

## DFRCC を下面ならびに上面増厚した RC はりの曲げ破壊性状

学生氏名 三橋 哲晴  
 佐野 昌義  
 指導教員 栗原 哲彦

### 1. はじめに

現在の自動車交通量の増加と車両の大型化・重量化により、鉄筋コンクリート床版の損傷は日々急速に進行し、損傷の度合いが高く、大変深刻な問題となっている。なかでも、一般的な橋梁のコンクリート床版の場合、乾燥収縮、たわみ変形、振動等の影響により、コンクリート床版自体にひび割れが発生し、道路橋自体の美観を損ねるばかりでなく、雨水等が浸透し、母材 RC はりの鉄筋の発錆、劣化が考えられる。疲労劣化したコンクリート構造物の、供用を継続するためには補修・補強が必要となる。そこで変形追従性に優れ、大変形を受けた場合でもひび割れ幅を小さいレベルに抑制できる高靱性セメント複合材料 (Ductile Fiber Reinforced Cementitious Composites, DFRCC) を、コンクリート構造物の補修および補強に利用する動きがある。

本研究では、DFRCC が補修・補強材料として有効であるかどうかを検討するために、代表的な補強工法である上・下面増厚工法を用いて、実験的に検討した。さらに荷重-載荷点変位曲線の解析プログラムを作成し、実験値との検証を行う。さらに昨年度の実験結果 (SFRC の上面増厚) と比較検討することにより DFRCC の特性をより深く評価する。

### 2. 実験概要

#### (1) はり供試体

はり供試体の概略を図 1 に示す。母材コンクリートには、レディーミクストコンクリート (呼び強度 24) を、補強部には DFRCC を使用した。母材コンクリートの示方配合を表 1 に、DFRCC の示方配合を表 2 に示す。

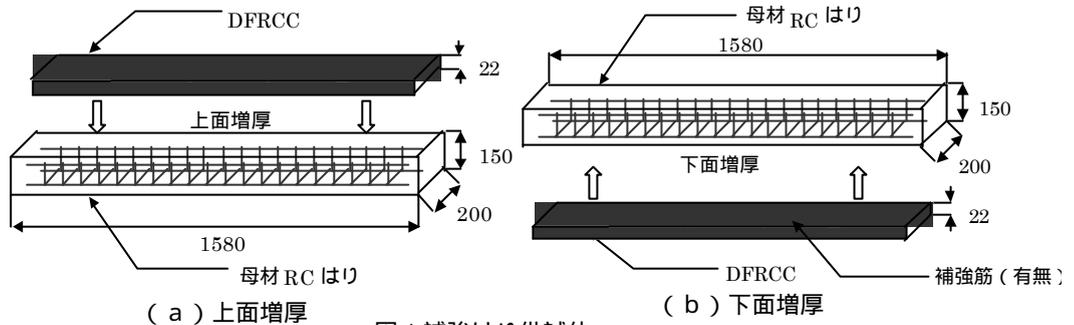


図 1 補強はり供試体

表 1 母材コンクリートの示方配合

W/C %	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					スランブ (cm)
	W	C	S	G	Ad	
56.5	158	280	789	1053	2.8	13.0

表 2 DFRCC の示方配合

W/C %	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					Ad <sup>*3</sup> %
	W	C	S	V <sup>*1</sup>	F <sup>*2</sup>	
30	342	1264	395	0.9	14.6	3.0

\*1: 増粘剤 \*2: ポリエチレン繊維 (体積混入率 1.5%)

\*3: 高性能 AE 減水剤 (結合材に対する質量百分率)

はり供試体の寸法諸元

を表 3 に示す。母材のはり供試体は複鉄筋構造の RC はり (床版の切出しを想定) とした。はり供試体は曲げ破壊型を想定し、圧縮および引張鉄筋には 2D10 (SD295) を配筋し、鉛直スターラップには供試体中心より D10 (SD295) を 70mm 間隔で配筋した。下面増厚補強されたはり供試体には、補強部に補強鉄筋 (SD295, 2D6) を配筋したものとそうでないものを作製した。なお、無補強の RC はりは昨年データを使用した。<sup>1)</sup>

