

軟弱な海底地盤の表層をカルシア改質土に改良する 新技術「バッチ式原位置混合工法」

北門 亨 允・谷本 尚 希

従来のカルシア改質土の施工では、グラブ浚渫などにより土運船に積載した粘土をバックホウなどで改質材と混合することで改質し、グラブなどで海中投入する事前混合処理が主流である。

今回開発した「バッチ式原位置混合工法」は、サンドコンパクションパイル工法の専用船に取り付けた密閉式バケットを使用し、軟弱な海底粘土地盤の表層部を原位置で改質する新しい工法である。この工法では、バケット内で粘土と改質材を密閉状態で混合することで、効率的かつ環境に配慮した施工が可能となり、カルシア改質土の用途を拡大できる。本稿では、バッチ式原位置混合工法の概要および施工機械について紹介する。

キーワード：カルシア改質土，原位置混合，表層改良

1. はじめに

浚渫工事で発生する浚渫土は、土砂処分場や埋立地に投入処分されることがほとんどであるが、近年処分場の建設や埋立用地の確保が困難になっている。一方、海域自然再生事業における藻場・浅場・干潟の造成や、港湾や海上空港の建設事業では、大量の良質土砂が必要であり、リサイクル材料の積極的な活用が期待されている。このような背景のもと、軟弱な泥土の土性を改良し、海域自然再生事業や建設事業に有効利用する「カルシア改質土」が開発された。近年では、海洋植物等のブルーカーボン生態系を活用したCO₂吸収源の拡大に向けて、藻場・干潟等の生物共生型港湾構造物を「ブルーインフラ」と位置付けて整備が推進されており、「カルシア改質土」の更なる有効利用が期待されている。

2. カルシア改質土の概要

(1) カルシア改質土の特徴

カルシア改質土（以下、改質土）は、シルト・粘土分を多く含む、高含水比で軟弱な浚渫土に鉄鋼製造の副産物である転炉系製鋼スラグ（以下、改質材）を混合した改質土である（図一）。水和反応による強度発現・海中投入時の濁り抑制などの特性を有することから^{1), 2)}、浚渫土の有効活用技術として埋立材や浅場・干潟の基盤材などに利用されている。



図一 カルシア改質土の外観

(2) 従来の施工方法

従来の施工は、浚渫土と改質材を混合する混合プロセスと、混合した改質土を投入する投入プロセスとに大別されており、施工規模・地理的条件・浚渫土の状態などに応じて、最適な混合工法と投入工法が選定される。ここでは、施工実績の多いバックホウ混合工法とグラブ投入工法について記載する。

バックホウ混合工法は、土運船内の浚渫土に改質材を投入して、汎用的な建設機械であるバックホウにより混合する工法である。小規模設備での施工が可能であり、主に小規模施工に適した工法である。グラブ投入工法は、グラブ浚渫船を用いて改質土をグラブバケットにて海中に投入する工法である。投入面までグラブを降ろすことで濁りの発生を抑制できるが、水深が深い場合には施工能率が悪くなる。

3. バッチ式原位置混合工法の概要と施工機械

今回開発した「バッチ式原位置混合工法（以下、本工法）」は、サンドコンパクションパイル工法の専用船に取り付けた密閉式バケット（写真一）を使用し

て、軟弱な海底粘土地盤の表層部を改質する新しい工法である³⁾。

(1) 本工法の施工手順

本工法の施工手順は以下の通りである(図-2)。本工法は、原位置(海底)で一連の施工を実施するため、従来工法のように混合プロセスと投入プロセスとに分かれていない。

- ①先端を開いた状態でバケット内に圧縮空気を送り、バケット内を排水する。
- ②原地盤へバケットを2.5m圧入して先端を閉じる(掘削)。
- ③バケット内に取り込んだ粘土を攪拌翼により解泥する。
- ④バケット内に改質材を投入し、攪拌翼で粘土と混合して改質土を製造する。

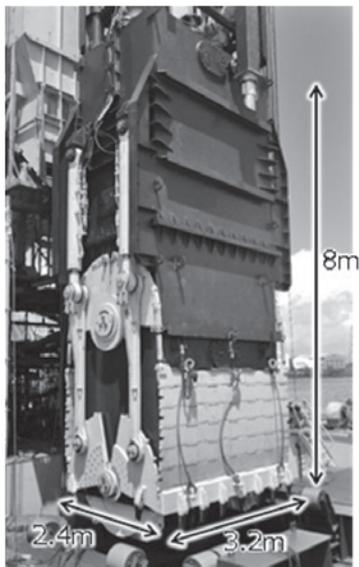


写真-1 密閉式バケットの外観

- ⑤バケットの先端を開いて地盤から引き抜き、改質土を排出する。

(2) 本工法の特長

本工法には以下の特長がある。

- ・原位置で一連の施工を行うため、施工工程の簡略化が可能である。
- ・海底近傍で改質土を排出するため、施工時の濁り発生を更に抑制できる。
- ・バケット内に余分な水分が含まれないため、改質土の強度品質の向上が期待できる。
- ・25mまでの大水深で施工が可能である。

