

# 技 術 報 告 集

第 48 号

平成20年 2 月



社団  
法人

地盤工学会北海道支部

## 泥炭地盤での真空圧密工法における気密保持層の設定方法

株式会社ドーコン 正会員 高橋 秀彰  
 真空圧密ドレーン工法研究会 吉川 雅史  
 真空圧密ドレーン工法研究会 川鍋 修

### 1. はじめに

真空圧密工法における負圧の保持には、気密シートを必要とせず、表層の難透水層を気密保持層(以下、シール層)として利用する方法がある。泥炭性軟弱地盤において、負圧による十分な圧密改良効果を得るためには、泥炭層の気密保持効果を評価することが重要となる。既往の研究<sup>1)</sup>や施工実績<sup>2)</sup>により、粘性土層の気密保持効果は把握されているが、一般に泥炭層は粘性土層よりも透水性が高く、その気密保持効果は不明確である。また、改良層と比較してシール層は真空圧密による改良効果が低減され、シール層厚を過大にした場合、盛土併用時のすべり安定性や残留沈下の面で不利となる場合があることから、真空圧密工法の効果を高める上でシール層の設定を最適化することは重要である。

著者らは、泥炭層の気密保持効果を明らかにするため、実物大模型実験による評価を実施してきた<sup>3)</sup>。本論では、一連の実物大模型実験による泥炭層の気密保持効果の評価をもとに、泥炭地盤での真空圧密工法におけるシール層の設定方法について検討した。

### 2. 実験概要

実験装置の概要を図-1に示す。実験は直径 300mm×高さ 3000mm の土槽に、気密キャップと排水ホースを予め取り付け付けたプラスチックボードドレーン材 (PBD) を図-1のように設置した。PBD の大きさは幅 100mm×厚さ 3mm×長さ 1000mm である。一連の実験は実際の泥炭層での施工を想定して実施した。試験ケース P-1~P-5 は泥炭の透水性と気密保持効果の関連を調べるものであり、試験ケース B-1~B-3 は表層の泥炭層の上に覆土(盛土)を実施した際の盛土の透水性と気密保持効果の関連を調べるものである。後者は、実施工において施工機械のトラフィカビリティを確保するために通常 1~2m 程度の盛土(以下、施工マット)を実施することから、施工マット盛土をシール層として利用し、泥炭層の全層改良を目的とした場合を想定したものである。

泥炭層は、市販の園芸用ピートモス( $\rho_s=1.75\text{g/cm}^3$ )を用い、透水係数は予備圧密( $\sigma_v=40\text{kN/m}^2$ )、締固めもしくは海性粘土( $\rho_s=2.65\text{g/cm}^3, w_n=121.3\%, w_L=92\%, w_p=39.1\%$ )を混合することで調整した。盛土層は、石狩川の浚渫工事から発生した砂質土と堤防開削工事から発生した粘性土を混合して作製した。

シール層の土質条件の詳細を表-1に示す。なお、改良層は全てのケースでピートモス 100%である。

これらの模型地盤に対し、水位一定条件でドレーン内部に  $60\text{kN/m}^2$  の負圧を作用させて挙動を観測した。なお、計測項目は間隙水圧(下から、ドレーン先端、改良域内、キャップ位置、シール層下部、シール層上部)、地表面沈下量、排水量である。今回の実験では間隙水圧計は沈下に追従するように設置したため、沈下に伴い水圧は増加する挙動を示す。また、排水量の計測値は模型地盤の断面積で割って高さに換算し、沈下量との比較を行っている。

