

土木構造物へのFRP材料の適用事例

久保 圭吾

正会員 宮地エンジニアリング株式会社（〒290-8580 千葉県市原市八幡海岸通3番地）

E-mail:kubo.keigo@miyaji-eng.co.jp

FRPは軽量で耐食性に優れることから、鋼材やコンクリートに代わる新材料として着目されているものの、材料費が鋼材やコンクリートと比べて高価であり、建設費が高くなることから、FRP構造材料の普及には至っていない。近年、コスト削減の観点から、メンテナンスコストも含めたライフサイクルコストの考えが取り入れられ、耐食性に優れるFRP材が適用しやすい社会環境となっており、歩道橋や床版のみならず、点検通路や水門などへの適用例が増加している。ここでは、土木構造物としてのFRPの適用例を示すとともに、適用上の課題について述べる。

Key Words : FRP, Application Example, Civil Engineering Structure

1. はじめに

FRPは軽量で耐食性に優れることから、鋼材やコンクリートに代わる新材料として着目されており、船舶や住宅用品にはごく普通に用いられている。また、海外においては、冷戦構造の終焉にともなう軍需産業の民需への市場転換が、FRPの土木構造物への適用を加速させ、米国では1990年代初めにFRP橋梁が、1990年代後半にはFRP床版が実橋に適用¹⁾されている。

国内におけるFRPの土木用構造物材料としての研究開発は、1990年頃から土木研究所や民間企業による適用性の検討が行われ、1998年にFRP合成床版が高知自動車道松久保橋²⁾で、2000年には総FRP橋が沖縄の伊計平良川線ロードパーク連絡歩道橋³⁾で建設された。しかしながら、FRPの材料費が、鋼材やコンクリートと比べて高価であることから、初期建設費が高くなるとともに、設計手法が確立されていないことから、数件の事例はあるものの一般化には至っていない。近年、コスト削減の観点から、メンテナンスコストも含めたライフサイクルコストの考えが取り入れられ、耐食性に優れるFRP材が適用しやす

い社会環境となっており、FRP歩道橋やFRP水門の設計・施工指針⁴⁾の整備と相まって適用例が増加しつつある。ここでは、国内における土木構造物としてのFRPの適用例を示すとともに、適用上の課題について述べる。

2. 歩道橋への適用事例

FRP歩道橋は、軽量で耐食性に優れるため、下部工費用や維持管理費用の削減が図られ、LCCの観点からは、従来材料を用いた歩道橋よりも有利な場合があると考えられている。表-1に国内におけるFRP橋梁の施工事例を示すが、この他にGRP橋としての施工事例もある。

(1) 伊計平良川線ロードパーク連絡歩道橋³⁾

伊計平良川線は、海中道路と呼ばれるように周囲を海で囲まれ、腐食環境の厳しい地域に位置している。この中に、道路両側の施設を結ぶ連絡歩道橋が計画され、耐食性に優れるFRP製横断歩道橋が採用された。

この歩道橋の構造概要を図-1に、現況を図-2に示す。

表-1 国内におけるFRP橋梁の施工事例

No.	橋梁名	橋梁形式	支間長(m)	竣工年
1	伊計平良川線ロードパーク連絡歩道橋	プレートガーダー橋	19.677+17.223	2000年
2	ものづくり大学第2連絡橋	ポニーワーレントラス橋	4.8+11.7+4.8	2006年
3	羽咋巖門自転車道13号橋	プレートガーダー橋	10.6	2008年
4	宇津江四十八滝公園橋	ポニーワーレントラス橋	7.5	2008年
5	はまなす橋	ポニートラス橋	17.76	2009年
6	玄若橋	ポニーワーレントラス橋	18.5	2013年
7	小原橋緊急仮橋	ポニートラス橋	24.0	2014年

主桁のFRP材は、大断面が必要となることから、ハンドレイアップ成形法で成形されており、成形上 I 断面や箱断面とするのが困難となることから「断面が採用されている。対傾構、床版の材料は、コスト的な観点から引抜成形材の既製品断面が用いられている。

(2) ものづくり大学第2連絡橋^⑤

ものづくり大学のFRP橋は、図-3に架設時の状況を示すように、大学構内に学生の教育訓練として施工されたFRPトラス橋である。

構造形式は、安価で入手可能な既製断面引抜成形材の角パイプを利用した中路式3径間ポニートラス橋である。

ポニートラスを採用したことでトラス高が低くなり全体の曲げ剛性が低下し、さらにGFRP材の弾性係数が鋼材と比べ小さいことから、部材応力よりもたわみが問題となった。そのため、支点到V字型台座を使用することで、トラス桁の支持点を増し、たわみの低減が図られている。図-4に構造概要を示す。なお、表-1に示す、宇津江四十八滝公園園橋は、本橋を基に設計されたものである。

