

海域における浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材の利活用について

菊地洋二*・王丸冬二**・末本浩二***・富安真一郎****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査役

** (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

*** 前 国土交通省 中国地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課長

**** 国土交通省 中国地方整備局 港湾空港部 海洋環境・技術課課長補佐

近年、港湾では泊地・航路の増深や航路維持浚渫により、多量の浚渫土の発生が見込まれている。一方、リサイクル材料の活用が進められ、転炉系製鋼スラグの有効活用も望まれている。浚渫土と転炉系製鋼スラグを混合することにより、通常では利用できない細粒分の多い浚渫土の海域利用が可能となる。浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材を活用するにあたり、その安定性・安全性を確保するための適用用途・材料特性・品質管理方法等について、室内試験等を実施して検討を行った。

キーワード: 浚渫土, 転炉系製鋼スラグ, 環境安全品質, 物理試験, 生物試験

1. はじめに

近年、大型船が入出港する港湾では、泊地・航路の増深や航路維持浚渫により、多量の浚渫土の発生が見込まれ、処分に困難を極めている。一方、循環型社会の形成とともに、リサイクル材料の活用が進められ、転炉系製鋼スラグの有効活用も望まれている。これらの細粒分の多い浚渫土と転炉系製鋼スラグを混合することで、軟弱な浚渫土のみでは土木材料として成立しないものが、海域での利用を可能とすることができる(写真-1)。

中国地方整備局では、瀬戸内沿岸の港湾から発生する浚渫土と、近隣の製鉄所から発生する転炉系製鋼スラグを混合することにより海域での有効活用を図るために、安定性・安全性の検討を進めてきた。平成26年2月には、「浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材の海域利用のための技術マニュアル(案)」として、技術的な知見・適用条件・施工手順等についてとりまとめている。

その後、平成26～28年度にかけて混合材を活用するためのより具体的な適用用途・材料特性・品質管理方法等の検討を進めてきた。本報告では、室内試験をはじめとするそれらの検討結果について報告する。



写真-1 浚渫土, 転炉系製鋼スラグ, 混合材

2. 混合材の海域における適用用途

浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材(以下、「混合材」という)は、これまでもいくつかの試験事例¹⁾があるが、これらの知見や現時点で想定される用途を踏まえ、混合材を利用する適用用途を整理した。

適用用途を抽出する観点として、以下の点が挙げられる。

- ・浚渫土砂処分量の低減につながるか?
- ・瀬戸内海の環境創造の推進につながるか?
- ・混合材の用途拡大につながるか?
- ・管内海域での実現性はあるか?

適用用途の分類では、鉄鋼スラグ類の環境安全品質(安全性の管理方法)の考え方²⁾を準用することによって、以下の用途・区分を対象とした。

- ・適用用途①: 施工後に混合材が直接海水に接しない場合(腹付材, 干潟・浅場基盤材(表層材あり), 窪地埋戻し材)
- ・適用用途②: 施工後に混合材が直接海水に接する場合(潜堤材, 干潟・浅場基盤材(表層材なし), 覆砂材)

また、人の立入の可能性によって、以下の区分を設けた。

- ・区分Ⅰ: 人の立入の可能性なし
- ・区分Ⅱ: 人の立入の可能性あり

混合材の安全性の管理としては、周辺海域の水質・底質・生物に影響を及ぼさないことから、海水に接する範囲・期間の程度によって、環境影響のリスクが異なると考えられる。そのため、管理内容を適用用途①, ②の2用途、さらに各用途について、人の立入の可能性の有無により区分Ⅰ, Ⅱの2区分で整理した。

