

## 1. はじめに

2007年に改正された「港湾の施設の技術上の基準・同解説(国土交通省港湾局)(以下、基準・同解説と呼ぶ)」では、矢板式係船岸の永続状態に対する照査においてレベル1信頼性設計法(部分係数法)が導入され、基準・同解説において標準的な部分係数が参考提示されている。しかしながら、タイ材の応力照査に関して、港湾工事のタイ材として使用されるタイロッドとタイワイヤーのうち、タイワイヤーに対する部分係数については、当時検討されていないため、提示するに至っていない。

そこで、本研究では、永続状態に対する矢板式係船岸のタイワイヤーの応力照査を対象として、タイワイヤーの降伏強度に対する部分係数について検討した(第3章)。また、基準・同解説において参考提示されている標準的な部分係数の設定根拠等について、設計者の便を考慮してあらためて整理した(第2章)。

## 2. 矢板式係船岸の永続状態に関するレベル1信頼性設計法

### 2.1 概要

#### (1) 永続状態に関する矢板式係船岸の性能照査

本検討で対象とする矢板式係船岸は図-2.1のように、海底面に打込まれた矢板の上部にタイ材を連結し、その背後に控えを設置する構造である。

永続状態(以下、旧基準において「常時」と呼ばれていた設計状態に対応する)の矢板式係船岸の設計で考慮する照査項目は、以下に示す4つの終局限界状態(破壊モード)である。基準・同解説では、これらの照査項目について、部分係数が一覧表として提示されている。

- ・ 矢板根入れ長の照査：  
矢板の海底面への根入れ深さに関する安定性
- ・ タイ材の応力の照査：  
タイ材に生じる張力に関する安全性
- ・ 矢板壁の応力照査：  
矢板に生じる曲げモーメントに関する安全性
- ・ 円弧すべりの照査：  
円弧すべりに関する安全性

#### (2) 部分係数の設定経緯の概要

基準・同解説に提示されている矢板式係船岸の永続状態の照査に対する部分係数は、以下に示す①～④の過程を経て設定されたものである。

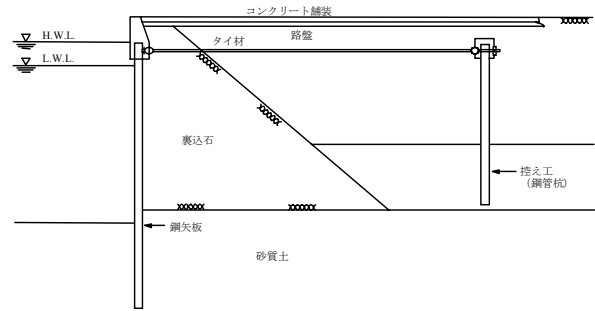


図-2.1 矢板式係船岸の構造の例

#### ① 感度係数の検討：鈴木ら(2002)による検討

矢板式係船岸の永続状態及び地震動に関する変動状態に対する部分係数を導入した設計法の検討であり、基準・同解説に参考提示されている永続状態に関する部分係数のベースとなっている。但し、本検討では、円弧すべりの検討は行われていない。

#### ② 目標安全性水準の設定：尾崎ら(2005)による検討

矢板式係船岸の常時の設計に関して、経済損失を考慮した期待総費用の最小化の観点から目標安全性水準の検討を行った研究であり、その検討結果のうち、目標システム信頼性指標及び円弧すべりの部分係数の検討結果が基準・同解説に反映されている。

#### ③ 感度係数の再評価：

上記①の検討結果をベースとして、下記項目についてあらたに検討を加え、円弧すべり以外の照査について感度係数を再評価している。なお、詳細については、2.4において説明を加える。

- ・ 残留水位を確率変数として追加
- ・ 鋼材の降伏強度を確率変数として追加
- ・ 各破壊モード(矢板根入れ長、矢板壁の応力、タイ材の応力)について、支配的な土質(砂質土系地盤、粘性土系地盤)に分類して感度係数を評価
- ・ ISO2394 Annex E(ISO(1998)) における記述を参考とし、感度係数を安全側に評価(感度係数の二乗和=1.2程度を目標)。なお、その際、支配的な感度係数のみを対象として評価(感度係数が0.1未満は、0.0として評価)するとともに、感度係数が1.0を越えた場合には1.0として評価。

#### ④ 部分係数の設定：

上記③で得られた感度係数と上記②で設定された目標信頼性指標に基づき、円弧すべり以外の照査に関する部分係数を以下の方針に基づき設定している。なお、詳細については、2.4において説明を加える。

- ・部分係数は、0.05単位で丸める。
- ・鋼矢板の降伏強度の部分係数が1.0を越える場合、鋼材降伏強度の部分係数が1.00となるように補正する。これは、港湾の施設以外の性能照査において、鋼材降伏強度をJIS規格値以上の設計用値として用いている例がないためである。なお、このような場合における鋼材の部分係数の設定は、感度係数の大きい「土のせん断抵抗角の正接」に対する部分係数を信頼性解析による算出値より大きい値として設定し、それにより矢板壁に生じる曲げモーメントを低減させ、鋼材の降伏強度の部分係数が1.00となるように補正を行っている。
- ・タイ材（タイロッド）の降伏強度の部分係数については、旧設計法（許容応力度法）において考慮されていたタイロッド鋼材の一般鋼材（矢板本体）に対する安全性に配慮し、部分係数に1.5倍程度の安全性を見込んで設定する。
- ・さらに、設計者の便を考慮し、矢板壁の応力照査とタイ材の応力照査において、鋼材の降伏強度に関する部分係数以外の部分係数については、両照査において共通の係数を適用することとした。具体的には、砂質土系地盤については、矢板壁の応力照査に対して設定された部分係数をタイ材の応力照査の部分係数に準用し、粘性土系地盤については、タイ材の応力照査に対して設定された部分係数を矢板壁の応力照査の部分係数に準用している。いずれも、安全側の評価になるような準用としている。

上記の項目のうち、③及び④については、設計者が部分係数の設定根拠をトレースできるような文献等が残されていない。このため、設計者の便を考慮し、2.2及び2.3において既往の検討結果（①及び②）の骨子を紹介し、2.4において上記③及び④の詳細について説明する。

## 2.2 既往検討結果（その1）

本節では、先に紹介した鈴木ら(2002)の検討結果について、基準・同解説に最終的に反映された内容もしくは関連する内容を中心に簡潔に紹介する。詳細については、当該文献を参照されたい。

### (1) 検討条件

#### a) 対象断面

本検討の対象断面は、一般的な矢板式係船岸であり、**付録A**に示す既往の設計事例（全8断面）である。

#### b) 破壊モード

本検討では、矢板式係船岸の設計で考慮する破壊モードとして、常時及び地震時で次に示す3つのモードを対象としている。

- ・矢板の海底面への根入れ深さに関する安定性
  - ・タイロッドに生じる張力に関する安全性
  - ・矢板に生じる最大発生曲げモーメントに関する安全性
- c) 検討条件等
- i) 確率変数の変動特性

本検討では、確率変数として土のせん断強度（内部摩擦角の正接( $\tan \phi$ )、粘着力( $c$ )）、単位体積重量( $\gamma_t$ )、主働側と受働側の壁面摩擦角( $\delta_a$ 、 $\delta_p$ )を考慮し、各変数の従う確率分布はすべて正規分布と仮定している。また、検討対象の全ての土層で同一の値を用いている。なお、実地盤での一般的な地盤定数のばらつきを念頭に置き（土質工学会(1985)）、比較的均質な港湾の土質を対象として $\tan \phi$ と $c$ の変動係数を10%、 $\gamma_t$ の変動係数を5%としている。さらに、 $\delta_a$ には $15^\circ$ 、 $\delta_p$ には $-15^\circ$ を平均値として与え、10%の変動係数としている。

### (2) 主な検討結果

#### a) 感度係数

この検討における各破壊モード別の感度係数の算出結果は、**図-2.2**に示すとおりである。各破壊モードにおける各確率変数に対応する感度係数は、検討対象8地点において概ね同程度の値を有していることが示されている。但し、その一方で、土の内部摩擦角の正接及び土の粘着力の感度係数が地点毎に大きくばらつくなどの傾向もあり、その原因として、検討対象の設計断面における土層構成の相違、すなわち砂質土が支配的である場合と粘性土が支配的である場合で感度係数の傾向が変化することについても言及している。

## 2.3 既往検討結果（その2）

本節では、先に紹介した尾崎ら(2005)の検討結果について、基準・同解説に最終的に反映された内容を中心に簡潔に紹介する。詳細については、当該文献を参照されたい。

### (1) 検討条件

#### a) 対象断面

本検討の対象断面は一般的な矢板式係船岸であり、**付録B**に示す設計水深の異なる3断面（-7.5m、-11.0m、-14.0m）に対して原地盤を砂地盤及び粘土地盤として設定した合計6断面である。

#### b) 破壊モード

本検討では矢板式係船岸の常時設計に関して、以下に示す破壊モードを対象としている。

- ・タイ材に生じる張力に関する安全性
- ・矢板に生じる曲げモーメントに関する安全性
- ・円弧すべりに関する安全性

c) 検討条件等

i) 確率変数の変動特性

本検討では、各確率変数の従う確率分布は、表-2.1に示すとおり設定されている。各設計パラメータとその特性値の比 ( $\alpha$ ) は正規分布に従うと仮定しており、その場合の  $\alpha$  の変動係数 ( $V$ ) が同表に示すとおり設定されている。

ii) 目標信頼性水準の設定の考え方

本検討では、矢板式係船岸の常時設計について、初期建設費に破壊可能性と破壊時の費用を乗じた値を加えた費用により定義される期待総費用を考慮し、この期待総費用が最小となる信頼性水準を目標としている。なお、破壊時費用は、復旧費用と経済損失の両方を考慮し、経済損失の算出にあたっては、岸壁の破壊時に当該施設が利用できないことによる迂回輸送による損失を考慮している。

(2) 主な検討結果

本項では、主な検討結果として、円弧すべりの照査における感度係数及び部分係数の検討結果のみを紹介する。これは、ここで紹介する検討結果がそのまま基準・同解説に反映されているためである。

a) 目標信頼性水準

この検討における矢板式係船岸の期待総費用は図-2.3のように示されている。水平軸は矢板本体の鋼材の断面係数、地盤の改良厚などを変化させた場合の各破壊モードを考慮したシステム破壊確率である。図中○、□を付けた破壊確率は、それぞれ迂回輸送による被害額として、平均値+ $\sigma$ 、平均値+3 $\sigma$ を考慮した期待総費用が最小となる破壊確率である。また、△および▲で示した破壊確率は旧基準による信頼性水準を示している。

本検討では、これらの結果より、中核港湾（経済損失が平均+ $\sigma$ ）および中枢港湾（経済損失が平均+3 $\sigma$ ）を想定した矢板式係船岸の目標信頼性水準として、表-2.2に示す2通りの目標信頼性水準を定めている。

b) 感度係数の設定（円弧すべり）

円弧すべりの感度係数（経済損失が平均+3 $\sigma$ の場合）は図-2.4のように示されている。なお、土の単位体積重量については、図-2.5に示すとおり、海底面より浅い地盤を $\gamma_1$ 、基礎地盤のうち砂質土を $\gamma_2$ 、粘性土を $\gamma_3$ として個別に評価している。 $\gamma_1$ については荷重効果側となるため感度係数は負となる。また、基礎地盤の $\gamma_2$ （砂質土）及び $\gamma_3$ （粘性土）については、滑動モー

