

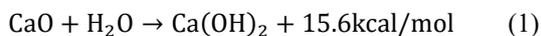
製鋼スラグに対する湿潤乾燥繰返し操作が pH 低減効果および膨張促進効果に及ぼす影響

大分工業高等専門学校 学生会員 ○秋月 智也 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

1. まえがき

製鉄所より発生する主な副産物として鉄鋼スラグがある。鉄鋼スラグは、鉄鋼製造工程において発生するものであり、銑鉄製造工程において発生する「高炉スラグ」と粗鋼製造工程において発生する「製鋼スラグ」とに大別される。

排出直後の製鋼スラグには、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⁾。



式(1)において、式量と密度から CaO と Ca(OH)_2 のモル体積を計算すると、CaO が $16.74\text{cm}^3/\text{mol}$ 、 Ca(OH)_2 が $33.51\text{cm}^3/\text{mol}$ となり、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ことになる。このため、f-CaO を含んだままの状態例えば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があるため、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、高さ 10m 程度に山積みをし、製鋼スラグを安定化させる処理が行われている²⁾。

ここで、上記の処理工程中に f-CaO が降水等と反応して Ca(OH)_2 となった後 (膨張促進効果)³⁾、 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、接触の程度は別にして炭酸カルシウム CaCO_3 が生成されている可能性が高いものと推察される (炭酸化促進効果)。

さらに、製鋼スラグ内で上記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 (pH 低減効果)。

上記の点に着目して、小嶋ら⁴⁾は、加水条件の違いが「pH 低減効果」や「膨張促進効果」に及ぼす影響を検討するために、「実験条件Ⅰ：エージング期間中、一切の加水操作を行わない。」「実験条件Ⅱ：エージング期間中、10 日間に 1 回の頻度で試料上面まで水で満たして浸水状態にし、その後、容器底面から排水する。」「実験条件Ⅲ：エージング期間中、試料上面まで水で満たして浸水状態にする。ただし、10 日間に 1 回の頻度で容器内の水の入れ替えを行う。」の 3 つの実験条件を設定し、1 年間にわたって室内エージング実験を継続して行った。

得られた結果より、実験条件Ⅱの上部試料の水浸膨

張比が短期間で低下することが明らかとなった。

この原因として、実験条件Ⅱの上部試料では、湿潤操作とその後の静置時における乾燥過程が繰り返生じることで粒子の細粒化が徐々に進行し、結果として、早期に膨張現象が進行したものと考えられる。

すなわち、製鋼スラグに対して湿潤操作と乾燥操作を繰り返すことにより、製鋼スラグの膨張現象を促進させる可能性が高いことが明らかとなった。

そこで、本研究では、室内において湿潤操作と乾燥操作を繰り返すことで小嶋ら⁴⁾の実験条件Ⅱの上部試料を模擬し、製鋼スラグの「pH 低減効果」および「膨張促進効果」に及ぼす影響について検討してみることにした。

2. 製鋼スラグに対する室内湿潤乾燥繰返しエージング実験の概要

室内湿潤乾燥繰返しエージング実験を行うにあたって、ストレーナを設けた塩ビパイプ (VP100, 内径 100mm) を小型容器内に設置し、この小型容器を合計 9 個製作してそれぞれの小型容器内に排出直後の製鋼スラグを充填した。

次に、それぞれの小型容器に対して試料上面まで水で満たして浸水状態にし、その後、容器底部の排水孔から水を抜き、容器全体をビニール袋で覆って湿潤状態で 20 日間静置した (湿潤操作、写真-1(a) 参照)。

さらに、湿潤操作終了後、ストレーナを設けた塩ビパイプの先端に通気用の換気扇 (パナソニック (株) 製、トイレ用換気扇・先端取付形、FY-12CEN3、換気風量 $100\text{m}^3/\text{h}$) を固定し、乾燥状態で 20 日間静置した (乾燥操作、写真-1(b) 参照)。

この湿潤操作 20 日間、乾燥操作 20 日間、合計 40 日間で 1 サイクルとし、9 サイクル (360 日間) 継続して室内湿潤乾燥繰返しエージング実験を行った。



(a) 湿潤操作

(b) 乾燥操作

写真-1 小型容器に充填した製鋼スラグに対する室内湿潤乾燥繰返し大気エージング実験の様子

1 サイクルが終了するごとに上部, 中央部, 下部から試料を採取し, 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, 粒度, 白濁度, 水浸膨張比 r_e を測定した。

3. 製鋼スラグに対する室内湿潤乾燥繰返しエージング実験結果

図-1 は, 室内湿潤乾燥繰返し期間 t_{wa} の経過にともなう含水比 w の推移を試料採取位置ごとに示す。図より, 湿潤操作と乾燥操作を行った後の w は試料採取位置によらず $0.3\sim 0.5\%$ となっていることがわかる。

