

張出部を有するRC床版のCFSS接着補強法に関する耐疲労性の評価 － 一定点疲労試験による －

新日鉄住金マテリアルズ(株)

○小森 篤也 小林 朗

日大生産工 阿部 忠

1. はじめに

道路橋床版において、遮音壁の設置等による風荷重等の増大や床版連結などで車両通行領域に変更等がある場合、主桁直上付近に、設計では考慮されない引張応力が発生する。これらのことから張出部から床版支間L/6までの区間の補強が必要となる場合がある。そこで本研究では、塩害凍害を受け、損傷撤去されたRC床版に、超速硬セメントモルタルとエポキシ樹脂接着剤を用い、連続繊維ストランドシート(CFSS)を接着補強し、定点疲労試験にて補強効果および耐疲労性を評価した。

2. 従来工法の概要と新規工法の特徴

従来、連続繊維シートを用いた床版上面補強は、通常、7工程を必要とし、接着剤としてエポキシ樹脂を使用した工法では、数日間の交通規制を必要とした。また、速硬化性能を有す、MMA樹脂を使用しても夜間車線規制での施工では数十m²の施工が上限とされて来た。これらは施工の各工程で各々硬化養生時間が必要で、結果、長い施工時間を必要としている。従来工法においては、数日間の交通規制等は、交通渋滞等の原因ともなり施工速度の向上が望まれていた。

新規工法は、①路面の舗装切削、②研掃③打継ぎプライマーの塗布と断面修復・接着剤塗布とCFSSの施工・表面保護工が、硬化養生を待たず連続的に施工可能になり、飛躍的に工程・工期短縮できる工法となる。新規工法も従来工法同様、15mm程度の薄層で補強が可能になるように施工断面が構成されており、周辺既設構造物である伸縮装置等の嵩上げなど、大きな改造を必要としない仕様となっている。

3. 使用した疲労劣化と塩害・凍害を受けたRC床版の損傷状況

試験に用いた床版は岩手県の国道106号線で建設された単純上路式トラス橋のRC床版である

昭和53年に供用開始され、平成10年に凍害・塩害の複合劣化で撤去された実橋床版を、切り出して用いた。表面はスケーリングが発生し、写真-1の様に、部分的にかぶりコンクリートが無くなり、鉄筋にも発錆が見られる状況であった。同、供試体は、上面および下面の損傷状況から陥没は見られないものの既に劣化期に相当するものであった。また、供試体作成前に、高圧水洗にて表面の脆弱部等を除去し供試体の作成を実施した。

併せて、コンクリートの圧縮試験を行った結果、上面から深さ0mm～50mmのうち、0mmから40mmまでは、欠損部を超速硬セメントモルタルで補修したことから、コンクリートの圧縮強度は50.8N/mm²であった。また、深さ50mm～100mmの範囲は38.9N/mm²、100mm～150mmの範囲が23.6N/mm²、150mm以降のコンクリートは、30.9N/mm²であった。既存部（深さ50mm以降）の圧縮強度の平均は31.1N/mm²となっており、2002年改訂の道路橋示方書・同解説（以下、道示とする）¹⁾に規定されるRC床版コンクリートの設計基準強である、24N/mm²に比して1.3倍の強度があり、コンクリートの圧縮強度は十分に確保されていた。

積雪寒冷地域のRC床版は、大型自動車の繰り返し走行による疲労劣化に加え、冬季間は融雪剤の散布による塩害と凍害による複合劣化が生じ、早いものでは、建設後30年程度で撤去された事例もある。本供試体と同様の、積雪寒冷地域のRC床版は、車両の走行によるひび割れが床版支間方向に発生し、貫通ひび割れがみられやすい。また、上面コンクリートには微細なひび割れが発生し、床版上面から雨水や融雪による塩水がこれらのひび割れから侵入し、床版コンクリートはすり磨き現象により、さらに劣化が促進される。貫通ひび割れに侵入した雨水や塩水により遊離石灰が発生し、床版下面に沈着する。

Evaluation of resistance to fatigue concerning CFSS bonding reinforcement method
overhang part of RC slab

－ Result by fixed point fatigue examination －

Atsuya KOMORI, Akira KOBAYASHI, and Tadashi ABE

4. 実験の概要

使用した試験機及び床版、たわみを測定するための変位計の位置等の詳細を図-1、2に示す。超速硬セメントモルタル、CFSS及び接着剤の概要を表-1に示す。また、モルタルの示方配合を表-2に示す。CFSSは床版張出端部から1,000mm位置まで負曲げ部に施工した。併せて正曲げ部となる床版下面にも、同様に格子張りでCFSSを施工した。定点疲労試験は初期荷重 $P=150\text{kN}$ （片側1/2荷重）を載荷し、以後200万回ごとに50kNずつ増大させ、破壊するまで定点疲労試験を行った。評価は、元の断面まで欠損部を補修したのみの無補強の床版と補強後床版を比較した。載荷は道示¹⁾に定める1,750mmの載荷幅とし、詳細は図-2に示す。また、施工状況を写真-2に示す。