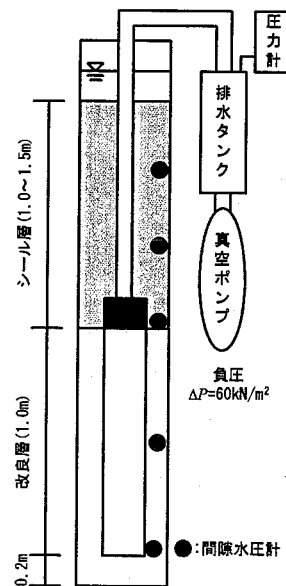


図-1 試験装置概要

表-1 シール層の土質条件

CASE	泥炭をシール層としたケース					盛土(砂質土・粘性土)をシール層をしたケース		
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	B-1	B-2	B-3
シール層の土質材料	ピート100%	ピート 82% 海成粘土18%	ピート 100%	ピート 35% 海成粘土65%	ピート100%	浚渫砂 78% 堤防掘削土22% ( $F_c=8.5\%$ )	浚渫砂 71% 堤防掘削土29% ( $F_c=48.6\%$ )	浚渫砂67% 堤防掘削土33% ( $F_c=60.3\%$ )
シール層厚 $H$ (m)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2 (1.5m)	1.0	1.0	1.0
初期含水比 $w$ (%)	300.0	267.1	180.0	184.9	300.0	6.6	23.8	34.0
透水係数 $k$ (cm/s)	$1.0 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$1.8 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-5}$ ( $1.0 \times 10^{-3}$ )	$1.5 \times 10^{-3}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$1.0 \times 10^{-5}$

※P-5の()内は予備圧密前の値

Setting methods of sealing-up layer in the peat ground on vacuum consolidation method

Hideaki TAKAHASHI (Docon Co., Ltd.), Masashi YOSHIKAWA (Vacuum Consolidation Drain Method Association),  
 Shuu KAWANABE (Vacuum Consolidation Drain Method Association)

### 3. 実験結果

本実験によりシール層の気密保持効果を評価するにあたっては、以下の方法で作用負圧を評価する。

表層の難透水層をシール層として利用する真空圧密工法の場合、シール層における圧密現象は、粘性土層の上部の水位が一定で下部の水圧が低下した場合に相当し、その条件で Terzaghi の一次元圧密方程式を解いて得られる等時曲線は図-2 のとおりである。したがって、载荷負圧  $P$  に対し地盤に作用する負圧は図-3 のとおりであり、シール層内の負圧は三角形分布となる。各ケースにおいて、最終的な作用負圧を理論値と比較し気密保持効果を定量的に評価する。評価は理論値と実測値の負圧分布から得られる面積を比較することで行う。

改良層の理論負圧分布面積：载荷負圧×改良層厚

シール層の理論負圧分布面積：载荷負圧×シール層厚×1/2(三角形分布)

以下に各ケースの試験結果を述べる。

#### (1) シール層の透水係数 $k=10^{-3}(\text{cm/s})$ の場合

シール層の透水係数を  $k=10^{-3}(\text{cm/s})$  程度とした場合の、泥炭、砂質土それぞれのケースにおける間隙水圧および沈下量・排水量の経時変化を図-4 に、作用負圧の分布を図-5 に示す。

シール層に砂質土を用いたケース(B-1)では、改良層内の作用負圧は理論値の4%( $5\text{kN/m}^2$ )程度、負圧シール層についても理論値の3%程度であり、ほとんど負圧保持効果はないと判断できる。同様に、シール層に泥炭を用いたケース(P-1)でも、改良層内の作用負圧は理論値の3%程度、負圧シール層についてはほぼ0%であり、負圧保持効果はないと判断できる。排水量の面から比較しても、両者ともに地表面の沈下量から想定される排水量に対し、地表面からの浸透により発生した排水量が極めて大きい結果となっており、気密保持効果が得られていないと判断できる。

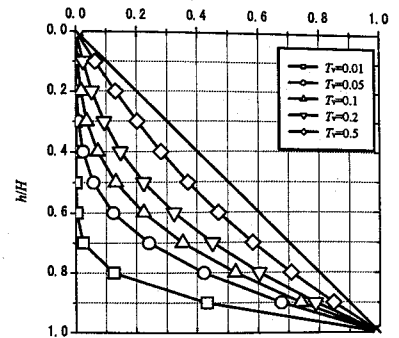


図-2 シール層の負圧分布の等時曲線(理論値)

