

鋼板格子筋を用いてSFRC上面増厚補強したRC床版の耐疲労性および施工事例

日大生産工(院) ○中島博敬 日大生産工(非常勤) 阿部忠 日大生産工 水口和彦
JFE シビル(株) 塩田啓介 吉岡泰邦 有菌和樹

1. はじめに

積雪寒冷地域に建設された道路橋 RC 床版では、凍結防止剤の散布による塩害および凍害による床版上面コンクリートの土砂化や鉄筋の腐食が報告¹⁾されている。また、設計基準の改定に伴う鉄筋量不足により耐荷力・耐疲労性が低下している。これらの RC 床版に対しては、増厚層内に鉄筋を配置した SFRC 上面増厚補強法が適用されている。しかし、鉄筋を配置した補強法では鉄筋交差部が鉄筋径の 2 倍となることから死荷重の増大が懸念され、新たな補強筋の開発が求められている。

そこで本研究では、新たに開発された施工の合理化や省力化が図れる鋼板格子筋を用いた SFRC 上面増厚補強法を提案し、輪荷重走行疲労実験を行い、鋼板格子筋を用いて上面増厚補強した RC 床版の耐疲労性を評価する。また、実橋梁への適用として本工法を応用した施工事例を検証し、その実用性について評価する。

2. 供試体概要

2.1 使用材料

(1) RC床版 本実験に用いる RC 床版のコンクリートには、普通セメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。また、鉄筋は SD295A, D10 を用いた。ここで、RC 床版に用いたコンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-1に示す。

(2) SFRC 本実験に用いる SFRC には 3 時間でコンクリートの圧縮強度 24N/mm² 以上を発現できる超速硬セメントに鋼繊維を配合した SFRC を用いる。配合条件は、超速硬セメントに 15mm の砕石および φ0.6mm, 長さ 30mm の両端フック型の鋼繊維を添加量 1.27vol.% とする。ここで、SFRC の配合条件を表-2に示す。なお、材齢 3 時間および実験開始時の圧縮強度はそれぞれ 26.9N/mm², 52.0N/mm² である。

(3) 付着用接着剤²⁾ 既設床版と SFRC との一体性を高め、はく離を抑制することを目的と

表-1 RC床版の材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	使用鉄筋 (SD295A,D10)		
		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC38	38.2	345	447	200

表-2 SFRCの配合条件

スランブ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位重量 (kg/m ³)					S.P (%)
			W	C	S	G	SF	
8.0±2.5	39.5	51.2	170	430	851	858	100	2.0

表-3 付着用接着剤の材料特性値

項目	特性	備考
外観	主剤	白色ペースト状
	硬化剤	青色液状
混合比(主剤:硬化剤)	5:1	異物混入なし
硬化物比重	1.42	重量比
粘度	500~1,000mPa·s	JIS K 7233
圧縮強さ	102.9N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数	3,976N/mm ²	JIS K 7181
曲げ強さ	41.6N/mm ²	JIS K 7171
引張せん断強さ	14.9N/mm ²	JIS K 6850
コンクリート付着強さ	3.7N/mm ² 以上*	JIS A 6909

*母材コンクリートで破壊する場合は3.7N/mm²を下回る

した高耐久型エポキシ系樹脂接着剤(以下、付着用接着剤とする)を増厚界面に塗布する。ここで、付着用接着剤の材料特性値を表-3に示す。

(4) 鋼板格子筋 本実験供試体に用いる鋼板格子筋は厚さ 4.5mm の縞鋼板(SS400 相当)を用い、レーザで直接格子状に加工した格子筋およびレーザでスリットを挿入し展張加工を施した展張格子筋の 2 種類を用いた。鋼板格子筋の材料特性値を表-4、形状および寸法を図-1に示す。鋼板格子筋には突起を設けて付着力を高める構造とし、図-1に示すように 2mm の突起を 7mm 間隔で設けた。

2.2 供試体寸法

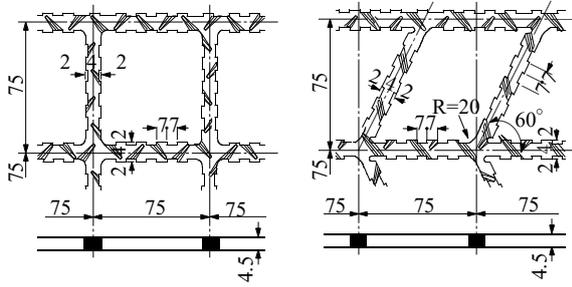
(1) RC床版供試体 供試体は道路橋示方書・同解説⁴⁾(以下、道示とする)の規定に準拠して製作し、その 1/2 モデルとした。したがって、支間長 1,200mm, 全長 1,470mm, 床版厚 130mm である。鉄筋は引張側の軸直角方向および軸方

