

ごみ溶融スラグ骨材を用いたコンクリートの特徴

尾上, 幸造
宮崎大学工学部 土木環境工学科 助教

<https://hdl.handle.net/2324/21762>

出版情報：建設物価. (1115), pp.24-27, 2012-05-01. 建設物価調査会
バージョン：
権利関係：

連載 素晴らしきコンクリート®

Wonderful Concrete

ごみ溶融スラグ骨材を用いたコンクリートの特徴

宮崎大学 工学部 土木環境工学科 助教 尾上 幸造

1. はじめに

先月号の当コーナーで、土木構造物は心地よさを演出する「インターフェイス」であると書いた。そのインターフェイスを介して人間が文明的な営みを行う上で、どうしても避けられないのが「ごみ」の問題である。生活水準の向上とともにモノが溢れ過剰包装・梱包がエスカレートしてごみが増大する。後述するように国内でも日々膨大な量のごみが排出されており、そのまま放置すれば心地よさとは真逆の不快感が蔓延してしまう。現代の日本においてさすがにそのまま放置ということはないが、最終処分場の残余容量は逼迫しつつある。そのため、ごみの排出量を減らすとともに、無害化処理を施した残り物のうち、使えるものについてはできるだけ活用することがサステナブルな社会の構築にあたりきわめて重要である。本稿では、コンクリート分野におけるごみの有効活用の例として、ごみ焼却灰を溶融固化して生成されるごみ溶融スラグをコンクリートの骨材として用いるための取り組みについて紹介する。

2. ごみの排出量、資源化量および最終処分量に関する統計データ

平成12年度以降のごみ総排出量、総資源化量、最終処分量の推移を図1に示す。

環境省『日本の廃棄物処理 平成21年度版』¹⁾によれば、日本における平成21年度の一般廃棄物の排出量は4,625万トンで、1人1日あたりの排出量は994グラムである。ちなみに、昭和60年度は総排出量4,209万トン、951グラム/人日で、ピークとなる平成12年度まで徐々に増加（総排出量5,483万トン、1,185グラム/人日）し、その後は徐々に減少する傾向にある。

ごみの資源化の状況について、直接資源化量、中間処理後再生利用量（鉄やアルミ等）、集団回収量の総和をごみの総処理量と集団回収量との和で除したりサイクル率は、平成12年度では14.3%であったものがその後徐々に増加し、平成21年度では20.5%となっている。

堆肥化、飼料化、メタン化、燃料化、その他の中間処理を経た処理残渣は焼却され、その焼却残渣は最終処分場に埋め立てられる。なお、焼却残渣には直接焼却分が含まれ、最終処分量には直接最終処分量が含まれる。平成12年度の最終処分量は10,514千トンであったものがその後徐々に減少し、平成21年度には5,072千トンとほぼ半減している。

近年の地球環境保護に対する意識と技術の向上により、年々リサイクル率が上昇し最終処分量が減少していることは素晴らしい。ただ、膨大なごみが日々排出される一方で、最終処分場の残余年数は確実に減ってきており、効果的なごみ削減および無害化の手立てを今後も継続的に講じてゆく必要がある。

