

## 瀬戸内海における海砂利採取跡の環境修復技術について（中間報告） ～海底地形の修復への浚渫土砂の有効活用～

国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 調査課 特別会員 ○鯨田 宏樹  
 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 調査課 特別会員 吉持 香織  
 一般財団法人みなと総合研究財団 調査研究部 非会員 守屋 良美

### 1. 背景と目的

1960年代以降、瀬戸内海においては埋立や骨材としての利用のために、大量の海砂利が採取されてきた。海砂利採取により海底の砂場は大幅に減少しており、底質の礫化や水深の変化により底生生物の生息環境も悪化していることから、海砂利採取跡の環境修復が求められている。一方、港湾整備では、大型船舶に対応した航路等の整備や維持管理のための浚渫事業は継続しており、土砂処分場の確保が困難な状況となっている。従来、浚渫土砂の有効活用として失われた干潟・浅場の再生に使用されてきたが、適地が限定されることと活用できる土量が少ないため抜本的な解決手段に至っていない。

本検討では、港湾整備に伴って発生する浚渫土砂を海砂利採取跡の埋め戻し材として有効活用することにより、海底地形を修復するための環境修復技術を確立することを目的とした。

また、瀬戸内海の浚渫土はシルト・粘土分の多い軟弱土であり、直接埋め戻し材として利用すると濁りの発生や強度不足が懸念される。そのため、製鋼スラグによって生成されたカルシア改質材と浚渫土砂を混合した「カルシア改質土」として改質を行った。カルシア改質土は、強度増進効果や投入時の濁りの発生抑制効果を有しており、埋め戻し材、浅場造成、潜堤築造など施工事例が多くデータも蓄積されている。そのため海砂利採取跡の埋め戻し材としての適用について検討を行ったものである。

### 2. 現地条件の整理

今回検討対象としている海域は、潮流が2ノットを超える時間帯があり、かつ図-1、図-2のとおり海砂利採取跡の水深が40mを超えて平坦に広がっている。その

ため、投入する改質土については、濁りの拡散による周辺への影響を防ぐ必要があるほか、大水深への施工性についても考慮しなければならない。一方で、ある程度の柔軟性を保ちつつ、投入後においても安定した地盤となる必要がある。本検討では、このような現地条件に適した浚渫土と改質材の配合条件を絞り込むことで、実海域の実証試験の前段とすることを目的とした室内実験を行った。

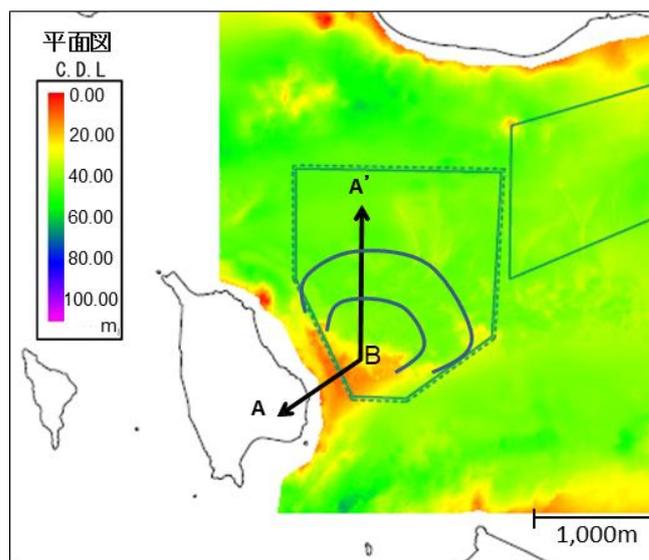


図-1 施工検討箇所周辺の海底地形

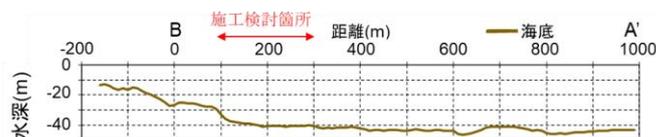


図-2 施工検討箇所の水深

### 3. 室内実験による検討

#### (1) 配合試験

海域において浚渫土を環境修復に有効活用している主な事例としては、浅海域における干潟浅場造成と土

キーワード 海底地形修復, 環境改善, 浚渫土活用, カルシア改質, 水理実験, 濁り抑制

連絡先 〒734-0011 広島市南区宇品海岸 3-10-28 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所  
 TEL 082-250-1902

