

PD 材を用いた超軟弱粘土地盤の自重圧密促進効果に関する研究

福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 福岡大学大学院 学生員○永岡 修一
福岡大学工学部 正会員 吉田 信夫 錦城護謨(株) 正会員 野村 忠明

1. はじめに

著者ら¹⁾はこれまでに、埋立てポンド内に投入する浚渫土砂の投入量の増加を目的として、プラスチックボードドレーン(以下PD)材による鉛直ドレーン工法を浚渫土砂投入直後に行うことにより、高含水比で超軟弱な粘土の自重圧密を促進させるPDF(Plastic-board Drain by Floating System)工法の有効性に関する実験的な研究を行ってきた。今回は、特に鉛直ドレーンの圧密促進効果について投入泥水の初期含水比 w_0 に着目し、実験及び解析的に検討を行った結果を報告する。

2. 実験概要

実験には、苅田港沖より採取した自然含水比 $w_0=140\%$ の浚渫土 ($\rho_s=2.691\text{g/cm}^3$, $w_L=87.2\%$, $w_p=37.6\%$, $I_p=49.6$) を用い、塩分濃度 3% に調整した塩水を混合し、所定の含水比になるようにスラリー状態になるまで十分に攪拌して泥水を作成した。PD 材は、幅 5cm、厚さ 3.6mm であり、ポリエチレン製の溝型コアの両面に不織布を張り合わせた一体構造である。また、実験条件を表-1 に示す。

表-1 実験条件

実験 No.	設定含水比	層数及び投入量	平均含水比	打設時期	打設状況	打設時の平均含水比
①	1000%	3 層 70cm/day	938%	3 層目	円筒上	524%
②	500%		495%	投入	部にて	420%
③	200%		206%	直後	固定	206%

3. 実験結果及び考察

図-1~3 に、各実験における 1~3 層目投入後 24 時間の泥面沈下曲線を示す。図-1 より、各層の沈下挙動はほぼ同じであり、3 層目投入直後に打設した PD 材による自重圧密促進効果は発揮されていない。一方、図-2、3 の $w_0=500\%$ 、 200% の場合では、PD 材打設後の 3 層目の沈下挙動が、1、2 層目とは異なっていることが分かる。 $w_0=500\%$ の 3 層目では、PD 材の打設効果が現われ 0.1day 経過後の沈下速度にその効果が顕著に現われている。一方 $w_0=200\%$ の実験における 3 層目の沈下挙動は、明らかに PD 材打設後に自重圧密の促進効果が現われている。図-4 に実験 No. ①~No. ③における PD 材打設後の圧密度曲線を示す。ここで圧密度 $U=(S/S_f)$ は、各実験の最終沈下量 S_f から求めている。 $w_0=1000\%$ の沈下挙動は $w_0=500\%$ 及び 200% の場合の沈下挙動と比較すると、明らかに異なる挙動を示している。これは、泥水の自重圧密現象における沈降・堆積・圧密過程²⁾が他の 2 つの試料と異なっている事を示している。 $w_0=1000\%$ では時間の経過に伴って界面沈降から圧密沈降に移行しているのに対し、 $w_0=500\%$ 及

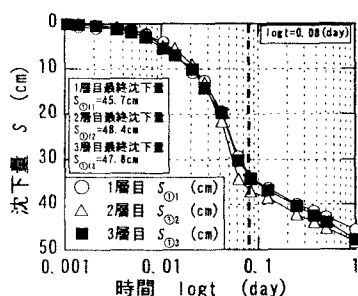


図-1 泥面沈下曲線(No. ①)

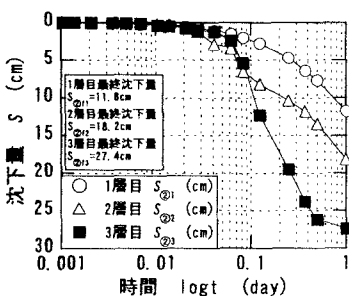


図-2 泥面沈下曲線(No. ②)

