

(56) CFRP格子筋および格子組み鉄筋を用いた 床版下面補強法における疲労耐久性の研究

小森 篤也¹・阿部 忠²

¹学生会員 日本大学大学院 生産工学研究科 土木工学専攻 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)
E-mail: ciat13002@g.nihon-u.ac.jp

²正会員 博(工) 日本大学教授 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)
E-mail: abe.tadashi@nihon-u.ac.jp

道路橋RC床版の下面増厚補強法には、引張材として鉄筋が用いられている。しかし、鉄筋は塩害により発錆などが生じることから、本研究では、耐腐食性に優れたCFRP格子筋を用いた下面増厚補強法を提案し、耐疲労性を評価した。その結果、未補強RC床版に比して、引張材にワイヤーメッシュを用いて補強した供試体の補強効果は2.9倍、新材料であるCFRP格子筋を用いて補強した供試体は4.5倍の補強効果が得られた。さらに、CFRP格子筋の配置において有効高を10mm増大させた供試体は、7.5倍の補強効果が得られた。これらのことから引張材にCFRP格子筋を用いた下面増厚補強法および有効高を考慮した下面増厚補強法は、耐疲労性が大幅に向上し、実用的であるといえる。

Key Words : *Fatigue resistance, RC-slab, CFRP Grid, Under surface thickness increase method.*

1. はじめに

近年、地方公共団体では老朽化した橋梁が増大し、その維持管理が重要な課題となっている。これらのことから道路橋を対象とした「道路橋長寿命化修繕計画」¹⁾

(以下、長寿命化修繕計画とする)が策定され、都道府県庁および政令都市では、緊急対応の必要がある橋梁部材について修繕が実施されている。長寿命化修繕計画では、橋梁の部材の中で最も損傷が著しいのはRC床版となっている²⁾。たとえば、高度経済成長期に建設されたRC床版は、昭和39、43年改訂の道路橋示方書・同解説や暫定基準で設計され、2002年改訂の道路橋示方書・同解説(以下、道示とする)³⁾の基準と比較して、設計荷重、床版厚、鉄筋量などが不足しており、耐荷力性能の低下や2方向のひび割れの発生、鉄筋の露出などが著しい。

さらに、2002年改訂の道示の活荷重に対応させるための各種補強対策が検討されている。一方、RC床版の補強法には、通行止めが必要となる上面からの補強法と通行止めを必要としない下面からの補強法に大きく分類される。たとえば、上面損傷や床版厚不足による耐荷力性能の向上を図るための上面からの補強法としては鋼繊維補強コンクリート(SFRC)上面増厚補強が施されている⁴⁾。

しかし、SFRC上面増厚補強法においては、増厚界面

で早期にはく離が発生し、十数年で再増厚された事例もある。これを改善するために接着剤塗布型上面増厚補強が提案され⁵⁾、既に実橋床版の補強法に採用されている。

また、床版下面からの補強には、連続繊維シート(CFS)接着補強や下面増厚補強が実施されている。CFS接着補強法は、ひび割れやたわみの増加を抑制し、耐疲労性の向上が図れる補強法であり、事後の損傷事例もなく、20年以上の施工実績がある。また、CFS接着補強法に比して、施工の合理化、雨水の排水、事後点検を図る補強法として、炭素繊維ストランドシート(CFSS)格子接着補強法も提案⁶⁾されており、補強法として採用されている。さらに、下面からの補強法としては、引張鉄筋かぶりコンクリートのはく離やかぶり不足の対策として、鉄筋を配置しセメントモルタルの吹付けによる下面増厚補強で実施されている⁴⁾。

しかし、この補強法では鉄筋を配置するために重量がかさむことが難点となる。この用の問題に対処するために、近年、軽量で施工性に優れている炭素繊維(CFRP)格子筋が開発され、鉄筋に変わる材料として着目されている。

そこで本研究では、実橋RC床版寸法の1/2モデルとした通常のRC床版供試体、引張材に実橋の1/2断面となるワイヤーメッシュを用いた下面増厚補強床版供試体および

CFRP格子筋を用いた2タイプの下面増厚補強床版供試体を用いて、輪荷重走行疲労実験を実施し、補強効果、耐疲労性の評価および破壊メカニズムを検証し、CFRP格子筋および増厚層内にCFRP格子筋を配置した場合の実用性を評価するために、検討を行った。

