

論文

継手構造を有するメタルグリッド筋を配置した RC床版上面増厚補強法における耐疲労性

中島博敬*, 阿部忠**, 野口博之***, 塩田啓介****, 吉岡泰邦****, 有菌和樹****

* 日本大学, 大学院生産工学研究科土木工学専攻 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

** 博(工), 日本大学名誉教授, 大学院生産工学研究科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

*** 博(工), 日本大学助手, 生産工学部土木工学科 (〒 275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

**** JFE シビル株式会社 (〒 111-0051 東京都台東区蔵前 2-17-4)

本研究は継手構造を有するメタルグリッド筋を配置した接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強 RC 床版を用いて輪荷重走行疲労実験を行い, 提案する補強法の耐疲労性および実用性について検証した. その結果, メタルグリッド筋を配置して接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強した RC 床版は無補強 RC 床版と比較して大幅に等価走行回数が向上していることから耐疲労性が評価できる. また, 界面と補強筋の隙間において骨材および鋼繊維が適切に充填されていることから実施工における施工性についても実用性があると考えられる.

キーワード: RC 床版, メタルグリッド筋, 継手構造, SFRC 上面増厚補強, 耐疲労性

1. はじめに

供用されている道路橋床版は建設後 50 年を経過し, その維持管理が重要な課題となっている. そのなかでも RC 床版は交通量の増加および大型車両の繰り返し走行によりひび割れや抜け落ちなどの損傷が多数報告されている¹⁾³⁾. また, 複数回にわたり設計基準が改定されており, 1994 年の道路橋示方書・同解説⁴⁾ (以下, 道示と称する) からは基準荷重が 80kN から 100kN へ改定され, それ以前に設計された RC 床版では床版厚さおよび鉄筋量が不足しているため耐荷力性能や耐疲労性が現在の設計基準を満足していない. さらに, 床版防水工を施していない橋梁や凍結防止剤および融雪剤の散布を必要とする積雪寒冷地域に建設された橋梁では, 雨水の滞水や凍結融解作用の繰り返しによって上面コンクリートが湿潤状態となる. そのため, 上面コンクリートでは車両の繰り返しによりセメント成分が滲出し, 土砂化の発生, 圧縮側鉄筋の腐食より断面欠損が確認される.

これらの損傷を受けた RC 床版に対して, 床版上面からは耐久性および耐荷力性能の向上として鋼繊維補強コンクリート (SFRC) による増厚補強法⁵⁾やエポキシ系接着剤を併用した接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強法が採用されている⁶⁾⁷⁾. 一方, 圧縮側鉄筋の腐食より断面欠損が著しい場合には鉄筋を配筋する鉄筋配置型 SFRC 上面増厚補強が適用されている. しかし, 鉄筋を配筋する場合には鉄筋を格子状に組立てるため鉄筋交差部が鉄筋径の 2 倍となり, SFRC の増厚高さが 100mm 程度となるため死荷重の増大が懸念されている. これらのことから,

鉄筋の代替材として一般鋼板や縞鋼板を用いたメタルグリッド筋が開発された. メタルグリッド筋は一般鋼板や縞鋼板にスリットを挿入し, 専用のジャッキを用いて展張加工した展張格子筋, 直接レーザで格子状に加工した格子鋼板筋の 2 種類が開発されており, RC 構造の増厚補強における引張補強材としてその有用性が評価されている⁸⁾. しかし, 実橋梁においては補強筋の連続性を確保するために継手構造が必要となり, 継手部は構造の弱点となりやすく, 増厚補強における補強筋継手構造に関する研究においても検証例が少ないのが現状である.

そこで本研究では, 増厚補強における補強筋の継手構造の評価としてメタルグリッド筋を用いた重ね継手構造の耐荷力性能を検証し, メタルグリッド筋を用いた重ね継手構造の有用性について検証した. また, 継手構造を有する SFRC 上面増厚補強法として継手構造を有するメタルグリッド筋と接着剤を併用した SFRC 上面増厚補強を提案し, 輪荷重走行疲労実験から補強した RC 床版の耐疲労性を検証した.

