

転炉スラグ肥料の粒状化*

平野 高広**、ミネックス株式会社

転炉スラグを粒状肥料として製品化する際に、粒が水中で崩壊しにくいこと、及び粒が半年ほどで自然崩壊することが障害となっている。そこで、これらの対策として転炉スラグを数ヶ月間屋外に放置するエージング処理や炭酸ガス処理を試みた。その結果、これらの処理が自然崩壊を抑えることが示唆された。さらにエージング処理では水中崩壊性が大幅に改善できた。

キーワード：転炉スラグ、造粒、石灰肥料

Granulation of Converter Slag for Lime Fertilizer

HIRANO Takahiro and Minex Co., Ltd.

Important impediments to productization of converter slag granules for lime fertilizer are spontaneous decay of the granules during half-year storage and insolubility of the granules in water. In this study, we examined the aging treatment, leave the slag in the open air for six months, and the carbon dioxide gas treatment for the wet slag. These treatments probably prevented the spontaneous decay. And the aging treatment slag was quickly dissolved in water.

key words : converter slag, granulation, lime fertilizer

1 緒 言

転炉スラグは製鋼工程で発生する副産物であるが、カルシウム、鉄、ケイ素が豊富なことから、てんろ石灰肥料として利用されている。肥料は粉状のため、散布時に風で飛散することがあり、作業性改善のため粒状にして欲しいとの要望が高い。

粒状の肥料には、保管・流通時に崩壊して粉に戻らない程度の強度と、雨水などの水中にて速やかに崩壊する性質（水中崩壊性）が必要である。しかし、転炉スラグを造粒した場合、次の二つの課題が生じた。

課題 1）空気に触れる状態で保管した場合に半年ほどで自然崩壊する。

課題 2）水中崩壊性が得られない。

転炉スラグを路盤材などに利用する際、その膨張が問題となるため、対策としてエージング処理や炭酸ガス処理が行われている^{1, 2)}。これは転炉スラグに含まれる遊離型の酸化カルシウム（free-CaO）やケイ酸カルシウム化合物（ケイ酸二カルシウム $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 、ケイ酸三カルシウム $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ 等）が水と反応し、水酸化カルシウム（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）に変化する際に体積膨張が起こるためである。課題 1 の自然崩壊の原因として、大気中の水分によって上述の体積膨張が起こると推測し、本研究では転炉スラグのエージング処理または炭酸ガス処理をおこない、その効果を検証した。また、元素組成が似ているが膨張しない高炉スラグとの比較も行った。課題 2 については文

献等を調査しても原因が予測できなかったため、前述の各種処理でスラグの水中崩壊性が改善できるか試験をおこなった。

2 実験方法

2-1 試料と処理方法

転炉スラグおよび高炉スラグは、新日本製鐵株式会社君津製鉄所産の塊状のものを粉砕して用いた。

エージング処理は、転炉スラグを粉砕後、屋外に半年ほど放置し、空気や水と接触させる方法で行った。

炭酸ガス処理は、転炉スラグ 1kg を粉砕後、水分を 10% 添加して容器に入れ、炭酸ガス約 120 を吹き込む方法で行った。この炭酸ガスの量は転炉スラグ中に含まれる free-CaO（スラグの約 3%³⁾）をすべて炭酸化するのに必要な量として算出した。

2-2 成分分析

転炉スラグおよび高炉スラグの元素組成は蛍光 X 線分析装置（Philips 社製、MagixPro）、結晶構造は X 線回折装置（（株）リガク製、Rint2200）で分析した。

2-3 造粒

パン型造粒機に 2-1 で調製した試料 500g を入れ、造粒剤 25% 水溶液を約 60ml 添加しながら造粒した。造粒後温度 200℃ で約 15 分間乾燥した。これをふるい分けし、粒径 2～5mm 程度の粒を得た。