(3) 羽咋巖門自転車道13号橋^⑥

本橋は、石川県羽咋市近郊の日本海海岸至近に架橋された歩道橋であり、旧橋は13年間供用された集成木材を用いた木橋であった。この旧橋が、腐食や割れ等の劣化



図-3 ものづくり大学第2連絡橋の架設状況

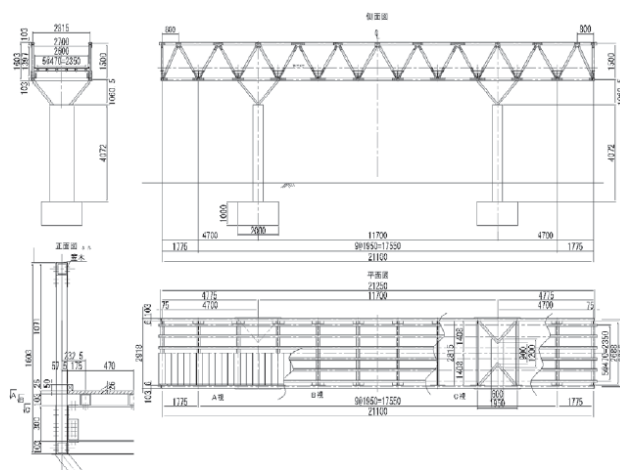


図-4 ものづくり大学第2連絡橋の構造概要^④

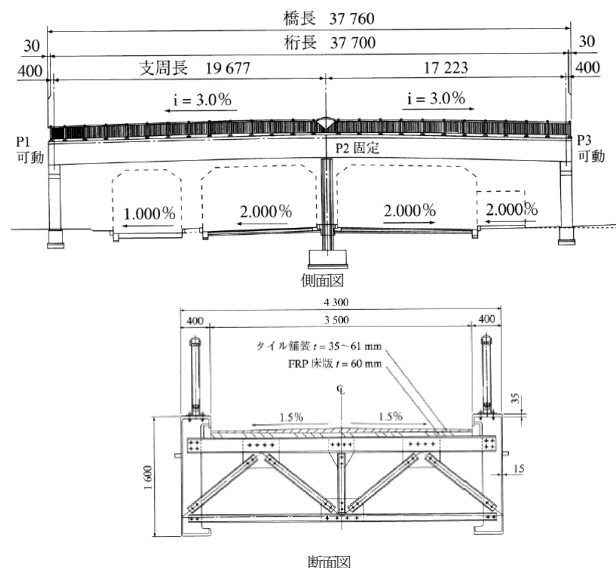


図-1 伊勢平良川線ロードパーク連絡歩道橋の構造概要^④



図-2 伊勢平良川線ロードパーク連絡歩道橋の現況

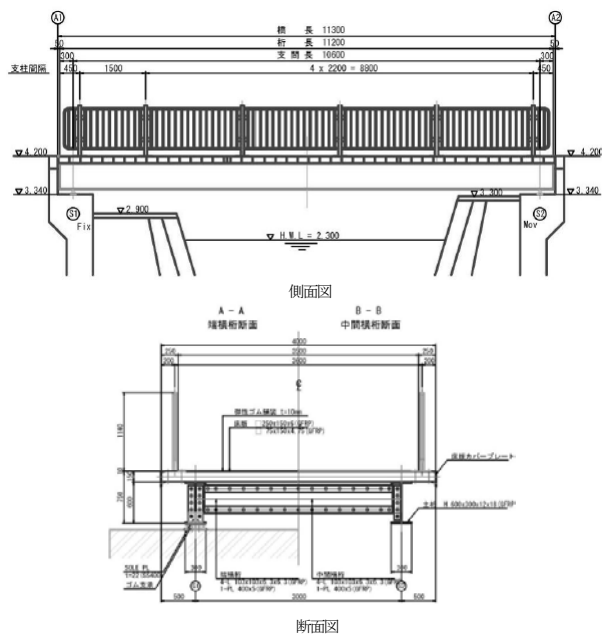


図-5 羽咋巖門自転車道13号橋の構造概要^④



図-6 羽咋巖門自転車道13号橋の供用状況

が生じたことから、耐食性の高いFRPを主材料とする橋梁に架替えられた。構造形式は、図-5の構造概要に示すように2主桁I桁橋であり、主桁には断面寸法が300×600×12×18のI形のGFRP引抜成形材が用いられている。なお、設計時のたわみの照査にあたっては、現実的な作用荷重（自転車の群集荷重）が想定され、1.0kN/m²が採用されている。図-6に供用状況を示す。

(4) はまなす橋⁴⁾

既設のはまなす橋は、日本海に面する海岸遊歩道の小規模河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り、トラス上弦材の腐食が著しく通行止めとなっていた。そのため、既設橋台の利用が可能で、環境作用への抵抗性が高い材料であるGFRPを用いたFRP歩道橋による架替えが行われた。このFRP歩道橋は、米国で1987年に開発され、米国内では既に900橋以上の実績⁷⁾を有しているラチス型ポニートラス構造のFRP歩道橋であり、GFRP引抜成形材を用い、各部材はボルトにより支圧接合されている。本橋の構造概要を図-7に、供用状況を図-8に示す。なお、表-1に示す、小原橋緊急仮橋⁸⁾も同様の構造が採用されている。

