

鋼板格子筋を用いた下面増厚補強RC床版における補強効果および耐疲労性の評価

日大生産工 (院) ○及川 裕介 日大生産工 阿部 忠, 水口 和彦
JFE シビル (株) 塩田 啓介

1. はじめに

高度経済成長期に建設された道路橋 RC 床版では劣化が急速に進み、その補強対策として通行止めを必要としない、下面増厚補強や鋼板接着補強、炭素繊維シート接着補強など、床版下面からの補強法が優先されている。近年では、施工の合理化・省力化を図るため、新たに展張格子鋼板筋、格子鋼板筋の 2 タイプの鋼板格子筋が開発され、劣化した RC はりの耐荷力向上を図る補強材として実用化されている。一方、引張鉄筋を配置した下面増厚補強において、既設コンクリートと増厚部の界面での離が懸念されている。

そこで本研究では、2 タイプの鋼板格子筋を用いた供試体、さらに界面に接着剤を塗布した下面増厚補強供試体の補強効果および耐疲労性を検証し、RC 床版における引張補強材および接着剤を塗布した下面増厚補強法の有用性を評価する。

2. 鋼板格子筋の概略および製作方法

2. 1 鋼板格子筋の概略

鋼板格子筋は、縞鋼板および鋼板の軸直角方向にレーザ光線でスリットを挿入し、軸方向にジャッキで展張して格子状に加工した展張格子鋼板筋およびレーザ光線で格子間を切断して格子状に加工した格子鋼板筋の 2 タイプが開発された。なお、鋼種は SS400 および SM490 が使用可能である。

2. 2 鋼板格子筋の製作方法

展張格子鋼板筋の製作方法を写真-1に示す。展張格子鋼板筋の製作方法は、縞鋼板あるいは鋼板の軸直角方向にレーザでスリットを挿入し、加工台に設置する (写真-1(1)1))、加工台に設置後は専用のジャッキで全幅均等に展張する (写真-1(1)2))。軸直角方向筋 (主鉄筋) に対しての配力筋の展張角度は、局部応力を最小限となる角度で展張する。さらに必要に応じて錆の発生を防止するための防錆剤の塗布も可能である (写真-1(1)3))。

次に、格子鋼板筋の製作方法を写真-1に示す。鋼板格子筋の製作方法は、縞鋼板あるいは鋼板にレーザで直接格子状に切断加工する (写真-1(2)1))、切断加工された鋼板格子筋は写真-1(2)3)

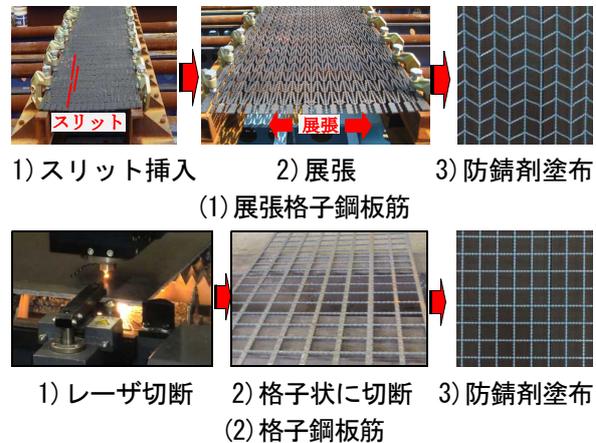


写真-1 2タイプの鋼板格子筋の製作方法

に示す形状となり、軸直角方向、軸方向、それぞれの断面積を自由に加工することが可能である。

3. 使用材料および供試体概要

3. 1 使用材料

(1) RC 床版 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と 5mm 以下の砕砂および 5mm ~ 20mm の砕石を使用した。鉄筋には SD295A D10 を用いた。ここで、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-1に示す。

(2) ポリマーセメントモルタル (PCM) RC 床版の下面増厚補強には PCM が用いられている。よって、本実験にも一般的に市販されている繊維混合型プレミックス型 PCM を用いる。ここで、実験時における圧縮強度は 51.9N/mm² である。

(3) ワイヤーマッシュ RC 床版の下面増厚補強には、引張補強材として鉄筋やワイヤーマッシュが使用されている。本供試体には $\phi 5\text{mm}$ 、格子間隔 75×75mm のワイヤーマッシュを用いる。ここで、材料特性値を表-2に示す。

