

FRP 複合橋梁小委員会 小委員会報告

Report of the Sub-Committee for FRP Hybrid Bridges

土木学会複合構造委員会 FRP 複合橋梁小委員会
Sub-Committee for FRP Hybrid bridges

The main purpose of the Sub-Committee for FRP Hybrid Bridges is to survey and to exchange the information of recent application and research activities on FRP hybrid bridges. The works were mainly focused in the activities carried out in Japan, because there had been no report of the second example of the application of FRP bridge that follows the Japanese first application of Okinawa Road Park Bridge constructed in 2000. However, four FRP bridges were constructed after 2006, and there are also some enthusiastic research activities in Japan that are focusing the real construction in the future. This paper reports the results of these surveys of the sub-committee. The sub-committee also has two working groups (WG), WG for design methods and WG for application study. This paper also reports the outlines of the activities of these two WG of the sub-committee.

Key Words: FRP, hybrid structure, bridge, application, design, example

キーワード: FRP, 複合構造, 橋梁, 適用, 設計, 事例

1. 国内の FRP 橋梁の適用状況

国内における FRP 橋梁の適用は、2000 年 3 月に沖縄ロードパーク橋で国内初の事例として実現されたものの、それ以降の適用は、しばらく実際の事例の登場は途絶えていた。FRP 合成床版の適用はすこしずつ適用事例を広げており、補修補強用途での FRP 適用は広く普及しているのとは対照的である。

とはいえ、この間も様々な研究活動や、適用計画が実施されており、2006 年以降になって、下記に示す 4 つの FRP 橋梁の建設が、国内で実現するに到った。

- ①ものづくり大学 FRP 橋
(埼玉県行田市, 2006 年 8 月)
- ②羽咋自転車道 13 号橋
(石川県羽咋市, 2008 年 3 月)
- ③宇津江四十八滝公園 FRP 橋
(岐阜県高山市, 2008 年 4 月)
- ④神崎海岸環境整備工事 FRP 歩道橋
(京都府舞鶴市, 2009 年 1 月)

本小委員会ではそれぞれの事例について詳細な情報収集、設計の考え方や、採用に到った経緯等について情報を収集した。

また、適用には到ってはいないものの、FRP 橋梁の特性を活かした様々な計画がいくつか進行している。本小

委員会ではこれらのそれぞれについても詳細な情報収集を行った。

1.1 近年の FRP 橋梁適用事例

1.1.1 ものづくり大学 FRP 橋¹⁾

ものづくり大学の FRP 橋梁は、大学構内に 2006 年 4 月から学生の教育訓練として計画・施工された FRP トラス橋である。橋長 21.1m, 支間 11.7m, 幅員 2.815m の中路式 3 径間ポニートラス橋である。各径間毎に学内施設で組み立てたモジュールを、架設時に現地で接合して架設された。一般図を図-1 に、組み立て時写真を図-2 ~3 に、完成後の写真を図-4~5 に示す。また、主な調査結果は以下の通りである。

- ・構造形式は、安価で入手可能な角パイプ (□103) を利用する観点からトラス橋とした。また、景観やデザインに配慮して、一般的な下路式トラスではなく中路式の 3 径間ポニートラスとした。FRP 橋梁の色彩は、鋼材が灰色であることを考慮して「白色」とした。
- ・床版はヒノキの板とし、6mm 間隔で設置した。上弦材は手すりとして利用し、木板を装着している。また、ガセットは SUS304 により作成し、歩道橋であることやデザインに配慮して、弦材に沿って切り込みを深く取った形状とし軽快感を強調した。
- ・橋軸方向のたわみを抑制するため、支点に台座を設置し