(5) 玄若橋⁹⁾

本橋は、通学路となっている既設橋の幅員が狭く、自動車と歩行者を分離することで安全確保を目的として架けられたものである。軽量であることから軟弱地盤である施工箇所の下部構造が簡略化できること、および小規

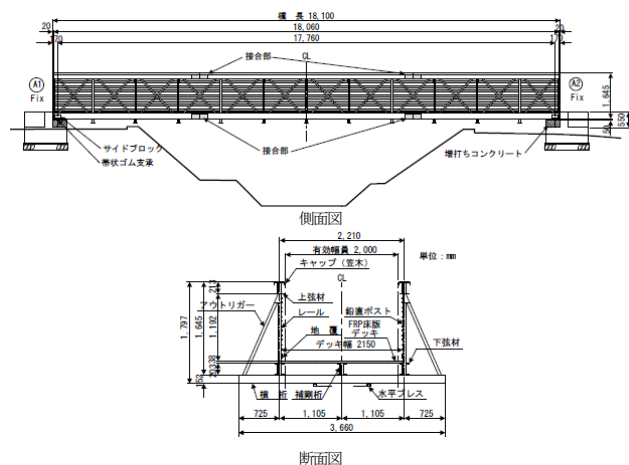


図-7 はまなす橋の構造概要⁴⁾



図-8 はまなす橋の供用状況

模なクレーンで一括架設が可能であり、交通規制の期間を最小限とできることから、FRP橋が採用された。

構造は、図-9に示すように、桁下空間の制約からポニーワーレントラス形式が採用され、主部材としてはGFRPハンドレイアップ成形の溝形材を用いている。本橋の供用状況を図-10に示す。なお、本橋は、FRP歩道橋設計・施工指針(案)に基づき設計されている。

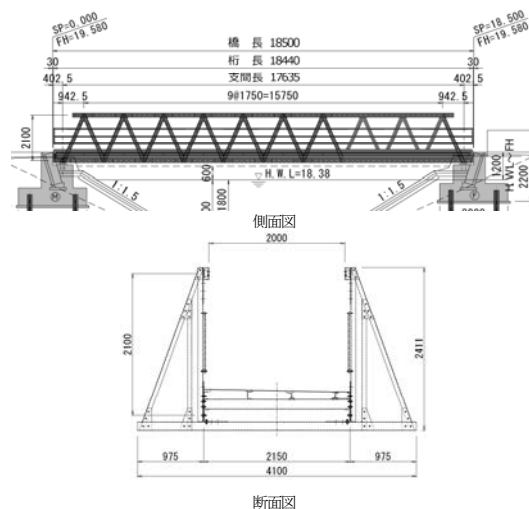


図-9 玄若橋の構造概要⁴⁾



図-10 玄若橋の供用状況

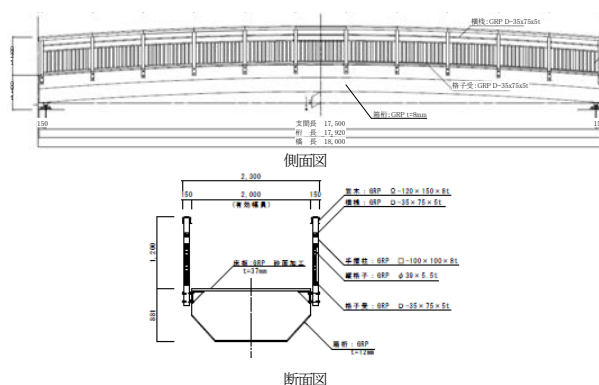


図-11 岩屋公園平安橋の構造概要



図-12 岩屋公園平安橋の供用状況

(6) GRP橋¹⁰⁾

GRP橋は、2006年に吊り橋の支持桁として適用されて以降、九州、沖縄地方を中心に現在までに27橋の施工例がある。採用理由としては、耐食性に優れることから維持管理が容易となることに加えて、軽量なため小型のクレーンでの一括架設により現場工期の短縮を図る場合や、人力施工でしか架設できない場所で採用されている。構造は、GFRP引抜成形材を用いた桁橋、トラス橋が多いが、図-11に構造概要を示すバキュームインフュージョン法により成形したGFRP箱桁橋も4橋の施工例がある。

図-12に岩屋公園平安橋の供用状況を示す。

3. 橋梁検査路への適用事例

近年、社会資本の老朽化が大きな社会問題となっており、2012（H24）年の道路橋示方書の改定では、維持管理の容易さに加えて、維持管理の確実性についても考慮すべきことが規定された。このため、維持管理設備等については、橋の設計段階から適切に配置できるものの、既存の橋梁では維持管理設備が不足していた場合、近接できない箇所の点検が困難となることが課題となっている。また、海岸部や融雪材などを散布する地域では鋼製の検査路自体の腐食劣化も進行しており、腐食した検査路の床を踏み抜いて落下する事故も起きていることから、耐食性の高い点検設備が望まれている。

