

高流動再生コンクリート梁部材の付着割裂強度

日大生産工 〇師橋 憲貴
 日大生産工 桜田 智之
 日大・理工 三橋 博巳

1. はじめに 中品質再生骨材を用いる再生コンクリートは、構造用コンクリートとしての利用は可能であるが、高度な処理に至らない中程度の処理に止まっている再生骨材を用いることから乾燥収縮や凍結融解の影響を受け難い、杭、基礎梁、鋼管充填コンクリートなどへの適用が想定されている¹⁾。施工性を考慮すると、杭、基礎梁では打込み高さが高くなることが予想され、コンクリートの打設時にはコンクリートの分離が、また鋼管充填コンクリートではコンクリートの充填工事における締固め作業が行い難い状況となることが想像される。一方、このような部位への確実なコンクリートの充填を目的として、近年、適度な分離抵抗性と非常に高い流動性を兼ね備えた高流動コンクリートの利用が普及してきている²⁾。しかし、再生骨材を対象とした高流動コンクリートの研究は例えば文献3)などに見られるが、コンクリートのフレッシュ性状やポンプ圧送性を検討した材料学的および施工上の研究に関するものであり、部材を対象とした構造学的研究は見当たらない。そこで本研究は、中品質再生粗骨材を用いて、高流動化した再生コンクリートを適用した梁部材の付着割裂強度について検討を行った。付着割裂強度については、より直接的に高流

動化した再生コンクリートの性質の影響を受けて鉄筋に応力を伝達すると思われる、重ね継手の付着割裂強度について評価を行った。

2. 実験概要 表-1 に試験体詳細を、また表-2 に調査表を示す。本研究で用いた再生コンクリートは再生コンクリート工場で製造されたレディーミクストコンクリートである。コンクリートは、普通骨材を再生骨材で置換する

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ 置換率	目標 コンクリート 強度	乾燥収縮 低減剤	載荷時期
1) HFM	HFMシリーズ： 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% 再生砂0%・ 天然砂100%	60N/mm ²	無し	材齢5週
2) HFM1K				1年 保存後
3) A-HFM	有り		材齢5週	
4) A-HFM1K			1年 保存後	
5) HFMM	無し		材齢5週	
6) HFMM1K			1年 保存後	
7) A-HFMM	有り		材齢5週	
8) A-HFMM1K			1年 保存後	
9) FM ⁴⁾	FMシリーズ： 中品質再生粗骨材50%・ 砕石50% 再生砂0%・ 天然砂100%	36N/mm ²	無し	材齢5週
10) FM1K ⁴⁾				1年 保存後
11) RM ⁵⁾	24N/mm ²	材齢5週		
12) RM1K ⁵⁾		1年 保存後		

置換率：普通骨材を再生骨材で置換する割合
 $b \times D = 300 \times 300 \text{mm}$

重ね継手長さ $l_s = 30d_b = 570 \text{mm}$

注) 試験体番号9)～12)のFMシリーズおよびRMシリーズは、参考文献4)および5)に発表したものであるが、高流動化した試験体との比較検討のため、本研究のシリーズに加えて表示をした。

Bond Splitting Strength of High Fluidity Recycled Aggregate Concrete Beams

Noritaka MOROHASHI, Tomoyuki SAKURADA and Hiromi Mitsuhashi

割合(以下、置換率という)の変化と乾燥収縮低減剤の添加の有無による4シリーズを計画した。HFMシリーズは普通粗骨材を中品質再生粗骨材で50%置換し、HFMMシリーズはさらに普通細骨材を再生細骨材で50%置換したものである。HFMシリーズとHFMMシリーズにはそれぞれ乾燥収縮低減剤を添加したものと添加していないものを計画した(乾燥収縮低減剤を添加したシリーズにはA-の記号を付した)。

表-3に骨材の品質を示す。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吸水率5.65%の再生粗骨材である。また、再生細骨材の吸水率は12.21%で、中品質再生細骨材の吸水率の規定値である7%以下を大きく上回っており再生細骨材としての品質は低いものであった。

図-1に試験体形状を、また図-2に試験体断面を示す。試験体は純曲げ区間の下端に長さ $30d_b$ (d_b :主筋の公称直径)の重ね継手を設け付着性状を検討する梁形式とした。主筋は上端と下端ともに4-D19(SD685)を配筋し、主筋から側面および底面までのかぶり厚さは30mmとしてサイドスプリット型の付着割裂破壊を想定して付着割裂強度の評価を行った。

