

CFSおよびCFSS底面接着補強したRC床版の耐疲労性

齊藤 誠(新日鉄マテリアルズ(株)), 阿部 忠(日大生産工・教授)
木田哲量(日大生産工・教授), 水口和彦(日大生産工・助教)

1. はじめに

道路橋 RC 床版のひび割れ損傷に対する補修・補強材として、炭素繊維シート (Carbon Fiber Sheet, 以下, CFS とする) やアラミド繊維シート (Aramid Fiber Sheet, 以下, AFS とする) などの繊維補強プラスチック (Fiber reinforced Plastics, 以下, FRP とする) が使用され、施工実施も多い。FRP による補修補強対策は、鋼板接着補強工法などに比して大型機械が基本的に必要なく、また施工が容易であることから、現在も積極的に採用されている。とくに最近では、地方公共団体が実施している道路橋長寿命化修繕計画における RC 床版の延命化を目的として FRP による補強法が提案されている。そこで本研究では、RC 床版底面を CFS および炭素繊維ストランドシート (Carbon Fiber Strand Sheet, 以下, CFSS とする) により接着補強した供試体を用いて輪荷重走行疲労実験を行い、CFS および CFSS 補強による耐疲労性を評価した。また、道路橋 RC 床版の補修・補強対策に対応し得るべき各種 FRP 材料と工法・仕様を取りまとめ、橋梁長寿命化修繕計画の一助とするものである。

2. 道路橋RC床版の損傷状況

現在、地方公共団体が実施している道路橋長寿命化修繕計画における橋梁点検結果によると、RC 床版は橋梁部材の中で最も損傷が多い部材である。ここで、道路橋 RC 床版の破損状況の一例を写真1に示す。写真左は、重車両交通の多い地域の橋梁伸縮継手付近の床版であり、2方向のひび割れが発生している。また、ひび割れ損傷と同時に伸縮継手から漏水した雨水の浸透により、遊離石灰が沈着している。写真右は、車両出口側の伸縮継手付近の RC 床版であり、格子状のひび割れと遊離石灰の沈着が見られる。これらの2方向のひび割れが発生している RC 床版の補修・補強には、たわみの抑制効果、耐荷力性能および疲労性能の向上が図られる CFS や AFS などによる補強法が採用されてきた。また、鋼板を床版下面に貼り付け設置する鋼板接着工法なども使用されてきたが、床版上面からの雨水等の浸入やその浸入水による RC 内部での摺り磨き等により、長期間の使用に際して十分な耐久性を有していなかったことも報告されている。ここで、鋼板接着による床版抜け落ちの例を写真2に示す¹⁾。ひび割れから

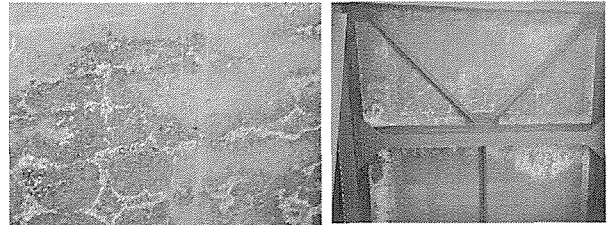


写真1 RC床版底面のひび割れ損傷

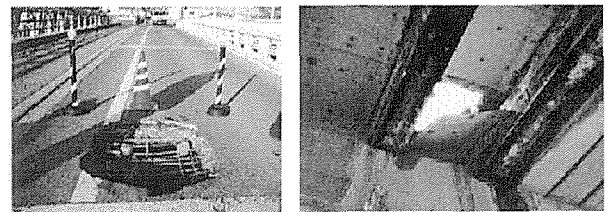


写真2 鋼板接着による床版抜け落ち例¹⁾

浸入した雨水が、鋼板によって溜まりやすい構造になり、そこで摺り磨きが繰り返されたことにより、また滞留水により錆が発生して床版が抜け落ちた状態である。すなわち、RC 床版上面から浸入した水は床版に影響を及ぼすとされている。

