

## 瀬戸内海の家砂利採取跡地の環境修復における改質土の強度特性と濁りに関する検討

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 ○林 郷子  
 中国地方整備局広島港湾空港技術調査事務所 特別会員 佐藤 良治  
 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 西本 高志

## 1. 目的

瀬戸内海では1960年代以降、埋立や建設資材用に利用するために、大量の家砂利が採取されてきた。その結果、家砂利採取跡地が散在し、海底地形や底質性状が大きく変化し、その状態が回復していない海底がほとんどである。底質は礫を多く含む構成に変化し、砂地は大幅に減少しており、水深が深くかつ平坦になったことから、生物相が貧弱となっている。<sup>1)</sup>

一方、港湾整備においては、大型船舶に対応した航路等の整備が進められており、浚渫工事によって大量の浚渫土が発生するものの活用方策は限定的で、土砂処分場への利用がほとんどである。家砂利採取跡地の修復材料として浚渫土を活用することが考えられるが、浚渫土の多くが粘性土であることからそのまま修復材料として使用するには、施工時の濁りの発生や修復地形の維持が困難といった課題がある。また、対象海域は令和2年に行った流動調査の結果から潮汐流が卓越し、最大流速が上層では114cm/s、下層でも80cm/sと強い流れが存在しており、加えて水深が40mを超える場所のため、特に上記課題の克服が重要となる。

これまで、土砂投入に伴う濁りの影響を低減するために、汚濁防止膜の敷設やトレミー管工法等の施工上の対策が施されてきたが、強流域かつ深い海域での実施例はほとんどない。加えて、修復後の地形維持も含めて考えると、粘性土を改質して施工時の濁りの発生と施工後の地盤の安定を図ることが有効である。

本検討は、家砂利採取跡地を修復するにあたり、浚渫土を改質することで濁りの発生を抑制できる改質土の適用を想定し、その改質条件の設定について、有効遊離石灰率と強度特性との関係から検討した。

## 2. 浚渫土及び改質材（カルシア改質材）の性状等

本検討で用いた浚渫土及びカルシア改質材の主な性状を表-1に、粒度分布を図-1及び図-2に示した。

浚渫土は、細粒分含有率が71~98%の粘性土である。カルシア改質材は標準的な粒度範囲にあり、最大粒径が4.75~37.5mm、遊離石灰は2.3~8.4%である。

浚渫土及び改質材ともに、幅広い性状のものを用いた。改質材の粒度分布は図-2に示したように産地やロットによって大きく異なる状況にある。

表-1 浚渫土とカルシア改質材の主な性状

浚渫土	細粒分 (%)	液性限界 WL
A (M港)	96.7	74.5
B (F港)	97.9	96.0
C (F港)	82.3	88.4
D, E (F港)	70.8	61.4
改質土	5mm以下の割合 (%)	遊離石灰 (%)
a (K産)	41.0	8.4
b (K産)	100.0	5.0
c (F産)	68.5	2.9
d (F産)	90.7	2.3

