

# 歩道拡幅用FRP床版に関する実験的研究 (床版上載タイプ)

## Experimental Study on the FRP Sidewalk Deck for Widening Bridge Width (on the Slab Type)



久保 圭 吾<sup>\*1</sup>  
Keigo KUBO



角間 恒<sup>\*2</sup>  
Ko KAKUMA



岡田 慎哉<sup>\*3</sup>  
Shinya OKADA



松井 繁之<sup>\*4</sup>  
Shigeyuki MATSUI

### 要 旨

近年の交通安全対策の観点から、歩道の拡幅要望が増加しており、特に道路橋では必要幅員が確保されない橋梁が数多く存在することから、橋梁の歩道拡幅が急務となっている。このような背景の下、軽量で耐食性に優れるガラス繊維強化プラスチックを用いた道路橋の歩道拡幅構造を考案した。本研究では、床版上載タイプの実物大床版供試体を用いて高欄への水平荷重および群集荷重に着目し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：歩道拡幅，FRP，耐荷性能

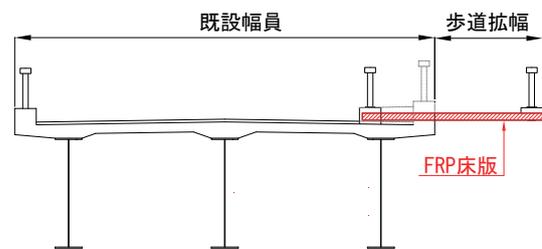
### 1. はじめに

近年の交通安全対策の観点から、歩道の拡幅要望が増加しており、道路橋に関して言えば、旧来の道路構造令に基づく幅員設計や架設当初からの交通環境の変化に伴い必要幅員が確保されない橋梁が数多く存在することから、橋梁の歩道拡幅が急務となっている。

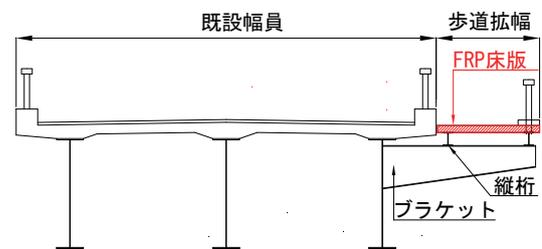
橋梁で歩道を拡幅する場合、死荷重を軽減するために鋼製の歩道を既設橋梁に添架して必要幅員を確保することが多いが、上部工重量の増加により既設桁の補強や下部工の補強等が必要となる場合もあり、さらなる軽量化が望まれている。また、海岸部や凍結防止剤を散布する積雪寒冷地では、塩害により鋼材の腐食が促進する環境にあることから、耐食性に優れた材料の選定も必要となる。このため、近年、軽量で耐食性に優れるアルミニウム床版<sup>1)</sup>が歩道拡幅に適用され始めているものの、電食やアルカリ腐食等の課題がある。

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<sup>2)</sup>や検査路<sup>3)</sup>、歩道橋<sup>4)</sup>などの橋梁構造物の構造部材として適用事例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）を用いた道路橋の歩道拡幅構造（以下、FRP歩道拡幅床版）を考案した。この

FRP歩道拡幅床版の構造としては、図-1に示す床版上載タイプ<sup>5)</sup>およびブラケット支持桁タイプ<sup>6)</sup>があるが、本研究では、床版上載タイプの実物大床版供試体を用いて高欄（歩行者自転車用柵）への水平荷重および群集荷重に着目した静的耐荷力実験を実施した。本論文では、これらの結果について報告する。



(a) 床版上載タイプ



(b) ブラケット支持桁タイプ

図-1 歩道拡幅構造の種類

<sup>\*1</sup> 橋梁事業本部 技術本部技術部技術開発グループ 担当リーダー

<sup>\*2</sup> (独) 土木研究所 寒地土木研究所

<sup>\*3</sup> (独) 土木研究所 寒地土木研究所

<sup>\*4</sup> 大阪大学名誉教授

## 2. 構造概要

歩道拡幅用FRP床版の概要図を図-2に示し、その概略を以下に記す。

本研究で使用するFRPは、強化繊維にガラス繊維を使用したGFRPである。繊維や樹脂の種類、成形材の繊維構成、成形方法、成形材の材料特性等は、「FRP合成床版設計・施工マニュアル(案)」<sup>7)</sup>に基づくものとした。

