

(105) 炭素繊維シートによるPC桁補強の一事例

石川県道路公社 北野 能生

○ (株)ピー・エス 北陸支店 奥田 由法

(株)ピー・エス 本社メンテナンス室 松尾 睦

1. 概要

本橋は石川県のと有料道路が相見川を渡る橋梁で、昭和47年に建設されたものである。橋長20m、幅員11.3m、斜角5.3°、ポストテンションPCT桁7本で構成されており、TL-20で設計されている。海岸線から約100mに位置しているため、飛来塩分による塩害のため桁の劣化が著しく、事前の目視調査でも主桁PC鋼材まで損傷が及んでいる可能性が予測された。

実際、補修工事にかかり劣化部分をはつてみると、PC鋼材まで劣化が進んでいる部位も見られたので、主桁自体の機能回復のための補強工事を施すことになった。補強工法には従来工法も提案されたが、最近注目されている炭素繊維貼りつけ工法(CFシート工法)を本橋では採用した。

本報告は、先に実施したCFシートを貼りつけた実物大のPCT桁の補強試験結果を参考に補強設計を行い、施工を行ったものであり、一部未解決の課題も残されているが、PC桁の補強事例として報告するものである。

2. 主桁の劣化調査

目視点検、たたき点検調査に加えて次の3項目について詳細調査を行った。

- ① コアによる含有塩分量調査
- ② 同じくデマーク法による膨張量試験
- ③ はつりによるPC鋼材損傷量調査

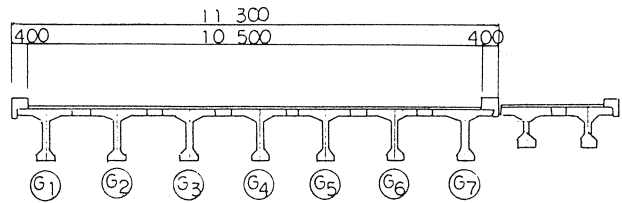


図-1 主桁配置図

- ① ではコンクリート表面付近で2.5~3.0kg/m<sup>3</sup>(Cl<sub>1</sub>材総量)鉄筋位置で1.8~2.0kg/m<sup>3</sup>の量であった。また、ひび割れの特徴からASRが劣化要因の一つとして考えられたので②の試験を行ったが、残存膨張量は少なく、0.1%未満の膨張量であったので、ASRの進行はほぼ終わったものと判断した。また③のPCケーブル(5-12φ7)の損傷は、海側外桁G1桁を除いて何れの桁にも鋼線の腐食または切断がみられた。

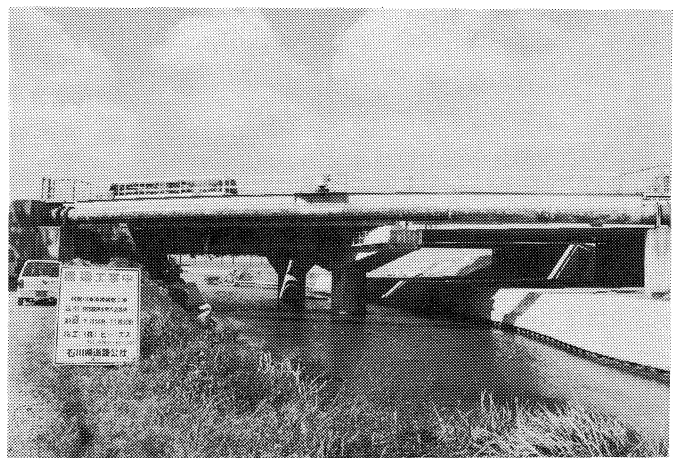


写真-1 相見川全景(山側より)

3. 主桁の補強、補修方針

劣化調査の結果、補強補修の基本的考えを次のようにした。

- ・補強は現設計のTL-20の曲げ耐力を回復することを目標とする。
  - ・劣化部の補修は、目視たつき点検調査でコンクリートの浮き、ひび割れ等がみられる箇所の部分補修に限定する。
- またCFシート工法とは、炭素繊維に予めエポキシ樹脂を含浸させたシートをエポキシ樹脂を用いて躯体に貼り付ける補修補強工法であり、次のような特徴を持っている。

