

## PC 橋の炭素繊維シート接着工法に関する一提案

西日本高速道路エンジニアリング関西（株） 正会員 ○橋本 怜於  
西日本高速道路（株） 正会員 嘉屋 明信  
NEXCO 西日本コンサルタンツ（株） 正会員 伊川 嘉昭 正会員 加藤 大樹

### 1. はじめに

コンクリート橋において、正曲げにより主桁下縁などで許容値を超過する引張応力度が生じる場合、炭素繊維シートを接着し耐荷性能を満足させる補強が標準的な対策の一つとして実施されている。

「コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(Ⅲ) 建設省土木研究所(平成11年12月)」

(以下、共同研究報告書)では、プレストレストコンクリート橋(以下、PC橋)の主桁に炭素繊維シートを接着する際の補修・補強設計手法が示されている。この共同研究報告書の内容では、炭素繊維シートを桁内部の鉄筋に換算し、断面に生じるひずみ量が鉄筋の許容ひずみ以下に抑えられるように炭素繊維シートの補強量を算出するものとされている。そのため、軸方向鉄筋が少ないPC橋においては、補強量が膨大となるケースが多い。

一方で、PC橋では主桁の軸方向鉄筋を設計に見込まないため、軸方向鉄筋が降伏に達しても構造上問題にならないと推測される。従って、PC橋において、炭素繊維シートの性能を鉄筋に換算する必要性は低く、作用断面力に対してシートの強度を適切に評価すると補強量を低減することが可能と考えられる。

そこで、炭素繊維シートの強度に着目して必要となる補強量を算出し、PC橋における炭素繊維シート接着工法の補強量低減を試みたので本稿にて報告する。

### 2. 構造概要及び変状概要

対象の変状は支間35mのポストテンションPC単純T桁橋において、外桁(G8)の主桁下縁部に生じたシース管の腐食に起因する剥落である(写真1)。変状付近には過去に使用されていた排水管が残置されており、そこからの水がかりで変状に至ったものと考えられた。現況で旧排水管からは漏水しておらず、劣化因子の供給がないこと、断面が欠損している

状態でも耐荷性能を満足したこと(既存の外ケーブル補強を考慮)から、浮き部を除去したうえで、断面修復工による補修を対策として選定した。

しかし、断面修復部にはプレストレス等が作用せず無応力状態となることから、補修後に作用する活荷重による正曲げの影響で修復部が剥落する恐れがあった。そこで、修復部に作用する断面力に対して、炭素繊維シートを接着し耐荷性能を担保させる案を検討するものとした。



写真1 鋼材腐食による変状

### 3. 補強量の検討

共同研究報告書で紹介されている補強量算定式を用いて、主桁下縁部に生じる引張応力度に対する必要積層枚数を算定した。なお、補修後に修復部に生じる応力度は表1の通りであり、変状部以外では引張応力は作用しない。

表1 変状部(G8)の合成応力度

(単位: N/mm<sup>2</sup>)

G8		上縁	下縁	修復部	
主桁プレストレス		-3.79	21.07	0.00	
死荷重		10.70	-17.66	0.00	
活荷重	最大	5.94	-7.44	-8.28	
	最小	-0.24	0.30	0.33	
外ケーブルによる応力度		-1.30	7.27	0.00	
合成 応力度	死荷重時		5.61	10.69	0.00
	設計荷重時	最大	11.55	3.25	-8.28
		最小	5.37	10.99	0.33

<補強量算定時の諸元>

炭素繊維シート型 : 高強度型 300目付  
シート 引張強度  $\sigma_{cf}$  : 3400N/mm<sup>2</sup>  
シート厚 tcf : 0.167mm  
シートの弾性係数 Ecf :  $2.45 \times 10^5$ N/mm<sup>2</sup>  
鉄筋種別 ( $\sigma_{sa}$ ) : SR235 (許容応力度 140N/mm<sup>2</sup>)

キーワード PCT桁橋、炭素繊維シート、補強設計、鋼材腐食、ひずみ

連絡先 〒567-0032 大阪府茨木市西駅前町5-26 西日本高速道路エンジニアリング関西(株) TEL: 072-658-2400

共同研究報告書で紹介されている補強量算定式を用いた場合、必要枚数は11枚となり上限の最大積層枚数（10枚）を超える結果となる。

$$\begin{aligned} T_c &= 211.068\text{kN} \\ A_{cf} &= (T_c/\sigma_{sa}-A_s)/(E_{cf}/E_s) = 905.7\text{mm}^2 \\ N &= A_{cf}/(w \cdot t_{cf}) = 10.85 \div 11 \text{枚} < 10 \text{枚} \end{aligned}$$

