

(55) 炭素繊維緊張材のPC道路橋への適用 — 撥川南橋の建設 —

三菱化成(株)総合研究所

谷木 謙介

(株)大林組技術研究所

○岡野 素之

ビー・エス・コンクリート(株)

高取 広

1. まえがき

長繊維系新素材の中には、『高強度、軽量、高耐久性、非(低)磁性』等の優れた特徴を有するものがあり、プレストレストコンクリート(以下PCと呼ぶ)橋梁の緊張材への利用について研究が行なわれている¹⁾。この背景には、近来、鋼材の錆びによるPC部材の劣化・損傷が見られ、より高い耐久性能が求められていることや、磁気浮上列車関連施設の開発に伴う、非(低)磁性PC構造物の要求が高まっていること等がある。しかし、現在では実橋に使用した例は稀で、国内ではプレテンション方式で比較的小規模な橋が作られた^{2), 3)}程度で、実用レベルには至っていない。

今回、北九州市の橋梁新設工事において、上部工の一部に、炭素繊維補強プラスチックの棒材(φ8:三菱化成製造、以下CFRPロッドと呼ぶ)を緊張材に使用したプレテンション方式PC桁(長さ約18m)を採用した。本報告は同橋梁の設計・施工の概要と、関連して実施した、緊張試験、設計荷重での桁と実橋の載荷試験、および長期測定の結果について述べたものである。

2. 橋梁の概要

本橋梁の概要を図-1に示す。工事概要は次の通りである。橋梁の名称は撥川南橋

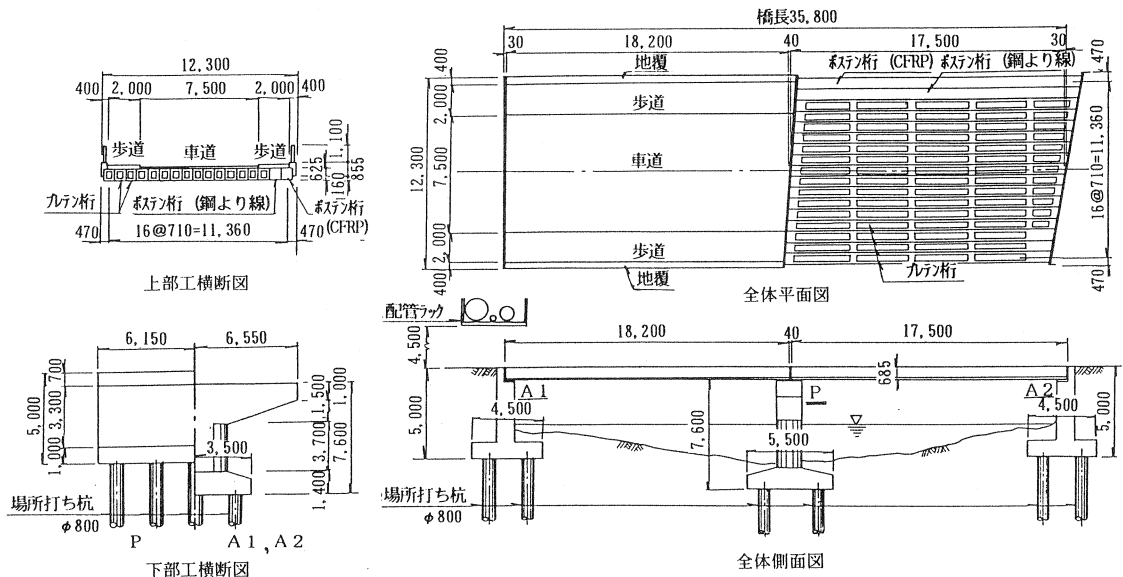


図-1 概要図

(ばちがわみなみばし)で、規格はプレストレストコンクリート造道路1等橋(相当)である。施工場所は、福岡県北九州市八幡西区黒崎所在の、三菱化成株式会社黒崎工場の場内である。上部工の規模は、橋長 $18\text{m}250+17\text{m}550=35\text{m}800$ 、幅員が車道 $7\text{m}500$ +歩道 $2\times 2\text{m}000$ +地覆 $2\times 400=12\text{m}300$ で、施工期間は昭和63年10月~平成元年9月である。

