

溶融方法が異なるごみ溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの品質に関する研究

(株)内山アドバンス 〇齊藤 丈士 ものつくり大 中田 善久
川崎重工業(株) 菅田 雅裕 川崎重工業(株) 谷山 教幸
(株)内山アドバンス 根本 明 千葉工業大 池永 博威

1. はじめに

一般廃棄物を原料とする溶融固化物(以下、ごみ溶融スラグと称する)は、これを用いたコンクリートの特性¹⁾やコンクリートを一定品質とした場合の調合の変化²⁾などについて各方面において研究が行われており、コンクリート用細骨材としての利用技術が蓄積されてきた。しかし、これらの研究は、生産されたごみ溶融スラグについてそれぞれに検討を行っており、溶融方法や冷却方法等が異なるごみ溶融スラグの品質の違いについて検討されている研究は極めて少ない。一方、筆者らは、冷却方法の異なるごみ溶融スラグについてこれを用いたコンクリートの性状を調べ、調査の範囲内で冷却方法の違いがコンクリートの性状に及ぼす影響は小さい³⁾ことを示したが、現状では溶融方法の相違の影響について検討した既往の研究は非常に少なく、あらゆる溶融方法により得られたごみ溶融スラグ細骨材のいずれも問題なく使用できるとは限らない。したがって、ごみ溶融スラグ細骨材を普及するにあたっては、溶融方法による取捨選択が重要となる可能性が残されている。

そこで、本研究は、溶融方法の違いがごみ溶融スラグ細骨材の品質およびこれを用いたコンクリートの性状に及ぼす影響を把握するために実験的検討を行ったものである。ここでは、溶融方法の異なる7種類のごみ溶融スラグを対象に、骨材の品質およびこれを用いたコンクリートの性状を調べた結果について述べる。

2. 実験概要

溶融方法の異なる7種類のごみ溶融スラグをとりあげ、物理的品質の比較を行った。また、このごみ溶融スラグの細骨材への容積による使

用割合(以下、置換率と称する)を変化させたコンクリートの性状を調べ、溶融方法がごみ溶融スラグを用いたコンクリート(以下、スラグコンと称する)の性状に及ぼす影響について検討した。

2.1 使用したごみ溶融スラグ

(1) 溶融方法

本研究で取り扱うごみ溶融スラグは、溶融炉の型式および溶融固化設備の所在地がそれぞれに異なる7種類の水砕スラグである。溶融炉の型式⁴⁾は、バーナ炉が3種類、プラズマ炉が2種類、シャフト炉および流動床炉が各1種類であり、それぞれの溶融炉から各1種類のごみ溶融スラグを得た。ここでは、これらのごみ溶融スラグをそれぞれB1、B2、B3、P1、P2、S1およびF1と称する。

(2) 製造方法

実験に用いたごみ溶融スラグは、それぞれの溶融炉にて溶融したものを水砕・固化した後、粒度を調整するための破砕処理および金属鉄を除去するための磁選処理を行ったものである。なお、粒度は、TRに示されるMS2.5の粒度を目標として破砕処理を行ったものである。

2.2 ごみ溶融スラグの物理的品質

ごみ溶融スラグの物理的品質として、表1に示す項目について試験を行った。なお、物理的品質の試験は、すべてJISの方法により行った。

表1 骨材の物理的品質の試験項目および方法

試験項目	試験方法
ふるい分け	JIS A 1102
密度および吸水率	JIS A 1109
微粒分量	JIS A 1103
単位容積質量および実積率	JIS A 1104
粒形判定実積率	JIS A 5005

表2 使用材料

使用材料	種類	品質または主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	密度:3.16g/cm ³
水	上水道水	—
細骨材	君津市産山砂	—
	ごみ溶融スラグ	—
粗骨材	栃木市産 砕石2005	表乾密度:2.64g/cm ³ , 粗粒率:6.65 吸水率:1.05%, 実積率:59.1%
化学 混和剤	AE減水剤	リグニルスルホン酸化合物 ポリオール複合体
	AE助剤	7メチルヘキシル型陰イオン界面活性剤

表3 調合条件および変化要因

調合条件・変化要因	水準
水セメント比	55.0 (%)
単位水量	170 (kg/m ³)
スランブ	18±1 (cm)
空気量	4.5±1.0 (%)
ごみ溶融スラグの種類	B1, B2, B3, P1, P2, S1, F1
置換率	0, 30, 50, 75, 100 (%)

表4 コンクリートの試験項目および方法

試験項目		試験方法
フレッシュ コンクリート	スランブ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	ブリーディング	JIS A 1123
硬化 コンクリート	圧縮強度	JIS A 1108
	静弾性係数	JIS A 1149

