

論文 SFRC上面増厚補強したRC床版の耐疲労性の評価および維持管理を考慮したS-N曲線式との整合性の検証

野口 博之*1・阿部 忠*2・塩田 啓介*3

要旨：本研究は、RC床版の上面損傷の補強法において増厚層内に格子鋼板筋を配置し、接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強法における耐疲労性を検証した。その結果、増厚層内に格子鋼板筋を配置して SFRC 上面増厚補強した供試体に比して増厚界面に接着剤を塗布して SFRC 上面増厚補強した供試体の等価走行回数は 1.45 倍に向上した。また、SFRC 上面増厚補強した RC 床版の寿命推定式に湿潤状態を考慮した劣化係数を適用した等価走行回数は既往の研究における S-N 曲線式付近にプロットされた。よって、本提案する 2 種類の SFRC 上面増厚補強の寿命推定が可能となった。

キーワード：RC床版, SFRC 上面増厚補強, 接着剤, 格子鋼板筋, 耐疲労性の評価

1. はじめに

日本の橋梁の多くは高度成長期に建設され、すでに 50 年が経過し、老朽化が著しい¹⁾。建設後 50 年を経過する当時の RC 床版は、1994 年改定の道路橋示方書・同解説²⁾ (以下、道示) に規定される設計荷重、床版厚、鉄筋量は少ない。特に、鉄筋については丸鋼が配置されていることから付着力が少なく、現行示方書と同等な耐荷力性能および耐疲労性を確保するためには上・下面増厚補強などの維持管理が課題となっている。一方、積雪寒冷地域では車両走行の疲労損傷に加え融雪剤散布による塩害と凍害の複合劣化により、土砂化によるスケールが生じている。これらの損傷に対する補強法として鋼繊維補強コンクリート (以下、SFRC) を用いた上面増厚工法が適用されている³⁾。また、既設床版と増厚部との界面は車両走行より、はく離が発生し、早期の再劣化に対する上面増厚補強が施されている。これらを改善する補強法として、界面にエポキシ系樹脂接着剤を全面に塗布した接着剤塗布型 SFRC 上面補強⁴⁾が提案され、実橋の補強技術として実用化されている。

一方、RC 床版上面の土砂化や融雪剤散布による塩化物イオンが蓄積し、鉄筋の発錆や腐食に伴う断面欠損が生じている。この補強対策として従来は鉄筋を格子状に配置し、耐荷力性能および耐疲労性の向上が図られていた。しかし、鉄筋配置は軸直角方向および軸方向の格子状に組立配置することからかぶりを考慮すると増厚層は 100mm 厚となり、死荷重の増大が懸念される。これらのことから、鉄筋に替わる補強材として、縞鋼板および一般鋼板を用いてレーザーで格子状に加工した格子鋼板筋が開発され、RC はりおよび RC 床版の引張補強筋としてコンクリート部材の補強対策に用いられている^{5), 6)}。

表-1 コンクリートの示方配合

スランプ (%)	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

注記

W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, W:水, C:セメント
S:細骨材, G:粗骨材, S.P:高性能AE減水材

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

そこで本研究は、SFRC で増厚した供試体および増厚層内に引張補強筋を配置した SFRC 上面増厚補強した RC 床版供試体を用いて輪荷重走行疲労実験を行い、それぞれの補強効果および耐疲労性の評価法を検証する。また、RC 床版の維持管理における寿命予測の推定を行うために本実験から得られた等価走行回数に阿部ら⁴⁾が提案する劣化係数を適用した補強等価走行回数と補強後の S-N 曲線式との整合性を検証し、建設後 50 年を経過する RC 床版の上面増厚補強法における寿命推定の一助とした。

2. 使用材料および供試体概要

2.1 使用材料

(1) RC床版

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 25mm の粗骨材、最大寸法 5mm の以下の細骨材を用いた。鉄筋には SD295A D10 を用いた。ここで、コ

*1 日本大学大学院 生産工学研究科土木工学専攻 (学生会員)

