

高流動再生コンクリートを用いたハーフ PCa 梁部材の基礎的研究

—その2 60N/mm²級再生コンクリートの付着割裂強度—

日大生産工 (院) ○伊勢 大祐

日大生産工 師橋 憲貴

日大生産工 桜田 智之

1.はじめに 昨年度の学術講演会では、高流動再生コンクリートを用いたハーフ PCa 梁部材の基礎的研究として乾燥収縮と付着性状について報告を行った¹⁾。その結果、高流動再生コンクリート梁部材の乾燥収縮ひび割れは、ハーフ PCa 型枠を用いることで乾燥収縮ひび割れの抑制が認められた。また、材齢5週経過実験時の高流動再生コンクリートを用いたハーフ PCa 梁部材の付着割裂強度は、外殻部の補強に起因すると考えられる付着割裂強度の上昇が認められた。

一方、昨年度の報告のコンクリート強度に着目すると、再生コンクリートの呼び強度は、中品質再生骨材を用いた再生コンクリートの呼び強度の上限値 36N/mm²としたが²⁾、高層化、大深度化が著しい昨今の建設事業を鑑み、高強度領域での中品質再生骨材を利用した高流動コンクリートの構造特性を知ることは、再生コンクリートの普及にとって重要であると考え。そこで本研究は、中品質再生骨材の更なる需要拡大を目的として、高強度コンクリートの呼び強度の上限値である 60N/mm²級での高流動化した中品質再生骨材を用いた再生コンクリートをハーフ PCa 型枠の後打ちコンクリートに利用した。本研究では、梁部材の側面および底面の外殻部にハーフ PCa 型枠を使用し、後打ちコンクリートとして中品質再生骨材を用いた高流動再生コンクリートを打設した試験体と、梁部材の外殻部にハーフ PCa 型枠を使用せず、高流動再生コンクリートの一体打ちとした試験体を作製した。また昨年度は、曲げ降伏後の付着性状について検討を行った。そこで本研究はハーフ PCa 型

表-1 試験体詳細

シリーズ	試験体名	タイプ 骨材置換率	載荷時期
ハーフ PCa	1) HFMP	HFMPタイプ 再生粗骨材(50%)	5週経過時
	2) HFMP1K	再生細骨材(0%)	1年経過時
	3) HFMPMPC	HFMPMPCタイプ 再生粗骨材(50%)	5週経過時
	4) HFMPMPC1K	再生細骨材(50%)	1年経過時
一体打ち	5) HFM	HFMタイプ 再生粗骨材(50%)	5週経過時
	6) HFMIK	再生細骨材(0%)	1年経過時
	7) HFMM	HFMMタイプ 再生粗骨材(50%)	5週経過時
	8) HFMM1K	再生細骨材(50%)	1年経過時

骨材置換率：普通骨材を再生骨材で置換した割合
1K:乾燥収縮性状の検討の為1年間保存中の試験体

表-2 調合表

タイプ	W/C (%)	単位質量(kg/m ³)					
		W	C	粗骨材		細骨材	
				再生粗骨材	普通粗骨材	再生細骨材	普通細骨材
HFMP	31.3	170	543	405	449	0	736
HFMPMPC	33.8	170	503	405	449	337	384
HFM	40.0	170	425	410	456	0	820
HFMM	40.0	170	425	410	456	361	410

表-3 混和剤添加量

タイプ	高性能AE 減水剤 (C/%)	AE剤 (%)
HFMP	1.66	0.008
HFMPMPC	1.65	0.008
HFM	1.55	0.004
HFMM	1.80	0.007

フ PCa 型枠を使用せず、高流動再生コンクリートの一体打ちとした試験体を作製した。また昨年度は、曲げ降伏後の付着性状について検討を行った。そこで本研究はハーフ PCa 型

Fundamental Study on the half pre-cast beam of
High Fluidity Concrete with Recycled Aggregate

