

杭の先端支持力特性に及ぼす初期応力状態の影響

九州大学工学部 学○澤田 繁治

九州大学工学部 正 落合 英俊 正 安福 規之

九州大学工学部 正 大野 司郎 学 清水 敬広

1. はじめに

杭の先端支持力を評価する場合、杭先端付近の拘束圧増大に伴う粒子破碎により土の体積減少やせん断抵抗角の減少が生じるといった特性を考慮することの重要性が指摘されている¹⁾。著者らは杭先端付近の地盤の破壊形態の観察をもとにして、圧縮特性を考慮できる球空洞膨張理論に基づいた杭の先端支持力算定式を提案している²⁾。著者らが提案する杭の先端支持力算定式は、(1)式で与えられる。

$$q_p = \frac{1}{1 - \sin \phi'} \frac{3(1 + \sin \phi')}{3 - \sin \phi'} \left[\frac{Ir}{1 + Ir \Delta_{av}} \right]^{\frac{4 \sin \phi'}{3(1 + \sin \phi')}} \sigma_m', \quad Ir = \frac{G}{\sigma_m' \tan \phi'}, \quad \sigma_m' = \frac{1 + 2K}{3} \sigma_v' \quad (1)$$

ここで、 ϕ' ：内部摩擦角、 Ir ：剛性指数、 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、 G ：せん断剛性、 K ：初期の鉛直応力 σ_v' と水平応力 σ_h' の比(σ_h'/σ_v')である。式の特徴として、 Δ_{av} やせん断剛性 G が含まれているため地盤の圧縮、強度特性が考慮されており、また杭先端付近の初期応力状態が K を含んだ平均主応力 σ_m' として組み込まれていることが挙げられる。本報では提案している支持力算定式の妥当性を初期応力状態に着目し、砂地盤の模型杭載荷試験によって実験的に検討した。

2. 試料及び実験概要

模型実験に使用した砂は、気乾状態の豊浦砂($G_s=2.640, e_{max}=0.986, e_{min}=0.607, \phi_{cv}=31^\circ$)及び Quiou 砂($G_s=2.697, e_{max}=1.303, e_{min}=0.786, \phi_{cv}=39^\circ$)である。Quiou 砂はフランスで採取される代表的なカーボネイト砂であり、破碎性に富み大きな圧縮性を持つ材料として知られている。一方、豊浦砂は堅固な粒子で圧縮性の比較的小さな砂であることが知られている。実験に用いた模型杭は杭径 3.0cm の表面がなめらかなステンレス製の平坦杭である。供試体は直径 30.5cm、高さ 40.0cm の円柱形で、側方を厚さ 1mm のメンブレンで拘束している。模型地盤は、多重ふるいを用いた空中落下法により作製し、初期応力状態は、平均主応力 $\sigma_m'=100, 133, 200, 267, 400\text{kPa}$ に対し、豊浦砂は応力比 $K=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0$ 、Quiou 砂は $K=0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ という条件を与えた。また模型杭の載荷はひずみ制御方式(沈下速度は 0.2%/min)で行い、沈下量が杭径に達するまで続けた。

3. 実験結果及び考察

3.1 鉛直応力が先端支持力に与える影響

図-1 は、各試料の応力比 K 、相対密度 Dr を一定に保ち、鉛直応力 σ_v' を変化させた場合(およそ、静止土圧状態の地盤に相当)の先端支持力 q_p と正規沈下量 S/D (S ：杭の沈下量、 D ：杭径)の関係を示したものである。(a)図は $Dr=80\%, K=0.5$ の豊浦砂、(b)図は $Dr=85\%, K=0.5$ のQuiou 砂の場合の結果である。両試料とも鉛直応力の増加とともに先端支持力が増加することがわかる。また両図を比較すると同レベルの鉛