2. RC床版下面の損傷状況および補強対策

(1) RC床版の下面損傷の事例

道路橋RC床版の損傷は大きく分類すると、塩害・凍害による上面損傷と2方向ひび割れの発生、鉄筋の露出、漏水・遊離石灰の発生などの下面損傷とがある。ここで、RC床版の下面損傷の事例を図-1に示す。図-1(1)に示す床版は、海岸線から数キロの位置に建設された床版である。床版下面には鉄筋が露出し、鉄筋に発錆が見られる。この床版の劣化過程は加速期(後期)に相当する損傷である。図-1(2)は、積雪寒冷地域の床版であり、融雪剤散布による塩害により鉄筋に発錆が見られる。また、かぶりコンクリートが剥落している。劣化過程は劣化期に相当する床版である。次に、図-1(3)は、積雪寒冷地域の床版であり、融雪剤の散布による塩害と凍害の複合劣化による損傷であり、2方向のひび割れと遊離石灰の沈着が著しい。とくに、床版上面の輪荷重走行と組み合わせられエフロレッセンスが下面に発生したものである。劣化過程は加速期(後期)から劣化期に相当する床版である。

なお、この床版は供用開始後33年で撤去された床版である。図-1(4)は、2方向のひび割れの発生と上面から漏水が著しく、遊離石灰も発生している。この床版は、海岸線から数キロの位置に建設された橋梁床版である。鉄筋配置では発錆による膨張で浮きも見られる。また、内部損傷も著しいものと推察できる。劣化過程は加速期(後期)から劣化期に相当する床版である。

以上のように、積雪寒冷地域の床版は融雪剤散布による塩害と凍害、海岸線に近い橋梁においても鉄筋に発錆がみられ、かぶりコンクリートがはく離している。また、かぶり不足なども多く見られる。橋梁点検要領においては、複合劣化による劣化過程や寿命推定は示されていないものの、複合劣化を受けた床版の劣化過程が加速期(後期)から劣化期に相当する場合は詳細な点検を行ない、適切な補強対策の検討が必要となる。

(2) RC床版の下面補強

RC床版の補強法には、通行止めを必要とする床版上面からの補強法と、通行止めを必要としない下面からの補強法に分類されている。上面からの補強法には通行規制時間が8時間程度で行なうSFRC上面増厚補強や増厚下



(1) かぶり不足



(2) 塩害によるはく離



(3) 塩害・凍害の複合劣化



(4) 漏水と遊離石灰

図-1 RC床版下面の損傷状況

面の付着生を高め、耐疲労性の向上を図るために接着剤塗布型SFRC上面増厚補強などがある。

一方、下面からの補強法においては、劣化過程が進展期から加速期(前期)では、ひび割れの進展を抑制するために、床版下面にCFS接着補強する補強法や、最近では施工の合理化を図るための炭素繊維ストランドシート(CFSS)格子接着補強も提案され、いずれの連続繊維シート材を用いた補強法は施工実績も多い。ほかの下面補強法としては、かぶり不足や床版厚の不足、さらにはかぶりコンクリートのはく離など、劣化過程が加速期(後期)に相当する床版にて、脆弱した床版かぶりコンクリートを除去し、鉄筋を配置し、吹付け工法による下面増厚補強法が実施されている。

下面増厚補強法には鉄筋を配置することがあるが、重量が大きくなり施工に難を要する。そして、軸方向、軸直角方向に格子状に対置することから増厚断面が大きくなる懸念される。これらを改善するためにCFRP格子筋が開発され、格子間は50mmから100mm、厚さが4mm程度であり、鉄筋を格子状に配置した場合と比較し、厚みが大幅に減少し、増厚厚みも併せて減少させることができる。また、軽量であることから施工性に優れている。そこで、本研究では従来から使用されている鉄筋およびCFRP格子筋を配置した下面増厚補強法についての補強効果および耐疲労性の検証、破壊メカニズムを検証し、道路橋RC床版の下面増厚補強における一助としたい。

3. 使用材料および供試体寸法

(1) 供試体概要

本実験に用いる供試体は、道示³⁾の規定に基づいて設計し、本実験装置の輪荷重は車輪幅250mmであることか

ら、道示に規定する輪荷重幅500mmとの比によってモデル化することから、すべての供試体は1/2モデルとする。なお、補強効果および耐疲労性の評価は、下面増厚補強床版と同一寸法を有するRC床版を基準に評価する。

(2) 使用材料

(a) RC床版供試体

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から20mmの砕石を使用した。鉄筋にはSD295A、D10を用いた。実験時におけるコンクリート圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-1に示す。

(b) 下面増厚補強床版

下面増厚補強床版は、既設RC床版下面に補強材であるワイヤーメッシュを増厚界面に配置した後に、セメントモルタルを吹付けて下面増厚補強した床版と、補強材にCFRP格子筋を増厚界面に設置した床版、および増厚界面から12mmの位置にCFRP格子筋を設置したものに、それぞれPCM吹付にて下面増厚補強した床版供試体を製作する。

ここで、RC床版供試体、下面増厚補強床版供試体を使用する材料を下記に示す。下面増厚補強に用いるRC床版（以下、既設RC床版とする）の使用材料は、RC床版供試体と同様である。よって、材料特性値は、表-1に示すRC床版供試体と同様である。

