

アルカリ刺激材添加量と養生条件の異なる鉄鋼スラグ水和固化体の アルカリ溶出特性および強度特性に関する検討

宮崎大学 正会員 ○尾上 幸造 宮崎大学 正会員 土手 裕
宮崎大学 正会員 鈴木 祥広 宮崎大学 正会員 関戸 知雄
宮崎大学 正会員 中澤 隆雄

1. はじめに

鉄鋼スラグ水和固化体¹⁾は、製鉄工程で発生する製鋼スラグや高炉スラグ微粉末を主原料とし、セメントや天然骨材を使用せずにほぼりサイクル材のみから構成される環境負荷低減型の材料である。本固化体は、コンクリートと同様な工程および設備で製造でき、消波ブロック、被覆ブロック等の異形ブロックおよび根固め石等への適用が可能である。また、生物の生育に必要な鉄やケイ素などを含むこと、およびコンクリートと比べてアルカリ成分の溶出性が低いことから、海洋環境における生物付着が良好であると言われている。著者らは、鉄鋼スラグ水和固化体を用いた効果的な海産資源涵養を目指し2009年度より研究に着手している。

本固化体の主要な硬化メカニズムは高炉スラグ微粉末の潜在水硬性であり、安定した強度発現のためアルカリ刺激材（消石灰やポルトランドセメント等）が用いられる。生物親和性を考慮した場合、鉄鋼スラグ水和固化体からのアルカリ溶出性が問題となるが、アルカリ刺激材の添加量によりアルカリ溶出性は異なることが予想される。しかしながら、この点に関する検討例はほとんど見当たらない。そこで本研究では、アルカリ刺激材添加量が鉄鋼スラグ水和固化体のアルカリ溶出特性に及ぼす影響について検討した。また、養生条件の違い（水中および海水中）による影響についても検討した。さらに、これらの条件の違いが鉄鋼スラグ水和固化体の圧縮強度に及ぼす影響についても検討した。

2. 実験概要

(1) 使用材料および供試体の作製方法

使用材料を表-1に、鉄鋼スラグ水和固化体の配合条件と単位量を表-2に示す。アルカリ刺激材の添加率は高炉スラグ微粉末の質量に対し0.05, 0.10, 0.20の3水準とした。

練混ぜには2軸強制練りミキサを用いた。製鋼スラグ粗骨材、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、消石灰、製鋼スラグ細骨材の順にミキサ内に投入し、30秒空練りしてから水を投入し、さらに150秒間練り混ぜ排出した。供試体はφ75×150mmの円柱とし、鋼製型枠を用い2層×15回突固めしたのち振動台上で締固めを施し作製した。

(2) アルカリ溶出試験および圧縮強度試験

鉄鋼スラグ水和固化体は打設後1日で脱型し、水中、海水中、水中（14日間）→海水中の3通りの方法で養生を施した。アルカリ溶出試験では、固化体と液体の体積比を1:3.9とし、個別の容器に各液体を満たし、各1本の供試体を静置し、市販のpHメータにて液体のpHを測定した。

別途、水中および海水中で各3本の供試体を養生し、材齢28日および91日での圧縮強度をJIS A 1108に準じて測定した。なお、本研究では水道水および天然海水（宮崎市の青島漁港より採取）を使用した。

キーワード 鉄鋼スラグ水和固化体, アルカリ刺激材, 養生条件, pH, 圧縮強度

連絡先 〒889-2192 宮崎市学園木花台西1-1 TEL 0985-54-5256

表-1 使用材料

使用材料	物性等
製鋼スラグ細骨材	粒径:5mm以下 表乾密度:3.26g/cm ³ 吸水率:7.04%
製鋼スラグ粗骨材	粒径:5~20mm 表乾密度:3.01g/cm ³ 吸水率:5.04%
高炉スラグ微粉末4000	密度:2.89g/cm ³
フライアッシュ	JIS II種 密度:2.88g/cm ³
消石灰	密度:2.20g/cm ³

表-2 鉄鋼スラグ水和固化体の配合条件と単位量

CH/BF	強度指数*	水 W	高炉スラグ微粉末 BF	アルカリ刺激材 CH	フライアッシュ FA	製鋼スラグ細骨材 SS	製鋼スラグ粗骨材 GS
0.05	2.07	250	463	23.1	92.6	778	843
0.10	2.17	250	463	46.3	92.6	785	850
0.20	2.35	250	463	92.6	92.6	731	791

*強度指数=(BF+CH+0.35FA)/W

3. 実験結果および考察

図-1 にアルカリ溶出試験結果を示す. 全ての実験ケースについて鉄鋼スラグ水和固化体を浸漬した水および海水の pH が初期値より高くなっており, 固化体からのアルカリ溶出が認められる. 海水中養生では固化体を浸漬後, 比較的早い段階で pH が 10 程度まで上昇し, その後は若干の変動はあるが pH=9.5~10.0 の範囲で落ち着いている. また, アルカリ刺激材の添加率の違いによる影響は小さいといえる.

