

現場条件を考慮したプラスチックボードドレーンの性能評価

朴 永穆*・三浦哲彦**

プラスチックボードドレーン (PD) の排水性能に関する基礎的研究は数多くなされてきたが、現場での使用条件を考慮した検討は十分になされていない。本研究では、PD を用いたときの地盤の圧密速度に影響を及ぼす諸要因について検討し、その結果に基づいて現場条件を考慮した PD の性能試験について考察する。また、PD の適用深度はこれまで 20 m 程度に抑えられてきたが、より深い粘土層まで打設することも試みられてよいことを明らかにする。

Key Words : plastic-board drain (PD), drainage performance, well resistance, air bubble, shape of PD, confining pressure, flow gradient, smear zone

1. ま え が き

バーチカルドレーン工法において、プラスチックボードドレーン (以下 PD とする) を利用するケースが増えてきている。それらの排水性能に関する検討は数多くなされている^{1)~7)}。筆者らは前報⁸⁾において、PD の排水性能について広範な実験を行い、現行の等価径の評価法の妥当性、PD 周辺細粒土の移動現象、PD 材の縦方向通水能力、ウェルレジスタンスに及ぼす要因、等について考察した。また、二層スミアゾーンに対する圧密解析モデルを提案した。本研究では、まず PD 材を用いたときの地盤の圧密速度に影響を及ぼす諸要因について検討し、その結果に基づいて現場条件を考慮した PD 材の性能試験について考察する。これまでは、PD 材の現場での検討が十分に解明されていなかったこともあって、その適用深度は 20 m 程度に抑えられてきたのが実状であるが、本研究によって、より深い粘土層まで打設することも試みられてよいことを明らかにする。

2. 圧密速度への影響要因

PD を用いて軟弱地盤の圧密改良を行う場合、圧密速度に影響を及ぼす要因 μ_s について、Hansbo⁹⁾ は次式を提示した。

$$\mu_s = F(n) + F(s) + F(r) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 $F(n)$ は PD の打設間隔、 $F(s)$ はスミアゾーン、および $F(r)$ はウェルレジスタンスによる影響である。Fig.1 は、地盤条件と PD が Table 1 の値である場合に、三つの影響値を PD の等価径と打設有効直径との比 $n (=d_e/d_w) = 10 \sim 50$ の範囲でプロットしたもので

Table 1 Parameters of soil and PD for calculation

Case	Parameter		
	L of PD (cm)	$k_c (=k_h)$ (cm/sec)	note
A	1000	10^{-5}	$d_w = 5 \text{ cm}$ $k_w = 10 \text{ cm/sec}$ $s (=d_s / d_w) = 3$ $k_c / k_s = 3$
B	3000	10^{-7}	
C	3000	10^{-5}	
D	5000	10^{-7}	
E	5000	10^{-5}	

L : Length of PD
 d_w : Equivalent diameter of PD
 d_s : Diameter of smear zone
 k_c / k_s : Ratio of horizontal coefficient of permeability of undisturbed and smear zones
 k_w : Longitudinal coefficient of permeability of PD

ある。ここで PD の打設間隔とスミアゾーンに関する条件は同じであるから、 $F(n)$ および $F(s)$ の値は全ケースにおいて同一条件となる。粘土地盤 ($k_h = 10^{-7} \text{ cm/sec}$, Case B, D) の場合は、PD の打設深度 L が 50 m であってもウェルレジスタンス (WR) の影響は小さい。一方、透水係数が高いシルト地盤 ($k_h = 10^{-5} \text{ cm/sec}$, Case A, C, および E) の場合は、PD の打設間隔およびスミアゾーンによる影響と同様に WR の影響は大きくなり、打設長さが 10 m と短くても無視できなくなる。したがって、シルト地盤の場合には PD 材の縦方向通水試験は一層重要な意味をもってくる。

現場での地盤の圧密が進行するのに伴って、PD 材の縦方向通水能力 $Q_w (= \text{単位時間当たりの流量 } Q / \text{動水勾配 } i)$ に影響を及ぼす新たな要因が発生する。Fig.2 は、圧密度 U_s の進行に伴う Q_w 値および要求通水量 Q_{req} (地盤および PD 打設条件に伴って要求される Q_w) の変化を TS 材について測定した例である。ここで本実験で対

* 学生会員 佐賀大学大学院博士後期課程 工学系研究科システム生産科学専攻 (韓国 農漁村振興公社)
 ** 正会員 工博 佐賀大学教授 理工学部建設工学科 (〒840 佐賀市本庄町 1)

