

港湾構造物の円弧すべり照査における荷重抵抗係数アプローチによる部分係数法の検討

パシフィックコンサルタンツ株式会社 (元 国土技術政策総合研究所 交流研究員) 正会員 〇川俣 秀樹
 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
 岐阜大学 正会員 本城 勇介
 新潟大学 正会員 大竹 雄

1. 研究の目的

「港湾の施設の技術上の基準・同解説(平成19年)」(以下港湾基準)では、修正フェレニウス法を用いた港湾構造物の円弧すべり照査について、レベル1信頼性設計法(部分係数法)が導入された。現在、新たな部分係数法に関する検討が進められており、荷重抵抗係数アプローチによる部分係数法への移行の方向性が示されている。円弧すべり照査についても、これに基づき設計法の検討が必要である。本研究では、次期設計法に求める目標安全性水準の再設定およびモンテカルロ・シミュレーション(以下MCS)を用いた信頼性解析によって、部分係数の設定を行った。

2. 目標安全性水準の考え方

港湾構造物の性能照査における円弧すべり照査は永続状態を対象としているため、本研究では“永続状態において構造物が安定している”ことを最低限満たすべき水準であると考え、具体的には、実際に設計された現有構造物のうち、断面決定において円弧すべり照査が支配的である設計事例を収集し、その断面の円弧すべりに対する安全率や破壊確率を求めることで、目標安全性水準として数値化する。

3. 検討断面の設定

全国港湾施設の設計に関する資料のうち「新設・改良設計の断面決定において、円弧すべり照査が支配的である(円弧すべりの安全率、あるいは耐力作用比が小さい値で照査を満足している)」設計事例を収集した。なお、性能照査式が異なる地盤改良工法が施されたものや、断面変化部にあたる事例は除外している。収集の結果、14事例が該当し、これを本研究の検討断面とした。検討断面の多くは、基礎地盤の表層が砂質土層でその下に粘性土層がある互層地盤、またはほぼ全てが砂質土である地盤であった。

4. 目標安全性水準1(目標安全率)の設定

一つ目の目標安全性水準である目標安全率を設定するために、修正フェレニウス法を用いて検討断面の安全率を求めた。また、設定の妥当性を確認するため、他照査法(簡易ビショップ法、土田の方法、修正フェレニウス法と簡易ビショップ法の平均値)による安全率も併せて求めた。図-1より、修正フェレニウス法の安全率平均値は1.23である。これは従来港湾基準で標準とされた目標安全率1.3を下回るものの、全国港湾における性能照査の実績値(本研究検討断面の多くを占める砂層と粘性土層の互層は、おおむね1.2)を上回る。また修正フェレニウス法で1.3未満の目標安全率を用いる場合に併せて照査される、他の照査法による安全率が1.3をいずれも上回っているため、本研究検討断面のような互層地盤の断面に対して1.23は妥当であると考え、目標安全率として設定した。

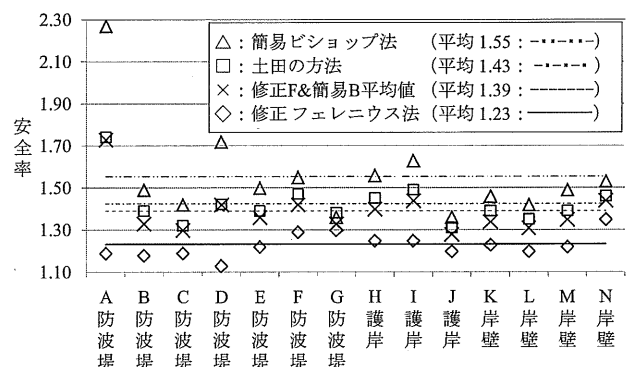


図-1 各照査法の安全率

5. 目標安全性水準2(目標破壊確率)の設定

二つ目の目標安全性水準として、信頼性解析の目標破壊確率を設定するため、MCSを用いて目標安全率に対応する破壊確率を求めた。各物性値(正規分布を仮定)の平均と標準偏差をもとに乱数的にばらつかせ、起動モーメント S と抵抗モーメント R を求める。そこに照査式自体のモデル化誤差を表す係数 ΔM を乗じ、

キーワード：港湾構造物、円弧すべり、修正フェレニウス法、部分係数法、荷重抵抗係数アプローチ

連絡先：国土技術政策総合研究所 港湾研究部 港湾施設研究室 Tel.046-844-5029 FAX.046-844-5081

性能関数 Z によって破壊, 非破壊を判定する. これを数百万回試行し, 破壊点数と全試行回数の比から, 破壊確率を求めた.

破壊確率は港湾基準に記載されている地盤強度の補正係数 (b_1, b_2) ごとに求めた. 目標安全性水準は地盤強度データが一定水準以上の質, 量を持ったケースの破壊確率をもとに設定するのが適切であると考え, $b_1 \geq 0.90$ (強度の変動係数 $CV < 0.25$), $b_2 = 1.00$ (調査点数 $n \geq 10$) を目標破壊確率設定の対象ケースとした. 図-3 の計算結果より, これら対象ケースの破壊確率の相乗平均値 1.63×10^{-2} を, 目標破壊確率として設定した. なお, 断面 K, L, M は砂質土系地盤のため, 破壊確率は b_1, b_2 の影響を受けない.

