

浚渫底泥土の大量水中打設工法の開発

A PLACING METHOD OF LARGE AMOUNT OF HARDENED BOTTOM MUD INTO WATER

畑野 俊久¹・岸口 孝文¹・後藤 道夫²・永瀬 恭一³・斉藤 稔⁴・木村 道広⁵
Toshihisa HATANO, Takahumi KISHIGUTI, Michio GOTO, Kyoichi NAGASE,
Minoru SAITOU and Michihiro KIMURA

¹工修 株式会社フジタ 土木本部 生産技術部 (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-8-10)

²株式会社フジタ 土木本部 機械部 (〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷5-8-10)

³正会員 博(工) 株式会社フジタ 技術センター 土木研究部 (〒243-0813 厚木市小野2025-1)

⁴国土総合建設株式会社 技術本部 船舶機材部 (〒108-8432 東京都港区海岸 3-8-15)

⁵株式会社小島組 大阪支店 技術部 (〒555-0025 大阪市西淀川区姫里1-24-5)

A method has been developed for pouring hardened bottom mud into water. This method can be used for large-scale projects at rates up to 1,000m³/hr without polluting the seawater at the site. When it was first used for hardening and placing work in actual ocean water, 160,000m³ was deposited in a short time at an average rate of 700m³/hr. Here, an outline and explanation of the advantages of this method are presented.

Next, it was proposed that this method be used as earth cover material to cover polluted sea bottoms, taking advantage of the fact that the hardened material can be poured without polluting the ocean. To verify that this use would be effective, elution testing of nutrient salts and the like from the hardened soft clay was performed. The results confirmed that it could be used effectively as earth cover material restricting the elution of nutrient salts from undredged material.

Key Words : *Placing work, Hardened treatment, No polluting, Bottom mud*

1. はじめに

港湾、湖沼などに堆積した軟泥土は、栄養塩を溶出するなど水質環境に悪影響を及ぼすため、各地でその対策と除去が行われている。また、航路確保や港湾整備でも大量の軟泥土が浚渫されている。近年、軟泥土の処分地は確保が難しくこれらの事業が停滞したり、処分地が確保できたとしても従来のような埋立て護岸内部に投入するのではなく、周辺海域の水質汚濁を引き起こさないように、海中に処分するような例が多くなっている。

一方、海上空港などの大規模な埋立て事業では、これまで大量の山材などを利用していたが、資源の枯渇や供給元となる山地の荒廃など環境問題により良好な埋立て材の確保が困難な場合が多くなってきており、浚渫した軟泥土を固化処理して利用する例が見られる。

従来、このような固化処理土を利用した埋立ての際には、水上から直接投入する機会が多く、固化材のセメントから浮遊するアルカリ分を処理する必要があった。そのため護岸を建設して海域を閉鎖して、処理土投入に

よって溢れたアルカリ分を含んだ海水を中和する設備が必要で事業費を増大させている。一方、固化処理土を汚濁を起こさずに海中へ打設する工法が開発され、すでに多くの実施が行われているが¹⁾、汚濁を防ぐためにはいくつかの制約があり大容量の施工能力を確保することが困難であり経済性などの課題があった。

そこで、新たに最大1,000m³/hrの大量施工が行なえる工法開発し、実海域での固化処理土打設工事に投入して、短期間で160,000m³の打設を行うことができた。時間あたりの施工量は平均で700m³/hrを実現したが、この間海域の汚染などの問題を引起こすことはなかった。本報告は、まずこの工法の概要とその優位性を説明する。

また、海域を汚染せずに固化処理土を打設できるという特徴を生かし、汚染した海域の覆土材として、底泥から溶出する栄養塩の抑制に利用できれば、更なる有効性を持たせることが可能と考えた。そこで、固化処理土からの栄養塩の溶出試験を行ったところ、栄養塩の溶出を抑制する覆土材として有効なことが確認できたので報告する。

