

## SFRC上面増厚補強RC床版の耐疲労性の評価

阿部 忠（日大生産工）、木田哲量（日大生産工）、  
澤野利章（日大生産工）、高野真希子（P.D）

### 1. はじめに

1960年代に建設された道路橋RC床版は、交通量の増大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と冬期間の凍害を受け、RC床版の劣化が急速に進んでいる<sup>3),4)</sup>。これらのRC床版の劣化に対する補強法には、ひび割れの抑制や耐力および耐疲労性の向上を目的とした炭素繊維シート（以下、CFSとする）やアラミドシートを用いた底面接着工法がある<sup>5),6)</sup>。また、疲労劣化や塩害および凍害を受けたRC床版の上面劣化に対しては、鋼繊維を混入したコンクリート（以下、鋼繊維補強コンクリート：SFRCとする）を用いたSFRC上面増厚補強法が採用されている<sup>7),8)</sup>。CFSやアラミドシートを用いた補修・補強法は比較的新しい補強法であることから、多くの研究機関や研究者によって力学特性や耐疲労性が評価されている。一方、SFRC上面増厚補強法は1985年頃に採用された工法であり、耐力や耐疲労性についてはあまり評価されていない。また、施工実績が少ないことから、その後の損傷状況の検証もあまり行われていないのが現状である。しかし最近では道路橋RC床版の劣化が急速に進んでいることから、都道府県で実施されている道路橋RC床版の長寿命化対策においてSFRC上面増厚補強法は重要な補強法の1つであると考えられる。

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、SFRCにより増厚補強した供試体の耐疲労性を検証・評価する。SFRC上面増厚供試体は、実施工を想定して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（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について検証した。

### 2. 実橋RC床版の損傷状況

#### 2.1 既往のRC床版劣化状況

道路橋RC床版は、大型車両の走行による疲労劣化が生じるとともに、積雪寒冷地域では、凍結防止剤の散布

による塩害および夜間や冬期間に凍害を受け、RC床版の劣化が年々増加している。ここで、塩害と凍害を受けた道路橋RC床版の劣化状況およびSFRC上面増厚補強したRC床版の損傷状況の一例を写真-1, 2に示す。写真-1は、積雪寒冷地域のRC床版で、塩害と凍害を受けたことにより、スケーリングや砂利化が生じ、鉄筋が露出している。このRC床版は、昭和31年制定の「鋼道路橋設計示方書」の規定に基づいて設計されたRC床版である。したがって、RC床版とアスファルト舗装との界面には、雨水の浸入に対する予防保全がなされていない床版である。次に、写真-2は、実橋RC床版をSFRC上面増厚補強した床版の損傷状況である。写真-2, 1)は、橋軸直角方向の切断面である。また、写真-2, 2)は橋軸方向の切断面である。両切断面ともに増厚界面ではく離している。なお、使用鉄筋はφ13mmである。この床版は写真-1と同様に昭和30年代の示方書に基づいて設計されたRC床版であり、1962年から2008年まで、約46年間供用されたトラス橋のRC床版である。補強は1985年にSFRC上面増厚が施され、その後、RC床版と増厚部の界面にはく離が生じるなどの損傷がみられ、1995年に部分補修が施され、健全であった期間は10年間であった。なお、再補修が施されない床版は約23年間供用されたが、増厚界面ではく離が生じていた。

