# 大断面化した GFRP 桁の連結構造とこ線人道橋への適用に関する検討

首都大学東京大学院 学生員〇中村大希 建設技術研究所 正会員 壽田健一, 首都大学東京 正会員 中村一史 ジェイテック 正会員 柳沼謙一

## 1. はじめに

ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)を歩道橋の構造部材として適用する場合,設計上,たわみ制限が支配的であり, 経済性を確保しつつ,所要剛性を得る手法の確立が不可欠である.その一つ方法のとして、図-1に示すように、国内最大 級の GFRP 製 I 形断面桁を上下に重ね合わせることで大断面化することを提案している<sup>1)</sup>. 本研究では、その連結構造を 検討するために,縮小模型による載荷実験を行って,曲げ耐荷力を実験的に検討する.さらに,こ線人道橋への適用を想 定して,連結構造の試設計を行って,その実用性を検証する.

### ・模型実験による連結構造の曲げ耐荷力の検討

### 2.1 実験方法

大断面化した GFRP 桁の連結方法として、フランジの連結位置を 上下フランジで長手方向にずらすとともに、フランジ同士の重ね合 わせ部は接着接合のみとした、上下フランジおよびウェブの連結は、 過去の研究 2)を参考に、高力ボルト接合と接着接合を併用した接合 とした. ここでは、炭素繊維とガラス繊維を組み合わせたハイブリ ッドFRP 板を添接板として、母材にエポキシ樹脂接着剤を用いて接 着接合し, さらに, 鋼板(SS400 材)の添接板を当て(接着なし), 高力ボルト(F10T M16)を用いて、設計ボルト軸力で締め付けるこ ととした. 試験体には, 表-1 に示すように, 桁高 300mm とした GFRP 桁 ( $H300 \times B150 \times t_w 14 \times t_f 10$ mm,以下 GN とよぶ)を重ね合わせ て大断面化した,縮小模型(GL)を作製した.この縮小模型に,提 案する連結構造を組み込んだ試験体(GL-J)を準備した. 図-2 に, セットアップ状況を示す.載荷実験では、試験体の支持条件を単純 支持とし、支間長を3,000mm、純曲げ区間長を1,000mmとして、4 点曲げ載荷実験を行った.載荷装置には、容量 2.000kN の油圧ジャ ッキを用いた. また, 横倒れを防止するために, 支点付近に横倒れ 防止装置を設置した.

#### 2.2 実験結果と考察

図-3 に、荷重と鉛直変位の関係を示す. GL は、過去に行われた 連結構造のない試験体 <sup>1)</sup>である. 両試験体ともに, 終局までほぼ線 形挙動を示し、GL-Jは、たわみが理論値よりも小さくなっている. これは、連結構造によって曲げ剛性が増加したことによるものと考 えられる. また, 最大荷重は, GL-J で 726kN, GL で 581kN であり, GLの方が最大荷重は小さかった.これは、GLでは、載荷点のGFRP 製補剛材が先に圧壊したためである. GL-J では, 鋼製補剛材を採用 しており、補剛材からの破壊は生じなかった. GL-J では、後述する よう添接板端部の破壊が起点となり、終局となった.

図-4に、荷重と支間中央部断面の上縁ひずみの関係を示す.GL, GL-Jともに、実験値と理論値は、それぞれの最大荷重まで、よい一 致を示すことがわかる. 図中に併記した, GL-Jの添接板端部のひず みは、約600kN あたりから、非線形挙動となった.これは、添接板 端部の応力集中により、図-5に、終局時における接合部の破壊状況 を示すように、添接板端部が破壊の起点となった.まず、母材の曲 げ圧縮破壊が発生した直後に、連結部を斜めに横断するように、せ



(a) 縮小模型試験体

図-1 重ね合成 GFRP 桁の断面形状

重ね合成 GFRP 桁の断面性能 表-1





図-2 4 点曲げ載荷実験のセットアップ状況

Key Words:GFRP 桁,大断面化,連結構造,こ線人道,試設計 連絡先\*:〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564) ん断破壊した.破壊は、添接板との接着接合部だけでなく、フランジ、ウェブの母材にも生じた.なお、図-4 に併記した単体の I 形断面桁 GN の破壊形態は、純曲げ区間における上フランジの曲げ圧縮破壊であり、終局ひずみは-7000×10<sup>6</sup>であった.GL-Jの純曲げ区間においても終局ひずみは同程度であり、破壊の基点は添接板端部となったものの、ほぼ上フランジの曲げ圧縮破壊とみなせることから、提案した連結構造は、十分な曲げ耐荷力を有しているといえた. 3.大断面 GFRP 桁のこ線人道橋へ適用検討と連結構造の試設計

