

摩擦杭の部分安全係数算定法に関する確率モデルについて

佐賀大学 正員○李 向新 佐賀大学 正員 林 重徳
九州大学 正員 落合英俊 建設技術研究所 正員 松井謙二

1. まえがき: 基礎構造物の限界状態設計法を導入する際に、安全性評価の目安として部分安全係数が使われる。部分安全係数の評価法としては、従来の経験による全体安全率に摺りあわせる評価法と確率論および統計学を用いる評価法がある。いずれにして、地盤物性値の不確定性や荷重の変動、理想化された支持力解析法の不完全さ、地盤調査と施工における誤差をカバーし、基礎構造物に所要の安全度を適正に確保するものである。本研究は、一般化した設計パラメータの真値と予測値の比および地盤物性値のばらつきの空間分布係数を定義し、信頼性理論に基づく摩擦杭の部分安全係数を算定する確率モデルを導き、部分安全係数の評価法に関する新しい体系を提案している。

2. 部分係数について: 基礎構造物を設計する際、理想化された支持力などの算定法上の不完全さ、地盤のばらつき、室内試験と原位置条件の相違、調査、施工などによる様々な誤差がある。設計パラメータの予測値と真値の誤差を見るために、一般化した設計パラメータ X の真値 x_T と予測値 x_P の比 D を式(1)で定義する。

$$D = x_T / x_P \quad (1)$$

ここに、 D を X の部分係数と呼ぶことにする。地盤の強度定数、基礎の支持力および変形などの量の部分係数を式(1)で定めることができる。上述した部分係数を確率変数として評価することができる。著者らの研究¹⁾によれば、砂質と粘土質からなる互層地盤における打ち込み鋼管摩擦杭の部分係数の統計量は、表1に示されている値である。表1から摩擦応力度の c' 、 ϕ' による推定は標準貫入試験の N 値による推定に比べて、精度よく载荷試験の結果と符合していることが分かった。図1は多層地盤に根入れされた摩擦杭の確率モデルの概念図である。 i 層における杭周面摩擦応力度は f_i 、層厚は l_i 、杭周長は u_i である。各土層 ($i=1, 2, \dots, n$) に対して f_i の部分係数 $P_i = P$ 、 l_i の部分係数 $L_i = L$ 、杭周長の部分係数 $U_i = U$ と仮定すれば、杭の中央安全率 v_o は式(2)で与えられる²⁾。

$$v_o = \frac{\bar{R}}{\bar{S}} = \frac{\exp(\beta_T \times \sqrt{V_P^2 + V_L^2 + V_U^2 + V_S^2})}{P \times \bar{L} \times \bar{U}} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{S}$ 、 $\bar{R}$ は荷重 S 、抵抗 R の平均値、 β_T は目標安全性指標、 V_P 、 V_L 、 V_U 、 V_S は P 、 L 、 U 、 S の変動係数である。

3. 空間分布係数について: 同じ地盤における地盤物性値の分散が地盤調査の密度を増加するにつれ減少していくことが考えられる³⁾。従って、地盤物性値のばらつきの空間分布を考慮するために、式(2)の V_P を V'_P で書き換えればよい。

表1 部分係数Dの統計量

項目	推定方法 ^{1, 2)}	平均	変動係数
付着力 c'_o	三軸試験の c' より ($c'_o = \alpha c'$)	1.0	—
壁面摩擦角 δ'	三軸試験の ϕ' より ($\delta' = 2/3 \phi'$)	1.0	—
摩擦応力度 f	N 値より	1.65	0.43
	c' , ϕ' , $K=K_o$ 法より	1.01	0.42
	ϕ'_{cv} , $K=f(K_o, K_p)$ 法より	1.15	0.35
	c' , ϕ' , $K=f(K_o, K_p)$ 法より	1.02	0.35
基礎幅 B	施工	1.0	<0.05
杭径 d	施工	1.0	<0.05
層厚 l	地盤調査	1.0	<0.05

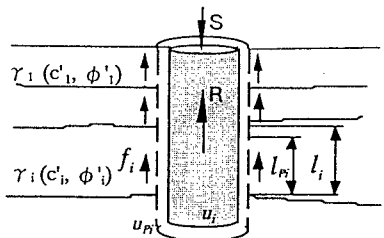
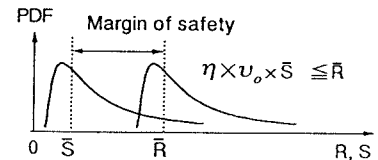