3. 設計・施工の概要

3.1 設計概要

主桁の配筋図を図-2に、上部工主要数量を表-1に、また主桁の設計条件を表-2にそれぞれ示す。

上部工は、橋梁上方に配管ラックがあり橋面高さが制限されることと、撥川のH.W.L.と桁の下端との余裕がないために、桁高を低くする必要があった。そのため、主桁高さ 650mm 、幅 625mm 、支間 $18\sim 19\text{m}$ のスラブ橋形式で設計した。

主桁は合計34本で、プレテンション方式中空矩形桁が32本、ポストテンション方式充実矩形桁が2本である。ポストテンション桁はCFRPロッドを緊張材に用いた桁(以下CFRP桁と呼ぶ)と、PC鋼より線を緊張材に用いた桁(以下PC鋼線桁)である。PC鋼線桁はCFRP桁との比較用である。ポストテンション桁は、定着部の配置の関係上緊張材を曲げ上げ配置したため、充実タイプとした。中空桁と充実桁の断面剛性を揃えるため両者のコンクリート強度を変えて設計した。

主桁の設計計算はコンクリートと緊張材の間に付着力を考慮したボンド方式で行なった。ただし長期測定用のロードセルを埋め込んだケーブルはアンボンド状態で施工した。

また、CFRP桁の設計緊張力は、保証引張強度の55%とした。

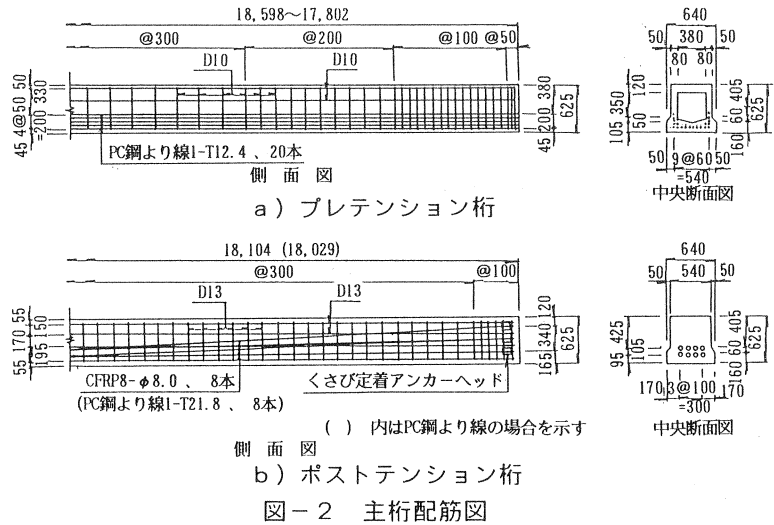


表-1 上部工主要数量

上部工	数量	緊張材		
		種類	構成	総長さ(m)
ポストテンション桁	1本	CFRPロッド	8-φ8.0	1,265
	1本	PC鋼より線 SWPR19	1-T21.8	157
プレテンション桁	32本	PC鋼より線 SWPR7A	1-T12.4	11,415
横締工	1式	PC鋼より線 SWPR19	1-T19.3	432

表-2 主桁設計条件

製作方法	プレテンション	ポストテンション	
		CFRP桁	PC鋼線桁
桁種別	プレテン桁	充実矩形	
桁形状	中空矩形	充実矩形	
コリ ン ク ト	基準強度 (kgf/cm ²)	500	400
	ヤング係数 (kgf/cm ²)	4.0×10^5	3.5×10^5
	中央部断面積 (m ²)	0.244	0.357
緊張材	種類	1T12.4	CFRP φ 8.0
	許容引張荷重* ヤング係数 (kgf/cm ²)	9.75 t/本 1.98×10^5	40.0 t/組 1.42×10^5
緊張材	摩擦係数 (1/rad)	-	0.3
	(1/m)	-	0.004

