

Ⅲ - B199

締固めた砂杭を有する粘土の非排水強度特性

横浜国立大学工学部 プラザン テージ、○安部 哲生
電源開発(株) 前原 充宏
(株)熊谷組技術研究所 渡辺 則雄、村田 均

1. まえがき: 地盤改良工法の一つであるサンドコンパクションパイル(SCP)工法は施工実績が先行する形式で普及してきたもので、設計法自体には未だ経験的要素が多い¹⁾。茨木ら²⁾は一面せん断試験によって砂杭を含む複合供試体のせん断強度を砂杭への応力集中を考慮して提案している。松尾ら³⁾は三軸試験機を用いて複合供試体のせん断試験を行い、せん断中の応力集中の推定式を提案している。また、SCPで改良された地盤の破壊形態に関しては、遠心力載荷試験や現位置破壊試験が行われ、すべり線は円弧に近いことを示している^{4), 5)}。しかし、SCPで改良された複合地盤の強度増加のメカニズムに関して多くの課題が残されており、系統的な研究が少ない。本研究では、複合供試体を用いた非排水三軸圧縮試験を行い、置換率が強度特性および応力分担率に及ぼす影響について検討した。

2. 試料、試験条件・方法: 2mmのふるいを通させた低塑性の海成粘土(LL=38%, Ip=16, Gs=2.63)をLLの2倍で練り返し、内径30cm、高さ35cmのモールドを用いて0.3kgf/cm²で一次元予圧密させた。まず、粘土試料にケーシングを圧入し、中の土を取り除いた後に相対密度70%になるように湿潤豊浦標準砂を締固めた後ケーシングを静かに引き抜いた。その後、モールドから全試料を取り出し、直径20cm、高さ15cmになるようにトリミングし、三軸セルに複合供試体を設置した。砂杭の直径は置換率 a_s (9.2%, 32.5%, 48.5%)に応じて4種類変化させた。通水および背圧(1kgf/cm²)を作用させて供試体の飽和化を図った。この複合供試体を三軸セルで所定の有効応力 σ'_0 (0.5および1.0kgf/cm²)で等方圧密を行った後に非排水条件で、軸ひずみ速度(0.1%/min)一定でせん断を行った。キャップに取り付けた2個の小型土圧計(ϕ 6mm)およびベDESTALに取り付けた水圧計より圧密時およびせん断試験中での砂杭と粘土に作用する土圧と間隙水圧を測定した。

3. 試験結果及び考察: 図-1に三軸セルの外側で測定した平均的な軸差応力と軸ひずみの関係を示した。置換率 a_s が0とは粘土のみの供試体であり、この時のせん断強度と比較して a_s が9.2%の時の強度があまり増加していないが30%以上から急激に増加する傾向が伺える。図-2に a_s が9.2%の場合の、せん断中の砂部(SCP)および粘土部における有効土圧の変化を示す。有効土圧とは測定された全土圧から過剰間隙水圧を差し引いた値である。全土圧の変化も同様な傾向を示した。これより砂杭の分担応力 σ_s はせん断直後より低下し、逆に粘土部の分担応力 σ_c は増加する事が分かる。これは過剰間隙水圧の発生およびせん断による軸圧縮のため砂と粘土での応力の分担の仕方が変化するためと思われる。図-3に応力分担比 n ($=\sigma_s/\sigma_c$)と軸ひずみの関係を示す。圧密時(軸ひずみが0の時)での応力分担比は高いがせん断が進行するに従い n が低下し、残留強度時には1に近くなる。図-4に置換率 a_s と圧密直後の応力分担比 n の関係を示す。一般的な傾向としては圧密応力 σ'_0 に関係なく a_s が10~30%までは圧密後の n は4~5程度の値を示すが、それ以上ではまた n が低下する。 a_s が100%ではまた1になるはずである。平均せん断応力が最大時を破壊と定義し、その時点での応力分担比 n と a_s の関係を図-5に示す。これより置換率に関係なく最大せん断応力発現時の分担率は圧密時のそれより小さいことが分かる。図-6に複合供試体のせん断強度 τ_{max} を圧密応力 σ'_0 で正規化した値と置換率の関係を示す。これより、複合供試体の強度増加は a_s に対して非線形的に増加する事や a_s が10~30%の間から急増することが分かる。従来の設計法では複合供試体のせん断強度 τ_{max} は $\{a_s \cdot \tau_s + (1-a_s) \tau_c\}$ で与えられる。ここで τ_s 、($=\sigma_s \cdot \tan \phi_s$)、 τ_c 、($=k \sigma_c$)は砂および粘土のせん断強度である。これより、正規化せん断強度 τ_{max}/σ'_0 は $[\{a_s \cdot n \cdot \tan \phi_s + (1-a_s)k\} / \{1+(n-1)a_s\}]$ となる。 $k=0.35$ と $\phi=40^\circ$ とし、また n は圧密後の実測値および一定値($n=3$)