(4) 鋼板格子筋 展張格子鋼板筋には、材質 SS400、厚さ 4.5mm の縞鋼板を用いる。格子間寸法は 75×75mm となるようにレーザでスリットを挿入し、展張角度 60 度まで展張する。断面積もワイヤーマッシュと同等となるように、厚さ 4.5mm、幅 4.0mm とし、断面積は 18mm² である。さらに、7mm 間隔ごとに 2mm の突起を設けて付着力を高める構

EVALUATED FATIGUE RESISTANCE AND STIFFENING EFFECT ON THE RC SLABS REINFORCED WITH BOTTOM SURFACE THICKNESS INCREASED METHOD USING METAL-GRID

Ysuke OIKAWA, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI and Keisuke SHIOTA

表-1 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

供試体	コンクリート 圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋(SD295A)		
		降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
RC床版	35	368	516	200

表-2 引張補強材の材料特性値

供試体	降伏強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
ワイヤーメッシュ	—	592.0	200
展張格子鋼板筋	339.0	441.0	
格子鋼板筋	338.0	451.0	
規格値	245以上	400以上	

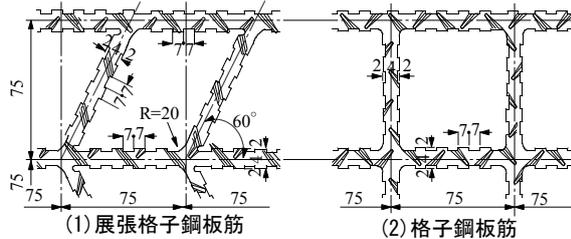


図-1 鋼板格子筋の寸法

造とした。本実験に用いる展張格子鋼板筋の材料特性値を表-2、寸法および形状を図-1に示す。

次に、格子鋼板筋においても展張格子鋼板筋と同様に材質 SS400、厚さ 4.5mm の縞鋼板を用いる。また、格子間隔や断面積においても同様である。格子鋼板筋の材料特性値を表-2、寸法および形状を図-1に併記する。

(5) エポキシ樹脂接着剤 増厚界面の接着性を高めるためにエポキシ樹脂接着剤を塗布する。ここで、接着剤の材料特性値を表-3に示す。なお、付着強度は 3.7N/mm² であるが、予備実験では、母材コンクリートでの破壊が主であり、コンクリート圧縮強度の影響が顕著となる。

3. 2 供試体概要

(1) RC 床版供試体 本実験に用いる供試体の寸法は、2012 年改訂の道示¹⁾の規定に基づいて設計し、その 1/2 モデルとする。ここで、RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-2 (1) に示す。供試体寸法は、全長 1,470mm、支間 1,200mm、床版厚 130mm とした。鉄筋は複鉄筋配置とし、主鉄筋に D10 を 100mm 間隔で配置し、有効高を 105mm とした。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置する。供試体名称を RC-1 とする。

(2) 下面増厚補強床版供試体 下面補強に用いる供試体寸法は、供試体 RC-1 と同様である。ここで、下面増厚補強供試体の寸法を図-2 (2) に示す。補強範囲は、1,100×1,100mm とし、既設床版から 10mm の位置まで増厚することから補強後の床版全厚を 140mm とする。ワイヤーメッシュは床版下面に直接配置し、鋼板格子筋はかぶりを十分に確保出来ることから、増厚界面から 10mm の有効高を設けて設置する。

表-3 エポキシ樹脂接着剤の材料特性値

項目	測定値	備考
外観	主剤 硬化剤 白色ペースト状 青色液状	異物混入なし
混合比(主剤:硬化剤)	5:01	重量比
硬化物比重	1.42	N/mm ² JIS K 7112
圧縮強さ	102.88	N/mm ² JIS K 7181
圧縮弾性係数	3,976	N/mm ² JIS K 7181
曲げ強さ	41.16	N/mm ² JIS K 7171
引張せん断強さ	14.86	N/mm ² JIS K 6850
コンクリート付着強さ	3.7	N/mm ² または母材破壊 JIS K 6909