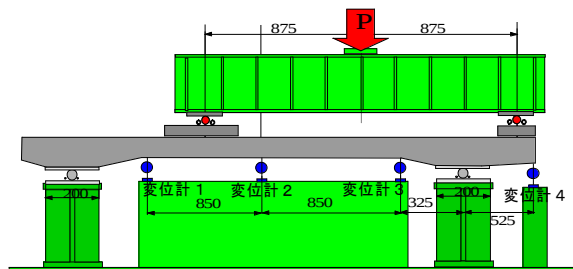


図-1 試験機の概要

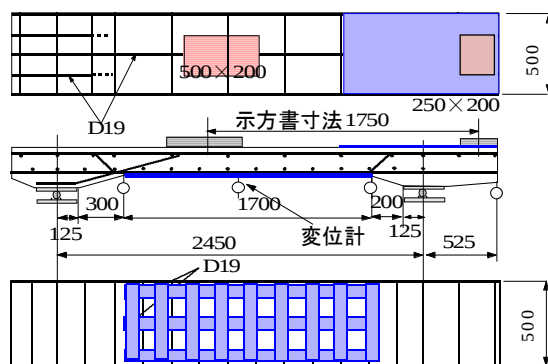


図-2 供試体の概要

表-1 使用した材料の物性値

モルタル	セメント	超速硬セメント
	3時間圧縮強度	$20\text{N/mm}^2 <$
	28日圧縮強度	$40\text{N/mm}^2 <$
	可使時間	15min<
CFSS	流動性(J14ポット)	8秒
	補強繊維	中弾性型炭素繊維
	目付量	600g/m^2
	引張強度	$2,900\text{N/mm}^2 <$
	引張弾性率	390GPa
接着剤	設計厚み	0.333mm
	種別	エポキシ樹脂
	圧縮強度	90N/mm^2
	曲げ強度	60N/mm^2
	引張せん断強度	17N/mm^2
接着剤	付着強度	2.6N/mm^2

表-2 使用したモルタルの示方配合

水結合材比	単位量		練り上がり量
	プレミックスモルタル	水	
18%	1875kg	338kg	1,000L
鉄筋付着強度		4N/mm^2	

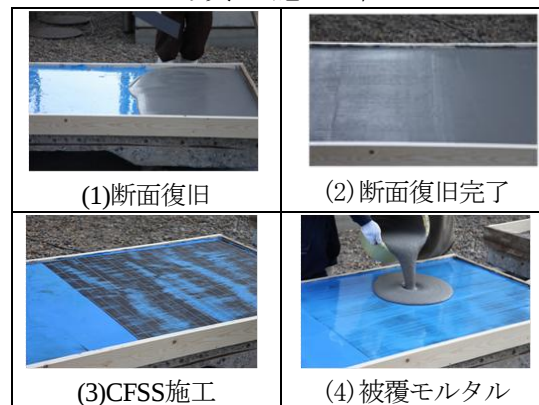


写真-1 施工前の供試体表面

表-3 供試体の種別と番号

供試体番号	上面側	下面側	備考
1	断面復旧のみ	無補修	補強なし
2			
3	CFSS補強	CFSS格子貼補強	補強あり
4			

写真-2 施工工程



5. 定点疲労試験及び等価繰返し回数

(1) 実験方法

本実験の荷重載荷位置を図-1および図-2に示す。荷重は、輪荷重を想定した500×200mm載荷板と端部には200×200mmの載荷板を設け、荷重載荷位置は道示に規定される輪荷重幅1750mmとした。道路橋RC床版の設計では、床版支間に対して幅1000mmのより部材に作用する活荷重・死荷重曲げモーメントを算出して鉄筋量を配置する。しかし、本供試体寸法は幅500mmであることから1/2モデルとした。

よって、荷重は道示に規定する衝撃を含む荷重に安全率を考慮した150kNの1/2である75kNを基準荷重とした。

供試体No.1、2の荷重条件は、全荷重150kN(=75kN+75kN)を初期値とし、200万回ごとに50kNずつ増加した。200kN以降は20kN増加させた。また、供試体No. 3、4においても初期荷重150kNとし、200万回ごとに50kN増加させた。本実験のたわみの計測位置は図-1、2に示すように4箇所とした。載荷ステップを表-4に示す。

