

軟弱地盤の大深度地盤改良へのプラスチックボードドレーンの適用に関する基礎的研究

岡本 正広¹・プラダン テージ²

¹正会員 博士(工学) 東急建設(株) 土木技術部 (〒150 東京都渋谷区渋谷1-15-21 ポーラ渋谷ビル)

²正会員 工博 横浜国立大学 助教授 工学部建設学科 (〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156)

軟弱粘性土地盤の圧密促進に用いるプラスチックボードドレーンは、幅約10cm、厚さ2~6mmのものが多く、改良深度としてはその断面積が小さいことから適用限界が存在すると指摘され、最大20m程度に抑えられてきた。しかし近年、改良深度が増加するようになってきたため、中~大深度の改良を目的とした大断面ドレーンを考案した。このドレーンは、フィルターとして高強度のポリエステル長繊維不織布を用い、芯材は大深度の土圧に耐えうるよう硬質ポリ塩化ビニール製のエンボス構造とし、さらに成型形状を格子状にすることによって、載荷荷重490kPaでもくびれが発生しない。また、圧密試験結果から逆算される等価径は、地盤の水平方向圧密係数を $C_{hv} = 100 \sim 150 \text{cm}^2/\text{day}$ 程度と仮定すれば、圧密が進行しても4.0~6.0cmを確保できる。

Key Words : plastic board drain(PD), equivalent diameter, clay, consolidation, model test

1. はじめに

プラスチックボードドレーン(以下PDと称す)工法は、高分子樹脂材料や不織布等を組合せた帯状のドレーン材を軟弱粘性土地盤中に鉛直に打設し、地盤中の間隙水を排出させて圧密促進を図るパーティカルドレーン工法の一つである。

パーティカルドレーン工法によって軟弱地盤の圧密促進を図るには、ドレーン材の径を小さくしてドレーンを密に打設した方が効率が高く、そのため市販されている数多くのPDはいずれも、幅約10cm、厚さ2~6mm程度のものである。

また、PD材の構造型式も、コア部分とフィルター部分との組合せから構成されるものが増えており、圧密沈下によって生じる地盤の複雑な挙動にドレーン材が追従し、ドレーン材が変形しても通水性を保持させようとしている。

しかし近年、ウォーターフロントの開発が進むにつれて改良深度が増加するようになってくると、PDの適用深度についての問題が指摘されるようになり、改良深度が10m以上では、袋詰めサンドドレーンと比較して圧密の進行に遅れが見られるとの報告もある¹⁾。ただし、この地盤改良に用いられたドレーン材は、土圧によって変形し、通水性能が著しく劣化するタイプのドレーン材のようではあるが、改

良深度が深くなると、ドレーン材の通水能力によってその適用性が限られることになる。

そこで、本研究では、大深度(改良深度50m程度を想定)の地盤改良にも適用可能な新しいPD材の開発を目指し、まず嘉門ら^{2)~5)}が提案しているPD材の通水性能を評価するための拘束圧下の通水実験を実施して、土圧あるいは地盤沈下によってドレーン材が変形した場合の通水性を評価した⁶⁾。

さらに、そのドレーン材の高拘束圧下における圧密促進効果を把握するために大型土槽による圧密実験を実施した⁷⁾。

2. PDに要求される必要通水能力 Q_{req}

PDの打設長、打設間隔および対象地盤の圧密特性等に応じて、PD一本当たり負担すべき圧密排水量は、嘉門ら^{4),5)}によれば(1)式で与えられる。

$$Q_{req} = (S/H) \cdot U \cdot F_s \cdot \pi \cdot H \cdot C_h / (4T_h) \quad (1)$$

ここに、 H : 改良深度 C_h : 地盤の水平方向圧密係数、 T_h : 時間係数、 U : 圧密度、 S : 沈下量、 $n = d_c/d_w$ 、 F_s : 安全率である。また、 T_h および $F(n)$ はそれぞれ下式で与えられる。

$$T_h = -F(n) \cdot \ln(1-U) / 8 = -F(n) \cdot \ln(0.9) / 8 \quad (2)$$

$$F(n) = n^2 \cdot \ln(n) / (n^2 - 1) - (3n^2 - 1) / (4n^2) \quad (3)$$

上式は、計算上の仮定として、地盤の最終沈下量をドレーン材の打設深度の25%とし、圧密度10%

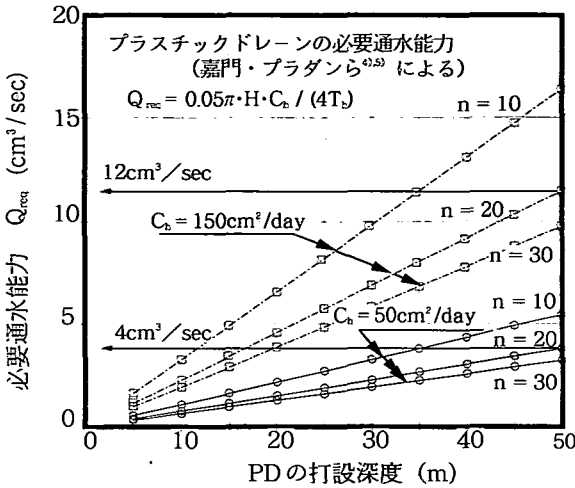


図-1 プラスチックボードドレインに要求される必要通水能力^{(4),(5)}

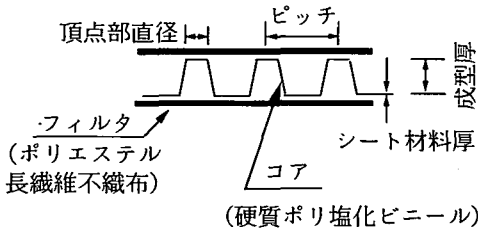


図-2 実験に用いたPDの構造 (複合構造分離型ドレイン)

までの初期排水能力を確保するものと仮定している。また、長期間に至る目詰まり等による排水性能の低下に対する安全率を2としていることから、式(1)は下式で与えられる^{(4),(5)}。

$$Q_{req} = 0.05 \cdot \pi \cdot H \cdot C_n / (4T_n) \quad (1)$$

式(1)より改良深度に対する Q_{req} を示せば、図-1の通りになる。

図-1によれば、改良深度50mを対象とした場合、バロン指数 $n=20$ 、地盤の水平方向圧密係数を $C_n=50\sim 150\text{cm}^2/\text{day}$ 程度と仮定すれば、この改良深度に適用可能なPDに要求される必要通水能力は、深さ50mの拘束圧に対して $Q_{req} = 4\sim 12\text{cm}^3/\text{sec}$ 程度となる。

