

湿潤状態で高耐久型エポキシ系接着剤を塗布した SFRC上面増厚補強法の耐疲労性の評価

伊藤清志¹・山下雄史¹・一瀬八洋¹・鎌田修²
・中村和明³・加形護⁴・小林哲夫⁵・阿部忠⁶

¹正会員 鹿島道路㈱ 生産技術本部技術部 (〒112-8566 東京都文京区後楽一丁目7番27号)

²正会員 博士(工学) 鹿島道路㈱ 生産技術本部技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

³正会員 鹿島道路㈱ 生産技術本部技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1)

⁴正会員 博士(工学) 鹿島道路㈱ 生産技術本部 (〒112-8566 東京都文京区後楽一丁目7番27号)

⁵正会員 住友大阪セメント㈱ セメント・コンクリート研究所 (〒274-8601 千葉県船橋市豊富町585)

⁶正会員 博士(工学) 日本大学 生産工学部 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町1-2-1)

近年、道路橋RC床版の耐荷力性能の向上を目的としてSFRC上面増厚補強法が採用されているが、従来型のSFRC上面増厚補強法は増厚界面で早期にはく離し、再増厚補強が行われている事例もある。これらを改善するために増厚界面に接着剤を塗布したSFRC上面増厚補強法が提案され、一部の公共団体で採用されている。そこで本研究は、既存RC床版上面をウォータージェットで切削・研掃を行った場合を考慮し、既存RC床版部を湿潤状態で接着剤を塗布した場合の耐疲労性を評価した。その結果、引張試験による付着強度は湿潤状態においても十分確保された。また、湿潤状態で接着剤を塗布したSFRC上面増厚補強RC床版の輪荷重走行疲労実験から耐疲労性を評価した結果、乾燥状態と同等の疲労寿命が得られた。

キーワード: RC床版, 接着剤, 湿潤状態, SFRC上面増厚補強, 耐疲労性

1. はじめに

近年、地方公共団体では15m以上の橋梁を対象に道路橋長寿命化修繕計画が実施され、その結果が報告されている。これによると、橋梁部材の中で最も損傷が著しいものはRC床版である。たとえば、首都圏のRC床版は交通量の増大と過積載車輛の走行などにより、2方向ひび割れが発生する疲労劣化が主な損傷となっている。また、積雪寒冷地域では大型車両の繰り返し走行による疲労劣化に加え、凍結防止剤の散布による塩害や凍害により、RC床版上面はスケーリングや砂利化など、塩害と凍害による複合劣化により、供用開始後30数年で新床版に取り替えられている。さらに、床版コンクリートに海砂が使用された地域では、塩害により鉄筋の発錆やかぶりコンクリートのはく落などの損傷が生じている。いずれも橋梁本体の寿命を迎える以前に、床版補強や新床版に取替がなされている。これらの劣化床版に対する補修・補強対策として耐荷力性能の向上を目的とした鋼繊維補強コンクリート（以下、SFRCとする）を用いた上面増厚補強法が採用されて

いる¹⁾。しかし、従来の工法では既存RC床版を切削・研掃後、直接SFRCを床版上面に打込み、締固めるが、この補強法では早期に増厚界面にはく離が発生し、再増厚補強が施された事例も報告されている²⁾。そこで筆者らは、既設RC床版と増厚界面のはく離の防止と同時に耐疲労性の向上を目的として、増厚界面に高耐久型エポキシ系接着剤³⁾（以下、接着剤とする）を塗布したSFRC上面増厚補強工法（以下、接着剤塗布型SFRC上面増厚補強とする）を提案し、耐疲労性を評価した。その結果、従来型のSFRC上面増厚補強RC床版の耐疲労性に比して、接着剤塗布型SFRC上面増厚補強RC床版は大幅に耐疲労性が向上した^{4), 5)}。一方、上面劣化したRC床版のはつり・研掃にウォータージェット（以下、WJとする）工法が採用されているが、WJによるハツリ・研掃後の増厚界面は湿潤状態となり、乾燥状態に至るまでは数時間を必要とし、交通規制条件の中で残りすべての施工を終了させるためには、多少の湿潤状態において接着剤を塗布する必要がある。

