

## RC 床版上面に UFC パネルを接着する補強法の耐疲労性の評価

日大生産工(院) ○岡崎 清也 日大生産工 阿部 忠  
日大生産工 水口 和彦 太平洋セメント(株) 田中 敏嗣

### 1. はじめに

近年、道路橋 RC 床版は大型車両の繰り返し走行による疲労劣化や凍結防止剤による塩害と冬季間の凍害の複合劣化により床版上面はスケーリングや砂利化などの損傷が生じている。その対策として、RC 床版の上面の耐荷力・耐疲労性の向上を図るために鋼繊維補強コンクリート(以下、SFRC とする)による上面増厚補強法が採用されてきた。一方、コンクリート系材料では高強度を有する超高強度繊維補強コンクリート(以下、UFC とする)が開発されている<sup>1)</sup>。UFC は、セメント系材料に鋼繊維を混入したものであり、圧縮強度が  $200\text{N/mm}^2$  を有し、通常の高強度コンクリートに比べ、じん性にも優れた構造材料である。そこで本研究では、UFC パネル合成床版に用いた UFC パネル<sup>2)</sup>を RC 床版上面に接着する補強法(以下、UFC パネル上面接着補強法とする)を提案し、その耐疲労性の評価を行う。また、SFRC 上面増厚補強した RC 床版供試体についても同実験を行い、比較検討をすることにより道路橋 RC 床版の補強法としての実用性を評価する。

### 2. 使用材料および材料特性値

**2.1 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 5mm 以下の砕砂、5mm ~ 20mm の砕石を使用し、鉄筋は SD295A、D10 を使用した。また、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-1 に示す。

**2.2 SFRC** 上面増厚部には、SFRC を用いた。SFRC の設計基準強度は、材齢 3 時間で圧縮強度が  $24\text{N/mm}^2$  とする。セメントに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 の圧縮強度は材齢 3 時間で  $29.4\text{N/mm}^2$  であり、SFRC の配合を表-2 に示す。

**2.3 UFC パネル** UFC パネルに使用する材料は、水(W)、ポリカルボン酸系の高性能減水剤(SP)、プレミックス材料(DP、密度  $2.85\text{g/cm}^3$ )および鋼繊維を配合した。鋼繊維は、直径 0.2mm、長さ 15mm の鋼繊維(FM、密度  $7.85\text{g/cm}^3$ )を混入率 2.0Vol.%(100kg/m<sup>3</sup>)で配合した。プレミックス材料は、セメント、シリカフェーム、珪石粉末などが最密充填されるように

表-1 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 (N/mm <sup>2</sup> )
RC	35.0	370	511	200

表-2 SFRC の示方配合

スランブ (cm)	W/C (%)	S/a	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
			C	W	S	G	SF
6.5 ±1.5	39.5	51	430	170	851	858	100

表-3 UFC の示方配合

供試体	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
	W	SF	SP	PM
UFC	180	158	29	2250

配合されており、骨材としては粗骨材は用いず最大粒径 2mm の珪砂が混合されている。混和剤使用量は、目標フロー値を 240mm として決定し、その配合を表-3 に示す。なお、UFC の材料特性値は、圧縮強度  $219.4\text{N/mm}^2$ 、曲げ強度  $34.9\text{N/mm}^2$  である。

### 3. 供試体寸法および施工方法

**3.1 供試体寸法および鉄筋の配置** 供試体の寸法および鉄筋配置を図-1 に示す。RC 床版は、浮き上がり防止を設けない単純 4 辺単純支持とする。供試体は、道路橋示方書・同解説(以下、道示)<sup>3)</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 床版供試体の寸法は、床版支間長を 1200mm、供試体の張出部は 135mm とし、全長は 1470mm である。鉄筋の配置は複鉄筋配置とし、引張側の軸直角方向および軸方向ともに 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。ここで、RC 床版供試体記号を RC-1, 2 とする。

**3.2 SFRC 上面増厚補強の施工法**<sup>4)</sup> 施工法は、大型の切削機を用いて 10mm 切削し、その後、ショットブラスト機を用いて研掃(投射密度  $150\text{kg/m}^2$ )した。その後 SFRC を混練し、上面から 40mm 打込み、表面仕上げ(フロート、刷毛目仕上げ)し、SFRC 上面増

