

FRP材を用いた検査路の耐荷性状と適用実例

久保 圭吾¹・清水 達也²

¹宮地エンジニアリング（株）技術部技術グループ（〒103-0006東京都中央区日本橋富沢町9-19）

²宮地エンジニアリング（株） 橋梁営業部 橋梁第2グループ（〒550-0004 大阪府大阪市西区靱本町一丁目8-2）

近年、社会資本の老朽化が大きな社会問題となっており、維持管理の重要性が認識されている。しかしながら、既存の橋梁では維持管理設備が不足や、鋼製検査路の腐食劣化などの課題が顕在化してきており、軽量で耐食性の高い点検設備が望まれている。このような状況の下、軽量、高強度で耐食性に優れるFRP材を用いた検査路を開発した。ここでは、FRP検査路を実橋に適用するにあたり実施した各種の耐荷力試験結果を示すとともに、既設橋梁に後から設置した実例、および腐食した検査路を取替えた事例をもとに施工性について報告する。

キーワード FRP, 維持管理, 検査路, 耐荷力

1. はじめに

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。

これらの問題に対する解決策の一つとして、軽量、高強度で耐食性に優れるFRP材を用いた検査路を開発した。

このFRP検査路は、概念図を図-1に、構造図を図-2に示すように、軽量で耐食性に優れたFRP材を組合せた構造としている。このため、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。

ここでは、FRP検査路を実橋に適用するにあたり実施した各種の耐荷力試験結果¹⁾を示すとともに、現在約50件の実績がある中で、既設橋梁に後から設置した実例として、福井県三国町の鋼橋に設置した上部工検査路、腐食した検査路を取り替えた福井県あわら市の下部工検査路及びブラケットに関して施工状況¹⁾について報告する。

2. FRP検査路の構造概要

FRP検査路に使用する材料は、FRP材の中でも高強度・高弾性率の材料を製造可能なFRP引抜成形材を用いている。手摺の構造は、角パイプを用いた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も向上を図っている。また、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。



図-1 FRP検査路の概念図

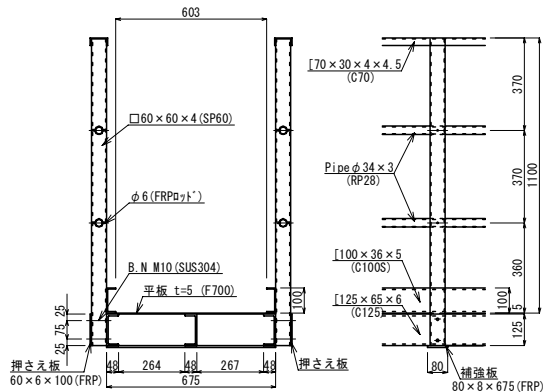


図-2 FRP検査路の構造（支間 $L \geq 6.0\text{m}$ の場合）

歩廊の構造は、平板を歩行面とし、この下にチャンネル材を接着剤により一体化させた断面で活荷重に抵抗するものとしている。なお、歩廊断面は、チャンネルのサイズにより、検査路の支間長が6mまでのタイプと10mまでのタイプの2種類としている。

3. FRP検査路の耐荷性状

検査路の荷重は、活荷重および手摺への水平力・鉛直力が設計荷重として規定されている。FRP構造物に関しては、FRPが異方性材料であることから想定した計算結果と異なる損傷が生じる可能性があり耐荷性状が明確ではない。このため、実用化にあたっては、各荷重に対する載荷試験を実施し、耐荷性状の確認を行うものとした。

(1) 活荷重載荷

試験に用いる供試体は、検査路の6mタイプ（[125]）で実施した。載荷は、20kg に調整した砂袋を載せる方法で実施し、活荷重（ 3.5kN/m^2 ）相当の荷重を載荷した。なお、載荷に際しては、方側に偏載した場合の挙動も調べるため、歩廊の半分に載荷する荷重状態も再現した。

