

海底敷設ドレーンに関する基礎実験

岡本正広*・大網幸雄*・プラダンテージB.S.**・
今井五郎***

本論文は、人工水平排水材を用いた海底敷設ドレーンを開発するに当たり、その主要な技術的課題であるマッドケーキの影響とドレーンを沈設するためのウェイトパックに関連した問題を解決するために実施した室内圧密実験および海底敷設施工実験結果について述べたものである。水平ドレーンと鉛直ドレーンとの間にあらかじめマッドケーキ層を形成して大型圧密実験を行った結果、マッドケーキ層の形成が圧密の進行度合いに及ぼす影響はほとんどなく、また、海底敷設実験ではカーペットを敷いたように平面的に敷設されていることが確認された。

Key Words: horizontal drain, vertical drain, geotextile, sand mat, mud cake

1. はじめに

軟弱地盤の改良あるいは粘性土を主体とした材料で盛土工事を行うような場合には、土中の間隙水压を速やかに排水させるために、従来よりサンドマットやサンドフィルターが用いられてきた。軟弱地盤上のサンドマットは、トライフィカビリティの確保だけでなく排水層という大きな役割を担っている。しかし、良質で安価な砂が枯渇してきており、入手が困難になりつつある現在、排水層としての機能を果たしえないようなサンドマットを用いている場合が見られ、その代替えとして高い排水能力を有する人工排水材の開発が求められている。

さらに、海上の埋立工事の場合には、敷設時の水質汚濁問題等環境に対する影響も重要な問題となってきている。また、産業廃棄物を処分するような場合には、図-1に示すようにサンドマットの厚さは、大切な処分スペースの低減となっており、年々増加する廃棄物に対してもサンドマットを薄くすることができるならば、処分スペースを増大することが可能となる。

そこで、筆者らはこれらの背景を受けて、新しい人工水平排水材工法の開発に着手し、今回、帯状水平排水材と上下層フィルターを組み合わせた海底敷設ドレーン（以下パブリックシードレーンと呼ぶ）を開発した。

パブリックシードレーンは、サンドマットの代替えとして土中水の排水促進材として利用されている人工の水平排水材を基本に、下部フィルター層として吸い出し防止用の不織布を、また上部フィルター層として産業廃棄物の投入時のクッション材として機能するよう強度の高い織布から構成されている。さらに、上部フィルター層

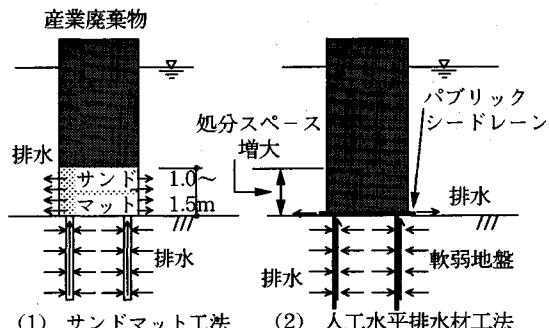


図-1 産業廃棄物の埋立工事におけるサンドマット工法と人工水平排水材工法との比較

の上にはパブリックシードレーンを海底に沈設するためのウェイトパックが取り付けられている。

本報告は、海底敷設ドレーンを開発するにあたり、その技術的課題を解決するために実施した各種室内実験ならびにウェイトパックに関する原位置施工実験結果について述べたものである。

なお、本研究は、産業廃棄物などの埋立地を対象とした人工水平排水材工法を開発することを目的としており、埋立地内の保有水が浸出することを防止するための遮水性に関する問題等は対象としていない。

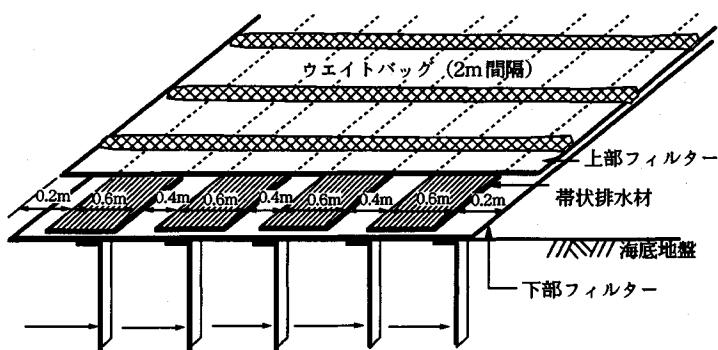
2. パブリックシードレーンの概要

(1) パブリックシードレーンの構造

パブリックシードレーンの構造を図-2に示す。パブリックシードレーンの構造は、100 cm 間隔でセットされた幅 60 cm の帯状排水材に材質の異なるフィルター材を上下に巻き、2 m 間隔にウェイトパックを取り付けたものである。このウェイトパックは、水平ドレーンが何らかの要因で切断されたときには排水経路の確保の役割も果たす。

フィルター材の選定に当たっては、下側にヘドロの吸

* 正会員 東急建設（株）技術本部土木技術部
(〒150 渋谷区渋谷1-15-21 ボーラ渋谷ビル8F)
** 正会員 工博 横浜国立大学助教授 工学部土木工学科
*** 正会員 工博 横浜国立大学教授 工学部土木工学科



プラスチックボードドレーン

図-2 パブリックシードレーンの構造

表-1 パブリックシードレーンの材料構成（幅5m×長さ2m 当り）

項目	材料	厚さ (mm)	重量 (kgf)	透水係数 (cm/sec)
ウェイト バッグ	充填材 袋体	$\phi 130$	94.6 ¹⁾	1.0以上
	合成繊維ネット		2.6	
上部フィルター材	土木安定シート	0.36	2.2	1.05×10^{-3}
	排水材	10.0	合計 10.83	10以上
下部フィルター材	不織布	0.47	1.35	1.2×10^{-2}

注1) : 砕石の充填率を80%として算出

い出し防止を兼ねた透水性の良い材質の熱圧着型不織布を、上側には産業廃棄物の投入に対して十分な強度が保証される材質の土木安定シートを採用した。

(2) パブリックシードレーンの特長

軟弱地盤上の埋立工事の場合、通常、地盤改良が行われる。地盤改良はサンドマットを敷設し、鉛直ドレーンを打設して軟弱地盤の圧密促進を図るのが一般的である。

パブリックシードレーン工法は、従来のサンドマットに替わり人工水平排水材を海底に敷設する水平ドレーン工法である。敷設方法には新たな敷設作業船と、ウェイトバッグの併用により一層の安定性と効率化を追求した。パブリックシードレーン工法の主たるメリットとしては以下のことが挙げられる。

