_y^- / \varphi_y^-$$

※道路橋示方書 H29.11 V耐震設計編
p122 より、 γ^+ 、 $\gamma^- = 0.5$ とする。

ここで φ_c^+ 、 φ_c^- はそれぞれ正側、および負側の第一折れ点曲率、 φ_y^+ 、 φ_y^- はそれぞれ正側、および負側の第二折れ点曲率。

図 4.13 入力パラメータ一覧 (FLIP ROSE(Ver.8.0)取扱説明書より)

図 4.14 に入力パラメータの関係を示す。

ここに、

M_c : ひび割れ発生時のモーメント、 ϕ_c : ひび割れ発生時の曲率

M_y : 降伏時のモーメント、 ϕ_y : 降伏時の曲率

M_u : 終局時のモーメント、 ϕ_u : 終局時の曲率

また、 K_e 、 K_c 、 K_y は傾き（曲げ剛性）であり、それぞれに対応するモーメントと曲率より求めることができる。

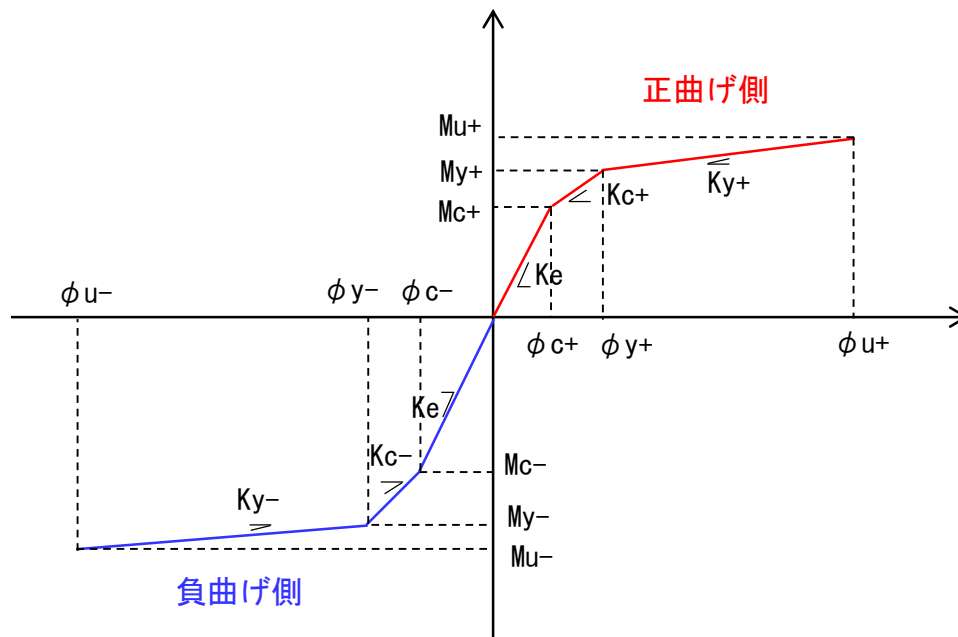


図 4.14 入力パラメータの関係

図 4.14 に示したモーメント・曲率の算出式を以下に示す。

1) ひび割れ発生時

- ・ 中立軸の算出

$$x_n = \frac{D^2 + 2np_t d^2}{2(D + np_t d)}$$

- ・ 断面二次モーメント

$$I = \frac{bx_n^3}{3} + \frac{b(D - x_n)^3}{3} + np_t bd(d - x_n)^2$$

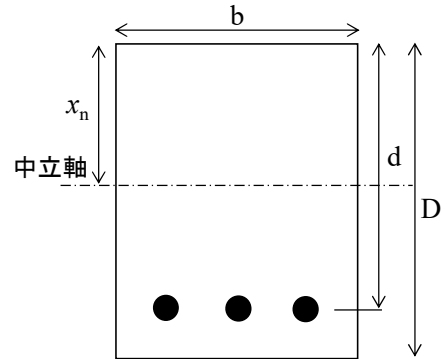
- ・ 引張り側の等価断面係数

$$Z = I / (D - x_n)$$

以上より、ひび割れモーメントと曲率は下記のとおり

$$M_{cr} = f_t \cdot Z$$

$$\phi_{cr} = M_{cr} / E_c I$$



ここに、 D : 部材高さ(m)、 n : ヤング係数比、 p_t : 鉄筋比(A_s/bd)、 A_s : 引張鉄筋量(m^2)、
 b : 部材幅(m)、 d : 有効高さ(m)、 f_t : コンクリートの引張強度(kN/m^2) = $0.23 \cdot f_{ck}^{2/3}$ 、
 f_{ck} : コンクリートの圧縮強度(kN/m^2)、 E_c : コンクリートのヤング係数(kN/m^2)

2) 降伏時

- ・ 中立軸の算出

$$x_n = \left\{ -np_t + \sqrt{(np_t)^2 + 2np_t} \right\} d$$

以上より、降伏モーメントと曲率は下記のとおり

$$M_y = A_{st} f_{yd} j d / \gamma_b$$

$$j = 1 - k/3$$

k : 中立軸比で下記より算出

$$k = \sqrt{2 \cdot n \cdot p_t + (n \cdot p_t)^2} - n \cdot p_t$$

$$\phi_y = \varepsilon_{yd} / (d - x_n)$$

$$\varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 0.001725$$

ここに、 f_{yd} : 鉄筋の引張降伏強度 345N/mm² (SD345 の場合)、 E_s : 鉄筋のヤング率 200000 N/mm²

3) 終局時

- ・ 中立軸の算出

$$x_n = \frac{A_{st} \cdot f_{yd}}{0.80 \times 0.85 f_{cd} b}$$

以上より、終局モーメントと曲率は下記のとおり

$$M_{ud} = A_s f_{yd} d \left[1 - \frac{p_t}{1.7} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \right] / \gamma_b$$

$$\phi_u = \varepsilon_{cu} / x_n$$

ここに、 f_{cd} : コンクリートの圧縮強度 $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ (N/mm²)、 γ_c : 材料係数 1.3、
 f_{yd} : 鉄筋の引張降伏強度 345N/mm² (SD345 の場合)、 ε_{cu} : $\varepsilon_{cu} = 0.0035$

(4) 棧橋式の渡版のモデル化

渡版については、過去の地震において図 4.15 に示すような被災事例^{15),16)}が報告されており、被災形態として渡版のずれ・圧壊・落下が挙げられる。

緊急物資輸送の際には渡版の使用性についても確認が必要であるが、渡版については損傷程度に応じた残存性能を定量的に推定することが困難であるため、被災事例を参考に目視調査に基づく渡版の変状程度を鑑みて使用性の判断を行う。基本的には、目視調査レベルで「異常が認められない場合にのみ暫定使用可」として判断する。なお、ここでの暫定使用可とは、緊急的な物資輸送を行うための一時的な使用を意味しているため、本復旧時には必要に応じて撤去・更新を行うことを視野に入れておく必要がある。



図 4.15 過去の渡版の被災事例

¹⁵⁾菅野高弘、野末康博、田中智宏、野津厚、小濱英司、ハザリカ・ヘマンタ、元野一生：2005 年福岡県西方沖の地震による港湾施設被害報告、港湾空港技術研究所資料 No.1165, September, 2007.

¹⁶⁾宮島正悟ら：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震による港湾施設等被害報告、港湾空港技術研究所資料 No.1291, September, 2015.

渡版単体についての使用可否判定は前述のとおりである。しかし、過去の地震被災事例では渡版の支承構造が土留部の地震変位を吸収することができない場合に、土留部の水平変位が渡版を介して栈橋側に荷重として伝達される被災が確認されている。そのため、FLIP 解析においてはこれを考慮した渡版のモデル化を行うことが望ましい。

以下に、E 港 n 岸壁の事例によりモデル化の説明を行う。

図 4.16 に FLIP 解析モデルを示す。渡版は栈橋部および土留部に質点質量を付加し、栈橋と土留を非線形ばねで連結した。当該施設の渡版は、図 4.17 に示す構造図面より、土留側の支承構造は 0.10m 分の可動域しかない。そこで、非線形ばねは可動域 0.10m を超える栈橋-土留間の相対水平変位が発生した場合に、栈橋側へ荷重が伝達される設定を行った。図 4.18 に FLIP 解析でモデル化する渡版部の非線形ばねの設定を示す。

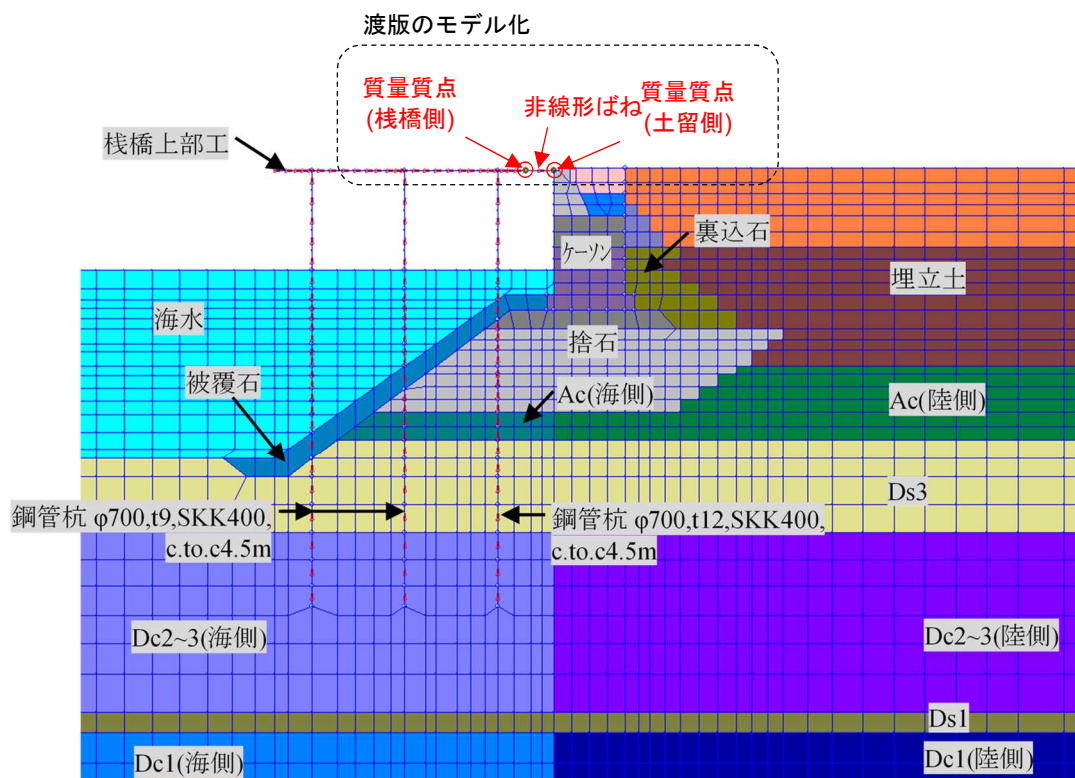


図 4.16 E 港 n 岸壁 FLIP 解析モデル

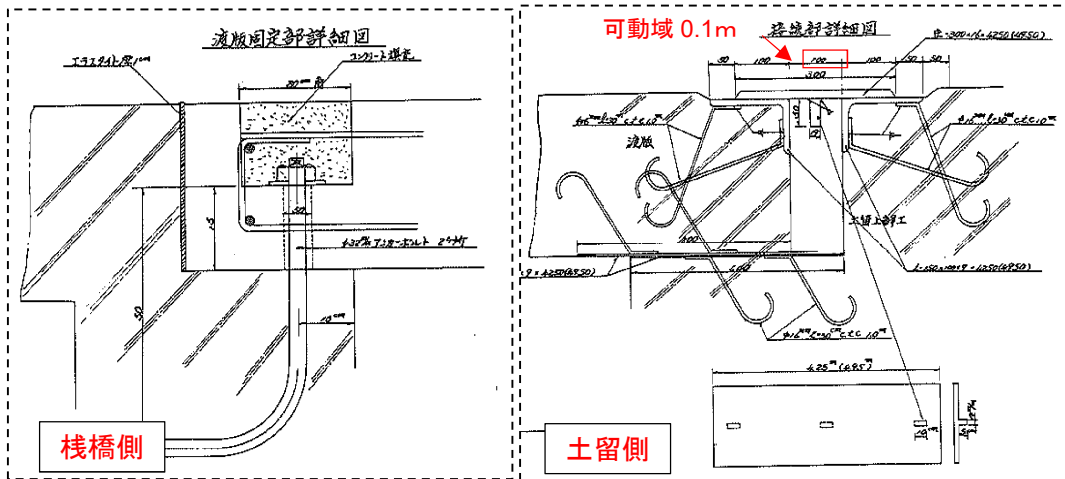
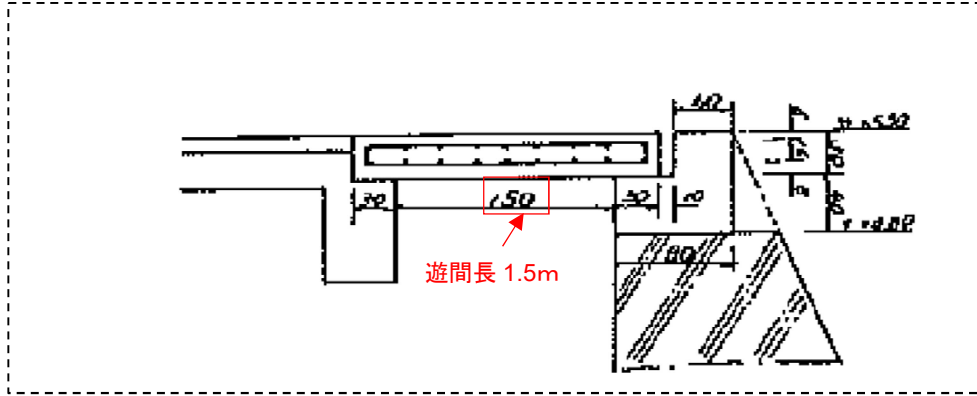


図 4.17 渡版および支承構造図 (設計計算書より抜粋)

渡版非線形ばね

軸方向 変位差(m)	du1	du2	du3	du4	du5
	-2	-0.101	-0.1	0	2
軸方向力 (kN)	N1	N2	N3	N4	N5
	-1.E+06	-1.E+06	0	0	0

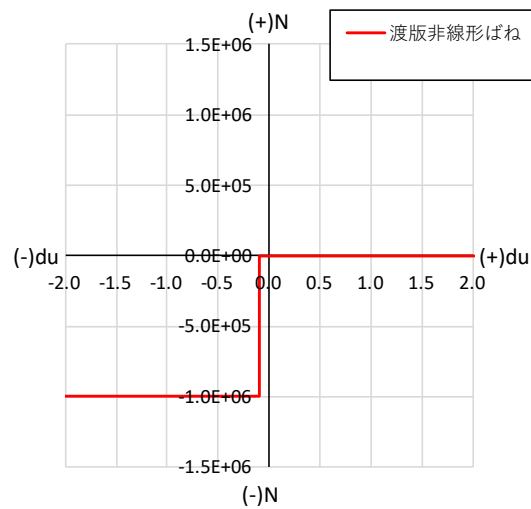


図 4.18 FLIP 解析でモデル化する渡版部の非線形ばねの設定

4.2.4. 矢板式の解析例

矢板式の FLIP 解析について、C 港 d 岸壁 I 工区の事例を示す。

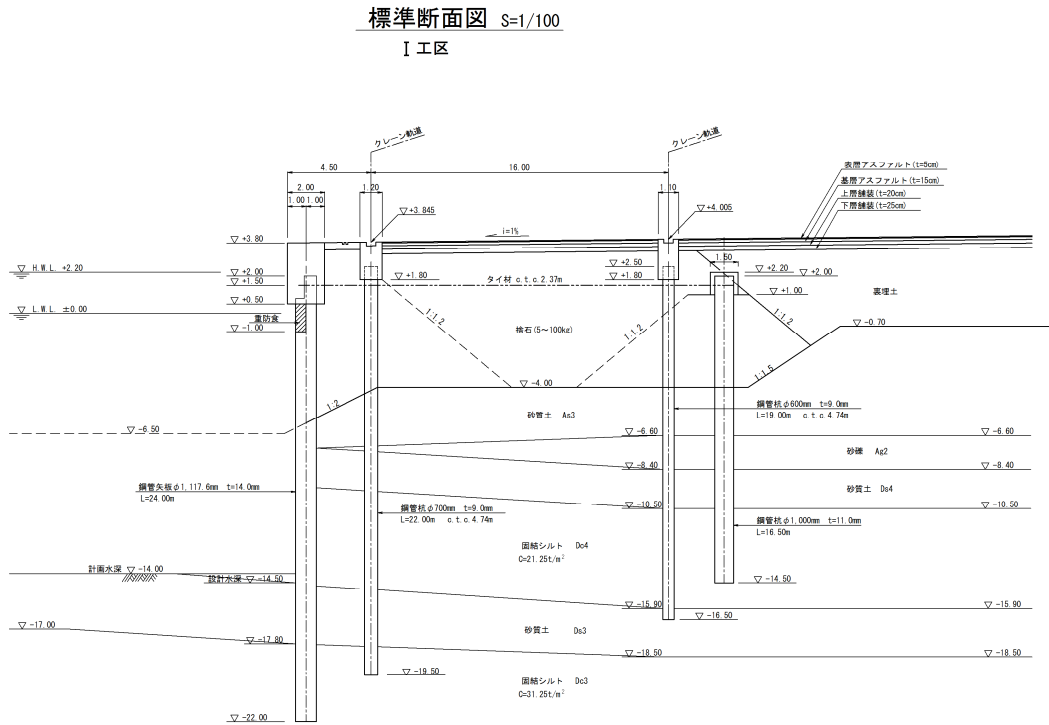


図 4.19 標準断面図

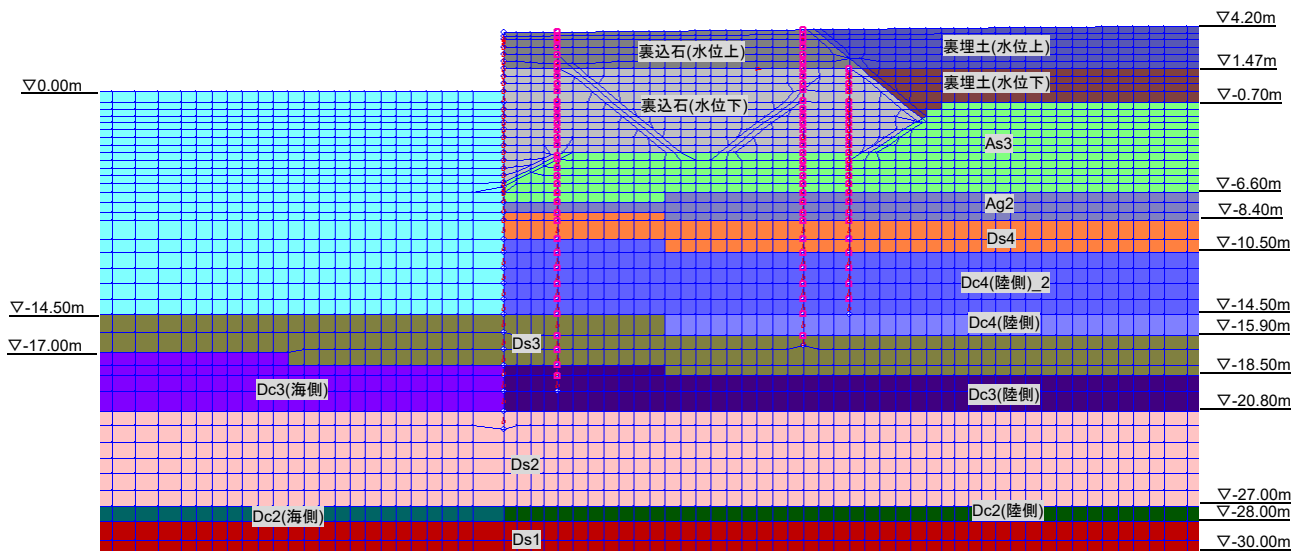
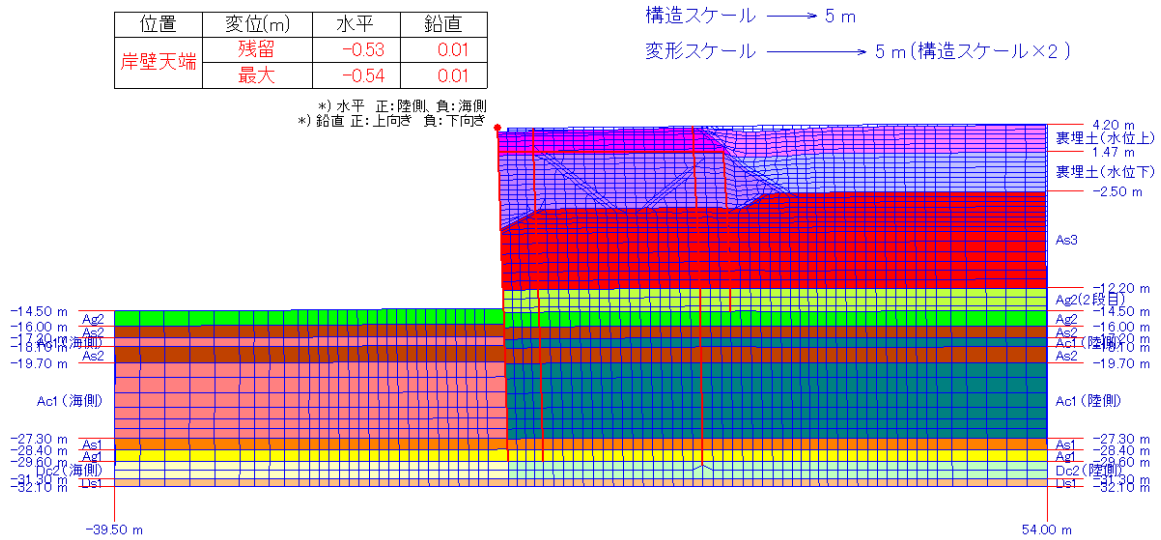
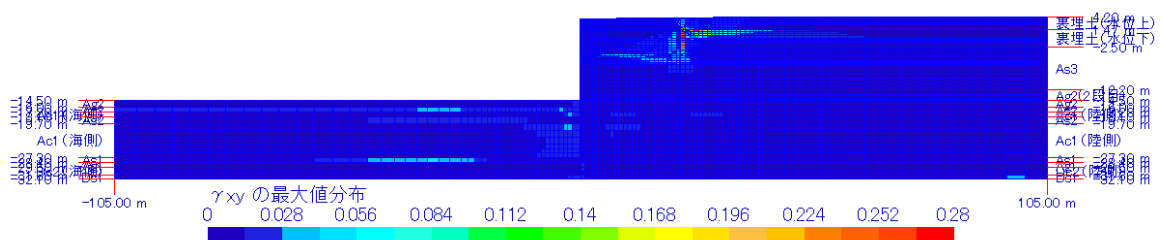


図 4.20 FLIP 解析モデル

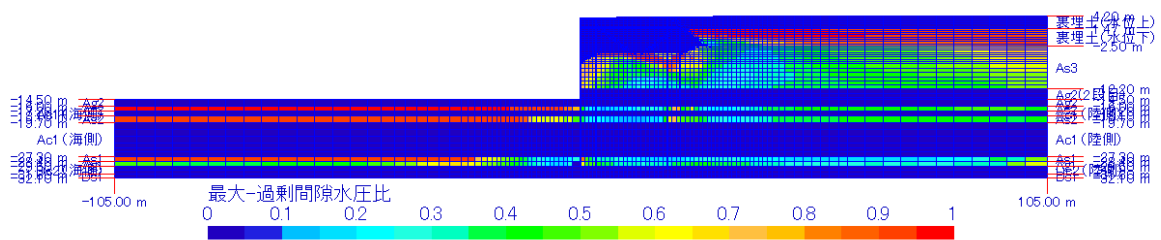
(1) 残留時変形図



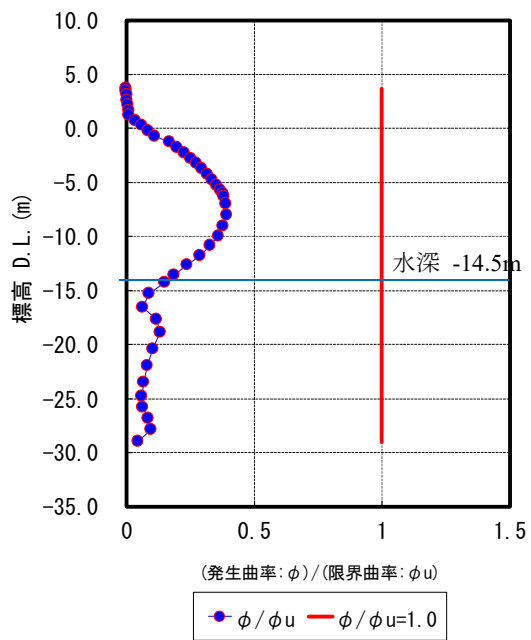
(2) せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布



(3) 過剰間隙水圧比の最大値分布

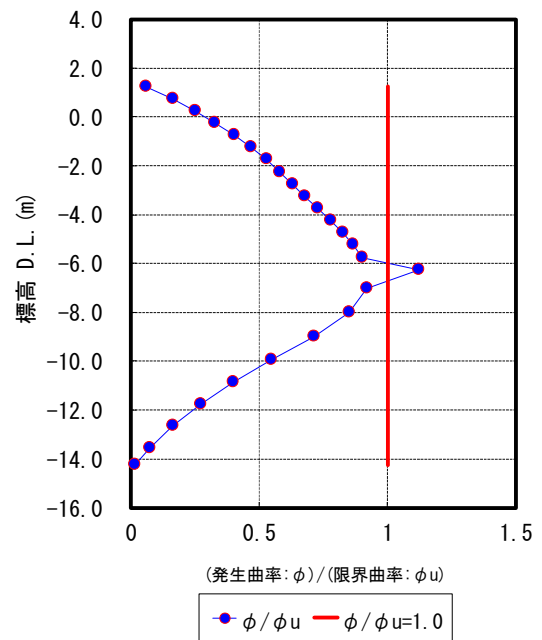


(4) 鋼部材のモーメント図(地震時)



(a) 前面矢板(鋼管矢板)

地震：再現期間 100 年確率波



(b) 控え工(鋼管杭)

地震：再現期間 100 年確率波

4.2.5. 栈橋式の解析例

栈橋式係船岸のFLIP解析について、E港n岸壁の事例を示す。

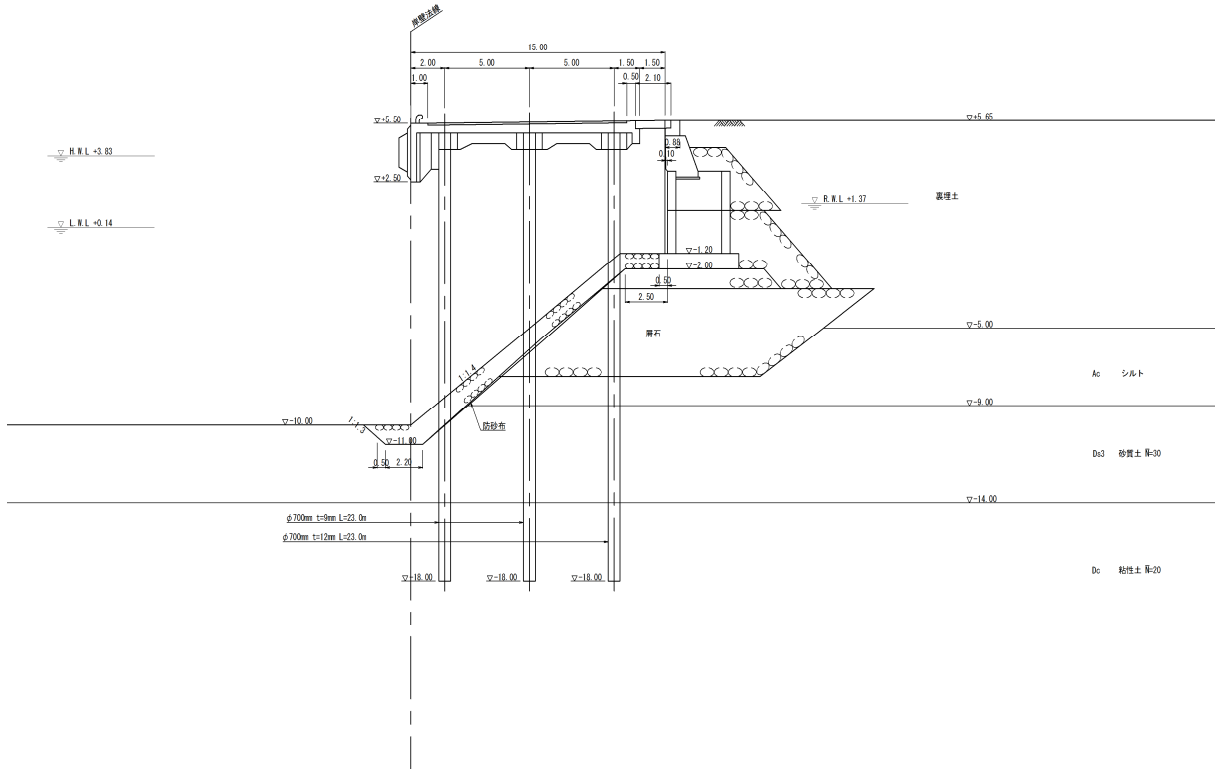


図 4.21 標準断面図

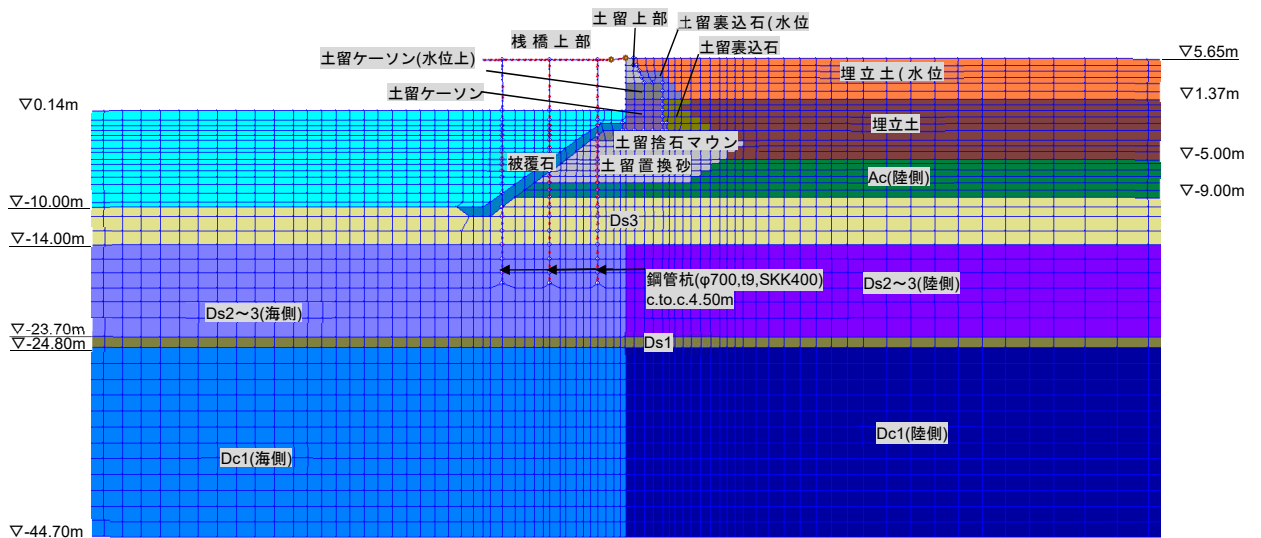
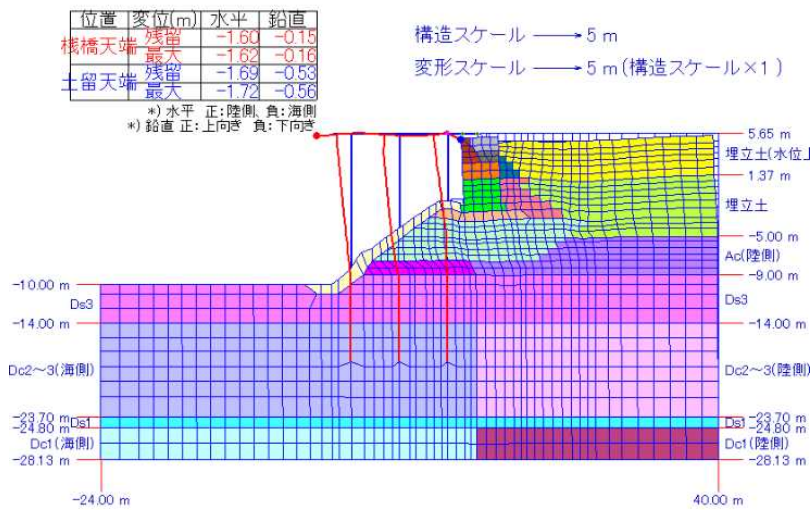


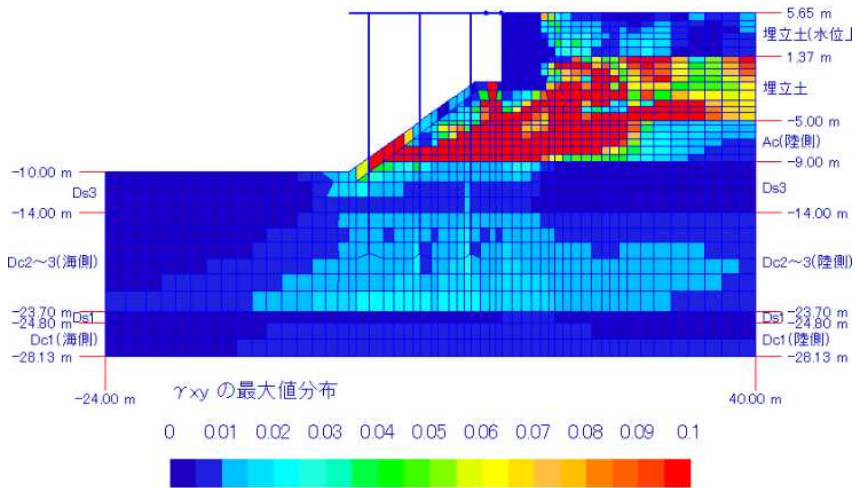
図 4.22 FLIP 解析モデル

以下に、「M6.直下地震」の主な解析結果を示す。

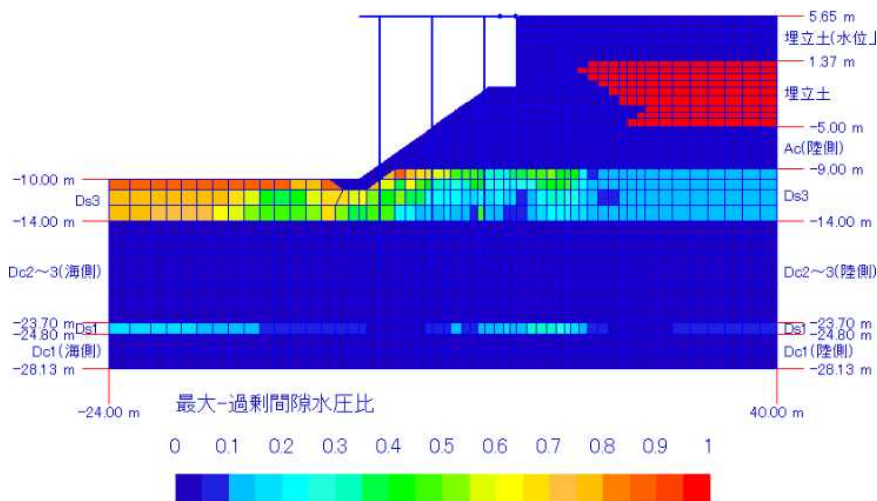
(1) 残留時変形図



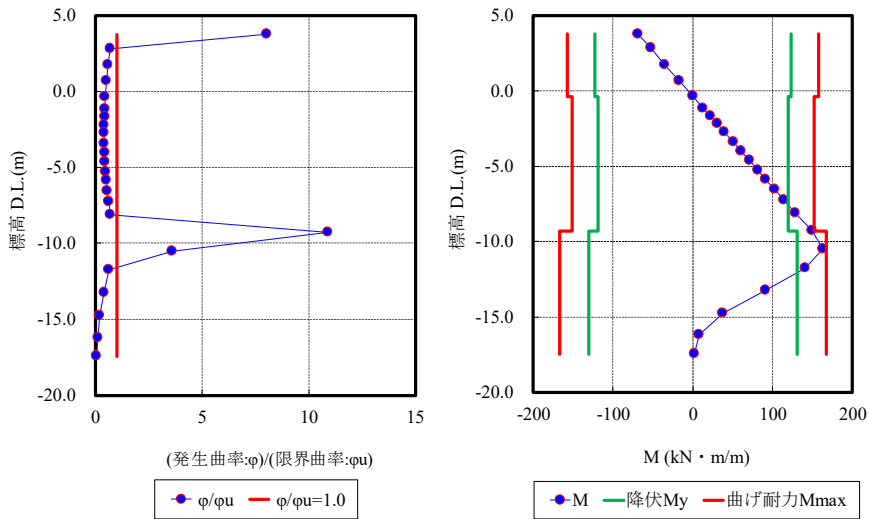
(2) せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布



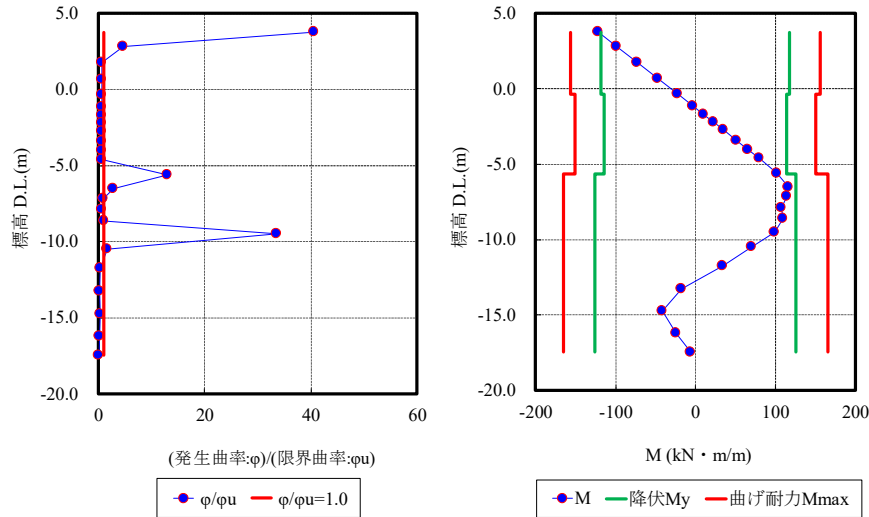
(3) 過剰間隙水圧比の最大値分布



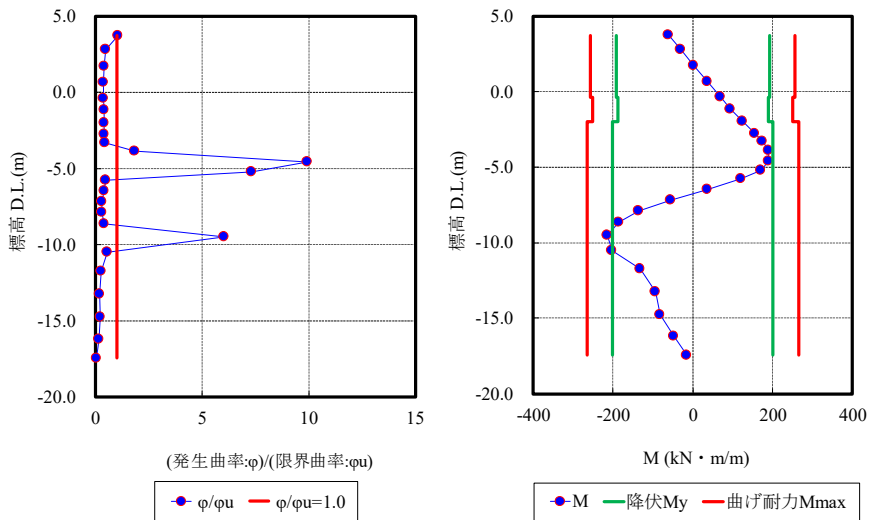
(4) 栈橋杭のモーメント図(地震時)



杭①(海側杭)



杭②(中間海側杭)



杭③(中間杭)

4.3. 評価線と閾値の設定

4.3.1. 概要

施設の使用可否を判定するために用いる閾値を、FLIP 解析結果を用いて設定するまでの流れを概説する。

①判定基準

施設が暫定使用可もしくは使用不可となる条件を、「4.3.2 矢板式係船岸」、「4.3.3 棧橋式係船岸」で整理する。例えば、矢板式で施設が「暫定使用可」となるための条件は、“前面矢板が最大曲率比 1.0 未満”、“控え工が最大曲率比 1.0 未満”、“タイ材が力比 1.0 未満”の3 者をすべて満たすことである。一方、使用不可となるための条件は、“前面矢板が最大曲率比 1.0 を超過”、“控え工が最大曲率比 1.0 を超過”、“タイ材が力比 1.0 を超過”の3 者のいずれかを満たすことである。

②評価線と閾値の設定

評価線と閾値の例を図 4.23 に示す。

・評価線

各種地震動による FLIP 解析から得られた結果（最大曲率比や設計耐力比等）をグラフ上にプロットし、プロット点を直線（図 4.23 の赤実線・赤点線）で結んだものである。プロット点 1 つ 1 つが各地震動の解析結果である。例えば、下図は縦軸に最大曲率比を横軸に岸壁天端の残留水平変位量を取りプロットしたものである。評価線を引く際の注意点として、あるプロット点 X_i があり、その右側のプロット点 X_{i+1} の縦軸が点 X_i より小さかった場合、点 X_{i+1} は無視してさらに次の点 X_{i+2} の点に向かって評価線を引くようにする。このように、評価線の傾きが常に正になるように線を引くものとする。詳細な留意点は、「4.3.4 留意点 (p. 4-46~)」に示す。

・閾値

「使用不可となる際の岸壁天端の残留水平変位量・速度の PSI 値・計測震度のこと」、「使用可（長期）と（短期）の境となる岸壁天端の残留水平変位量・速度の PSI 値・計測震度のこと」を指す。前者を使用不可の閾値、後者を長期短期の閾値と称す。例えば、最大曲率比 1.0 以上は使用不可となるため、下図では 1.94m が使用不可の閾値となる。

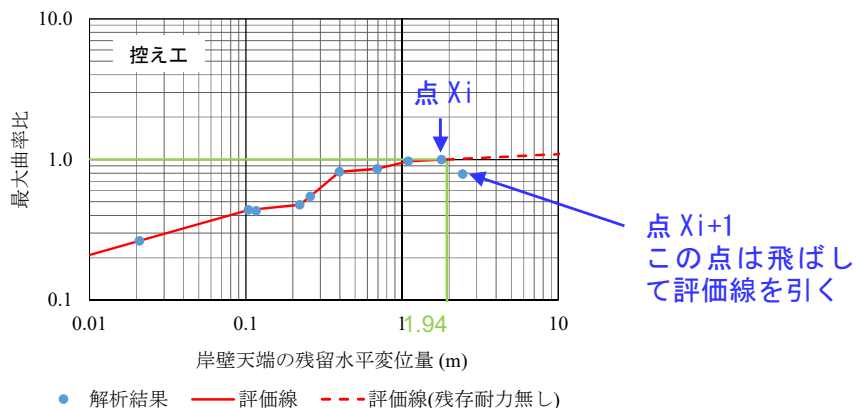


図 4.23 評価線と閾値の例

4.3.2. 矢板式係船岸

(1) 判定基準

矢板式係船岸の「構造上の可否判定」における「暫定使用可」や「使用不可」と判定基準の関係を表 4.10、表 4.11 に整理した。なお、「暫定使用可」、「使用不可」、「暫定使用可(長期・短期)」の定義については、「1 使用可否判定の種類と定義 (p. 4-1)」を参照。また、下表だけでは理解が難しいと考えられるため、判定フロー(「第 2 章 3 被災直後現地判定フロー」p.2-6～)もあわせてご覧いただきたい。

表 4.10 矢板式係船岸の判定基準 (暫定使用可・使用不可)

構造形式	判定基準 (構造上の使用可否判定)		
	判定	判定条件	
		前面矢板・控え工	タイ材
矢板式	暫定使用可	①地震中に最大曲率比 <1.0	②地震中にタイ材力比 <1.0
	使用不可	③地震中に最大曲率比 ≥ 1.0	④地震中にタイ材力比 ≥ 1.0
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・「暫定使用可」となるには、①かつ②でなければならない。「使用不可」は、③または④のどちらかを満たせば使用不可である。 ・最大曲率比、タイ材力比の定義は、p.4-33 参照。 		

表 4.11 矢板式係船岸の判定基準 (暫定使用可 (長期・短期) の区分)

構造形式	判定基準 (構造上の使用可否判定)		
	判定	判定条件	
		前面矢板・控え工	タイ材
矢板式	暫定使用可 (長期)	①地震中に最大曲率比 <1.0	②船舶接岸・牽引時に設計耐力比 <1.0
	暫定使用可 (短期)		③船舶接岸・牽引時に設計耐力比 ≥ 1.0
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・①かつ④を満たしたうえで、②であれば「暫定使用可 (長期)」、③であれば「暫定使用可 (短期)」とする。 ・「暫定使用可 (長期・短期)」の区分は、被災直後の緊急物資輸送における使用可否判定では使用せず、通常の荷役による使用に向けた詳細な点検や補修の優先順位付けに参考として用いることを想定する。 ・最大曲率比、設計耐力比、タイ材力比の定義は、p.4-33 参照。 		

曲率比、設計耐力比等の定義は以下の通りである。

■曲率比、設計耐力比等の定義

$$\begin{aligned} \text{最大曲率比} &= \frac{\text{地震中の発生最大曲率 } \phi_{\max}}{\text{限界曲率 } \phi_u} && (\text{鋼管杭・鋼管矢板の場合}) \\ &= \frac{\text{地震中の発生最大曲率 } \phi_{\max}}{\text{全塑性曲率 } \phi_p} && (\text{鋼矢板の場合}) \end{aligned} \quad \text{式 4.1}$$

$$\text{設計耐力比} = \frac{\text{船舶接岸・牽引時の発生モーメント } M}{\text{降伏モーメント } M_y} \quad \text{式 4.2}$$

$$\text{タイ材力比} = \frac{\text{地震中の発生最大張力}}{\text{設計破断強度}} \quad \text{式 4.3}$$

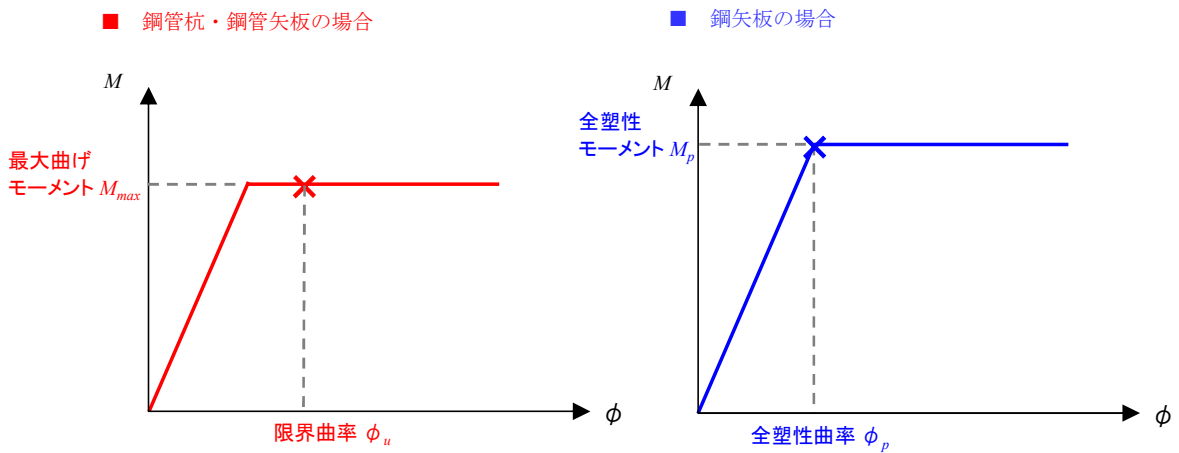
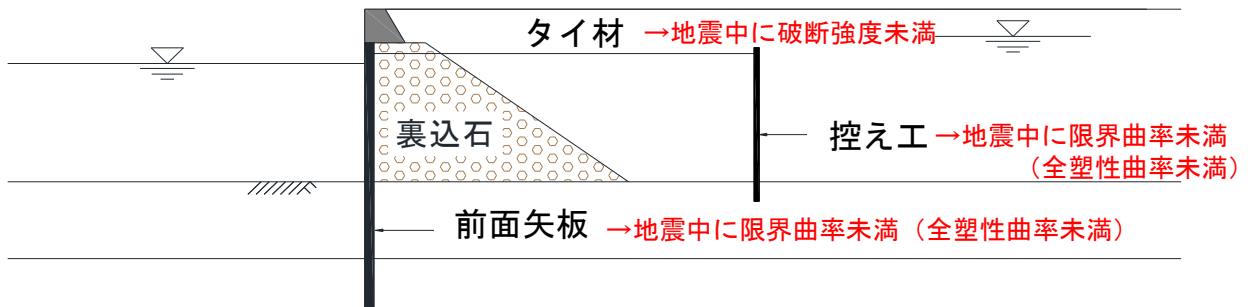


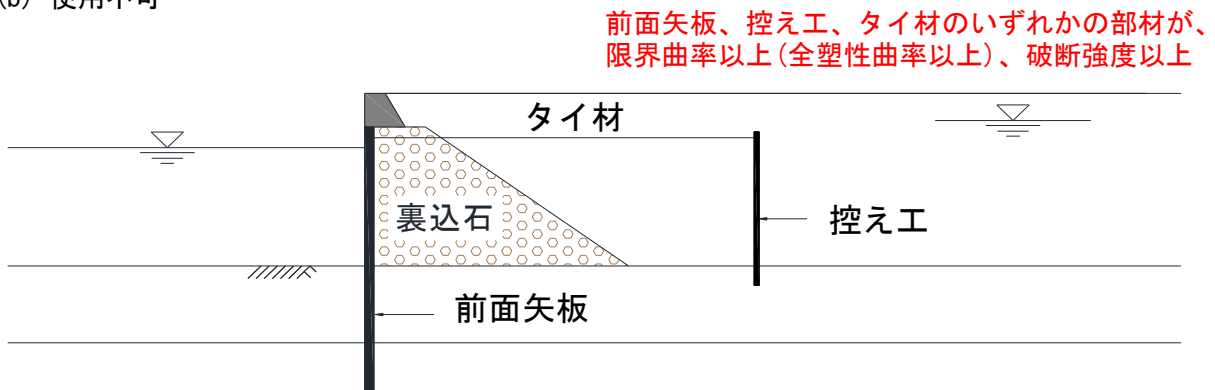
図 4.24 鋼部材の限界曲率 ϕ_u と全塑性曲率 ϕ_p のイメージ

以上を図で整理すると、図 4.25 の通りとなる。

(a) 暫定使用可

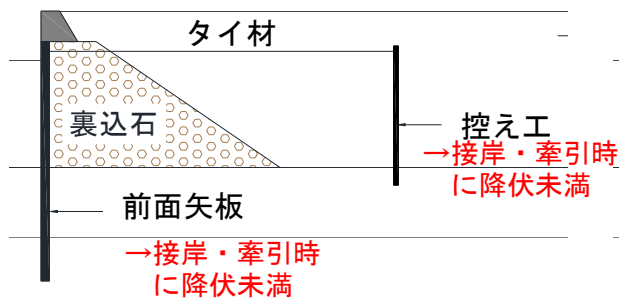


(b) 使用不可



(a)-1 暫定使用可(降伏未満)

(a)を満たしたうえで



(a)-2 暫定使用可(降伏以上)

(a)を満たしたうえで

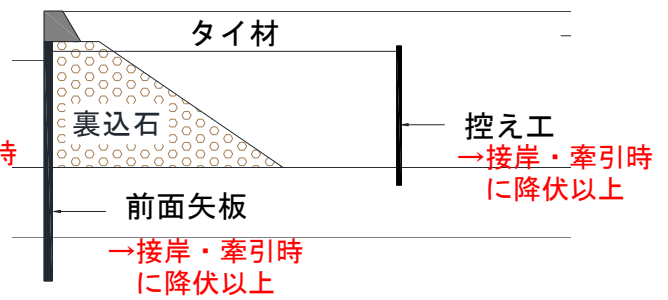


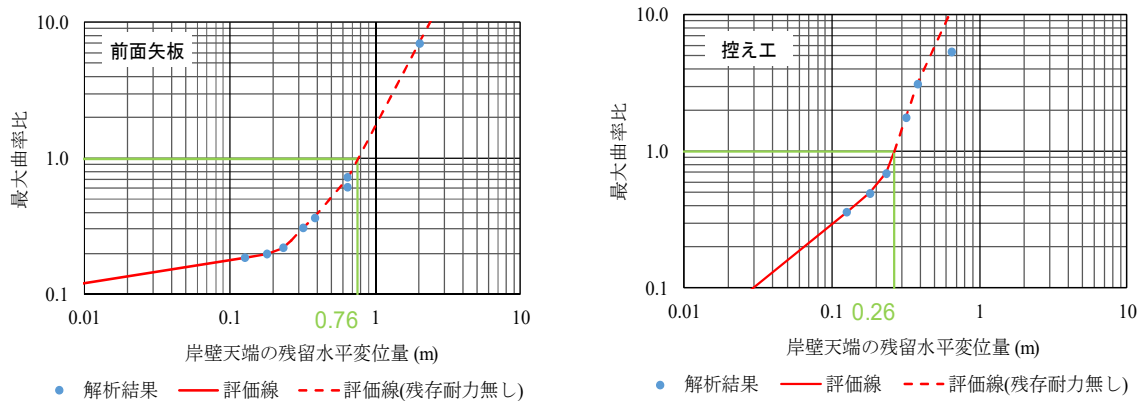
図 4.25 矢板式係船岸の判定基準のイメージ

(2) 評価線と閾値の設定

部材ごとに評価線を作成し、判定基準で示した条件に合致する変位量もしくは速度の PSI 値を閾値として設定する。以下に C 港 d 岸壁 I 工区を例に示す。

	岸壁天端の残留 水平変位量	速度の PSI 値	備考
使用不可となる 閾値 DS1	0.26 m	33 cm/s ^{1/2}	前面矢板と控え工のうち値が 小さい控え工で決定
暫定使用可（長期・短期） の閾値 DS3	0.25 m	32 cm/s ^{1/2}	〃

1) 変位量に関する評価線



※なお、タイ材については解析を行った範囲では破断しなかった。

図 4.26 評価線（鋼部材の最大曲率比—岸壁天端の残留水平変位量関係）

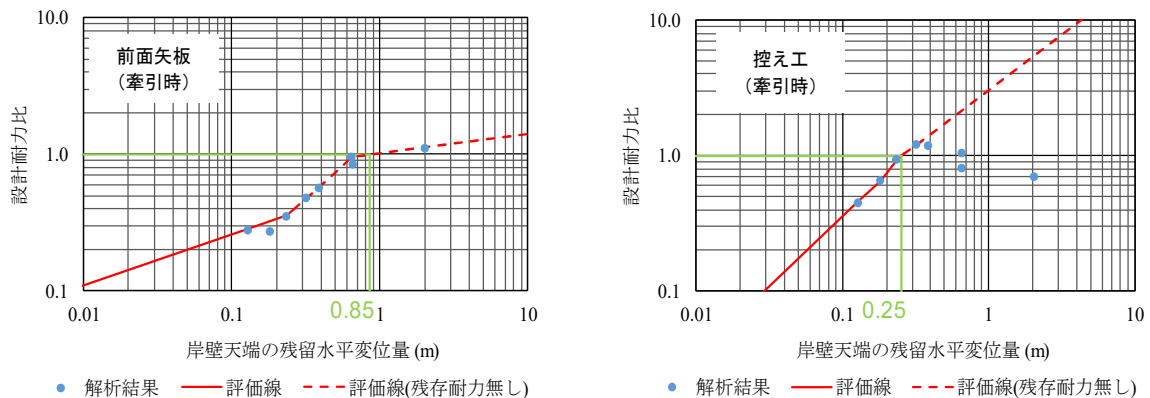
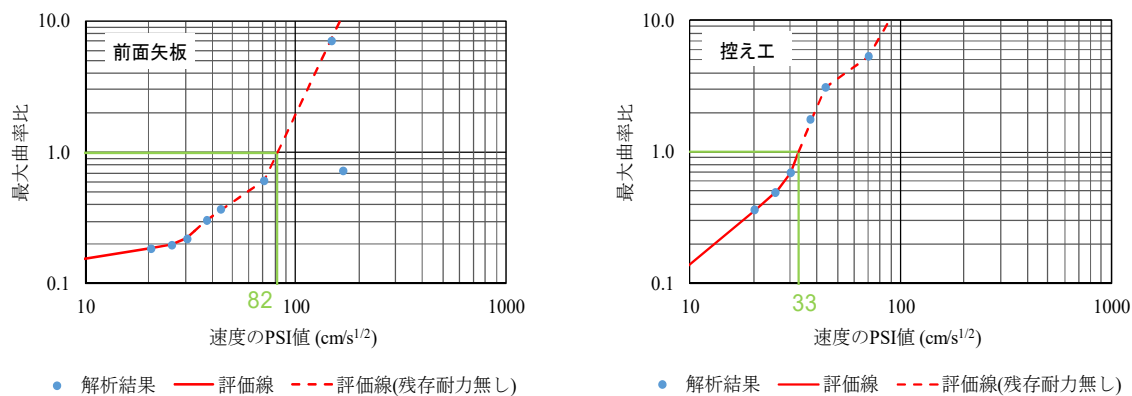


図 4.27 評価線（鋼部材の設計耐力比—岸壁天端の残留水平変位量関係）

2) 速度の PSI 値に関する評価線



※なお、タイ材については解析を行った範囲では破断しなかった。

図 4.28 評価線（鋼部材の最大曲率比－速度の PSI 値関係）

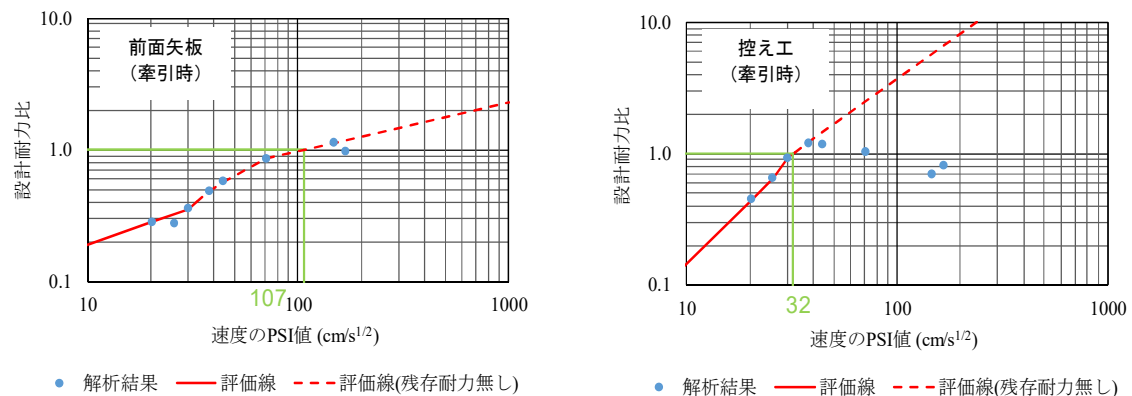


図 4.29 評価線（鋼部材の設計耐力比－速度の PSI 値関係）

(3) 変形モード B の場合について

矢板式の変形モードは図 4.30 に示すように、矢板天端が海側に傾く“変形モード A”と矢板中腹部がはらみ出す“変形モード B”に分類される。

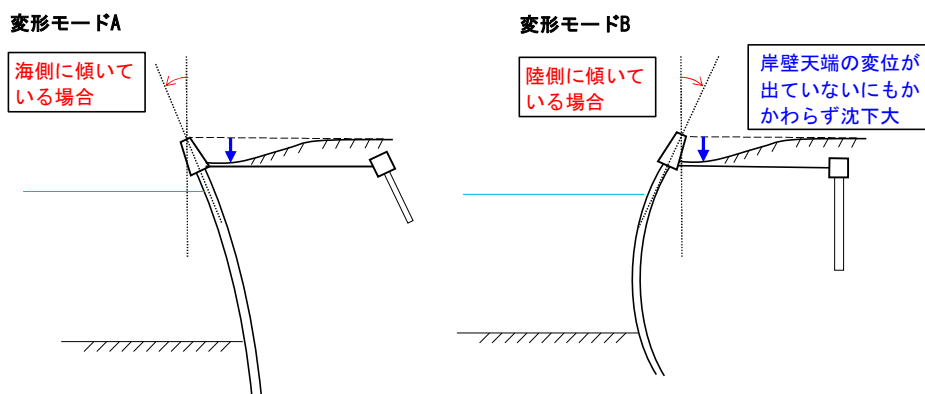


図 4.30 矢板の変形モードとその推定方法

変形モード B の場合は、矢板天端に変位量が生じにくい、海中中部で矢板が損傷している可能性があり注意が必要である。また天端変位量が小さいため、水平変位から応力状態を判断するのが難しく慎重な判断が必要となってくる。そのため、変形モード B の場合は、変位量の閾値に加えて“傾斜角の閾値”を設定し、両者を用いて使用可否判定を行うこととする。また、モード B の場合は海中のはらみ出しが船舶に接触する可能性があるため、はらみ出し量が矢板上部工の張り出し部分と防舷材が圧縮したときの高さ H で吸収可能か確認する必要がある。これについては事前検討において、使用不可となる（鋼部材が限界曲率に至る）際に接触しないか確認する。判定の流れは、前述の図 2.8 の判定フローに示すとおりである。

FLIP 解析を行い変形モード B が生じた場合の検討をまとめると、以下の通りである。

- ✓ 水平変位量の閾値の設定
- ✓ 傾斜角の閾値の設定
- ✓ はらみ出し量の確認

使用不可となる近辺の地震動で、はらみ出し量が船舶に接触しないか確認し、明らかに問題ない場合は閾値（水平変位量、傾斜角）まで使用可とする。微妙な場合は、はらみ出しに接触しない閾値を設定する。

傾斜角の閾値の設定方法の例を以下に示す。

図 4.31 に示す要領で各地震動における傾斜角を算出し、傾斜角と鋼部材の最大曲率比の関係で、図 4.32 のとおり評価線を作成する。図 4.32 の場合、傾斜角の閾値は 2.2° となる。

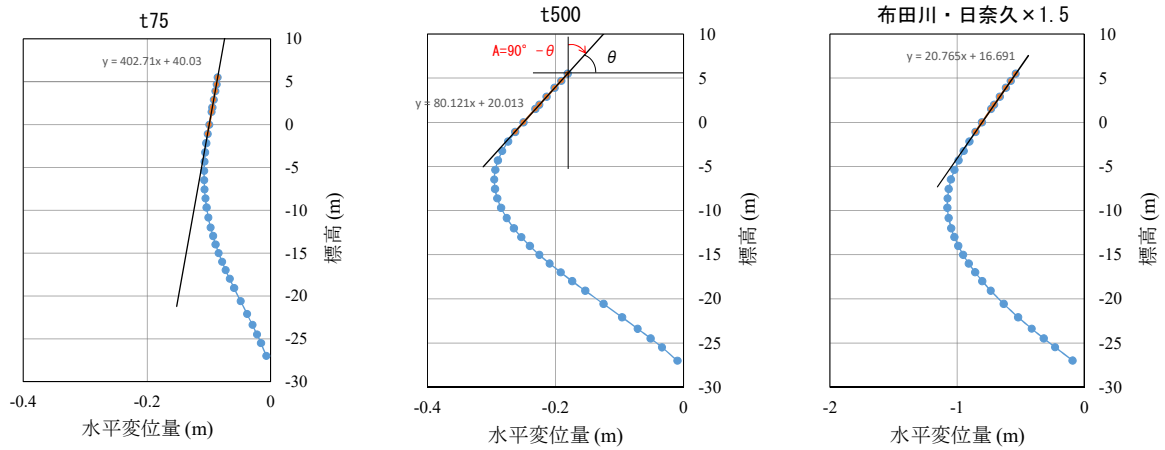
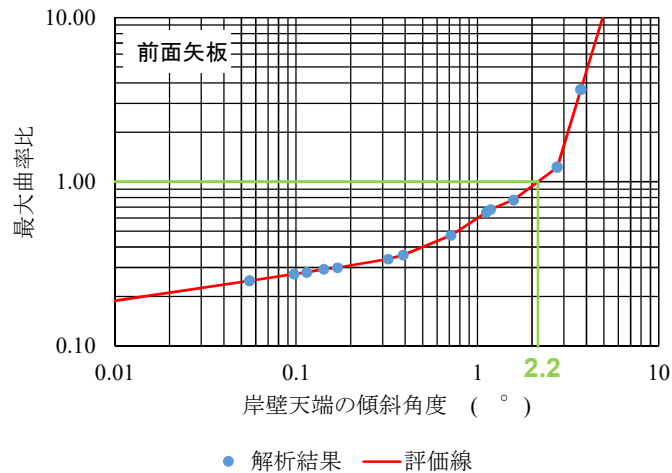


図 4.31 傾斜角の設定例



※傾斜角は陸側への傾斜を正としている。

図 4.32 評価線（傾斜角－前面矢板における最大曲率比）

4.3.3. 栈橋式係船岸

(1) 判定基準

栈橋式係船岸の「構造上の可否判定」における「暫定使用可」や「使用不可」と判定基準の関係を表 4.12、表 4.13 に整理した。なお、「暫定使用可」、「使用不可」、「暫定使用可(長期・短期)」の定義については、「1 使用可否判定の種類と定義 (p. 4-1)」を参照。また、下表だけでは理解が難しいと考えられるため、判定フロー(「第 2 章 3 被災直後現地判定フロー」p.2-6～)もあわせてご覧いただきたい。

表 4.12 栈橋式の判定基準 (暫定使用可・使用不可)

構造形式	使用可否判定	判定基準	
		下部工 (栈橋杭)	上部工
栈橋式	暫定使用可	① 地震中にいずれの杭も 最大曲率比<1.0 かつ杭力比<1.0	② 地震中に設計耐力比<1.0
	使用不可	③ 地震中にいずれかの杭が 最大曲率比≥1.0 または杭力比≥1.0	④ 地震中に設計耐力比≥1.0
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・「暫定使用可」となるには、①かつ②でなければならない。「使用不可」は、③または④のどちらかを満たせば使用不可である。 ・ただし、④の判定基準により「使用不可」となった場合は、上部工下面の目視調査の結果、構造上問題となるひび割れが無ければ「暫定使用可」とすることができる。 ・「使用不可」と判定されても、現地載荷・牽引試験を行い問題なければ、試験時の負荷を十分下回る範囲で緊急物資の荷役に限定した使用を行うことも可能である(「暫定使用可(限定)」)。 ・最大曲率比、杭力比、設計耐力比の定義は、次頁参照。 		

表 4.13 栈橋式係船岸の判定基準 (暫定使用可(長期・短期)の区分)

構造形式	使用可否判定	判定基準		
		下部工 (栈橋杭)		上部工
		地震中	船舶接岸・牽引時	地震中
栈橋式	暫定使用可(長期)	①いずれの杭も 最大曲率比<1.0	②いずれの杭も 設計耐力比<1.0	④ 設計耐力比<1.0
	暫定使用可(短期)	かつ 杭力比<1.0	③いずれかの杭が 設計耐力比≥1.0	
備考	<ul style="list-style-type: none"> ・①かつ④を満たしたうえで、②であれば「暫定使用可(長期)」、③であれば「暫定使用可(短期)」とする。 ・「暫定使用可(長期・短期)」の区分は、被災直後の緊急物資輸送における使用可否判定では使用せず、通常の荷役による使用に向けた詳細な点検や補修の優先順位付けに参考として用いることを想定する。 ・最大曲率比、杭力比、設計耐力比の定義は、次頁参照。 			

■曲率比、設計耐力比等の定義

$$\text{最大曲率比} = \frac{\text{地震中の発生最大曲率 } \phi_{\max}}{\text{限界曲率 } \phi_u} \quad \text{式 4.4}$$

$$\text{栈橋杭の力比} = \frac{\text{地震中の発生最大軸力}}{\text{軸方向（押込or引抜）抵抗力}} \quad \text{式 4.5}$$

$$\text{栈橋杭の設計耐力比} = \frac{\text{船舶接岸・牽引時の発生モーメント } M}{\text{降伏モーメント } M_y} \quad \text{式 4.6}$$

$$\begin{aligned} \text{上部工の設計耐力比} &= \frac{\text{地震中の発生最大モーメント}}{\text{曲げ耐力}} && \text{(曲げ)} \\ &= \frac{\text{地震中の発生最大せん断力}}{\text{せん断耐力}} && \text{(せん断)} \end{aligned} \quad \text{式 4.7}$$

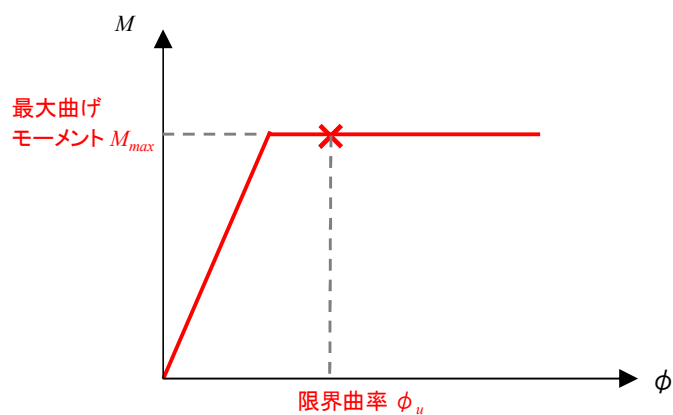
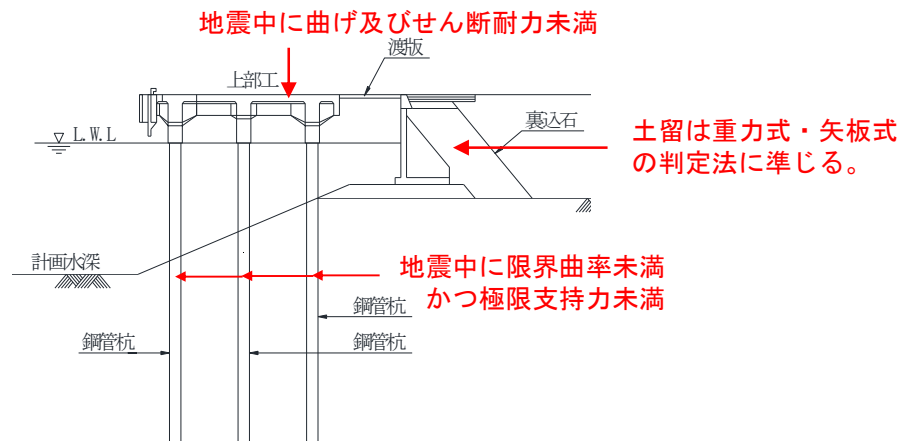


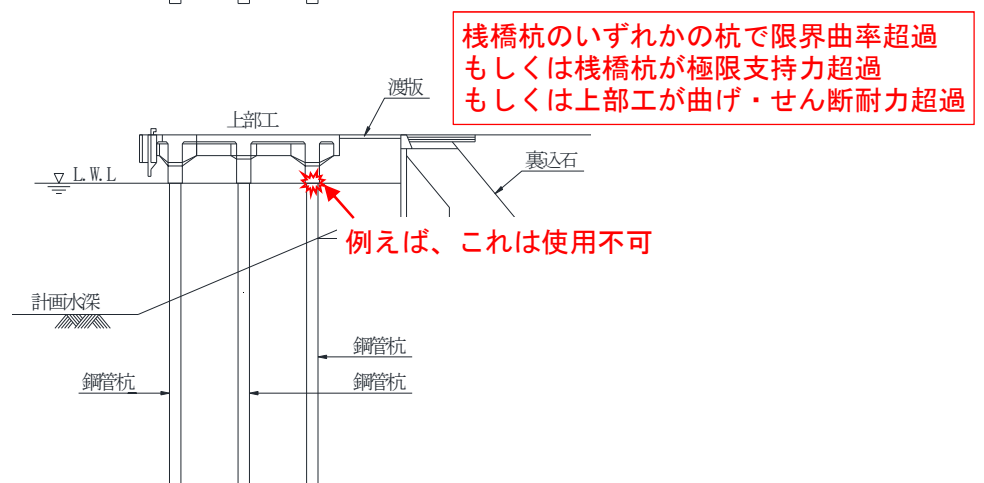
図 4.33 鋼部材の限界曲率 ϕ_u のイメージ

以上を図で整理すると、図 4.34 の通りとなる。

(a) 暫定使用可

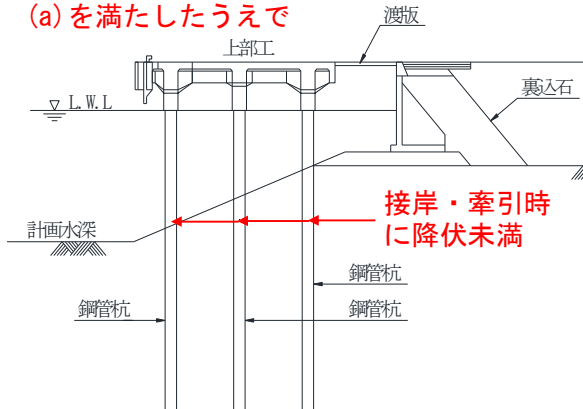


(b) 使用不可



(a)-1 暫定使用可 (降伏未満)

(a) を満たしたうえで



(a)-2 暫定使用可 (降伏以上)

(a) を満たしたうえで

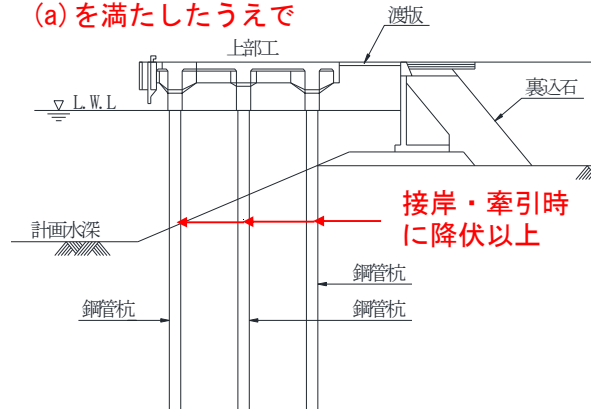


図 4.34 栈橋式係船岸の判定基準のイメージ

【参考】

H30 港湾基準における耐震強化岸壁の性能規定は図 4.35 のようにまとめられている。性能規定は、耐震強化岸壁（特定）の場合：“杭 1 本について 2 箇所以上で限界曲率に達している杭が存在しない”、耐震強化岸壁（標準）の場合：“杭 1 本につき限界曲率に達した箇所が 2 箇所未満である杭が少なくとも 1 本存在する”である。

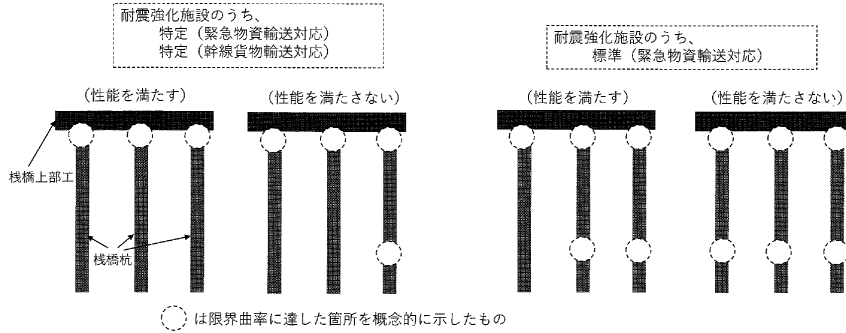


図-5.2.14 限界曲率に達した杭の数え方に関する概念図

図 4.35 H30 港湾基準における耐震強化岸壁の性能規定
(港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 30 年 5 月 中巻 p.1217 より)

しかし、これまでの検討の結果、九州地整では以下の判定基準を採用することとなった。

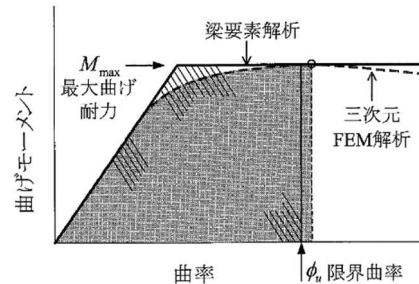
1 箇所でも限界曲率を超過した場合には使用不可と判定する。
ただし、参考として評価線上には各応力状態を色分けして表記する。

応力状態	説明
応力状態1	全ての杭が降伏未満
応力状態2	全ての杭が限界曲率未満
応力状態3	限界曲率を超える杭が存在するが、ダブルヒンジ(杭1本につき2箇所以上で限界曲率に達している)が発生していない。
応力状態4	ダブルヒンジとなっていない杭(杭1本につき限界曲率に達した箇所が2箇所未満である杭)が存在する。
応力状態5	全ての杭にダブルヒンジ(杭1本につき2箇所以上で限界曲率に達している)が存在する。

↑ 暫定使用可
↓ 使用不可

◆判定基準設定の理由

- ①実際に鋼管杭が限界曲率を超過した場合、局部座屈が発生してもおかしくない状態である。局部座屈が発生すると杭が沈下し上部工が損傷する可能性があり、上載荷重を支持できない可能性がある。
- ②FLIP 解析では杭の M- ϕ 関係をバイリニア型でモデル化しており、限界曲率を超えた後の曲げモーメントの低下を表現できないため、解析の再現性に問題がある。



(2) 評価線と閾値の設定

部材ごとに評価線を作成し、判定基準で示した条件に合致する変位量もしくは速度の PSI 値を閾値として設定する。以下に E 港 n 岸壁を例に示す。

	岸壁天端の残留 水平変位量	速度の PSI 値	備考
使用不可となる閾値 (栈橋杭) DS1	0.03 m	10 cm/s ^{1/2}	杭の限界曲率の評価線で 決定
使用不可となる閾値 (上部工) DS3	0.02 m	6 cm/s ^{1/2}	曲げモーメントの評価線 で決定

1) 変位量に関する評価線

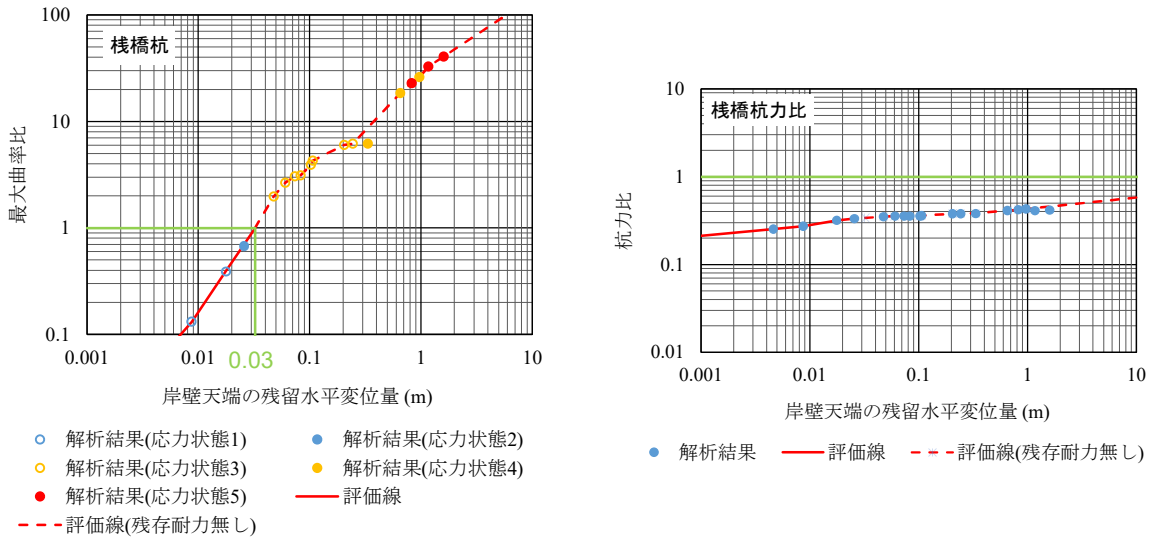


図 4.36 評価線（栈橋杭の最大位曲率比及び力比—岸壁天端の残留水平変位量関係）

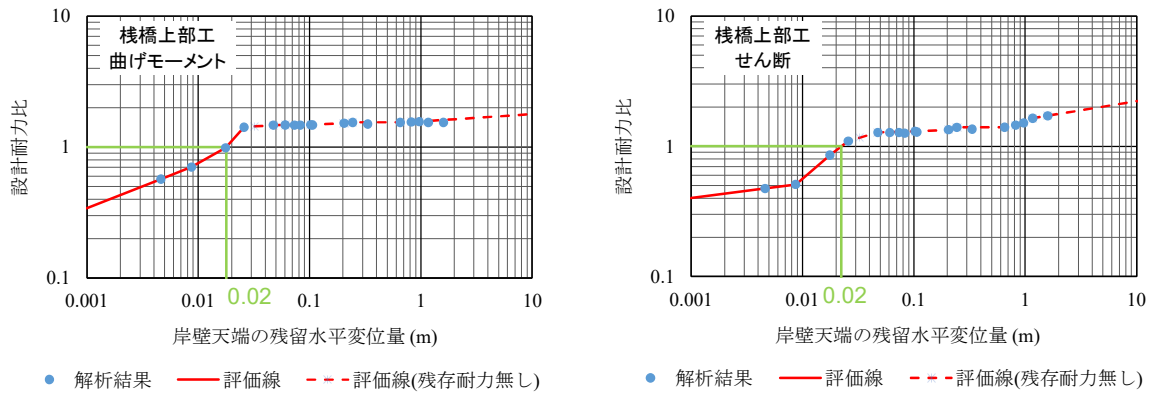


図 4.37 評価線（栈橋上部工の耐力比—岸壁天端の残留水平変位量関係）

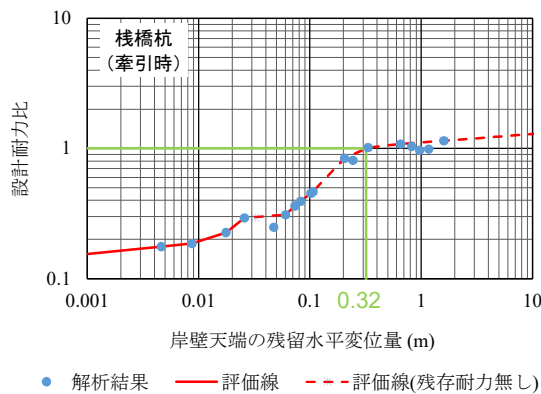


図 4.38 評価線（栈橋杭の設計耐力比—岸壁天端の残留水平変位量関係）

2) 速度の PSI 値に関する評価線

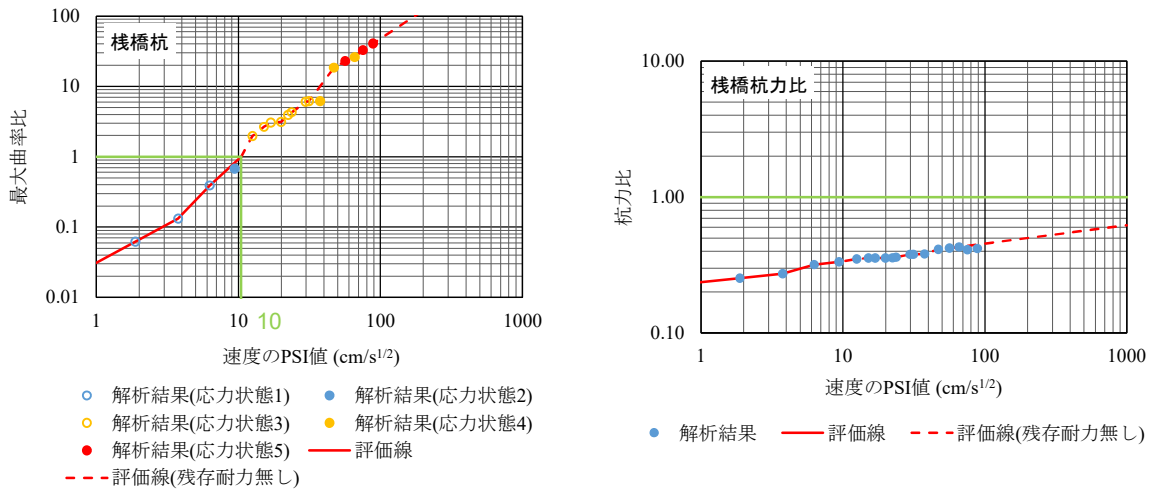


図 4.39 評価線（栈橋杭の最大位曲率比及び力比—速度の PSI 値関係）

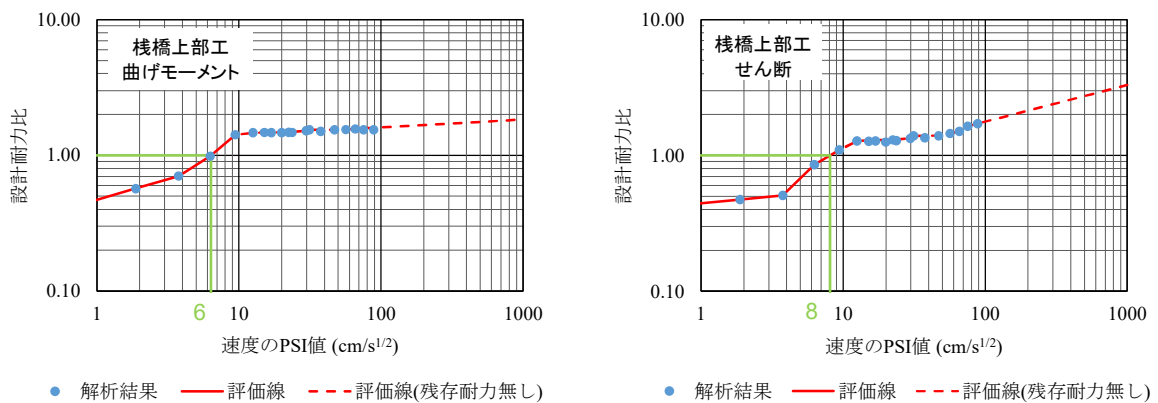


図 4.40 評価線（栈橋上部工の耐力比—速度の PSI 値関係）

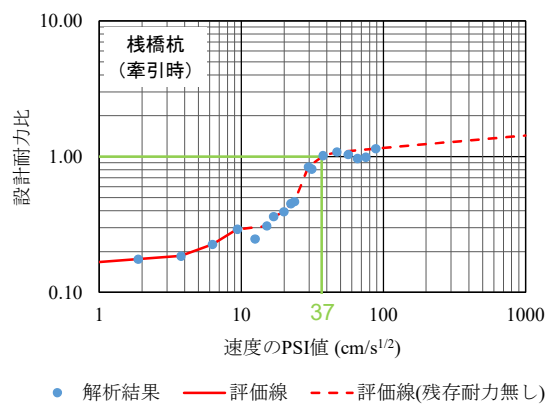


図 4.41 評価線（栈橋杭の設計耐力比—速度の PSI 値関係）

4.3.4. 留意点

使用可否判定における閾値は、FLIP 解析結果より作成した評価線から最大曲率比 1.0 や設計耐力比 1.0 に対応する岸壁天端の残留水平変位量もしくは速度の PSI 値を求める。そのため、評価線作成においては、以下の点に留意して設定を行う必要がある。

<留意点>

図 4.42 のように最大曲率比 1.0 と交わる直線 BC (閾値を設定している直線) の傾きが、その 1 つ前の直線 AB の傾きより緩やかになっている場合は注意が必要である。図 4.42 では曲率比 1.0 超過直後のプロット点が少なく、プロット点を追加すれば傾きが今より急になる可能性があるためである。この場合、直線 BC で設定した閾値は大きめに設定されていることになり、危険側の判定となる可能性がある。

<改善方法>

- ①最大曲率比 1.0 と交わる直線 BC の 1 つ前の直線 AB の傾きを用いて閾値を設定する。
- ②最大曲率比 1.0 超過直後の点が得られるよう、振幅調整を行った地震動で FLIP 解析を追加で行う。

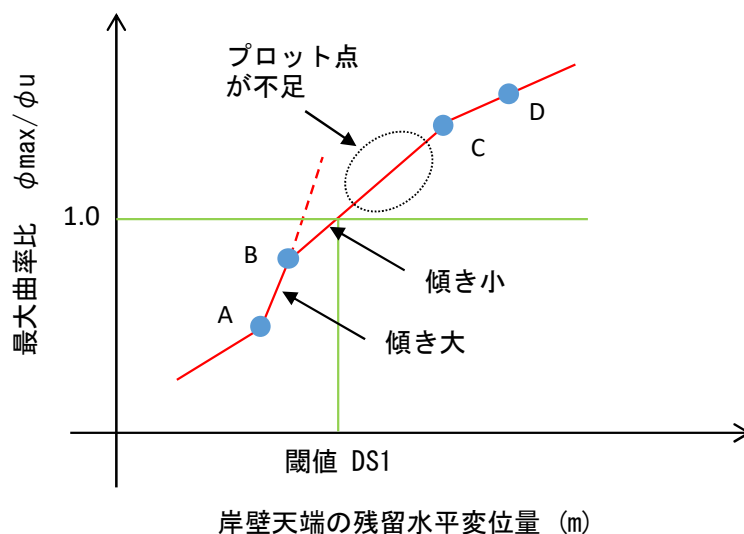


図 4.42 評価線作成上の留意点

前述の留意点に基づいて評価線を改善した例を以下に示す。

<例：D港 g 岸壁>

D港 g 岸壁では、図 4.43 のように評価線が前述の留意点と同様の傾向となった。そのため、改善方法②を行いプロット点を追加した。結果として図 4.44 のように、評価線の傾きは急になり閾値は小さくなった。

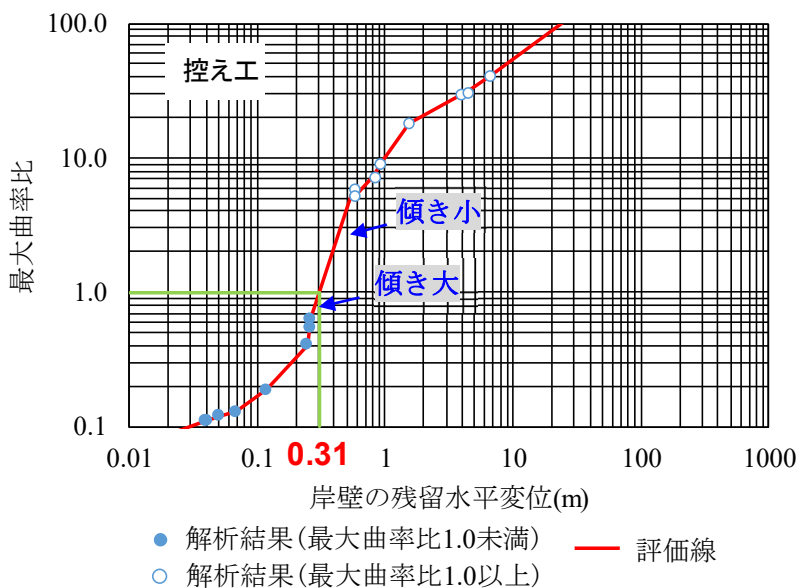


図 4.43 修正前の評価線(D港 g 岸壁)

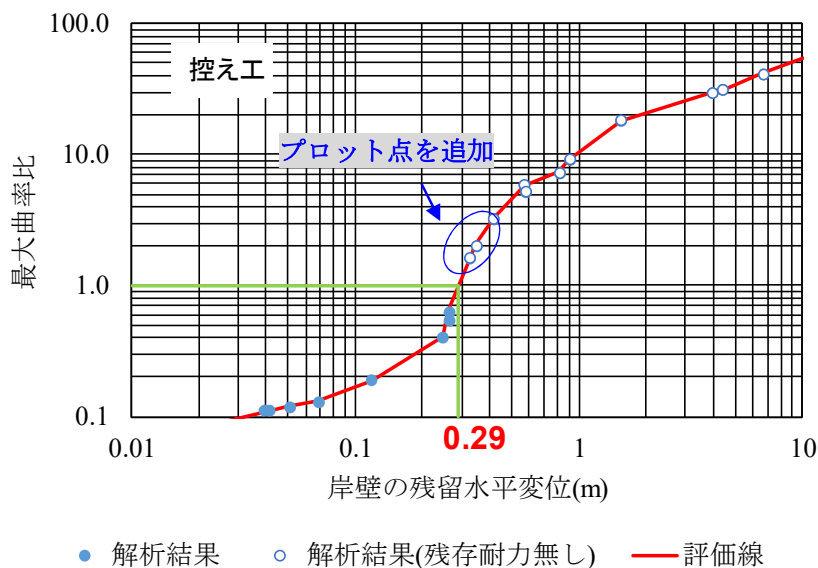


図 4.44 修正後の評価線(D港 g 岸壁)

4.4. 特殊事例（引拔が先行する組杭式栈橋）の検討例

栈橋の判定基準のうち栈橋杭に関するものは、杭の最大曲率比と杭力比がある。施設によっては最大曲率比（限界曲率）による閾値よりも杭力比（極限支持力）による閾値のほうが小さくなり、閾値が極限支持力で決定される場合がある。

これまで実施した検討では、組杭式栈橋においてこの傾向が見られた。具体的には、組杭の引抜側の杭が早い段階で極限支持力（引抜）を超過することで、閾値がかなり小さく設定される結果となった。そのため、モデル化を工夫し引抜杭を引き抜けた状態に近いモデル化を行って限界曲率による評価を行った。ここでは、A 港 j 岸壁の検討に基づいて検討方法を整理する（詳細な検討過程や検討結果は「第 5 章 参考資料」に示す）。

今後、同様の状況で閾値が設定され、あまりにも閾値が小さく実用に耐えない場合は、本手法による検討も考えられる。なお、本手法を用いて検討を行う場合、状況は施設によって異なると想定されるため、施設ごとに適切なケースを設定し比較検討を行う必要がある。また、結果については有識者ヒアリングを行うことが望ましい。

4.4.1. 工夫前のモデル化と結果（A 港 j 岸壁）

栈橋の一般的なモデル化では、栈橋杭下端を MPCxy 拘束とし、杭の周面には杭-地盤相互作用ばねにより杭軸直角方向にのみばねを入れて杭と地盤のすり抜けを表現している。ここで MPCxy 拘束とは、地盤と杭先端が水平・鉛直方向に同変位となるよう拘束し回転は許容する拘束条件である。

このようなモデル化を行ったうえで、杭に発生する軸力と極限支持力を比較し、支持力照査を行うわけである。ここで、杭力比=発生軸力/極限支持力（押込 or 引抜）である。杭下端が拘束されているため、地盤が変形しない限りは、杭自体が地盤にめり込んだり、引き抜けてしまうことはない。そのため極限支持力を超過した時点で、杭が「押し込まれてしまった」、もしくは「引き抜けてしまった」と捉え使用不可とするわけである。

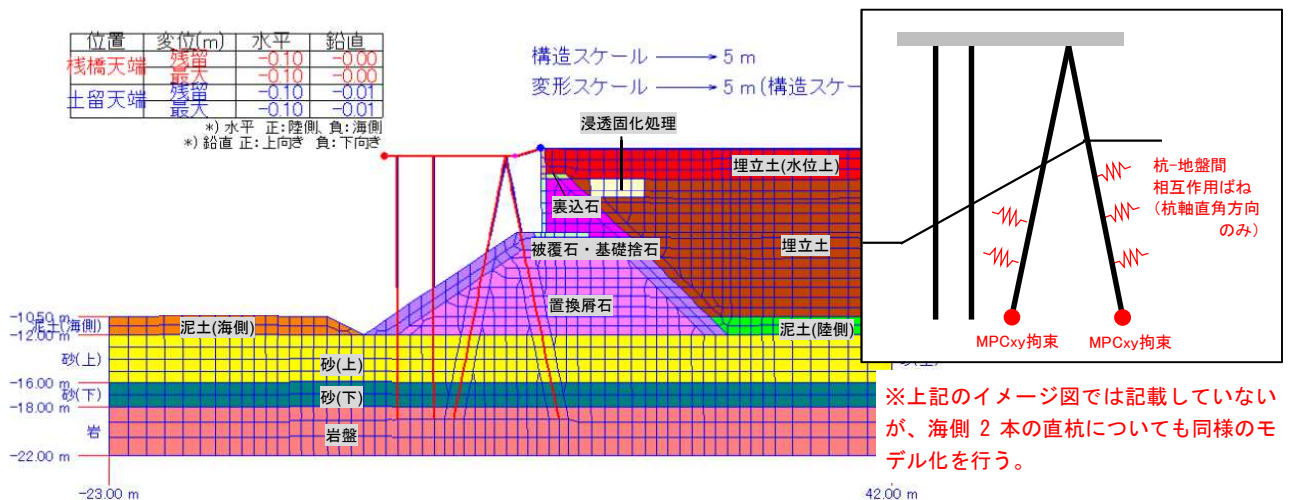


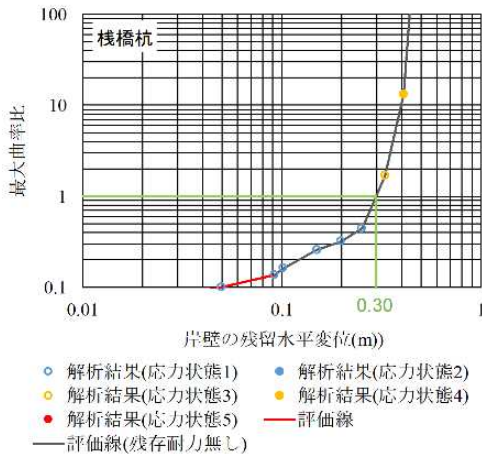
図 4.45 A 港 j 岸壁のモデルと栈橋の一般的なモデル化法

A 港 j 岸壁では、杭の最大曲率比（限界曲率）と、杭の力比（極限支持力）について照査し、水平変位量の閾値が小さく設定される極限支持力（引抜）により閾値を設定していた。

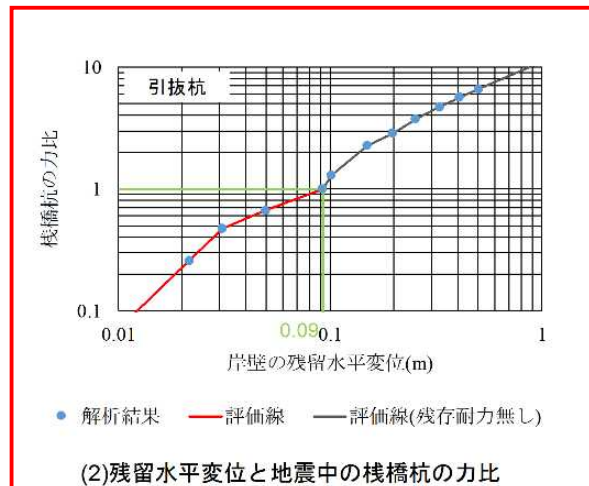
以下に示す通り、限界曲率による閾値：0.30m に対して、極限支持力（引抜）による閾値：0.09m であるため、使用不可となる閾値：0.09m となり地震被災後に使用不可と判断される可能性が高い。

波形名	速度PSI値 (cm/ s ^{1/2})	残留水平変位(m)		地震中の状態			
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭の力比	
						押込杭	引抜杭
再現期間50年の確率波	10.05	0.02	0.02	0.07	1	0.226	0.257
再現期間75年の確率波	11.94	0.03	0.03	0.08	1	0.257	0.471
再現期間100年の確率波	13.52	0.05	0.05	0.10	1	0.286	0.664
再現期間150年の確率波	16.13	0.09	0.09	0.14	1	0.340	0.998
再現期間200年の確率波	18.25	0.10	0.10	0.16	1	0.381	1.292
再現期間500年の確率波	26.63	0.15	0.15	0.26	1	0.525	2.255
再現期間500年の確率波×1.2	31.95	0.20	0.20	0.32	1	0.623	2.864
再現期間500年の確率波×1.4	37.28	0.25	0.26	0.44	1	0.757	3.737
再現期間500年の確率波×1.6	42.60	0.33	0.34	1.68	3	0.918	4.690
再現期間500年の確率波×1.8	47.93	0.41	0.42	13.03	4	1.086	5.640
再現期間500年の確率波×2.0	53.25	0.50	0.52	5435.74	4	1.254	6.591

再現期間50～500年の地震動は、国土技術政策総合研究所で作成。
 最大曲率比＝発生最大曲率／限界曲率
 栈橋杭力比＝発生最大軸力／地盤の破壊に基づく抵抗力の限界値



(1)残留水平変位と地震中の栈橋杭の最大曲率比



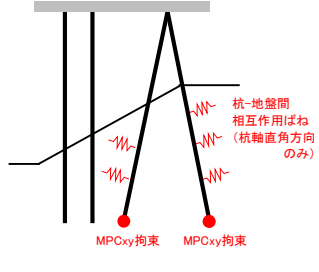
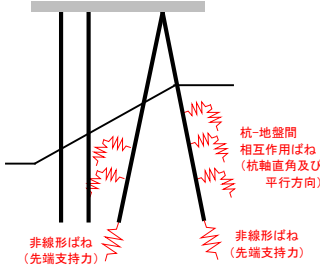
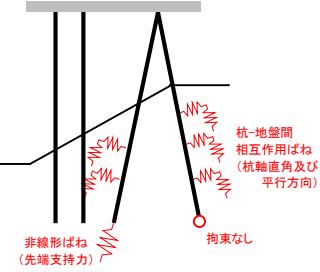
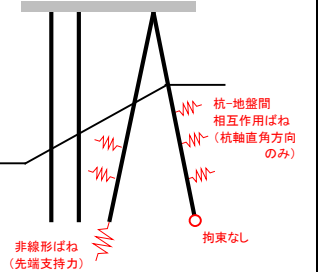
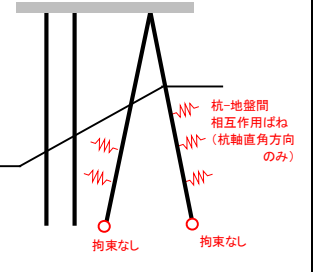
(2)残留水平変位と地震中の栈橋杭の力比

図 4.46 モデル化工夫前の結果まとめ (A 港 j 岸壁)

4.4.2. 検討モデルと検討内容

これまでに実施した検討では、前項で述べた一般的なモデル化（ケース①）に加えて、杭の周面摩擦や先端支持力を考慮したケース②～⑤で検討を実施している。なお、地震動は再現期間 500 年の確率波を用いて解析を実施した。

表 4.14 解析ケースとイメージ図

ケース	ケース① (一般的なモデル化)	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤
イメージ図					
概要	杭-地盤間相互作用バネ(杭周面)	杭軸直角・平行方向 平行方向バネのせん断強度は $\tau_f = C_j + \sigma_n \tan \phi_j$ で求められる。初期剛性は $K_s = 10^6 \text{kPa}$ とした。 ・砂質土：(a) $C_j = 0$ 、 $\phi_j = 15^\circ$ もしくは、 <u>(b) $C_j = 2\text{N}$、$\phi_j = 0$ (N : N 値)</u> ・粘性土： $C_j = \text{粘着力}$ 、 $\phi_j = 0$ ※砂質土層は液状化の程度を考慮して(a)、(b)どちらを設定するか検討する。		杭軸直角方向のみ	
	押込杭先端	MPCxy 拘束	非線形バネ(双曲線型)により先端支持力を再現 $q_{0.1} = 0.286q_{ult} = \eta 300NA_p = 2577\text{kN/本}$ ($q_{0.1} : 0.1 \times D_e$ 沈下するときの支持力。 D_e : 杭径)		拘束及びバネなし
	引抜杭先端	MPCxy 拘束	非線形バネにより先端支持力を再現	拘束及びバネなし	

※MPCxy 拘束：地盤と杭先端が水平・鉛直方向に同変位となるよう拘束し回転は許容する拘束条件

表 4.14 に示した検討ケースを基本として、解析を実施し、それぞれのケースについて評価線の作成・閾値の設定を行う。解析・評価線・閾値の結果を総合的に比較し、最終的に採用するケースを決定する。詳細な検討過程や検討結果は「第 5 章参考資料」に示すが、A 港 j 岸壁ではケース④を採用した。なお、A 港 j 岸壁で行ったモデル化は、現在設計で用いられている FLIP 解析の一般的な設定法ではないため、他施設に適用する場合は以下の点に留意が必要である。

■検討における留意点

- ✓杭の引き抜きをいろいろな方法でモデル化して、最終的に閾値が安全側に設定されるケースを採用することを基本とする。施設によって状況が違うことから施設ごとにケースを検討する。
- ✓解析結果において明らかに杭が引き抜けてしまったり、解析結果に明らかな不具合が見受けられる場合は、本手法による閾値設定は不可である。また、接岸力・牽引力を作用させた場合についても影響がないか確認しておく必要がある。
- ✓液状化が顕著な場合は $\tau_f = \sigma_n' \tan 15^\circ < \tau_f = 2N$ になることがあるため、施設ごとに適切な設定が必要である。(液状化により有効拘束圧 σ_n' が低下するため、 $\tau_f = \sigma_n' \tan 15^\circ$ で設定を行うとその効果を反映できる、一方でほとんど液状化しない場合に、 $\tau_f = 2N$ で設定した方が τ_f が小さくなる可能性もある。) よって、 $\tau_f = \sigma_n' \tan 15^\circ$ 、 $\tau_f = 2N$ の両者を比較検討することが望ましい。なお、A 港 j 岸壁では両者を検討した結果、 $\tau_f = 2N$ のほうが τ_f が小さくなったため、こちらを採用している。
- ✓周面摩擦は $\tau_f = 2N$ で一定に設定しているが、一般的には杭が引き抜け始めると周面摩擦が低下する。そのため、杭が大きく引き抜ける際は、留意する必要がある。
- ✓これまでの検討では、ケース④と⑤で結果にあまり差がでなかった。これは通常押込側となる海側斜杭がほとんど押し込まれず、先端の非線形バネの有無による影響が出ていないためと考えられる。そのため、他施設でこの方法を適用するときは、押込み杭の挙動に注意し、大きく押し込まれる場合は下端を MPCxy 拘束とするケースも検討することが望ましい。
- ✓ケース②～⑤は、周面摩擦力や先端バネの設定が現在設計で用いられている FLIP 解析の一般的な設定法ではない。これまでの検討では、引き抜けの影響がより大きいケース④や⑤のほうが安全側の閾値を設定できる傾向にあったため、これを採用している。ただし、将来的に事例解析が進み、キャリブレーションができればケース②や③の適用も可能になると考えられる。

4.4.3. パラメータ設定

先端支持力、周面摩擦の設定について、A 港 j 岸壁で設定した事例に基づいて以下に示す。

(1) 周面摩擦（杭-地盤相互作用バネ）

杭と地盤の杭軸方向の相互作用（杭の周面摩擦）は、図 4.47 で表現される。すなわち、せん断応力がせん断強度 τ_f （滑り強度）に達するまでは、せん断方向初期剛性（ K_s ）に応じたせん断応力が発生する。せん断強度 τ_f は地盤杭に垂直方向に作用する拘束圧 σ_n' に基づき、式 4.8 で計算される。ここに σ_n' は、杭-地盤相互作用ばね要素の地盤側節点に接続する平面要素の応力が参照され算定される。

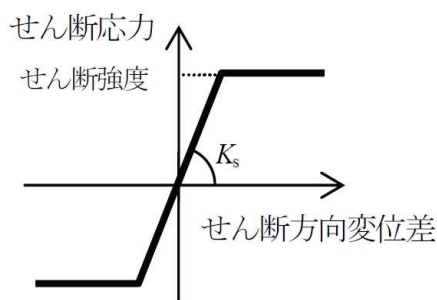


図 4.47 杭軸方向の杭-地盤相互作用バネの応力ひずみ関係

$$\tau_f = J_\alpha C_j + J_\beta \sigma_n' \tan \phi_j \quad \text{式 4.8}$$

τ_f : せん断強度、 C_j : 粘着力、 J_α : C_j に乗ずる調整係数、 σ_n' : 垂直方向の拘束圧、 ϕ_j : 摩擦角（壁面摩擦角 15° 等）、 J_β : σ_n' 及び ϕ_j に乗ずる調整係数

砂質土の場合は $J_\beta \sigma_n' \tan \phi_j$ でせん断強度が算定される。一方で、静的設計において、砂質土の周面摩擦は式 4.9、式 4.10 で算定される。

$$R_{fk} = \sum_i \bar{\gamma}_{fki} A_{si} \quad \text{式 4.9}$$

$$\bar{\gamma}_{fki} = 2\bar{N} \quad \text{式 4.10}$$

\bar{r}_{fki} : i 層における杭と地盤の単位接触面積あたりの平均周面抵抗力 (kN/m^2)

A_{si} : i 層における杭と地盤の接触面積 (m^2)

$$A_{si} = U_{si} \cdot l_i$$

U_{si} : i 層における杭の外周長 (m)

l_i : i 層における杭長 (m)

\bar{N} : i 層における平均の N 値

FLIP の入力パラメータとしては、 C_j もしくは、 ϕ_j を入力することになる。

砂質土の場合で、 $\sigma_n' \tan \phi_j$ で周面摩擦を設定する場合、 $C_j = 0$ 、 $\phi_j = 15^\circ$ する。 $\gamma f_{ki} = 2N$ で周面摩擦を設定する場合は、 $C_j = 2N$ 、 $\phi_j = 0$ とする。

例として、 $C_j = 2N$ 、 $\phi_j = 0$ により設定する場合の杭軸方向の杭-地盤相互作用バネの入力パラメータを、表 4.15 に示す。なお、本例は海側斜杭と陸側斜杭は杭直径が同じであるため、両者とも表 4.15 に示すパラメータを用いることとなる。

表 4.15 杭軸方向の杭-地盤相互作用バネの入力パラメータ (A 港 j 岸壁)

■杭軸方向の杭-地盤相互作用バネ入力パラメータ

土層	初期せん断剛性 K_s	$C_j (= 2N)$	ϕ_j	J_α	J_β	factJ [*]
	kN/m ²	kN/m ²	°			
捨石	1.00E+06	4.00	0	1.0	1.0	0.2
砂(上)	1.00E+06	14.10	0	1.0	1.0	0.2
砂(下)	1.00E+06	24.48	0	1.0	1.0	0.2

※factJ：FLIPで単位奥行当たりの計算を行うにあたり乗じる係数。1/杭ピッチ。

■周面摩擦(C_j)の設定

杭ピッチ 5m

土層	下端標高	杭径	杭の外周長 U_{si}	杭長 l_i	接触面積 A_{si} (= $U_{si} * l_i$)	N値	γf_{ki} (=2N)	R f_{ki}
	m	mm	m	m	m ²		kN/m ²	kN
	-3.5							
捨石	-12	699.16	2.20	8.50	18.67	2	4.00	74.68
砂(上)	-16	699.16	2.20	4.00	8.79	7.05	14.10	123.88
砂(下)	-18	699.16	2.20	2.00	4.39	12.24	24.48	107.54

※杭軸方向の杭-地盤相互作用ばね(杭軸方向の摩擦を表現)では、摩擦力の上限値をせん断強度 $\tau_f = C_j + \sigma_n' \tan \phi_j$ で規定している。ここで、 C_j は地盤の粘着力、 ϕ_j は壁面摩擦角である。一方で、設計における砂地盤の周面摩擦力は $\gamma f_{ki} = 2N$ により求められる。そこで、今回は2Nにより摩擦力を設定するために、入力パラメータとしては、 C_j に当たる部分に $\gamma f_{ki} = 2N$ を入力する。

(2) 先端支持力（杭先端の非線形バネ）

兵頭ら¹⁷⁾は、二次元有効応力解析に適用するための杭の先端支持力のモデル化法の研究を行っている。本論文では、杭の先端支持力を、Hirayama¹⁸⁾の提案する杭先端抵抗 q ～鉛直変形 z_e の関係を用いて、非線形バネ要素によりモデル化している。

Hirayama の提案する杭先端抵抗と鉛直変位の関係は下図及び下式により算定される。

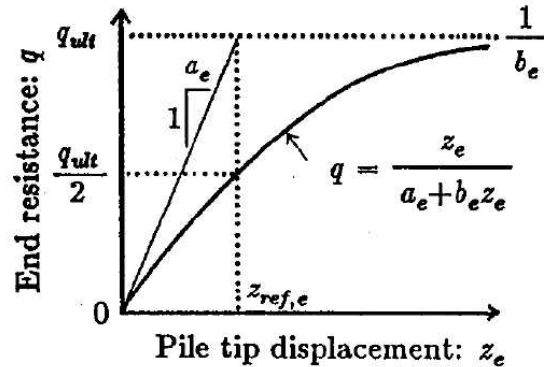


図-11 杭先端における荷重と変位の関係⁸⁾

$$q = \frac{z_e}{a_e + b_e z_e} \quad (2)$$

$$\text{ここに, } a_e = \frac{z_{ref,e}}{q_{ult}} = \frac{0.25D_e}{q_{ult}}, \quad b_e = \frac{1}{q_{ult}} \quad (3)$$

D_e : 杭の直径、 q_{ult} : 双曲線モデルにおける杭先端抵抗の極限值、 $z_{ref,e}=0.25D_e$: 基準変位

本論文では、 $z_e=0.1D_e(\text{m})$ のときの杭先端抵抗 $q_{0.1}(\text{kN/m}^2)$ に着目して、双曲線近似の形状を決めており、算定方法は以下の通りである。

上式(2)より、 $z_e=0.1D_e$ のとき、

$$q_{0.1} = \frac{0.1D_e}{a_e + b_e \cdot 0.1D_e} \quad (4)$$

式(3)を式(4)に代入すると、

$$q_{0.1} = 0.286q_{ult} \quad (5)$$

式(5)を式(3)に代入すると、 a_e と b_e が求められて $q_{0.1}$ を用いた双曲線近似の関係式を算定することができる。

$$a_e = \frac{0.0715D_e}{q_{0.1}}, \quad b_e = \frac{0.286}{q_{0.1}} \quad (6)$$

¹⁷⁾ 兵頭順一、塩崎禎郎、曾根照人、小堤治、一井康二：二次元有効応力解析における杭の先端支持力のモデル化手法、土木学会論文集 A1(構造・地震工学)、Vol.71, No.4(地震工学論文集第34巻), I_408-I_423, 2015.

