ISSN 2186-5647

1-18

再生骨材の置換率が異なるハーフ PCa 梁部材の基礎的研究

日大生産工（院）　○佐藤　毅法
日大生産工　師橋　憲貴
日大生産工　桜田　智之

1. はじめに　近年，資源の枯渇化が騒がれており，建設業界でも建築物の解体によって発生するコンクリート塊から，骨材を分けて再利用する動きがある。しかし，コンクリート塊から分けられた骨材は，骨材の周りにモルタル分が付着している物が多く，完全に取り除くには費用対効果が悪いのが現状である。また，産出される再生骨材の吸水率の例として，天然粗骨材の吸水率が 1%程度に対して中品質再生骨材[1)]は5%近くの吸水率があり，単位水量の増加が懸念される。そして，再生骨材に含まれるモルタル分の影響により，吸水率が高くなり，単位水量が増加し乾燥収縮が大きくなる傾向がある。

そこで本研究は，側面，底面が覆われているハーフ PCa に後打ちで置換率が異なるコンクリートを流し込み試験体を作成し，これら試験体のコンクリート打設後 5 週経過時，1 年経過時における付着性状について検討を行うものである。既往の研究[2)]では再生粗骨材 50%，再生細骨材 50%の試験体を作成し，一体打ち試験体との比較検討を行った。本研究は，再生骨材の将来的な有効利用に鑑み置換率を高めた試験体を作成したことにより，再生細粗骨材を 100%置換した場合の梁部材の付着割裂強度に再生粗骨材の置換率がどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料　**表-1** に試験体詳細を示す。梁試験体は，後打ちコンクリートに普通粗骨材

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) FRNPC	FRNPCタイプ 再生粗骨材(100%) 再生細骨材(0%)	5週経過時
	2) FRNPC1K		1年経過時
	3) FRPC1K	FRPCタイプ 再生粗骨材(100%) 再生細骨材(100%)	1年経過時
一体打ち	4) R[4)]	Rタイプ 再生粗骨材(100%) 再生細骨材(0%)	5週経過時
	5) RK[4)]		1年経過時
	6) FR[4)]	FRタイプ 再生粗骨材(100%) 再生細骨材(100%)	5週経過時
	7) FRK[4)]		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，K:1年間経過後の試験体

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
FRNPC	43.9	175	399	810	0	0	841
FRPC	52.5	185	352	810	0	748	0
R	58.0	183	316	867	0	0	814
FR	54.0	191	354	808	0	713	0

表-3　フレッシュ性状

タイプ	スランプ (cm)	フロー値 (cm)	空気量 (%)
FRNPC	－	50.1×48.9	4.1
FRPC	9.8	－	3.5
R	16.5	27.5×26.0	6.3
FR	18.5	31.0×28.0	4.8

表-4　混和剤添加量

タイプ	高性能AE減水剤 (C×%)	AE減水剤 (C×%)	AE剤 (%)
FRNPC	1.852	－	0.006
FRPC	1.20	－	0.006
R	－	1.05	－
FR	－	1.05	－

Fundamental Study on the half pre-cast beam of
Different Substitution Ratio with Recycled Aggregate

Takenori SATO, Noritaka MOROHASHI and Tomoyuki SAKURADA

を中品質再生粗骨材で 100%置換し，再生コンクリートを使用した FRNPC タイプ，さらに細骨材を再生細骨材で 100%置換した FRPC 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 は，超高強度繊維補強コンクリート型枠(以下UFC型枠)を用いた[3)]。

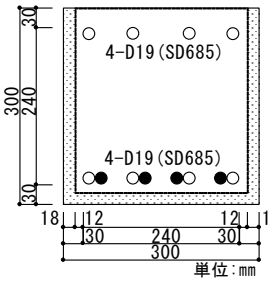
2.2 調合条件　表-2 に調合表を示す。本研究の後打ちコンクリートに用いた再生コンクリートは，再生骨材を全て置換したコンクリートの利用性を考え，5 週経過実験時に再生コンクリートの上限強度である 36N/mm^2 となるように，試し練りの結果を基に調合を決定した。

