

F R P トラス歩道橋の設計・施工例

Design and Erection of a FRP Footbridge

野原正行*, 熊田哲規**, 宮本成明**, 川上盛樹***

Masayuki Nohara, Kumada Tetsunori, Nariaki Miyamoto, Seiki Kawakami

* 京都府中丹東土木事務所 (〒623-0012 京都府綾部市川糸町丁 10-2)

** ヒロセ株式会社 (〒135-0051 東京都江東区東陽4丁目1番13号)

*** 株式会社 C P C (〒550-0004 大阪市西区靱本町3-5-25)

The existing wooden footbridge across a small river was installed on a beach walk, in December 1993. This bridge was closed in recent years, because of significant corrosion. It thought that it was difficult to restore by repair. Therefore, a project was carried out for up date the bridge. The major factor in corrosion of wood was supposed that the bridge expose to salty wind and rain. The fiber reinforcement plastic (FRP) material has properties of lightweight and high durability. FRP material is effective in environmental attack. It was reviewed that FRP material was applicable to a footbridge. Then, FRP footbridge is adopted this project on effectiveness in the maintenance. This FRP footbridge, which is popular in the U.S., is the lattice type half-through truss structure. Proportion of the bridge is 18.1 m of length and 2.0 m of width. And bolted joint is used. In this report, it is described about an outline of design and construction.

Key Words : FRP, footbridge, truss, bolted joint, case study

キーワード : FRP, 歩道橋, トラス, ボルト接合, 施工例

1. はじめに

既設のはまなす橋は、京都府舞鶴市にある日本海に面する神崎海水浴場の海岸遊歩道が小規模河川(岡尻川)を渡河する場所に架設された木製単純トラス構造の歩道橋であった。1993年12月に架設されたが、トラス上弦材の腐食が著しく通行止めとなっていた。この海岸遊歩道は、海水浴シーズンのみならず、地元住民の生活道路としても利用されており、歩道橋の早期改修が望まれていた。当該地区は、潮風の影響を受ける腐食性環境下にあること、また、既設橋台の利用が図れることから、軽量でしかも環境作用への抵抗性が高い材料である繊維補強プラスチック(Fiber Reinforced Plastics)を用いたFRP歩道橋による架替えが工事が行われた。このFRP歩道橋は、米国で1987年に開発され、米国内では既に500橋以上の実績¹⁾を有しているラチス型ポニートラス構造のFRP歩道橋で、引抜き成形FRP形材を用い、各部材はボルトにより支圧接合されていることを特徴としている。以下に、本歩道橋の設計と施工の概要について報告する。

2. 計 画

2.1 計画条件

既設木製歩道橋は、上弦材の腐食が著しく、補修での対応が困難と判断されたため、架け替えを計画した。腐食の要因は、塩分を含む風雨にさらされたためと推察された。このため、橋梁形式の選定は、初期建設費と維持管理を含めた概算ライフサイクルコスト(LCC)比較を行い、橋梁形式を決定した。技術的検討項目は、1) 構造特性(安定性、耐震性、通行性)、2) 施工性(施工の安全性、難易性、確実性、工事用道路及び作業ヤード)、3) 経済性、4) 維持管理(耐久性、管理の難易性)、5) 環境との整合(修景、騒音、振動、近接施工)の5項目として、総合判断により決定した。

比較検討において、以下の環境条件、幾何条件等の外的条件を考慮した。歩道橋が渡河する岡尻川は、護岸が整備された河川あること、施工方法において、周辺の防災林は伐採ができないこと、民家が隣接しているため、騒音、振動を考慮すること、現場条件として、現場への搬入路が狭いことを考慮するが必要があった。また、幾何条件は、既設歩道橋と同条件である、橋長18 m、有効幅員2 m、平面線形：直線、縦横断線形：水平とした。

比較形式案として次の7案を選定し検討を行った。断面形状を図-1から図-7にそれぞれ示す。このとき、新材料として、アルミニウム合金や、FRP材料の適用についても検討に加えることとした。

2.2 橋梁形式の選定

橋梁形式の選定において、特に維持管理性に有効であるとの評価から第7案のFRP橋が採用された。以下、各橋梁形式の総合評価結果を示す。なお、初期建設費、維持管理費、および、LCC費用は、橋梁形式の選定で採用されたFRP橋に対する比率で示す。

第1案 鋼橋（鋼単純鋼床版 I 桁橋）

- ・構造形式（図-1）は、一般的な歩道橋のプレガーダー桁、特に厳しい環境のため塩害対策として重防食塗装が必要となる。
- ・実績が多く軽量であり、構造的に優れる。
- ・既設木橋より上部工が軽量なため、既設下部工が利用できる。
- ・上部架設は、クレーン架設、地組ヤードが必要である。（初期建設費=1.48、維持管理費=1.75、LCC費用=1.58）

