

論文 細骨材として用いる溶融スラグの改質がコンクリートの性状に及ぼす影響

斉藤 丈士*¹・谷山 教幸*²・奈良 禧徳*³

要旨：一般的なガラス質の溶融スラグは、粒子表面が平滑であり、コンクリート用細骨材に用いた場合にブリーディング量の増大が問題となる。本研究は、この特性を改善するために、粒子表面の改質および粒度の調整を行ったガラス質溶融スラグを細骨材として検討したものである。ここでは、砕砂の粒度に調整した溶融スラグおよびこれを高pH熱水処理により表面改質した溶融スラグならびに1.2mm銅スラグの粒度に調整した溶融スラグおよびこれを表面改質した溶融スラグを細骨材として用いたコンクリートの品質を検討した。その結果、粒度調整および粒子表面改質の併用がブリーディング抑制に効果的であることを明らかにした。

キーワード：溶融スラグ, ブリーディング, 粒度調整, 表面改質, 高pH熱水処理

1. はじめに

一般廃棄物の最終処分量は、その約75%が焼却灰によって占められており、現存する最終処分場の延命化と焼却灰の資源化は密接に関係するものである¹⁾。また、最終処分場の新設は非常に困難となっており、溶融固化設備を導入し焼却灰を溶融スラグ(以下、スラグと称する)化・有効利用を目指す自治体が増加²⁾している。スラグは、重金属類の溶出に関する安全性には問題が無く³⁾、その品質が確保されればコンクリート用骨材等に利用することが可能⁴⁾とされているが、現状では物理的な品質改善が必要⁵⁾とされる場合が多く、一般的なガラス質水砕スラグをコンクリート用細骨材に使用した既往の研究では、ブリーディングを増大させる⁶⁾、圧縮強度を低下させる⁷⁾などの問題が指摘されている。

この問題に対し、千葉県廃棄物情報技術センター(現:千葉県環境研究センター)では「溶融スラグ利用コンクリート研究グループ」を設置し、調査研究の結果、スラグを再加熱・結晶化させてコンクリート用粗骨材として用いた場合には使用にあたって問題がないという報告⁸⁾をしている。しかし、再加熱・結晶化工程において製造コストおよびエントロピーが増大する可能性があり、エネルギー保全の観点からはガラス質水砕スラグを低コストで品質改善できればよ

り望ましいといえる。

そこで、本研究は、ガラス質水砕スラグの品質を改善するために粒子表面性状の改質および粒度調整がコンクリートの性状に与える影響を調べたものである。ここでは、砕砂の粒度に調整したスラグおよびその表面を改質したスラグならびに1.2mm銅スラグの粒度に調整したスラグおよびその表面を改質したスラグをそれぞれ細骨材に用いたコンクリートに関して、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートの性状を比較・検討した結果を述べている。

2. スラグの品質

2.1 スラグの製造工程

(1) 使用したスラグ

本報告で用いるスラグは、一般的な地方自治体から排出されたごみ焼却灰をプラズマ式溶融炉⁹⁾で溶融し、溶融炉から排出した融液を水中に投入・固化した水砕スラグである。

(2) スラグの磁選、破碎および表面改質

水砕スラグは、有姿では金属および針状粒子を含み、また、コンクリート用細骨材の粒度を満足しない。そこで、通常の磁選処理に加え、図-1に示す装置を用いて振動ミルによる破碎処理および高pHの熱水(消石灰飽和水溶液)による表面改質を行った。

*1 (株)内山アドバンス 中央技術研究所 コンクリート製品研究室 研究員 (正会員)

*2 川崎重工業(株) 技術研究所 化学・環境研究部 環境・リサイクルグループ

*3 (株)内山アドバンス 中央技術研究所 所長 (正会員)

2.2 化学特性

スラグの化学分析値を表-1に示す。スラグの化学分析値は、高炉スラグと同様にSi, Al, Caの酸化物が主成分であるが、塩基度(=CaO/SiO₂)は小さい。また、アルカリシリカ反応性は無害であることをJIS A 5308附属書7の試験(化学法)により確認した。

2.3 表面状態

スラグ表面のSEM観察写真を写真-1に示す。改質後のスラグは、改質前のスラグと比較して表面に凹凸があり、表面積が増大している。これは、スラグと近似の組成をもつ高炉スラグと同様¹⁰⁾に、高pH熱水処理により表面にCaOとSiO₂の水和物すなわちC-S-Hが生成されたためと考えられている¹¹⁾。

