

超軟弱粘土地盤に対するバーチカルドレーンを用いた自重圧密促進工法の諸特性

福岡大学工学部 学生員 ○川島貴幸 清原一樹

福岡大学工学部 正会員 佐藤研一 山田正太郎 藤川拓朗

錦城護謨(株) 正会員 野村忠明

1. はじめに これまでの研究において、プラスチックボードドレーン材の圧密促進効果の有効性が明らかにされてきた¹⁾。バーチカルドレーン工法では、ドレーンピッチの設定等が圧密促進速度に大きく影響する。実務ではバーチカルドレーン工法のドレーンピッチを決める際に Barron の解を用いることが多いが、一方で Barron の解と実測との間に大きな誤差が生じるという報告も多い。近年では、大阪夢洲の埋め立て事業で図-1 に示すように、浚渫粘土で埋め立てられた地盤に対しドレーン材を用いる工法がとられているが、高含水比地盤に対し Barron の解を適用した場合、特に大きな誤差が生じるものと思われる²⁾。本稿では高含水比粘土地盤を対象にした図-1 に示す工法をモデルに、ドレーンピッチ、層厚、地下水位の変化が沈下量や沈下時間に及ぼす影響について、Barron の解と比較しつつ検討を行った結果について報告する。

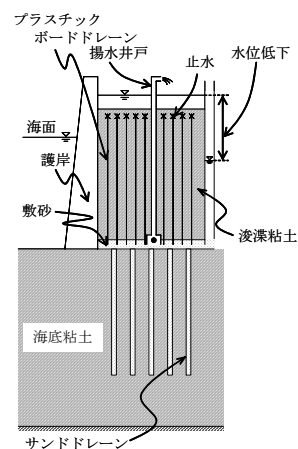


図-1 工法概念図

2. 実験概要

2-1. 実験試料及びドレーン材料 本実験には、カオリン粘土を含水比 150% に調整し脱気したものを用いた。カオリン粘土の物理特性を表-1 に示す。使用するドレーン材は幅 1cm の不織布を三枚重ねたものを使用した。

2-2. 実験装置 実験装置を図-2 に示す。沈降筒は直径 30cm、高さ 30cm のアクリル製の円筒管を連結させたものである。円筒土槽底部に飽和させた豊浦砂を敷き、敷砂から粘土層に向かって不織布を設置した。地下水位を低下させる場合には、敷砂に取り付けた越流層の位置を下げることによって、敷砂および不織布内部の地下水位を低下させた。越流槽から排水された地下水は真空ポンプによって上水に循環する。本実験では敷砂の厚さは 10cm、表面水は初期泥面から 10cm 上方とした。設置手順は、まず敷砂を敷き不織布を糸で吊り上げた後、十分に攪拌した試料を静かに投入すると同時に円筒管を連結させる。最後に吊り糸を取り不織布が地盤と共に変形できる状態にし、上水を入れ、実験を開始する。

表-1 カオリン粘土の物理特性

土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.713
液性限界 W_L (%)	46.5
塑性限界 W_P (%)	33.3
塑性指数 I_P	13.2
圧密係数 C_v (cm ² /min)	2.19×10^{-2}

2-3. 実験条件 初期層厚 H_0 、ドレーンピッチ d 、水位低下量 Δh の 3 つの因子がバーチカルドレーン工法に与える影響について調べた。実験条件を表-2 に、不織布の配置を図-3 に示す。ドレーンの配置は正方形配置とし、ドレーンを用いない場合でも実験を行った。層厚は 0.6m と 1.2m の 2 パターンとした。

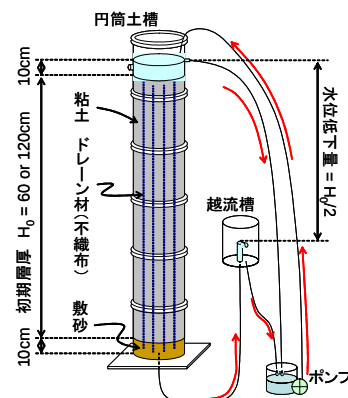


図-2 実験装置

表-2 実験条件

	含水比	層厚	ドレーンピッチ	水位低下量
Case1	150%	60cm	ドレーンなし	0m
Case2			サンドマットのみ	0.3m
Case3			30cm	0.3m
Case4			15cm	0.3m
Case5			7.5cm	0.3m
Case6	150%	120cm	ドレーンなし	0m
Case7			30cm	0.6m
Case8			15cm	0.6m
Case9			7.5cm	0.6m

