

プロジェクト1

CFS 補強 RC はりおよび応力履歴 CFS 補強 RC はりの補強効果

木田哲量(土木工学科), 阿部 忠(土木工学科), 澤野利章(土木工学科)

1. はじめに

RC 構造物の補修・補強工法の 1 つに耐久性に優れ、軽量であるために死荷重の増加が少ない炭素繊維シート(Carbon Fiber Sheet : CFS)接着工法が提案されている¹⁻³⁾。そこで本研究は、せん断補強鉄筋が配置されていない 2 タイプの RC はりの底面を CFS 補強した場合の① CFS 補強 RC はりの補強効果, ②応力履歴 RC はりにひび割れ補修と CFS 接着補強した場合の補強効果を実験によって検証した。

2. 本実験の使用材料および寸法

2.1 供試体の使用材料

供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと最大寸法 20mm の粗骨材を使用し、圧縮強度はタイプ I, II で、それぞれ 38.5N/mm^2 , 41.5N/mm^2 である。また、鉄筋には SD295A, D16 を使用し、降伏強度は 368N/mm^2 , 引張強度が 568N/mm^2 である。次に、CFS は目付量 202g/m^2 , 厚さ 0.111mm , 引張強度 $4,420\text{N/mm}^2$ の高強度連続カーボンシートを用いた。

2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体は有効高の異なる 2 タイプの RC はりとし、寸法と鉄筋配置を図-1に示す。なお、無補強 RC はりの供試体を RC はり(図-1(1)), RC はりに CFS 補強した供試体を CFS 補強 RC はり(図-1(2))と称する。また、走行振動荷重によって応力を履歴させた RC はりに CFS 補強した供試体を応力履歴 CFS 補強 RC はり(図-1(3))と称する。

(1)タイプ I : 支間長 200cm, 幅 30cm, 高さ 21cm とし、鉄筋は引張側に 3 本, 圧縮側に 2 本配置し、有効高さを 17.2cm とした。

(2)タイプ II : 支間長, 幅はタイプ I 同様に 200cm, 30cm とし、はりの高さは 25cm とした。鉄筋はタイプ I と同様に引張側に 3 本, 圧縮側に 2 本配置し、有効高さを 21.2cm とした。なお、図-1(3)には応力履歴供試体のひび割れ状況も併記した。

2.3 CFS補強RCはりの補強方法

供試体底面の下地処理は、コンクリート表面をサンダーで平滑に仕上げ、エポキシプライマ

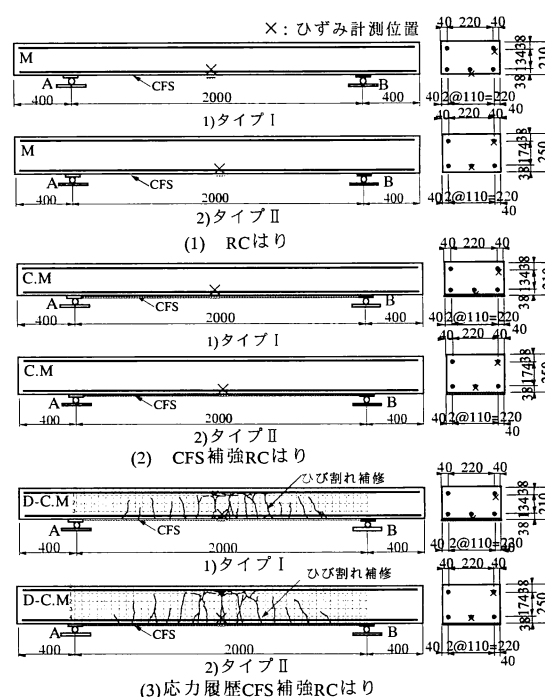


図-1 供試体寸法および鉄筋の配置

ーを含浸塗布させ、接着用エポキシ樹脂でシートを接着した。本実験における CFS 補強法は、CFS 補強 RC はりおよび応力履歴 CFS 補強 RC はりともに供試体の底面を支間方向に CFS を 1 層張り付けとした。