そこで本研究では、既存RC床版部を湿潤状態で接着剤を塗布したSFRC上面増厚補強床版の耐疲労



(1) 床版下面のひびわれ



(2) スケーリング



(3) 砂利化



(4) 付着界面の剥離



(5) WJによるハツリ



(6) ハツリ完了

写真-1 RC床版劣化状況 および WJによる施工状況

性を評価する。材料試験では、付着界面を湿潤状態とした供試体に接着剤を塗布後に SFRC を打継ぎ、直接引張試験により引張強度を評価する。次に、施工マニュアル⁶⁾に準拠して RC 床版上面を切削・研掃後、乾燥状態および湿潤状態で接着剤を塗布して SFRC 上面増厚補強した供試体を製作し、輪荷重走行疲労実験により、それぞれの耐疲労性を評価するとともに、接着剤塗布型 SFRC 上面増厚補強法の実用性を評価する。

2. RC 床版の損傷状況と補修対策

RC床版の劣化状況を写真-1に示す。写真-1(1)は道路橋床版下面のひび割れ状況である。このRC床版は1967年に供用開始されたRC床版であり、鋼主げた付近のハンチ部までひび割れが進展している。したがって、この床版は貫通ひび割れとなり、はり状態化しているものと考えられる。また、写真-1(2)、(3)は、積雪寒冷地域の床版であり、床版上面はスケーリングや砂利化が生じている。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）⁷⁾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上面増厚補強が施されてきた。しかし、

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×%)
		W ^{※1}	C	S	G	
38.0	39.5	152	400	712	1107	2.0

※1:単位水量は減水剤を含む ※2:外割り添加



写真-2 直接引張試験状況

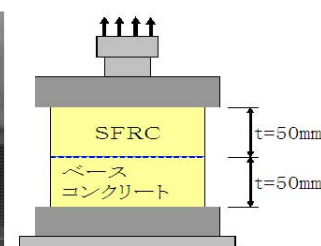


図-1 供試体寸法

従来のSFRC上面増厚補強の場合は写真-1(4)に示すように増厚界面で早期のはく離が生じ、かなり早い段階で再増厚補強が行われている。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た。RC床版上面の脆弱部の除去として、WJが用いられる(写真-1(5))が、RC床版の表面はWJ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効果について評価する必要がある。

3. 材料試験

(1) 目的

接着剤としての材料特性として、増厚界面の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。

(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、引張試験の状況を写真-2および供試体寸法を図-1に示す。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を表-2に示す。湿潤状態は48時間浸漬し、付着界面を飽水状態とした場合と、更に水深1mmおよび2mmの滞水を各々させた状

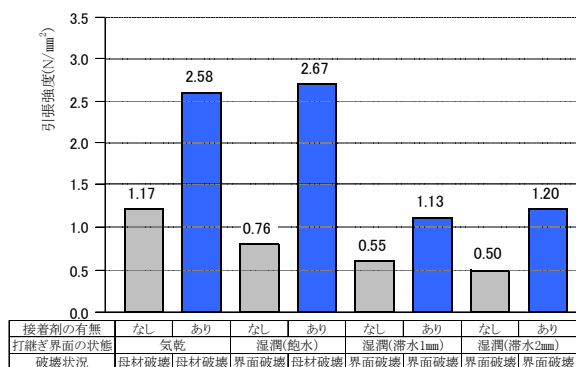


図-2 直接引張試験結果

態で接着剤を塗布した。打ち継ぎ界面の設定条件を表-1に示す。また、引張試験用供試体は、強制2軸型ミキサーで練り混ぜた超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。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、湿潤条件では給水48時間後の打込み直前に型枠に装着した。

次に、引張試験方法は、道路橋床版防水便覧⁸⁾の規定に基づき、試験温度を23±2℃、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。引張強度は、破壊時の最大荷重を断面積で徐して求める。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する。

(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1.17N/mm²であり、湿潤状態(飽水)の場合は0.76N/mm²である。上面増厚工法設計施工マニュアル⁶⁾に規定されている付着強度の許容値は1.0N/mm²であることから、従来型の切削・研掃後直接上面増厚する場合は、増厚界面を乾燥状態で施工する必要がある。次に、増厚界面に接着剤を塗布した供試体は、乾燥状態で2.58N/mm²、湿潤状態(飽水)では2.67N/mm²となり、破壊形状は母材破壊であった。一方、さらに表面に1mm滞水した場合は1.13N/mm²、2mm滞水で1.20N/mm²となり、破壊形状は界面破壊であった。これより、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1.0N/mm²は満足するが付着強度が大幅に低下し、破壊形状も界面破壊となることから、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。