* CFRP桁では定着具の性能から決まる値である。

3. 2 施工概要

(1) 全体工程

準備工から竣工に至るまでの全体工程を表-3に示す。

(2) CFRP桁の製作

桁は久留米市内の工場で作成した。CFRP桁の製作のフローを図-3に、CFRPロッドの諸元をPC鋼より線と共に表-4にそれぞれ示す。

CFRPロッドは、この種の新素材全

般と同様に引張強度に比べてせん断強度が著しく低い。したがって切断は容易であるが、逆に表面が損傷し易く、これを防ぐ必要がある。今回は、予め8本1組のケーブル合計8組をロッドが各々交差しない様に揃え仮止めし、シースに挿入した後、シースごと鉄筋かごにセットした。シースはスパイラルシースを使用した。

鉄筋は、主筋とフープ筋に異形棒鋼SD30Aを、定着部の割裂補強に普通丸鋼SR24を使用した。

測定用の埋め込み計器類は、コンクリートひずみ計、有効応力計、無応力計及び温度計で、支間中央部にセットした。またCFRPロッドの表面には定着部から15cmの位置にひずみゲージを貼り付けた。

コンクリートは、設計基準強度400、500kgf/cm²、スランプ7±1.5cm、最大粗骨材寸法20mmとし、早強セメントを使用した。

打設1時間後、養生シートで覆い、蒸気を用い最高養生温度60℃まで2時間で上昇、さらに2時間継続して養生し、その後自然冷却させた。

緊張作業は材令4～6日で実施した。

(3) 主桁の架設

主桁は、載荷試験の後トレーラーで現地に搬入しトラッククレーンで、①プレテン桁、②PC鋼線桁、③CFRP桁の順で架設した。

(4) 橋面工

架設、横締め緊張を実施した後、道路面、高欄等の橋面工を施工した。

表-3 全体工程表

年 月 工 種	昭和63年			平成元年								
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9
準備工												
旧橋撤去												
架設												
プレテン												
CFRP												
PC鋼												
橋面												

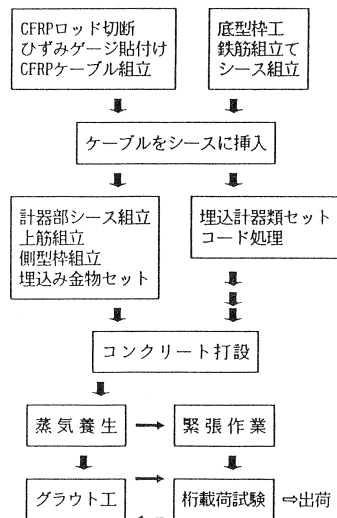


図-3 CFRP桁製作フロー

表-4 緊張材の諸元

項目	CFRP ロッド	PC鋼より線 SWPR 19
公称径 (mm)	8	21.8
公称断面積 (mm ²)	49	312.9
樹脂 繊維含有率 (%)	エポキシ 65	—
降伏強度*1 (kgf/mm ²)	実測 —	169 161
引張強度 (kgf/mm ²)	実測 184 保証*2 157	189 187
ヤング係数 (kgf/mm ²)	1.42×10 ⁴	2.0×10 ⁴
破断時伸度 (%)	1.21	6.5

