# 報告 継手部を有する連続繊維補強材による RC はりの下面増厚補強効果

佐藤 貢一\*1・小田切 芳春\*2・辻 幸和\*3・岡村 雄樹\*4

要旨:性能が低下した道路橋 RC 床版の補強工法として,吹付け下面増厚補強工法がある。 本研究では,実構造物で必要不可欠な継手部を有する炭素繊維の格子状連続繊維補強材(以 下 CFRP)を使用し,静的載荷試験および 200 万回の繰返し載荷試験を行った結果を報告す る。今回の繰返し載荷には応力振幅を引張鉄筋の応力度で 180N/mm<sup>2</sup>の 200 万回繰返しと増 加させ、またリベットを主体としたアンカーを用いてその本数と補強材の継手交点に着目し て,試験体の最大荷重,たわみ,CFRP のひずみ分布等についての力学的性状を報告する。

キーワード:連続繊維補強材,疲労試験,補強材の継手交点,リベット,CFRPのかぶり

### 1. はじめに

既往の研究において,格子状連続繊維補強材 で下面増厚補強した様々な補強 RC はりの実験 報告がなされてきた<sup>1)</sup>。

そうした経緯を踏まえ,実構造物で必要不可 欠な継手部を有するCFRPで補強したRCはりの 静的載荷試験および疲労試験を実施した。継手 を有する CFRP についても,引張鉄筋の応力振 幅が道路橋示方書で規定されている 140N/mm<sup>2</sup> で 200 万回の繰返し載荷に対しては,十分な疲 労耐久性を示すことが確認された。しかし,示 方書に基づく設計荷重レベルでは十分であって も,静的耐荷力,および 200 万回の繰返し載荷 試験後の残存耐荷力において,一体型の CFRP と比較して継手があることによる補強効果の低 減も認められた。

本研究では,継手部のさらなる耐疲労性を確 認することを目的として,継手部のある試験体 のみに着目し,繰返しの応力振幅を増加させた 疲労試験を行った結果を報告する。また,継手 部の影響による補強効果の低減を小さくするこ とを目的として,継手部の CFRP の交点,アン カーの本数,吹付けモルタルのかぶりを変化さ せた試験体も作製し,実験的に検討した結果も 報告する。



図-1 試験体の形状寸法

*	1	奈良建設(株)	技術研究所	主任研究員	(正会	員)
*	2	群馬大学大学	院 工学研究	科 建設工学	学専攻	(正会員)
*	3	群馬大学 工	学部 建設日	二学科 教授	工博	(正会員)
*	4	前橋工科大学	建設工学科	4 助教授 ]	L博(	正会員)



#### 2. 実験概要

#### 2.1 試験体の作製

試験体の形状寸法を図 - 1 に示す。コンクリートの目標強度を 20N/mm<sup>2</sup>とし,高さ 199mm,幅 500mm,長さ 2400mmのRC はりを作製した。

コンクリートの材齢が 28 日に達した後,劣化 を想定して RC はりを1次載荷した。RC はりの 引張側に曲げひび割れを発生させ引張鉄筋の応 力度が 300N/mm<sup>2</sup>となるまで漸増載荷を行った。

この劣化 RC はりには、ポリマーセメントモル タルと躯体との付着が良好となるように, 躯体 底面に表面処理を施した。表面処理には, サン ドブラストを用いて粗骨材が見えるまで削り, 凹凸を設けた状態にした。

継手部による補強効果の低減を改善するため に,従来の継手が3交点のものに加えて,継手 部の交点を4交点と5交点に変化させた3種類 のCFRPを使用した。またアンカーボルトには, リベット式アンカーボルト(以下,リベットと略 称する)とM-8式アンカーボルト(以下,M-8 アンカーと略称する)の2種類を使用し,リベッ トの本数を増加させたものも作製した。なお, リベットは径が4.8mm,全長が35mm,埋込み長 が25mmである。M-8アンカーは,径が8mm,

							CFRPの
試験体	載荷	応力振幅	継手	アンカー	アンカー		かぶり
No.	方法	(N/mm2)	交点	の種類	の本数		(mm)
					端部	継ぎ手	
1			3交点	M-8	4	8	10
2			3交点	リベット	8	8	10
3			4交点	リベット	8	8	10
4	静的		5交点	リベット	8	8	10
5			3交点	リベット	8	20	10
6			3交点	M-8	4	8	0
7			3交点	リベット	8	8	20
8		140	3交点	M-8	4	8	10
9		140	3交点	リベット	8	16	10
10	疲労	180	3交点	リベット	8	8	10
11		180	5交点	リベット	8	8	10
12		180	3交点	リベット	8	20	10

