

都市ゴミ溶融スラグのコンクリート用細骨材への利用に関する検討

日本コンクリート(株) ○ 青山敬 井上勝利
矢作建設工業(株) 正会員 桐山和也 正会員 服部啓二
名古屋工業大学大学院 正会員 梅原秀哲

1. はじめに

都市ゴミ溶融スラグとは、一般廃棄物を概ね 1,200℃以上の高温の条件下で融液の状態とし、この融液を冷却することにより固形物としたものである。建設省は「公共事業における試験施工のための他産業再生資材試験評価マニュアル案」¹⁾の中で、このスラグの再生利用に関するガイドラインを示している。また、20年後には全国で約 1,900 基ある一般廃棄物の焼却炉の半数以上が更新され、環境保全等の観点から溶融固化処理が多く取り入れられる方向にある。そのため、溶融スラグの排出量は年々増加することが予想され、資源材料として有効活用することが重要な課題となっている。

そこで、本検討では工場二次製品にスラグを活用することを目的に、コンクリート用細骨材としての適用性について実験により検討を行った。

2. 対象とする溶融スラグ

本検討では、溶融方式の異なる 3 種類のスラグ(記号 Sg1・Sg2・Sg3)を用いた。Sg1 はシャフト炉式ガス化溶融炉にて可燃ゴミ、不燃ゴミを溶融した後水砕したものであり、排出量は 1～2t/日である。Sg2 はプラズマ式溶融炉にて主灰、飛灰、不燃物残渣を溶融した後水砕したものであり、排出量は 8～9t/日である。Sg3 は電気抵抗式溶融炉にて飛灰、ガラスカレットを溶融した後空冷したものであり、排出量は 10～11t/日である。溶融スラグの化学組成ならびに有害物質の溶出試験結果を表-1 に示す。主成分は SiO₂、Al₂O₃、CaO であり、環境基準を満足するものであった。また、建設省のマニュアル案によると、スラグの品質によっては含有するアルミニウム等により、コンクリートが膨張の性状を呈することが示されている。

そこで、モルタルにより予備実験(配合は W/C=50%、モルタルに占めるスラグの容積比 54.5%)を行ったところ、Sg1(約 5%)ならびに Sg2(約 2%)で膨張が確認された。

そこで、モルタルにより予備実験(配合は W/C=50%、モルタルに占めるスラグの容積比 54.5%)を行ったところ、Sg1(約 5%)ならびに Sg2(約 2%)で膨張が確認された。

3. 実験概要

使用材料を表-2 に、配合を表-3 に示す。コンクリートの配合は、設計基準強度 30N/mm² (目標強度 39 N/mm²)、スランプ 8cm の工場製品の配合 (Base-45) を基本とし、溶融スラグは細骨材容積内割で用い、置

表-1 溶融スラグの化学組成・溶出試験結果

化 学 組 成 (%)								
成分名	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	その他
Sg1	46.4	16.7	5.5	19.5	2.9	2.8	1.8	4.4
Sg2	38.0	21.0	1.7	30.0	2.9	1.8	0.5	4.1
Sg3	42.8	16.0	0.5	29.5	1.8	7.4	0.5	1.5
溶出試験分析値 (mg/l) ※環境庁告示 46 号								
成分名	Cd	Pb	Cr ⁶⁺	As	T-Hg	Se		
Sg1	<0.005	<0.005	<0.01	<0.005	<0.0005	<0.005		
Sg2	<0.001	<0.005	<0.005	<0.001	<0.0005	<0.001		
Sg3	<0.001	<0.005	<0.04	<0.005	<0.0005	<0.002		
溶出基準	≤0.01	≤0.01	≤0.05	≤0.01	≤0.0005	≤0.01		

