

論文 CFRP 格子筋と PCM を用いる床版下面増厚補強法における接着剤の付着メカニズムおよび耐疲労性の検証

小森 篤也*1・阿部 忠*2・小林 朗*3

要旨：道路橋 RC 床版の疲労対策には CFRP 格子筋を配置し PCM 吹付けによる下面増厚補強法が実施されている。そこで本研究は、増厚界面のはく離を抑制するためにエポキシ樹脂接着剤を塗布し PCM との付着メカニズムを解明し耐疲労性を検証した。その結果、接着剤と PCM の付着メカニズムは、PCM 内部の骨材が接着剤に投錨され機械的に接着し、その後骨材表面と接着剤の界面は添加剤により化学的に結合されることが示された。輪荷重走行疲労実験においては、接着剤を塗布した補強 RC 床版はプライマーを塗布した RC 床版に比して、増厚界面との一体性が確保され等価走行回数が 5.04 倍となり耐疲労性が向上した。

キーワード：RC 床版, 耐疲労性, エポキシ樹脂接着剤, PCM

1. はじめに

高度経済成長期に建設された道路橋は、建設後 50 年が経過し、老朽化した橋梁が増大することから、その維持管理が重要な課題となっている。とくに、道路橋部材のなかで損傷が著しい部材は RC 床版である。たとえば、首都圏の重交通の影響を受ける RC 床版の損傷は、ひび割れの発生する疲労損傷である¹⁾。また、橋面防水工が施されていない床版は雨水の浸入・漏水などによりエフロレンセスが発生するなどの複合劣化により、さらに劣化を促進させている。一方、海岸線に建設された床版は、飛来塩分により鉄筋が発錆し錆汁がコンクリート表面に沈着している。とくに、かぶり不足による鉄筋の露出などが見られる RC 床版は早急の補強対策が必要となる。このような劣化した RC 床版の補強法には、床版上面からの補強法として鋼繊維補強コンクリート上面増厚補強が実施され²⁾、また、床版下面からの補強法には炭素繊維シート接着補強やポリマーセメントモルタル（以下、PCM とする）下面増厚補強が実施されている。筆者らは、RC 床版の損傷に対する耐荷力性能および耐疲労性の向上を図るための下面増厚補強法に用いる CFRP 格子筋とエポキシ樹脂接着剤（以下、接着剤とする）を用いた新たな補強法について提案する。従来の下面増厚補強法における引張補強材の配置は、鉄筋を使用する場合、既設 RC 床版下面に直接設置し PCM が吹付けられ増厚補強されている。そして、鉄筋を使用する場合格子状に配置することから鉄筋径の 2 倍に加えてかぶりが必要となる。この格子部の厚さを減少する補強材として、厚さ 4mm 程度で一体形成され、炭素繊維を樹脂で成形硬化させた CFRP 格子筋が開発された。しかし、従来から実施

されている鉄筋を用いる場合は格子部が鉄筋径の 2 倍となることから増厚層内に配置する補強法はかぶりの問題があり、増厚厚みの増大が懸念される。また、従来から行われている増厚界面の処理法では、鉄筋や CFRP を補強材に用いた場合でも増厚部の打ち継ぎ界面の処理は、エマルジョン系プライマー（以下、プライマーとする）が使用されることが一般的である³⁾。

そこで本研究では、RC 床版コンクリートと PCM との界面にプライマーおよび接着剤を塗布したそれぞれの供試体を製作し、引張試験および一面せん断試験を実施し、PCM との接着メカニズムと性能を検証した。また、RC 床版下面にプライマーおよび接着剤を塗布し、CFRP 格子筋を直接設置して PCM 吹付け下面増厚補強した、それぞれの RC 床版供試体を製作し、輪荷重走行疲労実験を実施し、補強効果および耐疲労性を評価するとともに、プライマーおよび接着剤を塗布した下面増厚補強法における破壊メカニズムを検証した。

2. 実験方法

本研究では、補強に用いる各々の構成部材を用いる要素試験と実橋の 1/2 寸法となる模擬床版を用いた輪荷重試験により性能評価を行う。

2.1 要素試験方法

(1) 要素試験供試体作製方法と試験方法

要素試験は、接着剤およびプライマーが塗布され PCM が打設される打ち継ぎ界面の状況を、時系列で観察することにより接着剤およびプライマーと PCM の接着メカニズムを解明する。また、コンクリートと PCM が打ち継がれた供試体を作製し静的な直接引張試験および一面

