

論文 ごみ溶融スラグ細骨材を用いた高性能AE減水剤コンクリートのブリーディングに関する研究

齊藤 丈士*¹・中田 善久*²・菅田 雅裕*³・池永 博威*⁴

要旨: ごみ溶融スラグを用いたコンクリートにおいて課題の一つとなっているブリーディング性状に着目し, 溶融方法の異なる3種類のごみ溶融スラグを用いて高性能AE減水剤コンクリートを練り混ぜ, この単位水量およびごみ溶融スラグの置換率を変化させたコンクリートの品質からブリーディングに影響する要因に関する検討を行い, 単位水量が少ないほどブリーディング量が少なくなる傾向にあることおよびごみ溶融スラグの置換率を一定量以上とするとブリーディング量が著しく増大する場合があることを示した。

キーワード: ごみ溶融スラグ, ブリーディング, 単位水量, 置換率, 凝結

1. はじめに

一般廃棄物であるごみの処理は, 従来の焼却処理および埋め立て最終処分から溶融処理およびごみ溶融スラグの有効利用へと移り変わろうとしている。ごみ溶融スラグは, 建設資材として大きなボリュームを占めるコンクリートに細骨材として有効利用できる¹⁾が, 現状ではいくつかの技術的な課題が解決されておらず, ごみ溶融スラグを細骨材に用いたコンクリート(以下, スラグコンクリートと称する)は普及にまで至っていない。現状で解決されていない技術的な課題^{1), 2)}には, ごみ溶融スラグの品質変動に関する知見が不足していること, スラグコンクリートは, ごみ溶融スラグを用いないコンクリート(以下, 普通コンと称する)に対しブリーディングが増大することおよびスラグコンクリートの耐久性に関する知見が不足していることなどがあり, 中でも, ブリーディングの問題は, スラグコンクリートの耐久性とも密接に関係すると考えられることから, 極力早くに解決することが望ましい。

そこで, 本研究は, スラグコンクリートのブ

リーディング性状を明らかにするために, 配合(調合)の各要因の変化がスラグコンクリートのブリーディング性状に及ぼす影響を検討したものである。

ここでは, 高性能AE減水剤を用いたスラグコンクリートにおける単位水量の変化およびごみ溶融スラグの細骨材への容積による混入割合(以下, 置換率と称する)がブリーディングに及ぼす影響について調べた結果を述べる。

2. 単位水量の影響(シリーズ I)

2.1 実験概要

溶融方法の異なる3種類のごみ溶融スラグをそれぞれ用い, 単位水量を変化させ, 高性能AE減水剤の使用量によりスランプを一定としたスラグコンクリートについて, ブリーディング性状を中心としてフレッシュコンクリートの性状を調べた。

(1) 使用したごみ溶融スラグ

本研究で使用したごみ溶融スラグは, 現在ごみ処理施設において稼働しているプラズマ式溶融炉, バーナ式溶融炉およびシャフト炉式溶融

*1 (株)内山アドバンス 中央技術研究所 研究員

*2 ものづくり大学 技能工芸学部 建設技能工芸学科 専任講師 博士(工学)

*3 川崎重工業(株) プラント・環境・鉄構カンパニー 技術開発部 主事

*4 千葉工業大学 工学部 建築都市環境学科 教授 工博

炉の3種類の炉から一般廃棄物の処理の過程で副産されたもので、ともに融液を水砕処理により固化した後、粒度を調整するために衝撃破碎式製砂機により破碎処理を行い、さらに、金属鉄を除去するために磁選処理を行ったものである。なお、破碎処理においては、標準情報¹⁾(TR A 0016-2002)に示されている、MS2.5の粒度を目標として処理を行った。ここでは、プラズマ式溶融炉より得たごみ溶融スラグ、バーナ式溶融炉より得たごみ溶融スラグおよびシャフト炉式溶融炉より得たごみ溶融スラグをそれぞれP1スラグ、B1スラグおよびS1スラグと称する。ごみ溶融スラグの品質を表-1に示す。