3. 実験に用いた大深度用PD

上述したように、改良深度が深くなるとPDに要求される必要通水能力は、 $Q_{req} = 4\sim 12\text{cm}^3/\text{sec}$ 程度となり、この通水性能を満足させる大断面ドレインのタイプとして、図-2に示すようなコア部分とフィルター部分が分離独立したフレキシブルな構造とする複合構造分離型タイプのドレインを候補とした。

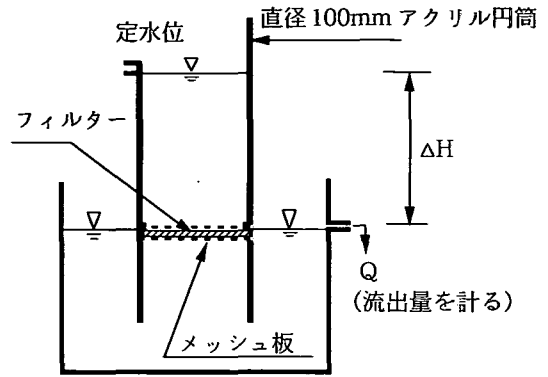


図-3 フィルターの透水性に関する実験装置

(1) フィルターの選定

バーチカドレインとして用いられるPDが具備しなければならない機能は、圧密の進行に伴い粘性土から搾り出された水がフィルターを介して速やかにドレイン体中に取り込まれることであり、フィルターやコア部が目詰まりすることなく上下方向の排水層に向かって、ドレイン内を流れる通水能力を有していることである。

したがって、フィルターとしては目詰まりしないことが必要である。フィルターの目詰まりの評価を行うために本郷ら⁽⁸⁾によってドラム型遠心載荷装置を用いる方法等が提案されているが、本研究では以下の実験を行って評価した。

a) 目詰まり性

細粒分によるドレイン材の目詰まり性を把握するひとつの方法として、濁水を負荷したときのフィルターが目詰まり性状を検討した。

試験は以下のように実施した。内径10cmのパイプ内にフィルター材を設置し、これを24時間清水に浸漬した後、通水量を測定し、これを初期値とした。その後、試験装置から清水を排水し、JISダスト7種の0.1%溶液を500cm³/回負荷し、負荷液の全量透過後フィルター材を装置より取りはずして自然乾燥後、一定の条件で水洗いして表面の土粒子層を除去後、同様の要領で通水量を測定した。(JIS A-1218 準拠)

以下、この操作を繰返して濁水負荷後の透水性能を把握した。実験装置を図-3に示す。フィルターは、表-1に示す3種類を選定した。

試験結果は、以下に示す濁水負荷後のフィルター透水係数、目詰まり率および透過濁水濃度比率としてまとめた。透水係数および目詰まり率は、以下に示す式(4),(5)によって求めた。

$$\text{透水係数}(k) = \frac{Q \cdot t}{A \cdot \Delta H \cdot T} \quad (4)$$

表-1 フィルターの材質・形状

種類	形状	繊維素材	厚み (mm)	目付* ^{注1} ($\times 10^{-2} \text{N/m}^2$)
a	スパンボンド不織布	ポリエステル長繊維	0.30	120
b	スパンボンド不織布	ポリエステル長繊維	0.25	95
c	熱圧着型不織布	ポリプロピレン長繊維	0.56	200

*注1 目付：単位面積当たりの繊維量

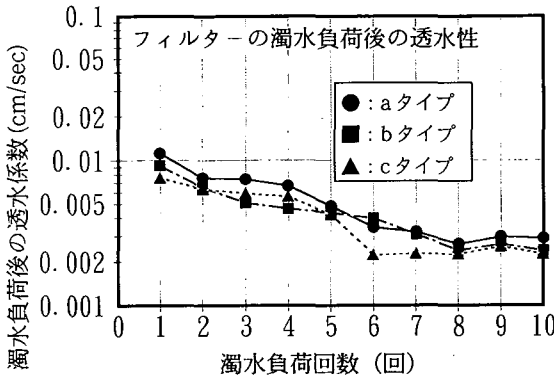


図-4 濁水負荷回数と透水係数の関係

ここに、t: 試料厚さ (cm), A: 断面積 (cm^2), T: 計測時間 (sec), Q: 排水量 (cm^3), ΔH : 水頭 (cm) である。

$$\text{目詰まり率} = \left(1 - \frac{\text{濁水負荷後の通水量}}{\text{清水浸漬時の通水量}}\right) \times 100 \quad (5)$$

また、透過濁水濃度比率は、濁度計にて濁度値 (%) を測定し式 (6) より算出した。

$$\text{透過濁水濃度比率} = \frac{\text{初期透過濁水濃度}}{\text{負荷液濁水濃度}} \times 100 (\%) \quad (6)$$

試験結果を図-4~6に示す。同図より、熱圧着型タイプのcが、目詰まり、ろ過(土粒子分離)性能にやや劣る傾向が認められるが、a, bタイプでは顕著な違いが認められないことから、今回のPDのフィルターには、aタイプを採用することにした。以下、同フィルターの引張りおよび耐久性試験を実施した。

b) 引張り強度

JIS-L1096に準じて定速伸長型引張り試験機を用いて行った。幅3cm、長さ30cmのフィルターを試料とし、試料の把み間隔が20cmとなるように試験機の把み具でフィルターの両端部を挟み、引張り速度200mm/minで引張り、荷重と伸びの関係を計測した。なお、フィルターは、恒温水(20℃)にて

