

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性状に関する研究

斉藤 丈士^{*1}・中田 善久^{*2}・菅田 雅裕^{*3}・池永 博威^{*4}

要旨：ごみ溶融スラグを細骨材に用いた高性能AE減水剤コンクリートにおける配合(調合)の各要因の変化がコンクリートの性状に及ぼす影響を実験により検討した。この結果、コンクリートの配合(調合)の各要因を調整することによって圧縮強度やブリーディング性状などの調整がある程度可能であり、また、ごみ溶融スラグの細骨材への置換率を30%以下とすることによりコンクリートの諸性状におけるばらつきを小さくできることを示した。

キーワード：ごみ溶融スラグ細骨材, 配合(調合), ブリーディング, 凝結時間, 圧縮強度

1. はじめに

一般廃棄物やその焼却残渣を溶融固化して得られるごみ溶融スラグは、コンクリート用細骨材に有効利用できる¹⁾とされている¹⁾が、これをレディーミクストコンクリート(生コン)に継続的に用いるためには、ごみ溶融スラグが生コン工場の多種多様な配合(調合)に適用できる必要がある。

一方、近年、JASS 5 に規定される単位水量の上限への対応や高強度・高流動コンクリートへの対応を目的として、高性能AE減水剤が生コンに一般的に使用されるようになってきた。ごみ溶融スラグを細骨材に用いたコンクリートは、ごみ溶融スラグの種類が異なっても化学混和剤にAE減水剤を用いた一般的なコンクリートの配合(調合)の変化には概ね対応可能²⁾なことがわかっている。しかし、近年一般的となりつつある高性能AE減水剤については、ごみ溶融スラグを用いたコンクリートの配合(調合)の変化とコンクリートの性状の関係には不明な点が多い。

そこで、本研究は、高性能AE減水剤を用いたコンクリートについて、調合の各要因の変化

がコンクリートの性状に与える影響を明らかにするために、調合の各要因を変化させたごみ溶融スラグコンクリートの品質を調べたものである。ここでは、調合の要因として、単位水量、ごみ溶融スラグの細骨材への置換率(以下、置換率と称する)、水セメント比および単位粗骨材(かさ)容積を変化させたごみ溶融スラグコンクリートの性状について述べる。

2. 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、配合(調合)の要因である単位水量、置換率、水セメント比および単位粗骨材(かさ)容積を変化させ、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、その性状の変化を調べた。

2.1 使用したごみ溶融スラグ細骨材

本研究で使用したごみ溶融スラグは、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炉の3種類の溶融炉から一般廃棄物の処理の過程で副産されたCa、SiおよびAlの酸化物を主成分とするもので、ともに融液を水砕処理により固化した後に破碎処理および磁選処理を

*1 (株)内山アドバンス 中央技術研究所 研究員

*2 ものつくり大学 技能工芸学部 建設技能工芸学科 助教授 博士(工学)

*3 川崎重工業(株) 環境ビジネスセンター 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

表 - 1 実験に用いたごみ溶融スラグの品質

実験シリーズ	単位水量			置換率			水セメント比			単位粗骨材(かさ)容積		
	P	B	S	P	B	S	P	B	S	P	B	S
ごみ溶融スラグの種類												
粗粒率 (F.M.)	2.41	2.81	2.42	2.36	2.67	2.50	2.38	2.99	2.48	2.40	3.04	2.65
密度 (g/cm ³)	絶乾	2.71	2.69	2.76	2.73	2.72	2.74	2.65	2.77	2.75	2.69	2.77
	表乾	2.74	2.72	2.79	2.74	2.74	2.75	2.68	2.79	2.77	2.71	2.79
吸水率 (%)	0.80	1.05	1.08	0.53	0.82	0.75	0.49	1.05	0.60	0.63	0.88	0.62
微粒分量 (%)	3.6	2.2	4.0	3.1	3.3	4.0	4.1	2.9	3.9	3.2	2.5	2.2
単位容積質量 (kg/ℓ)	1.73	1.74	1.79	1.78	1.77	1.79	1.75	1.70	1.78	1.78	1.75	1.79
実積率 (%)	63.8	64.7	64.9	65.2	65.1	64.6	63.9	64.2	64.3	64.7	64.9	64.7
粒形判定実積率 (%)	56.8	55.8	55.4	57.0	56.0	54.0	56.2	55.1	55.2	56.0	53.6	54.0

