

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

児玉孝喜(鹿島道路(株))・阿部 忠(日大生産工・教授)

木田哲量(日大生産工・教授)・高野真希子(日大生産工・P.D.)

1. はじめに

鋼道路橋 RC 床版は、年々増加する交通量と大型車両の繰返し走行等の要因により疲労劣化が生じている¹⁾²⁾。また積雪寒冷地域では、凍結防止剤の散布による塩害や、凍害により RC 床版の劣化が生じている³⁾⁴⁾。このことから、RC 床版の上面劣化に対する補修・補強法の確立が重要な課題となっている。RC 床版の上面劣化に対する補修・補強法の 1 つとして、工期の短縮や耐荷力の向上に優れている上面増厚工法が採用されている⁵⁾。

そこで本研究は、通常の RC 床版供試体と RC 床版供試体と同一条件で製作した RC 床版の上面を切削後、鋼繊維補強超速硬コンクリート⁶⁾ (以下、SFRC とする) により増厚補強した SFRC 上面増厚補強供試体を作製し、耐疲労性を検証・評価したものである。SFRC 上面増厚供試体は、実施工を想定して打継目を設けた供試体と打継目無しの供試体の 2 種類とする。また、既存の RC 床版と増厚部の界面は早期にはく離する事例があること踏まえ、SFRC 上面増厚補強の耐久性を向上させるために、界面に高耐久型エポキシ樹脂系接着剤⁷⁾ (以下、接着剤とする) を塗布した供試体に対する輪荷重走行疲労実験を行い、接着剤が耐疲労性に与える影響および破壊メカニズムを検証した。

2. 道路橋RC床版の損傷状況

2.1 既存RC床版の損傷状況

近年、地方公共団体では道路橋長寿命化修繕計画が実施され、その損傷状況が明らかにされている。道路橋 RC 床版の日常点検における損傷状況は、舗装部に発生するポットホールや RC 床版下面に発生する 2 方向のひび割れ状況などから床版の劣化度を示すことになる。目視点検における舗装部に発生するポットホールの状況を写真-1 に示す。RC 床版の劣化や損傷が著しい場合は、路面にポットホールが発生する。この時点で RC 床版は進展期から劣化期に相当するものである。また、写真-2 に示すよう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、床版上面のコンクリートにスケーリングが生じ、さらに砂利化となっている。これらの補修・補強法に SFRC 上面増厚が採用されてきた。

2.2 上面増厚補強床版の損傷状況

上面増厚補強法は 1985 年頃から実施され、多く

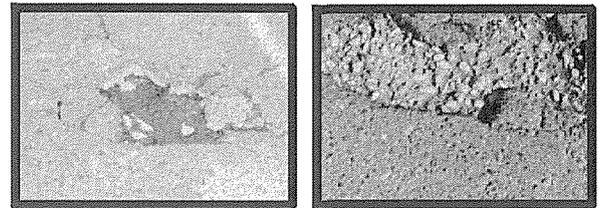
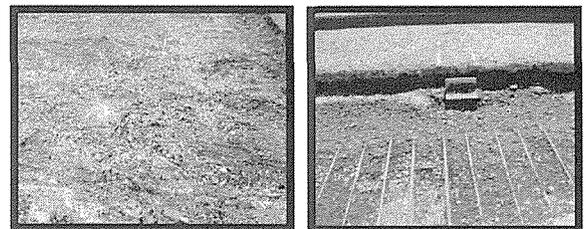


