論文 HPFRCC をコンクリートに積層した部材の曲げ破壊性状に関する研究

水田 武利*1・稲熊 唯史*2・畑 朋宏*1・六郷 恵哲*3

要旨:2 種類の複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料(HPFRCC)をそれぞれ普通 コンクリート(NC)に積層した供試体の曲げ載荷試験を行った。その結果,積層厚さの増 加に伴い,耐荷力,変位量ともに増大し,HPFRCC部分においてNCのひび割れをより複数 に分散する効果が確認できた。本研究の範囲内では,材料の違いによる分担荷重,ひび割れ 幅への影響はなく,HPFRCC厚さに関わらず,積層供試体引張縁のひび割れ幅はNCに発生 したひび割れ幅がHPFRCC層で複数に分散し,本研究の結果では20%以下となった。積層 した場合のひび割れ分散は一軸引張試験で評価した性能と関係することが明らかとなった。 キーワード:HPFRCC,積層供試体,一軸引張試験,曲げ載荷試験,ひび割れ

1. はじめに

近年,コンクリート構造物において様々な劣 化損傷が進み,道路橋床版や高架橋スラブに対 して下面増厚工法による補修および補強が施工 されている。しかしながら,現行補強材として 用いられる材料はひび割れ追従性が低いため, 既設構造物のひび割れ発生もしくは開口により 材料自体にひび割れが生じることが多いのが現 状である。

引張応力作用下ならびに曲げ応力作用下にお いて,擬似ひずみ硬化特性と複数微細ひび割れ 特性を示す複数微細ひび割れ型繊維補強セメン ト複合材料(以下 HPFRCC)が開発されている ^{1),2)}。HPFRCC はその特性と高いひび割れ追従 性から補修・補強材としての適用が検討および 進められている³⁾。しかしながら,HPFRCCの 材料特性の違いによる曲げ補強効果やひび割れ 性状に関する検討が少ないのが現状である。

本研究では、2 種類の HPFRCC の一軸引張試 験および曲げ載荷試験から各材料特性を把握し た。また、補修・補強材としての適用を想定し、 普通コンクリート(以下 NC)に HPFRCC を打 継ぎによって積層した梁供試体の曲げ載荷試験 を行い、材料および厚さをパラメータとし、 HPFRCC の曲げ補強効果やひび割れ分散性など の曲げ破壊性状について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料

供試体には材料特性の異なる 2 種類の HPFRCC を使用した。材料はポリビニルアルコ ール繊維(ϕ 0.040×12mm,引張強度1600MPa, 弾性係数40GPa,以下 PVA)と高強度ポリエチ レン繊維(ϕ 0.012×12mm,引張強度2600MPa, 弾性係数88GPa,以下 PE)を用いた配合とした。 NC は水セメント比55%,細骨材率45%とした。 各供試体の配合と諸物性を表-1(a),(b),(c)に 示す。

PVA を用いた供試体は粉体と繊維をプレミッ クスした材料を用い,セメントには普通ポルト ランドセメントを用いた。繊維は体積比で2%混 入した。また PE を用いた供試体のセメントには 早強ポルトランドセメントを用いた。細骨材に は7号珪砂を使用し,繊維は体積比で1.5%混入

*1 岐阜大学 大学院工学研究科社会基盤工学専攻 (正会員)
*2 ジェイアール東海コンサルタンツ株式会社 調査事業部開発技術部 (正会員)
*3 岐阜大学 工学部社会基盤工学科教授 工博 (正会員)

(a)	配合種別	単位粉体量B	W/B	FA/(C+FA+CS)	繊維添加量	圧縮強度	弹性係数
		(kg/m^3)	(%)	(%)	(vol%)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)
	PE	1262	30	30	1.5	78.0	22.0
(b)	配合種別	プレミックス材	水	混和剤	繊維添加量	圧縮強度	弾性係数
	約32L	(kg)	(kg)	(kg)	(vol%)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)
	PVA	50	11.2	1.128	2.0	46.1	17.0
(c)	配合種別	単位セメント量C	細骨材量s	W/C	s/a	圧縮強度	弹性係数
		(kg/m^3)	(kg/m^3)	(%)	(%)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)
	NC	317	787	55	45	55.7	29.5

表-1 配合および諸物性

(B=C+FA+CS, FA:フライアッシュ, CS:膨張材)

した。

練り上がり状態はどちらの材料もファイバー ボールが無く繊維は良好に分散していた。また PE は練り上がり温度 26.0 度, テーブルフロー値 149×143mm, PVA は練り上がり温度 17.5 度, テーブルフロー値 168×165mm であり, 適当な 流動性を有していたことから流し込み打設に対 応可能であった。

