

ごみ溶融スラグと中品質再生粗骨材を用いたR C梁部材の基礎的研究

—その1 フレッシュ性状と付着性状—

日大生産工 (院) ○高橋 幸裕

日大生産工 師橋 憲貴

日大生産工 桜田 智之

1. はじめに 近年、循環型社会への転換に向け様々な取り組みが行われ平成 17 年度の環境省の報告によれば一般廃棄物のリサイクル率は年々増加傾向にある。しかし予てから問題となっている最終処分場の不足問題は深刻化し、約 15 年後には許容量を超えると予想されている¹⁾。このような社会的課題を背景に一般廃棄物を高温処理して溶融固化し再資源化する技術が開発され、一般廃棄物の減量化や再資源化が進められている。この技術により産出した溶融固化物(以下、ごみ溶融スラグと称する)は、利用用途が少なく大半は最終処分場で処理されている。これらのことを鑑み、ごみ溶融スラグの有効な利用手段として 2006 年 7 月に 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)²⁾が制定された。しかし、ごみ溶融スラグをコンクリート用骨材として使用した場合の材料的な評価は行われているものの³⁾、ごみ溶融スラグを鉄筋コンクリート構造へ適用し構造的評価を行った研究は参考文献 4)に見られる程度である。

ごみ溶融スラグをコンクリートの細骨材として利用し、さらに産業廃棄物であるコンクリート塊から製造される再生粗骨材を併用して鉄筋コンクリート構造物に適用できれば、循環型社会の形成に向け大きく貢献できると思われる。そこで本研究はごみ溶融スラグの適用方法の基礎として、ごみ溶融スラグと中

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ	粗骨材 置換率	細骨材 置換率	载荷時期
1) RMNS ----- 2) RMNS1K	RMNS	砕石 50% 再生粗骨材 50%	天然砂 50% 溶融スラグ 50%	材齢5週 ----- 1年 経過後
3) RMS ----- 4) RMS1K			天然砂 0% 溶融スラグ 100%	材齢5週 ----- 1年 経過後
5) RM ⁵⁾ ----- 6) RM1K ⁵⁾	RM	砕石 50% 再生粗骨材 50%	天然砂 100% 再生砂 0%	材齢5週 ----- 1年 経過後
7) RMM ⁵⁾ ----- 8) RMM1K ⁵⁾			天然砂 50% 再生砂 50%	材齢5週 ----- 1年 経過後

重ね継手長さ $l_s=30d_b=570$ (mm) 共通
 $b \times D=300 \times 300$ mm 共通

品質再生粗骨材を併用したR C梁部材のフレッシュ性状と付着性状を検討したものである。

2. 実験概要 表-1 に試験体詳細を示す。本研究で使用したコンクリートは、ごみ溶融スラグを天然砂に対して置換する割合(以下、置換率と称す)を 50%(RMNS シリーズ)と 100%(RMS シリーズ)の 2 シリーズとした。2 シリーズともに粗骨材は再生粗骨材の置換率を 50%とした。また、粗骨材に RMNS・RMS シリーズと同等の品質の再生粗骨材を置換率 50%で使用した既往の RM シリーズと、さらに細骨材に再生砂の置換率を 50%とした RMM シリーズの実験結果と比較検討を行った⁵⁾。これにより細骨材に使用した骨材の種類(天然砂、ごみ溶融スラグ、再生砂)やごみ溶融スラグの置換率の違いが付着性状に及ぼす影響を検討した。

2.1 骨材の品質 表-2 に使用した骨材の性質を示す。再生粗骨材はコンクリート塊をジョークラッシャーで破砕して製造された中品質程度の再生粗骨材であり、細骨材として使用したごみ溶融スラグは習志野市芝園清掃工場に建設されたガス化・高温溶融一体型直接溶融炉で製造されたもので、粒度調整(磨砕、篩い分け)および磁気選別されたものである。このごみ溶融スラグは JIS A 5031²⁾の基準値である絶乾密度 2.5g/cm^3 以上、実積率 53%以上、吸水率 3%以下を満たしていた。また有害物質は溶出試験の基準値⁶⁾を全て満足しており、現在インターロッキングブロックやU字溝に使用されている⁷⁾。

