

# 鉄道用FRP壁高欄の実験的検討

## Experimental consideration of a FRP wall balustrade for railroads



久保 圭吾\*<sup>1</sup>  
Keigo KUBO



永見 研二\*<sup>2</sup>  
Kenji NAGAMI



石原 彰子\*<sup>3</sup>  
Shoko ISHIHARA

### 要 旨

鉄道用の壁高欄はコンクリート製が多く用いられているが、高架橋における耐震性向上の観点から軽量化が望まれている。また、塩害や凍害などによるコンクリート片のはく落も懸念されていることから、軽量で耐食性に優れたガラス繊維強化プラスチックを用いた鉄道用壁高欄を考案した。本研究では、高さが異なる壁高欄タイプと防風柵タイプの実物大供試体を用いた静的耐荷力実験を実施した。この結果、いずれも実用上、十分な耐荷力を有していることが確認できた。

キーワード：壁高欄，FRP，耐荷性能

### 1. はじめに

鉄道用の壁高欄は、場所打ちコンクリート、プレキャストコンクリート、コンクリートブロックなどが多く用いられているが、高架橋に用いる場合、死荷重が大きく耐震性の観点から軽量化が望まれている。また、鉄筋コンクリートは、塩害や凍害などの環境作用により、ひび割れや内部鉄筋の腐食などが生じ、コンクリート片のはく落による第3者被害も懸念される。

このような背景の下、重量が鋼材の1/4～1/3程度と軽量かつ耐食性に優れ、道路橋の合成床版や検査路、歩道橋などの橋梁構造物の構造部材として適用事例<sup>1)</sup>が増加しているガラス繊維強化プラスチック（Glass fiber reinforced plastics：以下、FRP）を用いたFRP壁高欄を考案した。このFRP壁高欄は、図-1に示す床版用のFRP引抜成形材を壁高欄本体として使い、基部の鋼製アングルを床版にアンカーボルトで固定することで、自立する

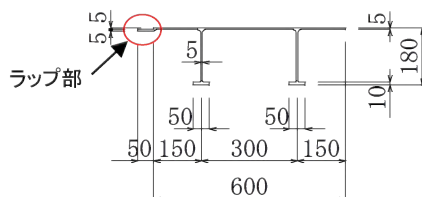


図-1 FRP材の断面形状

構造としている。ここでは、FRP壁高欄の耐荷性状を確認するために実施した載荷試験結果について報告する。

### 2. 構造概要

FRP壁高欄の概要図を図-2に示す。FRP壁高欄は、フランジ付きリブを有するπ型断面のFRP引抜成形材のリブに鋼製アングルを高力ボルト（HTB）で取り付け、このアングルを地覆コンクリートにアンカーボルトで固

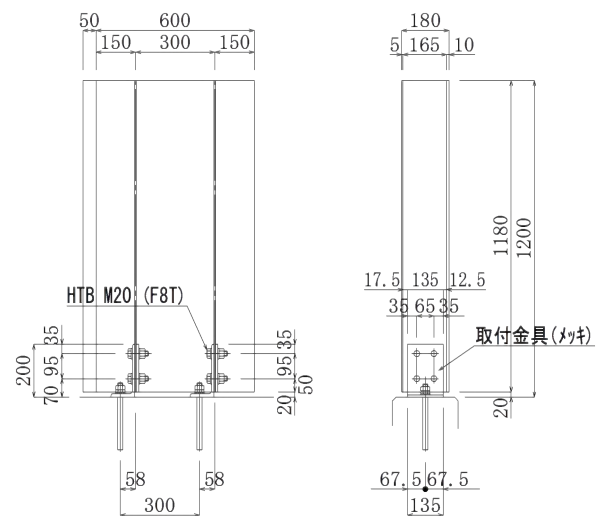


図-2 FRP壁高欄の概要

\*<sup>1</sup> 技術本部技術開発部技術開発グループ担当リーダー

\*<sup>2</sup> 営業本部橋梁営業部橋梁・開発営業第1グループサブリーダー

\*<sup>3</sup> 技術本部設計部設計第2グループ主任

定している。このアンゲル材とFRPリブは、FRP検査路のブラケット基部構造で実績<sup>2)</sup>のある高力ボルト摩擦接合とした。

隣接するFRP壁高欄との間は、FRP引抜成形材の片側に設けているラップ部を重ね合わせることで、隙間が生じないようにしている。

また、壁高欄には、図-3に示す防風柵を兼用した高さが高いタイプも想定される。この場合、風荷重による基部の曲げモーメントが大きくなることから、アンカーボルトの本数を増やして対応した。