母材のはり供試体を 28 日間湿布養生した後、はり供試体の上・下縁の付着面を目粗した。その後、上・下面に DFRCC を増厚した (厚さ 22mm)。

表 3 補強はり供試体の寸法諸元

シリーズ	母材コンクリート							DFRCC		
	コンクリート部 幅×高さ×長さ [スパン] (mm)	鉄筋部			鉄筋量	間隔	コンクリート部 寸法	鉄筋部 補強部		
		引張	圧縮	スターラップ				鉄筋量	有効高さ (mm)	
無補強 <sup>1)</sup>	200×150×1580 [1380]	2D10	11.5	2D10	35	D10	70	-	-	-
上面								200×22×1480	-	-
下面(有)								200×22×1280	2D6	153
下面(無)								-	-	-

(2) 荷重方法

荷重方法を図2に示す。荷重は、スパン1380mmの3等分点曲げ荷重試験とした。荷重、荷重点変位、支点沈下量を試験機附属のロードセル(容量300kN)、変位計(ストローク50mm)、変位計(ストローク25mm)により計測した。表4に試験材齢時の材料定数を示す。なお、荷重は、はり上縁の圧壊を明確に観察できた時点で終了とした。

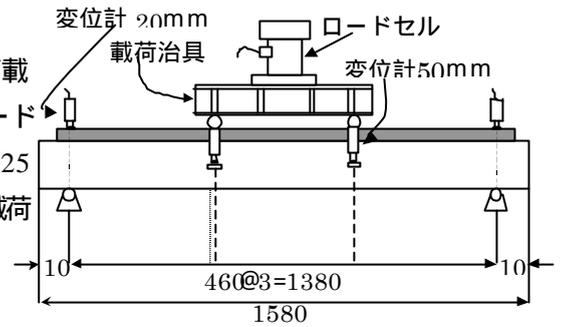


図2 荷重方法

表4 試験材齢時における材料定数

母材コンクリート			
強度(N/mm <sup>2</sup> )			ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
圧縮	引張	曲げ	
36.9	2.89	4.38	28.6
DFRCC			
強度(N/mm <sup>2</sup> )			ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
圧縮	引張	曲げ	
57.8	8.60	18.0	24.1

補強はり供試体の荷重 - 変位曲線を簡易的な断面解析法により推定した。ここでは、はり曲げ破壊し、曲げモーメント区間でひび割れが1本のみ発生するという仮定のもと、断面力の釣合いから、曲げモーメント - 曲率関係を算出し、その後、荷重 - 変位関係を推定する方法を用いた。また、曲げモーメント - 曲率関係を算出するには切断法<sup>2)</sup>を利用した。

断面解析に用いた母材コンクリートの圧縮および引張特性を図3(a)にDFRCCの収縮及び引張特性を図3(b)に示す。さらに、鉄筋の圧縮・引張特性(引張軟化曲線)を図3(c)に示す。各材料の応力ひずみ関係は示方書<sup>3)</sup>、設計指針(案)<sup>4)</sup>または実測(あるいは多直線近似法による推定結果)に基づいてモデル化した。なお、DFRCCの引張軟化曲線は、長谷川の実験データ<sup>5)</sup>を元にモデル化したものである。なお、解析上における終局判定は、はり上縁の圧縮ひずみが終局ひずみに達した時点とした。

3.2 実験結果

(1) 荷重 - 変位曲線

実験により得られた荷重 - 変位曲線を図4に示す。実験結果に関しては、いずれの補強はり供試体も無補強に比べ、最大荷重の増加を確認することができた。しかし、下面(有)および下面(無)では、無補強と同程度の変形能しか得られなかった。これに対して、上面では、著しい変形能が見られ、最終変形も100mmに近い性能を示した。

これは、下面増厚ではDFRCCを貫通し、母材コンクリートにひび割れが進展した場合、そのひび割れ分散性は無補強と同様となるため、変形も無補強と同程度となったと考えられる。これに対して、上面増厚では、母材コンクリートに生じたひび割れが、一旦DFRCCで進展が止まり、その後DFRCCの高じん性が発揮され、大変形が生じたものと考えられる。下面増厚(補強筋なし)では、変位4mmほどで一度ピークを迎え、荷重低下した。その後は、無補強とほぼ同じ荷重で推移した。

表5に実験より得られた最初のひび割れ荷重および最大荷重を示す。

(2) ひび割れ図

写真1に荷重試験後のはり側面におけるひび割れ図の一例を示す。なお、写真中にはひび割れ図のスケッチも示す。上面および下面(有)では、通常の鉄筋コンクリートはりで見られるひび割れ分散を母材側で観察することができた。上面では、補強部のDFRCCにひび割れが到達した後、その進展が止まる結果を得た。最終的にはDFRCCにひび割れが進展し圧壊に至っている。下面(有)では、DFRCCを貫通したひび割れは補強筋の影響により母材側で

