

地盤材料の粒子破碎と降伏応力に着目した杭の先端支持力特性

徳山工業高等専門学校 学生会員 ○河村和也
 徳山工業高等専門学校 正会員 桑嶋啓治
 徳山工業高等専門学校 正会員 上 俊二

1. はじめに

深い基礎の杭先端支持力は、杭基礎直下の土粒子へ伝達される。杭基礎直下ではコアと呼ばれる領域が形成されることにより、さらにその周辺へ応力が伝達され全体の応力場が形成される。極限支持力はすべりを伴ったせん断破壊と考えることができるため先端支持力を算定する上で多くの支持力公式は粘着力と内部摩擦角で評価される。

しかしながら、杭基礎直下では高い圧縮応力域が形成されるため、地盤材料の特性が杭基礎の支持力に与える影響は少なくない。特に、地盤材料の破碎性は、地盤の圧縮性と直接関連しており、杭基礎の貫入量に応じた支持力を評価するために、その特性を把握することは不可欠である。そこで本稿では、地盤材料の圧縮特性を評価するために、oedometer 試験を実施し、土粒子の破碎が顕著となる降伏応力域を求め、さらに、模型杭載荷試験を実施し、杭体の沈下量での杭の先端支持力と土粒子の破碎の様子を考察した。

2. oedometer 試験

表-1 に本研究で用いた試料の物理的性質を示している。 ϕ_{cv} とは、排水三軸試験の体積変化 $d\varepsilon_v/d\varepsilon_1=0$ のときの内部摩擦角である。チイビシ砂はカーボネイト砂の一つであり破碎性に富む材料であり、その比較として豊浦標準砂を用いた。それらの試料を用いて、実施した oedometer 試験の結果を図-1 に示す。降伏応力 p_y は圧縮指数 $C_c=0.3$ になる時点の応力を用いた。¹⁾ 結果として、チイビシ $Dr=90\%$ 、 40% では、それぞれ $p_y=5.8, 4.2\text{MPa}$ 、豊浦砂 $Dr=90\%$ 、 50% では、それぞれ $p_y=14.9, 13.3\text{MPa}$ となった。降伏応力は相対密度が大きいほど大きく、チイビシ砂より、豊浦砂の方が大きいことがわかる。試験前後の粒径の変化をとらえるため、ふるい分け試験を行い Marsal²⁾ が提案する破碎の評価指標 B_M を式(1)より算出した。その結果を図-2 に示す。図-2 より豊浦砂はチイビシ砂に比べ B_M の値が小さく示されている。

$$B_M = \sum_{i=1}^k |f_i' - f_i| \quad (1)$$

f: 残留百分率

表-1 試料の性質

地盤材料	Gs	D_{max} (mm)	e_{max}	e_{min}	$\Phi_{cv} (^{\circ})$
チイビシ砂	2.83	2.0	1.574	0.983	42.5
豊浦標準砂	2.64	1.5	0.973	0.635	31.5

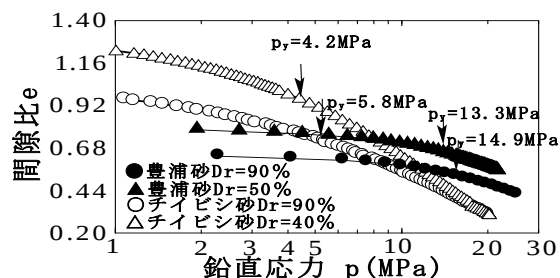


図-1 e-log p

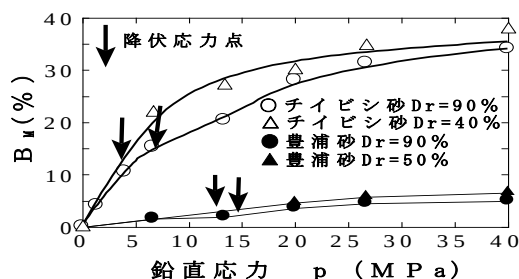


図-2 鉛直応力と破碎量の関係

3. 模型杭載荷試験

実験に用いた模型杭は杭径 3.0cm の平坦杭である。(貫入速度 0.05cm/min) 供試体サイズは高さ 40cm、直径 30cm の円柱形であり、相対密度はタンピング法により調整した。平均主応力 $\sigma_m=100\text{kPa}$ 以上においてはメンブレンで拘束し、側圧、上載圧を与えた。100kPa 以下においては、アクリルモールドを用い、上載圧のみ与えた。そのとき側圧は、落合の式(2)³⁾を用い算出した。

$$K_0 = 1 - \sin \phi_{cv} \quad (2)$$

$$\sigma_h = \sigma_v \cdot K_0 \quad (3)$$

図-3 に先端支持力 q_p と貫入量 S を杭径 D で除した正規化沈下量 S/D について示す。平均主応力 σ_m の小さい領域では、チイビシ砂の先端支持力 q_p が相対的に大きくなる。しかし、平均主応力 σ_m の増加に伴い、豊浦砂の方が大きくなる。

図-4 に平均主応力 σ_m と先端支持力 q_p について示す。ここで $q_p=100\%$ は $S/D=1$ のときに発現される先端支持力 q_p である。平均主応力 σ_m が小さい応力域では、豊浦砂よりもチイビシ砂の方が、先端支持力 q_p の発現が大きくなり、平均主応力 σ_m が大きくなると、先端支持力の大小関係は、逆転し、豊浦砂の方が大きくなる。次に、図-5 に

