

Ⅲ - B7

カーボネイト砂中における杭の先端支持力特性

徳山工業高等専門学校 正員 桑嶋啓治 藤原東雄 上 俊二
山口大学 正員 兵動正幸 中田幸男
九州共立大学 正員 田中邦博

1. まえがき

これまでに多くの研究者¹⁾²⁾によって模型杭載荷実験が行われてきており、支持力理論に基づき多くの式が提案されてきた。しかしながら、それらの多くは豊浦砂等、比較的堅い土粒子を対象としたものであり、破碎性及び圧縮性の卓越した砂に対する支持力理論は少ないように思われる。そこで本報では、破碎性及び圧縮性の卓越した砂を用いて模型杭載荷実験を行い、その実験結果を基に支持力特性について考察を行う。

2. 試料及び実験概要

(1) 試料 本実験で用いた試料は、カーボネイト系の砂であるドッグズベイ砂とチイビシ砂、およびシリカ系の豊浦標準砂であり、表-1 にそれらの物理的性質を示している。この表よりドッグズベイ砂とチイビシ砂の e_{max} 、 e_{min} は、豊浦砂に比べて大きいことがわかる。

表-1 試料の物理的性質

試料名	G_s	D_{max}	e_{max}	e_{min}	$CaCO_3(\%)$
ドッグズベイ砂	2.72	2.0	2.451	1.621	96
チイビシ砂	2.83	2.0	1.574	0.983	96
豊浦標準砂	2.64	1.5	0.973	0.635	—

(2) 実験概要 実験に用いた模型杭載荷実験装置の詳細は、参考文献³⁾に示している。本実験で用いた模型杭は、直径30mm、先端角60°である。供試体の相対密度は90%とし、上載圧 σ_v 、側圧 σ_h を100~400kPa、主応力比 $K=\sigma_h/\sigma_v=1.0$ に調節して模型実験を行った。

3. 模型杭実験結果

図-1 は、拘束圧100kPa、 $K=1.0$ における各試料の先端支持力 q_p と沈下量 S を杭径 D で除した正規化沈下量 S/D の関係を示したものである。この図より、試料の違いにより支持力沈下曲線が異なっていることがわかる。 $S/D=1.0$ における各試料の先端支持力は、ドッグズベイ砂、チイビシ砂よりも豊浦砂の方が大きいことが読みとれる。しかし、 $S/D=2.0, 3.0$ と杭の貫入を増加させるにともない、豊浦砂には顕著な増加は見られないが、チイビシ砂、ドッグズベイ砂は増加する傾向にあり、極限状態が判断しにくいことがわかる。図-2 は、先端支持力 q_p を $S/D=1.0$ における先端支持力 $q_{p100\%}$ で除した $q_p/q_{p100\%}$ と正規化沈下量の関係を示したものであり、上載圧の変化に着目してまとめたもので、図(a)はチイビシ砂、図(b)はドッグズベイ砂、図(c)は豊浦砂の実験結果である。これらの図から、各試料の沈下曲線を $q_{p100\%}$ で正規化すると、拘束圧の違いによる有意な差が、あまり見られないことが読みとれる。