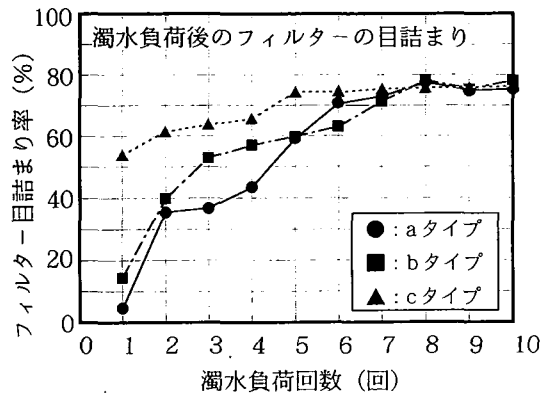


図-5 濁水負荷回数と目詰まり率との関係

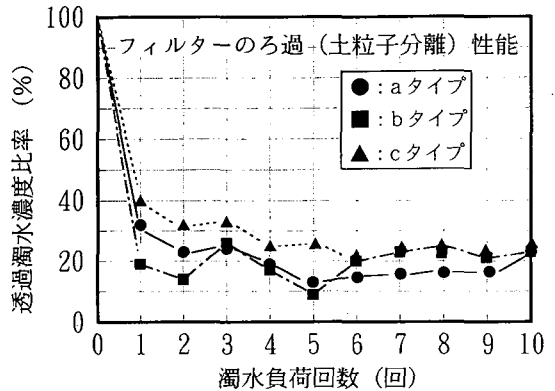


図-6 濁水負荷回数と透過濁水濃度比率との関係

一昼夜水浸後、上記方法にて試験を行った。

試験結果を図-7に示す。前述したように、本フィルターは、縦横両方向の強度はほぼ同値で、5%伸張時に185~199N/5cm幅の強度を有する。

c) 長期間(14ヶ月)経過後の引張り強度

ポリエステル長繊維のフィルター材の長期経過後の強度特性を把握するために、フィルターの土中埋設、海水中浸漬および屋外暴露による強度保持率を求めた。強度保持率は式(7)より求めた。

$$\text{強度保持率} = \frac{\text{経過時間後の引張り強度}}{\text{初期状態での引張り強度}} \times 100 (\%) \quad (7)$$

図-8に試験結果を示す。同図より、今回の大断面ドレーンに採用したポリエステル長繊維のフィルターは、土中あるいは海水中に長期間(14ヶ月)埋設した場合に強度保持率は98%を有し、また屋外に長期間置いた場合でも、95%以上の強度保持率を有している。したがって、土中あるいは海水中に本フィルターを長期間埋設しても、時間経過とともに若干の強度低下が起こるものの、実用上ほとんど問題は無いと判断される。

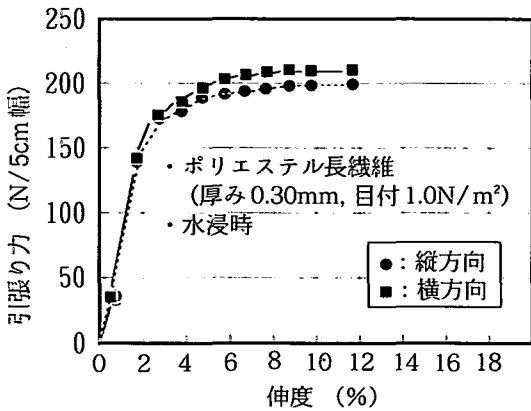


図-7 フィルターの引張り強度

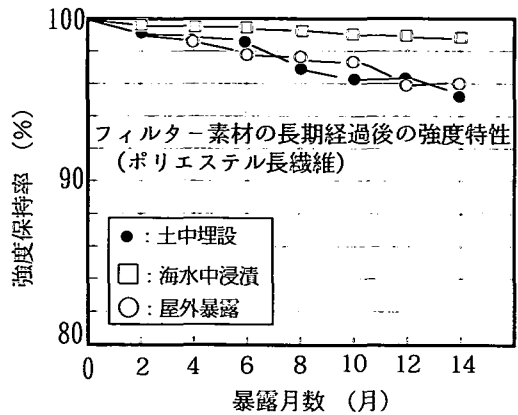


図-8 フィルター材の長期経過後の強度特性

(2) 芯材の選定

芯材は、大深度の土圧に耐えるように硬質ポリ塩化ビニール製とし、その成型形状の基本は、現在人工水平排水材として利用されているエンボス構造とした⁹⁾。

前章で述べたように、改良深度50m程度を対象とすると、大深度PDに要求される必要通水能力は、 $Q_{req} = 4 \sim 12 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 程度となる。

そこで、図-9に示すように芯材のシート材料厚を0.5~1.0mm、成型厚さを4.0~10.5mm、頂点部直径を3~6mm、ピッチを7~19mmの範囲で種々変化させたドレーン材を製作した。そして、このドレーン材を用いて以下に示す嘉門ら^{3),4)}が提案するPDを選定するための高拘束圧下の通水実験を実施して、 $Q_{req} > 12 \text{ cm}^3/\text{sec}$ を満足するような芯材の形状・成型厚を決定した。

4. PD材の通水性能試験

図-9に示す芯材の成型形状と前章で選定したフィルターをそれぞれ用いて、嘉門ら^{3),4)}が提案するPD材の通水性能試験を実施した。図-10に試験装置を示す。PD材の上下各10mmづつをキャップおよびベDESTALにそれぞれ差し込み、試験片ともラテックスメンブレン(厚さ0.2mm)で覆い、圧力セル内にセットした。

試験は、まず4.9kPaの初期圧力を加え、PD内に通水し、ボード内水路の空気を排除しながら5分間放置後、1分間の通水量を測定した。その後、PD材に見掛け上の軸ひずみを10,20,30,40,50%与え、通水試験を繰り返した。なお、試験は水頭差 $H=10\text{cm}$ (動水勾配 $i=H/L=1.0$)で実施した。

また、拘束圧を314kPa、490kPaと変えて、PDに軸ひずみを与えた同様の通水試験を繰り返した。

典型的な試験結果例として、図-11(a),(b)に

配置	芯材の成型形状			呼称	シート材料厚(mm)	成型厚(mm)
	形状	ピッチ(mm)	頂点部直径			
千鳥		12	4	A ₁	0.5	7.0
				A ₂	0.6	8.0
		19	6	B ₁	0.7	9.5
				B ₂	1.0	10.5
格子		7	3	C ₁	0.5	4.0 ~ 9.0
				C ₂	0.6	
				C ₃	0.7	
				C ₄	0.8	

図-9 実験に用いた芯材の成型形状(図-2参照)

