

せん断補強筋を配置したSFRC・CFSS併用補強RC床版の耐疲労性の評価

日本大学大学院 正会員 ○山下 順平 日本大学 阿部 忠, 木田 哲量
中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京(株) 正会員 高野 真希子 鹿島道路(株) 正会員 児玉 孝喜

1. はじめに

道路橋 RC 床版は大型車両の繰り返し走行により疲労劣化が進行し、床版下面にひび割れ損傷やコンクリートのはく離が生じることが頻発している。この一次補強である鋼繊維補強コンクリート (SFRC) 上面増厚補強した RC 床版は増厚界面がはく離するなどの損傷を受け、二次補強対策が必要となっている。筆者らは二次補強法である上面には SFRC 上面増厚補強、下面には炭素繊維ストランドシート (CFSS) 格子接着補強した RC 床版の耐疲労性の評価を行ってきた。その結果、耐疲労性は大幅に向上するが破壊時における損傷状況は上・下面から補強することで既設 RC 床版部がせん断破壊となることが判明した¹⁾。そこで本研究では、47 年間供用された RC 床版の二次補強対策として、接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強および CFSS 下面接着補強を併用した補強、さらに接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強および CFSS 下面接着補強した RC 床版に脆性的なせん断破壊を防止するためにせん断補強筋を配置させた補強法²⁾を取り入れた RC 床版を用いて、それぞれ輪荷重走行疲労実験を行い、耐疲労性の検討を行った。

2. 劣化状態および供試体寸法

(1) 旧銚子大橋の劣化状態 本研究に用いる RC 床版は、SFRC 上面増厚補強しながら 47 年間供用された旧銚子大橋の床版である。この床版は、昭和 31 年の設計基準³⁾により設計された RC 床版であり、床版支間 1,900mm、床版厚 160mm で、1985 年に床版上面を 10mm ～ 20mm 切削し、SFRC を 70mm ～ 80mm 増厚した全体厚さは 220mm である。ここで、床版下面のひび割れ状況を図 1 に示す。全体的に 2 方向のひび割れが発生し、ひび割れ密度は $9\text{m/m}^2 \sim 10\text{m/m}^2$ である。また、上面増厚部は完全にはく離しており、劣化過程は加速期(後期)から劣化期に相当する床版である。

(2) 供試体寸法および補強方法 撤去時に縦げたの内側で切断されたことから供試体の寸法は $1,600 \times 1,600\text{mm}$ とする。また、上面の補強は、旧 SFRC 上面増厚部を撤去後、既設 RC 床版上面を 10mm 切削し、その後、ショットブラストで研掃し、接着剤を平均厚 1.0mm を塗布して、新たに SFRC を上面増厚補強した。SFRC の設計基準強度は 24N/mm^2 を目標に配合した。SFRC の 3 時間後の圧縮強度は 26N/mm^2 、実験時の 66.2N/mm^2 である。次に、下面の補強には目付量 600g/m^2 、厚さ 0.333mm の CFSS を使用した。CFSS の引張強度は $3,400\text{N/mm}^2$ である。CFSS による補強は、長さ 1,300mm、幅 100mm の CFSS を支間中央から 100mm 間隔で軸直角方向および軸方向に格子状の接着である。補強手順は、コンクリートサンダーで表面を平滑に研磨した後、エポキシ系樹脂接着剤により直接 CFSS を軸直角方向および軸方向に格子状に接着する。そして、せん断補強筋の配置は床版中央から 210mm の位置に挿入した。コアは $\phi 15\text{mm}$ 、深さ 150mm を 210mm の間隔で千鳥配置した。コア内に接着剤を挿入し、鉄筋には

