

# 袋詰粘土を用いた吸出防止工法「PACLAY」の開発 —現地実大実験—

白上勝章 新舎博  
\*田島昌則 \*葛原徹  
\*\*岩崎勉 \*\*北川泰士

## 要旨

ケーソンなどの重力式港湾構造物の護岸では、護岸背面に防砂シートなどを敷設して埋立土砂の流出を防止する。五洋建設では、1993年度から大水深域での施工に対応できる埋立土砂の吸出防止工法の開発を行ってきた。

本工法は、防砂シートを敷設する代りに、袋詰粘土（固化材を混合した高含水比の粘土を袋に注入したもの。以下、袋体と呼ぶ）を捨石マウンドに沿って海底から上方へと多段に積み上げ、袋体層を形成して土砂の流出を防止するものである。1993年度には、室内模型実験により吸出防止効果の定量的評価を行い、本工法が吸出防止対策として有効であるとの結果を得た<sup>1) 2)</sup>。

本報では、袋体層の形成および施工方法の効率化の確認を目的として、1994年度に実施した現地実大実験の結果について報告する。現地における袋体層の形成状況は良好であり、本施工システムは実工事に直ちに適用できることを確認した。

## 1. まえがき

重力式構造物の護岸および岸壁においては、通常、ブロック相互間や基礎捨石の間隙などからの埋立土砂の流出を防止する目的で、護岸背面の捨石マウンド法面上に防砂シート等を設置する。

この防砂シートの敷設は潜水士に頼る部分が多いが、最近の埋立工事にみられるような水深が20mを超える大水深域での施工においては、潜水士の作業に時間的な制約を受けるため、工期の増大、潜水士の安全性への危惧ならびに防砂シート敷設の不確実性などの問題が生じると考えられる。

そこで、大水深・省力化施工に対応できる工法として袋詰粘土を用いた吸出防止工法「PACLAY」を開発した。本工法は、土砂の吸出防止だけでなく、近年の建設工事における建設発生土の処分問題に対しても、建設発生土の有効利用を図ることができるなどの特徴があるものである。

## 2. 工法の概要

袋詰粘土による埋立土砂の吸出防止工法「PACLAY」を要約すると、次のようになる。

『固化材を混合したスラリー状態の粘土を、幅と長さが2m程度の十分な強度をもつ袋に注入して袋体を作製

しこの袋体を捨石マウンドの法面部に沿って、海底から上に多段に積重ねていき、袋体層を形成する。この袋体層の形成により捨石マウンドの法面部が、袋体層で被覆された状態になり、その結果、埋立土砂の吸出現象が完全に防止できることになる』。

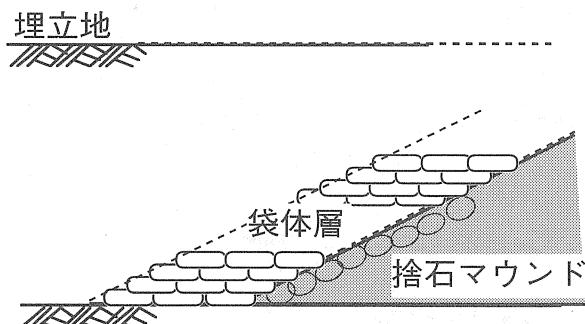


図-1 工法概念図

また、特徴としては、次のようである。

- (1)航路浚渫土、地盤改良の盛上がり土などの建設発生土を有効に利用することができる。
- (2)完全機械化施工であり、袋体の積重ねに伴う水中での人的作業は不要で、安全に施工を行うことができる。
- (3)各種計測センサーとパソコン管理により、施工管理をスムーズにかつ確実な施工を行うことができる。

\*土木本部機械部 \*\*横浜支店

- (4)袋の密封効果により、濁りがほとんど発生しない。  
なお、本報で用いる主な用語の説明を以下に示す。
- ・スラリー：所定含水比に調整したスラリー状態の粘土。
  - ・固化材混合スラリー、混合スラリー：スラリー状態の粘土に所定量の固化材を混合して、十分に攪拌したもの。
  - ・固化材混合土、混合土：固化材混合スラリーが硬化した状態のもの。
  - ・漏出防止層：袋体を積重ねて、捨石マウンド法面部を被覆する層のこと。袋体層とも呼ぶ。
  - ・パレット：袋体を海底に降下させる装置。中央部で開閉する。

### 3. 「PACLAY」の設計

#### 3. 1 埋立土砂の吸出現象

- 一般に言われている「埋立土砂の吸出現象」は、
- (1)埋立地の内水位と護岸前面の潮位との差によって発生する埋立地内の浸透流で、埋立土砂が流れ出す場合
  - (2)護岸に来襲する波浪によって発生する水流により、埋立土に負圧が作用して、埋立土砂が基礎捨石の間隙から吸い出される場合

(3)埋立土と基礎捨石との粒径の相違に起因するもので、粒径の小さい埋立土の土粒子が土被り荷重によって、基礎捨石の間隙を通過して押し出される場合  
以上の場合に発生すると考えられている。図-2に説明図を示す。

