

III-342

統計解析に基づいた静的支持力式決定法の提案

名古屋大学 工学部 学生員 菅井 径世
 名古屋大学 工学部 正会員 鈴木 壽
 名古屋大学 工学部 正会員 松尾 稔

1. はじめに 文献1)では載荷試験データに基づく極限支持力の推定法を提案した。しかし特に重要な構造物であるとき以外は、一般に載荷試験は実施されないで、極限支持力は静的支持力式によって算定される。実務設計で用いられている静的支持力式には、Terzaghi、Meyerhofの支持力理論に基づく道路橋式、港湾式、国鉄式、建築学会式などがある。これらの式はいずれも杭の支持力を、杭先端の抵抗力（先端支持力）と杭周面の摩擦抵抗力（周面摩擦力）との和として表している。しかし、多くの載荷試験では、これら2つの抵抗力を別々に測定することをしないので、各機関における杭の静的支持力式の精度は、先端支持力と周面摩擦力との和で議論され、しかもその精度はあまり高くないことが指摘されている。そこで、本報告ではその分離されていない載荷試験データを杭の先端支持力と周面摩擦力とに分離する方法を統計的手法を用いて提案する。

2. 新しい静的支持力式決定法の定式化 各機関の静的支持力式を一般化すると次式となる。

$$P_u = a_1 \bar{N}_p A_p + a_2 \sum \bar{N}_s l_s U + a_3 \sum \bar{N}_c l_c U \quad (1)$$

ここに $\bar{N}$ 、 l はそれぞれ各層の平均 N 値および層厚を、また添字 p 、 s 、 c は支持層、砂層、粘土層を意味している。。静的支持力式を決定するということは式(1)中の係数 a_1 、 a_2 、 a_3 を決定することに他ならない。すなわち次式を最小化すればよい。

$$\begin{aligned} \text{minimize} \\ S &= \sum_{i=1}^n (P_{ui} - \hat{P}_{ui})^2 \\ &= \sum_{i=1}^n (P_{ui} - \hat{a}_1 \bar{N}_{pi} A_{pi} - \hat{a}_2 \sum_{j=1}^m \bar{N}_{sij} U_i - \hat{a}_3 \sum_{k=1}^m \bar{N}_{cik} U_i)^2 \end{aligned} \quad (2)$$

しかし、式(2)における係数 $a_1 \sim a_3$ は物理的に以下の条件を満たさねばならない。

$$\begin{aligned} \text{subject to} \\ \hat{a}_1 \geq 0, \quad \hat{a}_2 \geq 0, \quad \hat{a}_3 \geq 0 \\ \hat{a}_3 - \hat{a}_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

すなわち、式(3)の線形不等式系による制約のもとで、式(2)の非線形な目的関数を最小化する非線形計画問題に帰着できる。

3. 数値解析例 2.で示した提案法は各機関で半経験的に決定された静的支持力式とは異なって、既存の載荷試験データを統計解析することによって合理的な静的支持力式を決定しようとするものである。以下に建築学会式による計算値とともに、この提案法による数値計算例を示す。

図-1(a)、(b)はそれぞれ提案法を建築学会式による計算値と実測値とを比較したものである。(a)の場合の残差の標準偏差は1863kNとなっており、(b)の場合よりも精度が高い。さらに注目すべきは、非線形問題として定式化した提案法によって算定された砂層および粘土層の摩擦係数(式(1)の a_2 、 a_3)がそれぞれ0.21と0.53となっており、各機関で定められている各係数値と