具体的な例として、干潟基盤材として利用し、表層材で被覆する場合を想定すると(図-1)、表層材が減少した際に補修等を行う計画がある場合は適用用途①, 計画

がない場合は適用用途②として取扱う。また、供用時には人の立入を見込まない場合でも、人の立入を継続的に禁止する計画としない場合は、区分Ⅱとして取扱う。

これらの用途・区分ごとに、異なる環境安全品質の基準値（溶出量基準、含有量基準）を適用する考え方である（後述）。

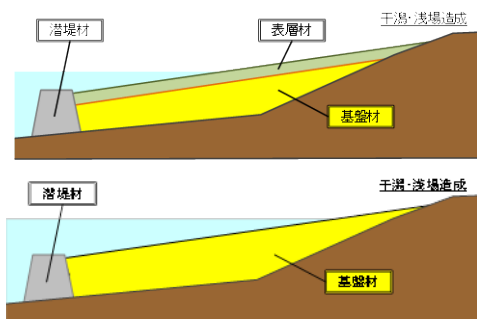


図-1 干潟基盤材としての利用イメージ
（上：表層材あり、下：表層材なし）

3. 混合材の安定性・安全性の特性

3.1 安定性

海域利用する混合材の安定性については、混合材を利用して施工を行った場所が長期に亘り要求される強度・形状等を維持することが必要である。混合材のせん断強度は、材料である浚渫土や転炉系製鋼スラグの物理的・化学的特性や混合条件により大きく異なる。

混合材の強度発現に影響を及ぼす因子として、①浚渫土の含水比・細粒分含有率・有機物含有量・化学組成、②転炉系製鋼スラグの f-CaO 量・粒度分布、③混合時の転炉系製鋼スラグ混合率・養生日数・養生温度が挙げられている¹⁾。

これら影響因子の主なものについて、今回室内試験を行った。試験に用いた浚渫土は、尾道糸崎港、宇部港、徳山下松港の3港湾、転炉系製鋼スラグは、福山地区の製鉄所産のものである。

(1) 浚渫土の含水比と混合材の強度

加水調整を行った浚渫土の含水比と混合材の強度の関係をみると、浚渫土の含水比が上昇すると強度が低下する傾向がみられる（図-2、尾道糸崎港；s1）。浚渫方法により浚渫土の含水比は大きく異なり、また、混合材の施工方法によっては浚渫土の加水調整を行うことも想定される。

したがって、施工前の室内配合試験では、現地施工時の含水比と同程度に調整を行うことが基本となる。また、浚渫土の粒度が施工段階で変化することがあり、粒度の違いにより含水比が変化することが想定される場合には、室内配合試験で浚渫土の含水比を複数設定して実施することが望ましい。

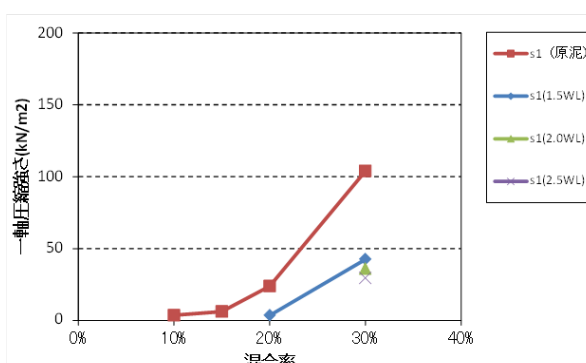


図-2 浚渫土の含水比と混合材強度の関係

(2) 浚渫土の細粒分含有率と混合材の強度

異なる港湾の浚渫土を用いた混合材の強度の比較をみると、細粒分含有率等の浚渫土の性状が異なることにより、同一の混合率であっても強度が異なることが窺える（図-3、尾道糸崎港；s1、宇部港；s2、徳山下松港；s3）。浚渫土の細粒分含有率は、尾道糸崎港 89%、宇部港 71%、徳山下松港 98%である。

ただし、いずれの浚渫土についても混合率 30%では 100kN/m² 程度の軸圧縮強さが得られており、細粒分含有率が 70%程度以上の場合、ある程度の強度が得られるものと考えられる。

