

中品質再生骨材とごみ溶融スラグを併用した
鉄筋コンクリート梁部材の構造特性に関する基礎的研究
－その1 フレッシュ性状と付着性状－

日大生産工（院） ○島田 崇弘

日大生産工 師橋 憲貴

日大生産工 桜田 智之

1. はじめに 日本国内における廃棄物の発生量は戦後の高度成長期、近年の経済成長の影響により増大し、地球環境を保全するために「大量生産・大量消費」から「循環型社会」への転換という概念が定着しつつある。平成18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。しかし最終処分場の不足問題は深刻化し、約16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再資源化する技術が模索され、一般廃棄物を高温処理して溶融固化したもの(以下、ごみ溶融スラグと称する)を製造する技術が開発された。しかし、利用用途は限られ3分の1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。また、建築物の解体時に発生するコンクリート塊を破砕して製造される再生骨材は原骨材の周りに付着するモルタル分の影響により吸水率が高く、利用用途が限定されている。

以上よりごみ溶融スラグをコンクリートの細骨材として利用し、コンクリート塊から製造される再生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

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	載荷時期
1) RMRNS ----- 2) RMRNS1K	RMRNS	砕石 50% 再生粗骨材 50%	天然砂 25% 再生砂 25% スラグ 50%	材齢5週 ----- 1年 経過後
3) RMRS ----- 4) RMRS1K			天然砂 0% 再生砂 50% スラグ 50%	材齢5週 ----- 1年 経過後
5) RMNS ³⁾ ----- 6) RMNS1K ³⁾	RMNS	砕石 50% 再生粗骨材 50%	天然砂 50% スラグ 50%	材齢5週 ----- 1年 経過後
7) RMS ³⁾ ----- 8) RMS1K ³⁾			天然砂 0% スラグ 100%	材齢5週 ----- 1年 経過後
9) 00N ⁴⁾	N	砕石 100%	天然砂 100%	材齢5週

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

に向け大きく貢献できると思われる。

既往の研究³⁾では、付着割裂強度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%とした試験体は置換率を100%とした試験体と比較して低下する傾向が見られた。

本研究は更なる再生骨材の利用拡大を踏まえごみ溶融スラグの置換率を50%に統一し再生骨材と併用したRC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、天然砂に対して再生砂を25%置換した(RMRNS シリーズ)と

50%置換した(RMRS 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、本研究は細骨材に使用した骨材の種類(天然砂、ごみ熔融スラグ、再生砂)やごみ熔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するため既往のRMNSシリーズ、RMSシリーズおよびNシリーズの実験結果と比較検討を行った^{3)、4)}。

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碎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熔融スラグは習志野市芝園清掃工場に建設されたガス化・高温熔融一体型直接熔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。このごみ熔融スラグは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⁵⁾を全て満足している。

2.2 調合 表-3(a)、(b)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60%、65%、70%に変化させた調合設計を行い、材齢4週時に 21N/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³⁾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。試し練りにおいて再生砂の置換率を25%としたRMRNSシリーズと50%

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 (%)
RMRNS RMRS	砕石	2.69	2.71	61.3	0.84
	再生粗骨材	2.36	2.47	61.0	4.90
	天然砂	2.53	2.58	68.0	2.15
	再生砂	2.02	2.24	74.6	10.79
	ごみ熔融スラグ	2.82	2.83	61.3	0.38
RMNS ³⁾ RMS ³⁾	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
	ごみ熔融スラグ	2.82	2.83	61.3	0.38

表-3(a) 調合表(骨材)

シリーズ	W/C (%)	単位質量(kg/m^3)					
		W	C	細骨材			粗骨材
RMRNS	59.6	184	309	天然砂	再生砂	ごみ熔融スラグ	砕石
				212	186	464	473
RMRS	57.5	184	320	再生砂	ごみ熔融スラグ	砕石	再生粗骨
				368	459	473	425

表-3(b) 調合表(混和剤)

シリーズ	高性能AE減水剤 ($\text{C}\times\%$)	AE剤 ($\text{C}\times\%$)	消泡剤 (AE剤 $\times\%$)	分離低減剤 (kg/m^3)
RMRNS	1.083	-	-	SFCA 0.3
RMRS	1.094	-	-	SFCA 0.3

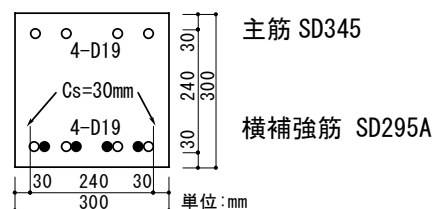


図-1 試験体断面

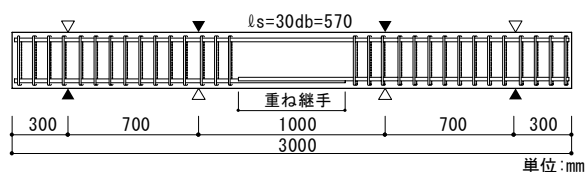


図-2 試験体形状

とした RMRS シリーズは材料分離が認められた。そのため、材料分離低減剤(SFCA)をアジテータ車に 0.3kg/m^3 添加し⁶⁾、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

シリーズ	スランブ (cm)	フロー (cm×cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度(℃)
RMRNS	20.5	35.2×36.4	5.6	27.0
RMRS	20.0	35.3×35.1	4.8	28.0

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) RMRNS	22.1	0.14	241.5	2.71
3) RMRS	25.3	0.10	251.0	2.82
5) RMNS ³⁾	22.7	0.14	296.8	3.33
7) RMS ³⁾	19.2	0.12	199.2	2.24
9) 00N ⁴⁾	28.8	0.08	268.0	3.01

