

エコチューブ工法の施工提案

— 泥土処理方法の提案 —

技術本部	技術研究所	杉本昌由
技術本部	環境技術 G	佐伯博之
技術本部	環境技術 G	道端秀治

概要：エコチューブ工法はジオテキスタイル製の袋に浚渫土などの建設発生土を脱水・減容化するとともに袋の張力を利用して盛土や埋土に有効利用する工法であり、土木研究所と民間各社により既に実用化されている。また、本工法はジオテキスタイル製袋のろ過機能により、ダイオキシン類や放射性物質に汚染された高含水比底泥を封じ込めるとともに脱水・減容化処理することができる。

Key Words：エコチューブ工法，泥土処理，機械設備，汚染物質の封じ込め，SPAD

1. はじめに

エコチューブ工法（袋詰脱水処理工法）はジオテキスタイル製の袋に浚渫土などの建設発生土を脱水・減容化するとともに袋の張力を利用して盛土材や埋土材に有効利用する工法¹⁾（写真-1）であり、土木研究所と民間各社により実用化されている。また、本工法はジオテキスタイル製袋のろ過機能によりダイオキシン類や放射性汚染物質に汚染された高含水比底泥を封じ込めるとともに脱水・減容化処理²⁾することができる。

当社はエコチューブ工法用の環境対応型量産施工設備である SPAD システム（Slurry Pack and Decrease System）を開発している。本施工設備は工法施工時の問題点である高含水比状態での泥土浚渫、施工土量の定量管理、1日の処理量管理、充填処理時の土砂飛散防止を行うことができる設備である。本文ではエコチューブ工法の施工設備と施工事例による提案方法を報告する。



写真-1 エコチューブ工法による底泥の有効利用



杉本昌由



佐伯博之



道端秀治

2. エコチューブ工法の施工設備

2.1 SPAD システム

SPAD システム (図-1) は、高含水比泥土を処理する上で基本的な設備として、充填土砂前処理設備、泥土計測設備、泥土圧送設備を有すると共に充填時に土砂飛散を防止する充填設備を開発することで充填施工時の泥土の外部流失を微量にすることができる設備となっている。

これにより、港湾、河川などに堆積している底泥を対象とした作業において作業への周辺環境対策が充実した設備となっている。

また、様々な条件での施工方法を可能とするために、以下に説明する既存の設備を組み合わせることで、対応施工箇所での最適な施工方法を提案することができる。



図-1 移動型 SPAD システム例概要図

2.2 設備の説明

2.2.1 底泥浚渫・吸引設備

1) 小型浚渫圧送機

小型浚渫圧送機 (写真-2) は浚渫作業及び浚渫箇所から泥土充填場所まで空気圧送可能な設備である。浚渫・夾雑物処理ともに泥上車タイプの作業機械にて行う。比較的水深の浅いため池、河川の浚渫、泥土圧送に有効である。1日の浚渫施工量は200m³であり、水深2m程度の作業領域の施工が可能である。



写真-2 小型浚渫圧送機

2) 薄層浚渫機械

バキューム車の吸引力を利用して泥上車に設置した浚渫吸い込み口からため池等の底泥を薄層浚渫する設備（図-2）である。放射性物質汚染土等泥土の表層に堆積しているものを効率良く処理することができる。浚渫対象の表層 15cm 以下を掘削除去可能であり、バキューム車の性能に左右されるが吸引距離は 100m 以下で施工を行う。



図-2 薄層浚渫設備概要図

3) バキューム車による吸引浚渫

水深が浅いため池等の底泥処理，防火水槽や，大型樹に堆積している泥土処理などで使用する。

泥土処理量が少なく，大型施工設備の搬入が困難な箇所での施工方法であり，特に放射性汚染物質に汚染された，防火水槽，その他農業用一時貯水池などの除去作業等（写真-3）に有効である。