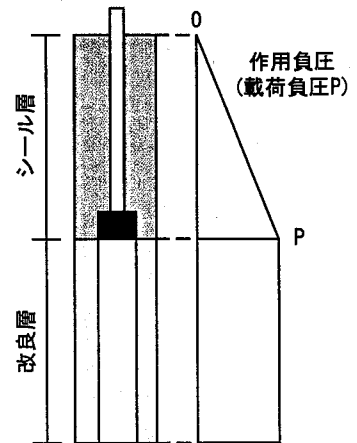


図-3 载荷負圧  $P$  に対する地盤の作用負圧

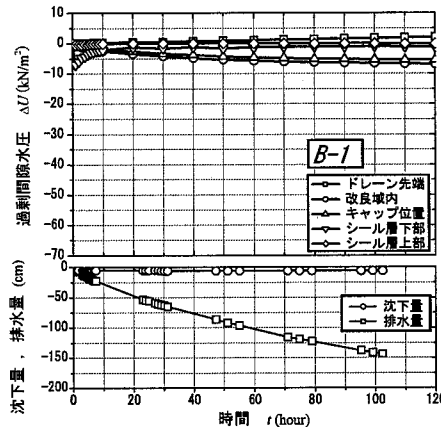
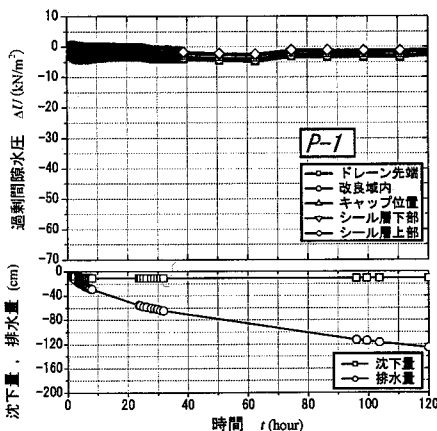


図-4 間隙水圧、沈下量・排水量の経時変化  
(シール層  $k=10^{-3}(\text{cm/s})$ , 左: 泥炭, 右: 砂質土)

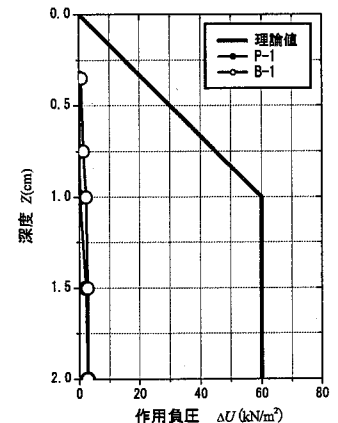


図-5 作用負圧分布  
(シール層  $k=10^{-3}(\text{cm/s})$ )

#### (2) シール層の透水係数 $k=10^{-4}(\text{cm/s})$ の場合

シール層の透水係数を  $k=10^{-4}(\text{cm/s})$  程度とした場合の、泥炭、砂質土それぞれのケースにおける間隙水圧および沈下量・排水量の経時変化を図-6 に、作用負圧の分布を図-7 に示す。

シール層に砂質土を用いたケース(B-2)では、改良層内の作用負圧は理論値の97%程度、負圧シール層についても理論値の89%程度であり、十分な負圧保持効果が得られている。シール層に泥炭を用いたケース(P-2)では、改良層内の作用負圧は理論値のほぼ100%で十分な負圧保持効果が得られているが、負圧シール層の作用負圧は理論値の72%程度にとどまっている。なお、砂質土のケースにおいて改良層およびシール層の負圧が一定値に収束するまでには約35時間、泥炭のケースにおいて改良層およびシール層の負圧が一定値に収束するまでには約20時間を要している。その後は両者ともに地表面の沈下量から想定される排水量以上の排水が生じており、地表面からの浸透が生じていると考えられる。シール層の透水係数はほぼ同程度にもかかわらず、地表面からの浸透流量は、泥炭をシール層としたケースの方が1.5倍程度大きく、このことが負圧シール層の作用負圧の差に影響しているものと考えられる。

