

下水汚泥溶融スラグ粗骨材を用いたコンクリートの力学的特性

立命館大学大学院 学生員 〇三浦 弘明
立命館大学 正会員 井上 真澄
滋賀県土木コンクリートブロック協同組合 宮崎 正雄
立命館大学 正会員 岡本 享久
立命館大学 正会員 児島 孝之

1. はじめに

本研究は、下水汚泥溶融スラグ(以下、溶融スラグ)のコンクリート用粗骨材への適用性と溶融スラグの物性がコンクリートの諸物性に及ぼす影響を把握することを目的として、硬化コンクリートの各種強度および耐久性について検討を行った。また、溶融スラグ界面の付着性状と強度との関係にも着目し、破壊エネルギーと引張軟化特性についても検討を行った。

2. 実験概要

表-1 に使用材料を示す。セメントには普通ポルトランドセメント、細骨材には砕砂、溶融スラグの置換対象となる粗骨

表-1 使用材料	
材料(略記)	主な性質
セメント(C)	普通ポルトランドセメント、密度：3.16g/cm ³ 、比表面積：3260cm ² /g
細骨材(S)	高槻産硬質砂岩砕砂、表乾密度：2.62g/cm ³ 、吸水率：2.10%、F.M.=2.78
粗骨材	(G) 高槻産硬質砂岩砕石、表乾密度：2.67g/cm ³ 、吸水率：0.62%、F.M.=6.74、M.S.=20mm
	(MG) 下水汚泥溶融スラグ、表乾密度：2.48g/cm ³ 、吸水率：0.69%、F.M.=6.57、M.S.=20mm
混和剤	(Ad1) AE 減水剤、密度：1.10g/cm ³ 、主成分：リグニンスルホン酸化合物
	(Ad2) AE 助剤、密度：1.19g/cm ³ 、主成分：アルキルアリルスルホン酸化合物

材には砕石を使用した。本実験で使用した溶融スラグは、滋賀県東北部浄化センターで製造された空冷スラグである。空冷スラグは、汚泥ケーキ(高分子系汚泥)を流動床式焼却炉および旋回流式溶融炉により 1400～1450℃で加熱溶融し自然冷却したものである。既報告のスラグと溶融形式は同じであるが、凝集剤に高分子系のものを使用している点が異なる(既報告のスラグは石灰系凝集剤を使用¹⁾)。表-2 に溶融スラグの物理的性質と JIS 規格値を示す。表中には、本実験で比較対象とする既往の骨材データも記載した。

表-2 下水汚泥溶融スラグ粗骨材の物理的性質							
	表乾密度 (g/cm ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	単位容積 質量(kg/l)	実積率 (%)	すりへり 減量(%)	破砕値 (%)
MG	2.48	2.44	0.69	1.41	57.4	28.2	22.7
MG*	2.65	2.60	2.16	1.52	58.5	43.6	41.1
G	2.67	2.65	0.62	1.58	59.1	9.76	8.96
規格 1	—	2.50 以上	3.00 以下	—	—	—	—
規格 2	—	2.50 以上	3.00 以下	—	55.0 以上	40.0 以下	—

注)*：既往研究データ¹⁾、規格 1：JIS A 5031(一般廃棄物、下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固化したコンクリート用溶融スラグ骨材)、規格 2：JIS A 5005(コンクリート用砕石および砕砂)

表-3 に溶融スラグ粗骨材を用いたコンクリートの示方配合を示す。水セメント比は 50%とし、溶融スラグの置換率は、0、15、30、50、100%(容積比)の 5 水準とした。目標スランプは 7.5±1cm、目標空気量は 4.5±1%とし、混和剤により調整した。コンクリート供試体は、打設後材齢 1 日で脱型し、所定の試験材齢(7、28、91 日)まで水中養生(20±1℃)を行った。硬化コンクリートの各種試験(諸強度、乾燥収縮、凍結融解)は、JIS 規格に準拠して行った。また、破壊エネルギー試験は、JCI 規準「切欠きはりをを用いたコンクリートの破壊エネルギー試験方法(JCI-S-001-2003)」に準じて行った。

表-3 コンクリートの示方配合										
配合名	W/C (%)	スラグ置換率(%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					AE 減水剤(cc/m ³)	AE 助剤(cc/m ³)
				W	C	S	G	MG		
50-0	50	0	44.7	176	352	782	986	0	1126	2253
50-15		15					838	137	1126	2112
50-30		30					690	275	1126	1760
50-50		50					492	458	1056	1408
50-100		100					0	916	1760	0

3. 実験結果および考察

図-1 に各種強度と静弾性係数試験結果を示す。溶融スラグを置換したコンクリートの圧縮強度は、水セメント比や材齢に関わらず、無置換の普通骨材コンクリートと同等の強度を発現している。置換率 50%以上では、無置換よりも強度が増加しており、最大で 15%程度の強度増加を示した。曲げ強度、引張強度および静弾性係数も同様の傾向であった。図中には、既往の研究データ¹⁾より材齢 28 日における強度試験結果も示す。既報告では、溶融スラグの置換率の増加に伴い、強度が低下する傾向を示している。既報告で使用した溶融スラグ

キーワード 下水汚泥溶融スラグ、粗骨材、強度、破壊エネルギー

連絡先 〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部 TEL：077-561-3345

(MG*: 表-2 参照)は、密度や吸水率については JIS 規格を十分に満足するものであったが、すりへり減量は 40%以上の数値を示しており、非常に脆弱な骨材であった。また、熔融スラグの表面に光沢があり粒子表面が平滑であったこと

