

連携記事

カルシア改質土による バッチ式原位置混合工法の開発

Development of On-site Reforming Method
Using Improved Dredged Soil by Steelmaking Slag

本田秀樹
Hideki Honda

JFEスチール（株）
スラグ企画部 市場開拓室
主任部員

1 はじめに

港湾整備では、船舶の航行に必要な水深の維持や船舶大型化にともなう増深工事により発生する浚渫土の有効活用が課題となっている。カルシア改質土（以下、改質土）は、シルト・粘土分が多く、そのままでは再利用が困難であった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り、強度発現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造成材などに利用されている。現行の改質土の施工は、グラブ浚渫などにより土運船に積載した浚渫土をバックホウなどで改質材と混合を行い、グラブなどで海中投入する事前混合処理が主流である。今回開発の「バッチ式原位置混合工法」は、既存の

海上地盤改良工法である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用いて、バケット内で粘土と改質材を混合することで、原位置において海底地盤の表層部を改質土に改良する工法である³⁾。本工法の開発により、軟弱な海底地盤の浅層改良、浅場・干潟などの土留め潜堤、航路内への土砂流入防止堤、岸壁・防波堤周辺の洗掘防止など、カルシア改質土の適用拡大が考えられる。

2 カルシア改質土によるバッチ式原位置混合工法の概要

カルシア改質土によるバッチ式原位置混合工法の概要を図1に示す。本工法は、既存のサンドコンパクションパイル船

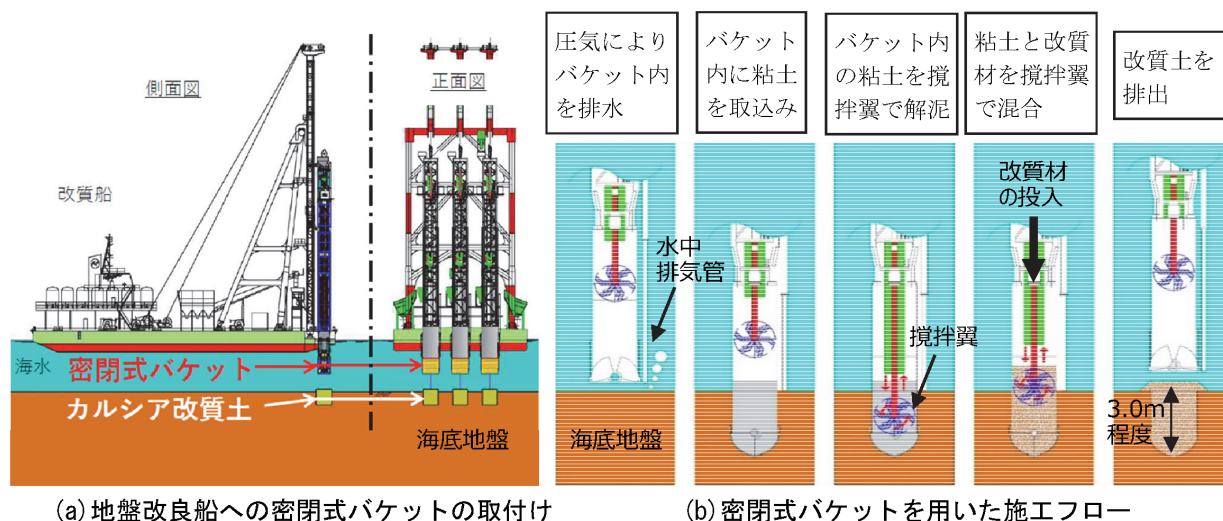


図1 カルシア改質土の原位置混合工法の概要（Online version in color.）

に、幅3.2m×奥行2.4m×高さ8.0mの密閉式バケットを取り付ける。この密閉式バケットの先端部は開閉式であり、先端を開いた状態で海底地盤内に圧入後(最大圧入深度3.0m程度)、海底地盤内で先端部を閉じることでバケット内への粘土の取込みを行う。この時、水中排気管を通してバケット内に圧縮空気を送り込むことにより、バケット内部をドライ状態に保持できるため、取込んだ粘土には余分な水分が含まれない。粘土の取込み後、改質材供給管から所定の配合量となるように改質材の投入を行い、攪拌翼を回転及び上下動させることで、粘土と改質材を混合、改質土を製造する。バケット内で製造した改質土は、先端を開いた状態で攪拌翼を水深方向に押し出すことで、所定位置に投入できる。

