

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

再生コンクリートを用いた鉄筋コンクリート梁に吸水率の高い再生粗骨材を使用した場合は、付着するモルタル分や微粉末の影響により乾燥収縮ひび割れが多数発生することが既往の研究で報告されている^{1), 2)}。この乾燥収縮ひび割れを抑制することは曲げひび割れ性状や耐久性の点において重要であると考ええる。そこで本研究は、普通骨材と再生骨材の混合使用に着目し、再生コンクリートの乾燥収縮ひび割れを梁部材レベルで低減することを試みた。本報では、基礎的段階として乾燥収縮ひび割れが発生していない材齢 5 週時の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付着割裂強度を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。本実験で使用した再生コンクリートは、粗骨材に砕石と再生粗骨材を 50%ずつ混合使用したRMシリーズ、さらに細骨材にも天然砂と再生砂を 50%ずつ混合使用したRMMシリーズの 2 シリーズとした。本研究では再生細粗骨材を混合使用した効果について検討するため、既往の普通骨材のみを使用した普通コンクリートのNシリーズ¹⁾と再生粗骨材のみを使用したRシリーズ²⁾の実験結果と比較を行った。

表-3 にフレッシュコンクリートの性質を

表-1 試験体詳細

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

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

^{1), 2)}: 既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 816	砕石 503	再生粗骨材 455
RMM	65.0	184	307	天然砂 415 再生砂 362	砕石 477	再生粗骨材 432
N ¹⁾	63.5	182	287	天然砂 870	砕石 940	
R ²⁾	58.0	183	316	天然砂 814	再生粗骨材 867	

表-3 フレッシュコンクリートの性質

シリーズ	スランプ (cm)	フロー (cm)	空気量 (%)
RM	17.0	29.0×26.5	3.5
RMM	19.5	26.0×27.0	5.5
N ¹⁾	19.5	29.0×28.5	5.2
R ²⁾	16.5	27.5×26.0	6.3

Reinforced Concrete Beams with Normal Aggregate
and Middle Quality Recycled Aggregate combined

Shingo WATANABE, Noritaka MOROHASHI and Tomoyuki SAKURADA

示す。コンクリートのワーカビリティを示すスランプの値は、JASS5³⁾に定める 18±2.5cmの範囲内であった。表-4 に骨材の品質を示す。本実験で用いた再生粗骨材の吸水率は 4.58%であり、3%以下とする普通粗骨材に比べて高い値となっている。一方、再生砂の吸水率は 9.53%であり、3.5%以下とする普通細骨材に比べて極めて高い値である。

図-1 に試験体断面図を、図-2 に試験体形状を示す。主筋は上端と下端とも 4-D19 で、主筋表面から側面および底面までのかぶり厚さは 30mmとした。また、試験体形状は下端の純曲げ区間に重ね継手を 570mm(30db)で設けた単純梁形式で、サイドスプリット型の付着割裂破壊を想定した。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。

3. 実験結果

3.1 最終破壊形状 表-5 に材齢 5 週時の実験結果一覧を示す。各試験体のコンクリート強度は 27.5～28.8 N/mm^2 でありほぼ等しい値であった。図-3 に最終破壊形状を例示する。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で想定した破壊形式となった。また、再生骨材を混合使用したRMとRMMの最終破壊形状に差異はなく、再生砂を混合使用した影響はなかった。

3.2 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

図-4 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。再生骨材を混合使用したRMとRMMは、再生粗骨材のみを使用したRの $W_{\max}$ と同等であった。このことから、再生粗骨材および再生砂の混合使用に起因する $W_{\max}$ への影響は認められなかった。また、各試験体の $W_{\max}$ はRC規準⁴⁾のひび割れ制限目標値である 0.25mm以内となった。

3.3 変位性状 図-5 に各試験体の荷重-変位

表-4 骨材の品質

シリーズ		絶乾密度 (g/cm^3)	実積率 (%)	吸水率 (%)
RM	砕石	2.70	61.5	0.60
	再生粗骨材	2.37	62.5	4.58
	天然砂	2.54	66.7	1.96
RMM	砕石	2.70	61.5	0.60
	再生粗骨材	2.37	62.5	4.58
	天然砂	2.54	66.7	1.96
	再生砂	2.08	72.0	9.53
N ¹⁾	砕石	2.70	60.0	0.76
	天然砂	2.53	66.9	1.61
R ²⁾	再生粗骨材	2.36	60.6	4.55
	天然砂	2.55	63.6	1.80

