

杭の鉛直支持力設計法に関する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 ○石原 寛隆
 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. はじめに

現在、世界的に設計コードの改訂作業が進行中であり、それらの設計コードは、構造物の信頼性を表す尺度に確率を採用しており、「確率に基づいた限界状態設計法」と呼ばれている。そこで本研究では、「確率に基づいた限界状態設計法」による現設計基準の見直しのため、現行で設計された杭の鉛直支持力に関する部分について信頼性を解析し、この設計法がどの程度の目標信頼性に基づいた信頼性を持っているかを把握し、そしてこの結果を基に限界状態設計法のfor mat で、設計法を書き換えるとどのような部分係数をとるのかを決定する、いわゆるコードキャリブレーションの方法について検討する。

2. 研究方法

2.1 手順

研究手順は次の通り

- i) 主な設計基準（建築基礎構造物設計指針、道路橋示方書・同解説、港湾施設の技術上の基準・同解説）を用いて、杭の鉛直支持力設計法（打ち込み杭、埋め込み杭）を比較検討する。杭の設計を各基準ごとにプログラム化し、いくつかの試設計を行う。
- ii) 信頼性解析プログラムと上記の各プログラムをつなぎ、現行の設計法で設計された杭の鉛直支持力の信頼性を解析する。
- iii) 総合的な考察から目標信頼性を定め、コードキャリブレーションを行い部分係数を決定する。

2.2 杭の鉛直支持力算定法（手順 i）

たとえば「建築基礎構造物設計指針」（日本建築学会）では、載荷試験を行わない場合の打ち込み杭において

杭の鉛直支持力 R_U は

$$R_U = R_P + R_F$$

ここに、 R_P ：杭先端の極限抵抗

R_F ：杭周面の極限摩擦抵抗

・先端支持力

$$R_P = 30 \bar{N} A_P \quad (\text{砂質土、砂礫土の場合})$$

ここに、 $\bar{N}$ ：杭先端から下に $1d$ 、上に $4d$ の範囲の N 値の平均値

A_P ：杭先端面積

・周面摩擦

$$R_F = \psi \sum \tau H$$

ここに、 ψ ：杭周長

τ ：杭周面の各層の摩擦力度

H ：各層の層厚

・負の周面摩擦を考慮するにあたり以下の条件を満足しなければならない。

$$\frac{P + P_{FN}}{a_p} \leq sf, \quad P + P_{FN} \leq \frac{R_P + R_F}{1.2}$$

ここに、 P ：杭頭に作用する長期荷重

P_{FN} ：中立点に生じる最大軸力

a_p ：杭の実断面積

sf ：杭材料の短期許容応力度

R_P ：極限支持力あるいは、

基準支持力時の杭先端支持力

R_F ：正の極限摩擦

2.3 信頼性解析（手順 ii）

基本変数 $\bar{X} = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ 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 $f = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) = 0$ と写像される。

Z 空間において破損面と原点間の距離 β は、

$$\beta = \min_{z \in \partial \omega} \left(\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$

設計点は、 $(\beta\alpha_1, \beta\alpha_2, \dots, \beta\alpha_n)$ の座標値を持ち、 α_i は

$$\alpha_i = - \left[\sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial Z_k} (\beta \bar{\alpha})^2 \right]^{-\frac{1}{2}} \frac{\partial f}{\partial Z_i} (\beta \bar{\alpha})$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

また、逆写像を用いると

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

これらによって得られる設計は、 β の安全性指標を持ち、また信頼度 $\Phi = 1 - \Phi(-\beta)$ を持つ。 Φ が許容信頼度ならば、部分係数は

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

で表される。 x_{di} は設計計算の設計値であり、

x_{spi} は、抵抗係数 X_i の規定値である。ところで、本研究で対象としている杭の設計の性能関数は次のように書ける。

$$R_u = \delta_P R_P + \delta_F R_F$$

$$S = S_D + S_L (+S_E)$$

$$Z = R_u - S$$

ここに、 δ_P と δ_F は、それぞれ先端及び周面の支持力算定に関する不確実性であり、 S_D 、 S_L 、 S_E はそれぞれ、死荷重、活荷重、地震荷重である。

土の空間的ばらつきを杭周面や、根入れ部のある範囲について積分するとその分散は減少する。これは、分散関数 Γ (Vanmarche, 1977) により表される。すなわち $\sigma_{Design}^2 = \sigma^2 \Gamma^2(\Delta x)$ として用いられ、 $\Gamma^2(\Delta x) = \left(\frac{a}{\Delta x} \right)^2 \left[2 \left(\frac{\Delta x}{a} - 1 + e^{-\Delta x/a} \right) \right]$ で表される。また、 a は C_u の鉛直方向の相関を表し、 $z = 0.6 \sim 1.4 \text{ m}$ の範囲にある。ここでは、 $a = 1.0 \text{ m}$ とした。 Δx は杭長を表している。

今回の信頼性解析の条件として計算で設定した各条件を1)～4)に示す。

なお、結果については講演時に譲る。

1) 杭の種類

杭種	設定Case	
	杭径 (mm)	杭長 (m)
打ち込み杭	400, 500, 600	10, 30, 50
埋め込み杭	600, 800, 1000	10, 30, 50

2) 荷重の組み合わせ

本研究ではRC造5F程度を想定します。

$S = \text{死荷重 (D)} + \text{活荷重 (L)} + \text{地震荷重 (E)}$

長期：平均値の割合 ($F_S = 3.0$)

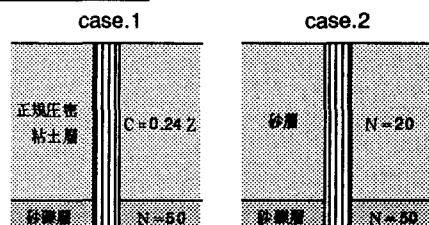
$D(1.0) + L(0.15)$

短期：平均値の割合 ($F_S = 2.0$)

$D(1.0) + L(0.15) + E(0.5(D+L))$ (注)

注：この値が対数正規分布の99%超過点と仮定し、変動係数を0.8として平均値を求める。

3) 想定する地盤



4) 確率変数

	平均	標準偏差	分布形
δ_P	0.75	0.50	NORMAL
$\bar{N}$	50.0	$50.0 \times 0.4 \times I^*$	NORMAL
δ_S	1.0	0.40	NORMAL
N	20.0	$20.0 \times 0.4 \times I^*$	NORMAL
S_D	S_D	0.10	NORMAL
S_L	S_L	0.30	NORMAL
S_E	S_E	0.80	Log-NOR

I^* : 分散関数 (Vanmarche, 1977)

参考文献

- 1) 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
- 2) 星谷勝/石井清：構造物の信頼性解析/1986