以上のように、RC床版の劣化は年々増加しており、



1)凍害による鉄筋の露出<sup>3)</sup> 2)凍害による砂利化  
写真-1 塩害・凍害劣化したRC床版の損傷状況

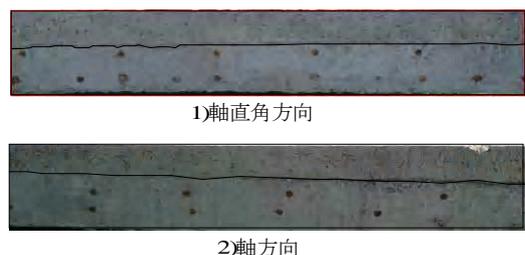


写真-2 SFRC上面増厚補強RC床版（銚子大橋）

早期に補修・補強を施す必要があると考えられる。また、既に補修・補強が施された RC 床版においても再補修を必要とする時期が押し迫っているものと考えられる。

## 2.2 RC床版上面劣化に対する補修・補強法

RC 床版の上面劣化による耐荷力および耐疲労性の向上を目的とした補強法には、短時間で施工可能な SFRC 上面増厚補強法が採用されてきた。しかし、SFRC 上面増厚補強法は、増厚層に発生したひび割れや打継面などから雨水が浸透するために、RC 床版部と SFRC 上面増厚との界面ではく離が生じ、さらには砂利化となり、10 年ほどで再補修が必要となっている。したがって、輪荷重走行疲労実験では、実橋 RC 床版の再補修時期を想定した耐疲労性を評価する必要がある。そこで本研究では、従来型の SFRC 上面増厚補強法、RC 床版部と増厚部との界面に接着剤を塗布した SFRC 上面増厚補強法、および、RC 床版部と増厚層に接着剤の塗布と増厚層に CFRP 格子筋を配置して SFRC 上面増厚補強した RC 床版の輪荷重走行疲労実験を行って耐疲労性を評価する。

## 3. 使用材料・寸法および補強方法

### 3.1 使用材料

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。RC 床版部に用いたコンクリートの材料特性値を表-1に示す。また、鉄筋は SD295A, D10 を使用し、その材料特性値を表-1に併記した。次に、上面増厚コンクリートには、SFRC を用いた。SFRC の設計基準強度は、材齢 3 時間で 24N/mm<sup>2</sup> とした。その配合条件は、超速硬セメントと最大寸法 15mm の粗骨材および長さ 30mm の鋼繊維を混入量 100kg/m<sup>3</sup> (1.27vol.%) で配合した。本供試体に用いた SFRC の圧縮強度は、上面増厚後の養生 3 時間で、26.9N/mm<sup>2</sup> である。なお、SFRC の材料特性値を表-1に併記した。また、SFRC と RC 床版との界面には付着性を高めるために接着剤<sup>10)</sup>を用いた。接着剤の材料特性値は圧縮強さが 50N/mm<sup>2</sup> 以上、曲げ強さが 35N/mm<sup>2</sup> 以上、付着強さは 1.6N/mm<sup>2</sup> である。次に、RC 床版と増厚の界面に付着性能を高めるために、接着剤と連続繊維を樹脂で格子状に一体成型した CFRP 格子筋を用いた。

CFRP 格子筋の材料特性値は、引張強度 1400N/mm<sup>2</sup>、引張弾性率 100kN/mm<sup>2</sup> である。

### 3.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体の床版厚は、道路橋示方書・同解説（以下、道示とする。）II<sup>11)</sup>の規定に基づいて、大型自動車の1日1方向あたりの計画交通量 2000 台以上を想定して決定した。供試体は、道示IIに規定する T 荷重分布幅 500mm に対して、本実験装置の輪荷重幅は 250mm であることから 1/2 モデルとした。また、RC 床版供試体は、輪荷重走行による変形量を拘束することが無い4辺単純支持とし、供試体は正方形版とした。耐疲労性を評価する場合の基準となる RC 床版の供試体の寸法は、支間長 1200mm、供試体の張出し部 135mm の全長 1470mm である。鉄筋は引張側の軸直角方向および軸方向に D10 を 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。

SFRC 上面増厚補強した RC 床版供試体は、RC 床版上面を 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、それぞれ 135mm、125mm である。ここで、供試体概要を表-1に併記し、供試体の寸法・鉄筋の配置および上面増厚に関する寸法を図-1に示す。

### 3.3 増厚供試体の施工方法

SFRC 上面増厚補強法は、施工条件・交通規制の制約により、全面通行止めが可能な場合は床版上面を全面増厚する補強法が取られている。また、全面通行止めが不可能な場合は、車線ごとに増厚する補強法が取られており、一般的には車線ごとに上面増厚する補強法が採用されている。車線ごとに増厚補強する場合は、第 1 車線側（走行車線）の増厚を行った後に規制を切替えて、第 2 車線側（追越車線）の増厚補強を行う。この場合は、第 1 車線と第 2 車線の間の打継目が設けられることから、この打継目から雨水が浸透するために早期に RC 床版部と増厚部の界面はく離が生じ、耐疲労性に影響を及ぼす懸念がある。そこで、本実験に用いる供試体は、RC 床版上面を全面増厚した供試体と、走行方向に 2 度に分けて上面増厚を行い、打継目を設けた供試体の 2 タイプを