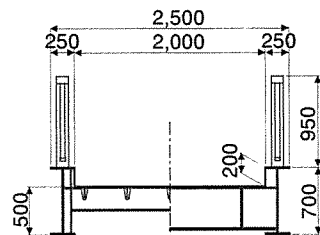


図-1 第1案 鋼橋

第2案 PC橋（PC単純ポステン中空床版橋・セグメント桁）

- ・構造形式（図-2）は、工場製作のプレキャストセグメントポステン桁、長尺桁では運搬が不可能なため、桁を分割したセグメント桁を使用する。
- ・実績が多いが、重量が重く構造的に劣る。
- ・既設木橋より上部工重量が重くなるため、H杭基礎工・橋台の施工および護岸復旧が発生する。
- ・特に厳しい環境のため、塩害対策として、エポキシ鉄筋、かぶり厚、桁表面塗装等を考慮する必要がある。（初期建設費=2.06、維持管理費=1.46、LCC費用=1.83）

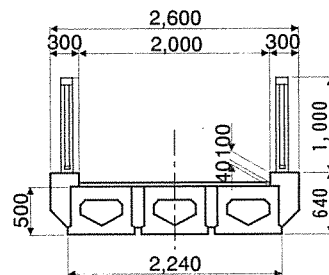


図-2 第2案 PC橋

第3案 PC橋（単純中空床版橋）

- ・構造形式（図-3）は、現場打ちのポステン桁形式である。
- ・実績は多いが桁高さが0.7mとなるので、土工部で縦断すり付けが必要となり、構造的に劣る。
- ・ステージングによる現場打ちとなり、大型機械の搬入は不要となるが、現場工

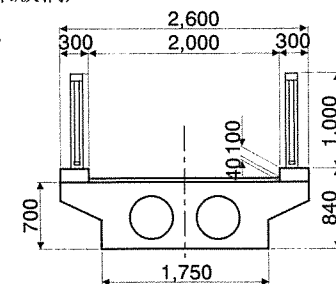


図-3 第3案 PC橋

期が長い。

- ・第2案同様に、既設木橋より上部工重量が重くなるため、H杭基礎工・橋台の施工および護岸復旧が発生する。
- ・特に厳しい環境のため、塩害対策として、エポキシ鉄筋、かぶり厚、桁表面塗装を配慮する必要がある。（初期建設費=1.61、維持管理費=1.51、LCC費用=1.57）

第4案 金属橋（アルミ単純鋼床版 I 桁橋）

- ・構造形式（図-4）は、軽量性・高耐食性のある新材料を使用したアルミニウム合金の歩道橋である。
- ・新設橋としての実績は少ないが、アルミニウム桁により塩害環境における耐食性が非常に高くメンテナンスフリーと考えられ、構造的に優れる。
- ・軽量で塩害に強く、維持管理が容易である。
- ・上部架設は、桁組み立て後、クレーンによる架設が必要、桁組のヤードが必要である。
- ・桁高が高く圧迫感などで景観性に劣る。（初期建設費=2.71、維持管理費=0.98、LCC費用=2.08）

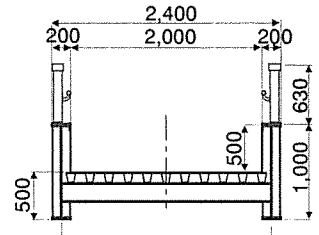


図-4 第4案 金属橋

第5案 超高強度PC橋（PC単純ポステン中空床版橋・セグメント桁）

- ・構造形式（図-5）は、超高強度繊維補強コンクリートにより高い耐久性と軽量化を図った工場製作プレキャストセグメントポステン桁である。
- ・長尺桁では運搬が不可能なため、桁を分割したセグメント桁を使用する必要がある。
- ・国内で数例の実績があるが、上部工重量が重く構造的に劣る。
- ・既設木橋より上部工重量が重くなるため、H杭基礎工・橋台の施工および護岸復旧が発生する。
- ・架設は、桁組み立て後、クレーンによる架設が必要、桁組のヤードが必要となる。
- ・設計基準強度が120Mpaの超高強度繊維補強モルタルを使用することで、部材の薄肉化、低桁高さ、および高耐久性が確保される。維持管理が容易である。（初期建設費=2.39、維持管理費=1.05、LCC費用=1.90）

