論文　中・高弾性型CFS接着補強におけるポリウレア樹脂を用いたRC床版の耐疲労性の評価

永井　幸太[*1]　阿部　忠[*2]・小森　篤也[*3]・小林　朗[*4]

要旨：道路橋 RC 床版の耐疲労性の向上を図る補強法として，CFS 接着補強法が施されている。しかし，CFS の積層数を増加させても押抜きせん断耐荷力や耐疲労性の向上は得られない結果が得られている。そこで本研究では，引張剛性の高い中・高弾性型の CFS を用いて，曲げ引張力に対して伸び率が 490%を有するポリウレア樹脂パテ材を用いて柔軟層を設け，CFS 補強した RC 床版供試体の耐疲労性を検証した。その結果，ポリウレア樹脂パテ材を用いて柔軟層を設け，その後に引張剛性の高い CFS を接着補強した場合でも耐疲労性の大幅な向上が図られた。よって，CFS 補強法にはポリウレア樹脂柔軟層は有効な材料である。

キーワード：連続繊維シート，ポリウレア柔軟層，耐疲労性，引張剛性

1. はじめに

道路橋 RC 床版の補修法においては，ひび割れ抑制効果が期待できることから床版下面に炭素繊維連続シート（CFS）接着補強法が採用され，施工開始から 25 年以上が経過し，施工実績も多い。CFS 接着補強においては CFS を RC 床版下面に全面に接着する補強法が主流であったが，2002 年頃から RC 床版の貫通ひび割れから雨水の浸透による CFS 接着界面に滞水や，橋梁点検におけるひび割れの確認が困難となることから，CFS 格子接着補強へと改善されてきた。一方，材料面においては施工の合理化・省力化，耐久性の向上を図るために炭素繊維ストランドシート（CFSS）が開発され，格子接着補強法が提案され，輪荷重走行疲労実験を実施し，耐疲労性が評価されている [1)]。しかし，CFS 接着補強においては，積層数に比例して耐久性の向上へと比例しない結果がえられている。たとえば，阿部ら [2)]は，高強度型 CFS を用い接着層を 1 層, 2 層, 3 層, 4 層（引張剛性, 27kN/mm, 54kN/mm, 81kN/mm，108kN/mm）をそれぞれ全面接着補強した RC 床版に走行荷重が及ぼす耐荷力性能に関する実験研究を実施した。その結果，CFS を多積層で接着し，補強材の引張剛性を増加させても，界面付近ではく離破壊，とくに RC 床版のダウエル作用が及ぼす範囲でのはく離による破壊が先行し，積層数を多くしても耐荷力性能の向上が図られないことが報告されている。よって，CFS の性能を確保するためには接着性の改善が重要な課題となっている。これらのことから新井ら [3)]は，CFS および CFSS 補強において従来のプライマーとシート接着用エポキシ樹脂の間にポリウレア樹脂を塗布し，柔軟層を設けることで CFS および CFSS の界面剥離破壊の抑制が図られる結果が報告されている。

そこで本研究では，従来の CFS 補強法で製作した供試体および CFS 接着補強法においてプライマーと CFS を接着するエポキシ樹脂含浸接着剤との間にポリウレア樹脂パテ材を塗布し，柔軟層を設けた CFS 接着補強法における補強効果および耐疲労性を評価した。本実験では同一条件で製作した RC 床版を基準に，中弾性および高弾性の CFS を用いた場合の補強効果および耐疲労性を評価し，道路橋長寿命化修繕計画における CFS 補強法の一助としたい。

2. 使用材料・供試体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 5mm 以下の砕砂および 5mm ～ 20mm の砕石を使用し，コンクリートの設計基準強度は 27N/mm^2 を目標として配合した。配合条件を**表－1**に示す。また，鉄筋には SD295A，D10 を用いた。CFS 補強する RC 床版も同様の材料を用いて製作した。コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を**表－2**に示す。なお，コンクリートの圧縮強度は実験時に供試体からφ 50mm，高さ 100mm のコア採取し，小径コアを採取し，小径コア専用の試験機を用いて圧縮試験を行った結果である。