写真-3 バキューム車による底泥処理

2.2.2 泥土前処理設備

浚渫処理した泥土の夾雑物を除去し、泥土圧送ポンプへ送り出す設備である。

1) 自走式泥土前処理設備

自走式設備を持つ泥土前処理機（写真-4）であり、施工箇所が狭い場合でも適宜移動することで施工環境を整えていくことが可能な設備である。



写真-4 自走式泥土前処理機施工状況

2) 定置型泥土前処理設備

一般的な泥土夾雑物処理設備（写真-5, 写真-6）である。エコチューブ施工時には泥土処理後泥土圧送ポンプまで空気圧送する設備が別途用意されている。



写真-5 定置型小型泥土前処理機施工状況



写真-6 定置型泥土前処理機施工状況

2.2.3 泥土計測設備

袋体に充填する数量（体積・含水比等）を計測し、充填処理土の定量管理を行う設備である。定置型袋など常時泥土を圧送処理する場合などに使用する（写真-7）。コンピュータによる制御（写真-8）で充填泥土の含水比の計測、脱水後の袋への再充填時の追加充填量の計測、全体充填量の管理が可能である。

また、小型袋充填時用の少量充填量確認用で泥土圧送ポンプ内に泥土計測設備を内蔵したタイプの設備もある。



写真-7 定置型泥土計測設備



写真-8 計測制御盤

2.2.4 泥土圧送ポンプ

調整した処理土を高速圧送でき、外部タンクと吸引口を配管やホースで接続することにより、泥土を外部より直接自給しポンプ圧送できる設備（写真-9）である。

時間圧送能力は 35m^3 から 55m^3 を超える設備まであり、必要に応じた泥土圧送が可能である。



写真-9 泥土圧送ポンプ（泥土計測設備内蔵型）

2.2.5 充填設備

充填時および袋体の取り替え作業時に処理泥土が飛散しない構造とし、簡便な袋体との脱着可能充填部をもち、充填終了時にエアバックを利用し袋体注入口をシャットダウンする設備（写真-10）である。

また、充填設備（図-3）を小型運搬車に設置することにより、施工場所の取れない狭い場所においてもバキューム車から排出される汚染土の処理作業ができる。



写真-10 2系統充填設備



図-3 放射性物質汚染土充填用設備概要図

2.2.6 エコチューブ

ジオテキスタイル製布材を施工の規模、利用方法によって充填量を変更可能（写真-11、写真-12）であり、袋材の材質を変更することにより、ダイオキシン類汚染土（写真-13）、放射性汚染物質汚染土（写真-14）の脱水減容化処理への対応も可能となる。



写真-11 可搬型袋（1m³～3m³）



写真-12 定置型袋（20m³～100m³）



写真-13 ダイオキシン類汚染土充填袋



写真-14 放射性物質汚染土充填袋

3. エコチューブ工法の施工事例

3.1 一般泥土の有効利用

1) ため池底泥の築堤材料としての有効利用

ため池に堆積した底泥を固化して外部へ産業廃棄物として処理せず、ため池内の築堤材料³⁾ (写真-15, 写真-16) として有効利用した。



写真-15 築堤材料への有効利用



写真-16 施工1年後

※可搬型袋(1m³)を使用した740m³の泥土処理施工

施工事例により、脱水終了時の間隙比予測値をもとに沈下量(式-1)の予測を行えることを計測管理(図-4)して確認している。

沈下量の予測式
$$S = \frac{e_0 - e_f}{1 + e_0} H$$
 式-1

e_0 : 充填時の初期間隙比
 e_f : 充填後の間隙比(予測値)
 S : 沈下量(mm)
 H : 初期高さ(mm)