### 3. 耐荷力実験

FRP壁高欄の耐荷性能を確認するため、実物大供試体を製作し、静的耐荷力実験を行った。本検討では、風荷重に対する高欄基部の耐荷性能に着目して、風荷重が前面（リブ側）、後面（平板側）それぞれの方向から作用することを想定した。

#### (1) 実験概要

壁高欄実験の概要を図-4に、防風柵実験の概要を図-5に示す。実験は、水平方向に載荷することが困難な

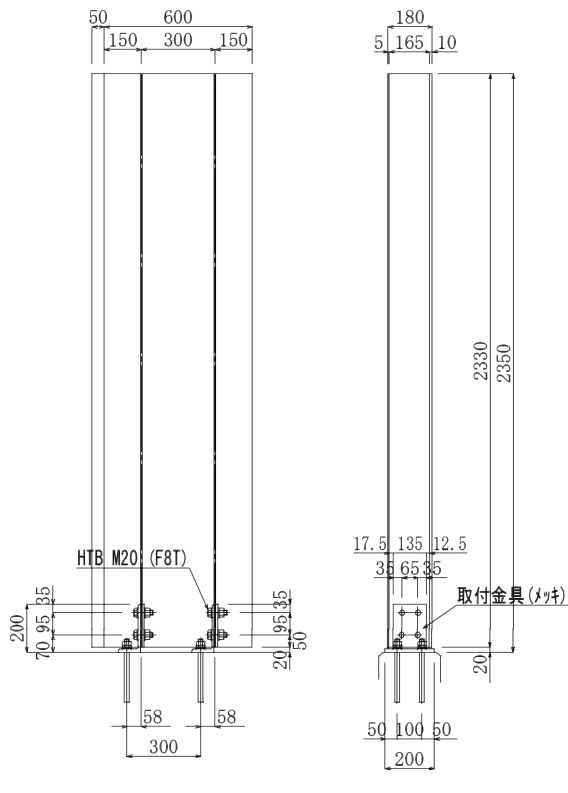


図-3 防風柵の概要

ことから、治具により供試体を水平方向に設置し、鉛直方向に載荷した。防風柵実験の状況を図-6に示す。

載荷は、壁高欄実験では、供試体の頂部（基部から1,100mm）を載荷位置とし、リブ2本に均等に載荷できるように供試体幅より広い鋼製の載荷板（1000×75mm）を介して破壊に至るまで荷重を漸増させた。このときの耐力評価の基準としては、風荷重（3.0kN/m<sup>2</sup>）による基部の曲

