

山口大学工学部 正員・三浦哲彦
熊谷道路(株) 濱田政人
(株) 梅村組 松本亨

1. まえがき 砂中の杭の鉛直支持力機構が粒子破砕現象と密接に関わっていることは、これまでの諸研究から明らかである。¹⁾²⁾ しかし、支持力を粒子破砕と直接関連づけて論じたものは少ないように思われる。本報は、模型杭の先端付近の粒子破砕分布を調べて塑性領域の杭バリを推定するとともに、粒子破砕に消費されるエネルギーと外力による仕事との関係から杭の鉛直支持力機構の一端を明らかにしようとするものである。

2. 実験試料、装置 実験には2mmふるいを通した海砂を使用した。主な性質は、土粒子比重2.66、最大間隙比1.07、最小間隙比0.627、内部摩擦角 $\phi' 46.8^\circ$ ($\sigma_3 = 100 \sim 300 \text{ kPa}$)である。実験用砂槽の概要は図-1に示すようである。内径33.2cm、高さ40.0cmの2割鋼製円筒と直径3.5cmの杭を用いて次の方法で実験を行った。試料と砂槽内壁の間の摩擦を低減するために内壁にグリースを塗り、その上から2枚重ねのビニールシート(同に石炭粉)を張り付けた。含水比0.3~0.5%の気乾試料を28cm厚さ密に詰込み(間隙比0.60、湿潤密度 $\rho_w = 1.66 \text{ g/cm}^3$)、その上模型杭を立てて支持金具で固定した状態でさらに試料を8cm厚さ詰込んだ(埋込8cm)。

砂槽を油圧圧縮装置に載せ、ゴムバックを介して鉛直圧 $\sigma_v = 100 \sim 200 \text{ kPa}$ を加えて荷重制御方式で載荷した。試験後、試料を湿潤状態とした上で内径15cmの刃先付きCBRモールドを試料中心部に置き、外側の砂を削り取りながらモールドを押し込んでいった。試料の詰ったモールドを試料抜き出し器にかけ、内径10cm、6cm、4cmの導肉リングを所定深さずつ順次押し込むことで区分毎(図-2(a)中の図)に試料を採取した。これらの区分毎に試料表面積 S (=比表面積 $S_w \times$ 乾燥密度 ρ_d)を求め、粒子破砕量 ΔS の分布を調べた。

S_w の求め方については文献³⁾に述べている。また、 ρ_d については、後述の三軸圧縮試験において求められた $S_w \sim \rho_d$ 関係に基づいて推定した。

3. 実験結果 (1) 粒子破砕分布 表面積増加 ΔS の測定値は区分中心位置の値を示すものとして、杭端面から深さ方向(y 方向)および杭半径方向(x 方向)の ΔS の変化を調べた。図-2(a)(b)は、 $\sigma_v = 200 \text{ kPa}$ 、貫入量1.8cmの場合であるが、 σ_v が小さく貫入深さが浅い場合には

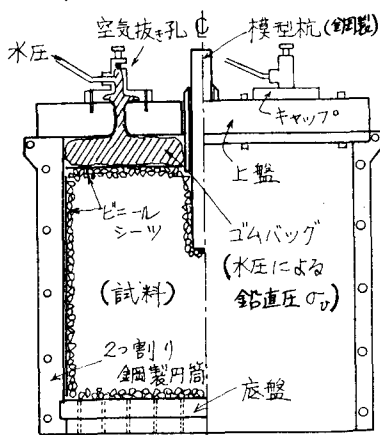


図-1 実験装置の概要

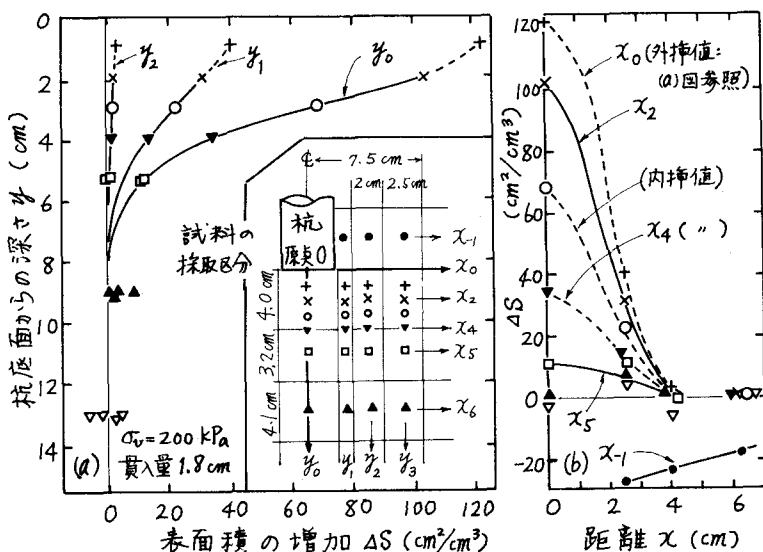


図-2 杭先端付近の粒子破砕量(表面積増加 ΔS)

粒子破碎の領域は狭く、かつ ΔS の値は小さくなる。図2(b)で x_1 方向(杭側面)の ΔS が負となっているのは、ここでは粒子破碎がほとんど生じていないのと、先端部の押込みに伴う杭側面部の密度低下(キャビテーション現象)によるものと思われる。

