

PVCドレーン工法について(第3報)

齋藤 二郎 松尾 龍之
西林 清茂 大石 守夫

PVC Drain Method (Part 3)

Jiro Saito Tatsuyuki Matsuo
Kiyoshige Nishibayashi Morio Oishi

Abstract

A number of the physical properties of PVC drain material including its permeability were described in Part 2 (No. 8, 1974).

This paper deals with the results of experiments for accelerating consolidation by PVC drain material. Laboratory experiments were performed through comparative consolidation tests between PVC drain, sand drain and no drain using a large-scale consolidation testing machine on which various gauges were installed for measurements of settlement, pore water pressure and earth pressure. Soil tests were carried out to investigate the effects of improvement. According to the experiment results the ability of PVC drain material to accelerate consolidation is not inferior to that of a sand drain. Some interesting facts such as the bearing capacity of a sand pile are also described.

概 要

PVCドレーン材の透水性やその他の物性について述べた第2報に引きつづき、今回はPVCドレーン材の圧密促進効果の室内実験解析結果について述べる。

実験は、直径 $\phi 60\text{cm}$ の大型圧密土槽を用い、サンドドレーン、無処理を加えた比較実験であり、それぞれの圧密促進効果を知るために、沈下計、間隙水圧計、土圧計を設置し、実験前後には土質試験を実施した。解析結果によると、いずれの測定結果に関しても、PVCドレーン材の圧密促進効果は、サンドドレーンと比較して、同等かそれ以上であることが判明した。又、測定結果の中には、サンドパイルの支持力効果の状況など興味ある現象も含まれている。

1. まえがき

PVCドレーン材の特性に関しては、すでに前第2報中に透水性能を中心に詳述した。そのなかで圧密促進効果についても若干概述したが、実験装置の欠陥、時間的制限もあって十分な解析とはいえなかった。その後、装置に改良を加え現在までの約1年間にわたって他ドレーン材も加えた圧密促進効果比較実験を実施してきたが、その結果を今回ここに詳述する。

2. 実験装置および粘土試料

前回の実験では再圧密粘土試料作成用に使用していた角形土槽を便宜的に用いたが、載荷板と側壁との摩擦などの欠陥が多く見られたので、今回は図-1に示すような直径600mm、高さ500mmの円形大型圧密土槽を用いた。この装置は底部が非排水条件となっ

ているので、片面(上面)排水条件となる。載荷装置は載荷断面が大であるので(2826cm^2)、重錘などの荷重方式が困難であるため、空気圧を使用した反力載荷方式とした。最大載荷重は 4.0kg/cm^2 である。

なお底板には圧密促進効果測定のために自記記録タ

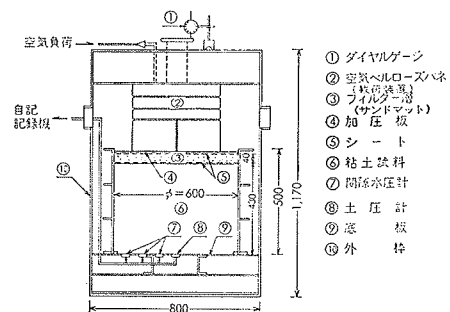
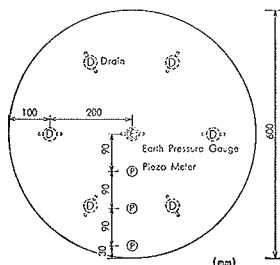


図-1 大型円形圧密土槽

イブの土圧計1, 間隙水圧計3が設置されている。

(図-2)

使用した試料土は大阪港の海成粘土であり, ソイルミキサーで十分攪拌混練して含水比を一定に調整したこの試料土を土槽に入れ, $P=0.1\text{kg/cm}^2$ の荷重で沈下が落ち着くまで十分再圧密を行なったものを試験地盤とした。表-1に再圧密後に行なった粘土試料の土質試験結果を示す。



注:土圧計は土槽中心ドレーン材直下に設置
図-2 測定計器およびドレーン材設置位置

調整試料		
土の組成	砂 %	5
	シルト %	54
	粘土 %	41
含水比 %		65.0
比重		2.578
単位体積重量 g/cm^3		1.53
間ケキ比		1.78
飽和度 %		94.1
コヘンシス1	L. L. %	66.8
	P. L. %	24.2
P. L. %		42.6
	一軸圧縮強度 kg/cm^2	0.07 ~ 0.12
圧密係数	水平方向 cm^2/min	1.16×10^{-1} $\sim 2.21 \times 10^{-2}$
	垂直方向 cm^2/min	9.13×10^{-2} $\sim 1.46 \times 10^{-2}$