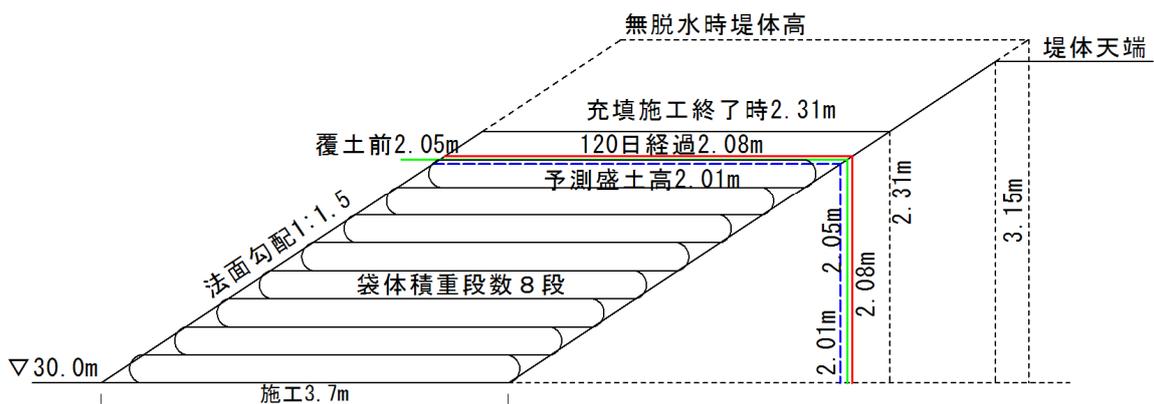


図-4 袋詰処理土積重ね盛土高計測値

したがって、充填量と充填時含水比を管理施工することにより処理土の脱水・減容化の予測を行いながら出来形管理の予測ができる。

2) 河跡湖底泥の遊休地への埋土による公園整備

河跡湖底泥を周辺遊休地への埋土材（写真-17、写真-18）として有効利用し、公園整備⁴⁾を行った。



写真-17 遊休地への底泥による埋土



写真-18 公園整備施工1年後

※定置型袋(7~10m³)を使用した1350m³の泥土処理施工

土の強度コーン貫入抵抗値(図-5)の平均値は $q_c=680\text{kN/m}^2$ であり第三種建設発生土まで改良された。これは、高規格堤防に求められる設計強度($q_c=400\text{kN/m}^2$)以上である。一般的にセメント改良で求められる値($q_c=400\text{kN/m}^2$)も満足しており盛土体としての強度を十分満足している。

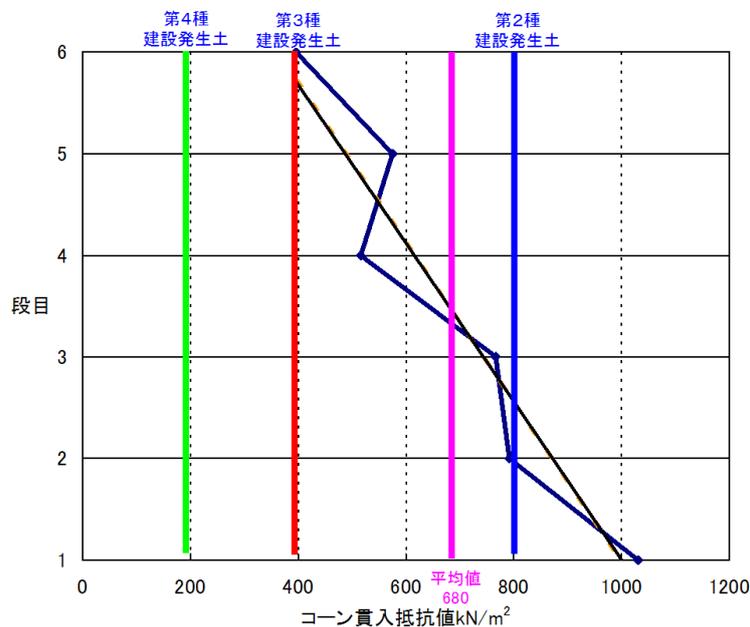


図-5 処理土のコーン貫入抵抗値

施工事例により、処理土のコーン貫入抵抗を追跡調査し、盛土体としての土の材料強度の要求性能をジオテキスタイルの補強効果、土の脱水・圧密効果により満足できることを確認している。