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	P, B, S
粗骨材	砕石 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	ポリカルボキシル酸系化合物
	AE 剤	アクリルエーテル型陰イオン界面活性剤

行ったものである。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Pスラグ、BスラグおよびSスラグと称し、図表中では一部、P、B、Sと記号で表す。ただし、それぞれのごみ溶融スラグは、変化させる配合(調合)の要因ごとに処理時期の異なるものを用いている。ごみ溶融スラグの品質を表 - 1 に示す。

2.2 ごみ溶融スラグ以外の使用材料

ごみ溶融スラグ以外の材料には、セメントに普通ポルトランドセメント、水に上水道水、基準の細骨材に砂、粗骨材に砕石、化学混和剤に高性能AE減水剤およびAE剤を用いた。使用材料を表 - 2 に示す。

2.3 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、スランブを21±1.0cm、空気量を4.5±1.0%とし、高性能AE減水剤およびAE剤の使用量により調整した。また、単位水量170kg/m³、置換率30%、水セメント比45%および単位粗骨材(かさ)容積0.590m³/m³を基準として、変化の水準は、これ

表 - 3 配合(調合)条件と実験の要因および水準

項目		水準
配合(調合)条件	スランブ	21 ± 1.0 (cm)
	空気量	4.5 ± 1.0 (%)
実験要因	ごみ溶融スラグの種類	P, B, S
	単位水量	165, 170, 175 (kg/m ³)
	置換率	0, 10, 30, 50 (%)
	水セメント比	40, 45, 50 (%)
	単位粗骨材(かさ)容積	0.58, 0.59, 0.60 (m ³ /m ³)

表 - 4 試験項目および方法

試験項目	試験方法
スランブ	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
圧縮強度	JIS A 1108

らの要因を中心に3点ずつ変化させたものとした。配合(調合)条件と実験の要因および水準を表 - 3 に示す。

2.4 試験項目および方法

試験項目は、スランブ、空気量、ブリーディング量、凝結時間および圧縮強度とし、試験には、全てJISの方法を用いた。試験項目および方法を表 - 4 に示す。

3. 結果および考察

3.1 コンクリートの配合(調合)とスランブおよび空気量

コンクリートの配合(調合)とスランブおよび空気量の試験結果を表 - 5 に示す。配合(調合)条件を満足するように化学混和剤の使用量を調整し、すべての配合(調合)で配合(調合)条件のスランブおよび空気量を満足した。また、目視によるコンクリートの状態は、すべての配合(調合)で良好なワーカビリティを有していた。こ

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

変化要因	ごみ溶解スラグの種類	配合(調合)の各要因				単位量 (kg/m ³)							試験結果							
		単位水量 (kg/m ³)	置換率 (%)	水セメント比 (%)	単位粗骨材(かさ)容積 (m ³ /m ³)	セメント	水	砂	ごみ溶解スラグ	碎石	化学混和剤		スランプ (cm)	空気量 (%)						
											高性能AE減水剤	AE剤								
単位水量	P	165	30	45	0.59	367	165	589	267	925	2.39	0.009	21.0	4.0						
		170				378	170	582	264		1.70	0.011	21.0	4.7						
		175				389	175	577	261		1.56	0.016	21.0	5.0						
	B	165				367	165	589	265		1.84	0.011	21.0	4.5						
		170				378	170	582	262		1.70	0.011	21.5	4.8						
		175				389	175	577	259		1.46	0.012	21.0	4.5						
	S	165				367	165	589	272		2.39	0.011	20.0	4.8						
		170				378	170	582	269		2.17	0.011	20.5	4.7						
		175				389	175	577	266		2.14	0.016	21.0	5.0						
置換率	-	0	170	45	0.59	378	170	831	0	925	2.27	0.019	22.0	4.0						
		10						737	87		1.98	0.016	21.5	4.3						
		30						573	260		1.89	0.011	20.5	4.8						
	P	50						409	433		1.70	0.008	22.0	4.7						
		10						737	87		2.08	0.017	22.0	3.9						
		30						573	260		1.70	0.012	21.5	5.5						
	B	50						409	433		1.51	0.008	20.5	4.9						
		10						737	88		2.08	0.016	21.5	4.7						
		30						573	264		1.70	0.011	21.5	5.4						
	S	50						409	441		1.51	0.008	20.0	5.3						
		40						425	250		2.34	0.012	22.0	4.0						
		45						378	261		1.89	0.011	22.0	4.4						
水セメント比	P	50	170	30	0.59	170	596	270	925	1.62	0.010	20.5	4.7							
		40					425	244		2.13	0.019	22.0	4.6							
		45					378	255		1.70	0.011	22.0	3.9							
	B	50					340	263		1.36	0.007	22.0	4.0							
		40					425	254		2.44	0.017	22.0	3.8							
		45					378	265		2.08	0.011	21.5	3.5							
	S	50					340	273		1.70	0.010	21.5	3.9							
		0.58					583	269		909	1.89	0.011	22.0	4.7						
		0.59					572	263		925	1.89	0.011	22.0	5.3						
	単位粗骨材かさ容積	P					0.60	170		30	45	378	170	562	258	941	1.89	0.011	21.5	5.2
							0.58							583	263	909	1.70	0.011	20.0	4.6
							0.59							572	257	925	1.70	0.011	20.5	4.6
B		0.60	562	252	941	1.70	0.011		20.0					4.0						
		0.58	583	271	909	1.99	0.011		20.5					5.3						
		0.59	572	265	925	2.08	0.011		22.0					4.4						
S		0.60	562	259	941	2.08	0.011		21.0					4.8						

