移動荷重が作用する CFS 補強 RC 床版の補強効果と力学特性に関する研究

日大生産工(院) 反田 泰人 日大生産工 木田 哲量 日大生産工 阿部 忠 日大生産工 徐 銘謙 日大生産工 澤野 利章

1.はじめに

道路橋鉄筋コンクリート(RC)床版は、交 通量の増加や車両の大型化などによりひび 割れなどの損傷問題が生じている。この問 題に対処するため、施工性および工期短縮 などの利点を有する炭素繊維シート(CFS) 接着工法が開発され、多くの研究報告がな されている。CFS 接着工法に関する既往の 研究をみると、未損傷 RC 床版を使用した 研究が多い。しかし、実橋床版においては、 車両などの外力が作用しているので応力履 歴を有している。

そこで本研究は、大型自動車の荷重変動¹⁾ を考慮した走行振動荷重に対する RC 床版の 耐荷力に関する実験研究である。RC 床版供 試体に4万回走行の疲労実験を行って、応力 を履歴させた後に RC 床版底面を CFS で補強 してから 200 万回の定点疲労実験を行い、そ の後に静荷重実験における耐荷力より CFS の補強効果を評価した。

2.使用材料および寸法

2.1 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、粗骨材には最大寸法 20mm の骨 材を使用した。また、鉄筋は SD295A、D10 を使用した。材料特性値を表 - 1 に示す。次に、 補強材には高強度連続カーボンシートを用い、 その材料特性値を表 - 2 に示す。

2.2供試体寸法および鉄筋の配置

供試体寸法は、道路橋示方書・同解説 (以 下、道示 とする)³⁾に規定する RC 床版寸法の 1/2 モデルとした。

供試体は、支間長 120cm、張出し部は 13.5cm、 全長は 147cm とする。鉄筋の配置は複鉄筋配 置とし、引張側の軸直角方向および軸方向に 10cm 間隔で配置し、有効高さはそれぞれ 10.5cm、9.5cm とする。また、圧縮側には引

表 - 1 コンクリート・鉄筋の材料特性値

	コンクリート圧	鉄 筋 (SD295A、D10)			
供試体	縮強度	降伏強度	引張強度	ヤング係数	
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	kN/mm ²	
RC床版	35.0	370	511	200	

表 - 2 CFS の材料特性値

シート名	目付量	設計厚さ	引張強度	弾性係数
	(g/m^2)	(mm)	(N/mm^2)	(kN/mm^2)
高強度	202	0.111	4420(長さ)	235
CFS	202	0.111	492(幅)	255





張鉄筋量の 1/2 を配置した。供試体寸法および 鉄筋の配置を図 - 1 に示す。

3.実験概要

(1)応力履歴を受けた RC 床版の作製

本実験における応力履歴 RC 床版は、走行振動荷重による40000回走行の疲労実験を行い、 ひび割れ損傷を与えたものである。荷重条件は、大型自動車の走行振動による荷重変動を 想定し、本実験の供試体が道示 に規定する RC 床版の 1/2 モデルであることから、荷重設

Rehabilitation Effect and Mechanical Properties of Damaged RC Slab Strengthening with CFS under Moving Load by Yasuto SORIDA、Tetsukazu KIDA、Tadashi ABE Ming-Chien HSU and Toshiaki SAWANO

供試体	最大 耐荷力 (kN)	平均最大 耐荷力 (kN)	耐荷力比 C-S,C-V/N-S (kN)	最大たわみ (mm)	破壊モード
N-S-1	235.3	227.9		13.7	押抜きせん断破壊
N-S-2	240.2	257.8	-	12.8	押抜きせん断破壊
C-S-1	315.3	318.1	1.34	6.5	押抜きせん断破壊
C-S-2	320.9	516.1	1.34	6.8	押抜きせん断破壊
C-V20(60)	300.0	300.0	1.26	9.9	押抜きせん断破壊
C-V20(84)	290.3	290.3	1.22	8.6	押抜きせん断破壊
C-V30(60)	275.2	275.2	1.16	8.7	押抜きせん断破壊
C-V30(77)	259.5	259.5	1.09	8.2	押抜きせん断破壊

