

## 溶融スラグの膨張抑制技術



所属名：ハザマ 技術研究所 技術研究第一部

発表者：佐々木 肇

### 1. はじめに

近年、廃棄物最終処分場の確保の困難さから処分場の延命化が大きな課題となっており、その対策として溶融処理し生成したスラグ（以下、溶融スラグ）の有効利用を模索する自治体が増加している。建設分野は、大量の副産物を有効利用することが可能であるため、溶融スラグの有効利用の受け入れ先として期待されている。そのため、コンクリート用溶融スラグ骨材として2006年7月20日に制定された。一部の溶融スラグにおいては、金属アルミニウムを含有することにより膨張性を有するものがあるため、膨張率の基準値として2.0%以下の基準がある。

ハザマでは、溶融スラグの有効利用方法として、コンクリート骨材への適用性を検討し、この一環として膨張性の溶融スラグに対する膨張抑制対策についても技術開発を進めてきた。これらの取り組みについて紹介する。

### 2. 膨張性溶融スラグとは？

現在産出している溶融スラグはほとんどが急冷（水砕）スラグであるが、一部の急冷スラグには膨張性がある。膨張性溶融スラグは、炉内が還元性の雰囲気であり、高温溶融されたスラグが短時間で冷却される構造の溶融炉で発生する。還元雰囲気ではスラグに含まれているアルミニウムが酸化せず、金属アルミニウムとして溶融スラグに混入する可能性がある。写真-1に膨張性溶融スラグを示す。写真の中で白色に見える粒子が金属アルミニウムである。金属アルミニウムはコンクリートのアルカリ環境下では腐食の進行により水素ガスを発生するため、フレッシュコンクリートの膨張を引き起こすことがある。このため、金属アルミニウムの腐食を抑制できればフレッシュコンクリートの膨張を抑制することが可能となる。

金属アルミニウムの腐食抑制方法として、インヒビター（inhibitor）の添加が有効であり、コンクリートに影響を与えないものとして亜硝酸／硝酸塩系の薬剤を開発した。これは、金属表面に吸着し緻密な膜を形成することにより腐食性物質との接触をできなくすることにより腐食を抑制するものである。



写真-1 膨張性溶融スラグ

### 3. コンクリート用混和剤として使用した抑制対策

開発した薬剤をコンクリート用混和剤（膨張抑制剤）として適用した。試験は、溶融スラグに金属アルミニウム微粉末を添加し、JIS に定められている膨張率の測定方法により膨張率を測定した。さらに、溶融スラグに金属アルミニウム微粉末を添加し、さらに膨張抑制剤を溶融スラグ重量の1%および0.5%添加した場合の膨張率の測定結果を図-1に示す。

膨張抑制剤として使用した場合、溶融スラグ重量の0.5%を添加することにより、一般的な膨張性溶融スラグの膨張（5%程度）を抑制することが可能である。

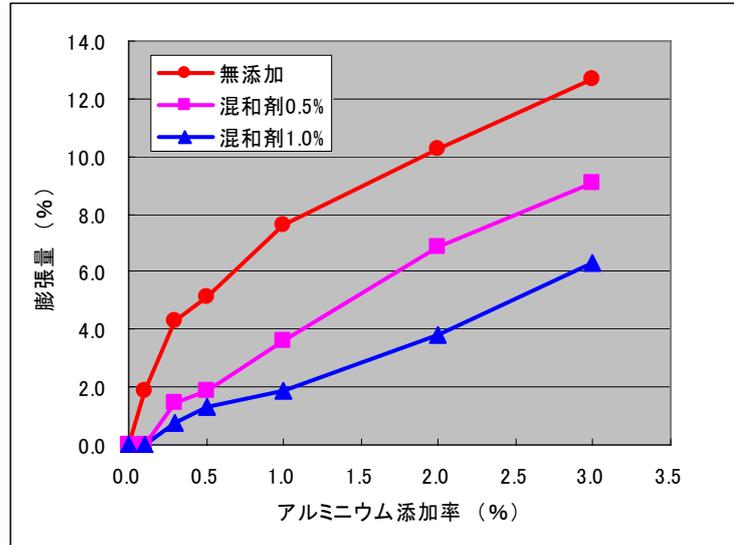


図-1 膨張抑制剤の効果

また、コンクリートに適用した場合の配合を表-1に示す。膨張抑制剤の添加量は事前の試験結果から、溶融スラグ重量の0.5%とした。

天然骨材を用いた配合を比較配合とし、この配合に対して細骨材全量を膨張性溶融スラグA（密度：2.73g/cm<sup>3</sup>、吸水率：0.82%）に置換した配合と膨張抑制剤を添加した配合について膨張抑制効果の確認を行った。これらの3配合について圧縮強度を測定した。