ワイヤーメッシュを用いる実験供試体は、実橋RC床版寸法の1/2モデルであることから3.2φ、50mmピッチのワイヤーメッシュを用いる。ワイヤーメッシュの材料特性値を表-2に示す。

次に、炭素繊維をビニルエステル樹脂で格子状に一体成型されたCFRP格子筋は格子部の厚さが4mmであり、鉄筋やワイヤーメッシュに比して薄層補強が可能である。また、軽量であるために施工性にも優れて、耐腐食性も高い材料である。よって、本供試体にはワイヤーメッシュの引張剛性と同等とした網目寸法50mm×50mm、厚さ4mmのCFRP格子筋を用いる。ここで、CFRP格子筋の特性値を表-3、各補強材の剛性比較を表-4に示す。

下面増厚補強法は、吹付け工法によりセメントモルタルを増厚することから、結合材として繊維混合プレミックス型ポリマーセメントモルタル（以下PCMという）を用いる。ここで、本実験供試体に用いるPCMの材料物性値を表-5に示す。なお、表-5に示す付着強度および、圧縮強度・静的せん断強度は実験開始時の測定結果である。次に、さらに付着性を高めるために既設RC床版の増厚界面にはプライマーを塗布する。本供試体には、スチレンアクリル樹脂系ポリマーディスパージョン⁷⁾の3倍希釈液を用いた、吸水防止用プライマーの物性値を表-6に示す。

表-1 床版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 ²	鉄筋 (SD295A、D10)		
		降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	引張弾性率 kN/mm ²
RC床版	35.0	370	511	200

表-2 ワイヤーメッシュの材料特性値

線径 (mm)		網目寸法 (mm)		引張強さ (N/mm ²)		溶接点 せん断強さ (N/mm ²)
縦	横	縦	横	縦	横	
3.2φ	3.2φ	50	50	653	630	323

表-3 CFRP 格子筋の材料特性値

断面積 (mm ²)		網目寸法 (mm)		引張強さ (N/mm ²)		引張弾性率 (kN/mm ²)	
縦	横	縦	横	縦	横	縦	横
17.5	17.5	50	50	1,902	1,902	103	103

表-4 補強材の引張剛性(E・A)

補強材の種類	引張弾性率 (GPa)	断面積 (mm ²)	本数/m	引張剛性 (kN・m)
ワイヤーメッシュ	200	8.0384	20	32.15
CFRP格子筋	103.7	17.5	20	36.30

表-5 PCMの材料物性値

W/C (%)	骨材他 (kg/m ³)	結合材 (kg/m ³)	水 (kg/m ³)	付着強度 (N/mm ²)	せん断強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)
32	937.5	937.5	300	2.61	5.74	44.3

表-6 吸水防止用プライマーの物性値

ポリマーの種類	蒸発残分(%)	MFT(°C)
ポリスチレンアクリル混合 ポリマーディスパージョン	45.3	0

MFT：最低造膜温度⁷⁾ Minimum Film-Forming Temperature

表-7 供試体の一覧

供試体名	補強材	有効高	備考
RC-1	なし	105mm	基準供試体1
RC-2	なし	105mm	基準供試体2
RC-W	ワイヤーメッシュ	117mm	鉄筋同等
RC-C1	CFRP格子筋	117mm	FRP補強材
RC-C2	CFRP格子筋	127mm	有効高10mm増

(3) 供試体寸法および鉄筋の配置

(a) RC床版供試体

RC床版供試体の寸法は、全長1470mm、床版厚130mmとした。鉄筋は複鉄筋配置とし、主鉄筋にD10を100mm間隔で配置し、有効高を105mmとした。また、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置した。また、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置した。供試体名称はRC-1とする。ここで、RC床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-2(1)に示す。

(b) 下面増厚補強床版供試体

本供試体の下面増厚補強法は、かぶり不足の床版や床版下面コンクリートのはく離など下面劣化した損傷を想定し、幅1100×1100の範囲を15mm切削し、PCMで25mm増厚するものである。よって、増厚部の全厚は

