

プラスチックボードドレーンによる浚渫粘土層の圧密促進効果に関する研究

地盤工学分野

藤元 学

1. 研究目的

浚渫粘土の埋立処分場の圧密促進のために鉛直排水工としてプラスチックボードドレーン（PBD）がよく用いられているが、通常の沖積粘土とは異なり、浚渫粘土の圧密は粘土の自重が主体となって生じる。このような自重圧密場における PBD のような帯状ドレーンによる圧密促進効果は未だ不明であり、またその解析手法も確立されていない。

そこで、本研究では、このような自重圧密未完了の浚渫粘土層に PBD を模擬した帯状ドレーンを打設した場合の圧密促進効果を遠心模型実験によって調べた。円筒、帯状ドレーンによる圧密促進効果を比較し、帯状ドレーンの換算ドレーン直径の算定方法を調べた。次に、ドレーンピッチ、排水条件、ドレーン変形の影響を調べ、同時にそれらの実験結果を説明しうる解析手法として、Barron 解と一次元自重圧密解を合成した解（合成解と呼ぶ）の適用性を調べた。さらに、粘土層下面の水位低下を併用して、圧密促進を図る工法の検討を行った。以上から、PBD による浚渫粘土の圧密促進のメカニズムを探ることが本研究の目的である。

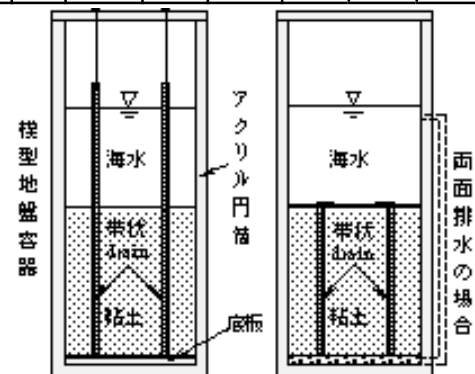
2. 実験方法

試料は福岡県荏田町沖の浚渫粘土（ $w_L=105\%$ ， $w_p=35\%$ ， $I_p=70$ ）および、大阪粘土にカオリンを乾燥質量比 4:1 で混合した粘土（ $w_L=84\%$ ， $w_p=30\%$ ， $I_p=54$ ）の 2 種類（それぞれ K105，OK84 粘土と呼ぶ）を用いた。模型地盤容器は内径 12cm，高さ 30cm のアクリル円筒で、これを 2 個ずつ遠心装置アームの両端に設置して、同時に 4 ケースの実験を行った。

表-1 に自重圧密の実験条件をまとめた。なお、円筒ドレーン実験は森本(2002 年度修論)が行ったものを引用した。図-1 にドレーン材の設置方法を示した。ドレーン材には少し厚手の不織布（ 100g/m^3 ）を用いた。円筒ドレーンとの比較には不織布を 3 枚重ねたものを、それ以外では 1 枚を用いた。図-2 にドレーンの配置を示した。全て正方形配置である。次に、表-2 に水位低下を併用した圧密の実験条件をまとめた。図-3 に下面水位低下方法を示す。なお、全てのケースを遠心加速度 $100g$ で行ったので、表-1，2 の寸法の原型換算値は同じ数値で単位が m となる。

表-1 自重圧密の実験条件

実験Case	試料	初期含水比 $w_0(\%)$	初期層厚 $H_0(\text{cm})$	ドレーン条件			排水
				幅 $a(\text{cm})$	ピッチ $d(\text{cm})$	材料 設置方法	
Case1 Case2 Case3 Case4	K105	200	11.3	0.50 1.04 1.57 2.52	6.0	不織布 3枚 固定	片面
Case5 Case6 Case7 Case8							
Case9 Case10 Case11 Case12				6.0 4.0 2.8 2.0			
Case13 Case14 Case15 Case16				6.0 4.0 2.8 2.0			
Case17 Case18 Case19 Case20	OK84	150	15	6.0 4.0 2.8 2.0	6.0 4.0 2.8 2.0	不織布 1枚 固定 追隨	両面