写真-1 ポットホールの発生



(1)スケーリング

(2)砂利化

写真-2 RC床版のスケーリングおよび砂利化

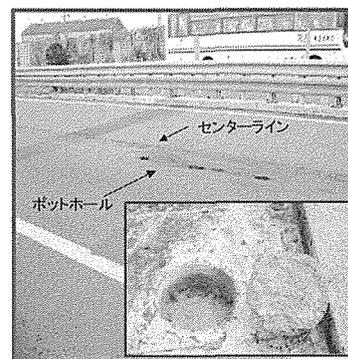


写真-3 上面増厚部のポットホール

の実績があり、耐荷力の向上および耐疲労性が評価されている。しかし、上面増厚した RC 床版においても路面にポットホールが発生するなどの損傷が発生している。ここで、上面増厚補強後のポットホールの状況を写真-3 に示す。また、上面増厚施工を実施する場合には交通規制の制約により、全面通行止めにして RC 床版を全面増厚する方法と、一車線ごとに交通規制をして走行車線ごとに増厚する施工法がある。全面通行止めをして上面増厚が可能である場合は、床版全面に SFRC を上面増厚施工法が採用されている。一方、交通規制をして上面増厚する施工法は、まず第 1 車線側 (走行車線) の増厚を行った後、規制を切替えて、第 2 車線側 (追越車線) の増厚施工を行う。この場合は、第 1 車線と第 2 車線の間の打継目から雨水が浸透するために、早期に既存床版部と増厚部の界面ではく離が生じる劣化が

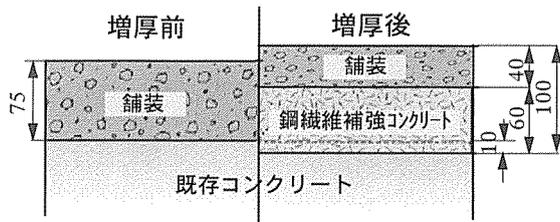


図-1 床版上面増厚工法

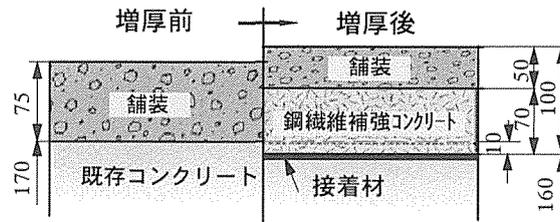


図-2 接着材を用いた SFRC 上面増厚工法

生じている。

2.3 SFRC上面増厚工法の現況

RC 床版上面増厚工法の概念図を図-1 に示す。図-1 に示すように、既設 RC 床版の上面を切削後に研掃を行い、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、床版厚を厚くすることで、床版の押し抜きせん断耐力および曲げ耐力を向上させる工法である。また、増厚界面が早期にはく離することから RC 床版と上面増厚の界面にエポキシ樹脂系接着剤を塗布した後増厚コンクリートを打ち込む施工法、すなわち接着材を塗布した SFRC 上面増厚が提案され、実施されている。ここで、接着材を塗布した SFRC 上面増厚工法の概念を図-2 に示す。

3. 使用材料・寸法および補強方法

3.1 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 の砕石を使用した。RC 床版の示方配合を表-1 に示す。また、鉄筋は SD295A, D10 を使用した。コンクリートおよび鉄筋の材料特性値を表-2 に示す。

(2)上面増厚コンクリート 上面増厚コンクリートには、鋼繊維補強コンクリート(SFRC)を用いた。SFRC の設計基準強度は、材齢 3 時間の圧縮強度を 24N/mm^2 とする。セメントは超速硬セメントを使用し、最大寸法 15mm の粗骨材、長さ 30mm の鋼繊維を混入率 1.27Vol.%(100kg/m^3)で配合した。SFRC の示方配合を表-3 に示す。

(3)接着剤 SFRC と RC 床版との界面の付着力を高めるために接着剤を用いた。高耐久型エポキシ樹脂接着剤の仕様を表-4 に示す。

3.2 供試体寸法および鉄筋の配置

RC 床版は複鉄筋配置とし、浮き上がり防止を設

表-1 RC 床版供試体

スラブ (cm)	W/C (%)	S/a	単位量 (kg/m^3)				混和剤 Mity 150
			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-2 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			

表-3 SFRC の配合

スラブ (cm)	W/C (%)	S/a	単位量 (kg/m^3)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	鋼繊維
6.5 ± 1.5	39.5	51.2	430	170	851	858	100.0

表-4 高耐久型エポキシ樹脂接着剤の仕様

項目	基準値	備考
外観	主剤 白色ペースト状 硬化剤 青色液状	異物混入なし
混合比(主剤:硬化剤)	5:01	重量比
硬化物比重	1.4 ± 0.2	JIS K 7112
圧縮強さ	50N/mm^2 以上	JIS K 7181
圧縮弾性係数	1000N/mm^2 以上	JIS K 7181
曲げ強さ	35N/mm^2 以上	JIS K 7171
引張せん断強さ	10N/mm^2 以上	JIS K 6850
コンクリート 付着強さ	1.6N/mm^2 以上 または母材破壊	JIS K 6909