2. 上面増厚補強法

圧縮側鉄筋の損傷が著しい実橋梁における鉄筋配置型上面増厚補強は高速道路調査会⁵⁾の「上面増厚工法設計施工マニュアル」に基づいて, 既設 RC 床版の上面を切削・研掃後に鉄筋を格子状に配筋して SFRC が打込まれている. ここで, 上面増厚工法設計施工マニュアルに示される寸法図および鋼板格子筋を配置した上面増厚補強の寸法図を図-1に示す.

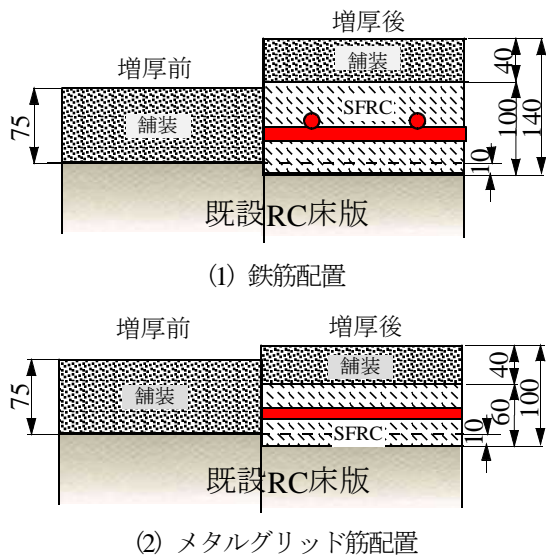


図-1 補強筋を配置した上面増厚補強法の概略図



図-2 補強筋重ね継手構造の概略

塩害や凍害による鉄筋腐食や設計基準の変遷に伴う床版厚不足や鉄筋量不足の RC 床版の上面増厚補強として図-1(1)に示すように鉄筋を橋軸直角方向および橋軸方向に格子状に配置した SFRC 上面増厚補強が適用されている。鉄筋配置型 SFRC 上面増厚補強はかぶりコンクリートを考慮して増厚高さを 100mm とする必要がある。増厚高さを 100mm とすることから死荷重の増大が懸念される。これらのことから鉄筋に変わる代替材として CFRP 格子筋やメタルグリッド筋などの一面加工の補強筋が開発され、図-1(2)に示すように、従来の鉄筋配置型補強法と比較して 1 方向分の厚さが減少できることから SFRC の増厚高さを 60mm とすることが可能となる。また、一面加工であることから鉄筋の組立作業が省略することができるため施工の合理化・省力化が図れる。

一方、実橋梁の増厚補強において鉄筋および一面加工された補強筋ともに継手構造が必要となる。高速道路調査会の「上面増厚工法設計施工マニュアル」⁵⁾によると補強筋の継手構造には一般的に重ね継手が適用される。ここで、SFRC 上面増厚補強における補強筋継手構造の概略を図-2 に示す。増厚補強における補強筋継手構造の継手長は施工誤差および応力集中を考慮して道示⁴⁾に規定する鉄筋径の 20 倍以上を確保する必要がある。