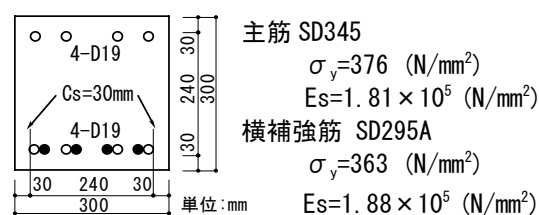


図-1 試験体断面図

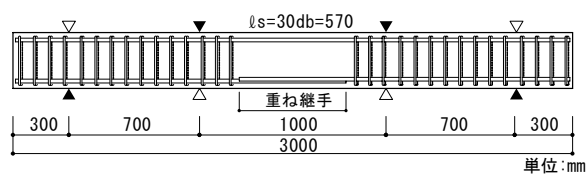


図-2 試験体形状

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 $W_{\max}$ (mm)	最大荷重 $P_{\max}$ (kN)	付着割裂 強度 $\tau_{u \text{ exp.}}$ (N/mm^2)
1) RM	27.5	0.13	264.0	2.96
3) RMM	28.1	0.12	292.8	3.29
5) 00N ¹⁾	28.8	0.08	268.0	3.01
7) R ²⁾	27.5	0.16	231.5	2.60

最大曲げひび割れ幅 $W_{\max}$ は $\sigma_t=200\text{N/mm}^2$ ($P=150\text{kN}$) 時
破壊形式はすべて付着割裂破壊

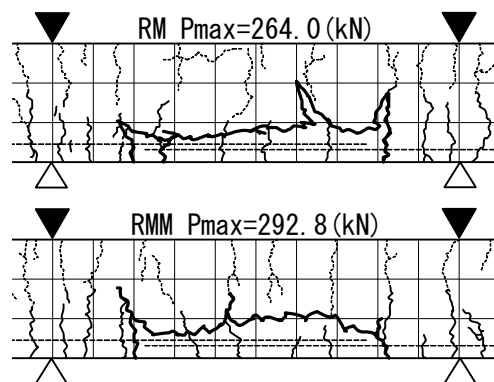


図-3 最終破壊形状 (RM, RMM)

曲線を示す。変位は試験体中央の相対変位を測定した。RM、RMMの正加力時の初期剛性には差は認められず、既往の普通コンクリートの00Nと同等であった。これは、載荷時期が材齢5週時で乾燥収縮ひび割れがまだ発生しておらず試験体に亀裂が生じていないためと考える。一方、Rの初期剛性はRM、RMMに比べ低い値となった。これは、コンクリートのヤング係数がRは 1.95×10^4 (N/mm²) と、RM、RMMの $2.26, 2.16 \times 10^4$ (N/mm²) に比べ小さかったためと考える。

4. 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-6 に付着割裂強度を示す。各試験体の付着割裂強度は、使用した骨材の違いによらずほぼ同等であった。これは、コンクリートの圧縮強度がほぼ等しいこと、また、材齢5週時の載荷であるため乾燥収縮ひび割れの影響を受けていないことによるものと考ええる。

5. 乾燥収縮性状

5.1 乾燥収縮率 図-7 に長さ変化試験体の乾燥収縮率を示す。長さ変化試験体は JIS A 1129 コンクリートの長さ変化試験方法⁵⁾に準じて 100mm×100mm×400mmの試験体を作製し、恒温恒湿室に保存した。また、長さ変化試験体は鉄筋コンクリート梁と同時に同じコンクリートを用いて作製した。長さ変化の測定箇所はシリーズにより異なり、RMシリーズとRMMシリーズはコンクリートの打設面に対して長辺方向の側面となる側を2箇所測定し平

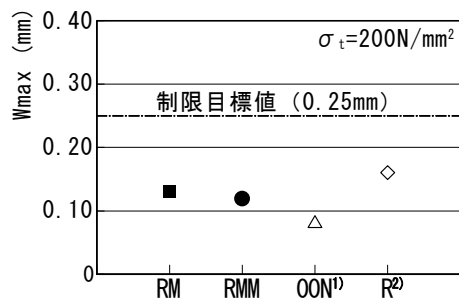


図-4 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

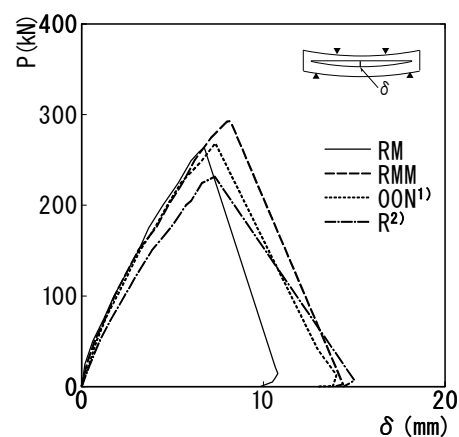


図-5 荷重-変位曲線(包絡線)