そこで、杭先端支持力～沈下曲線を次の Konder 型の双曲線での近似を行った。ここで、 a, b は実験定数である。

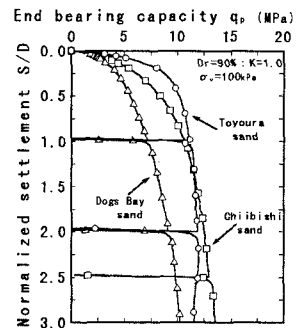


図-1 $q_p \sim S/D$ 関係

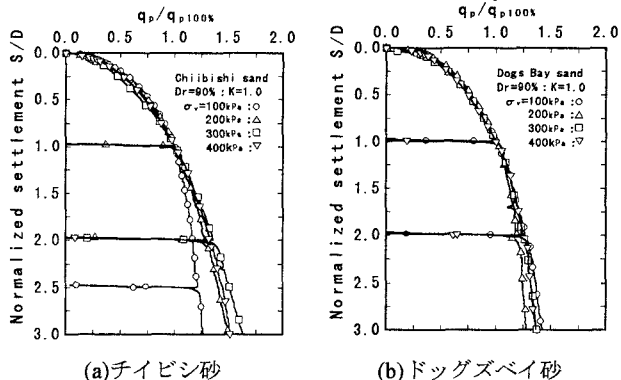


図-2 $q_p/q_{p100\%} \sim S/D$ 関係

$$q_p / q_{p100\%} = \frac{S/D}{a + b(S/D)}$$

チイビシ砂、ドッグズベイ砂、豊浦砂に対して近似を行った結果、各試料について次式に示す近似式が得られた。

$$\text{チイビシ砂: } q_p / q_{p100\%} = \frac{S/D}{0.474 + 0.51(S/D)}$$

$$\text{ドッグズベイ砂: } q_p / q_{p100\%} = \frac{S/D}{0.357 + 0.62(S/D)}$$

$$\text{豊浦砂: } q_p / q_{p100\%} = \frac{S/D}{0.184 + 0.8(S/D)}$$

図-3 に上式を用いた近似曲線を示す。この図より、カーボネイト砂であるチイビシ砂、ドッグズベイ砂は相似であり、豊浦砂の近似曲線とは異なっていることが読みとれる。同じ S/D で比較すると、 $q_p/q_{p100\%}$ の値は、 $S/D=1.0$ までは、豊浦砂の方が大きく、 $S/D=1.0$ 以上ではカーボネイト砂の方が大きくなっていることが読みとれる。これは、間隙比の大きなカーボネイト砂は、圧縮性が大きく、粒子破碎を伴いながら杭が貫入し、間隙比が小さくなることによって支持力が徐々に発現されていくものと考えられる。

4. 破壊モードの仮定

これらの実験結果を踏まえて、今回仮定するカーボネイト砂の破壊モードを図-4 に示す。この破壊モードは、C 点を中心に、直線 BC を半径として弧を描いたものである (C 点は、B 点から θ の角度を持つ線と C.L との交点)。杭先端から応力球根の中心点 C までの距離 x は、 $x = R \tan \theta$ で与えられる。この式において、 θ は杭底面と直線 BC の角度、 R は杭半径である。 x は、応力球根の大きさを表す変数であり、 x が大きいほど応力球根が大きいことを意味している。図-3 に示すように、カーボネイト砂中での杭の支持力は、 $S/D=1.0$ 以上の貫入量においても、支持力が増加しているため、その増加を応力球根の拡大により説明するためである。図-4 において、杭の先端支持力 q_p と膨張圧 p_u および側方圧力 σ_s の力のモーメントの釣り合いを B 点において考えると、以下に示す先端支持力 q_p と膨張圧 p_u の関係が新たに得られる。

$$q_p = K_1 p_u, \text{ 支持力係数は } K_1 = \frac{\alpha(\theta)(1 + \tan^2 \theta)(1 + \sin \phi)}{2 \tan^2 \psi}, \alpha(\theta) = \sum \delta \left(\delta + 2 \sin \left(\frac{\delta}{2} (n-1) \right) \cdot 2 \cos \left(\frac{\delta}{2} n \right) \right)$$

ここで、 q_p は杭の先端支持力、 σ_s は側方圧力、 R は杭半径の長さ、 ϕ は直線 BD と杭底面との角度、 θ は直線 BC と杭底面との角度、 p_u は応力球根周辺の膨張圧、 n は応力球根の分割数、 δ は応力球根を分割数 n で割った時の角度である。ここで、膨張圧のモーメントは、応力球根周辺部の曲線部分を小さく分割 (n 分割) して計算を行っている。応力球根内の膨張圧のモーメントを求めるときに必要な $\alpha(\theta)$ は、文献⁽⁴⁾に示す角度による係数である。つまり、破砕性の卓越したカーボネイト砂中における杭の支持力を評価するにあたり、応力球根の拡大とその膨張圧を組み合わせた式を用いると適切に評価できるのではないかと考えられる。今後は、応力球根の大きさと杭貫入量の関係を求め、具体的な数値による表現を行っていきたいと考えている。

参考文献 1) 平山：杭の統一的前端支持力算定式, 第 23 回土質工学研究発表会概要集 pp.1347~1350, 1988. 2) 山田：砂地盤におけるクイの先端支持力に関する実験的検討, 第 12 回土質工学研究発表会講演集 pp.717~720, 1977. 3) 安福他：周面摩擦を独立に測定可能な模型杭実験装置の試作とその適用, 第 28 回土質工学研究発表会講演集, pp.1669~1670, 1993 4) 桑嶋、兵動他：杭貫入によるカーボネイト砂の破壊モードに関する研究, 第 32 回地盤工学研究発表会講演集, (投稿中)

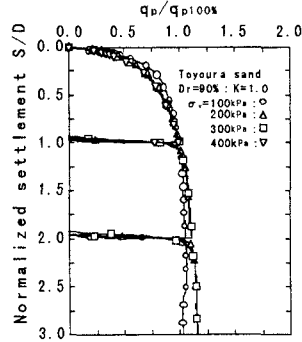


図-2(c)豊浦砂

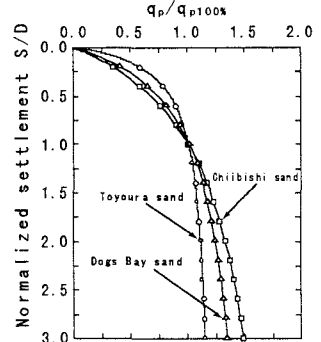


図-3 各試料の近似曲線

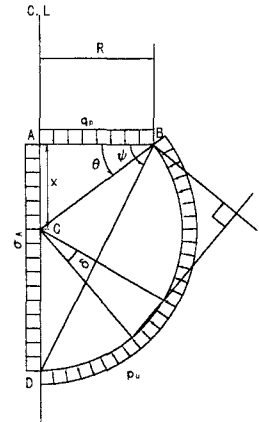


図-4 破壊モード