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, 濁り抑制, 有効遊離石灰率

連絡先 〒734-0011 広島県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

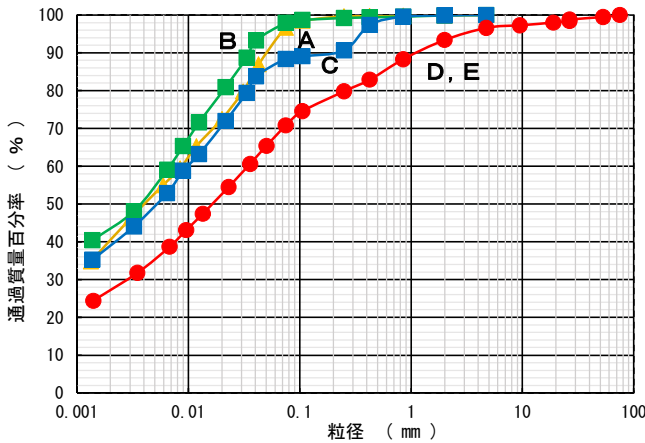


図-1 浚渫土の粒度分布

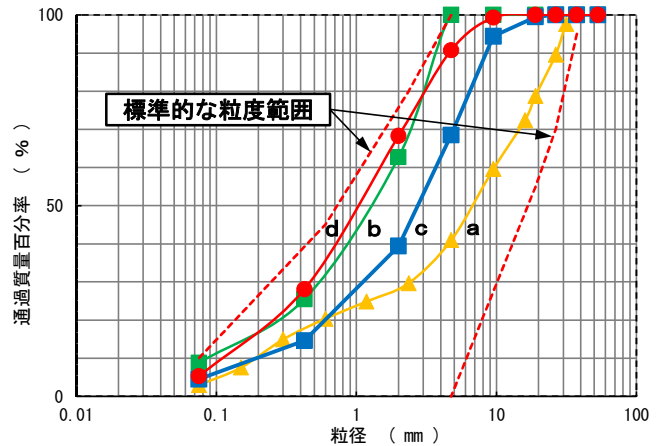


図-2 カルシア改質材の粒度分布

### 3. 改質土の強度特性

強度の発現には多くの要素が関係する。改質土の強度は、養生時間が長いほど、混合割合が大きいほど増加することが示されているが、強度発現に大きく影響する要素として、カルシア改質材の遊離石灰 (f-CaO) 量、粒度分布が挙げられる。<sup>2)</sup>

24 時間程度の養生時間内の強度発現には、改質材に含有されるすべての遊離石灰が溶出し改質に使われているとは考えにくく、改質材の粒子表面近傍に存在する遊離石灰のみが関与していると推測され、この場合、重量当たりの表面積が大きい、小さい粒子の寄与が大きいと考えられる。このため、早期の強度に有効に働く粒径を 5mm 以下と仮定して、遊離石灰に改質割合を乗じた遊離石灰率 (L) に、5mm 以下の粒子割合を乗じた、有効遊離石灰率 (Le) を新たな指標として導入するものとし、強度変化を整理している<sup>3)</sup>。

$$\text{有効遊離石灰率 (Le)} = \text{遊離石灰 (f-CaO)} \times \text{改質材の粒径 5mm 以下の割合} \times \text{改質材の配合割合} \times 10^2$$

表-1 に示す浚渫土、カルシア改質材の産地、配合割合を変動要素として、室内配合試験を行った結果を図-3 に示す。なお、養生時間については 24 時間とし、実施工時に簡便に強度の確認が可能なベーンせん断強さと Le の関係を示している。プロットが収斂されており相関が高いと言える (R2=0.87)。

浚渫土については図-1 に示したように細粒分含有率が 71~98%と幅のある材料の基に、この図で表現できることから、少なくとも細粒分含有率 7 割以上の浚渫土には細粒分含有率に関わらずこの指標が適用可能と考えられる。

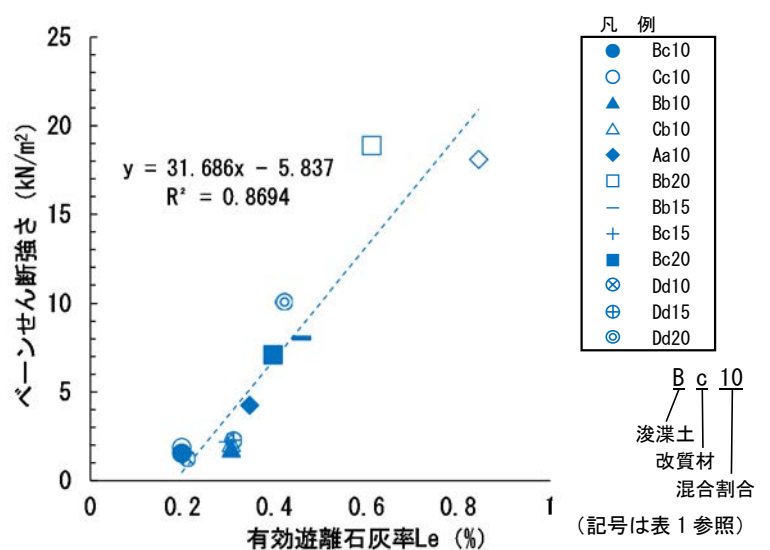


図-3 Le とベーンせん断強さの関係

#### 4. 濁りの発生と強度の関係

過年度の実験結果<sup>4)</sup>を元に、濁りが抑制される改質土のベーンせん断管理値を推計している。なお、目標とするSSの基準としては、バックグラウンド+10mg/Lを管理値としてい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を設定している。