(2) CFS

本実験には CFS は，中弾性型（M）および高弾性型（H）の CFS を用いる。ここで， CFS の材料特性値を**表－2**に示す。中弾性型は目付量 300g/m^2，設計厚み 0.165mm，引張強度は 2766N/mm^2，引張剛性は 46.53kN/mm である。また，

*1　(株)ネクスコ東日本エンジニアリング　京浜道路事務所横浜工事事務所（前日本大学大学院）　修(工)　(正会員)
*2　日本大学　生産工学部土木工学科教授　博(工)　(正会員)
*3　新日鉄住金マテリアルズ(株)　コンポジットカンパニー開発本部　マネージャー　博(工)　(正会員)
*4　新日鉄住金マテリアルズ(株)　コンポジットカンパニー開発本部長　修(工)　(正会員)

表－1　RC床版の配合条件

スランプ (cm)	W/C (%)	S/a	単位量 (kg/m³)				SP (C×%)
			セメント	水	細骨材	粗骨材	
8 ±2.5	53	40	403	158	726	1094	2

表－2　RC床版の材料特性値

供試体	コンクリート圧縮強度 (N/mm²)	鉄筋(SD295A)		
		降伏強度 (N/mm²)	引張強度 (N/mm²)	弾性係数 (kN/mm²)
無補強RC床版	34.2	368	516	200
中弾性型CFS補強RC床版	31.9			
高弾性型CFS補強RC床版	32.0			

表－3　CFSの材料特性値

シート種類	繊維目付量(g/m²)	設計厚さ(mm)	引張強度 (N/mm²)	引張弾性係数(kN/mm²)	引張剛性 (kN/mm)
CFS M	306	0.165	3,773	423	46.53
CFS H	306	0.143	2,766	666	63.49

高弾性型の CFS の材料特性値である引張強度は 2280N/mm² であり，引張剛性は 63.49kN/mm である。

(3) プライマーおよび接着剤

RC 床版の CFS 接着補強法は，接着面を研掃した後，接着性を高めるためにプライマーを塗布し，不陸修正後にエポキシ樹脂含浸接着剤が用い施工されている。

従来の CFS 接着補強法は，接着効果を高めるためにエポキシ樹脂プライマー（以下，プライマー A とする）を用いて塗布する。その後，不陸修正のためにエポキシ樹脂パテを塗布し，CFS 接着用のエポキシ樹脂含浸接着剤（以下，エポキシ接着剤とする）を用いて CFS を接着する。ここで，プライマーおよびエポキシ樹脂の性能を**表－4**に示す。不陸修正に用いるエポキシ樹脂パテ材は伸びが 2.5%であり，RC 床版底面に作用する曲げ引張応力に対して終局時にはコンクリート表面でのはく離が懸念される。

次に，ポリウレア樹脂を用いる供試体は，補強面を研掃した後，従来の補強法と同様に接着効果を高めるためにポリウレタン樹脂プライマー（プライマー B とする）を塗布する。その後，ポリウレア樹脂パテを用いてプライマー B と CFS の間に柔軟層を設け，CFS の伸びに順応させ，はく離を抑制させる。CFS の接着にはエポキシ接着剤を用いる。ここで，ポリウレア樹脂パテ材の性能を**表－4**に併記する。ポリウレア樹脂パテ材の伸び率は 492%であり，エポキシ樹脂パテ材の 196 倍であることから伸び率も高く，曲げ引張力に対してはく離が抑制される樹脂である。