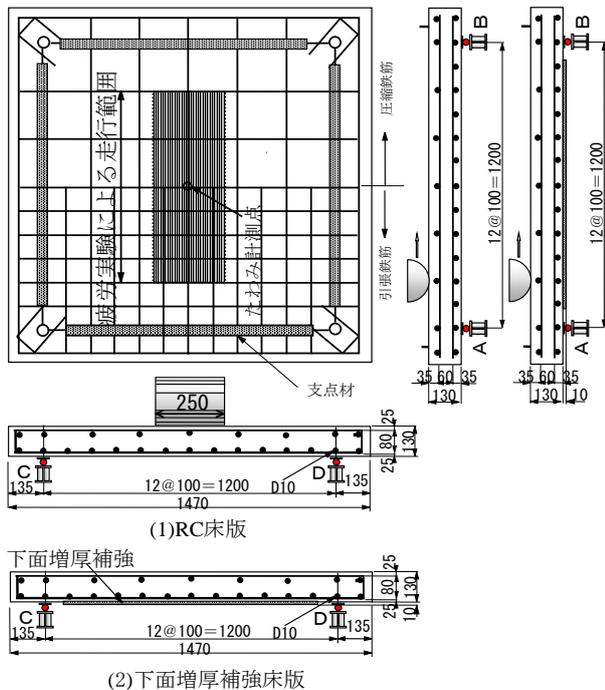


図-2 供試体の寸法

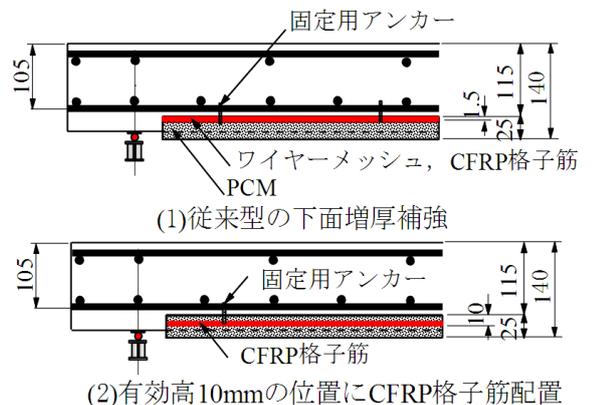


図-3 有効高さを変化させた供試体の寸法

140mm となる。ここで、下面増厚補強床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-2(2)および増厚界面に直接引張材を取付し、吹付け工法による増厚寸法を図-3(1)、CFRP 格子筋を増厚界面から 10mm の有効高を設けた供試体寸法を図-3(2)に示す。また、本実験供試体の一覧を表-7に示す。

本来、下面増厚補強法においては劣化部をブレーカー、サンダー等で除去するが、本実験に用いる試験体は、既設 RC 床版供試体の下面かぶりコンクリートが深さ 15mm の損傷を想定し、幅 1100×1100×15mm の合板を設置し、箱抜きした RC 床版を製作した。よって、補強部の寸法、幅 1100×1100×15mm を断面補修し、10mm 厚みで下面増厚補強するものである。

(4) 下面増厚補強法における施工手順

下面増厚補強法は、CFRP グリッド増厚・巻立て工法によるコンクリート構造物の補修・補強 設計・施工マニ

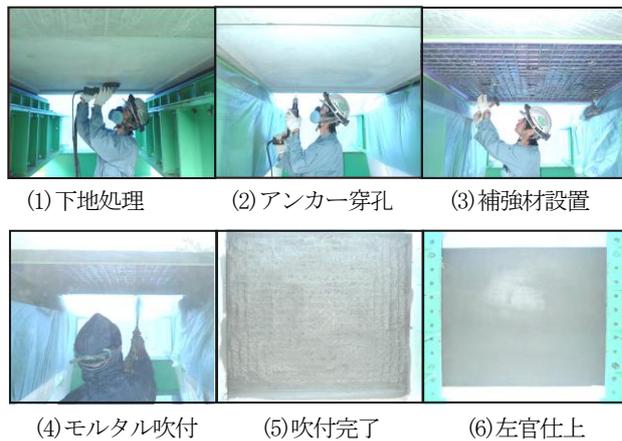


図-4 下面増厚補強手順

ュアル(案)⁸⁾に準拠して製作する。施工手順は、増厚界面の付着性を高めるため、サンダーで表面処理しブローアにて清掃する図-4(1)。その後、PCM の付着性を高めるため、吸水防止用プライマーを塗布し、表面乾燥するまで養生する。次に、ワイヤーメッシュ、CFRP 格子筋を取付けるためにハンマードリルでφ5mm、長さ 30mm のアンカー穴を穿孔し図-4(2)、その後、増厚界面にワイヤーメッシュ、CFRP 格子筋を設置する図-4(3)。

一方、設計・施工マニュアル(案)⁸⁾では CFRP 格子筋を増厚界面に接し取付する補強法であるが、本研究においては増厚界面から有効高をも設け、CFRP 格子筋の材料特性値を有効活用する配置法となる。よって、本研究では有効高 127mm の位置に CFRP 格子筋を配置する。施工手順は、高さ 10mm のスペーサーを設置して FRP 格子筋を取り付けする。PCM は、ワイヤーメッシュ、FRP 格子筋をそれぞれ設置後、15mm 吹付けし図-4(4)、養生を行なう図-4(5)。さらに、PCM を 10mm 吹きつけし、こて仕上げして養生を行なう図-4(6)。研掃からこて仕上げに要する時間は 6 時間である。

よって、ワイヤーメッシュおよび CFRP 格子筋を増厚下面に貼付して下面増厚補強床版供試体の名称を RC-W、RC-C1 とする。また、10mm のスペーサーを用いて FRP 格子筋を貼付けし、下面増厚補強を施した床版供試体を RC-C2 とする。

