

造粒砂杭を用いた改良地盤の圧密挙動に関する遠心模型実験

独立行政法人港湾空港技術研究所 フェロー会員 北詰昌樹
 国土交通省中部地方整備局 正会員 宮島正悟, 長谷川雅弘, 中出浩靖
 株式会社ジオデザイン 正会員 丸山憲治

1. はじめに 近年, サンドドレーン工法などで必要とされる良質な砂質土が不足してきており, 多種多様な材料が適用もしくは適用性の検討が行われている. その中で, 港湾工事で発生する浚渫土や碎石スラッジを生石灰で固化処理し, 造粒化して作製した粒状土(以下, 造粒砂と称す)のサンドドレーン工法への適用性の検討も進められている. 本研究では, 造粒砂を用いた改良地盤の圧密変形挙動を把握し, その適用性を検討するために, ドレーン径の異なる造粒砂杭を打設した粘土地盤を対象とした遠心模型実験を行った.

2. 造粒砂と実験概要 本実験で用いた造粒砂(図-1)は, 安山岩質の碎石を選別した際に発生する脱水処理したスラッジに, 生石灰を乾燥重量比で4%添加混練し, 造粒化して製造したものである. スラッジならびに造粒砂の物理特性を表-1に示す. 造粒前の碎石スラッジはシルト分と粘土分の合計が90%以上にも達する非常に微粉末であるが, 造粒化することによってほとんどレキ分と砂分のみとなる材料となることが分かる¹⁾. 遠心模型実験の模型概略図および実験ケースを図-2に示す. 実験ケースとしては造粒砂杭の直径を14mm, 20mm, 28mm, 47mmの4種類とした. 試料容器には直径11cmのアクリル製の円筒試料容器を使用した. 模型地盤は, まず各造粒砂杭の外径に相当する薄肉パイプを支持砂層中心部に鉛直に設置した. そして, 初期含水比 $w_0=120\%$ に調整したカオリン粘土スラリーを薄肉パイプの外側に厚さ40cm投入し粘土地盤を作製した. 粘土地盤は試験室内で豊浦砂を用いて0.98kPaの圧力で予備圧密した. その後, 薄肉パイプの中に緩詰め(乾燥単位体積重量 $\gamma_d \approx 0.83 \text{gf/cm}^3$)となるように所定の量の造粒砂を投入し, 薄肉パイプのみを丁寧に引き抜いてドレーンを作製した. 粘土地盤上端にはドーナツ型のメンブレンを敷いて, 圧密時に極力ドレーン部のみから排水されるようにした. 予備圧密で層厚が約30.3cmとなった粘土地盤上に層厚10cmの砂層を作製した後, 10g, 20g, 40gの遠心加速度の下で圧密させた. 実験中には, 模型地盤の沈下量, ドレーンの杭頭および粘土地盤上での鉛直応力を測定した.

3. 実験結果および考察 40gの遠心加速度場における圧密度-時間曲線を図-3に示す. 同図には無改良の場合の計算値も示している. 計算に用いた圧密係数は, 各ケースにおける $\sqrt{t}$ 法から求めた t_{90} の実験値と, ドレーンへの応力集中がない場合のBarronの式²⁾から逆算して求めた圧密係数の平均値とした. また計算に用いた粘土地盤の厚さは, 遠心加速度40g場到達直後における各ケースの粘土地盤厚さの平均値とした. 同図より, 造粒砂杭を用いたいずれのケースも無改良地盤(計算値)と比べて急速に圧密が進行していることが分かる. また造粒砂杭の直径が大きくなるほど圧密が速く進行することが分かる. 同様な傾向は遠心加速度が10g場お



図-1 造粒砂

表-1 造粒砂の物性

		碎石スラッジ	造粒砂
粒度特性	土粒子の密度(gf/cm^3)	2.681	2.6
	レキ分(%)	0	56
	砂分(%)	9	43
	シルト分(%)	62	1
	粘土分(%)	29	—
	最大粒径(mm)	0.25	9.5
		液性限界(%)	34.0
		塑性限界(%)	23.3
		塑性指数	10.7

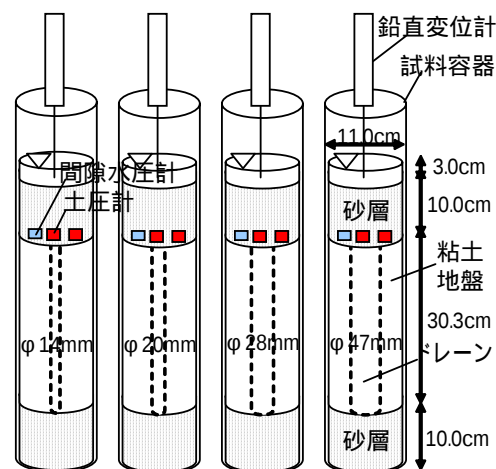


図-2 模型地盤および実験ケース

よび 20g 場の場合にも見られた。

図-4に各遠心加速度での圧密終了時における応力分担比とドレーン径の比 n との関係を示す。ここで、 n は等価有効円の直径 d_e とドレーンの直径 d_w との比で表され、応力分担比は地盤上面に設置した土圧計での計測値より求めた。得られた応力分担比は、実験ケースごとにばらつきがみられるが、一般的にはドレーン径比 n の増加にしたがい増加する傾向が見られる。しかし、いずれの遠心加速度場においても 1~2 程度と比較的小さかった。