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			
(RC-2)	35.0	370	511	200

表-5 SFRCの配合

スランブ (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%

4. 疲労実験に用いる床版供試体の作成

(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。

(2) 使用材料

a) 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以下の陸砂、5mm～20mmの砕石(JIS A 5005)を使用した。示方配合を表-3に示す。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を用いた。SFRCの設計基準圧縮強度は材齢3時間で24N/mm²とする。鋼繊維は長さ30mmを混入率1.27Vol.%で配合した。SFRCの示方配合を表-5に示す。接着剤には高耐久型エポキシ系接着剤を使用した。

(3) 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

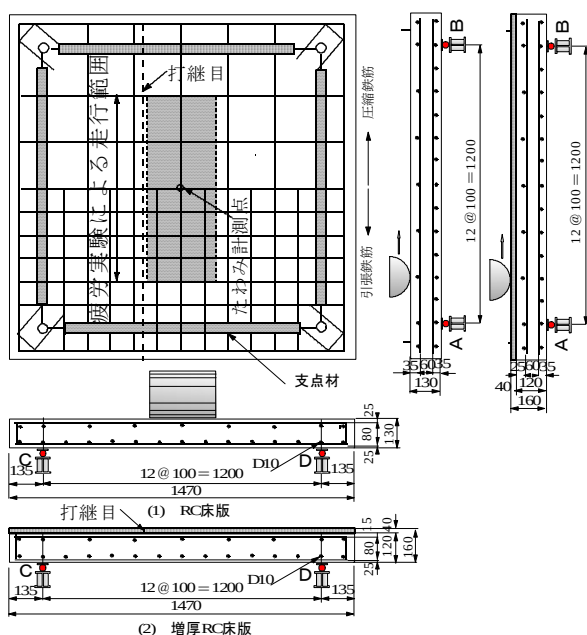


図-3 供試体寸法および鉄筋の配置(mm)

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 とする。また, 圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置する。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 切削し, その上に SFRC を 40mm を増厚し, 床版全厚は 160mm を目標とした。有効高さは軸直角方向が 125mm, 軸方向が 115mm である。

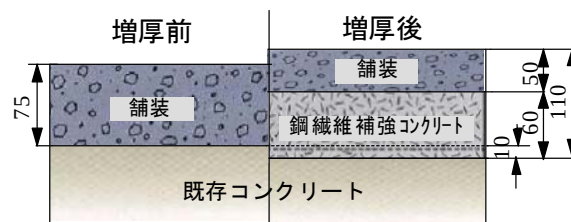
c) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版

RC床版部と上面増厚の界面のはく離を防止し, 耐疲労性の向上を図るために増厚界面に接着剤を1.0mm厚で塗布した。SFRC上面増厚は40mmとする。供試体寸法はSFRC上面増厚RC床版供試体と同じである。

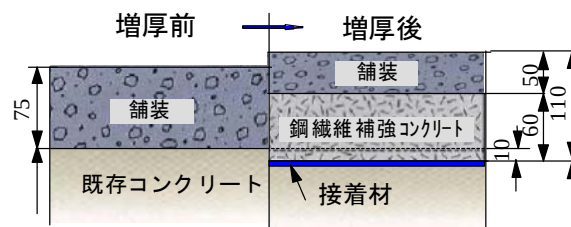
(4) SFRC上面増厚補強方法と供試体の製作

a) SFRC上面増厚補強法

上面増厚工法設計施工マニュアル⁶⁾に示す上面増厚補強寸法および接着剤塗布型上面増厚補強法の概念を図-4に示す。RC床版上面増厚工法は, 図-4(1)に示すように既設 RC 床版の上面を切削後, 研掃(150kg/m²程度)を行い, 増厚コンクリートを打込むことで新旧コンクリートを一体化させ, 床版の押し抜きせん断耐力および耐疲労性の向上を目的としている。新旧コンクリートの接合方法は, 当初の既設 RC 床版表面のチッピングとせん断抵抗筋による接合から