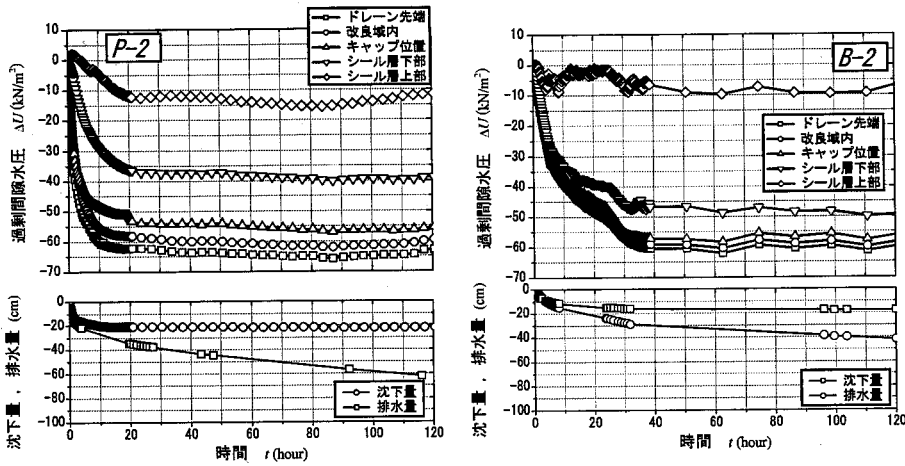


図-6 間隙水圧, 沈下量・排水量の経時変化  
(シール層  $k=10^{-4}$ (cm/s), 左: 泥炭, 右: 砂質土)

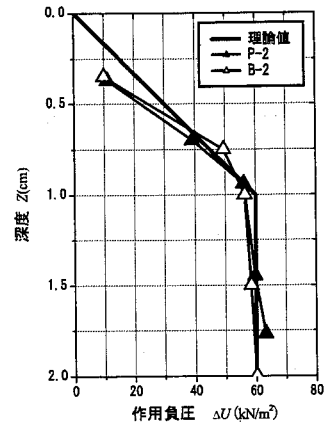


図-7 作用負圧分布  
(シール層  $k=10^{-4}$ (cm/s))

### (3) シール層の透水係数 $k=10^{-5}$ (cm/s) の場合

シール層の透水係数を  $k=10^{-5}$ (cm/s)程度とした場合の、泥炭、砂質土それぞれのケースにおける間隙水圧および沈下量・排水量の経時変化を図-8に、作用負圧の分布を図-9に示す。

シール層に砂質土を用いたケース(B-3)では、改良層内の作用負圧は理論値の97%程度、負圧シール層についても理論値の95%程度であり、十分な負圧保持効果が得られている。同様に、シール層に泥炭を用いたケース(P-3)においても、改良層内の作用負圧は理論値の98%程度、負圧シール層についても理論値の92%程度であり、十分な負圧保持効果が得られている。なお、砂質土のケースにおいて改良層およびシール層の負圧が一定値に収束するまでには約70時間、泥炭のケースにおいて改良層およびシール層の負圧が一定値に収束するまでには約180時間を要している。その後は両者ともに地表面の沈下量から想定される排水量以上の排水が生じており、 $k=10^{-4}$ (cm/s)と同様に地表面からの浸透が生じていると考えられる。地表面からの浸透流量については砂質土と泥炭で大きな違いは見られない。

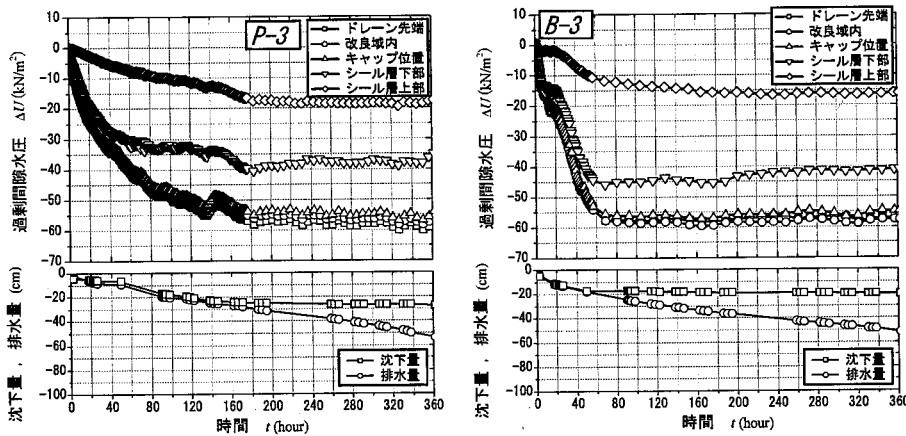


図-8 間隙水圧, 沈下量・排水量の経時変化  
(シール層  $k=10^{-5}$ (cm/s), 左: 泥炭, 右: 粘性土)