3.2 地震と津波により冠水・崩壊した用排水路などの埋土利用

津波により閉塞している開水路を浚渫、泥土処理、泥土の有効利用をエコチューブ工法にて行い(写真-19, 写真-20) 震災復興⁵⁾における生活環境の回復への道のりを短縮した。



写真-19 冠水地域への埋土



写真-20 用水路の法面崩壊箇所への復旧

※可搬型袋(1.5m³)を使用した325m³の泥土処理施工

水際や水中における埋土施工時には、処理した泥土を、大型袋を用い、盛土材料(写真-21, 写真-22)として冠水地や被災した箇所へ有効利用した。



写真-21 水際での大型袋施工



写真-22 100m³袋による水中盛土施工

※可搬型袋(1.5m³)および定置型袋(20~100m³)を使用した3,550m³の泥土処理施工

施工20日後のコーン貫入抵抗値は平均681kN/m²となり第3種改良土まで改質されている。

処理土は一般に浚渫処理時に悪臭を放ち周辺環境に問題が生じる。解決策として処理土をエコチューブにパッケージ化することで周囲の作業環境を改善できることを臭気指数の計測において確認した。計測臭気指数は16(写真-23)から2(写真-24)への低減を確認した。



写真-23 泥土の臭気指数 16



写真-24 袋への充填後の臭気指数 2

また、施工時の排出水の平均SS濃度は4.73mg/Lであり現地排水基準の200mg/Lをクリアしており、施工時の排出水による周辺環境の水質汚染問題も発生しない。

3.3 高含水比汚染土の脱水減容化，封じ込め処理

3.3.1 封じ込めのメカニズム

ダイオキシン類や放射性セシウムは，土粒子と強く吸着する性質²⁾ (図-6) を有している．したがって，ダイオキシン類や放射性セシウムを含んだ泥土・泥水を袋に充填し，布材で土粒子をろ過することにより，土粒子に吸着した汚染物質を袋内に封じ込め，脱水することで高含水比汚染土の減容化が可能となる．

