

ごみ熔融スラグと再生粗骨材を併用した高流動コンクリート梁部材

—その1 フレッシュ性状と付着性状—

日大生産工 (院) ○渡辺 拓人

日大生産工 師橋 憲貴

日大生産工 桜田 智之

1. はじめに ごみ熔融スラグは一般廃棄物を 1700℃から 1800℃の高温で熔融し冷却固化したものである。これにより一般廃棄物は減容され、最終処分場の延命化に効果的である。また、ごみ熔融スラグは路盤材や、コンクリート用骨材に再利用することが可能であるが、現状、インターブロッキング等に一部使用する程度であるため、今後更なる普及促進が望まれる。一方、建築物の解体時に発生するコンクリート塊から製造される再生骨材とごみ熔融スラグを併用することで循環型社会の形成に貢献できると考える。既往の研究において、ごみ熔融スラグを用いたコンクリートのフレッシュ性状はフロー値が高くなる傾向があることが報告されている¹⁾。フレッシュ性状に着目すると、高い流動性と優れた材料分離抵抗性などの特性を持つ高流動コンクリートは、鉄筋周辺に密実なコンクリートの充填が可能である。そのため、締固めが困難な高密度配筋部位や、コンクリート充填鋼管構造、打放しコンクリートなどに多く利用される。そこで本研究ではごみ熔融スラグの骨材特性を鑑み、材料分離抵抗性の高い高流動コンクリートへごみ熔融スラグと再生粗骨材適用し、フレッシュ性状に及ぼす影響を把握する。また、鉄筋コンクリート梁部材を製作し、付着割裂強度について評価を行う。本報では、その1と題し、フレッシュ性状及びコンクリート打設後5週経過時における付

表-1 試験体詳細

試験体名	骨材置換率(%)		タイプ
	再生粗骨材	ごみ熔融スラグ	
1) FRM0S	50	0	高流動 コンク リート
2) FRM25S		25	
3) FRM50S		50	
4) FRM75S		75	
5) FRM100S		100	
6) RM ²⁾	50	0	再生 コンク リート
7) RM25S ²⁾		25	
8) RM50S ²⁾		50	
9) RM75S ²⁾		75	
10) RM100S ²⁾		100	

表-2 骨材特性

シリーズ	骨材	表乾密度 (g/cm ³)	実積率 (%)	吸水率 (%)
FRM	碎石	2.73	60.6	1.28
	再生粗骨材	2.49	60.9	4.52
	天然細骨材	2.59	63.4	2.04
	ごみ熔融スラグ	2.76	-	0.71

表-3 調合表

試験体名	W/C (%)	単位質量(kg/m ³)						
		水	セ メ ン ト C	粗骨材		細骨材		石 灰 石 微 粉 末
				普 通 粗 骨 材	再 生 粗 骨 材	普 通 細 骨 材	ご み 溶 融 ス ラ グ	
1) FRM0S	61.3	175	286	456	416	721	0	215
2) FRM25S	59.4	175	295	456	416	542	191	205
3) FRM50S	57.5	175	304	456	416	362	383	196
4) FRM75S	55.6	175	315	456	416	181	575	185
5) FRM100S	53.7	175	326	456	416	0	769	174
6) RM ²⁾	65.0	180	277	503	455	816	0	0
7) RM25S ²⁾	65.0	184	283	473	424	635	238	0
8) RM50S ²⁾	72.5	184	254	469	424	444	482	0
9) RM75S ²⁾	65.0	184	283	473	424	218	713	0
10) RM100S ²⁾	69.4	184	265	469	424	0	955	0

Beams of High Fluidity Concrete with
Melt-solidified Slag Aggregate and Recycled Coarse Aggregate
-Part.1 Fresh Properties and Bond Properties-

Takuto WATANABE, Noritaka MOROHASHI and Tomoyuki SAKURADA

着性状について構造的評価を行い、その結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 使用材料 表-1 に試験体詳細を示す。本研究では、高流動コンクリートにおいて、天然粗骨材を再生粗骨材で50%置換し、天然細骨材をごみ溶融スラグで置換率を0%、25%、50%、75%、100%の5段階に置換し、鉄筋コンクリート梁部材を作製した。また、本研究の試験体と骨材置換率が同一であり、高流動化していない既往の試験体²⁾との比較検討を行う。