(1) 従来の Co 床版上面増厚工法の断面



(2) 接着剤を用いた Co 床版上面増厚工法の断面

図-4 床版上面増厚工法の概念図⁶⁾

1975 年にショットブラストによる研掃とせん断補強筋による接合となり, その後, 平成 2 年よりせん断補強筋が省略され, ショットブラストによる研掃(投射密度 150kg/m²)と増厚専用コンクリートフィニッシュの締め固めエネルギーにより付着させる接合方法が標準工法となった。また, 塩害・凍害などにより床版上面がスケールや土砂化し, 鉄筋が発錆・減厚した劣化床版では脆弱となったコンクリートおよび錆の除去の為, WJ によるはつり・研掃が行われている。いずれも付着の確保は上面増厚補強における重要な要素である。一方, 増厚界面に早期のはく離が生じ, 再増厚補強などを行った事例が報告されている。そこで, 図-4(2)に示すように, 既存床版を切削・研掃後に既設床版上面にフレッシュコンクリート打継ぎ専用開発した接着剤を塗布し, 増厚コンクリートを打込む SFRC 上面増厚補強法が提案され, 実用性が評価されている^{5), 6)}。

b) SFRC上面増厚RC床版供試体の製作³⁾

模擬床版に SFRC 上面増厚補強した RC 床版供試体(以下, SFRC 上面増厚 RC 床版とする)の製作は次のとおりである。模擬床版コンクリートの表面を切削機で 10mm 切削(写真-3(1))し, ショットブラストによる研掃(投射密度 150kg/m²)(写真-3(2))で脆弱部を除去する。その後, 表-5 に示す配合の SFRC をジェットモビル車により製造し, 供試体に厚さ 40mm で敷き均しを行った。締め固めはバイブレータにより十分に行い, 仕上げは左官鋺で行った。また, 実際の施工において交通規制の制約から車線ごとに打継目が発生するが, この状態を再現した供試体では, RC 床版上面を切削した後, 図-3 に示す



(1) 切削状況



(2) 研掃状況



(3) 床版給水状態



(4) 湿潤面(飽水状態)

写真-3 SFRC上面増厚補強RC床版供試体の作成手順

左支点 C から 445mm の位置を打継目とした。これは、本実験装置の輪荷重幅が道示に規定する輪荷重幅の 1/2 であることから、打継ぎ目を輪荷重の端部から 30mm の位置とした。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、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 と称する。

C) 接着剤塗布型SFRC上面増厚補強RC床版

RC 床版上面を乾燥状態で接着剤を塗付した SFRC 上面増厚補強 RC 床版供試体の製作手順は、SFRC 上面増厚補強法と同様に、切削・研掃を行い、その後、RC 床版と増厚界面に接着剤を平均厚 1.0mm で塗付し、直ちに SFRC を打込み、締固め後に表面仕上げを行った。なお、打継目を設けた供試体の製作では、打継目にも接着剤を塗布し、弱点と言われている打継目を一体化させた。ここで、接着剤を全面塗布し、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 と称する。

次に、既存 RC 床版の劣化部除去に WJ を用いた場合や施工中に降雨の影響を受けた場合など、湿潤状態における接着剤の補強効果の検証が必要である。そこで、湿潤状態の供試体の製作は、コンクリート上面を切削・研掃後、写真-3(3)に示すように、湿布により 48 時間給水させて湿潤状態(飽水)とした。48 時間給水後の湿潤面の状態を写真-3(4)に示す。

製作手順は SFRC 上面増厚補強法と同様に、増厚界面に接着剤を 1mm 厚で塗布し、SFRC の打込みを行った。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する。湿潤状態にて接着剤を全面塗布し、増厚した供試体を RC.S-A3、RC.S-A4 と称する。



写真-4 輪荷重走行試験機

5. 輪荷重走行疲労実験

(1) 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する。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-4 に示す。

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。

(2) 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 床版が補強された後は、補強することによって健全な状態に回復したとして、健全な RC 床版と同等な耐疲労性を有しているとして取り扱われている。そこで、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)