砂の採取跡の窪地の修復がある。干潟浅場造成では、沖合に土留め潜堤を建設し流動性の強い土砂の受け皿を作った後に土砂を投入する手順が進められている。また、窪地修復の場合には、凹型形状のため土砂の受け皿が存在している状態であり、投入時の濁り対策などを講じて実施されている。

また、前述した改質材との混合により、改質してから利用する方法がある。この適用事例としては、改質土の強度を大きく向上させることで、潜堤の材料などに使用されている。そのため、既存の事例では、改質材の配合割合は30%程度としている場合が多い。

今回の検討箇所は流れの影響が強く、大水深であるため濁りの発生を抑制する必要がある。また、埋め戻し後に堆積形状を保てる程度の強度を有する必要がある。そのため、改質材の配合割合を10%、20%、30%とした改質土を対象として実験を行った。また、改質土は混合後に養生することで強度が向上するため、混合直後、6時間、24時間、48時間で養生した計12ケースの濁りの発生(SS)・強度を測定する試験を行った(表-1参照)。ここで、SSの発生は、設定条件(1,000mlのメスシリンダーに水800ml、試料80g入れ30度の角度で10回振り攪拌後にSSを測定)を定めて計測しており、各ケース間での相対的な評価とした。

表-1 配合試験ケース

No.	浚渫土含水比の調整	カルシア改質材の配合割合	養生時間
1	1.5wL (海水使用)	30%	混合直後
2			6hr
3			24hr
4			48hr
5		20%	混合直後
6			6hr
7			24hr
8			48hr
9		10%	混合直後
10			6hr
11			24hr
12			48hr

配合試験による実験結果を元に、図-3に改質材の配合割合に対するSSの関係を示す。各養生時間に対して、横軸に示す配合割合でSSに大きな違いはないが、6時間養生、24時間養生では改質材の配合割合10%でSSが比較的小さくなっている。これは改質が進むことで土砂強度が発現され細粒分の結着による抑制効果が進む反面、土粒子間の粘性が少なくなり水と接する表面積が逆に増えることが要因と考えられる。このことから、濁りの抑制効果を発揮しつつ、ある程

度の流動性が確保される10%改質土について、水槽実験を行い水中投入における検討を行うこととした。

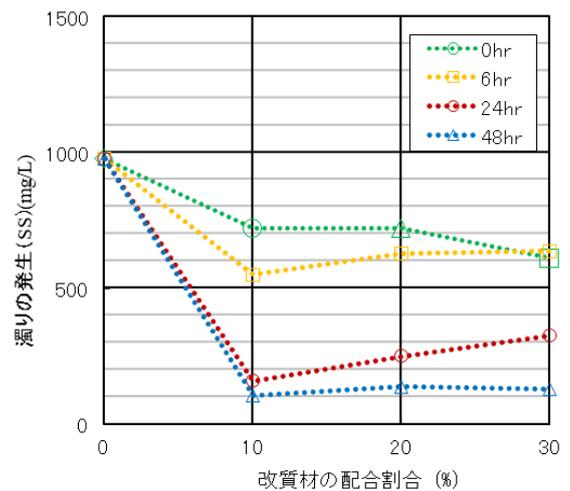


図-3 配合割合による濁り(SS)