図1 提案した確率モデルの概念図

$$V'_p = \sqrt{\psi^2 V_a^2 + V_p^2} \quad (3)$$

ここに、 ψ は空間分布係数、 V_a は調査を行わない時の地盤物性値の一般的な変動係数である。空間分布を考慮した中央安全率の式は式(3)に ψV_a 項を加えて、

$$v'_o = \frac{\exp(\beta_T \times \sqrt{\psi^2 V_a^2 + V_p^2 + V_L^2 + V_U^2 + V_S^2})}{\bar{P} \times \bar{L} \times \bar{U}} \quad (4)$$

となる。 ψ は地盤堆積環境の空間的な不均質性を表わすパラメータで、一般に同じ地盤に対し調査の量と密度を増加することによって変動が低減していくため、 $\psi < 1.0$ と推定できる。安全側に考慮すれば、 ψ の値を 1.0 とすることができ、地盤情報データベースを活用することによって、 ψ の低減が期待される。

4.重要度係数について: 本研究では重要度係数 η を式(5)で定義する。

$$\eta = v_o / v_B \quad (5)$$

ここに、 v_B は $\eta = 1.0$ の中央安全率とし、基準中央安全率と名づけることにする。正規化した中央安全率の比で定義されたため、式(5)はすべての基礎構造物に対し一般性を持っている。また、 η は適切な目標安全性指標を選ぶことによって定められる。表1のデータに基づいた破壊確率 P_F と η の関係は図2に、破壊確率 P_F と目標信頼性指標 β_T の関係は表2に示されている。

5.支持力安全性照査式: 図1に示した摩擦杭の支持力安全性照査式は式(6)で与える。

$$\eta \times v_o \times \bar{S} \leq \bar{R} \quad (6)$$

この照査式は摩擦杭に類する破壊関数を持つ構造物の照査式として一般性を持っている。

6.まとめ: 基礎構造物の力学挙動の複雑さ、地盤情報不足、土のばらつきなどが原因で、限界状態設計法の部分安全係数は経験で決められてきた。しかし、規準作成に当たって、所要な安全度を設計の対象となる基礎構造物に達成させるという限界状態設計法の第一の目的に、従来の様な経験的なやり方だけでは不十分である。そこで、本研究は、設計パラメータの部分係数と重要度係数を定義することによって、摩擦杭に類する破壊関数を持つ基礎構造物の安全性照査に関する新しい考え方を示した。また、地盤の堆積環境を考慮した空間分布係数を地盤物性値の変動の評価に導入することによって、今後地盤情報データベースの活用による中央安全率の低減が期待される。

[参考文献]

- 1) Li, X. and Hayashi, S. et al: Partial safety factor for the ultimate shaft bearing force of friction piles in an effective stress approach, Proceedings of the Japan-China Joint Symposium on Recent Development of Theory & Practice in Geotechnolgy, Shanghai, 1997.10, pp.153~158.
- 2) 地盤工学会九州支部: 限界状態設計法における調査・設計・施工, pp.202~220, 1997.11.
- 3) Journel, A.G., Huijbregts, CH.J. : Mining geostatistics, Academic press, 1978.

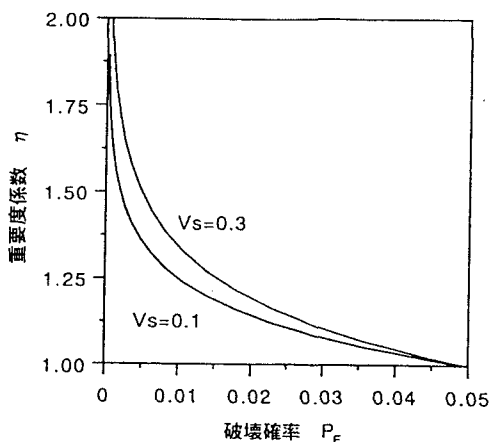


図2 重要度係数 η と破壊確率 P_F

表2 P_F と β_T の関係

P_F	0.05	0.01	0.001	0.0001
β	1.65	2.33	3.1	3.72
η	1.0	1.3	1.78	2.00