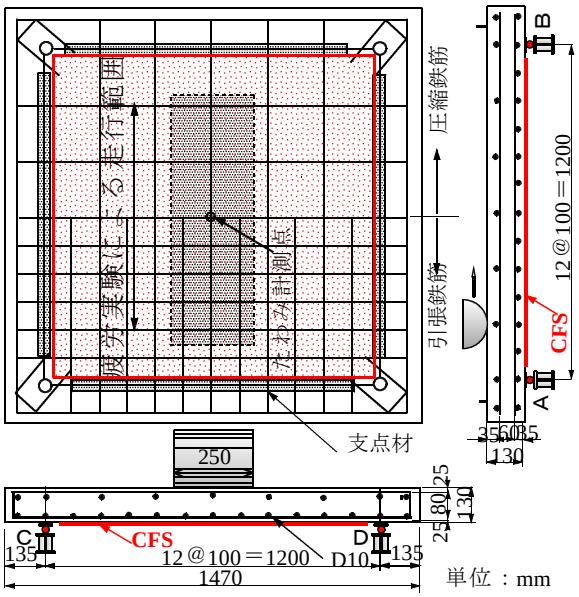
2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

(1) RC床版供試体寸法およびCFS補強範囲

2012 年の道示[5] II に規定における T 荷重の設置面は輪荷重 1 軸の 200×500mm に 100kN が作用するものとして

表－4　プライマー，エポキシ樹脂，ポリウレア樹脂の性能

使用材料	試験項目	エポキシ	ポリウレア	試験方法
プライマー	混合物粘度(mPa･s)	500	560	B型粘度計
	圧縮強度(N/mm²)	86	—	JIS K 7181
	圧縮弾性係数(N/mm²)	6300	—	JIS K 7181
	引張強度(N/mm²)	—	9	JIS K 7161
	伸び(%)	2.5	492	JIS K 7161
	引張弾性係数(N/mm²)	—	73	JIS K 7161
	比重	1.6	1.4	水中置換法
含浸接着樹脂	引張強度(N/mm²)	45		JIS K 7161
	曲げ強度(N/mm²)	83		JIS K 7171
	引張せん断強度(N/mm²)	15		JIS K 6850
	可使時間(分)	45		ガードナー法



図－1　供試体寸法および鉄筋配置

設計されている。一方，本実験に用いる輪荷重走行疲労試験装置の輪荷重幅は 250mm であることから本実験に用いる供試体を 1/2 モデルとする。

供試体寸法は，全長 1,470mm，支間 1,200mm，床版厚 130mm とする。鉄筋は複鉄筋配置とし，引張主鉄筋は D10 を 100mm 間隔，配力筋も同様に 100mm 間隔で配置した。有効高さはそれぞれ，105mm，95mm である。また，圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。ここで RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を**図－1**に示す。RC 床版供試体の記号を RC-1 とする。

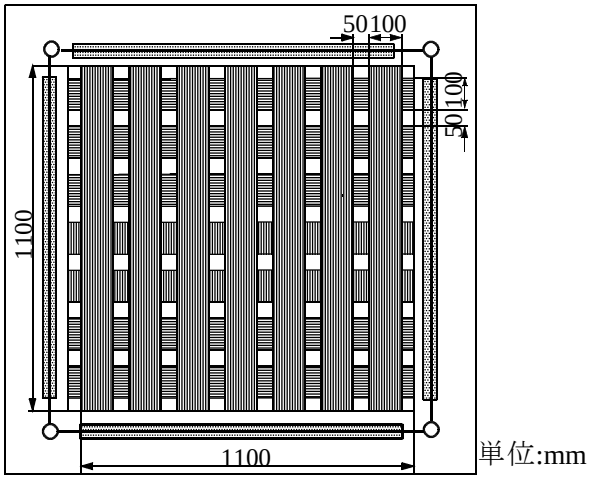
(2) CFS接着補強範囲および補強法

CFS の接着補強の補強範囲は RC 床版の支間内，1,100×1,100mm の範囲とする。ここで，CFS の補強範囲および寸法を**図－2**に示す。CFS は軸直角方向および軸方向ともに各 1 層接着補強する。