#### 3. 2 設計

「PACLAY」の設計フローを図-3に示す。設計を行うに当たっては、まず利用する土の材料特性を求める必要がある。それらは次のようにある。

- ①土の物理試験
- ②配合試験
- ③混合土の強度経時試験
- ④混合土の圧密試験

土の物理試験は材料の基本特性であるので、最初に行う。配合試験では初期含水比を液性限界の1.5~3倍に変化させた粘土に50kg/m<sup>3</sup>~150kg/m<sup>3</sup>の割合で固化材を混合して固化材混合スラリーを作製し、フロー試験と混合土（材齢28日）の一軸圧縮試験を行う。これらの試験は、固化材混合スラリーを袋に注入する際に必要な所定の流動性を確保するためと、設計での長期強度を確保するためである。通常、必要なフロー値と材齢28日の圧縮強度（例）は次のようにある。

●設計基準値：固化材混合スラリーの目標フロー値：  
170mm

●固化材混合土の材齢28日圧縮強度（例）：

$$q_u = 3 \text{ kgf/cm}^2 \{294 \text{ kPa}\} \quad (\text{設計})$$

設計配合が決まると、次に固化材混合土の強度経時試験を行う。この目的は、現地で袋体を捨石マウンドの法面上に積む際に袋体層自体の安定性を検証するためである。安定性は各段数の袋体とも、それぞれの経過時間に対応した強度を用いて、円形すべり面法によって検証する。また、混合土の圧密試験は袋体層の沈下を求めるために実施する。

「PACLAY」の吸出防止の基本的考え方とは、流動性の非常に高い固化材混合スラリーを袋の満杯の60%程度まで注入して積み重ね、土砂の吸出が生じるような間隙を全く無くすことにある。高流動性スラリーの利用と注入率60%は、下部の凹凸と袋どうしのなじみを考慮して決めたものである。したがって、袋体の設置時点において