¹⁸⁾ Hirayama, H. : Load-settlement analysis for bored pile using hyperbolic transfer function, Soil and Foundation, Vol.30, No.1, pp55-64,1990.

FLIP において入力が必要なパラメータは、De (杭径)、0.25De (基準変位)、0.1De (軸力指定変位)、q0.1 (0.1De 変位したときの杭先端抵抗) である。

ここで、q0.1 は下式より求める。

$$q_{0.1} = \eta R_{pk} = \eta \cdot 300 N A_p \quad \text{式 4.11}$$

η : 閉塞率、N : 杭先端付近の N 値、 A_p : 杭先端の断面積(m²)

また、杭が水平となす角度 α を入力する必要がある。 α は下図の通りである。

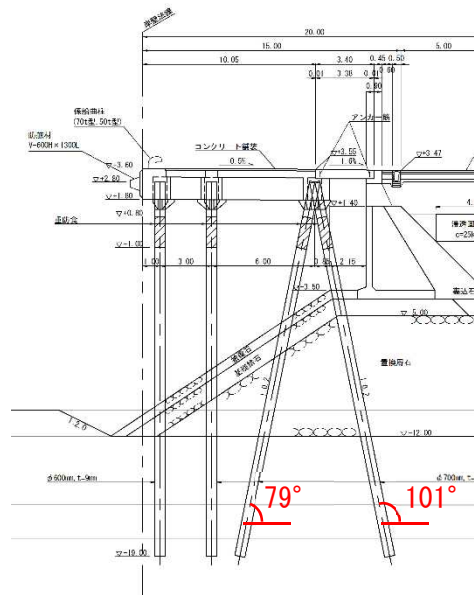


図 4.48 斜杭が水平面となす角度 α (A 港 j 岸壁)

以上、杭先端の非線形バネの入力パラメータをまとめると、表 4.16 の通りとなる。

表 4.16 杭先端非線形バネの入力パラメータ (A 港 j 岸壁)

■杭先端非線形バネ

杭名称	杭の水平に対する角度 α	De に乗じる係数 ^{※1}		杭径 De	q0.1 ^{※2} (= $\eta \cdot 300 N A_p$)	Pfact ^{※3}
		軸力指定変位	基準変位			
海側斜杭(押込杭)	79	-0.1	-0.25	0.682	-2577	0.2
陸側斜杭(引抜杭)	101	-0.1	-0.25	0.682	-2577	0.2

※1: 双曲線も得るにおいて、軸力指定変位と基準変位は指定する必要がある。それぞれ0.1De、0.25Deとなる。

※2: 0.1De沈下したときの杭先端抵抗。

※3: FLIPで単位奥行当たりの計算を行うにあたり乗じる係数。1/杭ピッチ

■q0.1の算出

土層	N1 (杭先端位置でのN値)	N2 (杭先端から4φ上方までの平均N値)	N =(N1+N2)/2	杭径	杭先端の断面積 A_p	閉塞率 η	q0.1 (= $\eta \cdot 300 N A_p$)
岩	49	25	37	699.16	0.384	0.6	2577

※杭先端バネのバネ定数 : 3.7×10^4 kN/m/本 (= $2577 \text{ kN/本} \div (0.1 \times 0.7 \text{ m})$)

周面摩擦のバネ定数 (せん断方向の初期剛性 K_s) : 2.2×10^6 kN/杭軸 1m/本

(= 10^6 kN/m²/本 \times 杭周長 0.2m)

4.5. 耐震性能の評価分析

4.5.1. 矢板式係船岸

(1) 変形モード

これまでの FLIP 解析結果に基づいて、矢板式係船岸の変形モードと破壊モードを以下の通り分類した。実際に使用可否判定を行う際には、変形モードが A か B を見極めることが重要である。なぜなら、変形モード B となった場合、矢板天端の変位量が小さいにもかかわらず水中部で矢板が損傷している可能性があり注意が必要なためである。よって、各変形モードになる傾向を分析する。また、現地での変形モードの確認方法についても述べる。

■変形モード

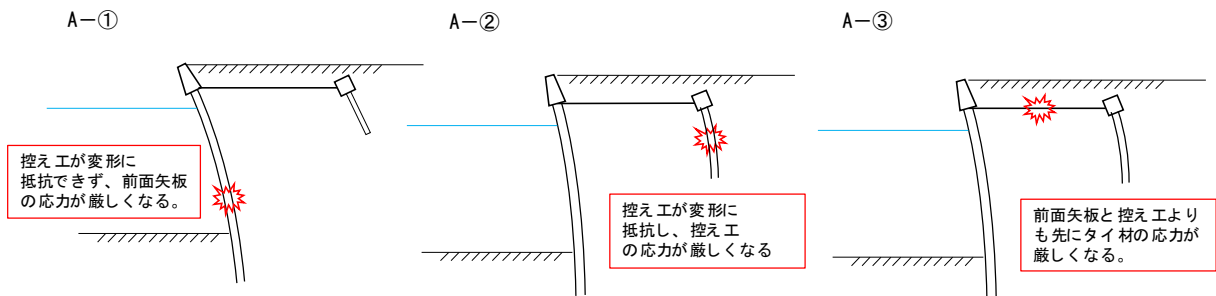
変形の仕方を、変形モード A（前面矢板が海側に倒れ込む）と変形モード B（前面矢板中腹部がはらみ出す）に分類する。

■破壊モード

破壊モード①（前面矢板の応力が先行的に厳しくなる）、破壊モード②（控え工の応力が先行的に厳しくなる）、破壊モード③（タイ材の応力が先行的に厳しくなる）に分類する。

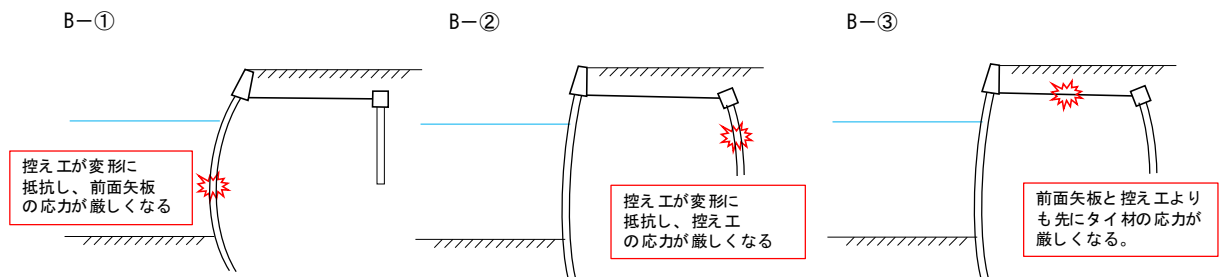
◆変形モード A：前面矢板が海側に倒れ込む変形モード

→ さらに破壊モード①、破壊モード②、破壊モード③を組み合わせる



◆変形モード B：前面矢板中腹部がはらみ出す変形モード

→ さらに破壊モード①、破壊モード②、破壊モード③を組み合わせる。



※モード B の場合には矢板天端の変位量が小さいにもかかわらず、水中部で損傷している可能性があり、注意が必要である。

(2) 検討施設の分類と分析

九州管内の矢板式係船岸について、上記の変形－破壊モードで分類した結果を表 4.17 に示す。なお、各施設の詳細な分析は、「第 5 章 3.1(1)～第 5 章 3.1(7)」に示す。

- ・ほとんどの施設が変形モード A に分類される。
- ・一般的に変形モード B となるのは、控え工が堅固（組杭式等）で、前面矢板天端の変位量が抑制される場合と考えられる。ただし、組杭式の施設でも変形モード A となっている施設もあり、構造形式のみで一様に変形－破壊モードを分類することはできない。
- ・控え工が鋼管杭の場合は、すべて控え工の応力が厳しくなる破壊モード②に分類できる。

表 4.17 九州管内における矢板式係船岸の変形—破壊モードの分類

No.	港湾名	施設名	構造形式		天端高 D.L.(m)	設計 水深 D.L.(m)	前面矢板 下端標高 D.L.(m)	壁高 H(m)	前面矢 板根入 れ長 L _f (m)	控え 工長 さ L _b (m)	許容変 形量 D _a (m) ※1)	D _a /H (%)	変形—破壊モード				備考
			矢板本体	控え工									A-①	A-②	B-①	B-②	
1	A 港	a 岸壁 A 工区	鋼管矢板	鋼矢板	3.7	-13.5	-22.0	17.2	8.5	9.5	1.91	11.10	○				変位量の閾値の観点では前 面矢板が控え工より若干早 く限界曲率に至るが、両者 の閾値はほぼ同等であり、 控え工でも応力が大きくな っている傾向は D 工区と同 様である。
2		a 岸壁 D 工区	鋼管矢板	鋼矢板	3.7	-13.5	-19.0	17.2	5.5	9.5	1.97	11.45		○			
3	B 港	b 岸壁 A 区間	鋼管矢板	鋼矢板	5.1	-10.0	-22.0	15.1	12.0	5.5	3.48	23.05	○				
4		b 岸壁 C 区間	鋼管矢板	鋼矢板	5.1	-10.6	-22.5	15.7	11.9	8.0	3.28	20.89	○				
5		c 岸壁	鋼管矢板	鋼管杭	5.2	-10.7	-21.0	15.9	10.3	16.5	4.18	26.29		○			
6	C 港	d 岸壁 IV 工区	鋼管矢板	鋼管杭	3.8	-14.5	-29.5	18.3	15.0	16.5	0.50	2.71		○			
7		d 岸壁 I 工区	鋼管矢板	鋼管杭	3.8	-14.5	-22.0	18.3	7.5	16.5	0.26	1.42		○			
8	D 港	e 岸壁	鋼管矢板	鋼管杭	5.5	-14.6	-23.5	20.1	8.9	19.0	0.49	2.44		○			
9		f 岸壁	鋼矢板	鋼矢板	5.5	-12.0	-27.0	17.5	15.0	9.5	0.52	2.97			○		
10		g 岸壁	鋼管矢板	鋼管杭	5.5	-10.0	-25.5	15.5	15.5	18.9	0.31	2.00		○			
11	E 港	h 岸壁	鋼管矢板	鋼矢板	5.5	-8.5	-19.4	14.0	10.9	10.0	0.36	2.57	○				

※1) 許容変形量 D_a は、残存耐力の観点から最大曲率比=1.0 に至る岸壁残留水平変形量とした。

- 九州管内の D 港 f 岸壁は控え工が組合せ鋼矢板で断面剛性が大きいため、控え工が変形に抵抗し変形モード B になり、前面矢板の応力が先行的に厳しくなったと考えられる。また、前面矢板直背後が液状化したにも関わらず、控え杭直背後が液状化しなかったことも影響していると考えられる。(控え杭の直背後が液状化しなかったのは、控え杭が前面に移動した結果、背後に正の dilatancy が生じ、控え杭が控え版のように挙動してピストンの役割を果たすため、水圧の上昇が緩和されたためであると考えられる。)

(3) 【参考】変形モードの確認方法

変形モードを確認する方法として以下の2点が考えられる。

①傾斜計を用いた前面矢板天端の傾斜方向の確認

図 4.49 に示すように海側に傾斜する場合は変形モード A、陸側に傾斜する場合は変形モード B になっている可能性が高い。

②岸壁天端変位と沈下量の確認

図 4.49 の変形モード B のように、岸壁天端の水平変位がそれほど出ていないにもかかわらず、矢板背後地盤の沈下量が大きい場合、変形モード B になっている可能性が高い。

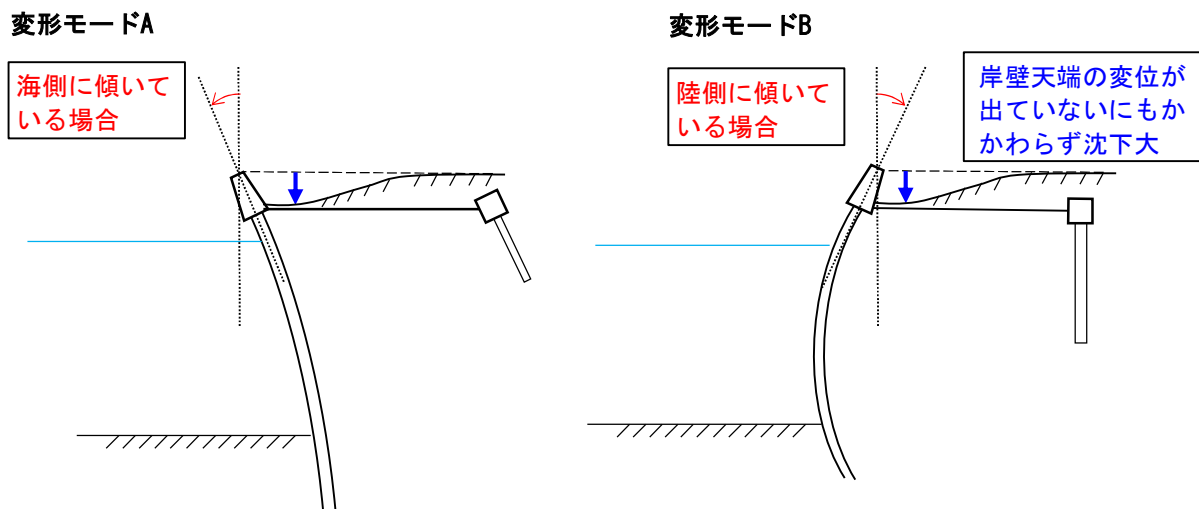


図 4.49 変形モードの確認

※なお九州管内施設では、D 港 f 岸壁が FLIP 解析の結果、変形モード B となっている。

4.5.2. 棧橋式係船岸

棧橋式係船岸について、部材ごとの耐震性能の分析を行った。検討結果を表 4.18 に整理した。表 4.18 に示す通り、ほとんどの施設で上部工が先にアウトとなる。表 4.18 には上部工の引張鉄筋比 p_t を合わせて示しているが、上部工でアウトになる個所の鉄筋比は $p_t=0.2\%$ 前後の場合が多い。設計においてモーメントが大きくなる個所に十分な鉄筋量が確保されていても、部分的に鉄筋量が少なくなっている個所でアウトになる傾向があると考えられる。

各施設の詳細な分析結果については次頁以降に示す。

表 4.18 耐震性能の分析（栈橋式）

No.	港湾名	施設名	構造形式		計画 水深 D.L.(m)	変位量の閾値		速度の PSI 値の閾値		先にアウトになる部材			正曲げ or 負曲げ	【参考】 アウト箇所の 上部工鉄筋比 pt(%)
			栈橋本体	土留工		栈橋杭	上部工	栈橋杭	上部工	栈橋杭限 界曲率	栈橋杭 支持力	上部工		
						DS1 (m)	DS3 (m)	PSI1 (cm/s ^{1/2})	PSI3 (cm/s ^{1/2})					
1	A 港	i 岸壁	栈橋式	L 型擁壁	-7.5	0.10	0.17	16	31		○		正曲	0.242
2		j 岸壁	栈橋式	L 型擁壁	-10.0	0.25	0.19	25	20			○	正曲	0.209
3		k 岸壁	栈橋式	L 型擁壁	-10.0	0.04	0.00	19	0			○	負曲	0.184
4	F 港	l 岸壁	栈橋式	重力式	-12.0	0.03	0.05	26	33	○			正曲	0.246
5		m 岸壁 (JKT)	栈橋式	L 型擁壁	-15.0	0.15	0.11	46	36			○	—	—
6	E 港	n 岸壁	栈橋式	重力式	-10.0	0.03	0.02	10	6			○	負曲	0.410
7		o 岸壁	栈橋式	L 型擁壁	-13.0	0.14	0.01	23	2			○	正曲	0.170
8	G 港	p 岸壁	栈橋式	直立消波 ブロック	-14.0	0.16	0.07	23	3			○	正曲	0.402
9	H 港	q 岸壁	栈橋式 (土留一体)	矢板式 (土留一体)	-9.0	0.14	—	30	—	○		—	—	—

※pt=As/bd pt : 鉄筋比, As : 引張鉄筋量(m²), b : 部材幅(m), d : 有効高さ(m)

4.6. 閾値一覧（FLIP 解析により設定）

表 4.19、表 4.20 に、R03d までの検討で行った FLIP 解析に基づいて設定した閾値を示す。なお、FLIP 解析を行った各施設の評価線一覧は「第 5 章 4 各施設まとめ表と評価線一覧 (p.5-53～)」に示す。

表 4.19 矢板式・棧橋式の閾値一覧（FLIP 解析で設定(フェーズ I 期施設+その他)）1/2

NO	基本情報						利用者関連			港 湾 BC P 位 置 付 け	備考	使用可否判定の閾値一覧												
	港湾名	施設名	所有者	水深 (m)	延長(m) 又は面積 (m ²)	構造形式	主な 利用状況	利用頻 度 (便/ 週)	劣 化 度 判 定 時 期			劣 化 度 総 合 判 定	使用不可となる閾値 DS1			暫定使用可(長期・短期)の閾値 DS2 ★1			上部工下面調査が必要となる閾値 DS3					
													岸壁天端の残留 水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{0.5})	震度階級 ★2	岸壁天端の残留 水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{0.5})	震度階級 ★2	岸壁天端の残留 水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{0.5})	震度階級 ★2			
													設定値	設定値	設定値	設定値	設定値	設定値	設定値	設定値	設定値			
1	A港	i岸壁	国	-7.5	260	棧橋式係船岸	外貨フェリーの 利用	7便/週	2016	C	○	R01dFLIP解析実施	0.10	16	5弱	—	—	—	※A					
2	A港	j岸壁	国	-10	370	棧橋式係船岸	RORO船の利 用	2便/週	2016	C	○	R01dFLIP解析実施、 R02dモデル化見直し	0.25	25	5弱	—	—	—	0.19	20	5弱			
3	A港	k岸壁	国	-10	全L=438.12 本L=370 取L=68.12	棧橋式係船岸	利用なし	—	2014	C		R01dFLIP解析実施	0.04	19	5強	—	—	—	※B					
4 ※ア	A港	a岸壁	国	-13	75	矢板式係船岸	非鉄金属の 輸移入	—	2013	C		H30dFLIP解析実施	1.91	56	5弱	0.77	28	—	矢板式のため上部工の判定無し					
																						A工区	60	※A工区の判定基準を適用
																						B工区	40	H30dFLIP解析実施、 ※A工区の判定基準を適用
																						C工区	98.5	※A工区の判定基準を適用
																						D工区	22.76	
5	B港	c岸壁	国	-10	185	矢板式(鋼管矢板)	バラ貨物	—	2012	C		H30dFLIP解析実施	4.18	222	5強	—	—	—						
6 ※イ	B港	b岸壁	国	-9	87.3	矢板式(鋼管矢板)		—	2014	D	○	H30dFLIP解析実施	3.48	128	5強	—	—	—						
																						A区間	122.4	※C区間の判定基準を適用
																						B区間	45.3	H30dFLIP解析実施
7	F港	l岸壁	国	-12	553	棧橋式係船岸	食用穀物の 輸入	—	2015	C		R01dFLIP解析実施	0.03	26	5弱	—	—	—	※A					
8	E港	n岸壁	国	-10	370m	棧橋式係船岸	貨物船による 荷役	—	2012	C	○	R01dFLIP解析実施	0.03	10	4	—	—	—	0.02	6	4			
9	E港	o岸壁	国	13	260m	棧橋式係船岸	貨物船による 荷役	—	2008	C		R01dFLIP解析実施	0.14	23	5弱	—	—	—	0.01	2	5弱			

■注釈一覧

・共通項
 ★1: DS2がDS1以上となっている場合は、“—”を表示。DS1に至るまで(使用不可となるまで)は暫定使用可(長期)と判定する。
 ★2: FLIP解析結果から算出した震度階級は速度のPSI値よりも精度が劣る。そのため速度のPSI値が取得できない場合に目安として用いることを想定し参考記載した。
 なお、速度のPSI値や震度階級による判定は、現地点検に行く前に施設の損傷程度を推定するためのものであり、最終的には残留水平変位量と目視点検結果により使用可否判定を行う。

・矢板式
 ※ア: A港はA工区、D工区のFLIP解析で得られた閾値がほぼ同様のため、安全側として閾値が小さい「A工区」で判定を行う。
 ※イ: B港b岸壁は、A区間(既設:セルラーブロック式)とC区間(既設:セル式)で既設構造が異なること、変位量の閾値に20cm程度の違いがあるため、「A区間」と「B~C区間」で個別に判定を行う。
 ※ウ: D港のFLIP解析を実施していない施設はグループ化により対応する。
 ※エ: C港は、I工区とIV工区のFLIP解析より得られた閾値が大きく異なるため、「I~III工区」と「IV工区」で個別に判定を行う。
 ※オ: E港のh岸壁は、フェーズ I 期に該当する施設ではないが、既往検討によりFLIP解析モデルが作成されているため、使用可否判定の閾値を設定した。
 ※カ: 本施設は矢板中腹部がはらみ出す変形モードBとなることが、FLIP解析で確認されている。モードBの場合は岸壁天端の水平変位量が生じにくいいため、水平変位に加え、傾斜角による判定を行う。なお、傾斜角は陸方向への傾斜を“—”で表記する。

・棧橋式
 ※A: FLIP解析より求めた上部工の閾値が使用不可となる閾値より大きいため、使用可の範囲では上部工下面調査は必要なしと判断する。
 ※B: 棧橋上部工において、すべての解析結果で設計耐力比1.0以上であるため、“大規模地震が起こった際には上部工下面調査が必要”とする。
 ※C: 上部工(PCホロー桁)直下の鋼管部材が限界曲率を超えるまでは調査不要とする。なお、この鋼管部材が限界曲率を超える閾値は、棧橋杭が限界曲率を超える閾値より大幅に大きいため、施設が使用可の範囲では調査不要である。
 ※D: 上部工は梁部材ではないため判定閾値無し
 ※E: I港r施設はフェーズ I 期に該当する施設ではないが、離島の生活航路となる重要インフラに該当すること、既往FLIPモデルがあることから検討を実施した。

次頁に続く

表 4.20 矢板式・棧橋式の閾値一覧（FLIP 解析で設定(フェーズ I 期施設+その他) 2/2

NO	基本情報						利用者関連			劣化度	港湾BCP位置付け	備考	使用可否判定の閾値一覧								
	港湾名	施設名	所有者	水深(m)	延長(m)又は面積(m ²)	構造形式	主な利用状況	利用頻度(便/週)	判定時期				使用不可となる閾値 DS1			暫定使用可(長期・短期)の閾値 DS2 ★1			上部工下面調査が必要となる閾値 DS3		
													岸壁天端の残留水平変位(m)	速度のPSI値(cm/s ^{0.5})	震度階級★2	岸壁天端の残留水平変位(m)	速度のPSI値(cm/s ^{0.5})	震度階級★2	岸壁天端の残留水平変位(m)	速度のPSI値(cm/s ^{0.5})	震度階級★2
10 ※ウ	D港	s岸壁	国	-9	40(165m)	矢板式係船岸	内航貨物船	-	2011	C		※No.12とグループ化	傾斜角:-2.2°(陸側へ傾斜) ※力	0.52	212	5強	0.51	198	-	矢板式のため上部工の判定無し	
11 ※ウ	D港	t岸壁	国	-10	185	矢板式係船岸	内航貨物船	-	2009	C	○	※No.12とグループ化									
12 ※ウ	D港	f岸壁	国	-10	185	矢板式係船岸	内航貨物船	-	2009	C	○	H30dFLIP解析実施									
13 ※ウ	D港	g岸壁	国	-10	50	矢板式係船岸	外資コンテナ	5便/週	2009	C	○	※No.12とグループ化									
					135							H29dFLIP解析実施									
14 ※ウ	D港	e岸壁	国	-14	140	矢板式係船岸	外資貨物船	-	2013	C	○	H30dFLIP解析実施									
					100							※I工区の判定基準を適用									
					40																
15 ※ウ	D港	u岸壁	国	-12	200	矢板式係船岸	外資貨物船	-	1998	D	○	※No.14とグループ化									
16 ※エ	C港	d岸壁	国	-14	100	矢板式係船岸	非鉄金属の輸出	6便/週	2008	C											H30dFLIP解析実施
					25																※I工区の判定基準を適用
					25																
					25																
					75																
310	H30dFLIP解析実施																				
17	G港	p岸壁	国	-14	280	棧橋式係船岸	原木の輸出入	-	2013	D	○	R01dFLIP解析実施	0.16	23	5強	0.15	-	-	0.07	3	4
18	F港	m岸壁	国	15	350	棧橋式係船岸	ゴム製品の輸出、動植物性製造副産物の輸入	8.5便/週	2012	C	耐震	R01dFLIP解析実施	0.15	46	5強	-	-	-	0.11	36	5強
19	H港	q岸壁	国	-9	296	棧橋式係船岸	H28dより供用開始のため実績なし	-	2016	D	耐震	R01dFLIP解析実施	0.14	30	5弱	-	-	-	※C		
※オ	E港	h岸壁	管理者	-7.5	100	矢板式係船岸	貨物船による荷役	-	2008	-	-	-	※B区間の判定基準を適用								
					130								H30dFLIP解析実施								
※エ	I港r施設	接岸ドルフィン	管理者	-5	-	棧橋式係船岸	フェリーターミナル	-	-	-	-	-	R01dFLIP解析実施	0.16	225	6弱	-	-	-	※D	
		門柱A												0.31	276	6弱	-	-	-		
		門柱B												0.06	166	6弱	-	-	-		
		固定側基礎												0.05	226	6弱	-	-	-		

■ 注釈一覧

- 共通項
 - ★1: DS2がDS1以上となっている場合は、“-”を表示。DS1に至るまで(使用不可となるまで)は暫定使用可(長期)と判定する。
 - ★2: FLIP解析結果から算出した震度階級は速度のPSI値よりも精度が劣る。そのため速度のPSI値が取得できない場合に目安として用いることを想定し参考記載した。なお、速度のPSI値や震度階級による判定は、現地点検に行く前に施設の損傷程度を推定するためのものであり、最終的には残留水平変位量と目視点検結果により使用可否判定を行う。
- 矢板式
 - ※ア: A港はA工区、D工区のFLIP解析で得られた閾値がほぼ同様のため、安全側として閾値が小さい「A工区」で判定を行う。
 - ※イ: B港の岸壁は、A区間(既設、セルラブロック式)とC区間(既設、セル式)で既設構造が異なること、変位量の閾値に20cm程度の違いがあるため、「A区間」と「B-C区間」で個別に判定を行う。
 - ※ウ: D港のFLIP解析を実施していない施設はグループ化により対応する。
 - ※エ: C港は、I工区とIV工区のFLIP解析より得られた閾値が大きく異なるため、「I-III工区」と「IV工区」で個別に判定を行う。
 - ※オ: E港の岸壁は、フェーズI期に該当する施設ではないが、既往検討によりFLIP解析モデルが作成されているため、使用可否判定の閾値を設定した。
 - ※カ: 本施設は矢板中腹部がはみ出す変形モードBとなること、FLIP解析で確認されている。モードBの場合は岸壁天端の水平変位量が生じにくいため、水平変位に加え、傾斜角による判定を行う。なお、傾斜角は陸側方向への傾斜を“-”で表記する。
- 棧橋式
 - ※A: FLIP解析より求めた上部工の閾値が使用不可となる閾値より大きいため、使用可の範囲では上部工下面調査は必要なしと判断する。
 - ※B: 棧橋上部工において、すべての解析結果で設計耐力比1.0以上であるため、“大規模地震が起こった際には上部工下面調査が必要”とする。
 - ※C: 上部工(PCホーロー桁)直下の鋼管部材が限界曲率を超えるまでは調査不要とする。なお、この鋼管部材が限界曲率を超える閾値は、棧橋杭が限界曲率を超える閾値より大幅に大きいため、施設が使用可の範囲では調査不要である。
 - ※D: 上部工は梁部材ではないため判定閾値無し
 - ※E: I港r施設はフェーズI期に該当する施設ではないが、離島の生活航路となる重要インフラに該当すること、既往FLIPモデルがあることから検討を実施した。

5. 矢板・棧橋式の FLIP 解析未実施施設における暫定的判定基準

九州管内におけるフェーズⅠ期施設は FLIP 解析による閾値の設定が完了している。

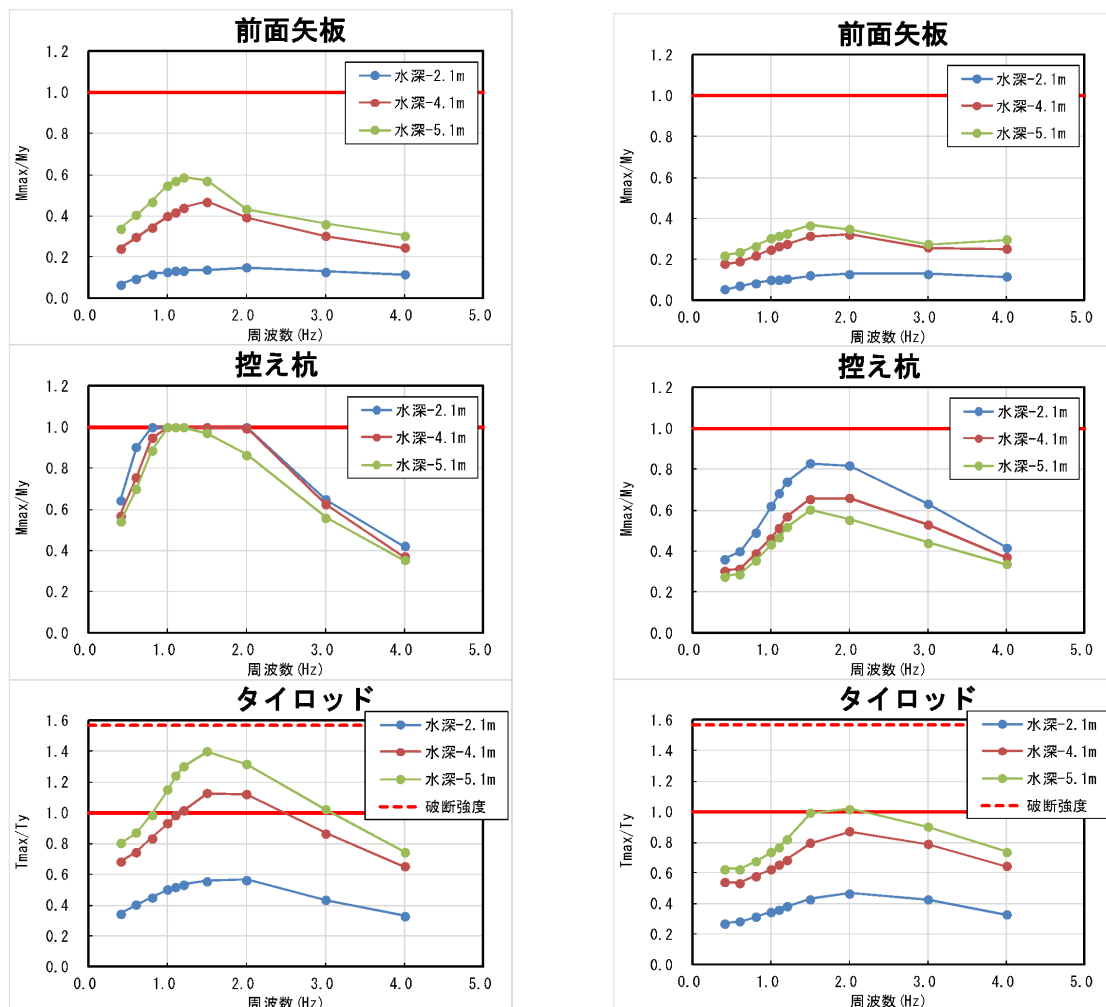
フェーズⅡ期・Ⅲ期施設は、今後 FLIP 解析実施を検討もしくは管理者に奨励するが、現状は暫定的な判定基準を設ける。

5.1. 矢板式係船岸

水深-7.5m 以浅は水産庁の検討結果、フェーズⅡ・Ⅲ期施設は国総研の検討結果により暫定的判定基準を設定した。

5.1.1. 水深-7.5m 未満施設の暫定的判定基準

-7.5m 未満の施設については水産庁資料¹⁹⁾に基づいて判定基準を設定する。本資料では、控え直杭式矢板断面を対象に FLIP による地震応答解析を行うことにより、照査用震度の算定式およびその検証結果について示されている。変形量の限界値を 20cm もしくは 10cm で設計した断面に対して FLIP 解析による鋼材照査が実施されている(図 4.50 参照)。図 4.50 に示すとおり、20cm 変形時には、控え杭およびタイロッドが降伏に達しているのに対し、10cm 変形時には水深-5.1m の場合にタイロッドが降伏に達するが、その他の部材は降伏に至っていないことが確認できる。したがって、-7.5m 未満の施設については、使用可否の判定基準を残留水平変位量 10cm と設定する。



(1)20cm 変形時

(2)10cm 変形時

図 4.50 水深-7.5m 未満施設における最大発生応力／降伏応力の比¹⁹⁾

¹⁹⁾水産基盤整備調査委託事業年度報告書「平成 27 年度漁港・漁場の施設の設計手法の高度化検討調査」

5.1.2. フェーズⅡ・Ⅲ期施設の暫定的判定基準

(1) 控え直杭式矢板

フェーズⅡ・Ⅲ期の控え直杭式矢板の判定基準は、長尾らの論文²⁰⁾に基づいて設定する。本論文では、控え直杭式矢板岸壁を対象に FLIP による地震応答解析を行うことにより、レベル1地震動作用時の変形モードおよび変形量と鋼部材の断面力の相関について検討されている。その結果、**図 4.51** に示すように、矢板壁、タイ材、控え直杭のいずれも、レベル1地震動作用時における供用上の観点からの制限値 20~30cm 変形時には断面力に余裕がある。すなわち、控え直杭式矢板岸壁の破壊は変形先行型であり、降伏先行型ではないことがいえる。断面力は矢板壁・タイ材・控え直杭のうちで矢板壁がもっとも厳しい。また、水深が深くなるほど各部材が降伏にいたる残留水平変位量は大きくなっており、水深-7.5m のケースが最大となっている。

いずれの部材・ケースにおいても“35cm 変形時に部材に降伏は生じていない”ことが確認できることから、使用可否の判定基準を残留水平変位量 35cm と設定する。

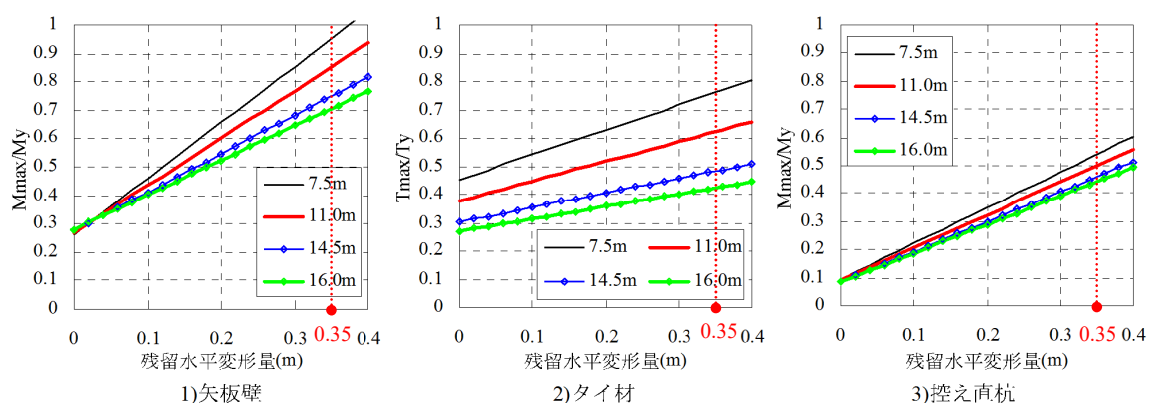


図 4.51 控え直杭式の残留水平変位量と部材断面力の関係（長尾らの論文²⁰⁾に加筆）

²⁰⁾長尾毅、尾崎竜三：控え直杭式矢板岸壁のレベル1地震動に対する性能規定化に関する研究、土木学会地震工学論文集(2005)

(2) 控え組杭式矢板

フェーズⅡ・Ⅲ期の控え組杭式矢板の判定基準は、国総研資料²¹⁾に基づき設定する。本資料では重力式および矢板式岸壁を対象に FLIP による地震応答解析を行うことにより、照査用震度の設定方法について示されているとともに、レベル 1 地震動に対する変形量の許容値についても示されている。

本論文では控え組杭式矢板岸壁についても検討がなされており、図 4.52 に示すように、水深-11m 岸壁の場合について控え組杭式矢板岸壁の変形量の断面力余裕度が整理されている。同図をみると、“変形量が 15cm 以下の範囲では断面力には余裕がある場合がほとんど”であることが分かる。控え組杭式矢板岸壁は水深の深い場合に用いられることが多いことから、控え直杭式矢板岸壁も控え直杭式と同様に、変形量が 15cm 程度以下の場合には降伏先行型ではなく、基本的に変形先行型であると考えられる。

以上より、使用可否の判定基準を残留水平変位量 15cm と設定する。

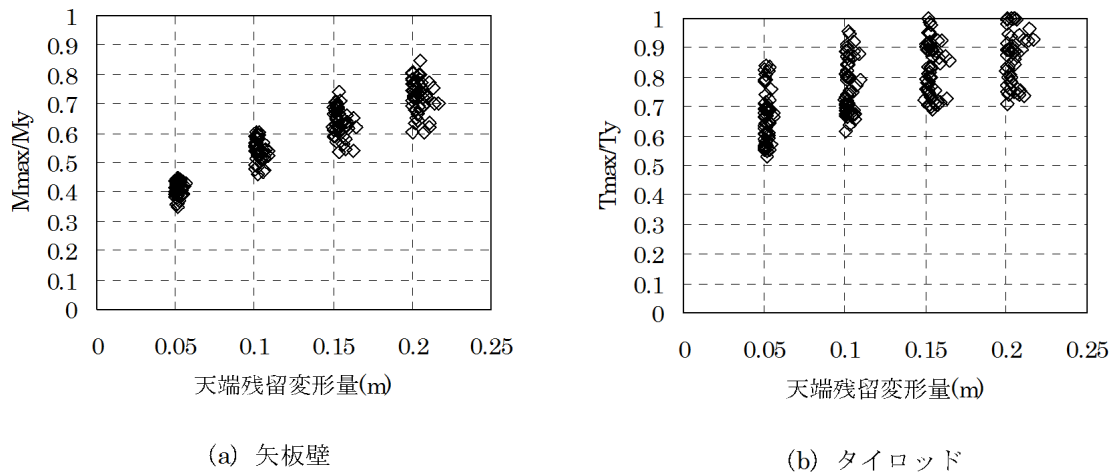


図 4.52 控え組杭式矢板の残留水平変位量と部材断面力の関係²¹⁾

5.2. 栈橋式係船岸

栈橋式係船岸の暫定判定基準は、水深-7.5m 未満、フェーズⅡ・Ⅲ期施設を通して、5.2.1 に示す手法を暫定として用いることとする。なお、本手法による使用可否の閾値を計算するためのエクセルを別途作成しており、その計算例を 5.2.2 に示す。

²¹⁾国土技術政策総合研究所資料 No.310、「レベル 1 地震動に対する重力式および矢板式岸壁の耐震性能照査用震度の設定手法」

5.2.1. 判定手法

下図のように栈橋の各杭を簡易的にモデル化する。

- ・ 仮想固定点の位置を固定端とし、岸壁天端位置と栈橋杭は直角に接続するものとする。
- ・ 下図より固定端から岸壁天端までの長さ l は、 $h_i + 1/\beta$ となる。
- ・ $1/\beta$ は地盤条件 (N 値) と鋼材諸元 (杭径、板厚) を用いて算出されるため、 $1/\beta$ には地盤と鋼材の情報が含まれていると考えることができる。

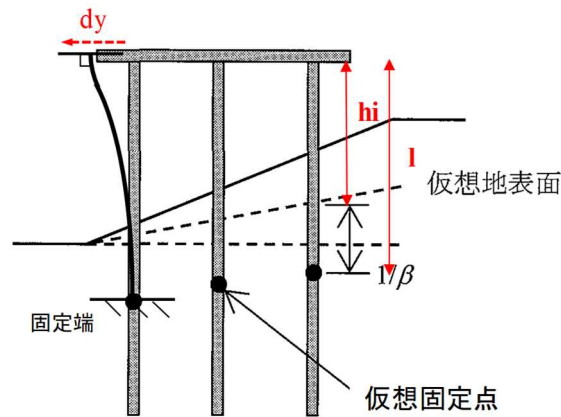


図 4.53 栈橋杭の簡易的モデル化

次に上記モデルにおける各値の計算式は下図のとおりとなる。モーメントは、両端部で最大となり、下式により算出される。

$$M = \frac{6EI}{l^2} \delta \quad \text{式 4.1}$$

荷重、たわみ曲線、せん断力図、曲げモーメント図	反力 R_A, R_B , せん断力 Q	曲げモーメント M
<p>14)</p> <p>支点沈下</p>	$R_A = R_B = \frac{12EI}{l^3} \delta$ $Q = R_A$	$M = \frac{6EI\delta}{l^2} \left(2\frac{x}{l} - 1 \right)$ $M_{max} = \frac{6EI}{l^2} \delta$ $M_A = M_B = \frac{6EI}{l^2} \delta$

図 4.54 両端固定一方変形の構造計算²²⁾

²²⁾構造力学公式集、土木学会

式 4.1 を $\delta =$ に変形すると、

$$\delta = \frac{M \cdot l^2}{6EI} \quad \text{式 4.2}$$

上式においてモーメント M が鋼材の降伏モーメント M_y より大きくなると、使用不可と考える。よって、鋼材が降伏するときの変位は、下式で算出できる。

$$\delta_y = \frac{M_y \cdot l^2}{6EI} \quad \text{式 4.3}$$

δ_y : 降伏変位(m)、 EI : 鋼材の曲げ剛性($\text{kN} \cdot \text{m}^2$)、 l : 仮想固定点から岸壁天端までの長さ(m)、 M_y : 鋼材の降伏モーメント(kNm)

降伏モーメントの算出式は下式となる。

$$M_y = z_e \left(\sigma_y - \frac{N}{A} \right) \quad \text{式 4.4}$$

z_e : 鋼材の断面係数(m^3)、 σ_y : 鋼材の降伏応力(kN/m^2)、 N : 鋼材に作用する軸力(kN)、 A : 鋼材の断面積(m^2)

なお、鋼材に作用する軸力 N は、各杭が負担する上載荷重と上部工の自重とする。

ただし、細長比による軸方向圧縮応力度の影響を考慮する必要があるため、下式のとおり降伏モーメントを設定することとする。

$$M_y = z_e \left(\sigma_y - \frac{N}{A} \cdot \frac{1}{red} \right) \quad \text{式 4.5}$$

red : 軸方向圧縮応力度 / σ_y

(3) 変動状態(載荷重、船舶接岸力、船舶牽引力、レベル1地震動)の杭の発生応力に関する性能照査

① 栈橋の杭に発生する応力に関する照査は式(5.2.6)により行うことができる。なお、以降の式において、記号 γ はその添字に関する部分係数であり、添字 k 及び d はそれぞれ特性値及び設計用値を示す。当該式における部分係数は表-5.2.1に示す数値を用いることができる。表-5.2.1において「-」と示された部分に関する値は、便宜上、()内の数値を用いて照査できることを示す。また、軸方向力が引張の場合、式(5.2.6(b-1))及び式(5.2.6(b-2))を用いて S_k 及び R_k を求め、それぞれ式(5.2.6)を満たす必要がある。

$$m \cdot \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k \quad (5.2.6)$$

(a) 軸方向力が圧縮の場合

$$S_k = \left(\frac{\sigma_{c_k} + \sigma_{bc_k}}{red} \right) \quad R_k = \sigma_{by_k} \quad (5.2.6(a))$$

(b) 軸方向力が引張の場合

$$S_k = \sigma_{t_k} + \sigma_{bt_k} \quad R_k = \sigma_{ty_k} \quad (5.2.6(b-1))$$

$$S_k = -\sigma_{t_k} + \sigma_{bt_k} \quad R_k = \sigma_{ty_k} \quad (5.2.6(b-2))$$

ここに、

red : 軸方向圧縮降伏応力度(次頁表-5.2.2参照)を降伏応力度の特性値で除した値として定義される係数。

σ_t, σ_c : 断面に作用する軸方向引張力による引張応力度及び軸方向圧縮力による圧縮応力度(N/mm²)

σ_{bt}, σ_{bc} : 断面に作用する曲げモーメントによる最大引張応力度及び最大圧縮応力度(N/mm²)

σ_{ty}, σ_{cy} : 軸方向引張降伏応力度及び軸方向圧縮降伏応力度(N/mm²)

σ_{by} : 曲げ圧縮降伏応力度(N/mm²)

R : 抵抗項(N/mm²)

S : 荷重項(N/mm²)

γ_R : 抵抗項に乗じる部分係数

γ_S : 荷重項に乗じる部分係数

m : 調整係数

表-5.2.1 栈橋杭の発生応力の照査に用いる部分係数

照査対象	設置水深	抵抗項に乗じる部分係数 γ_R	荷重項に乗じる部分係数 γ_S	調整係数 m
栈橋杭の発生応力(載荷重(作業時)による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.67
栈橋杭の発生応力(載荷重(暴風時)による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.12
栈橋杭の発生応力(船舶牽引力による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.67
栈橋杭の発生圧縮応力(船舶接岸力による変動作用)	12.0m未満	0.97	1.34	— (1.00)
	12.0m以上	1.01	1.29	
栈橋杭の発生引張応力(船舶接岸力による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.67
栈橋杭の発生応力(レベル1地震動による変動作用)	全ての水深	— (1.00)	— (1.00)	1.12

②表-5.2.1における船舶接岸時における栈橋杭の圧縮応力の照査に用いる部分係数は、過去の設計法¹²⁾によって設計された直杭式横栈橋の断面と、平均的に同等な諸元が得られるようにコードキャリブレーションを実施して得られた係数である¹⁶⁾。また、他の設計状態に関する部分係数は、過去の設計法による鋼材の許容応力度を参考として設定した係数である。

図 4.55 港湾基準における鋼管杭の応力照査 1

【出典：港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成30年5月)中巻 p.1210、1211】

③①の算定式における各応力度は式(5.2.7)により算定することができる。添字 k は特性値を示す。

$$\sigma_{i_k} = \frac{P_k}{A}, \quad \sigma_{c_k} = \frac{P_k}{A}, \quad \sigma_{b_{i_k}} = \frac{M_k}{Z}, \quad \sigma_{b_{c_k}} = \frac{M_k}{Z} \quad (5.2.7)$$

ここに、

- A : 杭の断面積 (mm²)
- P : 杭の軸方向力 (N)
- Z : 杭の断面係数 (mm³)
- M : 杭の曲げモーメント (N・mm)

④杭の降伏応力度については、【作】第11章2鋼材を参照することができる。また、軸方向圧縮降伏応力度は、表-5.2.2の式により算定することができる。なお、部材の有効座屈長は、図-5.2.12に示されるように、上部工下端から仮想地表面下 $1/\beta$ までの距離とすることができる。なお、局部座屈に対する検証が必要な場合は、道路橋示方書・同解説²³⁾を参考とすることができる。

表-5.2.2 軸方向圧縮降伏応力度

SKK400		SKK490	
a) $\frac{l}{r} \leq 19$ のとき	235	a) $\frac{l}{r} \leq 16$ のとき	315
b) $19 < \frac{l}{r} \leq 93$ のとき	$235 - 1.4 \left(\frac{l}{r} - 19 \right)$	b) $16 < \frac{l}{r} \leq 80$ のとき	$315 - 2.1 \left(\frac{l}{r} - 16 \right)$
c) $\frac{l}{r} > 93$ のとき	$\frac{2.0 \times 10^6}{6.7 \times 10^3 - \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	c) $\frac{l}{r} > 80$ のとき	$\frac{2.0 \times 10^6}{5.0 \times 10^3 - \left(\frac{l}{r} \right)^2}$
SM490Y		SM570	
a) $\frac{l}{r} \leq 15$ のとき	355	a) $\frac{l}{r} \leq 13$ のとき	450
b) $15 < \frac{l}{r} \leq 76$ のとき	$355 - 2.6 \left(\frac{l}{r} - 15 \right)$	b) $13 < \frac{l}{r} \leq 67$ のとき	$450 - 3.7 \left(\frac{l}{r} - 13 \right)$
c) $\frac{l}{r} > 76$ のとき	$\frac{2.0 \times 10^6}{4.4 \times 10^3 - \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	c) $\frac{l}{r} > 67$ のとき	$\frac{2.0 \times 10^6}{3.5 \times 10^3 - \left(\frac{l}{r} \right)^2}$

l : 部材の有効座屈長 (mm)、 r : 部材総断面の断面二次半径 (mm)

図 4.56 港湾基準における鋼管杭の応力照査 2

【出典：港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成 30 年 5 月) 中巻 p.1212】

その他の設定を以下にまとめる。

- 腐食量はなしとして、設計時の肉厚で計算を行う。これは、降伏変位の算出式からわかるように、鋼管杭の剛性が大きいほど変位の設定値は小さくなり、安全側の設定値とできるためである。腐食量が0であれば、杭の剛性は最も大きく設定されるため、安全側の降伏変位が設定できることになる。
- 鋼材に作用する軸力 N は、各杭が負担する上部工自重と上載荷重の合計とする。それぞれ以下の通り算出する。

$$\text{上部工自重} = w \times A_{\text{上部工}}$$

$$\text{上載荷重} = w_q \times A_{\text{上部工}}$$

ここで、 w ：単位面積当たりの上部工自重 (kN/m²)

上部工形状から算出するか、設計計算で用いられている値を用いる。

w_q ：単位面積当たりの上載荷重 (kN/m²)

設計における地震時の上載荷重を基本とする。

$A_{\text{上部工}}$ ：各杭1本が負担する上部工の面積 (m²)、例えば下図

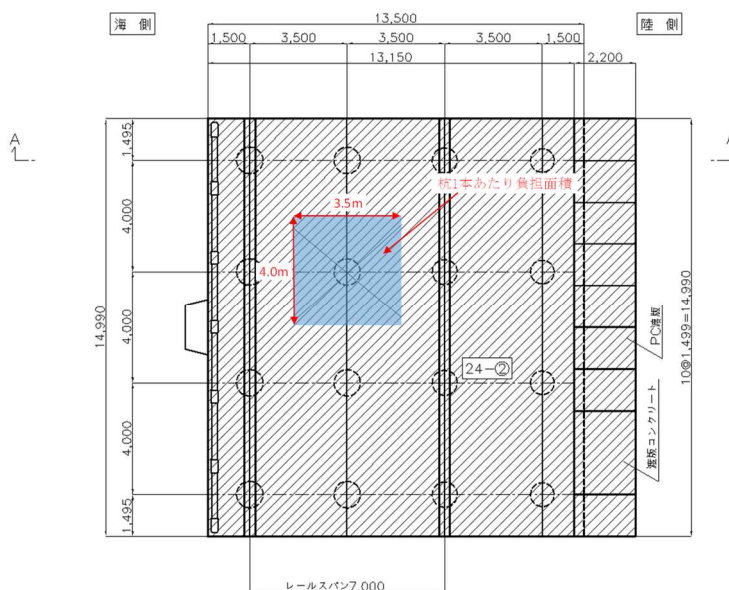


図 4.57 杭1本の負担面積

5.2.2. 降伏変位の計算例

番号	規格	降伏応力 σ_y (N/mm ²)
1	SKK400	235
2	SKK490	315
3	SM570	450

※注釈
 ・ ↓入力 の項目を入力すれば、降伏時岸壁天端変形量 δy が算出される。また、RTKで計測した変位量を入力すると、作用耐力比も算出される。
 ・ 鋼材規格は、鋼材規格番号1~3を入力することで、各規格に応じた降伏応力 σ_y 、軸方向圧縮応力度が自動で反映される。
 ・ 上部工自重計算用の w (kN/m²)は21kN/m²が設計で標準的に用いられるが、施設に応じて任意に設定する。上載荷重 w_q (kN/m²)は基本的に設計における地震時の値を設定する。

上部工自重 w (kN/m ²)	上載荷重 w_q (kN/m ²)
21	10

↑入力 ↑入力
 ↑現在入力値は設計で用いる標準値

杭名称	鋼材規格番号	鋼材規格	杭の直径 ϕ	杭の板厚 t	1/β	杭頭～仮想地表面 h_i	外径 D	内径 d	降伏応力 σ_y	断面積 A	ヤング係数 E	断面二次モーメント I	断面係数 z_e	有効座屈長 l	断面二次半径 r	1/r	軸方向圧縮応力度	red (軸方向圧縮応力度/σ)	降伏モーメント My	降伏時岸壁天端変形量 δy	作用耐力比算出												
																					計測変位	発生モーメント	発生軸力	発生曲げ応力 σ_{bc}	発生軸応力 σ_c	発生応力 S	作用耐力比 (≦1.0でOK)	判定					
海側杭	1	SKK400	1200	12	4.49	15.82	1200	1176	235	0.0448	2.000E+08	7.902E-03	1.317E-02	20.31	0.420	48.35	193.91	0.825	2818.74	0.123	25	525	250	0	775	0.10	2298.77	775.00	174.55	17.30	195.5	0.832	OK
中間杭	1	SKK400	1100	14	3.99	14.62	1100	1072	235	0.0478	2.000E+08	7.043E-03	1.281E-02	18.61	0.384	48.46	193.75	0.824	2757.22	0.113	25	525	250	0	775	0.10	2440.27	775.00	190.57	16.23	210.2	0.895	OK
陸側杭	1	SKK400	1100	14	3.71	13.94	1100	1072	235	0.0478	2.000E+08	7.043E-03	1.281E-02	17.65	0.384	45.96	197.25	0.839	2761.69	0.102	25	525	250	0	775	0.10	2712.95	775.00	211.86	16.23	231.2	0.984	OK

↑ RTKで計測した変位を入力
 ↑今回は例えばの値を入力

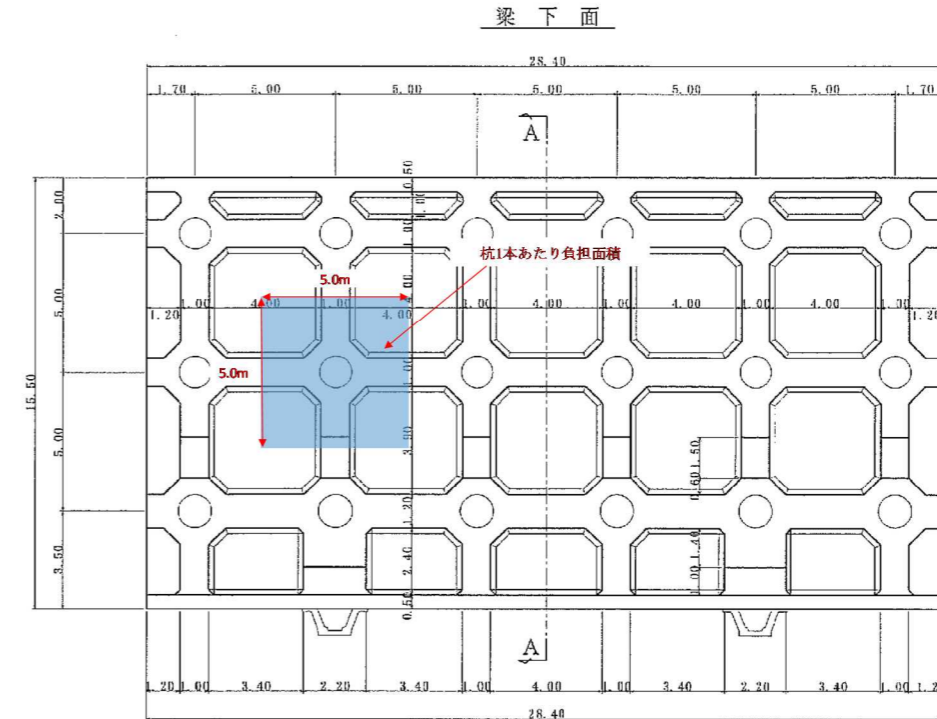
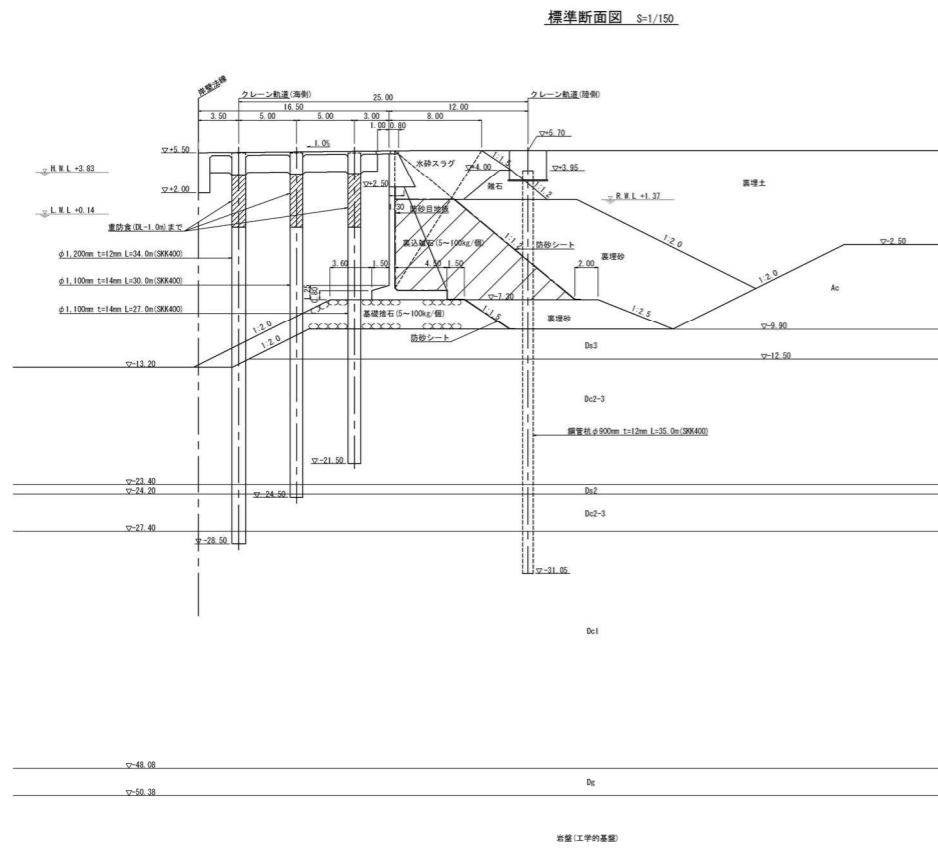


図 4.58 E 港 p 岸壁における降伏変位の設定結果 (エクセルで作成した計算表)

第5章 参考資料

1. 現地載荷試験・牽引試験の例

1.1. 試験の概要

FLIP 解析により設定した水平変位量の閾値を計測値が超えたとき、また栈橋において上部工下面の調査が不可またはひび割れが発見されたときに、代替施設がなく当該施設をどうしても使用する必要がある場合は、現地載荷試験・牽引試験を行って使用可否の判断を行うことが可能である。「現地載荷試験」及び「船舶の牽引試験」について参考例を以下に示す。

■現地載荷試験（簡易プールと給水排水ポンプを用いた載荷試験、図 5.1 参照）

- ・簡易プールを使用し、海水をポンプで給水する方法である。
- ・地震時には重機等を使用することが困難と想定される。また、載荷物の用意が必要となる。本手法では、簡易プールと給水用ポンプを準備しておけば、水は海水により充填することができ、簡便である。
- ・注水量を調整することにより、想定される上載荷重分の重量を、容易に調整できる。（ただし、用意する簡易プールの高さにより、重量は制限される。人による組立、移動が可能なものとなると、8.0kN/m²程度が上限と考えられる。）
- ・バケツリレー方式を行う際の載荷重については、群集荷重 3.5kN/m²*の設定が考えられる。
- ・現地載荷試験は施設全延長のうち、被害が軽微で使用できそうなブロックかつ、その中で使用に必要なブロックで行う。
- ・ただし、簡易プールは定期的なメンテナンスが必要である。また、栈橋のスパン+栈橋上から海面まで高さを考慮した、給水ポンプのホースが必要である。

■船舶の牽引試験

- ・鉛直方向の現地載荷試験では接岸・牽引力といった水平耐力に対する確認ができない。
- ・そのため、接岸の可否について以下の案が考えられる。
 - ▶船舶は岸壁から 1m 程度離れた状態で錨を下ろして係留する。
 - ▶タグボート等で牽引試験を行い、変状がないことを確認したのちに船舶を接岸する。

※群集荷重について

(5) 主桁を設計する場合の活荷重

主桁を設計する場合の活荷重は次のとおりとする。

- 1) 車道部分には A 活荷重又は B 活荷重の区分に応じて、図-8.2.2 及び表-8.2.2 に示す 2 種類の等分布荷重 p_1 、 p_2 よりなる L 荷重を載荷する。 p_1 は 1 橋につき 1 組とし、L 荷重は着目している点又は部材に最も不利な応力が生じるように、橋の幅 5.5m までは等分布荷重 p_1 及び p_2 (主載荷荷重) を、残りの部分にはそれらの各々の 1/2 (従載荷荷重) を載荷する。

ただし、支間長が特に短い主桁や床版橋は、T 荷重と L 荷重のうち不利な応力を与える荷重を用いて設計しなければならない。T 荷重を用いて設計する場合には、T 荷重は橋軸直角方向には 2 組を限度とし、3 組目からは 1/2 に低減する。なお、B 活荷重を適用する橋を設計する場合には、T 荷重によって算出した断面力等に表-8.2.1 に示す係数を乗じることとするが、この係数は 1.5 を超えてはならない。

ゲルバー桁の吊桁及び片持部に対しては、表-8.2.2 における支間長 L としてそれぞれ図-8.2.3 に示す L_1 及び L_2 をとる。

- 2) 歩道等には、群集荷重として表-8.2.3 に示す等分布荷重を載荷する。

表-8.2.3 歩道等に載荷する等分布荷重

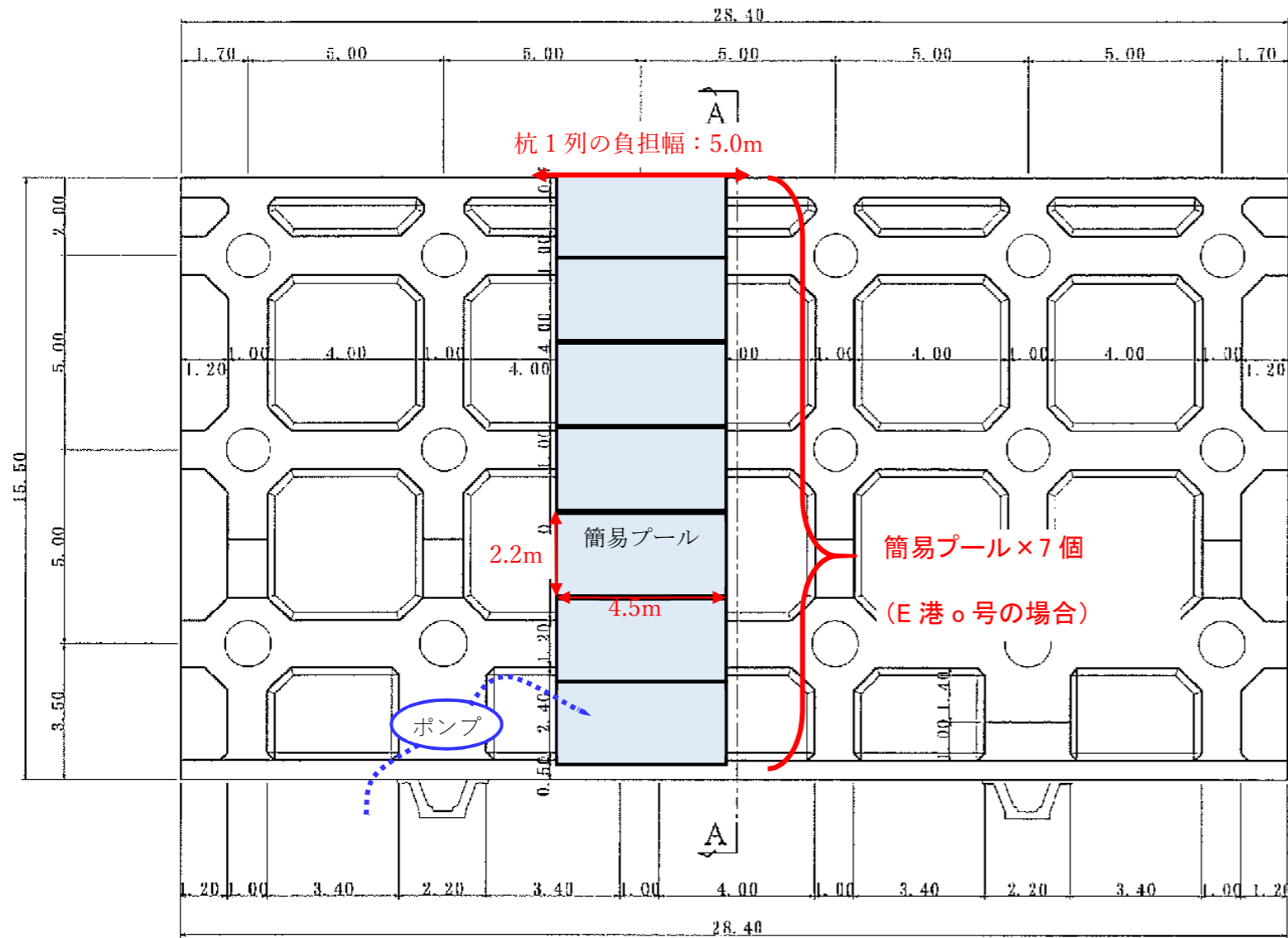
支間長 L (m)	$L \leq 80$	$80 < L \leq 130$	$130 < L$
等分布荷重 (kN/m ²)	3.5	$4.3 - 0.01L$	3.0

(6) 下部構造を設計する場合の活荷重

下部構造を設計する場合の上部構造に載荷する活荷重は、原則として(5)に規定する荷重とする。

【出典：道路橋示方書・同解説 平成 29 年 110 月 I 共通編 p.95、96】

梁 下 面



※上記平面図はE港o岸壁を一例として示している。

- ✓現地載荷試験は、施設全延長のうち、被害が軽微で使用できそうなブロックかつ、その中で使用に必要なブロックで行うこととする。また、必要なブロックが複数ある場合は、その中で最も変形が大きいブロックで載荷試験を行う。
 - ✓プールに注水する水位高さを上載荷重に応じて、調整する。
簡易プールの平面積は、杭1列あたりの負担幅をほぼ網羅していると言えるため、以下の通り考える。
例えば、上載荷重を群集荷重 3.5kN/m² とする場合は、水の単重 10kN/m² × 0.35m = 3.5kN/m² となる。小型トラックであれば、上載荷重 5.0kN/m² 程度が想定される。※トラックの重量は車種ごとに確認する必要がある。
 - ✓基本的には載荷試験により載荷した重量以下で限定的な使用を行うこととする。また、トラックは土留め護岸部に駐車し、栈橋～土留間(20～30m)をバケツリレーで荷役することが望ましい。
- ※本プールは高さが 0.84m であるため、設定できる上載荷重は 8.0kN/m² 程度が上限である。

- 簡易プールの例 【インテックス】レクタングラー・フレームプール
- ・ 寸法：4.5m×2.2m×0.84m
- ・ 価格：26,700円 (amazon.co.jp (2021年1月8日調べ) より)
- ・ 組立について：3、4人で40分程度で組み立て可能 (現地実証試験時実績)



- 排水給水ポンプの例 エンジンポンプ (形式：SKF-40M2)
- ・ 口径：吐出側 40mm、吸込側 50mm
- ・ 吐出量 0.2 (最大 0.38) m³/min



- トラック (小型)
- ・ 重量：車両総重量 5t (積載量 2t)
- ・ 面積：5m×2m とする
- 上載荷重換算 50kN/10m²=5.0kN/m²

	荷台の長さの目安(m)			
	4	6	8	10
小型トラック	—	—	—	—
中型トラック	—	—	—	—
大型トラック	—	—	—	—

	荷台の幅の目安(m)		
	1.5	2.0	2.5
小型トラック	—	—	—
中型トラック	—	—	—
大型トラック	—	—	—

図 5.1 簡易プールによる現地載荷試験の例

※社団法人 全日本トラック協会 HP より

■トラック重量の根拠

※全日本トラック協会 HP より

(1) 車両総重量と積載量

トラックは公共の道路などを利用して荷物を運びます。道路や橋梁は使用される目的により（目的にあわせて）基準があり、その基準により設計し作られて管理されているため、安全な人や車両の通行が確保されています（道路法等）。このためトラックが公共物の道路や橋などに損傷を与えないため、走行するトラックには大きさや重量が定められています。

このうち、重量に関する規定が車両重量と車両総重量で、それぞれ異なります。車両重量とはトラックがいますぐに走れる状態の重量で、車両総重量は実際に許可された最大の人や荷物を積んで走る時の重量です。

車両重量：トラックがいますぐにでも走れる状態の重さ。燃料・オイル・水など規定の全量および標準仕様の荷台が含まれます。乗員や荷物や工具・スペアタイヤなどは含まれません。トラックメーカーのカタログ車両重量と荷台の仕様やクレーンなどの荷役設備を設けた実際の車両重量とは、異なる場合があります。

車両総重量：トラック車両重量に乗車が許される定員や最大積載量の荷物を積んだ走行状態での全重量です。

$$\text{車両総重量} = \text{車両重量} + \text{乗車定員} \times 55\text{kg} + \text{最大積載量}$$

※車両重量とはキャブとシャシと架装の重量を足した重量のことです。荷物や人が乗っていないときのトラックの全体の重さのことです。



トラックメーカーは、車両総重量が決められた重さ以下になるよう車両重量や積載量を設計しています。

一般に、大型トラックは車両総重量が25トン以下、中型トラックは8トン未満、小型トラックは4.5トン程度となっています。

(2) 積載量

トラックに積める荷物の重さは、車両総重量と車両重量などの兼ね合いから、車両ごとに自ずと決まってきます。この積める荷物の最大の重さを「最大積載量」と呼んでいます。最大積載量を超えた荷物を積んで走行すると法律違反になります。

・大型トラック

大型トラックは、法律で「車両総重量」は通常20トン（最大で25トン）と決められていますから、車両重量と乗車定員が決まれば自ずと最大積載量が求まります。平ボディはウィングボディに比べて架装の重量が軽いのでその分荷物を多く積むことができます。

大型トラックの場合



・中型トラック

中型トラックは、4トントラックとも呼ばれています。4トントラックというと、4トンまで積載できると考えがちですが、4トンくらいまで積むことができるトラックという意味で、必ずしも4トン積めるわけではありません。これは、中型トラックがこれまで車両総重量8トン未満になるよう製作されてきた中で、車両重量がクレーンやテールゲートリフトなどの架装によって重くなってしまったことが理由に挙げられます。現在は道路交通法の改正により、中型自動車の車両総重量は11トン未満までとなっていますので、4トン以上の荷物を積めるトラックが製造されています。

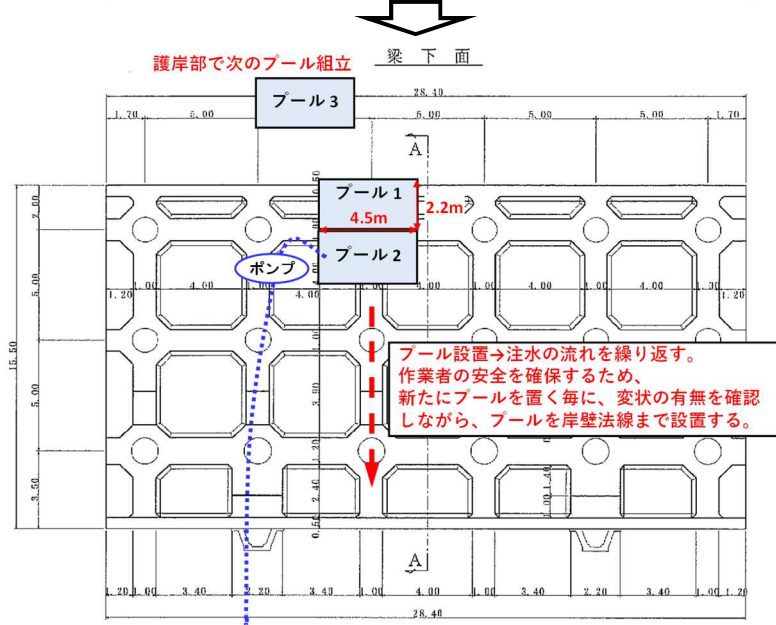
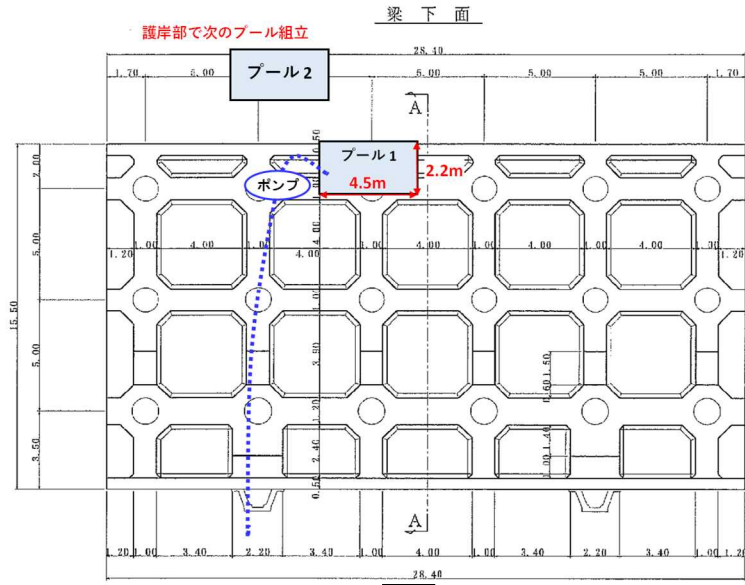
・小型トラック

一般的に、小型トラックの積載量は、2トン以下となっています。

1.2. 試験の流れと留意点

現地載荷の流れを図 5.2 に示す。安全性を考慮し、陸側から順番に載荷を行っていくこととする。工程表に示す通り、E 港 o 岸壁の場合を例にとると 5 時間程度で全て載荷することができる。また、使用についての留意事項を以下に示す。

- ✓ 現地載荷・牽引試験を行い、目視にて変状等が見られず、使用上の可否判定を踏まえて使用上大きな障害とならない場合は「暫定使用可(限定)」とする。ここで、「暫定使用可(限定)」は、載荷・牽引試験を行ったエリアにおいて、試験時の負荷を十分下回る範囲で緊急物資の荷役に限定した使用を行うものとする。
- ✓ 載荷時間は、実際の使用時間を考慮し適切に設定する。



想定荷重 3.5kN/m ² 1パーティ	時間	1時間			2時間			3時間			4時間			5時間		
	分	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60	20	40	60
プール番号	作業内容															
プール1	組立・移動															
	注水															
プール2	組立・移動															
	注水															
プール3	組立・移動															
	注水															
プール4	組立・移動															
	注水															
プール5	組立・移動															
	注水															
プール6	組立・移動															
	注水															
プール7	組立・移動															
	注水															

組立・移動時間/1プール : 40 分 ← 現地実証試験実績より

縦幅 横幅 注水高さ 給水能力 注水時間/1プール

海水注水時間/1プール : $4.5 \text{ m} \times 2.2 \text{ m} \times 0.35 \text{ m} \div 0.2 \text{ m}^3/\text{分} = 18 \text{ 分}$

図 5.2 現地載荷試験の手順イメージ (上載荷重 3.5kN/m² 分を載荷)

2. 特殊事例（引抜が先行する組杭式棧橋）の解析例

「第 4 章 4.4 特殊事例（引抜が先行する組杭式棧橋） p. 4-48～」で述べた事例について、A 港 j 岸壁で行った検討結果を添付する。

2.1. 解析結果

(1) 周面摩擦を $\tau=2N$ 及び $\tau=\sigma n'\tan 15^\circ$ で設定した場合の比較

表 5.1 (p.5-10)

表 5.1 にケース②、ケース③について、周面摩擦を $\tau=2N$ 、 $\tau=\sigma n'\tan 15^\circ$ で設定した場合の比較を示す。

- ・ $\tau=2N$ とした場合は、周面摩擦力の上限が $\tau=2N \times \text{周長} \times \text{杭長}$ となる。一方で、 $\phi=15^\circ$ とした場合は、 $2N$ で設定される値よりも大きな周面摩擦が発生している。
- ・ そのため、ケース②、③の両ケースにおいて、周面摩擦が小さくなる $\tau=2N$ の場合のほうが全体の変形量が大きくなっている。
- ・ 先端支持力は、ケース② $\tau=2N$ の陸側斜杭(引抜杭)に着目すると、押込まれると支持力が発生し、引抜かれると支持力が 0 になっており、適切な設定ができていると考えられる。

(2) ケース①～ケース⑤の解析結果まとめ

表 5.2 (p.5-11)

表 5.2 に、ケース①～ケース⑤の解析結果を整理した。なお、ケース②、ケース③については、周面摩擦を $\tau=2N$ で設定した場合について、結果を示している。表 5.2 より、第 1 回検討会と同様の傾向が得られていることが分かる。具体的には下記のとおりである。

- ・ 杭が引き抜けたものと想定したケース④、⑤（杭の周面摩擦なし+杭下端の拘束を全く行わない状態）では、ケース①（杭下端を MPCxy 拘束）やケース②、③（周面摩擦あり）よりも、変形量が大きくなった。
- ・ しかしながら、杭が完全に引き抜け、変形量が大幅に進展することはないと考えられる。

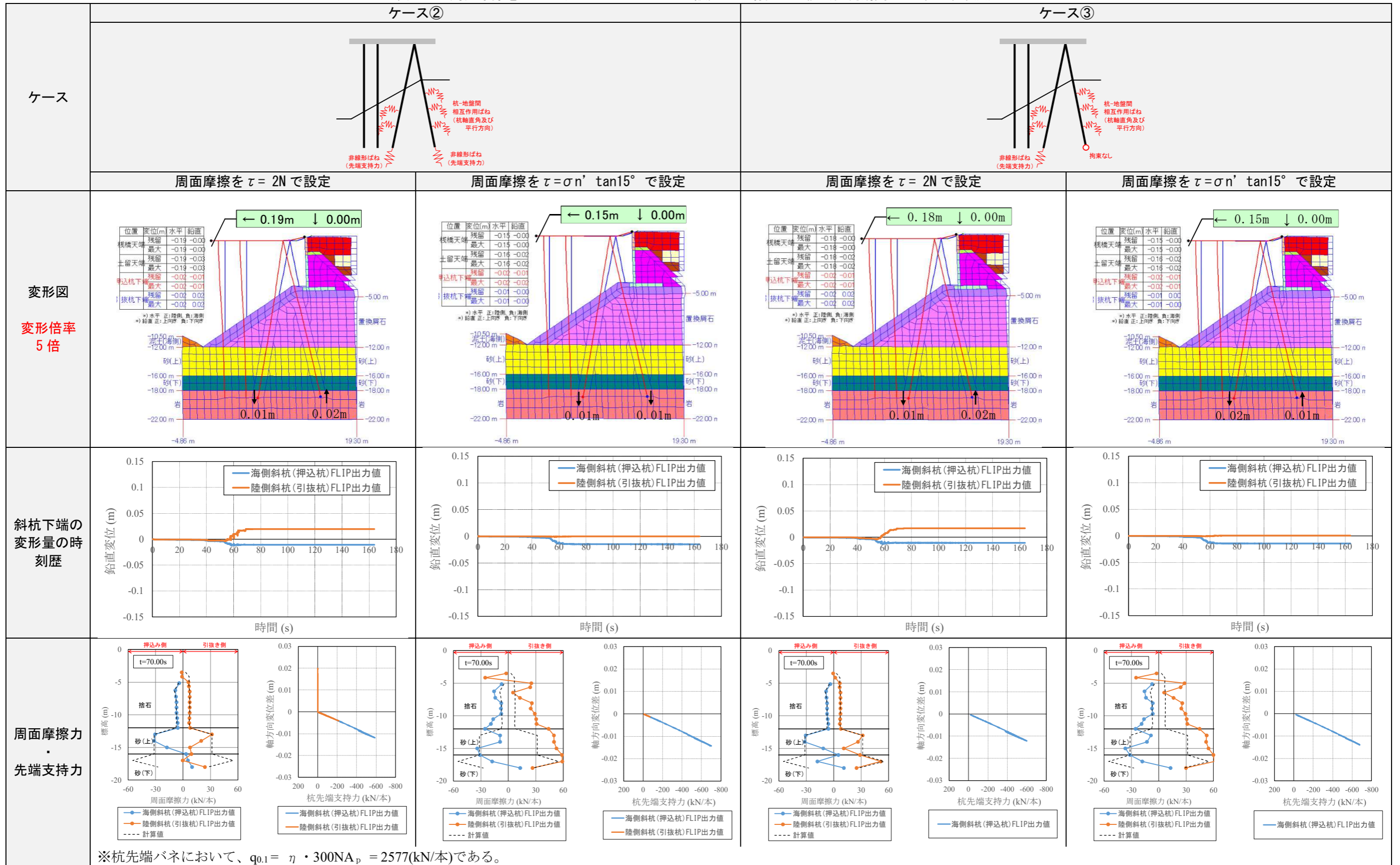
(3) 接岸力・牽引力作用時の解析結果（ケース⑤の再現期間 500 年の確率波）

図 5.3 (p.5-12)

もっとも引抜効果が厳しいと考えられるケース⑤に対して、接岸力・牽引力作用時の検討を行った。図 5.3 に再現期間 500 年の確率波で検討を行った結果を示す。

- ・ もっとも引抜効果が厳しいと考えられるケース⑤において、接岸力、牽引力を作用させても、変形量、曲率比は大きく変化しておらず、杭が引き抜けることはないと考えられる。

表 5.1 周面摩擦を $\tau=2N$ 及び $\tau=\sigma n' \tan 15^\circ$ で設定した場合の比較 (再現期間 500 年の確率波)



※杭先端バネにおいて、 $q_{0.1} = \eta \cdot 300NA_p = 2577(\text{kN/本})$ である。

表 5.2 ケース①～ケース⑤の解析結果まとめ（再現期間 500 年の確率波）

	ケース① (R01d モデル)	ケース② ※周面摩擦を $\tau=2N$ で設定	ケース③ ※周面摩擦を $\tau=2N$ で設定	ケース④	ケース⑤
イメージ図					
変形図 変形倍率 5 倍					
斜杭下端の 変形量の時 刻歴					

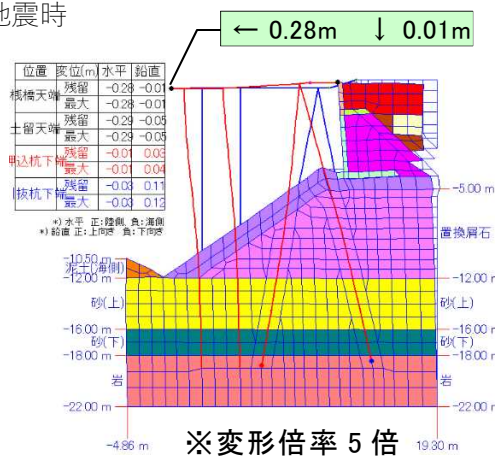
■解析における留意点

- ✓ ケース⑤においては、通常押し込み側となる海側斜杭が引き抜けている。ケース④がケース⑤と異なる点は、この海側斜杭先端に非線形バネを入れている点であるが、海側斜杭に押し込みがほとんど発生しないため、この非線形バネを入れることによる影響が出ていないと考えられる。このことにより、ケース④とケース⑤では結果にあまり差がでていない。今回の設定はこれで問題ないと考えられるが、今後、他施設でこの方法を適用するときは、押し込み杭の挙動に注意し、大きく押し込まれる場合は下端を MPCxy 拘束とするケースも検討することが望ましい。
- ✓ 周面摩擦は $\tau=2N$ で一定に設定しているが、一般的には杭が引き抜け始めると周面摩擦が低下する。そのため、杭が大きく引き抜ける際は、留意する必要がある。
- ✓ 液状化が顕著な場合は $\tau=\sigma n' \tan 15^\circ < \tau=2N$ になることがあるため、施設ごとに適切な設定が必要である。

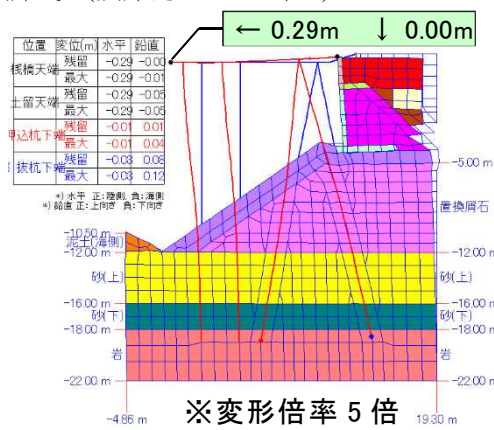
再現期間 500 年の確率波で、船舶接岸時及び牽引時の検討を行った結果を以下に示す。

✓接岸力、牽引力を作用させても、変形量、曲率比は大きく変化しておらず、杭が引き抜けることはないと考えられる。

①地震時



②接岸時 (接岸力 31.90kN/m)



③牽引時 (牽引力 29.17kN/m)

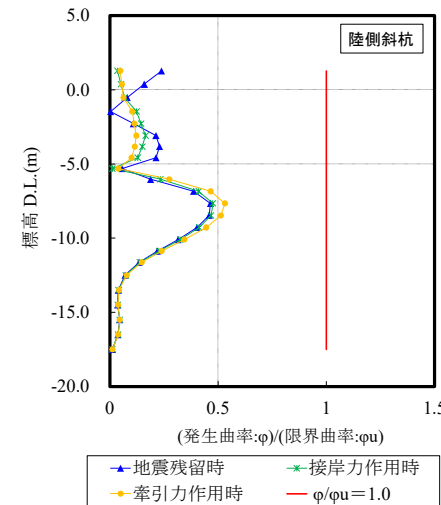
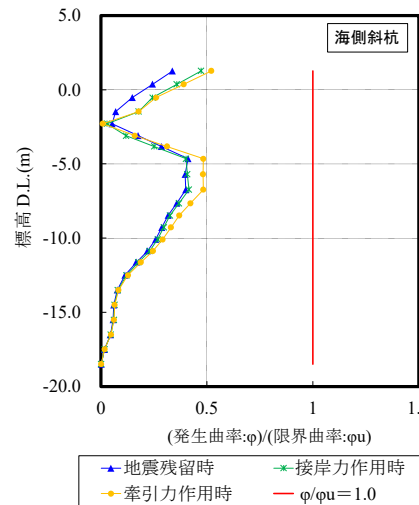
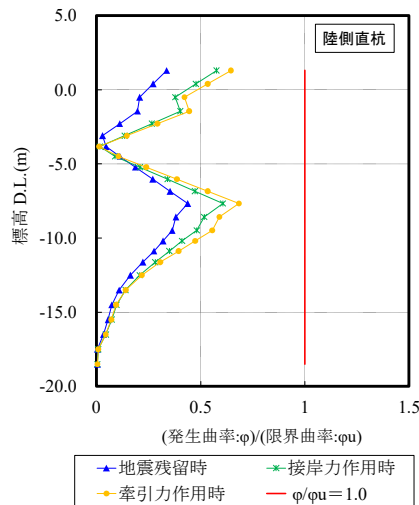
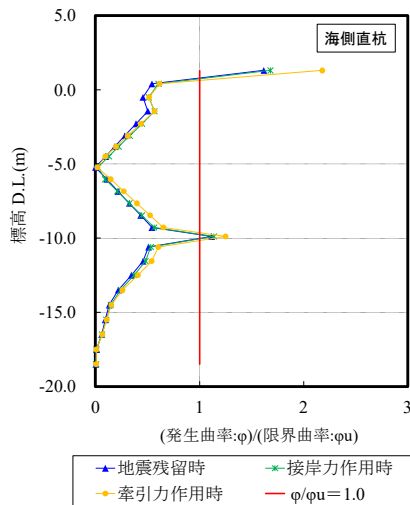
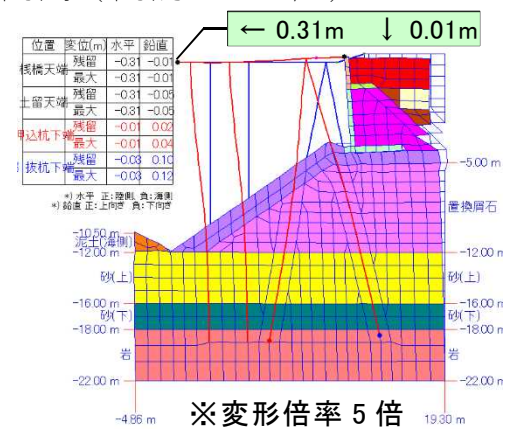


図 5.3 接岸力・牽引力作用時の変形量・曲率比の変化 (ケース⑤_再現期間 500 年の確率波)

