

転炉系製鋼スラグの混合による浚渫土改良

新日本製鐵(株) 正会員 〇木曾 英滋 新日本製鐵(株) 正会員 辻井 正人
新日本製鐵(株) 正会員 中川 雅夫 新日本製鐵(株) 伊藤 公夫
東亜建設工業(株) 正会員 永留 健

1. 目的

沿岸環境の修復を目的とする自然再生事業では、安定的な用材の確保のため、土砂処分場に処分されている粘土・シルト系浚渫土（以下、浚渫土と略す）の品質調整による有効活用が望まれている。これに対し、高炉にて造られる溶銑を転炉等で精錬する工程で生成する鉄鋼副産物である「転炉系製鋼スラグ（以下、転炉系スラグと略す）」は、石砂状の粒状材料であり、またカルシウム成分の含有にも富むことから、浚渫土の粒度改善材や水和反応による強度改良材としての混合利用が期待できる。本報告では、浚渫土と転炉系スラグの混合材料について、覆砂材、浅場等の嵩上げ材、深掘れ跡地埋戻し材等の各種自然再生事業への適用性に関する検討として、その諸特性を実験により評価した結果について述べる。

2. 実験材料

(1) 転炉系スラグ

実験に用いた転炉系スラグの化学成分を表-1 に示す。f-CaO とは、溶銑から不要成分を除去する際に投入する石灰(CaO)が溶融して鉱物化せず、未反応の状態で存在するものであり、フリーライムあるいは遊離石灰と呼ばれる。

(2) 浚渫土

実験に用いた浚渫土の化学成分を表-2に、物理特性を表-3に示す。

3. 浚渫土と転炉系スラグの混合材料の特性

(1) 一軸圧縮強さ

JHS-313コンシステンシー試験シリンダー法によるフロー値が15cmとなるように含水比を調整した大阪湾2浚渫土に、粒径を5mm以下に調整したA転炉系スラグを、混合割合が20,30,40Vol. %となるように混合し、一軸圧縮強さの経時変化を測定した。なお、混合試料は、プラスチックモールド（φ5cm×h10cm）に充填して密閉し、温度20℃、湿度95%以上で養生した。図-1に、養生日数と一軸圧縮強さの関係を示す。収束傾向にあるが、91日養生後までの一軸圧縮強さは上昇を続けること、および転炉系スラグの混合率が高いほど強度が高くなる傾向が見られた。また、固化した混合試料のX線回折分析結果より、強度改良は、カルシウム

表-1 実験に用いた転炉系スラグの化学成分

	CaO	f-CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	T-S
A(高 f-CaO)	58	5.1	13	2.5	4.2	4.6	3.8	11	1.8	0.06
A(低 f-CaO)	53	0.6	16	2.1	2.1	3.1	8.1	5	2.3	0.25
B	41	7.4	12	1.8	6.4	4.2	1.3	24	1.5	0.06
C	47	8.3	13	3.0	4.7	4.7	3.6	10	2.0	0.08

表-2 実験に用いた浚渫土の化学成分

	CaO	f-CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	FeO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	T-S
三河湾	1.2	0.07	49	16	1.9	0.08	0.65	4.0	0.1	1.3
大阪湾1	5.1	0.05	42	13	2.4	0.06	0.85	5.8	0.1	1.9
大阪湾2	1.7	0.01	59	16	1.8	0.07	0.57	2.9	<0.1	0.74

表-3 実験に用いた浚渫土の物理特性

	土粒子 密度 (g/cm ³)	液性 限界 (%)	塑性 限界 (%)	強熱 減量 (%)	pH (JGS0211)	粒度組成(%)			
						礫	砂	シルト	粘土
三河湾	2.667	124	42.2	13.1	8.2	0.0	4.2	27.4	68.4
大阪湾1	2.693	113	39.1	16.9	8.1	6.3	39.3	24.7	29.7
大阪湾2	2.705	66	24.7	7.3	8.6	0.2	21.7	49.0	29.1