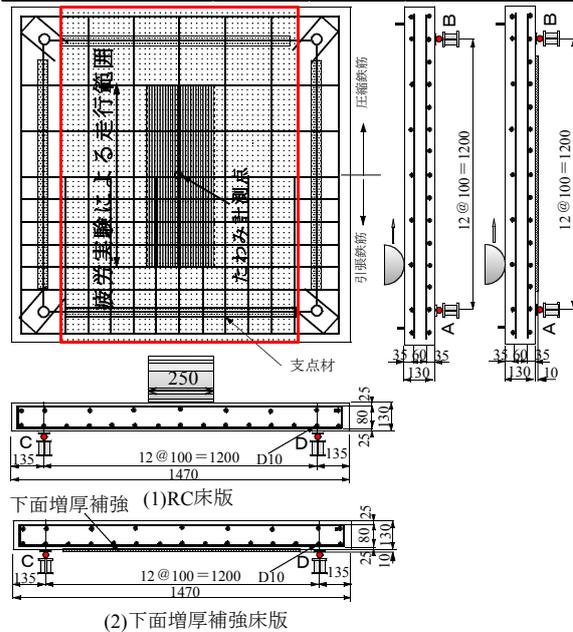


図-2 供試体寸法および鉄筋配置

4. 引張剛性および補強方法

4. 1 引張剛性

ワイヤーメッシュおよび格子鋼板筋を用いた供試体は、主鉄筋方向の幅 1,000mm 当たりの本数は 13.3 本となる。よって、引張剛性(=弾性係数 (kN/mm²)×断面積 (mm²)/1,000mm)はそれぞれ、52.22 k N/mm、47.88kN/mm である。次に、展張格子鋼板筋を配置した供試体は、切断により 1 本少ない配置である。よって、主鉄筋方向の幅 1,000mm 当たりの本数は 12.3 本となり、引張剛性は 44.28kN/mm である。

4. 2 下面増厚補強法

RC 床版にワイヤーメッシュおよび鋼板格子筋を設置し、PCM 吹付け工法による構造物の補修補強設計・施工マニュアル(案)に準拠して製作した²⁾。ここで、ワイヤーメッシュ、展張格子鋼板筋、格子鋼板筋を用いた供試体をそれぞれ RC-W、RC-T、RC-S とし、増厚界面に接着剤を塗布した供試体を RC-T.A、RC-S.A とする。

5. 実験方法および等価走行回数

5. 1 実験方法

輪荷重走行疲労実験は、車輪幅 250mm で走行範囲は床版中央から軸方向に± 450mm (900mm) の範囲を連続走行するものである。初期荷重は 80kN

とし、20,000 回毎に荷重を 20kN ずつ増加し、破壊するまで荷重増加と走行を繰り返し行う。

5. 2 等価走行回数

本実験では、20,000 回ごとに荷重を増加させる段階状载荷とすることから、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]に適用する S-N 曲線の傾きの逆数 m は、松井らが提案する 12.7 を適用する³⁾。

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

ここで、 N_{eq} ：等価走行回数（回）、 P_i ：载荷荷重（kN）、 P ：基準荷重 60kN、 N_i ：実験走行回数（回）、 m ：S-N 曲線の傾きの逆数(=12.7)

6. 実験結果および考察

6. 1 等価走行回数

実験から得られた等価走行回数を表-4に示す。

(1) RC 床版 供試体 RC-1 の走行回数は 7.78×10^6 回である。この RC 床版供試体の等価走行回数 N_{eq} を基準に、ワイヤーメッシュおよび 2 タイプの鋼板格子筋を配置した下面増厚補強床版の補強効果および耐疲労性を評価する。

(2) ワイヤーメッシュを用いた供試体 供試体 RC-W の等価走行回数は 46.85×10^6 回であり、供試体 RC-1 と比較すると 6.0 倍の補強効果が得られている。

(3) 鋼板格子筋を用いた供試体 供試体 RC-T の等価走行回数は 42.40×10^6 回であり、供試体 RC-1 と比較して 5.4 倍の補強効果が得られている。また、供試体 RC-W と比較すると 90%程度であることから、引張剛性の差に起因するものと考えられる。

次に、供試体 RC-S の等価走行回数は 51.07×10^6 回であり、供試体 RC-1 と比較して 6.6 倍の補強効果が得られている。また、供試体 RC-W と比較して 1.09 倍の補強効果となっている。これはワイヤーメッシュの引張剛性に対して 92%程度であるが、増厚界面から 10mm の増厚層内に配置したことから引張抵抗力が向上したためと推測される。