2.2. 評価線と閾値の設定

ケース①～⑤について、複数地震動を用いて FLIP 解析を実施し、評価線を作成した。その結果を表 5.3 に示す。

- ・ 前節までの検討で、杭が完全に引き抜け、変形量が大幅に進展することはないと考えられるため、支持力(引抜)で閾値を設定するのではなく、限界曲率により閾値を設定することとした。
- ・ 安全側に閾値を設定するとすれば、ケース⑤の値（下部工の閾値：0.24m、上部工の閾値 0.11m）ということになる。
- ・ しかし、ケース⑤は引抜を最も厳しく評価し、杭が完全に引き抜けることはないのを示すケースである。
- ・ したがって、閾値はケース⑤を除いたケースで、最も安全側となるケース④（下部工の閾値：0.25m、上部工の閾値 0.19m）を採用することとした。
- ・ ケース②、③については、周面摩擦力の設定が、現在設計で用いられている FLIP 解析の一般的な設定法ではないため、今回は採用しないこととする。ただし、将来的に事例解析が進み、キャリブレーションができれば、本設定の適用も可能と考えられる。
（また、液状化が顕著な場合は $\tau = \sigma n' \tan 15^\circ < \tau = 2N$ にになることがあるため、施設ごとに適切な設定が必要である。）

表 5.3 評価園まとめ (ケース①~ケース⑤)

	ケース① (R01d モデル)	ケース② ※周面摩擦を $\tau=2N$ で設定	ケース③ ※周面摩擦を $\tau=2N$ で設定	ケース④	ケース⑤																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
イメージ図																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
解析結果一覧	<table border="1"> <thead> <tr> <th>波形名</th> <th>速度PSI値 (cm/s^{1/2})</th> <th>岸壁天端残留水平変位 (m)</th> <th>栈橋杭の最大曲率比</th> <th>応力状態</th> <th>上部工の設計耐力比 曲げモーメント</th> <th>せん断力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>t50</td><td>10.05</td><td>0.02</td><td>0.07</td><td>1</td><td>0.48</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>t75</td><td>11.94</td><td>0.03</td><td>0.08</td><td>1</td><td>0.49</td><td>0.19</td></tr> <tr><td>t100</td><td>13.52</td><td>0.05</td><td>0.10</td><td>1</td><td>0.50</td><td>0.19</td></tr> <tr><td>t150</td><td>16.13</td><td>0.09</td><td>0.14</td><td>1</td><td>0.52</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>t200</td><td>18.25</td><td>0.10</td><td>0.16</td><td>1</td><td>0.53</td><td>0.21</td></tr> <tr><td>t500</td><td>26.63</td><td>0.15</td><td>0.26</td><td>1</td><td>0.61</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>t500 1.5</td><td>39.94</td><td>0.29</td><td>0.56</td><td>2</td><td>0.79</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>t500 1.6</td><td>42.60</td><td>0.33</td><td>1.68</td><td>3</td><td>0.88</td><td>0.26</td></tr> <tr><td>t500 1.8</td><td>47.93</td><td>0.41</td><td>13.03</td><td>4</td><td>1.01</td><td>0.28</td></tr> <tr><td>t500 2.0</td><td>53.25</td><td>0.50</td><td>5448.40</td><td>4</td><td>1.01</td><td>0.29</td></tr> </tbody> </table>	波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力	t50	10.05	0.02	0.07	1	0.48	0.18	t75	11.94	0.03	0.08	1	0.49	0.19	t100	13.52	0.05	0.10	1	0.50	0.19	t150	16.13	0.09	0.14	1	0.52	0.20	t200	18.25	0.10	0.16	1	0.53	0.21	t500	26.63	0.15	0.26	1	0.61	0.23	t500 1.5	39.94	0.29	0.56	2	0.79	0.25	t500 1.6	42.60	0.33	1.68	3	0.88	0.26	t500 1.8	47.93	0.41	13.03	4	1.01	0.28	t500 2.0	53.25	0.50	5448.40	4	1.01	0.29	<table border="1"> <thead> <tr> <th>波形名</th> <th>速度PSI値 (cm/s^{1/2})</th> <th>岸壁天端残留水平変位 (m)</th> <th>栈橋杭の最大曲率比</th> <th>応力状態</th> <th>上部工の設計耐力比 曲げモーメント</th> <th>せん断力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>t50</td><td>10.05</td><td>0.02</td><td>0.10</td><td>1</td><td>0.47</td><td>0.19</td></tr> <tr><td>t75</td><td>11.94</td><td>0.03</td><td>0.12</td><td>1</td><td>0.49</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>t100</td><td>13.52</td><td>0.05</td><td>0.14</td><td>1</td><td>0.50</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>t150</td><td>16.13</td><td>0.09</td><td>0.20</td><td>1</td><td>0.55</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>t200</td><td>18.25</td><td>0.11</td><td>0.25</td><td>1</td><td>0.57</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>t500</td><td>26.63</td><td>0.19</td><td>0.45</td><td>1</td><td>0.79</td><td>0.29</td></tr> <tr><td>t500 1.2</td><td>31.95</td><td>0.26</td><td>0.62</td><td>2</td><td>0.96</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>t500 1.5</td><td>39.94</td><td>0.36</td><td>1.35</td><td>3</td><td>1.06</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>t500 1.6</td><td>42.60</td><td>0.40</td><td>1.81</td><td>3</td><td>1.06</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>t500 1.8</td><td>47.93</td><td>0.49</td><td>3.01</td><td>3</td><td>1.06</td><td>0.37</td></tr> <tr><td>t500 2.0</td><td>53.25</td><td>0.61</td><td>4.38</td><td>4</td><td>1.11</td><td>0.39</td></tr> </tbody> </table>	波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力	t50	10.05	0.02	0.10	1	0.47	0.19	t75	11.94	0.03	0.12	1	0.49	0.20	t100	13.52	0.05	0.14	1	0.50	0.20	t150	16.13	0.09	0.20	1	0.55	0.22	t200	18.25	0.11	0.25	1	0.57	0.23	t500	26.63	0.19	0.45	1	0.79	0.29	t500 1.2	31.95	0.26	0.62	2	0.96	0.32	t500 1.5	39.94	0.36	1.35	3	1.06	0.36	t500 1.6	42.60	0.40	1.81	3	1.06	0.36	t500 1.8	47.93	0.49	3.01	3	1.06	0.37	t500 2.0	53.25	0.61	4.38	4	1.11	0.39	<table border="1"> <thead> <tr> <th>波形名</th> <th>速度PSI値 (cm/s^{1/2})</th> <th>岸壁天端残留水平変位 (m)</th> <th>栈橋杭の最大曲率比</th> <th>応力状態</th> <th>上部工の設計耐力比 曲げモーメント</th> <th>せん断力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>t50</td><td>10.05</td><td>0.02</td><td>0.10</td><td>1</td><td>0.48</td><td>0.19</td></tr> <tr><td>t75</td><td>11.94</td><td>0.03</td><td>0.12</td><td>1</td><td>0.50</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>t100</td><td>13.52</td><td>0.05</td><td>0.14</td><td>1</td><td>0.51</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>t150</td><td>16.13</td><td>0.09</td><td>0.20</td><td>1</td><td>0.55</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>t200</td><td>18.25</td><td>0.11</td><td>0.24</td><td>1</td><td>0.58</td><td>0.23</td></tr> <tr><td>t500</td><td>26.63</td><td>0.18</td><td>0.42</td><td>1</td><td>0.72</td><td>0.27</td></tr> <tr><td>t500 1.5</td><td>39.94</td><td>0.35</td><td>0.84</td><td>2</td><td>1.05</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>t500 1.6</td><td>42.60</td><td>0.39</td><td>1.20</td><td>3</td><td>1.05</td><td>0.34</td></tr> <tr><td>t500 1.8</td><td>47.93</td><td>0.48</td><td>2.00</td><td>3</td><td>1.05</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>t500 2.0</td><td>53.25</td><td>0.63</td><td>4.11</td><td>4</td><td>1.06</td><td>0.35</td></tr> </tbody> </table>	波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力	t50	10.05	0.02	0.10	1	0.48	0.19	t75	11.94	0.03	0.12	1	0.50	0.20	t100	13.52	0.05	0.14	1	0.51	0.20	t150	16.13	0.09	0.20	1	0.55	0.22	t200	18.25	0.11	0.24	1	0.58	0.23	t500	26.63	0.18	0.42	1	0.72	0.27	t500 1.5	39.94	0.35	0.84	2	1.05	0.34	t500 1.6	42.60	0.39	1.20	3	1.05	0.34	t500 1.8	47.93	0.48	2.00	3	1.05	0.35	t500 2.0	53.25	0.63	4.11	4	1.06	0.35	<table border="1"> <thead> <tr> <th>波形名</th> <th>速度PSI値 (cm/s^{1/2})</th> <th>岸壁天端残留水平変位 (m)</th> <th>栈橋杭の最大曲率比</th> <th>応力状態</th> <th>上部工の設計耐力比 曲げモーメント</th> <th>せん断力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>t50</td><td>10.05</td><td>0.03</td><td>0.11</td><td>1</td><td>0.51</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>t75</td><td>11.94</td><td>0.04</td><td>0.15</td><td>1</td><td>0.55</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>t100</td><td>13.52</td><td>0.06</td><td>0.18</td><td>1</td><td>0.58</td><td>0.18</td></tr> <tr><td>t150</td><td>16.13</td><td>0.14</td><td>0.34</td><td>1</td><td>0.80</td><td>0.24</td></tr> <tr><td>t200</td><td>18.25</td><td>0.16</td><td>0.42</td><td>1</td><td>0.93</td><td>0.27</td></tr> <tr><td>t200 1.2</td><td>21.90</td><td>0.21</td><td>0.59</td><td>1</td><td>1.04</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>t500</td><td>26.63</td><td>0.27</td><td>1.31</td><td>3</td><td>1.06</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>t500 1.5</td><td>39.94</td><td>0.49</td><td>6.20</td><td>4</td><td>1.13</td><td>0.39</td></tr> <tr><td>t500 1.6</td><td>42.60</td><td>0.54</td><td>7.81</td><td>4</td><td>1.13</td><td>0.40</td></tr> <tr><td>t500 1.8</td><td>47.93</td><td>0.65</td><td>11.17</td><td>4</td><td>1.14</td><td>0.42</td></tr> <tr><td>t500 2.0</td><td>53.25</td><td>0.78</td><td>13.94</td><td>4</td><td>1.15</td><td>0.42</td></tr> </tbody> </table>	波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力	t50	10.05	0.03	0.11	1	0.51	0.18	t75	11.94	0.04	0.15	1	0.55	0.18	t100	13.52	0.06	0.18	1	0.58	0.18	t150	16.13	0.14	0.34	1	0.80	0.24	t200	18.25	0.16	0.42	1	0.93	0.27	t200 1.2	21.90	0.21	0.59	1	1.04	0.32	t500	26.63	0.27	1.31	3	1.06	0.35	t500 1.5	39.94	0.49	6.20	4	1.13	0.39	t500 1.6	42.60	0.54	7.81	4	1.13	0.40	t500 1.8	47.93	0.65	11.17	4	1.14	0.42	t500 2.0	53.25	0.78	13.94	4	1.15	0.42	<table border="1"> <thead> <tr> <th>波形名</th> <th>速度PSI値 (cm/s^{1/2})</th> <th>岸壁天端残留水平変位 (m)</th> <th>栈橋杭の最大曲率比</th> <th>応力状態</th> <th>上部工の設計耐力比 曲げモーメント</th> <th>せん断力</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>t50</td><td>10.05</td><td>0.03</td><td>0.15</td><td>1</td><td>0.74</td><td>0.20</td></tr> <tr><td>t75</td><td>11.94</td><td>0.04</td><td>0.18</td><td>1</td><td>0.83</td><td>0.22</td></tr> <tr><td>t100</td><td>13.52</td><td>0.06</td><td>0.21</td><td>1</td><td>0.92</td><td>0.24</td></tr> <tr><td>t150</td><td>16.13</td><td>0.14</td><td>0.32</td><td>1</td><td>1.03</td><td>0.29</td></tr> <tr><td>t200</td><td>18.25</td><td>0.16</td><td>0.42</td><td>1</td><td>1.07</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>t200 1.1</td><td>20.08</td><td>0.18</td><td>0.48</td><td>1</td><td>1.09</td><td>0.33</td></tr> <tr><td>t200 1.2</td><td>22.08</td><td>0.21</td><td>0.61</td><td>2</td><td>1.11</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>t500</td><td>26.63</td><td>0.28</td><td>1.77</td><td>4</td><td>1.15</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>t500 1.5</td><td>39.94</td><td>0.50</td><td>8.17</td><td>4</td><td>1.17</td><td>0.46</td></tr> <tr><td>t500 1.6</td><td>42.60</td><td>0.55</td><td>9.87</td><td>4</td><td>1.22</td><td>0.46</td></tr> <tr><td>t500 1.8</td><td>47.93</td><td>0.66</td><td>13.47</td><td>4</td><td>1.27</td><td>0.48</td></tr> <tr><td>t500 2.0</td><td>53.25</td><td>0.77</td><td>16.33</td><td>4</td><td>1.23</td><td>0.50</td></tr> </tbody> </table>	波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力	t50	10.05	0.03	0.15	1	0.74	0.20	t75	11.94	0.04	0.18	1	0.83	0.22	t100	13.52	0.06	0.21	1	0.92	0.24	t150	16.13	0.14	0.32	1	1.03	0.29	t200	18.25	0.16	0.42	1	1.07	0.32	t200 1.1	20.08	0.18	0.48	1	1.09	0.33	t200 1.2	22.08	0.21	0.61	2	1.11	0.36	t500	26.63	0.28	1.77	4	1.15	0.41	t500 1.5	39.94	0.50	8.17	4	1.17	0.46	t500 1.6	42.60	0.55	9.87	4	1.22	0.46	t500 1.8	47.93	0.66	13.47	4	1.27	0.48	t500 2.0	53.25	0.77	16.33	4	1.23	0.50
波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t50	10.05	0.02	0.07	1	0.48	0.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t75	11.94	0.03	0.08	1	0.49	0.19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t100	13.52	0.05	0.10	1	0.50	0.19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t150	16.13	0.09	0.14	1	0.52	0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t200	18.25	0.10	0.16	1	0.53	0.21																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500	26.63	0.15	0.26	1	0.61	0.23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.5	39.94	0.29	0.56	2	0.79	0.25																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.6	42.60	0.33	1.68	3	0.88	0.26																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.8	47.93	0.41	13.03	4	1.01	0.28																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 2.0	53.25	0.50	5448.40	4	1.01	0.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t50	10.05	0.02	0.10	1	0.47	0.19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t75	11.94	0.03	0.12	1	0.49	0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t100	13.52	0.05	0.14	1	0.50	0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t150	16.13	0.09	0.20	1	0.55	0.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t200	18.25	0.11	0.25	1	0.57	0.23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500	26.63	0.19	0.45	1	0.79	0.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.2	31.95	0.26	0.62	2	0.96	0.32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.5	39.94	0.36	1.35	3	1.06	0.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.6	42.60	0.40	1.81	3	1.06	0.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.8	47.93	0.49	3.01	3	1.06	0.37																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 2.0	53.25	0.61	4.38	4	1.11	0.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t50	10.05	0.02	0.10	1	0.48	0.19																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t75	11.94	0.03	0.12	1	0.50	0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t100	13.52	0.05	0.14	1	0.51	0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t150	16.13	0.09	0.20	1	0.55	0.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t200	18.25	0.11	0.24	1	0.58	0.23																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500	26.63	0.18	0.42	1	0.72	0.27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.5	39.94	0.35	0.84	2	1.05	0.34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.6	42.60	0.39	1.20	3	1.05	0.34																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.8	47.93	0.48	2.00	3	1.05	0.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 2.0	53.25	0.63	4.11	4	1.06	0.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t50	10.05	0.03	0.11	1	0.51	0.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t75	11.94	0.04	0.15	1	0.55	0.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t100	13.52	0.06	0.18	1	0.58	0.18																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t150	16.13	0.14	0.34	1	0.80	0.24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t200	18.25	0.16	0.42	1	0.93	0.27																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t200 1.2	21.90	0.21	0.59	1	1.04	0.32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500	26.63	0.27	1.31	3	1.06	0.35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.5	39.94	0.49	6.20	4	1.13	0.39																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.6	42.60	0.54	7.81	4	1.13	0.40																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.8	47.93	0.65	11.17	4	1.14	0.42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 2.0	53.25	0.78	13.94	4	1.15	0.42																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端残留水平変位 (m)	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	上部工の設計耐力比 曲げモーメント	せん断力																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t50	10.05	0.03	0.15	1	0.74	0.20																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t75	11.94	0.04	0.18	1	0.83	0.22																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t100	13.52	0.06	0.21	1	0.92	0.24																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t150	16.13	0.14	0.32	1	1.03	0.29																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t200	18.25	0.16	0.42	1	1.07	0.32																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t200 1.1	20.08	0.18	0.48	1	1.09	0.33																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t200 1.2	22.08	0.21	0.61	2	1.11	0.36																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500	26.63	0.28	1.77	4	1.15	0.41																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.5	39.94	0.50	8.17	4	1.17	0.46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.6	42.60	0.55	9.87	4	1.22	0.46																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 1.8	47.93	0.66	13.47	4	1.27	0.48																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
t500 2.0	53.25	0.77	16.33	4	1.23	0.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	※波形名の表記は次の通りとしている。(ex. t500 : 再現期間 500 年の確率波、t500 2.0 : 再現期間 500 年の確率波 振幅 2.0 倍)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
評価線 最大曲率比																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
評価線 上部工設計耐力比 (曲げモーメント)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

2.3. A 港 j 岸壁の結論

上記までの検討で、閾値はケース④により設定することとなった。しかし、本施設の検討で行ったモデル化は、現在設計で用いられている FLIP 解析の一般的な設定法ではないため、他施設に適用する場合は以下の点に留意が必要である。

■検討における留意点

- ✓ 今回の検討では杭の引抜きをいろいろな方法でモデル化して、最終的に閾値が安全側に設定されるケースを採用しているため、検討を行う施設ごとに検討を行う必要がある。
- ✓ ケース②、③については、周面摩擦力の設定が、現在設計で用いられている FLIP 解析の一般的な設定法ではないため、今回は採用しないこととした。ただし、将来的に事例解析が進み、キャリブレーションができれば、本設定の適用も可能と考えられる。
- ✓ ケース⑤においては、通常押込み側となる海側斜杭が引き抜けている。ケース④がケース⑤と異なる点は、この海側斜杭先端に非線形バネを入れている点であるが、海側斜杭に押込みがほとんど発生しないため、この非線形バネを入れることによる影響が出ていないと考えられる。このことにより、ケース④とケース⑤では結果にあまり差がでていない。今回の設定はこれで問題ないと考えられるが、今後、他施設でこの方法を適用するときは、押込み杭の挙動に注意し、大きく押し込まれる場合は下端を MPCxy 拘束とするケースも検討することが望ましい。
- ✓ 周面摩擦は $\tau = 2N$ で一定に設定しているが、一般的には杭が引き抜け始めると周面摩擦が低下する。そのため、杭が大きく引き抜ける際は、留意する必要がある。
- ✓ 液状化が顕著な場合は $\tau = \sigma_n' \tan 15^\circ < \tau = 2N$ になることがあるため、施設ごとに適切な設定が必要である。

本検討で採用

ケース	ケース① (R01d モデル)	ケース②	ケース③	ケース④	ケース⑤
イメージ図					
杭-地盤間相互作用ばね (杭周面)	杭軸直角方向のみ	杭軸直角・平行方向 ※平行方向バネのせん断強度は $\tau_f = C_j + \sigma_n' \tan \phi_j$ で求められる。第1回検討会: $\tau_f = \sigma_n' \tan 15^\circ$ 、第2回検討会: $\tau_f = C_j = 2N$ で設定。また、初期剛性は $K_s = 10^6 \text{ kPa}$ とした。		杭軸直角方向のみ	
概要					
押込み杭先端	MPCxy 拘束	非線形バネ(双曲線型)により先端支持力を再現 $q_{0.1} = 0.286q_{ult}$ ※第1回検討会: $q_{0.1} = 0.286 \times \eta \cdot 300 \text{ NA}_p (2577 \text{ kN/本}) = 737 \text{ kN/本}$ (設定誤り) 第2回検討会: $q_{0.1} = \eta \cdot 300 \text{ NA}_p = 2577 \text{ kN/本}$ (設定正しい) ($q_{0.1}$: $0.1 \times D_e$ 沈下するときの支持力。 D_e : 杭径)		拘束及びバネなし	
引抜き杭先端	MPCxy 拘束	非線形バネにより先端支持力を再現		拘束及びバネなし	

※MPCxy 拘束: 地盤と杭先端が水平・鉛直方向に同変位となる拘束条件

3. 耐震性能の評価分析

3.1. 矢板式係船岸

矢板式の耐震性能の分析について各施設の詳細な分析を下表に記載のページに示す。

構造	見出し No	港湾名	施設名	ページ
矢板	(1)	A 港	a 岸壁 A 工区	p.5-17～
			a 岸壁 D 工区	
	(2)	B 港	b 岸壁 A 区間	p.5-22～
			b 岸壁 C 区間	
	(3)		c 岸壁	p.5-27～
	(4)	C 港	d 岸壁 IV 工区	p.5-29～
			d 岸壁 I 工区	
	(5)	D 港	e 岸壁	p.5-34～
(6)	f 岸壁		p.5-36～	
(7)	g 岸壁		p.5-38～	
(8)	E 港	h 岸壁	p.5-40～	

(1) A 港 a 岸壁

- ・ A 工区では設定した閾値は前面矢板と控え工でほぼ同等である（変位量の閾値の観点では前面矢板が控え工より若干早く限界曲率に至る）。D 工区では控え工が変形に抵抗し、控え工の応力が先に厳しくなるモードとなった。
- ・ 耐える地震動は D 工区のほうが大きい。許容変形量はほとんど同じであるが、D 工区が若干大きい。
- ・ 設計耐力比の評価線の傾向は、A 工区と D 工区で異なっている。
- ・ A 工区は許容変形量 D_a （閾値）に至る前に設計耐力比が 1.0 を超過する。一方で、D 工区は許容変形量 D_a に至った後に設計耐力比が 1.0 を超過する。
- ・ よって、D 工区では使用可(長期)、使用可(短期)の境界は設けることができず、使用不可となる許容変形量のみを設定となる。
- ・ A 港は A 工区よりも D 工区の方が硬岩が浅いが根入れ長が短く、どちらの応力が厳しいか予測できないケースであったが、結果的には根入れ長が短い D 工区で矢板の剛体的な回転が生じ D 工区の方が許容変形量が大きい結果となった。

⇒安全側の判定となるように、使用不可となる許容変形量 D_a （閾値）が小さい A 工区の結果を採用する。使用可(長期)、(短期)の境界の変形量に関しては、A 工区の境界値 0.77m は D 工区でも設計耐力比 1.0 を超えないため、0.77m を閾値として設定しても問題はないと判断する。

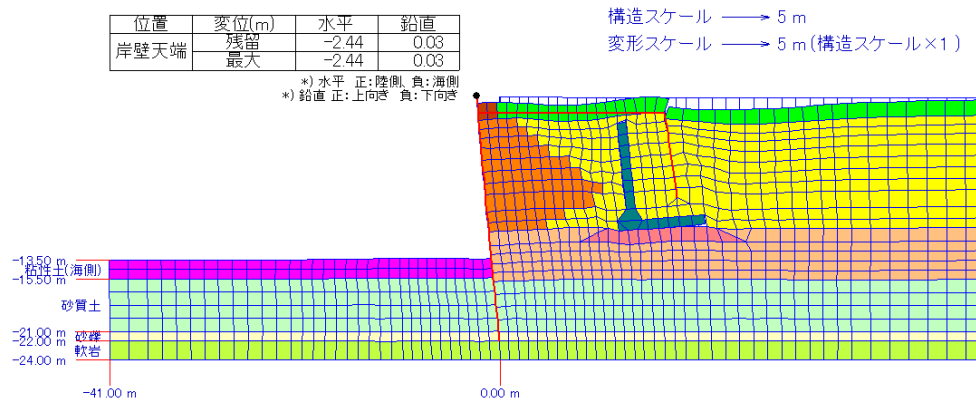


図 5.6 変形図(A 港 A 工区 再現期間 500 年確率波 振幅 3 倍)

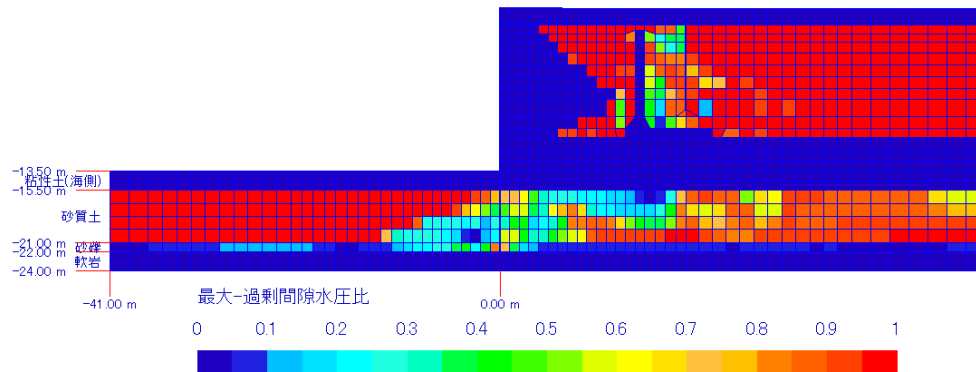


図 5.7 過剰間隙水圧比の最大値分布(A 港 A 工区 再現期間 500 年確率波 振幅 3 倍)

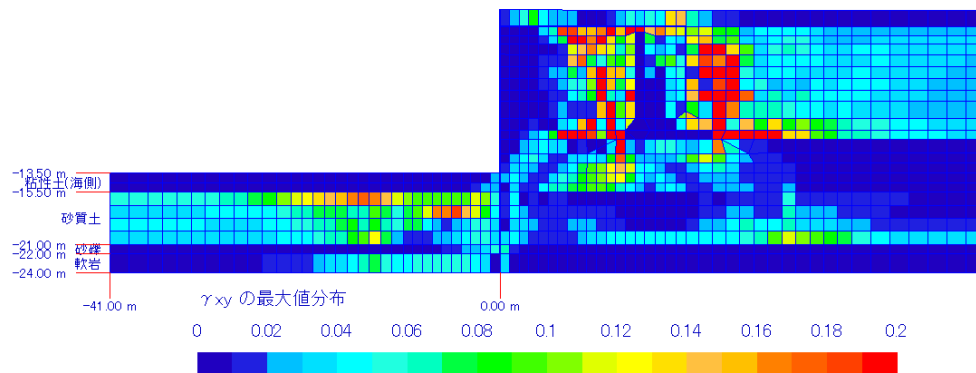


図 5.8 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布(A 港 A 工区 再現期間 500 年確率波 振幅 3 倍)

2) D 工区

前面矢板より先に控え工が全塑性曲率に至る。控え工が比較的小さい鋼矢板であるにもかかわらず先行的に破壊にいたった理由として、次のことが考えられる。A 港の矢板式構造は、他施設に比べて前面矢板の根入れ長が短く、控え工が比較的長い構造となっている。そのため、控え工が応力を受け持つ状態となり、先に全塑性にいたったと考えられる。なお、A 工区は変位量の閾値は前面矢板で決定しているが、破壊に至るのは前面矢板と控え工ではほぼ同等であり、控え工の応力がある程度発生している傾向は上記と一致している。

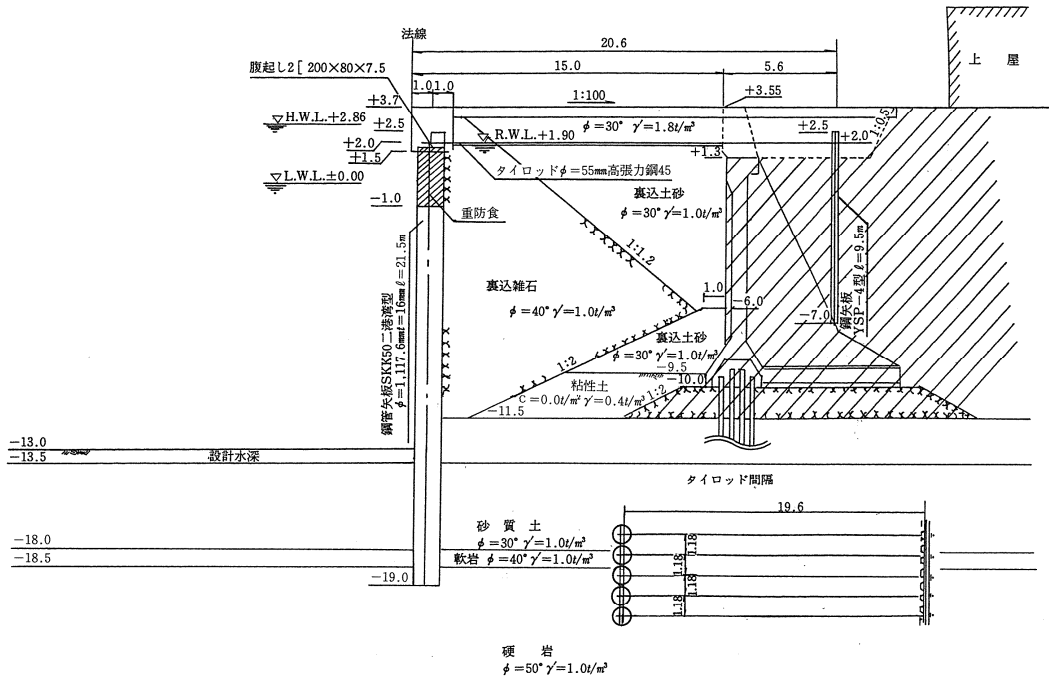
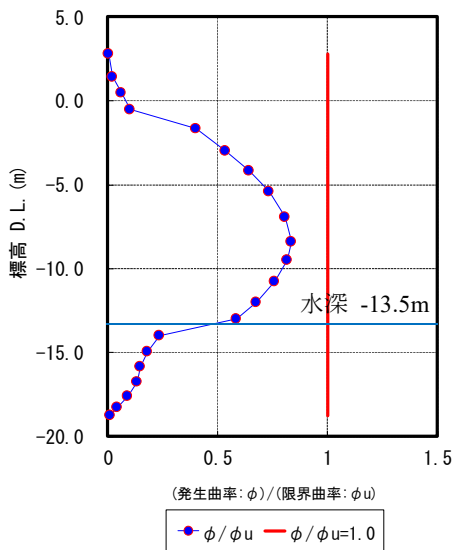
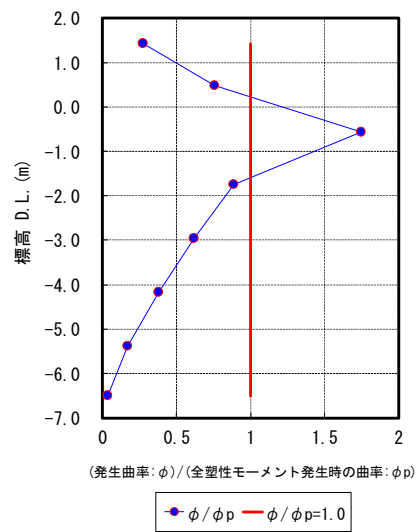


図-8 岸壁(-13m)標準断面図(D工区)

図 5.9 標準断面図(A 港 D 工区)



(a) 前面矢板(鋼管矢板)



(b) 控え工(鋼矢板)

地震：再現期間 500 年の確率波 振幅 3 倍 地震：再現期間 500 年の確率波 振幅 3 倍

図 5.10 曲率比(A 港 D 工区)

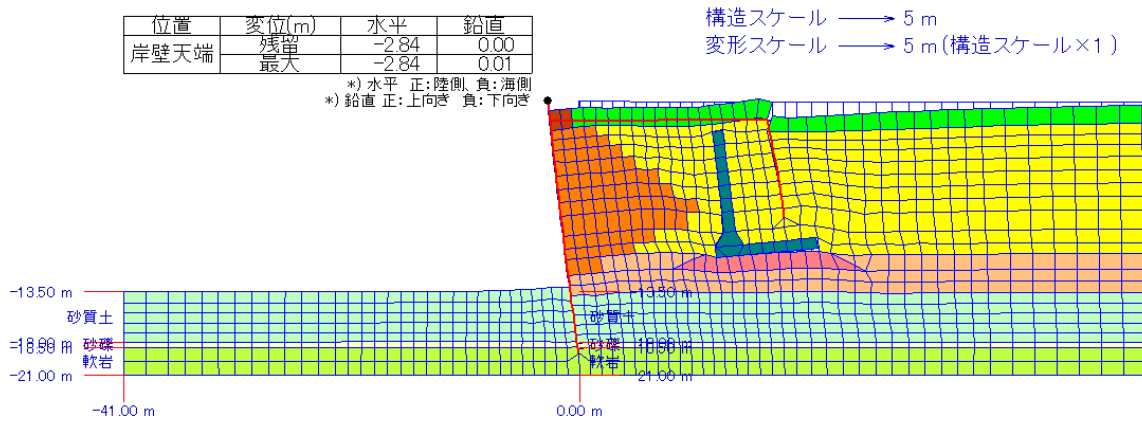


図 5.11 変形図(A 港 D 工区 再現期間 500 年確率波 振幅 3 倍)

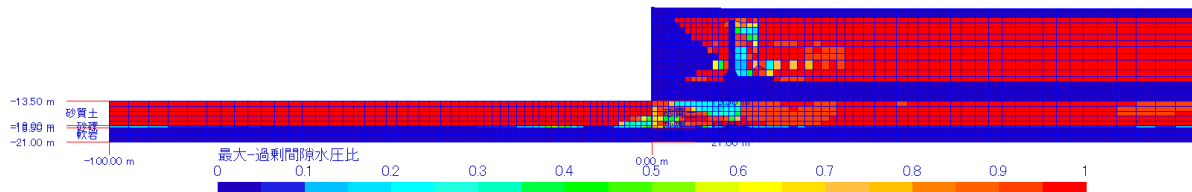


図 5.12 過剰間隙水圧比の最大値分布(A 港 D 工区 再現期間 500 年確率波 振幅 3 倍)

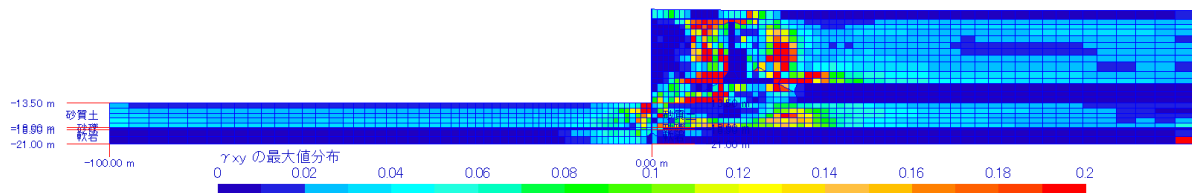


図 5.13 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布(A 港 D 工区 再現期間 500 年確率波 振幅 3 倍)

(2) B 港 b 岸壁

- A 区間(セルラーブロック式)と C 区間(鋼矢板セル式)を比較すると、両者とも比較的大きな地震動まで耐える施設であるが、C 区間のほうがより大きい地震動まで耐える結果となった。
- 許容変形量 D_a は、A 区間が 3.48m、C 区間が 3.28m となりほぼ同じである。
- 破壊モードは A 区間、C 区間ともに、控え工が変形に抵抗できず、前面矢板の応力が厳しくなるモードである。

1) A 区間

控え工より前面矢板が先に限界曲率に至る。

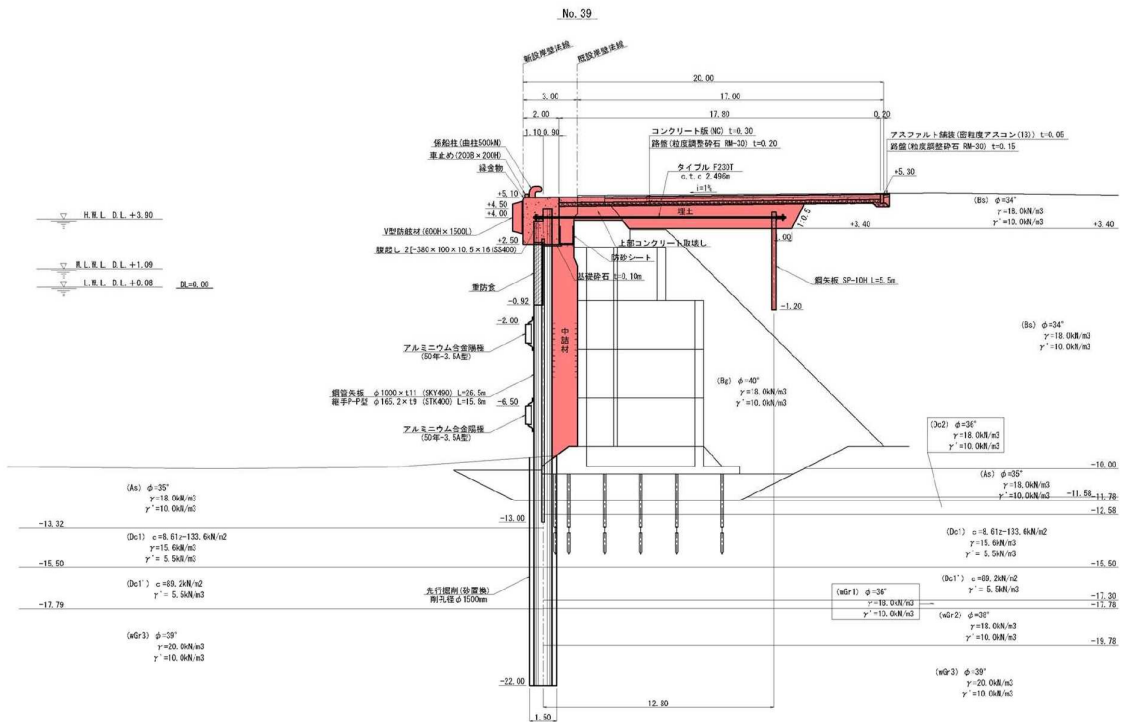
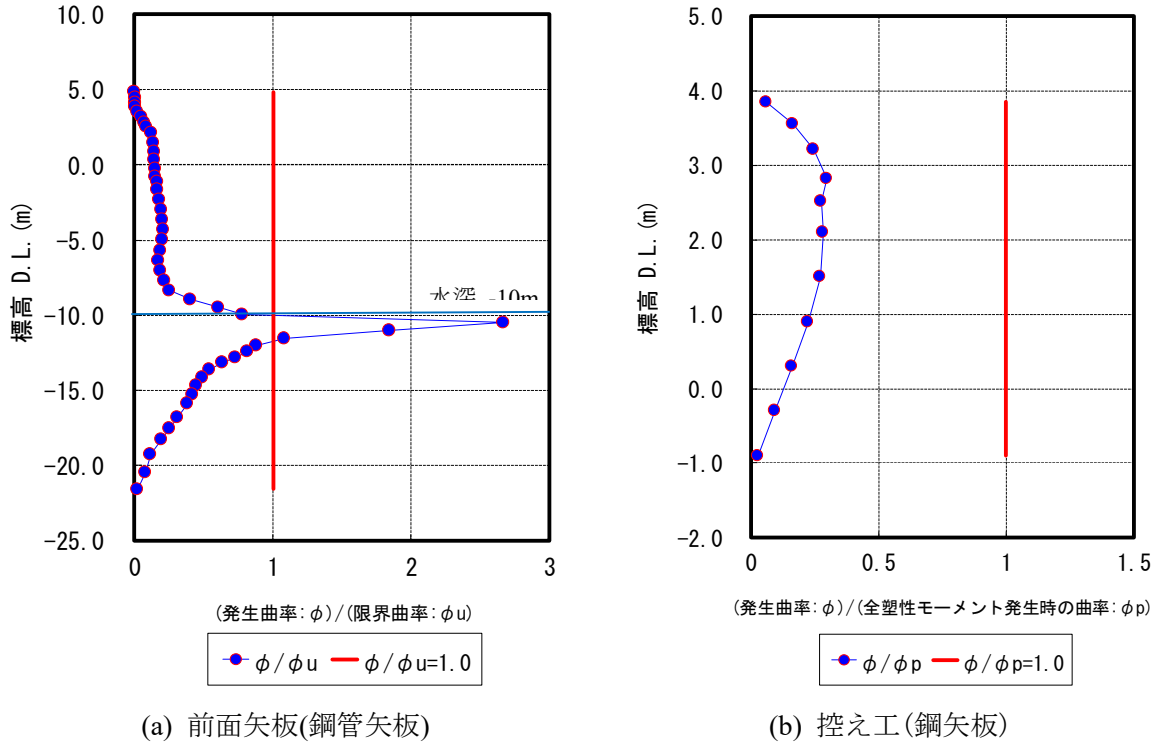


図 5.14 標準断面図(B 港 b 岸壁 A 区間)



(a) 前面矢板(鋼管矢板)

(b) 控え工(鋼矢板)

地震：小倉東断層帯モデル 01 振幅 2.5 倍

地震：小倉東断層帯モデル 01 振幅 2.5 倍

図 5.15 曲率比(B 港)

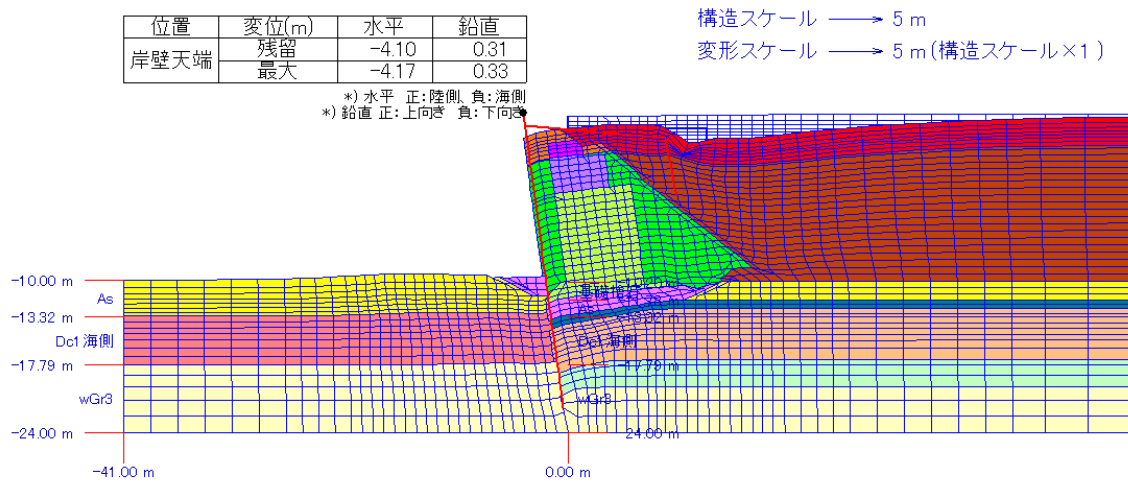


図 5.16 変形図(B 港 小倉東断層帯モデル 01 振幅 2.5 倍)

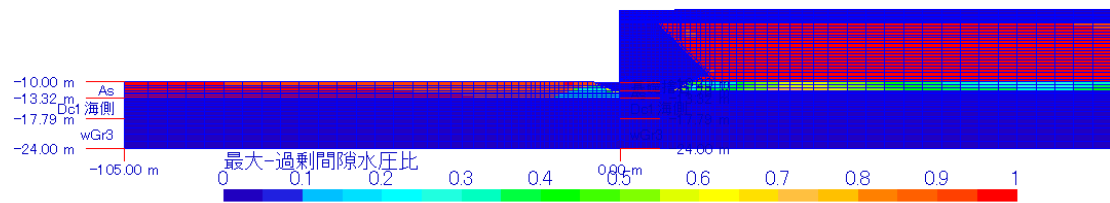


図 5.17 過剰間隙水圧比の最大値分布(B 港 小倉東断層帯モデル 01 振幅 2.5 倍)

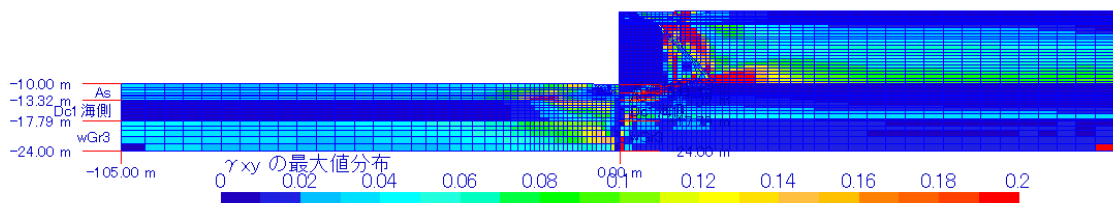


図 5.18 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布(B 港 小倉東断層帯モデル 01 振幅 2.5 倍)

2) C 区間

控え工より前面矢板が先に限界曲率に至る。

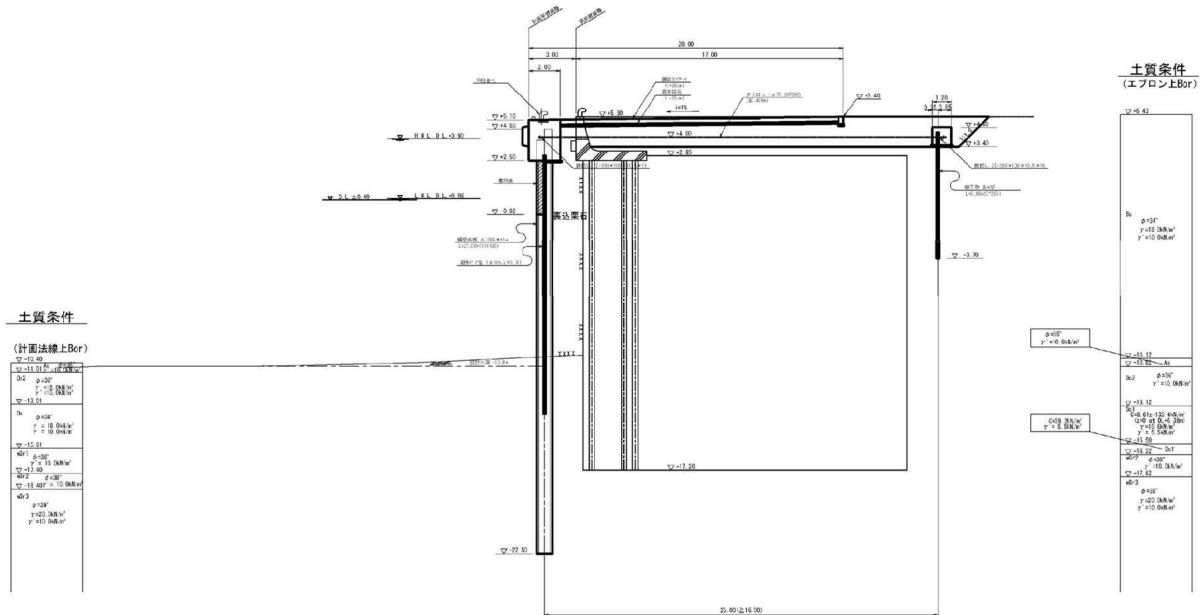
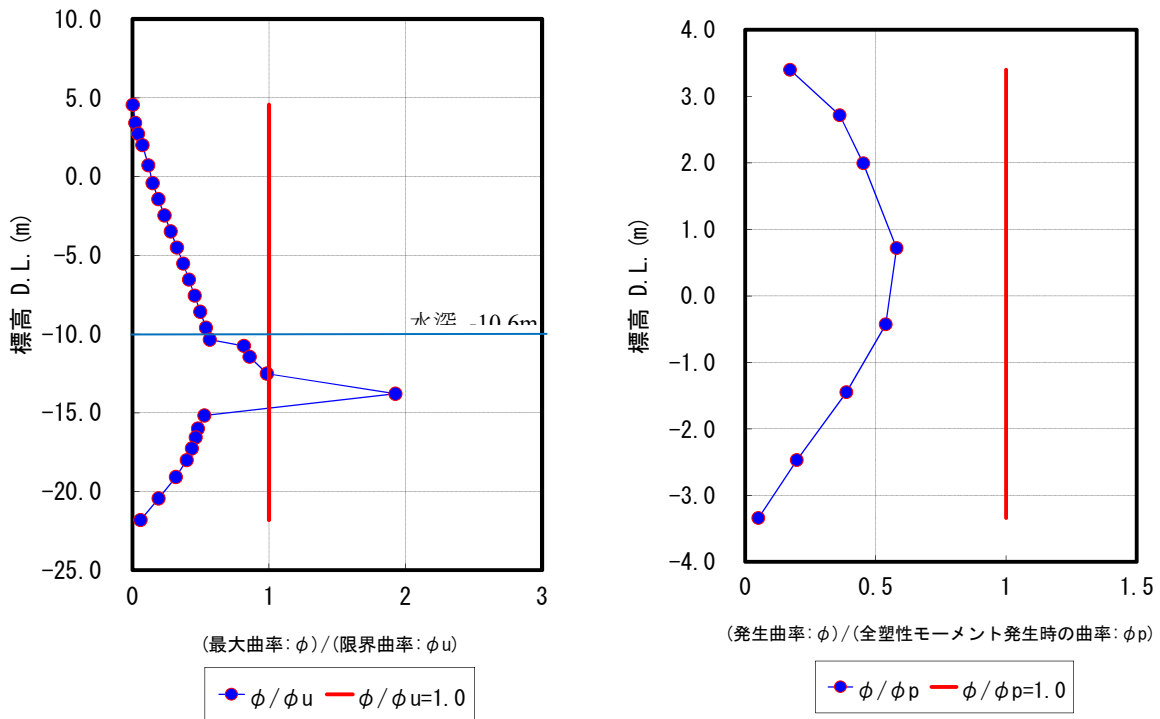


図 5.19 標準断面図(B 港 b 岸壁 C 区間)



(a) 前面矢板(鋼管矢板)

(b) 控え工(鋼矢板)

地震：小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍

地震：小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍

図 5.20 曲率比(B 港 b 岸壁 C 区間)

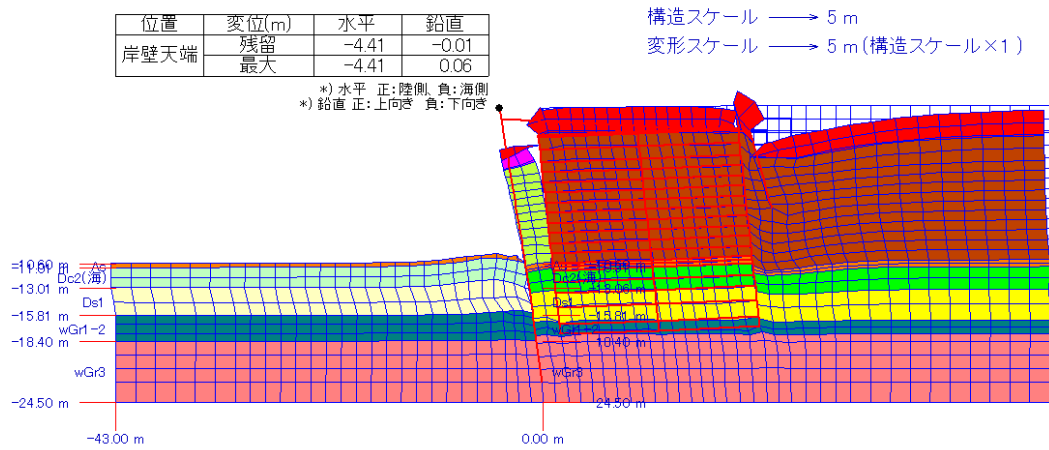


図 5.21 変形図(B 港 b 岸壁 C 区間 小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍)

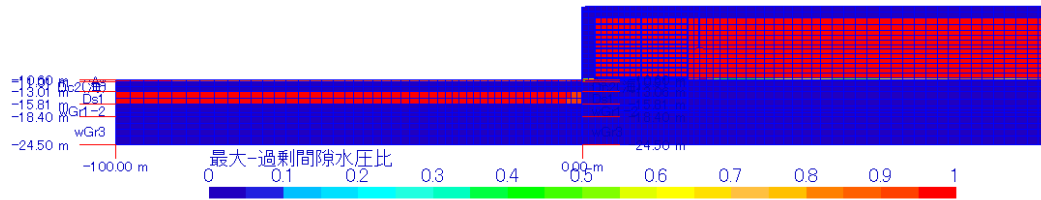


図 5.22 過剰間隙水圧比の最大値分布
(B 港 b 岸壁 C 区間 小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍)

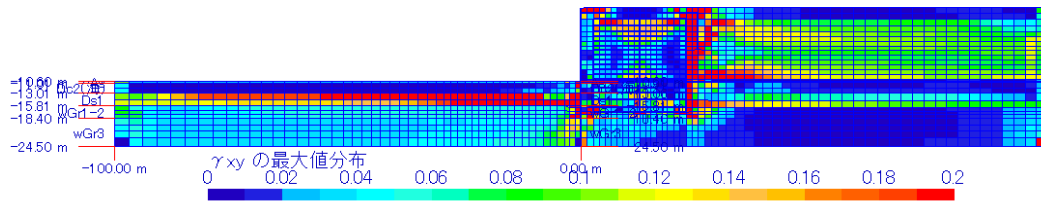


図 5.23 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布
(B 港 b 岸壁 C 区間 小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍)

(3) B 港 c 岸壁

- ・控え工が変形に抵抗し控え工の応力が先に厳しくなる破壊モードとなった。
- ・耐えうる地震動は隣接する b 岸壁 C 区間(既設構造が鋼矢板セルで共通)と同程度となった。

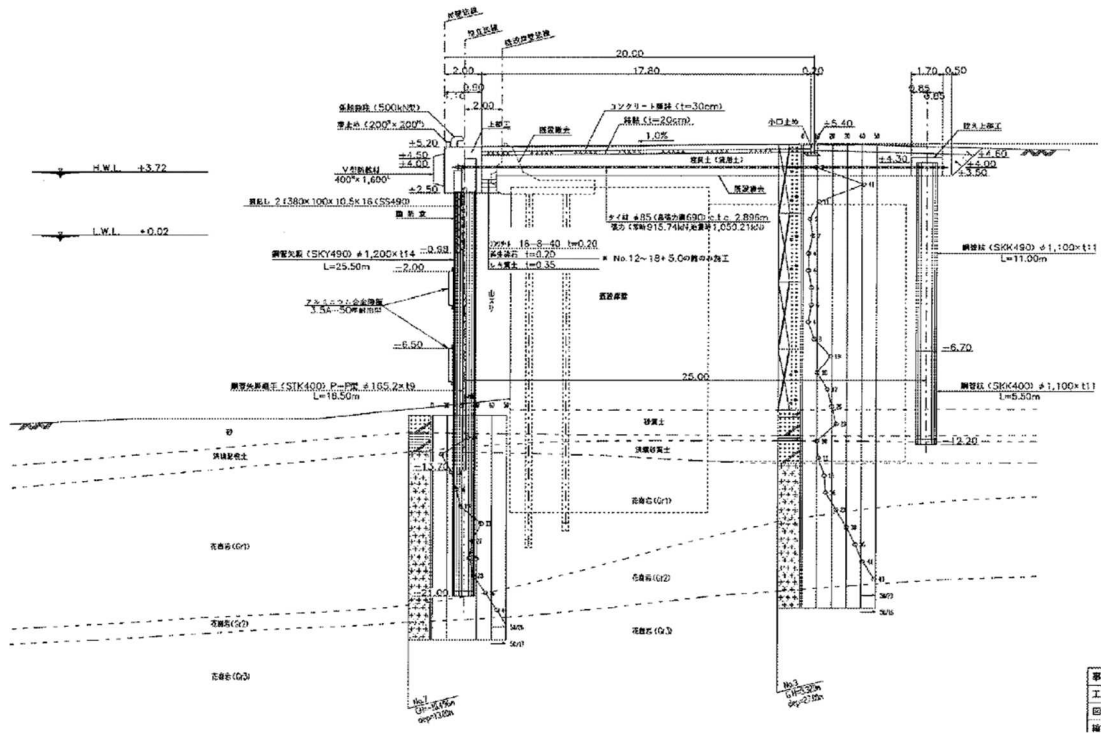
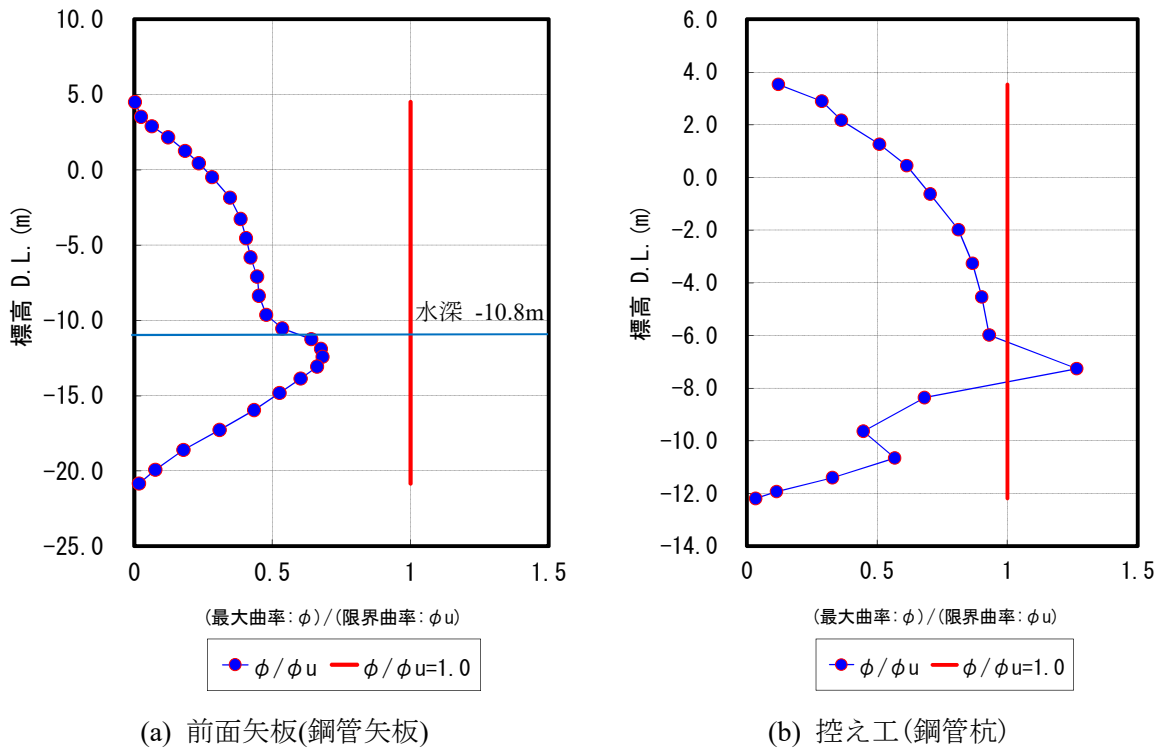


図 5.24 標準断面図(B 港 c 岸壁)



(a) 前面矢板(鋼管矢板) (b) 控え工(鋼管杭)
地震：小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍 地震：小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍

図 5.25 曲率比(B 港 c 岸壁)

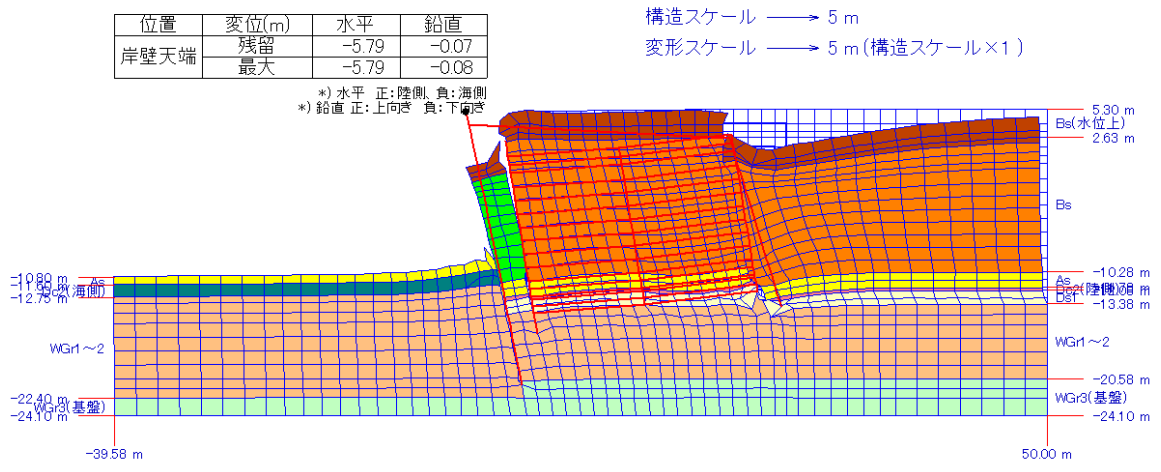


図 5.26 変形図(B 港 c 岸壁 小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍)

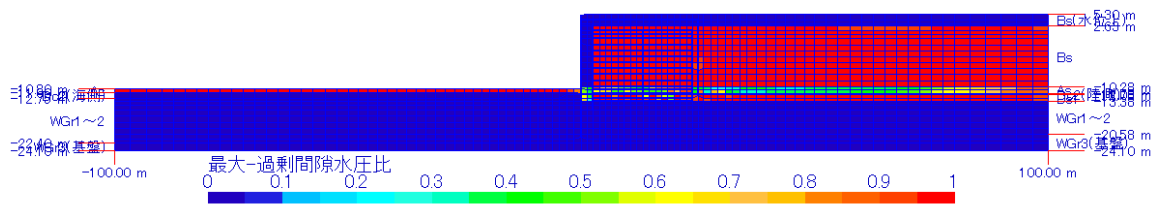


図 5.27 過剰間隙水圧比の最大値分布
(B 港 c 岸壁 小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍)

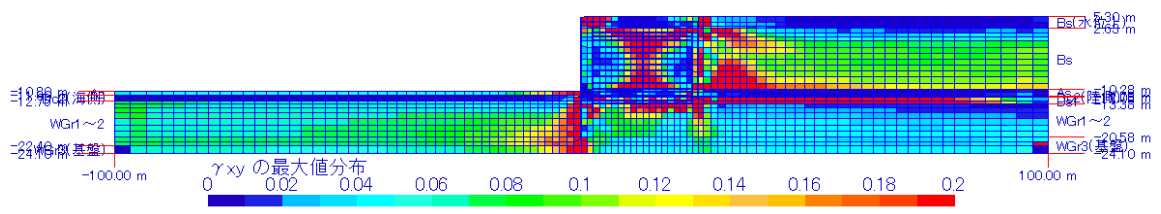


図 5.28 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布
(B 港 c 岸壁 小倉東断層帯モデル 01 振幅 5 倍)

(4) C 港 d 岸壁

- ・ I 工区でも IV 工区でも控え工が変形に抵抗し控え工の応力が先に厳しくなるモードとなった。
 - ・ 地震動で見ると、I 工区のほうが大きな地震動まで耐える結果となった。一方で許容変形量は I 工区と IV 工区で異なり、IV 工区のほうが大きくなっている。
 - ・ C 港は I 工区の方が地盤が堅固であるが、IV 工区の方が前面矢板の根入れ長が長くどちらの工区が厳しくなるか予測できなかったが、結果的には控え工の鋼材諸元が同じであるにもかかわらず I 工区の控え工が先に応力が厳しくなった。
- これは地盤条件が IV 工区、I 工区で異なっているためと考えられる。

①変形量の観点

- ・ IV 工区：液状化層 (As3、As2、As1、Ag1)
→背後地盤および基礎地盤でも過剰間隙水圧比が上昇。
よって、基礎地盤の緩みの発生に起因し、比較的変形量が大きくなる。
- ・ I 工区：液状化層 (As3、Ds4)
→背面地盤のみ過剰間隙水圧比が上昇。
よって、基礎地盤は比較的堅固であることから、IV 工区より変形量が小さい。

②控え工の曲率の観点

- ・ IV 工区
控え工の D.L.-6.0m 付近 (As3 中) で応力が厳しくなっており、控え工の変形が進みある時点で限界に達したと考えられる。
 - ・ I 工区
控え工の D.L.-8.0m 付近 (Ag2 中) で応力が厳しくなっており、As3 層 (液状化層) と Ag2 層 (液状化しない層) の土層境界で大きなせん断力が発生することに起因するものと考えられる。
- I 工区と IV 工区を比較すると、I 工区のほうが小さい変形量で発生応力が大きくなると考えられ、I 工区の控え工が先に応力が厳しくなったと考えられる。

⇒以上より IV 工区は I 工区より変形量が大きくなり、同じ変形量が生じた際には I 工区のほうが応力が厳しくなる。

1) IV工区

前面矢板より控え工が先に限界曲率にいたる。

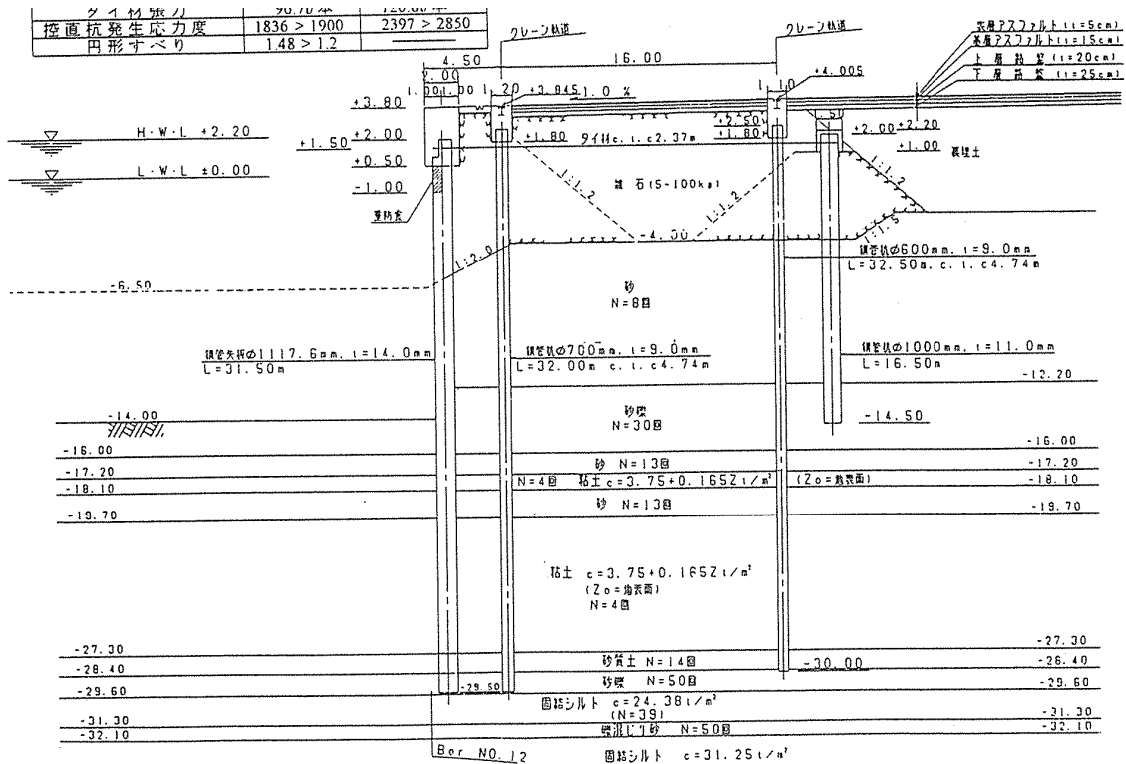
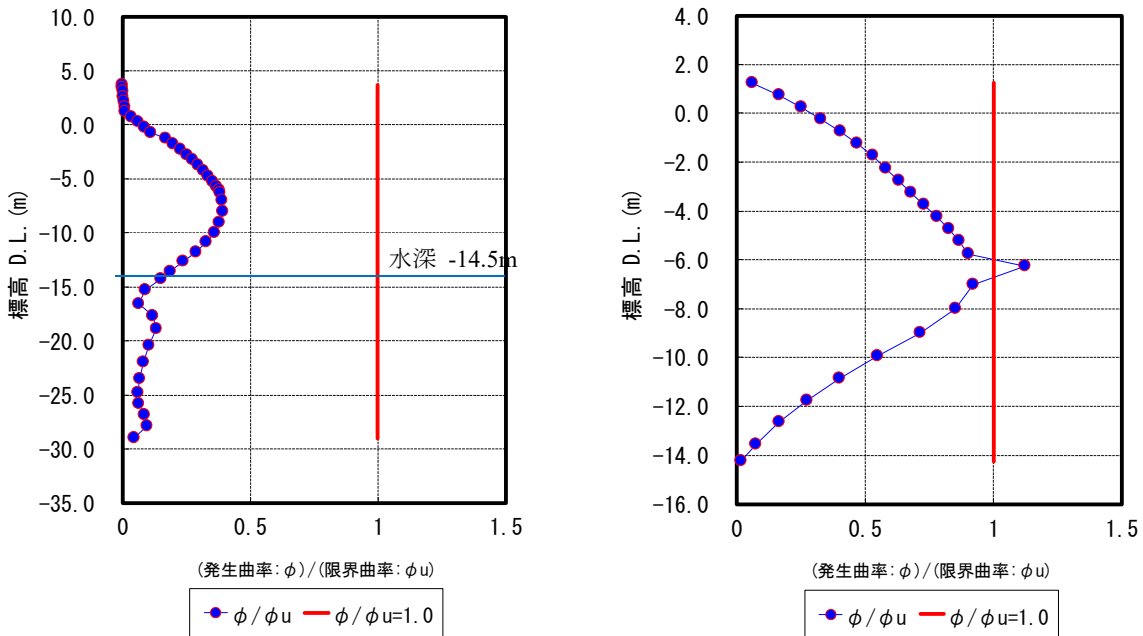


図 5.29 標準断面図(C 港IV工区)



(a) 前面矢板(鋼管矢板)

(b) 控え工(鋼管杭)

地震：再現期間 100 年確率波

地震：再現期間 100 年確率波

図 5.30 曲率比(C 港IV工区)

位置	変位(m)	水平	鉛直
岸壁天端	残留	-0.53	0.01
	最大	-0.54	0.01

*) 水平 正:陸側 負:海側
*) 鉛直 正:上向き 負:下向き

構造スケール → 5 m

変形スケール → 5 m (構造スケール×2)

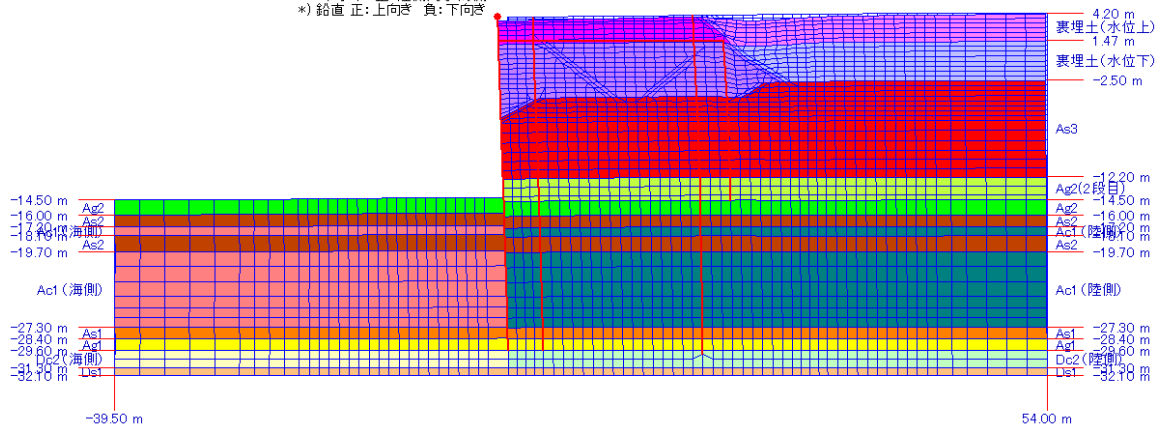


図 5.31 変形図(C 港IV工区 再現期間 100 年確率波)

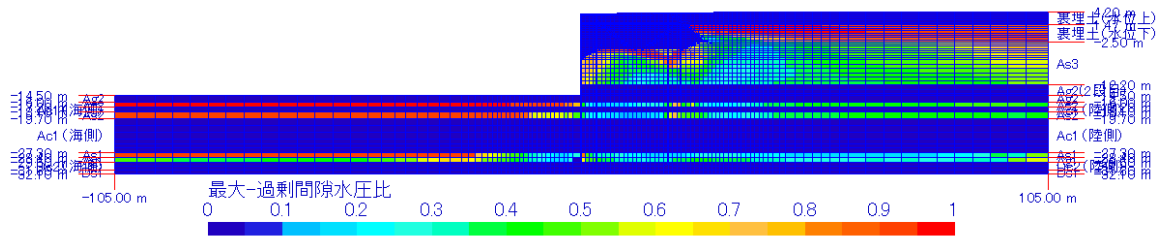


図 5.32 過剰間隙水圧比の最大値分布(C 港IV工区 再現期間 100 年確率波)

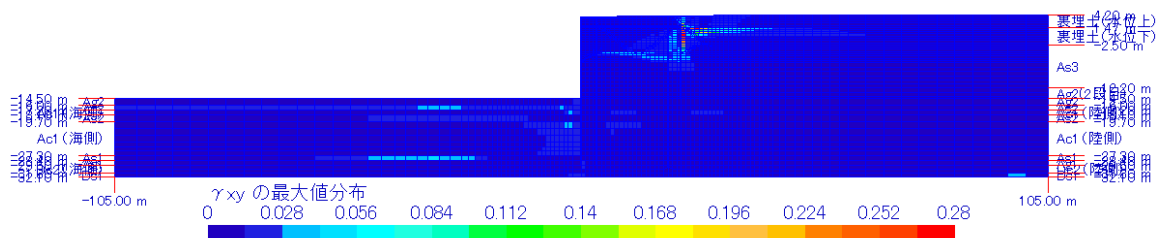


図 5.33 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布(C 港IV工区 再現期間 100 年確率波)

2) I 工区

前面矢板より控え工が先に限界曲率にいたる。

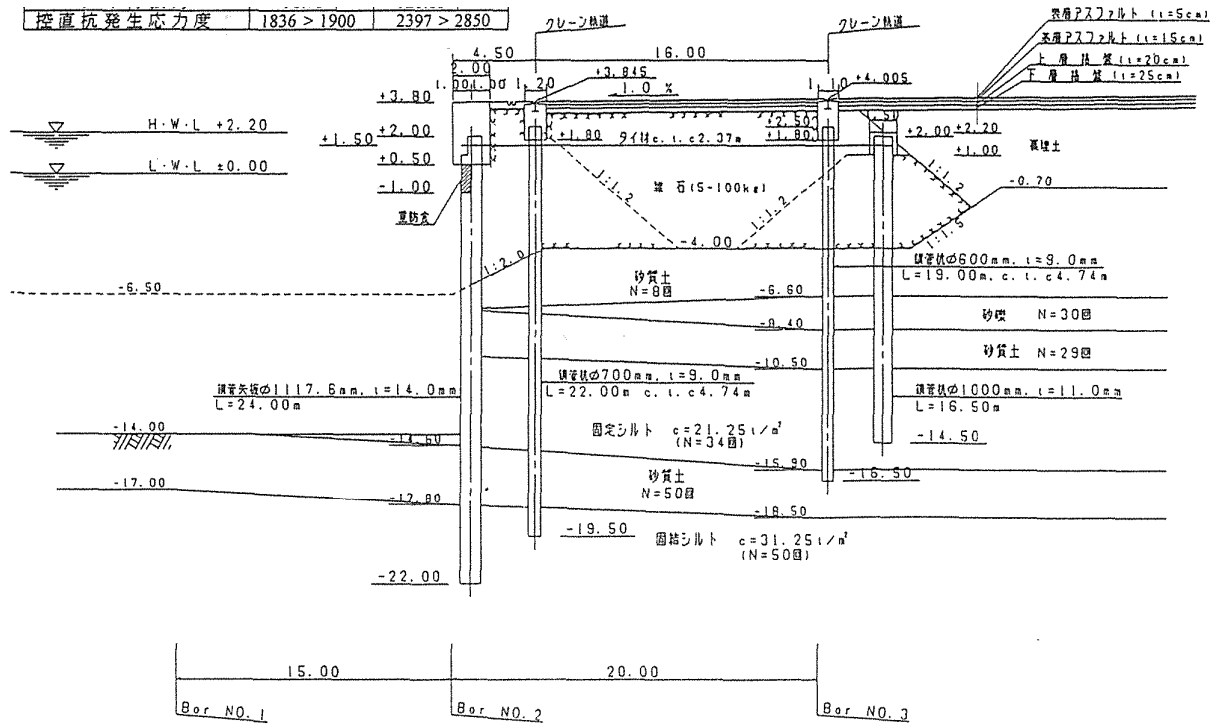
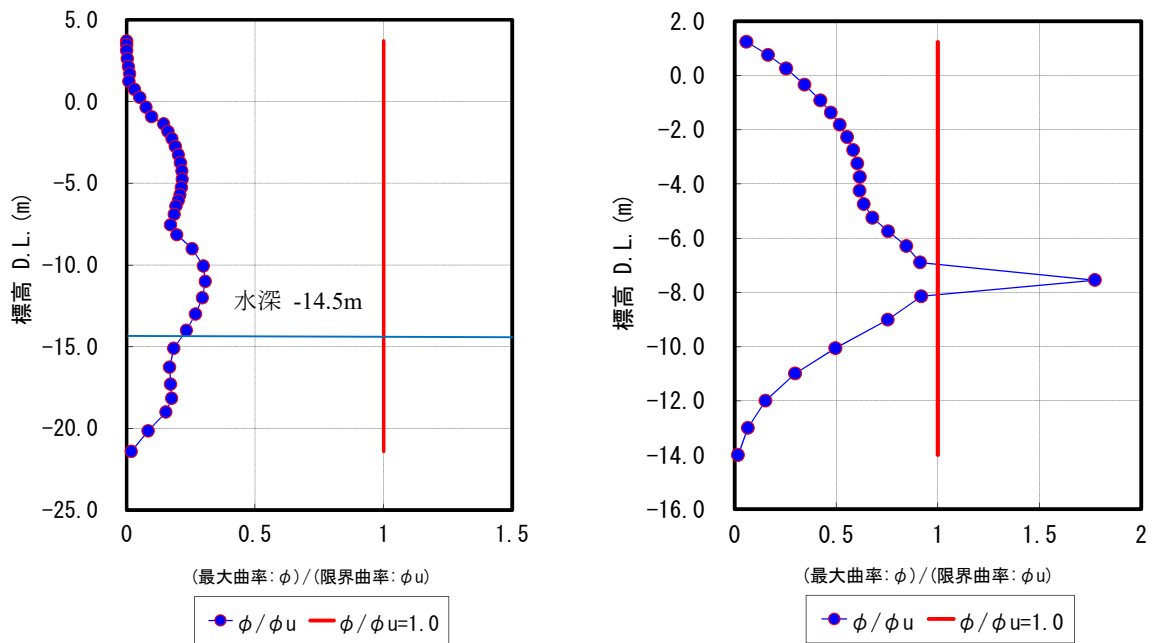


図 5.34 標準断面図(C 港 I 工区)



(a) 前面矢板(鋼管矢板)

(b) 控え工(鋼管杭)

地震：再現期間 150 年確率波

地震：再現期間 150 年確率波

図 5.35 曲率比(C 港 I 工区)

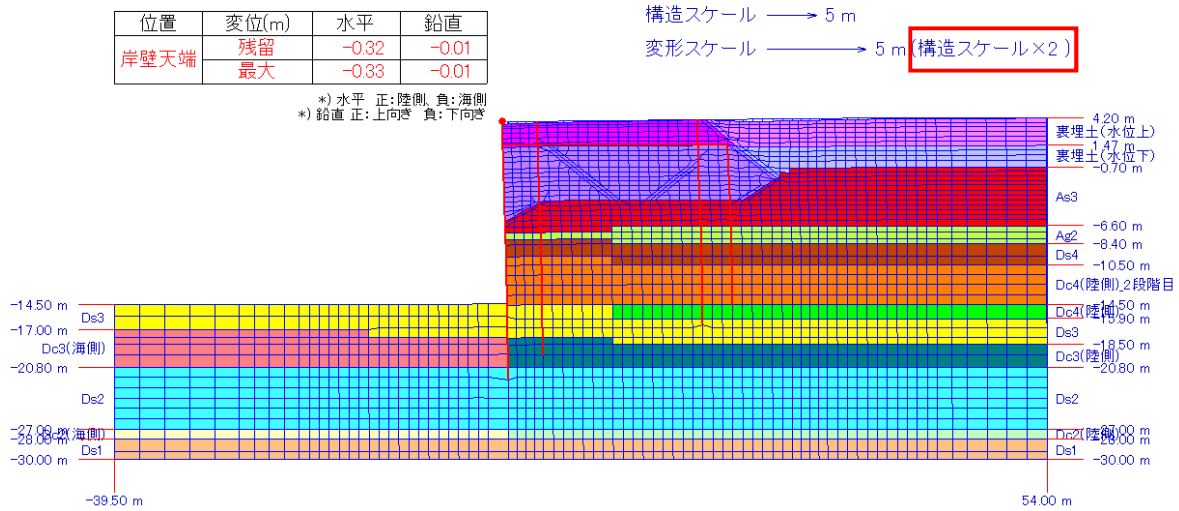


図 5.36 変形図(C 港 I 工区 再現期間 150 年確率波)

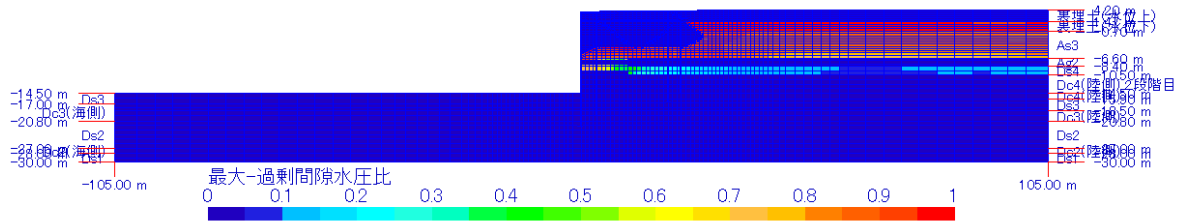


図 5.37 過剰間隙水圧比の最大値分布(C 港 I 工区 再現期間 150 年確率波)

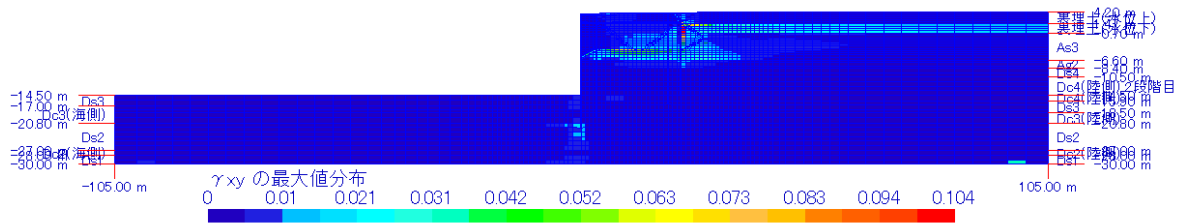


図 5.38 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布(C 港 I 工区 再現期間 150 年確率波)

(5) D 港 e 岸壁

前面矢板より控え工が先に限界曲率に至る。

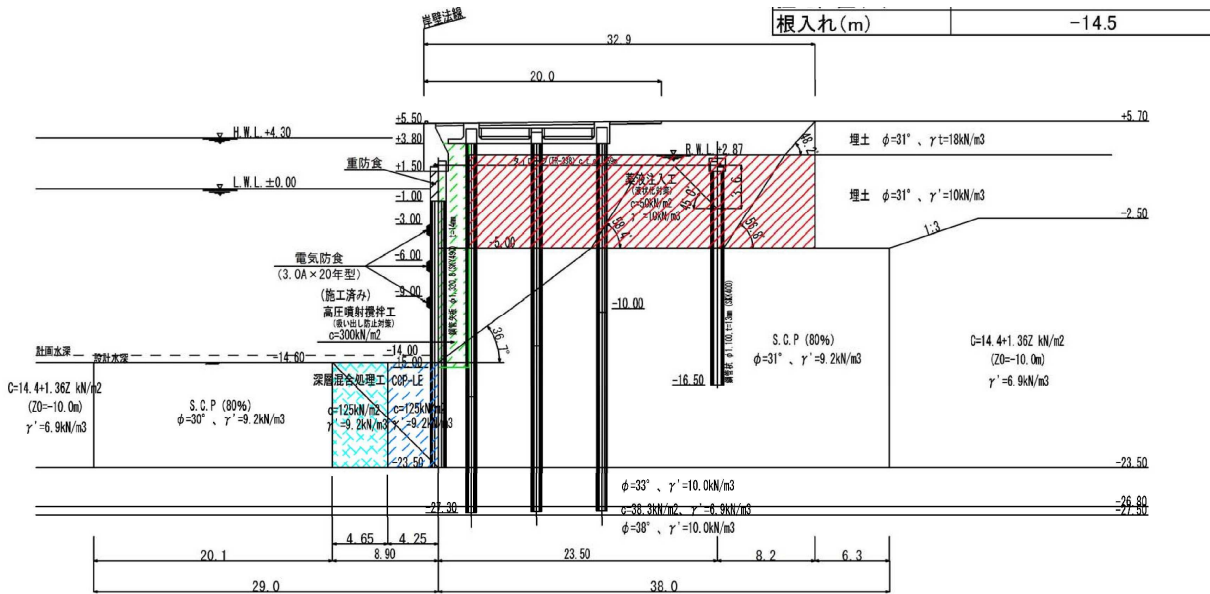
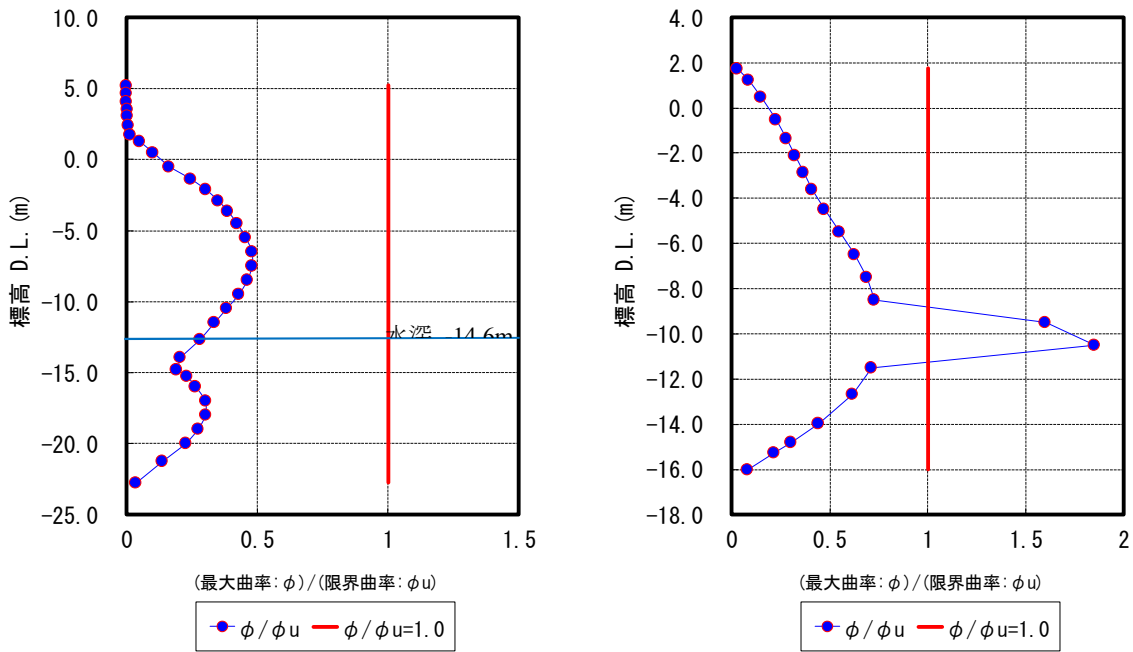


図 5.39 標準断面図(D 港 e 岸壁(I 工区))



(a) 前面矢板(鋼管矢板)

地震：再現期間 500 年確率波

(b) 控え工(鋼管杭)

地震：再現期間 500 年確率波

図 5.40 曲率比(D 港 e 岸壁)

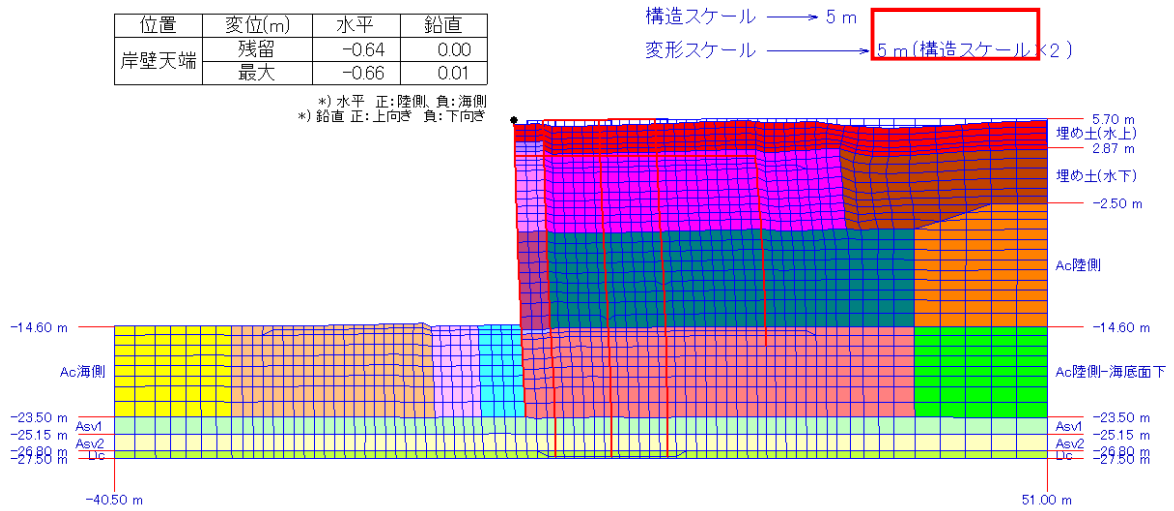


図 5.41 変形図(D 港 e 岸壁 再現期間 500 年確率波)

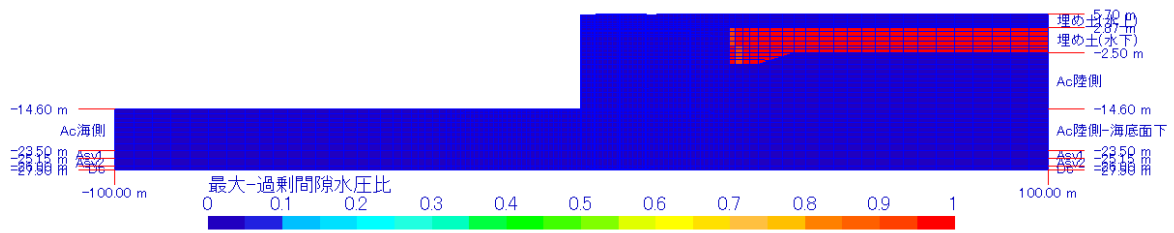


図 5.42 過剰間隙水圧比の最大値分布(D 港 e 岸壁 再現期間 500 年確率波)

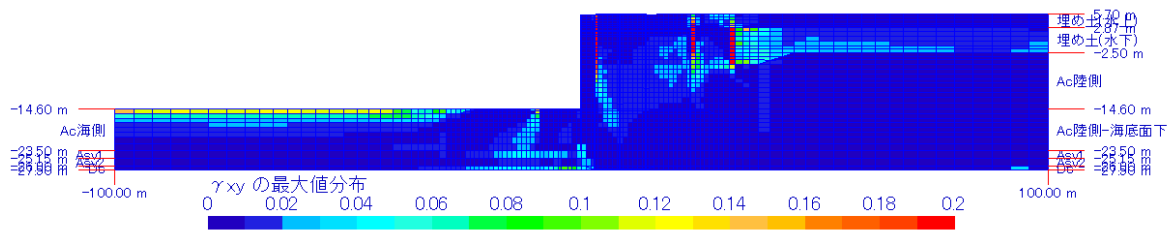


図 5.43 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布(D 港 e 岸壁 再現期間 500 年確率波)

(6) D 港 f 岸壁

控え工より前面矢板が先に全塑性に至る。また、矢板海中中部で大きなはらみ出しが生じる変形モードに分類でき、岸壁天端付近では変位量がほとんど無いため、取扱いには注意が必要である。

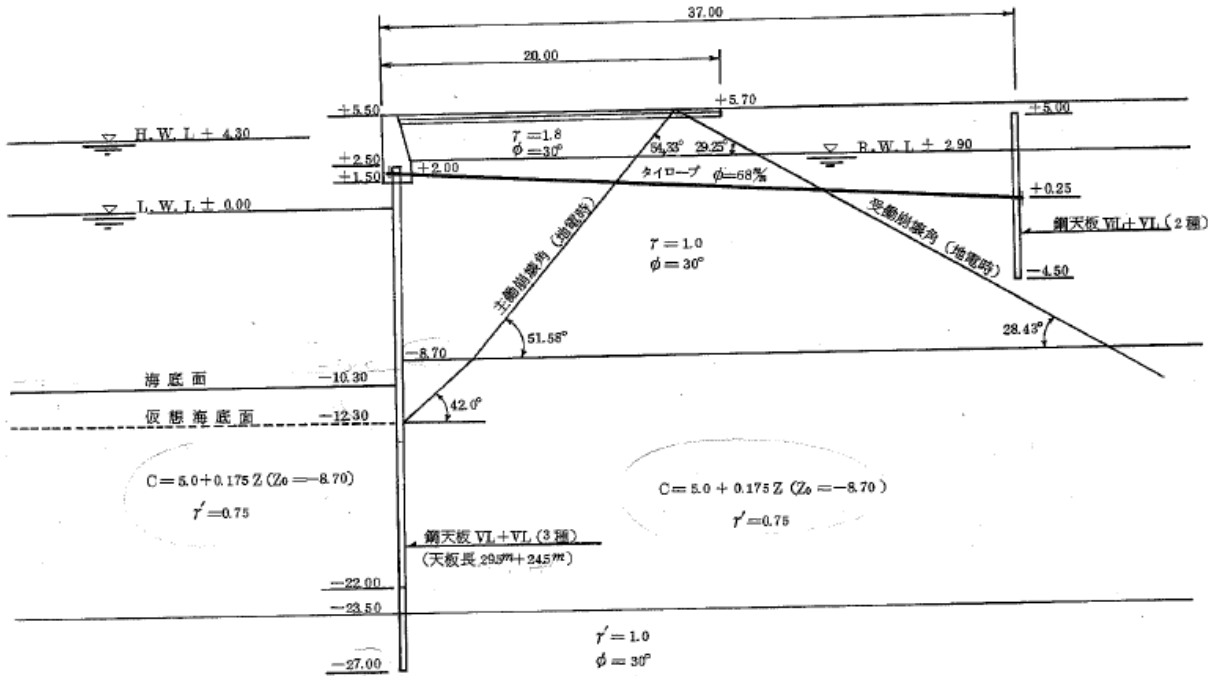
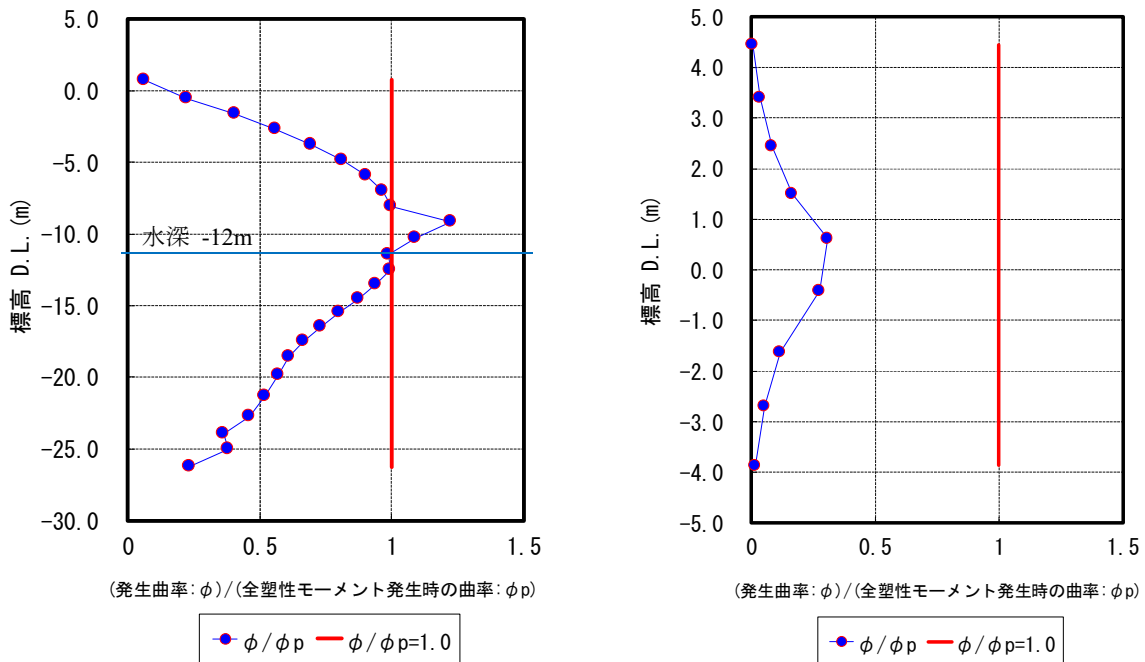


図 5.44 標準断面図(D 港 f 岸壁)



(a) 前面矢板(組合せ鋼矢板)

(b) 控え工(組合せ鋼矢板)

地震：布田川・日奈久断層帯地震振幅 1.5 倍

地震：布田川・日奈久断層帯地震振幅 1.5 倍

図 5.45 曲率比(D 港 f 岸壁)

位置	変位(m)	水平	鉛直
岸壁天端	残留	-0.54	-0.02
	最大	-0.59	-0.02

*) 水平 正:陸側 負:海側
*) 鉛直 正:上向き 負:下向き

構造スケール → 5 m

変形スケール → 5 m (構造スケール×1)

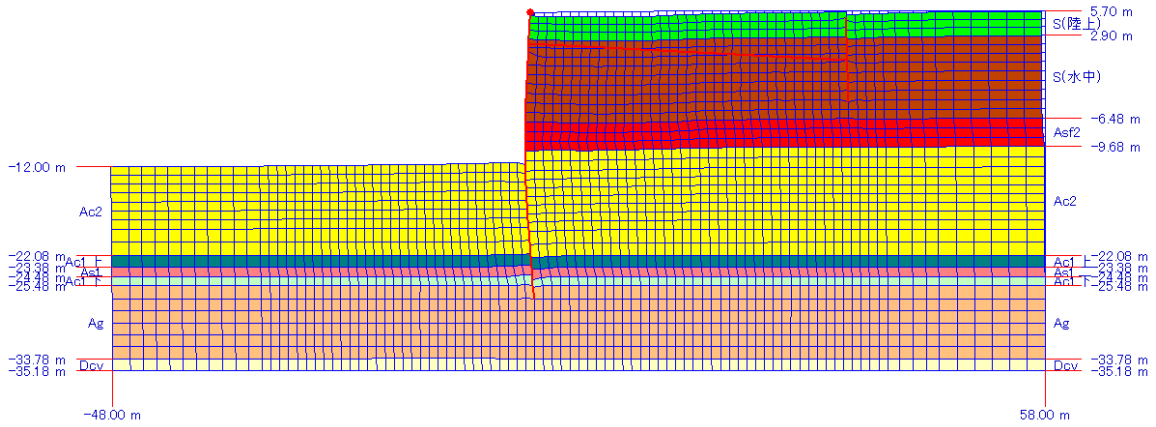


図 5.46 変形図(D 港 f 岸壁 布田川・日奈久断層帯地震振幅 1.5 倍)

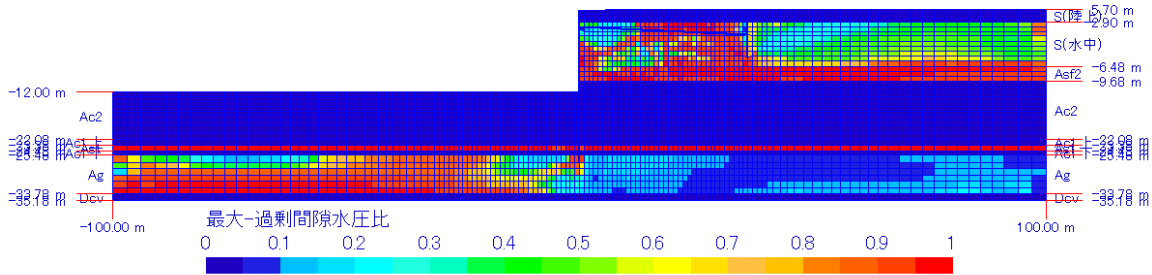


図 5.47 過剰間隙水圧比の最大値分布
(D 港 f 岸壁 布田川・日奈久断層帯地震振幅 1.5 倍)

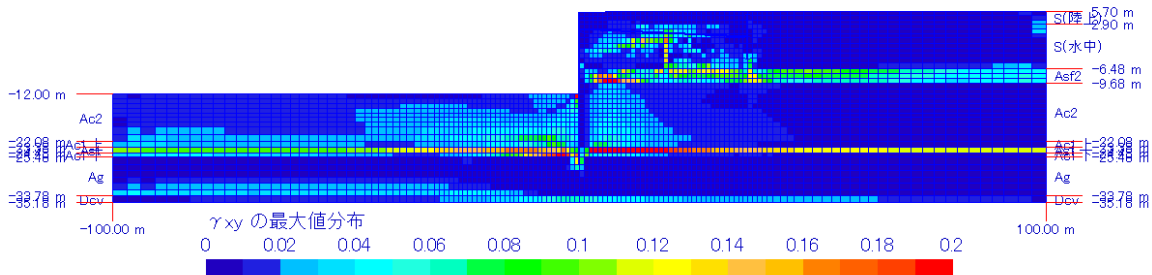


図 5.48 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布
(D 港 f 岸壁 布田川・日奈久断層帯地震振幅 1.5 倍)

(7) D 港 g 岸壁

前面矢板より控え工が先に限界曲率にいたる。

-10m 岸壁標準断面図 (サンドコンパクション工区)

