

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

久保 圭吾¹・永見 研二²・山口 浩平³・日野 伸一⁴・稲葉 尚文⁵・青木 卓也⁶

¹正会員 宮地エンジニアリング株式会社 技術部 (〒103-0006 東京都中央区日本橋富沢町9-19)
E-mail: kubo.keigo@miyaji-eng.co.jp

²宮地エンジニアリング株式会社 橋梁工事部 (〒103-0006 東京都中央区日本橋富沢町9-19)
E-mail: nagami.kenji@miyaji-eng.co.jp

³正会員 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)
E-mail: kohei@doc.kyushu-u.ac.jp

⁴フェロー 九州大学大学院 工学研究院 社会基盤部門 (〒819-0395 福岡市西区元岡744)
E-mail: hino@doc.kyushu-u.ac.jp

⁵正会員 中日本高速道路株式会社 福井保全・サービスセンター (〒910-2177 福井市稲津町16-7)
E-mail: n.inaba.aa@c-nexco.co.jp

⁶AGCマテックス株式会社 エンジニアリング部 (〒252-0212 神奈川県相模原市中央区宮下1-2-27)
E-mail: t-aoki@agm.co.jp

検査路は橋桁や橋脚に設置され、橋梁を維持管理するにあたり欠かせない設備である。しかしながら、この検査路が飛来塩分や桁端部の伸縮装置からの漏水などにより腐食し、点検用の通路としての機能を保持できないことが課題となっている。このため、耐食性に優れたGFRP製の検査路を開発し、適用事例が増加しているものの、下部工検査路を支持するブラケットが鋼製であり、耐食性の高いブラケットが望まれている。このような背景のもと、FRP製の本体部とステンレス製のアングルを高力ボルトで摩擦接合した、耐食性の高いブラケットを開発した。

ここでは、本構造における耐荷性能を確認するために静的載荷試験を行い、十分な耐荷性能を有していることを確認した。また、試験的に実橋に適用した施工事例と追跡調査の計画について報告する。

Key Words : FRP, bracket, static strength, friction joint

1. はじめに

橋梁の下部工検査路は、橋台や橋脚に設置される点検設備であり、橋梁点検車などの調査と比べ交通規制や大がかりな点検設備を必要とせず、近接目視による劣化・損傷状況の調査が可能であることから、橋梁の維持管理を円滑に行うに当り重要な点検設備である。この検査路は一般的に鋼製(メッキ)が用いられているが、飛来塩分や桁端部の伸縮装置の損傷部からの漏水などにより、腐食、損傷し、点検用の通路としての機能を保持できない事例が顕在化してきている。このため、耐食性に優れたGFRP材を用いたFRP検査路が開発され、腐食環境の厳しい場所での適用事例が増加している。しかしながら、FRP検査路を支持するブラケットは鋼製であることから、ブラケットの耐食性向上が課題となっている。

このような背景のもと、FRP製の本体部とステンレス製のアングルを高力ボルトで摩擦接合した耐食性の高いブラケットを開発した。このブラケットは、主部材をFRP製とすることで、軽量化が図られることから、耐食性のみならず、取替えや後付けの場合に施工が容易となるという利点も有している。

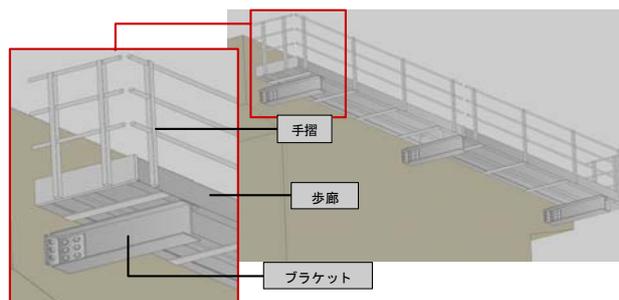


図-1 下部工検査路の概要

本研究では、検査路の支持構造である FRP 製ブラケット単体の载荷試験および全体構造を想定した試験体による载荷試験を実施し、耐荷挙動や破壊性状を把握するとともに、FRP 検査路の歩廊部の破壊性状を確認するための試験も実施した。ここでは、これらの試験結果について報告する。

また、今回、融雪材による塩害損傷を受けた下部工検査路の取替に FRP 検査路、FRP 製ブラケットを試験的に採用したことから、この施工状況および維持管理計画についても報告する。