*2 日本大学 生産工学部土木工学科教授 博士(工学) (正会員)

*3 JFE シビル(株) 技術部

表-3 SFRCの示方配合

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

注記

W/C:水セメント比, s/a:細骨材率, W:水, C:セメント

S:細骨材, G:粗骨材, SF:鋼繊維, S.P:高性能AE減水材

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)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
ワイヤーメッシュ	φ5	75	—	592	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
格子鋼板筋	200	18.00	13.3	47.88

コンクリートの示方配合を表-1, コンクリートと鉄筋の材料特性値を表-2に示す。

(2) SFRC

上面増厚のコンクリートは、交通規制が9時間の交通規制の中で補強工事が行われている。そのために、セメントには3時間で道示に規定するコンクリートの設計基準強度 24N/mm² 以上が発揮できる超速硬セメントに、最大寸法 15mm の粗骨材と φ0.62mm, 長さ 30mm の鋼繊維を配合した。ここで、SFRC 材の示方配合を表-3に示す。なお、SFRC の圧縮強度は材齢 3 時間で 26.9N/mm², 実験時の圧縮強度は 45.4N/mm² である。

(3) ワイヤーメッシュ

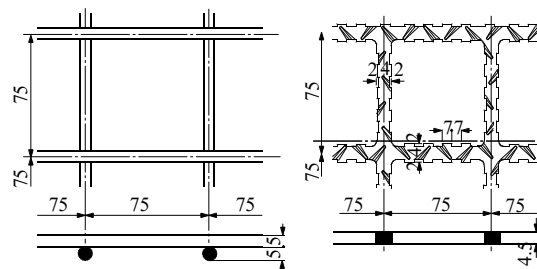
実橋 RC 床版の土砂化によるスケーリングや塩害による鉄筋の腐食に伴う断面欠損、さらには設計変遷に伴う鉄筋量の不足等による補強法として、増厚層内に鉄筋やワイヤーメッシュなどの引張補強筋が配置されている。そこで、本実験供試体には、鉄筋と同等の材料特性を有する φ5mm, 断面積 19.6mm², 格子間隔を 75mm のワイヤーメッシュを用いた。ワイヤーメッシュの材料特性値および引張剛性について、それぞれ表-4, 5に示した。また、格子間隔および寸法を図-1に示した。

(4) 格子鋼板筋

格子鋼板筋(以下、格子筋とする)には、縞鋼板および一般鋼板が用いられ、これをレーザーで直接格子状に切断し、一面加工した材料である。この格子筋は、構造物の形状に合わせて格子状に製作し、折り曲げ加工が可能であり、施工性に優れている。本実験に用いる格子筋には SS400 材、厚さ 4.5mm の縞鋼板を用いて、ワイヤーメッシュと同様に格子間を 75mm で切断加工した。なお、断面積は 18mm² である。ここで、格子筋の材料特性値および引張剛性をそれぞれ表-4, 5, 格子形状・寸法を図-1に併記した。

(5) 接着剤

輪荷重の繰り返し走行による増厚界面では曲げに伴う



(1) ワイヤーメッシュ (2) 格子筋

図-1 補強筋の形状および寸法

表-6 接着剤の材料特性値

項目	実測値	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	JIS K7112
圧縮強さ	102.88 N/mm ²	JIS K7181
圧縮弾性係数	3976.4 N/mm ²	JIS K7181
曲げ強さ	41.16 N/mm ²	JIS K7171
引張せん断強さ	14.86 N/mm ²	JIS K6850
コンクリート 付着強さ	3.7 N/mm ² または母材破壊	JIS K6909

せん断によりずれが生じ、十数年ではく離が生じている。これらについて阿部ら⁴⁾の SFRC 上面増厚補強における耐疲労性の検証に関する実験研究でも明らかにされている。そこで、既設床版と増厚層との界面に高耐久型エポキシ系樹脂接着剤(以下、接着剤とする。)を塗布した。本実験では、接着剤を 1.4kg/m² で塗布した。ここで、接着剤の材料特性値を表-6に示す。