① *1. 0.2%永久伸びに対する荷重から計算。
*2. PC鋼より線では JIS規格、CFRPロッドでは製造者保証の値を示す。

4. 試験の概要と結果

4. 1 緊張時の測定

CFRP桁の緊張には、
図-4に示す定着具を使用
した。これは、くさびによ

る圧縮摩擦型グリップで、
CFRPロッドをセットし

たアンカーヘッドを引っ張り、ロックナットで締め
つけて定着する形式である。PC鋼線桁はシングル
ストランドフレシネー工法を用いた。

両方の桁とも、予備緊張を行い、μ管理手法によ
り本緊張管理に必要な見掛けのヤング係数 E_p と見
掛けの摩擦係数 μ を算出した。その結果、CFRP
桁は $E_p = 1.39 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\mu = 0.07$ であり、P
C鋼線桁の $E_p = 1.89 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、 $\mu = 0.11$ に比
較しどちらも小さかった。以下CFRP桁は設計緊
張力にヤング係数を補正し、本緊張を実施した。

CFRP桁の代表的なケーブルにおける緊張力の
ばらつきを図-5に示す。これは緊張直後におけるケーブルの各ロッドのひずみ測定値を
8本の平均値で除したものである。

くさびセット時の誤差やブルインの差などによってロッドごとの緊張力のばらつきがあ
るが、各ロッドとも、8本の平均値の±5%以内にほぼ収まっており比較的ばらつきは少
なかつた。緊張力がロッドの保証強度の55%程度であることを考慮すれば、破断に対して
十分な余裕があるといえる。

4. 2 桁の載荷試験

緊張作業後、CFRP桁とPC
鋼線桁において、弾性範囲内で静
的載荷試験を実施し、設計荷重時
(活荷重を考慮)における桁の挙
動を把握した。実橋の主桁を使用

したことから、既往の文献^{(4)、(5)}から終局強度は大略推
定できることから、破壊試験は実施しなかつた。

加力は図-6に示す形式で、一方向繰り返し加力と
し、グラウト充填の前と後に実施した。設計曲げモー
メントと積載荷重を表-5に示す。

試験桁の弾性剛性を表-6に、荷重と桁中央でのた

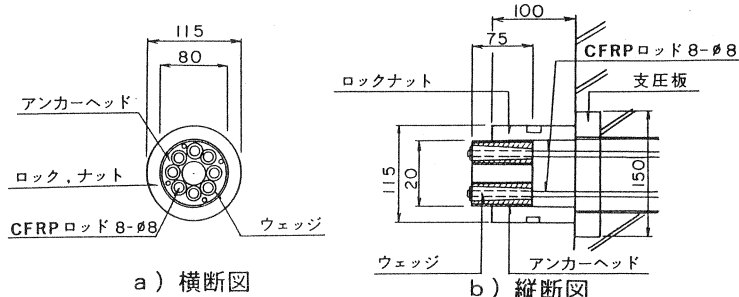


図-4 定着具の構造

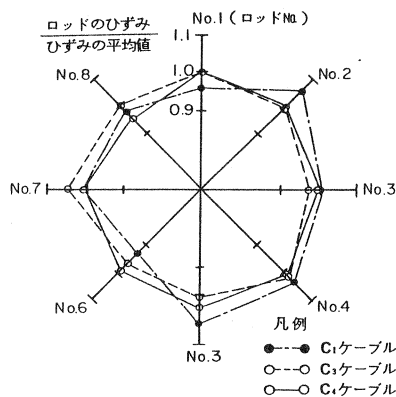


図-5 緊張力のばらつき

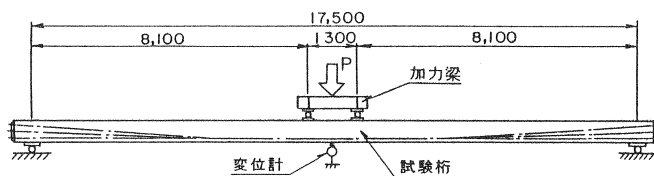


図-6 加力形式

表-5 設計曲げモーメントと載荷荷重

荷重	設計曲げモーメント M (tf·m)	載荷荷重 P (tf)
桁自重	34.12	0.0
桁以外固定荷重	16.66	4.1
活荷重	19.40	5.1
合計	70.18	9.2

