

杭の水平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 ○伊庭 英樹
岐阜大学工学部 正会員 本城 勇介

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、「確率に基づいた限界状態設計法」と呼ばれている。そこで、この「確率に基づいた限界状態設計法」による設計基準の見直しのため、現行の設計法で設計された杭の水平支持力に関する設計法の信頼性を解析し、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持っているかを把握する。この結果に基づき、これを限界状態設計法の format で書き換えると、どのような部分係数を取るかを求める。

2. 研究方法

2. 1 手順

- (1) 林-Chang モデルのプログラム作成。
- (2) 土木研究所データにより、水平地盤反力ばね等の不確実性を決める。
- (3) 地震力などの外力を設定し、信頼性解析を行う。
- (4) コードキャリブレーション作業を行う
- (5) 総合的な考察を行う。

2. 2 杭の水平支持力算定

一般的には、計算が容易で適切な定数を与えることができさえすれば、地盤の非線形挙動をも包含し、実際の挙動を推定できる林-Chang の方法が道路橋示方書で使われている。林-Chang の方法は、杭に及ぼす地盤反力 p 、地表から x なる深さの杭の変位量 y 、地盤反力係数 k_H の間に

$$p = k_H y \quad (\text{図-1})$$

なる関係があると仮定して、杭の弾性方程式

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -p = -k_H y$$

を解いたものである。

本研究では、この方程式を与えられた境界条件について変位法により解き、設計に用いた。

この解は次式で与えられる

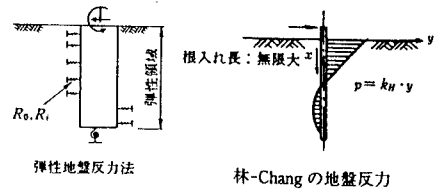
$$y = y(x; k, D, EI) = y(x; \beta)$$

ここに $\beta = (Dk/4EI)^{\frac{1}{4}}$

k : 横方向地盤反力係数

D : 杭径

EI : 杭の曲げ剛性

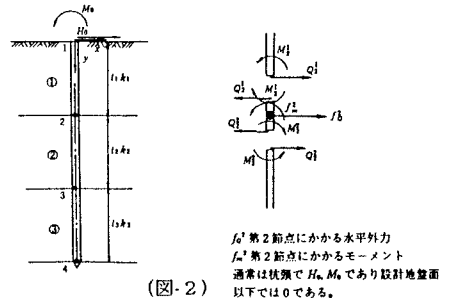


(図-1)

2. 3 杭基礎の設計計算法

(弾性床上梁部材の剛性マトリクス計算法) 変位法では、次の手順に従って問題を解く。

- (1) 杭部材を n 個の要素に分割する。
- (2) 各要素の節点における曲げモーメントとせん断力、軸力 (杭頭に K_v を考慮し、各部材の軸力は考えない) を未知数としたときの杭剛性、地盤盤剛性との関係式を考える。
- (3) 各節点での曲げモーメントとせん断力の釣り合い関係から、連立方程式を導く。(各部材要素の剛性マトリクスを足しあわせる)
- (4) この連立方程式を解くことにより、各節点力をもとめる。
- (5) 任意点での変位、断面力が求まる。



(図-2)

2. 4 信頼性解析

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 $g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0$ は標準正規空間 $f(z_1, z_2, \dots, z_n) = 0$ に写像される。Z 空間において破損面と原点間の最短距離 β は

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

設計点 (原点に最も近い破損面上の点) は、 $(\beta\alpha_1, \beta\alpha_2, \dots, \beta\alpha_n)$ の座標値を持ち、 α_i は、

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

$$i = 1, 2, 3, \dots, n$$

また、逆写像を用いると

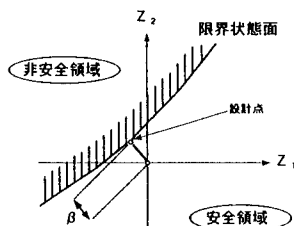
$$x_i^* = F_{x_i}^{-1}(\Phi(z_i^*)) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

これらにより得られる設計は β の安全指標を持ち、信頼度 $\mathfrak{R} = 1 - \Phi(-\beta)$ を持つ。 $\mathfrak{R}$ が構造物の許容信頼度ならば、部分係数は、

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

で表わされる。ここで、 $\Phi(-\beta) = p_f$ は破損確

率であり、 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



HasoferとLindの信頼性指標 β

2. 5 荷重の設定

5階のRC建物を想定した荷重を考慮します。

(1) 荷重想定法

1) 積載荷重の不確実性については「建築物荷重指針」に準拠する。

2) RCフレーム (壁ではない) 構造を仮定。
1自由度系に、簡易式で置き換える。ベース・シエア Q は次式より求まる

$$Q = D_s \cdot W \cdot A \cdot SA(T, h) / ag$$

Q : 基礎の水平力 (ベース・シエア)

D_s : 塑性率 (構造特性係数)

W : 建物の重量

A : 高さ方向のせん断力

$SA(T, h)$: 地盤の平均応答スペクトル

a : 1次振動系 (モード) に依存する係数

g : 重力加速度

地盤と構造物の地震時相互作用を簡易的に検討する方法がないので、1階レベルで作用する水平力を、そのまま基礎に作用する水平力と仮定する。

3) 加速度応答スペクトルの算定では、基礎最大加速度 $a_{\max}$ (地域別) と、地盤の増幅特性 f_a が不確実性の高いファクター。壇・神田 (1986) の不確実性の分布と統計量を信頼性解析で用いる。

4) 個々の基礎への V , H , M の配分は、典型的なRC建築物設計例に従って決定し、 V , H , M は完全相関として解析する。

5) 塑性率 D_s は、RC造では0.25で、S造では0.5。 σ_{cr} のばらつきは対数変動係数で0.4くらい。モデル化誤差は0.2程度。

(2) 地盤のばらつき

土木研究所資料 2919 があり、これを利用する。又、Vanmarcke (1977) の方法により、体積平均を取ることに依るばらつきの低減を測る。

なお、詳細及び結果については講演時に譲る。

【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所構造橋梁部基礎研究室「土木研究所資料(単抗の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究)」
- 2) 日本道路協会「杭基礎設計便覧」
- 3) 日本道路協会「道路協示方書」
- 4) P・トフークリステンセン・/M・J・ペイカー: 構造信頼性 理論と応用 / 1986
- 5) 建築物荷重指針・同解説 / 1996