*1 日本大学 大学院生産工学研究科 (学生会員)

*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技術部長 修 (工) (正会員)

表-1 要素試験用供試体の一覧

供試体	打継ぎ界面処理	試験目的
AD-1	接着剤	付着メカニズム確認用
EM-1	プライマー	
AD-2	接着剤	直接引張試験用
EM-2	プライマー	
C-3	打継ぎ無しコンクリート	一面せん断試験用
PCM-3	打継ぎ無しPCM	
AD-3	接着剤	
EM-3	プライマー	

表-2 使用したコンクリートとPCMの性能

付着試験用 コンクリート		PCM		
圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	配合(kg/m ³)		
		プレミックスパウダー	水	
35.6	44.3	1,850	300	

表-3 床版コンクリートの諸元

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

せん断試験による性能評価を行う。

そこで、接着メカニズム解明のための施工下地は、躯体表面を模擬し JIS K 5600 に規定される市販のモルタル板を用い、ディスクサンダーで表面をケレンしエアブローで清掃した後 PCM を打継ぎ施工する。ここで、打継ぎ界面に接着剤を用いた供試体を AD-1 とし、プライマーを塗布した供試体を EM-1 とする。供試体 AD-1 は接着剤の塗布後 30 分間養生し、硬化していないことを確認して PCM を吹き付ける。接着剤の圧縮強度は 74N/mm²、引張せん断強度は 14.7N/mm²、曲げ強度は 62N/mm²である。プライマーを使用する供試体 EM-1 は、使用する PCM に推奨されている濃度 45% のアクリルエマルジョンを用い水で 3 倍希釈したプライマーを塗布し PCM を吹付ける。プライマーの養生時間は 8 時間とし、指触乾燥していることを確認する。そして、付着の過程を確認することを目的とするため、PCM 吹付け施工後 PCM の始発時間・終結時間まで各々静置養生し PCM 表面から水洗いし、接着剤と PCM 始発・終結時間の間で界面を水洗いし状況の観察から差異を確認する。

本研究に用いた PCM の始発時間は 2 時間 20 分、終結時間は 2 時間 50 分である。ここで、供試体一覧を表-1 に示す。

そして、直接引張試験および一面せん断試験に用いる供試体は普通ポルトランドセメントと混合珪砂および最大寸法 20mm の硬質砂岩を用い作製された 50φ×100mm 高さのコンクリートの中央をコンクリートカッターにて切断、水洗い・乾燥後、接着剤またはプライマーを塗布し PCM が打継がれた供試体を作製し、JIS A 6909 に準拠する直接引張試験および一面せん断試験にておのおの付

