

有機繊維補強コンクリート型枠を用いた再生コンクリート梁部材の基礎的研究

—その1 5週経過時の付着性状—

日大生産工 (院) ○浪花 翔馬 日大生産工 師橋 憲貴

日大生産工 桜田 智之

1.はじめに 吸水率が約 5%以下の再生骨材 M を用いた再生コンクリートは、普通コンクリートに比べ乾燥収縮率が大きく、それに伴う乾燥収縮ひび割れの増加による構造体への影響が懸念されている。よって、同コンクリートは JIS A 5022 において地下構造部材である杭、耐圧版などの乾湿繰り返しを受けにくく、部材表面が保護される部材への適用が推奨されている¹⁾。また、再生骨材 M は路盤材やコンクリート用骨材としての利用が主であるが、近年の公共工事の減少に伴い、今後は新たな有効利用法の確立が求められている。

一方、コンクリート工事では施工の合理化・省力化が進められる中で、構造形式の簡略化や新材料・新構造の開発が行われている。その中で高強度かつ高靱性を有する超高強度繊維補強コンクリートが開発されている²⁾。超高強度繊維補強コンクリートに混入される繊維材には鋼繊維と有機繊維の 2 種類があり、有機繊維は鋼繊維に比べ密度が小さく、軽量で安価という特徴がある。

本研究では再生コンクリートの乾燥収縮対策を目的に、ハーフ PCa 梁部材の外殻部に有機繊維を用いた超高強度繊維補強コンクリート型枠（有機繊維補強型枠）を用い、後打ちコンクリートに再生コンクリートを使用した。鋼繊維を用いた型枠は既往の研究³⁾で実施されているが、有機繊維を用いた型枠の研究はまだ少ないのが現状である。有機繊維補強型枠を用いることで施工の省力化ができる。

また、薄い部材や複雑な形状の部材でも施行が可能のため、意匠性部材への適用が予想され、再生コンクリートの利用箇所を増やし、循環型社会の形成に貢献できると考える。本報では有機繊維補強コンクリート型枠を用いた再生コンクリート梁部材の 5 週経過時の付着性状について報告を行う。

表-1 試験体詳細

試験体名	シリーズ 骨材置換率	試験体 タイプ	純曲げ区間 の下端筋
1) FMOPCa	FMOPCaシリーズ 再生粗骨材 (50%) 再生細骨材 (0%)	ハーフPCa 試験体	有り
2) FMMOPCa	FMMOPCaシリーズ 再生粗骨材 (50%) 再生細骨材 (50%)		
3) FNOPCa	FNOPCaシリーズ 普通粗骨材 (100%) 普通細骨材 (100%)		
4) FNNOPCa			無し
5) HFM	HFMシリーズ 再生粗骨材 (50%) 再生細骨材 (0%)	一体打ち 試験体	有り
6) HFMM	HFMMシリーズ 再生粗骨材 (50%) 再生細骨材 (50%)		

置換率：普通骨材を再生骨材で置換する割合

表-2 調合表

シリーズ	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
FMOPCa	31.3	170	543	420	456	0	717
FMMOPCa	33.8	170	503	420	456	322	375
FNOPCa	41.0	170	415	0	956	0	775
HFM	40.0	170	425	410	456	0	820
HFMM	40.0	170	425	410	456	361	410

表-3 フレッシュ性状

シリーズ	スランブフロー (cm)	空気量 (%)	高性能AE 減水剤 (C/%)	AE剤 (%)
FMOPCa	56.8×57.9	5.7	1.66	0.008
FMMOPCa	50.7×50.9	3.4	1.66	0.008
FNOPCa	61.5×64.0	2.8	1.20	-
HFM	58.0×55.0	5.2	1.55	0.004
HFMM	57.0×59.0	3.2	1.80	0.007

Fundamental Study on the Recycled Aggregate Concrete beams
with Organic Fiber Reinforced Concrete Form
-Part.1 Bond Properties of Five Weeks Experiment-

