下水汚泥溶融スラグを用いたコンクリート梁の曲げ耐荷性状に関する実験的研究

宇都宮大学工学部　○ 学生会員　加藤 教弘
宇都宮大学工学部　正会員　藤原 浩巳
宇都宮大学工学部　正会員　丸岡 正知
宇都宮大学院工学研究科　学生会員　安田 浩二

1　はじめに

下水汚泥溶融スラグ（以下，溶融スラグとする.）は，汚泥焼却灰を高温で溶融した後，水中で冷却し，固形物にすることにより製造される．平成 18 年には JIS 化され，コンクリート用細骨材への利用が期待される. しかしながら，栃木県産溶融スラグは JIS の粒度分布の規格を満たしておらず，コンクリートとして用いる場合には性状の改善が必要となる.

既往の研究[1]により，溶融スラグを川砂と混合することにより，置換率 50%まではJISの粒度範囲を満足すること，フレッシュコンクリート性状は，溶融スラグ置換率 50%では，ブリーディングの増加，プラスチシティーの低下などが生じるが，性状改良ため石灰石微粉末を川砂に対して 40kg/m^{3}置換することにより，無置換と同等の性状が得られることが示され，コンクリート製品用細骨材に適用可能であるとされた．そこで本研究では，鉄筋コンクリート製品用細骨材への適用を目的としRCはりの曲げ，ひび割れ性状の違いについて検討した.

2　実験概要

2.1　使用材料

使用材料を表-1 に，細骨材の粒度分布を図-1 に示す．本研究に用いた溶融スラグは，JIS に記載されている品質のうち，粒度のみ基準値を満足していない.

表-1　使用材料

種別	名称	記号	密度 (kg/m^3)	粉末度 (cm^2/g)	粗粒率 (%)
水	地下水（JISA5308付属書9表1に適合するもの）	W	1.00	—	—
結合材	普通ポルトランドセメント	C	3.16	3260	—
混和材	石灰石微粉末	LS	2.71	3520	—
細骨材	鬼怒川産川砂	RS	2.58	—	2.81
	下水汚泥溶融スラグ	MS	2.64	—	3.80
粗骨材	砕石	G	2.65	—	6.64
混和剤	AE減水剤　標準形	AE減	1.05	—	—

表-2　示方配合

W (kg/m^3)	W/C (%)	s/a (%)	溶融スラグ置換率 (%)	LS置換量 (kg/m^3)	単位量 (kg/m^3) W	C	LS	RS	MS	G5+G6	AE減
160	43	45	0	0	157	370	-	781	0	994	3.1
			30	0	157		-	547	240	924	3.1
			50	40	157		40	351	400	926	3.1

図-2　供試体諸元

2.2　配合条件

配合条件は単位水量 160kg/m^3，水セメント比 43.2%，細骨材率 44.7%とし，設計強度は 30N/mm^{2}とした．置換率 0%を基本配合とし，溶融スラグを細骨材に対して体積比で内割り置換した．溶融スラグの置換率は，0，30，50%の 3 水準とした．溶融スラグ置換率 50%の条件は，性状改良ため石灰石微粉末を川砂に対して 40kg/m^{3}置換した．目標スランプおよび空気量はSL=8±2cmおよびAir=4.5±1.5%とした．示方配合を表-2 に示す.

2.3　試験項目

試験項目および試験方法を表-3 に示す．供試体の養生は蒸気養生を行い，前置き 1.5 時間，温度上昇 20℃/h，最高温度 65℃, 最高温度保持時間 3 時間, 以後自然放冷とした．また曲げ性状確認試験では，図-2 に示す供試体を用い二点集中載荷により曲げ試験を行った．測定項目を表-4 に示す．供試体数は, 溶融スラグ置換率が 0%を一体, 30 および 50%を各二体とした.

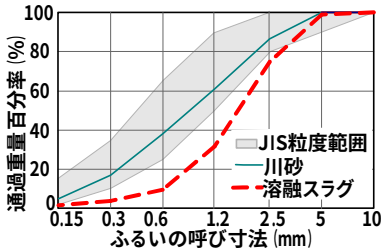

図-1　細骨材の粒度分布

表-3　試験項目

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101
空気量	JIS A 1128
圧縮強度	JIS A 1108
曲げ強度	JIS A 1106
引張強度	JIS A 1113
曲げ特性	上記記載

表-4　測定項目

測定項目
荷重
中央変位
引張鉄筋ひずみ
圧縮鉄筋ひずみ

キーワード：下水汚泥溶融スラグ　RC はり　耐荷力　ひび割れ
連絡先：〒321－8585　栃木県宇都宮市陽東 7-1-2　宇都宮大学工学部建設学科材料研究室 TEL　028-689-6209