本供試体の CFS 接着補強法の手順を**写真－1**に示す。

(3) エポキシ樹脂を用いたCFS接着補強法

不陸修正材に従来のエポキシ樹脂パテ材を塗布し，その後 CFS をエポキシ接着剤で CFS を接着補強する。その範囲は，供試体の底面 1,100×1,100mm の範囲とする（**図**



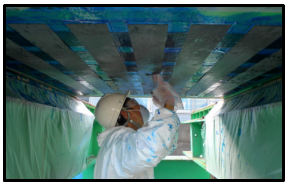
図－2　CFSの補強範囲および寸法

(1) マスキング

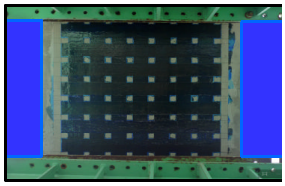
(2) プライマー塗布

(3) エポキシ又はポリウレア

(4) 接着剤塗布



(5) CFS1層目接着



(6) CFS2方向接着

写真－1　CFS接着補強法

－2)。

補強法は補強面を研掃した後，CFS を格子状に接着する範囲以外をマスキングテープで貼り付け養生する（**写真－1(1)**）。次に，プライマー A の主剤と硬化剤で混合し，ローラー刷毛で 0.2kg/m^2 となるよう均一に塗布する（**写真－1(2)**）。その後，24 時間の養生を行う。養生終了後，常温硬化型エポキシ樹脂パテを 1mm 厚となるよう均一に塗布し（**写真－1(3)**），8 時間以上の養生を行う。次に，接着剤を塗布し（**写真－1(4)**），幅 100mm，長さ 1,100mm に切断した CFS を接着補強する（**写真－1 (5)**）。その後，8 時間以上の養生を行い，2 層目の CFS を接着補強する（**写真－1(6)**）。実施工において，研掃から完了までの日数は，養生時間の関係から 3 日から 4 日が必要になる。ここで，中弾性型 CFS をエポキシ樹脂で接着補強する供試体記号を RC-CM.E，高弾性型 CFS を用いた供試体記号を RC-CH.E とする。

(4) ポリウレア樹脂を用いたCFS接着補強法

ポリウレア樹脂を用いた CFS 接着補強法は，補強面を研掃した後，マスキングし（**写真－1(1)**），プライマー B の主剤と硬化剤を混合し，ローラー刷毛にて 0.20kg/m^2 となるよう均一に塗布する（**写真－1(2)**）。指触乾燥時間 3.5 時間の養生が必要となる。次に，ポリウレア樹脂の主剤と硬化剤を混合し CFS 接着面に左官ゴテを用い 1.0mm 厚にて塗布し，柔軟層を設ける（**写真－1(3)**）。養生は 3.5 時間である。そして，幅 100mm，長さ 1,100mm に切断した CFS をエポキシ樹脂で含浸接着させ，1 層目の CFS 補強を行う（**写真－1(4)**，**(5)**）。続いて，2 層目を同様の手法で接着補強する（**写真－1(6)**）。実施工にでは養生時間が短いことから 2 日から 3 日で終了する。よって，施工の合理化・省力化が可能となる。ここで，中弾性型 CFS を用いてポリウレア樹脂で接着補強する供試体記号を RC-CM.P，高弾性型 CFS を用いた供試体記号を RC-CH.P とする。

3. 等価走行回数および耐疲労性の評価

3.1 実験方法

輪荷重走行による疲労実験（以下，走行疲労実験とする）における CFS 接着補強および CFSS 格子接着補強法における補強効果および耐疲労性の評価は，20,000 回ごとに荷重を段階的に増加させることから基準荷重に対する実験荷重と実験走行回数から等価走行回数を得て評価する。

本供試体の基準荷重は道示に規定する活荷重 100kN の 1/2 に安全率 1.2 を考慮して 60kN とする。疲労実験は供試体中央から軸方向に ±45cm の範囲を連続走行させる。初期荷重は 80kN で 20,000 回走行し，その後荷重を 20kN 増加し、120kN までは各荷重で 20,000 回走行させた。120kN 以降は荷重を 10kN 増加させた。本実験の補強効果については, RC 床版の等価走行回数を基準に評価する。なお, たわみの計測はマイナー則に従い, 1, 10, 100, 1,000 回とし，その後は 5,000 回ごととする。

