

圧縮性の異なるカーボネイト砂地盤における杭の先端支持力

山口大学工学部 正 員 村田秀一 兵動正幸 中田幸男
山口大学大学院 学生員○福永誠
(株)大林組 正 員 山下りょう

1. まえがき

近年、海底油田や天然ガスの採掘に伴い、大型海洋構造物が圧縮性の卓越したカーボネイト砂地盤に盛んに建設されている。その構造物を支える手段として杭基礎が多く用いられているが、従来の支持力評価法では支持力を過大評価してしまう問題が生じている。これまで本研究グループにおいて、カーボネイト砂地盤の等方圧縮特性を取り入れた先端支持力評価手法を提案してきた¹⁾。しかし、杭直下の地盤の圧縮性を考える場合、その応力経路は一次元圧縮的であると考えられることから、地盤材料の一次元圧縮特性を把握し、先端支持力との関連について検討する必要がある。そこで、本研究では一次元圧縮特性を把握し、カーボネイト砂中における杭の先端支持力評価手法を検討するものである。

2. 試料及び実験概要

(1) 試料・実験に用いた試料はシリカ系の豊浦標準砂、カーボネイト系の Dogs Bay 砂、チイビシ砂、Quiou 砂である。カーボネイト系の砂は、珊瑚礁の死骸や貝殻等を多く含んでいるため、粒子内間隙が大きい。Dogs Bay 砂、チイビシ砂、Quiou 砂の C_aCO_3 含有率は、それぞれ 94%、96%、76% である。なお、ふるいを用い試料を $0.074\ \mu\text{m}$ ~ 2.0mm で粒度調整を行った。

(2) 一次元圧縮試験・直径 6cm、高さ 1cm の圧密リング用い、相対密度 $Dr=90\%$ 、ひずみ速度 0.03mm/min とし、上載圧 $\sigma_v=20\text{MPa}$ まで載荷した。

(3) 模型杭載荷実験・模型杭はステンレス製で表面が滑らかな直径 3cm の円柱型のものを使用した。実験は、相対密度 $Dr=90\%$ 、上載圧 $\sigma_v=100\sim 400\text{kPa}$ 、主応力比 $K (= \sigma_h/\sigma_v) = 1.0$ の等方応力条件下で行った。

3. 等方圧縮試験および一次元圧縮試験による試料の圧縮特性

等方圧縮特性の圧縮性を表す指標として $e-\ln p'$ 曲線の任意の応力での接線勾配として表される圧縮係数 $C_p' (= \Delta e / \Delta(\ln p'))$ を導入する。図-1 は、この C_p' と p' の関係を示している。図より、いずれの試料においても p' の増加とともに C_p' が指数関数的に増加しており、その傾向はチイビシ砂が最も大きい。次に、一次元圧縮係数 C_c' と平均有効主応力 p' の関係を図-2 に示す。ここで、平均有効主応力 p' は $p' = \{(1+2K_0)/3\} \sigma_v$ で表され、 $K_0 = 1 - \sin \phi$ で与えられるとする。また、 ϕ は特性状態のものを用いている。図より、いずれの試料においても p' の増加とともに C_c' が指数関数的に増加しており、圧縮性は豊浦砂、チイビシ砂、Quiou 砂、Dogs Bay 砂の順に大きくなっていることがわかる。

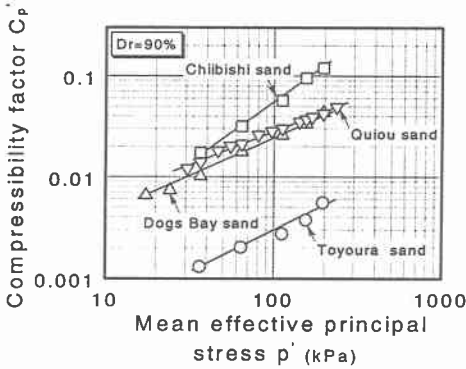


図-1 圧縮係数~平均有効主応力関係

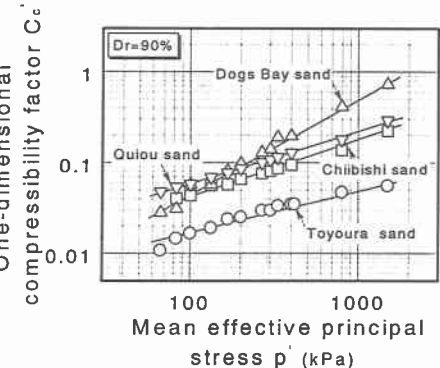


図-2 一次元圧縮係数~平均有効主応力関係

4. 杭の先端支持力特性

(1) 先端支持力と正規化沈下量の関係・・図-3 は、先端支持力 q_p と正規化沈下量 S/D (S :沈下量、 D :杭径) の関係を相対密度 $Dr=90\%$ 、 $K=1.0$ 、 $\sigma_v=300\text{kPa}$ の場合について試料ごとに示している。図より、初期剛性は豊浦砂が最も大きく、次いでチビシ砂、Quiou 砂、Dogs Bay 砂の順となっている。図-4 は、 S/D が 1.0 における q_p を基準支持力 $q_{p100\%}$ とし、平均有効主応力 σ_m との関係を示したものである。図より、いずれの試料においても σ_m の増加に伴い、 $q_{p100\%}$ が増加しており、 $q_{p100\%}$ はおおむね Dogs Bay 砂、Quiou 砂、チビシ砂、豊浦砂の順に大きくなっている。この関係は、一次元圧縮特性と負の相関関係を示し、一次元圧縮性の大きい試料は先端支持力が小さいことが認められる。

