

III-403 数値解析による砂杭打設後の杭間粘土の異方性と強度回復の遅れについての一考察

不動建設(株) 正会員 野津光夫
名古屋大学 正会員 浅岡 顕, 小高猛司
清水建設(株) 正会員 小島英郷

1. はじめに

砂杭打設により改良された複合地盤が、大きな支持力を発揮する理由の1つとして、杭間(杭周)粘土の強度増加を挙げることができる。とりわけ低置換率での改良では、この強度増加は複合地盤全体の特性を評価する上で、重要な要因となる。赤木ら(1980)は、SDによる改良地盤でさえも、砂杭打設のみ(盛土なし)によって、杭間粘土が強度増加することをすでに指摘している¹⁾。砂杭打設により円周方向に押し拡げられて破壊した杭周粘土は、その時発生する過剰水圧の消散による圧密に伴い再び蘇り、元の粘土より大きなせん断強度を有する粘土となる。著者らは、杭間粘土の強度増加のメカニズムをこのように考えて、地盤深部で特に大きく現れるこの強度増加の予測手法を提案した^{2), 3)}。解析手法の詳細は文献2), 3)に譲るが、本報では、この手法を用いて、改良地盤の異方性および強度回復の遅れについての一考察を行う。

2. 改良地盤の異方性について

砂杭打設によって杭周粘土地盤は横方向に大きな荷重履歴を受けるため、改良後の地盤の変形・強度特性は改良前の地盤のものとは異なると予想される。それに注目し、土圧係数等を求める実務的な研究⁴⁾や、解析的に改良地盤の変形特性を予測する先駆的な研究⁵⁾も行なわれた。本報では、粘土地盤への砂杭打設を、剛塑性有限要素法を用いて、円筒拡幅の境界条件でシミュレートし、その後の過剰水圧の消散は、剛塑性解析で得られた過剰水圧分布を初期値とする弾性圧密によってシミュレートする。

図1, 2はそれぞれ剛塑性解析に用いた初期の有限要素メッシュおよび地盤の初期応力分布であり、土質定数は表1に示す。図3, 4はそれぞれ直径1.7mまで砂杭を拡幅した場合の塑性流れ図と過剰間隙水圧分布図である。図4の水圧分布を初期値として、置換率25%を想定して直径3.4mの円筒形の範囲にのみ限定して、上端および砂杭に接する内側の境界のみを排水端と仮定して弾性圧密解析を行なった。地盤の透水係数は 1.0×10^{-6} (m/day)とし、弾性定数の決定は文献3)の手法に準ずる。

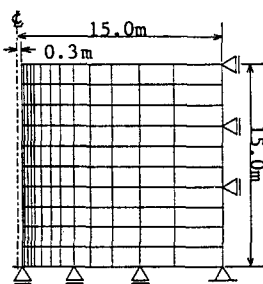


図1 有限要素メッシュ

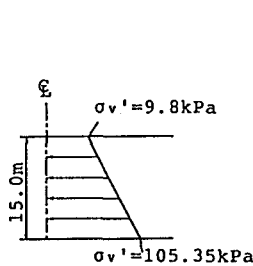


図2 初期有効応力分布

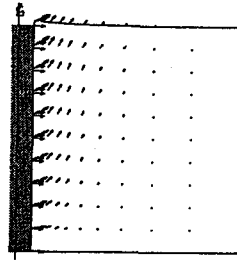


図3 塑性流れ図

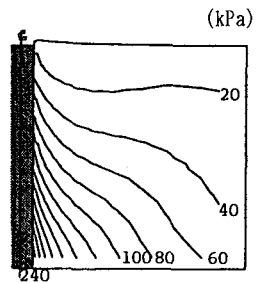


図4 破壊時過剰水圧分布

図5, 6は圧密中における、下から2段目の最も砂杭側の内側の要素(排水境界)と最も砂杭から遠い外側の要素(砂杭間の中心, 非排水境界)の有効応力の推移である。 σ_z , σ_r , σ_θ はそれぞれ、鉛直, 半径, 円周方向の有効応力を表す。砂杭拡幅直後には σ_r が σ_z を上回るが、圧密に伴い再び σ_z が最も大きくなる。図7, 8は図5, 6の有効応力を土圧係数で整理したものである。 K_{rz} , $K_{\theta z}$ はそれぞれ、 σ_r/σ_z , σ_θ/σ_z である。砂杭打設前の初期状態は $K_0=0.5$ であったものが、打設直後には2.0近くまで上昇するも、圧密により土圧係数は1.0以下に落ち着く。また、半径方向

表1 土質パラメータ

λ	0.25	γ_t	16.17 kN/m ³
M	1.2	K_0	0.5
κ	0.1304	e_0	2.0 (G.L.)

