

矢板式係船護岸を対象とした既設構造物の信頼性評価

清水建設 (株) 土木本部設計部	正員	辻岡信也
独立行政法人 港湾空港技術研究所	正員	菊池喜昭
清水建設 (株) 和泉研究室	正員	鈴木 誠

1. はじめに

近年、わが国では構造物の設計基準を、国際化の観点から性能規定や ISO による国際標準¹⁾に整合するように見直す必要がでてきた。特に、従来の安全率から信頼性に基づく設計へ変更することが要求されている。そこで、港湾構造物の技術基準²⁾に部分係数法を導入するための基礎的な検討を行うことを目的として、矢板式係船護岸を対象に信頼性評価を行った。本研究では、まず矢板式係船護岸の既設構造物に対し、根入れ長、タイロッド、矢板断面の信頼性評価を行うと共に、各入力パラメータが信頼性に与える感度を解析した。この解析結果から、設計照査を部分係数法にするための基礎的な資料が得られた。

2. 信頼性評価法

以下に示す 3 つの終局限界状態を対象とし、破壊点まわりの一次近似信頼性法 (First-order Reliability Method: FORM)³⁾により信頼性指標を算定する。

(1) 海底面への根入れ深さによる矢板の安定性

$$G_u = M_{P-tie}(\phi, c, \gamma_t, \delta_p) - M_{A-tie}(\phi, c, \gamma_t, \delta_a)$$

ここで、 M_{P-tie} :受働側の土水圧によるタイロッド周りのモーメント、 M_{A-tie} :主働側の土水圧によるタイロッド周りのモーメントである。受働側のタイロッド周りの最大モーメントが主働側のタイロッド周りの最大モーメントを下回ったとき、矢板の根入れの受働側地盤が崩壊する限界状態を表している。

(2) タイロッドに生じる張力に関する安全性

$$G_u = f_{yk-tie} - \sigma_{tie}(\phi, c, \gamma_t, \delta_a)$$

ここで、 f_{yk-tie} :タイロッドの降伏応力度、 σ_{tie} :主働側の土水圧と動水圧によりタイロッドに発生する応力度である。主働側の土水圧などによって発生するタイロッドの応力度が、降伏応力度となる限界状態を表している。応力度の計算には矢板を単純ばりとしてモデル化する仮想ばり法を用いる。

(3) 発生曲げモーメントに対する矢板断面の安全性

$$G_u = M_u - M_{Amax}(\phi, c, \gamma_t, \delta_a)$$

ここで、 M_u :矢板の最大曲げモーメント、 M_{Amax} :主働側の土水圧などにより矢板に発生する最大曲げモーメントである。主働側の土水圧などによって矢板に発生する最大曲

げモーメントにより、矢板が曲げ降伏する限界状態を表している。最大曲げモーメントは縁応力が降伏した時の値であり、塑性域は考慮しないものとした。

3. 基本変数とその統計的性質

信頼性評価に用いる入力パラメータである基本変数は、土の内部摩擦角 (ϕ)、粘着力 (c)、単位体積重量 (γ_t) と、主働側壁面摩擦角 (δ_a)、受働側壁面摩擦角 (δ_p) の 5 つを考慮する。また、これらの変動特性はすべて正規分布と仮定し、すべて地点での土層で同一の値を用いる。ここで、 ϕ と c の変動係数を 10%、 γ_t の変動係数を 5% とする。さらに、 δ_a には主働側 15°、 δ_p には受働側 -15° を平均値として与え、10% の変動係数とする。

4. 各限界状態に関する信頼性

既設の 8 箇所の矢板式係船護岸を対象に、信頼性指標 β による評価を行う。ここでは、限界状態別に各地点の β の値をグラフ化し、許容応力度設計の際の安全率との関係を検討する。

(1) 根入れに関する信頼性評価

根入れに関する信頼性指標 β と安全率の関係を図-1 に示す。

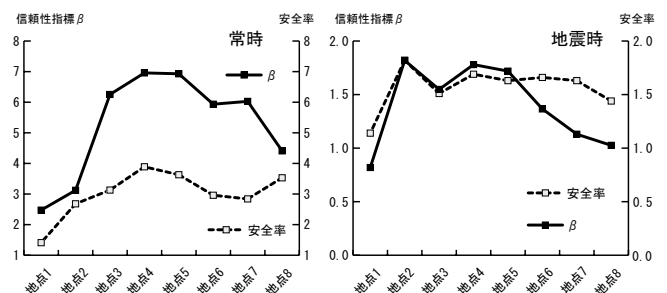


図-1 根入れに関する信頼性指標 β と安全率

根入れに関しての信頼性指標 β は概ね常時で 6.0 ~ 7.0、地震時で 1.2 ~ 2.0 となった。しかし、地点 1,2 では常時にかなり低い値を示している。また、安全率を見てみると、信頼性指標の大小と比較的關係しているが、必ずしも比例した結果ではないことがわかった。

(2) タイロッドに関する信頼性評価

タイロッドに関する信頼性指標 β と安全率の関係を図-2 に示す。

タイロッドの場合は根入れに関する信頼性指標 β とは逆に、地点 1,2 に関しては大きな信頼性指標 β となった

Key Words: 矢板式護岸, 信頼性, 安全性, 感度解析

〒 105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 清水建設 (株) 土木本部設計部, TEL(03)5441-0595, FAX(03)5441-0543

