

2タイプの鋼板格子筋を用いたSFRC上面増厚補強RC床版の耐疲労性の評価

日大生産工(院) ○野口 博之 日大生産工 阿部 忠
JFE シンビル(株) 吉岡 泰邦 塩田 啓介

1. はじめに

現在, 供用されている道路橋 RC 床版は車両の繰り返し走行によりひび割れやはく落などの疲労劣化が生じている. また, 設計基準の改定に伴い既設 RC 床版の床版厚および鉄筋量の不足, すなわち耐力性能が基準に達していないため大型車輛の混入率の高い路線では早期に損傷が生じている. 一方, 積雪寒冷地域では, 融雪剤散布による塩害および凍害の複合劣化を受け, 床版上面のかぶりコンクリートが土砂化, 鉄筋の腐食などの損傷が報告されている¹⁾.

これらの損傷に対して床版上面からは鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を用いた増厚工法が実施されている. また, 鉄筋量が不足している床版には鉄筋を格子状に組立て配置した鉄筋配置型上面増厚工法が採用されている. しかし, 鉄筋配置型上面増厚工法は鉄筋の交差部が鉄筋径の 2 倍となることから増厚高さが増加するため死荷重の増大が懸念される. 鉄筋に替わる補強筋として新たに 2 タイプの鋼板格子筋が開発され, 阿部ら²⁾は RC はりの増厚補強, 水口ら³⁾は RC 床版の下面増厚補強に配置する補強について耐疲労性を評価している.

そこで本研究は, RC 床版の上面増厚補強法における引張補強筋として 2 タイプの鋼板格子筋を用いた上面増厚補強法を提案し, 輪荷重走行疲労実験を行い, 補強効果および耐疲労性の評価を検証した.

2. 供試体概要

2.1 使用材料

(1) RC床版 RC 床版のコンクリートには, 普通ポルトランドセメントと最大寸法 20mm の粗骨材, 最大寸法 5mm の細骨材を使用した. また, 鉄筋には SD295A D10 を使用した. ここで, コンクリートの示方配合表を表-1, コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-2 に示す.

(2) SFRC 上面増厚コンクリートには SFRC を用いる. 交通規制に伴う経済損失を考慮して 8 時間程度で交通開放が可能となる補強材が求められている. そこで本実験では道路橋示方書・同解説 (道示)⁴⁾に規定するコンクリートの設計基準 24N/mm^2 以上を確保できる配合とする. よって,

表-1 コンクリートの示方配合表

スランブ (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				SP (C×%)
			C	W	S	G	
8.0 ±2.5	53.0	45.0	302	160	803	1019	4.0

表-2 コンクリートおよび鉄筋の材料特性値

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)
38	345	447	200

表-3 SFRCの示方配合表

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

セメントには 3 時間でコンクリートの設計基準を確保できる超速硬セメントに最大寸法 15mm の粗骨材, ϕ 0.62mm, 長さ 30mm の両端フック型鋼繊維を混入率 1.27Vol.% (100kg/m³) で配合した. ここで, SFRC の示方配合表を表-3 に示す. なお, 材齢 3 時間における SFRC の圧縮強度は 26.9N/mm^2 である.

(3) ワイヤーマッシュ 上面増厚補強に配置される引張補強筋には, 鉄筋またワイヤーマッシュが使用されてる. 本実験供試体には ϕ 5mm, 格子間隔 75×75mm のワイヤーマッシュを用いる. ワイヤーマッシュの断面積は 19.63mm^2 である. ここで, ワイヤーマッシュの形状および寸法を図-1 に示す. また, 材料特性値を表-4, 引張剛性を表-5 に示す.

(4) 鋼板格子筋

1) 展張格子筋 展張格子筋は SS400, 厚さ 4.5mm の縞鋼板を用いた. 格子間隔はワイヤーマッシュを基準に 75×75mm となるようにレーザでスリットを挿入し, 展張角度を 60 度となるようにジャッキ加工を行う. また, 断面積も同等となるように幅 4.5mm, 厚さ 4.0mm とし, 断面積を 18mm^2 とした. ここで, 展張格子筋の形状および寸法を図-1, 材料特性値を表-4, 引張剛性を表-5 に併記する.

