

十字型鉛直ドレーンによる圧密促進効果と その等価径の評価法

プラダン テージ¹・岡本 正広²・外裏 雅一³

¹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)

²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)

³正会員 工修 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)

軟弱粘性土地盤の圧密促進に利用するためのプラスチックボードドレーン(PD)は、従来断面積が小さいことから長尺物ドレーンについては適用限界が存在すると指摘され、その改良深度としては最大20m程度に抑えられてきたが、近年改良深度は増加する傾向にある。そこで今回、中～大深度の地盤改良を目的とし、ドレーン自体の剛性を上げた十字型ドレーンを考案した。このドレーンは通常の板状PDを4枚用いて十字型を形成しており、十字型を形成することによって間隙水圧の消散過程は、円柱ドレーンと同じように放射状になる。本研究では、三軸K_v圧密試験機を用いて十字型ドレーンの等価径を評価し、板状ドレーンのそれと比較検討した。また、流線長の考え方に基づき等価径の簡易的算定法を提案した。

Key Words: prefabricated band - shaped 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バーチカルドレーン工法の一つである。

バーチ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良く、そのため市販されている数多くのプラスチックボードドレーンはいずれも、幅約10cm、厚さ2～6mm程度のもが多い。また、プラスチックボードドレーン材の構造形式も、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軟弱地盤の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ってきた¹⁾。従来のPDの場合、その適用深度はこれまで20m程度に抑えられてきたが、朴・三浦ら²⁾によって、施工さえ適切に行えばPDは20m以上の比較的深い地盤改良に適用しても問題

はないとの報告はあるものの、改良深度が深くなると、ドレーン材の通水能力や剛性によってはその適用性が問題となろう¹⁾。

そこで、筆者らは、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材の開発を目指してきたが^{3),4)}、今回、板状のPDをクロス状に構成した十字型ドレーンを考案した^{5),6)}。

PD材の性能を確認する方法としては、PD材が保持しなければならない機能として長年にわたってフィルターから粘土の間隙水が流入できて、かつ流入した水が通水溝を通じて速やかに排水層に排水されることであると嘉門ら^{7)～10)}は指摘している。さらに、PD材が基本的に有していなければならない通水性能の評価試験法を開発し提唱している。

本報告では、大型三軸セル(供試体直径20cm)を用いて十字型および板状ドレーンを挿入した供試体のK_v圧密試験を行い、十字型ドレーンの圧密促進効果を確認するとともに、その等価径の評価法についても数値解析によって検討した。

2. 十字型ドレーンの形状

十字型ドレーンの形状を模式的に図-1に示す。また、その十字型ドレーンの打設実験状況を写真-1に示す。写真-1および図-1に示すように、十字型ドレーンは、板状のPD材を4枚用いて十字型を形

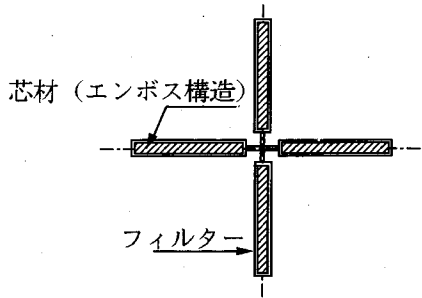


図-1 十字型ドレーンの形状の模式図

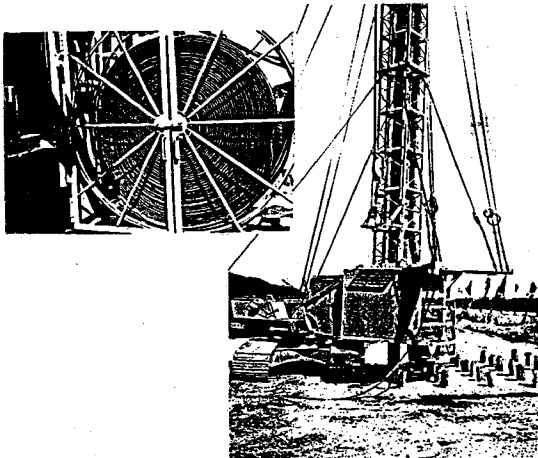


写真-1 十字型ドレーンの打設状況

成している。しかし、ドラムに巻くときは通常のPDの場合と同様に、二枚重ねで巻いておきマンドレルに挿入するときに十字型が形成される。

また、十字型ドレーンを構成する板状のPDは、コア部分とフィルター部分との組み合わせで構成される複合構造分離型タイプである。

3. 大型三軸試験装置による K_0 圧密試験

(1) 試料

試験に用いた粘土は、川崎市の扇島より採取した海成粘土から砂分を除去し、シルト粒子も極力取り除いた調整粘土である。その物理的性質を表-1に示す。

また、調整後の粘土試料の粒徑加積曲線および標準圧密試験結果をそれぞれ図-2、3に示す。図-3に示すように、正規圧密領域の圧密係数は、ほぼ $100\text{cm}^2/\text{day}$ 程度である。

