

控え矢板式係船岸の永続状態の根入れ長におけるレベル1信頼性設計法に関する検討

株式会社 エコー (元 国土技術政策総合研究所 交流研究員) 正会員 ○松原 弘晃
 国土技術政策総合研究所 正会員 竹信 正寛
 国土技術政策総合研究所 正会員 宮田 正史
 北海道大学 正会員 渡部 要一
 岐阜大学 正会員 本城 勇介
 新潟大学 正会員 大竹 雄

1. はじめに

港湾における控え工を有する矢板式係船岸(図-1)に関する性能照査に用いる部分係数は、個々の設計因子に部分係数を乗じる材料係数アプローチに基づく部分係数法として提示¹⁾されている。その後、文献²⁾では特に地盤が関連する構造物に関する性能照査に対する部分係数は、特性値で計算した荷重項と抵抗項にそれぞれ部分係数を乗じる荷重抵抗係数アプローチに基づく方法によることが望ましいとの見解が示されている。これらの研究成果に基づき、控え工を有する矢板式係船岸においても、同様な手法を用いた場合の部分係数に関する検討を行うことと

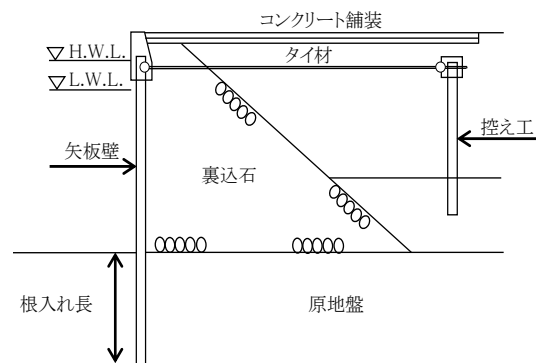


図-1 控え矢板式係船岸の断面図

し、ここでは、矢板の根入れ長に着目した検討結果について示す。検討に際しては、まず目標安全性水準の設定を行い、信頼性解析に用いる断面を設定した。信頼性解析の実施にあたっては、矢板壁に作用する土圧合力に関して地盤構成に対応した変動係数を設定することとした。また、破壊確率の算定結果に基づいて目標破壊確率を設定し、矢板の根入れ長に関する荷重抵抗係数アプローチに基づく部分係数を提案した。

2. 検討手法および検討結果

(1) 目標安全性水準の設定

検討断面は、標準的な砂質土地盤モデルと現行港湾基準での設計事例モデルの全 31 ケースを対象とした。標準的な砂質土地盤モデルの内部摩擦角は、砂の相対密度が中位を想定して 35° とした。また、設計事例モデルは、原地盤および背後地盤に対して地盤改良が実施されていない地盤を対象に抽出した。本検討では、信頼性解析での目標安全性水準を、過去の設計法(安全率法)に基づく水準として設定することとした。表-1 に各地盤構成の種別に対し、実質安全率を指標とした場合の目標安全性水準を示す。

表-1 目標安全性水準(実質安全率)

照査項目	地盤構成	実質安全率 F_s
根入れ長	砂質土主体	M_p/M_a 1.5
	粘性土主体	M_p/M_a 1.2

M_p : タイ材取付点回りの受働土圧モーメント

M_a : タイ材取付点回りの主働土圧モーメント+残留水圧モーメント

(2) 破壊確率を算定する際の土圧合力の変動係数の設定

① 基本的な対応方針

単位体積重量やせん断強度などの個別の設計因子の統計的性質を設定し、土圧算定式によって得られた土圧分布形状を正とした信頼性解析の実施は可能である。しかし、矢板壁に作用する土圧分布等の推定誤差や統計的性質の実態は不明である。このため本検討における信頼性解析では、矢板壁に作用する土圧については以下に示す手法によって算定するものの、今後実測を行うことによって知見を蓄積し、信頼性解析自体の精度を向上すべきであるという観点を踏まえ、矢板壁全体に作用する合力を確率変数として位置づけた。

キーワード 信頼性解析, 控え矢板式係船岸, モンテカルロシミュレーション, 荷重抵抗係数アプローチ
 連絡先 〒110-0014 東京都台東区北上野 2-6-4(上野竹内ビル) (株)エコー 構造設計部 TEL 03-5828-2186

②土圧合力の変動係数の算定手法および算定結果

矢板壁には主働および受働土圧が作用するため、各土圧合力に関する変動係数CVを算定する。この際、矢板壁に関する構造諸元は全国の港湾における平均的な諸元として設定した。また、砂の内部摩擦角の特性値は相対密度が「緩い」、「中位」、「密な」の3種類、粘性土の粘着力の特性値は、主働土圧側は正規圧密粘土の強度として、受働土圧側は矢板が自立する強度としてそれぞれ設定した。表-2に土圧合力のCVの算定に用いる各設計因子の確率変数とモンテカルロシミュレーション(MCS)の計算条件を示す。この際、各土層の土圧合力から得られる全土層の土圧合計値をMCSにより算定し、その平均値と標準偏差を用いて、矢板壁の土圧合力のCVを算定(正規分布を仮定)した(表-3)。この結果、全て砂質土で構成された砂質土地盤の、主働土圧合力に対する平均的なCVは0.13, 受働土圧合力に対しては0.15と算定された。また、互層地盤に対しては、粘性土のCVの区分に対応させ、平均値として表-4に一覧表としてまとめた。なお、破壊確率の算定では、これらのCVを用いた。(以下の各表中、※1: 表-4の粘性土のCVの区分に対応、※2: ①砂質土主体、②粘性土主体)

