

CFS・CA 型補強 RC はりの補強効果と力学特性に関する実験研究

日大生産工（院） ○松岡 大輔 日大生産工 木田 哲量
日大生産工 阿部 忠 日大生産工 澤野 利章

1. はじめに

道路橋RC床版は、車両の大型化や交通量の増加により、ひび割れなどの損傷が生じている。この損傷問題に対処するための補修・補強工法には、施工性に優れている炭素繊維シート(CFS)接着工法があり、その施工件数は年々増加の傾向にある。しかし、RCはりの底面にCFS補強を施した場合、静荷重に対してはひび割れ分散効果により、曲げ耐力の向上が見られる¹⁾。しかし、CFS補強により曲げ耐力が向上したため、走行荷重が作用した場合はせん断領域で脆性的なせん断破壊が先行する。

そこで本研究では、CFS 補強した RC はりのせん断領域に鉄筋を挿入する補強法、すなわち鉄筋コア・アンカー(CA)型補強法を併用したCFS・CA型補強法の有用性を検証する。実験供試体は、圧縮強度の異なる未損傷 RC はり及びひび割れ補修を施した CFS・CA 型補強 RC はりとし、これに大型自動車の輪荷重を想定した走行荷重が作用した場合の補強効果および破壊メカニズムを実験により検証する。

2. 供試体の作製

2.1 使用材料

供試体コンクリートには、普通ポルトランドセメントと最大寸法 20mmの粗骨材(2.63g/cm³)を使用した。また、鉄筋はSD295A、D16 を使用し、挿入鉄筋にはD13 を用いた。コンクリートの圧縮強度および鉄筋の降伏・引張強度を表 1、CFSの材料特性値を表 2 に示す。

2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体の支間は 200cm、張り出し部は鉄筋 D16 を使用する事から 40cm とし、全長 280cm とした。鉄筋は引張側に 3 本、圧縮側に 2 本配置した。また、CFS 補強は、供試体底面に主鉄筋方向へ 1 層貼り付けるものとする。

1)タイプ A: せん断補強筋は、せん断スパン比 $a/d=2.61$ を考慮し、両支点から 18cm、36cm の位置に D13 を各 2 本挿入した。

表 1 コンクリート・鉄筋の材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋 (SD295A, D16)		
		降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
タイプ A	38.5	368	568	196
タイプ B	41.5			
タイプ A', B'	26.5	364	516	200

表 2 CFS の材料特性値

シート名	目付量 (g/m ²)	設計厚さ (mm)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
高強度CFS	202	0.111	4420	243

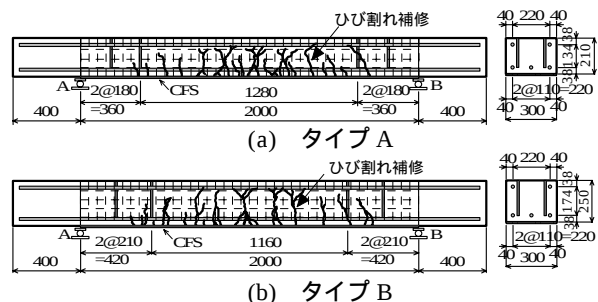


図 1 鉄筋配置及び応力履歴時のひび割れ形状

2)タイプ B: せん断補強筋は、せん断スパン比 $a/d=2.59$ を考慮し、両支点から 21cm、42cm の位置に D13 を各 2 本挿入した。なお、供試体寸法及びせん断補強鉄筋の配置位置を図 1 に示す。

2.3 応力履歴供試体

応力の履歴は、大型自動車の荷重変動を想定した走行振動荷重で行った。その振幅は基準荷重に対し、 $\pm 20\%$ 、 $\pm 30\%$ とし、周期 1.5Hz の正弦波形からなる変動荷重である。なお、走行振動荷重載荷における最大耐力は、一往復を維持し得た最大荷重とし、タイプ A は $\pm 20\%$ で 74.0kN、 $\pm 30\%$ で 75.2kN となり、タイプ B では $\pm 20\%$ で 94.1kN、 $\pm 30\%$ で 92.5kN となった。なお、応力履歴の場合はたわみ 20mm で荷重を除荷した。応力履歴時のひび割れを図 1 に併記する。応力履歴時の RC はりのひび割れは、曲げ領域でほぼ等間隔に発生し、その間隔は 10cm から 13cm 程度である。これらのひび割れをエポキシ樹脂で補修した後、CFS・CA 型補