それぞれ、通水量~軸ひずみとの関係(拘束圧314kPaの場合)および通水量~拘束圧との関係(軸ひずみ50%の場合)を示す。図-11(a)によれば、軸ひずみが50%に達すると軸ひずみ0%の場合と比べ通水量は10~60%程度減少し、芯材の成型形状が千鳥配置でシート厚の薄いA₁, A₂タイプのPD材は、軸ひずみの増大にともない通水量が大きく減少する傾向を示す。

同様に、図11(b)より側圧を314kPaから490kPaに大きくした場合に急激に通水量が減少するPDが認められる。また、芯材の成型形状を格子配置にした方が千鳥配置にした場合より通水量が大きい傾向を示すが、千鳥配置でもシートの材料厚を大きくすると、軸ひずみ50%を与えた状態でも20cm³/secの通水量が確保できている。

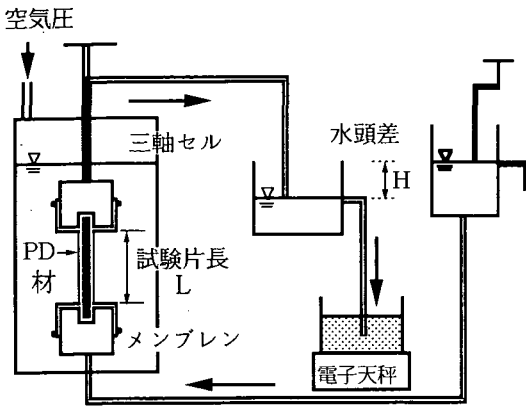


図-10 PD材の通水量(縦方向透水性)を測定するための試験装置⁹⁾

表-2 試料の物理的特性

	A 試料	B 試料
土粒子の密度: ρ_s g/cm ³	2.655	2.685
砂分 75 μ m~2mm %	0	0
シルト分 5~75 μ m %	49.0	20.0
粘土分 5 μ m未満 %	51.0	80.0
液性限界: w_L %	74.1	125.0
塑性限界: w_p %	30.3	63.3
塑性指数: I_p	43.8	61.7

5. 試料の圧密特性

サンドドレーンあるいはPD等のバーチカルドレーン工法においては、鉛直方向に圧縮し、水平方向に排水が生じるために、この状態での粘性土の圧密係数が重要な問題となる。

従来、粘性土の水平方向の圧密係数 C_h は、鉛直方向の圧密係数 C_v と比較して数倍大きいという報告がみられるが、特殊な圧密試験機を用いて求める場合^{11),12)}を除いては標準圧密試験から得られた鉛直方向の圧密係数 C_v を用いて設計されているのが実情である。

しかしながら、標準圧密試験は圧縮方向と排水方向が一致しており、図-12に示すように、仮に堆積方向の直角方向から採取した試料を用いたとしてもこの条件は変わらず、バーチカルドレーンを打設したときの排水方向と圧縮方向が異なる状況を再現していない。

そこで今回、改良型平面ひずみ試験機を用いてバーチカルドレーン打設地盤の粘土要素と同一条件で、供試体の圧縮方向と排水方向が異なる圧密試験を実施して、試料の圧密特性を把握した¹²⁾。

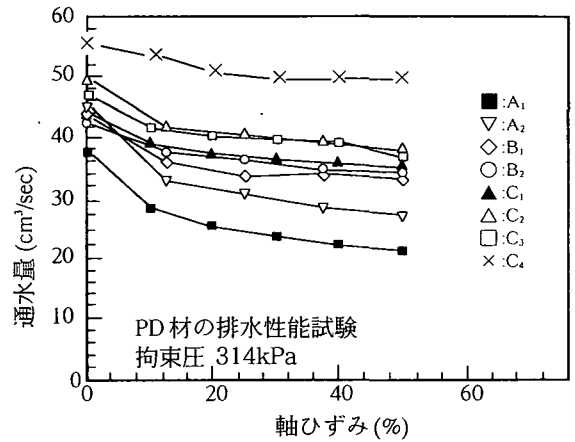


図-11(a) PD材の通水性能試験結果 (通水量~軸ひずみとの関係、拘束圧314kPaの場合)

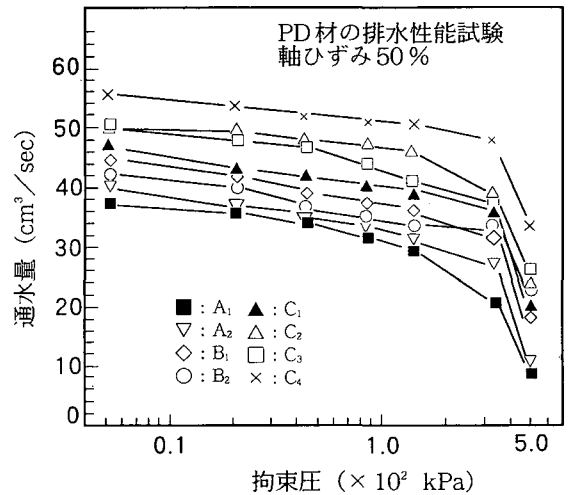


図-11 (b) PD材の通水性能試験結果 (通水量~拘束圧との関係、軸ひずみ50%の場合)

(1) 試料

実験に用いた試料は、表-2に示す2種類の粘土を用いた。A試料は、横浜港本牧ふ頭周辺で採取した海成粘土であり、またB試料は、東京湾周辺の水深約10mの海底より採取したヘドロである。採取した試料は、砂分を約40%程度含有し、塑性が比較的低いため、実験には74 μ mフルイを通過した試料だけを用いた。

調整した試料の物理特性を表-2に示す。

(2) 供試体の作製方法

A試料は、初期含水比1500%に調整して沈降堆積させ、またB試料は、液性限界の約2倍(約150%)で繰り返し後、上載圧 $\sigma_v = 49$ kPaで一次圧密が終了するまで大型モールドを用いて予圧密した。

