

報告 焼却灰溶融スラグを粗骨材として用いたコンクリートの構造物試験施工

板橋 宏^{*1}・黒澤和男^{*2}・田中 満^{*3}・夏堀 渉^{*4}

要旨: 都市ごみなどの一般廃棄物の焼却灰溶融スラグの有効利用用途拡大の一環として、溶融徐冷スラグのコンクリート用粗骨材としての適用性を検討した。このため、実験室での配合試験、強度試験などと、大型供試体を用いた打込み試験を実施した。その結果、フレッシュ性状、強度特性、施工性など、天然骨材とほぼ同等の性状が得られたため、国道の重力式擁壁コンクリートへの適用を行い、溶融スラグを用いたコンクリートが天然骨材使用コンクリートと同等の性状を有することを確認した。

キーワード: 廃棄物、焼却灰、溶融スラグ、徐冷スラグ、有効利用、粗骨材、擁壁

1. はじめに

コンクリートの骨材は、年間約6億t消費されており、資源の枯渇、環境負荷の低減などの観点から、将来の需給に関して安定供給が危ぶまれることが考えられる¹⁾。このため、代替資源の確保が重要な課題となっている。

一方、都市ごみなどの一般廃棄物は、そのほとんどが焼却による中間処理の後、最終処理場に埋立て処分されているが、新規の最終処分場の立地が困難なことから、年々残余容量が減少している。このため、最終処分場への負担軽減や環境への配慮から都市ごみの発生抑制や焼却灰の減容化・再資源化への取り組みが必要になってきている。

ごみ焼却灰の減容化・再資源化技術として有望な方法の一つに溶融スラグ化がある。この技術は、廃棄物もしくはその焼却灰を1200℃以上の高温で溶融した後、冷却固化したものである。溶融スラグは、高温溶融物を水中に流し込み急激に冷却する溶融急冷スラグと、スラグを空気中でゆっくりと冷却して得られる溶融徐冷スラグの2種類ある。

溶融急冷スラグは、その製法上、砂状のものしか得られないため、埋戻し材や盛り土材等の土質材料として利用されている。また、コンクリート

の細骨材への適用も行われており、試験例や適用例などの実績もある^{2),3)}。一方、溶融徐冷スラグは、大きな岩石状の塊が得られるため、これを破碎処理することにより路盤材やコンクリート粗・細骨材など幅広い用途が期待できる。

これらの溶融スラグを建設資材として有効利用する取り組みを積極的に実施し、建設産業と他産業が一体となり「資源循環型社会」の構築に応えることは重要な課題である。

国土交通省関東地方整備局宇都宮国道事務所では、平成11年度に、溶融スラグのうち、写真-1に示す溶融徐冷スラグに分類される溶融スラグを

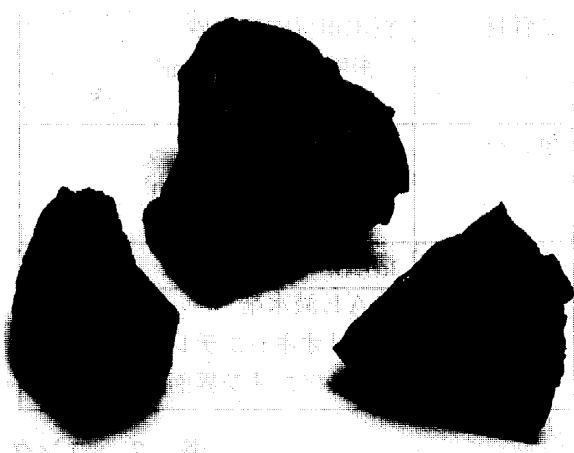


写真-1 溶融徐冷スラグの形状

*1 (株) 板橋組 常務取締役 (正会員)

*2 国土交通省関東地方整備局宇都宮国道事務所長

*3 国土交通省関東地方整備局建政部住宅整備課市街地事業係長 (前、宇都宮国道事務所)

*4 国土交通省関東地方整備局宇都宮国道事務所 工務課

国道工事において全国で初めて道路の路盤材として試験施工を行った結果、天然骨材の代替資源として良好な性状が得られることを確認した⁴⁾。

本報告は、さらにより付加価値の高い利用方法として、溶融徐冷スラグ（以下、溶融スラグ）のコンクリート用粗骨材への適用性の確認試験を行い、実構造物の施工を行った結果について取りまとめたものである。

2. 試験方法

試験に用いた材料の一覧を表-1に示す。

溶融スラグの骨材性状確認試験は、ふるい分け試験、密度・吸水率試験および実積率試験を行った。なお、骨材試験方法は、JISの試験方法に準じて行った。

配合試験を行ったコンクリートの基本配合は、表-2に示す配合とし、実配合は、基本配合に対して粗骨材の全量を溶融スラグに置き換えて、スランプが同等になるように決定した。なお、粗骨材の最大粒径は、40mmとした。