2. FRPブラケットの静的载荷試験

ここでは、検査路を支持する構造であるブラケット部を想定した供試体による载荷試験を実施¹⁾し、FRP本体部および接合部の耐荷性状を確認するとともに、FEM解析との比較検討を行った。

(1) 試験体の概要

表-1 に試験体種類を、図-2 に TYPE1~3 試験体の概要を示す。各試験体のブラケット部には I-300×150×10×14 の GFRP 引抜成形材を用い、接合部は SUS アングル材を FRP ウェブとステンレス製高力ボルトにより摩擦接

合した。接合部の SUS アングル材は、L 形に曲げ加工したアングル材と高力ボルト 6 本により接合した試験体を TYPE1、リブで補強した SUS アングル材と高力ボルト 6 本で接合した試験体を TYPE2、リブ付 SUS アングル材と高力ボルト 4 本で接合した試験体を TYPE3 とした。このとき、高力ボルトは、設計ボルト軸力 165kN をトルクレンチにより導入した。TYPE1、TYPE2 では SUS アングル材のリブによる補強の耐荷挙動への影響を比較し、TYPE2、TYPE3 ではボルト本数による耐荷挙動への影響を比較した。

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。

(2) 試験方法および計測項目

試験は、ブラケット固定点から 708mm の位置に、载荷フレームに設置した油圧ジャッキにより単調増加で载荷した。なお、载荷点上には 100mm×100mm の载荷板を置き、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(8.5kN)として载荷した。

表-1 試験体種類

試験体	ボルト本数	接合部
TYPE1	6本	SUSアングル材
TYPE2	6本	リブ付SUSアングル材
TYPE3	4本	リブ付SUSアングル材

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

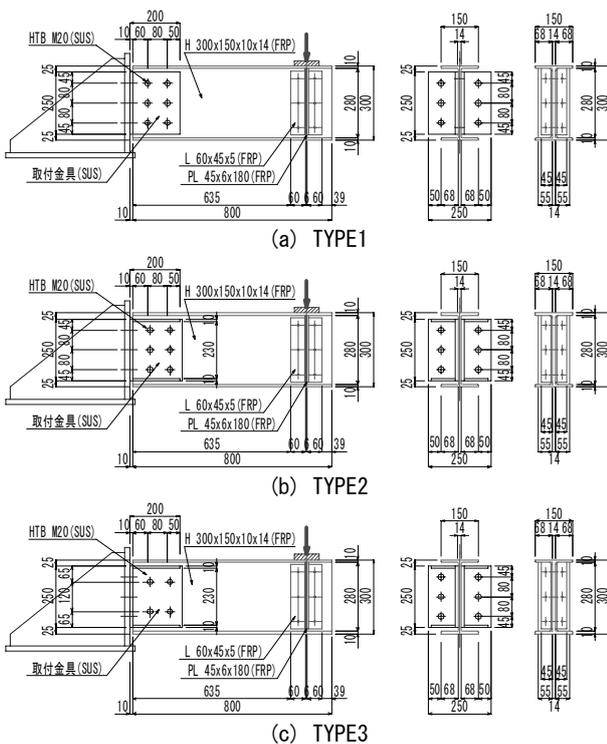


図-2 供試体の概要

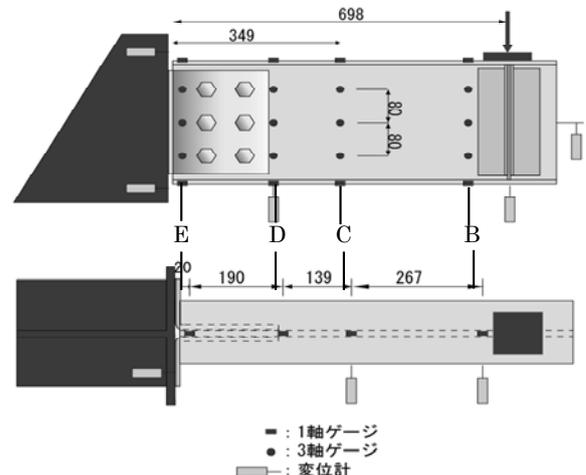


図-3 ひずみ・変位計測箇所

試験による計測項目は、GFRP および SUS アングルのひずみ、変位量とし、このときの計測箇所を、図-3 に示す。なお、図中に示すように各ゲージ貼付位置を B～E 断面と標記しており、試験状況を図-4 に示す。