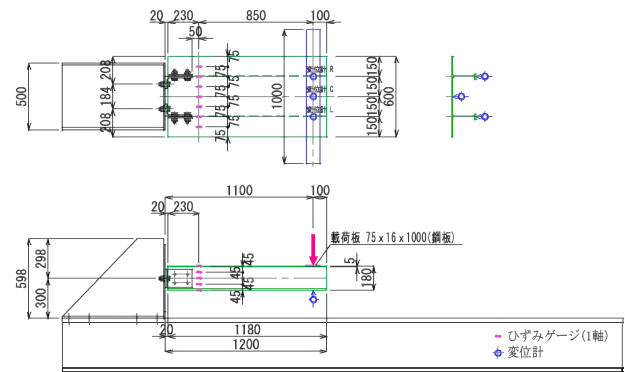


図-4 壁高欄実験（後面載荷）の概要

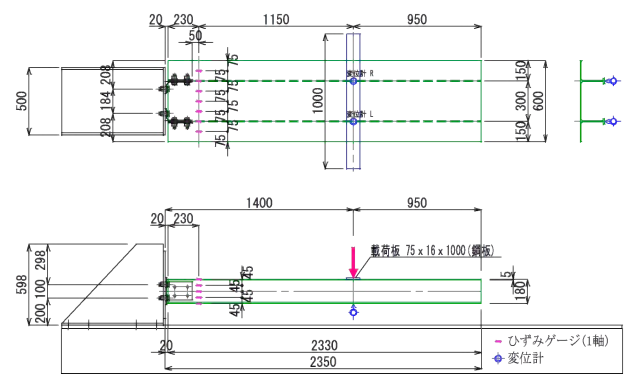


図-5 防風柵実験（後面載荷）の概要



図-6 防風柵実験（前面載荷）の状況

げモーメント (1.3kN・m) と等価な曲げモーメントとなる  
 載荷荷重 (1.18kN) を本実験における設計荷重とした。

一方、防風柵実験では、試験機の都合上、頂部に載荷  
 できないため、基部から1,400mmの位置に載荷板 (1000×  
 75mm) を介して破壊に至るまで荷重を漸増させた。この  
 ときの耐力評価の基準としては、風荷重による基部の曲  
 げモーメント (4.97kN・m) と等価な曲げモーメントとなる  
 載荷荷重 (3.55kN) を本実験における設計荷重とした。

なお、いずれの実験においても、風荷重が前面、後面  
 それぞれの方向からの作用を考慮して、リブが上側のケ  
 ース (後面載荷) と、平板が上側のケース (前面載荷)  
 の実験を行った。

表-1 FRP材の材料特性

	引張強度 (MPa)	引張弾性率 (GPa)	圧縮強さ (MPa)
パネル長手方向	309.9	34.2	353.0
パネル幅方向	92.3	14.7	125.3

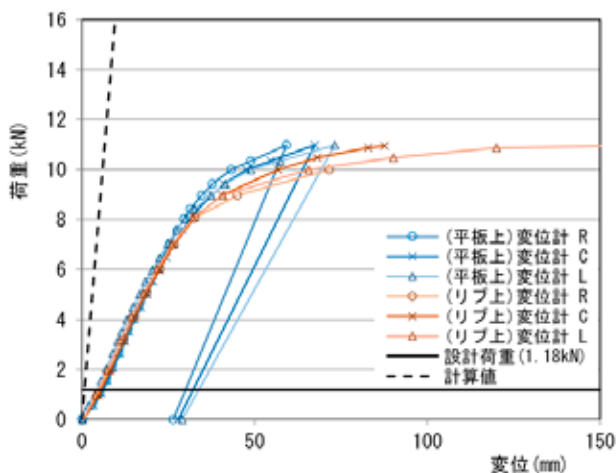


図-7 荷重と鉛直変位の関係

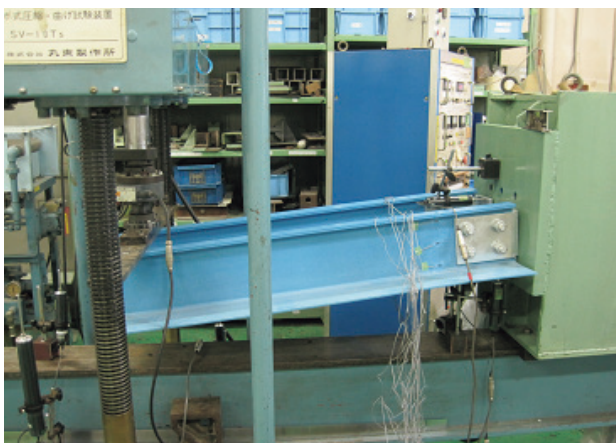


図-8 実験時の状況 (前面載荷)

## (2) 使用材料

供試体に使用したFRP成形材は、ガラス基材としてコン  
 ティニユアストランドマットおよびガラスロービングを、  
 引抜成形用樹脂として不飽和ポリエステル樹脂を  
 使用したものである。JIS K 7054 (ガラス繊維強化プラ  
 スチックの引張試験方法) およびJIS K 7056 (ガラス繊  
 維強化プラスチックの圧縮試験方法) に準拠して実施し  
 た材料試験により得られたFRP成形材の基本的な材料特  
 性値は、表-1のとおりであった。