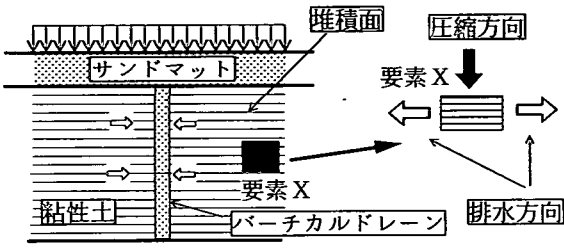


図-12 バッチカルドレーンを打設したときの排水方向と圧縮方向の模式図

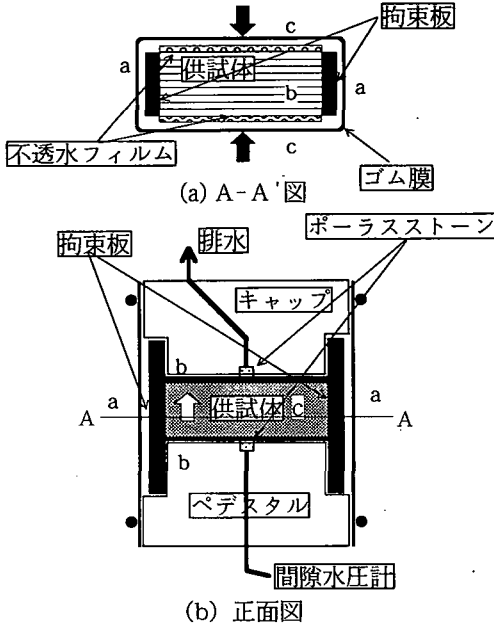


図-13 改良型平面ひずみ試験機の概要¹²⁾

(3) 試験方法

排水方向と供試体の圧縮方向が違う圧密試験を実施するために、小型の平面ひずみ試験機を改良した¹²⁾。改良型平面ひずみ試験機の概要を図-13に示す。平面ひずみ試験用供試体の寸法は、80mm×40mm×30mmである。図-13に示す平面ひずみ用供試体のa面を固定された拘束板で、またb面をクランプで固定したキャップとペDESTALで、それぞれ固定して原地盤での状態と同様なK₀状態を再現した。

また、c面に三軸セル内の水圧によって載荷することにより、図-12に示したような実地盤にバッチカルドレーンを打設したときの堆積面、圧縮方向、排水方向の関係を再現した。今回の実験では、図-13に示したように、供試体と拘束板の剥離を防ぐために、メンブレンの内側に拘束板を設置した。

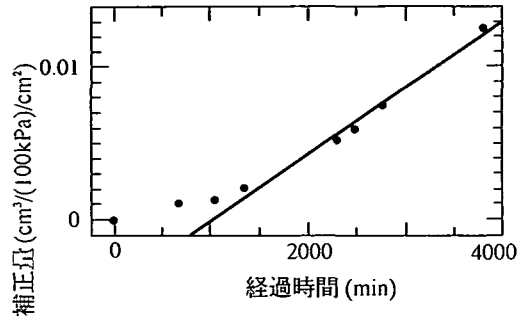


図-14 ダミーによる排水試験結果

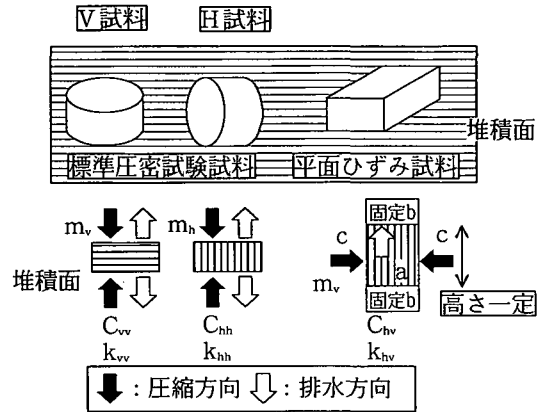


図-15 圧密試験方法の説明図

圧密試験は、供試体上端のみから排水し、ビューレットで排水量を、また供試体下端の非排水面の過剰間隙水圧を測定した。荷重段階は、20, 39, 78, 157, 314, 628 kPaの6段階とし、正規圧密領域では24時間載荷した。

また、長期圧密対策として、メンブレンを通してセル水が供試体内に浸入するのを極力防ぐために供試体表面に特殊不透水フィルムを添付した。この方法で、図-14に示すように約3日経過後でも約0.01cm³/(100kPa)/cm²程度にセル水の浸入を防ぐことができた。圧密試験での測定排水量は、この結果をもとに補正した。

なお、本試験に先立って、堆積方向(V試料)および堆積方向に直角方向(H試料)の供試体を用いて標準圧密試験も実施した。

(4) 試験結果

今回実施した圧密試験方法の概略説明図を図-15に示す。また、その場合の各圧密係数を図-15に示すように定義した。試験結果を図-16(a)、(b)に示す。圧密係数の算定には \sqrt{t} 法を用いた。

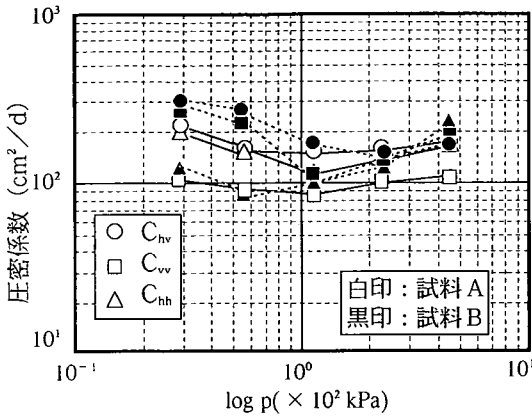


図-16 (a) 圧密係数~log p の関係

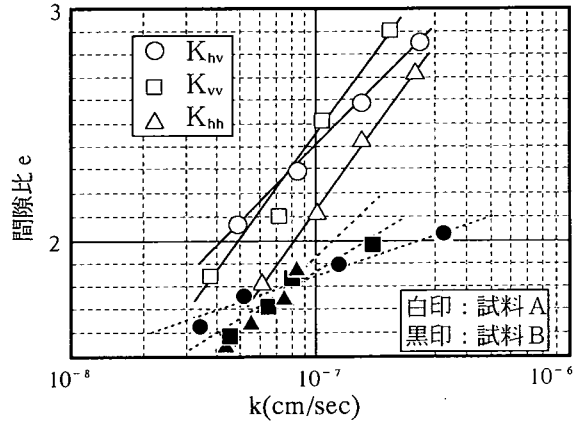


図-16 (b) 間隙比~透水係数の関係

図-16 (a) より、沈降堆積させて作製したA試料の C_{hv} は、 C_{vv} の1~2倍程度、また練返して作製したB試料の場合のそれらは、正規圧密領域ではほぼ同値である。透水係数 k に関しては、A試料の場合 k_{hh} が大きいが、B試料ではその傾向がはっきりしない。B試料の場合、堆積面がはっきりしないのが原因と思われる。