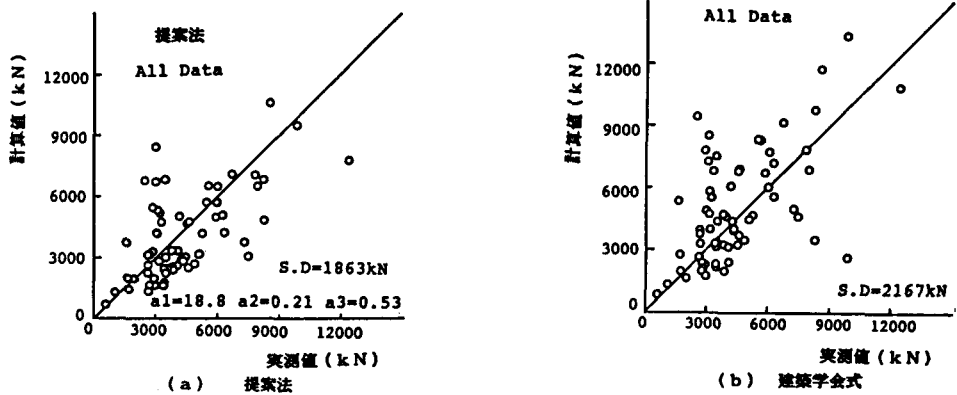


図-1 実測値と計算値の比較

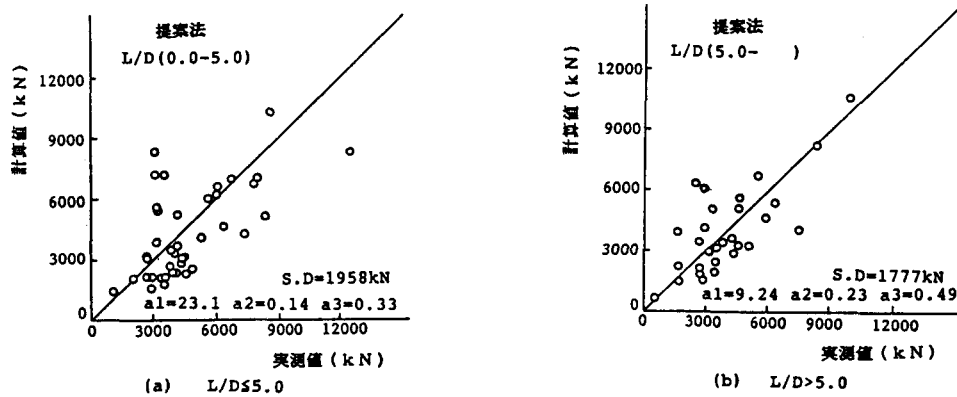


図-2 根入れ比別の実測値と提案法による計算値の比較

非常に近いことである。また図-2 (a)、(b) はそれぞれ、根入れ比別の実測値と計算値の比較を示しており、 $L/D \leq 5$ では建築学会式よりもわずかに、また、 $L/D > 5$ ではかなり提案法の精度の方が高くなっている。この場合に算定された砂層および粘土層の摩擦係数は $L/D \leq 5$ で 0.14 と 0.33 であり、 $L/D > 5$ で 0.23 と 0.49 である。図-1、図-2 から得られた砂層および粘土層の算出された摩擦係数の値を比較すると、非常にデータ依存型の統計解析であるにもかかわらず、いずれの値もあまり変動していないことがわかる。さらに砂層の摩擦係数は 0.21、0.14、0.23 とかなり良い一致を示しており、これは砂層の摩擦係数が N 値と強い相関にあることに裏付けられている。一方、粘土層の摩擦係数は砂層の場合と比較すると少し変動する傾向にあるが、N 値と粘土層の相関が弱い事を考慮すれば、当然の結果である。また式 (1) における a_1 (先端支持力に関する係数) は、図-1、図-2 からわかるように、それぞれ、18.1、21.3、9.24 とかなりバラついた値を示している。

4. おわりに 本報告では先端支持力と周面摩擦力とに分離されていない載荷試験データを統計的解析手法を用いてそれぞれ分離して評価する方法を提案した。この方法は非線形計画問題として定式化され、これまでの半経験的な静的支持力式とは異なって、より合理的な新しい静的支持力式を決定することができるものと考えられる。

参考文献 1) 松尾・鈴木・金：荷重～沈下量曲線と残留沈下量曲線を用いた杭の極限支持力推定法の提案、第22回土質工学研究発表会講演集、1987 2) 日本建築学会：建築基礎構造設計基準・同解説、1974 3) 土質工学会：クイの鉛直載荷試験基準・同解説、1977