2-4 強度試験

2-3 で得た粒の強度を木屋式硬度計にて調べた。試験は 5 回行い、平均値で評価した。

* 中小企業開発能力強化推進事業

** 環境技術部

2-5 水中崩壊性の測定

2-3 で得た粒の水中崩壊性を崩壊性試験法⁴⁾ に準じて次の方法で評価した。造粒した肥料を2mmの網ふるいでふるい分け、ふるい上に残ったものを試料とした。試料10粒以上をふるい上に並べて適当な容器に入れ、十分水に浸るまで静かに水を注いだ。24時間後に、ふるいを静かに取り出し、崩壊してふるい上に残存しなかった粒を数え、その割合を水中崩壊性(%)とした。

2-6 水浸膨張比の測定

スラグの水浸膨張比の測定は「JIS A 5015 付属書 2 鉄鋼スラグの水浸膨張比試験方法」を、小規模でできるように次のとおり改変した方法でおこなった。2-1 の試料を湿らせて10ml容の注射器のシリンダーに密に充填し、ピストンにて蓋をした(図1)。注射器全体を水に浸し、水温80℃にて6時間の促進エージングを10回実施した。スラグが膨張すればシリンダーからピストンが抜ける方向に移動する。このピストンの移動量とスラグの充填高さから水浸膨張比を算出した。

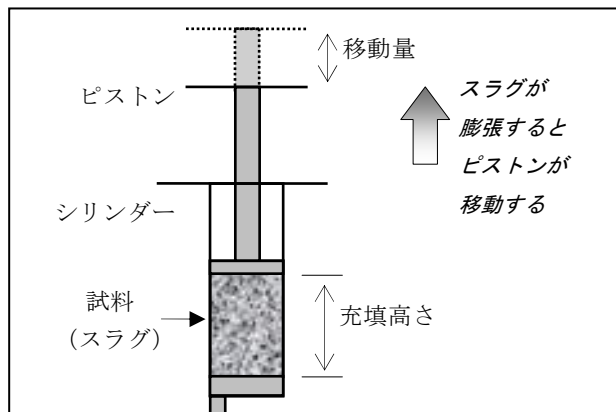


図1 注射器を利用した水浸膨張比の測定法

3 実験結果

3-1 成分分析

本研究で使用する転炉スラグと高炉スラグの元素組成を蛍光X線にて分析し、文献値⁵⁾と比較した(表1)。転炉スラグ、高炉スラグとも文献値よりもCaOが3%程度高かったが、おおむね大きな差はなかった。

表1 転炉スラグと高炉スラグの元素組成(%)

試料		CaO	T-Fe	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃
転炉スラグ	分析値	49.0	15.4	13.7	5.0	3.3
	文献値	45.8	17.4	11.0	6.5	1.9
高炉スラグ	分析値	44.9	0.2	30.3	6.8	15.0
	文献値	41.7	0.4	33.8	7.4	13.4

エージング処理及び炭酸ガス処理によって転炉スラグの成分がどのように変化したか調べるため、X線回折分析を行った(図2)。その結果、転炉スラグ(未処理)と比較して、エージング処理品では、2CaO・SiO₂、CaO、Ca(OH)₂の強度が若干減少し、CaCO₃の強度が増加した。炭酸ガス

処理品(CO₂処理)ではその差がさらに増加しており、特にCa(OH)₂の強度が減少していた。これは転炉スラグ中の2CaO・SiO₂、CaO、Ca(OH)₂が、エージング処理や炭酸ガス処理によって水酸化、炭酸化され、さらに炭酸ガス処理ではCa(OH)₂がCaCO₃に変化する量が増加したためと考えられる。

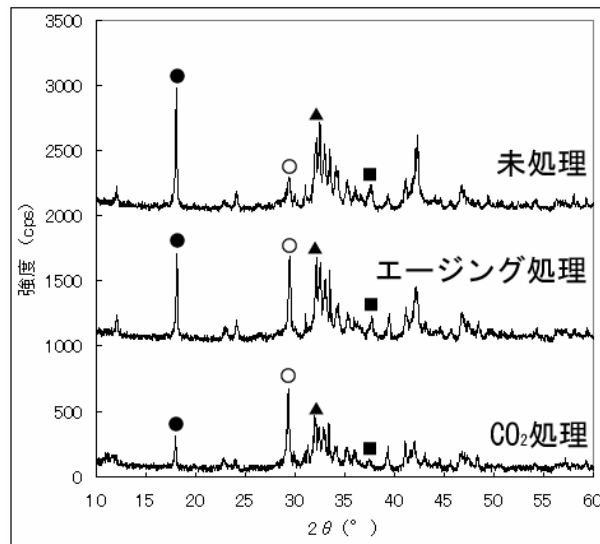


図2 転炉スラグのX線回折

(●:Ca(OH)₂, ▲:2CaO・SiO₂, ■:CaO, ○:CaCO₃)

