

金沢大学 正員 島居 和之
金沢大学 正員 柳 重正
金沢大学 正員 川村 満紀

1. まえがき 転炉スラグは風化崩壊しやすいという性質を有するため、建設材料(土地造成用材、路盤材およびコンクリート用骨材)としての利用は困難とされている。転炉スラグの風化崩壊はスラグ中のfree CaO相の水和反応による体積膨張が主原因と考えられているが、未だ不明点が多い。本研究は転炉スラグの風化崩壊の過程を明らかにするために、屋内、屋外および水中の3種類の環境下に放置された転炉スラグの鉱物組成および内部構造の経時変化にX線回折、示差熱分析および走査型電子顕微鏡による観察によって明らかにするとともに、転炉スラグを路盤材として利用することを目指し、セメントまたは消石灰により処理した転炉スラグの強度および変形特性を明らかにしたものである。

2. 実験概要 本実験に使用した転炉スラグの化学成分は表-1に示すとおりである。転炉スラグの鉱物相の同定はX線回折(Cu K α , 40Kv 20mAモノクロメーター使用)およびX線マイクロアナライザーにより行い、遊離石灰の定量はグリセリン-アルコール法(CATSI-01)により行った。転炉スラグ-セメントまたは-消石灰混合物に使用した転炉スラグは図-1に示すように路盤材として望ましい粒度分布となるように調整したもので、これら混合物の供試体は最適含水比で最大乾燥密度となるようにランマーで突き固め作成した。表-1 転炉スラグの化学成分
供試体は作成後、ポリエチレン袋に密封した状態で恒温恒湿室内(温度20℃、湿度90%)で養生を行った。

	0-3mm	13-20mm
lg Loss	0.50	—
SiO ₂	13.78	12.07
CaO	31.75	31.05
Al ₂ O ₃	7.88	8.39
Fe ₂ O ₃	31.74	33.79
MgO	10.66	10.77
SO ₃	—	—
MnO	1.88	1.83
TiO ₂	2.48	2.64

3. 実験結果および考察 3-1. 転炉スラグの鉱物組成および内部構造の経時変化

X線回折(粉末法)およびSEMとEDXAの組合せにより、本実験に使用した転炉スラグの主成分は β -CaS、ブスタイトおよびダイカルシウムフライトメタネートであり、転炉スラグ中の遊離石灰量は約2%である。これらの成分のうち、 β -CaSおよびf-CaOは水分の供給下で徐々に水と反応が進行し、その結果水酸化カルシウムを生成する。さらに生成した水酸化カルシウムは空気中の炭酸ガスと反応して炭酸カルシウムに変化する(図-2)。この反応は屋外放置の細粒度のものほど活発であり、屋外に長期間放置した転炉スラグの内部空隙には屋内のものにはみられないC-S-Hゲルの生成が認められる(写真-1および写真-2)。本研究に使用した転炉スラグは遊離石灰が比較的少ないため、屋内、屋外および水中のいずれの環境下に放置した場合にもクラックの発生および崩壊といった転炉スラグの風化現象は観察されなかった。全体として、エージングによる効果は屋外、水中、屋内の順に認められ、図-3に示す転炉スラグ中の遊離石灰量の経時変化より明かならうに、屋外に放置した転炉スラグは3ヶ月程度のエージングにより安定材料となる。

3-2 転炉スラグ-セメントまたは-消石灰混合物の強度特性および転炉スラグの水和反応機構 転炉スラグ-セメント混合物においてはセメント添加量の増加とともに一軸圧縮強度および圧裂引張強度が大きくなる。本研究に使用した

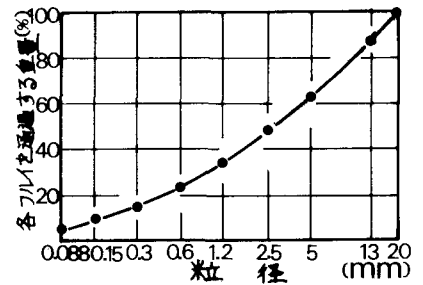


図-1. 路盤材として用いた転炉スラグの粒径分布

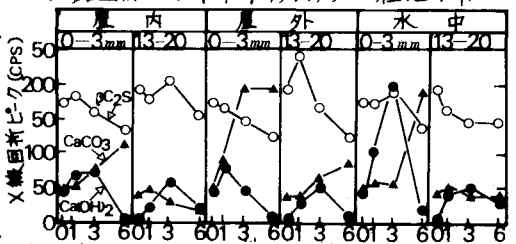


図-2. 転炉スラグのX線回折ピークの経時変化 (Cu K α -Ni, 40Kv 20mA, グラファイトモノクロメーター使用)

ような遊離石灰量の少ない転炉スラグは風化による供試体の劣化にもまったくみられず、2%程度のセメントの添加により路盤材として有効に利用できる(図-4)。

また、転炉スラグ-消石灰混合物においては材令28日までの強度はあまり期待できないが、材令28日以後において一軸圧縮強度および圧裂引張強度の急激な増加がみられる(図-4、図-5)。このことは転炉スラグは消石灰の刺激により硬化する性質(消石灰の刺激により水硬性が発揮される機構は高炉スラグの場合とは異なると思われる)を示しているものと思われる。

