

鉄鋼スラグを用いた固化体の開発(その2)

－ 施工性評価ならびに実施工例 －

川崎製鉄 正会員 谷敷多穂 川崎製鉄 奥田治志
 川崎製鉄 正会員 高木正人 川崎製鉄 正会員 松永久宏
 岡山大学 正会員 西垣 誠

1. はじめに

製鋼スラグの一種である溶銑予備処理スラグや高炉スラグ微粉末、フライッシュなどの産業副産物だけを用いて海洋環境への適用性が優れる固化体を製造する技術^{1) 2)}を利用し、海洋ブロックの施工実験と護岸根固め用人工石材の大量製造ならびに海域での現場施工を行った。これらの実績をもとに施工性ならびに施工海域周辺への環境影響について報告する。

2. 施工実験の結果と評価

(1) 施工実験要領

供試体として、5トン型消波ブロック、4トン型被覆ブロック、人工石材の3種を選択し、スラグ固化体とコンクリート(18-8-40BB)の性状を比較した。表-1に配合を、表-2に供試体の種別、数量を各々示す。

混練は生コンプラントに備え付けの2軸式強制型ミキサー(容量2.5m³)を使用した。製鋼スラグ、高炉スラグ微粉末、練り混ぜ水を自動計量により、また所定量の消石灰を人力にてミキサー内に投入後、60秒間混練した。混練後すぐに生コン車に積み込み、約20分掛けて打設現場に運搬した。

打設は、消波ブロック上部のバケット打ちを除いて生コン車附属のシュートで直打設とした。締め固めは、棒状パイプレーターを用いて行った。但し、PT-2の内1体については、自己充填性を確認する目的からパイプレーターによる締め固めを一切行わないで型枠内に打ち込んだ。表面の仕上げは、ブリージング終了後、人力による金鋺仕上げを行った。

養生は全て現場気中養生とし、打設後3日目に脱型した。なお、養生期間中の平均気温は8.3℃であった。

石材状にするための破碎は、打設後3日間の養生の後、0.25m³級油圧破碎機を使用して人頭大に破碎処理した。

(2) フレッシュ時の評価

表-3に試験結果を示す。混練は至ってスムーズであるが、粘性が大きいためにミキサー内への付着がやや目立った。運搬による状態変化は、0.6cm/20minのスランプロスと0.2%の空気量の増加だけであり、概ね施工上の問題とならないレベルにある。

自重による流動性は低いが、振動を加えれば一般のコンクリート並みの施工性は確保できる。なお、被覆ブロックのような単純な形状であれば、振動を与えなくてもおおよそ充填できることが判った。表面の金鋺仕上げは、高い粘性の影響からやや金鋺の移動が重くなる傾向にあるが、ブリーディング率が0.4%と極めて少なく、打設後30分前後で仕上げ作業が可能である。

(3) 硬化後の評価

脱型作業は、比較材と変わらない作業性を有し、鋼製型枠への付着物も特に多くはない。

表-1 施工実験および実施工に用いた配合

スラグ固化体							kg/m ³	
項目 種別	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	骨材寸法 (mm)	BFS ^{*1}	FA ^{*2}	製鋼スラグ [*]	水	消石灰
SL-1	21	15	0-40	613	—	1433	274	61
SL-2	21	5~12	0-80	345	246	1378	268	35

*1:高炉スラグ微粉末(4000フレーン) *2:フライアッシュ(JIS品)

コンクリート									
項目 種別	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	骨材寸法 (mm)	BB ^{*3}	砕石	海砂	砕砂	水	混和剤 ^{*4}
BB-1	18	8	0-40	245	1137	560	240	157	0.3 *3

*3:高炉B種セメント *4:AE減水剤

表-2 供試体の種類と数量

区分	記号	適用配合	ブロック種類	数量
スラグ 固化体	PT-1	SL-1	5ト消波ブロック	2体
	PT-2		4ト被覆ブロック	2体
	PT-3		人工石	5m ³
コンク リート	BB-1	BB-1	5ト消波ブロック	2体
	BB-2		4ト被覆ブロック	2体
	BB-3		人工石材	5m ³

表-3 フレッシュコンクリートの試験結果

種別	試験項目	混練直後	運搬後
スラグ 固化体	スランプ (cm)	14.9	14.3
	空気量 (%)	1.8	2.0
	温度 (°C)	14.3	14.0
	ブリーディング (%)	0.40	
コンク リート	スランプ (cm)	8.5	8.3
	空気量 (%)	4.8	4.8
	温度 (°C)	12.0	13.0
	ブリーディング (%)	2.70	

スランプ、空気量、温度は開発品4車、標準品3車の平均値

表-4 強度試験結果

標準養生 (N/mm ²)					
項目	7日	14日	28日	91日	
圧縮強度	17.2	20.3	22.4	25.2	
曲げ強度	2.5	3.2	3.5	4.1	
引張強度	1.6	1.7	1.8	2.1	