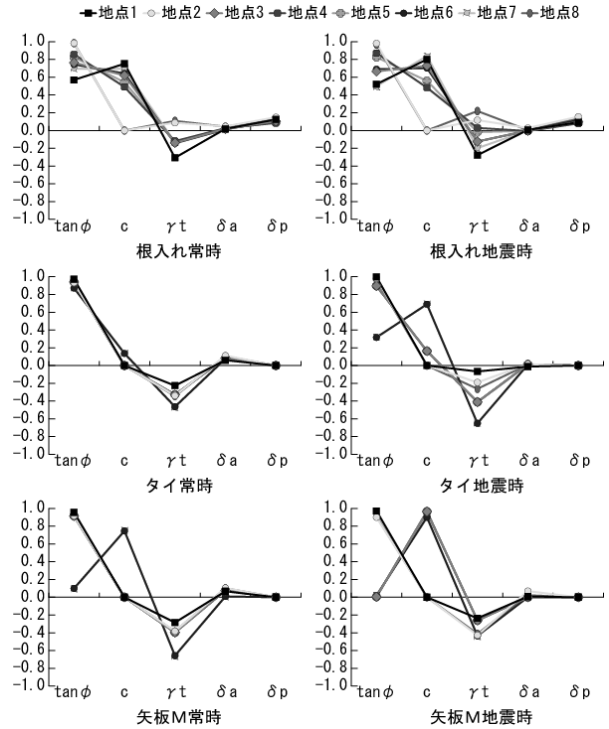


図-2.2 各パラメータの感度解析結果（鈴木ら(2002)）

表-2.1 パラメータの従う確率分布（尾崎ら(2005)）

	$\alpha$	$V$
残留水位 $RWL$	1.00	0.05
単位体積重量 $W_i$		
基礎地盤	1.00	0.03
土圧 $ke$	1.00	0.10
上載荷重 $q$	1.00	0.40
基礎地盤強度 $c'$ , $\tan\phi$	1.00	0.10
鋼材降伏応力度精度 $f_y$	1.20	0.065
矢板断面力算定精度 $mS$	1.00	0.10

注)  $\alpha$ : 平均値の偏り（平均値/特性値）

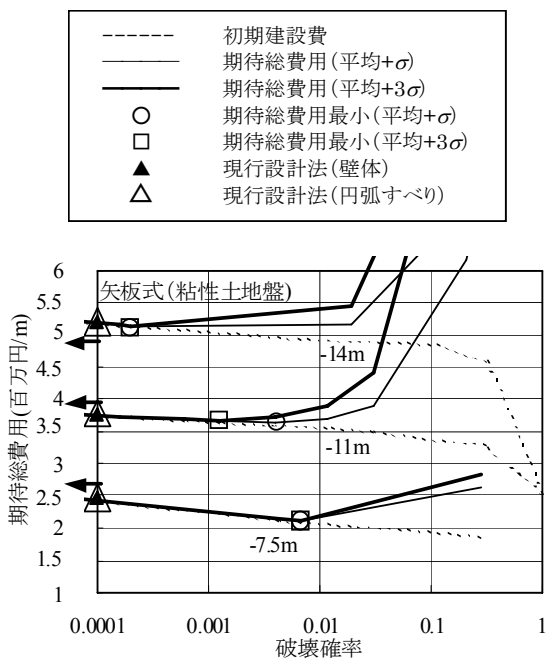
$V$ : 変動係数

表-2.2 目標信頼性水準（尾崎ら(2005)）

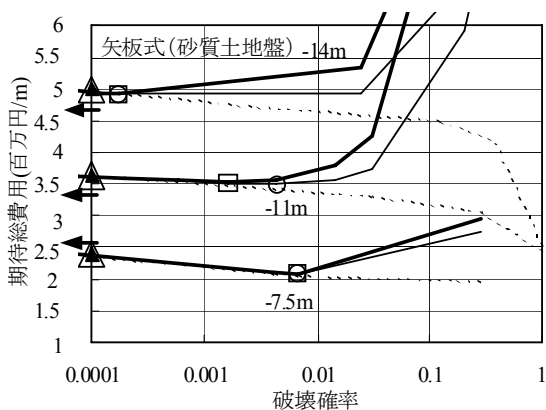
構造形式	矢板式岸壁	
経済損失	平均+ $\sigma$	平均+3 $\sigma$
目標信頼性指標 $\beta_T$	2.7	3.6
目標破壊確率 $P_{fT}$	$4.0 \times 10^{-3}$	$1.7 \times 10^{-4}$

メントとして作用する成分は円弧中心を対象として左右で相殺されるため、粘性土の $\gamma_3$ については感度係数はゼロ、砂質土についてはせん断抵抗成分に寄与する場合が大半であり、感度係数は抵抗側の正の値を取ることが示されている。

感度係数の設定については、基礎地盤の条件によって粘着力 $c'$ 、土のせん断抵抗角の正接 $\tan\phi$ 、 $\gamma_2$ の抵抗側に寄



1) 粘性土地盤



2) 砂質土地盤

図-2.3 期待総費用カーブ (矢板式係船岸) (尾崎ら(2005))

与する感度係数は、粘性土・砂質土それぞれの地盤で差があるため、単純に平均することは感度係数を過小評価することになることが示されている。このため、本検討では、各地盤で支配的となるもの(粘性土地盤： $c'$ 、砂質土地盤： $\tan\phi$ 、 $\gamma_2$ )を考慮して感度係数を平均化している。以上の考え方に基づき算出された円弧すべりの破壊モードにおける各パラメータの感度係数の平均値が表-2.3に示されている。

c) 部分係数の設定 (円弧すべり)

部分係数の設定の基本的な考え方は、上記b)で設定した期待総費用を最小とする信頼性水準より安全側の断面を、レベル1信頼性設計により設計することを目標とし、

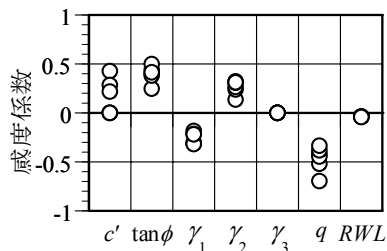


図-2.4 円弧すべりの感度係数の分布 (尾崎ら(2005))

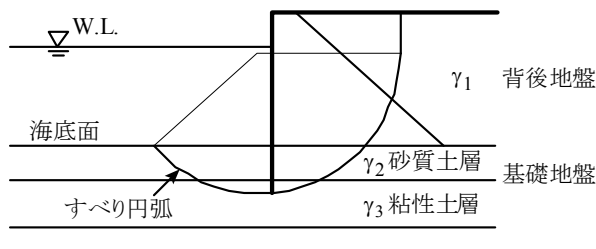


図-2.5 土層による単位体積重量の扱い (尾崎ら(2005))

表-2.3 感度係数 (円弧すべり) (尾崎ら(2005))

円弧すべり							
$\beta_T$	$c'$	$\tan\phi$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$q$	$RWL$
2.7	0.329	0.396	-0.271	0.312	0.000	-0.487	-0.040
3.6	0.309	0.398	-0.259	0.314	0.000	-0.467	-0.040

表-2.4 部分係数 (円弧すべり) (尾崎ら(2005))

円弧すべり							
$\beta_T$	$c'$	$\tan\phi$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$q$	$RWL$
2.70	0.9	0.9	1.1	0.9	1.0	1.6	1.1
3.60	0.9	0.9	1.1	0.9	1.0	1.7	1.1

これを下式(1)より得られる部分係数を丸めることにより対応するというものである。

$$\gamma_X = (1 - \alpha_X \beta_T V_X) \frac{\mu_X}{X_k} \quad (1)$$

ここに、 $\gamma_X$ : 部分係数、 $\alpha_X$ : 感度係数、 $\beta_T$ : 目標信頼性指標、 $V_X$ : 変動係数、 $\mu_X$ : 平均値、 $X_k$ : 特性値である。

部分係数の丸めは、レベル1信頼性設計結果の信頼性指標の大ききばらつきに結びつくため、本来望ましいことではない。しかしながら、今回の検討対象が永続状態での性能照査であり、変動および偶発作用に対する信頼性と比較すると要求される信頼性水準は高いと言えること。さらに、旧設計法における許容安全率の設定にもそのような考え方が反映されていると考えられることから、上述のような考え方にに基づき部分係数の設定を本検討で

は行っている。なお、部分係数の丸めは円弧すべりの場合、0.1としている。表-2.4にレベル1信頼性設計法に用いる部分係数(円弧すべり)が提案されている。なお、表-2.4における2つの目標信頼性指標 ( $\beta_T=3.6, 2.7$ )に対応する部分係数は、基準・同解説において、各々耐震強化施設と耐震強化施設以外の部分係数として反映されている。

2.4 感度係数及び部分係数の設定

本節では、基準・同解説に提示されている矢板式係船岸の永続状態に対する部分係数の設定について述べる。なお、矢板式係船岸の永続状態の性能照査は4種類あるが(2.1参照)、円弧すべりの照査については、2.3で既に述べたとおり、尾崎ら(2005)の検討結果がそのまま基準・同解説に採用されている。従って、以下、円弧すべり以外の照査における部分係数の設定について述べる。

(1)対象断面

感度係数の評価に用いた検討対象断面は、付録Aに示す8断面(地点)である。地点2及び地点8は、全て砂質地盤により構成されている。

(2)性能関数と確率変数

検討対象断面の信頼性解析は、下記に示す破壊モードに対応した性能関数に基づき評価している。

① 矢板の根入れ長に関する安定性

$$Z = M_p(\tan \phi, c', \gamma_t, \delta_p) - M_a(\tan \phi, c', \gamma_t, \delta_a, RWL)$$

ここに、 $M_p$ : 受働土圧によるタイ材取付点に関するモーメント、 $M_a$ : 主働土圧によるタイ材取付点に関するモーメント、 $\phi$ : 排水条件における内部摩擦角、 $c'$ : 見かけの粘着力、 $\gamma_t$ : 土の単位体積重量、 $\delta_a$ : 主働土圧側(矢板壁背面)の壁面摩擦角、 $\delta_p$ : 受働土圧側(矢板壁前面)の壁面摩擦角、 $RWL$ : 岸壁残留水位、である。

② タイ材(タイロッド)の応力に関する安全性

$$Z = \sigma_y(f_{yk}) - \sigma_t(\tan \phi, c', \gamma_t, \delta_a, RWL)$$

ここに、 $\sigma_y$ : 鋼材(タイロッド)の引張降伏応力度、 $\sigma_t$ : タイ材に作用する引張応力度、 $f_{yk}$ : 鋼材(タイロッド)の引張降伏応力度の特性値、である。

③ 矢板壁の応力に関する安全性

$$Z = M_u(f_{yk}) - M_d(\tan \phi, c', \gamma_t, \delta_a, RWL)$$

ここに、 $M_u$ : 矢板の限界曲げモーメント(縁部降伏に対

表-2.5 考慮パラメータとその確率分布

確率変数	記号	平均値/ 特性値	変動 係数	対象となる 限界状態※		
				①	②	③
土の内部摩擦角 の正接	$\tan \phi$	1.0	10%	○	○	○
土の壁面摩擦角 (主働側)	$\delta_a$	1.0	10%	○	○	○
土の壁面摩擦角 (受働側)	$\delta_p$	1.0	10%	○	-	-
土の粘着力	$c$	1.0	10%	○	○	○
土の単位体積重量	$\gamma_t$	1.0	5%	○	○	○
残留水位	$RWL$	1.0	5%	○	○	○
鋼管矢板の降伏強度 (SKY490)	$f_{sy}$	1.20	6.5%	-	-	○
鋼管矢板の降伏強度 (SKY400)	$f_{sy}$	1.26	7.3%	-	-	○
タイ材の降伏強度 (HT690)	$f_{ty}$	1.13	7%	-	○	-
タイ材の降伏強度 (SS400)	$f_{ty}$	1.26	7.3%	-	○	-

※①: 矢板の根入れ長, ②: タイ材の応力, ③: 矢板壁の応力

応する曲げモーメント)、 $M_d$ : 矢板に発生する最大曲げモーメント、 $f_{syk}$ : 鋼材(矢板壁)の曲げ降伏応力度の特性値、である。

なお、上記の性能関数における確率変数として、2.2に示す検討から、残留水位を新たに追加している。また、上記の②タイ材の応力照査及び③矢板壁の応力照査の性能関数においては、鋼材の降伏強度を確率変数として新たに追加している。

信頼性解析に用いる確率変数とその統計量を表-2.5に示す。なお、本検討では、鋼管矢板の材質は表中に示す2種類の鋼種(SKY400, SKY490)について考慮している。また、タイ材の材質については、タイロッドを想定しており、表中に示す2種類の鋼種(SS400, HT690)について考慮している。

(3)感度係数の評価

図-2.6及び表-2.6に各破壊モードにおける各確率変数の感度解析の結果を示す。

矢板根入れ長については、土の内部摩擦角あるいは土の粘着力の感度係数が大きく、次に土の単位体積重量が続いている。その他のパラメータの感度係数は比較的小さいことが分かる。この結果の中で、地点2及び地点8については、原地盤及び矢板背面地盤も全て砂質土により構成されているため、土の粘着力の感度係数は0.0となっている。また、この2つの地点については、土の単位体積重量の感度係数は、その他の地点(主に粘性土により構成されている)と比較して見ると正負が逆転していることが分かる。これは、地点2と8の場合、矢板前面と背面

