

遠心模型実験による未貫通 SCP 打設地盤の圧密挙動の究明

広島大学 正会員 森脇 武夫

広島大学大学院 学生会員 鄭 鐘範

広島大学工学部 学生会員 〇今井 崇満

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（以下 SCP）工法を軟弱地盤に適用する際、施工機械の施工能力不足、経済的制約、下部砂礫層から SCP への地下水の流入防止、SCP から下部砂礫層への汚染水の流入防止等の理由から SCP を支持層となる下部砂礫層まで貫通させず未貫通とすることがある。SCP の力学挙動については不明な点が多く、性状の複雑な砂と粘土の複合地盤に対するものであるため、SCP の設計法は必ずしも SCP の力学的挙動を再現したものとはなっていない。特に未貫通 SCP の実用設計法では、経験的な要素に頼る部分も多いため、未貫通 SCP 改良地盤の圧密沈下量を過小に見積もったりするなど問題が生じている。このようなことから、未貫通 SCP 改良地盤の圧密挙動の究明が求められている。そこで、本研究では遠心模型実験（Centrifuge test）と室内 1g 模型実験（1g test）のデータを用い、未貫通 SCP 改良地盤の圧密挙動を調べた。

2. 試料及び実験方法 実験に用いた試料は、広島湾五日市沖より採取した広島粘土で、含水比を液性限界の約 2 倍に調整後、室内で繰り返し再圧密したものを使用した。SCP には豊浦砂を使用した。それぞれの物理特性を表 1、2 に示す。

表 1 広島粘土の物理的性質

G_s	$w_L(\%)$	$w_P(\%)$	I_P
2.657	110	43.2	66.8

表 2 豊浦砂の物理特性

G_s	e_{max}	e_{min}	$\gamma_{dmax}(g/cm^3)$	$\gamma_{dmin}(g/cm^3)$
2.64	0.996	0.601	1.646	1.332

方法は 49kPa の圧密荷重、両面排水条件のもとで一次元的に圧密した後、土圧計、間隙水圧計と相対密度 $D_r = 70\%$ で凍結させた SCP を設置し、再度 49kPa で圧密し SCP と粘土を安定させた。本実験は、作成した地盤に圧密荷重が 98kPa となるように鉛直等ひずみ条件の下で载荷し圧密した。载荷は瞬時载荷、排水は上面のみで下面は非排水とした。

(2) Centrifuge test 遠心模型装置内のリングチャンネルに図 2 に示すコンテナを設置し、ボアリングシステムより投入された広島粘土を回転加速度 30→50→100→200g まで段階的に加速し、自重圧密させる。このときの排水条件は両面排水とした。3t 法で圧密終了を確認した後、一旦装置を止め、载荷重が 49kPa となるように豊浦砂を粘土地盤上に敷設し、200g で再び予圧密を行った。その後、装置を止めてリングチャンネルを取り外し、予め $D_r = 70\%$ に調整した SCP、土圧計、間隙水圧計、変位計を設置する。再びリングチャンネルにコンテナを戻し、200g の下で圧密荷重が 98kPa となるよう、図 2 のように与え圧密を行った。このときの排水条件は上面のみの片面排水とした。

3. 実験条件 Centrifuge test と 1g test は同じ実験条件で行った。すなわち、SCP の相対密度 $D_r = 70\%$ 、置換率 $a_s = 28.8\%$ に対して貫通率 H_d/H が 100% の全貫通と 75, 50% の未貫通の合計 3 パターンをそれぞれの実験方法で行った。土圧計、間隙水圧計、変位計の配置は図 1、2 に示した通りである。

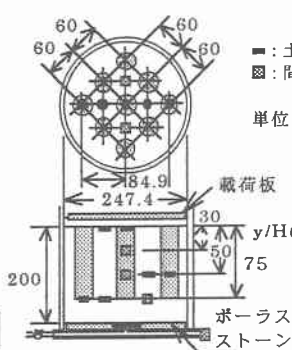


図 1 1g test 地盤

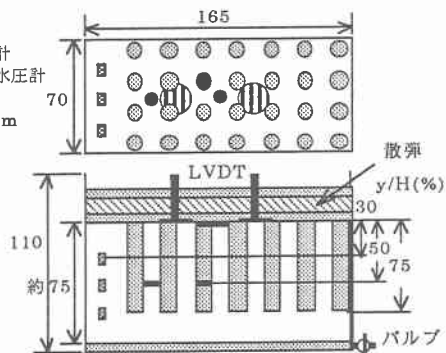


図 2 Centrifuge test 地盤

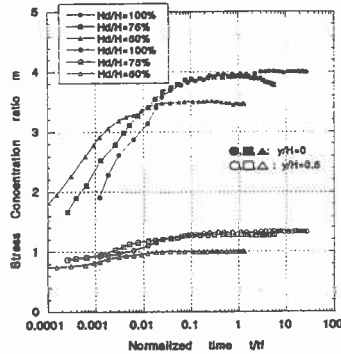
(1) 1g test 直径 247.2mm、高さ 460mm のモールド内で地盤作成から圧密試験まで行った。地盤の作成

