

## 輪荷重走行疲労実験におけるRC床版SFRC上面増厚補強法の耐疲労性

Fatigue resistance of RC slab overlaid with the SFRC determined  
by a fatigue test under running wheel load

高野真希子\*, 阿部 忠\*\*, 木田哲量\*\*, 児玉孝喜\*\*\*, 小森篤也\*\*\*\*  
Makiko Takano, Tadashi Abe, Tetsukazu Kida, Takayoshi Kodama and Atsuya Komori

\*博(工), 日本大学生産工学ポストドクター研究員 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

\*\*工博, 日本大学教授 生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

\*\*\*博(工), 鹿島道路(株) (〒112-8566 東京都文京区後楽1丁目7番27号)

\*\*\*\*日鉄コンポジット(株) (〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3番8号)

The top face of a RC slab has been deteriorated and has been repaired and reinforced by overlaying the slab with SFRC. However, the SFRC has been debonded from the RC slab and the slab needs to be repaired again. To develop measures to prevent the debonding at the interface and improve the load-bearing performance of the overlay, the authors conducted a fatigue test under running wheel load to compare the fatigue resistance of the RC slab against others: the RC slab overlaid with the SFRC; the RC slab applied with an adhesive; and the RC slab applied with an adhesive and reinforced with CFRP grid. As a result, the equivalent number of running wheel load cycles to fatigue failure of the first, second and last was 10-28, 39-58 and 46-70 times greater than that of the RC slab test specimen, respectively, indicating that the fatigue resistance of the RC slab overlaid with the SFRC was greatly improved by the combined use of the adhesive and CFRP grid.

**Key words:** Reinforced by overlaying the slab with SFRC, High durability type epoxy resin adhesion, CFRP grid, Fatigue resistance

キーワード: SFRC 上面増厚補強, 高耐久型エポキシ樹脂接着剤, CFRP 格子筋, 耐疲労性

### 1. はじめに

鋼道路橋 RC 床版は、年々増加する交通量と大型車両の繰返し走行等の要因により疲労劣化が生じている<sup>1),2)</sup>。また、積雪寒冷地域では凍結防止剤の散布による塩害や、凍害により RC 床版の劣化が生じている<sup>3),4)</sup>ことから、RC 床版の劣化に対する補修・補強法の確立が重要な課題となっている。RC 床版の劣化に対する補修・補強法の 1 つとして、工期の短縮や耐荷力の向上に優れている上面増厚工法が採用されている<sup>5)</sup>。床版上面増厚工法は、既設 RC 床版と増厚部を一体化させることによって床版厚を増加させて、曲げ耐力の向上を図るものである。RC 床版の劣化に対する上面増厚補強法には、工期短縮が可能な鋼繊維を混入したコンクリートが用いられている。この工法は、1985 年ごろアメリカで開発されたオーバーレイ工法であり、日本でも採用されてきた。しかし、RC 床版の上面増厚工法では、既存 RC 床版部と増厚部との界面が早期にはく離し、床版構造としての一体性が失われ、早いもので 10 年程度で再補修および補強が余儀な

くされる事例がおきている<sup>6),7)</sup>。これらのことから、既存床版と増厚部の界面のはく離防止、および疲労耐久性の確保が重要となっている<sup>8),9)</sup>。

そこで本研究は、RC 床版の上面増厚工法の耐久性を向上させるために、通常の RC 床版供試体と RC 床版供試体と同一条件で製作した RC 床版の上面を切削後、鋼繊維補強超速硬コンクリート<sup>10)</sup> (以下、SFRC とする) により増厚補強した供試体の耐疲労性を検証・評価した。SFRC 上面増厚供試体は、実施工を想定して走行方向に 2 度に分けて増厚を行い、打継目を設けた供試体と打継目無しの供試体の 2 種類とする。また、既存の RC 床版と増厚部の界面は早期にはく離する事例があること踏まえ、界面に高耐久型エポキシ樹脂系接着剤<sup>11)</sup> (以下、接着剤とする) を塗布した供試体、および接着剤と炭素繊維強化プラスチック (以下、CFRP とする) 格子筋を併用した供試体の輪荷重走行による疲労実験を行い、接着剤および CFRP 格子筋が耐疲労性に与える影響および破壊メカニズムを検証した。また、RC 床版の S-N 曲線<sup>12)</sup> の傾きを適用した等価走行回数から耐疲労性を評価した。

## 2. 使用材料・寸法および補強方法

### 2.1 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最大寸法 20mm の粗骨材を使用した。示方配合を表-1 に示す。また、鉄筋は SD295A, D10 を使用した。コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-2 に示す。

#### (2) 上面増厚コンクリート

上面増厚コンクリートには、鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を用いた。SFRC の設計基準強度は、材齢 3 時間の圧縮強度を  $24\text{N/mm}^2$  とする。セメントは超速硬セメントを使用し、最大寸法 15mm の粗骨材、長さ 30mm の鋼繊維を混入率 1.27Vol.%(100kg/m<sup>3</sup>) で配合した。SFRC の示方配合を表-3 に示す。

#### (3) 接着剤

SFRC と RC 床版との界面の付着力を高めるために接着剤を用いた。高耐久型エポキシ樹脂接着剤の仕様を表-4 に示す。

#### (4) CFRP格子筋

連続繊維を樹脂と一体成型した軽量・薄型な炭素繊維

表-1 RC 床版供試体

スランプ <sup>°</sup> (cm)	W/C (%)	S/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 Mity 150
			セメント	水	細骨材	粗骨材	
8.0 ±2.5	39.2	40.0	403	158	726	1094	4.0

表-2 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 <sup>2</sup> )	鉄筋 (SD295A, D10)		
		降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
RC床版 (RC-1)	32.0	370	511	200
(RC-2)	35.0			

表-3 SFRC の配合

スランプ <sup>°</sup> (cm)	W/C (%)	S/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	鋼繊維
6.5 ±1.5	39.5	51.2	430	170	851	858	100.0

表-4 高耐久型エポキシ樹脂接着剤の仕様

項目	基準値	備考
外観	主剤 白色ペースト状 硬化剤 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	1.4±0.2	JIS K 7112
圧縮強さ	50N/mm <sup>2</sup> 以上	JIS K 7181
圧縮弾性係数	1000 N/mm <sup>2</sup> 以上	JIS K 7181
曲げ強さ	35N/mm <sup>2</sup> 以上	JIS K 7171
引張せん断強さ	10N/mm <sup>2</sup> 以上	JIS K 6850
コンクリート 付着強さ	1.6N/mm <sup>2</sup> 以上 または母材破壊	JIS K 6909

表-5 CFRP 格子筋の仕様

高強度 カーボン (CFRP)	断面積 (mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張弾性率 (N/mm <sup>2</sup> )	筋ピッチ (mm)×(mm)	単位重量 (g/m <sup>2</sup> )
	6.6	1,400	100,000	100×100	190

強化プラスチック (CFRP) 格子筋を SFRC 増厚層に配置してひび割れ幅の抑制効果を高める。CFRP 格子筋の仕様を表-5 に示す。

### 2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

RC 床版は複鉄筋配置とし、浮き上がり防止を設けない 4 辺単純支持とする。供試体寸法は、道路橋示方書・同解説 (以下、道示)<sup>13)</sup> の規定より、床版支間 2400mm, 1 日 1 方向あたりの大型車両の計画交通量を 2000 台以上として設計し、その 1/2 モデルとした。RC 床版・増厚 RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-1 に示す。

#### (1) RC床版供試体

基準となる RC 床版供試体の寸法は、床版支間長を 1200mm, 張出部は 135mm とし、全長は 1470mm である。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張側の軸直角方向および軸方向に D10 をともに 100mm 間隔で配置し、有効高さをそれぞれ 105mm, 95mm とする。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。

