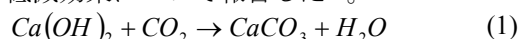


円筒容器を用いた室内通気実験による製鋼スラグの炭酸化促進工法の開発に関する基礎的研究

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	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	金子 敏行	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

著者らは、製鉄所副産物である高炉水砕スラグや製鋼スラグの有効利用技術の開発を目指して継続的に研究を行っており、その一環として雑草抑制材としての適用性に取り組み、その有効性を報告した¹⁾。また、製鋼スラグの高アルカリ性問題（ $\text{pH} \approx 12$ ）を改善するために、次式(1)に示す反応²⁾を促進させる目的で大気中の二酸化炭素 CO_2 （濃度 0.03～0.04%）と製鋼スラグ中に含まれている水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ とを積極的に接触させる室内エージング実験を行い、製鋼スラグの pH 低減効果について報告した³⁾。



さらに、文献 3)の研究を発展させるために室内通気実験による製鋼スラグの pH 低減効果を確認したところ、通気を 7 日間継続して行うことによって排出直後の製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=12.3$ は 9.8 まで低下することを報告し⁴⁾、製鋼スラグの pH 低減に及ぼす通気の効果を確認することができた。

最終的には、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おり、pH のみならず炭酸化の進行に影響を及ぼす要因を検討する必要がある。

そこで、本研究では、文献 4)の研究をさらに発展すべく、通気にもなう炭酸化促進効果について検討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

写真-1 は、今回用いた室内通気実験装置の概要を示す。装置の基本的な構成や実験方法は文献 4)と同様であるが、文献 4)では通気にもなう水分の損失を補うために装置全体の質量を測定することによって水分の減少量を把握し、その分に相当する水を試料の上端から加えることで試料全体の含水比を一定にするように配慮した。今回は、試料高さ 30cm を 3 つに分割（上部、中央部、下部）し、それぞれの試料の中央に注水する穴を開け、所定量の水をシリンジにより注入した。

通気実験開始後 7 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 、カルシウムイオン濃度 Ca^{2+} 、炭酸カルシウム含有率 C_{ca} ⁵⁾を測定した。

なお、実験条件としては、「通気無＋加水無」「通気無＋加水有」「通気有＋加水無」「通気有＋加水有」の 4 条件とした。

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 7 日における充填試料高さと含水比 w 、土粒子の密度 ρ_s 、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、電気伝導率 χ 、カルシウムイオン濃度 Ca^{2+} 、炭酸カルシウム含有率 C_{ca} との関係を示す

図より、土粒子の密度 ρ_s は、排出直後の製鋼スラグでは 3.57g/cm^3 となったが、「通気有」の場合、加水の有無に関係なく充填試料中央部と上部で僅かに減少する傾向が認められた。

次に、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ に着目すると、排出直後の製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は 12.4 と高アルカリ性を呈しているが、「通気無」の場合、加水の有無に関係なく $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下は一切認められなかった。

一方、「通気有」の場合、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下が認められ、「加水無」では 11.2～11.5、「加水有」では 10.5～11.3 となり、中でも「加水有」の充填試料上部では 10.5 と排出直後と比較すると 7 日間で $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が 1.9 低下したことになる。なお、文献 4)では、排出直後の製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=12.3$ は、「通気有＋加水有」の条件下で通気 7 日において 9.8 まで低下しており、このような差が生じた原因については現在検討中である。