2.4 物理特性

スラグの物理特性を表-2に示す。改質後は、スラグ粒子表面に凹凸が形成されることにより、吸水率が增大するのが特徴的である。

3. スラグの表面処理の影響

3.1 実験概要

ここでは、スラグの表面処理がコンクリートの性状に与える影響を把握するために、破碎処理によりコンクリート用砕砂の粒度としたスラグについて、高pH熱水処理前のスラグ(スラグAと称する)および高pH熱水処理後のスラグ(スラグBと称する)を細骨材に用いたコンクリートの性状を比較・検討した。

3.2 置換率の影響

(1) 実験内容

スラグの細骨材に対する置換率を変化させ、同一スランプを得るのに必要な単位水量および硬化コンクリートの圧縮強度を調べた。

(2) 使用材料および調合条件

実験に使用した材料を表-3に示す。ベースの細骨材には、千葉県君津産の山砂を用いた。

実験要因は、スラグの細骨材への容積置換率であり、水準は、0,30,50,75および100%とした。調合条件は、水セメント比55%, スランプ8±1cm, 空気量4.5±1.0%, コンクリート温度20±1℃とした。

(3) 試験項目

試験項目は、フレッシュコンクリートにおけるスラン

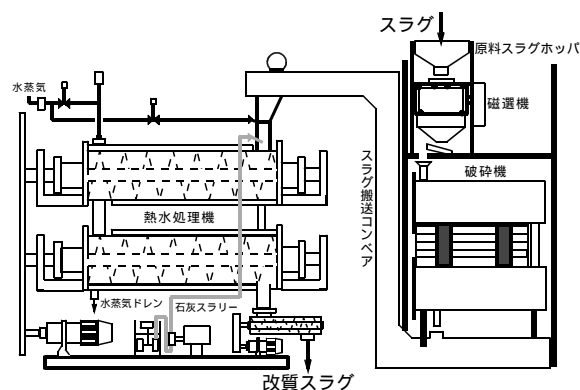


図-1 改質スラグ製造装置概略図

表-1 スラグの化学分析値 (単位:Wt.%)

Ca	Si	Al	Fe	Mg	Na
19.1	18.0	10.9	1.82	2.17	2.15
K	Cl	O	塩基度 (CaO/SiO ₂)		
0.82	0.18	40.2	0.69		

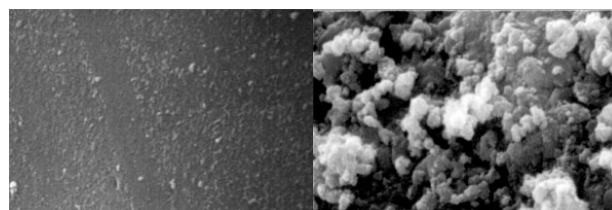


写真-1 スラグ表面のSEM観察写真

表-2 スラグの物理特性

	改質前スラグ	改質後スラグ
粗 粒 率	2.70	2.55
密 度 (g/cm ³)	絶 乾 2.73	2.71
	表 乾 2.73	2.74
吸水率 (%)	0.12	0.98
単位容積質量 (kg/l)	1.78	1.70
実積率 (%)	65.2	62.7
微粒分量 (%)	4.0	3.4

表-3 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16 g/cm ³
細骨材	山砂 (千葉県君津産)	表乾密度: 2.60g/cm ³ , 粗粒率: 2.47, 実積率: 68.0%
	スラグA	水砕後磁選, 破碎
	スラグB	水砕後磁選, 破碎, 表面改質
粗骨材	砂岩砕石2005 (東京都青梅産)	表乾密度: 2.71g/cm ³ , 粗粒率: 6.77, 実積率: 59.1%
混和剤	AE減水剤	リガコンシリカ酸化合物ポリオール複合体

プ、空気量、目視による状態および硬化コンクリートにおける標準養生(20±2℃, 水中)された供試体(材齢28日)の圧縮強度である。

(4) 結果および考察

コンクリートの単位水量および試験結果を表-4に示す。単位水量は、スラグA, Bともに置換率の増大により増大する傾向を示した。これは、スラグの実積率が山砂と比較して小さいことが影響していると考えられる。また、置換率が75%を超えると目視による性状が悪化し、100%では単位水量を増大させて

