

杭基礎の終局耐力に関する信頼性評価の試み

武蔵工業大学 学生会員 ○柴 広和

武蔵工業大学 正会員 吉田 郁政

東電設計㈱ 正会員 鈴木 修一

岐阜大学 正会員 本城 勇介

1. はじめに

各種設計基準において限界状態設計法への移行が進められており、限界状態のより正確な、定量的な評価の重要性が高まっている。杭基礎に関して載荷試験が多く行われており、それらの一部は資料として公開されている^{1),2)}。本研究では、それらの資料から試験結果の整理を行い、設計において評価される杭の終局耐力の信頼性評価を試みた。

2. 載荷試験による終局耐力と設計で推定される終局耐力

載荷試験によって得られた荷重－変位関係から終局耐力を定量的に推定する。杭の荷重－変位関係のモデル化としてワイブル分布曲線が提案されている。

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

$$J_1 = \sum_{i=1}^n \left(R_i - R_u + R_u \times \exp \left\{ - \left[\frac{S_i/D}{S_y/D} \right]^m \right\} \right)^2 \quad (2), \quad J_2 = \sum_{i=1}^n \left(S_i - S_y \left\{ - \ln \left(1 - \frac{R_i}{R_u} \right) \right\}^{\frac{1}{m}} \right)^2 \quad (3)$$

ここで、 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 ：変位指数である。載荷試験データによる荷重－変位関係から最小二乗法を用いて極限支持力 R_u 、降伏沈下量 S_y 、変位指数 m を推定した。式 (2) は支持力に関する、式 (3) は沈下量に関するモデル値と試験値の残差二乗和の式である。この最小化には遺伝的アルゴリズム (GA) を用いることとした。残差二乗和の算定では載荷試験において荷重除荷される部分を取り除いたデータを使用した。GA の条件として個体数 300 個、世代数 300 世代とした。

押込み試験 74 個の荷重－変位関係について最小二乗法により上記 3 個のパラメタを求めた。図-1 の CASE1 は式 (2) を、CASE2 は式 (3) をもとに求めた結果の一例であり、非常に良好に一致している。他のケースについても全体的には CASE1 と 2 の一致度は良好であるが、最大載荷荷重が小さい試験の場合には推定される終局耐力が大きく異なる場合があった。図-2 は、載荷試験における最大載荷荷重と推定された終局耐力の比率を求めてヒストグラムにしたものである。この比率が小さいケースは外挿により終局耐力を推定していることになるため、データとしての信頼性に欠ける。そのため、以下の検討では CASE1, 2 共に比率 0.8 から 1.0 までの区間に存在する 31 個のデータを使用することとした。

一方、設計における杭の終局耐力は杭の種類や施工方法に応じた極限先端支持力および極限周面摩擦力の和として以下の式で表される³⁾。

$$R_a = q_d A + U \sum L_i f_i \quad (4)$$

ここで、 A ：先端断面積 (m^2)、 U ：杭の周長 (m)、 q_d ：杭先端における単位面積あたりの極限支持力 (kN/m^2)、 L_i ：周面摩擦力を考慮する層の層厚 (m)、 f_i ：周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦力 (kN/m^2) である。

キーワード：杭の載荷試験、杭基礎、信頼性評価、終局耐力

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学 都市基盤工学専攻 TEL.03-3703-3111

4. 終局耐力推定の信頼性

設計式で推定する終局耐力と試験による終局耐力の比率について、杭長、杭径、平均 N 値との関係を調べた。例として杭長と終局耐力の比率の関係を図-3 に示す。杭長が短い部分ではばらつきが大きく、長くなるにつれてばらつきが小さくなる傾向があるものの、その平均に関しては 1.0 の周りに分布しており、明確な傾向は見られない。杭径、平均 N 値についても同様の整理を行ったが、傾向は見られなかった。表-1 に、それぞれの工法における終局耐力の比率の平均値と標準偏差を示す。中掘り工法の場合は比率が 1.0 を上回っており、やや安全側に、打込み工法の場合は 1.0 を下回っており危険側であることがわかる。場所打ち、プレボーリングについてはデータ数が少ないため検討対象外とした。