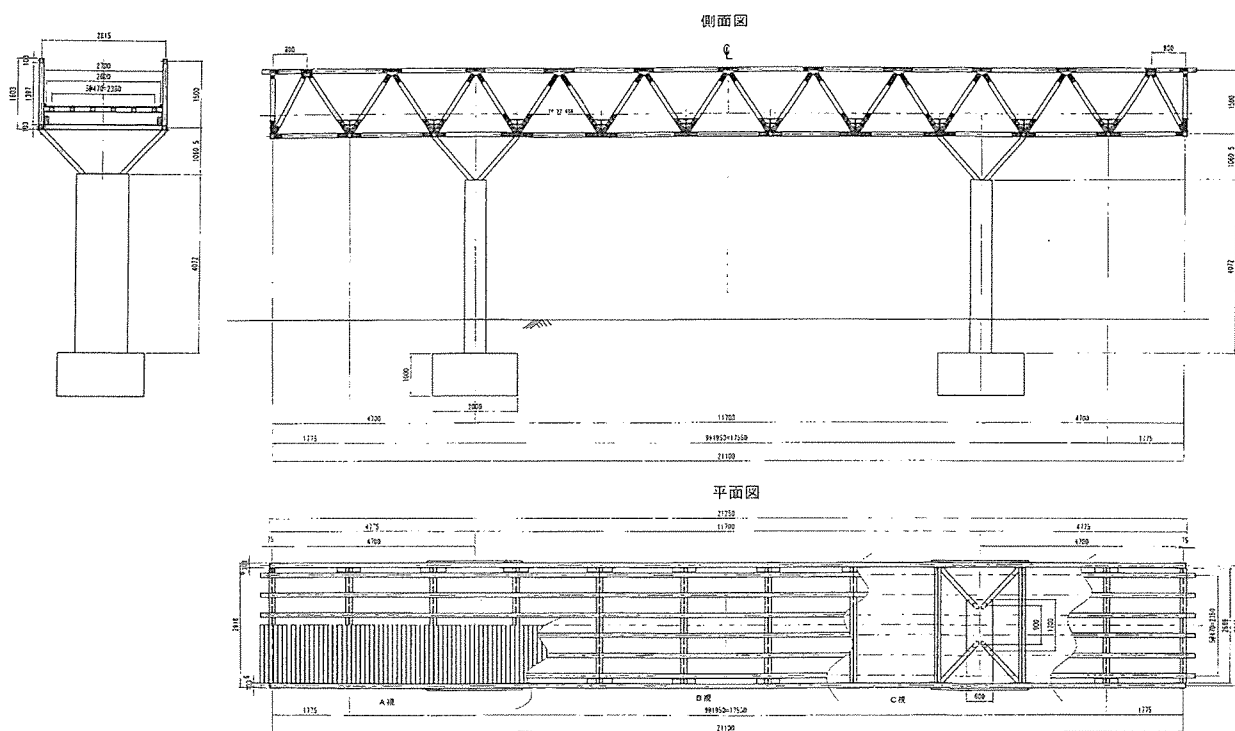


図-1 ものづくり大学FRPトラス橋 一般図

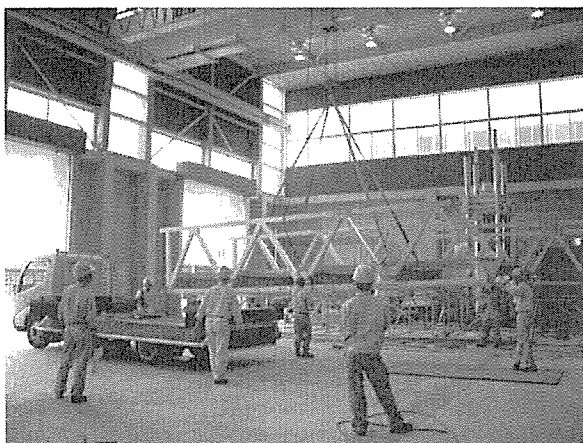


図-2 トラスモジュールの搬出状況

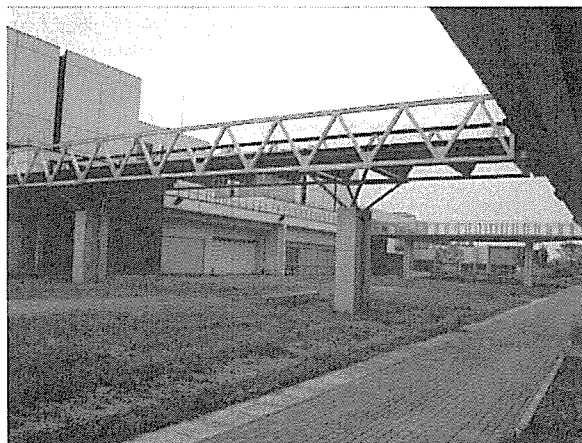


図-4 完成後のFRPトラス橋

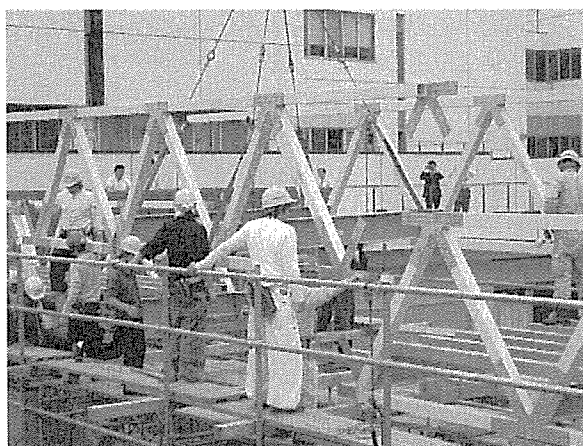


図-3 現地における設置状況



図-5 完成後のFRPトラス橋（歩道面）

- ・てスパン長を短くした。また、広幅員であるため、橋軸直角方向のたわみを抑制する観点から横桁を I 桁とした。
- ・FRP 橋梁は応急橋としての利用価値が高い他、RC 橋梁に比べてデザイン性に優れると思われる。
- ・アンカーボルトを用いてコンクリート橋脚に定着している。RC 橋梁よりもスレンダーな橋脚であり、FRP 材による上部工の軽量さを表した。
- ・リベット接合は機械的な作業であるため、下穴の管理のみを実施すれば良く、作業員の熟練性を要求しない。また、角パイプの軸直角方向繊維はマット材のみであるが、リベット本数を増やすことにより、接合荷重を満足させている。不十分な場合には、フープワインディングや±45° 材を使用することになる。また、リベット 1 本当たりの応力は、全体荷重を単純に本数で割った値にほぼ等しい。FRP の材料安全率は 5 とした。

1.1.2 羽咋自転車道 13 号橋²⁾

FRP 桁橋「羽咋厳門自転車道線・自転車道 13 号橋」が 2008 年 3 月に製作・施工された。橋長 11.3m、有効幅員 3.5m の 2 主桁の桁橋である。主桁は高さ 600mm、フランジ幅 300mm の GFRP 大型引抜成型材が使用されている。一般図を図-6～7 に、施工時写真および完成後写真を、図-8～10 に示す。主な調査結果は以下の通りである。