3. 応力履歴RCはりの補修・補強方法

3.1 応力履歴の方法⁴⁾

応力を履歴させる走行振動荷重の方法は、支点 A に車輪を停止させ、荷重載荷後支点 A から支点 B を折り返す一往復とする。また、振動荷重は基準荷重に対して $\pm 20\%$, $\pm 30\%$ の荷重振幅とし、走行時間は 1 往復 4.0m を 18sec で走行し、振動数は 2.0Hz の正弦波形とした。荷重は 1 往復するごとに 5.0kN ずつ増加させた。なお、RC はりの静荷重曲げ実験でたわみが 20mm を超えると、たわみが急激に増加して破壊に至ることから、応力履歴時の載荷では、たわみが 20mm で除荷した。

3.2 応力履歴RCはりの実験結果

(1) 応力履歴時の荷重 : 応力を履歴させた時の荷重値は、たわみ 20mm を維持した最大荷重と

する。よって、本実験の荷重はタイプⅠの供試体Ⅰ-V20では75.7kN、供試体Ⅰ-V30では75.2kNであり、タイプⅡの場合の供試体Ⅱ-V20は94.1kN、供試体Ⅱ-V30では92.5kNとなった。

(2) 応力履歴RCはりのひび割れ状況：本方法による応力履歴RCはりのひび割れ状況の一例を図-1(3)に示した。応力履歴RCはりのひび割れは、曲げ領域で、ほぼ等間隔に発生し、その間隔は走行速度に対する振動数が顕著となり、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底面接着補強を行なうものである。

(3) 荷重と鉄筋ひずみとの関係

タイプⅠにおける供試体Ⅰ-V20の場合の最大ひずみは荷重75.7kNで $6,300 \times 10^{-6}$ 、その時の残留ひずみは 967×10^{-6} である。供試体Ⅰ-V30の場合は、荷重75.2kNで $7,600 \times 10^{-6}$ となり、その時の残留ひずみは $1,189 \times 10^{-6}$ である。次に、タイプⅡにおける供試体Ⅱ-V20は荷重94.1kNで $8,700 \times 10^{-6}$ 、残留ひずみは $2,100 \times 10^{-6}$ 、供試体Ⅱ-V30は荷重92.5kNで $5,200 \times 10^{-6}$ で、その時の残留ひずみは $1,500 \times 10^{-6}$ である。よって、タイプⅠ、Ⅱともに全ての供試体で鉄筋は降伏した。応力履歴RCはりの荷重とひずみおよび残留ひずみの関係を図-3(D20-C.M, D30-C.M)に示した。

(4) 荷重とたわみとの関係：タイプⅠにおける供試体Ⅰ-V20の最大たわみは基準荷重75.7kNで12.3mm、その時の残留たわみは4.5mmである。供試体Ⅰ-V30は基準荷重75.2kNで12.8mm、その時の残留たわみは3.2mmである。また、タイプⅡの場合の供試体Ⅱ-V20は基準荷重94.1kNで12.7mm、残留たわみは4.8mmである。また、供試体Ⅱ-V30は基準荷重92.5kNで11.5mm、その時の残留たわみは4.3mmである。なお、応力履歴RCはりの荷重とたわみおよび残留たわみの関係を図-4(D20-C.M, D30-C.M)に示した。

3.3 応力履歴RCはりのひび割れ補修法およびCFS補強法

図-1(3)に示したひび割れ損傷位置の底面を研磨処理した後、エポキシ樹脂により目地留めを行い、樹脂注入用パイプを取付け、24時間養生を行う。次に、注入用パイプから補修剤であるエポキシ樹脂系の注入材と硬化剤を2:1で混ぜ合わせたものを注入し、補修剤の養生は7日間行なった。

応力履歴RCはりのCFS接着補強法はCFS補強RCはりの場合と同様な方法で行った。

4. CFSの補強効果に関する実験方法

RCはりおよびCFS補強RCはり、応力履歴CFS補強RCはりの実験は静荷重実験を行う。

静荷重実験は、最大曲げ応力が生じる支間中央に車輪を停止した状態の実験である。載荷方法は荷重制御により5.0kNずつ増加する。なお、応力履歴CFS補強RCはりの鉄筋ひずみの計測は、支間中央に新たに鉄筋ひずみゲージを貼り付けて行なった。