れより、高性能AE減水剤を用いたごみ溶解スラグコンクリートのスランプおよび空気量が配合(調合)の変化から受ける影響は、配合(調合)の各要因が本実験の範囲で変化しても、高性能AE減水剤ならびにAE剤の使用量の変化により調整できる範囲にあることがわかった。

3.2 プリーディング量

配合(調合)の各要因の変化とプリーディング量の関係を図 - 1 に示す。ごみ溶解スラグコンクリートのプリーディング量は、単位水量が多いほど、また、水セメント比が大きいほど多くなり、一般的なコンクリートと同様の傾向を示した。これは、単位水量が多いほどセメントペ

ースト量が多くなること、水セメント比が大きいほどセメント量が少ないためセメントペーストの粘性が減少し、コンクリート中の余剰水が多くなることが影響していると考えられる。また、単位水量や水セメント比ほど顕著ではないが、試験のばらつきが影響したと思われる一部を除き単位粗骨材(かさ)容積が大きいほどプリーディング量は増大する傾向にあった。これは、単位粗骨材(かさ)容積が大きいほど細骨材量が少なくなりコンクリートの粘性が減少することが影響していると考えられるが、この影響は大きくないため、単位粗骨材(かさ)容積は、ワーカビリティを損なわない範囲で定めればよい

