

CFS・CFSS補強したRC床版の補強効果および耐疲労性

日本大学大学院 学生員 ○元 燦豪
 日本大学 正会員 阿部 忠, 木田哲量, 澤野利章
 新日鉄マテリアルズ(株) 小林 朗

1. はじめに

地方公共団体では、15m 以上の橋梁を対象とした長寿命化修繕計画が実施されている。これによると、最も損傷が著しい部材はRC 床版である。そこで本研究では、RC 床版底面に CFS 全面接着補強および CFSS 格子貼付補強した供試体を用いて輪荷重走行疲労実験を行い、RC 床版に対する補強効果を検証する。また、RC 床版の S-N 曲線を基準とした CFS および CFSS 補強法を施した RC 床版の S-N 曲線を提案し、耐疲労性を評価する。

2. 使用材料

(1) RC床版 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 の粗骨材を用いた。鉄筋には SD295A, D10 を用いた。実験時におけるコンクリートの圧縮強度はタイプ A が 35N/mm^2 、タイプ B が 30N/mm^2 である。

(2) 炭素繊維材料 炭素繊維シート(CFS)は目付量 200g/m^2 、設計厚 0.111mm の連続繊維シートであり、プライマー、CFS 用の接着剤を用いた。CFS の引張強度は $4,420\text{N/mm}^2$ である。また、炭素繊維ストランドシート(CFSS)は、目付量 600g/m^2 、設計厚 0.333mm を用いた。CFSS の引張強度は $3,400\text{N/mm}^2$ である。

3. 供試体寸法および鉄筋の配置

(1) RC床版 タイプ A の RC 床版供試体の寸法は、全長 $1,470\text{mm}$ 、支間 $1,200\text{mm}$ 、床版厚 130mm とした。鉄筋は複鉄筋配置とした。すなわち、引張側の主鉄筋(軸直角方向)および配力筋(軸方向)ともに D10 を 100mm 間隔で配置し、有効高はそれぞれ 105mm 、 95mm とした。圧縮側は引張鉄筋量の $1/2$ を配置した。また、タイプ B の RC 床版供試体は全長 $1,600\text{mm}$ 、支間 $1,400\text{mm}$ 、床版厚 150mm である。鉄筋は、軸直角方向および軸方向ともに D13 を 120mm 間隔で配置し、有効高はそれぞれ 125mm 、 105mm とした。圧縮側には引張鉄筋量の $1/2$ を配置した。ここで、供試体の寸法を図-1 に示す。

(2) CFSおよびCFSS タイプ A の RC 床版供試体は CFS および CFSS は、ともに床版支間の内側である $1,100\text{mm} \times 1,100\text{mm}$ の範囲に接着する。CFS は目付量 200g/m^2 、設計厚 0.111mm の CFS を軸直角方向および軸方向に各 1 層接着した。CFS 補強した供試体名称を A-CFS とする。また、CFSS は、目付量 600g/m^2 の長さ $1,100\text{mm}$ 、幅 50mm を 150mm 間隔に軸直角方向および軸方向に格子状に貼り付けした。CFSS 補強した供試体名称を A-CFSS とする。次に、タイプ B の RC 床版供試体も同様に、床版支間内 $1,300\text{mm} \times 1,300\text{mm}$ に、目付

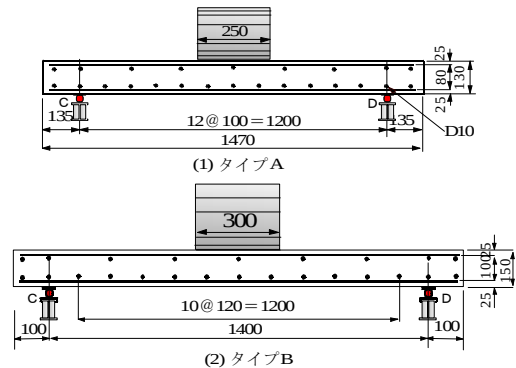


図-1 供試体寸法および CFS 補強手順

量 200g/m^2 、設計厚 0.111mm の CFS を軸直角方向および軸方向に各 1 層接着した。また、CFSS は目付量 600g/m^2 の長さ $1,300\text{mm}$ 、幅 50mm に切断し、 150mm 間隔に軸直角方向および軸方向の格子状に貼り付けした。ここで、タイプ B の RC 床版供試体名称を B-CFS, B-CFSS とする。