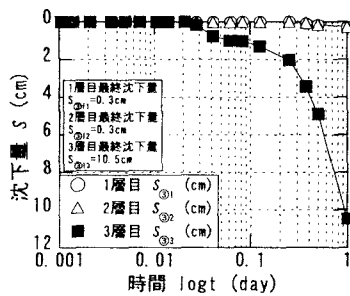


図-3 泥面沈下曲線(No. ③)

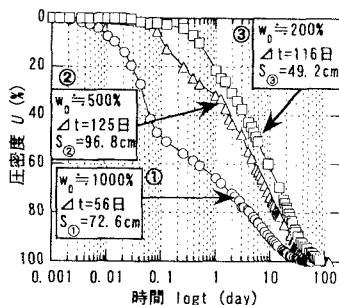


図-4 圧密度曲線(No. ①~No. ③)

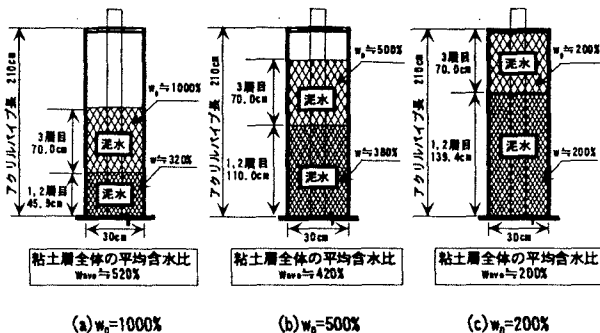


図-5 PD 材打設時の含水比

び 200% は圧密初期から圧密沈降であると考えられる。このような沈下挙動の違いは、泥水の含水比の違いによるものと考えられる。そこで、PD 材打設による粘土の自重圧密挙動に及ぼす含水比の影響について以下に考察する。

図-5 に、PD 材打設時の模型地盤内において推測される含水比の分布図を示す。図-5(a) の $w_0=1000\%$ の場合、PD 材打設時の粘土層全体の含水比は約 520% と非常に高い。これは前述した通り、粘土地盤において未だ自重圧密は始まっておらず、粘土粒子が沈降している状態にあると考えられる。また、PD 材打設直後では、粘土層の約 6 割が 1000% であり、PD 材が効果的に機能を発揮できる状態ではなかったと推測できる。これは、粘土粒子の沈降過程において間隙水は、粘土粒子間を通り上部方向に排水され、PD 材を通して排水されないために、促進効果が得られなかったと言える。また、泥水投入直後から 0.08day (約 2 時間) 経過したときの変曲点、すなわち自重圧密過程に移行したときの平均含水比は、約 400% であった。しかし、一般に粘性土地盤が自重圧密過程に入る時の含水比は、液性限界の 2~3 倍であるということが経験値として知られている。本実験で用いた荊田粘土の w_L は 87.2% であり、今回の実験では、通常よりも高い含水比で自重圧密過程に入ったということになる。一方、図-5(b)、(c) に示す $w_0=500\%$ 及び 200% の場合における PD 材打設時の平均含水比は、それぞれ約 420%、約 200% である。この 2 つの場合は、自重圧密過程を生じている部分に PD 材が打設されたために、圧密に伴う排水が PD 材により行われた結果、圧密が促進したと考えられる。以上のことから超軟弱な高含水比の粘土の圧密を促進するためには、粘土層が自重圧密過程にあり、できるだけ低含水比でかつ均一な含水比の粘土層の方がその効果が大きいことが示された。すなわち、現場において PDF 工法の効果を考える場合、PD 材打設時の粘土層の含水比を調査する必要があるといえる。

4. 解析的検討

次に、これまで述べてきた自重圧密中における PD 材の圧密促進の効果について、PD 材による圧密沈下計算を、Barron の理論解を適用して実測沈下曲線との比較を行った。ここで、Barron の理論解は、各時間の沈下量を $S(t)$ とすると、その時の圧密度 $U(t)$ 、圧密時間 t 、時間係数 T_h は、次の式で計算される。

$$U(t) = \frac{S(t)}{S_f} \quad \text{---(1)} \quad t = \frac{d_e^2}{c_h} \cdot T_h \quad \text{---(2)} \quad T_h = \log_e(1-U) \frac{n^2}{n^2-1} \log_e \left(-\frac{3n^2}{4n^2-1} \right) \quad \text{---(3)}$$