FRP壁高欄の基部のアンゲル材はSS400材に溶融亜鉛  
 メッキを施しており、メッキHTB (F8T) を使用した摩  
 擦接合とした。なお、摩擦面はFRP材、メッキ材とも  
 に目粗し等の表面処理は行っていない。

## 4. 結果および考察

### (1) 壁高欄載荷実験

壁高欄載荷実験における荷重と鉛直変位の関係を図-  
 7に示す。鉛直変位の計測点は、図-4に示す載荷位置  
 であり、リブ部とリブ間の3点を計測した。実験では、  
 前面載荷、後面載荷供試体ともに、載荷直後から荷重の  
 増加とともに変位が線形的に増加し、荷重8kNを超えた  
 辺りで変位が大きくなる傾向が見られ、約11kNで変形  
 が大きくなりすぎ、載荷装置の制御が困難となったこ  
 とから、載荷を終了した。このときの初期変位増加傾向  
 が、FRPの剛性を考慮して求めた計算値の傾きと比べ大  
 きく、図-8、図-9の状況から摩擦接合部に滑りはなく、  
 基部のアンゲルが大きく変形していることがわかつた。  
 なお、図-10に示すように後面載荷供試体も鋼製  
 アンゲルの変形状況は同様であり、いずれの供試体も

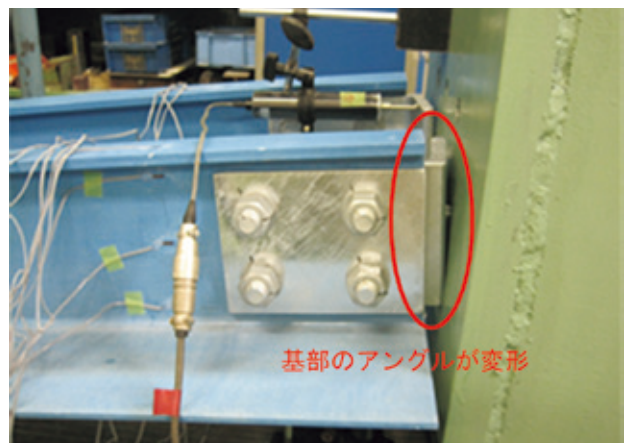


図-9 実験終了時の取付金具の変形 (前面載荷)

8kNを超えた辺りでは変形が大きくなり、鋼製アングルが降伏したと考えられる。しかしながら、平板上、リブ上ともに鋼製アングル材が降伏した荷重（8kN）でも設計荷重の約7倍であることから、風荷重に対して十分な耐荷力を有していることが確認できた。なお、鋼製アングルを、変形しない構造に改善すれば、さらなる耐荷力の向上が見込めると考えられる。

図-11に、FRP材基部の平板の水平方向ひずみ分布を示す。これより、前面載荷、後面載荷ともに、リブのWEB部のみを鋼製アングルで接続していることから、リブ位置でのひずみが大きく、リブ間のひずみが小さい傾向が確認できる。

図-12に、FRP材基部におけるリブWEB部の水平方向のひずみ分布を示す。これより、前面載荷、後面載荷ともに、設計荷重の3倍まで連結板位置のひずみが大きく、リブフランジ部と平板部のひずみが、これらより若

干小さくなる傾向が見られる。これは、リブのWEB部のみを鋼製アングルで接続している影響であり、断面積が大きいフランジが応力分担することで、ひずみが小さくなると考えられる。

