

FRP製橋梁付属物の特徴と今後の展望

Characteristics and Outlook of FRP Bridge Accessories

栗田 繁 実*¹ 佐藤 昌 義*² 久保 圭 吾*³ 栗田 裕 之*⁴
 Shigemi KURITA Masayoshi SATO Keigo KUBO Hiroyuki KURITA

Summary

In recent years, cases of bridge corrosion, deterioration and fatigue damage have increased in Japan. Therefore, the importance of bridge inspections to facilitate maintenance has increased greatly. The basis of such inspection is visual observation at close range. However, many bridges do not have the equipment to carry out such observation. The FRP is lightweight, superior in workability and easy to fix to existing structures. Thus, the adoption of FRP bridge accessories is one technique that may be employed to resolve problems relating to the inspection of bridges. This report presents the features of such FRP bridge accessories and mentions their future outlook.

キーワード：FRP、橋梁付属物、紫外線劣化、曝露試験

1. はじめに

当社では、橋梁分野におけるFRP材料の適用を進めており、すでに橋梁主部材としてはFRP製成床版、橋梁付属物としては橋梁検査路やマンホールなどの製品化^{1) 2) 3)}を行ってきた。FRP材料は、その材料特性より、塩害に強く錆びないという特徴を持っている。さらに軽量で高強度であることから、製品によっては容易に人力での施工が可能となる。

最近では、橋梁の腐食・劣化、疲労損傷などが話題となり、日々の点検・調査の重要性が高まりつつある。橋梁の点検の基本は外観調査であり、目視のみではなく可能な限り近接して、必要があれば手で直接触れて調査を行う。しかし、多くの橋梁は、近接確認できる範囲は限られており、点検設備がない場合は、交通規制を行い、点検車や特殊車両などを使用した点検を実施するため、点検設備からの点検に比べ時間や費用がかかる。また、新たに点検設備を追加する場合、重機が使用できないなど施工上の制約があり、設計上においても死荷重が増加するという課題もある。軽量で耐食性に優れたFRP製橋梁付属物は、このような課題を解決できる橋梁付属物である。

本稿では、このような状況を踏まえ、軽量で耐食性に優れたFRP製付属物の特徴を示し、今後の展望および新たな適用事例などについて述べる。

2. FRP製検査路の特徴と比較

FRP材の特徴は、大きく2つある。1つは『FRP材は錆びない材料であるため、塩害に強く耐食性に優れている』。2つめは『軽量である』。これらの特徴をふまえて、鋼製検査路とFRP製検査路の性能比較を行った。

(1) 比較条件

鋼製およびFRP製の検査路を比較するにあたり、以下の条件を統一した。

- ・検査路長 : 3500mm
- ・歩廊幅 : 680mm
- ・手摺り高さ : 1100mm (3段)

<鋼製検査路>

鋼製検査路の構造諸元を示す。

- ① 床面には、3.2mmの縞鋼板を使用。
- ② 手摺り支持材は、等辺山形鋼を使用。
丸パイプをUボルトで取付けるタイプとする。
- ③ 手摺り支柱材の間隔は、「防護柵の設置基準・同解説」⁴⁾に準拠し、2m以下を基本として1450mm間隔(支持材3本)とする。

*1(株)宮地鐵工所 技術本部保全部保全技術グループ

*2(株)宮地鐵工所 技術本部保全部保全技術グループ課長

*3(株)宮地鐵工所 技術本部設計部技術開発グループ課長代理

*4(株)宮地鐵工所 営業本部橋梁営業部技術営業グループ課長



写真一 鋼製検査路の実物写真



写真二 FRP製検査路の実物写真
(※親桁3列タイプ)

<FRP製検査路>

FRP検査路の構造諸元を示す。

- ① 歩廊部の親桁は、FRP製溝型材を4列配置し、床面のFRP板と接着させる構造とする。
- ② 手摺りはFRP製角パイプに丸パイプを貫通させ、FRP製の棒材で固定する構造とする。
- ③ 支持材間隔は、歩廊面からの高さを基準に強度計算を行った結果、最大で1.5m間隔となることから、余裕をみて1000mm間隔(支持材4本)とした。