-Part.2 Bond Splitting Strength of Recycled Aggregate Concrete of 60N/mm² Grade-

Daisuke ISE, Noritaka MOROHASHI and Tomoyuki SAKURADA

枠の有無による 60N/mm² 級再生コンクリート梁部材のコンクリート打設後 5 週経過時における曲げ降伏に対して付着割裂破壊が先行する場合の付着割裂強度について検討を行うものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料 表-1 に試験体詳細を示す。本研究で作製した高流動再生コンクリートを用いたハーフ PCa 梁部材は、普通粗骨材を中品質再生粗骨材で 50%置換した高流動再生コンクリートを後打ちコンクリートに使用した HFMPc タイプ、さらに普通細骨材を再生細骨材で 50%置換した高流動再生コンクリートを後打ちコンクリートに使用した HFMMPC タイプの 2 タイプとした。2 タイプともに外殻部に使用したハーフ PCa 型枠は、超高強度繊維補強コンクリート(以下 UFC)を使用した^{1),3)}。また、比較用の試験体として HFMPc タイプ、HFMMPC タイプの後打ちコンクリートに使用した再生コンクリートとそれぞれ同一置換率で、UFC によるハーフ PCa 型枠を使用していない一体打ち試験体 HFM タイプ、HFMM タイプを作製した。

2.2 調合条件 表-2 に調合表を、表-3 に混和剤添加量を示す。本研究の後打ちコンクリートに用いた再生コンクリートは、呼び強度 60N/mm² を目標とし、数回の試し練りの結果を基に調合を決定した。また、混和剤についても試し練りの結果を基に添加量を決定した。混和剤はポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を、また、コンクリート打設前に空気量の調整のためロジン系界面活性剤の AE 剤を添加した。

2.3 フレッシュ性状 表-4 にフレッシュ性状を示す。本研究で用いた高流動再生コンクリートは、全試験体ともスランプフロー値は、目標の 60cm を下回る結果となったが、スランプ評価ができないコンクリート性状であった

表-4 フレッシュ性状

タイプ	スランプフロー (cm)	空気量 (%)
HFMPc	53.2×51.8	3.0
HFMMPC	54.9×54.3	4.7
HFM	58.0×55.0	5.2
HFMM	57.0×59.0	3.2

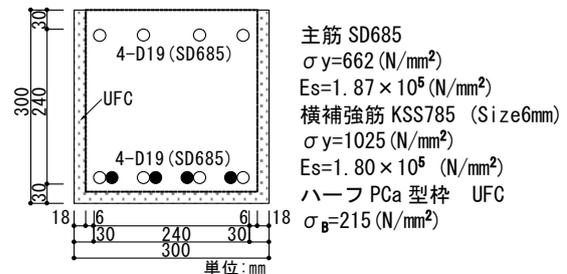


図-1 試験体断面

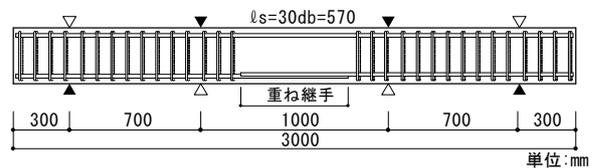


図-2 試験体形状

表-5 実験結果一覧

試験体名	圧縮強度 σ_B (N/mm ²)	最大荷重 P_{max} (kN)	付着割裂強度 $\tau_{u \text{ exp.}}$ (N/mm ²)	最大曲げひび割れ幅 W_{max} (mm)
1) HFMPc	62.1	480.0	5.39	0.06
3) HFMMPC	50.2	475.5	5.34	0.04
5) HFM	50.4	344.0	3.86	0.10
7) HFMM	56.6	375.0	4.21	0.11

最大曲げひび割れ幅 : $\sigma_t=200$ N/mm²

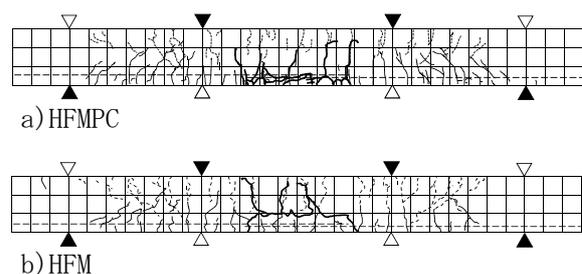


図-3 最終破壊形状

ため、概ね高流動コンクリートの性質を有するコンクリートであると判断した。

2.4 試験体形状 図-1 に試験体断面を、図-2 に試験体形状を示す。ハーフ PCa 型枠には UFC を使用し、側面、底面ともに厚さ 18mm とした。UFC の使用材料は、プレミックス、水、専用減水剤、鋼繊維材を使用した。鋼繊維材は 1m³