(2) 使用材料

実験に使用した材料は、セメントが普通ポルトランドセメント、水が上水道水、細骨材が砂および3種類のごみ溶融スラグ、粗骨材が碎石、化学混和剤が高性能AE減水剤およびAE剤である。使用材料を表-2に示す。

(3) 配合(調合)条件と実験要因および水準

コンクリートの配合(調合)条件は、単位粗骨材(かさ)容積 $0.590\text{m}^3/\text{m}^3$ においてスランプ $21\pm 1.0\text{cm}$ 、空気量 $4.5\pm 1.0\%$ とし、変化要因は、ごみ溶融スラグの種類、置換率および単位水量とした。また、スランプおよび空気量は、化学混和剤の使用量により調整した。配合(調合)条件と実験要因および水準を表-3に示す。

(4) 試験項目および方法

試験項目は、フレッシュコンクリートについてスランプ、空気量、ブリーディング量および凝結時間であり、試験方法は、全てJISの方法とした。試験項目および方法を表-4に示す。

2.2 結果および考察

(1) 配合(調合)とスランプおよび空気量

コンクリートの配合(調合)とスランプおよび空気量の試験結果を表-5に示す。スラグコンクリートは、単位水量にかかわらず普通コンと同様に単位粗骨材(かさ)容積を一定として高性能AE減水剤およびAE剤の使用量を調整することにより、所要のスランプおよび空気量を得るこ

表-1 ごみ溶融スラグの品質(シリーズI)

ごみ溶融スラグの種類	P1	B1	S1
粗粒率(F.M.)	2.41	2.81	2.42
密度(g/cm ³)	絶乾	2.71	2.69
	表乾	2.74	2.72
吸水率(%)	0.80	1.05	1.08
微粒分量(%)	3.6	2.2	4.0
単位容積質量(kg/ℓ)	1.73	1.74	1.79
実積率(%)	63.8	64.7	64.9
粒形判定実積率(%)	56.8	55.8	55.4

表-2 使用材料

使用材料	種類	概要
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	千葉県浦安市
細骨材	砂	千葉県君津市産山砂、粗粒率2.49、表乾密度2.59g/cm ³ 、吸水率1.67%、微粒分量1.0%、実積率66.5%
	ごみ溶融スラグ	P1, B1, S1
粗骨材	碎石2005	栃木県栃木市産、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	高性能AE減水剤	ホリカルボン酸系化合物
	AE剤	アルキル-シリル型陰イオン界面活性剤

表-3 配合(調合)条件と実験要因および水準

項目		水準
配合(調合)条件	水セメント比	45(%)
	スランプ	21 ± 1.0 (cm)
	空気量	4.5 ± 1.0 (%)
	単位粗骨材(かさ)容積	0.590 (m ³ /m ³)
実験要因	ごみ溶融スラグの種類	P1, B1, S1
	単位水量	165, 170, 175 (kg/m ³)
	置換率	0, 30 (%)

表-4 試験項目および方法

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
ブリーディング量	JIS A 1123
凝結時間	JIS A 1147

とが可能であった。また、同一のスランプおよび空気量を得るのに必要な高性能AE減水剤およびAE剤の使用量は、一部を除き、スラグコンクリートは普通コンに対し同等かやや少なかった。これは、ごみ溶融スラグの粒子の表面がガラス質で平滑であり、粒子に吸着される水量が少ないことが影響していると思われる。また、AE剤の使用量が少なくなったことは、ごみ溶融スラグがエントラップトエアを増加させる傾向にある³⁾ことが影響していると考えられる。S1スラグを用いた場合、一部普通コンよりも高性能AE減水剤の使用量が多くなったが、これは、S1スラグの微粒分量が比較的大きいことならびに

表-5 コンクリートの配合(調合)とスランプおよび空気量の試験結果(シリーズI)