試料の作成手順は以下の通りである。まず海水を用いて含水比を1,500%に調整し、この調整したス

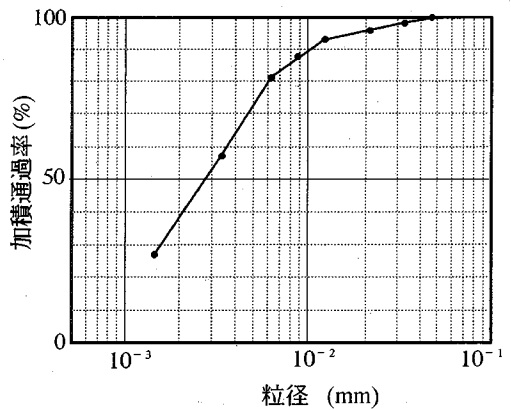


図-2 調整試料の粒徑加積曲線

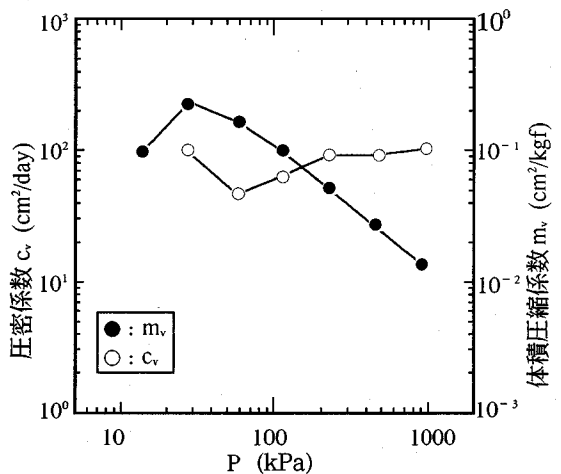


図-3 調整試料の圧密係数, 体積圧縮係数

表-1 試料の物理的性質

液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p	土粒子の密度 ρ_s (g/cm^3)
114.0	43.0	71.0	2.70

ラリー状の粘土をアクリル円筒内に入れ、24時間の真空脱気を行なった。真空脱気を終えた粘土スラリーを49.0kPaで予圧密した後、直径20cm、高さ15cmに成形した。一次圧密の終了は3t法によったが、圧密時間はほぼ2週間を要した。

その後専用の抜き型を供試体に挿入し、供試体中央部の粘土をくり貫いて表-2に示すドレーンを挿入してから供試体を三軸セル内に設置した。

(2) 試験方法

圧密試験には、図-4に示すように周面摩擦の影

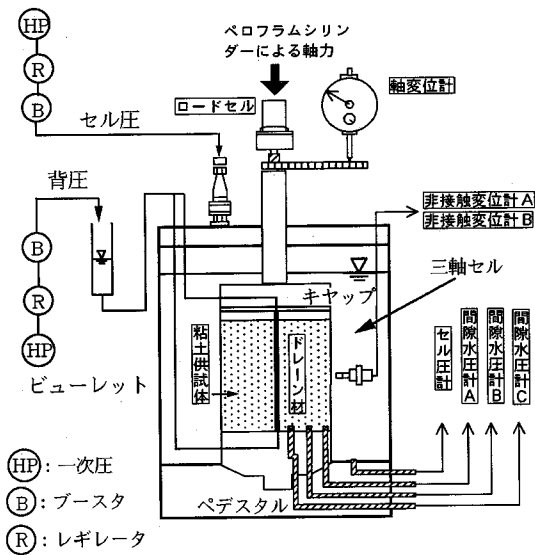


図-4 自動 K_0 圧密試験装置

響を無くすために三軸試験装置を用いた。供試体の直径は20cmであり、高さは今回の実験では15cmとした。

試験は、供試体に作用する平均鉛直応力を一定に保ちつつ供試体高さの中央の側方ひずみが $\pm 0.01\%$ 以内になるように、セル圧と上載圧を自動制御しながら K_0 圧密し、供試体の軸変位と供試体底部での間隙水圧を計測した。供試体に挿入したドレーンとベドスタル上の間隙水圧測定点の位置を図-5に示す。圧密中の排水方向は水平のみで、変形は鉛直等ひずみ条件である。

また、バーチカルドレーンを挿入した粘土を用いて鉛直等ひずみ条件の K_0 圧密試験を実施すると、ドレーンと粘土の境界面付近では極端な応力集中が生じる恐れがあることから¹¹⁾、圧密の進行に伴ってバーチカルドレーンが上載荷重を支えたり、またそれによって折れ曲がらないようトップキャップの下に板状および十字型の溝を形成したアクリル板をセットしPD材が圧密の進行に伴って抜けるような工夫をした。

なお、今回の実験では背圧 $\sigma_{bp} = 98.1 \text{ kPa}$ 、有効拘束圧 $\sigma'_c = 19.6 \text{ kPa}$ で等方圧密後、有効上載圧 $\sigma'_v = 39.2, 78.5, 156.9, 313.8 \text{ kPa}$ の4段階の载荷段階とした。圧密試験の次の载荷段階に移行する際には、まず非排水状態にして K_0 状態を保ちながら時間を5分かけて所定の有効上載圧にし、間隙水圧の上昇を確認してから排水状態にして、その段階の圧密試験のスタートとした。圧密は各荷重段階で過剰間隙水圧が消散するまで続けた。

試験の種類を表-2に示す。表-2に示すよう

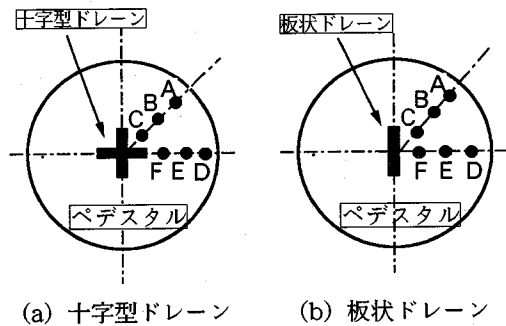
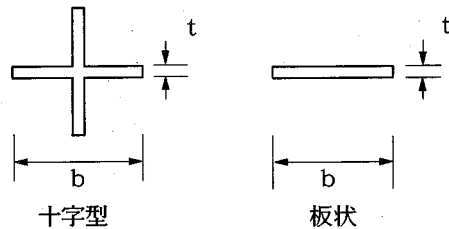