(2) 重量、施工性に着目した考察

重量については、鋼製検査路が約250kgであるのに対してFRP製検査路は約75kgである。FRP製検査路は、鋼製検査路に比べて1/3～1/4であり、人力での持ち運びも可能な重量である。

既設橋梁に検査路を設置する状態を想定した場合、鋼製検査路を人力で設置するのは不可能であり、取付設備を設ける必要がある。これに対して、FRP製検査路は軽量であることから、特別な設備を設けることなく施工が可能であり、鋼製検査路に比べて施工性に優れている。

表一 検査路の比較結果

	鋼製検査路(溶融亜鉛メッキ)	FRP製検査路
構造		
構造概要	<p>歩廊幅は680mm、手摺り高さは歩廊面より1100mmとする。 主構造にCH材(125x65x6x8)を使用し、床面は鋼鋼板を使用する。 手摺りは、アングル柱にパイプをUボルトで固定するタイプとする。 防護柵設置基準より支柱間隔は2m以下を基本とし、1450mmとした。</p>	<p>歩廊幅は680mm、手摺り高さは歩廊面より1100mmとする。 主構造にFRP製CH(125x65x6x6)を使用し、床面はFRP板を用い、CH材と接着して一体化する。 手摺りは、FRP製角パイプに丸パイプを貫通させ、上面はCH材を柱に被せる構造。 設計計算の結果、FRPの支柱間隔は1000mmとした。</p>
重量	<p>約 250 kg (約 70 kg/m)</p>	<p>約 75 kg (約 20 kg/m)</p>
施工性	<p>人力で施工するには重い。 重機が使用できない環境での施工は困難。</p>	<p>軽量で施工性に優れる。 人力での施工が可能。</p>
維持管理	<p>防錆処理としてメッキ処理を行うことを前提する。 メッキ処理を行った場合でも、塩害環境下では、手摺りパイプの内面からの腐食、鋼鋼板の腐食等が早期に生じる可能性がある。</p>	<p>FRP材は、耐水性、耐食性に優れており、さびることのない材料であることから維持管理が容易である。</p>
紫外線劣化	<p>紫外線による劣化はない。</p>	<p>紫外線対策として塗装を実施。 また、暴露試験の結果、紫外線による劣化は小さい。</p>

(3) 維持管理に着目した考察

めっきの耐用年数は環境により異なるが、一般的に腐食が厳しい環境下では10～15年、山間部など安定した環境下で90～100年と言われている。しかし、全く錆びないという訳ではなく、設置から数年で発錆するケースもある。

これに対してFRP材は錆びない材料である。しかし、FRP材は紫外線劣化を生じる材料であり、プラスチックの光劣化に関する研究は数多くなされているが、橋梁付属物に使用したFRP材の紫外線劣化に対する研究はあまり行われていない。そこで、第4項にFRPの紫外線劣化による影響を検証する目的で実施した促進試験および曝露試験の結果を示す。

(4) まとめ

比較の結果(表-1)、施工性は、軽量のFRP製検査路が鋼製検査路に比べて優れている。しかし、鋼製検査路の錆びに対して、FRP検査路は紫外線劣化の危険があることから、維持の面では更なる研究が必要である。

3. FRP材のマンホール蓋

次に検査路と同様に製品化を行っているマンホール蓋について比較を行う。

比較を行うマンホール蓋の構造は、最も簡単な形状であるボルトにて固定するタイプのマンホール蓋とする(図-1)。マンホールの開口が400×600に対して、蓋の大きさは590×790とする。

マンホール蓋に使用するFRP材料は、板単体でもある程度の剛性が確保できるFRP-超高密度硬質ウレタンフォーム複合板(以下、ウレタン複合板)の15mmタイプを使用することを前提とした。(図-2)