Shoma NANIWA, Noritaka MOROHASHI and Tomoyuki SAKURADA

2. 実験概要

試験体詳細 表-1 に試験体詳細を示す。ハーフPCa 試験体は後打ちコンクリートに、普通粗骨材(吸水率:0.80%)を再生粗骨材(吸水率:4.52%)で50%置換したFMOPCaシリーズ、さらに普通細骨材(吸水率:2.65%)を再生細骨材(吸水率:11.70%)で50%置換したFMMOPCaシリーズ、普通粗骨材、普通細骨材ともに100%使用したFNOPCaシリーズの3シリーズとした。また、有機繊維補強型枠が負担する引張応力を確認するため、純曲げ区間の下端筋を設けないFNNOPCaを作成した。さらにFMOPCaシリーズ、FMMOPCaシリーズに使用した再生コンクリートと、それぞれ同一骨材置換率の一体打ち試験体 HFM シリーズ、HFMM シリーズとの比較を行う⁴⁾。

2.2 調合条件 表-2 に調合表を示す。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 $60\text{N}/\text{mm}^2$ を目標とし、試し練りの結果を基に調合を決定した。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。

2.3 フレッシュ性状 表-3 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 JASS 5⁵⁾ を参考に、目標スランプフロー値を $60\pm 5\text{cm}$ とし、FMMOPCa シリーズ以外は目標のフロー値となった。FMMOPCa シリーズは再生細骨材を置換した影響により、目標フロー値を満たさなかったが、打設に必要な流動性が得られたため打設を行った。混和剤はコンクリートを高流動化するためにポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を、また、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。

2.4 試験体形状 図-1 に試験体断面、図-2 に有機繊維補強型枠の付着層を、図-3 に試験体形状を示す。ハーフPCa には有機繊維補強型枠を用い、型枠と主筋のあき間隔を考慮し、自己充填性が高く、優れた材料分離抵抗性を

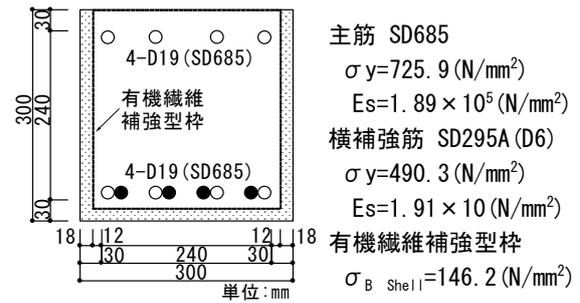


図-1 試験体断面

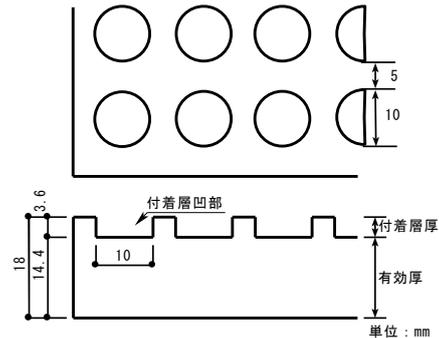


図-2 有機繊維補強型枠の付着層

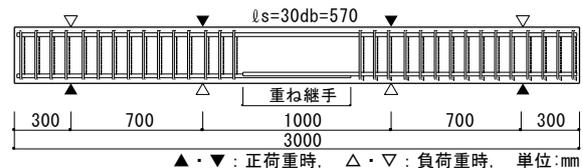


図-3 試験体形状

有する高流動再生コンクリートを後打ちした。有機繊維補強型枠は梁断面に対して側面、底面ともに厚さが18mm、付着層には直径10mm、深さ3.6mmの付着層凹部が設けられている。また、後打ちコンクリートを含めた鉄筋からのかぶり厚さを30mmとした。有機繊維補強型枠の使用材料は、プレミックス、水、ポリカルボン酸系の高性能減水剤、有機繊維である。有機繊維は直径0.2mm、長さ15mmのものを体積比で1.5%使用した。なお、有機繊維補強型枠の材料強度特性は圧縮強度が σ_B $\sigma_{B_SheII}=146.2\text{ (N/mm}^2\text{)}$ であった。試験体は下端に重ね継手を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、重ね継手長さは570mmとした。また、加力は2点集中加力で正負繰返し载荷とした。