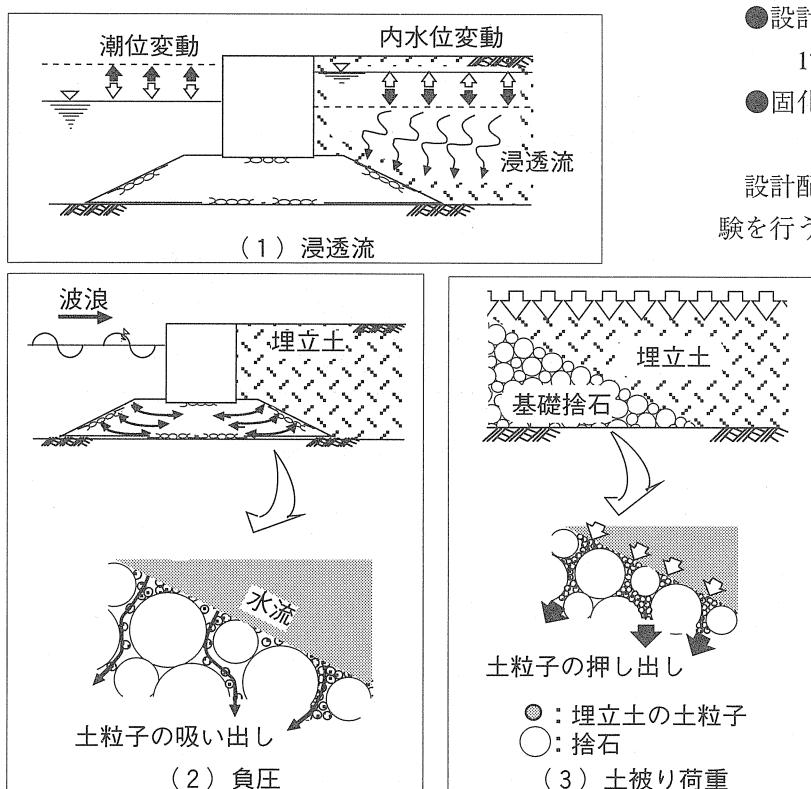


図-2 埋立土砂の吸出現象説明図

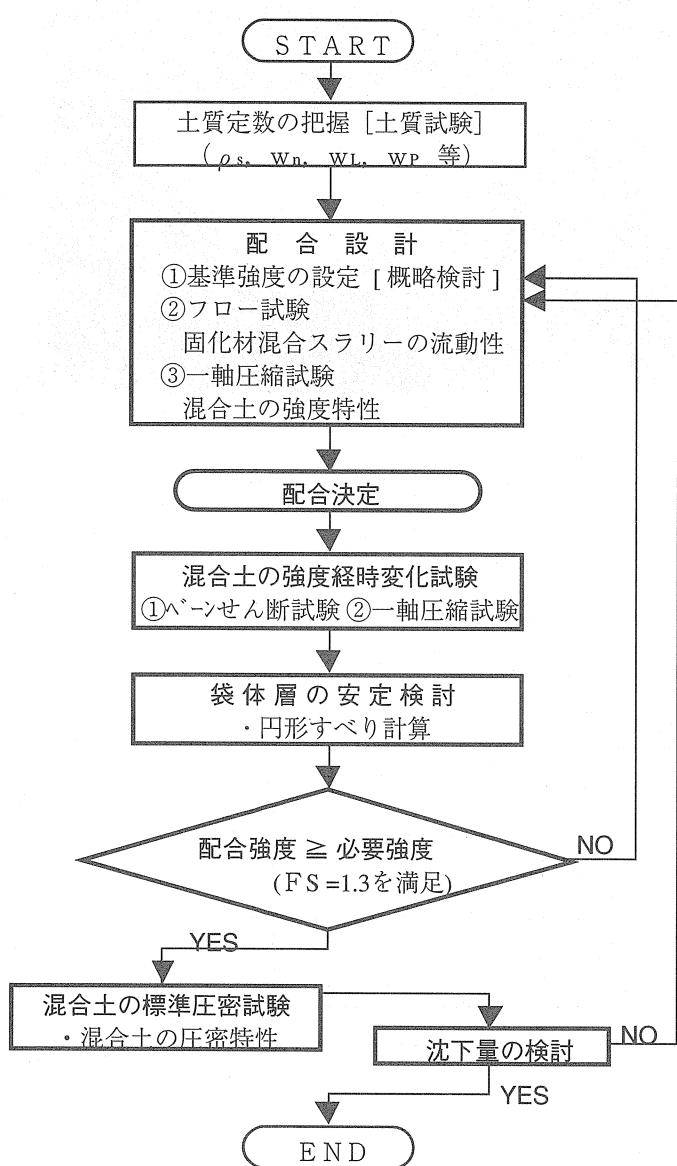


図-3 設計フロー

は強度が非常に低いので、袋体層の安定性の検討が必要であり、また、固化材混合土の強度が  $3\text{kgf/cm}^2$  ( $294\text{kPa}$ ) 程度と硬質土に近いので、埋立荷重に対して沈下量の検討が必要になるのである。

#### 4. 施工システム

##### 4. 1 施工フロー

図-4 に海上施工の場合における施工フローを示す。本工法の施工手順の概要は、以下のとおりとなる。

###### (1)含水比の調整

粘土の含水比を液性限界の3倍程度に調整し、スラリー状態にする。

###### (2)固化材混合スラリーの製造

粘土のスラリーに所定量の固化材を混合して十分に攪拌する。注入量は袋の満杯量に対して約60%である。また、固化材はスラリー 1  $\text{m}^3$  当り 75~100kg を標準とする。

###### (3)固化材混合スラリーの注入 (写真-1参照)

固化材混合スラリーを袋に注入し、袋体を作製する。固化材混合土の一軸圧縮強度は、材齢28日で  $1\sim10\text{kgf/cm}^2$  ( $98\sim980\text{kPa}$ ) 程度である。

###### (4)袋体の移動・吊上げ・降下 (写真-2参照)

袋体を載せたパレットをクレーン位置まで移動させ、袋体をパレットごと吊上げて、所定の深度まで降下させる。

###### (5)漏出防止層の形成

海底部から約 3 m 上方の位置にくると、パレットの底部中央を開放して、袋体を海底の所定の位置へ静かに降下させ、袋体層を形成する。

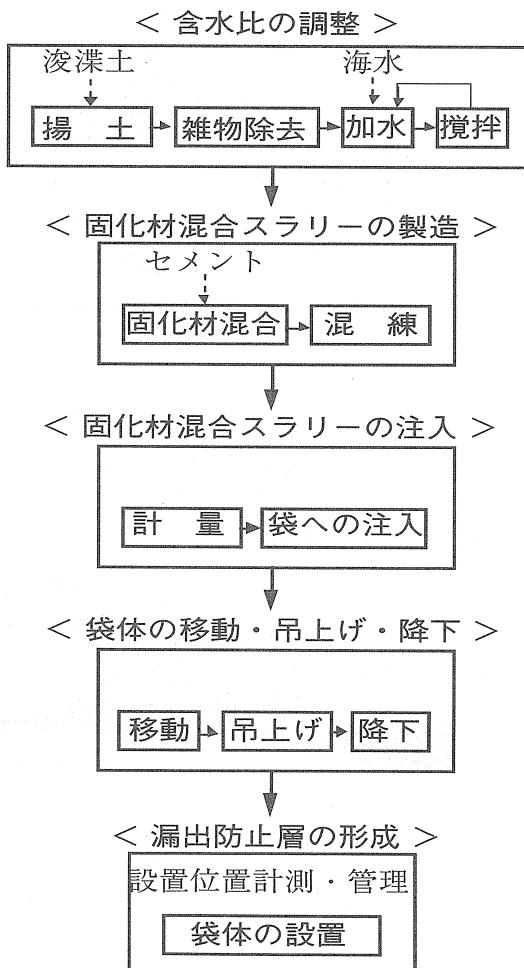


図-4 施工フロー (海上施工)

