

平成 21 年 4 月 26 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2008 年度
 課題番号：18560469
 研究課題名（和文） 繊維強化プラスチック引き抜き成形材を用いた歩道橋の実用化
 研究課題名（英文） Practical Application of Pedestrian Bridges Using Fiber Reinforced Plastic Pultrusion Profiles
 研究代表者
 前田 研一（MAEDA KEN-ICHI）
 首都大学東京・大学院都市環境科学研究科・教授
 研究者番号：60244414

研究成果の概要：新形式の床版橋タイプ単径間 GFRP 歩道橋の接着接合された合成断面の変形性能と安全性、および、経済性を飛躍的に高められる疑似両端固定支持構造と長大化に不可欠な現場架設用主桁ブロック連結構造の安全性の検討成果などから総合的に評価した結果、極めて高い実用性を検証することができた。さらに、せん断変形を考慮して設計たわみや反力を極めて簡易に算定できる梁公式の提案を含めて、具体的な設計法を提示することもできた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006 年度	1,100,000	0	1,100,000
2007 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2008 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	720,000	4,220,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：複合構造

1. 研究開始当初の背景

耐食性に極めて優れた GFRP 歩道橋の普及のためには、鋼やコンクリートに比べて高価な材料をより有効に活用できる構造形式の適用が不可欠であり、比較的安価な引き抜き成形材を用い、それを効率的に抵抗断面とすることができる新形式の開発、および、断面決定を支配する曲げたわみを大幅に低減できる支点条件の採用が求められていた。

2. 研究の目的

本研究は、既製品の GFRP 引き抜き成形材を用いた新形式の床版橋タイプ単径間歩道

橋の実用性を検証し、その具体的な設計法を提示することを目的としたものである。

本形式は、I 形材を等間隔に並べ、それらの上下面にシート材を接着接合により積層させて一体化した合成断面をすべて抵抗断面とするとともに、さらに経済性を飛躍的に向上させるために、断面決定に支配的な曲げたわみを大幅に低減できる疑似両端固定支持条件とすることを提案したものである。

3. 研究の方法

提案した床版橋形式単径間 GFRP 歩道橋の実用性の検証および設計法の提示のために、

接着結合された合成断面の変形性能、経済性を飛躍的に高められる疑似両端固定支持構造と長大化に不可欠な現場架設用主桁ブロック連結構造の安全性などについて、試設計結果に基づき実験的・解析的に検討した。

実験は、接着合成断面構造、疑似固定支持構造、および、主桁ブロック連結構造を模した実大部分模型試験体による4点曲げ載荷試験に加え、これらを補完する目的で多種多様な短冊形試験片による引張クーポン試験も実施した。一方、解析は、骨組モデル、および、連続体モデルによる FEM 解析を実施して、実験計画や実験結果の考察に適用した。

4. 研究成果

(1) 概略試設計

まず、図-1 に示すような支間長 $L=16\text{m}$ の実橋モデルの概略試設計を行っている。断面形状は、図-2 に示すようであり、引き抜き成形材の I300 材と F1000 シート材を接合面の不陸を吸収できる接着層（マットイン）により接合することとし、それらが一体化された合成断面を抵抗断面としている。地覆・高欄は非構造用の GFRP 引き抜き成形材であり、断面剛性には寄与しないものとした。立体横断施設技術基準・同解説に準拠し、疑似両端固定支持条件として群集荷重 3.5kN/m^2 を載荷した結果、たわみ制限 $L/600$ を満足できた。

