格子鋼板筋を用いた下面増厚補強RC床版における接着剤効果

日本大学　正会員　○水口 和彦，阿部　忠
JFE シビル(株)　正会員　　吉岡 泰邦，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，劣化が急速に進んでおり，その損傷メカニズムの解明や補強対策が重要な課題となっている本研究では，RC 床板のポリマーセメントモルタル（以下，PCM）吹付け下面増厚補強法における引張補強材に従来の鉄筋と同等な材料特性値を有するワイヤーメッシュおよび新たに開発された格子鋼板筋を用いた供試体，格子鋼板筋を用い増厚界面にエポキシ系接着剤（以下，接着剤）を塗布した 3 種類の下面増厚補強供試体を作製し，輪荷重走行疲労試験より格子鋼板筋の実用性を評価するとともに，増厚界面への接着剤塗布が耐疲労性に及ぼす影響について検証した。

2. 使用材料

(1) RC 床版　コンクリートには，普通ポルドランドセメントと 5mm 以下の砕砂および 5mm～20mm の砕石を使用した。実験時の圧縮強度は 35N/mm² であった。鉄筋には SD295A D10 を用い，鉄筋の降伏強度は 368N/mm²，引張強度は 516N/mm² である。

(2) 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 を用いた。なお，実験時の圧縮強度は 51.9N/mm²であった。

(3) ワイヤーメッシュ　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メッシュが使用されている。本供試体にはφ5mm，格子間隔 75×75mm のワイヤーメッシュを用いる。ここで，材料特性値を表－1 に示す。

(4) 格子鋼板筋　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加工した。断面積もワイヤーメッシュと同等となるよう厚さ 4.5mm，幅 4.0mm とした。また，7mm 間隔ごとに 2mm の突起を設けて付着力を高める構造とした。ここで，格子鋼板筋の寸法を図－1(1)，材料特性値を表－1 に示す。

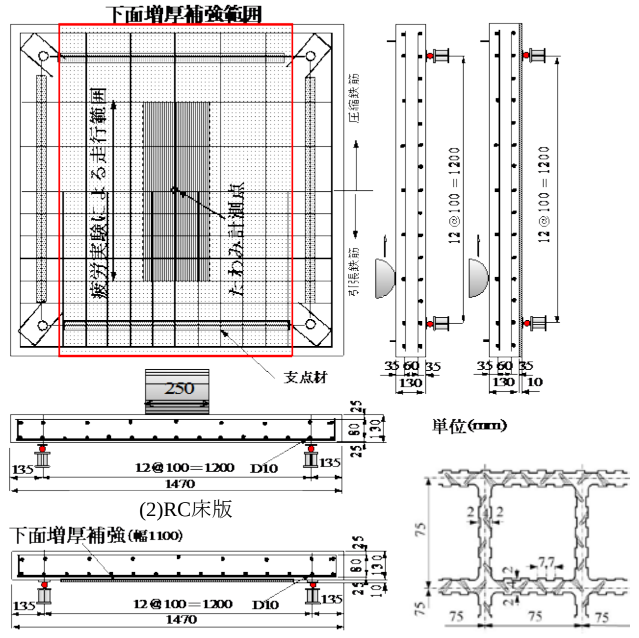
(5) 接着剤　本実験では，増厚界面の付着性を高めるために増厚界面に接着剤を塗布した。ここで，接着剤の付着強度は 3.7N/mm²であったが，予備実験では，母材コンクリートでの破壊が主となり，コンクリート圧縮強度の影響が顕著となった。

3. 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，2014 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－1(2)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。

表－1　引張補強材の材料特性値

引張補強材	降伏強度 (N/mm²)	引張強度 (N/mm²)	弾性係数 (kN/mm²)	断面積 (mm²)	本数/m	引張剛性 (kN/mm)
ワイヤーメッシュ	—	592.0	200	19.63	13.3	52.22
格子鋼板筋	338.0	451.0	200	18.00	13.3	47.88
規格値	245以上	400以上	200	—		