3. 実験結果

3-1. 圧密促進効果 図-4 にドレーン材を打設せずに自重圧密を生じさせた場合 (Case1) 及び、底面に敷砂を敷きさらに敷砂内の水圧を低下させた場合 (Case2)、さらにドレーン材を打設した場合 (Case5 ($d=7.5$ cm)) についての時間～沈下関係を示す。Case1 と比較すると、Case2 は圧密速度が速くなっている。これは、Case2 では底面からの排水が許されているためで、両面排水化された効果である。また、ドレーン材を打設した Case5 の場合は、ドレーン材を打設しない Case2 よりもさらに圧密速度が速く、ドレーンを打設した効果が現れている。最終沈下量について見てみると、Case2、Case 5 は Case1 よりも大きく沈下しているが、これは地下水位を低下させた効果である。つまり、地下水位を低下させることは、浚渫粘土の減容化にとって効果的である。さらに細かく見てみると、僅かではあるが、ドレーン材を用いた方 (Case2) が、Case5 より沈下量が多い。これは、ドレーン材を用いたことにより、敷砂から離れた高い位置まで地下水位を低下させた効果が及んだためである。図-5 に上記 3 ケースの圧密終了時の

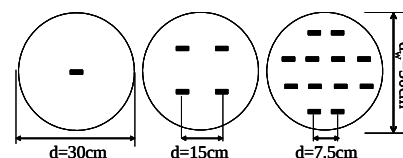


図-3 ドレーン材配置図

含水比分布を示す。含水比は泥面下 30cm 地点の断面を測定した。単純に自重圧密させた Case1 に比べ、地下水位を低下させた効果で、Case2、Case5 の含水比は全体的に低くなっており、強度が増加していると考えられる。

3-2. ドレーンピッチの効果 図-6 に層厚 60cm で、ドレーンピッチを変えた場合 (Case3,4,5) の時間～沈下関係を示す。同図にはバーチカルドレーン工法の設計で広く用いられている Barron の解による予測結果も示す。ここで、Barron の解とは、以下に示す式である。

$$U = 1 - \exp\left(\frac{-8T_h}{F(n)}\right), \quad F(n) = \frac{n^2}{n^2 - 1} \ln(n) \frac{3n^2 - 1}{4n^2}, \quad n = \frac{d_e}{d_w}, \quad T_h = \frac{C_h}{d_e} t \quad (1)$$

ここに、 U : 圧密度、 T_h : 時間係数、 C_h : 圧密係数、 a : ドレーン幅、 b : ドレーン厚さ、 d : ドレーンピッチ、 d_w : 円柱ドレーン材の直径、 d_e : ドレーン有効径である。ここでは、一般によく行われるように、幅 $a=1\text{cm}$ のドレーン材を直径 $d_w=0.5\text{cm}(=a/2)$ の円柱に換算した。また、実験はドレーン材を正方形配置したため、ドレーン有効径は $d_e=1.13d$ とした。圧密係数 C_h については、含水比 150% の状態で直接測定するのが困難であったため、標準圧密試験における $e - \log p'$ 関係と、浸透試験の初期の勾配から算出した値 ($C_h=2.19 \times 10^{-2} \text{cm}^2/\text{min}$) を用いた。粘土地盤の層厚や水位低下の実験結果に比べて Barron の解ではドレーンピッチを変化した場合の圧密速度への影響が大きくなっており、Barron の解はドレーンピッチの効果を過大に評価しているといえる。これは、Barron の解が鉛直方向の排水を無視しているためである。含水比の高い地盤では地盤の透水性が高く、鉛直方向の排水が特に無視できないため、Barron の解による予測はより大きな誤差を生じやすいことが分かる。