① サンドマットの必要がない。

近年、良質砂の不足により、サンドマット材の確保は困難になってきている。パブリックシードレーン工法ではサンドマットに替わる人工水平排水材を用いている。

② 品質が均一で、安定供給が可能である。したがって、品質管理、工程管理が容易である。

ドレーン材は、1ロール当たり幅5メートル、長さ200メートルで工場出荷するため、品質が安定していて、安定供給が可能である。また、2メートル間隔で取り付けられたウェイトバッグと専用敷設船による連続敷設を行うことで、効率化と確実性が確保できる。

③ 従来の工法に比べ、砂投入時の水質汚濁の問題はなく、環境問題が生じない。

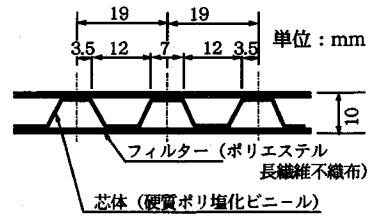


図-3 帯状排水材の構造

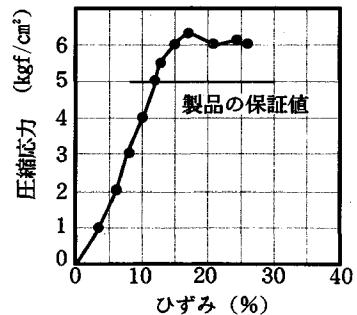


図-4 有孔エンボス構造の芯材の圧縮強度とひずみとの関係

従来のサンドマット工法で発生する水質汚濁問題や、砂採取による自然破壊などの環境問題が一切なくなる。

④ サンドマット体積分の産業廃棄物が収容できる。

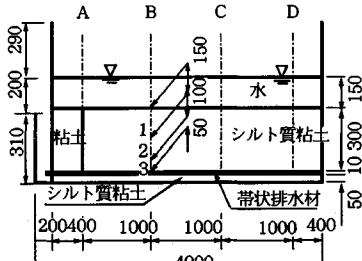
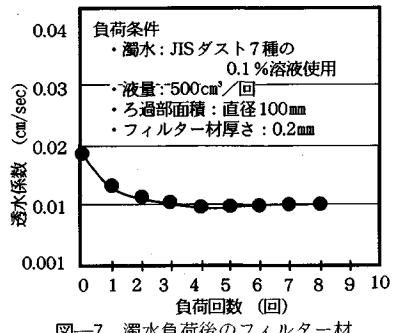
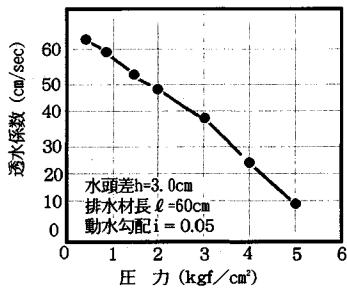
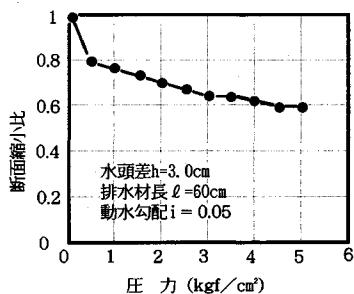
従来1.0~1.5メートルの厚さのサンドマットが必要とされるが、これにパブリックシードレーンがとって替わるため、その厚さ分の処分量が確保される。

3. 帯状排水材の基本特性

パブリックシードレーンを構成する排水材は、硬質ポリ塩化ビニール製の有孔形エンボス形状の芯材と、これを覆うフィルター（ポリエチレン長繊維不織布）からなる土中排水材である。芯材とフィルターは互いに分離・独立したフレキシブルな構造になっており、その断面寸法は、図-3に示すように厚さが1cm、幅が60cmである。本排水材は、大きな上載荷重を受けても通水断面があまり減少せず、また、約3ヶ月間のシルト質粘土層を通じて浸透させる排水性能試験結果¹⁾によれば、排水材内部で土粒子による目づまりの発生は認められず、土中の間隙水を速やかに排水できる。以下、その性能について概略述べる。

(1) 芯材の圧縮強度

芯材の圧縮強度試験結果を図-4に示す。同図によれば、芯材は $5.0 \text{ kgf}/\text{cm}^2$ (490.5 kPa) 以上の土圧に耐えうる性能を有しており、これは盛土高25m以上の高盛土の下に敷設可能な耐圧性能である。



(a) 排水性能試験における実験水槽の概要

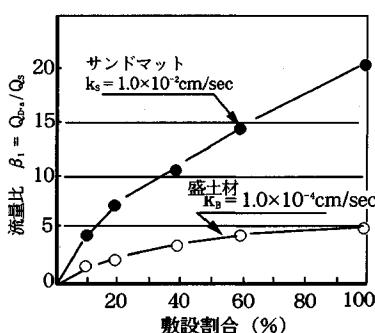
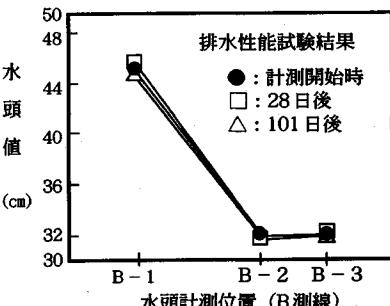
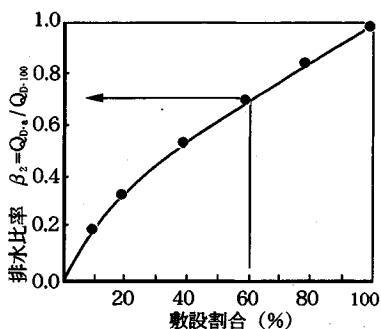


図-8 3ヶ月間の排水性能試験結果



(b) B側線における各層の水頭値の比較

図-8 3ヶ月間の排水性能試験結果

(2) 圧力下での透水性能

水圧の載荷により芯体に生じる断面の減少を図-5に、また、圧力下での透水試験結果を図-6に示す。図-5によれば、 0.5 kgf/cm^2 (49.1 kPa) の圧力が載荷されたときに、比較的大きな断面減少が帯状排水材に生じるが、これはフィルターと芯体が互いに拘束せず、相互に自由に動くことを目的として、比較的ゆるくフィルターが巻かれているために生じたものである。

