

データベースに基づいた杭の使用限界状態照査に用いる鉛直バネ定数の推定

岐阜大学 学生員 高木 克典 相内 美紀 正員 本城 勇介
 武蔵工業大学 正員 吉田 郁政
 東電設計(株) 正員 鈴木 修一

1. はじめに

信頼性設計法では、特に設計計算モデルの不確実性を定量的に把握することが重要である。たとえば Paikowsky ら (2002) は、AASHTO の杭の設計法に関する研究で打ち込み杭に関する非常に大きなデータベースを基に研究を進めて、この結果を基に、杭打ち公式や動的観測に基づく種々の支持力推定法を比較し、それぞれの精度を詳細に検討している。わが国においては岡原ら(1991)の研究が知られている。

本研究では、土木研究所を中心に収集された杭のデータベースを元に、現在著者らも参加して進めている、AASHTO 橋梁基礎の使用限界状態に関する、コード・キャリブレーションに用いる情報を得る。このデータベースの一部には合計133本の鉛直載荷試験に関するデータがある。そして、バネ定数に関する解析を行う。

2 データベースの概要

本研究で用いるデータベースは、土木研究所を中心に最近新たに収集されつつある、杭基礎に関する鉛直載荷試験の押し込み杭に関するデータである。このデータベースの中には現時点で支持杭に関して116本、摩擦杭に関しては17本、合計133本の杭のデータがある。しかし、データのスクリーニングを行った結果、最終的には極限支持力を明確に求めることのできる、63本の杭のデータを用いることとした。統計解析を進める中で、7本の場所打ち杭のデータは他の56本のデータと大きく挙動が異なることがわかった。

3 杭のバネ定数の推定

3.1 荷重～変位曲線へのワイブル曲線のあてはめ

杭の載荷試験の荷重～変位関係から荷重～変位のモデル曲線を検討する。今回は以下に示すワイブル曲線を用いた。

$$\frac{R}{R_u} = 1 - \exp\left\{-\left[\frac{S/D}{S_y/D}\right]^m\right\} \quad (3.1)$$

ここに、R: 杭頭荷重、 R_u : 極限支持力、S: 杭頭沈下量、 S_y : 降伏沈下量、D: 杭径、m: 変位指数

そして、式(3.1)のワイブル曲線を用いて実測のバネ定数 $K_{v0.33}$ を求める。原点と $R/R_u (= 0.33)$ についての傾きの割線勾配 $K_{v0.33}$ を求め(図-1)、この値は無次元なので道路橋示方書のパネ定数と比較するためには、これに R_u/D を乗じて $K_{v0.33}$ とする。

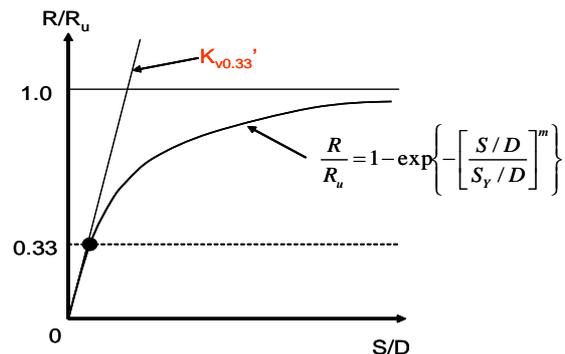


図-1 ワイブル分布曲線によるバネ定数の検討

3.2 $K_{v0.33}$ を確定するための重回帰分析

杭のバネ定数の推定では、重回帰分析を用いて推定を行う。今回杭のバネ定数の推定に用いる説明変数の候補は次の通りである。

- (a) 周面N値、(b) 先端N値、(c) 支持形式(支持杭、摩擦杭)
- (d) 杭種(鋼管杭、PC・PHC杭、RC杭、SC杭、H鋼杭、場所打ち杭)
- (e) 施工方法(打ち込み、中掘り、プレボーリング、ベント、リバース)
- (f) 杭長(m)、(g) 杭径(m)、(h) 杭体の弾性係数(MN/m)
- (i) 細長比(杭長/杭径)、(j) 杭断面積(m^2)
- (k) 周面土質(粗粒土、細粒土、混合)
- (l) 弾性係数×杭断面積 EA(MN)
- (m) 弾性係数×杭断面積/杭長 EA/L(MN/m)

説明変数は以上のものを使い、そして、従属変数はバネ定数 $K_{v0.33}$ とする。

4 解析結果と考察

(a)～(m)の13の項目について、種々の重回帰分析モデルを作成し、AICを用いて最適なモデルを探した。結果的に表-1に示す3つのモデルに絞り込んだ。

キーワード：杭の鉛直バネ定数、使用限界状態、ワイブル曲線

連絡先：岐阜市柳戸1-1、058-293-2390(学科事務室)、fax058-230-1891(学科事務室)

表-1 重回帰分析の結果検討したモデル

モデル番号	説明変数	R ²	AIC
1	周面土質,EA,杭長,杭径	0.5017	484.7
2	周面土質,EA/L	0.3303	495.2
3	周面土質,EA,杭長	0.4755	485.2