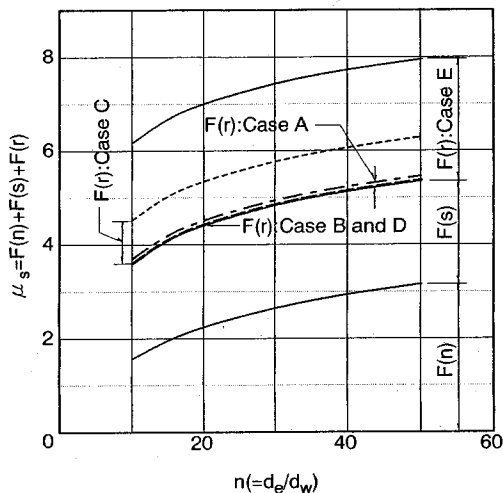


Fig.1 Factors influencing drainage performance

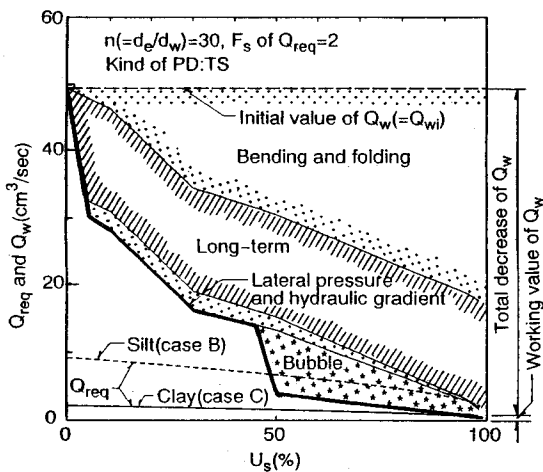


Fig.2 Decreases of Q_w and Q_{req} with consolidation

象とするPD材は次の7種類である：a) ポリエチレン樹脂の芯体とポリエステル系合成繊維フィルターを接着して一体としたCS；b) CSの改良タイプであるCS₂；c) ポリプロピレン樹脂芯体と不織布で作ったMW；d) 芯体をポリエチレン樹脂で作ってMWのたわみ性を改良したMB；e) ポリオレフィン系樹脂の芯体とセルロースとポリエステル系合成繊維のフィルターで作ったGL；f) ポリプロピレン長繊維の不織布で作ったTF；g) およびポリエチレン樹脂芯体とポリプロピレン長繊維のフィルターで作ったTS。Fig.2より、PDの折れ曲がりの影響（Bending & folding）は最も大きく圧密進行に伴ってその度合いは増加すること、PDのクリープ変形の影響（Long-term）は大部分が圧密初期段階に現れること、動水勾配*i*の影響は載荷時には大きいとその後は圧密進行に伴って低下していくこと、圧密度*U_s*が50%を越えて動水勾配が低下しPDが折れ曲がると気

泡の影響を強く受けるようになり Q_w は低下していくこと、等が理解される。

Fig.2の Q_{req} については、Pradhan ら⁴⁾が示した次式を用いて計算した。

$$Q_{req} = \epsilon_f \cdot U_h \cdot F_s \cdot L \cdot \pi \cdot c_h / (4 \cdot T_h \cdot 86400) \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

$$T_h = -\mu_s \cdot \ln(1 - U_h) / 8$$

$$\mu_s = F(n) + F(s) + F(r)$$

また、 ϵ_f ：鉛直方向の最終ひずみ(0.25H)、 U_h ：水平方向圧密度、 F_s ：安全係数(=2)、 L ：前出、および c_h ：地盤の水平方向の圧密係数(cm²/day)である。

Fig.2において、Silt(case B)とClay(case C)の Q_{req} を圧密進行に伴って通水能力が低下した後の Q_w (図中の太線)と比較して次のことがわかる。粘土地盤の場合は圧密全過程において $Q_w \geq Q_{req}$ となり、WRの影響は無視できる。しかし、シルト地盤では圧密度が50%を越えると $Q_w < Q_{req}$ となり、WRの影響は無視できなくなりPDの縦方向の通水能力の評価は重要な項目となってくる。PDの通水能力に関する基本的事項については前報⁸⁾で詳述したので、本文では現場条件を考慮した実用的室内試験の方法について考察する。

3. 現場条件を考慮した縦通水試験

(1) 拘束圧の大きさ

試験装置は、後出 Fig.9 に示すような三軸圧縮試験装置と類似のものを用いることが多い。PD材の両端を水の流入口と流出口に接続し、試験片全体をゴムスリーブで包み込み、水圧で側圧を負荷する。この装置は要素試験であるので、現場においてPDに作用している応力状態等を考慮して試験条件を設定する必要がある。まず負荷側圧の大きさについては、PDの打設深度と上載荷重の大きさを考慮して決める。最近では大深度でPDを使用するケースも出始めているのに鑑み、 $L=30$ mのPD最深部に作用する側圧 σ_3 を概略的に求めると盛土高 $h=3$ m に対して次のようになる。

$$\begin{aligned} \sigma_3 &\leq (L \cdot \gamma' + h \cdot \gamma_t) K_0 \\ &= (30 \times 4.9 + 3 \times 17.6) \times 1 = 200 \text{ kPa} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここに、 γ' ：粘土の水申単位重量、 γ_t ：盛土材の湿潤単位重量、および K_0 ：土圧係数である。したがって、PD打設深度が30 m程度以下の通常の場合に対しては、 σ_3 を作用圧力の2倍程度400 kPaを負荷できる装置を用いればよいことになる。Fig.3は、 $Q_w \sim \sigma_3$ 関係を測定した例である。側圧の増加に伴う Q_w の低下に関して多くの測定例があり、指数的に変化すると指摘したものの¹⁰⁾もあるが、実用の上から概略値を求める場合には $\sigma_3 = 50 \sim 400$ kPaの範囲で Q_w の低下は概ね直線的であるとみてよい。したがって側圧の影響に関する試験は、 σ_3