EVALUATION ON FATIGUE RESISTANCE OF THE REINFORCING Method  
FOR PASTING UP THE UFC PANEL ON THE RC SLAB

Seiya OKAZAKI, Tadashi ABE, Kazuhiko MINAKUCHI and Satoshi TANAKA

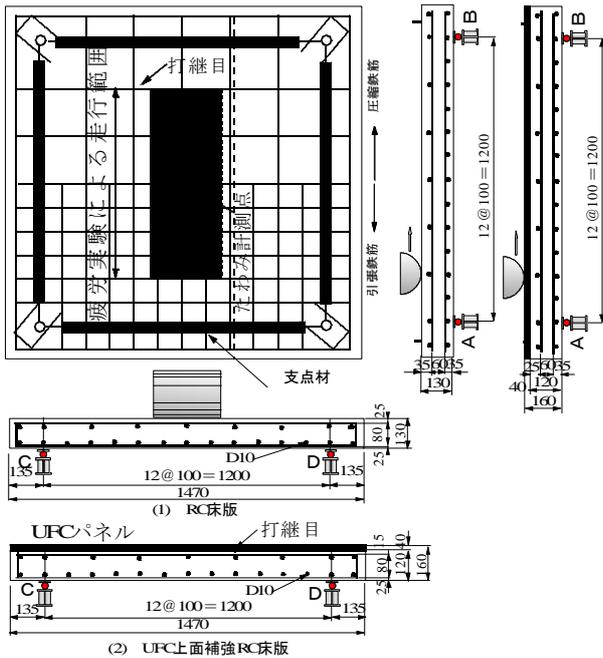


図-1 床版供試体の寸法

厚 RC 床版供試体の製作概略寸法を図-2(1)に示す。ここで、全面を増厚した供試体名称 RC.S-1、実施工を考慮して打継目を設けた供試体の記号を RC.S-2 とする。

**3.3 UFC パネル上面接着補強の施工法** RC 床版供試体の上面を切削機で 10mm 切削する。切削面は附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。次に、高さ調整(アンカーボルトによる打ち込み)を行い、同時に、UFC パネルに接着剤を塗布する。その後直ちに、高さ調整のアンカーボルトを UFC パネルに固定する。次に、UFC パネルと RC 床版を一体化するために無収縮モルタルを充填し、床版の全厚は 160mm とした。また、UFC パネルの付着面には凹凸を一様に設けた構造(P タイプ)<sup>9)</sup>とし、UFC パネル上面増厚 RC 床版供試体の製作概略寸法を図-2(2)に示す。なお、供試体名称は全面に張り付けた供試体を RC.U-1、実施工を考慮して UFC パネルに打継目を設けた供試体を U.RC-2 の 2 体を製作した。

#### 4. 実験方法および等価走行回数

**4.1 輪荷重による走行疲労実験** 輪荷重走行疲労実験は、各供試体の床版中央から両支点方向に ±450mm の範囲に輪荷重を繰り返し走行させる実験である。初期荷重を 80kN とし、2 万回走行ごとに荷重を 20kN 増加し、荷重 120kN 以降は 2 万回走行ごとに荷重を 10kN ずつ増加する段階状荷重とした。計測は、輪荷重が 1、10、100、1,000、5,000 回の走行および 5,000 回以降は 5,000 回の走行ごとにたわみを計測し、供試体が破壊するまで荷重増加と

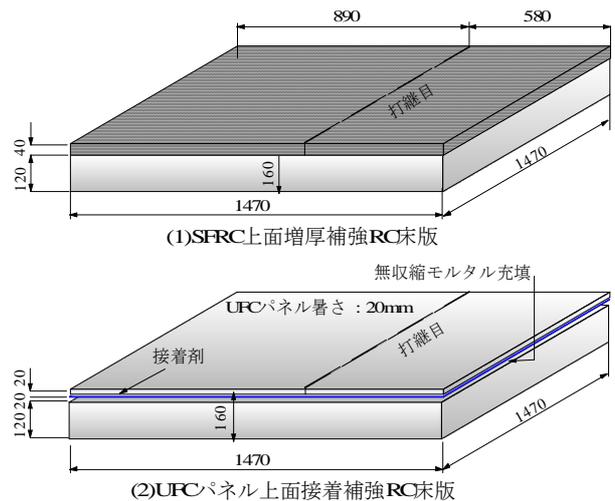


図-2 上面増厚 RC 床版供試体の概略

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** 輪荷重走行疲労実験は 2 万回ごとに荷重を増加させる段階状荷重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)と与えられる。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。S-N 曲線の傾きの逆数  $m$  には、松井らが提案する RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数 12.7 を適用する<sup>9)</sup>。