(2) 等価繰返し回数

定点疲労実験は、200万回ごとに荷重を増加する段階荷重載荷としたことから等価繰返し回数を算出して耐疲労性を評価した。

等価繰返し回数は、マイナー則に従うと仮定すると式(1)で与えられる。なお、式(1)におけるS-N曲線の傾きの逆数 m には、RC床版の疲労実験におけるS-N曲線の傾きの逆数11.2を適用した。²⁾

ここで、 N_{eq} ：等価繰返し回数(回)

P_i ：載荷荷重(kN)

P ：基準荷重(=72kN)

n_i ：実験走行回数(回)

m ：S-N曲線の傾きの逆数

とし、次式にて等価繰返し回数を求めた。

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

6. 破壊状況

供試体No.1、2は、従来から補修材として使用されている市販の、超速硬セメントモルタルで断面補修したのみである。供試体No.1の破壊状況は、負の曲げモーメントの影響により床版上面にひび割れが発生した負曲げ破壊となった。また、下面ハンチの隅角部から上縁にもひび割れが発生し、荷重の繰返しによりこのひび割れが貫通している。破壊時は、ハンチの隅角部に発生したひび割れの貫通と荷重載荷位置では約45度のひび割れが発生し、引張鉄筋かぶりコンクリートはダウエル効果の影響によりはく離している。

次に、供試体No.2においても、負の曲げモーメントの影響により床版上面にひび割れが発生し、その後の繰返し荷重によりハンチの隅各部からひび割れが発生した。破壊時には、上面のひび割れとハンチ部からのひび割れが貫通ひび割れとなると同時に荷重載荷位置から左支点方向の上縁筋に沿ったひび割れが発生した。

また、載荷位置下面には曲げひび割れが発生している。なお、水平ひび割れは融雪剤の散布による塩害の影響により鉄筋の発錆により、発生したものである。

供試体No.3の破壊状況は、CFSSにて補強したことから負の領域にはひび割れの発生は見られない。ひび割れの発生はハンチの隅角部から上縁方向に発生している。破壊は、張出部の上面と床版支間の下面にCFSSを接着補強したことから曲げ抵抗が大きくなり、荷重載荷位置と、ハンチ部を結ぶせん断破壊となった。

供試体No.4の破壊状況も供試体No.3と同様にせん断破壊となった。なお、本実験供試体は幅500mmの供試体を用いたことからせん断破壊を呈したが、本来は板構造であることから、曲げ破壊へ移行するものと考えられる。

表-4 載荷ステップ図

荷重							
300kN							
250kN							
200kN							
150kN							
	0	2,000,000	4,000,000	6,000,000			
	疲労回数						

7. 試験結果

超速硬セメントモルタルで上面補修のみ行った供試体No. 1は81.33×10⁶回、供試体No. 2は134.65×10⁶回であり、等価繰返し回数の平均は107.99×10⁶回である。

次に、張出部上面をCFSS補強および下面にCFSSを格子状に接着補強した供試体No. 3、4の等価繰返し回数は、それぞれ1580.21×10⁶回、296.38×10⁶回であり、その平均等価繰返し回数は938.30×10⁶回である。補修のみを施した供試体No.1、2の平均等価繰返し回数と供試体No.2、3の平均等価繰返し回数との比較を行うと、補強床版が8.7倍の補強効果が得られる結果となった。等価繰返し回数を表-5に示す。

8. 荷重とたわみの関係

本実験における各計測点のたわみと等価繰返し回数との関係を図-3に示す。

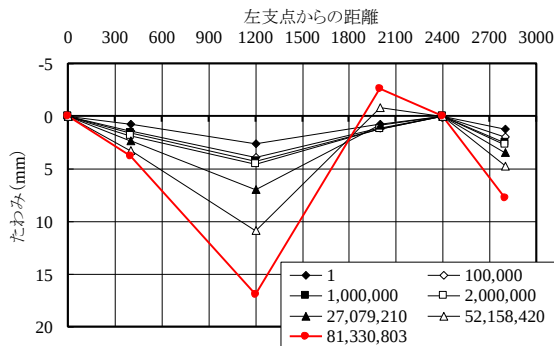
上面補修のみ施した供試体No.1、2のたわみは初期段階より支間全体の曲げ変形が大きい傾向にある。終局時のたわみは、支間中央(計測点No.2)でそれぞれ17.0mm、15.2mmである。また、計測点No.3

