

微流速場における鉄鋼スラグ製品からのアルカリ溶出に関する実験的研究

東亜建設工業(株)	正会員	○宮崎 哲史	(独)国立環境研究所	正会員	肴倉 宏史
大阪市立大学大学院	正会員	水谷 聡	J F E スチール(株)	正会員	高橋 克則
新日鐵住金(株)	正会員	木曾 英滋	新日鐵住金(株)		平井 直樹
東亜建設工業(株)	正会員	武田 将英	東亜建設工業(株)	正会員	倉原義之介

1. 研究の目的

鉄鋼生産に伴い副生する転炉系製鋼スラグは、海域底質の浄化効果や土質強度向上効果を有する¹⁾ため、覆砂材や干潟・浅場造成材、深堀跡の埋戻し材等として、海域での有効利用が期待され、実用化されてきている²⁾。しかし、CaOを主要な成分とする製鋼スラグの溶出水はアルカリ性を示すため、その海域利用に際しては、周辺海域の水質に与える影響をできるだけ小さくすることが求められる。このような背景から、スラグ製品を海域で利用する際のアルカリ溶出に関する研究では、カラム実験³⁾や大縮尺の模型実験⁴⁾等の閉じられた系における室内実験がこれまでに多く実施されてきている。しかし、アルカリ溶出は、相似則が適用できない実スケールでの化学反応であるため、開放された系である実海域に比べると、これらの閉じられた系では、アルカリ溶出が過大に見積もられてしまう問題があった。そこで、本研究では、実海域を想定した開放された系の実スケールでの大規模水槽実験により、5種類の鉄鋼スラグ製品のpHを指標とするアルカリ溶出についての知見を得ることを目的とした。

2. 大規模水槽実験の内容

本実験では、海底に堆積させた鉄鋼スラグ製品表面からのアルカリ溶出について、製品ごとの違いを把握するために、人工海水（テトラマリンソルトプロ）を60分間ゆっくりかけ流しながら、同一時刻におけるpHの空間分布の取得を行った。具体的には、長さ6.5m、幅0.5m、高さ1.2mの一樣断面水路からなる大型水槽（図-1）を使用し、流速の極めて小さい成層化海域を対象として、海底から1mの厚みを有するアルカリ溶出の影響が最も現れやすい微流速場（平均流速0.01 m/s）を模擬した。水路の下流断面は、2枚の有孔板が重なっており、片方の板を上下にスライドすることで孔を開閉する構造とした。水路の底部には0.5 m×0.5 mの開口部を1箇所設け、鉄鋼スラグ製品を充填した一辺0.5 mの立方体容器を下方から挿入できるようにした。海水を注水する際にアルカリが水路内に拡散しないよう、スラグ製品表面の上流、下流側には、ウインチ昇降式の拡散防止ゲートを設置した。対象とした鉄鋼スラグ製品を表-1に示す。①粒度調整した3種類の転炉系製鋼スラグ（粒径別にスラグa、スラグb、スラグcと区分した）、②鉄鋼スラグ水和固化体製人工石材（以下、人工石）、③製鋼スラグと浚渫土を混合したカルシア改質土に大別される。本実験では、スラグ製品表面から溶出するpHの空間分布を把握するため、一樣断面水路内に、鉛直方向の一測線に5箇所、流下方向に8測線の合計40箇所（図-1）の測定点を設け、チューブポンプを用いた多点同時採水可能な装置により、採水した検体のpHを測定した。実験1ケースあたりの手順は次の通りである。