もスランプに寄与せず分離した状態となった。これより、良好なフレッシュ性状を得るためには、スラグA、スラグBでは置換率を50%以下とすることが望ましい。同一水セメント比におけるスラグを用いたコンクリート(以下、スラグコンクリートと称する)の圧縮強度は、スラグを用いないコンクリート(以下、普通コンクリートと称する)に対し、スラグAでは若干低下する傾向を示し、スラグBでは同等となる傾向を示した。これは、スラグAは粒子表面が平滑でセメントペーストとの界面付着力が小さく、スラグBは粒子表面の改質により、界面付着が良好となったためと思われる。

3.3 スラグコンクリートの性状

(1) 実験内容

スランプおよび水セメント比を変化させたコンクリートについて、スラグコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を普通コンクリートと比較・検討した。

(2) 使用材料および調合条件

実験に使用した材料は、3.2と同様である。調合条件は、水セメント比60, 55, 50および45%, スランプ8±1および18±1cm, 空気量4.5±1.0%, スラグ置換率0および50%とした。

(3) 試験項目および方法

試験項目および方法を表-5に示す。ただし、フレッシュコンクリートにおけるブリーディング、硬化コンクリートにおける曲げ強度、引張強度、静弾性係数および長さ変化率は、水セメント比55%の調合について行った。

(4) 結果および考察

コンクリートの単位水量とフレッシュコンクリートの試験結果を表-6に示す。

単位水量は、3.2と同様にスラグの細骨材への置換により増大する傾向を示したが、水セメント比の変化にかかわらずスランプおよび空気量は調合条件を満足した。

ブリーディング試験結果を図-2に示す。スラグコンクリートのブリーディング量は、スラグA、Bともに普通コンクリートと比較して著しく増大した。スラグBでは、スラグAと比較してブリーディング量が若干減少していることから表面改質の影響が見られるが、その効果は顕著ではない。

表-4 コンクリートの単位水量および試験結果

種類	単位水量 (kg/m ³)	フレッシュコンクリートの試験結果			材齢28日 圧縮強度 (N/mm ²)
		スランプ (cm)	空気量 (%)	目視による 状態	
普通コンクリート	155	8.5	3.8	良好	40.0
ス ラ グ	30%	157	8.5	良好	36.8
	50%	159	7.0	良好	36.6
	75%	165	7.5	分離気味	35.7
A	100%	165	5.0	分離	36.2
	30%	160	7.5	良好	38.0
	50%	164	9.0	良好	39.8
B	75%	164	8.0	分離気味	38.3
	100%	165	5.5	分離	39.6

表-5 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	スランプ	JIS A 1101
	空気量	JIS A 1128
	目視による状態	目視確認
	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
	曲げ強度	JIS A 1106
	引張強度	JIS A 1113
	静弾性係数	JIS原案
	長さ変化	JIS A 1129

表-6 コンクリートの単位水量とフレッシュコンクリートの試験結果

調 合			フレッシュコンクリート試験結果			
種類		水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	スランプ ^o (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (t/m ³)
ス ラ ン プ 8 cm	普通 コンクリート	60	155	7.0	3.9	2.365
		55	155	7.5	4.1	2.369
		50	155	8.5	4.4	2.362
		45	155	8.5	4.5	2.367
	スラグ [*] A	60	163	7.0	4.0	2.364
		55	163	8.5	5.1	2.317
		50	163	8.5	4.5	2.358
		45	163	7.5	4.5	2.360
	スラグ [*] B	60	162	9.0	4.1	2.365
		55	162	8.5	4.0	2.375
		50	162	9.0	3.9	2.379
		45	162	7.5	5.1	2.365
ス ラ ン プ 18 cm	普通 コンクリート	60	171	18.0	4.8	2.322
		55	171	19.0	5.0	2.320
		50	171	17.5	4.2	2.342
		45	171	17.5	4.8	2.341
	スラグ [*] A	60	178	18.0	5.1	2.304
		55	178	18.5	4.7	2.317
		50	178	18.0	4.6	2.328
		45	179	19.0	5.0	2.318
	スラグ [*] B	60	180	18.0	4.8	2.331
		55	180	18.5	5.0	2.319
		50	180	18.5	4.4	2.350
		45	182	18.5	4.7	2.349

