# (19) ハンドレイアップ型材で構成したGFRP梁の 曲げ強度

 大西 弘志<sup>1</sup>・山本 竜一<sup>2</sup>・岩崎 正二<sup>3</sup>・出戸秀明<sup>4</sup>・西田 雅之<sup>5</sup>
<sup>1</sup>正会員 岩手大学准教授 工学部社会環境工学科(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5) E-mail: onishi@iwate-u.ac.jp
<sup>2</sup>学生会員 岩手大学大学院 工学研究科社会環境工学専攻(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5) Email:t2515016@iwate-u.ac.jp
<sup>3</sup>正会員 岩手大学教授 工学部社会環境工学科(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5) Email:iwasaki@iwate-u.ac.jp
<sup>4</sup>正会員 岩手大学教授 工学部社会環境工学科(〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5) Email:ideto@iwate-u.ac.jp
<sup>5</sup>日本エフ・アール・ピー(株) 技術部(〒541-0057 大阪市中央区北久宝寺町 2-2-13) Email:nishida@nihonfrp.co.jp

GFRPを主桁等の部材に適用する場合,所要の部材を引き抜き成形で製作することが考えられるが,そ のためには断面を製作するための道具を新たに用意する必要が考えられる.これに対しハンドレイアップ 成形では製作断面に自由度があるものの箱型断面やI形断面を一括で製作するにはかなりの労力を要する 可能性がある.そこで、著者らはチャンネル断面等の製作実績の多い断面で桁断面を構成することを考え た.特にI形断面はチャンネル断面を貼り合わせることにより構成できるため有用であると考えられる. しかしながら,この工法によって製作されたI形断面梁は接着面で破壊することが予想されたため,I形断 面としての能力が発揮できないことが懸念されたため,接着面で無い断面破壊をもたらす組立条件を検討 するための曲げ試験を実施した.

Key Words : GFRP, Hand lay-up molding, Glued connection, Flexural strength

## 1. はじめに

近年、わが国では道路橋の老朽化が問題となっている. このような状況に対応するため、各道路管理団体は道路 橋の維持管理の効率化や長期計画の策定などを進めてい るが、根本的に現況を改善するためには一定の割合で既 存構造物を現行の構造物よりも耐久性に優れた構造物に 置き換え、維持管理業務等自体を削減する必要がある. このための方策の一つとして、現行の建設材料よりも耐 久性に優れた材料により構造物を構成することが考えら れるようになっている. このときに使用される材料の候 補の一つとして繊維強化樹脂(Fiber Reinforced Plastics: FRP) がある. FRPには中に配置する樹脂の種類によっ てガラス繊維強化樹脂(GFRP)や炭素繊維強化樹脂 (CFRP) などがある. その中でもGFRPはその軽量さや 経済性などの面で橋梁に適用しやすい材料であると考え られている. ガラス強化ポリマー(GFRP)は,従来の材料 にない耐食性を有しており土木分野への適用に向けた研 究開発に期待されている.そこで著者らは引き抜き成形

法と比較して成形断面に自由度があるハンドレイアップ 成形法で作成したGFRP材を用いたI桁に着目し、構造部材 としての適用性を検討した.GFRPは多くの利点を持つ反 面,鋼材や炭素繊維強化ポリマー(CFRP)に比べ曲げ剛性 やせん断剛性が相対的に小さくなってしまうというデメ リットが存在する.

本研究では,GFRP部材の剛性向上を目的とし図-1に示 すように,I桁の下フランジ上面にカーボンシートを積層 し,合成構造化したものに対し力学的挙動を静的載荷試 験によって検討した.