Fatigue Durability and Construction Example of RC Slab Reinforced with SFRC Upper Surface Thickness Increased Using Metal Grid

Hirota NAKAJIMA, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI, Keisuke SHIOTA, Yasukuni YOSHIOKA and Kazuki ARIZONO

表-4 鋼板格子筋の材料特性値

補強筋	断面寸法 (mm)	格子間隔 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
格子筋	4.5×4.0	75	338	430	200
展張格子筋	4.5×4.0	75	327	430	200



(1) 格子鋼板筋 (2) 展張格子筋
図-1 鋼板格子筋の形状および寸法

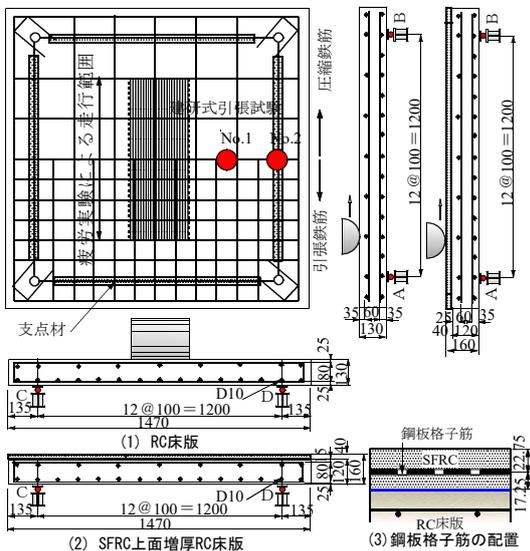


図-2 供試体寸法および鉄筋配置

向に D10 を 100mm 間隔で配置し、有効高さをそれぞれ 105mm, 95mm とする。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。ここで、供試体寸法を図-2(1)に示す。

(2) SFRC上面増厚補強したRC床版供試体 増厚層内に鋼板格子筋を配置し SFRC 上面増厚補強を施した供試体は、RC 床版上面を 10mm 切削および研掃し、既設床版から 15mm の位置に鋼板格子筋を配置して SFRC を 40mm 打設した床版厚 160mm の正方形版とする。なお、床版支間および全長は基準となる RC 床版供試体と同様とする(図-2)。ここで、増厚層内に鋼板格子筋を配置し SFRC 上面増厚補強を施した RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-2(2)、上面増厚に関する寸法を図-2(3)に示す。

2.3 鋼板格子筋を用いたSFRC上面増厚補強手順

SFRC 上面増厚補強の施工手順は上面増厚工法設計施工マニュアル⁴⁾に準拠して製作する。

SFRC 上面増厚補強は、RC 床版上面のかぶりコンクリートを切削機を用いて 10mm 切削する。切削後、既設 RC 床版と SFRC の付着性能の向上させるために、切削面をショットブラスト研掃機を用いて投射密度 150kg/m² で表面処理を施す。次に、付着用接着剤をリシンガンや刷毛を用いて平均 1.0mm 厚で塗布する。付着用接着剤塗布後、台座を設置した鋼板格子筋を配置する。その後、SFRC を直ちに練り混ぜ、40mm で増厚補強し、表面仕上げを施して養生する。ここで、格子筋を用いた供試体を RC38-SF.G.A、展張格子筋を用いた供試体を RC38-SF.EG.A と称する。

3. 実験概要

3.1 輪荷重走行疲労実験

輪荷重走行疲労実験は RC 床版供試体および SFRC 上面増厚補強 RC 床版供試体ともに床版の支間中央から ±450mm の範囲で輪荷重を繰り返し走行させる。実験方法は、初期荷重を 80kN とし、20,000 回ごとに荷重を 20kN ずつ増加させる段階荷重載荷とし、破壊あるいは走行不能に至るまで走行させる。

3.2 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験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、本実験はモデル化した供試体であることから式(1)における基準荷重 P_0 は 60kN とし、等価走行回数を算出する。また、式(1)における S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 m には松井ら⁵⁾が提案する S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 $m=12.7$ を適用する。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n (P_i/P_0)^m \times n_i \quad (1)$$