以上より、メタルグリッド筋を用い継手構造を有する上面増厚補強法の実用性について輪荷重走行疲労実験より検証する。

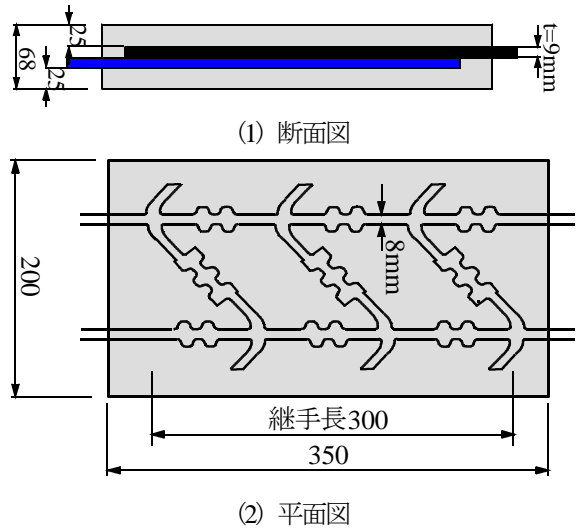


図-3 メタルグリッド筋を用いた重ね継手構造

表-1 付着試験における実験結果

	ひび割れ発生荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	破壊形態	理論値 (kN)
供試体A	ひび割れ発生なし	69.9	母材破壊	48.1
供試体B	67.3	68.8	母材破壊	

3. メタルグリッド筋を用いた継手構造実験

3.1 供試体概要

(1) 使用材料

メタルグリッド筋を用いた継手構造実験に使用する供試体のコンクリートには、増厚補強に使用されているポリマーセメントモルタルを使用した。なお、ポリマーセメントモルタルの実験時の圧縮強度は 60.6N/mm² である。また、メタルグリッド筋には板厚 9mm の一般鋼板を幅 8mm に展張加工した展張格子筋を使用した。

(2) 供試体寸法

継手構造実験に使用した供試体寸法および形状を図-3 に示す。供試体寸法は図-3 に示すように高さ 350mm、幅 200mm、厚さ 68mm とし、かぶりを 25mm とした。メタルグリッド筋の配筋は重ね継手構造とし、継手長は道示⁴⁾に規定する補強筋径の 20 倍以上とすることから 300mm とした。

3.2 実験結果

メタルグリッド筋を用いた継手構造の付着試験における実験結果を表-1 に示す。

重ね継手構造を設けた供試体 A はひび割れ発生が見られず、破壊荷重は 69.9kN である。供試体 B のひび割れ発生荷重は 67.3kN、破壊荷重は 68.8kN である。また、両供試体ともにモルタルでの母材破壊、メタルグリッド筋の破断が確認される。

一方、コンクリート標準示方書から PCM の引張強度 f_{tk}

表-2 コンクリートおよび鉄筋の材料特性

コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	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)
35.0	345	447	200

表-3 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

(=0.23×60.3^{2/3}=3.54N/mm²) を算出し、コンクリートの破壊耐力を算出すると 48.1kN となる。実験より得られた破壊荷重は理論値の 1.44 倍と大きく上回る結果となった。

以上より、メタルグリッド筋を用いた重ね継手構造は十分な耐荷力性能を有していることから実構造への適用が可能であると推察できる。よって、本研究ではメタルグリッド筋を用いた重ね継手構造を有する SFRC 上面増厚補強法として、補強した RC 床版を用いて輪荷重走行疲労実験を行い耐疲労性を評価し、その実用性について検証する。

4. SFRC上面増厚補強RC床版および輪荷重走行疲労実験

4.1 使用材料

(1) RC床版

本実験に用いる 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に最大骨材寸法 20mm の粗骨材、最大骨材寸法 5mm の細骨材を用いる。鉄筋は SD295A, D10 を用いる。ここで、RC 床版に用いたコンクリートの圧縮強度および鉄筋の材料特性を表-2 に示す。

(2) SFRC

重交通路線における増厚補強においては交通規制に伴う経済損失などを考慮して、8 時間施工が求められる。そこで SFRC の要求性能は、3 時間で道示⁴⁾に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm² 以上を確保できる配合とする。よって、SFRC には超速硬セメントに最大骨材寸法 15mm の粗骨材、φ0.6mm、長さ 30mm の両端フック型の鋼繊維を混入量 1.27Vol.% (100kg/m³) を配合する。ここで、SFRC の配合条件を表-3 に示す。なお、SFRC の圧縮強度は材齢 3 時間で 269N/mm²、実験開始時で 52N/mm² である。