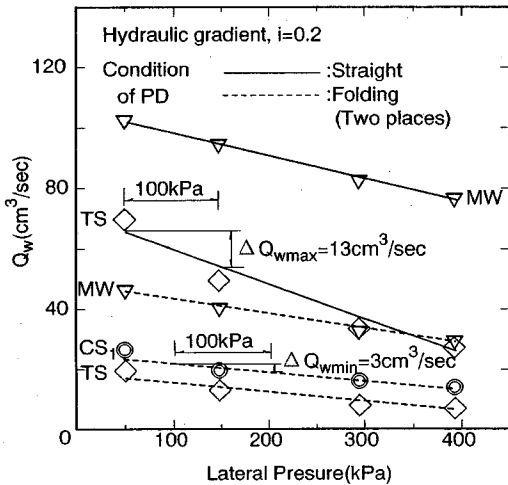


Fig.3 Variation of Q_w with lateral pressure σ_3

=49 kPa(0.5 kgf/cm²)と $\sigma_3=392$ kPa(4.0 kgf/cm²)との2条件で行えば、この条件内の Q_w は内挿法により概略推定できる。本実験に用いたPDについては、拘束圧 σ_3 の増加量 $\Delta\sigma_3=100$ kPaに対して Q_w の低下量は最小で $\Delta Q_{wmin}=3$ cm³/sec、同じく最大で $\Delta Q_{wmax}=13$ cm³/secであった。

PD試験片の長さは研究者によってまちまちであり、10~300 cmの範囲のものが多い^{2)-5),8)}。試験片の長さを決めるに当たって考慮すべき事項は、全水頭、試験装置の損失水頭 (Fig.9の装置では0.6 cm)、動水勾配、および気泡の影響である。またPDの折れ曲がりの影響を調べるためには、数箇所の強制変形を与え得る長さが必要である。これらのことを考えて、長さ40~50 cmの試験片を用いればよいと考えた。

(2) 動水勾配

Pradhanら⁴⁾は、PDの縦通水試験において、動水勾配が同じであっても水頭差によって Q_w の値は変わることを報告している。これは動水勾配を一定とした場合に、試験片の長さによって全水頭の大きさが変わり、全水頭の大きさが変わると試験装置の損失水頭に対する割合が変化するためである。それゆえ現場条件に合う動水勾配を用いた室内実験が望ましい。地盤改良現場においてPDに作用する動水勾配 i を推定すると次のようである。例として長さ $L=20$ mのPDを片面排水条件、盛土1 mによる上載荷重 $\Delta p=17.6$ kPaのもとで用いる場合、水頭を $\Delta H(=\Delta p/\gamma_w)$ とすると $i=\Delta H/(L/2)=(17.6/9.8)/10=0.18$ となる。 $L=10$ mの場合には $i=0.36$ となる。中ノ堂ら¹⁰⁾は、現場においてPD内の全水頭の分布を求め、 $i=0.03\sim 0.8$ という結果を得ている。Fig.4は、動水勾配による Q_w の変化を示したものである。理論的には i の値によらず Q_w は一定値を示すべきであるが、同図で i の増加に伴って Q_w が低下して

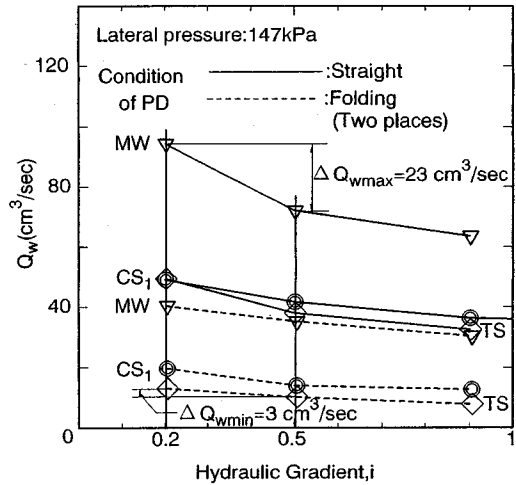


Fig.4 Variation of Q_w with hydraulic gradient i

行く。これは室内試験においてPD内部での水の流れは、動水勾配の増加に伴って層流から乱流に変化してDarcyの則が適用できなくなり、 Q_w に影響を及ぼすためと考えられる。

$i \geq 0.5$ での Q_w は、 i にほぼ依存しなくなる。実際現場では、透水係数の低い地盤からPDに流入してきた間隙水の流れは層流状態であると仮定してよい。上に述べたことから室内試験での動水勾配 i は0.2~0.5の範囲で行えばよいと考える。

(3) PDの折れ曲がりの影響

粘土の圧縮ひずみ ϵ_1 が20%以上に達するとPDも大きく変形する²⁾。圧密による粘土地盤の圧縮ひずみは、一般には浅いところ程大きいと考えられる。このことを確かめるために、まず深さ方向に先行圧密荷重が直線的に増加する地盤について検討を行う。Fig.5は、有明粘土の間隙比~圧密圧力の関係を用いて、盛土荷重35.2 kPaを加えた場合に、深さ方向に間隙比がどのように変化するかを示したものである。Fig.6では、各深さにおける圧密量をひずみで表している。これらの結果より、PDの折れ曲がりは地盤表層部で大きく、下層部では小さく生じることがわかる。Fig.7は、PDを用いて地盤改良を行った有明粘土地盤中の試験盛土において、載荷後300日($\epsilon_1=8.7\%$)において、層別沈下量 $S_1\sim S_6$ に基づいて各層の圧密量をひずみで表したものである。過圧密された厚さ約1 mの表層Topを除くと A_{c1} 層のひずみは $\epsilon_1=13\%$ である。主な圧密層である16 m厚さの A_{c2} に注目すると、その下層8 mのひずみは $\epsilon_1=7.6\%$ であり、上層8 mのひずみ $\epsilon_1=12.3\%$ に対して61%となる。地表から20 mより深く堆積している A_{c3} 層の ϵ_1 は3%に満たない。このように深い粘土層の圧密量は小さいのでそこでのPD変形量も小さいと考えてよい。