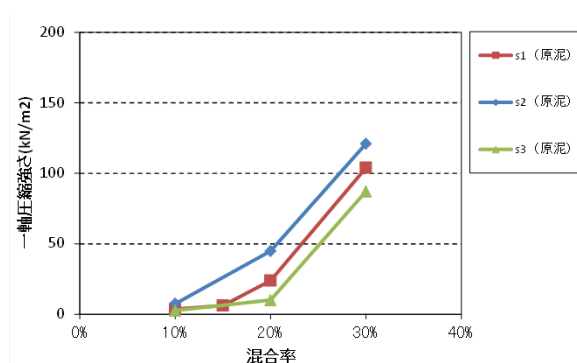


図-3 浚渫土の細粒分含有率と混合材強度の関係

(3) f-CaO 含有量と混合材の強度

同一の浚渫土（尾道糸崎港；s1）に異なる f-CaO 含有量（3.1%、3.8%、4.1%）の転炉系製鋼スラグを混合した混合材の強度の関係をみると、f-CaO 含有量が多い転炉系製鋼スラグを用いた場合、同一の混合率であっても強度が大きくなっている（図-4）。

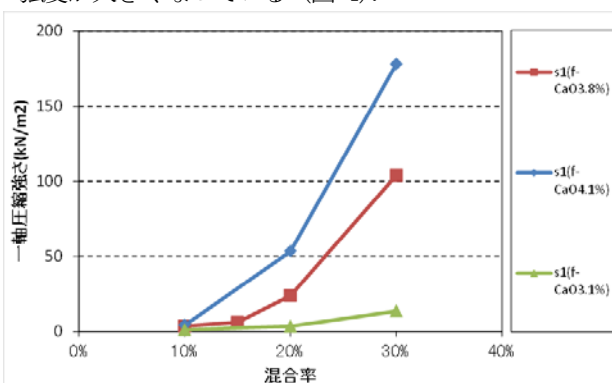


図-4 f-CaO 含有量と混合材の強度の関係

一方で、f-CaO 含有量が少ない転炉系製鋼スラグを利用した混合材については、強度が小さい可能性があるため、事前の室内配合試験において必要強度を満足することを十分確認することが望ましい。

(4) 材齢と混合材の強度

混合材の強度の経時変化をみると、材齢 28 日で 100kN/m² 程度の強度が発現した混合率 30%については、材齢 7～28 日に比べて材齢 28～91 日で強度の増進が緩やかになっている。一方、材齢 28 日で比較的低強度が小さかった混合率 20%については、材齢 91 日まで直線的な増加傾向となっている（図-5）。

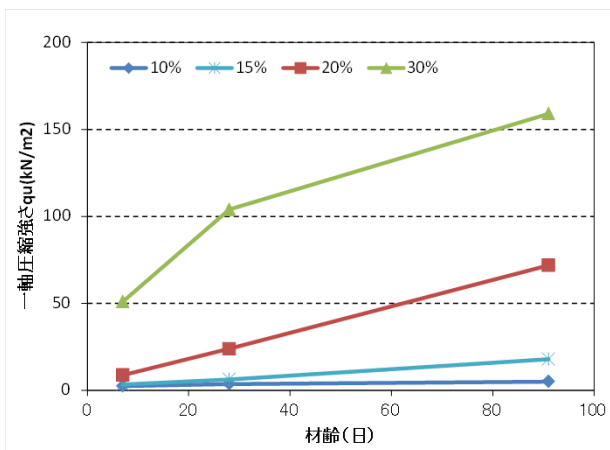


図-5 材齢と混合材の強度の関係

混合材の強度については、材齢 28 日の強度で管理することが基本となるが、材齢 28 日以降も強度が増進することが知られている。低強度での施工が許容される場合等は、長期経過後（材齢 91 日等）の強度で管理することも想定される。なお、強度増進の傾向は、使用する浚渫土や転炉系製鋼スラグの性状により異なるため、事前の室内配合試験により確認することが望ましい。

3.2 安全性

(1) 安全性を判定する基準の考え方

海域利用する混合材の安全性については、混合材を利用して施工を行った場所の周辺海域の水質・底質・生物に影響を及ぼさないことが必要である。安全性を判定する基準の考え方を示す（表-1）。

ここで、有害物質については、混合材が直接海水に接することなく人の立入りもない場合は、従来の「水底土砂基準」を、人の立入る可能性のある区分Ⅱは、文献²⁾の基本的な考え方に準拠し「港湾用途溶出量基準」を準用する考え方である。

