

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 -

日大生産工 (院) ○渡辺 真悟
 日大生産工 師橋 憲貴
 日大生産工 桜田 智之

1. はじめに 筆者らは中品質再生骨材を使用した再生コンクリートに発生する乾燥収縮ひび割れの抑制を目的として、普通骨材と再生骨材の混合使用に着目し、再生細粗骨材の置換率が異なる鉄筋コンクリート梁について検討を行ってきた。昨年度の学術講演会では基礎的段階として、普通骨材と中品質再生骨材を混合使用した再生コンクリートに乾燥収縮ひび割れが発生していない場合の付着性状を報告した¹⁾。その結果、付着割裂強度は中品質再生粗骨材および再生砂を混合使用しても差異は認められず、既往の実験結果^{2), 3)}と同等であった。しかし、乾燥収縮ひび割れが発生した状態の下で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年に達して乾燥収縮ひび割れが発生した鉄筋コンクリート梁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、表-2 に調合表を示す。本研究で使用した再生コンクリートは、粗骨材に碎石と中品質再生粗骨材を50%ずつ混合使用したRMシリーズ、さらに細骨材に天然砂と再生砂を50%ずつ混合使用したRMMシリーズの2シリーズとした。なお、RMMシリーズは再生骨材の製造時に大量に発生する再生砂の有効活用を考慮するため再生砂と天然砂の混合を試みたものである。

表-3 に骨材の品質を示す。本実験で用いた

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ 置換率	載荷時期
1) RM ¹⁾	RMシリーズ	材齢5週
	碎石 50% 再生粗骨材 50%	
2) RM1K	天然砂 100% 再生砂 0%	1年時
	RMMシリーズ	
3) RMM ¹⁾	碎石 50% 再生粗骨材 50%	材齢5週
	天然砂 50% 再生砂 50%	
4) RMM1K	天然砂 50% 再生砂 50%	1年時
	Nシリーズ	
5) 00N ²⁾	碎石 100% 再生粗骨材 0%	材齢5週
	天然砂 100% 再生砂 0%	
6) 00NK ²⁾	天然砂 100% 再生砂 0%	1年時
	Rシリーズ	
7) R ³⁾	碎石 0% 再生粗骨材 100%	材齢5週
	天然砂 100% 再生砂 0%	
8) RK ³⁾	天然砂 100% 再生砂 0%	1年時

重ね継手長さ $l_s=30d_b=570$ (mm) 共通
^{1), 2), 3)}: 参考文献で発表の試験体を示す。

表-2 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	
RM	65.0	180	277	天然砂		碎石	再生粗骨材
				816	503	455	
RMM	65.0	184	307	天然砂	再生砂	碎石	再生粗骨材
				415	362	477	432

表-3 骨材の品質

シリーズ	骨材	絶乾密度 (g/cm ³)	実積率 (%)	吸水率 (%)
RM	碎石	2.70	61.5	0.60
	再生粗骨材	2.37	62.5	4.58
RMM	天然砂	2.54	66.7	1.96
	再生砂	2.08	72.0	9.53

再生粗骨材は、JIS A 5022 の再生骨材Mを用いたコンクリート⁴⁾ に規格される絶乾密度

Reinforced Concrete Beams with Normal Aggregate
 and Middle Quality Recycled Aggregate combined
 -Drying Shrinkage Properties and Bond Properties-

2. $3\text{g}/\text{cm}^3$ 以上、実積率 55%以上、吸水率 5.0%以下を満たした中品質再生粗骨材である。一方、再生砂はJIS A 5023 の再生骨材Lを用いたコンクリート⁵⁾に規格される吸水率 13.0%以下を満たしており、低品質再生細骨材に分類される。図-1 に試験体断面を、図-2 に試験体形状を示す。試験体形状は付着性状を検討するため純曲げ区間の下端に重ね継手を 30dbとして設けた単純梁形式とし、サイドスプリット型の付着割裂破壊を想定した。また、主筋は上端と下端とも 4-D19 とし、曲げ降伏に対して継手部の破壊が先行するようにした。