(3) FEM解析

実験値の妥当性を確認するため、ブラケット部をモデル化した FEM 解析を行った。TYPE1 の解析モデルを図-5 に示すが、GFRP ブラケット、SUS アングル材、高力ボルトは全て 8 節点ソリッド要素を用いてモデル化している。

なお、解析は、SUS アングル材のアンカーボルトで固定される支側側の xy 軸方向変位および z 軸方向回転を拘束し、GFRP ブラケット先端から 102mm の位置に鉛直方向の強制変位を与える変位増分で行った。

(4) 試験結果

FRP ブラケットのたわみは、荷重点直下に設置した変位計により計測したが、荷重時に支持架台が若干変形していることが確認されたため、以下に示す方法でたわみの補正を行った。図-6 にたわみ補正図を示す。たわみの補正計算に用いた値はいずれも変位計により計測した変位量(mm)を用い、式(1)で図中の B に示される補正値を求めた。

$$B = A - \left\{ \frac{(D - E) \times L}{L3} \right\} \quad (1)$$

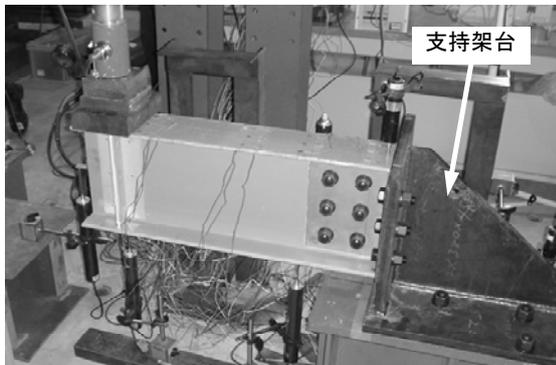


図-4 試験状況

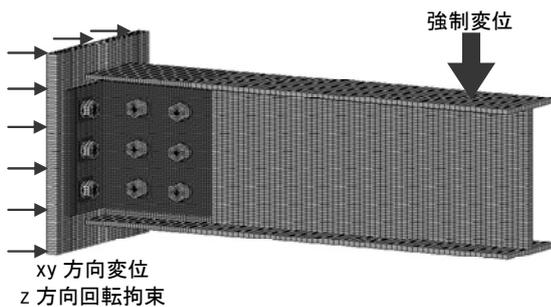


図-5 FEM解析モデル(TYPE1)

図-7 に各試験の荷重-たわみ関係を、表-4 に設計荷重と最大荷重時のたわみを示す。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、いずれの供試体も、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いることがわかる。その後、TYPE1 では荷重 24.6kN 時に SUS アングル材が降伏したため、以降変位の増加量が大きくなった。

一方、SUS アングル材を補強した TYPE2, TYPE3 では、SUS アングル材は降伏しないものの、若干理論値よりたわみが大きい傾向がみられる。これは、FRP ブラケットと SUS アングルを WEB のみで連結しているため、この部分の変形の影響と考えられる。

接合部のボルト本数が 6 本の TYPE2 とボルト本数 4 本の TYPE3 の比較では、TYPE2 の最大荷重が TYPE3 よりも大きく、同一荷重時のたわみも小さいという結果となった。これより、接合部のボルト本数が耐力に影響することがわかった。

FRP ブラケットの耐荷力は、全ての試験体で設計荷重の 6 倍以上の値であることから、いずれの構造も実用上問題ないと考えられる。したがって、FRP ブラケットの構造は、製作性を考慮して TYPE1 を採用することとした。