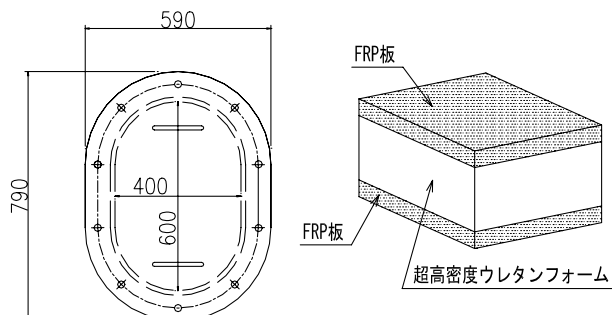


図-1 マンホール蓋構造

図-2 ウレタン複合板

(1) 重量に着目した比較

鋼板の板厚を9mmと想定した場合、蓋の重量は約27.7kgとなる。これに対して15mmのウレタン複合板の重量は、約3.2kgであり、1/8の重量となる。約27.7kgの蓋を押えながらボルトの取り外し作業を行うのと、約3.2kgの蓋とでは、開閉の容易さに違いがあるのは明らかであり、開閉作業の危険性も減ることから、軽量のマンホール蓋は、点検マンホールとしては有効な製品であるといえる。

なお、FRP複合板の強度は、後述する新たな適用事例で示すが、仮階段の踏み板としても使用されており、人の荷重程度は、十分に許容できる強度を有している。

(2) 維持管理に対する考察

供用から数十年経過したマンホールを想定した場合、鋼材の錆びにより、マンホールの蓋が開かないといった事例が数多くある。これに対してFRP複合板は錆びないため、開閉ができないと言った状態になることはない。

4. 紫外線劣化の影響

FRP材は、軽量で錆びないといった利点に対して、紫外線劣化などの損傷事例もある。紫外線劣化とは、太陽光線中の紫外線により、FRP材内の樹脂層が分解されもろくなる現象である。

そこで、この影響を検証するため、サンシャインカーボンアーク形ウェザーメータ(太陽劣化促進試験機)による促進試験¹⁾および15年間の曝露試験により、FRP材の物性値にどのような変化が生じるか確認試験を実施した。以下にその結果について示す。

(1) 促進試験

1) 試験内容

サンシャインカーボンアーク形ウェザーメータを使用して、太陽光線の数十倍の光をFRP試験片に照射し、その劣化状態の確認を実施した。

2) 評価方法

試験の評価方法としては、60度鏡面光沢度計による光沢度の確認、曲げ強度および曲げ弾性率を確認する。

3) 曝露条件

促進曝露時間は、太陽光線による曝露試験10年相当

に対応する目的で、延べ4000時間実施した。(促進曝露時間と曝露年数の対応は、試験材料や試験状況により異なる。ここでは、FRP材は、約400～750時間で直接日光が当たる場所での天然曝露1年に相当するものとした。従って、およそ5～10年の曝露試験を実施したものとして評価する。)

試験片は、FRP材そのままの試験片と、塗装を一層施した試験片(以下、塗装有り試験片)の両者を準備して確認を行った。

4) 試験結果

図-3に塗装無し試験片の結果、図-4に塗装を一層施した試験片の結果を示す。

<光沢度>

塗装無し試験片は、促進試験を開始後まもなく光沢度が急激に低下し、およそ1000時間(約2.5年～5年)で光沢度は失われる結果となった。

塗装有り試験片は、なだらかに低下する傾向であるが、4000時間経過した後も減少率は、11%に留まった。

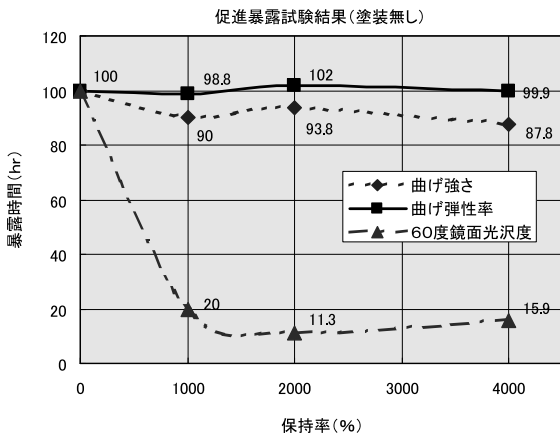


図-3 促進試験結果 (塗装無し試験片)