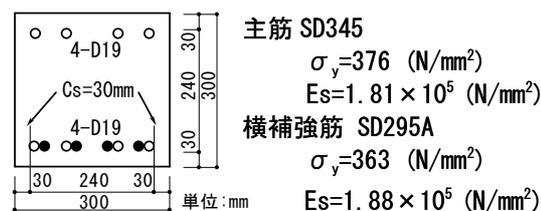


図-1 試験体断面

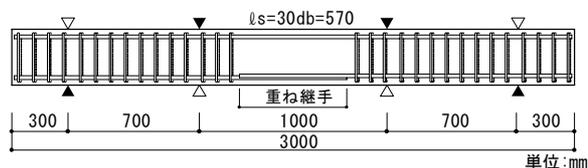


図-2 試験体形状

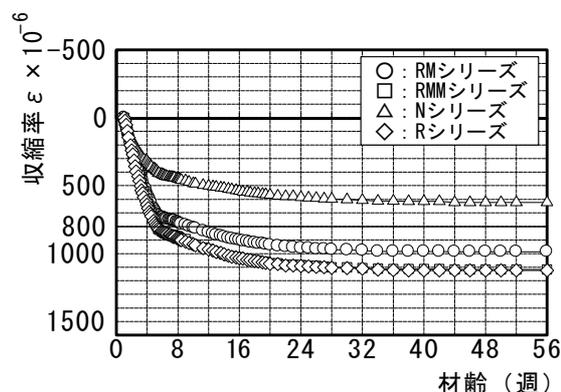


図-3 長さ変化試験体の乾燥収縮率

3. 乾燥収縮性状

3.1 乾燥収縮率 図-3 に長さ変化試験体の乾燥収縮率を示す。各シリーズの乾燥収縮率は鉄筋コンクリート梁の打設時に用いたコンクリートと同じ調合で作製した長さ変化試験体を用いて検討したものである。材齢 1 年時の中品質再生粗骨材を 50%混合使用したRMシリーズの乾燥収縮率は、既往の研究³⁾を基に調合を行った中品質再生粗骨材のみ使用したRシリーズの乾燥収縮率より約 130×10^{-6} 程低減した。また、再生砂を 50%混合使用したRMMシリーズの乾燥収縮率は乾燥開始後からRシリーズと同等な傾向を示し、ともにRMシリーズと比べ乾燥収縮率は大きい値を示した。このことから、吸水率の高い再生砂と天然砂を混合使用した場合の乾燥収縮率は再生砂の影響により中品質再生粗骨材のみ使用した場合と同等な乾燥収縮性状となったものと考える。

3.2 乾燥収縮ひび割れの発生状況 図-4 に材齢 1 年時の乾燥収縮ひび割れの発生状況を例示する。RM1Kの乾燥収縮ひび割れの発生状況は既往の中品質再生粗骨材のみ使用したRK³⁾に比べ抑制される傾向が見られており、乾燥収縮率と同様な傾向を示した。また、RMM1Kの乾燥収縮ひび割れの発生状況は乾燥収縮率がRシリーズと同等であったにもかかわらず

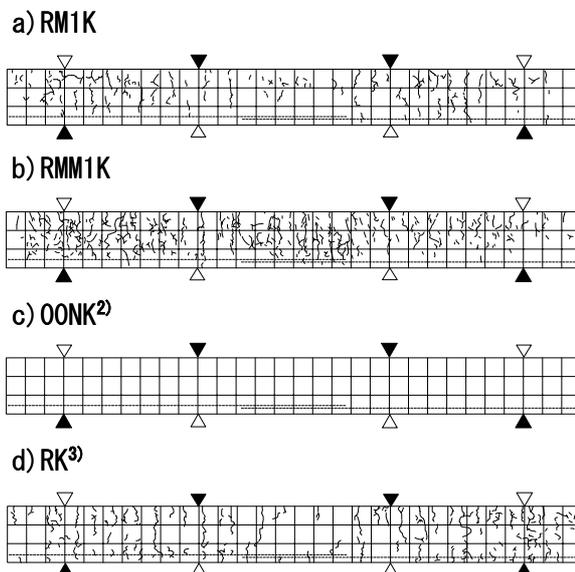


図-4 乾燥収縮ひび割れの発生状況 (材齢 1 年時)