3.2 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験では，20,000 回走行ごとに荷重を増加させることから，基準荷重と載荷荷重および実験走行回数の関係から等価走行回数 N_{eq} 算出して補強効果および耐疲労性を評価する。輪荷重走行による等価走行回数 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。なお，式(1)に適用する 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 曲線の傾きの逆数の絶対値 12.7 を適用する [6),7)]。なお, 基準荷重 P は, 60kN

表－5　実験走行回数および等価走行回数

供試体			荷　重				等価走行回数合計
			80 kN	100 kN	120kN	130kN	
RC-1		実験走行回数	20,000	1,322			6,359,573
		等価走行回数	772,240	5,587,332			
RC-CM.E	中弾性エポキシ	実験走行回数	20,000	20,000	11,955		93,457,862
		等価走行回数	772,240	13,137,391	79,548,231		
RC-CM.P	中弾性ポリウレア	実験走行回数	20,000	20,000	18,000		133,681,120
		等価走行回数	772,240	13,137,391	119,771,489		
RC-CH.E	高弾性エポキシ	実験走行回数	20,000	20,000	6,990		60,420,893
		等価走行回数	772,240	13,137,391	46,511,262		
RC-CH.P	高弾性ポリウレア	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	2,770	197,945,168
		等価走行回数	772,240	13,137,391	133,079,433	50,956,105	

とする。

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

ここで，N_{eq}：等価繰返し走行回数(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)[6]

4. 実験結果

4.1 等価走行回数

本実験における各荷重ごとの実験走行回数および実験走行回数と基準荷重の関係から算定した等価走行回数(式(1))を**表－5**に示した。なお，走行回数比は RC 床版と CFS 接着補強における等価走行回数および CFS 接着補強における中弾性、高弾性それぞれのエポキシとポリウレアを用いた場合の比較である。

(1) 無補強RC床版

無補強 RC 床版 RC-1 の等価走行回数は，6.359×10^6 回である。この RC 床版供試体の等価走行回数を基準に CFS 補強床版の補強効果および耐疲労性を評価する。

(2) 中弾性型CFSを用いた供試体

中弾性型の CFS を用いて従来の接着法で製作した供試体 RC-CM.E の等価走行回数は 93.457×10^6 回であり，RC 床版供試体の 14.7 倍の補強効果が得られている。

一方，ポリウレア樹脂を用いた供試体 RC-CM.P の等価走行回数は 133.681×10^6 回である。RC 床版供試体の 21 倍の補強効果が得られている。また，従来のエポキシを用いた供試体 RC-CM.E と比較すると 1.43 倍の補強効果が得られている。

(3) 高弾性型CFSを用いた供試体

高弾性型の CFS を用いて従来の CFS 接着補強法で製作した供試体 RC-CH.E の等価走行回数は 60.420×10^6 回である。RC 床版供試体の 9.57 倍の補強効果が得られている。一方，ポリウレア樹脂を用いた供試体 RC-CM.P の等価走行回数は 197.954×10^6 回であり，RC 床版供試体の 31.1 倍の補強効果が得られている。また，従来のエポキシを用いた供試体 RC-CH.E の等価走行回数の 3.28 倍の補強効果が得られている。

以上より，ポリウレア樹脂を柔軟層として形成することで CFS の接着層でのはく離の進展が抑制されことにより CFS が曲げ引張応力を分担し等価走行回数の増大が得られたものと考えられる。

