

貫通と不貫通 SCP による組合せ改良地盤の圧密沈下挙動

広島大学大学院工学研究科 正会員

森脇武夫

広島大学大学院工学研究科 学生会員

Yosep Erwin S.

広島大学工学部

学生会員

○繁富宜和

1. はじめに

現在、深刻な問題となっている建設用の砂不足や建設コスト縮減に対応するために、SCP（サンドコンパクションパイル）を経済的かつ有効的に打設する方法の開発が求められている。本研究では、これまでの不貫通 SCP に関する研究成果をもとに、貫通と不貫通 SCP による組合せ改良地盤の上載圧を変化させた場合の地盤の圧密挙動に注目し、このような改良形式における複合地盤の沈下予測式を検討する。

2. 実験装置および実験方法

試料は、粘土地盤に広島県出島地区沖より採取した出島粘土を、SCP には豊浦標準砂を使用する。載荷装置は複動式ペロフラムシリンダーを、容器は直径 247.7mm、高さ 460mm の円筒圧密容器を使用する。圧密試験は、作成した地盤に圧密荷重（98, 147, 196kPa）を鉛直等ひずみ条件で載荷して行う。載荷は瞬間載荷とし、排水条件は両面排水とする。

実験パターンは、不貫通 SCP の貫通率を 50%, 75%, 100% と無改良の 4 パターンの地盤を作成し、それぞれ圧密荷重を 98, 147, 196kPa の 3 パターンで計 12 パターンの圧密試験を行う。土圧計の配置図の一例を図 1 に示す。

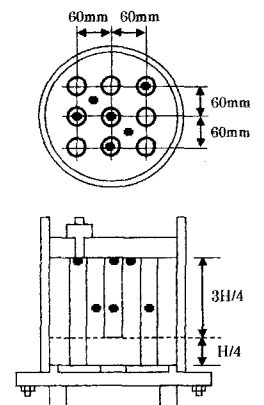


図 1 土圧計の配置図

3. 有限要素法解析

本研究では、応力分担比を決定するために実験と同様の条件で解析モデルを設定し複合地盤の内部応力状態を再現できる有限要素法解析を行う。今回の解析では粘土の構成モデルに修正 Cam-Clay モデル、SCP の構成モデルにバイリニア硬化塑性体モデルを用いた。

4. 実験・解析結果および考察

(1) 応力分担比

図 2～5 は粘土・貫通 SCP・不貫通 SCP の有効応力増分および応力分担比の深度分布を示したものである。図 5 より、実験と解析より求めた貫通・不貫通 SCP の応力分担比の深度方向分布を比較すると、実験における貫通 SCP の深度 $z/H=0.75$ の値が解析と比べてかなり小さくなっている。これは、土圧計を設置する際に粘土が乱れてしまったためだと考えられ、これは図 2 から分かる。しかし、全体的には実験値と解析値は良く一致する結果となった。そこで、解析結果を用いて応力分担比に及ぼす上載圧 Δp の影響を検討すると(図 6, 7), 上載圧が大きくなるほど応力分担比が減少していることが分かる。これは、上載圧が大きくなると、SCP が早く降伏し SCP で支持できなかった鉛直応力が杭間粘土へ配分されたためだと考えられる。また、グラフ内の“49-75”とは、上載圧 $\Delta p=49\text{kPa}$ で、不貫通 SCP の貫通率が 75% という意味である。

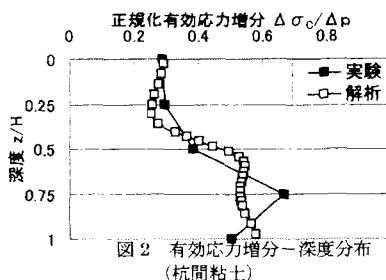


図 2 有効応力増分-深度分布 (杭間粘土)

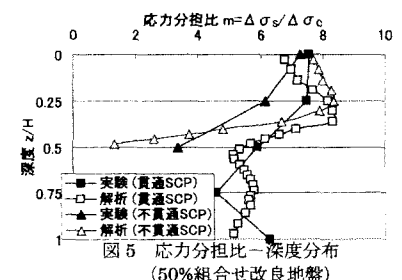


図 5 応力分担比-深度分布 (50% 組合せ改良地盤)