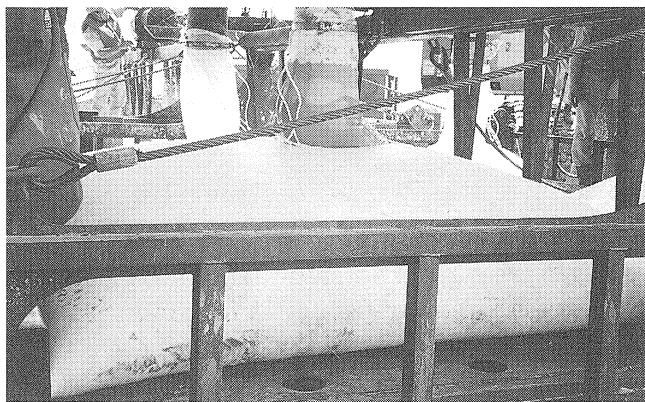


写真-1 固化材混合スラリー注入作業

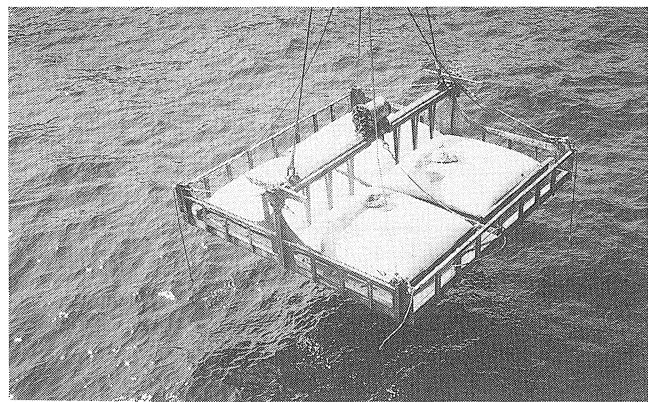


写真-2 パレット

## 4.2 施工システム

施工システムを図-5に、計測システムを図-6にそれぞれ示す。また、表-1、表-2に海上施工における

使用船舶一覧および袋詰プラント台船の仕様を示す。

表-1 使用船舶一覧

名 称	品種寸法	数量	単位	摘要
プラント台船	60m <sup>3</sup> /hr、50×18×2.75m	1	隻	
揚 鐨 船	鋼D 15t吊	1	〃	
非航式グラブ浚渫船	鋼2.0m <sup>3</sup>	1	〃	袋詰用土砂の採取
揚 鐨 船	鋼D 3t吊	1	〃	〃
土 運 船	鋼300m <sup>3</sup> 積・密閉型	2	〃	同運搬・待機
引 船	鋼D500 PS	1	〃	〃

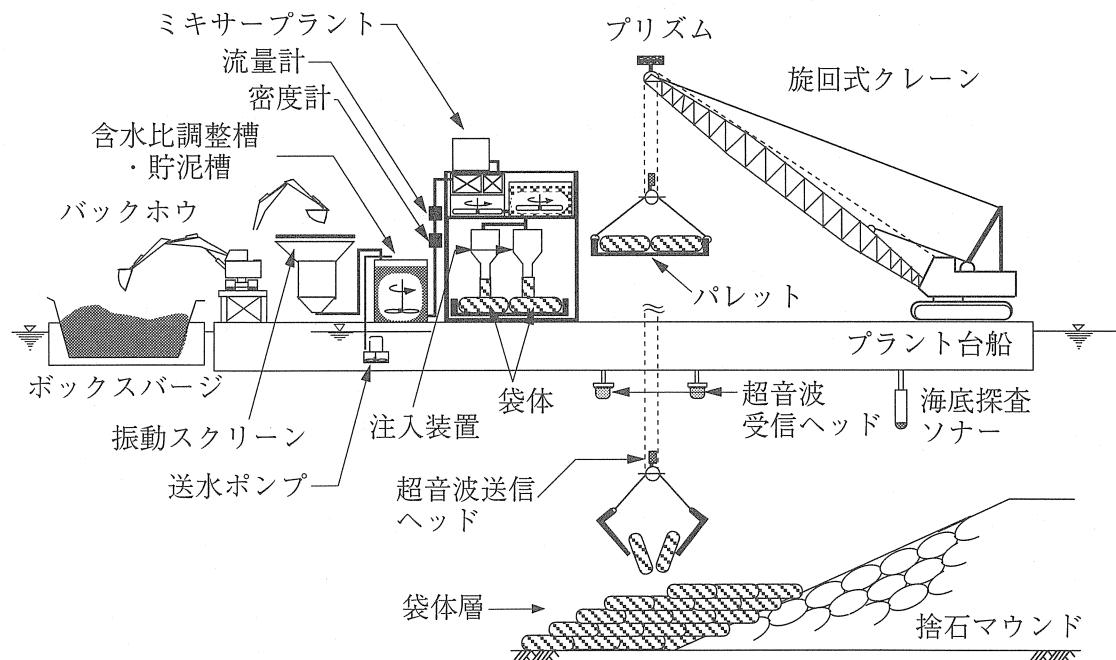


図-5 施工システム (海上施工の場合)