2.3 フレッシュ性状　表-3 にフレッシュ性状を，**表-4** に混和剤添加量を示す。本研究で用いた再生コンクリートは，鉄筋が密に配筋される場合の打設時の充填性を考え，流動性の確保を行った。FRN タイプは，概ね目標のフロー値となった。一方，FR タイプは再生砂を 100％用いたため十分な流動性の確保するためのフレッシュ状態が良くなかったので，バイブレーターを入念にかけて打設した。

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。試験体の形状は，UFC 型枠にあらかじめ組んだ鉄筋を落とし込み，後打ちで再生コンクリートを流し込む方法をとった。試験体断面は，UFC 型枠が側面，底面ともに厚さ 18mm，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。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。

3. 実験結果

3.1 最終破壊形状　表-5 に材齢 5 週時及び材齢 1 年経過時の実験結果一覧を，**図-3** に 5 週経過時と 1 年経過時の FRNPC1K および RK[4)] の最終破壊形状を示す。上端に示した点線によるひび割れは負載荷時の曲げひび割れである。b)**図**の UFC 型枠を用いた試験体 FRNPC1K は，d)**図**で示す一体打ち試験体 RK と比較すると，FRNPC1K は重ね継手端部付近の曲げひび割れから上端方向に太いひび割れが見られた。これは，試験体内部では，サイドスプリット



主筋 SD685
σy=662(N/mm^2)
Es=1.87×10^5(N/mm^2)
横補強筋 KSS785 (Size6mm)
σy=1025(N/mm^2)
Es=1.80×10^5 (N/mm^2)
UFC 型枠
5 週経過時　σ_B=215(N/mm^2)
1 年経過時　σ_B=245(N/mm^2)

図-1　試験体断面

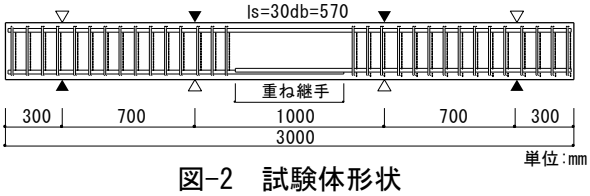


図-2　試験体形状

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 Pmax (kN)	付着割裂強度 $\tau_{u\ exp.}$ (N/mm^2)	最大曲げひび割れ幅 Wmax (mm)
1) FRNPC	41.8	425.5	4.78	0.04
2) FRNPC1K	48.2	475.5	5.33	0.04
3) FRPC1K	29.9	375.0	4.21	0.04
4) R[4)]	27.5	231.5	2.60	0.16
5) RK[4)]	32.8	260.2	2.92	0.14
6) FR[4)]	30.3	253.0	2.84	0.10
7) FRK[4)]	34.8	249.0	2.79	0.20

