

破碎性地盤における杭の先端応力-沈下特性について

九州大学大学院 学○澤田 繁治 フェロ・落合 英俊
九州大学大学院 正 安福 規之 正 大野 司郎

1. はじめに 粒子破碎の顕著な砂質地盤では、その破碎性に起因した杭基礎の過大な沈下や十分な支持力が発現しないといった問題が指摘され¹⁾、支持力特性の把握と支持力推定法の確立が望まれている。そのような破碎性地盤の支持力は、荷重初期に大きな剛性を示し、その後変形とともに徐々に支持力が発揮されるような挙動を示す。こういった場合、地盤は「パンチング破壊」され、荷重-沈下曲線において明確な極限支持力の特定は困難なものとなる。このような杭の支持力を精度よく推定するためには、変形とともに発現する支持力特性、すなわち先端応力-沈下特性を把握することが非常に重要となる。

本研究では、破碎性地盤における杭の先端応力-沈下特性を把握し、支持力を精度よく推定するために、杭の先端応力-沈下量関係の Weibull 分布曲線近似を行った。ここでは、第一降伏応力を規準として模型杭荷重試験結果の[荷重開始～第一降伏応力]の範囲に着目し、支持力の定量的な推定法を検討した。

2. 模型杭荷重実験 模型実験には破碎性に富む Quiou 砂(以下 Q 砂)、粒子の堅い豊浦砂(以下 T 砂)の2つの試料を用いた。実験装置および試料の詳細については文献 2)を参照されたい。模型実験より得られる一般的な先端応力-沈下量関係を図-1に示す。荷重初期に大きな剛性を示し、その後一定値に漸近していく挙動が伺える。これまで研究より、(i)沈下レベルで整理した杭の先端応力 $q_{pS/D}$ と地盤内初期平均主応力 σ'_m の間には、地盤の圧縮性に関わらず一義的な関係が存在する²⁾(図-2)、(ii)それぞれ沈下レベルで整理した先端応力の比 $q_{pS/D=a}/q_{pS/D=b}$ は、各試料ではほぼ一定である³⁾(図-3)、ことが明らかとなっている。

3. 曲線近似及び支持力推定 本研究では、模型実験から得られた[杭荷重開始～第一降伏応力]までの先端応力沈下量関係について Weibull 分布曲線(以下 W 曲線)を用いて近似を行った。ここで破碎性地盤の場合、第一降伏応力は logP-logS 法等の視覚的な方法では決定し難いため、道示等を参考に第一降伏応力は正規化沈下量 $S/D=0.1$ (D :杭径)に対する杭の先端応力 $q_{p10\%}$ と定義した。これより W 曲線は以下の式(1)で与えられる。

$$\frac{S}{D} = 0.1 \left\{ -\ln \left(1 - 0.63 \frac{q_p}{q_{p10\%}} \right) \right\}^c \quad \text{式 (1)}$$

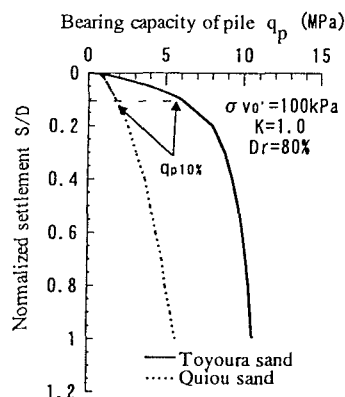


図-1 先端応力と正規化沈下量の関係

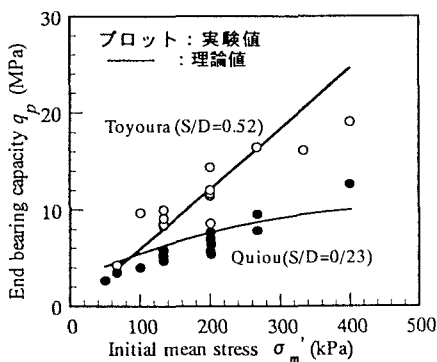


図-2 先端応力地盤内初期平均主応力の関係

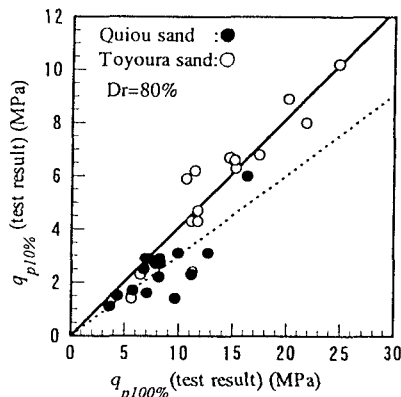


図-3 $q_{p100\%}$ と $q_{p10\%}$ の相対関係

ここに、 q_p ：先端応力、 $q_{p10\%}$ ：第一降伏応力、 S ：杭頭沈下量、 c ：パラメータ ($=1/m$ | m ：変位指数) である。

一方、著者らは模型試験後の杭先端部地盤の破壊形態の観察をもとに球状の破壊モードを仮定し、支持機構に材料の圧縮性を取り入れた空洞膨張理論の概念を利用し、以下のような先端支持力算定式を導出している²⁾。

$$q_p = \frac{1}{1 - \sin \phi} \frac{3(1 + \sin \phi)}{3 - \sin \phi} \left[\frac{Ir}{1 + Ir\Delta_{av}} \right]^{\frac{4 \sin \phi}{3(1 + \sin \phi)}} \sigma_m \quad \text{式 (2)}$$