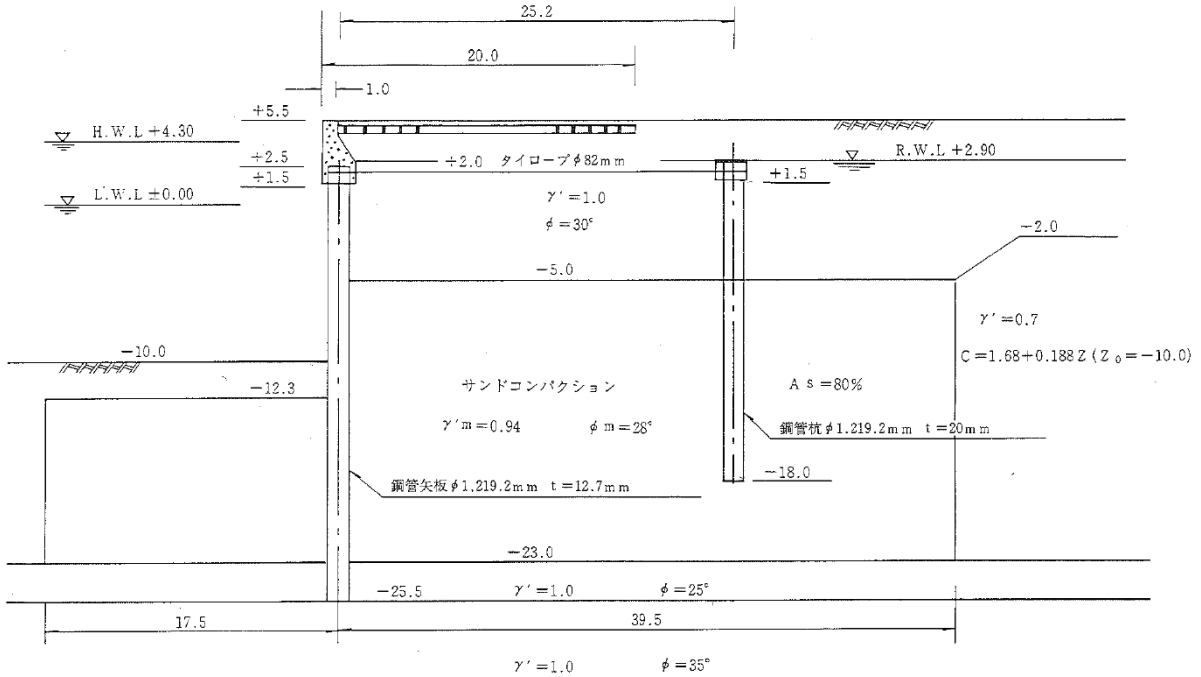
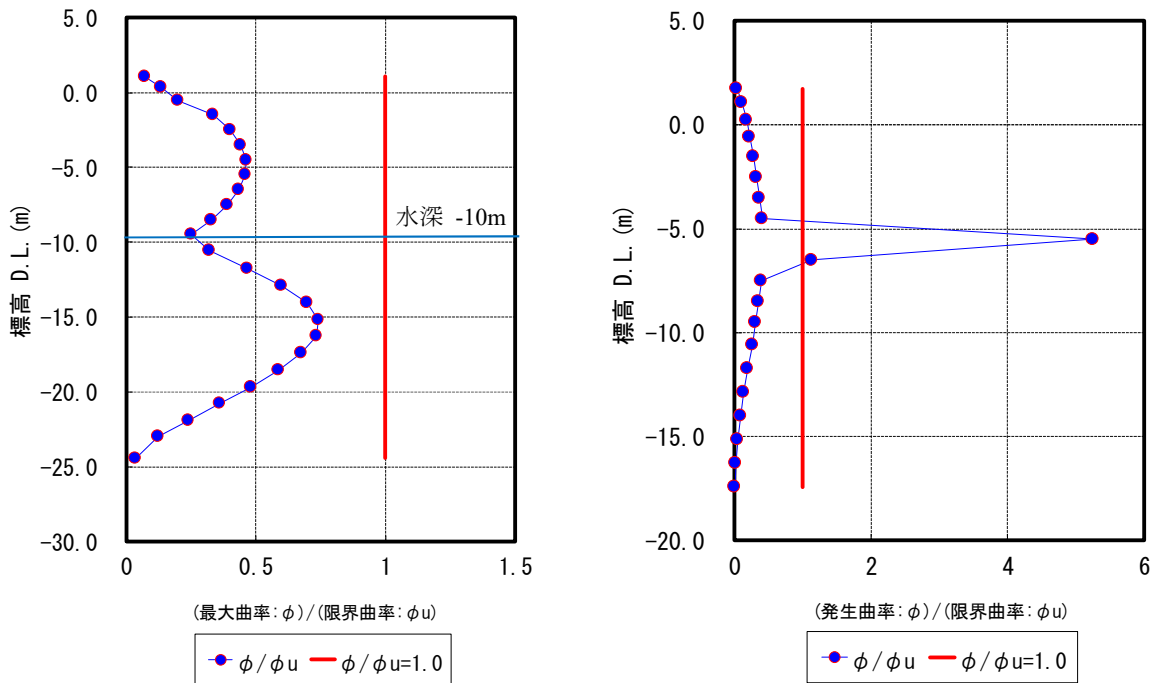


図 5.49 標準断面図(D 港 g 岸壁)



(a) 前面矢板(鋼管矢板)

(b) 控え工(鋼管杭)

地震：再現期間 75 年確率波

地震：再現期間 75 年確率波

図 5.50 曲率比(D 港 g 岸壁)

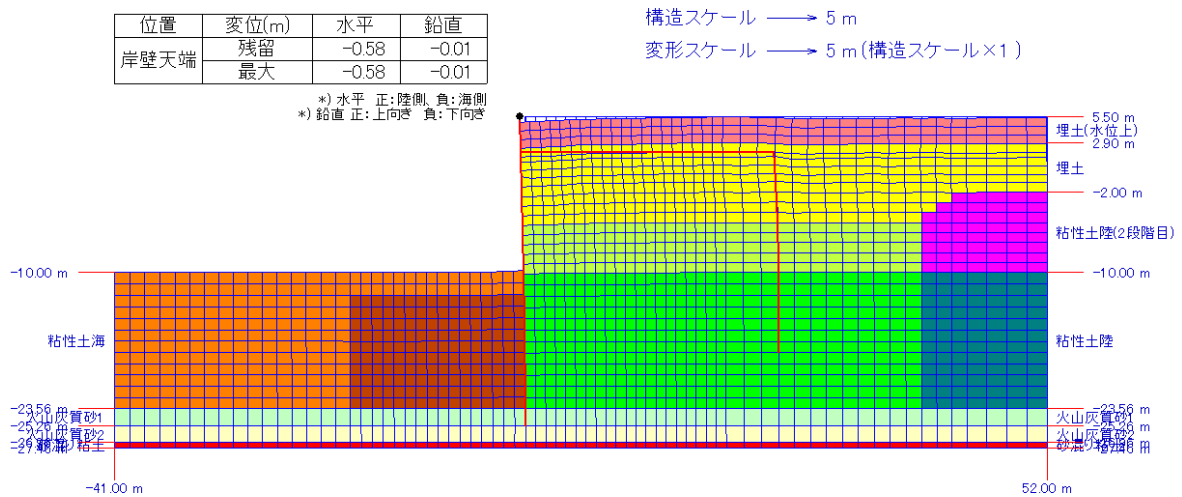


図 5.51 変形図(D 港 g 岸壁 再現期間 75 年確率波)

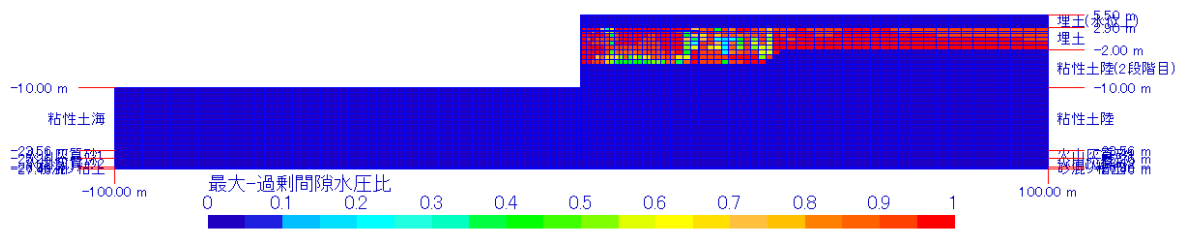


図 5.52 過剰間隙水圧比の最大値分布(D 港 g 岸壁 再現期間 75 年確率波)

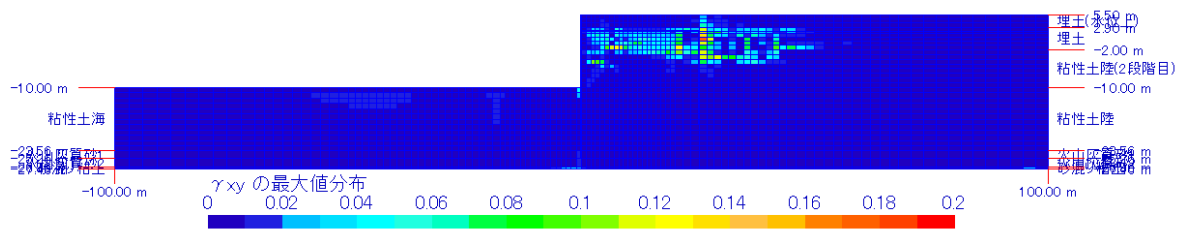


図 5.53 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布(D 港 g 岸壁 再現期間 75 年確率波)

(8) E 港 h 岸壁

控え工より前面矢板が先に限界曲率にいたる。

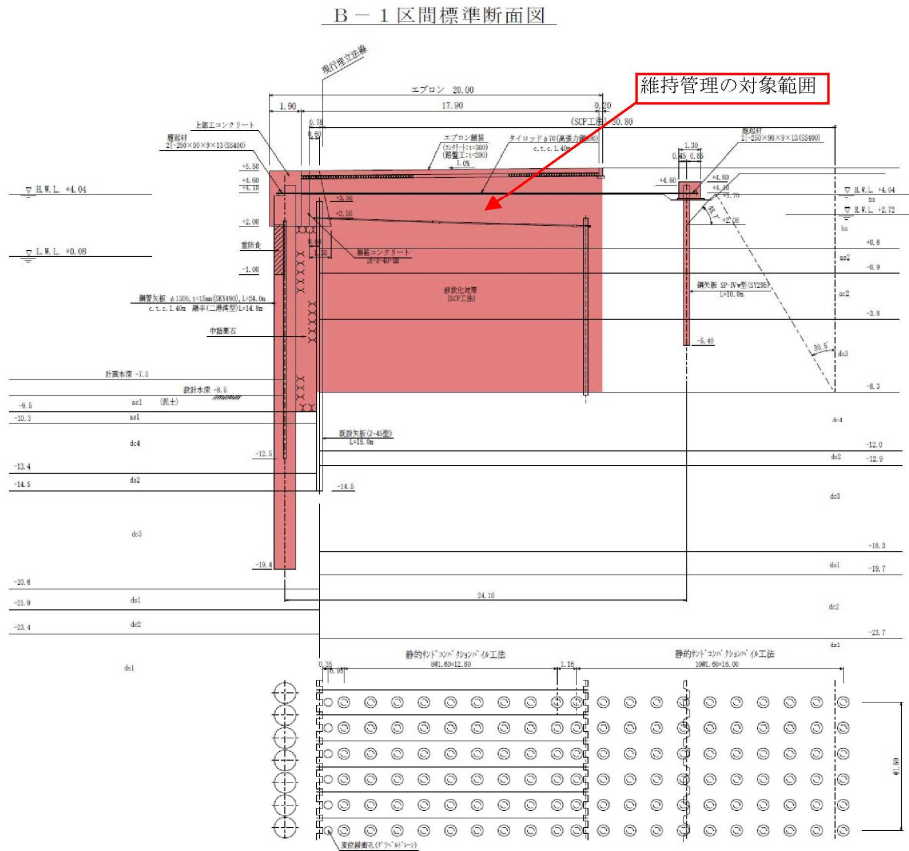
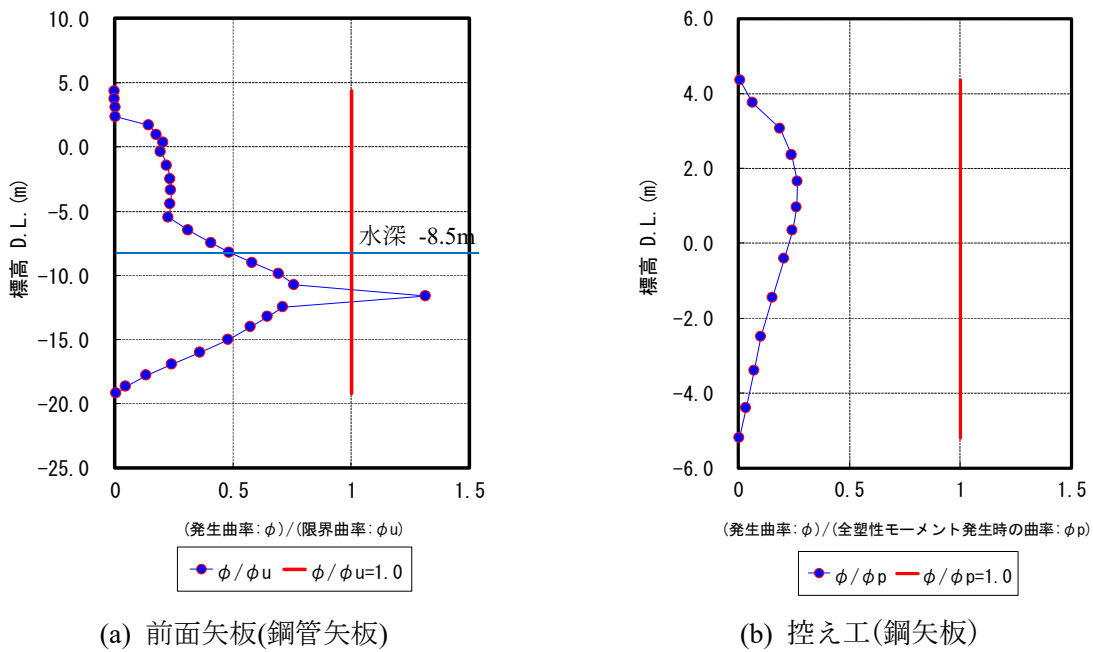


図 5.54 標準断面図(E 港 h 岸壁(B 区間))



(a) 前面矢板(鋼管矢板)
地震 : M6.5 の直下型地震振幅 0.7 倍

(b) 控え工(鋼矢板)
地震 : M6.5 の直下型地震振幅 0.7 倍

図 5.55 曲率比(E 港 h 岸壁)

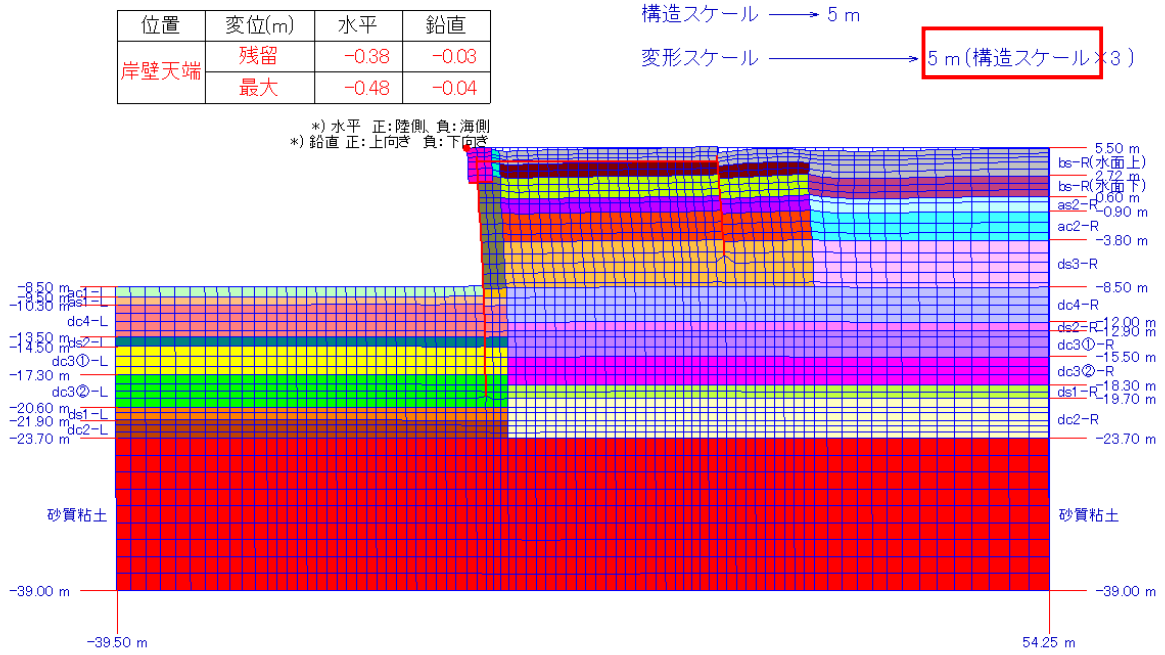


図 5.56 変形図(E 港 h 岸壁 M6.5 の直下型地震振幅 0.7 倍)

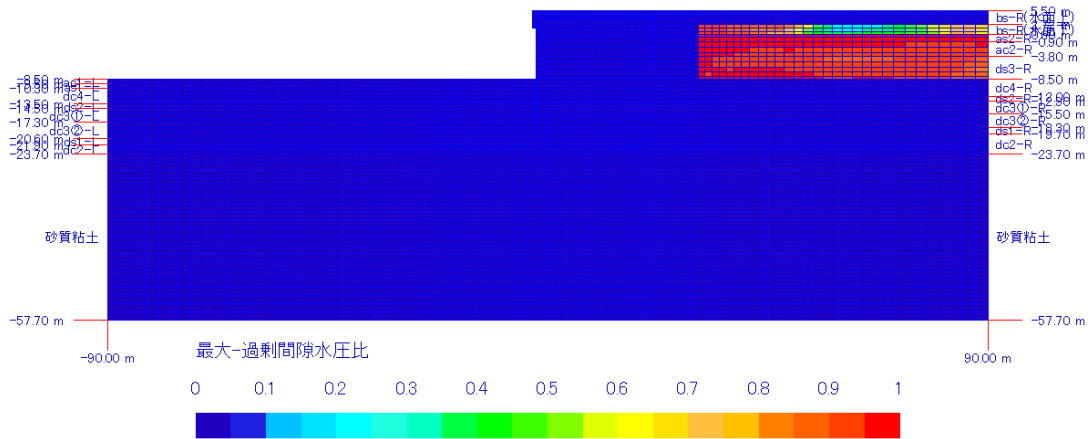


図 5.57 過剰間隙水圧比の最大値分布(E 港 h 岸壁 M6.5 の直下型地震振幅 0.7 倍)

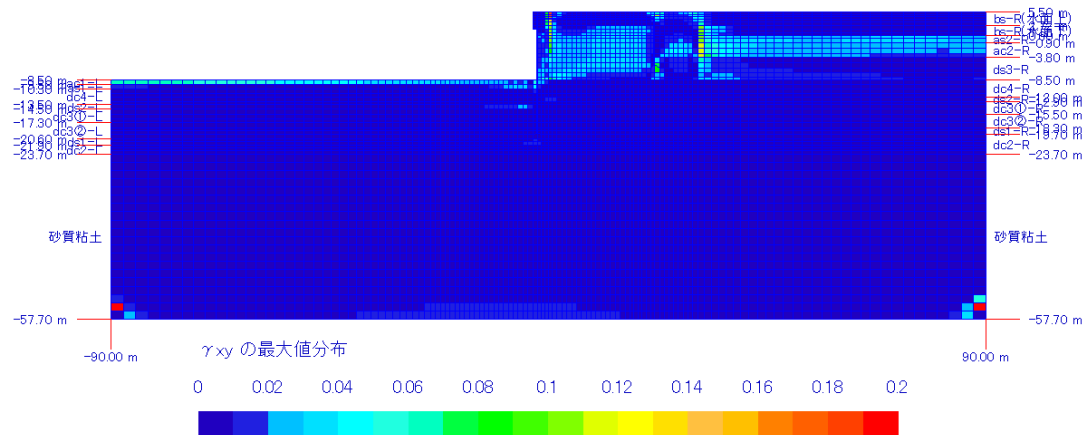


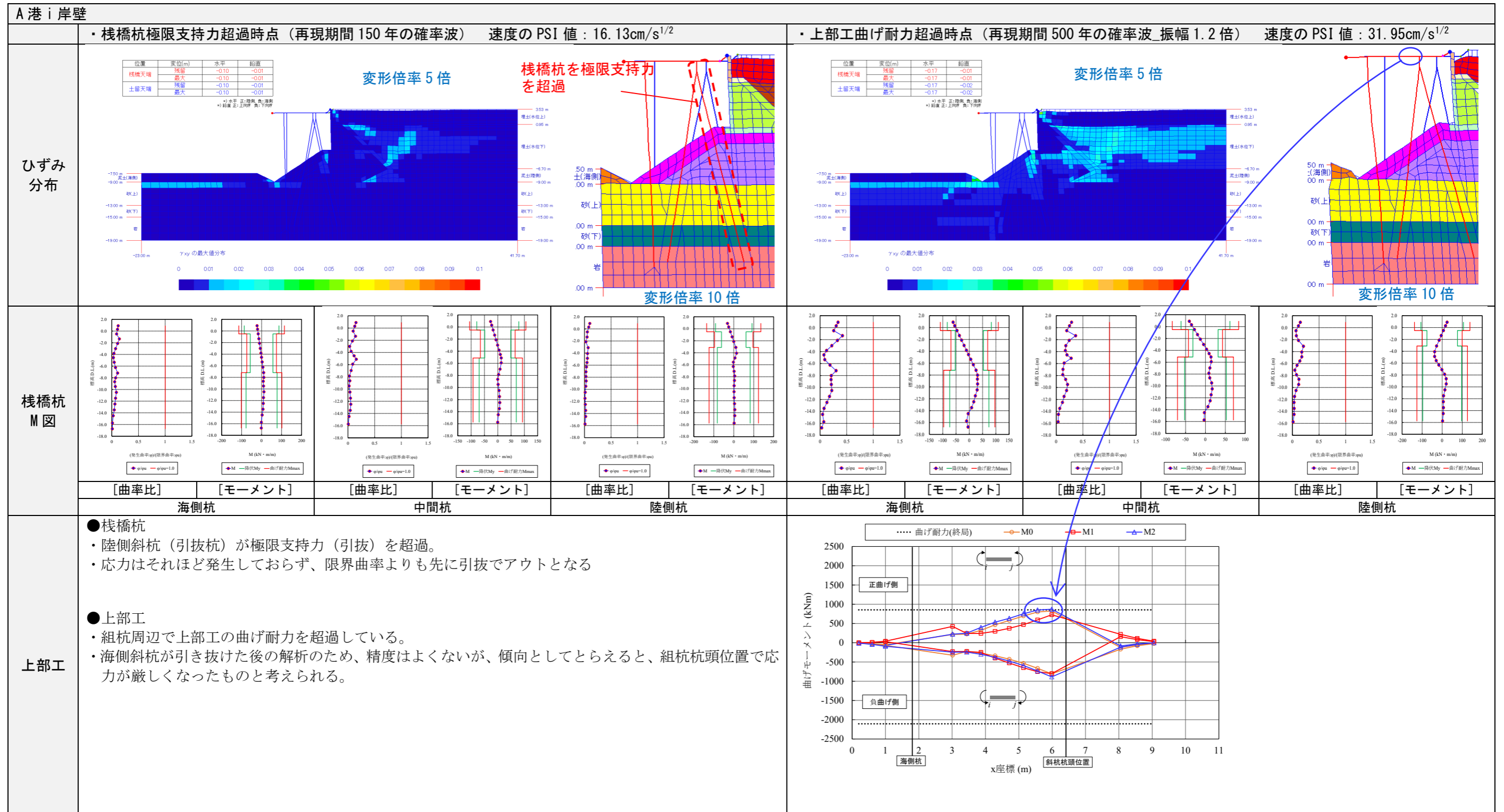
図 5.58 せん断ひずみ γ_{xy} の最大値分布(E 港 h 岸壁 M6.5 の直下型地震振幅 0.7 倍)

3.2. 棧橋式係船岸

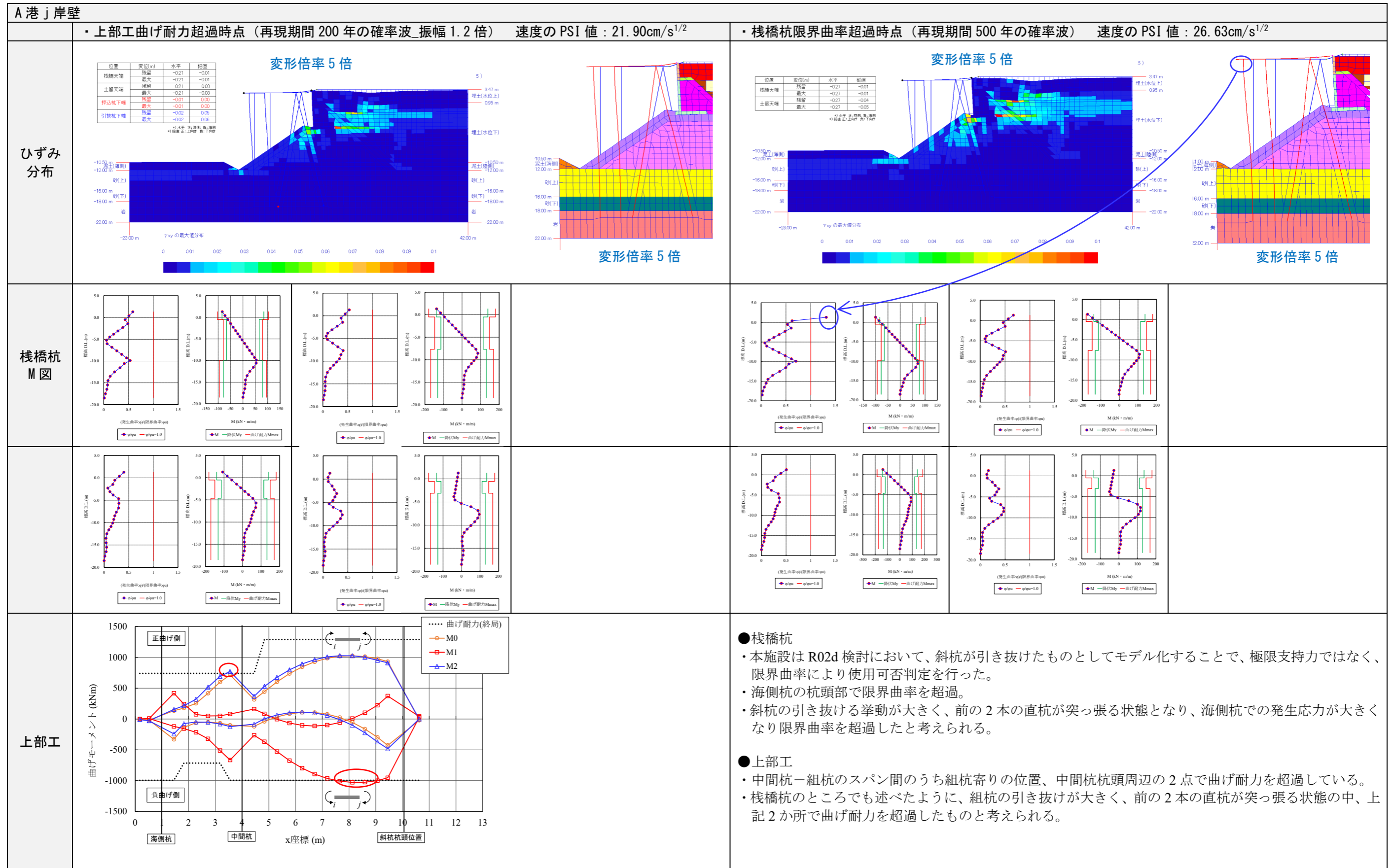
棧橋式係船岸の耐震性能の分析について、各施設の詳細な分析を下表に記載のページに示す。

構造	見出し No	港湾名	施設名	ページ
棧橋	(1)	A 港	i 岸壁	p.5-43
	(2)		j 岸壁	p.5-44
	(3)		k 岸壁	p.5-45
	(4)	F 港	l 岸壁	p.5-46
	(5)		m 岸壁	p.5-47
	(6)	E 港	n 岸壁	p.5-48
	(7)		o 岸壁	p.5-49
	(8)	G 港	p 岸壁	p.5-50
	(9)	H 港	q 岸壁	p.5-51
	(10)	I 港	r 施設	p.5-52

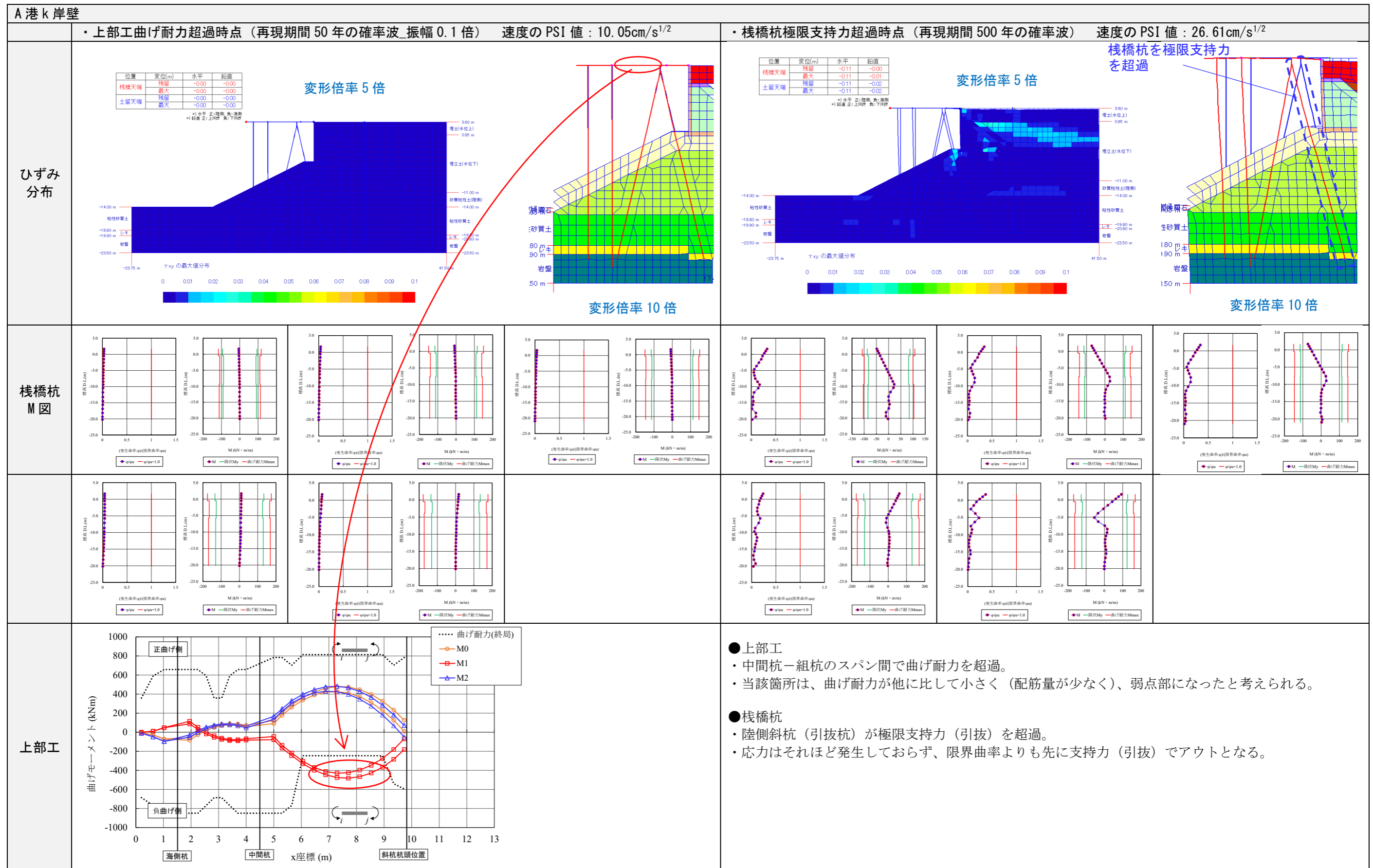
(1) A 港 i 岸壁



(2) A 港 j 岸壁



(3) A 港 k 岸壁

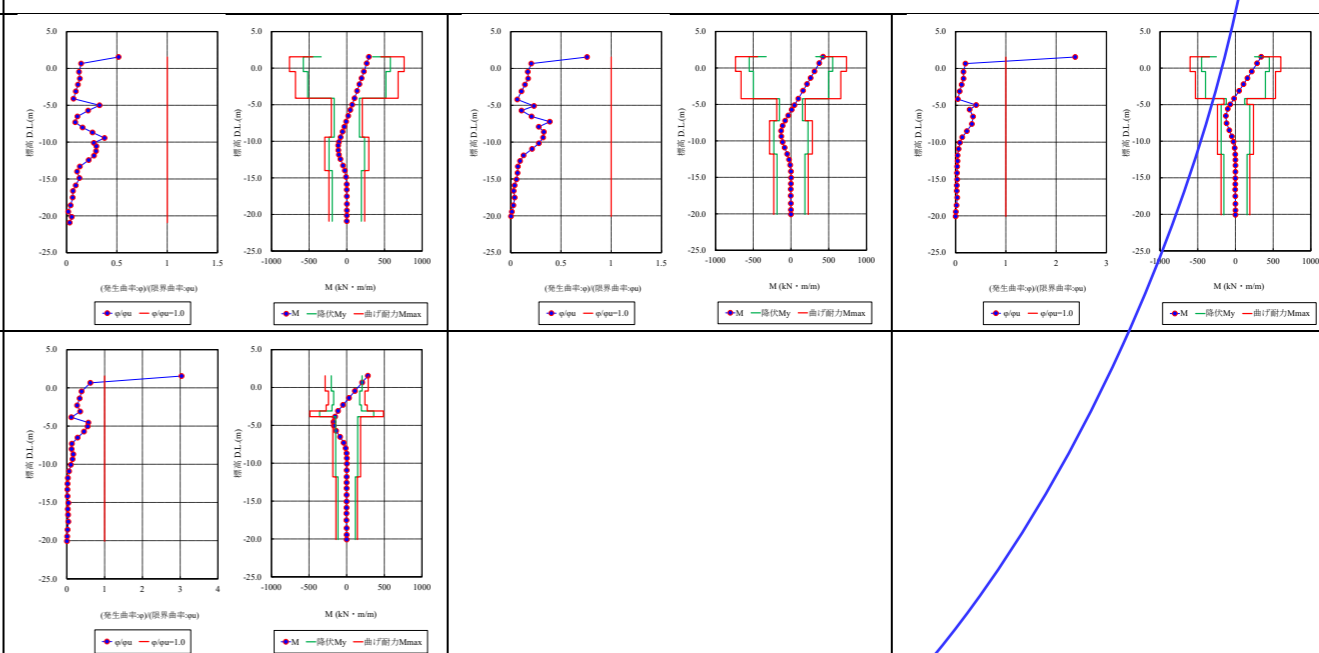
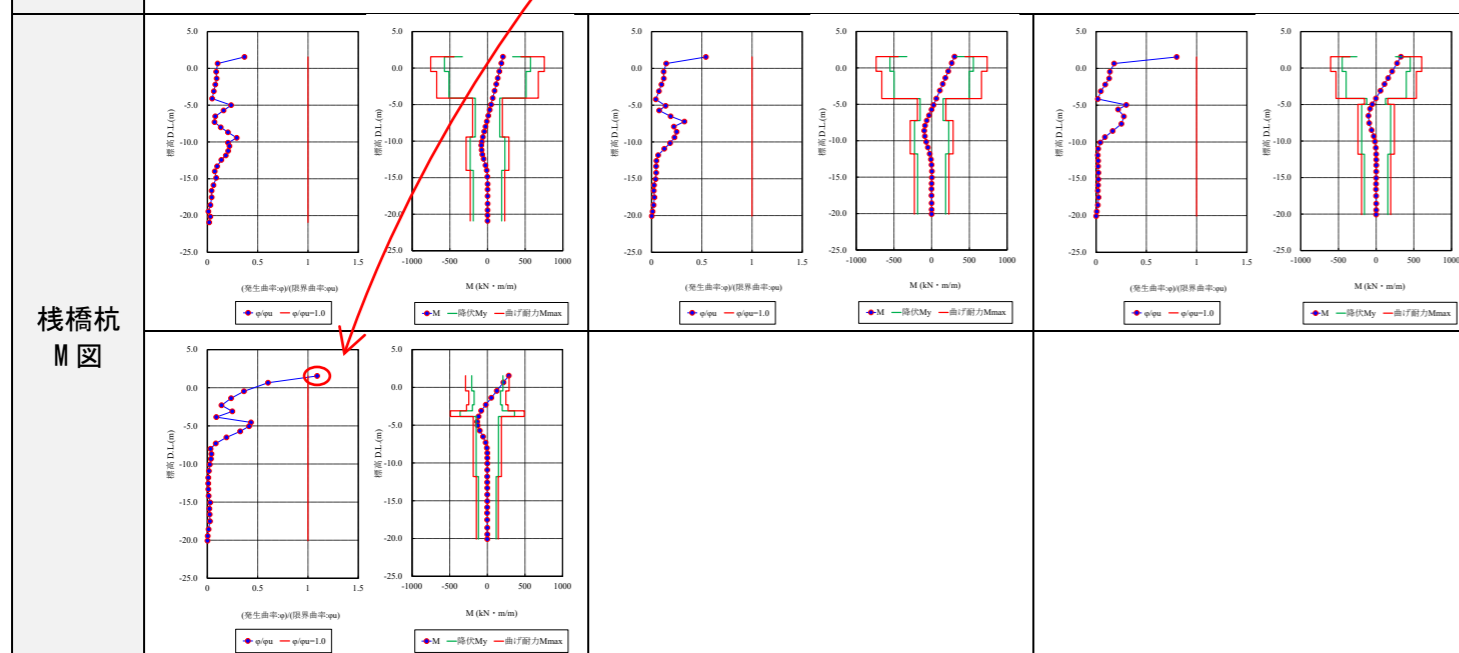
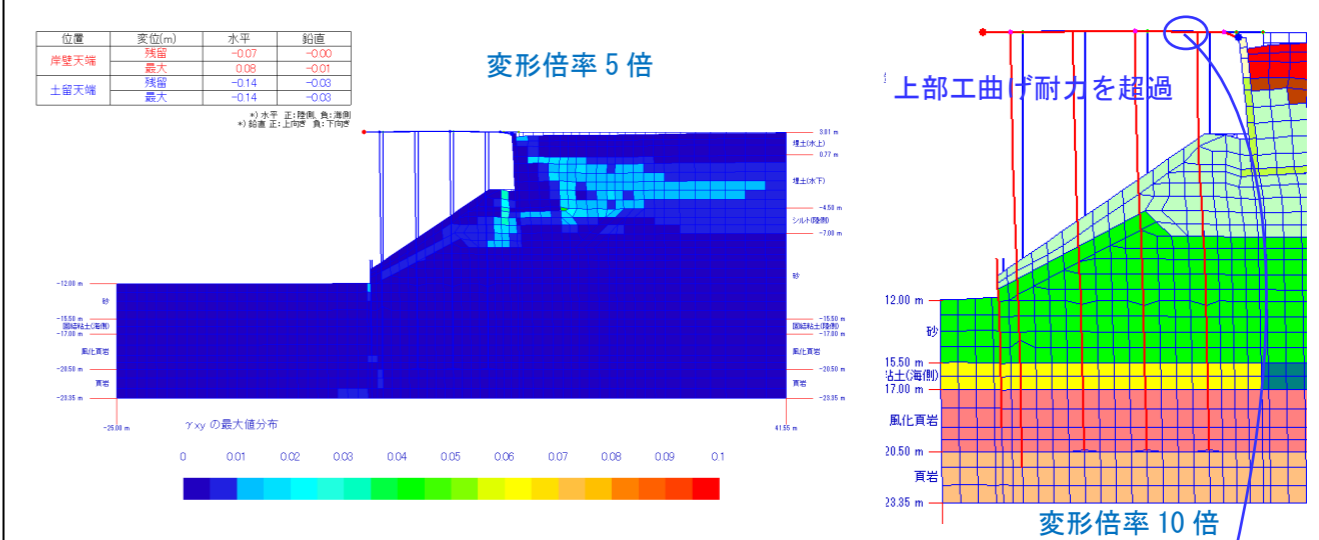
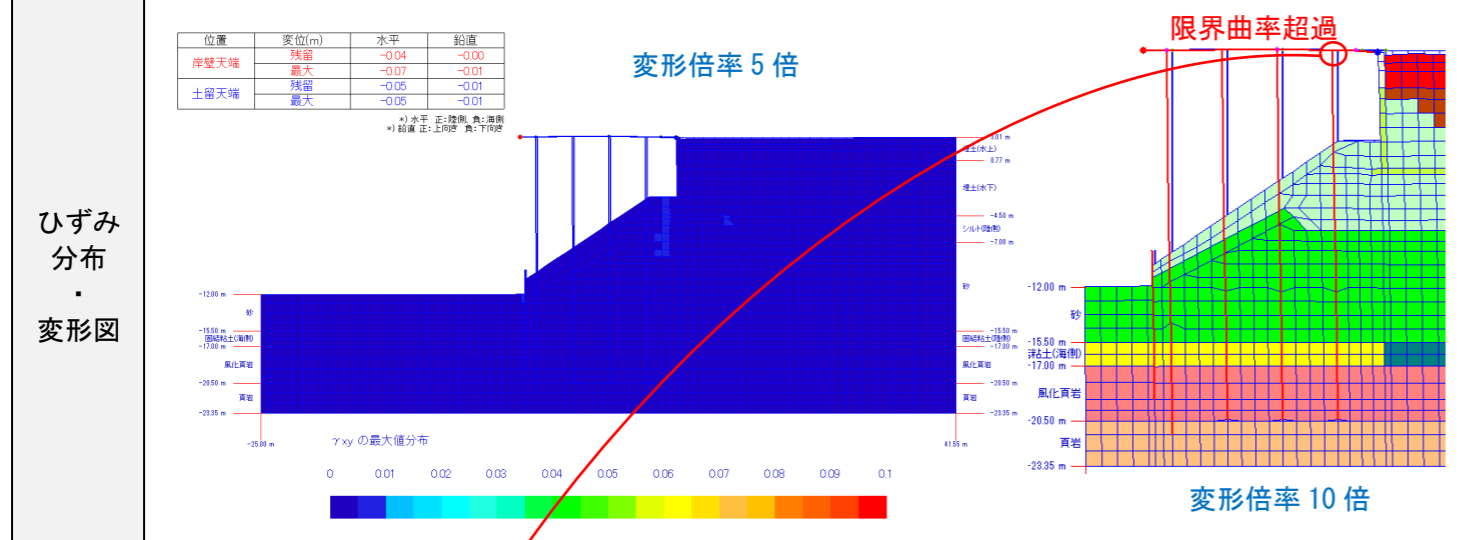


(4) F 港 I 岸壁

F 港 I 岸壁

・ 棧橋杭限界曲率超過時点 (M6.5 の直下型地震_振幅 0.6 倍) 速度の PSI 値 : 28.21cm/s^{1/2}

・ 上部工曲げ耐力超過時点 (M6.5 の直下型地震_振幅 0.8 倍) 速度の PSI 値 : 37.61cm/s^{1/2}



上部工

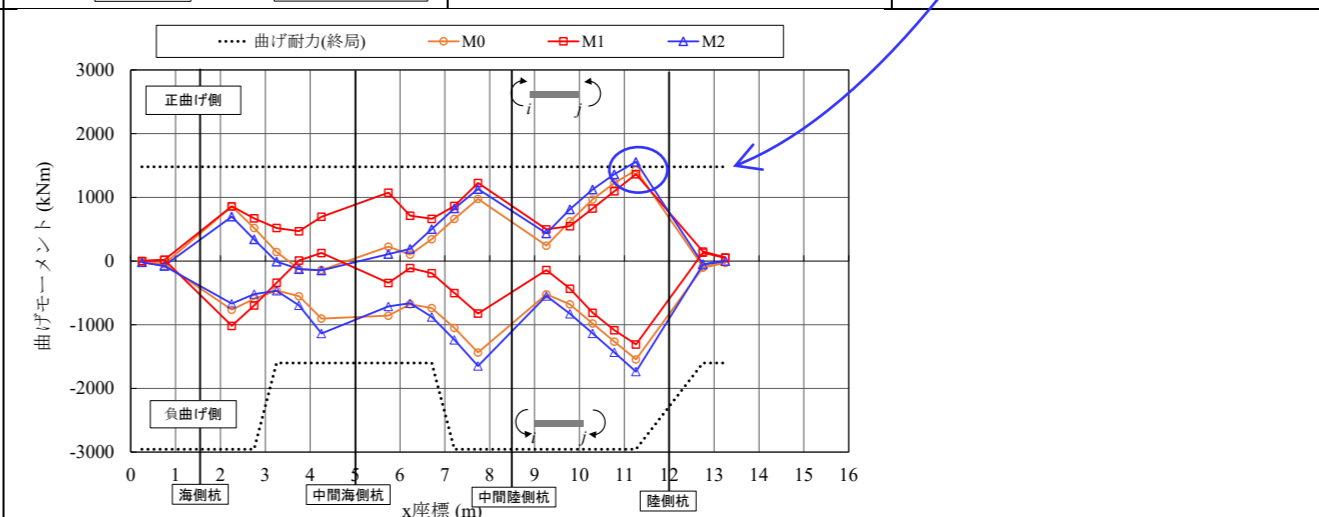
● 棧橋杭

- ・ 陸側杭の杭頭部で限界曲率を超過。
- ・ 本施設は既設構造を改良しており、上部工と鞘管が一体になった構造を既設杭にかぶせている。そのため、杭の上部は二重管構造となっている。上記のモーメント分布からわかるように、杭の上部は降伏モーメント、曲げ耐力 Mmax が大きくなっている。
- ・ ただし、陸側杭の上部では、二重管の内側管（既設杭）が切断撤去されているため、鞘管のみとなり耐力モーメントはそれほど大きくない。
- ・ 全体としては陸側にいくほど発生モーメントは大きくなり、他杭より耐力が小さい海側杭が最初に限界曲率を超過したものと考えられる。

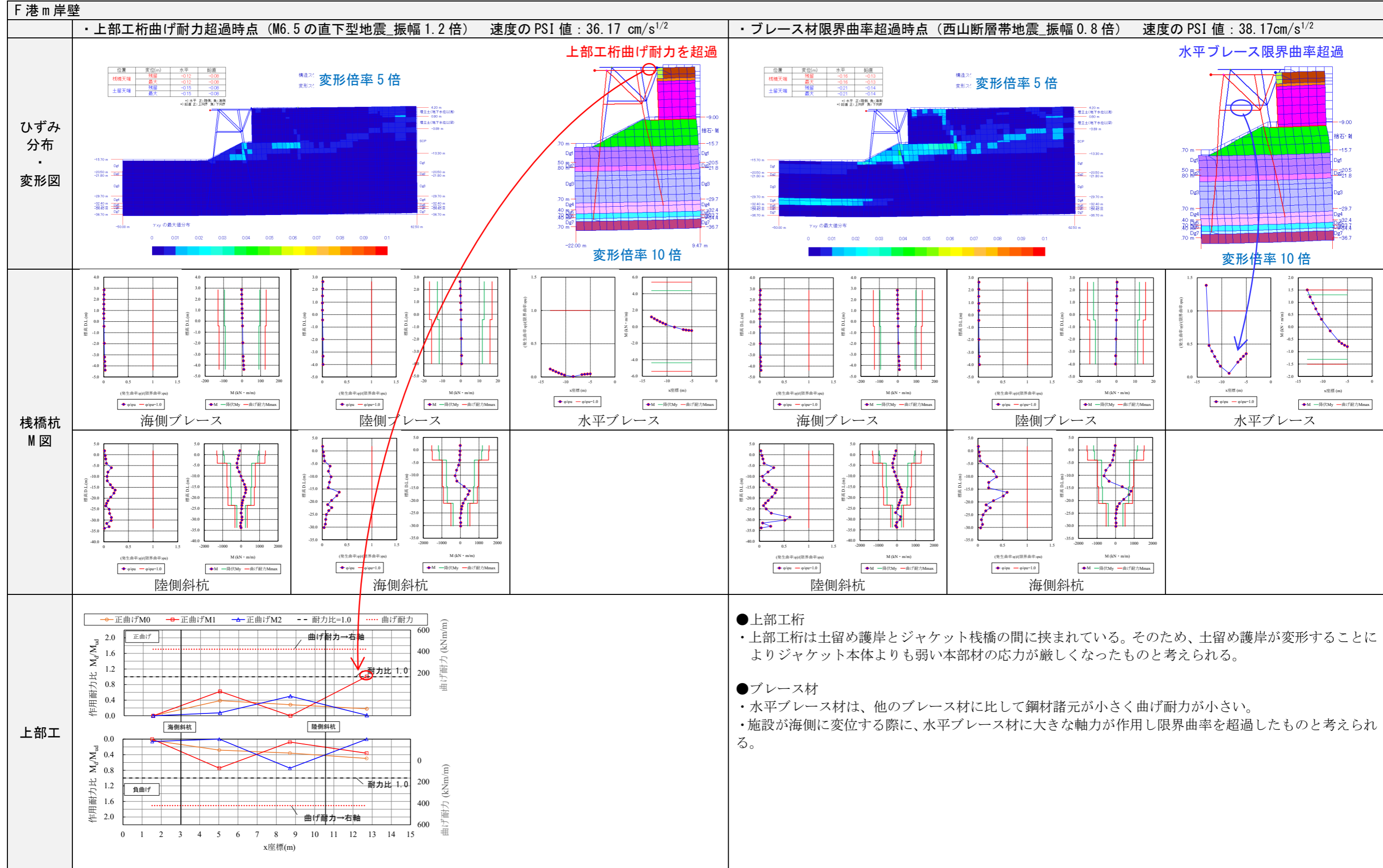
● 上部工

- ・ 陸側杭と中間陸側杭の span 間のうち、陸側杭寄りの位置において正曲げ側で曲げ耐力を超過。
- ・ これは陸側に行くほど杭の応力が厳しくなっているためと考えられる。
- ・ また正曲げ側は、負曲げ側に比して曲げ耐力が小さい。

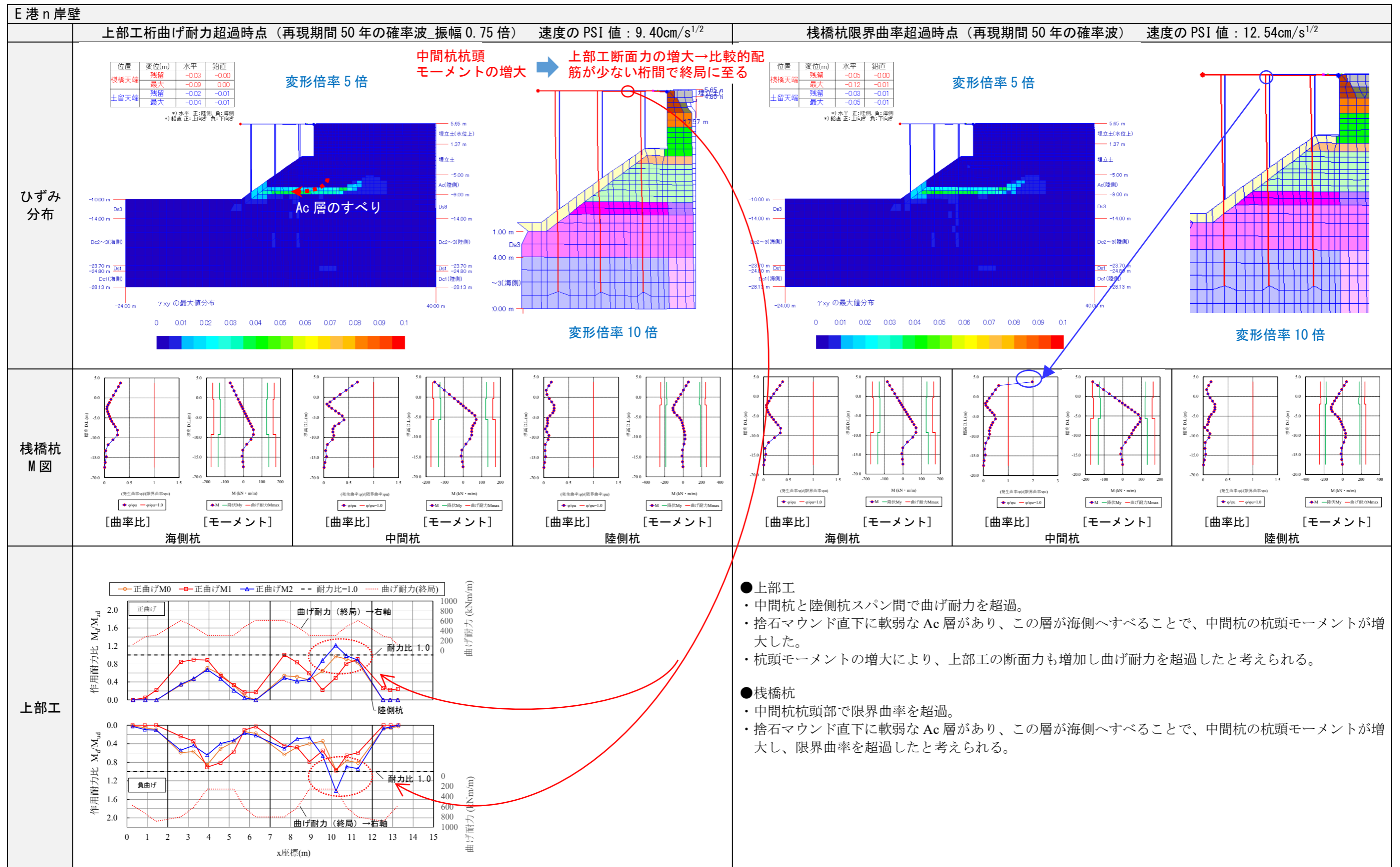
※ 全体として、変形量は大きくないが、これは地盤が比較的良質であることと、二重管部分の断面剛性が大きいと考えられる。



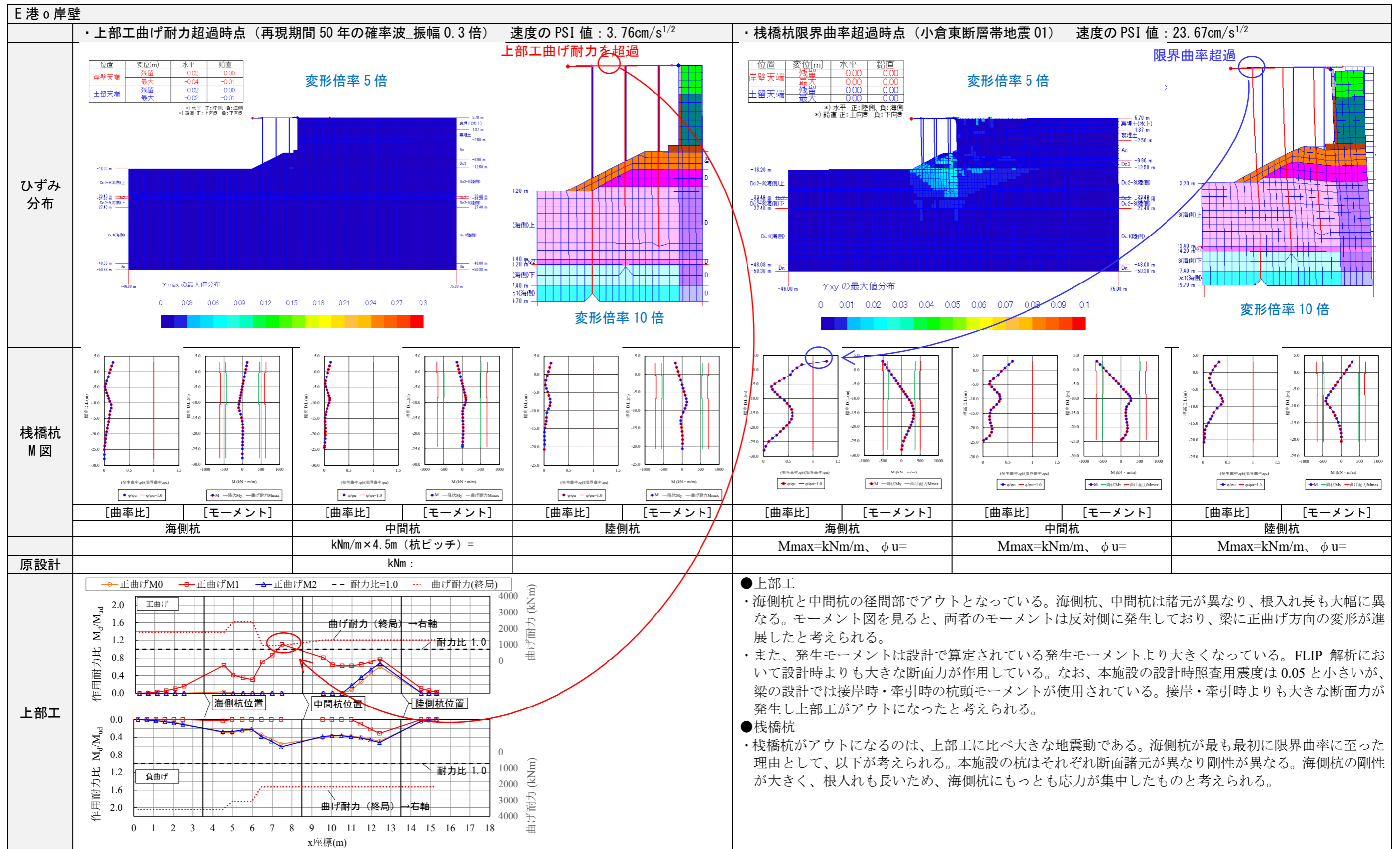
(5) F 港 m 岸壁



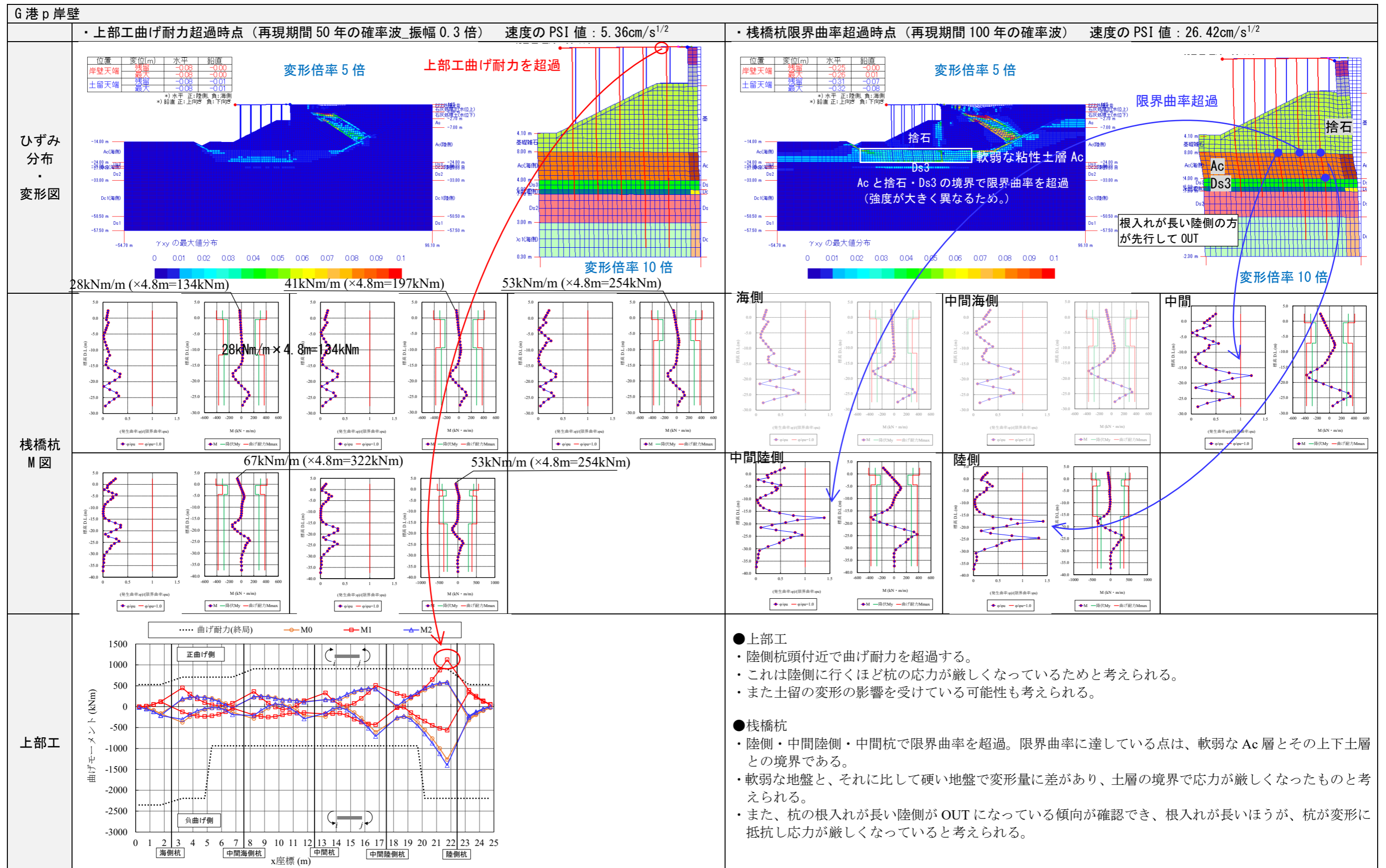
(6) E 港 n 岸壁



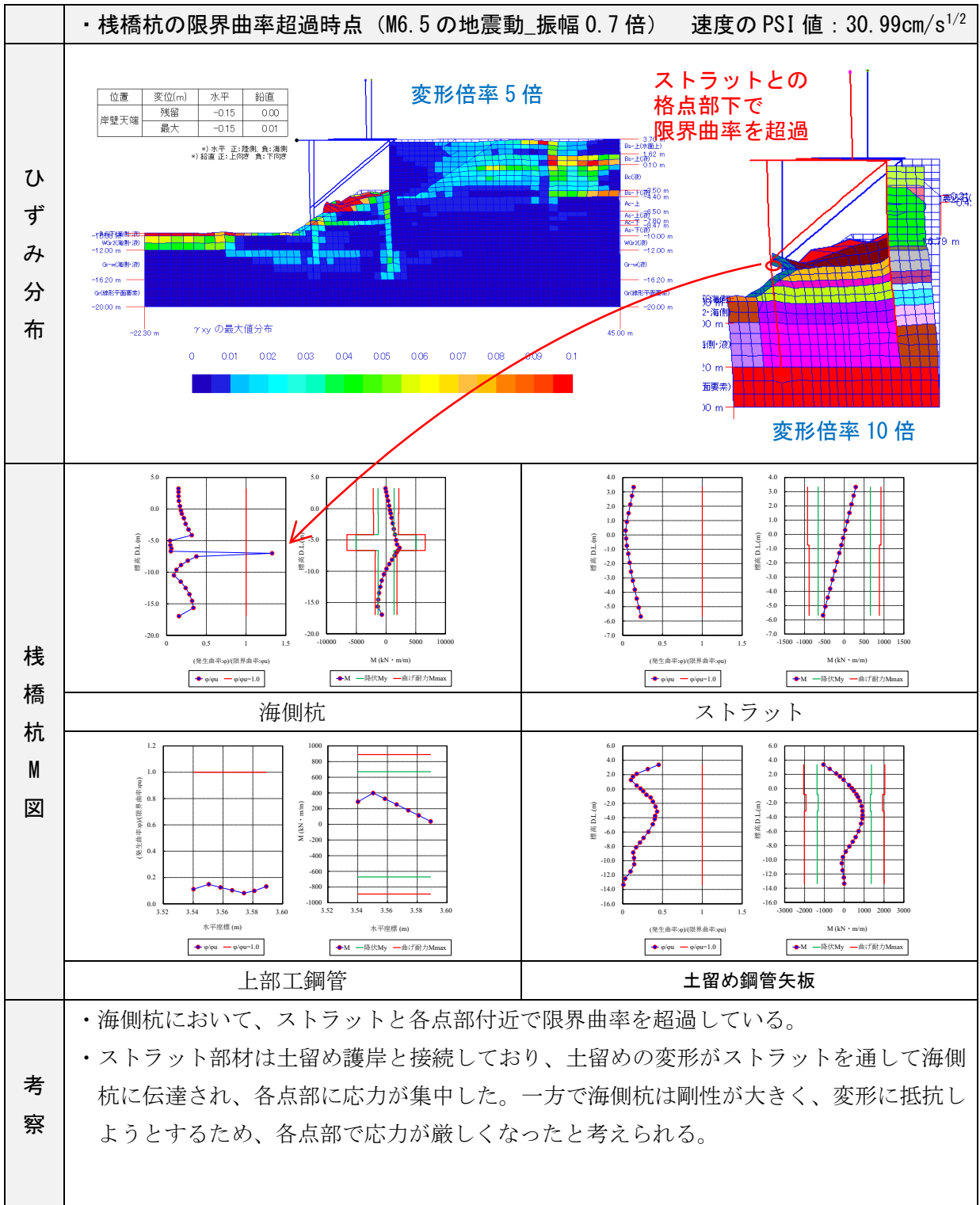
(7) E 港 o 岸壁



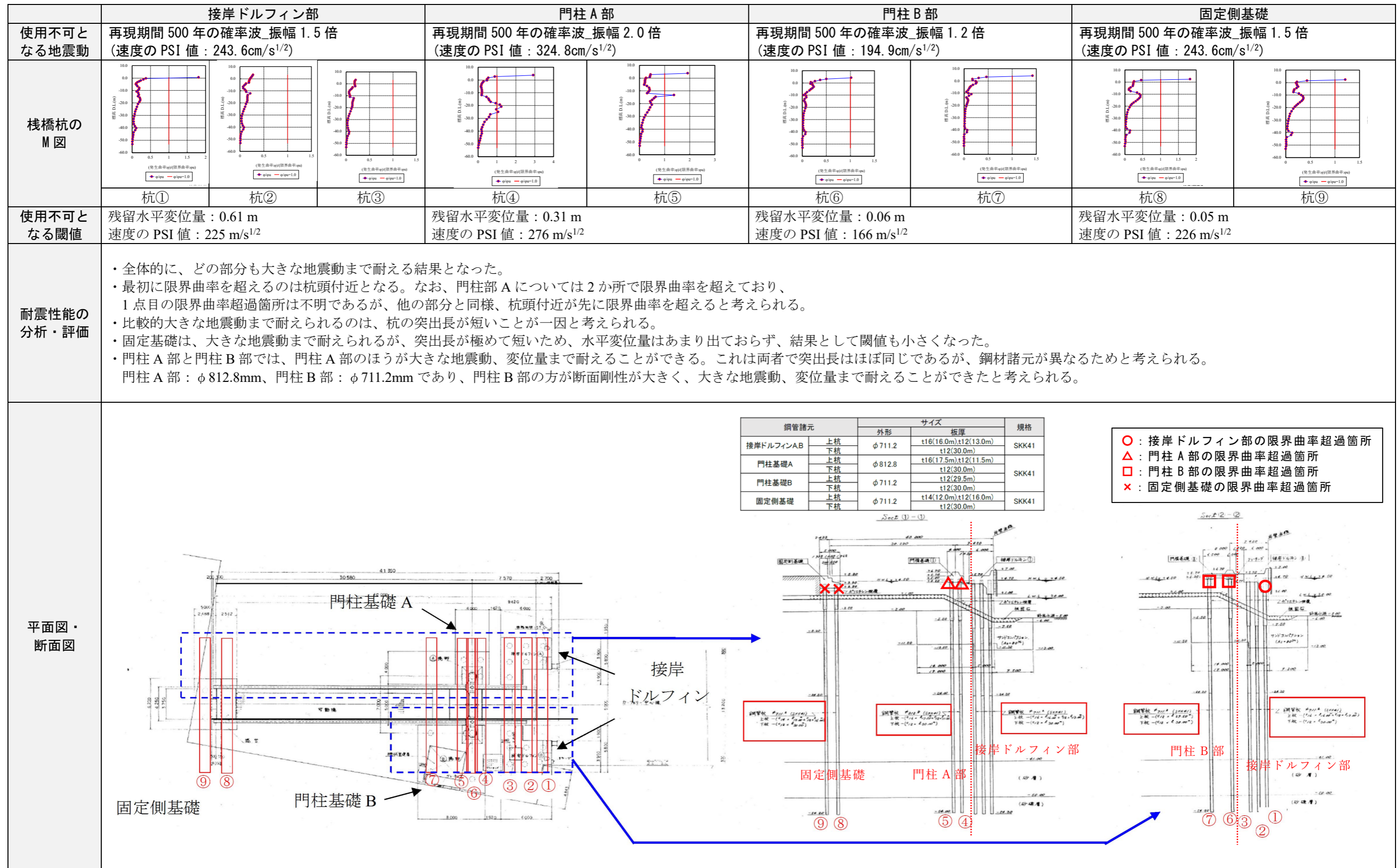
(8) G 港 p 岸壁



(9) H 港 g 岸壁



(10) 港 r 施設

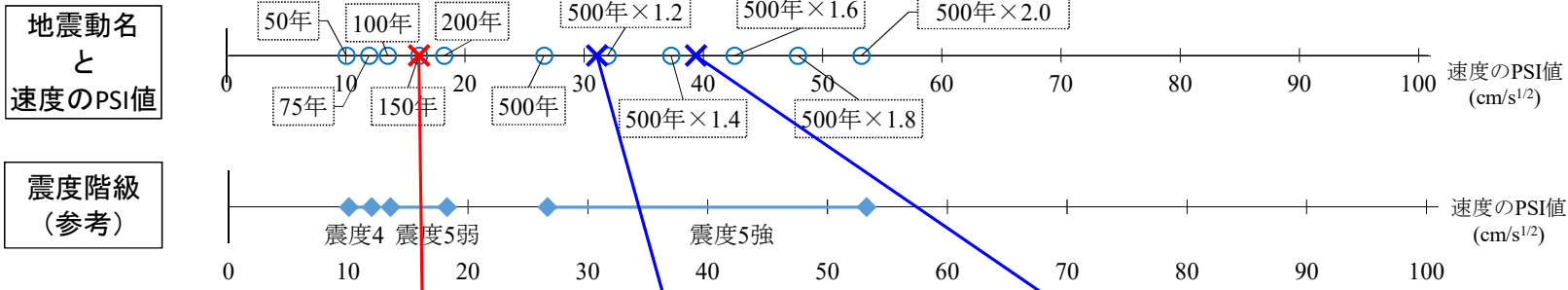
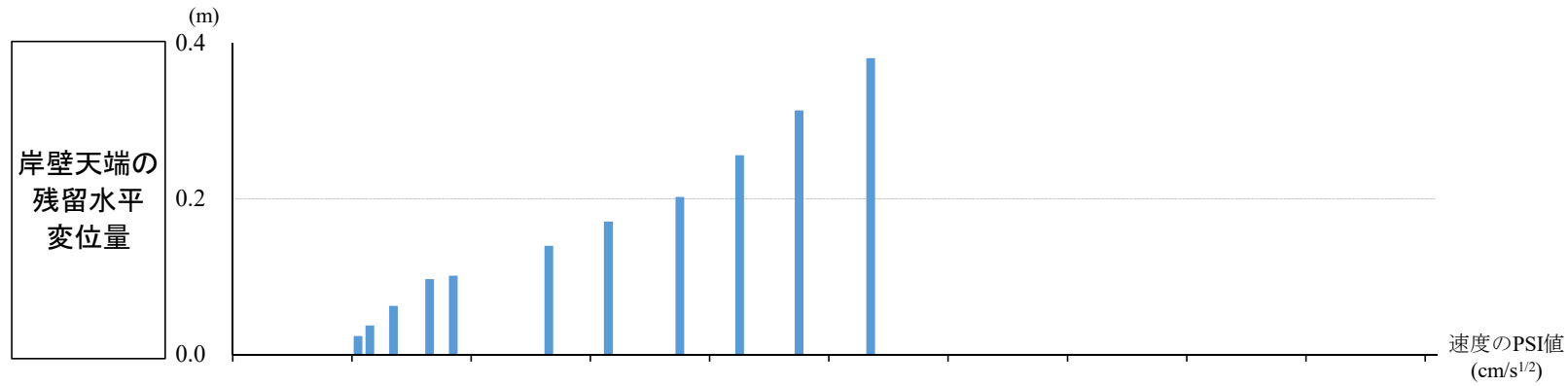


4. 各施設まとめ表と評価線一覧

次頁以降にこれまで FLIP 解析を行った施設のまとめ表と評価線一覧を示す。掲載ページは下表のとおりである。

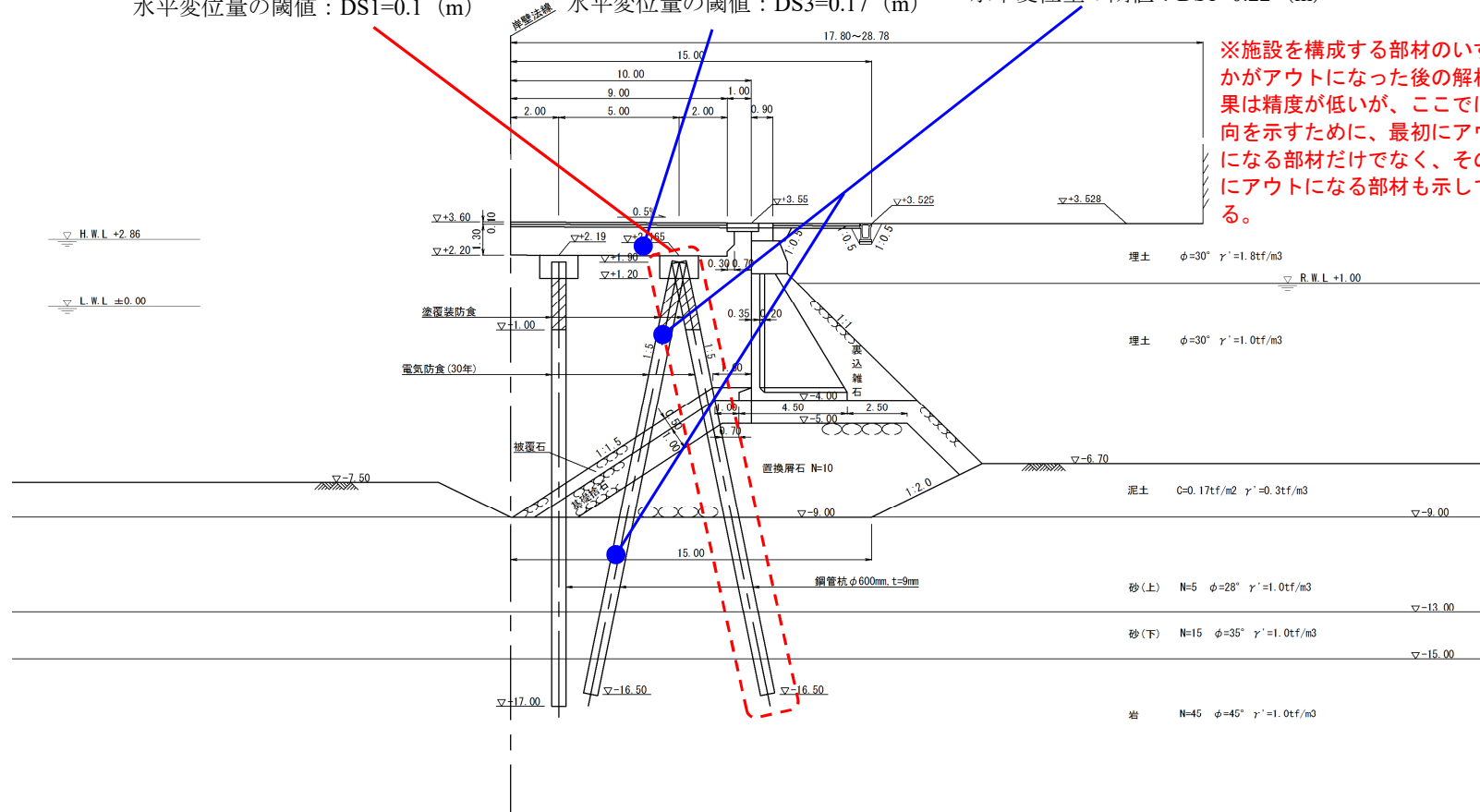
港湾名	施設名	構造	施設管理番号 (診断カルテ)	ページ	備考
A 港	i 岸壁	栈橋	C-1-8	p.5-54	
	j 岸壁		C-1-9	p.5-56	
	k 岸壁		C-1-12	p.5-58	
	a 岸壁 A 工区	矢板	C-1-19	p.5-60	A 工区の結果を 全延長に適用
	a 岸壁 D 工区			p.5-62	
B 港	c 岸壁	矢板	C-1-28P	p.5-64	
	b 岸壁 A 区間		C-1-27P	p.5-66	A 区間に適用
	b 岸壁 C 区間			p.5-68	B～C 区間に適用
F 港	l 岸壁	栈橋	C-1-2-42～43	p.5-70	
E 港	n 岸壁		C-1-1	p.5-72	
	o 岸壁	C-1-16	p.5-74		
D 港	f 岸壁	矢板	C-1-6	p.5-76	
	g 岸壁※SCP 工区		C-1-8	p.5-78	
	e 岸壁		C-1-11	p.5-80	
C 港	d 岸壁 I 工区	矢板	C-1-42	p.5-82	I～III 工区に適用
	d 岸壁 IV 工区			p.5-84	IV 工区に適用
G 港	p 岸壁	栈橋	C-1-12	p.5-86	
F 港	m 岸壁		C-1-7-75	p.5-88	
H 港	q 岸壁		C-4-1	p.5-90	
E 港	h 岸壁	矢板	— ※フェーズⅢ期	p.5-92	
I 港	r	栈橋	— ※-7.5m 未満	p.5-94	

●施設名称：A港i岸壁 ●被災形態：最初に栈橋杭／極限支持力(引抜)を超過
 ●構造形式：栈橋式(組杭式)



栈橋杭／極限支持力を超過 上部工／曲げ耐力を超過 栈橋杭／限界曲率を超過

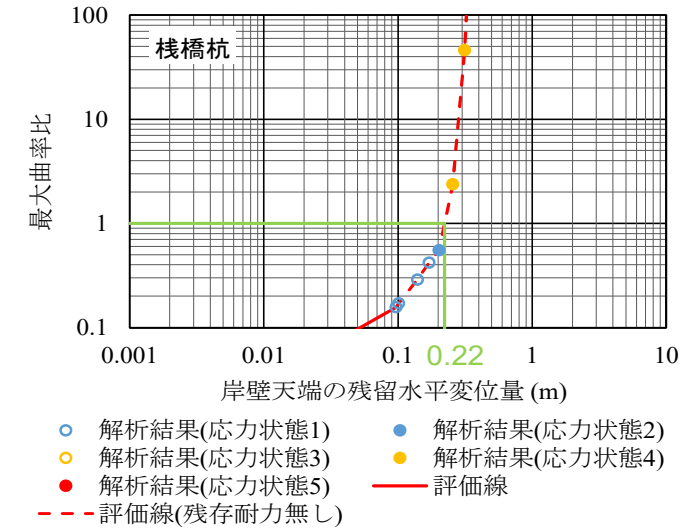
速度のPSI値の閾値：PSI1=16 (cm/s^{1/2}) 速度のPSI値の閾値：PSI3=31 (cm/s^{1/2}) 速度のPSI値の閾値：PSI1=39 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS1=0.1 (m) 水平変位量の閾値：DS3=0.17 (m) 水平変位量の閾値：DS1=0.22 (m)



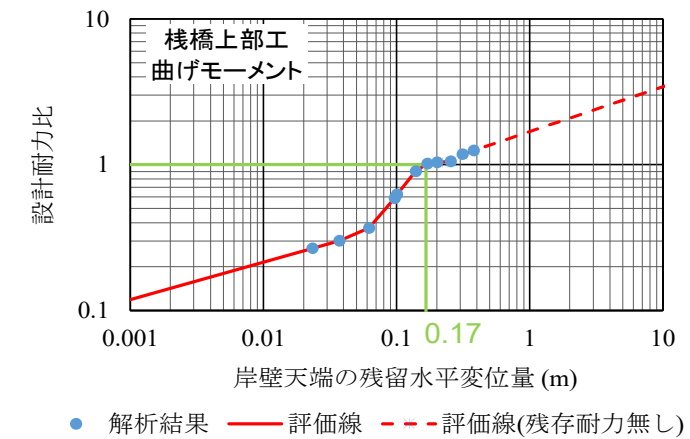
※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

岸壁天端の残留水平変位量の閾値

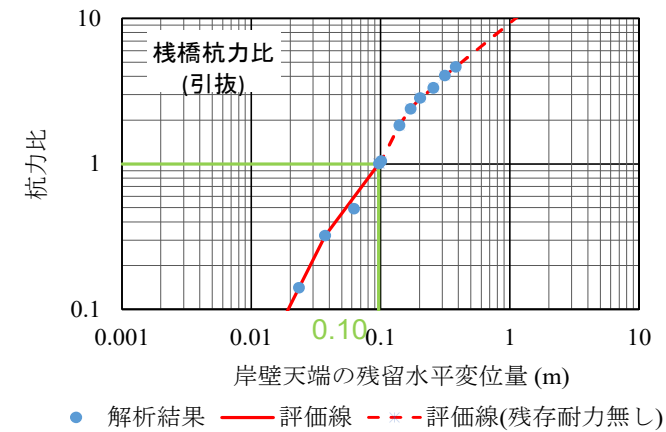
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



■上部工(曲げ耐力)の閾値



■栈橋杭(支持力_引抜)の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

■A港i岸壁

波形名	速度PSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	残留水平変位(m)		地震中の状態						船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭の力比		上部工 設計耐力比		接岸時	牽引時			
						押込杭	引抜杭	曲げ モーメン ト	せん断力					
再現期間50年の確率波	10.05	0.02	0.02	0.06	1	0.24	0.14	0.27	0.14	0.08	0.09	4.34	震度4	
再現期間75年の確率波	11.94	0.04	0.04	0.08	1	0.27	0.32	0.30	0.14	0.10	0.12	4.49	震度4	
再現期間100年の確率波	13.52	0.06	0.06	0.10	1	0.29	0.49	0.37	0.15	0.13	0.21	4.60	震度5弱	
再現期間150年の確率波	16.13	0.10	0.10	0.16	1	0.37	1.00	0.59	0.18	0.20	0.32	4.77	震度5弱	「使用不可」となる。
再現期間200年の確率波	18.25	0.10	0.10	0.17	1	0.37	1.05	0.63	0.19	0.21	0.33	4.88	震度5弱	
再現期間500年の確率波	26.63	0.14	0.14	0.29	1	0.51	1.84	0.90	0.24	0.35	0.42	5.00	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.2	31.95	0.17	0.17	0.42	1	0.60	2.39	1.02	0.29	0.46	0.57	5.08	震度5強	「上部工の下面調査が必要」となる。
再現期間500年の確率波×1.4	37.28	0.20	0.20	0.55	2	0.67	2.83	1.04	0.30	0.59	0.72	5.06	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.6	42.60	0.26	0.26	2.37	4	0.82	3.33	1.05	0.33	1.16	1.33	5.12	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.8	47.93	0.31	0.32	45.98	4	0.98	4.04	1.18	0.34	1.22	1.33	5.10	震度5強	
再現期間500年の確率波×2.0	53.25	0.38	0.39	6053.46	5	1.08	4.64	1.25	0.34	1.19	1.32	5.11	震度5強	

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比、上部工設計耐力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●使用可否の閾値まとめ

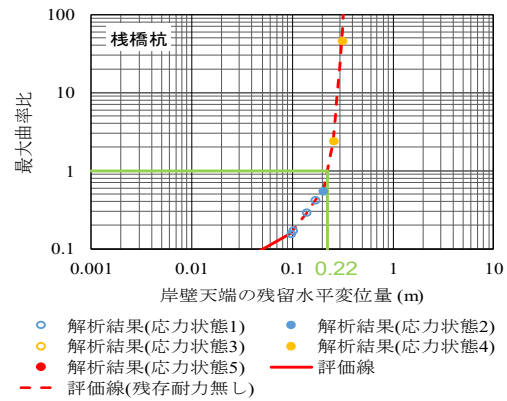
岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	使用可否	上部工下面 の目視調査
0~0.1	0~16	暫定使用可(長期)	不要
0.1~0.17	16~31	使用不可	不要
0.17~	31~	使用不可	必要

震度 階級	使用可否	上部工下面 の目視調査
4以下	暫定使用可(長期)	不要
5弱	使用不可	不要
5強	使用不可	必要
6弱	使用不可	必要
6強	使用不可	必要
7以上	使用不可	必要

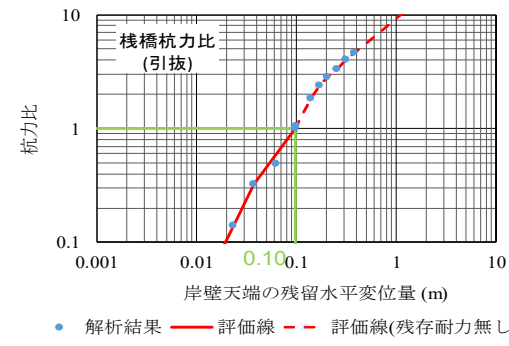
※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可と上部工下面調査のみ考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

●水平変位量の評価線

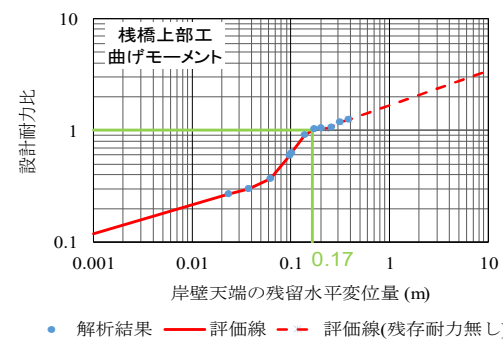
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



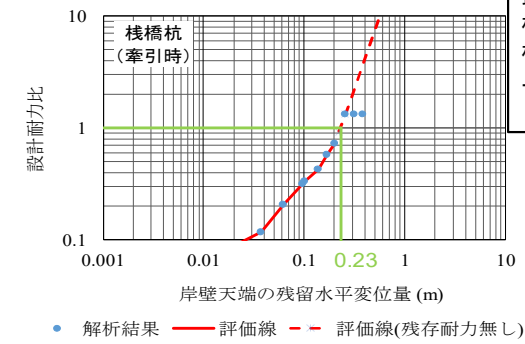
■栈橋杭(支持力_引抜)の閾値



■上部工(曲げ耐力)の閾値



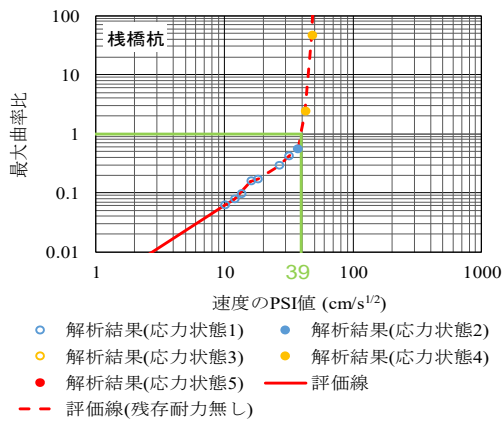
■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値



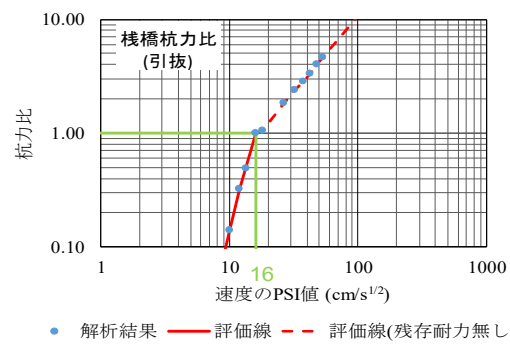
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

●速度のPSI値の評価線

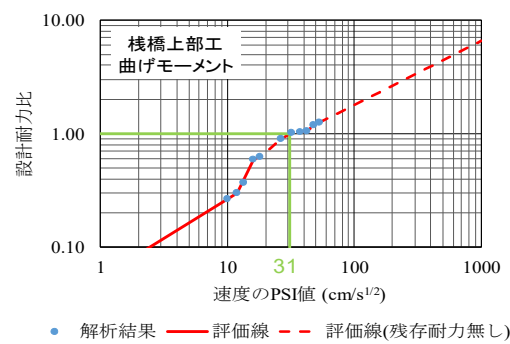
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



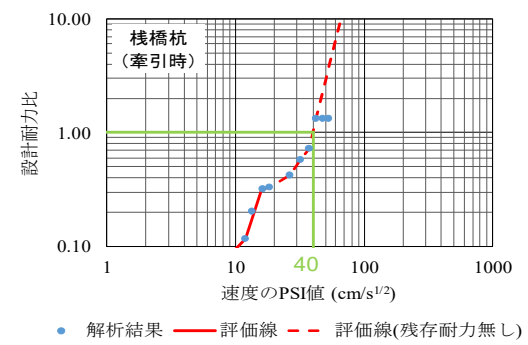
■栈橋杭(支持力_引抜)の閾値



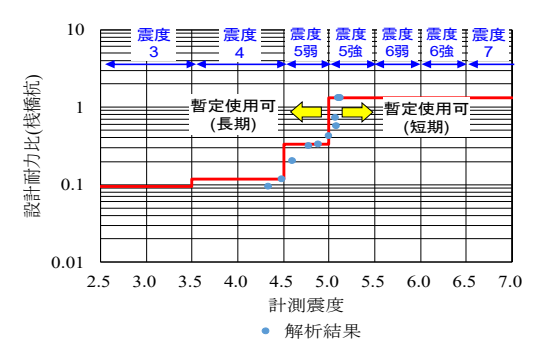
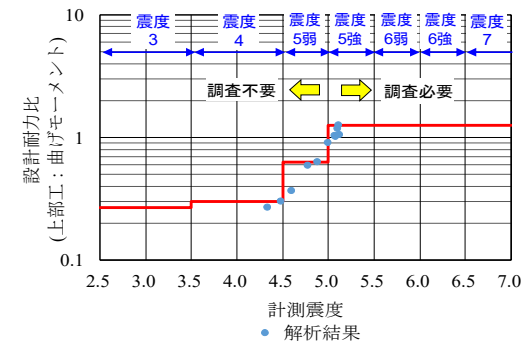
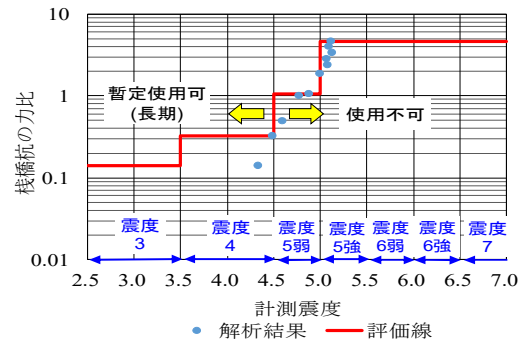
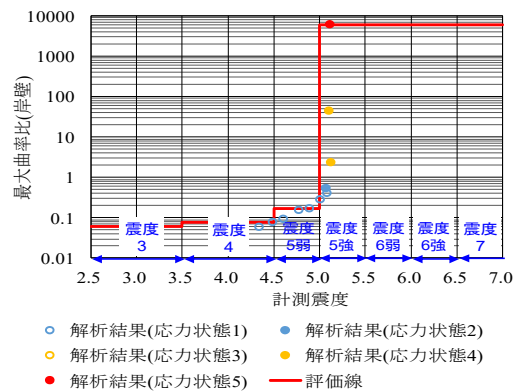
■上部工(曲げ耐力)の閾値



■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値



●計測震度の評価線



■A港]岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	残留水平変位(m)		地震中の状態						船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭の力比		上部工 設計耐力比		接岸時	牽引時			
						押込杭	引抜杭	曲げ モーメント	せん断力					
再現期間50年の確率波	10.05	0.03	0.03	0.11	1	0.20	0.00	0.66	0.18	0.24	0.34	4.29	震度4	
再現期間75年の確率波	11.94	0.04	0.04	0.15	1	0.21	0.00	0.71	0.18	0.29	0.38	4.45	震度4	
再現期間100年の確率波	13.52	0.06	0.06	0.18	1	0.23	0.00	0.76	0.18	0.36	0.45	4.56	震度5弱	
再現期間150年の確率波	16.13	0.14	0.14	0.34	1	0.28	0.00	0.89	0.24	0.70	0.83	4.72	震度5弱	
再現期間200年の確率波	18.25	0.16	0.16	0.42	1	0.31	0.00	0.94	0.27	0.84	0.98	4.83	震度5弱	
再現期間200年の確率波 振幅1.2倍	21.90	0.21	0.21	0.59	1	0.35	0.00	1.04	0.32	0.88	1.20	4.92	震度5弱	「上部工の下面調査が必要」となる。
再現期間500年の確率波	26.63	0.27	0.27	1.31	3	0.38	0.00	1.17	0.35	1.29	1.29	4.97	震度5弱	
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	39.94	0.49	0.49	6.20	4	0.41	0.06	1.27	0.39	1.25	1.29	5.07	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.6倍	42.60	0.54	0.54	7.81	4	0.42	0.06	1.27	0.40	1.16	1.29	5.09	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.8倍	47.93	0.65	0.65	11.17	4	0.44	0.05	1.27	0.42	1.15	1.29	5.05	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅2.0倍	53.25	0.78	0.78	13.94	4	0.43	0.06	1.28	0.42	1.23	1.29	5.01	震度5強	

※1.0を超えた曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比、上部工設計耐力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●使用可否の閾値まとめ

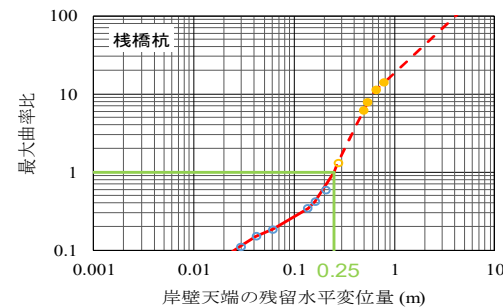
岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否	上部工下面 の目視調査
0~0.17	0~19	暫定使用可(長期)	不要
0.17~0.19	19~20	暫定使用可(短期)	不要
0.19~0.25	20~25	暫定使用可(短期)	必要
0.25~	25~	使用不可	必要

震度 階級	使用可否	上部工下面 の目視調査
4以下	暫定使用可(長期)	不要
5弱	使用不可	必要
5強	使用不可	必要
6弱	使用不可	必要
6強	使用不可	必要
7以上	使用不可	必要

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可と上部工下面調査のみ考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点には技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

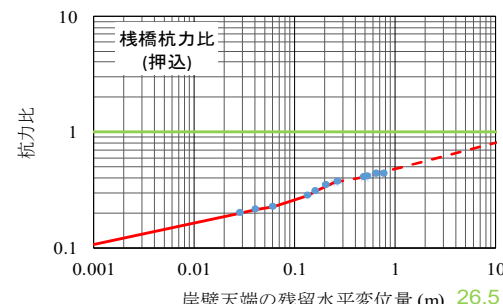
●水平変位量の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



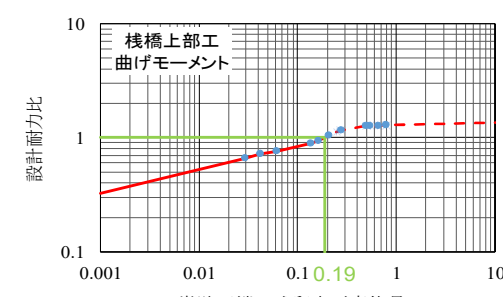
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線
 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



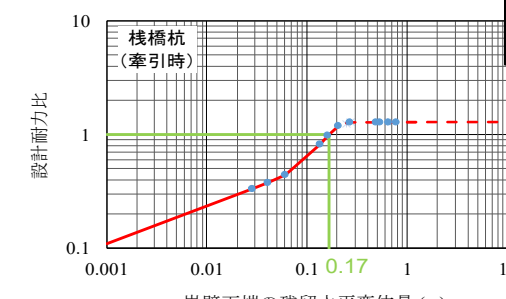
● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工(曲げ耐力)の閾値



● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値

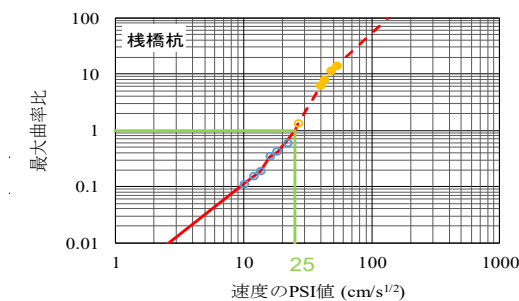


● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

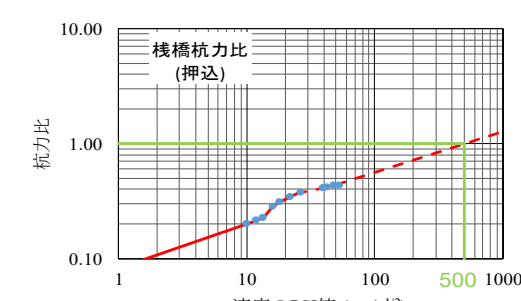
●速度のPSI値の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



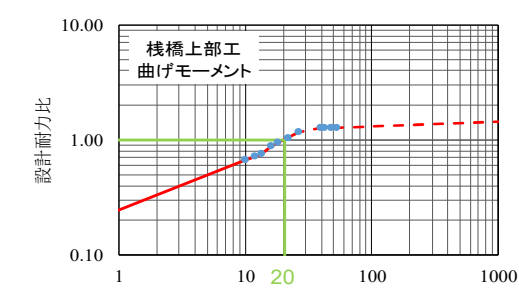
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線
 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



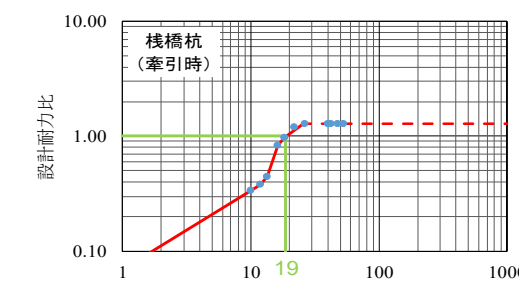
● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工(曲げ耐力)の閾値



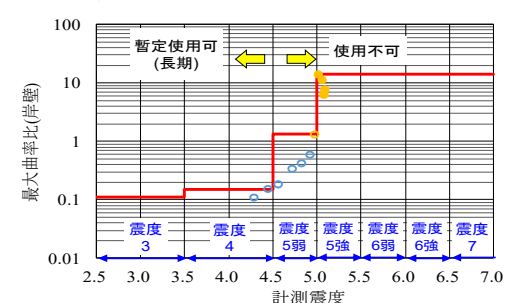
● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値

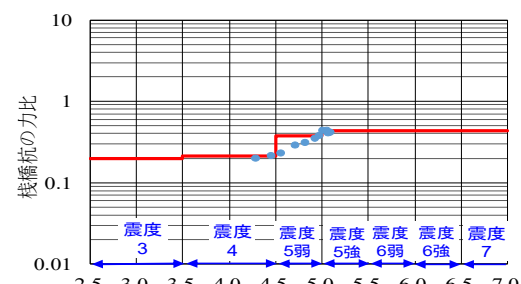


● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

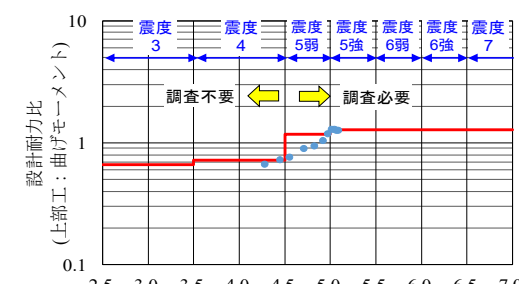
●計測震度の評価線



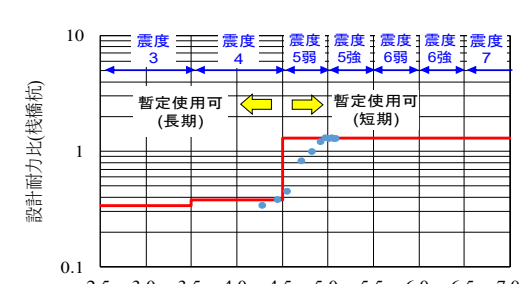
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線