表-1 粘土試料性状

3. 実験方法

3.1. 実験の種類とドレーン材の配置方式

ドレーン材としては PVC ドレーンとサンドドレーンを選び, これらに無処理を加えた3種類の圧密実験とした。サンドドレーンはドレーン径をペーパードレーンの換算径 $\phi 50\text{m/m}$ として布袋で保護した。使用した砂材料の透水係数は $R=10^{-2}\text{cm/sec}$ のオーダーである。なお両ドレーン材の配置方式は図-2中に併示しているように, 水平方向圧密脱水割合を大にするために正三角形, 7本配置とした。

3.2. 荷重段階

今回の実験では荷重増加率 ($P_2/P_1=3$) を大きくとって, 荷重段階を

3段階 ($P=0.2, 0.6, 1.8\text{kg/cm}^2$) とした。排水方法は上面のみの片面排水であり, 載荷重は粘土層上面に設置された厚さ40m/mの砂のフィルター層を通して粘土に伝達される。各荷重段階とも沈下が落ち着いたと見なされた後次荷

重段階へ移った。

4. 実験結果

4.1. 沈下量測定結果について

各荷重段階の圧密期間は, ドレーン材設置の場合, 一段階約30日, 無処理の場合約60日であった。

図-3に実測沈下量-時間の関係, 図-4に両ドレーン材の圧密度-時間の関係を示す。ここにおける圧密度は各荷重段階の最終沈下量を圧密度100%としたもので, 両ドレーン材の圧密促進程度のみを明確に比較しようとしたものである。なお, 実測沈下量-時間の関係において, 無処理については1段階1000時間までプロットした。

4.1.1. 両ドレーン材と無処理の比較について

無処理と両ドレーン材の圧密沈下-時間の関係を比較すると両者には明らかな差が認められる。無処理の場合, 圧密に長時間を要することは当然であるが, 圧密最終部分における各荷重段階とも両ドレーンに見られるような沈下の落ち着きが認められていない。この傾向は第2報中にも実例を示しているが, 両ドレーン材の最終沈下量を超えてもさらに沈下継続の傾向が推察される。今回の実験では無処理の沈下特性を研究することが主眼ではなかったため, 各荷重段階とも無処理の載荷期間は1200~1400時間としたが, 沈下が落ち着くまでにはさらに時間を要し, しかも沈下量は両ドレーン材の最終沈下量を凌駕したものであると思われる。この無処理の沈下に対し, 両ドレーン材の沈下特性は似かよっており200~300時間には明確な沈下の落ち着き傾向が見られ, 終局ではほとんど停止している。

4.1.2. PVCドレーンとサンドドレーンの比較について

(1) 沈下量について

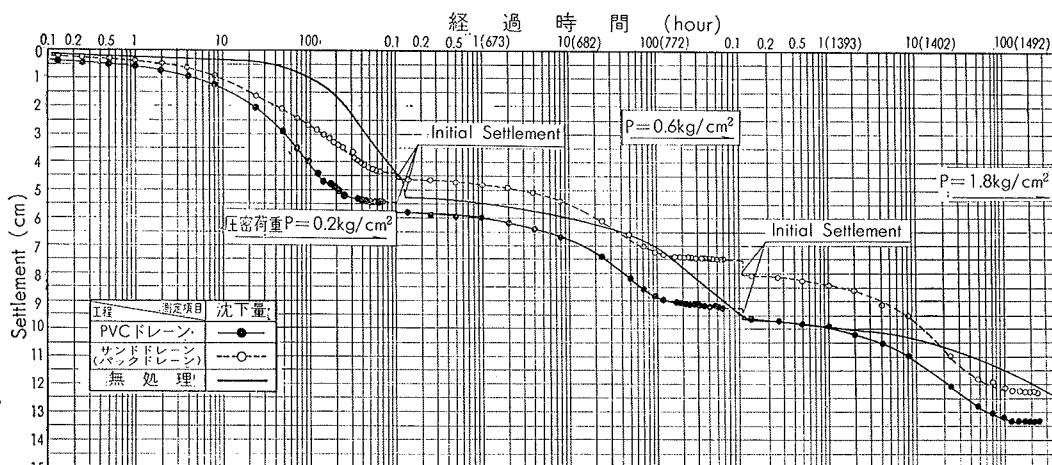


図-3 実測沈下量-時間の関係

PVC ドレーンとサンドドレーンの沈下量について検討してみると、載荷重 $P=0.2, 0.6 \text{ kg/cm}^2$ においてはサンドドレーンの方が小さく ($P=0.2 \text{ kg/cm}^2$ のとき 11 m/m , $P=0.6 \text{ kg/cm}^2$ のとき 6 m/m の差), $P=1.8 \text{ kg/cm}^2$ のときには逆にサンドドレーンの方が大となっている。