(2)RC床版　(3)下面増厚補強床版　(1)格子鋼板筋

図－1　供試体概要

(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 と同様とした。ここで，下面増厚補強供試体の寸法を図－1(3) 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は 140mm とした。ワイヤーメッシュは床版下面に直接配置し，格子鋼板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した。

(3) 下面増厚補強方法　RC 床版下面にワイヤーメッシュおよび格子鋼板筋を設置し，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，格子鋼板筋を用いた供試体名称をそれぞれ RC-W，RC-S とし，増厚界面に接着剤を塗布した供試体を RC-S.A とする。

4. 実験方法および等価走行回数の算定

キーワード：格子鋼板筋，接着剤，輪荷重走行疲労実験，耐疲労性，等価走行回数
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:047-474-2468

(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（全長 900mm）の範囲を連続走行するものである。荷重条件は，初期荷重を 80kN とし，20,000 回走行毎に荷重を 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。

(2) 等価走行回数の算定　本実験では，20,000回走行ごとに荷重を増加させることから，基準荷重と載荷荷重および実験走行回数の関係から等価走行回数N_{eq}を算出して耐疲労性を評価する。等価走行回数N_{eq}はマイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^{n} \left(P_i / P \right)^m \times N_i \qquad (1)$$

ここで，N_{eq}: 等価走行回数（回），P_i: 載荷荷重（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)[3)]

3. 実験結果および考察

3.1 等価走行回数

実験より得られた実験走行回数および式(1)より算出した等価走行回数を表−2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 Neq を基準に，ワイヤーメッシュおよび 2 タイプの格子鋼板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) 格子鋼板筋を用いた供試体　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 90%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) 格子鋼板筋を用いた接着剤塗布型供試体　RC-S.A の等価走行回数は 148.85×10^6 回で，供試体 RC-1 と比較して 19.1 倍の補強効果が得られた。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。

以上より，格子鋼板筋を用いた下面増厚補強法は，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，十分に耐疲労性が評価できる材料であり実用性があるものと判断できる。

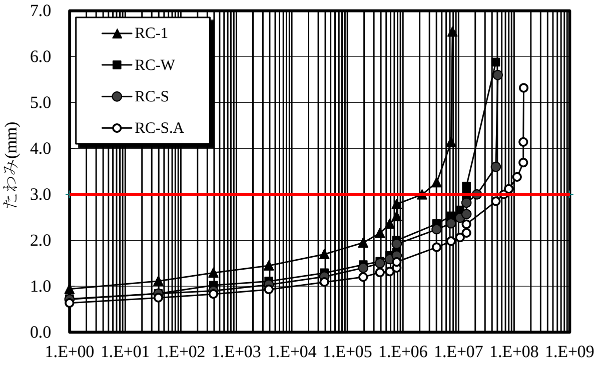
3.2 等価走行回数とたわみの関係

等価走行回数とたわみとの関係を図−2 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，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。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。

表−2　引張補強材の材料特性値

供試体		荷重 80 kN	荷重 100 kN	荷重 120 kN	荷重 130 kN	等価走行回数合計	走行回数比
RC-1	実験走行回数	20,000	10,670			7,781,038	—
	等価走行回数	772,240	7,008,798				
RC-W	実験走行回数	20,000	20,000	4,951		46,853,445	6.0
	等価走行回数	772,240	13,137,391	32,943,814			
RC-S	実験走行回数	20,000	20,000	5,584		51,065,409	6.6
	等価走行回数	772,240	13,137,391	37,155,778			
RC-S.A	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	101	148,846,359	19.1
	等価走行回数	772,240	13,137,391	133,079,433	1,857,296		



図−2　たわみと等価走行回数の関係

(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) 格子鋼板筋を用いた供試体　供試体 RC-S は，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 0.72mm である。たわみ 3.0mm 時の等価走行回数は 21.50×10^6 回で，供試体 RC-1 の 9.7 倍である。

(4) 格子鋼板筋を用いた接着剤塗布型供試体　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 時の等価走行回数は 65.70×10^6 回で，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。また，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おり，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。

5. まとめ

(1) 格子鋼板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，格子鋼板筋は下面増厚補強法における引張補強材としての実用性が評価できる。

(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。

参考文献　1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，III，2014，2) 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