一方, 水中養生では, pH は初期に 11.5~12.0 程度まで上昇し, その後は徐々に低下する傾向にある. その低下率はアルカリ刺激材の添加率により異なり, 添加率が高いほど低下率も大きいことが読み取れる. 当初, アルカリ刺激材の添加率が高いほどアルカリ溶出量も多いのではないかと予想したが, 実際には逆の結果を得た. 高炉スラグ微粉末およびフライアッシュの反応速度に関係がありそうであるが, 今後詳細な検討が必要である. 閉鎖系内において一旦上昇した pH が低下していることから, 固化体から溶出したアルカリ成分が再び固化体内に取り込まれた可能性も指摘される.

また, 水中養生より海水中養生の方が周辺環境の pH 上昇が小さいが, これは海水中に含まれる Mg^{2+} と製鋼スラグからの OH^- との反応あるいは海水中に含まれる CO_3^{2-} と製鋼スラグからの $Ca(OH)_2$ との反応²⁾ によるものと考えられる.

養生方法を水中→海水中と途中で変えた場合については, 当初より海水中に浸漬した場合とほぼ同等の pH を示しており, 本実験条件の範囲では初期に水中養生を施すことによる優位性は認められない.

図-2 に圧縮強度試験結果を示す. 海水中養生の方が水中養生よりも鉄鋼スラグ水和固化体の圧縮強度をやや高める結果となった. これは, 水中では海水中よりもカルシウムやシリカ等のイオンが水中に溶け出しやすく, その分固化体の組織がやや粗大となるためと考えられる. アルカリ刺激材の添加率で圧縮強度を比較すると, 材齢 28 日の CH/BF=0.05 では CH/BF=0.10, 0.20 の 6~7 割程度と低い. ただし, 材齢 91 日まで養生することでその差は縮まる傾向にある.

4. まとめ

アルカリ刺激材添加量と養生条件が鉄鋼スラグ水和固化体のアルカリ溶出特性および強度特性に及ぼす影響について検討した. その結果, 海水中養生ではアルカリ溶出に及ぼす刺激材添加量の影響は小さいこと, 水中養生では刺激材添加量が多いほど一旦上昇した後の pH の低下率が大きいこと, 海水中養生の方が水中養生よりも圧縮強度を若干高める効果のあること等が明らかとなった.

海洋環境では大量の海水に希釈されるため, 鉄鋼スラグ水和固化体からのアルカリ溶出による周辺環境への影響はほとんどない²⁾. しかしながら, 海洋生物の生育に適した pH は 7.8~8.4 と言われており, 表面への生物付着性を考えたとき今回作製した鉄鋼スラグ水和固化体のアルカリ溶出性はやや高いといえる. 今後, アルカリ溶出の低減方法や, 鉄分などの有効成分の溶出特性について検討を行っていく予定である.

参考文献

- 1) 松永久宏, 小菊史男, 高木正人, 谷敷多穂: 鉄鋼スラグを利用した環境に優しい固化体の開発, コンクリート工学, Vol. 41, No. 4, pp. 47-54, 2003. 4
- 2) (財) 沿岸技術研究センター: 鉄鋼スラグ水和固化体技術マニュアル-製鋼スラグの有効利用技術- (改定版), p. 116, 2008. 2

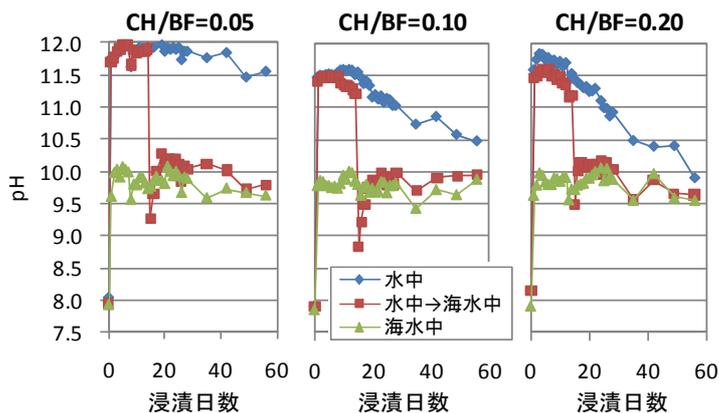


図-1 アルカリ溶出試験結果

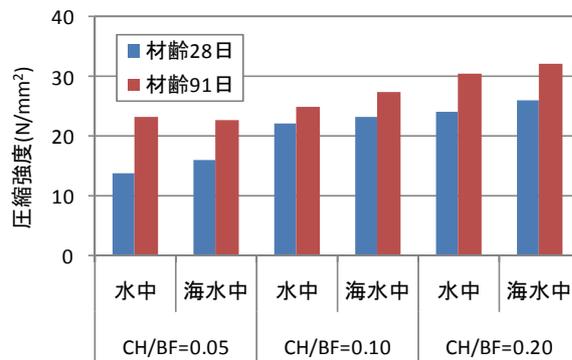


図-2 圧縮強度試験結果