

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3 5年間屋外暴露時の付着特性－

日大生産工（院） ○児玉 健太郎
日大生産工 師橋 憲貴

1 はじめに

平成22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材齢1年経過時の付着性状を報告した¹⁾。結果として、付着割裂強度は材齢5週経過時及び材齢1年経過時ともに再生細骨材と普通細骨材の置換率による差異は見られなかった。そこで本研究で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するため、材齢が5年経過した鉄筋コンクリート梁部材の乾燥収縮性状及び付着性状について検討したものである。

2 実験概要

表－1に梁部材の試験体詳細一覧を示す。

本実験で用いた再生骨材コンクリートは、普通粗骨材を中品質再生粗骨材で50%置換し、細骨材に溶融スラグ50%、再生細骨材25%、天然砂25%としたRMRNSシリーズ、溶融スラグ50%、再生細骨材50%としたRMRSシリーズの2種類とした。本研究は細骨材に使用した骨材の種類や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シリーズ及びRMシリーズの材齢5週及び材齢1年時で

の実験結果と比較検討した²⁾³⁾。これらの梁部材は実験室内の常温の状態で気中に保存した。RMRNSシリーズ及びRMRSシリーズでは材齢5年の屋外暴露を試みた。

表－1 試験体詳細

試験体名	載荷時期	置換率 (%)		
		普通細骨材	再生細骨材	溶融スラグ
1) RMRNS	材齢5週	25	25	50
2) RMRNS1K	材齢1年			
3) RMRNS5E	材齢5年			
4) RMRS	材齢5週	0	50	50
5) RMRS1K	材齢1年			
6) RMRS5E	材齢5年			
7) RMNS ²⁾	材齢5週	50	0	50
8) RMNS1K ²⁾	材齢1年			
9) RM ³⁾	材齢5週	100	0	0
10) RM1K ³⁾	材齢1年			

置換率：普通粗骨材 50% 再生粗骨材50%

2.1 試験体形状 図－1に試験体断面、図－2に試験体形状を示す。試験体は梁部材中央の下端に重ね継手を設けた単純梁形式として付着割裂実験を行った。梁部材の幅は300mmと共通にし、側面および底面に対する主筋表面からのかぶり厚さは30mm(1.6d_b)と一定にした。主筋は上端・下端ともに4-D19(SD345)を使用した。また、重ね継手長さは30d_b(570mm)と一定にした。

Fundamental Study on Structure Characteristic of Reinforced Concrete Beams
with Melt-solidified Slag Aggregate and Middle Quality Recycled Aggregate
－ Part.3 Field-exposed Bond Properties at Five Years －

Kentarou KODAMA, Noritaka MOROHASHI

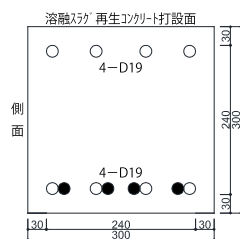


図-1 試験体断面

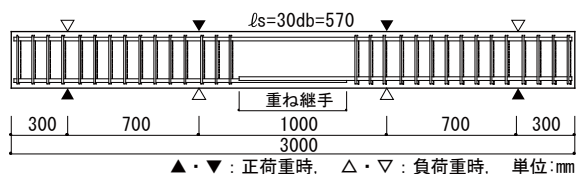


図-2 試験体形状

2.2 骨材の品質 表-2 に使用した骨材の品質を示す。再生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再生骨材である。溶融スラグは 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。

表-2 骨材の品質

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	普通粗骨材	2.69	2.71	61.3	0.84
	再生粗骨材	2.36	2.47	61.0	4.90
	普通細骨材	2.53	2.58	68.0	2.15
	再生砂	2.02	2.24	74.6	10.79
	溶融スラグ	2.82	2.83	61.3	0.38
RMNS ²⁾	普通粗骨材	2.72	2.74	63.8	0.77
	再生粗骨材	2.33	2.46	61.8	5.40
	普通細骨材	2.54	2.59	66.2	2.05
	溶融スラグ	2.82	2.83	61.3	0.38

2.3 調合 本実験で用いた再生骨材コンクリートについて表-3 に調合表を示す。本実験ではスランプ $18\pm 2.5\text{cm}$ 、空気量 $4.5\pm 1.5\%$ を目標とし、コンクリート硬化後 28 日において圧縮強度が 21N/mm^2 程度になるよう試し練りを行い、調合を決定した。

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)⁶⁾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 $20\pm 2^\circ\text{C}$ の恒温恒湿室保存とした。図-3 に長さ変化試験体の乾燥収縮率を示す。RMRNS 及び RMRS の乾燥収縮率は材齢 5 週で 500×10^{-6} 程度を示し、その後材齢 1 年まで緩やかに値が増加して 800×10^{-6} を超える程度となった。