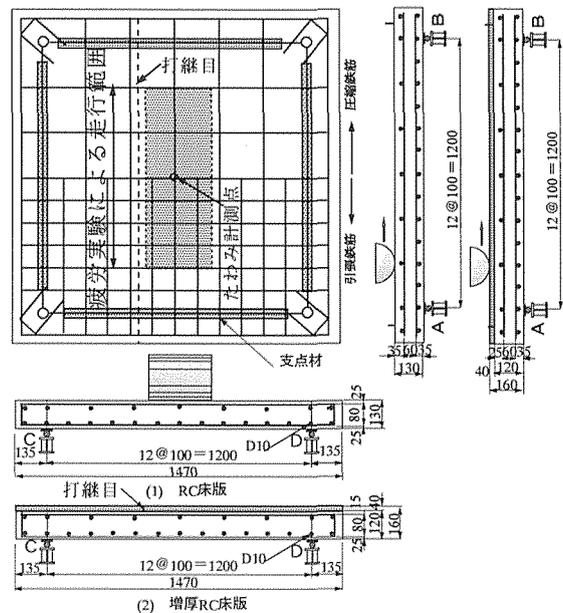


図-3 供試体寸法および鉄筋の配置 (mm)

けない 4 辺単純支持とする。供試体寸法は、道路橋示方書・同解説(以下、道示)⁸⁾の規定より、床版支間 2400mm、1 日 1 方向あたりの大型車両の計画交通量を 2000 台以上として設計し、その 1/2 モデルとした。RC 床版・増厚 RC 床版供試体の寸法および鉄筋配置を図-3 に示す。

(1)RC床版供試体 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 とし、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に D10 をともに 100mm 間隔で配置し、有効高さをそれぞれ 105mm, 95mm とする。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。

(2) SFRC 上面増厚 RC 床版供試体 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 増厚し、床版全厚は 160mm を目標とした。有効高は軸直角方向が 125mm、軸方向が 115mm である。

(3) 接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体 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。

3.3 SFRC 上面増厚補強方法と供試体の製作

SFRC 上面増厚施工方法の一例として、接着剤を塗布する SFRC 上面増厚補強の手順を写真-1 に示す。

(1) SFRC 上面増厚 RC 床版供試体 従来どおり、既存床版に直接 SFRC を上面増厚補強した 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。初めにコンクリート表面を実施工に用いる切削機で 10mm 切削する(写真-4, 1))。次に、切削面は付着性を高めるために、ショットブラスト研掃機を用いて投射密度 150kg/m^2 で表面を仕上げる(写真-4, 2), 3))。その後、SFRC を表-3 に示す配合でジェットモービル車により混練する。全面増厚する供試体は直接 SFRC を 40mm 増厚し、最終的に表面仕上げをした(写真-4, 6))。

次に、交通規制上、車線ごとに増厚する実施工を想定して打継目を設けた供試体は、RC 床版上面を切削した後、左支点 C から 445mm の位置に打継目を設ける。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 の 250mm であることから、輪荷重の端部から 30mm の位置とした。SFRC の打設は輪荷重が走行する右支点 D 側の幅 755mm を先に打設し、3 時間後に残りの支点 C 側 445mm を打設して完了した。ここで、SFRC を全面に直接増厚した供試体を SFRC-1、打継目を設けた供試体を SFRC-2 と称する。

(2) 接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体 SFRC 上面増厚 RC 床版は、増厚面に発生したひび割れや打継面などから雨水が浸透し、車両通行などの疲労の影響により増厚界面にはく離が生じ、耐疲労性が低下している。そこで、本研究における上面増厚施工法においては、RC 床版部と増厚部の界面および車線ごとの補修における打継目に対し、増厚界面および打継目の一体化による補強効果を高めるために接着剤を塗布した。施工手順は、基本的には SFRC 上面増厚補強法と同様であるが、写真-1 に示すように研掃終了後に、RC 床版と増厚界面に接着剤を 1.0mm 厚で塗布した(写真-4, 4))。その後、SFRC を打設し、表面仕上げした(写真-4, 5), 6))。なお、打継目を設けた供試体の製作は、SFRC 上面増厚 RC 床版供試体と同様であるが、打継目の目地および増厚界面に接着剤を 1.0mm 厚で塗布した。ここで、接着剤を塗布し、全面増厚した供試体を SFRC-A1、打継目を設けた供試体を SFRC-A2 と称する。

