

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2 1年経過後の付着性状—

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 筆者らは産業廃棄物であるコンクリート塊から製造される再生骨材と一般廃棄物を溶融固化して製造されるごみ溶融スラグの有効利用を図るため、両者を併用し鉄筋コンクリート構造部材へ適用することで循環型社会の形成やごみの減量化に貢献できると考えた。そこで、昨年度の学術講演会では、再生細骨材とごみ溶融スラグを併用したコンクリートのフレッシュ性状と材齢5週時の付着性状を報告した¹⁾。その結果、ごみ溶融スラグの置換率を50%とし、再生細骨材の置換率を25%とした試験体および50%とした試験体では、付着割裂強度は同等であり再生細骨材の置換率の差異による影響は認められなかった。しかし、乾燥収縮を考慮した1年経過時の付着性状を検討することは耐久性の面から見て重要である。そこで本研究は材齢が1年経過した鉄筋コンクリート梁部材の乾燥収縮性状を把握するとともに付着性状について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、ごみ溶融スラグの置換率は50%とし、天然砂を再生細骨材で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、再生細骨材を置換することによる乾燥収縮を抑制させるため乾燥収縮低減

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ	骨材置換率	乾燥収縮低減剤	載荷時期
1) RMRNS ¹⁾	RMRNS	砕石 50%	無し	材齢5週
2) RMRNS1K		再生粗骨材 50%		1年経過後
3) A-RMRNS		ごみ溶融スラグ 50%	有り	材齢5週
4) A-RMRNS1K		天然砂 25%		1年経過後
5) RMRS ¹⁾	RMRS	再生細骨材 25%	無し	材齢5週
6) RMRS1K		砕石 50%		1年経過後
7) A-RMRS		再生粗骨材 50%	有り	材齢5週
8) A-RMRS1K		ごみ溶融スラグ 50%		1年経過後
9) RMNS ²⁾	RMNS	再生細骨材 50%	無し	材齢5週
10) RMNS1K ²⁾		砕石 50%		1年経過後
		ごみ溶融スラグ 50%		
11) RM ³⁾	RM	天然砂 50%	無し	材齢5週
12) RM1K ³⁾		再生粗骨材 50%		1年経過後
		天然砂 100%		

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

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
	ごみ溶融スラグ	2.82	2.83	61.3	0.38
RMNS ²⁾	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

剤を添加した試験体も同時に作製した。本研究は細骨材に使用した骨材の種類(天然砂、ごみ溶融スラグ、再生細骨材)や細骨材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シリーズおよびRMシリーズの

実験結果と比較検討を行った^{2)、3)}。

2.1 骨材の品質 表-2 に骨材の性質を、表-3 に調合表を示す。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 JIS A 5031⁴⁾ 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。

2.2 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、主筋は上端、下端とも 4-D19(SD345)を使用した。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、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. 乾燥収縮性状

3.1 乾燥収縮率 乾燥収縮率の測定は JIS A 1129-2(コンタクトゲージ法)⁵⁾ に準じて $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ の長さ変化試験体を作製した。長さ変化試験体は 1 シリーズにつき 3 本の試験体を作製し、コンクリート打設後 1 週間水中養生した後、湿度 $60\% \pm 5\%$ 、室温 $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ の恒温恒湿室保存とした。なお、乾燥収縮率は 3 本の平均値とした。図-3 に長さ変化試験体の乾燥収縮率を示す。ごみ熔融スラグの置換率を 50%とし、天然砂を再生細骨材で 25%置換した RMRNS シリーズは、50%置換した RMRS シリーズと比較して乾燥収縮率の低減が見られた。また、乾燥収縮低減剤を添加した試験体(A-RMRNS、A-RMRS)は添加していない試験体(RMRNS、RMRS)と比較して乾燥収縮率が低減された。RMRNS、RMRS と既往の RMNS を比較すると乾燥収縮率の増加がみられた。これは再生細骨材を置換したことにより吸水率が増加したためと考える。