2.2 供試体概要

(1) RC床版供試体

RC 床版供試体は道示に基づき、支間 2.4m の床版を、大型車両の 1 日 1 方向あたりの計画交通量 2,000 台以上として設計し、その 1/2 モデルとした。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、引張主鉄筋には D10 を 100mm 間隔で配置し、有効高さを 105mm とした。圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。RC 床版供試体の名称を RC-1 とする。ここで、供試体寸法および鉄筋配置を図-2に示す。

(2) SFRC上面増厚補強供試体

SFRC 上面増厚補強供試体は、RC 床版の上面を 10mm 切削し、その上に SFRC を 40mm 増厚し、床版全厚は 160mm とした。ここで、SFRC 上面増厚補強供試体の寸法および鉄筋配置を図-2に併記する。

3. SFRC上面増厚補強法

SFRC 上面増厚補強法は「上面増厚工法設計施工マニュアル」³⁾に準拠し、その施工手順を図-3に示す。

3.1 SFRC上面増厚補強法

既設 RC 床版の上面を切削機を用いて 10mm 切削する

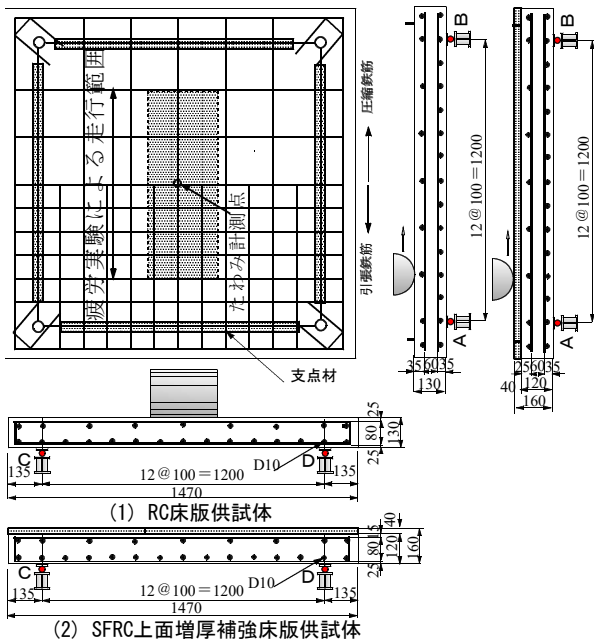


図-2 供試体寸法および鉄筋配置

(図-3(1)). 次に、既設 RC 床版と SFRC との一体性を確保するためにショットブラスト研掃機を用いて投射密度 150kg/m² で表面を仕上げる (図-3(2)). 研掃後、ワイヤーメッシュおよび格子筋を増厚界面から 10mm の位置に配置した (図-3(3)). その後、表-3に示す配合で SFRC を混練し、厚さ 40mm で SFRC を増厚し、表面仕上げをする (図-3(5)). ここで、ワイヤーメッシュを配置した供試体を RC-W、格子筋を配置した供試体を RC-SG とする。

3.2 接着剤塗布型SFRC上面増厚補強法

接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強法の施工手順は、従来の SFRC 上面増厚補強法と同様であるが、研掃工後に既設床版との一体性を高めるために増厚界面に接着剤を塗布した。接着剤塗布後直ちに SFRC を混練し、厚さ 40mm で SFRC を増厚し、表面仕上げをする (図-3(5)). ここで、接着剤を塗布した供試体を RC-SF.A とする。

3.3 接着剤と格子筋を併用したSFRC上面増厚補強法

接着剤と格子筋を併用した SFRC 上面増厚補強法の施工手順は接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強法と同様である。格子筋は界面から 10mm の位置に配置し、その後

接着剤を塗布する (図-3(4)). 接着剤塗布後直ちに SFRC を混練し、厚さ 40mm で増厚し、表面仕上げした (図-3(5)). ここで、接着剤と格子筋を併用した供試体を RC-G.A とする。