他の試験体に比べ乾燥収縮ひび割れが多く発生した。このことから、再生砂を混合使用した場合は乾燥収縮率と乾燥収縮ひび割れの発

生状況の傾向に相違のあることが確認された。

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 に材齢 1 年時の最終破壊形状を例示する。
 RM1K の最終破壊形状は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
 型の付着割裂破壊となった。RMM1K では付着
 割裂破壊が発生する前に曲げ降伏が先行し、
 その後付着割裂破壊を生じた。

4.2 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

図-6 に主筋長期許容応力度時の最大曲げ
 ひび割れ幅 W_{max} を示す。乾燥収縮ひび割れが
 発生した材齢 1 年時の再生骨材を混合使用し
 た RM1K、RMM1K の W_{max} は材齢 5 週時の RM、RMM
 と比較するとほぼ同等であった。また、粗骨
 材に中品質再生粗骨材をすべて使用した RK³⁾
 の W_{max} と比較しても同等であった。このこと
 から、普通骨材と再生骨材を混合使用した
 ことによる W_{max} の差異は認められなかった。な
 お、RM1K と RMM1K の最大曲げひび割れ幅を示し
 たひび割れは载荷後に新規に発生したひび割
 れであり、既に発生していた乾燥収縮ひび割
 れが進展したひび割れではなかった。各試験
 体の W_{max} は RC 規準⁶⁾ のひび割れ制限目標値
 である 0.25mm 以内となった。

4.3 変位性状 図-7 に材齢 1 年時の各シリー
 ズの荷重-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。変位は試験体中央の相対変位
 δ を測定した。RM1K、RK³⁾、さらに普通コン
 クリートを使用した OONK²⁾ は正加力時に付着
 割裂破壊を起こし、その後耐力が低下した。
 一方、RMM1K は曲げ降伏が先行し変位約 15mm
 過ぎに付着割裂破壊が発生し耐力が低下した。
 これは、RMM1K はコンクリート強度が RM1K に比
 べて若干高く、曲げ降伏耐力に対して保有す
 る付着耐力に余裕があったためと考える。

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)	破壊 形式
1) RM ¹⁾	27.5	0.13	264.0	2.96	S
2) RM1K	32.3	0.16	289.2	3.26	S
3) RMM ¹⁾	28.1	0.12	292.8	3.29	S
4) RMM1K	32.9	0.20	298.6	(3.35) ^{*1}	FS
5) OONK ²⁾	28.8	0.08	268.0	3.01	S
6) OONK ²⁾	37.6	0.10	323.8	3.63	S
7) R ³⁾	27.5	0.16	231.5	2.60	S
8) RK ³⁾	32.5	0.14	260.2	2.92	S

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

S : 付着割裂破壊 FS : 曲げ降伏後の付着割裂破壊

*1 RMM1K の曲げ降伏後の付着割裂破壊時 $P = 298.6\text{ (kN)}$, $\delta = 15.43\text{ (mm)}$

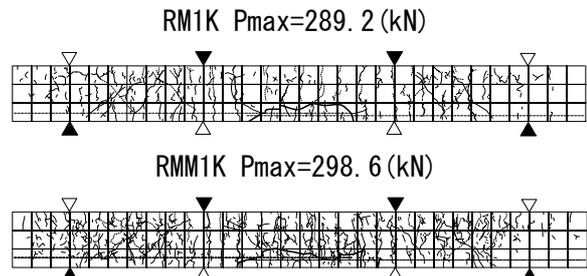


図-5 最終破壊形状 (RM1K, RMM1K)