図-5 供試体中のドレーンとベドスタル上の間隙水圧測定点の位置

表-2 試験の種類

ドレーンの形状	ドレーンの寸法 $b \times t$ (cm)	周長 (cm)	断面積 (cm^2)	試験名
十字型	2.0×0.3	8.0	1.11	CSD2
	4.0×0.3	16.0	2.31	CSD4
	6.0×0.3	24.0	3.51	CSD6
板状	4.0×0.3	8.6	1.2	BSD4
	6.0×0.3	12.6	1.8	BSD6



に、試験は板状ドレーンの幅が、4cmと6cmの2種類、十字型ドレーンの場合には同様に2cm, 4cm, および6cmの3種類で行った。その各々のドレーンの周長および断面積は表-2に示す通りである。

4. 試験結果および考察

(1) 圧密曲線の形状

典型的な試験結果例として、表-2に示す試験ケースCSD2とBSD4の場合の時間～沈下曲線を図-6(a), (b)に示す。ドレーンの形状の影響を検討する上で、周長および断面積がほぼ同値であることからこの2ケースを選択した。

図中の○は、圧密荷重が19.6～39.2kPaの場合であり、試料は49.0kPaで予圧密していることから、過圧密領域の時間沈下曲線であるので、他の曲線形状とはやや異なった性状を示しているが、これ以外

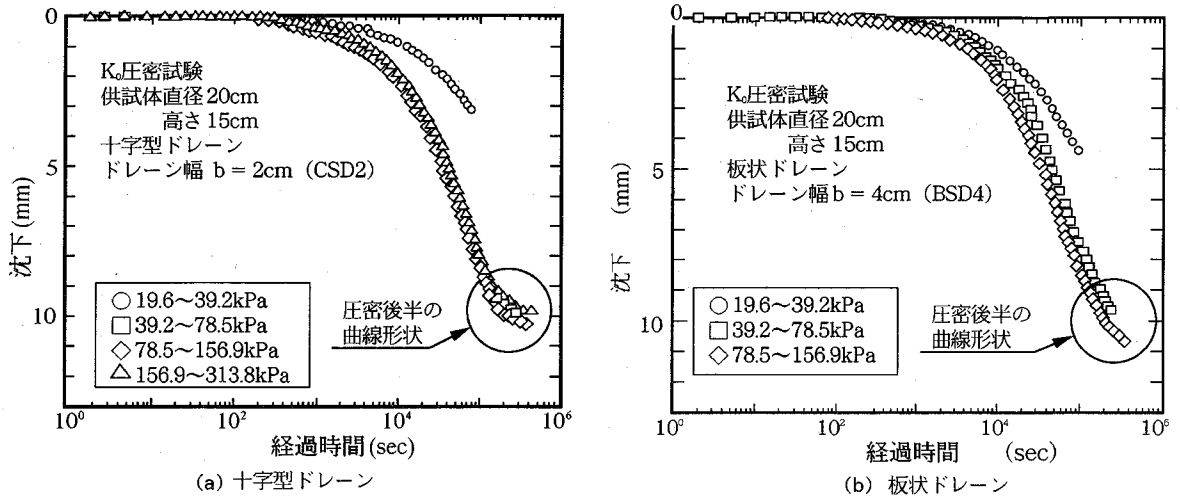


図-6 典型的な試験結果例 (沈下～時間の関係)

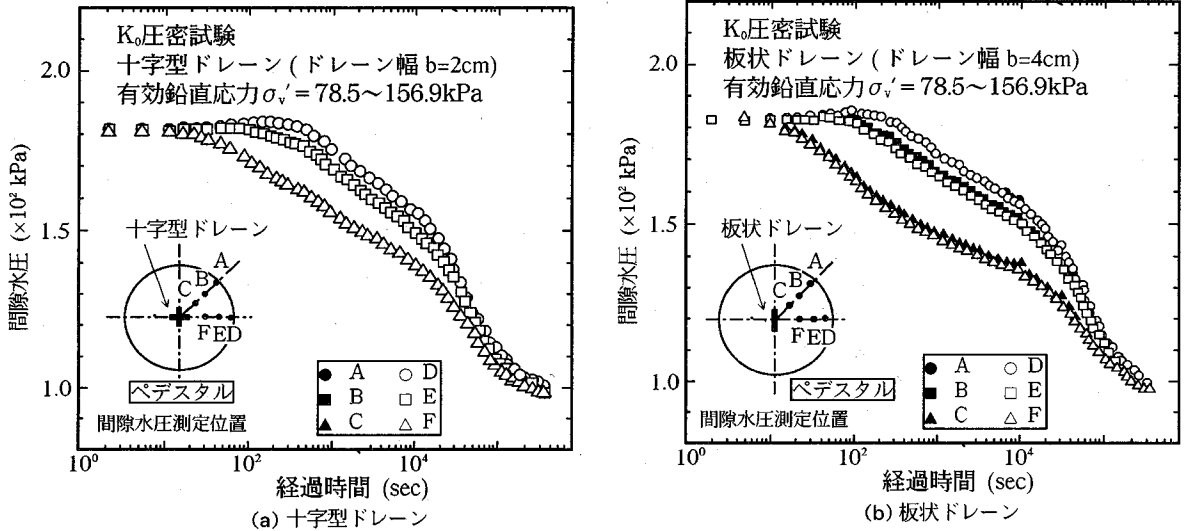


図-7 間隙水圧～時間の関係 (有効鉛直応力 $\sigma'_v = 78.5 \sim 156.9 \text{kPa}$)

の曲線の場合、圧密初期の形状はほぼ同一の沈下性状を示している。

また、圧密後半の曲線形状から判断すると、図-6 (a) の場合、一次圧密が終了し、既に二次圧密段階にあるのに対して、同図 (b) の場合では、一次圧密がほぼ終了した程度と想定される。

