

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

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	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
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

製鉄所で発生する主な副産物に製鋼スラグがあるが、排出直後の製鋼スラグには、数%の遊離石灰 ($f\text{-CaO}$) が含まれていることから、水との反応にともなう「体積膨張」や「高アルカリ性」という課題を有している。

このため、遊離石灰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碎、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、遊離石灰を水と反応させ、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¹⁾。

製鋼スラグを路盤材料に使用する際には、とくに膨張抑制が品質管理上の最重要事項であるため、過去の膨張トラブルの原因が水和膨張にあるとの研究結果¹⁾を基に、エージング期間 6 か月以上で安定した製鋼スラグに対して「80℃水浸膨張試験方法」を適用し、水浸膨張比が 1.5% 以下の基準を満足していることを確認した上で出荷することにより品質確保の徹底を図ってきた。

図-1 は、80℃水浸膨張比規格値検討のために行われた鉄鋼スラグ路盤材膨張トラブル調査結果²⁾を示す。図より、水浸膨張比が 1.0~1.5% ではトラブルが発生しているが、1.0% 以下では一切発生していないことがわかる。

そこで、文献 2) では、実路での実態調査とモデル路盤による調査の結果を踏まえて、80℃水浸膨張規格値を「1.5% 以下」から「1.0% 以下」に強化することが妥当であり、実運用上、より安全側の規格値変更と判断することが示されている。

この規格値変更により、実路でのトラブルが解消されれば、製鋼スラグの品質に対する信頼性がより一層高まり、製鋼スラグの土木材料としての積極的な活用に繋がるものと期待する。

しかしながら、規格値変更に対応するためには、製鉄所構内におけるエージング完了時の製鋼スラグの品質のばらつきを極力小さくするとともに、より短期間でエージングを完了する技術開発が求められるところ

である。

そこで、本研究では、「大気エージング期間」と「水浸膨張比のばらつき」に着目し、加水操作の有無あるいはその程度が製鋼スラグの膨張促進効果に及ぼす影響を検討するために、室内において小型容器に製鋼スラグを充填して製鋼スラグ山を模擬した試料を作製し、3 種類の加水条件下でエージング期間の経過にともなう水浸膨張比の推移を 1 年間にわたって追跡調査してみることにした。

2. 小型容器充填試料を用いた室内大気エージング実験の概要

室内大気エージング実験を行うにあたり、排出直後の製鋼スラグを小型容器（内寸法：472mm×360mm×306mm）に充填し、模擬製鋼スラグ山を作製した。

室内大気エージング実験の実施にあたっては、以下に示す 3 種類の条件を設定することとした。

- ①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。
- ②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。
- ③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替えを行う。

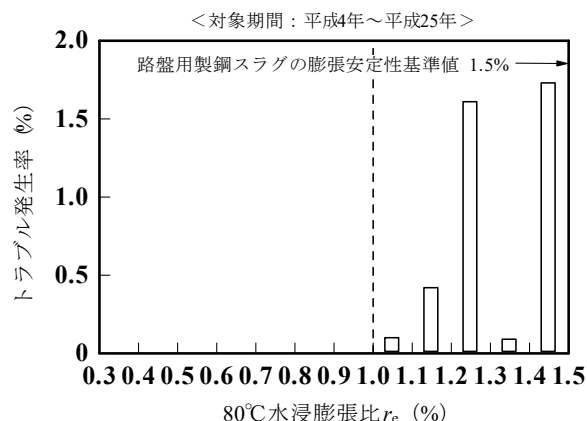


図-1 鉄鋼スラグ路盤材膨張トラブル調査結果 (対象期間：平成4年～平成25年) 2)に加筆

所定の室内大気エージング期間が経過した時点で、容器内の採取位置による違いを調べるために、容器表面から 10cm ごとに上部試料、中央部試料、下部試料をそれぞれ採取し、各種性状の測定を行った。

3. 小型容器充填試料の水浸膨張比の推移

図-2 は、実験条件 I, II, III の室内大気エージング期間 t_a の経過にともなう水浸膨張比 r_e の推移を示す。

図より、室内大気エージング期間 t_a の経過にともなう水浸膨張比 r_e は徐々に低下していることがわかる。

ここで、実験条件 I (記号○△□) では、水浸膨張比 r_e の低下傾向は認められるものの、水浸膨張比 r_e の値は大きく、ほとんどの条件で路盤用製鋼スラグの膨張性安定基準値 1.5% を満足していないことがわかる。また、全体的な傾向として、値のばらつきが大きいことがわかる。