Fig.6の計算に用いた土質パラメータは通常の正規圧密

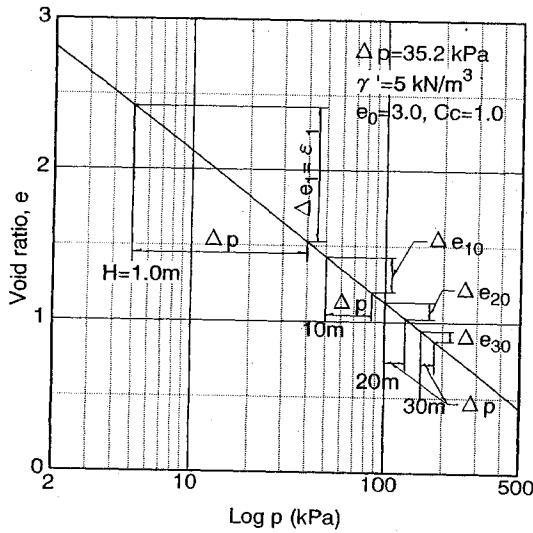


Fig. 5 Change of Δe due to fill loading at each depth of soft ground

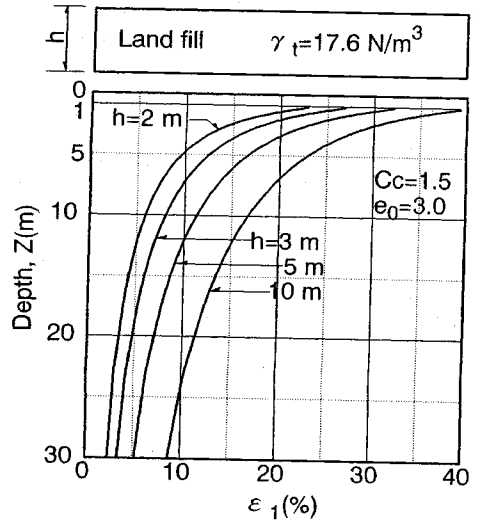


Fig. 6 Distribution of ε_1 with depth Z

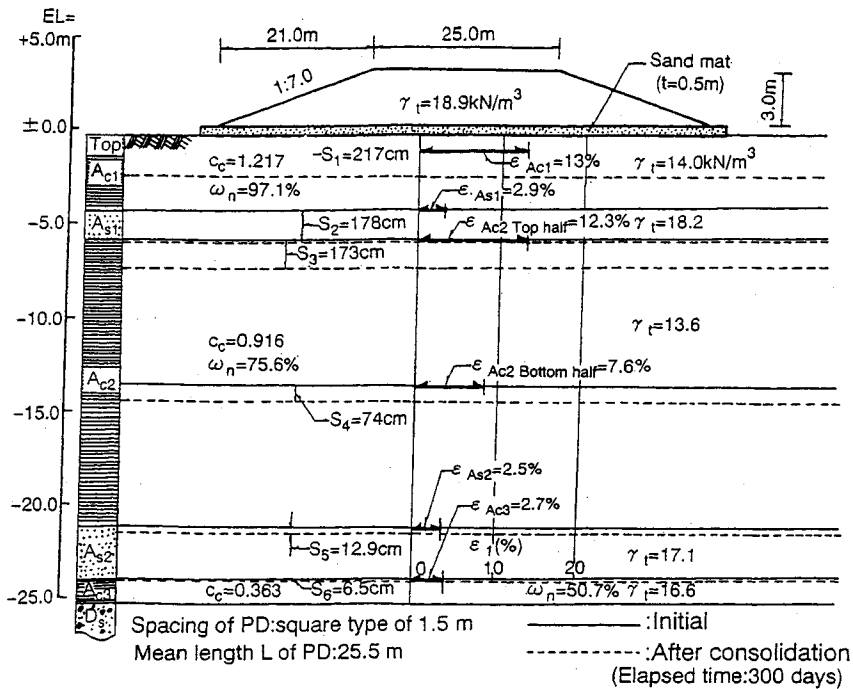


Fig. 7 Vertical strain ε_1 at each layer below the test embankment after elapsed time of 300 days

粘土としては高圧縮性に相当する。したがって盛土厚さが5 m程度であれば、20~30 mに堆積する粘土層の圧縮ひずみは10%を越えることは少ないと考えてよい。したがって、PDの打設が適切に施工されて共上がりや切断などが無い限りは、20 mを越える深度にPDを用いても問題はないと考える。

PDの折れ曲がりによる Q_w の低下を調べる方法として、筆者らは次の5つの変形状態を提案している⁸⁾。a)