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

ここで、 $P_i$  : 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** 本実験における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-4 に示す。ここで、RC 床版供試体 RC-1,2 の平均等価走行回数は 7,938,030 回となった。この RC 床版の平均等価走行回数を基準として、補強効果および耐疲労性を評価する。

SFRC 上面増厚補強した供試体では、全面増厚補強した供試体 RC.S-1 の等価走行回数は 73,968,379 回であり、打継目を設けた供試体 RC.S-2 は 261,258,726 回である。RC.S-1,2 の平均等価走行回数は 167,613,552 回となり、RC 床版供試体の 21.1 倍の補強効果が得られた。

UFC パネル上面接着補強した供試体では、まず UFC パネルを全面接着補強した供試体 RC.U-1 の等価走行回数は 422,825,070 回、UFC パネルに打継目

表-4 等価走行回数

供試体	等価走行回数 (合計)	平均等価走行回数 (回)	走行回数比
RC-1	7,346,848	7,938,030	—
RC-2	8,529,213		
RC.S-1	73,968,379	167,613,552	21.1
RC.S-2	261,258,726		
RC.U-1	422,825,070	376,852,403	47.5
RC.U-2	330,879,735		

を設けた供試体 RC.U-2 の等価走行回数は 330,879,735 回である。両供試体の平均等価走行回数は 376,852,403 回であり、RC 床版供試体の 47.5 倍の補強効果が得られた。また、SFRC 上面増厚補強した供試体 RC.S-1,2 の平均等価走行回数と比較すると 2.2 倍の補強効果が得られた。

以上より、UFC パネル上面接着補強法は RC 床版供試体および SFRC 上面増厚補強した供試体の等価走行回数に比して、それぞれ 47.5 倍、2.2 倍の補強効果が得られたことから、道路橋 RC 床版の補強法として耐疲労性が評価され、実用的であると考えられる。

**5.2 たわみと等価走行回数** 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。

RC 床版供試体 RC-1,2 のたわみと等価走行回数では、たわみが 3mm 付近までは急激なたわみの増加が見られない。その後の走行と荷重増加によりたわみの増加が著しくなっている。破壊時のたわみは供試体 RC-1,2 で、それぞれ 6.86mm、7.91mm である。したがって、RC 床版のたわみが 3mm、すなわち床版支間 L の 1/400mm を超えた付近で補修・補強を施す必要があると考えられる。

SFRC を全面に上面増厚補強した供試体 RC.S-1 のたわみと等価走行回数の関係は、RC 床版供試体と同様にたわみ 3mm までは線形的に増加しており、その後の走行と荷重増加によりたわみの増加が著しくなっている。次に、打継目を設けた供試体 RC.S-2 はたわみが 3.5mm 付近までは線形的に増加し、その後の走行と荷重増加によりたわみの増加が著しくなり破壊に至っている。なお、供試体 RC.S-1,2 での破壊時のたわみは、それぞれ 6.75mm、6.7mm である。

UFC パネルを全面接着補強した供試体 RC.U-1 のたわみと等価走行回数の関係は、たわみが 2.0mm 付近までは SFRC 上面増厚供試体 RC.S-1 と同様な増加傾向を示している。その後の走行と荷重増加においても著しいたわみの増加は見られない。その後、たわみが 3.5mm を超えた付近からたわみ増加が著しくなっている。次に、打継目を設けた供試体 RC.U-2 は、たわみが 2.5mm 付近までは供試体 RC.S-2 と同様な増加傾向を示している。また、全面接着した供