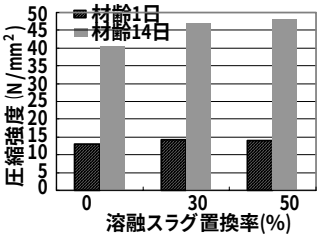

図-3　圧縮強度試験結果

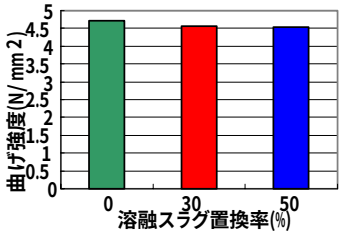

図-4　曲げ強度試験結果

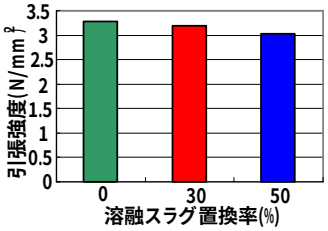

図-5　引張強度試験結果

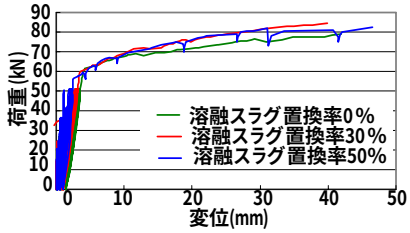

図-6　荷重-中央変位曲線

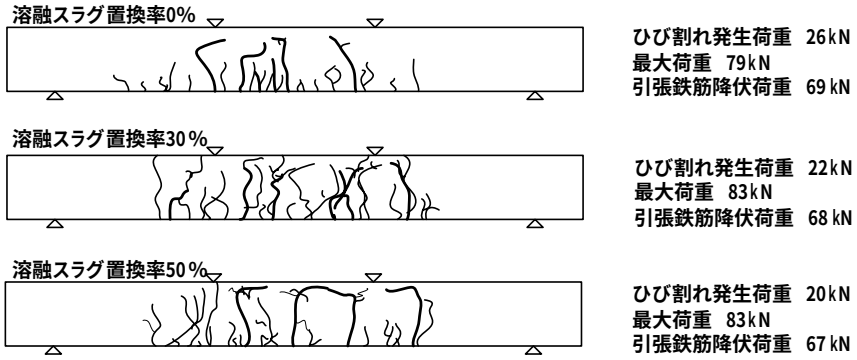

図-7　ひび割れ発生状況図

2.4　試験結果および考察

1）圧縮強度試験

材齢 1 および 14 日における圧縮強度試験結果を図-3 に示す．材齢に関わらず，無置換と比較して溶融スラグを置換した配合の圧縮強度は増大することが分かった．これは今回使用した溶融スラグは水砕されており，ガラス質であるため，早期の潜在水硬性が影響する[2]ことが推定できるが，更なる検討が必要である．

2）曲げ強度試験結果

材齢 14 日における曲げ強度試験結果を図-4 に示す．いずれの溶融スラグ置換率においても，同程度の曲げ強度を示した．溶融スラグを置換した場合には圧縮強度の増加に対して曲げ強度の増加が認められない結果となった．これは溶融スラグの表面はガラス質であり平滑であるため，ペースト部分との付着力が低いという事が考えられる．

3）割裂引張強度試験結果

材齢 14 日における割裂引張強度試験結果を図-5 に示す．溶融スラグ置換率が増加に伴ない引張強度がやや減少する傾向が確認された．これは 2）と同様にスラグ表面とペーストとの付着性状によるものと考えられる．

4）曲げ性状確認試験結果

図-6 に荷重-中央変位の関係，図-7 にひび割れ発生状況図を示す．　図-6 より 60kN 付近で変位が急に増加しており，この付近で引張鉄筋が降伏していると考えられる．またスラグ置換率に関わらずこの降伏荷重はほぼ同等であり，置換率による梁の変形性状への影響は少ないと考えられる．図-7 よりスラグ置換率増加に伴いひび割れ数が増加する結果となった．これは曲げおよび引張強度の低さ，鉄筋とコンクリートの付着力の違いなど原因と考えられるが，さらなる検討が必要である．しかし，変位はほぼ同等であり，全体の変位性状は大きく変わらないため，平均ひび割れ幅は小さくなる傾向があると推測できる．

2.5　まとめ

1）溶融スラグ置換率が増加した場合，圧縮強度は大きくなる．
2）溶融スラグ置換率が増加した場合，曲げ強度および引張強度は若干低下するがほぼ同等である．
3）RC 梁の曲げ性状は溶融スラグ置換率が増加してもほぼ同等である．
4）各強度としては，鉄筋コンクリート製品用細骨材へ十分適用可能であると思われる．しかしひび割れ数が増加する等の結果からさらなる検討が必要である．

＊本研究は，栃木県下水道課および栃木県コンクリート製品組合と共同で行われたものである．

【謝辞】

本実験を行うにあたり，パスキン工業㈱の関係者の皆様に多大なご協力を承りました．ここに記し，感謝の意を表します．

【参考文献】

1)　岩崎麻美：下水汚泥溶融スラグのコンクリート用細骨材への有効利用に関する研究 宇都宮大学博士前期課程終了論文 2005
2)　新田智博：下水溶融スラグを用いた耐酸性コンクリートの諸物性　コンクリート工学年次論文集　Vol22 No.22 2000