細骨材の使用割合 (Vol. %)				水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)					試験結果					
砂	P1	B1	S1		セメント	水	砂	ごみ溶解スラグ	砕石	化学混和剤		スランプ (cm)	空気量 (%)		
										高性能AE減水剤	AE剤				
100	0	0	0	45	367	165	842	0	925	2.39	0.017	21.5	4.2		
					378	170	831			2.27	0.019	22.0	4.0		
					389	175	824			1.65	0.019	22.0	5.1		
70	30	0	0		367	165	589	267		2.39	0.009	21.0	4.0		
					378	170	582	264		1.70	0.011	21.0	4.7		
					389	175	577	261		1.56	0.016	21.0	5.0		
	0	30	0		0	367	165	589		265	1.84	0.011	21.0	4.5	
						378	170	582		262	1.70	0.011	21.5	4.8	
						389	175	577		259	1.46	0.012	21.0	4.5	
		0	0		30	0	367	165		589	272	2.39	0.011	20.0	4.8
							378	170		582	269	2.17	0.011	20.5	4.7
							389	175		577	266	2.14	0.016	21.0	5.0

粒形判定実積率が比較的小さいことの2つの要因により、粒子の表面がガラス質であることの影響が打ち消されたためと思われる。

(2) ブリーディング

単位水量とブリーディング量の関係を図-1に示す。ブリーディング量は、普通コンおよびスラグコンクリートともに単位水量が大きいほど増大し、この増大の割合はごみ溶解スラグの種類ごとに異なり、B1スラグで大きかった。これは、後述するが、B1スラグを用いた場合、単位水量が大きいほど凝結が遅延する傾向にあることが影響していると考えられる。また、ごみ溶解スラグの種類ごとに増大の割合が異なることから、ごみ溶解スラグの種類と単位水量の組合せによりブリーディング量をある程度調整できる可能性がある。さらに、ブリーディング量は、全体に0.2cm³/cm²未満と小さく、問題ない範囲にあった。これは、水セメント比が45%と比較的小さいことおよび高性能AE減水剤を用いたことにより、セメントペーストの粘性が大きくなったことが影響していると思われる。

高性能AE減水剤の使用量とブリーディング量の関係を図-2に示す。これによると、ブリーディング量は、ごみ溶解スラグの種類にかかわらず、高性能AE減水剤の使用量が多くなるほど減少する傾向にあった。高性能AE減水剤の使用量は、流動性に寄与する水量が多いほど減少すると考えられることから、ブリーディング量は、

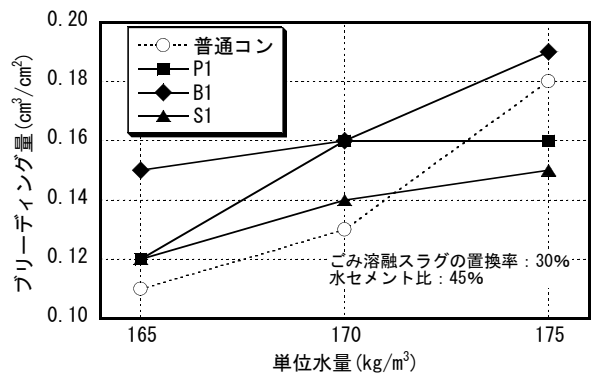


図-1 単位水量とブリーディング量の関係

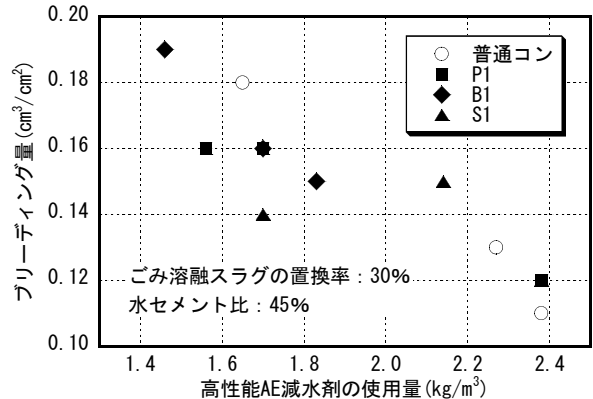


図-2 高性能AE減水剤の使用量とブリーディング量の関係

単位水量および流動性に寄与する水量が少なく、所要の流動性を得るために要する高性能AE減水剤の使用量が多いほど少なくなる。このことより、高性能AE減水剤を用いたスラグコンクリートにおけるブリーディング量は、高性能AE減水剤の使用量より大まかに推定できる可能性がある。