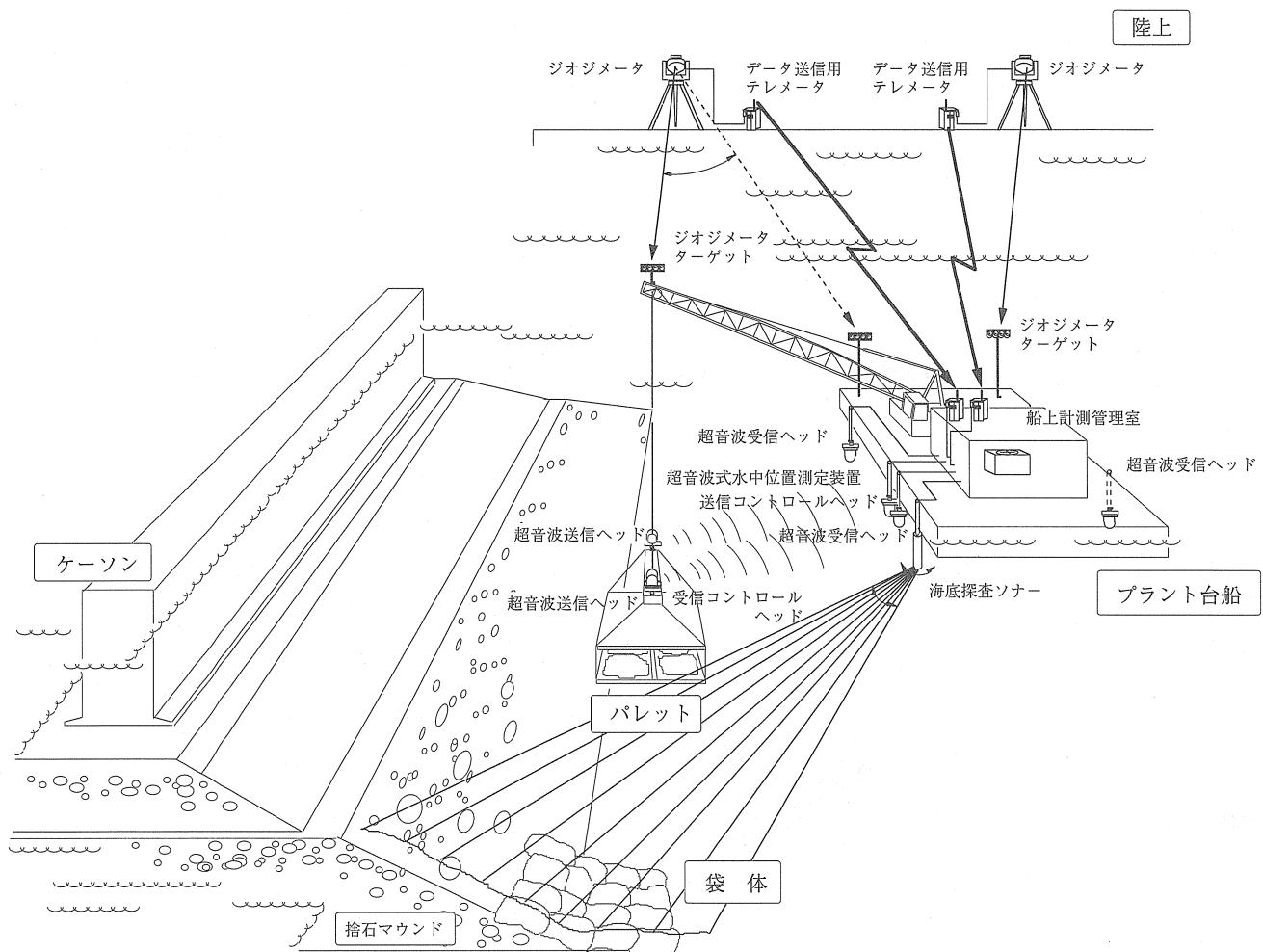


図-6 計測システム

## 5. 実験概要

### 5. 1 目的

現地実大実験では、表-3に示す項目についての検証を目的とした。それぞれの項目は、当初の目標をほぼ達成し、良好な結果を得ている。本報では、袋体層の形成

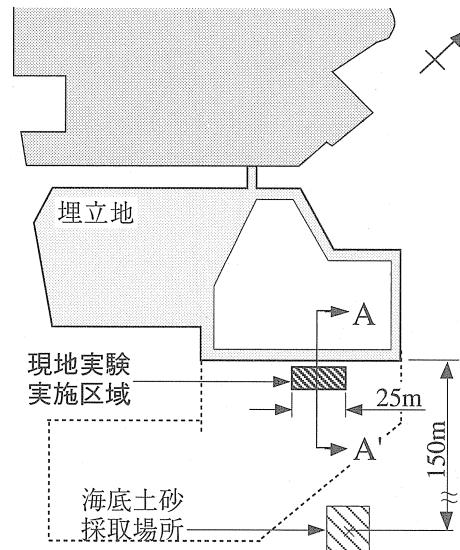
状況（出来形形状）の確認について述べる。

表-3 現地実験の検討項目

項目	内 容
袋体層の形成	・袋体層の出来形形状の確認
品質・出来形管理機器の性能	各管理機器の性能確認 ・スラリー管理 ・固化材混合量の管理 ・出来形計測システム など
作業効率の把握	各作業の効率 ・固化材混合スラリーの生成 ・袋への注入作業 ・袋体の海底への設置作業 など
袋体に用いる袋の選定	・不織布、織布の選定
環境への影響調査	施工前、施工中、施工後に調査 ・水素イオン濃度 ・濁度 ・浮遊物質量 (SS)