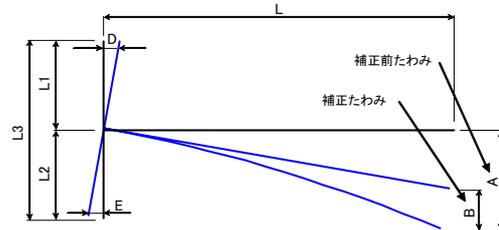


図-6 たわみ補正図

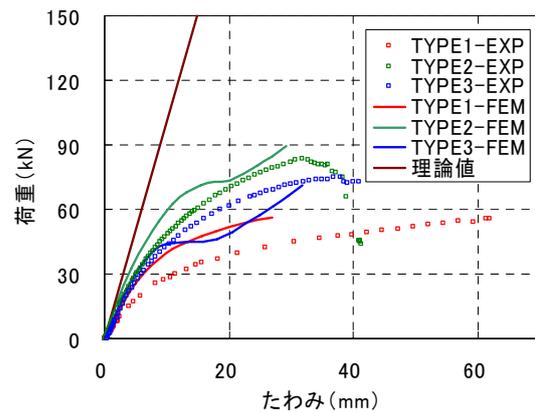


図-7 荷重-たわみ関係

表-4 設計荷重・最大荷重時たわみ比較

		設計荷重Pd	最大荷重Pmax	Pmax/Pd(倍)
TYPE1	荷重(kN)	8.5	55.8	6.6
	たわみ(mm)	2.1	62.1	—
TYPE2	荷重(kN)	8.5	83.4	9.8
	たわみ(mm)	1.3	31.7	—
TYPE3	荷重(kN)	8.5	74.9	8.8
	たわみ(mm)	1.7	37.8	—

TYPE1 供試体における B~E 断面の水平方向ひずみの分布を図-8 に示す。図中の、Pd は設計荷重時のひずみ、Pmax は最大荷重時のひずみ分布であり、FEM は同様箇所解析値によるひずみ値である。なお、ひずみ分布は、TYPE1~3 全ての試験体において概ね同様の挙動を示していた。これより、設計荷重時のひずみは、FRP の破断ひずみ(約 10000 μ)より十分小さく、実用上問題ないこ

とが推察できる。

C 断面、D 断面のひずみ分布は、上フランジ側で引張、下フランジ側で圧縮の傾向を示しており、曲げが作用していることがわかる。なお、D 断面で上下フランジのひずみが小さくなるのは、ウェブのみで接続している影響であり、試験値と解析値は概ね一致している。

載荷点に近い B 断面では C,D 断面と同様の傾向であ

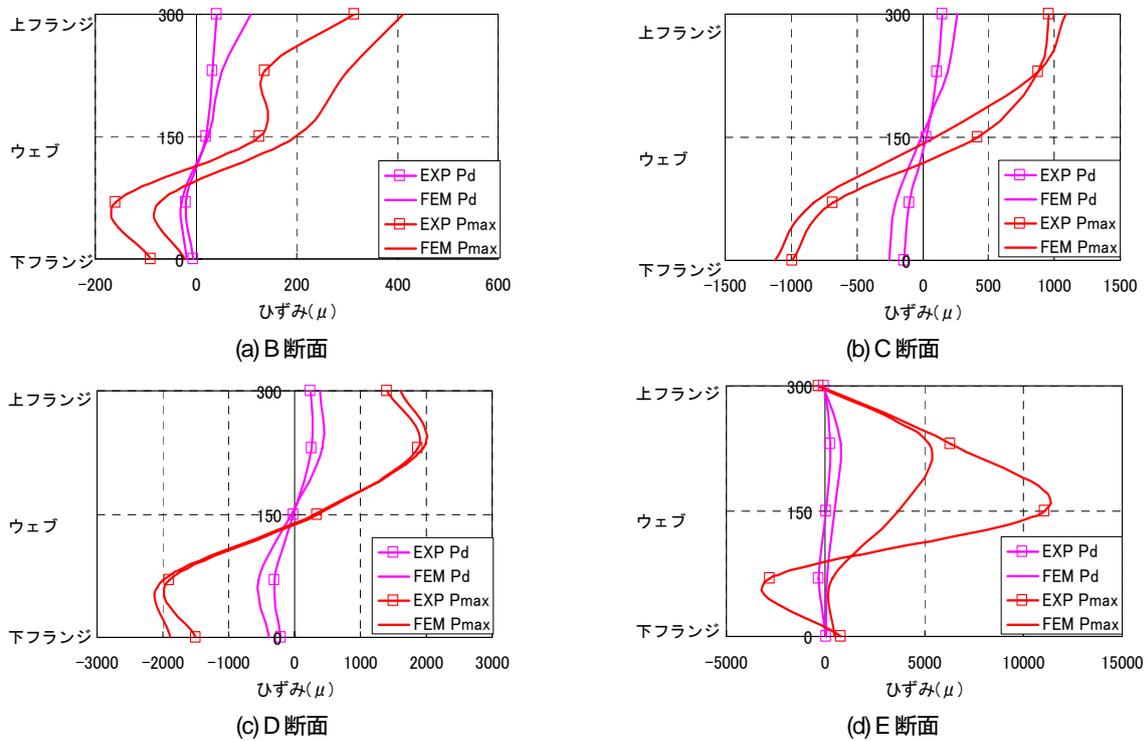


図-8 ひずみ分布(TYPE1)