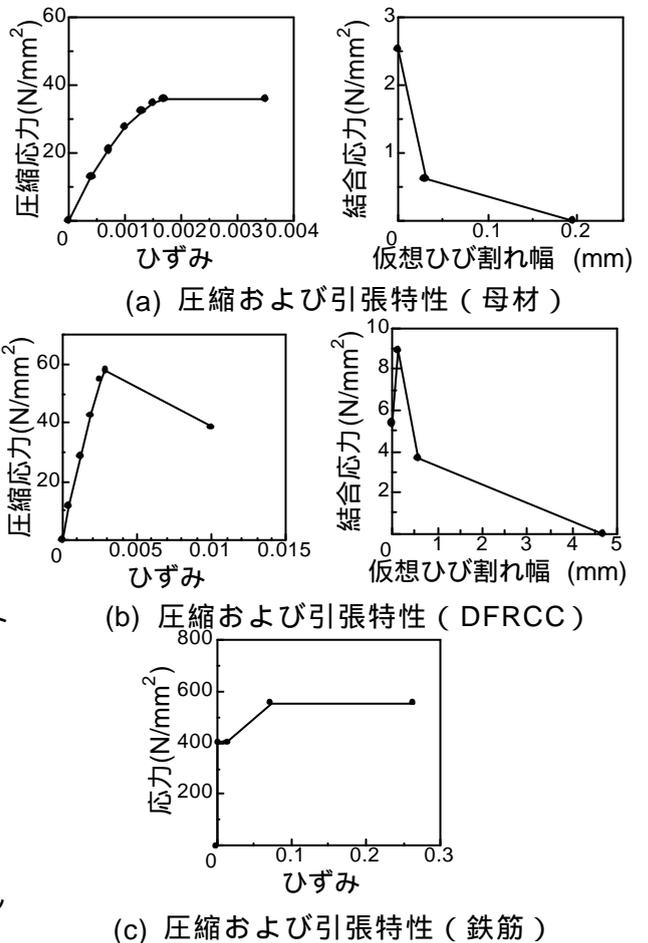


図3 応力ひずみ関係および引張軟化曲線のモデル化

もひび割れの分散を見ることができた。下面(無)では、他ほどひび割れの分散を見ることができなかつた。

### 3.3 解析結果

図4に、解析により得られた荷重-変位曲線を併記する。表5に解析から得られた最初のひび割れ荷重および最大荷重を示す。下面(無)を除き、いずれも荷重-変位曲線を良好に再現できている。

表5に示す各荷重についても実験結果と比較的一致している。下面(無)において、実験と解析の荷重-変位曲線が大きく異なつたのは、破壊パターンが他と異なるためと考えられる。つまり、実験では早期に破壊の局所化が起こり、鉄筋コンクリートはりで見られるひび割れの分散等の破壊形態を示さなかつたためと考えられる。

以上より、DFRCCを上・下面増厚補強した場合であっても、ここで用いた比較的簡易な断面解析方法によって荷重-変位曲線を比較的良好的に再現することができた。つまり、通常の曲げ解析で評価できることが確認された。

### 4. SFRCの上面増厚補強及びPCMの増厚補強との比較

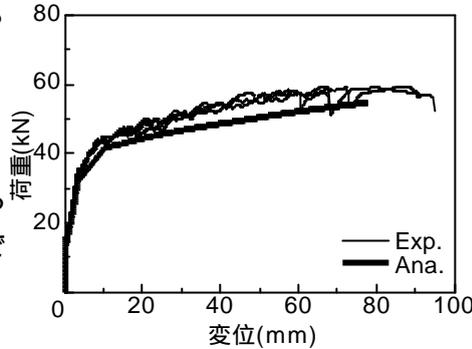
図5にSFRC(繊維混入率1%, 圧縮強度 $69.1\text{N/mm}^2$ )<sup>1)</sup>およびPCM(圧縮強度 $33.6\text{N/mm}^2$ )<sup>5)</sup>とDFRCCを比較したグラフを示す。図5(a)よりSFRCとDFRCCの最大荷重の値は60kNであり、曲線形状、最大荷重ともほとんど変わらないが、最大荷重時の変位に関して、DFRCCの方が約30%向上していることが分かつた。また、PCMとの比較では最大荷重はともに約65kNであり、大きな差は見られないが、最大荷重時の変位はPCMの方が約50%向上していることが分かる。