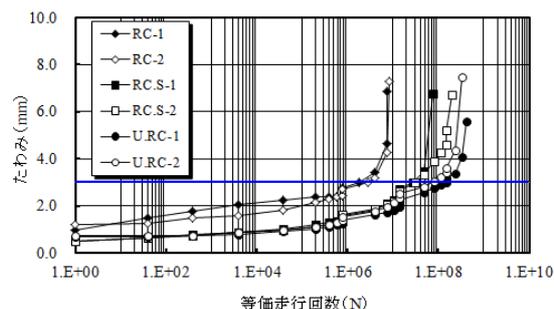


図-3 たわみと等価走行回数

試体 RC.U-1 に比してたわみの増加がやや大きい。これは走行中に UFC パネルの一部にはく離が生じたことによるものであると考えられる。なお、供試体 RC.U-1,2 での破壊時のたわみは、それぞれ 5.6mm、7.5mm である。

いずれにおいても UFC パネルは鋼繊維が配合され、圧縮強度、引張強度とも SFRC 以上の強度を有することから、たわみの増加も抑制され、耐疲労性も向上する結果となった。

**5.3 破壊状況** RC 床版、SFRC 上面増厚補強および UFC パネル上面接着補強した床版の輪荷重走行疲労実験における破壊状況の一例を図-4 に示す。

RC 床版供試体 RC-1,2 の破壊状況は図-4(1)、(2) に示すように、床版上面には軸直角方向にひび割れが発生している。また、床版底面には配置した主鉄筋および配筋筋間隔でひび割れが発生している。また、輪荷重載荷位置から 45 度底面にはダウエル効果の影響によるはく離が見られる。なお、供試体 RC-1,2 の破壊は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。

SFRC 上面増厚した供試体 RC.S-1 の破壊状況は、図-4(3)に示すように、床版増厚上面には鋼繊維の配合により耐摩耗性に優れていることから貫通ひび割れに発展するひび割れは見られず、走行面は大きな損傷は見られない。底面の破壊状況は、輪荷重位置から 45 度分底面はダウエル効果の影響によるはく離が見られた。次に、輪荷重走行位置から 30mm 外側に打継目を設けた供試体 RC.S-2 の破壊状況は、図-4(4)に示すように走行面の軸直角方向にひび割れが見られ、走行位置から広範囲にわたりはく離している。床版底面のひび割れ状況は RC 床版供試体と同様に鉄筋配置位置にひび割れが発生している。また、引張鉄筋かぶり部はダウエル効果の影響によってはく離している。なお、供試体 RC.S-1,2 ともに破壊は輪荷重が走行中に押抜きせん断破壊となった。

UFC パネル全面接着補強した供試体の RC.U-1 の破壊状況は図-4(5)に示すように、UFC パネルには微細なひび割れは発生するものの 0.2mm を超えるひび