しかし、 5.0 kgf/cm^2 (490.5 kPa) の圧力が載荷された状態でも通水断面積は、無載荷時の 60% の断面積 (18.0 cm^2) を確保している。

また、図-6に示すように、載荷時の透水性については、 5.0 kgf/cm^2 (490.5 kPa) の圧力下でも $1.0 \times 10^{-1} \text{ cm/sec}$ を確保している。

(3) フィルターの耐目詰まり性

濁水を負荷させたときのフィルターの透水係数の推移を図-7に示す。試験は濁水負荷後のフィルター上の土粒子層を除去後透水係数を測定した。

濁水は、JIS-Z-8901 試験用ダスト 7 種の 0.1% 液を使用しており、このダストの 50% 粒径は $D_{50} = 27 \sim 35 \mu\text{m}$ である。後述する東京湾から採取した海底ヘドロの 50% 粒径は $D_{50} = 25 \sim 33 \mu\text{m}$ であることより、本試験に用いた濁水は、海底敷設時に巻き上げられる海底ヘドロと同様の粒度特性を有する。

図-7によれば、濁水を負荷させる前のフィルターの透水係数は $k = 2.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$ であるのに対して、濁水を負荷させたフィルターの透水係数は、負荷前の透水係数に比べてやや低下するものの、負荷回数が 3~5 回程度で安定し、また、低下した透水係数の値も良質な砂と同程度 ($k = 1.0 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$) の値を保持している。また、図-8(a), (b) には、約 3 ヶ月間の排水性能試験における実験水槽の概要と水頭分布結果を示す。排水層(帯状排水材)より 5 cm シルト質粘土層部に入った位置(B-2)での水頭値は、排水層位置(B-3)で計測された水頭値とほぼ同じであり、約 3 ヶ月の短中期間の内に目詰まりによって排水能力が低下する恐れは少ない。

4. パブリックシードレーンの排水性能

パブリックシードレーンを構成する帯状排水材の特性

は前章で概略述べたが、 5.0 kgf/cm^2 (490.5 kPa) の圧力下での軸方向透水係数は、 $k_D = 1 \times 10^1 \text{ cm/sec}$ であり、そのときの通水断面積は、無載荷時の 60% 程度の断面積 (18.0 cm^2) を確保している。したがって、帯状排水材に流入した水は、通水断面が大きいためサンドマットに比べて速やかに外部に排水される。

ここで、帯状排水材の排水性能と等価な良質な砂を用いたサンドマット層の厚さ（単位幅当たり）を求めてみれば、以下の通りである。サンドマットの排水量と帯状排水材の排水量が等しいとすれば式（1）が成立する。

ここに、 B_d ：排水材の幅 t_d ：排水材の厚さ

B_s : サンドマット層の幅 (ここでは単位幅 100 cm を考える)

h_s : サンドマット層の厚さ

k_p : 帯状排水材の透水係数

k_s : サンドマット層の透水係数

いま、サンドマット層の単位幅 $B_s = 100 \text{ cm}$, 透水係数を $k_s = 5 \times 10^{-2} \text{ cm/sec}$, 帯状排水材の透水係数を $k_d = 1 \times 10^1 \text{ cm/sec}$ とすれば、帯状排水材と等価なサンドマットの厚さは、式(1)より

$$h_s = \frac{B_d \times t_d}{B_s} \times \frac{k_d}{k_s} = \frac{60 \times 1.0}{100} \times \frac{10}{5 \times 10^{-2}} = 120 \text{ cm}$$

である。したがって、パブリックシードレーンの帯状排水材の排水性能は、層厚 120 cm の良質な砂の透水性能とほぼ同等である。ただし、帯状排水材の実際の排水能力は、鉛直方向からのフィルターを通した排水性能となるが、ここでは単純に軸方向排水能力で比較した。しかし、完全飽和の定常状態では、式(1)は、ほぼ成立すると考えられ、海底に敷設される水平ドレンとサンドマットの排水性能の比較であることを考慮すれば、上記仮定は妥当なものであると判断されよう。

また、帯状排水材の排水効果はその敷設割合に依存する。図-9、10は、透水性の異なる砂の上に帯状排水材を敷設した場合の流量比 β_1 、 β_2 と排水材の敷設割合との関係を示したものである。ここに、流量比 β_1 、 β_2 は次式で与えられる。

ここに、 $Q_{D,a}$ ：排水材を $a\%$ 敷設したときの排水量

$Q_{D,100}$ ：排水材を 100% 敷設したときの排水量

Q_s : 砂のみによる排水量

図-9より、帯状排水材の排水効果は使用する土の透水性能に大きく左右され、透水係数の小さい砂では帯状排水材に土中水が到達するまでに時間を要し、結果として排水効果が小さくなっているものと想定される。

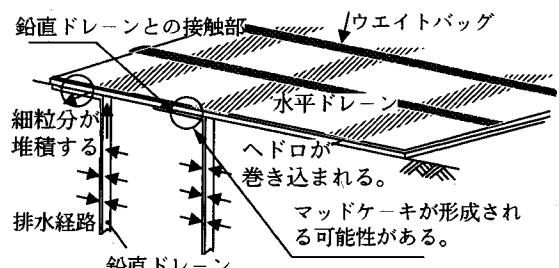


図-11 パブリックシードレーン工法におけるマッドケーキが形成される状況の様式図

したがって、サンドマット層の代替えとして鉛直ドレーンの排水層として帯状排水材を用いる場合には、鉛直ドレーンの頭部に帯状排水材が接していることが排水性向上のためには重要である。そこで図-2に示すように、海底地盤上 50 cm 程度で切断されている鉛直ドレーンがどの方向に折れ曲がっても、必ず水平ドレーンと接触するように、幅 60 cm の帯状排水材を 100 cm 間隔で設置することとした。