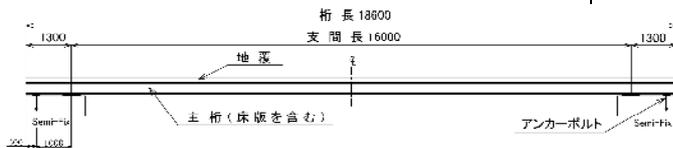


図-1 床版橋形式 GFRP 歩道橋の一般図

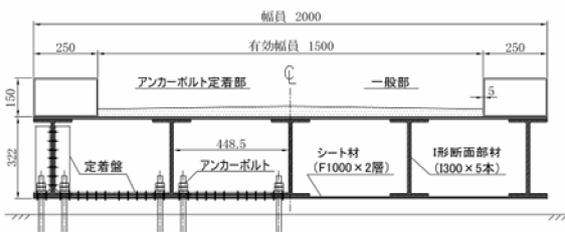


図-2 床版橋形式 GFRP 歩道橋の断面図

(2) 接着合成断面構造の変形性能

接着結合された合成断面の変形性能を検証するために、床版形式歩道橋の桁断面の一部を対象として、引き抜き成形材をマットイン接着で貼り合わせ、実大模型を製作して4点曲げ載荷試験を実施した。実大模型試験体の断面図とセットアップ状況の写真を図-3、写真-1 にそれぞれ示す。図-3 に示すように、模型断面は、2本の I300 と2層の F1000 シート材で構成されている。また、既製品の F1000 の幅は 1000mm であることから、実構

造における継ぎ目を想定して、シート材については、フランジの中心から張り出した部分で一旦、切断したものを貼り付けて制作した。荷重は荷重制御で 300kN まで静的に載荷し、ここでは支間中央部のたわみと平面保持特性について着目した。

実験結果として、荷重-たわみ曲線と 300kN 載荷時のたわみ分布曲線を描き、異なる弾性係数で構成される合成断面の曲げ剛性から求めたたわみの理論値と比較した。その結果、作用させた荷重の範囲では比例関係にあり、せん断変形の影響を考慮して算定されたたわみの理論値とよい一致を示すことが確かめられた。一方、図-4 に、300kN 載荷時の支間中央断面における垂直ひずみ分布を示す。この図より、接着結合された断面であっても平面保持することが確かめられたが、実験値は理論値よりも若干低くなった。

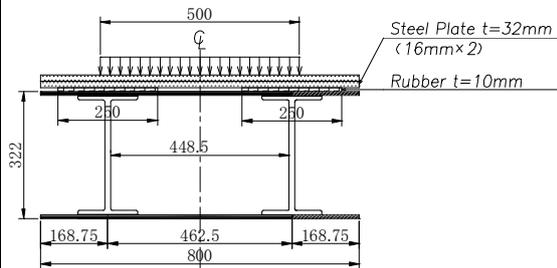


図-3 実大模型の断面図



写真-1 載荷試験のセットアップ状況

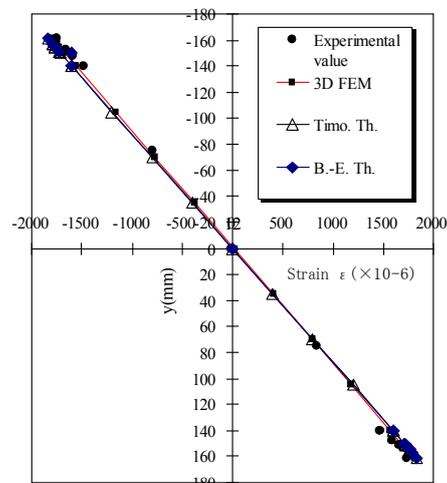


図-4 中央断面における垂直ひずみ分布

(3) 疑似両端固定支持構造の安全性

床版橋形式歩道橋では、正反力を受けるゴム支承と負反力を受けるアンカーボルトによる擬似的な両端固定支持条件とすることを提案している。試設計では、アンカーボルトについては、I300材の下フランジ位置に各2本配置することとし、せん断変形の影響を考慮できる提案した支点反力算定公式から求めた設計軸力によりφ20のステンレスボルトとした。また、このアンカーボルトに作用する引張力をI300材のフランジのみではなく、ウェブにも負担させるため、垂直補剛材を有するL字型定着盤をブラインドリベット(SUS305 φ4.8, せん断強度5.3kN/本)とエポキシ樹脂系接着剤により接合することとした。

しかしながら、事前の模擬試験では接着層の界面剥離が発生したため、そのような剥離を生じたアンカーボルト部周辺における接着層の界面せん断応力を低減させるために、F1000シート材を挿入してステンレス板で覆われた水平定着盤を全幅に拡大し、界面せん断応力作用面を大幅に広げるとともに、同様に大きなせん断力を受けるゴム支承部周辺にも設けることとした。また、垂直補剛材を有するL字型定着盤については、材料試験結果に基づくFEM解析から、両端のI300材のみの両側に設けるものとした。これらの定着盤の設置によって、界面せん断応力の最大解析値を40%程度低減することができたが、より安全性を高めるため、さらに、アンカーボルト部とゴム支承部の周辺をブラインドリベットにより補強することとした。