(4) 鋼板格子筋を用いた接着剤塗布型供試体 供試体 RC-T.A の等価走行回数は 114.38×10^6 回であり、供試体 RC-1 と比較して 14.7 倍の補強効果が得られた。また、供試体 RC-T との比較では 2.7 倍の補強効果となっている。

次に、RC-S.A の等価走行回数は 148.85×10^6 回であり、供試体 RC-1 と比較して 19.1 倍の補強効果が得られている。また、供試体 RC-S と比較すると 2.91 倍の補強効果となっている。

以上の結果から、鋼板格子筋を用いた下面増厚

表-4 等価走行回数

供試体	等価走行回数合計	走行回数比
RC-1	7,781,038	—
RC-W	46,853,445	6.0
RC-T	42,395,284	5.4
RC-S	51,065,409	6.6
RC-T.A	114,384,603	14.7
RC-S.A	148,846,359	19.1

補強法は、従来のワイヤーメッシュを用いた補強法と同等の補強効果が得られていることから、耐疲労性が十分に評価できる材料であるとともに、有効な補強法である。

6. 2 たわみと等価走行回数の関係

実験におけるたわみと等価走行回数の関係を図-3に示す。

(1) RC 床版供試体 供試体 RC-1 の荷重 80kN 載荷時のたわみは 0.94mm であり、たわみが 3.0mm を超えた付近、すなわち床版支間 L の $1/400$ を超えた付近からたわみの増加が著しくなり、破壊に至っている。ここで、阿部ら⁴⁾は RC 床版の補強時期の目安として、たわみが床版支間 L の $1/400$ に達した付近で補強対策を講じる必要があると提案している。そこで、本実験では RC 床版のたわみが 3.0mm となる等価走行回数を基準に耐疲労性を評価する。供試体 RC-1 のたわみが 3.0mm に達した時点の等価走行回数は 2.22×10^6 回である。

(2) ワイヤーメッシュを用いた供試体 供試体 RC-W は、荷重 80kN 時のたわみは 0.73 である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回数は 13.91×10^6 回であり、供試体 RC-1 の 6.3 倍である。その後、荷重 120kN での走行中にたわみが急激に増加し破壊に至った。

(3) 鋼板格子筋を用いた供試体 供試体 RC-T は、図-3に示すように供試体 RC-W とほぼ同様な増加傾向を示している。荷重 80kN 時のたわみは 0.76mm である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回数は 11.21×10^6 回であり、供試体 RC-1 の 5.0 倍である。

次に、供試体 RC-S は荷重 80kN 時のたわみは 0.72mm である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回数は 21.50×10^6 回であり、供試体 RC-1 の 9.7 倍である。

(4) 鋼板格子筋を用いた接着剤塗布型供試体 供試体 RC-T.A は、荷重 80kN 時のたわみは 0.62mm である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回数は 41.40×10^6 回であり、供試体 RC-1 の 18.6 倍である。また、たわみが 3.5mm を超えた付近で急激に増加し、破壊に至っている。

次に、供試体 RC-S.A は、荷重 80kN 時のたわみは 0.64mm である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回

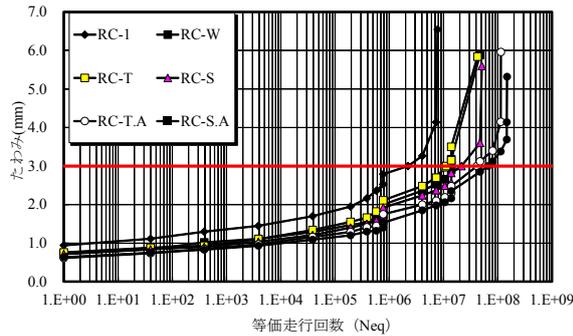


図-3 たわみと等価走行回数の関係

数は 65.70×10^6 回であり、供試体 RC-1 の 29.6 倍である。その後、荷重 130kN に増加させて走行させた直後にたわみが急激に増加し、破壊に至った。

以上の結果より、下面増厚補強供試体はたわみの増加が抑制され耐疲労性が向上する結果となった。また、接着剤塗布型供試体では、床版支間 L の 1/350 (3.5mm) を超えた付近からたわみが急激に増加していることから、界面に接着剤を塗布することで付着効果が高まり、耐疲労性が大幅に向上する結果となった。

