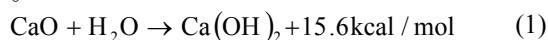


円筒容器を用いた室内通気実験による 製鋼スラグの pH 低減効果の確認

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	柏原 司
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	原 良治	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

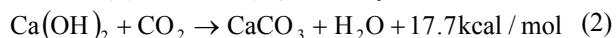
製鉄所より発生する主な副産物として製鋼スラグがある。製鋼スラグには、排出直後、数%の遊離石灰（f-CaO）が含まれており、水と反応すると次式(1)に示すように発熱して水酸化カルシウム Ca(OH)_2 が生成される¹⁾。



CaO が水と反応することによって2倍の体積膨張が生じるため、遊離石灰を含んだままの状態では路盤材料などに用いると、施工後、膨張によって路面が隆起する恐れもあることから冷却固化後の製鋼スラグを破砕、ふるい分けした後、製鉄所構内の屋外で一定期間山積みをし、遊離石灰を水や空気と反応させ、製鋼スラグを安定化させるエージング処理が行われている²⁾。

エージング処理工程を経た製鋼スラグは、路盤材料などの土木材料として有効に利用されているが、その一方で $\text{pH} \approx 12$ の高アルカリ性を有している。

ここで、エージング処理工程中に CaO が水と反応して Ca(OH)_2 となった後、 Ca(OH)_2 は大気中の二酸化炭素 CO_2 （濃度 0.03～0.04%）と接触する機会があることより、接触の程度の差は別にして次式(2)に示すような反応を経て炭酸カルシウム CaCO_3 が生成¹⁾されている可能性が高いものと推察される。



さらに、式(2)の反応が進行しているとすれば、製鋼スラグの pH が低下していることになる。

そこで、本研究では、エージング処理工程中の製鋼スラグ山に大気を積極的に送り込むことによる炭酸化処理技術の開発を目指して、円筒容器を用いた室内通気実験を行い、含水比、pH、電気伝導率、カルシウムイオン濃度の測定を行った。

2. 室内通気実験の概要

著者らは、これまでに室内に静置した排出直後の製鋼スラグを1週間に1回の頻度で手動により攪拌し、製鋼スラグと大気中の二酸化炭素とを接触させる手法を用いて、製鋼スラグの炭酸化の促進効果を検討してきた³⁾。その結果、製鋼スラグの $\text{pH(H}_2\text{O)}$ 、電気伝導率は、室内エージング日数の経過にともなって徐々に

減少し、炭酸カルシウム含有率は逆に増加することを報告している。

写真-1 は、今回行った通気実験装置の概要を示す。通気実験用円筒装置は、ビニルパイプ（内径 100mm）、TS フランジ、全面パッキン、板フランジの4つから構成されている。

まず、ビニルパイプを所定の長さに切断し、TS フランジに差し込む。TS フランジと板フランジとの間に全面パッキンを挟み込み、両者をボルトで固定する。なお、後述する実験条件の内、「通気」を行う場合には、別途、板フランジに直径 5mm の孔を 80 個（開口率 20% 相当）あけたものを使用する。

次に、垂直に静置したビニルパイプの中に、排出後、含水比を測定するために1日経過した製鋼スラグ（有姿：37.5mm ふるい通過分）を底面より約 30cm の高さまで緩詰めし、試料の高さを測定した後に実験装置全体の質量を測定する。

最後に、「通気」を行う場合には、円筒容器の先端に換気扇（東芝キヤリア（株）製、トレコン・先端型、VT-12DA、風量 102 m^3/h ）を取り付ける。なお、今回の通気実験においては、とくに風量の調整は行わないものとする。

準備ができれば通気実験を開始し、1日ごと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、通気日数3日後に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

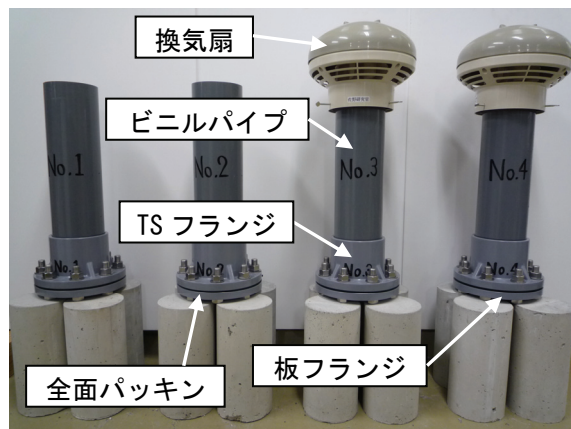


写真-1 円筒容器を用いた室内通気実験装置の概要

ように配慮した。

実験開始後 7 日が経過した時点で、実験装置全体の質量を測定してから試料を取り出し、含水比 w 、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 、電気伝導率 χ 、カルシウムイオン濃度 Ca^{2+} を測定した。なお、実験条件としては、「通気有+加水有」、「通気無+加水有」の 2 条件とし、1 条件あたり 2 回の実験を行った。