材齢約 1 年半位まで測定を継続したが、乾燥収縮率の値の増加は僅かで材齢 5 年でも値はさほど変化しなかった。2 シリーズとも乾燥収縮率は 800×10^{-6} を超え、乾燥収縮率の制限値の目安とされる値を上回っている。これは吸水率の高い再生細骨材の使用が要因と考える。また RMRS□は RMRNS○と比較して乾燥収縮率の増加が認められた。これは再生細骨材の使用量を多くしたためと考える。既往の RMNS◇は RMRNS○、RMRS□と比較すると乾燥収縮率の減少が見られた。これは RMNS で再生細骨材を使用しなかったことが影響したと考える。

表-3 調合表

シリーズ	W/C (%)	単位質量 (kg/m^3)			
		W	C	細骨材	
RMRNS	59.6%	184	309	普通細骨材	溶融スラグ
				212	464
RMRS	57.5%	184	320	再生砂	溶融スラグ
				368	459

普通粗骨材: $473(\text{kg/m}^3)$ 再生粗骨材: $425(\text{kg/m}^3)$

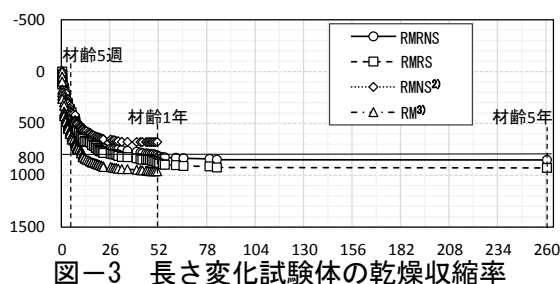


図-3 長さ変化試験体の乾燥収縮率

3.2 乾燥収縮ひび割れの発生状況 図-4

に材齢 5 年の乾燥収縮ひび割れの発生状況を示す。RMRNS5E 及び RMRS5E どちらも微細なひび割れが多数発生したが、ポップアウトなど、コンクリートの表面が剥がれ落ちるような現象は発生していない。乾燥収縮ひび割れ幅は材齢 260 週目に RMRNS5E で 0.09mm、RMRS5E で 0.08mm を記録した。これらのひび割れ幅の大きさは耐久設計施工指針(案)に示される許容ひび割れ幅 0.3mm⁶⁾を下回っており、乾燥収縮ひび割れが耐久性に影響を及ぼすようなひび割れ幅ではないものとする。

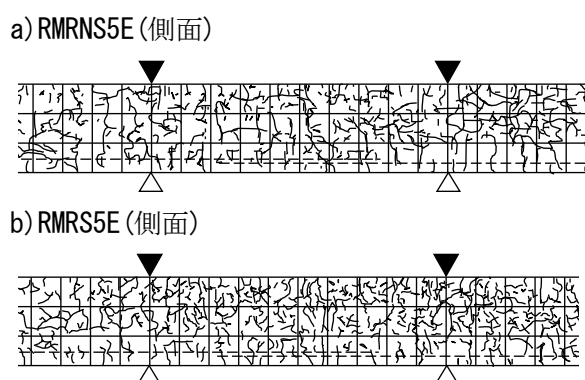


図-4 乾燥収縮ひび割れ発生状況
(材齢 5 年経過時)

4 実験結果

4.1 最終破壊形状 表-4 に実験結果一覧を、図-5 に最終破壊形状を示す。実験は重ね継手区間が純曲げ区間となるように、正負繰り返しの付着割裂実験を行った。全梁部材とも、引張側下縁から曲げひび割れが発生し、荷重を上昇させると共に圧縮側に曲げひび割れが進展した。その後、継手端部に発生した付着ひび割れが順次継手内部に進展し、最終的には付着割裂破壊を起こした。置換率及び材齢

が異なる梁部材の側面のひび割れの発生状況は違いが認められず、全ての梁部材でサイドスプリット型の付着割裂破壊となった。

表-4 実験結果一覧

試験体名	載荷時期	σ_B (N/mm ²)	P_{max} (kN)	W_{max} (mm)	$\tau_{u\ exp.}$ (N/mm ²)
1) RMRNS	材齢5週	22.1	241.5	0.14	2.71
2) RMRNS1K	材齢1年	31.4	243.0	0.20	2.73
3) RMRNS5E	材齢5年	32.5	270.2	0.14	3.03
4) RMRS	材齢5週	25.3	251.0	0.10	2.82
5) RMRS1K	材齢1年	35.0	271.0	0.22	3.01
6) RMRS5E	材齢5年	35.7	288.5	0.18	3.24
7) RMNS ²⁾	材齢1年	22.7	296.8	0.14	3.33
8) RMNS1K ²⁾	材齢5年	29.5	291.0	0.14	3.27
9) RM ³⁾	材齢1年	27.5	264.0	0.13	2.96
10) RM1K ³⁾	材齢5年	32.3	289.2	0.16	3.25

