

Ⅲ - B5

圧縮性を有する砂中の杭先端地盤の局所変形

九州大学工学部 学○清水 敬広 正 落合 英俊

九州大学工学部 正 安福 規之 正 大野 司郎

1.はじめに

杭基礎直下における高拘束圧域では、地盤の破壊よりむしろ地盤材料の圧縮性に起因して生じる過大な沈下が問題となることが知られている。安福ら¹⁾は沈下量が杭径に達するような地盤の変形が十分に大きい場合を対象として、限界状態の強度定数 ϕ_{cv}' を用いた合理的な杭の支持力算定法を提示した。本報は、圧縮性の違いが杭の先端支持力に及ぼす影響を調べ、杭先端地盤の局所変形とその破壊メカニズムについて実験的に考察するものである。

2.試料および実験概要

模型杭載荷実験に用いた試料は、気乾状態の豊浦砂 ($G_s=2.640$, $e_{max}=0.986$, $e_{min}=0.607$, $\phi_{cv}'=31.0^\circ$) および Quiou 砂 ($G_s=2.697$, $e_{max}=1.303$, $e_{min}=0.786$, $\phi_{cv}'=39.0^\circ$) の2種類である。豊浦砂はシリカ系の砂で比較的堅固な粒子である。一方、Quiou 砂は、フランスで採取されたカーボネイト砂であり、破碎性に富む材料として知られている。

実験に用いた模型杭は、杭径 3cm 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 40cm の円筒形で、側方を厚さ 1mm のメンブレンで拘束している。模型地盤の作成は、多重ふるいを用いた空中落下法により行い、相対密度が 90% となるように調整した。特に、杭先端付近では砂の挙動を把握するため、色砂を 5mm 間隔で水平に敷き詰めた。初期応力状態は、上載圧 $\sigma_v'=100, 200, 400$ kPa に対して、側圧/上載圧=0.5 の条件を与え、また、模型杭への載荷はひずみ制御方式（沈下速度 0.2%/min）により行い、沈下量が杭径に達するまで続けた。模型杭載荷実験を行った後、供試体上方から水をゆっくり注入し、サクションにより供試体を自立させ、ストレートエッジにより供試体中央部を鉛直方向の軸対称断面で切り取り、その断面を観察した。

3.実験結果および考察

3.1 先端支持力度～正規化沈下量の関係

図-1 は先端支持力度 q_p と沈下量 S を杭径 D で正規化した沈下量 S/D の関係を示している。(a)図は豊浦砂、(b)図は Quiou 砂の結果であり、相対密度はいずれの場合も 90% である。従来の支持力式 $q_p=f(\phi')\sigma_v'$ によれば、 ϕ' の大きな地盤材料ほど支持力は大きなものとなるが、図-1 において、Quiou 砂の方が強度定数 ϕ_{cv}' が大きいにもかかわらず、各上載圧に対する支持力値は豊浦砂の方が大きくなっていることが分かる。各試料の場合とも正規化沈下量の増加に伴って先端支持力度は非線形的に増加しているが、初期の立ち上がりや正規化沈下量に対する支持力増加の割合は Quiou 砂に比べ豊浦砂の方が大きくなっている。また、いずれの場合も支持力は上載圧とともに増加しており、その傾向も豊浦砂の方が著しいことが分かる。

3.2 破壊形態

写真-1 は沈下量が杭径に達する $S/D=1.0$ まで模型杭を貫入させたときの杭先端周辺地盤の様子を観察し、圧縮性、模型実験、先端支持力、局所変形

福岡市東区箱崎 6-10-1 TEL 092-642-3286 FAX 092-642-3285

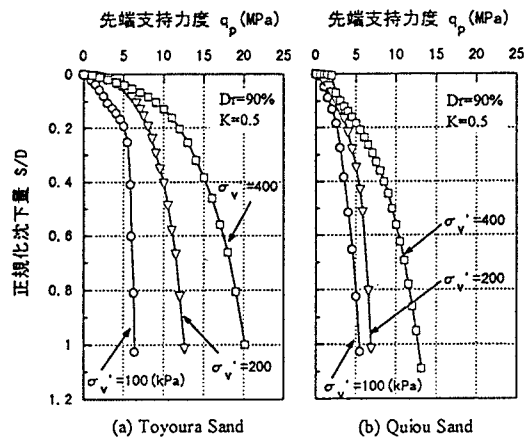
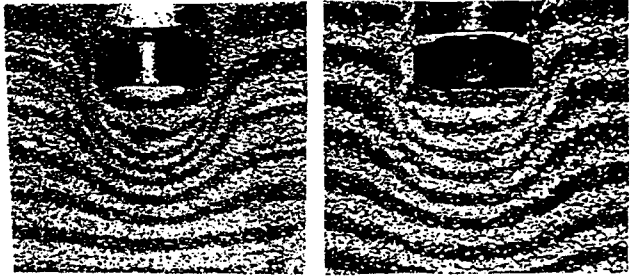