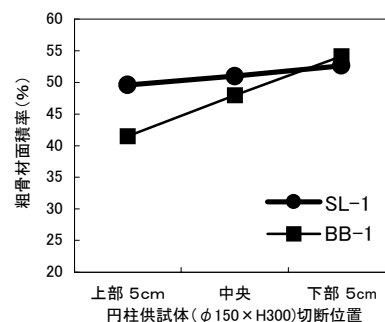


図-1 円柱供試体の骨材分離状況

キーワード：製鋼スラグ、固化体、海洋環境、施工性、環境影響

連絡先：〒712-8511 倉敷市水島川崎通1丁目 川崎製鉄 水島製鉄所 TEL:086-447-3701 FAX:086-447-3740

圧縮強度は28日で呼び強度の21N/mm²到達し、供試体間のばらつきも20.9～23.2N/mm²と比較的狭い範囲にある。(表-4) また、材料分離抵抗性を確認するために円柱供試体(φ150mm×H300mm)の上下端より5cmと中央の3箇所で切断し、各々の切断面における粗骨材面積率を調べた結果、ほとんど上下端の差が無く、良好な材料分離抵抗性を有することが判明した。このことは、高炉スラグ微粉末やフライアッシュなど、微粒分が多く含まれることによる粘性の増大に起因するものと推察される。

3. 実施工要領と評価

(1) 製造状況と評価

製造プラントは図-2のように、30m³粉体サイロ3基、粉体切出し装置2基、ベルトフィーダー付き骨材ホッパー1基、連続式ミキサー1基、定置型コンクリートポンプ1基より構成され、25m³/Hの製造能力を有する。使用配合は表-1のSL-2である。管径150mm、水平換算延長90mの圧送配管を用いて養生槽まで連続輸送しているが、スランプ5cmまで単位水量を低下させても圧送可能である。硬化養生後の破碎処理は、圧縮強度10N/mm²到達を目処に0.4m³級油圧式コンクリート破碎機で行い、粒径150～500mmに調整してストックしている。2001年3月末現在5万トンの製造を完了、引き続き2002年3月までに9万トンの製造を予定している。

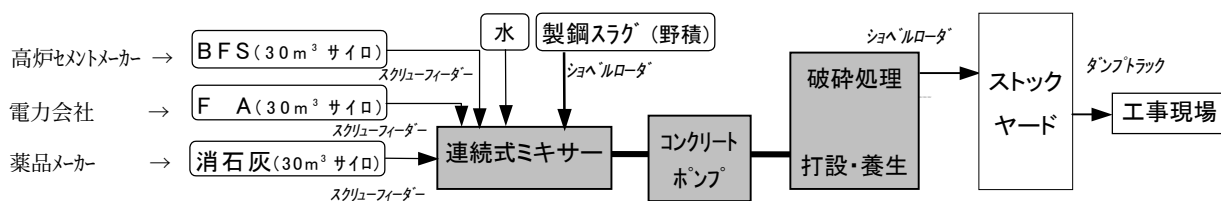


図-2 人工石材製造フロー

(2) 施工状況

破碎処理された人工石材は、製造プラントに隣接する水島製鉄所の鋼矢板式護岸前面の根固め石として海域に投入した。(写真-1) この海域は火力発電所向けの冷却用海水導入用の水路(幅35m)となっているため、一定方向に常時18～38cm/sec程度の流れがあり、人工石材の大量投入に伴う溶出成分の下流域への拡散が心配された。施工中の定期的な水質測定の結果、人工石材投入によるpH値の上昇は見られなかった。(図-3)

また、スラグ中に含有するCa, Fe, P, Sの溶出と濁度について、2000年8月に1000ト規模の海洋投入を実施した千葉製鉄所内に建設中の発電用冷却水取水管(φ3m)の根固め石施工において、投入直後より1ヶ月間測定を継続したが、一般海域との差は見られなかった。

4. まとめ

- ・バッチ式ミキサー、連続式ミキサーともに混練が可能であり、かつコンクリート同様の施工性を有するとともに、安定した強度が確保できる。
- ・材料分離抵抗性が大きく、かつ良好なポンプ圧送性を有する。
- ・海域における有害成分の溶出はない。

5. おわりに

製造業ならびに建設業が達成すべきミッション、省資源、省エネルギーなどの課題を解決する一助とすべく、さらに採取禁止が進みつつある海砂の代替材料の一つとして有効な活用が行われるよう、一層の技術研鑽を図って行く所存である。また、本研究を進めるにあたり、ご助言、ご協力いただきました国土交通省港湾技術研究所構造部材料研究室の方々に深く感謝いたします。

<参考文献> 1)小菊史男ら(2001.10)「鉄鋼スラグを用いた固化体の開発(その1)」,第56回土木学会全国大会 2)松永久宏ら(2001.10)「鉄鋼スラグを用いた固化体の海洋環境下における生物付着性」,第56回土木学会全国大会 3)高木正人ら(2000.9)「溶銹予備処理スラグを利用した固化体の物理特性と海洋への適用性」,第55回土木学会全国大会



写真-1 根固め石の施工状況

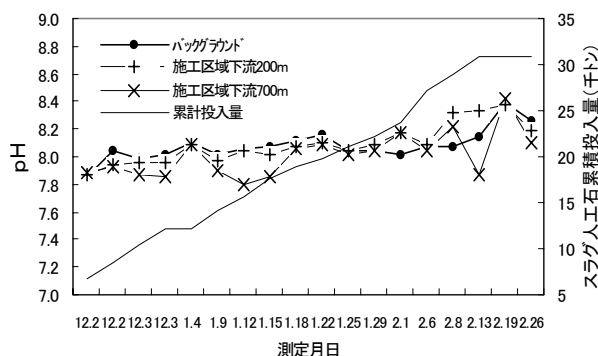


図-3 人工石材投入量と周辺海域のpH推移