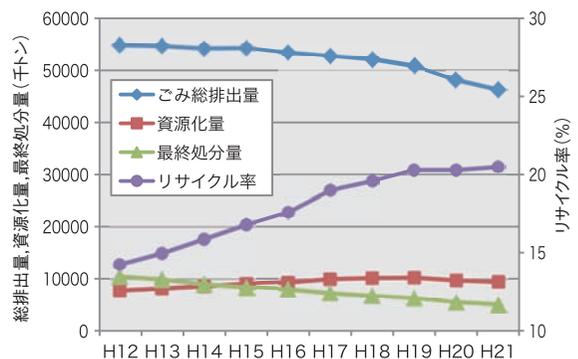


図1 ごみ総排出量、総資源化量、最終処分量およびリサイクル率の推移（文献1をもとに作成）

3. 溶融スラグの生産状況

最終処分量の約70%（平成21年度実績）を焼却残渣つまり焼却灰が占める。最終処分場の容量には限りがあり、その延命化ならびにダイオキシンや重金属等による周辺環境汚染の防止は重要である。このような背景から、平成8年9月に厚生省より通知された「平成九年度廃棄物処理施設整備計画書の提出について」で補助対象となるごみ焼却施設への溶融固化設備の設置が義務づけられたことを受け、溶融施設数が年々増加し、それともなまって溶融スラグの生成量も増大してきた。図2に溶融施設数の推移を、図3に溶融スラグの生産量の推移を示す。

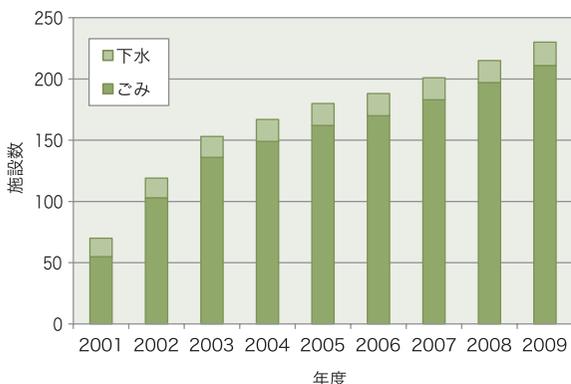


図2 溶融施設数の推移 (文献2をもとに作成)

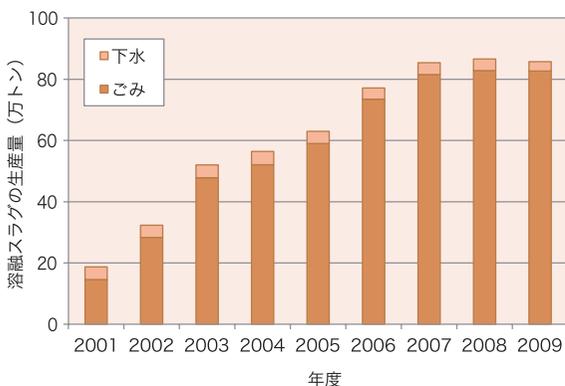


図3 溶融スラグの生産量の推移 (文献2をもとに作成)

4. 溶融スラグ骨材およびこれを用いたコンクリートの特徴

溶融スラグをコンクリート用骨材として有効活用するための研究³⁾は過去に多く実施されてきており、それらの成果を踏まえ平成14年には一般廃棄物、下水汚泥等の溶融固化物を用いたコンクリート用細骨材のTR（テクニカルレポート：標準情報）が、さらに平成18年にはJIS A 5031（一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材）が制定された。

溶融スラグは焼却灰を1200℃以上の高温で溶融し、冷却固化することで製造される。溶融スラグ骨材の品質については、文献⁴⁾に詳しいが、その特徴をいくつか挙げると以下のようなものである。

- ①密度が大きく吸水率が小さい
- ②一般的に硬質である
- ③SiO₂、CaO および Al₂O₃を主成分とする

溶融スラグ骨材自体の品質や環境影響、ならびに溶融スラグ骨材を用いたコンクリートの諸性質は、溶融施設や産出地域等により異なることが想定されるため、地域特性を考慮したデータを蓄積し、地産地消の原則に沿って利用することが望ましい。このような観点から、筆者の職場が位置する宮崎県においても、可燃ごみを焼却溶融処理して得られる県産の溶融スラグを有効活用するための委員会が組織され、平成20年度より産学官連携で研究を行ってきた。ごみ溶融スラグをコンクリート用細骨材として利用するための検討過程で得られたいくつかの実験結果⁵⁾を以下に述べる。