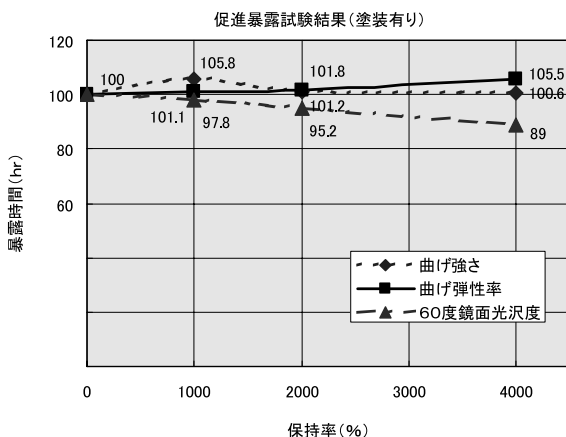


図-4 促進試験結果 (塗装有り試験片)

<曲げ強さ、曲げ弾性率>

4000時間経過した後の曲げ強さ、曲げ弾性率は、塗装の有無にかかわらずほとんど変化はない。FRP材は、ガラス繊維が強度部材であるため、樹脂層が劣化した影響を受けなかったためと考えられる。

5) まとめ

促進試験の結果、塗装無しのFRP材は、早い段階で光沢度が低下するが強度の低下はなかった。塗装を施した場合は、光沢度の低下も抑えることができ強度の低下もないことから、表面に塗装を施すことで、経年劣化を抑制していることが確認できた。

(2) 曝露試験

1) 試験内容

平成3年6月に製作され、7月に塗装および曝露を開始したFRP製検査路の展示品を、平成18年8月に斜材を撤去して機械的物性評価を実施した。

2) 評価方法

屋外曝露を行ったFRP引抜成形角パイプ(SP50)から素材の引張試験を実施した。

3) 曝露条件

曝露状況を写真-3に示す。延べ15年の試験場所は、曝露開始から12年9ヶ月は大阪府堺市の海岸部、残りの2年3ヶ月は千葉県市原市の海岸部にて曝露を行った。また、検査路両端側と中央部では、手摺の色が異なる。

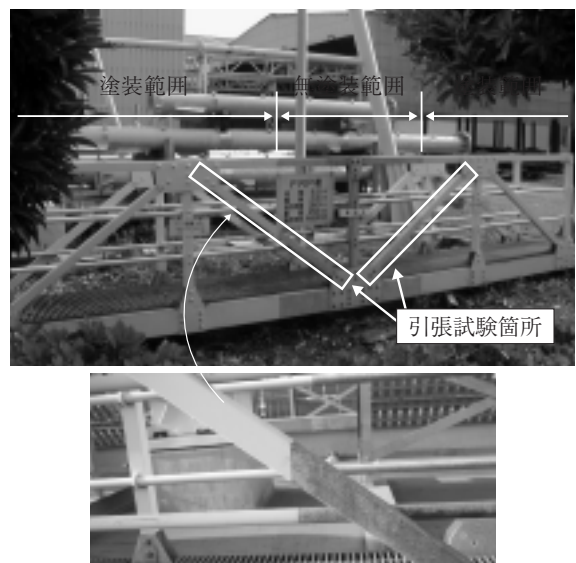
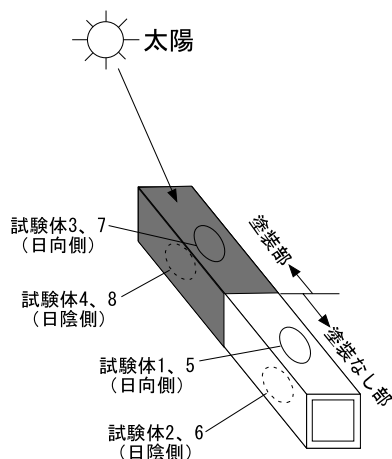


