

沖縄ロードパーク歩道橋の設計

FRP Pedestrian Bridge in Okinawa

北山 暢彦* Nobuhiko KITAYAMA
佐伯 彰一** Shoichi SAEKI
山城 和男*** Kazuo YAMASHIRO

ABSTRACT This paper describes a design method for pedestrian bridge made of fiber reinforced plastics which was constructed in Okinawa prefecture. There are many concrete bridges in Okinawa but the some reports say that they are influenced by damage from salt water. In building a bridge, the countermeasure for chloride is a serious problem and is one of big subjects in Okinawa where the corrosion environment is very severe. Especially the park where this bridge was constructed is surrounded by the sea. Then, as a material strong against corrosion, examination which uses fiber reinforced plastics for the charge of the main material is performed, and they resulted in adoption.

Keywords : FRP, 軽量, 腐食, 積層構成
FRP, lightness, corrosion, fiber layout

1. はじめに

沖縄県は主要地方道「伊計平良川線」に海浜レクリエーションを目的としたロードパークの建設を計画し、そのなかに道路両側の施設を結ぶ連絡歩道橋の計画が含まれていた。伊計平良川線は海中道路と呼ばれるように周囲を海に囲まれ、また紫外線量も多く、腐食環境の厳しい地域である。沖縄県ではコンクリート橋が塩害によりダメージを受けているという報告があり、この連絡歩道橋を建設する際にも塩害対策は大きな課題であった。そこで腐食に強い材料として FRP(Fiber Reinforced Plastics 繊維補強プラスチック)を主要材料に用いる検討が行われ、採用されるに至った。ここでは伊計平良川線ロードパーク連絡歩道橋に採用された FRP 製横断歩道橋の設計について報告する。

2. FRP 横断歩道橋の概略

FRP 横断歩道橋の一般図および一般断面図を図-1 に、設計条件を表-1 に示す。

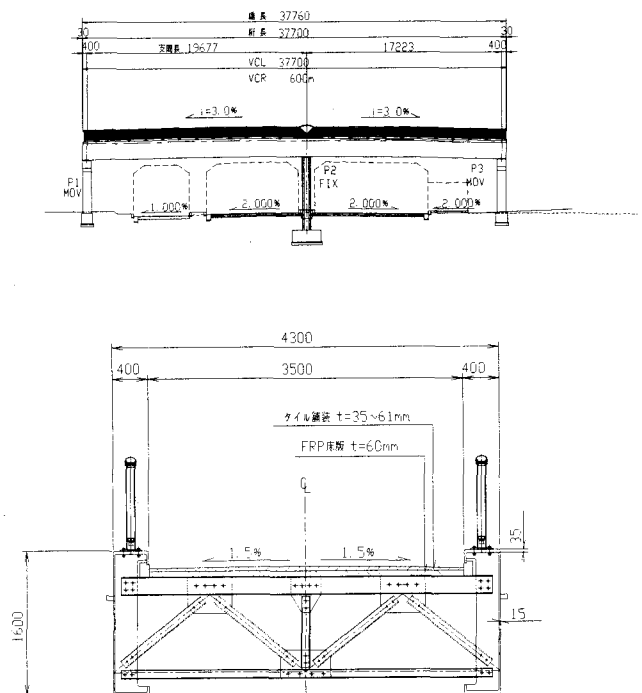


図-1 一般図および一般断面図

*石川島播磨重工業(株) 橋梁事業部 基本計画部
(〒135-8322 東京都江東区毛利 1-19-10)
**工博(財)土研センター 技術研究所
(〒300-2624 茨城県つくば市西沢 2-2)
***沖縄県 土木建築部 中部土木事務所
(〒901-2221 沖縄県宜野湾市伊佐 3-4-1)

3. 設計

本歩道橋の設計においては、通常用いられる「立体横断施設技術基準」および「道路橋示方書」には FRP についての規程は無いため、荷重等の適用できるところに関してはできるだけ用いるようにし、その他は別途定めた。ただし風荷重につい

