

床版上面増厚において付着界面が湿潤状態における 接着剤の効果および耐疲労性の評価

－ 湿潤環境における適用の可能性と評価 －

鹿島道路㈱○伊藤清志 鹿島道路㈱ 児玉孝喜 鹿島道路㈱ 山下健史

住友大阪セメント㈱ 小林哲夫 日大生産工 阿部 忠

1. はじめに

近年、支間 15m 以上の橋梁を対象とした長寿命化修繕計画の策定に伴い実施された調査により、橋梁部材の中で最も損傷が著しいのは経済成長期に建設された RC 床版であることが報告されている。特に、積雪寒冷地域では凍結防止剤の散布による塩害や凍害により、床版上面のスケーリングや砂利化の影響を受け、供用開始後 30 年前後で新床版に取り替えられている¹⁾。この対策の一つとして耐荷力の向上および上面劣化に対する補強法として鋼繊維補強コンクリート (SFRC) を用いた上面増厚補強法が採用されている²⁾。しかし、一部の施工箇所では増厚界面のはく離が発生し、早期に再増厚補強が施されている事例もある。よって、既存床版と増厚部の界面のはく離防止、および疲労耐久性の確保が重要と考えられる。筆者らは増厚界面に接着剤を塗布した SFRC 上面増厚補強における耐疲労性の評価を行ってきた。この結果、従来の SFRC 上面増厚補強法に比して接着剤を塗布後に SFRC 上面増厚補強した RC 床版の耐久性が大幅に向上することを確認した^{3)、4)}。しかし、これは、RC 床版の増厚界面が乾燥状態における接着剤塗布の効果であり、ウォータージェットを用いた切削・研掃後の増厚界面が湿潤状態については、接着剤の効果および耐疲労性の評価が必要となる。

そこで本研究は、既存 RC 床版が湿潤状態における接着剤の有効性について、耐疲労性と直接引張試験による付着強度について検証した。



写真-1 付着界面の剥離



写真-2 WJによるハツリ後

2. RC床版の損傷状況と補修対策

道路橋RC床版下面に発生するひび割れは、進行すると貫通ひび割れとなり、はり状化していくと考えられる。また、積雪寒冷地域の床版では、床版上面にスケーリングや砂利化が生じているものもある。これらの床版は1994年改訂の道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）⁵⁾に規定する床版厚の確保および活荷重に対処するために部分打ち替えを含むRC床版上面増厚補強が施されてきた。しかし、従来のSFRC上面増厚補強による補強橋梁の一部では写真-1に示すように増厚界面ではく離が生じ、かなり早い段階で再増厚補強が行われている事例もある。そこで筆者らは、増厚界面に接着剤を塗布したSFRC上面増厚補強法を提案し、室内試験や現場施工を踏まえて検討を行ってきたが、特に積雪寒冷地域において既設RC床版上面の脆弱部をWJによる切削・研掃が用いられている写真-2。この工法では、RC床版の上側鉄筋の下側に3cm程度まで切削・研掃を行う為、凹部はWJによる余剰水により湿潤状態となり、乾燥状態となるまでにはかなりの時間が必要となる。これらのことからWJを用いた施工や降雨により床版上面が湿潤状態にあるときの接着剤の適用の可否・効果について評価する必要がある。

3. 材料試験

3.1 目的

接着剤としての材料特性として、増厚界面が乾湿状態および湿潤状態の違いによる付着強度特性を評価するために直接引張試験を行う。

3.2 使用材料、供試体の製作および試験方法

本実験における打ち継ぎ界面の設定条件を表-1に示す。また、引張試験用供試体には超速硬コンクリート（材齢3時間で圧縮強度24N/mm²以上）を用い、コンクリートの配合は表-2に示す。引張試験用供試体は、強制2軸型ミキサーで練り

Study On Adhesive Force And Fatigue Resistance At Wet Surfaces In Concrete Overlaying.