3-3. 層厚の影響 図-7 に層厚 60cm と 120cm の実験結果の比較を示す。図には単純に自重圧密を生じさせた場合の結果と、ドレーンピッチ $d=7.5\text{cm}$ の場合の結果を示した。層厚 60cm の場合に比べ、層厚 120cm の方がドレーンによる圧密促進効果が大きく出ており、層厚が大きいほどドレーンを使用した効果が大きく出ることが分かる。図-8 に層厚 120cm の場合のドレーンピッチを変えた実験結果を示す。図-6 の層厚 60cm の場合と比べると、層厚が大きい方が圧密速度が遅くなることが分かる。式(1)からも分かるように、Barron の解では層厚の影響を考慮していないが、実際には層厚の影響が存在し、層厚が大きくなるほど圧密速度が遅くなることが分かる。図-9 に Case5 と Case9 の最終沈下泥面から 30cm 下の位置の含水比分布を示す。Case5 と Case9 を比較すると含水比分布に大きな差がない。ドレーン材を使用したことによって、層厚が大きい場合でも敷砂から離れた粘土層上部まで地下水位低下の効果が現れていることが分かる。

4. まとめ 本研究で得られた知見を以下にまとめる。(1)ドレーン材を使用することで、高含水比粘土の自重圧密速度が大きく促進される。また、地下水を低下させることは、浚渫粘土の減容化に効果的であると同時に、より含水比の低い地盤が形成される。特にドレーン材を用いる場合は、より広範に地下水位低下の効果が現れる。(2)Barron の解は実験結果よりドレーンピッチの変化に対して圧密速度が大きく変化し、ドレーンピッチの影響を過大に評価する。特に含水比の高い浚渫粘土ではその傾向が大きい。(3)Barron の解では層厚を全く考慮していないのに対し、実験結果には層厚の影響が表れ、層厚が大きいほどドレーン材を使用した効果が大きく促された。

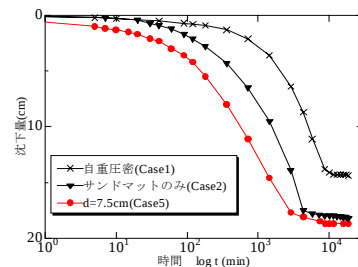


図-4 圧密促進効果 (層厚 $H_0=60\text{cm}$)

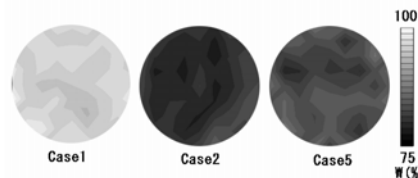


図-5 沈下終了時の含水比分布

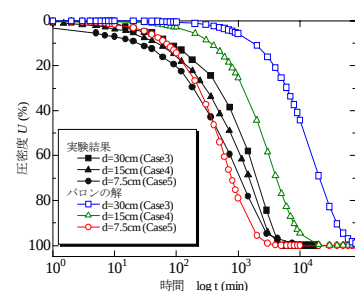


図-6 ドレーンピッチの効果 (層厚 $H_0=60\text{cm}$)

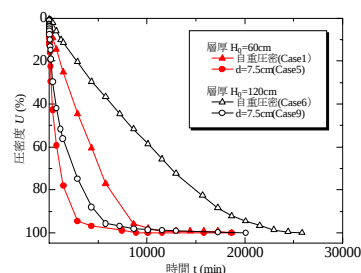


図-7 層厚の影響

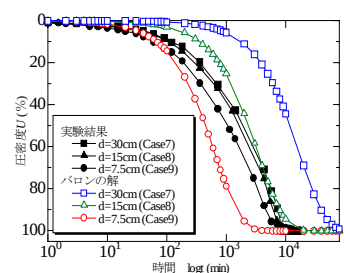


図-8 ドレーンピッチの効果 (層厚 $H_0=120\text{cm}$)

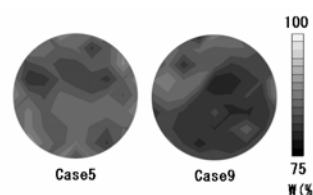


図-9 含水比分布