本工法は、密閉式バケットを利用して一連の工程を実施できることから、施工設備が簡略化できるとともに、大水深での施工が可能である。また、海底地盤の掘削時に余分な水分が含まれないことから、改質土の強度品質の向上が期待できる。さらに、粘土と改質材の攪拌混合を密閉空間で行い、改質土を海底近傍で排出するため、濁りの抑制が可能である。一方、浮力などの観点から密閉式バケットの高さに制約があり、海底地盤の掘削深さは最大3.0m程度である。

3 1/5モデル実験による混合性の検討⁴⁾

3.1 実験の概要

本工法における粘土と改質材の混合性や改質土の強度特性の把握を目的として、1/5モデルの混合装置を用いた実験を行った。実験は、図2に示す混合装置(幅1.3m×奥行1.6m×高さ6.0m)と水槽(幅1.8m×奥行1.8m×高さ3.0m)を使用した。密閉式バケットのサイズは幅80cm×奥行43cm×高さ120cm、内部に混合用の攪拌翼と電気式コーンを有し、改質材供給管と水中送気管が連結されている。改質材供給管の下端には圧力差弁を設けており、管内に所定量の改質材を貯留した後、圧力差弁を解放することでバケット内に改質材を供給する。攪拌翼は、混合装置の幅方向に5枚の羽根を設けており、上下動が可能である。

実験材料は、福山港の航路浚渫土(細粒分含有率95%、液性限界122%)と現地施工に用いる最大粒径40mmの転炉系製鋼スラグを用いた。実験手順を図3に示す。製造した改質土は、上段・中段・下段の3段に分けて排出した後、Φ10cm×高さ20cmの供試体を作製して密度と一軸圧縮強さを測定した。

3.2 1/5モデル実験の結果

一軸圧縮強さの変動係数を図4に示す。変動係数は、標準偏差を平均値で割った値であり、平均値に対するデータのば

らつきを示している。改質材の配合割合20%(体積比)における一軸圧縮強さの変動係数60%以上であり、改質材の配合割合30%よりもばらつきが大きい傾向であった。粘土の含水比171%(液性限界比1.4)、改質材の配合割合20%、30%における改質土の密度と一軸圧縮強さを図5に示す。ここでの液性限界比は、粘土の含水比を粘土の液性限界で割った値である。改質材の配合割合20%では、ハンドミキサー(室内配合)の結果と比較して、上段の改質土の密度と一軸圧縮強さが大きいことから、改質材の多くは上段の粘土に捕捉されていると考えられる。このことから、改質材の配合割合による変動係数の違いは、上段の粘土と改質材の塊がほぐれず、中段と下段に改質材が分散されにくいことが原因と推察される。改質材の配合割合30%の場合、粘土の含水比135%での一軸圧縮強さの変動係数が、他の含水比条件と比較して高くなっている。そこで、上段・中段・下段のエリアごとの改質土の一軸圧縮強さの分布を図6に示す。図6より、粘土の含水比135%の上段の供試体の一軸圧縮強さは、中段・下段よりも大きくなっていることから、上段に残留している改質材が、粘土の含水比171%の改質土よりも多くなっている。つまり、含水比が液性限界122%に近く、粘性の大きい粘土と改質材を混合する場合、攪拌時に改質材が下段に分散しにくい傾向が強く、強度のばらつきが生じるものと考えられる。