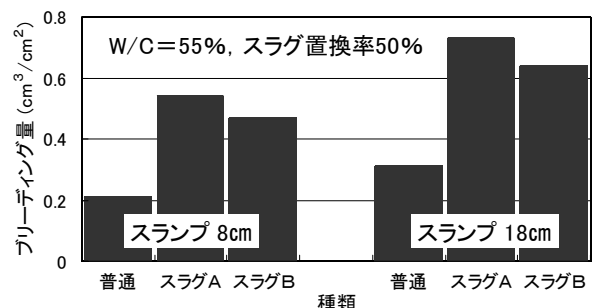


図-2 ブリーディング試験結果

圧縮強度および静弾性係数試験結果を表-7に示す。スラグAを用いたスラグコンクリートの圧縮強度は、普通コンクリートに対し材齢28日までは低く、

材齢91日では同等となる傾向を示した。スラグBを用いたコンクリートの圧縮強度は、スラグAと比較して全ての材齢で大きく、普通コンクリートと同等かやや大きくなる傾向を示した。スラグBで早期材齢からスラグAを上回することは、スラグの表面改質により界面付着強度が向上したことが影響していると考えられる。材齢28日における静弾性係数は、圧縮強度とほぼ同様の傾向を示した。

材齢28日における曲げ強度、引張強度および乾燥材齢26週における長さ変化率試験結果を図-3に示す。スラグコンクリートの曲げ強度および引張強度は、普通コンクリートと比較するとスラグAでやや小さくスラグBで同等以上となり、圧縮強度と同様の傾向を示した。長さ変化率は、スラグを用いることで小さくなり、単位水量やブリーディングの面から見ると通常のコンクリートとは異なる傾向であるが、これは、スラグコンクリートにおいて、ブリーディングにより脱水した供試体が、上面ならしにより再度締め固められたことが影響していると思われる。

4. スラグの粒度調整の影響

4.1 実験概要

ここでは、スラグの粒度調整がコンクリートの性状に与える影響を把握するために、破碎処理によりスラグの粒度を1.2mm銅スラグの粒度に調整し、3.と同様の手順でコンクリート用細骨材として検討した。ここでは、粒度調整されたスラグをスラグC、スラグCを表面改質したスラグをスラグDと称する。

4.2 置換率の影響

(1) 使用材料

使用材料を表-8に、スラグの物理特性を表-9に示す。スラグC、Dともに、1.2mm銅スラグの粒度としたことによりスラグA、Bと比較して粗粒率が減少し、微粒分量が増大している。

(2) 調合条件と試験項目

調合条件は、3.2と同様にスランブ8±1cm、空気量4.5±1.0%、コンクリート温度20±1℃とした。試験項目は、3.2(3)と同様である。

(3) 結果および考察

コンクリートの単位水量および試験結果を表-10

表-7 圧縮強度および静弾性係数試験結果

種類		セメント比	圧縮強度 (静弾性係数) (N/mm ²)		
		(%)	材齢7日	材齢28日	材齢91日
スランブ 8 cm	普通 コンクリート	60	23.0	31.4 (32100)	41.3
		55	28.3	39.1 (34100)	46.4
		50	29.3	39.1 (33300)	48.6
		45	35.1	44.7 (33900)	54.2
	スラグ A	60	19.2	27.7 (31300)	37.6
		55	22.6	31.2 (31800)	41.5
		50	28.5	36.3 (34200)	49.9
		45	33.0	42.1 (36200)	55.0
	スラグ B	60	22.2	32.4 (34100)	43.6
		55	28.2	39.0 (35900)	52.3
		50	30.7	40.7 (36300)	55.0
		45	35.0	44.0 (37300)	57.4
スランブ 18 cm	普通 コンクリート	60	20.4	28.4 (29700)	36.0
		55	20.6	30.4 (31400)	37.9
		50	27.1	36.0 (33100)	45.4
		45	30.5	41.0 (34000)	50.1
	スラグ A	60	18.5	26.9 (29600)	36.8
		55	22.6	30.2 (30100)	41.6
		50	25.1	32.4 (30300)	45.5
		45	29.1	38.1 (32500)	50.8
	スラグ B	60	20.3	28.8 (33600)	41.5
		55	24.9	34.3 (34100)	46.5
		50	28.1	39.7 (36400)	52.3
		45	34.7	45.2 (34900)	58.3