電気伝導率 χ 、カルシウムイオン濃度 Ca^{2+} では、「通



写真-1 円筒容器を用いた室内通気実験装置の概要

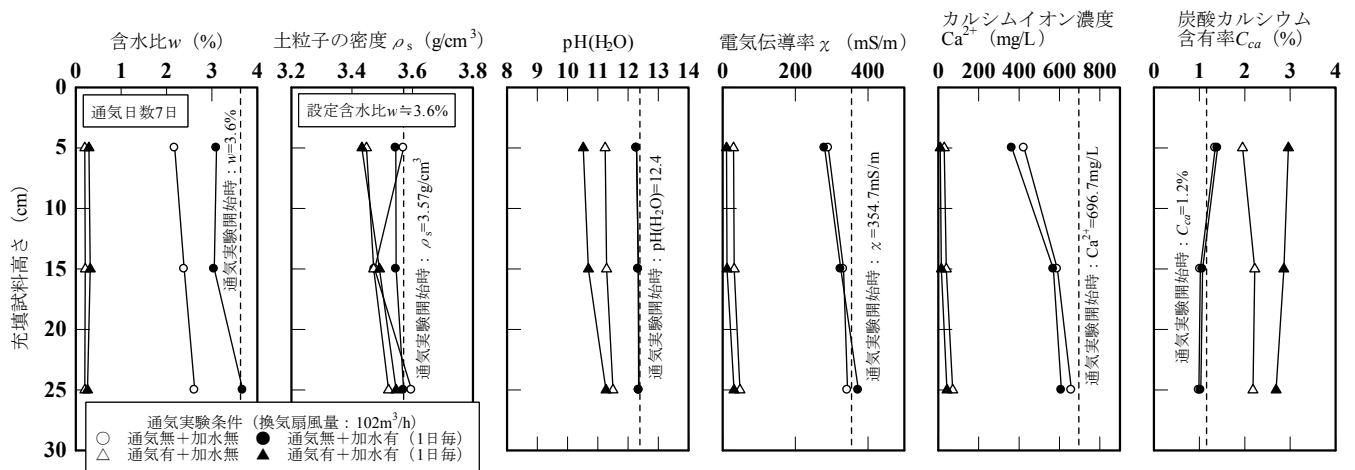


図-1 通気実験充填試料の性状（通気日数 7 日）

気無」の場合、充填試料の中央部と上部で僅かに小さくなっているが、「通気有」の場合、加水の有無や充填試料の位置に関係なく、大幅な減少傾向が認められた。

炭酸カルシウム含有率 C_{ca} に着目すると、排出直後の製鋼スラグでは 1.2% となり、「通気無」の 1.0~1.4% とほとんど差が認められなかった。これに対して、「通気有」の場合、炭酸カルシウム含有率は増加し、「加水無」で 2.0~2.2%、「加水有」で 2.7~3.0% となり、「加水有」の方で増加割合が大きいことが明らかとなった。

これは、通気によって製鋼スラグ中の水酸化カルシウム $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が二酸化炭素 CO_2 と十分に接触することにより、前出式(1)に示すような反応を経て炭酸カルシウム CaCO_3 が生成されたものと考えられる。さらに、炭酸化の進行には水の存在が不可欠であることが明らかとなった。

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(2)に示すような相関性の高い直線関係が成立している。なお、文献 6) の室内エージング実験においても図-2 と同様の結果が得られた。

$$\text{pH}(\text{H}_2\text{O}) = 13.382 - 0.9142C_{ca} \quad (r = 0.970) \quad (2)$$

このことより、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下に炭酸カルシウムの生成が大きく関与していることが明らかとなった。

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、「通気の有無」および「加水の有無」により製鋼スラグの炭酸化の進行状況が大きく異なることが明らかとなった。今後は、通気日数や設定含水比などの条件を変えて実験を継続する予定である。

参考文献

1) 佐野博昭, 山田幹雄, 小川 浩, 中村貴敏: 製鋼スラグ

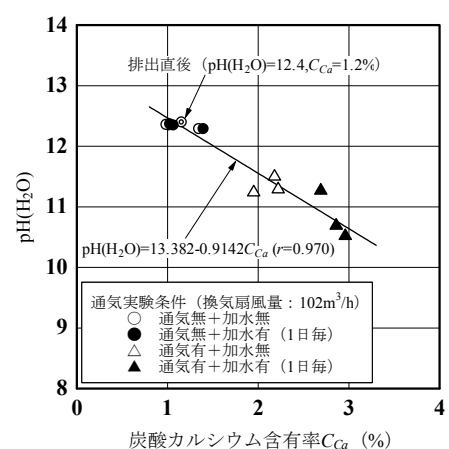


図-2 炭酸カルシウム含有率と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ との関係

および高炉水砕スラグを用いた雑草抑制層の効果の確認, 建設用原材料, Vol. 20, No. 1, pp. 9-16, 2012.

- 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, p. 126, 1996.
- 3) 佐野博昭, 山田幹雄, 柏原 司, 金子敏行, 古川幹人, 原 良治, 澄川圭治, 中村貴敏: 室内エージング実験における製鋼スラグの pH 低減効果の確認, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol. 71, No. 4, pp. 272-277, 2015.
- 4) 麻生更紗, 佐野博昭, 山田幹雄, 柏原 司, 金子敏行, 古川幹人, 原 良治, 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 pH 低減効果の確認, 平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-064, pp. 379-380, 2015.
- 5) 佐野博昭, 山田幹雄, 稲積真哉, 柏原 司, 金子敏行, 澄川圭治, 中村貴敏: ガス圧定量法を用いた製鋼スラグの炭酸カルシウム含有率試験結果に及ぼす温度と体積の影響, 建設用原材料, Vol. 22, No. 1, pp. 9-15, 2014.
- 6) 野本拓哉, 佐野博昭, 山田幹雄, 柏原 司, 金子敏行, 澄川圭治, 中村貴敏: 室内エージング試験における製鋼スラグの pH 低減効果, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-089, pp. 485-486, 2014.