表-3 実験最大耐荷力および破壊モード

計T荷重の 1/2 である 50kNに安全率を考慮した 60kN(= 50×1.2)を基準荷重とする。したがって、実験では基準荷重 60kN に対して荷重振幅を±20%と±30%とする。走行速度は1 往復 1.6m を 9.0sec で走行する 0.18cm/s とし、振動数は 1.8Hz の正弦波形とした。

(2)未損傷 RC 床版・応力履歴 RC 床版の CFS 接着補強

道路橋 RC 床版の補修・補強法に従って、未 損傷 RC 床版底面の CFS 接着、そして応力履 歴 RC 床版供試体のひび割れ補強と底面の CFS 接着を行う。両供試体ともに軸方向およ び軸直角方向の2方向にCFSを貼付した。CFS 接着は次の手順で行う。まず供試体の底面 をコンクリートサンダーで平滑に仕上げ、下 地処理を行う。 エポキシプライマーを塗布 含浸させる。 軸方向に接着用含浸樹脂で CFS を接着する。 軸直角方向に接着用含浸 樹脂で CFS を接着する。以上の方法により、 床版底面を軸方向および軸直角方向に、幅 40cm の CFS を支点間内に1層ずつ貼り付け した。

(3)応力履歴 CFS 補強 RC 床版の疲労実験

応力履歴 CFS 補強 RC 床版に 200 万回の定 点の疲労実験を行う。定点疲労実験の荷重は、 走行振動荷重による疲労実験と同様に荷重振 幅は基準荷重に対して±20%、±30%の5.0Hz の正弦波形とする。まず、基準荷重±20%の定 点疲労実験は、基準荷重 60kN で振動荷重± 20%の荷重と基準荷重84kNで振動荷重±20% の荷重とし、供試体名をそれぞれ C-V20(60)、 C-V20(84)とする。次に、基準荷重±30%の場 合は、基準荷重60kNで振動荷重±30%の荷重 と、基準荷重77kNで振動荷重±30%とし、供 試体名称をそれぞれ C-V30(60)、C-V30(77)と する。

(4)静荷重実験

無補強 RC 床版および CFS 補強 RC 床版、

応力履歴 CFS 補強 RC 床版それぞれの床版中 央に輪荷重を停止した状態で載荷する静荷重 実験を行う。荷重の載荷条件は 5.0kN ずつ供 試体が破壊するまで荷重を増加させ段階荷重 とした。静荷重実験に用いる無補強 RC 床版の 供試体名を N-S とし、CFS 補強 RC 床版の供 試体名を C-S とする。

- 4.結果および考察
- 4.1 実験最大耐荷力

無補強 RC 床版、CFS 補強 RC 床版および応 力履歴 CFS 補強 RC 床版の実験耐荷力を表 - 3 に示す。

(1)無補強 RC 床版 (N-S)

無補強 RC 床版の静荷重実験における最大 耐荷力は、供試体 N-S-1、2 で、それぞれ 235.3kN、240.2kN であり、その平均が 237.8kN である。この最大断耐荷力の平均と CFS 補強 RC 床版および応力履歴 CFS 補強 RC 床版の最 大耐荷力の平均とを比較して補強効果を評価 する。

(2)CFS 補強未損傷 RC 床版 (C-S)

未損傷 RC 床版の底面を2方向に CFS 補強 した供試体 C-S-1、2 の最大耐荷力の平均は 318.1kN である。無補強 RC 床版の最大耐荷力 の平均は 237.8kN であることから無補強 RC 床版に比して 1.34 倍の補強効果が得られた。 (3)応力履歴 CFS 補強 RC 床版(C-V)

応力履歴 CFS 補強 RC 床版は 200 万回の定 点疲労実験後の静荷重実験の結果である。振 動荷重 ± 20%の供試体 C-V20(60)は 300kN で あり、無補強 RC 床版供試体(N-S)の最大耐荷 力の平均に比して 1.26 倍耐荷力が向上した。 また、供試体 C-V20(84)は 290.3kN となり、 無補強 RC 床版に比して 1.22 倍の耐荷力の向 上が見られた。