変形なし、b) ひずみ15%の自由変形、c) ひずみ20%の自由変形、d) 1箇所強制変形、およびe) 2箇所強制変形。強制変形はPDを折り曲げた上で幅全体にわたってクリップで変形を固定する方法である。Fig. 8は、PDの折れ曲がり状態による Q_w の変化を調べた例である。この図でわかるように、 Q_w の低下特性はPDの種類によって若干異なり、TS、MWのように自由変形状態から低下しはじめるものとCSのように強制変形状態

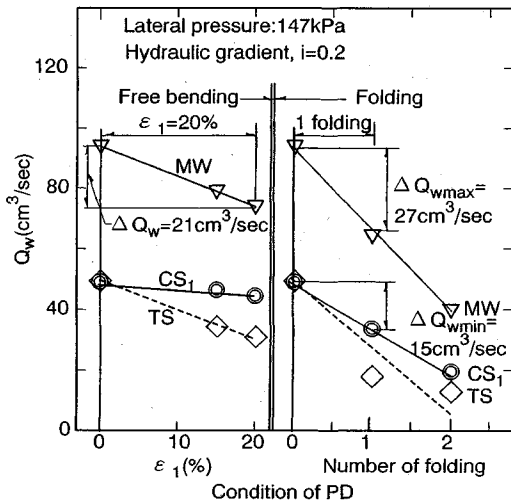
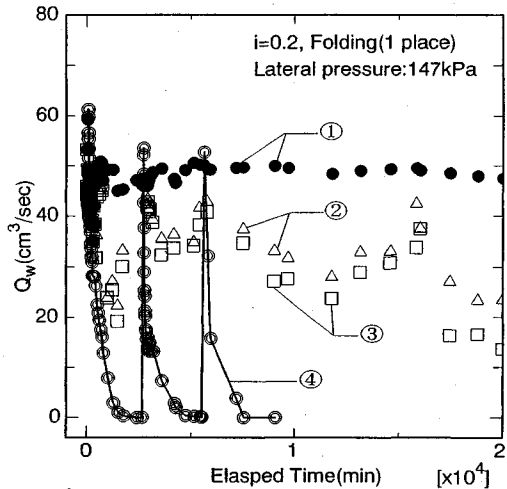


Fig.8 Relationship between Q_w and deformed shapes of PD



- ①: Perfect removal of bubble in the hose and the PD
- ②: Removal of bubble in the hose
- ③: Flow with bubble in the hose and the PD
- ④: Reduction of flow to zero due to the presence of bubble in the hose and the PD

Fig.10 Influence of bubble on Q_w

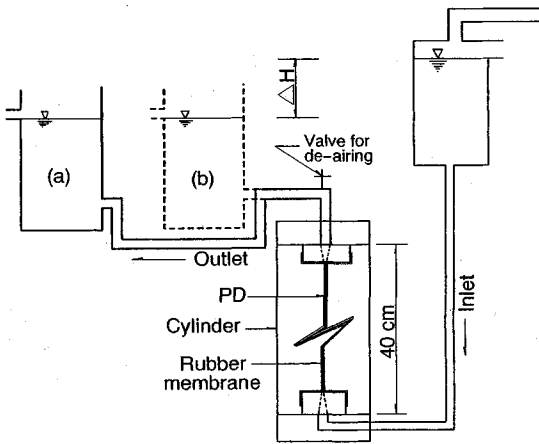


Fig.9 Test apparatus for investigating the influence of bubble

からその低下が大きくなるものに分けられる。しかし、全体の傾向としては自由変形による Q_w 低下はひずみ量に対して直線的であり、側圧 $\sigma_3=147$ kPa のときはひずみ 20% 当りの Q_w 低下量 ΔQ_w は最大で $21 \text{ cm}^3/\text{sec}$ とみてよい。また、強制変形の箇所数が増えることによる Q_w 低下もほぼ直線的であり、強制変形 1 箇所当りの ΔQ_w は最小 $15 \text{ cm}^3/\text{sec}$ 、最大 $27 \text{ cm}^3/\text{sec}$ であった。

$\sigma_3=392$ kPa のときについても同様な検討を行った結果、ひずみ 20% 当りおよび強制変形 1 箇所当りの ΔQ_w の低下量は、 $\sigma_3=147$ kPa のときとほぼ同じ値を示し、自由変形による ΔQ_w および強制変形 1 箇所当りの ΔQ_w は側圧の大きさの影響は小さいことがわかった。

本研究では折れ曲がり数が増えただけの場合については調べていない。しかし、実際地盤において PD の圧縮量が 20% を越えるのは浅い層だけであり、PD 材に流入する間隙水量も圧密と共に減少していくので、上述

の実験は実際に生じる現象をかなりカバーしていると考えてよい。しかし、一次盛土が終了した後、第 2 次、第 3 次の盛土を施工する場合に、初めに打設した PD が機能するか否かの判断が求められる場合には、予想される地盤圧縮ひずみに応じて、また強制変形の数を増やして実験を行う必要がある。