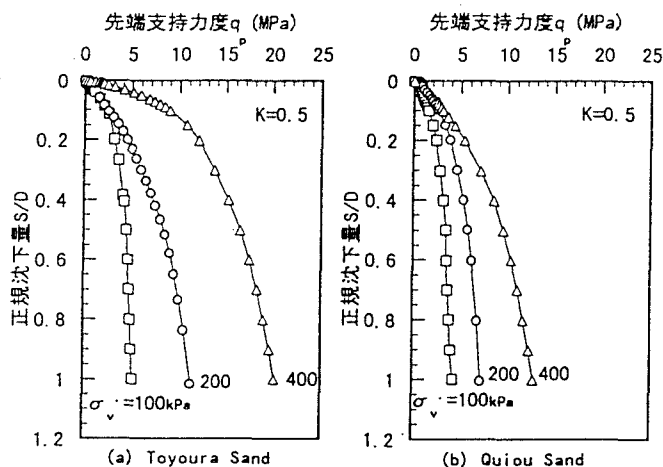


図-1 鉛直応力が先端支持力に与える影響

直応力に対し Quiou 砂は豊浦砂に比べ随分支持力が低いことがわかる。これは Quiou 砂のような破碎性砂の支持力特性の一つである。

3.2 水平応力が先端支持力に与える影響

図-2 は、各試料それぞれ相対密度と鉛直応力を一定に保ち水平応力を変化させた場合の先端支持力 q_p と正規沈下量 S/D の関係を示したものである。(a)図は $Dr=80\%$, $\sigma'_v=200\text{kPa}$ の豊浦砂, (b)図は $Dr=85\%$, $\sigma'_v=200\text{kPa}$ の Quiou 砂の結果である。両図とも水平応力の増加とともに先端支持力も増加することがわかる。このことは、鉛直応力のみの関数では先端支持力の評価として不十分であり、水平応力も考慮すべきであることを示すものである。

3.3 平均主応力と先端支持力の関係

図-3 は、各試料の相対密度を一定にして、 $S/D=0.1, 0.2, 0.5, 1.0$ に対して平均主応力 σ'_m と先端支持力 q_p の関係を示したものである。(a)図は $Dr=80\%$ の豊浦砂, (b)図は $Dr=85\%$ の Quiou 砂の場合の結果である。極限支持力がどの S/D になるかという議論はあるものの、同じ S/D レベルで比較した場合、両砂ともにどの S/D に対しても平均主応力と先端支持力の間に一義的な関係が存在していることは明らかである。つまり、提案式における初期応力状態の評価法は妥当であり、杭の先端支持力は圧縮性の大小によらず平均主応力に強く依存していることが明らかとなった。

以上のことから、支持力算定式は水平応力を考慮した平均主応力をもとに組み立てるべきであり、著者らの提案式は有意であると判断できる

4. まとめ

本研究では初期応力状態に着目した模型杭の載荷試験の結果から、提案している杭の先端支持力算定式の妥当性を実験的に検討した。得られた主な結果をまとめると以下ようになる。

(1)杭の先端支持力は水平応力の影響を強く受け、水平応力の増加とともに増加する。(2)杭の先端支持力は圧縮性の大小によらず平均主応力に強く依存する。(3)著者らが提案する杭の先端支持力算定式は初期応力状態における平均主応力を考慮しており、有意であると判断できる。

今回の実験は処女載荷地盤に対して実施したものであり、 K が1より大きい場合、通常地盤は過圧密地盤であることが多い。今後、過圧密地盤についても検討する予定である。

<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。土木学会論文誌, No.505/-29, pp.191-200, 1994. 2)安福ら：圧縮性を考慮した砂中の杭の先端支持力と破壊メカニズム, 第32回地盤工学会発表会発表講演集, pp.39-40, 1997.

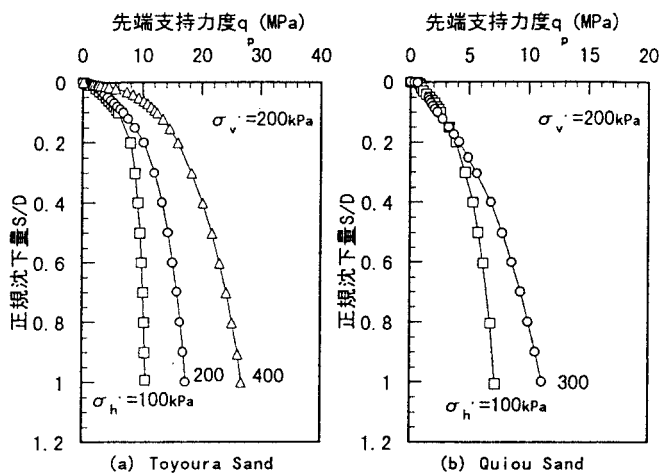


図-2 水平応力が先端支持力に与える影響

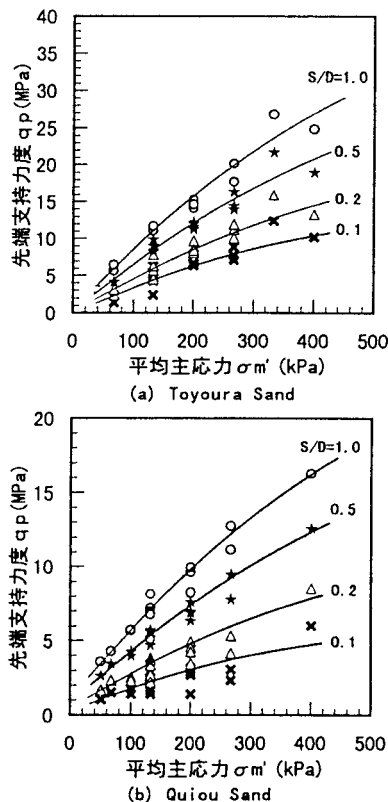


図-3 平均主応力と先端支持力の関係