表-2 に示すように、CSD2 と BSD4 の場合、ほぼ同値の周長を有するドレーンであることから、この曲線形状の違いは、板状と十字型ドレーンの形状の違いによる影響であると判断される。

(2) 間隙水圧の消散過程

同様に、試験ケース CSD2 と BSD4 の場合で有効上載圧 78.5~156.9kPa で載荷したときの間隙水圧

の消散過程を図-7 (a),(b) に示す。

図-7 (a) より、十字型ドレーンの過剰間隙水圧の消散過程は、供試体の中心点からの距離が等しい位置 (間隙水圧測定位置 A と D, B と E, C と F) では違いが認められない。(なお、図中では●■▲は、○□△の下に隠れている。)

したがって、試験ケース CSD2 の場合のように、板状の PD を 4 枚用いて十字型形状を形成することによって間隙水圧の消散過程は、方向による違いは認められない。

(3) 含水比の分布

図-8 には圧密試験終了後の供試体の中間部での含水比分布を示す。同図に示す横軸は PD の外周面

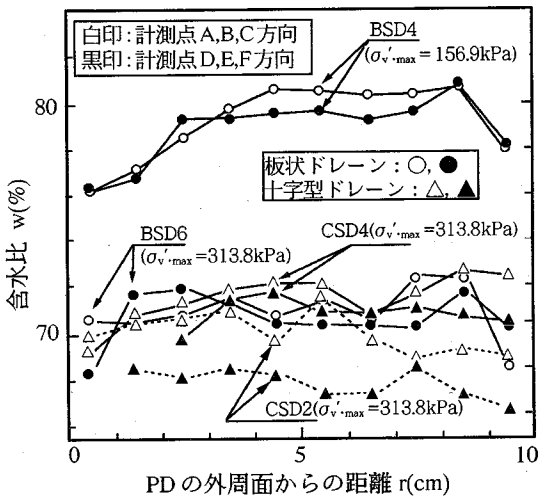


図-8 試験後の含水比の変化

(排水面)からの半径距離を示している。図-8より、試験後の含水比の分布は、同一方向に対してはドレーン近傍を除いて半径方向にほぼ一様となっている。なお、同図に示すBSD4の含水比が他と比べて大きく異なるのは、載荷荷重の違いによるためである。

(4) 試験結果から逆算されるドレーンの等価径

図-9 (a),(b)には圧密度～時間係数の関係を示す。図中の曲線群は、等ひずみ条件に対するBarron (バロン)の解における打設間隔比 $n (=d_e/d_w)$ が、それぞれ2,3,4,5,6,8,10,14,16,20の場合を示したものである。

圧密度および時間係数は、それぞれ式(1),(2)より算定した。

$$U = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_r} \quad (1)$$

$$T_h = \frac{C_v \cdot t}{d_e^2} \quad (2)$$

ここに、 ε :鉛直ひずみ、 ε_r :過剰間隙水圧が97%消散したときの鉛直ひずみ、 d_e :有効径(=20cm)、 C_v :水平方向の圧密係数、 t :時間である。

なお、時間係数 T_h は、図-3に示す標準圧密試験結果より、 $C_v = C_h = 100 \text{ cm}^2/\text{day}$ として算定した。

圧密度～時間係数の関係は、圧密曲線の形状の場合と同様に、過圧密段階の曲線は他の荷重段階の曲線群とは異なる性状を示しているが、これ以外の荷重段階の曲線はほぼ重なり合っている。

特にCSD2の場合、Barronの解の傾きとほぼ等しい傾きを持つ曲線を描いているのに対して、板状ド

レーンのBSD4の曲線は、Barronの解よりもやや緩い傾斜を示しており、圧密度曲線がBarronの解を横切っていく傾向が認められる。すなわち、 n が圧密度の増加とともに大きくなることを意味している。

この傾向は圧密度が大きくなるほど顕著になり、十字形状および板状ドレーンとも、圧密が進行すると等価径は減少する傾向を示す。

以上の圧密度～時間係数の関係より、Barron (バロン)の解を逆算して求めた等価径～圧密度関係を図-10 (a),(b)に示す。

同図より、十字形状および板状の両ドレーンの場合、その等価径は圧密の進行に伴って減少していく傾向は認められるものの、十字形状の場合、その減少傾向は板状の場合よりやや緩やかである。

図-11にはドレーンの幅と逆算された等価径との関係を示す。なお、逆算して求めた等価径は圧密度70%のときの値である¹²⁾。十字形状および板状ドレーンとも、ドレーンの幅が増大するにつれてその等価径も増加する傾向が認められるが、このbの範囲内では d_w はCSDの方がBSDより約1.5倍程度である。しかし、 $b=2 \text{ cm}$ は文献16)から引用した。

5. 十字型ドレーンの等価径の簡易算定法

PD材周辺の水の流れは、図-12に模式的に示すようになるものと想定される。図-12 (a)に示す板状の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 $d_w = 2(b+t)/\pi$ 、Rixner ら¹⁴⁾の式 $d_w = (b+t)/2$ 、嘉門ら^{15),16)}の式 $d_w = 2 \cdot \sqrt{(b \times t)/\pi}$ および外裏・プラダンの¹⁷⁾の式等が提案されている。