- ・軽量・・・比重が鉄の5分の1
- ・高強度・・・鉄の約10倍
- ・高耐久性・・・耐塩害等の腐食環境に適する

CFシートの物性諸元を表-1に示す。

項目	単位	30タイプ
引張強度	kgf/cm <sup>2</sup>	35 000
設計用曲げ引張強度	//	25 000
許容曲げ引張応力度	//	15 000
設計用弾性率	//	2.4×10 <sup>6</sup>
単位面積当りCF重量	g/m <sup>2</sup>	300
単位幅当りCFの断面積	cm <sup>2</sup> /m	1.67
主桁下縁のCF貼付け面積(1層当り)	m <sup>2</sup>	0.68
CFシートの1層当りの張力	tf	17.034

4. 主桁補強設計

PC桁の場合、既に入っているプレストレスの扱い方によって計算が煩雑になるので本橋では次の二つのステップでCFシートの所要層数の算定を行った。

表 - 1 CFシートの物性諸元

(1) 使用時(設計荷重時)での所要CFシート量の計算

設計荷重作用時での主桁下縁の引っ張り応力度の検討を行い、所要CFシート量を求める。

- ① 主桁下縁の劣化部をはった後の各桁の各荷重による応力度をコンクリート欠損断面、有効PC鋼線量で算出する。

この状態での死荷重時のコンクリート応力度を算出し、許容値に入っていることを確認する。

- ② コンクリート欠損断面修復後の元断面で活荷重(TL-20)時の主桁応力度を算出する。

但し、修復部分の最下縁は後づけ部分なので活荷重作用時引っ張り応力度が発生する。

- ③ ②の状態で桁下縁に生じた全引張応力を主桁下縁に貼るCFシートの引張力で受け持たせるとして、PC桁の引張鉄筋量算出慣用計算手法で所要CFシート量を算出する。

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
復元設計での主桁下縁応力度 (Kg/cm <sup>2</sup> )	2.6 (MAX桁はG1桁であるので他の桁はこれ以上の値)						
斫り後の主桁下縁(欠損断面の下縁)応力度 (Kg/cm <sup>2</sup> ) (死荷重時)	52.8	28.4	-1.3	14.3	14.0	28.4	37.7
断面修復後の主桁下縁応力度 (Kg/cm <sup>2</sup> ) (TL-20時)	-11.6	-28.2	-52.2	-32.8	-36.9	-28.2	-26.7
引張力の合計 (Kg) (設計荷重時)	21 510	37 014	64 023	41 277	56 540	37 014	36 197
所要CFシート層数	1.3(2)	2.2(3)	3.8(4)	2.4(3)	3.3(4)	2.2(3)	2.1(3)
PC鋼材 12φ7 ○:12本全て健全 ●:1~5本切断または腐食 ●:6本以上切断または腐食							

計算結果を表-2に示す。

表 - 2 設計荷重時での所要CFシート総数

(2)終局荷重作用時(破壊荷重作用時)の検討

終局荷重作用時の主桁の曲げ破壊モーメントの計算を行い、当初の抵抗曲げモーメントと比較することにより、(1)で求めた補強量の妥当性の判断を行う。

① 元設計での主桁破壊抵抗モーメントを算出する。

② PCケーブル欠損による破壊抵抗曲げモーメントの減少分を計算する。

③ (1)で求めたCFシート量による破壊抵抗曲げモーメントの増分を加算した合計抵抗曲げモーメントを計算する。

計算結果を表-3に示す。

なお、本橋の場合、種々の制約から交通遮断を行っての施工は出来なかったが、実際の供用荷重(20トノ車1台)の通行時の主桁下縁応力度が最大桁でも $-20\text{kgf/cm}^2$ 程度でありひび割れ荷重内と判断し供用をしながらの施工とした。

4. 施工

施工前の主桁の劣化状態を写真-1に示す。

断面修復後のCFシート貼付工の施工手順は以下のである。

- a. 下地処理
- b. プライマー塗布
- c. パテ処理
- d. 接着剤(レジン)塗布
- e. CFシート貼付
- f. エア抜き
- g. 接着剤(レジン)塗布
- d~gの繰り返し
- h. 上塗り

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
元設計での主桁破壊抵抗曲げモーメント (tf・m)	358.0	358.0	358.0	358.0	358.0	358.0	358.0
ケーブル欠損による破壊抵抗曲げモーメントの減少量 (tf・m)	0.0	35.9	108.4	72.2	72.2	35.9	35.7
CFシート層数	2	3	4	3	4	3	3
CFシートによる破壊抵抗曲げモーメントの増分を加えた合計曲げモーメント (tf・m)	418.3	415.6	375.2	379.8	411.0	415.6	413.8
PC鋼材 12φ7 ○:12本全て健全 ●:1~5本切断または腐食 ●:6本以上切断または腐食							

