

杭の水平載荷試験データに基づく水平地盤反力係数の逆解析

岐阜大学工学部 学生 Nadzrin

Yulvi Zaika

正員 本城勇介

Gyaneswor Pokharel

1. はじめに

杭基礎の設計において変形や破壊の予測精度への要求がますます高まっている。本研究では、既存の多くの杭の水平載荷試験結果を用いて逆解析を行い、水平方向地盤反力係数を推定する。またその信頼性を評価し、N 値との相関関数を調べ、設計のための資料とする。最終的には逆解析を行い、より精度の高い水平方向地盤反力係数を推定することで、水平荷重を受ける杭の変位予測精度を高めることである。

2. 水平地盤反力係数の逆解析

本研究の手順を説明する。まず、最初に、杭の水平載荷試験に関する文献調査を行い、このデータベース化を行う。地盤反力係数としては、双曲型を考え、式 $k_H = \frac{1}{2}k_0y^{-1/2}$ により推定する。ここで、 k_H ：杭の設計用地盤反力係数； k_0 ：設計地盤面の変位量が基準変位量（1cm）である時の k_H 値； y ：杭の水平変位量。杭の解析には Smith と Griffiths(1989)によるプログラムを作成した。その後、逆解析を実行する。

2. 1 逆解析の解法：逆解析とは、設定されたモデルのパラメータ値を観測された実際の挙動から推定することである。そのモデルパラメータと観測値を推定するためには、逆解析の解法として、最尤法あるいは最小二乗法を採用する。評価関数は、 $\min_{\theta} J_1 = (u - f(k_0))^T V_e^{-1} (u - f(k_0))$ である。ここで、 u ：計測値ベクトル；

k_0 ： k_H のパラメータ； $f(k_0)$ ：計算値ベクトル。 V_e は、 $n \times n$ 行列で、誤差 ε の分散・共分散行列であり、重み付け行列として、観測値の信頼度に基づいて設定される。

2. 2 水平載荷試験データの事例：本研究で用いた杭の水平載荷試験のデータベースの事例の一つをあげると、羽田空港の中央南北連絡橋における水平載荷試験により、鋼管杭の設計をするための事例である。試験杭は $\phi=1.0\text{m}$ 、 $t=0.014\text{m}$ 、 $L=60\text{m}$ の鋼管杭に歪ゲージを12断面と、杭頭部に変位計、傾斜計(固定式)を取り付け、正負交番荷重により最大水平荷重(700kN)まで試験を行った。土層構成は、盛土、粘土、砂、砂礫、シルトから含めており、N 値と C 値の平均値は1から50までである。交番水平載荷試験のデータの結果としては、基準水平変位10mmに相当する水平荷重420kNに対する杭体の曲げモーメント分布を図1が得られる。港湾基準によるC型地盤の推定値とChangの方法による推定値を実験結果と比較しているが、両者の地中部最大曲げモーメントはほぼ実測値と一致している。このときの逆算K値は、Changの方法で $K_0=280\text{kN/m}^3$ で、港湾の方法で $K_c=2.1\text{kN/m}^2$ 。