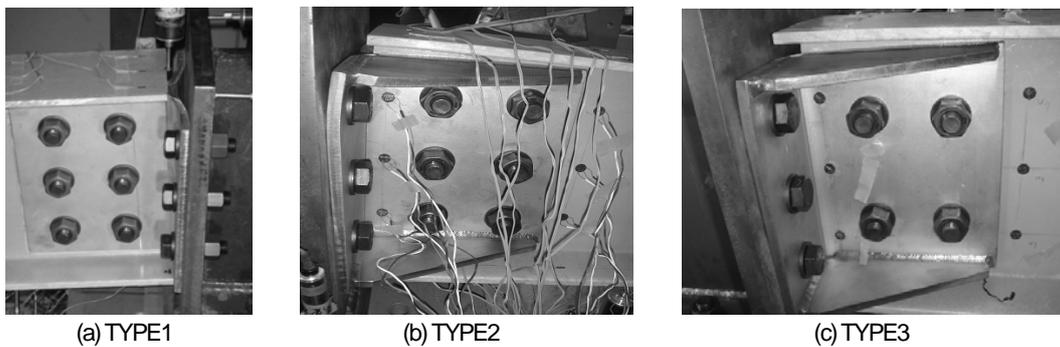


図-9 最大荷重時の接合部の状況

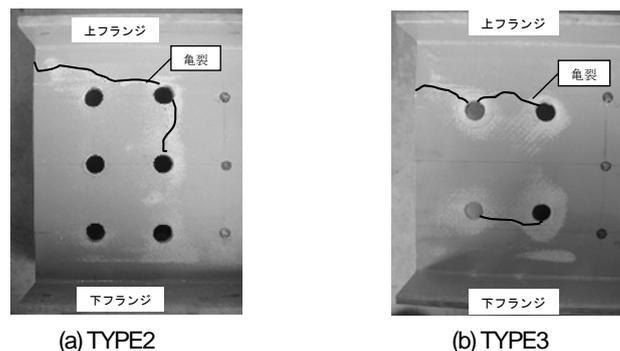


図-10 試験終了後のGFRP材の破壊状況

るが、上側のひずみが若干大きくなっている。これは、
 載荷点の補剛材が影響を与えていると考えられる。

一方、E断面では、他の断面とは明らかに異なった挙
 動を示しており、ウェブの上側で大きい引張ひずみが生
 じている。これは、SUSアングル材の上側が降伏してい
 るためであり、上下フランジのゲージはGFRP材に貼付
 しているため、値が小さくなっている

図-9に最大荷重時の接合部の状況を示す。これより、
 TYPE1ではアングル材が降伏し大きく変形しているが、
 GFRP本体の損傷は生じていないことがわかる。

一方、TYPE2,3ではSUSアングル材とGFRP本体にず
 れが生じていることが見てとれ、試験終了後にアングル
 材を撤去した状況(図-10)から判断して、まず、SUS
 アングル材とGFRP材がすべり、その後ボルト孔にボ
 ルトが接触し、局所的な応力集中でGFRP本体にボルト
 孔からの亀裂が生じる破壊形態となると推定できる。

3. 全体構造載荷試験と歩廊の破壊性状

FRPブラケットは、検査路の荷重を支持するが、検査
 路の片側に活荷重が載荷された場合、ブラケットに偏心
 荷重が作用する。このため、FRP検査路の全体構造での
 載荷試験を実施した。また、FRP検査路の歩廊は設計荷
 重に対する耐荷力の確認は実施¹⁾されているものの、破
 壊までの試験を行っていないことから破壊性状が明確に
 なっていない。このため、歩廊の破壊性状を確認する載
 荷試験も行った。

