

複合地盤の支持力に及ぼす基礎の剛性の影響および打設時の排土の効果

名古屋大学 正会員 浅岡 顕
 名古屋大学大学院 学生会員 小高猛司
 ○ J R 東海 正会員 真下佐知子

1. はじめに

著者らは砂杭で改良した複合地盤の支持力は、盛土のようなflexibleな荷重に関しては、砂杭部を非排(吸)水条件と考える方が、排(吸)水条件とするよりも大きくなること示し、さらにその非排水仮定が、実際問題で十分起こり得ることも室内実験と現地破壊実験の事後解析によって示した¹⁾。本論文では複合地盤の発揮する支持力が、コンクリートスラブのようなrigidな基礎の場合にはflexibleな基礎と比べてどのように異なるのかを考察する。また、従来では地盤の乱れとして処理されてしまいがちな砂杭打設時の排土効果(砂杭が粘土部を押し退けることに伴う効果)が、複合地盤の支持力に及ぼす影響についても別途考察した。

2. 2次元平面ひずみ条件での複合地盤の支持力解析

砂杭部の排水状態が排(吸)水および非排(吸)水の両極の場合を想定し、連成極限つり合い解析を用いて以下の解析を行った。表1, 図1は解析に用いた土質パラメータおよび地盤の初期応力状態である。本解析では地盤底部での P_y'/P_0' を過圧密比OCRと定義した。このOCRが大きいほど砂杭部はよく締め固められていることを表し、砂杭部を非排水と仮定した場合にのみ支持力算定に直接関与する¹⁾。

(1) rigidな基礎で荷重した場合の支持力～置換率関係

図2は解析に用いた有限要素メッシュである。基礎底面に接する節点での鉛直方向の変位速度を一定値に制約することにより、rigidな基礎の荷重の場合の支持力を解析した。また、基礎底面に接する節点での水平方向の変位速度を制約しない場合は基礎底面が滑(smooth)であるとし、0と制約した場合は基礎底面が粗(rough)であるとした²⁾。

表1 土質パラメータ

	λ	κ	M	γ_t (kN/m ²)
砂	0.03	0.003	1.2	16.17
粘土	0.25	0.1304	1.2	16.17

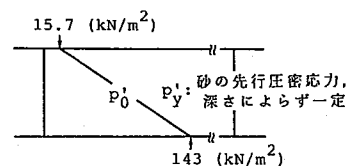


図1 初期応力状態

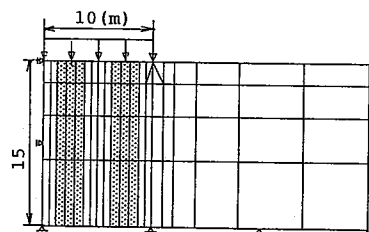


図2 有限要素メッシュ(rigid)

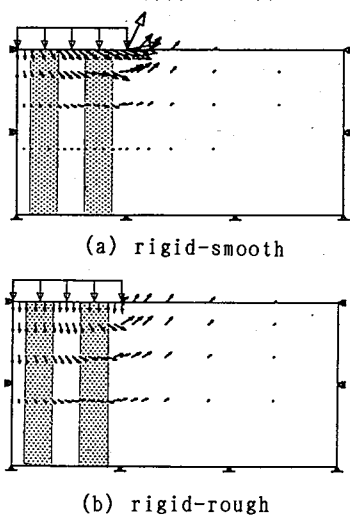


図3 破壊時塑性流れ図 (As=50%, OCR=30)

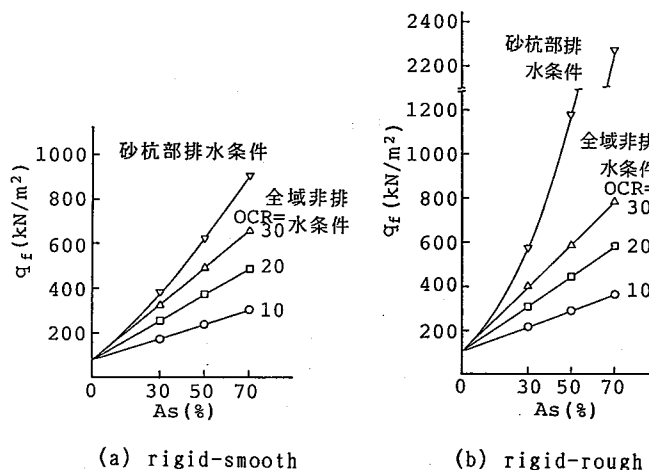


図4 支持力～置換率関係

Bearing capacity analysis of composite ground taking account of foundation rigidity and earth removed effect: Akira ASAOKA, Takeshi KODAKA(Nagoya Univ.) and Sachiko MASHITA(Central J.R.)