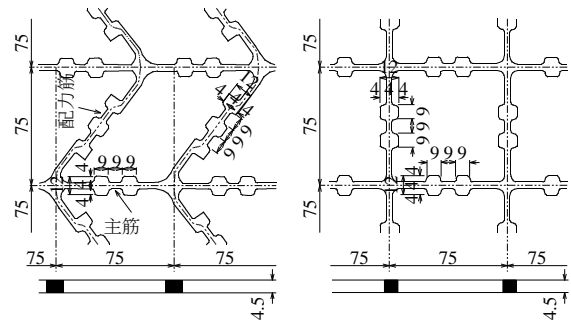
(3) 付着用接着剤⁶⁾⁷⁾

直接 SFRC を打込んだ場合、車両の繰り返しによって増厚界面付近では離れが早期に発生して再補強された事例も多く報告されている。これらのことから阿部ら⁶⁾⁷⁾は、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した高耐久型エポキシ樹脂接着剤 (以下、

表-4 付着用接着剤の材料特性

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	重量比
硬化物比重	1.42	JIS K 7112
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

*3.7N/mm²以下の場合は母材コンクリートで破壊



(1) 展張格子筋 (2) 格子鋼板筋

図-4 メタルグリッド筋の形状および寸法

付着用接着剤) を塗布した SFRC 上面増厚補強法を提案し、耐疲労性の向上が確認され、実施工に適用されている。そこで本実験においても、RC 床版と SFRC の付着性を高めるために付着用接着剤を用いる。ここで、付着用接着剤の材料特性を表-4 に示す。

(4) メタルグリッド筋

本実験には 2 種類のメタルグリッド筋として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およびレーザで直接格子状に加工した格子鋼板筋を使用した。展張格子筋および格子鋼板筋には材質 SS400 相当の厚さ 4.5mm の一般鋼板を用い、格子間隔 75mm×75mm、幅 4mm となるようにレーザ加工を施す。ここで、メタルグリッド筋の形状および寸法を図-4 に示す。

本実験に用いる展張格子筋および格子鋼板筋の断面積は 18mm² である。また、コンクリートとの付着性能を高める構造として図-4 に示すように高さ 4mm の突起を 9mm 間隔で 2 箇所設ける。ここで、展張格子筋および格子鋼板筋の材料特性値を表-5 に示す。展張格子筋および格子鋼板筋の降伏強度は 294N/mm²、引張強度が 468N/mm² であり、道示⁴⁾に規定する SS400 の降伏強度および引張強度を十分に満足する材料である。また、エポキシ樹脂塗装鉄筋の付着試験方法 (JSCE-E516-2003) に準じた引抜試験による付着強度は 299N/mm² と道示に規定する異形鉄筋の付着応力度を上回る結果となった。

表-5 メタルグリッド筋の材料特性

	断面寸法 (mm)	格子間隔 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	付着強度 (N/mm ²)
展張格子筋	4.5×4.0	75	294	468	200	2.99
格子鋼板筋						