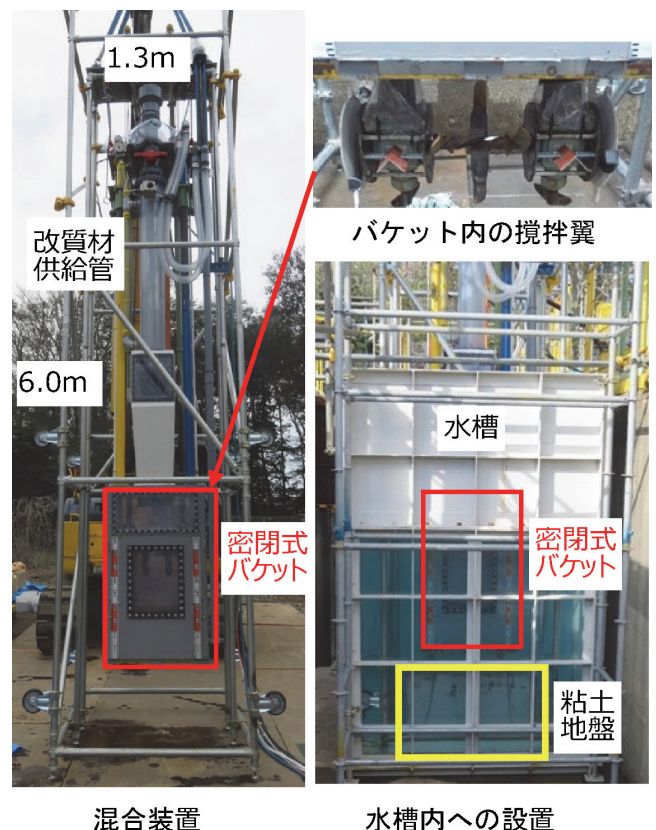


図2 1/5モデル実験の試験装置 (Online version in color.)

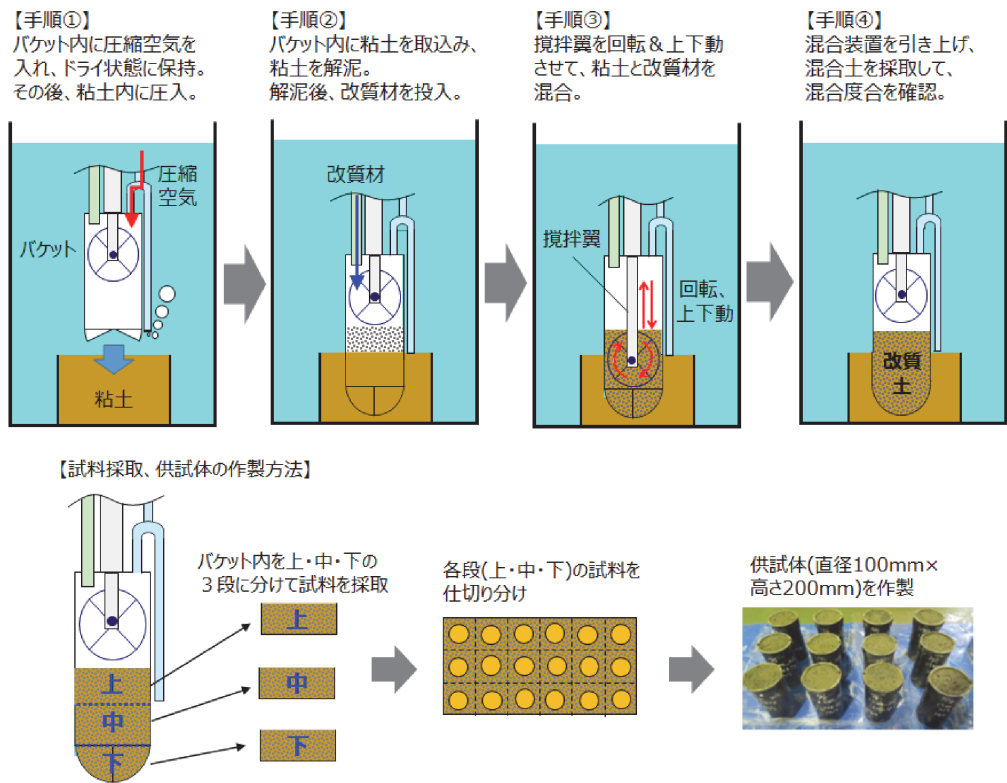


図3 1/5モデル実験の手順 (Online version in color.)