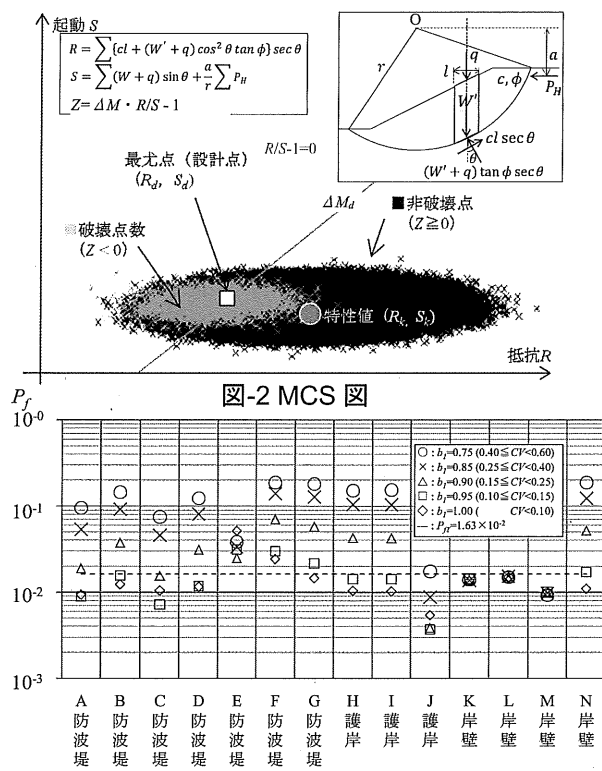


図-3 破壊確率計算結果

6. 部分係数の算定

各ケースの破壊確率が目標破壊確率 1.63×10^{-2} に一致するように性能関数 Z の値を一律増減させた分布を作成し, その破壊点の中から最尤点を抽出した. 部分係数は, 式(1)に示す最尤点設計値 ($R_d, S_d, \Delta M_d$) と特性値 ($R_k, S_k, \Delta M_k$) の比で求められる (ただし, $\Delta M_k = 1.0$). 各ケースの部分係数計算結果を図-4, それらを平均し設計法として提案する荷重係数 γ_S , 抵抗係数 γ_R , モデル化誤差に関する係数 $\gamma_{\Delta M}$ を図-5 に示す. $CV \geq 0.25$ の場合, 従来設計法と比較して過大な水準が要求されるため, 提案設計法の適用範囲から除外した.

$$\gamma_S = S_d/S_k, \gamma_R = R_d/R_k, \gamma_{\Delta M} = \Delta M_d/\Delta M_k = \Delta M_d \quad (1)$$

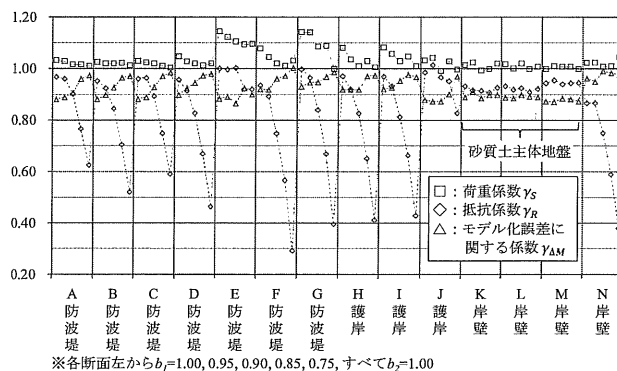


図-4 部分係数計算結果

7. 提案設計法と適用条件

提案設計法の部分係数と適用条件を図-5 に示す. 提案設計法の適用条件は, 表層が砂層, 下層が粘性土で構成される基礎地盤を持つ構造物で, すべり円弧が砂層または石層を約 5m 以上通過する場合である. また, 円弧が通過する土層のうち (薄層を除く), 最大の CV で使用する係数の値を使い分けることを基本とする. 主に粘性土で構成される地盤の場合は, 従来設計法の安全率 1.3 程度とするのが望ましいと考えられる.

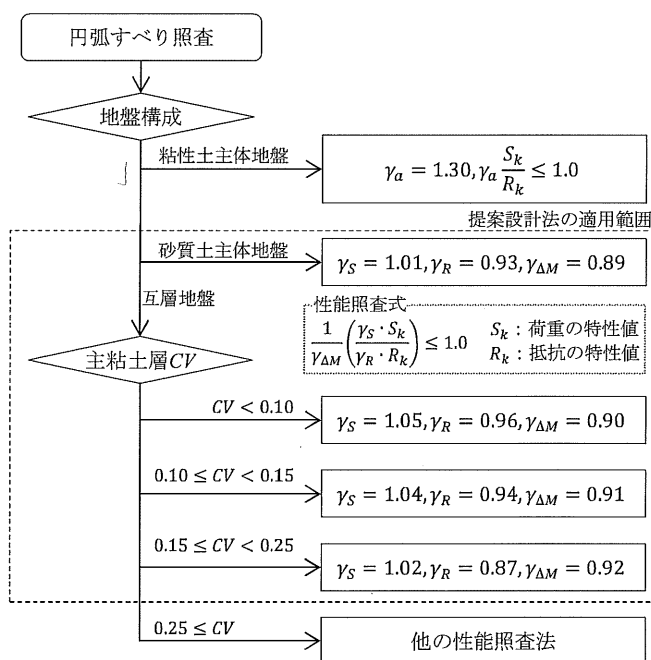


図-5 提案設計法の適用フロー

参考文献

- ・日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, 2007.
- ・川俣秀樹, 竹信正寛, 宮田正史：修正フェレニウス法を用いた円弧すべり照査のレベル 1 信頼性設計法に関する基礎的研究, 国土技術政策総合研究所資料, No.955, 2017.