2) 格子鋼板筋 格子鋼板筋には SS400, 厚さ 4.5mm の縞鋼板を用いた. 格子間隔は展張格子筋と同様に 75×75mm となるようにレーザで直接切断する. また, 格子鋼板筋と同等となるように幅 4.5mm, 厚さ 4.0mm とし, 断面積を 18mm^2 とした.

Evaluation of Fatigue Durability of SFRC Upper Surface Thickness Increase RC Slab Using 2 Type of Metal-Grid

Hiroyuki NOGUCHI, Tadashi ABE, Yasukuni YOSHIOKA and Keisuke SHIOTA

ここで、格子鋼板筋のの形状および寸法を図－1、材料特性値を表－4、引張剛性を表－5に併記する。

2.2 供試体寸法および鉄筋配置

(1) RC床版供試体 RC 床版供試体は、2002 年改定の道示⁴⁾に基づき床版支間 2,400mm、1 日 1 方向あたりの大型車輛の計画交通量を 2,000 台以上として設計し、その 1/2 モデルとする。したがって、床版支間 1,200mm、全長 1,470mm、床版厚 130mm とした。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張鉄筋に D10 を 100mm 間隔で配置し、有効高さを 105mm とする。また、圧縮側は引張鉄筋量の 1/2 を配置した。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。なお、供試体名称を RC38-1 とする。

(2) SFRC上面増厚補強RC床版供試体 SFRC 上面増厚補強 RC 床版供試体は、RC 床版の上面を 10mm 切削し、補強筋を配置する。その後、SFRC を 40mm 打設し、床版全厚 160mm とする。ここで、SFRC 上面増厚補強 RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を図－2(2)に示す。なお、ワイヤーメッシュを配置した供試体を RC-W、展張格子筋または格子鋼板筋を配置した供試体を RC-EG、RC-SG とする。

2.3 SFRC上面増厚補強法

SFRC 上面増厚補強を施した供試体の製作は、上面増厚設計施工マニュアル⁵⁾に準拠し製作する。

既設 RC 床版上面のかぶりコンクリートを切削機で 10mm 切削した。既設 RC 床版と SFRC の一体性を高め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 で表面を研掃する。次にワイヤーメッシュおよび鋼板格子筋を切削面から 10mm の位置に配置した。その後、表－3 に示す配合条件で SFRC を混練し、SFRC を 40mm 打設して表面仕上げを行う。

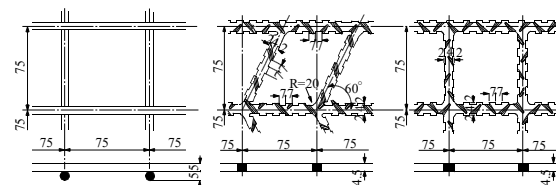
3. 実験概要

3.1 実験方法

輪荷重走行疲労実験は、RC 床版および SFRC 上面増厚補強床版ともに床版中央から ±450mm の範囲を輪荷重による繰り返し走行させる。荷重は初期荷重を 80kN として走行回数が 2 万回走行ごとに 20kN ずつ増加させ破壊に至るまで行う。

3.2 等価走行回数

本実験は 2 万回ごとに荷重を増加する段階状荷重載荷としたことから等価走行回数を算出して補強効果および耐疲労性の評価する。等価走行回数はマイナー側に従うと仮定すると式(1)が与えられる。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 とする。また、RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数 m には松井ら⁶⁾が提案する S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値 m=12.7 を適用する。