(2) 水槽実験

a) 実験方法

水中投入後のSS及び堆積形状について、図-4に示す水槽実験を行うこととした。水槽実験では、改質土の投入方法として濁りを抑制する工法であるトレミー管模型による投入と、ヘラによる直接投入を行った。また、改質しない浚渫土と10%改質土のSSを比較するため、4ケースの実験を行った(表-2参照)。実験装置には、幅2.4m、奥行き2.4m、高さ1.2mの水槽を使用し、濁度計を上下2カ所に設置してSSを測定した(図-4参照)。また、フルードの相似則による縮尺1/40での原型値と模型値の関係について、表-3に示す。土砂に対して相似則を適用することは困難であるが、それ以外の諸元については相似則に従い設定することとした。

なお、改質土の性状については、投入前にスランプ試験、シリンダーフロー試験、コーン貫入試験を実施し、投入中は、濁度測定(上層・下層)、写真・ビデオ撮影、また投入後48時間経過後に排水し、堆積形状測定、コーン貫入試験、ベーンせん断試験を実施することとした。

表-2 水槽実験ケース

No.	浚渫土の含水比調整	カルシア改質材の配合割合	養生時間	投入方法
1	1.5wL (真水使用)	10%	0hr	トレミー管模型による投入
2			6h	
3			24h	
4			24h	(ヘラでの)直接投入

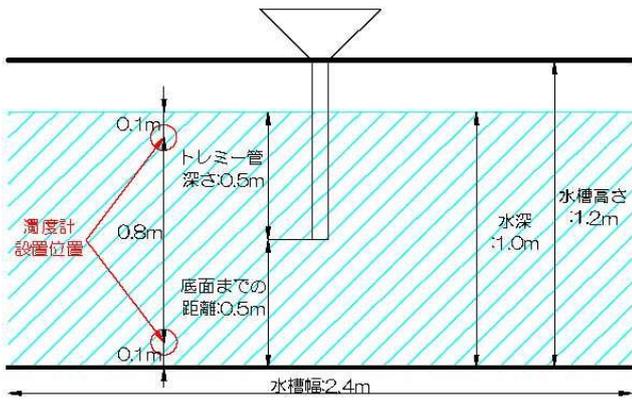


図-4 実験用水槽の概要

表-3 水槽実験の諸元

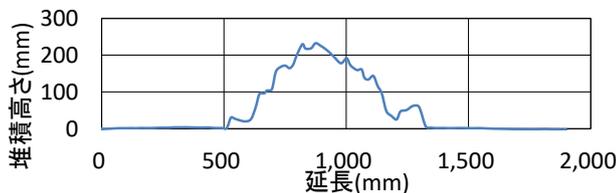
諸元	単位	縮率	原型値	模型値	
管径	トレミー管内径	mm	1/40	2500	65
深さ	施工箇所の水深	m	1/40	40	1
	トレミー管先端から海底までの距離	m	1/40	20	0.5
時間	実験で模擬する投入時間	min	$1/40^{0.5} = 1/6.3$	60	9.5
投入量	改質土混合・投入量	m <sup>3</sup> /8hr	$1/40^{2.5} = 1/10119$	3000	0.296
	改質土投入量(現地1時間あたり)	m <sup>3</sup>	$1/40^{2.5}$	375	0.037

b) 実験結果

① 水中投入後の形状変化

水槽実験開始から48時間後に水槽内の水を抜き、それぞれの実験ケースについて堆積形状の確認を行った。図-5は、10%改質土について、6時間養生してトレミー管投入を行ったケースと、ヘラによる直接投入を行ったケースの堆積形状を示している。いずれのケースでも堆積形状が保たれていることから、10%改質土においても水中投入により形状が変化することなく、維持されていることを確認できた。