表 - 1 試験体の種類

全長が 65mm,埋込み長が 35mm である。図-2 に CFRP の継手交点およびリベット,M-8アン カーの設置位置と本数を示す。

その後,劣化 RC はりの底面に噴霧器で水を散 布することで湿潤状態にした後,ポリマーセメ ントモルタルを2層に分けて吹き付けた。ポリ マーセメントモルタルによる増厚部のかぶりに ついては,0mm,10mm,20mmの3水準とし, その補強効果を確認する。吹付けの終了後, 28日間の気中養生を行い載荷に供した。表-1に試験体の種類を示す。

#### 2.2 載荷試験方法

載荷試験方法は,スパンが2000mm,等曲 げモーメント区間が500mmの二点集中載荷 とした。

#### (1) 静的載荷試験

載荷試験方法は荷重制御とし,試験体が破 壊するまで漸増載荷を行った。この間に主鉄 筋および補強材の各位置のひずみ,試験体中央 部のたわみ,試験体側面の引張鉄筋位置に生じ る曲げひび割れ幅,およびひび割れ発生状況の 計測と観察を行った。

## (2) 定点繰返し載荷試験

継手部の疲労耐久性を確認するため,応力振 幅を引張鉄筋の応力度で140N/mm<sup>2</sup>と180N/mm<sup>2</sup> の2水準で疲労試験を実施した。下側に配置し た引張鉄筋の応力度が計算値で140N/mm<sup>2</sup>ある いは180N/mm<sup>2</sup>となる上限荷重がそれぞれ51kN あるいは67kN まで漸増載荷した後,下限荷重 2kNの間で50万回定点繰返し載荷試験を行い, 再び上限荷重まで漸増載荷を行った。その後, 同様に定点繰返し載荷50万回(合計100万回)を 行い,再び上限荷重まで漸増載荷を行った。定 点繰返し載荷が100万回(合計200万回)後につい ては,試験体が破壊するまで漸増載荷を行った。

漸増載荷する際には,主鉄筋および補強材の ひずみ,試験体側面の引張鉄筋位置に生じる曲 げひび割れ幅,試験体中央部のたわみの計測を 行った。

## 3. 実験結果

## 3.1 最大荷重

図-3 に各試験体の最大荷重を示す。ここで, 計算値には継手を有しない CFRP 試験体におけ るものを用いた。

最大荷重はすべての試験体において,計算値 を下回る荷重で破壊に至ったが,無補強での計 算値を上回っていた。CFRPの継手があると,



CFRP が一体ものの試験体と比較して静的耐荷 力で劣るといえるものの,CFRP による補強効果 は得られたといえる。また,繰返し載荷を行っ た試験体 No.8 ~ No.12 より,応力振幅が 180N/mm<sup>2</sup>まではその大小に関係なく200万回の 繰返し載荷に耐えた。そしてその後の静的載荷 においても,CFRP の継手がある試験体は十分な 残存耐荷力を示したといえる。

継手部の交点を変化させた試験体 No.2, No.3 および No.4 を比較すると,継手部の交点が4交 点の No.3 の最大荷重が最も大きかった。継手部 が3 交点の No.2 と5 交点の No.4 はほぼ同等で あった。また,リベットの本数のみが異なる試 験体 No.2 と No.5,継手部のかぶりの厚さのみが 10mm と 20mm で異なる試験体 No.2 と No.7 をそ れぞれ比較すると,最大荷重にはそれぞれ大き な違いが見られなかった。継手部がある試験体 において,リベットを増やす効果および継手部 のかぶりを増やす効果は小さいといえる。しか し,継手部のかぶりが 10mm ある試験体 No.1 と かぶりがない No.6 を比較すると,かぶりがない No.6 は約 30%最大荷重が小さくなっていた。

疲労試験を実施した試験体 No.8~No.12 は, 200 万回繰返し載荷後の漸増載荷試験において も無補強での計算値を大きく上回っていること から,200 万回の疲労試験後も十分な残存耐荷力 を示したといえる。200 万回の繰返し載荷を行っ た試験体において,リベットの本数のみが異な る試験体 No.10 と No.12 を比較すると,リベッ トの本数が多い No.12 の最大荷重が 5% 程度小さ かった。また,リベットの本数がほぼ等しく応 力振幅が 140N/mm<sup>2</sup>の試験体 No.9 と 180N/mm<sup>2</sup> の No.12 を比較すると, No.12 は No.9 に対して 最大荷重が約 10%小さかった。