6. 3 破壊状況

本実験における破壊状況を図-4に示す。

(1) RC 床版供試体 供試体 RC-1 の下面には走行疲労による 2 方向ひび割れが引張鉄筋に沿って発生し、格子状を形成している。また、押抜きせん断破壊に伴い、引張鉄筋のダウエル効果が及ぼす範囲でかぶりコンクリートの剥離が見られる。

(2) ワイヤメッシュを配置した供試体 供試体 RC-W の床版下面には走行疲労による 2 方向ひび割れが発生している。また、押抜きせん断破壊に起因するはく離は見られるが内側では発生していない。破壊時ははく離と同時に押抜きせん断破壊となった。

(3) 鋼板格子筋を用いた供試体 供試体 RC-T の床版下面には走行疲労による 2 方向ひび割れが発生し、ひび割れ間隔は格子筋とほぼ同様の位置で発生している。

次に、供試体 RC-S の床版下面には走行疲労による 2 方向ひび割れが格子筋に沿って発生している。また、供試体 RC-T と同様に押抜きせん断破壊に起因するはく離が見られるが、その内側でははく離は見られない。破壊時にははく離と同時に押抜きせん断破壊となった。

(4) 鋼板格子筋を用いた接着剤塗布型供試体

供試体 RC-T.A の床版下面には走行疲労による 2 方向ひび割れが見られるが、供試体 RC-T と比較するとひび割れの発生が少ない。これは、接着剤を塗布することで既設床版と増厚部の一体性が確保され、剛性が向上したことに起因するものと考え

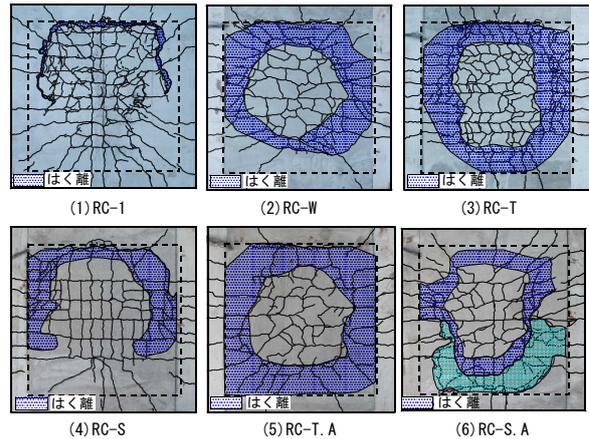


図-4 破壊状況

られる。破壊時は供試体 RC-T とほぼ同様であるが、等価走行回数を比較すると 2.7 倍となっている。

次に、供試体 RC-S.A は、押抜きせん断破壊に起因するダウエル効果の及ぼす範囲ではく離が見られ、打音検査の結果、供試体下側の一部はく離は格子筋のダウエル効果によるものと思われるはく離と判定した。

以上より、有効高を設けて配置した供試体はひび割れが補強筋に沿って発生することが顕著に見られた。また、接着剤の有無による比較では、ひび割れの形成状況に差異が認められた。

7. まとめ

(1) 鋼板格子筋を用いた供試体はワイヤーメッシュを用いた供試体とほぼ同等な補強効果が得られていることから、鋼板格子筋は下面増厚補強法における引張補強材として有用であるといえる。

(2) 下面増厚補強供試体は RC 床版供試体と比較してたわみの増加が抑制されている。また、接着剤塗布型供試体は、たわみが床版支間 L の 1/400 に達した後も急激なたわみの増加が見られず、付着が良好で一体性が確保されていると考えられる。

(3) 全ての供試体において押抜きせん断破壊に起因するはく離が見られ、一部の供試体で格子筋のダウエル効果によるはく離が確認された。

「参考文献」

- 1) 日本道路協会：道路橋示芳書・同解説 I, II, III, (2012)
- 2) 吹付け協会：ポリマーセメントモルタル吹付け工法によるコンクリート構造物の補修補強設計・施工マニュアル (案), (2011)
- 3) 松井繁之：道路橋床版設計・施工と維持管理, 森北出版, (2007)
- 4) 阿部忠, 高野真希子, 木田哲量, 児玉孝喜：SFRC 上面増厚補強 RC 床版の耐疲労性の評価および維持管理, セメント・コンクリート論文集, Vol.64, pp.485-492, 2010.