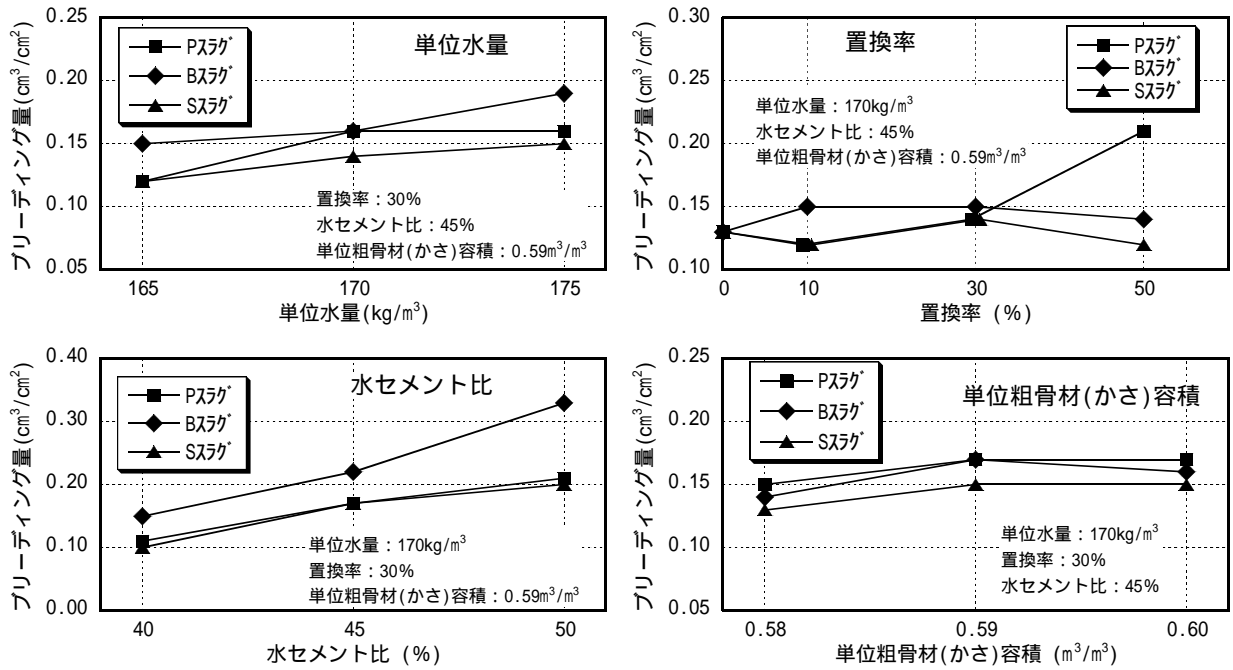


図 - 1 配合(調合)の各要因の変化とブリーディング量の関係

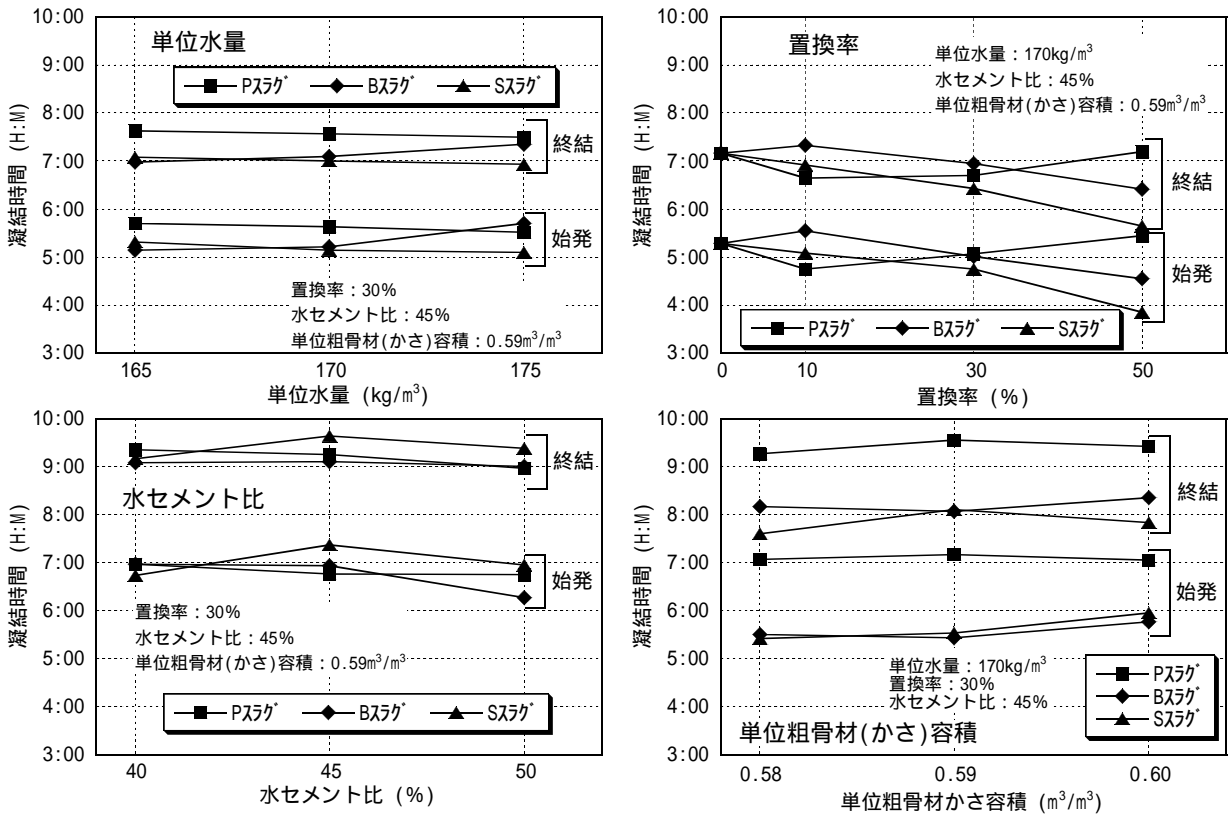


図 - 2 配合(調合)の各要因の変化と凝結時間の関係

と考えられる。なお、ブリーディング量は、水セメント比による検討におけるBスラグを用いた水セメント比50%の配合(調合)以外ではすべて0.3cm³/cm²未満であり、化学混和剤にAE減水剤を用いたスランプ18cmのごみ溶融スラグコ