(1) 試験の概要

図-11に全体構造載荷試験(TYPE4)の概要を示す。こ
 こで、FRPの断面形状は、実構造物の全体構造と同寸法の
 試験体とするため、図-12(a)に断面形状を示す6mタイ
 プの歩廊を、2基のTYPE1のプラケットで支持した。な
 お、ブラケットと歩廊は、M16のSUSボルトにより接
 合している。また、歩廊の破壊試験(TYPE5)は、TYPE4
 で破壊しなかった歩廊部を、H鋼2基で支持してSUSボ
 ルトで接合したものである。さらに、歩廊桁に、図-
 12(b)を用い、TYPE5と同様にH鋼2基で支持したもの
 を図-13に示すTYPE6とした。

このときの荷重は、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
 われた。

(2) 試験結果

図-14にTYPE4におけるブラケット先端の荷重たわ
 み関係を示す。図中のCALは、はり理論により計算し
 た値であり、FEM(ブラケット1, 2)はブラケットと

歩廊をシェル要素でモデル化したFEM解析値である。
 ただし、ブラケット1と2は同一線上となっている。こ
 れより、設計荷重7.7kN時のたわみは0.5mm以下であり、
 実用上問題ないと判断できる。ここで、ブラケット2に
 おいて10kN付近までたわみが負の値になっているのは、
 歩廊の変形によりブラケットが内側にねじれた影響と思
 われる。

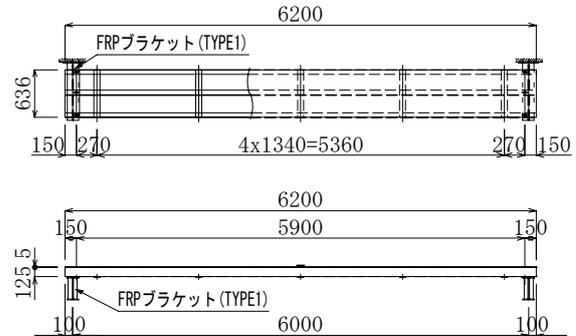


図-11 全体構造載荷試験の概要 (TYPE4)

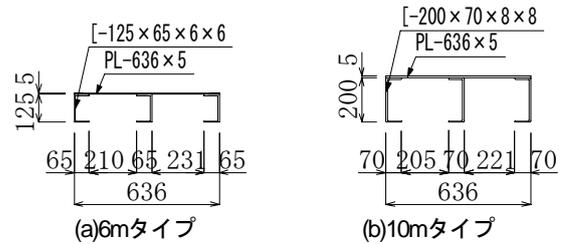


図-12 歩廊の断面形状

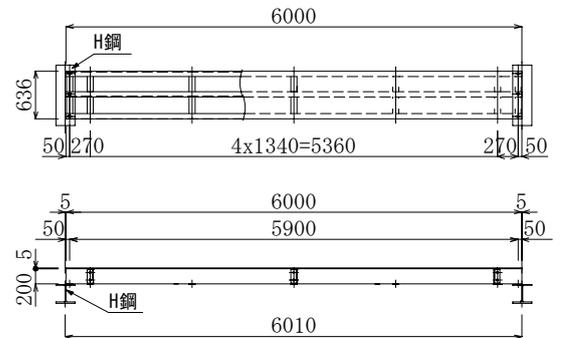


図-13 歩廊耐荷力試験供試体の概要 (TYPE6)

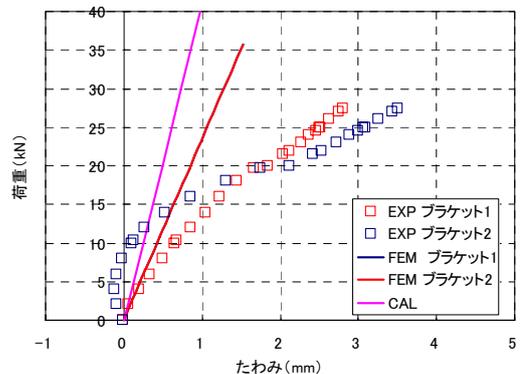


図-14 ブラケットの荷重-たわみ関係 (TYPE4)