表-2.6 各パラメータの感度解析の結果

(a) 矢板根入れ長

	地点1	地点2	地点3	地点4	地点5	地点6	地点7	地点8
$\tan \phi$	0.570	0.984	0.765	0.849	0.825	0.728	0.696	0.986
$c$	0.750	0.000	0.619	0.506	0.542	0.660	0.695	0.000
$\gamma t$	-0.310	0.084	-0.144	-0.127	-0.132	-0.150	-0.137	0.096
RWL	-0.011	-0.003	-0.008	-0.007	-0.007	-0.008	-0.009	-0.013
$\delta_a$	0.019	0.046	0.019	0.026	0.024	0.013	0.011	0.045
$\delta_p$	0.122	0.147	0.102	0.084	0.090	0.111	0.113	0.128

(b) タイ材の応力照査

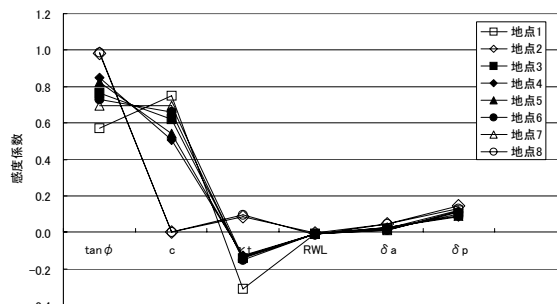
	地点1	地点2	地点3	地点4	地点5	地点6	地点7	地点8
$\tan \phi$	0.741	0.653	0.582	0.582	0.582	0.248	0.248	0.665
$c$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\gamma t$	-0.209	-0.246	-0.225	-0.225	-0.225	-0.224	-0.224	-0.263
RWL	-0.012	-0.005	-0.026	-0.026	-0.026	-0.032	-0.032	-0.038
$\delta_a$	0.068	0.080	0.054	0.054	0.054	0.022	0.022	0.078
$f_{sy}$	0.635	0.712	0.779	0.779	0.779	0.942	0.942	0.694

(a) 矢板壁の応力照査

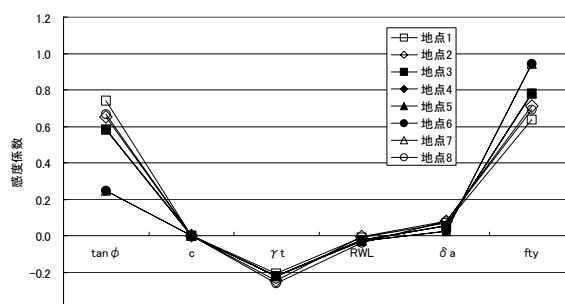
	地点1	地点2	地点3	地点4	地点5	地点6	地点7	地点8
$\tan \phi$	0.754	0.758	0.268	0.268	0.268	0.052	0.052	0.540
$c$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
$\gamma t$	-0.265	-0.326	-0.216	-0.216	-0.216	-0.268	-0.268	-0.262
RWL	0.032	0.013	0.054	0.054	0.054	0.055	0.055	0.065
$\delta_a$	0.072	0.087	0.024	0.024	0.024	0.005	0.005	0.063
$f_{sy}$	0.596	0.558	0.937	0.937	0.937	0.961	0.961	0.795

が砂地盤であり、この条件において砂の単位体積重量の増加は、矢板壁前面の受働土圧の増加に顕著に寄与し、感度係数が正となるためである。以上のことから、矢板根入れ長の感度係数の評価にあたっては、地点2と地点8を砂質土系地盤として分類し、それ以外の地点を粘性土系地盤として分類して各々評価することが妥当と判断し、各々の地盤ごとに感度係数を評価した。表-2.7に各地点の各破壊モードに対する支配的な土質を分類した結果を示す。

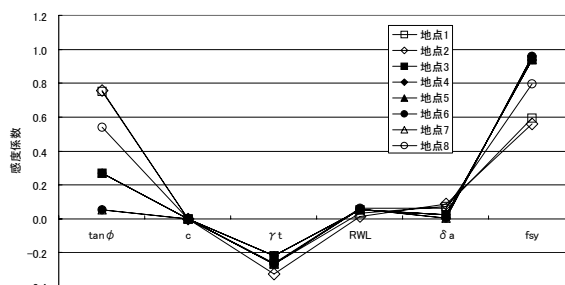
次に、タイ材の応力については、概観すると、鋼材の降伏応力と土の内部摩擦角の感度係数が正側に大きな値を有している。地点別の感度係数を評価すると、地点1, 2及び8とそれ以外の地点では若干傾向が異なることが分かる。この傾向の差は、矢板背面の土層構成及び土質性状（砂，粘性土）に対応している。すなわち、前者の3地点においては、付録Aに示すとおり、海底面から上の矢板背面は全て砂地盤もしくは海底付近の一部を除き全てほとんどが砂地盤で構成されており、このため、これらの地点では土（砂）の内部摩擦角の感度係数がその他の地点と比較して若干大きく評価された結果であると考えられる。また、これに対応して、タイ材の降伏強度に関する感度係数は、これらの3つの地点ではその他地点と比較すると相対的に感度係数が小さな値となっている。以上のことから、タイ材の応力照査における感度係数の設定にあたっては、地点1, 2と8を砂質土系地盤として分類し、それ以外の地点を粘性土系地盤として分類し、各々の



(a) 矢板壁の根入れ長



(b) タイ材の応力



(c) 矢板壁の応力

図-2.6 各パラメータの感度解析結果

の地盤について感度係数を評価することとしている（表-2.7参照）。

矢板壁の応力については、概ねタイ材の応力照査における感度係数の傾向と同様である。これは、タイ材と矢板壁の応力算定の方法が同じであることに対応しているためである。従って、矢板本体の応力照査における感度係数の設定にあたっては、タイ材と同様、地点1, 2と8を砂質土系地盤として分類し、それ以外の地点を粘性土系地盤として分類し、各々の地盤について感度係数を評価することとしている（表-2.7参照）。

(4)感度係数及び部分係数の設定

a)感度係数の設定

表-2.8に各破壊モード(矢板根入れ長, 矢板壁の応力, タイ材の応力) について, 全地点を砂質土系地盤と粘性土系地盤に分類した上で, 各々の地盤分類における感度係数を平均値したものを一覧表として示す.

表中の①に示す感度係数は, 単純に平均を算出した結果である. 次に, ②に示す感度係数は, 感度係数の二乗和が1.2になるように調整した場合の感度係数である. これは, ISO2394 Annex E(ISO(1998)) において感度係数の設定にあたって安全性の余裕を見込むことが紹介されていることを参考とし, 設計基準で規定される部分係数はほとんどの設計結果が目標信頼性指標を満足するような安全性の余裕を見込んで設定されるべきであるとの考えに基づき感度係数を評価したものである.

次に, 表中の③に示す感度係数は, 設計者の便等を考慮し, 以下に示す調整を経て設定した係数である. なお, この③に示す感度係数を後述する部分係数の設定に用いている.

- ・感度係数が0.10以下の小さな値となる確率変数については, 感度係数を設定しない(結果的に, 部分係数は1.00となる).
- ・上記以外の感度係数については, 感度係数の二乗和が概ね1.2程度となるよう調整する. 但し, 感度係数が1.00を越えた場合には1.00として評価する.

b)部分係数の設定

部分係数は, 上記a)で設定した感度係数(表-2.8中の③に示す感度係数), 表-2.5に示す平均値/特性値・変動係数, 及び表-2.2に示す目標信頼性指標を用いて, 式(1)に基づき評価している. なお, 矢板式係船岸の目標信頼性指標については,  $\beta_i=3.6$ と $2.7$ の2種類を設定し, 各々について耐震強化施設及び耐震強化施設以外の係船岸に対応するものとして設定している.

以上の結果により得られた部分係数を表-2.9中の①に示す. 表中の①に示す部分係数については, さらに以下に示す調整を行い, 同表中の②に示す部分係数として評価している.

- ・部分係数は, 0.05単位で丸める.
- ・鋼材の降伏強度の部分係数が1.0を越える場合, 港湾の施設以外の性能照査において, 鋼材降伏強度をJIS規格値以上の設計用値として用いている例がないため, 鋼材降伏強度の部分係数が1.00となるように補正を行う. 具体的には, 感度係数の大きいせん断抵抗角の正接に関する部分係数を信頼性解析による算

表-2.7 各限界状態における支配的な土質一覧

限界状態	①根入れ長の土質	②タイ材の応力の土質	③矢板壁の応力の土質
支配的な土質	根入れ部の土質	背面土の土質	背面土の土質
地点 1	粘性土	砂質土	砂質土
地点 2	砂質土	砂質土	砂質土
地点 3	粘性土	粘性土	粘性土
地点 4	粘性土	粘性土	粘性土
地点 5	粘性土	粘性土	粘性土
地点 6	粘性土	粘性土	粘性土
地点 7	粘性土	粘性土	粘性土
地点 8	砂質土	砂質土	砂質土

出値より, 大きい値として設定し, それにより矢板壁に生じる曲げモーメントを低減させ, 鋼材降伏強度の部分係数が1.00となるように補正する. この補正は, 「表-2.9(a) (3)矢板壁の応力」に示す鋼材の降伏強度の部分係数に対して適用している.

- ・タイ材(タイロッド)の降伏強度の部分係数については, 旧設計法(許容応力度法)において考慮されていたタイロッド鋼材の一般鋼材(矢板本体)に対する安全性に配慮し, 部分係数に1.5倍程度の安全性を見込んで設定する. これは, 旧設計法において, タイロッドの常時の許容応力度は降伏強度に対して2.5の安全率を見込んで設定されていたが, 鋼矢板(本体構造)については約1.68程度であり, 同じ鋼材であってもタイロッドは矢板本体の鋼材に対して,  $2.5/1.68=1.49$ 程度の安全性を元々見込んでいたことを反映したものである. 具体的には, 表-2.9中の①に示す部分係数を1.49で除することにより補正を行っている. この補正は, 「表-2.9(a)及び(b)の(2)タイ材の応力」におけるタイ材の降伏強度の部分係数に対して適用している. なお, この補正を行った部分係数については, さらに0.05単位での丸め補正を行っており, 最終的に設定された部分係数は同表中の③に示すものである.

最後に, 最終的に設定された部分係数を表-2.9中の③に示す. 同表中の②と③に示す部分係数は, 一部を除いて同一の値であるが, 備考欄において「※※」で示す部分係数についてはさらに調整を行っている. この調整は, 矢板壁の応力とタイ材の応力の照査における鋼材の降伏強度に関する部分係数以外の部分係数を共通の係数とし

表-2.8 各限界状態における感度係数の平均値 (砂質土系地盤と粘性土系地盤)

(a) 矢板根入れ長

**(砂質土系地盤)**

確率変数	①感度係数の平均値	②感度係数の二乗和=1.2の場合	③部分係数の算定に用いる感度係数	備考
$\tan \phi$	0.985	1.079	1.00	←1.0で打ち切り
$c$	0.000	0.000	—	
$\gamma t$	0.090	0.098	—	
$RWL$	-0.008	-0.009	—	
$\delta_a$	0.045	0.050	0.30	← $\delta_p$ を準用
$\delta_p$	0.137	0.151	0.30	←調整(③=②×2.0)
二乗和	1.000	1.200	1.181	

**(粘性土系地盤)**

確率変数	①感度係数の平均値	②感度係数の二乗和=1.2の場合	③部分係数の算定に用いる感度係数	備考
$\tan \phi$	0.739	0.818	0.82	
$c$	0.629	0.696	0.70	
$\gamma t$	-0.167	-0.184	-0.19	
$RWL$	-0.008	-0.009	—	
$\delta_a$	0.019	0.021	0.12	← $\delta_p$ を準用
$\delta_p$	0.104	0.115	0.12	
二乗和	0.980	1.200	1.227	

(b) タイ材の応力

**(砂質土系地盤)**

確率変数	①感度係数の平均値	②感度係数の二乗和=1.2の場合	③部分係数の算定に用いる感度係数	備考
$\tan \phi$	0.686	0.753	0.75	
$c$	0.000	0.000	—	
$\gamma t$	-0.239	-0.263	-0.26	
$RWL$	-0.018	-0.020	—	
$\delta_a$	0.075	0.082	—	
$f_{ty}$	0.680	0.746	0.75	
二乗和	0.997	1.200	1.193	