ここで、 $T_c$  : 引張合力  
 $A_{cf}$  : 必要断面積（炭素繊維シート）  
 $E_s$  : 鉄筋の弾性係数  
 $E_{cf}$  : 短繊維シートの弾性係数  
 $N$  : 必要積層枚数  
 $w$  : シートの幅

一方で、炭素繊維シートが有する引張強度に対して1.7の安全率を仮定し必要積層枚数を再度検討すると、下記の通り、必要な炭素繊維シートの積層枚数は2枚となる。

$$\begin{aligned} T_c &= 211.068\text{kN} \\ A_{cf} &= T_c/(\sigma_{cf}/\alpha) = 105.534\text{mm}^2 \\ N &= A_{cf}/(w \cdot t_{cf}) = 1.26 \div 2 \text{枚} \end{aligned}$$

※ $\alpha$  : 安全率 1.7

#### 4. 補強後の耐荷性能評価

##### (1) 応力-ひずみ曲線

活荷重により主桁下縁部に生じる引張応力度（ $8.28\text{N/mm}^2$ ）に対して、炭素繊維シートを2層接着した場合に、炭素繊維シートに生じるひずみを図1に示した。炭素繊維シートは降伏域がなく脆性的な破壊をする材料であるため、図1のように略式的に引張強度を安全率1.7で除した値を図中に示すと、炭素繊維シートに生じるひずみは終局ひずみに対して十分余裕があることがわかる。

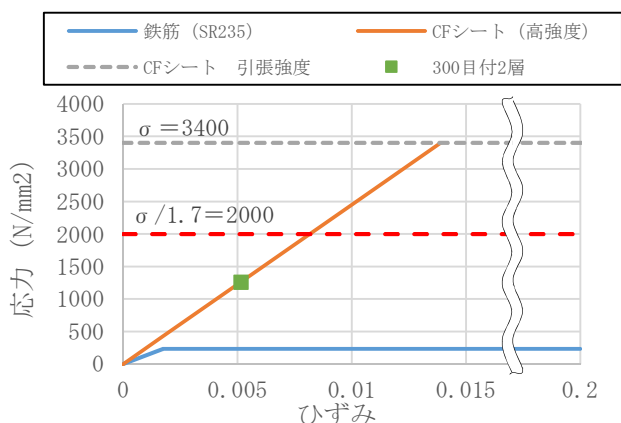


図1 応力-ひずみ曲線

##### (2) 曲げ耐力照査

「連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針（土木学会）」に準じて、補強後の性能照査として曲げ耐力照査を実施した。結果は表2の

通り、作用断面力に対して曲げ耐力が上回ることが確認されており、積層枚数を2枚とした場合でも耐荷性能は満足すると考えられる。

表2 曲げ耐力照査結果

曲げ耐力		作用曲げモーメント		安全率
$\gamma_l \times Mu$	8242kN・m	$\gamma_i \times Md$	7287kN・m	0.88

#### 5. まとめ

炭素繊維シート工法の補強量について、シートの性能を鉄筋の許容ひずみ以下にコントロールするのではなく、シートの強度を適切に評価したうえで、必要積層枚数を算出した結果、以下の知見が得られた。

- ① 炭素繊維シートを桁に配置された鉄筋に換算すると必要枚数が11層となる一方で、換算しない場合には2層となり、補強量を大幅に低減することができる。
- ② 炭素繊維シートの補強量を300目付2層とした場合でも、断面に生じるひずみ量は $5200\mu$ 程度であり、炭素繊維シートの終局ひずみ（ $13880\mu$ ）に対して十分な余裕がある。
- ③ 300目付2層とした場合でも断面の曲げ耐力は大幅に向上しており、性能照査を満足することから安全性は確保されることが考えられる。

#### 6. おわりに

本検討の結果より、PC橋の主桁に生じた変状に対して、補強として炭素繊維シート接着工法を用いる場合に、補強量を算定する一手法を提案できた。

しかし、本稿で対象にした変状は外桁で生じたものであり、活荷重等の影響を受けにくい桁で検討を行っている。そのため、炭素繊維シートの性能を鉄筋に換算せず補強量を算定する場合には、耐荷性能等をよく検討したうえで適用することが望ましい。

#### 参考文献

- 1) 建設省土木研究所：コンクリート部材の補修・補強に関する共同研究報告書(III)（平成11年12月）
- 2) 土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針（平成12年7月）
- 3) 西日本高速道路株式会社：設計要領二集 橋梁保全編（令和2年7月）
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説III. コンクリート橋編（平成24年3月）