2.2 調合 表-3 に調合表を示す。本実験で用いたコンクリートの調合はスランプ $18 \pm 2.5\text{cm}$ 、空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ を目標とし、試し練りで水セメント比を 50%、60%、70%に変化させた調合設計を行い、材齢 4 週時に 25N/mm^2 の圧縮強度が得られるよう水セメント比を決定した。単位水量は既往の調合⁵⁾を参考に 184kg/m^3 とした。

2.3 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。試験体は単純梁形式とし、付着性状を検討するため純曲げ区間の下端に長さ 30db(570mm)の重ね継手を設けた。主筋は上端、下端とも 4-D19(SD345)を使用し曲げ降伏前にサイドスプリット型の付着割裂破壊が先行するよう配筋した。

3. フレッシュ性状 表-4 にフレッシュ性状の試験結果を示す。a) 表のごみ溶融スラグの置換率を 50%とした RMNS シリーズの出荷時のフレッシュ性状は材料分離が認められず良好であった。打設現場(大学)の第 1 回のフレッシュ性状の試験は運搬(約 1 時間)によるスランプ低下と空気量の低下が見られたため、高性能 AE 減水剤と AE 剤を添加しフレッシュコンクリートの調整を行った。次に b) 表のごみ溶

表-2 骨材の性質

シリーズ	骨材	絶乾密度 (g/cm^3)	表乾密度 (g/cm^3)	実積率 (%)	吸水率 (%)
RMNS RMS	砕石	2.72	2.74	63.8	0.77
	再生粗骨材	2.33	2.46	61.8	5.40
	天然砂	2.54	2.59	66.2	2.05
	ごみ溶融スラグ	2.82	2.83	61.3	0.38
RM ⁶⁾ RMM ⁶⁾	砕石	2.70	2.72	61.5	0.60
	再生粗骨材	2.37	2.48	62.5	4.58
	天然砂	2.54	2.59	66.7	1.96
	再生砂	2.08	2.28	72.0	9.53

表-3 調合表

シリーズ	W/C (%)	単位質量(kg/m^3)					
		水	セメント	細骨材		粗骨材	
RMNS	72.5	184	254	天然砂	ごみ溶融スラグ	砕石	再生粗骨材
				444	482	469	424
RMS	69.4	184	265	ごみ溶融スラグ		砕石	再生粗骨材
				955		469	424

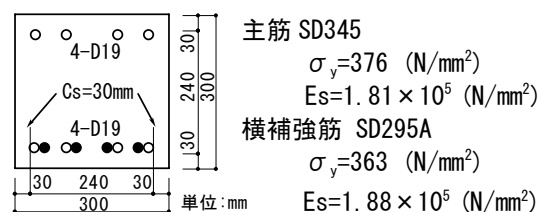


図-1 試験体断面

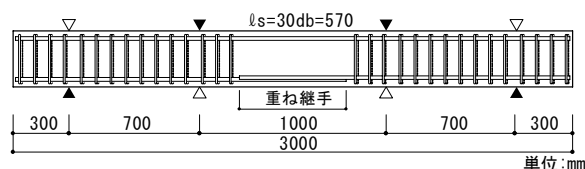


図-2 試験体形状

融スラグの置換率を 100%とした RMS シリーズは出荷時のフレッシュコンクリートの練り上がりの状態が非常に悪く材料分離が顕著であった。打設現場(大学)で行った第 1 回のスランプ試験は 18.0cm であり目標とするスランプ値の範囲内であったがフロー値が大きく材料分離が見られたため、材料分離低減剤(SFCA)をアジテータ車に 0.3kg/m^3 添加し⁴⁾、高速攪拌させ均一にした。材料分離低減剤(SFCA)添加後のフレッシュ性状は、スランプ値、フロー値ともに改善され材料分離は認められず RC 梁部材に打設するコンクリートのフレッシュ性状の品質を確保した。