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

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。また、細骨材にごみ熔融スラグと再生砂を用いた影響は見られなかった。

4.2 変位性状 図-4 に各試験体の荷重-変位曲線、図-5 に包絡線を示す。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。

RMRNS、RMRS の正負加力時の履歴に大きな差は認められず、再生砂の置換率による変化は認められなかった。また、正加力時の初期剛性に差は認められず、最大荷重でも大きな差は見られなかった。再生砂の置換率 25%の RMRNS、置換率 50%の RMRS は既往のごみ熔融

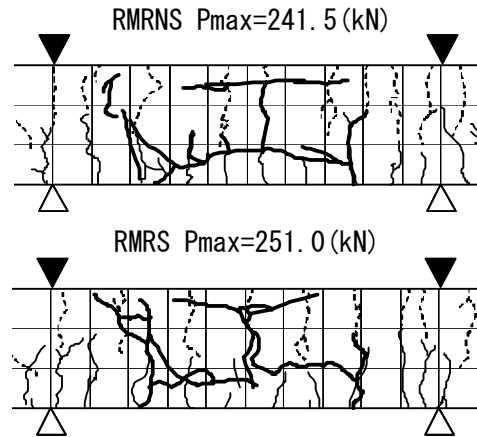


図-3 最終破壊形状 (RMRNS, RMRS)

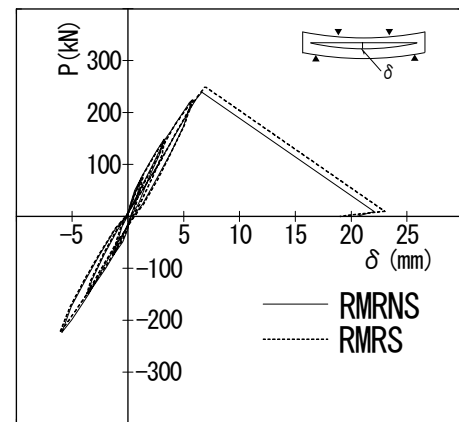


図-4 荷重-変位曲線

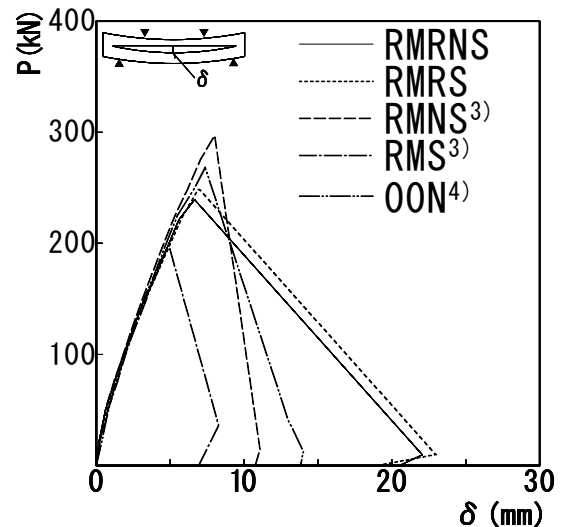


図-5 荷重-変位曲線(包絡線)

スラグの置換率 50%の RMNS、100%の RMS さらに普通コンクリートを使用した 00N と比較しても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。

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

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。再生砂の置換率を 25%とした RMRNS、50%とした RMRS の付着割裂強度は、同等であり再生砂の置換率による違いは見られなかった。また、既往の普通コンクリートである 00N と同等であった。しかし、既往のごみ溶融スラグの置換率を 50%とした RMNS と比較すると付着割裂強度は低下した。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⁷⁾、また再生砂を用いている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骨材を用いた鉄筋コンクリート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) ごみ溶融スラグを再生砂に置換した場合、フレッシュ性状に材料分離が認められたが材料分離低減剤(SFCA)を添加することで改善することができた。
- 2) 細骨材の置換率の違いが初期剛性に及ぼす影響について違いは認められなかった。
- 3) 材齢 5 週時の付着割裂強度は、再生砂の置換率を 25%とした場合、と置換率 50%の場合で違いが見られず、普通コンクリートと同等である。

現在、材齢 1 年経過時に載荷する試験体および暴露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再生砂の置換率の違いが付着性状に及ぼす影響について

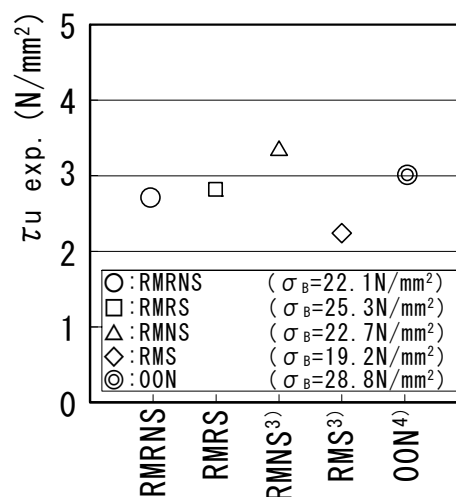


図-6 付着割裂強度

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。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。

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 18 年度実績)について，2008 年 11 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) 高橋幸裕，師橋憲貴，桜田智之：ごみ溶融スラグと中品質再生粗骨材を併用した 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
- 4) 師橋憲貴，桜田智之：再生コンクリートを用いた梁部材の付着割裂強度—横補強筋の効果と乾燥収縮ひび割れ—，日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)，2006 年 9 月，pp. 693-694
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 斉藤丈士，菅田雅裕，谷山教幸，池永博威：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