供試体の概要を図-3に、試験状況を図-4に示す。図-5に示す支間中央でのたわみは概ね線形的な挙動をしており、設計荷重に対する耐荷力は問題ないことが確認できた。このときのたわみ値が、歩廊のみの剛性で計算した値（59mm）に対し若干小さい値を示すのは、手摺の剛性が寄与しているためと考えられる。また、半載した状態では、載荷側のたわみが大きくなるものの、特に変状は生じないことが確認できた。

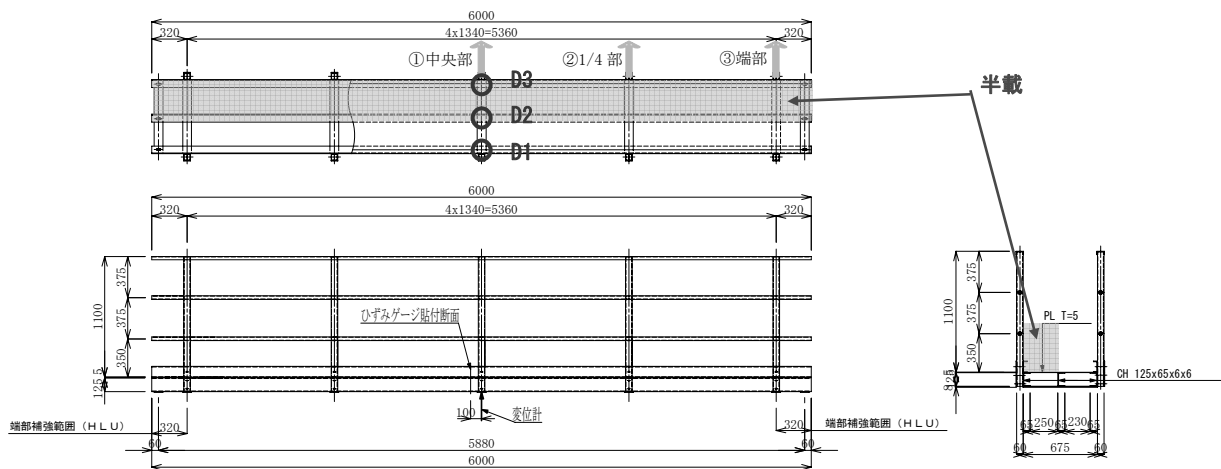


図-3 6mタイプ供試体

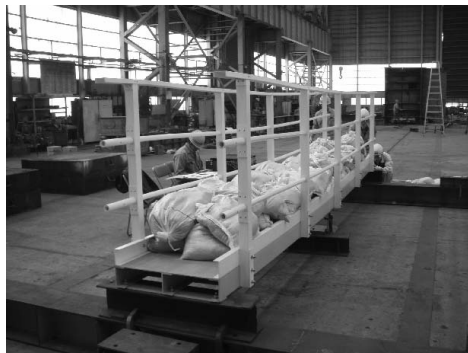


図-4 試験状況（活荷重全載）

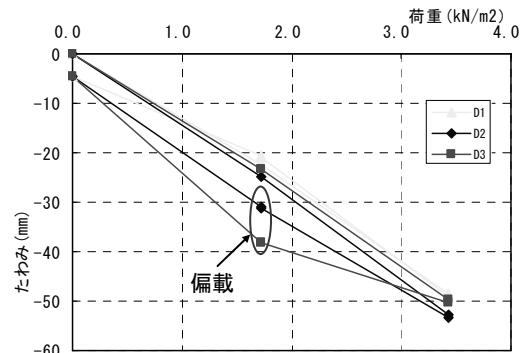


図-5 試験結果



図-6 載荷状況

表-1 試験結果

	①中央部		②1/4部		③端部	
	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)	荷重 (kN)	変位 (mm)
初期	0.000	0	0.000	0	0.000	0
設計荷重	0.521	38	0.529	36	0.390	49
設計荷重×2	1.058	82	1.038	83	0.773	113