本研究においては、いずれの実験にも直径 30cm のアクリル円筒中央部に PD 材を打設しているので、等価有効円の直径 d_e は $d_e=30\text{cm}$ である。また、本研究に用いた PD 材の断面は幅 5cm、厚さ 3.6mm の板状であるが、幅 10cm 程度であれば換算ドレーン直径 d_e は、通常 5cm が用いられる。本研究では、1/2 幅のものを用いているので、 $d_e=2.5\text{cm}$ とした。ここで、 $n=d_v/d_h$ 、 c_h は水平方向の圧密係数である。 c_h は、模型地盤内における平均体積比 f の変化 ($f=6.4 \sim 4.9$) に従うものとして浸透圧密試験より得られた $c_{v0}=11.6\text{cm}^2/\text{day}$ 、及び一般に用いられる標準圧密試験より得られた $c_{v0}=53.8\text{cm}^2/\text{day}$ を用いて算出した。したがって、今回の場合は、

$$n=12, \quad T_h = -0.22 \log_e(1-U) \quad \text{となる。}$$

以上のことを踏まえ、最も PD 材による圧密促進効果が見られ、粘土層全層にわたって PD 材打設時の含水比が等しい $w_0=200\%$ の場合について検討を行った。図-6 に実測値と計算値の比較を行った結果を示す。 $c_h=c_{v0}=11.6\text{cm}^2/\text{day}$ とした場合 (図中○) は、沈下時間は整合しているが、等速沈降過程における沈下速度を過大評価している。また、 $c_h=c_{v0}=53.8\text{cm}^2/\text{day}$ とした場合 (図中▽) は、圧密度約 20% までは両者はよく整合しているものの、それ以降になると、計算値は急速に圧密が進行し、沈下時間を過大評価してしまう結果となった。また、圧密度約 40% までにおいて整合が最も良いのは、 $c_h=3 \times c_{v0}$ とした場合 (図中□) であった。

一般的には c_h は c_v の 2~3 倍であると言われており、浸透圧密試験で得られた $c_{v0}=11.6\text{cm}^2/\text{day}$ を用いた場合では適合するが、標準圧密試験より得られた $c_{v0}=53.8\text{cm}^2/\text{day}$ を用いた場合では、逆の傾向を示すことになる。したがって、PD 材を用いた自重圧密促進過程において、Barron の理論解の適用するには、水平方向圧密係数 c_h の検討が必要である。

5. まとめ

- (1) PD 材打設時の粘土層の含水比に着目して行った実験の結果、高含水比の粘土が沈降過程から、自重圧密過程に移行した後に PD 材を打設するほうが効果的であることが示された。また、その含水比はできるだけ低く、高い密度であり、PD 材打設時に全層にわたって均一な含水比の状態において、促進効果があることが確認された。
- (2) 超軟弱粘土の圧密挙動を Barron の理論を用いて解析した結果、浸透圧密試験で得られた $c_{v0}=11.6\text{cm}^2/\text{day}$ を用いることにより、ある程度把握することができた。しかしながら c_h の推定には、未だ検討する必要がある。

【参考文献】1) 永岡修一、佐藤研一、吉田信夫、小山隆之、野村忠明：「PD 材を用いた超軟弱粘土の自重圧密促進効果に及ぼす初期含水比の影響」, 第 36 回地盤工学研究発表会, pp1045~1046, 2000 2) 高田直俊、今井五郎、木山正明：「圧密沈下を考える 4. 液状粘土の圧密沈下(その 1)」, 土と基礎, 27-4(254), pp. 101-108, 1979

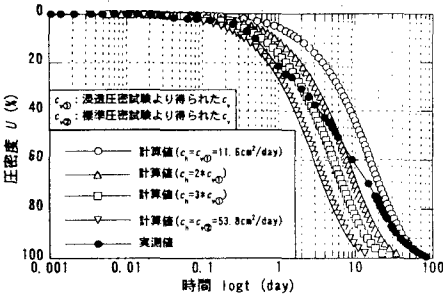


図-6 実測値と計算値の比較