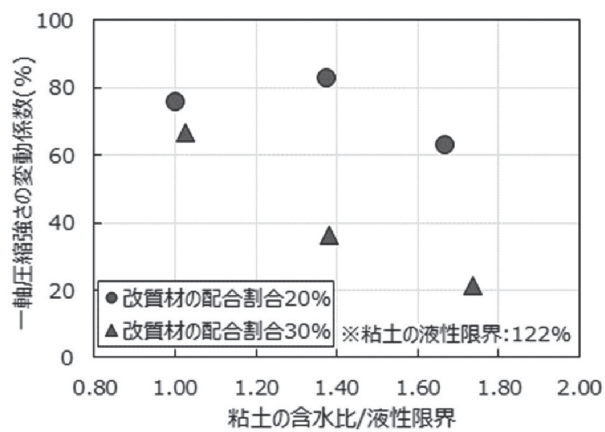


図4 改質土の一軸圧縮強さの変動係数

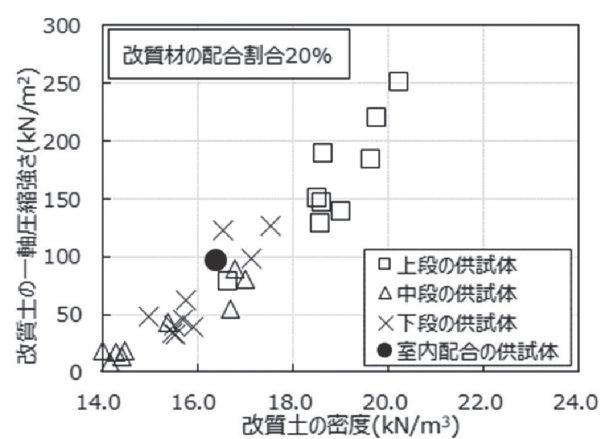
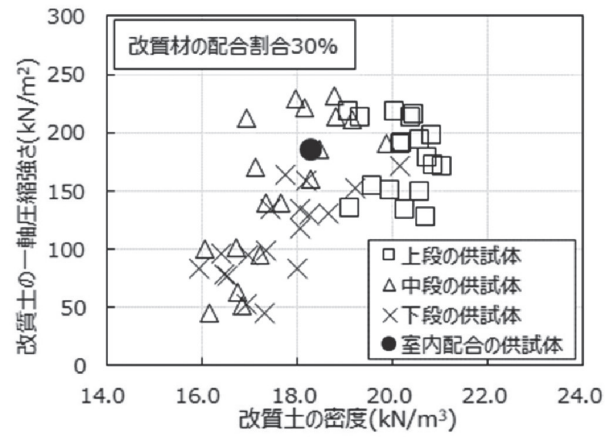
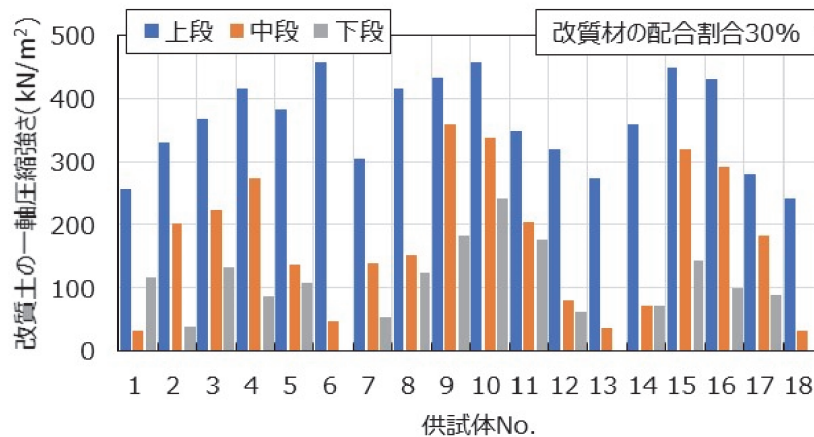