図-4は、SSとベーンせん断強さの関係について、改質割合と養生時間を変動要素とする4つのケースの結果から近似曲線を示している。SS 10mg/L(赤線)以下となるベーンせん断強さの値は、2.0kN/m<sup>2</sup>以上が必要である。濁りを抑制する投入管理基準値として定め、現場における管理値として活用する。

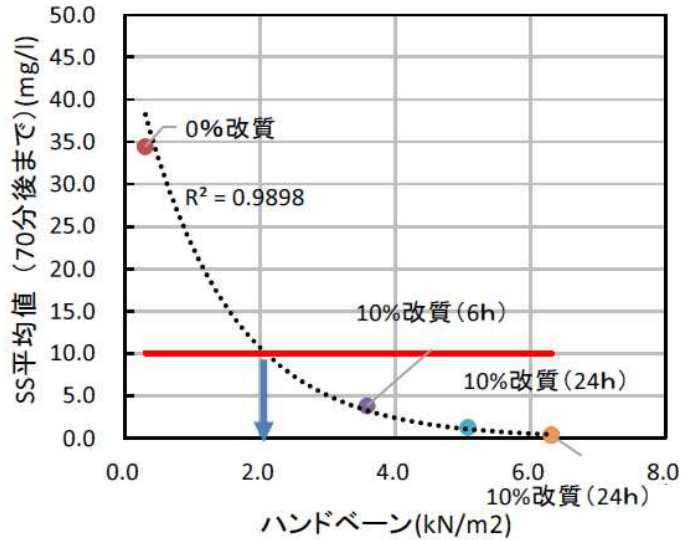


図-4：SSとベーンせん断強さの関係

#### 5. 実用的な施工管理への適用に向けた検討

今までの検討は、主に養生時間が24時間の結果に基づき整理してきた。しかし、施工のサイクルで養生時間の設定が24時間に固定されることはなく、混合工法(バックホウ混合、落下混合等)、土運船(底開バージ)への積込及び投入場所への運搬時間によって実質的な養生時間が変わってくる。

そこで、前項4.に記した濁りを抑制できる改質土強度(ベーンせん断: 2kN/m<sup>2</sup>)の投入管理条件を満足した上で、任意の養生時間に対するLe、あるいは設定したLeに対する養生時間を定めることを検討した。

まず、検討している養生24時間のベーンせん断強さは、図-3より、(1)式によって推定される。

$$q_{24} = 31.7 \times Le - 5.84 \quad (1)$$

ここに、 $q_{24}$ : 養生24時間のベーンせん断強さ(kN/m<sup>2</sup>)、Le: 有効遊離石灰率(%)。

図-5に示すように、養生時間に対するベーンせん断強さは、単純な比例関係ではないため、ベーンせん断強さの時間変化(傾き)を有効遊離石灰率で整理した。図-6から時間変化の傾向はLeによって表すことができる。