4. 実験方法および等価走行回数

4.1 実験方法

輪荷重走行疲労実験は RC 床版供試体および SFRC 上面増厚補強供試体ともに、床版上面を軸方向の中央から ±450mm の範囲 (片側 900mm) に輪荷重を繰り返し走行させる実験である。荷重は 80kN で 20,000 回走行し、その後、荷重を 20kN ずつ増加と 20,000 回走行の段階状载荷とした。たわみの計測は 1, 10, 100, 1,000, 5,000 回、以降 5,000 回ごとに計測する。

4.2 等価走行回数

(1) 等価走行回数

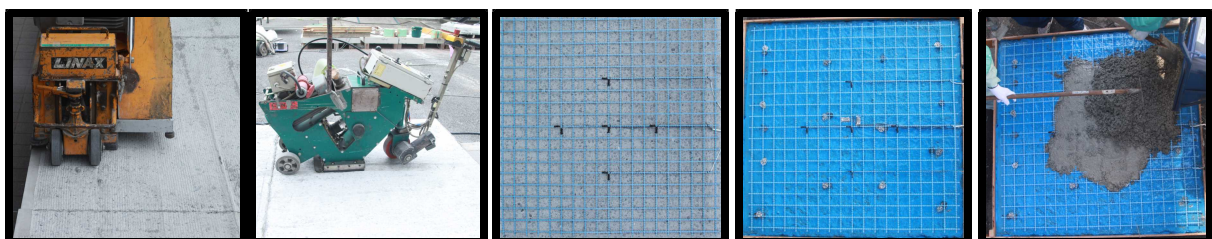
本実験では、20,000 回ごとに荷重を増加する段階状荷重载荷としたことから等価走行回数を算出し、耐疲労性を評価する。等価走行回数 N_{eq} はマイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。基準荷重 P_0 は、設計基準荷重の 1/2 に安全率 1.2 を考慮した 60kN (=100×1/2×1.2) とした。また、式(1)における S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 m には、松井ら⁷⁾が提案する RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数の絶対値 12.7 を適用する。

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

ここで、 N_{eq} : 等価走行回数(回), P_i : 載荷荷重(kN), P_0 : 基準荷重(=60kN), n_i : 走行回数(回), m : S-N 曲線の傾き絶対値(=12.7)

(2) 劣化係数を考慮した補強等価走行回数

劣化した RC 床版を SFRC 上面増厚補強した場合の耐疲労性の評価は、RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数 $m=12.7$ を適用した等価走行回数から評価すると耐用年数が過剰評価となり、SFRC で上面増厚補強した実橋 RC 床版の寿命と大きな差異が生じる。そこで、阿部ら⁴⁾ (以下、文献 4)とする) は、種々の低減係数を適用した補強等価走行回数式を提案している。この方法は、輪荷重



(1) 切削機による研掃 (2) ショットブラスト (3) 補強筋配置 (4) 接着剤塗布 (5) SFRC打設

図-3 接着剤塗布型SFRC上面増厚補強法の施工手順

表-7 等価走行回数および補強等価走行回数

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		
RC-38	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-SF.A	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	5,902	425,155,276	38.1
	等価走行回数	772,239	13,137,391	133,079,433	278,166,213		
	補強等価走行回数	366,741	5,428,637	48,283,821	96,460,105		
RC-W	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	8,950	568,810,074	51.0
	等価走行回数	772,239	13,137,391	133,079,433	421,821,011		
	補強等価走行回数	416,710	6,456,407	60,165,682	182,437,053		
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		
	補強等価走行回数	416,710	6,456,407	60,165,682	169,688,665		
RC-SG.A	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	19,100	1,047,188,092	93.9
	等価走行回数	772,239	13,137,391	133,079,433	900,199,030		
	補強等価走行回数	366,741	5,428,637	48,283,821	289,151,627		