5. 技術的課題

海底敷設ドレンの開発に先立ち懸念される問題点は、以下の項目が考えられる。

- ① ウエイトバックの砂充填作業が短時間で行うことができる
 - ② ウエイトバックが海底ヘドロ内に沈み込み、パブリックシードレーン材の排水性能に支障をきたすような折れ曲がりやねじれ等の敷設状況を起こさない
 - ③ 必要な敷設面に隙間なく一様に、かつ短時間で敷設が行えること
 - ④ 鉛直ドレーンとパブリックシードレーンとの接触面にマッドケーキが形成されても、排水性能が低下しないこと

6. マッドケーキの影響に関する室内実験⁴⁾

パブリックシードレーンを海底に敷設する場合、海底地盤上 50 cm 程度で切断されている鉛直ドレーンを順次折り曲げながら敷設していくことになる。したがって、図-11 に示すように鉛直ドレーンと水平ドレーンは重ね合わされることになり、敷設時には同ドレーンに取り付けられているウェイトパックによって、海底に堆積しているヘドロが巻き上げられる可能性が高く、このヘドロを巻き込みながら敷設される恐れがある。また圧密の進行に伴って鉛直ドレーンとの接触部にいわゆるマッドケーキが形成され、排水層としての機能が阻害される可能性がある。その模式図を図-11 に示す。

そこで本章では、マッドケーキが形成された場合、

- ① フィルターの透水性がどの程度低下するのか
 - ② 圧密の進行にどのような影響を及ぼすのか

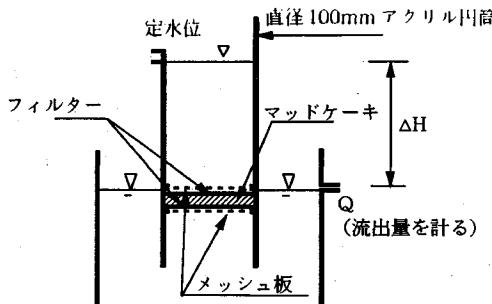


図-12 フィルターの透水性に関する実験装置

表-2 試料の物理的特性

土粒子の密度: ρ_s g/cm ³	2.655
砂分 75μm~2mm %	0
シルト分 5~75μm %	49
粘土分 5μm未満 %	51
液性限界: w_L %	74.1
塑性限界: w_p %	30.3
塑性指数: I_p	43.8

について検討した。

(1) マッドケーキ層が形成された場合のフィルターの透水性

3章で行った実験は、フィルター材そのものの目詰まりの特性を検討したものであり、フィルター表面に生じるかもしれないマッドケーキ層の形成による透水性能の低下についてはこの試験から判断できない。そこで、マッドケーキ層の形成によるフィルターの透水性低下を評価する方法として、濁水を負荷してフィルターの透水性低下を評価した。

a) 実験方法

実験に用いたフィルターは、厚さ 0.2 mm、目付け 70 gf/m² のポリエチレン長繊維不織布である。実験装置の概要を図-12 に示す。また、実験の手順を以下に示す。

① メッシュ板の上にフィルターを乗せ、実験装置に設置する。

② 実験装置に濁水 500 cm³ を注水する。濁水は表-2 に示す東京湾から採取したヘドロの 1% 溶液を用いる。

③ ろ過終了後沈殿している細粒分をマッドケーキと見なし、その上にもう一枚フィルターを重ね、マッドケーキ層の形成としてモデル化する。

④ 実験装置に清水を注水し、10 cm の水頭差を維持し、定常状態でフィルターを通過していく排水量を計測し、マッドケーキ形成後の透水係数を求める。

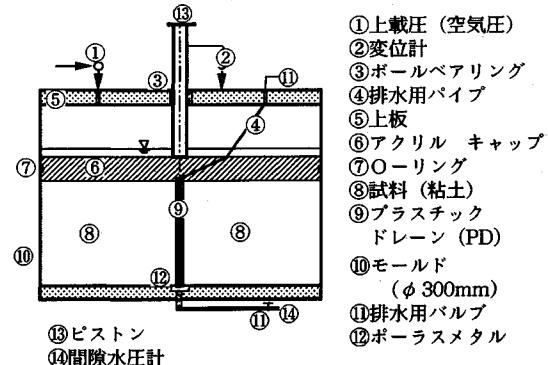
⑤ この操作を繰返し、マッドケーキの厚さを変えて透水係数を求める。

b) 試 料

実験に用いた試料は、東京湾周辺の水深約 10 m 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

表-3 フィルターの透水性能試験結果

	濁水通水回数		
	1サイクル	2サイクル	3サイクル
試料の厚さ (mm)	0.44	0.88	1.32
計測時間 (min)	10	20	10
排水量 (cm ³)	23.64	50.67	8.42
透水係数 ($\times 10^{-6}$ cm/sec)	2.32	2.49	1.66
	1.58	1.15	

図-13 圧密試験装置の概略^{4,5)}

40% 程度含有し、塑性が比較的低いため、実験には 74 μm 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。

c) 実験結果

実験結果を表-3 に示す。濁水を負荷したときのフィルターの透水係数は次式によって求めた。

$$k = \frac{Q \cdot t}{S \cdot \Delta H \cdot T} \quad (4)$$

ここに、 Q : 排水量 (cm³)

t : 試料の厚さ (cm)

S : ろ過面積 (78.5 cm²)

ΔH : 水頭 (cm)

T : 計測時間 (sec)

表-3 に示すように、濁水を通過させると 1 サイクルにつき 0.44 mm のマッドケーキが形成され、マッドケーキが形成されるとフィルターの透水性能は著しく低下し、 $k = (1.2 \sim 2.5) \times 10^{-6}$ cm/sec 程度となる。

(2) マッドケーキが形成されたときの圧密特性

鉛直ドレーンと水平ドレーンとの接觸部にマッドケーキが形成された場合、圧密の進行にどのような影響を及ぼすか大型圧密土槽 (直径 30 cm) を用いて実験的に検討した。

a) 実験方法

実験に用いた試料は、前章と同様の東京湾で採取したヘドロである。供試体は、液性限界の 2 倍の含水比 (150%) に調整して十分練り返し、0.5 kgf/cm² (49.1 kPa) の上載圧で予圧密した。図-13 に実験装置を、ま