このことは、土圧測定結果の項で詳述しているが、 $P=0.2, 0.6 \text{ kg/cm}^2$ のときのサンドドレーンの場合には、サンドドレーン柱がいわゆる支持杭的な作用をし、沈下阻止効果があらわれ、粘土にかかる有効応力が減少したためである。又、 $P=1.8 \text{ kg/cm}^2$ ではサンドドレーン柱の支持力限界をこえた荷重であったために、サンドパイルの支持力効果が低減し、前荷重段階までに PVC ドレーン沈下量との差となっていた未沈下分までこの荷重段階にあらわれたものと思われる。

(2) 圧密促進効果 上述したように両ドレーン材の沈下量には差があるが、沈下量だけでは圧密促進の優劣を比較できない。そこで、圧密促進効果を検討するために作成したのが図-4 の圧密度-時間の関係である。これによると荷重 $P=0.2 \text{ kg/cm}^2$ のときはサンドドレーンに若干の遅れが見られるけれども、 $P=0.6, 1.8 \text{ kg/cm}^2$ では両者ともほとんど同一となっている。 $P=0.2 \text{ kg/cm}^2$ では再圧密時の影響が入っているために一概に判断できないことを考慮すると、両者の圧密促進効果はほぼ同一と判断することができる。又、このことから、PVC ドレーン材のサンドパイルへの換算径は約 5 cm が妥当であることも明らかである。

4.2. 間隙水圧測定結果

果

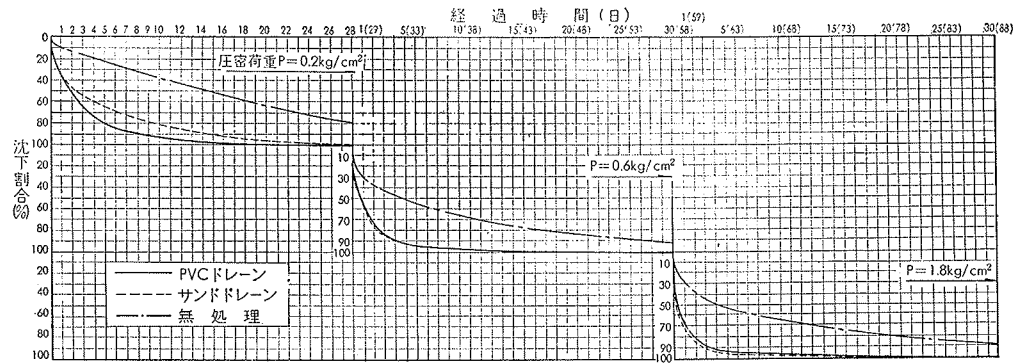


図-4 圧密度-時間の関係

図-5 に両ドレーン材の間隙水圧測定結果を示す。間隙水圧計はドレーン効果の大きな位置 (中心部) と小さな位置 (側壁部) およびその中間の3コを土槽の中心から側壁に向かって設置した。

測定結果を見ると、全体的に両ドレーン材とも載荷初期にタイムラグを受けながら最高値に達した後、間隙水の脱水に併なって減少をつづけ一定値に落ち着く。

(1) タイムラグについて 間隙水圧計の位置が土槽底部にあるため、PVC ドレーンの場合載荷後15~45分、サンドドレーンの場合15~100分程度のタイムラグが発生した。

(2) 残留間隙水圧について PVC ドレーンの場合は終局における過剰間隙水圧は、位置に関係なくほぼ消散しているのに対し、サンドドレーンの場合には全体的に残留過剰間隙水圧がかなり大きく、しかも側壁に近いほどその値も大きい傾向が見られる。