(2) 生物試験の必要性

適用海域でみられる生物種と既存事例で安全性が確認されている生物分類での試験結果を照らし合わせ、既存事例で各事業での生物安全性が確認できるとみなす場合は、生物試験を実施しなくてよいと考えられる。なお、生物の栄養段階によって有害物質への感受性が異なるため、複数の生物分類での試験結果を確認することが望ましい。

また、各事業の適用海域の特性や適用用途を踏まえ、特に生物安全性が要求される場合には、生物試験を実施することが望ましい。例えば、地域の特産物など安全性に特に注目すべき生物種が存在する場合、適用海域の周辺に漁場が存在する場合、干潟・浅場等の整備事業においてアサリ等の底生生物の生息を期待する場合等が考えられる。

(3) 生物試験の実施例

【生物種】

中国地方整備局においては、平成 26 年度と 28 年度に生物試験を実施した。それぞれ、徳山下松港と尾道糸崎港を念頭に、漁獲高が多く、その地域の水産的に重要な以下の生物種を選定した。

26 年度：（魚類）ヒラメ

（貝類）クロアワビ

28 年度：（甲殻類）ヨシエビ

なお、その他の機関による生物試験の事例³⁾では、マダイ（魚類）、クルマエビ（甲殻類）、クロアワビ（貝類）がある。

【急性毒性試験】

短期的な生物影響をみるため、従来から実施されている試験方法⁴⁾であり、死亡率・遊泳阻害率等の明確な評価指標⁵⁾を持つ。試験区（混合材溶出液）と対照区（自然海水）の有意差をみる（試験期間 96 時間）。

表-1 安全性を判定する基準の考え方

区分	項目	基準		
有害物質	溶出量	適用用途①	区分Ⅰ	水底土砂に係る判定基準
			区分Ⅱ	水底土砂に係る判定基準または港湾用途溶出量基準
		適用用途②	区分Ⅰ	水底土砂に係る判定基準
			区分Ⅱ	港湾用途溶出量基準
	含有量	適用用途②	区分Ⅱ	含有量基準
生物安全性	安全性確認	生物安全性が既存事例から判断できること		
	生物試験（急性毒性試験）	試験区と対照区で評価指標（死亡率、遊泳阻害率等）に統計的に有意な差がみられないこと 試験区での死亡率が 10% 以下であること		
	生物試験（蓄積性試験）	試験後の試験区と対照区で生物体内含有量に統計的に有意な差が見られないこと 鉛、カドミウム、総水銀については、対象となる生物について、食品の安全性に関する基準値以下であること（対照区で基準値を超えた場合を除く）		

【蓄積性試験】

生物体内での有害物質の蓄積性を見るための試験である。転炉系製鋼スラグ単体を対象とした蓄積性試験は過去に事例³⁾があるが、混合材を対象としたものは見当たらない。そこで蓄積性試験を実施し、混合材における試験事例を得ることとした。

比較的長期間（試験期間 60 日）の飼育をした間の有害物質の生物体内含有量を評価指標として、試験区と対照区の有意差をみた。なお、鉛・カドミウム・総水銀については、食品安全性に関する基準値による（写真-2）。

【生物試験の条件設定等】

生物試験の準備等には以下の項目・留意事項がある。

- ・試験生物の調達
- ・試験条件の設定
- ・試験水槽の準備
- ・試験の実施（飼育、評価指標の計測）
- ・評価

【生物試験の結果】

中国地方整備局で行った試験では、急性毒性試験・蓄積性試験ともに、試験区と対照区で有意な差は見られなかった。



写真-2 蓄積性試験水槽

4. 品質管理方法

混合材を海域利用する際の品質管理フローは、材料の出荷・受渡の始まり、室内配合試験、試験施工、本施工に至る多くの経過を踏む必要がある。

現時点で考え得る品質管理フローを図-6 に示す。

5. おわりに

細粒分の多い浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材について、海域での適用用途・混合材の材料特性・品質管理方法等の既往の知見を整理するとともに、新たに物理試験や生物試験を実施して、知見の蓄積を図った。今後、実際のフィールドにおける試験施工、本施工の実現に向けた指針となることを期待するものである。