4. 実験結果及び考察 図3は

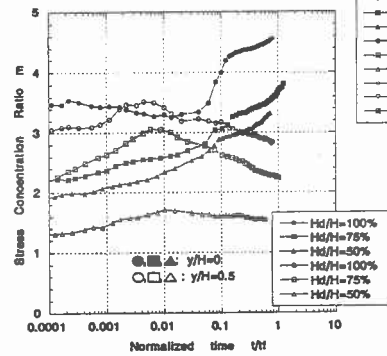
SCP 模型地盤の応力分担比 ($m = \sigma_s / \sigma_c$) と正規化した時間 (t/t_f は圧密時間 t を $3t_f$ 法で決定した圧密終了時間 t_f で正規化したものである) の関係を示す。図3(a)に示す Centrifuge test のものを見ると、地盤表面 $y/H = 0$ 、地盤中部 $y/H = 0.5$ とともに応力分担比 m の値は時間とともに上昇し、それぞれ $m = 3.4 - 4.0$ 、 $1.0 - 1.2$ となり、その後一定の値をとる。

m が上昇する要因としては、圧密荷重載荷後に剛性の高い SCP に応力が集中することが挙げられる。また m の上昇が頭打ちになる要因としては、間隙水圧が消散し、粘土地盤がある程度の強度を持つと、SCP に集中する応力が、粘土地盤に再配分されることが挙げられる。一方、図3(b)に示す lg test では、Centrifuge test と若干の挙動の違いが見られる。すなわち、lg test の特徴として $y/H = 0$ では、全ての貫通率において、約 $t/t_f = 0.05$ 辺りで m は急激に増加し、圧密終期には $m = 3.5 - 4.5$ となっているが、 $y/H = 0.5$ では m は一旦 $1.8 - 3.5$ のピークを迎え、その後減少している。 m が減少する要因は、Centrifuge test と同様に SCP に集中していた応力が粘土に再配分されるため、その程度が Centrifuge test より lg test の方が大きいためと考えられる。図4は正規化した深度と応力分担比の関係を圧密度でまとめたものである。全体の傾向として圧密終了に近づくにつれ、 m は $y/H = 0$ では増加し、 $y/H = 0.5$ では減少していく様子が見られる。 $H_d/H = 75\%$ の lg test では、Centrifuge test の $H_d/H = 100\%$ と同様の傾向が見られるが SCP と下部粘土層の境界面にあたる $y/H = 0.75$ では $H_d/H = 100\%$ のものと比べ m が極端に小さくなっている。今回の実験では計測することが出来なかったが、同様の現象は $H_d/H = 50\%$ の $y/H = 0.5$ でも起こっていることが想像される。また、紙面の都合で図は省略するが、間隙水圧の消散は lg test に比べて Centrifuge test の方が遅れる傾向が認められた。さらに、SCP が未貫通の場合は、SCP 下端部で未貫通粘土部分の影響を受けて間隙水圧の消散が遅れ、その傾向は貫通率が小さいほど顕著であった。

5. 結論 本研究では、SCP を未貫通とした場合と貫通とした場合の圧密挙動を lg test と Centrifuge test を行って検討し、次の結論が得られた。1) Centrifuge test と lg test とともに貫通率が下がると応力分担比の低下が見られ、また SCP 下端面で一番小さくなることが明らかとなった。設計において、SCP 下端面付近をすべり面が通る場合、応力分担比の値の取り方に注意が必要である。2) 両試験ともに SCP が未貫通の場合、SCP 下端深度での間隙水圧は、SCP 未貫通部分の影響を受けて消散が遅れ、この傾向は貫通率が小さい場合に強くなる。

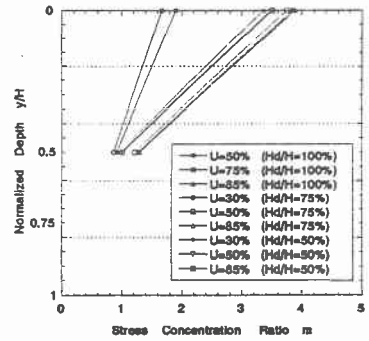


(a) Centrifuge test

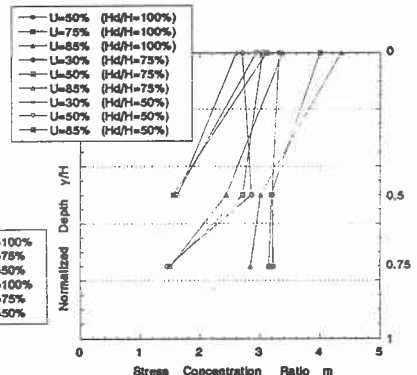


(b) lg test

図3 貫通率による応力分担比と
正規化した時間の関係



(a) Centrifuge test



(b) lg test

図4 正規化した深度と
応力分担比