表-2 プラント台船の仕様

項目	仕 様	摘要
台 船	50.0 L×18.0 B×2.75 H (m)	
バックホウ	0.7m <sup>3</sup> × 1台	土運船からの揚土用
土砂受入ホッパー	10.0m <sup>3</sup>	
スラリー製造能力	60m <sup>3</sup> /hr (30m <sup>3</sup> /hr × 2台)	最大ミキサー能力
旋回式クレーン	100t 吊 × 1台	袋体吊上げ・投入用
袋体投入能力	32袋体/hr (平均40m <sup>3</sup> /hr)	平均水深30m時
固化材(セメント)貯留量	30t × 2台	
発電容量	450kVA(200V) × 1台 100kVA(100V) × 1台	



(a) 平面図

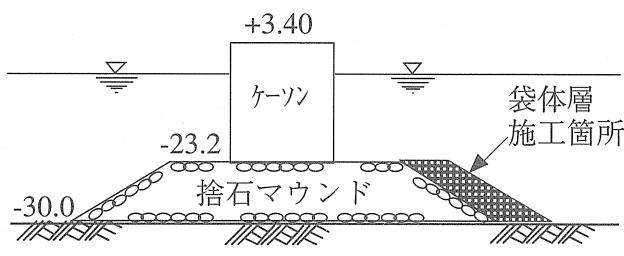


図-7 実験区域概略図

## 5.2 実験条件

## (1) 現地条件

実験区域の概要を図-7に示す。実験は、埋立工事の行われている区域近傍で実施した。実験の期間および現地条件は、表-4に示すとおりである。袋体の施工数量は約750個（袋の大きさ；幅と長さが2m）で、1袋体への固化材混合スラリーの充填率は、袋の満杯量に対して55～63%（充填量；1.10～1.25m<sup>3</sup>）の間で設定した。なお、袋の満杯量<sup>3)</sup>は次式により算定した。

$$V_{\text{limit}} = 0.247 \cdot L_0 \cdot B_0^2$$

ここに、 $V_{\text{limit}}$ ：袋の満杯量、 $L_0$ ：袋の長さ、 $B_0$ ：袋の幅

また、図-8に袋体層施工のイメージ図を示す。

表-4 実験期間・現地条件

1. 実験期間	1994年8月（約3週間）	
2. 袋体層施工箇所	既設堤体の前面外港側	
3. 海底平均水深		-30.0m
4. 捨石マウンド天端		-23.2m
5. 施工延長	既設堤体に沿って、25m	
6. 袋体数量	・袋体数量 約750個 ・固化材混合土量 約860m <sup>3</sup>	

表-5 土質特性

試料	土粒子密度 $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	粒度					コンシステンシー特性		
		礫分 (%)	砂分 (%)	泥分 (%)	粘土分 (%)	最大粒径 (mm)	液性限界 $w_L$ (%)	塑性限界 $w_P$ (%)	塑性指数 $I_P$
海底表層土	2.614	0	3.5	33.4	63.1	2.0	114.5	38.3	76.2

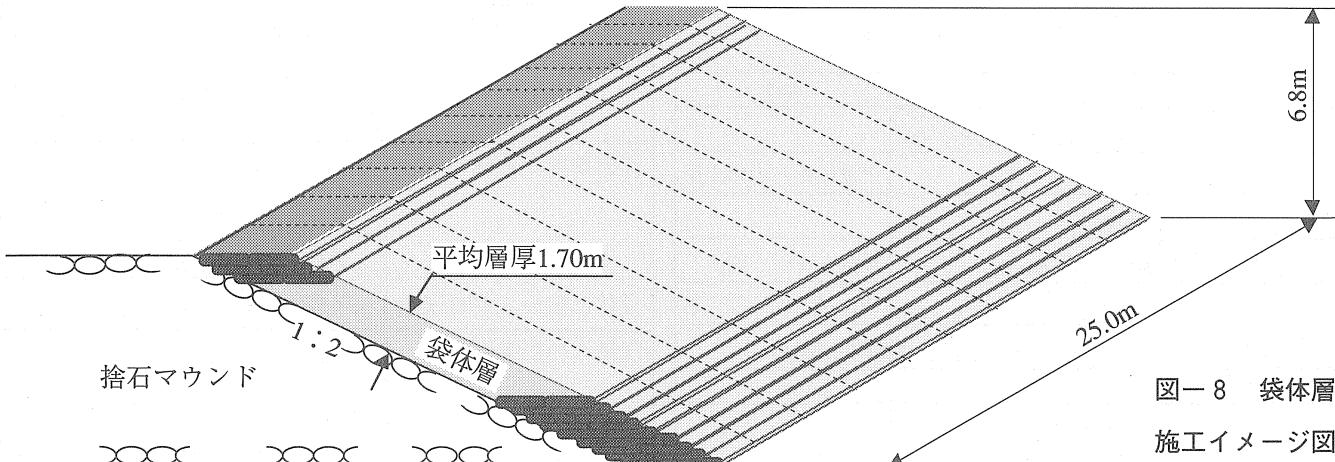
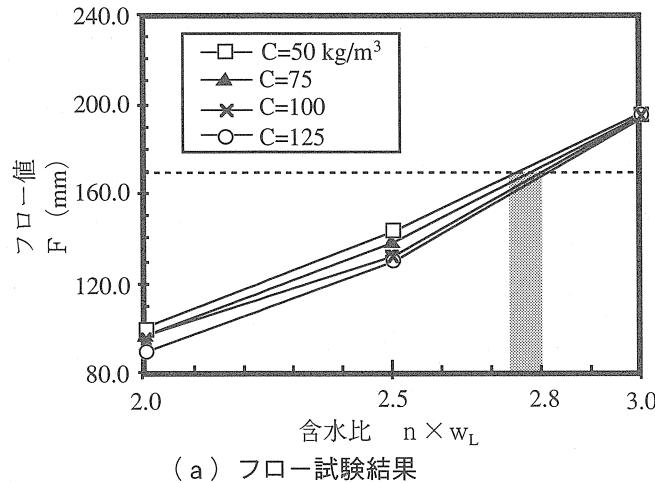
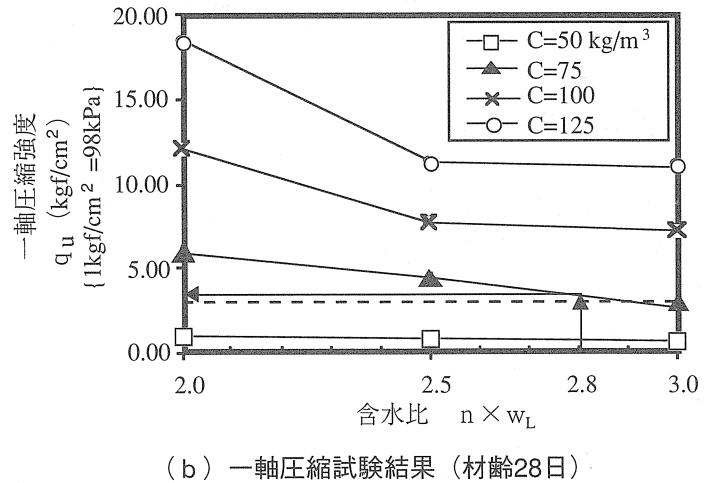