ンクリート(0.2~0.8cm³/cm²程度)⁹⁾と比較して少なかった。これは、AE減水剤を用いたスランプ18cmのごみ溶融スラグコンクリートでは単位水量を175~185kg/m³程度としてスランプを調整している⁹⁾のに対し、本実験では単位水

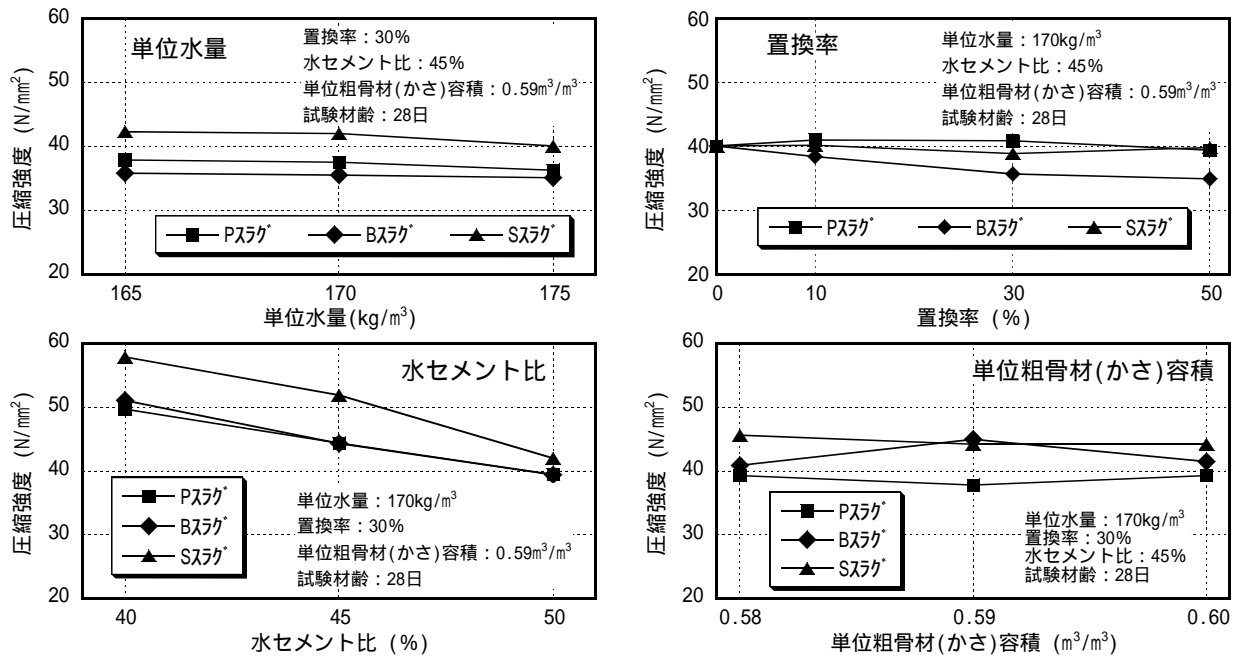


図 - 3 配合(調合)の各要因の変化と材齢 28 日圧縮強度の関係

量が一律170kg/m³と少ないことが影響していると考えられる。さらに、置換率が50%の場合には、ごみ溶融スラグの種類によるブリーディング量のばらつきが大きかった。これは、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場合⁴⁾があり、Pスラグの結果がこれと同様の傾向を示したためと考えられる。

3.3 凝結時間

配合(調合)の各要因の変化と凝結時間の関係を図 - 2 に示す。単位水量、水セメント比および単位粗骨材(かさ)容積の変化による凝結時間の变化は比較的小さく、これらの配合(調合)の要因がごみ溶融スラグを用いたコンクリートの凝結時間に及ぼす影響は大きくないと思われる。ただし、置換率と凝結時間の関係における置換率が50%の場合、ごみ溶融スラグの種類による凝結時間のばらつきは大きくなり、また、ごみ溶融スラグの種類によって、置換率が小さい場合に対し凝結時間が早くなる場合と遅くなる場合があった。これより、ごみ溶融スラグは、多量に使用すると凝結時間を变化させるが、この傾向はごみ溶融スラグの種類によって異なる可能性がある。さらに、前述した置換率とブリー