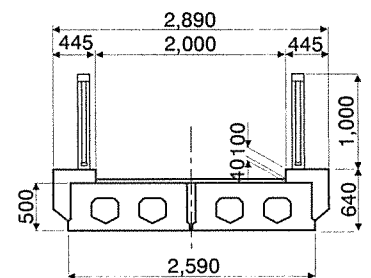
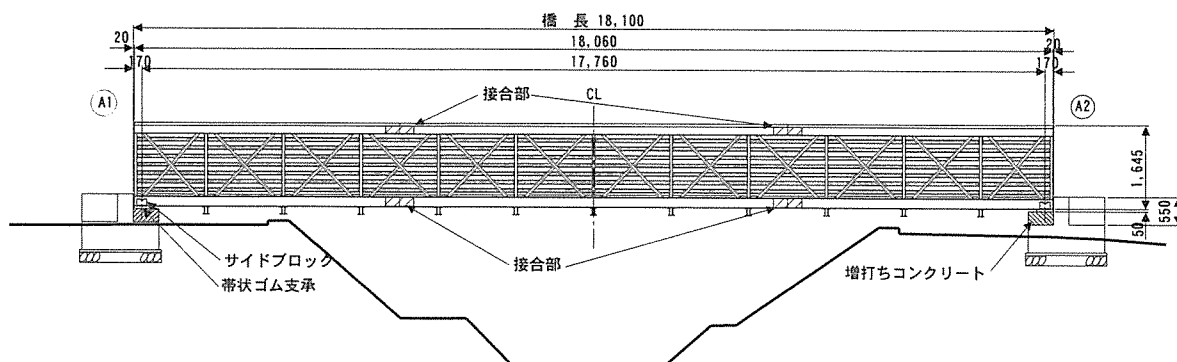
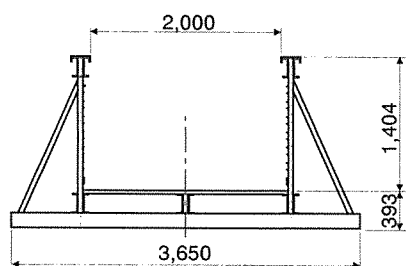
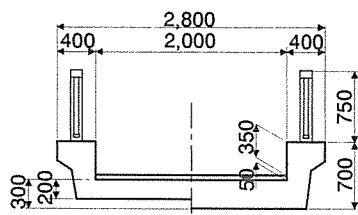


図-5 第5案 超高強度PC橋

・構造形式を図-6に示す。構造の特徴は、第5案と同じであるが、初期建設費用が第5案より劣る。



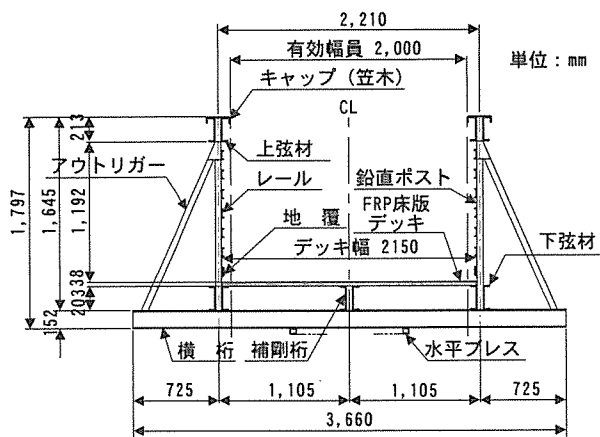


図-9 標準断面図

剛桁の2箇所には接合部を有している。上下弦材、補剛桁、およびキャップ材には、チャンネル材C203を使用した。横桁には、チャンネル材C152を使用した。鉛直ポスト材、アウトリガー、および、水平プレス材には、角管材SP51を使用した。垂直プレス材(斜材)の引張部材には、角管材SP51を使用し、圧縮部材には角棒SR38を使用した。レール(高欄)は、チャンネル材C76を鉛直ポスト部材に0.2m間隔で取り付けた。地覆は、レールと同じチャンネル材C76を使用した。

FRPデッキは、表面に滑り止め塗装を施した引抜き成形製品(幅609.6mm×高さ38.1mm)をボルトで下弦材、および、補剛桁に取り付けた。

支承は、帯状ゴム支承とし、下弦材および補剛桁の下に設置した。また、下弦材のウェブ部にステンレス製支承固定金具(サイドブロック)を取り付け、アンカーボルトで橋台に固定し、橋軸方向および横断方向の水平変位を拘束する構造としている。既設橋台のパラペット高さは、0.55mであったので、FRP歩道橋の橋面高さを合わせるために、増打ちコンクリートで高さ調整をした。

3.3 設計照査の手順

FRP材料は、金属材料と異なり、材料設計に大きな自由度があることを特徴としている。このため、一般的な、FRP構造物の設計は、材料の選定、形状寸法の決定、実物試験による安全性の確認という手順で行われている。

本歩道橋で用いた引抜き成形FRP材は、FRP材料でありながら、同一断面特性、機械的特性を有する³⁾ため、材料設計を行う必要がない。したがって、鋼材などの構造用型材と同様に扱う