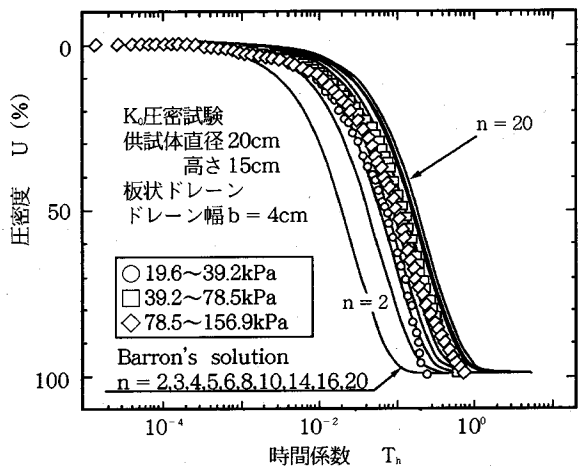
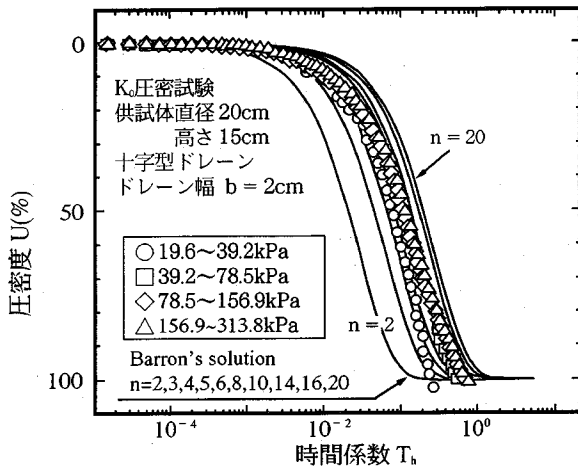
外裏・プラダンの式は、圧密時間は排水長の二乗に比例するという Terzaghi の圧密理論より、板状ドレーンによる間隙水の流線を直線近似し、その仮想流線の長さから排水距離の二乗の平均を求め、それを基に板状ドレーンの等価径を導いたものである¹⁷⁾。

外裏・プラダンの式¹⁷⁾から求められる等価径は、図-14より以下のように導かれ、式(7)で表される。

$$\alpha = -\frac{b}{\pi}\theta + \frac{1}{2}b \quad (3)$$

$$s^2 = \left(\frac{1}{2}d_e \cdot \sin\theta\right)^2 + \left(\frac{1}{2}d_e \cdot \cos\theta - \alpha\right)^2 \quad (4)$$

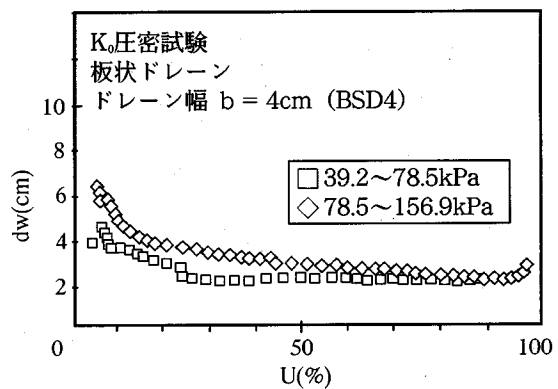
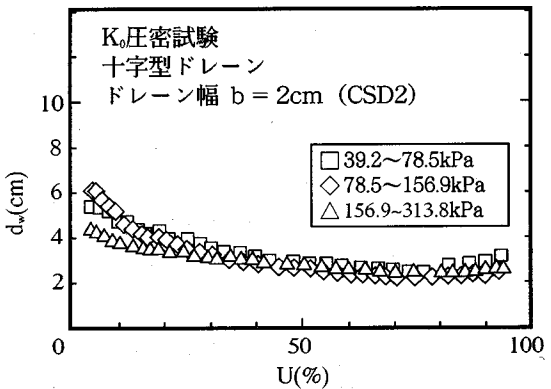
$$\bar{s}^2 = \frac{\int_0^{\frac{1}{2}\pi} s^2 d\theta}{\frac{1}{2}\pi}$$



(a) 十字型ドレーン

(b) 板状ドレーン

図-9 圧密度～時間係数の関係



(a) 十字型ドレーン

(b) 板状ドレーン

図-10 等価径～圧密度の関係

$$= \frac{1}{4} \cdot (d_s)^2 + \frac{1}{12} b^2 - \frac{2b}{\pi^2} d_s \quad (5)$$

$$\bar{s} = \sqrt{s^2} \quad (6)$$

$$d_w = d_s - 2 \cdot \bar{s} + t \quad (7)$$

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⁽¹³⁾
- ②板状ドレーンと断面積が等しい円の直径^{(15),(16)}
- ③流線長の平均⁽⁷⁾

に大きく分けられる。

そこで、十字型ドレーンの等価径の算定も、この3つの方法で行った。①および②の場合の十字型ド

レーンの等価径は、それぞれ式(8)および式(9)で与えられる。

$$d_w = \frac{4 \times b}{\pi} \quad (8)$$

$$d_w = 2 \times \sqrt{\frac{t(2b-t)}{\pi}} \quad (9)$$

③の流線長を用いる方法としては、以下に示す3ケースが考えられる。

- ①流線を直線とする方法⁽⁷⁾
- ②流線を双曲線近似する方法⁽⁹⁾
- ③流線を楕円近似する方法⁽⁶⁾

ここで、間隙水がドレーンに流れ込むとき、その流線は、最も短くなるような径路をたどってドレーンに到達すると考えられる。そのためドレーンの近傍まで流れてきた間隙水は、ドレーンの中心部まで