図-2の $y \sim \Delta S$ 曲線と $x \sim \Delta S$ 曲線に基づいて粒子破碎分布を描いた結果が図-3である。これより、杭直下にはコーン状の強粒子破碎領域が生じていること、その外側に半球状の等粒子破碎面が杭がっていることがわかる。同様な方法で等間隔比分布をも調べようとしたが、区分毎の体積測定精度が十分でなかったために良い結果は得られなかった。しかし、図-3の傾向からみて、 $\Delta S=0$ 曲面の外側に類似な形状の塑性領域が生じていることが推察される。

(2) 粒子破碎に消費された仕事 (W_c) 杭の支持機構を粒子破碎の観点から考察すべく W_c の値を次の方法で推定した。実験試料について側圧 $\sigma_3 = 0.5 \sim 4 \text{ MPa}$ で三軸圧縮試験を行い、 $S \sim w$ (単位体積の試料になされた塑性仕事) 曲線³⁾を 図-4 のように描いた。この曲線を用いると図-3各区分の ΔS_i に対応する w_i が読取れるので、これに各区分の体積 V_i を乗じるとによって $W_c = \sum w_i \times V_i$ を得る。図-3の場合は、 $W_c = 73.2 \text{ J}$ という結果を得た。

(3) 外力による仕事 (W_e) 図-5の応力～貫入量曲線²⁾で求めた面積より W_e が求まる。 $\sigma_v = 200 \text{ kPa}$, $f_f = 1.8 \text{ cm}$ の場合は $W_e = 101.7 \text{ J}$ となる。この仕事の一部は周面摩擦仕事 W_f として消費される。杭側面に作用する応力 $\sigma_h = K_0 \sigma_v = (1 - \sin \phi') \sigma_v$, 摩擦係数 $\mu = \tan \phi_u = \tan (2\phi'/3)$, 杭径 $D = 3.5 \text{ cm}$, 埋込み長さ $L = 8 \text{ cm}$, 最終貫入量 $f_f = 1.8 \text{ cm}$, $\phi' = 46.8^\circ$ とすると, $W_f = K_0 \sigma_v \cdot \mu \cdot \pi D L \cdot f_f = 5.2 \text{ J}$ となる。よって杭先端部で外力によりなされる仕事は $W = W_e - W_f = 96.5 \text{ J}$ となる。この仕事のうち約 76% ($W_c = 73.2 \text{ J}$) が粒子破碎に消費されたと計算となる。

4. まとめ 砂中の杭の先端付近の粒子破碎領域は、杭直下の強粒子破碎領域でコーン状となり外側に拡がるにつれて半球状となることわかった。これより、塑性領域全体も半球状であることが推察される。杭先端部で外力によりなされる仕事は、 $\sigma_v = 200 \text{ kPa}$, $f_f = 1.8 \text{ cm}$ の場合は $W = 96.5 \text{ J}$ であり、その大部分 76% は粒子破碎に消費されることがわかった。これにより、砂中の杭の先端支持機構は粒子破碎に強く依存するものであることがほぼ実証できたと考える。謝辞 本研究は本学山本修三君に手伝っていただいたことを記し感謝の意を表します。

文献 1) DBCP委員会:砂に支持される杭の支持力に関する研究(1979), 2) 高野・岸田・佐伯:

砂地盤に埋込まれた杭の荷重沈下特性, 第9回土質工学会研究発表会(1974), 3) 三井山岡:砂のせん断特性に及ぼす粒子破碎の影響, 土木学会論集, No.260(1977)

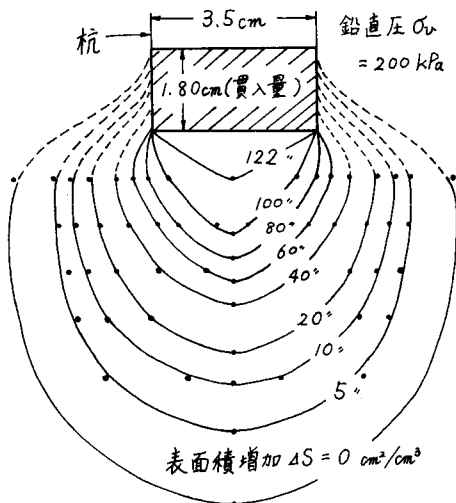


図-3 杭先端付近の粒子破碎分布

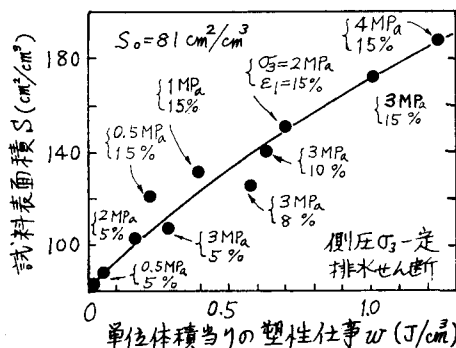


図-4 三軸圧縮試験における $S \sim w$ 線

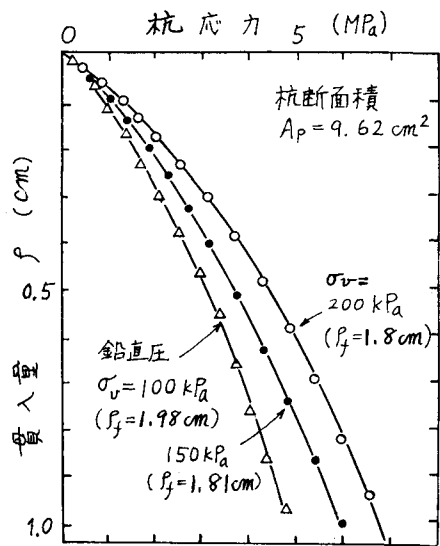


図-5 杭の応力～貫入量曲線