図3は破壊時塑性流れ図(置換率50%, OCR=30)である。smooth, roughいずれの場合も大きな領域で砂杭部、粘土部に関わりなく均等に破壊が生じている。図4は支持力と置換率(A_s)の関係である。rigidな基礎による載荷の場合、支持力は砂杭部を排(吸)水とする方が非排(吸)水とするより大きい。非排(吸)水支持力はいずれも A_s に比例して増大すると見てよいが、排水支持力はその限りではなく、特にroughの場合は A_s に対して飛躍的に増大している。図5, 6はそれぞれsmooth, roughにおける破壊時地盤内鉛直全応力分布である。どの置換率においても粘土部と砂杭部での応力分布はほぼ等しく、杭頭から砂杭への応力集中が著しいのがわかる。これにより砂の拘束圧は直接に剛基礎から与えられると予想できる。

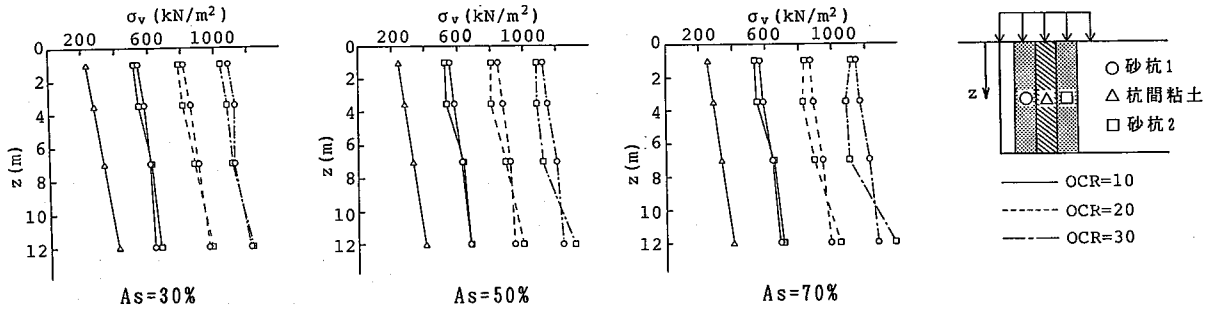


図5 破壊時鉛直全応力分布(rigid-smooth)

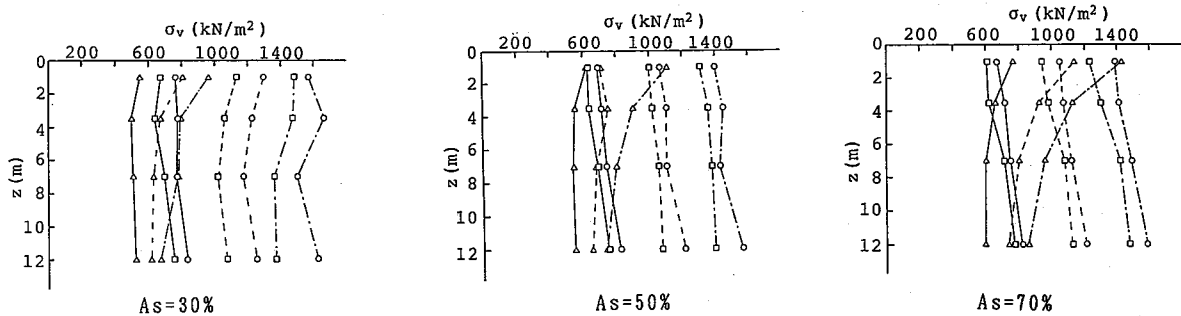


図6 破壊時鉛直全応力分布(rigid-rough)

(2)盛土載荷(flexible)の場合の支持力～改良幅関係

盛土のようなflexibleな荷重による載荷を想定して $A_s=30\%$ で低置換改良した場合に、改良幅が法尻から0m(未改良), 7.5 m, 15m, 30m(全面改良)である場合について解析した。図7に境界条件(改良幅15mの場合)を示す。図8は支持力～改良幅関係である。支持力は改良幅の増加に伴い増大し、若干上に凸の傾向がある。また、砂杭部を非排(吸)水とした方が排(吸)水とするよりも大きい。図9は破壊時塑性流れより得た地盤の破壊状態図である。砂杭は基礎直下の粘土部から発生した側方流動を受け止めるように働いている。そのため改良域は法尻から盛土載荷部の内側に向かって設けるのが効率的であると予想できる。(1)のrigidな基礎と異なり、砂杭への杭頭での応力集中はなく、砂の拘束圧は負の過剰水圧からもたらされる。図10は木村らによる遠心載荷装置によるSCP模型実験³⁾での実験地盤破壊後の写真である。改良幅は本節での解析とほぼ同様に、基礎載荷幅30.0cmに対して7.8cmと15.6cmである。この図における砂杭の変形の状況は、本解析による図9の破壊状態図と非常によく類似している。以上のように、複合地盤の支持力発揮のメカニズムは基礎によって異なり、SCPを施工する際には、基礎の種類に応じて排水条件も考慮に入れた対策を立てるのが望ましいことがわかる。