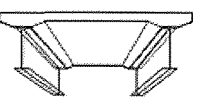
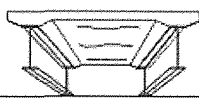
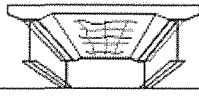
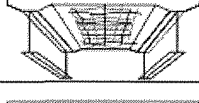
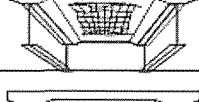
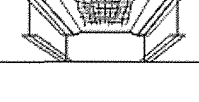
3. RC床版補強の基本的な考え方

橋梁長寿命化対策における維持管理には、維持管理を行う期間全般で想定される損傷に対する損傷メカニズムとそれらの発生部位を明らかにし、これに対応した維持管理計画を策定する必要がある。したがって、損傷度に応じた補強や工法を的確に選定する必要がある。

(1) 損傷部位と損傷メカニズム

維持管理の前提として、損傷メカニズムの把握が重要である。RC 床版の損傷メカニズムと対策工法を表1に示す。RC 床版の損傷において最大の問題は、活荷重の作用により床版下面にひび割れ発生し、床版の耐荷力を低下させることである。表1より潜状期では、ひび割れは主として1方向のみで、最小ひび割れ間隔が概ね 1.0m 以上、最大ひび割れ幅が 0.05mm 以下から一部に 0.1mm 以上のもも存在する。進展期では、ひび割れ間隔が 0.5m 程度で格子状直前のひび割れであり、ひび割れ幅は 0.2mm 以下が主であるが一部に 0.2mm 以上も存在する状態である。加速期では、ひび割れ間隔は、0.5m ~ 0.2m で格子状に発生し、ひび割れが貫通しており、荷重の載荷により摺り磨き作用が生じる。ひび割れ間隔は、0.2mm

表1 RC床版の損傷メカニズムと対策工法⁹⁾

損傷メカニズム		ひび割れによる評価・判定		対策工法
潜伏期	①版として挙動		[ひび割れ間隔と性状] ひび割れは主として1方向のみで、最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上 [ひび割れ幅] 最大ひび割れ幅が0.05mm以下(ヘアークラック程度)	定期的な点検
	②並列梁状クラック		[ひび割れ間隔と性状] 1.0m~0.5m, 一方が主で直行方向は縦, かつ格子状でない [ひび割れ幅] 0.1mm以下が主であるが, 一部に0.1mm以上も存在する.	
進展期	③二方向曲げクラック		[ひび割れ間隔と性状] 0.5m程度, 格子状直前のも [ひび割れ幅] 0.2mm以下が主であるが, 一部に0.2mm以上も存在する.	曲げ補強(繊維シート接着, 下面増厚, 縦桁増設)
加速期	④貫通クラック		[ひび割れ間隔と性状] 0.5m~0.2m, 格子状に発生 [ひび割れ幅] 0.2mm以上がかなり目立ち部分的な角落ちも見られる.	曲げ・せん断補強(上面増厚・鋼板接着, アンダーデッキ, 及びこれらの併用)
	⑤摺り磨き発生		[ひび割れ間隔と性状] 0.2m以下, 格子状に発生 [ひび割れ幅] 0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている	
劣化期	⑥抜け落ち発生			床版打ち換え

以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる。その後の荷重の載荷により、ひび割れ幅は 0.2mm 以上に進展し、連続的な角落ちが生じている状態である。劣化期では、床版の一部抜け落ち等が生じ、床版の打ち換えが必要となる。

(2)対策工法の選択

補修・補強の対策工法は、損傷メカニズムに基づいて最も合理的な方法を選択する。表1に示す損傷メカニズムに基づいた対策工法は、潜伏期の状態に至る主たる原因は、コンクリートの乾燥収縮であることから、遊離石灰が発生している場合を除き、継続的な点検を必要とする段階である。また、2方向ひび割れが生じている進展期では、大半のひび割れが貫通していない、いわゆる曲げひび割れであることから、下面からのCFS接着補強などによる曲げ補強が効果的である。一方、貫通ひび割れが進行した加速期では、せん断強度の低下が始まっていると考えられることから、上下両面の補強対策が必要である。この際には、上面には上面増厚補強、下面にはCFSやCFSS接着補強が効果的である。