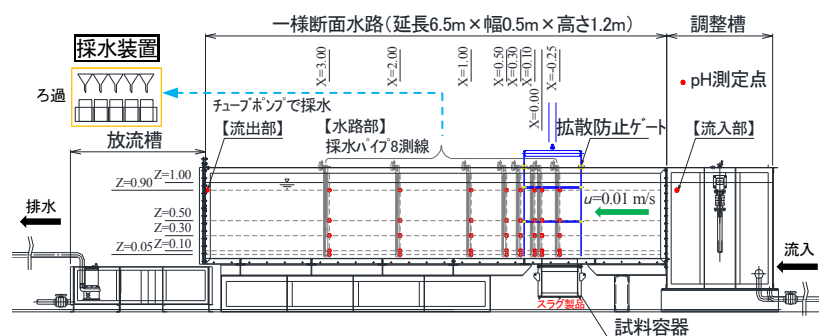


図-1 実験水槽概要図

表-1 実験ケース

ケース 1	ケース 2	ケース 3	ケース 4	ケース 5
スラグ a d:0~30mm	スラグ b d:15~30mm	スラグ c d:30~85mm	人工石	カルシア 改質土
				

を後で理解しやすくするためによる。静置中

キーワード 転炉系製鋼スラグ、鉄鋼スラグ水和固化体、カルシア改質土、pH、水槽実験

連絡先 〒230-0035 横浜市鶴見区安善町1-3 東亜建設工業（株） TEL. 045-503-3741

は、拡散防止ゲート内水面付近に pH 計を設置し、ゲート内の pH をモニタリングした。④静置後、拡散防止ゲートをウインチで一定の速度で引上げ、下流断面を開放してかけ流しを開始した。本実験では、かけ流し開始を $t=0$ とした。⑤かけ流し開始 1 分後($t=1$ min)に 1 回目の採水を行い、その後は 5 分間隔で合計 12 回の採水を行った。⑥かけ流し完了後、すべての採水検体を速やかに第 3 者機関の計量証明事業所へ移動し、pH をガラス電極法により測定した。

3. 実験結果

(1) 静置中の拡散防止ゲート内の pH の変動

静置中に、拡散防止ゲート内でモニタリングした pH の変動を図-2 に示す。人工石およびカルシア改質土は、注水直後から静置中の 60 分間に pH の変化がほとんどないことが理解できる。スラグ a, b, c では、注水直後に 0.1 ~ 0.3 というわずかな pH の上昇が見られたが、以降はいずれも pH が上昇するような状況は見られなかった。粒径別のアルカリの溶出しやすさは、相対的な比表面積の大きさに比例してスラグ a > スラグ b > スラグ c の順と想定していたが、結果はスラグ b > スラグ c > スラグ a の順となった。通常、投入中等の強い乱流下では、スラグ粒子が細かいほど海水中に分散しやすくなるためアルカリ溶出が多くなると考えられている。しかし、一旦海底面に静置された状態になったスラグ製品表面からのアルカリの溶出しやすさは、単に粒子全体としての比表面積の大きさだけには依らないことが分かった。

(2) かけ流し後の pH 空間分布の時間変化

製鋼スラグのうち最も pH 変化が顕著であったスラグ b, 人工石, カルシア改質土の pH 等値線図の時間変化を図-3 に示す。スラグ b は、静置中に拡散防止ゲート内に溶出されたアルカリが、かけ流しと同時に移流拡散し、10 分程度で定常状態になる現象が示された。定常となった pH の鉛直分布は、底面から 0.03 m までの範囲に pH の変化が見られたが、流入する人工海水の pH と比べて 0.1 程度の上昇であった。0.30 m より上では、pH の変化は極めて少なかった。一方、人工石およびカルシア改質土では、静置中からかけ流しまで pH の空間分布の時間変化は特に見られなかった。この理由としては、これら製品の製造過程で pH 上昇の原因となるスラグ成分である f-CaO (遊離石灰) が水和反応によって消費され、さらに、海水の緩衝能によってアルカリ溶出が抑制されたものと考えられる。