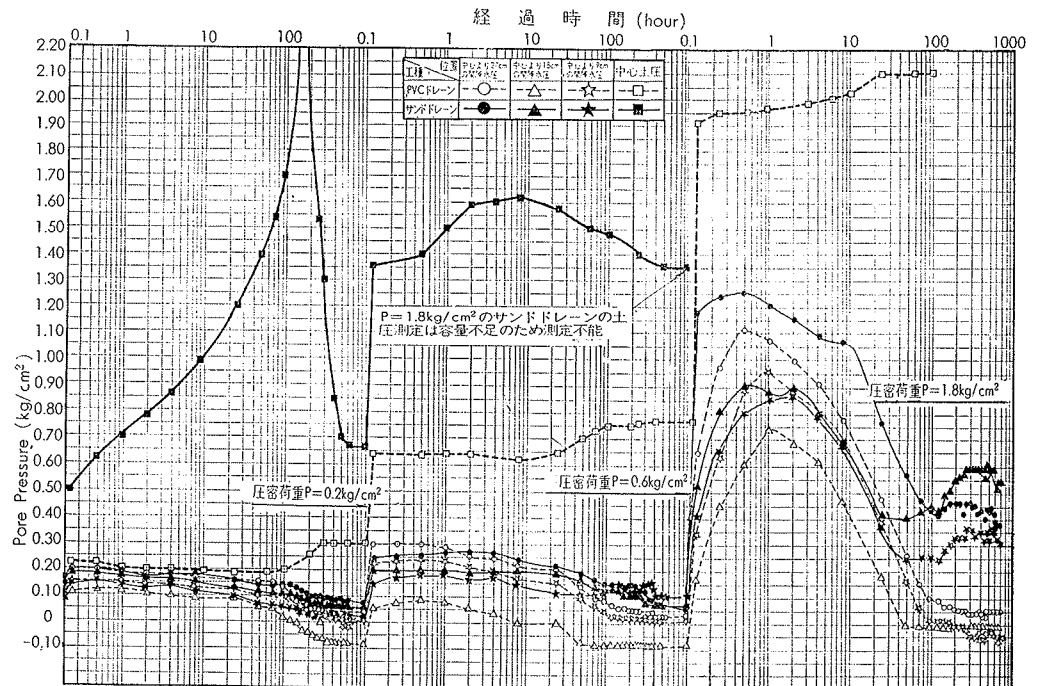


図-5 間隙水圧, 土圧-時間の関係

(3) 間隙水圧計設
位置による差

両ドレーン材とも測壁に近い位置の間隙水圧の方がタイムラグも短かく最高値も大の傾向が見られる。これはドレーン

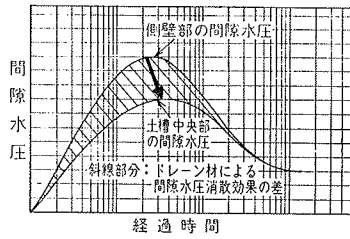


図-6 間隙水圧のタイムラグ

材に近い位置では側壁部分よりも早く、しかも大きく過剰間隙水圧の消散が生じ側壁では逆のためであると考えられる。表-2は土槽中央位置と側壁位置のタイムラグと最高値の値を両ドレーン材について示したものである。

		P=0.2kg/cm ²		P=0.6kg/cm ²		P=1.8kg/cm ²	
		最大値 kg/cm ²	タイムラグ min	最大値 kg/cm ²	タイムラグ min	最大値 kg/cm ²	タイムラグ min
PVC ドレーン	土槽中央位置	0.15	30	0.25	35	0.91	45
	側壁位置	0.20	12	0.30	15	1.11	27.5
	土槽中央位置	0.15	30	0.20	47.5	0.90	102.5
	側壁位置	0.19	15	0.27	42.5	1.26	32.5

表-2 間隙水圧のタイムラグと最高値

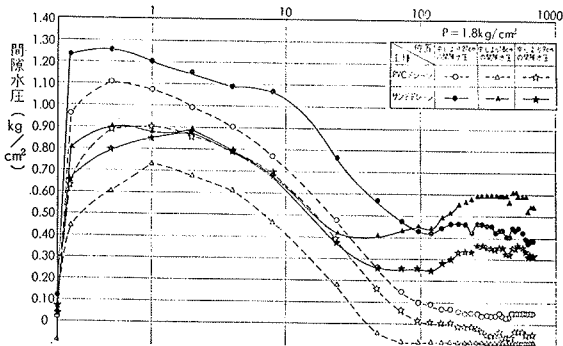


図-7 P=1.8kg/cm²における間隙水圧-時間関係

4.3. 土圧測定結果

サンドドレーンの P=1.8kg/cm² 時点では土圧が計器の容量以上となったために測定不能となった。サンドドレーンの場合、土圧計がサンドパイル下に設置されているため、両ドレーンの土圧測定値はまったく異なった傾向を示した。