(1) ワイヤーメッシュ (2) 展張格子筋 (3) 格子鋼板筋

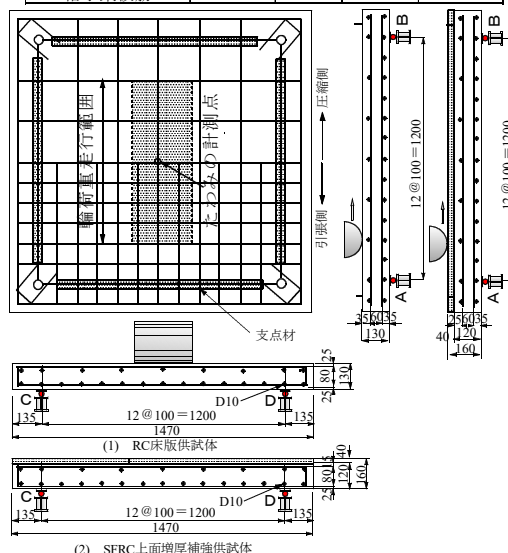
図－1 補強筋の形状および寸法

表－4 補強筋の材料特性値

補強材の種類	断面寸法 (mm)	格子間隔 (mm)	降伏強度 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
ワイヤーメッシュ	φ5	75	—	592	200
展張格子筋	4.5×4.0	75	327	430	200
格子鋼板筋	4.5×4.0	75	338	425	200

表－5 補強筋の引張剛性

補強材の種類	弾性係数 (kN/mm ²)	断面積 (mm ²)	本数/1m	引張剛性 (kN・mm)
ワイヤーメッシュ	200	19.63	13.3	52.22
展張格子筋	200	18.00	13.3	47.88
格子鋼板筋	200	18.00	13.3	47.88



図－2 供試体寸法および鉄筋配置

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

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

4. 実験結果および考察

4.1 等価走行回数

本実験における式(1)より算出された等価走行回数を表－6に示す。

(1) RC床版供試体 RC 床版供試体 RC38-1 の等価走行回数を 11.15×10^6 回であり、この等価走行回数を基準に SFRC 上面増厚補強の耐疲労性を評価する。

(2) ワイヤーメッシュを配置した供試体 増厚界面にワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-W の等価走行回数は 568.81×10^6 回であり、RC 床版供

表－6 実験走行回数と等価走行回数

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		
RC38-1	実験走行回数	20,000	15,800			11,150,778	—
	等価走行回数	772,239	10,378,539				
RC-W	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	8,950	568,810,075	51.0
	等価走行回数	772,240	13,137,391	133,079,433	421,821,011		
RC-EG	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	8,800	561,740,449	50.4
	等価走行回数	772,240	13,137,391	133,079,433	414,751,385		
RC-SG	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	8,300	538,175,028	48.3
	等価走行回数	772,239	13,137,391	133,079,433	391,185,966		

試体 RC38-1 の等価走行回数の 51.0 倍の等価走行回数を得られた。

(3) 鋼板格子筋を配置した供試体 増厚界面に展張格子筋を配置した供試体 RC-EG の等価走行回数は 561.74×10^6 回であり、RC 床版供試体 RC38-1 の等価走行回数の 50.4 倍の等価走行回数を得られた。また、ワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-W の等価走行回数と比して 0.98 と僅かに低下しているものの同等の等価走行回数を得られる。

次に、増厚界面に格子鋼板筋を配置した供試体 RC-SG の等価走行回数は 538.17×10^6 回であり、RC 床版供試体 RC38-1 の等価走行回数の 48.3 倍の等価走行回数を得られた。また、ワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-W の等価走行回数と比して 0.94 と同等の等価走行回数を得られている。等価走行回数が僅かに低下しているが、これは補強筋の引張剛性の差によるものと考えられる。