とから、モルタルとの付着が悪いことが強度低下の原因として考えられる。一方、本実験で使用した熔融スラグのコンクリート強度は全く逆の傾向を示している。骨材表面は複雑な凹凸の表面形状を有し、密度は小さいがすりへり減量や破砕値は小さく、骨材強度に優れていたことが強度発現に寄与したと考えられる。

図-2に切欠きはりの3点曲げ載荷試験で得られた荷重-CMOD 曲線を、図-3には荷重-CMOD 曲線から多直線近似解析法²⁾により推定された引張軟化曲線を示す。熔融スラグを使用した場合の荷重-CMOD 曲線の方が、普通骨材よりも最大荷重以降の荷重低下が緩やかになる傾向を示している。特に、置換率 100%のコンクリートでその傾向が顕著に認められた。したがって、骨材強度とともに熔融スラグとモルタルの付着が良好であったことも強度改善の一因と推察される。

図-4に乾燥収縮ひずみの経時変化を示す。熔融スラグ粗骨材を用いたコンクリートは、既報告¹⁾と同様、無置換のコンクリートに比べて乾燥収縮が小さくなる傾向にある。

図-5に相対動弾性係数の経時変化を示す。相対動弾性係数の経時変化をみると、スラグ置換率を増加させても変化はほとんどなく、無置換の普通骨材コンクリートとほぼ同程度の値を示している。耐久性指数は、300 サイクル終了時点でスラグ置換の有無に関わらず、95%以上であり高い耐久性を示した。したがって、本実験で使用した熔融スラグ粗骨材は、コンクリートの耐凍害性に悪影響はなく、粗骨材に全置換した場合であっても十分な耐凍害性を有するものと考えられる。

4. まとめ

本実験で対象とした熔融スラグは、密度が小さく JIS 規格を満足していない。しかし、すりへり減量や破砕値は既往のスラグに比べ小さく、粗骨材として使用したコンクリートは、強度や耐久性に優れ、砕石を使用した場合と同等以上の性能を発揮することが確認された。また、砕石を用いたコンクリートに比べて破壊エネルギーが大きくなることも確認した。

参考文献

- 1) 武田字浦, 久保田純司, 高木宣章, 児島孝之: 下水汚泥スラグ粗骨材を用いたコンクリートの力学的特性, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.101-106, 2006.7
- 2) 橘高義典, 上村克郎, 中村成春: コンクリートの引張軟化曲線の多直線近似解析, 日本建築学会構造系論文集, No.453, pp.15-25, 1993.11

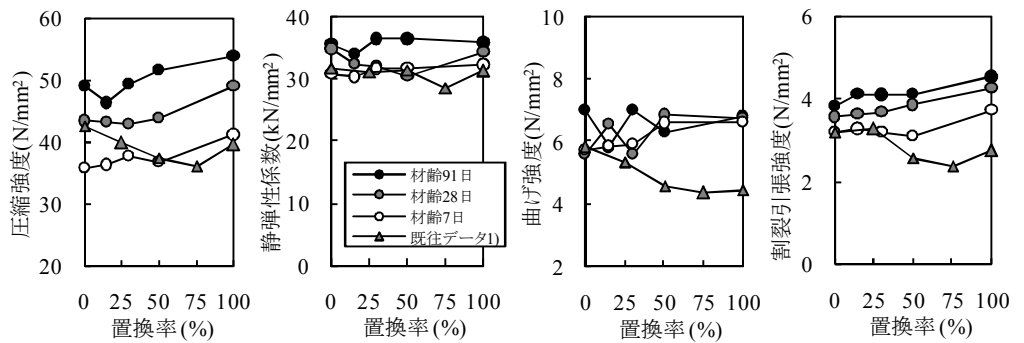


図-1 各種強度および静弾性係数とスラグ置換率の関係

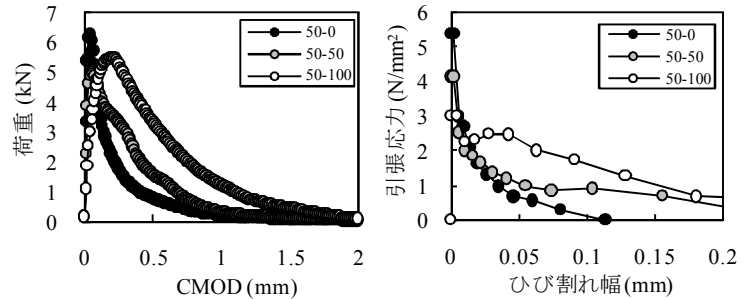


図-2 荷重-CMOD 曲線

図-3 引張軟化曲線

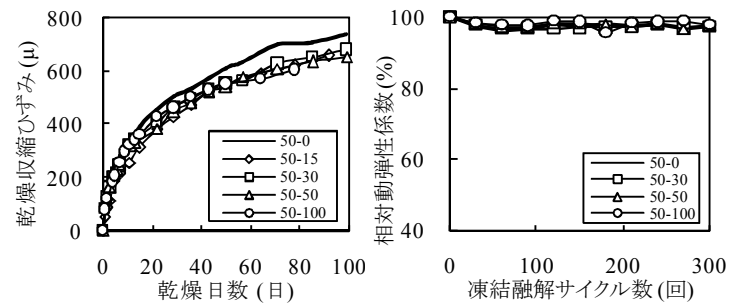


図-4 乾燥収縮ひずみ

図-5 相対動弾性係数