最後になりますが、本業務の遂行にあたって多大なるご指導・ご協力を賜りました「鉄鋼スラグ等の実海域適

用に関する研究会」（柳哲雄座長）の皆様はじめ、中国地方整備局等関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 一般財団法人 沿岸技術研究センター：港湾・空港・海岸等におけるカルシウム改質土利用技術マニュアル，2017。
- 2) JIS：コンクリート用骨材又は道路用等のスラグ類に化学物質評価方法を導入する指針に関する検討会総合報告書，2012。
- 3) 社団法人日本鉄鋼連盟：転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き，2008。
- 4) 水産庁：海産生物毒性試験指針，2010。
- 5) GHS（化学品の分類および表示に関する世界調和システム）：OECDテストガイドライン

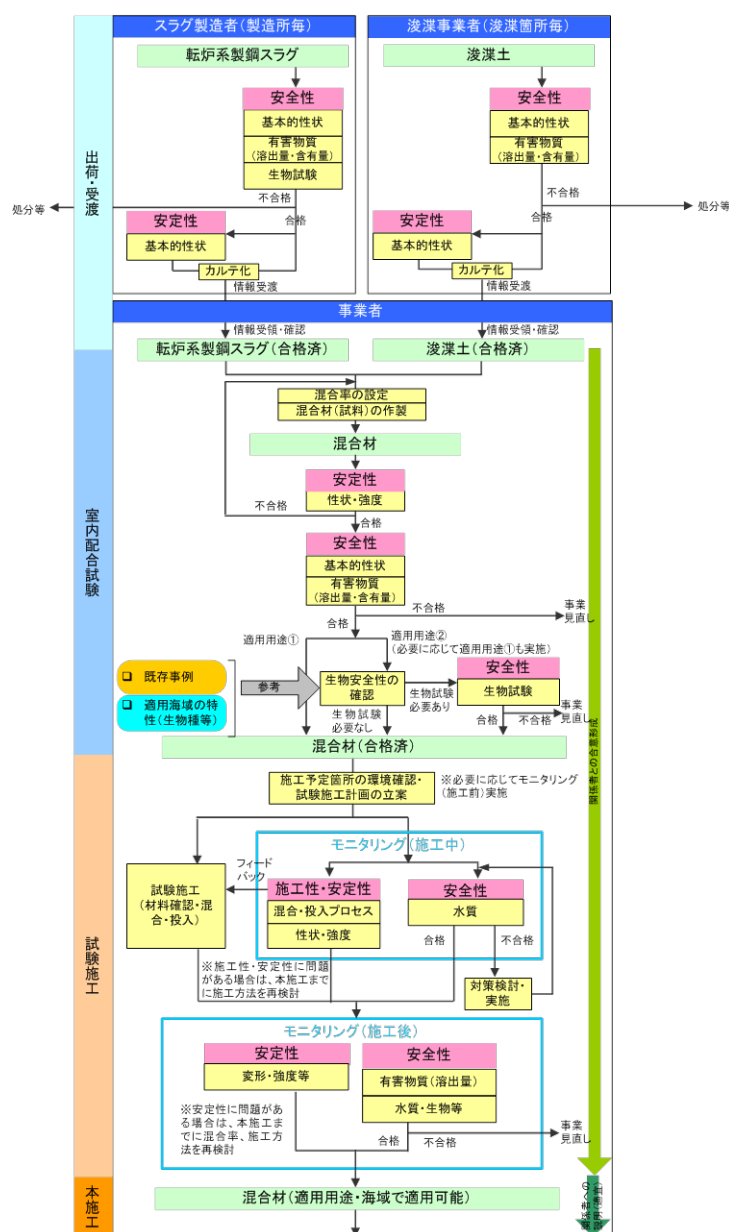


図-6 混合材の品質管理フロー