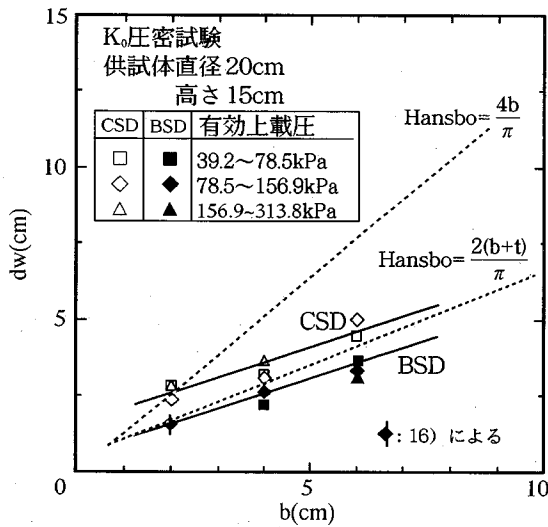


図-11 ドレインの幅～等価径の関係

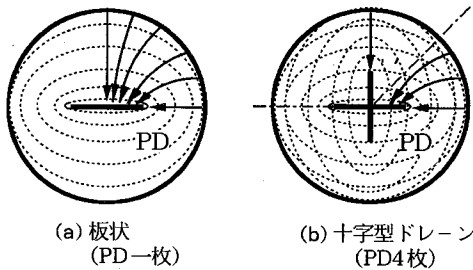


図-12 PD材周辺の間隙水の流れの模式図

到達することなくドレインに流れ込み排水され、十字型ドレインの中心部には間隙水が流入せず、ただ鉛直方向に間隙水を排水するだけの部分が存在するのではないかと想定される。

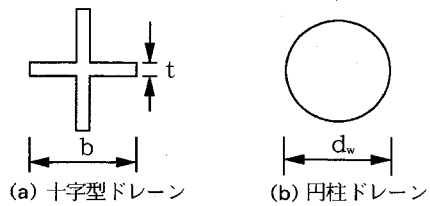
そこで、このようなドレイン周辺の間隙水の流れを本研究では、図-15に示すように、十字型ドレインの中心部には間隙水が流入せず鉛直方向に間隙水を排出する部分が存在するものと仮定し、この流入不能域をドレインの幅との比 r を用いて設定して流線の長さを直線近似して求めることとした。

①流線を直線とする方法^{(9),(17)}

この場合の等価径は、式(7)と同様に以下に示す式(14)で求められる。

$$\alpha = -\frac{2b}{\pi}(1-r)\theta + \frac{1}{2}b \quad (10)$$

$$s^2 = \left(\frac{1}{2}d_o \cdot \sin\theta\right)^2 + \left(\frac{1}{2}d_o \cdot \cos\theta - \alpha\right)^2 \quad (11)$$



	周長	断面積
十字型ドレイン	$4 \times b$	$t(2b-t)$
円柱ドレイン	$\pi \times d_w$	$\pi \times (d_w/2)^2$

図-13 十字型ドレインと円柱ドレインの周長および断面積

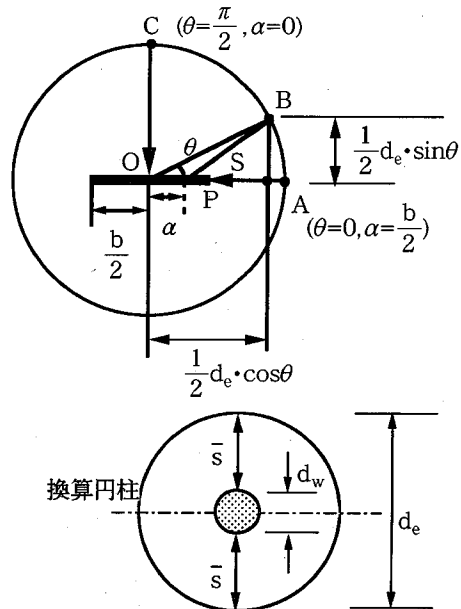


図-14 プラダン・外裏による板状ドレインの等価径の算定法⁽⁷⁾

$$\bar{s}^2 = \frac{\int_0^{\frac{1}{4}\pi} s^2 d\theta}{\frac{1}{4}\pi}$$

$$= \frac{1}{4} \cdot (d_o)^2 + \frac{7}{48} \cdot b^2 + \left(\frac{4\sqrt{2}-8-\pi\sqrt{2}}{2\pi^2}\right) b \cdot d_o \quad (12)$$

$$\bar{s} = \sqrt{s^2} \quad (13)$$

$$d_w = d_o - 2 \cdot \bar{s} + t \quad (14)$$

ここに、

d_o : 有効径 d_w : 換算等価径 b : PDの幅
 t : PDの厚さ α : 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

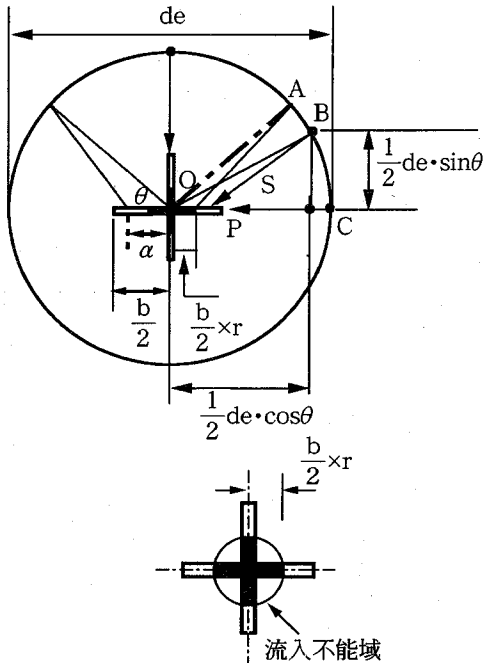


図-15 流入不能域を設定した十字型ドレーンの等価径の算定法 (流線を直線と仮定する場合)

s : 流線の長さ \bar{s}^2 : s の2乗の平均である。

ここで今、 $d_e = 100\text{cm}$, $b = 10\text{cm}$, $t = 5\text{mm}$ とすれば、 $\bar{s}^2 = 2,170.8$, $\sqrt{\bar{s}^2} = 46.6$ であるから、式 (14) より十字型ドレーンの等価径は $d_w = 7.3\text{cm}$ となる。また、板状ドレーンの場合には、式 (7) より $d_w = 4.5\text{cm}$ となる。