## 2. I桁に用いたGFRPの材料特性

#### (1) 材料試験方法

GFRPの引張試験は、JIS K7164に基づいて実施した。図 -2にGFRPの試験片の寸法およびひずみゲージ配置を示 す。図-2に示すように、ひずみゲージは引張試験片には つかみ部分に試験材料と同様のGFRPをタブとして貼付 し、つかみ部分での破壊を避ける処置を施した。材料試





験に用いた試験片は桁部材から直接切り出し、一軸ひず みゲージで4体、二軸ひずみゲージで4体試験を実施した。 部材から切り出した試験片の切り出し位置は、部材長の 1/4、1/2の断面からそれぞれウェブ中央の試験材料、下 フランジ中央の試験材料を用いて行った。部材の切り出 し位置を図-3に示す。以下、1/4断面の下フランジ試験 片をQ-LF,1/4断面の側面試験片をQ-W,1/2断面の下フラン ジ試験片をH-LF、1/2断面の側面試験片をH-Wと表記す る。また、材料試験機は負荷容量300kNの万能試験機を 用いて行った。

#### (2) 試験結果

引張試験における応力-ひずみ関係を図-4に示す。図-4より、最大応力に若干のばらつきがみられるが、この 原因としてはつかみ内ですべりが生じたためと考えられ る。JISK7164に基づき、弾性係数の算出には応力-ひず み曲線の比較的直線を示した範囲(500-2500με)を用 いた。表-1に引張試験結果を示す。表-1より今回の引張 試験ではほぼ同様の結果を示した。試験体H-Wは他の試 験体に比べ弾性率が低くなっているが、これは試験体を 切り出した桁部材が完全な平面ではなかったため引張試 験を実施した際に多少曲げの影響を受けたためと考えら れる。



#### 3. GFRP桁の曲げ試験

#### (1) 試験体概要

曲げ試験に用いた試験体の概要図を図-5に示す。本試 験では図-5(a)に示す断面詳細を有するGFRP部材を用 いてI桁を5体製作した。これらの図表に示すように、試 験体は、フランジを含めた桁高さ355mm,幅135mm,ウェ ブ厚10mm,フランジ厚12mm,のコ型桁を背中合わせに接 着しI桁(高さ350mm,幅270mm,ウェブ厚20mm,フランジ 厚12mm)とした。5体の試験体のうちコ型断面の部材同 士をボルト5本と接着剤で結合したものを



表-1 引張試験結果

図-6 ボルト位置

Bean#1~Beam#3、ボルト19本と接着剤で結合したものを Bean#4~Beam#5とした。試験体はすべてハンドレイアッ プ製法によって製作されている。部材を接合したボルト の位置を図-6に示し、供試体の詳細を表-2に示す。この 工法によって製作されたI形断面梁は接着面で破壊する ことが予想されたため、I形断面としての能力が発揮で きないことが懸念されたため、接着面で無い断面破壊を もたらす組立条件を検討するため結合させるボルトの本 数を変えることによって、その破壊形式の変化を観察を 試みた.

さらにそれぞれBeam#3とBeam#5の下フランジには CFRPシートで補強を施しており、本試験ではその補強 効果の確認を試みた。

## (2) 試験方法

今回の実験では供試体に対して4点曲げによる載荷試 験を実施した。載荷点は中央から両支点方向に200mmに 位置し,支点はBeam#1~#3の場合両端から50mmに位置 し,Bean#4,#5の場合両端から100mmに位置する.それぞれ 載荷点と支点位置にGFRP製の補剛材を設けた.試験にお

表--2 試験体詳細

| 供試体名   | ポルト数 | 補強材     | 形状           |
|--------|------|---------|--------------|
| Beam#1 | 5    | なし      |              |
| Beam#2 | 5    | なし      |              |
| Beam#3 | 5    | CFRPシート | -10 1111-14- |
| Beam#4 | 19   | なし      | 1-           |
| Beam#5 | 19   | CFRPシート |              |





図-8 横倒れ防止装置

表-3 最大荷重と最大変位

| Bending tests | Maximum load(kN) | Maximum displacement(mm) |  |
|---------------|------------------|--------------------------|--|
| Beam#1        | 286.72           | 20.22                    |  |
| Beam#2        | 273.89           | 20.31                    |  |
| Beam#3        | 286.22           | 18.92                    |  |
| Beam#4        | 332              | 26.12                    |  |
| Beam#5        | 285.1            | 20.02                    |  |

ける載荷位置を図-7に示す。

また載荷試験として、特定のタイミングで載荷と除荷 を繰り返す繰返し載荷を行った.今回の繰り返し試験で は基準となる状態として,支間中央から北支点方向に 100mmの位置での下フランジと上フランジのひずみの平 均が1000 µ,2000 µ,3000 µ,4000 µ,5000 µ,6000 µ と漸増さ せた.6000 µ 超過後は破壊に至るまで載荷を続行した.