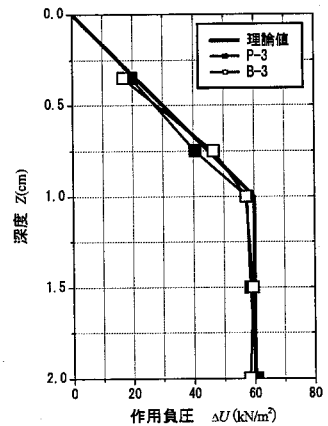


図-9 作用負圧分布  
(シール層  $k=10^{-5}$ (cm/s))

### (4) シール層の透水係数 $k=10^{-6}$ (cm/s) の場合

シール層の透水係数を  $k=10^{-6}$ (cm/s)程度とした場合については泥炭のみを検討した。間隙水圧および沈下量・排水量の経時変化を図-10に、作用負圧の分布を図-11に示す。

この場合、改良層内の作用負圧は理論値のほぼ100%で十分な負圧保持効果が得られているが、負圧シール層の作用負圧は理論値の35%程度にとどまっている。試験実施期間(約120時間)においては、シール層内の負圧が低下する傾向がほとんど見られず、負圧が理論値に近い分布をするためにはかなりの時間を要することが想定される。しかし、改良層の

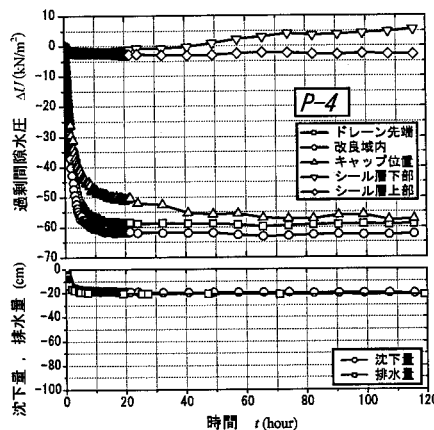


図-10 間隙水圧, 沈下量・排水量の経時変化  
(シール層  $k=10^{-6}$ (cm/s))

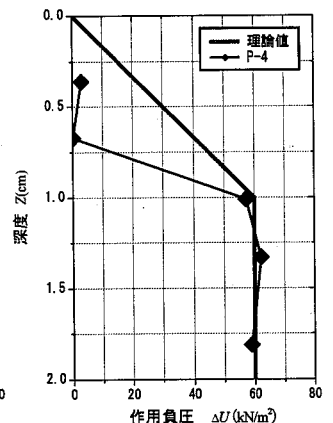


図-11 作用負圧分布  
(シール層  $k=10^{-6}$ (cm/s))

負圧は全てのケースで最も早い15時間程度で一定値に収束しており、改良層への気密保持効果は高い。また、地表面の沈下量から想定される排水量と実測の排水量はほぼ一致しており、地表面からの浸透は発生していないことから、高い気密保持効果が得られていることがうかがえる。

#### (5) 予備圧密によりシール層の透水係数を低下させた場合

このケースは圧縮性の高い泥炭層の特性を利用して、負圧荷重前に上載荷重による圧密で泥炭層を圧縮し、透水係数を低下させ気密保持効果を高めることを目的としたものである。P-5は、シール層厚1.5m、当初の透水係数 $k=10^{-3}(\text{cm/s})$ 程度の泥炭を圧密圧力 $40\text{kN/m}^2$ で圧縮し、層厚1.2m、圧縮後の透水係数 $k=3\times 10^{-5}(\text{cm/s})$ に改良したものである。

この場合、改良層内の作用負圧は理論値の95%程度、負圧シール層についても理論値の88%程度であり、シール層の透水係数 $k=10^{-3}(\text{cm/s})$ の場合と比較して、負圧保持効果は大きく向上している。

