

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 4 乾燥収縮低減剤の効果 —

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

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屋外暴露した材齢5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および再生細骨材と普通細骨材の置換率の違いによる影響は認められなかったが、乾燥収縮率は 800×10^{-6} を超え、再生細骨材を使用したことにより大きい値となった。そこで本報告では、乾燥収縮を抑制することを目的として乾燥収縮低減剤を添加した試験体を作製し、乾燥収縮低減剤が乾燥収縮性状および付着性状に与える影響について検討した。

2 実験概要

2.1 試験体のシリーズ 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、細骨材には溶融スラグ50%、再生細骨材25%、普通細骨材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。また、両シリーズでは乾燥収縮低減剤を添加したA-RMRNSシリーズと添加しないA-RMRSシリーズを作製し、計4種類とした。本報告で使用した乾燥収縮低減剤は、コンクリート強度が消泡作用のため上昇するという特徴のあるグリコールエーテル系の乾燥収縮低減剤を使用した。本報告での乾燥収縮低減剤使用量は 10kg/m^3 の割合で投入した。これらの梁部材は材齢5週および材齢1年までの試験体は実験室内に常温の状態状態で気中に保存し、材齢5年の試験体では屋外暴露を試みた。

表-1 試験体詳細

試験体名	載荷時期	乾燥収縮低減剤	置換率
1) RMRNS	材齢5週	無し	普通粗骨材 : 50% 再生粗骨材 : 50% 普通細骨材 : 25% 再生細骨材 : 25% 溶融スラグ : 50%
2) A-RMRNS		有り	
3) RMRNS1K		無し	
4) A-RMRNS1K	材齢1年	有り	
5) RMRNS5E		無し	
6) A-RMRNS5E	材齢5年	有り	
7) RMRS	材齢5週	無し	普通粗骨材 : 50% 再生粗骨材 : 50% 普通細骨材 : 0% 再生細骨材 : 50% 溶融スラグ : 50%
8) A-RMRS		有り	
9) RMRS1K		無し	
10) A-RMRS1K	材齢1年	有り	
11) RMRS5E		無し	
12) A-RMRS5E	材齢5年	有り	

2.2 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(1.6 d_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30 d_b (570mm)と一定にした。

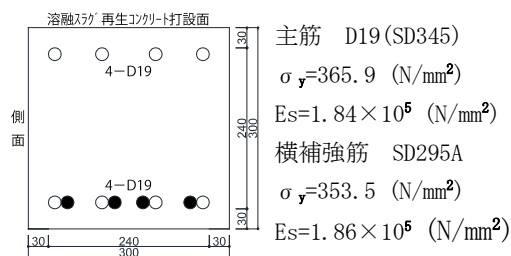


図-1 試験体断面

Fundamental Study on Structure Characteristic of Reinforced Concrete Beams with Melt-solidified Slag Aggregate and Middle Quality Recycled Aggregate

— Part.4 Effect of Drying Shrinkage Reducing Agent —

Kentarou KODAMA and Noritaka MOROHASHI

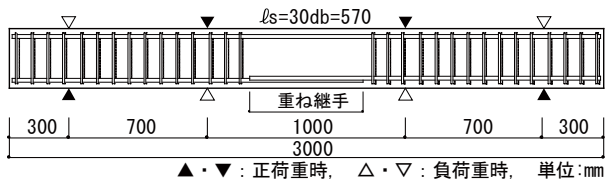


図-2 試験体形状

2.3 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 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。

2.4 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)³⁾ 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 (図中の○印) および RMRS (図中の□印) 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。A-RMRNS (図中の●印) および A-RMRS (図中の■印) の乾燥収縮率は材齢 5 週で 200×10^{-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 A-RMRS では 800×10^{-6} 程度となり、A-RMRNS では 700×10^{-6} 程度となった。全てのシリーズで材齢約 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。RMRNS および RMRS 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。乾燥収縮低減剤を添加した A-RMRNS および A-RMRS では添加していない RMRNS および RMRS と比較して乾燥収縮率の値の低下が認められた。これにより乾燥収縮低減剤を添加することにより乾燥収縮率が改善されることが認められる。

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

表-3 調合表

シリーズ	W/C (%)	単位質量 (kg/m^3)				
		W	C	細骨材		溶融スラグ
RMRNS	59.6%			184	309	
		212	186			
RMRS	57.5%	184	320	再生砂		溶融スラグ 459
				368		