4.2 たわみと等価走行回数の関係

たわみと等価走行回数の関係を**図－3**に示す。

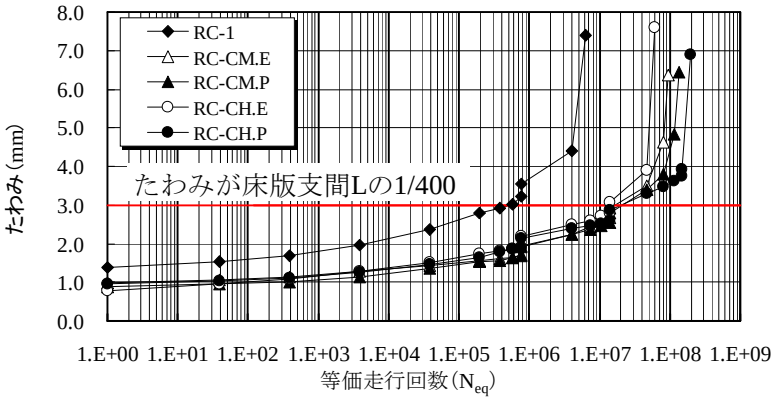
(1) 無補強RC床版

無補強 RC 床版 RC-C 供試体のたわみと等価走行回数の関係は**図－3**に示すように，初期荷重 80kN で 1 走行した後のたわみは 1.39mm である。その後，走行回数の増加に伴い，たわみも増加している。たわみが床版支間 L の 1/400，すなわち 3.0mm を超えた付近からたわみの増加が著しくなっている。荷重 80kN で 20,000 回走行後，等価走行回数 0.772×10^6 回のたわみは 3.02mm である。その後，荷重を 100kN に増加し，8,506 回，等価走行回数 6.359×10^6 回でのたわみは 7.40mm である。破壊モードは押抜きせん断破壊となった。

(2) 中弾性型CFSを用いた供試体

不陸修正材に従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて CFS 補強した供試体 RC-CM.E は，初期荷重 80kN 載荷し，1 走行後のたわみは 0.88mm である。20,000 回走行後（等価走行回数 0.772×10^6 回）のたわみは 1.71mm である。その後，荷重を 100kN に増加し，走行を繰り返すもののたわみの大幅な増加は見られない。荷重を 100kN 載荷し 20,000 回走行後（等価走行回数 13.909×10^6 回）のたわみは 2.67mm である。その後，荷重を 120kN に増加し，たわみが 3.0mm を超えた付近からたわみの増加が著しくなっている。破壊時のたわみは等価走行回数 93.457×10^6 回で，たわみは 6.37mm である。無補強 RC 床版のたわみの増加に比して，たわみの増加が大幅に抑制されている。

一方，ポリウレア樹脂パテ材を用いた供試体 RC-CM.P の初期荷重 80kN 載荷し，1 走行後のたわみは 0.98mm である。荷重を 100kN に増加し，20,000 回走行後（等価走行回数 13.909×10^6 回）のたわみは 2.54mm である。その



図－3　たわみと等価走行回数の関係

後，荷重を 120kN に増加し，走行を繰り返したことによりたわみも僅かに増加している。たわみが 3.0mm 超えた後においても急激な増加が見られない。破壊時のたわみは等価走行回数 133.681×10^6 回で 6.45mm である。

以上より，ポリウレア樹脂パテ材を用いて CFS 接着補強した供試体は従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて CFS 補強した供試体と比してたわみの増加が大幅に抑制され，耐疲労性が向上する結果となった。また，ポリウレア樹脂パテ材を用いた供試体は初期たわみが従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて CFS 補強した供試体よりやや上回るものの，等価走行回数が増加するにつれ，全体変形が抑制され，耐疲労性の向上が図られる結果となった。

(3) 高弾性型CFSを用いた供試体

高弾性型の CFS を用いて従来の従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて補強した供試体 RC-CH.E のたわみと等価走行回数の関係は**図－3**より，初期荷重 80kN 載荷し，1 走行後のたわみは 0.79mm である。20,000 回走行後（等価走行回数 0.772×10^6 回）のたわみは 1.92mm である。その後，荷重を 100kN に増加し，20,000 回走行後のたわみは 2.80mm である。荷重を 120kN に増加したときのたわみは 3.08mm であり，床版支間 L の 1/400 を超えている。その後の走行において，たわみの増加が著しくなり，破壊時のたわみは等価走行回数 60.420×10^6 回で 7.59mm である。