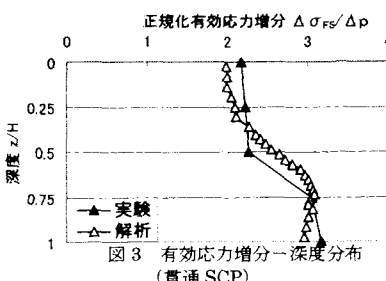


図 3 有効応力増分-深度分布 (貫通 SCP)

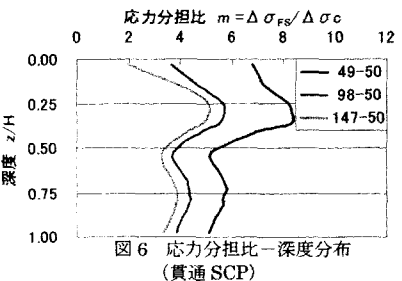


図 6 応力分担比-深度分布 (貫通 SCP)

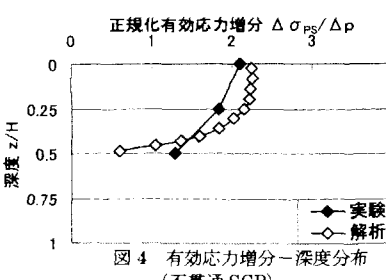


図 4 有効応力増分-深度分布 (不貫通 SCP)

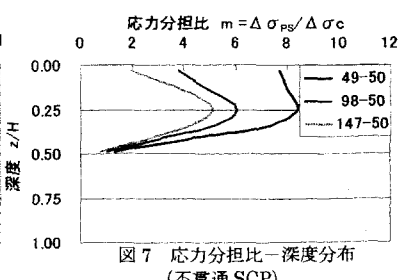


図 7 応力分担比-深度分布 (不貫通 SCP)

(2) 有効貫通率の定義

図 7 より上載圧が異なっても不貫通 SCP はある深度になると応力分担比が急激に減少している。つまり、不貫通 SCP はある深度以深になると SCP としての機能を発揮していないということである。そこで、不貫通 SCP の長さ H_d を、実際に SCP としての応力集中効果が発揮できる長さ H_d' として、不貫通 SCP の有効貫通率 H_d'/H を求め、有効貫通率までの範囲の不貫通 SCP を有効とし、それ以深を無効と考える。有効貫通率は解析結果から得られた貫通 SCP の応力分担比—深度分布において、不貫通 SCP の応力分担比が、地表面から不貫通 SCP の打設深度 H_d/H までの SCP の平均応力分担比 m_{ua}' の 90% になる範囲までと定義した (図 8)。得られた結果を表 1 に示す。表 1 より、上載圧が異なっても有効貫通率(H_d'/H)は 50% 組合せ改良地盤のときには約 36%, 75% 組合せ改良地盤のときには約 60% と一定となることが分かる。このことから、不貫通 SCP が SCP としての応力集中効果を期待できる長さは、不貫通 SCP の貫通率によって一定の値で設計することができる。また、不貫通 SCP の貫通率の増加に伴い、不貫通 SCP が SCP として機能している割合が増加することが分かった。

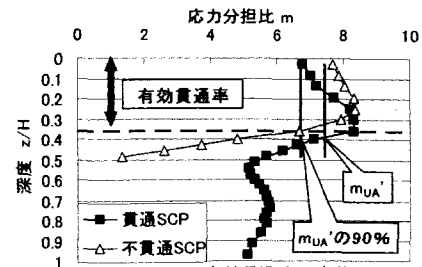


図 8 有効貫通率の定義

(3) 設計に用いる応力分担比

表 1 有効貫通率, 平均・換算応力分担比

解析結果より上部層の貫通・不貫通 SCP の平均応力分担比 m_u' と下部層の平均応力分担比 m_i' および完全改良地盤の平均応力分担比 m_0' を求め、 m_u'/m_0' と m_i'/m_0' を算出する。ここに、