3. 乾燥収縮率 図-3に乾燥収縮率の推移を示す。乾燥収縮率の測定はJIS A 1129 コンクリートの長さ変化試験方法で用いられる $100\text{mm} \times 100\text{mm} \times 400\text{mm}$ の長さ変化角柱供試体を用いて行った。高流動化を試み目標コンクリート強度を 60N/mm^2 としたHFM(○印)と、同じく高流動化を試み目標コンクリート強度を 36N/mm^2 とした既往のFM(●印)を比較すると、材齢56週の乾燥収縮率に差は少なく、乾燥収縮率の値は $800 \sim 870 \times 10^{-6}$ 程度であった。また、乾燥収縮低減剤を添加したA-HFM(◇印)とA-HFMM(△印)の乾燥収縮

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	
				天然砂	再生砂	碎石	再生
HFM A-HFM	40.0	170	425	820	-	456	410
HFMM A-HFMM	40.0	170	425	410	361	456	410
FM ⁽⁴⁾	53.7	175	326	891	-	456	410
RM ⁽⁵⁾	65.0	180	277	816	-	503	455

HFM・A-HFM, HFMM・A-HFMM シリーズ*

目標コンクリート強度: 60N/mm^2 , 粗骨材の最大寸法: 20mm, 目標フロー値: 60cm

FMシリーズ*

目標コンクリート強度: 36N/mm^2 , 粗骨材の最大寸法: 20mm, 目標フロー値: 60cm

RMシリーズ*

目標コンクリート強度: 24N/mm^2 , 粗骨材の最大寸法: 20mm, 指定スランプ*: 18cm

表-3 骨材の品質

シリーズ		絶乾密度 (g/cm^3)	実績率 (%)	吸水率 (%)
HFM A-HFM HFMM A-HFMM	碎石	2.70	60.9	0.71
	再生粗骨材	2.36	61.7	5.65
	天然砂	2.54	68.3	2.45
	再生細骨材	2.04	72.3	12.21
FM ⁽⁴⁾	碎石	2.72	63.8	0.66
	再生粗骨材	2.33	61.8	5.71
	天然砂	2.54	66.2	2.41
RM ⁽⁵⁾	碎石	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

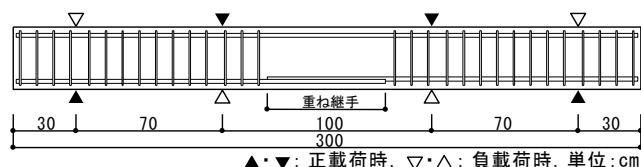


図-1 試験体形状

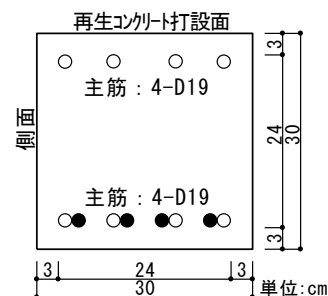


図-2 試験体断面

率はほぼ一致し、乾燥収縮低減剤を添加していないHFM(○印)とHFMM(□印)と比較し、 $130 \sim 160$

$\times 10^{-6}$ 程小さい値

となり、乾燥収縮低減剤による乾燥収縮の抑制の効果が明確となった。高流動化をしていない既往のRM(▼印)と比較すると、高流動

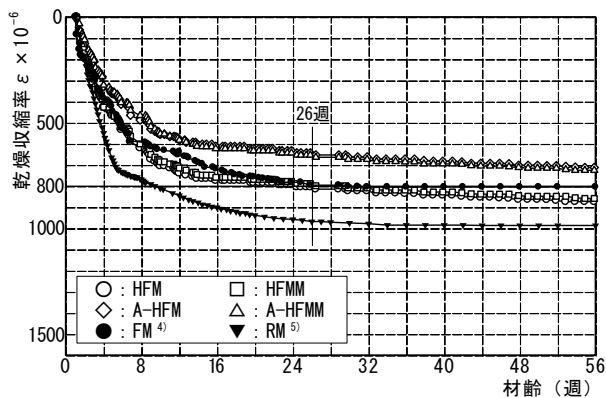


図-3 乾燥収縮率の推移

化した本研究の HFM(○印), HFMM(□印) および既往の FM(●印)は $110 \sim 180 \times 10^{-6}$ 程乾燥収縮率が小さい値となった。