2.2 調合条件 表-2 に骨材特性を、表-3 に調合表を、また表-4 に混和剤添加量を示す。本研究におけるコンクリートは、フロー値の目標を60cm×60cm±5cmに設定し、試し練りの結果からコンクリートの調合を決定した。また、高い流動性を得るため粉体量(セメント+微粉末)を約500kg/m³となるように石灰石微粉末を使用した。混和剤もまた、試し練りの結果を基に添加量を決定した。高性能AE減水剤にはポリカルボン酸系のものを使用した。空気量の調整にはロジン系界面活性剤のAE剤及び消泡剤を適宜使用した。また、材料分離の低減を促すため、セルロース系の増粘剤を用いた。

2.3 フレッシュ性状 表-5 にフレッシュ性状を示す。本研究で調合した高流動コンクリートのフロー値は、全試験体において目標とする60cm×60cm±5cmを概ね達成する結果となった。また、打設時において、材料の分離はほとんど見られず、打設前の混和剤による調整により良好な品質のフレッシュ性状を確保した。

2.4 試験体形状 図-1 に試験体断面を、図-2 に試験体形状を示す。本実験における試験体は付着割裂強度を検討するため、純曲げ区間の下端筋に重ね継手を設け、単純梁形式とし

表-4 混和剤添加量

試験体名	高性能AE減水剤(C%)	AE剤(%)	消泡剤(%)	増粘剤(g)
1) FRM0S	1.95	0.024	0.001	250
2) FRM25S	2.15	0.024	0.00075	250
3) FRM50S	1.83	0.015	0	250
4) FRM75S	1.35	0.015	0.001	250
5) FRM100S	2.00	0.024	0	250

表-5 フレッシュ性状

試験体名	スランプ(cm)	フロー(cm×cm)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)
1) FRM0S	-	61.3×59.4	5.2	31.5
2) FRM25S	-	59.4×58.0	5.4	30.1
3) FRM50S	-	67.2×64.7	4.8	30.5
4) FRM75S	-	61.8×61.2	4.8	32.0
5) FRM100S	-	62.4×62.5	4.5	30.0
6) RM ²⁾	17.0	29.0×26.5	3.5	26.0
7) RM25S ²⁾	20.0	-	3.7	28.0
8) RM50S ²⁾	19.5	33.0×31.0	6.0	-
9) RM75S ²⁾	19.0	-	5.4	28.0
10) RM100S ²⁾	19.5	32.5×28.5	2.2	28.5

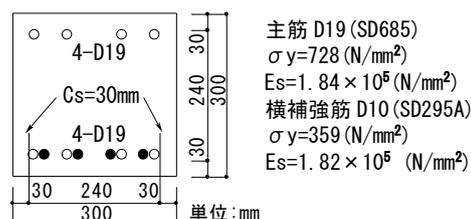


図-1 試験体断面

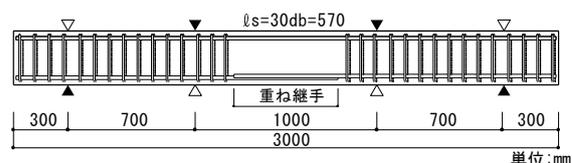


図-2 試験体形状

表-6 実験結果一覧

試験体名	コンクリート強度 σ_B (N/mm ²)	Wmax (mm)	最大荷重 Pmax (kN)	付着割裂強度 $\tau_{u \text{ exp.}}$ (N/mm ²)
1) FRM0S	31.2	0.08	271.0	3.04
2) FRM25S	28.9	0.08	295.0	3.31
3) FRM50S	29.2	0.06	284.0	3.19
4) FRM75S	31.9	0.06	295.5	3.32
5) FRM100S	26.9	0.06	296.5	3.33
6) RM ²⁾	27.5	0.13	264.0	2.96
7) RM25S ²⁾	27.2	0.13	278.0	3.12
8) RM50S ²⁾	21.3	0.14	296.8	3.33
9) RM75S ²⁾	24.4	0.10	223.0	2.50
10) RM100S ²⁾	17.7	0.12	199.2	2.24

Wmax : $\sigma_t = 200 \text{ N/mm}^2$ [P=150kN]時の最大曲げひび割れ幅

た。主筋には高強度鉄筋 4-D19 を使い、重ね継手端部から破壊が先行するサイドスプリット型の付着割裂破壊となるように計画した。

3. 実験結果

3.1 最終破壊形状 表-6 に材齢 5 週経過時における実験結果一覧を、図-3 に最終破壊形状を示す。図-3 に示される最終破壊形状はごみ溶解スラグの置換率が 0%、50%、100% の試験体 FRM0S、FRM50S、FRM100S を例示したものであり、ごみ溶解スラグの置換率による影響は見られず、全試験体において想定したサイドスプリット型の付着割裂破壊となった。