図-15 に TYPE4, 5 の歩廊中央における、荷重とたわみの関係を示す。いずれの供試体も、設計荷重までは線形性が確保されており、実験値と解析値は概ね一致していることがわかる。なお、両供試体とも、たわみがジャッキのストロークである 300mm を超えたため、この時点で試験を終了している。図-17 に、荷重終了時の変形状況を示す。これより、TYPE4,5 ともに荷重途中に音をともなったチャンネル材上部の板材の変形が見られたが、歩廊部の破壊には至っていない。また、ブラケット部は、わずかながら内側にねじれるような変形状態となっていることがわかる。

図-16 に TYPE6 の荷重-たわみ関係を示す。TYPE6 も TYPE4,5 と同様に、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。このときの破壊状況を、図-18 に示す。破壊形態は、荷重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。なお、破壊した後も、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ことが確認できた。

4. 実橋での試験施工

今回の試験施工は、幹線道路上に位置する橋梁の下部工検査路が腐食し、耐食性に優れるFRP製検査路に取り替えるものである。なお、鋼製検査路の腐食は、幹線道路上に散布された融雪材が車輦走行により巻き上げられ、この塩分により図-19に示すような断面欠損をともなう腐食が生じたものである。また、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確認を行った。さ

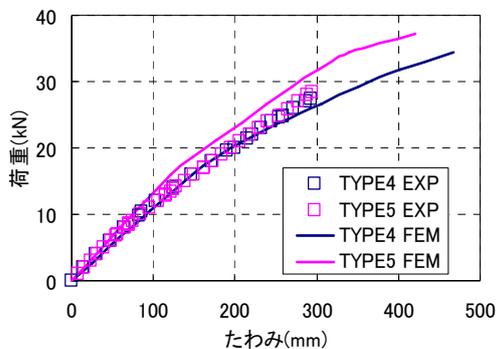


図-15 歩廊中央の荷重-たわみ関係 (TYPE4, 5)

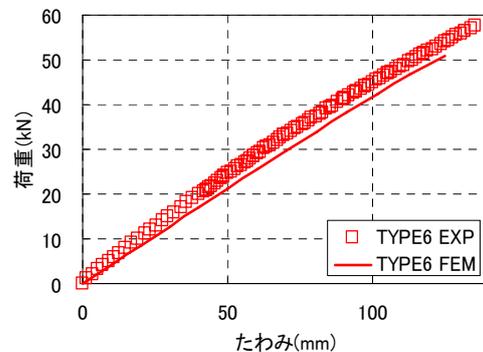


図-16 歩廊中央の荷重-たわみ関係 (TYPE6)



(a) 試験体全景

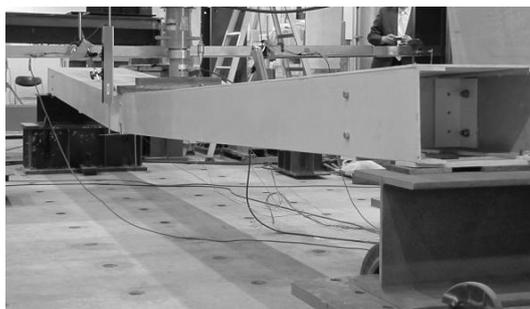


(b) ブラケット部

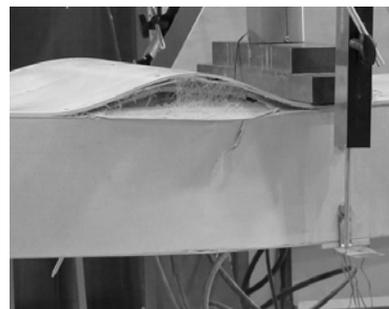


(c) 荷重板直下の変形状況

図-17 TYPE4の最終変形状況



(a) 試験体全景



(c) 荷重板直下の変形状況

図-18 TYPE6の破壊状況

らに、FRPは耐食性に優れるものの、実環境での追跡調査事例は少なく、耐用年数が不明確であることから、定期点検に合わせた維持管理計画を策定し、経年劣化の継続的調査を行うこととした。

(1) 施工手順

FRP ブラケットの施工のフローチャートを図-20 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挿孔を行った。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-21 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、取扱にや

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であり、取付も高所作業車で容易に行うことができた。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-22)

(2) 維持管理計画

定期点検時の項目および間隔を表-5 に示す。点検は目視点検を基本とし、暴露試験体による FRP の引張強度試験や SUS 部材の塩分測定を行うこととした。なお、点検予定月を 4 月に設定しているのは、凍結防止剤の散布期間が終わり、付着塩分量が最も多くなっている時期と考えられるためである。