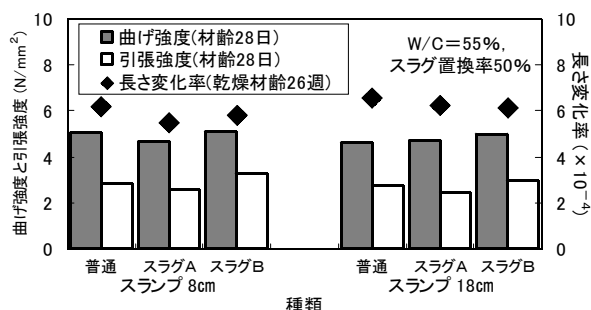


図-3 曲げ強度、引張強度および長さ変化率

表-8 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント	密度: 3.16 g/cm³
細骨材	山砂 (千葉県君津産)	表乾密度: 2.59g/cm³, 粗粒率: 2.28, 実積率: 65.4%
	スラグC	水砕後磁選, 破碎
	スラグD	水砕後磁選, 破碎, 表面改質
粗骨材	砂岩碎石2005 (栃木県葛生産)	表乾密度: 2.65g/cm³, 粗粒率: 6.65, 粒形判定実積率: 59.1%
混和剤	AE減水剤	リグニル系ポリカルボン酸化合物とリオール複合体

表-9 スラグの物理特性

		スラグC	スラグD
粗 粒 率		1.63	1.87
密 度 (g/cm ³)	絶 乾	2.71	2.66
	表 乾	2.73	2.70
吸水率 (%)		0.80	1.41
単位容積質量 (kg/l)		1.80	1.75
実積率 (%)		66.2	65.8
微粒分量 (%)		6.2	10

表-10 コンクリートの単位水量および試験結果

種 類		単位水量 (kg/m ³)	フレッシュコンクリートの試験結果			材齢28日 圧縮強度 (N/mm ²)
			スランプ (cm)	空気量 (%)	目視による状態	
普通コンクリート		162	8.5	5.2	良好	36.3
ス ラ グ C	30%	164	9.0	5.2	良好	35.9
	50%	167	8.0	4.8	良好	36.3
	75%	169	9.0	4.4	良好	36.2
	100%	171	9.0	4.1	良好	38.0
ス ラ グ D	30%	163	7.0	5.4	良好	37.1
	50%	165	7.0	5.0	良好	37.7
	75%	169	7.0	4.6	良好	36.7
	100%	172	7.0	4.4	良好	37.2

に示す。単位水量は、スラグC、Dともに置換率の増大により増大する傾向を示した。なお、目視観察では、スラグ置換率100%まで状態は良好であった。単位水量の増大は、スラグの粗粒率が小さく微粒分量が多いことが影響しているものと考えられるが、これらがスラグA、Bと比較して分離抵抗性を増大させたことが、目視による状態を改善した一因と思われる。同一水セメント比におけるスラグコンクリートの圧縮強度は、スラグC、スラグDともに置換率変化の影響は小さく、普通コンクリートと同等となった。

4.3 スラグコンクリートの性状

(1) 実験内容

実験内容は、3.3(1)と同様である。

(2) 使用材料および調合条件

使用材料は4.2、調合条件は3.3と同様であるが、スラグ置換率は、0、50および100%とした。

(3) 試験項目および方法

試験項目および方法は、表－5と同様である。

(4) 結果および考察

コンクリートの調合とフレッシュコンクリートの試験結果を表－11に示す。

単位水量は、4.2と同様にスラグの細骨材への置換により増大する傾向を示したが、スランブおよび空気量はすべて調合条件を満足した。

ブリーディング試験結果を図－4に示す。スラグコンクリートのブリーディング量は、普通コンクリートに対し、スラグCは著しく増大した。スラグDは、若干増大するがその程度は小さい。これは、粒度調整で総表面積が増大したスラグを高pH熱水処理することで表面改質が促進し、スラグの表面における保水性が向上したためと思われる。

圧縮強度および静弾性係数試験結果を表－12に示す。スラグコンクリートの圧縮強度は、普通コンクリートと比較すると、スラグCでは材齢7日でやや低く、28日では同等となり、91日では高くなる傾向を示した。スラグDでは材齢7日および28日で同等、91日で高くなる傾向を示した。スラグコンクリートの長期材齢における圧縮強度が卓越することは、粒度調整によって微粒分量が増大し、スラグが高炉スラグと同様に有する、アルカリ刺激による反応性¹³⁾が高まった