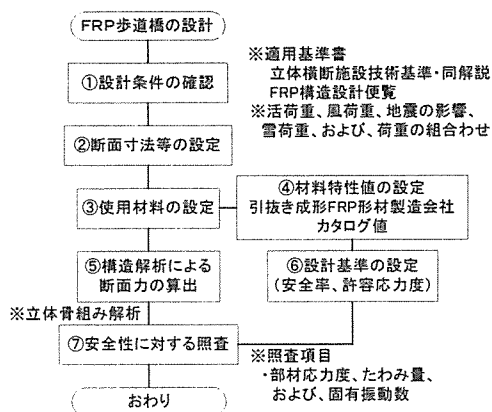


図-10 設計照査の手順

ことができる。しかし、上記技術基準書²⁾には、FRP材料についての許容応力度等が規定されていないこと、また、引抜き成形FRP材製造会社ごとに材料特性が異なるため、設計照査は、図-10に示す手順で行った。

はじめに、鋼製やコンクリート製橋梁の設計と同様に、設置位置、幾何条件、荷重等の設計条件を確認した。次に、引抜き成形FRP材は、FRP製造会社ごとに製品の断面形状や材料物性が異なるので、どのFRP製造会社の製品を使用するかを設定するとともに、各部材の断面形状を仮定した。FRP材料の材料特性値は、FRP製造会社のカタログ値を用いた。FRP製造会社の提供する設計マニュアル³⁾の材料物性を表-1に示す。カタログ値は、製品ロットのランダムサンプリングした長手方向(LW)のクーポン試験結果の平均値が示されている。チャンネル材、及び、角管の材料特性は、引張強度228 MPa、引張弾性率17.2 MPa、圧縮強度228 MPaと同じ材料特性を有する製品を使用した。角棒については、上記の型材より強度が高い、引張強度690 MPa、引張弾性率41.4 MPa、圧縮強度414 MPaの材料特性を有する製品を使用した。

許容応力度は、限界強さを安全率で除して算出した。

表-1 FRP材料の材料特性値

名 称	チャンネル材			角管	角棒
	C203	C152	C76	SP51	SR38
寸 法 (mm)					
引張強度 (MPa)	カタログ値	228	228	228	690
	下限値	213	213	213	653
	試験結果	323	373	400	661*
引張弾性率 (GPa)	カタログ値	17.2	17.2	17.2	41.4
	下限値	15.0	15.0	15.0	39.9
	試験結果	26.1	29.1	22.6	30.3
圧縮強度 (MPa)	カタログ値	228	228	228	414
	下限値	207	207	207	408
	試験結果	444	419	376	428*

*製品同等に作成した試験板から作成した試験片による試験結果

限界強さは、使用環境条件を考慮して試験平均値を限界値として用いることができる³⁾とされている。そこで、本歩道橋の設計では、限界強さを、製品試験結果の平均値である製造会社のカタログ値を限界値とした。許容応力度を求めるための安全率は、米国のFRP引抜成形会社や構造技術者が推奨する値を参考⁹⁾とし、すべての組み合わせ荷重条件に対して、引張りおよび圧縮強さの安全率は、2.5、ヤング率の安全率は1.0とした。

構造計算は、立体骨組み解析プログラム（SATTD Pro ver.2004）を用いて、組み合わせ荷重として、1) 死荷重＋活荷重、2) 死荷重＋風荷重、3) 死荷重＋地震の影響の3ケースについて行った。部材応力に関する解析結果の総括（すべての荷重ケースの最大値）を表－2に示す。最も高い応力を示す部材は、鉛直ポスト材であり、その応力度は、45.0 MPaと許容応力度の1/2程度である。主構を形成する上下弦材や垂直ブレスの応力度は、19.0～28.2 MPaであり許容応力度の1/2程度の応力に留まっている。

活荷重によるたわみ量と固有振動数の解析結果を表－3に示す。活荷重によるたわみ量は、43.9 mmであり設計基準値44.4mmを満足している。固有振動数は、鉛直方向が6.6 Hz、水平方向が5.3 Hzと設計の目標値である鉛直方向5 Hz、水平方向3 Hzを確保するとともに、利用者に歩行時の不快感を与えない振動数である2.4 Hz以上を十分満足している。

本構造解析の結果より、活荷重によるたわみ量の基準値を満足するようにFRP歩道橋の部材の断面形状を設計すると、部材の応力度は、許容応力度に対して、最大1/4程度～1/2程度とかなり余裕があることが分かる。FRP歩道橋の部材断面は、強度ではなく、たわみ量の制限により決定されたことが分かる。