最大曲げひび割れ幅：σ_t=200N/mm^2

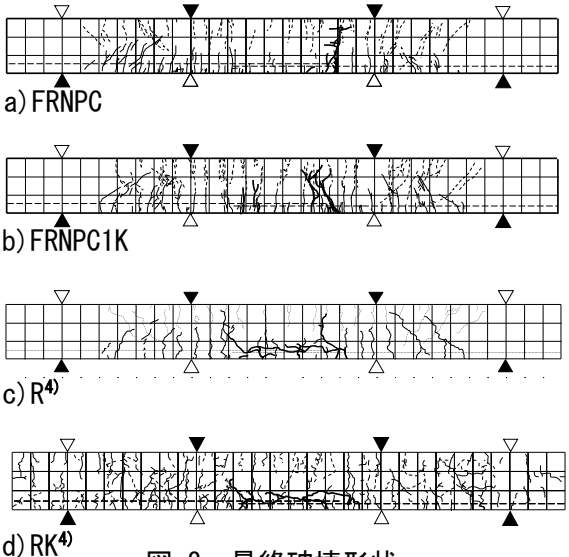


図-3　最終破壊形状

型の付着割裂破壊が起きたが UFC 型枠を用いたことにより，鋼繊維材の効果により梁側面には，主筋線に沿うようなサイドスプリット型で顕著なひび割れは発生しなかった。一方，RK は終局時に主筋線上に沿って太いひび割れが進行し破壊する，サイドスプリット型の付着割裂破壊であった。FRNPC1K は，FRNPC と比較して 1 年経過に伴う乾燥収縮ひび割れが梁上面には確認されたが，UFC 型枠によって梁側面が覆われているため，側面に乾燥収縮ひび割れはなく，破壊によるひび割れにも大きな違いは見られなかった。また，一体打ち試験体では，終局時に重ね継手区間のかぶりコンクリートに剥落が見られた。しかし，UFC 型枠を用いた試験体においては,UFC 型枠に含まれる鋼繊維材の効果で試験体からのコンクリートの剥落は見られなかった。

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 Wmax を示す。UFC 型枠を用いた試験体 FRNPC1K,FRPC1K は,一体打ちの試験体 RK, FRK と比較して Wmax が 0.10mm～0.16mm 小さくなった。1 年経過時と 5 週経過時を比較すると，FRNPC タイプは 1 年経過しても最大曲げひび割れ幅に変化はなかった。一方，再生粗骨材，再生細骨材を 100％置換した FRPC1K は，梁上面に乾燥収縮ひび割れの発生が多く確認されたが，曲げひび割れ幅は乾燥収縮ひび割れの少ない再生粗骨材 100%置換した FRNPC1K と同様の結果であった。よって，UFC 型枠を用いたことにより，曲げひび割れ幅の抑制ができると考える。また，全ての試験体の Wmax は RC 規準[5)]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。UFC 型枠を用いた試験体 FRNPC1K は，UFC 型枠を使用していない一体打ちの試験体 RK と比較して，初期剛性が上昇した。これは，UFC 型枠を用いたことにより，UFC 型枠に含まれる鋼繊維材が引張力に対して寄与し，初期剛性の上昇に繋がったと考える。また，1 年経過実験時と 5 週経過実験時を比較すると，FRNPC1K は FRNPC と比較して初期剛性にあまり変化は見られなかった。これは，1 年経過によるコンクリート強度の上昇は見られるが，初期剛性には変化が見られないため，初期剛性は UFC 型枠を用いたことにより上昇したと考える。一方，一体打ちの試験体 R は RK と比較して最大荷重は 14%上昇した。

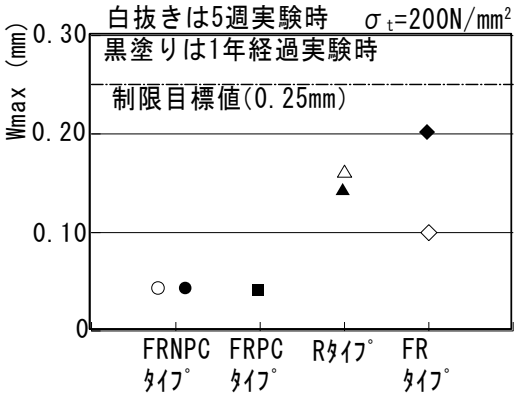


図-4　主筋長期許容応力度時の最大曲げひび割れ幅

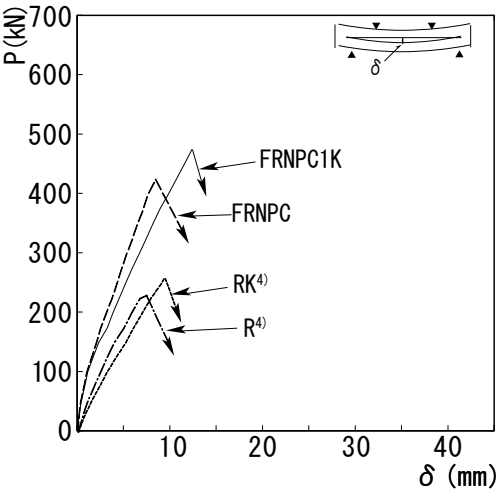


図-5　荷重-変位曲線(包絡線)