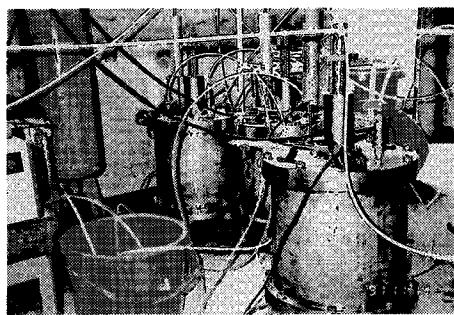


写真-1 圧密実験実施状況

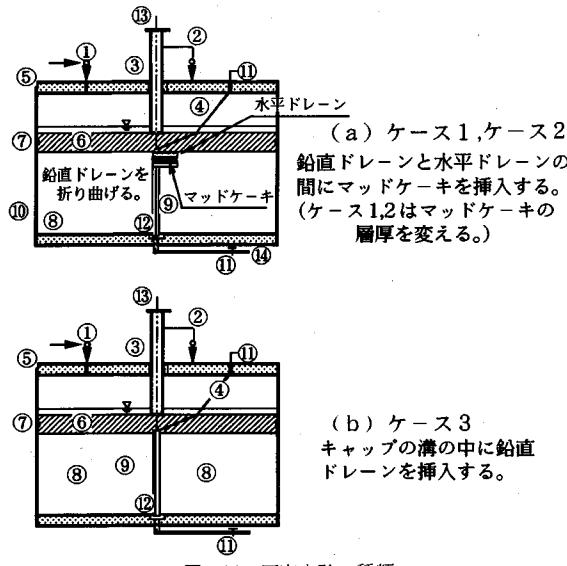


図-14 圧密実験の種類

た写真-1に実験状況を示す。

圧密試験は、図-14に示すように3ケースを想定し、マッドケーキの形成が圧密促進を阻害するかどうか確認した。マッドケーキは前章と同様に作製した。1回の注水で堆積したマッドケーキの厚さは0.44 mmである。この操作を2回繰返してマッドケーキの厚さを変えた。

圧密は、上載圧0.2 kgf/cm²(19.6 kPa)で一日放置後、0.4, 0.8, 1.6, 3.2 kgf/cm² (39.2, 78.5, 157.0, 313.9 kPa)の4段階荷重とし、各荷重段階での一次圧密の終了は3t法によった。

ケース1, 2: 鉛直ドレーンと水平ドレーンの間にマッドケーキ(層厚0.44と0.88 mm)を挿入する。(図-14 (a))

ケース3: キャップの溝部に鉛直ドレーンを挿入する。(図-14 (b))

b) 試料の圧密特性

拘束圧 $\sigma_v=0.5 \text{ kgf/cm}^2$ (49.1 kPa)で予圧密した試料を用いて標準圧密試験を実施した。試験結果を表-4および図-15, 16に示す。実験は、堆積方向に直角方向(V試料)および水平方向(H試料)から切り出した

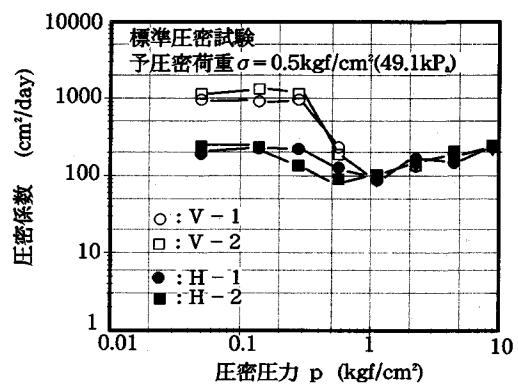


図-15 圧密試験結果 (圧密係数と圧密圧力との関係)

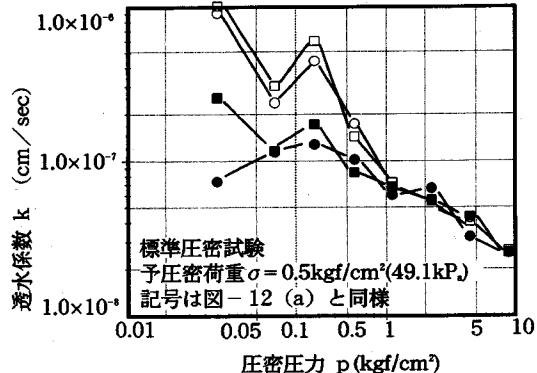


図-16 圧密試験結果 (透水係数と圧密圧力との関係)

表-4 圧密試験結果

	V 試料		H 試料	
	V-1	V-2	H-1	H-2
湿潤密度 ρ_w g/cm ³	1.685	1.671	1.685	1.688
乾燥密度 ρ_d g/cm ³	1.096	1.070	1.096	1.106
土粒子の密度 ρ_s g/cm ³	2.679	2.679	2.679	2.679
自然含水比 w_n (%)	53.8	56.1	53.8	52.6
間隙比 e	1.445	1.504	1.447	1.422
飽和度 S_r (%)	99.8	100.1	99.7	99.2
圧縮指數 C_c	0.41	0.42	0.38	0.38
圧密降伏応力 P_c (kgf/cm ²)	0.68	0.68	0.63	0.59

試料についてそれぞれ2供試体づつ行った。

表-4に示すように、V試料の圧密降伏応力 P_c は、0.68 kgf/cm² (66.7 kPa)であり、またH試料のそれは、0.61 kgf/cm² (59.8 kPa)であるので、V試料の圧密降伏応力の方がH試料のそれよりもやや大きい傾向を示す。本試料は、0.5 kgf/cm² (49.1 kPa)で予圧密しているので、正規圧密領域の圧密係数は、V試料とH試料ともほぼ同程度の値であり、100~200 (cm²/day)である。

また、透水係数は、圧密圧力の増加に伴って大きく変化し、 $k=1 \times 10^{-6}$ から 2×10^{-8} cm/sec程度まで減少する。圧密荷重の初期段階では、多少のバラツキはあるも

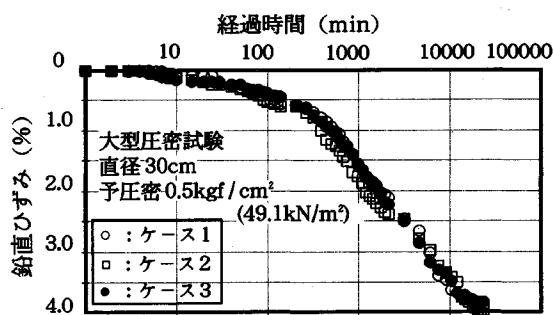


図-17 典型的な試験結果例
ひずみ～経過時間の関係 (圧密圧力 0.4～0.8 kgf/cm²)
(39.2～78.5 kPa)