走行疲労実験におけるたわみの増加から劣化値を得て、劣化値と等価走行回数の関係から D-N 曲線式を提案し、松井らが提案する S-N 曲式の傾きの逆数 $m=12.7$ を適用した等価走行回数に乗じるものである。劣化した RC 床版上面を SFRC 補強した場合の D-N 曲線および種々の劣化係数を適用した SFRC 上面増厚補強した RC 床版の補強等価走行回数 $N_{D0\cdot eq}$ は、式(2)として与えられる。

$$N_{D0\cdot eq} = \sum_{n=1}^n (N_{eq} \cdot D_{Di} \cdot D_C \cdot D_S \cdot D_E) \quad (2)$$

従来型 SFRC 上面増厚補強

$$D_{Di} = -0.0559 \log N_{eq} + 1.1 \quad (2.2)$$

接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強

$$D_{Di} = -0.0716 \log N_{eq} + 1.1 \quad (2.3)$$

ここで、 $N_{D0\cdot eq}$: SFRC 上面増厚補強 RC 床版の補強等価走行回数(回)、 N_{eq} : 等価走行回数(回) (式(1))、 D_{Di} : SFRC 上面増厚補強における劣化係数、 D_C : 湿潤状態におけるコンクリート劣化係数(=0.70)⁸⁾、 D_S : 使用鉄筋係数(= $f_{yd}\cdot sr/f_{yd}\cdot sd$, 異形鉄筋使用の場合 : 1.0)、 D_E : 環境条件による係数(=1.0)

5. 実験結果

5.1 等価走行回数

本実験における等価走行回数を表-7に示す。

(1) RC床版供試体

供試体 RC-38 の等価走行回数 N_{eq} は 11.15×10^6 回であり、この等価走行回数を基準に耐疲労性を評価する。

(2) 接着剤を塗布した上面増厚補強供試体

増厚界面に接着剤を塗布した供試体 RC-SF.A の等価走行回数 N_{eq} は 425.15×10^6 回であり、基準となる供試体 RC38-1 と比較して 38.1 倍の等価走行回数を得られている。次に、劣化係数を考慮した補強等価走行回数 $N_{D0\cdot eq}$ は 150.53×10^6 回となり、供試体 RC-38 と比して 13.5 倍であり、式(1)より算出された等価走行回数の 35%とな

った。

(3) ワイヤメッシュを配置した上面増厚補強供試体

ワイヤメッシュを配置した供試体 RC-W の等価走行回数 N_{eq} は 568.810×10^6 回であり、RC 床版供試体の 51.0 倍となった。この等価走行回数に劣化係数を適用した補強等価走行回数 $N_{D0\cdot eq}$ は 249.47×10^6 回であり、44%に低減し、供試体 RC-38 の 22.4 倍となった。

(4) 格子筋を配置した上面増厚補強供試体

界面から 10mm の位置に格子筋を配置した供試体 RC-SG の等価走行回数 N_{eq} は 538.175×10^6 回であり、RC 床版供試体の 48.8 倍となった。一方、補強等価走行回数 $N_{D0\cdot eq}$ は 236.72×10^6 回であり、44%に低減するものの供試体 RC-38 と比して 21.2 倍の等価走行回数を得られている。

(5) 接着剤と格子筋を併用した上面増厚補強供試体

接着剤と格子筋を併用した供試体 RC-SG.A の等価走行回数 N_{eq} は 1047.188×10^6 回であり、RC 床版供試体の 93.9 倍となった。一方、補強等価走行回数 $N_{D0\cdot eq}$ は 343.23×10^6 回であり、33%に低減した。しかし、供試体 RC-38 と比較すると 30.8 倍の等価走行回数を得られている。また、接着剤と格子筋を併用することにより供試体 RC-SG と 1.45 倍、接着剤のみの供試体 RC-SF.A の 2.28 倍の等価走行回数を得られた。

以上より、実験走行回数に松井らが提案する S-N 曲線式の傾きの逆数の絶対値 $m=12.7$ を式(1)に適用して得られた等価走行回数 N_{eq} に、接着剤を塗布しない従来の SFRC 上面増厚補強法および接着剤を塗布した上面増厚補強、それぞれに文献 4)に示す低減係数を適用すると 33%~ 44%減少するものの RC 床版供試体の等価走行回数が大幅に上回っている。