本検討で用いた溶融スラグを写真1に示す。他の地域で製造される一般的な溶融スラグと同様に、見た目は黒っぽく、表面はガラス質である。主な



写真1 溶融スラグの外観

化学成分はSiO₂、CaO、Al₂O₃で、重金属の溶出量、含有量ともにJIS A 5031で規定される数値を満足し、粒度、密度、微粒分や実積率などの骨材物性についても、製造時期による変動は認められるものの年間を通じてJIS基準値を安定的に満足することを確認している。また、モルタルバー法(JIS A 1146)の結果、アルカリ骨材反応性は「無害」と判定されることを確認している。

コンクリート試験の結果、以下の知見が得られた。

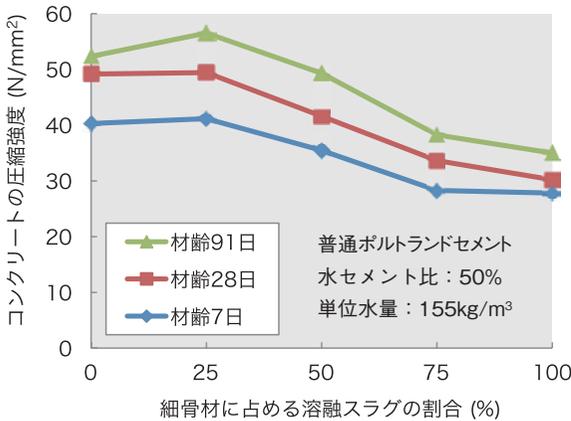


図4 溶融スラグを細骨材に用いたコンクリートの圧縮強度⁵⁾



境界ブロック



U型側溝

写真2 溶融スラグ入りプレキャストコンクリート製品の耐荷試験状況

表1 試作したプレキャストコンクリート製品における有害物質の溶出量および含有量⁵⁾

	溶出量 (mg/L)				JIS A 5031における規定値	含有量 (mg/kg)			JIS A 5031における規定値
	測定値			細骨材に占める溶融スラグの割合 (%)		測定値			
	0	10	30			0	10	30	
Cd	0.0001	0.0001	0.0001	0.01	0	1	1	150	
Pb	0.0029	0.0042	0.0049	0.01	14	18	21	150	
T-Cr	0.0178	0.0215	0.0224	0.05*	90	51	64	250*	
As	0.0005	0.0006	0.0005	0.01	6	8	8	150	
Se	0.0010	0.0010	0.0010	0.01	1	1	1	150	
B	0.0100	0.0100	0.0100	1.0	22	28	40	4000	

* 6 価クロムとして

①溶融スラグ細骨材の混入率が増加するとブリーディング^{*註1}量も増加するが、フライアッシュ等の混和材を併用することでブリーディング量を大幅に抑制できる

②細骨材として溶融スラグと砕砂を混合使用したコンクリートの圧縮強度(図4)および静弾性係数は、スラグ置換率25%までであれば普通コンクリートと同等かそれ以上となる

③溶融スラグ細骨材を使用することによるコンクリートの乾燥収縮や中性化への悪影響は認められない

上記の結果は、他の地域で製造される溶融スラグを用いたコンクリートの性質とほぼ一致する。さらに、宮崎県内の実工場において、溶融スラグ細骨材を用いた境界ブロックおよびU型側溝を試作し、その耐荷性能試験(写真2)および環境影響評価を実施した結果、スラグ置換率30%までの範囲でJIS規格を満足する製品が製造可能であること、および有害物質の溶出量、含有量ともに問題のないこと(表1)を確認することができた。