*Experimental Study on Rehabilitation Effect and Mechanical Property
of RC Beams Reinforced with CFS and Core-Anchor
By Daisuke MATSUOKA, Tetsukazu KIDA
Tadashi ABE and Toshiaki SAWANO*

強を行った。

2.4 ひび割れ補修

応力履歴 RC はりのひび割れ補修はピックス工法により、注入剤(BL グラウト S)を注入して固着させる。ひび割れ面を研磨処理した後、注入剤が漏れないようにシール材(101W)を塗り、樹脂注入用取り付けパイプをシール材により取り付け、シール材を 24 時間養生する。養生後、注入剤を注入する。注入剤を 7 日間養生した後、樹脂注入用取り付けパイプ、シール材を除去した。

2.5 CA型補強法²⁾

CA 型補強法とは、せん断補強筋を配置していない RC はり、およびせん断耐力が不足となる RC 部材に対し、コンクリートの表面から鉄筋を挿入し、樹脂接着させる工法である。本研究では、せん断破壊となる領域(せん断スパン比 $a/d=3.0$ 以下)に鉄筋 D13 をコンクリートの表面から引張鉄筋の配置位置まで挿入し、樹脂接着(EX400 使用)する。本補強法によってぜい性的なせん断破壊の先行を防止し、CFS 補強による曲げ引張効果を十分に発揮させる。

3. 実験方法

1) 静荷重実験(M) 静荷重による曲げ実験は、最大応力が生じる位置での線荷重による曲げ実験である。載荷方法は荷重を 5.0kN ずつ増加する段階荷重とし、供試体が破壊に至るまで増加させる。

2) 走行一定荷重実験(R) 走行一定荷重実験は、道路橋 RC 床版に大型自動車や大型倉庫の床等に作用するホークリフト等が一定な荷重強度で走行している状態を想定した実験である。載荷方法は、荷重を供試体の支間中央に載せた後に、支点 A、B 方向に 1 往復走行させ、元の支間中央で走行を停止させる。平均走行速度は 22cm/sec(1 往復 18sec)とし、荷重は 1 往復ごとに 5kN ずつ増加させ、供試体が破壊に至るまで増加させる。

4. 結果および考察

4.1 実験耐力

未損傷及びひび割れ補修を施した CFS・CA 型補強 RC はりの実験耐力および破壊モードを表 3 に示す。なお、表 3 には文献³⁾による未損傷 CFS 補強 RC はりに静荷重(M)と走行荷重(R)が作用した場合の実験耐力を併記した。

タイプ A、B において、走行一定荷重が作用した場合の CFS 補強 RC はり(A、B-R)と未損傷 CFS・CA 型補強 RC はりに走行一定荷重が作用した場合(A'、

表 3 実験耐力および破壊モード

供試体	実験耐力 (kN)	平均耐力 (kN)	耐力比	破壊モード
A-M-1 ³⁾	120.9	120.3	—	曲げ破壊
A-M-2 ³⁾	119.7			曲げ破壊
A-R-1 ³⁾	109.7	109.5	—	せん断破壊
A-R-2 ³⁾	109.2			せん断破壊
A'-CA-R-1	115.2	112.9	A'-CA-R/A-M=0.94	はく離→曲げ破壊
A'-CA-R-2	110.7		A'-CA-R/A-R=1.03	はく離→曲げ破壊
A-CA-R-1	109.7	109.5	A-CA-R/A-M=0.91	はく離→曲げ破壊
A-CA-R-2	109.2		A-CA-R/A-R=1.00	はく離→曲げ破壊
B-M-1 ³⁾	139.8	137.5	—	曲げ破壊
B-M-2 ³⁾	135.1			曲げ破壊
B-R-1 ³⁾	124.7	122.2	—	せん断破壊
B-R-2 ³⁾	119.7			せん断破壊
B'-CA-R-1	125.7	130.7	B'-CA-R/B-M=0.95	はく離→曲げ破壊
B'-CA-R-2	135.7		B'-CA-R/B-R=1.07	はく離→曲げ破壊
B-CA-R-1	128.1	126.4	B-CA-R/B-M=0.92	はく離→曲げ破壊
B-CA-R-2	124.6		B-CA-R/B-R=1.03	はく離→曲げ破壊

A：タイプ A、B：タイプ B、M：静荷重、R：走行一定荷重、
CA：コア・アンカー型補強、1、2：供試体番号

B'-CA-R)の耐力を比較(A'、B'-CA-R/A、B-R)すると、耐力は 3~7%向上している。同様に、A、B-R とひび割れ補修を施した CFS・CA 型補強 RC はりに走行一定荷重が作用した場合(A、B-CA-R)の耐力を比較(A、B-CA-R/A、B-R)すると、3%の耐力向上が見られた。なお、CFS・CA 型補強 RC はりの破壊モードは未損傷及びひび割れ補修を施したタイプ A、B とともに荷重増加中に支間中央ではく離に伴う曲げ破壊となった。