表－3 たわみ量と固有振動数の解析結果

照査項目	計算値	基準値
たわみ	43.9 mm	44.4 mm
鉛直方向固有周期	6.6 Hz	5 Hz
水平方向固有周期	5.3 Hz	3 Hz

3.3 耐久性向上対策

FRP材料は、塩害に対しては高い耐久性を有する。しかし、長期暴露に対して、強度低下はほとんど見られない⁹⁾が、表面の樹脂の脱落や繊維の露出を生じる「樹脂やせ」を起こすことが懸念された。そこで、長期暴露による劣化の影響を少なくするために、表面に塗装を行うこととした。また、この塗装は、飛砂によるFRP材料表面の磨耗の影響を軽減することも目的とした。表面塗装材料は、アクリルウレタン樹脂塗料とし、塗装厚さは、

表－2 部材応力に関する解析結果の総括

部材名称	材料名称	応力度 (MPa)		許容応力度 (MPa)
下弦材	チャンネル材 C203	23.4	引張(T)	91.2
上弦材	チャンネル材 C203	19.0	圧縮(C)	"
鉛直ポスト材	角管 SP51 (中空)	45.0	引張(T)	"
	角管 SP51 (中空)	19.6	引張(T)	"
	角棒 SR38 (充実)	28.2	圧縮(C)	165.6
横 桁	チャンネル材 C152	39.0	引張(T)	91.2
アウトリガー	角管 SP51 (中空)	4.3	引張(T)	"
補剛桁	チャンネル材 C203	5.7	引張(T)	"
スパーサ	角管 SP51 (中空)	31.3	圧縮(C)	"
水平ブレス	角管 SP51 (中空)	30.7	引張(T)	"

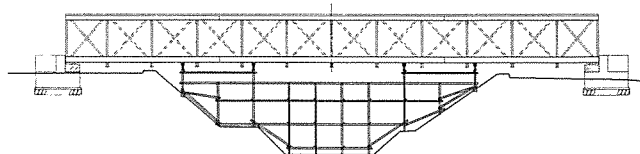
3層×25 μm (75 μm) で塗布した。塗装作業は、1) 施工時期が冬季であり、屋外での作業は天候に左右されること、2) はけ塗りに比べると塗装歩掛りの良いエアレスガンを用いて塗装する計画としたため、塗料飛散防止の養生が架設現場では困難であったことから、部材の組立て前に工場にて施工した。

また、ボルトは、海塩粒子飛散環境での耐食性を考慮した材料、または、表面処理を施すことにより耐久性を向上させることとした。FRP床版デッキ、レールや地覆の取付けに使用する小さいねじ類については、ステンレスボルトを使用した。FRP歩道橋製造会社の標準仕様書⁴⁾により、上下弦材の接合部や垂直ブレスの取付け部など支圧接合に用いられる径 3/4" (19.1mm)ボルトと、アウトリガーの取付けに用いられる径 1/2" (12.7mm)は、亜鉛めっき付き鋼ボルトを使用するので、耐塩水性能を高めるために、溶融亜鉛めっき層の上に適用できるセラミック系材料による表面焼成層を有する薄膜表面処理⁹⁾を施すことにより耐久性を向上させた。

4. 施工概要

4.1 施工方法

当初計画では、図－11に示すように、架設位置に単管を用いた支保工を組み立て、人力で架設する計画としていた。本現場では、地形条件より支保工の架設・解体に時間を要すると考えられていたが、架設地点に隣接する場所に地組みヤードを確保することができたため、地組みしたFRP橋を50t級のラフテレーンクレーンを用いて一括架設を行う計画に変更した。



図－11 架設方法（当初計画）

地組み用支保工は、鋼製枠組み足場材料を用いた。地組みにおけるキャンバー高さは、架設および供用後に接合部ボルトのすべりによる残留たわみが、最大で30 mm

程度と予測⁹されたので、設計キャンバー高さ12 mm+ α に対して、地組み時のキャンバー高さは55 mmとして組立てを行った。

クレーンによる架設に当たっては、クレーンの作業半径を考慮すると、橋の総重量の3.3 tでの架設は困難であったので、架設時の重量は、3.0 t以下とする必要があった。そこで、FRPレール材料は架設後に設置することとした。このため、クレーンによる架設時の橋重量は、2.9 tであった。