また載荷に伴う横倒れを考慮し図-8に示すような横倒 れ防止装置を設置した。横倒れ防止装置は桁支持方向の 支点付近に設置し、桁全体の前後の動きを制限した。

#### 4. 実験結果と考察

(1) 荷重-変位関係とたわみの分布状況

試験における、各供試体の荷重-変位関係を図-9に示 す。本実験によって得られた各供試体の最大荷重と最大 変位を表-3に示す。この結果より、ボルトの本数を増や すことによって供試体の曲げ耐力が向上していることが 確認できた.また,CFRPによって補強を試みたBean#5では、 中央の変位が20mmに達するまで常に同変位に対する荷 重が上回っていることから、CFRPによる曲げ耐力の向 上が見られた。ボルト本数が19本の供試体に比べ,ボル ト本数が5本の供試体の最大荷重後のグラフに乱れが見 られるが,これはコ型断面部材同士の剥離が生じたため であると考えられる。

またそれぞれの試験時に確認できたたわみの分布状況 を図-10に示す。Beam#1~Beam#3ではどの供試体もひず みが5000μに至るまでは供試体の個体差による多少の違







図-9 荷重-変位関係



30



いはあるものの,ほぼ同じようなたわみの分布を示して いる.またBeam#3ではBeam#1,Beam#2と比較してひずみが 5000μを示した後,荷重のピークまでたわみの増加が小 さいことからCFRPシートによる補強の効果が表れてい るものと考えることができる.また,Beam#5においても Beam#4と比較し、同様の傾向を確認することができた。

#### (2) ひずみの発生状況

図-11にBeam#1~Beam#5の試験体中央から100mm北支 点方向の位置での上フランジ,下フランジにおける荷重 とひずみの関係を示す.Beam#1,Beam#4,Beam#5では上下フ ランジのひずみがほぼ対称に生じている が,Beam#2,Beam#3では下フランジのひずみの方が大きい ことがわかる.この原因として,載荷に伴うコ型断面部材 同士の剥離の影響によって曲げ応力が断面全体に十分に 分配されなかったことが考えられる.また,Beam#3では Beam#1,Beam#2と比較し傾きが増加していることから CFRPシートによる剛性の向上がみられる.

次に図-12にひずみの測定を行った断面の位置を示し、 図-13に載荷試験における荷重250kN時のBeam#1~Beam#5 の桁断面内ひずみ分布図を示す.Beam#1のひずみの乱れ は荷重に伴う変形により,ひずみゲージが剥離してしま ったためであると考えられる.また,Beam#1~Beam#3と比 較しBeam#4,Beam#5では断面Bにおけるひずみの乱れが 少ないことから,ボルト本数を増加させたことによる曲





図-11 荷重-ひずみ関係(つづき)





げ応力の分担作用が働いたと考えることができる.

載荷試験における荷重250kN時のBeam#1~Beam#5の北 支点を基準とした桁軸方向ひずみ分布を図-14に示す.結 果より,Beam#1~Beam#2では中央から100mm南支点方向で の上フランジが6000 µ に達しているのに対し,Beam#3で はそれほど高い値を示していない.これは,供試体下フラ ンジにCFRPシートを補強したことにより曲げ耐力が向 上したことによるものだと考えられる。Beam#5におい てもBeam#4と比較すると,同様の挙動が確認できる.また, 各計測位置のウェブ中央において補強を施した供試体で は圧縮ひずみの発生が確認できるが,これは合成桁にし たことによって中立軸の位置が変化したことによる影響 が考えられる.