－ Applicability and an evaluation of the adhesive in the wet environment －

Kiyoshi ITO, Takayoshi KODAMA, Takeshi YAMASHITA, Tetuo KOBAYASHI and
Tadashi ABE

混ぜた超速硬コンクリートを直径 100mm、高さ 200mm の円柱型枠に打込み、硬化後に脱型し、高さ 50mm で切断した。この切断面を上側になるように鋼製半割り式型枠に装着して、これをベースコンクリートとした。この際、湿潤条件については 48 時間浸漬後、打込み直前に型枠に装着した。これを付着界面を飽水状態とし、更に水深 1mm および 2mm の滞水を各々させた状態で接着剤を塗布とした。次に、引張試験方法は、道路橋床版防水便覧⁶⁾の規定に基づき、試験温度を $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、6 時間養生を行い、養生後に脱型し、図-1 に示す治具に固定して、0.1mm/min の一定変位で直接引張試験を行った。引張試験の状況を写真-3 に示す。引張強度は、破壊時の最大荷重を断面積で除して求める。なお、本実験における引張強度を増厚界面の付着強度として評価した。

3.3 引張試験結果および考察

引張試験の結果を図-2 に示す。乾燥状態で直接増厚した供試体の引張強度、すなわち付着強度は 1.17 N/mm^2 であり、湿潤状態(飽水)の場合は 0.76 N/mm^2 である。上面増厚工法設計施工マニュアル²⁾に規定されている付着強度の許容値は 1.0 N/mm^2 であることから、従来の接着剤を用いない上面増厚では増厚界面は乾燥状態であることが必須となる。一方、増厚界面に接着剤を塗布した供試体は、乾燥状態で 2.58 N/mm^2 、湿潤状態(飽水)では 2.67 N/mm^2 となり、破壊形状は母材破壊であった。更に表面に 1mm 滞水した場合は 1.13 N/mm^2 、2mm 滞水で 1.20 N/mm^2 となり、破壊形状は界面破壊であった。このことから水分量が多くなり、付着界面に水膜が生じると、上面増厚工法設計施工マニュアルに規定されている付着強度 1.0 N/mm^2 は満足しても付着強度は大幅に低下し、破壊形状も界面破壊となる。よって、増厚界面の湿潤状態が飽水程度であれば、接着剤を塗布した施工は十分に可能であると考えられる。

4. 疲労実験に用いる床版供試体の作成

4.1 供試体概要

輪荷重走行疲労実験の車輪幅は 250mm であり、道示に規定する輪荷重幅の 1/2 モデルとする。よって、RC 床版の供試体寸法は 1/2 モデルとする。SFRC 上面増厚補強法は、RC 床版供試体の上面を 10mm 切削し、上面増厚を 40mm とする。施工法は、まず床版上面を切削・研掃し、直接 SFRC を上面増厚補強した RC 床版(以下、SFRC 上面増厚補強 RC 床版とする)と増厚界面に接着剤を塗布した SFRC 上面増厚補強 RC 床版(以下、接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強 RC 床版とする)供試体

表-1 打継ぎ界面の設定条件

ベースコンクリートの設定条件	
気乾状態	気乾状態を保つ
湿潤状態(飽水)	48時間浸漬後、表面水の拭取り
湿潤状態(滞水(少))	48時間浸漬後、表面に高さ1mmの滞水
湿潤状態(滞水(過多))	48時間浸漬後、表面に高さ2mmの滞水

表-2 供試体の配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad (C×%)	Bayfe ^{※2} (C×%)
		W ^{※1}	C	S	G		
38.0	39.5	152	400	712	1107	2.0	2.0