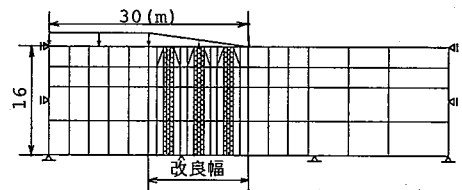


図7 境界条件(改良幅15mの場合)

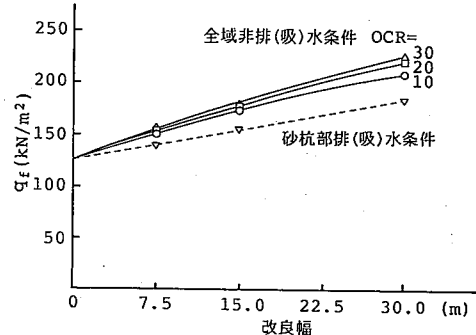


図8 支持力～改良幅関係

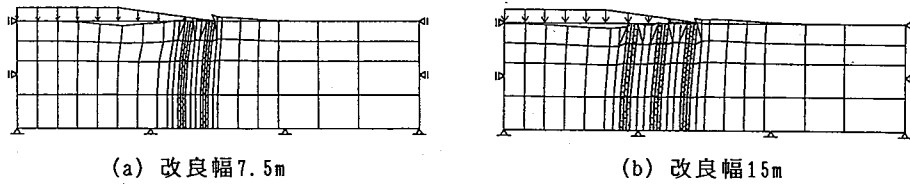


図9 破壊状態図

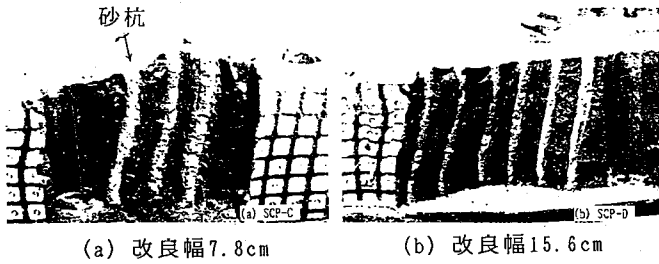


図10 遠心载荷実験でのSCP地盤の破壊の様子(木村ら³⁾)

表2 土質パラメータ

(1)		(2)		(3)	
(粘土)		(粘土)		(砂杭)	
λ	0.25	E	235kN/m ²	λ	0.03
κ	0.13	ν	1/3	κ	0.003
M	1.2	v_0	3.0	M	1.2
K_0	1.0			K_0	1.0
p'_0	19.6kN/m ²			p'_0	19.6kN/m ²

3. SCP地盤の支持力に及ぼす排土効果に関する一考察

SCP打設時には、砂杭の周りの粘土は横方向に押広げられ破壊する。砂杭打設が完了すれば粘土の流動も止まり、この時点から破壊に伴い発生した過剰間隙水圧の消散が始まる。従来の考え方では、打設後の放置期間は、施工中に乱された粘土が元の強度に回復するまでの期間であるとしている。しかし、実際には過剰水圧の消散という圧密現象が起きているために、この放置期間内に粘土は元の強度に回復するどころか、元の強度を上回ることになる。つまり、SCP工法では砂杭の打設自体がサンドドレーン工法のサーチャージと同じ役割を果すのである。以下、低置換SCP工法の支持力発揮の原理がこれにあると考え、この原理に沿って簡単なモデルのシミュレーションを行い、複合地盤の排土効果による支持力の増加率を調べた。計算には表2のパラメータを用いた。

(1) 砂杭打設時の杭間粘土の破壊

図11はSCP打設前の地盤の境界条件である。砂杭打設を想定し中央の直径1mの穴を直径3mまで拡幅する。軸対称条件での剛塑性変形解析⁴⁾を用い、杭径が3mまで拡幅される過程(拡幅終了時 $A_s=9\%$)を0.5mずつの拡幅で計4ステップで計算する。図12は最終ステップでの有限要素メッシュおよび破壊時塑性流れを示す。図13は砂杭拡幅に伴い破壊した周囲の粘土地盤の破壊時過剰間隙水圧分布である。

(2) 打設後の過剰間隙水圧の消散

(1)の最終段階のメッシュ(図12)のまま図13の破壊時過剰間隙水圧を初期値とし弾性圧密解析を行う。表2に示したヤング率は体積圧縮係数 $m_v (= \lambda / p'_0 v_0)$ の逆数として計算した。排水境界は上面および砂杭と接し