図-8 袋体層施工イメージ図



(a) フロー試験結果



(b) 一軸圧縮試験結果（材齢28日）

図-9 配合試験結果

## (2) 土質条件

実験に使用した現地採取土の土質特性を表-5に示す。また、配合試験結果を図-9に示す。

フロー試験は、混合スラリーをアクリル円筒(高さ8 cm×内径8 cm)に入れて、円筒を静かに引き上げ、混合スラリーの直交する2方向の平均の広がりを測定するものである。設計でのフロー値はセルフレベリングの確保

を目的として、 $F \geq 170\text{mm}^1)$ に設定した。

また、混合土の基準強度は一軸圧縮強度（材齢28日）で、 $q_u = 3\text{kgf/cm}^2$  {294kPa}に設定して配合試験を実施すると、配合は以下のとおりとなった。

○調整含水比； $2.8w_L$  (=約320%)

○固化材（セメント）混合量；スラリー1 m<sup>3</sup>当たり、75kgの混合

## 5. 3 袋体層の形成状況（出来形形状）の確認

1993年度実施した室内模型実験によると、袋体層によって捨石マウンド法面部が被覆されていれば、土砂の漏出が防止できることがわかっている。現地実験では、実大規模における袋体層の形成が可能であるのか、さらに袋体層の出来形形状はどうなるのかを調べた。なお、袋体の層厚は、室内模型実験の結果より、1.70mとしている。