AICが最小という点では、表-1のモデル1が最適となる。しかし、物理的意味を考え、より最適なモデルを検討した。モデル2はもっとも物理的な意味を考えたモデルで、杭のバネそのものを表している。しかし、決定係数R²,AICどちらもモデル1よりかなり劣る。よって、モデル3を妥当なモデルとする。このとき得られた式を(4.1)に示す。

$$K_{v,0.33} = 182.3 + 9.7 \times \text{粗粒土} + 107.9 \times \text{細粒土} + 0.04 \times EA(MN) - 4.9 \times \text{杭長}(m) \quad (4.1)$$

このモデルにおいて残差プロットを行った結果、残差の分散の不均一性が確認された(図-2)。分散が不均一というのは、値が大きくなるにつれて残差も大きくなるという状態である。分散が不均一ということは推定される係数は精度を欠くものといえる。

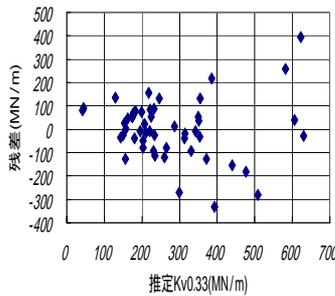


図-2 K_{v,0.33}(MN/m)の推定モデルについての残差プロット

そこで、両辺を残差のグラフにおいて残差がEAに比例して大きくなっていることに着目して、これを補正するため、式(4.1)をEAで除すると、

$$\frac{k_v}{EA} = \frac{1}{EA} a_0 + \frac{\text{粗粒土}}{EA} a_1 + \frac{\text{細粒土}}{EA} a_2 + a_3 + \frac{\text{杭長}}{EA} a_4 \quad (4.2)$$

そして、式(4.2)について重回帰分析をする。重回帰分析の結果、得られる1/EAの係数がa₀、粗粒土/EAの係数がa₁、細粒土/EAの係数がa₂、切片はa₃、杭長/EAの係数がa₄となる。この結果、分散の不均一性は除去された(図-3)。

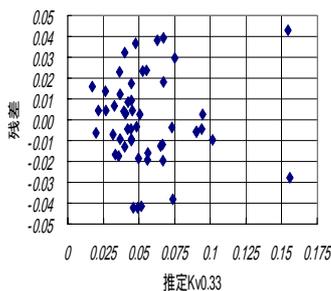


図-3 分散不均一の除去を行ったものの残差プロット

よって、このモデルを妥当なモデル式とする(式4.3)。

$$k_{v,0.33}(MN/m) = 225.6 + 15.9 \times \text{粗粒土} + 81.2 \times \text{細粒土} + 0.0357 \times EA(MN) - 5.24 \times \text{杭長}(m) \quad (4.3)$$

図-4に残差のばらつきを見るために、実測K_{v,0.33}と推定K_{v,0.33}の残差のヒストグラムを示す。

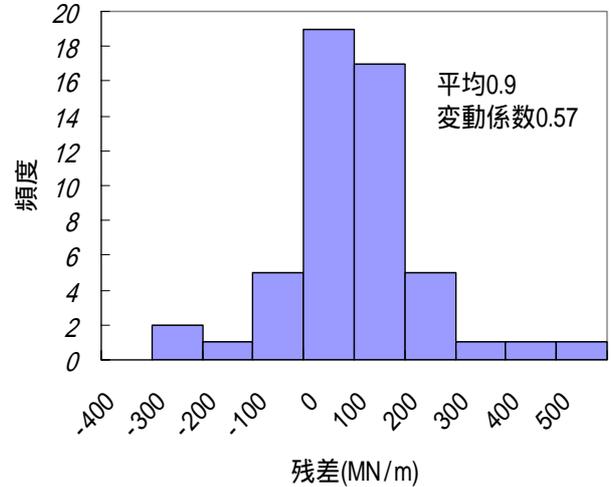


図-4 実測K_{v,0.33}とEAを考慮した式(4.3)による推定K_{v,0.33}との残差のヒストグラム

5 まとめ

K_{v,0.33}のモデルは式(4.3)のようになり、これを用いて信頼性解析を行っていく。そのときの不確実性として、変動係数が0.57という結果となった。ただし、今回の研究では場所打ち杭のデータを除いた結果なので、今後すべての杭データの解析を行っていく必要がある。

参考文献

- 1) Paikowsky, S. et al. (2002) : Load and resistance factor design for deep foundations : final report, NCHRP 24-17, 2002.
- 2) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説 下部構造変,pp.373-374,2002年
- 3) 地盤工学会:地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法・同解説-第一回改訂版,pp.19-47,2002年
- 4) 岡原 美知夫,高木 章次,中谷 昌一,木村 嘉富: 土木研究所資料 単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究,pp-23-31,1991年
- 5) 日本建築学会:建築基礎構造設計指針,2002年
- 6) S.チャタジー・B プライス 佐和隆光・加納悟 訳: 重回帰分析の実際,pp-21-57,79-111,1990年
- 7) 鈴木 義一郎: 情報量基準による統計学入門,pp-127-130,1996年