

SFRC上面補強法における鋼床版の応力低減に関する研究

日本大学大学院 学生会員 ○野口 博之 日本大学 フェロー会員 阿部 忠 フェロー会員 川井 豊
 鹿島道路株式会社 正会員 一瀬 八洋 正会員 山下 雄史

1. はじめに

道路橋鋼床版は縦リブ・横リブを溶接接合した薄板構造であるため大型車両の交通量が多い路線では車両の走行による応力集中が発生するためデッキプレートや溶接接合部近傍に疲労き裂の発生・進展が確認されている¹⁾。とくに、縦リブと横リブの交差部は縦リブの変形を横リブが拘束するため輪荷重の走行により局部応力や交番応力が発生し易いため交差部を起点にき裂が発生・進展している。

そこで本研究は、縦リブと横リブの交差部に着目し、応力履歴を与えた鋼床版に普通セメントに低収縮型早強性混和材を混合させた SFRC を用いた上面補強を施し、輪荷重走行疲労実験を行い応力の低減および交番応力の抑制について検証した。

2. 使用材料および供試体概要

2.1 使用材料

(1) 鋼材 道路橋鋼床版の鋼材には SS400 が使用されていることから本実験では SS400 を用いる。SS400 の材料特性値はミルシートより降伏強度が 341N/mm^2 、引張強度が 462N/mm^2 、ヤング係数が 200N/mm^2 である。

(2) SFRC 本実験に用いる SFRC にはコンクリートの圧縮強度が 36 時間で 30N/mm^2 を確保できる配合とし、普通セメントと低収縮型早強性混和材に最大寸法 15mm の粗骨材、 5mm 以下の砕砂、 $\phi 0.62\text{mm}$ 、長さ 30mm の両端フック型の鋼繊維を $1.27\text{Vol.}\%$ で配合する。ここで、SFRC の示方配合を表-1 に示す。また、コンクリートの圧縮強度は材齢 36 時間で 33.2N/mm^2 、材齢 7 日で 56.6N/mm^2 有する。

(3) 接着剤 デッキプレートと SFRC との付着性を高めるために高耐久型エポキシ系樹脂接着剤（以下、接着剤）を平均 1.0mm 厚で塗布する。

2.2 供試体寸法 本実験に用いる鋼床版供試体デッキプレートに幅 $1,765\text{mm}$ 、長さ $2,500\text{mm}$ 、厚さ 12mm を用いる。U リブには厚さ 8mm 、高さ 250mm 、幅 318mm とする。主げたは I 形断面とし、主げた間隔は $1,465\text{mm}$ とする。U リブの接合位置は主げた G1 および G2 からそれぞれ 206mm 、 301mm の位置とする。ここで、鋼床版供試体の供試体寸法を図-1 に示す。

2.3 補強方法 接着剤塗布型 SFRC 上面補強法は「橋梁補修設計マニュアル」²⁾に準拠し、製作する。輪荷重走行疲労実験を行い鋼床版に応力履歴を与え

表-1 SFRCの示方配合

W/B (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m^3)						S.P (%)
		W	C	S	G	SF	AD	
38	57.9	174	358	936	686	100	100	1.5

