

III-341

杭基礎の許容鉛直支持力の合理的な算定方法の提案

東日本旅客鉄道株式会社	海野 隆哉
○鉄道総合技術研究所	村田 修
(前)国鉄 構造物設計事務所	青木 一二三

1. まえがき

杭を同一場所で同一設計(杭径、杭長等)で施工したとしても、施工状態等により、そのつど支持力性は異なると考えられ、また、鉛直支持力をごく簡単な土質定数(N値、qu値等)のみにより推定していることから実際の値は、推定値のまわりに変動する確率量となる。

これに対して、従来、杭の許容鉛直支持力を算定する場合、建築、道路、鉄道等対象構造物ごとに各機関で提案がなされているが、いずれも基本的には、周面支持力と先端支持力を土質定数により求め、荷重状態に応じ一定の安全率で除すという形式をとっている。

しかし、周面支持力、先端支持力と土質定数との相関式の信頼性の程度は異なり、全体の支持力に占める各々の割合も異なると考えられる。

そこで、載荷試験データを統計的に処理することにより、(1)式に示すように後述する最大周面支持力、基準先端支持力に別々の安全係数を乗じて求める許容鉛直支持力算定式を提案している。³⁾

$$Q_a = \alpha_p Q_p + \alpha_r Q_f \quad \text{----- (1)}$$

Q_a : 許容鉛直支持力 (tf)

Q_p : 基準先端支持力 (tf)

Q_f : 最大周面支持力 (tf)

α_p, α_r : 安全係数

2. 提案算定式の考え方

提案している方法は、多数の載荷試験データがあれば、あらゆる杭種に対して適用可能な方法と考えられるが、次の様な手順で行う。

1) 載荷試験データから、杭頭沈下量が杭径の10%沈下時の支持力を基準支持力 Q_u 、そのときの先端支持力を基準先端支持力 Q_p 、それまでの最大周面支持力を Q_f とし、 Q_p 、 Q_f と土質定数との相関式を作成する。

ここで、杭頭沈下量が、杭径の10%を基準としたのは、先端支持力に関して極限值が得られている例は少なく、その程度の沈下量までの載荷試験データが比較的多く、かつ実用上からも限界と考えられる沈下量ということを考慮したものである。

2) 1)で述べた相関式により、土質定数から Q_p 、 Q_f を求め、さらに、 α_p 、 α_r の値の1つの組合せに対し(2)式により計算支持力 R_{ac} を計算する。

$$R_{ac} = \alpha_p Q_p + \alpha_r Q_f \quad \text{----- (2)}$$

3) 対応する載荷試験のデータから、 R_{ac} の値が杭頭に作用した場合に、降伏支持力、基準支持力、上部工等から定まる許容沈下量を超す確率を求める。

例えば、 $R_{ac} \geq Q_u$ となる確率は、模式的には図-1に示す斜線部の面積となる。

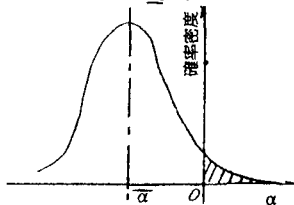


図-1 α の分布(模式図)

具体的には、載荷試験のデータを用い、 $\alpha = 1.0 g \frac{R_{ac}}{Q_u}$ の値から、 α が正規分布になると仮定して、平均値 $\bar{\alpha}$ 、標準偏差 σ_{α} の値を求め、 $\alpha \geq 0$ となる確率を求める。

比較のため、従来の国鉄の設計標準⁹⁾による場合と同様にして、各々の超過する確率を求め、提案式の場合と比較することにより、 α_p 、 α_r の妥当な値の組合せを求める。

4) さらに、荷重（死荷重、列車荷重等）も確率量として取扱い、信頼性理論で用いる安全性指標 β により提案式の安全性評価を行い、 α_b 、 α_r の値の組合せの妥当性を検証する。

3. 計算例

場所打ち杭の場合については、文献²⁾で報告しており、その後載荷試験データ数を追加して(計24例)検討した結果、死荷重状態の場合、 $\alpha_p=0.6$ 、 $\alpha_t=0.3$ と決定した。この場合、杭頭沈下量は平均値で0.7 cm、95%信頼限界値で2 cm程度となり、鉄道構造物の基礎として問題ないことを確認している。