● 解析結果 ● 評価線

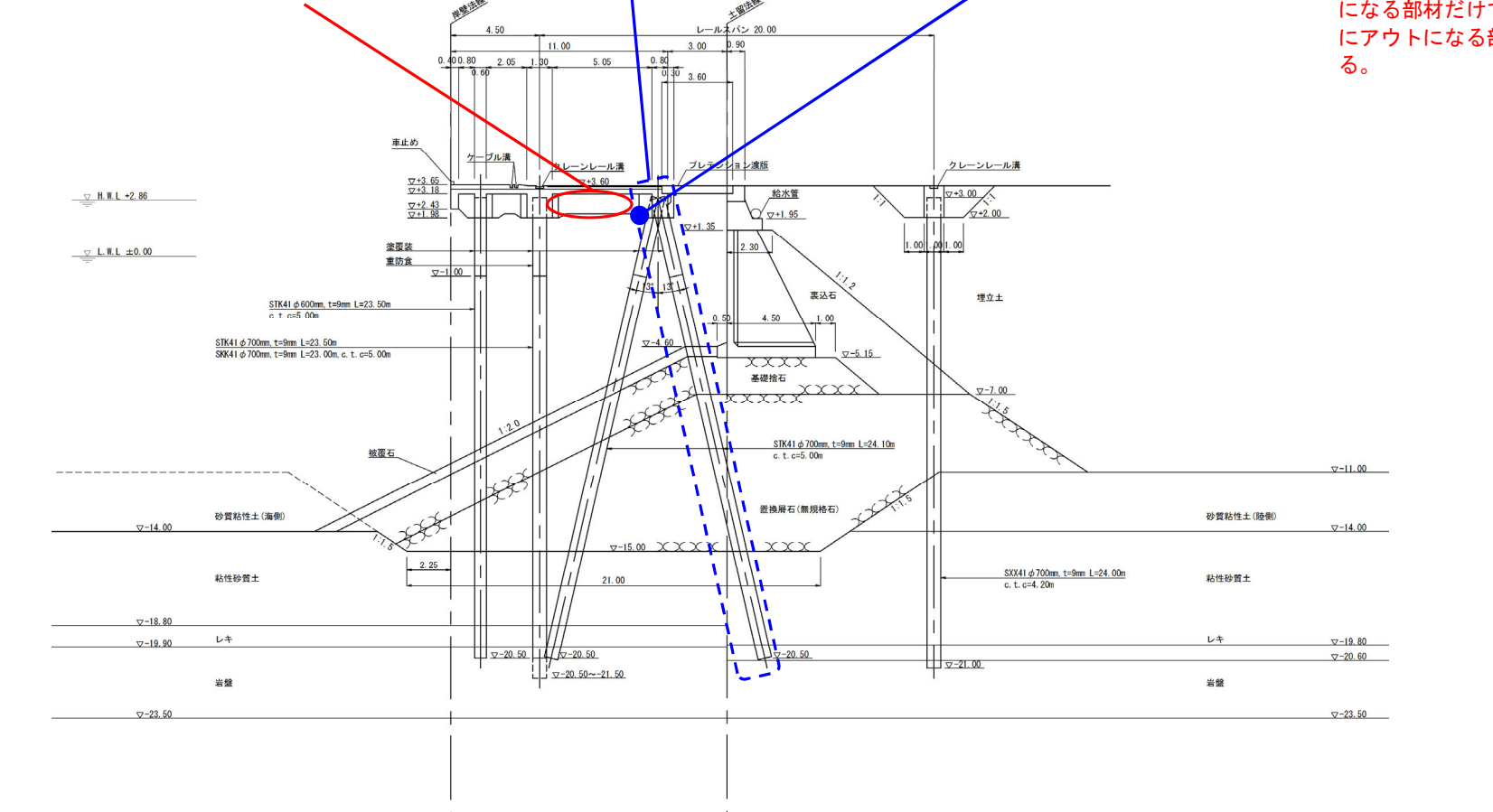
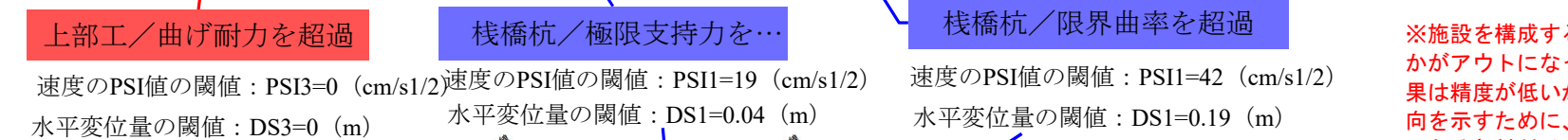
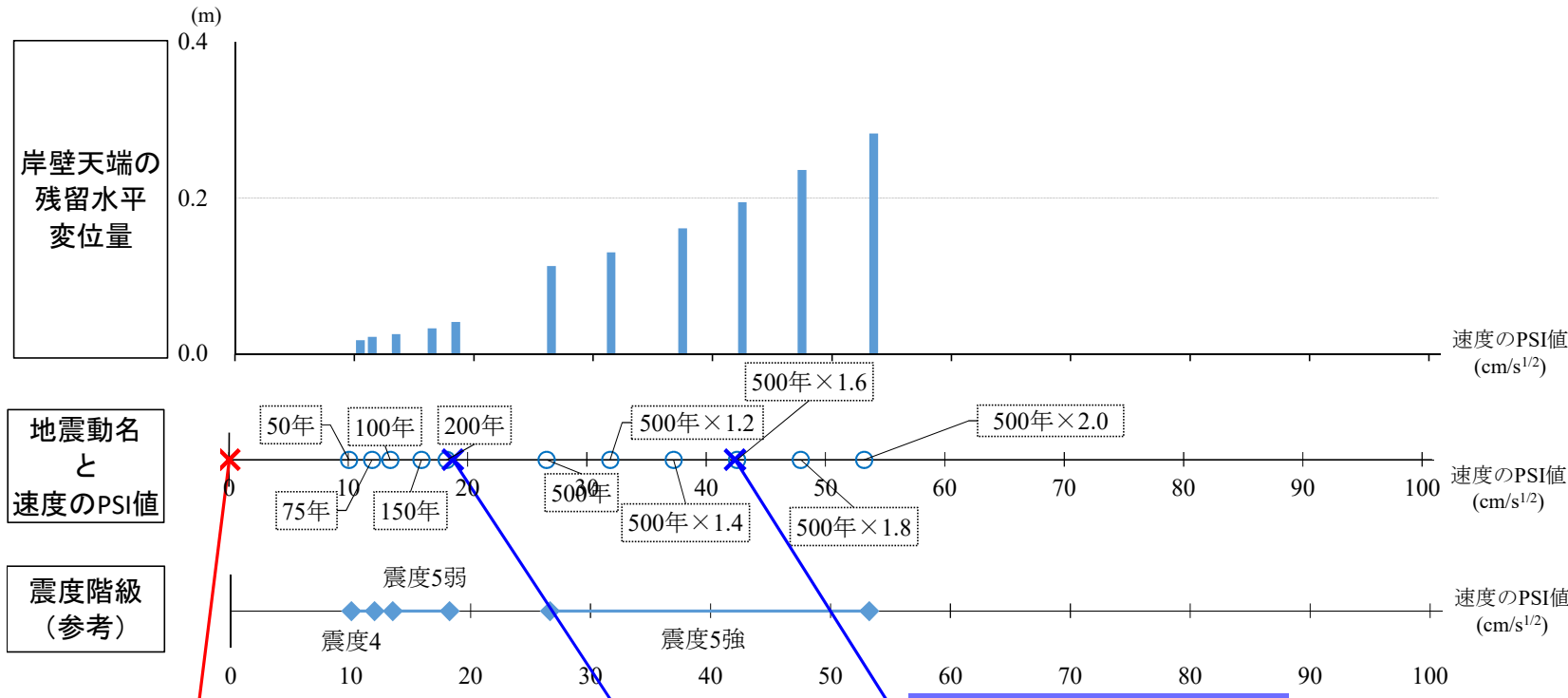


● 解析結果



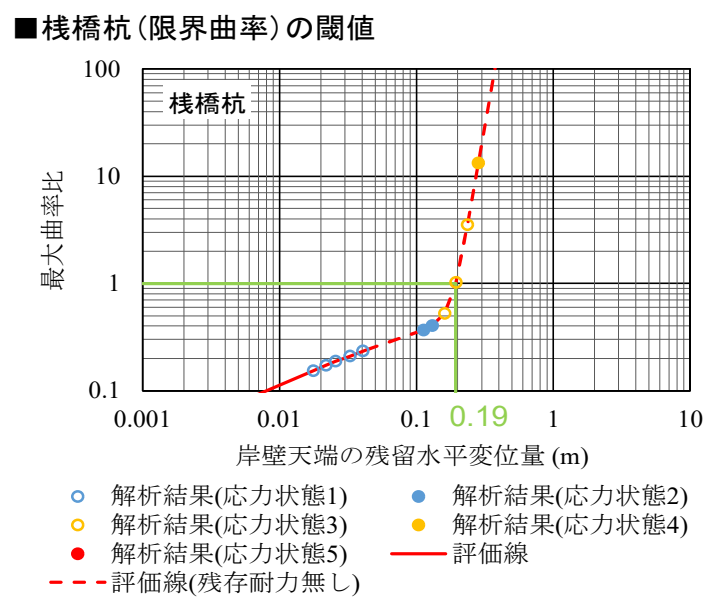
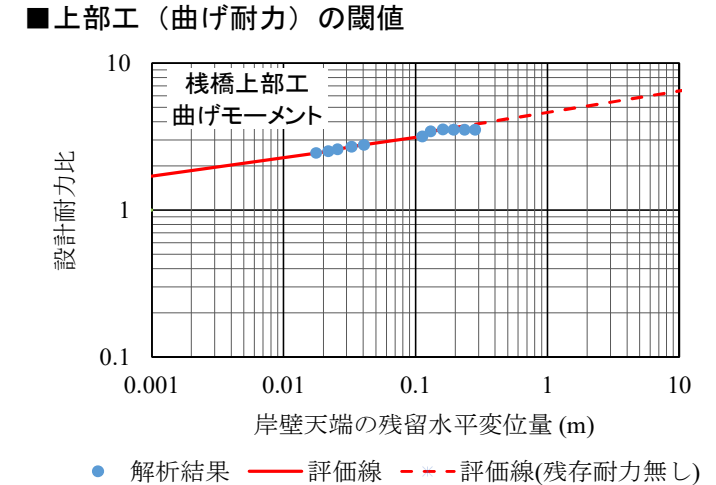
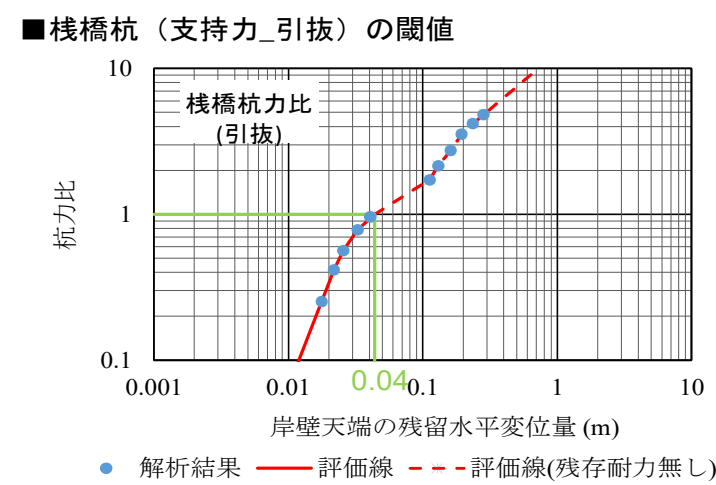
● 解析結果

●施設名称：A港k岸壁 ●被災形態：最初に棧橋杭／極限支持力(引抜)を超過
 ●構造形式：棧橋式(組杭式)



※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いですが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比 = 発生最大曲率 / 限界曲率
 棧橋杭力比 = 発生軸力 / 軸方向(押込or引抜)抵抗力
 上部工の設計耐力比 = 発生モーメント / 曲げ耐力 (曲げ)
 = 発生せん断力 / せん断耐力 (せん断)

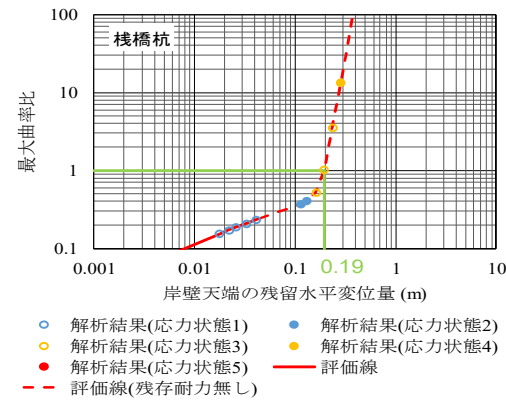
■A港k岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	残留水平変位(m)		地震中の状態					船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐量力)		計測 震度	震度 階級	備考	
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭の力比 押込杭	引抜杭	上部工 設計耐量力 曲げ モーメント	せん断力	接岸時				牽引時
再現期間50年の確率波	10.05	0.02	0.02	0.15	1	0.19	0.25	2.45	0.37	0.22	0.25	4.26	震度4	「上部工の下面調査が必要」となる。
再現期間75年の確率波	11.99	0.02	0.02	0.17	1	0.19	0.42	2.52	0.38	0.23	0.26	4.42	震度4	
再現期間100年の確率波	13.51	0.03	0.03	0.19	1	0.19	0.56	2.59	0.39	0.24	0.27	4.54	震度5弱	
再現期間150年の確率波	16.13	0.03	0.03	0.21	1	0.20	0.78	2.70	0.40	0.26	0.29	4.68	震度5弱	
再現期間200年の確率波	18.25	0.04	0.04	0.23	1	0.22	0.96	2.78	0.42	0.27	0.32	4.78	震度5弱	
再現期間500年の確率波	26.61	0.11	0.11	0.37	2	0.34	1.72	3.17	0.50	0.43	0.53	5.10	震度5強	「使用不可」となる。
再現期間500年の確率波×1.2	31.94	0.13	0.13	0.41	2	0.36	2.15	3.43	0.51	0.50	0.59	5.27	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.4	37.26	0.16	0.16	0.53	3	0.43	2.74	3.54	0.57	0.66	0.76	5.33	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.6	42.58	0.19	0.19	1.02	3	0.53	3.54	3.53	0.60	0.85	0.97	5.37	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.8	47.91	0.24	0.24	3.53	3	0.60	4.19	3.53	0.67	0.82	0.94	5.38	震度5強	
再現期間500年の確率波×2.0	53.23	0.28	0.28	13.23	4	0.68	4.82	3.53	0.72	0.78	0.88	5.47	震度5強	

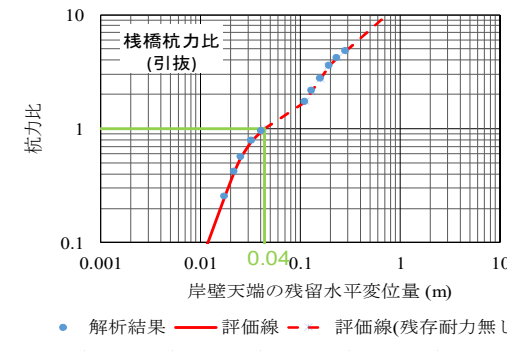
※1.0を超過した曲率比、設計耐量力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比、上部工設計耐量力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●水平変位量の評価線

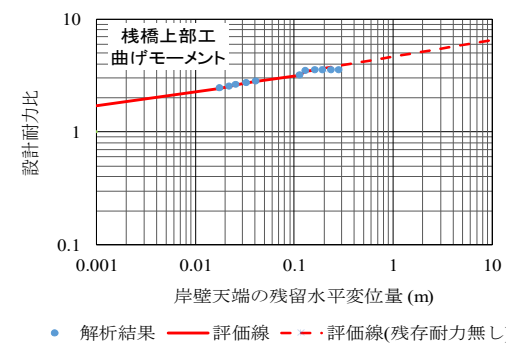
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



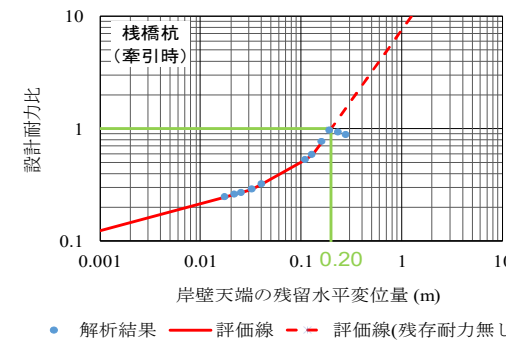
■栈橋杭(支持力_引抜)の閾値



■上部工(曲げ耐力)の閾値



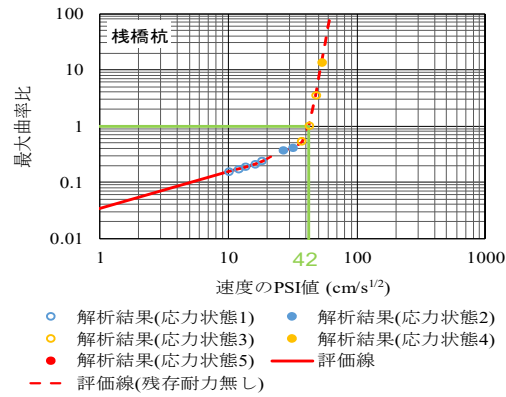
■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値



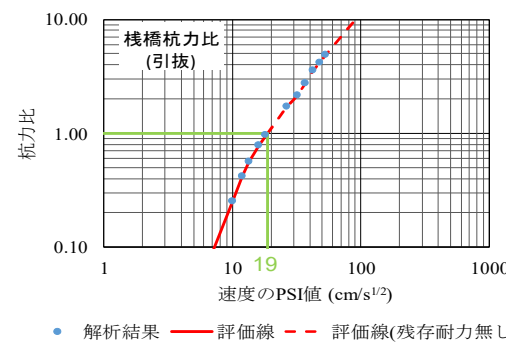
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐量力比=発生モーメント/降伏モーメント
 上部工の設計耐量力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

●速度のPSI値の評価線

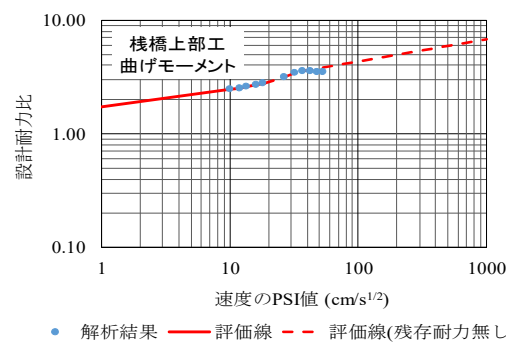
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



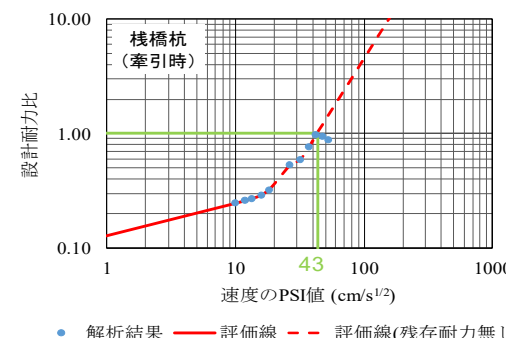
■栈橋杭(支持力_引抜)の閾値



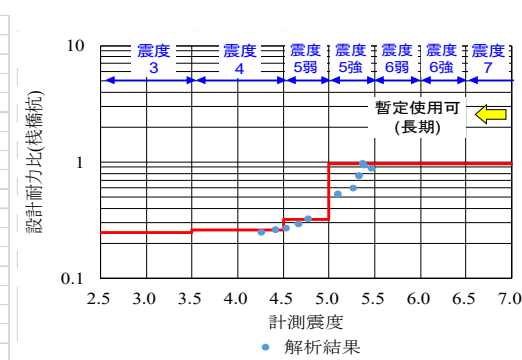
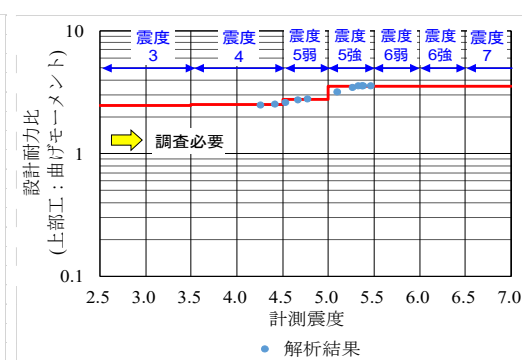
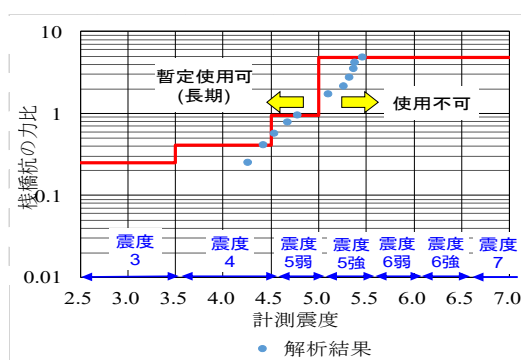
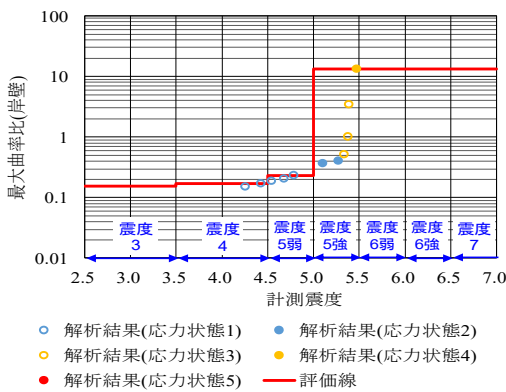
■上部工(曲げ耐力)の閾値



■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値



●計測震度の評価線



●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否	上部工下面 の目視調査
0~0.04	0~19	暫定使用可(長期)	必要
0.04~	19~	使用不可	必要

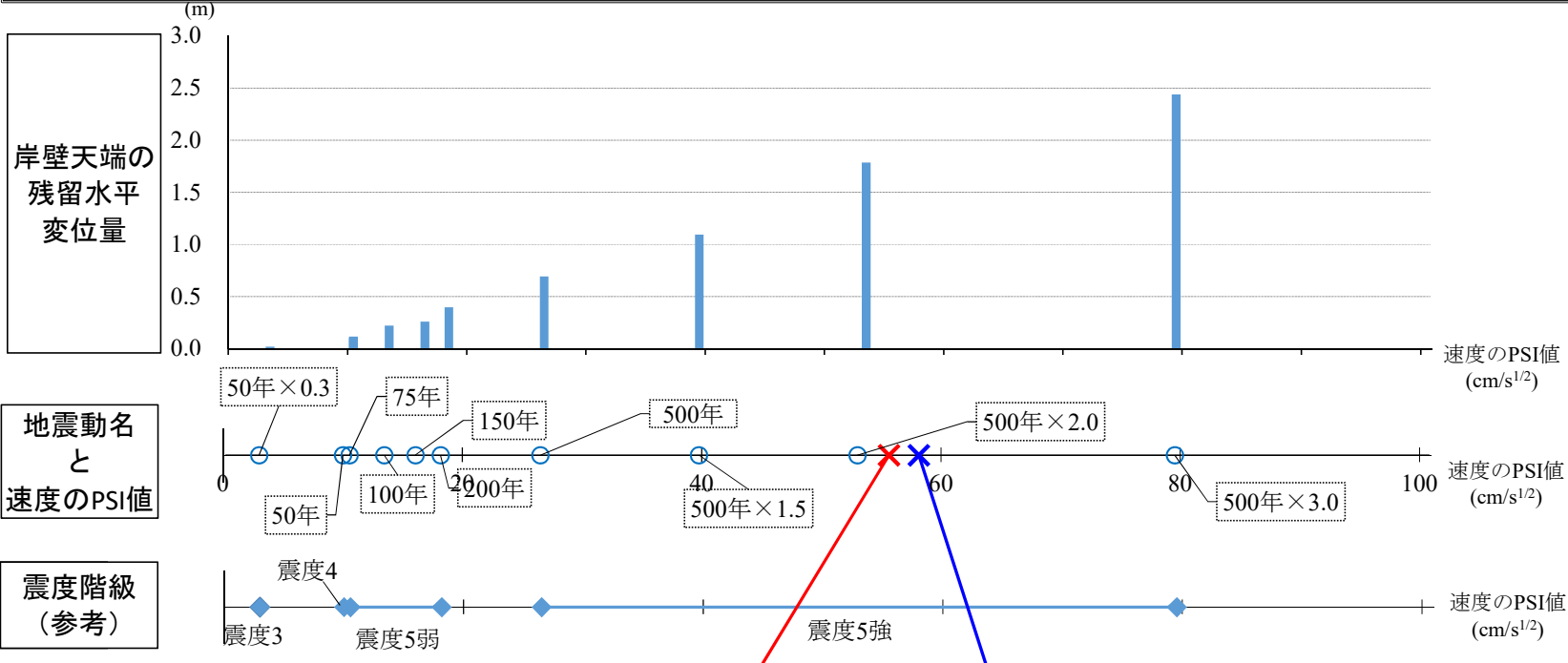
震度 階級	使用可否	上部工下面 の目視調査
4以下	暫定使用可(長期)	必要
5弱	暫定使用可(長期)	必要
5強	使用不可	必要
6弱	使用不可	必要
6強	使用不可	必要
7以上	使用不可	必要

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可と上部工
 下面調査のみ考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点には技調用。
 なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

●施設名称：A港a岸壁_A工区 ※施設全延長に適用 ●被災形態：前面矢板と控え工がほぼ同時にアウト

●構造形式：矢板式(前面矢板：鋼管矢板-控え工：鋼矢板)

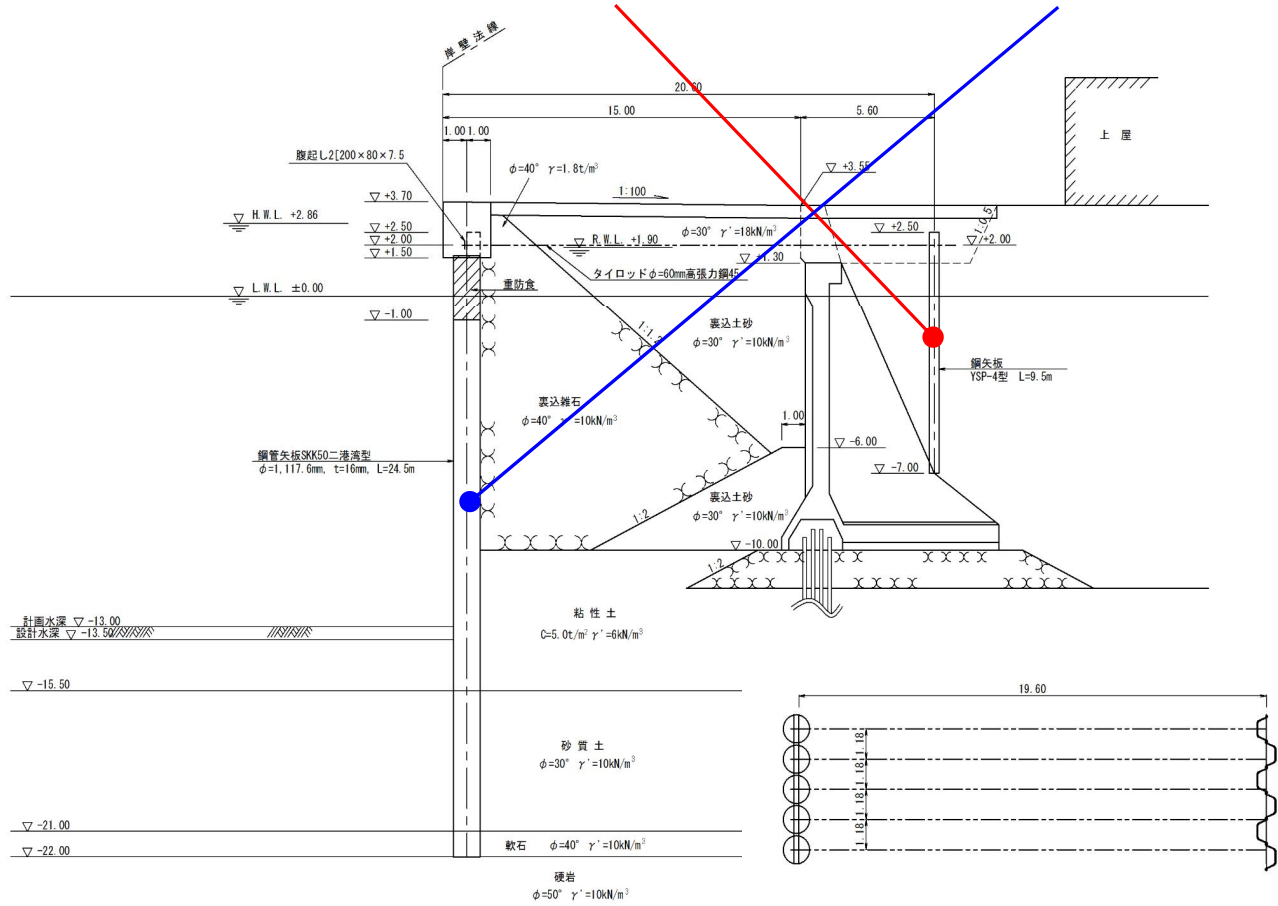
※速度のPSI値の観点：控え工が先にアウト。変位量の観点：前面矢板が先にアウト。そのため変位量による判定は前面矢板の閾値1.91mを設定。



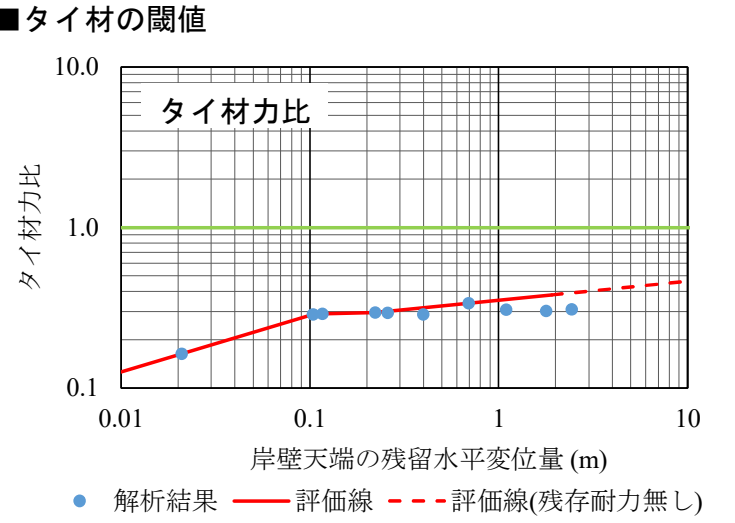
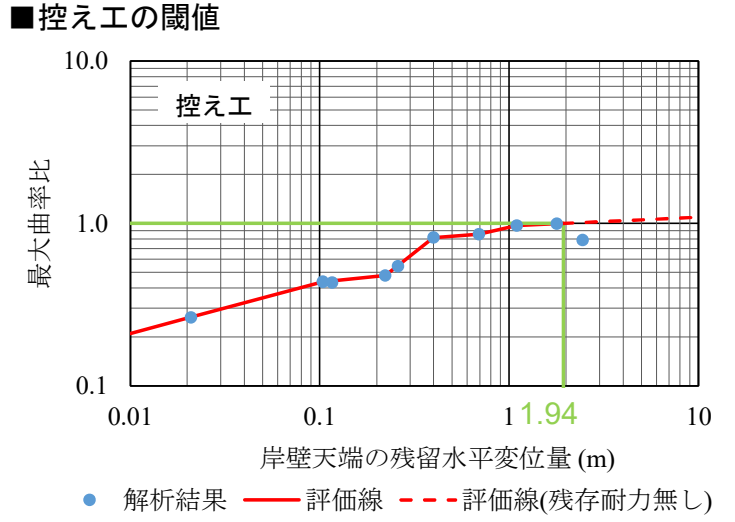
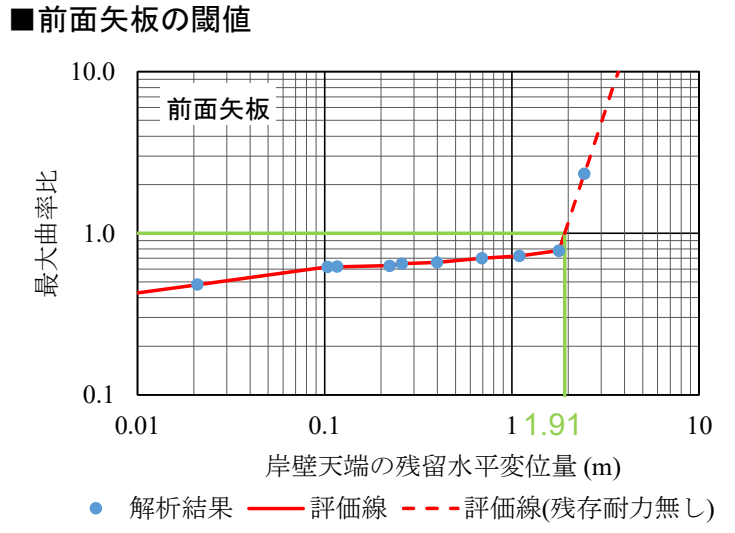
控え工/限界曲率を超過
速度のPSI値の閾値：PSI3=56 (cm/s^{1/2})
水平変位量の閾値：DS3=1.94 (m)

前面矢板/限界曲率を超過
速度のPSI値の閾値：PSI3=58 (cm/s^{1/2})
水平変位量の閾値：DS3=1.91 (m)

※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。



岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比 = 発生最大曲率 / 限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
= 発生最大曲率 / 全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
タイ材力比 = 発生最大引張力 / 設計破断強度

■A港a岸壁_A工区 ※施設全延長に適用

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	陸側への 傾斜角 (°)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
				前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波 振幅0.3倍	3.00	0.02	0.00	0.48	0.26	0.16	0.64	0.64	0.28	0.30	3.39	震度3	
再現期間50年の確率波	10.01	0.10	0.00	0.62	0.44	0.29	0.79	0.79	0.46	0.48	4.47	震度4	
再現期間75年の確率波	10.56	0.12	0.00	0.62	0.43	0.29	0.78	0.77	0.49	0.52	4.54	震度5弱	
再現期間100年の確率波	13.46	0.22	0.00	0.63	0.48	0.30	0.76	0.75	0.52	0.54	4.74	震度5弱	
再現期間150年の確率波	16.06	0.26	0.00	0.65	0.55	0.29	0.77	0.75	0.61	0.64	4.86	震度5弱	
再現期間200年の確率波	18.17	0.40	0.00	0.66	0.82	0.29	0.69	0.65	0.77	0.83	4.95	震度5弱	
再現期間500年の確率波	26.51	0.69	0.00	0.70	0.86	0.34	0.67	0.62	0.89	0.97	5.16	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	39.77	1.10	0.00	0.72	0.97	0.31	0.58	0.61	0.67	0.78	5.16	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅2倍	53.02	1.78	0.00	0.78	0.996	0.30	0.97	1.05	0.11	0.17	5.03	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅3倍	79.53	2.44	0.00	2.33	0.79	0.31	0.94	0.87	0.69	0.73	4.98	震度5弱	「使用不可」となる。

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~0.77	0~28	暫定使用可(長期)
0.77~1.91	28~56	暫定使用可(短期)
1.91~	56~	使用不可

震度階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	使用不可
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

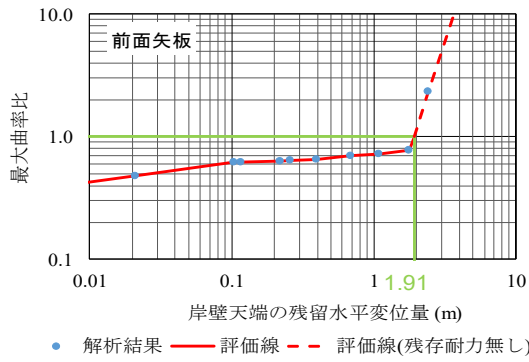
※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。
なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率(鋼矢板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

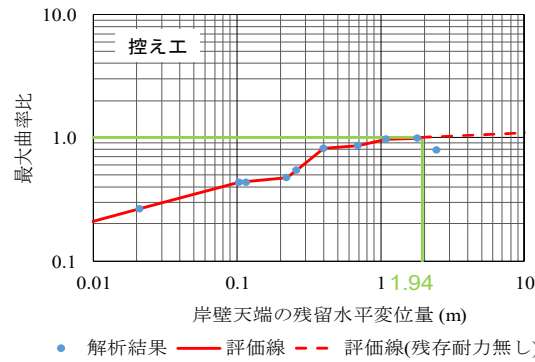
●水平変位量の評価線

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

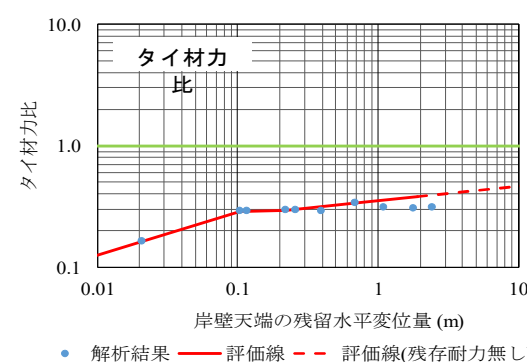
■前面矢板の閾値



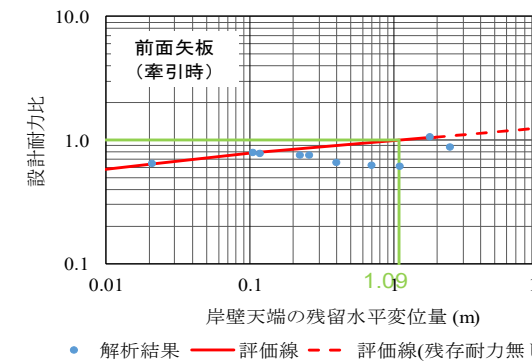
■控え工の閾値



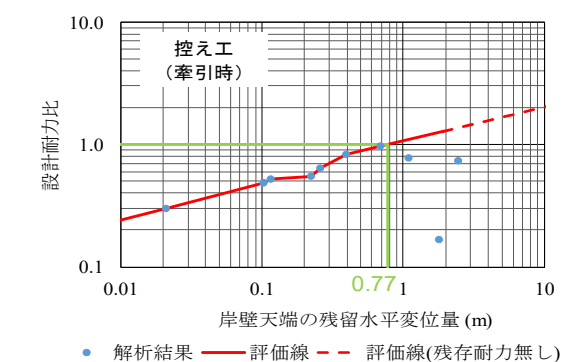
■タイ材の閾値



■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値

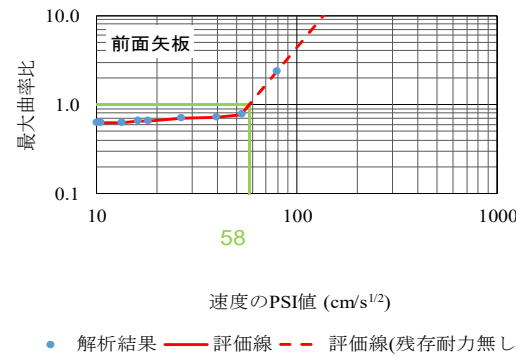


■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

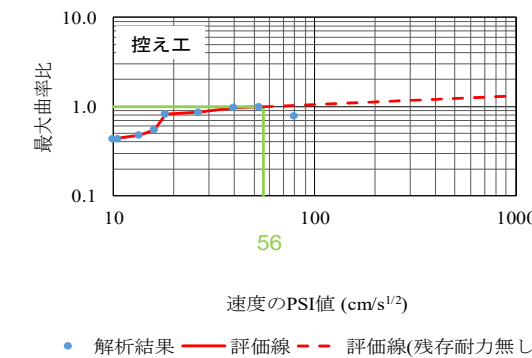


●速度のPSI値の評価線

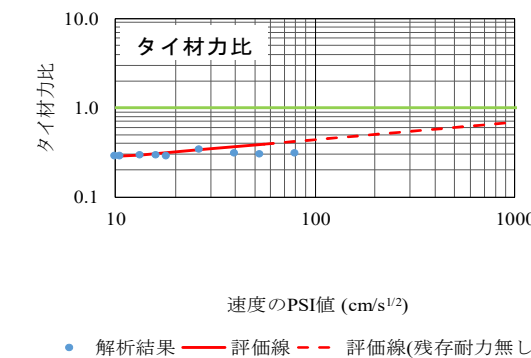
■前面矢板の閾値



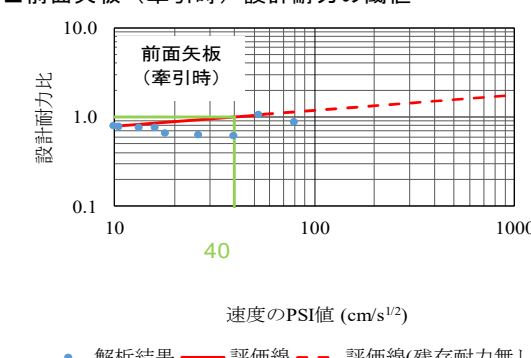
■控え工の閾値



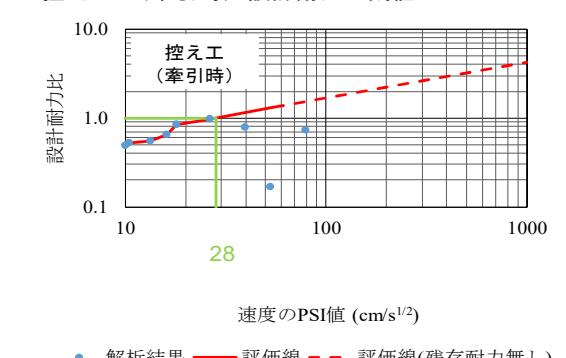
■タイ材の閾値



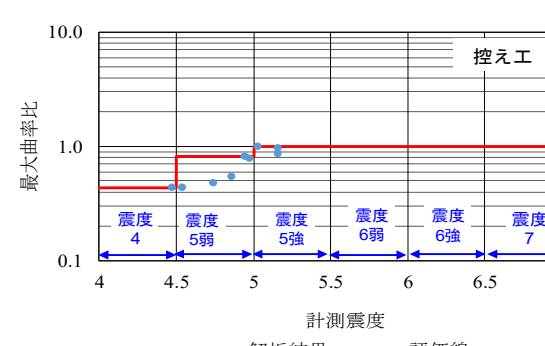
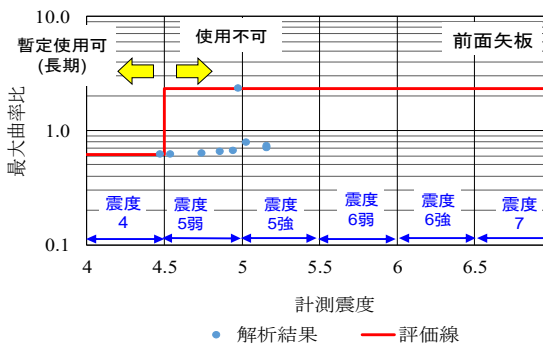
■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



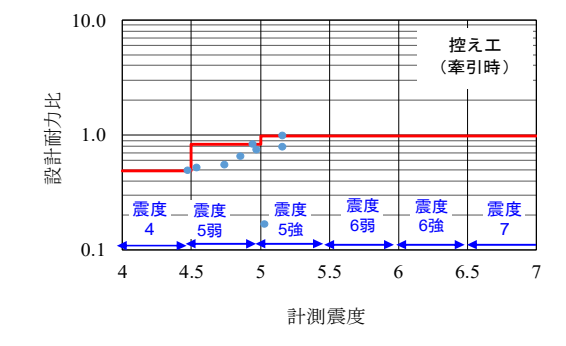
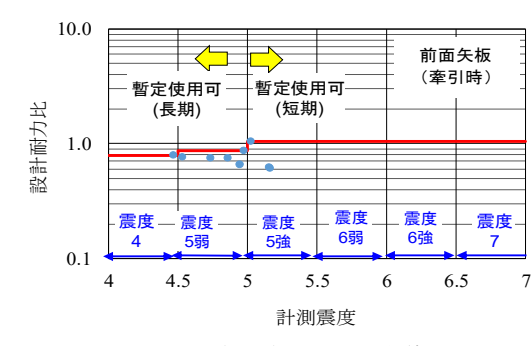
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



●計測震度の評価線



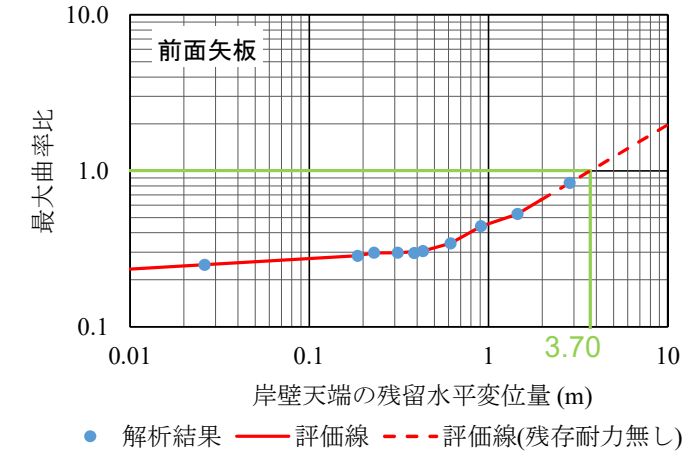
タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作



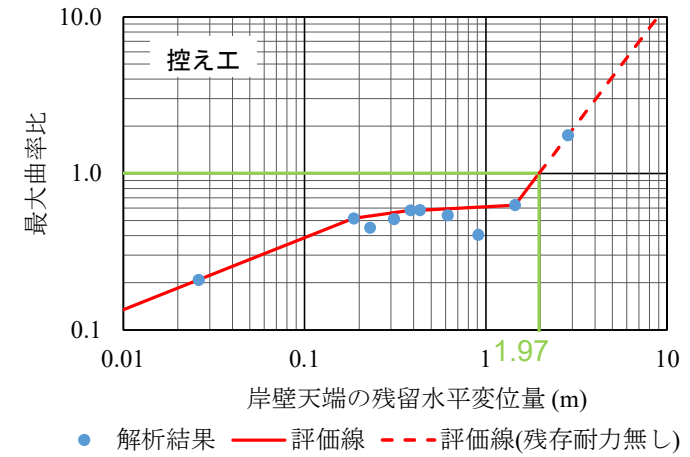
- 施設名称：A港a岸壁_D工区 ※A工区の閾値を施設全延長に適用。よってD工区の閾値は使用しない。
- 被災形態：先に控え工／全塑性曲率を超過(変形モードA)
- 構造形式：矢板式(前面矢板：鋼管矢板ー控え工：鋼矢板)

岸壁天端の残留水平変位量の閾値

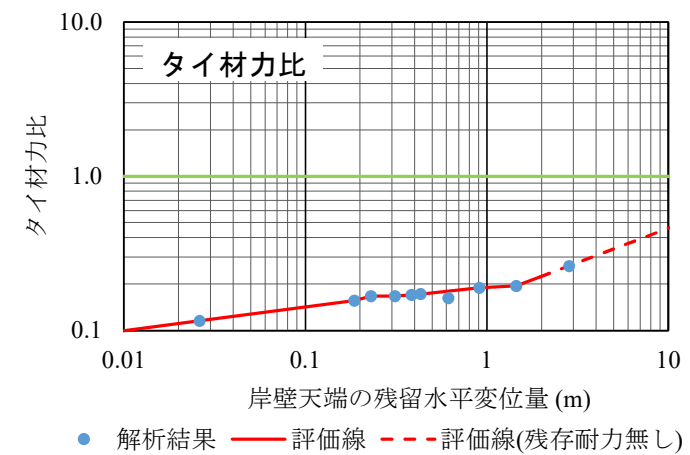
■前面矢板の閾値



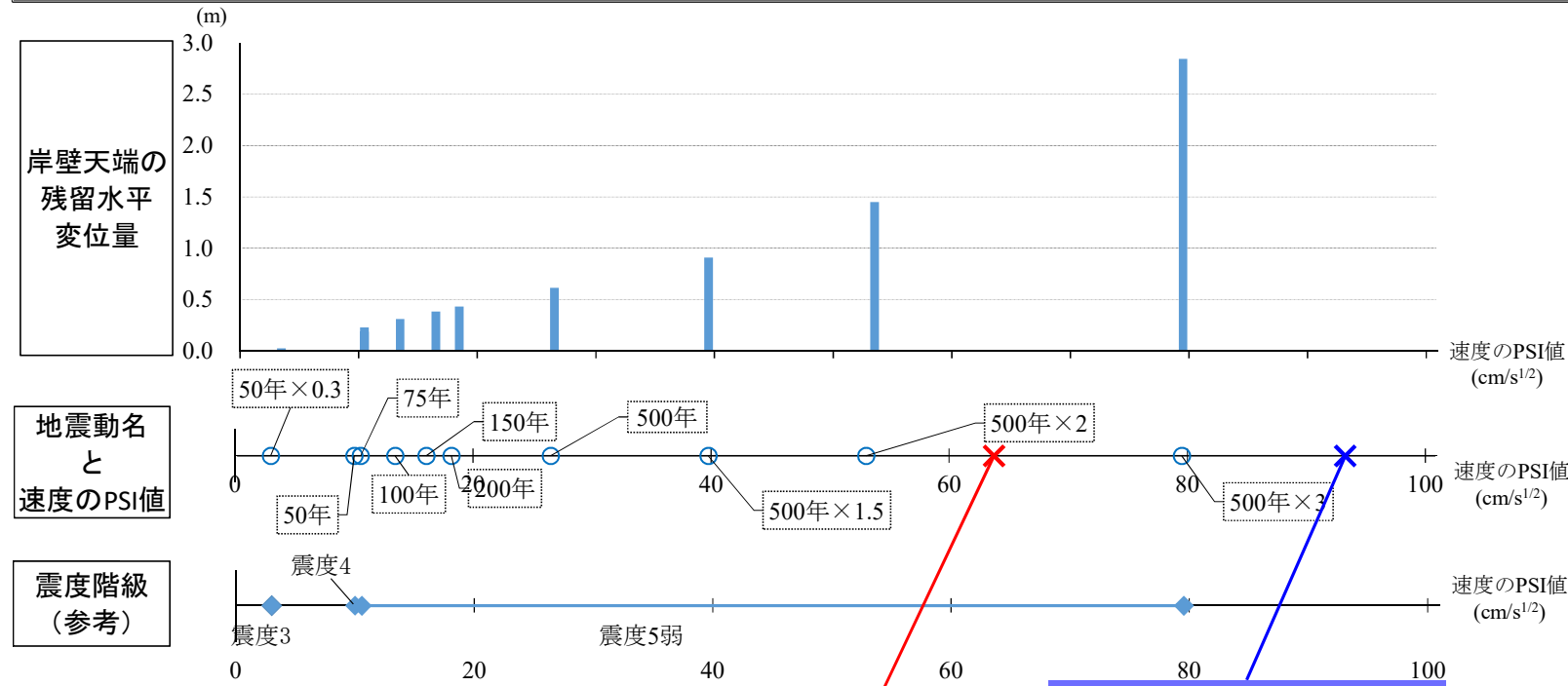
■控え工の閾値



■タイ材の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 =発生最大曲率/全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
 タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度



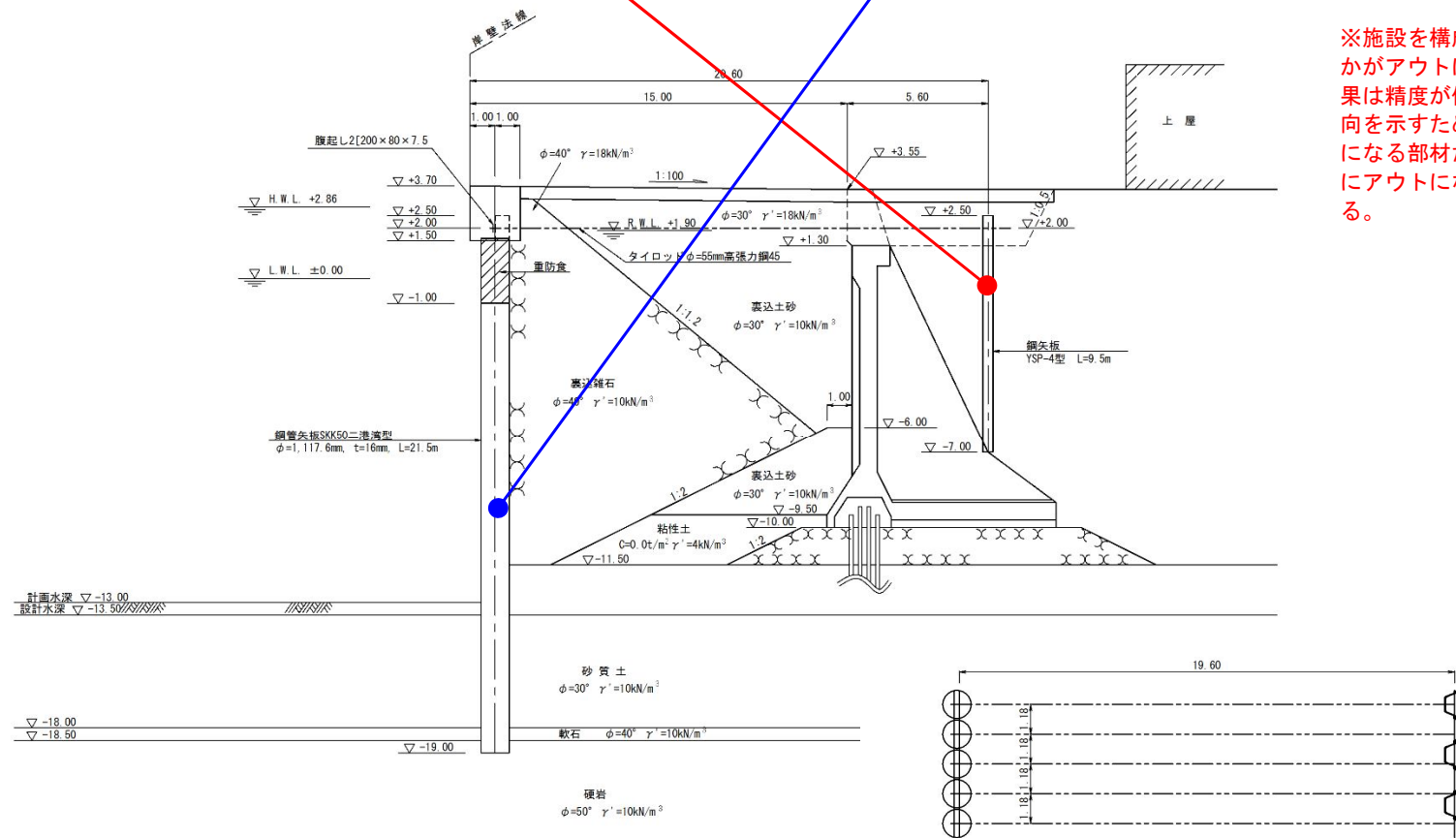
控え工／全塑性曲率を超過

速度のPSI値の閾値：PSI3=64 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=1.97 (m)

前面矢板／限界曲率を超過

速度のPSI値の閾値：PSI3=93 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=3.7 (m)

※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いですが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。



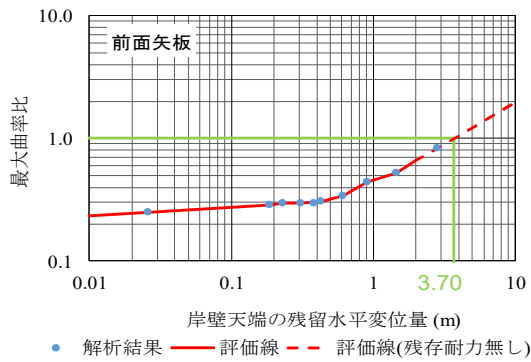
■A港a岸壁_D工区 ※A工区の閾値を施設全延長に適用。よってD工区の閾値は使用しない。

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波 振幅0.3倍	3.00	0.03	0.25	0.21	0.12	0.33	0.32	0.21	0.24	3.37	震度3	
再現期間50年の確率波	10.01	0.19	0.28	0.52	0.16	0.30	0.27	0.49	0.58	4.40	震度4	
再現期間75年の確率波	10.56	0.23	0.30	0.45	0.17	0.34	0.30	0.44	0.51	4.58	震度5弱	
再現期間100年の確率波	13.46	0.31	0.30	0.51	0.17	0.29	0.24	0.48	0.57	4.70	震度5弱	
再現期間150年の確率波	16.06	0.39	0.30	0.58	0.17	0.30	0.23	0.51	0.60	4.84	震度5弱	
再現期間200年の確率波	18.17	0.43	0.31	0.58	0.17	0.32	0.25	0.53	0.63	4.96	震度5弱	
再現期間500年の確率波	26.51	0.62	0.34	0.54	0.16	0.37	0.28	0.55	0.63	5.10	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	39.77	0.91	0.44	0.41	0.19	0.42	0.32	0.40	0.43	5.15	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅2倍	53.02	1.45	0.53	0.63	0.19	0.48	0.38	0.57	0.64	4.99	震度5弱	
再現期間500年の確率波 振幅3倍	79.53	2.84	0.83	1.75	0.26	0.81	0.73	0.90	1.05	4.93	震度5弱	「使用不可」となる。

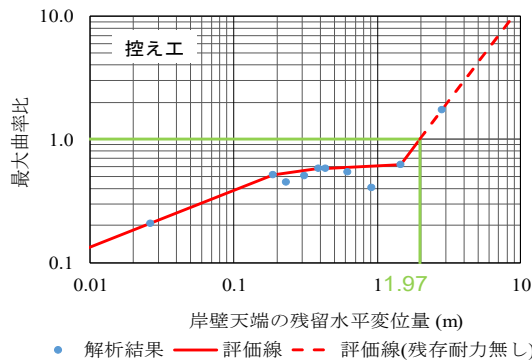
※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている

●水平変位量の評価線

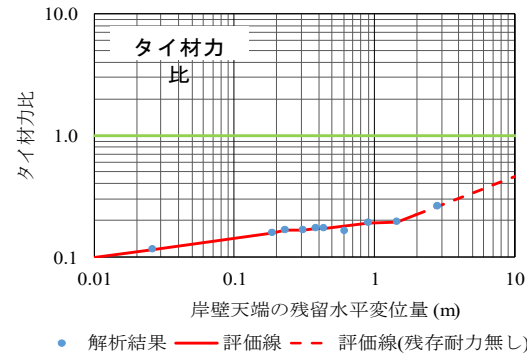
■前面矢板の閾値



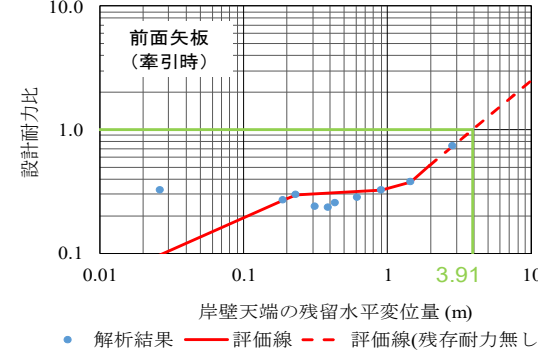
■控え工の閾値



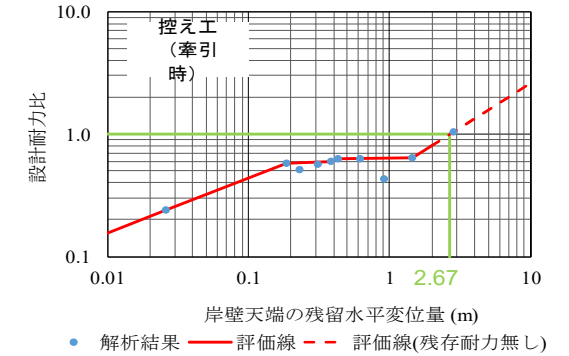
■タイ材の閾値



■前面矢板（牽引時）設計耐力の閾値



■控え工（牽引時）設計耐力の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率(鋼板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

●使用可否の閾値まとめ

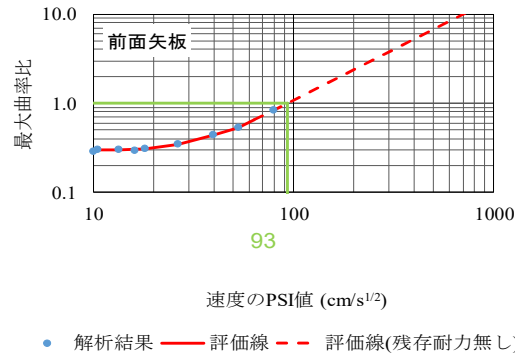
岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~1.97	0~64	暫定使用可(長期)
1.97~	64~	使用不可

震度階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	使用不可
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

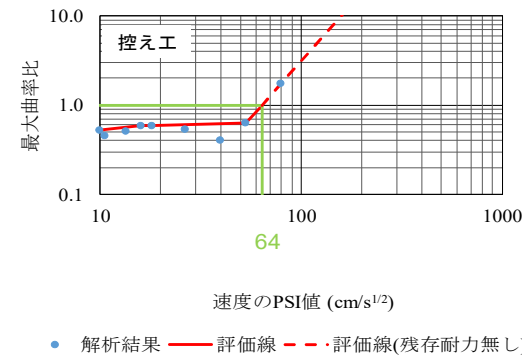
※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。
なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

●速度のPSI値の評価線

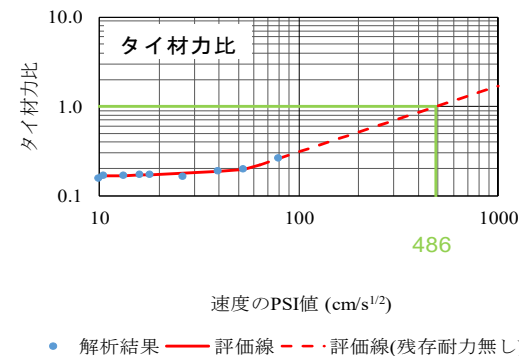
■前面矢板の閾値



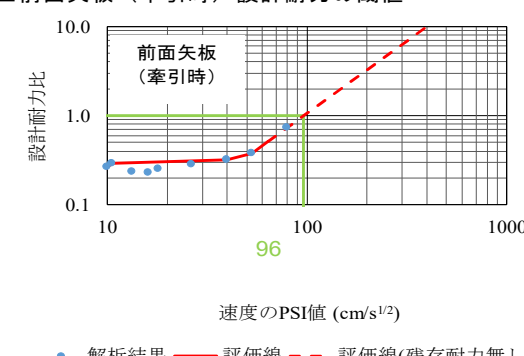
■控え工の閾値



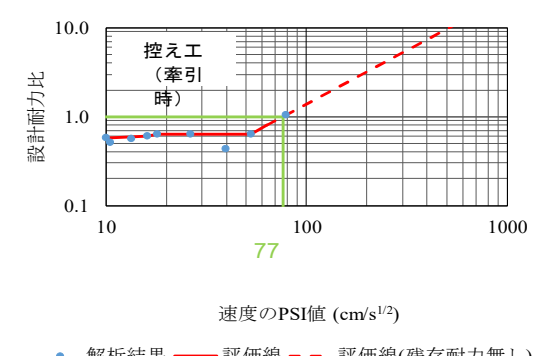
■タイ材の閾値



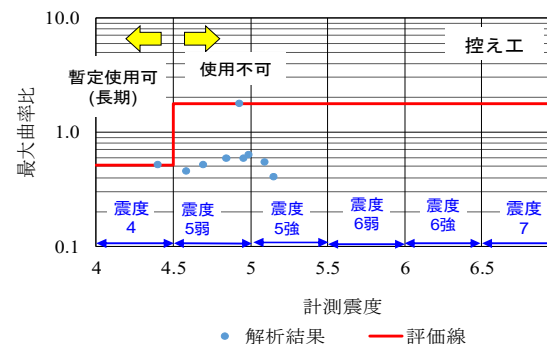
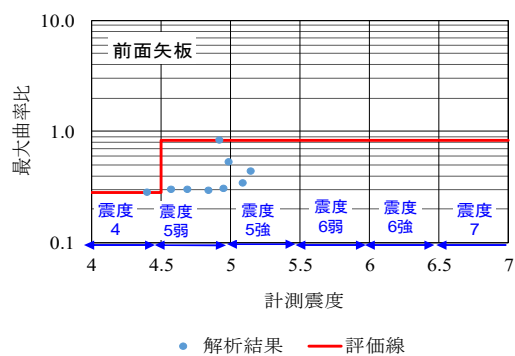
■前面矢板（牽引時）設計耐力の閾値



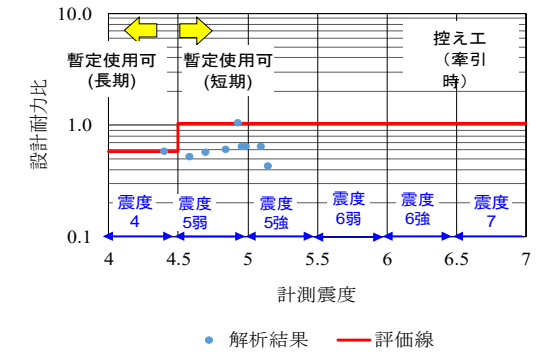
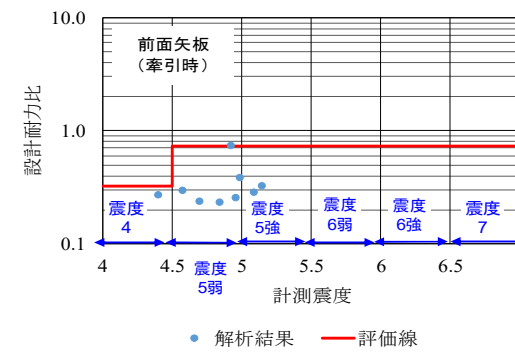
■控え工（牽引時）設計耐力の閾値



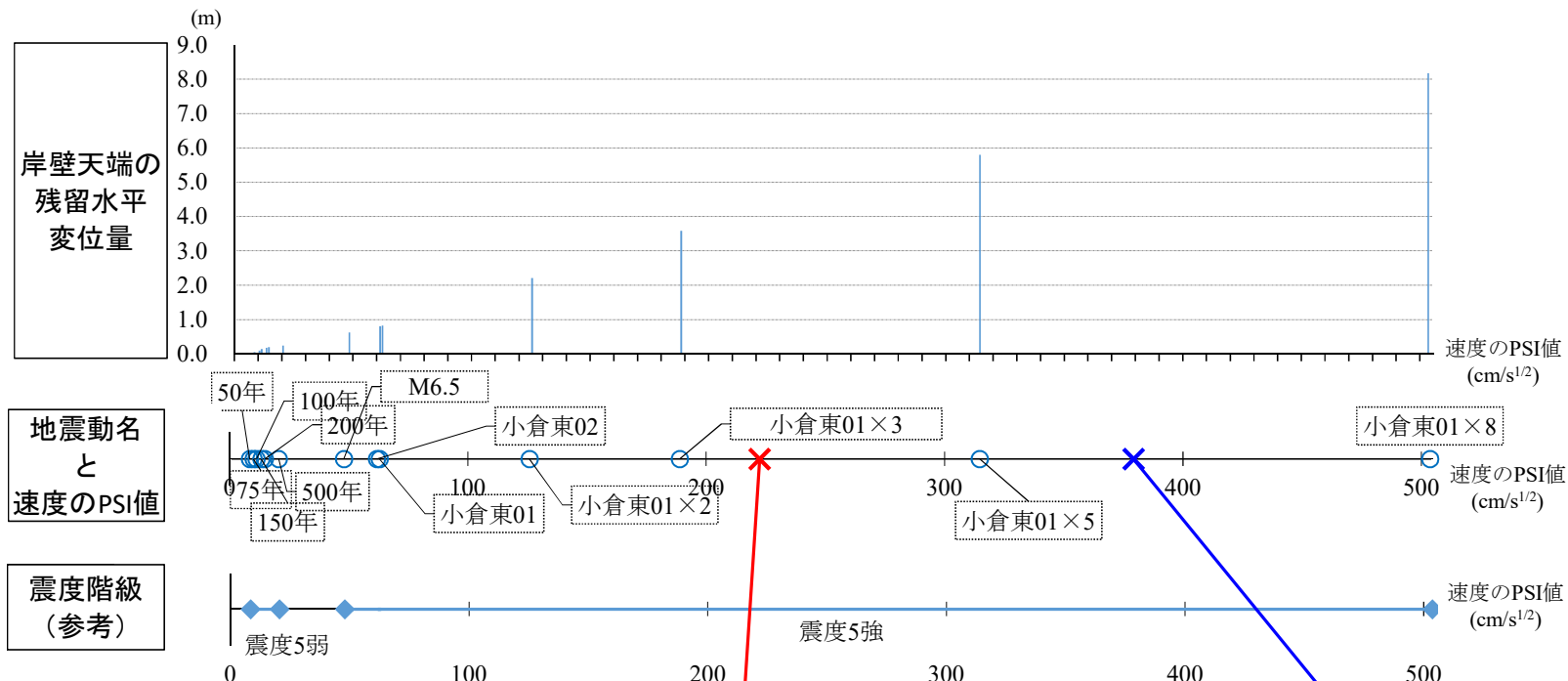
●計測震度の評価線



タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成



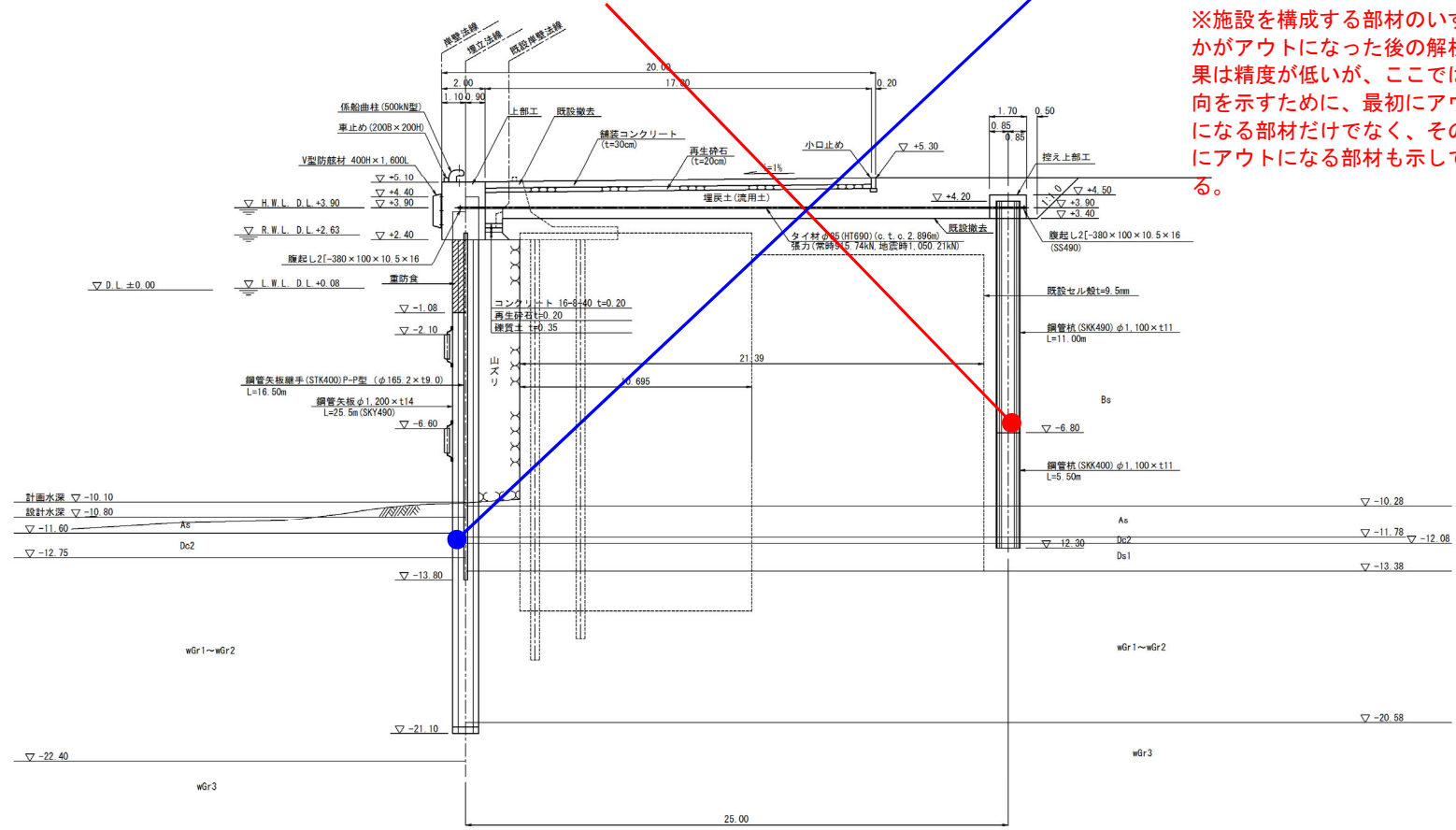
●施設名称：B港c岸壁 ●被災形態：先に控え工／限界曲率を超過
 ●構造形式：矢板式（前面矢板：鋼管矢板－控え工：鋼管杭）



地震動名と速度のPSI値
 震度階級(参考)

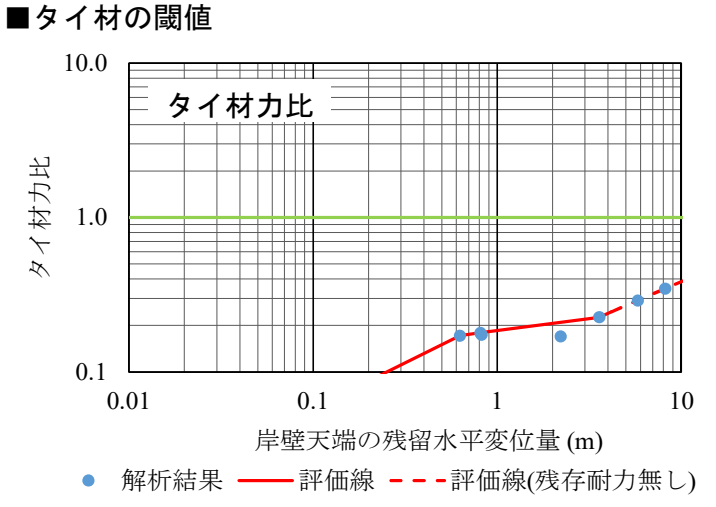
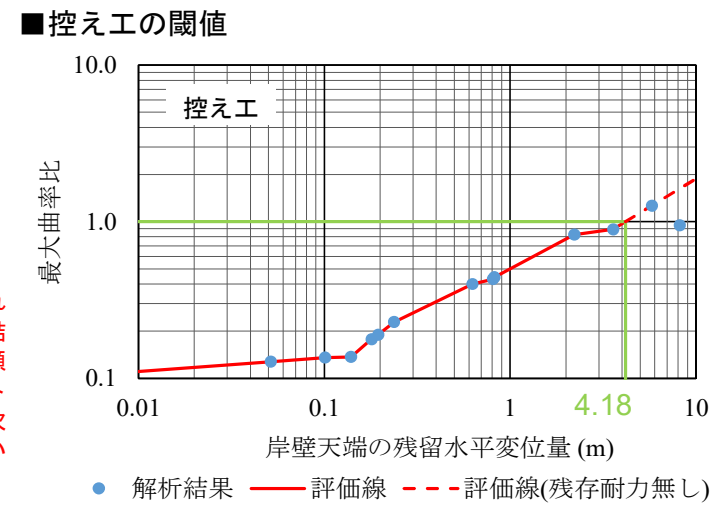
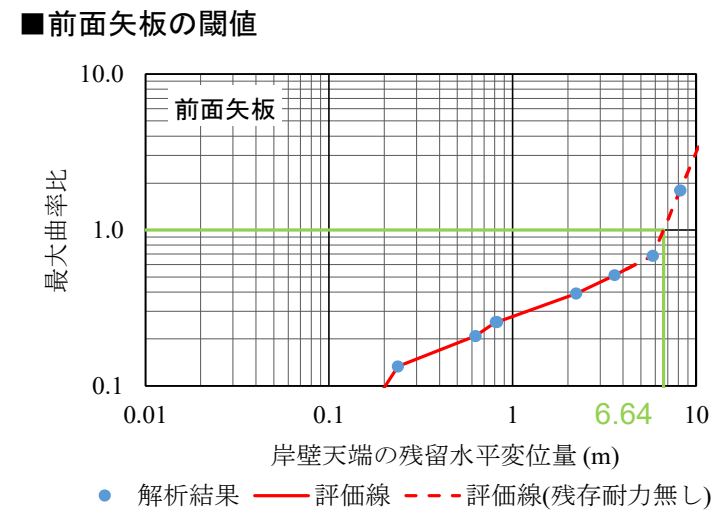
控え工／限界曲率を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=222 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=4.18 (m)

前面矢板／限界曲率を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=379 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=6.64 (m)



※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いですが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比=発生最大曲率／限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 =発生最大曲率／全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
 タイ材力比=発生最大引張力／設計破断強度

■B港c岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	8.52	0.05	0.08	0.13	0.07	0.13	0.12	0.11	0.14	4.51	震度5弱	
再現期間75年の確率波	10.07	0.10	0.08	0.14	0.08	0.12	0.10	0.07	0.10	4.61	震度5弱	
再現期間100年の確率波	11.32	0.14	0.08	0.14	0.08	0.11	0.11	0.11	0.13	4.66	震度5弱	
再現期間150年の確率波	13.34	0.18	0.09	0.18	0.08	0.12	0.13	0.21	0.24	4.71	震度5弱	
再現期間200年の確率波	14.81	0.19	0.09	0.19	0.09	0.13	0.14	0.22	0.26	4.72	震度5弱	
再現期間500年の確率波	20.64	0.24	0.13	0.23	0.10	0.17	0.18	0.23	0.28	4.72	震度5弱	
M6.5の直下型地震(L2地震動)	48.01	0.63	0.21	0.40	0.17	0.25	0.27	0.15	0.22	5.17	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動)	62.96	0.82	0.26	0.44	0.17	0.32	0.35	0.19	0.26	5.31	震度5強	
小倉東断層帯モデル02(L2地震動)	61.85	0.81	0.26	0.43	0.18	0.31	0.34	0.15	0.22	5.25	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動) 振幅2倍	125.91	2.21	0.39	0.83	0.17	0.40	0.45	0.17	0.21	5.03	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動) 振幅3倍	188.87	3.58	0.51	0.89	0.23	0.36	0.42	0.18	0.21	5.07	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動) 振幅5倍	314.78	5.79	0.68	1.27	0.29	0.35	0.42	0.25	0.22	5.22	震度5強	「使用不可」となる。
小倉東断層帯モデル01(L2地震動) 振幅8倍	503.64	8.17	1.79	0.95	0.35	0.17	0.17	0.25	0.23	5.10	震度5強	

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~4.18	0~222	暫定使用可(長期)
4.18~	222~	使用不可

震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

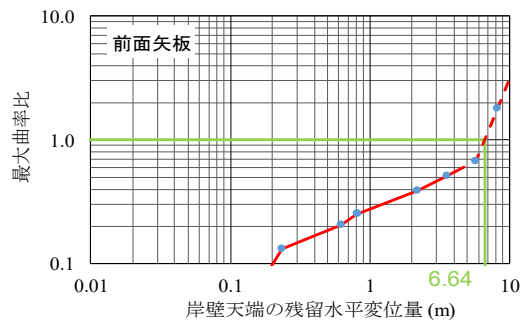
※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率(鋼矢板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

●水平変位量の評価線

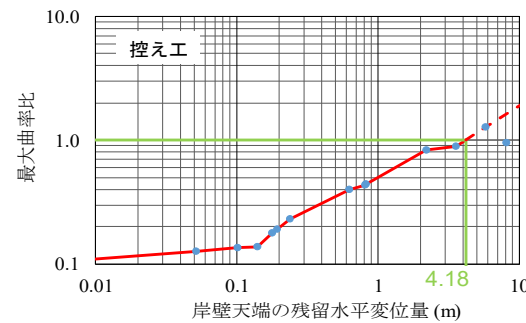
※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

■前面矢板の閾値



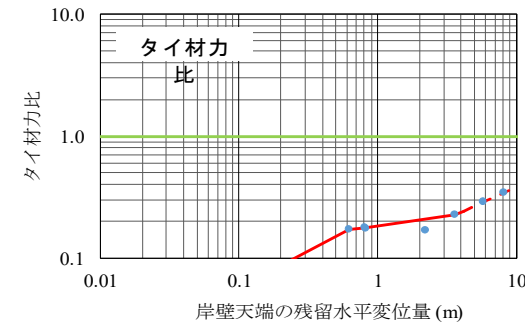
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■控え工の閾値



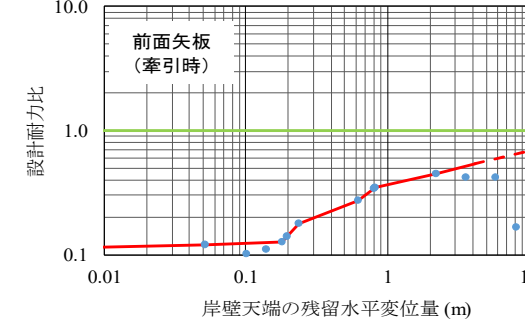
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■タイ材の閾値



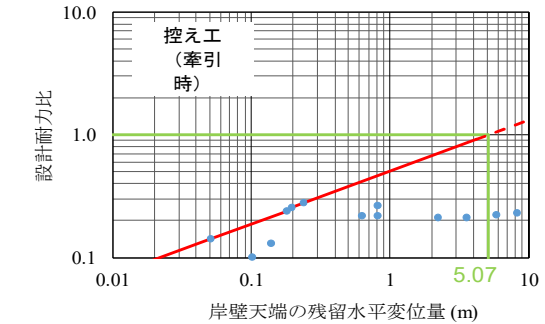
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

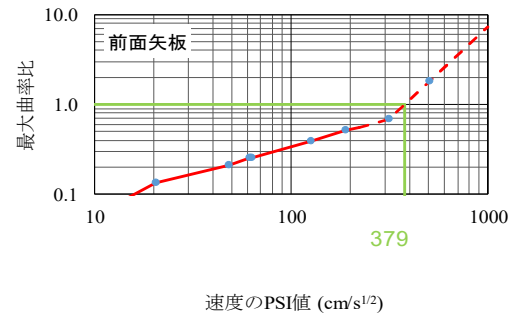
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

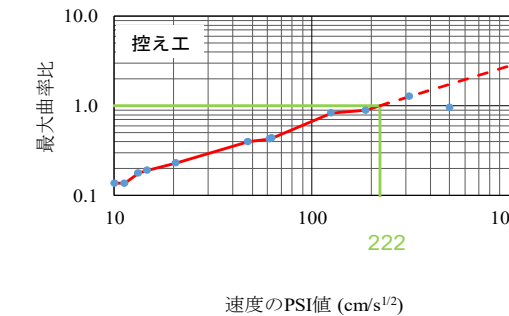
●速度のPSI値の評価線

■前面矢板の閾値



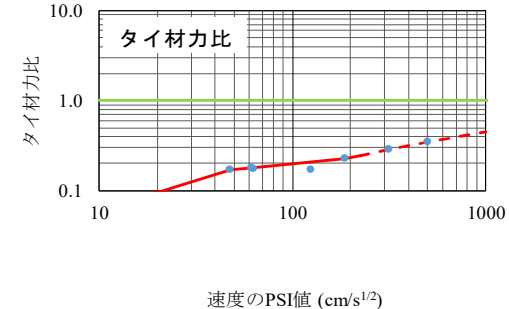
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■控え工の閾値



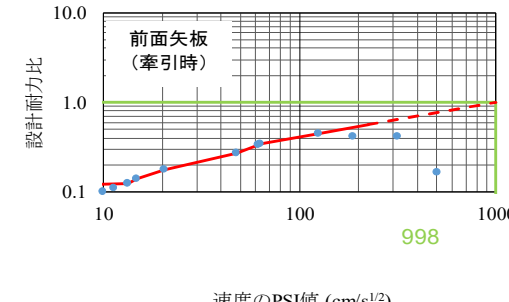
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■タイ材の閾値



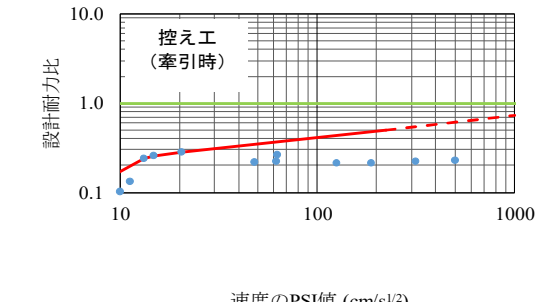
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



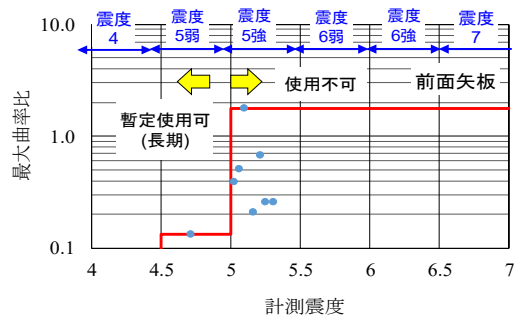
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

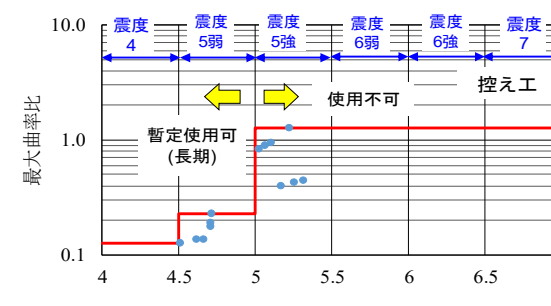


● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

●計測震度の評価線

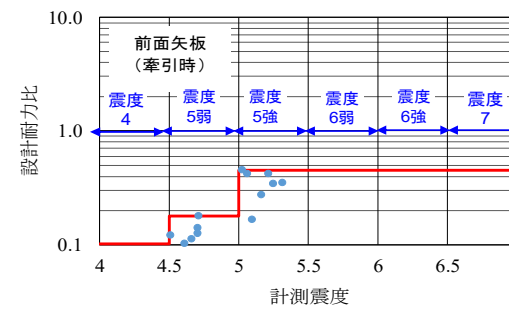


● 解析結果 — 評価線

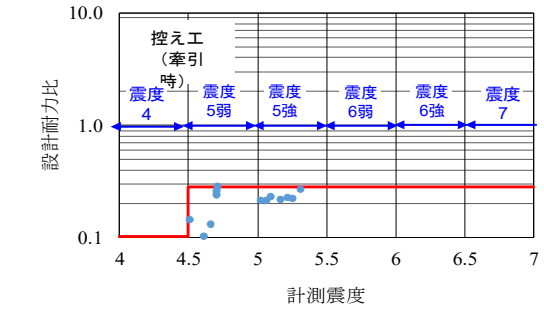


● 解析結果 — 評価線

タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成

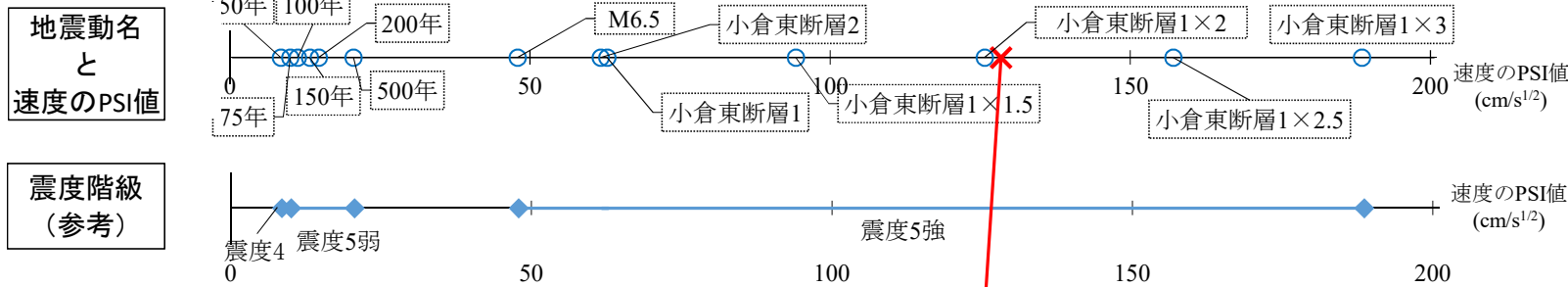
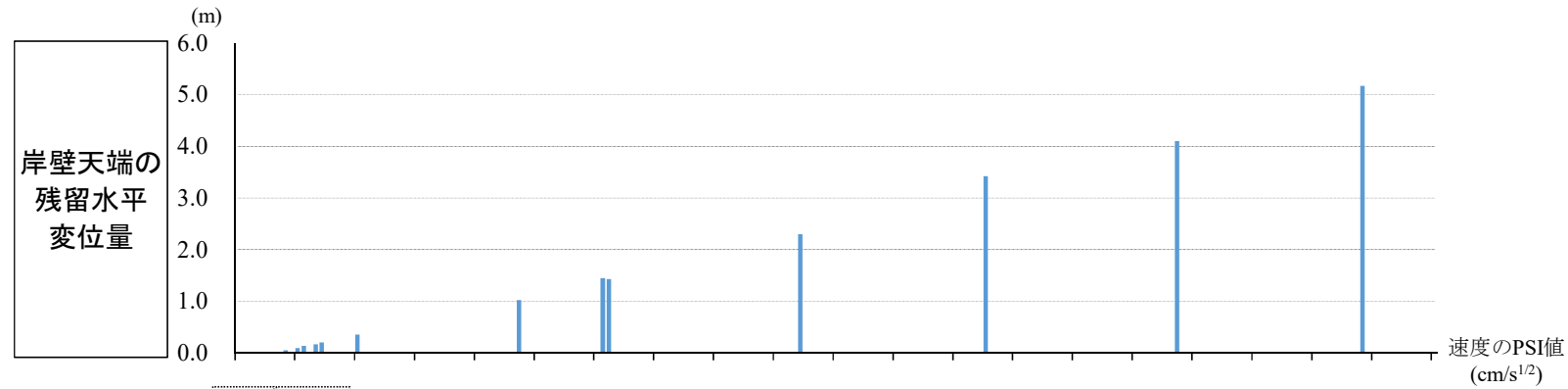


● 解析結果 — 評価線



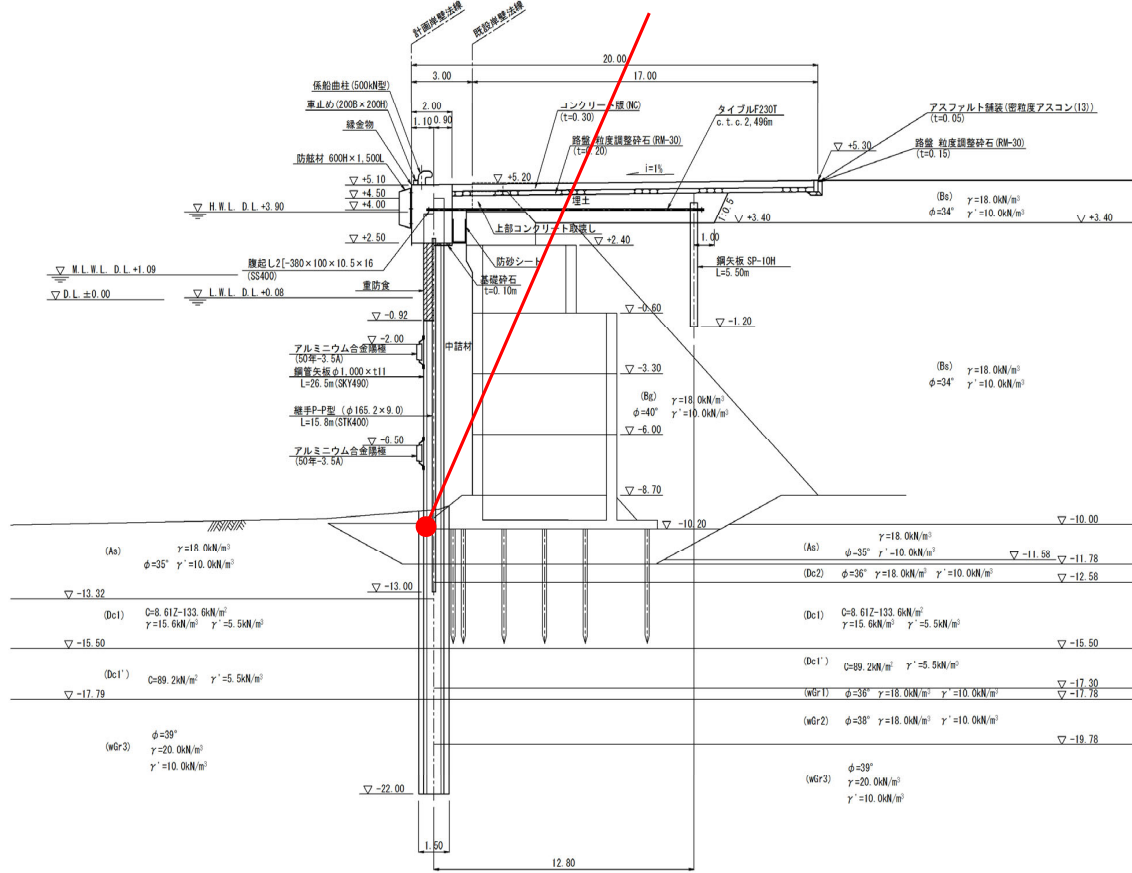
● 解析結果 — 評価線

●施設名称：B港b岸壁_A区間 ●被災形態：先に控え工／全塑性曲率を超過
 ●構造形式：矢板式(前面矢板：鋼管矢板－控え工：鋼矢板)

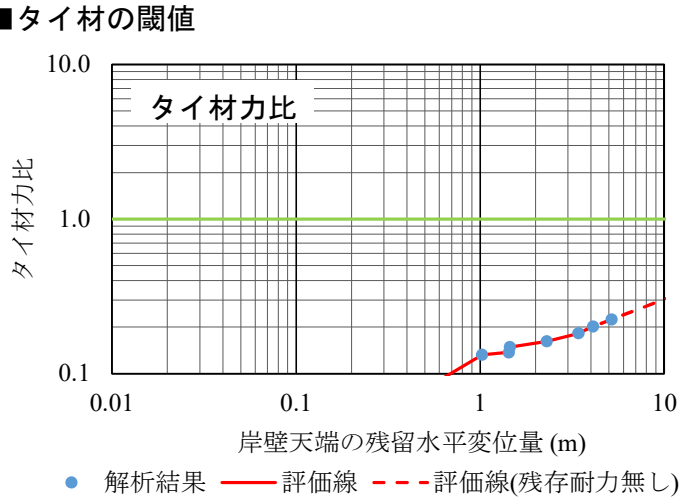
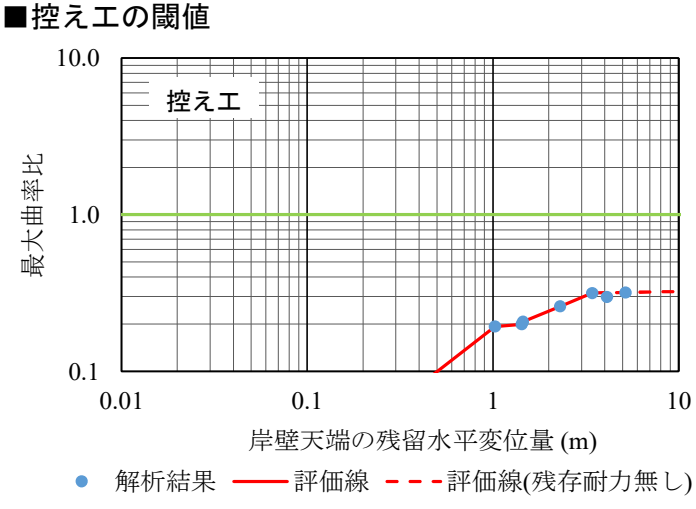
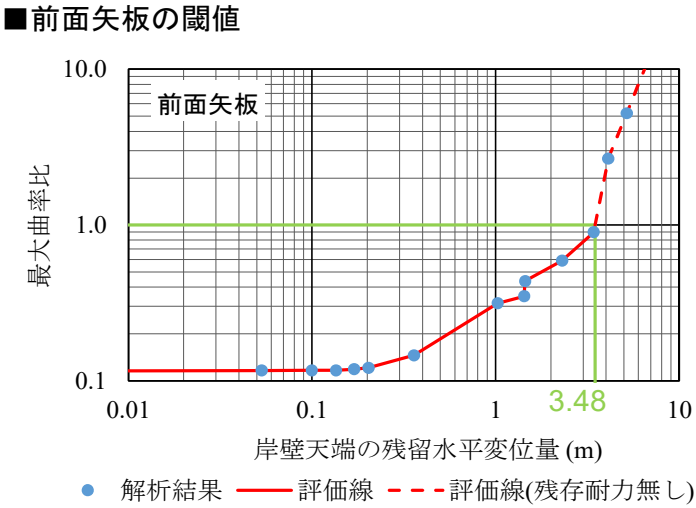


前面矢板／限界曲率を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=128 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=3.48 (m)

※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いですが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。



岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比＝発生最大曲率／限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 ＝発生最大曲率／全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
 タイ材力比＝発生最大引張力／設計破断強度

■B港b岸壁_A区間

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	8.49	0.05	0.12	0.04	0.04	0.15	0.16	0.03	0.04	4.50	震度4	
再現期間75年の確率波	10.04	0.10	0.12	0.04	0.05	0.15	0.16	0.01	0.01	4.60	震度5弱	
再現期間100年の確率波	11.29	0.14	0.12	0.05	0.05	0.15	0.16	0.01	0.01	4.66	震度5弱	
再現期間150年の確率波	13.30	0.17	0.12	0.06	0.06	0.15	0.16	0.01	0.01	4.73	震度5弱	
再現期間200年の確率波	14.77	0.20	0.12	0.05	0.05	0.14	0.15	0.01	0.01	4.74	震度5弱	
再現期間500年の確率波	20.58	0.36	0.15	0.07	0.06	0.18	0.18	0.02	0.02	4.74	震度5弱	
M6.5の直下型地震(L2地震動)	47.90	1.02	0.31	0.19	0.13	0.17	0.16	0.02	0.02	5.19	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動)	62.86	1.43	0.35	0.20	0.14	0.18	0.17	0.03	0.03	5.33	震度5強	
小倉東断層帯モデル02(L2地震動)	61.73	1.45	0.44	0.21	0.15	0.14	0.15	0.03	0.03	5.27	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動) 振幅1.5倍	94.29	2.30	0.59	0.26	0.16	0.20	0.17	0.04	0.04	5.42	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動) 振幅2倍	125.72	3.42	0.90	0.32	0.18	0.23	0.23	0.04	0.04	5.33	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動) 振幅2.5倍	157.15	4.10	2.67	0.30	0.20	0.27	0.28	0.04	0.04	5.09	震度5強	「使用不可」となる。
小倉東断層帯モデル01(L2地震動) 振幅3倍	188.58	5.17	5.21	0.32	0.22	0.34	0.30	0.04	0.05	5.15	震度5強	

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~3.48	0~128	暫定使用可(長期)
3.48~	128~	使用不可

震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

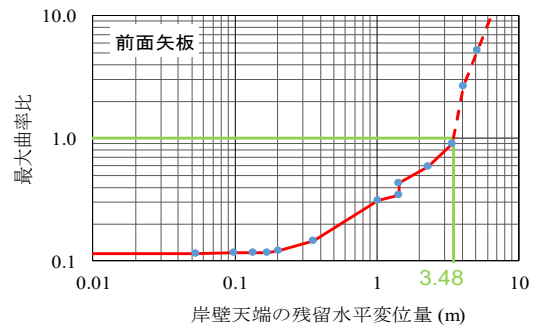
※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。
なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

●水平変位量の評価線

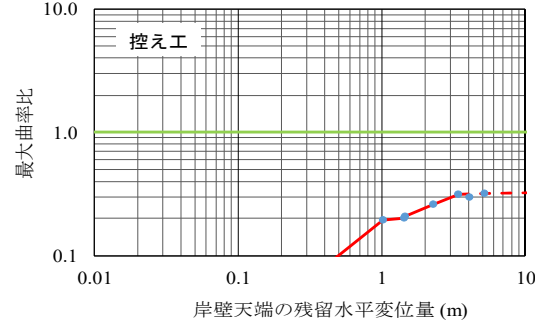
※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

■前面矢板の閾値



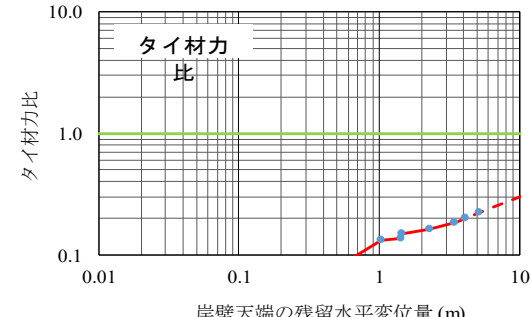
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■控え工の閾値



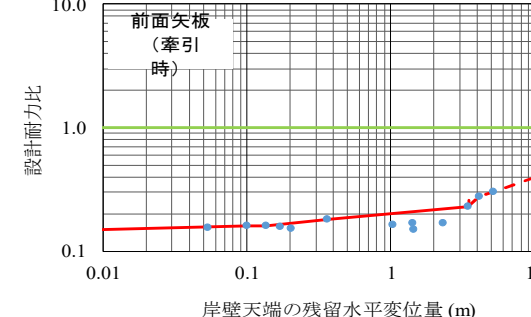
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■タイ材の閾値



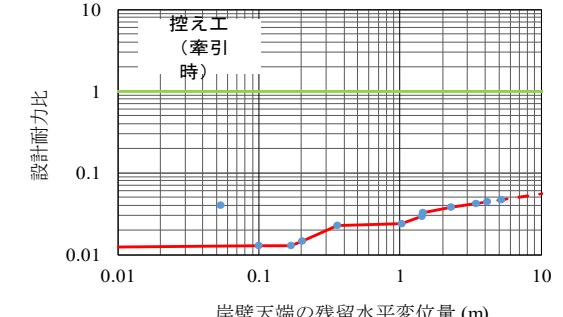
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

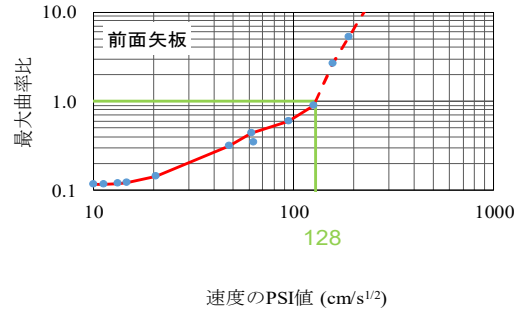
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