3-2 強度および水中崩壊性

エージング処理及び炭酸ガス処理によって転炉スラグの強度と水中崩壊性がどのように変化するか調べた(表2)。強度は未処理が一番高く、エージング処理、炭酸ガス処理の順で低くなった。水中崩壊性はエージング処理を行った場合のみ飛躍的に向上し、全ての粒が20秒ほどで崩壊した。

表2 転炉スラグ粒の強度と水中崩壊性

試料	強度(kg/粒)	水中崩壊性(%)
未処理	2.82	0
エージング処理	2.18	100
CO ₂ 処理	1.48	0

3-3 水浸膨張比

保管中の粒の崩壊原因と思われるfree-CaOに由来する膨張が、エージング処理や炭酸ガス処理で改善されるかを水浸膨張比を測定して調べた。参考として粒の崩壊が起こらない高炉スラグについても実験した。

結果を表3に示す。未処理の転炉スラグは水浸膨張比が高く4%であったが、エージング処理、炭酸ガス処理を行うことで半分程度まで膨張率を抑えることができた。高炉スラグが全く膨張しなかったことから、粒の崩壊との相関が示唆された。

表3 転炉スラグの水浸膨張比

試料	水浸膨張比 (%)
未処理	4.04
エージング処理	2.04
炭酸ガス処理	1.87
高炉スラグ (参考)	0.00

4 考 察

粒の強度は、保管・流通に耐えるには経験的に 3kg/粒以上が望ましく、未処理を含む全ての条件で完全の余地がある。

エージング処理で水中崩壊性が改善された原因は、本研究では明らかにならず、また電子顕微鏡での粉、粒表面、粒内部の観察からも確認できなかった。今後も原因の解明に取り組む予定である。

膨張率を抑えるためのエージングの方法として、数ヶ月間大気中に保持する通常エージングや、エージング期間を短縮できる方法として温水に浸せきしたり温水を散布する促進エージング、蒸気をかける蒸気エージングなどがある¹⁾。また湿らせて炭酸ガスを吹き込む方法も行われている²⁾。本研究で行ったエージング処理と炭酸ガス処理では、どちらも水浸膨張比を 2%程度まで抑えることができた。転炉スラグを路盤に使用した場合、水浸膨張比 2%以下であれば膨張問題は起こらないとのデータがある¹⁾。このことからエージング処理及び炭酸ガス処理によって粒の自然崩壊も抑制できる可能性が高い。ただし、実際に自然崩壊が抑制されるか検討する必要がある。

5 結 言

本研究では、転炉スラグを粒状肥料として製品化する際の課題である、粒が半年ほどで自然崩壊すること、及び粒が水中で崩壊しにくいことを解決するため、転炉スラグを数ヶ月間屋外に放置するエージング処理や炭酸ガス処理を試みた。その結果、これらの処理が自然崩壊を抑えることが示唆された。さらにエージング処理では水中崩壊性が大幅に改善できた。

今後は、自然崩壊の抑制効果の検証や、水中崩壊性が改善された原因の調査を行い、長期間安定な転炉スラグ粒の製品化をめざしたい。

文 献

- 1) 日本工業規格：JIS A 5015-1992 道路用鉄鋼スラグ解説 (1992)
- 2) 高橋達人，藪田和哉：鉄鋼スラグ利材化技術，NKK 技報，178，p43-48 (2002)
- 3) 社団法人 日本道路協会：舗装試験法便覧 p186 (2004)
- 4) 肥料協会新聞社：肥料登録等の手引き 付 立入検査概要，p.128 (2001)
- 5) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの道路用材への利用，p. 17 (2004)