写真-3 曝露試験状況 (H13.5.25撮影)

表一 2 曝露試験後の引張試験結果

15年屋外曝露 (実験値)	試験体切断箇所	1	2	3	4	5	6	7	8
	塗装の種類	A (フッ素樹脂塗料)				B (ウレタン樹脂塗料)			
塗装の種類有無	塗装なし		塗装あり		塗装なし		塗装あり		
太陽光の向き	日向	日陰	日向	日陰	日向	日陰	日向	日陰	
引張強度 (MPa)	438	438	452	448	437	424	458	432	
引張弾性率 (GPa)	31	31	30	31	30	30	30	30	30
初期値 (推定値)	引張強度 (MPa)	410~450							
	引張弾性率 (GPa)	30~34							



図一 5 引張試験位置図

るが、端部の白色の区間は塗装を一層実施しており、中央部は無塗装の区間である。

4) 試験結果

< 15年曝露後の外観 >

15年曝露試験後のFRP材の状態は、塗装無し部は、樹脂層が変色、劣化し、ガラス繊維が露出しかかっている箇所もあった。これに対して、塗装有り部は、光沢が若干なくなっはいるが、状態の変化は確認できなかった。

また、塗装無し部でも日光が直接当たる角パイプ上面と当たらない下面では、変色、劣化状況に違いがあり、日陰の方が劣化の進行が遅くなる傾向であった。

< 引張試験結果 >

引張試験の結果を表一 2 に示す。

試験の結果、塗装の有無により10~20MPaの強度低下が確認できる。初期物性値は不明であるが、最近の製品物性値と比較を行うと、15年の曝露による強度低下はわずかである。また、塗装の種類による変化は確認できない。

5) まとめ

曝露試験の結果から、塗装無し部は塗装有り部に比べ

て変色、劣化が進行し、若干の強度低下が生じることが分かった。また、日向と日陰でも劣化状況に違いがあることが分かった。強度については、塗装の有無にかかわらず、変化はなかった。

(3) 紫外線劣化の影響について

促進試験の結果と、曝露試験の結果はほぼ同様の傾向を示しており、促進試験による経年変化の評価は妥当であるといえる。これらの試験により得られた知見を以下にまとめる。

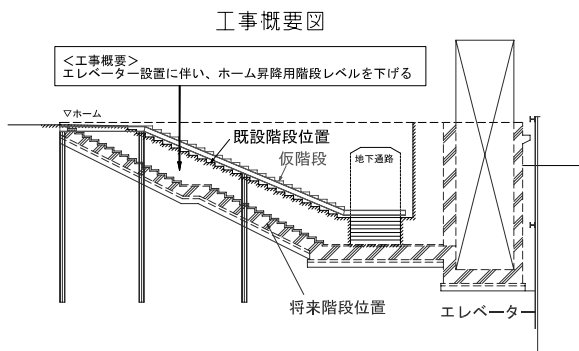
- ① 約15年の経年変化では、FRP材の強度低下はない。しかしながら、曝露状況による影響が物性に大きく寄与するものと考えられるため、今後もデータの収集を行う必要がある。
 - ② FRP材の裸使用では、紫外線により材料の光沢度が急激に失われ、樹脂層が劣化する。また、日光が直接当たる日向に比べて当たらない日陰では、変色、劣化が遅くなる。
 - ③ 塗装を行った場合は、15年経過しても外観に変化はなく、径時劣化を抑制する効果が期待できる。
- 以上のことより、塗装を実施することを標準としているFRP橋梁付属物は、紫外線劣化による影響はほとんどないと考えられる。