わみの関係を図-7に、また最終サイクルにおける最大荷重時（桁自重+固定荷重+活荷重）の、桁中央断面での曲げ応力度（曲げひずみ）の増分の分布を図-8にそれぞれ示す。弾性剛性は、最終サイクルの最大荷重をその時の桁のたわみで除した数値とした。

桁のたわみと断面のひずみ分布における計算値は、各ケースにおける断面性能と材料試験結果から、はりの弾性論により計算した。

両方の桁ともに、設計荷重作用時の範囲では、弾性剛性、荷重とたわみの関係、および断面のひずみの分布に関しては、計算値とよく近似しており、CFRP桁は、現行のPC鋼より線を緊張材に使用した桁と顕著な差はなかった。

4.3 橋梁の載荷試験

橋梁竣工時に、設計荷重時相当の載荷試験を実施し、実橋の性能を確認した。

載荷は20t級のダンプトラック4台を用い、台数、方向、及び載荷位置をパラメーターとして、合計36ケース実施した。代表的なケースにおける、載荷位置と、支間中央位置での橋軸直角方向のたわみを図-9、10にそれぞれ示す。

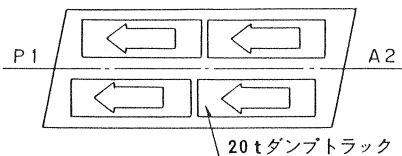


図-9 載荷ケースの例（4台載荷）

表-6 弾性剛性

ケース		実験値	計算値	実験値
桁	グラウト	(tf/cm)	(tf/cm)	計算値
CFRP	前	3.43	3.47	0.99
	後	3.83	3.66	1.05
PC鋼線	後	3.90	3.69	1.06