#### (2) SFRC上面増厚RC床版供試体

SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は、RC 床版上面かぶりを 10mm 切削し、その上に SFRC を 40mm 増厚し、床版全厚は 160mm を目標とした。有効高は軸直角方向が 135mm, 軸方向が 125mm である。

#### (3) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版供試体

RC 床版部と上面増厚の界面のはく離を防止し、耐疲労性の向上を図るために、増厚界面に接着剤を 1.0mm 厚で塗布した。SFRC 上面増厚は 40mm とする。供試体寸法は SFRC 上面増厚 RC 床版供試体と同じである。

#### (4) 接着剤とCFRP格子筋を併用したSFRC上面増厚RC床版

耐疲労性の向上を図るために、SFRC 上面増厚層に CFRP 格子筋を全面配置した。CFRP 格子筋は RC 床版の界面から 10mm の位置全面に配置した。供試体の寸法

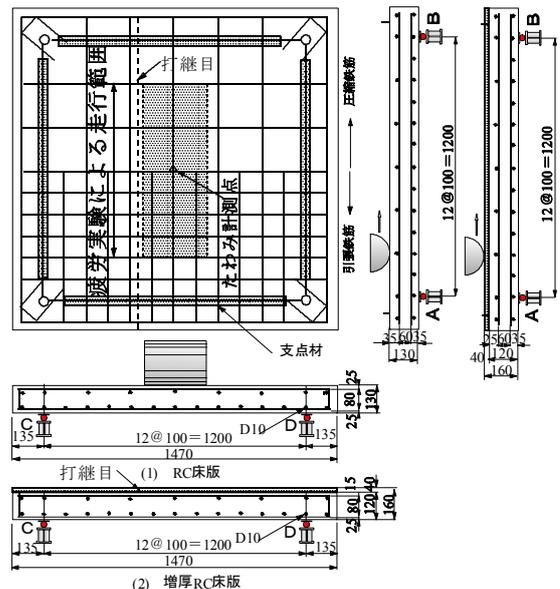


図-1 供試体寸法および鉄筋の配置 (mm)



1) 供試体表面の切削      2) 研掃機による表面仕上げ      3) 研掃後      4) 接着剤の塗布      5) SFRC 上面増厚      6) 仕上げ

写真－1 SFRC 上面増厚補強法

の界面から 10mm の位置全面に配置した。供試体の寸法は SFRC 上面増厚 RC 床版供試体と同じである。

### 3. SFRC 上面増厚補強方法と供試体の製作

SFRC 上面増厚施工方法の一例を、接着剤を塗布する場合の SFRC 上面増厚補強の手順を写真－1 に示す。

#### (1) SFRC 上面増厚 RC 床版供試体

従来どおり、既存床版に直接 SFRC を上面増厚補強した RC 床版供試体（以下、SFRC 上面増厚 RC 床版とする）の製作は次のとおりである。初めにコンクリート表面を実施に用いる切削機で 10mm 切削する（写真－1, 1)）。次に、切削面は付着性を高めるために、ショットブラスト研掃機を用いて投射密度  $150\text{kg/m}^2$  で表面を仕上げる（写真－1, 2), 3)）。その後、SFRC を表－3 に示す配合でジェットモビル車により混練する。全面増厚する供試体は直接 SFRC を 40mm 増厚し、表面仕上げをした（写真－1, 6)）。

次に、交通規制上、車線ごとに増厚する実施工を想定して打継目を設けた供試体は、RC 床版上面を切削した後、左支点 C から 445mm の位置に打継目を設ける。これは、本実験装置の輪荷重幅が道示に規定する輪荷重幅の 1/2 であることから、輪荷重の端部から 30mm の位置とした。SFRC の打設は輪荷重が走行する右支点 D 側の幅 755mm を先に打設し、3 時間後に残りの支点 C 側 445mm を打設して完了した。ここで、SFRC を全面に直接増厚した供試体を SFRC-1、打継目を設けた供試体を SFRC-2 と称する。

#### (2) 接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体

SFRC 上面増厚 RC 床版は、増厚面に発生したひび割れや打継面などから雨水が浸透し、車両通行などの疲労の影響により増厚界面にはく離が生じ、耐疲労性が低下している。そこで、本研究における上面増厚施工法においては、RC 床版部と増厚部の界面および車線ごとの補修における打継目に対し、増厚界面および打継目の一体化による補強効果を高めるために接着剤を塗布した。施工手順は、基本的には SFRC 上面増厚補強法と同様であるが、写真－1 に示すように研掃終了後に、RC 床版と増厚界面に接着剤を 1.0mm 厚で塗布した（写真－1, 4)）。その後、SFRC を打設し、表面仕上げした（写真－1, 5)）。

6)）。なお、打継目を設けた供試体の製作は、SFRC 上面増厚補強 RC 床版供試体と同様である。ここで、接着剤を塗布し、全面増厚した供試体を SFRC-A1、打継目を設けた供試体を SFRC-A2 と称する。

#### (3) 接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版

ひび割れ抑制および耐荷重性を維持する剛性を保持させるために SFRC 増厚内に CFRP 格子筋を配置した。施工手順は、接着剤を塗布した上面増厚施工法の接着剤を塗布する手順までは同様である。その後、界面から 10mm の位置に CFRP 格子筋を配置し、その上に SFRC を増厚した。なお、打継目を設けた供試体の製作は、従来型の SFRC 上面増厚補強 RC 床版供試体と同様である。ここで、接着剤および CFRP 格子筋を併用し、全面増厚した供試体を SFRC-AC1、打継目を設けた供試体を SFRC-AC2 と称する。

### 4. 輪荷重走行疲労実験

#### 4.1 輪荷重走行疲労実験概要

SFRC 上面増厚補強した RC 床版の輪荷重走行疲労実験状況を写真－2 に示す。

輪荷重走行疲労実験は、RC 床版および SFRC 上面増厚補強 RC 床版ともに床版中央から両支点方向に 450mm の範囲に輪荷重を繰返し走行させる実験である。

RC 床版供試体の荷重は、供試体寸法を実橋床版の 1/2 モデルとしたことから、設計活荷重は 50kN であり、これに安全率 1.2 を考慮した 60kN が設計基準荷重となる。そこで RC 床版には、この基準荷重を初期荷重とした



写真－2 輪荷重走行疲労実験状況

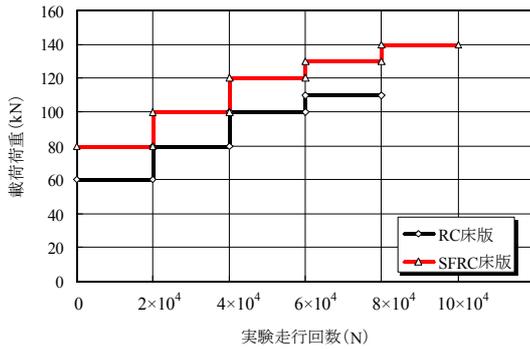


図-2 荷重増荷プログラム

60kN を載荷し、荷重 100kN まで 2 万回走行ごとに荷重を 20kN ずつ増加させる。荷重 100kN 以降は、2 万回走行ごとに荷重を 10kN ずつ増加させる方法とする。次に、SFRC 上面増厚供試体は RC 床版の厚さに比べて 40mm 厚いことから、初期荷重 80kN で走行を開始し、段階荷重増荷<sup>9)</sup>とする。荷重増荷プログラムを図-2 に示す。

#### 4.2 輪荷重走行疲労実験における等価走行回数

本実験における輪荷重走行疲労実験は、2 万回ごとに荷重を増加させたことから等価走行回数を算出して疲労耐用性を評価することとする。等価走行回数は、マイナー則<sup>14)</sup>に従うと仮定すると式(1)で与えられる。道路橋 RC 床版が補強された後は、補強することによって健全な状態に回復したとして健全な RC 床版と同等な耐疲労性を有しているとして取り扱われている。そこで、補強された RC 床版の耐疲労性の評価は、松井らが提案する RC 床版の S-N 曲線<sup>12)</sup>の傾きの逆数  $m(=12.7)$  を適用する。なお、基準荷重  $P$  は 60kN とする。