(1) PVC ドレーン 荷重によって瞬間的に増加荷重の50%以上の土圧増加を示した後、きわめて徐々に増加しつづけた後、全載荷重よりも若干大きめの値で一定となっている。理論的にいえば、土圧計は水圧も測定するので荷重に相当した一定値を常に示すべき

である。それにもかかわらずこのような変化を示したのは、初期部分においては間隙水圧のタイムラグと側壁の摩擦による伝達応力軽減の影響と考えられ、その後徐々に増加し最終値では側壁摩擦による応力減少にもかかわらず載荷重よりも若干大きめの値で一定値となったのは土圧計設置位置にあるドレーン材にごく近い粘土の圧密強度増加が周辺よりも大となり、小規模のパイル応力集中現象的なものが生じたためと思われる。

(2) サンドドレーン サンドドレーンの場合、土圧測定値はサンドコンパクション工法の支持力理論と同様の複合地盤におけるサンドパイル支持力測定となり興味ある結果が得られた。すなわち、図-8にP=0.2kg/cm²の土圧-時間の関係を模式的に示すように、

載荷後かなりの時間にわたって増加をつづけて非常に大きい最高値に達した後、一転して減少をつづけて一定値に落ち着いている。この現象は次のように説明できる。

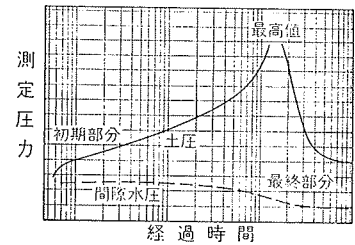


図-8 土圧-時間関係

(a) 初期部分

載荷直後の土圧増加が小さいが、この時点ではサンドパイルも含めた地盤全体で一時的に載荷重を支持するためである。その後、粘土の圧密が進行するとともにサンドパイルにも変位が生じ、同一変位では当然サンドパイルの支持力の方が大であり粘土では小であるので荷重はサンドパイルに多く分担される。

(b) 最高値付近 上昇を続けた土圧測定値は載荷後200時間程度で 2.0kg/cm²以上の非常に大きい値を示した後、減少に転じる。この段階では粘土の圧密が進み、粘土自体の支持力が発揮し始め、今まで過大な応力分担を強いられていたサンドパイルの分担荷重が粘土の方へ移行している。

(c) 最終部分 圧密の進行とともにサンドパイルが受け持っていた過大な分担荷重はさらに粘土へ移行し、最終的には一定値に達する。サンドパイルの最終土圧は 0.65kg/cm²程度であるが、応力分担比にもとづいた計算値とほぼ一致している。

5. 土質調査結果

5.1. 物理特性

(1) 含水比 P=0.1kg/cm²による再圧密後の初期含水比は ω=65~70%であった。

$P=1.8\text{ kg/cm}^2$ 圧密終了後の両ドレーン材の含水比測定結果を図-9に示す。調査位置による差を見ると、PVCドレーンの場合、粘土上層部で若干のバラツキが認められるが、大部分はほぼ均一な値を示している。一方サンドドレーンでは位置による差が明確に認められ、側壁に近い所では $w=55\sim 58\%$ であるのに対し、土槽中央部では $w=53\%$ 以下となっている。又、深さ方向にも変化が見られ不均一な性状を示す。このことは前述した残留間隙水圧の傾向と似かよっている。

(2) 単位体積重量、間隙比 PVCドレーンはサンドドレーンよりも単位体積重量では大であり、間隙比では小になっており、粘土が密な構造となって圧密促進効果が大であったことを示している。これはサンドドレーンの場合、サンドパイルの支持力効果による粘土応力の減少があったことから当然といえる。