**(粘性土系地盤)**

確率変数	①感度係数の平均値	②感度係数の二乗和=1.2の場合	③部分係数の算定に用いる感度係数	備考
$\tan \phi$	0.448	0.500	0.50	
$c$	0.000	0.000	—	
$\gamma t$	-0.224	-0.250	-0.25	
$RWL$	-0.028	-0.032	—	
$\delta_a$	0.041	0.046	—	
$f_{ty}$	0.844	0.941	0.94	
二乗和	0.967	1.200	1.196	

(c) 矢板壁の応力

**(砂質土系地盤)**

確率変数	①感度係数の平均値	②感度係数の二乗和=1.2の場合	③部分係数の算定に用いる感度係数	備考
$\tan \phi$	0.684	0.758	0.76	
$c$	0.000	0.000	—	
$\gamma t$	-0.284	-0.315	-0.32	
$RWL$	0.036	0.040	—	
$\delta_a$	0.074	0.082	—	
$f_{sy}$	0.650	0.720	0.72	
二乗和	0.977	1.200	1.198	

**(粘性土系地盤)**

確率変数	①感度係数の平均値	②感度係数の二乗和=1.2の場合	③部分係数の算定に用いる感度係数	備考
$\tan \phi$	0.182	0.200	0.25	←調整(③=②×1.25)
$c$	0.000	0.000	—	
$\gamma t$	-0.237	-0.261	-0.33	←調整(③=②×1.25)
$RWL$	0.054	0.060	—	
$\delta_a$	0.016	0.018	—	
$f_{sy}$	0.946	1.043	1.00	←1.0で打ち切り
二乗和	0.988	1.200	1.169	

て設定することにより、設計者の便を図るためにおこなったものである(計算手間の省力化及び計算ミスの防止)。具体的には、砂質土系地盤については、矢板壁の応力照査における部分係数をタイ材の応力照査に準用し、粘性土系地盤については、タイ材の応力照査における部分係数を矢板壁の応力照査に準用した。いずれも安全側の評価になるような部分係数の準用である。以上の検討により設定された表-2.9中の③に示す部分係数が基準・同解説に提示されているものである。



表-2.9(a) 矢板式係船岸の永続状態の照査における部分係数 (砂質土系地盤)

【 $\beta_t = 2.7$ における部分係数】

(1) 矢板根入れ長

目標信頼性指標	確率変数	平均値/ 特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
3.6	$\tan \phi$	1.000	1.000	0.100	0.640	0.65	0.65	②=③
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\gamma t$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\delta_a$	1.000	0.300	0.100	0.892	0.90	0.90	②=③
	$\delta_p$	1.000	0.300	0.100	0.892	0.90	0.90	②=③

(2) タイ材の応力

目標信頼性指標	確率変数	平均値/ 特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
3.6	$\tan \phi$	1.000	0.750	0.100	0.730	0.75	0.75	※※
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	※※
	$\gamma t$	1.000	-0.260	0.050	1.047	1.05	1.05	※※
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	※※
	$\delta_a$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	※※
	$f_{ty}$ (HT690)	1.130	0.750	0.070	0.916	0.615	0.60	②=①/1.489※
	$f_{ty}$ (SS400)	1.260	0.750	0.073	1.012	0.679	0.65	②=①/1.489※

※:②では、旧設計法におけるタイト鋼材の矢板本体鋼材に対する安全性を考慮して部分係数を設定している。  
 ※:③では、②を0.05単位で丸めている。  
 ※※:③は、矢板壁の応力で設定した部分係数(③)を準用している。

(3) 矢板壁の応力

目標信頼性指標	確率変数	平均値/ 特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
3.6	$\tan \phi$	1.000	0.760	0.100	0.726	0.75	0.75	②=③
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\gamma t$	1.000	-0.320	0.050	1.058	1.05	1.05	②=③
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\delta_a$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$f_{sy}$ (SKY490)	1.200	0.720	0.065	0.998	1.00	1.00	②=③
	$f_{sy}$ (STK400)	1.260	0.720	0.073	1.022	1.00	1.00	②=③

【 $\beta_t = 3.6$ における部分係数】

(1) 矢板根入れ長

目標信頼性指標	確率変数	平均値/ 特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
2.7	$\tan \phi$	1.000	1.000	0.100	0.730	0.75	0.75	②=③
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\gamma t$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\delta_a$	1.000	0.300	0.100	0.919	0.90	0.90	②=③
	$\delta_p$	1.000	0.300	0.100	0.919	0.90	0.90	②=③

(2) タイ材の応力

目標信頼性指標	確率変数	平均値/ 特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
2.7	$\tan \phi$	1.000	0.750	0.100	0.798	0.80	0.85	※※
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	※※
	$\gamma t$	1.000	-0.260	0.050	1.035	1.00	1.05	※※
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	※※
	$\delta_a$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	※※
	$f_{ty}$ (HT690)	1.130	0.750	0.070	0.970	0.651	0.65	②=①/1.489※
	$f_{ty}$ (SS400)	1.260	0.750	0.073	1.074	0.721	0.70	②=①/1.489※

※:②では、旧設計法におけるタイト鋼材の矢板本体鋼材に対する安全性を考慮して部分係数を設定している。  
 ※:③では、②を0.05単位で丸めている。  
 ※※:③は、矢板壁の応力で設定した部分係数(③)を準用している。

(3) 矢板壁の応力

目標信頼性指標	確率変数	平均値/ 特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
2.7	$\tan \phi$	1.000	0.760	0.100	0.795	0.80	0.85	※
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\gamma t$	1.000	-0.320	0.050	1.043	1.05	1.05	②=③
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\delta_a$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$f_{sy}$ (SKY490)	1.200	0.720	0.065	1.048	1.050	1.00	※
	$f_{sy}$ (STK400)	1.260	0.720	0.073	1.081	1.100	1.00	※

※:③では、鋼材の降伏強度に関する部分係数を1.0に設定し、その対応として $\tan \phi$ の部分係数を割り増し調整を行っている。

表-2.9(b) 矢板式係船岸の永続状態の照査における部分係数（粘性土系地盤）

【 $\beta_t = 2.7$ における部分係数】

(1) 矢板根入れ長

目標信頼性指標	確率変数	平均値/特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
2.7	$\tan \phi$	1.000	0.820	0.100	0.779	0.80	0.80	②=③
	$c$	1.000	0.700	0.100	0.811	0.80	0.80	②=③
	$\gamma t$	1.000	-0.190	0.050	1.026	1.05	1.05	②=③
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\delta_a$	1.000	0.120	0.100	0.968	0.95	0.95	②=③
	$\delta_p$	1.000	0.120	0.100	0.968	0.95	0.95	②=③

(2) タイ材の応力

目標信頼性指標	確率変数	平均値/特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
2.7	$\tan \phi$	1.000	0.500	0.100	0.865	0.85	0.85	②=③
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\gamma t$	1.000	-0.250	0.050	1.034	1.05	1.05	②=③
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\delta_a$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$f_{ty}$ (HT690)	1.130	0.940	0.070	0.929	0.619	0.60	②=①/1.489※
	$f_{ty}$ (SS400)	1.260	0.940	0.073	1.027	0.684	0.70	②=①/1.489※

※:②では、旧設計法におけるタイトッド鋼材の矢板本体鋼材に対する安全性を考慮して部分係数を設定している。  
※:③では、②を0.05単位で丸めている。

(3) 矢板壁の応力

目標信頼性指標	確率変数	平均値/特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
2.7	$\tan \phi$	1.000	0.250	0.100	0.932	0.95	0.85	※※
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	※※
	$\gamma t$	1.000	-0.328	0.050	1.044	1.05	1.05	※※
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	※※
	$\delta_a$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	※※
	$f_{ty}$ (SKY490)	1.200	1.000	0.065	0.989	1.00	1.00	②=③
	$f_{ty}$ (STK400)	1.260	1.000	0.073	1.012	1.00	1.00	②=③

※※:③は、タイ材の応力で設定した部分係数(③)を準用している。

【 $\beta_t = 3.6$ における部分係数】

(1) 矢板根入れ長

目標信頼性指標	確率変数	平均値/特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
3.6	$\tan \phi$	1.000	0.820	0.100	0.705	0.70	0.70	②=③
	$c$	1.000	0.700	0.100	0.748	0.75	0.75	②=③
	$\gamma t$	1.000	-0.190	0.050	1.034	1.05	1.05	②=③
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\delta_a$	1.000	0.120	0.100	0.957	0.95	0.95	②=③
	$\delta_p$	1.000	0.120	0.100	0.957	0.95	0.95	②=③

(2) タイ材の応力

目標信頼性指標	確率変数	平均値/特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
3.6	$\tan \phi$	1.000	0.500	0.100	0.820	0.80	0.80	②=③
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\gamma t$	1.000	-0.250	0.050	1.045	1.05	1.05	②=③
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	②=③
	$\delta_a$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	②=③
	$f_{ty}$ (HT690)	1.130	0.940	0.070	0.862	0.575	0.55	②=①/1.489※
	$f_{ty}$ (SS400)	1.260	0.940	0.073	0.949	0.632	0.65	②=①/1.489※

※:②では、旧設計法におけるタイトッド鋼材の矢板本体鋼材に対する安全性を考慮して部分係数を設定している。  
※:③では、②を0.05単位で丸めている。

(3) 矢板壁の応力

目標信頼性指標	確率変数	平均値/特性値	感度係数	変動係数	部分係数			備考
					①	②	③	
3.6	$\tan \phi$	1.000	0.250	0.100	0.910	0.90	0.80	※※
	$c$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	※※
	$\gamma t$	1.000	-0.328	0.050	1.059	1.05	1.05	※※
	$RWL$	1.000	0.000	0.050	1.000	1.00	1.00	※※
	$\delta_a$	1.000	0.000	0.100	1.000	1.00	1.00	※※
	$f_{ty}$ (HT690)	1.200	1.000	0.065	0.919	0.90	0.90	②=③
	$f_{ty}$ (SS400)	1.260	1.000	0.073	0.929	0.95	0.95	②=③

※※:③は、タイ材の応力で設定した部分係数(③)を準用している。

### 3. タイワイヤーの降伏強度に関する部分係数の検討

#### 3.1 概要

本検討で対象とする矢板式係船岸は図-3.1に示すとおり、海底面に打込まれた矢板の上部にタイ材を連結し、その背後に控えを設置する構造である。図-3.2に矢板式係船岸の標準的な性能照査フローを示すが、本検討で対象とするのは、矢板式係船岸の永続状態におけるタイ材応力の照査（「タイ材に生じる応力の検討」の箇所）において、タイ材としてタイワイヤーを用いた場合のタイワイヤーに関する部分係数の検討である。ここで、タイロッドの場合は、張力を断面積で除することにより得られる作用効果としての応力度と耐力としての応力度の比較照査が行われるが、タイワイヤーでは後述するように鋼線をより合わせる構造となっていることから張力を断面積で除することによる応力を照査の対象とするのではなく、張力そのものが照査の対象となる。ただし、タイ材に作用する張力による材料の降伏に対する安全性照査という観点ではタイロッドとタイワイヤーにおいて本質的な違いはない。また、基準・同解説で「タイ材の応力の照査」という表現を用いていることから、本稿においても応力照査という表現を用いている箇所があることに注意しておく。

なお、次節3.2では、港湾工事で一般的に使用されるタイワイヤーの基本特性及び旧設計法における照査の考え方等について概説し、その上で3.3においてタイワイヤーの製造メーカーから提供を受けた試験データに基づき材料強度特性等の評価を行った結果及びタイワイヤーの降伏強度に関する部分係数の検討結果を示す。

#### 3.2 港湾工事で使用されるタイワイヤーの基本特性等

##### (1) タイワイヤーの基本特性等

タイ材とは、矢板と控え工をつなぐ材料の総称であり、一般的にはタイロッドとタイワイヤーのことをいう。

タイワイヤーは、硬鋼線材（JIS G 3506）に相当する特性を有する硬鋼線、あるいはピアノ線材（JIS G 3502）に相当する特性を有するPC鋼線をより合わせて製作されたものである。現在、港湾工事で一般的に使用されているタイワイヤーの基本特性等を一覧表として整理したものを表-3.1に示す。

港湾工事で使用されているタイワイヤーを大きく分類すると、プレストレスコンクリートに使用される JIS G 3536 の規定に従うPC鋼線・PC鋼線より線を使用しているものと（A社及びB社）、JIS G 3549及びJIS G 3525に