(1) 帯状ドレーン（固定型）(2) 帯状ドレーン（追隨型）

図-1 ドレーン材の設置方法

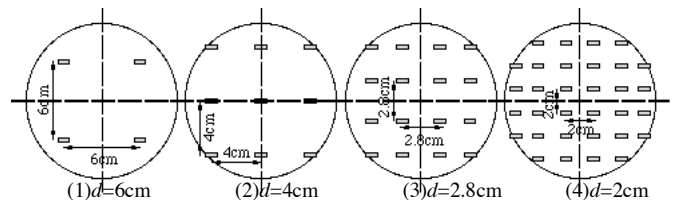
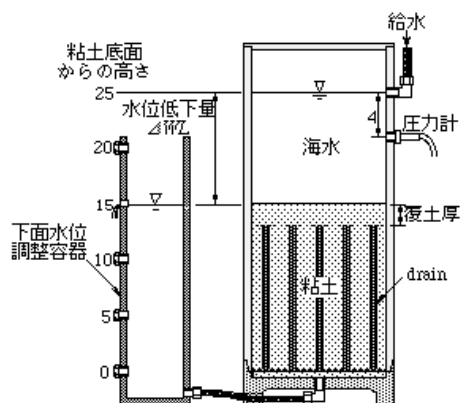


図-2 ドレーンの配置

表-2 水位低下を併用した場合の実験条件

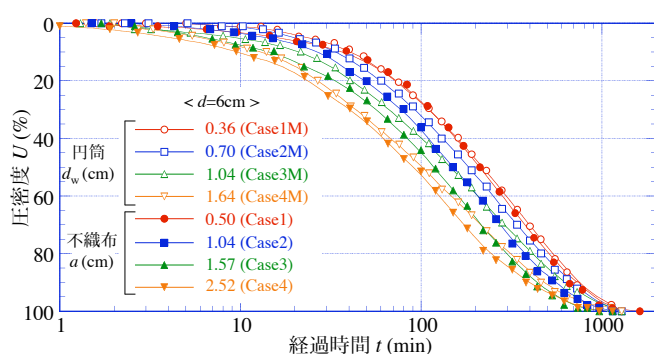
実験Case	試料	初期含水比 $w_0(\%)$	初期層厚 $H_0(\text{cm})$	覆土厚 (cm)	水位低下量 $\Delta WL(\text{cm})$	ドレーン条件		
						幅 $a(\text{cm})$	ピッチ $d(\text{cm})$	材料
Case21 Case22 Case23 Case24	OK84	150	10 15	2	5	0.5	2.0	不織布 1枚
Case25 Case26			10 15					



3. 帯状ドレーンの換算ドレーン直径

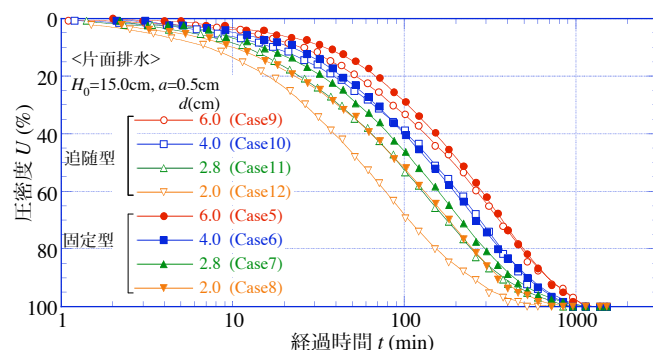
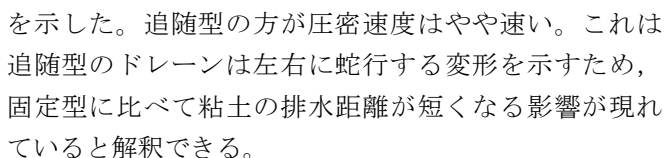
図-4 にピッチ $d=6\text{cm}$ で、円筒ドレーン直径 d_w 、帯状ドレーン幅 a を変えたケース（いずれも固定型）の円筒、帯状ドレーンの圧密度-時間 ($U\text{-log}t$) 曲線を比較した (U は最終沈下量で定義)。やや帯状ドレーンの方が圧密速度は速い傾向が見られるものの、帯状ドレーンの $a=0.5, 1.04, 1.57, 2.52\text{cm}$ は円筒ドレーンの $d_w=0.36, 0.70, 1.04, 1.64\text{cm}$ にほぼ対応している。また、森本（2002 年度修論）は $a=0.5$ 、円筒ドレーンの $d_w=0.36$ はピッチ d を変えてもよく一致することを報告している。