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

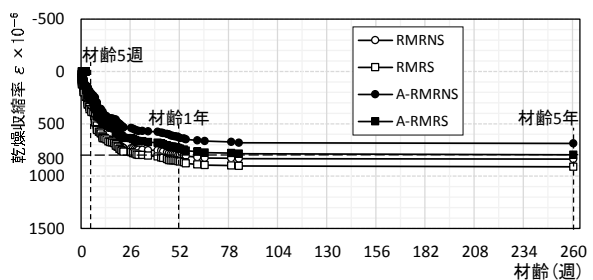


図-3 長さ変化試験体の乾燥収縮率

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。材齢 5 年の試験体全てで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 130 週目まで測定し、その後ひび割れの増加に伴い測定不能となった。材齢 130 週目の乾燥収縮ひび割れ幅は RMRNS5E で 0.08mm 、RMRS5E で 0.08mm 、A-RMRNS5E で 0.12mm 、A-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 0.3mm ⁴⁾ 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。

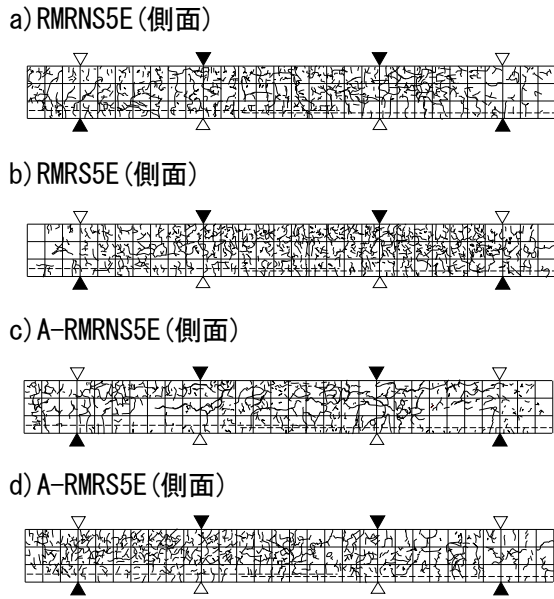


図-4 乾燥収縮ひび割れ発生状況
(材齢5年経過時)

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。置換率および材齢、乾燥収縮低減剤の有無によるひび割れの発生状況に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) A-RMRNS		24.2	225.0	0.16	2.53
3) RMRNS1K	材齢1年	31.4	243.0	0.12	2.73
4) A-RMRNS1K		34.3	263.0	0.14	2.95
5) RMRNS5E	材齢5年	32.5	270.2	0.14	3.03
6) A-RMRNS5E		32.5	278.7	0.20	3.13
7) RMRS	材齢5週	25.3	251.0	0.10	2.82
8) A-RMRS		27.7	251.0	0.10	2.82
9) RMRS1K	材齢1年	35.0	271.0	0.22	3.04
10) A-RMRS1K		38.1	274.5	0.16	3.08
11) RMRS5E	材齢5年	35.7	288.5	0.18	3.24
12) A-RMRS5E		40.2	275.0	0.16	3.09

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 $\sigma_t=200N/mm^2$ ($P=150kN$) 時
 $\tau_{u exp.}$: 付着割裂強度

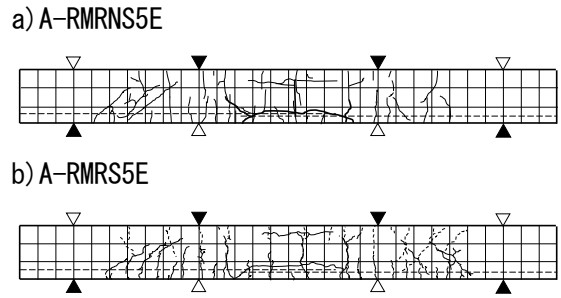


図-5 最終破壊形状

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。全シリーズで主筋長期許容応力度時 ($\sigma_t=200N/mm^2$, $P=150kN$) 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。