表-1 材料特性値および供試体概要

供試体	コンクリート圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>		鉄筋 (SD295A)				床版厚 mm	有効高		1m <sup>2</sup> 当たりの鉄筋量	
	RC床版	SFRC	使用鉄筋	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>		主鉄筋 mm	配力筋 mm	引張鉄筋 A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )	圧縮鉄筋 A' <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )
		材令					圧縮強度				
RC-1	32.0	—	D10	368	516	200	130	105	95	713	356
RC-2	35.0	—	D10	370	511	200	130	105	95		
RC.S-1	35.0	3時間 : 26.9 4日 : 44.0 7日 : 51.6 28日 : 55.4 56日 : 58.1	D10	370	511	200	160	135	125		
RC.S-2	35.0		D10	370	511	200	161	136	126		
RC.S-A1	35.0		D10	370	511	200	160	135	125		
RC.S-A2	35.0		D10	370	511	200	162	137	127		
RC.S-CA1	35.0		D10	370	511	200	157	132	122		
RC.S-CA2	35.0		D10	370	511	200	158	133	123		

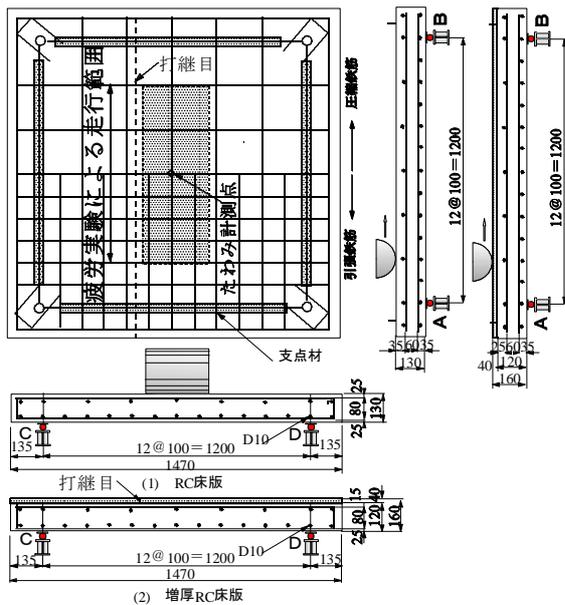


図-1 RC床版およびSFRC上面増厚RC床版供試体寸法

製作した。本供試体の打継目は輪荷重走行実験の車輪から30mm外側とした。すなわち、図-1に示す左支点Cから445mmの位置の軸方向に打継目を設け、右支点Dから775mmの位置にSFRCを打込み、その後に残りの445mmを打込みした。また、従来からRC床版上面にSFRCを直接増厚する補強法は、施工後10年前後で増厚界面がはく離した事例もある。そこで本研究では、従来型のSFRC上面増厚補強と、RC床版とSFRC上面増厚界面の合成効果を高め耐疲労性を向上させるために、増厚界面に接着剤を塗布したSFRC上面増厚補強および接着剤の塗布とSFRC増厚層にCFRP格子筋を用いたSFRC上面増厚補強法についても検討した。ここで、本実験における各上面増厚補強法の施工手順を図-2に示す。

#### (1) 従来型のSFRC上面増厚供試体の施工法

従来型のSFRC上面増厚供試体の製作方法は図-2(1)

に示すように、RC床版供試体を平面状に設置し、切削機を用いてRC床版上面を10mm切削した。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150kg/m<sup>2</sup>で表面を仕上げた。その後、SFRCを40mm増厚した。本研究では、全面増厚と打継目を設けた2タイプを製作した。従来型のSFRC上面増厚補強法における全面増厚供試体の記号をRC.S-1、打継目を設けた供試体の記号をRC.S-2とする。

#### (2) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚供試体の施工法

増厚界面に接着剤の塗布し、SFRC上面増厚補強した供試体は、基本的には従来型のSFRC上面増厚補強法と同様であるが、図-2(2)に示すように、RC床版とSFRC上面増厚との界面に付着性を高めるためにエポキシ系の接着剤を厚さ1mm塗布し、SFRCを40mm増厚した。接着剤を塗布して全面増厚した供試体の記号をRC.S-A1、打継目を設けた供試体の記号をRC.S-A2とする。