4. FRP材料による床版下面接着補強法

2方向ひび割れが生じている進展期以降の補強対策として、床版下面への曲げ補強が効果的であるとされていることから、本研究ではFRPを用いた床版補修補強工法について述べる。基本的な考え方は、車両通行などの荷重により、正曲げ領域にある床版の曲げモーメントをFRPの引張耐力により拘束し、FRPの引張剛性で床版引張鉄筋の引張応力分担を軽減させ、橋梁RC床版の活荷重を含む曲げを抑制することである。

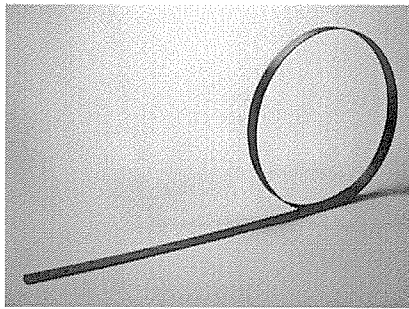
(1)FRP材料の種類

FRP材料は、一般的に常温で硬化する成形性の優れた各種樹脂をマトリックスとし、強化材として各種繊維を用いた複合材料である。FRPを用いた補強材は、その繊維に施工現場で接着剤を含浸硬化させる現場含浸型の連続繊維シート、工場で含浸硬化させた板材を接着剤で床版下面に貼り付けるプレート型やプレート緊張工法、すだれ状連続繊維FRPシートを現場にて接着剤で貼り付け施工するCFSS型、工場ワイヤーメッシュ様相に加工したFRPをモルタル等で貼り付ける格子筋型FRPに大きく分類されている。図1に各種材料を示す。また、以下に各種型の特長を示す。

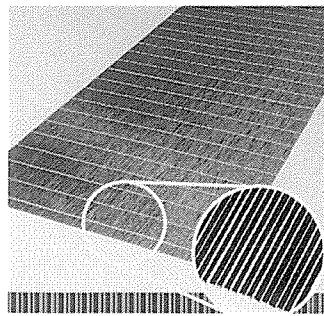
1)プレート型：プレート型は、一方向配列の炭素繊維を熱硬化性樹脂で含浸させ、板状に成型硬化させたものである。プレートを使用することにより適切な剛性となる床版補強は可能であるが、図1(1)に示すように接着面積幅が50mm程度と少ないため、終局時には端部応力集中による剥離が懸念される。また、高強度型では多層貼り付けが必要となる。出来型は、格子貼りの出来型となる。

2)CFSS型：炭素繊維ストランドは、図1(2)に示すように、炭素繊維の素線を束ねてすだれ状に加工したものである。1層当たりの繊維量が多く、格子貼りで施工が可能である。また、全面施工も可能である。最近のFRP材料の中で、一番施工性が良好であるとされている。

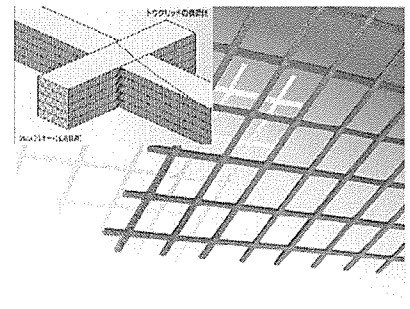
3)格子筋型：炭素繊維やガラスなどの高性能連続強化繊維を樹脂に含浸させながら一体成形したFRP格子筋である。図1(3)に示すように、格子交差部が同一



(1)プレート型



(2)CFSS型



(3)格子筋型

図1 代表的なFRP材料

表2 FRPの補強工法種と繊維の種類

種類	繊維種類	目付量等/枚
現場含浸型	CF/AF/GF	200g~600g/m ²
プレート型	CF	1000g/m ²
CFSS型	CF/AF	600~900g/m ²
格子筋型	CF/AF/GF	鉄筋D3-D16相当

表3 繊維材料の性能比較

呼び名	種別	弾性率(Gpa)	剛性(kN/m)
CFRP	高強度型	2.45	41
CFRP	高弾性型	6.4	91
AFRP	アラミド1	1.18	34
CFRP	Eガラス	0.73	8