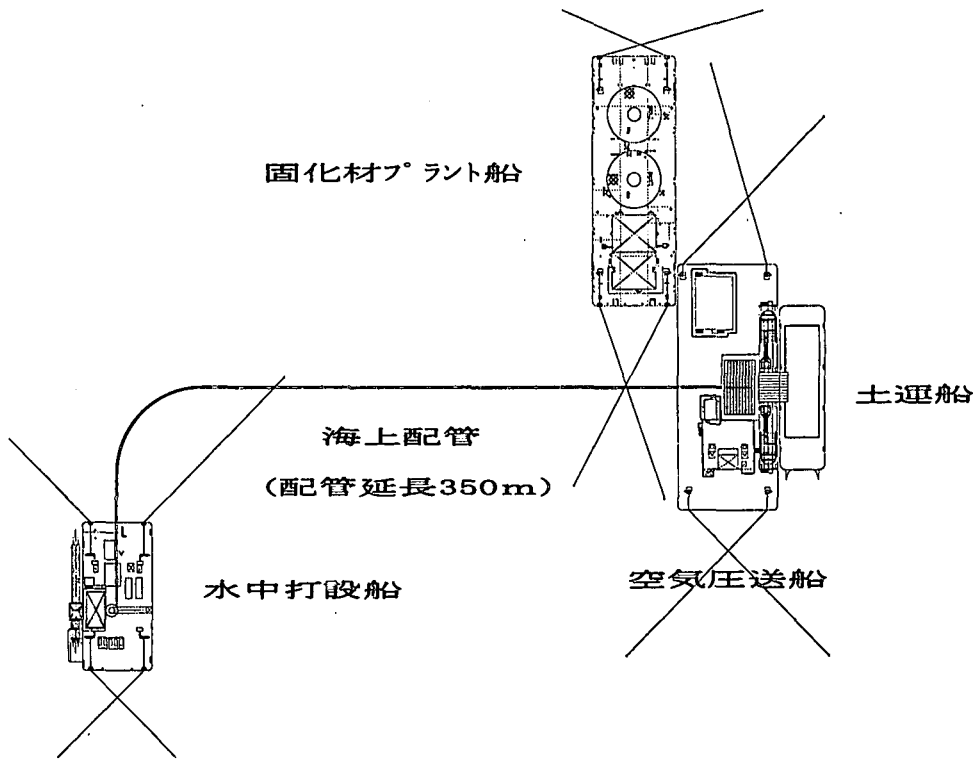


図-1 船団構成図

2. 工法の概要

本工法は、効率的に固化処理土を打設することを第1の目標に、既に $1,000\text{m}^3/\text{hr}$ の供給が可能な管中混合方式²⁾の空気圧送船と固化材プラント船の基幹船団と、大量の固化処理土を打設できる水中打設船との組み合わせによって構成されている(図-1参照)。これらは、海上配管によって繋がれており表-1に特長を示すように、水域環境を守りながら最大 $1,000\text{m}^3/\text{hr}$ の施工が可能な工法である。ここでは、工法の内容を説明する。

表-1 工法の特長

項目	仕様
打設装置	油圧オーガ式
固化処理方法	管中混合方式
固化材添加方法	スラリー添加
施工能力	最大 $1,000\text{m}^3/\text{hr}$
施工水深	2~40m
対象土質	粘性土~砂質土(フロー値80以上)

(1) 施工手順

施工のフローを図-2に示す。その詳細を説明する。

a) 揚土

浚渫され土運船によって運ばれてきた軟泥土を均質化させるため、空気圧送船上に搭載したバックホウに装着した 5m^3 のバケットによって攪拌、解泥を行う。この時、試料を採取して比重、含水比を計測することによって軟泥土の品質を確認する。土運船からの揚土は、このバックホウにより行う(写真-1)。バックホウには重量計測装置が取り付けられており、揚土時に土量の計測を行う。固化処理の速度は時間当たりの揚土回数と計測した土量重量から計算して管理する。

b) スラリー混合

セメントスラリーは空気圧送船に接続した固化材プラント船で、前もって生成しておく。図-3に示す空気圧送船のホッパー内に軟泥土が投入されると同時に、配合設計によって決定した固化材添加量と土量から必要なスラリー量を算出して軟泥土に添加する。