※1: 単位水量は減水剤を含む ※2: 外割り添加

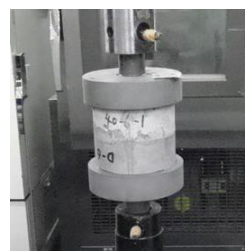


写真-3 直接引張試験状況

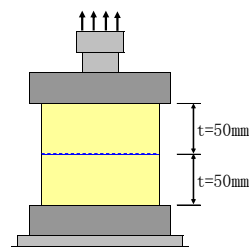


図-1 供試体寸法

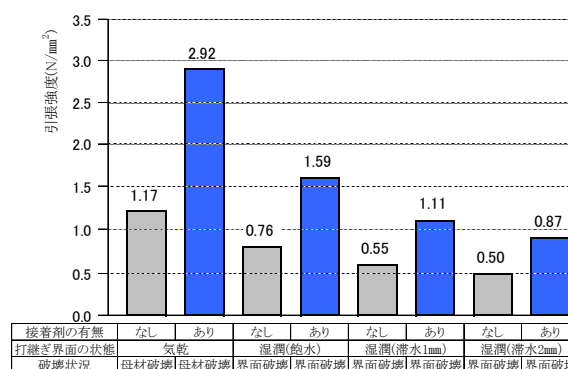


図-2 直接引張試験結果

表-3 RC床版供試体の配合

スランブ(cm)	W/C (%)	S/a	単位量(kg/m ³)				混和材
			セメント	水	細骨材	粗骨材	
8.0±2.5	39.2	40.0	403	158	726	1094	4.0

表-4 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)	ヤング係数 (kN/mm ²)
RC床版 (RC-1)	32.0	370	511	200
RC床版 (RC-2)	35.0			

の2タイプを製作する。また、接着剤塗布型SFRC 上面増厚補強法においては増厚界面を乾燥状態と湿潤状態で接着剤を塗布したSFRC 上面増厚補強RC床版供試体の2種類を製作し、湿潤状態における接着剤の有用性を検証する。

4.2 使用材料

a) RC床版

既設床版を模擬する供試体の示方配合を表-3 に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、鉄筋はSD295A, D10を使用し、コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-4に示す。

b) 上面増厚コンクリートおよび接着剤

上面増厚コンクリートにはSFRCを用い、設計基準圧縮強度は材齢3時間で 24N/mm^2 とした。SFRCの示方配合を表-5に示す。鋼繊維は長さ30mmを混入率1.27Vol.%で配合した。接着剤には高耐久型エポキシ系接着剤表-6を使用した。

4.2 供試体寸法および鉄筋の配置

a) RC床版

基準となるRC床版供試体の寸法は、床版支間長を1200mm、張出部は135mm、全長は1470mmである。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張側の軸直角方向および軸方方向ともに100mm間隔で配置し、有効高さをそれぞれ105mmおよび95mmとした。また、圧縮側には引張鉄筋量の1/2を配置した。図-3に供試体寸法および鉄筋の配置を示す。

b) SFRC上面増厚RC床版

SFRC上面増厚RC床版供試体は、RC床版上面かぶりを10mm切削後、SFRCを40mmで増厚し、床版全厚は160mmを目標とした。

c) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版

増厚界面に接着剤を1.0mm厚で塗布し、SFRC上面増厚は40mmとし、全厚は160mmを目標とした。

4.3 供試体の製作

準備工として模擬床版コンクリートの表面を切削機で10mm切削写真-4し、ショットブラストによる研掃(投射密度 150kg/m^2)写真-5で脆弱部を除去した。この供試体を用いて各種条件(乾燥状態で接着剤の有無と湿潤状態(飽水)で接着剤あり)において床版上面増厚を行った。SFRCはジェットモビル車により製造後、厚さ40mmで敷均し、パイプレータで締固め、左官鏝にて仕上げた。また、実施工において発生する車線毎の打継目を模擬し、図-3に示す左支点Cから445mmの位置を打継目とした。SFRCの打込みは輪荷重が走行する右支点D側の幅755mmを先に行い、3時間後に残りの支点C側445mmを行った。ここで、接着剤無しでSFRCを全面に直接増厚した供試体をRC-S-1、打継目を設けた供試体をRC-S-2、接着剤を平均厚さ1mmで全面塗布後に増厚した供試体をRC-S-A1、打継目を設けた供試体をRC-S-A2、湿潤状態にて接着剤を全面塗布後に増厚した供試体をRC-S-A3、RC-S-A4と称する。なお、湿潤状態におけるSFRC上面増厚補強RC床版では打継目を設けないこととした。

5. 輪荷重走行疲労実験

a) 輪荷重走行疲労実験の概要

SFRC上面増厚補強RC床版の耐疲労性の評価は、輪荷重走行疲労実験を行い、破壊時の等価走行回数から評価した。本実験に用いた車輪幅は250mmで、道示に規定する車輪幅の1/2モデルである。走行範囲は900mmとする。ここで、実験状況を写真-8に示す。

