

含水比の違いが円筒容器を用いた室内通気実験における 製鋼スラグの炭酸化促進効果に及ぼす影響

大分工業高等専門学校	学生会員	○麻生 更紗	大分工業高等専門学校	学生会員	小嶋 秀治
大分工業高等専門学校	正会員	佐野 博昭	福井工業高等専門学校	正会員	山田 幹雄
新日鐵住金 (株)	非会員	北島 博文	新日鐵住金 (株)	非会員	古川 幹人
新日鐵住金 (株)	非会員	澄川 圭治	新日鐵住金 (株)	非会員	佐藤 庫一
日鉄住金スラグ製品 (株)	非会員	中村 貴敏			

1. まえがき

著者ら¹⁾は、製鉄所副産物である製鋼スラグの有効利用を目論み、地球環境負荷低減型対応の緩速炭酸化処理技術の開発を目指して、室内通気実験を継続的にを行い、通気や加水の有無を組み合わせた通気実験条件下での結果を基にして、製鋼スラグの炭酸化の進行状況が大きく異なることを明らかとしてきた。

製鋼スラグには、排出直後、数%の遊離石灰 (f-CaO) が含まれており、水と反応すると水酸化カルシウム Ca(OH)_2 が生成される。さらに、水酸化カルシウム Ca(OH)_2 が大気中の二酸化炭素 CO_2 と反応すると炭酸カルシウム CaCO_3 が生成されるが、この際、製鋼スラグ表面水に二酸化炭素 CO_2 が溶解することによって製鋼スラグ中の水酸化カルシウム Ca(OH)_2 と反応することになる²⁾。

このことより、製鋼スラグの炭酸化には水の存在が必要不可欠であることがわかる。この点について、海野ら³⁾は、製鋼スラグの CO_2 固定化試験を行っており、初期含水比が 5.0~6.0% の条件下において CO_2 固定化量が最大となると報告しており、これより、炭酸化に最適な含水比条件が存在することになる。

そこで、本研究では、含水比の違いが製鋼スラグの炭酸化促進効果に及ぼす影響を調べるために室内通気実験を行ったのでその結果について報告する。

2. 室内通気実験の概要

今回用いた室内通気実験装置の構成や実験方法は文献¹⁾と同様である。通気実験には、新日鐵住金 (株) 大分製鐵所において所定の期間大気エージングを行い、その後、引き続き蒸気エージングを行うことによって、水浸膨張比が 1.5% を満足した製鋼スラグ (以後、W エージング試料と称する) を用いた。

W エージング試料 (有姿, 37.5mm ふるい通過分) を実験室に搬入後、直ちに自然含水比を測定し、含水比を自然含水比, 6%, 8%, 10% の 4 種類に調整した試料を緩詰めし、通気実験に供した。

通気実験条件としては、通気と加水 (1 日毎) を組み合わせ、通気実験開始後 14 日が経過した時点で、試料を上部、中央部、下部の 3 つに分けて取り出し、含水比 w 、土粒子の密度 ρ_s 、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、電気伝導率 χ 、カルシウムイオン Ca^{2+} 濃度、炭酸カルシウム含有率 C_{ca} を測定した。

3. 室内通気実験による製鋼スラグの炭酸化の進行状況

図-1 は、通気日数 14 日における充填試料高さとの含水比 w 、土粒子の密度 ρ_s 、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、電気伝導率 χ 、カルシウムイオン Ca^{2+} 濃度、炭酸カルシウム含有率 C_{ca} との関係を示す。なお、図中の凡例に示す括弧内の含水比の数値は、実測値を示している。

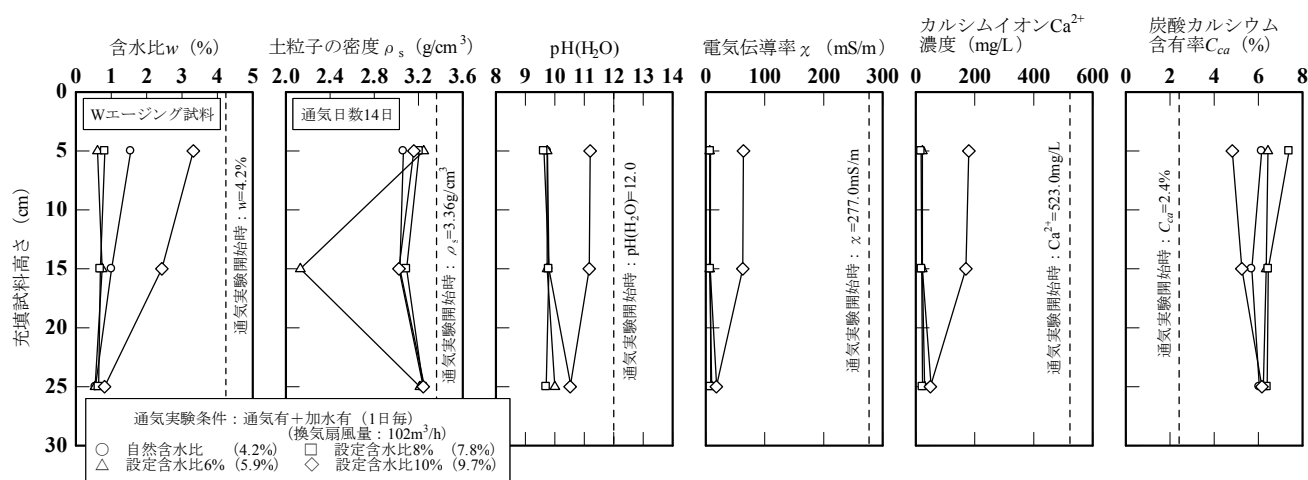


図-1 通気実験充填試料の各種性状

図より、含水比 w に着目すると、設定含水比が 6% (記号△) と 8% (□) では、充填試料位置に関係なく含水比 w は 1%を下回っている。一方、 $w=10\%$ (◇) では、充填試料下部で 1%を下回ったのに対して、中央部から上部に行くにしたがって含水比は増加しており、上部では $w=3.3\%$ となっている。これより、設定含水比 10%の中央部と上部の試料は室内通気実験中、常に湿潤状態であったと考えられる。