4. 実験方法および等価走行回数

(1) 実験方法と基準供試体

輪荷重走行疲労実験による CFS 接着補強法の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で評価する。図-2 に示すように、支間 1,200mm とし、支持条件は 4 辺弾性支持とする。

RC 床版供試体の輪荷重走行疲労実験における車輪幅は 250mm であり、道示 I に規定する T 荷重幅 500mm の 1/2 モデルであることからすべての供試体も 1/2 モデルとする

表-8 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	平均等価 走行回数	走行 回数比
		80 kN	100 kN	120 kN			
RC-1	実験走行回数	20,000	10,010		7,347,504	7,938,687	—
	等価走行回数	772,240	6,575,264				
RC-2	実験走行回数	20,000	11,810		8,529,870	7,938,687	—
	等価走行回数	772,240	7,757,629				
RC-W	実験走行回数	20,000	20,000	1,340	22,832,607	22,832,607	2.9
	等価走行回数	772,240	13,137,391	8,922,976			
RC-C1	実験走行回数	20,000	20,000	4,100	27,996,469	27,996,469	3.5
	等価走行回数	772,240	13,137,391	14,086,838			
RC-C2	実験走行回数	20,000	20,000	6,880	59,688,956	59,688,956	7.5
	等価走行回数	772,240	13,137,391	45,779,325			

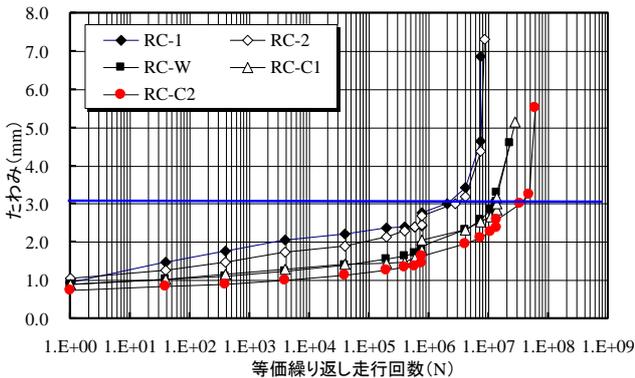


図-5 たわみと等価走行回数の関係

よって、RC 床版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 12 を考慮して 60kN である。実験荷重は 80kN から 20,000 回走行し、20,000 回走行ごとに荷重を 20kN 増加する段階荷重載荷とする。基準荷重に対する等価走行回数を算定し、基準供試体である無補強 RC 床版の等価走行回数を基準に、下面増厚補強床版供試体の補強効果および耐疲労性を評価する。

(2) 下面増厚補強床版

RC 床版供試体と同様に初期荷重 80kN で 20,000 回走行し、20,000 回走行ごとに荷重を 20kN 増加する段階荷重載荷とする。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は等価走行回数を算定して評価する。

(3) 等価走行回数

輪荷重走行疲労実験では、2 万回走行ごとに荷重を増加する段階荷重載荷としたことから、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} を算出して補強効果および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。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

12.7 を適用する⁹⁾。また、RC 床版供試体は、道示 I に規定に準拠し、その 1/2 モデルであることから、基準荷重は、道示に規定する活荷重 100kN の 1/2 に安全率 12 を考慮した 60kN とし、等価走行回数を算定する。

RC 床版の S-N 曲線の傾きの逆数 12.7 を適用する⁹⁾。なお基準荷重 P は、60kN である。

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

ここで、 N_{eq} ：等価走行回数（回）， P_i ：載荷荷重（kN）， P ：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. 結果および考察

(1) 等価走行回数

本実験における RC 床版供試体および下面増厚補強床版供試体の、等価走行回数を表-8 に示す。

(a) RC 床版供試体

RC 床版供試体 RC-1 の等価走行回数は 7.34×10^6 回、供試体 RC-2 は 8.52×10^6 回であり、供試体 RC-1、2 の平均等価走行回数 N_{eq} は 7.93×10^6 回である。この RC 床版供試体の平均等価走行回数 N_{eq} を基準に下面増厚補強床版の補強効果および耐疲労性を評価する。

(b) 下面増厚補強床版

増厚界面にワイヤーメッシュを貼付けし、ポリマーセメントモルタルを吹付けし、既設床版厚に 10mm 増厚した供試体 RC-W の等価走行回数は 22.83×10^6 回であり、RC 床版の 29 倍の補強効果が得られた。

次に、増厚界面に CFRP 格子筋を貼付けし、ポリマーセメントモルタルを吹付けした供試体 RC-C1 の等価走行回数は 27.99×10^6 回であり、RC 床版の 3.5 倍の補強効果が得られた。また、ワイヤーメッシュを用いた供試体 RC-W の 12 倍の補強効果となった。