5. 実験最大耐力および破壊状況

5.1 RCはりの実験曲げ耐力

RCはりおよびCFS補強RCはりの実験耐力および破壊モードを表-1に示した。

表-1 実験曲げ耐力および破壊モード

供試体	曲げ耐力(kN)	平均曲げ耐力(kN)	荷重比	破壊モード
Ⅰ-M-1	80.9	83.0	—	曲げ破壊
Ⅰ-M-2	85.1			曲げ破壊
Ⅰ-C.M-1	120.9	120.3	C.M/M=1.45	はく離破壊
Ⅰ-C.M-2	119.7			はく離破壊
Ⅰ-D20-C.M	109.4	107.6	D-C.M/M=1.30	はく離破壊
Ⅰ-D30-C.M	105.7			はく離破壊
Ⅱ-M-1	105.6	102.9	—	曲げ破壊
Ⅱ-M-2	100.1			曲げ破壊
Ⅱ-C.M-1	139.8	137.5	C.M/M=1.34	はく離破壊
Ⅱ-C.M-2	135.1			はく離破壊
Ⅱ-D20-C.M	130.0	127.5	D-C.M/M=1.24	はく離破壊
Ⅱ-D30-C.M	125.0			はく離破壊

※ Ⅰ-：タイプⅠ、Ⅱ-：タイプⅡ、M-：静荷重曲げ実験、C-：CFS
D-：応力履歴（20：振動荷重 $\pm 20\%$ 、30： $\pm 30\%$ ）、1：供試体番号

(1) RCはり：静荷重の場合の平均曲げ耐力は、タイプⅠでは83.0kN、タイプⅡでは102.9kNである。この曲げ耐力を補強効果を評価する比較耐力とする。

(2) CFS補強RCはり：CFS補強RCはりの曲げ耐力はタイプⅠで120.3kN、タイプⅡで137.5kNである。RCはりとCFS補強RCはりの曲げ耐力を比較(C.M/M)するとタイプⅠで1.45倍、タイプⅡで1.34倍となり、CFS補強によって耐力が大幅に向上した。

(3) 応力履歴CFS補強RCはり：応力履歴CFS補強RCはりの曲げ耐力はタイプⅠ、Ⅱでそれぞれ107.6kN、127.5kNであり、この耐力とRCはりの曲げ耐力を比較(D-C.M/M)すると、タイプⅠ、Ⅱで、それぞれ1.30倍、1.24倍となり、ひび割れ補修とCFS補強を施することにより耐力向上がみられた。