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

ここで、 $N_{ep}$  : 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) ,  $m$  : RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数 (= 12.7)

よって、本実験における実験荷重と走行回数の関係から等価走行回数 ( $N_{ep}$ ) を算出し、SFRC 上面増厚 RC 床版、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版および接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版の耐疲労性を評価する。

### 5. 実験結果および考察

#### 5.1 実験等価走行回数

本実験における実験走行回数を式(1)に代入することにより算出した等価走行回数を表-6 に示す。

##### (1) RC床版供試体

輪荷重走行実験における RC 床版供試体 RC-1 の等価走行回数は  $6.963 \times 10^6$  回、供試体 RC-2 の等価走行回数は  $7.347 \times 10^6$  回であり、その平均等価走行回数は  $7.155 \times 10^6$  回である。この RC 床版の平均等価走行回数を基準に耐疲労性を評価する。

##### (2) SFRC上面増厚RC床版供試体

SFRC を直接全面増厚した RC 床版供試体 SFRC-1 の等価走行回数は  $73.976 \times 10^6$  回、打継目を設けた供試体 SFRC-2 は  $200.472 \times 10^6$  回となった。RC 床版供試体の平均等価走行回数と比較すると、直接全面増厚した供試体 SFRC-1 が 10.3 倍、打継目を設けた供試体 SFRC-2 が 28 倍となった。

##### (3) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版供試体

接着剤を塗布して SFRC を全面増厚した RC 床版供試体 SFRC-A1 の等価走行回数は  $261.284 \times 10^6$  回、打継目を設けた供試体 SFRC-A2 は  $416.047 \times 10^6$  回である。RC 床版供試体の平均等価走行回数と比較すると、供試体 SFRC-A1 は 36.5 倍、SFRC-A2 は 58.1 倍となった。また、SFRC 上面増厚 RC 床版供試体と比較すると、供試体 SFRC-A1 が供試体 SFRC-1 の 3.5 倍、供試体 SFRC-A2 が供試体 SFRC-2 の 2.1 倍となり、接着剤を塗布することで耐疲労性が大幅に向上した。

##### (4) 接着剤とCFRP格子筋を併用したSFRC上面増厚RC床版

接着剤と CFRP 格子筋を併用した上面増厚 RC 床版供試体 SFRC-AC1 の等価走行回数は  $333.112 \times 10^6$  回で、RC 床版供試体の 46.6 倍、打継目を設けた供試体 SFRC-AC2 は  $501.703 \times 10^6$  回で、RC 床版供試体の 70 倍である。また、SFRC 上面増厚 RC 床版供試体と比較すると、供試体 SFRC-AC1 は SFRC-1 の 4.5 倍、供試体 SFRC-AC2 は SFRC-2 の 2.5 倍の等価走行回数となった。さらに、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体と比較すると、供試体 SFRC-AC1 は SFRC-A1 の 1.3 倍、供試体 SFRC-AC2 は SFRC-A2 の 1.2 倍の等価走行回数となった。

以上の結果より、従来型の SFRC 上面増厚に比して、接着剤の塗布した供試体、さらに接着剤と CFRP 格子筋を併用した増厚工法はともに、等価走行回数も増加しており、耐疲労性に優れた補強法であることが実証された。なお、打継目が耐疲労性において弱点<sup>13)</sup>とされていた

表-6 等価走行回数

供試体	等価走行回数 (回)	平均等価走行回数 (回)	走行回数比
RC-1	$6.963 \times 10^6$	$7.155 \times 10^6$	—
RC-2	$7.347 \times 10^6$		
SFRC-1	$73.976 \times 10^6$	$73.976 \times 10^6$	10.3
SFRC-2	$200.472 \times 10^6$	$200.472 \times 10^6$	28.0
SFRC-A1	$261.284 \times 10^6$	$261.284 \times 10^6$	36.5
SFRC-A2	$416.047 \times 10^6$	$416.047 \times 10^6$	58.1
SFRC-AC1	$333.112 \times 10^6$	$333.112 \times 10^6$	46.6
SFRC-AC2	$501.703 \times 10^6$	$501.703 \times 10^6$	70.1

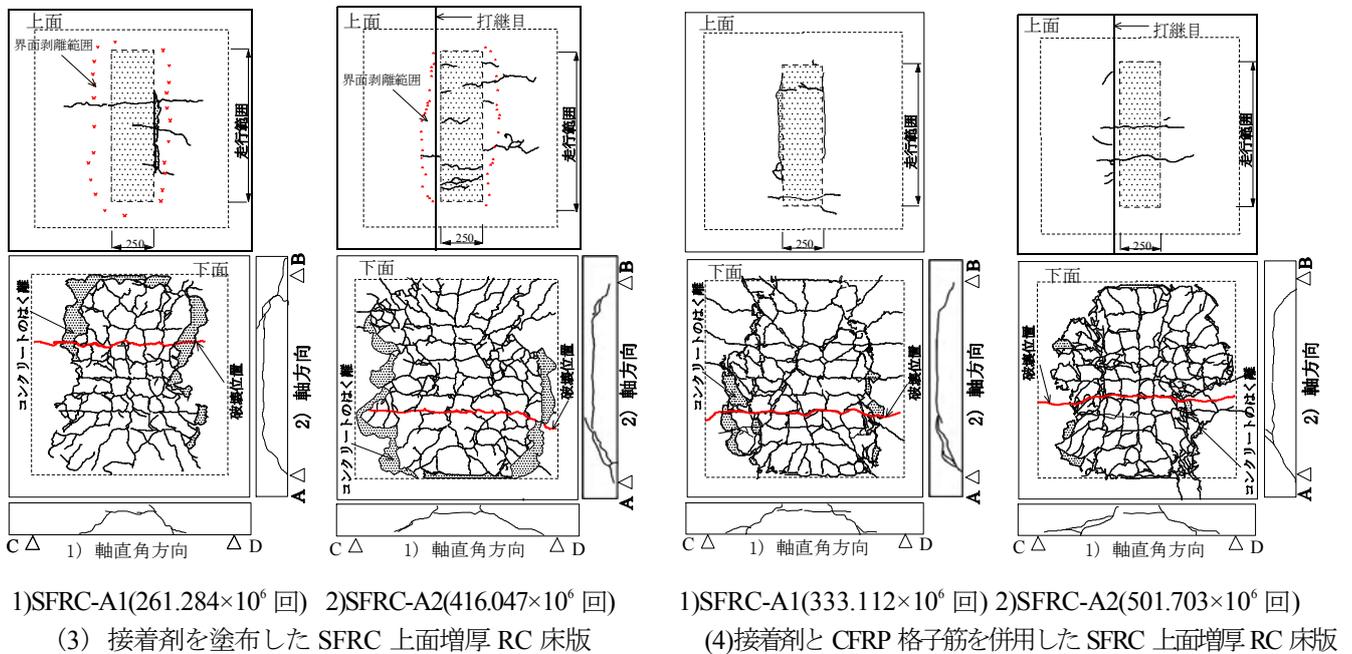
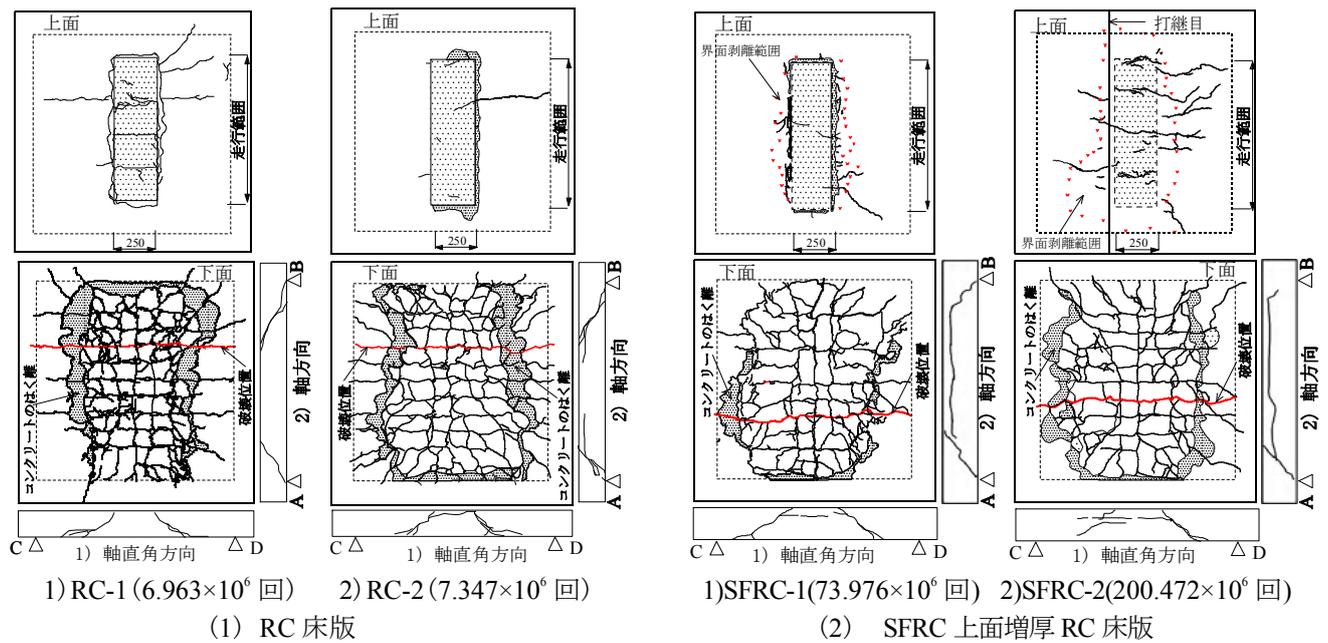