示すように試験後の砂を採取しふるい分け試験を行い B_M を連ねたものを図-6 に示す。図-6 に示す数値は B_M の値である。チイビシ砂と比較して豊浦砂では、破碎は顕著に見られなかった。さらに、降伏応力 p_y に着目し、図-7 に示す p_y と等価の破碎領域の体積(降伏応力域) V_{py} を求めた。図-2 の関係から、式(2)を用い、図を分割し各々の体積 V_{py} を算出した。

$$V_{py} = \sum_{i=0}^n \frac{(a + \sqrt{ab} + b)h}{3} \quad (2)$$

V_{py} : p_y 線内体積 a : 上底面積 b : 下底面積 h : 高さ

その結果を図-8 に示す。降伏応力域の体積 V_{py} は、豊浦砂よりも、チイビシ砂の方が、同じ先端支持力で比較すると大きな値を示すことがわかる。図-4 に示した先端支持力と平均主応力の関係より、降伏応力域が生じ始める平均主応力の応力域において、先端支持力の増加割合が減少し始めることがわかった。このことは、試料の違いにかかわらず、同様な傾向を示しており、降伏応力の小さなチイビシ砂の方が、平均主応力が小さな段階から先端支持力の増加勾配が減少し始める。

4. 結論

本研究により、以下の結論を得た。

- 1) 相対的に降伏応力が小さく特性状態における内部摩擦角の大きなチイビシ砂は、平均主応力の小さな応力域において、大きな先端支持力が発現されるが、平均主応力の増加とともに降伏応力の大きな豊浦砂の先端支持力の方が大きくなる。
- 2) 杭底部に降伏応力を超える応力域を形成することにより、先端支持力が発現しにくくなる。これは、図-1 の関係にみられるように、杭底部において応力発現に対して間隙比の減少が必要になったからだと考えられる。

参考文献

1. 加登文学, 中田幸男, 兵動正幸, 村田秀一: 破碎性材料の粒子特性と一次元圧縮応力, 土木学会論文集, No.701/III -58, pp343-355, 2002.
2. Marsal, R.J.: Mechanical Properties of Rock fill, Embankment-Dam Engineering, p.109-208, John Wiley & Sons, 1973.
3. 落合: 砂の静止土圧係数, 土質工学会論文報告集, Vol. 16, No. 2, pp. 105-111, 1976

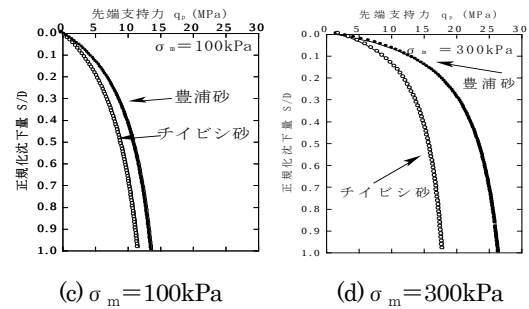
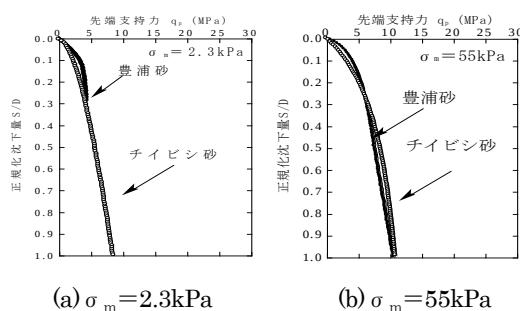


図-3 先端支持力 q_p -正規化沈下量 S/D

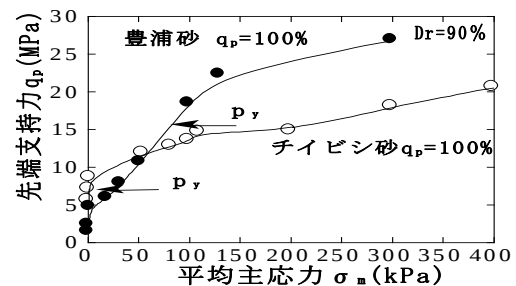


図-4 先端支持力 q_p と平均主応力 σ_m の関係

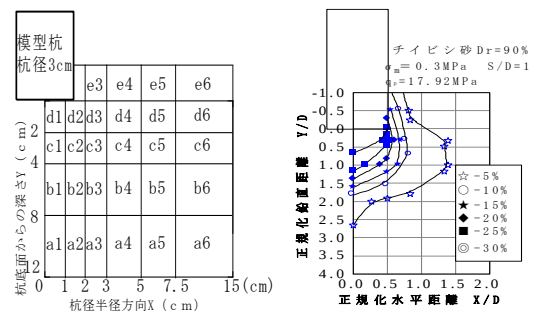


図-5 試料採取区分

図-6(a)チイビシ砂($Dr=90\%$)

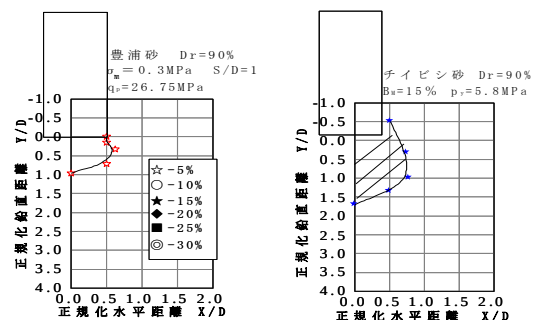


図-6(b)豊浦砂($Dr=90\%$)

図-7 圧縮応力域 V_{py}

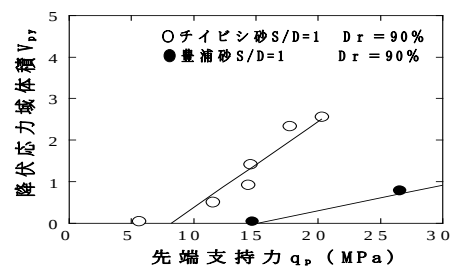


図-8 圧縮応力域 V_{py} -先端支持力($Dr=90\%$)