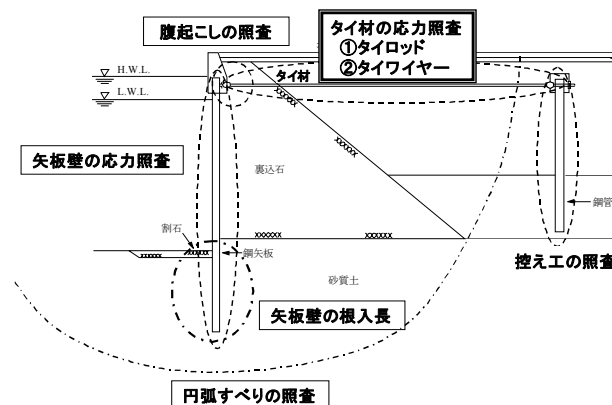


図-3.1 矢板式係船岸の構造と主要照査項目

準拠し、橋梁などの部材に使用する亜鉛メッキ鋼線をより合わせたワイヤーロープとに分類される。なお、前者については、PC鋼線より線をさらにより合わせたもの（多重より）（A社）とPC鋼線より線を平行配置するもの（B社）とに分類される。

次に、メーカー保証値としての引張荷重又は破断荷重の設定方法について、各メーカーからのヒアリングに基づく結果を示す。なお、引張荷重（JIS G 3536）と破断荷重（JIS G 3549）は、表中に示すとおりJISにより用語の定義が異なるが、両者ともタイワイヤーの引張試験（破断試験）を実施した際の試験片が破断に至るまでの最大荷重のことを指しており、両者は同じ状態における荷重である。図-3.3にタイワイヤーの荷重と伸びの関係のイメージ図を示すが、試験結果による引張荷重又は破断荷重は、図中の①に示す荷重である。

なお、引張試験などにおいて材料に加える作用を荷重と呼び、降伏が生じる際に加えた作用の値を降伏荷重と呼ぶことは一般的に行われる。しかしながら、本研究では、タイワイヤーの材料強度に関する部分係数を検討する。材料強度に関して「荷重」の用語をあてるとは不適切と考えられることから、部分係数としては降伏強度に対する部分係数と呼んで「降伏荷重」とは区別する。

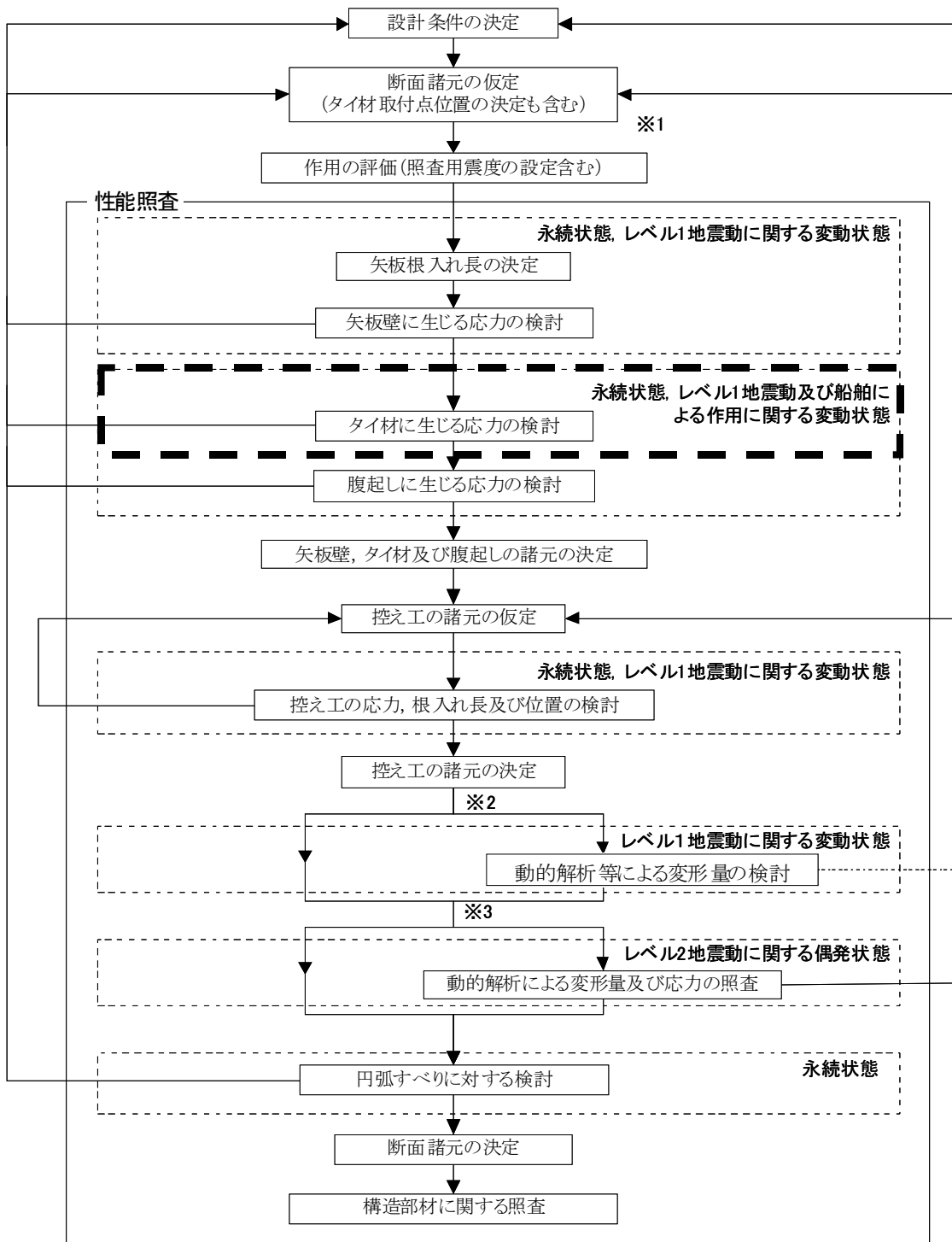
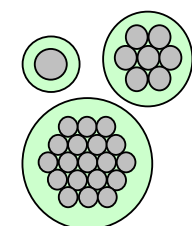
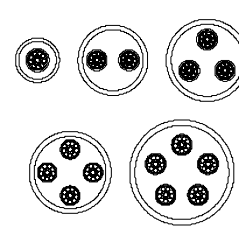

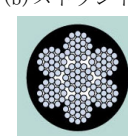


図-3.2 矢板式係船岸の標準的な性能照査フロー (太点線枠囲み：今回の検討対象)

表-3.1 港湾工事で使用されるタイワイヤーの基本特性等の一覧

項目	A社	B社	C社
JIS 規格	JIS G 3536 (PC 鋼線及び PC 鋼より線)		JIS G 3549 準拠 (構造用ワイヤーロープ) JIS G 3525 準拠 (ワイヤーロープ)
	PC 鋼線 JIS G 3536 PC 鋼より線 JIS G 3536		硬鋼線材 JIS G 3506 ピアノ線材 JIS G 3502
断面構成	多重より「PC 鋼より線」 (PC 鋼より線をさらにより合わせ) 	「PC 鋼より線」 (PC 鋼より線を平行配置) 	(a) スパイラルロープ  (b) スtrandロープ  (スパイラルロープの多重より)
引張荷重 (JIS G 3536) 破断荷重 (JIS G 3549)	(メーカー保証値の設定) ・PC 鋼より線の引張荷重 (JIS 公称値) に「多重より本数」を乗じて設定。	(メーカー保証値の設定) ・PC 鋼より線の引張荷重 (JIS 公称値) に「平行本数」を乗じ、さらに定着部の圧着による効率低下 (96%) を見込んで設定。	(メーカー保証値の設定) ・線材の破断荷重 (JIS 公称値) に線材本数分をかけて集合破断荷重とし、集合破断荷重に「より効率」を乗じて設定。 ・「より効率」は、製品により異なり、上記 a) の場合は 94~97% 程度、上記 b) の場合は 90% 程度として設定。
降伏荷重	(メーカー保証値の設定) ・PC 鋼より線の降伏荷重 (JIS 公称値) に「多重より本数」を乗じて設定。 (降伏荷重: 0.2% 永久伸びに対する荷重.)	(メーカー保証値の設定) ・PC 鋼より線の降伏荷重 (JIS 公称値) に「平行本数」を乗じて設定。 (降伏荷重: 0.2% 永久伸びに対する荷重)	(メーカー保証値の設定) ・0.2% 永久ひずみ耐力試験の試験値より設定。 ・製品としては、「破断荷重/1.2」, 程度を目標としている。

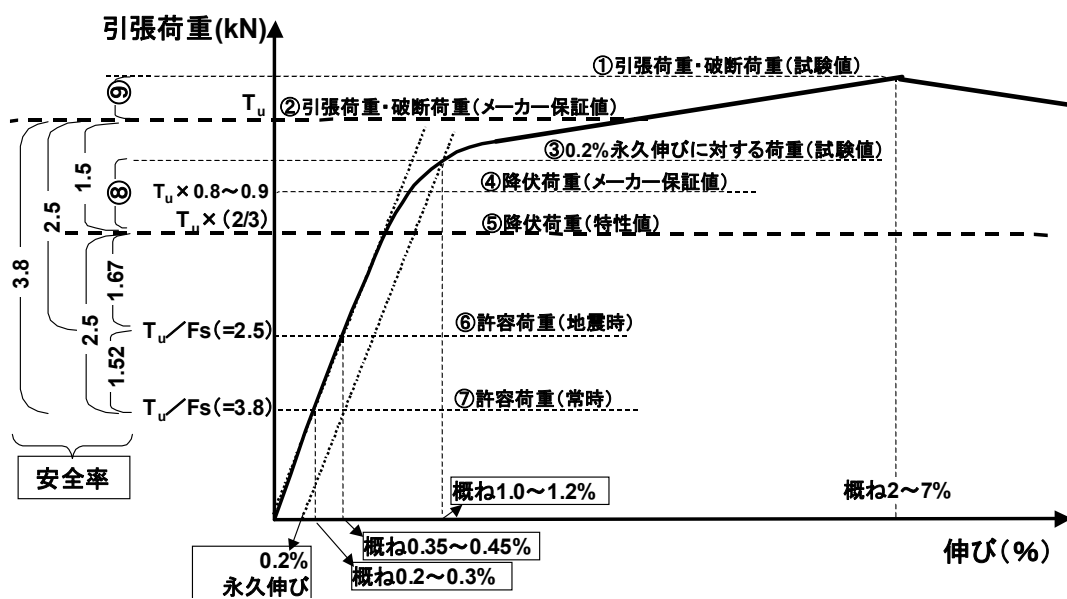


図-3.3 タイワイヤーの引張荷重と伸びの関係 (イメージ)

メーカー保証値としての引張荷重は(図-3.3中の②), 両者(A社及びB社)ともJISに規定されるPC鋼より線の引張荷重に, 束ねたPC鋼より線の本数を乗じて設定されているが, タイワイヤー端部の定着部の圧着による効率低下を見込んでいるか否かの相違がある. メーカー保証値としての破断荷重(C社)については(図-3.3中の②), 使用線材のJISに規定される破断荷重の公称値に, 束ねる線材の本数分を乗じて集合破断荷重とし, さらにより効率(素線の集合破断荷重に対するロープの破断荷重の比)を乗じて設定されている. より効率については, 製品により使い分けて設定されている.

次に, メーカー保証値としての降伏荷重(図-3.3中の④)について説明する. 一般的にタイワイヤーは明瞭な降伏点を示さないため, タイワイヤーの引張試験では, 「0.2%の永久伸びに対する荷重」により, 降伏荷重に相当する荷重が規定される. 「0.2%の永久伸びに対する荷重」とは, 図-3.3中の③に示すとおり, タイワイヤーの引張荷重と伸びとの曲線関係における直線部分に対し, 伸び0.2%の隔たりを持つ平行線を引き, 原曲線との交点を持って定められる荷重である(JIS G 3536)(以下, この荷重のことを降伏荷重(試験値)と呼ぶ). このため, メーカー保証値としての降伏荷重は, JIS G 3536に基づくタイワイヤーについては(A社及びB社), JISに規定される「0.2%の永久伸びに対する荷重」の公称値により本数を乗じて設定されている. 一方, JIS G 3549及びJIS G 3525については, 「0.2%の永久伸びに対する荷重」に対応する規定が無いため, ヒアリング結果によると, C社については各製品の試験から得られる「0.2%の永久伸びに対する荷重」の試験値を参考として降伏荷重を設定し, 製品としては破断荷重/1.2程度を目標としているとのことである.