図5 改質土の密度と一軸圧縮強さ (粘土の含水比171%)

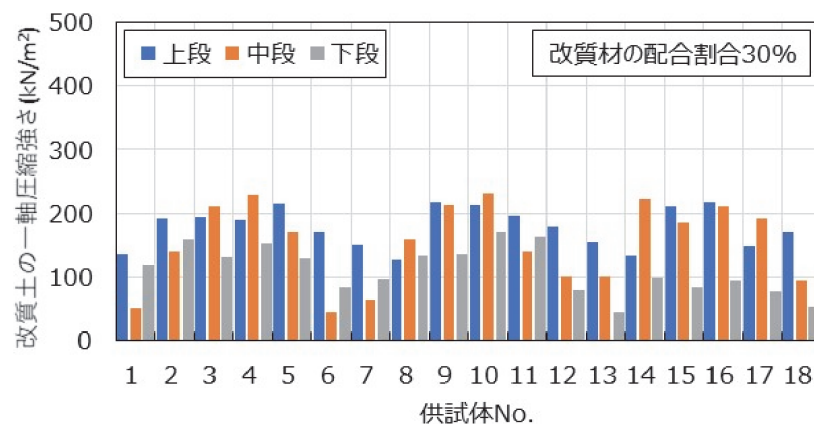
3.3 混合装置の改良検討^{5,6)}

3.3.1 混合装置の改良点

粘土の含水比135% (液性限界の約1.1倍) の場合、バケット上部より投入した改質材が粘土の表層に留まるため、粘土全体に広がりにくいことがわかった。そこで、混合装置の改質材供給管と攪拌翼について、バケット内の粘土に改質材が均一に分布できるように、図7に示すような、改質材供給管の形状変更と攪拌翼の傾斜方向の変更の改良 (2点) を行った。



(a) 粘土の含水比 135%



(b) 粘土の含水比 171%

図6 一軸圧縮強さの分布 (Online version in color.)

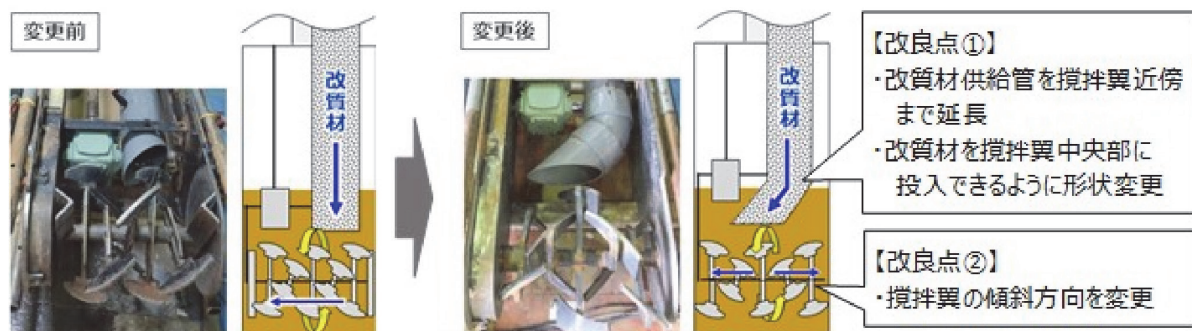


図7 混合装置の改良 (Online version in color.)

3.3.2 混合装置の改良効果

混合装置の改良前と改良後において、製造した改質土の密度と一軸圧縮強さの変動係数の比較を図8に示す。ここでは、粘土の含水比110%（液性限界の0.9倍）、135%（液性限界の1.1倍）、159%（液性限界の1.3倍）の条件とした。その結果、混合装置改良後の一軸圧縮強さの変動係数10～20%で