一方，ポリウレア樹脂パテ材を用いた供試体 RC-CH.P は，初期荷重 80kN 載荷し，1 走行後のたわみは 0.97mm である。荷重を 100kN に増加し，20,000 回走行後（等価走行回数 13.909×10^6 回）のたわみは 2.60mm である。従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて CFS 補強した供試体 RC-CH.E のたわみと比較すると僅かに下回っている。その後，荷重を 120kN に増加したときのたわみは 2.86mm であり，その後の走行においてもたわみが床版支間 L の 1/400 を超えた後もたわみが緩やかに増加している。荷重 120kN で 20,000 回走行後（等価走行回数 146.989×10^6 回）のたわみが 3.76mm である。荷重を 130kN に増加し，等価走行回数 197.945×10^6 回のたわみは 6.90mm である。高弾性型 CFS 接着補強した供試体においても，従来の補強法で CFS 補強した供試体に比して初期たわみが大きいものの，その後の荷重増加および繰り返し走行の回数が増加してもたわみの急激な増加が見られない。とくに，従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて CFS 補強した供試体は床版支間 L の 1/400 を超えた付近からたわみの増加が著しいが，ポリウレア樹脂パテ材を用いた供試体はたわみの増加が大幅に抑制され，耐疲労性が向上する結果となった。

4.3 破壊状況

各供試体の破壊状況を**図－4**に示す。

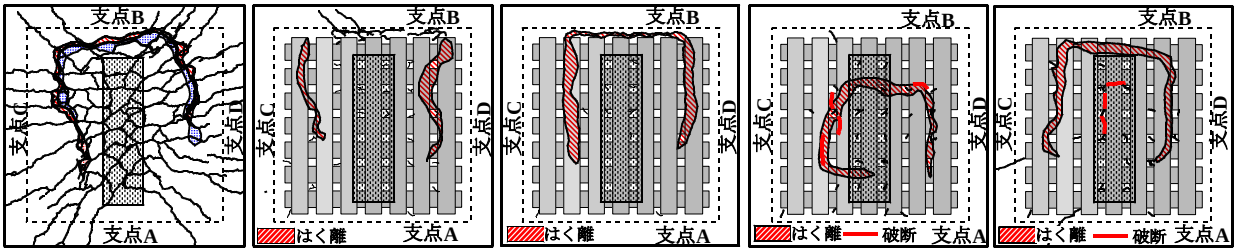
(1) 無補強RC床版

無補強 RC 床版供試体 RC-1 の破壊状況は**図－4(1)**に示すように，軸直角方向および軸方向の 2 方向ひび割れが発生している。また，輪荷重走行位置から 45 度下面には押抜きせん断破壊に伴うかぶりコンクリートの破壊，すなわちダウエル作用の影響を受ける範囲のはく離が著しい。なお，打音法によるはく離の範囲は 45 度底面の外側である。

(2) 中弾性型CFSを用いた供試体

従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて CFS 補強した供試体 RC-CM.E の破壊状況は**図－4(2)**に示すように，輪荷重載荷直下から 45 度底面のダウエル作用が及ぼす範囲でのはく離が著しい。これは，既設 RC 床版コンクリートと補強の界面でのはく離ではなく，RC 床版のダウエル作用に伴うはく離であると考えられる。また，補強後のひび割れ発生状況は格子状に配置した空間部より，ひび割れの発生状況が確認される。破壊は支点 B から 40cm 付近で押抜きせん断破壊となった。

一方，ポリウレア樹脂パテ材を用いた供試体 RC-CM.P の破壊状況は**図－4(3)**に示すように，従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて製作した供試体 RC-CM.E と同様に支