ここで、 ϕ ：内部摩擦角、 Ir ：剛性指数でせん断剛性 G と土の強さ s によって定義される ($=G/s \tan \phi$)、 Δ_{av} ：塑性域内における平均的な体積ひずみ、 σ_m ：平均主応力である。式(2)で表現される支持力算定値は、図-2 のようにそれぞれある一定の沈下レベル (Q 砂： $S/D=0.23$ 、 T 砂： $S/D=0.52$) に対応していること²⁾を利用して、次の方法で $q_{p10\%}$ を推定した。両砂について式(2)から算出される先端応力 q_p' と模型実験から得られる第一降伏応力 $q_{p10\%}$ の関係が図-4 であり、それぞれ q_p' と $q_{p10\%}$ の間に、

$$q_{p10\%} = d \cdot q_p' \quad (Q \text{ 砂} : d=0.31, T \text{ 砂} : d=0.48) \quad \text{式 (3)}$$

という線形関係が存在することがわかる。これより、式(2)に適切な材料定数を与えることにより、第一降伏応力 $q_{p10\%}'$ は式(3)を用いて推定できるようになる。図-5 は、式(3)から得られる推定値 $q_{p10\%}'$ と実験値 $q_{p10\%}$ の相対関係を示したものである。プロットが 1:1 のライン付近に集中しており、式(3)より $q_{p10\%}$ を推定する方法の精度は比較的高いと判断できる。この推定値 $q_{p10\%}'$ を用いて、式(1)より曲線近似を行った、パラメータ c は、両試料それぞれ実験値と理論値の相関係数 R の平均が最大となるように求めると、両試料とも $c=1.6$ となった。なお、相関係数は、 Q 砂は $\bar{R}=0.95$ 、 T 砂は $\bar{R}=0.99$ であった。図-6 に、式(3)から求まる $q_{p10\%}'$ と $c=1.6$ を与えた W 曲線と実験値を比較した例を示す。両試料の場合においても推定値が実験値と比較的良好な対応を示していることがわかる。すなわち、 W 曲線 (式(1)) に適切な第一降伏応力とパラメータ c を与えると、 Q 砂における[杭載荷開始～第一降伏応力]の範囲の杭の先端応力-沈下量関係は、 T 砂と同様の方法で比較的精度良く推定できることが明らかとなった。

4. まとめ

本研究では、破碎性地盤における杭の支持力を精度良く予測するために、模型杭載荷試験結果の[載荷開始～第一降伏応力]の範囲に着目し、杭の先端応力を定量的な推定を行った。その結果、[載荷開始～第一降伏応力]の範囲の杭の先端応力は、Weibull 分布曲線に支持力理論値を用いてパラメータを決定すれば、地盤の圧縮性に関わらず定量的に予測できることが明らかになった。

[参考文献] 1) 安福ら：圧縮性の卓越した砂中の杭の先端支持力とその評価、土木学会論文集, No.505, pp.191-202, 1994.12 2) 澤田ら：圧縮性地盤における杭の先端支持力の発現と地盤内初期応力の影響, 第 33 回地盤工学研究発表会, pp47-48, 1998 3) 安福ら：An Experimental End Bearing Capacity Factor for Piles Related to Soil Compressibility, Geotechnical Conference, 1996.

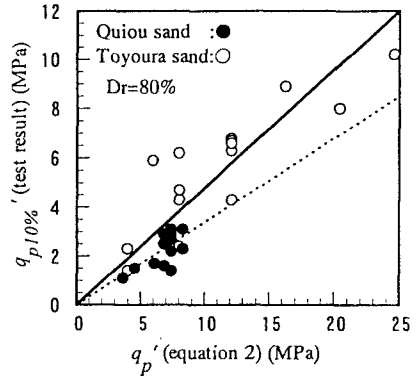


図-4 理論値と実験値の関係

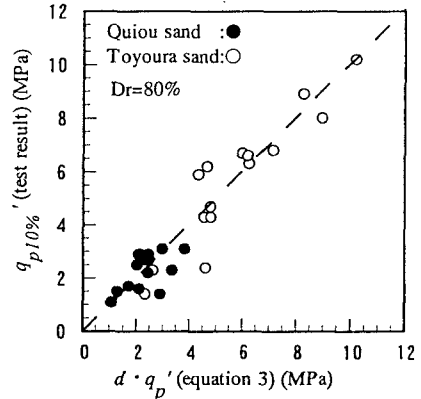


図-5 推定値と実験値の関係

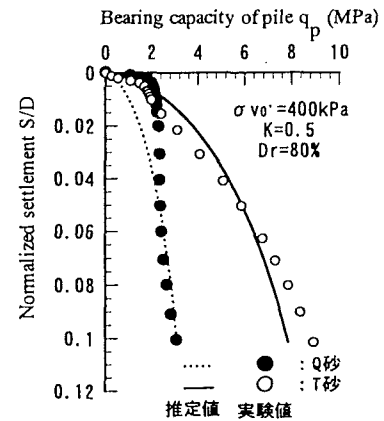


図-6 先端応力と正規化沈下量の関係