CFRP 格子筋の引張強度を高める目的で 10mm のスペー

サーを配置し、上縁までの有効高を 127mm とした供試体 RC-C2 の等価走行回数は 59.68×10^6 回であり、RC 床版の 7.5 倍の補強効果が得られた。また、ワイヤーメッシュを用いた供試体 RC-W および CFRP 格子筋を用いた供試体 RC-C1 の等価走行回数に比して、それぞれ 2.6, 2.1 倍の補強効果が得られた。

したがって、CFRP 格子筋を配置する際には、施工面にスペーサーを配置し、上縁までの有効高を高くすることで、さらなる補強効果が得られ、耐疲労性が評価された。

(2) たわみと等価走行回数の関係

本実験における等価走行回数とたわみの関係を図-5 に示す。

(a) RC 床版供試体

未損傷RC供試体のたわみは図-5に示すように、荷重 80kN 載荷時の初期たわみは供試体 RC-1 が 0.95mm、供試体 RC-2 が 1.05mm である。等価走行回数 0.77×10^6 回でたわみは、それぞれ 2.44, 2.45mm である。たわみが 3mm、すなわち床版支間 L の L/400 を超えた付近から、たわみの増加が大きくなり、その後の走行により破壊に至っている。阿部らは、たわみが床版支間 L の L/400 (活荷重たわみの場合は 1/800) に達した付近で補強対策をする必要であると提案されている⁹⁾。

そこで、本実験では RC 床版のたわみが 3mm となる等価走行回数を、前後のたわみと等価走行回数の関係から補間法により算出し、この時点の等価走行回数を比較して補強効果を評価する。よって、RC 床版供試体 RC-1 のたわみが 3mm に達した時点の等価走行回数は 1.98×10^6 回、供試体 RC-2 が 2.78×10^6 回であり、平均等価走行回数は 2.38×10^6 回である。破壊時のたわみは供試体 RC-1 が、等価走行回数 7.34×10^6 回、供試体 RC-2 が等価走行回数 8.52×10^6 回で、それぞれ 6.86mm, 7.31mm である。破壊状況は全て押抜きせん断破壊である。

(b) ワイヤーメッシュを用いた供試体 (RC-W)

ワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-W は、荷重 80kN 時の初期たわみは 0.8mm であり、その後の走行で徐々にたわみが増加している。等価走行回数 0.77×10^6 回でたわみは 1.74mm である。その後、荷重増加と走行を繰り返すことによりたわみが緩やかに増加している。たわみが 3mm に達した時点の等価走行回数は 13.00×10^6 回であり、無補強 RC 床版供試体の 5.4 倍である。その後、荷重を 120kN に増加し、走行した後、たわみが急激に増加し、破壊時のたわみは等価走行回数 22.83×10^6 回で、最大たわみ 4.6mm である。破壊状況は、下面増厚部がはく離すると同時に押抜きせん断破壊となった。下面増厚に用いた超速硬無収縮モルタルの強度が RC 床版供試体

の 2 倍近いことからたわみが床版支間 L の L/400 付近からはく離し始めているものと考えられる。

(c) CFRP 格子筋を用いた供試体 (RC-C1)

CFRP 格子筋を増厚下面に施工した、供試体 RC-C1 のたわみと等価走行回数の関係は、ほぼワイヤーメッシュを用いた供試体 RC-W と、同様な増加傾向を示している。供試体 RC-C1 は、荷重 80kN 時の初期たわみは 0.91mm であり、その後の走行で徐々にたわみが増加している。等価走行回数 0.77×10^6 回でのたわみは 1.80mm である。この時点ではワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-W のたわみをわずかに上回っている。その後、荷重増加と走行を繰り返すことによりたわみが緩やかに増加し、たわみが 3mm に達した時点の等価走行回数は 13.91×10^6 回であり、無補強 RC 床版供試体の 5.8 倍、ワイヤーメッシュを配置した供試体 RC-W の 1.07 倍であり、わずかに上回っている。その後、荷重を 120kN に増加し、走行した後、たわみが急激に増加し、破壊時のたわみは等価走行回数 33.87×10^6 回で、最大たわみ 5.14mm である。破壊状況は、下面増厚部がはく離すると同時に、押抜きせん断破壊となった。

(d) CFRP 格子筋にスペーサーを配置した供試体 (RC-C2)