FRP製検査路は、軽量で耐食性に優れたFRP材を主構造とすることで、海岸部や融雪材を散布するような腐食環境の厳しい場所での適用に対し維持管理上有利となる。また、既設橋梁に後から検査路を設置する場合は、重量が軽いことから既設構造への荷重増加の影響を最小限に抑えることができる上、橋梁下面への設置に際しクレーン等の重機を必要とせず、人力による施工が可能となることから施工性面でも有利となる。

FRP検査路の設計基準としては、東・中・西日本高速道路株式会社で、2015年に策定¹¹⁾されており、これによる規格値および仕様を表-2に示す。

表-2 FRP製検査路の規格値および仕様

項 目	規格値および仕様
設計活荷重	3.5 kN/m ²
手摺鉛直荷重	0.59 kN/m
手摺水平荷重	0.39 kN/m
有効幅員	600 mm
手摺高さ	1100 mm
支柱間隔	1900 mm 以内
たわみの制限値	L/100
振動の制限値	有害な振動数(1.5～2.2Hz)の範囲外
耐候性対策	フッ素樹脂塗装(膜厚25 μm)
床面	すべり止め対策

(1) 桁形式FRP検査路¹²⁾

桁形式FRP検査路は、図-13に示すように鋼製検査路と同様の形状をしており、歩廊で活荷重を支持する構造となっている。FRP検査路に使用する材料は、FRP引抜成形材を用いており、歩廊は、当初、平板とチャンネル材をを組合せた構造であったが、近年は構造の簡略化を図るため、図-14に示す一体断面のFRP引抜成形材が用いられている。手摺の構造は、角パイプの柱にチャンネル材を笠木として被せることで、柱による笠木の分断がなく歩行時の使用性向上が図られ、丸パイプの中段手摺を、柱の角パイプに貫通させることで交差部の角変形を抑制し、面内の剛性を高めている。

歩廊と手摺は分離して製作され、現場で歩廊と手摺をステンレス製ボルトで組立てを行う構造であり、特に腐食環境の厳しい箇所においては、FRPボルトを適用する事例もある。

このタイプのFRP検査路は、1999年に松山自動車道日之地橋で適用されてから、現在までに約100橋の施工事例がある。日之地橋のFRP検査路は、図-15に示すように18年後に調査が実施され、若干汚れが見られるものの、変状は見られないことが確認されている。

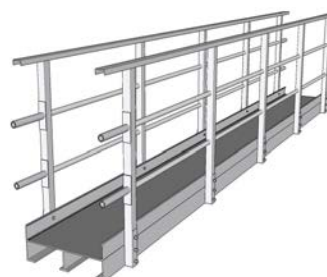


図-13 FRP検査路（桁形式）の概念図

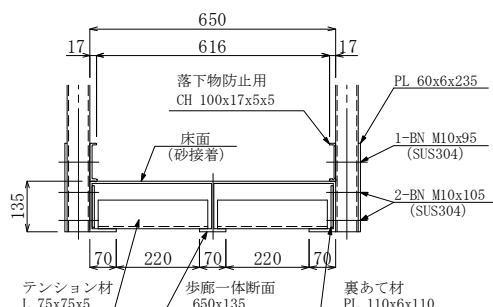


図-14 歩廊部の形状



建設時(1999年)



18年経過時(2017年)

図-15 日之地橋での状況

検査路の耐荷性状に関しては、活荷重および手摺への水平力・鉛直力について確認されており、活荷重載荷試験時の状況を、図-16に示す。また、破壊性状に関しては、支間6mの試験体により、破壊形態は載荷板付近の板材とチャンネル材の剥離であり、側面のチャンネル材にも亀裂が生じるが、破壊した後も設計荷重以上の荷重を保持できることから、安全性を損なうような破壊形態とならないことが確認されている。このときの破壊状況を図-17に示す。

(2) トラス桁形式FRP検査路^{13), 14)}

桁形式のFRP検査路では、GFRP材の弾性係数が小さいことから、たわみで断面が決まる傾向があり、構造の合理化を図ることを目的に、図-18に示すポニートラス形式の検査路が開発された。また、歩廊部は、図-19に示すように、軽量の発泡ウレタンのコア材を用いたサンドイッチパネル床版を採用することで軽量化を図られている。図-20に実橋での適用状況を示す。

トラスの格点部の接合は、リベット接合であるが、現場での施工性を考慮し、ボルト接合も併用されている。

検査路の耐荷性状に関しては、活荷重および手摺への水平力・鉛直力について確認されており、活荷重載荷試験時の状況を図-21に示す。

破壊性状に関しては、図-22に示す支間6mの試験体による載荷試験で、上弦材のせん断破壊が先行することが確認されている。また、支間6mの場合の破壊荷重は、設計荷重の約6倍であり、実用上問題ないことが確認されている。