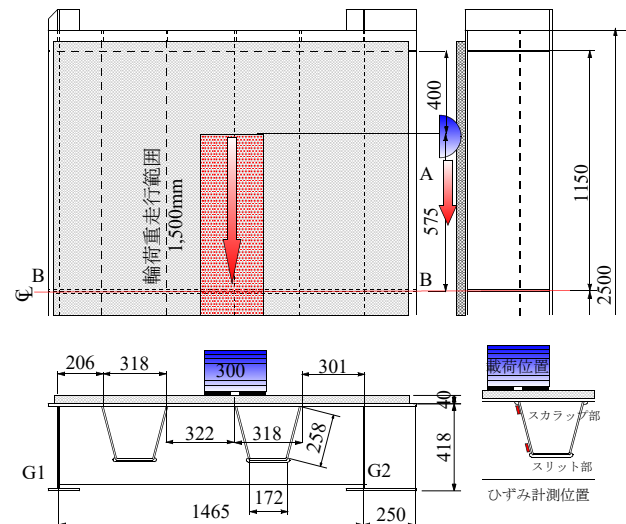


図-1 鋼床版供試体の寸法

る。次にデッキプレートと SFRC との接着性を高めるためにショットブラスト研掃機を用いて投射密度 150kg/m^2 (1 種ケレン相当) で研掃を行う。研掃後、発錆を防止するために防錆剤を塗布し、養生する。その後、接着剤を平均 1.0mm 厚で塗布し、直ちに表-1 に示す配合で SFRC を混練し、 40mm 厚で打設し養生する。

3. 実験方法

3.1 輪荷重走行疲労実験 輪荷重走行疲労実験における走行範囲を図-1 に示す。鋼床版供試体は横リブ I から 400mm の位置を起点とし橋軸方向に $1,500\text{mm}$ の範囲を荷重 50kN で $40,000$ 回繰り返して走行させる。その後、荷重 100kN で 1 往復させ横リブに発生したひずみを動的に計測する。次に、接着剤塗布型 SFRC 上面補強した供試体は荷重 50kN で $40,000$ 回、荷重 100kN 、 120kN 、 140kN 、 150kN でそれぞれ $20,000$ 回走行させる。また、各荷重で疲労実験終了後に荷重 100kN で 1 往復させ動的に横リブのひずみを計測する。

3.2 等価走行回数 本実験は $20,000$ 回走行ごとに荷重を増加させたことから、等価走行回数 N_{eq} を算出し

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 TEL 047-474-2459

SFRC の補強効果および耐疲労性を検証する。SFRC の寿命評価について、水越ら³⁾は SFRC の疲労ひび割れに進展状況を考慮した生存確率 95%の S-N 曲線式(1)を提案している。

$$S = -0.0969 \log N + 1.0279 \quad (1)$$

ここに、 S ：上限応力比（＝作用最大曲げ応力/静的曲げ強度）

式(1)における S-N 曲線式は上限応力比であることから S-N 曲線の傾きの逆数 m の絶対値は $m=10.32$ である。SFRC の等価走行回数 N_{eq} の算定には、水越ら³⁾が提案する式(1)より、マイナー則に従うと仮定すると片対数であることから式(2)として与えられる。基準荷重 $P_0=72\text{kN}$ における上限応力比 S_0 が SFRC の静的強度の $1/3$ を考慮する。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n [10^{(S_i - S_0)/m}] \times n_i \quad (2)$$

$$S_i = 1/3 \times (P_i/P_0)$$

ここで、 N_{eq} ：等価走行回数(回)、 P_i ：载荷荷重(kN)、 P_0 ：基準荷重(=72kN)、 S_0 ：上限応力度(SFRC の静的強度の $1/3$ (=0.333))、 n_i ：実験走行回数(回)、 m ：S-N 曲線の傾きの絶対値(=0.0969)

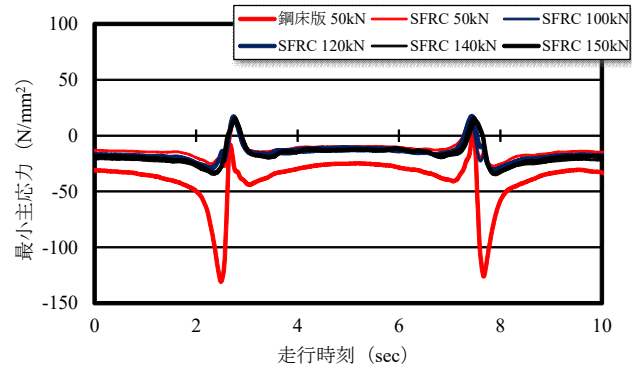
4. 実験結果および考察

4.1 等価走行回数 式(2)を用いて計算した等価走行回数は 146.287×10^6 回であり、SFRC に 0.05mm 程度のひび割れが U リブ溶接部上に沿っているが貫通ひび割れや界面のはく離は確認されない。