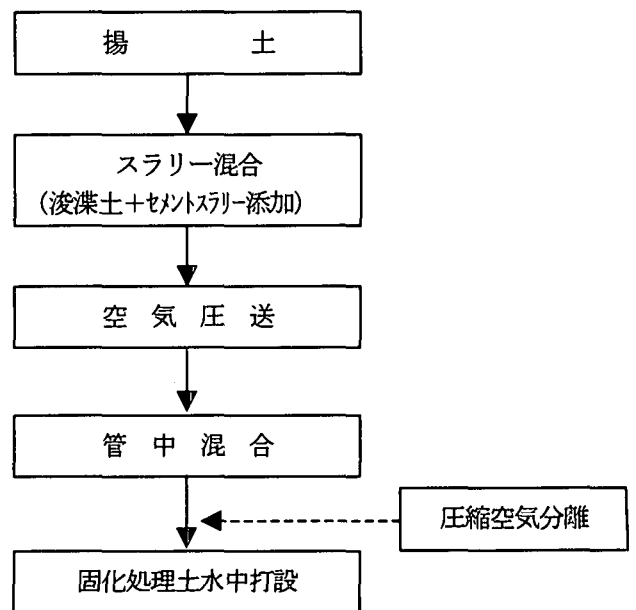


図-2 固化処理のフロー

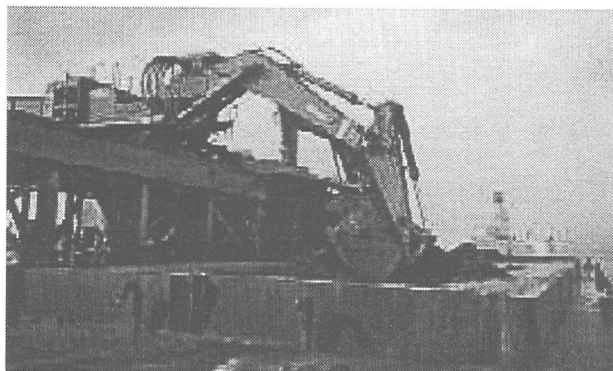


写真-1 揚土状況

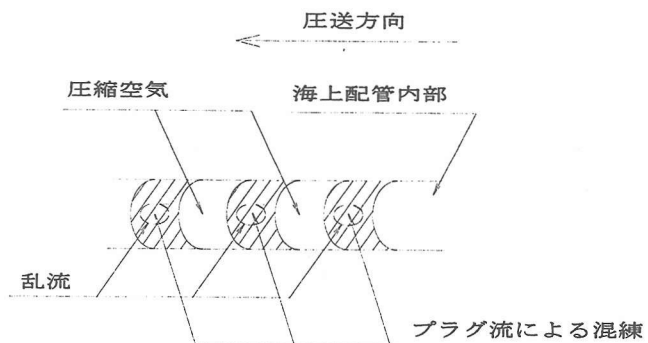


図-4 管中混合概念図

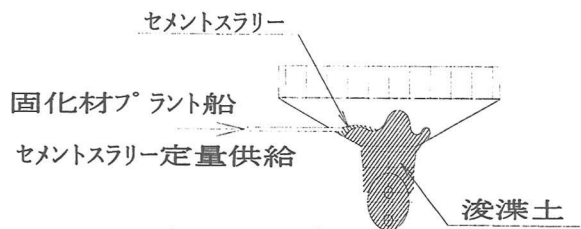


図-3 固化処理船ホッパー

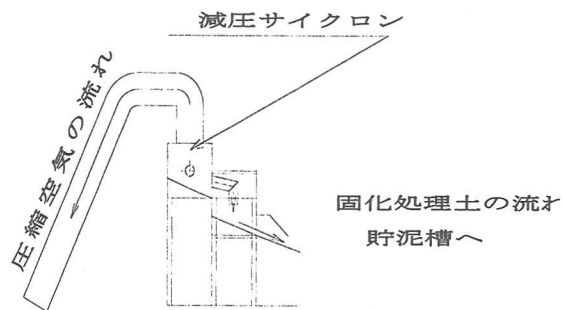


写真-2 海上配管

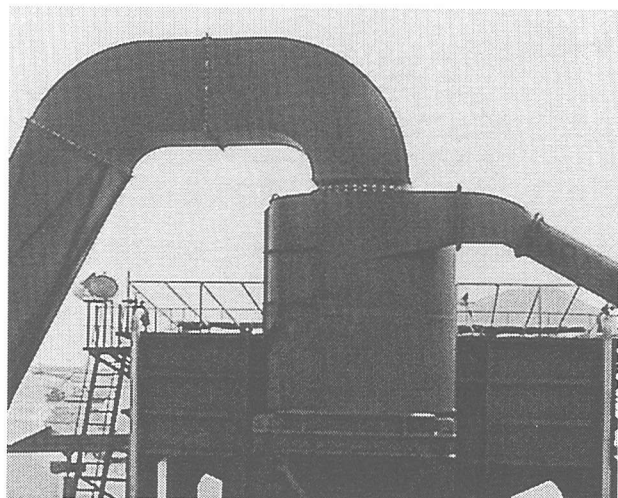


写真-3 サイクロン

c) 空気圧送・管中混合

軟泥土とセメントスラリーは、圧縮空気と共に海上配管した内径φ560mmの圧送管に送り込まれる(写真-2)。水中打設船まで200~300mの間を圧送されるが、この時圧送管の内部において圧縮空気により発生するプラグ流により混練される(図-4)。プラグ流を応用した軟泥土と固化材の練混ぜに関しては、これまでいくつかの研究³⁾が行われており、効率的に固化処理を行う手法として利用されている²⁾。

d) 固化処理土打設

管中混合で生成した固化処理土は、水中打設船に到達すると、サイクロン(写真-3)にて圧縮空気を抜気したのち、打設船上のホッパーに投入される(写真-4)。ホッパーにはオーガ付打設管が接続されている。この打設管は傾斜角度を変えることができ、打設深度を自由に

変化することができる(図-5、写真-5)。打設時に、オーガの回転数やバルブ開度を調整することで、打設管内に固化処理土を充満させることによって、材料の分離を抑えて海域への汚濁の発生を防止することができる。

(2) 品質管理・施工管理

浚渫された軟泥土と打設する固化処理土は、それぞれ揚土する前とホッパー内に投入された時点で試料採取して比重やフロー値を計測することによって品質を管理する。打設中は、オーガの回転速度やバルブ開度から固化処理土の吐出量を、水中カメラで拡散状況を監視するとともに、ソナーやレットなどによって出来形を管理する。