4. 輪荷重走行疲労実験

(1) 輪荷重走行疲労実験方法 SFRC 上面増厚 RC 床版の輪荷重走行試験装置による実験状況を写真-5 に示す。輪荷重走行疲労実験は、RC 床版および SFRC 上面増厚 RC 床版ともに床版中央から両支点方向の $\pm 450\text{mm}$ の範囲に輪荷重を繰返し走行させる実験である。

RC 床版供試体の荷重は、供試体寸法を実橋床版の 1/2 モデルとしたことから、設計活荷重は 50kN であり、これに安全率 1.2 を考慮した 60kN が設計基準荷重となる。そこで RC 床版には、この基準荷重を初期荷重とした 60kN を載荷し、荷重 100kN まで 2 万回走行ごとに荷重を 20kN ずつ増加させる。荷重 100kN 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。次に、SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は RC 床版の厚さに比すると 40mm 厚いことから、初期荷重 80kN で走行を開始し、荷重 120kN まで 2 万回走行ごとに荷重を 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 ずつ増加させる段階荷重載荷⁹⁾とする。荷重載荷プログラムを図-2 に示す。



1) 供試体表面の切削

2) 研掃機による表面仕上げ

3) 研掃後

4) 接着剤の塗布

5) SFRC 上面増厚

6) 仕上げ

写真-4 SFRC 上面増厚補強手順(接着剤塗布)

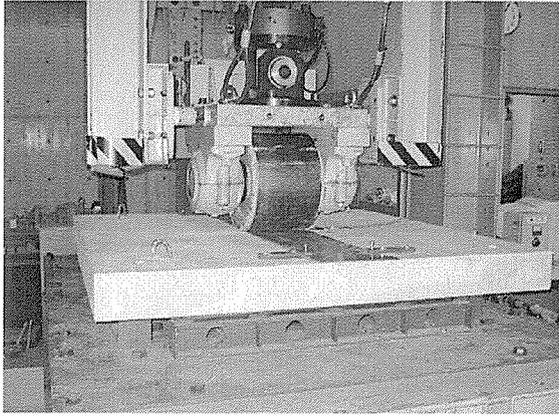


写真-5 輪荷重走行疲労実験状況

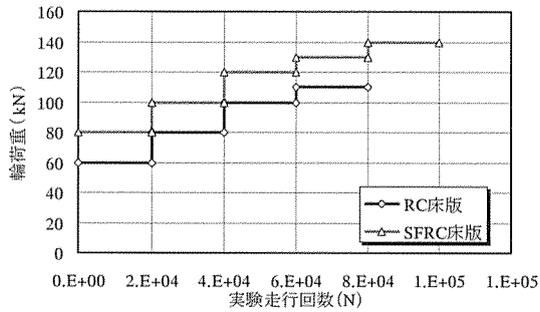


図-4 荷重載荷プログラム

(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こととする。等価走行回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。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¹⁰⁾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。

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

ここで、 N_{ep} ：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)

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(N_{ep})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。

5. 実験結果および考察

5.1 等価走行回数

式(1)により算出した RC 床版および SFRC 上面増厚 RC 床版の等価走行回数を表-5 に示す。

表-5 等価走行回数

供試体	等価走行回数 (N_{ep})	平均等価走行回数 (N_{ep})	走行回数比 (SFRC/RC)
RC-1	6.963×10^6	7.155×10^6	—
RC-2	7.347×10^6		
SFRC-1	73.976×10^6	73.976×10^6	10.3
SFRC-2	200.472×10^6	200.472×10^6	28.0
SFRC-A1	261.284×10^6	261.284×10^6	36.5
SFRC-A2	416.047×10^6	416.047×10^6	58.1

(1) RC床版供試体 輪荷重走行実験における RC 床版供試体 RC-1 の等価走行回数は 6.963×10^6 回、供試体 RC-2 の等価走行回数は 7.347×10^6 回であり、その平均等価走行回数は 7.155×10^6 回である。この RC 床版の平均等価走行回数を基準に SFRC 上面増厚 RC 床版の耐疲労性を評価する。