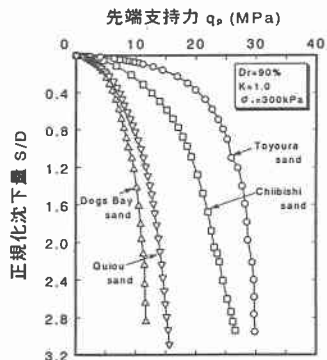


図-3 先端支持力~正規化沈下量関係

(2) 圧縮性を考慮した先端支持力の評価

a) 等方圧縮特性と先端支持力の関係・・通常、先端支持力 q_{pult} は Prandtl の支持力係数 $N_q = \tan^2(\pi/4 + \phi'/2) \exp(\pi \tan \phi')$ ---(1) を用いて $q_{pult} = N_q \sigma_v$ ---(2) と表される。しかし、この式(2)はカーボネイト砂においては支持力を過大評価するという問題が生じる。そこで、式(1)を実験値から求められる支持力係数 N_q^{**} と理論値の N_q の比 $F_f^* = N_q^{**}/N_q$ ---(3) により定義される拡張修正係数を用いて、 $q_{pult} = F_f^* N_q \sigma_v$ ---(4) と修正する。ここで、 N_q^{**} は $q_{p100\%}/\sigma_m$ で表される。式(4)を試料の圧縮性を取り入れた有効なものにするためには、 F_f^* を評価できるパラメータを見いだす必要がある。図-5 は、等方圧密時における C_p' と F_f^* の関係を示したものである。図より、Quiou 砂は圧縮性が小さいにも関わらず F_f^* が小さくなっており、一義的な関係は見られない。

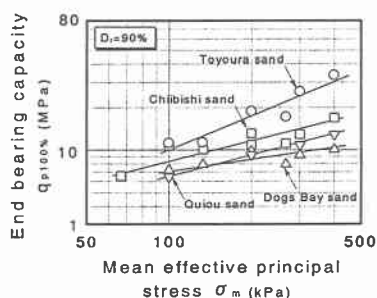


図-4 $q_{p100\%}$ ~平均有効主応力関係

b) 一次元圧縮特性と先端支持力の関係・・一次元圧縮係数 C_e' と拡張修正係数 F_f^* の関係を図-6 に示す。この図より、カーボネイト系の Dogs Bay 砂、チビシ砂、Quiou 砂は、任意の C_e' に対応する F_f^* はほぼ等しい値を示しており、図-5 と比較して良い対応関係にあることが認められる。

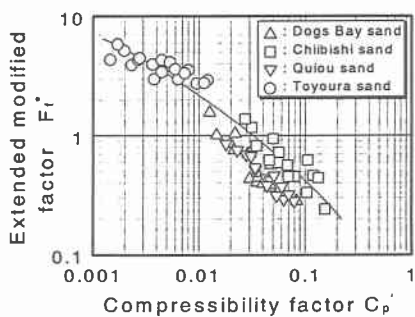


図-5 拡張修正係数~圧縮係数関係

5. まとめ

圧縮性の異なる地盤における杭の先端支持力と等方圧密時の圧縮特性および一次元圧縮特性の関係について検討した。結果として、杭の先端支持力はカーボネイト系材料の一次元圧縮特性と良い対応関係が得られることがわかった。この関係から、対象とする地盤材料の一次元圧縮試験より得られる C_e' と三軸圧縮試験より得られる特性状態の内部摩擦角を求めることにより、比較的簡便に杭の先端支持力を評価する可能性を示した。

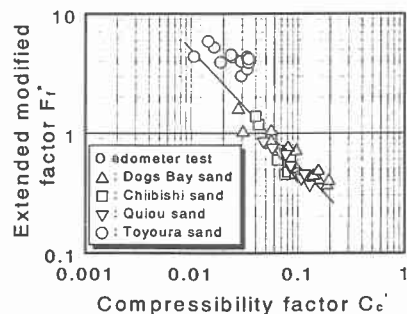


図-6 拡張修正係数~一次元圧縮係数関係

〔参考文献〕1)安福規之，田中邦博，村田秀一，兵動正幸：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/Ⅲ-29, pp.191-200, 1994.12.