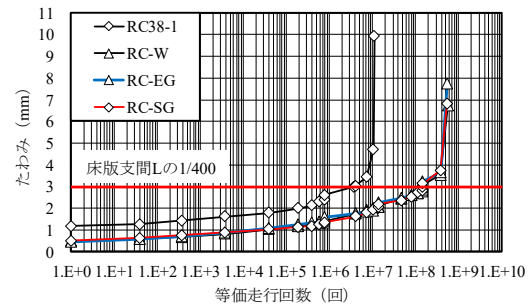
以上より、2 タイプの鋼板格子筋を配置した上面増厚補強はワイヤーメッシュを配置した上面増厚補強と同等の等価走行回数を得られていることから耐疲労性が評価できる。また、一面形状であることから鉄筋を格子状に組立てた鉄筋配置型上面増厚補強と比較して増厚高さを低くすることができ、死荷重の軽減を図ることが可能であると考えられる。

4.2 たわみと等価走行回数

本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 RC 床版供試体 RC38-1 の初期たわみは 1.19mm である。輪荷重の繰り返し走行によりたわみが増加し、床版支間 L の 1/400 (=3.0mm) を超えた付近からたわみが著しく増加し、その後の輪荷重の走行により破壊に至っている。阿部ら⁷⁾は床版支間 L の 1/400 に達した付近で補強対策をする必要があると提案している。そこで本実験では、たわみが 3.0mm に達した時点の等価走行回数を補完法より算出し、補強効果を検証する。よって、供試体 RC38-1 のたわみ 3.0mm に達した時点の等価走行回数は 3.80×10^6 回である。

(2) ワイヤーメッシュを用いた供試体 増厚界面にワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-W の



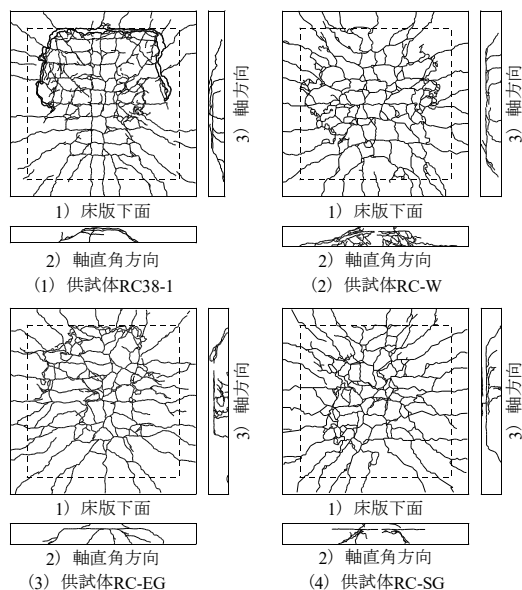
図－3 たわみと等価走行回数の関係

初期たわみは 0.49mm であり、線形的にたわみが増加している。たわみが 3.0mm に達した時点の等価走行回数は 147.02×10^6 回であり、供試体 RC38-1 と比して 38.6 倍の補強効果を得られている。その後、床版支間 L の 1/350 を超えた付近からたわみの増加が著しくなり、等価走行回数は 568.81×10^6 回で破壊に至っている。

(3) 鋼板格子筋を配置した供試体 増厚界面に展張格子筋を配置した供試体 RC-EG の初期たわみは 0.44mm であり、供試体 RC-W と同様の増加傾向を示している。たわみが 3.0mm に達した時点の等価走行回数は 147.01×10^6 回であり、供試体 RC38-1 と比して 38.6 倍の補強効果を得られている。その後、床版支間 L の 1/350 を超えた付近からたわみの増加が著しくなり、等価走行回数は 561.74×10^6 回で破壊に至っている。

次に、増厚界面に格子鋼板筋を配置した供試体 RC-SG の初期たわみは 0.44mm であり、供試体 RC-W と同様の増加傾向を示している。たわみが 3.0mm に達した時点の等価走行回数は 147.01×10^6 回であり、供試体 RC38-1 と比して 38.6 倍の補強効果を得られている。その後、床版支間 L の 1/350 を超えた付近からたわみの増加が著しくなり、等価走行回数は 538.17×10^6 回で破壊に至っている。