これらの改善策と補強が施された疑似固定支持構造の安全性を検証するために、実大部分模型試験体を製作して、静的荷重試験(写真-2)を実施した。その変形・応力特性を合理的に検証するために、本研究では、模型試験体(図-5、-6)を張り出し梁構造として、一端にアンカーボルトを、中間支点到にゴム支承を配置し、もう一端の張り出し部先端に荷重点を設けて集中荷重を作用させた。

実験結果の一部を、図-7、-8に示す。線形範囲内で実験値とFEM解析値がよく一致し、アンカーボルト4本の作用軸力の実験値がほぼ均等に増加していることから、試験は妥当であったことが確かめられる。荷重とその荷重位置における変位との関係を示す図-7では、荷重荷重152.2kNで実験値にズレがみられ、荷重とアンカーボルトのひずみとの関係を示す図-7では、荷重荷重166.0kNで実験値にズレがみられるが、その後も荷重を続行することができ、最終的に、荷重荷重207.1kNで中間支点ゴム支承付近のF1000シート材下面が圧縮破壊して終局となった。

上述の荷重荷重152.2kNにおける現象は、荷重点付近でのF1000シート材の剥離によるもので、アンカーボルトのひずみには変化が

みられなかったことから解るように、荷重システム上の問題である。また、荷重荷重166.0kNにおける現象は、アンカーボルト上端のダブルナット部が定着盤に陥没したもので、定着盤の設計を改めることにより回避できるものである。したがって、試設計時の反力に対して、最大荷重荷重207.1kNにおけるアンカーボルト軸力の実験値から算出した反力の安全率が7.36(荷重荷重166.0kNの場合でも5.90)となったことから、極めて高い安全性を有することを検証できた。



写真-2 荷重試験のセットアップ状況

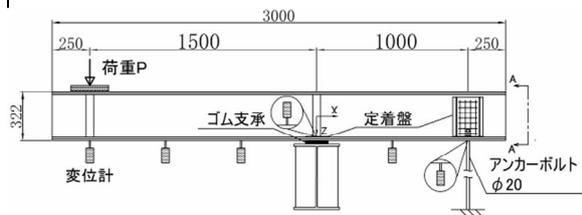


図-5 模型試験体の側面図

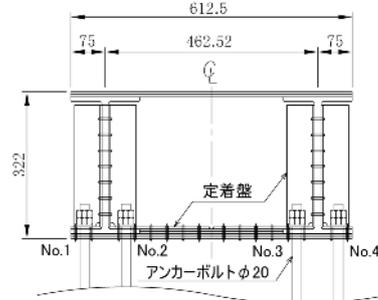


図-6 模型試験体の断面図(A-A断面)

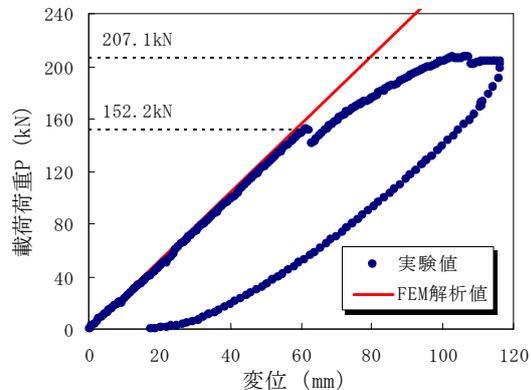


図-7 荷重-変位曲線(荷重位置)

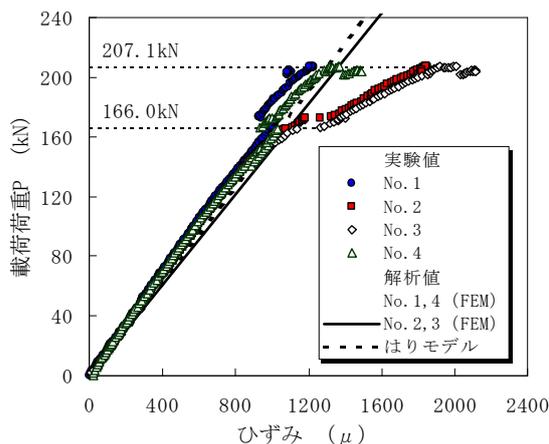


図-8 アンカーボルトの荷重-ひずみ曲線

(4) 主桁ブロック連結構造の安全性

現場架設用主桁ブロック連結構造については、連結箇所を支間中央部に設定し、接合にはブラインドリベット(ステンレス製φ4.8mm)を、添接板にはステンレス鋼板(t=4mm)を用いることとした。また、連結部におけるI300材とF1000シート材の接合部には、施工性を考慮してマットインに替えて厚層にも対応できるエポキシ樹脂接着剤を用いることとした。