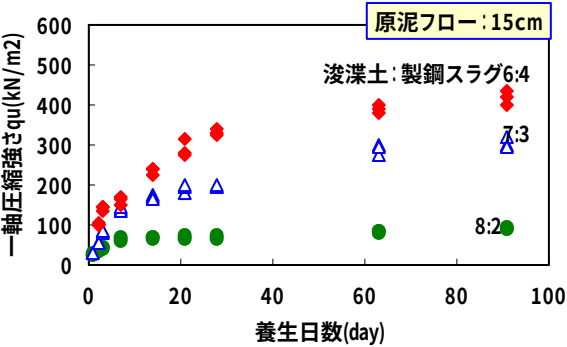


図-1 養生日数と一軸圧縮強さの関係（フロー15cm）

キーワード 転炉系製鋼スラグ、浚渫土、改良、自然再生事業
連絡先 〒293-8511 千葉県富津市新富 20 番 1 号 TEL0439-80-2555

シリケート系の水和物とカルシウムとアルミナと浚渫土に含まれる塩素が水和したフリーデル氏塩の生成によってなされることが推定された。

(2) pH・白濁

表-4 に、三河湾および大阪湾 2 浚渫土に各種転炉系スラグ(A,B,C)を 30Vol.%の比率で混合した場合の pH・白濁の発生状況確認試験の結果を示す。試験方法は、地盤工学会の pH 試験方法(JGS-0211)の溶媒を人工海水に変更し、さらに攪拌は溶媒のみに對して行うこととする変法を用いた。これより、粘土・シルト分含有率が高い浚渫土に 30Vol.%の転炉系スラグを混合した場合、pH は 1 程度低減される結果となった。また、転炉系スラグ A では、転炉系スラグのみの場合は水酸化マグネシウムが析出するとされる pH9.5 を超え、白濁が観察されたが、浚渫土と混合した場合においては、白濁は観察されなかった。写真-1 に、転炉系スラグのみでは白濁を生じたが、浚渫土との混合により白濁が抑制された状況を示す。なお、この pH、白濁の抑制メカニズムは、転炉系スラグが透水性の低い粘土・シルト質の材料で覆われることその他、水和反応が進むとカルシウム分が水和物として消費されることが原因ではないかと推察される。

(3) リンの吸着

転炉系スラグは、 Ca^{2+} 供給とアルカリ性により、リンをヒドロキシルアパタイトとして不溶化して吸着する能力を有すると考えられる¹⁾。よって、富栄養な浚渫土に転炉系スラグを混合すれば、海域利用時のリン溶出を抑制できると考えられる。この溶出抑制効果を実験により確認するため、図-2 に示すように大阪湾 1 浚渫土 100g に A (低 f-CaO) 転炉系スラグ 10g を混合した試料を 30 分間振とう(振幅 5cm, 200rpm) 後、遠心分離で間隙水を採水し、T-P および $\text{PO}_4\text{-P}$ を測定した(参考として、転炉系スラグに代えて同量の海砂を混合した場合についても評価を実施)。図-3 に $\text{PO}_4\text{-P}$ の測定結果を示す。これより、f-CaO 含有率が極めて低い、すなわちヒドロキシルアパタイトによるリン吸着能が低い転炉系スラグの混合においても、浚渫土間隙水の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は 1/5 程度に低減することが確認された。

4. まとめ

本研究では、転炉系スラグを混合した浚渫土について、その特性を実験的に評価してきた。これより、軟弱であった浚渫土は、転炉系スラグの混合により、水和固化による強度改良がなされること、転炉系スラグによる海水 pH の上昇や白濁の発生が抑制されること、および、浚渫土の間隙水内のリン濃度が低減し、利用時に海域のリン濃度の上昇を抑制できる可能性が確認された。

謝辞：本報に関する調査研究は、経済産業省補助事業「スラグ利用に係わる研究開発」として補助を受けた。ここに記して謝辞を表す。

参考文献

1) 一般水質化学(下)(共立出版) p. 485, W. スタム、J. J. モーガン著、安部喜也、半谷高久訳

表-4 混合材料の pH

浚渫土	三河湾			大阪湾 2		
製鋼スラグ	A(高 f-CaO)	B	C	A(高 f-CaO)	B	C
pH	9.8	9.2	9.2	9.8	9.2	9.2
混合材	PH	8.7	8.3	8.7	8.7	8.5
	白濁	なし	なし	なし	なし	なし



写真-1 転炉系スラグおよび混合材料の海水投入状況

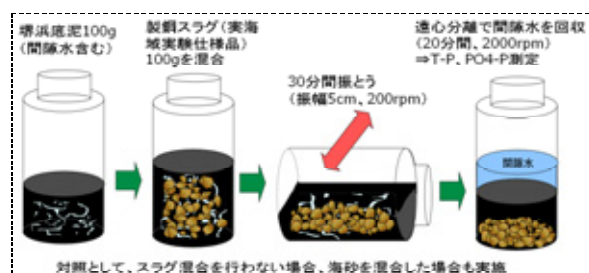


図-2 リン吸着確認実験要領

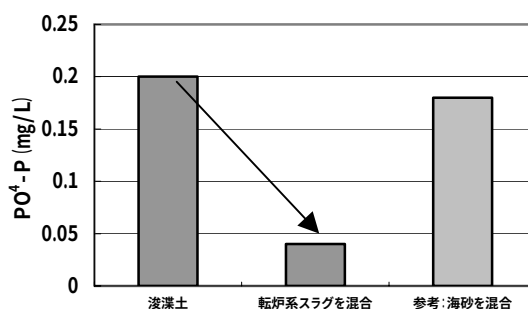


図-3 転炉系スラグによる浚渫土間隙水のリン吸着効果