次に、振動荷重±30%の供試体 C-V30(60) の最大耐荷力は 275.2kN となり、無補強 RC 床版に比して 1.16 倍の耐荷力が向上した。ま た、供試体 C-V30(77)は 259.5kN であること から無補強 RC 床版の最大耐荷力とほぼ同等 な結果となった。いずれにおいても、応力履 歴 RC 床版を軸方向および軸直角方向に1層 ずつ CFS 補強したことにより、最大耐荷力が向 上する結果となった。

4.2破壊状況

本実験における RC 床版の破壊時のひび割 れ状況および CFS のはく離状況の一例を図-2 に示す。なお、CFS のはく離状況はハンマー による打音法より、完全はく離している音を 大とし、やや低い濁音を中、さらに小さい濁 音を小として図-2 に併記した。

(1)無補強 RC 床版

無補強 RC 床版のひび割れ状況は、 図 - 2 に 示すように、ひび割れは鉄筋の配置間隔 10cm 間隔で発生し、また降伏線方向にもひび割れ が発生している。破壊状況は輪荷重の接地面 から約 45 度の傾斜角で押抜かれ、引張鉄筋の 底面コンクリートはダウエル効果によりはく 離している。破壊状況は押抜きせん断破壊で ある。

(2)CFS 補強未損傷 RC 床版

CFS 補強未損傷 RC 床版は、荷重載荷位置 から約 45 度の底面に CFS のはく離がみられ る。これはコンクリートのダウエル効果によ る引張破壊している位置である。したがって、 無補強 RC 床版のダウエル効果によりコンク リートがはく離した位置で CFS のはく離が生 じている。破壊状況は、押抜きせん断破壊と なっている。

(3)応力履歴 CFS 補強 RC 床版

応力履歴 CFS 補強 RC 床版の振動荷重 ± 20%の場合の定点疲労実験後の静荷重実験に おける破壊状況は、図 - 2 に示すように、輪荷 重の接地面から約 45 度の傾斜角で押抜かれ、 引張鉄筋のかぶりコンクリートがはく離し、 同時に CFS のはく離破壊となった。

振動荷重 ± 30%の疲労荷重を受けた供試体 の破壊状況は図 - 2 に示すように、RC 床版は 押抜きせん断破壊し、荷重載荷位置から約 35 度から 50 度の角度の底面のコンクリートがは く離し、同時に CFS もはく離した。したがっ て、破壊は輪荷重直下で押抜きせん断破壊と なり、押抜き破壊となった部分は CFS がはく 離している。

なお、CFS 補強未損傷 RC 床版、応力履歴 CFS 補強 RC 床版いずれの供試体も CFS の



図 - 2 RC 床版の破壊時のひび割れ状況 および CFS のはく離状況

破断はみられない。

4.3荷重とひずみの関係

無補強 RC 床版および CFS 補強未損傷 RC 床版、応力履歴 CFS 補強 RC 床版の引張鉄筋 の荷重とひずみの関係を図 - 3 に示した。 (1)無補強 RC 床版 (N-S)

軸直角方向の引張鉄筋の降伏荷重は図-3(1)に示すように、供試体 N-S-1、2 で、それ ぞれ 150kN、155kN であり、荷重 225kN 付近 からひずみの増加が著しく、最大ひずみは、 それぞれ 6320×10⁻⁶、5660×10⁻⁶ である。ま た、軸方向引張鉄筋のひずみは図-3(2)に示す ように、降伏荷重は供試体 N-S-1、2 で、それ ぞれ 140kN、150kN であり、最大ひずみは、 それぞれ 9550×10⁻⁶、7690×10⁻⁶ であり、最 大ひずみは軸直角方向引張鉄筋を上回った。 (2)CFS 補強未損傷 RC 床版(C-S)

CFS 補強未損傷 RC 床版の引張鉄筋のひず みは、供試体 C-S-1、2 ともに CFS 補強した ことにより急激なひずみの増加が見られない。 軸直角方向の引張鉄筋の降伏荷重は、供試体 C-S-1、2 で、それぞれ 305kN、315.3kN であ り、その後の荷重増加に対してひずみは線形 的に増加し、最大ひずみはそれぞれ2140×10⁻⁶、 2010×10⁻⁶ である。また、軸方向引張鉄筋も 同様な増加傾向を示しており、最大ひずみは、 それぞれ 2350×10⁻⁶、2160×10⁻⁶ である。無 補強 RC 床版の引張鉄筋ひずみと比較すると、 軸直角方向、軸方向ともに CFS 補強を施した ことにより、ひずみの増加が大幅に抑制され