ここで、 N_{eq} ：等価走行回数、 P_i ：載荷荷重 (kN)、 P_0 ：基準荷重 (=60kN)、 n_i ：実験走行回数、 m ：S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 (=12.7)

4. 実験結果

4.1 等価走行回数

本研究は式(1)より算出された等価走行回数を用いて耐疲労性の評価する。ここで、実験走行回数および等価走行回数を表-5に示す。

(1) RC床版供試体 供試体 RC38 の等価走行

表-5 実験走行回数および等価走行回数

供試体		荷重				等価走行回数 合計	走行 回数比
		80 kN	100 kN	120 kN	140 kN		
RC38	実験走行回数	20,000	15,800			11,150,778	
	等価走行回数	772,239	10,378,539				
RC38-SF.G.A	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	19,100	1,047,188,093	93.91
	等価走行回数	772,239	13,137,391	133,079,433	900,199,030		
RC38-SF.EG.A	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	18,600	1,023,622,673	91.80
	等価走行回数	772,239	13,137,391	133,079,433	876,633,610		

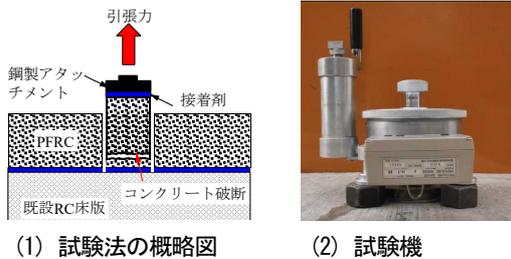


図-5 建研式引張試験方法

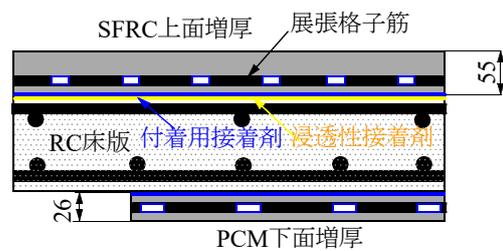


図-5 上面・下面増厚工法の寸法

表-6 建研式引張試験方法による付着強度

供試体	計測点	最大荷重 (kN)	直径 (mm)	引張付着強度 (N/mm ²)
RC38-SF.G.A	No.1	23.9	99.00	3.10
	No.2	25.0	99.00	3.25
RC38-SF.EG.A	No.1	22.6	99.00	2.94
	No.2	18.7	99.00	2.43

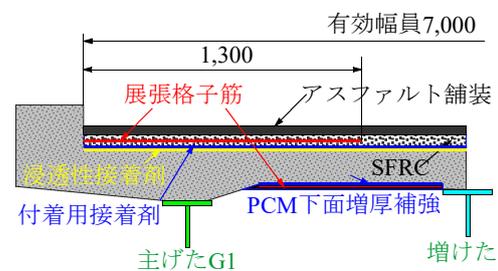


図-6 補強概要

回数は 11.15×10^6 回である。供試体 RC38 の等価走行回数を基準に耐疲労性を評価する。

(2) 鋼板格子筋を配置した供試体 供試体 RC38-SF.G.A および RC38-SF.EG.A の等価走行回数はそれぞれ $1,047.188 \times 10^6$ 回、 $1,023.622 \times 10^6$ 回となり、供試体 RC38 と比較して等価走行回数が 93.91 倍、91.80 倍に向上する結果となった。これは鋼板格子筋と付着用接着剤を併用したことにより剛性および付着性能が向上したためと考えられる。

4.2 建研式引張試験による付着強度

建研式引張試験の試験方法を図-5に示し、試験位置は図-2に併記した。また、試験により得られた付着強度を表-6に示す。供試体 RC38-SF.G.A の No.1, No.2 の付着強度はそれぞれ 3.10 N/mm^2 、 3.25 N/mm^2 、供試体 RC38-SF.EG.A の No.1, No.2 の付着強度はそれぞれ 2.94 N/mm^2 、 2.43 N/mm^2 であり、増厚補強法における付着強度の基準値⁵⁾ 1.0 N/mm^2 を上回っている。また、既設 RC 床版側での破断していることから接着剤を塗布することで終局時においても一体性が確保されている。

5. 展張筋を配置した上面増厚補強事例

5.1 対象橋梁・施工の寸法および概略

鋼板格子筋と接着剤を併用した SFRC 上面増厚補強は RC 床版の耐疲労性および付着性が評価されている。本研究では本工法を実橋梁への適用および応用した施工法を計画し、その実用性について評価する。