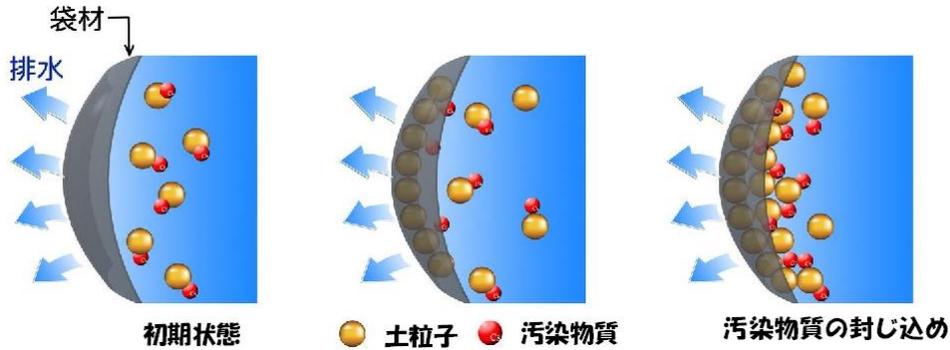


図-6 汚染物質のエコチューブによる封じ込めメカニズム

3.3.2 施工事例

1) ダイオキシン類汚染土の封じ込め，脱水・減容化処理

用水路内に堆積したダイオキシン類汚染土をエコチューブにより処理⁶⁾ (写真-25) し，安全な保管場所への移設工事 (図-5) を行った．



写真-25 ダイオキシン類汚染土処理状況

※可搬型袋(1m³)を使用した 150m³のダイオキシン類汚染土処理施工

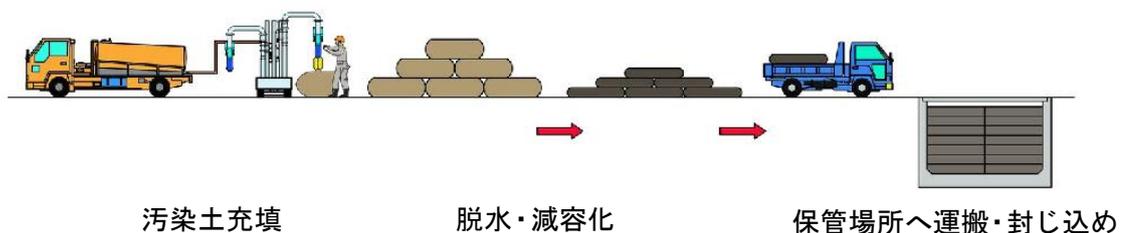


図-5 エコチューブ工法汚染土処理の概要図

施工管理は排水の SS 濃度 (NTU 濁度計測との相関値) の計測を重点項目とし，排水基準 (ダイオキシン類溶出量 10pg-TEQ/L 以下及びこれに相当する濁度) を基に管理放流を行った．

2) ため池に堆積した放射性物質汚染土の脱水・減容化処理

先の震災において放射性物質（放射性セシウム）に汚染された地域の高含水比底泥を浚渫除去し、脱水・減容化、その後決められた場所へ一時仮置きを行った（図-6）。施工時ろ過されずに袋から排出される土粒子の量は極めてわずかであるので、排水にはほとんど放射性物質を含まず、排水基準を満足した。さらに脱水後には、運搬や仮置き場での積み重ねができ、効率よく処理土を一時仮置き管理している。

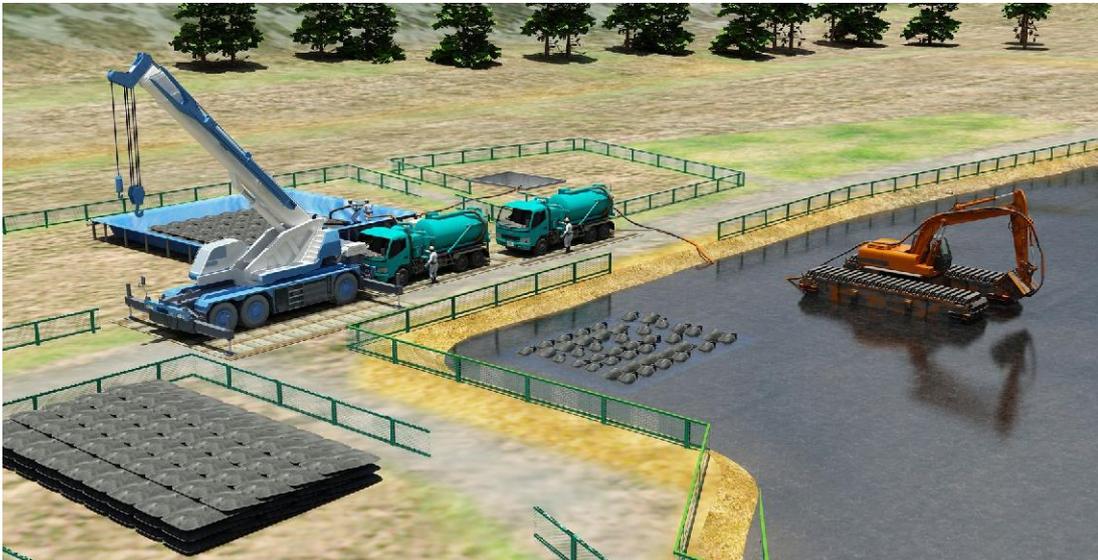


図-6 ため池の放射性物質汚染土の薄層浚渫とエコチューブ工法による処理概要図

※可搬型袋(1m³)を使用した 225m³のダイオキシン類汚染土処理施工

施工時排水の放射性物質濃度の測定結果（図-7）は、充填直後は 2.6～3.4Bq/kg の放射性物質濃度が検出されたが、4 時間後以降は不検出であり、放射性物質は排水中にはほとんど排出されることが無い。いずれも排水基準値を満足しており、別途処理する必要はない。