膨張性溶融スラグを用いたコンクリート供試体の側面および上面部には、写真-2に示すように空隙やひび割れが多数見られた。

表-2に膨張量と膨張率の測定結果と圧縮強度の一覧を示す。膨張性溶融スラグを用いたコンクリートでは、約10mm近く膨張していたが、膨張抑制剤を添加することにより、ほとんど問題のない程度まで膨張を抑制することが可能



上：膨張性スラグにより膨張した供試体 膨張した供試体の上面部  
下：膨張抑制剤を添加した供試体

写真-2 膨張性スラグによるコンクリートの膨張

表-1 コンクリートの配合

配合名	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							備考
	水	セメント	細骨材	溶融スラグ <sup>※</sup>	粗骨材	混和剤	膨張抑制剤	
天然骨材	163	296	842	—	1014	1.18	—	比較配合
溶融スラグ <sup>※</sup>	163	296	—	874	1014	1.18	—	膨張性スラグ <sup>※</sup>
膨張抑制剤	163	296	—	874	1014	1.18	4.37	膨張抑制剤0.5%添加

であり、膨張抑制剤の効果が確認された。

表－2 コンクリートの膨張と圧縮強度

配合名	膨張量 (mm)	膨張率 (%)	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
			7日	28日	91日
天然骨材	0.4	0.2	34.1	40.1	43.5
溶融スラグ	10.5	5.2	13.9	18.4	26.9
膨張抑制剤	1.4	0.7	27.6	33.6	45.9

コンクリートでは、天然骨材使用のコンクリートとほぼ同等の圧縮強度を得ることができた。

このことから、金属アルミニウムを含有する膨張性溶融スラグであっても、膨張抑制剤の使用によりアルミニウムの腐食、水素ガス発生に伴うコンクリートの膨張を抑制できるため、通常の溶融スラグと同等の使用が可能と考えられる。

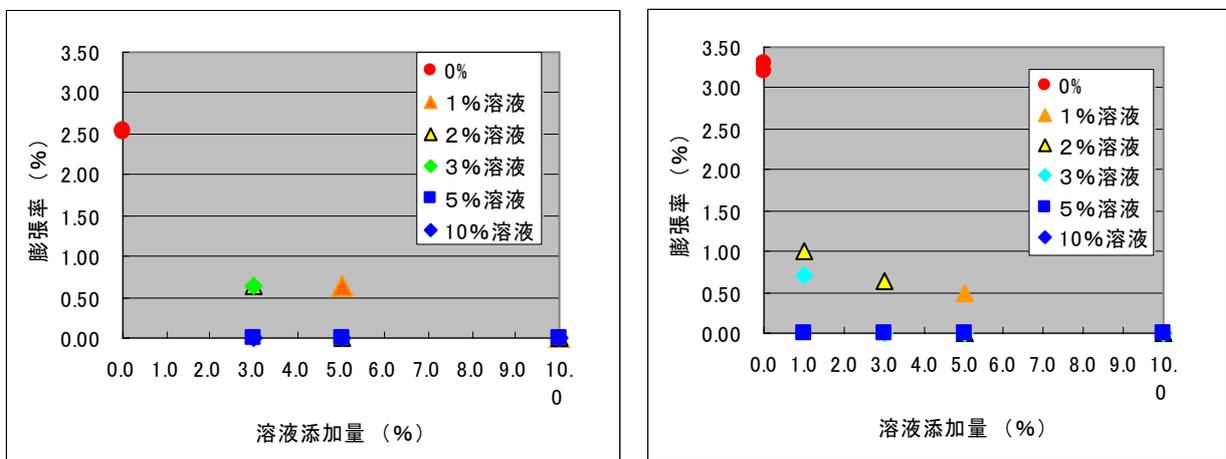
#### 4. スラグ養生助剤として使用した抑制対策

2006年7月20日に制定されたJISでは、溶融スラグの品質として膨張率の基準値（2%以下）があるため、溶融スラグの出荷時に基準値を満たしていなければ非JIS品になってしまう。そのため、スラグの製造時に養生助剤としての適用性を検討した。