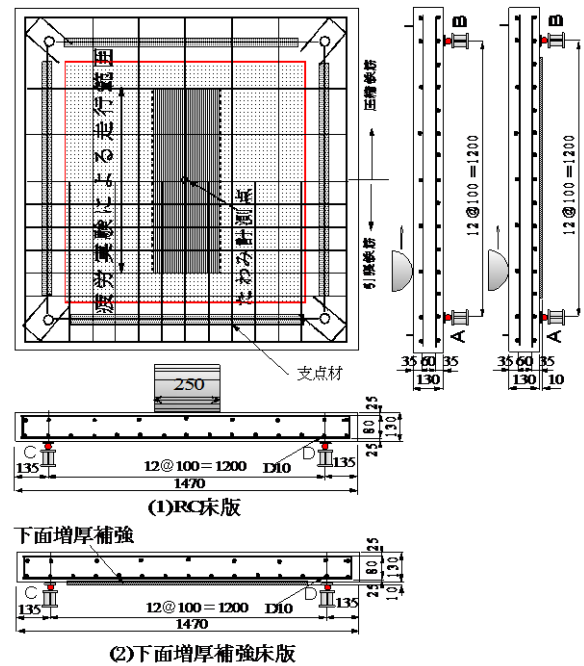


図-1 RC床版供試体図

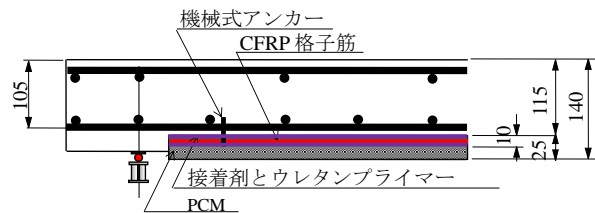


図-2 下面増厚床版の詳細断面図

着強度を確認する。直接引張試験に用いる供試体は、接着剤を用いた供試体を AD-2、プライマーを用いた供試体を EM-2 とする。そして、一面せん断試験に用いる接着剤を用いた供試体を AD-3、プライマーを用いた供試体を EM-3 とする。そして打継ぎ界面のないコンクリート供試体を C-3、同様に打継ぎ界面のない PCM 供試体を PCM-3 とする。ここで、下地コンクリートおよび PCM の配合と性能を表-2 に示す。また、これらの要素試験では、CFRP 格子筋は使用していない。また、本 PCM にはビニロン繊維が混合されているが詳細は報告されていない。

2.2 輪荷重走行試験に用いる供試体作製方法及び試験方法

(1) RC 床版の製作方法

本試験に用いる供試体は、2002 年改定の道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）⁴⁾の規定に基づいて設計し、実験装置の輪荷重幅 250mm と道示に規定する輪荷重幅 500mm の比によるモデル化を行うものとする。よって、輪荷重幅によりすべての RC 床版供試体寸法は実橋の 1/2 モデルとする。輪荷重走行試験用供試体の床版コンクリートには、普通ポルトランドセメントと 5mm

以下の砕砂および5mm～20mmの砕石を使用する。鉄筋にはSD295A, D10を用い、実験時におけるコンクリート圧縮強度は35N/mm²である。鉄筋の降伏強度は370N/mm², 引張強度が511N/mm², 引張弾性率は200kN/mm²である。ここで使用した床版コンクリートの諸元を表-3に示す。床版供試体の下面はかぶりはく落などの既存の損傷を模擬し図-1および同(2)に示す範囲を15mm箱抜きしたRC床版を用いる。ここで、格子筋の設置断面を図-2に示す。

(2) 補強材と打継ぎ界面処理

下面増厚補強床版の引張補強材にはCFRP格子筋を配置する。本研究では、CFRP格子筋を増厚界面に直接配置した床版の下面増厚補強効果を検証する。在来工法である増厚界面にプライマーを塗布した供試体に加え、増厚界面およびCFRP格子筋にエポキシ樹脂接着剤を塗布し、CFRP格子筋を同じ位置にそれぞれ配置し下面増厚補強した場合の補強効果を検証する。よって、無補強供試体を含め3種類の供試体を製作し詳細を下記に示す。

補強材として用いるCFRP格子筋の材料特性は、引張強度が縦・横方向とも1,902N/mm², 引張弾性率103.7kN/mm²であり、本供試体には格子間隔50mm×50mm, 厚み4mmのCFRP格子筋を用いる。本CFRP格子筋は高強度型炭素繊維をビニルエステル樹脂と有機過酸化化物による硬化剤で含浸硬化・成形された市販品を用いる。ここで格子筋の性能を表-4に示す。

プライマーは、要素試験と同様の市販品のアクリルエマルジョンを用い水で3倍希釈された市販品を用い、塗布量は300g/m²とする。塗布後8時間の養生を行い指触乾燥していることを確認しPCMを吹付ける。

また、本研究に使用する接着剤は、2液性無溶剤型であり、エポキシ樹脂と脂肪族ポリアミンおよび特殊添加剤により構成される。特殊添加剤は、水と接触することで加水分解し下地材料などの無機物表面に水素結合により吸着し、PCMの硬化によるPCM混練水が水和により消費され、添加剤も脱水縮合反応することで強固な化学結合を形成すると言われている⁵⁾。ここで、反応模式図を図-3に示す⁶⁾。また、接着剤自体も殆ど水が混合せずPCMの混練水が触れる湿潤環境でも無機物である施工下地および骨材との接着性能に悪影響を及ぼさない配合とした。そして、接着剤は打継ぎ界面に塗布量0.7kg/m²ローラー刷毛で塗布する。

CFRP格子筋は、前記の通りビニルエステル樹脂で含浸成形されているため同ビニルエステル樹脂の特長から接着剤であるエポキシ樹脂が化学的に接着しにくい性質を持つ。そこで、本研究では、CFRP格子筋の表面に水酸基成分が過剰に配合され塗布した後、指触乾燥後も化学的な極性を持ち、成分として主材にエポキシポリオ