(2) 水平載荷

試験に用いる供試体は、活荷重載荷に用いた供試体と同じものを使用した。載荷位置は、図-3に示す各柱部とし、図-6に示すようにチェーンブロックにより水平に載荷した。試験結果を表-1に示す。これより、設計荷重の2倍の載荷に対してもFRP検査路に損傷は生じておらず、十分な耐荷力を有していることが確認できた。

(3) 歩廊の破壊性状

FRP 検査路の歩廊に対する破壊性状を確認するため載荷試験を実施した。試験は 10m タイプの歩廊桁（[200]）を H 鋼 2 基で試間 6m で支持するものとした。供試体の概要を図-7 に示す。載荷は、門型フレームから油圧ジャッキにより、歩廊中央部の載荷板（100mm×650mm）を介して行った。歩廊中央の荷重-たわみ関係を図-8 に示す。これより、実験値と解析値は概ね一致しており、設計荷重の 7.5 倍（57.6kN），たわみ 135mm で大きな音をともなって破壊に至った。破壊状況を図-9 に示しているが、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ていた。ただし、破壊した後も設計荷重以上の荷重を保持してい

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できた。

(4) ブラケットの耐荷性状

ブラケットは、本体部に I-300×150×10×14 の GFRP 引拔成形材を用い、接合部は L 形に曲げ加工した SUS アングル材を FRP ウェブとステンレス製高力ボルト 6 本により摩擦接合する構造としている。表-2 に GFRP 材（I-300）の材料特性を、表-3 に SUS アングル材の材料特性を示す。

このブラケットの耐荷性状を確認するため、実際の構造を模した供試体による載荷試験を実施¹⁾し、FRP 本体部および接合部の耐荷性状を確認することとした。

図-10 に試験体の概要を、図-11 に試験状況を示す。

試験は、ブラケット固定点から 708mm の位置に、載荷フレームに設置した油圧ジャッキにより単調増加で載荷した。なお、載荷点上には 100mm×100mm の載荷板を置き、その下に同寸法のゴム板を敷いている。

このとき、検査路の歩廊に群集荷重 3.5kN/m² が作用した時の検査路からの反力により、ブラケット基部に生じる曲げモーメントと等価となる曲げモーメントが作用するようなブラケット先端の集中荷重を設計荷重

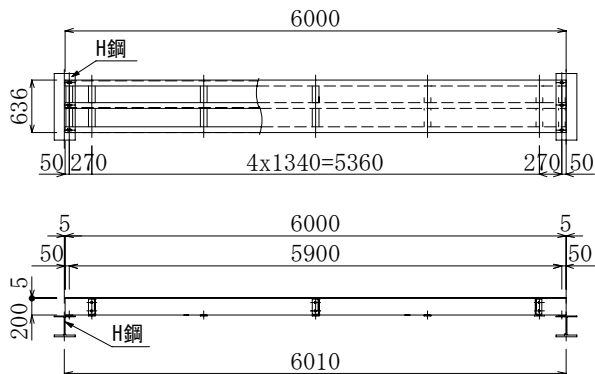


図-7 歩廊耐荷力試験供試体の概要

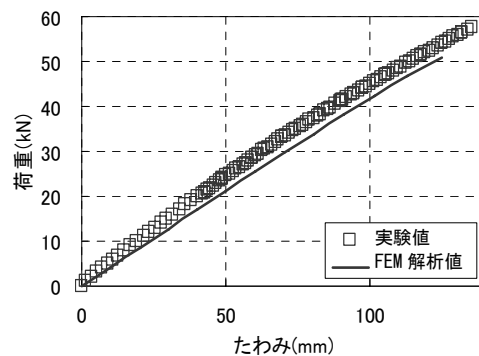
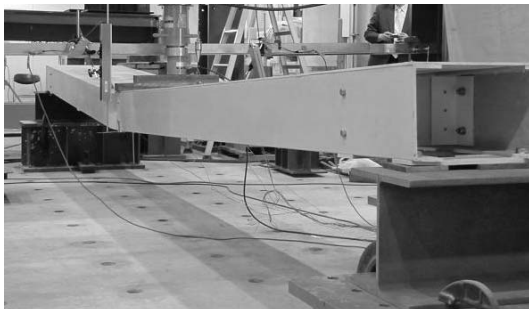
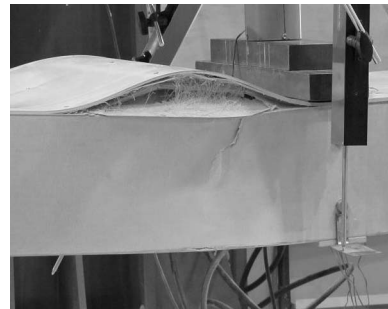