CFRP 格子筋にスペーサーを配置した供試体 RC-C2 は、スペーサーを用いて増厚界面から 10mm の位置に、CFRP 格子筋を配置した供試体である。荷重 80kN 載荷時のたわみは 0.75mm であり、増厚下面に直接 CFRP 格子筋を用いた供試体 RC-C1 に比して、初期たわみは減少している。等価走行回数 0.77×10^6 回でたわみは 1.45mm、たわみが床版支間 L の L/400 に達した時点の等価走行回数は 33.10×10^6 回であり、RC 床版に比して 13.9 倍、ワイヤーメッシュ、CFRP 格子筋を直接設置した供試体の、それぞれ 2.55, 2.38 倍である。たわみが 3.2mm を越えた付近から急激に増加し始め、破壊時のたわみは等価走行回数 59.68×10^6 回で、5.51mm である。よって、増厚界面から 10mm の位置に CFRP 格子筋を配置することで、たわみの増加が抑制され、同時にはく離も抑制されている。以上より、下面増厚補強法においてはワイヤーメッシュ、CFRP 格子筋を増厚下面に直接設置した供試体はそれぞれの材料の引張抵抗により、たわみの増加を抑制し、耐疲労性が向上している。とくに、CFRP 格子筋を増厚下面から 10mm の位置に配置した供試体は、曲げ抵抗が向上し、補強効果も大きく得られている。

6. 破壊状況

本実験における破壊時の損傷状況を図-6 に示す。

(1) RC 床版供試体

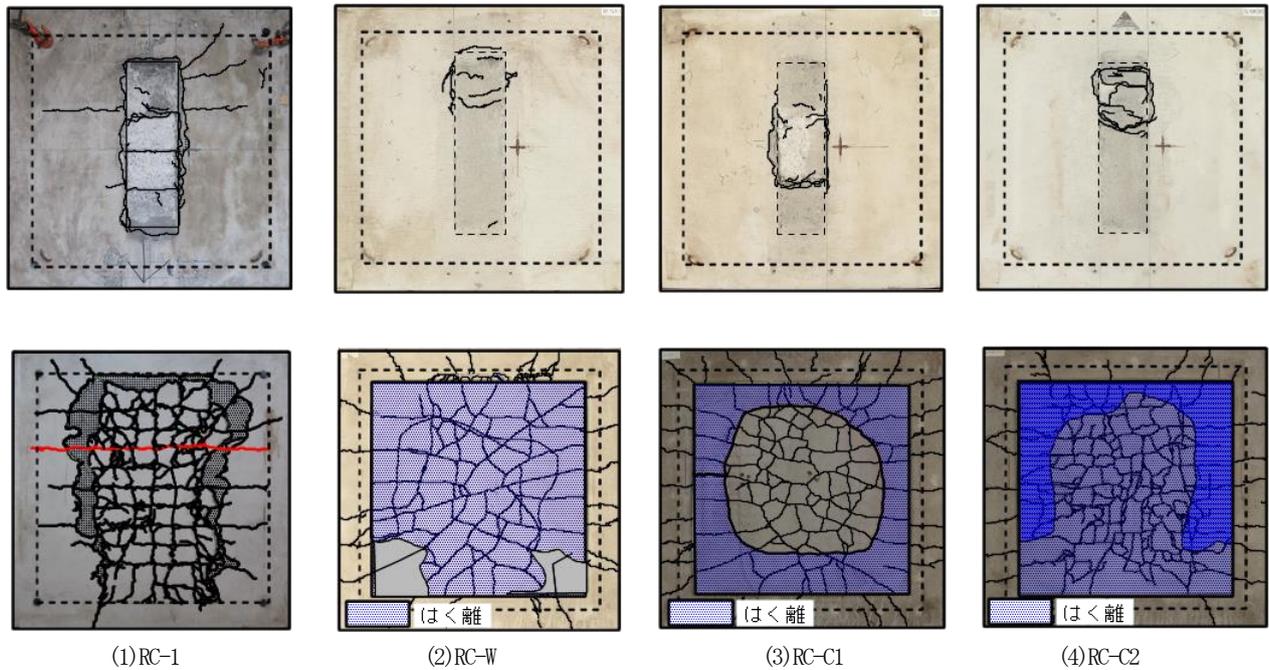


図-6 破壊状況

RC床版の破壊時の損傷状況は図-6(1)に示すように、床版上面には圧縮鉄筋配置位置に軸直角方向にひび割れが発生している。床版下面には2方向ひび割れが発生し、押抜きせん断破壊に伴うはく離が見られる。なお、輪荷重走行が図-6に示す供試体の上から下方向に往復走行することから荷重が折り返した中央を通過後に破壊している。

(2) ワイヤーマッシュを配置した供試体 (RC-W)

ワイヤーマッシュを配置した供試体RC-Wの破壊時の損傷状況は図-6(2)に示すように、上面損傷は輪荷重走行位置に、ひび割れがわずかに見られる。下面はワイヤーマッシュを配置したことによりひび割れが分散されているが、ほとんどの領域ではく離が見られた。破壊時には押抜きせん断破壊となった。そして、2方向のひび割れが発生しているもののワイヤーマッシュの格子間50mm以上の間隔で発生している。これは、はく離が先行し、ワイヤーマッシュのひび割れ分散効果が得られなかったものと考えられる。はく離を抑制できれば、更なるひびわれ分散効果により、さらに耐疲労性が向上するものと考えられる。

(3) CFRP格子筋を用いた供試体 (RC-C1)