表-6 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 (回)	走行回数比
		80 kN	100 kN	120 kN	130 kN			
RC-1	実験走行回数	20,000	10,010				7,938,687	—
	等価走行回数	772,240	6,575,264			7,347,504		
RC-2	実験走行回数	20,000	11,810				8,529,870	
	等価走行回数	772,240	7,757,629					
RC.S-1	実験走行回数	20,000	20,000	9,026			137,214,753	17.3
	等価走行回数	772,240	13,138,048	60,065,402		73,975,690		
RC.S-2	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	2,907		200,453,392	
	等価走行回数	772,240	13,138,048	133,086,087	53,457,018			
RC.S-A1	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	6,214		338,665,620	42.7
	等価走行回数	772,240	13,138,048	133,086,087	114,288,051	261,284,426		
RC.S-A2	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	6,214		416,046,813	
	等価走行回数	772,240	13,138,048	133,086,087	269,050,439			
RC.S-A3	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	8,500		303,321,833	281,254,952
	等価走行回数	772,240	13,138,048	133,086,087	156,325,458			
RC.S-A4	実験走行回数	20,000	20,000	20,000	6,100		259,188,072	35.4
	等価走行回数	772,240	13,138,048	133,086,087	112,191,698			

よって、本実験における実験荷重と走行回数の関係から等価走行回数 (Neq) を算出し、SFRC 上面増厚 RC 床版、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版の耐疲労性を評価する。

6. 実験結果および考察

(1) 実験等価走行回数

本実験における走行回数および等価走行回数を表-6 に示す。

a) RC床版

輪荷重走行実験におけるRC床版供試体の等価走行回数の平均は7,938,687回であり、このRC床版の平均等価走行回数を基準に耐疲労性を評価する。

b) SFRC上面増厚RC床版

SFRCを直接全面増厚したRC床版供試体RC.Sの等価走行回数の平均は137,214,752回であり、RC床版供試体の等価走行回数の平均と比較すると、17.3倍の等価走行回数となった。

c) 接着剤塗布型SFRC上面増厚RC床版

RC床版上面を切削・研掃後、乾燥状態で接着剤を塗布したSFRC上面増厚補強RC床版供試体RC.S-A1、A2の等価走行回数 Neq の平均は338,665,620回である。RC床版供試体の等価走行回数の平均と比較すると42.7倍となった。また、SFRC上面増厚RC床版供試体と比較しても、接着剤を塗布することで耐疲労性が大幅に向上している事が確認できる。

次に増厚界面を湿潤状態で接着剤を塗付したSFRC上面増厚補強RC床版供試体RC.S-A3、A4の等価走行回数の Neq の平均は281,254,952回である。RC床版の等価走行回数の平均と比較すると35.4倍の等価走行回数

となった。SFRC上面増厚補強RC床版供試体の走行回数の平均と比較すると約2.0倍であるが、乾燥状態における接着剤塗布型SFRC上面増厚補強RC床版の等価走行回数の平均値と比較すると0.83となり、下回る結果となった。しかし、平均値ではなく、RC.S-A1と比較した場合は1.1倍の耐疲労性の向上といえる。よって、本実験における湿潤状態で接着剤を塗布した場合の耐疲労性は、乾燥状態において接着剤を塗布した場合と比べ差異は無く、耐疲労性の低下は見られない。これは、接着接合は接着剤とコンクリート中の骨材が接合することが報告¹⁰⁾されているが、SFRC上面増厚補強に用いるフレッシュコンクリートの水分量が8%程度であることから、この程度までの水分が被着体である床版表面に存在しても、接着剤の効果には影響を与えることはないと考えられる。

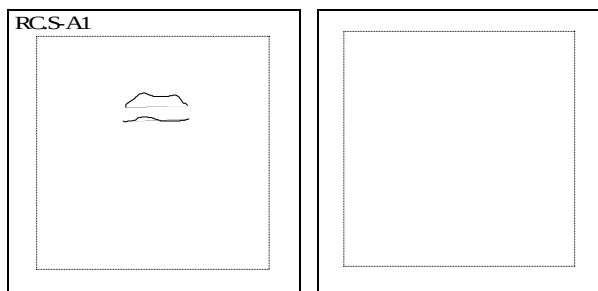
以上の結果より、従来のSFRC上面増厚補強RC床版に比して、乾燥状態および湿潤状態で接着材の塗布した供試体は、いずれも耐疲労性が向上しており、その有効性が確認できた。

