

大阪大学 工学部

正会員 松井 繁之

大阪大学 大学院

学生会員 ○高井 創

阪神高速道路公団 保全施設部

正会員 林田 充弘

1.はじめに： 土木構造物の補強工法として、新材料の炭素繊維を用いたものがある。これは炭素繊維の持つ、軽量で高弾性であり、引張り強度が高く、錆びないという特長を生かしたものである。この工法は既存 R/C 床版補強にも適用され、これまで多数採用もされている。しかし、この工法の耐久性・信頼性に関する研究報告は少なく、設計施工マニュアルを作成するに当たり、R/C 床版の疲労試験方法として定着している、輪荷重走行試験を行う必要がある。

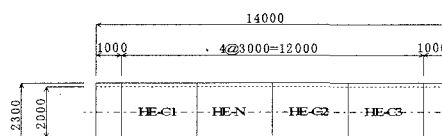
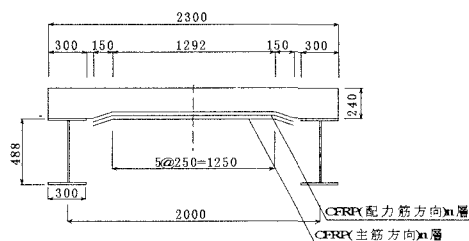
2.補強量に関する検討： 現在、床版の補強設計は鉄筋応力度等に着眼した、許容応力度設計法で行われている。しかし、新しい道路橋示方書の設計基準のもとで、炭素繊維シート補強工法の応力度算定を行った場合、必要な積層枚数が多くなる場合がある。これは不経済であり、またその効果に対する疑問もある。既存の研究により、床版の劣化はクラックの挙動により進行することが確認されている。¹⁾そのため鉄筋応力が計算上、許容応力度を超過しても問題はないと考えられる。

このことから、積層枚数は可能な限り減らすことが可能であるとの観点で補強枚数を主要検討項目とした。

3.供試体

i)供試体の製作： 補強工法の評価を行う場合、補強前の供試体には、実橋供用による劣化状態を再現することが重要となる。本供試体では、実橋で特に大きな問題となるコンクリートの乾燥収縮ひびわれも導入した。この乾燥収縮ひびわれは、桁がコンクリートの収縮を拘束するために生じると考えられている。そこで、疲労試験用床版長 3m の 4 体分を考慮して、全長 14 m のスタッドのついた主桁と一体的に製作し、野外で 3 ヶ月間の暴露養生を行い、乾燥収縮に伴うひびわれを発生させた。さらに、大阪工業大学八幡試験場の輪荷重走行試験機によって疲労荷重を載荷し、ひびわれを成長させた。その後供試体を 4 体に分割し、疲労試験前に各補強量の補強を行った。

ii)供試体の補強： 現在、炭素繊維シート補強は 300g/m² の目付量のシートを用い、使用枚数は主筋方向・配力筋方向にそれぞれ 1 層ずつ貼り付けるのが、最も一般的である。そこでこの補強量を基準とし、比較のために全く補強しないもの、使用枚数は同じだが、繊維の目付量を半分の 150g/m² にしたもの、補強量を 4 倍としたもの、の計 4 種類の補強を行った。



床版の配筋状態

	主鉄筋		配力鉄筋	
	圧縮側	引張側	圧縮側	引張側
鉄筋種及びピッチ	D16@200	D16@100	D16@250	D16@125
上縁からの位置	4.5	16.5	6.1	14.9

各供試体の補強状態

	使用炭素繊維シート	
	目付量(g/m ²)	補強枚数(主筋方向/配力筋方向)
HE-N	-	
HE-C1	150	(1層/1層)
HE-C2	300	(1層/1層)
HE-C3	300	(4層/4層)

4.各供試体の応力度算定： 疲労試験を行う前に、本供試体の下側鉄筋応力度の算定を行った。その結果を以下に示す。道路橋示方書では、鉄筋の曲げ応力度は 1400kgf/cm^2 以下で、 200kgf/cm^2 程度余裕を持たせることと規定している。これによると、実験供試体は補強量4倍を除き、すべて許容応力度を超過していることになる。すなわち、許容応力度設計法をそのまま本工法に適用した場合には、通常量4倍以外は許容応力度をオーバーしてしまうことになる。