以下には、打ち込み杭の場合について、計算した例を示す。

使用した載荷試験データは、20例である。

これらのデータから、土質定数と基準先端支持力、周面支持力の相関式は以下に示すものとした。

$$Q_p = q_p A_p \quad \text{---} \quad (3)$$

q_p : 基準先端支持力度 (tf/m²)

砂質土 $q_p = 30 \text{ N} \leq 1000 \text{ tf/m}^2$

粘性土 $q_p = 4.5 q_u \leq 2000 \text{ tf/m}^2$

A_p : 杭先端面積 (m^2)

$$Qf = \psi \sum f_i l_i$$

 ψ : 杭の周長 (m)、 l_i : 各層の厚さ (m)
$$f_i: \text{各層の最大周面支持力度 (tf/m}^2\text{)} \quad \text{砂質土} \quad f_i = 0.5N \leq 20 \text{ tf/m}^2$$
粘性土 $f_i = C \text{ or } N \leq 15 \text{ tf/m}^2$

図-2、図-3に安全係数をパラメータとした計算支持力 R_{ac} に対する実測沈下量及び実測基準支持力に対する計算支持力の比率の分布の一例を示す。

これによれば、 $\alpha_o=0.4$ 、 $\alpha_r=0.4$ とした場合、平均沈下量は4.54 mm、95% 信頼値で14.8 mmとなる。

また、列車荷重と死荷重の比が0.4 の場合の安全性指標 β の計算例を図-4 に示す。

これらから、列車荷重載荷時に $\alpha_0 = 0.4$ 、 $\alpha_f = 0.4$ としても十分安全であることが分かる。

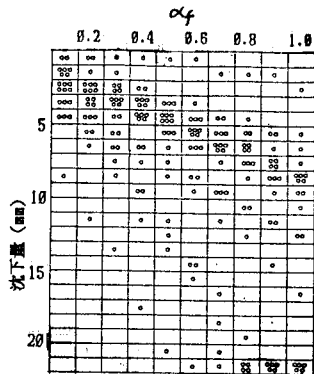


図-2 計算支持力に対する
実測沈下量の例
($\alpha_p = 0.4$)

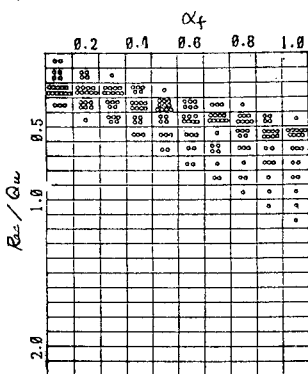


図-3 実測基準支持力に対する
計算支持力の比率の分布の例
($\alpha_g = 0.4$)

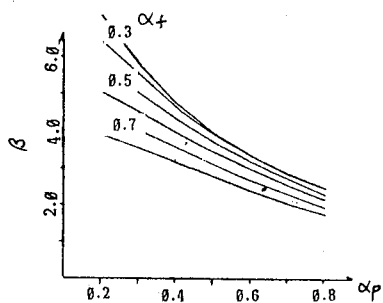


図-4 安全性指標 β の値

4. あとがき

以上述べた成果は、国鉄の新しい設計標準²⁾に取り入れられ、従来より合理的で経済的な設計が可能となった。

この方法による場合、処理する載荷試験データの質と量が問題となる。今回検討対象とした載荷試験例は20例程度であったが、より多くの杭の施工方法別による載荷試験データの蓄積及び解析によって許容鉛直支持力算定式を、より精度の高いものとして考えている。

(参考文献)

- 1) 日本鉄道施設協会「建造物設計標準 基礎構造物及び抗土圧構造物」、昭和49年6月
- 2) 日本鉄道施設協会「建造物設計標準 基礎構造物。抗土圧構造物」、昭和61年3月
- 3) 海野、村田他「場所打ち杭の安全評価」、第19回土質工学研究発表会、昭和59年6月
- 4) 土木学会編「構造物の安全性、信頼性」、昭和56年1月