- ・当該箇所は腐食環境の厳しい箇所であり、13 年程前に建設されたキングポストラス形式の木橋に架け替えの必要が生じた。木橋の諸元は土木研究所の共同研究で検討した FRP 試験桁橋（橋長 10.12m、幅員 3.44m、2006 年 2 月、図-11）とほぼ同等であり、共同研究の成果を直接反映することが可能であった。
- ・鋼橋やスラブ形式の PC 橋と LCC を比較した結果、上部工だけの比較では 1.5 倍の建設費となるが、下部工改修費や維持管理費を含めた比較では逆転し優位となる。施工では、既設下部工に対する補修が軽微であることやコンクリート打設がないことによる短期間の架設が利点となっている。なお、維持管理費は LCC の試算上不要とした。
- ・たわみ制限の確保を目的とした CFRP の適用は 15% のコスト上昇を伴うため、設計時の活荷重を実態に見合う形で修正した。具体的には、主桁の活荷重たわみ計算に用いる活荷重強度を群集荷重の 350kg/m² ではなく、電動自転車の満載時荷重を想定して試算した 100kg/m² へと低減した。たわみ制限の許容値は支間長の 1/400 とした。
- ・舗装材料には、FRP 床版の変形に追従可能なゴム系舗装材を用いた。
- ・当該橋梁の一般化に当たっては、①FRP の設計用値を一般化する、②たわみ制限を明確にする、③床版目隠し材の施工方法、④ゴム系舗装のひび割れ対策、等の

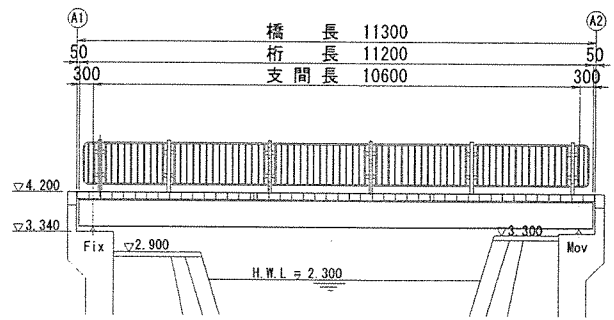


図-6 羽咋自転車道 13 号橋側面図

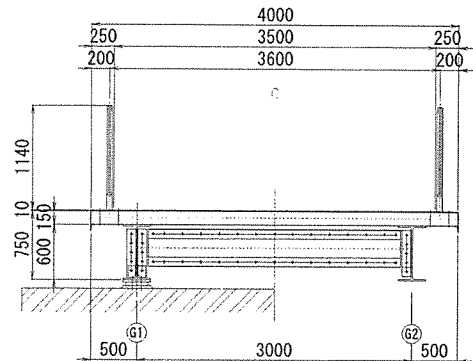


図-7 羽咋自転車道 13 号橋断面図



図-8 主桁設置状況



図-9 床版設置状況



図-10 完成後の羽咋自転車道 13 号橋



図-12 宇津江四十八滝公園 FRP 橋



図-11 土木研究所 FRP 試験桁橋

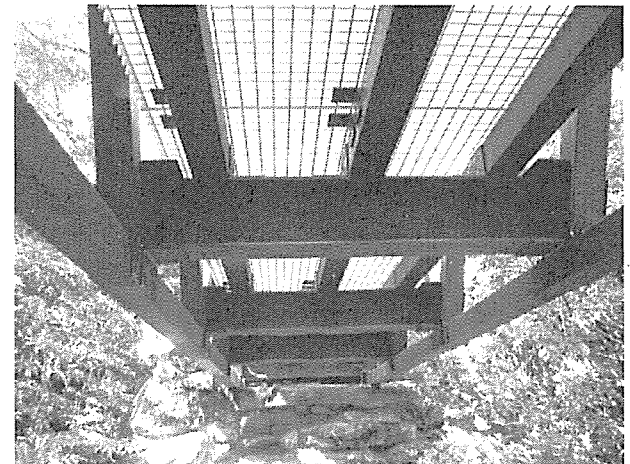


図-13 宇津江四十八滝公園 FRP 橋（下面から）

課題を整理する必要がある。

- ・床版に適用した個々の部材は、舗装から浸透した雨水の水抜きを目的として相互に接続していないため、舗装材にひび割れが生じ易い環境にある。FRP 板で床版材を連結する方法も考えられるが、旧橋の床版が木材を適当な間隔で並べた簡単な構造であることや平坦性が要求されていないことから、現状の床版構造で十分であると考えている。
- ・床版目隠し材は、中空床版部材への水や鳥の進入阻止を目的としている。
- ・FRP 自転車道橋の耐用年数は、施主側から具体的に指示されていない。LCC の試算では、50 年程度で鋼橋や PC 橋を逆転するという結果が得られた。大規模な下部工工事が不要である点は、山間部等の下部工工事が事実上不可能な箇所です特に有利である。FRP 歩道橋の適用範囲を拡大する面で大きな利点となる。

1.1.3 宇津江四十八滝公園 FRP 橋³⁾

宇津江四十八滝 FRP 歩道橋は、2008 年 4 月に製作・施工が行われた、橋長 7.9m、幅員 1.31m の中廊式ポニートラス歩道橋である。死荷重はおよそ 1.14tf である。