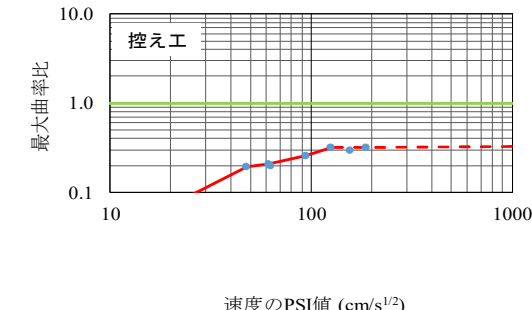
●速度のPSI値の評価線

■前面矢板の閾値



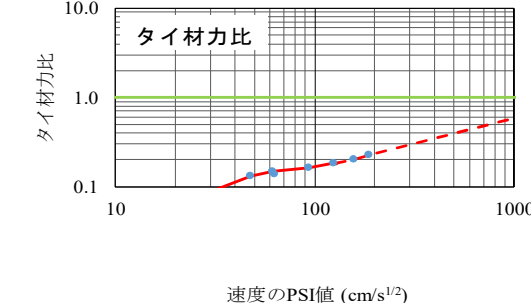
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■控え工の閾値



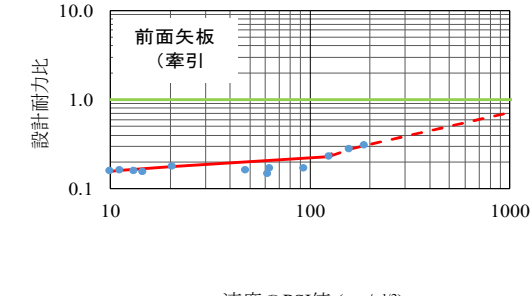
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■タイ材の閾値



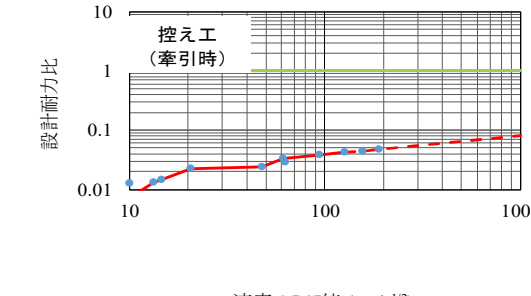
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



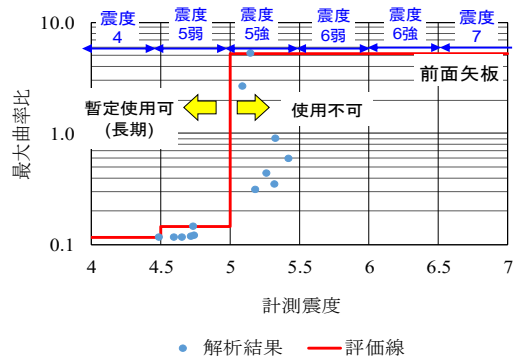
● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

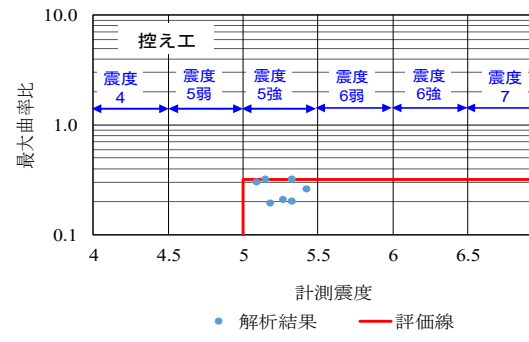


● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

●計測震度の評価線

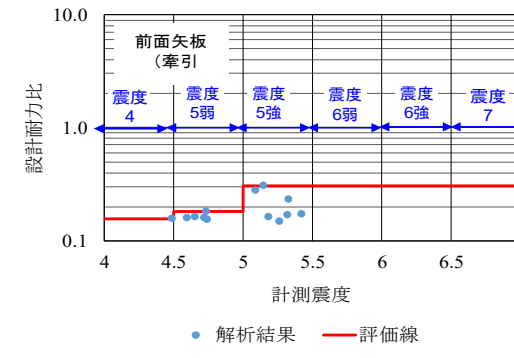


● 解析結果 — 評価線

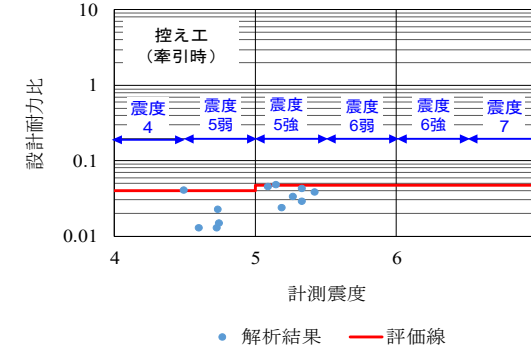


● 解析結果 — 評価線

タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成



● 解析結果 — 評価線

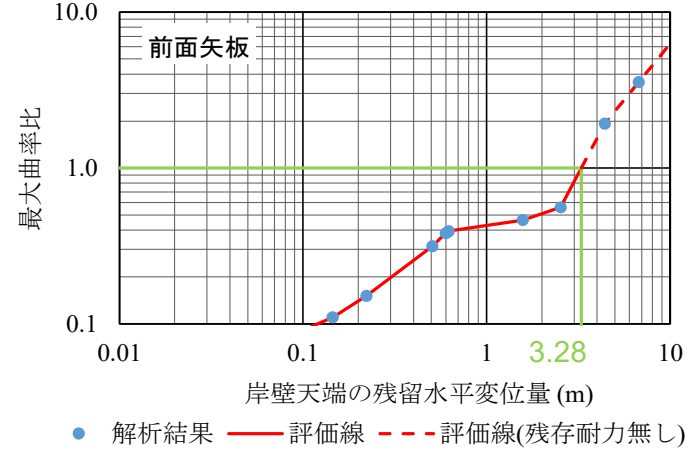


● 解析結果 — 評価線

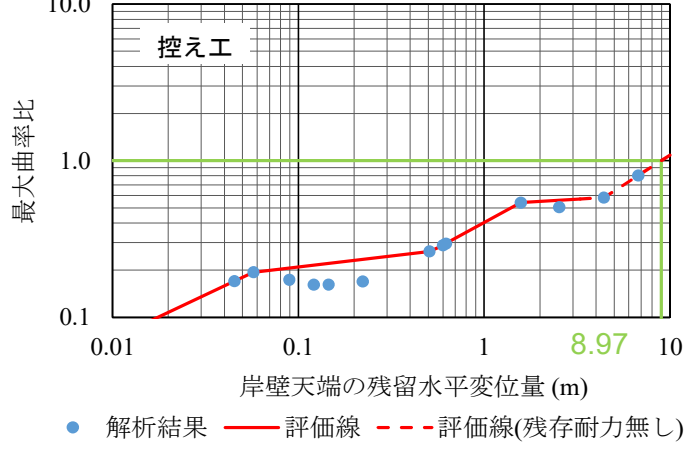
●施設名称：B港b岸壁_C区間 ※B, C区間に適用 ●被災形態：先に前面矢板／限界曲率を超過
 ●構造形式：矢板式(前面矢板：鋼管矢板－控え工：鋼矢板)

岸壁天端の残留水平変位量の閾値

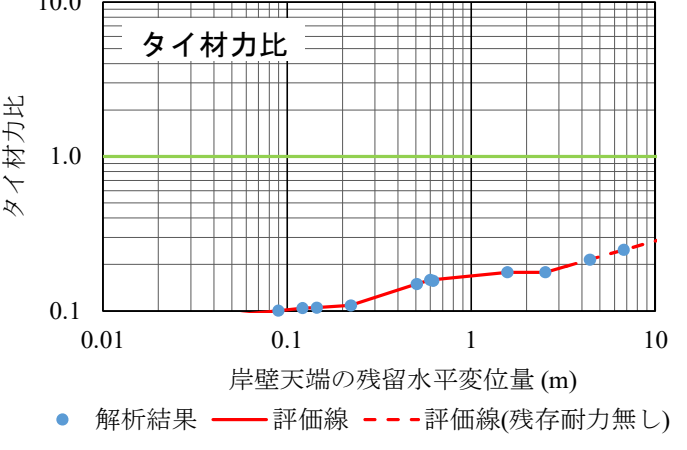
■前面矢板の閾値



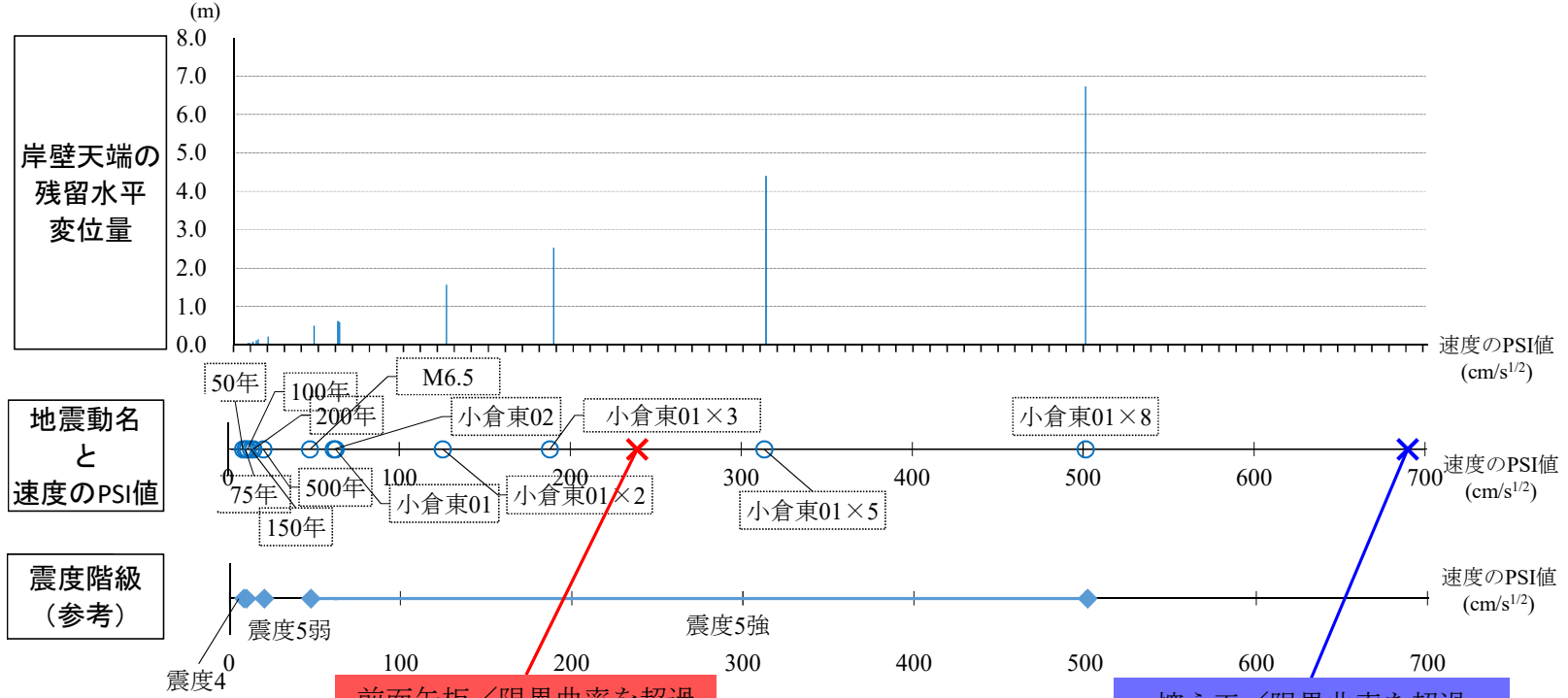
■控え工の閾値



■タイ材の閾値



最大曲率比＝発生最大曲率／限界曲率（鋼管杭、鋼管矢板の場合）
 ＝発生最大曲率／全塑性曲率（鋼矢板の場合）
 タイ材力比＝発生最大引張力／設計破断強度



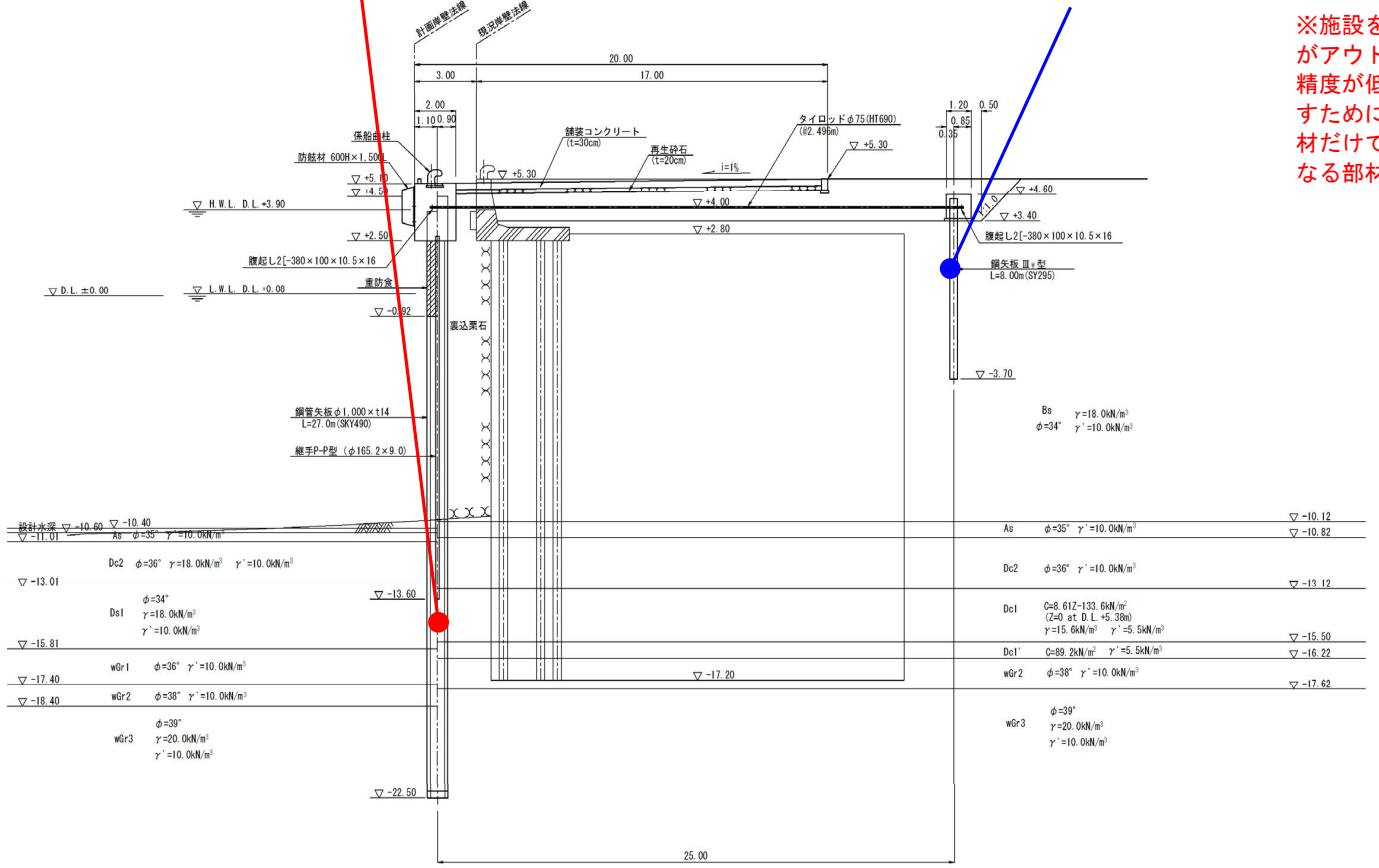
前面矢板／限界曲率を超過

速度のPSI値の閾値：PSI3=239 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=3.28 (m)

控え工／限界曲率を超過

速度のPSI値の閾値：PSI3=690 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=8.97 (m)

※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。



■B港b岸壁_C区間 ※B, C区間に適用

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	8.43	0.05	0.07	0.17	0.09	0.16	0.14	0.17	0.22	4.49	震度4	
再現期間75年の確率波	9.97	0.06	0.08	0.19	0.10	0.17	0.15	0.19	0.24	4.60	震度5弱	
再現期間100年の確率波	11.21	0.09	0.09	0.17	0.10	0.18	0.18	0.08	0.11	4.65	震度5弱	
再現期間150年の確率波	13.21	0.12	0.10	0.16	0.10	0.20	0.21	0.12	0.08	4.71	震度5弱	
再現期間200年の確率波	14.66	0.15	0.11	0.16	0.11	0.22	0.23	0.13	0.10	4.73	震度5弱	
再現期間500年の確率波	20.44	0.22	0.15	0.17	0.11	0.31	0.32	0.02	0.07	4.72	震度5弱	
M6.5の直下型地震(L2地震動)	47.69	0.51	0.31	0.26	0.15	0.59	0.61	0.02	0.07	5.18	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動)	62.67	0.60	0.38	0.29	0.16	0.70	0.72	0.02	0.06	5.32	震度5強	
小倉東断層帯モデル02(L2地震動)	61.50	0.62	0.39	0.30	0.16	0.72	0.74	0.02	0.07	5.26	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動)振幅2倍	125.35	1.57	0.46	0.54	0.18	0.86	0.88	0.02	0.05	5.05	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動)振幅3倍	188.02	2.53	0.56	0.50	0.18	0.88	0.91	0.02	0.05	5.14	震度5強	
小倉東断層帯モデル01(L2地震動)振幅5倍	313.37	4.41	1.93	0.58	0.22	0.81	0.86	0.04	0.07	5.25	震度5強	「使用不可」となる。
小倉東断層帯モデル01(L2地震動)振幅8倍	501.39	6.73	3.55	0.80	0.25	0.80	0.86	0.08	0.13	5.12	震度5強	

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~3.28	0~239	暫定使用可(長期)
3.28~	239~	使用不可

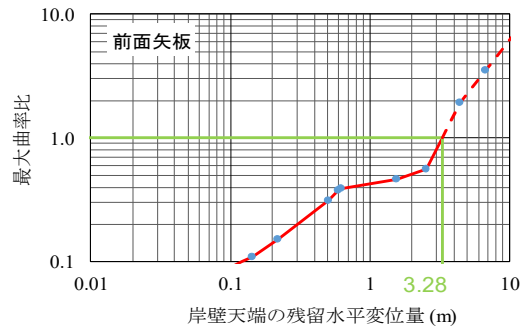
震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率(鋼板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

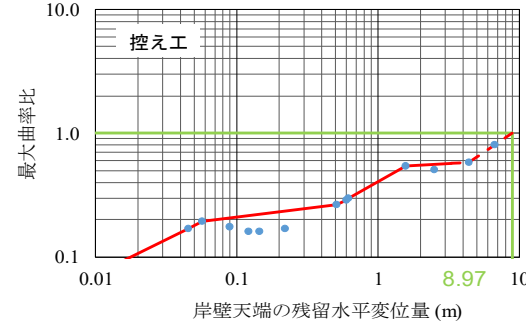
●水平変位量の評価線

■前面矢板の閾値



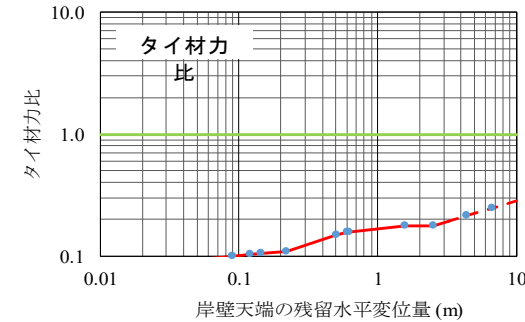
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■控え工の閾値



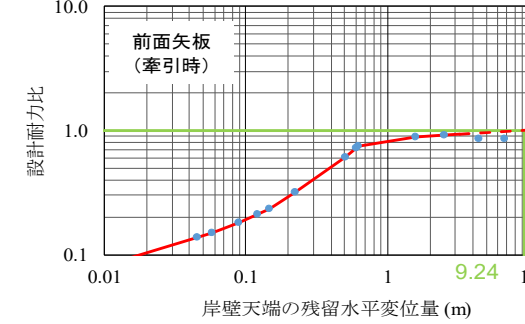
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■タイ材の閾値



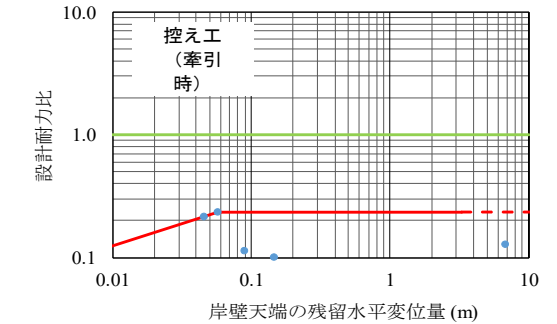
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

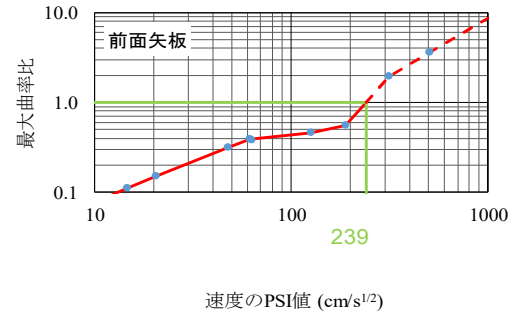
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

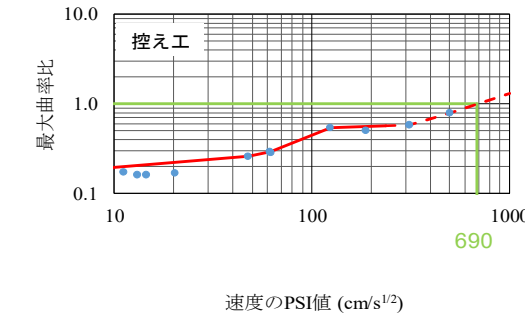
●速度のPSI値の評価線

■前面矢板の閾値



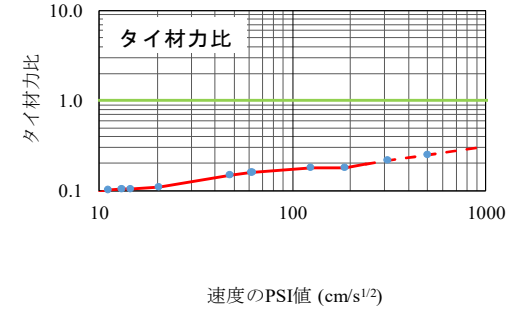
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■控え工の閾値



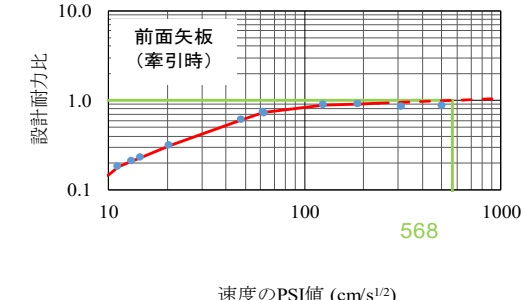
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■タイ材の閾値



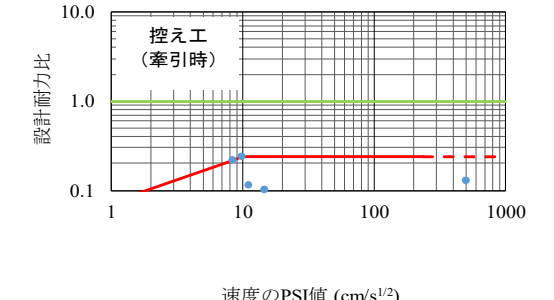
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



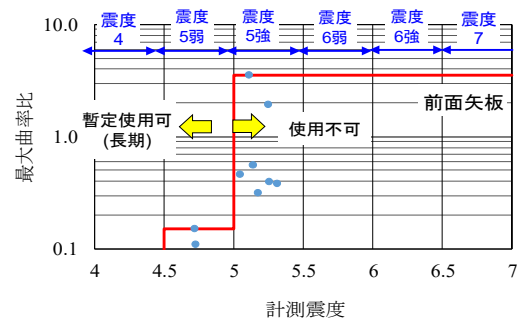
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

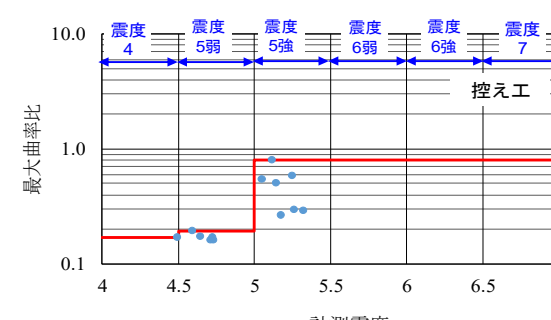


● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

●計測震度の評価線

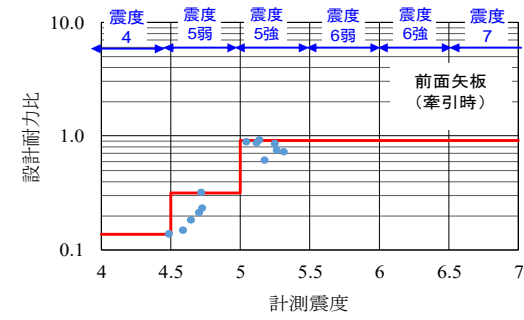


● 解析結果 ● 評価線

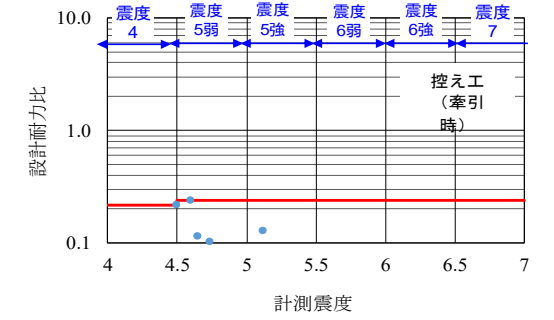


● 解析結果 ● 評価線

タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成

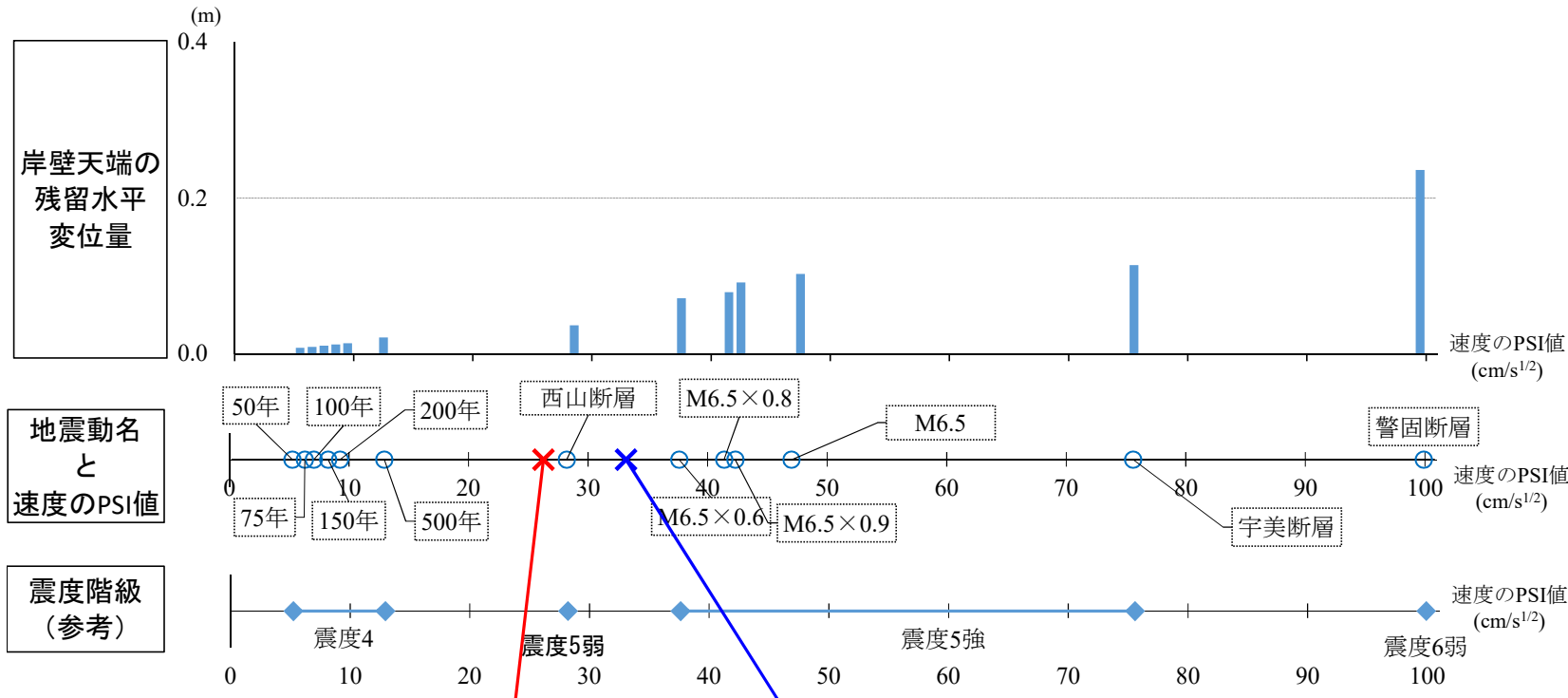


● 解析結果 ● 評価線



● 解析結果 ● 評価線

●施設名称：F港I岸壁 ●被災形態：最初に栈橋杭／限界曲率を超過
 ●構造形式：栈橋式



地震動名と速度のPSI値

震度階級(参考)

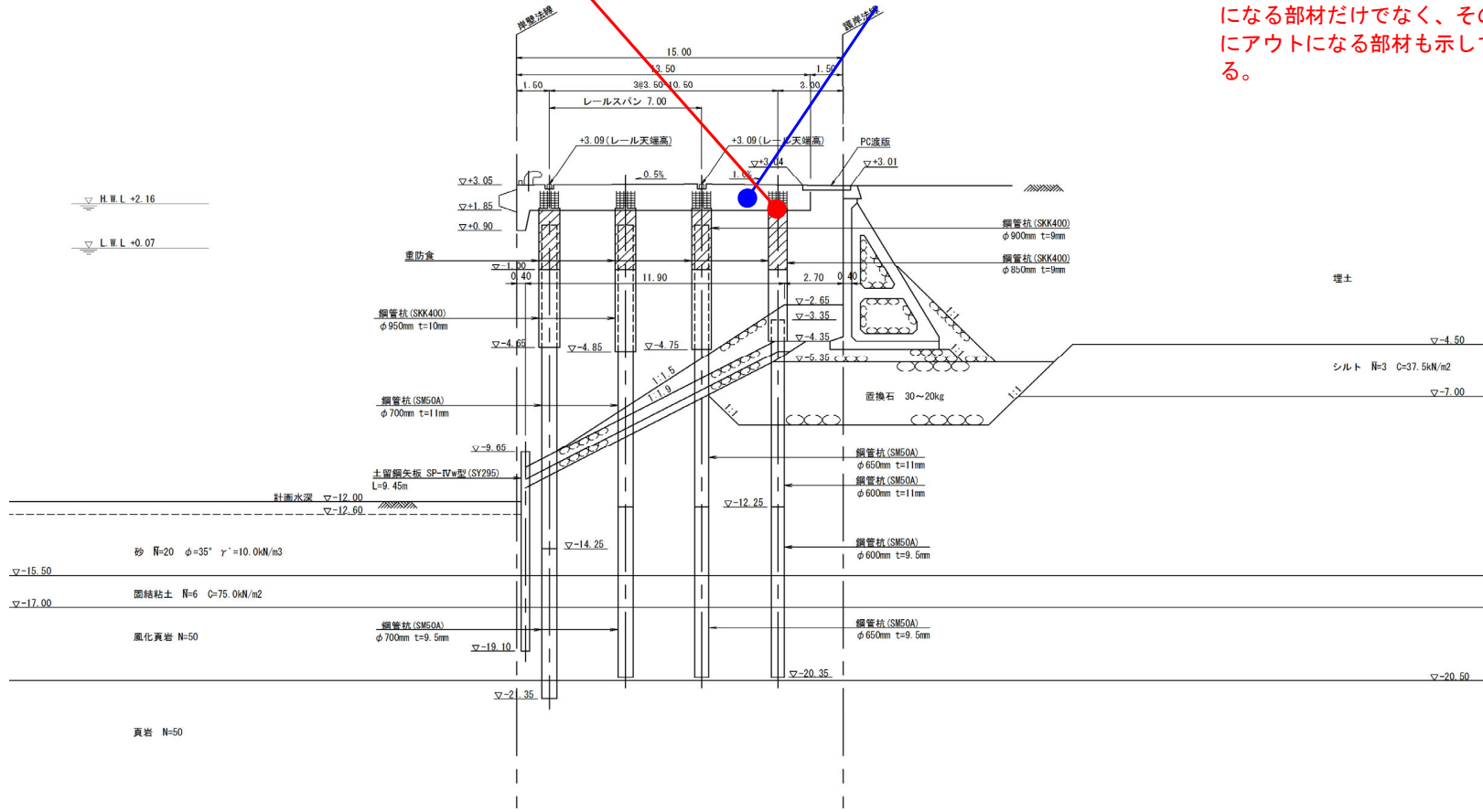
栈橋杭／限界曲率を超過

上部工／曲げ耐力を超過

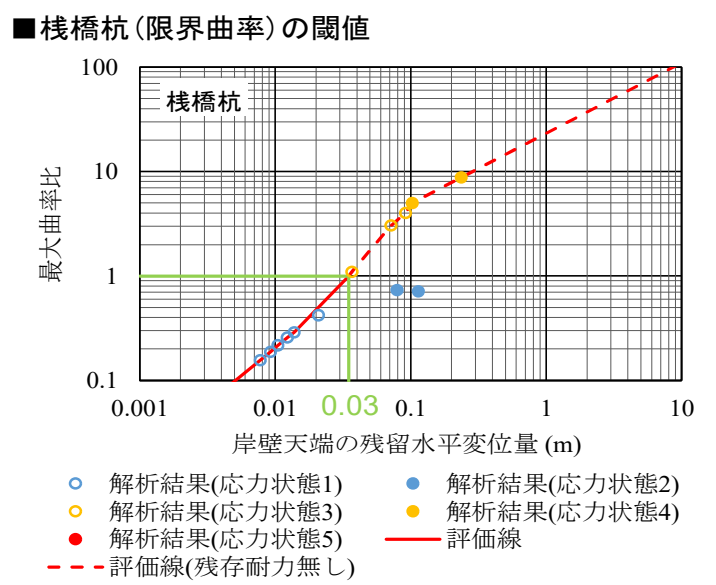
速度のPSI値の閾値：PSI1=26 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS1=0.03 (m)

速度のPSI値の閾値：PSI3=33 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=0.05 (m)

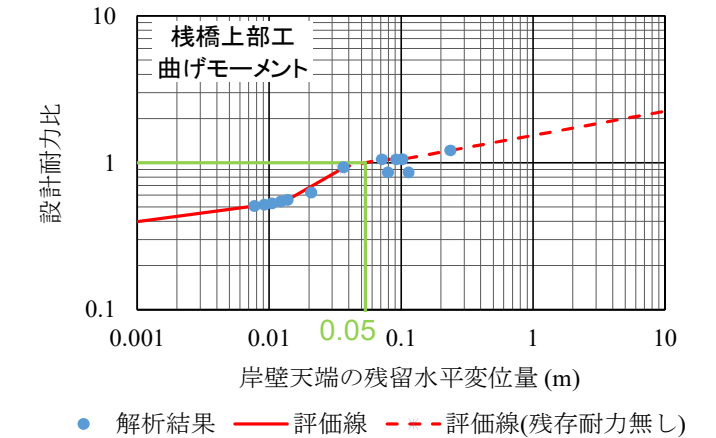
※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。



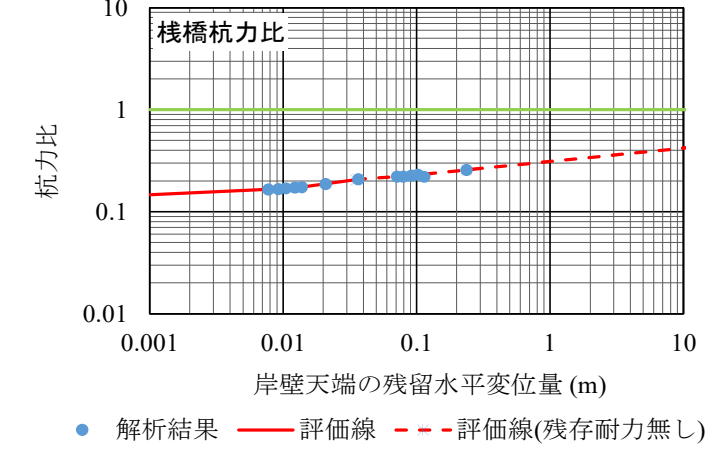
岸壁天端の残留水平変位量の閾値



■上部工(曲げ耐力)の閾値



■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

■F港岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	残留水平変位(m)		地震中の状態					船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測震度	震度階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	栈橋杭力比	上部工 設計耐力比		接岸時	牽引時			
							曲げモーメント	せん断力					
再現期間50年の確率波	5.26	0.01	0.01	0.16	1	0.17	0.51	0.13	0.47	0.33	3.71	震度4	
再現期間75年の確率波	6.29	0.01	0.01	0.19	1	0.17	0.52	0.13	0.46	0.33	3.86	震度4	
再現期間100年の確率波	7.04	0.01	0.02	0.22	1	0.17	0.53	0.14	0.46	0.33	3.95	震度4	
再現期間150年の確率波	8.24	0.01	0.02	0.26	1	0.17	0.54	0.14	0.46	0.34	4.09	震度4	
再現期間200年の確率波	9.24	0.01	0.02	0.29	1	0.17	0.56	0.15	0.45	0.34	4.18	震度4	
再現期間500年の確率波	12.95	0.02	0.03	0.42	1	0.19	0.63	0.17	0.45	0.35	4.45	震度4	
M6.5の直下型地震 振幅0.6倍	28.21	0.04	0.05	1.09	3	0.21	0.93	0.24	0.41	0.44	4.94	震度5弱	「使用不可」となる。
M6.5の直下型地震 振幅0.8倍	37.61	0.07	0.14	3.04	3	0.22	1.05	0.27	0.58	0.67	5.18	震度5強	「上部工の下面調査が必要」となる。
西山断層地震	41.37	0.08	0.15	0.73	2	0.22	0.86	0.25	0.53	0.45	5.23	震度5強	
M6.5の直下型地震 振幅0.9倍	42.31	0.09	0.16	4.00	3	0.23	1.06	0.28	0.64	0.82	5.28	震度5強	
M6.5の直下型地震	47.01	0.10	0.17	4.99	4	0.23	1.06	0.29	0.64	0.88	5.38	震度5強	
宇美断層地震	75.58	0.11	0.18	0.71	2	0.22	0.86	0.25	0.53	0.67	5.31	震度5強	
警固断層地震	99.90	0.24	0.30	8.77	4	0.26	1.21	0.33	0.97	1.00	5.72	震度6弱	

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の残留水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否	上部工下面の目視調査
0~0.03	0~26	暫定使用可(長期)	不要
0.03~0.05	26~33	使用不可	不要
0.05~	33~	使用不可	必要

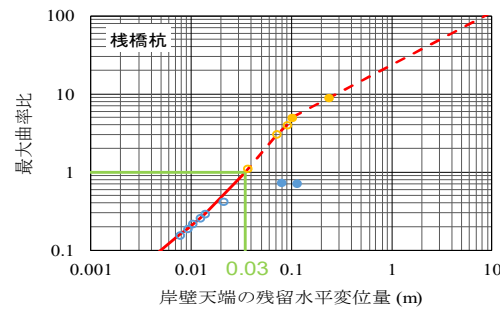
震度階級	使用可否	上部工下面の目視調査
4以下	暫定使用可(長期)	不要
5弱	使用不可	不要
5強	使用不可	必要
6弱	使用不可	必要
6強	使用不可	必要
7以上	使用不可	必要

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可と上部工下面調査のみ考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比、上部工設計耐力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

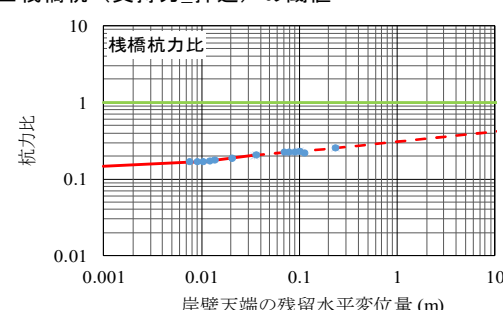
●水平変位量の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



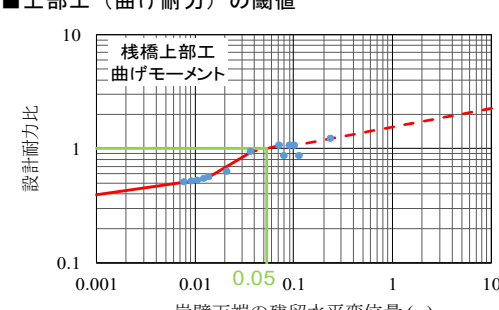
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線
 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



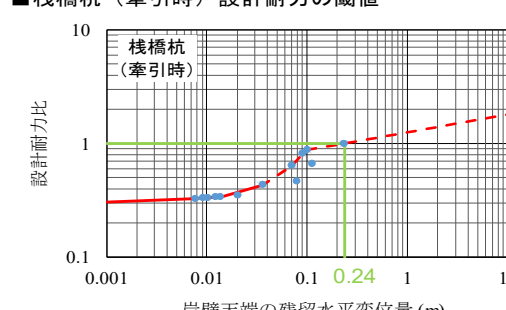
● 解析結果 - - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工(曲げ耐力)の閾値



● 解析結果 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値

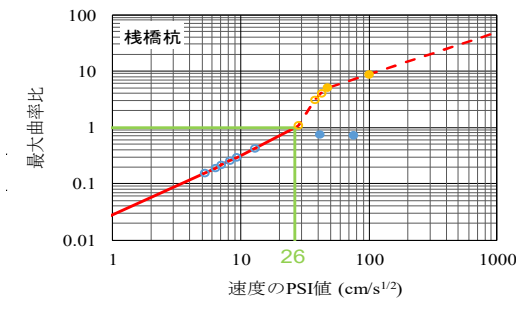


● 解析結果 - - - 評価線(残存耐力無し)

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

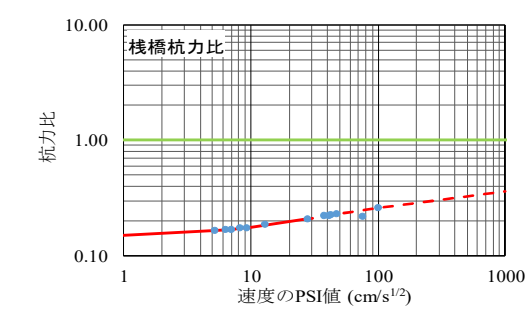
●速度のPSI値の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



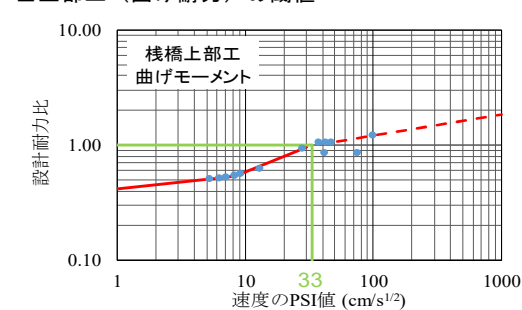
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線
 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



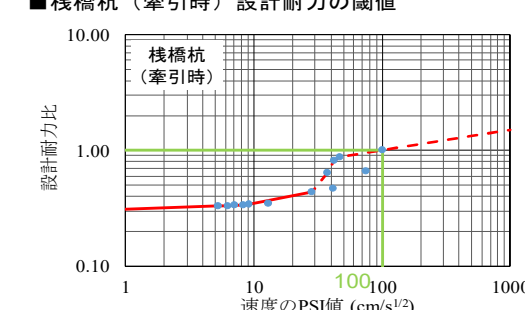
● 解析結果 - - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工(曲げ耐力)の閾値



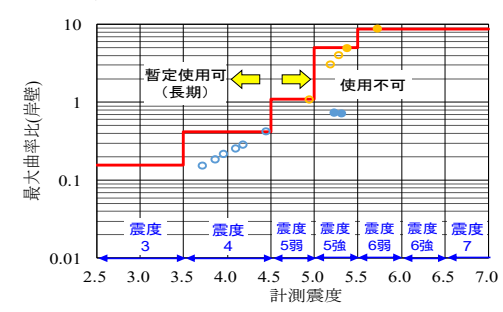
● 解析結果 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値

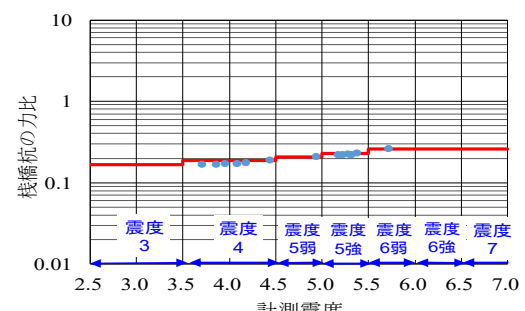


● 解析結果 - - - 評価線(残存耐力無し)

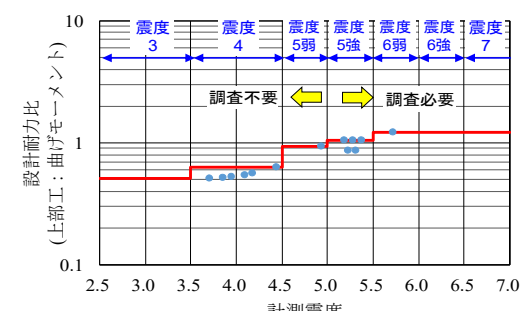
●計測震度の評価線



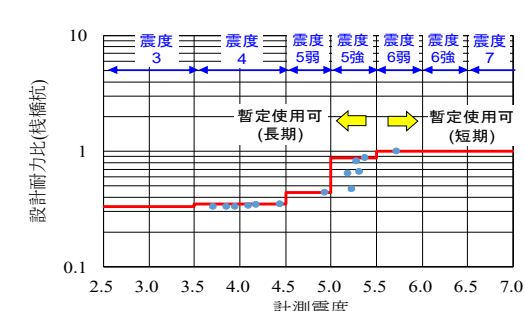
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線



● 解析結果

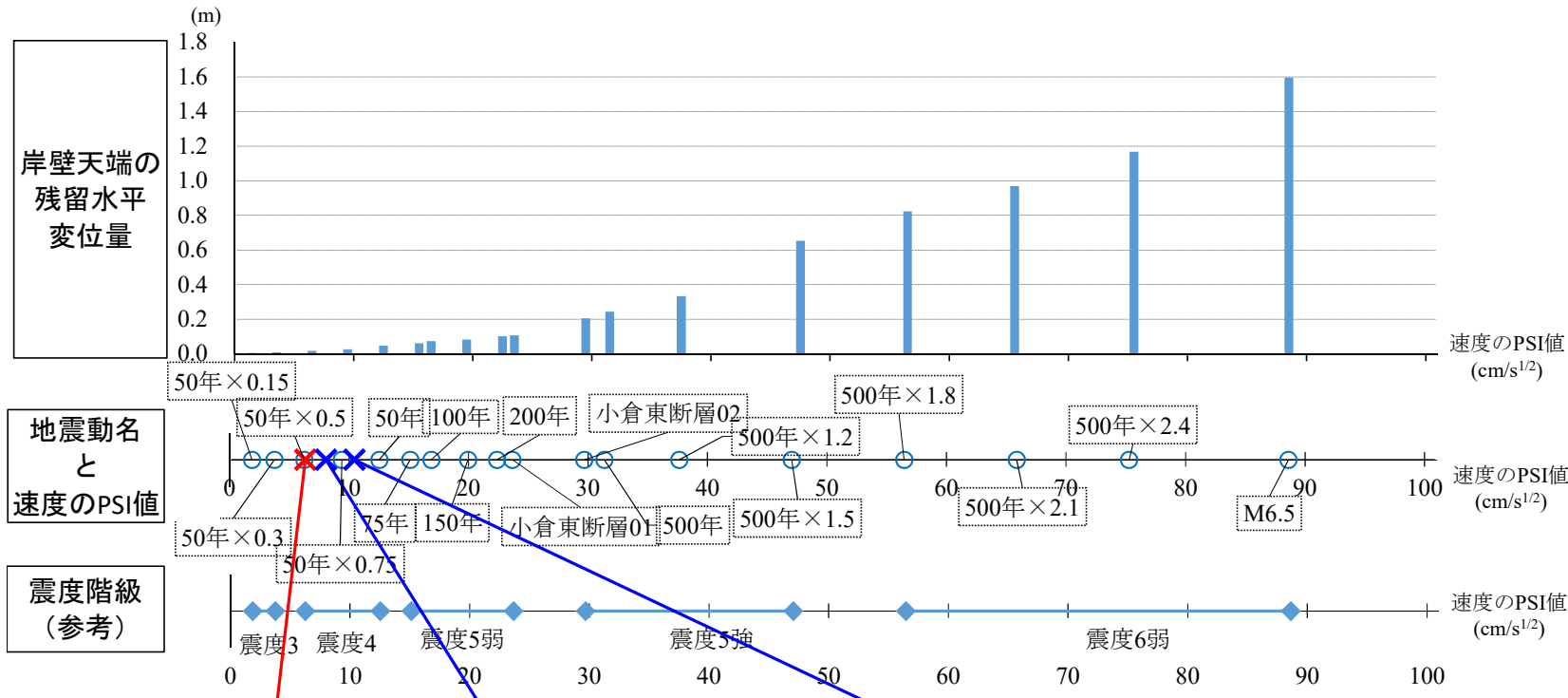


● 解析結果



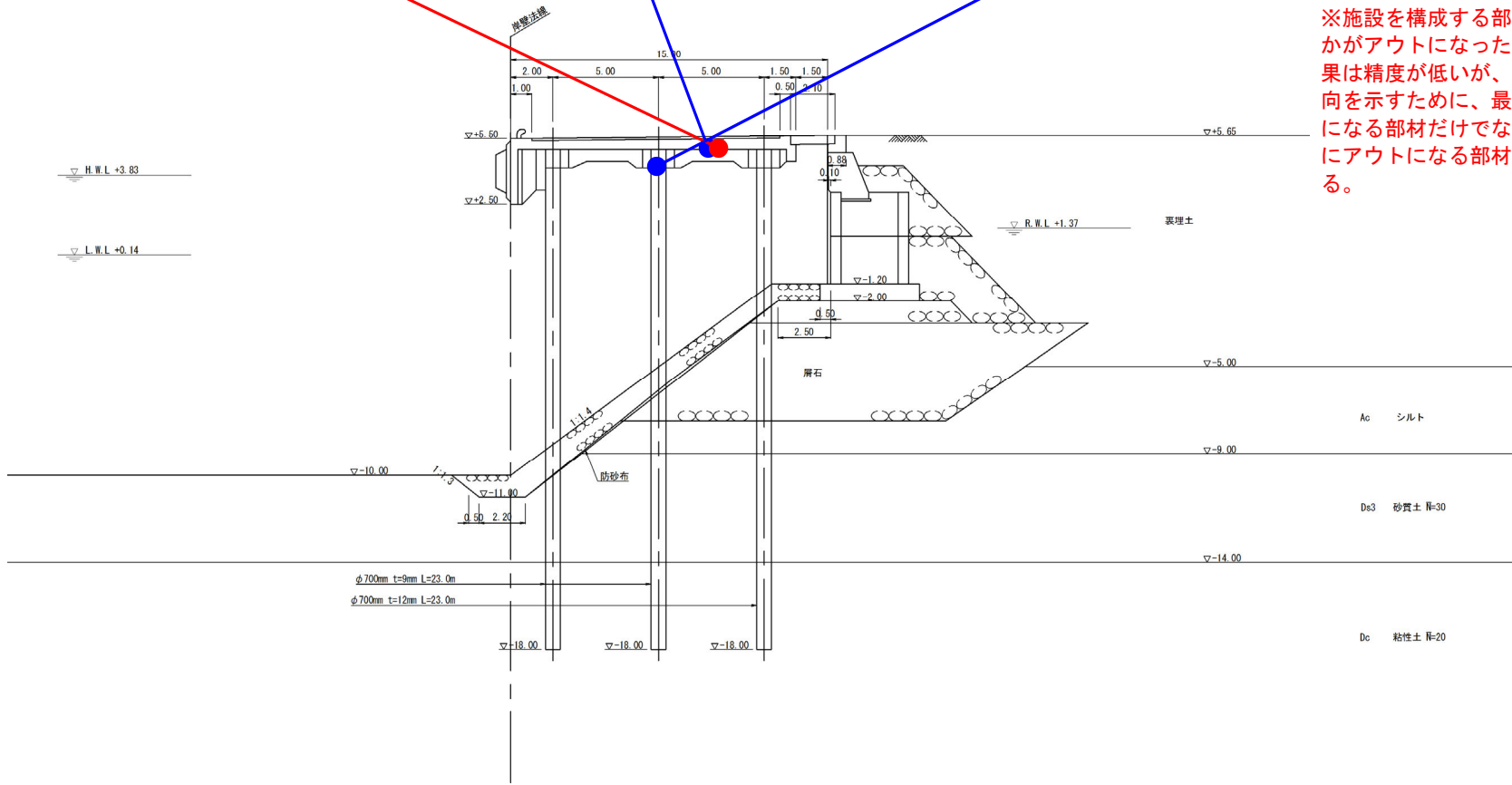
● 解析結果

●施設名称：E港n岸壁 ●被災形態：最初に上部工／曲げ耐力を超過
 ●構造形式：栈橋式



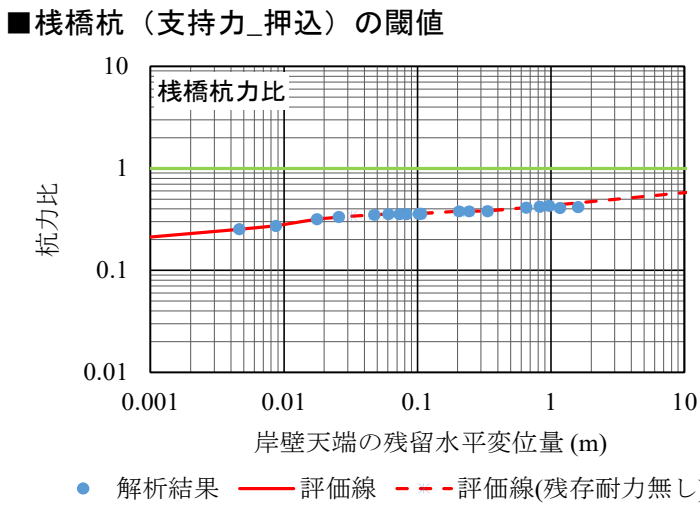
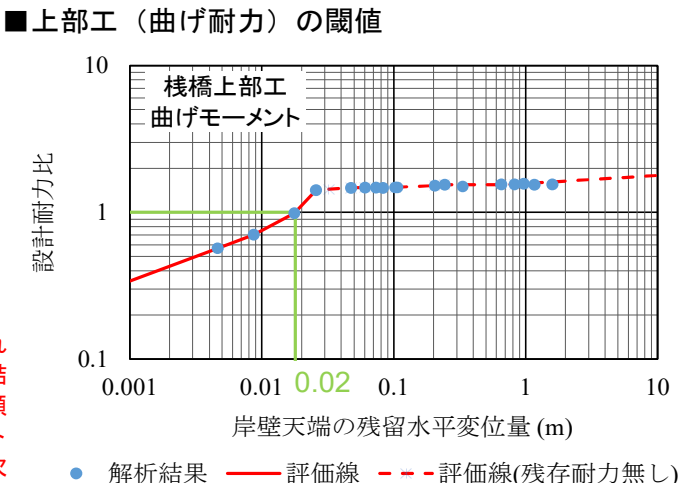
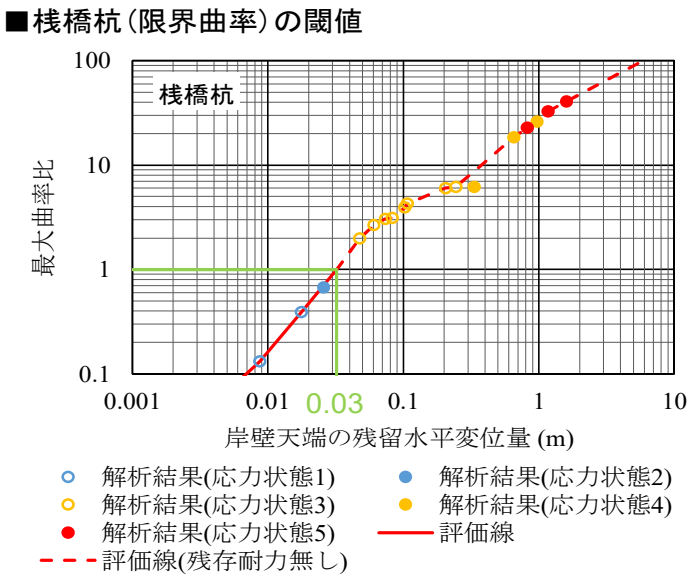
上部工／曲げ耐力を超過 上部工／せん断耐力を超過 栈橋杭／限界曲率を超過

速度のPSI値の閾値：PSI3=6 (cm/s^{1/2}) 速度のPSI値の閾値：PSI3=8 (cm/s^{1/2}) 速度のPSI値の閾値：PSI1=10 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=0.02 (m) 水平変位量の閾値：DS3=0.02 (m) 水平変位量の閾値：DS1=0.03 (m)



※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いですが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力 (曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力 (せん断)

■E港n岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	残留水平変位(m)		地震中の状態					船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭 力比	上部工 設計耐力比		接岸時	牽引時			
							曲げ モーメント	せん断力					
再現期間50年の確率波×0.15	1.88	0.00	0.00	0.06	1	0.25	0.57	0.47	0.47	0.18	2.80	震度3	
再現期間50年の確率波×0.30	3.76	0.01	0.01	0.13	1	0.27	0.70	0.47	0.19	3.39	震度3		
再現期間50年の確率波×0.50	6.27	0.02	0.01	0.39	1	0.32	0.99	0.86	0.46	0.23	3.81	震度4	
再現期間50年の確率波×0.75	9.40	0.03	0.02	0.67	2	0.33	1.42	1.10	0.49	0.29	4.14	震度4	「上部工の下面調査が必要」となる。 「使用不可」となる。
再現期間50年の確率波	12.54	0.05	0.03	1.97	3	0.35	1.47	1.28	0.62	0.25	4.37	震度4	
再現期間75年の確率波	15.13	0.06	0.04	2.66	3	0.36	1.48	1.27	0.64	0.31	4.52	震度5弱	
再現期間100年の確率波	16.90	0.07	0.04	3.05	3	0.36	1.47	1.28	0.66	0.36	4.60	震度5弱	
再現期間150年の確率波	19.96	0.08	0.06	3.12	3	0.36	1.47	1.26	0.62	0.39	4.73	震度5弱	
再現期間200年の確率波	22.38	0.10	0.08	3.92	3	0.36	1.48	1.30	0.61	0.45	4.81	震度5弱	
小倉東断層地震(モデル01)	23.67	0.11	0.08	4.28	3	0.36	1.48	1.29	0.65	0.47	4.87	震度5弱	
小倉東断層地震(モデル02)	29.69	0.20	0.19	6.02	3	0.38	1.52	1.34	0.78	0.84	5.04	震度5強	
再現期間500年の確率波	31.36	0.24	0.35	6.17	3	0.38	1.54	1.40	0.76	0.81	5.05	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.2	37.64	0.33	0.43	6.16	4	0.38	1.50	1.35	0.97	1.02	5.17	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.5	47.05	0.65	0.75	18.43	4	0.41	1.54	1.40	1.02	1.08	5.34	震度5強	
再現期間500年の確率波×1.8	56.45	0.82	0.92	22.83	5	0.42	1.55	1.45	0.99	1.04	5.55	震度6弱	
再現期間500年の確率波×2.1	65.86	0.97	1.07	26.05	4	0.43	1.57	1.51	0.87	0.97	5.51	震度6弱	
再現期間500年の確率波×2.4	75.27	1.17	1.26	32.72	5	0.41	1.54	1.64	0.92	0.99	5.50	震度5強	
M6.5直下地震	88.61	1.60	1.69	40.63	5	0.42	1.55	1.71	1.14	1.15	5.65	震度6弱	

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否	上部工下面 の目視調査
0~0.02	0~6	暫定使用可(長期)	不要
0.02~0.03	6~10	暫定使用可(長期)	必要
0.03~	10~	使用不可	必要

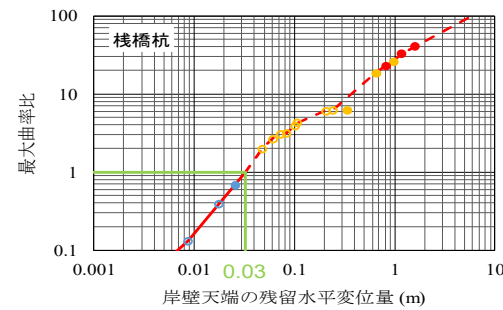
震度 階級	使用可否	上部工下面 の目視調査
3	暫定使用可(長期)	不要
4	使用不可	必要
5弱	使用不可	必要
5強	使用不可	必要
6弱	使用不可	必要
6強	使用不可	必要
7以上	使用不可	必要

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可と上部工
下面調査のみ考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点は技調用。
なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

●水平変位量の評価線

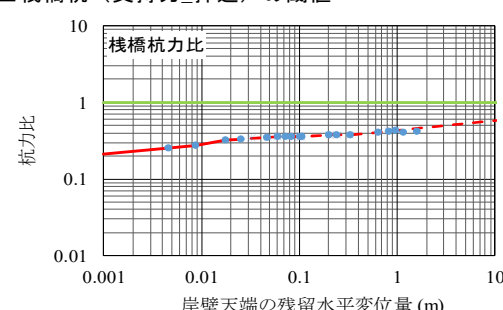
※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比、上部工設計耐力比が1.0を
超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



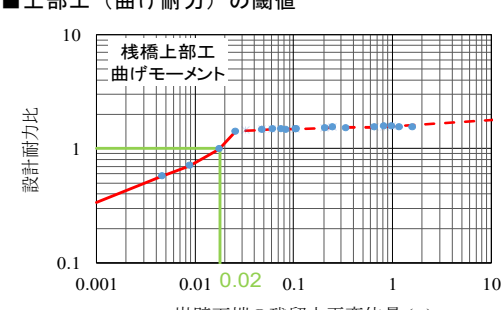
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
○ 解析結果(応力状態5) ● 解析結果(応力状態5)
- - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



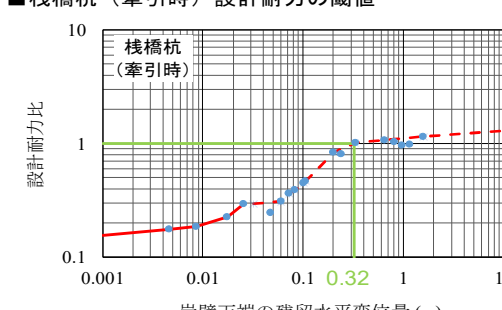
● 解析結果 - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工(曲げ耐力)の閾値



● 解析結果 - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値

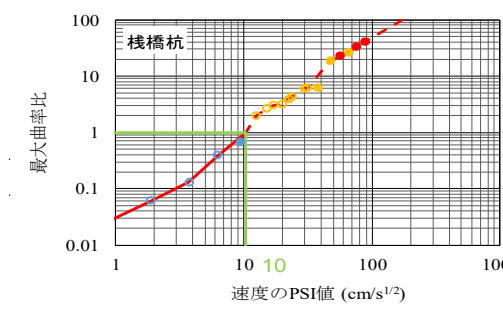


● 解析結果 - - 評価線(残存耐力無し)

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント
上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力 (曲げ)
=発生せん断力/せん断耐力 (せん断)

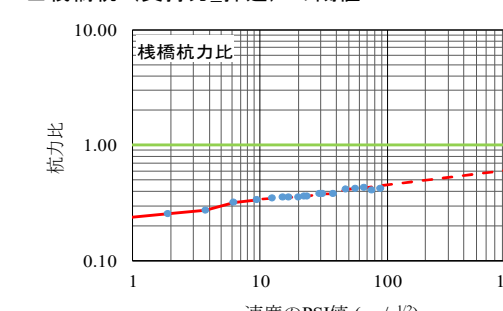
●速度のPSI値の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



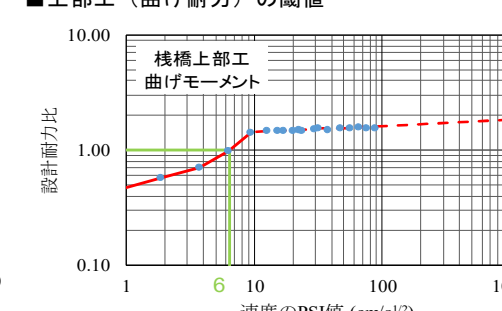
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
○ 解析結果(応力状態5) ● 解析結果(応力状態5)
- - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



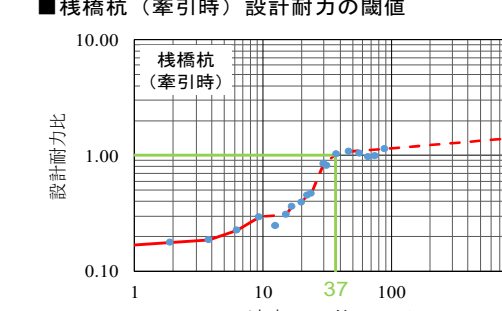
● 解析結果 - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工(曲げ耐力)の閾値



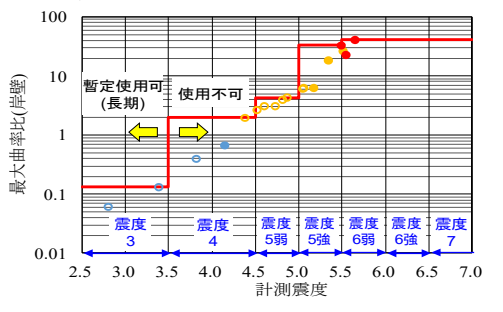
● 解析結果 - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値

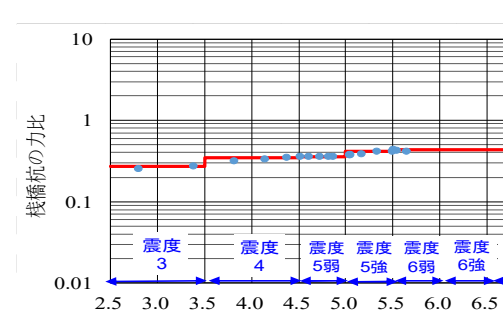


● 解析結果 - - 評価線(残存耐力無し)

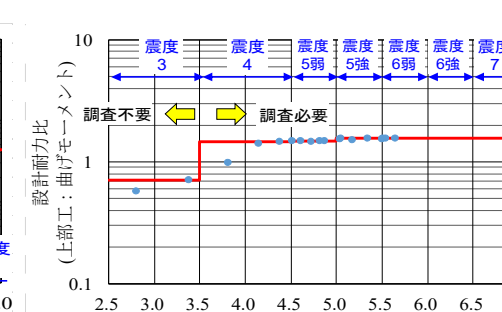
●計測震度の評価線



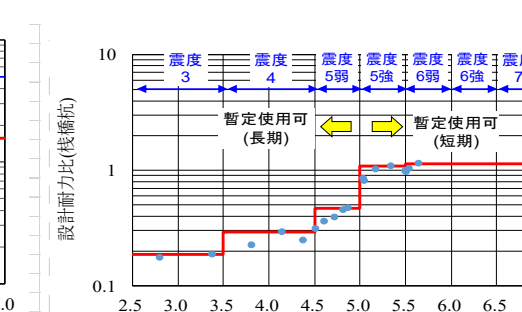
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
○ 解析結果(応力状態5) ● 解析結果(応力状態5)
- - 評価線



● 解析結果 - - 評価線

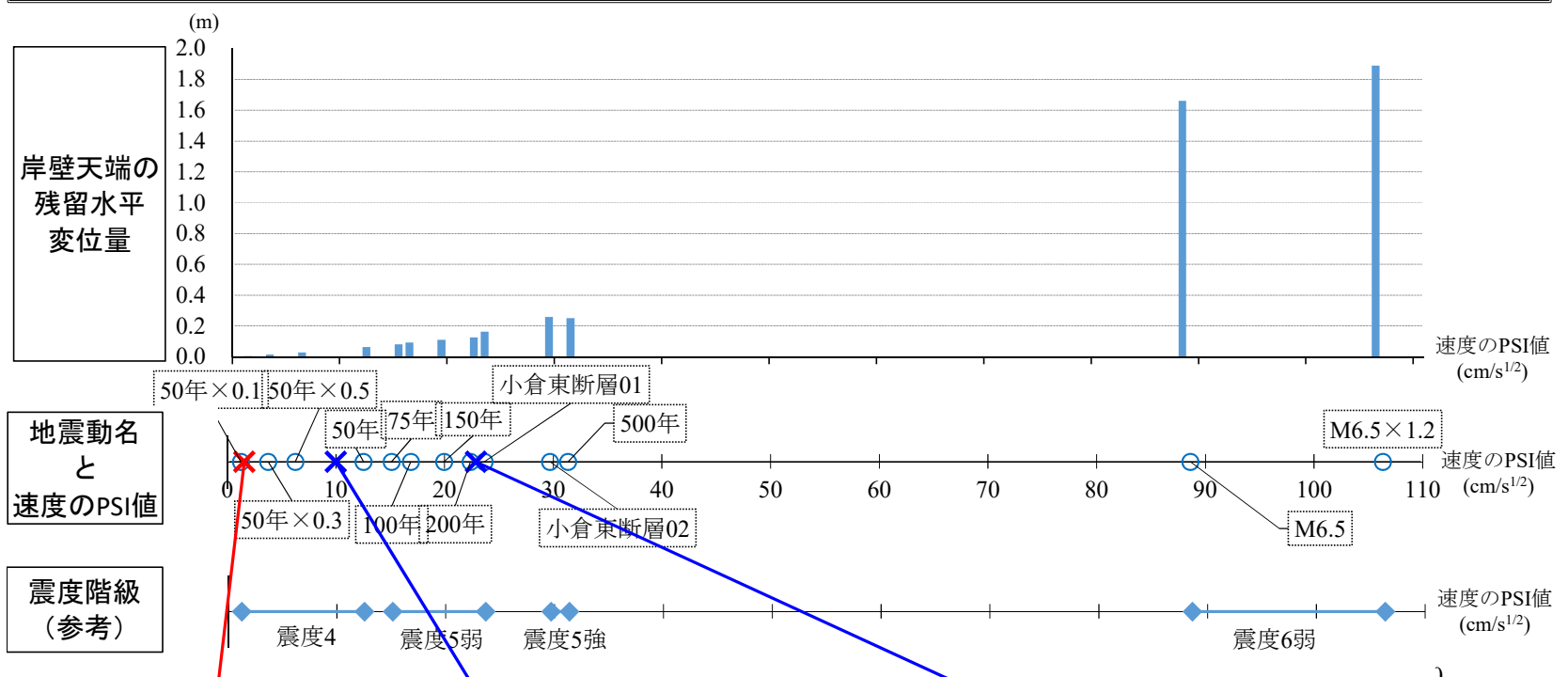


● 解析結果



● 解析結果

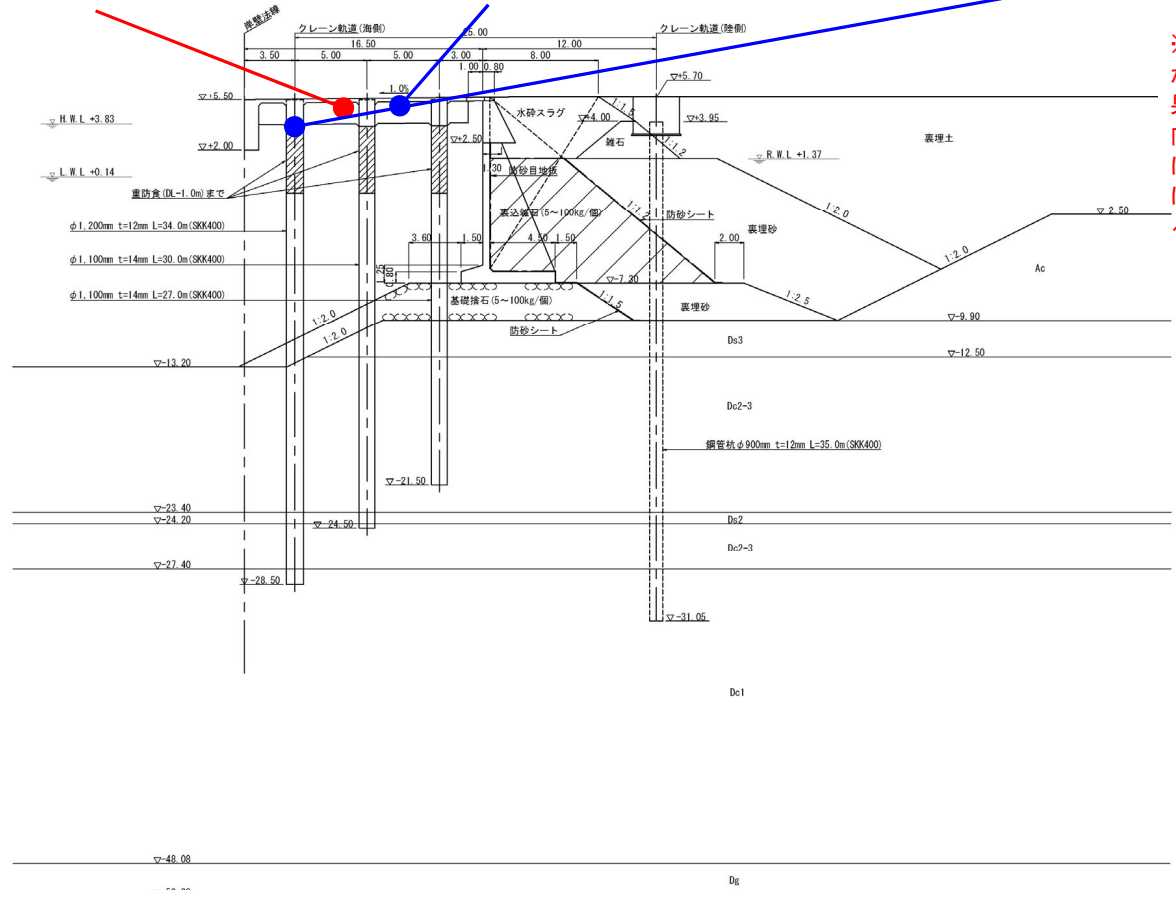
●施設名称：E港o岸壁 ●被災形態：最初に上部工／曲げ耐力を超過
 ●構造形式：栈橋式



上部工／曲げ耐力を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=2 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=0.01 (m)

上部工／せん断耐力を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=10 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=0.05 (m)

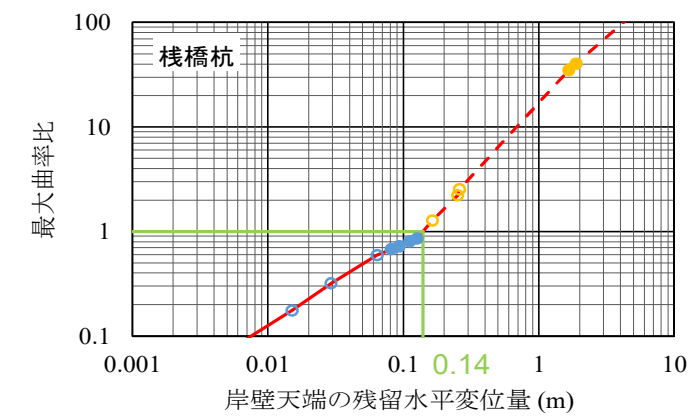
栈橋杭／限界曲率を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI1=23 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS1=0.14 (m)



※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いですが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

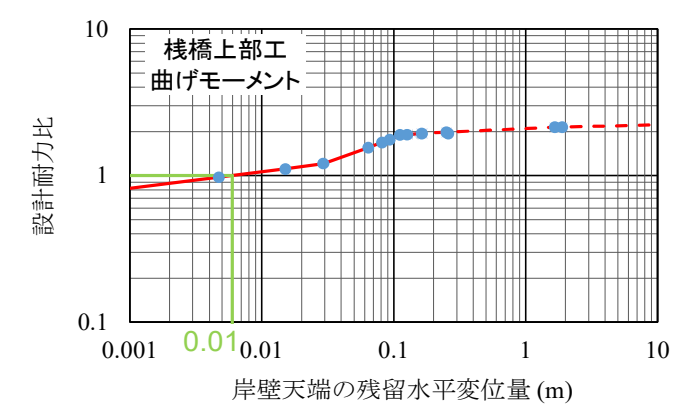
岸壁天端の残留水平変位量の閾値

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



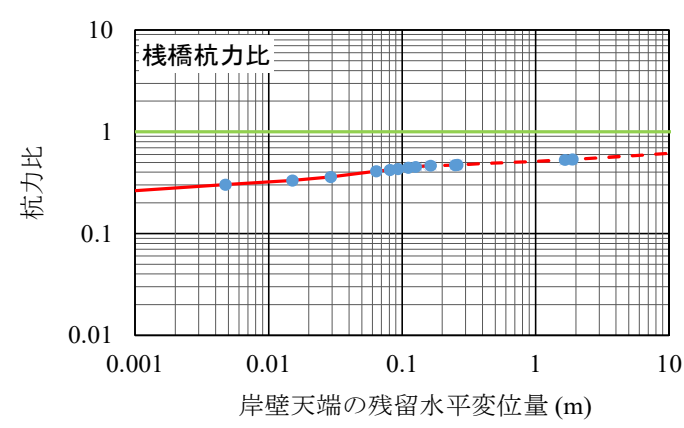
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) — 評価線
 - - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工(曲げ耐力)の閾値



● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



● 解析結果 — 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

■E港0岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	残留水平変位(m)		地震中の状態					船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭 力比	上部工 設計耐力比		接岸時	牽引時			
							曲げ モーメント	せん断力					
再現期間50年の確率波 振幅0.1倍	1.25	0.00	0.01	0.07	1	0.30	0.97	0.39	0.43	0.18	4.43	震度4	
再現期間50年の確率波 振幅0.3倍	3.76	0.02	0.02	0.18	1	0.33	1.11	0.59	0.41	0.21	4.43	震度4	「上部工の下面調査が必要」となる。
再現期間50年の確率波 振幅0.5倍	6.27	0.03	0.03	0.32	1	0.36	1.21	0.81	0.41	0.23	4.43	震度4	
再現期間50年の確率波	12.54	0.06	0.07	0.59	1	0.41	1.55	1.11	0.45	0.26	4.43	震度4	
再現期間75年の確率波	15.13	0.08	0.09	0.67	2	0.42	1.68	1.17	0.48	0.29	4.57	震度5弱	
再現期間100年の確率波	16.89	0.09	0.10	0.72	2	0.43	1.76	1.21	0.50	0.31	4.66	震度5弱	
再現期間150年の確率波	19.96	0.11	0.13	0.80	2	0.44	1.89	1.26	0.48	0.37	4.79	震度5弱	
再現期間200年の確率波	22.38	0.13	0.15	0.86	2	0.45	1.90	1.28	0.47	0.41	4.87	震度5弱	
小倉東断層帯地震01	23.67	0.16	0.19	1.27	3	0.47	1.94	1.31	0.49	0.49	4.94	震度5弱	「使用不可」となる。
小倉東断層帯地震02	29.69	0.26	0.32	2.53	3	0.47	1.93	1.33	0.62	0.67	5.10	震度5強	
再現期間500年の確率波	31.36	0.25	0.31	2.21	3	0.47	1.97	1.33	0.65	0.70	5.12	震度5強	
M6.5の直下型地震	88.61	1.66	1.72	34.95	4	0.53	2.13	1.69	1.09	1.15	5.72	震度6弱	
M6.5の直下型地震 振幅1.2倍	106.33	1.89	1.93	40.40	4	0.53	2.14	1.74	1.05	1.10	5.73	震度6弱	

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比、上部工設計耐力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●使用可否の閾値まとめ

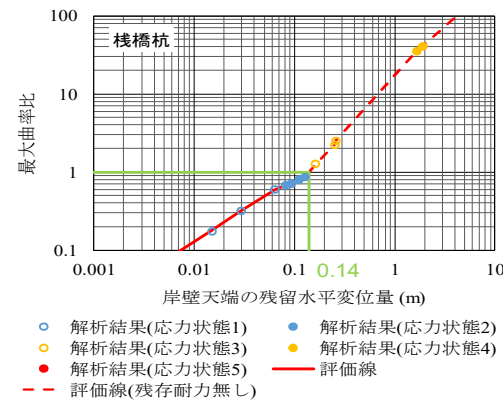
岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否	上部工下面 の目視調査
0~0.01	0~2	暫定使用可(長期)	不要
0.01~0.14	2~23	暫定使用可(長期)	必要
0.14~	23~	使用不可	必要

震度 階級	使用可否	上部工下面 の目視調査
4以下	暫定使用可(長期)	不要
5弱	使用不可	必要
5強	使用不可	必要
6弱	使用不可	必要
6強	使用不可	必要
7以上	使用不可	必要

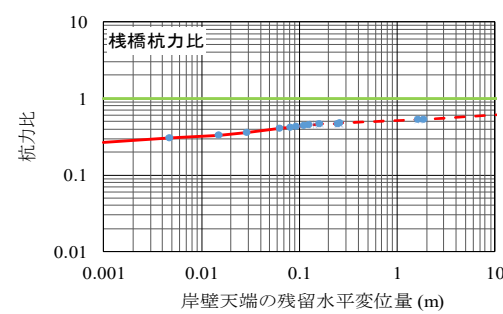
※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可と上部工下面調査のみ考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

●水平変位量の評価線

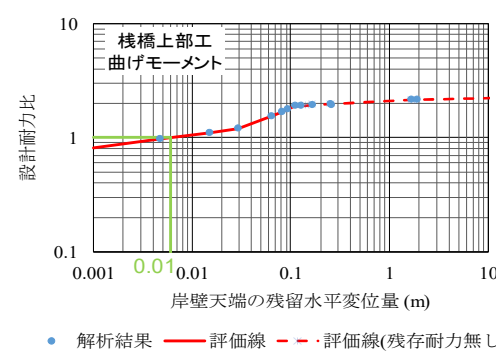
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



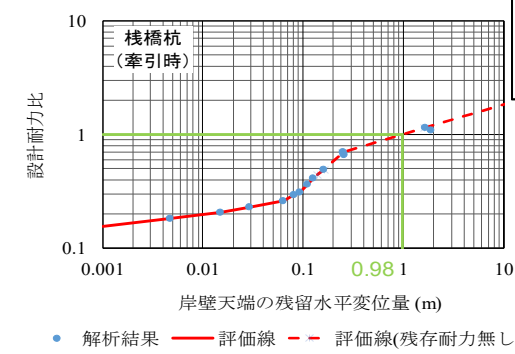
■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



■上部工(曲げ耐力)の閾値



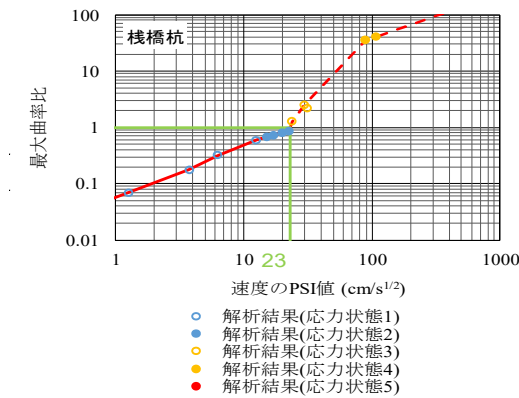
■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値



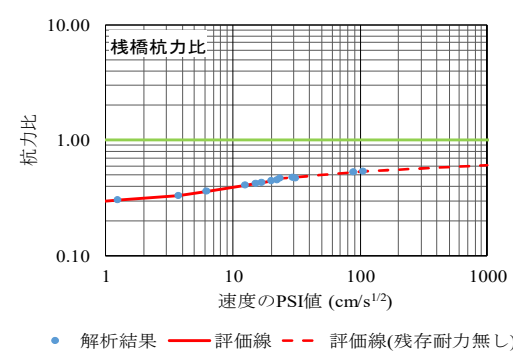
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

●速度のPSI値の評価線

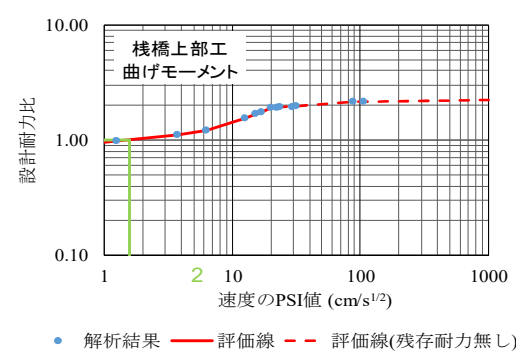
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



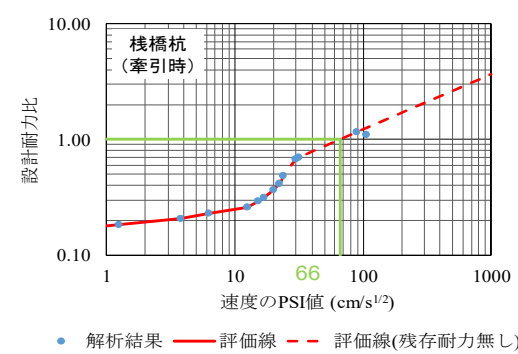
■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



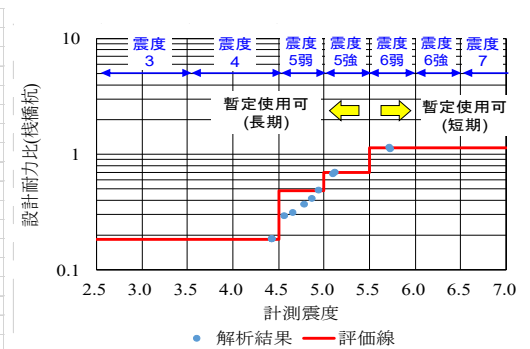
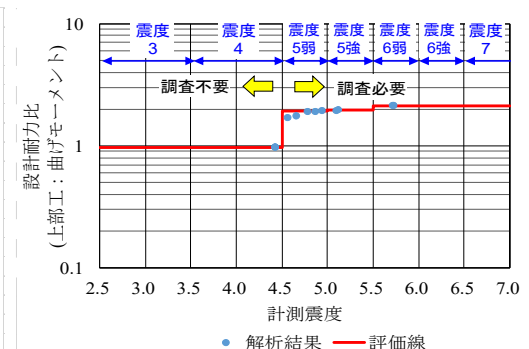
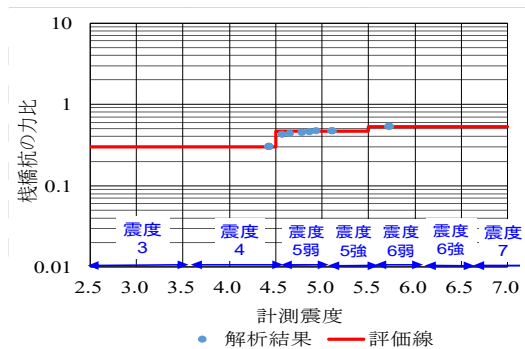
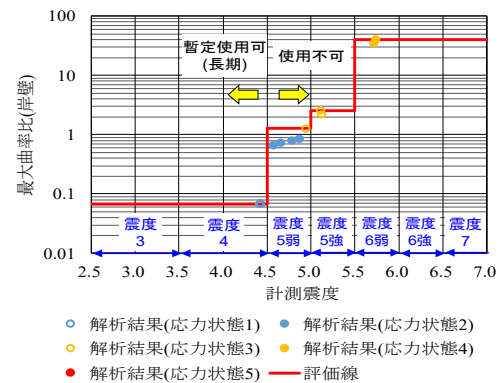
■上部工(曲げ耐力)の閾値



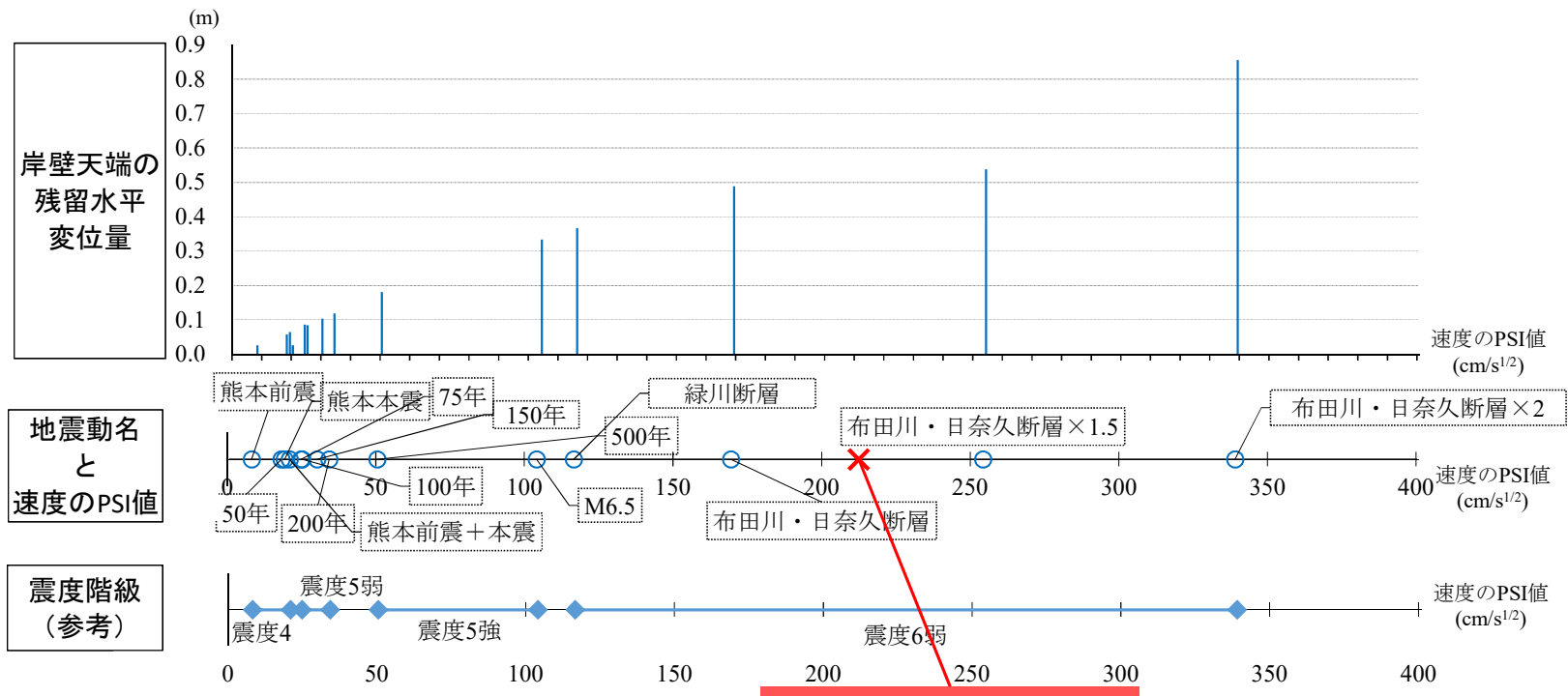
■栈橋杭(牽引時)設計耐力の閾値



●計測震度の評価線

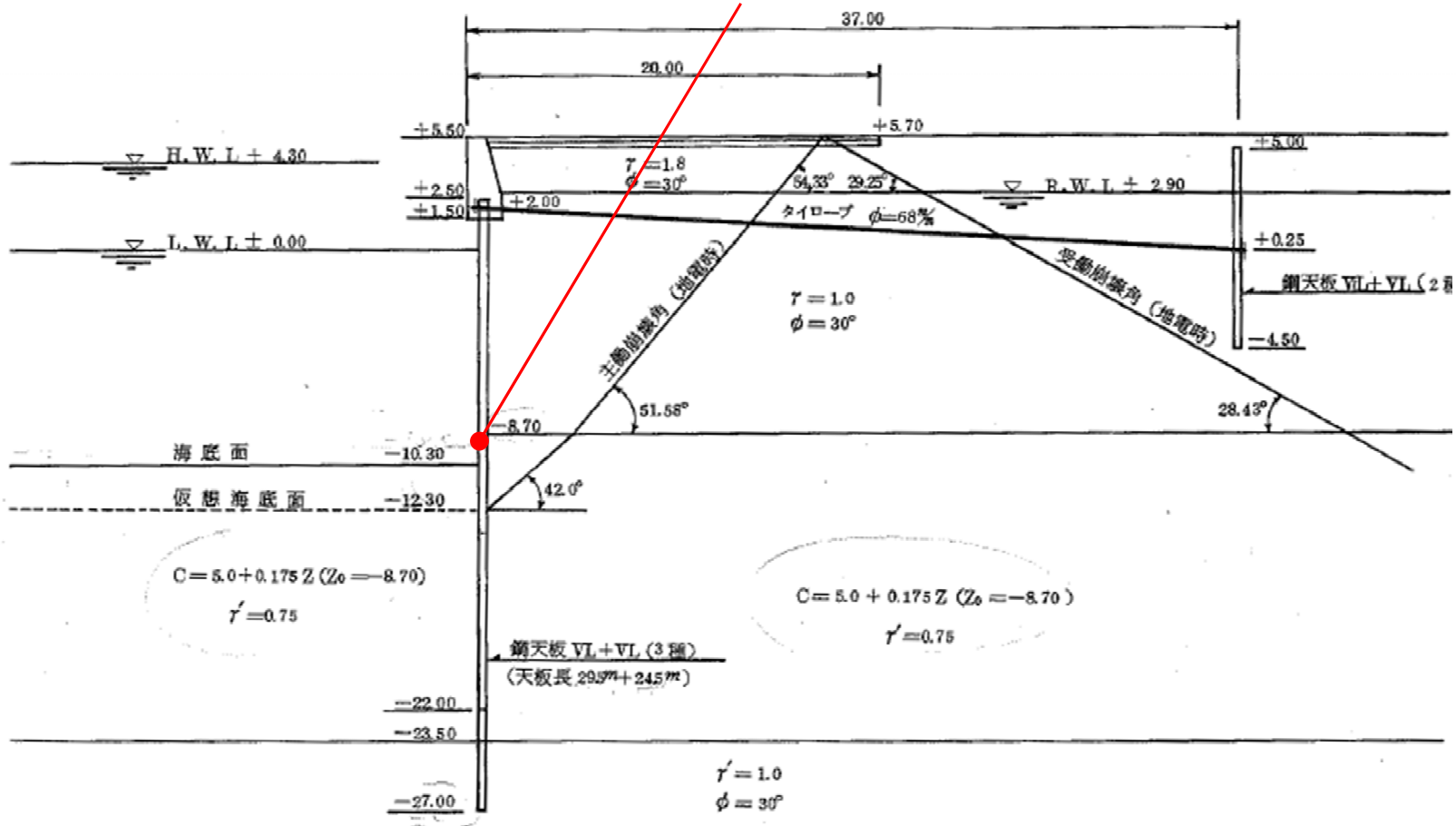


●施設名称：D港f岸壁 ●被災形態：先に前面矢板／全塑性曲率を超過（変形モードB）
 ●構造形式：矢板式（前面矢板：鋼矢板－控え工：鋼矢板）



地震動名と速度のPSI値
 震度階級（参考）

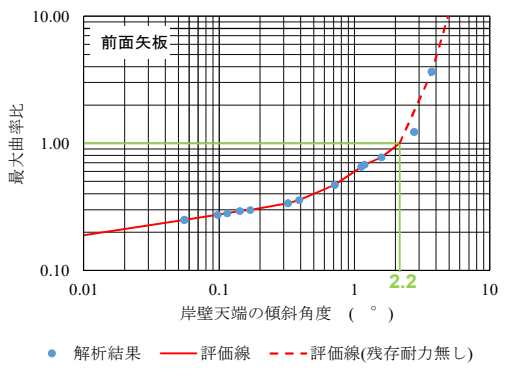
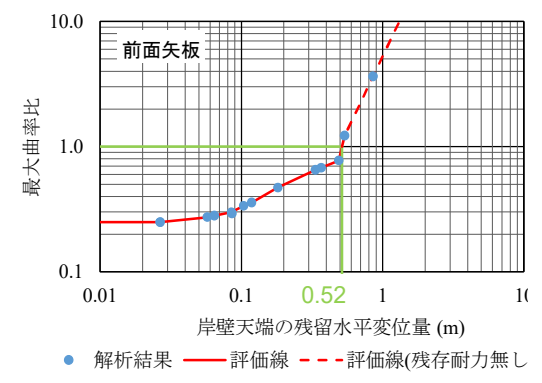
前面矢板／全塑性曲率を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=212 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=0.52 (m)



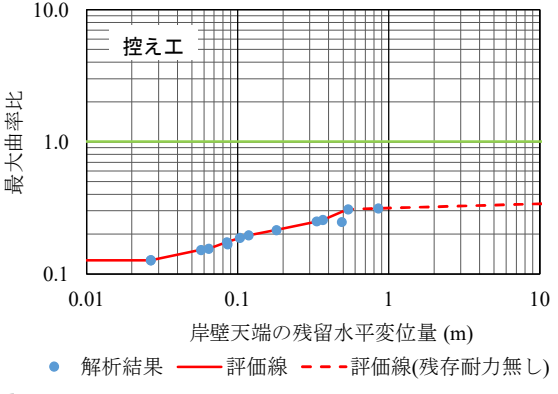
岸壁天端の残留水平変位量の閾値

岸壁天端の残留傾斜角の閾値

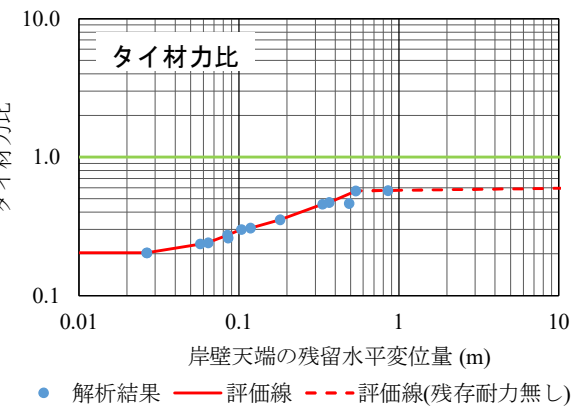
■前面矢板の閾値



■控え工の閾値



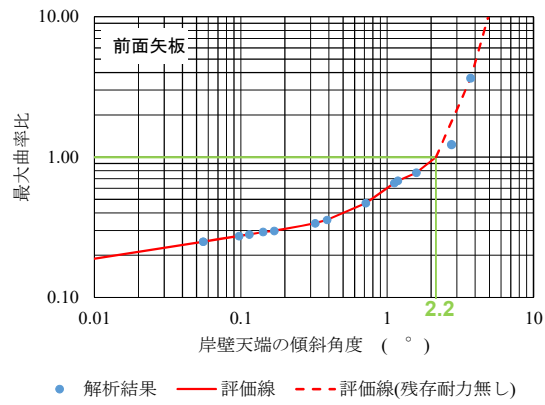
■タイ材の閾値



最大曲率比＝発生最大曲率／限界曲率（鋼管杭、鋼管矢板の場合）
 ＝発生最大曲率／全塑性曲率（鋼矢板の場合）
 タイ材力比＝発生最大引張力／設計破断強度

■D港f岸壁

●傾斜角の評価線



波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【前震】	8.23	0.03	0.25	0.13	0.20	0.29	0.29	0.14	0.15	3.98	震度4	
再現期間50年の確率波	18.26	0.06	0.27	0.15	0.24	0.32	0.31	0.17	0.17	4.37	震度4	
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【本震】	19.31	0.06	0.28	0.16	0.24	0.32	0.32	0.17	0.18	4.57	震度5弱	
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【前震+本震】	20.99	0.03	0.25	0.13	0.20	0.28	0.29	0.15	0.15	3.98	震度4	
再現期間75年の確率波	24.84	0.09	0.29	0.17	0.26	0.34	0.33	0.19	0.19	4.71	震度5弱	
再現期間100年の確率波	25.27	0.08	0.30	0.17	0.27	0.34	0.33	0.19	0.20	4.62	震度5弱	
再現期間150年の確率波	30.29	0.10	0.34	0.19	0.30	0.40	0.38	0.19	0.20	4.75	震度5弱	
再現期間200年の確率波	34.33	0.12	0.36	0.20	0.31	0.42	0.40	0.20	0.21	4.85	震度5弱	
再現期間500年の確率波	50.50	0.18	0.47	0.21	0.35	0.55	0.54	0.19	0.20	5.06	震度5強	
M6.5の直下型地震	104.12	0.33	0.65	0.25	0.46	0.77	0.77	0.24	0.26	5.48	震度5強	
緑川断層帯地震	116.62	0.37	0.68	0.26	0.47	0.80	0.80	0.25	0.26	5.56	震度6弱	
布田川・日奈久断層帯地震	169.53	0.49	0.78	0.25	0.46	0.91	0.90	0.28	0.29	5.70	震度6弱	
布田川・日奈久断層帯地震 振幅1.5倍	254.30	0.54	1.22	0.31	0.57	1.17	1.17	0.33	0.34	5.94	震度6弱	「使用不可」となる。
布田川・日奈久断層帯地震 振幅2倍	339.06	0.86	3.65	0.31	0.57	1.17	1.17	0.31	0.32	5.36	震度5強	

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留傾斜角(°)	使用可否
0~0.51	0~198	—	暫定使用可(長期)
0.51~0.52	198~212	—	暫定使用可(短期)
0.52~	212~	2.2~	使用不可