(2) 破壊状況

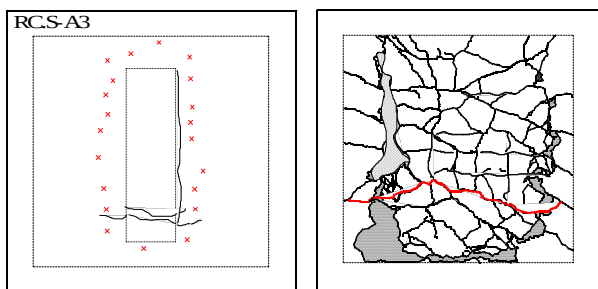
接着剤塗布型SFRC上面増厚補強RC床版の破壊状況を図-5に示す。

a) 乾燥状態の供試体

増厚界面を乾燥状態で接着剤を塗布し、SFRCで全面増厚した供試体RC.S-A1の破壊状況は図-5(1)に示すように、上面は破壊位置で貫通ひび割れが発生している。増厚部のはく離は、輪荷重走行位置から10cmの範囲であり、接着剤の塗布による増厚界面の付着力が高まり、はく離の範囲が抑制されている。床版下面のひび割れ状況は供試体RC.S-1と同様となり、破壊は支点Bから40cmの位置で押抜きせん断破壊となった。



(1) 接着剤塗布型 SFRC 上面増厚 RC 床版供試体(乾燥状態)



(2) 接着剤塗布型 SFRC 上面増厚 RC 床版供試体(湿潤状態)

図-5 破壊状況(図の説明：左側が上面，右側が下面)

b) 湿潤状態の供試体

増厚界面を湿潤状態で接着剤を塗布し，SFRC で全面増厚した供試体 RC.S-A3 の破壊状況は図-5(2)に示すように，上面は破壊位置付近の輪荷重走行範囲内にひび割れが見られるもの他の位置ではほとんど見られない．打音法によるはく離状態は乾燥状態と比較してやや広がりが見られるが，これは供試体 RC.S-A1 の等価走行回数に起因したものによる結果である．また，この範囲は輪荷重載荷位置から 45 度で押抜きせん断破壊となった．よって，本実験における湿潤状態では，破壊状況に大きな影響は見られない．

以上より，破壊状況からは乾燥状態および湿潤状態による大きな差異はみられない．

(3) たわみと等価走行回数の関係

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-6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ってたわみもわずかに上昇し，たわみが3.0mm ($\equiv L/400$ ，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．供試体RC-1が3.0mmに達した時点の等価走行回数は 1.81×10^6 回、供試体RC-2は 2.77×10^6 回となる．破壊時のたわみは供試体RC-1，2で，それぞれ7.91mm、6.86mmである．したがってRC床版は，たわみが支間Lの $1/400$ mmを超えた頃に補修・補強を施す必要があると考えられる．

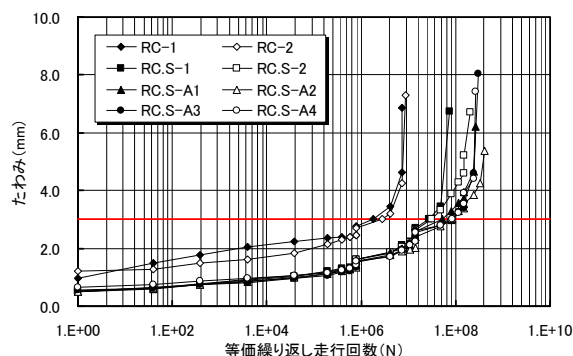


図-6 たわみと等価走行回数

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，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，すなわち支間Lの $1/400$ を超えた付近からたわみの増加が著しくなっている．たわみ3.0mm時の等価走行回数は 2.68×10^6 回である．その後，急激にたわみが増加し，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は，たわみが3.0mmを超えた時の等価走行回数は 31.40×10^6 回であり，その後も線形的に増加し，荷重増加によりで急激にたわみが増加し，破壊に至っている．破壊時のたわみは6.70mm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12.7倍となった．