3.2 乾燥収縮ひび割れの発生状況 図-4 に材齢 1 年経過時の乾燥収縮ひび割れの発生状況(側面)を例示する。再生細骨材を 25%置換

表-3 調合表

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

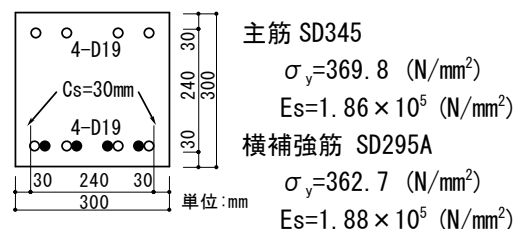


図-1 試験体断面

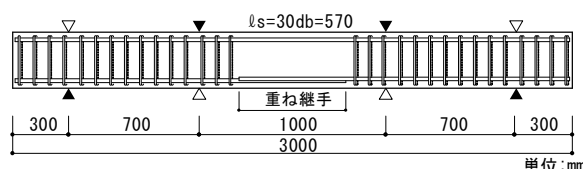


図-2 試験体形状

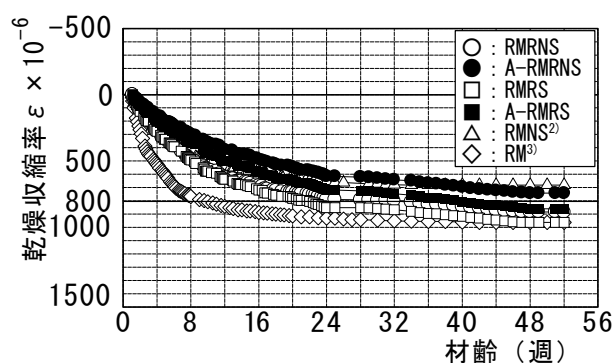


図-3 長さ変化試験体の乾燥収縮率

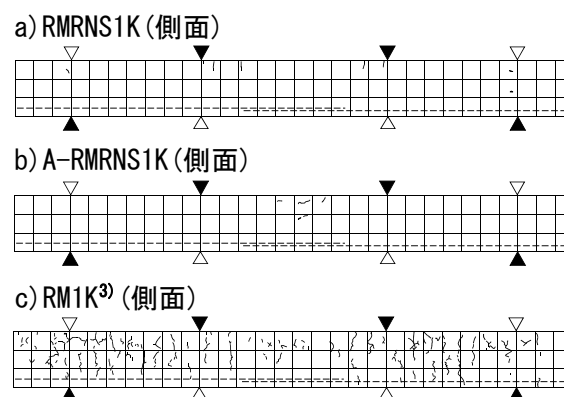


図-4 乾燥収縮ひび割れの発生状況 (材齢 1 年経過時)

し、乾燥収縮低減剤を添加していない RMRNS1K(a) 図)は材齢 12 週目に乾燥収縮ひび割れが打設面および側面に数本発生した。乾

乾燥収縮低減剤を添加した A-RMRNS1K (b) 図) は材齢 52 週目に乾燥収縮ひび割れが打設面および側面に数本発生し、乾燥収縮低減剤を添加していない RMRNS1K と比較し、乾燥収縮ひび割れの発生材齢に大きな差異が認められた。また、ごみ溶融スラグと再生細骨材を置換した試験体はごみ溶融スラグを置換していない既往の試験体 RM1K (c) 図) と比較して乾燥収縮ひび割れの発生が大幅に減少する傾向が見られた。これらは図-3 に示した乾燥収縮率の低減によるものと考える。

4. 実験結果

4.1 最終破壊形状 表-4 に実験結果一覧を示す。また、図-5 に最終破壊形状を例示する。最終破壊形状はごみ溶融スラグと再生細骨材を用いたことによる影響は見られず、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(a)図、b)図)。また、載荷前に発生していた乾燥収縮ひび割れの影響も認められなかった。