図-12, 13 に完成後の写真を、図-14 に一般図を示す。主な調査結果は下記の通りである。

- ・当該箇所は標高 1000m の山間部にあり、耐腐食性を有する FRP が木材に代わって構造部材として採用された。
- ・設計荷重としては風荷重や雪荷重も考慮した。特に、川面に近い下部の雪が溶けた場合には、雪荷重の全てが橋梁に載荷されるため、その影響を十分に考慮する必要がある。
- ・FRP 歩道橋はトラス橋であり、斜材には 1mm 程度の加工精度が要求される。また、FRP 部材には反りが生じるため、組み立て時には引張や押出等の微調整を繰り返す必要がある。部材接合はリベットが基本であるが、各接合部を 2 本程度で仮締めして全体構造を確保した後に、全てを接合する方法を採用した。
- ・歩道橋の塗装には光沢のあるフッ素塗料を使用した。しかし、発注者側の要望で光沢を消す作業を実施している。
- ・今回の架設では、凍結融解や膨張を回避するため水抜き穴の設置を求めた。

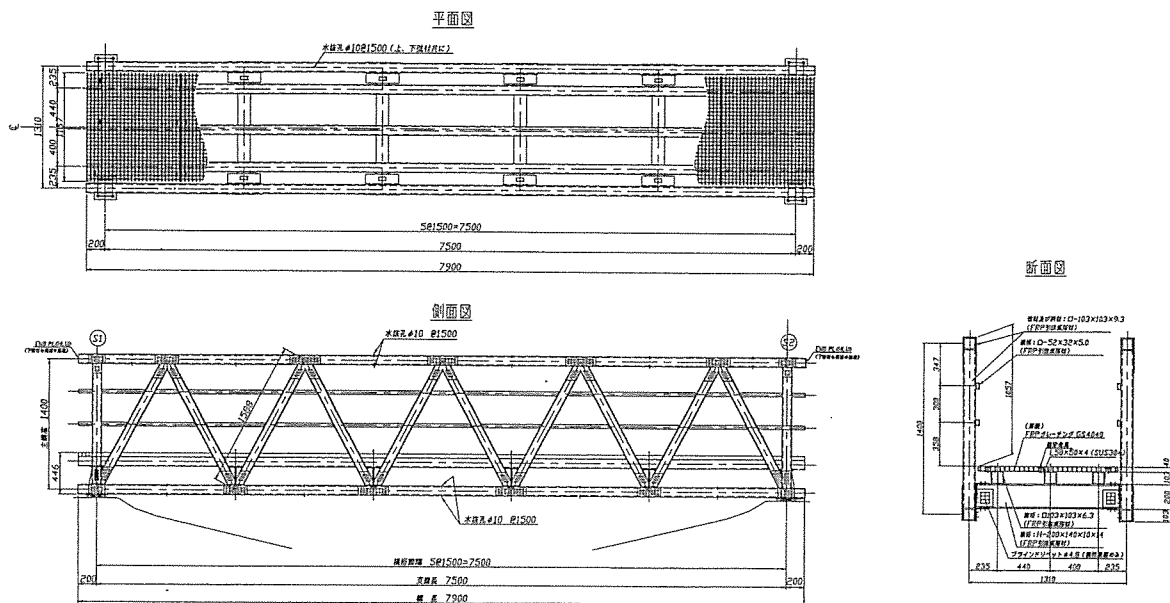


図-14 宇津江四十八滝公園 FRP 橋 一般図

- ・FRP 部材の反りは、成形時における繊維ボビンのねじれが要因であるが、これに対応するのは困難である。
- ・床版の角パイプと横桁の接合にはボルトを用いている。

1.1.4 神崎海岸環境整備工事 FRP 歩道橋 (米国製 FRP 橋梁の輸入検討)

神崎海岸の FRP 歩道橋は、米国で 200 橋を超える実績のある FRP トラス橋梁である。E. T. Techtonics 社製造の”Prestek System”を、日本に輸入して適用しようとの一連の検討の中から実現したものである。同橋実現の前に、日本における可能性検討のため、別の試験橋が米国より輸入され、組み立てや性能評価等の検討が行われた⁴⁾。この試験橋は、橋長 18.288m、有効幅員 1.797m の下路式ラチス型ポニートラス歩道橋である (図-15～19)。主な内容は下記の通りである。



図-15 試験橋の全体外観

- ・輸入する FRP 橋梁については、設計条件を E. T. Techtonics 社に提示して、Prestek System の製作を依頼した。たわみ制限値は、米国で一般的に使用されている $L/250$ (L : 支間長) ではなく、日本の立体横断施設基準の振動性を考慮した制限値 $L/400$ を採用した。
- ・引張力のみが生じる部材には中空の角パイプ材を使用しているが、圧縮力も生じる部材には中実の角ロット材を使用している。
- ・日本での組立作業の他に、静的荷重試験および振動試験を実施した。組立作業は 15 工程から成っており、監督者 1 人、作業員 3 人で 2.5 日を要した。静的荷重試験では、 350kg/m^2 となる水槽を用いた。
- ・組立作業 15 工程の内訳は、①支保工の設置、②下弦材の架設、③鉛直支柱の設置、④横桁の設置、⑤X ブ