※300g目付けとした場合

表4 接着剤の種類による性能比較

種類	施工可能温度(℃)	硬化時間/層
エポキシ	5~30	8時間以上
MMA樹脂	-15~30	1.5時間程度
モルタル	5以上	3時間以上

面上にあることから、鉄筋に比べて断面が薄くすることができる。補強には、炭素繊維製が多く使用されている。施工方法は、モルタル固定で鉄筋入り下面増厚と同じ施工方法となるため、施工面全面がモルタルで覆われることとなる。

(2)FRP材料の特性

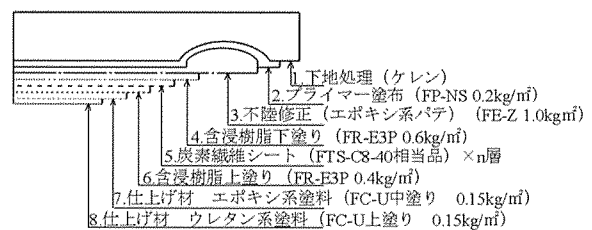
FRP材料は、引張強度と引張弾性率が高く、かつ、施工後錆の心配がなく、軽量で補修補強工事が容易となり施工の優位性も特徴のひとつである。

FRPを含む補強材の仕様設計は、基本的にRC床版の設計法に準拠され、鉄筋の引張剛性の不足分を補うものとして設計される。その設計は、昭和39年の鋼道路橋設計示方書³⁾の床版を、現行の道路橋示方書⁴⁾(以下、道示とする)B活荷重対応の床版に補強することも現実に可能である。一般的に使用されている施工方法によるFRPの補強工法種と繊維種を表2に示す。また、その際に使用する繊維材料の代表的な性能を表3に示す。なお、必要な剛性EAは、繊維断面積(A)×引張弾性率(s)により求められ、素材の剛性は、高弾性型CFRP>高強度型CFRP>AFRP>GFRPの順序となる。

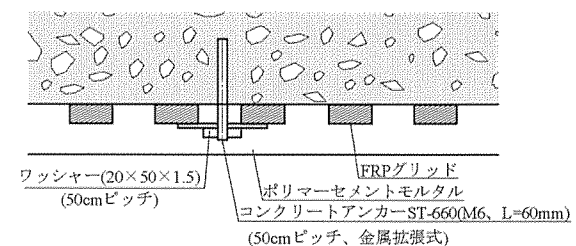
FRPによるRC床版補強は、設計された必要剛性になるまで積層を繰り返し施工とし、既往の研究では、昭和39年道路橋設計示方書の床版に必要な剛性は82kN/mが必要であるとの報告もある⁵⁾。ただし、施工方法は多種存在し、現場の施工環境などにより適宜選定されてきた。ここで、施工方法や環境温度と性能による接着剤の使い分けを表4に示す。厳冬期等、施工場所などにより適切な施工養生(加温など)および接着剤の選定も必要になる。

(3)FRP材料を使用した下面接着施工手順

FRPを使用したRC床版補強法には、CFSを床版下



(1)CFS接着補強の施工断面



(2)格子型を使用した場合の施工断面

図2 FRPによる補強の施工断面

面に接着する工法が多く施工されている。施工断面を図2に示す。施工手順は、①はじめに下地のケレンを行う。施工下地のRC床版は、永年供用されて少なからず損傷していることが想定される。下地の具体的損傷には、ひび割れ及び遊離石灰の発生、鉄筋の露出、ジャンカ等の空隙部、表面のかぶり面からのコンクリート剥落、飛来塩分および上面から供給される塩分等による鉄筋の錆び爆裂等が考えられる。いずれの損傷状況であれ、適切な補修が行われて初めて補強の効果が発揮できるものと考えられ、FRP補修補強工法では、補修材の付着に影響する塗装等も、撤去しなくてはならない。下地コンクリートの圧縮強度が低い場合には、貼付する引張材(FRP)の定着(付着)よりも先に下地コンクリートの破壊が発生し、期待された曲げ剛性向上が得られないこともある。したがって、補強を行