あたり 157kg 配合し³⁾、UFC の圧縮強度は $\sigma_B=215\text{N/mm}^2$ であった。ハーフ PCa 梁部材は付着割裂強度を検討するため下端に重ね継手を設けた単純梁形式で、重ね継手長さは 30db (db: 主筋の公称直径) とし、重ね継手区間の横補強筋比は $p_w=0.0\%$ とした。主筋は上端と下端ともに 4-D19 を使用し、主筋から側面および底面までのかぶり厚さはハーフ PCa 型枠部を含み 30mm とし、サイドスプリット型の付着割裂破壊を想定した。

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、図-3 に細骨材に普通細骨材を用いた HFMPc、HFM を例に最終破壊形状を示す。梁の上端に示した点線によるひび割れは負荷荷時の曲げひび割れである。a) 図のハーフ PCa 試験体 HFMPc は、b) 図で示す一体打ち試験体 HFM と最終破壊形状は概ね同様であり、重ね継手端部から急激にひび割れが進行するサイドスプリット型の付着割裂破壊となった。

3.2 主筋長期許容応力度時の曲げひび割れ

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。ハーフ PCa 試験体 HFMPc、HFMMPC は、一体打ち試験体 HFM、HFMM と比較して W_{max} が 0.04mm~0.07mm 小さくなった。このことから、ハーフ PCa 試験体は、ハーフ PCa 型枠として採用した UFC に配合された鋼繊維材に曲げひび割れを抑制する効果があり、高流動再生コンクリート梁部材の外殻部にハーフ PCa 型枠を用いたことが曲げひび割れ性状に有効であると評価できる。また、全ての試験体の W_{max} は RC 規準⁴⁾ のひび割れ制限目標値の 0.25mm 以内となった。

3.3 変位性状 図-5 に荷重-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載荷とし、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。また、変位は中央変位 δ を示した。ハーフ PCa 試験

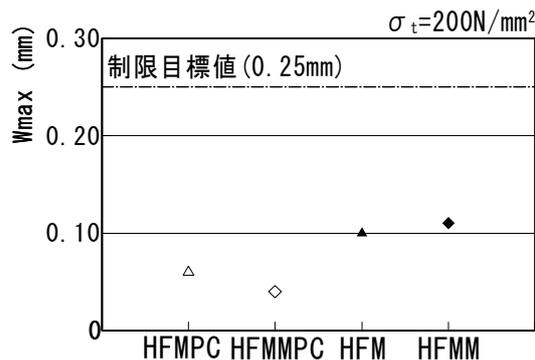


図-4 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

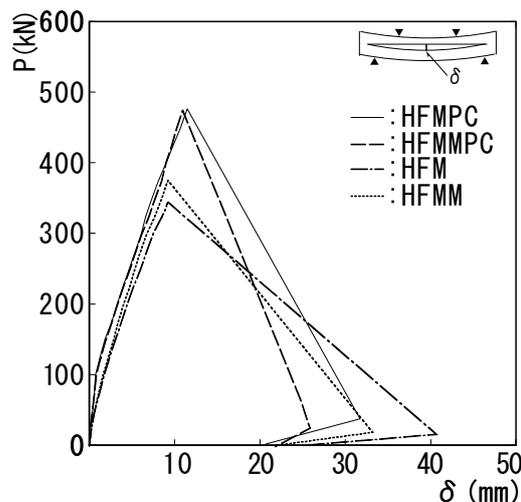


図-5 荷重-変位曲線(包絡線)

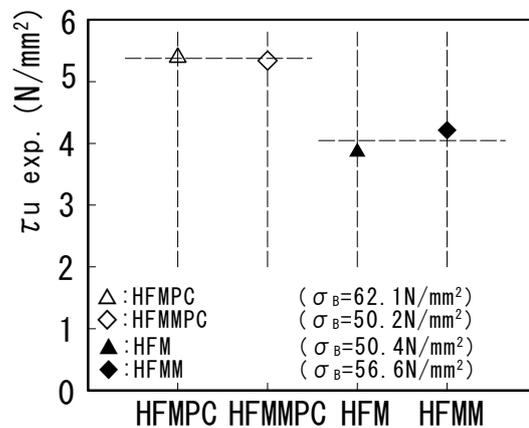


図-6 付着割裂強度

体 HFMPc は、ハーフ PCa 型枠を使用していない一体打ち試験体 HFM と比較して、初期剛性が上昇し、最大荷重は約 40% 上昇した。また、ハーフ PCa 試験体 HFMMPC と一体打ち試験体 HFMM を比較すると、初期剛性は上昇し、最大荷重が約 30% 上昇した。これらのことより、側面部を圧縮強度 $\sigma_B=215\text{N/mm}^2$ と非常に高