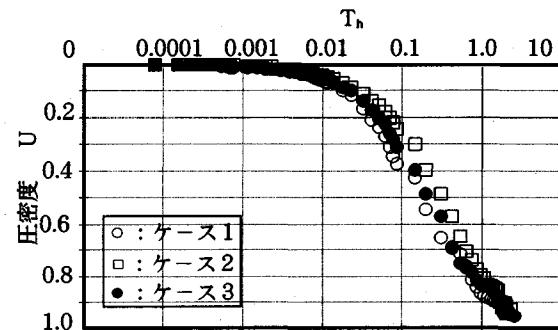


図-18 (b) 圧密度～時間係数の関係 (圧密圧力 0.8~1.6 kgf/cm² (78.5~157.0 kPa))

の、試料の透水係数は $k=1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-7}$ cm/sec 程度であり、前述したフィルターにマッドケーキを堆積させた場合とほぼ同値の値である。

したがって、フィルター表面の全域にマッドケーキを形成させると、その層厚がかなり薄くてもその透水性はマッドケーキ自体の透水性に依存する。

c) 試験結果および考察

典型的な試験結果例として、鉛直ひずみ～経過時間の関係を図-17に示す(圧密圧力 $0.4\sim0.8\text{ kgf/cm}^2$ (39.2~78.5 kPa)の場合)。また、図-18(a)~(c)にはこれらの結果より求めた圧密度 U と時間係数 T_h との関係を示す。

圧密度 U と時間係数 T_b は、下式により求めた。

$$T_h = \frac{C_h \cdot t}{d_{c^2}} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

ここに、 ε_{\max} ：双曲線法によって想定される最終鉛直ひずみ

ϵ : 刻々の鉛直ひずみ

de : 有效径 ($=30\text{ cm}$)

C_h : 水平方向の圧密係数

t：時間

なお、ここでは標準圧密試験結果より、 $C_v = C_h = 100$

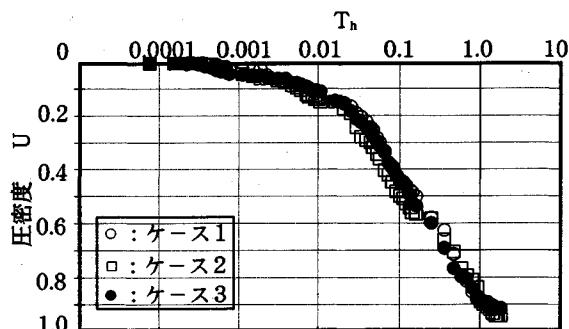


図-18 (a) 圧密度～時間係数の関係 (圧密圧力 0.4~0.8 kgf/cm² (39.2~78.5 kPa))

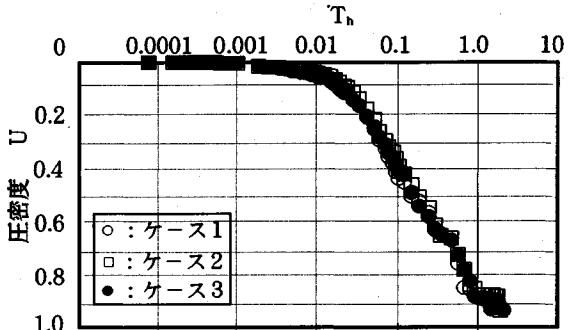


図-18 (c) 圧密度～時間係数の関係 (圧密圧力 1.6~3.2 kgf/cm² (157.0~313.9 kPa))

(cm²/day) として算定した.

図-18 (a)～(c) に示すように、圧密度～時間係数の関係において、マッドケーキを挿入したケース1, 2と挿入していないケース3との違いはほとんど認められない。

これは、浮遊しているヘドロを巻き込んで形成されたマッドケーキ層の透水係数は、表-3および図-16に示すように周辺地盤のそれよりも大きく（正規圧密領域では約2オーダー程度大きい）、マッドケーキが形成されたとしても圧密の進行にはほとんど影響を及ぼさないと考えられる。

なお、今回の実験においては、マッドケーキの層厚が0.44~0.88 mmと比較的薄い場合を対象としているが、鉛直ドレーンと水平ドレーンとの接触面積全域にマッドケーキを形成している。しかし、水平ドレーン材の構造（エンボス構造）を考慮すれば、エンボス構造の突起部にはマッドケーキが形成されにくく、フィルター表面の接触面積全域にマッドケーキが形成されることはないものと想定される。

したがって、実際にマッドケーキが形成される過程では、通水経路は確保されている可能性が高く、敷設時のヘドロの巻き込み、あるいは長期間のうちにマッドケーキが多少形成されたとしてもその影響はほとんどないものと推察される。ただし、マッドケーキがどの程度形成

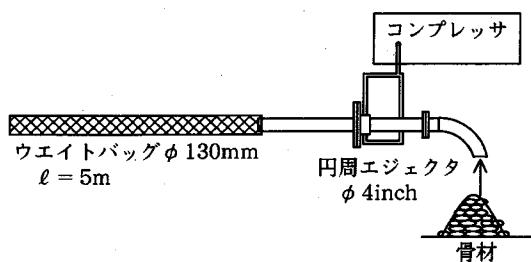


図-19 ウェイトバッグを充填するための圧送装置

されるかについては今後の課題である。

d) まとめ

水平ドレーンと鉛直ドレーンとの接触部に形成される恐れのあるマッドケーキの影響を検討するために、マッドケーキをフィルター表面にあらかじめ形成して大型圧密試験を行った。

その結果、マッドケーキの層厚が 0.44~0.88 mm と比較的薄い場合を対象としているが、マッドケーキ層が形成されても、圧密の進行度合いに及ぼす影響はほとんど見られない。