以上より、RC 床版は床版支間 L の 1/400 を超えた付近から急激にたわみが増加しているが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上面増厚補強によりたわみの増加が抑制され、補強効果が評価され、床版支間 L の 1/350 を超えた付近からたわみが増加する傾向が確認された。よって、床版支間 L の 1/400 に達した付近で補修



図ー4 破壊状況

・補強を施す必要があると考えられる。

4.3 破壊状況

本実験における供試体の破壊状況を図ー4に示す。

(1) **RC床版供試体** RC床版供試体 RC38-1は床版下面に引張鉄筋の軸直角方向および軸方向にひび割れが発生し、格子状を形成している。また、ダウエルの影響によりはく離が広範囲に発生している。破壊は押抜きせん断破壊である。次に切断面では走行範囲内の軸直角方向および軸方向ともに圧縮側鉄筋に沿ってひび割れが進展している。

(2) **ワイヤーメッシュを配置した供試体** 増厚界面にワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-Wは床版下面に供試体 RC38-1と同様に2方向ひび割れが発生し格子状を形成している。また、ダウエルの及ぼす範囲かぶりコンクリートのはく離が確認された。次に軸直角方向の切断面は輪荷重走行位置から45度に破壊し、増厚界面でははく離が発生している。また、軸方向の切断面も同様に輪荷重走行範囲内ではく離が確認される。破壊は走行中の押抜きせん断破壊である。

(3) **鋼板格子筋を配置した供試体** 増厚界面に展張格子筋を配置した RC-EGはワイヤーメッシュを配置した供試体と同様に2方向ひび割れが発生し格子状を形成している。また、輪荷重が折り返す付近でダウエルによるかぶりコンクリートのはく離が確認された。次に軸直角方向の切断面は輪荷重走行位置から45度にひび割れが進展して破壊し、増厚界面ではく離が広範囲に発生している。また、軸方向の切断面では輪荷重が折り返す位置ではく離が確認される。破壊は走行中の押抜きせん断破壊である。

増厚界面に格子鋼板筋を配置した RC-SGの床版

下面は供試体 RC-WGと同様に2方向ひび割れが発生し格子状を形成している。また、ダウエルの及ぼす範囲かぶりコンクリートのはく離が確認された。破壊は走行中の押抜きせん断破壊である。次に軸直角方向および軸方向の切断面は輪荷重走行範囲内から45度にひび割れが発生し、増厚界面で全体的にはく離が発生している。

以上より、鋼板格子筋を配置した SFRC 上面増厚補強は鉄筋配置型上面増厚補強と同様の破壊形状である。また、輪荷重の繰り返し走行により RC 床版と増厚部の界面ではく離している。

5. まとめ

- (1) 等価走行回数より、鋼板格子筋を配置した上面増厚補強法は従来の鉄筋配置型上面増厚補強法と同等の等価走行回数は得られていることから耐疲労性が評価される。また、一面形状であることから鉄筋を格子状に組立てる場合と比較し、施工の省力化・合理化が図られる。さらに、死荷重の軽減が可能となる。
- (2) たわみと等価走行回数の関係から、増厚層内に補強筋を配置することにより剛性が向上したたわみの増加が抑制され、補強効果が評価される。また、たわみの増加傾向からたわみが床版支間Lの1/400に達した時点で補修・補強を施す必要があると考えられる。
- (3) 破壊状況は、等価走行回数異なるものの下面の破壊状況は同一であり、押抜きせん断破壊となった。また、既設床版と増厚部との界面ではく離が発生している。

「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：2 タイプの鋼板格子筋を用いた RC はりの PCM 増厚補強における補強効果の検証, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, No.1, pp.634-641 (2016.3)
- 3) 水口和彦ほか：鋼板格子筋を用いた下面増厚補強 RC 床版における耐疲労性の評価, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.1250-1260 (2016.3)
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II (2002)
- 5) 高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル (1995)
- 6) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版 (2007)
- 7) 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)