施工位置の確認は、GPSを用いて船の位置、潮位や船の方角を計測して、打設管の長さや傾斜角などからパーソナルコンピュータで計算する。また、施工位置の移動

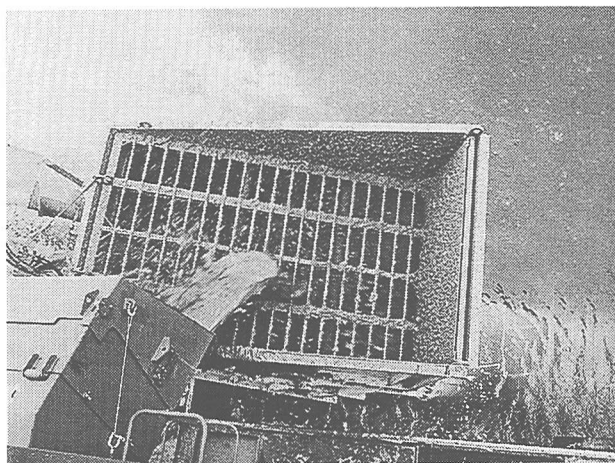


写真-4 水中打設船上ホッパー投入状況

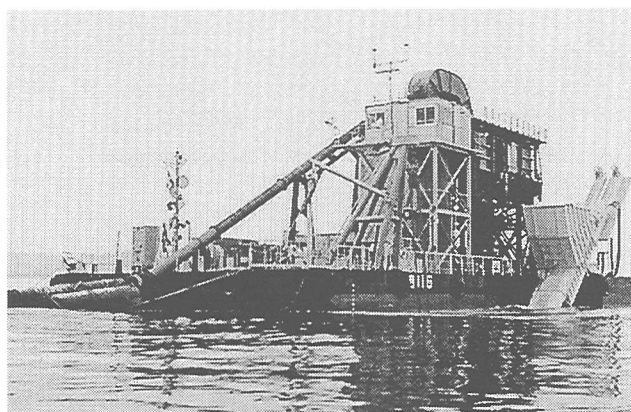


写真-5 打設状況

は打設数量を確認しながら行ない、打設位置と出来形データは、自動的に記録して管理データとすることができる。

3. 施工実例

(1) 工事状況

本工法の施工能力を実証するため、実施工に投入した。工事内容は表-2のとおりである。施工地点は内海の湾奥部であることから波浪がほとんど無く、海流も最大0.4ノット程度である。また、打設水深も約20mと比較的深いため、固化処理土に要求される設計強度は $q_{ua}=100\text{kPa}$ と小さい。さらに、浚渫された軟泥土の含水比が約90~100%と少なく、これらの条件から配合設計の結果、固化材の添加量は 50kg/m^3 と少なくなった。

固化材の添加量が少なくなると強度が小さくなるばかりか、海中での材料分離が起り易くなり周辺海域を汚濁する可能性が高くなる。そこで、水中カメラによる目視によって注意深く確認しながら施工したが、 $1,000\text{m}^3/\text{hr}$ の打設速度でもほとんど材料分離が発生しないことが分かった。これまで行なわれた同様の工事における計測¹⁾では、材料の分離や固化処理土の巻き上がりが発生しない場合には、周辺海域のpHにはほとんど変化が無いこと

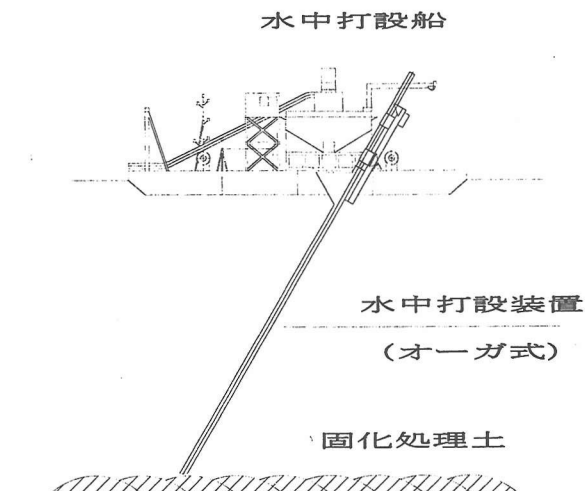


図-5 水中打設状況

表-2 工事内容

施工量	固化処理及び打設工 約160,000 m^3
施工期間	約2ヶ月
施工能力	約700 m^3/hr (最大1000 m^3/hr)
浚渫土の土質	含水比94.4% 湿潤密度1.43 (g/cm ³) シルト51.2% 粘土38.5%
打設深度	20~24m
固化材	高炉セメントB種 50kg/m ³
処理土の品質	$q_{ua}=100\text{kPa}$ (設計値) $q_u=320\text{kPa}$ (実測平均値) フロー値80~95 (JHS A313-1992)

が報告されている。しかし、確認のため周辺海域でpHメータによって海水のpHを計測したところ、ほとんど変化が現れなかった。打設後の底泥から溶出するpHの変化に関しては、次章の実験において確認する。

打設から約1ヶ月経過後に、固化処理土をクラムシェルで掘削して検証したところ、十分固化していることが確認された。水中打設船のホッパーで採取した供試体と比較したところ、ほぼ同程度の品質であることが確認できた。さらに、一軸圧縮試験を行なったところ、設計強度を十分確保していることがわかった。

(2) 施工土量

施工期間における施工日当たりの施工実績を図-6に示す。施工日当たりで平均約700 m^3/hr の実績を確保できることが明らかとなった。施工能力に変動がみられるのは、浚渫土の土質性状の変化(砂質土分の増加)や、浚渫作業との兼ね合いで土運船の配船などが変化したためである。