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。図-4 は再生コンクリートを高流動化した本研究の 5 週時と 1 年経過時を比較して付着割裂実験の最終破壊形状を例示したものである。1 年経過時に付着割裂実験を行った梁部材について見ると、乾燥収縮低減剤を添加していない梁部材の 1 年経過時に発生した乾燥収縮ひび割れが最終破壊形状に及ぼす影響は認められなかった。

4.2 長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

図-5 に 1 年経過時の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。乾燥収縮低減剤の添加の有無が最大曲げひび割れ幅に及ぼす明確な差異は認められなかった。また、最大曲げひび割れ幅は 1 年経過時で $0.10\text{mm} \sim 0.20\text{mm}$ となり、RC 規準のひび割れ制限目標値の 0.25mm 以内となった。このことから、再生コンクリートの高流動化が鉄筋コンクリート部材の長期荷重時の構造的なひび割れに及ぼす影響は少ないものと考えられる。

4.3 変位性状 図-6 に 1 年経過時の荷重－変位曲線(包絡線)を示した。1 年経過時では包絡線はおおよそ 3 勾配に分類され、本研究の

表-4 実験結果一覧

試験体名	載荷時期	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) HFM	材齢5週	344.0	3.86	付着割裂破壊
2) HFM1K	1年保存後	350.5	3.93	
3) A-HFM	材齢5週	339.0	3.81	
4) A-HFM1K	1年保存後	372.0	4.18	
5) HFMM	材齢5週	375.0	4.21	
6) HFMM1K	1年保存後	375.0	4.21	
7) A-HFMM	材齢5週	350.0	3.93	
8) A-HFMM1K	1年保存後	371.5	4.17	
9) FM⁴)	材齢5週	299.0	3.36	
10) FM1K⁴)	1年保存後	315.5	(3.54)	
11) RM⁵)	材齢5週	264.0	2.96	付着割裂破壊
12) RM1K⁵)	1年保存後	289.2	3.26	

$\tau_{u \text{ exp.}}$: 5章の式(1)による

注) 10) FM1Kの破壊形式FSは曲げ降伏後の付着割裂破壊で、
 $\tau_{u \text{ exp.}}$ (3.54)は $P=315.5$ (kN), $\delta=17.12$ (mm) 時の値を示す。

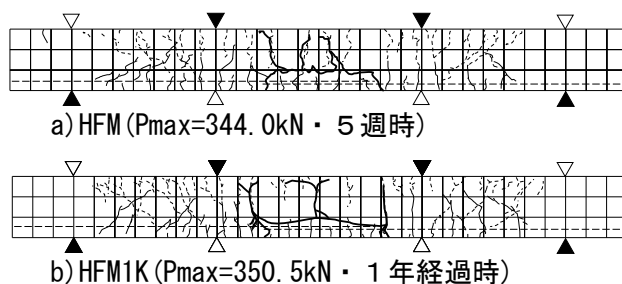


図-4 最終破壊形状

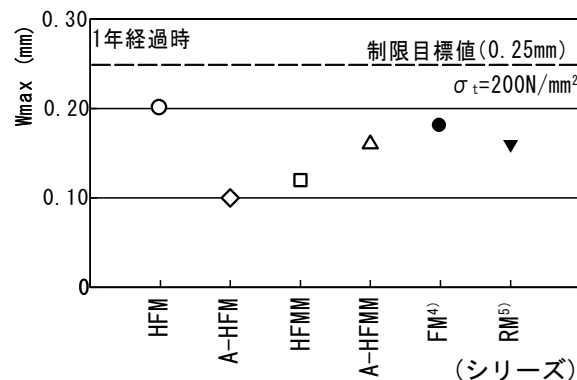


図-5 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅(1年時)

高流動再生コンクリートに乾燥収縮低減剤を添加した梁部材(A-HFM1K, A-HFMM1K)で1勾配, 乾燥収縮低減剤を添加していない梁部材(HFM1K, HFMM1K)で1勾配, 既往の梁部材(FM1K, RM1K)で1勾配に分かれた。これらはおおよそ乾燥収縮ひび割れの発生状況に応じて剛性に差が生じたものと考えられ、乾燥収縮低減剤を添加し乾燥収縮ひび