3. 室内通気実験による製鋼スラグの pH 低減効果

図-1 は、通気日数の経過にともなう質量の減少量から計算により求めた含水比 w の推移を示す。図より、「通気有」の場合、含水比は 2.7% から 1 日で 0.4~0.5% まで減少し、その後の含水比の減少は僅かである。また、3 日後に加水した後もほぼ同様の傾向を示していることがわかる。このことは、今回使用した換気扇の能力（風量 $102\text{m}^3/\text{h}$ ）で供試体全体が十分に通気されている、言い換えれば、製鋼スラグ中に大気が吸引され、結果として、製鋼スラグと二酸化炭素とが十分に接触していることを示すものである。

一方、「通気無」の条件では、日数の経過にともなう含水比は僅かに減少し、通気 3 日目では当初より 0.7% 含水比が低下していることになる。

図-2 は、通気日数 7 日における $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ を比較したものである。図より、排出直後の製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は 12.3 と高アルカリ性を呈しているが、「通気無」の場合には 12.1 と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は僅かに低下したのに対して、「通気有」の場合、9.8 まで低下しており、7 日間で 2.5 低下したことになる。

著者らが行った攪拌による室内実験の結果³⁾によれば、排出直後の製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=12.3$ は、加水条件下 ($w=3\%$, 7%) では、 $w=3\%$ の場合、排出後 7 日間で $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})=11.4$ 、 $w=7\%$ は 10.9 と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が 0.9~1.4 低下したことになるが、今回行った通気による室内実験では通気 7 日間で $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ が 2.5 低下しており、pH 低減効果は文献³⁾の結果よりも大きいことがわかる。

これは、通気によって製鋼スラグ中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が二酸化炭素 CO_2 と十分に接触することにより、前出式(2)に示すような反応を経て炭酸カルシウム CaCO_3 が生成¹⁾されている可能性が高いものと推察される。

図-3 は、通気日数 7 日における電気伝導率 χ を比較したものである。図より、排出直後の製鋼スラグの χ は 245.3mS/m と高い値を示しているが、エージング日数の経過にともなう小さくなっており、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ と同様の結果が得られたことになる。

なお、カルシウムイオン濃度についても $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ や電気伝導率とほぼ同様の結果が得られた。

4. まとめ

本研究では、製鋼スラグの新たな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

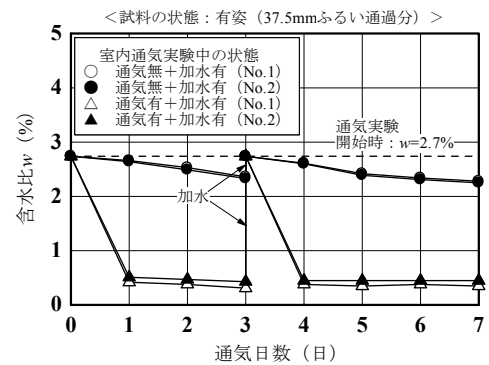


図-1 通気日数と計算により求めた含水比との関係

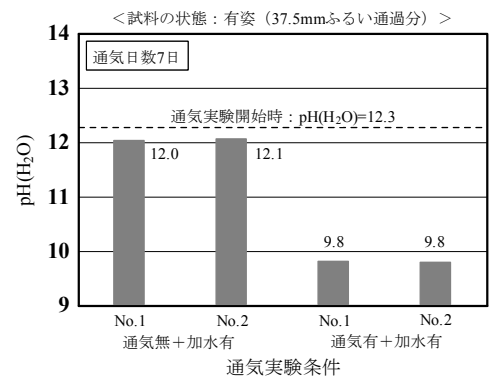


図-2 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の比較 (通気日数 7 日)

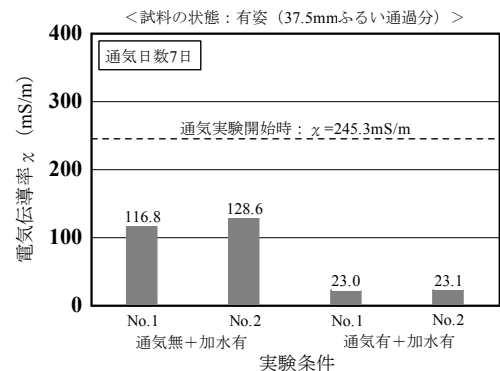


図-3 電気伝導率の比較 (通気日数 7 日)

気の有無」により製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の低下傾向に明らかな差が認められ、通気を 7 日間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 まで低下することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 鉄鋼スラグ協会・製鋼スラグ共同研究委員会：製鋼スラグ路盤設計施工指針，1985.
- 3) 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.