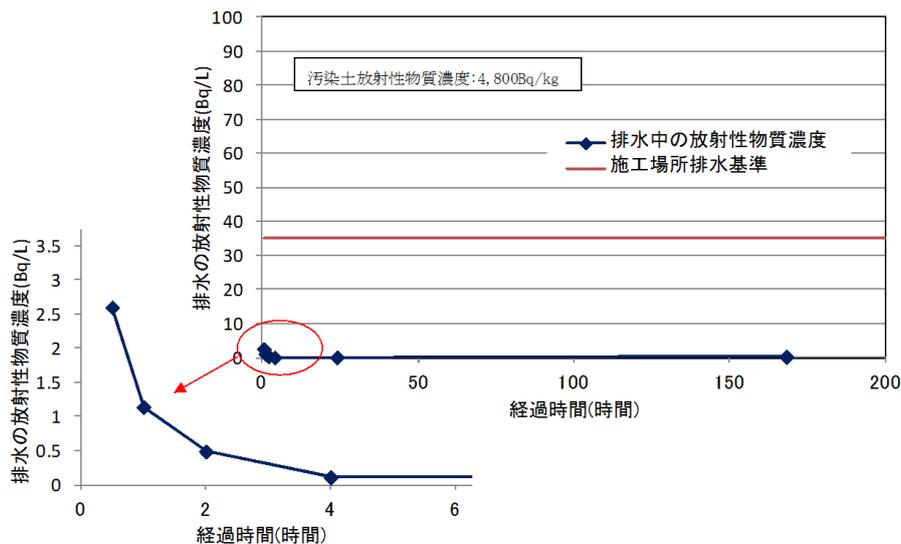


図-7 袋詰充填後の経過時間と排水の放射性物質濃度(汚染土：4,800Bq/kg)

エコチューブは処理土に吸着した放射性物質を 99.9%以上封じ込め、底泥の体積は現位置の約 60%まで減容化して一時仮置き処理することができる。

4. まとめ

エコチューブ工法は、狭小地での用水路やため池など、生活環境に密着している箇所において簡易に施工可能であり、水際においての即時利用・処理できる施工技術である。また、ダイオキシン類汚染土、放射性物質汚染土など土粒子に吸着する汚染物質の性質を利用した高含水比汚染泥土の封じ込め、減容化処理に有効な工法である。施工提案時には特に大型機械が入りにくい箇所での施工に優位な工法である。今後もエコチューブ工法を用いることによって、社会基盤に貢献できることを願っている。

謝辞

本工法工事において工事監理の方々の多大なご支援をいただいている。また貴重なご助言をいただいている。これら関係各位に心よりお礼申し上げます。

エコチューブ工法について

各施工案件、施工方法については発刊済み技報において詳細を報告しているので参照をお願いいたします。

参考文献

- 1) 袋詰脱水処理工法技術資料：ハイグレードソイル研究コンソーシアム,2014,7
- 2) 袋詰脱水処理工法汚染土対応技術資料：ハイグレードソイル研究コンソーシアム,2016,3
- 3) 袋詰脱水処理工法による積み上げ泥土の脱水・沈下量の予測：ピーエス三菱技報 5号,2007.10
- 4) 中型袋を用いた袋詰脱水処理工法：ピーエス三菱技報 6号,2008.10
- 5) エコチューブによる震災復興：ピーエス三菱技報 10号,2012.10
- 6) SPAD システムによる汚染底質脱水・減量化施工：ピーエス三菱技報 5号,2007.10
- 7) ため池の放射性物質対策技術マニュアル：農林水産省,2015.3