このような既存の数多くの水平載荷試験データを収集して、逆解析を行った。最終的には、総合的な考察を行い、地盤反力係数とN 値の関係を求めた。

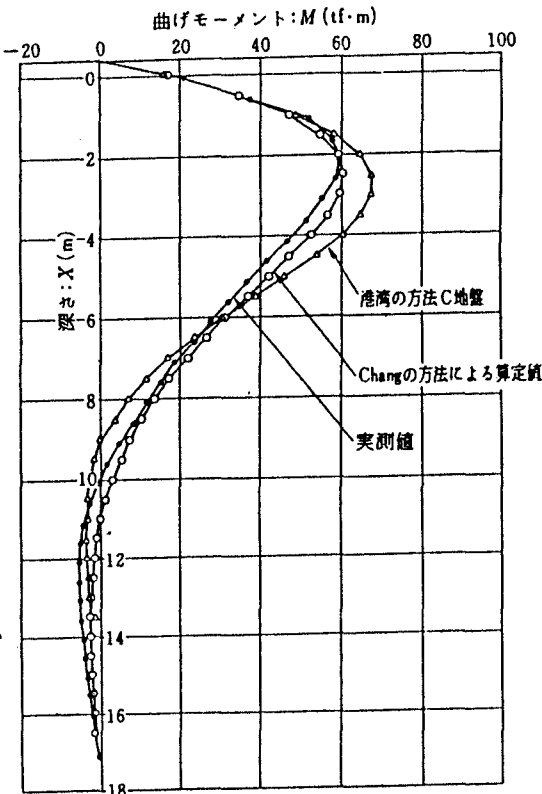


図1 $K_0=3.07\text{kgf/cm}^3$
 $K_c=2.1\text{kgf/cm}^2$

2. 3 解析結果：

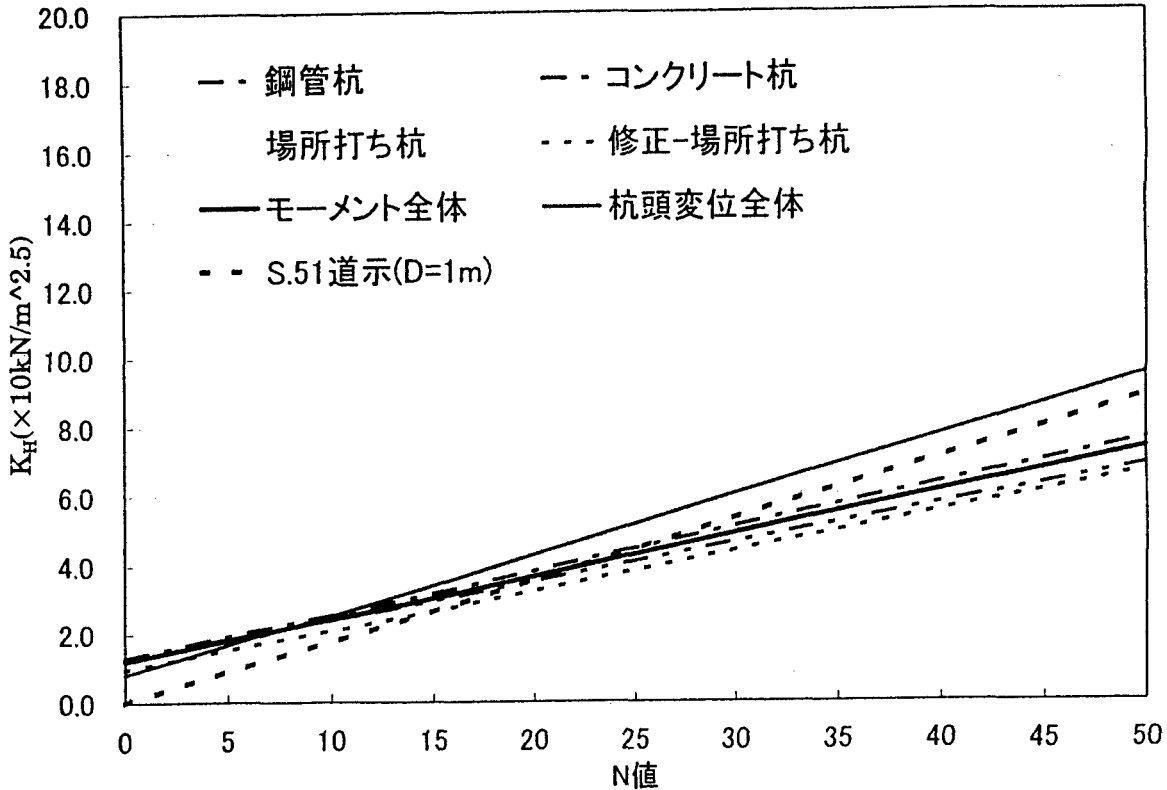


図2 回帰分析結果：平均値のみの比較

図2のようであり、これより次のことが言える。

1. 回帰式は、鋼管杭、コンクリート杭、場所打ち杭のすべてにおいて、非常によく一致した。
2. 水平地盤反力係数を推定する範囲は、杭の横抵抗に支配的な範囲で、これを3等分した。いずれのケースでも、第一層でN値に比較して大きな k_H が推定される。この理由の一つは、杭頭において変位が大きく、従って比較的大きな変位のデータまでを用いて k_H を推定することになったためと思われる。この傾向は特にN値の小さい土層において顕著である。
3. k_H の特に第2層と第3層の推定値の間に、負の相関の高いものがあり、両者の推定値の間にトレードオフ関係があることを示している。
4. 推定標準偏差の大きい k_H は最下層の土層に多い。これは最下層では杭の変位が小さく、 k_H の値の変化に対して逆解析において、最小化しようとする関数の感度が低く、信頼性の低い推定値が得られていることを意味している。
5. 曲げモーメントにより求めた推定値の回帰直線と杭頭変位により求めた推定値の回帰直線は、ほぼ一致した。
6. 道路橋示方書(S51)の提案式と、杭頭変位に基づき求めた推定値の回帰直線は同じ傾きである。
7. 道路橋示方書(S51)の提案式は、本研究の提案式と比べて、N値が小さい側で k_H を過小に、大きい側で k_H を過大に評価している。すなわち、 k_H はN値に対して増加している。
8. k_H は杭径によって有意の変化を示さない。同様に異なる土質間でも有意な変化は示さなかった。

3 むすび

現在データ数を増やしながら解析を続けており、より詳細な結果は、発表時にゆずる。

参考文献：

Smith, I.M and Griffiths Dv(1989): Programming the Finite Element Method, 2nd Edition, John Wiley and Sons; 日本港湾協会(1989): 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 1989; 日本道路協会(1976): 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編, 1976