図-3 RC 床版および SFRC 上面増厚補強 RC 床版の破壊状況

が、本実験では水の影響を考慮していないことから、打継目による等価走行回数の低下はみられない。

## 5.2 破壊状況

RC 床版および SFRC 上面増厚補強を施した各 RC 床版の上下面および試験終了後に供試体中央部の軸直角方向および軸方向で切断した切断面の破壊状況を図-3 に示す。また増厚供試体に関しては、試験終了後に増厚部と既存 RC 部の剥離状況を上面からの打音法により診断し、剥離範囲を図-3 中に×印で表記した。なお、供試体名称とともに等価走行回数を併記した。

### (1) RC 床版供試体

RC 床版供試体の破壊状況を図-3(1)に示す。上面のひび割れは、供試体 RC-1, 2 とともに軸直角方向に配置した圧縮鉄筋とほぼ同位置で発生し、破壊位置では軸直角方向に貫通ひび割れが見られた。次に、床版下面は軸直角方向の主鉄筋および軸方向の配力筋配置位置でひび割れが発生している。また、輪荷重設置位置から 45 度下面はダウエル効果の影響によるコンクリートのはく離が見られる。破壊は走行中に両供試体ともに、図中に示すように支点 B から 40cm 付近位置で押抜きせん断破壊となった。

### (2) SFRC 上面増厚 RC 床版供試体

SFRC 上面増厚補強した供試体 SFRC-1 の破壊状況は

図-3(2), 1)に示すように、床版上面は、輪荷重走行の折り返し位置端部にわずかなひび割れが見られるもののほとんどひび割れがみられない。これは SFRC に配合された鋼繊維の混入により、ひび割れの伝播が抑制された結果である。床版上面に部分的に界面のはく離が見られる。床版下面には、軸直角方向および軸方向ともに RC 床版供試体と同様に主鉄筋および配力筋位置の下面にひび割れが発生している。また、ダウエル効果が及ぼす範囲は、RC 床版供試体に比して上面増厚床版は床版厚が 4cm 厚いことから広範囲に渡り 45 度下面がはく離している。軸直角方向の切断面は輪荷重走行位置から 45 度で破壊し、引張鉄筋かぶりはダウエル効果の影響によりはく離している。軸方向の切断面は増厚界面ではく離している。破壊は、図中に示すように支点 A から 40cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

次に、走行方向を 2 分割施工した上面増厚した供試体、すなわち打継目を設けた供試体 SFRC-2 の上面のひび割れは図- 3(2),2)に示すように、軸直角方向に発生している。等価走行回数が  $200,472 \times 10^6$  回と RC 床版の 2.8 倍であることから RC 床版と増厚層のはく離が広範囲に渡っている。とくに、輪荷重の走行位置から離れた増厚部のはく離が著しい。このようなはく離状況からも付着性を高める必要がある。床版下面のひび割れは、軸直角方向および軸方向に配置した引張鉄筋位置に発生し、ダウエル効果の影響によりコンクリートが剥落している。なお、軸直角方向および軸方向の切断面は供試体 SFRC-1 と同様である。破壊は図中に示すように支点 A から 50cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

### (3) 接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体

接着剤を塗布した SFRC で全面増厚した供試体 SFRC-A1 の破壊状況は図- 3(2), 1)に示すように、上面には破壊位置で貫通ひび割れが発生している。増厚部のはく離は、輪荷重走行位置から 10cm の範囲である。等価走行回数が従来型の SFRC 上面増厚補強法に比して 3.5 倍であるにも拘わらず、接着剤の塗布による増厚界面の付着力が高まり、はく離の範囲が抑制されている。床版下面のひび割れ状況も SFRC-1 と同様である。床版中央の軸直角方向の切断面は、輪荷重載荷位置から 45 度で押し抜かれている。軸方向の切断面には、輪荷重走行範囲の増厚界面にはく離が見られる。破壊は図中に示すように支点 B から 40cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

走行面から 30mm の位置で打継目を設けた供試体 SFRC-A2 の破壊状況は図- 3(2), 2)に示すように、床版上面には貫通ひび割れが数カ所に発生している。供試体 SFRC-A2 の等価走行回数は供試体 SFRC-2 の 2.1 倍であるが下面のひび割れ発生状況は同程度である。また、はく離は走行範囲から 10cm 程度の位置に生じており、接着剤を用いない供試体に比べて大幅に減少している。下面は増厚供試体いずれも同様なひび割れ状態である。軸

直角方向の切断面には、荷重載荷位置から 45 度で押し抜かれている。また、軸方向の切断面には、輪荷重走行範囲の増厚界面にはく離が見られる。破壊は図中に示すように支点 A から 40cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

### (4) 接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版

接着剤と CFRP 格子筋を併用して全面に SFRC 上面増厚した RC 床版供試体 SFRC-AC1 の上面の破壊状況は図- 3(3),1)に示すように、ほとんどひび割れがみられない。また、増厚部と既存床版 RC 床版のはく離も等価走行回数が  $333.12 \times 10^6$  回にもかかわらずほとんどみられない。これは RC 部材の下面引張補強法にも適している CFRP 格子筋の配置と接着剤の効果によるものと考えられる。下面の破壊状況は、供試体 SFRC と同様に軸直角方向および軸方向にひび割れが発生し、ダウエル効果が及ぼす範囲ではく離している。破壊は輪荷重が走行中に図中に示すように支点 A から 40cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

次に、打継目を設けて増厚した供試体 SFRC-AC2 は、等価走行回数が  $501.703 \times 10^6$  回であり、SFRC 上面増厚 RC 床版供試体の 2.5 倍にも拘わらず上面のひび割れおよび増厚界面のはく離はみられない。破壊は輪荷重が走行中に図中に示すように支点 A から 50cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