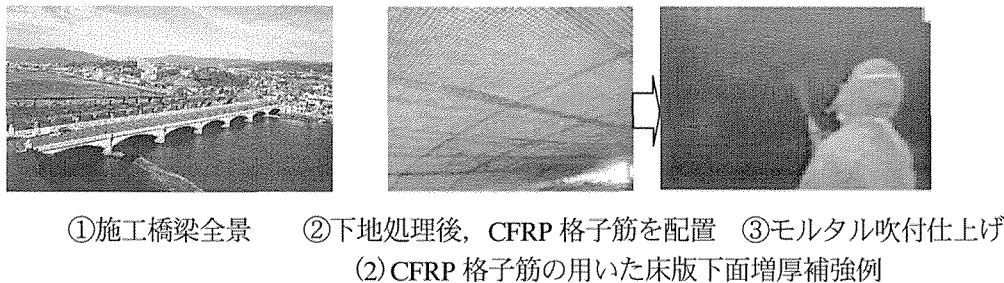
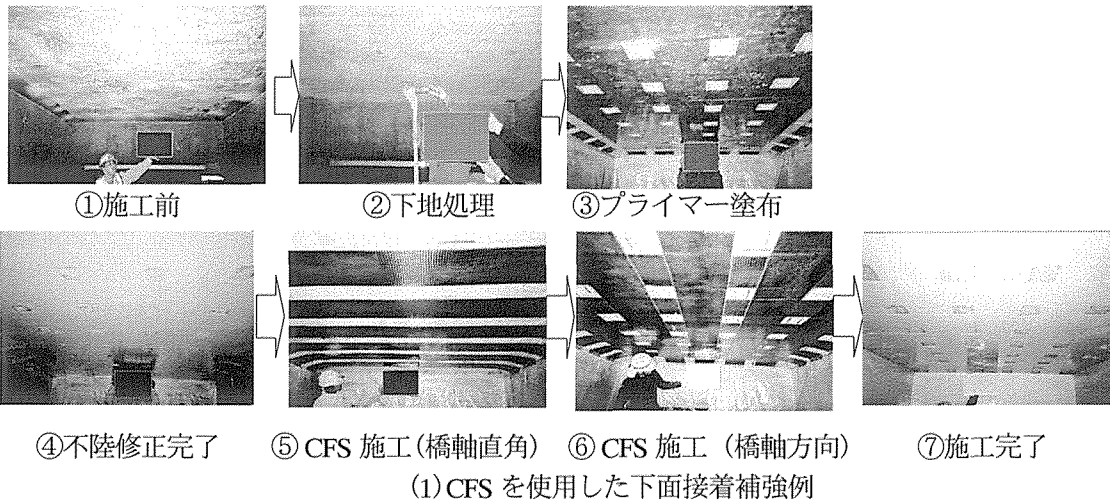


図3 FRP 下面接着補強の実施工例

際には床版の下地処理と確認が重要となる。次に、②プライマーを塗布する、③不陸修正を行う、④ FRP 材料を接着する。また、格子型を使用する場合には、下地のケレン後、格子筋をアンカーにより固定し、モルタルの吹き付けを行う等の各工程を経て、補修補強の工法とされている。

(4)FRP下面接着補強の実施工

FRP を使用した補強例として、CFS と CFRP 格子筋を使用した実施工状況を図3に示す。

1) CFSを使用した下面接着補強例：FRP 材料を使用した床版下面接着補強例として、首都高速道路での施工を示す。CFS を橋軸方向と橋軸直角方向の2方向に格子状に接着している⁹⁾。補強材料は、中弾性型 CFS を使用し、剛性は 82kN/m としている。施工手順は、図3(1)に示すように、はじめに下面の表面処理として、不良部のはつり除去やひび割れに樹脂を注入し、その後、プライマーを塗布して不陸を修正する。次に、橋軸直角、橋軸方向の順で CFS を接着して養生後、施工完了としている。なお、CFS 表面には耐候性塗料を塗布している。補強後の点検方法は、CFS を床版下面に格子状に接着していることから、CFS の隙間からひび割れ進展等の状況、CFS の状況観察を目視にて行うのが一般的である。