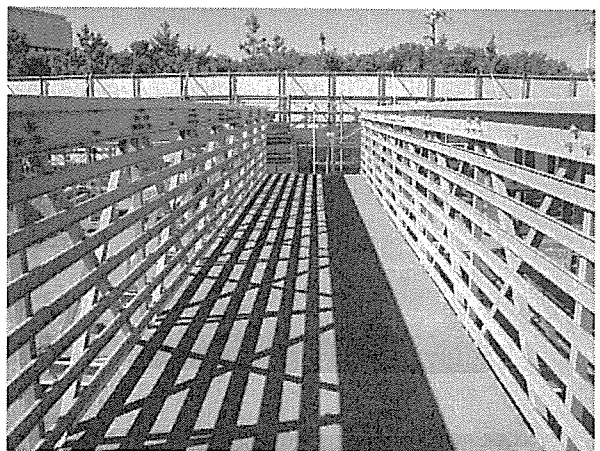


図-16 試験橋の歩行面

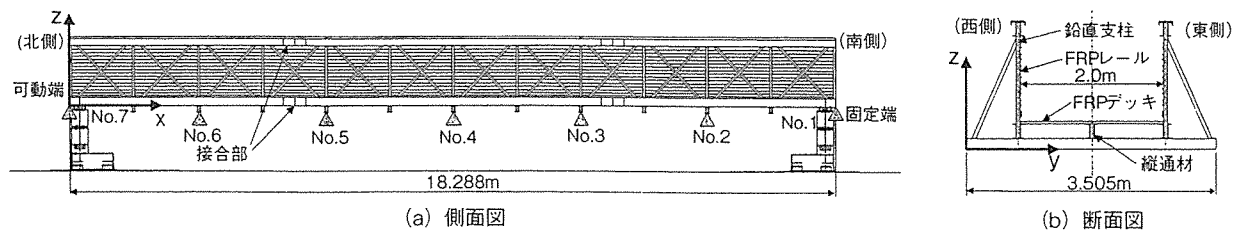


図-17 Prestek System 試験橋の一般図

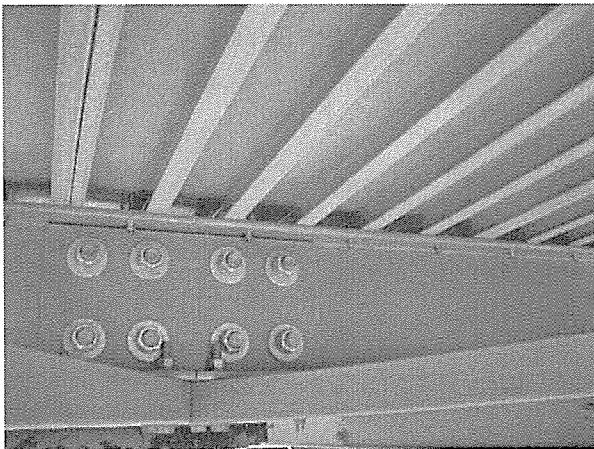


図-18 試験橋の下面

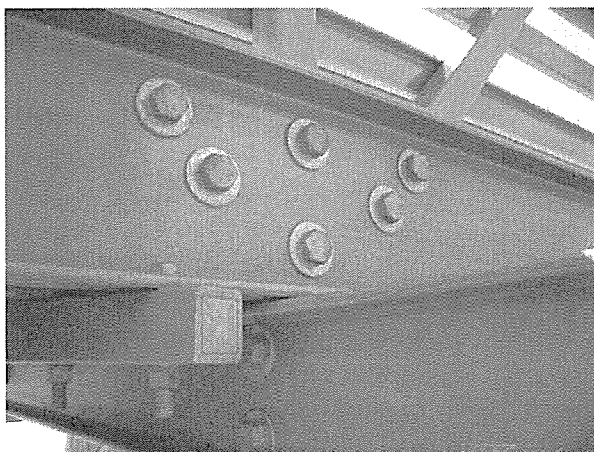


図-19 接合部

- レスの設置, ⑥支承金具の取付, ⑦水平プレスの設置, ⑧アウトリガーの設置, ⑨ストリンガーの設置, ⑩上弦材の架設, ⑪笠木の設置, ⑫断面端部材の設置, ⑬支保工の撤去, ⑭デッキプレートの取付, ⑮完成, である。
- ・ボルトは支圧形式である。ただし、一般的な支圧ボルトではなく、スプリングワッシャーを用い、これが水平になるまでトルクを加えている。
 - ・上弦材は3部材から成っている。中央の部材はキャンバーが設置されているため、端部の部材より長くなっている。

- ・Prestek System の重量は3tであり、3個のパッケージで輸送された。40ft コンテナを用いたが、十分過ぎるほどの空間があった。また、ボルト孔は、1箇所を除いて全て工場で空けられていた。
- ・FRP 部材の表裏の温度差は30℃以上あるが、表裏面のひずみに明確な差は認められない。

また、振動試験の結果は以下のように得られている。

- ・加振方法は、衝撃加振（横スパン中央、横スパン端）、ランダム加振、共振、水平加振の合計7ケースである。衝撃加振は飛び跳ね、ランダム加振はジグザグ歩行、共振は集団足踏み、水平加振は木製角材による打撃および人力による加振、である。
- ・横スパン中央の加振では鉛直振動が生じる。一方、横スパン端部の加振ではねじれや水平振動が生じ、ジグザグ歩行でも同様の現象が見られる。
- ・橋梁の固有振動数は、鉛直方向が6.4Hz、水平方向が3.7Hzであった。E. T. Techtonics 社の計算値は、鉛直方向が6.6Hz、水平方向が5.1Hzとなっている。水平方向の固有振動数が低くなった原因は、主にねじれの影響と考えられる。また、鉛直方向の固有振動数は、立体横断施設基準の回避振動数よりも4Hz程度大きな値となっている。
- ・減衰係数は、鉛直方向が1.5%、水平方向が1.2%である。鋼橋の減衰係数は1%未満であることから、FRP橋の減衰係数は比較的大きいと考えられる。