図-1 先端支持力度 q_p と正規化沈下量 S/D の関係

たものである。(a)が豊浦砂、(b)が Quiou 砂のもので、いずれも上載圧 $\sigma_v=400\text{kPa}$ の時の結果である。この写真から、各試料の場合における変形の様子は類似しており、杭先端付近の塑性域は杭先端を中心として球状に広がっていることが分かる。また、この形状は三浦の示した等粒子破碎曲線²⁾の形状や安福らの結果³⁾とよく似たものとなっている。



(a) Toyoura Sand

(b) Quiou Sand

さらに、いずれの場合においても明確なすべり線は現れず、パンチング破壊であることが伺える。

写真-1 杭先端地盤の破壊形態

安福の示した球空洞膨張理論による考察³⁾に基づき、応力比 $K=0.5$ 、 $\sigma_v=400\text{kPa}$ 、せん断剛性係数 $G=150\text{MPa}$ 、 $\phi_w=39^\circ$ とすると、剛性指数 $I_r=700$ 、塑性域で生じる平均的な体積ひずみ $\Delta_{av}=0.04$ となり、修正剛性指数 $I_{rr}=24$ と求められる。そこで $R_p/R_u=\sqrt{I_{rr}}$ 即ち $R_p=2.9R_u$ となり、材料の圧縮性を考慮した場合、Quiou 砂では写真-1に示した載荷に伴う変形の影響範囲(塑性領域に相当)の妥当性が伺える。一方、豊浦砂は $D_r=90\%$ のとき、 $\sigma_v=400\text{kPa}$ 程度の応力域では変位の影響範囲の視覚的な把握は難しくなっている。

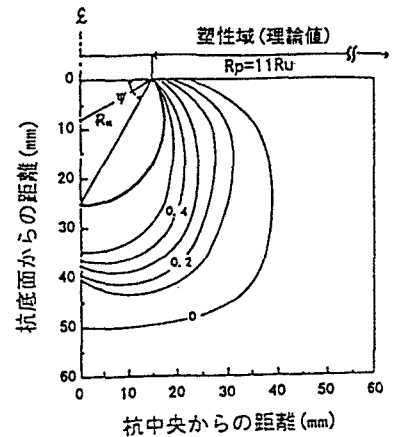
3.3 変形量の分布

図-2は、写真-1から色砂の層厚の変化を読みとり、任意の点の変形量を貫入後の層厚/初期層厚と定義し、そのコンターを示したものである。いずれの試料の場合とも、杭先端周面下部において最も変形量が大きく、変形が発生する領域は豊浦砂に比べて Quiou 砂の方が鉛直方向に大きく広がっている様子が伺える。これは、地盤材料の内部摩擦角や圧縮性の違いによって杭底面直下にできるくさびの形状が異なるためであると考えられる。また、写真-1に示すように ϕ_w を用いた主動くさびとそれを含む球を仮定すると、その周囲の変形は概ね同心円状となっており、球空洞膨張圧を仮定することは妥当であると判断できる。

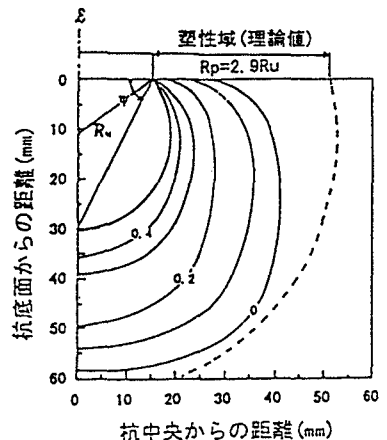
4.おわりに

圧縮性の異なる2種類の砂を対象に模型杭載荷実験を行い、圧縮性の違いに着目した先端支持力の発現特性と砂地盤の変形挙動について実験的に検討した。得られた結果は次の通りである。(1)Quiou 砂は豊浦砂に比べて限界状態の強度定数大きいにも拘わらず支持力値は小さい。(2)破碎性や圧縮性の異なるそれぞれの試料の破壊形態はそれぞれ球根状となり比較的類似している。(3)杭先端地盤の局所変形が発生する場合、球状膨張圧による変形を仮定することは妥当である。

参考文献：1)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(投稿中)。2)三浦哲彦：杭先端付近における砂の粒子破碎と杭の支持力機構、土と基礎、Vol.32、No.2、pp.45～50、1984。3)N.Yasufuku、A.F.L.Hyde：Pile end-bearing capacity in crushable sands、Geotechnique 45、No.4pp.663～676、1995。



(a) Toyoura Sand



(b) Quiou Sand

図-2 杭先端地盤の変形量の分布