2) 格子筋型FRPを使用した下面補強例：FRP 材料を使用した下面接着補強例として、土木遺産の外観を壊さずに補修補強を行った、福岡県の名島橋での施工を示す。この橋梁は、1933年に建設された全長204.1m、

全幅24mの7経間連続RCアーチ橋であり、土木学会の選奨土木遺産に認定されている。完成から80年近くたった現在でも、1日6万台以上の交通量があり、また、河口に近いことから、疲労と塩害による損傷を受けて、アーチ下面にひび割れやはく離、鉄筋の露出や腐食もみられ、早期に補強が必要な状況であった。そこで、補強方法は、CFRP格子筋を使用したモルタル吹き付けで行っている。施工手順は、図3(2)に示すように、はじめに劣化したコンクリートをウォータージェットにより除去し、その後、CFRP格子筋を配置してアンカーにより固定後、モルタル吹き付けによる仕上げを行っている。

格子筋型FRP補強工法は、モルタルで仕上げるため塗装等は施されず、景観的には見た目に補修前と大きく変化がないため、本件のような歴史的建造物の補修にも最適である。施工後の点検方法は、目視等により行われるのが一般的である。

5. CFSおよびCFSS底面接着補強法の耐疲労性の評価

CFS および CFSS を用いた補強工法は確立され、実施工は多いが、補強後の耐疲労性の評価および材料による補強効果の差異に関しては十分検証されていない。そこで、補強後の耐疲労性の評価および材料による補強効果の違いを検証し、損傷程度による工法の選定方法、各種材料による材質・性能の差異と事後点検の可否、再補修の適合性・可能性についても併せて明らかにする必要がある。

5.1 使用材料・供試体寸法および補強方法

(1) 供試体概要

本実験に用いる供試体は、道示Ⅱに規定に基づいて設計し、供試体寸法のモデル化は道示Ⅱに規定する活荷重載荷面幅 500mm を基準に、本実験装置における輪荷重幅が 300mm であることから 3/5 モデル (= 300/500) とした。

(2) 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 (JIS-A5005) を使用し、コンクリートの設計基準強度は 24N/mm^2 を目標として配合した。鉄筋には SD295A, D10 を用いた。実験時におけるコンクリートの圧縮強度および鉄筋の材料特性値を表-5 に示す。

2) 炭素繊維シート (CFS)：本実験に用いた CFS は、目付量 200g/m^2 、設計厚 0.111mm の連続繊維シートおよびプライマー、CFS 用の接着材を用いた。ここで、CFS の材料特性を表-6 に示す。

3) 炭素繊維ストランドシート (CFSS)：CFSS 型を使用する。本補強には目付量 600g/m^2 、設計厚 0.333mm を用いた。ここで、CFSS の材料特性を表-6 に併記した。

5.2 供試体寸法および鉄筋の配置

供試体寸法は、全長 1600mm、支間 1400mm、床版厚 150mm とした。鉄筋は複鉄筋配置とし、引張主鉄筋に D10 を 120mm 間隔で配置し、有効高は 125mm である。また、配力筋も軸直角方向と同様に 120mm 間隔で配置し、有効高を 112mm とした。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置した。供試体名称は、コンクリートの圧縮強度が 30N/mm^2 であることから RC-30 とする。ここで、RC 床版の寸法および鉄筋配置を図4に示す。

(1) CFS接着補強工法

RC 床版供試体の支間の内側 $1300\text{mm}\times 1300\text{mm}$ の範囲に、目付量 200g/m^2 、設計厚 0.111mm の CFS を軸直角方向および軸方向に各 1 層貼り付けした。接着方法は、実施工と同様に行った。供試体名称を RC-30-CFS とする。

(2) CFSS格子貼補強方法

CFSS 接着補強の場合はプライマー処理が不要であり、コンクリートの表面処理後直接 CFSS を接着することから、施工の合理化となる。また、CFS 補強法は床版底面に CFS を全面接着することから、床版上面から浸入した雨水が RC 床版と CFS 接着界面に滞水し、接着剤の経年劣化が懸念されるとともに補強後の事後点検が困難であることから、本研究では、CFSS を格子状に接着補強して排水や事後点検に備えた。そこで、床版支間内 $1300\text{mm}\times 1300\text{mm}$ 内に、目付量 600g/m^2 の CFSS を長さ 1300mm、幅 50mm で 150mm 間隔に軸直角方向および軸方向に格子状に接着する。CFSS 補強