表-5 SFRCの配合

スランプ (cm)	W/C (%)	S/a	単位量(kg/m ³)					混和材 S.P
			セメント	水	細骨材	粗骨材	鋼繊維	
6.5±1.5	39.3	51.2	430	170	851	858	100.0	C×2%

表-6 高耐久型エポキシ系接着剤

項目	基準値	試験値	備考
外観	白色ペースト状	—	異物混入なし
主剤	—	—	—
硬化剤	青色液状	—	—
混合比(主剤:硬化剤)	5:1	5:1	重量比
硬化物比重	1.4±0.2	—	JIS K 7112
圧縮強さ	50N/mm ² 以上	85.08N/mm ²	JIS K 7181
圧縮弾性係数	1000N/mm ² 以上	2896N/mm ² 以上	JIS K 7181
曲げ強さ	35N/mm ² 以上	50.13N/mm ²	JIS K 7171
引張せん断強さ	10N/mm ² 以上	16.5N/mm ²	JIS K 6850
コンクリート付着強さ	1.6N/mm ² 以上or母材破壊	—	JIS K 6909

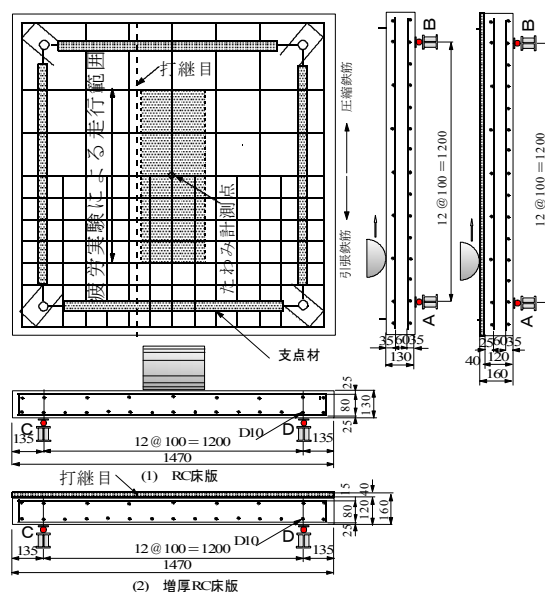


図-3 供試体寸法および鉄筋の配置(mm)



写真-4 切削状況



写真-5 研掃状況



写真-6 床版給水状態



写真-7 湿潤面(飽水状態)

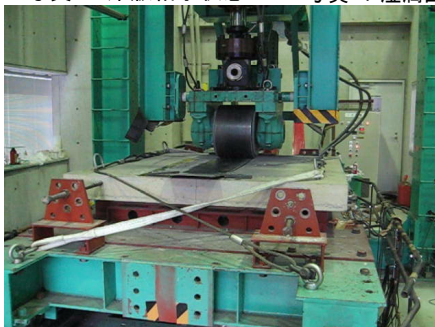


写真-8 輪荷重走行疲労試験

疲労実験における基準荷重は、実橋床版の1/2モデルとしたことから、設計荷重は50kNに安全率1.2を考慮した60kNとする。実験における初期載荷荷重はRC床版およびSFRC上面増厚補強RC床版ともに80kNとし、荷重は120kNまでは2万回走行毎に荷重を20kNずつ増加させる。荷重120kN以降は、2万回走行ごとに荷重を10kNずつ増加させる方法とする。

b) 輪荷重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させたことから等価走行回数を算出して疲労耐用性を評価する。等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)として与えられる。道路橋RC床版は補強後に健全な状態に回復したとして、補強されたRC床版の耐疲労性の評価は、松井らが提案するRC床版のS-N曲線⁹⁾の傾きの逆数 m には12.7を適用する。なお、基準荷重 P は60kNとする。

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

ここに、 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 ：RC床版のS-N曲線の傾きの逆数(=12.7)