表-2 使用材料

使用材料	種 類	記号	物性または成分
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度：3.15g/cm ³
細骨材	山砂(瀬戸産)	S	密度：2.58g/cm ³ 、吸水率：1.80%、粗粒率：2.85
粗骨材	碎石(内津産)、Gmax:20mm	G	密度：2.65g/cm ³ 、吸水率：0.83%、粗粒率：6.69
溶融スラグ	水砕スラグ	Sg1	密度：2.68g/cm ³ 、吸水率：0.76%、粗粒率：3.78
	水砕スラグ	Sg2	密度：2.89g/cm ³ 、吸水率：0.44%、粗粒率：3.38
	空冷スラグ	Sg3	密度：2.80g/cm ³ 、吸水率：0.05%、粗粒率：4.32
混和剤	高性能 AE 減水剤	Ad	主成分：ポリカルボン酸系

表-3 コンクリートの配合

配合名	置換率 V _{sr} /V _s +V _{sr} (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
				水 W	セメント C	細骨材		粗骨材 G	混和剤 Ad
						S	Sg		
Base-45	0.0	44.9	44.1	176	392	773	0	1007	3.53(0.90)
Sg1-20-45	20.0		45.0			631	164	991	2.74(0.70)
Sg1-40-45	40.0		46.0			484	335	973	3.14(0.80)
Sg2-10-45	10.0		44.4			700	87	1002	3.72(0.95)
Sg2-20-45	20.0		44.6			625	175	998	3.53(0.90)
Sg2-40-45	40.0		45.2			476	355	987	3.53(0.90)
Sg3-10-45	10.0		50.0			789	95	900	3.53(0.90)
Sg3-20-45	20.0		45.6			639	173	980	3.14(0.80)
Sg3-40-45	40.0		47.1			496	358	953	2.35(0.60)

換率は 0、20、40% の 3 水準 (Sg2、Sg3 は 10% も実施) とした。コンクリートの練混ぜは、容量 0.1m^3 の二軸強制練りミキサを使用し、練混ぜ量は 0.05m^3 とし、180 秒間練り混ぜた。コンクリートの養生は、常圧の蒸気養生を行い、蒸気養生は前養生 3 時間、昇温速度 15°C/hr 、最高温度 65°C で 3 時間保持した後、自然冷却とした。試験項目はフレッシュではスランプ試験、コンクリート温度の測定、空気量試験、塩化物試験である。硬化後は材齢 1 日、14 日

における圧縮強度試験、引張強度試験、静弾性係数試験である。

表-4 空気量・スランプ試験結果

種 別	Base	Sg1		Sg2			Sg3		
置換率 (%)	0	20	40	10	20	40	10	20	40
空気量 (%)	1.5	1.5	1.3	0.5	0.9	1.2	1.0	1.1	1.0
スランプ (cm)	9.5	9.5	8.0	10.0	9.0	10.0	8.0	8.5	9.0
塩化物 (kg/m^3)	0.027	0.021	0.021	0.070	0.175	0.225	0.022	0.022	0.023

フレッシュの試験結果である空気量・ス

ランプの試験結果を表-4 に示す。表よりスランプは目標とする $8 \pm 2.5\text{cm}$ の範囲となった。塩化物イオン量をみると、Sg2 が高い値を示したが、判定基準 $0.30\text{kg}/\text{m}^3$ 以下を満足した。

硬化後の試験結果であるスラグ置換率と圧縮強度の関係を図-1 に示す。図より何れの配合も脱型時(材齢 1 日)の目標値である $12\text{N}/\text{mm}^2$ を満たした。材齢 14 日の強度をみると、Sg2 で置換率 20%、Sg3 で 40% まで目標とする強度を満足した。

各置換率におけるモルタルでの膨張率と圧縮強度の関係を図-2 に示す。図よりモルタルの膨張率とコンクリートの圧縮強度に相関性が認められた。よって、スラグをコンクリート用細骨材として利用する場合、各置換率に対応したモルタルによる膨張率試験を行い、膨張率が 0.5% 程度以下となるよう置換率を設定するのが良いと考えられる。また、設定した置換率によりコンクリートの試験練りを実施し、コンクリートの品質を確認して用いることが重要であると考えられる。

圧縮強度と静弾性係数の関係を図-3 に示す。図より、Sg2、Sg3 は土木学会式と同じ傾向を示したが、モルタルにより 5% の膨張率を示した Sg1 が低い値を示す傾向が見られた。