2.3 ごみ溶融スラグを用いたコンクリートの性状

(1) 使用材料

使用材料を表2に示す。セメントに普通ポルトランドセメント、水に上水道水、細骨材に山砂およびごみ溶融スラグ細骨材7種類、粗骨材に砕石2005、化学混和剤にAE減水剤およびAE助剤を用いた。

(2) 調合条件および変化要因

実験における変化要因は、ごみ溶融スラグの種類および置換率とした。調合条件および変化要因を表3に示す。

(3) 試験項目および方法

試験項目および方法を表4に示す。フレッシュコンクリートについてスランブ、空気量およびブリーディングの各試験を行い、硬化コンクリートについて圧縮強度および弾性係数の試験を行った。なお、硬化コンクリートの試験には、標準養生した供試体を用いた。

3. 結果および考察

3.1 ごみ溶融スラグの物理的品質

ごみ溶融スラグの粒度分布の範囲を図1に、基準の細骨材に用いた砂を含めて、細骨材の物理試験結果を表5に示す。

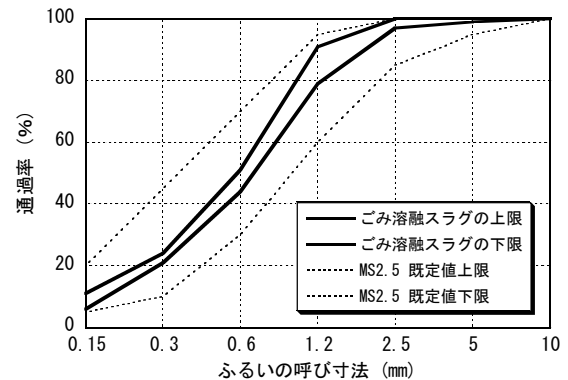


図1 ごみ溶融スラグの粒度分布の範囲

表5 細骨材の物理試験結果

細骨材の種類	ごみ溶融スラグ							山砂
	B1	B2	B3	P1	P2	S1	F1	
粗粒率 (F.M.)	2.34	2.50	2.33	2.26	2.45	2.43	2.31	2.49
密度 (g/cm ³)	絶乾	2.71	2.76	2.60	2.81	2.70	2.82	2.76
	表乾	2.75	2.78	2.67	2.83	2.72	2.84	2.77
吸水率 (%)	1.23	0.90	2.53	0.40	0.73	0.61	0.29	1.67
微粒分量 (%)	4.7	3.0	2.0	3.3	2.8	4.2	4.2	1.0
単位容積質量 (kg/ℓ)	1.77	1.83	1.60	1.75	1.80	1.91	1.82	1.70
実積率 (%)	65.3	66.3	61.4	62.3	66.7	67.7	65.8	66.5
粒形判定実積率 (%)	55.4	55.9	56.9	58.4	57.0	55.7	55.1	—

(1) 粒度分布および粗粒率

ごみ溶融スラグの粒度は、いずれのスラグも破碎処理において目標としたMS2.5の粒度に適合しており、且つ溶融炉の違いによる差は、粒度分布、粗粒率ともに小さかった。これより、ごみ溶融スラグの粒度分布は、溶融炉の違いに関係なく、破碎処理により任意の範囲に調整できると考えられる。

(2) 密度および吸水率

ごみ溶融スラグの密度は、全体に普通骨材よりも大きく、また、絶乾密度は全てのごみ溶融スラグにおいてTRの規定値2.5g/cm³以上を満足するものであった。吸水率は、一部を除き全体に小さかったが、B3は、ほかのごみ溶融スラグに対し2倍以上と大きくなった。B3以外の吸水率が小さいことは、水砕されたスラグはガラス質で粒子の表面が平滑なためと考えられる。また、B3は、溶融温度や塩基度の影響で融液の粘度が比較的高く、水砕される直前までの脱泡が不十分な可能性があり、粒子が比較的多くの空隙を含んでいると考えられる。

(3) 微粒分量

ごみ溶融スラグの微粒分量は、ややばらつきが大きかったが、溶融炉の型式による特徴は見

いだせなかった。水砕直後のごみ熔融スラグの微粒分量は一般に少ないため、これは、破碎処理工程におけるばらつきと考えられる。

(4) 単位容積質量, 実積率および粒形判定実積率

ごみ熔融スラグの単位容積質量は、B3を除き砂よりも大きく、実積率は、B3およびP1を除き砂とほぼ同等であった。単位容積質量が大きいことは、ごみ熔融スラグの密度が全体に砂よりも大きいことが影響している。また、粒形判定実積率は、熔融炉の違いにより若干のばらつきが見られるが、概ね一定の範囲にあり、全てがTRの規定値53%よりも大きかった。さらに、実積率と粒形判定実積率の関係には、熔融形式の違いによる傾向は見られなかった。これより、ごみ熔融スラグの粒形に及ぼす影響は、熔融炉の型式よりもむしろ固化後の加工である破碎処理工程において大きいと思われる。