実験コード	H_d/H	H_d'/H_d	m_0	m_0' or m_u'	m_0' or m_i'	m_u'/m_0'	m_i'/m_0'	$m_u=m_0 \times m_u'/m_0'$	$m_i=m_0 \times m_i'/m_0'$
49-50	0.36	0.72	-	7.20	5.76	1.06	0.85	6.46	5.17
49-75	0.60	0.80	-	7.51	6.10	1.11	0.90	6.74	5.48
49-100	1.00	1.00	6.09	6.79	6.79	1.00	1.00	6.09	6.09
98-50	0.37	0.74	-	5.09	4.21	1.14	0.95	5.07	4.19
98-75	0.60	0.80	-	4.85	4.31	1.09	0.97	4.83	4.29
98-100	1.00	1.00	4.42	4.44	4.44	1.00	1.00	4.42	4.42
147-50	0.36	0.72	-	4.14	3.72	1.08	0.97	4.41	3.96
147-75	0.60	0.80	-	3.98	3.79	1.04	0.99	4.24	4.04
147-100	1.00	1.00	4.07	3.82	3.82	1.00	1.00	4.07	4.07

m_u'/m_0' および m_i'/m_0' は、それぞれ不貫通 SCP の貫通率に伴い変化する上下層の応力分担比を完全改良地盤の応力分担比で無次元化するものであり、 m_u' , m_i' , m_0' の値は解析と実験で異なるものの、その比である m_u'/m_0' と m_i'/m_0' の値は解析と実験で一致すると考える。この値と実験結果より得られた無改良地盤の沈下ひずみと完全改良地盤の沈下ひずみより算出した平均応力分担比 m_0 を用いて、実験における有効貫通率までの改良地盤 (上部層) の換算応力分担比 $m_u=m_0 \times m_u'/m_0'$ および有効貫通率以深の改良地盤 (下部層) の換算応力分担比 $m_i=m_0 \times m_i'/m_0'$ を算出する。その結果は表 1 に示す。

(4) 圧密沈下—時間関係

標準圧密試験より求めた圧密係数 c_v' を用いて、有効貫通率によって分割した上下各層の圧密沈下—時間関係を Carrillo の方法によって求める。また、二次圧密係数 ϵ_α を用いて上下各層の二次圧密沈下曲線を求めて、Carrillo の方法によって求めた一次圧密曲線の後半部分に追加する。このようにして得られた上下各層の圧密沈下—時間関係を重ね合わせることで組合せ改良地盤の圧密沈下—時間関係を求めた。その結果を図 9, 10 に示す。上載圧 $\Delta p=98, 147\text{kPa}$ ではどちらの改良地盤も実験値と予測値がほぼ一致したが、上載圧 $\Delta p=49\text{kPa}$ ではどちらの改良地盤も予測値の圧密速度が実測値より速くなっている。これは、本研究において標準圧密試験結果より、圧密係数 c_v' ($=178[\text{cm}^2/\text{d}]$) を一定として解析を行ったが、実際には一定ではなかったために圧密速度が速くなったことが推測される。

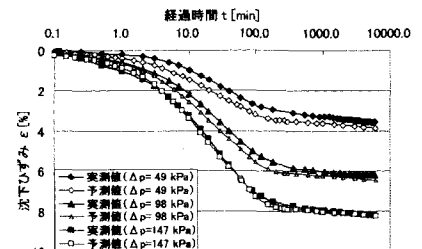


図 9 50% 組合せ改良地盤

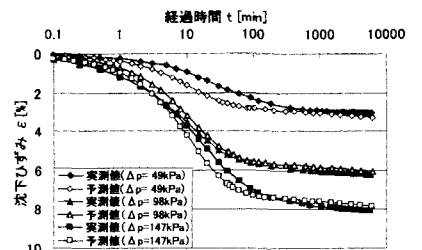


図 10 75% 組合せ改良地盤

5. 結論

(1) 応力分担比は有効貫通率で浅くとも深くとも、上載圧が増加すると、貫通率の違いに関わらず減少していくことが明らかになった。また、有効貫通率は上載圧の違いに関わらず、不貫通 SCP の貫通率によって一定の値になることが明らかになった。

(2) 全体的に見ると沈下ひずみ—時間曲線の予測結果と実験結果はほぼ一致しているといえる。そのため、上載圧や不貫通 SCP の貫通率が異なっても、本研究で用いた沈下予測式は有効である。