表-4 CFRP格子筋の性能

断面積 (mm ²)		格子筋間隔 (mm)		引張強度 (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	103.7	103.7

表-5 輪荷重走行試験に用いる供試体の一覧

供試体	打継ぎ界面処理	補強材	床版総厚
RC	なし	なし	130mm
RC-C	プライマー	CFRP格子筋	140mm
RC-C.A	接着剤		

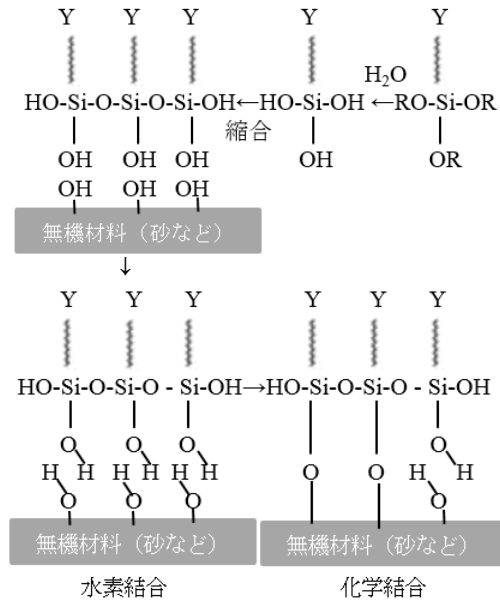


図-3 添加剤の反応模式図⁶⁾

ール、硬化剤にイソシアネートプレポリマーを使用した2液性溶剤型ウレタンプライマーをあらかじめCFRP格子筋に塗布する。そこでウレタンプライマーの指触乾燥後に接着剤を塗布することでCFRP格子筋と接着剤がウレタンプライマーを介した化学的反應により強固に結合する構造と考えられる。格子筋の作製に用いられているビニルエステル樹脂表面へのウレタンプライマーの接着は同プライマー中の有機溶剤によりビニルエステル樹脂表面の膨潤を与え、その後ウレタンプライマー内の有機溶剤が揮発・硬化しても極性を持つ水酸基が残存することで格子筋と接着剤との接着を確保するメカニズムとした。また、格子筋への接着剤の塗布量は100g/m²とし、上記ウレタンプライマーも含めCFRP格子筋の全断面に塗布する。

(3) 増厚に用いるPCM

PCMは、一般的に吹付け工法に用いられている市販のPCMを用いる。この材料は、既設RC床版下面から吹付ける施工が可能である。ここで、本実験供試体に用いるPCMの配合を表-2に示す。なお、本プレミックス材にはビニロン繊維が配合されているが、詳細は公表されて

いない。本供試体に用いた PCM の圧縮強度は材齢 28 日で 44.3N/mm² であり、要素試験に使用した PCM と同一である。

ここで、表-5 に示すように無補強 RC 床版供試体を RC、プライマーと CFRP 格子筋を用いた下面増厚補強床版供試体を RC-C、接着剤と CFRP 格子筋を用いた下面増厚補強床版供試体を RC-C.A とする。

(4) 輪荷重重走行試験方法と等価走行回数の算定方法

RC 床版および下面増厚補強床版供試体を用いて、輪荷重重走行疲労実験を行う。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増加する、段階荷重載荷とする。たわみの計測は、各荷重条件にて 1, 10, 100, 1,000 回とし、それ以降は 5,000 回ごとに計測する。下面増厚補強法における補強効果は基準荷重に対する等価走行回数を算定し、RC 床版の等価走行回数を基準に補強効果および耐疲労性を評価する。

前記の通り、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。輪荷重重走行疲労実験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 12.7 を適用する⁷⁾。

なお、RC 床版および下面増厚補強床版供試体は、道示 I に準拠して 1/2 モデルとした。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 1.2 を考慮して 60kN とする。

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

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)