(3) 施工機械

本工法は、サンドコンパクションパイル工法の専用船の前面に、専用の施工装置(以下、改質機)をアタッチメント形式で取り付けた作業船(以下、改質船)で施工する。サンドコンパクションパイル工法と同様に、本工法も三連装の改質機での施工が可能である。また、GNSSを使った位置決め装置により、改質船を正確な施工位置に移動させることができる。

(a) 全体構成

改質機は、改質土製造部・材料投入部、材料貯蔵部に分かれており(図-3)、改質船に備わったウインチのワイヤーにより頂部が吊られている(図-4)。改質機上部のH形鋼は、リーダーの鉛直ガイドレールと固定されており、水平方向の動きのみが拘束される仕組みになっている。また、改質船の船首には改質機の水平方向の動きを拘束するキーパー部があるため、キーパー部の内側を改質機が昇降することで、水平位置を保ったまま改質機の高さを操作できる。次項より、主な施工手順における各機械動作について説明する。

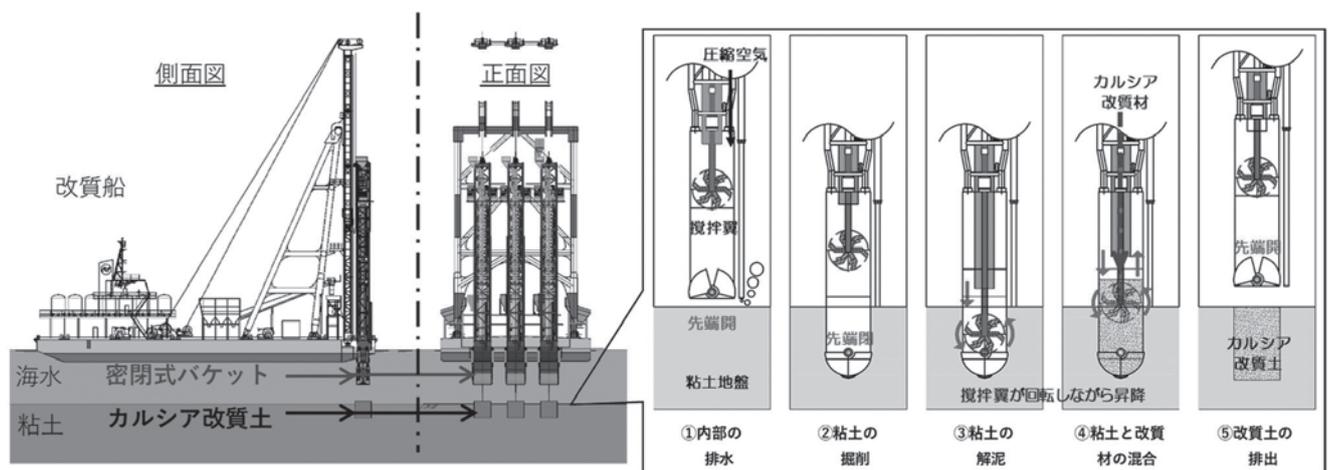


図-2 密閉式バケットを使った施工の流れ

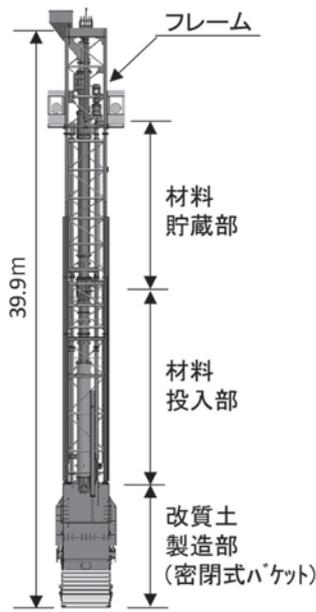


図-3 改質機の構成

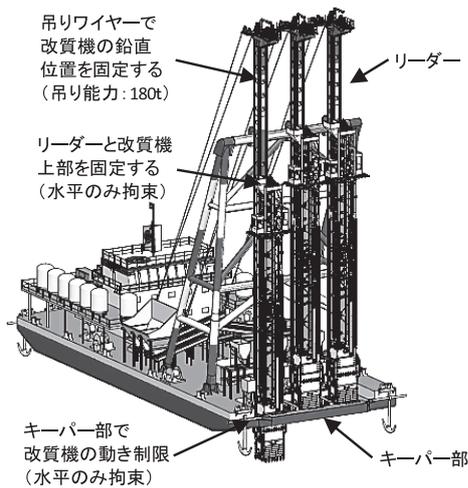


図-4 改質機の取り付け

(b) バケツ内の排水

バケツ内の圧力調整は、水中排気管を昇降させることで行うことができる。水中排気管はバケツと繋がっており、バケツ内の圧力は水中排気管の先端圧力と等しくなる。そのため、バケツ内に圧縮空気を送った状態で、水中排気管を改質機とは独立に昇降させることで、バケツ内の圧力を調整することが可能である。バケツ内を排水する際は、排気管の先端をバケツの先端と同じ高さまで降下させる(図-5a)。