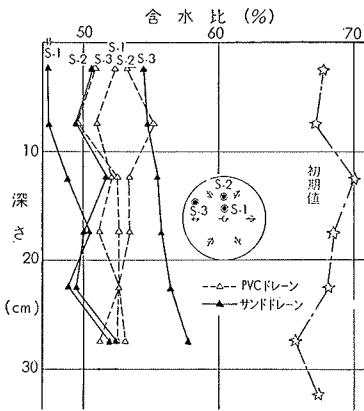


図-9 含水比測定結果

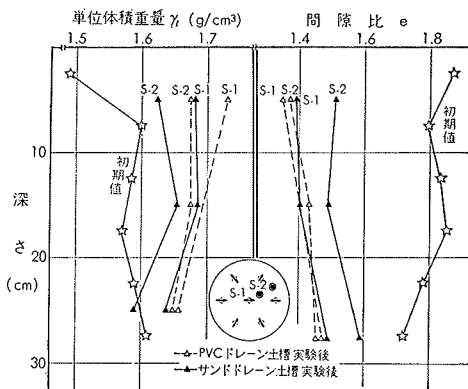


図-10 単位体積重量、間隙比測定結果

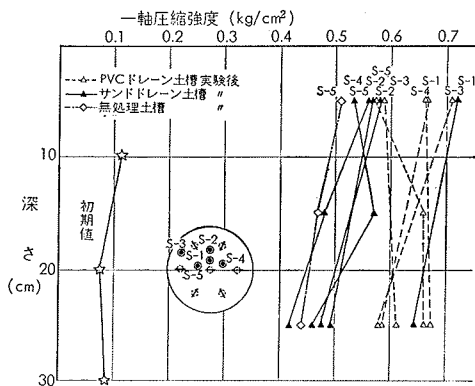


図-11 一軸圧縮強度測定結果

調査位置による差を見ると、両ドレーン材とも側壁部分より土槽中央部の改良効果が大きいが、PVCドレーンの方がその差は小である。

5.2. 強度特性

(1) 一軸圧縮試験、三軸圧縮試験結果 図-11は無処理も加えた $P=1.8\text{ kg/cm}^2$ 圧密終了後の一軸圧縮強度を示したものであるが、全体的に PVCドレーンの値がサンドドレーンよりも大で、無処理の値が最も小さい、PVCドレーンの場合、深さ方向の変化は小さいが、他は深くなるにしたがって強度低下している。三軸圧縮試験結果によると土槽中央部で PVCドレーンが粘着力 $C=0.35\text{ kg/cm}^2$ 、サンドドレーンが $C=0.33\text{ kg/cm}^2$ であった。

図-12は両ドレーン材のドレーン材との位置関係による強度変化を示したものである。

(2) 圧密降伏応力 P_y $P=0.1\text{ kg/cm}^2$ の再圧密終了時の圧密降伏応力は土被り自重も加わって $P_y=0.15\sim 0.17\text{ kg/cm}^2$ であった。 $P=1.8\text{ kg/cm}^2$

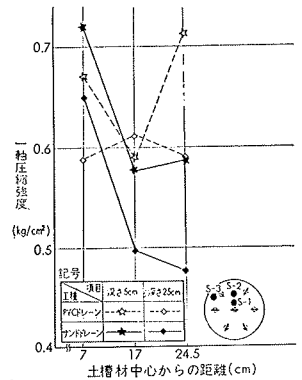


図-12 位置による一軸圧縮強度の変化

圧密終了後の値は表-3 図-12 位置による一軸圧縮強度の変化に示すように深さ 25cm の位置で PVCドレーンが $P_y=1.3\text{ kg/cm}^2$ 、サンドドレーンが $P_y=1.23\text{ kg/cm}^2$ であった。すなわち、載荷重に比較し小さな値であるが、これは載荷応力が側壁摩擦によって軽減されていることを示している。この値から前述の粘土強度を見ると妥当な値が得られていることがわかる。

	位置深さ	方向	実験前		実験後		位置深さ	方向	実験前		実験後	
			kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2	kg/cm^2			kg/cm^2	kg/cm^2		
PVCドレーン	5cm	鉛直	0.139	1.03	サンド	5cm	鉛直	0.139	1.01			
		水平	0.134	1.12			水平	0.134	0.62			
	25cm	鉛直	0.151	1.30	25cm	鉛直	0.151	1.23				
		下 水平	0.173	1.02		下 水平	0.173	0.93				

表-3 圧密降伏応力

6. おわりに

以上述べたように今回の圧密促進効果比較実験の結果、PVCドレーン材の圧密促進効果が明確にされるとともに、種々の興味ある現象を得ることができた。紙数の都合上、今回は割愛したが、沈下、間隙水圧の理論解析などについても機会があれば報告したい。今回の実験は法政大学の佐々木充、高下健一両君の卒論を兼ねて実施したものであることを附記し、ここに感謝の意を表します。