3.2 ごみ熔融スラグを用いたコンクリートの性状

(1) 一定のスランブおよび空気量の調合における単位水量とAE助剤量の変化

一定のスランブおよび空気量が得られたスラグコンの調合における単位水量およびAE助剤量の変化とフレッシュコンクリートの品質を表6に示す。一定のスランブにおけるスラグコンの単位水量は、置換率が大きくなると増大する傾向にあり、増大の割合は、F1において大きかった。これは、ごみ熔融スラグの粒形は全体に砂と比較して角張っている⁵⁾ことが影響していると考えられる。また、F1において増大の割合が大きいことは、F1の粒形判定実積率が小さいことが影響していると思われる。

一定の空気量を得るためのAE助剤量は、置換率が大きくなると減少する傾向を示し、置換率100%では、全てのスラグコンでAE助剤を使用しないで所要の空気量が得られた。これは、既往の研究と同様に、ごみ熔融スラグがエントラップトエアを増大させる¹⁾ためと考えられる。

(2) ブリーディング

置換率とブリーディング量の関係を図2に、単位水量とブリーディング量の関係を図3に示す。スラグコンのブリーディング量は、置換率が大きくなるに従い増大する傾向にあった。また、単位水量との関係からは、熔融炉の違いに

表6 単位水量およびAE助剤量の変化とフレッシュコンクリートの品質

ごみ熔融スラグの種類	置換率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	AE助剤量 (G × 10 ⁻⁵)	スランブ (cm)	空気量 (%)
—	0	174	3.00	19.0	5.1
	30	174	1.50	18.0	4.2
B1	50	178	0.75	18.0	3.7
	75	181	0.50	18.0	4.6
	100	186	0.00	17.5	4.5
	30	178	1.50	19.0	4.3
B2	50	179	0.75	18.5	4.6
	75	181	0.50	18.5	4.8
	100	186	0.00	19.0	5.5
	30	174	1.50	18.0	4.4
B3	50	178	0.75	18.5	3.9
	75	181	0.50	18.0	4.6
	100	186	0.00	17.5	4.8
	30	176	1.50	19.0	4.0
P1	50	178	0.75	18.0	4.3
	75	181	0.25	18.5	5.1
	100	186	0.00	17.5	5.5
	30	176	1.50	19.0	4.3
P2	50	178	0.75	17.5	4.3
	75	181	0.25	17.5	5.4
	100	186	0.00	17.0	5.3
	30	174	1.50	19.0	3.9
S1	50	178	0.75	19.0	3.8
	75	181	0.50	18.5	4.2
	100	186	0.00	19.0	4.2
	30	176	1.50	19.0	4.2
F1	50	178	0.75	18.5	4.0
	75	185	0.50	18.0	4.8
	100	196	0.00	19.0	3.9

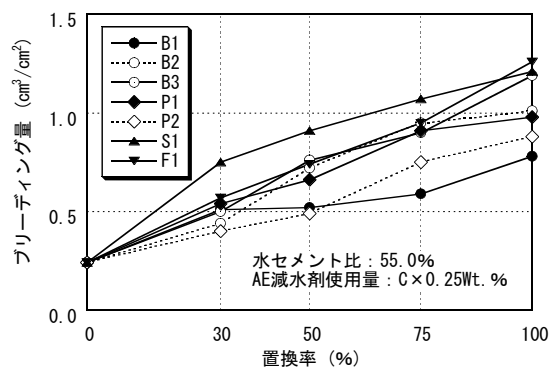


図2 置換率とブリーディング量の関係

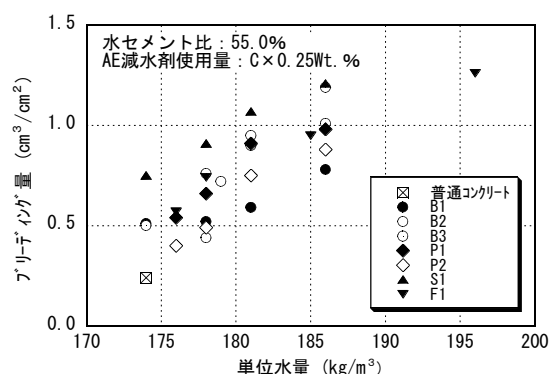


図3 単位水量とブリーディング量の関係

よるばらつきが見られるが、単位水量が多いほどブリーディング量が多くなる傾向にあった。これより、ブリーディングの抑制に有効とされる対策の一つである単位水量の抑制は、スラグコンにおいても有効と考えられる。