コンクリート試験は、フレッシュ性状確認試験

表-1 試験に用いた材料

| 材料 | 仕様 |
|-------|--|
| セメント | 高炉セメントB種 密度：3.04 g/cm ³ |
| 細骨材 | 栃木市尻内産山砂 密度：2.61 g/cm ³ 吸水率：1.45% |
| 粗骨材 | 栃木市尻内産砂利 密度：2.63 g/cm ³ 吸水率：0.53% |
| 溶融スラグ | 溶融徐冷スラグ（表-3参照） |
| 混和剤 | A-E減水剤 ポリオキシエチレン系および 特殊アニオン界面活性剤 |

表-2 コンクリートの基本配合

| 配合名 | 水セメント比 (%) | スランプ (cm) | 細骨材率 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | |
|-----------|------------|-----------|----------|--------------------------|------|-----|-------|
| | | | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 |
| 18-8-40BB | 63.5 | 8±2 | 44.1 | 153 | 241 | 833 | 1058 |
| | | | | | | | 0.108 |

として、スランプ試験と空気量の測定およびブリーディング試験を行った。また、硬化コンクリート試験としては、圧縮強度、曲げ強度、引張強度試験を行った。

配合試験の後、コンクリートプラント実機を用いた練混ぜ試験を行い、製造されるコンクリートの性状を再確認し、さらに、施工性の確認試験として840mm×840mm×900mmの型枠を実構造物の施工現場に設置し、プラントから現場までコンクリート運搬車による運搬を行い、コンクリートの打込み試験を実施した。コンクリートの硬化後、供試体を脱型し、充填状況を確認した。脱型後の供試体は、暴露試験に用いており、現在も試験中である。

表-3 溶融スラグの物理試験結果

| 試験項目 | 試験値 |
|---------------------------|------|
| 表乾密度 (g/cm ³) | 2.83 |
| 吸水率 (%) | 0.79 |
| 単位容積質量 (kg/ℓ) | 1.74 |
| 実積率 (%) | 61.8 |

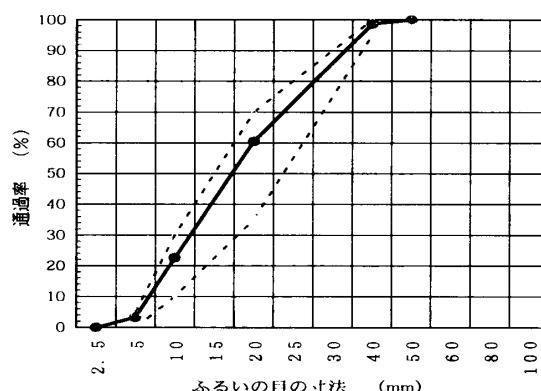


図-1 溶融スラグのふるい分け試験結果

3. 試験結果と考察

3.1 溶融スラグの性状

溶融スラグの骨材試験結果を表-3に示す。

密度と単位容積質量が、天然骨材よりやや大きい以外は、天然骨材とほぼ同等の性状を有していた。

また、溶融スラグのふるい分け試験の結果を図-1に示す。溶融スラグの粒度分布は、土木学会の粗骨材の粒度の範囲内にあった。

なお、溶融スラグの安全性に関しては、表-4に示すように溶出試験を行い、溶出基準を満たしており、安全性には問題のないことを確認した。

以上の結果から、溶融スラグは、骨材としての物理的性状は、天然骨材とほぼ同等の性状を示すため、コンクリート用粗骨材としての有効利用については、問題がないものと考えられた。

3.2 溶融スラグを用いたコンクリートのフレッシュ性状

配合試験を行った結果を表-5に示す。

粗骨材を溶融スラグに全量置換した場合、スランプは天然骨材使用のコンクリートの6.5cmよりやや小さくなる傾向が見られた。これは、比

表-4 溶融スラグの溶出試験結果

| 対象物質 | 試験結果 | 溶出基準 |
|-------|------|-------------|
| カドミウム | 不検出 | 0.01 mg/ℓ |
| 鉛 | 不検出 | 0.01 mg/ℓ |
| 六価クロム | 不検出 | 0.05 mg/ℓ |
| ヒ素 | 不検出 | 0.01 mg/ℓ |
| 総水銀 | 不検出 | 0.0005 mg/ℓ |
| セレン | 不検出 | 0.01 mg/ℓ |

較に用いた天然骨材使用のコンクリートは、玉砂利を使用しているのに対して、溶融スラグは、

表-6 コンクリートのブリーディング試験結果の一覧

| 配合名 | ブリーディング量 (cm³/cm³) | ブリーディング率 (%) |
|--------------------|-----------------------|-----------------|
| 18-8-40BB | 0.128 | 3.99 |
| 18-8-40BB (スラグ) | 0.204 | 5.84 |