7. 施工性に関する検討

(1) ウェイトバッグの骨材充填方法

ウェイトバッグの充填作業を材料圧送装置によって効率よく行えるかどうかの確認とウェイトバッグの目合いを決定するために施工実験を行った。

a) 圧送装置

ウェイトバッグを充填するための材料圧送装置は、円周エジェクタとその周辺装置とからなる。その概要を図-19に示す。

円周エジェクタは、高圧空気によって材料を送り出す圧送方法の一種である。従来の圧送方法と異なる点は、図-20に示すように管内周に沿って長手方向に空気を流すことによって、管中心付近に負圧が発生し、骨材の吸引、運搬が行えることにある。

円周エジェクタは従来の圧送方法に比べ、以下に示すメリットがある。

- ① 装置が非常にコンパクトである。
- ② 材料が管中心を通るため、装置の磨耗がない。
- ③ 管内に突き物がないため、管径 1/2 程度の大きさの材料を送ることができる。

b) 実験方法

充填する材料を 3 種類選定し、それぞれ乾燥・湿潤状態にして円周エジェクタを用いて圧送した。ウェイトバッグは長さ 5 m、直径 130 mm のナイロン製のものを用い、目合は 1.0 と 0.7 mm のものを用いた。圧送空気が砂を先端部まで運搬する途中でエア抜けや先端部のエアの閉塞を起こさないようなウェイトバッグの目合と砂の粒径を決定し、そのときの作業時間について検討

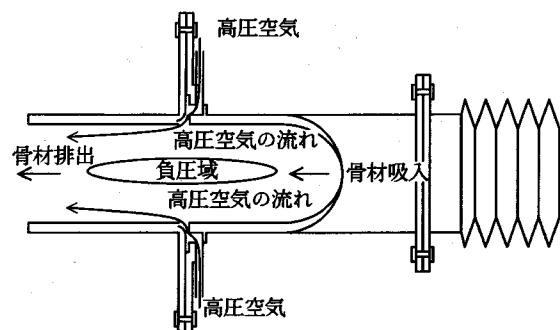


図-20 円周エジェクタの機構

表-5 骨材の選定と実験結果

		山砂		川砂		碎石	
ウ エ イ ト バ ッ グ	目合い	湿潤	乾燥	湿潤	乾燥	湿潤	乾燥
1.0mm		△ (10以上)	△ (10以上)	△ (10以上)	○ (3.0)	○ (3.0)	◎ (2.5)
0.7mm		△ (10以上)	△ (10以上)	△ (10以上)	○ (3.0)	◎ (2.5)	◎ (2.5)

() 内の値は充填時間

単位は min

注) △: 問題あり

○: やや時間がかかる

した。

c) 実験結果

実験結果を表-5 に示す。表-5 より、ウェイトバッグの目合は 0.7 mm で、骨材は碎石を用いた結果が良く、1 本に詰める時間も 2 分 30 秒であった。川砂、山砂においては先端部にある程度の砂が溜った段階で袋体に目詰まりが起こり、円周エジェクタ吐き出し口でエア抜けが生じたために碎石に比べかなりの時間が掛かってしまった。したがって、ウェイトバッグとしては直径 130 mm、目合は 0.7 mm のナイロン製のものを、またウェイト材は、碎石を用いることとした。

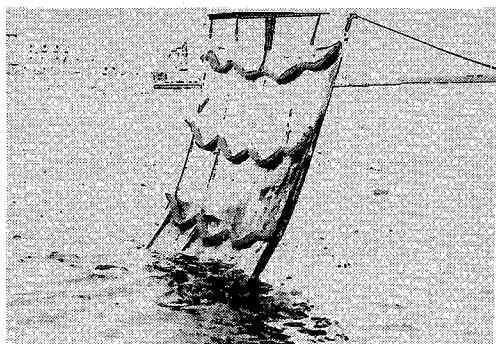
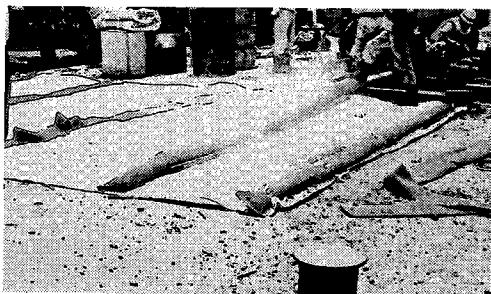
なお、今回の実験においてはコンプレッサも 140 馬力のものを用いたが、100 馬力程度で充分であると考えられる。

(2) 海底敷設時の安定性実験

敷設後のパブリックシードレーンの浮上りに対するウェイトバッグの取り付け間隔および敷設後のウェイト直下の沈み込みがどの程度生じるのか検討するため海上敷設実験を行った。

a) 実験方法

長さ 6 m、幅 5 m のパブリックシードレーンに直径 130 mm のウェイトバッグを 2 m 間隔に取り付け、円周エジェクタを用いて碎石を充填した。その後、クレーンにより海底面に敷設した。敷設後、ダイバーによって敷設状況を確認した。円周エジェクタによるウェイトバッグ充填状況を写真-2 に、またパブリックシードレーン



の海底敷設施工実験状況を写真-3に示す。

b) 実験結果

海底に敷設後、ダイバーによって確認した結果、パブリックシードレーンはカーペットを敷いたように平面的になり、曲がることなく、また、ウェイトバッグの取り付け部も局所的に沈下することなく敷設されていることが確認された。そこで、ウェイトバッグの間隔については2mで決定することとした。

(3) まとめ

今回の実験は、主としてウェイトバッグの施工、および間隔についての確認実験である。ウェイトバッグの骨材充填作業は、碎石を用いれば2分30秒で完了することにより充填時間としては、問題がないことが確認できた。また、敷設に関しても直径130mmのウェイトバッグを2メートル間隔で取り付けることによってパブリックシードレーンは、局所的に沈下することなく、カーペットを敷いたように平面的に敷設することが可能であることが確認された。

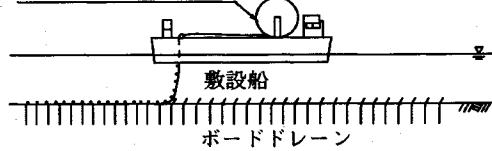
8. 敷設作業船について

(1) 小規模敷設の場合

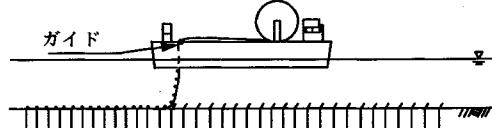
敷設面積が小規模の場合、専用敷設船による敷設は経済的に難しいことから、クレーン台船による敷設作業となろう。幅5メートル、長さ数メートルのパブリックシードレーンを鋼材で組み立てたフレームに取り付け、台船