(4) 気泡の影響

縦通水能力を調べるために使用されている装置は、Fig.9 の (a) と (b) の 2 種類に分けることができる。これまでの研究報告等を見る限り、使用者が意識的に 2 つのタイプの装置を使い分けているとは思えない。筆者ら自身も当初は (a) タイプの装置を用いて実験を行っていたが、多くの実験を続けている内にある条件のもとでは通水量が次第に減っていき、ついにはゼロとなることを経験した。検討の結果、通水の中に含まれる気泡が PD 材内部および装置内部に溜ることが原因していることがわかった。Fig.10 は検討結果の一部を示したものである。水頭差 $\Delta H=8$ cm、動水勾配 $i=0.2$ の条件で、PD 材を 1 箇所強制変形させ、出口ホースの一部分を本体の頂部より下げた状態 (Fig.9(a)) で試験を行うと、気泡除去をしない場合には Q_w は次第に低下していき約 50 時間後には通水量ゼロの状態になる。ホース中の気泡を取り除くと Q_w は約 60~70% 回復し、さらに PD 材内部の気泡をゴム付きハンマーで軽打して除去すると初期の通水量にまで回復する。Fig.9(b) に示すように、両シリンダを本体より高い位置にセットして、本体の頂部よりホースを高い位置に固定すると気泡の影響はなくなる。このように、室内通水試験を行う場合には気泡の

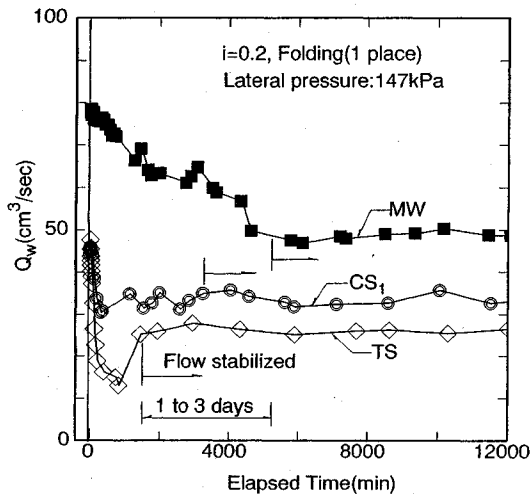


Fig.11 Relationship between Q_w and elapsed time

影響を受けないように、Fig.9(b)の状態で行う必要がある。

上記の検討から、実際地盤において間隙水中に溶け込んでいた空気が排水過程で気泡となりPDの機能に障害をもたらすことが考えられる。圧密初期段階においては、盛土荷重に相当する高い過剰間隙水圧が作用するのでPD内部に溜った気泡は押し出される。しかし、圧密が進行して粘土地盤内部の過剰間隙水圧が低下し、併せてPDの変形が大きくなってくると気泡の影響は無視できなくなろう。地盤改良が1次盛土、2次盛土と段階的に行われるとき、1次工事で打設したPDが2次盛土に対して有効かどうかを検討する場合にもこの問題が関与してこよう。PDを水平排水材として利用する場合には、Fig.9(a)の状態が実際に生じることもあり得る。いずれにしても、Fig.10の実験事実は実際地盤においてもPDの排水性能が気泡に影響される可能性のあることを示唆するものである。

(5) 長期通水試験

PD材の Q_w を求めるには、通水量が一応安定したところで Q_w を測る短期通水試験が一般的である。しかし、現場においては盛土を数段階に分けて長期にわたって載荷していくので、これに対応する長期通水試験を行い、経過時間に伴う Q_w の変化を調べる必要がある。Fig.11は、3種類のPD材を一箇所強制変形の状態を8日間にわたっての通水試験を行った結果を示す。この実験では、気泡の影響を防ぐために気泡を十分に除去した状態で測定を行った。実験に用いた3種類の試料については、最初の Q_w の55~70%まで低下した後1140~5000分で安定した。一定 σ_3 の下であっても長時間経過するとフィルターがPDの内部にくい込み、流路断面が小さくなるために Q_w は低下するものと考えられる。

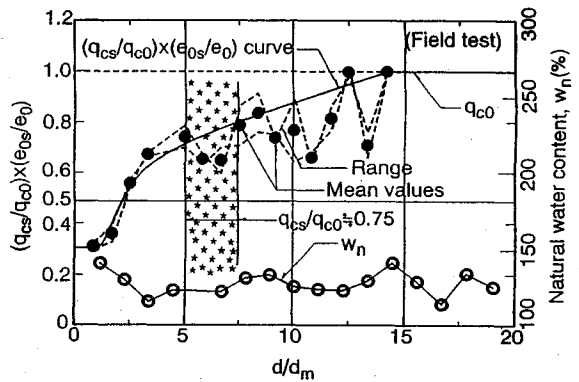


Fig.12 Distribution of q_c around the mandrel

上記のことより、 Q_w の値は3日間以上通水した後に測るのが望ましい。

4. スミアゾーンに関する試験

(1) 測定方法

PD打設時に生じるスミアゾーン(直径： d_s)は、地盤条件によらず圧密速度に大きな影響を及ぼす^{1),7),8)}。スミアゾーンの測定方法について以下に考察する。スミアゾーン領域の透水係数の低下を直接測定して求めた例は少なく、また、標準的試験方法も定められていない。筆者らは前報³⁾の室内模型実験の結果を実地盤で確認するために、現場において次の方法でスミアゾーンを測定した。

