

サンドコンパクションパイルによる地盤改工法の 信頼性解析とコードキャリブレーション

岐阜大学工学部 学生員 ○古田 茂樹
岐阜大学工学部 正会員 本城 勇介
岐阜大学工学部 正会員 小尻 利治

1. 研究目的

現在、世界的に設計コードの改訂作業が進められている。それらの設計コードは、構造物の信頼性を解析するのに確率を用いており、また許容応力度設計法では明確でなかった構造物の限界状態を対象に行うことから、「限界状態設計法」とよばれている。そこで、この「確率に基づいた限界状態設計法」による設計法の見直しのため、現行の設計法で設計されたサンドコンパクションパイル（以下SCP）改良地盤の信頼性を解析し、この設計法がどの程度の目標信頼性指標に基づいた信頼性をもっているかを把握する。この結果に基づき、部分係数を決定し、これを限界状態設計法のFORMATで設計法を書き換えることを試みる。

2. 研究方法

2.1 現行のSCP複合地盤の設計法

SCP複合地盤のせん断強度において、最も実績の高い表示式は次式である。1) 2)

$$\tau = (1 - a_s)(c_0 + k \cdot z + \mu_c \cdot \Delta \sigma_z \cdot \Delta c / \Delta p \cdot U) + (\gamma_s \cdot z + \mu_s \cdot \Delta \sigma_z) a_s \tan \phi_s \cdot \cos^2 \theta$$

τ : 複合土の平均せん断強度

a_s : 砂杭の置換率

$c_0 + k \cdot z$: 粘性土の非排水せん断強度

z : 鉛直座標

μ_s : 応力集中係数 $\mu_s = m / \{1 + (m - 1)a_s\}$

μ_c : 応力低減係数 $\mu_c = 1 / \{1 + (m - 1)a_s\}$

m : 応力分担比

$\Delta \sigma_z$: 外力による鉛直応力増分の平均値

$\Delta c / \Delta p$: 原地盤粘土の強度増加率

γ_s : 砂杭の単位体積重量

ϕ_s : 砂杭の内部摩擦角

U : 平均圧密度

θ : すべり線が水平面となす角度である。

複合土の抵抗モーメント M_R の総和は次式で表される。

$$\sum M_R = R \sum \tau \cdot l$$

ここに、 R : すべり円の半径、 l : すべり線の長さである。ただし、粘性地盤のせん断強度は、 $(\tau = c_0 + k \cdot z)$ である。

複合地盤の起動モーメント M_D の総和は次式で表される。

$$\sum M_D = \sum W \cdot x$$

また、複合地盤の安全性指標 F_s は、次式で与えられる。

$$F_s = \sum M_R / \sum M_D > 1 \text{ (安定)}$$

一般に $F_s = 1.3 \sim 1.5$ の値をとるように設計される。

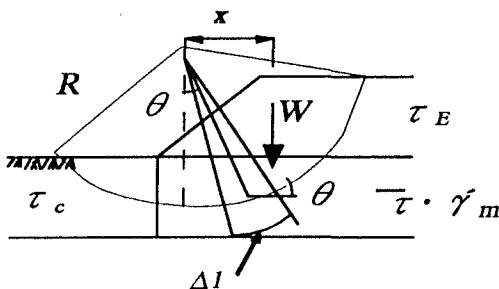


図 2.1 すべり面の概要図

2.2 レベル2法による信頼性解析^{3) 4)}

現行のSCP改良地盤の設計法を用い、いくつかの試設計を行いクリティカルなすべり面を決定し、その改良地盤に対して信頼性を解析する。

(1) n 個の基本確率変数 $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ を正規化し $\bar{Z} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n)$ とする。限界状態破損面は、標準正規空間に写像される。

$$z_i = \frac{x_i - \mu_{xi}}{\sigma_{xi}}$$

$$g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0 \rightarrow f(z_1, z_2, \dots, z_n) = 0$$