6. 大型圧密土槽による圧密実験

PDの通水性能試験結果から、改良深度50mを対象とする場合に要求される必要通水能力 $Q_{req} = 4 \sim 12 \text{ cm}^3/\text{sec}/\text{本}$ を満足したPDの圧密性能を評価するために大型土槽による圧密実験を実施した。

(1) 試験装置および試験方法

今回の試験に用いた大型の圧密試験装置を図-17に示す。

試料の作成手順は以下のとおりである。まず74 μm フルイに通して粗粒分を除去した試料の含水比を液性限界の約2倍(約150%)に調整した。次に、含水比の調整を行った試料を直径300mm、高さ330mmの大型圧密土槽に静かに流し込み、24時間の真空脱気を行った。その後、拘束圧 $\sigma_v = 49 \text{ kPa}$ で一次圧密が終了するまで予圧密した。一次圧密の終了は、3t法による。

49kPaの荷重による予圧密が終了すると、圧密荷重を一旦除荷し、試料の中心位置に専用の抜き型を挿入し、抜き型内の試料を取り出した後にPDをセットした。PD内には脱気水を満たした。試験に用いたPDは、通水性能試験結果より図-9に示すB₂、C₃、C₄の3種類を用いた。また、PDの幅は $d = 10 \text{ cm}$ 、厚さは $t = 9 \sim 10.5 \text{ mm}$ である。

圧密荷重は上載圧19.6kPaで一日放置後、39, 78, 157, 314, 490kPaの5段階とし、各荷重段

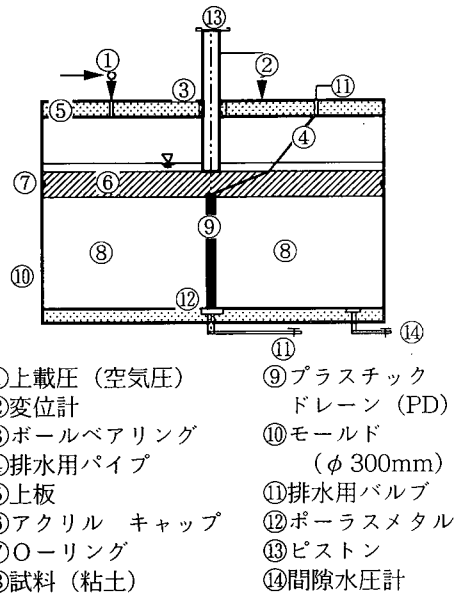


図-17 圧密試験装置の概略^{6),7)}

階での一次圧密の終了は、予圧密の場合と同様に3t法による。

(2) 試験結果および考察

典型的な試験結果として、鉛直ひずみと経過時間との関係を図-18に示す。(圧密荷重314~490kPaの場合) 同図より、芯材の成型形状を格子状にしたC₃およびC₄タイプのPD材の圧密進行速度は、千鳥型配置のB₂タイプと比較して早い。

また、図-19には圧密度と時間係数との関係を示す。載荷荷重は314~490kPaの場合である。同図に示す実線は、バロンによる理論解である。なお、ここでは圧密度は、以下のようにして求めた。

$$U = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\max}} \quad (6)$$

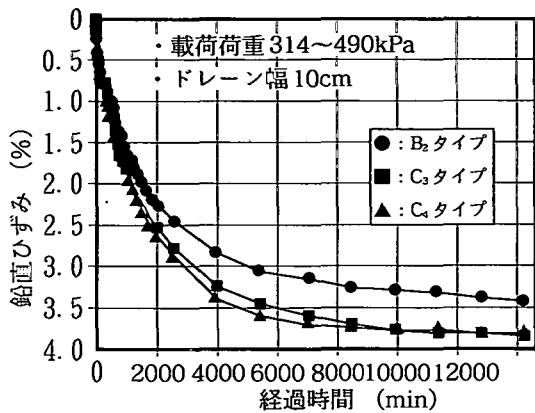


図-18 鉛直ひずみ～経過時間の関係
(載荷荷重 314~490kPa)

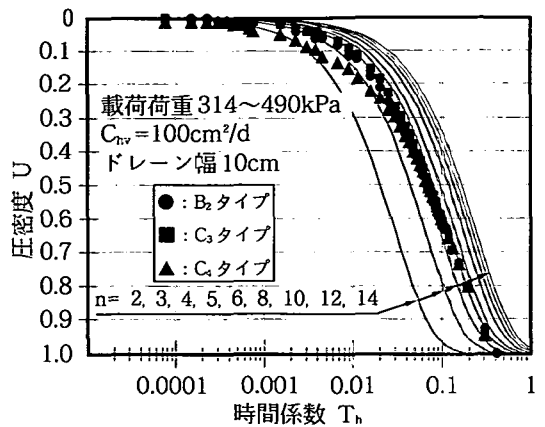


図-19 圧密度～時間係数の関係
(載荷荷重 314~490kPa)

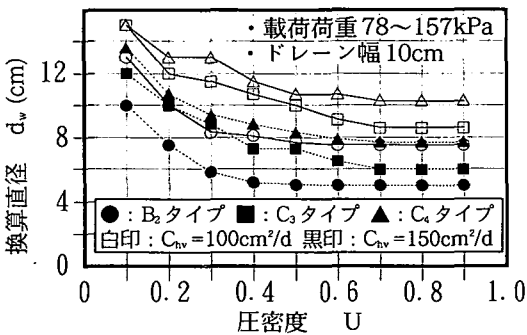


図-20 (a) 換算直径～圧密度との関係
(載荷荷重 78~157kPa)