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。

$$\tau_{u\,exp.} = \frac{M_u}{j \cdot \phi \cdot \ell s} \qquad (1)$$

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。UFC 型枠を用いた試験体 FRNPC1K，FRPC1K と，一体打ちの試験体 RK,FRK の付着割裂強度を比較すると，FRNPC1K，FRPC1K の方が平均で約 60%上昇した。これは，UFC 型枠を用いた試験体は UFC 型枠の付着割裂強度が高いため最大荷重が上昇し，付着割裂強度が高くなったものと考える。FRNPC1K は，再生細骨材も全て置換した試験体 FRPC1K と比較して，付着割裂強度が 26%上昇していた。これは，FRPC1K は再生骨材を 100%置換しており，打設時に再生コンクリートの状態が悪く，コンクリート強度が予想より発現しなかったため，FRNPC1K との付着割裂強度に差が出たものと考える。また，1 年経過試験体と 5 週経過試験体を比較すると，1 年経過試験体の付着割裂強度の方が高いのは，1 年経過によるコンクリート強度の上昇によるものと考える。

4. まとめ　置換率の異なる再生コンクリートを用いたハーフ PCa 梁部材の UFC 型枠を用いた梁試験体と一体打ちの梁試験体の付着性状を比較し検討した結果，本実験の範囲内で以下の知見が得られた。

(1) FRNPC1K は，FRNPC と比較して 1 年経過に伴う乾燥収縮ひび割れが梁上面には確認されたが，UFC 型枠によって梁側面が覆われているため，側面に乾燥収縮ひび割れはなく，破壊によるひび割れにも大きな違いは見られなかった。

(2) FRNPC1K は，UFC 型枠に含まれる鋼繊維材が引張力に対して寄与し，初期剛性の上昇に繋がったと考える。

(3) 全て再生骨材を置換した FRPC1K は，コンクリート強度が予想より発現しなかったため，FRNPC1K との付着割裂強度に差が出たものと考える。

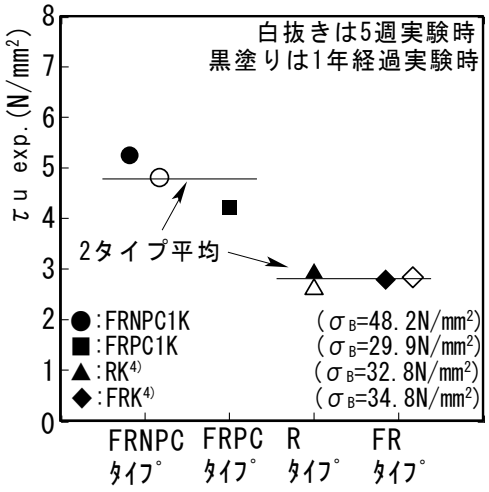


図-6　付着割裂強度

本研究では，再生骨材を 100%置換し，UFC 型枠を用いた試験体において付着性状の検討を行った結果，耐力の向上が見られた。今後は，UFC 型枠を用いたことにより上昇した耐力への寄与分について，定量的な評価を行っていきたい。

謝辞　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 社の方々には調合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

2) 佐藤毅法,師橋憲貴,櫻田智之: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 3　1 年経過実験時の付着性状-,日本大学生産工学部第 44 回学術講演会,2011 年 12 月,pp. 563-566

3) 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）,平成 16 年 9 月

4) 師橋憲貴，櫻田智之: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,2005 年 9 月,pp. 101-108

5) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説,2010