表 - 3 終局荷重時の検討

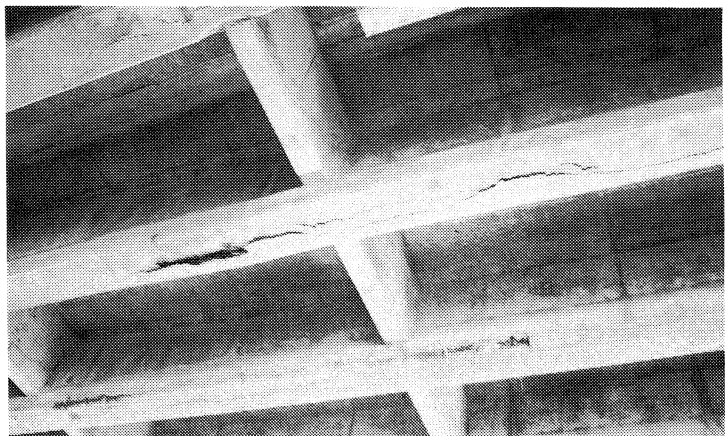


写真-2 施工前の主桁劣化状況

また、CFシートの貼付図を図-2に示す。

施工手順は、先ず下地処理はジスクサンダーでコンクリート面のバリ取りを行い、17-70-後プライマーを塗布する。更に部分的な不陸をパテで平滑に仕上げる。

次にエポキシ系接着剤を塗り、その上にCFシートの離形シート（紙）を剥しながらコンクリート表面に貼りつける。

（写真-3）そして脱泡ローラーを用いて繊維方向に沿ってエア抜きを行う。更にエポキシ系接着剤を塗り、CFシート1層のサイクルとした。（写真-4）

本橋では2～4層繰り返し最後に上塗りを行い仕上げた。

又、設計上必要な層厚を施した後、主桁横方向の膨張を抑制する目的で、下フランジ部に1層のCFシートを横方向に巻いた。

#### 5. おわりに

今回使用したCF工法は、PC桁の補強にはまだ完全に確立された工法ではないが、従来の主桁補強工法（外ケーブル工法）と比較して、

- ①材料が軽量で取り扱いやすいこと
- ②既設の主桁を傷めないこと
- ③工期が比較的早いこと。

などのメリットがあり、今後の補強工法として有力な工法であると思われる。

尚、施工に当たりいろいろ助言を戴いた(株)三菱化学 谷木謙介氏に感謝の意を表します。

#### 参考文献

谷木、田中、神内、松浦：炭素繊維シートによるPC桁の補強効果に関する実験、コンクリート構造物の補修工法と電気防蝕に関するシンポジウム 1994.10

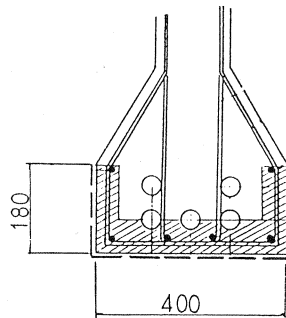


図-2 CFシートの貼付図



写真-3 CFシートの貼付状況（その1）

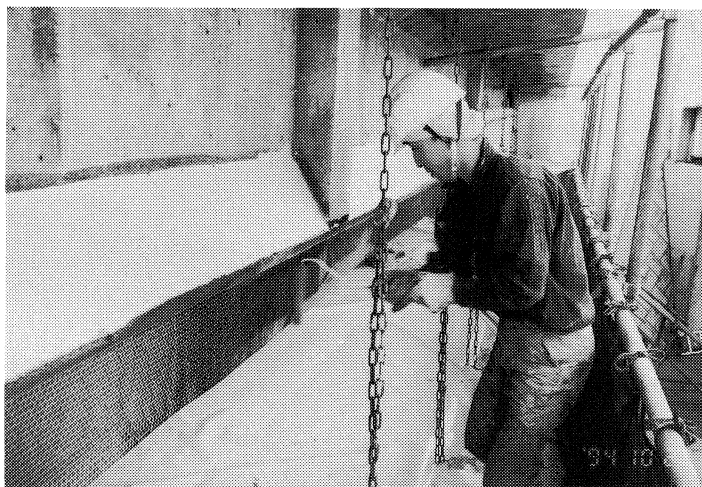


写真-4 CFシートの貼付状況（その2）