表-4 フレッシュ性状の試験結果

a) RMNS シリーズ

フレッシュ性状 試験場所	混和剤 分離低減剤	添加量 (%)	スランプ (cm)	フロー (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)
再生 コンクリート工場 (出荷時)	高性能AE減水剤	1.2	23.5	40.0×40.5	6.0	—
	AE剤	0.005				
	消泡剤	0.025				
大学(第1回)	消泡剤 ^{*1}	0.001	12.5	—	1.9	26.0
大学(第2回)	高性能AE減水剤	0.28	19.5	34.0×42.0	1.0	26.0
大学(最終)	AE剤	0.005	19.5	33.0×31.0	3.0	26.0

b) RMS シリーズ

フレッシュ性状 試験場所	混和剤 分離低減剤	添加量 (%)	スランプ (cm)	フロー (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(°C)
再生 コンクリート工場 (出荷時)	高性能AE減水剤	1.35	15.5 ^{*2} 22.0 ^{*2}	43.0×42.0	2.2	28.5
	AE剤	0.005				
	消泡剤	0.025				
大学(第1回)	—	—	18.0	41.0×41.0	4.3	27.0
大学(第2回)	SFCA	0.3kg/m ³	19.5	32.5×28.5	6.2	27.0
大学(最終)	消泡剤	0.0005	—	—	5.0	26.5

*1 出荷時のフレッシュ性状の試験後にアジータ車に添加

*2 スランプ値は材料分離したフレッシュコンクリートを測定したもの

表-5 実験結果一覧(材齢 5 週時)

試験体名	コンクリート 強度 σ_B (N/mm ²)	最大曲げ ひび割れ幅 Wmax (mm)	最大荷重 Pmax (kN)	付着割裂 強度 $\tau_{u\text{ exp.}}$ (N/mm ²)
1) RMNS	22.7	0.14	296.8	3.33
3) RMS	19.2	0.12	199.2	2.24
5) RM ⁽⁵⁾	27.5	0.13	264.0	2.96
7) RMM ⁽⁵⁾	28.1	0.12	292.8	3.29

最大曲げひび割れ幅Wmaxは $\sigma_t=200\text{N/mm}^2$ (P=150kN)時

破壊形式はすべて付着割裂破壊

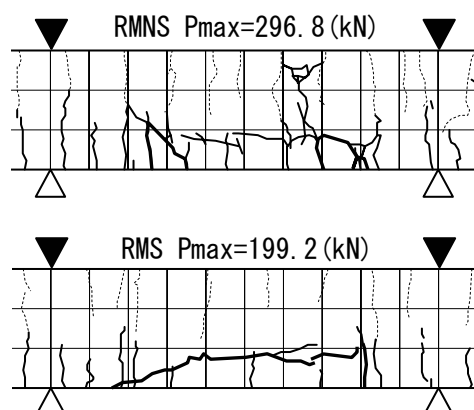


図-3 最終破壊形状(RMNS, RMS)

4. 実験結果

4.1 最終破壊形状 表-5 に材齢 5 週時の実験結果一覧を、図-3 に最終破壊形状を例示する。最終破壊形状はごみ熔融スラグを用いたことによる材料分離で懸念されたジャンカなどの影響は見られず、重ね継手区間に付着ひび割れが急激に進展するサイドスプリット型の付着割裂破壊で想定した破壊形式となった。

4.2 変位性状 図-4 に各試験体の荷重-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 $\sigma_t=100\text{N/mm}^2$ ずつ増加するよう行った。また、変位は中央変位 δ を示した。ごみ熔融

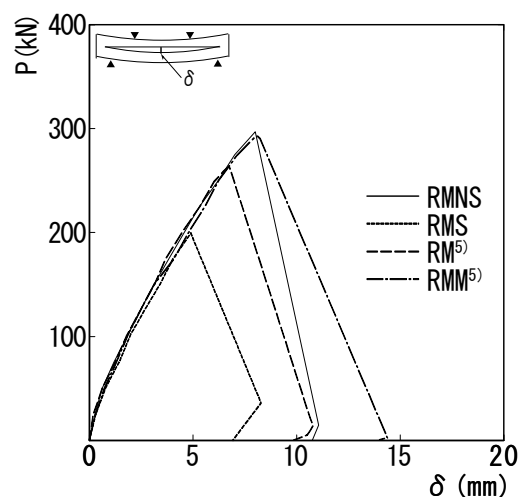


図-4 荷重-変位曲線(包絡線)