表-7 コンクリートの圧縮強度の一覧

| 配合名 | 材 齢 | | |
|--------------------|------|------|------|
| | 7日 | 28日 | 91日 |
| 18-8-40BB | 15.4 | 23.3 | 27.9 |
| 18-8-40BB (スラグ) | 13.6 | 21.7 | 26.7 |

単位:N/mm²

表-8 コンクリートの曲げ強度の一覧

| 配合名 | 材 齢 | | |
|--------------------|------|------|------|
| | 7日 | 28日 | 91日 |
| 18-8-40BB | 3.82 | 4.30 | 4.83 |
| 18-8-40BB (スラグ) | 3.56 | 3.71 | 4.74 |

単位:N/mm²

表-9 コンクリートの引張強度の一覧

| 配合名 | 材 齢 | | |
|--------------------|------|------|------|
| | 7日 | 28日 | 91日 |
| 18-8-40BB | 1.63 | 2.63 | 3.30 |
| 18-8-40BB (スラグ) | 1.30 | 2.08 | 2.61 |

単位:N/mm²

表-5 コンクリートの配合試験結果

| 配合名 | 水セメント比 (%) | スランプ (cm) | 細骨材率 (%) | 単位量 (kg/m³) | | | | | | スランプ (cm) |
|--------------------|---------------|--------------|-------------|-------------|------|-----|-----|-------|-------|--------------|
| | | | | 水 | セメント | 細骨材 | 粗骨材 | 溶融スラグ | 混和剤 | |
| 18-8-40BB (スラグ) | 63.5 | 8±2 | 44.1 | 160 | 252 | 820 | — | 1126 | 0.113 | 8.0 |



写真-2 大型供試体への打込み試験状況

写真-3 大型供試体の暴露試験状況



試験施工部

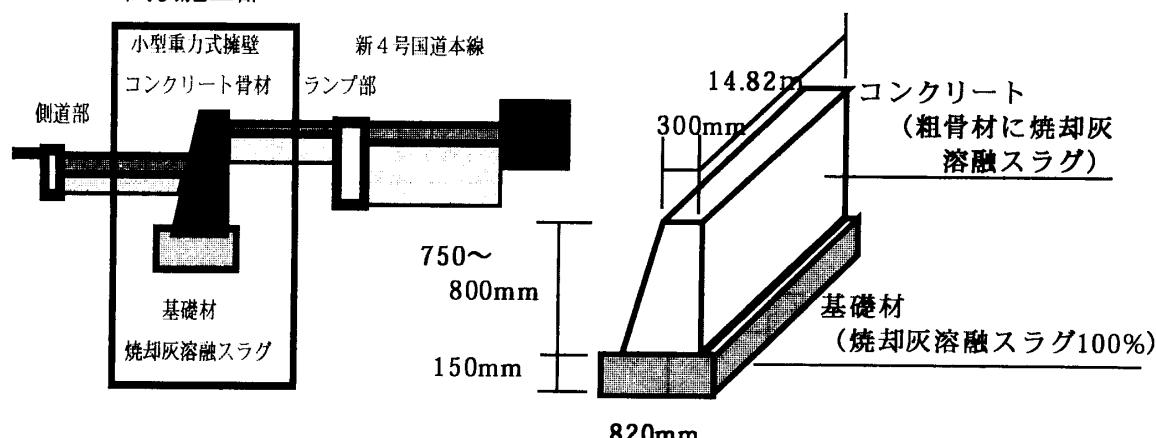


図-2 施工試験を行った実構造物の概要

碎石と同様に破碎加工したものであるため、骨材粒子が角張っているため、表面に水分を取り込んでしまうことによるものと考えられる。

また、ブリーディング試験結果の一覧を表-6に示す。溶融スラグを使用したコンクリートでは、ブリーディングが大きくなっていた。これは、骨材の密度が大きいこと、単位水量の増加によるものと考えられる。

3.3 溶融スラグを用いたコンクリートの硬化性状

コンクリートの強度の一覧を表-7～9に示す。溶融スラグを用いたコンクリートの引張強度は、天然骨材使用のものと比較するとやや小さい傾向が見られたが、圧縮・曲げ強度は、ほぼ同等の強度であり、実用上問題はないと考えられる。なお、長期材齢における強度の伸びは

天然骨材使用のコンクリートよりも大きくなる傾向が見られた。

大型供試体を用いたコンクリートの打込み試験の様子を写真-2に示す。コンクリートのスランプロスは、プラントと現場の移動時間は約30分と比較的短かったため、見られなかった(プラント出荷時時:8.0cmに対して現場荷降し時:8.5cm)。