次に、実験条件 II (記号◎▽◇) では、実験条件 I と同様に室内大気エージング期間 t_a の経過にともなう水浸膨張比 r_e は徐々に低下しており、120 日が経過した時点で上部試料 (◎) と下部試料 (◇)、161 日が経過した時点で中央部試料 (▽) の水浸膨張比 r_e が 1.5% を下回っていることがわかる。

また、上部試料 (◎) では、その後も水浸膨張比 r_e の低下傾向が認められ、360 日が経過した時点では水浸膨張比 r_e は 0.8% 程度となっている。

一方、実験条件 III (記号●▲■) では、実験条件 I, II と比較して試料採取位置の違いによる水浸膨張比 r_e の差は小さく、91 日が経過した時点で上部試料 (●) と下部試料 (■) が 1.5% を下回り、373 日が経過した時点で 3 つの試料とも 1.5% を下回っていることがわかる。

これは、実験条件 III は、室内大気エージング期間中、常に水浸状態を保っており、試料の採取位置の違いによる水分量の差がほとんどなく、水との接触の程度による水和反応の進行に差がなかったことによるものと考えられる。

以上の結果より、加水操作を一切行わない実験条件 I では、水浸膨張比 r_e の値は大きく、ほとんどの試料において路盤用製鋼スラグの膨張性安定基準値 1.5% を満足しないこと、また、全体的な傾向として値のばらつきが大きいことが明らかとなった。

このことより、加水操作の重要性が改めて示されたことになる。

次に、実験条件 III では、排出直後の製鋼スラグ中に含まれている数%の遊離石灰が水と反応する機会が多いことより、水浸膨張比 r_e のばらつきは小さく、かつ、短期間で路盤用製鋼スラグの膨張性安定基準値である 1.5% を満足することが明らかとなった。

一方、実験条件 II の上部試料 (◎) に着目すると、 $t_a=41$ 日を除いて、 t_a が 81 日以降、水浸膨張比 r_e が中央部試料 (▽) や下部試料 (◇) と比較して小さくな

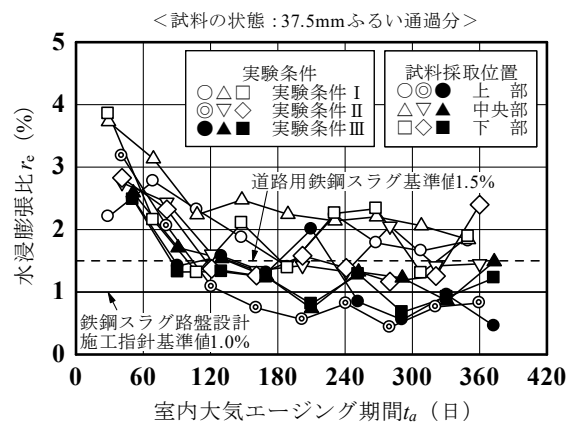


図-2 室内大気エージング期間と水浸膨張比との関係

っており、他の実験条件や試料採取位置と比較して水浸膨張比 r_e が小さくなっていることがわかる。

この原因として、実験条件 II の試料採取位置が上部の場合、10 日間に 1 回の頻度で容器底面から水が浸出するまで試料上面から加水操作を行っており、その時点で高含水比状態となっているが、時間の経過にともなう試料上面から乾燥が進行することにより、一定期間ごとに湿潤過程と乾燥過程が繰返し作用することになり、これが製鋼スラグの細粒化を促進させ、さらに、遊離石灰 (f-CaO) が水と反応する機会が得られることにより、結果として水浸膨張比 r_e の推移に影響を及ぼした可能性が考えられる。

ここで、本研究により得られた研究成果を実際の製鉄所構内の大気エージング処理工程に当て嵌めるとすると、実験条件 III では、常に水浸状態を保つことが可能となるような大型の水槽が必要となり、現実的には多くの困難をともなうものと推察される。

そこで、これに代わる大気エージング処理工程としては、実験条件 II のように常時試料の高含水比状態を保持する方法が現実的な対応になるものと考えられる。

また、降水等による製鋼スラグ山内部への水分の効果的な貯留も検討すべき方法の 1 つとして挙げられる。

4. まとめ

1 年間にわたる室内大気エージング実験の結果より、加水操作の有無あるいはその程度が製鋼スラグの 80℃ 水浸膨張比に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

付録: 2018.12.20 付けで 80℃ 水浸膨張規格値が 1.5% から 1.0% に改正された ((財) 日本規格協会: 道路用鉄鋼スラグ JIS A 5015-2018, 2018.)。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 鉄鋼スラグ路盤設計施工指針作成委員会: 鉄鋼スラグ路盤設計施工指針, pp. 35-36, 2015.