

SCP改良地盤における円弧すべり安定検討の性能設計化への取り組み

独立行政法人港湾空港技術研究所 正会員 北詰昌樹
 不動建設（株）正会員 野津光夫, ○ 今井優輝

1. はじめに

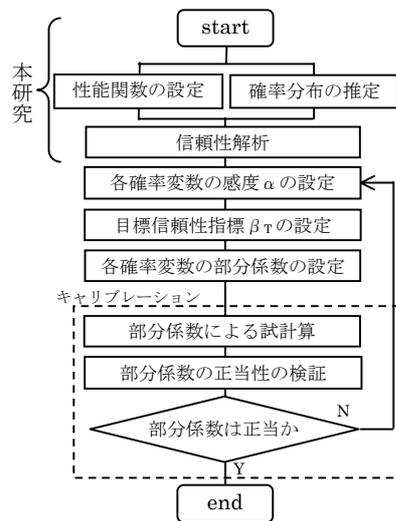
著者らはサンドコンパクションパイルやサンドドレーン（以下 SCP, SD）による地盤改良の性能設計化への取り組みとして、信頼性理論を用いて現行基準の評価を行っている。その中の一つに SCP で地盤改良を行った護岸や防波堤の円弧すべりによる安定検討がある。本研究では、円弧すべり計算での性能関数、確率変数を定義し、その適用性を確かめるため、舞鶴港で実施された低置換率 SCP 工法試験工事¹⁾での改良断面を評価対象として、従来の安全率と安全性指標の関係を求めた。

2. 本研究の位置づけ

SCP 工法は軟弱地盤中に砂杭を強制圧入することで、粘土と砂の複合地盤として評価し、地盤のすべりに対する安定性を高めたり、地盤の支持力を増加させる工法である。本研究が対象とする「護岸」等の港湾構造物は、一般に「港湾の基準の技術上の基準・同解説²⁾（以下、港湾基準）」に従って設計されている。この港湾基準は現在、信頼性設計法を基本とする改訂への取り組みがなされており、SCP 工法も同設計法の適用を検討中である。

3. 検討フロー

図-1 に検討フローを示す。最終目標はレベル 1 信頼性設計法（部分係数法）による安全性照査式および各設計用値にかかる部分安全係数の提案である。ただし、この部分安全係数によって、目標の安全性指標となるよう制御されるので、信頼性理論を用いて各確率変数の感度分析等のキャリブレーションが必要である。本文では図-1 のうち、信頼性解析手法とその試算までを述べる。

図-1 検討フロー³⁾

4. 性能関数の設定

現状、円弧すべりは図-2 に示すように、地盤をいくつかのブロックに分割し、各ブロックの抵抗モーメント M_R 、起動モーメント M_D を求め、 ΣM_R と ΣM_D の比を求めることで評価している。

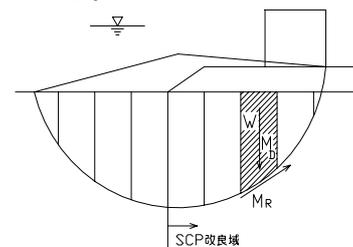


図-2 すべり円モデル

そこで、円弧すべりの性能関数 Z は、抵抗モーメントと起動モーメントを確率変数とする下式とした。

$$Z = R - D^4)$$

$$R : \text{抵抗モーメント} (= \gamma_R \Sigma M_R)$$

$$D : \text{起動モーメント} (= \gamma_D \Sigma M_D)$$

γ_R, γ_D : 部分安全係数

R, D は土の重量や砂杭の内部摩擦角等から計算されているので、それらを確率変数とした性能関数も別途考えられるが、市販されているプログラムへの適用の容易さなどから、ここでは上記形式とした。他にも、例えば重量という確率変数は起動側と抵抗側両方に作用する特質があり、部分安全係数の意味付けが難しいことも理由として挙げられる。