CFRP格子筋を用いた供試体RC-C1の破壊時の損傷状況は図-6(3)に示すように、床版上面は押抜き破壊による陥没が見られる。下面は破壊時の輪荷重位置から45度の内側ははく離に至っていない。押抜きせん断破壊に起因するダウエル効果が及ぼす範囲から、外側にはく離が見られる。また、2方向のひび割れがCFRP格子筋の格子

間隔と同等な位置で発生していることから、分散効果によりはく離が抑制されているものと考えられる。本実験では、ワイヤーマッシュとCFRP格子筋の剛性は、ほぼ同等であるが、CFRP格子筋を配置した供試体RC-C1は、はく離が抑制され耐疲労性が向上する結果となった。

(4) FRP格子筋にスペーサを配置した供試体 (RC-C2)

FRP格子筋にスペーサを配置した供試体RC-C2の破壊時の損傷状況は図-6(4)に示すように、上面は押抜きせん断破壊に伴う陥没が見られる。次に、下面は端部ではく離が見られるものの押抜きせん断破壊に伴う、ダウエル効果が及ぼす範囲の内側ははく離が見られない。2方向のひび割れがCFRP格子筋の位置に発生し、分散効果が得られているものと考えられる。スペーサを用いて、増厚界面から10mmの位置にCFRP格子筋を配置したことにより、押しぬきせん断耐荷力の向上に効果的な、有効高さが増え、CFRP格子筋の分散効果により増厚下面のはく離が抑制されたものと考えられる。

以上より、本実験においては、増厚界面ではく離することで破壊をむかえていることから、はく離を抑制することで耐疲労性が大幅に向上するものと考えられ、接着性向上については、今後の課題とする。

7. まとめ

- (1) 無補強RC床版と引張材にワイヤーマッシュおよびCFRP格子筋を増厚下面に取付して、PCMを吹付け工法により下面増厚した供試体は、いずれもRC床版の等価走行回数に比して29倍と35倍の補強効果が得ら

れた。また、提案する有効高 127mm の位置に CFRP 格子筋を配置した下面増厚補強法は RC 床版供試体の 75 倍の補強効果が得られた。よって、CFRP 格子筋および、提案する有効高を考慮した下面増厚補強法は、実橋においても有効な補強法であると考えられる。

- (2) たわみと等価走行回数との関係において、RC 床版供試体およびワイヤメッシュ、CFRP 格子筋を配置した供試体ともにたわみが床版支間 L の 1/400 に達した付近から急激に増加している。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、ほぼ同等であり、ワイヤメッシュ、CFRP 格子筋を配置した供試体ともに、たわみ増加が抑制されている。
- (3) RC 床版供試体の破壊状況は、押抜きせん断破壊に至っている。ワイヤメッシュを配置した供試体は、はく離と同時に押抜きせん断破壊となっている。また、CFRP 格子筋を用いた供試体は輪荷重走行により既設 RC 床版の押抜きせん断破壊に伴うダウエルの影響により外側がはく離している。一方、増厚層内に有効高を 127mm の位置 CFRP 格子筋を配置した供試体は CFRP 格子筋を増厚界面に直接配置した場合に比して付着面が広がり、はく離範囲が減少している。

参考文献

- 1) 国土交通省：地方自治体の長寿命化修繕計画に関する最近の動向，国土交通省道路局国道・防災課道路保全企画，2011.1
- 2) 千葉県県土整備部道路環境課企画調整室：千葉県橋梁長寿命化修繕計画(案)，2010
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，III，2002
- 4) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル，2012
- 5) 阿部忠，木田哲量，高野真希子，小森篤也，児玉孝喜：輪荷重走行疲労実験における RC 床版上面増厚補強法の耐疲労性の評価法，構造工学論文集，Vol. 56A，pp. 1270-1281，2010.
- 6) 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
- 7) 大濱嘉彦，出村克宣，小俣一夫，沢出稔，鶴田康彦，伊部博，松本能治，ポリマーセメントモルタル技術資料，33，1988
- 8) FRP グリッド工法協会：CFRP グリッド増厚・巻き立て工法によるコンクリート構造物の補修・補強 設計・施工マニュアル（案），2001
- 9) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007

A study on fatigue resistance, Applied CFRP grids or re-bar for the under surface of RC-slabs.

Atsuya KOMORI and Tadashi ABE

In this study, An applied re-bar or CFRP-grid used with PCM for the Road bridge RC-slabs. Reinforced method was under side thickness increase method. We evaluated and experimented by Load carrying wheel trancking machine. The no reinforced RC-slab was used as standard specimen. As the results the re-bar applied specemen by 2.9 times, the CFRP-Grid specimen by 3.5 times, and the CFRP height changed specimen had effect 7.5 times compared to standard specimen. This study was evaluated by equivalent number of cycles. CFRP-Grid with height changed specimen has most higher fatighe resistance in this study.