断面が12 cm×12 cm、長さが4 mの角柱(模型マンドレル、等価径： d_m)を有明粘土地盤中に貫入・引き抜きを行った。その後、地表を2 m掘削し、さらに模型マンドレルから1 m離れたところにピットを掘ってそこからマンドレルに向けてサンプラーを水平に挿入し3本の試料を採取した。各サンプルより一定間隔ごとに試料を取り、1本目については一軸圧縮試験を、2本目についてはポケットコーンペネトロメータ(PCP、コーン断面積：0.385 cm²、先端角：30°)によるコーン指数 q_c の測定、3本目の試料に対しては標準圧密試験を行い、強度分布および水平方向の透水係数の変化を調べた。

(2) スミアゾーンの範囲

Fig.12は、PCPで求めた q_c がマンドレル周辺の塑性領域においてどのように低下したかを示したものである。ここで、縦座標はスミアゾーンのコーン指数 q_{cs} を正規化するために不攪乱粘土のコーン指数 q_{co} で割ったものである。 q_{cs}/q_{co} の値によってスミアゾーンにおける乱れの程度を表すことを意図している。また、この q_{cs}/q_{co} に e_{0s}/e_0 を掛けることによって地盤の不均一性による影響を小さくした。ここに、 e_{0s} は測定地点の自然間隙比、 e_0 は不攪乱粘土の自然間隙比である。横座標の d/d_m はマンドレル中心からの距離 d とマンドレル直

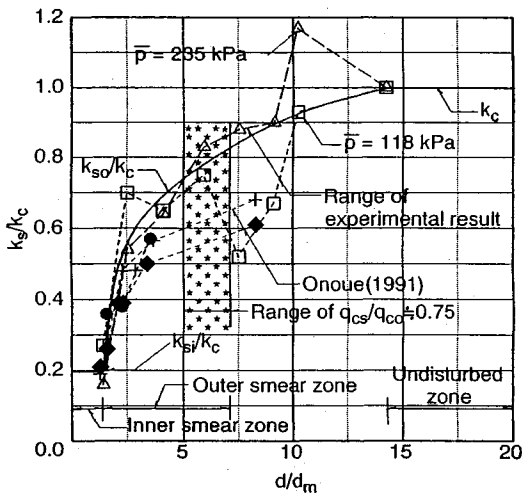


Fig.13 Distribution of horizontal coefficient of permeability k_h in smear zone

径 d_m との比である。同図において★印をつけた $q_{cs}/q_{co} \approx 0.75$ の領域は、前報⁸⁾においてマンドレルの貫入・引き抜き実験に基づいてスミアゾーンとPCPによる $q_{cs}/q_{co} \approx 0.75$ の範囲がほぼ一致したことから、スミアゾーンと定義したものである。この範囲に注目すると $d_s/d_m = 5.0 \sim 7.0$ となり、今回の現場試験で測定したスミアゾーンの範囲は先の室内実験で求めた値 $d_s/d_m = 2.5 \sim 3.0$ より広いことがわかる。PCP測定による現場での乱れの範囲は、 $d_s/d_m = 14.0 \sim 15.0$ にまで及んでおり、一軸圧縮強度からも $d_s/d_m = 15$ という結果を得ているが、これは現場での重機作業が地盤の乱れに影響を及ぼしたことが考えられる。現場における乱れの領域は上述のように広い範囲に及ぶが、PDによる地盤改良に影響を及ぼすスミアゾーンに関しては $q_{cs}/q_{co} \approx 0.75$ の範囲を考慮の対象にすればよい。またこれらの結果より、スミアゾーンに関する室内模型試験を行う場合、モールドの直径は d_m の約10倍程度を確保すればよいと考えられる。

(3) 水平方向の透水係数の変化

スミアゾーン内部の水平方向の透水係数の変化を調べるために、前出の1本の試料について標準圧密試験を行った。バーチカルドレーンによる地盤改良を行う場合、その圧密試験に関して小林ら¹¹⁾は、改良型水平方向圧密容器を用いて実験および解析結果を比較し、粘性土の水平方向の圧密係数の決定方法を提案している。本研究では、小林らの方法とは異なるが、簡便な方法で水平方向の透水係数 k_h を求めた。Fig.13は、 $k_h \sim d/d_m$ 関係を尾上の結果¹²⁾と併せて示したものである。 d_m の約1.5倍までの完全攪乱領域の k_h は不攪乱粘土のその約1/5まで低下する。また、マンドレルからの距離によって攪乱度は低くなり、 $d_s/d_m = 14$ ではマンドレル貫入・

引き抜きの影響を受けていない。同図においてPCPの結果から求めた $q_{cs}/q_{co} \approx 0.75$ の範囲である $d_s/d_m = 5.0 \sim 7.0$ と対応する k_h/k_c の値は $0.75 \sim 0.83$ となり、粘土の攪乱による透水係数の低下率は強度の低下率とほぼ同じ値を示すことがわかった。

5. 結論

現場条件を考慮に入れたプラスチックボードドレーンの性能評価の方法について考察を行い次のような知見を得た。

(1) 圧密速度に及ぼすウェルレジスタンス (WR) の影響について考察し、 $k_h = 10^{-7}$ cm/sec以下の粘土では圧密の全過程においても $Q_w \geq Q_{req}$ となりWRの影響は小さいが、 $k_h = 10^{-5}$ cm/sec以上のシルトでは圧密度50%以上で $Q_w < Q_{req}$ となりWRの影響は無視できないことを示した。