4.2 変位性状 図-6 および図-7 に各試験体の荷重-変位曲線を示す。加力は 2 点集中加力による正負繰返し载荷とし、荷重の制御は主筋の応力度が $\sigma_t = 100 \text{ N/mm}^2$ ずつ増加するように行った。また、変位は中央変位 δ を示した。ごみ溶融スラグの置換率を 50% とし、天然砂を再生細骨材で 25% 置換した RMRNS シリーズと 50% 置換した RMRS シリーズは図-6 a) と図-7 a) の実線で示す乾燥収縮低減剤を添加していない 1 年経過実験において正加力時の曲げ剛性が低下する傾向が認められた。一方、図-6 b) と図-7 b) の実線で示す乾燥収縮低減剤を添加した 1 年経過実験において正加力時の曲げ剛性の低下は若干緩和された。このことは乾燥収縮低減剤を添加したことにより梁部材のコンクリートの乾燥収縮が抑制されたためと考える。

表-4 実験結果一覧

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 $W_{\max}$ (mm)	最大荷重 $P_{\max}$ (kN)	付着割裂強度 $\tau_{u \text{ exp.}}$ (N/mm^2)
1) RMRNS ¹⁾	22.1	0.14	241.5	2.71
2) RMRNS1K	31.4	0.12	243.0	2.73
3) A-RMRNS	24.2	0.16	225.0	2.53
4) A-RMRNS1K	34.3	0.14	263.0	2.95
5) RMRS ¹⁾	25.3	0.10	251.0	2.82
6) RMRS1K	35.0	0.22	271.0	3.04
7) A-RMRS	27.7	0.10	251.0	2.82
8) A-RMRS1K	38.1	0.16	274.5	3.08
9) RMNS ²⁾	22.7	0.14	296.8	3.33
10) RMNS1K ²⁾	29.5	0.14	291.0	(3.27) ^{*1}
11) RM ³⁾	27.5	0.13	264.0	2.96
12) RM1K ³⁾	32.3	0.16	289.2	3.25

最大曲げひび割れ幅 $W_{\max}$ は $\sigma_t = 200 \text{ N/mm}^2$ ($P = 150 \text{ kN}$) 時
破壊形式は 10) RMNS1K を除いてすべて付着割裂破壊
*1 10) RMNS1K の $\tau_{u \text{ exp.}}$ 、曲げ降伏後の付着割裂破壊時
 $P = 291.0 \text{ (kN)}$ 、 $\delta = 10.85 \text{ (mm)}$

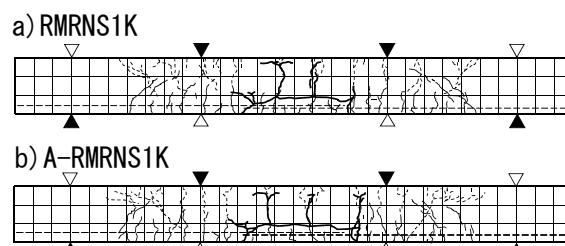
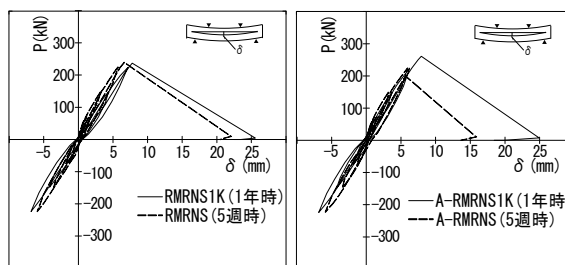
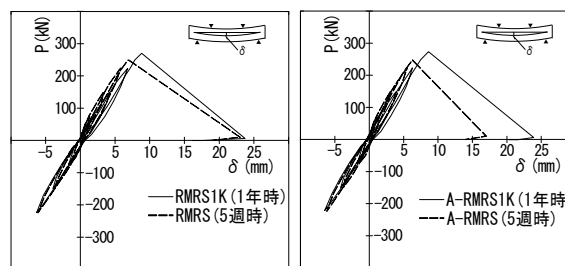


