

熔融スラグを用いたコンクリートの膨張およびポップアウトに関する研究

宮城大学食産業学部	正会員	○北辻政文
同上	非会員	石黒菜央
同上	非会員	松浦直道
同上	非会員	佐藤 充
同上	非会員	高橋伸昂

1. 目的

ごみ熔融スラグ(以下熔融スラグという)は、廃棄物の減容および資源の有効利用の観点から建設材料として利用されてきたが、平成18年にはJIS規格(道路用材料(JIS A 5032)およびコンクリート用骨材(JIS A 5031))に登録され、飛躍的な普及となった。とくに東北地方では、国土交通省東北整備局がコンクリート用細骨材として熔融スラグを特記仕様に明示しているため、熔融スラグの普及率が他の地域より高くなっている。しかしながら、一部の熔融スラグをコンクリート用骨材として用いた場合、含有された金属アルミニウムがコンクリートのアルカリ成分と反応して水素ガスを発生し、フレッシュコンクリートの膨張を引き起こすこと、および残存するフリーライムによるポップアウトがしばしば起こることが報告されている。これらを受けて、2016年10月にJISの改定が行われ、膨張およびポップアウトに関する試験方法および規格値が定められた。

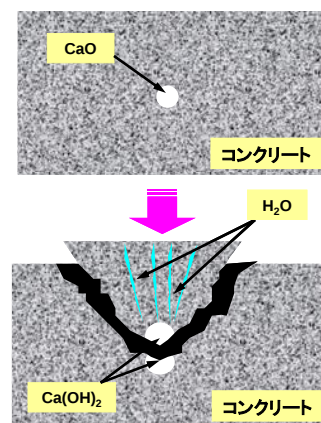


図-1 ポップアウトのメカニズム
(イメージ図)

一方、自治体では、JISが制定される以前に熔融炉を設置したケースも多く、コンクリート用骨材として利用したいとの要望も高いことから、規格値を満足できない場合の対処方法について、検討した。さらに新しく追加された試験方法について、2,3の考察をした。

2. 膨張およびポップアウトのメカニズム

(1) 金属アルミニウムに起因する膨張について

熔融スラグに含有される金属アルミニウムは、コンクリート用骨材として使用した場合、セメントの水和反応時に生成される水酸化カルシウムおよび練混ぜ水と反応し、水素ガスを発生させる。その反応式を式(1)に示す。その結果、フレッシュコンクリートの膨張を引き起こすことになる。



(2) free-CaOによるポップアウトについて

コークスベッドタイプの熔融炉では、塩基度調整剤として石灰石 CaCO_3 が添加され、その大部分は熔融されて安定的な鉱物となるが、粒度が大きい場合や炉内の滞留時間が短い場合に、ごく一部は熔融されずにスラグ中にCaOで残存する。これはfree-CaOと呼ばれ、以下のように水と反応して約2倍に体積膨張する。コンクリートの表面付近にfree-CaOが存在した場合、ポップアウトが発生する。これらのイメージを図-1に示す。



3. 試験方法

熔融スラグは各自治体の熔融炉から入手した。モルタルの膨張およびポップアウト試験は、A 5031 (2016)によって行った。また抑制対策として、シュウ酸系の膨張抑制剤使用および気中エージングを行った。

キーワード 熔融スラグ, アルミニウム, 膨張, フリーライム, ポップアウト

連絡先 〒982-0215 仙台市太白区旗立2-2-1, 宮城大学食産業学部, Tell: 022-245-1426

4. 結果および考察

(1) モルタル膨張試験

図-2 に膨張試験の測定状況を示す。JIS 規格においては、「測定開始後 24 時間経過後のモルタルに膨張があってはならない。」としているが、本試験ではメスシリンダーの 1 メモリが 10ml であり、膨張率としては 2.5% に相当し、極めて

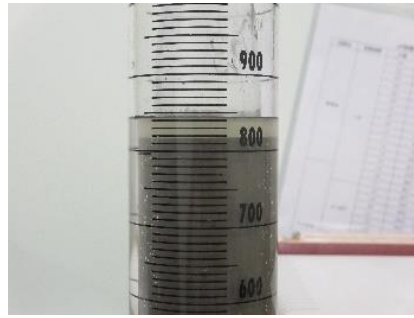


図-2 モルタル膨張測定状況

誤差の大きい試験方法であると言える。また、モルタルは硬化に伴い 1~2% 程度収縮することから、仮に膨張率 0% のスラグは合格と判断して良いか疑問である。モルタル膨張試験結果を表-1 に示す。溶融炉の形式の違いによりモルタル膨張率が異なることが分かる。すなわち、ガス化溶融炉スラグでは膨張せず、焼却灰溶融炉スラグのみ膨張が認められる。とくにバーナー式のものでは大部分が規格値を満たさなかった。また、膨張抑制剤の使用やエージングにより膨張量をある程度抑えることはできるものの規格値を満足することはなかった（図-3）。

(2) free-CaO によるポップアウトについて

ポップアウトの一例を図-4 に示す。直径 1~15mm 程度のポップアウトが多数みられる。外観上対策が必要であるため、1 か月自然エージングを行った試料について試験を行った結果を図-5 に示す。ポップアウトは認められず、自然エージングの効果が確認された。Free-CaO が消石灰に変化する反応時間は比較的短く、過大なエネルギーを必要としないことからエージングによりスラグの品質を安定できると判断される。今後、エージングの条件（環境、時間等）とポップアウトの関連を明らかにし、不安定な free-CaO を除去したい。

また JIS の試験方法では、「試験後、供試体の表面を目視で観察し、生石灰による核が認められ、かつ、目視又は指触によって凹部と確認された箇所、また、ひび割れが認められた場合は、表層部分を剥がし内部に核が認められた箇所をポップアウトと判定する。」と定義している。

図-6 は核のないポップアウトであり、核部分は弾け飛んだものと考えられるが、この場合、「反応はなかった」との判断で良いか疑問が残る。

一方、1mm 未満の小さなポップアウトについては、測定者の個人誤差の影響が大きいこと、また、ポップアウトが起こってもコンクリートの品質に及ぼす悪影響はないと思われるが、試験方法では、有害となることなどは課題が残っている。このため、ポップアウトの大きさについては再度検討が必要である。

5. おわりに

廃棄物の溶融化技術は、わが国の独自の技術であり、循環型社会の構築に直接貢献できるものである。また、一般廃棄物を資源化することから多額の税金が投入されており、溶融スラグの課題を克服し、積極的に利用することが望まれる。

表-1 モルタル膨張試験結果

スラグの種類	膨張率 (%)	炉の形式*
A	-1.19	P
B	-2.78	G
C	-2.22	G
D	0.07	B
E	-0.83	P
F	-1.27	G
G	2.63	B
H	-1.09	B
I	1.55	P
J	-1.31	G
K	0.55	B
L	2.05	B
M	-1.47	G
N	-1.58	P
O	-0.64	B
P	-0.46	B
Q	-0.48	G
R	2.33	B
S	6.57	B
T	6.75	B

*P：プラズマ溶融炉，G：ガス化溶融炉，B：バーナー溶融炉



（左から抑制剤，エージング，未処理）

図-3 モルタル膨張抑制効果



図-4 ポップアウトの状況



図-5 1 か月エージング後の試験結果



図-6 核が認められないポップアウトの状況