3. 試験結果

3.1 要素試験結果

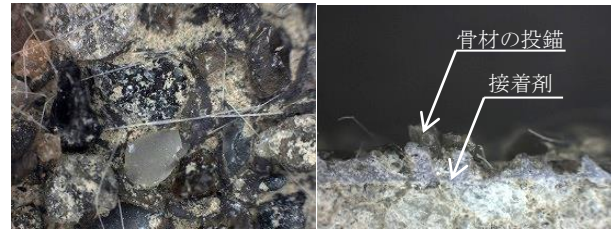
(1) 接着剤およびプライマーの付着メカニズム

接着剤をモルタル表面に塗布し PCM が打ち継がれた供試体 AD-1 のモルタル始発時間および終結時間の界面状況は、下地モルタルに接着剤が接着しており PCM 内の細骨材とビニロン繊維が投錨され接着しているがセメント成分の表面付着は少ない。骨材が接着剤に対して機械的に接着され、接着剤は増粘し硬化しはじめている。ここで接着剤への骨材の投錨状態を図-4, 5 に示す。ま



(1)接着剤使用 (2) プライマー使用

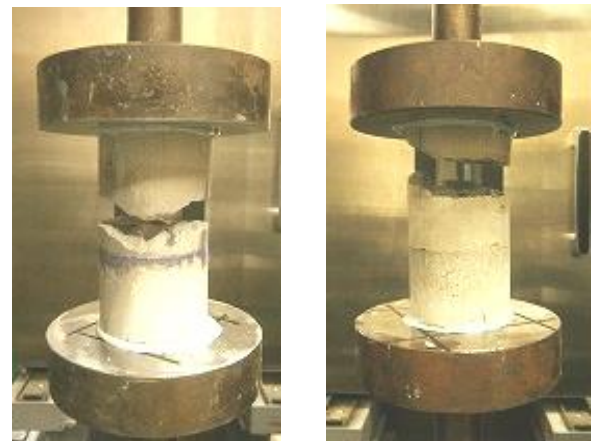
図-4 打ち継ぎ界面の状況 (水洗後)



(1)接着剤使用

(2)プライマー使用

図-5 打ち継ぎ界面の拡大(硬化後)



(1)接着剤使用

(2)プライマー使用

図-6 直接引張試験状況

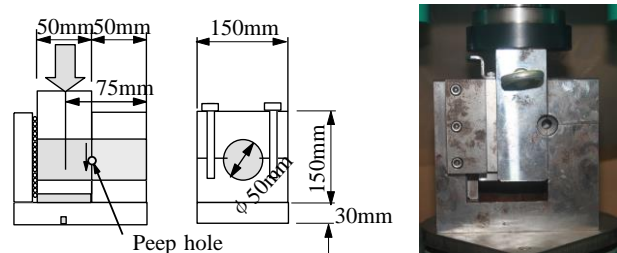
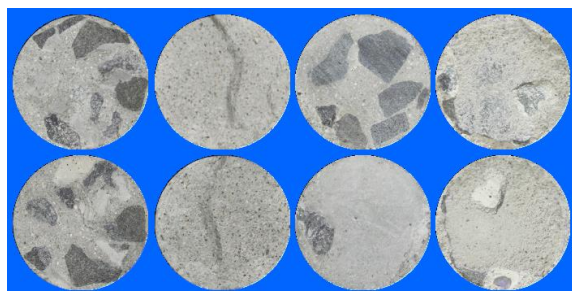


図-7 モードII型一面せん断試験機

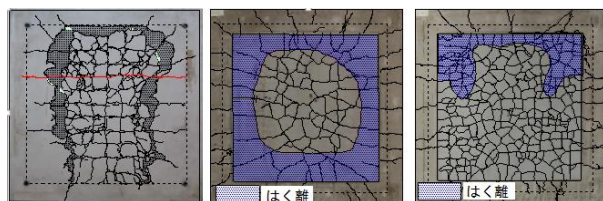
表-6 等価走行回数結果

供試体		荷 重			等価走行回数 合計	走行 回数比
		80 kN	100 kN	120 kN		
RC	実験走行回数	20,000	10,010		7,347,504	—
	等価走行回数	772,240	6,575,264			
RC-C	実験走行回数	20,000	20,000	4,100	27,996,469	3.8
	等価走行回数	772,240	13,137,391	14,086,838		
RC-C.A	実験走行回数	20,000	20,000	19,000	141,107,332	19.2
	等価走行回数	772,240	13,137,391	127,197,701		