図-2 は, 室内湿潤乾燥繰返し期間 t_{wa} の経過にともなう $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ の推移を試料採取位置ごとに示す。図より, 排出直後の製鋼スラグの $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は 12.1 と高アルカリ性であったが, 1 サイクル終了後 (エージング期間 40 日) の $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は 10.3 まで低下しており, その後の室内湿潤乾燥繰返し期間 t_{wa} の経過にともなって $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ は約 9.8 まで低下している。

図-3 は, 室内湿潤乾燥繰返し期間 t_{wa} の経過にともなう水浸膨張比 r_e の推移を試料採取位置ごとに示す。図より, 水浸膨張比 r_e は, 試料の採取位置の違いによらず室内湿潤乾燥繰返し期間 t_{wa} の経過にともなって徐々に低下しており, 膨張促進効果が発揮されていることがわかる。

ここで, 下部試料 (記号□) に着目すると, 120 日が経過した時点で水浸膨張比が 1.0% を下回っており, その後の期間の経過にともなって水浸膨張比に幾分ばらつきが認められるものの, 水浸膨張比 1.0% を下回る割合が比較的高いことがわかる。

この点について, 別途, 前出写真-1 (b) のストレーナを設けた塩ビパイプ内の風速を測定したところ, 下部に行くにしたがって風速が小さくなっており, 結果として, 下部試料は, 上部試料や中央部試料と比較して最適な湿潤状態が比較的長く保持されたことによるものと推察される。

この点については, 今後, 湿潤・乾燥操作の期間や風量の調整を行うことで, 最適な実験条件の探索を行う予定である。

4. まとめ

小型容器に充填した製鋼スラグに対する室内湿潤乾燥繰返しエージング実験を 1 年間にわたって行ったところ, 「 pH 低減効果」と「膨張促進効果」双方が発揮されてい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) 佐野博昭, 麻生更紗, 山田幹雄, 柏原 司, 古川幹人, 澄川圭治, 佐藤庫一, 中村貴敏: 膨張性安定化を目的とし

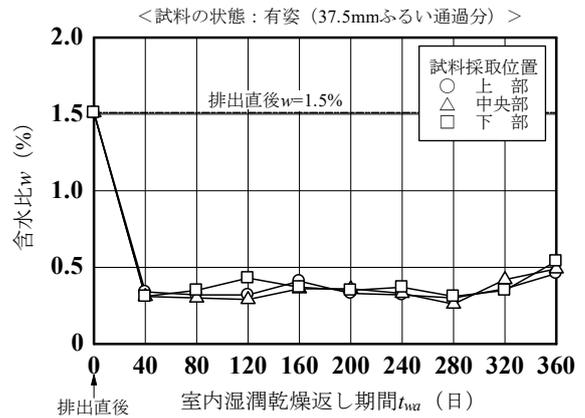


図-1 室内湿潤乾燥繰返し期間と含水比との関係

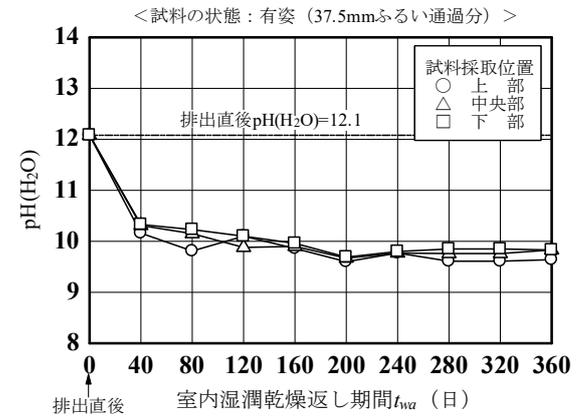


図-2 室内湿潤乾燥繰返し期間と $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ との関係

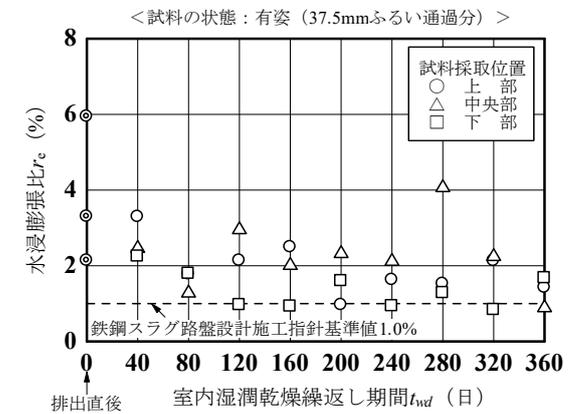


図-3 室内湿潤乾燥繰返し期間と水浸膨張比との関係

て製鉄所構内に積み付けた大気エージング処理用製鋼スラグ山の性状調査, 地盤工学ジャーナル, Vol. 12, No. 3, pp. 351-362, 2017.

- 4) 小嶋秀治, 秋月智也, 佐野博昭, 山田幹雄, 北島博文, 古川幹人, 澄川圭治, 佐藤庫一, 中村貴敏: 大気エージング処理用製鋼スラグ山を模擬して作製した小型容器充填試料に対する加水操作が膨張促進効果に及ぼす影響, 平成 30 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, III-45, pp. 367-368, 2019.