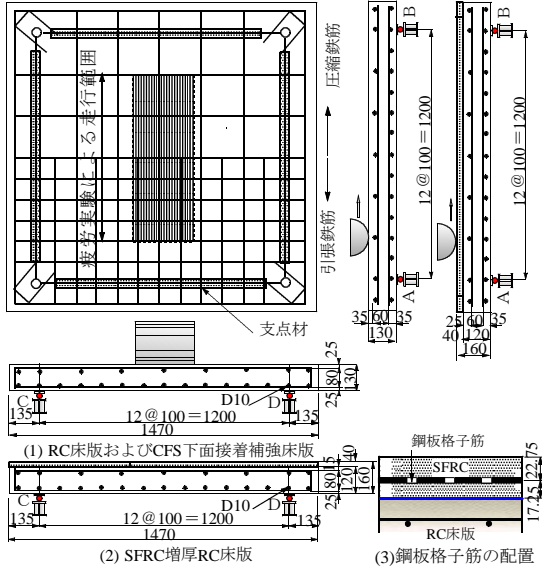


図-5 供試体寸法および鉄筋配置

4.2 供試体寸法および鉄筋配置

(1) RC床版供試体

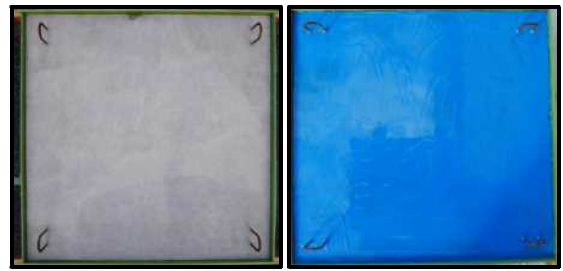
本実験に用いる RC 床版供試体の寸法は、1994 年改定の道示⁴⁾の規程に基づいて設計し、その 1/2 モデルとする。供試体寸法は、全長 1,470mm、床版支間 1,200mm、床版厚 130mm の正方形板とする。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張側には橋軸直角方向および橋軸方向ともに D10 を 100mm 間隔で配置し、有効高さはそれぞれ 105mm、95mm とする。また、圧縮側には引張側鉄筋量の 1/2 を配置する。ここで、RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-5(1)に示す。なお、供試体名称を RC35 と称する。

(2) 補強筋継手構造を設けた接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強供試体

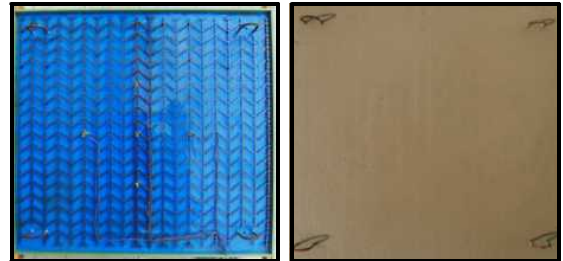
補強筋継手構造を設けた接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強供試体の寸法は RC 床版供試体と同様とする。RC 床版上面を 10mm 切削し、SFRC を 40mm 増厚し、床版の総厚みは 160mm とする。ここで、補強筋継手構造を設けた接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強した供試体の寸法および鉄筋配置を図-5(2)に示す。なお、展張格子筋および格子鋼板筋を適用した供試体名称をそれぞれ RC35-EG.w.A、RC35-SG.w.A と称する。

4.3 上面増厚補強法

メタルグリッド筋を用いた SFRC 上面増厚補強は高速道路調査会⁵⁾の「上面増厚工法設計施工マニュアル」に基づいて製作する。ここで、メタルグリッド筋を用いた



(1) 研掃工 (2) 接着剤塗布工



(3) 補強筋配置 (4) SFRC の打込・養生

図-6 SFRC 上面増厚補強の施工手順

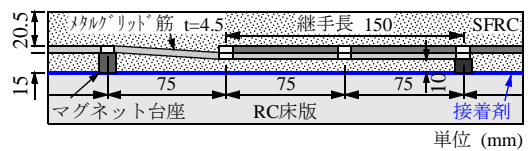


図-7 SFRC 上面増厚層内の補強筋継手構造

SFRC 上面増厚補強の施工手順を図-6 に示す。

既設 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、既設床版と SFRC の付着性および不純物を除去するために切削面をショットブラスト研掃機を用い投射密度 150kg/m² で研掃する。その後、付着用接着剤を塗布量 1.4kg/m² で塗布する。なお、付着用接着剤は常温で 120 分程度経過すると硬化がすることから塗布後直ちに補強筋の配置および SFRC の増厚を施す。接着剤塗布後、15mm 厚のマグネット台座をメタルグリッド筋に取り付け、設置する。ここで、継手構造を図-7 に示す。継手構造は床版支間中央に重ね継手とし、継手長はメタルグリッド筋の突起による付着力が確保されていることから道示の規定に基づき補強筋径の 20 倍以上とすることから 150mm とした。メタルグリッド筋の設置後直ちに SFRC を 40mm 増厚し、表面仕上げを施す。