拡幅は、ブラケットや支持桁の増設等は行わず、歩道のマウントアップを撤去した後にFRP床版をRC床版に上載して一体化する構造とすることで、死荷重を軽減し、既設桁の補強を最小限とする。

FRP床版は、下フランジ付きリブを有する $\pi$ 型断面FRP引抜成形材(以下、FRP成形材)を複数枚並べて連続化するFRPパネル構造とする。FRP成形材同士の継手はラップ継手構造とし、接着面はエポキシ樹脂系接着剤を用いてラップ面を接着し、密着性を確保するためにステンレス製のプラインドリベットで固定する。

FRP床版とRC床版は、RC床版に設置したアンカーボルトとFRP床版内に流し込むコンクリートとの定着により一体化する。なお、FRP床版には、コンクリート充填用のFRP埋設型枠、充填孔および空気孔を設ける。

拡幅部の軽量化および水や塩分に対する耐久性向上の観点から、地覆についてもFRPハンドレイアップ成形材で施工する。地覆プレートとFRP床版は、エポキシ樹脂系接着剤とステンレスプラインドリベットの併用により接合する。

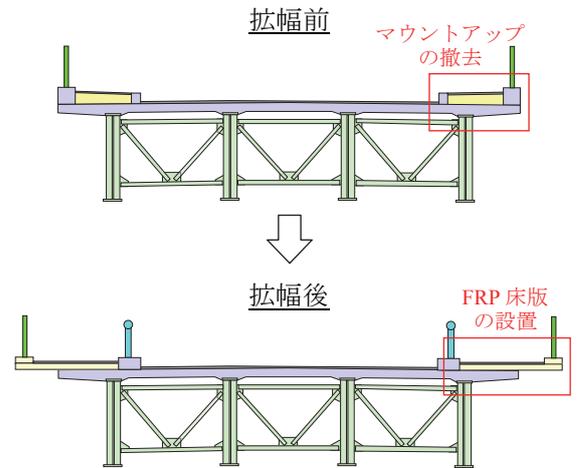
鋼製高欄は、地覆プレート内に設置した鋼製台座に支柱を設置し、鋼製台座とFRP床版下側に設ける補強板でFRP床版を挟み込みアンカーボルトで接合する構造とする。

## 3. 耐荷力実験

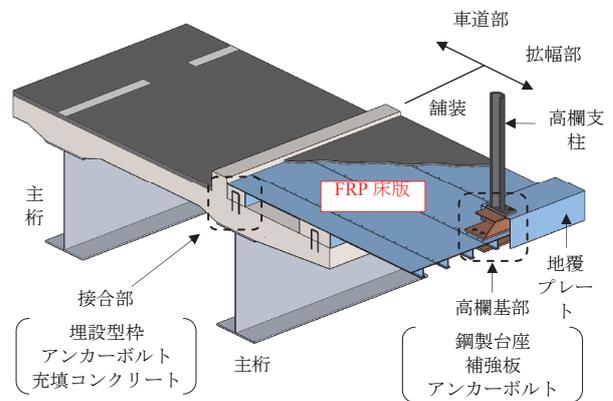
FRP歩道拡幅床版の耐荷性能を確認するため、実物大床版供試体を製作し、静的耐荷力実験を行った。本研究では、高欄への水平荷重(寄り掛かり)に対する高欄基部の耐荷性能および張出部への鉛直荷重(群集荷重)に対するFRP床版の耐荷性能に着目して、それぞれ水平載荷実験および鉛直載荷実験を実施した。