①敷設船を所定の位置に決める。

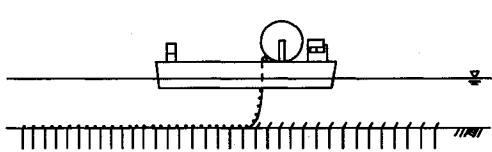
パブリックシードレーンドラム



②パブリックシードレーンに取付けられた
ウェイトバックに碎石充填を行なう。



③ガイドを移動することにより、敷設する。



④1ストローク分船を前進させながら、ガイドによって
パブリックシードレーンを引き出す。

再び①の作業を繰返すことにより
確実な 敷設が行なえる。

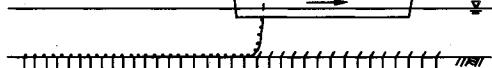


図-21 敷設作業概念図

位置決め後、クレーンにより敷設する。敷設後チャッカーによりフレームとパブリックシードレーンは切り離され、フレームのみを吊り上げる。これらの作業をパブリックシードレーンがラップするように繰返し敷設する。

(2) 大規模敷設の場合

敷設面積が大規模の場合専用敷設船によって連続敷設作業を行うことが重要となってくる。そこで連続敷設可能な敷設作業船について概略検討した。

敷設したシードレーン間に隙間が生じると排水に支障をきたすことから、正確に作業船を位置決めし、パブリックシードレーンを順次繰り出していく方式を採用する。作業船の位置決めについてはウィンチを用いる方式がかなりの精度で実績があるので、今回もこの方式を採用する。

また、極めて大規模な面積を対象とする場合を除いて、ウェイトバッグの骨材は作業船上で充填することになるので、容易にパブリックシードレーンを陸送できることを考えれば、幅5m長さ200mのロール巻きが適当である。

以上の基本的な考えに基づく敷設作業手順を図-21に示す。

9. 結論

海底敷設用の新しい人工水平排水材工法の開発に当たり、室内圧密実験および原位置海底敷設実験を行った結果、以下のことが分かった。

- ① 水平排水材と鉛直ドレーンとの接触面に形成される恐れのあるマッドケーキの影響については、圧密荷重が小さくしかも圧密初期段階では圧密の進行がやや遅れる傾向は認められるものの、その後の進行にはほとんど影響を及ぼさない。
- ② ウエイトバックを充填するための圧送装置は、円周エジェクタを用いると効率よくできる。また、ウェイトバックの目合いを 0.7 mm、骨材は碎石を用いると、途中でのエア抜けや先端部での閉塞を起こさない。
- ③ 海底にパブリックシードレーンを敷設した後、ダイバーによって敷設状況を確認した結果、ウェイトバックとして直径 130 mm のナイロン製のものを 2 m 間隔で取り付けると、カーペットを敷いたように平面的になり、曲がることなく敷設することができる。また、ウェイドバックの取り付け部も局所的に沈下することはない。

10. 今後の課題

今回実施した実験より、当初問題とされたマッドケーキの影響に関する懸念と、ウェイトバッグに関連したいくつかの問題については、実用上なんら支障がないことが確認された。

今後、実施工を想定した場合、新たな課題として、

- ① 精度良く敷設すること
 - ② 効率的に敷設すること
 - ③ マッドケーキの堆積状況
- などが挙げられる。

①、②の問題に対してはパブリックシードレーンを複数列敷設する場合に、そのオーバーラップ長をどの程度にするのかが問題であり、その敷設精度および施工効率が大きな課題となる。しかし、この問題については前述した専用敷設船によって解決されると考えている。

また、③の問題に対しては鉛直ドレーンと帯状水平排水材を組み合わせた工法は、陸上の大规模盛土工事に適用され、その排水能力も長期的に減少することがないと確認されている。さらに、マッドケーキの影響もほとんど確認されない程度であることが判明しているので、海上の場合でもマッドケーキの影響は比較的少ないと推察される。

しかし、海底地盤に適用した場合には、産業廃棄物などの投棄によって水平排水材が破損するなど安全に対する問題や排水性能などが長期的に変化しないのかを確認する必要がある。そのためには長期的な観測を行って、詳細に分析する必要もある。そのためにも実証実験を行ってこれらのデータを分析し、解決していくなくてはならないであろう。

『謝辞』 本研究は、旭化成工業(株)、(株)古川組、丸紅建設機械販売(株)、(株)メックスの共同研究である。また、本実験を行うにあたり、京都大学嘉門雅史教授に終始適切な助言を頂きました。末筆ながら感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 財団法人土木研究センター：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年2月。
- 2) 嘉門雅史・大橋康廣・辻芳伸・福森郁彦・菊田宏：帯状排水材の排水効果とその設計法について、第1回ジオテキスタイルシンポジウム, pp. 95~100, 1986年。
- 3) 大橋康廣・水原芳行・嘉門雅史：ジオテキスタイルを用いた水平排水材の排水効果に関する研究(その1), 土木学会第41回年次学術講演会, pp. 161~162, 1986年。
- 4) 岡本正広・村松栄二郎・今井五郎・プラダンテージB.S.・菊田宏：水平ドレーン材におけるマッドケーキの影響、第27回土質工学研究発表会, pp. 2199~2200, 1992。
- 5) Masashi Kamon, Tej B. S. Pradhan, Seiji Suwa : Evaluation of Design Factors of Prefabricated Band-Shaped Drains, International Conference on Geotechnical Engineering for Coastal Development-Theory and Practice on Soft Ground-, pp.392~334, 1991.

(1993.4.8受付)

EXPERIMENTAL STUDY ON A BAND-SHAPED HORIZONTAL DRAIN ON THE SEABED

Masahiro OKAMOTO, Yukio OHAMI, Tej B. S. PRADHAN and Goro IMAI

In order to evaluate the applicability of a new band-shaped horizontal drain sandwiches by two types of geotextile on the seabed, a series of large scale laboratory consolidation tests and field tests were performed. Followings are the findings from the present study. Mud cake which may be accumulated between vertical and horizontal drain has almost no influence on consolidation efficiency. And also field tests using weight bags to set the horizontal drain on the seabed yield good results.