図-16 活荷重載荷試験の状況



図-17 破壊時の状況



図-18 FRP検査路（桁形式）の概念図

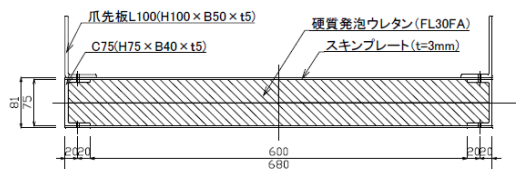


図-19 歩廊部の形状



図-20 実橋での適用状況



図-21 活荷重載荷試験の状況

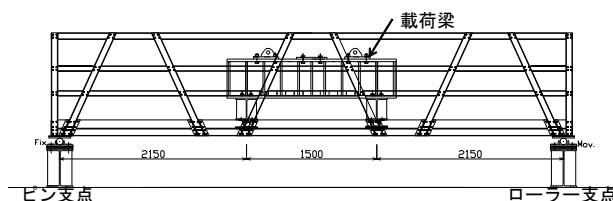


図-22 活荷重載荷試験の状況

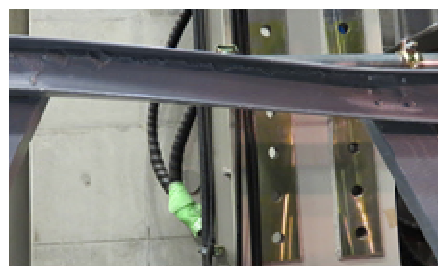


図-23 破壊時の状況

4. 床版への適用事例

近年、日本の道路橋床版においては、交通荷重の増大や交通量の増加による、床版の疲労劣化や環境作用による鉄筋コンクリートの材料劣化が問題化しており、耐久性、耐食性の高い床版が求められている。このような背景のもと、軽量、高強度で耐食性に優れるFRP材を用いた様々な床版構造が研究開発されている。

また、道路橋では、交通事故対策のために歩道の分離や拡幅の必要性が生じており、既設構造物への負荷が少ない軽量の床版構造として、拡幅用のFRP歩道床版の適用事例も増加しつつある。

(1) FRP合成床版¹⁵⁾

FRP合成床版は、軽量で耐食性に優れたFRP材を支保工兼用の永久型枠として使用するもので、コンクリート硬化後の荷重に対しては鉄筋コンクリートとFRPの合成断面として抵抗する合成床版である。本床版の基本構造を図-24に示す。

FRP型枠は、コンクリート打設時の支保工を省略できる剛性を確保するため、床版支間方向にリブを配置した断面としており、このリブと下側配力筋が交差するため、交差部に貫通孔を設け、そこに下側配力筋を配筋する構造としている。また、FRP底板のコンクリート接触面に、珪砂（3号）を接着することにより、FRPとコンクリートの付着を確保している。なお、本床版を適用した場合の特長は以下が考えられる。

- ・FRPがRC部分のひび割れ進展を抑制し輪荷重に対する疲労耐久性が向上する。
- ・架設時のパネル重量が軽いため大型の重機が不要で施工が容易となる。
- ・FRPは耐水性、耐食性に優れた材料であり維持管理が容易である。
- ・FRPパネルが工場製作となるため、支保工や型枠の現場作業が省略できるだけでなく、品質管理や現場の施工管理も容易で現場工期の短縮が可能である。
- ・着色が自由で環境との調和が図れる。

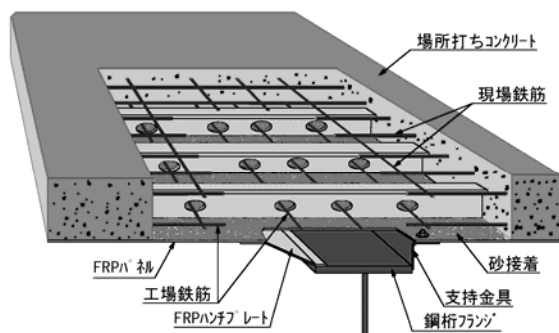


図-24 FRP合成床版の基本構造図

FRP合成床版は、1998年に高知自動車道松久保橋で適用されて以降、腐食環境の厳しい場所や施工時の制約が厳しい場所での適用を中心に約20橋の適用実績がある。

ここでは、FRP合成床版の高耐食性、軽量性を生かした適用事例を示す。

a) 栈橋構造への適用事例¹⁶⁾

栈橋構造は、港湾構造物に多く用いられる、杭上に格子状に配置された梁の上に、床版が配置される構造であり、一般的にRC構造が用いられているが、海上に設置されることから厳しい塩害環境下におかれ、コンクリートの劣化に対する維持管理が課題となっている。

本橋の上部工は、海面から近く、施工の際に型枠・支保工を設置する空間が確保できないことから、プレファブ形式の床版を適用する必要がある。また、干満により部分的に梁が海水中に没するため、床版にも波しぶきがかかることが予想され、塩害に対する対策が必要となることからFRP合成床版が適用された。

また、梁が縦断勾配の低い所で満潮時に梁下面が海水につかることから、海水に対する耐食性は勿論のこと、型枠・支保工の海水中での施工性が課題となったため、支保工を梁内に埋め込んだFRP埋設型枠適用されている。

さらに、壁高欄が高潮時の防潮堤も兼用しており、路面からの高さが約2.3mと非常に高い上、海面上での施工であることから、施工時における壁高欄外側の型枠・足場の施工が省略できるFRP埋設型枠が採用されている。