(1)C-3 (2)PCM-3 (3)EM-3 (4)AD-3

図-8 一面せん断試験状況



(1)RC (2)RC-C (3)RC-C.A

図-9 輪荷重走行試験後の床版下面破壊状況

た、水洗いによる接着剤の目視変化は認められず下地との接着状況を維持し水と混ざりにくい性質を示している。そして、硬化後の拡大写真による観察では骨材が接着剤に投錨されていることがよく確認される。

このようなメカニズムで接着される場合、接着剤の塗布量と骨材径の関係が懸念されるが、今回は接着剤の塗布量を 0.7kg/m^2 (約 0.5mm 厚) で塗布したが最大径 3mm の細骨材は接着させることができることが確認された。

プライマーをモルタル界面に塗布した供試体 EM-1 供試体のモルタル始発時間・終結時間の界面状況は水洗いにより PCM が洗い流され凹み部分以外プライマーのみが露出する状況となった。同供試体の打継ぎ界面状況を 図-4.5 に示す。今回は市販品のアクリルエマルジョンを使用したためアニオン・カチオン・ノニオン・両性など極性の詳細は不明であるがプラスの電荷を持つカチオン系エマルジョンを使用することで骨材のマイナス電荷と電氣的に引き合うことも想定され今後の課題としたい。

しかし、プライマーは下地モルタルに接着しており PCM 内の混練水がモルタル側に含浸し PCM に必要な水和水が不足することは防止されている物と考えられる。

(2) 直接引張試験結果

これらの実験結果から接着剤とプライマーを用いた両供試体で付着メカニズムが異なることが確認された。

接着剤を打継ぎ界面に用いた供試体 AD-2 の付着強度は 2.38N/mm^2 を示し下地コンクリートの引張破壊で打継ぎ界面の破壊は見られない。

また、プライマーを打継ぎ界面に用いた供試体 EM-2 の付着強度は 2.61N/mm^2 を示し接着剤を使用した場合と同様に下地コンクリートの引張破壊で試験を終了した。静的な試験である直接引張試験では両供試体の差異は見られない。ここで、破壊状況を 図-6 (1), (2) に示す。

(3) 一面せん断試験結果

既存 RC 床版と増厚界面の付着強度の評価に関しては、モード II 型 (縦ずれ) の一面せん断試験装置を用いて一面せん断試験を行い、増厚界面のせん断強度を評価する。ここで、筆者らが開発した、モード II 型の一面せん断試験装置およびせん断面を 図-7 に示す。一面せん断試験は、コンクリートの圧縮載荷法 JIS A 1108 の規定に基づき、加圧速度を毎秒 0.6N/mm^2 で行った。

ここで、一面せん断試験における各種試験体の破壊状況を 図-8 に示す。打ち継部がないコンクリートの圧縮強度 35N/mm^2 の C-3 供試体は破壊状況を 図-8 (1) に示すように、破壊面は骨材も含めてせん断破壊となっている。一面せん断強度は 6.8N/mm^2 である。また、同様に打ち継部のない PCM-3 供試体は圧縮強度が 44.3N/mm^2 であり、破壊状況は 図-8 (2) に示すように、一面せん断に至っており、一面せん断強度 8.9N/mm^2 である。一方、プライマーを塗布して PCM を増厚した EM-3 供試体は 図-8 (3) に示すように増厚界面で破壊し、一面せん断強度は 4.0N/mm^2 である。次に、接着剤を塗布した後に PCM を増厚した AD-3 供試体は 図-8 (4) に示すように破壊は PCM 側で破壊し、一面せん断強度は 8.9N/mm^2 である。したがって、せん断破壊がコンクリート側で発生した場合は、コンクリートの圧縮強度が顕著となる。接着剤を塗布した供試体の増厚界面においては打継ぎ部がない供試体と、ほぼ同様な一面せん断強度が確保されている。

3.2 輪荷重走行試験結果と破壊状況

本実験における RC 床版供試体および下面増厚補強床

版供試体の実験走行回数および等価走行回数の算定結果を表-6に示す。すべての床版供試体は走行できなくなるまで輪荷重走行試験を行い、すべての供試体で押し抜きせん断破壊で試験を終了した。

(1) 無補強 RC 床版供試体

無補強供試体 RC の等価走行回数は 7.347×10^6 回であり、本供試体の等価走行回数を基準に、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。