3.2 主筋長期許容応力度時の曲げひび割れ

図-4 に主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅 W_{max} を示す。全ての試験体の W_{max} は RC 規準³⁾ のひび割れ制限目標値である 0.25mm 以内となった。本研究の高流動化した FRM シリーズは 0.08mm 以下となり、高流動化していない既往の試験体と比較して、 W_{max} は小さい値となった。これは、高流動化によりコンクリート強度が高くなったことでコンクリートの負担可能な引張応力が増大し最大曲げひび割れ幅が抑制したものと考えられる。

3.3 変位性状 図-5 に荷重-変位曲線(包絡線)を示す。加力は 2 点集中加力で正負繰返し载荷とし、荷重の制御は主筋の応力度が $\sigma_t=100N/mm^2$ ずつ増加するよう行った。また、変位は梁部材中央の変位 δ を示した。高流動化した FRM シリーズの試験体は高流動化していない既往の試験体と比較して、初期剛性は概ね同等であり、差異は見られなかった。また、ごみ溶解スラグの置換率によらず、およそ同様の初期剛性を示した。このことから、材齢 5 週時においては、ごみ溶解スラグの置換率が初期剛性に与える影響は少ないと考える。

3.4 付着割裂強度の検討 付着割裂強度は式(1)により求めた。

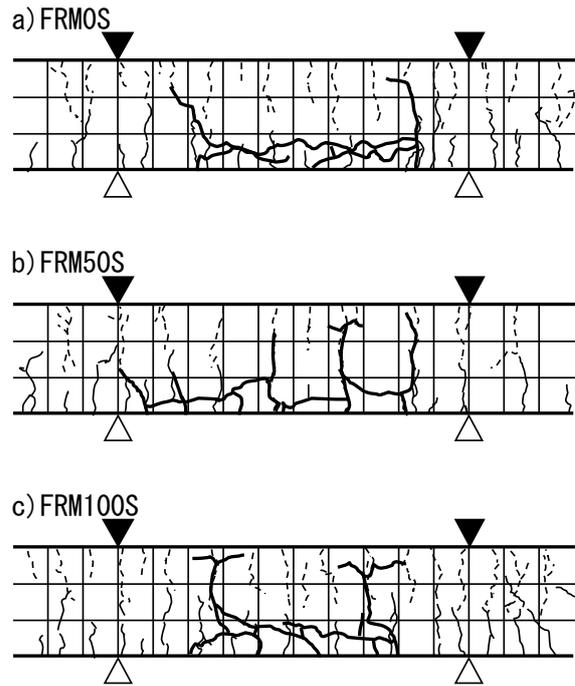


図-3 最終破壊形状

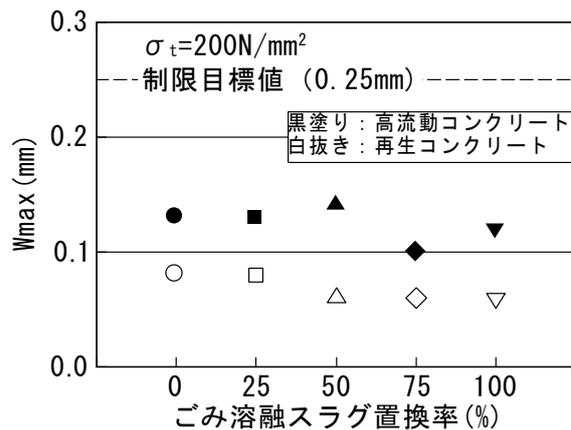


図-4 最大曲げひび割れ幅

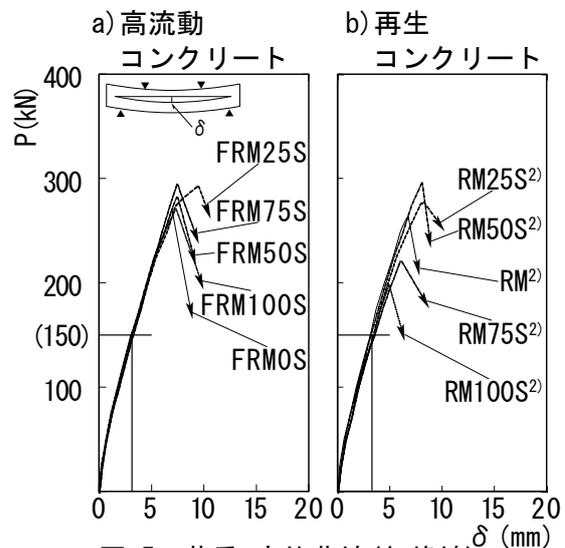


図-5 荷重-変位曲線(包絡線)