図-8 歩廊中央の荷重-たわみ関係



(a) 試験体全景



(c) 載荷板直下の変形性状

図-9 破壊状況

表-2 GFRP の材料特性

	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮弾性率 (kN/mm ²)
フランジ	400	30	480	35
ウェブ	引抜方向	250	24	430
	直角方向	90	11	95
	45° 方向	45	4	—

表-3 SUS の材料特性

	引張強度 (N/mm ²)	引張弾性率 (kN/mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)
SUS材	600	196	260

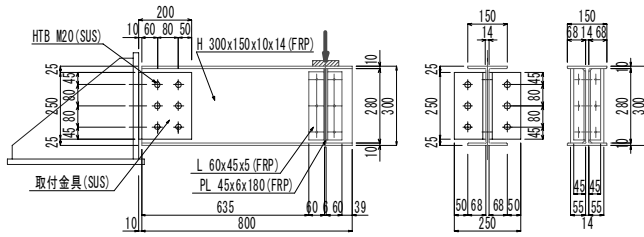


図-10 供試体の概要

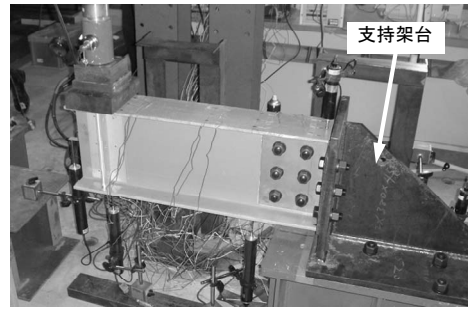


図-11 試験状況

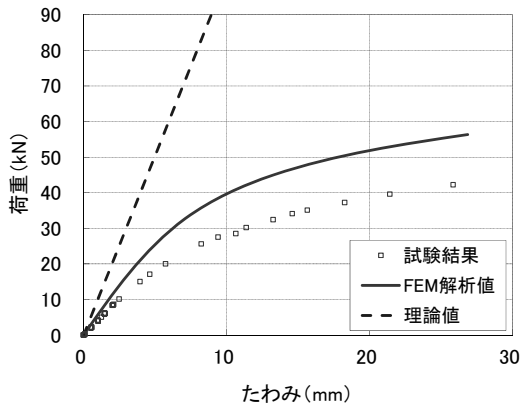


図-12 荷重-たわみ関係

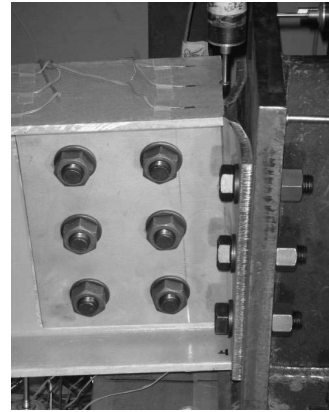


図-13 最大荷重時の接合部状況

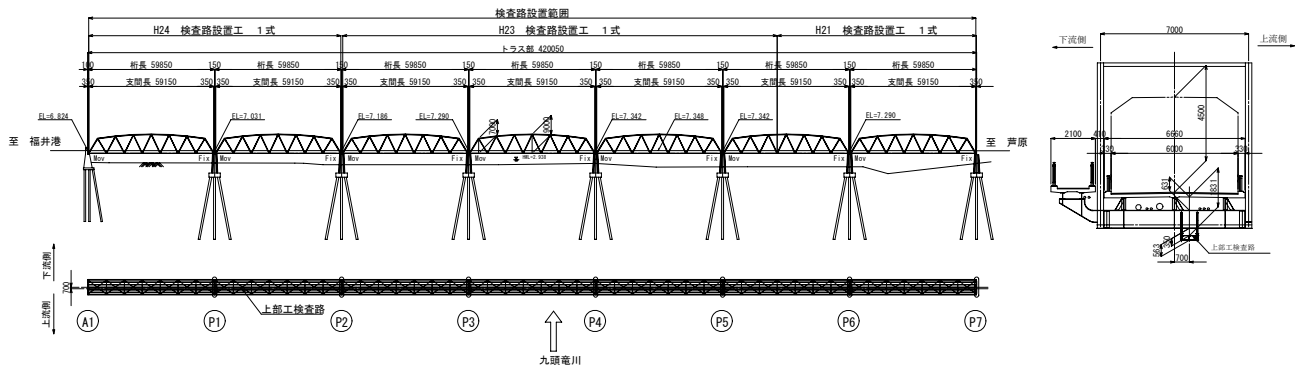


図-14 新保橋一般図



図-15 新保橋の全景

(8.5kN) として载荷した。

図-12 に荷重-たわみ関係を示す。なお、図中の理論値は、はり理論に基づいたブラケットのたわみの計算値である。これより、設計荷重 (8.5kN) 程度の荷重に対しては線形性が確保されており、その後荷重 24.6kN 時に

SUS アングル材の降伏により、以降の変位増加量が增大することが確認できた。また、最大荷重時の接合部の状況を図-13 に示すが、アングル材が降伏し大きく変形しているものの GFRP 本体の損傷は生じていないことがわかる。これより、FRP ブラケットは、設計荷重の 3 倍程度で SUS アングル材の降伏により終局を迎え脆性的な破壊とならないことから、実用上問題ないと考えられる。