3. 実験結果

3.1 最終破壊形状 表-4に材齢5週時の実験結果一覧を、図-4に各試験体の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。図-4のハーフPCa試験体1)~3)、一体打ち試験体5)、6)は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。純曲げ区間の下端筋を設けていないFNNOPCaは20kN時に4mmのひび割れが発生し、最大荷重40kN時には16mmまでひび割れ幅が拡大した。

3.2 主筋長期許容応力度時の曲げひび割れ

図-5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FMOPCa、FMMOPCa、FNOPCaは、一体打ち試験体HFM、HFMMと比較して W_{max} が0.02mm~0.05mm小さくなった。これより、ハーフPCa試験体は、有機繊維補強型枠に配合された有機繊維に曲げひび割れ幅を抑制する効果があり、再生コンクリート梁部材の外殻部に有機繊維補強型枠を用いたことが曲げひび割れ性状に有効であると推察する。また、全ての試験体の W_{max} はRC規準⁶⁾のひび割れ制限目標値の0.25mm以下となった。

3.3 変位性状 図-6に荷重-変位曲線(包絡線)を示す。実験時の荷重制御は主筋の応力度が $\sigma_t=100(N/mm^2)$ 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試験体FMOPCa、FMMOPCaは同一骨材置換率の一体打ち試験体HFM、HFMMと比較して初期剛性が上昇し、最大荷重も上昇した。これより、 $\sigma_{Bshell}=146.2(N/mm^2)$ と高強度の有機繊維補強型枠で再生コンクリート梁部材の外殻部を補強したことが、引張側となる底面部で有機繊維補強型枠に含まれる有機繊維が引張応力を負担したことが、初期剛性および最大荷重の上昇につながったと考える。

表-4 実験結果一覧

試験体名	圧縮強度 (N/mm^2)	最大荷重 (kN)	付着割裂強度 (N/mm^2)	最大曲げひび割れ幅 (mm)
1) FMOPCa	67.3	441.5	4.96	0.06
2) FMMOPCa	60.6	397.5	4.46	0.06
3) FNOPCa	62.2	437.5	4.91	0.08
4) FNNOPCa	62.2	40.0	0.45*	-
5) HFM	50.4	344.0	3.86	0.10
6) HFMM	56.6	375.0	4.21	0.11