図-5 最終破壊形状



a) RMRNS (5 週、1 年) b) A-RMRNS (5 週、1 年)
図-6 荷重-たわみ曲線 (RMRNS シリーズ)



a) RMRS (5 週、1 年) b) A-RMRS (5 週、1 年)
図-7 荷重-たわみ曲線 (RMRS シリーズ)

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 ($N \cdot mm$)
 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-8 に付着割裂強度を示す。5 週時においてごみ溶融スラグの置換率を 50%とし、再生細骨材の置換率を 25%とした RMRNS および 50%とした RMRS の付着割裂強度は同等であり再生細骨材の置換率による違いは見られなかった。また、この 2 シリーズは 1 年経過時においても付着割裂強度は同等であった。このため、再生細骨材の置換率による違いが付着割裂強度に与える影響はほとんどないものと推察される。また、既往のごみ溶融スラグを置換していない RM、RM1K とも同等であった。しかし、乾燥収縮低減剤の有無について比較すると RMRS シリーズにおいて乾燥収縮低減剤を添加した試験体は添加していない試験体に比べ、コンクリート強度が上昇しているにもかかわらず付着割裂強度の上昇が見られなかった。再生細骨材を使用し、乾燥収縮低減剤を使用する場合には付着性状に留意する必要があると考える。

6. まとめ 再生細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 1 年経過後の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) ごみ溶融スラグを置換していない試験体と比較し、ごみ溶融スラグを置換した試験体は細骨材に再生細骨材を置換して用いても乾燥収縮ひび割れの発生が大幅に減少する傾向が見られた。
- 2) ごみ溶融スラグと再生細骨材を併用させた場合、1 年経過実験時において正加力時の曲げ剛性は再生細骨材の置換率の差異によらず、5 週実験時に比べ低下する傾向が認められた。
- 3) 5 週時および 1 年経過時の付着割裂強度は

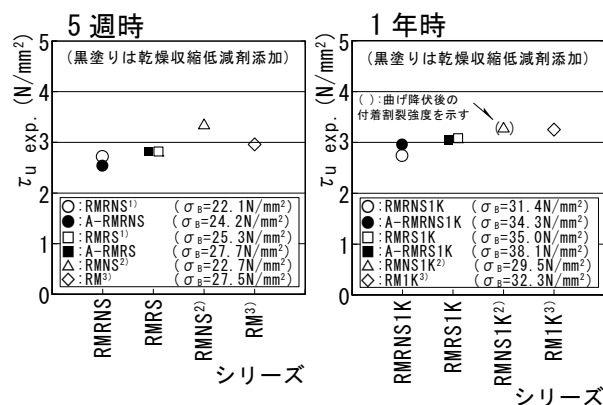


図-8 付着割裂強度

再生細骨材の置換率を 25%とした RMRNS および 50%とした RMRS は同等であり再生細骨材の置換率による違いは見られなかった。

現在、材齢 2 年経過時に実験を行う試験体を保存している。今後はより長期的な材齢における乾燥収縮を考慮した付着性状について検討を行う必要があると考える。

謝辞

本研究は文部科学省、平成 20 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」(研究代表者:土木工学科教授 木田哲量)の一環として行われたものであり、関係各位に感謝の意を表します。また、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、混和剤メーカー F 社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。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 島田崇弘, 師橋憲貴, 桜田智之: 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—日本大学生産工学部第 42 回学術講演会, 2009 年 12 月, pp. 33-36
- 2) 島田崇弘, 師橋憲貴, 桜田智之: ごみ溶融スラグと再生粗骨材を併用した RC 梁部材の構造特性に関する実験研究—その 2 材齢 1 年経過後の乾燥収縮性状—日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 2009 年 8 月, pp. 241-242
- 3) 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—乾燥収縮性状と付着性状—, 日本大学生産工学部第 40 回学術講演会, 2007 年 12 月, pp. 35-38
- 4) 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
- 5) 日本工業規格: JIS A 1129 (モルタル及びコンクリートの長さ変化試験方法—第 2 部: コンタクトゲージ方法), 2001 年 6 月