2.2 材料特性評価

(1) 一軸引張試験

ー軸引張試験に用いた供試体の形状と試験概要を図-1に示す。供試体はダンベル型とし,検 長区間の断面形状を 30×30mm とした。検長区間は 100mm とし,変位は高感度変位計にて検出 した。また,載荷は変位制御型試験機を用いて 行い,供試体端部の固定条件は,下端を固定支 持とし,上端を回転支持とした。

(2) 曲げ載荷試験

各材料の特性評価に用いる曲げ供試体として 高さ150mm,幅100mm,長さ600mmのHPFRCC を作製した。供試体の概要を図-2(a)に示す。載 荷は等モーメントスパン100mm,せん断スパン 200mmの2点載荷とし,変位制御型試験機を用 いて行った。計測項目は荷重,変位,ひずみと し,荷重はロードセルにより検出し,変位は載 荷点,支点および供試体中央に設置した高感度 変位計によって検出した。また圧縮縁に貼り付 けたひずみゲージよりひずみを検出した。

2.3 積層供試体の曲げ載荷試験

曲げ載荷試験に用いた積層供試体の概要を図 -2(b)および表-2に示す。NC は高さ 100mm,



図-1 引張試験概要および供試体形状





図-2 供試体概要

表-2 供試体名

供試体名	使用繊維	厚さ(mm)	
PVA10		10	
PVA30	PVA	30	
PVA50		50	
PE10		10	
PE30	PE	30	
PE50		50	



図-4 ひび割れ幅-ひずみ関係

幅 100mm,長さ 600mm の梁を作製し,界面処理 は遅延剤シート(目粗し深さ 2mm)を用い,洗 出しにより NC に表面処理を施した。NC を 5 週 の養生後,HPFRCC を 10,30,50mm の厚さで 流し込みにより打設した。供試体数は1水準に2 体ずつとした。載荷条件は 2.2(2)節と同様とした。 試験材齢は 6 週とした。

2.4 ひび割れ観察

ひび割れ性状は,NCと HPFRCC の境界面, 供試体の引張縁および側面を目視によるほか, マイクロスコープ(倍率 25 倍,50 倍)およびデ ジタルカメラを用いて観察した。ひび割れ幅は 初期に発生したひび割れから3本を選んで計測 した。

3. 実験結果

3.1 材料特性評価

(1) 一軸引張性状

ー軸引張試験より得られた応力-ひずみ関係 を図-3 に示す。PE, PVA ともに初期ひび割れ 発生後,応力が増加し,明確な擬似ひずみ硬化 挙動を示した。軟化開始ひずみは PE で約 1.5~ 2.5%, PVA で約 0.2~0.6% であった。

また図-4 にひび割れ幅とひずみの関係を示 す。PVA は PE に比べ軟化開始ひずみが早期であ ったため測定データ数が少なかったことと, 観 察できたひび割れが少なかったことから, 一軸 引張試験におけるひび割れ幅とひずみの関係に 材料の違いは明確には見受けられなかった。

(2) 曲げ性状

PE, PVA の荷重-中央変位関係を図-5 に示 す。PE, PVA ともに初期ひび割れ発生後も荷重, 変形ともに増加する結果が得られた。最大荷重 時における中央変位は PE で約 8mm, PVA で約 1mm であった。

また図-6 にひび割れ幅と中央変位の関係を 示す。最大ひび割れ幅については同程度であっ たが、PEでは中央変位の増加に伴いひび割れ幅 は緩やかに増加した。一方 PVA については中央 変位の増加に伴いひび割れ幅は急激に増加した。 両供試体の変位量が同じ値であっても、PVA は PE と比べひび割れ本数が少なかったことから、 1 本あたりのひび割れ幅では PE よりも大きくな った。



図-6 ひび割れ幅-中央変位関係

以下これら材料特性の異なる 2 種類のHPFRCC を用いた積層供試体について、材料とHPFRCC 厚さの違いによる影響を考察する。

3.2 複合供試体の曲げ載荷試験

(1) 荷重一中央変位関係

曲げ試験より得られた荷重ー中央変位関係を 図-7に示す。HPFRCC厚さの増加に伴い、最大 荷重ならびに変位量が増加する結果が得られた。 よって曲げ作用を受ける NC 梁供試体の引張側 に HPFRCC を積層することにより,供試体の耐 荷力と変位量が大きく向上した。変位量につい ては同じ HPFRCC 厚さの供試体において大きな 差が生じた。その要因として引張縁の HPFRCC が NC に発生するひび割れ本数の影響を大きく 受け、結果として供試体全体の変位量に大きな 差が生じたと考えられる。一方,3節で得られた 材料特性評価では PE と PVA の荷重,変位量に 大きな違いがあったにも関わらず、同じ厚さを NC に積層した場合,荷重の面では大きな差は見 られなかった。これは PE30, PE50 においては, 最大モーメント時の圧縮縁が圧壊していたこと から, PE30, および PE50 では曲げモーメントの