### (1) 袋体層厚の計測

図-10に、袋体層厚の計測位置を示す。計測の要領は以下のとおりである。

(1)図に示すように、X-Y平面メッシュを設定する。

(2)メッシュの各交点で、袋体設置前の捨石マウンド断面を計測する。

(3)袋体層形成後、(2)と同様に袋体層断面を計測する。

### (2) 袋体層の形成状況

図-11に、袋体層厚計測結果（例）、表-6に袋体層厚計測結果一覧をそれぞれ示す。

計測結果一覧は、施工延長方向（X方向）～2 m毎の袋体層厚を示し、各測線毎に最小値、最大値および平均

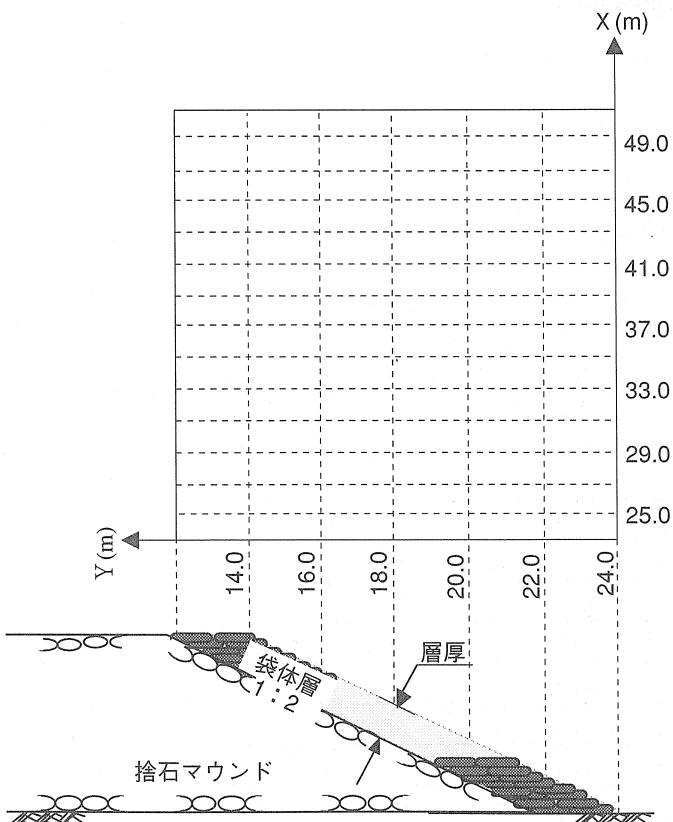


図-10 袋体層厚の計測位置

値を算出している。各測線において、袋体層は捨石マウンドの凹凸に沿う形で、平均層厚が約1.8mで形成されており良好な結果となった。このことから、本施工システムが実施工に対応できることが確認できた。実際の工事での施工は、層厚計測の後、基準値を下回る箇所には袋体を補充することを考えており、所定厚さの袋体層の形成に関して問題はない。

## 6.まとめ

今回の現地実験においての主な目的は、

- ・袋体層の形成状況の確認
- ・実施工に対応した施工システムの確立

であったが、袋体層の形成状況は良好であり、現地実大実験に採用した施工システムが実施工にそのまま適用できることが確認できた。

## 参考文献

- 1) 白上勝章・新舎博；袋詰粘土を用いた大水深護岸背面土砂の吸出防止工法の開発～室内模型実験～，五洋建設（株）技術研究所年報Vol.24, pp.1-12., 1994年8月.
- 2) 白上勝章・新舎博・小久保裕；袋詰粘土を利用した大水深護岸背面土砂の吸出防止工法の開発，土木学会第49回年次学術講演会概要集VI, 平成6年9月.
- 3) 袋詰脱水処理工法～大型袋の注水実験報告書；ハイグレードソイル研究会，袋詰脱水グループ，平成6年6月.

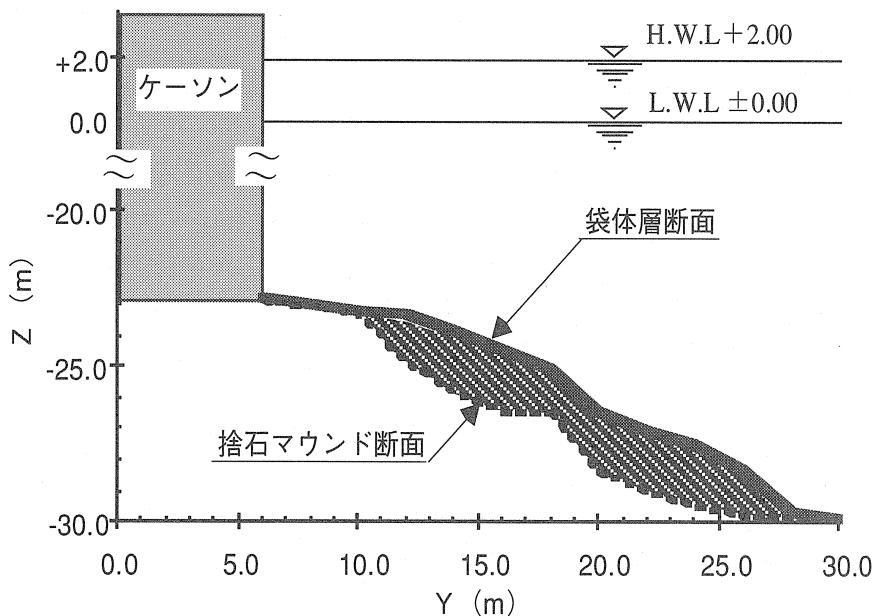


図-11 袋体層厚の計測結果（例）

表-6 袋体層厚の計測結果一覧

Y(m)	袋体層厚 (m)								
	14.0	16.0	18.0	20.0	22.0	24.0	Min.	Max.	
X(m)								Ave.	
25.0	1.80	1.70	1.80	2.00	1.90	1.30	1.30	2.00	1.75
27.0	1.80	1.70	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	2.00	1.75
29.0	1.90	1.90	1.10	1.90	1.90	1.90	1.10	1.90	1.77
31.0	2.00	1.80	1.50	1.50	2.00	1.70	1.50	2.00	1.75
33.0	1.70	1.90	2.00	2.30	2.00	1.10	1.10	2.30	1.83
35.0	2.00	1.60	1.70	2.50	2.10	1.40	1.40	2.50	1.88
37.0	2.00	1.60	1.70	3.00	2.00	1.50	1.50	3.00	1.97
39.0	1.90	2.40	2.30	2.40	2.60	1.90	1.90	2.60	2.25
41.0	1.80	2.00	1.80	1.70	1.50	1.50	1.50	2.00	1.72
43.0	2.00	1.50	1.60	2.00	1.70	1.30	1.30	2.00	1.68
45.0	1.10	1.80	1.90	1.70	1.50	1.20	1.10	1.90	1.53
47.0	1.60	2.00	1.90	2.00	1.70	1.60	1.60	2.00	1.80
49.0	1.10	1.90	2.30	2.10	1.90	1.60	1.10	2.30	1.82