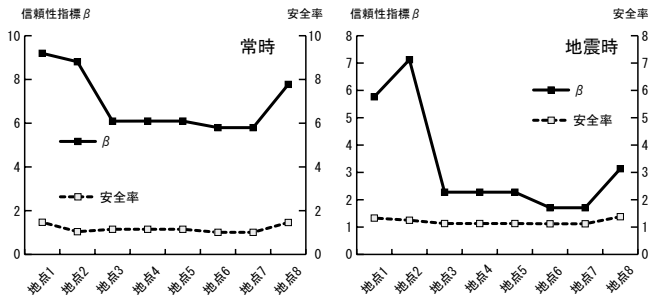


図-2 タイロッドに関する信頼性指標 β と安全率

が、概ね常時で 6.0、地震時で 2.0 である。また、タイロッドの設計の安全率は比較的一定であるが、信頼性指標で見ると異なっていることがわかる。これは、安全率が入力パラメータの不確定性を定量的に扱うことができない指標であることを示している。

(3) 矢板断面に関する信頼性評価

矢板断面に関する信頼性指標 β と安全率の関係を図-3 に示す。

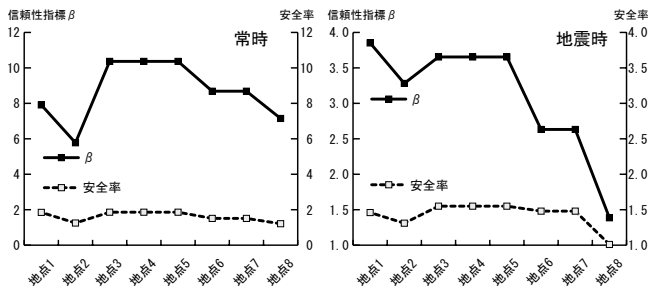


図-3 矢板断面に関する信頼性指標 β と安全率

矢板断面に関して、信頼性指標 β は概ね常時で 8.0 ～ 10.0、地震時で 2.7 ～ 3.9 となった。これは、多くの場合、許容応力度に対しても安全性余裕を考慮して設計されたためと考えられる。なお、地点 8 は従来の設計法においても地震時の安全率が低く、このため信頼性指標も他の地点と比べてかなり小さい。

5. 入力パラメータの感度解析

感度解析では、入力パラメータが限界状態を表す性能関数に与える影響を感度係数で評価する。そのため、変動特性を考慮すべき入力パラメータの選択と、部分係数法へのコードキャリブレーションに利用できる。まず、各限界状態別の感度係数のグラフを図-4 に示す。

根入れに関する感度係数は、比較的参数ごとに一定の値となっているものの、地震時で単位体積重量が正負に渡ってばらついている。これは、各地点での土層構成により、影響がかなり異なっているためである。地点 2 は砂質土層のみのため、粘着力の感度係数が 0 となっている。また、タイロッドの張力に関しては、地点 6, 7 の内部摩擦角の感度係数が小さく、粘着力の感度係数が大きくなった。

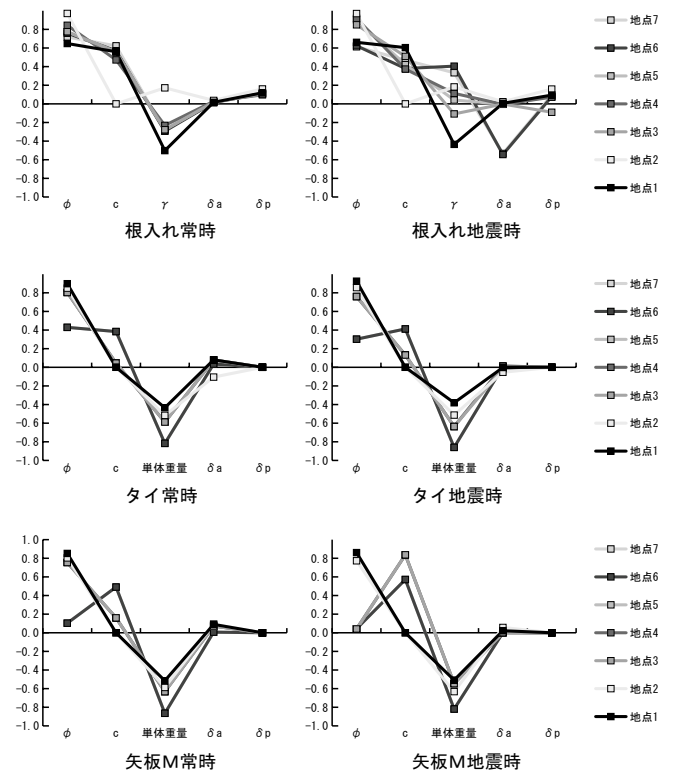


図-4 各パラメータの感度解析結果

これは、考慮されている主働土圧の対象領域に粘性土層が多いためである。さらに、矢板の曲げモーメントに関しても同様の傾向が現れているだけでなく、地震時には地点 3 ～ 5 もこの傾向が現れた。これは地震時の震度が粘性土層の主働土圧に影響する割合が大きいためであろう。

6. おわりに

本研究では、地盤パラメータの不確定性を考慮して、既設の矢板係船護岸を対象とした信頼性評価を実施し、同時にこれらのパラメータの感度係数を検討した。信頼性指標 β で評価された信頼性は、従来の安全率より不確定性の影響を定量的に表現でき、同じ安全率でも異なることがわかった。また、パラメータの感度のうち、内部摩擦角と粘着力は砂質土層と粘性土層の割合によって異なり、その影響は常時と地震時でも異なることがわかった。さらに、地震時において受働側と主働側の影響を受ける矢板の根入れに関しては、単位体積重量が危険側にも安全側にも作用する場合があることがわかった。これらの感度係数は部分係数を設定するときに十分に考慮する必要があるだろう。

参考文献

- 1) ISO: ISO2394, General Principles on Reliability for Structures, 1998.
- 2) (社) 日本港湾協会: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1999.
- 3) Thoft-Christensen, P. and Baker, M.J.: Structural Reliability Theory and Its Applications, Springer-Verlag, 1982.