ては架設地点が台風の通り道であることから上記基準を用いずに、設計基準風速 $U_d = 52.2 \text{ m/sec}$ とした。

表-1 設計条件

形式	2 径間連続 FRP 桁橋
橋長	37 700mm
支間長	19 677mm + 17 223mm
有効幅員	3.5m
斜角	90°
勾配	縦断 V.C.R.600m 横断 $\pm 1.5\%$
適用基準	立体横断施設技術基準・同解説 (昭和 54 年 1 月) 道路橋示方書・同解説 (平成 8 年 12 月) その他別途規定
設計荷重	群集荷重 350kgf/m^2 (主桁) 500kgf/m^2 (床版・床組) 風荷重 $U_d = 52.2 \text{ m/sec}$ 設計水平震度 $Kh = 0.18$

以下に本歩道橋での設計について説明する。

3. 1 概略設計

主桁の形状は、型枠に積層していくというハンドレイアップ成形法を用いるため、製作上 I セクションは難しく、また閉断面とすることにも困難を伴うので、[型断面とした。またハンドレイアップ成形法はコスト的にも高いものとなることも考慮に入れて、2 主桁とした。橋長は約 38m であるが、これを単径間とすると断面が大きくなり、中央分離帯に橋脚を立てることが可能なため、中間支点を設け 2 径間連続とした。はじめ許容応力をどう設定するかが問題となったが、たわみを支間の 1/600 におさえるという条件で主桁断面を決定すると、発生する応力は非常に小さいものとなった。具体的には、部材の設計基準強度は別途材料試験により決定したが、その強度に対して発生応力が 1/7 程度であったため、材料強度については問題なしとし、本橋ではそれ以上の検討は行わなかった。また FRP という材料が持つ特質として、曲げ弾性率が引張弾性率より小さい値となることが知られている。これはせん断剛性が小さく、せん断ひずみが曲げによるひずみに対して無視できない程度に大きいということが考えられる。本橋ではたわみ制限で断面を決定したことから、ウェブの積層構成を考慮することで主桁のせん断剛性を確保することとした。

3. 2 材料物性

本橋の設計にあたっては基本的に材料試験を行い設計基準強度等の材料物性を決定した。表-2 に材料物性値を示す。設計基準強度については材料試験の結果に基づいて、一部 CFRP(炭素繊維強化プラスチック)で用いられている基準の μ (平均値) - 4σ (標準偏差)を用いて算出した。また、支圧強さは引張強さの 1.5 倍とした。

表-2 材料物性値

項目		単位	ハンドレイアップ成形材		引抜成形材
			主桁	補剛材等	
設計基準強度	引張強さ	MPa	130	200	300
	曲げ強さ	MPa	130	200	-
	圧縮強さ	MPa	130	200	240
	せん断強さ	MPa	50	50	50
	支圧強さ	MPa	195	300	450
引張弾性率		GPa	12	12	20
曲げ弾性率		GPa	12	12	20
線膨張係数		/℃	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}	2.0×10^{-5}
密度		tf/m ³	1.7	1.7	1.9

3. 3 床版の設計

床版にはコスト的な面から引抜成形材で既製品の断面を用いることを考え、FRP の引抜成形材である中空パネル(500mm×60mm)を用いることとした。断面図を図-2 に示す。歩道橋の幅員が 3.5m あり、橋軸直角方向を支間とするには縦桁等が必要となることから橋軸方向の単純梁として設計を行った。解析モデルを図-3 に示す。FRP 部材の場合、強度は大きいが曲げ剛性が小さいという特徴があり、断面力ではなくて剛性という観点からたわみを考慮して床版支間を 1.5m とした。また、橋軸直角方向のつなぎとしてはせん断キーを設けた。

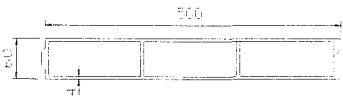
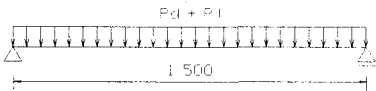


図-2 床版断面図



死荷重 $P_d = 63.9 \text{ kgf/m}$

活荷重 $P_l = 250 \text{ kgf/m}$

図-3 解析モデル

3. 4 主桁の設計

主桁の断面は先にも述べたように「型断面」の2主桁としたが、1本梁として解析を行い、分配は考慮せずに荷重を1/2として計算を行った。影響線を考慮して計算した結果断面力は小さく、図-4に示す荷重状態のたわみ制限により必要断面剛性が算出された。これまで使用されているFRP積層品の板厚および弾性率の実績と、桁高のバランスを考慮して、桁高1600mm・フランジ厚35mm・ウェブ厚15mmとした。