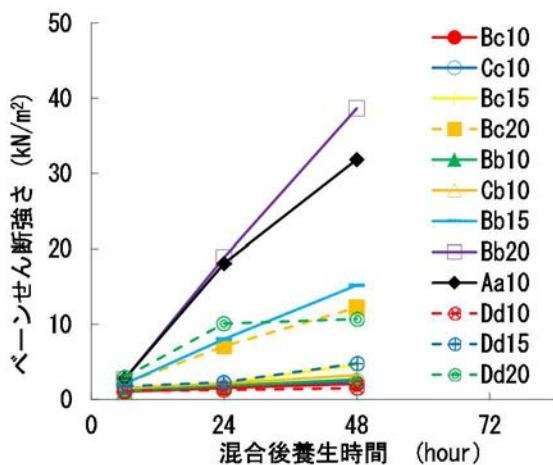


図-5 ベーンせん断強さの養生時間による変化

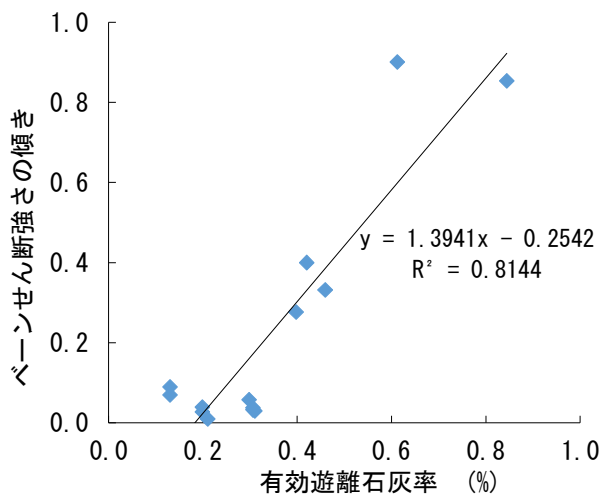


図-6 Leに対するベーンせん断強さの時間変化

混合後の任意の養生時間におけるベーンせん断強さは、図-6 の関係と補正係数を導入し(2)式を仮定する。

$$q_t = (C_1 \cdot Le + C_2) \cdot T + C_0 \quad (2)$$

ここに、 $q_t$  : 養生時間  $T$  におけるベーンせん断強さ ( $\text{kN/m}^2$ )、 $T$  : 養生時間 (hr)、 $C_0$  : 補正係数、 $C_1, C_2$  : 相関関係により求められる係数 (1.3941 及び -0.2542)。

(2)より、

$$C_0 = q_0 - (C_1 \cdot Le_{24} + C_2) \times 24 = -0.163 \quad (3)$$

(2)を変形すると、

$$\begin{aligned} Le &= (q_0 - C_0) / (C_1 \cdot T) - C_2 / C_1 \\ T &= (q_0 - C_0) / (C_1 \cdot Le + C_2) \end{aligned} \quad (4)$$

ここに、 $q_0$  : 濁りを抑制できるベーンせん断強さ ( $2\text{kN/m}^2$ )、 $Le_{24}$  : 養生 24 時間での  $q_0$  となる  $Le$  値 (0.247)。

(4)式により、任意の養生時間に対する  $Le$ 、あるいは設定した  $Le$  に対する養生時間が求まる。

この(4)により適用する工法に応じた養生時間の変動、もしくは搬入される改質材の  $Le$  値の変動に対する養生時間の設定が対応可能となり、実用的な施工管理への適用が可能となる。

## 6. 主な結論と今後の方針

濁りが抑制できる改質土強度 (ベーンせん断強さ ( $2\text{kN/m}^2$ )) を指標とする投入管理条件を満足し、実用的な運用にあたって任意の養生時間に対する  $Le$ 、あるいは設定した  $Le$  に対する養生時間を定めることが可能となった。

カルシア改質材は、粒度分布と遊離石灰分にばらつきが大きく、改善を試みるため有効遊離石灰率 ( $Le$ ) を導入しているが、今後は、カルシア改質材の市場流通の動向を踏まえつつ、有効遊離石灰率 ( $Le$ ) の構成要素である、遊離石灰 ( $f\text{-CaO}$ ) や改質材の粒径  $5\text{mm}$  以下の割合に係る品質管理のあり方について、検討を進めていくこととしている。また、底開バージによる海域への本格投入等を見据え、実証実験により濁りの拡散を確認し、周辺環境への影響について評価を行うこととしている。

## 謝辞

本検討は、瀬戸内海的环境修復技術に関する検討会 (委員長: 広島大学西嶋教授) に助言を得て進めた結果である。ここに、検討会の各委員に記して感謝する。

## 参考文献等

- 1) 広島県: 広島県海砂利採取環境調査報告, 2017.
- 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技術マニュアル, 2007.
- 3) 首藤啓・荻原豪太・池田朋広・窪田幸一郎: 瀬戸内海の家砂利採取跡地の環境修復技術における改質土の強度特性に関する研究, 日本沿岸域学会研究討論会, 講演概要集 No. 34, 2022.
- 4) 鯨田宏樹, 吉持香織, 守屋良美: 瀬戸内海における海砂利採取跡地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~, VII-2, 第 73 回令和 3 年度土木学会中国支部研究発表会, 2021.