(3) 凝結時間

単位水量と凝結時間の関係を図-3に示す。

凝結時間は、普通コン、スラグコンクリートともに、単位水量の変化から受ける影響は小さかったが、B1スラグを用いた場合には、単位水量が175kg/m³のとき遅くなった。これは、現時点では原因を特定できないが、B1スラグを用いた単位水量が175kg/m³の場合はブリーディング量が増大していることから、ブリーディングと凝結は何らかの関係の有する可能性がある。

3. 置換率の影響(シリーズII)

3.1 実験概要

シリーズIで対象としたごみ溶融スラグと同じ溶融炉から得られた別ロットの3種類のごみ溶融スラグをそれぞれ使い、置換率を変化させ、高性能AE減水剤の使用量によりスランプを一定としたスラグコンクリートについてブリーディング性状を中心にフレッシュコンクリートの性状を調べた。

(1) 使用したごみ溶融スラグ

使用したごみ溶融スラグは、シリーズIで用いたごみ溶融スラグと同じ溶融炉において一般廃棄物の処理の過程で副産されたもので、シリーズIで用いたごみ溶融スラグとはロットが異なっている。また、これらは、固化後の加工についてもシリーズIと同様の処理を行っている。ここでは、プラズマ式溶融炉より得たごみ溶融スラグ、バーナ式溶融炉より得たごみ溶融スラグおよびシャフト炉式溶融炉より得たごみ溶融スラグをそれぞれP2スラグ、B2スラグおよびS2スラグと称する。ごみ溶融スラグの品質を表-6に示す。

(2) 使用材料

実験に使用した材料は、シリーズIと同様である。ただし、ごみ溶融スラグにP2スラグ、B2スラグおよびS2スラグを用いた。

(3) 配合(調合)条件と実験要因および水準

コンクリートの配合(調合)条件は、シリーズIと同様とし、変化要因は、ごみ溶融スラグの種類および置換率とした。ただし、単位水量は、170kg/m³で一定とした。

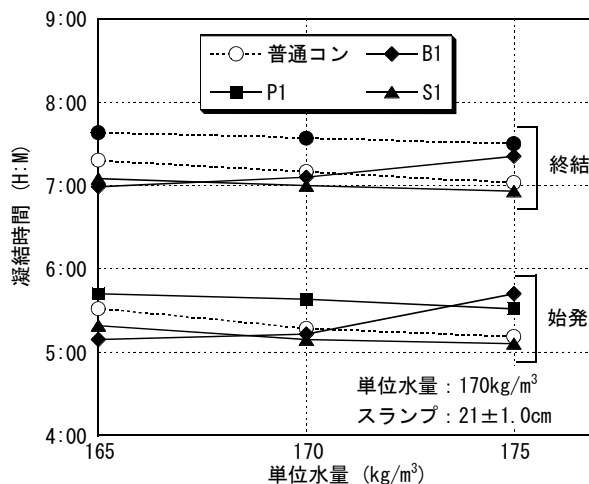


図-3 単位水量と凝結時間の関係

表-6 ごみ溶融スラグの品質(シリーズII)

ごみ溶融スラグの種類	P2	B2	S2
粗粒率(F.M.)	2.36	2.67	2.50
密度(g/cm ³)	絶乾	2.73	2.72
	表乾	2.74	2.74
吸水率(%)	0.53	0.82	0.75
微粒分量(%)	3.1	3.3	4.0
単位容積質量(kg/ℓ)	1.78	1.77	1.79
実積率(%)	65.2	65.1	64.6
粒形判定実積率(%)	57.0	56.0	54.0