以上より、従来どおり直接増厚した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は、輪荷重の繰り返し走行により RC 床版と増厚部の界面がはく離している。これに比して、接着剤と CFRP 格子筋を併用した上面増厚工法は、接着剤と CFRP 格子筋の相乗効果により RC 床版と界面のはく離はみられない。また、SFRC 上面増厚の等価走行回数に比して、接着剤と CFRP 格子筋を併用した増厚工法が上面増厚 RC 床版が 4.5 倍、打継目を設けた供試体では、2.5 倍であるにも関わらずひび割れ損傷はほぼ同程度である。したがって、接着剤と CFRP 格子筋を併用した上面増厚 RC 床版の破壊形状は、増厚界面のはく離は見られず、耐疲労性にも優れている結果となった。

## 5.3 たわみと等価走行回数の関係

RC 床版供試体中央におけるたわみと等価走行回数の関係を図- 4 に示す。

### (1) RC 床版

RC 床版供試体 RC-1, 2 は、ともに等価走行回数の増加に伴ってたわみもわずかに上昇し、3mm ( $\cong L/400$ , L : 床版支間) を超えた付近からたわみが急激に増加し、終局時のたわみは供試体 RC-1, 2 で、それぞれ 7.91mm, 6.86mm である。したがって RC 床版は、たわみが支間 L の  $1/400$  を超えた頃に補修・補強を施す必要があると考えられる。

### (2) SFRC 上面増厚 RC 床版

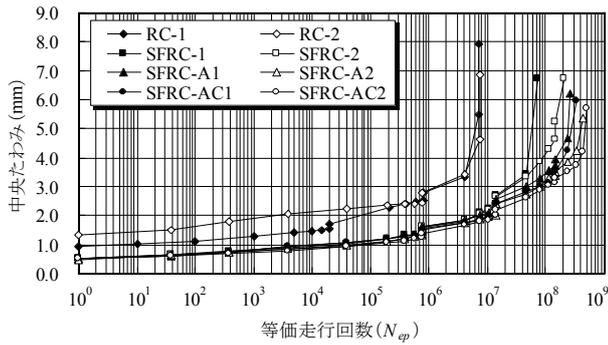


図-4 たわみと等価走行回数との関係

SFRC を床版上面に直接増厚した供試体 SFRC-1 は、RC 床版同様に 3mm 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  $47.100 \times 10^7$  回を超えた後、急激にたわみが増加し、終局時のたわみは 6.75mm である。供試体 SFRC-2 は、たわみが 3mm を超えた後も、等価走行回数  $14.700 \times 10^6$  回まで線形的に増加し、その後の荷重増加で急激にたわみが増加し、破壊に至っている。終局時のたわみは 6.7mm である。

### (3) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版

接着剤を塗布後に増厚した供試体 SFRC-A1 は、等価走行回数が  $4.710 \times 10^6$  回を超えてもたわみの増加は微小であり、等価走行回数  $23.710 \times 10^7$  回後であるたわみが 3.5mm ( $\cong L/350$ ) を超えた付近から急激にたわみが増加し、終局時のたわみは 6.22mm である。打継目を設けた供試体 SFRC-A2 は、等価走行回数が  $14.700 \times 10^6$  回付近までは供試体 SFRC-A1 とほぼ同様な挙動を示すが、等価走行回数が  $330 \times 10^6$  回で、たわみが 3.5mm ( $\cong L/350$ ) を超えると急激にたわみが増加し、終局時のたわみは 5.37mm である。

### (4) 接着剤とCFRP格子筋を併用したSFRC上面増厚RC床版

接着剤と CFRP 格子筋を併用した供試体 SFRC-AC1 は、供試体 SFRC-A1 とほぼ同様な挙動を示している。

打継目を設けた供試体 SFRC-AC2 も SFRC-A2 とほぼ同様な挙動となるが、供試体 SFRC-A2 が終局後もたわみが増加し、終局時のたわみは 5.72mm である。SFRC 上面増厚 RC 床版供試体に比して、接着剤と CFRP 格子筋を併用した RC 床版供試体である供試体 SFRC-AC1、供試体 SFRC-AC2 ともに等価走行回数の増加においても急激なたわみの増加もみられない。なお、接着剤を塗布した供試体に比して、接着剤と CFRP 格子筋を併用した供試体は、本実験において限界値であると仮定したたわみ値 3.5mm を超えた後のたわみの抑制が顕著となった。したがって、接着剤と CFRP 格子筋を上面増厚に併用することでたわみの増加が抑制され、等価走行回数も向上していることが検証された。

以上より、たわみと等価走行回数の関係では、RC 床版の場合、床版支間 L の  $1/400$  (3mm) を超えた付近

からたわみが急激に増加する。SFRC を直接増厚した供試体は、RC 床版同様にたわみが床版支間 L の  $1/400$  (3mm) を超えた付近から急激に増加するが、接着剤を塗布して増厚した供試体および接着剤と CFRP 格子筋を併用した供試体は、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する。したがって、たわみの増加傾向から判断すると、RC 床版および増厚 RC 床版両方を許容した、たわみが床版支間 L の  $1/400$  (3mm) を超えた付近で RC 床版は補修・補強を施す必要があると考える。

## 5.4 ひずみと等価走行回数との関係

床版中央における軸直角方向および軸方向の引張鉄筋のひずみと等価走行回数との関係をそれぞれ図-5 に示す。なお、図中に示すように鉄筋の降伏ひずみは材料特性値より  $1840 \times 10^6$  である。

### (1) RC床版

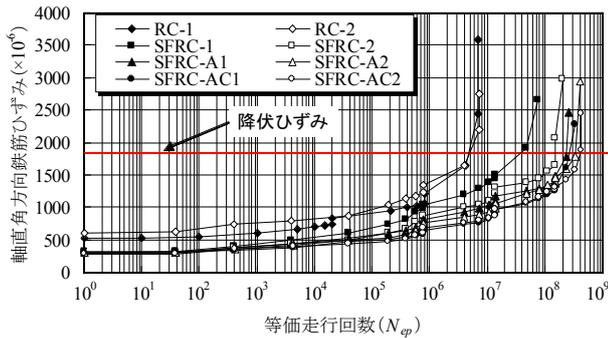
軸直角方向のひずみは図-5(1)に示すように、RC 床版供試体 RC-1 は初期荷重 60kN で走行を開始し、初期ひずみは  $730 \times 10^6$  である。その後、荷重増加とともにひずみの増加が見られる。載荷荷重 100kN における等価走行回数  $4.07 \times 10^6$  回後のひずみは  $1640 \times 10^6$  となり、鉄筋は降伏に至っていない。その後、等価走行回数  $6.961 \times 10^6$  回ではひずみが  $2440 \times 10^6$  となり、鉄筋は降伏している。終局時のひずみは  $3530 \times 10^6$  である。また、初期荷重 80kN を載荷して走行を開始した供試体 RC-2 のひずみもほぼ同程度である。たわみが 3mm を超えた付近でもひずみは  $1640 \times 10^6$  であり、鉄筋は降伏に至っていない。その後、等価走行回数  $7.340 \times 10^6$  万回付近のひずみは  $2190 \times 10^6$  と急激に増加し、終局時のひずみは  $2750 \times 10^6$  である。

軸方向のひずみは図-5(2)に示すように、RC 床版供試体 RC-1 は走行回数の増加に伴いわずかづつ増加し、荷重 100kN、等価走行回数  $4.07 \times 10^6$  回のひずみは  $1360 \times 10^6$  である。その後、等価走行回数  $6.961 \times 10^6$  では、ひずみは  $2350 \times 10^6$  となり、鉄筋は降伏に至っている。終局時のひずみは供試体 RC-1, 2 ともに  $3384 \times 10^6$  程度である。