なお、耐力比においては支間中央ではく離に伴う曲げ破壊となったことから曲げ耐力として扱うこととする。

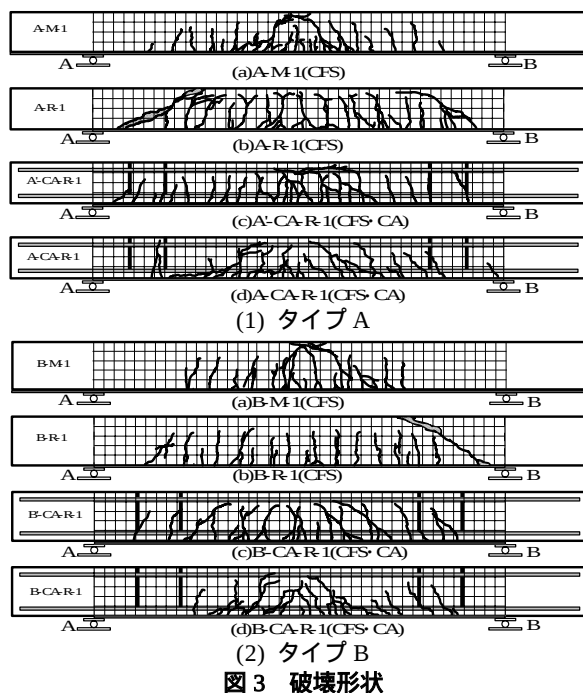
4.2 破壊メカニズム

未損傷 CFS 補強 RC はりのひび割れ形状を図 2(a)、(b)、未損傷 CFS・CA 型補強 RC はりのひび割れ形状を図 2(c)、ひび割れ補修を施した CFS・CA 型補強 RC はりのひび割れ形状を図 2(d)に示す。

1) 未損傷 CFS 補強 RC はり

静荷重が作用した場合(図 2(a))、タイプ A、B とともにひび割れが下縁から上縁に伸展し、破壊時には約 60°の拡がりを持つ曲げ破壊となった。ひび割れ間隔は 5~7cm となり、CFS 補強することによりひび割れが分散し、はりの曲げ剛性が増加したことを示している。次に、走行一定荷重が作用した場合(図 2(b))のひび割れは、曲げ領域で 3~7cm 間隔で発生し、圧縮鉄筋の配置付近まで伸展している。また、両支点からせん断領域には斜めひび割れが発生し、タイプ A は左支点から 45cm(せん断スパン比 $a/d=2.62$)、タイプ B は右支点から 55cm の位置(せん断スパン比 $a/d=2.59$)で荷重走行中にぜい性的なせん断破壊が発生した。

2) CFS・CA 型補強 RC はり



走行一定荷重が作用した場合(図 2(c)、(d))、未損傷及びひび割れ補修を施したタイプ A、B とともにひび割れが下縁から上縁に伸展する曲げ破壊となった。また、ひび割れ間隔はタイプ A、B とともに曲げ領域において、未損傷の場合 3~7cm 間隔で発生し、ひび割れ補修を施した場合においても 5~7cm 間隔で発生している。未損傷 CFS 補強 RC はりに走行一定荷重が作用した場合と比較すると、曲げ領域でひび割れが多く発生している。

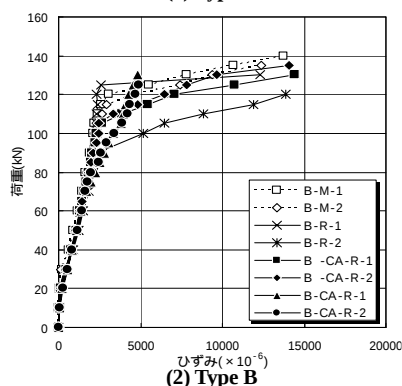
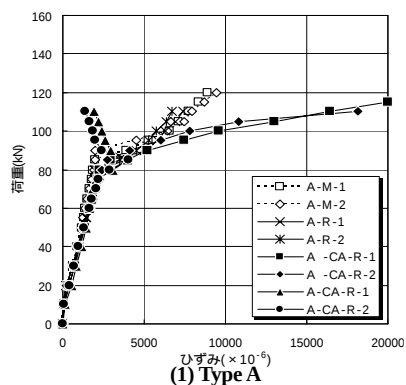