### 3.1 実験供試体

実験に使用した供試体を図-3に示す。供試体は実橋における拡幅に対応した寸法とし、橋軸直角方向全長を



(a) 拡幅のイメージ



(b) 拡幅部詳細

図-2 FRP歩道拡幅床版の構造概要図

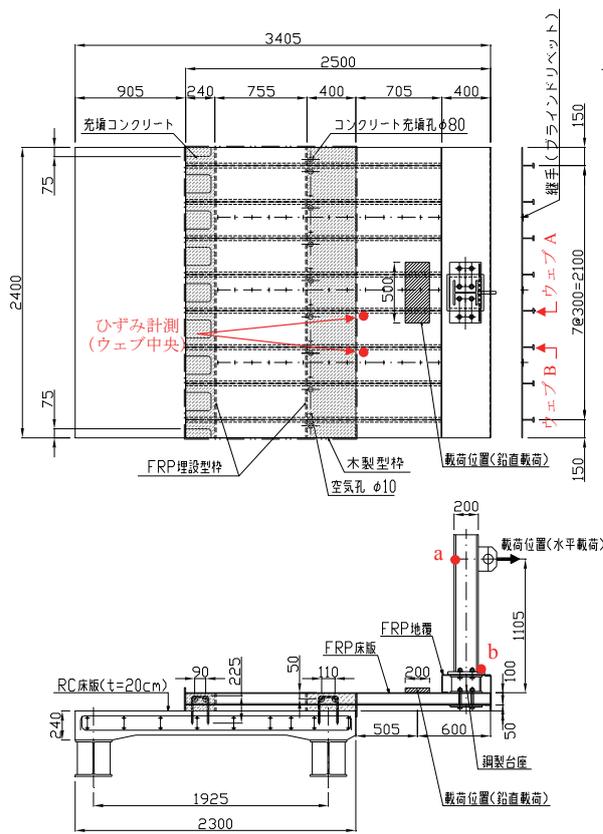
3,405mm、既設RC床版長さを2,300mm、FRP床版長さを2,500mmとした。橋軸方向全長は、幅600mmのFRP成形材を4枚並べた2,400mmとした。床版厚は、RC床版厚を200mm、FRP床版厚を100mmとした。

FRP床版張出部先端には、図-3(c)(d)に示す地覆プレート、高欄支柱、高欄設置用の鋼製台座と補強板を設置した。なお、高欄支柱には載荷の容易さを考慮してH形鋼を使用した。

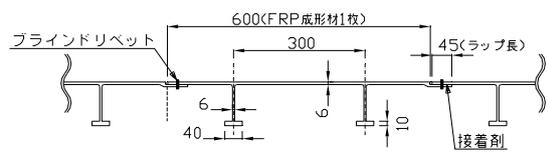
供試体は、既設RC床版に支間1,925mm間隔で支持桁を配置して架台に固定した。なお、載荷時の転倒を防止するため、実橋とは異なる支持桁の配置としている。

### 3.2 使用材料

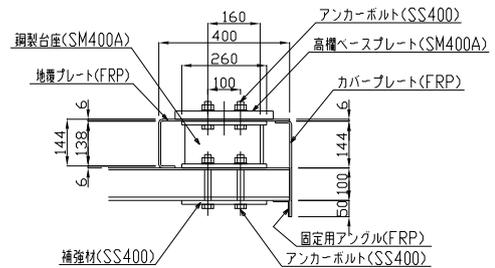
供試体に使用したFRP成形材は、ガラス基材としてコンティニューアストランドマットおよびガラスロービングを、引抜成形用樹脂として不飽和ポリエステル樹脂を使用したものである。JIS K 7054(ガラス繊維強化プラ



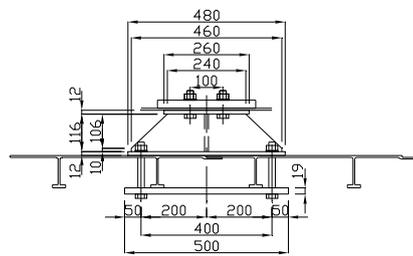
(a) 供試体全体図



(b) FRP 成形材の断面形状



(c) 高欄基部詳細図 (側面)



(d) 高欄基部詳細図 (橋軸直角断面)

図-3 供試体図

スティ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、繊維方向について、引張強度  $409\text{N/mm}^2$ 、圧縮強度  $313\text{N/mm}^2$ 、引張弾性係数  $35\text{kN/mm}^2$  であった。また、フランジとウェブの隅角部については、繊維直角方向の繊維構成の違いが圧縮強度に与える影響を確認するため、供試体から採取した試験片を用いて JIS K 6911 (熱硬化性プラスチック一般試験方法) に準拠した圧縮試験を実施した。表-1 はその結果であり、上フランジとウェブの隅角部で強度、弾性係数が若干大きいものの、部位による差はほとんど見られなかった。