このときの構造概念図を図-25に、完成時の状況を図-26に示す。

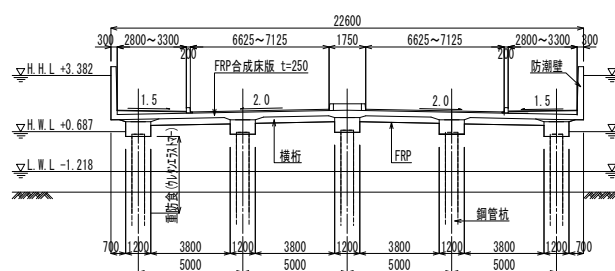


図-25 構造概念図



図-26 完成時の状況(満潮時)

b) 床版取替への適用事例

FRP合成床版は、疲労耐久性の観点から床版厚をRC床版より薄くできる上、強度部材となるFRPが軽量であることから、床版としての単位体積単重が小さくなり、死荷重を軽減することが可能となる。したがって、床版の死荷重軽減が要求される床版打替えへの適用は良策と言える。ここでは、関門トンネルの床版打替えにFRP合成床版を適用した事例¹⁷⁾を示す。

関門トンネルは、昭和33年3月に完成した海底トンネルであり、本州と九州を結ぶ大動脈として、平均交通量約34,000台/日、大型車混入率約24%と非常に重交通な路線である。このトンネルは、約3.5kmの自動車トンネルであるが、海底部（780m）には歩道を併設している。このため、海底部では、図-27の断面図に示すように、上側に車道、下側に歩道と送気ダクトを有する2層構造となっており、トンネル内に床版を有している。

この床版は、直接輪荷重の影響を受ける上、海水がトンネル内に絶えずしみ出し（4800t/日）しており、送気ダクトでは、この海水の塩分を含んだ空気が床版下面を流れることから、床版下面にコンクリートの剥落や鉄筋の腐食などの損傷が多く発生していた。なお、海底部の床

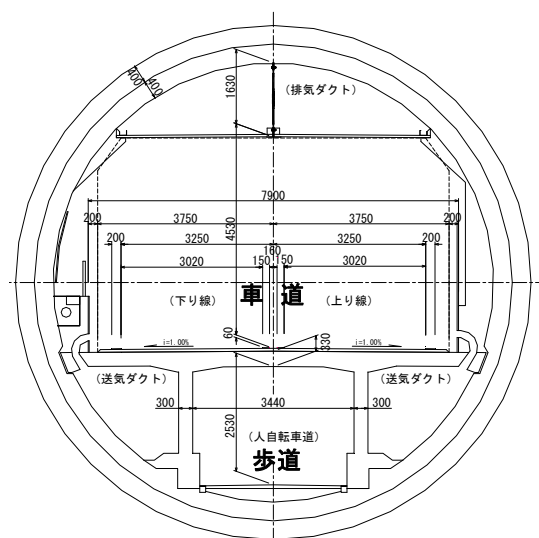


図-27 関門トンネルの断面

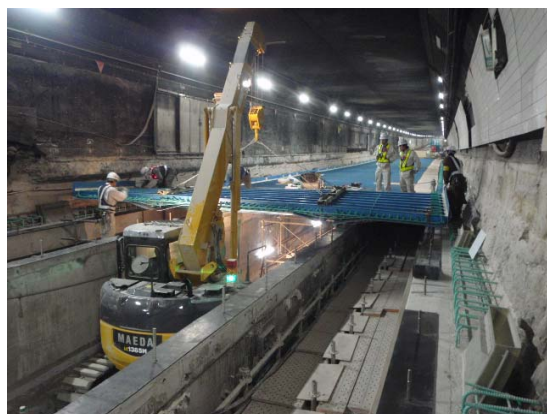


図-28 施工状況

版は、約20年前にRC床版で打換えが行われており、今回の打換えは2度目であることから、交通荷重に対する耐久性と耐塩害性に優れた床版構造が求められ、これらに対応できる床版として、FRP合成床版が採用されている。FRP合成床版の施工状況を図-28に示す。

c) 人力施工による事例¹⁸⁾

菅公橋は、国道2号のJR塩屋駅東側の海岸線に位置しており、JR神戸線と交差する跨線橋である。本橋は、昭和6年に竣工し、供用後約80年経過しており、昭和53年にRC床版がI形鋼格子床版に取り替えられている。

本工事は、現況2車線を3車線化する事業の一環で橋梁部の拡幅を行うものであり、床版部の拡幅は既設部と同様にI型鋼格子床版で計画されていた。しかし、菅公橋は、JR・山陽電車に挟まれた狭隘なスペースでの施工であり、図-29に示すようにI形鋼格子床版のパネルを設置するためのクレーンが設置できないことから、施工方法の見直しが必要となった。また、本橋は、海から近く飛来塩分の影響により既設のI形鋼格子床版の底鋼板が腐食しており、維持管理の面でも課題となった。このため、架設時の床版パネルが軽量で人力施工が可能となり、耐食性にも優れたFRP合成床版が採用された。FRP合成床版を人力施工した施工状況を図-30に示す。