### 5. まとめ

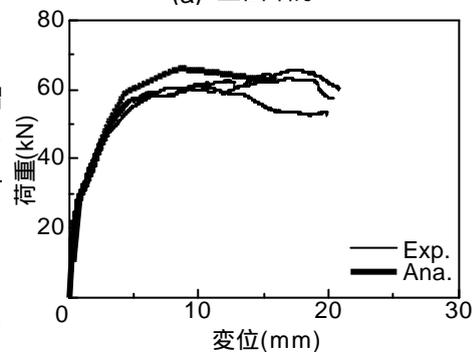
以上DFRCCを上・下面増

表5 最初のひび割れ荷重および最大荷重

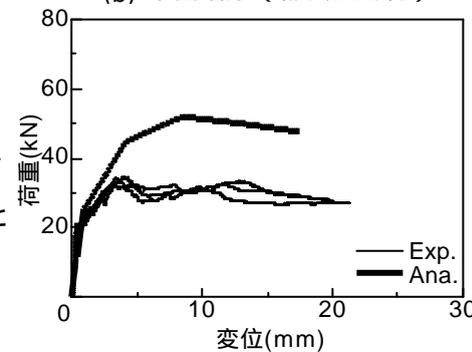
シリーズ	ひび割れ荷重(kN)		最大荷重(kN)	
	実験	解析	実験	解析
上面	14.8	16.1	58.8	54.8
下面(有)	25.0	22.4	63.3	65.9
下面(無)	20.3	21.4	33.4	51.8
無補強	12.8	8.75	33.5	32.3



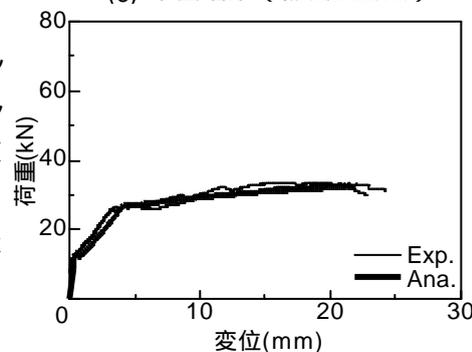
(a) 上面増厚



(b) 下面増厚(補強鉄筋有)



(c) 下面増厚(補強鉄筋無)



(d) 無補強

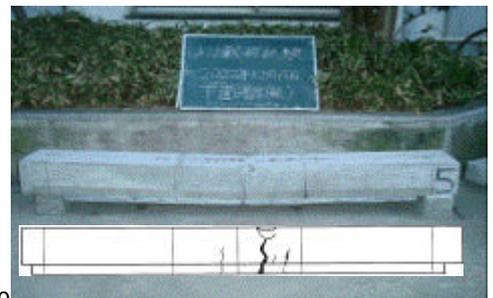
図4 荷重-変位曲線



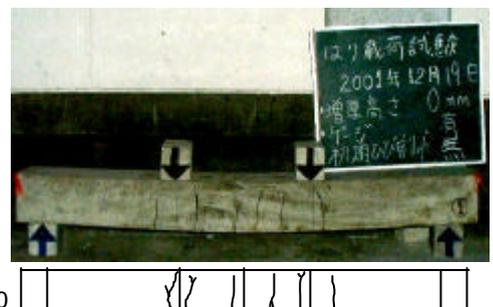
(a) 上面増厚



(b) 下面増厚(鉄筋有)



(c) 下面増厚(鉄筋無)



(d) 無補強

写真1 実験終了時の供試体

厚工法の補修 補強材料として用いた場合の曲げ破壊性状について実験・解析的に検討した。得られた結果を以下に示す。

- 1) DFRCC を上・下面増厚補強に用いることで十分な補強効果を確認することができた。特にDFRCCを圧縮部に適用することで変形能を向上させることができた。
- 2) 鉄筋コンクリートはりで用いられている通常の曲げ解析により上・下面増厚補強されたはりの荷重-変位曲線を評価できることが分かった。
- 3) DFRCC を上面増厚することによりRC はりの変形性能を向上させることができた。また、下面増厚(補強筋あり)は、ひび割れ荷重および最大荷重ともに大きな値を示している。
- 4) 下面増厚における最大変位(20mm程度)でも、無補強以上の耐力を示しており、十分な補強効果が得られた。下面増厚の場合、補強筋を配筋しないとひび割れが局所化し、DFRCCの特徴がほとんど見られず、断面増加による耐力上昇のみ確認できた。しかし、補強筋を配筋したものは、初期ひび割れ荷重、最大荷重とも大きな値をとった。
- 5) 上面増厚の場合、SFRCと比較してDFRCCにより変形能を向上させることができ、最終的に100mm程度の変位を示した。脆性的な破壊を防ぐときや大変形を必要とする場合に有効であると考えられる。