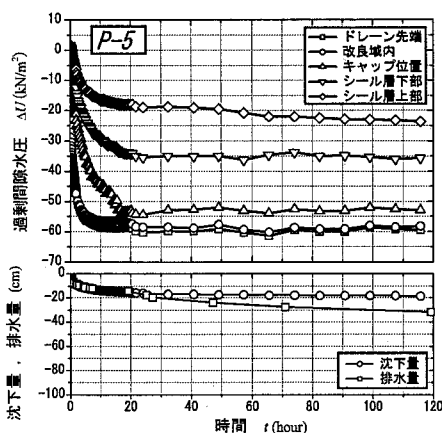


図-12 間隙水圧、沈下量・排水量の経時変化 (シール層  $k=3\times 10^{-5}(\text{cm/s})$ )

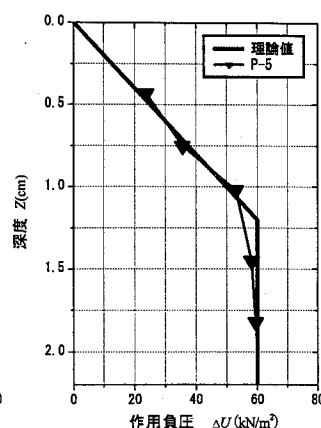


図-13 作用負圧分布 (シール層  $k=3\times 10^{-5}(\text{cm/s})$ )

#### 4. シール層の設定方法の検討

以上の実物大模型実験の結果をもとに、泥炭地盤におけるシール層の設定方法を検討する。

##### (1) シール層の透水係数

泥炭と砂質土・粘性土の実験結果を比較すると、同等の透水性を有するものでは気密保持効果に明瞭な差は見られず、気密保持効果は土質によらず透水性に支配される傾向が見られた。実験結果から、シール層は層厚1.0m、透水係数 $k=10^{-4}(\text{cm/s})$ 以下で、改良層の負圧を保持するのに十分な気密保持効果が得られる。特に高い気密保持効果が得られるのはシール層の透水係数 $k=10^{-6}(\text{cm/s})$ 以下となる。

##### (2) シール層の負圧分布

泥炭層をシール層とした場合においても、シール層内の負圧は理論値に近い三角形分布となることが確認された。

シール層の透水係数 $k=10^{-4}\sim 10^{-5}(\text{cm/s})$ の場合、早期にシール層内に負圧分布が理論値に近づくため、盛土併用時は地盤安定上有利となる。しかし、負圧が地表面に到達した後は地表面からの浸透流が発生するため、周辺地下水位への配慮やポンプ容量の増大などの対応を考慮する場合も生じる。

一方、シール層の透水係数 $k=10^{-6}(\text{cm/s})$ 以下の場合、シール層内の負圧分布が理論値に近づくまでに長期間を要するため、盛土併用時は地盤安定上の弱層とならないよう配慮が必要である。

##### (3) 表層泥炭層の透水係数が高い場合の対応

透水性の高い表層泥炭層をシール層として利用する場合には、泥炭層の高い圧縮性を利用し、事前に盛土荷重での圧密により透水係数を低下させ、気密保持効果を高める手法が有効であることが確認された。実際には、施工機械のトラフィカビリティ確保を目的に実施する施工マット盛土により、圧密を図ることが実用的である。

また、盛土(砂質土・粘性土)による気密保持が可能であることが確認されたことから、覆土による気密保持が有効な手段となると評価された。

#### 5. おわりに

本論により、泥炭層の透水性と気密保持効果の関係が明らかとなった。効果的な施工を行うためには、地盤条件や施工条件に応じた適切なシール層の設定を行うことが重要である。

そのためには、地盤の不均一性を考慮した詳細な土質調査・試験を実施し、表層地盤の土質・透水性、地下水位を把握することが重要となる。

#### 【参考文献】

- 1) 米谷ら(2002),真空圧密工法における粘性土層の気密保持効果,第37回地盤工学研究発表概要集,pp.1061-1062
- 2) 例えば,米谷ら(2002),キャップ付ドレーンを用いた真空圧密工法と盛土を併用した場合の改良効果について,土木学会第57回年次学術講演概要集,pp.145-146
- 3) 高橋ら(2007),真空圧密工法における泥炭層の気密保持効果,第42回地盤工学研究発表概要集,pp.835-836