4. おわりに

本研究では、5 種類の鉄鋼スラグ製品からのアルカリ溶出について、実海域の開放された系を想定した大規模な水槽実験を行い、pH を指標として、その空間分布の時間変化を示した。実海域の微流速場を再現した実験の結果、粒度調整した製鋼スラグは、底面から 0.30 m までの底層付近でわずかな pH の変化が見られたものの、人工石およびカルシア改質土のように製鋼スラグを加工した製品は、その表面付近においても pH の時間変化はほとんど見られなかった。

謝辞：本研究にあたって、(一社)日本鉄鋼連盟の関係各位のご指導・ご協力を頂いた。ここに、深く感謝の意を表す。

参考文献：

- 1) (社)日本鉄鋼連盟：転炉系製鋼スラグ海域利用の手引き, pp.13-22, 2008.
- 2) 武田将英：浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合固化改良の実海域試験-連続式混合投入施工, 海洋開発論文集, Vol.24, pp.351-356, 2008.
- 3) 金山進：浚渫土と転炉系製鋼スラグの混合材の海域適用による pH の影響予測, 海洋開発論文集, Vol.24, pp.333-338, 2008.
- 4) 藤原隆一：埋立材として用いる水砕スラグの環境影響予測, 海岸工学論文集, Vol.52, pp.1061-1065, 2005.

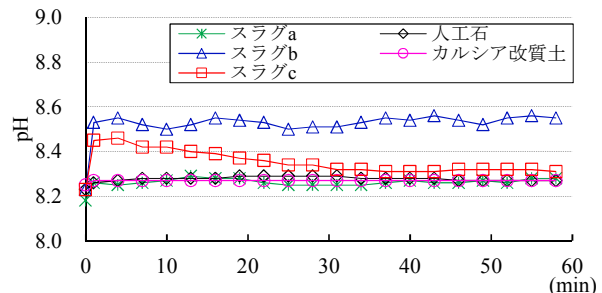
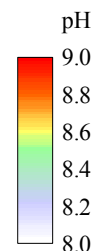
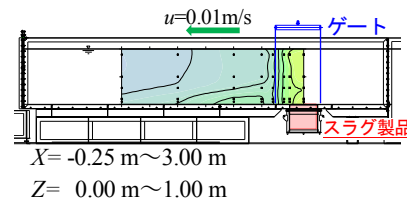
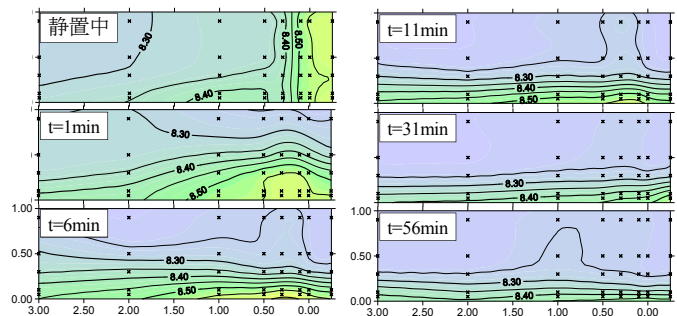


図-2 静置中の拡散防止ゲート内の pH の変動

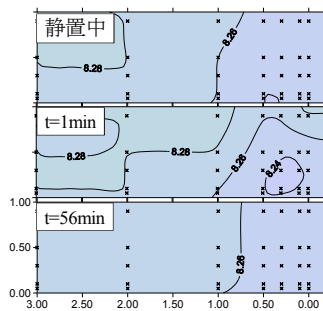
<等値線図描画位置>



【スラグ b】



【人工石】



【カルシア改質土】

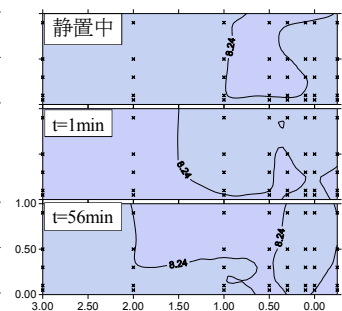


図-3 pH等値線図の時間変化