表-2 設計因子の確率変数

項目	平均値の偏り	変動係数
	μ/X_k	CV
砂のせん断強度 $\tan\phi$	1	0.1
粘性土の粘着力 c	1	※1
主働土圧係数 $K_a \cdot \cos\delta$	1	0.12
受働土圧係数 $K_p \cdot \cos\delta$		
湿潤単位体積重量 γ_t	1.02	0.04
水中単位体積重量 γ'	1	0.03
局所平均の分散関数	Vanmarcke	
自己相関距離 θ	1.00m ($\tan \phi$)	
	1.25m (c)	
乱数の発生回数	10万回	

表-3 土圧合力の変動係数の算定手法

MCS	各土層の主働土圧合力					合計 (土圧合力)
	PA_1	PA_2	PA_3	...	PA_N	ΣPA
1回目	PA_{11}	PA_{21}	PA_{31}	...	PA_{N1}	P1
2回目	PA_{12}	PA_{22}	PA_{32}	...	PA_{N2}	P2
3回目	PA_{13}	PA_{23}	PA_{33}	...	PA_{N3}	P3
...	...	...	...	...	...	...
n回目	PA_{1n}	PA_{2n}	PA_{3n}	...	PA_{Nn}	Pn
平均 (AVERAGE)						$P_{average}$
標準偏差(SD)						P_{SD}
変動係数(CV)						$P_{SD}/P_{average}$

表-4 土圧合力の変動係数

変動係数の 区分	主働土圧合力		受働土圧合力	
	地盤構成 ※2			
	①	②	①	②
0.00以上 0.10未満	0.13	0.13	0.14	0.13
0.10以上 0.15未満	0.13	0.14	0.14	0.13
0.15以上 0.25未満	0.14	0.15	0.14	0.14
0.25以上 0.40未満	0.15	0.17	0.15	0.16
0.40以上 0.60未満	0.18	0.23	0.16	0.2

(3) 破壊確率の評価および目標破壊確率の設定

(1)で設定した目標安全性水準を満たす最小断面に対して根入れ長の破壊確率を算定する。破壊確率とは、上記の算定断面に対して、フリーアースサポート法で算定される根入れ長の性能関数 Z (=抵抗 R -荷重 S)が負($Z<0$)となる回数をMCSの試行回数で除した値と定義する。破壊確率の算定結果を図-2に示す。図中の●, ▲, ◆は砂質土主体の地盤(粘着力の変動係数0.10)の算定結果、また□は粘性土主体の地盤の算定結果である。表-1に示すとおり、粘性土主体の地盤の根入れ長に関する実質安全率は、砂質土主体の場合より小さく設定しているため、粘性土主体の地盤に関する破壊確率は相対的に大きくなる。本検討では、根入れ長に関する破壊確率を統一するため、砂質土主体の地盤の平均破壊確率を目標破壊確率($P_f=2.0\times 10^{-2}$)とし、粘性土地盤の破壊確率を砂質土地盤の破壊確率に合わせることにした。

(4) 荷重抵抗係数アプローチによる部分係数の設定

目標 P_f に対して性能関数 Z を調整²⁾し、破壊領域における尤度最大点を設計点(R_d, S_d)とした。部分係数は設計点と特性値(R_k, S_k)との比である(表-5)。根入れ長に関する性能照査式を式(1)に示す。 R_k, S_k はフリーアースサポート法で算定されるタイ材取り付け点まわりの主働および受働モーメントの特性値である。

$$Z=\gamma_R \times R_k - \gamma_S \times S_k \geq 0 \quad \text{式(1)}$$

【参考文献】1)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説、2007 2)竹信ら：荷重抵抗係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に関する基礎的研究、国総研資料、No.880、2015

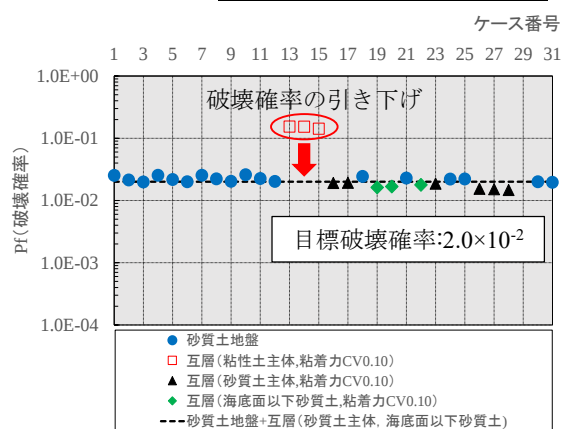


図-2 目標破壊確率の設定

表-5 根入れ長に関する部分係数

照査項目	地盤構成	部分係数	
		γ_R	γ_S
根入れ長	砂質土主体	0.72	1.09
	粘性土主体	0.77	1.11

γ_R : 抵抗項の特性値に乗じる部分係数

γ_S : 荷重項の特性値に乗じる部分係数