5. 溶融スラグ骨材の利用普及への課題

強度、耐久性および環境影響の観点から、溶融

スラグ骨材をコンクリート用材料として用いることは十分可能であることが、既往の研究によって明らかとなっている。さらに、熔融スラグ骨材がJIS化されたこともあり、有効利用への展望は明るいように思える。しかし、実際にはそれほど普及していないのが現状である。その原因として、①使用実績が少なく長期的な安定性に関するデータに乏しいこと、②現状では生コンに適用できないこと、③天然骨材と比較してコスト的に割高になってしまう場合のあること、等が考えられる。①②に関し、遊離石灰によるポップアウト現象ならびにJIS生コンへの不法混入が社会的な問題になったことは記憶に新しい。このような課題を克服するために、今後も継続的にデータを収集し知見を蓄積することが欠かせない。その結果として、将来的にはJIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の附属書Aにおいて適用可能な骨材リストに記載されることが期待できる。なお、現時点でも条件付き^{*注2}ではあるものの、JIS A 5371およびJIS A 5372に規定されるプレキャストコンクリート製品には適用できる。そのため、各都道府県におけるガイドラインの策定やリサイクル製品認定制度の活用、共通仕様書や特記仕様書への明記など、発注者側の積極的な主導が利用促進の鍵になるものと思われる。タイムリーな話題として、平成23年12月に宮崎県環境整備公社の管理する処理施設がコンクリート用熔融スラグ骨材（JIS A 5031）および道路用熔融スラグ（JIS A 5032）のJIS認証を取得した（全国で9例目）。製造施設がJIS認証を取得することで熔融スラグ骨材の品質が保証され、ユーザーにとって使い易い状況となることから、認証の保有施設が今後さらに増えてゆくことが期待される。

6. おわりに

熔融固化する際に投入されるエネルギーは大きいですが、ごみの減容化・無害化の点でメリットも非常に大きいため、熔融スラグは今後もしばらくは製造され続けるものと考えられる。コンクリート用骨材としての活用が進めば、ある程度まとまった量の熔融スラグを受け入れることができ、天然骨材の枯渇化を抑制することにもつながる。利用のための規格・基準類や制度も整備されつつある。その一方で、低コスト化、低炭素化、骨材品質の改善、熔融スラグの製造時に発生する熔融飛灰の

有効用途先の開拓、コンクリートの長期的な使用性、耐久性および環境安全性を確保するための対策等、検討すべき課題はまだ多く残されており、産学官一体となって議論と実績を積み重ねてゆくことが必要である。

*注1：コンクリートの打設後、練混水が上昇する現象。適度な量であれば問題ないが、過大になると鉄筋コンクリートの耐久性や力学性能に悪影響を及ぼす。

*注2：JIS A 5364（プレキャストコンクリート製品－材料及び製造方法の通則）によれば、熔融スラグ細骨材は設計強度24N/mm²以下のプレキャスト無筋コンクリート製品に適用できる。ただし、コンクリート製品の特性・要求強度・耐久性・使用環境を熟知していれば鉄筋コンクリート製品や設計強度24N/mm²以上の無筋コンクリート製品にも適用できる。

【参考文献】

- 1) 環境省 廃棄物処理技術情報 廃棄物処理の現状と科学研究 HP：日本の廃棄物処理 平成21年度版 (http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h21/data/disposal.pdf), 2011
- 2) エコスラグ利用普及センター HP (<http://www.jsim.or.jp/ecoslag/index.html>)
- 3) 例えば、北辻政文、藤居宏一：ごみ熔融スラグを細骨材として用いたコンクリートの性質、農業土木学会論文集、No.200, pp.59-67, 1999
- 4) 例えば、辻幸和、依田彰彦、川上勝弥、鈴木康範：熔融スラグ骨材の利用とJIS化、コンクリート工学、Vol.45, No.4, pp.3-9, 2007
- 5) 尾上幸造、関戸知雄、中澤隆雄、中村公生：宮崎県で製造されるごみ熔融スラグ細骨材を用いたコンクリートの基礎的性質に関する研究、セメント・コンクリート論文集、No.65, pp.268-275, 2012

本誌記事を読み、学習することは「土木学会」「建設コンサルタンツ協会」のCPD教育形態の「自己学習（学会誌等の購読）」に相当し、単位を取得できます。
※詳細は各団体により異なりますので、ご確認ください。