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，たわみが支間 L の $1/400$ に達した時の等価走行回数は 53.20×10^6 回であり，その後のたわみの増加は見られない．その後，たわみが 3.5mm ($\equiv L/350$) 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．打継目を設けた供試体 RC.S-A2 は，等価走行回数が 14.70×10^6 回付近までは供試体 RC.S-A1 とほぼ同様な挙動を示し，たわみが支間 L の $1/400$ に達した時の等価走行回数は 83.50×10^6 回である．また，たわみが 3.5mm ($\equiv L/350$) を超えると急激にたわみが増加し，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．また，従来型の SFRC 上面増厚補強の 2.3 倍である．

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，乾燥状態で接着剤を塗布した供試体とほぼ同様な増加傾向を示している．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-A3，A4 のたわみが支間 L の $1/400$ に達した時の等価走行回数は，それぞれ

86.60×10⁶ 回, 83.10×10⁶ 回であり, その後のたわみの増加は見られない. その後, 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 37.0 倍となった. また, 従来型の SFRC 上面増厚補強の 2.9 倍である.

7. まとめ

本実験により得られた検討結果を以下に示す.

- 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上面増厚工法設計施工マニュアルに規定されている 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では乾燥面と同等となり問題はないと考える. 一方, 湿潤の程度が滞水(1mmおよび2mm)状態では付着の規格値は満足するが, 破壊形状が界面破壊であり, 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, SFRC上面増厚RC床版供試体は17.3倍, 接着剤を用いたSFRC上面増厚RC床版供試体は42.7倍の等価走行回数となった. また, 増厚界面を湿潤状態で接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版供試体では, RC床版に比して36.4倍となった. なお, 乾燥状態における接着剤を用いたSFRC上面増厚RC床版供試体と比較すると0.85となり, 15%低下する結果となるが, これは乾燥状態での打ち継ぎ目を設けた供試体の走行回数が多いためである.
- 3) 破壊状況は, RC床版およびSFRC上面増厚RC床版, 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版供試体は等価走行回数が異なるものの下面の破壊状況はほぼ同一であり, 全ての供試体で押抜きせん断破壊となった. 接着剤を用いたSFRC上面増厚補強RC床版供試体は, 前面および打継ぎ目を設けた供試体と共にはく離は見られない. また, 増厚界面を湿潤状態とした供試体

においても同様な破壊状況であり, 特に湿潤状態の影響によるはく離も見られない.

- 4) たわみと等価走行回数の関係では, SFRC上面増厚RC床版, 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SFRC上面増厚RC床版供試体のいずれもが, 床版支間の1/400, つまり本供試体の場合は3.0mm付近からたわみの増加が著しくなる. したがって, RC床版はたわみが床版支間Lの1/400に達した付近で補修・補強対策の検討が必要である. また, SFRC上面増厚RC床版は, この時点で2次補修を施す必要があると考えられる.

参考文献

- 1) 内田賢一, 西川和廣: 既存道路橋床版の疲労耐久性に関する検討, 第一回鋼橋床版シンポジウム講演論文集, 土木学会, pp.37-42, 1998.
- 2) 三田村浩, 佐藤京, 本田幸一, 松井繁之: 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.
- 3) 児玉孝喜, 加形護, 伴康夫, 海老澤秀治, 鈴木康範: SFRC舗装における鋼床版の疲労耐久性向上対策, 第12回鋼構造と橋に関するシンポジウム論文報告集, pp. 83-96, 2009.
- 4) 高野真希子, 阿部忠, 木田哲量, 児玉孝喜: 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.
- 5) 高野真希子, 阿部忠, 木田哲量, 小森篤也: 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.
- 6) 財団法人 高速道路調査会: 上面増厚工法設計施工マニュアル, 1995.
- 7) 日本道路橋会: 道路橋示方書・同解説 I, II, III, 2004.
- 8) 財団法人 日本道路協会: 道路橋床版防水便覧, 2007.
- 9) 松井繁之: 道路橋床版 設計・施工と維持管理, 森北出版, 2007.
- 10) 児玉孝喜, 西元央, 松本公一, 福手勤: エポキシ接着剤を使用した付着オーバーレイ工法に関する一検討, セメント・コンクリート論文集, No. 62、pp.507-512, 2008.