5.2 破壊状況

本実験におけるの破壊状況を図-2に示す。なお、RCはりの場合はⅠ-M-1、Ⅱ-M-2のみとする。

(1) RCはり：RCはりの場合は、図-2(1),(1),(2),(1)に示ように、タイプⅠ、Ⅱともに荷重増加

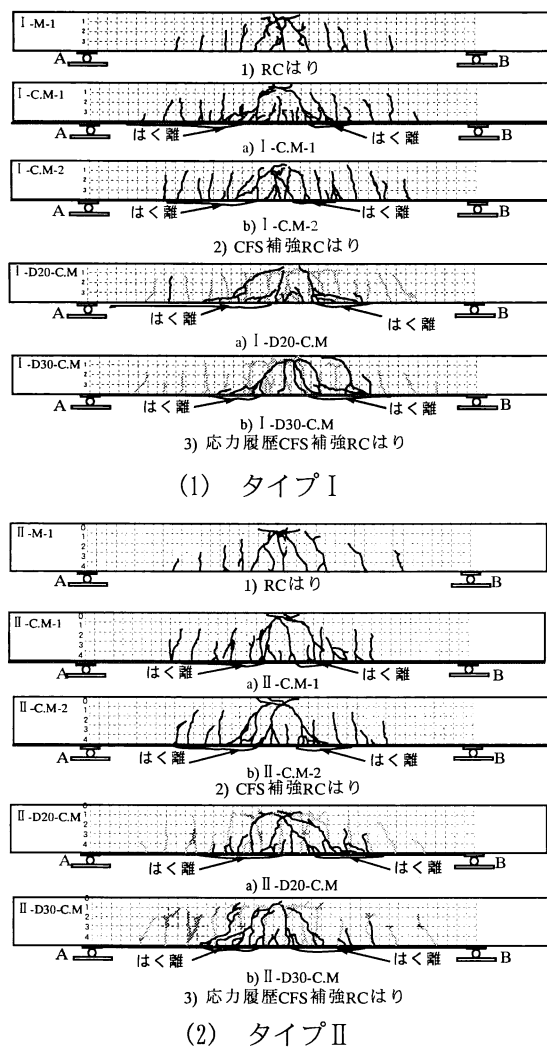


図-2 静荷重実験によるひび割れ状況

中に車輪直下から約 $55^\circ \sim 60^\circ$ の拡がりとなる曲げ破壊となった。

(2) CFS 補強 RC はり：CFS 補強 RC はりの場合は図-2(1,2), (2,2)に示すように、タイプ I, II ともに荷重載荷位置付近にひび割れが集中して、そのひび割れは 5cm ～ 7cm 間隔で発生し、ひび割れの分散効果が発揮されている。また、タイプ I, II はともに荷重載荷位置から $45^\circ \sim 60^\circ$ の位置の底面で曲げ引張力によってシートとコンクリートがはく離し、支点方向まで進展するはく離破壊となった。

(3) 応力履歴 CFS 補強 RC はり：応力履歴 CFS 補強 RC はりのひび割れ損傷は、応力履歴によるひび割れ補修位置と併せて図-2(1,3), (2,3)に示す。応力履歴 CFS 補強 RC はりの場合は、静荷重実験であることから、ひび割れが荷重載荷位置付近に集中して発生している。ひび割れをエポキシ樹脂接着により補修したことから、新

たなひび割れが発生しており、ひび割れ補修も適切に行われたことを示している。また、タイプ I の場合は荷重載荷位置から $45^\circ \sim 60^\circ$ の位置の底面でシートのはく離が著しく、タイプ I-D-20-C.M は支点 A までのはく離した。タイプ II の場合は荷重載荷位置から 60° の位置の底面ではく離が著しく、両タイプともにはく離破壊となった。

6. 荷重とひずみとの関係

6.1 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-3に示す。

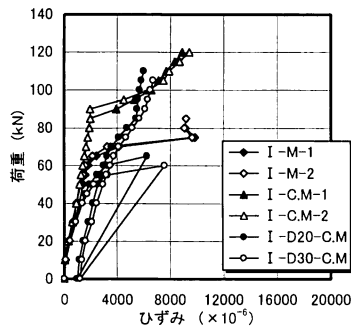
(1) RC はり：引張鉄筋の降伏荷重は、タイプ I の供試体 I-M-1, 2 とともに 65kN、タイプ II の供試体 II-M-1, 2 とともに 75kN である。いずれも降伏荷重後の荷重増加では、ひずみが急激に増加している。

(2) CFS 補強 RC はり：タイプ I における引張鉄筋の降伏荷重は 87.5kN であり、降伏後の塑性域では補強効果が顕著に現れ、急激なひずみの増加は見られず、ほぼ線形的に増加している。また、タイプ II の場合の引張鉄筋の降伏荷重は 115kN である。両タイプともに CFS の補強効果により引張鉄筋が降伏した後も耐力を維持し、ひずみが線形的に増加している。

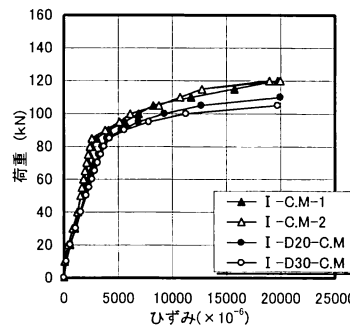
(3) 応力履歴 CFS 補強 RC はり：供試体 I-D20-C.M では、鉄筋は既に降伏し、その時の残留ひずみは 967×10^{-6} である。したがって、この場合のひずみは、計測した鉄筋ひずみに残留ひずみを加えた値である。この場合の降伏荷重は 40kN であり、その後の荷重増加においても急激なひずみの増加は見られない。荷重 85kN からはひずみの増加が少ないことからすると、シートの補強効果が発揮されているものと考えられる。また、供試体 I-D30-C.M も同様な結果が得られた。次に、供試体 II-D20-C.M は、RC はりの破壊荷重後の荷重増加では急激なひずみの増加が見られない。しかし、供試体 II-D30-C.M の場合は、CFS 補強 RC はりと同様に荷重 105kN 付近からひずみの増加が著しい。