表 - 11 コンクリートの単位水量とフレッシュコンクリートの試験結果

調 合			フレッシュコンクリート試験結果			
種 類		水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m³)	スランブ (cm)	空気量 (%)	目視による 状態
ス ラ ン プ 8 cm	普 通 コンクリート	60	158	9.0	5.3	良 好
		55	158	9.0	4.9	良 好
		50	158	8.0	4.7	良 好
		45	158	8.5	4.4	良 好
	スラグ C 50%	60	163	9.0	4.9	良 好
		55	163	9.0	4.9	良 好
		50	163	9.0	4.6	良 好
		45	163	9.0	4.6	良 好
	スラグ C 100%	60	167	9.0	4.6	良 好
		55	167	9.0	4.4	良 好
		50	167	9.0	3.7	良 好
		45	167	7.5	4.7	良 好
	スラグ D 50%	60	165	9.0	5.2	良 好
		55	165	9.0	5.2	良 好
		50	165	9.0	5.0	良 好
		45	165	8.5	4.9	良 好
	スラグ D 100%	60	172	7.5	5.0	良 好
		55	172	8.0	5.0	良 好
		50	172	9.0	5.2	良 好
		45	172	7.0	4.1	良 好
ス ラ ン プ 18 cm	普 通 コンクリート	60	176	19.0	4.7	良 好
		55	176	18.5	5.2	良 好
		50	176	18.5	4.5	良 好
		45	176	18.5	4.4	良 好
	スラグ C 50%	60	181	19.0	5.2	良 好
		55	181	18.0	5.4	良 好
		50	181	17.0	5.0	良 好
		45	182	18.0	4.8	良 好
	スラグ C 100%	60	185	18.5	5.4	良 好
		55	185	18.5	5.3	良 好
		50	185	17.5	4.3	良 好
		45	185	17.0	4.1	良 好
	スラグ D 50%	60	179	18.5	5.4	良 好
		55	179	18.0	5.2	良 好
		50	179	18.0	4.5	良 好
		45	181	17.0	4.5	良 好
	スラグ D 100%	60	192	19.0	5.2	良 好
		55	192	18.5	5.2	良 好
		50	192	19.0	4.7	良 好
		45	192	18.5	3.9	良 好

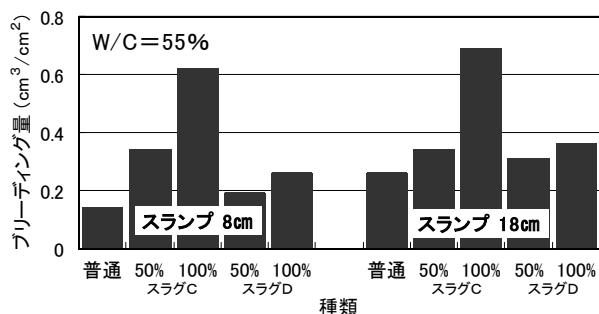


図 - 4 ブリーディング試験結果

ことが一因と考えられる。材齢28日における静弾性係数は、一般的なコンクリートとほぼ同様の範囲にあった。

曲げ強度、引張強度および長さ変化率試験結果を図－5に示す。スラグコンクリートの曲げ強度および引張強度は、普通コンクリートとほぼ同等となった。長さ変化率は、スラグCは普通コンクリートとほぼ同等、スラグDは大きくなる傾向を示した。スラグDでは単位水量の増大が影響していると考えられるが、スラグCは、スラグA、Bと同様にブリーディングによる脱水の後に上面ならしによる再振動が加わってお

り、通常のコンクリートとは異なった傾向を示したと思われる。

5. まとめ

4種類のスラグをコンクリート用細骨材として用い、スラグの表面改質および粒度調整がコンクリートの性状に与える影響を検討した。

本検討結果から、砕砂の粒度に調整したスラグでは、高pH熱水処理による表面改質は、初期材齢における圧縮強度を改善するがブリーディング抑制効果は十分ではないこと、1.2mm銅スラグの粒度に調整することによって長期材齢における圧縮強度が卓越すること、粒度調整後に表面改質することでブリーディング抑制に効果的であることなどがわかった。