今回の帯状ドレーン幅 a は、ドレーン周長を直径に換算する式「 $d_w=2(a+b)/\pi$ 」(b :ドレーン厚)によって、円筒ドレーン直径から逆算して設定したものである。実務における PBD に対する換算ドレーン直径は、幅 a の 1/2 とするのが一般的であるが、今回の結果からそれは過小評価であり、帯状ドレーンの換算ドレーン直径は「 $d_w=2(a+b)/\pi$ 」が妥当と考えられる。



4. ドレーン変形の影響

実地盤に打設した PBD は粘土の沈下に追隨して蛇行する変形を示すため、先のドレーンが変形しない固定型では十分に模擬できない。そこで、ドレーン材として不織布一枚を用いて、追隨型の実験を行い、その影響を調べた。図-5, 6 にそれぞれ片面、両面排水条件においてピッチを変えた場合の固定型、追隨型の比較



5. 圧密理論解との比較

(1) 計算方法

バーチカルドレーンによる圧密過程は、放射状の水平排水のみを対象とするを用いるのが一般的であるが、自重圧密場では一次元圧密の影響が無視できないと考えられる。本研究では、Barron 解および Carrilo の方法に準じて Barron 解 U_r と一次元自重圧密解 U_z を「 $U=1-(1-U_r)(1-U_z)$ 」で合成した解を用いて実験値と比較した。

Barron 解における水平方向の圧密係数 c_h は、超軟弱粘土であるので $c_h=c_v$ と解釈し、別途行った無改良地盤の実験から求めた $f \cdot \log c_v$ 関係から求めた。Barron 解は圧密中の c_h の変化を考慮できないため、一定の平均 c_h を決定する必要がある。しかし、自重圧密では圧密後の状態量が深さ方向で異なるため、粘土層全体を代表する一定の c_h を決定するのは難しい。そこで、 c_h (Barron 解では圧密中一定) は、①深さ方向に c_h 一定：初期体積比 f_0 と底面の最終体積比 f_n の平均 f に対応する c_h ($=12\text{cm}^2/\text{d}$) を適用、②深さ方向に c_h 変化：粘土層を層状地盤として扱い、初期体積比 f_0 と各層の最終体積比 f_n の平均 f_i に対応する c_h ($\leq 12\text{cm}^2/\text{d}$) (各層ごとに計算して合計する)、の 2 種類の方法で算定した。なお、ドレーン有効径 $d_e=1.13d$ (正方形配置) を、換算ドレーン直径 d_w は前述の式を用いた。

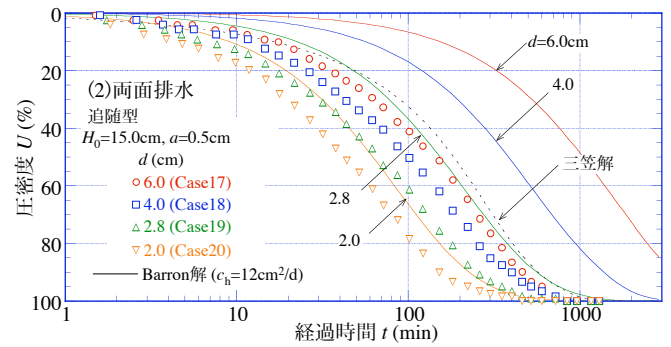
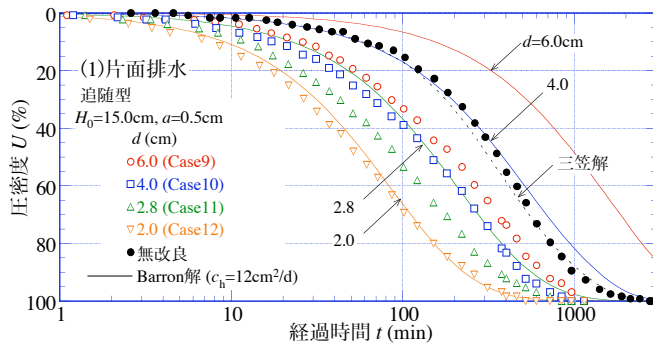