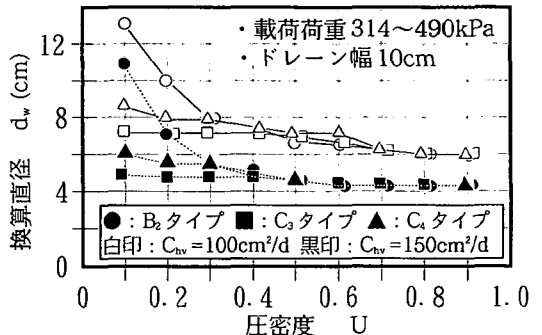


図-20 (b) 換算直径～圧密度との関係
(載荷荷重 314~490kPa)

$$T_h = \frac{C_{nv} \cdot t}{d_w^2} \quad (7)$$

ここに、 ε_{max} : \sqrt{t} 法で算定される一次圧密度に対応する鉛直ひずみ、 ε : 刻々の鉛直ひずみ、 d_w : 有効径 (= 30cm)、 C_{nv} : 水平方向の圧密係数、 t : 時間である。

なお、ここでは図-16 (a) に示す圧密試験結果より、 $C_{nv} = 100 \sim 150$ (cm²/day) として算定した。

図-20 (a)、(b) には、圧密度と時間係数との関係からバロンの解を基に逆算して求めた換算直径 ($d_w = \frac{d_w}{n}$) と圧密度との関係を示す。図-20 に示すように、載荷荷重が増大するにつれ、また圧密度が増大するにつれてPD材の換算直径は、全体的に減少する傾向が認められる。

しかし、C₃、C₄タイプのPD材のように、芯材の配置を格子状に変更したことによって、また、千鳥状配置のB₂タイプのPD材では厚さを10mmに増大することによって、試料の水平方向圧密係数を $C_{nv} = 100 \sim 150$ cm²/day 程度と仮定すれば、載荷荷重

490kPa、圧密度90%の場合でも、換算直径は4.0~6.0cmを満足している。

なお、圧密試験終了後、PD材を取り出して観測した結果、B₂タイプのPD材ではいわゆるくびれが発生していた。

7. 大深度用PDの等価径

板状のPDの等価径の評価法としては、PDの幅 (=b) および厚さ (=t) を用いた Hansbo¹³⁾ の式 $d_w = 2(b+t)/\pi$ 、嘉門ら^{14)、15)} の式 $d_w = 2 \cdot \sqrt{(b \times t)}/\pi$ 、および外裏ら¹⁶⁾ の式等が提案されている。

外裏らの式は、圧密時間は排水長の二乗に比例するという Terzaghi の圧密理論より、板状ドレーンによる間隙水の流線を直線近似し、その仮想流線の長さから排水距離の二乗の平均を求め、それを基に板状ドレーンの等価径を導いたものである¹⁶⁾。外裏らの式から求められる等価径は、図-21 より以下のように導かれ、式 (12) で表される。

$$\alpha = -\frac{b}{\pi} \theta + \frac{1}{2} b \quad (8)$$

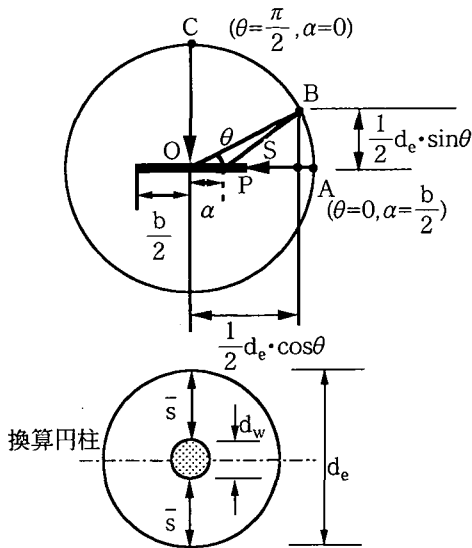


図-21 外裏らによる板状ドレーンの等価径の算定法⁶⁾

$$s^2 = \left(\frac{1}{2}d_e \cdot \sin\theta\right)^2 + \left(\frac{1}{2}d_e \cdot \cos\theta - a\right)^2 \quad (9)$$

$$\bar{s}^2 = \frac{\int_0^{\frac{1}{2}\pi} s^2 d\theta}{\frac{1}{2}\pi}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot (d_e)^2 + \frac{1}{12} b^2 - \frac{2b}{\pi^2} d_e \quad (10)$$

$$\bar{s} = \sqrt{\bar{s}^2} \quad (11)$$

$$d_w = d_e - 2 \cdot \bar{s} + t \quad (12)$$

ここに、

d_e : 有効径 d_w : 換算等価径 b : PDの幅

t : PDの厚さ a : Oと流線の終点との距離

θ : PDが流線の始点とOを結ぶ直角となす角度

s : 流線の長さ \bar{s}^2 : s の2乗の平均

である。

ここで今、 $d_e = 100\text{cm}$ 、 $b = 10\text{cm}$ 、 $t = 10\text{mm}$ とすれば、式(12)より大断面ドレーンの等価径は $d_w = 5.0\text{cm}$ となり、圧密度80~90%のときの圧密試験結果から逆算して求めた値とほぼ一致する。

以上のように、従来より提案されている板状ドレーンの等価径の算定法は、

- ①板状ドレーンと周長が等しい円の直径 (Hansbo)
- ②板状ドレーンと断面積が等しい円の直径 (Kamon)
- ③流線長の平均 (外裏ら)

に大きく分けられるが、その算定結果は図-22に示す通りである。図中にはPDの厚さが3.5mm(一点鎖線)と10mm(実線)の場合を示してある。

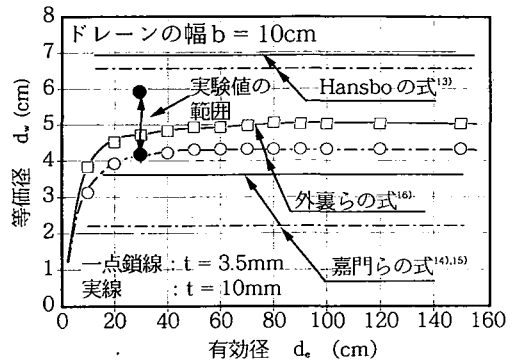


図-22 大断面ドレーンの等価径算定結果

8. まとめ

改良型平面ひずみ試験機を用いた圧密試験および大深度用ドレーン材を用いて実施した大型圧密試験より以下のことが分かった。

(1) 改良型平面ひずみ試験機を用いることによって原位置に鉛直ドレーンを打設したときの排水方向と圧縮方向が異なる圧密状況を再現できる。

(2) 沈降堆積させて作製した試料の水平方向圧密係数 C_{hv} は、鉛直方向圧密係数 C_{vv} の1~2倍程度、また繰返して作製した試料の場合のそれは、正規圧密領域ではほぼ同値である。