最大曲げひび割れ幅: $\sigma_t=200N/mm^2$

*鉄筋があると仮定した場合

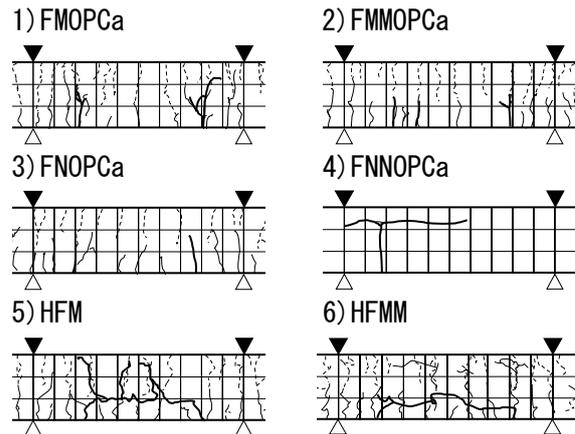


図-4 最終破壊形状

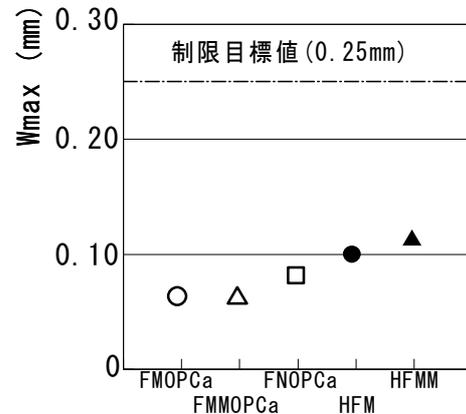


図-5 主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

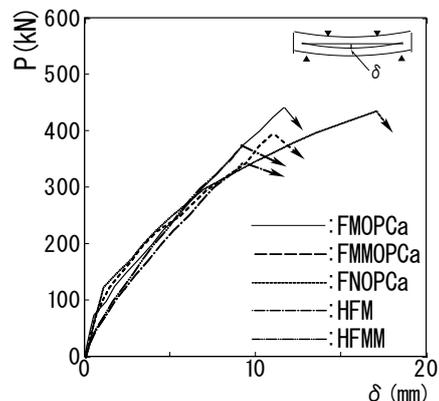


図-6 荷重-変位曲線(包絡線)

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。

式(1) 付着割裂強度算定式

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

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-7に付着割裂強度を示す。ハーフ PCa 試験体 FMOPCa と、同一骨材置換率の一体打ち試験体 HFM の付着割裂強度を比較すると、FMOPCaの方が約30%高くなった。FMMOPCaとHFMMを比較するとFMMOPCaの方が約5%高くなった。また、普通コンクリートを用いたFNOPCaにおいても付着割裂強度は同等の値となった。FMMOPCaの付着割裂強度の上昇率が、FMOPCaに比べ低いのは骨材置換率の違いが影響していると推察する。純曲げ区間の下端筋を設けていないハーフ PCa 試験体FNNOPCaの付着割裂強度は鉄筋があると仮定した場合、 $0.45 \text{ (N/mm}^2\text{)}$ となった。この値は有機繊維補強型枠が負担する引張応力と考えられる。以上より、ハーフ PCa として用いた有機繊維補強型枠の材料特性が、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える。また、再生コンクリートを使用しても普通コンクリートと同等の付着割裂強度が得られたため、有機繊維補強型枠を用いた再生コンクリート梁部材は、再生骨材の利用拡大に有効な可能性を示した。

4. まとめ 有機繊維補強コンクリート型枠を用いた再生コンクリート梁部材の基礎的研究として、5週経過時の付着性状を検討した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 有機繊維補強型枠を再生コンクリート梁部材に用いることで、一体打ちの再生コンクリート梁部材と比較して、初期剛性が上昇した。

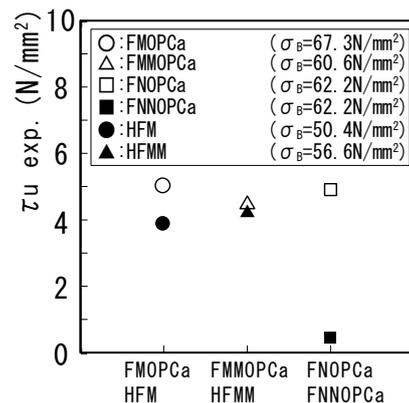


図-7 付着割裂強度

- 2) 有機繊維補強型枠を梁部材に用いることで一体打ち試験体と比較して、付着割裂強度が上昇する傾向が見られた。
- 3) 下端筋を設けていない試験体の付着割裂強度を想定した評価より、有機繊維補強型枠が負担する引張応力が明らかになった。

本研究では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。今後は乾燥収縮が再生コンクリート梁部材の付着性状に与える影響について検討を行っていききたい。また、鋼繊維と有機繊維の違いが再生コンクリート梁部材の付着性状にどのように寄与しているのかを検証していききたい。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、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) 日本工業規格: JIS A 5022 再生骨材 M を用いたコンクリート, 2012年7月改訂
- 2) 土木学会: 超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案), 2004年9月
- 3) 浪花翔馬, 師橋憲貴, 桜田智之: UFC 型枠を用いた再生コンクリートハーフ PCa 梁部材の付着性状, 日本建築学会学術講演梗概集(北海道), 2013年8月, pp. 169-170
- 4) 師橋憲貴, 桜田智之, 三橋博巳: 高流動再生コンクリートを適用した梁部材の付着特性に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol. 58B, pp. 1~8, 2012年3月
- 5) 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, 2009年
- 6) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2010年