神崎海岸環境整備工事FRP歩道橋は、橋長18.060m、有効幅員2.000mの歩道橋である。以下この歩道橋架設工事の特徴を示す。

- ・2009年1月に京都府舞鶴市にある海水浴場遊歩道で、Prestek System が架設された。
- ・Prestek System の仕様では、材料強度の設計値をカタログ値の平均としている。FRP材料の強度確認試験に用いる下限値は、発注者側との協議の結果、FRP引き抜き成形材メーカーにより提供された標準偏差を考慮して算出した。材料強度の特性値をいかに定めるかが、今後の検討課題と考える。
- ・部材の接合は基本的にボルト接合を用いている。また、支承部にはゴム支承を用い、両端固定と考えて設計し

た。

- ・発注者側の要望で透明色のアクリルウレタン樹脂塗料を使用した。FRP 材料の着色は樹脂に顔料を注入して行った。

1.2 適用計画

1.2.1 渡橋への FRP 橋の適用性検討

渡橋とは水面上に浮かぶポンツーン（浮き函）と岸壁を結ぶ連絡橋のことである。一般的に栈橋と呼ばれることが多い。特に、ここで検討した渡橋は、塩害環境下にある海面で使用する橋である。

検討の背景には、自治体関係者が抱える渡橋の使用環境・維持管理の問題にある。現在最も使用されている渡橋は鋼製渡橋である。その為、多くの鋼製渡橋は、塩害による腐食劣化や波浪に伴う疲労劣化の問題に直面しており、維持管理に大きな課題を有している。事実、塩害と疲労の複合劣化により破損した渡橋も幾つか確認されている。また、台風などの荒天時に落橋し、海中へ沈下することもあり、その後の引き上げ復旧に長時間を要し、海上交通を利用する人々に支障をきたすことも課題となっている。これらを少しでも解決する手段として、耐腐食性、耐疲労性、軽量の FRP 製渡橋が期待されている。

本小委員会の技術検討 WG は、渡橋への FRP 橋の適用性検討に際して、事前に渡橋管理者（発注者）へのヒアリングを実施した。通常、渡橋の橋梁形式は、様々な観点から比較検討を実施し、最終的に橋梁形式を決定する。しかし、多くの渡橋管理者および橋梁設計者は、コンクリートや鉄のような従来の材料に比べ FRP の知見が少ないこともあって、設計時における比較検討資料中に FRP 橋をのせることができないとのことであった。そのため、この比較検討にのらない限り、渡橋に FRP を採用されることはほとんどないとのことであった。

そこで、本技術検討は、設計で用いることが可能な基礎資料として、形式比較検討表を纏めることとした。形式比較検討表は、既に国内で建設された FRP 歩道橋のデータを基に、支間長、幅員が異なるパターンで試設計を実施し、次の検討項目を明示した。ただし、実際に架けられた FRP 歩道橋のデータがあるものについては、このデータも適用した。

①橋梁形式

実際に国内で架設された FRP 歩道橋形式に限定した。現在国内で建設された FRP 歩道橋形式は、桁式、トラス式（国内生産品と海外輸入品の 2 パターン）である。

②検討支間長および幅員

各形式の適用可能な範囲、実績を考慮した上で設定。桁式は、支間長 5～19.7m、幅員 3.0m、3.5m。
トラス式は、支間長 7.5～17.9m、幅員 1.2m、2.0m。

③概要図

各パターンの側面図、標準断面図。

④FRP 歩道橋上部工の重量

総重量および 1 m²あたりの重量。

⑤FRP 歩道橋の工期

上部工組立から架設完了までにかかった工事期間。

⑥FRP 歩道橋の経済性

FRP 歩道橋の建設コストおよび想定するライフサイクルコスト。建設コストは、材料費、労務費が分かるようにした。ライフサイクルコストは、鋼製渡橋の施設耐用年数が 30 年を目標としていることから、耐用年数 30 年とした場合のメンテナンス費用（ボルト取替え費や塗装塗り替え費など）とした。

⑦構造的な

各形式の使用材料・寸法および構造的な特徴。

⑧維持管理性

想定される維持管理に必要な作業。

最後に、技術検討 WG で検討・作成した形式比較検討表は、今後渡橋管理者（発注者）からの意見も考慮した上で、別途報告することを予定している。

1.2.2 ハイブリッド FRP 橋

技術検討 WG では、この炭素繊維とガラス繊維で構成されるハイブリッド FRP 部材に近い将来歩道橋や渡橋へ適用される可能性が十分にあるということから、その適用検討に関する研究開発状況について調査を実施した。以下に検討概要を示す。

- ・ハイブリッド FRP 桁の検討は、FRP 部材を主体に、建設分野での新たな活用の検討を目的として、平成 16 年 5 月に土木学会に設置された革新的構造材料の活用検討委員会において検討された部材の一つである^{5),6)}。その後、このハイブリッド FRP 桁は国土交通省建設技術開発助成制度のテーマ（研究課題名：革新的材料を用いた社会基盤施設の再構築）として採択され、平成 18 年度～平成 20 年度に研究開発が実施された。この研究の一環として、ハイブリッド FRP 桁の適用検討が実施された⁷⁾。このハイブリッド FRP 部材は、高強度・高弾性の炭素繊維と安価なガラス繊維を組み合わせることによって、力学性かつ経済性に合理的に構成された部材であり、一連の研究で力学特性も明らかにされている^{8),9)}。
- ・本適用検討では、都市部幹線鉄道における線路上空自由通路をその適用先の一つとして考えている。都市部の線路上空自由通路の場合、鉄道運行の制約から、施工は夜間数時間しかできないため、長期施工となる。さらに長い工事期間にわたる線路内作業によって、全体工事費のうち保安費の占める割合が大きくなることもある。そのため、コンクリートや鋼などの従来材料に比べ割高である FRP 部材を使用しても、全体工事費への影響は少な