5.2 たわみと等価走行回数の関係

本実験におけるたわみと補強等価走行回数の関係を図-4に示す。

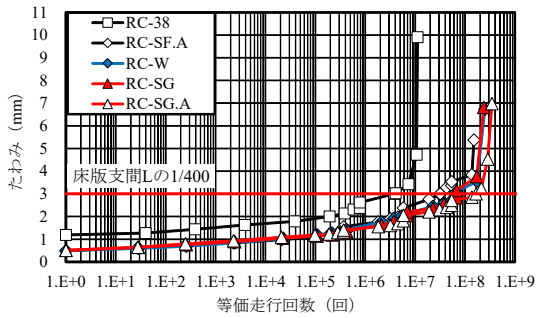


図-4 たわみと等価走行回数の関係

(1) RC床版供試体

RC 床版供試体 RC-38 は初期荷重 80kN でたわみが 1.19mm であり、輪荷重の繰り返し走行に伴いたわみが線形的に増加している。その後、たわみが 3.0mm 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、等価走行回数 11.15×10^6 回でたわみが 9.91mm となり、輪荷重の走行中に押抜きせん断破壊となった。道路橋 RC 床版の維持管理において、文献 4) は、たわみが床版支間 L の 1/400 に達した付近が補強対策を施す時期と提案している。そこで、本研究ではたわみが床版支間 L の 1/400 に達した時点の等価走行回数を補間法より算出し、SFRC 上面増厚補強による補強効果を検証する。よって、RC 床版供試体 RC-38 のたわみが床版支間 L の 1/400 に達した時点の等価走行回数は 3.80×10^6 回である。これを基準に評価する。

(2) 接着剤を塗布した上面増厚補強供試体

供試体 RC-SF.A は初期荷重 80kN でたわみが 0.49mm であり、増厚を施したことにより初期たわみが大きく低減している。その後、輪荷重の繰り返し走行に伴いたわみが線形的に増加している。たわみが 3mm に達した時点の補強等価走行回数は 31.75×10^6 回であり、供試体 RC-38 と比較し 8.4 倍の補強効果が得られた。たわみが 3.5mm (=床版支間 L の 1/350) を超えた付近からたわみが急増している。補強等価走行回数 150.53×10^6 回のたわみが 5.37mm である。

(3) ワイヤメッシュを配置した供試体

供試体 RC-W は初期荷重 80kN でたわみが 0.49mm であり、輪荷重の繰り返し走行に伴いたわみが線形的に増加している。たわみが 3mm に達した時点の補強等価走行回数は 67.05×10^6 回であり、供試体 RC-38 の 17.6 倍の補強効果が得られている。その後、たわみが 3.5mm を超えた付近からたわみが急増し、破壊付近の補強等価走行回数 249.47×10^6 回でのたわみが 6.70mm となった。

(4) 格子筋を配置した供試体

供試体 RC-SG は初期荷重 80kN でたわみが 0.52mm であり、供試体 RC-W と同様のたわみの増加傾向となり、

輪荷重の繰り返し走行に伴いたわみが線形的に増加している。たわみが 3mm に達した時点の補強等価走行回数は 67.05×10^6 回であり、供試体 RC-38 の 17.6 倍の補強効果が得られている。また、増厚層内にワイヤメッシュを配置した場合と同等の補強等価走行回数を得られている。その後、たわみが 3.5mm を超えた付近からたわみが急増し、等価走行回数 236.72×10^6 回でたわみが 6.81mm である。