(2) SFRC上面増厚RC床版供試体 SFRC を直接全面増厚した RC 床版供試体 SFRC-1 の等価走行回数は 73.976×10^6 回、打継目を設けた供試体 SFRC-2 は 200.472×10^6 回となった。RC 床版供試体の平均等価走行回数と比較すると、供試体 SFRC-1 が 10.3 倍、供試体 SFRC-2 が 28 倍となった。

(3) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版供試体 接着剤を塗布して SFRC を全面増厚した RC 床版供試体 SFRC-A1 の等価走行回数は 261.284×10^6 回、打継目を設けた供試体 SFRC-A2 は 416.047×10^6 回である。RC 床版供試体の平均等価走行回数と比較すると、供試体 SFRC-A1 は 36.5 倍、SFRC-A2 は 58.1 倍となった。また、SFRC 上面増厚 RC 床版供試体と比較すると、供試体 SFRC-A1 が供試体 SFRC-1 の 3.5 倍、供試体 SFRC-A2 が供試体 SFRC-2 の 2.1 倍となり、SFRC 増厚界面に接着剤を塗布することで耐疲労性が大幅に向上した。

以上の結果より、従来型の SFRC 上面増厚に比して、増厚界面に接着剤の塗布した供試体はともに、等価走行回数が増加しており、耐疲労性に優れた補強法であることが実証された。なお、打継目が耐疲労性において弱点¹⁰⁾と言われていたが、本実験では水の影響を考慮していないことから、打継目による等価走行回数の低下は見られない。

5.2 破壊状況

SFRC 上面増厚補強 RC 床版の上面のはく離状況および下面のひび割れ状況を図-5 に示す。なお、実験終了後に床版中央を軸方向および軸直角方向に切断した切断面も併記した。

(1) RC床版供試体 RC 床版供試体上面のひび割れは、軸直角方向に配置した圧縮鉄筋とほぼ同位置で発生し、破壊位置では軸直角方向に貫通ひび割れが見られた。次に、床版下面は軸直角方向の主鉄筋および軸方向の配力筋配置位置でひび割れが発生して

いる。また、輪荷重設置位置から 45 度下面はダウエル効果の影響によるはく離が見られる。破壊は走行中に両供試体ともに支点 B から 40cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

(2)SFRC上面増厚RC床版供試体 SFRC 上面増厚補強した供試体 SFRC-1 の破壊状況は図- 5(1), 1)に示すように、床版上面は、輪荷重走行の折り返し位置端部にわずかなひび割れが見られるもののほとんどひび割れが見られない。これは SFRC に配合された鋼繊維により、ひび割れの伝播が抑制された結果である。床版上面に部分的にはく離が見られる。床版下面には、軸直角方向および軸方向ともに RC 床版供試体と同様に主鉄筋および配力筋位置の下面にひび割れが発生している。また、ダウエル効果が及ぼす範囲は、RC 床版供試体に比して上面増厚床版は床版厚が 4cm 厚いことから 45 度下面が広範囲にわたりはく離している。軸直角方向の切断面は輪荷重走行位置から 45 度で破壊し、引張鉄筋かぶりはダウエル効果の影響によりはく離している。軸方向の切断面は増厚界面ではく離している。破壊は、支点 A から 40cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

次に、走行方向を 2 分割して打継目を設けて施工した上面増厚した供試体 SFRC-2 の上面のひび割れは図- 5(1), 2)に示すように、軸直角方向に発生している。等価走行回数が $200,472 \times 10^6$ 回と RC 床版の 2.8 倍であることから RC 床版と増厚層のはく離が広範囲にわたっている。とくに、輪荷重の走行位置から離れた増厚部のはく離が著しい。このようなはく離状況からも界面の付着能力を高める必要がある。床版下面のひび割れは、軸直角方向および軸方向に配置した引張鉄筋位置に発生し、ダウエル効果の影響によりはく離している。なお、軸直角方向および軸方向の切断面のひび割れ状況は供試体 SFRC-1 とほぼ同様である。破壊は支点 A から 50cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