図-7 追従型による排水条件変化と深さ方向の c_h を一定とした Barron 解の比較

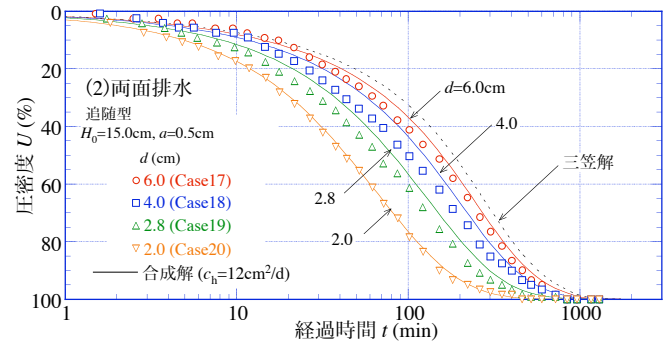
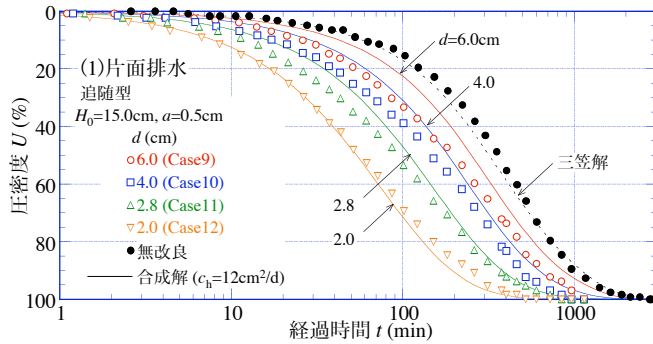


図-8 追従型による排水条件変化と深さ方向の c_h を一定とした合成解の比較

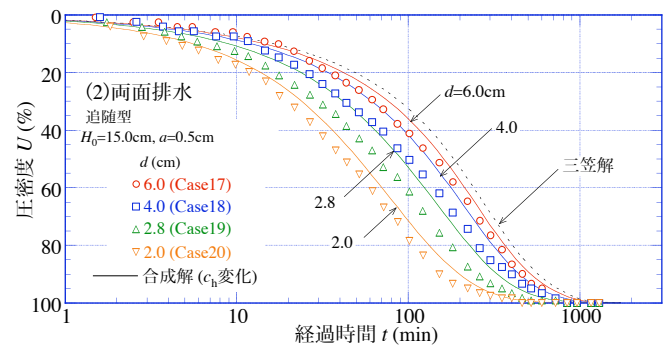
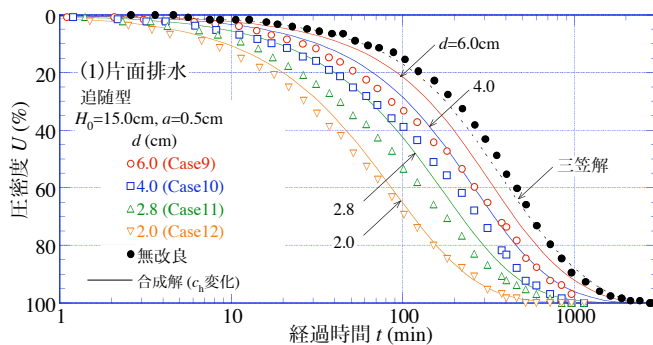


図-9 追従型による排水条件変化と深さ方向の c_h を変化させた合成解の比較

(2) Barron 解との比較

図-7(1), (2)にそれぞれ片面, 両面排水条件におけるピッチ d を変えた場合の U - $\log t$ 関係と深さ方向の c_h を一定とした Barron 解の比較を示した。Barron 解はピッチの効果を過大評価し、ピッチが大きいほど圧密速度を過小評価している。なお、図には示さないが、深さ方向の c_h を変化させた Barron 解は全体に c_h が小さくなるため、圧密速度が遅くなった。