FRP の引張強度試験は、図-23 に示すように、実物と同様の環境になるように歩廊下に添架した I 型 FRP 材を用いて実施することとした。なお、FRP 材の添架場所は紫外線による劣化も負荷されると考えられる側面側の検



図-19 鋼製検査路の腐食状況



図-22 ブラケット設置状況

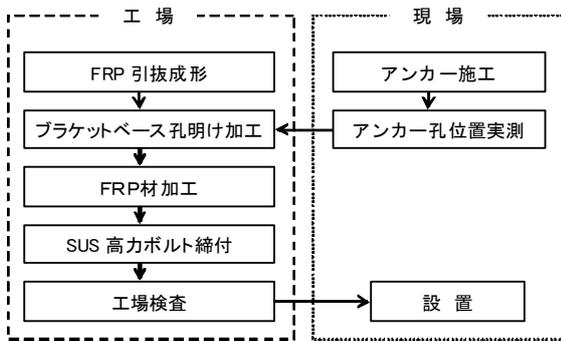


図-20 施工のフローチャート

表-5 点検項目と点検間隔

回数	点検年	経過年	目視点検	塩分測定	機械試験
設置	2012年3月	—	—	—	—
初回	2012年5月	—	○	○	—※1
第1回	2013年4月	1年	○	○	○
第2回	2014年4月	2年	○	△※2	△※2
第3回	2017年4月	5年	○	○	○
第4回	2022年4月	10年	○	△※2	△※2
第5回	2027年4月	15年	○	△※2	△※2
第6回	2032年4月	20年	○	○	○

※1: ミルシートの値を用いる

※2: 前回実施した点検で異常が見られた場合実施



図-21 ブラケット製作完了状況



図-23 暴露試験設置状況

査路の下とした。

点検間隔については、過去の検査路の暴露試験結果²⁾から、急激な強度低下を起こすことは無いと考えられることから、長めの間隔を設定した。ただし、途中で異常が見られた場合は、設定間隔より短くして試験ができるように、予備の供試体も準備した。

塩分付着量調査は、SUS材の腐食を観察する目的で実施する。本試験施工では、ステンレスボルトに、一般的なSUS304材より耐食性に優れるSUS316材を採用している。なお、SUS材の塩害と腐食の関係は、明確でないことから、ここでは、付着塩分量とSUS材の腐食の関係を調査することとする。

5. まとめ

FRPブラケットの一連の耐荷力試験および試験施工から、以下に示す事項が明らかとなった。

1) FRPブラケットは、設計荷重の6倍以上の耐荷力を

有しており、実用上問題ないことが確認できた。

2) 全体構造としての載荷試験の結果、活荷重が偏載した場合でも、設計荷重7.7kN時のたわみは0.5mm以下であり、実用上問題ないことがわかった。

3) 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ことが確認できた。

4) 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。

参考文献

- 1) 李宏斌, 直野智彦, 日野伸一, 山口浩平, 久保圭吾, 青木卓也: GFRP引抜き成形の橋梁点検検査路のブラケット部への適用, 土木学会第66回年次学術講演会, CS2-030, 2011.
- 2) 栗田繁実, 佐藤昌義, 久保圭吾, 栗田裕之: FRP製橋梁付属物の特徴と今後の展望, 宮地技報, No23, pp.13-18, 2008.

STATIC STRENGTH AND TEST CONSTRUCTION OF FRP BRACKET FOR INSPECTION PLATFORM

Keigo KUBO, Kenji NAGAMI, Kohei YAMAGUCHI, Shinichi HINO,
Naofumi I NABA and Takuya AOKI

The Inspection platform installed in bridge girder or a pier is equipment indispensable to maintenance of bridges. However, it is a problem that this inspection platform corrodes to Air born chloride or leakage of water from the joint. For this reason, the inspection platform using GFRP was developed. Because the bracket supporting the inspection platform is steel, high corrosion resistance is searched. From such a background, the bracket which carried out friction joint of the angle of stainless steel to FRP with the high tension bolt was developed.

In this paper, in order to confirm the strength performance which can set this structure, the static strength tests were carried out. The result confirmed having sufficient strength. Moreover, it is reported the construction test and the plan of the follow-up survey.