5. 部分安全係数の算出方法

4. で示した Z の信頼性解析を、一次ガウス近似法⁴⁾により行う。そのためには ΣM_R と ΣM_D の平均 μ と標準偏

キーワード サンドコンパクションパイル、性能設計、円弧すべり

連絡先 〒110-0016 東京都台東区台東 1-2-1 不動建設（株） TEL 03-3837-6034

差 σ を求めればよい。

図-3 に示す舞鶴試験工事断面を検討対象とし、すべり計算に必要な確率変数は下記の6つとした。

W_1 : ケーソン自重、 W_2 : マウンド自重

C_0 : $Z=0$ での粘土層の粘着力

C_1 : 粘土層の粘着力の深さ方向の勾配

γ_1 : 原地盤粘土密度、 ϕ_s : SCP 内部摩擦角

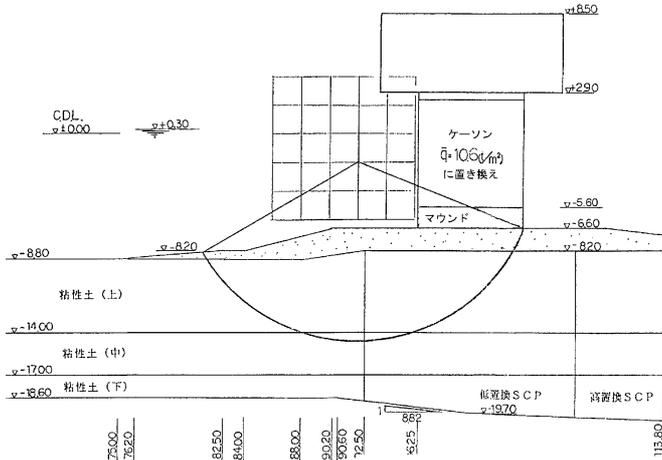


図-3 試験工事の断面

これらの確率変数から、Rosenblueth の方法⁵⁾を用いて ΣM_R と ΣM_D の平均 μ と標準偏差 σ を求めた。Rosenblueth の方法は以下に示すとおりである。

- ①各確率変数を正規分布と仮定したうえで、各変数の値を“平均 μ + 標準偏差 σ ”，“ $\mu - \sigma$ ”と変化させて、変数6個ならば $2^6=64$ 通りの ΣM_R と ΣM_D を求める。
- ②得られた64個の ΣM_R と ΣM_D の μ と σ を求め、近似的に真の μ と σ とみなす。

6. 設計パラメータの確率分布の推定

各確率変数の確率分布は関連する既往の調査結果⁶⁾等より、表-1のように定めた。

表-1 設計パラメータの確率分布

設計因子	単位	設計値	α	V
ケーソン荷重	すべり時	106.00	0.98	0.02
	安定時	55.00		
マウンド荷重	kN/m ³	32.00	1.02	0.04
Z=0での粘土層粘着力	kN/m ²	-5.10	1.00	0.03
粘着力の深さ方向の勾配	kN/m ³	1.00	1.00	0.03
粘土単位体積重量	kN/m ³	5.40	1.00	0.03
砂杭の摩擦角	度	33.9	1.04	0.07

α : 平均値の偏り(平均 μ / 設計値), V : 変動係数(σ / μ)

なお、ケーソン荷重[すべり時]は試験工事において、実際にすべりが発生した際の荷重値である。また、ケー

ソン荷重[安定時]は、通常の円弧すべり計算で安全率 $F_s=1.3$ となるよう荷重を逆算した値である。砂杭中の内部摩擦角は、Dunham 式 $\phi = \sqrt{(12N)} + 20$ を利用して、試験工事の SCP 杭芯 N 値から求めた値である。

7. 安全性指標・破壊確率の計算結果

5, 6 より、 ΣM_R と ΣM_D の μ と σ 、および安全性指標 β 、すべり確率 Pf が表-2 に示すように得られた。同表には通常のすべり計算の安全率 F_s もあわせて示している。

表-2 安全性指標

		すべり時	安定時
ΣM_R	μ	6851.7	5616.1
	σ	346.5	283.8
ΣM_D	μ	7092.6	4115.4
	σ	124.8	146.9
安全性指標 β		-0.654	5.651
すべり確率 Pf		0.743	0.90×10^{-8}
安全率 F_s		0.93	1.309

表-2 より、すべり時の破壊確率は 0.743 と実際の現象と整合している。また安全率 1.3 の場合の破壊確率は 0.90×10^{-8} とかなり小さな値であった。米国等における一般の構造物の許容安全性指標が 2.0~3.5 (破壊確率 $2.27 \times 10^{-2} \sim 2.33 \times 10^{-4}$) との報告⁴⁾と比べると、安全性にかなり余裕のある結果となった。しかし、今回は1断面のみの結果であるので、直ちに安全率が過剰であるとは判断できない。

8. まとめ

本研究では、円弧すべり検討での性能関数を提案し、実際のすべり断面に対して破壊確率の試算を行った。その結果、計算された破壊確率はすべり現象と一致していることが確認できた。今後は、砂杭内部摩擦角の分布の精査が必要であり、またより多くの断面で計算を行い、適切な目標安全性指標を設定して、部分安全係数を定める必要がある。

<参考文献>

- 1) 岡田・柳生・幸田：低置換率サンドコンパクションパイル工法による改良地盤の現地破壊実験、土と基礎、pp. 57-62, 1989. 8.
- 2) 港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、平成 11 年 4 月
- 3) 北詰・長尾他：港湾構造物に適用する深層混合処理工法の性能設計への取り組み、第 39 回地盤工学研究発表会【投稿中】
- 4) 星谷・石井：構造物の信頼性設計法、鹿島出版会
- 5) 土質基礎工学ライブラリー-28 土質基礎の信頼性設計、地盤工学会
- 6) 長尾：ケーソン式防波堤の外的安定に関する信頼性設計手法の提案、国土技術政策総合研究所研究報告 第 4 号, 2002. 3.