また、FRP製デッキの支承側の5枚づつは、支承部のアンカーボルトを締結するために桁架設後に取付けた。

地組み作業に要した施工時間は、作業員4ないし5名で、3日間であった。また、クレーンによる架設およびFRPレール等の付帯部材の取付け作業には、5時間を要した。

4.2 施工手順

地組みの作業は、図-12の手順で行った。

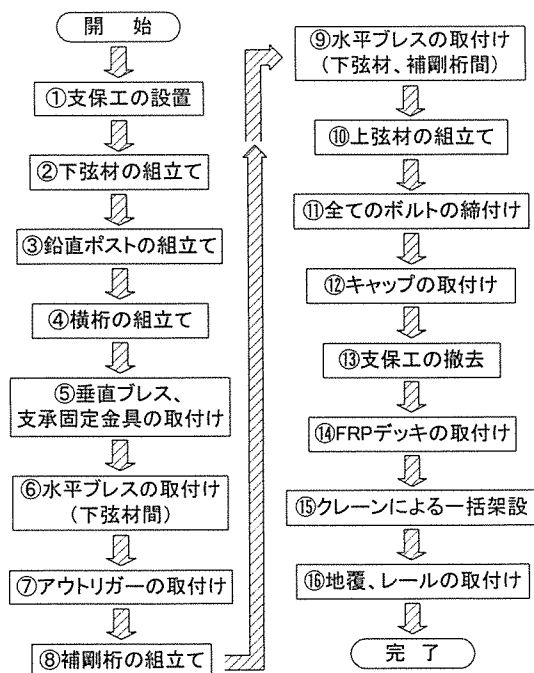


図-12 作業手順

①支保工は、鋼製枠組み足場の天端に角材を渡して組み立てた。角材の天端高さは支承高さと同じとし、下弦材を水平に架設できるようにした。次に、②下弦材を支保工上に引き出し、接合位置で下弦材を添接板と添接部品を用いてボルトで組み立てた。このとき、ボルトは軽く締め付ける。下弦材の通りを確認したのち接合部のボルトを確実に締め付けた。

ボルト・ナットの締め付け作業は、ラチェット・レンチを用いて手締めで行った。ボルト・ナットは、上・下弦材の接合部を除き、すべての部材が組み立て上がるまでは、本締めをせず、上弦材の取り付け完了後に本締め



写真-1 鉛直ポスト、横桁取り付け状況

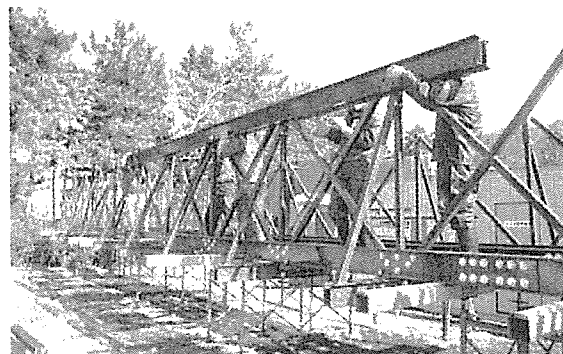


写真-2 上弦材取り付け状況

作業を行った。本締めは、スプリングワッシャーが平らになるまで目視で観察しながら確実に行った。過度の締め過ぎは、FRP材料に損傷を与えるので注意が必要である。次に、③鉛直ポストを下弦材にボルトで取り付けた。④横桁を鉛直ポストにボルトで取り付けた。(写真-1) ⑤垂直プレス(斜材)は、X形の形状をしており、圧縮側は充実断面、引張側は中空断面の設置となっているので、設計図書に示された方向を間違えないように下弦材に取り付けた。また、この作業と並行して、下弦材のウェブ部にステンレス製の支承固定金具をボルトで取り付けた。ここまでの作業を1日で行った。

2日目、⑥左右下弦材の通りと前後のずれを調整した後に、水平プレスを下弦材にボルトで取り付けた。⑦アウトリガーを横桁と鉛直ポストにボルトで取り付けた。鉛直ポストとアウトリガーの接続は、1箇所につき2枚のアウトリガー板を用いて取り付けた。⑧補剛桁を横桁上に引き出し、下弦材と同様に添接板と添接部品を用いてボルトで組み立てた。接合部のボルトは、本締めを確実に行った。⑨水平プレスを下弦材と補剛桁にボルトで取り付けた。⑩上弦材の組み立てに先立ち、足場板を横桁上に敷き並べ、作業場所を確保した。片側の上弦材を設置位置に引き出し、鉛直ポストに仮留めした(写真-2)。次に、さらに一枚の上弦材を引き出し、仮留め置きした上弦材と添接板と添接部品をボルトで組み立てた。接合位置の取り付けボルトは、下弦材や補剛桁の接合部