道路橋示方書では安全率として 2 から 4 程度が示されている。安全率 2.0, 3.0, 4.0 の場合について打込み工法と中掘り工法を対象に信頼性指標 β を求め、表-1 に示す。星谷らによると一般の構造物（建物、道路橋）の許容信頼性指標 β は 2.0 から 3.5 程度、基礎は 2.0 から 3.0 程度であり⁴⁾、打ち込み、安全率 2.0 の場合を除けばおよそ整合した結果となっていることがわかる。

参考文献

1) 岡原美知夫, 高木章次, 中谷昌一, 木村嘉富：単杭の支持力と柱状体基礎の設計法に関する研究, 土木研究所資料, 第 2919 号, 建設省土木研究所, 1991.

2) 福井次郎, 西谷雅弘：杭の支持力, 変形特性に関する研究, 土木研究所資料, 第 3836 号, (独)土木研究所, 2001.

3) 社団法人日本道路橋会：道路橋示方書, pp.355-362, 平成 14 年 3 月

4) 星谷 勝, 石井 清：構造物の信頼性設計法, 鹿島出版, p144, 1986.5

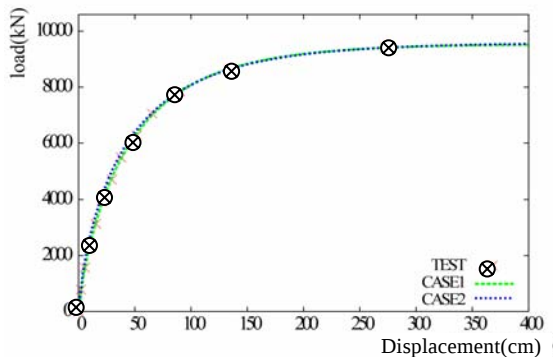


図-1 フィッティングが良好な例

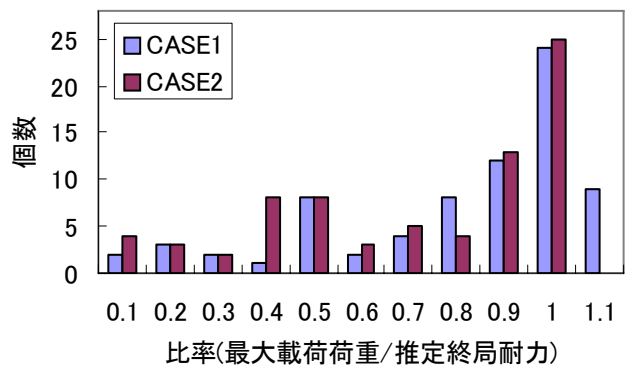


図-2 基準化した最大載荷荷重の分布

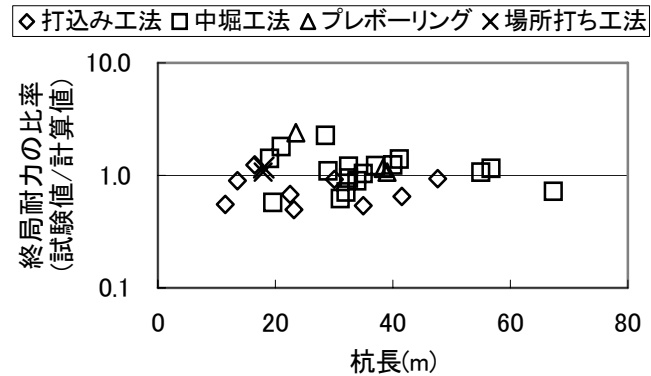


図-3 杭長と終局耐力の比率の関係

表-1 終局耐力の比率の平均と標準偏差

施工方法	平均値	標準偏差	データ数	信頼性指標 β		
				$Sf=2.0$	$Sf=3.0$	$Sf=4.0$
打込み工法	0.767	0.245	9	1.214	2.512	3.43
中掘り工法	1.141	0.430	17	2.084	3.197	3.99
プレボーリング	1.542	0.737	3	—	—	—
場所打ち工法	1.119	0.077	2	—	—	—

ここで Sf : 安全率