既設 RC 床版のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと 5mm 以下の細骨材、最大粒径 10mm の粗骨材を使用した。床版コンクリートの配合を表-2 に示す。圧縮強度と弾性係数は、実験時材令 (58日) において、それぞれ  $35.9\text{N/mm}^2$ 、 $28.4\text{kN/mm}^2$  であった。

FRP 床版と RC 床版の定着部の充填コンクリートには、セメントと混和材、細骨材からなるプレミックスタイプの無収縮モルタルに最大粒径 10mm の粗骨材を混合して使用した。充填コンクリートの配合を表-3 に示す。圧

表-1 FRP ウェブの圧縮試験結果 (繊維直角方向)

部位	強度 $\text{N/mm}^2$	弾性係数 $\text{kN/mm}^2$	採取位置
a. 上フランジ側	114.2	18.8	
b. ウェブ中央	101.8	13.4	
c. 下フランジ側	101.4	12.0	

表-2 床版コンクリートの配合

水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
149	290	879	1017	2.9

(単位:  $\text{kg/m}^3$ )

表-3 充填コンクリートの配合

水	プレミックスタ 材	粗骨材
259	1437	574

(単位:  $\text{kg/m}^3$ )

縮強度と弾性係数は、実験時材令 (45日) において、それぞれ  $78.4\text{N/mm}^2$ 、 $29.4\text{kN/mm}^2$  であった。

FRP 床版と RC 床版の定着部のアンカーボルトには D13 (鋼種 SD345) を、高欄基部のアンカーボルトには M20 (鋼種 SS400) を使用した。

### 3.3 載荷方法

水平載荷実験では、高欄頂部（FRP床版上面から1,105mm）を載荷位置とし、載荷位置にワイヤーロープを設置し、これをチェーンブロックで引き込むことで破壊に至るまで荷重を漸増させた（図-3（a）、写真-1（a）参照）。ここでは、歩行者自転車用柵の設計水平荷重2,500N/m（種別SP）<sup>8)</sup>による高欄基部の曲げモーメントと等価な曲げモーメントが供試体の高欄基部に作用するときの荷重5.7kNを本実験における設計荷重として、耐力評価の基準とした。なお、高欄支柱間隔2.0mを想定している。

鉛直載荷実験では、載荷位置をFRP床版の張出部先端から600mm（地覆内側から200mm）の位置の床版中央とし、鋼製の載荷板（500×200mm）を介して破壊に至るまで荷重を漸増させた（図-3（a）、写真-1（b）参照）。ここでは、RC床版の端部（張出先端から1,105mmの位置）に着目して、設計荷重（死荷重および群集荷重）<sup>9)</sup>による曲げモーメントと等価な曲げモーメントが作用するときの荷重13.9kNを本実験における設計荷重として、耐力評価の基準とした。



(a) 水平載荷実験



(b) 鉛直載荷実験

写真-1 実験状況

## 4. 結果および考察

### 4.1 水平載荷実験

水平載荷実験における荷重と水平変位の関係を図-4に示す。水平変位の計測点は、図-3（a）に示す載荷位置（点a）および地覆頂部（点b）である。実験では、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き、荷重6kNを超えた辺りでFRP成形材の繊維が破断する小さな音が確認された。その後は、荷重の漸増により断続的な繊維の破断音とともに剛性が徐々に低下し、設計荷重5.7kNの約2倍の荷重12.1kNで破壊に至り荷重が低下した。また、荷重低下後は5.6kN程度の荷重を保持しており、崩壊に至るような破壊とはならないことが確認できた。

写真-2に、実験終了時におけるウェブA（図-3（a）参照）の損傷状況を示す。FRP床版の破壊は、鋼製台座下側プレート（以下、台座プレート）の端部でウェブ上縁が圧縮せん断破壊する形態であり、これに伴って上フランジとウェブの境界部に沿ってき裂が生じていた。破壊時には鋼製台座と補強板を連結するボルトに緩みが生じていたが、破壊に至るまでに水平変位の急変が見られていないことから、これは破壊とともに生じたものであ