(4) 試験項目および方法

試験項目は、シリーズIと同様にフレッシュコンクリートについてスランプ、空気量、ブリーディング量および凝結時間の4項目とし、JISの方法により試験を行った。

3.2 結果および考察

(1) 配合(調合)とスランプおよび空気量

コンクリートの配合(調合)とスランプおよび空気量の試験結果を表-7に示す。スラグコンクリートは、置換率が変化した場合にも単位粗骨材(かさ)容積を一定として高性能AE減水剤およびAE剤の使用量を調整することにより、所要のスランプおよび空気量を得ることが可能であった。また、同一のスランプおよび空気量を得るのに必要な高性能AE減水剤およびAE剤の使用量は、置換率が大きくなるほど少なくなった。これは、ごみ溶融スラグの粒子の表面がガラス質で平滑であり、粒子に吸着される水量が少ないことが影響していると思われる。また、AE剤の使用量が少なくなったことは、シリーズIと同様に、ごみ溶融スラグがエントラップトエア

表-7 コンクリートの配合(調合)とスランプおよび空気量の試験結果(シリーズII)

細骨材の使用割合 (Vol. %)				水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)						試験結果		
砂	P2	B2	S2		セメント	水	砂	ごみ溶融スラグ	砕石	化学混和剤		スランプ (cm)	空気量 (%)
										高性能AE減水剤	AE剤		
90	10	0	0	45	378	170	737	87	925	1.98	0.016	21.5	4.3
70	30									1.89	0.011	20.5	4.8
50	50									1.70	0.008	22.0	4.7
90	0	10	2.08							0.017	22.0	3.9	
70		30	1.70							0.012	21.5	5.5	
50		50	1.51							0.008	20.5	4.9	
90	0	10	2.08							0.016	21.5	4.7	
70		30	1.70							0.011	21.5	5.4	
50		50	1.51							0.008	20.0	5.3	

を増加させる傾向にある³⁾ことが影響していると考えられる。

(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-4に示す。なお、置換率0%(普通コン)のブリーディング量は、シリーズIにおける単位水量170kg/m³の結果を用いた。ブリーディング量は、置換率30%までは置換率から受ける影響は小さく、また、ごみ溶融スラグの種類の違いによるばらつきは小さかった。しかし、置換率50%では、P2スラグを用いたスラグコンクリートのブリーディング量が増大した。さらに、置換率50%では、ごみ溶融スラグの違いによる差が大きくなった。これより、置換率が30%を超える場合には、溶融スラグの種類の違いがブリーディング量に与える影響が顕著となる可能性がある。また、既往の研究では、化学混和剤にAE減水剤を用いたスラグコンクリートのブリーディング量は、置換率に対しほぼ直線的に増大する場合が多い^{2),3)}が、高性能AE減水剤を用いたスラグコンクリートのブリーディング量は、置換率が一定の値を超えると増大することがあり⁴⁾、今回のP2スラグの結果は、これと同様の傾向を示していた。この傾向は、高性能AE減水剤を用いたスラグコンクリートに特有の性質の可能性があり、この場合、ごみ溶融スラグの種類によりブリーディング量が増大する置換率が異なると考えられる。