#### (3) 接着剤の塗布とCFRP格子筋を併用したSFRC上面増厚供試体の施工法

増厚界面に接着剤の塗布とSFRC増厚層内にCFRP格子筋を配置した供試体は図-2(3)に示すように、基本的には接着剤を塗布したSFRC上面増厚供試体の製作方法と同様であるが、SFRC上面増厚層10mmの位置にCFRP格子筋を配置し、その上に30mmSFRCを上面増厚した。増厚界面に接着剤の塗布とCFRP格子筋を併用した全面増厚供試体の記号をRC.S-CA1、打継目を設けた供試体の記号をRC.S-CA2とする。

### 4. 輪荷重走行疲労実験方法および等価走行回数

#### 4.1 輪荷重走行疲労実験方法

輪荷重走行疲労実験は、RC床版およびSFRC上面増厚RC床版ともに床版中央から両支点方向に450mm(走行範囲:900mm)の範囲に輪荷重(幅250mm)を繰返し走行させる実験である。

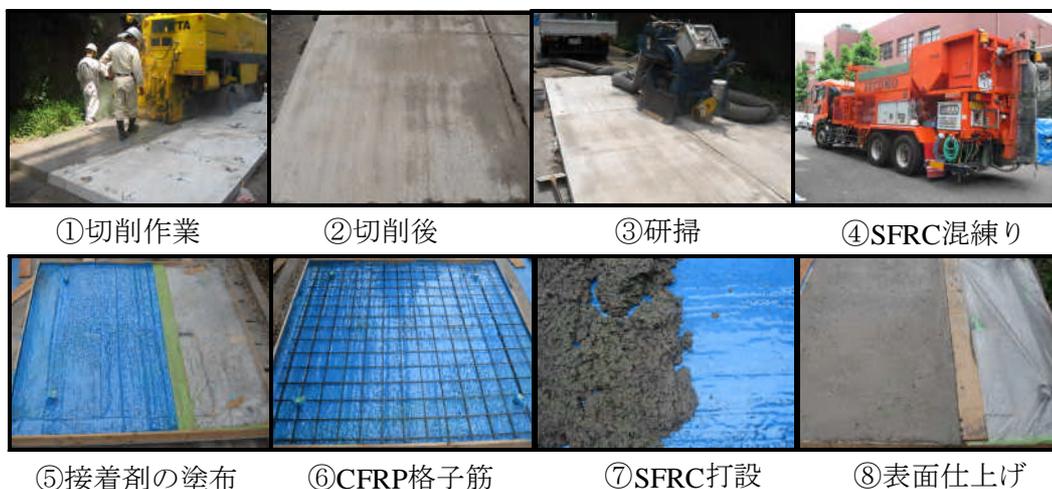


写真-3 SFRC上面増厚RC床版供試体の作成状況

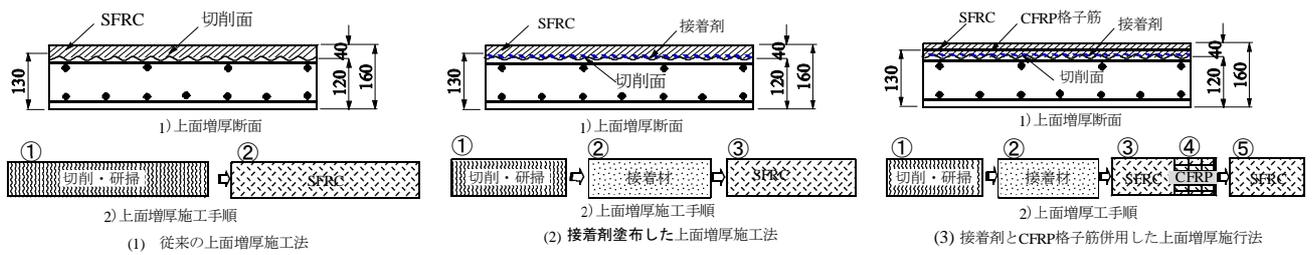


図-2 SFRC 上面増厚施工手順

本供試体の寸法は、輪荷重の幅が道示 I に規定する T 荷重の接地幅の 1/2 であることから、本供試体も 1/2 モデルとした。よって、設計活荷重は 50kN であり、これに安全率 1.2 を考慮した 60kN が設計荷重となる。そこで、RC 床版供試体 RC-1 の初期走行荷重 60kN、供試体 RC-2 は 80kN から走行を開始した。実験方法は、RC 床版中央に輪荷重を停止し、静的に荷重を初期走行荷重まで 10kN ごとに増加し、初期走行荷重までのたわみを計測する。その後、2 万回走行ごとに荷重を 20kN ずつ増加させ、荷重 100kN 以降は 2 万回走行ごとに荷重を 10kN ずつ増加する。計測は輪荷重走行 1, 10, 100, 1000, 5000 回および 5000 回以降は 5000 回走行ごとにたわみを計測する。