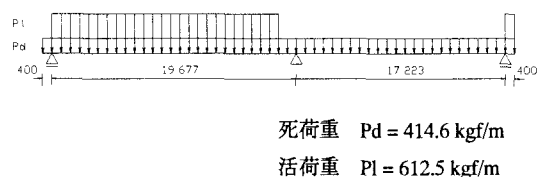


図-4 断面決定時の荷重状態

FRPの積層構成の概念図を図-5に示す。通常ハンドレイアップ部材の弾性率は8~10GPa程度であるが、桁高をできるだけ小さくすることを目的として、 $E=12\text{GPa}$ となるよう積層構成に配慮した。また前述したようにせん断剛性を確保する目的で通常の $0^\circ/90^\circ$ の繊維配置にくわえ、 45° の繊維配置のバイアスクロスを加えた。本体の剛性については、工場で製作完了後実橋荷重試験を行い、ひずみとたわみについて確認した。

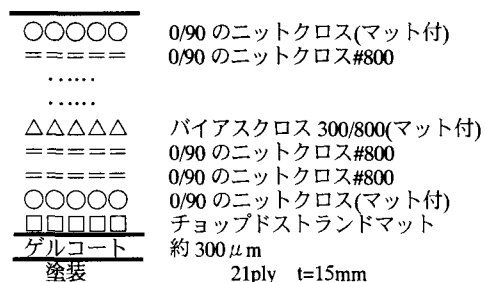


図-5 積層概念図

主桁の分割は、継手に大きな断面力がはたらかないことと輸送を考慮して、死荷重状態で曲げモーメントが正から負へと変わる付近に設け15427mm+9300mm+12973mmの3分割とした。

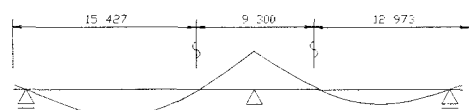


図-6 死荷重モーメントと分割位置

図-6に死荷重モーメントと継手位置の概略図を示す。継手の構造は概観上継手が外面に出ないことを考慮し、内側にステンレスプレートを用いたフレームを構築して、PC鋼棒で締め付けるといった引張接合を採用した。継手構造を図-7に示す。接合部の考え方は、PC鋼棒の締め付け力がフレームに伝わり、そのフレームからボルトを介してFRPの中に埋め込まれたプレートに伝わり、埋め込まれたプレートからフランジに力が伝わるというものである。応力計算は、PC鋼棒の導入軸力はフレームおよびプレートを含めたフランジに分布し、曲げ剛性には一般部断面に加えてフランジに埋め込まれたプレートとフランジに接触しているプレートが寄与するとして応力計算を行い、フランジに有害な引張応力がはたらかないようにした。

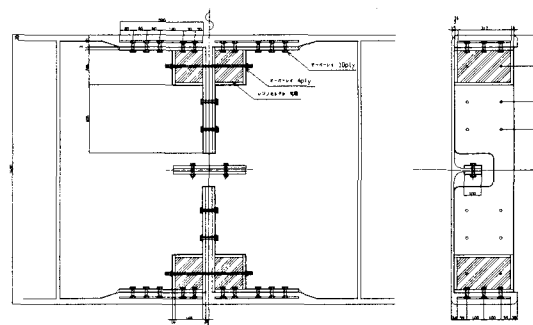


図-7 継手構造

本構造については実物大の供試体を用いて荷重実験を行い、FEM解析を行い実験の確認をした。

その他、縦断勾配は製作上の理由から $R=600\text{M}$ の円弧とした。円弧とすることで主桁の形状が同一になり、型枠を転用することができる。また景観上の理由から、桁高を低く見せるためにウェブに角材を取付けた。こうすることで陰影がつき視覚的には桁高が低く見えるようになる。それから地覆を兼ねる上フランジに勾配を設け、地覆上に落ちた雨滴が橋面側に流れるようにした。また、主桁に垂直補剛材を取付ける際に製作上樹脂の収縮により多少の凹凸が生じる。これを目立たなくする目的でウェブには小さいそりを設けた。

3. 5 対傾構の設計

床版支間が1.5mと短かく、床組が密に配置されるため特に横桁は設けずに、1.5m間隔に対傾構を設けた。対傾構の形状(図-1参照)は、上弦材については群集荷重を考慮し、その他の部材については一番大きな水平荷重を与える風荷重を用い、支点上の対傾構でこれに対抗することとし