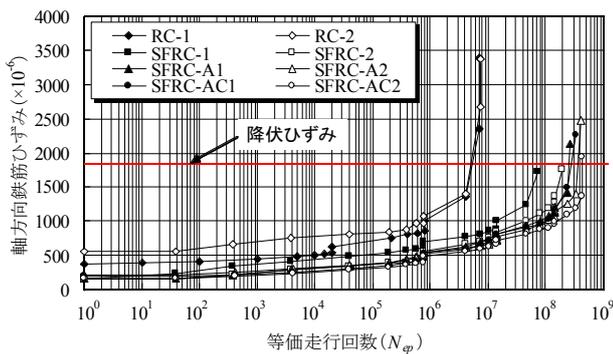
以上より、たわみが 3mm を超えた付近のひずみは軸直角方向および軸方向ともに  $1400 \times 10^6 \sim 1640 \times 10^6$  程度であるので、鉄筋は降伏に至っていない。

### (2) SFRC上面増厚RC床版

SFRC 上面増厚した RC 床版供試体 SFRC-1 の軸直角方向のひずみは、荷重 120kN 載荷時 ( $13.9 \times 10^6$  回) で  $1500 \times 10^6$  である。その後、等価走行回数  $47.186 \times 10^6$  では  $1910 \times 10^6$  となり、鉄筋は降伏に至っている。終局時のひずみは  $2650 \times 10^6$  程度である。次に、打継目を設けた供試体 SFRC-2 は荷重 120kN で 2 万回走行終了時 ( $146.9 \times 10^6$  回) でのひずみが  $1640 \times 10^6$  であり、その後の



(1) 軸直角方向



(2) 軸方向

図-5 ひずみと等価走行回数との関係

荷重が 130kN に増加後(147.0×10<sup>6</sup> 回)に鉄筋が降伏に至り、終局時のひずみは 2970×10<sup>6</sup> である。

次に、軸方向の鉄筋ひずみは、全面増厚した供試体 SFRC-1 の場合、終局時で 1710×10<sup>6</sup> であり、鉄筋は降伏に至っていない。また、打継目を設けた供試体 SFRC-2 においても終局時のひずみは 1760×10<sup>6</sup> となり、鉄筋は降伏に至っていない。

RC 床版供試体のひずみの増加に対して、ひずみの増加が大幅に抑制されている。

### (3) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版

増厚界面に接着剤を塗布した供試体 SFRC-A1 の軸直角方向ひずみは、初期荷重 80kN を載荷して 2 万回走行時(等価走行回数 77.2×10<sup>5</sup> 回)では 686×10<sup>6</sup>、荷重 100kN で 2 万回走行時(等価走行回数 13.1×10<sup>6</sup>)では 1060×10<sup>6</sup> である。これは、接着剤を塗布していない SFRC 上面増厚 RC 床版供試体 SFRC-1 は荷重 80kN で 2 万回走行時(等価走行回数 77.2×10<sup>5</sup> 回付近)のひずみ程度である。その後、荷重を 120kN に増加させて 2 万回走行した時点(等価走行回数 131.0×10<sup>5</sup> 回)のひずみは 1370×10<sup>6</sup> である。荷重 130kN で走行開始後はひずみの増加が著しくなっている。ひずみ 1500×10<sup>6</sup> 付近の等価走行回数を比較すると、供試体 SFRC-1 が 13.9×10<sup>6</sup> 回であるのに対し、接着剤を塗布した供試体 SFRC-A1 は 147×10<sup>6</sup> 回であり、約 10 倍である。その後の走行回数の増加により

ひずみが急激に増加している。次に、打継目を設けた供試体 SFRC-A2 軸直角方向のひずみも、供試体 SFRC-A1 とほぼ同様な増加傾向を示している。また、軸方向のひずみも供試体 SFRC-A1 および SFRC-A2 とともに軸直角方向と同様な増加傾向を示している。したがって、接着剤を塗布することで等価走行回数の増加に関わらずひずみの上昇が抑制されている。これは、RC 床版と上面増厚の界面に接着剤を塗布したことにより合成効果が高まった結果である。

### (4) 接着剤とCFRP格子筋を併用したSFRC上面増厚RC床版

接着剤と CFRP 格子筋を併用した上面増厚 RC 床版 SFRC-AC1 の軸直角方向のひずみは、荷重 80kN で 2 万回走行(等価走行回数 77.2 万回)では 680×10<sup>6</sup>、その後の荷重増加、走行回数の増加においても急激なひずみの増加はみられない。載荷荷重 120kN で 2 万回走行時(等価走行回数 1470 万回)では 1370×10<sup>6</sup> である。載荷荷重 130kN で等価走行回数 2300 万回のひずみが 1600×10<sup>6</sup> であり、この時点で RC 床版の 58 倍の等価走行回数である。終局時のひずみは 2280×10<sup>6</sup> である。軸方向の鉄筋のひずみは等価走行回数 1470 万回でも 1090×10<sup>6</sup> 程度であり、終局時のひずみは 2400×10<sup>6</sup> である。次に、打継目を設けた供試体 SFRC-AC2 のひずみも、軸直角方向および軸方向ともに供試体 SFRC-AC1 とほぼ同様な増加傾向を示している。したがって、接着剤と CFRP 格子筋を併用することで走行回数の増加に関わらずひずみの上昇が抑制されている。これは、RC 床版と上面増厚した界面に接着剤を塗布したことにより合成効果が高まり、さらに CFRP 格子筋の配置によりひび割れが抑制されたことから走行回数の増加が図られた。

以上より、鉄筋のひずみと等価走行回数の関係は、たわみと等価走行回数の関係に示したとおりたわみが 3mm、すなわち床版支間 L の 1/400 付近の等価走行回数を超えた付近から軸直角方向および軸方向ともにひずみの上昇が大きくなっている。したがって、2 次補修については鉄筋が弾性限度内、すなわち床版支間 L の 1/400 付近であると考えられる。

## 5.5 増厚界面および増厚層のひずみと等価走行回数の関係

RC 床版中央における既存床版と増厚界面のひずみと等価走行回数の関係を図-6、増厚層のひずみと等価走行回数の関係を図-7 に示す。なお、増厚層のひずみは増厚界面から 10mm 上縁の位置の値である。

### (1) SFRC上面増厚RC床版供試体

SFRC 上面増厚 RC 床版供試体 SFRC-1 では、輪荷重の繰り返し走行により圧縮ひずみも上昇するが、等価走行回数 7.728×10<sup>5</sup> 付近の圧縮ひずみは -45.7×10<sup>6</sup> 程で最大となり、その後の荷重増加と走行を繰り返すことによりひずみが減少し始めている。この時点からは離が開

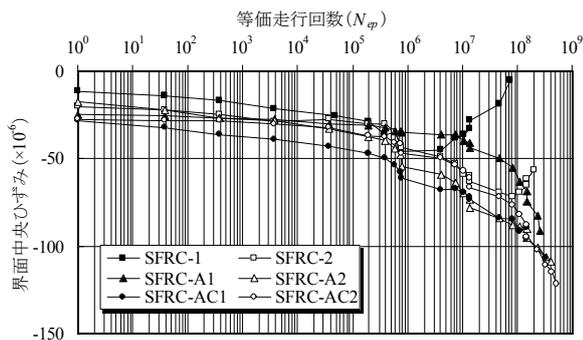


図-6 既存床版と増厚界面のひずみと等価走行回数  
の関係

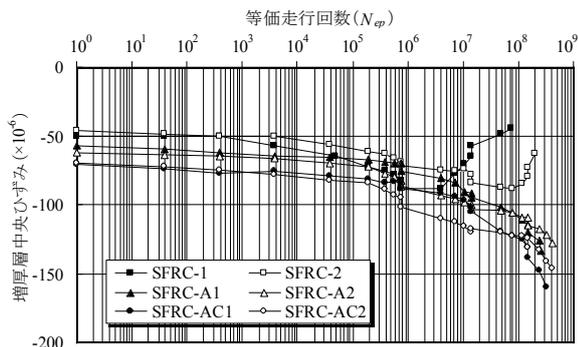


図-7 増厚層のひずみと等価走行回数  
の関係

始したものと考えられる。終局時のひずみは、 $-5.3 \times 10^6$  となった。供試体 SFRC-2 も同様な増加傾向を示しており、等価走行回数  $80.449 \times 10^6$  付近の圧縮ひずみの最大値は  $-72 \times 10^6$  となった。その後、走行回数の増加に伴いひずみが減少し、終局時での圧縮ひずみは、 $-56.8 \times 10^6$  となった。