(3)接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版供試体 接着剤を塗布して SFRC を全面増厚した供試体 SFRC-A1 の破壊状況は図- 5(2), 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 の範囲である。等価走行回数が従来型の SFRC 上面増厚 RC 床版に比して 3.5 倍であるにもかかわらず、接着剤の塗布により増厚界面の付着力が高まり、はく離範囲が抑制されている。床版下面のひび割れ状況も SFRC-1 と同様である。床版中央の軸直角方向の切断面は、輪荷重載荷位置から 45 度で押し抜かれている。軸方向の切断面には、輪荷重走行範囲の増厚界面にはく離が見られる。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。

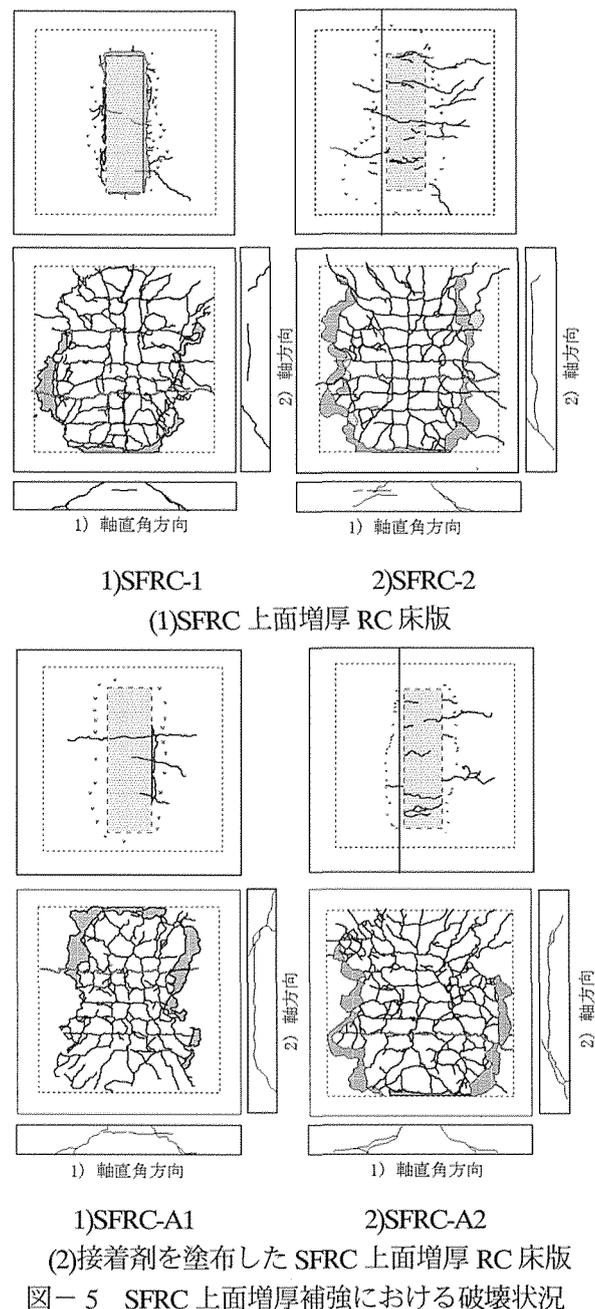


図- 5 SFRC 上面増厚補強における破壊状況

次に、走行面から 30mm の位置で打継目を設けた供試体 SFRC-A2 の破壊状況は図- 3(2), 2)に示すように、床版上面には貫通ひび割れが数カ所に発生している。供試体 SFRC-2 も同様なひび割れが発生しているが、供試体 SFRC-A2 の等価走行回数は供試体 SFRC-2 の 2.1 倍であることからひび割れが多く発生したものである。また、はく離は走行範囲から 10cm 程度の位置に生じており、接着剤を用いない供試体に比べて大幅に減少している。下面は増厚供試体いづれもが同様なひび割れ状態である。軸直角方向の切断面には、荷重載荷位置から 45 度で押し抜かれている。また、軸方向の切断面では、輪荷重走行範囲の増厚界面にはく離が見られる。破壊は支点 A から 40cm の位置で押抜きせん断破壊となった。