次に、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ に着目すると、通気実験開始時の製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は 12.0 と高アルカリ性を呈しているが、通気実験終了後すべての条件において $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が低下していることがわかる。とくに、 $w=10\%$ (◇) の場合、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は下部で 10.5、中央部と上部で 11.2 と高い値を示しているのに対し、 $w=6\%$ (△) と 8% (□) では位置によらず 9.7 程度となっており、設定含水比の値によって $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が異なることがわかる。

炭酸カルシウム含有率 C_{ca} は、通気実験開始時に 2.4%であったがすべての条件において増加しており、充填試料下部では含水比 w の大小に関わらず $C_{\text{ca}}=6.0 \sim 6.4\%$ となっているのに対して、充填試料上部では $w=10\%$ で $C_{\text{ca}}=4.8\%$ 、 $w=8\%$ で $C_{\text{ca}}=7.4\%$ となり、含水比の大小によって炭酸カルシウムの大きさに違いが生じていることになる。

図-2 は、図-1 に示した炭酸カルシウム含有率 C_{ca} と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ との関係を示す。図より、炭酸カルシウム含有率 C_{ca} の増加にともなって $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ はほぼ直線的に低下しており、両者の間には次式(1)に示すような相関性の高い直線関係が成立していることがわかる。

$$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 13.538 - 0.559C_{\text{ca}} \quad (r = 0.886) \quad (1)$$

図-3 は、W エージング試料の通気日数 14 日における含水比 w と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ との関係を充填試料の位置毎 (上部、中央部、下部) に示したものである。

図より、含水比 w と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の関係は下に凸の山形の曲線となり、ある含水比のときに $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が最小となることがわかる。ここで、含水比 w と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ との関係は試料の充填位置によって異なっており、上部 (○) と中央部 (△) ではほぼ同様の傾向を示していることがわかる。

次に、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が最小となる含水比 w の値に着目すると、充填試料位置が下部では 8%付近、上部と中央部では 6%付近となっており、炭酸化の進行を評価する指標の 1 つである $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下に関して最適の含水比が存在することが明らかとなった。なお、この点については、文献 3)の結果とほぼ一致していることになる。

これより、製鋼スラグの緩速炭酸化処理技術の開発にあたっては、含水比の管理 (概ね 6~8%) が重要であり、今後計画している中規模スラグ山を用いた現場実験において、さらに、検討を行う予定である。

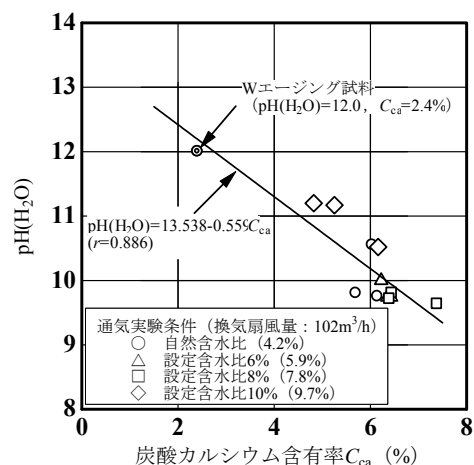


図-2 炭酸カルシウム含有率と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ との関係

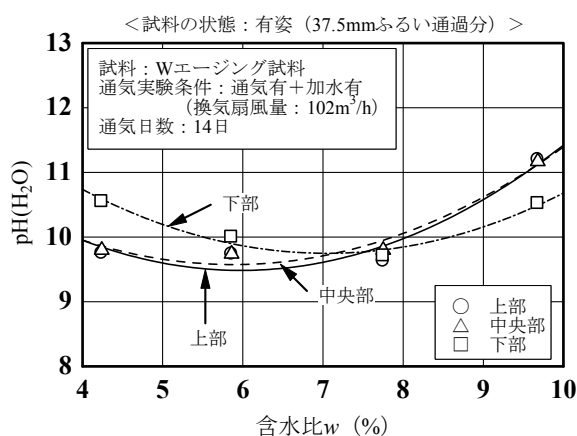


図-3 含水比と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ との関係

4. まとめ

本研究では、地球環境負荷低減型対応の緩速炭酸化処理技術の開発を目指して室内通気実験を行ったところ、含水比の違いにより製鋼スラグの炭酸化の進行状況が異なっており、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下に関して最適の含水比が存在することが明らかとなった。

謝辞: 本研究を遂行するにあたり、元・新日鐵住金 (株) 大分製鐵所 生産技術部・金子敏行氏、原 良治氏には貴重なご助言をいただいた。ここに、深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 麻生更紗, 佐野博昭, 山田幹雄, 北島博文, 金子敏行, 古川幹人, 澄川圭治, 佐藤庫一, 中村貴敏: 円筒容器を用いた室内通気実験による製鋼スラグの炭酸化促進工法の開発, 平成 27 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-057, pp. 385-386, 2016.
- 2) 無機マテリアル学会編: セメント・セッコウ・石灰ハンドブック, 技報堂出版, 1996, 750p.
- 3) 海野 円, 小峰秀雄, 村上 哲: 製鋼スラグを用いた二酸化炭素固定化層の層厚設計法の提案, 第 10 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, pp. 185-190, 2013.