次に、増厚層におけるひずみは、供試体 SFRC-1 の場合、増厚界面のひずみと同様に等価走行回数  $7.728 \times 10^5$  付近までは増加し、圧縮ひずみは  $-90 \times 10^6$  程度である。その後、等価走行回数  $40.565 \times 10^6$  付近から、ひずみが減少し始めた。終局時では、初期荷重載荷時とほぼ同等な  $-40 \times 10^6$  程度となった。供試体 SFRC-2 は、等価走行回数  $80.449 \times 10^6$  付近まで圧縮ひずみが上昇し、 $-88 \times 10^6$  程度であり、その後の走行からひずみが減少し始め、終局時のひずみは  $-62 \times 10^6$  である。

したがって、増厚界面および増厚層内のひずみの関係より、SFRC 上面増厚補強法においては、かなり早い段階で、既存床版と増厚界面ではく離が生じるものと考えられる。

### (2) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版

接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版の増厚界面のコンクリートでは、供試体 SFRC-A1 の場合、荷重の増加と繰り返し走行に伴って終局時までひずみは増加し、終局時のひずみは  $-90 \times 10^6$  である。打継目を設けた供試体 SFRC-A2 では、等価走行回数  $7.728 \times 10^5$  付近から供試

体 SFRC-A1 に比してひずみが大幅に増加し始め、終局時のひずみは  $-110 \times 10^6$  となった。

次に、増厚層におけるひずみは供試体 SFRC-A1, A2 は、同様な増加傾向を示しており、終局時まで圧縮ひずみは増加している。終局時における増厚層のひずみは供試体 SFRC-A1 で  $-129 \times 10^6$ 、供試体 SFRC-A2 で  $-128 \times 10^6$  である。

したがって、増厚界面に接着剤を塗布することにより、増厚界面および増厚層のひずみは、等価走行回数の増加とともに増加することから、増厚界面と増厚層との付着性が確保されているものと考えられる。

### (3) 接着剤とCFRP格子筋を併用したSFRC上面増厚RC床版

接着剤と CFRP 格子筋を併用して SFRC 上面増厚補強した RC 床版における増厚界面のひずみは、初期値は異なるものの接着剤を塗布した供試体と同様な増加傾向を示している。終局時のひずみは、供試体 SFRC-CF1 が等価走行回数  $33.087 \times 10^7$  回で  $-110 \times 10^6$ 、供試体 SFRC-CF2 は等価走行回数  $51.477 \times 10^7$  回で  $-120 \times 10^6$  となった。

次に、増厚層のひずみも全面増厚した供試体および打継目を設けた供試体ともに接着剤を塗布した供試体同様に終局時まで増加している。終局時のひずみは、供試体 SFRC-AC1 で  $-160 \times 10^6$ 、供試体 SFRC-AC2 で  $-154 \times 10^6$  となった。したがって、増厚界面に接着剤と CFRP 格子筋を併用したことにより、付着効果が高まるとともにはく離が防止され、圧縮ひずみが増加したものと考えられる。

以上より、従来型の SFRC 上面増厚補強法においては、全面増厚した供試体および打継目を設けた供試体ともに増厚界面ではく離の影響が見られる。また、増厚界面に接着剤を塗布した供試体および接着剤と CFRP 格子筋を併用した上面増厚 RC 床版供試体は、いずれも増厚界面が接着剤の塗布および CFRP 格子筋配置の効果により、使用限界内ではく離が生じないものと考えられる。

## 6. RC床版およびCFS補強RC床版の耐疲労性

### 6.1 RC床版のはり幅を考慮した押し抜きせん断耐荷力

松井らははり幅を考慮した押し抜きせん断力学モデルを図-8のように提案し、押し抜きせん断耐荷力を式(3)として与えている<sup>15)</sup>。この押し抜きせん断耐荷力式は、大阪大学のクランク式鉄輪の実験結果に基づく実験式であり、輪荷重走行によって発生する主鉄筋の貫通ひび割れによって形成されるはり状化された幅  $B$  のせん断耐荷力を算定する式とし、はり幅  $B$  は載荷ブロック走行方向の幅  $b$  が下側配力筋鉄筋の有効高さ  $d_s$  まで  $45^\circ$  で分布するものとして与えられている。

$$P_{sx} = 2B(\tau_{s \max} \cdot X_m + \sigma_{t \max} \cdot C_m) \quad (3)$$

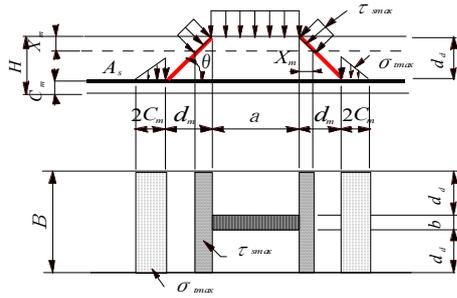


図-8 RC床版のはり幅を考慮した押抜きせん断力学モデル

$$B = b + 2d_d$$

$$\tau_{s\max} = 0.252f_c - 0.00251f_c^2 \quad (3.1)$$

$$\sigma_{t\max} = 0.269f_c^{2/3} \quad (3.2)$$

ここで、 $B$ ：はりの幅(mm)、 $b$ ：輪荷重の軸方向の辺長、 $X_m$ ：主鉄筋方向の中立軸の位置(mm)、 $C_m$ ：引張主鉄筋のかぶり、 $d_d$ ：配力筋の有効高さ、 $\tau_{s\max}$ ：コンクリートのせん断強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $\sigma_{t\max}$ ：コンクリートの引張強度(N/mm<sup>2</sup>)、 $f_c$ ：コンクリートの圧縮強度(N/mm<sup>2</sup>)

式(3)における輪荷重の軸直角方向の辺長  $a$  は、輪荷重幅 250mm とし、破壊時における軸方向の辺長  $b$  は 50mm である。また、RC 床版の場合の配力筋の有効高さ  $d_d$  は 95mm、引張主鉄筋のかぶり  $C_m$  は 25mm である。また、SFRC 上面増厚補強 RC 床版供試体は、既存 RC 床版が 120mm、上面増厚が 40mm であり、全床版厚は 160mm である。したがって、RC 床版の場合の配力筋の有効高さ  $d_d$  は 125mm、引張主鉄筋のかぶり  $C_m$  は 25mm である。コンクリートのせん断強度  $\tau_{s\max}$  およびコンクリートの引張強度  $\sigma_{t\max}$  は表-2 に示した材料特性値を適用し、式(3.1)、(3.2)より算出した。なお、RC 床版供試体の圧縮強度は 2 供試体の平均圧縮強度とした。SFRC の圧縮強度は、コンクリート床版部と同様の圧縮強度を適用する。よって、はり幅を考慮した RC 床版の押抜きせん断耐力は、供試体 RC-1 の場合が 117.0kN、供試体 RC-2 の場合は 120.4kN となる。また、SFRC 上面増厚補強 RC 床版の押抜きせん断耐力は 154.0kN となった。