本研究では、全強設計とはせず、安全率を3.0と仮定して、設計断面力から連結部の試設計を行ったが、フェールセーフ設計とすることを提案し、単純支持条件(アンカーボルト破断時を想定)での設計断面力を採用することとした。さらに、I300材とF1000シート材の継手位置をずらすことで、連結部の応力の集中を分散することとし、施工上の観点から上側のシート材の継手を2箇所にするので、ハンドホール用の開口部を設けた。以上を踏まえた主桁連結部の概念図を図-9に示す。なお、この連結部で必要となるブラインドリベットは1928本であった。

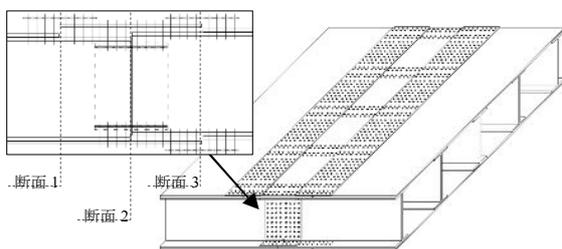


図-9 主桁連結部の概念図

主桁ブロック連結構造の安全性を検証するために、実橋モデルにおける連結部を再現した実大部分模型試験体(図-10、写真-3)を製作し、4点曲げ載荷実験(図-11)を実施した。ここでは、ブラインドリベットに対す

るせん断力が一様に作用するように、添接板の接合面にエポキシ樹脂接着剤(以下、添接板用接着剤)を塗布して接合した。また、応力の伝達特性を把握するため、添接板の表面にひずみゲージを貼付した。さらに、連結部での耐荷力を把握することを目的としていることから、マットインで接着されている部分をブラインドリベットで補強した。

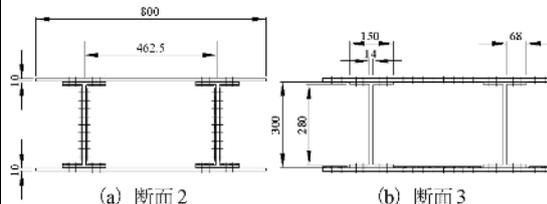


図-10 模型試験体の連結部の断面図

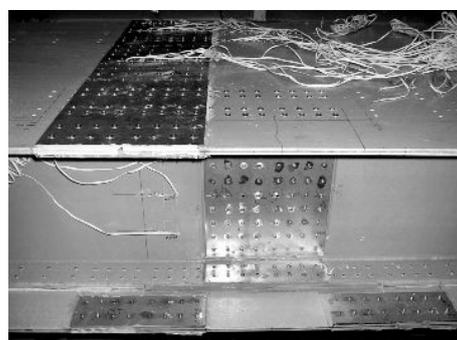


写真-3 模型試験体の連結部

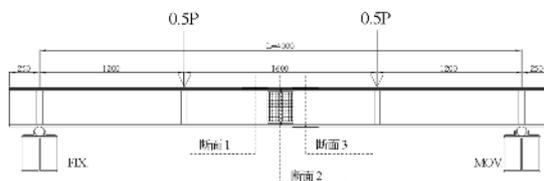


図-11 連結部模型の4点曲げ載荷実験

実験結果の一部として、図-12に荷重-変位曲線を示す。最大荷重727.8kNであり、リベットのせん断破壊強度から予測された荷重約560kNを大きく超えた。断面1の連結部の端部と載荷点のほぼ中間で、上フランジ部に座屈が生じ終局となったが、連結部に損傷はなかった。ただし、載荷中に荷重500kNを超える頃から破壊音が頻発した。図-13に示した断面3における添接板のひずみ分布からも、500kN以降、端部からひずみが低下しており、各部で接着剥離が進展したと考えられた。

最大荷重時における連結部の縁応力は121.1MPaであり、実橋モデルにおける連結部の作用応力の最大値は10.8MPaであることから、連結部の安全率は11.2以上となり、十分な安全性を有しているといえた。一方、接着剤の初期はく離荷重は500kNと予測され、接着接合に対しても安全率7.7を確保している