圧縮強度と引張強度の関係を図-4 に示す。引張強度と圧縮強度の比率は、無置換が $1/10 \sim 1/13$ の範囲であったのに対し、Sg1 が $1/5 \sim 1/8$ と大きい比率を示し、膨張による影響は、引張強度より圧縮強度に大きく現れることが確認できた。また、Sg2 が $1/9 \sim 1/14$ 、Sg3 が $1/11 \sim 1/14$ となり、Sg2、Sg3 は普通コンクリートとほぼ同様の傾向を示した。

5. まとめ

都市ゴミ熔融スラグのコンクリート用細骨材としての適用を検討した結果、利用できる可能性が確認された。その使用については、モルタルにより膨張率が 0.5% 以下となるよう置換率を設定し、適用するコンクリートの要求性能を考慮した試験を実施し、品質を確認することが重要であると考えられる。今後は継続して基礎物性、耐久性等のデータを蓄積し、その適用に備えていきたいと考える。

参考文献：1)建設省：公共事業における試験施工のための他産業再生資材試験評価マニュアル案、土木研究所資料、1999

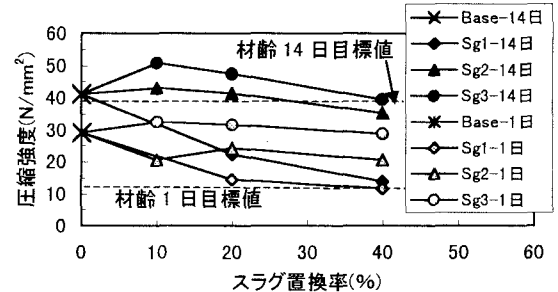


図-1 スラグ置換率と圧縮強度の関係

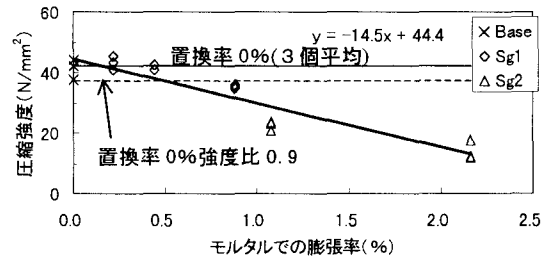


図-2 モルタルでの膨張率と圧縮強度の関係

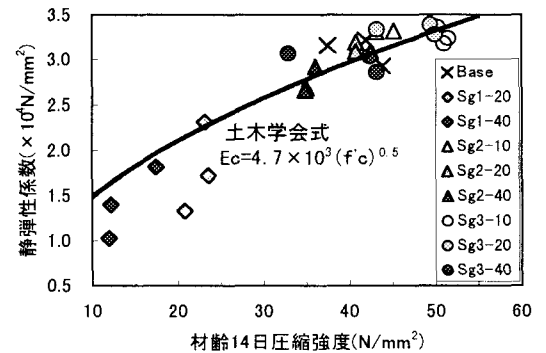


図-3 圧縮強度と静弾性係数の関係

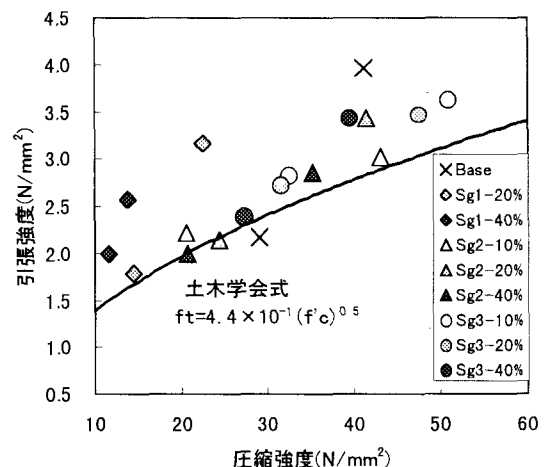


図-4 圧縮強度と引張強度の関係