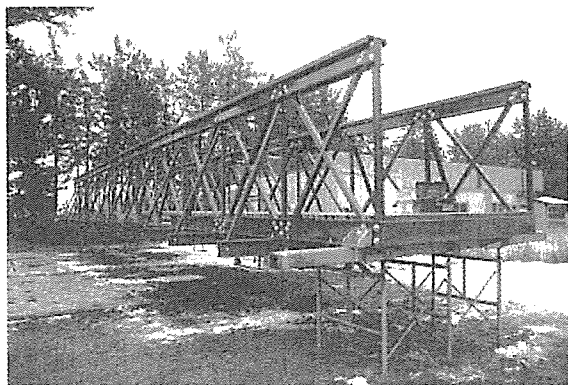


写真-3 支保工の撤去状況

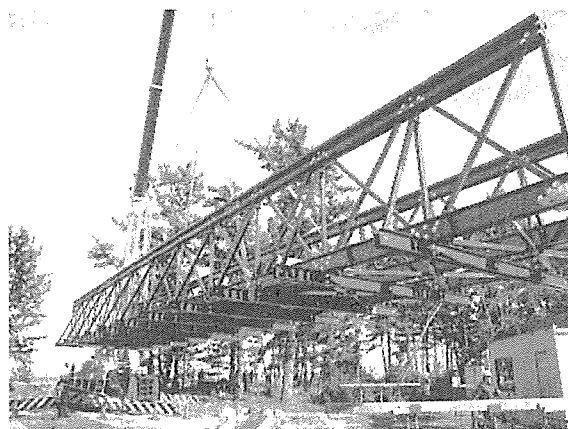


写真-4 クレーンを用一括架設状況

と同様に、本締めを行った。支保工の高さを所定のキャンバー高さ（55 mm）が得られるように調整したあと、垂直ブレスと上弦材をボルトで締結した。橋の中央部より橋端部に向かうように作業をすすめた。垂直ブレス取り付け前までのボルトによる組立作業は、比較的簡単に作業を進められた。しかし、トラス形状は、垂直ブレスを上弦材に取り付けることにより確定されるため、仮組み状態では垂直ブレスと上弦材のボルト穴位置が一致していない場合が多かった。このため、ボルト穴位置を合わせるために寄せポンチを用いて調整する必要があり、ボルト留め作業に時間を要した。また、ボルトの挿入が困難な場合は、プラスチックハンマーでボルト頭部を打撃しながらボルトを挿入した。

3日目、⑪支保工の高さを所定のキャンバー高さを得られるように再度調整した後、すべてのボルトの本締め作業を行った。⑫キャップ部材（笠木）を上弦材に取り付けた。⑬足場板を取り除いた後に支承部を除く支保工を撤去した（写真-3）。次に、FRPデッキを下弦材および補剛桁にボルトで取り付け付けた。

4日目、⑭クレーンを用いて一括架設した（写真-4）。吊上げ用玉掛けは、ナイロンスリングを横桁に巻きつけて行った。横桁のチャンネル材は、ナイロンスリングの締め上げにより損傷しないように、木製のスチフナをウ

エブ部に挟んで固定した。FRP歩道橋をクレーンで吊り上げ後、クレーンを旋回させながら、架設位置まで移動させた。支承位置は、帯状ゴム支承とアンカーボルトを設置しておいた。サイドブロックのボルト穴位置とアンカー位置を合わせて、FRP歩道橋を橋台に設置した後、アンカーボルトと締め付けた。架設に要した時間は1時間程度であった。最後に、⑮地覆、中間レールを鉛直ポストに、端部板を上弦弦材端部に取り付けて架設工事を完了した。

4.3 施工管理

施工管理は、1) FRP材料の品質管理として、寸法検査、機械的性質の確認を実施した。2) 施工時管理として、ボルトの締め付け管理を実施した。また、3) 出来形管理として、主桁長さ、有効幅員幅、および、キャンバー（そり）高さを管理項目とした。

FRP材料の寸法検査：検査は、同一断面寸法の部材からの抜き取り検査とし、頻度は10本に1本の割合とした。測定項目は、断面の高さと幅、部材の厚さ、および、全長さとした。形状・寸法の許容差は、JIS K 7015(1998)（繊維強化プラスチック引抜材）および、引抜き成形材製造会社の管理基準値を参考に定めた。また、寸法検査と合わせて外観検査を全数について実施した。外観検査基準は、ひび割れ、膨れ、欠け、きず、はく離などの使用上問題となる欠陥がないか否かについて目視で確認した。外観検査では、機械的性能に影響しないと思われる繊維強化材の配向むら、色むら、パーティングライン跡、汚れなどの処理は、外観としての欠陥とは評価しないこととした。

FRP材料の機械的性質：機械的性質は、引張強度、引張弾性率、および、圧縮強度について確認した。試験結果の平均値を表-1に示す。引張試験方法は、JIS K 7165(2008)（プラスチック引張特性の求め方-第5部：一方向繊維強化プラスチック複合材料の試験条件）に準じて行った（写真-5）。ここで、試験片は、JIS K 7164(2005)（プラスチック引張特性の求め方-第4部：等方性及び直交異方性繊維強化プラスチックの試験条件）も参考にして5体作成した。また、圧縮試験は、JIS K 7018(1999)（繊維強化プラスチック積層板の面内圧縮特性の求め方）に準じて行った（写真-6）。試験片は5体作成した。