10%改質、トレミー管投入



10%改質、直接投入

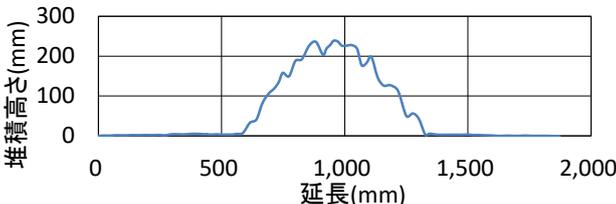


図-5 各ケースの堆積形状

② 濁り拡散への影響

上下2カ所に設置した濁度計により、10%改質土の投入直後から48時間経過までの濁度の計測を行った。図-6に水槽実験開始から1時間後までのSSの変化を示す。また、図-7に48時間後までのSSの変化を示す。結果、浚渫土のみのケースは投入直後からSSが40mg/L前後まで急増している。一方、10%改質土はトレミー管投入、直接投入いずれも10mg/L以下で推移しているのがわかる。

表-4に、「浚渫土のみのケースのSS」に対する

「10%改質土のSS」を割合で示す。10%改質土は浚渫土のみに比べて、SSが1~20%程度まで抑制されている。

以上の結果により、低配合として設定した10%改質土についても濁りを抑制し、水中投入できることが確認できた。また、トレミー管による投入と直接投入ではいずれも堆積形状・濁りに差は見られなかった。

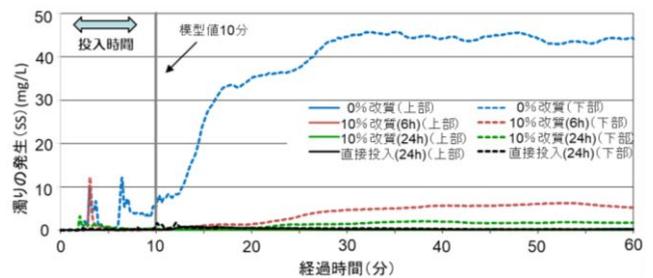


図-6 水槽実験におけるSSの変化(1時間後まで)

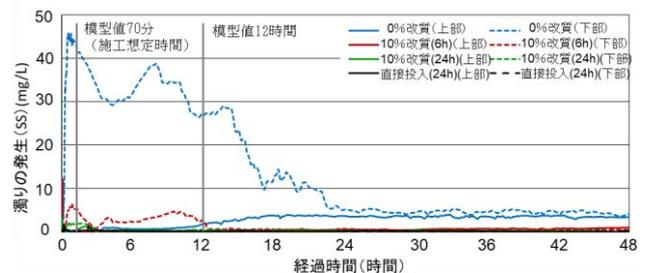


図-7 水槽実験におけるSSの変化(48時間後まで)

表-4 各ケースにおけるSSの平均値と割合

経過時間	原形値 模型値	投入 方法	経過時間でのSS平均値					
			1時間 10分	7時間 70分	72時間 12時間	72時間 12時間		
	改質割合 (養生時間)		SS平均 (g/L)	残存率 ※(%)	SS平均 (g/L)	残存率 ※(%)	SS平均 (g/L)	残存率 ※(%)
1	0%改質	トレミー	2.7	100%	34.4	100%	33.6	100%
2	10%改質 (6h)	トレミー	0.6	23%	3.8	11%	3.1	9%
3	10%改質 (24h)	トレミー	0.6	22%	1.3	4%	0.6	2%
4	10%改質 (24h)	直投	0.2	8%	0.3	1%	0.3	1%

※0%改質のSSを100%とした場合の濁りの残存率

③ SSを基準とした施工管理の指標

これまでに行った実験結果を元に、濁りが抑えられ

る性状の管理値（コーン貫入値，スランプ値）について検討した．なお，目標とするSSの基準値としては，バックグラウンド+10mg/Lを設定する事例が多いことから，本検討においてもバックグラウンド+10mg/Lを目標とした．

図-8～図-9に投入前の各種試験の値と，想定施工時間に相当する70分後までのSS最大値の関係を示し，水槽実験を行った4ケースの結果から近似曲線を表示した．近似曲線とSS 10mg/L（赤線）の関係を見ると，SSが10mg/L以下になるためには，コーン貫入値が約10kN/m<sup>2</sup>以上必要であることがわかる．同様にスランプ値は12cm以下の場合にSSの目標値を満足している．限られた実験ケースによる結果であるが，これらの値を現場で測定することで施工管理時の簡易な指標となると考えられる．