く、むしろ軽量化によって大幅な工期短縮が期待される。

- ・ハイブリッド FRP 部材を使用する効果を確認する為に試設計を行っている。試設計モデルとして、都市部内で複数線路を跨ぐ線路上空自由通路を選定した。既存の自由通路の橋梁形式は、鋼桁ラーメン橋である。一方、ハイブリッド FRP 部材の場合、長支間化と軽量化により大幅な工期短縮を図ることを目的として、ハイブリッド FRP 桁を用いた斜張橋形式を採用した。
- ・試設計結果によれば、ハイブリッド FRP 桁を採用することによって、線路内の下部工・基礎工事数量が減少し、結果土木工事にかかる工事数量が減少する。全体工期は、既存鋼桁ラーメン形式で約 13 ヶ月かかったのに対し、ハイブリッド FRP 桁斜張橋形式では 9 ヶ月半となり、約 30%弱の工期短縮が図れる。さらに工事費は、材料費増加に伴っては高くなるものの、土木工事費、保安費等が大幅に削減され、全体工事費として約 19.2%の削減効果を示す。
- ・したがって、都市部における線路上空自由通路のケースでは、ハイブリッド FRP 桁を用いる効果は高い。

1.2.3 床版橋形式 FRP 歩道橋

引き抜き成形材を用いた擬似両端固定支持 GFRP 歩道橋の検討事例^{10),11)}である。調査結果は以下の通りである。

- ・本 FRP 橋梁の特徴は、①成形コストの縮減や高い弾性係数を得ることを目的として、ハンドレイアップ成形材ではなく引き抜き成形材を使用する、②経済効率の向上や桁高の低減を目的として、既製品の GFRP 引き抜き成形 I 型材を並べて上下面にシート材を接着接合した断面構成の床版桁を主桁とし、全断面を抵抗断面とする、③コストの飛躍的な低減を目的として、たわみを大幅に低減することが可能な擬似両端固定支持条件を採用する、の 3 点である。
- ・設計上の課題は、主桁（床版桁）断面を構成する I 型材とシート材との接着界面のせん断強度を確保することである。この部分の接着面積が最小となるため発生応力も最大となる。ステンレス板やブラインドリベットなどを用いた補強等により、課題の解決に向けた検討を行っている。
- ・適用可能な支間長は、設計基準のたわみ制限値により変化する。たわみ制限値を $L/600 \sim L/300$ とした場合には、支間長は 15~20m で変化する。
- ・主桁の連結部については、狭小な閉断面部の施工となることから、片側施工が可能なブラインドリベットによる接合方法を検討している。

1.2.4 橋梁用 FRP 検査路

橋梁の検査路に FRP 製橋梁の適用が検討されている。主な検討の状況は下記の通りである¹²⁾。

- ・構造物の新設時に検査路を設置する場合には、FRP の軽量性を生かすことは困難である。しかし、構造物に検査路を後付けする場合には、FRP の軽量性を生かすことができるため、FRP は有効な構造材料になる。
- ・FRP 検査路の製作費用は鋼製検査路の約 2 倍であるが、維持管理を考慮すると、LCC で鋼製検査路より安くなる。
- ・設計荷重は、歩行部では 3.5kN/m^2 、手摺りでは水平力 0.59kN/m^2 、鉛直力 0.39kN/m^2 である。また、手摺りは、衝撃試験により安全性を確認し、損傷した場合には手摺り全てを交換するものと考えている。これまでの FRP 検査路の施工例は、日之地橋や銚子大橋検査路など約 10 例に達する。
- ・橋梁の維持管理業務では、近接目視で健全性を点検する必要があり、検査路に対する需要は今後、増えるものと考えている。
- ・アルミ製橋との競合が考えられるが、今のところ比較は特に行っていない。アルミを鋼材と併用する場合には、電食の問題が存在する。
- ・検査路にたわみ制限はないが、支間中央に集中載荷した 150kg の活荷重に対して、 $L/400$ としている。
- ・手摺りの接合方法は水平力載荷試験および衝撃試験により実験的に決定している。手摺りの歩廊との取付けはボルトにより行うが、局所応力の問題がある。 85kg 荷重を用いた衝撃試験では特に問題が生じなかった。また、手摺りの中段パイプは、支柱を貫通させてピンで固定している。

2. ガイドライン原案検討と残された課題

2.1 ガイドラインの必要性

前章では FRP 橋梁に関する情報収集結果をとりまとめた。このように FRP の橋梁への適用事例は国内においてもいくつかあるものの、その事例はごくわずかであると言えることができる。一方、FRP は鋼やコンクリートなどの従来の土木構造材料とは異なる取り扱いが必要である。そのため、FRP 橋梁の実用化にあたっては、FRP を主要構造材料とした場合の標準的な歩道橋設計手法、材料取り扱い上の留意点、製作・施工方法、維持管理方法などを定めるとともに、設計事例等の設計を実際に行う技術者の援助となる資料をとりまとめた、ガイドライン等の整備が必要である。FRP 構造物設計のためのガイドラインとしては、海外から発刊されたものはいくつかあるが^{13),14)}、十分とはいえず、これまでの FRP 採用事例においても将来の策定が切望されていた。