た。

(3)応力履歴 CFS 補強 RC 床版(C-V20、C-V30)
応力履歴 CFS 補強 RC 床版の静荷重実験に
おける軸直角方向引張鉄筋は、振動荷重 20%
の疲労荷重を載荷した供試体 C-V20(60)、C-V
20(77)で、それぞれ荷重 285kN、265kN で降伏
し、その最大ひずみは、それぞれ 3250×10⁻⁶、
4270×10⁻⁶ である。軸方向引張鉄筋の場合も
ほぼ同様な増加傾向を示している。

次に、振動荷重 ± 30%の供試体 C-V30(60)、 C-V30(77)の降伏荷重は 240kN、220kN であり、 最大ひずみは、それぞれ 3270×10⁻⁶、4460× 10⁻⁶である。軸方向引張鉄筋も同様な増加傾向 を示している。

無補強 RC 床版の降伏荷重と比較すると、軸 直角方向引張鉄筋の場合は約 1.8 倍、軸方向引 張鉄筋は約 1.6 倍となった。また、荷重振幅 ± 30%に対する無補強 RC 床版の降伏荷重と比 較すると、軸直角方向および軸方向引張鉄筋 ともに約 1.5 倍となり、応力履歴を受けた RC 床版を CFS 補強することでひずみの増加が大 幅に抑制された。

4 . 4 CFS のひずみ

供試体の中央における CFS の荷重とひずみ の関係を図 - 4 に示す。

(1)CFS 補強 RC 床版(C-S)

CFS 補強未損傷 RC 床版は、図-4 に示すように、軸直角方向および軸方向ともに CFS の ひずみに急激な増加は見られない。最大ひず みは、材料特性値から算出した破断ひずみ (18900×10⁻⁶)の 30%程度である。

(2)応力履歴 CFS 補強 RC 床版(C-V20、C-V30)
応力履歴 CFS 補強 RC 床版は、疲労実験に
角方向の CFS ひずみは、荷重 290kN まで、ほおける振動荷重 ±20%の供試体 C-V20 の軸直
ぼ線形的に増加し、その後の荷重増加でひずみは急激に増加して RC 床版は破壊した。次



に、振動荷重±30%の場合、供試体 C-V30 は 荷重255kN 付近からひずみは急激に増加している。

これは走行振動疲労実験における損傷度の 大きさが影響したものと考えられる。いずれ の供試体も破断ひずみに達していない。

5.まとめ

(1)応力履歴 CFS 補強 RC 床版の 200 万回定点 疲労実験後の耐荷力を無補強 RC 床版の耐荷 力と比較すると、荷重振幅 ± 20%の場合の基準 荷重 60kN の供試体では 1.26 倍、基準荷重 84kN の場合には 1.22 倍耐荷力が向上した。 また、荷重振幅 ± 30%の場合の基準荷重 60kN の場合には 1.16 倍、基準荷重 77kN の場合に は 1.09 倍となり、荷重振幅が大きくなるほど 耐荷力の向上率は小さくなっている。 (2)200 万回の定点疲労実験後の静荷重実験に おける CFS のはく離は、輪荷重の接地面から

約45度の傾斜した引張鉄筋の位置から底面ま でのダウエル効果の影響を受ける位置ではく 離破壊している。

謝辞

本実験に際しまして、炭素繊維シートは日 鉄コンポジット(株)に提供して頂だきました。 ここに付記し、謝意を表します。

参考文献

 1)建設省土木研究所構造研究室:橋梁設計動 荷重に関する試験調査報告書(-1985)、土 木研究所資料、No.2258(1985)
2)阿部忠ほか:静荷重・走行荷重を受ける RC 床版の押し抜きせん断耐力、構造工学論文集、 Vol. 50A、pp. 919-926(2004)
3)日本道路橋会:道路橋示方書・同解説 (2003)