また、単純に土運船1隻ごとに、揚土を開始して打設が終了するまでの施工実績を整理して図-7に示す。これによると、最大施工能力は約1,000 m^3/hr となり、本工法の施工能力が優れていることが明らかとなった。

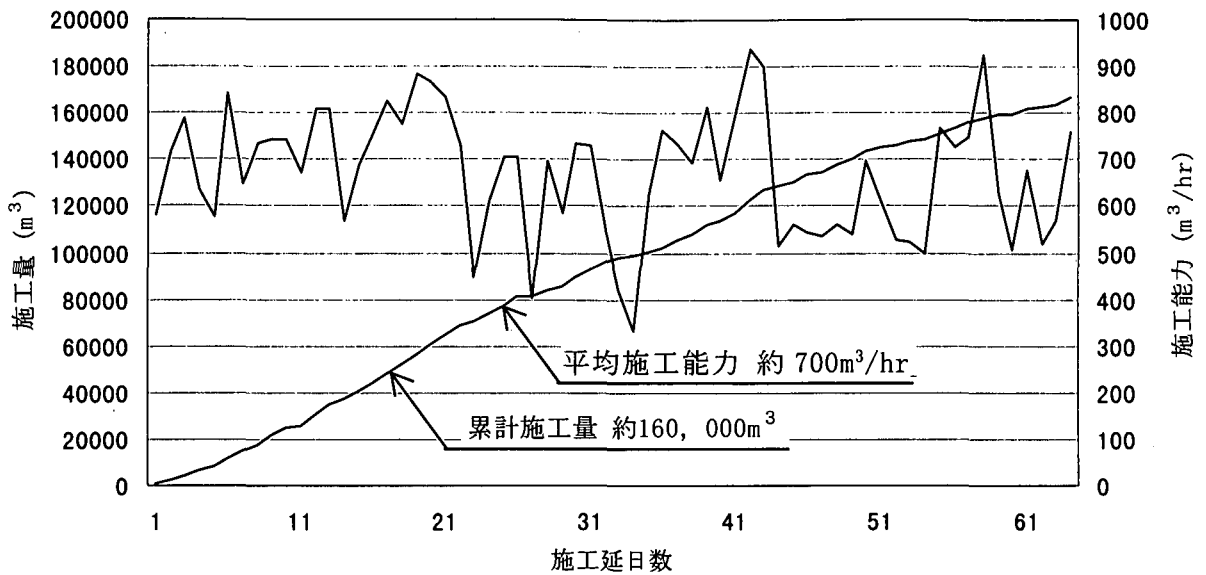


図-6 施工日当たりの施工実績

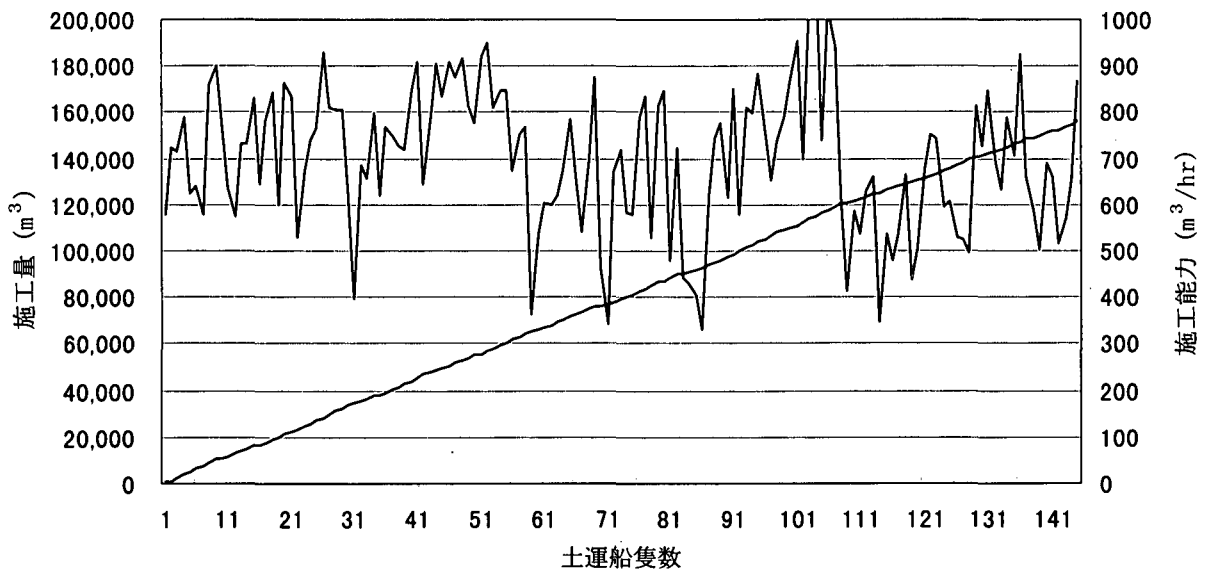


図-7 土運船1隻当たりの施工実績

4. 溶出試験

(1) 試験の概要

周辺海域を汚染することなく、固化処理土を大量に海底に打設することができる本工法の特長を生かして、固化処理土を覆土材料として有効利用する水質浄化方法を提案する(図-8参照)。この場合、固化処理土から長期にわたって溶出する栄養塩がどの程度であるのかを確認しておく必要があるであろう。

そこで、図-9に示すような試験容器を用いて固化処理土の溶出試験を行った。用いた底泥は、前章で説明した施工に用いたものとは違っているが、掘削した処理土と同じような特性となるように強度とフロー値を調整した。ホバート型のミキサーで混練した供試体を下部容器に詰めて、1日養生した後に上部容器を組立て、静かに海水を充填して20℃恒温室に設置した。この容器内の海水を必要量採取して水質分析を行い、pH、DO、COD、T-P、T-

Nなどの変化を調べた。容器の上端には5mmの穴を空けて開放型とし、海水を採取した後は同量を注水した。

(2) 試験結果

水質の分析結果のうち、pHとT-Pの経時変化を図-10ならびに図-11に示す。当初、pHは原泥に比べ約0.2高くなるが、徐々に減少して28日経過すると7.9程度となることがわかった。T-Pに関しては、固化処理土が原泥に比べて0.04mg/l程度低くなり、軟泥土を固化処理することによって、溶出を低減できることが分かった。T-Nに関しては、試験開始直後に固化材の添加によってセメントに含まれるアルカリで軟泥土中の窒素がアンモニア態の窒素として放出したためにT-Nが上昇するが、その後は減少する。これらは、既往の実験結果⁴⁾などでも報告されており、固化処理することによって軟泥土からの溶出を抑えることができることを示した。