したがって、流線を直線と仮定して求めた十字型ドレーンの等価径は、板状ドレーンのその約1.5倍となる。

以上、十字型ドレーンの等価径を d_e に対して行った算定結果を図-16に示す。

② 流線を双曲線近似する方法

前述したように、PD材周辺の間隙水の流れはPDに向かって求心的な流れをするため、その流線は、直線にはならず曲線を描くものと想定される。そこでここでは、流線を以下の仮定に基づき双曲線に近似してその長さをもとに等価径を求める。

図-17に双曲線近似による等価径の算定法の概略を示す。図-17に示すように、十字型ドレーンの流線の長さを検討する区間として $\theta_1 (0^\circ \sim 45^\circ)$ を n 等分し、その角度を式 (15) として表し、流線を想定した双曲線は、傾き $\tan \theta_1(i)$ の漸近線を持つものとする。

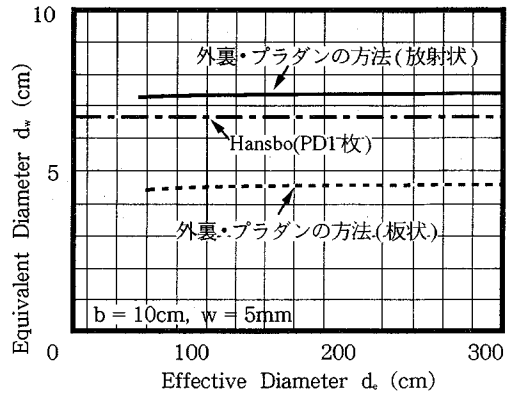


図-16 十字型ドレーンの等価径の算定結果 ($r = 0.5$ の場合)

$$\theta_1(i) = \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{i}{n}\right) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (15)$$

また、流線を直線と仮定した場合と同じように、ドレーンの幅の50%を流入不能域として設定し、双曲線の補助円の半径 a は、 $(\frac{b}{4} \sim \frac{b}{2})$ の区間で $\theta_1(i)$ に比例しながら変化すると考える。

すなわち、補助円の半径 a は式 (16) で表される。

$$a(i) = -\frac{b}{\pi} \theta_1(i) + \frac{b}{2} \quad (16)$$

さらに、漸近線の傾きが $\tan \theta_1(i)$ なので b は、式 (17) で表される。

$$b(i) = a(i) \times \tan \theta_1(i) \quad (17)$$

ここで、仮想流線の存在する範囲を表す離心角 θ_2 の範囲は、各 i において式 (18) なる $\theta_2(i)$ を用いて表される。

$$\theta_2(i) = \cos^{-1} \left(\frac{a(i)}{1/2 \times d_e \times \cos \theta_1(i)} \right) \quad (18)$$

これを各 i について n 通り求め、その平均をとったものが流線の長さの2乗の平均 (\bar{s}^2) であり、式 (19) で表され、換算等価径は、流線を直線と仮定した場合と同様に式 (14) で表される。

$$\bar{s}^2(i) = \left[\int_0^{\theta_2(i)} \sqrt{\left\{ a(i) \left(\frac{\sin \theta_2}{\cos^2 \theta_2} \right) \right\}^2 + \left\{ b(i) \left(\frac{1}{\cos^2 \theta_2} \right) \right\}^2} d\theta_2 \right]^2 \quad (19)$$

なお、流線を楕円近似する方法の場合についてはここではその詳細は省略するが、双曲線近似した場合と同様に、間隙水圧の流入不能域の範囲を $r = 0.5$ としたときの結果を図-18に示す。

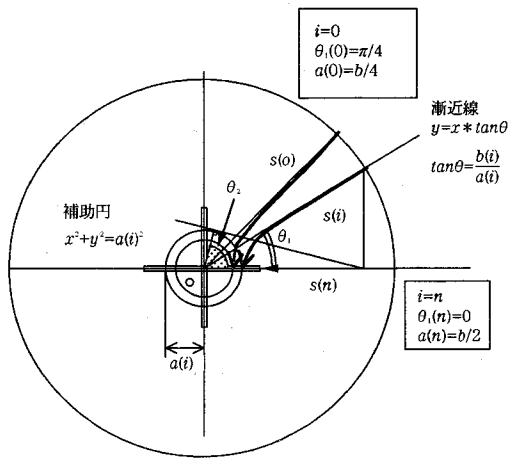


図-17 双曲線近似による等価径の算定法の概略

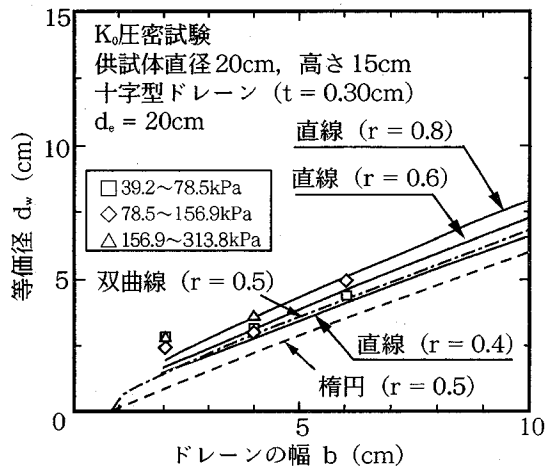


図-18 等価径の算定結果と実験結果の比較

6. 実験結果との比較

図-18は、 $d_w=20\text{cm}$ 、 $t=0.30\text{cm}$ としてドレーンの幅 b と等価径 d_w との関係を示したラインと $b=2, 4, 6\text{cm}$ の3種類の十字型ドレーンの実験値からバロンの解を用いて逆解析的に求めた等価径をプロットしたものである。なお、実験値から逆算的に求めた等価径は、圧密度70%のときの値である。