(3) 合成解との比較

図-8(1), (2)にそれぞれ片面, 両面排水条件におけるピッチ d を変えた場合の U - $\log t$ 関係と深さ方向の c_h を一定とした合成解の比較を示した。図(1)の片面排水では、合成解は実験値に比べて圧密速度をやや過小評価しているが、図(2)の両面排水では、合成解は実験値とよく一致している。なお、片面排水に比べて圧密促進効果とピッチの効果がやや小さいのは、両面排水の方が一次元自重圧密の影響が大きいためと考えられる。

図-9(1), (2)にそれぞれ片面, 両面排水条件における同じ実験の U - $\log t$ 関係と深さ方向の c_h を変化させた合成解の比較を示した。図-8 に比べて合成解は圧密速度を遅く算定している。先に述べたように c_h を変化させた場合、 c_h 一定に比べて、全体に c_h の値を小さく見積もるためである。本来、深さ方向に c_h を変化させた方が正しい手法と考えられるが、少し大きめの c_h を採用した方が実験値との整合性はよい結果となった。これは前述したドレーンが粘土の沈下とともに蛇行変形する場合の圧密速度はやや速くなるという効果によるものと考えられる。

6. 水位低下を併用した実験

結果的に、水位低下を併用した場合には、粘土の外側が内側へ剥離し、中央部が陥没する変形が生じた。これは、浸透圧密の影響およびドレーンに生じる間隙水压低下が等方圧として粘土に作用するためと考えら

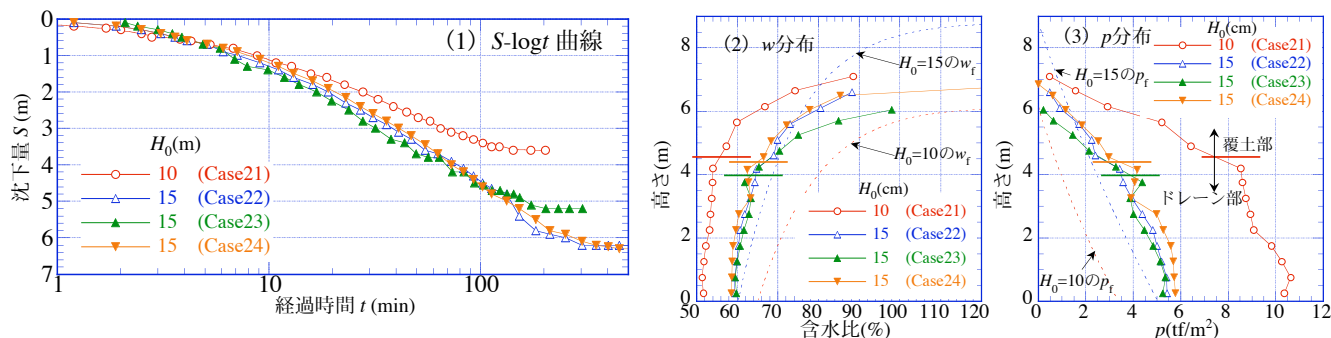


図-10 H_0 を変化させた場合 ($\Delta WL=5$ m, 覆土厚 2m)