高性能AE減水剤の使用量とブリーディング量

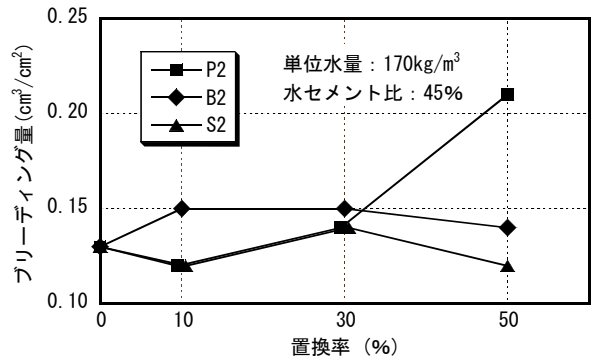


図-4 置換率とブリーディング量の関係

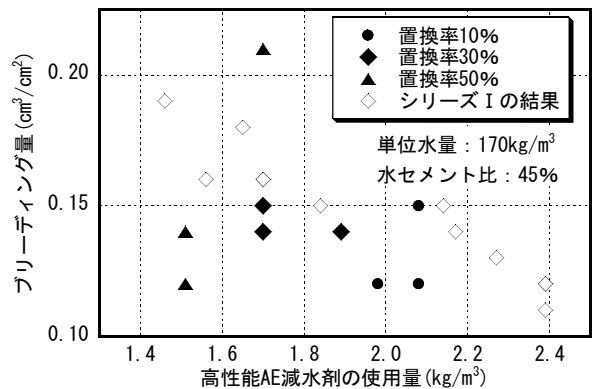


図-5 高性能 AE 減水剤の使用量とブリーディング量の関係

の関係を図-5に示す。これは、シリーズIの結果にシリーズIIの結果を組み合わせたものである。置換率が10および30%の場合、高性能AE減水剤の使用量とブリーディング量の関係は、シリーズIで見られた傾向にあてはまると考えられるが、置換率が50%の場合には、ごみ溶融スラグの種類によってはこの傾向に当てはまらないものがある。これより、シリーズIで述べた高性能AE減水剤の使用量からのブリーディング量の推定は、ごみ溶融スラグの種類により適用

できる置換率の上限が異なると思われる。

(3) 凝結時間

置換率と凝結時間の関係を図-6に示す。凝結時間は、P2スラグを用いたスラグコンクリートでは置換率が50%になると遅くなったが、B2スラグおよびS2スラグを用いたスラグコンクリートでは、置換率が30%以上になると早くなる傾向を示した。P2スラグを用いた置換率50%のスラグコンクリートは、P2スラグの粒形判定実積率が比較的大きいため、同一の単位水量で練り混ぜたコンクリートにおける余剰水が多いと考えられ、これが凝結時間に影響を及ぼしている可能性がある。なお、前述したP2スラグを用いたスラグコンクリートの置換率50%におけるブリーディング量の増大は、この凝結が遅くなったことが影響していると思われる。

4. まとめ

スラグコンクリートのブリーディング性状を明らかにするために、高性能AE減水剤を用いたスラグコンクリートにおける単位水量の変化および置換率がブリーディングに及ぼす影響について調べたところ、スラグコンクリートのブリーディング量は、単位水量が大きいほど増大する傾向にあり、この増大量は、ごみ溶融スラグの種類により異なること、また、高性能AE減水剤を用いたスラグコンクリートのブリーディング量は、ごみ溶融スラグの種類により、置換率が一定の値を超えると増大する場合あることがわかった。これらの結果から、スラグコンクリートのブリーディング量は、単位水量を小さくすることや置換率を一定量以下とすることで抑制が可能と考えられる。今後は、さらに多種類のごみ溶融スラグについて検討し、ごみ溶融スラグの種類によるブリーディング性状を把握するとともに調合によるブリーディングの抑制方法を確立したい。

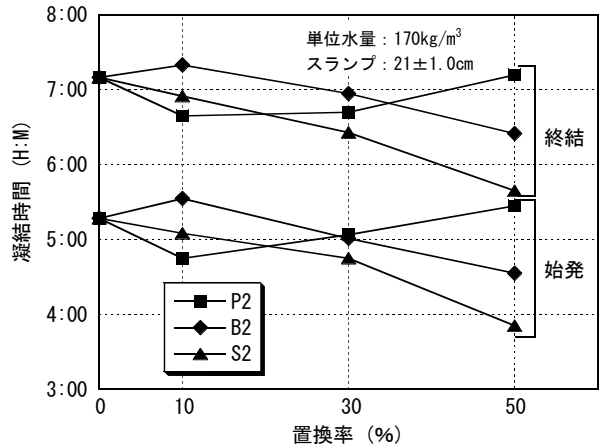


図-6 置換率と凝結時間の関係

謝辞

本実験を行うにあたり、毛見虎雄博士、川崎重工業株式会社 技術研究所 谷山教幸研究員、株式会社内山アドバンス 中央技術研究所 根本明所長、女屋英明課長より御指導を頂きました。また、ものづくり大学建設技能工芸学科中田研究室 卒業研究生の大塚秀三君、鈴木大介君、辻村純一君の学生諸君より多大な協力を得ました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本工業標準調査会：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)」，2002. 7
- 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，第584号，pp. 1～7，2004. 10
- 3) 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，pp. 39～47，2000. 5
- 4) 斉藤丈士ほか：表面改質した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，第589号，pp. 1～6，2005. 3