次に、SFRC 上面増厚補強した RC 床版供試体は、RC 床版を 10mm 切削し、SFRC を 40mm 増厚補強したことから床版全厚は 160mm となり、RC 床版に比して耐力力が向上する。そこで、SFRC 上面増厚 RC 床版の初期荷重を 80kN とし、2 万回走行ごとに荷重を 20kN 増加する。荷重 120kN 以降は 2 万回走行ごとに荷重を 10kN ずつ増加し、供試体が破壊するまで荷重増加と走行を繰り返す。

#### 4.2 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する段階荷重載荷としたことから等価走行回数を算出して耐疲労性を評価する。等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。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 の一定荷重載荷として等価走行回数を算出する。本研究は SFRC 上面増厚補強法の耐疲労性の検証であることから、RC 床版の S-N 曲線を基準とする。したがって、S-N 曲線の傾きの逆数  $m$  は松井らが提案する S-N 曲線の傾きの逆数 12.7 を適用する<sup>12)</sup>。

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

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)、 $m$ ：S-N 曲線の傾きの逆数(= 12.7)

### 5. 実験結果および考察

#### 5.1 実験走行回数および等価走行回数

本実験における RC 床版、SFRC 上面増厚 RC 床版の等価走行回数の算定結果を表-3に示す。

##### (1) RC床版

RC 床版供試体 RC-1 の実験走行回数は、荷重 60kN および 80kN で 2 万回走行し、その後荷重 100kN で 9,392 回走行後に破壊となり、等価走行回数は  $6.96 \times 10^6$  回である。また、供試体 RC-2 は荷重 80kN で 2 万回走行し、荷重 100kN で 10,010 回走行後に破壊となり、等価走行回数は  $7.34 \times 10^6$  回である。よって、RC 床版供試体の平均等価走行回数は  $7.15 \times 10^6$  回とである。

##### (2) 従来型のSFRC上面増厚供試体

SFRC を全面増厚補強した RC 床版供試体 RC.S-1 は、荷重 80kN、100kN で 2 万回走行し、荷重 120kN で 9,026 回走行した。等価走行回数は  $73.97 \times 10^6$  回である。また、輪荷重走行位置から 3cm 離れた位置に打継目を設けた供試体 RC.S-2 は、荷重 80kN から 120kN で 2 万回走行し、荷重 130kN で 2,907 回走行した後に破壊となった。等価走行回数は  $200.47 \times 10^6$  回である。RC 床版供試体の平均等価走行回数と従来型の SFRC 上面増厚供試体を比較すると、全面増厚した供試体 RC.S-1 が 10.3 倍、打継目を設けた供試体 RC.S-2 が 28.0 倍となった。したがって、従来型の SFRC 上面増厚補強法も耐疲労性が向上する結果となった。

##### (2) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚供試体

接着剤を塗布し全面増厚した供試体 RC.S-A1 は、荷重 80kN から 120kN まで 2 万回走行し、荷重 130kN で 6,214 回走行した。等価走行回数は  $261.28 \times 10^6$  回である。また、打継目を設けた供試体 RC.S-A2 は荷重 80kN から 120kN まで 2 万回走行し、荷重 130kN で 17,630 回走行し、等価走行回数は  $416.04 \times 10^6$  回である。RC 床版供試体の平均等価走行回数と増厚面に接着剤を塗布した供試体と比較すると、全面増厚した供試体 RC.S-A1 は 36.5 倍、打継目を設けた供試体 RC.S-A2 は 58.1 倍となった。また、従来型の SFRC 上面増厚 RC 床版供試体と比較すると全面増厚した供試体が 3.5 倍、打継目を設けた供試体が 2.1 倍となった。したがって、増厚界面に接着剤を塗布することで従来型の SFRC 上面増厚補強法に比して大幅に耐疲労性が向上する結果となった。