転炉スラグの水和反応機構を明らかにするために、蒸留水および石灰飽和溶液を滴下した転炉スラグ試料(88μ以下、水/転炉スラグ=0.45)のSEMとEDXAの組合せによる観察および示差熱分析を行った。

この結果、写真-3および写真-4より明らかなように蒸留水および石灰飽和溶液を滴下した転炉スラグからは多数の水酸化カルシウムの結晶($fCaO$ および $\beta-C_2S$ の水和反応により生成したものと思われる)が生成しているのが認められる。しかし、石灰飽和溶液を滴下した場合には水酸化カルシウムとともにC-S-Hゲルと思われる繊維状の生成物が認められるのが特徴である。

この両転炉スラグ試料のSEM像の比較より明らかなように、転炉スラグ中に消石灰の刺激により水和反応が活発となる鉱物相が存在するようである。

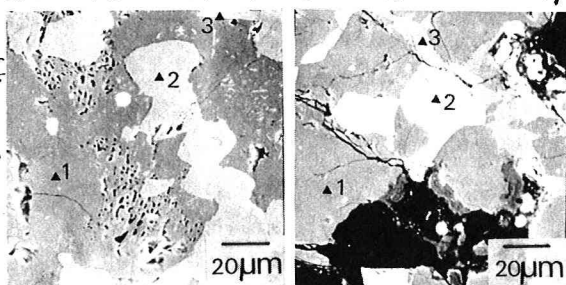
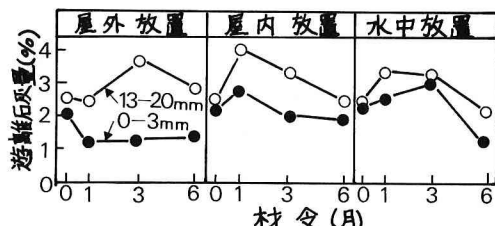


写真-1 転炉スラグのSEM像(薄片) 屋外放置8ヶ月
写真-2 転炉スラグのSEM像(薄片) 屋内放置8ヶ月
(1. $\beta-C_2S$, 2. ブスタイト, 3. ダイカルシウムフライトケナート)



4. まとめ 転炉スラグ中の遊離石灰量が2%程度である図-3. 転炉スラグ中の遊離石灰の経時変化

れば、転炉スラグの風化による劣化はほとんどみられず、路盤材としての利用が十分可能であると思われる。さらに、転炉スラグを使用した路盤においては材令の経過とともに転炉スラグ自体の水硬性の発揮による効果も期待できる。しかし、転炉スラグの化学成分および物理的性質は製鋼方法の相違などによって異なる。

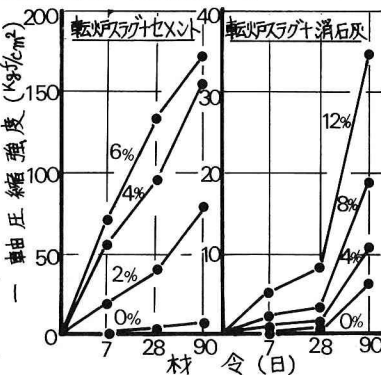


図-4. 一軸圧縮強度と材令の関係

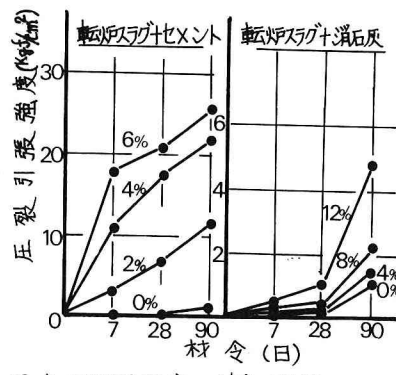


図-5. 圧裂引張強度と材令の関係

りばうつく可能性があるため、実際に使用する場合には転炉スラグの品質管理さらにはエージングなどの処理による転炉スラグの安定化が必要である。

〈参考文献〉

- 1) スラグの有効利用に関する基礎研究部会: "鉄鋼スラグの性質と再利用" 鉄と鋼, 16, 2, 1977
- 2) 成田他: "転炉スラグの風化崩壊機構について" 鉄と鋼, 16, 12, 1977

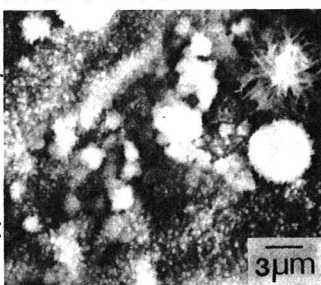


写真-3. 転炉スラグ(88μ以下)-石灰飽和溶液 材令7日, $W/C_s=0.45$

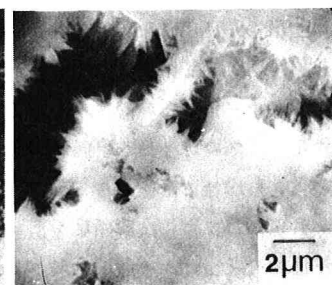


写真-4. 転炉スラグ(88μ以下)-蒸留水 材令7日, $W/C_s=0.45$