試験片の作成は、FRP材料の引き抜き成形の一連の作業工程で製造された製品ロットから抜き取った試験用部材の一部から原厚のまま切り取って作成した。ただし、角棒の試験片は、棒材製品から試験片を切り出すことが困難であったので、JIS K 7015(1998)の規定に従い当事者間の協議とし、製品と同様の製造方法で作成された試験

板から、引張りおよび圧縮試験の試験片を採取した。

引抜き成形材製造会社の強度特性は、試験結果の平均値を示していたので、試験における強度の下限値は、統計手法を用いて、製品の平均値に関する片側検定を行ったときに危険率 α が5%で差がないと判断される値を、材料強度確認試験の下限値とした。このとき用いた標準偏差の値は、FRP引抜き成形材製造会社より提供をされた値を用いた。



写真-5 引張試験状況

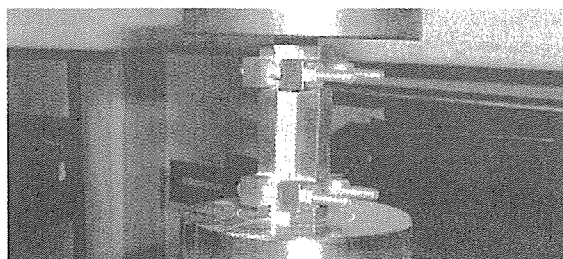


写真-6 圧縮試験状況

ボルトの締め付け管理：本歩道橋のボルト接合方法は、支圧接合であるので、ボルト締め付け管理はトルク管理ではなく、ボルトの締め忘れを確認することを目的とする管理を行った。すべてのボルトの締め付け作業終了後、ハンマーを用いて打音検査を行い確認した。確認されたボルトの頭部には、確認のマーキングを行った。

4.4 維持管理

FRP材料は、長期暴露に対する強度劣化は生じにくいとされており、樹脂の劣化は表面から進行すると考えられる。また、本FRP歩道橋は、長期暴露に対する劣化を保護するための塗装が施されているとともに、FRP材料の表面付近にベールと呼ばれる繊維シート層を設け、劣化が内部へ進行することを保護する対策が施されている。

しかし、経年劣化の進行状態を把握することは、本FRP歩道橋の健全度を評価するために重要であると考え、使用したFRP材料と同じロットからサンプリングした暴露試験片を設置した。この暴露試験片には、本体と同様の塗装が施されている。

また、塗装の劣化状態を把握するために、塗装膜厚測定用の鉄板に本FRP歩道橋と同じアクリルウレタン樹脂塗料を75 μm の厚さ塗布し、FRP暴露試験片とともに取り付け付けた。一般的な膜厚計は、素地が金属でないと測定できないため、塗装厚計測用の暴露試験片を別途取り付け付けた。

今後、目視に外観調査と膜厚計による鉄板塗膜厚測定を定期的実施し、ベール層を越えて劣化が進行していると目視で判断された場合は、FRP材料の強度試験を実施することとしている。

5. まとめ

2000年に沖縄県伊計平良川線ロードパークでFRP歩道橋が架設され、FRP材料は、耐久性に優れた構造部材として評価されてきたが、国内の施工事例は多くない。今回、FRP歩道橋を、既設橋梁の架け替え工事に適用し、安全に確実に施工することができた。また、今回の工事において得られた、設計手順や施工管理方法は、同様の歩道橋の工事に適用できる資料とすることができると考える。今後、我が国で、1960～1970年代に集中的に整備された橋梁が50年を超えるため、更新・補修されることが見込まれる。したがって、本工事の経験を踏まえ、維持管理性に優れたFRP歩道橋が適用される事例が増大することが期待される。

参考文献

- 1) E.T.Techtonics Inc. : ホームページより,
<http://www.ettechtonics.com/about/>
- 2) 社団法人日本道路協会 : 立体横断施設技術基準・同解説 II 横断歩道橋編, pp.34-51, 1979.
- 3) 社団法人強化プラスチック協会 : FRP 構造設計便覧, pp.191-199, p.203, 1994.
- 4) E.T.Techtonics Inc. : ホームページより,
http://www.ettechtonics.com/support/bridge_specification.php
- 5) Creative Pultrusions Inc. : The New and Improved Pultex Pultrusion Design Manual Imperial より, <http://www.creativepultrusions.com/LitLibrary/DM%20CD-ROM/dmforweb.pdf>
- 6) L.C.Bank : Composites for construction Structural Design with FRP Materials, pp.370-373, 2006.
- 7) 土木学会 : 構造工学シリーズ 14 FRP 橋梁—技術とその展望—, pp.37-38, 2004.
- 8) 株式会社日本ラスパート : 総合カタログ, pp.4-7, 2004.
- 9) 山田聖志 他 : 引抜き成形FRPトラス歩道橋の実大構造実験, 強化プラスチック Vol.54 No.11, pp.458-464, 2008.