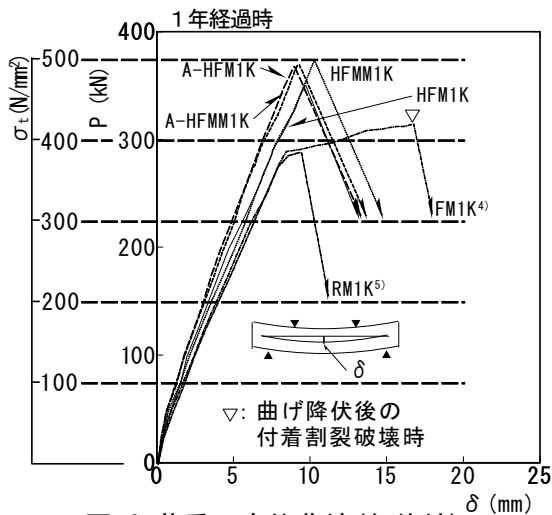


図-6 荷重－変位曲線（包絡線）

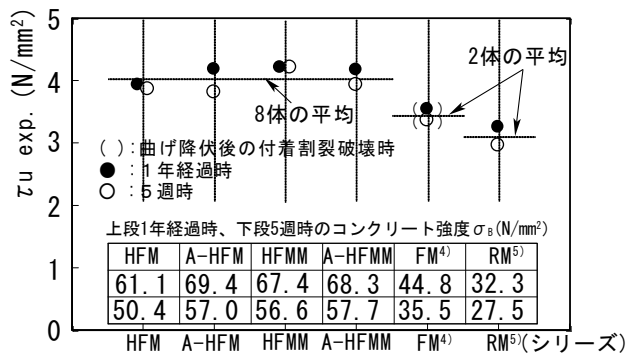


図-7 各シリーズの付着割裂強度

割れの発生を抑制した梁部材の剛性は高く、乾燥収縮ひび割れの発生が顕著に認められた既往の梁部材の剛性は低くなる傾向を示した。

5. 付着割裂強度の評価 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・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 ($30d_b$ 570mm)

図-7 に1年経過時の各シリーズの付着割裂強度を示す。コンクリート強度を高めた本研究の高流動再生コンクリート梁部材(HFM, A-HFM, HFMM, A-HFMM シリーズ)は既往の FM シリーズ⁴⁾およびRMシリーズ⁵⁾に比較してコンクリート強度の上昇に伴い付着割裂強度が増加する傾向が認められた。また、本研究の

高流動再生コンクリート梁部材においては、乾燥収縮低減剤の添加の有無および再生細骨材の利用による付着割裂強度の差異は認められなかった。

6. まとめ 高流動再生コンクリートを適用した梁部材の付着割裂強度について乾燥収縮の影響を考慮して検討した結果、本実験の範囲内で以下に示す知見が得られた。

- 1) 高流動化を試みた再生コンクリートの乾燥収縮率は、高流動化をしていない再生コンクリートと比較して小さい値となった。
- 2) コンクリート強度を高めた高流動再生コンクリート梁部材の付着割裂強度は、既往の再生コンクリート梁部材に比較してコンクリート強度の上昇に伴う付着割裂強度の増加が認められた。

今後、高流動再生コンクリートの利用に関してより具体的な適用部位を模索し、その構造耐力について検討を行っていきたい。

謝辞

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) (財)日本規格協会：J I S A 5022 再生骨材 Mを用いたコンクリート，2007. 3
- 2) 日本建築学会：高流動コンクリートの材料・調合・製造・施工指針(案)・同解説，1997 年
- 3) 竹内博幸，河野政典，上西隆，高橋祐一，山田雅裕：高流動再生骨材コンクリートの実用化に関する実験的検討，日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)，A-1 材料施工，pp. 1205～1206，2008. 9
- 4) 伊勢大祐，師橋憲貴，桜田智之：中品質再生粗骨材を用いた高流動コンクリート梁部材の基礎的研究 ―その 2 付着性状―，日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)，A-1 材料施工，pp. 239～240，2009. 8
- 5) 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 ―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