(c) バケツの圧入

内部を排水したバケツを地盤に圧入する際には、水中排気管を上昇させることでバケツ内の圧力を低く保ち、粘土を吸引しながら改質機を降下させる。圧入後、粘土の取込を確認し、バケツの先端部にあるシャッターを閉じる(図-5b)。

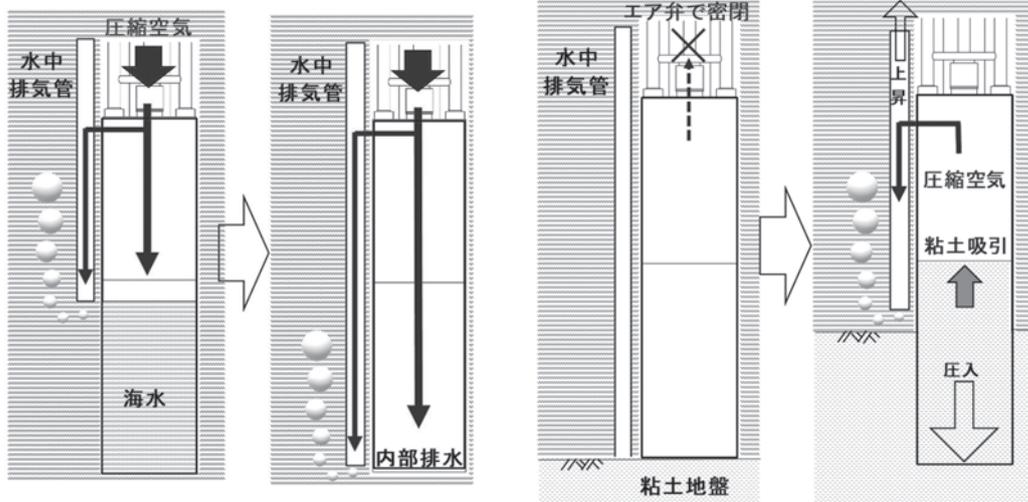
(d) 改質材の投入

改質材は以下の経路で改質土製造部に投入される(図-6)。改質機は以下の経路で改質土製造部までの経路は、サンドコンパクションパイル工法と同様である。

- ①ガットバージ→改質船の砂箱
- ②改質船の砂箱→ベルトコンベア
- ③ベルトコンベア→計量ホッパー
- ④計量ホッパー→移動バケツ
- ⑤移動バケツ→改質機の材料貯蔵部
- ⑥改質機の材料貯蔵部→材料投入部
- ⑦材料投入部→改質土製造部(密閉式バケツ)

(e) 粘土と改質材の混合

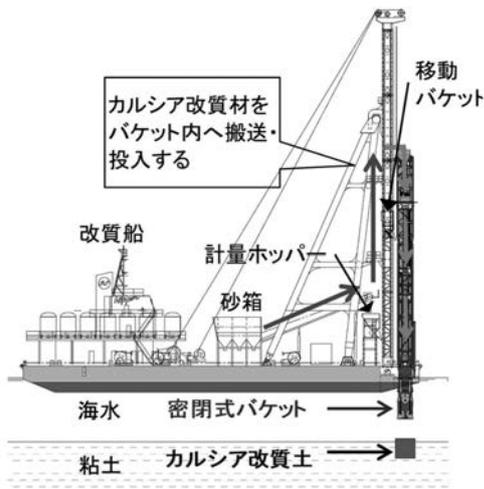
バケツ内の攪拌翼が回転・昇降することで、取り込んだ粘土が解泥される。解泥後、改質材を投入しながら攪拌翼を回転・昇降させることで、粘土と改質材