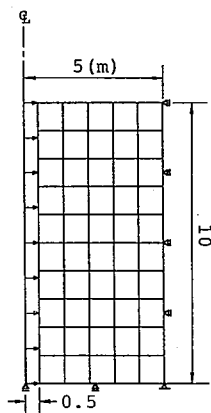


図11 SCP打設前の境界条件

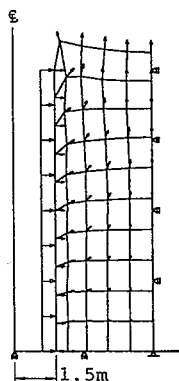


図12 破壊時塑性流れ

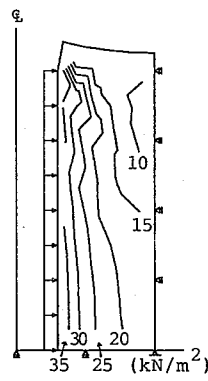


図13 破壊時過剰間隙水圧分布

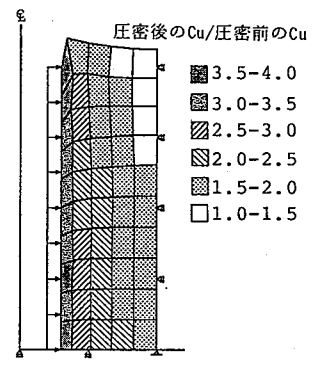


図14 Cuの増加率

ている内面とする。図14は圧密解析で得られた体積減少量からCam-Clayモデルを用いて計算した圧密終了時の粘土の非排水せん断強度 C_u の増加率である。

(3) 圧密完了後のSCP地盤の支持力解析

(2)の強度増加後の粘土でSCP地盤の支持力解析を行う。拡幅された中心部に砂の要素を加え(図15)、盛上がり土を削り取り上方を平坦にした後に、剛な基礎を載荷したとして砂杭部のみ非吸(排)水条件で支持力解析する。表3に解析結果を示す。支持力は排土効果を受けず原地盤の強度で計算した結果の約1.6倍となり、たとえ低置換($A_s=9\%$)であっても驚くべき改良効果が表れている。この排土効果による強度の増強の有無が低置換SCP工法とサンドドレーン工法との大きな違いとなる。

表3 解析結果

粘土原地盤だけの支持力	$q_r=14.6$
上と同じ境界条件で粘土部が原地盤のまま((1)の初期条件)とした場合の支持力	$q_r=26.3$
粘土部が(1),(2)の過程を経た排土効果を考慮した(3)での支持力	$q_r=42.8$ (kN/m^2)

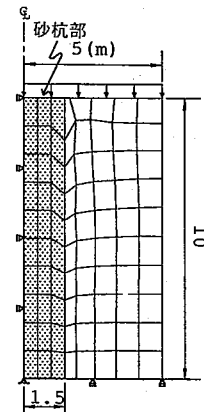


図15 圧密後の支持力解析の境界条件

4. おわりに

コンクリートスラブ等の剛な基礎を載荷する場合には、置換率が大きいほどそれに比例した支持力増大が期待できる。しかも排水条件でより改良効果が上昇することから、砂杭の排水に注意をすればかなりの改良効果が期待できる。一方、盛土などのflexibleな荷重を載荷する場合、砂杭は粘土部に集中する水平方向に卓越した塑性流れを受け止めて、地盤全体の安定性を確保する役割を担う。その際には、砂杭を含めた地盤全体が非排(吸)水条件となるほうがより高い改良効果が得られる。このように、軟弱粘土を締固めた砂杭で改良する際には、基礎の種類に応じた対策を立て施工する必要がある。また、従来は砂杭打設による粘土地盤の「乱れ」として処理されていた排土による効果は、低置換SCP工法に取って驚くべき改良効果をもたらしていることがわかった。

参考文献

- 1) 浅岡 顕・小高猛司：複合地盤の非排水支持力に関する研究，土木学会論文集Ⅲ-19，(1992)。
- 2) 浅岡 顕・小高猛司・野田利弘：不均質地盤の剛塑性解析のためのsoil profileの決定およびメッシュの更新，第4回地盤工学シンポジウム(地盤工学と数値解析)，土質工学会中部支部，(1992)。
- 3) J. Takemura, L. B. Tean, N. Suemasa, A. Hirooka, T. Kimura: Stability of Soft Clay improved with Sand Compaction Piles under a Fill, proc. of Geo-Coast '91, pp.309-404(1991)。
- 4) 浅岡 顕・小高猛司：連成極限解析による飽和粘土の破壊後挙動実験のシミュレーション，第27回土質工学研究発表会講演集，pp.657-658(1992)。