Key words: 締固め砂杭、置換率、応力分担比、せん断強度

連絡先: 横浜国立大学、045-339-4034

を用いた場合の計算値を同図に示した。 a_s が10%では実測値は計算値と一致するが, a_s が大きくなると計算値が実測値を過小評価することが分かる。

4. 結論: 1. 圧密直後の応力分担比は置換率 50%まででは2~5の範囲にあった。せん断に伴い応力分担比が低下し、せん断強度が発揮される時点での応力分担比は1.5~2.5の範囲であった。2. 複合供試体の非排水せん断強度は置換率の増加に伴い非線形的に増加する。3. 従来の設計法によるせん断強度は低置換率では実測値とほぼ一致するが、高置換率では過小評価する事が分かった。

参考文献: 1) 軟弱地盤対策工法、地盤工学会(1985)。2) 茨木他(1965):複合土の直接せん断試験による実験的研究,土と基礎,13,3。3) 松尾他(1967):砂杭を含む粘土の力学的性質に関する研究,土木学会論文集,141。4) Takemura et al. (1991): Stability of soft clay improved with sand compaction piles, 9th Asian Reg. Conf., 1。5) 岡田他(1989):低置換率SCP工法による改良地盤の現地破壊実験,土と基礎,37-8。

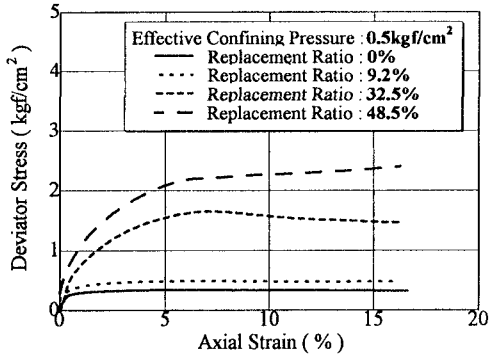


図-1 応力・ひずみ関係

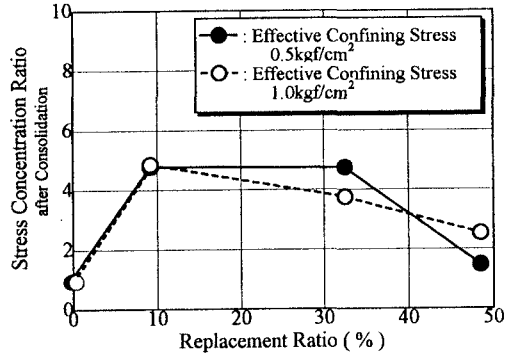


図-4 圧密時の応力分担比と置換率の関係

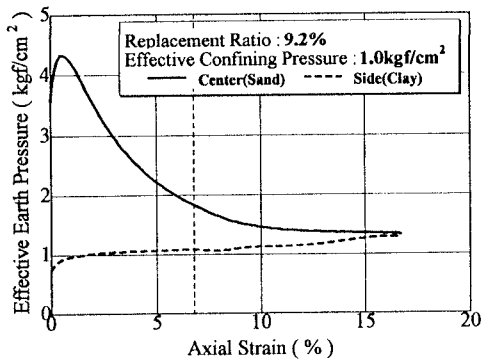


図-2 せん断時の応力分担の変化

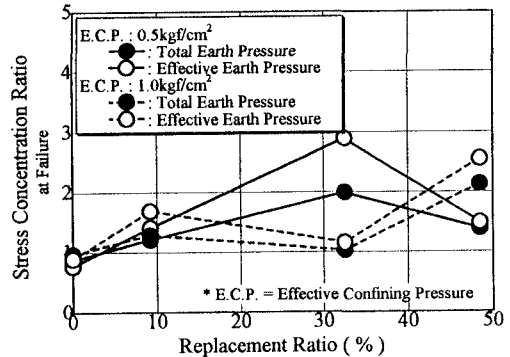


図-5 破壊時の応力分担比と置換率の関係

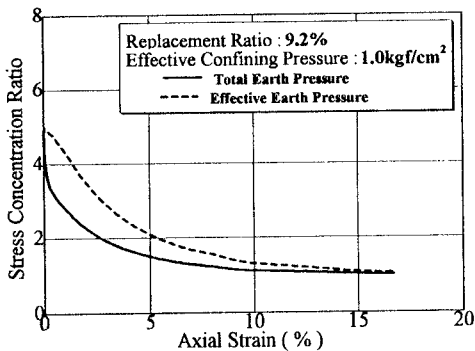


図-3 せん断時の応力分担比の変化

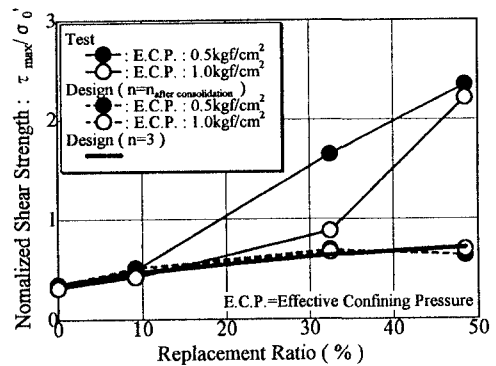


図-6 正規化せん断強度と置換率の関係