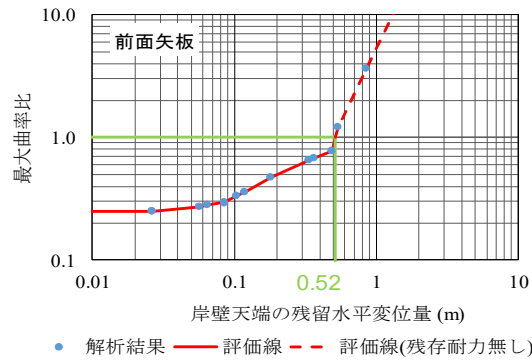
※1:被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。
※2:本施設は変形モードBのため、水平変位と傾斜角の両方の閾値を超えない場合に使用可とする。

震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

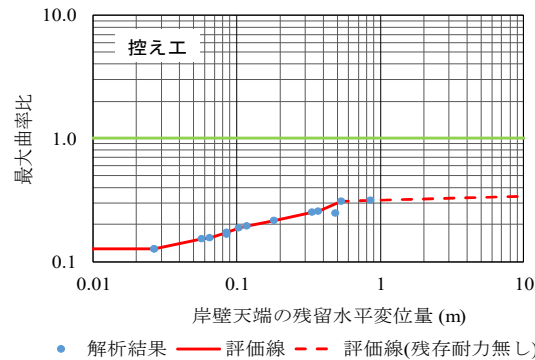
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率(鋼矢板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

●水平変位量の評価線

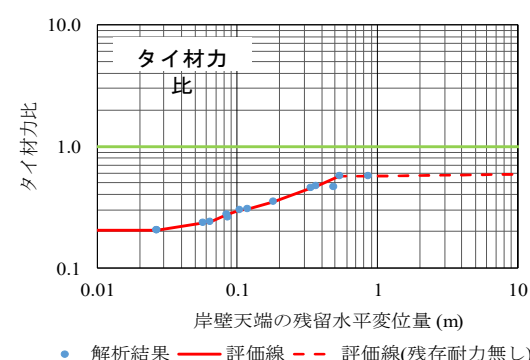
■前面矢板の閾値



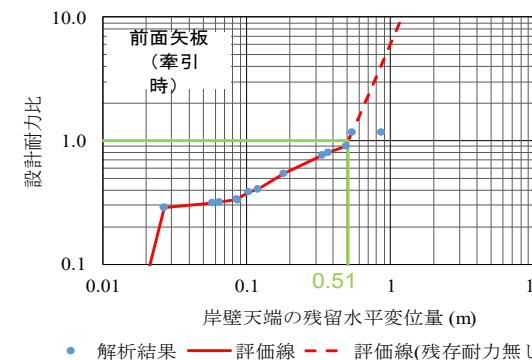
■控え工の閾値



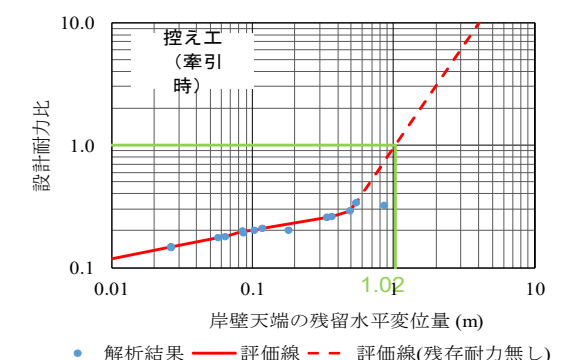
■タイ材の閾値



■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値

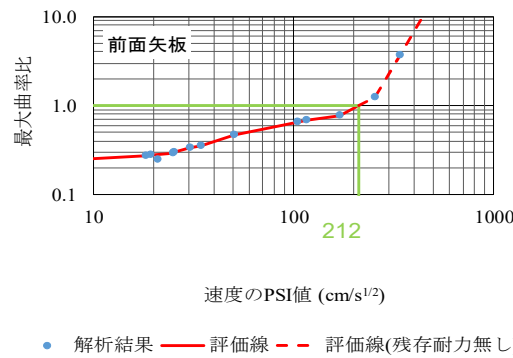


■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

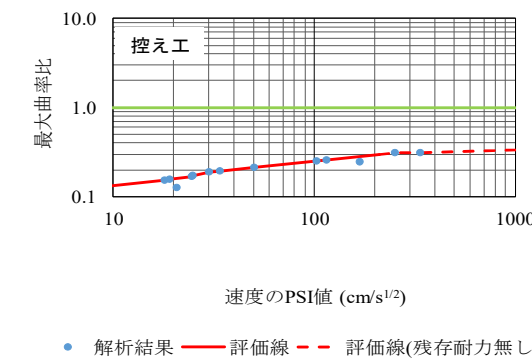


●速度のPSI値の評価線

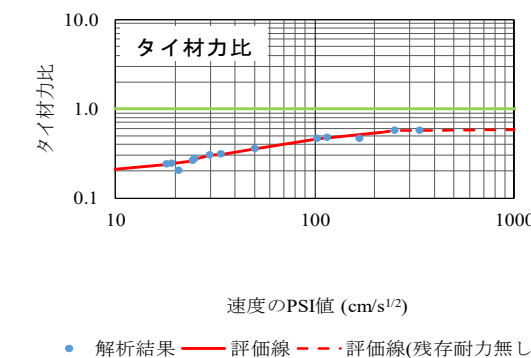
■前面矢板の閾値



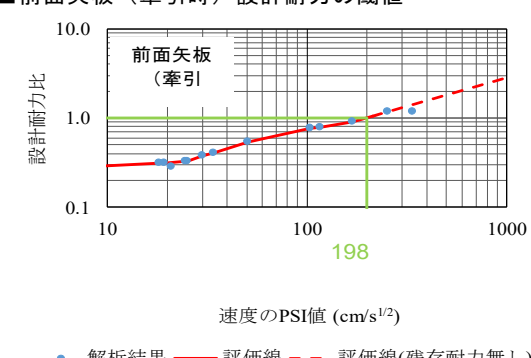
■控え工の閾値



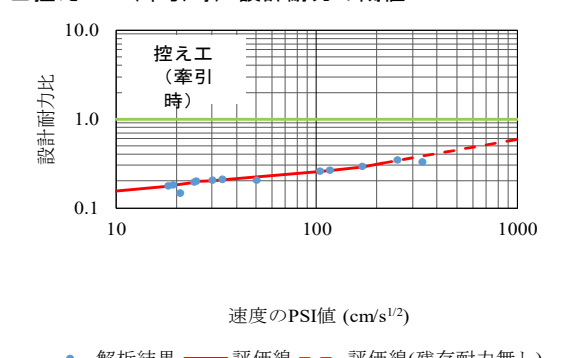
■タイ材の閾値



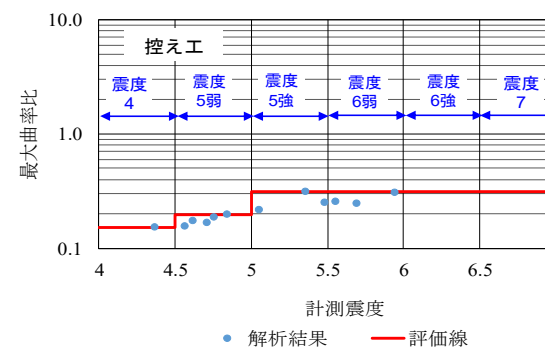
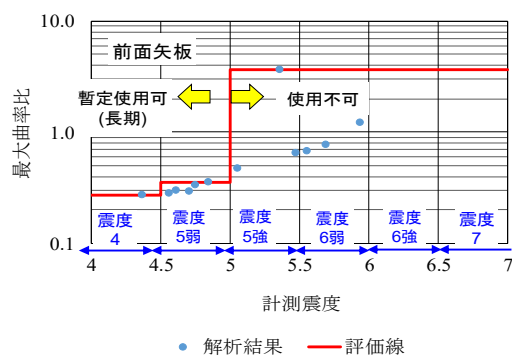
■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



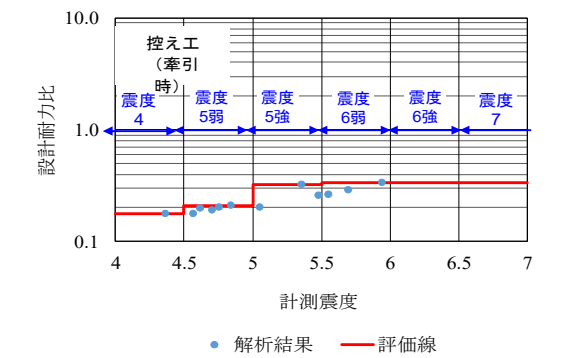
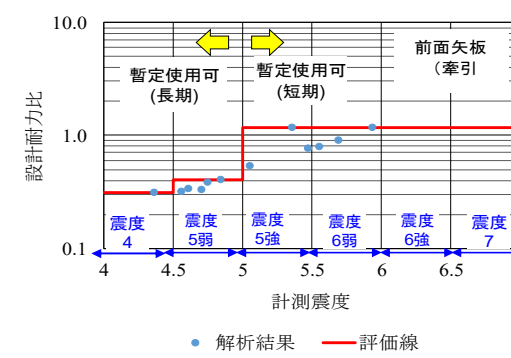
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



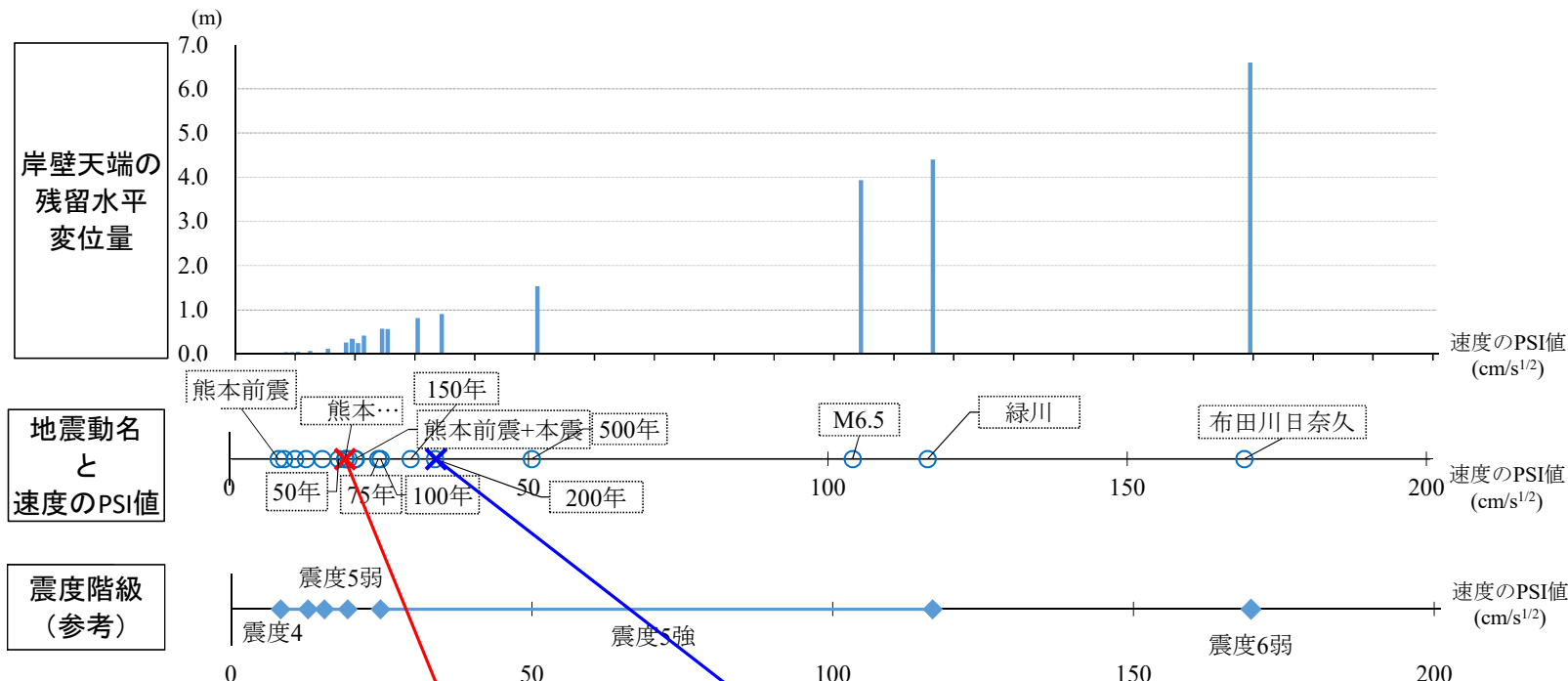
●計測震度の評価線



タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成



●施設名称：D港g岸壁 ●被災形態：先に控え工／限界曲率を超過(変形モードA)
 ●構造形式：矢板式(前面矢板：鋼管矢板－控え工：鋼管杭)



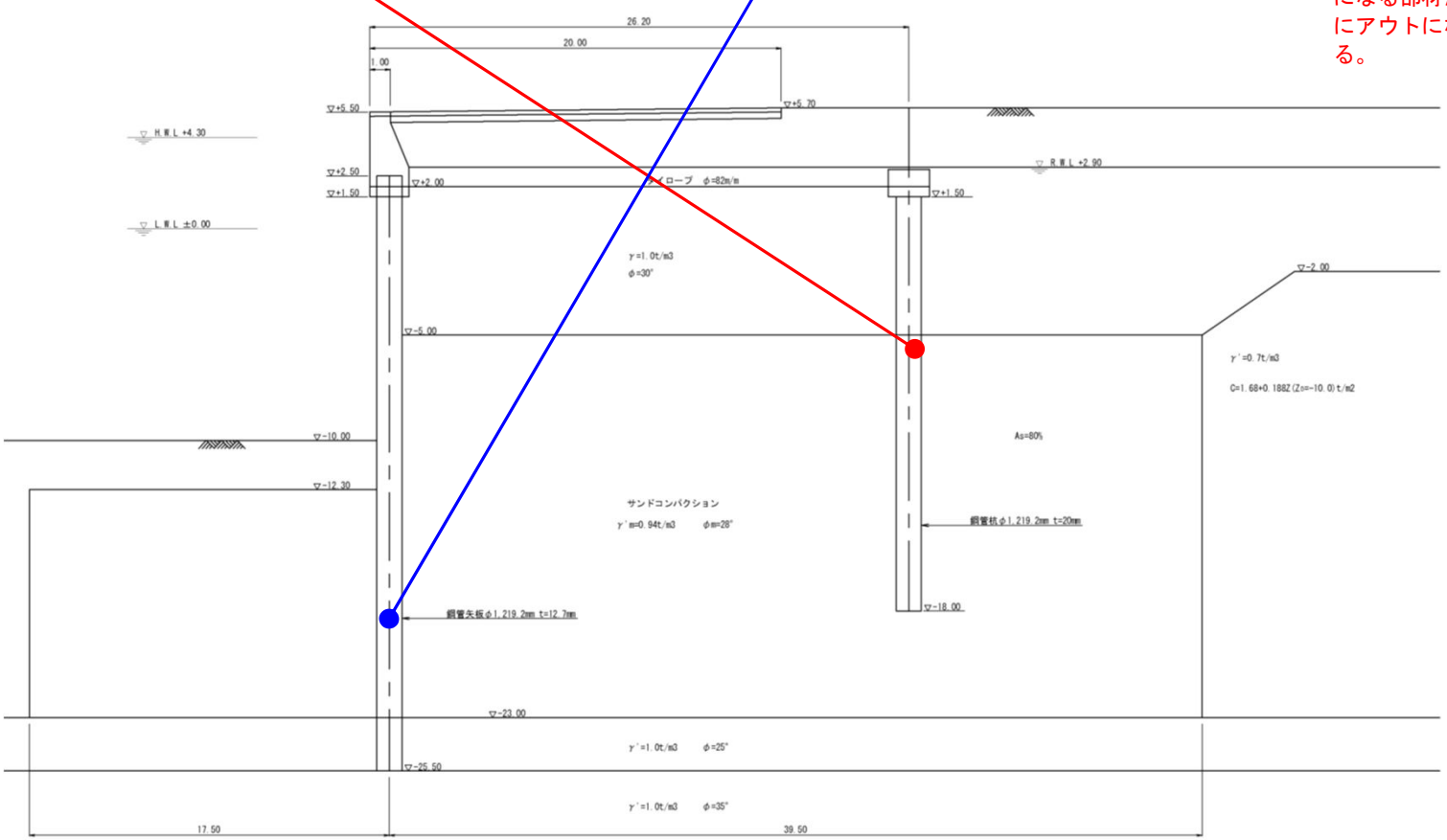
地震動名と速度のPSI値

震度階級(参考)

控え工／限界曲率を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=19 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=0.29 (m)

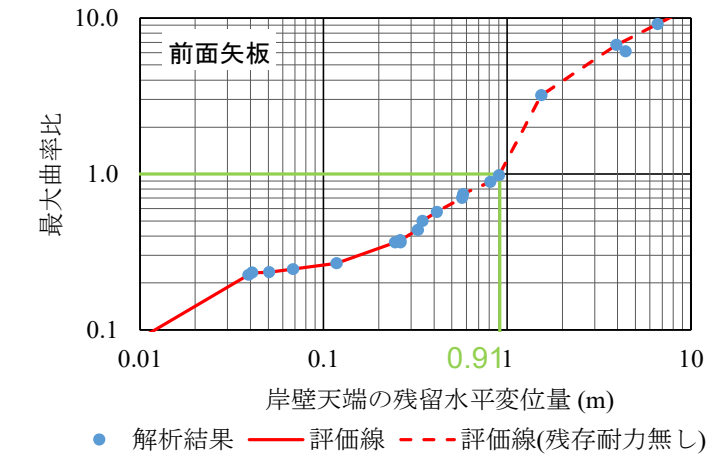
前面矢板／限界曲率を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=35 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=0.91 (m)

※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低い、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

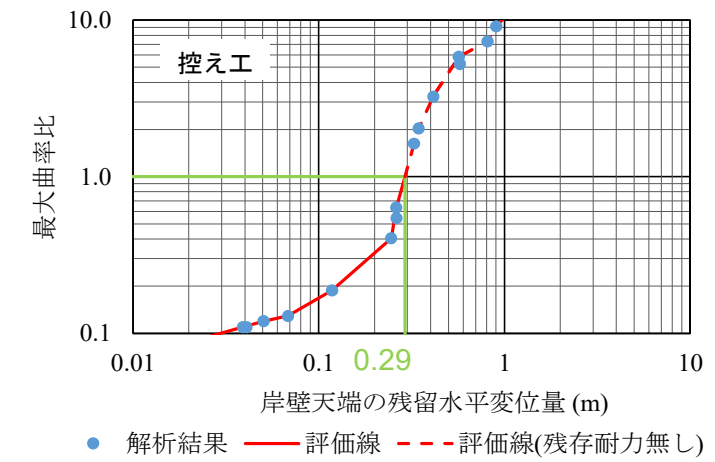


岸壁天端の残留水平変位量の閾値

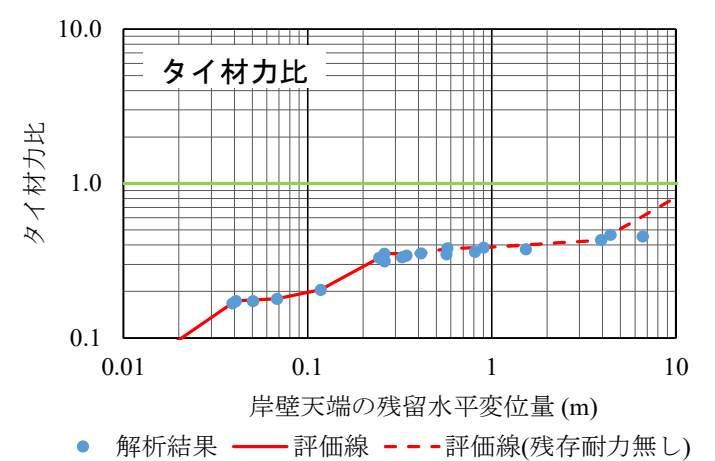
■前面矢板の閾値



■控え工の閾値



■タイ材の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 =発生最大曲率/全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
 タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度

■D港g岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【前震】	8.23	0.04	0.23	0.11	0.17	0.27	0.27	0.35	0.34	4.20	震度4	
再現期間50年の確率波 振幅0.50倍	9.13	0.04	0.23	0.11	0.17	0.27	0.26	0.35	0.35	4.13	震度4	
再現期間50年の確率波 振幅0.60倍	10.95	0.05	0.23	0.12	0.17	0.28	0.27	0.38	0.38	4.29	震度4	
再現期間50年の確率波 振幅0.70倍	12.78	0.07	0.25	0.13	0.18	0.29	0.28	0.41	0.40	4.42	震度4	
再現期間50年の確率波 振幅0.85倍	15.52	0.12	0.27	0.19	0.20	0.31	0.30	0.59	0.49	4.58	震度5弱	
再現期間50年の確率波	18.26	0.26	0.36	0.54	0.31	0.39	0.34	1.29	1.04	4.72	震度5弱	
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【本震】	19.31	0.26	0.38	0.63	0.35	0.40	0.35	1.28	1.25	4.81	震度5弱	
再現期間75年の確率波 振幅0.78倍	19.38	0.33	0.44	1.63	0.33	0.39	0.38	1.29	1.27	4.90	震度5弱	「使用不可」となる。
再現期間75年の確率波 振幅0.80倍	19.88	0.34	0.50	2.03	0.34	0.50	0.50	1.29	1.27	4.91	震度5弱	
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【前震+本震】	20.99	0.25	0.36	0.40	0.33	0.43	0.38	1.28	1.14	4.82	震度5弱	
再現期間75年の確率波 振幅0.85倍	21.12	0.41	0.57	3.25	0.35	0.56	0.56	1.29	1.27	4.95	震度5弱	
再現期間75年の確率波	24.84	0.58	0.74	5.25	0.38	0.75	0.76	1.29	1.26	5.05	震度5強	
再現期間100年の確率波	25.27	0.57	0.70	5.84	0.35	0.69	0.69	1.29	1.29	4.95	震度5強	
再現期間150年の確率波	30.29	0.81	0.89	7.30	0.36	0.92	0.93	1.29	1.28	5.01	震度5強	
再現期間200年の確率波	34.33	0.90	0.98	9.13	0.38	0.96	0.97	1.29	1.26	5.09	震度5強	
再現期間500年の確率波	50.50	1.53	3.20	18.21	0.38	1.19	1.20	1.29	1.26	5.23	震度5強	
M6.5の直下型地震	104.12	3.94	6.74	29.96	0.43	1.14	1.16	1.29	1.06	5.42	震度5強	
緑川断層帯地震	116.62	4.41	6.11	30.98	0.47	1.12	1.13	1.29	1.06	5.46	震度5強	
布田川・日奈久断層帯地震	169.53	6.60	9.17	41.12	0.45	1.14	1.16	1.29	0.93	5.53	震度6弱	

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~0.22	0~18	暫定使用可(長期)
0.22~0.29	18~19	暫定使用可(短期)
0.29~	19~	使用不可

震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	使用不可
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

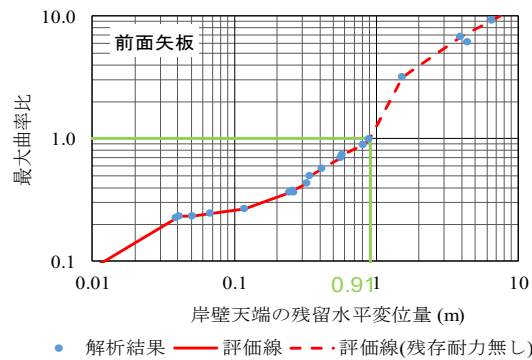
※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。
なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率(鋼矢板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

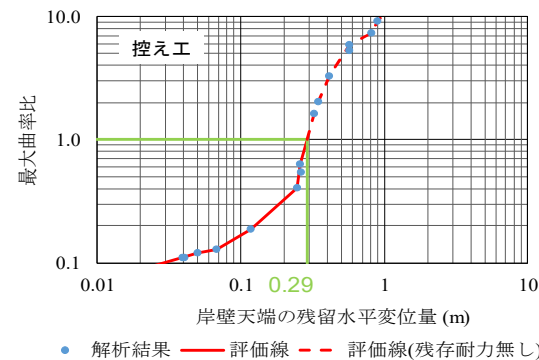
※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●水平変位量の評価線

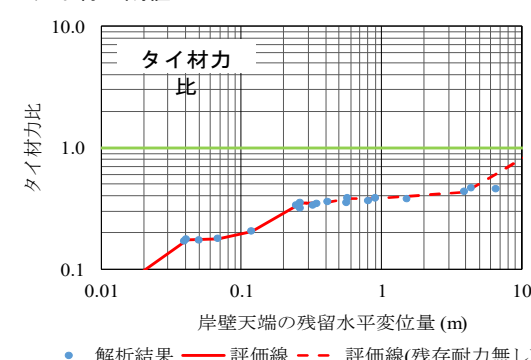
■前面矢板の閾値



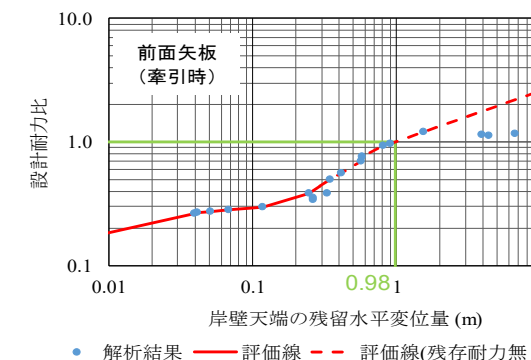
■控え工の閾値



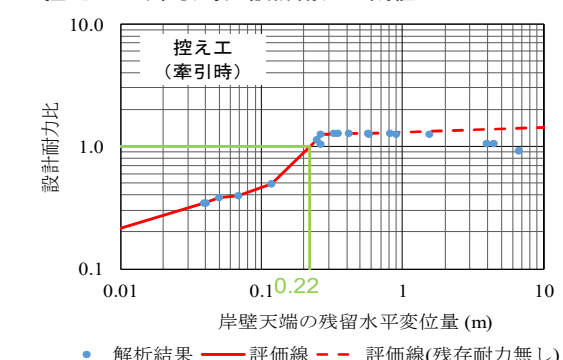
■タイ材の閾値



■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値

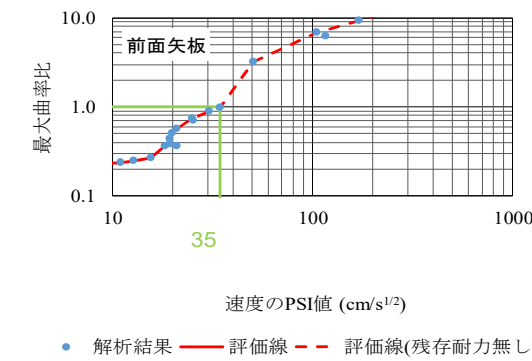


■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

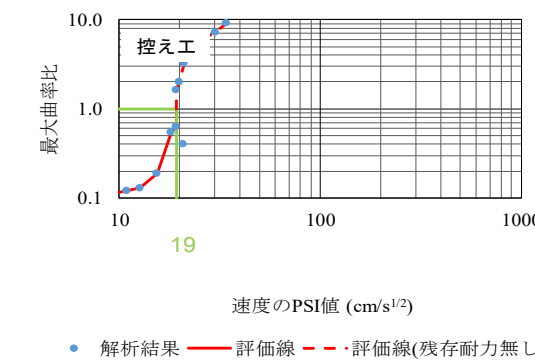


●速度のPSI値の評価線

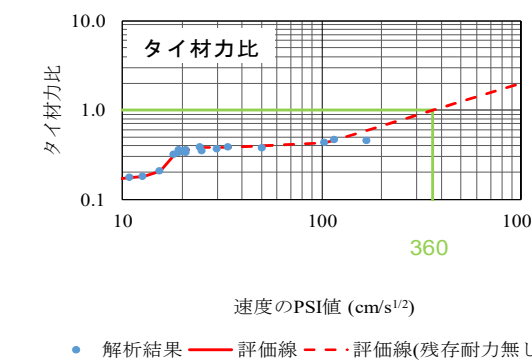
■前面矢板の閾値



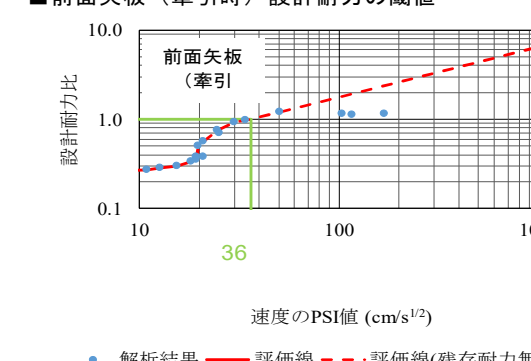
■控え工の閾値



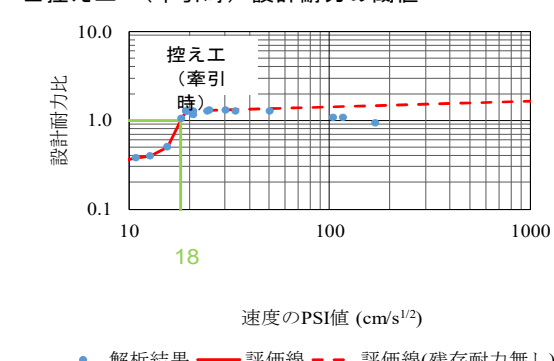
■タイ材の閾値



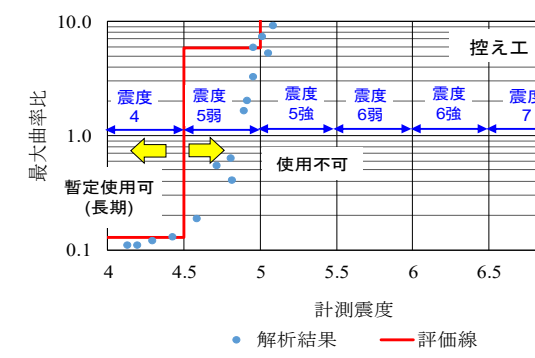
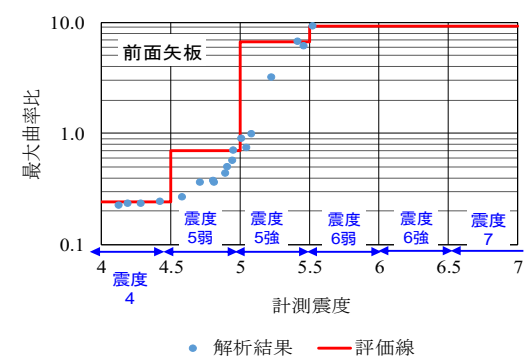
■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



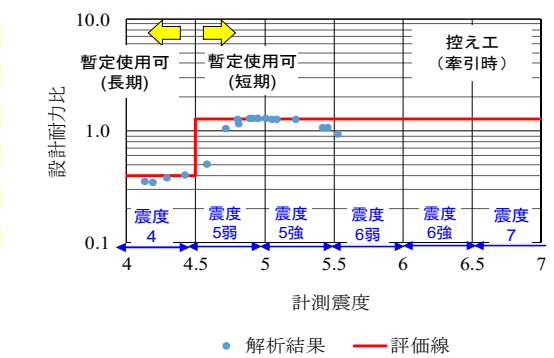
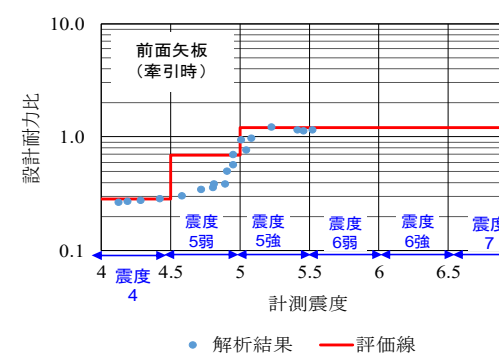
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



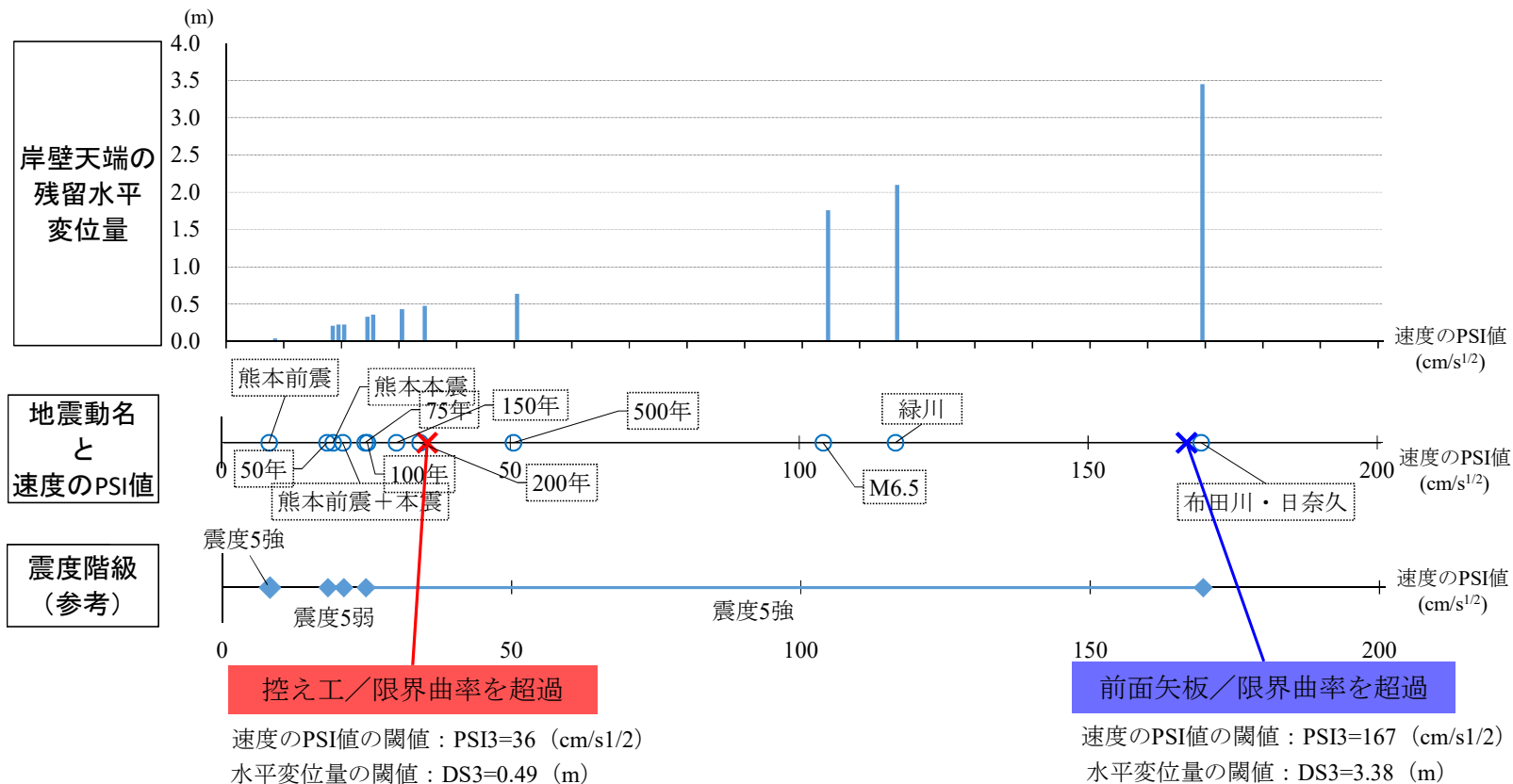
●計測震度の評価線



タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成

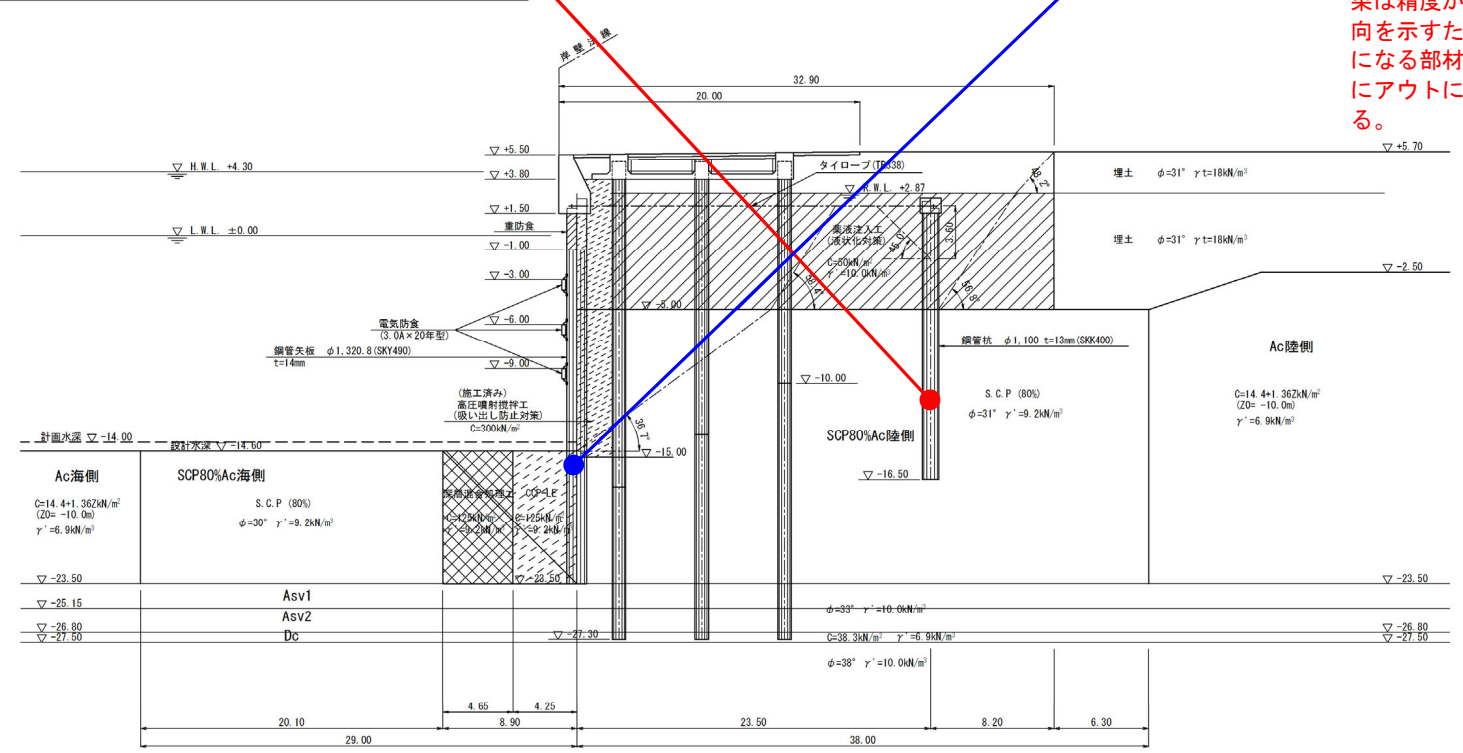


●施設名称：D港区岸壁_1工区 ※2,3工区にも適用 ●被災形態：先に控え工／限界曲率を超過
 ●構造形式：矢板式(前面矢板：鋼管矢板－控え工：鋼管杭)



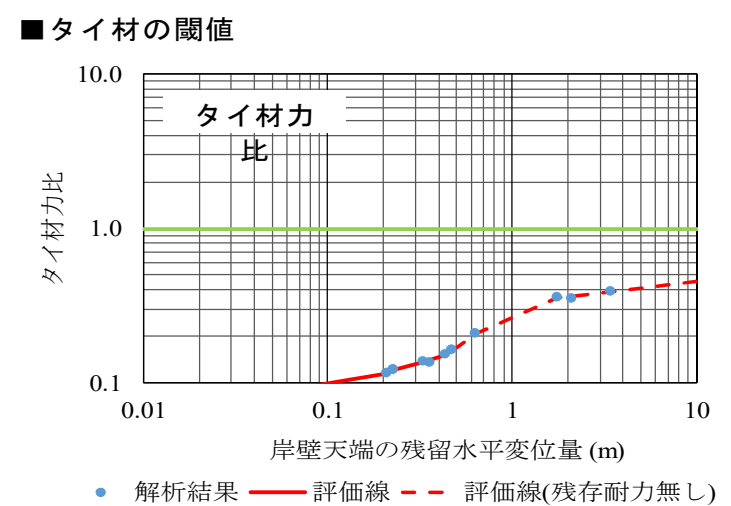
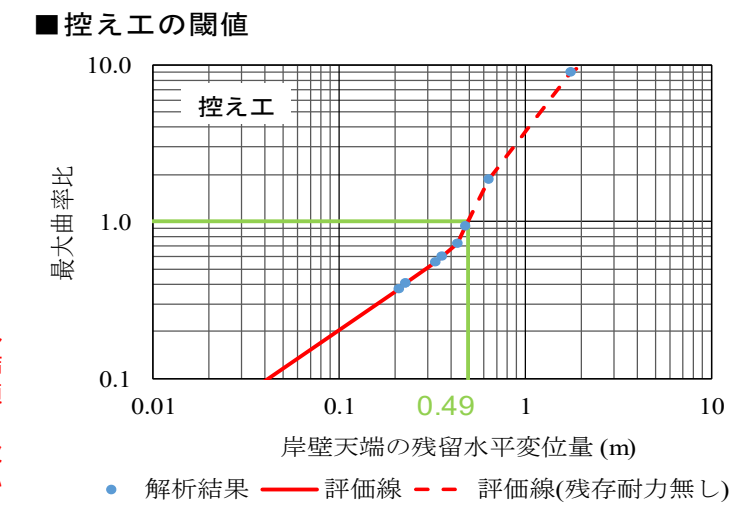
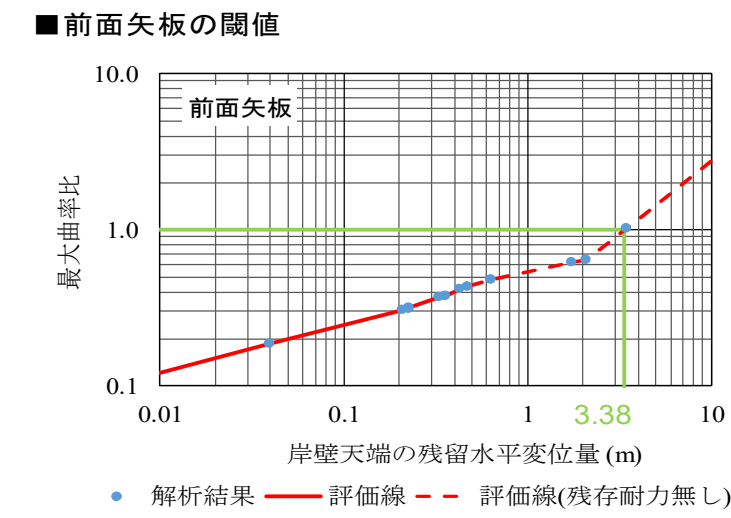
凡例

- 吸い出し防止工(施工済箇所)
- 土圧抵抗増加対策工(深層混合処理工)
- 液状化対策工
- 土圧抵抗増加対策工(OCP-LE)



※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 =発生最大曲率/全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
 タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度

■D港e岸壁_1工区 ※2,3工区にも適用

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【前震】	8.23	0.04	0.19	0.10	0.08	0.25	0.24	0.16	0.16	5.36	震度5強	
再現期間50年の確率波	18.26	0.21	0.31	0.37	0.12	0.39	0.39	0.63	0.64	4.72	震度5弱	
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【本震】	19.31	0.23	0.31	0.40	0.12	0.40	0.39	0.66	0.67	4.81	震度5弱	
熊本地震推定波(サイト特性置換法)【前震+本震】	20.99	0.23	0.32	0.40	0.12	0.18	0.18	0.11	0.11	4.81	震度5弱	
再現期間75年の確率波	24.84	0.33	0.37	0.56	0.14	0.47	0.46	0.90	0.92	5.05	震度5強	
再現期間100年の確率波	25.27	0.36	0.38	0.60	0.14	0.48	0.47	0.96	0.98	4.95	震度5弱	
再現期間150年の確率波	30.29	0.43	0.42	0.73	0.15	0.52	0.51	1.05	1.08	5.02	震度5強	
再現期間200年の確率波	34.33	0.48	0.43	0.94	0.16	0.53	0.52	1.06	1.08	5.09	震度5強	
再現期間500年の確率波	50.50	0.64	0.48	1.85	0.21	0.59	0.57	1.00	1.03	5.23	震度5強	「使用不可」となる。
M6.5の直下型地震	104.12	1.76	0.62	8.95	0.35	0.72	0.70	0.57	0.65	5.40	震度5強	
緑川断層帯地震	116.62	2.10	0.64	10.28	0.35	0.73	0.71	0.52	0.60	5.40	震度5強	
布田川・日奈久断層帯地震	169.53	3.45	1.02	12.18	0.39	0.78	0.75	0.43	0.52	5.44	震度5強	

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~0.38	0~26	暫定使用可(長期)
0.38~0.49	26~36	暫定使用可(短期)
0.49~	36~	使用不可

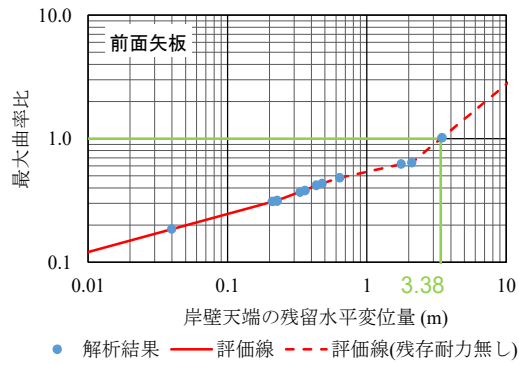
震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(短期)
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。
なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

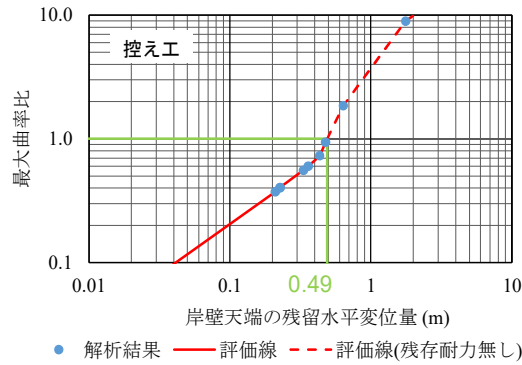
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率(鋼矢板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

●水平変位量の評価線

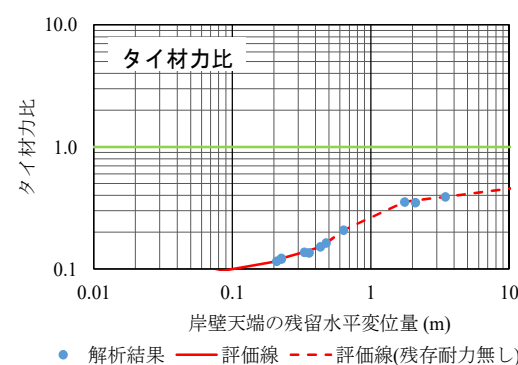
■前面矢板の閾値



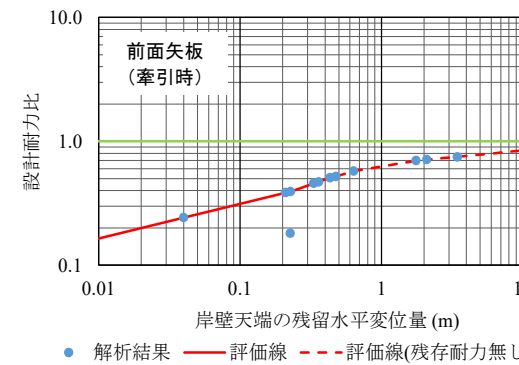
■控え工の閾値



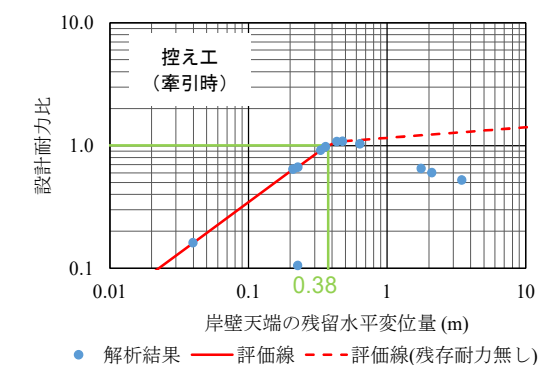
■タイ材の閾値



■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値

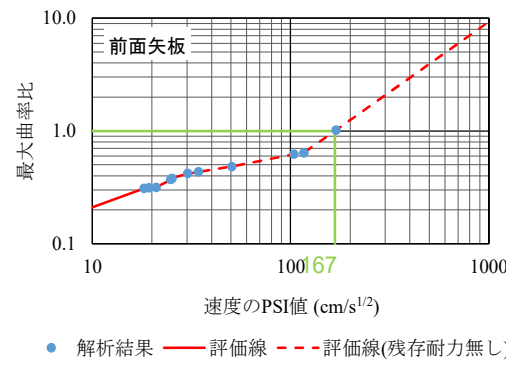


■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

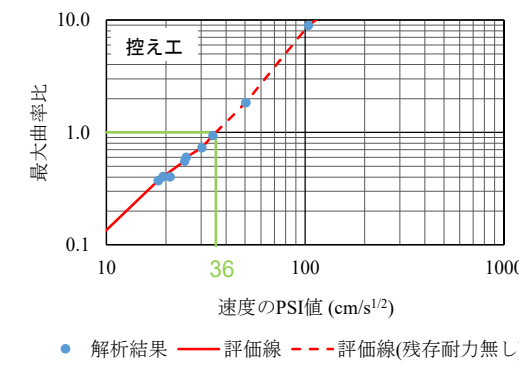


●速度のPSI値の評価線

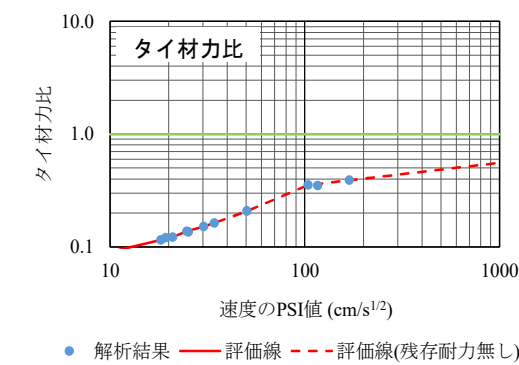
■前面矢板の閾値



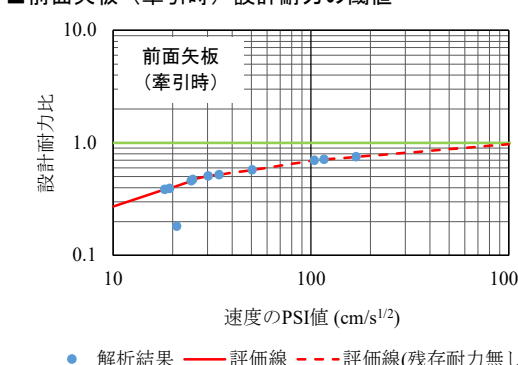
■控え工の閾値



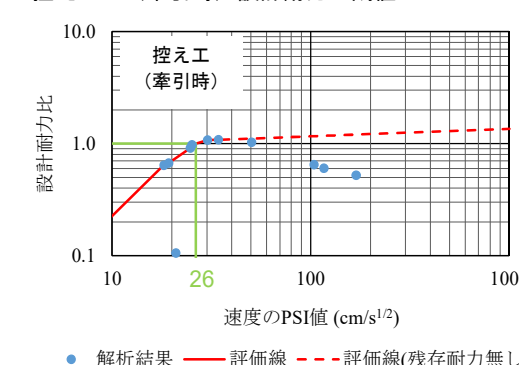
■タイ材の閾値



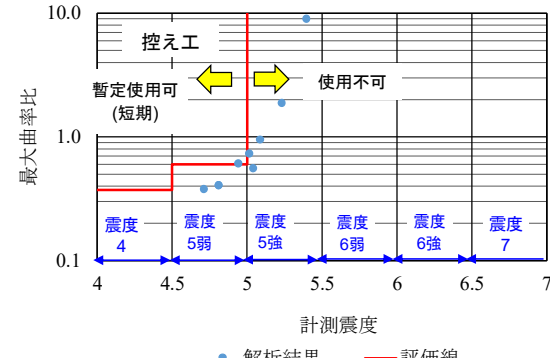
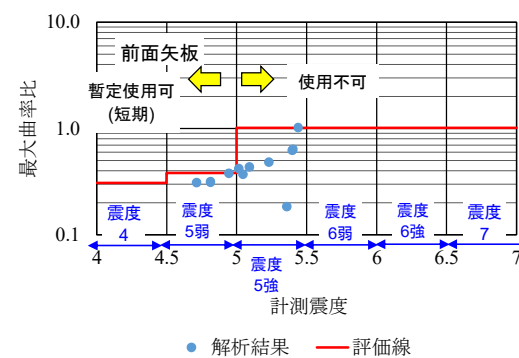
■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



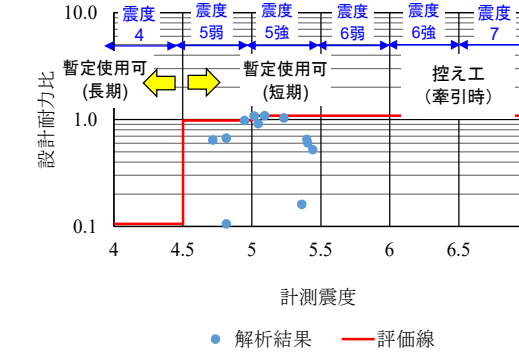
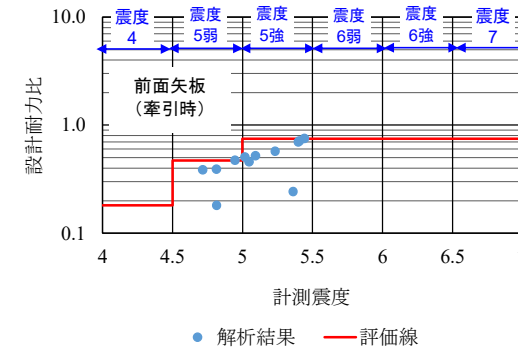
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



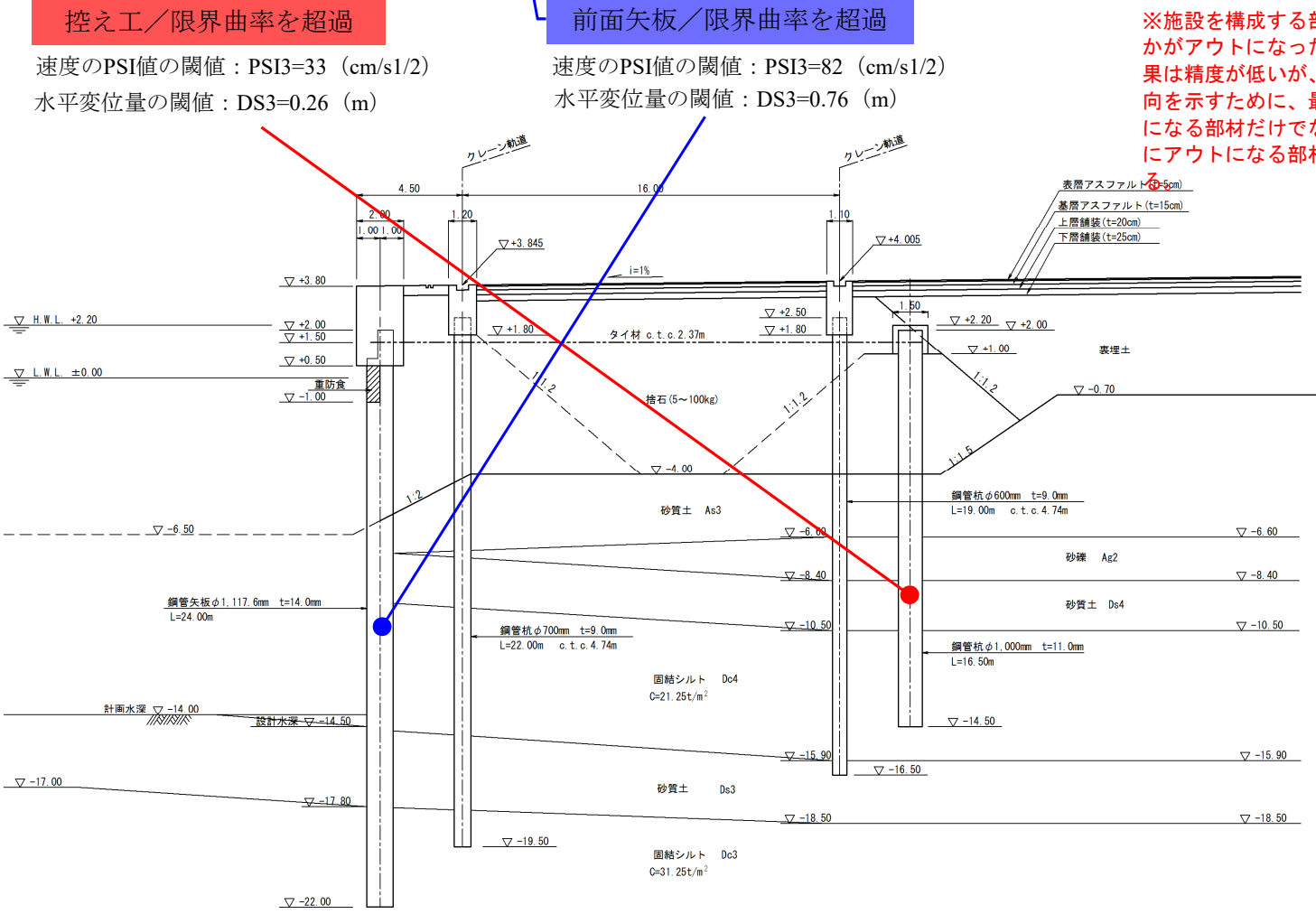
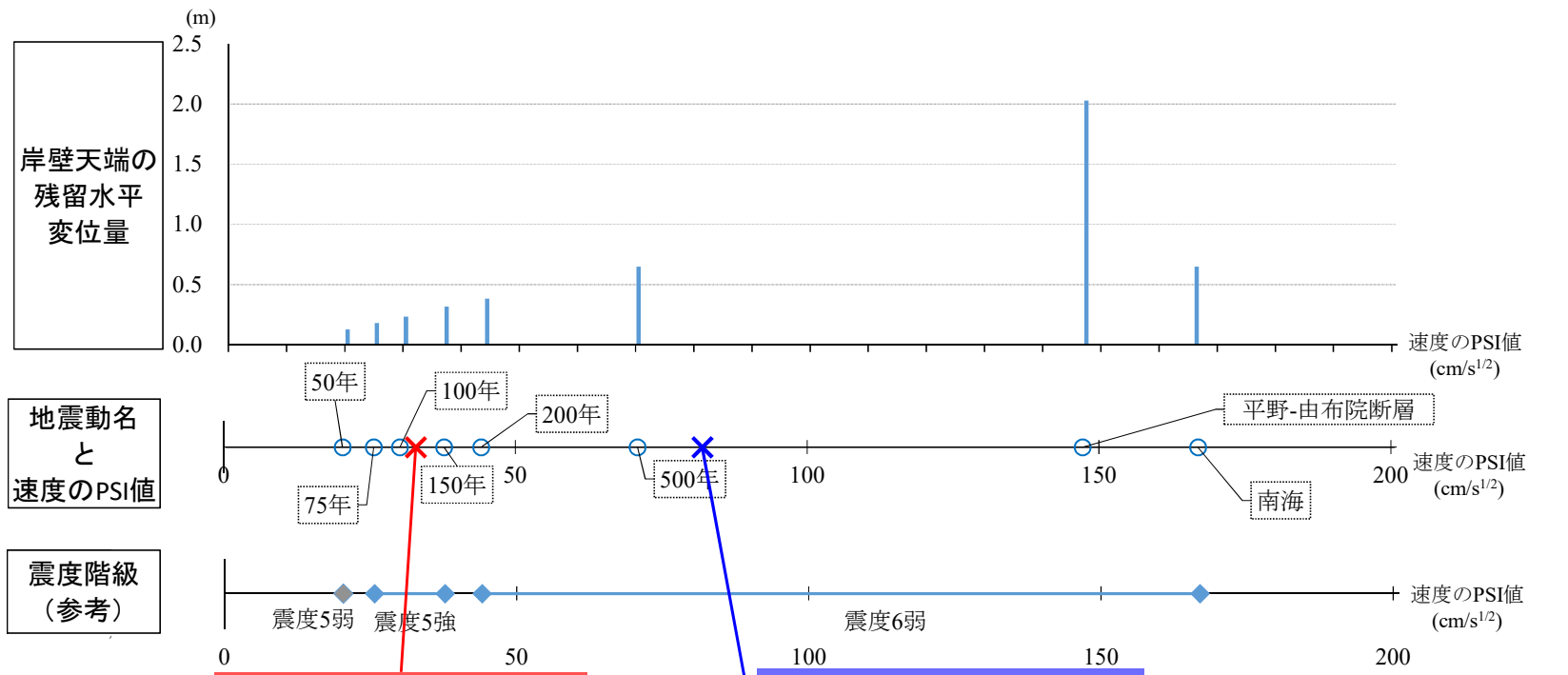
●計測震度の評価線



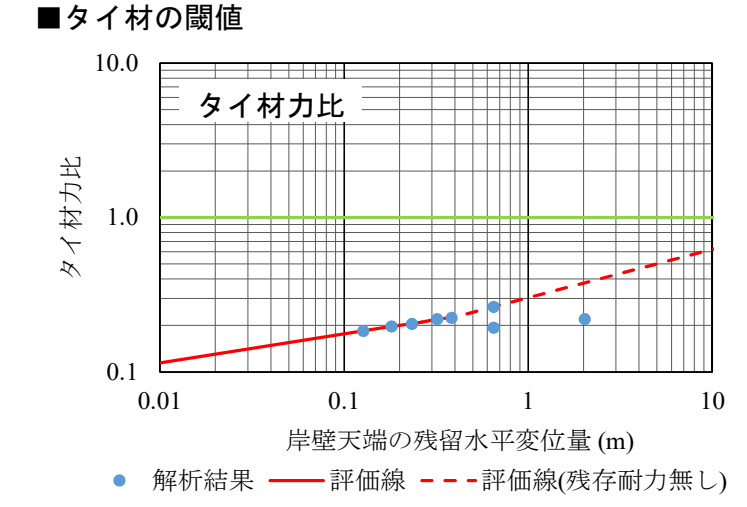
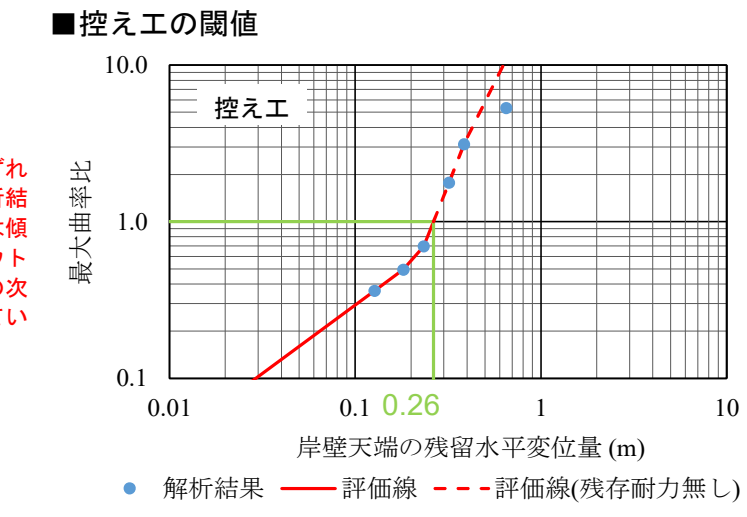
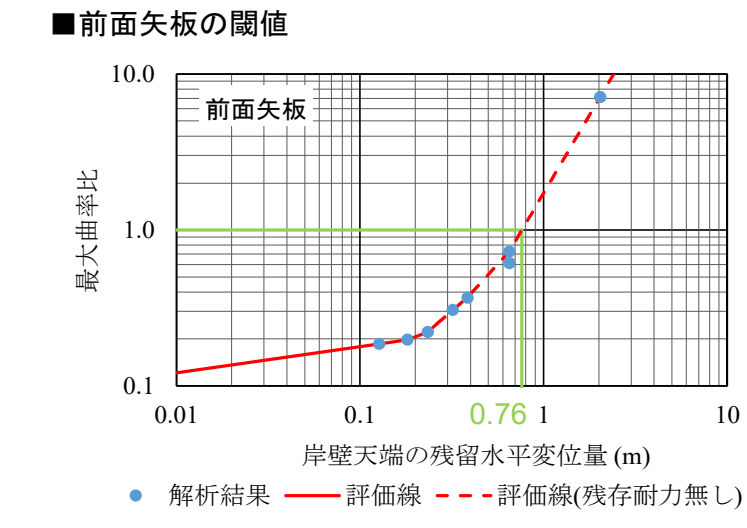
タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成



●施設名称：C港d岸壁_I工区 ※I～III工区に適用 ●被災形態：先に控え工／限界曲率を超過
 ●構造形式：矢板式(前面矢板：鋼管矢板－控え工：鋼管杭)



岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 =発生最大曲率/全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
 タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度

■C港d岸壁_I工区 ※I～III工区に適用

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	20.37	0.13	0.19	0.36	0.18	0.32	0.28	0.42	0.45	4.92	震度5弱	
再現期間75年の確率波	25.71	0.18	0.20	0.49	0.20	0.32	0.28	0.63	0.65	5.07	震度5強	
再現期間100年の確率波	30.20	0.23	0.22	0.70	0.20	0.34	0.36	0.88	0.94	5.24	震度5強	
再現期間150年の確率波	37.76	0.32	0.31	1.77	0.22	0.45	0.48	1.11	1.21	5.43	震度5強	「使用不可」となる。
再現期間200年の確率波	44.10	0.38	0.37	3.11	0.22	0.53	0.57	1.06	1.18	5.55	震度6弱	
再現期間500年の確率波	70.91	0.65	0.61	5.33	0.26	0.81	0.86	0.89	1.05	5.82	震度6弱	
大分平野-由布院断層帯東部地震(L2地震動)	147.19	2.03	7.12	41.55	0.22	1.04	1.13	0.48	0.70	6.31	震度6強	
南海地震(L2地震動)	166.95	0.65	0.73	10.85	0.19	0.91	0.96	0.67	0.82	5.68	震度6弱	

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~0.25	0~32	暫定使用可(長期)
0.25~0.26	32~33	暫定使用可(短期)
0.26~	33~	使用不可

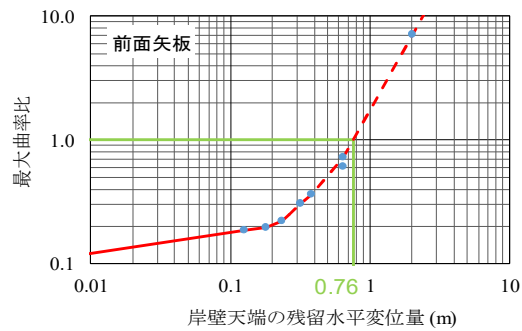
震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 =発生最大曲率/全塑性曲率(鋼矢板の場合)
 タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
 設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

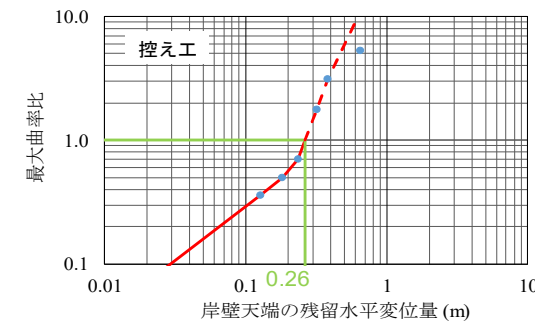
●水平変位量の評価線

■前面矢板の閾値



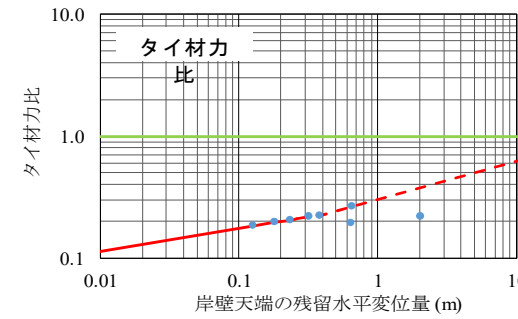
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■控え工の閾値



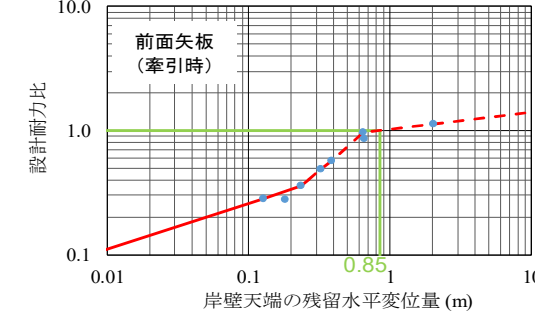
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■タイ材の閾値



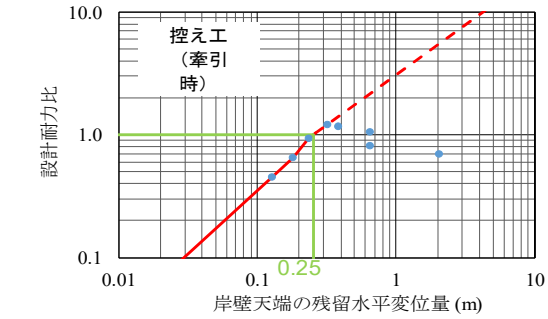
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

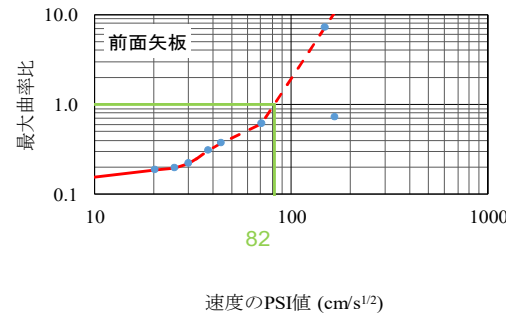
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

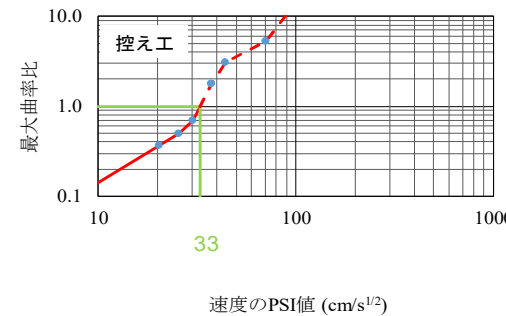
●速度のPSI値の評価線

■前面矢板の閾値



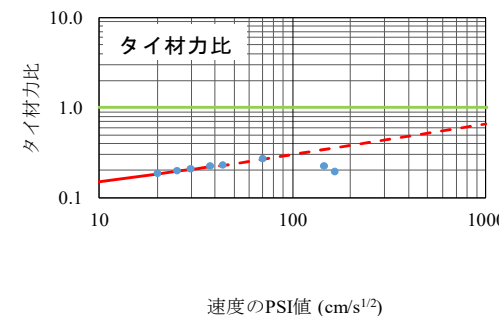
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■控え工の閾値



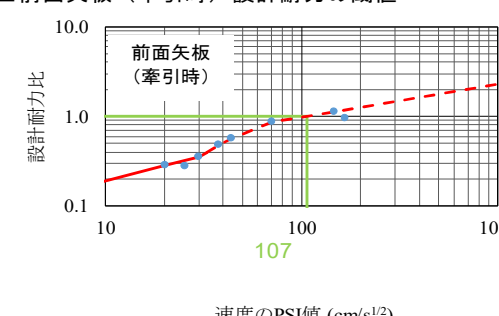
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■タイ材の閾値



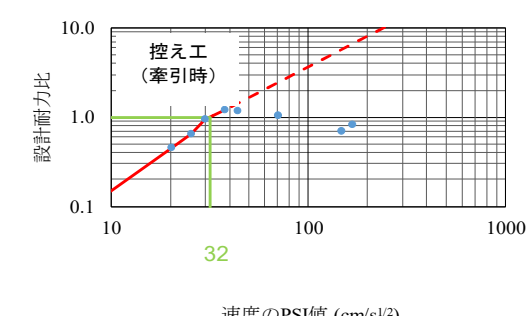
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



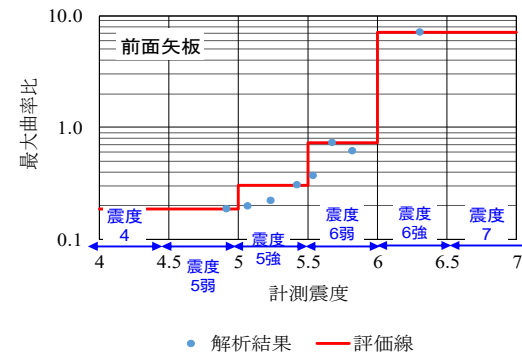
● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

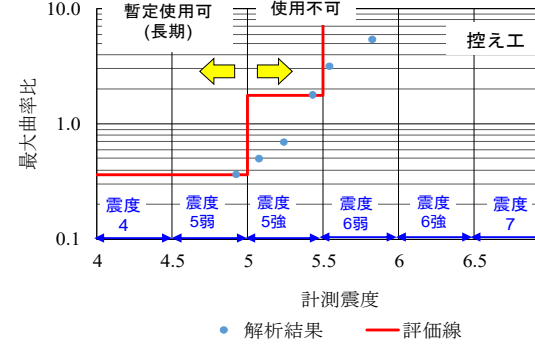


● 解析結果 ● 評価線 ● 評価線(残存耐力無し)

●計測震度の評価線

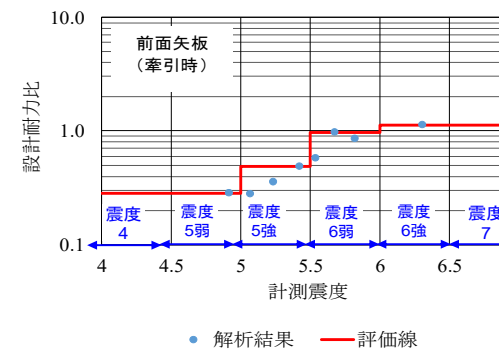


● 解析結果 ● 評価線

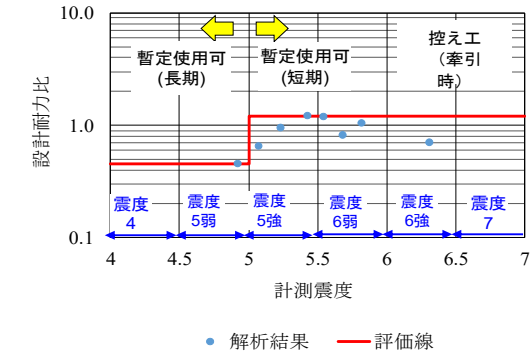


● 解析結果 ● 評価線

タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成



● 解析結果 ● 評価線



● 解析結果 ● 評価線

■C港d岸壁_IV工区

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	20.37	0.29	0.35	0.57	0.17	0.53	0.49	0.75	0.77	4.77	震度5弱	
再現期間75年の確率波	25.71	0.42	0.38	0.73	0.17	0.54	0.50	0.99	1.01	4.99	震度5弱	
再現期間100年の確率波	30.20	0.53	0.39	1.12	0.18	0.50	0.42	1.19	1.23	5.09	震度5強	「使用不可」となる。
再現期間150年の確率波	37.76	0.73	0.43	3.83	0.19	0.47	0.41	1.13	1.19	5.26	震度5強	
再現期間200年の確率波	44.10	0.92	0.45	3.27	0.20	0.48	0.41	1.06	1.12	5.39	震度5強	
再現期間500年の確率波	70.91	2.41	0.63	6.12	0.22	1.11	1.13	0.34	0.38	5.78	震度6弱	
大分平野-由布院断層帯東部地震(L2地震動)	147.19	7.20	15.37	10.24	0.25	1.17	1.25	0.27	0.25	6.11	震度6強	
南海地震(L2地震動)	166.95	2.64	0.80	5.03	0.22	1.18	1.21	0.40	0.45	5.40	震度5強	

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~0.41	0~25	暫定使用可(長期)
0.41~0.5	25~29	暫定使用可(短期)
0.5~	29~	使用不可

震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(短期)
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

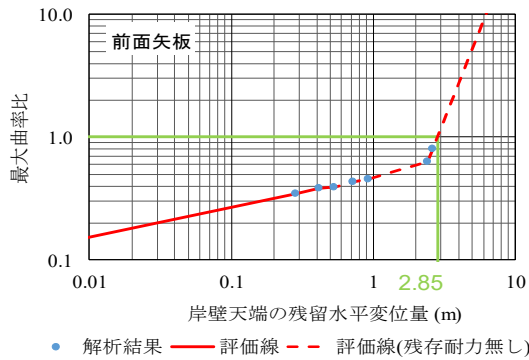
※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

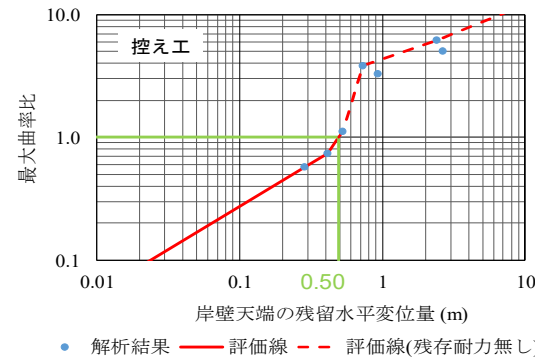
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 =発生最大曲率/全塑性曲率(鋼矢板の場合)
 タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
 設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

●水平変位量の評価線

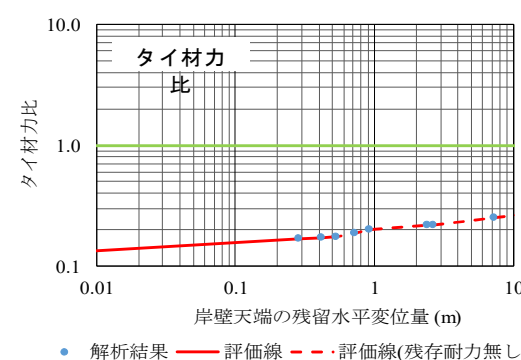
■前面矢板の閾値



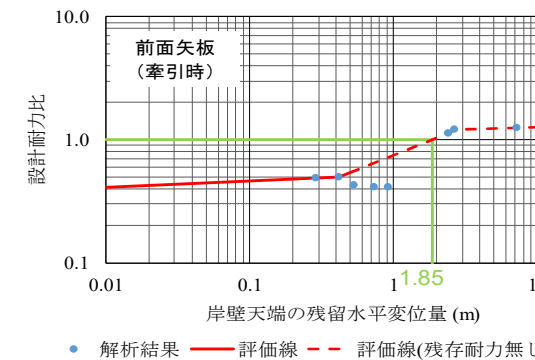
■控え工の閾値



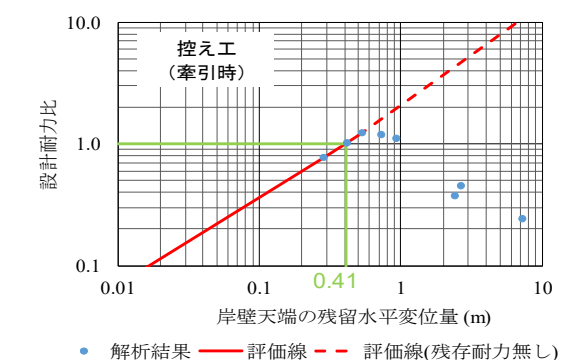
■タイ材の閾値



■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値

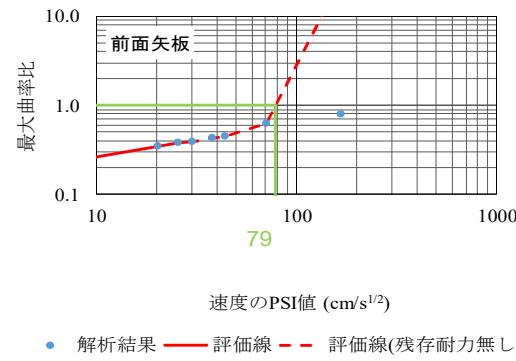


■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

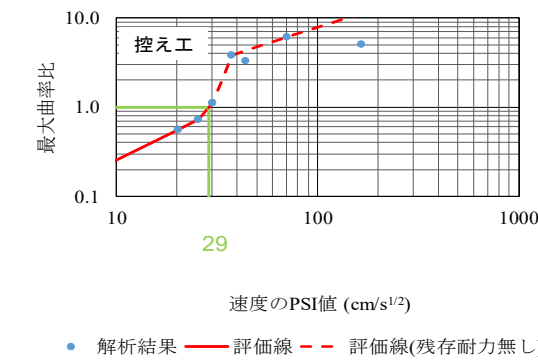


●速度のPSI値の評価線

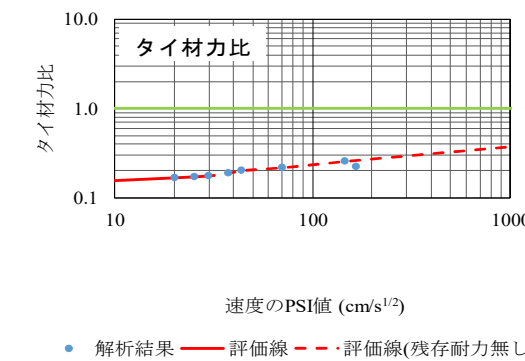
■前面矢板の閾値



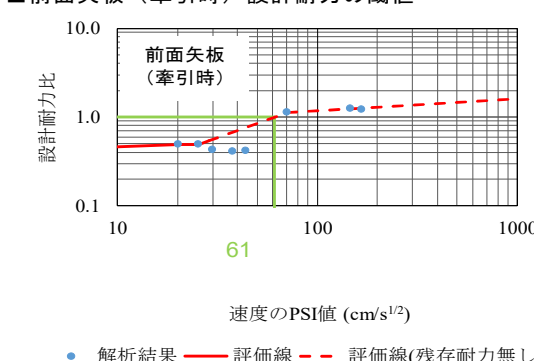
■控え工の閾値



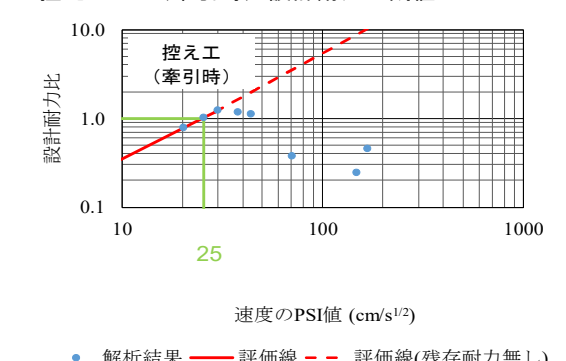
■タイ材の閾値



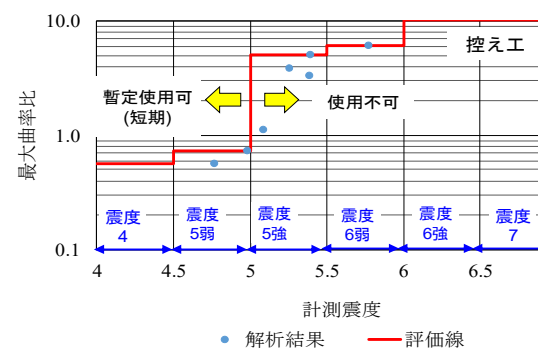
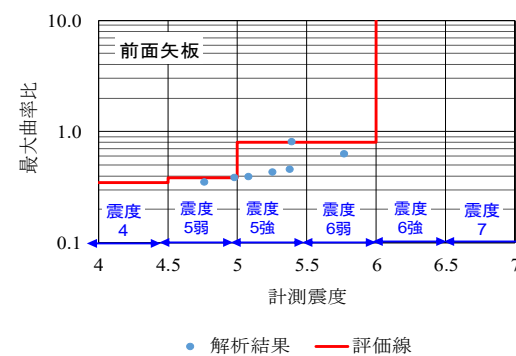
■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



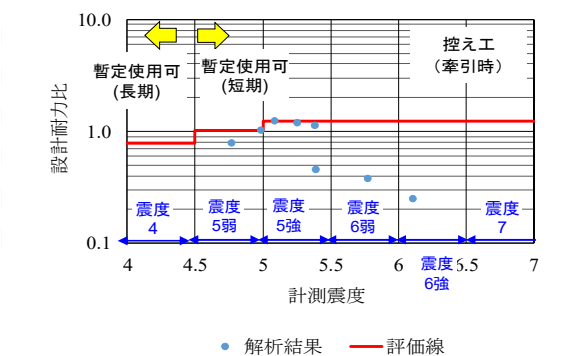
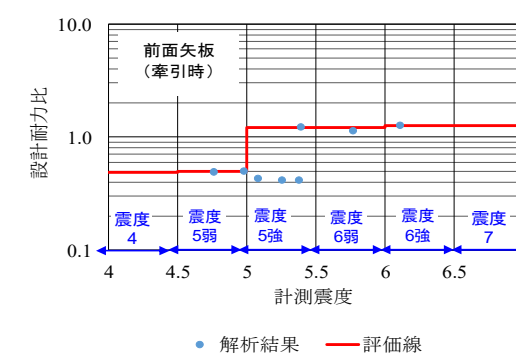
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



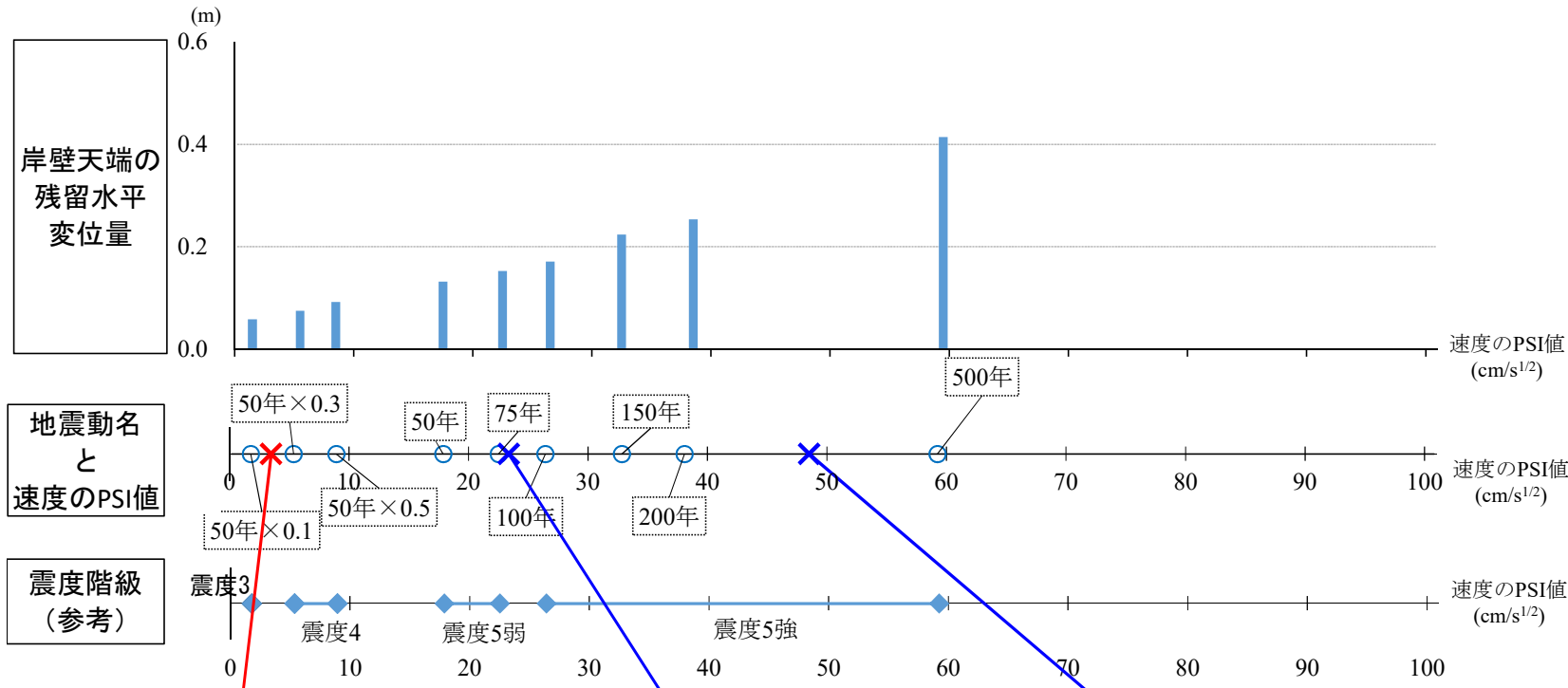
●計測震度の評価線



タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成



●施設名称：G港p岸壁 ●被災形態：最初に上部工／曲げ耐力を超過
●構造形式：栈橋式



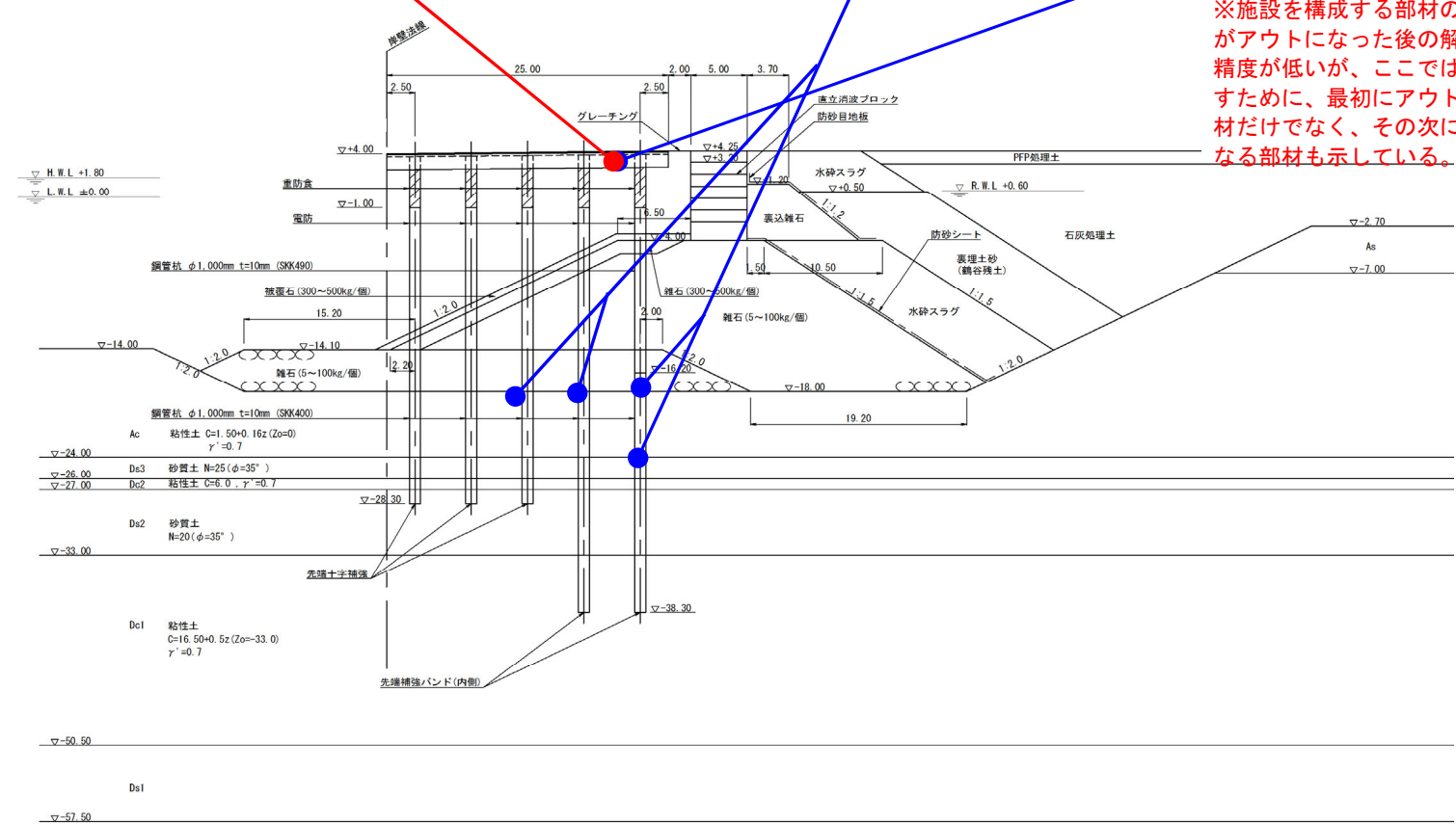
上部工／曲げ耐力を超過

速度のPSI値の閾値：PSI3=3 (cm/s^{1/2})
水平変位量の閾値：DS3=0.07 (m)

栈橋杭／限界曲率を超過

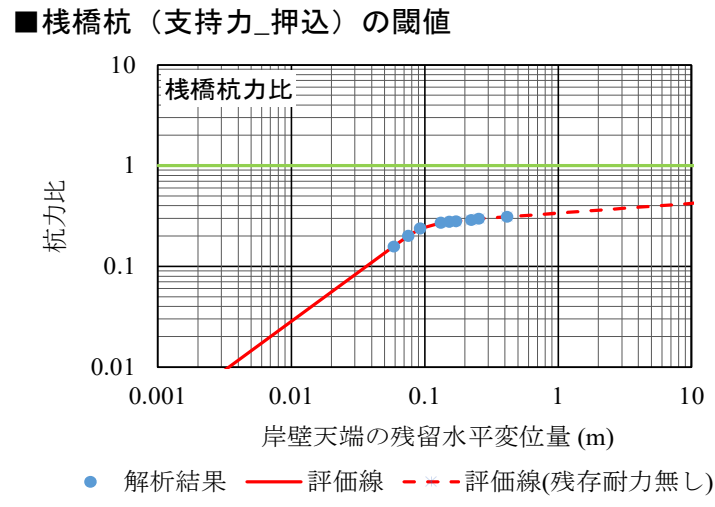
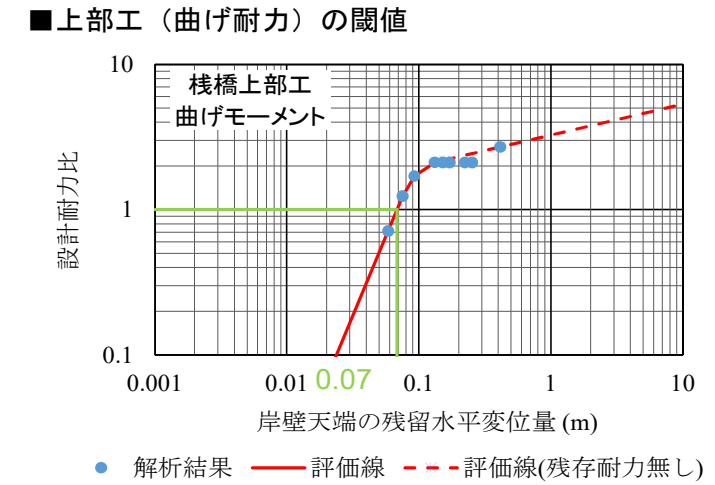
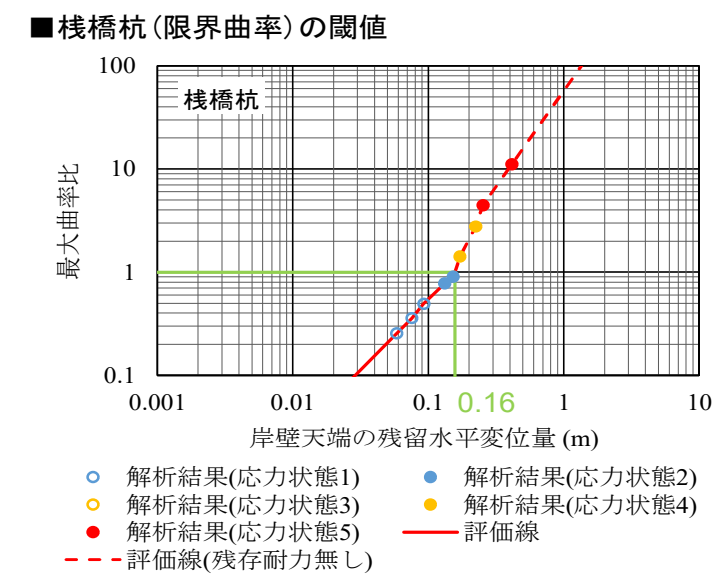
速度のPSI値の閾値：PSI1=23 (cm/s^{1/2}) 速度のPSI値の閾値：PSI3=48 (cm/s^{1/2})
水平変位量の閾値：DS1=0.16 (m) 水平変位量の閾値：DS3=0.33 (m)

上部工／せん断耐力を超過



※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いですが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力 (曲げ)
=発生せん断力/せん断耐力 (せん断)

■G港岸壁

波形名	速度PSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	残留水平変位(m)		地震中の状態						船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭 力比	上部工 設計耐力比		接岸時	牽引時				
							曲げ モーメント	せん断力						
再現期間50年の確率波 振幅0.1倍	1.79	0.06	0.06	0.26	1	0.16	0.71	0.31	0.36	0.31	3.00	震度3		
再現期間50年の確率波 振幅0.3倍	5.36	0.08	0.08	0.36	1	0.20	1.24	0.52	0.43	0.42	3.89	震度4	「上部工の下面調査が必要」となる。	
再現期間50年の確率波 振幅0.5倍	8.94	0.09	0.10	0.49	1	0.24	1.70	0.69	0.56	0.55	4.27	震度4		
再現期間50年の確率波	17.88	0.13	0.15	0.77	2	0.27	2.12	0.85	0.85	0.82	4.76	震度5弱		
再現期間75年の確率波	22.52	0.15	0.18	0.90	2	0.28	2.12	0.87	0.99	0.96	4.92	震度5弱		
再現期間100年の確率波	26.42	0.17	0.20	1.42	4	0.28	2.12	0.89	0.98	0.95	5.02	震度5強	「使用不可」となる。	
再現期間150年の確率波	32.84	0.22	0.27	2.76	4	0.29	2.11	0.93	0.90	0.94	5.17	震度5強		
再現期間200年の確率波	38.08	0.25	0.31	4.44	5	0.30	2.11	0.96	0.85	0.89	5.25	震度5強		
再現期間500年の確率波	59.24	0.41	0.51	11.08	5	0.31	2.70	1.03	0.68	0.72	5.47	震度5強		

●水平変位量の評価線

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比、上部工設計耐力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

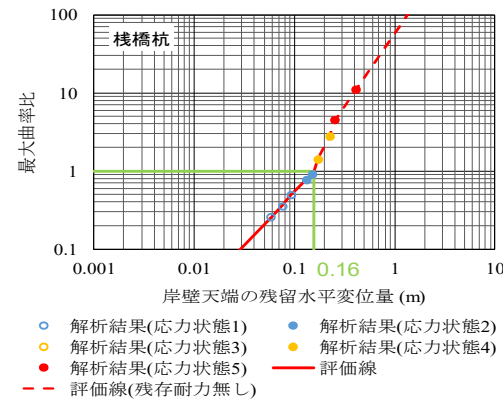
●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	使用可否	上部工下面 の目視調査
0~0.07	0~3	暫定使用可(長期)	不要
0.07~0.15	3~23	暫定使用可(長期)	必要
0.15~0.16	23~23	暫定使用可(短期)	必要
0.16~	23~	使用不可	必要

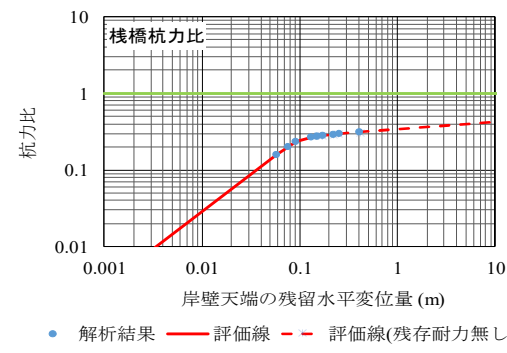
震度 階級	使用可否	上部工下面 の目視調査
3	暫定使用可(長期)	不要
4	暫定使用可(長期)	必要
5弱	暫定使用可(長期)	必要
5強	使用不可	必要
6弱	使用不可	必要
6強	使用不可	必要
7以上	使用不可	必要

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可と上部工下面調査のみ考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

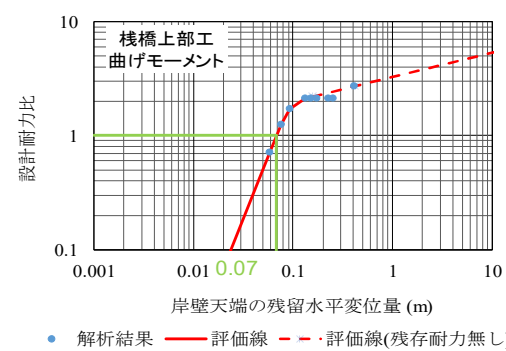
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



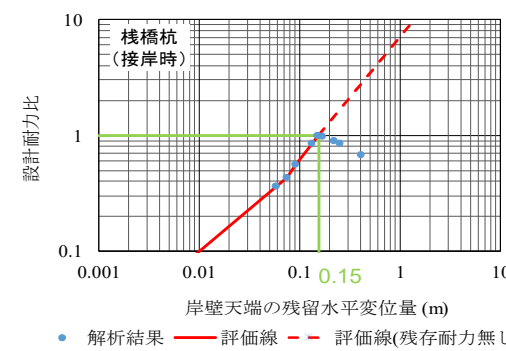
■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