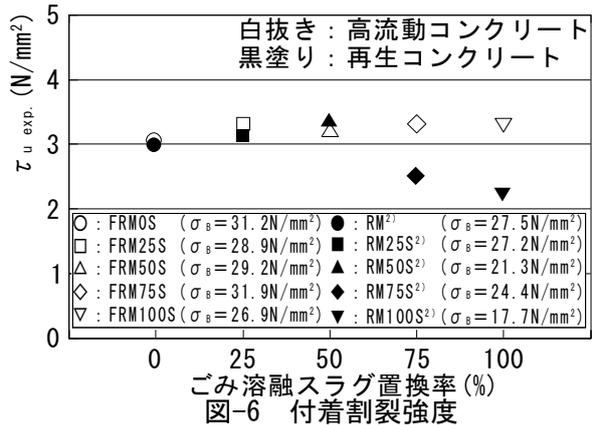
$$\tau_{u \text{ exp.}} = \frac{M_u}{j \cdot \phi \cdot l_s} \quad (1)$$

M_u : 最大曲げモーメント (N・mm)
 j : (7/8)d (d : 梁有効せい 260.5mm)
 ϕ : 鉄筋周長 (4-D19 240mm)
 l_s : 重ね継手長さ (30db 570mm)

図-6 に付着割裂強度を示す。本研究の高流動化した試験体は高流動化していない既往の試験体より付着割裂強度は概ね上昇した。高流動化していない既往の試験体において、ごみ溶解スラグの置換率を 75%、100%置換した試験体の付着割裂強度は、高流動化していない他の試験体と比較すると低い値を示している。一方、高流動化した試験体については全試験体において概ね同等の値を示している。コンクリート強度に着目すると、27N/mm²以上の試験体は安定した付着割裂強度を示している。また、およそ 21N/mm²から 24N/mm²までの試験体については付着割裂強度の変動が見られる。このことから、コンクリート強度がある程度の値を有していれば、ごみ溶解スラグの置換率に関わらず、安定した付着割裂強度が得られるのではないかと推察できる。

4. まとめ ごみ溶解スラグと再生粗骨材を併用した高流動コンクリート梁部材のフレッシュ性状及びコンクリート打設後 5 週経過時における付着割裂強度を検討した結果、本実験の範囲内で以下の知見が得られた。

- (1) フロー値は概ね 60cm±5cm となり、材料分離も見られず、良好なフレッシュ性状を得ることが出来た。
- (2) 高流動化した試験体の最大曲げひび割れ幅は全試験体において 0.08mm 以内に収まり、高流動化していない試験体と比較すると小さい値を示した。
- (3) 高流動化した試験体は、高流動化していない試験体と比較し、初期剛性に差異は見られなかった。
- (4) 付着割裂強度において、高流動化した試



験体は高流動化していない試験体に比べ、概ね高い値を示した。

現在、材齢 1 年経過時に載荷する試験体を保存している。今後は、乾燥収縮性状の検討とともに、乾燥収縮がごみ溶解スラグと再生粗骨材を併用した高流動コンクリート梁部材に与える影響について検討を行い、また、材齢の経過が付着性状に与える影響についても検討する。

謝辞 本研究を進めるにあたり、習志野市芝園清掃工場にはごみ溶解スラグの使用を快諾していただきました。葛西再生コンクリート工場には再生コンクリートの手配で御協力をいただきました。混和剤メーカー F 社の方々には調査計画において貴重な御助言をいただきました。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 高橋幸裕、師橋憲貴、桜田智之：ごみ溶解スラグと中品質再生粗骨材を用いた RC 梁部材の基礎的研究-その 1 フレッシュ性状と付着性状-、日本大学生産工学部第 40 回学術講演会、2007 年 12 月、pp. 39-42
- 2) 師橋憲貴、桜田智之、三橋博巳：再生コンクリートの細骨材としてごみ溶解スラグを用いた梁部材の付着特性に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol. 57B、2011 年 3 月、pp. 665-672
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010