図 4 荷重と鉄筋ひずみの関係

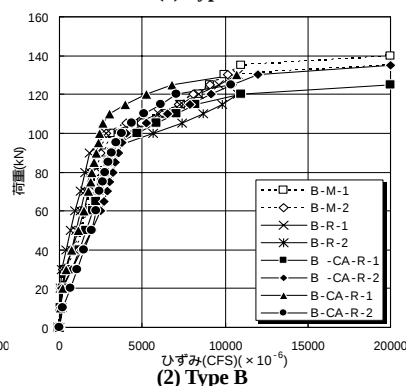
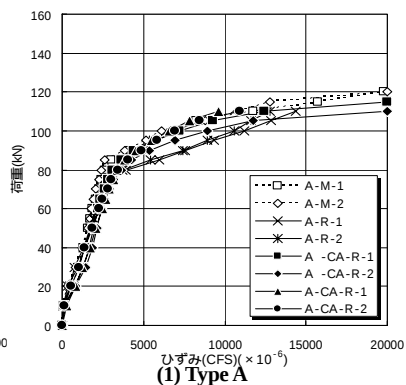


図 5 荷重と CFS ひずみの関係

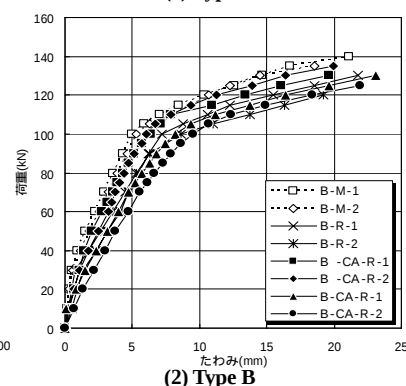
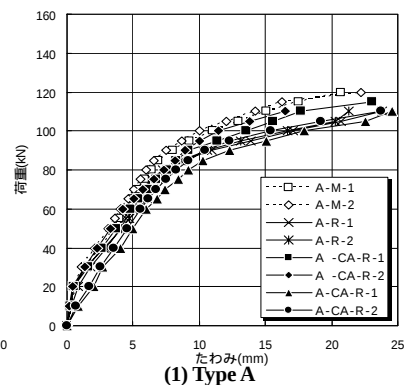


図 6 荷重とたわみの関係

また、せん断領域に斜めひび割れが発生しているが、鉄筋挿入によるせん断補強を施したために致命的なひび割れは発生せず、未損傷及びひび割れ補修を施したタイプ A、B とともにせん断ひび割れが拘束される結果が得られた。

5 . 荷重とひずみの関係

5 . 1 引張鉄筋のひずみ

支間中央における引張鉄筋の荷重とひずみの関係を図 4 に示す。なお、本実験における鉄筋の降伏ひずみは 1840×10^{-6} である。

1) 未損傷 CFS 補強 RC はり

図 4 より、静荷重が作用した場合の降伏荷重は、タイプ A は 80kN、タイプ B は 90kN であり、降伏後の荷重域では補強効果が顕著に現れ、ひずみが線形的に増加している。次に、走行一定荷重の場合は、タイプ A で 75kN、タイプ B で 80kN から降伏し始める。また、タイプ A は支点 A から 45cm、タイプ B は支点 B から 55cm の位置でせん断破壊となったことから、急激なひずみの増加は見られない結果となった。

2) CFS・CA 型補強 RC はり

図 4 より、走行一定荷重が作用した場合の引張鉄筋の降伏荷重は、未損傷の場合、タイプ A、B とともに 70kN、ひび割れ補修を施した場合、タイプ A で 75kN、タイプ B で 85kN であり、引張鉄筋降伏後のひずみに急激な上昇は見られない。これらのことから、走行一定荷

重に対しては、CA 型補強によりせん断破壊を抑制し、引張鉄筋が降伏した後も CFS の補強効果により耐力が保持された。

5.2 CFS の荷重とひずみ

支間中央におけるCFSの荷重とひずみの関係を図 5 に示す。なお、CFSの破断ひずみは 18190×10^{-6} であるが、破断ひずみ値以上はデータの信頼性から 20000×10^{-6} とした¹⁾。

1) 未損傷 CFS 補強 RC はり

静荷重が作用した場合はタイプA、Bともに、荷重 100kN から急激にひずみが増加する。その後の荷重増加でも線形的にひずみは増加し、終局時のひずみが A1 で 19700×10^{-6} 、A2 で 20000×10^{-6} となった。タイプBでは、B1、B2 ともに 20000×10^{-6} となった。タイプA、B ともに、CFSの破断ひずみを上回っていることから、CFSによる補強効果を十分に発揮する結果を得た。

