炭素繊維シート接着工法による片持版補強効果の確認実験

(株)トクヤマ	正会員	河合	優	五洋建設(株)	正会員	田中	英紀
五洋建設㈱		前田	一成	五洋建設㈱		釣	哲之

1.はじめに

炭素繊維シート接着工法は、軽量で施工性に優れ、 高強度かつ耐食性に優れた工法であり、近年、橋梁上 部工のRC部材の補修・補強工法として採用実績が増 えている。

筆者らは、建設後約40年が経過した鉄筋コンクリート橋における片持版の曲げ耐力向上を目的として炭素 繊維シート接着工法を採用するのに先立ち、実物大試 験体による曲げ試験および疲労試験を実施し、炭素繊 維シートによる曲げ耐力向上効果の確認(設計の妥当 性の確認)疲労特性の把握および長期的安定性・安全 性の確認を行った。

本稿は、実物大試験体による実験内容および実験結 果について述べたものである。

2.実験概要

2.1 対象構造 補強の対象となる橋梁は昭和 30 年代後 半に建設され、建設後今日に至るまで歩道 + 車道(5.5m 幅員)の幅員構成にて供用されて来た。今回、歩道部 片持版を炭素繊維シート接着工法にて補強し、大型車 の対面通行が可能となる車道幅(7.0m)を確保するこ とが補強の目的である。



図-1 補強対象構造の概要図

2.2 試験体 試験体の仕様を表-1、試験体の概要図を 図-2 に示す。試験体は原設計断面と同様の寸法形状と し、鉄筋比が原設計と同等になるよう鉄筋を配置した。 また、炭素繊維シート(以降 CFS と称す)には、高弾 性型(繊維目付量 300g/m²)を使用した。なお、試験体 の製作は、無補強の試験体を含む3体とした。

2.3 使用材料 載荷試験に当り、試験体に使用した各 材料の応力~ひずみ関係を供試体により確認した。各 使用材料の特性値を表-2に示す。

2.4 曲げ試験 CFS による曲げ補強効果を確認するため、 曲げ試験を行った。載荷は表-3 に示す値を目安として、 下向き一方向の段階載荷により行い、最終的には破壊 まで単調載荷した。また、試験体 CF-2 については疲労 試験後に曲げ試験を実施した。

2.5 疲労試験 CFS で補強した片持版の疲労特性を把握 するため、設計荷重(28.3kN)を 2Hz の振動数で 200

万回繰返し載荷するとともに、	規定回数時における載
荷点変位、コンクリートひずみ	、鉄筋ひずみ、CFS ひず



図-2 試験体概要図

表-2 使用材料の特性値注1

		· ·— ·—	
使用材料(規格)	特	性値	
鉄筋 13	降伏点強度	弾性係数	
(SR235)	347 N/mm ²	206,000 N/mm ²	
炭素繊維シート	引張強度	弾性率	
(高弾性型)	2,680 N/mm ²	685,000 N/mm ²	
コンクリート ^{推2}	圧縮応力度	弾性係数	
$(_{ck}=21N/mm^2)$	28.1 N/mm ²	23,400 N/mm ²	
注1) 数値は全て試験値 注2) 林会4週時における値			

表-3 各試験体の載荷重

試験体	載荷ステップ	載荷重(kN)	備考	
	ステップ1	16.8	ひび割れ発生	
	ステップ2	27.9	鉄筋短期許容応力度発生	
RC	ステップ3	54.1	鉄筋降伏	
	ステップ4	57.6	コンクリート圧壊	
	ステップ 5	破壊まで		
	ステップ1	17.9	ひび割れ発生	
CF-1,2	ステップ2	28.3	設計荷重(活荷重)相当	
	ステップ3	46.4	鉄筋短期許容応力度発生	
	ステップ4	52.9	炭素繊維シート破断	
	ステップ5	破壊まで		

3.実験結果

3.1 曲げ試験結果 設計荷重載荷時におけるひずみ分 布を図-3 に示す。無補強の試験体 RC に比べ、CFS 補強 を行った試験体 CF-1,2 のひずみは小さな値となった。 未疲労の CF-1 のひずみは、部材の曲げ剛性を全断面有 効として求めた計算値に近い値を示し、一方、200 万回 の繰返し載荷を行った CF-2 のひずみは、部材の曲げ剛 性を全断面有効とした計算値とコンクリートの引張側