5. FRP材料の新たな適用

FRP製品は、軽い錆びないという特徴がある。これに着目して、京浜急行の京急田浦駅で新たな取り組みを行った。

(1) 工事概要

京急田浦駅ではバリアフリー化工事として、地下通路とホームを結ぶエレベーターを設置する。しかし、エレベーターの踊り場が狭く、既設階段レベルを下げる必要性が生じたため、仮階段を設置して階段レベルを下げる工事を実施した(図一 2)。(工事は京急建設(株)にて実施)



図一六 京急田浦駅改良工事概略図

上り線と下り線を結ぶ地下通路は1つしかなく、既設階段の取り壊し作業および階段新設作業は、終電から始発の間（実質4時間）で1日の作業を完了させなければならない。さらに、地下通路は狭く、取り壊しおよび新設作業を行うためには、仮階段を一時撤去し、始発開始前には復旧する必要がある。

仮階段を鋼製階段で計画した場合、人力での一次撤去、復旧作業は不可能であり、重機が必要となり、時間もかかる。そこで、軽量で人力での取り外しが可能なFRP製階段が採用された。

(2) 仮階段の構造概要

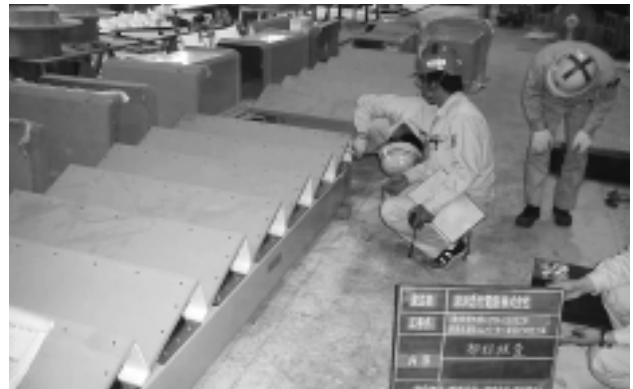
仮階段は、親桁にFRP製角パイプ、踏み板にウレタン複合板、目隠し材にFRP製溝型材および山形材を使用した。設計の結果、FRP仮階段の1部材あたりの最大重量は約120kgであり、人力での取り外しが可能な重量である。写真一六に検査状況、写真一七に完成状況写真を示す。

(3) FRP採用の効果

最大120kgという重量から人力での設置が可能であり、設置作業、夜間の一次撤去復旧作業の時間を短縮することができた。さらに、鉄道工事であることから、電気を通さないFRP材の使用は、設置作業の安全性の面からも優れており、ニーズにマッチした構造であった。

5. おわりに

FRP材料の特徴は、『軽量である』『錆びない』さらに『絶縁体』である。軽いという特徴に着目すると、「既設橋梁に後設置で橋梁付属物を設置する」、「既設付属物の老朽化により交換の必要性がある」などの状況では、軽量のFRP橋梁付属物は、施工性に優れ、塩害の



写真一六 製品検査写真



写真一七 仮階段使用状況写真

影響も受けないことから有効な材料である。また、紫外線劣化については塗装を実施することで抑制効果があることが確認出来ている。

京急田浦駅の事例が示すように、様々な形状のものを製作可能であり、橋梁付属物、またそれ以外にも今後の用途に期待ができる材料である。当社では、FRP材料の特徴を生かした構造物への適用を、今後も積極的に進めて行く予定である。

<参考文献>

- 1) 久保圭吾, 古谷賢生, 能登宥愿: FRP合成床版の紹介, 宮地技報No.20, 2005.3.25
- 2) 久保圭吾, 松田芳昭, 山口雅弘: FRP合成床版を用いた床版の打換え(兎尻橋), 宮地技報No.21, pp. 14 - 17, 2006.1.31
- 3) 稲田博史, 栗田繁実, 小林智則, 佐藤昌義, 久保圭吾: FRP材を用いた橋梁付属物の紹介, 宮地技報No.22, pp. 15 - 18, 2007.3.30
- 4) (社) 日本道路協会: 防護柵設置基準・同解説, 2004.3.

2008.1.24 受付