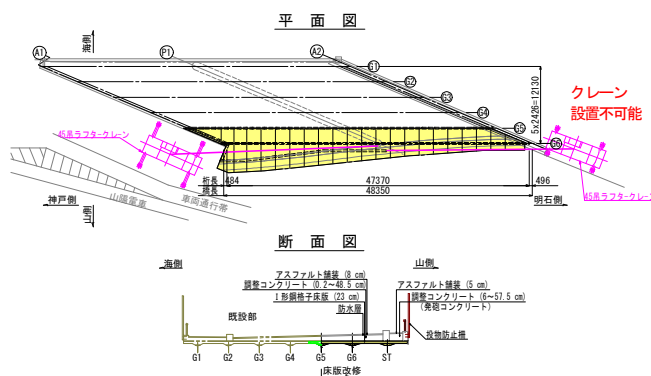


図-29 床版拡幅の範囲とI形鋼格子床版の架設計画



図-30 施工状況（FRPパネルの人力施工）

(2) FRP歩道床版

橋梁で歩道を拡幅する場合、別途側道橋を設置すると大がかりとなることから、鋼製の歩道を既設橋梁に添架する構造が多く用いられている。この場合、拡幅部の重量の増加による既設桁や下部工の補強等が必要となり、既設構造物への負荷が少ない軽量の床版構造が求められている。また、路面の滞水のみならず、海岸部や凍結防止剤を散布する積雪寒冷地では塩分による鋼材の腐食が促進されるため、耐食性に優れた材料の選定も必要となる。このため、軽量、高強度で、耐食性に優れたFRP製の床版を用いた歩道拡幅工法が開発された。この歩道拡幅構造としては、図-31に示すように、既設橋梁への取付け構造の違いから、床版上載タイプとブラケット支持

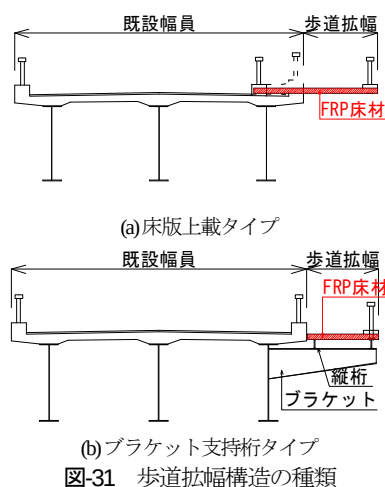


図-32 新木津川橋でのFRPパネル設置状況



図-33 完成時のFRP歩道床版の下面状況

桁タイプに大別でき、それぞれ実橋への適用性について検討¹⁹⁾²⁰⁾が行われている。

FRP歩道床版のブラケット支持桁タイプが採用された京奈和自動車道新木津川橋のFRPパネル設置状況を図-32に、完成時の下面状況を図-33に示す。

5. 水門への適用事例⁵⁾

FRP水門扉は、従来の鋼製水門扉と比較して耐食性に優れることから、特に塩害を受ける場所、および下水道施設や工場排水設備などの水質環境の厳しい場所での適用に際しては、ライフサイクルコストが有利となる場合がある。また、軽量であるため施工時の可搬性や運用時の可動性が向上するなどの利点もある。

FRP水門扉は、スライドゲート（図-34）、ローラーゲート（図-35）などの中小規模での採用が多い。図-36に、35年以上経過したFRP水門扉の状況を示すが、汚れはあるものの、ほとんど劣化が生じておらず健全な状態を保持していることがわかる。

FRP水門扉の設計・施工は、FRP水門設計・施工指針（案）に準じて行われている。



図-34 スライドゲートへの適用事例



図-34 ローラーゲートへの適用事例



図-36 35年以上経過したローラーゲートの状況

6. 適用上の課題

FRPは、軽量で耐食性が高いことから、土木構造物への適用の利点は多いが、実構造物に適用する場合、設計、製作、維持管理を行う上での課題も多く残っている。以下に、主な課題を示す。

(1) FRP材料の規格

FRPは強化繊維と樹脂の複合材料であり、強度の大部分を繊維が負担することから、配置する繊維の種類、方向、量により物性が変わってくる。このため、繊維の組合せにより、ある程度自由に材料特性を変えることができることから、合理的な材料設計が可能となる。しかしながら、自由な材料設計ができるがゆえに、材料特性に関する規格がほとんどなく、材料強度の特性値を明確に定められないことが課題となっている。

(2) 設計手法

FRPは、成形方法によって繊維構成の制約を受けるが、引抜成形材の場合、成形上、引抜方向と引抜直角方向で繊維の量が大きく異なることから、異方性を有する材料となる。このため、引抜成形材を曲げ部材として設計した場合においても、設計荷重レベルでは問題ないが、終局状態では曲げ破壊せず、せん断破壊する場合もあることから、終局状態の確認を実物大実験により確認することを検討する必要がある。

(3) 継手

FRP構造物の接合構造としては、ボルトやリベットによる機械接合、接着剤による接着接合、機械接合と接着接合を併用した併用接合があるが、いずれの接合方法も、母材の全強を応力伝達することは困難である。また、それぞれの接合方法に関して、強度評価手法²⁾などが示されているものの、実構造物への適用にあたっては、母材の材料特性のばらつきや施工誤差に対する取扱いが明確でなく、そのまま適用できないことが課題となっている。