キーワード 床版補強,炭素繊維シート接着工法,疲労試験,橋梁リニューアル 連絡先 〒745-8648山口県周南市御影町1-1 ㈱トクヤマ生産技術部門施設グループ TEL0834-22-2931 を無視して求めた計算値の中間的な値を示した。表-4 にひずみ分布から推定した部材の断面性能を示す。 次に荷重 - 載荷点変位曲線を図-4 に示す。未疲労の試 験体 CF-1 は最大荷重 77.0kN にて CFS が破断した。破 断後は載荷重の増加に伴い鉄筋の塑性変形量が増大し、 無補強の試験体 RC とほぼ同様の荷重 ~ 変位関係を示し ながら最終的にコンクリートの圧壊に至った。また、 200 万回の疲労試験を行った試験体 CF-2 は最大荷重 61.8kN にて CFS が破断した。CFS 破断後の試験体の破 壊形態は CF-1 とほぼ同様であった。

3.2 疲労試験結果 規定回数載荷時における荷重~載 荷点変位曲線および各荷重~ひずみ曲線を図-5 に示す。 各材料ともに、載荷回数の増加に伴い残留ひずみが増 大する傾向を示しており、200万回載荷時における残留 ひずみは CFS で約 400 µ、コンクリートで約 200 µ、鉄 筋で約 80 µ となっている。なお、鉄筋の残留ひずみは CFS の残留ひずみに比べると小さい。また、各部材の荷 重~ひずみ曲線の勾配は載荷回数の増加に伴い緩くな る傾向を示している。1万回載荷時および 200万回載荷 時における各曲線の傾き(各曲線における1次相関曲 線の傾き)を表-5 に示す。同表に示すように載荷回数 の増加に伴い勾配が緩くなる傾向は、CFS が最も大きい。 4.まとめ 実験の結果、以下の知見が得られた。

(1)未疲労試験体の断面性能は、全断面有効とした計算 値に近い値を示した。一方、200万回の繰返し載荷を行 った予疲労試験体の断面性能は、未疲労試験体に比べ 低下したが、コンクリートの引張側を無視した計算値 より大きい値を示した。これは CFS の拘束作用によっ て、ひび割れの発生に伴う引張疲労が抑制されたこと から、200万回載荷時点においても残存の引張剛性が十 分に寄与していることによるものと考えられる。

(2)予疲労試験体の破壊荷重は未疲労試験体の約 80% に低下したが、設計荷重の 2 倍以上の曲げ耐力を保有 しており、十分に安全であることが確認できた。

(3)載荷回数の増加に伴い、各材料の残留ひずみが増加 することが確認された。この内、コンクリートの残留 ひずみは塑性ひずみによるものと考えられる。鉄筋お よび CFS の残留ひずみについては、発生ひずみのレベ ルから判断して十分に弾性領域内に収まっていること から、塑性ひずみである可能性は低い。これは複数の 材料による合成構造体としての挙動を考えた場合、載 荷回数の増加に伴ってコンクリートの引張側に発生し た微細な局部ひび割れが、鉄筋あるいは CFS に達した ため、このひび割れによる永久変位が蓄積され、あた かも塑性ひずみの如く鉄筋や CFS に残留したことが原 因と推定される。

(4) 目視観測の結果、疲労による CFS とコンクリート 面における不具合(浮き、剥れ等)は見られなかった。
5.あとがき 今回の実験により、CFS による曲げ耐力 向上効果、疲労特性および長期的安定性・安全性を確 認することができた。当該橋梁は補強工事を終え、既 に供用中であるが、補強前および補強後において載荷 試験を実施し、実橋に関しても補強による曲げ耐力向 上効果を確認している。また、今後は定期的に挙動観 測を実施し、供用後の片持版の曲げ剛性の経時的変化 を観測し、維持・管理に役立てたいと考えている。





表-4 部材の断面性能

種別		中立軸高さ(mm)	断面2次モーメント(mm⁴)		
計算値	全断面有効	129	9.02 × 10 ⁸		
	引張側無視	62	2.38 × 10 ⁸		
推定值	CF-1	129	9.07 × 10 ⁸		
	CF-2	107	3.27 × 10 ⁸		



表-5 各材料の荷重~ひずみ曲線の傾き

材	半江	1次相関曲線の	200 万回 / 1 万回	
	<u>^</u> +	1 万回載荷時	200 万回載荷時	20071071710
炭素繊維シート		0.187	0.073	0.39
鉄	筋	0.362	0.210	0.58
コンク	リート	-0.260	-0.187	0.72