表-2 RC床版を対象としたSFRC上面増厚補強床版の等価繰返走行回数

供試体		荷 重				等価走行回数 合計	平均等価走行 回数 (回)	走行回 数比
		60 kN	80 kN	100 kN	120 kN			
RC-1	実験回数	20,000	20,000	9,392			7,155,596	—
	等価走行回数	21,011	772,278	6,190,987		6,963,265		
RC-2	実験回数		20,000	10,010			7,347,928	
	等価走行回数		772,664	6,575,264				
RC.S-1	実験回数		20,000	20,000	9,026		73,976,114	10.3
	等価走行回数		772,664	13,138,047	60,065,402			
RC.S-2	実験回数		20,000	20,000	2,907		200,472,205	28.0
	等価走行回数		772,664	13,138,048	133,086,087	53,475,407		
RC.S-A1	実験回数		20,000	20,000	20,000	6,214	261,284,849	36.5
	等価走行回数		772,664	13,138,048	133,086,087	114,288,051		
RC.S-A2	実験回数		20,000	20,000	20,000	14,630	416,047,237	58.1
	等価走行回数		772,664	13,138,048	133,086,087	269,050,438.8		
RC.S-CA1	実験回数		20,000	20,000	20,000	10,120	333,112,545	46.6
	等価走行回数		772,664	13,138,048	133,086,087	186,115,746		
RC.S-CA2	実験回数		20,000	20,000	20,000	19,288	501,703,511	70.1
	等価走行回数		772,664	13,138,048	133,086,087	354,706,713		

(3) 接着剤の塗布とCFRP格子筋を併用したSFRC上面増厚供試体

接着剤とCFRP格子筋を併用して全面増厚した供試体RC.S-CA1は、荷重80kNから120kNまで2万回走行し、荷重130kNで14,630回走行した。よって、等価走行回数は $333.11 \times 10^6$ である。打継目を設けた供試体RC.S-CA2は荷重80kNから120kNまで2万回走行し、荷重130kNで19,288回走行後、破壊となった。等価走行回数は $501.70 \times 10^6$ 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、全面増厚した供試体RC.S-CA1が46.6倍、打継目を設けた供試体RC.S-CA2が70.1倍である。また、従来型の上面増厚RC床版と比較すると、全面増厚した供試体が4.5倍、打継目を設けた供試体が2.5倍となった。次に、接着剤を塗布して全面増厚した供試体と比較すると1.27倍、打継目を設けた供試体は1.20倍となった。したがって、接着剤の塗布とCFRP格子筋を併用した増厚補強法は、耐疲労性に優れた補強法であることが実証された。なお、接着剤とCFRP格子筋を併用した上面増厚補強法は、本実験ではCFRP格子筋を圧縮域に配置して実験を行ったが、本来は連続床版部の負の領域、すなわち床版の支点上増厚部ではCFRPの高引張力が有効に活用できることから、より耐久性を向上させることも可能である。

5.2 たわみと等価走行回数の関係

RC床版供試体および上面増厚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-3に示す。

(1) 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が上昇し、等価走行回数が $0.74 \times 10^6$ 回付近のたわみは2.8mmであり、その後の走行でたわみが急激に増加し、等価走行回数 $4.07 \times 10^6$ 回付近のたわみは3.36mmである。終局時は、供試体RC-1が等価走行回数 $6.96 \times 10^6$ 回でたわみは7.91mmである。また、供試体RC-2は、等価走行回数が $7.34 \times 10^6$ 回でたわみは6.86mmである。本実験の場合はたわみが3.0mm、すなわち、たわみが床版支間Lの1/400に達した場合を補修時期と見なすこ