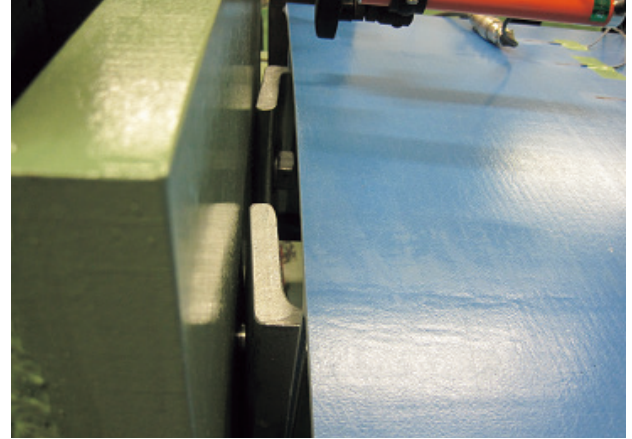
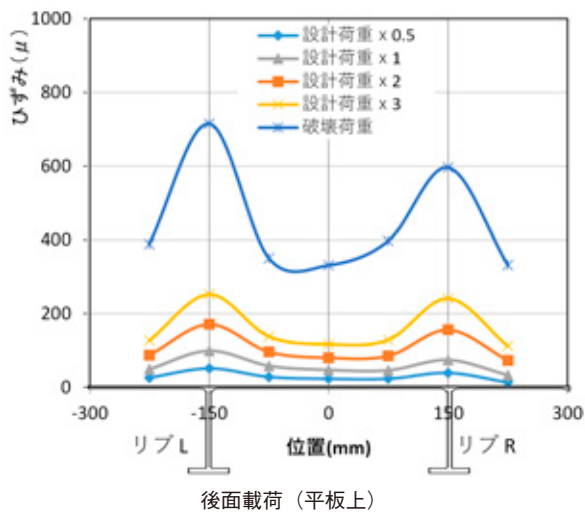
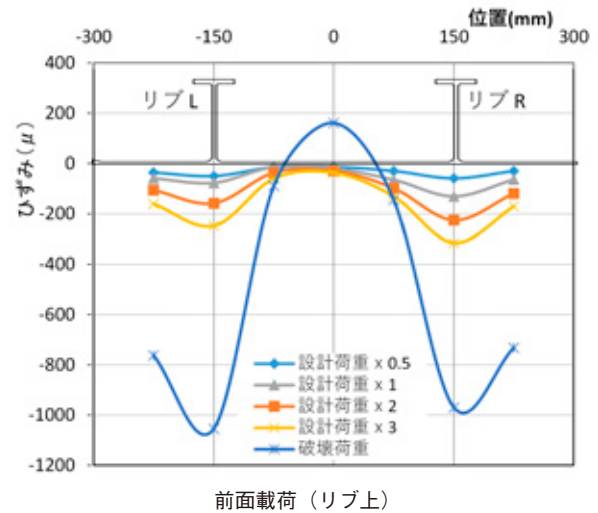


図-10 実験終了時の取付金具の変形（後面載荷）

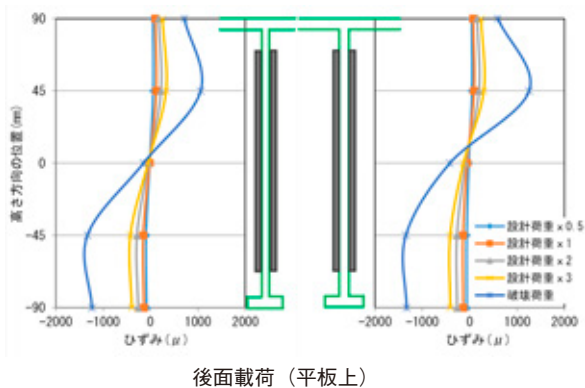


後面載荷（平板上）

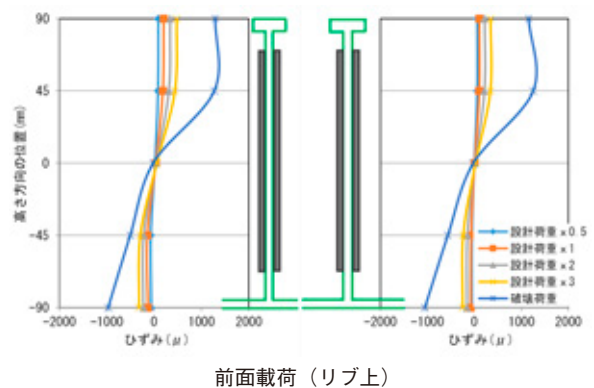


前面載荷（リブ上）

図11 基部の平板ひずみ分布



後面載荷（平板上）



前面載荷（リブ上）

図-12 基部のリブひずみ分布

## 2) 防風柵載荷実験

防風柵載荷実験における荷重と鉛直変位の関係を図-13に示す。鉛直変位の計測点は、図-5に示す載荷位置とし、リブ部の2点を計測した。実験では、前面載荷、後面載荷供試体ともに、載荷直後から荷重の増加とともに変位が線形的に増加していくが、初期の変位増加傾向