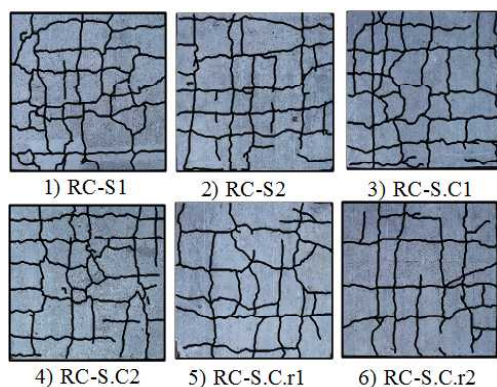


図 1 撤去時のひび割れ損傷

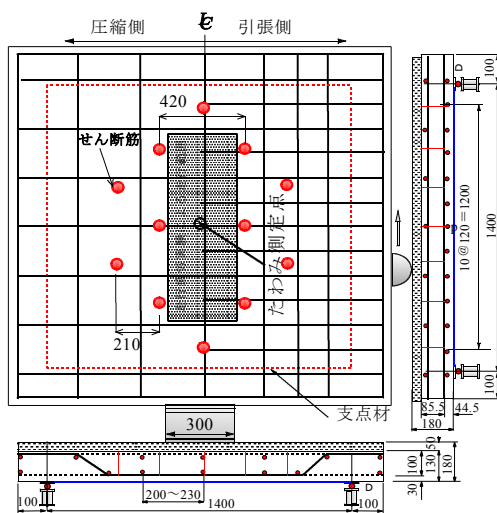


図 2 供試体寸法および鉄筋の配置

D13mm を挿入した。また、せん断補強筋の配置位置を図 2 に併記した。ここで、SFRC 上面増厚した RC 床版供試体を RC-S、SFRC 上面増厚補強と下面接着補強を併用した供試体を RC-S.C、接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強および CFSS 下面接着補強した RC 床版にせん断補強筋を挿入した供試体を RC-S.C.r とする。

3. 実験方法および等価走行回数

(1) 輪荷重による走行疲労実験 走行疲労実験は、輪荷重の走行状態を再現したものであり、床版中央から $\pm 500\text{mm}$ の範囲に走行速度 0.14m/s (1 走行 0.9m を 6.5sec) で輪荷重を走行させる。荷重は、 100kN を初期荷重とし、2 万回走行ごとに荷重を増加する。また、荷重は 140kN までは 20kN 、 140kN 以降は 10kN ずつ段階的に増加させることにより劣化を

キーワード：RC 床版、SFRC 上面増厚補強、CFSS 下面補強、せん断筋、耐疲労性

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

促進させる。なお、せん断補強筋を挿入した供試体は荷重 120kN から実験を開始した。たわみの計測は 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回以降は 5,000 回走行ごとに行った。

(2) 等価走行回数の算定 走行疲労実験では、荷重を 2 万回走行ごとに増加したことから等価走行回数を算出して疲労耐用性を評価する。輪荷重走行による等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。なお、松井らが提案する S-N 曲線の傾きの逆数 m には 12.7 を適用する⁴⁾。

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

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

4. 結果および考察

(1) 等価走行回数 本実験における等価走行回数を表 1 に示す。平成 14 年道示に準拠して製作した供試体 RC.1 の等価走行回数は 14.391×10^6 回であり、この等価走行回数を基準に耐疲労性を評価する。新たに接着剤を塗布して SFRC 上面増厚補強した供試体 RC-S の平均等価走行回数は 20.911×10^6 回であり、RC 床版の 1.45 倍である。破壊は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。また、SFRC 上面増厚と CFSS 下面接着補強を併用した供試体 RC-S.C の平均等価走行回数は 57.004×10^6 回であり、RC 床版の 3.96 倍となり、上面および下面からの補強をすることで高い補強効果が得られた。破壊は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となり、同時に一部の CFSS がはく離している。破壊モードは供試体 RC.1, RC-S, RC-S.C はともに輪荷重の走行位置から 45 度で押抜きせん断破壊を呈している。一方、脆性的なせん断破壊を防止するためにせん断補強筋を挿入した供試体 RC-S.C.r の平均等価走行回数は 207.255×10^6 回となり、供試体 RC.1 の 14.4 倍となった。走行荷重の繰り返しにより SFRC 上面増厚部の損傷が著しくなり、実験を終了した。よって、二次補強は既設 RC 床版の劣化およびひび割れ密度が加速期(後期)から劣化期に相当する RC 床版には、せん断筋を配置することで脆性的な破壊が防止され、耐疲労性が向上する結果となった。