なお, 基準・同解説及び港湾工事共通仕様書では, 従来より「タイワイヤーは明瞭な降伏点を示さないので, 0.2%の永久伸びを生じる荷重を降伏荷重とみなし, これの破断荷重(引張荷重)に対する比が2/3を下回らないことを確認する必要がある。」という主旨の規定を設けている. この規定に基づく, 許容される降伏荷重(試験値)の下限値は「破断荷重(引張荷重)×2/3」となり, この荷重が設計を行う上での実質上の降伏荷重と位置づけることができる(図-3.3中の⑤). なお, 以下では, 「メーカー保証値としての破断荷重(引張荷重)×2/3」の荷重を降伏荷重(特性値)と呼び, メーカー保証値としての降伏荷重とは異なるものとして定義する.

(2)旧設計法におけるタイワイヤーの許容荷重等  
 図-3.3の縦軸(荷重)に, 平成11年度版の基準・

表-3.2 試験データに関する基本情報

試験データ数	・全128データ (内訳:74(①社), 9(②社), 45(③社))
提供データ	・製品型番(製品カタログ) ・各製品型番に対するメーカー保証値としての引張荷重又は破断荷重 ・引張試験から得られた引張荷重又は破断荷重 ・引張試験から算出した「0.2%永久伸びに対する荷重」

同解説(旧設計法と呼ぶ)に記載されていたタイワイヤーの許容荷重等の関係(安全率)を示す. 旧設計法は許容応力度法に基づく設計体系であり, 図中に示すとおり, タイワイヤーの場合, 常時許容荷重の破断荷重(引張荷重)に対する安全率は3.8以上, 地震時許容荷重については安全率2.5以上が規定されていた. なお, これらの許容荷重を降伏荷重(特性値)に対する安全率で表現すると, 各々2.5及び1.67程度であり, これらの安全率はタイロッドの降伏応力度に対する許容応力度(常時, 地震時)の安全率と同一である. 以上のとおり, 旧設計法においては, タイロッドの降伏応力度に相当するタイワイヤーの荷重として, 先に説明した降伏荷重(特性値)が規定されており, 両者の降伏点以下の荷重に対して設定されている常時及び地震時の許容値は, タイロッドとタイワイヤーで同じ安全性が確保されるように安全率が規定されていたことが分かる.

(3)タイワイヤーの引張試験データ

本項では, 港湾工事で一般的に使用されているタイワイヤーの製造メーカー(3社)から提供を受けた引張試験データの概要を示す. 試験データ数は128であり, 試験データに関する基本情報を表-3.2に示す. 以下, 部分係数の設定の観点からデータの整理を行った結果を示す.

図-3.4にタイワイヤーの降伏荷重(試験値)と降伏荷重(特性値)の比を, メーカー保証値としての破断荷重(引張荷重)を横軸に取り整理した結果を示す. この比は, 式(1)に示す部分係数の設定において, 右辺の最終項(平均値/特性値)に該当し, 降伏荷重(特性値)からの降伏荷重(試験値)の平均値の偏りが表現されることになる. この平均値の偏りは, 実際の降伏荷重(試験値)が, 設計上の特性値(降伏荷重)に比較して, どの程度の安全代を有しているかを表す指標となる. この結果を概観すると, 降伏荷重(試験値)は特性値に比較して概

ね1.26～1.6の範囲にあり、試験値は非常に安全側の値を有しており、かつ各メーカー間における極端な相違はな

布形状になっていることが分かる。これに対してJIS規格に基づく一般鋼材の降伏応力度の場合、JISでは下限値の

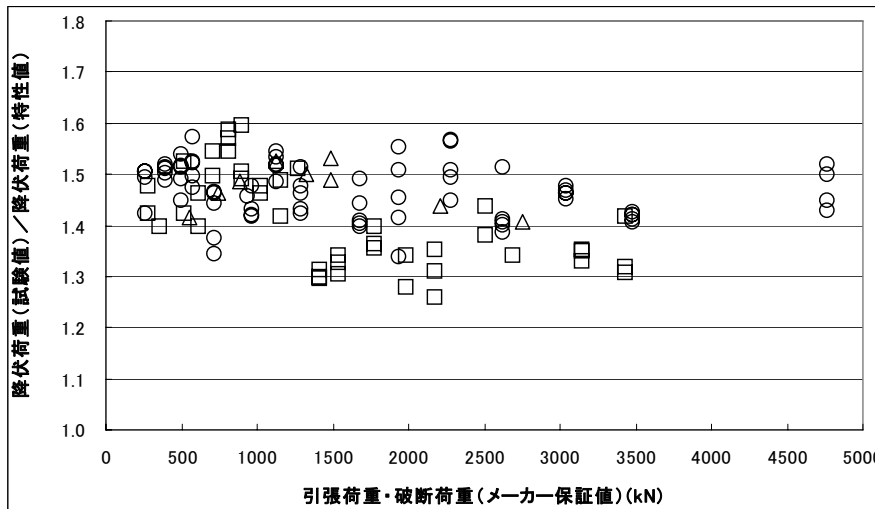


図-3.4 タイワイヤーの降伏強度（試験値）と降伏強度（特性値）の比  
 (○：①社，△：②社，□：③社)

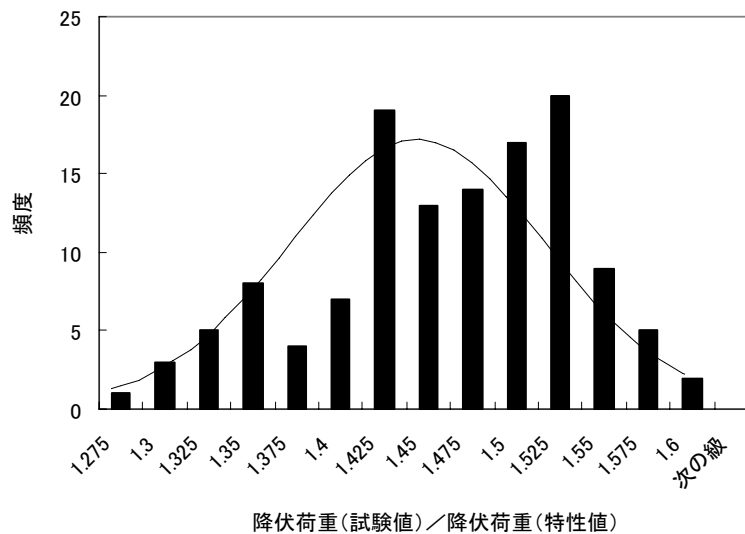


図-3.5 タイワイヤーの降伏荷重の試験値と特性値の比の頻度分布（図中黒線：正規分布を仮定した場合の分布）

いことが分かる。但し、一方で、先述したとおりメーカー毎に破断荷重（引張荷重）のメーカー保証値の設定方法が異なり、その結果得られる降伏荷重（特性値）も同様に異なるため、同じ条件でのデータの比較ができない。このため、これらのデータセットの取扱いには十分な注意が必要である。

また、タイワイヤーの降伏荷重（試験値）と降伏荷重（特性値）の比を頻度分布図として図-3.5に示す。頻度分布の形状を見ると、今回のデータセットの条件下では、左側に（危険側）すそが拡がり、右側（安全側）に上限値があるような対数正規分布を左右反転させたような分

みが設定されているため、頻度分布の形状は右側にすそが拡がる傾向（安全側）にあるのが一般的である。以上に示す結果は、繰り返しになるが、各メーカーでメーカー保証値としての破断荷重（引張荷重）の設定方法が異なり、かつ準拠するJIS規格も異なる等、全社の全製品のデータを一括りにして整理していることに大きな原因があると考えられる。以上の観点から、タイワイヤーの機械的性質について、各メーカーの各製品毎に分類して検討することも可能であるが、その場合には統計データが極端に少なくなること、及び部分係数を各メーカーの各製品に対応して個別に設定する必要があるなど、実務設

計の観点からは合理的な結果は得られないと考えられる。このため、次節3.3においては、全社の全製品を一括りにして部分係数を設定するという前提に立ち検討を進めることとした。

### 3.3 タイワイヤーの降伏強度に関する部分係数の検討

本節では、タイワイヤーの降伏強度の部分係数について検討する。タイワイヤーの場合、ワイヤーに発生する引張荷重が降伏強度に至らないことを照査するため、下式(2)及び(3)に基づき照査することになる。

$$T_{yd} \geq \gamma_a T_d \quad (2)$$

$$T_{yd} = \gamma_{Ty} T_{yk} \quad (3)$$

ここに、 $T_{yd}$ :タイワイヤーの降伏強度の設計用値、 $T_d$ :タイワイヤーに発生する引張荷重の設計用値、 $\gamma_a$ :構造解析係数、 $\gamma_{Ty}$ :タイワイヤーの降伏強度に関する部分係数、 $T_{yk}$ :タイワイヤーの降伏強度の特性値、である。今回の検討対象は、式(3)における $\gamma_{Ty}$ (タイワイヤーの降伏強度に関する部分係数)である。ここで、式(1)の定義に基づくと、変動係数が小さいほど、平均値/特性値の偏りが大きいほど、算出される部分係数は大きくなること分かる。

表-3.3に、降伏強度の平均値の偏り(平均値/特性値)及び変動係数について、タイロッドとタイワイヤーの値を比較する。タイワイヤーはタイロッドと比較して

平均値の偏りが大きいことから、特性値がタイロッドよりも安全側に設定されていることが分かる。また、変動係数が小さいことから、仮に平均値の偏りなどの他の条件が同一であったとしても破壊確率は小さく評価されることになる。従って、目標とする信頼性指標をタイロッドとタイワイヤーで同一とした場合、タイワイヤーの部分係数はタイロッドに対する値とは異なり、より有利な部分係数(より大きな係数)を設定できる可能性があると言える。即ち、タイワイヤーを採用した場合に、タイロッドと比較して相対的により経済的な断面が設定できる可能性があることになる。

表-3.3 タイワイヤーとタイロッドの降伏強度の平均値/特性値及び変動係数

	タイワイヤー	タイロッド	
		HT690	SS400
平均値/特性値	1.45	1.13	1.26
変動係数	0.050	0.070	0.073

ただし、タイワイヤーの降伏強度に関する部分係数の設定にあたっては、併せて以下の2点を考慮する必要があると考えられる。

第一点は、先述したとおり、タイワイヤーの降伏強度の従う確率分布が平均値に対して左右対称の正規分布ではなく、左側の裾が長い確率分布になっている点である。強度の低い左側の裾が長い確率分布であるということは、同じ変動係数の正規分布に従う場合と比較して大きな破

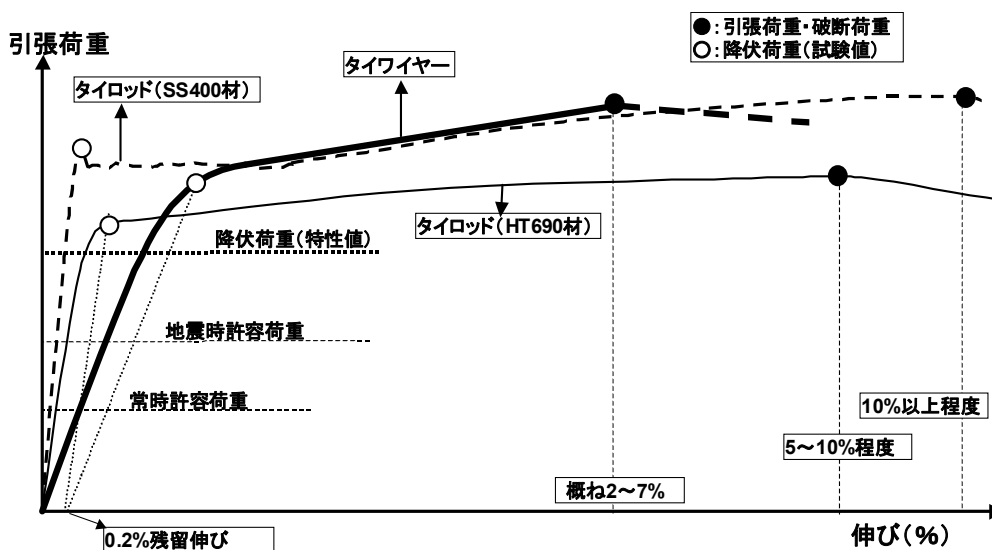


図-3.6 タイワイヤーとタイロッド (HT690材, SS400材) の引張荷重と伸びの関係 (比較イメージ図)