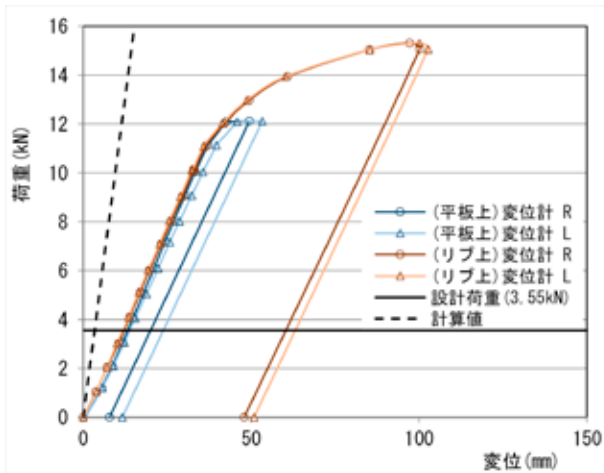


図-13 荷重と鉛直変位の関係

は、FRPの剛性を考慮して求めた計算値の傾きと比べ、大きくなっている。これは、図-15の取付金具の変形状況から見ても、壁高柵載荷試験と同様、基部のアンクルの変形が影響していると考えられる。その後、荷重10kNを超えると線形性が崩れ、変位が大きくなる傾向が見られ、ここで鋼製アンクルが降伏したと考えられる。

さらに載荷を継続すると、平板上載荷では、約12kNで図-16に示すように平板とリブの境界面でFRPが基部側から破断した。これは、リブのWEBが添接板で拘束されていることから、載荷時の水平せん断力と曲げモーメントによる鉛直方向の引張力により、強度の小さいパネル幅方向に破断したと考えられる。一方、後面載荷供試体での破断荷重が、約15kNと前面載荷供試体より大きいのは、曲げモーメントによる境界部に作用する鉛直力が圧縮となるためと考えられ、図-17の破断時のひび割れ幅が小さいことから説明できる。

なお、前面載荷、後面載荷ともに鋼製アンクル材が降伏した荷重(約10kN)でも設計荷重の約3倍であり、風荷重に対して十分な耐荷力を有していることが確認できた。



図-14 実験時の状況 (リブ上)

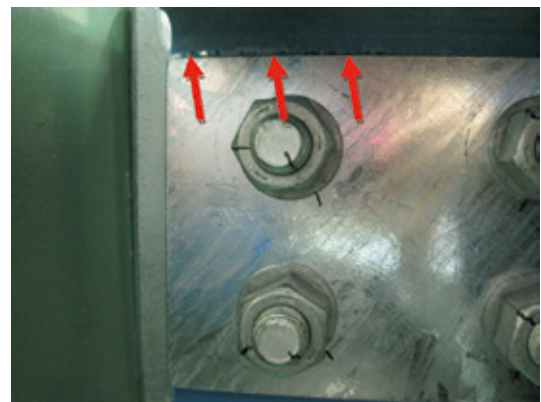


図-16 平板上載荷の実験終了時のFRP破断状況



(平板上)



(リブ上)