試験終了後の床版下面の破壊は図-9(1)に示すように鉄筋に沿ってひび割れが発生し、一部のひび割れは床版上面まで貫通ひび割れとなった。そして輪荷重走行位置から 45 度の外側の鉄筋ダウエル効果の及ぼす範囲の外側で押し抜けている。

(2) プライマーを塗布した CFRP 下面増厚床版

増厚界面にプライマーを塗布、CFRP 格子筋を設置し、PCM が吹付けられた供試体 RC-C の等価走行回数は 27.996×10^6 回であり、供試体 RC の等価走行回数の 3.8 倍の等価走行回数を得られた。図-9(2)に示すように試験終了後の床版下面は破壊時の輪荷重位置から 45 度の内側にははく離は見られないもの押し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支点方向ではく離している。ひび割れの発生は 10~20cm 間隔となった。

(3) 接着剤を塗布した CFRP 下面増厚床版

増厚界面および CFRP 格子筋に接着剤を塗布した後、CFRP 格子筋を配置した供試体 RC-C.A の等価走行回数は 141.10×10^6 回であり、無補強供試体 RC の等価走行回数の 19.2 倍の補強効果を得られた。また、同一の補強材を用い、プライマーを塗布した供試体 RC-C の等価走行回数の 5.04 倍となり大きな補強効果を得られた。

既往の多くの研究では、CFRP 格子筋の表面と PCM の付着性は考慮されていないが、本研究では格子筋にも接着剤を塗布することで、PCM との付着性が向上し、剥離抑制効果により耐疲労性が向上した。試験後の床版下面は、接着剤の効果により、破壊時付近まで一体性が確保され、CFRP 格子筋の引張力の効果により、供試体 RC-C に比して図-9(3)に示すようにひび割れが多く発生し分散されている。打音検査によるはく離範囲は押し抜きせん断破壊した下面の一部がはく離することとどまった。

4. まとめ

本研究にて提案する、在来工法のプライマーを用いた補強法と新規なエポキシ樹脂接着剤を用いる床版下面 CFRP 増厚補強法で静的な要素試験と輪荷重走行による疲労試験を行い、下記の知見が得られた。

(1) 静的な直接引張試験ではプライマーと接着剤を用いた各々の供試体では差異が殆ど見られない。

同様の供試体を静的な一面せん断試験で評価すると接着剤を使用した供試体はプライマーを使用した供試体と比して約 1.7 倍のせん断付着強度を示し、接着剤のせん断付着強度増加効果が確認され、打ち継ぎ部がない PCM とほぼ同等のせん断付着強度を示した。

- (2) 接着剤およびプライマーを用いる PCM 打ち継ぎ試験片を PCM の始発・終結時に水洗いし打ち継ぎ界面状態の確認を行った結果、接着剤を用いた供試体は細骨材が接着剤の表面に投錨され添加剤の効果によりまず水素結合により接着し、既往の研究^{5,6)}と同様に PCM の水和反応による脱水縮合反応により水が存在する PCM であっても化学的に結合をもたらす。プライマーは凹凸による物理的な接着と吸水防止に効果があることが確認された。
- (3) 要素試験同様の施工断面を用いた輪荷重走行試験では打ち継ぎ界面のみならず CFRP 格子筋にも接着剤を塗布することで CFRP 格子筋と PCM が強固に接着する構造となり、ひび割れ分散効果が高まることによりひび割れ発生形状および破壊状況に大きな差異が見られた。
- (4) 輪荷重走行試験による等価走行回数の評価では、接着剤を使用した床版の等価走行回数はプライマーを使用した等価走行回数の 5.04 倍の 141.10×10^6 回となり無補強床版に対し 19.2 倍の大幅な等価走行回数の増大が見られ、接着剤と CFRP 格子筋を用いた道路橋下面増厚補強法に新たな補強法として提案できる。

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
- 2) 石川 裕一，青山 實伸，倉戸 伸浩，西尾 守広：劣化した道路鋼橋 RC 床版の凍結防止剤による塩分浸透特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, No.2, pp.1393-1398, 2010
- 3) FRP グリッド研究会：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・施工マニュアル(案)，2001
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I，II，III，2002
- 5) 竹内 光二，土屋 栄吾，高橋 浩：無機充填剤の表面改質，表面科学，Vol. 3, No. 2，pp.65-74, 1982
- 6) 信越シリコーン株式会社：シランカップリング剤カタログ，2010.11
- 7) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007