4. 実験方法および等価走行回数

(1) 実験方法 輪荷重走行疲労実験は幅 250mm の輪荷重を床版中央から $\pm 450\text{mm}$ の範囲を連続走行させる。RC 床版供試体は初期荷重は 60kN とし、 100kN までは 2 万回ごとに 20kN 増加させた。 100kN 以降は 2 万回走行ごとに 10kN ずつ増加させた。本実験の補強効果は、等価走行回数を基準に評価することから、輪荷重走行疲労実験における初期荷重は等価走行回数には影響を及ぼさないものである。なお、たわみの計測は 1, 10, 100, 1,000 回走行ごととし、その後は 5,000 回ごとに実施する。

(2) 等価走行回数 走行疲労実験では、2 万回走行ごとに荷重を増加させることから、基準荷重と載荷荷重および実験走行回数の関係から等価走行回数 N_{eq} を算出して補強効果および耐疲労性を評価する。輪荷重走行による等価走行回数 N_{eq} は、マイナー則に従うと仮定すると、式(1)で与えられる¹⁾。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P)^{m \times n_i} \quad (1)$$

ここで、 N_{eq} : 等価繰返し走行回数(回)、 P_i : 載荷荷重(kN)、 P : 基準荷重(タイプ A : 60kN 、タイプ B : 72kN)、 n_i : 実験走行回数(回)、 m : S-N 曲線の傾きの逆数(=12.7)

5. 結果および考察

(1) 等価走行回数 タイプ A の RC 床版供試体の平均等価走行回数に比して CFS 補強 RC 床版供試体平均等価走行回数は 18.7 倍の補強効果が得られた。また、CFSS 補強

キーワード : RC 床版, CFS 接着補強, 走行疲労実験, 補強効果, S-N 曲線

連絡先 〒 275-8575 習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科

TEL 047-474-2459

表-1 等価走行回数

供試体	等価走行回数 合計	平均等価走行 回数 (回)
A-RC-1	7,346,848	7,938,030
A-RC-2	8,529,213	
A-CFS-1	163,317,396	148,256,151
A-CFS-2	133,194,905	
A-CFSS-1	181,083,503	167,775,559
A-CFSS-2	154,467,615	
B-RC-1	11,238,624	12,814,782
B-RC-2	14,390,941	
B-CFS-1	258,123,028	263,822,131
B-CFS-2	269,521,233	
B-CFSS-1	302,173,738	324,110,759
B-CFSS-2	346,047,779	

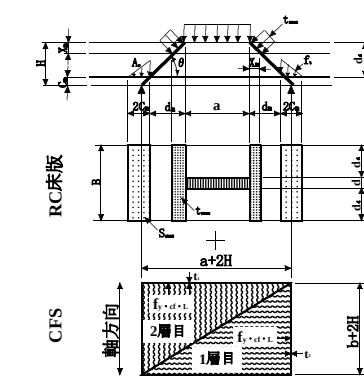


図-2 押抜きせん断力学モデル

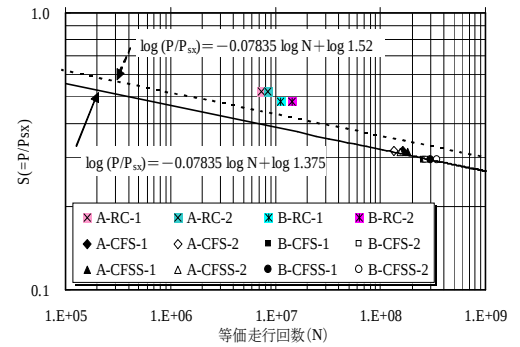


図-3 CFS補強床版のS-N曲線

RC床版供試体はRC床版供試体に比して21.1倍の補強効果が得られた。次に、タイプBのRC床版供試体の平均等価走行回数に比してCFS補強RC床版供試体およびCFSS補強RC床版供試体は、それぞれ20.6、25.3倍の補強効果が得られた。これは全面で接着したCFSに対し、格子状に貼り付けしたCFSSは部分的には使用量が多くなることから、耐疲労性が上回ったものと考えられる。