(5) 接着剤と格子筋を併用した上面増厚補強供試体

供試体 RC-SG.A の初期荷重 80kN でたわみが 0.51mm であり、輪荷重の繰り返し走行に伴いたわみが増加し、たわみが 3mm に達した時点の補強等価走行回数は 165.96×10^6 回であり、供試体 RC-38 の 43.7 倍の補強効果が得られている。接着剤を塗布することにより増厚層内に格子筋を配置した供試体の 2.5 倍の補強効果が得られている。また、増厚層内に格子筋を配置することで増厚界面に接着剤を塗布した供試体 RC-SF.A の 5.2 倍の補強効果が得られている。破壊時の補強等価走行回数 1047.18×10^6 回でたわみが 6.98mm である。

以上より、SFRC 上面増厚および引張補強材を配置することで剛性がたかまり、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。

5.3 上面増厚補強RC床版の耐疲労性の評価法

RC 床版の耐疲労性の評価法として、松井らははり状化した RC 床版の押抜きせん断耐荷力 P_{SX} の評価式を提案し、S-N 線図としている。提案する S-N 曲線式は式(3)として与えられる。

$$\log(P_0/P_{SX}) = -0.7835 \log N_{eq} + \log 1.52 \quad (3)$$

ここに、 P_0 : 基準荷重 (kN)、 P_{SX} : 押抜きせん断耐力 (kN)、 N_{eq} : 等価走行回数 (回)

一方、SFRC 上面増厚補強を施した RC 床版の耐疲労性の評価法として文献 4) では、再補強時期を想定した S-N 曲線式として式(4)、式(5)を提案している。

従来型 SFRC 上面増厚補強

$$\log(P_0/P_{SX}) = -0.7835 \log N_{eq} + \log 1.14 \quad (4)$$

接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強

$$\log(P_0/P_{SX}) = -0.7835 \log N_{eq} + \log 1.18 \quad (5)$$

松井らは、はり幅を考慮した押抜きせん断モデルを図-5、押し抜きせん断耐荷力式を式(6)として与えている⁷⁾。

$$P_{SX} = 2B(\tau_{\max} \cdot X_m + \sigma_{\max} \cdot C_m) \quad (6)$$

$$B = b + 2d_d \quad (6.1)$$

$$f_{cv0} = 0.656 f_c^{0.606} \quad (6.2)$$

$$f_t = 0.269 f_c^{2/3} \quad (6.3)$$

$$X_m = -n (A_s + A'_s) / d_d + \sqrt{\{n(A_s + A'_s) / b_b\}^2 + 2n / b_b (d \cdot A_s + d' \cdot A'_s)} \quad (6.4)$$

ここに、 B : はり幅 (mm)、 a : 輪荷重の軸直角方向の辺長 (mm)、 b : 輪荷重の軸方向の辺長 (mm)、 X_m : 主鉄

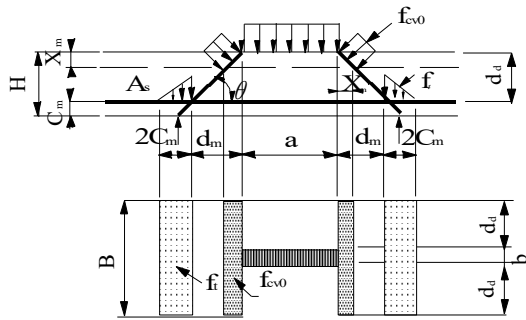
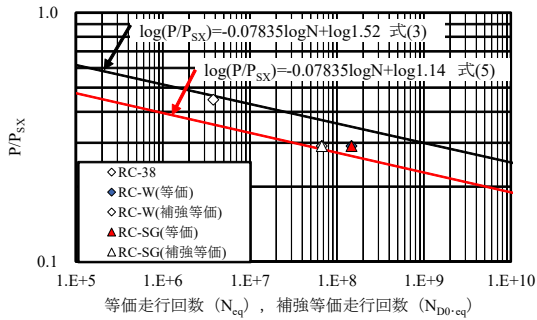
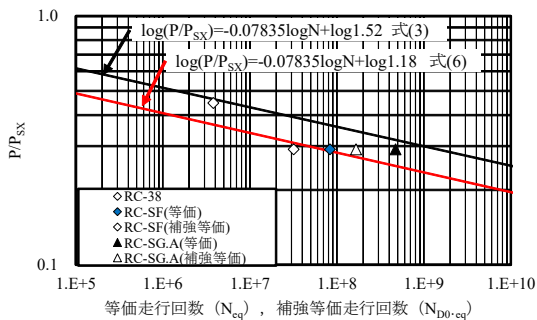