(4) 維持管理

FRPは、材料コストが高価なことから、維持管理費を含むLCCで比較することで有利となる。しかしながら、FRPは耐食性が高い材料であるものの、全く劣化をしないことはないため、耐用年数や維持管理費用の算出方法が課題となっている。FRPの実構造物での供用年数としての歴史は浅く、促進試験と実構造物との相関も明確でないことから、これらのデータを収集することが重要と考えられる。

謝辞：FRP材料の適用事例に関して、首都大学東京 中村一史准教授および、株式会社ヒビ、株式会社コムテック、日本エフ・アール・ピー株式会社の関係各位に資料提供いただきました。ここに、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：FRP 橋梁－技術とその展望－，構造工学シリーズ 14，pp.5-10，2004.
- 2) 望月秀次，花田克彦，石崎茂，久保圭吾，松井繁之：FRP 合成床版の実橋への適用例と疲労耐久性評価，第 1 回 FRP 橋梁に関するシンポジウム，pp.65-72，土木学会，2001.
- 3) 北山暢彦，佐伯彰一，山城和男：沖縄ロードパーク 歩道橋の設計，第 1 回 FRP 橋梁に関するシンポジウム，pp.103-106，土木学会，2001.
- 4) 土木学会：FRP 歩道橋設計・施工指針(案)，複合構造シリーズ 04，2011.
- 5) 土木学会：FRP 水門設計・施工指針(案)，複合構造シリーズ 06，2014.
- 6) 複合構造委員会 FRP 複合橋梁小委員会：FRP 複合橋梁小委員会 小委員会報告，第 3 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，pp.1-9，土木学会，2009.
- 7) E.T.Techtonics, Inc.：ホームページより，<https://www.ettechtonics.com/about-us/>
- 8) 坂田建設株式会社：ホームページより，<http://www.sakata-kensetu.co.jp/contents/?p=427>
- 9) 高橋秀夫，渡辺忠朋，中村一史，松本幸大，西崎到，日比英輝：FRP 下路トラス橋梁の設計施工，第 10 回 複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，pp.41-1-8，土木学会，2013.
- 10) GRP BRIDGE カタログ，株式会社コムテック
- 11) 東日本高速道路(株)，中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)：設計要領第二集 橋梁建設編，2015.7
- 12) 久保圭吾，清水達也：FRP 材を用いた検査路の耐荷性状と適用事例，平成 26 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，新技術・新工法部門 No.04，pp.1-6，2014.
- 13) 小泉公佑，中村一史，若林 大，古谷嘉康，中井裕司，西田雅之：トラス桁形式 GFRP 製橋梁用検査路の開発，第 5 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，pp.53-61，2014.11
- 14) 小泉公佑，石井佑弥，中村一史，古谷嘉康，中井裕司，西田雅之：トラス桁形式 GFRP 製橋梁用検査路の安全性・使用性と 10m 級スパンへの適用に関する検討，第 6 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，pp.105-114，2016.
- 15) 久保圭吾：FRP 合成床版，コンクリート工学，Vol.51，No.1，pp.108-114，2014.
- 16) 久保圭吾，西田正人，河西龍彦，筒井秀樹，松井繁之：栈橋構造に適用した FRP 合成床版の設計と施工，第五回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp.315-320，土木学会，2006.
- 17) 久保圭吾，儀保陽子，木村光宏：関門トンネルにおける FRP 合成床版による床版打替え，宮地技報，No.26，pp.34-42，2012.

- 18) 久保圭吾：FRP 合成床版を用いた人力施工による床版拡幅について，平成 27 年度近畿地方整備局研究発表会 論文集，新技術・新工法部門 No.09，pp.1-5，2015.
- 19) 角間恒，岡田慎哉，久保圭吾，松井繁之：FRP を用いた道路橋歩道拡幅構造の耐荷性能に関する研究，土木学会構造工学論文集，Vol.60A，pp.1150-1158，2014.
- 20) 田村修一，久保圭吾，角間恒，岡田慎哉，松井繁之：FRP を用いた歩道床版拡幅工法の耐荷性能に関する実験的研究，土木学会構造工学論文集，Vol.61A，pp.1073-1084，2015.
- 21) 土木学会：FRP 部材の接合および鋼と FRP の接着接合に関する先端技術，複合構造レポート 09，2013.

APPLICATION EXAMPLE OF THE FRP MATERIALS TO CIVIL ENGINEERING STRUCTURE

Keigo KUBO

FRP attracts attention as new materials replacing steel and concrete. However, FRP structure is not generalized because construction costs rise because a material cost is more expensive than steel and concrete. In late years, for reasons of the cost reduction, the life cycle cost including the maintenance cost is adopted. Therefore it becomes easy to use the FRP having corrosion resistance. As well as a pedestrian bridge and a deck, it increases that FRP is used for inspection platform and a water gate. In this paper, the example of civil engineering structure using FRP is shown, and the problem to apply FRP is shown.