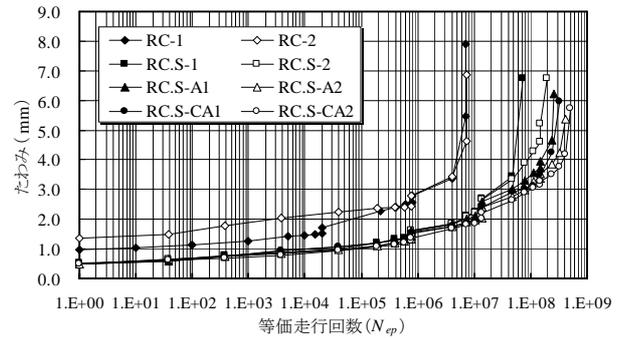


図-3 たわみと等価走行回数の関係

とができる。

(2) 従来型のSFRC上面増厚供試体

床版上面をSFRCで直接増厚した供試体RC.S-1は、等価走行回数 $13.91 \times 10^6$ 回でたわみが2.69mmであり、その後のたわみの増加が著しく、等価走行回数 $47.18 \times 10^6$ 付近でのたわみは3.3mmである。その後、急激にたわみが増加し、等価走行回数 $73.97 \times 10^6$ 回でたわみは6.75mmである。また、供試体RC.SF-2は輪荷重走行位置から30mm離れた位置に打継目を設けた供試体であるが、等価走行回数が $13.91 \times 10^6$ 回でたわみが2.26mmとなり、打継目を設けたことによるたわみの増加は見られない。たわみが3mmを超えた後も、等価走行回数 $147.09 \times 10^6$ 回付近までわずかに増加し、その後の走行でたわみが急激に増加し、破壊に至っている。終局時のたわみは等価走行回数 $200.47 \times 10^6$ 回で、6.72mmである。たわみと等価走行回数の関係より、SFRC上面増厚補強した場合は、RC床版同様にたわみが3mm、すなわち床版支間Lの1/400に達した付近が再補修時期と見なすことができる。

(3) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚供試体

接着剤を塗布し、全面増厚した供試体RC.S-A1および打継目を設けた供試体RC.S-A2ともにたわみが3.0mmを超えた付近においても急激なたわみの増加は見られない。供試体RC.S-A1は等価走行回数 $147.01 \times 10^6$

回を超えた付近からたわみの増加が著しくなっている。また、打継目を設けた供試体 RC.S-A2 は等価走行回数  $330.1 \times 10^6$  回付近からたわみの増加が著しくなっている。しかし、従来型の SFRC 上面増厚補強に比して大幅に耐疲労性が向上している。たわみと等価走行回数の関係より、接着剤を塗布した SFRC 床版上面補強法は、たわみが 3.5mm 付近、すなわち床版支間  $L$  の  $1/350$  に達した付近が再補修時期と見なすことができる。

#### (4) 接着剤の塗布とCFRP格子筋を併用したSFRC上面増厚供試体

接着剤と CFRP 格子筋を併用した供試体 RC.S-CA1 は、等価走行回数が  $47.18 \times 10^6$  回を超えてもわずかにたわみが増加し、等価走行回数  $238.90 \times 10^6$  回後から急激にたわみが増加し、終局時のたわみは 5.94mm である。供試体 RC.S-C2 は、たわみが 3mm を超えた後も線形的に増加している。等価走行回数  $422.85 \times 10^6$  回を超えた後からたわみの増加が著しくなり、終局時のたわみは 4.36mm である。たわみと等価走行回数の関係より、接着剤の塗布と CFRP 格子筋を併用した SFRC 上面増厚補強法は、たわみが 3.5mm 付近、すなわち床版支間  $L$  の  $1/350$  に達した付近が 2 次補修時期と見なすことができる。

#### 7. まとめ

本研究は、劣化した RC 床版の上面増厚補強法による 3 パターンの SFRC 上面増厚補強供試体を用いて、輪荷重走行疲労実験を行い、耐疲労性を評価した。その結果、次のことを明らかにした。

① RC 床版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、打継目を網設けた 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、上面増厚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 床版は、RC 床版と増厚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見られない。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の関係では、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 床版供試体ともに床版支間の  $1/400$ 、本供試体の場合は 3mm 付近からたわみの増加が著しくなる。したがって、RC 床版はたわみが床版支間  $L$  の  $1/400$  に達した状況で補修・補強対策の検討が必要である。また、SFRC 上面増厚 RC 床版は、この時点で 2 次補修を施す必要があると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 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）
- 2) 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.
- 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，（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，2007.
- 5) 土木研究所：炭素繊維シート接着工法による道路橋コンクリート部材の補修・補強に関する設計・施工指針（案），コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告（Ⅲ）（1999）.
- 6) 三上浩，岸徳光，藤田学，澤田純之：鉄筋比の異なる AFRP シート下面接着 RC 版の押抜きせん断性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.28，No.2，pp. 1459-1464（2006）.
- 7) (社)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル，（1995）.
- 8) 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 2005-8，pp.84-87，（2005）
- 9) 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）
- 10) 児玉孝喜，後藤和満，加形護，近藤充志：併用下における SFRC による鋼床版の疲労対策：橋梁と基礎，pp.30-38，（2006）
- 11) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説 I，II，III，（2004）.
- 12) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，（2007）.