あり、改良前と比べて低減できていることがわかった。

4 おわりに

本工法の公的評価の取得を目的として2022年7月から2ヶ月間にわたり、広島港出島地区において現地実証試験を実施した。

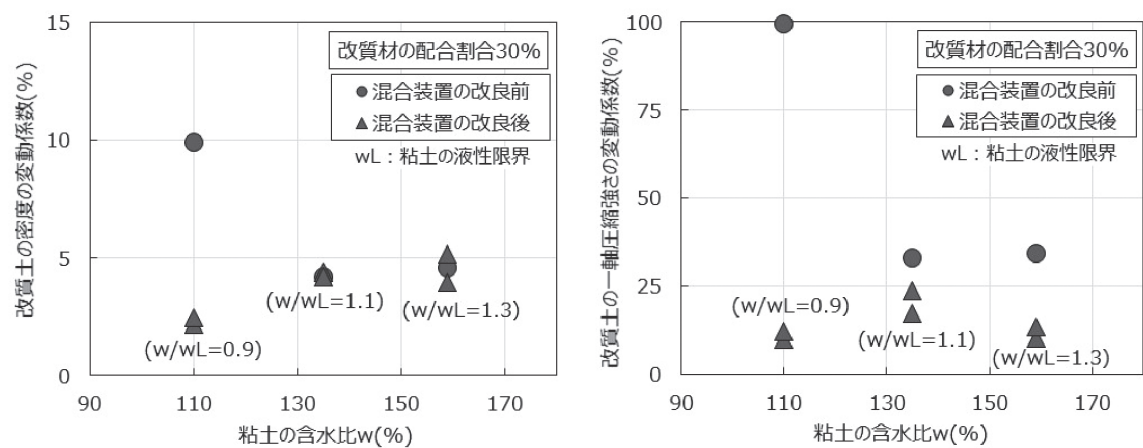


図8 混合装置の改良効果

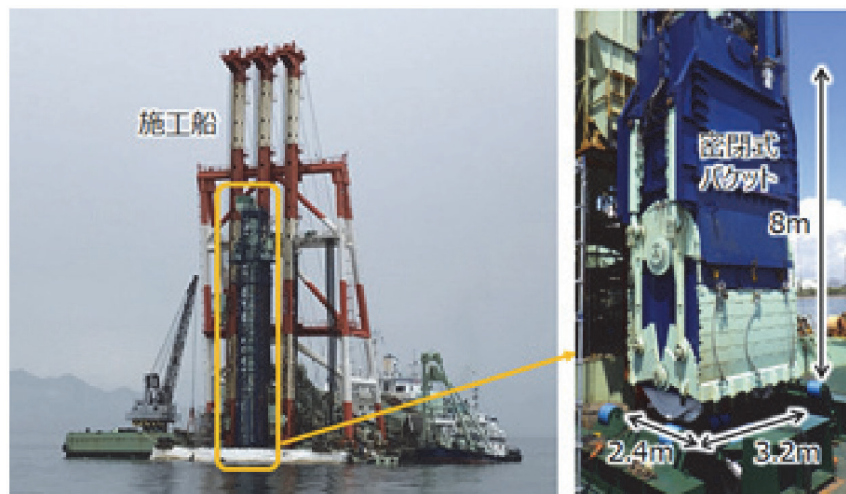


図9 広島港出島地区での現地実証試験の状況 (Online version in color.)

実施状況を図9に示す。現地実証試験で得られた成果は、(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・評価に申請しており、2023年度上期に公的評価書を取得予定である。

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，(2008)。
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，(2017)。
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：土木学会論文集B3 (海洋開発)，74 (2018) 2，I-904。

4) 栗津進吾，山本佳知，本田秀樹，野中宗一郎，赤司有三，浅田英幸，近本雅彦，溝口栄二郎：土木学会論文集B3 (海洋開発)，75 (2019) 2，I-911。
5) 栗津進吾，山本佳知，松本歩，赤司有三，三枝弘幸，本田秀樹，近本雅彦，谷本尚希：土木学会論文集B3 (海洋開発)，76 (2020) 2，I-528。
6) 谷本尚希，栗津進吾，山本佳知，野中宗一郎，赤司有三，浅田英幸，近本雅彦，北門亨允：土木学会論文集B3 (海洋開発)，77 (2021) 2，I-445。

(2023年4月28日受付)