# 3.2 CFRP のひずみ分布

図-4に,疲労試験を実施した試験体における CFRP のひずみ分布を示す。試験体 No.8 および No.9 については引張鉄筋の応力度が計算値で 140N/mm<sup>2</sup>となる荷重が 51kN となる時の CFRP のひずみ分布,試験体 No.10, No.11 および No.12 については 180N/mm<sup>2</sup>となる荷重が 67kN となる 時の CFRP のひずみ分布を示す。図において, ゲージの位置が 0mm は試験体中央を示し,ゲー ジの位置が-250mm から 250mm までが等曲げモ ーメント区間を示している。また,補強材のひ ずみの値は、ゲージの位置が-600mmから 600mm までにそれぞれ 3 箇所ずつ貼付したひずみゲー ジの実側値の平均値である。図において,繰返 し載荷が初回から 200 万回後にかけて CFRP の ひずみの増加が大きな試験体ほど,CFRPが疲労 による損傷を受けやすいことになる。

図-4より,初回から200万回後にかけて試験 体の種類の違いによるCFRPのひずみの差に顕著 な差が見られないことから,振幅応力が 140N/mm<sup>2</sup>と180N/mm<sup>2</sup>の大小に関わらず試験体 の違いによる耐疲労性状に顕著な差は見られな い。また,200万回の繰返し載荷後もひずみの値 が計算値を下回っていることから,応力振幅が 180N/mm<sup>2</sup>の荷重設定においても十分な疲労性 状を示したといえる。

試験体 No.10 において, 左右の主補強材と継 手補強材の交点においてそれぞれのひずみの差 が小さいことから,引張応力の伝達がスムーズ に行われているといえる。CFRPの形状が同じで M-8アンカーを用いた試験体 No.8においては, 主補強材と継手補強材のひずみは最大で 60%程 度の差があった。また,継手部におけるリベッ トの本数が8本の試験体 No.10と20本の No.12 を比較して,継手部のリベットが多いからとい って応力伝達がより良好に行われているわけで



図-4 各試験体における CFRP のひずみ分布 はないことが分かる。継手部において, No.8 の M-8 アンカーと No.10 のリベットはともに 8 本

ずつ使用していること,また,リベットの本数 の増加が疲労耐力の向上に及ぼす効果が小さい ことから,曲げモーメント一定区間だけでなく せん断スパン内も含めてアンカーの配置位置が 重要である。

また,継手部が5交点の試験体 No.11 は3交 点の No.10 と比較して,継手補強材におけるひ ずみの値が概ね小さい。特に,継手部の端部に おいて継手補強材のひずみが主補強材のひずみ に対して最大で50%程度になった。補強材の交 点を増やすことで,継手補強材の負担を軽減す ることができる。

## 3.3 試験体のたわみ

図-5 に静的載荷試験を実施した各試験体に おける試験体中央部のたわみと荷重の関係を示 す。図において,計算値は CFRP が一体型の試 験体におけるものを示している<sup>2)</sup>。図-5より, 継手部の交点が5交点の試験体 No.4 を除いたす べての試験体において,引張鉄筋の降伏に関わ らず,最大荷重付近まで計算値と概ね等しい傾 きを示した。躯体底面とモルタルとの付着が良 好であったといえる。

図 - 5(a)より,継手部の交点のみが異なる試 験体を比較すると,3 交点の試験体 No.2 と4 交 点の試験体 No.3 は最大荷重付近までほぼ同様な 荷重 - たわみ曲線を描いた。その後は,No.3 が たわみを増加させながら最大荷重近くを保って いるのに対して,No.2 はたわみが増加すること なく荷重が低下した。一方,交点が5 交点の No.4 は3交点のNo.2 および4 交点のNo.3 に対して, 同一荷重においてたわみが 60%程度となった。 交点を5 交点とすることによるたわみ低減への 効果は大きいが,剛性が高くなったことにより 靭性には乏しくなったといえる。

リベットの本数のみを変化させた試験体を比 較すると,リベットが 28 本の No.5 は 16 本の No.2 と同様に,最大荷重付近まではほぼ同様の 傾向を示した。その後は,急激に荷重が低下し てしまう No.2 に対して,No.5 はたわみを増加さ