図-5 押抜きせん断力学モデル⁷⁾



(1) SFRC上面増厚補強RC床版



(2) 接着剤塗布型SFRC上面増厚補強RC床版

図-6 S-N曲線

筋方向の中立軸の高さ(mm), C_m : 引張主鉄筋のかぶり(mm), d_u : 配力筋の有効高さ(mm), f_{cv0} : コンクリートのせん断強度(N/mm^2), f_t : コンクリートの引張強度(N/mm^2), f_c : コンクリートの圧縮強度(N/mm^2), n : 鉄筋とコンクリートのヤング係数比, $A_s, A's$: 引張・圧縮鉄筋量(mm^2), d, d' : 引張・圧縮鉄筋の有効高さ(mm), b_b : 有効幅(mm)

本実験におけるはり状化した RC 床版の押抜きせん断耐荷力は 128kN となる。また、SFRC 上面増厚補強した RC 床版の押抜きせん断耐荷力は 196kN となる。

本実験より得られた押抜きせん断耐荷力 P_{sx} と基準荷重 P_0 との比 ($=P_0/P_{sx}$) と補強等価走行回数を文献 4) に示す S-N 曲線上 (図-6) にプロットすると文献 4) に示す RC 床版の再補強時期の S-N 曲線に近似する結果が得られた。よって、SFRC 上面増厚補強法における補強時

期の推定には式(4), (5)より算定することで寿命推定が可能になるものと考えられる。

6. まとめ

- (1) 等価走行回数より、増厚層内に引張補強筋を配置することで等価走行回数回数が大幅に向上する結果が得られた。また、増厚界面に接着剤を塗布することで界面に発生するはく離が抑制でき、終局時まで一体性が確保され、等価走行回数が大幅に向上した。
- (2) たわみと等価走行回数の関係より、増厚層内に補強筋を配置することで 17.6 倍、接着剤を併用することで、8.4 倍、43.7 倍となり、たわみが床版支間 L の $1/400$ 、すなわち維持管理が必要時期においても、耐疲労性が十分得られている。
- (3) 増厚層内に格子筋を配置した SFRC 上面増厚補強法の耐疲労性の評価は文献 4) に示す S-N 曲線式にそれぞれの低減係数を適用した補強等価走行回数が S-N 曲線上にプロットされ、整合性が得られた。したがって、建設後 40 年から 50 年が経過する RC 床版の SFRC 上面増厚補強法における寿命予測の一助となるものと考えられる。

参考文献

- 1) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル 2016, 2016.10
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, 2012
- 3) (社)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル, 1995
- 4) 阿部忠, 木田哲量, 水口和彦, 児玉孝喜：SFRC 上面増厚補強 RC 床版の輪荷重走行疲労実験における S-N 曲線式の提案, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.1156-1165, 2012.3
- 5) 阿部忠, 師橋憲貴, 塩田啓介, 今野雄介：補強材として新たに開発された 2 タイプの鋼板格子筋を用いた RC はりの増厚補強効果, 日本コンクリート工学年次論文集 Vol.37, No.2, pp.1387-1392, 2015.7
- 6) 水口和彦, 阿部忠, 塩田啓介, 今野雄介：2 タイプの鋼板格子筋を用いた RC 床版の下面増厚補強法における補強効果および耐疲労性の評価, 日本コンクリート工学年次論文集 Vol.37, No.2, pp.379-384, 2015.7
- 7) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007
- 8) Raithby, K.D. and Galloway, J.W.: Effects of moisture condition, age, and rate of loading on fatigue of plain concrete." ACI publication SP 41-2, 15-34, 1974.