したがって、接着剤を塗布した上面増厚 RC 床版

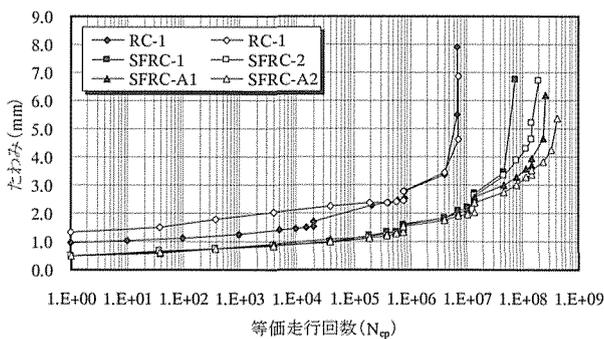


図-6 たわみと等価走行回数の関係

の破壊形状は、増厚界面のはく離は見られず、耐疲労性にも優れている結果となった。

5.3 たわみと等価走行回数の関係

供試体中央における RC 床版および SFRC 上面増厚 RC 床版のたわみと等価走行回数の関係を図-6 に示す。

(1) 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とともにたわみもわずかに上昇し、3mm (≒ 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、終局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 を超えた頃に補修・補強を施す必要があると考えられる。

(2) SFRC上面増厚RC床版 従来通りに SFRC を床版上面に直接増厚した供試体 SFRC-1 は、RC 床版同様に 3mm を超えた付近からたわみの増加が著しくなり、等価走行回数 47.100×10^6 回を超えた後、急激にたわみが増加し、終局時のたわみは 6.75mm である。打継目を設けた供試体 SFRC-2 は、たわみが 3mm を超えた後も、等価走行回数 147.00×10^6 回までたわみは線形的に増加し、その後の荷重増加で急激にたわみが増加して破壊に至った。終局時のたわみは 6.7mm である。

(3) 接着剤を塗布したSFRC上面増厚RC床版 接着剤を塗布して増厚した供試体 SFRC-A1 は、等価走行回数が 4.710×10^6 回を超えてもたわみの増加は微小であり、等価走行回数 23.710×10^7 回後であるたわみが 3.5mm (≒ L/350) を超えた付近から急激にたわみが増加し、終局時のたわみは 6.22mm である。打継目を設けた供試体 SFRC-A2 は、等価走行回数が 147.00×10^6 回付近までは供試体 SFRC-A1 とほぼ同様な挙動を示すが、等価走行回数が 330×10^6 回で、たわみが 3.5mm (≒ L/350) を超えると急激にたわみが増加し、終局時のたわみは 5.37mm である。

6. まとめ

① 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 10 倍、打継目を設けた SFRC 上面増厚 RC 床版供試体は 28 倍の等価走行回数となっ

た。また、接着剤を塗布した SFRC 上面増厚 RC 床版供試体の等価走行回数では、全面増厚した供試体は RC 床版の 37 倍、打継目を設けた供試体は 58 倍となり、上面増厚することにより耐疲労性が向上した。

②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。また、SFRC 上面増厚 RC 床版は、RC 床版と増厚界面にはく離が見られる。したがって、重車両が走行する交通量の多い道路橋 RC 床版の補修・補強には増厚界面に接着剤を塗布することが耐疲労性を向上させている。

③たわみと等価走行回数の関係では、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 床版は床版支間の 1/400、すなわち本供試体の場合は 3mm 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 に達した状況で補修・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) 山田健太郎：重交通下における鋼床版の疲労損傷，土木学会第 10 回鋼構造と橋梁に関するシンポジウム，2007.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 新銀武，鈴木大輔，井戸秀明，岩崎正二：積雪寒冷地の塩化物供給を考慮した RC 床版の寿命診断，土木学会第 62 回年次学術講演会，pp.449-450, 2007.
- 5) 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.
- 6) 財団法人土木研究センター：超早強コンクリート利用技術マニュアル，2000.
- 7) 児玉孝喜，西元央，鎌田修，福手勤：フレッシュコンクリートの接着接合における接着剤成分が耐久性に及ぼす影響に関する研究，セメント・コンクリート論文集 No.63, pp.546-553, 2009.
- 8) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, III, 2004.
- 9) 中谷昌一，内田賢一，西川和寛ほか：道路橋床版の疲労耐久性に関する試験，国土技術政策研究所資料第 28 号，2002.
- 10) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理，森北出版，2007.