4.4 輪荷重走行疲労実験

輪荷重走行疲労実験は RC 床版供試体およびメタルグリッド筋を配置した SFRC 上面増厚補強供試体ともに床版支間中央から ±450mm の範囲で輪荷重を繰り返し走行させる実験である。輪荷重走行疲労実験による耐疲労性の評価には RC 床版供試体の等価走行回数を基準に補強供試体の耐疲労性を評価する。実験方法は初期荷重を 80kN で 20,000 回走行させ、20,000 回走行ごとに荷重を 20kN ずつ増加させる段階状荷重増荷とし、破壊または走行不能となるまで繰り返し走行させる。

表-6 等価走行回数

供試体	実験走行回数	等価走行回数比
	等価走行回数	
RC35	25,000	1.00
	8,523,300	
RC35-EG.w.A	71,150	80.84
	688,993,714	
RC35-SG.w.A	74,800	99.08
	844,525,484	

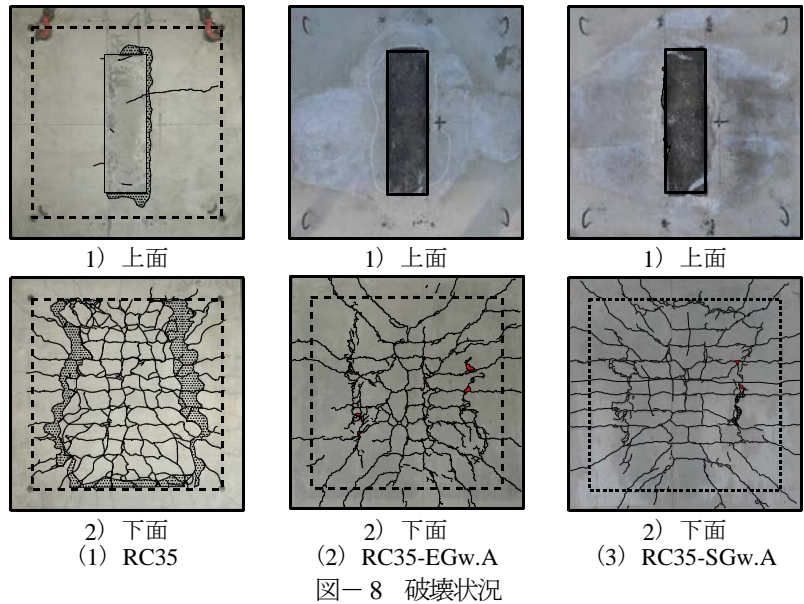


図-8 破壊状況

4.5 等価走行回数

本実験における輪荷重走行疲労実験は、20,000 回ごとに荷重を 20kN ずつ増加させる段階状荷重載荷とすることから等価走行回数を算定して耐疲労性を評価する。等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)として与えられる。なお、式(1)における基準荷重 P は設計活荷重の 1/2 に安全率 1.2 を考慮した 60kN として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⁹⁾の提案による S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 12.7 を適用する。

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

ここで、 N_{eq} : 等価走行回数、 P_i : 載荷荷重 (kN)、 P : 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)