(a)バケツ内を排水する場合

(b)バケツを地盤に圧入する場合

図-5 水中排気管による密閉式バケツ内の圧力調整



図一六 カルシア改質材の投入経路

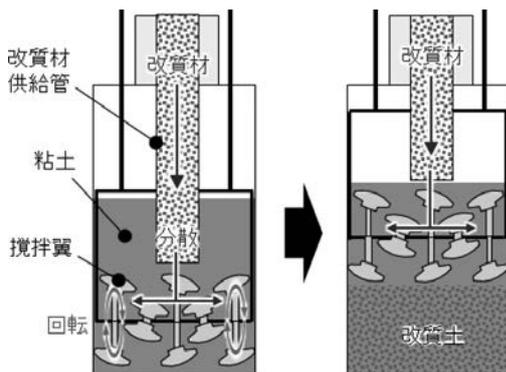
が混合される。改質材供給管は攪拌翼と連動して昇降する機構となっており、改質材供給管を通して攪拌翼の回転部に直接投入された改質材は、攪拌翼の回転によって左右に分散する様になっている（図一七）。

(4) 本工法の用途

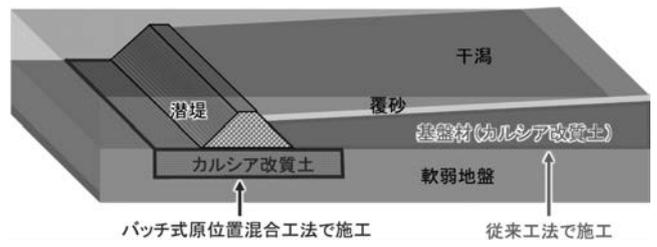
本工法は、軟弱粘土地盤に改質材を直接混合する工法なので、海上から改質土を投入する従来工法とは異なる用途へ適用できる。干潟の造成においては、従来工法では基盤材として改質土を適用できるのに対し、本工法では潜堤直下の地盤の表層改良に適用することができる（図一八）。その他の用途では、航路埋没対策などへの適用が可能である。

(5) 実証試験と公的評価

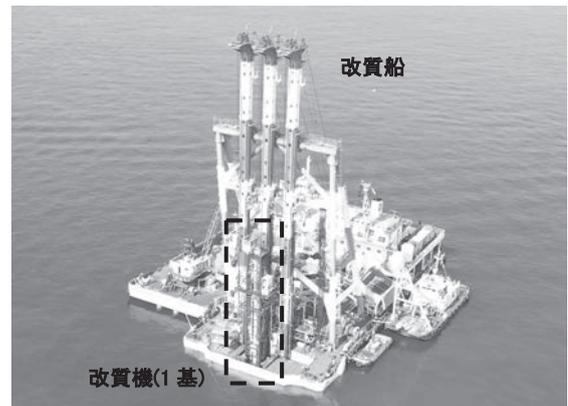
本工法で施工した改質土の品質や施工時の周辺海域の濁りなどを確認するため、2022年7月から2か月にわたり広島港出島地区において実証試験を行った（写真一2）。また、実証試験で得られた成果をもとに、（一財）沿岸技術研究センターによる港湾関連民間技術の確認審査・評価事業に申請し、以下の公的評価を



図一七 粘土と改質材の混合イメージ



図一八 カルシア改質土の適用例（干潟造成）



写真一2 実証試験の状況

取得した⁴⁾。

- ①従来のカルシア改質土の施工方法と同様の配合設計フローが適用可能であること。
- ②地盤の表層2.5mをカルシア改質土に改良することが可能であること。
- ③所定の環境安全品質を満たす原材料を用い、事前に安全性を確認することにより、周辺海域の水質に悪影響を及ぼさないこと。

4. 今後の展開

バッチ式原位置混合工法は、施工工程の簡略化・施工時の濁り抑制のほか、大水深施工や表層改良といった特徴を有しており、従来工法とは異なる用途へ適用できる。今後、本工法の活用提案を通じて、カルシア改質土の普及拡大やブルーインフラの拡大などに貢献し、持続可能な社会の実現に寄与していきたいと考えている。

謝辞

本工法は、JFEスチール(株)、日本製鉄(株)、五洋建設(株)、東亜建設工業(株)との共同開発であり、貴重なご意見と多大なご協力をいただきました。あらためてお礼申し上げます。

《参考文献》

- 1) (社) 日本鉄鋼連盟 転炉系製鋼スラグ 海域利用の手引き別冊「転炉系製鋼スラグと浚渫土との混合改良工法」, 平成 20 年 9 月
- 2) (一財) 沿岸技術研究センター「港湾・空港・海岸等における カルシア改質土利用技術マニュアル」, 平成 29 年 2 月
- 3) 本田秀樹, 山本佳知, 山口裕章, 谷敷多穂, 宮本一之, 溝口栄二郎: カルシア改質土の原位置混合工法の開発, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.74, 2018
- 4) (一財) 沿岸技術研究センター 港湾関連民間技術の確認審査・評価報告書, 第 22006 号「カルシア改質土のバッチ式原位置混合工法」, 令和 5 年 3 月



[筆者紹介]

北門 亨允 (きたかど ゆきのぶ)
日本海工(株)
海環境事業推進部
次長



谷本 尚希 (たにもと なおき)
日本海工(株)
技術部