6. 実験結果および考察

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-4)に示す。

a) RC床版

RC床版供試体RC-1, 2は、ともに等価走行回数の増加に伴いたわみもわずかに上昇し、たわみが3.0mm(≒L/400, L：床版支間)を超えた付近からたわみが急激に増加している。破壊時のたわみは供試体RC-1, 2で、それぞれ7.91mm、6.86mmであった。

b) SFRC上面増厚RC床版

SFRCを床版上面に直接増厚した供試体RC-S-1は、RC床版同様に3.0mmを超えた付近からたわみの増加が著しくなり、破壊時のたわみは6.75mmである。打継ぎ目を設けた供試体RC-S-2も同様な傾向で、破壊時のたわみは6.70mmであった。

c) 接着剤塗布型SFRC上面増厚RC床版

増厚界面を乾燥状態で接着剤を塗布後に増厚した供試体RC-S-A1は、たわみが3.5mm(≒L/350)を超えた付近から急激にたわみが増加し、破壊時のたわみは6.22mmである。打継ぎ目を設けた供試体RC-S-A2もほぼ同様な挙動を示し、破壊時のたわみは5.37mmである。たわみが3.0mmに達した時点の等価走行回数の平均を比較すると、RC床版の29.8倍となった。次に、増厚界面を湿潤状態で接着剤を塗布し、SFRCを増厚した供試体RC-S-A3, A4はともに、たわみが4.0mm(≒L/300)を超えた付近から急激にたわみが増加し、破壊時のたわみはそれぞれ8.0mm、7.4mmであった。

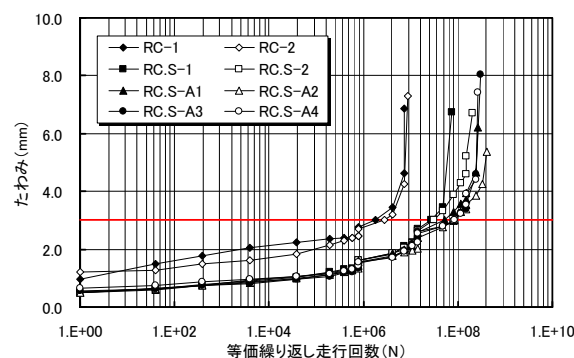


図-4 たわみと等価走行回数

7. まとめ

以下に検討結果を示す。

- 1) 増厚界面を乾燥状態と湿潤状態の条件において、それぞれ接着剤塗付の有無による増厚した場合の引張試験の結果は、打継ぎ界面が乾燥状態で接着剤を無塗布では規格値1.0N/mm²を満足するが、打継ぎ界面が湿潤状態で接着剤を無塗布では規格値以下であった。一方、打継ぎ界面が湿潤状態でも、接着剤を塗布した場合は、湿潤の程度が飽水状態ならば問題はないが、湿潤の程度が滞水(1mmおよび2mm)状態では規格値は満足するが、破壊形状が界面破壊であり、付着界面の水膜が接着剤による付着に影響を与えていることが推察される。
- 2) RC床版の等価走行回数に比して、接着剤を用いない増厚供試体は17.3倍、接着剤を用いる場合は42.7倍、また、増厚界面を湿潤状態で接着剤を塗布した場合は36.4倍の等価走行回数となった。
- 3) たわみと等価走行回数の関係では、基準とする接着剤を用いない増厚供試体と、増厚界面を乾燥状態および湿潤状態で接着剤を塗布した増厚供試体のいずれもが、床版支間の1/400(3.0mm付近)からたわみの増加が著しくなる。したがって、たわみが床版支間Lの1/400に達した付近で補修・補強対策の検討が必要と考えられる。

「参考文献」

- 1) 三田村浩ほか：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、pp. 1420-1431、2009
- 2) (財)高速道路調査会：上面増厚工法設計施工マニュアル、1995
- 3) 高野真希子ほか：劣化RC床版のCFSS底面補強およびSFRC上面増厚補強による耐疲労性、セメント・コンクリート論文集、No. 64、pp. 507-514、2011.2
- 4) 高野真希子ほか：CFRP格子筋を用いたRC床版上面増厚補強法における疲労特性、セメント・コンクリート論文集、No. 63、pp. 530-537、2010.2
- 5) 日本道路橋会：道路橋示方書・同解説Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、2004.
- 6) 財団法人 日本道路協会：道路橋床版防水便覧、2007.
- 7) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、森北出版、2007.