## 6.2 RC床版のS-N線図

RC 床版に関する耐疲労性能評価方法には、S-N 曲線<sup>12)</sup> が用いられている。RC 床版は、輪荷重の走行により貫通ひび割れとなり、はりが並べられた状態、すなわちはり状化となる。そこで、松井らは、はり状化した場合の押抜きせん断耐力  $P_{sx}$  評価式を提案し、輪荷重走行疲労実験における最大作用荷重  $P$  をはり状化した押抜きせん断耐力  $P_{sx}$  で除して無次元化した  $S$  を縦軸としている<sup>12),15)</sup>。ここで、松井らが提案するはり状化した RC 床版の S-N 曲線を図-9 として示し、RC 床版の S-N 曲線

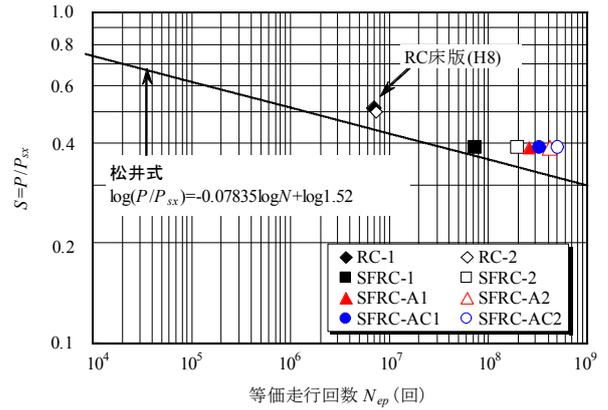


図-9 RC床版供試体およびSFRC 上面増厚RC床版のS-N 曲線

式は式(2)として与えられている。

松井式<sup>12)</sup>

$$\log(P/P_{sx}) = -0.07835 \log N + \log 1.52 \quad (2)$$

ここに、 $P$ ：基準荷重、 $P_{sx}$ ：はり幅  $B$  の押抜きせん断耐力、 $N$ ：繰返し回数

## 6.3 RC床版、SFRC上面増厚RC床版のS-N曲線

本研究における RC 床版供試体および SFRC 上面増厚 RC 床版の S-N の関係を図-9 に示す。

RC 床版は、図-9 に示すように、縦軸の  $S$  は 0.513 となり、横軸の  $N$  は表-6 に示す等価走行回数  $N_{ep}$  を適用すると、昭和 39 年代の設計基準<sup>6)</sup>を対象とした松井らが提案する RC 床版の S-N 曲線<sup>12)</sup>を上回っている。これは、本供試体は平成 8 年の道示<sup>13)</sup>に基づいて設計した RC 床版供試体であり、また、本実験は乾燥状態で行ったためである。

SFRC 上面増厚 RC 床版、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版および接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版の  $S$  は 0.389 となり、各々の等価走行回数  $N_{ep}$  を適用した場合、全ての SFRC 増厚供試体において松井式を上回り、耐疲労性が向上した。したがって、現在実施されている各等道府県の橋梁の長寿命化対策における道路橋 RC 床版の補強法には、SFRC 上面増厚補強法は有効な補修・補強法である。

## 7. まとめ

本論文の結果より明らかになったことをまとめると以下ようになる。

- ① RC 床版供試体の等価走行回数に比して、SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は 10 倍、打継目を設けた SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は 28 倍の等価走行回数となった。また、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体では、全面増厚した供試体は RC 床版の 37 倍、打継目

を設けた供試体は 58 倍となり、接着剤を塗布することにより耐疲労性が向上した。さらに、接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は、接着剤による合成効果と CFRP 格子筋による応力分担効果により、耐疲労性がより向上した。

②破壊状況は、RC 床版および SFRC 上面増厚 RC 床版、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版および接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は等価走行回数が異なるものの下面の破壊状況はほぼ同一であり、全ての供試体で押抜きせん断破壊となった。また、SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は、RC 床版と増厚部の界面にはく離が見られる。これに対して、接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は全面および打継目を設けた供試体ともにはく離はみられない。したがって、重荷重が作用する交通量の多い道路橋 RC 床版の補修・補強には接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚補強法を採用することで耐疲労性が向上するものと考えられる。

③たわみと等価走行回数との関係では、RC 床版および SFRC 上面増厚 RC 床版の場合、床版支間 L の 1/400 (3mm) を超えた付近、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版および接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版の場合、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する。したがって、たわみの増加傾向から判断すると、RC 床版および増厚 RC 床版両方を許容した、たわみが床版支間 L の 1/400 (3mm) を超えた付近で RC 床版は補修・補強を施す必要があると考えられる。

④鉄筋のひずみと等価走行回数との関係では、たわみが 3mm を超えた付近では、ひずみが  $1500 \times 10^{-6}$  程度であり、軸直角方向および軸方向ともに弾性限度内であることから鉄筋が降伏する前のこの時点で再補修が必要であると考慮される。

⑤増厚界面および増厚層内のひずみと等価走行回数との関係では、従来型の SFRC 上面増厚補強法は早い段階で圧縮ひずみが減少していることから、輪荷重の走行により増厚界面ではく離が生じるものと考えられる。接着剤の塗布および接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚補強法は増厚界面が接着剤の合成効果および CFRP 格子筋のひび割れ抑制効果により合成効果が高まって、耐疲労性が向上した。

⑥ SFRC 上面増厚 RC 床版、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版および接着剤と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体ともに、松井式の S-N 曲線を上回り、耐疲労性の向上が得られたことから、橋梁の長寿命化対策における道路橋 RC 床版の補強には、SFRC 上面増厚補強法は有効な補修・補強法であると言える。

## 参考文献

- 1) 山田健太郎：重交通下における鋼床版の疲労損傷，土木学会第 10 回鋼構造と橋梁に関するシンポジウム，2007
- 2) 内田賢一，西川和廣：既存道路橋床版の疲労耐久性に関する検討，第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集，土木学会，pp.37-42，1998
- 3) 三田村浩，佐藤京，本田幸一，松井繁之：道路橋 RC 床版上面の凍害劣化と疲労寿命への影響，構造工学論文集 Vol.55A，pp.1420-1431，2009
- 4) 新銀武，鈴木大輔，出戸秀明，岩崎正二：積雪寒冷地の塩化物供給を考慮した RC 床版の寿命診断，土木学会第 62 回年次学術講演会，pp.449-450，2007
- 5) (財) 高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル，1995
- 6) 西川和廣：SFRC による鋼床版舗装—鋼とコンクリートの新しい関係—，橋梁と基礎，pp.84-87，2005
- 7) 児玉孝喜，後藤和満，加形護，近藤充志：供用下における SFRC による鋼床版の疲労対策，橋梁と基礎，pp.30-38，2006
- 8) 児玉孝喜，緑川和由，玉越隆史，村越潤，山本洋司，一瀬八洋，大田孝二：大平高架橋の鋼床版における SFRC 舗装によるひずみ低減効果，第 6 回道路橋床版シンポジウム論文報告集（土木学会），pp.111-120，2008
- 9) 宮崎和彦，西川和廣，内田賢一，松尾伸二：上面増厚および鋼板接着工法で補強した RC 床版の疲労耐久性に関する検討，第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集（土木学会），pp.293-298，1998
- 10) 財団法人土木研究センター：超早強コンクリート利用技術マニュアル，2000
- 11) 小野秀一，牛越裕幸，下里哲弘，稲葉尚文，富田芳男：鋼構造補強コンクリートを敷設した鋼床版の水浸輪荷重疲労試験，土木学会第 62 回年次学術講演会，pp.57-58，2007
- 12) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007
- 13) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説 I，II，III，2004
- 14) 土木学会：道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上，(社) 土木学会/鋼構造委員会，2004
- 15) 前田幸雄，松井繁之：鉄筋コンクリート床版の押抜きせん断耐荷力の評価式，土木学会論文集，第 348 号，V-1，pp.133-141，1984
- 16) 日本道路橋会：鋼道路橋設計示方書，1964  
(2009 年 9 月 24 日受付)