5.疲労試験： 疲労試験には、大阪大学の所有する輪荷重走行試験装置を使用した。疲労試験の載荷荷重は 18tf とし、載荷走行回数は100万回とした。

6.試験結果： 無補強のものは、24.4万回の載荷走行により破壊した。補強供試体は全て、100万回載荷走行後も破壊には至らなかった。炭素繊維シート補強工法は高い補強効果を示したといえる。またこのことから、炭素繊維シート補強を行った試験体では、許容応力度を超過しても補強効果に問題はないと確認できた。炭素繊維シート補強工法では、許容応力度に基づく設計法は不適切であるといえる。なお、下面に設置したひびわれゲージの変位から、無補強のものに比べ炭素繊維シートで補強したものは、ひびわれの変位量が小さく抑えられていた。このことから、下面に貼り付けられた炭素繊維シートは、床版の疲労寿命に大きな影響を与える、ひびわれの動きを抑制する効果が高いといえる。

今回の疲労試験においては、活荷重たわみ等に補強量の違いによる明確な差はみられなかった。これには、補強前の劣化が大きな影響を与えていると考えられる。

7.結果に対する解析： 補強供試体では、疲労試験において補強量による明確な違いがみられなかった。この結果について考えてみる。直交異方性版理論を用いた解析を行い、補強量4倍供試体の断面状態の推定を行った。その結果を表に示す。これによると、この供試体は補強を行う前に配筋断面での劣化がかなり進行していたことがわかる。これは試験終了後の試験体のカット断面の状況からも確認できる。このため、配筋断面では中立軸の降下が発生し、シート補強を行ったことによる剛性の回復が非常に小さかったと推定される。

8.まとめ： 補強をパラメータとした疲労試験により、炭素繊維シート補強工法には、応力度を照査した補強設計は不向きであると確認した。また炭素繊維シート補強の効果は、応力度の低減ではなく、床版下面のひびわれの動きを抑制することであると確認した。

[参考文献]

松井 繁之：道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究；大阪大学学位論文,昭和 59 年 11 月

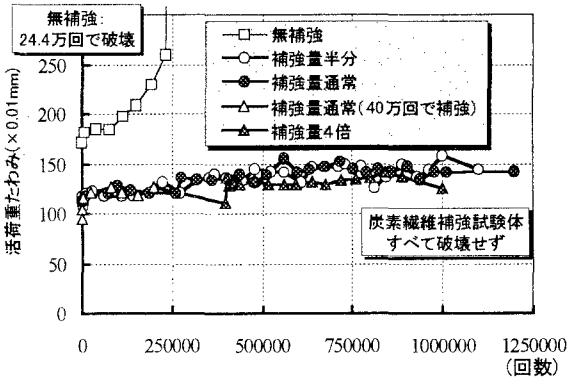
補強設計における下側主鉄筋の応力度(理論値)

	下側主鉄筋応力度(kgf/cm ²)
無補強	1560.4
炭素繊維補強(補強量1/2)	1428.7
炭素繊維補強(補強量通常)	1283.1
炭素繊維補強(補強量4倍)	805.7

道路橋示方書規定: 1200kgf/cm^2 以下

炭素繊維シートの物性

	強度(N/mm ²)	弾性率(N/mm ²)	設計厚さ	目付(g/m ²)
目付半分	3700以上	430000±20000	0.165mm	150
目付通常	3700以上	430000±20000	0.0825mm	300 +25,-0



床版中央の回数-たわみ曲線

補強によるHE-C3の断面量変化

補強状態	断面2次モーメント(cm ⁴ /m)			
	引張側無視で算定		異方性度を用い補強前の状態を考慮	
	主筋断面	配筋断面	主筋断面	配筋断面
無補強	27200	19800	67000	13500
1+1層	35200	26000	73000	14600
4+4層	49900	40600	84300	18400