5. 輪荷重走行疲労実験による実験結果

5.1 等価走行回数

本実験より得られた実験走行回数から式(1)より算出した等価走行回数を表-6に示す。なお、既往の研究成果⁶⁾として阿部らはコンクリートの圧縮強度 35N/mm² の供試体 RC35 と同一寸法の供試体に直接 SFRC 上面増厚補強した供試体 RC35-SF および接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強した供試体 RC35-SFA を用いて輪荷重走行疲労実験を実施している。参考文献によると、供試体 RC35-SF の平均等価走行回数は 137.21×10⁶ 回、供試体 RC35-SFA の平均等価走行回数は 338.63×10⁶ 回と報告されている。

(1) 供試体 RC35

供試体 RC35 の等価走行回数は 8,523×10⁶ 回である。この等価走行回数を基準に SFRC 上面増厚補強した供試体の等価走行回数を比較し、耐疲労性を評価する。

(2) 供試体 RC35-EG.w.A および RC35-SG.w.A

展張格子筋を用い、床版支間中央に重ね継手構造を有する接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強した供試体 RC35-EG.w.A の等価走行回数は 688.93×10⁶ 回であり、基準供試体 RC35 と比較して 80.8 倍に等価走行回数が向上した。また、既往の研究である供試体 RC35-SF および供試体 RC35-SFA の等価走行回数と比較してそれぞれ 5.02 倍、2.03 倍と展張格子筋を配置することで大幅に等価走行回数が向上する結果となった。

次に、格子鋼板筋を用い、床版支間中央に重ね継手構造を有する接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強した供試体 RC35-SG.w.A の等価走行回数は 844.52×10⁶ 回であり、基準供試体 RC35 と比較して 99.1 倍に等価走行回数が向上した。また、既往の研究である供試体 RC35-SF および供試体 RC35-SFA の等価走行回数と比較してそれぞれ 6.15 倍、2.49 倍と展張格子筋を配置した補強法と同様に大幅に等価走行回数が向上する結果となった。

5.2 破壊状況

輪荷重走行疲労実験による RC 床版供試体の破壊状況を図-8に示す。

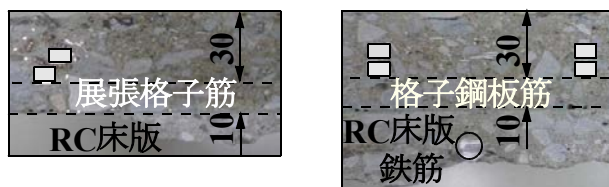
(1) 供試体 RC35

供試体 RC35 の破壊状況は図-8(1)に示すように、上面では輪荷重の繰り返し走行による走行面の摩耗やひび割れや押抜きせん断による損傷が見られる。下面側では、引張側鉄筋の橋軸直角方向および橋軸直角に沿ってひび割れが発生し、格子状を形成している。また、走行面から 45 度底面にはダウエル作用によるコンクリートのはく離が見られる。破壊は、輪荷重走行中に押抜きせん断破壊に至った。

(2) 供試体 RC35-EG.w.A および RC35-SG.w.A

供試体 RC35-EG.w.A の破壊状況は図-8(2)に示すように、上面では輪荷重走行による摩耗はおおよび走行範囲内

6. まとめ



(1) 展張格子筋

(2) 格子鋼板筋

図-9 継手箇所の増厚層内切断面

で微細なひび割れが見られるもののひび割れの伸展は見られない。これは鋼繊維の架橋効果によりひび割れの伸展が抑制されたものと考えられる。さらに、展張格子筋を配置することで剛性が高まったことにより軽微な損傷と考えられる。下面側では供試体 RC35 と同様に引張側鉄筋の橋軸直角方向および橋軸方向に沿ってひび割れが伸展し格子状を形成し、ダウエル作用によるコンクリートのはく離が見られる。破壊は輪荷重走行中に押抜きせん断破壊に至った。

次に、供試体 RC35-SG.w.A の破壊状況は図-8(3)に示すように、供試体 RC35-EG.w.A と同様に上面側では走行面の摩耗は見られるものの鋼繊維の架橋効果および格子鋼板筋の配置によりひび割れなどの損傷は見られない。下面側では 2 方向ひび割れが形成され、ダウエル作用によるコンクリートのはく離が見られる。破壊は輪荷重走行中に押抜きせん断破壊に至った。