薬剤の濃度を0%から10%とした溶液を溶融スラグの重量に対して一定量加えた後、攪拌混合したものを24時間60℃一定の乾燥炉中で乾燥したものをを用いて、前記の膨張率測定方法により膨張率を測定した。試験に用いた溶融スラグは、溶融方式の異なる2種類の溶融スラグとした。

どちらの溶融スラグにおいても薬剤を添加することにより膨張を抑制することは確認できた。しかし、元の溶融スラグに含有している金属アルミニウムの含有量、形状によりモルタルの膨張率が異なるため安全性を考慮に入れ、溶液濃度を5%以上、添加量5%以上とすることで膨張を抑制することが可能と思われる。

また、スラグの養生助剤を用いて処理した溶融スラグをコンクリート用細骨材に適用した場合の配合を表－3に示す。試験に用いた溶融スラグは、B、Cとは別の溶融スラグD（密度：2.62g/cm<sup>3</sup>、吸水率：0.67%）を使用した。ただし、溶融スラグの保管期間が長くなっていた



B スラグ

C スラグ

図－2 養生助剤の効果

ため、金属アルミニウム微粉末を溶融スラグ重量の0.3%添加して用いた。試験に用いた溶融スラグは、無処理、5%

表-3 コンクリートの配合

水セメント比 (%)	スラグの範囲 (cm)	空気量 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水	セメント	溶融スラグ	粗骨材	AE減水剤
5.5	8 ± 2	4.5 ± 1	4.5	152	276	844	1059	1.38

溶液を溶融スラグ重量の5%添加・混合攪拌し、24時間炉乾燥したもの、10%溶液を溶融スラグ重量の5%添加・混合攪拌し、24時間炉乾燥したものの3種類とした。

試験に用いた溶融スラグの膨張率試験結果を表-4に示す。膨張性溶融スラグに薬剤を0.25% (5%溶液で溶融スラグ重量の5%添加) 添加した場合、膨張を基準値以下に抑制することが可能であり、0.5% (10%溶液で溶融スラグ重量の5%添加) 添加では膨張を完全に抑制することが可能であった。

また、コンクリートの圧縮強度試験結果を表-5に示す。無処理の溶融スラグでは、膨張による空隙の存在のため硬化コンクリートの強度が低く、材齢の経過による強度の伸びも小さかった。しかし、溶融スラグを薬剤処理することにより、強度の増加が確認された。

表-4 溶融スラグの膨張率

溶融スラグの種類	膨張率 (%)
無処理	6.33
5%溶液、溶融スラグ重量5%添加	0.63
10%溶液、溶融スラグ重量5%添加	0.00

表-5 コンクリートの圧縮強度

配合名	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )		
	3日	7日	14日
無処理	7.0	10.2	15.1
5%-5%	6.9	12.3	23.4
10%-10%	8.3	18.0	29.3

## 5. 考察

亜硝酸/硝酸塩系の薬剤を金属アルミニウム含有溶融スラグに対する膨張抑制剤として使用した場合、以下のことが確認された。

- ① 薬剤をコンクリート用混和剤として使用した場合、溶融スラグに対して一定量の薬剤を添加することにより膨張を抑制することが可能である。
- ② 薬剤を溶融スラグ製造に用いる養生助剤として使用した場合、溶融スラグに対して一定量の薬剤を添加することにより膨張を抑制することが可能である。

今後、コンクリート試験および耐久性試験を継続し、薬剤の適用性についての検討を進めてゆきたい。

【謝辞】本研究は、(株)フローリックと実施したものである。試験に当り、関係各位に感謝いたします。