ディング量の関係における置換率50%の傾向と照らし合わせると、置換率の変化による凝結時間の变化は、ブリーディング量に影響を及ぼしていると考えられる。なお、単位粗骨材(かさ)容積による検討における凝結時間は、Pスラグを用いた場合に遅延する傾向にあり、ごみ溶融スラグの種類による凝結時間の傾向は、単位水量、置換率および水セメント比を变化させた場合と異なっていた。この原因は不明であるが、本実験では变化させる配合(調合)の要因ごとに処理時期の異なるごみ溶融スラグを用いており、表 - 1 に示すようにこれらの品質には若干の変動が見られることから、ごみ溶融スラグを用いたコンクリートの凝結時間は、ごみ溶融スラグの処理時期や物理的な品質の違いによる影響を受ける可能性があると思われる。

3.4 圧縮強度

配合(調合)の各要因の変化と材齢28日における圧縮強度の関係を図 - 3 に示す。単位水量、置換率および単位粗骨材(かさ)容積の変化による圧縮強度の变化は比較的小さかったが、ごみ溶融スラグの種類により若干の差が見られた。また、圧縮強度は、単位水量、水セメント比および単位粗骨材(かさ)容積による検討において

SスラグでPスラグおよびBスラグよりも大きくなる傾向を示した。これより、ごみ溶融スラグコンクリートの圧縮強度は、ごみ溶融スラグの種類による特徴を有すると考えられるが、置換率による検討の場合には同様の傾向とならなかったため、圧縮強度についても凝結時間と同様に、ごみ溶融スラグの処理時期や品質の違いの影響を受ける可能性があると思われる。なお、水セメント比による検討において、セメント水比と圧縮強度の関係にはごみ溶融スラグの種類にかかわらず直線的な相関があり、AE減水剤を用いたごみ溶融スラグコンクリート³⁾と同様の傾向となった。これより、高性能AE減水剤を用いた場合においても、ごみ溶融スラグコンクリートの圧縮強度は水セメント比によって調整できると考えられる。ただし、置換率による検討におけるBスラグのように、置換率の増大に伴い圧縮強度の変化が大きくなる場合があるため、所要の圧縮強度を得られる置換率と水セメント比の組合せについて検討する必要がある。

4. まとめ

ごみ溶融スラグを適用した高性能AE減水剤コンクリートの配合(調合)の変化がコンクリートの性状に与える影響を検討するために、配合(調合)の各要因を変化させたごみ溶融スラグコンクリートの品質を調べた。この結果、配合(調合)の各要因が本実験の範囲で変化しても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可能な範囲にあること、ブリーディングに影響を及ぼす要因として単位水量や水セメント比の影響が大きいことなどがわかった。また、置換率が30%までは概ねコンクリートの性状におけるばらつきは小さいが、置換率が50%になるとこのばらつきが大きくなる傾向にあった。この結果をまとめ、配合(調合)の要因がごみ溶融スラグコンクリートの性状に及ぼす影響として表-6にまとめた。

なお、本実験の結果から、高性能AE減水剤を用いたごみ溶融スラグコンクリートの性状

表-6 配合(調合)の要因がごみ溶融スラグコンクリートの性状に及ぼす影響

性状 要因	スランプ および 空気量	ブリーディング	凝結時間	圧縮強度
単位水量	化学混和剤 の使用量 により調整 可能な範囲 で変化	中	小	小
置換率		~ 30% : 小, 50% : ばらつく	~ 30% : 小, 50% : ばらつく	増大に 伴い変化
水セメント比		大	小	大
単位粗骨材 (かさ)容積		小	小	小

は、ごみ溶融スラグの処理時期や品質の違いによる影響を受ける可能性があると考えられるため、今後は、各種ごみ溶融スラグについて処理時期と品質の変動の関係について検討を行っていく必要がある。

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 白鳥秀幸所長、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 2004年度卒業研究生の大塚秀三氏(日本大学大学院)、鈴木大介氏(ものづくり大学大学院)、辻村純一氏(向井建設)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) 千葉県環境部：千葉県溶融スラグ有効利用研究会報告 -骨材としての溶融スラグ- , 1998.3
- 2) 斉藤丈士ほか：溶融方法の異なるごみ溶融スラグを細骨材に用いたコンクリートの性状に関する研究, 第13回生コン技術大会研究発表論文集, pp.37~42, 2005.4
- 3) 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
- 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