

V-135

炭素繊維FRP材料を使用したノンメタルPC人道橋

（その2） 人道橋の設計と载荷試験

船橋市役所

半沢 茂

小林 一彦

日本コンクリート工業 正会員

丸山 武彦

小林 英博

日本コンクリート工業

西山 啓伸

1. まえがき

本報告（その1）において、炭素繊維を用いたFRP材料（以下CFRPとよぶ）を緊張材、配力筋およびスターラップとして全面的に使用したプレテンション方式プレストレストコンクリート人道橋の製造と施工について述べた。ここでは、人道橋の設計方針および载荷試験の結果について報告する。

2. 設計方針

新素材をコンクリート用補強材として使用する場合は設計基準は現在のところまだ確立されていない。そこで、人道橋の設計においてはフルプレストレス方式を採用し、群集荷重を $500\text{kgf}/\text{m}^2$ として「道路橋示方書・同解説」¹⁾ および「コンクリート標準示方書」²⁾ の考え方に準じたほか、CFRP材料の設計用数値は新宮橋の設計例³⁾、既往の研究例、および本報告（その3）で述べるメーカーおよび筆者らの実験値などを参考にした。表-1に本橋で用いた設計用数値を示す。FRP材料はコンクリート補強材としてはまだ不明な点があること、使用実績の少ないことなどを考慮して、引張強度は平均値から標準偏差の3倍を差引いた値よりもさらに安全側に設定し、終局時の伸びは弾性係数と設計用引張強度から定めた。また、リラクセーション値は蒸気養生することを考慮して安全側に設定した。緊張材の許容応力度は、上記の理由、および作用荷重が小さく活荷重による応力振幅も小さいことから、表-2に示す値に定めた。

表-1 CFRP材料の設計用数値

用 途	緊 張 材	配 力 筋
呼び径 (mm)	より線 12.5	ロッド 6.0
引張強度 (kgf/mm ²)	184.2	140.0
降伏点応力度 (kgf/mm ²)	184.2	140.0
弾性係数 (kgf/mm ²)	14,000	14,000
リラクセーション (%)	5.0	—
終局時の伸び (%)	1.32	1.00

表-2 CFRP材料の許容応力度

用 途	緊 張 材
呼び径 (mm)	より線 12.5
引張強度 (kgf/mm ²)	184.2(1.00 σ_{pu})
プレストレス (kgf/mm ²)	110.5(0.60 σ_{pu})
プレストレス導入時 (kgf/mm ²)	101.3(0.55 σ_{pu})
設計荷重作用時 (kgf/mm ²)	92.1(0.50 σ_{pu})

CFRP材料の弱点として ①破断時の伸びが小さいこと、②線膨脹率が小さいこと、③せん断抵抗に不安があることなどが考えられる。①に関しては、PC部材の破壊の形態がCFRPの破断による急激な脆性破壊になることを避けて、コンクリートの圧壊が先行する曲げ圧縮破壊となるように設計した。また、終局状態における破壊安全率は、CFRP材料の使用実績が少ないこと、圧縮破壊であることを考慮して、指針の50%増となるように定めた。②に関して、 $\pm 15^\circ\text{C}$ の温度差によるCFRP材料の応力増加が $2.0\text{kgf}/\text{mm}^2$ であり、死荷重作用時の約2.3%の振幅であって非常に小さく、CFRPの付着性能と疲労抵抗性から判断して特に問題はないと考えられた。③に関しては、部材はPC構造であること、床版構造であることおよび荷重が群集荷重であることなどから、せん断力の影響はとくに考慮しなくても良いと考えられたが、一般の場合よりは密に配力筋を配置した。図-1に配筋図を示す。

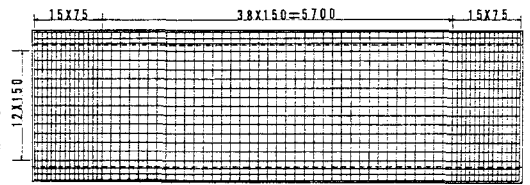


図-1 PC人道橋の配筋図

図-2に载荷状況と測点を示す。

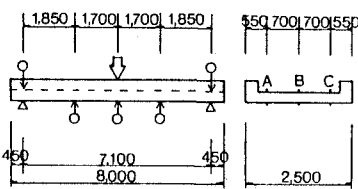


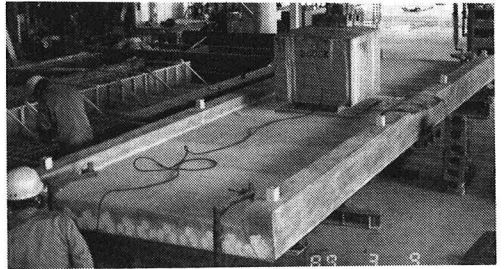
図-2 载荷状況と測点

表-3 プレ導入前後のCFRPストランドの応力度

位 置	ひずみ変化量 ($\times 10^{-6}$)		応力度 (kgf/mm ²)	設計値 (kgf/mm ²)	測定値 (kgf/mm ²)
	測定値	平均値			
コンクリート 外 部	7,121 6,808	6,965	98.2	100	0.98
コンクリート 内 部	160 143	157	2.21	1.99	1.11