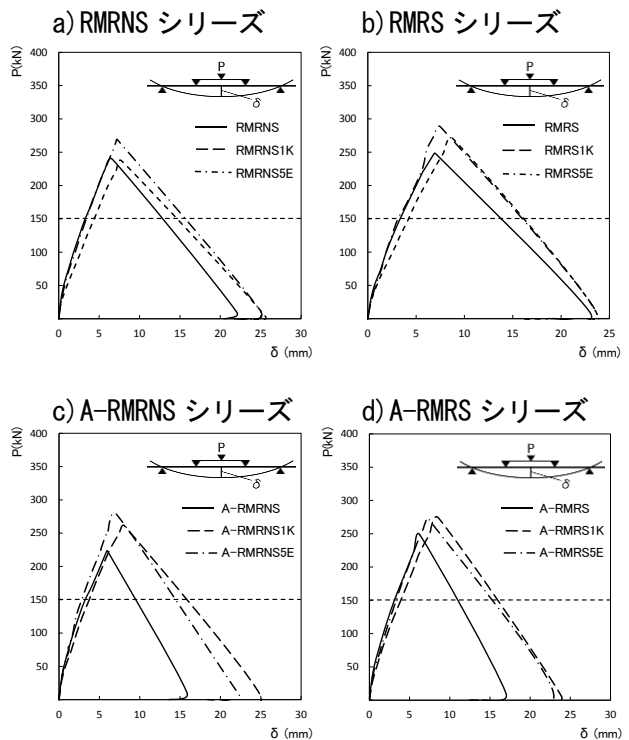


図-7 荷重-たわみ曲線(包絡線)

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

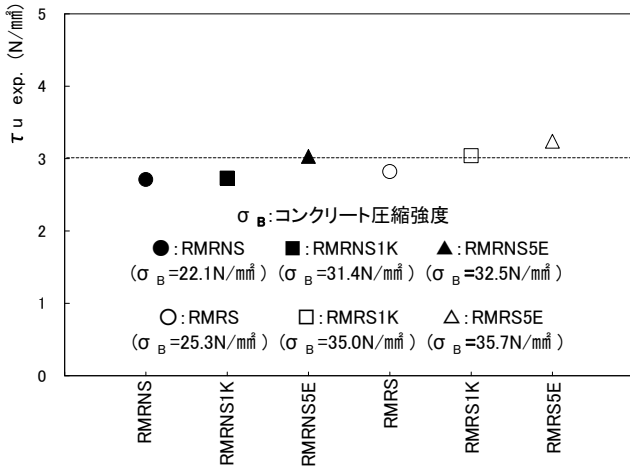
いて付着割裂強度は 3.00N/mm²程度で同等であった。このため、再生細骨材の置換率および材齢、乾燥収縮低減剤の有無による違いが付着割裂強度に与える影響は少ないものと考ええる。

式(1) 付着割裂強度算定式

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

ここで、Mu：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)
ls：重ね継手長さ (30db 570mm)

a) RMRNS・RMRS シリーズ



b) A-RMRNS・A-RMRS シリーズ

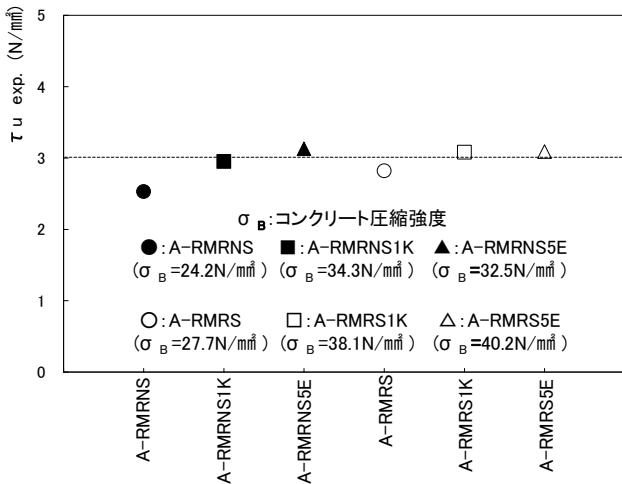


図-8 付着割裂強度

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乾燥収縮低減剤の効果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) 乾燥収縮率は乾燥収縮低減剤を添加したことにより値が低下し、乾燥収縮率の改善が認められた。
- 2) 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。
- 3) 屋外暴露した梁部材の初期剛性は乾燥収縮低減剤を添加しても材齢5週の梁部材と比較して同等であり顕著に低下するようなことは認められなかった。
- 4) 付着割裂強度は再生細骨材の置換率および材齢、乾燥収縮低減剤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) 児玉健太郎, 師橋憲貴: 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—, 日本大学生産工学部第49回学術講演会, 2016年12月, pp.31-34
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 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