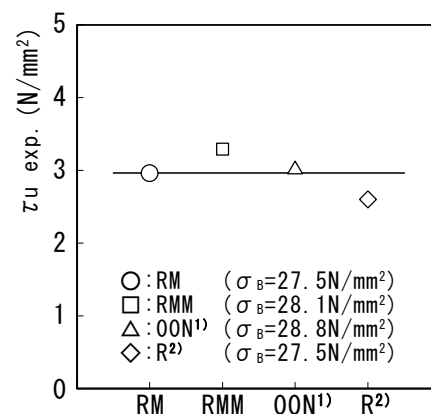


図-6 付着割裂強度

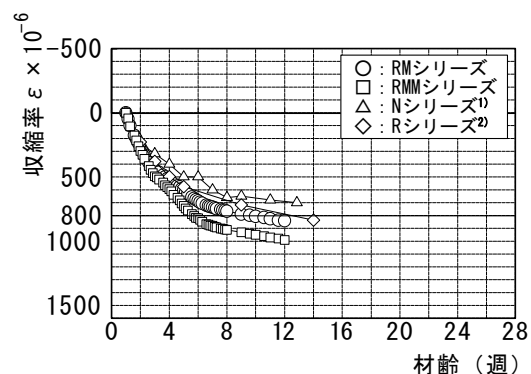


図-7 長さ変化試験体の乾燥収縮率

均値を用いた。測長方法はコンタクトゲージ法を採用した。各シリーズの乾燥収縮率は、乾燥開始後から材齢 12 週時まで増加が続いている。再生粗骨材を混合使用した RM シリーズと再生粗骨材のみを使用した R シリーズの乾燥収縮率は同等であり、本研究での碎石との混合割合(置換率 50%)では乾燥収縮率の減少はあまり認められなかった。また、細骨材にも天然砂と再生砂を 50%ずつ混合使用した RMM シリーズは乾燥収縮率が他のシリーズに比べ大きい値を示した。これは、再生砂の吸水率が 9.53%と高かったためである。

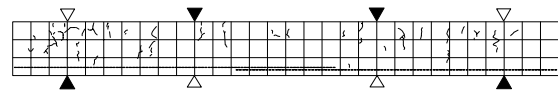
5.2 乾燥収縮ひび割れの発生状況 図-8 に材齢 12 週時の梁部材の乾燥収縮ひび割れの発生状況を例示する。RM1K、RMM1K は材齢 7 週時に、RK は材齢 5 週時に梁の側面上端に近い位置に乾燥収縮ひび割れが発生した。また、00NK は乾燥収縮ひび割れの発生は認められなかった。乾燥収縮率が同等であった RM1K と RK を比較すると、乾燥収縮ひび割れの発生状況は同程度であり RM1K の乾燥収縮ひび割れの発生の減少は明確とはならなかった。また、乾燥収縮率が大きい値を示した RMM1K は乾燥収縮ひび割れが他の試験体に比べ多く発生した。

6. まとめ

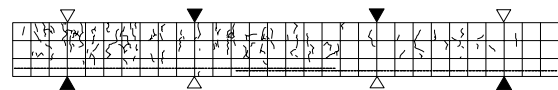
普通骨材と中品質再生骨材を混合使用した鉄筋コンクリート梁の付着割裂強度と乾燥収縮性状について検討した結果、本実験の範囲内で以下の知見が得られた。

- 1) 材齢 5 週時の付着割裂強度は再生粗骨材および再生砂を混合使用した差異は認められず、既往の普通コンクリートや再生粗骨材のみを使用した場合と同等であった。
- 2) 材齢 12 週時において碎石と再生粗骨材を混合使用(置換率 50%)した場合の乾燥収縮ひび割れの発生の減少は明確とはならなかった。

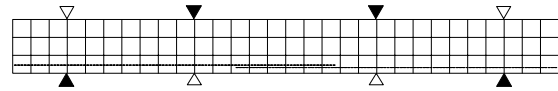
a) RM1K



b) RMM1K



c) 00NK¹⁾



d) RK²⁾

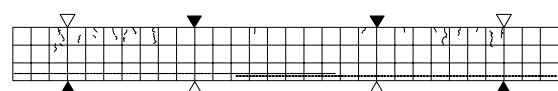


図-8 乾燥収縮ひび割れの発生状況
(材齢 12 週時)

今後、さらに継続して乾燥収縮ひび割れの発生状況の推移を観察するとともに、打設後 1 年の付着割裂強度について検討する予定である。

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) 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
- 2) 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
- 3) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2003
- 4) 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
- 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