で、それぞれ-2.6mm、-2.9mm、端部の計測点No. 4で、それぞれ7.8mm、8.2mmである。次に、張出部上面および床版支間内下面にCFSS補強した供試体No.3、4のたわみは、終局時において、急激な増加が見られるものの、それ以前のたわみ増加は比較的少ない。終局時の支間中央（計測点No. 2）の最大たわみは、それぞれ、12.5mm、9.89mmとなっており、供試体No.1、2との比較を行うとたわみ比は0.70となり、約30%のたわみ抑制が確認された。同様に、各計測点での終局時のたわみは、計測点No.3でそれぞれ-1.3mm、-0.7mm、計測点No.4でそれぞれ6.2mm、5.4mmとなっており、いずれの計測点でもたわみが抑制されている。これは、CFSSで上面・下面を補強することにより剛性が向上したためと思われる。

表-5 等価繰返し回数の比較

供試体	等価繰返 回数	平均等価繰 返回数	等価繰返 回数比
No.1	81,330,803	107,995,266	8.7
No.2	134,659,728		
No.3	1,580,217,515	938,302,116	
No.4	296,386,718		

(1) 無補強床版 No.1



(2) 無補強床版No.2

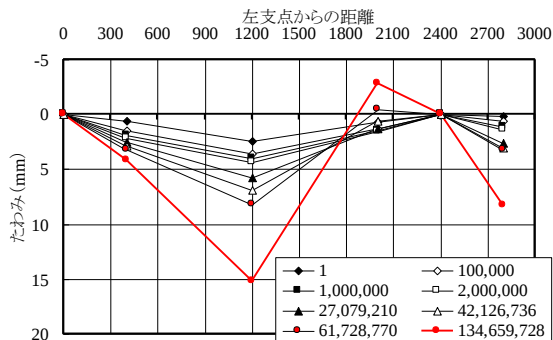
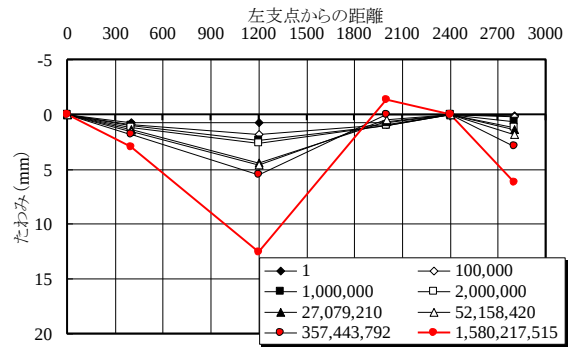
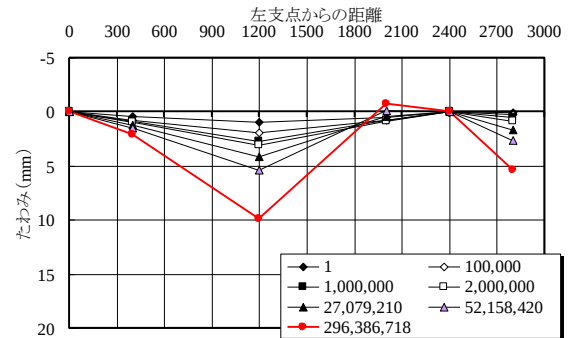


図-3 等価繰返し回数とたわみの関係

(3)補強済み床版No.3



(4)補強済み床版No.4



9. まとめ

本実験では、塩害と凍害の複合劣化を受け撤去されたRC床版の状況観察を行うとともに、張出部上面と、支間内下面にCFSS補強を施した場合の補強効果、破壊メカニズムおよび耐疲労性を評価した結果、以下の事項が得られた。

- (1) 新工法である超速硬セメントモルタルとエポキシ樹脂接着剤、CFSSを使用した上面接着補強法は、従来のCFS上面接着補強法に比して、施工が容易であるとともに、施工後の養生時間が大幅に短縮されたことから施工の合理化・省力化が図られる。よって、交通量の多い道路橋RC床版の張出部上面補強法として適している補強法であると考えられる。
- (2) そしてRC床版の張出部にCFSSを接着補強した供試体の定点疲労実験を行った結果、欠損部を超速硬セメントモルタルで補修したのみの供試体に対し8.7倍の補強効果が得られた。したがって、本提案する張出部の補強法にはCFSS上面接着補強および床版下面にCFSS格子接着補強することで、劣化期を迎えたRC床版補強法として実用性が評価され、耐疲労性が確認された。

「参考文献」

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、(2004)
- 2) 松井繁之：道路橋床版 設計・施工と維持管理、森北出版 (2007)