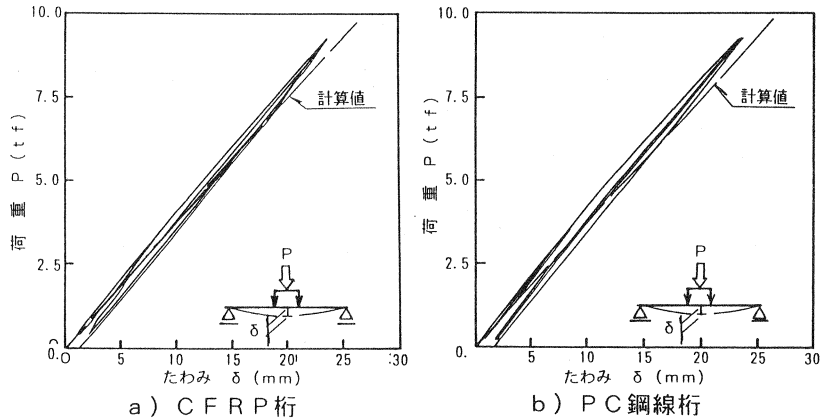


図-7 荷重-たわみ関係

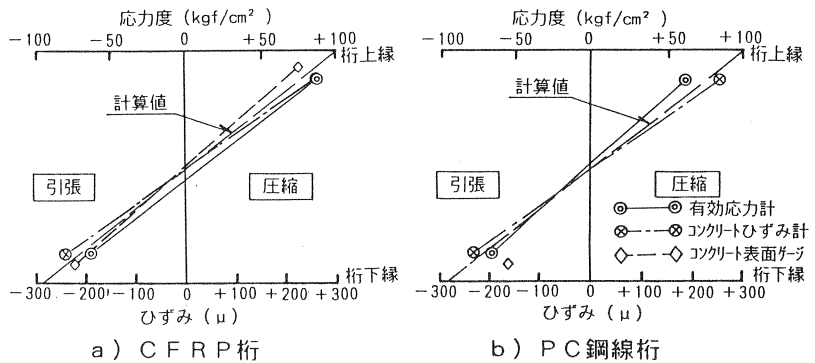


図-8 断面の応力とひずみの分布

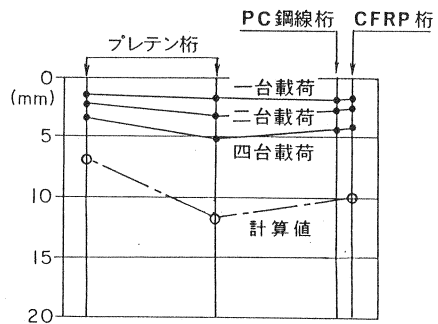


図-10 たわみの分布（橋軸直角方向）

図の中で計算値とは、主桁による床組構造を版として設計荷重で解析したものである。図-10より、荷重の橋軸直角方向のたわみが比較的均等であり、版として一体に荷重を受け持ち所定の性能が確保されているといえる。また、たわみが設計時計算値とやや違うのは、設計荷重には歩道部分に群衆荷重を考慮していることや橋面工の剛性を計算に加味していないこと等の理由が考えられる。

4. 4 長期測定

桁製作時から完成後に至るまで、埋め込み計器類による長期測定を実施し、桁の挙動を把握した。測定結果のうち、緊張力の変化を図-11に示す。緊張力は、ケーブル端部の支圧板と定着具の間にセットしたロードセルで測定した。

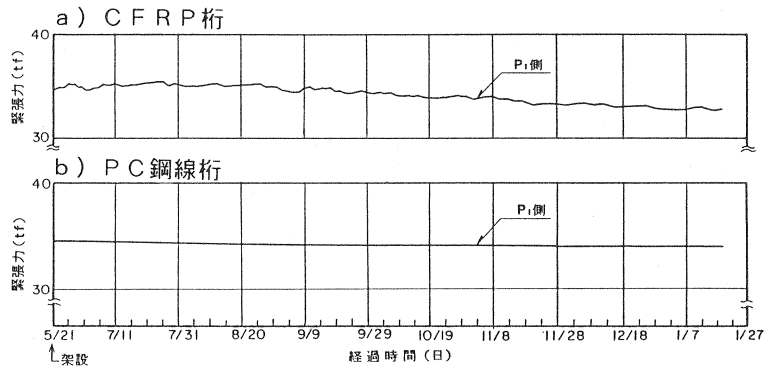


図-11 緊張力の経時変化

両者ともに、緊張力は、乾燥収縮とクリープの影響で若干低下した後、徐々に一定値に落ち着く傾向である。PC鋼線桁の場合安定した挙動をするのに対し、CFRP桁の場合は細かな日変動が現れており、7月下旬が最大となっている。コンクリートとPC鋼より線は熱膨張率がほぼ同じであるが、CFRPロッドはほぼゼロである。したがって昼夜と季節の温度変化によりコンクリートのみ膨張・収縮し、緊張力が変動していると考えられる。

5. あとがき

新素材であるCFRPロッドを緊張材としてPC橋に適用してみて、十分な精度で施工することができ、実用上の大きな問題は無いことがわかった。コストや取り扱いの面で課題は残されているが、今後データの蓄積、材料、定着部の信頼性の向上等により、鋼材に対する優位性を生かしたより広い適用範囲での使用が期待される。

[参考文献]

- 1) 例えば、小林、魚本、趙：『FRP緊張材を用いたプレストレストコンクリート構造』プレストレストコンクリート Vol.30, No.5, Sept.1988
- 2) 山下、木内、犬飼、岩崎：『新素材によるPC橋-新宮橋の建設-』プレストレストコンクリート Vol.31 No.2, Sept.1989
- 3) 関口、半沢、小林：『炭素繊維FRP材料を使用したノンメタル人道橋(その1)人道橋の製造と施工』土木学会第44回年次学術講演会概要集、第5部平成1.10
- 4) 片脇、西崎：『FRP緊張材のPC構造物への適用性に関する研究』プレストレストコンクリート Vol.30, No.5, Sept.1988
- 5) 岡野、小島、木村：『炭素繊維を緊張材に用いたプレストレストコンクリートはりの曲げ実験』コンクリート工学年次論文報告集 12-1, 1990