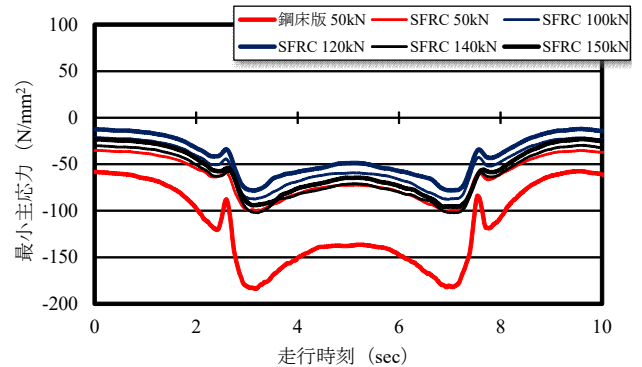
4.2 主応力と走行時刻の関係 本実験における最小主応力と走行時刻の関係を図-2に示す。

(1) スカラップ部 鋼床版供試体のスカラップ部の主応力と走行時刻の関係は図-2(1)に示すように輪荷重が横リブ II を通過する時に正負の応力、すなわち交番応力が発生している。鋼床版で荷重 100kN で 1 往復した際の最小主応力の最小は -130.9N/mm^2 である。この値を基準に応力低減効果を検証する。接着剤塗布型 SFRC 上面補強した鋼床版は交番応力が発生するものの等価走行回数 146.287×10^6 回で最小主応力の最小値が -34.0N/mm^2 と補強を施すことにより最小主応力が 74%低減する結果となった。

(2) スリット部 鋼床版供試体のスリット部の主応力と走行時刻の関係は図-2(2)に示す。輪荷重が横リブ II を通過する付近で応力が圧縮側に増加し、通過後最大値を示している。鋼床版供試体の最小主応力の最小値は -184.0N/mm^2 である。次に、接着剤塗布型 SFRC 上面補強を施した鋼床版は SFRC により剛性が向上し、応力の変動範囲が抑制されている。等価走行回数 146.287×10^6 回で最小主応力の最小値が -95.7N/mm^2 と応力が 48%低減する結果となった。



(1) スカラップ部



(2) スリット部

図-2 最小主応力と走行時刻の関係

以上より、縦リブおよび横リブの交差部は輪荷重の繰返し走行に伴い局所的な応力の増加や交番応力が発生し、疲労き裂の発生、進展しやすい部位となるが、接着剤塗布型 SFRC 補強を施すことにより応力の変動範囲の低減および交番応力が抑制され、き裂の発生を抑制できるものと考えられる。

5. まとめ

過去の研究結果と同様に、縦リブと横リブの交差部の溶接部近傍には、輪荷重の通過時にデッキプレート of 局所的な変形を起因とする大きな局部応力の変動範囲が生じた。その対策として接着剤塗布型 SFRC 上面補強を施すことにより横リブに発生する応力を低減し、局所的な応力の増加や交番応力の発生を抑制することから応力低減が確認され、疲労き裂の発生、進展を抑制することが十分期待できることが確認した。

参考文献

- 1)土木学会：鋼床版の疲労 [2010 年改定版]，2010.
- 2)(社)建設コンサルタンツ協会 近畿支部 公共土木施設の維持管理に関する研究委員会道路分科会 橋梁 WG ②(補修・補強)：2. 橋梁補修設計マニュアル(案)，2012.7
- 3)水越睦視，松井繁之，東山浩士，内田美生：SFRC の曲げ疲労ひび割れ進展寿命の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.3，pp.199-204，2000.7