今後の課題としては、スラグの表面改質と粒度調整の度合い、ブリーディング量と適正なスラグ置換率のバランスなど、より省コスト・省エネルギーに向けた検討があげられる。

謝 辞

本稿のまとめにあたり、ものづくり大学建設技能工芸学科 中田善久講師より懇切丁寧なご指導を頂きました。ここに付記し、心より感謝の意を表します。

参考文献

- (財)クリーン・ジャパンセンター:循環型社会実行元年(法制度と3Rの動向), pp.38-39, 2001
- (社)日本産業機械工業会:エコスラグ利用普及に関する調査研究報告書(その3), pp.1-6, 2001.6
- 越川茂雄, 伊藤義也ほか: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, Vol.11, No.2, pp. 39-47, 2000.5
- 厚生省生活衛生局水道環境部:一般廃棄物の溶融固化物の再生利用に関する指針, 1998.3.27
- 溶融技術研究会:溶融スラグの再生利用に関する調査報告書, p24, 2000.3
- 奈良禧徳ほか: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, pp.544-546, 2000.11
- 松山哲也, 堺幸司ほか:都市ごみ溶融スラグを用いたコンクリートの諸特性, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.2, pp.73-78, 2001.7

表 - 12 圧縮強度および静弾性係数試験結果

種類	セメント比 (%)	圧縮強度(静弾性係数) (N/mm ²)		
		材齢7日	材齢28日	材齢91日
スランブ 8 cm	普通コンクリート	60	24.5	32.6 (30100)
		55	26.9	35.4 (31100)
		50	33.1	41.3 (31900)
		45	37.6	46.0 (33600)
	スラグ C 50%	60	22.7	34.7 (31300)
		55	26.3	38.1 (34000)
		50	30.3	41.3 (36800)
		45	34.5	46.0 (37200)
	スラグ C 100%	60	24.0	34.8 (27300)
		55	27.3	40.2 (31100)
		50	31.7	44.9 (35600)
		45	34.7	46.4 (36200)
	スラグ D 50%	60	24.9	35.0 (31500)
		55	29.1	39.5 (34000)
		50	29.8	40.8 (32100)
		45	36.6	48.0 (35200)
	スラグ D 100%	60	26.8	30.8 (26200)
		55	27.7	33.4 (28200)
		50	29.2	36.2 (31100)
		45	36.3	42.3 (34300)
スランブ 18 cm	普通コンクリート	60	25.0	33.2 (30300)
		55	26.6	37.1 (31100)
		50	32.2	43.0 (32800)
		45	37.1	48.3 (35000)
	スラグ C 50%	60	20.6	33.0 (30100)
		55	25.4	38.0 (33000)
		50	29.1	42.4 (34200)
		45	33.6	47.5 (36300)
	スラグ C 100%	60	21.5	34.3 (29700)
		55	25.2	40.8 (34200)
		50	29.9	43.9 (35500)
		45	34.0	50.6 (38600)
	スラグ D 50%	60	23.6	34.8 (31100)
		55	29.9	40.8 (31900)
		50	34.8	44.2 (34400)
		45	39.7	50.8 (34800)
	スラグ D 100%	60	27.0	31.5 (25900)
		55	30.5	36.5 (28100)
		50	32.4	39.8 (32400)
		45	39.1	46.5 (35800)

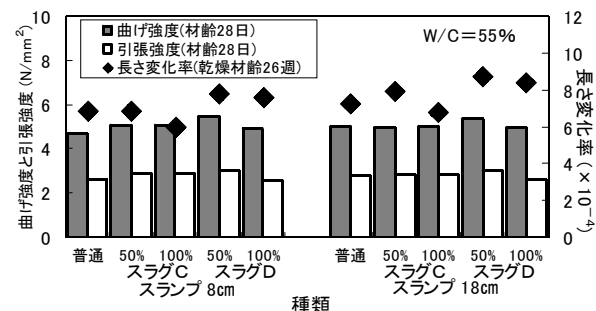


図 - 5 曲げ強度, 引張強度および長さ変化率

- 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, pp.13-17, 2001.3
- (株)エヌ・ティー・エス:廃棄物の溶融処理技術とスラグの有効利用, pp. 129-134, 1996.2
- 笠井芳夫, 小林正凡:セメント・コンクリート用混和材料, 技術書院, p.42, 1993
- 谷山教幸, 柴田泰典ほか:ごみ焼却残渣溶融スラグの安定化技術に関する研究, 廃棄物学会論文誌, Vol.10, No.3, pp.133-141, 1999.3
- 岡元豊重, 石田泰之ほか:各種化合物を添加した低CaO/SiO₂モル比の溶融スラグの水和硬化特性に関する研究, セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.108-113, 1997