対象となる RC 床版は積雪寒冷地域に建設され、2019 年にひび割れ補修および展張筋を配置した接着剤塗布型 PCM 下面増厚補強された RC 床版である。1 年経過後に、張り出し部の負曲げ対策として、展張筋を配置した付着用接着剤と浸透性接着剤を併用した SFRC 上面増厚補強が計画された。ここで、実施工における上面・下面増厚工法の寸法を図-5、補強概要を図-6に示す。なお、対象となる RC 床版の損傷状況は床版上面の土砂化が著しく、健全度 IV と判定されている。施工は 7 日の交通規制を行い、走行車線を先行し、追い越し車線を実施する。

5.2 展張筋を配置したSFRC上面増厚補強法

展張筋を配置した接着剤塗布型 SFRC 上面増



(1) 展張格子筋設置・研掃 (2) 浸透性接着剤塗布 (3) 付着用接着剤塗布 (4) SFRC打ち込み・表面仕上げ

写真-1 展張格子筋を配置した接着剤塗布型SFRC上面増厚補強の施工事例

厚補強法の施工事例を写真-1に示す。なお、損傷が著しい箇所については先行して部分補修を施す。

バックホウや人力で既設アスファルト舗装(以下、既設舗装とする)を撤去する。既設舗装の撤去後、専用の切削機を用いて既設 RC 床版上面のコンクリート層を 10mm 切削する。切削後、テストハンマーを用いた打音法を実施し、損傷箇所を診断する。はく離箇所や土砂化などの損傷が著しい箇所ではブレーカで研り、付着性能を有しコンクリート表面と微細ひび割れに浸透する浸透性接着剤⁶⁾、付着用接着剤を併用しセメント系材料で部分補修を施す。RC 床版上面コンクリートの部分補修した後、写真-1(1)に示すようにショットブラストによる研掃し、RC 床版の地覆内側から 1,300mm の範囲(図-6)、すなわち負の曲げモーメントの影響を受ける片持ち部に展張筋を設置する(写真-1(1))。次に、浸透性接着剤を塗布する。展張筋設置箇所は専用のリシガンで散布し、他の箇所はブラシを用いて塗布量 $0.5\text{kg}/\text{m}^2$ で塗布する(写真-1(2))。15 分程養生して、付着用接着剤を同様にリシガンとブラシを用いて塗布量 $0.9\text{kg}/\text{m}^2$ で塗布する(写真-1(3))。2 種類の接着剤塗布と同時に、SFRC の練混ぜ作業を行う。SFRC には超速硬セメントを用い、練混ぜ作業においては 2 台の移動式コンクリートプラントを用いた。練混ぜ修了と同時に SFRC を打ち込み、締め固めし、平滑に仕上げる(写真-1(4))。展張筋設置から SFRC 打ち込み・表面仕上げまでを 8 時間で施工し、材齢 3 時間後の圧縮強度確認を行い、修了した。片側車線が修了後、反対車線の施工を行い、完成となる。

以上のように、RC 床版が健全性 IV の損傷においては、鉄筋を残し、新たなコンクリートで部分打ち換えする工法、あるいは床版取替も検討されるが、交通状況から先に、PCM 吹付けによる下面増厚補強し、その後の展張筋を配置し

た接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強を併用することで、RC 床版全体の耐荷力性能が向上することになる。

6. まとめ

- (1) 鋼板格子筋と接着剤を併用した SFRC 上面増厚補強法は、界面での一体性が向上し、等価走行回数が大幅に向上することから RC 床版の耐疲労性の向上を図れる工法として有用である。
- (2) 建研式引張試験において、接着剤を塗布することで RC 床版と SFRC の一体性が向上し、付着強度の基準強度 $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ を上回り、既設 RC 床版側で破断する結果が得られた。
- (3) 実施工においては、加工された展張筋を設置するのみとなり、従来の鉄筋配置する工法と比較して施工の合理化が図られる。また、床版下面および上面増厚工法を施すことにより道路橋 RC 床版全体の耐荷力性能が向上し、延命化に繋がるものである。

参考文献

- 1) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル，2012.6
- 2) 阿部忠ほか：輪荷重走行疲労実験における RC 床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集，Vol.56A，pp.1270-1281，2010.3
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，1994
- 4) (財)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル，1995.11
- 5) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007
- 6) 児玉孝喜ほか：浸透性接着剤を用いたコンクリート床版の補修事例，日本大学生産工学部第 48 回学術講演会講演概要，1-19，pp.53-56，2015.12