(1) RC-1　(2) RC-CM.E　(3) RC-CM.P　(4) RC-CH.E　(5) RC-CH.P

図－4　RC床版およびCFS補強床版の破壊状況

点 B から 50cm 付近で押抜きせん断破壊となった。また，はく離状況は既設 RC 床版の押抜きせん断破壊に伴うダウエル作用の影響を受ける範囲ではく離している。

(3) 高弾性型CFSを用いた供試体

高弾性型の CFS を用いてエポキシ樹脂パテ材を用いて製作した供試体 RC-CH.E の破壊状況は図－4(4)に示すように，輪荷重載荷直下から 45 度底面のダウエル作用の影響を受ける範囲でのはく離が著しい。破壊は供試体の中央付近で押抜きせん断破壊となった。また，軸直角方向の CFS に破断が見られる。

一方，ポリウレア樹脂パテ材を用い供試体 RC-CH.P の破壊状況は図－4(5)に示すように，エポキシ樹脂パテ材を用いて製作した供試体 RC-CM.E と同様に支点 B から 50cm 付近で押抜きせん断破壊となっている。また，はく離状況は押抜きせん断破壊に伴うダウエル作用の影響が及ぼす範囲ではく離している。また，床版中央付近の CFS が軸直角方向および軸方向に破断している。なお，破断は見られるもののエポキシ樹脂パテ材を用いた供試体 RC-CH.E の等価走行回数に比べて柔軟層を設けることで 3.8 倍の等価走行回数が得られている。

5. まとめ

(1) プライマー B を塗布し，ポリウレア樹脂パテ材を柔軟層として設け，エポキシ接着剤で CFS 接着補強した場合は，各工程における養生時間が短いことから施工の合理化・省力化が図られる。

(2) 輪荷重走行による疲労実験における等価走行回数は，中弾性の CFS を用いて従来の補強法で製作した供試体の等価走行回数は RC 床版の 14.7 倍，ポリウレア樹脂パテ材を柔軟層として設けた供試体は 21.0 倍の補強効果が得られた。次に，高弾性の CFS を用いて従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて製作した供試体の等価走行回数は RC 床版の 9.5 倍，ポリウレア樹脂パテ材を用いた供試体は 31.1 倍となり，リウレア樹脂パテ材で柔軟層を形成することで，はく離の伸展が抑制され，耐疲労性の向上が図られた。

(3) たわみと等価走行回数の関係においては，従来のエポキシ樹脂パテ材を用いて製作した供試体のたわみに対してポリウレア樹脂パテ材を用いた供試体の初期たわみはいずれも従来の補強法で製作した供試体を上回る結果が得られた。これはポリウレア樹脂パテ材の引張強度および伸び率が高いことから初期たわみがやや大きくなるもの耐疲労性が向上する結果となった。

(4) 破壊状況においては，従来のエポキシ樹脂パテ材を用いた補強法およびポリウレア樹脂を用いた供試体ともに押抜きせん断破壊となった。また，押抜きせん断破壊に伴い，ダウエルの影響を受ける範囲ではく離が生じている。しかし，破壊時の等価走行回数に大きな差異が生じる結果となった。

参考文献

1) 建設省土木研究所：炭素繊維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書（Ⅲ），1999
2) 阿部忠，木田哲量，澤野利章，小森篤也，樋田俊一：積層数の異なる CFS 補強 RC 床版の補強効果および力学特性，第 57 回理論応用力学講演会，2008.6
3) 新井崇裕，山野辺慎一，玉野慶吾：ポリウレア樹脂層を有する炭素繊維シート補強工法の付着特性に関する研究，鹿島技術研究所年報 Vol.62，pp.45-52，2014.9
4) 元燦豪, 阿部忠, 木田哲量, 高野真希子, 小森篤也：CFS・CFSS 補強した RC 床版の補強効果および耐疲労性，構造工学論文集，Vol. 58A，pp.1189-1196，2012.3
5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ, 2012
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) 川井豊，阿部忠，高野真希子：道路橋 RC 床版における S-N 曲線の一考察，土木学会，第 7 回床版シンポジウム論文集，pp.263-268，2012.6