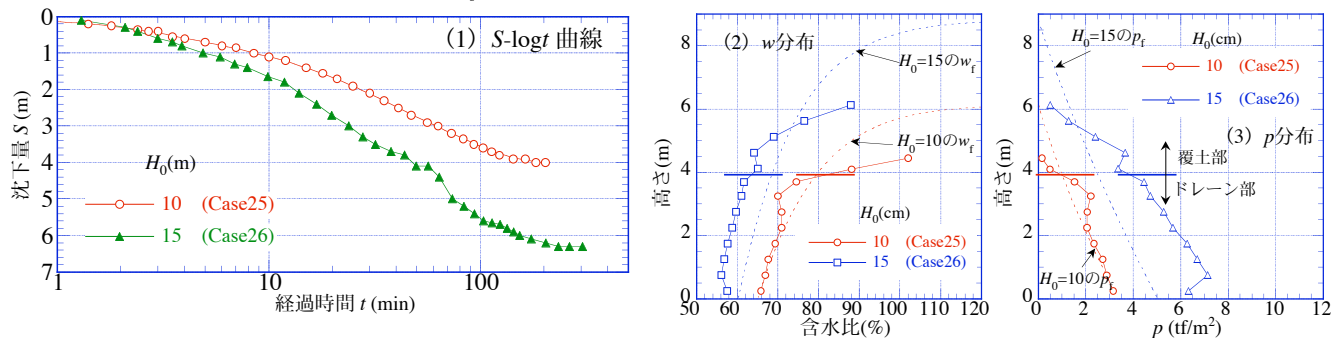


図-11 H_0 を変化させた場合 ($\Delta WL=10$ m, 覆土厚 2m)

れた。したがって容器外側から目視で観測した沈下量の読み値は見かけの値となっている。以下では、寸法は原型換算値 (100 倍) で示す。

図-10(1)～(3)に、水位低下量 $\Delta WL=5$ m, 覆土厚 2m で $H_0=10$, 15m に変えた場合のそれぞれ S -log t 曲線、圧密後の含水比 w , 有効応力 p の深度分布 (下面を基準) を示した。図(3)の p は図(2)の w 値から圧縮曲線 ($f=3.06-0.71\log p$) を用いて逆算したものである。なお、図内の横線は覆土部とドレーン部の境界を表す。また、図(2), (3)には各 H_0 に対する自重のみの場合の w , p 分布の計算値も示した。図(1)から、 H_0 が大きい方が圧密進行はやや遅いが S -log t 曲線が直線的になることが特徴的である。図(2)から、水位低下の効果によって、自重のみの場合よりも含水比が低下していることがわかる。図(3)から、 $H_0=10$ m の場合は、ドレーン部においては、自重応力よりも 7tf/m^2 程度の有効応力増加が見られ、覆土の部分もそれにすりつくように増加している。しかし、設定した ΔWL は 5m に相当するため、過大な増加となっている (この原因は不明であるが、水漏れがあった可能性がある)。一方、 $H_0=15$ m の場合の 3 ケースは 1tf/m^2 程度の増加にとどまり、水位低下が有効に働いていない。

図-12 に、水位低下量 $\Delta WL=10$ m, 覆土厚 2m で $H_0=10$, 15m に変えた場合の結果を示した。図(1)から、 S -log t 曲線は直線的である。図(2)から、自重のみの場合よりも w は低下している。しかし、図(3)から、 $H_0=10$ m では、 p の増加はわずかで、水位低下が有効に働いていない。また、 $H_0=15$ m では 3tf/m^2 程度の p の増加が見られるが、 $\Delta WL=10$ m に相当する効果は現れていない。

7. 結論

プラスチックボードドレーンによる浚渫粘土層の圧密促進効果を調べ、以下の結論を得た。

- 1) 帯状ドレーンの換算ドレーン直径は、ドレーン周長を直径に換算する式が妥当である。実務における、幅の 1/2 とする算定方法は過小評価である。
- 2) ドレーンが粘土の沈下に追従して変形する場合は変形しない場合よりも圧密速度がやや速くなる。
- 3) 浚渫粘土層の自重圧密過程には、Barron 解は合わず、ドレーンピッチの効果を過大評価し、ピッチが大きいほど圧密速度を過小評価する。
- 4) Barron 解と一次元自重圧密解を合成する解は、実験値に比較的よく合い、実用的な解である。
- 5) 合成解の基になる Barron 解の水平方向の圧密係数 c_h は、より厳密な深さ方向の変化を考慮するよりも、底面の平均体積比に対応する値を用いた方が実験値に合う。これは 2) の効果によると考えられる。
- 6) 下面の水位低下を併用した場合には、より大きな圧密促進効果が得られる。しかし、今回の実験では、側面の剥離や中央部の陥没現象が生じて、水位低下分の全てが有効応力として増加する現象を確認することはできなかった。