■上部工(曲げ耐力)の閾値



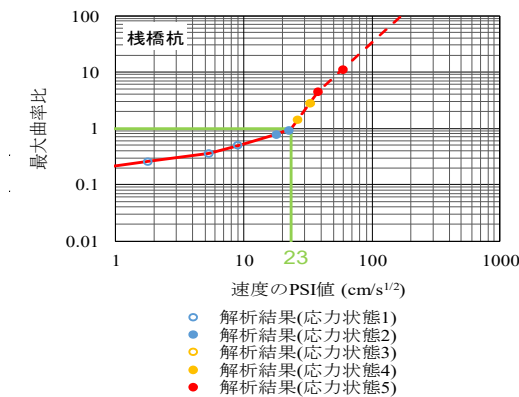
■栈橋杭(接岸時)設計耐力の閾値



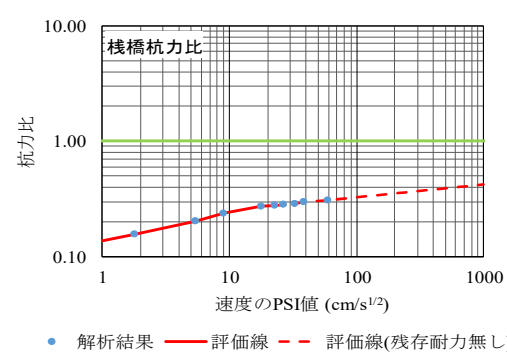
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

●速度のPSI値の評価線

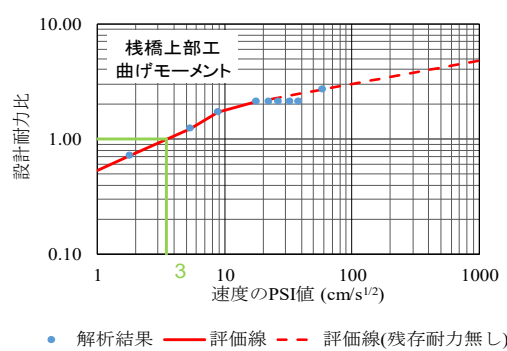
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



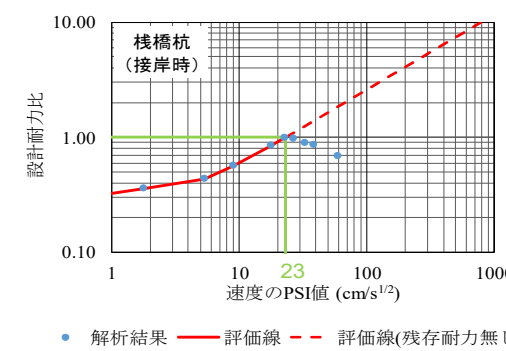
■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



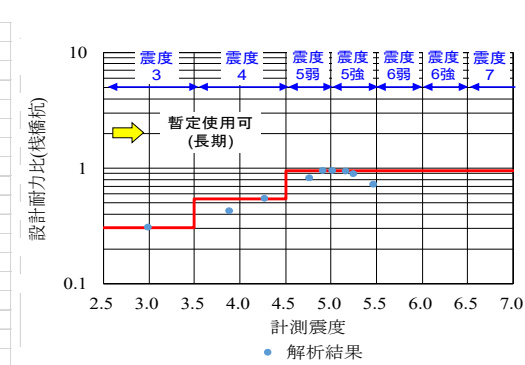
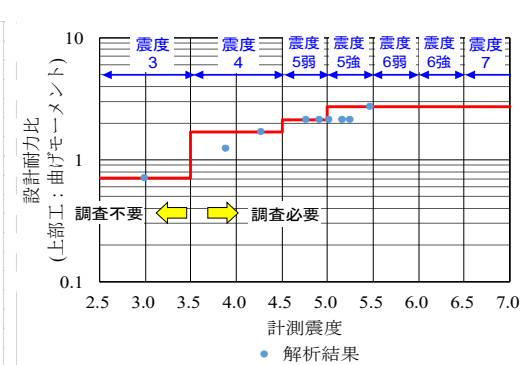
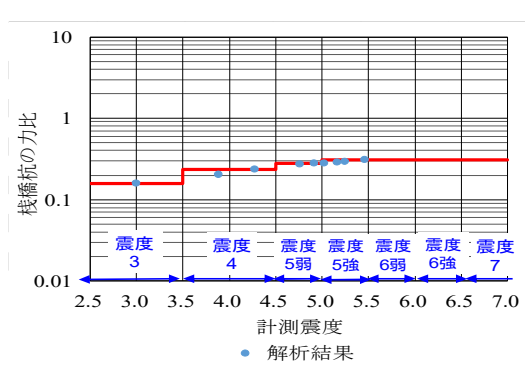
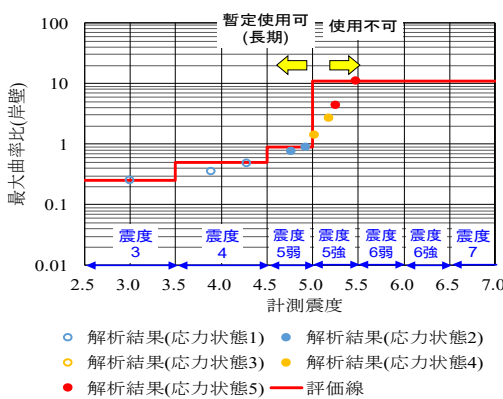
■上部工(曲げ耐力)の閾値



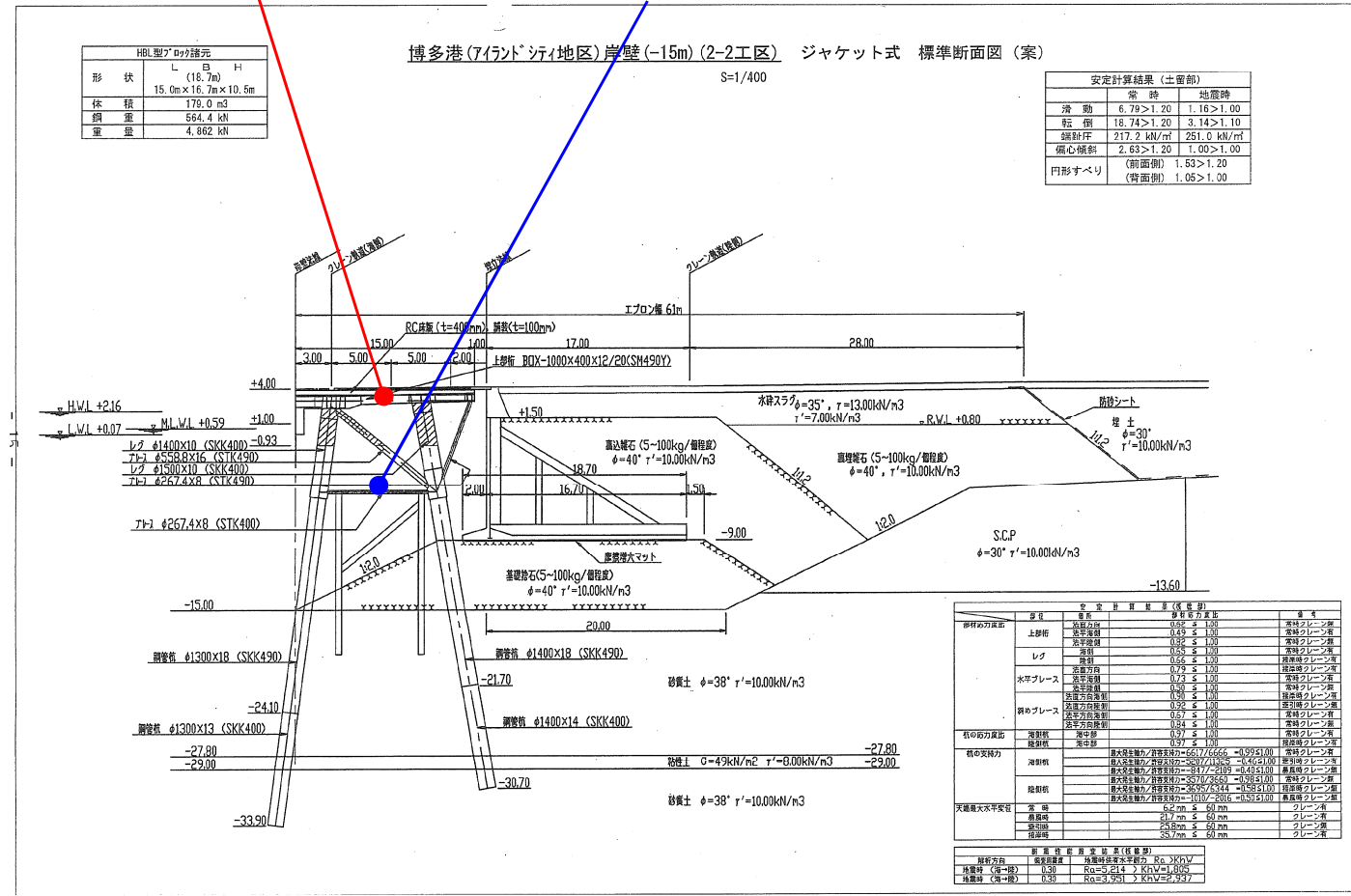
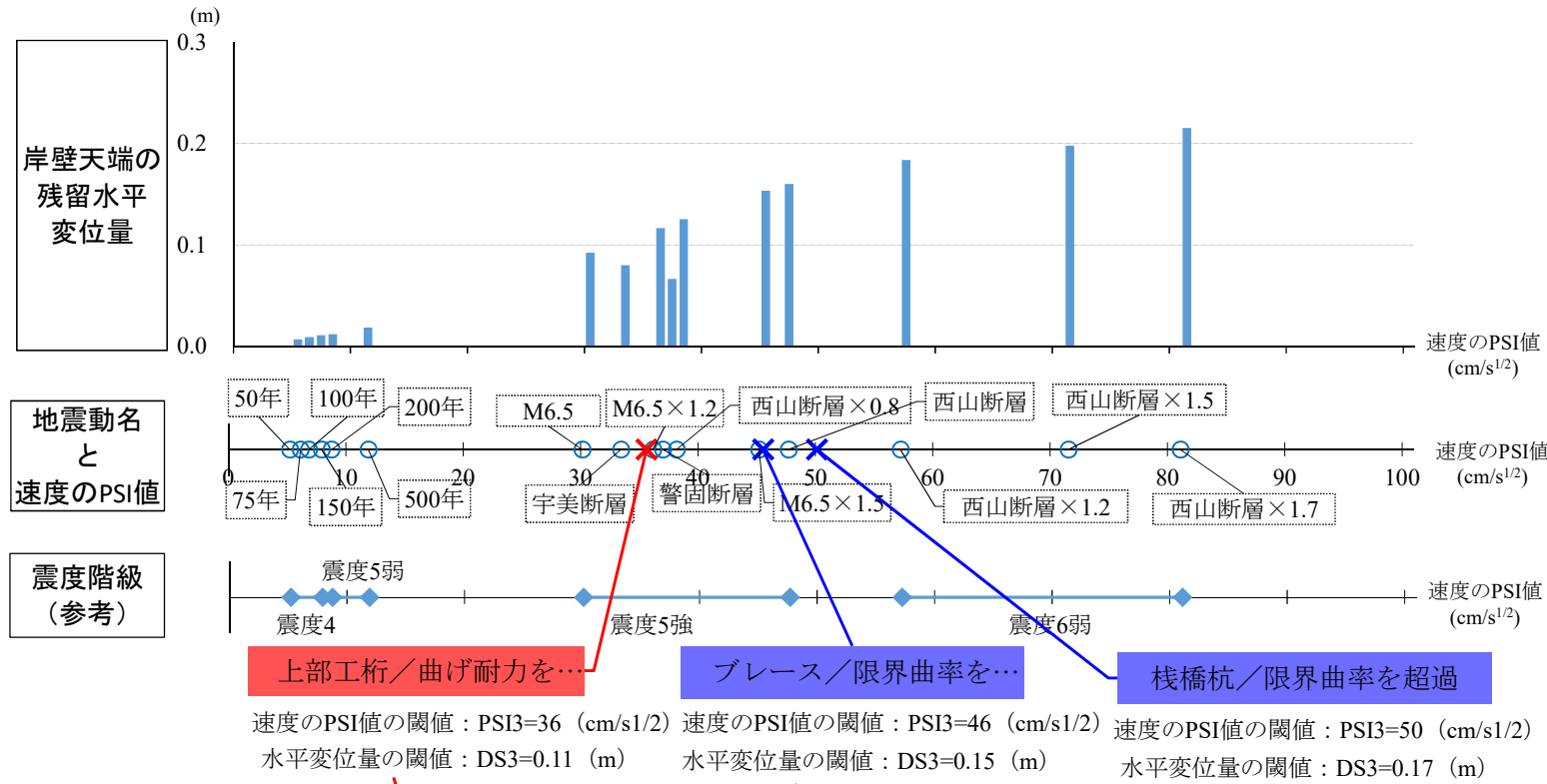
■栈橋杭(接岸時)設計耐力の閾値



●計測震度の評価線



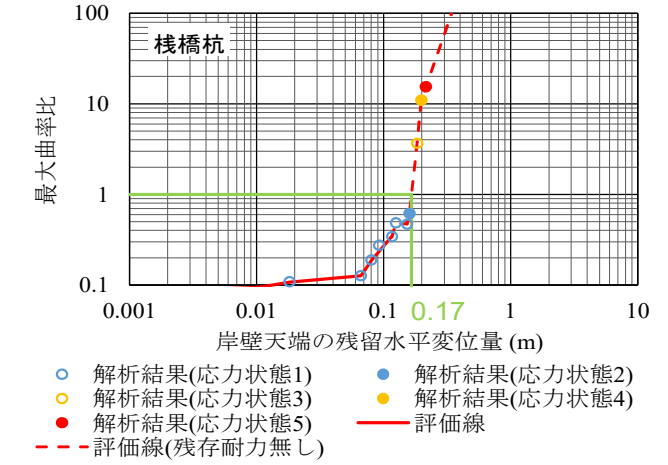
- 施設名称：F港m岸壁
- 被災形態：最初に上部工桁／曲げ耐力を超過
- 構造形式：栈橋式(ジャケツト式)



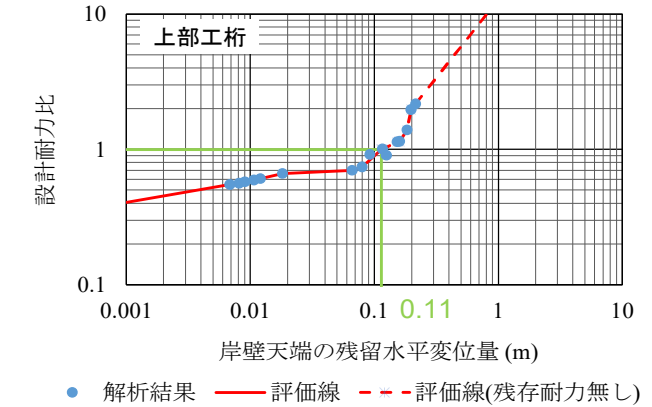
※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いですが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

岸壁天端の残留水平変位量の閾値

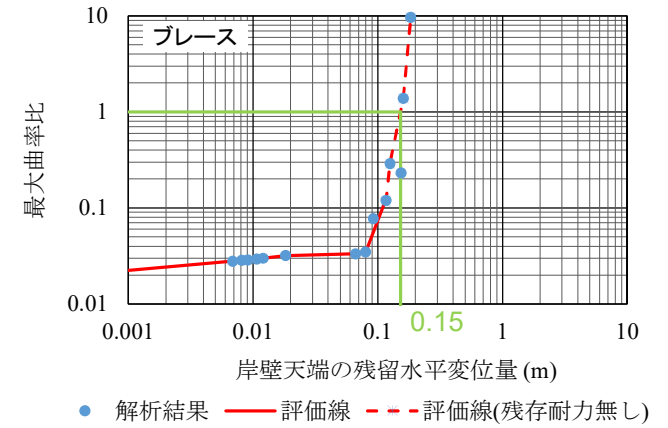
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



■上部工桁(曲げ耐力)の閾値



■ブレース(限界曲率)の閾値



最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

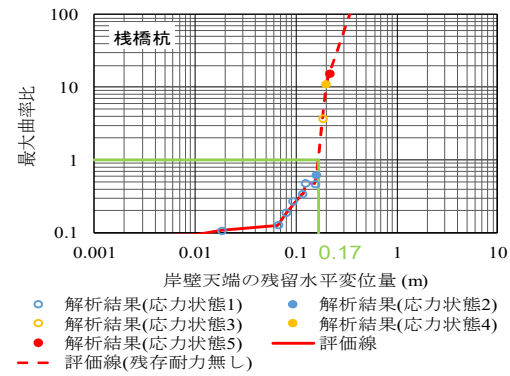
■F港m岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	残留水平変位(m)		地震中の状態					船舶接岸時の状態 (ブレースの設計耐力比)		計測震度	震度階級	備考	
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	ブレース最大曲率比	栈橋杭の力比 押込杭 引抜杭	上部工桁設計耐力比(曲げ)	接岸時	牽引時				
再現期間50年の確率波	5.23	0.01	0.01	0.09	1	0.03	0.13	0.00	0.55	0.24	0.19	4.22	震度4	
再現期間75年の確率波	6.13	0.01	0.01	0.09	1	0.03	0.13	0.00	0.56	0.24	0.18	4.31	震度4	
再現期間100年の確率波	6.84	0.01	0.01	0.09	1	0.03	0.13	0.00	0.58	0.23	0.18	4.37	震度4	
再現期間150年の確率波	7.93	0.01	0.02	0.10	1	0.03	0.13	0.00	0.59	0.23	0.18	4.45	震度4	
再現期間200年の確率波	8.78	0.01	0.02	0.10	1	0.03	0.14	0.00	0.61	0.23	0.17	4.51	震度5弱	
再現期間500年の確率波	11.92	0.02	0.03	0.11	1	0.03	0.15	0.00	0.66	0.21	0.16	4.69	震度5弱	
M6.5の直下型地震	30.14	0.09	0.12	0.27	1	0.08	0.19	0.06	0.92	0.39	0.37	5.41	震度5強	
宇美断層地震	33.43	0.08	0.10	0.19	1	0.03	0.16	0.01	0.74	0.26	0.26	5.45	震度5強	
M6.5の直下型地震×1.2	36.17	0.12	0.15	0.34	1	0.12	0.19	0.08	1.01	0.49	0.46	5.41	震度5強	「上部工の下面調査が必要」となる。
磐固断層地震	37.01	0.07	0.08	0.13	1	0.03	0.15	0.00	0.70	0.20	0.21	5.44	震度5強	
西山断層地震×0.8	38.17	0.13	0.16	0.49	1	0.29	0.23	0.14	0.91	0.65	0.61	5.41	震度5強	
M6.5の直下型地震×1.5	45.21	0.15	0.19	0.47	1	0.23	0.22	0.13	1.14	0.62	0.58	5.41	震度5強	
西山断層地震	47.71	0.16	0.21	0.62	2	1.39	0.25	0.20	1.15	0.81	0.93	5.47	震度5強	「使用不可」となる。
西山断層地震×1.2	57.25	0.18	0.25	3.67	3	9.70	0.27	0.26	1.39	1.42	1.44	5.57	震度6弱	
西山断層地震×1.5	71.57	0.20	0.26	10.94	4	4734.95	0.30	0.33	1.97	0.69	1.44	5.65	震度6弱	
西山断層地震×1.7	81.11	0.22	0.28	15.40	5	201.09	0.33	0.39	2.17	1.43	1.45	5.68	震度6弱	

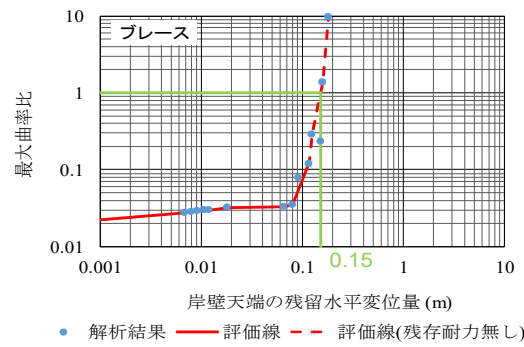
●水平変位量の評価線

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比、上部工設計耐力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

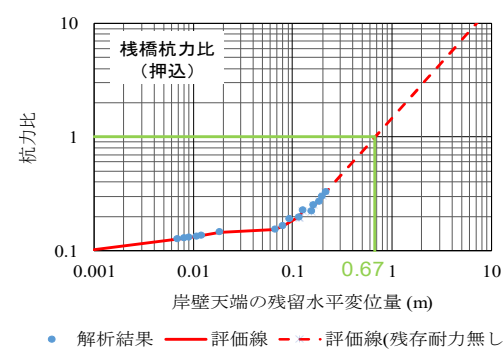
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



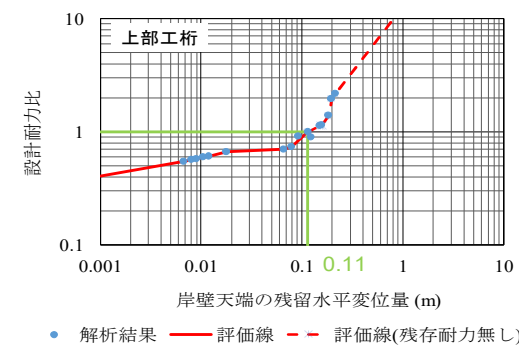
■ブレース(限界曲率)の閾値



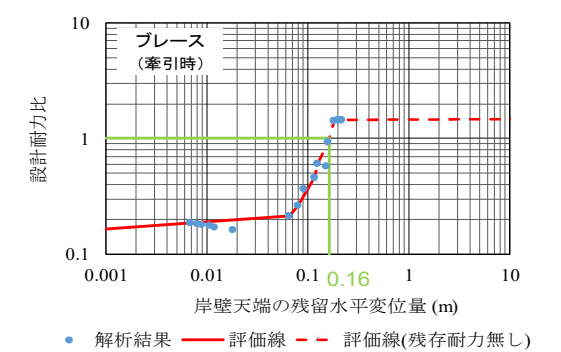
■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



■上部工桁(曲げ耐力)の閾値

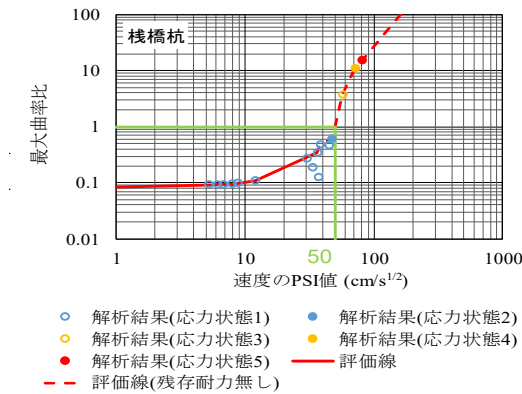


■ブレース(牽引時)設計耐力の閾値

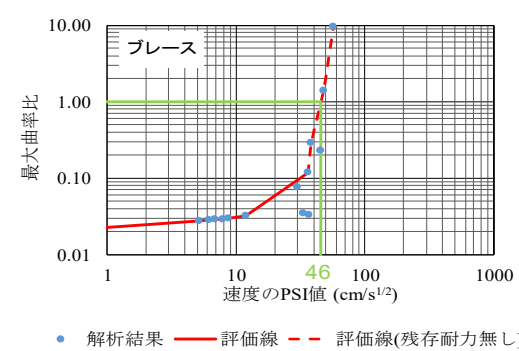


●速度のPSI値の評価線

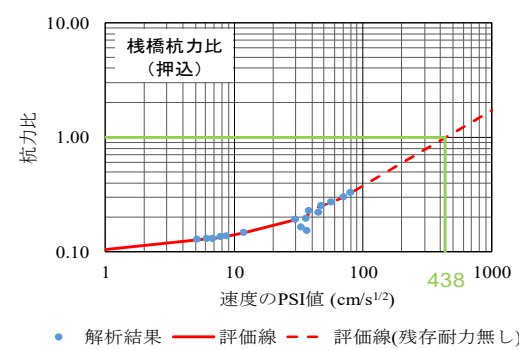
■栈橋杭(限界曲率)の閾値



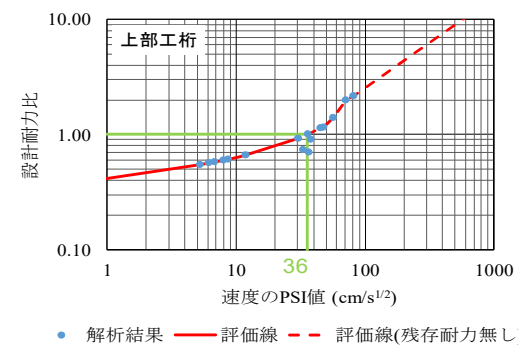
■ブレース(限界曲率)の閾値



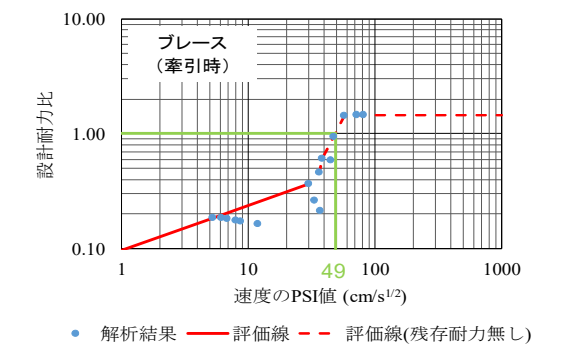
■栈橋杭(支持力_押込)の閾値



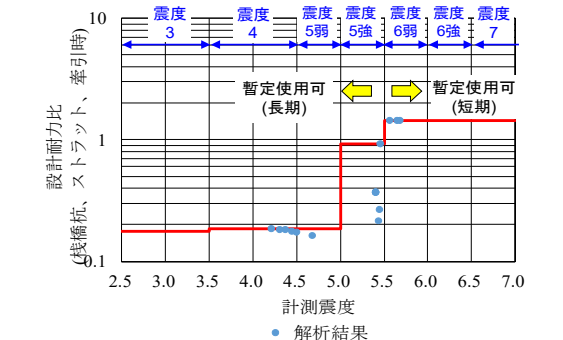
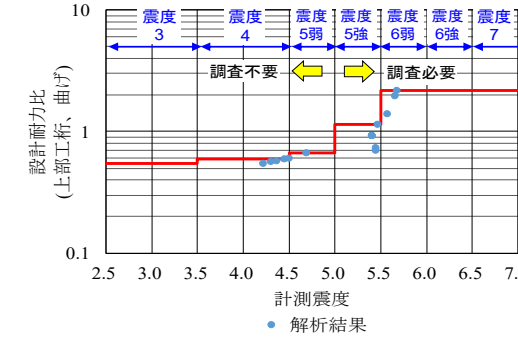
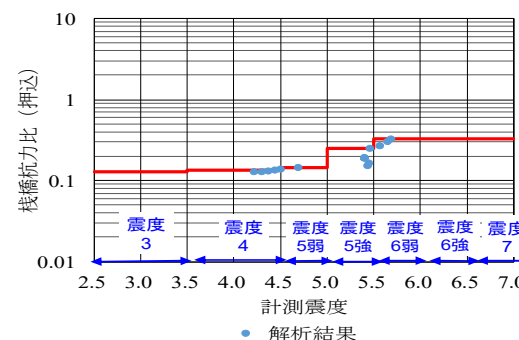
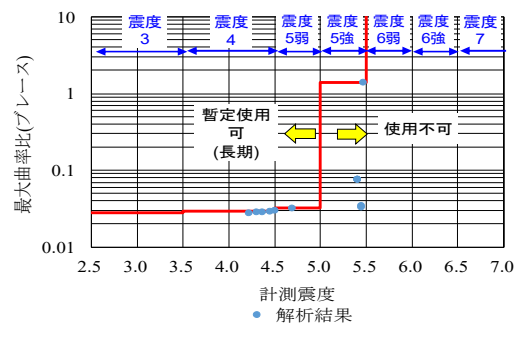
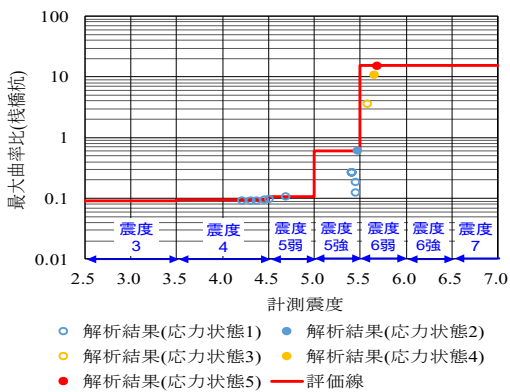
■上部工桁(曲げ耐力)の閾値



■ブレース(牽引時)設計耐力の閾値



●計測震度の評価線



●使用可否の閾値まとめ

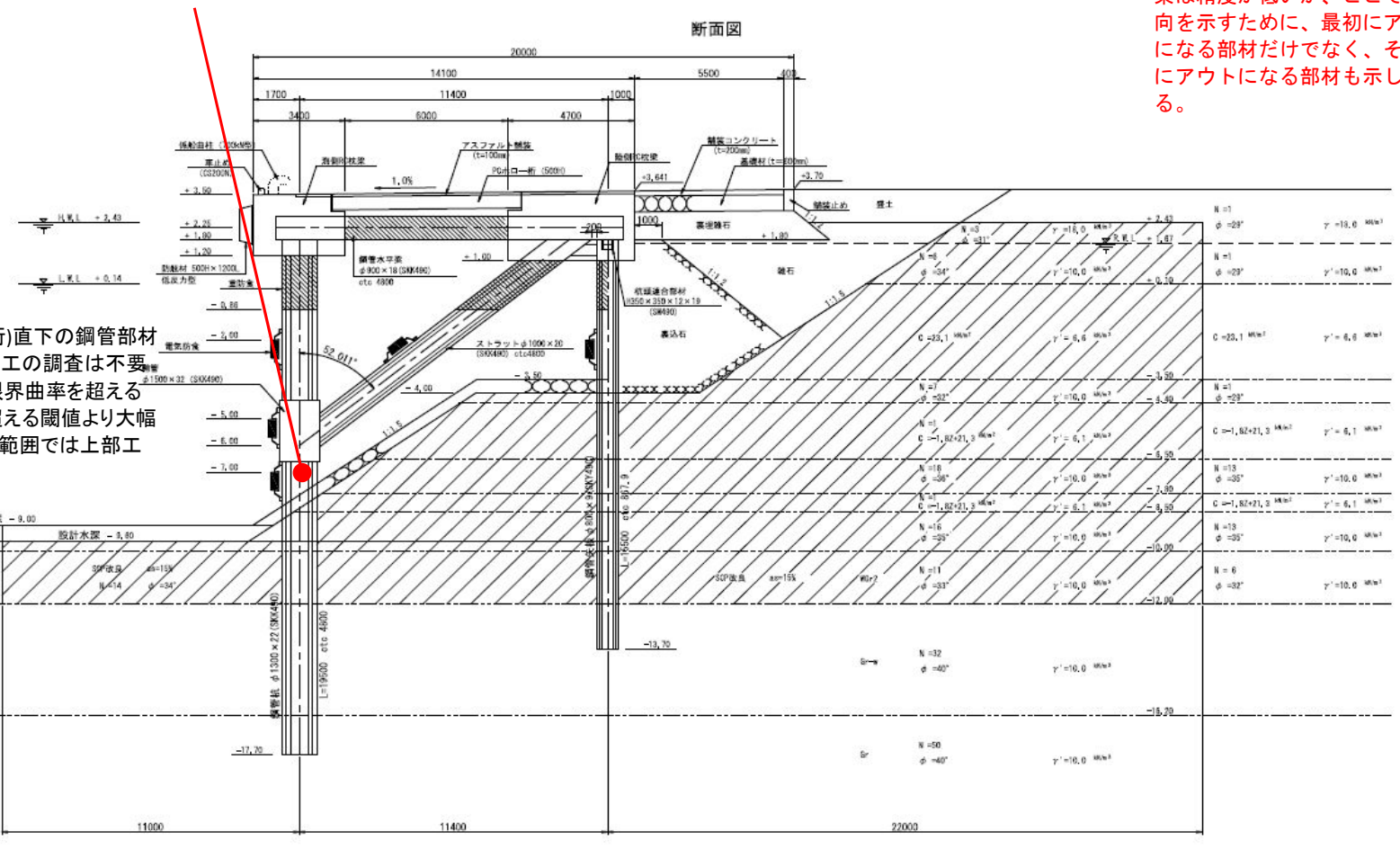
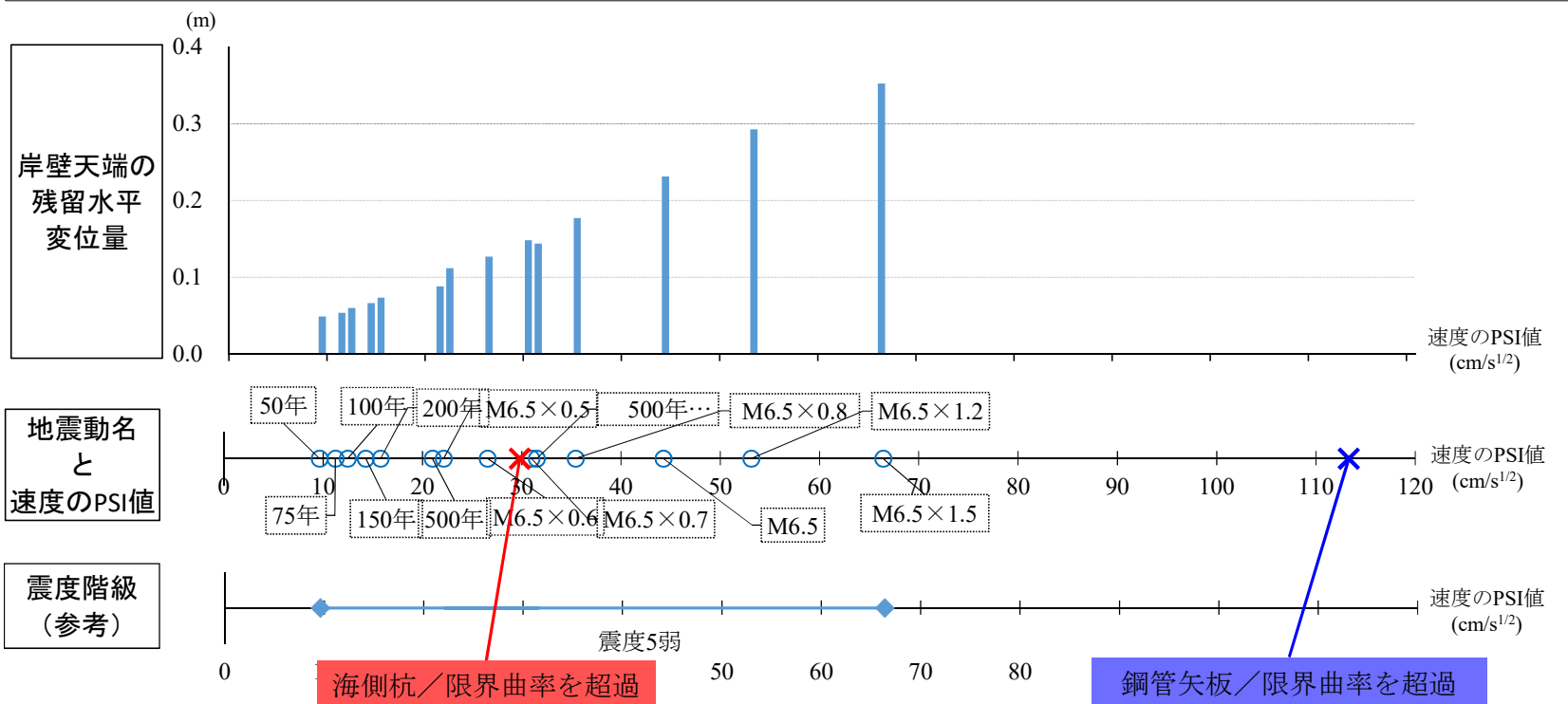
岸壁天端の残留水平変位(m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否	上部工下面の目視調査
0~0.11	0~36	暫定使用可(長期)	不要
0.11~0.15	36~46	暫定使用可(長期)	必要
0.15~	46~	使用不可	必要

震度階級	使用可否	上部工下面の目視調査
4以下	暫定使用可(長期)	不要
5弱	暫定使用可(長期)	不要
5強	使用不可	必要
6弱	使用不可	必要
6強	使用不可	必要
7以上	使用不可	必要

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可と上部工下面調査のみ考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

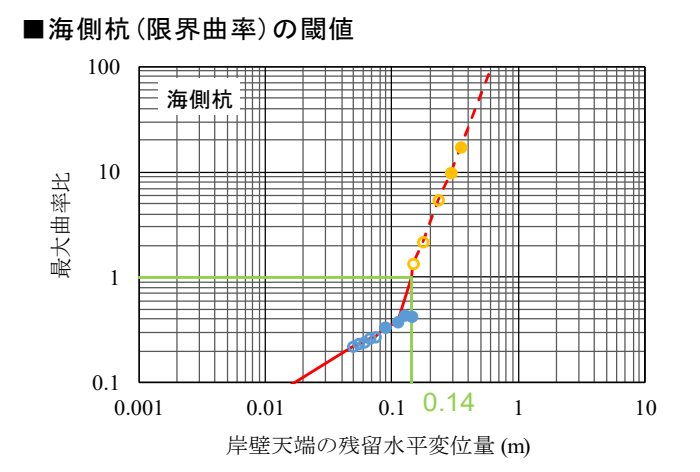
●施設名称：H港q岸壁 ●被災形態：最初に海側杭／限界曲率を超過
 ●構造形式：栈橋式(土留め一体栈橋)



本施設では、上部工(PCホロー桁)直下の鋼管部材が限界曲率を超えるまでは上部工の調査は不要とする。なお、この鋼管部材が限界曲率を超える閾値は、栈橋杭が限界曲率を超える閾値より大幅に大きいため、施設が使用可の範囲では上部工の調査は不要である。

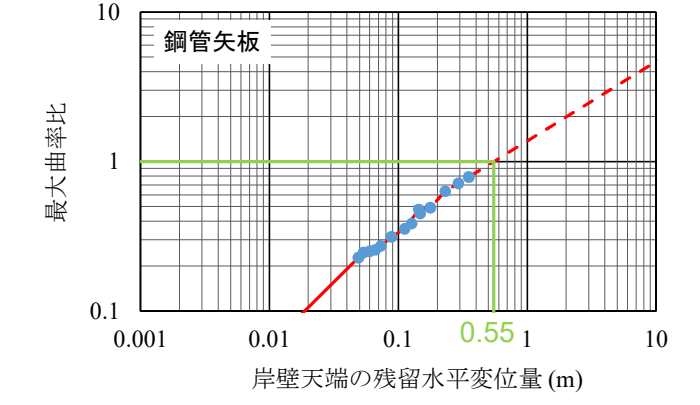
※施設を構成する部材のいずれかがアウトになった後の解析結果は精度が低いが、ここでは傾向を示すために、最初にアウトになる部材だけでなく、その次にアウトになる部材も示している。

岸壁天端の残留水平変位の閾値



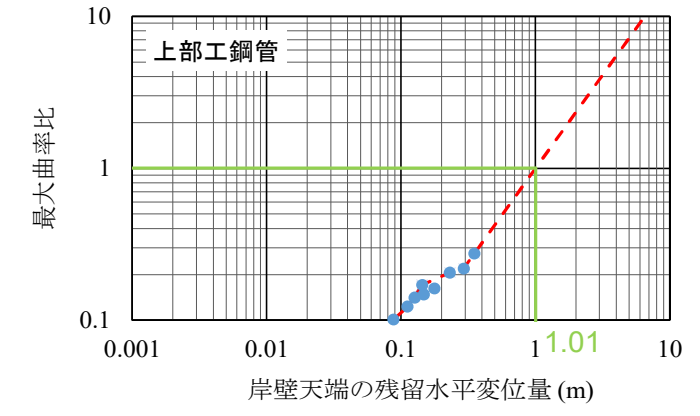
● 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ● 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線
 - - - 評価線(残存耐力無し)

鋼管矢板(限界曲率)の閾値



● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

上部工鋼管(限界曲率)の閾値



● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 上部工の設計耐力比=発生モーメント/曲げ耐力(曲げ)
 =発生せん断力/せん断耐力(せん断)

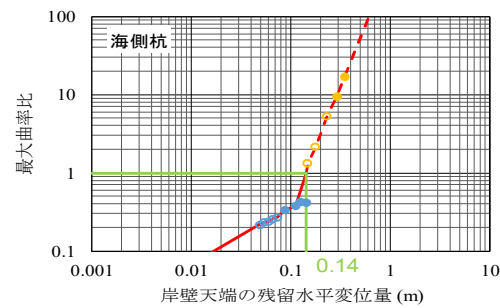
■H港q岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})		残留水平変位(m)		海側杭		海側杭の設計耐力比 (船舶接岸時)		ストラット		ストラットの設計耐力比 (船舶接岸時)		鋼管矢板		鋼管矢板の設計耐力比 (船舶接岸時)		上部工鋼管		上部工鋼管の設計耐力比 (船舶接岸時)		計測震度	震度階級	備考
	岸壁天端	土留天端	栈橋杭の最大曲率比	応力状態	接岸時	牽引時	最大曲率比	接岸時	牽引時	最大曲率比	力比	接岸時	牽引時	最大曲率比	接岸時	牽引時	最大曲率比	接岸時	牽引時				
再現期間50年の確率波	9.62	0.05	0.05	0.22	1	0.37	0.53	0.55	0.10	0.31	0.33	0.23	0.16	0.38	0.35	0.07	0.20	0.20	4.59	震度5弱			
再現期間75年の確率波	11.22	0.05	0.05	0.23	1	0.37	0.56	0.58	0.11	0.32	0.34	0.25	0.16	0.39	0.36	0.07	0.20	0.21	4.70	震度5弱			
再現期間100年の確率波	12.45	0.06	0.06	0.24	1	0.38	0.58	0.60	0.11	0.32	0.35	0.25	0.16	0.40	0.37	0.07	0.20	0.21	4.57	震度5弱			
再現期間150年の確率波	14.28	0.07	0.07	0.26	1	0.40	0.62	0.64	0.12	0.34	0.37	0.26	0.18	0.43	0.39	0.08	0.21	0.22	4.61	震度5弱			
再現期間200年の確率波	15.78	0.07	0.07	0.27	1	0.41	0.65	0.68	0.13	0.35	0.38	0.27	0.16	0.44	0.40	0.08	0.22	0.22	4.60	震度5弱			
再現期間500年の確率波	21.01	0.09	0.09	0.34	2	0.44	0.73	0.76	0.15	0.38	0.42	0.31	0.26	0.48	0.45	0.10	0.23	0.24	4.61	震度5弱			
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	31.51	0.14	0.15	0.42	2	0.48	0.94	1.00	0.18	0.46	0.51	0.48	0.36	0.64	0.59	0.17	0.33	0.32	4.67	震度5弱			
M6.5の直下型地震 振幅0.5倍	22.13	0.11	0.11	0.38	2	0.54	0.75	0.79	0.19	0.39	0.43	0.35	0.48	0.48	0.44	0.12	0.24	0.24	4.56	震度5弱			
M6.5の直下型地震 振幅0.6倍	26.56	0.13	0.13	0.43	2	0.58	0.83	0.88	0.22	0.42	0.46	0.39	0.58	0.52	0.47	0.14	0.26	0.26	4.62	震度5弱			
M6.5の直下型地震 振幅0.7倍	30.99	0.15	0.15	1.33	3	0.59	0.86	0.91	0.23	0.43	0.47	0.45	0.66	0.55	0.51	0.15	0.28	0.28	4.72	震度5弱	「使用不可」となる。		
M6.5の直下型地震 振幅0.8倍	35.41	0.18	0.18	2.16	3	0.59	0.88	0.93	0.23	0.44	0.48	0.49	0.70	0.61	0.56	0.16	0.30	0.30	4.77	震度5弱			
M6.5の直下型地震	44.27	0.23	0.23	5.35	3	0.64	1.06	1.11	0.24	0.47	0.52	0.63	0.71	0.69	0.67	0.21	0.37	0.35	4.93	震度5弱			
M6.5の直下型地震 振幅1.2倍	53.12	0.29	0.30	9.61	4	0.63	1.05	1.12	0.26	0.50	0.56	0.72	0.68	0.73	0.72	0.22	0.32	0.32	4.96	震度5弱			
M6.5の直下型地震 振幅1.5倍	66.40	0.35	0.36	17.19	4	0.59	0.97	1.05	0.27	0.50	0.55	0.79	0.61	0.76	0.75	0.27	0.26	0.27	4.94	震度5弱			

※表中において、1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

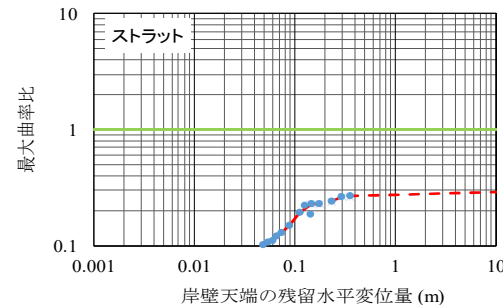
●水平変位量の評価線

■海側杭(限界曲率)の閾値



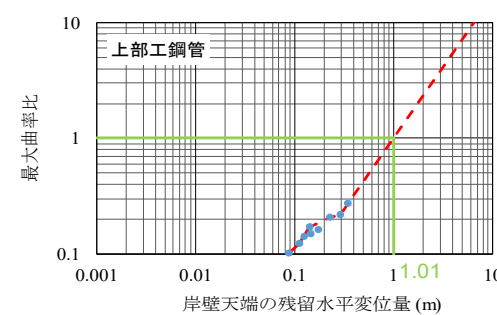
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線
 - - - 評価線(残存耐力無し)

■ストラット(限界曲率)の閾値



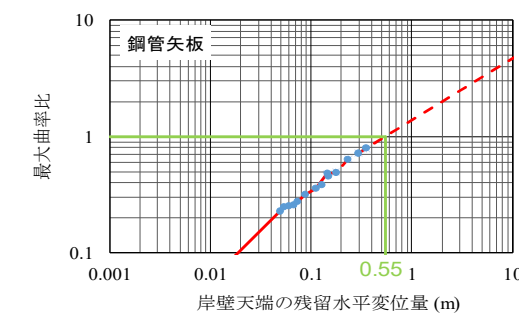
● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工鋼管(限界曲率)の閾値



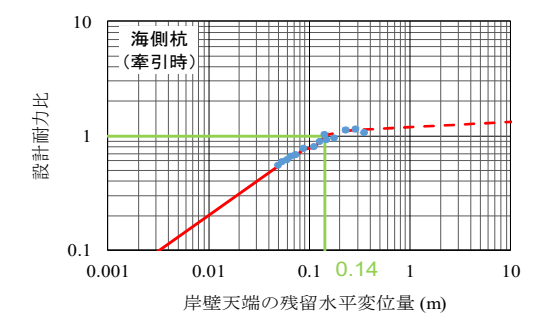
● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■鋼管矢板(限界曲率)の閾値



● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

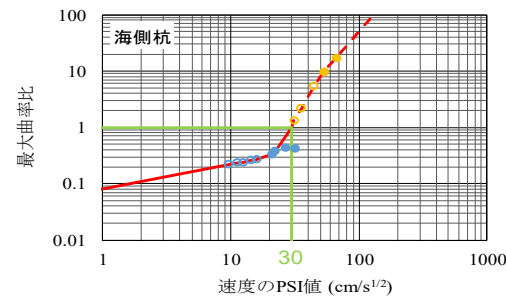
■海側杭(牽引時)設計耐力の閾値



● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

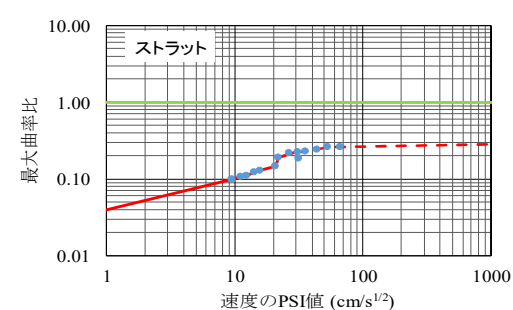
●速度のPSI値の評価線

■海側杭(限界曲率)の閾値



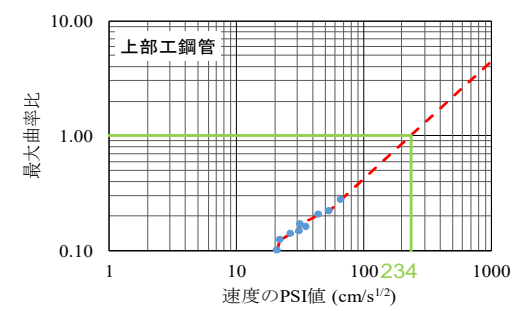
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線
 - - - 評価線(残存耐力無し)

■ストラット(限界曲率)の閾値



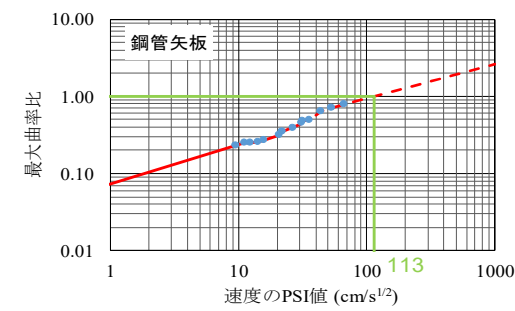
● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■上部工鋼管(限界曲率)の閾値



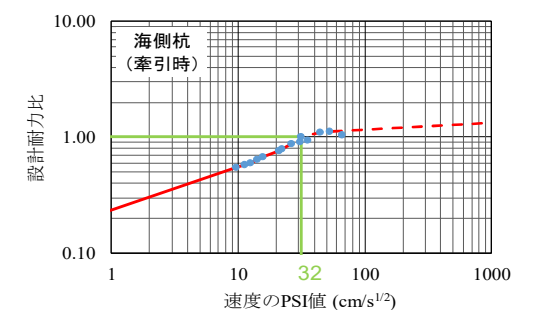
● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■鋼管矢板(限界曲率)の閾値



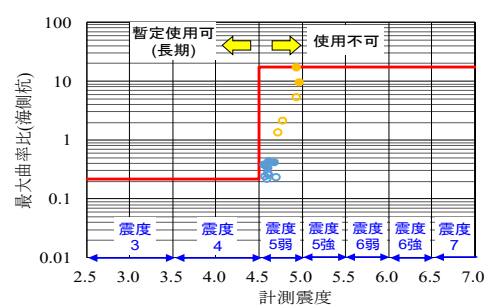
● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

■海側杭(牽引時)設計耐力の閾値

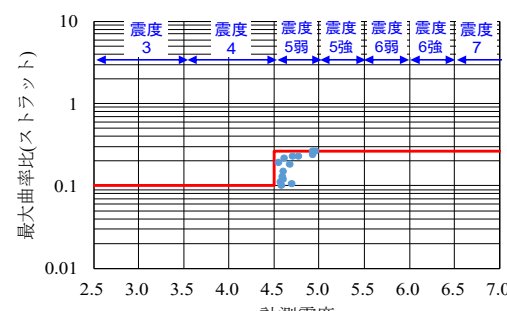


● 解析結果 ● 評価線 - - - 評価線(残存耐力無し)

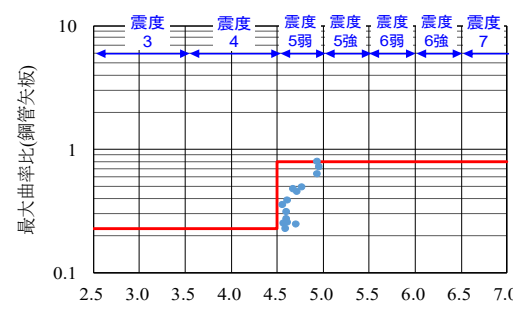
●計測震度の評価線



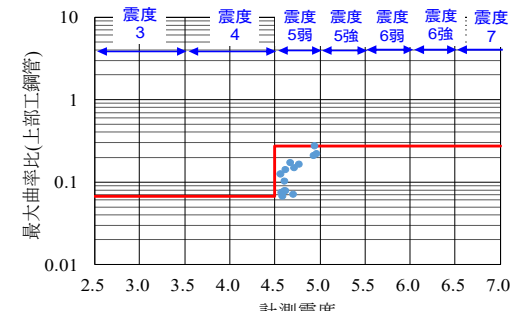
○ 解析結果(応力状態1) ● 解析結果(応力状態2)
 ○ 解析結果(応力状態3) ● 解析結果(応力状態4)
 ● 解析結果(応力状態5) ● 評価線



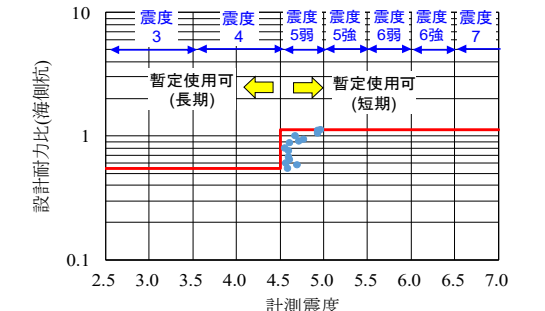
● 解析結果



● 解析結果 ● 評価線



● 解析結果 ● 評価線



● 解析結果 ● 評価線

※栈橋杭力比(支持力)は1.0を超えないため、省略。

●使用可否の閾値まとめ

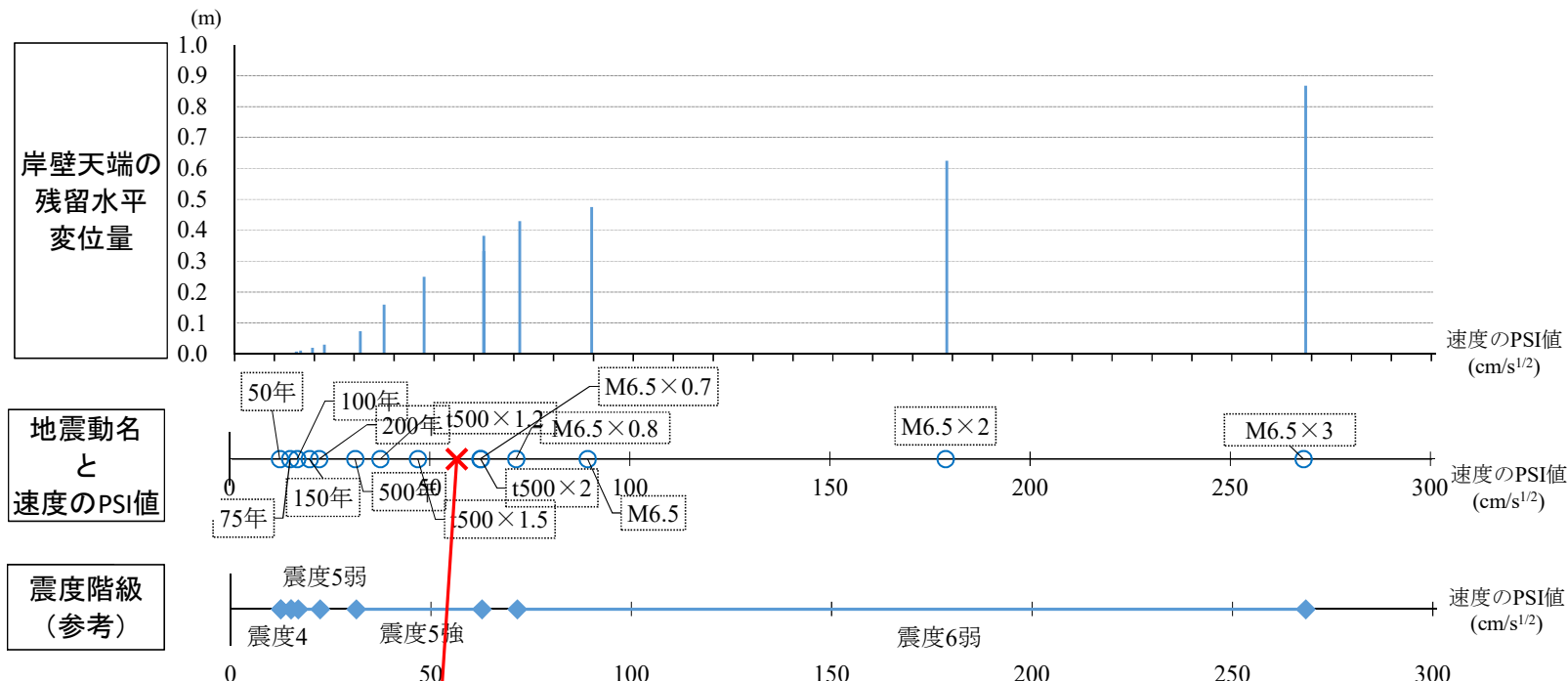
岸壁天端の残留水平変位(m)	速度のPSI値(cm/s ^{1/2})	使用可否
0~0.14	0~30	暫定使用可(長期)
0.14~	30~	使用不可

震度階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	使用不可
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

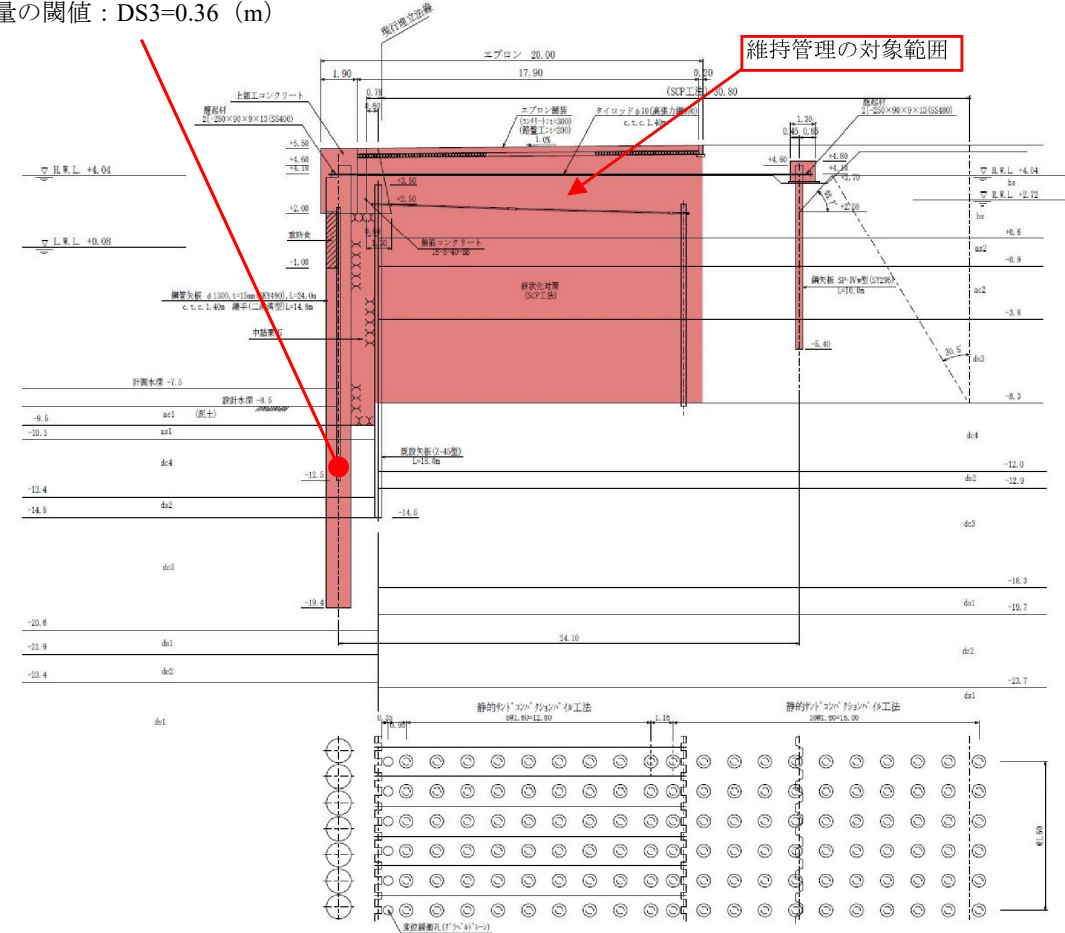
※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可 暫定使用可(長期)(短期)の観点では技調用を考慮。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

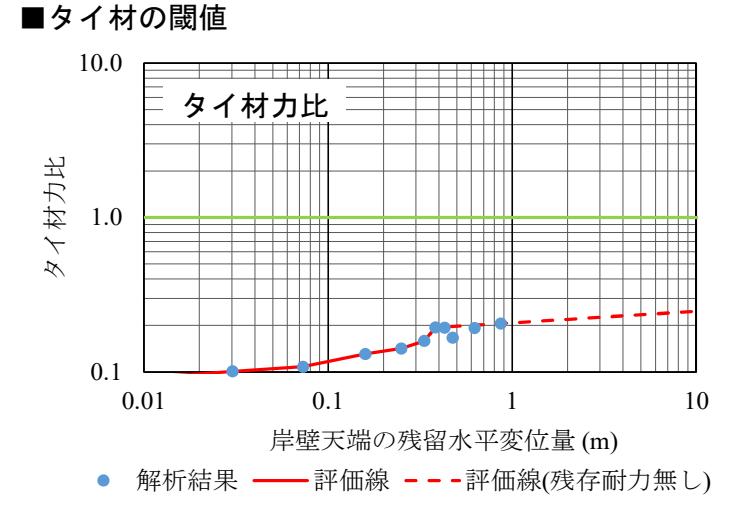
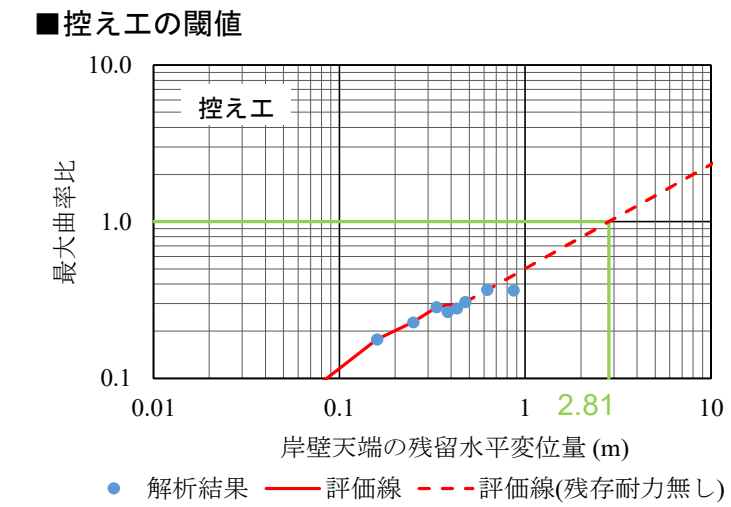
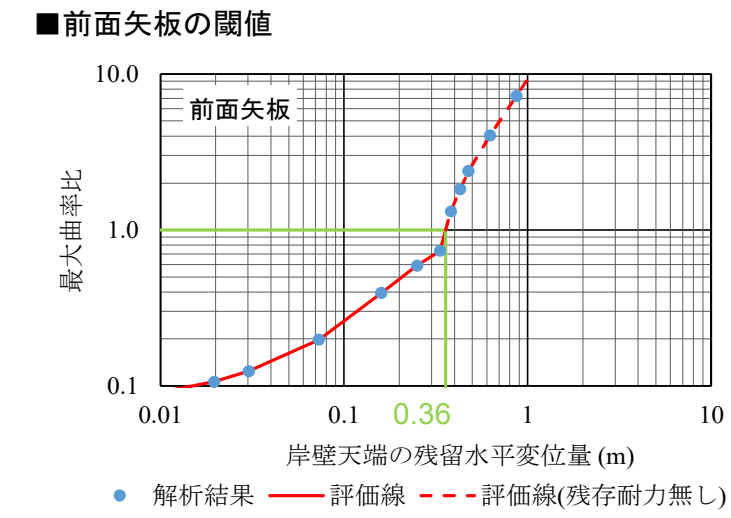
●施設名称：E港h岸壁 ●被災形態：先に前面矢板／限界曲率を超過(変形モードA)
 ●構造形式：矢板式(前面矢板：鋼管矢板－控え工：鋼矢板)



前面矢板／限界曲率を超過
 速度のPSI値の閾値：PSI3=57 (cm/s^{1/2})
 水平変位量の閾値：DS3=0.36 (m)



岸壁天端の残留水平変位量の閾値



最大曲率比＝発生最大曲率／限界曲率 (鋼管杭、鋼管矢板の場合)
 ＝発生最大曲率／全塑性曲率 (鋼矢板の場合)
 タイ材力比＝発生最大引張力／設計破断強度

■E港h岸壁

波形名	速度PSI値 (cm/s ^{1/2})	岸壁天端の 残留水平 変位量 (m)	地震中の状態			船舶接岸時の状態 (前面矢板の設計耐力比)		船舶接岸時の状態 (控え工の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
			前面矢板の 最大曲率比	控え工の 最大曲率比	タイ材の 力比	接岸時	牽引時	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	12.54	0.00	0.08	0.06	0.09	0.22	0.20	0.06	0.07	4.30	震度4	
再現期間75年の確率波(L1地震動)	15.13	0.01	0.09	0.06	0.09	0.23	0.21	0.06	0.07	4.46	震度4	
再現期間100年の確率波	16.90	0.01	0.09	0.07	0.09	0.24	0.23	0.06	0.07	4.56	震度5弱	
再現期間150年の確率波	19.96	0.02	0.11	0.07	0.10	0.26	0.25	0.06	0.07	4.69	震度5弱	
再現期間200年の確率波	22.38	0.03	0.12	0.07	0.10	0.28	0.29	0.06	0.07	4.80	震度5弱	
再現期間500年の確率波	31.36	0.07	0.20	0.09	0.11	0.42	0.43	0.06	0.08	5.29	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.2倍	37.64	0.16	0.39	0.18	0.13	0.76	0.78	0.12	0.14	5.18	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	47.05	0.25	0.59	0.23	0.14	1.05	1.07	0.14	0.17	5.09	震度5強	
M6.5の直下型地震(L2地震動) 振幅0.7倍	62.61	0.38	1.32	0.27	0.19	1.26	1.30	0.16	0.20	5.42	震度5強	「使用不可」となる。
再現期間500年の確率波 振幅2倍	62.73	0.33	0.73	0.28	0.16	1.27	1.30	0.16	0.20	5.15	震度5強	
M6.5の直下型地震(L2地震動) 振幅0.8倍	71.55	0.43	1.83	0.28	0.19	1.22	1.27	0.17	0.22	5.58	震度6弱	
M6.5の直下型地震(L2地震動)	89.44	0.48	2.38	0.31	0.17	1.19	1.24	0.19	0.24	5.50	震度6弱	
M6.5の直下型地震(L2地震動) 振幅2倍	178.87	0.62	4.05	0.37	0.19	1.12	1.18	0.23	0.28	5.54	震度6弱	
M6.5の直下型地震(L2地震動) 振幅3倍	268.31	0.87	7.22	0.36	0.21	0.92	0.98	0.25	0.31	5.81	震度6弱	

※1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、タイ材力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 (cm/s ^{1/2})	使用可否
0~0.23	0~45	暫定使用可(長期)
0.23~0.36	45~57	暫定使用可(短期)
0.36~	57~	使用不可

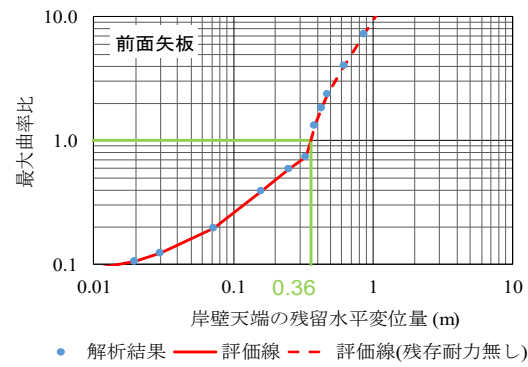
震度 階級	使用可否
4以下	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	使用不可
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

※被災直後の緊急物資輸送では使用不可となる閾値のみ使用。暫定使用可(長期)(短期)は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

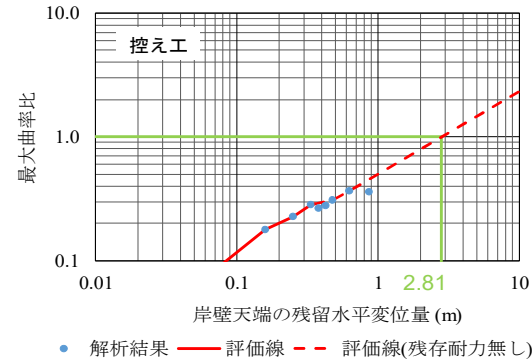
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率(鋼管杭、鋼管矢板の場合)
=発生最大曲率/全塑性曲率(鋼矢板の場合)
タイ材力比=発生最大引張力/設計破断強度
設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

●水平変位量の評価線

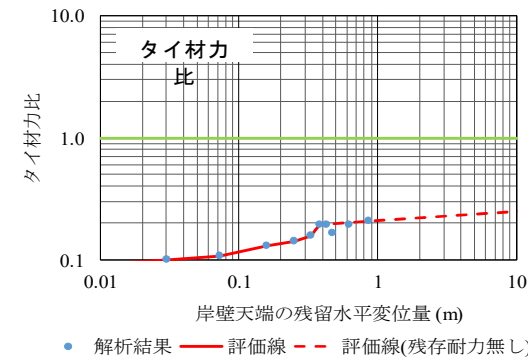
■前面矢板の閾値



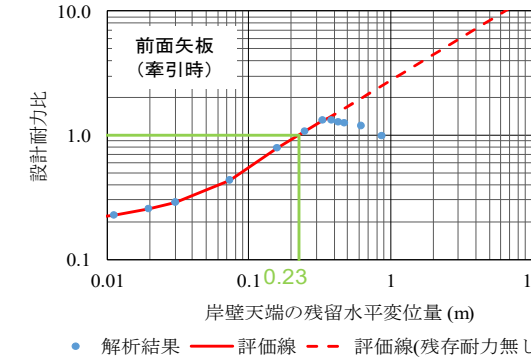
■控え工の閾値



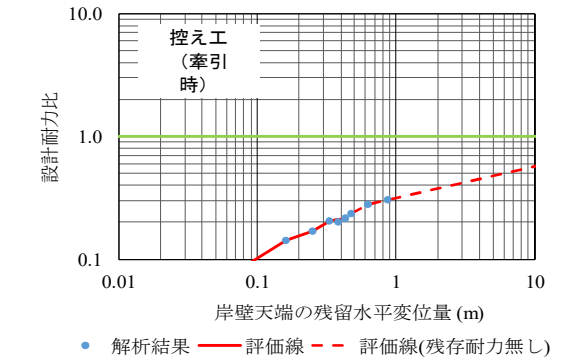
■タイ材の閾値



■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値

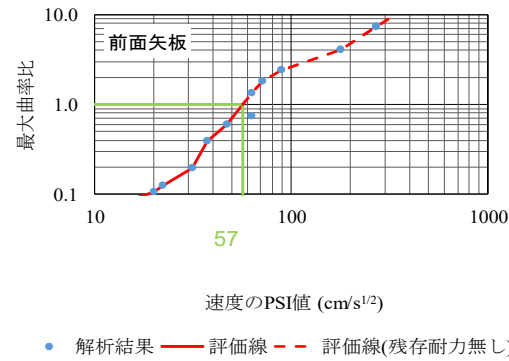


■控え工(牽引時)設計耐力の閾値

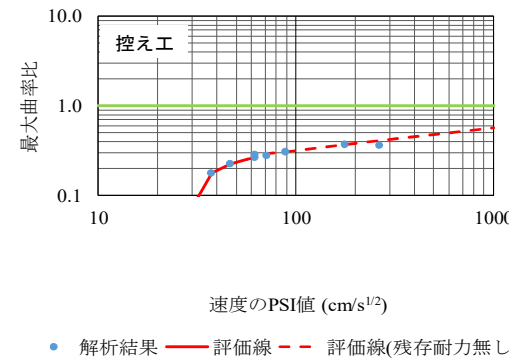


●速度のPSI値の評価線

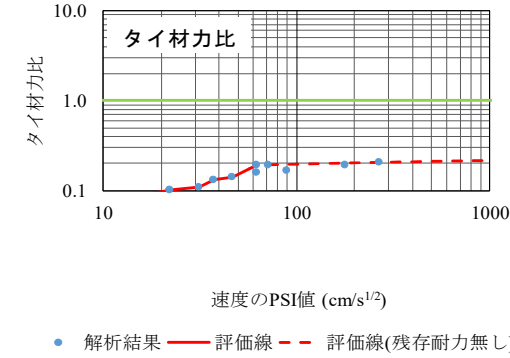
■前面矢板の閾値



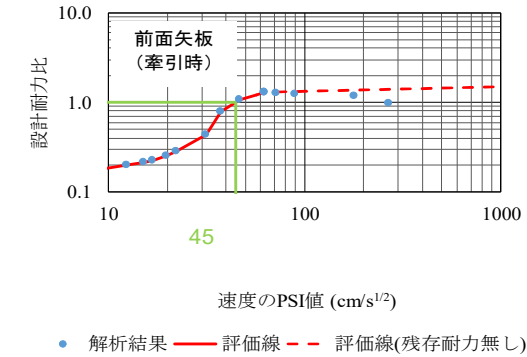
■控え工の閾値



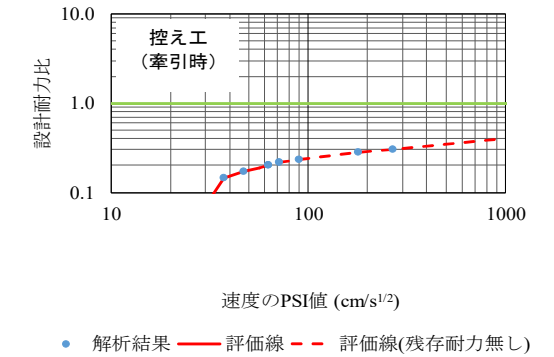
■タイ材の閾値



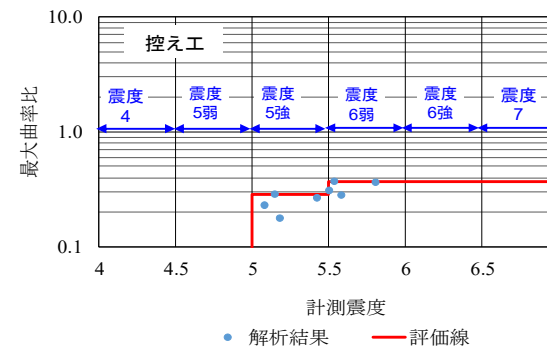
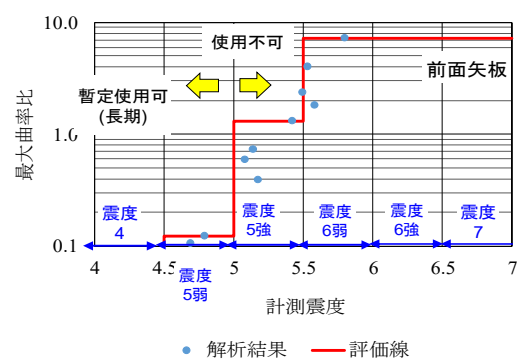
■前面矢板(牽引時)設計耐力の閾値



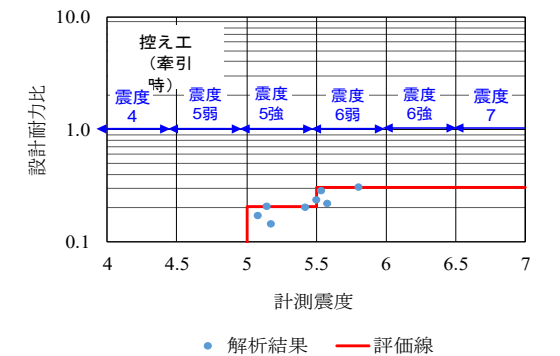
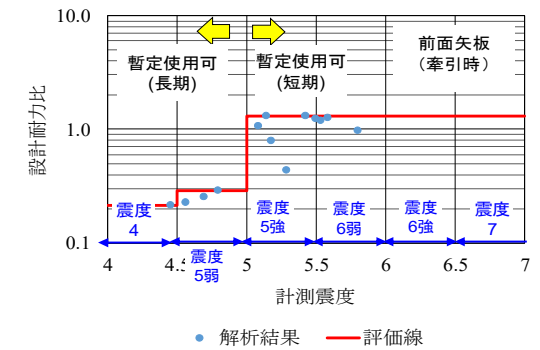
■控え工(牽引時)設計耐力の閾値



●計測震度の評価線



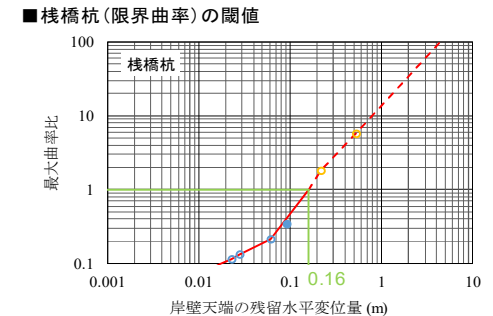
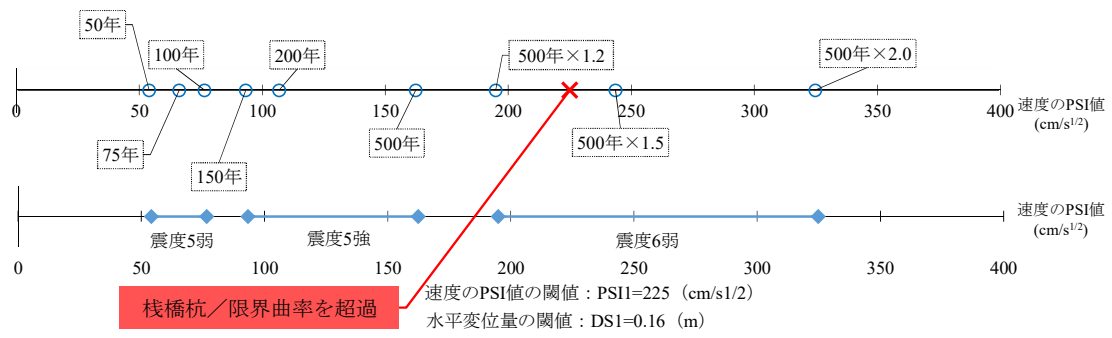
タイ材力比は1.0を超えないため、計測震度の評価線は未作成



- 施設名称：I港r施設
- 構造形式：栈橋式
- 被災形態：最初に栈橋杭/限界曲率を超過（以下4箇所いずれも）

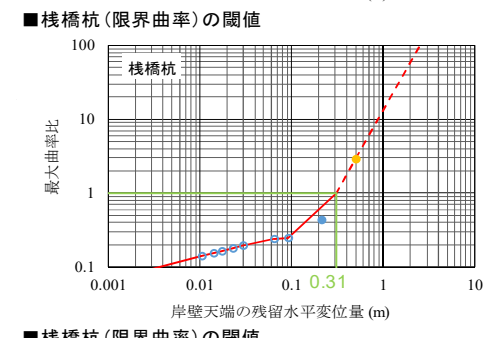
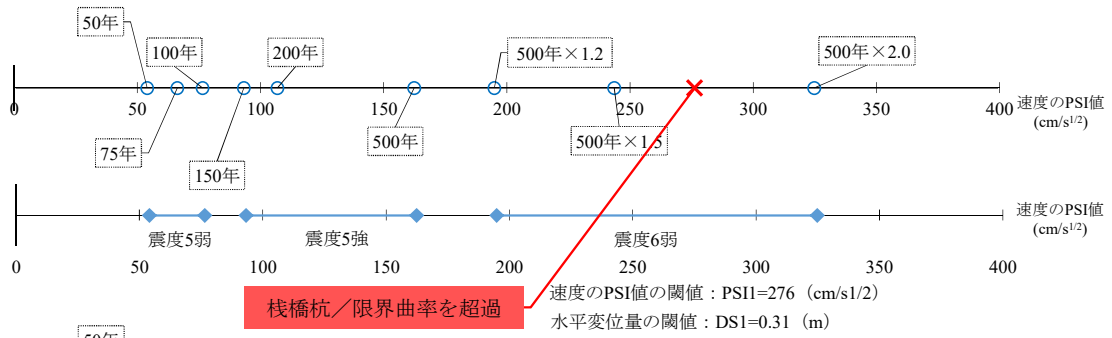
接岸ドルフィン部

地震動名と速度のPSI値
震度階級(参考)



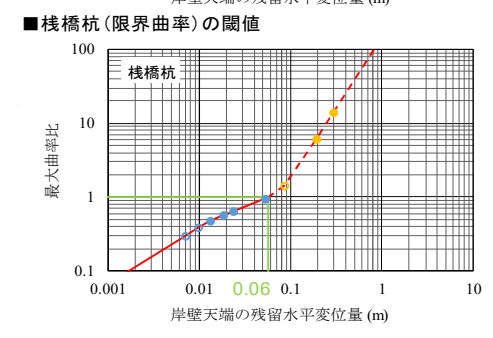
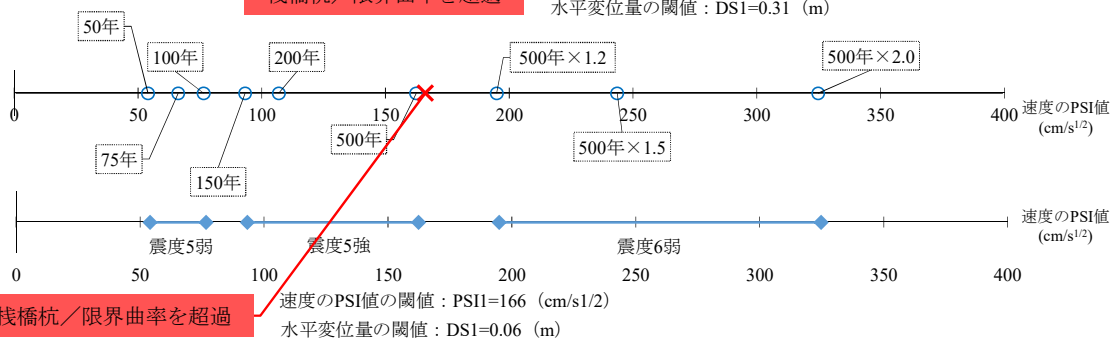
門柱A部

地震動名と速度のPSI値
震度階級(参考)



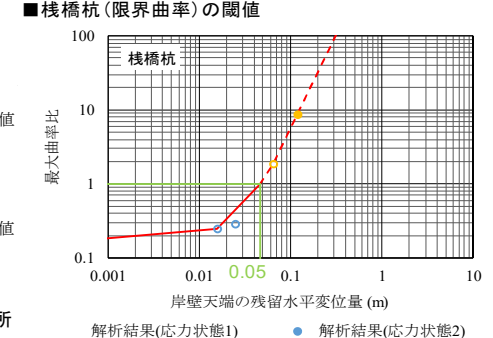
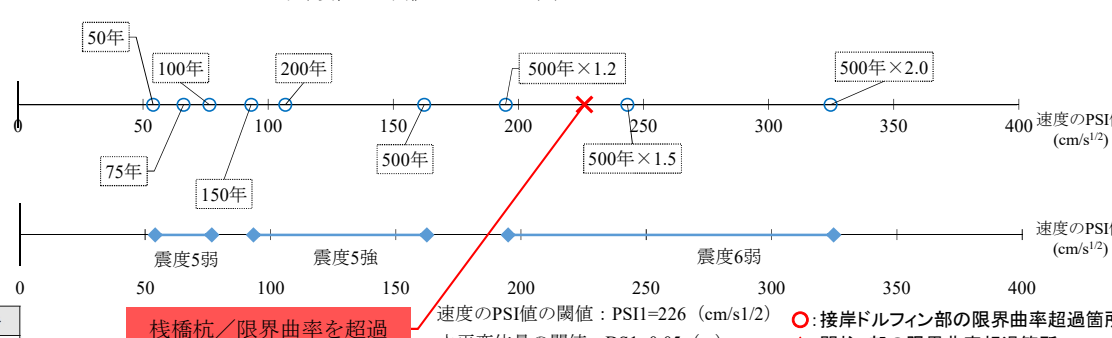
門柱B部

地震動名と速度のPSI値
震度階級(参考)



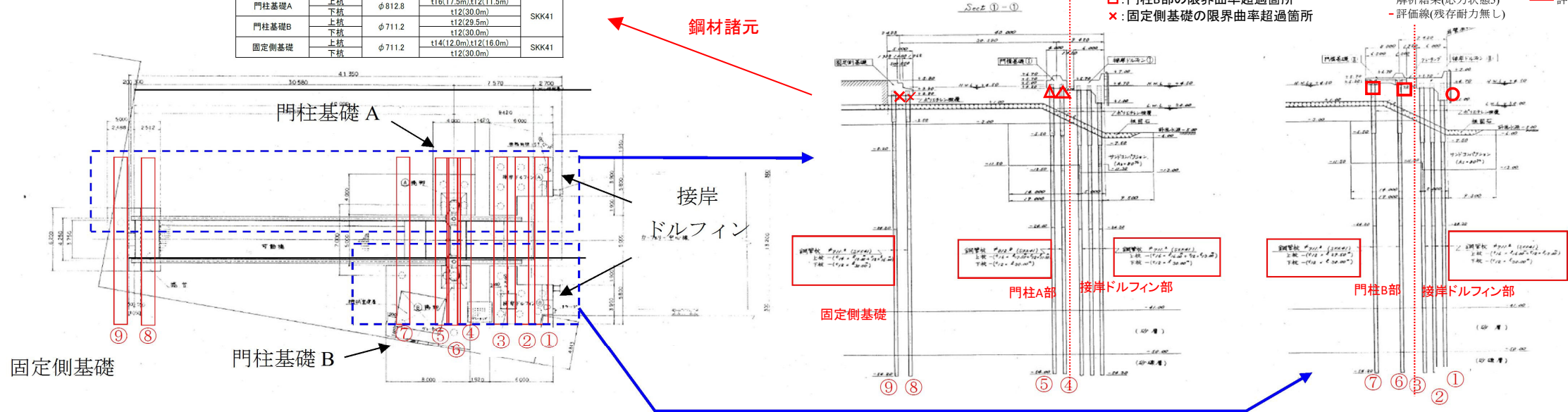
固定側基礎

地震動名と速度のPSI値
震度階級(参考)



※最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率

鋼管諸元	サイズ		規格	
	外形	板厚		
接岸ドルフィンA/B	上杭	φ711.2	t16(16.0m)t12(13.0m)	SKK41
	下杭	φ711.2	t12(30.0m)	
門柱基礎A	上杭	φ812.8	t16(17.5m)t12(11.5m)	SKK41
	下杭	φ812.8	t12(30.0m)	
門柱基礎B	上杭	φ711.2	t12(29.5m)	SKK41
	下杭	φ711.2	t12(30.0m)	
固定側基礎	上杭	φ711.2	t14(12.0m)t12(18.0m)	SKK41
	下杭	φ711.2	t12(30.0m)	

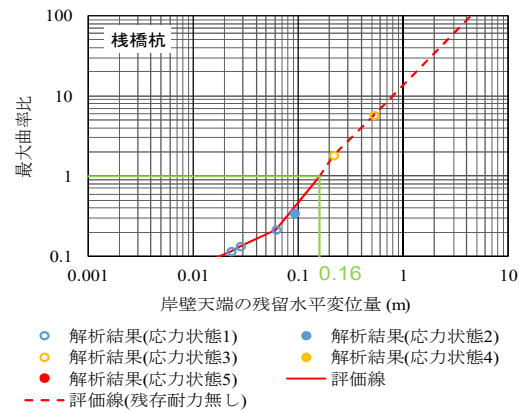


■I港r施設(接岸ドルフィン部)

波形名	速度PSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	残留水平変位(m)		地震中の状態			船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭 力比	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	54.07	0.01	0.00	0.07	1	0.15	0.22	0.09	4.71	震度5弱	
再現期間75年の確率波	66.27	0.01	0.00	0.09	1	0.15	0.22	0.10	4.85	震度5弱	
再現期間100年の確率波	76.54	0.02	0.00	0.10	1	0.16	0.22	0.11	4.95	震度5弱	
再現期間150年の確率波	93.25	0.02	0.00	0.12	1	0.17	0.21	0.12	5.08	震度5強	
再現期間200年の確率波	106.91	0.03	0.00	0.13	1	0.18	0.21	0.14	5.16	震度5強	
再現期間500年の確率波	162.40	0.06	0.00	0.21	1	0.20	0.24	0.23	5.45	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.2倍	194.88	0.09	0.00	0.34	2	0.21	0.29	0.34	5.61	震度6弱	
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	243.60	0.22	0.00	1.81	3	0.28	0.41	0.38	5.80	震度6弱	「使用不可」となる。
再現期間500年の確率波 振幅2.0倍	324.80	0.52	0.00	5.77	3	0.34	0.54	0.49	5.94	震度6弱	

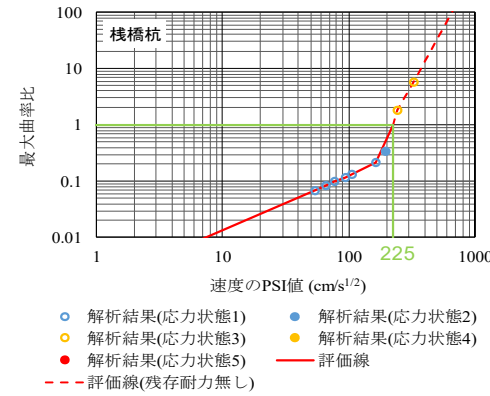
●水平変位量の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値

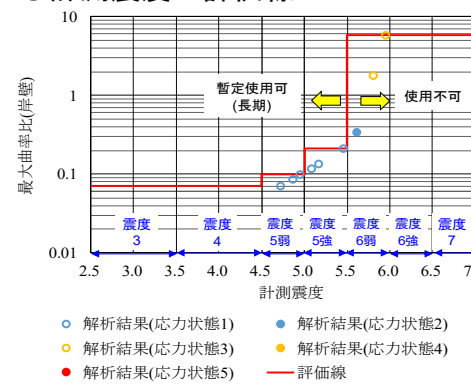


●速度のPSI値の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



●計測震度の評価線



●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	使用可否
0~0.16	0~225	暫定使用可(長期)
0.16~	225~	使用不可

震度 階級	使用可否
3	暫定使用可(長期)
4	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	暫定使用可(長期)
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可を考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

※表中において、1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

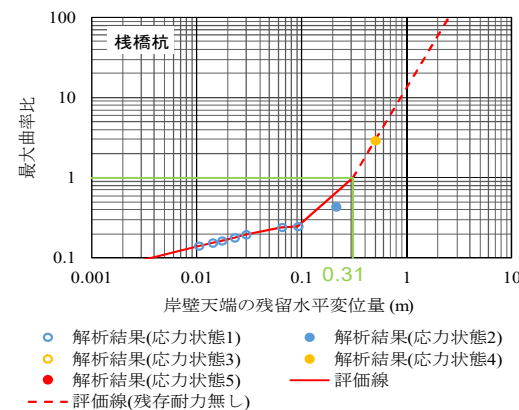
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

■I港r施設(門柱A部)

波形名	速度PSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	残留水平変位(m)		地震中の状態			船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭 力比	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	54.07	0.01	0.00	0.14	1	0.19	0.04	0.04	4.71	震度5弱	
再現期間75年の確率波	66.27	0.01	0.00	0.15	1	0.20	0.05	0.05	4.85	震度5弱	
再現期間100年の確率波	76.54	0.02	0.00	0.16	1	0.22	0.06	0.06	4.95	震度5弱	
再現期間150年の確率波	93.25	0.02	0.00	0.18	1	0.23	0.06	0.07	5.08	震度5強	
再現期間200年の確率波	106.91	0.03	0.00	0.20	1	0.25	0.07	0.08	5.16	震度5強	
再現期間500年の確率波	162.40	0.06	0.00	0.24	1	0.32	0.07	0.09	5.45	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.2倍	194.88	0.09	0.00	0.25	1	0.34	0.12	0.15	5.61	震度6弱	
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	243.60	0.21	0.00	0.43	2	0.40	0.24	0.29	5.80	震度6弱	
再現期間500年の確率波 振幅2.0倍	324.80	0.50	0.00	2.93	4	0.62	0.43	0.43	5.94	震度6弱	「使用不可」となる。

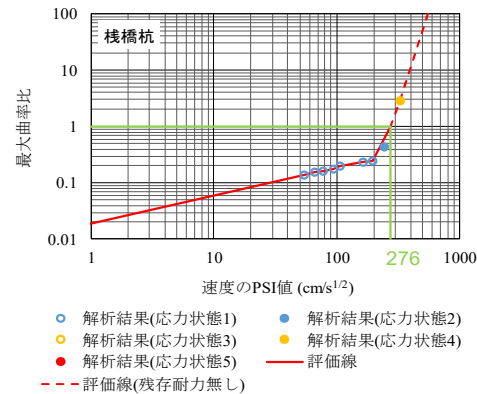
●水平変位量の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値

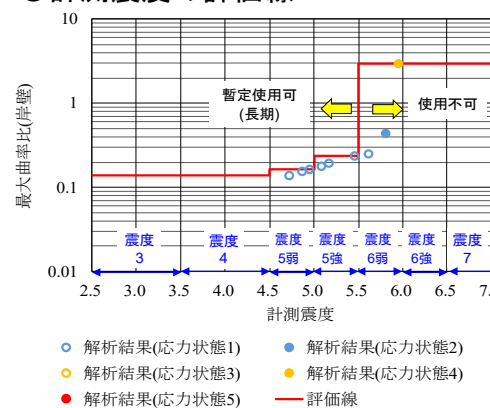


●速度のPSI値の評価線

■栈橋杭(限界曲率)の閾値



●計測震度の評価線



●使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	使用可否
0~0.31	0~276	暫定使用可(長期)
0.31~	276~	使用不可

震度 階級	使用可否
3	暫定使用可(長期)
4	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	暫定使用可(長期)
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可を考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点は技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

※表中において、1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

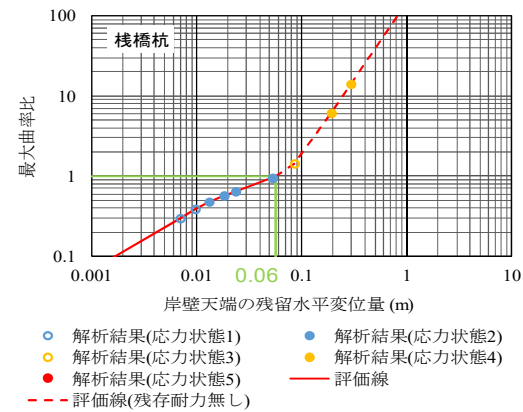
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

■ I 港 r 施設 (門柱 B 部)

波形名	速度PSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	残留水平変位(m)		地震中の状態			船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭 力比	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	54.07	0.01	0.00	0.30	1	0.17	0.06	0.06	4.71	震度5弱	
再現期間75年の確率波	66.27	0.01	0.00	0.38	1	0.19	0.08	0.07	4.85	震度5弱	
再現期間100年の確率波	76.54	0.01	0.00	0.47	2	0.19	0.09	0.09	4.95	震度5弱	
再現期間150年の確率波	93.25	0.02	0.00	0.56	2	0.21	0.10	0.12	5.08	震度5強	
再現期間200年の確率波	106.91	0.02	0.00	0.65	2	0.22	0.11	0.15	5.16	震度5強	
再現期間500年の確率波	162.40	0.05	0.00	0.95	2	0.23	0.22	0.25	5.45	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.2倍	194.88	0.09	0.00	1.42	3	0.23	0.19	0.19	5.61	震度6弱	「使用不可」となる。
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	243.60	0.19	0.00	6.07	4	0.23	0.27	0.29	5.80	震度6弱	
再現期間500年の確率波 振幅2.0倍	324.80	0.29	0.00	13.81	4	0.25	0.52	0.52	5.94	震度6弱	

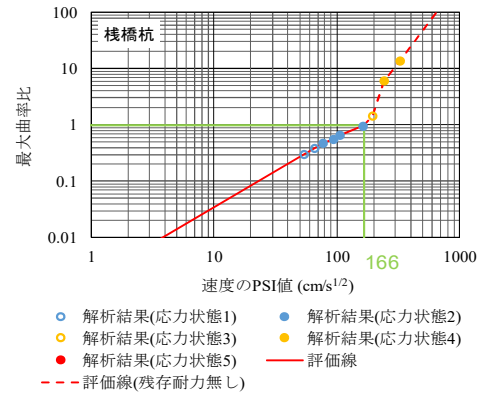
● 水平変位量の評価線

■ 栈橋杭(限界曲率)の閾値

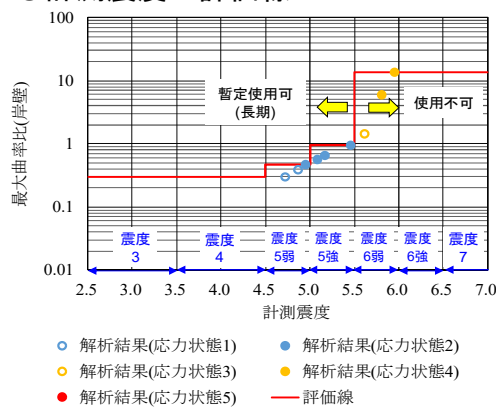


● 速度のPSI値の評価線

■ 栈橋杭(限界曲率)の閾値



● 計測震度の評価線



● 使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	使用可否
0~0.06	0~166	暫定使用可(長期)
0.06~	166~	使用不可

震度 階級	使用可否
3	暫定使用可(長期)
4	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	暫定使用可(長期)
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可を考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点から技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

※表中において、1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

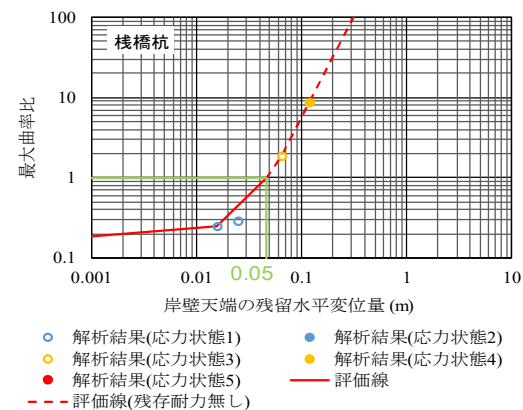
最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント

■ I 港 r 施設 (固定側基礎)

波形名	速度PSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	残留水平変位(m)		地震中の状態			船舶接岸時の状態 (栈橋杭の設計耐力比)		計測 震度	震度 階級	備考
		岸壁天端	土留天端	栈橋杭の 最大曲率比	応力 状態	栈橋杭 力比	接岸時	牽引時			
再現期間50年の確率波	54.07	0.00	0.00	0.08	1	0.22	0.02	0.02	4.71	震度5弱	
再現期間75年の確率波	66.27	0.00	0.00	0.10	1	0.23	0.02	0.02	4.85	震度5弱	
再現期間100年の確率波	76.54	0.00	0.00	0.11	1	0.24	0.03	0.03	4.95	震度5弱	
再現期間150年の確率波	93.25	0.00	0.00	0.13	1	0.26	0.03	0.03	5.08	震度5強	
再現期間200年の確率波	106.91	0.00	0.00	0.17	1	0.27	0.03	0.03	5.16	震度5強	
再現期間500年の確率波	162.40	0.02	0.00	0.25	1	0.31	0.05	0.05	5.45	震度5強	
再現期間500年の確率波 振幅1.2倍	194.88	0.02	0.00	0.29	1	0.31	0.10	0.10	5.61	震度6弱	
再現期間500年の確率波 振幅1.5倍	243.60	0.06	0.00	1.83	3	0.33	0.45	0.45	5.80	震度6弱	「使用不可」となる。
再現期間500年の確率波 振幅2.0倍	324.80	0.12	0.00	8.72	4	0.38	0.57	0.58	5.94	震度6弱	

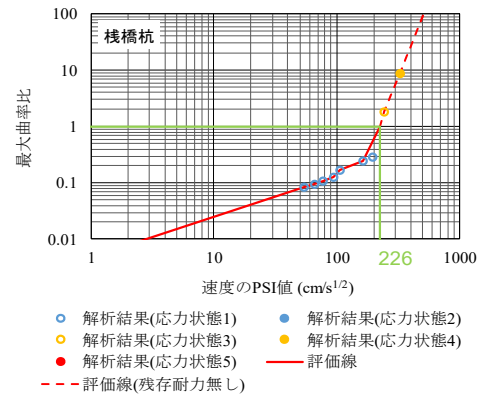
● 水平変位量の評価線

■ 栈橋杭(限界曲率)の閾値

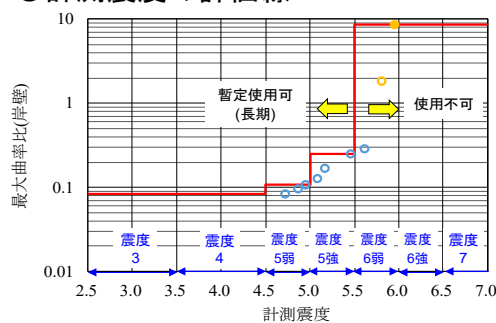


● 速度のPSI値の評価線

■ 栈橋杭(限界曲率)の閾値



● 計測震度の評価線



● 使用可否の閾値まとめ

岸壁天端の 残留水平変位 (m)	速度のPSI値 ($\text{cm/s}^{1/2}$)	使用可否
0~0.05	0~226	暫定使用可(長期)
0.05~	226~	使用不可

震度 階級	使用可否
3	暫定使用可(長期)
4	暫定使用可(長期)
5弱	暫定使用可(長期)
5強	暫定使用可(長期)
6弱	使用不可
6強	使用不可
7以上	使用不可

※被災直後の緊急物資輸送では暫定使用可or使用不可を考慮。暫定使用可(長期)(短期)の観点から技調用。なお、長期・短期は長期のみ設定の場合もある。

※表中において、1.0を超過した曲率比、設計耐力比を赤字で示している。最大曲率比、栈橋杭力比が1.0を超えた後の解析は解析精度が低いため、グレーハッチングとしている。

最大曲率比=発生最大曲率/限界曲率
 栈橋杭力比=発生軸力/軸方向(押込or引抜)抵抗力
 栈橋杭の設計耐力比=発生モーメント/降伏モーメント