(2) 側圧の増加に伴うPDの縦方向通水能力の低下 ΔQ_w の傾向は概ね直線的であり、側圧 $\sigma_3 = 400$ kPaまでの範囲で圧力100 kPa当りの ΔQ_w は $3 \sim 13$ cm³/secであった。

(3) PDの自由変形による Q_w 低下はひずみ量に対して直線的であり、側圧147 kPaのときはひずみ20%当りの Q_w 低下量は最大で21 cm³/secとみてよい。強制変形の箇所数が増えることによる Q_w 低下も直線的であり、強制変形1箇所当りの Q_w 低下量は最大27 cm³/secであった。

(4) 実地盤においてはPDの変形は地下10m位までの浅いところで発生することを解析的考察と現場測定の結果に基づいて示した。そして施工さえ適切に行われればPDは20m以上の比較的地盤改良に使用しても問題はないことを指摘した。

(5) 動水勾配による Q_w の変化を調べ、 $i \geq 0.5$ では Q_w は i に依存しなくなることを示した。また、動水勾配 i を0.2から0.5に増加することによる Q_w の低下は $3 \sim 23$ cm³/secであった。実際には、透水係数の低い地盤からPDに流入してきた間隙水の流れは層流状態であると考えられるので、室内試験での動水勾配 i は0.2~0.5の範囲で行えばよい。

(6) 縦通水試験装置のホース配置によって気泡の影響を顕著に受けることを明らかにし、この影響を受けないための試験方法を示した。また、実際の地盤改良において気泡の影響を受ける場合のあることを指摘した。

(7) PDの長期間にわたる通水試験を行った。 Q_w は経過時間と共に種類によって1~3日まで減少した後安定する。このことより、 Q_w は通水開始してから3日後の値を取るのがよいことを示した。

(8) PDの排水性能に大きく影響を及ぼすスミアゾーンの範囲を現場試験によって調べた。先の室内試験

の結果と合わせて考察し、乱れによる強度低下が75%以下となる領域をスミアゾーンとすること、現場ではその範囲はマンドレル直径の5~7倍になること、また、この範囲での k_s/k_c は0.75~0.83となることを示した。

謝辞：本文をまとめるに当たり、佐賀大学低平地防災研究センターの M. R. Madhav 教授には有益な助言を頂いた。また、錦城護模(株)、五洋建設(株)、大都工業(株)、太陽工業(株)、および三井石化産資(株)の各社からは実験装置および実験試料を提供して頂き、研究上の便宜を図って頂いた。お世話になった上記の関係者の方々に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Hansbo, S. : Preconsolidation of soft compressible soils by the use of prefabricated vertical drains, *Ann. des Travaux Publ. de Belgique*, No.6, 1986.
- 2) Holtz, R.D., Jamiolkowsky, M., Lancellotta, R. and Pedroni, S. : Behavior of bent prefabricated vertical drains, *Proc. 12th ISSMFE, Rio De Janeiro*, pp.1657~1660, 1989.
- 3) Ali, F.H. : The flow behavior of deformed prefabricated vertical drains, *Geotextiles and Geomembranes* (10), pp.235~248, 1991.
- 4) Pradhan, T.B.S., Kamon, M. and Suwa, S. : Design

method for the evaluation of discharge capacity of prefabricated band shaped drains, 9th ARC, Bangkok, 1991.

- 5) Kamon, M., Pradhan, T.B.S. and Suwa, S. : Evaluation of design factors of prefabricated band shaped drains, *ICGEC, GEO-COAST '91, Yokohama*, 1991.
- 6) 吉国 洋：パーチカルドレーンの設計と施工管理，技報堂出版，1979.
- 7) 尾上篤生：ドレーンのウェル・レジスタンスに関する基礎的研究，清水建設研究報告，第32号，1991.
- 8) 三浦哲彦・朴 永穆・M.R. Madhav：プラスチックボードドレーンの排水性能に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.481，Ⅲ-25，pp.31~40，1993.
- 9) Hansbo, S. : Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains, *Ground Engineering*, Vol.12, No.5, pp.21~25, 1979.
- 10) 中ノ堂裕文・花井光昭・今井運二：プラスチックボードドレーンの透水性，復建技報，Vol. 17, pp. 139~151, 1992.
- 11) 小林正樹・水上純一・土田孝：粘性土の水平方向圧密係数の決定法，運輸省港湾技術研究所報告，第29巻第2号，pp. 63~83, 1990.
- 12) 尾上篤生：パーチカルドレーン周辺の攪乱帯の透水係数について，第26回土質工学研究発表会，pp.2015~2018, 1991.

(1993.5.17 受付)

EVALUATION OF PLASTIC-BOARD DRAINS CONSIDERING IN SITU CONDITIONS

Yeongmog PARK and Norihiko MIURA

Discharge capacity of plastic-board drain(PD) in situ is affected by air bubbles released from the water, lateral confining stress from the soil, flow gradient, the shape of PD with consolidation and the effect of smear around the PD. Experiments are conducted in the laboratory simulating the above in-situ conditions affecting the performance of PD. Contributions of each of these factors to the well resistance, are quantified. It is suggested that PD longer than 20 m can also be used in practice in soft clay improvement.