表5 圧縮強度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)			ヤング係数 (kN/mm^2)
		使用 鉄筋	降伏強度 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)	
RC-30	30	D10	368	516	200

表6 材料特性値

補強材料名	目付量 (g/m^2)	設計厚さ (mm)	引張強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)
CFS	200	0.111	4,420	235
CFSS	600	0.333	3,400	245

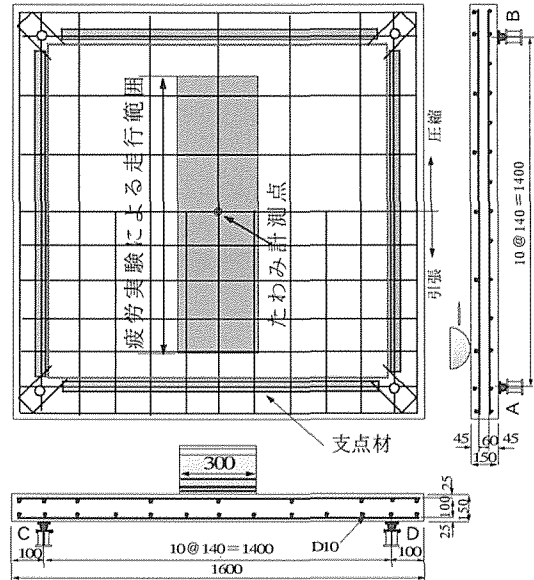


図4 供試体寸法および鉄筋の配置

した供試体名称を RC-30-CFSS とする。

6. 実験方法および等価走行回数

6.1 実験方法

RC 床版は、実験装置の車輪幅が 300mm で、道示Ⅰに規定する T 荷重幅 500mm の 3/5 であることから、供試体寸法を 3/5 モデルとして製作した。よって、基準荷重は活荷重の 3/5 に安全率 1.2 を考慮して 72kN とする。輪荷重走行疲労実験における初期荷重は 100kN、120kN で各 20,000 回走行する。以降は、20,000 回走行ごとに荷重を 10kN ずつ増加して供試体が破壊するまで繰り返し走行とした。たわみの計測は、1, 10, 100, 1000, 5000 回、以降は 5000 回ごとに行う。

6.2 等価走行回数

走行疲労実験では、2 万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の関係から等価走行回数 N_e を算出して補強効果および耐疲労性を評価する。輪荷重走行による等価走行回数 N_e 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⁹⁾の傾きの逆数 12.7 を適用する。

表7 等価走行回数

供試体	合計等価走行回数	平均等価走行回数	走行回数比
RC-30-1	6,880,950	9,059,787	-
RC-30-2	11,238,623		
RC-30-CFS	258,139,512	258,139,512	28.5
RC-30-CFSS-1	302,190,221	324,127,243	35.8
RC-30-CFSS-2	346,064,264		

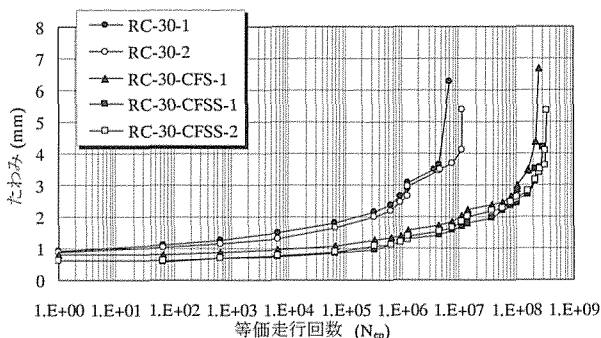


図5 たわみと等価走行回数の関係

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

ここで、 N_{ep} ：等価繰返し走行回数（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（=12.7）