4. 実橋での適用事例

(1) 既設橋梁に後から設置した事例

新保橋は、福井県坂井市の九頭竜川河口に位置する 1966 年完成の下路式単純平行弦トラス橋 (7 連) である (図-14 に橋梁一般図、図-15 に全景を示す)。本橋は海に近く、飛来塩分の影響で図-16 に示すように鋼桁が腐食しており、橋梁長寿命化修繕計画の基に補修が進めら



図-16 鋼桁の腐食状況



図-17 検査路の荷下ろし（ユニック車）



図-18 桁下の足場への取込み



図-19 桁下の足場上での移動



図-20 設置完了



図-21 鋼製検査路の腐食状況

れていた。FRP検査路は、点検用通路の確保とともに、塗装の長寿命化を図るための鋼桁洗浄の足場としても用いることを目的として設置されたものである。

このとき、検査路の選定にあたっては、塩害環境下における耐食性はもとより、塗替え用の足場上での設置の作業性を勘案してFRP検査路が採用された。なお、FRP検査路の設置は、図-14に示すように3カ年に分けて実施された。

検査路の施工は、先ず橋上のユニック車（図-17）から桁下の足場に橋梁側面から搬入（図-18）し、その後図-19に示すように、FRP検査路が比較的軽量である（長さ8m、重量160kg）ことから、足場上を人力で設置場所に移動させる手順で実施した。この結果、足場内の狭い空間にも関わらず、FRP検査路の設置は容易に施工できることが確認できた。FRP検査路を設置完了した橋梁下面から状況を図-20に示す。

(2) 下部工検査路の取替え実例

本実例は、福井県あわら市熊坂の国道8号線上に位置する高速道路の橋梁の下部工検査路が腐食したため、耐食性に優れるFRP製検査路に取り替えたものである。この鋼製検査路の腐食の原因は、幹線道路上に散布された融雪材が車輛走行により巻き上げられ、この塩分が検査路に付着することで劣化損傷したものであり、図-21に示すような断面欠損を生じるまで進行している。