スラグの置換率50%のRMNS、置換率100%のRMSは既往のRM、さらに再生砂の置換率も50%としたRMMと比較して正加力時の初期剛性に差は認められなかった。

5. 付着割裂強度 付着割裂強度は式(1)により求めた。

$$\tau_{u \text{ exp.}} = \frac{M_u}{j \cdot \phi \cdot l_s} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

ここで 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-5 に付着割裂強度を示す。ごみ溶融スラグの置換率を50%としたRMNSの付着割裂強度は、RMおよびRMMと概ね同等であった。しかし、ごみ溶融スラグの置換率を100%としたRMSの付着割裂強度はRMNSと比較して約33%低下した。これは、ごみ溶融スラグの粒子表面が平滑なガラス質でありセメントペーストとの付着強度が小さいこと³⁾、またコンクリート強度が若干低いことが付着割裂強度の低下に影響を及ぼしているものと推察される。

6. まとめ ごみ溶融スラグと中品質再生粗骨材を用いたRC梁部材のフレッシュ性状と付着性状について検討を行った結果、本実験の範囲内で以下の知見が得られた。

- 1) ごみ溶融スラグの置換率を100%とした場合、フレッシュ性状は材料分離が顕著となったが材料分離低減剤(SFCA)を添加することで大幅に改善することができた。
- 2) 材齢5週時の付着割裂強度は、ごみ溶融スラグの置換率を100%とした場合、置換率50%の場合と比較して骨材表面の平滑さが原因と考えられる付着性状の低下が認められた。

現在、材齢1年経過時に載荷する試験体を保存している。今後はごみ溶融スラグの持つ骨材性質および置換率の違いが付着性状に及

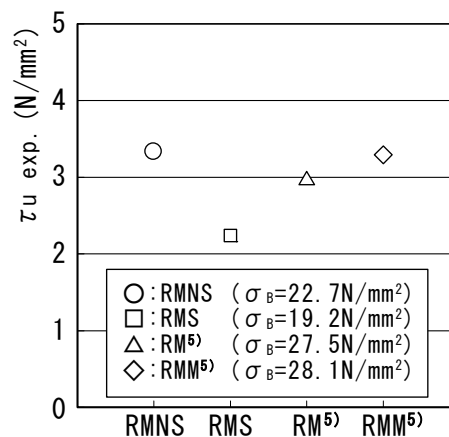


図-5 付着割裂強度

ぼす影響について検討を行う必要があると考える。

謝辞

本研究に際し、習志野市芝園清掃工場にごみ溶融スラグの使用を快諾していただきました。東京建設廃材処理協同組合 葛西再生コンクリート工場には再生骨材を供与していただきました。また、株式会社フローリックの方々には試し練りや調合に関して多大なご協力をいただきました。ここに記して深謝致します。

参考文献

- 1) 環境省報道発表資料：一般廃棄物の排出及び処理状況等(平成17年度実績)について，2007年4月
- 2) 日本工業規格：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)，2006年7月
- 3) 斉藤丈士，菅田雅裕，谷山教幸，池山博威：ごみ溶融スラグの細骨材としての利用がコンクリートの調合および品質に及ぼす影響：コンクリート工学年次論文集，Vol. 26，No. 1，pp. 81-86，2004
- 4) 田中礼治，北辻政文，東海隼人，大芳賀義喜：ごみ溶融スラグを細骨材にした再生コンクリートを用いたはり部材に関する実験研究(再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリート構造に関する研究—その4—)，日本建築学会構造系論文集，第551号，pp. 103-109，2002年1月
- 5) 渡辺慎吾，師橋憲貴，桜田智之：普通骨材と中品質再生骨材を混合使用した鉄筋コンクリート梁，日本大学生産工学部第39回学術講演会，2006年12月，pp. 117-120
- 6) 厚生省生活衛生局水道環境部長通知：一般廃棄物の溶融固化物の再利用の実施促進について，1998年3月
- 7) 千葉県習志野市：芝園清掃工場(ごみ溶融処理施設)パンフレット，2002年11月