溶融スラグを用いたコンクリートの施工性は、コンクリート運搬車のシートによる直接打込み、ポンプ車を使用した打込みとも天然骨材を使用したコンクリートと同等であり、実構造物の施工において問題はないものと考えられた。脱型後、充填状況を確認したが、ジャンカなどはほとんど見られず良好な仕上がりであった。暴露試験を行っている大型供試体の状況を写真-3に示す。この供試体は、今後定期的に非破



写真-4 基礎材の施工状況



写真-5 コンクリートの打込み状況

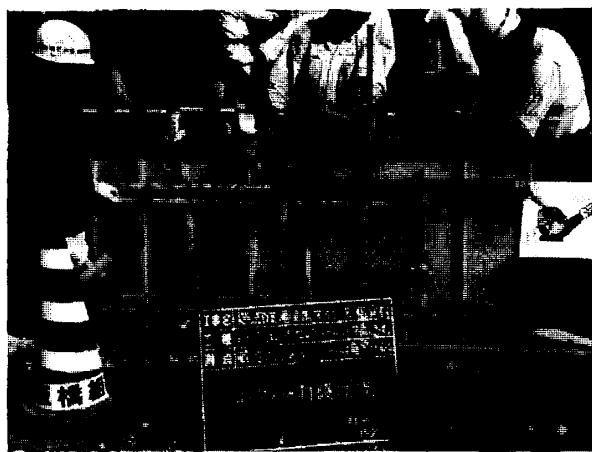


写真-6 コンクリートの打込み状況



写真-7 完成した擁壁

壞検査および、コア採取などによる破壊試験を行い、劣化状況を確認していく予定である。

4. 施工試験

施工試験を行った実構造物の概要を図-2に示す。実構造物は、一般道から国道へのオンランプと側道の境界に設置される小型重力式擁壁の一部である。擁壁の下には、基礎材が設置されるが、この基礎材にも溶融スラグから作製したRC-40相当の碎石を使用した。

擁壁コンクリートの打込みは、ポンプ車を用いて行った。打込みに使用したコンクリートのスランプロスは、大型供試体作製時と同様に見られなかった(プラント出荷時時:7.0cmに対して現場荷降し時:8.0cm)。コンクリートの施工性は、天然碎石骨材使用のコンクリートとほぼ同等であり、特に問題は生じなかつたが、打込み終了後のブリーディングによる浮き水の発生がやや見られた。基礎材の施工状況、コンクリートの打込み状況および完成した擁壁の写真を写真-4~7に示す。脱型後のコンクリートの仕上がりは、大型供試体の製造で確認したように、天然骨材使用のコンクリートとほぼ同等であり、良好な結果が得られた。

5. まとめ

都市ごみ焼却灰の溶融スラグの有効利用の一つとしてコンクリート用粗骨材への適用を検討した結果、以下の事象が明らかとなった。

- 1) 溶融スラグ粗骨材は、密度がやや大きい以外は天然骨材とほぼ同等の性状を有している。
- 2) 溶融スラグを粗骨材として用いたコンクリートのフレッシュ性状は、ブリーディングがやや大きくなること以外は、天然骨材を使用したコンクリートと同じである。
- 3) 溶融スラグを用いたコンクリートの強度は、引張強度が天然骨材を用いたコンクリートより

もやや小さくなつたが、圧縮・曲げ強度は、ほぼ同程度である。

- 4) 長期材齢における強度の伸びは、溶融スラグを用いたコンクリートのほうが、天然骨材使用のものよりも大きくなる傾向が見られた。
- 5) 溶融スラグを用いたコンクリートの施工性は、天然骨材を用いたコンクリートと同じく、シートによる直接打込み、ポンプ車使用による打込みとも可能である。

今後は、暴露試験の継続による長期的な耐久性の把握や、溶融スラグを用いたコンクリートの再利用時の影響の調査などを行うとともに、さらなる溶融スラグの利用用途の拡大に向け、各種の取り組みを積極的に行い、資源循環型社会の構築に大きく貢献したい。

【謝辞】 本実験および施工にあたり、ご協力頂いた関係者の皆様方に厚く謝意を表します。

参考文献

- 1) 例えば、セメント・コンクリート, No.618, 1998年8月号
- 2) 北辻政文、藤居宏一: ごみ溶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, 第200号, pp.223~231, 1999年4月
- 3) 吉田良勝、北辻政文、大西崇夫: ごみ溶融スラグ細骨材のレディーミクストコンクリートへの利用、土木学会第55回年次学術講演会講演概要集, 第5部門, pp.278~279, 2000年9月
- 4) 高野昭雄、黒澤和男、田中 満、貫井 武: 焼却灰溶融スラグを道路用路盤材としてリサイクル、第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.526~528, 2000年11月