壊確率であることを意味する。従って、表-3.3に示した統計量を用いて式(1)を用いて部分係数を設定すること

伏についてチェックされるので、ヤング係数の違いによる伸びの違いのような項目は照査されない。さらに、特

表-3.4 矢板式係船岸の永続状態におけるタイ材の応力に関する部分係数

			耐震強化施設				耐震強化施設以外				
目標システム信頼性指標 $\beta_T$			3.6				2.7				
目標システム破壊確率 $P_{FT}$			$1.7 \times 10^{-4}$				$4.0 \times 10^{-3}$				
			$\gamma$	$\alpha$	$\mu/X_k$	$V$	$\gamma$	$\alpha$	$\mu/X_k$	$V$	
タイ材の応力	砂質土系地盤	$\gamma_{\tan\phi'}$	せん断抵抗角の正接	0.75	0.760	1.00	0.100	0.85	0.760	1.00	0.100
		$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.00	0.100
		$\gamma_{w'}$	有効単位体積重量	1.05	-0.320	1.00	0.050	1.05	-0.320	1.00	0.050
		$\gamma_{\delta}$	壁面摩擦角	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.00	0.100
		$\gamma_q$	上載荷重	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
		$\gamma_{RWL}$	残留水位	1.00	0.000	1.00	0.050	1.00	0.000	1.00	0.050
		$\gamma_{\sigma_y}, \gamma_{T_y}$	HT690, タイワイヤー	0.60	0.750	1.13	0.070	0.65	0.750	1.13	0.070
		$\gamma_{\sigma_y}$	SS400	0.65	0.750	1.26	0.073	0.70	0.750	1.26	0.073
		$\gamma_a$	構造解析係数	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
	粘性土系地盤	$\gamma_{\tan\phi'}$	せん断抵抗角の正接	0.80	0.500	1.00	0.100	0.85	0.500	1.00	0.100
		$\gamma_{c'}$	粘着力	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.00	0.100
		$\gamma_{w'}$	有効単位体積重量	1.05	-0.250	1.00	0.050	1.05	-0.250	1.00	0.050
		$\gamma_{\delta}$	壁面摩擦角	1.00	0.000	1.00	0.100	1.00	0.000	1.00	0.100
		$\gamma_q$	上載荷重	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
		$\gamma_{RWL}$	残留水位	1.00	0.000	1.00	0.050	1.00	0.000	1.00	0.050
		$\gamma_{\sigma_y}, \gamma_{T_y}$	HT690, タイワイヤー	0.55	0.940	1.13	0.070	0.60	0.940	1.13	0.070
		$\gamma_{\sigma_y}$	SS400	0.65	0.940	1.26	0.073	0.70	0.940	1.26	0.073
		$\gamma_a$	構造解析係数	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—

は妥当でない可能性がある。

第二点は、矢板式係船岸の供用性の観点から、部材安全性のみならず変形に対する配慮が必要と考えられる点である。図-3.6にタイロッド(SS400, HT690)及びタイワイヤーの荷重～伸びの特性、及び降伏荷重(試験値)の平均値と特性値の関係についてのイメージ図を示す。タイワイヤーとタイロッドを比較すると(設計上における相当品同士の比較)、同一の荷重増分に対する伸びは、ワイヤーの方が大きく、SS400材の場合は概ね6~7倍程度、HT690材の場合は概ね3~3.5倍程度となる。実際の構造物では、常時の土圧等の作用によりタイ材に引張荷重が常に作用し、このためタイ材に伸びが発生してこれが岸壁の変形の一因となる。さらに地震動の作用を受けた場合には、前面矢板の海側へのはらみ出し等のためタイ材に作用する引張荷重が増加し、これに伴いタイ材に伸びが発生すると考えられる。タイ材のヤング係数が小さければ、同じ引張荷重が作用した際に伸びが大きくなり、このため岸壁の変形量が大きくなるといえる。岸壁の変形量の大小は、供用性に影響を及ぼす。

ところが、設計における照査では基本的にタイ材の降

に永続状態において変形が照査される場合においても、タイ材張力が控え工に作用することによる控え工上端の変形量を岸壁の変形量と見なす方法が採用されることが想定されるため、上述のようなタイ材のヤング係数の影響は反映されない。

以上の2点の留意事項を踏まえると、表-3.3の値をそのまま用いて部分係数を設定することは適切でない可能性があると言える。しかしながら、上述の通りタイワイヤーの降伏強度の設定のされ方はタイロッドと比較して十分に安全側であることを考慮すると、総合的な判断としてタイワイヤーの降伏強度に対する部分係数をタイロッドの部分係数と同じ値に設定することが現時点では妥当と判断される。また、タイロッドの部分係数は一般鋼材(SS400)と高張力鋼(HT690)の2種類にそれぞれ値が設定されているが、タイワイヤーの機械的性質の類似性という観点からは、明瞭な降伏点が得られず、かつ降伏応力度に対する破断強度の比が小さくなる傾向にある高張力鋼に対する部分係数を準用することを提案する。表-3.4に提案する部分係数を示す。

#### 4. まとめ

本研究では、2007年に改正された「港湾の施設の技術上の基準・同解説」において提示されている部分係数法による矢板式係船岸の永続状態の照査のうち、タイ材としてタイワイヤーを用いた場合の応力照査に適用する部分係数（タイワイヤーの降伏強度に対する部分係数）を提案した（表-3.4）。また、基準・同解説において提示されている標準的な部分係数の設定根拠等について、設計者の便を考慮してあらためて整理した。

#### 謝辞

本研究の遂行にあたって、第2章の取り纏めについては、藤田宗久氏（清水建設㈱）、佐貫哲朗氏（復建調査設計㈱）及び尾崎竜三氏（中央復建コンサルタンツ㈱）より貴重なアドバイスを頂いた。また、第3章の取り纏めについては、港湾工事で使用されているタイワイヤーのメーカー各社（㈱エヌイー（野澤忠明氏）、東京製綱㈱（矢島卓氏）、神鋼建材工業㈱（関隆幸氏）より、各種データ及び技術情報を頂いた。小林陽子氏には、図面作成を担当して頂いた。ここに深く感謝の意を表します。

(2008年9月1日受付)

#### 参考文献

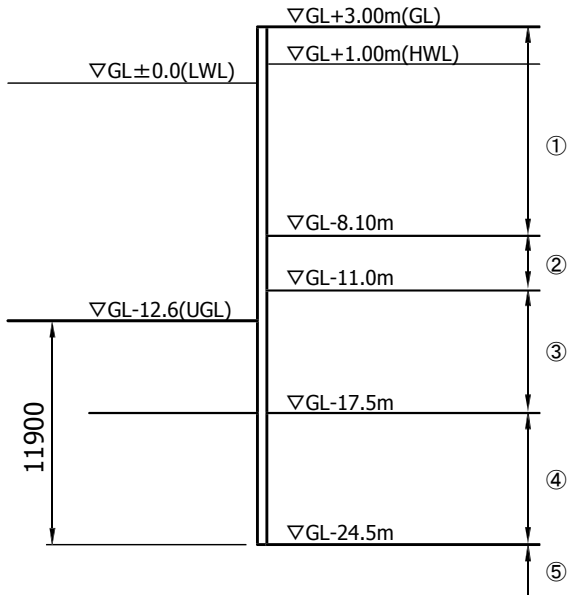
- 尾崎竜三・長尾毅・柴崎隆一(2004)：経済損失を考慮した期待総費用最小化に基づく港湾構造物の常時のレベル1信頼性設計法，国土技術政策総合研究所資料，No.217.
- 国土交通省港湾局(2004)：港湾工事共通仕様書(平成16年版)，(社)日本港湾協会
- 国土交通省港湾局(2007)：港湾の施設の技術上の基準・同解説，(社)日本港湾協会
- 鈴木誠・辻岡信也・菊池喜昭・山本修司・石井清(2002)：部分係数を導入した矢板式係船岸の設計法の検討，土木学会論文集No.701/Ⅲ-58，pp.401-408.
- 土質工学会編(1985)：土質基礎の信頼性設計，土質基礎ライブラリー28，土質工学会
- 長尾毅・柴崎隆一・尾崎竜三(2005)：経済損失を考慮した期待総費用最小化のための岸壁の常時のレベル1信頼性設計法，構造工学論文集Vol.51.
- ISO(1998)：ISO2394(General principles on reliability for structures)

付録A

評価対象とした矢板式係船岸の設計概要（その1）

(1) 地点1（標準断面図及び土質パラメータ等）

- ・土層条件

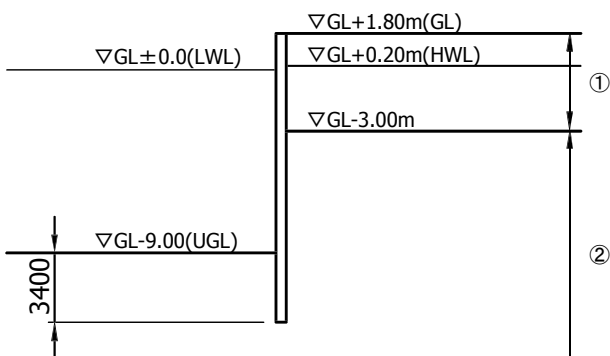


土層	性状	$\phi$ (度)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	単体体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)
①	砂質土	40	0.000	18.000	11.100
②	砂質土	34	0.000	18.000	2.900
③	砂質土	38	0.000	18.000	6.500
④	粘性土	0	60.00	14.300	7.000
⑤	粘性土	0	150.0	15.700	50.000

- ・上載荷重 : 30kN/m<sup>2</sup> (地震時は 15 kN/m<sup>2</sup>)
- ・矢板 : SKY-490  $\phi=1,100$
- ・タイロッド : NHT-690  $\phi=80$
- ・タイ材間隔 : 2.356m

(2) 地点2（標準断面図及び土質パラメータ等）

- ・土層条件

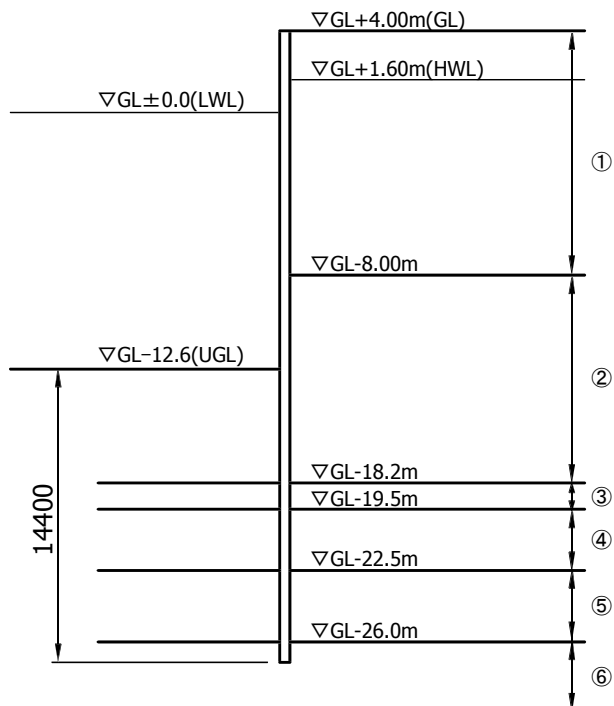


土層	性状	$\phi$ (度)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	単体体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)
①	砂質土	30	0.000	18.000	4.800
②	砂質土	35	0.000	18.000	50.000

- ・上載荷重 : 20kN/m<sup>2</sup> (地震時は 10 kN/m<sup>2</sup>)
- ・矢板 : SKY-490 Z=1870
- ・タイロッド : SS400  $\phi=55$
- ・タイ材間隔 : 1.600m

(3) 地点3 (標準断面図及び土質パラメータ等)