て設計を行った。解析モデルを図-8 に示す。その結果中間支点上の対傾構だけが断面の大きなものとなり、その他中間対傾構は端支点上の対傾構の形状と同様とした。

$$\text{風荷重 } w = 1.7 \times (400 - 20 \times B/D) \times H = 1210 \text{ kgf/m} \\ = P_1 + P_2$$

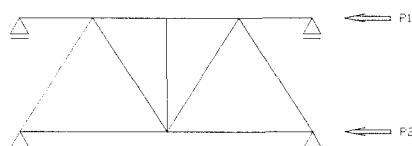


図-8 対傾構解析モデル

対傾構はガセットや本体にステンレスボルトで取付けた。FRP では摩擦接合の実績はなく、本橋でも支圧接合を考えた。FRP の支圧接合は径の小さなリベットでの実績が多く、本橋に用いた M22 程度の大きな径なのものはあまり実績がない。そこで本橋の設計にあたり、実寸法での試験を行い、強度の確認をした。

3. 6 支沓の設計

支沓にはゴム支沓を用いて、鉛直荷重と温度による水平移動に対処させた。橋軸直角方向にはコンクリートを打設してストッパーとした。また水平方向荷重を偶力換算して計算すると、浮上り力は発生しないが、安全のためアンカーボルトを用いてプレートを設置した。図-9 に支点部詳細図を示す。

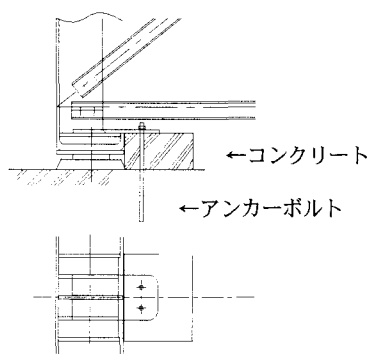


図-9 支点部詳細図

3. 7 伸縮装置・高欄・照明装置の設計

温度変化の影響は、通常とおり $\pm 30^\circ\text{C}$ を考慮した。伸縮装置は移動量が $\pm 12\text{mm}$ と小さいこともあり、遊間にステンレスプレートを渡し、ステンレスプレートが取付け側の歩行面を滑るという簡易な構造とした。高欄は FRP の引抜材とハンドレイアップを組み合わせて製作し、ステンレスプレートをアンカープレートとし、主桁の上フラ

ンジに取付けた。FRP は熱にはあまり強い部材とはいえ、当初タバコを置きっぱなしにすると焦げ跡が残ることが懸念されたが、笠木を丸くすることで対応した。照明装置は景観や実用性に配慮して、高欄の支柱の中に収まるかたちとし、歩く人に眩しくないよう高さを考慮して、平均照度で 20lx を確保するようにした。

3. 8 舗装および塗装

舗装には当初アスファルト舗装を検討したが、転圧時の熱影響が懸念されたため、モルタル+磁器タイルを用いた。また床版表面にはモルタルとの付着を確保するために砂蒔き加工を施した。塗装について、ハンドレイアップ部材は通常表面にゲルコートと呼ばれる保護層を設け、これのみで材料劣化等への対処は十分であると考えられている。また架設現地は砂の舞い上がりによるサンドブラスト現象が起こる可能性があったが、それについても落差試験等を行い、ゲルコートの耐久性は確認できた。しかし紫外線による外観上の表面劣化は免れず、美観を保つ目的でフッ素の上塗 $3 \times 25 \mu\text{m}$ を施工した。

[謝辞]

本歩道橋の建設にあたり発注者である沖縄県土木建築部の皆様方には多大なご協力を頂いた。また本業務の遂行にあたっては学識経験者ならびに関係者で構成された「伊計平良川ロードパーク連絡歩道橋技術委員会」のメンバーの皆さんにも貴重なご意見を頂いた。最後に土木研究所化学研究室の明嵐室長をはじめとする研究員の方々にも実験等に協力頂き、またさまざまな助言を頂いた。ここに心から感謝の意を表します。

[参考文献]

- [1] 社団法人強化プラスチック協会：FRP 構造設計便覧，pp205-207 1992.9.30
- [2] 社団法人強化プラスチック協会：FRP 入門，pp102 1996.10.25
- [3] 沖縄県土木建築部中部土木事務所 財団法人土木研究センター：平成 11 年度伊計平良川線ロードパーク連絡歩道橋設計業務報告書 2000.3