最大値が圧縮側のコンクリートで決定され,引 張側 PE の終局以前に破壊に至ったと思われる。 終局時における応力状態の判断については今後 解析を行い検証する必要がある。

(2) ひび割れ分散性状

全ての供試体において NC に発生したひび割 れを起点として、HPFRCC に微細なひび割れが 分散して生じ、ひび割れ追従性が確認できた。 NC と HPFRCC の境界面では若干の付着破壊も 見られた。PE50とPVA50ならびにPE10とPVA10 のひび割れ発生状況を写真-1に示す。NCの曲 げ載荷ではモーメントスパン内に1本のひび割 れが発生すると同時に引張軟化して破壊に至る が、ひずみ硬化する HPFRCC を引張縁に積層す ることによって RC 構造に似た複数のひび割れ が NC 内に発生した。しかしながら,材料特性の 違いから分散するひび割れ本数に明確な差が生 じた。また HPFRCC 厚さの増加に伴い,ひび割 れ分散本数も増加した。これは HPFRCC のひび 割れ分布が NC のひび割れから引張縁方向に放 射線状に広がったため, NC のひび割れに伴って 発生する引張ひずみの範囲が HPFRCC 厚さの大



(c) PE10

写真-1 ひび割れ状況

小によって異なるものと考えられる。HPFRCC 厚さが薄ければ応力が発生する領域が狭いため ひび割れ本数は少なく,厚ければ応力分担領域 も広くなるためひび割れ本数が多くなると思わ れる。ひび割れ分散本数に関しては一軸引張試 験や曲げ載荷試験から得られた材料のひび割れ 性状の違いが積層供試体にそのまま反映し, ひ び割れ分散の差として現れていた。しかしなが

ら、どちらの材料も良好にひび割れを分散して いるが、その分散およびひび割れ幅はそれぞれ の一軸引張試験で評価した最大応力およびひび 割れ分散の性能を反映している。

(3) ひび割れ幅低減効果

図-8 にひび割れ幅を計測できた各供試体の NC のひび割れ幅と引張縁における HPFRCC の ひび割れ幅の関係を示す。PVA10~50はPE10~



50 に比べひび割れ幅の増加時期が早いものの, 供試体の引張縁において HPFRCC のひび割れ幅 は、材料、厚さの違いにおいて明確な差は見ら れなかった。また 1mm の NC のひび割れ幅に対 して HPFRCC の引張縁のひび割れ幅は 0.2mm 以 下になったように、ほとんどの HPFRCC のひび 割れ幅はNCのひび割れ幅の20%以下になった。 一本の NC のひび割れ幅に対して引張縁の HPFRCC では複数本に分散した結果, HPFRCC のひび割れ幅が小さくなり、結果的に一本のひ び割れ幅が低減されることとなったと思われる。 このことからコンクリート構造物には発生した ひび割れから様々な劣化因子が進入するが、供 試体の引張縁ではひび割れが HPFRCC により微 細なものになっていることから HPFRCC による 積層供試体は劣化因子浸透抑制機能にも寄与す ると思われる。

4. まとめ

- (1) 一軸引張試験ならびに曲げ試験において PVA, PE ともに初期ひび割れ発生後,明確 な擬似ひずみ硬化挙動,たわみ硬化挙動を示 した。本実験で行った一軸引張試験での引張 軟化開始ひずみは PE で約 1.5~2.5%, PVA で約 0.2~0.6%であった。
- (2) 曲げ作用を受ける NC 梁供試体に HPFRCC を積層すると全ての供試体について耐荷力, 変位量ともに増大したが,同じ厚さを NC に 積層した場合,各材料の一軸引張試験におけ る引張性状の差に比べ,荷重の面では大きな

差は見られなかった。

- (3) HPFRCC 部分において NC のひび割れを複数に分散する効果が確認できた。中でも PE10~50 は PVA10~50 に比べ,分散するひび割れ本数が多い結果を得た。材料の一軸引 張性状が積層供試体に反映しているものと思われる。
- (4) 本実験に適用した範囲では HPFRCC 厚さに 関わらず,供試体引張縁における HPFRCC のひび割れ幅は NC に発生したひび割れ幅 が HPFRCC 層で複数に分散し,本研究の結 果では 20%以下となった。

謝辞;本実験に使用した PVA 配合は鹿島建設
 (株)よりプレミックス材料をご提供頂きました。ここに厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 日本コンクリート工学協会:高靭性セメント 複合材料の性能評価と構造利用研究委員会 報告書,2002.1
- 2) 土木学会:複数微細ひび割れ型繊維補強モル タルの評価と利用、コンクリート技術シリー ズ 64、2005.7
- 国枝 稔, 稲熊 弘, 増川淳二, 六郷恵哲:
 吹付け ECC を用いた表面保護工に関する基礎的検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第4巻, pp.265-270, 2004.10