・土層条件

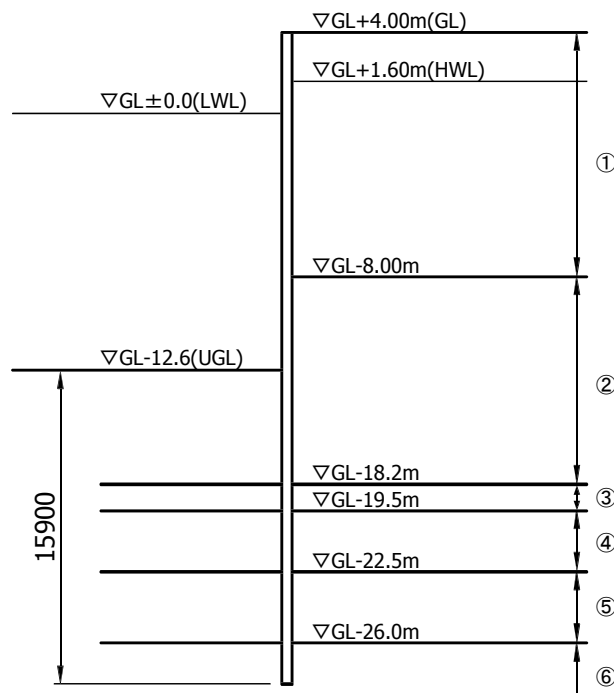


土層	性状	$\phi$ (度)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	単体体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)
①	砂質土	40	0.000	18.000	12.000
②	粘性土	0	70.00	14.000	10.200
③	砂質土	40	0.000	18.000	1.300
④	砂質土	45	0.000	18.000	3.000
⑤	粘性土	0	100.0	13.500	3.500
⑥	砂質土	40	0.000	18.000	12.000

- ・上載荷重 : 20kN/m<sup>2</sup> (地震時は 10 kN/m<sup>2</sup>)
- ・矢板 : SKY-490 Z=13500
- ・タイロッド : NHT-690  $\phi=68$
- ・タイ材間隔 : 1.766m

(4) 地点4 (標準断面図及び土質パラメータ等)

・土層条件

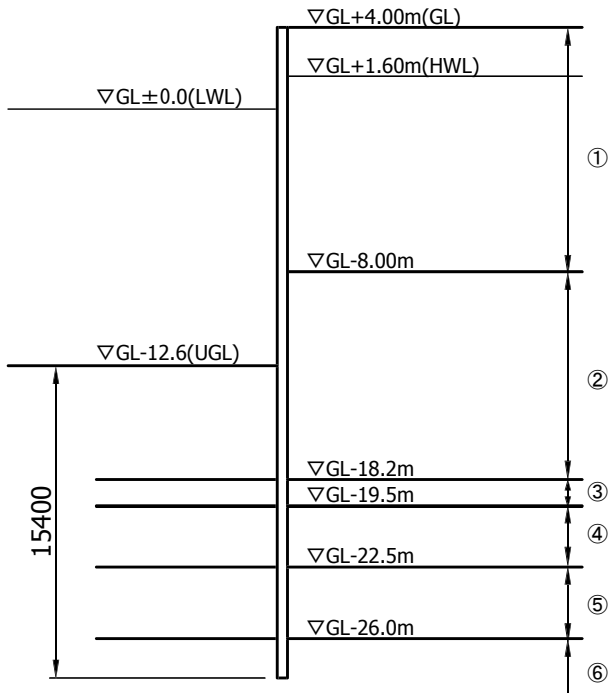


土層	性状	$\phi$ (度)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	単体体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)
①	砂質土	40	0.000	18.000	12.000
②	粘性土	0	70.00	14.000	10.200
③	砂質土	40	0.000	18.000	1.300
④	砂質土	45	0.000	18.000	3.000
⑤	粘性土	0	100.0	13.500	3.500
⑥	砂質土	40	0.000	18.000	12.000

- ・上載荷重 : 20kN/m<sup>2</sup> (地震時は 10 kN/m<sup>2</sup>)
- ・矢板 : SKY-490 Z=13500
- ・タイロッド : NHT-690  $\phi=68$
- ・タイ材間隔 : 1.766m

(5) 地点5 (標準断面図及び土質パラメータ等)

・土層条件

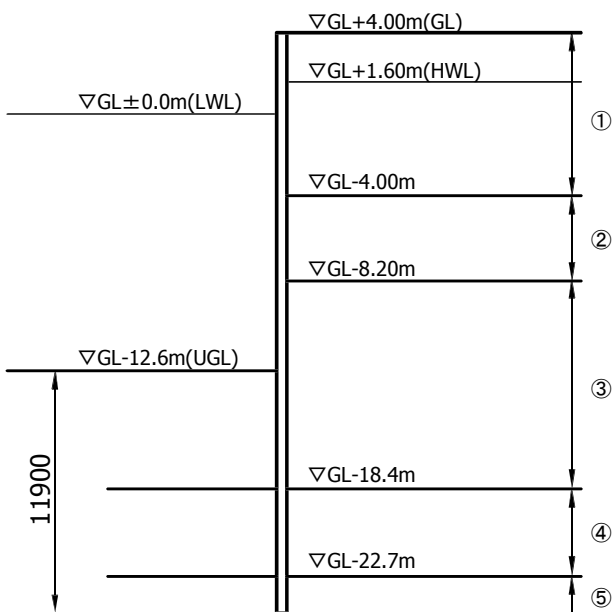


土層	性状	$\phi$ (度)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	単体体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)
①	砂質土	40	0.000	18.000	12.000
②	粘性土	0	70.00	14.000	10.200
③	砂質土	40	0.000	18.000	1.300
④	砂質土	45	0.000	18.000	3.000
⑤	粘性土	0	100.0	13.500	3.500
⑥	砂質土	40	0.000	18.000	12.000

- ・上載荷重 : 20kN/m<sup>2</sup> (地震時は 10 kN/m<sup>2</sup>)
- ・矢板 : SKY-490 Z = 13500
- ・タイロッド : NHT-690  $\phi$  = 68
- ・タイ材間隔 : 1.766m

(6) 地点6 (標準断面図及び土質パラメータ等)

・土層条件

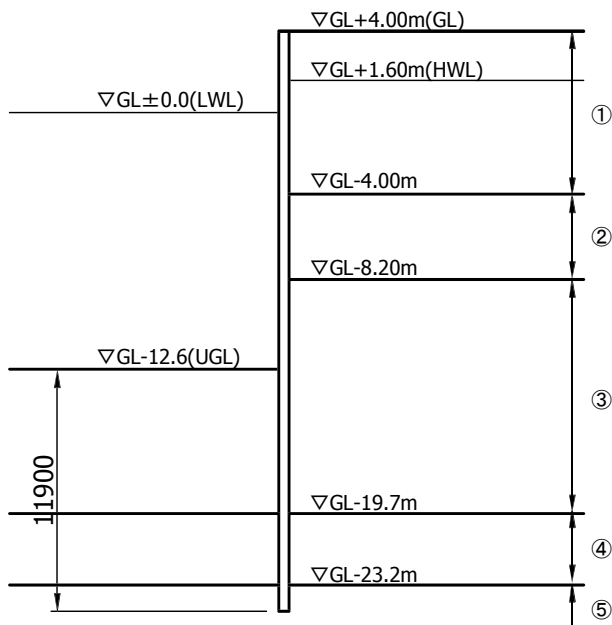


土層	性状	$\phi$ (度)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	単体体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)
①	砂質土	40	0.000	18.000	8.000
②	粘性土	0	50.00	14.000	4.200
③	粘性土	0	70.000	13.500	10.200
④	砂質土	45	0.000	18.000	4.300
⑤	粘性土	0	100.0	13.500	14.500

- ・上載荷重 : 20kN/m<sup>2</sup> (地震時は 10 kN/m<sup>2</sup>)
- ・矢板 : SKY-490 Z = 13500
- ・タイロッド : NHT-690  $\phi$  = 70
- ・タイ材間隔 : 1.766m

(7) 地点7 (標準断面図及び土質パラメータ等)

・土層条件

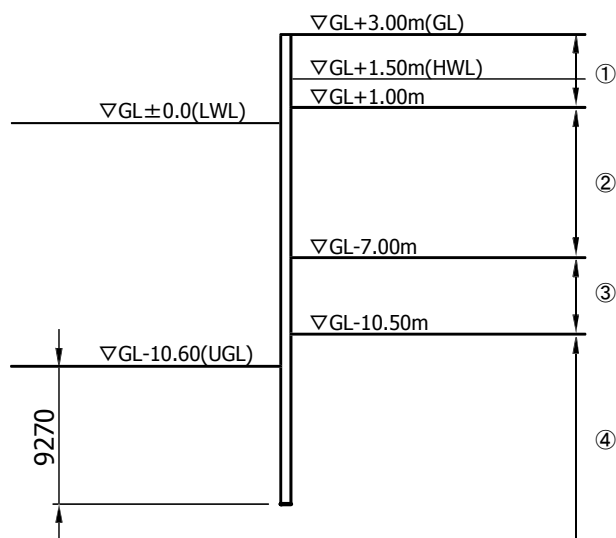


土層	性状	$\phi$ (度)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	単体体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)
①	砂質土	40	0.000	18.000	8.000
②	粘性土	0	50.00	14.000	4.200
③	粘性土	0	70.000	13.500	11.500
④	砂質土	45	0.000	18.000	3.500
⑤	粘性土	0	150.0	13.500	3.000

- ・上載荷重 : 20kN/m<sup>2</sup> (地震時は 10 kN/m<sup>2</sup>)
- ・矢板 : SKY-490 Z = 13500
- ・タイロッド : NHT-690  $\phi=70$
- ・タイ材間隔 : 1.766m

(7) 地点8 (標準断面図及び土質パラメータ等)

・土層条件



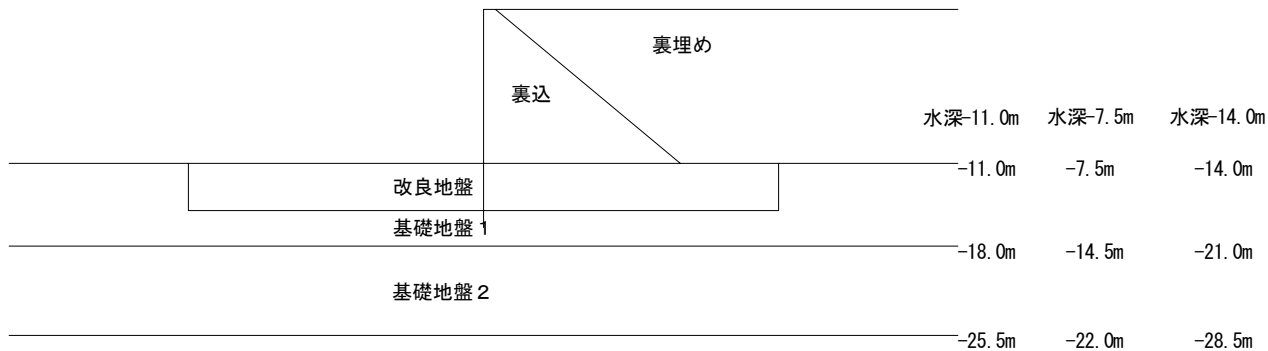
土層	性状	$\phi$ (度)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	単体体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	層厚 (m)
①	砂質土	30	0.000	18.000	2.000
②	砂質土	35	0.000	18.000	8.000
③	砂質土	30	0.000	18.000	3.500
④	砂質土	35	0.000	18.000	50.000

- ・上載荷重 : 20kN/m<sup>2</sup> (地震時は 10 kN/m<sup>2</sup>)
- ・矢板 : SKY-400 Z = 6700
- ・タイロッド : SS400  $\phi=60$
- ・タイ材間隔 : 1.780m

付録B

評価対象とした矢板式係船岸の設計概要（その2）

（標準断面図及び土質パラメータ等）



- ・ 水深(m) : -7.5, -11.0, -14.0
- ・ 天端高 : +2.00(m)
- ・ H. W. L. : +1.00(m)
- ・ L. W. L. : ±0.00(m)
- ・ タイロッド取付高(m) : +0.60
- ・ 上載荷重 : 20.0 (kN/m<sup>2</sup>)

【粘性土地盤】

	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )
裏込め	19.6	40	—
裏埋め土	19.6	30	—
改良地盤	19.6	40	—
基礎地盤1	15.7	—	26.8
基礎地盤2	16.7	—	143.2

【砂質土地盤】

	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	内部摩擦角 (度)	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )
裏込め	19.6	40	—
裏埋め土	19.6	30	—
改良地盤	19.6	40	—
基礎地盤1	17.2	25	—
基礎地盤2	19.6	35	—