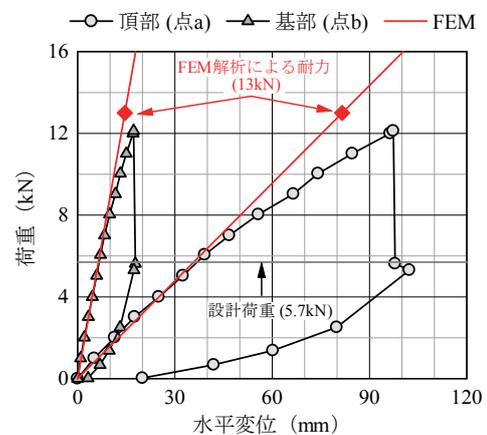


図-4 荷重と変位の関係（水平載荷）



写真-2 ウェブAの損傷状況（水平載荷）

り、FRP床版、鋼製台座、高欄のそれぞれの間で滑りは生じていなかったと考えられる。その他、地覆プレートや地覆プレートとFRP床版の接着部、FRP床版とRC床版の定着部、FRP成形材のラップ継手部については、目視調査による損傷は認められなかった。

#### 4.2 鉛直載荷実験

鉛直載荷実験における荷重と載荷点鉛直変位の関係を図-5に示す。実験では、荷重の増加とともに変位が線形的に増加し、荷重40~50kNの間で最初の繊維破断音を確認された。その後も概ね荷重に比例して変位が増加し、荷重69.1kNのときにFRP床版の中央4本のウェブのせん断破壊が生じて荷重が低下したため実験を終了した。最大荷重69.1kNは設計荷重13.9kNの5倍であり、本構造が群集荷重に対して高い安全性を有していると考えられる。

写真-3は、実験終了時におけるウェブAの損傷状況である。き裂は支点側を起点とし、ウェブの中腹部を張出側に向かって瞬時に進展するものであった。図-6に

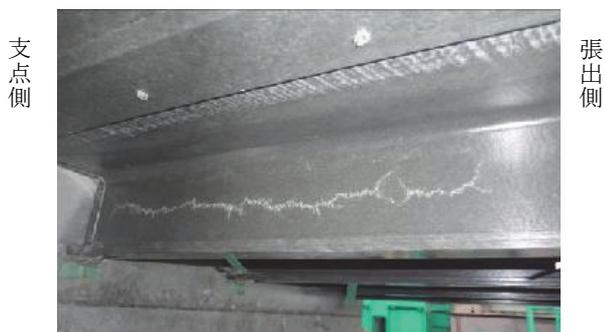


写真-3 ウェブAの損傷状況 (鉛直載荷)

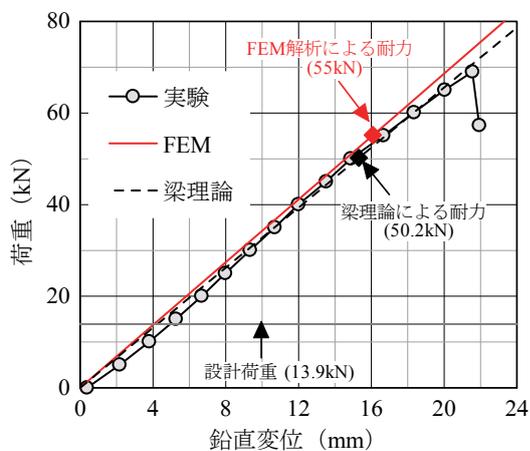


図-5 荷重と載荷点変位の関係 (鉛直載荷)

は、ウェブAおよびBの破壊位置における荷重と面内せん断ひずみの関係を示す。計測位置は、RC床版端部から張出側50mmの位置におけるウェブ中央高さである(図-3(a)参照)。実験終了時にはウェブAおよびBともにせん断破壊していたが、せん断ひずみの推移を見るとひずみの値はウェブBがAの25%程度である。このことから、き裂が発生した中央4本のウェブのうち外側の2本については、内側2本のウェブの破壊に伴い荷重分担のバランスが変化した後に発生したものであり、耐力への寄与率は大きくないものと推察される。

なお、FRP床版とRC床版の定着部アンカーボルトに作用する引抜荷重は最大で0.6kN程度であり、FRP床版の破壊時であってもアンカーボルトの引抜けの懸念がないレベルであった。その他、RC床版、定着部の充填コンクリート、FRP成形材同士の継手部においても、目視調査による損傷は認められなかった。