7. 実験結果および考察

7.1 等価走行回数

本実験における RC 床版供試体および CFS 補強、CFSS 補強 RC 床版供試体の等価走行回数 N_{ep} （式(1)）を表7に示す。RC 床版供試体 RC-30 の平均等価走行回数は 9,059,787 回である。CFS 補強した RC 床版供試体 RC-30-CFS の等価走行回数は 258,139,512 回となり、RC 床版供試体 RC-30 に比して 28.5 倍の補強効果が得られた。また、CFSS 格子貼補強した供試体 RC-30-CFSS の平均等価走行回数は 324,127,242 回となり、RC 床版供試体 RC-30 の 35.8 倍の補強効果が得られた。また、CFS 補強供試体と CFSS 格子貼補強供試体の平均等価走行回数と比較すると、CFSS 格子貼補強した場合の耐疲労性は 1.26 倍となった。したがって、新材料および新工法である CFSS 格子貼補強法においても CFS 補強と同等以上の等価走行回数を得られており、耐疲労性が評価できた。

7.2 たわみと等価走行回数の関係

本実験における等価走行回数とたわみの関係を図5に示す。RC 床版供試体では、たわみが 3.5mm、すなわち支間 L の 1/400 を超えた付近から増加が著しくなっている。この等価走行回数は 3.64×10^6 回であり、この時点でのたわみを比較すると、CFS 補強供試体 RC-30-CFS のたわみは 1.74mm、CFSS 格子貼補強供試体 RC-30-CFSS-1, 2 の平均たわみは 1.54mm であり、RC

床版供試体に比して 1/2 程度にたわみが抑制されている。その後、供試体 RC-30-CFS は、等価走行回数 166.5×10^6 回付近からたわみが急増し、破壊時のたわみは 6.7mm である。また、供試体 RC-30-CFSS-1, 2 は同様な増加傾向を示し、等価走行回数 330.9×10^6 回付近からたわみが急増し、破壊時のたわみは約 5.4mm である。以上より、RC 床版供試体に比して、CFS 補強および CFSS 格子貼補強供試体ではたわみが大幅に抑制されていることから、CFS および CFSS による補強効果が検証された。

8. まとめ

橋梁長寿命化対策における維持管理は、維持管理を行う期間全般で想定される損傷に対する損傷メカニズムとそれらの発生部位を明らかにし、これに対応した維持管理計画を策定する必要がある。本研究では、FRP 材料を使用した下面接着補強の実例を示すとともに、下面のひび割れ損傷に対応した CFS 接着および CFSS 格子貼り補強した供試体を用いた輪荷重走行疲労実験により検証し、CFS 接着補強および CFSS 格子貼り補強工法は、たわみの増加が抑制され、等価走行回数も増加していることから、下面の補強工法として有効であることを示した。また、補修・補強が実施された床版の点検は、特殊な機械装置などが必要ない目視点検が第一に採用されることが想定され、かつ目視点検は、変状を発見するのに有効である。したがって、各種 FRP 補強工法において、格子貼り等の補修・補強工法で床版自体を完全に覆わず、ひび割れの進展、漏水の状況を確認できる工法仕様であることは点検の為には望ましい工法であるといえる。本実験で採用した CFSS 格子貼り補強に関しても、CFS 接着補強と同等以上の補強効果を有することが検証されたことから、橋梁長寿命化対策における補強工法として、有効な補強方法であることが評価された。

参考文献

- 1) 日経コンストラクション 5月 p.45 (2010)
- 2) (社)土木学会：道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上 (2004)
- 3) (社)日本道路協会：鋼道路橋設計示方書 (1956)
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I, II, III(2004)
- 5) 星島時太郎 ほか：損傷した道路橋床版の炭素繊維シートによる補強効果に関する実験的研究，橋梁と基礎，Vol32, No9, pp.23-28 (1998)
- 6) 小林朗 ほか：炭素繊維シート格子接着工法により補強した RC 床版の疲労耐久性，コンクリート工学年次論文集 Vol.27 No.2 (2005)
- 7) 岡田昌澄 ほか：格子配置された炭素繊維シートによる床版補強効果，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.175-180 (2003)
- 8) 松井繁之：道路橋床版，森北出版 (2007)