(2) 安全性指標 β は、 z 空間において破損面と原点間の最短距離として次式で定義される。

$$\beta = \min_{z \in \partial W} \left(\sum_{i=1}^n z_i^2 \right)^{1/2}$$

(3) 原点に最も近い破損面上の点が設計点と呼ばれ $(\beta\alpha_1, \beta\alpha_2, \dots, \beta\alpha_n)$ の座標値を持つ。ただし、

$$f(z_1^*, z_2^*, \dots, z_n^*) = 0 \\ \bar{z}^* = \beta \alpha$$

次の逆写像を用いると、

$$x_i^* = F_x^{-1}(\Phi(z_i^*)), i=1, 2, \dots, n$$

設計点 $\bar{z}^*$ に対応する元の基本変数 $\bar{X}$ の組 $\bar{x}^*$ を得ることができる。もし変数 $\bar{X}$ がすべて正規分布しているとすると $\bar{x}^*$ は破損が最も生じやすい値となる。また $\bar{x}^*$ がレベル1に基づく確定的な設計計算として使われれば、得られる設計は β の安全性指標を持ち、信頼度 $R=1-\Phi(-\beta)$ を持つといえる。ここで、 $\Phi(-\beta)=P_f$ (破損確率) である。そして、 R がこの構造物の許容信頼度であるならば、次によって部分係数が与えられる。

強度変数 X_i については、

$$\gamma_i = \frac{x_{spi}}{x_{di}} = \frac{x_{spi}}{x_i^*} = \frac{x_{spi}}{F_x^{-1}(\Phi(z_i^*))}$$

となる。ここに x_{spi} は抵抗係数 X_i の規定値であり、 x_{di} は設計計算の設計値である。また荷重係数 X_j については、

$$\gamma_j = \frac{x_{dj}}{x_{spi}} = \frac{x_j^*}{x_{spi}} = \frac{F_x^{-1}(\Phi(z_j^*))}{x_{spi}}$$

となる。ここに x_{spi} は荷重係数 X_j の規定値であり、 x_{dj} は設計計算の設計値である。

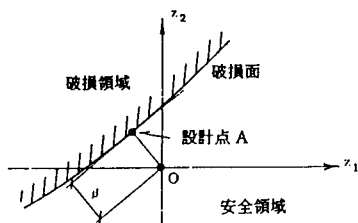


図 2.2 HasoferとLindの安全性指標

2.3 コードキャリブレーション³⁾

総合的な考察から目標信頼性指標 β_T を定め、 β の収束計算 (コードキャリブレーション) を行い、それにより部分係数を決定し現行設計法を限界状態設計法のformatに書き換える。

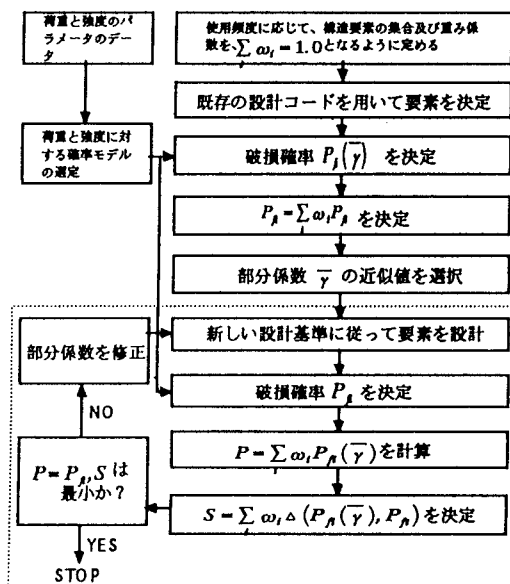


図 2.3 コードキャリブレーションのフロー

3 おわりに

以上の解析手順をSCP改良地盤に適用して、信頼性の解析を行うが、詳細は講演時に述べる。

参考文献

- 1) 中角功：サンドコンパクションパイル工法の現状と課題/1995
- 2) 港湾施設の技術上の基準・同解説(改訂版)/1989 日本港湾協会
- 3) P・トフークリステンセン、M・J・ベイカー：構造信頼性 理論と応用/1982
- 4) 星谷勝/石井清：構造物の信頼性解析/1986 鹿島出版会