#### 3.1 連結構造の継手強度

まず,高力ボルト接合と接着接合を併用した接合方法の継手強度 を検証するために、同じ材料を用いたクーポン試験片による引張試 験結果<sup>3</sup>との比較を行った.**表-2**に、それらの結果を示す.表より、 桁試験体では、破壊形態が曲げ圧縮破壊であったことから、クーポ ン試験片よりも継手強度は小さくなったが、ほぼ終局強度に近い状 態であったと推察された.ここでは、クーポン試験片の結果より、 ボルト1本あたりの継手強度を190kNと仮定する.

### 3.2 設計条件と連結構造の試設計

図-1(b),表-1に示す断面形状において、単径間こ線人道橋を仮定 して、連結構造の試設計を行うこととした.死荷重(5.7kN/m),活 荷重(3.5kN/m<sup>2</sup>)の荷重条件において、たわみ制限を支間長 Lに対 して L/500<sup>3</sup>として、Timoshenko はり理論に基づいて、最大支間長  $L_{max}$ を算定すれば、表-1に示したように 21.3m となる.ここでは、 最も厳しい条件として、最大支間長に対して、支間中央部に連結構 造を設置するものとして試設計を行った.表-3に、試設計結果を示 す.終局曲げひずみに対して、主桁の設計曲げモーメントに対する 安全率は 6.7 と非常に高くなるが、これは、たわみ制限によって断 面剛性が決定されるためである.ここでは、連結部の強度は、桁の 曲げ耐力と同等以上となるように、連結構造の安全率を 7.0 と仮定 した.試算の結果、必要ボルト本数は、8本(4行×2列)となり、 図を略したが、FRP 特有の縁端・ボルト間距離を考慮しても十分妥 当な配置となることが確認できた.

### 4. まとめ

本研究では、重ね合わせによって大断面化した GFRP 桁の連結構 造を提案し、縮小模型による曲げ載荷実験を実施して、その曲げ耐 荷力は、フランジの曲げ圧縮強度以上となり、十分に高いことを明 らかにした.さらに、こ線人道橋への適用を想定して、大断面 GFRP 桁の連結構造の試設計を行った結果、十分に安全かつ妥当なボルト の本数・配置となることを確認することができた.

### あとがき

本研究の一部は,経済産業省の「戦略的基礎技術高度化支援事業」 の一環として行われたものである.関係者各位に厚く御礼申し上げ ます.

## 参考文献

 O.D. Obedi, S. Sugai, H. Nakamura, K. Maeda and K. Yaginuma: Feasibility Study on Increasing Bending Stiffness of FRP Girders by Bonding CFRP Strips and Bonding Girder Sections, The Third 必要ボルト本数 Asia-Pacific Conference on FRP in Structures, APFIS2012, 8 pages, CD-ROM, 2012.

2) 中村大希,濱崎景太,中村一史,前田研一,柳沼謙一,松井孝洋:FRP 歩道橋の主桁-横桁交差部の高力ボルト接合 方法に関する基礎的研究,土木学年次学術講演会,第67回全国大会,CD-ROM CS2-033, pp.65-66, 2012.

3) 東日本旅客鉄道株式会社:旅客・保守施設構造物設計マニュアル, 2004.



図-5 終局時における接合部の破壊状況

表-2 連結構造の継手強度の検討

試験体の種類	クーポン試験片	桁試験体
試験方法	引張試験	曲げ載荷試験
ボルト本数(本)	1	2
終局時の換算軸力 (kN/本)	191	182
終局時の母材応力 (MPa)	294	242
終局時の母材ひずみ(×10 <sup>6</sup> )	8642	6906
破壊形態	層間せん断破壊	曲げ圧縮破壊

#### 表-3 連結構造の試設計結果

死活荷重時の最大曲げモーメント (kN·m)	621
フランジの最大軸方向力(kN)	198
フランジの最小軸圧縮ひずみ(×10 <sup>6</sup> )	-1048
終局曲げ圧縮ひずみ(-7000×10 <sup>6</sup> )に対する安全率	6.7
仮定した連結構造の安全率	7.0
必要ボルト本数(本)	8