と円周方向では応力状態が大きく異なり、改良地盤は3次元的に複雑な応力状態を持つ地盤となっている。

3. 強度回復の遅れについて

図9は舞鶴現場実験⁶⁾において計測された、杭間粘土の一軸強度の推移である。打設直後から120日経過後まで大きな強度増加は見られないが、500日経過後にはかなり大きな強度増加が見られる。この原因は従来砂杭打設による粘土の乱れと考えられている。しかし、ここで図5, 6を再び見ると、外側の要素(図6)が内側の要素(図5)より有効応力の上昇が遅れていることがわかる。圧密による間隙比の変化から強度の変化率(現地盤強度に対する比)を計算したものを図10に示す。いずれの深さにおいても、外側の強度増加は50日以上経過してから始まる。これは、砂杭打設時に発生する水圧が静水圧のように上下方向のみに勾配をもつのではなく、図4のように水平方向にも勾配を持っているため、圧密初期には砂杭側から外側に向けて水が流れることもあるため、外側の水圧の消散の遅れ、すなわち強度増加の遅れがあると考えている。特に実地盤の調査ボーリングは杭間の中心で行なわれることが多いため、強度増加の遅れが顕著

に観測されることが多いと

に観測されることが多いと 図9 舞鶴での強度回復の遅れとその後の増加⁶⁾

も考えられる。その場合、地盤全体としての強度は調査結果で見ると、もっと増加しているかもしれないし、もう少しの放置期間をおけばさらなる強度増加も期待できるとも考えられる。

4. おわりに

本報の解析では打設後の砂杭径は縮まらず不変であるという条件であったが、たとえ粘土地盤の土圧によって砂杭径が若干縮まっても、解析結果はほとんど変わらず、強度増加が起こることを別途確かめている。

参考文献 1) 赤木(1980): 排除型砂杭の打設に伴う間隙水圧と地表面の変動, 第15回土質工学研究発表会, pp. 1633-1636. 2) 浅岡ら(1994): Bearing capacity of clay improved with sand compaction piles, Proc. 13th ICSMFE, pp. 763-766. 3) 浅岡ら(1994): SD, SCPにおける地盤改良原理の考察とその応用, 土と基礎, 42(2), pp. 7-12. 4) 木村ら(1986): コンパクションパイル打設地盤の K_0 値について, 第21回土質工学研究発表会, pp. 1863-1866. 5) 関口ら(1986): 締固め砂杭により改良された地盤の応力・変形特性, 第21回土質工学研究発表会, pp. 1073-1076. 6) 岡田ら(1989): 低置換率サンドコンパクションパイル工法による改良地盤の現地破壊実験, 土と基礎, 37(8), pp. 57-62.

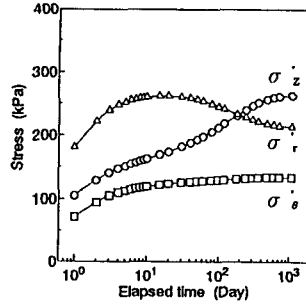


図5 有効応力の推移

(内側要素)

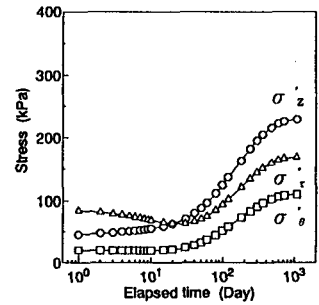


図6 有効応力の推移

(外側要素)

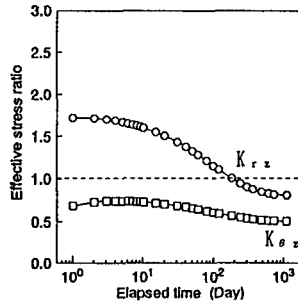


図7 土圧係数の推移

(内側要素)

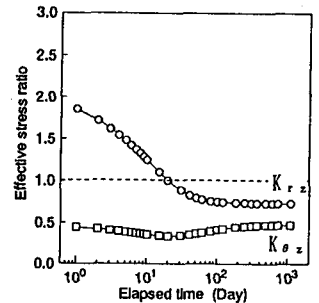


図8 土圧係数の推移

(外側要素)

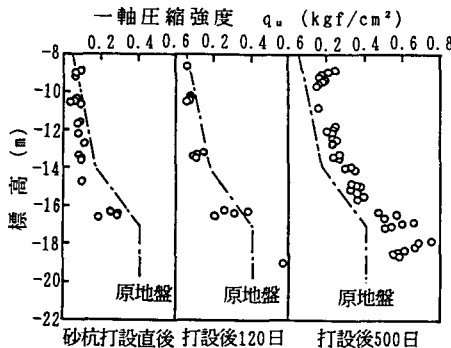


図9 舞鶴での強度回復の遅れとその後の増加⁶⁾

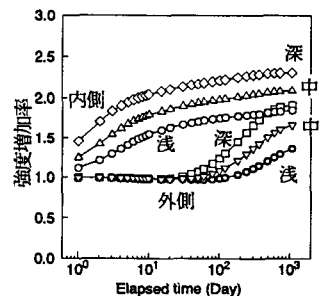


図10 強度増加率の推移