

早強セメントに低収縮型早強性混和材を添加させたSFRCを用いた補強法による
鋼床版デッキプレートのたわみ挙動

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
日本大学 フェロー会員 川井豊 鹿島道路(株) 正会員 一瀬八洋

1. はじめに

道路橋鋼床版は交通量の多い路線において、車両の繰り返し走行により局所的な変形がデッキプレートに生じている¹⁾。筆者ら²⁾は道路橋鋼床版の耐久性を向上する補強法として 36 時間でコンクリートの圧縮強度 30N/mm² を確保できる普通セメントに低収縮型早強性混和材を添加させた SFRC を提案し、提案する SFRC を用いた接着剤塗布型 SFRC 補強を施し、鋼床版に発生する局所的な変形を抑制する結果が得られた。一方、コンクリートの強度発現性は環境温度が低温度の場合、強度発現性が低下する所定の強度が確保することが困難な状況がある。

そこで本研究は、低温度時での強度発現が確保できる材料として早強セメントに低収縮型早強性混和材を添加させた SFRC を提案し、提案する SFRC の強度発現性を検証する。また、輪荷重走行疲労実験を行い提案する SFRC を用いた接着剤塗布型 SFRC 補強によるデッキプレートのたわみ挙動を検証する。

2. 供試体概要

(1) 鋼床版 本実験における鋼床版を構成する鋼材には 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/mm²、引張強度が 462N/mm²、ヤング係数が 200kN/mm² である。

(2) SFRC 提案する SFRC は材齢 36 時間でコンクリートの圧縮強度 30N/mm² を確保できる配合とする。セメントには早強セメントを用い、最大寸法 15mm の粗骨材、5mm 以下の砕砂、φ0.6mm、長さ 30mm の両端フック型鋼繊維を 1.27Vol.%に低収縮型早強性混和材を添加させる。提案する SFRC の示方配合を表-1 に示す。また、既往の研究²⁾である普通セメントに低収縮型早強性混和材を添加させた SFRC の示方配合を表-1 に併記する。

(3) 供試体寸法 鋼床版供試体のデッキプレートは幅 1,765mm、全長 2,500mm、厚さ 12mm、U リブには幅 318mm、高さ 250mm、厚さ 8mm を用いた。U リブの接合位置は主げた G1 から 206mm の位置、主げた G2 から 301mm の位置に接合する。ここで、鋼床版の供試体寸法を図-1 に示す。

(4) 供試体の補強手順 SFRC 補強供試体は「橋梁補修設計マニュアル」³⁾に準拠した補強法で作成する。

補強手順はショットブラスト(投射密度 150kg/m²: 1 種ケレン相当) でデッキプレート表面の油分などを除

表-1 SFRCの示方配合

セメントの種類	W/B (%)	S/a (%)	単位体積重量 (kg/m ³)						S.P (%)
			W	C	S	G	SF	AD	
早強セメント	38.0	57.9	174	358	936	686	100	100	1.4
普通セメント				358	937	686	100	100	1.2

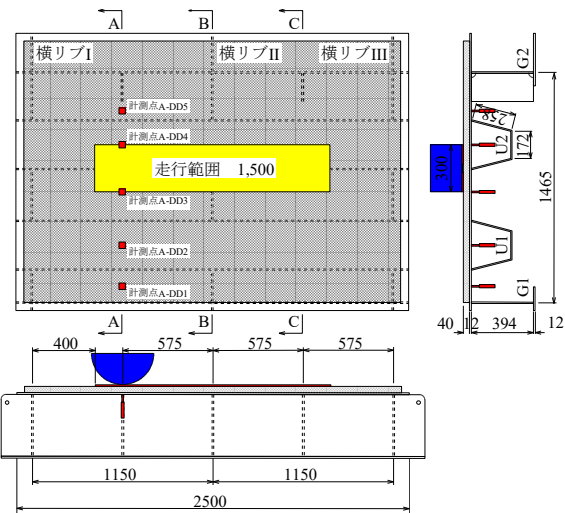


図-1 供試体寸法および計測位置

去する。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 1.0mm 厚で塗布し、直ちに SFRC を 40mm 打込み養生する。

3. 実験概要

(1) 実験方法 輪荷重走行疲労実験は図-1 に示す横リブ I から 400mm の位置を起点に 1,500mm の範囲を繰り返し走行させる。鋼床版は荷重 50kN で 4 万回させる。疲労実験終了後、荷重 100kN で 1 往復させたわみを計測する。早強セメントを用いて接着剤塗布型 SFRC 補強した鋼床版は荷重 50kN で 2 万回、荷重 100kN で 4 万回、荷重 150kN で 6.2 万回走行させる。疲労実験終了後、鋼床版と同様に荷重 100kN で 1 往復させたわみを計測する。なお、既往の研究である普通セメントを用いた供試体は荷重 50kN で 4 万回、荷重 100kN、120kN、140kN、150kN でそれぞれ 2 万回走行させ、疲労実験終了後にたわみを動的に計測する。

(2) 等価走行回数 SFRC の耐疲労性の評価において水越ら⁴⁾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