(2) たわみと等価走行回数 たわみと等価走行回数の関係を図 3 に示す。供試体 RC.1 ではたわみが 3.7mm を超えた付近から急激に増加する。次に、SFRC 上面増厚補強した供試体 RC-S では 3.5mm を超えた付近からたわみの増加が著しいが、SFRC 上面増厚と CFSS 下面接着補強を併用したことからたわみの抑制効果が得られた。また、せん断領域に鉄筋を挿入した供試体 RC-S.C.r はたわみの抑制効果がより向上し、等価走行回数が大幅に増加している。

5. まとめ

①旧銚子大橋の RC 床版は 47 年供用された RC 床版であり、ひび割れ密度から、劣化過程は加速期(後期)から劣化期に相当する床版である。二次補強として、接着剤を塗布して SFRC 上面増厚補強した RC 床版は、平成 14 年改訂の道示に比して 1.4 倍の補強効果が得られている。また、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚と CFSS 下面接着補強とを併用した二次補強法は、耐疲労性が更に向上した。

②劣化過程が加速期(後期)から劣化期に相当する RC 床版に、SFRC 上面増厚補強と CFSS 下面接着補強とを併用した二次補強は、既設 RC 床版部が著しく損傷を受けることになる。これを防止するために、 $\phi 13\text{mm}$ のせん断補強筋を挿入した供試体は 45 度の押抜きせん断破壊は見られなくなったが SFRC 上面増厚部が疲労損傷を受けている。しかし、平成 14 年道示に準拠して製作した RC 床版の 14.4 倍の補強効果が得られた。

参考文献

1)高野真希子, 阿部忠, 木田哲量, 小森篤也, 児玉孝喜, 小川洋二: 47 年供用した RC 床版の CFSS 下面補強および SFRC 上面増厚補強による耐疲労性, 構造工学論文集, Vol. 57A, pp. 1286-1296(2011.3), 2)阿部忠, 木田哲量, 高野真希子, 加藤清志, 澤野利章: 炭素繊維シート補強と鉄筋コア・アンカー型補強を併用した鉄筋コンクリートはりの補強効果, 日本大学生産工学部研究報告, 第 37 巻, 第 2 号, pp.1-9 (2004), 3)日本道路橋会: 鋼道路橋設計示方書, 1956. 4)松井繁之: 道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007.

表 1 等価走行回数

供試体	合計等価走行回数	平均等価走行回数	等価走行回数比
RC.1	14,391,597	14,391,597	-
RC-S1	22,365,409	20,911,051	1.45
RC-S2	19,456,694		
RC-S.C1	61,512,389	57,004,747	3.96
RC-S.C2	52,497,104		
RC-S.C.r1	194,612,297	207,255,674	14.40
RC-S.C.r2	219,899,051		

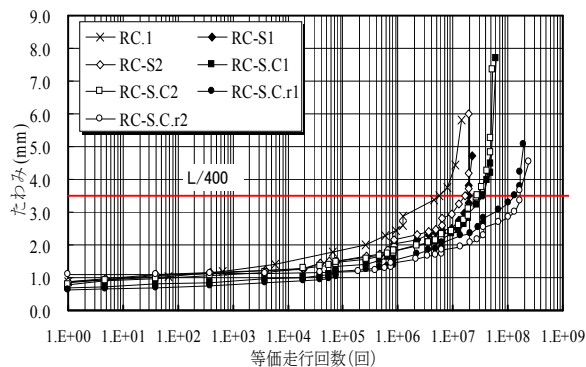


図 3 たわみと等価走行回数の関係