σ_B : コンクリート圧縮強度 P_{max} : 最大荷重

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

$\tau_{u\ exp.}$: 付着割裂強度

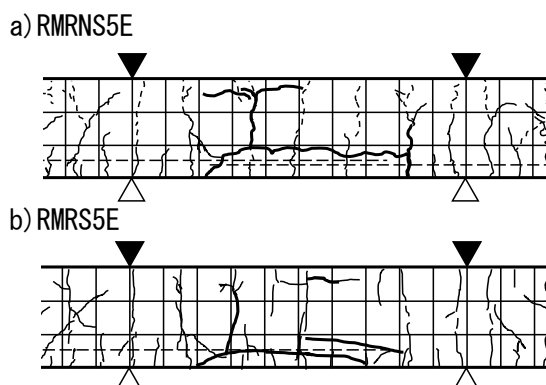


図-5 最終破壊形状

4.2 変位性状 図-7 に正加力時の荷重-たわみ曲線の包絡線を示す。2 シリーズとも主筋長期許容応力度時 ($\sigma_t=200\text{N/mm}^2$, $P=150\text{kN}$) の曲げ剛性を初期剛性として材齢 5 週, 材齢 1 年, 材齢 5 年の 3 梁部材を比較すると若干の差異は見られるが屋外暴露した材齢 5 年であっても初期剛性は低下することなく材齢 5 週, 材齢 1 年の梁部材と同等以上となった。

図-4 に示したように材齢 5 年では微細な乾燥収縮ひび割れの発生が認められたが、付着割裂実験時の初期剛性にはさほど影響を及ぼさなかったとも考える。

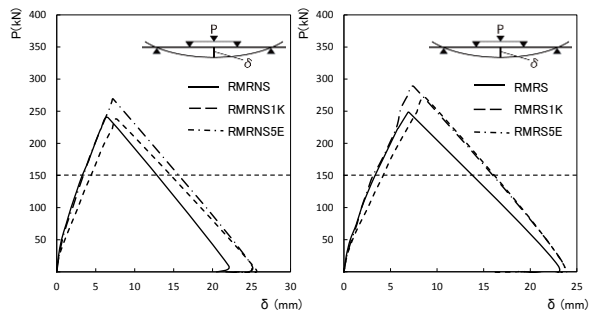


図-7 荷重-たわみ曲線(包絡線)

4.3 付着割裂強度 図-8に式(1)より求めた付着割裂強度を示す。各シリーズは材齢5週、材齢1年および屋外暴露の材齢5年において付着割裂強度は 3.00N/mm^2 程度で同等であった。このため、再生細骨材の置換率および材齢による違いが付着割裂強度に与える影響は少ないものとする。

式(1) 付着割裂強度算定式

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

ここで、 M_u ：最大曲げモーメント ($\text{N} \cdot \text{mm}$)
 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 (30d, 570mm)

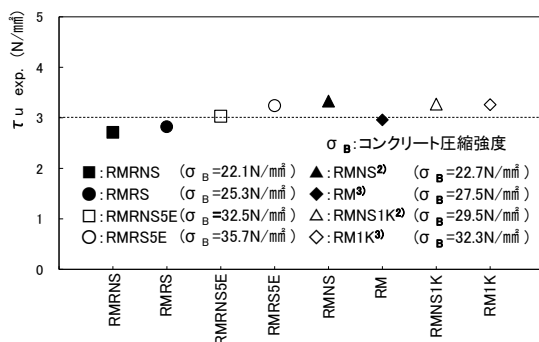


図-8 付着割裂強度

5 まとめ

再生細骨材と溶融スラグを併用した再生骨材コンクリート梁部材の付着割裂強度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) 屋外暴露による乾燥収縮ひび割れは微細なひび割れが多数発生したが、その幅は耐久設計指針に定められる値を下回っていた。屋外暴露による乾燥収縮ひび割れは耐久性上の支障がないことが認められた。
- 2) 屋外暴露した梁部材の初期剛性は材齢5週の梁部材と比較しても同等以上であり顕著に低下するようなことは認められなかった。
- 3) 付着割裂強度は再生細骨材の置換率、材齢による影響はほとんど認められなかった。

謝辞

習志野市芝園清掃工場には溶融スラグの使用を快諾して頂きました。再生コンクリートの打設にあたって、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大変お世話になりました。関係各位に記して感謝の意を表します。

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2 1年経過後の付着特性－日本大学生産工学部第43回学術講演会，2010年12月，pp.101－104
- 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) 渡辺信吾，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 A5031 一般廃棄物，下水汚泥又はそれらの焼却灰を溶融固定化したコンクリート用溶融スラグ骨材，2010年7月20日改正
- 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
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説，2004年