FRPブラケットは、耐食性のみならず軽量であることから、重機を必要とせず現場施工性に優れると考えられる。このため、実際の取付け作業をもとに施工性についての確認を行った。

FRPブラケットの施工のフローチャートを図-22に示す。アンカーボルトの施工は、橋台の鉄筋を切断しないように鉄筋探査後に搾孔を行った。その後、アンカー孔位置を実測し、その結果をもとにベース部プレートの孔

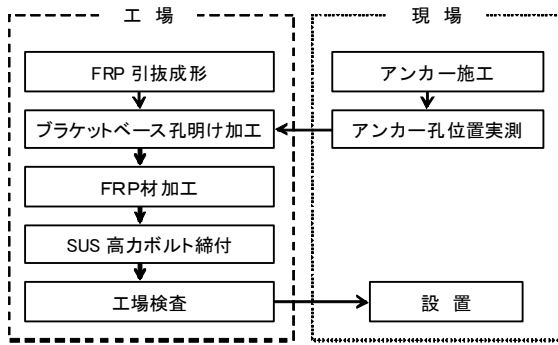


図-22 施工のフローチャート



図-24 ブラケット製作完了状況



図-23 設置状況



図-25 設置完了

明け加工を行い、工場で高力ボルトの締付けを行った。なお、高力ボルトの軸力管理はトルクレンチで行っている。製作工程は、材料手配に日数がかかったものの、塗装やメッキの必要が無く、製作日数は10日程度と比較的短いことが確認できた。図-23に製作完了状況を示す。

FRPブラケットの架設は、軽量であるものの、ベース部がSUS材であるため重量バランスが悪く、取扱いやや注意が必要であった。しかし、作業員一人で十分持てる重さ（約20kg）であり、取付も高所作業車で容易に行うことができた。（図-24）FRPブラケット設置後のFRP検査路の設置はクレーンを用いて行い、歩廊部のみを架設した後、手摺りの取付を行った。（図-25）

5. おわりに

FRP検査路の一連の耐荷力試験および実施工から、以下に示す事項が明らかとなった。

- 1) FRP検査路は、活荷重、水平荷重に対し実用上十分な耐荷力を有していることが確認できた。
- 2) FRP検査路の歩廊の破壊形態は、載荷板付近の板材とチャンネル材の剥離であるが、破壊後も設計荷重以上の荷重を保持しており、安全性を損なうような破壊形態とならない。
- 3) FRPブラケットは、設計荷重の3倍程度の耐荷力を有しており、脆性的な破壊とならないことから実用上問題ないことが確認できた。
- 4) 既設橋梁の路下へのFRP検査路の設置は、塗装用足

場を用いれば、容易に設置することが可能であることが確認できた。

- 5) FRPブラケットの設置は、作業員一人で十分持てる重さであり、取付も高所作業車で容易に施工できることが確認できた。

近年、維持管理の必要性から検査路を後から追加する場合や、腐食した検査路の取替えが増加するものと考えられる。この場合、軽量で耐食性に優れるFRP検査路の適用は有益なものと言える。

ただし、FRP検査路では手摺と歩廊の接続にステンレスボルトを用いており、腐食環境の厳しい地域ではステンレスの腐食も懸念される。このため、現在FRPボルトの適用性についても検討している。さらに、歩廊断面の一体成形による構造改善も実施しており、より合理的なFRP検査路構造を提供していきたい。

謝辞：FRP検査路の施工に関して、新保橋に関しては福井県三国土木事務所、熊坂橋に関しては中日本ハイウェイメンテナンス北陸の関係各位にご指導いただきました。ここに、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 久保圭吾・永見研二・山口浩平・日野伸一・稲葉尚文・青木卓也：道路橋検査路用 FRP 製ブラケットの静的耐荷性能と試験施工，土木学会第4回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，pp.115-122，2012。