せながら最大荷重の90%程度を維持していた。

図 - 5(b)より, CFRP のかぶりのみが異なる試 験体を比較すると,アンカーがM - 8 式でかぶり が 0mm の試験体 No.6 は,10mm の No.1 と比べ て鉄筋降伏荷重が 20%程度低く,降伏後のたわ みも増加しやすかった。また,リベットを用い かぶりが 20mm の試験体 No.7 は,かぶりが 10mm の No.2 と比較して最大荷重まではほぼ同様の傾 向を示した。しかし,その後は試験体 No.7 は No.2 と比較して急激に荷重が低下した。

## 3.4 最大曲げひび割れ幅

図 - 6 に静的載荷を実施した試験体における 最大曲げひび割れ幅を示す。ここで,最大曲げ ひび割れ幅とは,等曲げモーメント区間に発生 した曲げひび割れのうち最大のものを示してい る。なお,ひび割れ幅は引張鉄筋位置に設置し た測定基準長が100mmの型変位計を用いて測 定した。また,一体型 CFRP の試験体はリベッ トを16本使用した試験体である<sup>2)</sup>。 図-6(a)より,継手がある試験体は CFRP が一体型で継手が無い試験体と比較して最大曲げひび割れ幅が同一荷重で小さくなった。また継手を有するいずれの試験体においても,最大曲げひび割れ幅は引張鉄筋が降伏するまではほぼ同等であった。しかし降伏後はリベットの本数が多い試験体 No.5,継手部の交点が5交点の No.4の最大曲げひび割れ幅の増加が大きくなった。

図 - 6(b)より,アンカーが異なる試験体を比 較すると,リベットを 16 本用いた試験体 No.2 は,M-8を12本用いたNo.1 に対して最大曲げ ひび割れ幅が同一荷重で 60%程度に抑えられて いた。M-8を用いた試験体 No.1 および No.6 は 引張鉄筋が降伏した後,最大曲げひび割れ幅の 増加が急激になり,最大荷重まで伸び続けてい ることが特徴であるともいえる。

かぶりのみを変化させた試験体を比較すると, かぶりが 20mm の試験体 No.7 およびかぶりがな い No.6 は,かぶりが 10mm の No.2 および No.1 とそれぞれ比較して最大曲げひび割れ幅がそれ ぞれ大きくなった。特に,かぶりがない No.6 は 載荷初期の段階から最大曲げひび割れ幅が大き かった。

# 4. まとめ

本研究により,以下のことが言える。

- (1) 継手部を有する試験体は引張鉄筋の応力度 が 180N/mm<sup>2</sup> となる荷重設定において,200 万回の疲労試験を行った後も,十分な残存耐 荷力を示す。
- (2) 継手部を有する試験体は,継手部が無い試験 体に対して最大曲げひび割れ幅が小さい。
- (3) 継手部における CFRP の交点を増やすことで,たわみの低減,継手補強材の疲労低減に効果がある。しかしながら,継手部の交点の増加が静的耐荷力の向上および最大曲げひび割れ幅の抑制に及ぼす効果は小さい。
- (4) 継手部におけるリベットの本数の増加が、疲労耐久性および静的耐荷力の向上に及ぼす 効果は小さい。しかし,リベットの本数を増



やすことで試験体は靭性に富むようになる。 (5) 10mm 以上のかぶりで,かぶり増加が静的耐 荷力の向上およびたわみの低減に及ぼす効 果は小さい。このことから,最小かぶりは 10mm 程度あればよいものと考えられる。

本研究は, FRP グリット工法研究会の研究開 発の一環として実施したものである。試験体の 作製および1次載荷に際しては,ドーピー建設 工業㈱関東工場に多大なご協力を頂いた。付記 して,厚くお礼申し上げる。

#### 参考文献

- 1)金田和男, 辻幸和, 杉山隆文:連続繊維補強材 と圧入モルタルによる RC 床版の下面増厚補強 効果,コンクリート工学年次論文報告集, Vol.121, No.2, pp.289-294, 1999
- 2) 小田切芳春, 辻幸和, 岡村雄樹, 小林朗: 継手 部を有する連続繊維補強材により下面増厚補 強した RC はりの疲労性状, コンクリート工学 年次論文集, Vol.25, No.2, pp.1915-1920, 2003