図-15 実験終了時の取付金具の変形

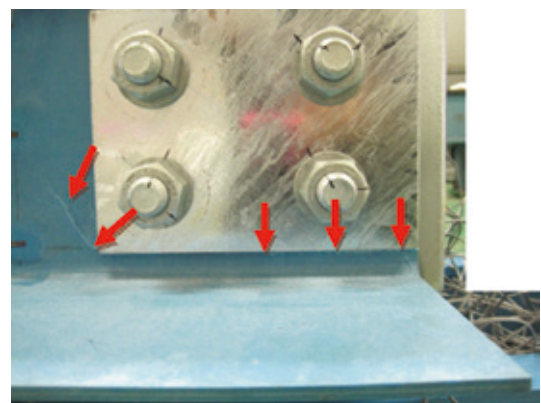


図-17 リブ上載荷の実験終了時のFRP破断状況

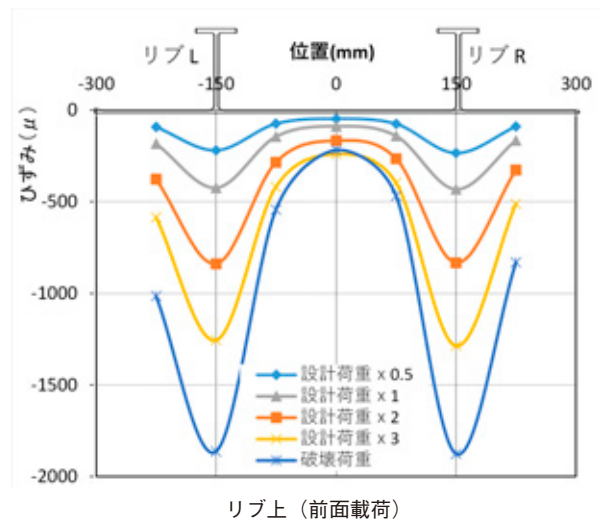
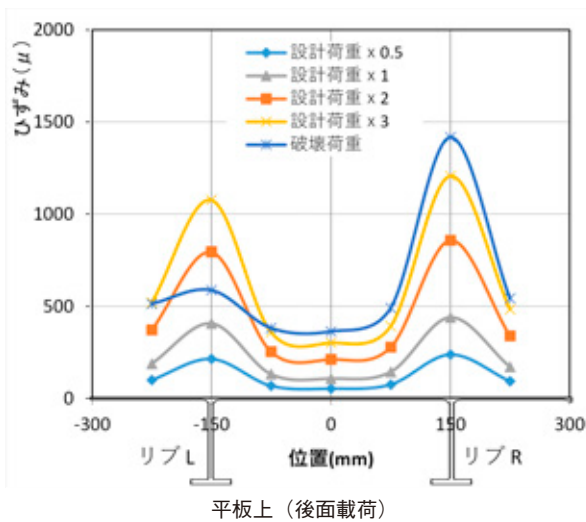


図-18 基部の平板ひずみ分布

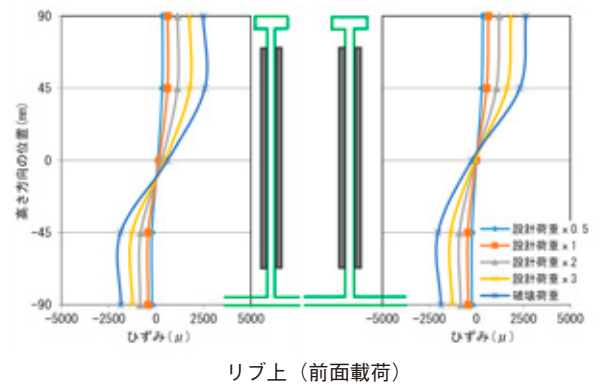
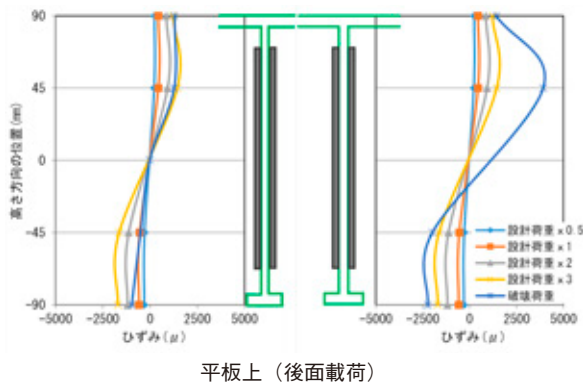


図-19 基部のリップひずみ分布

図-18に、FRP材基部の平板の水平方向ひずみ分布を示す。これより、前面載荷、後面載荷ともに、リップのWEB部のみを鋼製アングルで接続していることから、リップ位置でのひずみが大きく、リップ間のひずみが小さい傾向が確認できる。なお、後面載荷供試体の破壊時のリップLのひずみが小さくなっているのは、平板とリップの境界部が破断した影響と考えられる。一方、前面載荷供試体では、ひび割れが生じているにも関わらず、破壊荷重のリップ部ひずみが小さくなっていない。これは、平板側に圧縮力が作用するため、ひび割れが生じても応力伝達が可能となるためと考えられる。