3. 人道橋の載荷実験

1) 試験方法： 人道橋はフルプレストレス設計であり、設計荷重作用時には下縁に約 20kgf/cm^2 の圧縮応力が残存している。載荷試験は材令14日において、図-2および写真に示すように、支間中央部に荷重ブロックをのせて設計曲げモーメントまでの加力を行った。人道橋と同一養生を行ったコンクリート供試体の圧縮強度は 512kgf/cm^2 、弾性係数は $2.88 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であった。



2) 試験結果： ①導入プレストレス： 表-3はストランドに貼ったゲージのプレストレス導入前後のひずみ変化を示すものであり、ストランドの初期引張応力度は設計値と良く一致する。また、弾性変形によるプレストレス減少量は設計値より10%程度大きい、この理由はコンクリートの弾性係数の相違によるものである。

②人道橋のたわみ： 図-3は支間中央部のたわみを示し、たわみは直線的に変化する弾性挙動を示しており、計算値とも良く一致している。図-4は橋の軸方向のたわみの分布図であり、これも計算値とはほぼ一致している。③CFRPストランドのひずみ： 図-5は緊張材であるストランドの曲げモーメントとひずみの関係を示し、支間中央部の3本のストランドの表面に表裏一対とする5mmゲージを貼って測定したものである。ひずみは直線的に変化し、計算値と良く一致していることから、ストランドの付着性能は良好であり、弾性域においては一般のPC鋼材と同様に扱うことができると考えられる。④コンクリートのひずみ： 図-6は歩道面の床版の上下縁のコンクリートのひずみを示す。載荷荷重がセンターライン上の集中荷重であること、地覆部の剛性が大きいこと

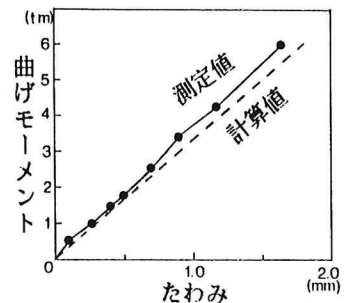


図-3 支間中央のたわみ

の理由によって、中央部の引張りひずみが10~20%程度大きくなっているほかは、ほぼ計算値と一致している。

4. おわりに

現在のところ新素材FRPは、その基本的性質に関する十分な資料が得られているとはいえない状況にあり、採用にあたってはケースごとの検討に頼らざるを得ない。今後は信頼性に優れる定着工法の開発、耐久性や疲労などに関する長期性状、せん断抵抗性などに関するデータの蓄積などが

必要であろう。さらに、広く普及するためにはコスト面も大きな課題である。本報告が、建設分野におけるFRP材料の利用に関して多少とも参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説
- 2) 土木学会：コンクリート標準仕方書
- 3) 葛葉、山下：国内初の炭素繊維PC橋—新宮橋—、橋梁、1988.10

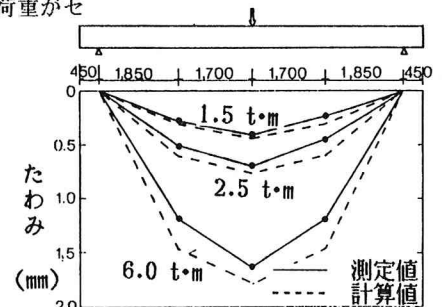


図-4 たわみの分布図

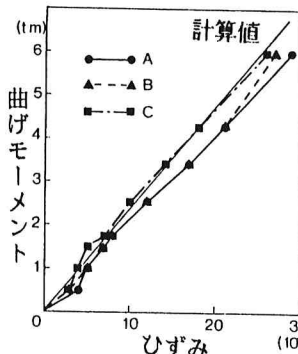


図-5 CFRPストランドのひずみ

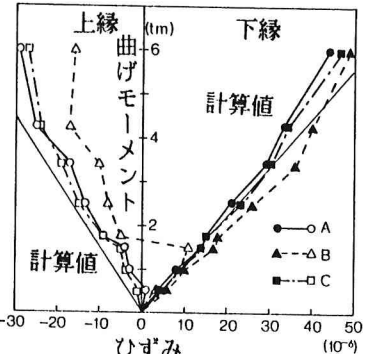


図-6 コンクリート上縁 下縁のひずみ