い強度のハーフ PCa 型枠で高流動再生コンクリート梁部材の補強をしたこと、また引張側の縁となる底面部でハーフ PCa 型枠に配合された鋼繊維材が引張応力を負担したことが、最大荷重の上昇に有効であったものと考えられる。以上より、UFC によるハーフ PCa 型枠を高流動再生コンクリートに用いた場合、ハーフ PCa 型枠が部材耐力に寄与するとともに変位性状の中で部材の剛性に効果があることが明らかになった。

3.4 付着割裂強度の検討 付着割裂強度は式(1)により求めた。

$$\tau_{u \text{ exp.}} = \frac{M_u}{j \cdot \phi \cdot l_s} \quad (1)$$

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。ハーフ PCa 試験体 HFMPc、HFMMPC と、一体打ち試験体 HFM、HFMM の付着割裂強度を比較すると、HFMPc、HFMMPC の方が平均で約 33%高くなった。これは、高流動再生コンクリート梁部材の側面部を圧縮強度 $\sigma_c=215$ (N/mm²) と非常に高い強度のハーフ PCa 型枠で補強したことでハーフ PCa 試験体の平均的なコンクリート強度が上昇し、付着割裂強度が高くなったものと考えられる。また重ね継手区間に鋼繊維材を使用したハーフ PCa 型枠を配置することで、付着割裂強度の増分を担ったと考える。これらのことから、ハーフ PCa 型枠として用いた UFC の材料特性が外殻部の型枠としての役割のみならず構造材として部材耐力を分担していると考えられる。一方、再生細骨材の有無に関わらず、付着割裂強度が上昇したことから、ハーフ PCa 型枠を用いた高流動再生コンクリート梁部材は、再生細骨材の有効利用の観点からみても、期待が持てるものと考えられる。

4. まとめ 高流動再生コンクリートを用い

たハーフ PCa 梁部材の基礎的研究としてハーフ PCa 型枠の有無による 60N/mm²級再生コンクリート梁部材のコンクリート打設後 5 週経過時の付着割裂強度を検討した結果、本実験の範囲内で以下の知見が得られた。

- (1) 鋼繊維材を含むハーフ PCa 型枠を高流動再生コンクリート梁に用いることで、一体打ちの高流動再生コンクリート梁と比較して、最大曲げひび割れ幅が小さくなった。
- (2) UFC を用いたハーフ PCa 型枠を使用した試験体は、一体打ち試験体と比較して、初期剛性が上昇した。
- (3) ハーフ PCa 型枠を用いた高流動再生コンクリート梁部材は UFC を使用することで、一体打ちの高流動再生コンクリート梁部材と比較して、付着割裂強度が上昇した。本研究では、中品質再生骨材を使用したコンクリートの特徴である、乾燥収縮については扱っていない。現在、材齢 1 年経過時に載荷する試験体を保存している。今後は、乾燥収縮がハーフ PCa 型枠を用いた高流動再生コンクリート梁部材に与える影響について検討を行っていきたい。

謝辞 本研究は文部科学省、平成 20 年度「私立大学戦略的研究基盤形成支援事業」(研究代表者:土木工学科教授木田哲量)の一貫として行われたものであり関係各位に感謝の意を表します。また、葛西再生コンクリート工場には再生コンクリートの手配で御協力をいただきました。混和剤メーカー F 社の方々には調査計画において貴重な御助言をいただきました。ここに記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 伊勢大祐、師橋憲貴、桜田智之：高流動再生コンクリートを用いたハーフ PCa 梁部材の基礎的研究-その 1 乾燥収縮と付着性状-、日本大学生産工学部第 42 回学術講演会、2009 年 12 月、pp. 29-32
- 2) 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
- 3) 土木研究センター：建設技術審査証明報告書「超高強度繊維補強コンクリートを用いた高耐久性薄肉埋設型枠「ダクタルホーム」」、平成 19 年 3 月
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010