次に、FRP歩道拡幅床版の群集荷重に対する設計手法の検討として、梁理論によるたわみおよび応力の計算を行い、耐力および破壊形態について実験結果との比較を行った。

たわみの計算には、FRP成形材のせん断変形の影響を考慮してTimoshenko梁理論を適用した。また、前述した耐力への各ウェブの寄与率を考慮して、FRP床版張出部の中央ウェブ2本 (FRP成形材1枚分、幅600mm) を計算断面とした。耐力については、ウェブのせん断破壊および下フランジの圧縮破壊のそれぞれに対して耐力を計算し、その際、組み合わせ応力の影響は考慮しないものとした。

図-5中には、梁理論により得られた荷重と載荷点鉛

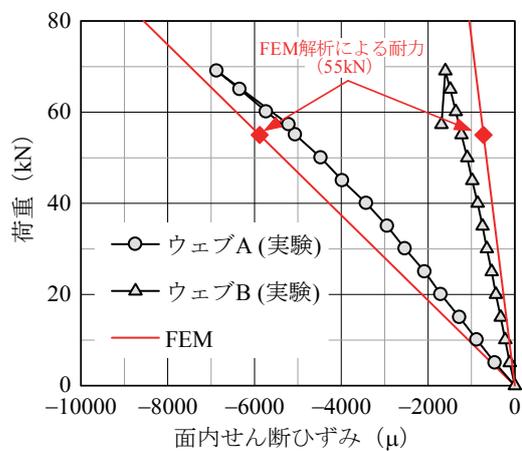


図-6 荷重と面内せん断ひずみの関係 (鉛直載荷)

直変位の関係を図示する。耐力は、下フランジの圧縮破壊とウェブのせん断破壊について、それぞれ56.3kN、50.2kNであり、破壊形態は実験と同様にウェブのせん断破壊と推定された。計算耐力と実験耐力を比較すると、計算結果が安全側の耐力を与え、その耐力比は1.38 (= 69.1/50.2) であった。このことから、群集荷重に対しては、FRP成形材ウェブの応力性状に基づき計算断面を適切に評価することで、設計時の安全率を見込んだ耐力算定が可能であると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、FRPを用いた道路橋の歩道拡幅構造について、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。

高欄基部の耐荷性能に着目した水平載荷実験の結果、設計荷重の2倍程度の耐力が得られた。

群集荷重に対する耐荷性能に着目した鉛直載荷実験の結果、設計荷重の5倍程度の耐力が得られ、本歩道拡幅構造が群集荷重に対して高い安全性を有することを確認した。

## <参考文献>

- 1) 山田雅義, 武本頼和: アルミ床版による新加古川大橋拡幅について, 第1回アルミニウム合金構造物実現のためのシンポジウム, pp.26-27, 2004.
- 2) 久保圭吾, 西田正人, 河西龍彦, 筒井秀樹, 松井繁之: 棧橋構造に適用したFRP合成床版の設計と施工, 第5回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.315-320, 2006.
- 3) 永見研二, 渡部陽一: FRP製付属物の製作・施工—NEXCO中日本 新東名FRP製付属物—, 宮地技報, No. 26, pp.97-105, 2011.
- 4) 北山暢彦, 宇野名右衛門: 伊計平良川線ロードパーク連絡歩道橋の設計・製作・架設, 石川島播磨技報 2001橋梁特集号, pp.82-86, 2001.
- 5) 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.
- 6) 保呂秀次, 田村修一, 久保圭吾, 角門恒, 岡田慎哉, 松井繁之: FRP歩道用拡幅床版の耐荷性能に関する研究, 第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.189-194, 2014.10.
- 7) FRP合成床版研究会: FRP合成床版設計・施工マニュアル(案), 2009.
- 8) 日本道路協会: 防護柵の設置基準・同解説, 2008.
- 9) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 2012.

2014.3.12 受付

## グラビア写真説明

### 竜の口橋りょう

昭和63年に仙台市営地下鉄南北線が全線開通いたしました<sup>が</sup>、東西線は仙台駅を挟んで東西を結ぶ鉄輪式リニアモーター方式を採用した鉄道です。この路線の内、本橋は仙台市の特別環境保全地区である深さ50mの竜の口溪谷に架橋された鉄道・道路併用ダブルデッキトラス橋です。

溪谷の環境影響が最小となるよう配慮しつつトラベラクレーン張出し架設にて施工いたしました。施工中に東北地方太平洋沖地震が発生し頻繁に発生する大きな余震のさなかで張出し架設を行いました。さまざまな地震対策を行いつつ無事施工を終えることができました。

(大河原 邦男)