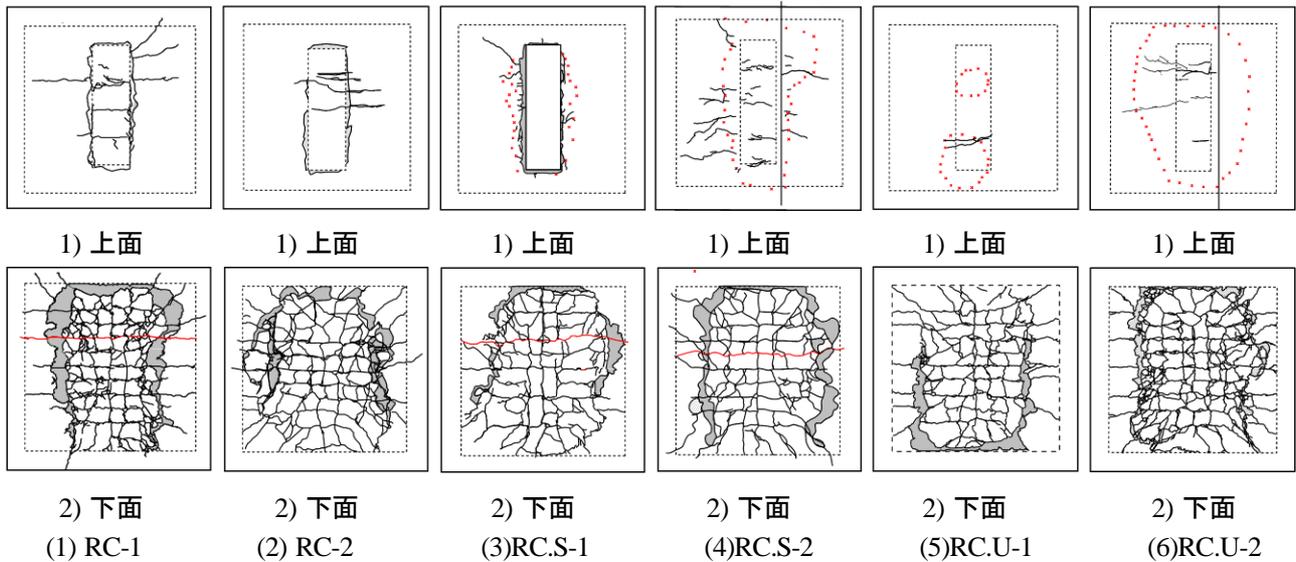


図-4 破壊形状

割れは見られない。これは UFC パネルに配合された鋼繊維の架橋効果によるものである。UFC パネルのはく離は輪荷重の走行面付近のみである。床版下面のひび割れ状況は輪荷重の走行位置から 45 度底面にダウエル効果の影響によるはく離が見られる。次に、打継目を設けた供試体 RC.U-2 は図-4(6)に示すように、供試体 RC.U-1 と同様に UFC パネルには微細なひび割れの発生が見られ、さらに 0.1mm を超えるひび割れは破壊位置の軸直角方向に発生している。また、UFC パネルは広範囲ではく離していた。しかし、はく離が見られるものの等価走行回数では SFRC 上面増厚補強した供試体 RC.S-1 の 4.5 倍である。RC 床版下面のひび割れ状況は輪荷重が走行した範囲の 45 度底面はダウエル効果の影響を受け、はく離している。全体的には RC 床版および SFRC 上面増厚補強床版と同様なひび割れ状況である。破壊は供試体 RC.U-1,2 において走行中に押抜きせん断破壊となった。

以上より、UFC は鋼繊維の架橋効果や UFC 自体の特性である圧縮強度および引張強度が高く、輪荷重の走行による摩耗の影響も受けないうえに上面には 0.2mm を超えるようなひび割れの発生がなく、耐疲労性が向上したものと考えられる。

## 6. まとめ

(1) UFC パネル上面接着補強した供試体の等価走行回数と無補強の RC 床版供試体の等価走行回数を比較すると 47.5 倍の補強効果が得られた。また、従来より上面増厚補強法として実績のある SFRC 上面増厚補強が施された供試体と比較すると 2.2 倍の補強効果が得られた。したがって、UFC パネル上面接着補強法は耐疲労性が評価され、実用であると考えられる。  
(2) たわみと等価走行回数の関係においては、無補

強の RC 床版供試体および SFRC 上面増厚補強した供試体のたわみの増加に対して、UFC パネル上面接着補強した供試体は、補強時期の推定として提案されているたわみが床版支間 L の 1/400 付近においても急激な増加は見られなく、たわみの増加が大幅に抑制されている。

(3) SFRC を床版上面に全面増厚した供試体は破壊時に走行位置付近にはく離が見られた。また、打継目を設けた供試体は、破壊時には広範囲ではく離が見られた。次に、UFC パネルを床版全面に接着補強した供試体は輪荷重の走行付近にはく離が見られた。また、打継目を設けた供試体は広範囲に渡ってはく離している。また、破壊付近には 0.1mm 程度のひび割れの発生もみられた。なお、破壊は全供試体ともに押抜きせん断破壊となった。

## 参考文献

- 1) 土木学会、コンクリートライブラリー 113「超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)」, 2004.
- 2) 阿部忠 木田哲量 新見彩 片桐誠：低環境負荷型 UFC 埋設型枠を用いた RC 床版の実験耐荷力および破壊メカニズム、セメント・コンクリート論文集、No. 61、pp.462- 469 (2007)
- 3) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説 I, II, III, (2002)
- 4) (社)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル (1995)
- 5) 阿部忠 園木聡 木田哲量 田中敏嗣：UFC パネル RC 床版の押抜きせん断力学モデルおよび耐荷力評価式、材料、Vol.60No.10、pp.918-925 (2011)
- 6) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、森北出版、(2007).