40g の遠心加速度場における圧密時間 t_{90} とドレーン径の比 n の関係について実験値と計算値を比較したものを図-5 に示す。ここで、計算値は Barron の式を基にドレーンへの応力集中を考慮しない場合と、考慮した場合を示している²⁾。ドレーンへの応力集中を考慮した場合の計算においては、粘土と造粒砂のポアソン比を一般的な値 ($\nu_c = \nu_s = 0.3$) とし、設定した各応力分担比となるように粘土と造粒砂の剛性比 G_s/G_c を変化させて計算している。まず実験値を見ると、 n が大きくなる(つまりドレーン径が小さくなる)と圧密時間 t_{90} が単調に増加することが分かる。計算値はドレーンへの応力集中の有無によらず、実験値と同様に n が大きくなると圧密時間 t_{90} が単調に増加することが分かる。また、計算値は応力分担比が大きくなると圧密時間 t_{90} も徐々に小さくなること分かる。本実験において、応力分担比はおよそ 1~2 であったことから、理論値は実験値と全般的によく合致していることが分かる。同様な傾向は遠心加速度が 10g 場および 20g 場の場合でも見られた。

実験後に円筒容器から地盤を乱さないように丁寧に模型地盤を取り出し、模型地盤を側面方向から掘削して実験後のドレーンの状況を観察した。一例として造粒砂杭の直径が 28mm の場合における実験後のドレーンの状況を図-6 に示す。ドレーン杭は中央部付近で若干曲がり、上部ではすり鉢状に多少大きくなる様子が観察された。また中央部および下部では杭径が 1~2mm 程度実験前より大きくなっていた。同様の傾向は他のケースでも見られた。

4. おわりに 以下に、本実験で得られた主な知見を示す。

- (1) 造粒砂杭を用いた粘土地盤は圧密が急速に進行し、砂杭径が大きくなるほど圧密が速く進行した。
- (2) 圧密時間 t_{90} とドレーン径比の関係において、Barron の式を基にした計算値は実験値と比較的良好一致した。
- (3) 造粒砂杭には、大きな変形や破断などはみられなかった。

参考文献 1)北詰ら：石灰固化・造粒化した粘性土を用いたサンドドレーン工法の現地実験，第 38 回地盤工学研究発表会，2003 年。2)吉国洋：バーチカルドレーン工法の設計と施工管理，技報堂出版，1979 年 9 月，pp29-58。

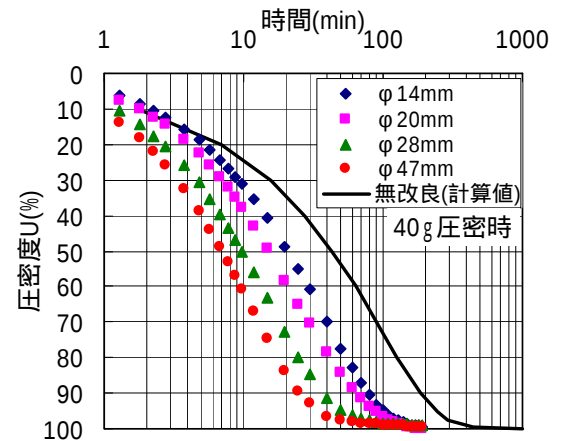


図-3 圧密度と時間の関係

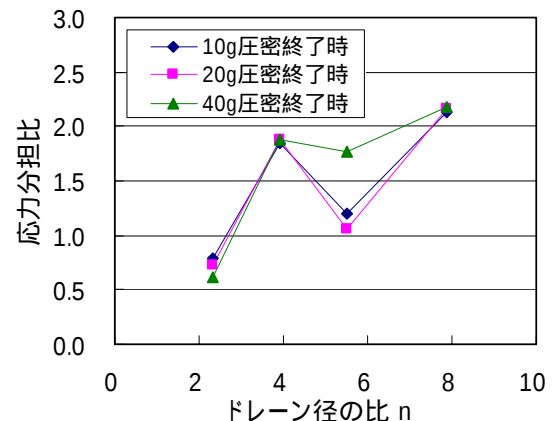


図-4 応力分担比とドレーン径の比の関係

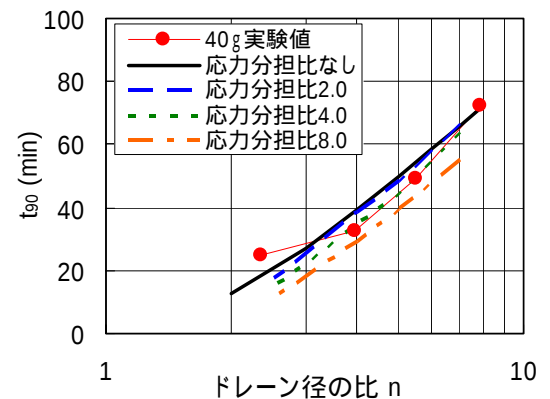


図-5 圧密時間とドレーン径の比の関係



図-6 実験後のドレーン状況