(2) 圧縮強度

スラグコンにおける置換率と圧縮強度の関係を、材齢28日を例にとり図4に示す。置換率と

圧縮強度の関係には、ばらつきが見られたが、置換率が50%以下の場合、全ての種類のスラグコンにおいて圧縮強度は普通コンクリートと同等以上となった。また、置換率が75%以上では、ごみ溶融スラグの種類による差が大きくなり、一部、圧縮強度が普通コンクリートに対し大きく低下する場合も見られた。しかしながら、同じ型式の溶融炉から得られるごみ溶融スラグを用いたスラグコンでも傾向が異なっており、この傾向は、溶融方法に特有のものではなく、各溶融炉に個別の特性があるとも考えられる。

(3) 静弾性係数

材齢28日における圧縮強度と静弾性係数の関係を図5に示す。圧縮強度に対する静弾性係数は、建築学会式をやや上回る傾向を示し、これは、全てのスラグコンおよび普通コンクリートを含めてみられる傾向であった。これより、溶融方式に関わりなく、圧縮強度を確保すれば、普通コンクリートとスラグコンは、同程度の静弾性係数が得られると考えられる。

4. まとめ

溶融方法の違いがごみ溶融スラグの品質およびこれを用いたコンクリートの性状に及ぼす影響を把握するために、溶融方法の異なる7種類のごみ溶融スラグについて、物理的品質およびスラグコンの品質を調べ、次の知見を得た。

- ①ごみ溶融スラグの粒度分布および粗粒率は、溶融方法の違いよりも二次加工の破碎処理の影響を大きく受ける。
- ②粒子が比較的多くの空隙を含んでいると思われる密度が小さく吸水率の大きなごみ溶融スラグが存在する。
- ③微粒分量に溶融方法の違いによる特徴は見いだせない。
- ④ごみ溶融スラグの粒形に及ぼす影響は、溶融方式の違いよりも破碎処理の方が大きいと思われた。
- ⑤ブリーディング抑制対策の一つである単位水量の減少は、スラグコンにおいても有効と考えられる。
- ⑥普通コンクリートに対する圧縮強度の低下は、溶融方式特有のものではないと考えられた。

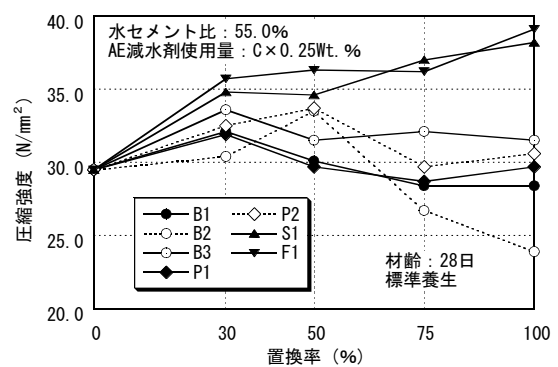


図4 置換率と圧縮強度の関係

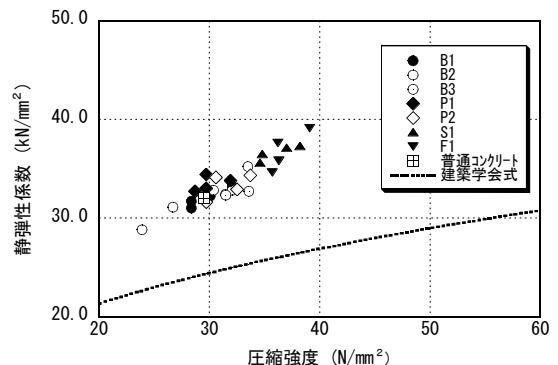


図5 圧縮強度と静弾性係数の関係

- ⑦スラグコンの圧縮強度と静弾性係数の関係は、普通コンクリートと同様の傾向を示す。

謝辞

本実験を行うにあたり、毛見虎雄博士、(株)内山アドバンス中央技術研究所 女屋英明課長より多大なるご協力およびご助言を頂きました。ここに付記し、感謝の意を表します。なお、本実験は、前(株)内山アドバンス中央技術研究所長 故 奈良禰徳氏の指導のもとに行われたものであります。

参考文献

- 1) 越川茂雄ほか、焼却灰溶融スラグのコンクリート用細骨材への利用に関する研究、コンクリート工学論文集第11巻第2号、(2000.5), pp. 39-47
- 2) 斉藤丈士ほか、ごみ溶融スラグ細骨材を用いたコンクリートの性状に関する研究、日本建築学会構造系論文集No. 584、(2004.10), pp. 1-7
- 3) 奈良禰徳ほか：ごみ焼却灰溶融スラグを細骨材として用いたコンクリートの物理的性状、第11回廃棄物学会研究発表会講演論文集、(2000.11), pp. 544-546
- 4) TR A 0016 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(コンクリート用溶融スラグ細骨材)、日本規格協会、(2002.7)
- 5) 千葉県廃棄物情報技術センター：溶融スラグ利用コンクリート研究グループ報告書、(2001.3)