走行一定荷重が作用した場合はタイプA、Bともに、荷重 90kN からひずみの増加が著しくなる。また、ぜい性的なせん断破壊であったため、終局時のひずみは A1 で 14300×10^{-6} 、A2 で 12700×10^{-6} となった。タイプBでは、B1 で 12300×10^{-6} 、B2 で 11300×10^{-6} となった。

2) CFS・CA 型補強 RC はり

走行一定荷重が作用した場合の終局時のひずみは未損傷の場合、タイプAでは、荷重 80kN からひずみの増加が大きくなり、A1 は 105kN、A2 は 110kN まで線形的に増加する。また、タイプBでは、B1 で 95kN、B2 で 105kN からひずみの増加が著しくなり、タイプA、B ともに終局時のひずみは破断ひずみを上回り、 20000×10^{-6} に達している。次に、ひび割れ補修を施した場合、A1 で 9700×10^{-6} 、A2 で 11000×10^{-6} となり、B1 で 10000×10^{-6} 、B2 で 8400×10^{-6} となった。一般に、CFS のはく離ひずみは 6000×10^{-6} といわれているが、はく離ひずみ後の荷重増加に対して、タイプA、BともにCFSのひずみの増加は見られなかった。

6. 荷重とたわみの関係

支間中央における荷重とたわみの関係を図 6 に示す。

1) 未損傷 CFS 補強 RC はり

静荷重が作用した場合の荷重とたわみの関係は図 6 に示すように、引張鉄筋の降伏荷重(図 6(1)、(2)を参照)付近のタイプ A で 80kN、タイプ B で 90kN が作用した後の荷重の増加につれて、タイプ A、B ともに線形的にたわみが増加している。次に、走行一定荷重が作用した場合も、引張鉄筋の降伏荷重(図 6(1)、(2)を参照)付近のタイプ A で 75kN、タイプ B で 80kN が作用し

た後の荷重の増加においても急激なたわみの増加は見られず、線形的に増加している。

2) CFS・CA 型補強 RC はり

荷重とたわみの関係は図 6 に示すように、タイプ A、B ともに引張鉄筋の降伏荷重付近(図 5(1)、(2)を参照)からたわみの増加が著しくなっている。また、ひび割れ補修を施した CFS・CA 型補強 RC はりのたわみは、未損傷 CFS 補強 RC はりに比してタイプ A、B ともに約 1mm 大きい。これは応力履歴による影響であると考えられる。しかし、CA 型補強によりせん断破壊が抑制され、終局時では未損傷 CFS 補強 RC はりとほぼ同様のたわみで破壊に至っている。

7. まとめ

CFS・CA 型補強 RC はりの破壊モードは、走行一定荷重に対しては、全ての供試体でぜい性的なせん断破壊を防止し、支間中央ではなく離に伴う曲げ破壊となった。

未損傷 CFS 補強 RC はりに走行一定荷重が作用した場合と比較すると、未損傷及びひび割れ補修を施した CFS・CA 型補強 RC はりに走行一定荷重が作用した場合の耐力は 3～7% の向上が見られた。

未損傷及びひび割れ補修 CFS・CA 型補強 RC はりに走行一定荷重が作用した場合、せん断領域に斜めひび割れが発生するが、CA 型補強を施したために致命的なひび割れは発生せず、せん断ひび割れが拘束された。

CA 型補強法は、CFS 補強法によるせん断領域の耐力向上と、ぜい性的なせん断破壊を防止し、CFS の引張強度を十分発揮させることが可能である。

10. 謝辞

本研究を行うにあたり、試料のご提供とご指導を頂きましたショーボンド建設(株)補修工学研究材料試験室、日鉄コンポジット(株)、旭化成(株)に厚くお礼を申し上げ、ここに付記して、謝意を表します。

「参考文献」

- 1)三上浩ほか：FRP シートを接着した RC 梁の耐荷性状に与える接着範囲の影響、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.20、No.3、pp.1549-1554(1999)
- 2)阿部忠ほか：CFS 補強と鉄筋コア・アンカー型補強を併用した RC はりの補強効果、第 57 回セメント技術大会講演要旨、(pp.284-285、2003)
- 3)木田哲量ほか：CFS 補強を施した RC はりの走行荷重に対する耐力と補強効果、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.24、(pp.1447-1452、2002)