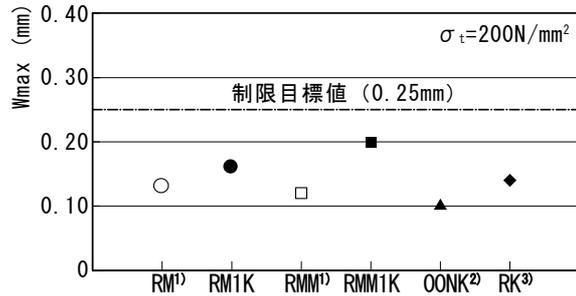


図-6 主筋長期許容応力度時の
 最大曲げひび割れ幅

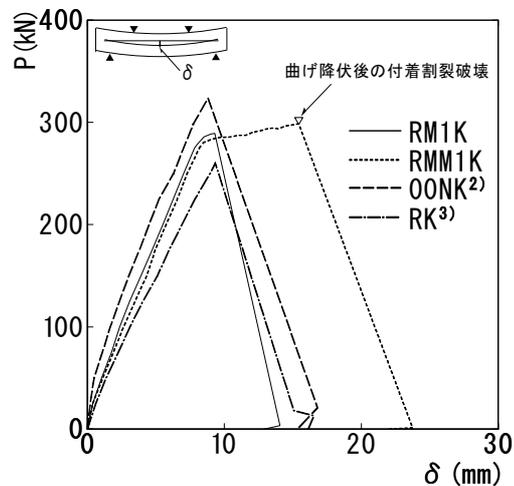


図-7 荷重-変位曲線(包絡線)

RM1K、RMM1Kの正加力時の初期剛性には差は認められず、既往の 00NK²⁾とRK³⁾の中間を示した。これは、粗骨材に碎石と中品質再生粗骨材を混合使用したことにより碎石のみの場合と中品質再生粗骨材のみの場合を平均した剛性を示したものと考える。

5. 付着性状 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 (30d₀ 570mm)

図-8 に付着割裂強度を示す。ここで、RMM1Kの付着割裂強度は曲げ降伏後の変位の増加に対して荷重の増加が僅かであったので付着割裂破壊発生時の荷重を用いて算出した。材齢1年時のRM1K、RMM1Kの付着割裂強度は、5週時のRM、RMMに比べ僅かに上昇した。これは、圧縮強度が5週時と比較するとRMシリーズ、RMMシリーズとも17%程度増加したためと考える。また、RM1KとRMM1Kの付着割裂強度は既往のRK³⁾に比較して若干高く、普通骨材と再生骨材の混合使用に伴い、再生骨材よりも骨材強度が高いと思われる普通骨材の付着性状に対する効果が影響したものと考える。

6. まとめ 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の乾燥収縮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) 材齢1年時における乾燥収縮率は碎石と中品質再生粗骨材を混合使用した場合は中品質再生粗骨材のみを用いた場合に比べ低減する傾向を示した。
- 2) 普通骨材と再生骨材の混合使用により付着割裂強度は中品質再生粗骨材のみを用いた場合に比べ若干高くなった。

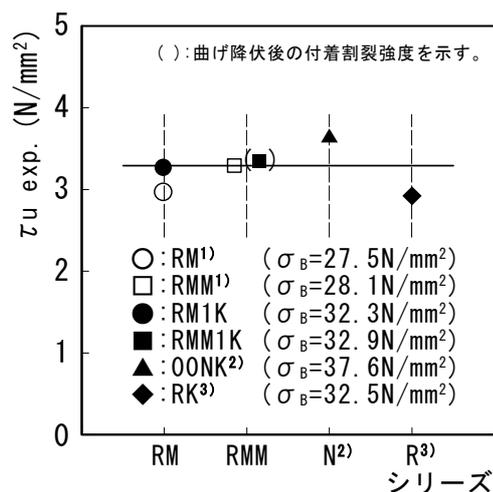


図-8 付着割裂強度

今後は2年間の保存を計画した試験体のさらに長期的な乾燥収縮性状を観察し、耐久性を考慮した付着性状について検討する必要がある。

謝辞 本研究に際し、東京建設廃材処理協同組合 葛西再生コンクリート工場より再生骨材を供与していただきました。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 渡辺真悟、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
- 2) 河井久直、師橋憲貴、桜田智之：再生コンクリート梁の付着性状に及ぼす横補強筋の効果—乾燥収縮ひび割れの影響—、日本大学生産工学部第38回学術講演会、2005年12月、pp.17-20
- 3) 師橋憲貴、桜田智之：乾燥収縮を抑制した再生コンクリートを用いた梁部材の付着割裂強度に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第595号、pp.101-108、2005年9月
- 4) 日本工業規格：JIS A 5022(再生骨材Mを用いたコンクリート)、2007年3月
- 5) 日本工業規格：JIS A 5023(再生骨材Lを用いたコンクリート)、2006年3月
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—、1999