また、楕円、双曲線近似による流線長の算定では、両方法とも間隙水圧の流入不能域の範囲を $r=0.5$ として計算している。

同図より、間隙水圧の流入不能域の範囲を $r=0.6\sim 0.8$ とした直線近似の場合の計算結果でも実験結果と比較的よく一致している。

したがって、図-12に示すように、PD材周辺の間隙水の流れは曲線になると想定され、十字型ドレーンの等価径の算定法は、厳密には流線を双曲線あるいは楕円近似するのが適切な方法であろうが、簡易的にはドレーンの中心部からその幅の0.6~0.8倍まで間隙水の流入不能域を設け、流線を直線と仮定して求める方法でもほぼ妥当な値が推定可能であると判断される。

7. 結論

大型三軸セルを用いて十字型および板状ドレーンを挿入した供試体の自動 K_0 圧密試験を行い、十字型ドレーンの圧密促進効果やその等価径について検討した結果、以下のことが分かった。

(1) ほぼ同値の周長を有する板状および十字型のドレーンの圧密沈下曲線には違いが認められる。圧密初期の段階ではほぼ同一の性状を示しているが、圧密後半の曲線性状から判断すると、十字型のド

レーンでは既に二次圧密段階にあるのに対して、板状ドレーンの場合には一次圧密がほぼ終了した程度である。この曲線性状の違いは、板状と十字型ドレーンの形状の違いによる影響であると判断される。

(2) 板状のPDを4枚用いて十字形状を形成すると間隙水圧の消散過程は、方向による違いは認められない。

(3) 十字型および板状ドレーンの等価径は、圧密の進行に伴って減少していく傾向は認められるものの、十字形状の場合、その減少傾向は板状の場合よりやや緩やかである。

(4) 十字型ドレーンの等価径は、ドレーンの中心部からその幅の0.6~0.8倍まで間隙水の流入不能域を設け、流線を直線と仮定して求める方法でもほぼ妥当な値が推定可能である。

(5) 流線を直線と仮定して求めた十字型ドレーンの等価径は、板状ドレーンのその約1.5倍と算定される。また、Hansboによる算定法は d_w を過大評価する。

謝辞：本研究は、旭化成工業(株)との共同研究によって実施したものである。また、本実験は横浜国立大学卒論生であった金安賢哉君(現、オリエンタルコンサルタント)によって行われたものである。末筆ながら関係各位に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) 朴永穆, 三浦哲彦: 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, 土木学会論文集, No.499/Ⅲ-28, pp.51~58, 1994.
- 3) 岡本正広, 村松栄二郎, 今井五郎, ブラダグン・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.
- 4) 岡本正広, 今井五郎, ブラダグン・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.
- 5) 岡本正広, 外裏雅一, ブラダグン・テージ, 今井五郎, 村田高明: 十字型ドレーンによる圧密促進効果, 第30回土質工学研究発表会, pp.15~16, 1995.
- 6) 岡本正広, 外裏雅一, ブラダグン・テージ, 金安賢哉: 十字型鉛直ドレーンの等価径の評価法, 土木学会第50回年次学術講演会, pp.1506~1507, 1995.
- 7) 嘉門雅史, 諏訪靖二, ブラダグン・テージ, PD研究会: プラスチックボードドレーンの通水機能評価試験法について, 国際ジオテクニカル学会日本支部, ジオテクニカルシンポジウム, pp.75~81, 1994.
- 8) Tej B.S. Pradhan, Masashi Kamon and Seiji Suwa, Resaerch 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.
- 9) Masashi Kamon, Tej B.S. Pradhan and Seiji Suwa: Laboratory Evaluation of the Discharge Capacity of Prefabricated Band - Shaped Drains, Current Japanese Materials Research Vol. 9, Soil Improvement, pp.23~28, 1992.
- 10) 嘉門雅史, ブラダグン・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通水容量の評価試験について, ジオテクニカル試験法に関するシンポジウム論文集, pp.77~82, 1994.
- 11) 住岡宣博, 吉國 洋: パーチカルドレーンによる粘土の圧密変形メカニズムに関する実験的研究, 土木学会論文集, No.463/Ⅲ-22, pp.125~132, 1993.
- 12) 村田高明, ブラダグン・テージ, 岡本正広: 鉛直ドレーンを用いた粘土の圧密の数値シミュレーション, 第29回土質工学研究発表会, pp.2105~2106, 1994.
- 13) Hansbo, S.: Consolidation of clay by band - shaped prefabricated drains, *Ground Engineering Vol.12, No.5*, pp.21~25, 1979.
- 14) Rixner, J.J., Kraemer, S.R. and Smith, A.D.: Prefabricated Vertical drains, *FHWAI/RD - 86/168, Federal Highway Administration*, 1986.
- 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) 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.
- 17) 外裏雅一, ブラダグン・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 AND THE EQUIVALENT DIAMETER OF CROSS SHAPED DRAIN

Tej B.S. PRADHAN, Masahiro OKAMOTO and Masakazu SOTOURA

It has been pointed out that the maximum depth of the Plastic Board Drain(PD), which is used for accelerating the dissipation of the pore water pressure in soft clay, is about 20m because of the small sectional area and low rigidity. The authors have developed the cross shaped drain(CSD) in order to be applied for the improvement of deeper soil. This cross shaped drain is composed of four band shaped drains, and the dissipation of pore water pressure is expected to be uniform. Triaxial K_0 - consolidation tests were carried out. It was found that the equivalent diameter of CSD is about 1.5 times that of band shaped drain for the same width. A simple analytical method to estimate the equivalent diameter has been proposed.