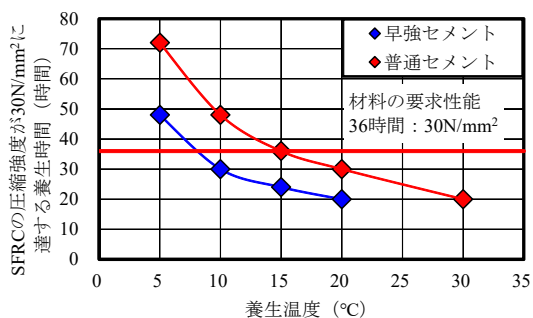


図-2 SFRCの圧縮強度30N/mm²に達する温度

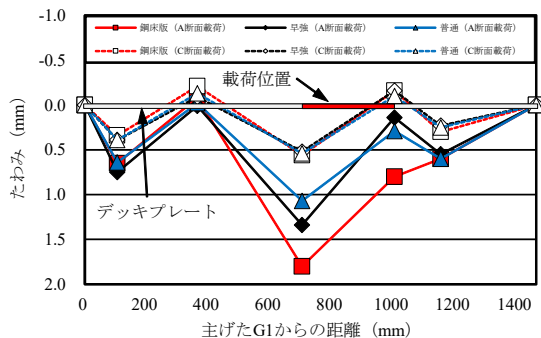


図-3 橋軸直角方向デッキプレートの変形

る。SFRC の等価走行回数の算定には、マイナー則に従うと仮定すると式(2)として与えられる。なお、SFRC の上限応力比 S_0 は基準荷重 P_0 載荷時の応力を許容応力度 (SFRC の静的強度の 1/3) と仮定する。

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

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

ここに、 N_{eq} ：等価走行回数、 P_i ：載荷荷重 (kN)、 P_0 ：基準荷重 (=72kN)、 S_0 ：上限応力比 (=1/3=0.333)、 n_i ：実験走行回数、 m ：S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 (=10.32)

4. 実験結果および考察

(1) 低温度時の強度発現性 早強セメントを用いた SFRC は材齢 36 時間でコンクリートの圧縮強度 50.6N/mm² と材料の要求性能を十分に満足する材料である。また、早強セメントを用いた SFRC は環境温度が 10℃および 5℃の場合で圧縮強度 30N/mm² に達する時間 (図-2) がそれぞれ 30 時間、48 時間となる。普通セメントを用いた SFRC は環境温度が 10℃、5℃の場合で圧縮強度 30N/mm² に達する時間がそれぞれ 48 時間、75 時間となっていることから早強セメントに低収縮型早強性混和材を添加させた SFRC は環境温度が 10℃以下でも十分な強度発現が確認された。

(2) 等価走行回数 早強セメントを用い、接着剤塗布型 SFRC 補強した鋼床版の等価走行回数は式より、 330.42×10^6 回である。損傷状況は U リブの溶接線に沿って幅 0.05mm 程度のひび割れが進展しているが輪荷重走行範囲での損傷は見られない。

(3) デッキプレートの変形状態 橋軸直角方向のデ

ッキプレートの変形状態を図-3 に示す。また、たわみの計測位置は図-1 に併記する。なお、主げた G1, G2 上のたわみは 0mm とする。

1) A断面に作用した場合 鋼床版供試体は載荷輪直下で著しく変形、たわみの交番が確認される。一方、早強セメントを用いた供試体および普通セメントを用いた供試体はたわみの交番は確認されるが剛性が向上することで載荷輪直下のたわみが大幅に低減する結果となった。

2) C断面に作用した場合 輪荷重が C 断面到達した際のデッキプレートの変形は鋼床版供試体および補強した供試体ともに U リブ内デッキプレートに負のたわみが発生している。また、A 断面に載荷している状態と比較したたわみが補強前と補強後でほぼ同等のたわみ量となっている。これは、SFRC による剛性の向上が鋼床版全体ではなくデッキプレートのみとなり載荷直下で顕著に表れるためである。

5. まとめ

- (1) 提案する SFRC は要求性能である 36 時間でコンクリートの圧縮強度が 30N/mm² を確保でき、環境温度が 10℃以下でも十分な強度発現が得られる材料である。また、等価走行回数 330.42×10^6 回走行においても U リブ溶接線上に幅 0.05mm のひび割れの進展が確認されるが走行範囲内での損傷は見られないことから提案する SFRC の耐疲労性が評価でき、提案する SFRC を用いた接着剤塗布型 SFRC 補強は鋼床版の耐疲労性を向上させる補強法として有用性がある。
- (2) デッキプレートは面外剛性が低いことから局部的な変形や U リブの回転変形によりデッキプレートに応力集中が生じ易くなり疲労き裂の発生・進展が考えられる。しかし、SFRC により剛性が向上することでデッキプレートに発生するたわみおよび応力が抑制され、局部的な変形から全体変形に移行し、き裂の発生・進展を抑制できると考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼構造シリーズ 22 鋼床版の疲労 2010 年改定版，2010
- 2) 野口博之ほか：接着剤塗布型 SFRC 上面補強を施した鋼床版デッキプレートのたわみの挙動，セメント・コンクリート論文集，Vol.70，pp.549-556，2016
- 3) (一社)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
- 4) 水越睦視ほか：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