ことが確かめられた。

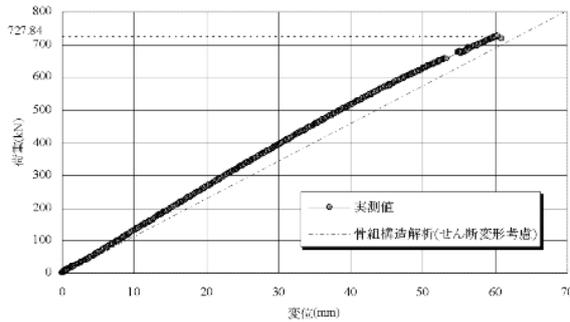


図-12 荷重-変位曲線

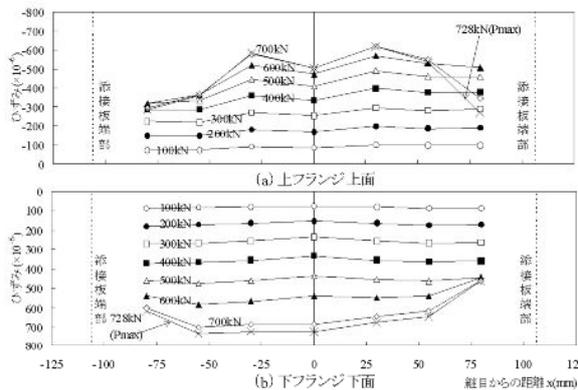


図-13 断面3における添接板のひずみ分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

①Hitoshi Nakamura, Ken-ichi Maeda, Nobuhiko Kitayama, Tetsuya Watanabe : Experimental and Analytical Studies on a Pedestrian Slab Bridge Using GFRP Pultrusion Profiles, Proceedings of International Workshop on Fiber Composites held at University of South Queensland, pp.77-82, 2008 (査読無)

②Ken-ichi Maeda, Hitoshi Nakamura, Xian Cui, Nobuhiko Kitayama and Tetsuya Watanabe : Development of Pedestrian Slab Bridge Using GFRP Pultrusion Profiles, Proceedings of Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS '2007), pp.1093-1099, 2007 (査読有)

③崔 賢, 前田研一, 中村一史, 北山鴨彦, 渡邊哲也: 引き抜き成形材を用いた擬似両端固定支持 GFRP 歩道橋の開発, 複合構造の活用に関するシンポジウム講演集, Vol.7, CD-ROM (論文 No.61), 6pages, 2007 (査読無)

〔学会発表〕(計 5 件)

① 苅屋彰吾, 藤田盛吾, 中村一史, 前田研一, 渡邊哲也: 床版橋形式GFRP 歩道橋に用いた引き抜き成形材による組み合わせ部材の接合強度, 土木学会第64回全国大会・年次学術講演会, 2009

② 藤田盛吾, 苅屋彰吾, 中村一史, 前田研一, 渡邊哲也: 床版橋形式GFRP歩道橋のリベット接合による連結部の試設計とその安全性の検討, 土木学会第64回全国大会・年次学術講演会, 2009

③ 高野 徹, 藤田盛吾, 前田研一, 中村一史, 渡邊哲也: 床版橋形式GFRP歩道橋の擬似両端固定支持構造の改善策と補強, 土木学会第64回全国大会・年次学術講演会, 2009

④ 崔 賢, 高野 徹, 前田研一, 中村一史, 北山暢彦, 林耕四郎, 渡邊哲也: 新形式 GFRP 歩道橋に用いる I 形引き抜き成形材のせん断変形特性と曲げ破壊試験, 土木学会全国大会第 62 回全国大会・年次学術講演会, 2007

⑤ 高野 徹, 崔 賢, 前田研一, 中村一史, 北山暢彦, 林耕四郎, 渡邊哲也: 床版橋形式 GFRP 歩道橋の擬似両端固定支持構造の安全性, 土木学会第 62 回全国大会・年次学術講演会, 2007

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

なし

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

前田 研一 (MAEDA KEN-ICHI)

首都大学東京

・大学院都市環境科学研究科・教授

研究者番号: 60244414

(2) 研究分担者

中村 一史 (NAKAMURA HITOSHI)

首都大学東京

・大学院都市環境科学研究科・助教

研究者番号: 70264596

(3) 連携研究者

なし