6.2 CFS のひずみ

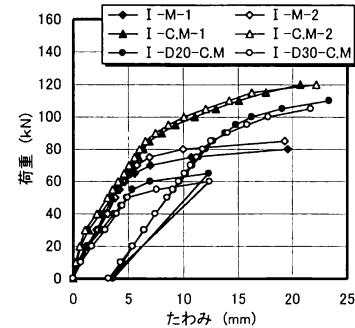
支間中央における CFS の荷重とひずみの関係を図-4に示す。タイプ I, II ともに引張鉄筋の降伏荷重と同時にひずみは線形的に増加するが、終局時は $20,000 \times 10^{-6}$ に達している。本実験では、公称はく離ひずみ ($6,000 \times 10^{-6}$) 後の荷重増加においても、シートのはく離および急激なひずみの増加は見られない。CFS 補強 RC はりと応力履



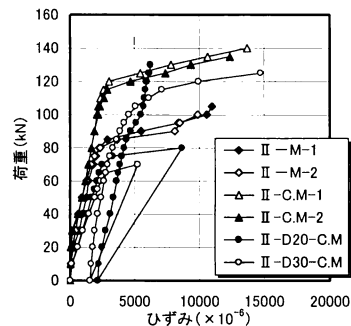
(1)タイプ I



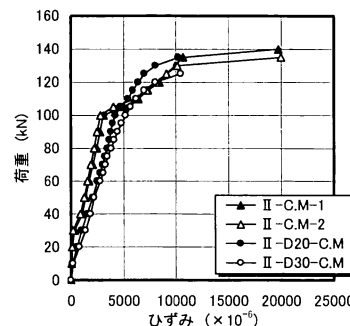
(1)タイプ I



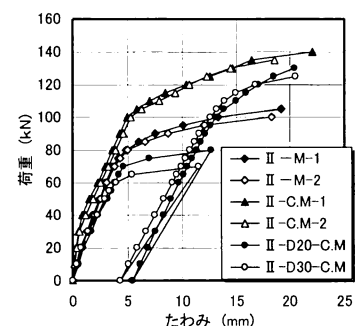
(1)タイプ I



(2)タイプ II



(2)タイプ II



(2)タイプ II

図-3 荷重とひずみの関係
(鉄筋)図-4 荷重とひずみの関係
(CFS)

図-5 荷重とたわみの関係

歴 CFS 補強 RC はりを比較すると、応力履歴 CFS 補強 RC はりの CFS ひずみの増加が著しい。しかし、CFS 補強 RC はりのひずみと比較すると、荷重の増加に反して鉄筋のひずみの増加は少なく、その分、シートの引張力の負担率が大きくなったものと考えられる。

8.3 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-5 に示す。荷重とたわみの関係では、RC はりに比して CFS 補強 RC はりのタイプ I, II とともに RC はりの破壊荷重付近からたわみの増加が著しくなっている。これに対して、応力履歴 CFS 補強 RC はりは、荷重が増加してもたわみの増加は少ない。また、RC はりの破壊荷重付近からのたわみの増加は少ないが、終局時では 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

- (1)CFS 補強 RC はりの曲げ耐力は RC はりの曲げ耐力に比して、タイプ I, II でそれぞれ 1.45 倍と、1.34 倍曲げ耐力が向上した。
- (2)応力履歴 CFS 補強 RC はりの曲げ耐力は、RC はりの曲げ耐力に比して、タイプ I, II でそれぞれ 1.30 倍と、1.24 倍の曲げ耐力が向上した。
- (3)RC はりを CFS 補強することにより、曲げ耐

力が大幅に向上するが、応力履歴 CFS 補強 RC はりの場合も、ひび割れ補修と CFS 補強を併用することで、補強効果が得られた。したがって、CFS 補強法は RC はりおよび RC 床版にも有効であることが本研究より明らかになった。

謝辞：本実験における炭素繊維シートは、日鉄コンポジット(株)、ひび割れの補修材はショーボンド(株)にそれぞれ提供して頂きました。ここに付記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 高橋義幸, 秦地 大, 前田敏也, 佐藤靖彦: コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.509-514, (1998)
- 2) 三上 浩, 岸徳 光, 佐藤昌志, 栗原祐介: コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.3, pp. 1549-1554, (1999)
- 3) 村橋久弘, 木村耕三, 勝俣英雄, 角田 敦, 谷垣正治: 連続繊維による補修・補強-炭素繊維・アラミド編-, 理工図書(株), pp. 7-11, (2002)
- 4) 阿部 忠, 木田哲量, 澤野利章, 坪松 学: コンクリート工学年次論文集, Vol. 22, No. 3, pp. 763-768, (2000)