6. RC床版およびCFS・CFSS補強RC床版の耐疲労性

(1) RC床版の押抜きせん断耐力 S-N 曲線式に適用するはり幅Bの押抜きせん断力学モデルは図-2(RC床版部)として示され、押抜きせん断耐力 P_{sx} は式(2)として与えられる¹⁾。

$$P_{sx} = 2B(\tau_{smax} \cdot X_m + \sigma_{max} \cdot C_m) \quad (2)$$

$$B = b + 2d_d$$

$$\tau_{smax} = 0.252f_c - 0.00251f_c^2 \quad (2.1)$$

$$\sigma_{max} = 0.269f_c^{2/3} \quad (2.2)$$

ここで、B：はりの幅(mm)，a：軸直角方向の辺長(mm)，b：輪荷重の軸方向の辺長(mm)， X_m ：主鉄筋方向の中立軸の位置(mm)， C_m ：引張主鉄筋のかぶり， d_d ：配力筋の有効高さ， τ_{smax} ：コンクリートのせん断強度(N/mm^2)， σ_{max} ：コンクリートの引張強度(N/mm^2)， f_c ：コンクリートの圧縮強度(N/mm^2)

(2) CFS下面接着補強RC床版の押抜きせん断耐力 走行荷重が作用するCFS接着補強RC床版の押抜きせん断耐力 $P_{sx \cdot c}$ は、RC床版が分担する押抜きせん断耐力 P_{sx} と補強CFSが分担する押抜きせん断耐力 $P_{CF \cdot c}$ を合計したものである。ここで、CFS接着補強RC床版の押抜きせん断力学モデルを図-2に示す。よって、CFS接着補強RC床版の押抜きせん断耐力は式(3)として与えられる²⁾。

$$P_{sx \cdot c} = P_{sx} + P_{CF \cdot c} \quad (3)$$

CFSが分担する押抜きせん断耐力 $P_{CF \cdot c}$ は、CFSの引張強度 $f_{y \cdot CF}$ に軸方向および軸直角方向それぞれの低減係数($\beta_{CF \cdot L1}$, $\beta_{CF \cdot L2}$)を適用して算出し、合計したものがCFSの補強耐力の分担能となる。よって、CFSが分担する押抜きせん断耐力 $P_{CF \cdot c}$ は、式(4)として与えられる²⁾。

$$P_{CF \cdot c} = \{(b+2H)t \cdot f_{y \cdot CF \cdot L} \cdot \beta_{CF \cdot L1}\} \sin \theta + \{(a+2H)t \cdot f_{y \cdot CF \cdot L} \cdot \beta_{CF \cdot L2}\} \sin \theta \quad (4)$$

$$\beta_{CF \cdot L1} = 0.0651t_1^{-0.663} \quad (4.1)$$

$$\beta_{CF \cdot L2} = 0.0651t_2^{-0.663} \quad (4.2)$$

ここで、 $f_{y \cdot CF}$ ：CFSの引張強度(N/mm^2)， t_1, t_2 ：CFSの厚さ(mm)， $\beta_{CF \cdot L1}, \beta_{CF \cdot L2}$ ：軸直角方向および軸方向のCFS低減係数， θ ：破壊傾斜角($=45^\circ$)

7. S-N線図

(1) RC床版 松井らによるRC床版のS-N曲線式は式(5)である。また、S-N曲線式における縦軸Sの算定に用いる破壊荷重付近の押抜きせん断耐力は式(2)を適用している。

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (5)$$

ここで、P：基準荷重， P_{sx} ：はり幅Bの押抜きせん断耐力，N：繰返し回数(回)

(2) CFSおよびCFS補強RC床版のS-N曲線 本供試体の基準荷重に対するCFS補強RC床版の押抜きせん断耐力式(3)から算出したS値と表-1に示す等価走行回数の関係を図-3に示す。ここで、CFS補強RC床版のS-N曲線の傾きは松井らが提案するS-N曲線の傾きとし、本実験の等価走行回数と $S(=P/P_{sx \cdot c})$ の関係からプロットされた点を基準にスライドさせて、初期値のSを得るものとする。よって、CFS補強RC床版のS-N曲線は式(6)となる。

$$\log(P/P_{sx \cdot c}) = -0.07835 \log N + \log 1.375 \quad (6)$$

8. まとめ

- ① CFS補強した場合は、タイプAおよびBともにRC床版供試体に比して18.7倍、20.6倍の補強効果が得られた。同様に、CFSS補強の場合も21.1倍、25.3倍の補強効果が得られた。CFSS補強法は格子状に接着補強することから、部分的に目付量が多くなり耐疲労性が向上したものである。
- ② 本提案のCFS補強RC床版のS-N曲線式は松井らが提案するRC床版のS-N曲線の傾きをスライドさせた式であり、このS-N曲線式と押抜きせん断耐力より寿命の推定が可能となる。なお、湿潤状態においては今後の課題である。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007
- 2) 阿部忠ほか：積層数の異なるCFS補強RC床版の補強効果および力学特性，第57回理論応用力学講演会講演論文集，pp.231-232，2008