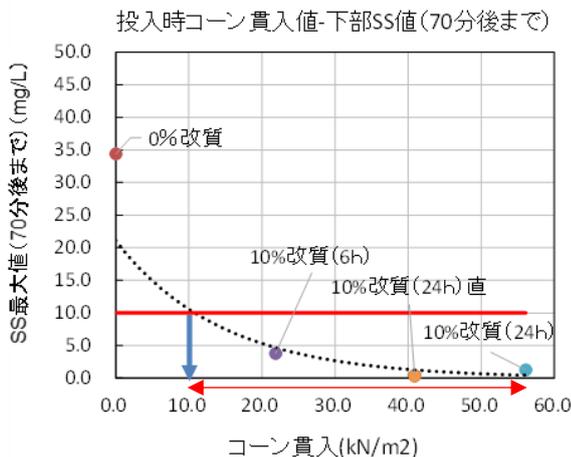


図-8 投入時コーン貫入値に対するSS最大値

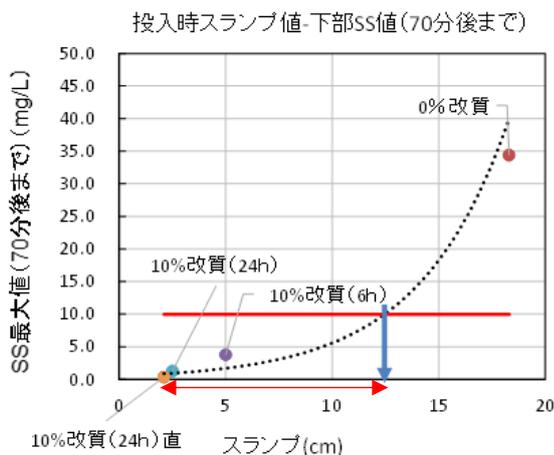


図-9 投入時スランプ値に対するSS最大値

#### 4. まとめ

今回の検討では，製鋼スラグによって生成されたカ

ルシア改質材と浚渫土砂を混合したカルシア改質土に対して，現場海域に適した配合率の設定のため，養生期間をパラメータとした配合試験及び水槽実験を実施した．この結果，配合率10%（含水率1.5wL），養生期間6時間～24時間で濁りを抑制できる効果が得られることを確認できた．また，実験では直接投入においても濁りの発生抑制効果が確認されたため，汚濁防止膜やトレミー管などの濁り抑制工法を用いず，安価な直接投入で施工できる可能性が高まった．ただし，今回の水槽実験は流れを考慮しておらず，また土砂には相似則が適用できていないため，直接投入の採用にあたっては，今後流れを考慮した実海域での検証が必要である．

#### 5. 今後の方針

今回の室内実験に用いた浚渫土及び改質材は，それぞれ1種類の材料での検討に留まったが，浚渫土及び改質材については，場所及び時期などの条件によって性状が異なる．そのため，浚渫土及び改質材の選定によっては改質土の性状が本実験とは異なることが想定される．そこで，浚渫土及び改質材の種類を変えた条件で室内配合試験を実施することで本実験結果の適用性を確認すると共に，10%改質土に適用できる浚渫土・改質材の範囲を整理する必要がある．

また，濁りの発生に関しては，室内実験により改質材の配合割合による濁りの抑制効果を比較することができたが，低配合の改質土を深く流れの強い海域に投入した事例はなく，実海域における実証試験を行うことで，投入方法や濁りの評価および改質土による地形の形成について検証する必要がある．

#### 謝辞

本研究は，瀬戸内海の環境修復技術に関する検討会（委員長：広島大学西嶋教授）における指導を得ながら取りまとめたものである．ここに，検討会の各委員に記して感謝する．

#### 参考文献

- 1) 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，（一財）沿岸技術研究センター