本小委員会では上記の観点から、FRP 橋梁を合理的に設計するためのガイドライン原案の作成を目的のひとつに掲げ、設計法 WG（主査：杉浦邦征）においてこの作業にあたった。最終的にはガイドラインの原案を作成した。ガイドラインについては、この原案を元に別途小

委員会で審議され、必要な修正を受ける予定であることから、詳細な内容については本報告では触れないが、ガイドライン原案作成の検討経過と、さらには残された課題についてとりまとめた。

2.2 ガイドライン原案の検討経過

ガイドライン原案の目次および内容の核となる FRP 歩道橋の要求性能については、本小委員会の前身である、構造工学委員会 FRP 橋梁設計技術小委員会（平成 16～18 年、山田聖志委員長）において検討された¹⁵⁾。本小委員会ではこの目次および要求性能を基に、「複合構造物の性能照査指針(案)」¹⁶⁾に整合するようにガイドライン原案の検討および執筆作業を行った。

2.3 残された課題

FRP 歩道橋の合理的な設計のためのガイドラインが策定された後も、いくつかの課題が残されるものと考えられる。これは、土木構造用の FRP の利用方法や設計方法等が検討された歴史が浅く、また、現在も研究途上の部分が多いことによる。このため、今後残された課題についてのさらなる調査・研究が必要であるが、このような課題の例としては、以下のものが例示される。設計用値を決定するための材料係数については、これまでの研究事例も多くなく、他の材料（鋼やコンクリートなど）に比較してもデータの不足が否めない。より多くのデータを収集し、信頼性の向上が必要であると考えられる。また、FRP 部材試験評価方法などについては、標準的な方法が定まっていないのが現状である。今後標準化をはじめとした検討が必要であると考えられる。さらには、本報告でも見られるように、国内においてもいくつかの FRP 歩道橋が開発されて来ているが、それらの特徴を共通の視点での比較検討はまだ十分に行われているとは言い難い。これらについても今後調査検討が行われるのが望ましい。

謝辞

最近の FRP 橋梁の適用・計画事例調査にあたりご協力を頂いた多くの方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 増淵文男「大学の実習授業における GFRP トラス橋の建設」強化プラスチック, Vol.54, No.1, pp.29-34 (2008.1).
- 2) 土木学会 平成 20 年度研究討論会「FRP がつくる新たな複合構造」配付資料. (<http://www.jsce.or.jp/committee/fukugou/zenkoku/2008.pdf> から入手可能)
- 3) 田澤仁「新素材 FRP による歩道橋の建設」土木施工 Vol.50, No.7, pp.13-17 (2009.7)

- 4) 山田聖志, 吉田安寿, 熊田哲規, E. Johansen, R. Wilson 「引抜成形 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 (2008.11).
- 5) 土木学会: 先進複合材料の社会基盤施設への適用, 複合構造レポート 01, pp.121-136 (2007).
- 6) 前田研一, 睦好宏史, 津吉毅, 鈴川研二, 松井孝洋「ハイブリッド FRP 桁のペデストリアンデッキへの適用検討」日本鋼構造協会, 鋼構造年次論文報告集, Vol.15, pp.211-218 (2007).
- 7) 中村一史, 前田研一, 睦好宏史, 吉田一, 松井孝洋「ハイブリッド FRP 桁斜張橋の試設計と線路上空自由通路への適用可能性」日本鋼構造協会, 鋼構造年次論文報告集, Vol.16, pp.167-174 (2008.11).
- 8) 浅本晋吾, 睦好宏史, 鈴川研二「ハイブリッド I 型 FRP 構造部材の曲げ性状に関する実験的, 解析的検討」第 7 回複合構造の活用に関するシンポジウム, 土木学会, CD-ROM, 6pages (2007).
- 9) 中村一史, 前田研一, 睦好宏史, 鈴川研二「ハイブリッド FRP 桁のせん断変形特性とウェブ・クリッピングに関する実験的検討」第 7 回複合構造の活用に関するシンポジウム, 土木学会, CD-ROM, 6pages (2007).
- 10) 前田研一, 中村一史, 林耕四郎, 梶川康男「GFRP 引き抜き成形材を用いた歩道橋の開発と使用性」構造工学論文集 Vol.50A, 土木学会, pp.375-382 (2004).
- 11) 崔 賢, 前田研一, 中村一史, 北山鴨彦, 渡辺哲也「引き抜き成形材を用いた擬似両端固定支持 GFRP 歩道橋の開発」土木学会・第 7 回複合構造の活用に関するシンポジウム講演集, CD-ROM, 8pages (2007).
- 12) 大谷康史, 萩原勝也, 光畑英樹「FRP 製管路の載荷試験報告」第 63 回年次学術講演会概要集, VI-093 (2008.9). など.
- 13) J. L. Clarke (Ed.), "Structural Design of Polymer Composites", EUROCOMP Design Code and Handbook, E & FN SPON, (1996).
- 14) AASHTO: Guide Specification for Design of FRP Pedestrian Bridges (2008).
- 15) 土木学会 構造工学技術シリーズ No.53 「FRP 橋梁設計技術小委員会報告書」(2006.10), (http://www.jsce.or.jp/committee/struct/comm_report/report.html から入手可能)
- 16) 土木学会 構造工学シリーズ 11, 「複合構造物の性能照査指針(案)」(2002.10).