5.3 継手構造部のSFRC増厚層内状況

本実験においてメタルグリッド筋を重ね継手構造とした位置では RC 床版と補強筋の隙間が 10mm となり、SFRC に使用する最大骨材寸法 15mm である

そこで本研究では補強筋重ね継手部で建研式引張試験を実施し、増厚界面の付着性の評価を兼ねた SFRC の打込み状況を検証した。ここで、メタルグリッド筋を重ね継手構造とした床版中央付近の増厚層内の切断面を図-9 に示す。なお、建研式引張試験の採取位置は各供試体で走行面と走行範囲から 300mm の位置でそれぞれ 1 カ所とする。

供試体 RC35-EG.w.A および RC35-SG.w.A の走行面はコア削孔時に SFRC 層内ではく離したことから走行面の付着強度は 0N/mm^2 である。次に、走行範囲から 300mm の位置で採取した供試体 RC35-EG.w.A および RC35-SG.w.A の付着強度はそれぞれ 2.23N/mm^2 、 2.65N/mm^2 と上面増厚補強における基準値 1.0N/mm^2 を十分に満足、RC 床版側での母材破壊となっている。また、採取したコアサンプルを切断し、補強筋継手構造内の SFRC の打込み状況は両供試体ともに RC 床版とメタルグリッド筋の隙間 (10mm) に骨材および鋼繊維が適切に充填されている。これは、適切な施工をすることにより、10mm の隙間に入ることができる骨材がセメント成分と一緒に充填されたものと考えられる。

- (1) メタルグリッド筋を用いた重ね継手構造は実験より得られた最大耐荷力がコンクリートの引張強度より算出した理論値を大きく上回ることから十分な耐荷力性能を有し、実構造への適用が可能である。
- (2) 等価走行回数より、メタルグリッド筋を用いた重ね継手構造を有する SFRC 上面増厚補強法は基準である RC 床版に対して 80 倍以上の等価走行回数を有している。よって、提案する工法は耐疲労性が評価され、実用的である。
- (3) 破壊状況より、床版上面では補強した供試体において走行範囲内の損傷は見られるものの鋼繊維の架橋効果およびメタルグリッド筋の配置による剛性の向上によって損傷が抑制されている。床版下面では全ての供試体で 2 方向ひび割れが形成され、押抜きせん断破壊に伴うダウエル効果によるかぶりコンクリートのはく離が確認された。破壊は全ての供試体で押抜きせん断破壊に至った。
- (4) 建研式引張試験において、走行範囲では SFRC 層での破断、走行範囲から 300mm の位置では上面増厚補強における付着強度の基準を十分に満足する。また、RC 床版とメタルグリッド筋のあき 10mm の範囲において骨材および鋼繊維が適切に充填されている。

参考文献

- 1) (公社)日本道路協会：道路橋補修・補強事例集，2009.
- 2) (公社)土木学会：鋼構造シリーズ 27，道路橋床版の維持管理マニュアル 2016，2016.
- 3) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，20198
- 4) (公社)日本道路協会：道路示方書・同解説 I，II，1994.
- 5) (社)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル，1995.
- 6) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：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.
- 7) 阿部忠，鈴木寛久，貴志豊，野本克己：RC 床版の SFRC 上面増厚補強法における接着剤が耐疲労性に及ぼす影響，構造工学論文集，Vol.59A，pp.1084-1091，2013.
- 8) 野口博之，阿部忠，塩田啓介，吉岡泰邦：鋼板格子筋を配置した SFRC 上面増厚補強法による RC 床版の耐疲労性の評価，構造工学論文集，Vol.63A，pp.1273-1281，2017.
- 9) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理，森北出版，2007.

(受付日 2020 年 7 月 17 日)