図-19に、FRP材基部におけるリップWEB部の水平方向のひずみ分布を示す。これより、前面載荷、後面載荷ともに、設計荷重の3倍まで連結板位置のひずみが大きく、リップフランジ部と平板部のひずみが、これらより若干小さくなる傾向が見られる。これは、壁高欄載荷試験と同様の理由と考えられ、後面載荷のL側リップの破壊荷

重時のひずみが小さくなっているのは、ひび割れが生じているためである。

## 5. まとめ

本研究では、FRP壁高欄について、静的耐荷力実験により耐荷性能を確認した。得られた知見を以下にまとめる。

高欄基部に着目した載荷実験の結果、壁高欄で設計荷重の約7倍、防風柵で約3倍の耐荷力を有することが確認できた。

壁高欄、防風柵に用いる基部の鋼製アングル材は、FRPとの接合面での滑りは生じておらず、今回の応力レベルでは摩擦接合として機能することが確認できた。

壁高欄の基部を鋼製アングル材とした場合、アングル材の降伏荷重で耐荷力が決まるため、変形しないような構造改善を行うことで、耐荷力が向上すると考えられる。

## 参考文献

- 1) 久保圭吾：土木構造物へのFRP材料の適用事例，土木学会第7回FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム，pp.51-60,2018.
- 2) 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.  
2020.6.15 受付

## グラビア写真説明

### 高速横浜環状北西線青葉地区上部・橋脚（その2）工事

横浜北西線は、2017年3月に開通した横浜北線と直結する路線として、東名高速道路と第三京浜道路を結ぶ、延長約7.1kmの自動車専用道路です。2020年3月に横浜北西線が開通した事により、横浜北線と一体となり、東名高速道路から横浜港までが直結され、横浜市北西部と横浜都心・湾岸エリアとの連絡強化等が図られます。

本工事は、東名高速道路の横浜青葉インターチェンジと第三京浜道路の港北インターチェンジを結ぶ高速横浜環状北西線のうち、北西線と東名高速道路をつなぐ連結路の鋼製橋脚（15基）および上部工（新設5橋、拡幅1橋）の工事です。

施行は、当社とエム・エムブリッジ（株）他3社共同企業体で行っております。

なお、本工事は首都高速道路（株）より2019年度優秀工事表彰を受けました。（野村 洋）

### 高速1号羽田線（東品川栈橋・鯨洲埋立部）更新工事

本工事は、建設から55年以上が経過した首都高速1号羽田線のうち、構造物の高齢化が進行しており、京浜運河上に位置するため過酷な腐食環境に置かれている東品川栈橋部、鯨洲埋立部の首都高速道路を更新する工事です。

この区間は1日あたり約7万台の交通量があり、首都高速道路や周辺的一般道路への交通影響を極力低減するために長期通行止めを行わないことを前提とし、う回路による交通の切り回しを行いながら段階的に施工を行っています。現場は既設高速道路と東京モノレールおよび京浜運河の護岸に囲まれており非常に狭隘な中、床板や壁高欄などにプレキャスト（PCa）部材を積極的に採用することで現場での作業量を減らし、高速施工を実現しました。

I期線（上り線）の工事が完了し、2020年6月に羽田線（下り）の交通を更新線（暫定）に切り替えました。2025年度の工事完成に向けて安全第一で工事を進めております。（前山 裕人）

### 中部横断法洗沢川橋上部工事

本工事は、静岡県静岡市を起点とし長野県小諸市に至る延長約132kmの中部横断自動車道のうち、身延山ICと下部温泉ICの区間に架設する、橋長86mの鋼上路式単純非合成トラス橋です。本工事区間は、急峻な山岳地帯で桁の直下が砂防指定地域であり栈橋設置が出来ない等の理由から、架設はケーブルエレクション直吊り工法が採用されました。

当初はジブクレーンによる施工が採用されておりましたが、安全性や工程の短縮・狭隘なヤード特性などを考慮し、ケーブルエレクションに追加接続が可能なティルティング鉄塔を利用するケーブルクレーン設備の架設に変更しました。本工事では、特殊な施工方法を活用することで、急峻な山岳地帯における作業ヤードの問題点を解決し、無事故・無災害にて竣工することが出来ました。（前山 裕人）