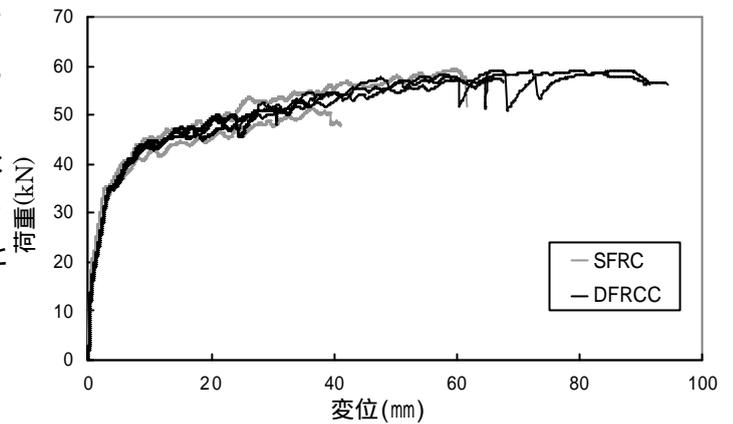
以上より、DFRCCの補強材としての性能は上面増厚することにより補強筋を用いずに十分な耐力と変形性能を確認できた。

#### 謝辞

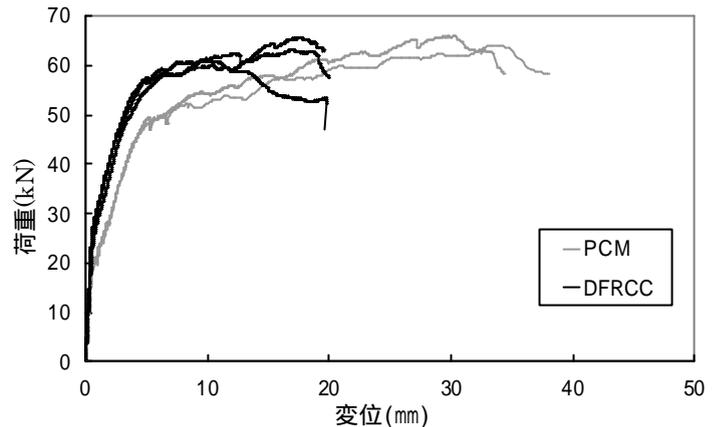
本研究を進めるにあたり、栗原哲彦講師、小玉克己教授および吉川弘道教授には終始ご指導、ご鞭撻を頂き賜り心よりお礼申し上げます。また本研究の諸実験では、栗原哲彦講師、仲宗根茂技士に、載荷装置の使用方法や実験に関し、ご指導、ご協力を頂いたことに深く感謝いたします。そして、本研究室において、修士2年野田誠先輩・加藤貴祥先輩をはじめ大学院の方々ならびに、学部生の皆様に多大なるご指導、ご協力を頂いたことを深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 高橋禎文 鋼繊維補強コンクリートを上面増厚したRCはりの曲げ破壊性状,平成13年度 武蔵工業大学 卒業論文
- 2) 内田裕市ほか:コンクリートの曲げ強度の寸法効果に関する破壊力学的検討,土木学会論文集, No.441, V-16, pp.101-107, 1992
- 3) 土木学会:コンクリート標準示方書,構造性能照査編,2002年制定
- 4) 土木学会 鋼繊維補強鉄筋コンクリート柱部材の設計指針(案),平成11年版
- 5) 長谷川哲也:高じん性セメント複合材料の引張軟化曲線の推定 平成14年度 武蔵工業大学 卒業論文
- 6) 竹田一隆 補修 補強部のはく離に関する実験的研究 平成13年度 武蔵工業大学 修士学位論文



(a) SFRC (上面増厚) との比較



(b) PCM (下面増厚補強筋あり) との比較

図5 補強はり供試体のひび割れ図