(3) ポリエステル長繊維不織布は、5%伸張時に185~199N/(5cm幅)の強度を有し、長期にわたって土中埋設、海水中浸漬、および屋外暴露を実施した結果では時間経過とともに若干の強度低下は生じるものの、大断面ドレーンのフィルターとして実用上問題は無いと判断される。

(4) PD材の通水性能は、芯材の成型形状を格子配置にした方が千鳥配置にした場合よりも大きい傾向を示すが、千鳥配置でもシートの材料厚を大きくすると、拘束圧490kPa、軸ひずみ50%を与えた状態でも20cm³/secの通水量は確保できる。

(5) 載荷荷重が増加するにつれ、また圧密度が増大するにつれて板状ドレーンの換算径は全体的に減少する傾向が認められるが、載荷荷重490kPa、圧密度90%の場合でも、試料の水平方向圧密係数を $C_{hv} = 100\sim 150\text{cm}^2/\text{day}$ 程度と仮定すれば、圧密試験結果から逆算された換算径は4.0~6.0cmを確保できる。

(6) 大深度用ドレーンの換算径の算定法は、間隙水の流線を直線近似しその流線の長さから排水距離の二乗を求め、それを基にドレーンの換算径を算出する外裏らの方法⁶⁾が圧密試験から逆算して求めた値とよく一致した。

謝辞：本研究は、旭化成工業（株）との共同研究で実施したものである。また、本実験は横浜国立大学修論生であった村田高明君（現、福島県庁）に手伝っていただいた。末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ジオテキスタイルの適用方法に関する研究委員会・埋立・軟弱地盤グループ：ジオテキスタイルを適用した埋立地盤・軟弱地盤の設計法，ジオテキスタイルの適用性に関するシンポジウム発表論文集，pp.23～36，1990.
- 2) 嘉門雅史，諏訪靖二，プラダン・テージ，北島武治：PD材の室内透水性に及ぼす要因について，第25回土質工学研究発表会，pp.1717～1718，1990.
- 3) 嘉門雅史，諏訪靖二，プラダン・テージ，PD研究会：プラスチックボードドレーンの透水機能評価試験法について，国際ジオテキスタイル学会日本支部，ジオテキスタイルシンポジウム，pp.75～81，1994.
- 4) 嘉門雅史，プラダン・テージ，諏訪靖二，本郷隆夫，赤井俊文，今西肇：プラスチックボードドレーンの透水容量の評価試験について，ジオテキスタイル試験法に関するシンポジウム論文集，pp.77～82，1994.
- 5) Tej B.S. Pradhan, Masashi Kamon Seiji Suwa and Research Group on Plastic Board Drain: A Design Method for the Evaluation of Discharge Capacity of Prefabricated Band - Shaped Drains, 9th Asian Regional Conference on SMFE, pp.523～526, 1991.
- 6) 岡本正広，村松栄二郎，今井五郎，プラダン・テージ，堀田義臣，菊田宏：大断面プラスチックボードドレーンの性能実験，土木学会第47回年次学術講演会，pp.1076～1077，1992.
- 7) 岡本正広，今井五郎，プラダン・テージ：大断面鉛直ドレーンの性能実験（その2），第28回土質工学研究発表会，pp.2427～2428，1993.

- 8) 嘉門雅史，諏訪靖二，本郷隆夫，池田 剛，和田栗保：プラスチックボードドレーンのフィルター機能評価試験について，ジオテキスタイル試験法に関するシンポジウム，pp.103～106，1994.
- 9) 土木研究センター：民間開発建設技術の技術審査・証明事業認定規定に基づく土木系材料技術・技術審査証明報告書（技審証 第0102号）水平排水材パブリックドレーン，1990.
- 10) 小林正樹，水上純一，土田 孝：粘性土の水平方向圧密係数について，特殊圧密試験に関するシンポジウム，pp.175～180，1988.
- 11) 赤木俊允，石田哲朗：水平方向の透水試験が可能な圧密試験機の試作，特殊圧密試験に関するシンポジウム，pp.181～186，1988.
- 12) 村田高明，岡本正広，プラダン・テージ，今井五郎：改良型平面ひずみ試験機を用いた圧密試験法，第28回土質工学研究発表会，pp.433～434，1993.
- 13) Hansbo, S.: Consolidation of clay by band - shaped prefabricated drains, *Ground Engineering* Vol.12, No.5, pp.21～25, 1979.
- 14) Tej B.S. Pradhan, Goro Imai, Takaaki Murata, Masashi Kamon and Seiji Suwa: Experimental Study on the Equivalent Diameter of a Prefabricated Band - Shaped Drains, Eleventh Southeast Asian Geotechnical Conference, pp.391～396, 1993.
- 15) Masashi Kamon, Tej B.S. Pradhan and Seiji Suwa: Evaluation of Design Factors of Prefabricated Band - Shaped Drains, *Geo - Coast*, pp.329～334, 1991.
- 16) 外裏雅一，プラダン・テージ，今井五郎：プラスチックボードドレーンの等価径の算定法，土木学会第48回年次学術講演会，pp.566～567，1993.

(1996. 3. 21 受付)

EXPERIMENTAL STUDY ON THE CONSOLIDATION EFFICIENCY OF A PLASTIC BOARD DRAIN FOR LARGER DEPTH OF SOFT CLAY

Masahiro OKAMOTO and Tej B.S. PRADHAN

It has been pointed out that the applicable maximum depth of Plastic Board Drain(PD), which is used for accelerating the dissipation of the pore water pressure in soft clay, is about 20m because of its small sectional area. The authors have developed a large section band shaped drain applied for deeper soil improvement. Filter and core of this PD are composed of high strength polyester textiles and high strength vinyl chloride respectively, to resist the large earth pressure. It was found that the transmittibility of this PD can be secured to 20cm³/sec under a confining pressure of 490kPa and apparent axial strain of 50%. Furthermore, the equivalent diameter of the PD was found to be 4.0～6.0cm under high pressure.