固化処理土を汚染した海底の覆土材料として利用すれ

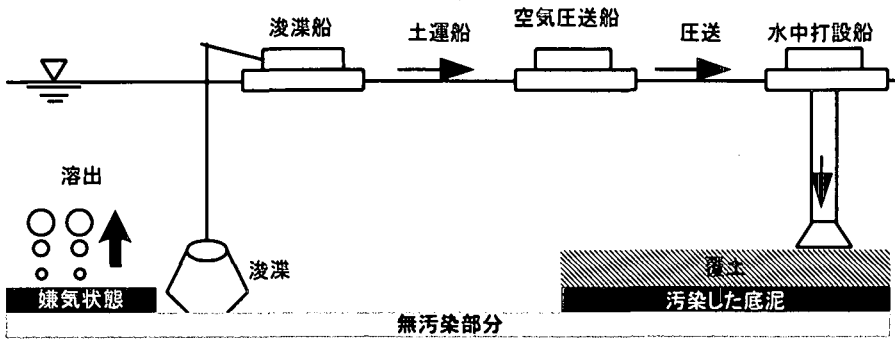


図-8 固化処理土を覆土材として利用する水質浄化方法

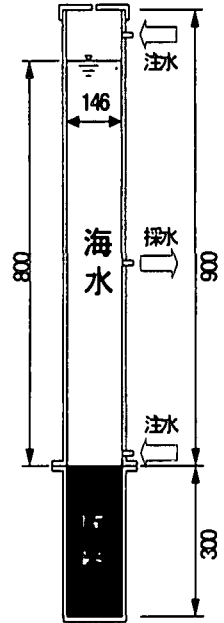


図-9 溶出試験容器

ば、水質浄化に寄与できるものと考えられる。

5. おわりに

大量の軟泥土を固化処理して水中へ無汚染で打設出来る工法を開発し、実施工に投入してその実績を明らかにした。その成果をまとめると以下のものである。

- (1) 最大1,000m³/hr(平均700m³/hr)の固化処理土の大量水中打設を実現した。
- (2) 固化処理土の大量水中打設を行った場合でも、施工中周辺海域の汚濁は見受けられなかった。
- (3) 大量施工による一軸圧縮強度等の品質の低下は見られず、他工法と同程度の品質を確保できることが分かった。
- (4) 溶出試験の結果、処理土から溶出する栄養塩などは原泥よりも低くなり、本工法を覆土材として利用できることが明らかとなった。

以上のように、本工法の優位性が明らかとなった。特に、軟泥土を埋立材として有効に利用できるばかりでなく、覆土材として用いることによって更なる環境改善効果が期待できる。

謝辞：本工法は、株式会社フジタ、国土総合建設株式会社、株式会社小島組、富士海事工業株式会社、三和機材株式会社によって共同開発したものです。工法の開発ならびに、本報告を執筆するにあたり、富士海事工業株式会社 重岡良則氏、三和機材株式会社技術部 鳥飼光俊氏には多大なる御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局技術課：評価証説明資料，No98108（浚渫土のリサイクル技術），55p，1998。
- 2) 運輸省第五港湾建設局中部国際空港調査室：管中混合固化処理工法，157p，1999。
- 3) 岩月哲三，神山祐一，橋本文男，矢内栄二，益山忠：混気圧送の底泥輸送における効果的な紛体混合手法，水工学論文集，第42巻，pp.655 - 660，1998。
- 4) 阪本廣行，下田正雄，高梨清一：固化処理土からの海水中

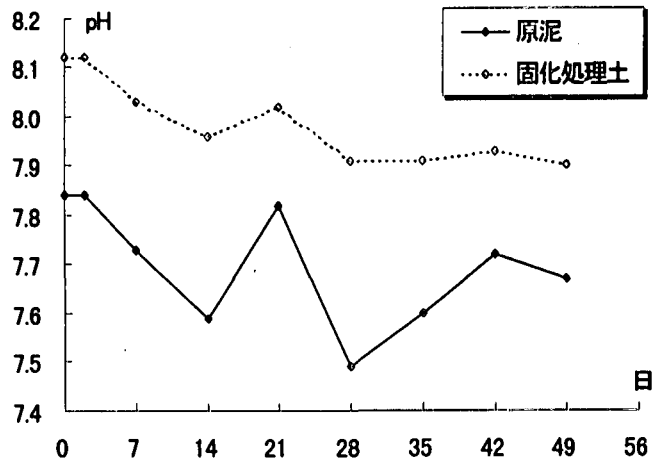


図-10 pHの経時変化

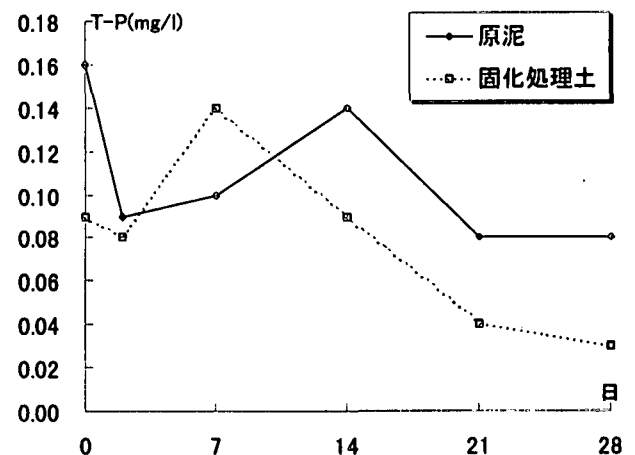


図-11 T-Pの経時変化

へのpH溶出について、土木学会第53回年次学術講演会，III - B，pp818 - 819，1998。