#### (3) 破壊状況の比較

ボルト5本によってコ型断面部材どうしを結合した Beam#1~Beam#3では最大荷重時に載荷に載荷に伴う部材 同士の剥離が生じた。それに対しBeam#5では上フラン ジに曲げ応力による圧縮破壊が起こった.圧縮破壊が起 こった上フランジでは層間剥離が確認された。その時の 破壊の様子を図-15に示す。

# (4) 曲げ剛性の評価

今回の実験では桁の損傷亭を表現する方法として曲げ











(c) Beam#3

Distance from northern support(mm)

剛性の変動として表現する方法を試みた。そのため、試 験結果である荷重-変位関係の弾性範囲から得られる曲 げ剛性Kを表-4に示す.表より、同本数のボルト接合を行 った試験体間では、CFRPによる補強を行った試験体の 方が若干の弾性係数の向上が見られたが、補強効果によ る大幅な剛性の向上は見られなかった。その原因として は,載荷に伴い下フランジに補強したCFRPシートが剥離 してしまったことが考えられる.また、この試験体ではI 形断面を作成する際として計算しているが、コ型断面を ウェブ背面で接着材を用いて製作しているため、実験で はその接着層での変形・破壊が起こったことによりボル ト本数を増やしているにもかかわらず荷重ひずみ関係か













(b) 上フランジの圧縮破壊

図-15 破壊の様子

表-4 p-δ関係による剛性評価

| Beam | ボルト数 | 補強   | K(kN/mm) |
|------|------|------|----------|
| #1   | 5    | なし   | 14.716   |
| #2   | 5    | なし   | 14.04    |
| #3   | 5    | CFRP | 15.191   |
| #4   | 19   | なし   | 13.116   |
| #5   | 19   | CFRP | 14.103   |

ら得られる弾性係数が実験で得られた小さくなってしまったと推測できる.今後は、接着層に関してもその破壊による影響についても今後検討を行う必要があるものと考えられる。

# 5. まとめ

今回の実験において得られた知見は次のものである。

- 今回の実験におけるFRP桁は弾性的に挙動し、破壊の直前まで、塑性的な挙動は認められない。
- ② 破壊の形態はボルト数5本の供試体の場合接着層の 剥離であり局所的な破壊は見られなかった。また、 ボルト数19本の場合は上フランジの圧縮破壊によ る層間剥離が見られた。

③ 下フランジにCFRPを積層させることにより、FRP の合成桁は剛性を向上させる可能性を示した。.

謝辞:本研究を遂行するにあたり,多大なる御指導,御 鞭撻を頂きました,岩崎正二教授,出戸秀明教授,大西 弘志准教授,本実験に多大なる御協力を頂きました,日 本エフ・アール・ピー(株)の皆様に心より御礼申し上げ ます.そして,これまでの研究活動と本論文の作成に多 大なる御協力を下さいました,岩手大学工学部構造工学 研究室の皆様に厚くお礼申し上げます.

# 参考文献

- Julio F. Davalos, An Chen, Pizhong Qiao: FRP Deck and Steel Girder Bridge Systems: Analysis and Design
- Lawrence C. Bank:Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials.
- 橋本国太郎,Lee EngMing,杉浦邦征,西崎到,日比英輝: 鋼・GFRP 合成桁の曲げ挙動に関する研究,第 10 回複 合構造・橋梁に関するシンポジウム公園概要集
- 4) 小森篤也,阿部忠: CFRP格子筋および格子組み鉄筋を 用いた床版下面補強法における疲労耐久性の研究,第
  10回複合構造・橋梁に関するシンポジウム公園概要 集

# FLEXUAL STRENGTH OF GFRP BEAM COMPOSED WITH PARTS BY HAND LAY-UP METHOD.

# Hiroshi ONISHI,Ryuichi YAMAMOTO,Shoji IWASAKI Hideaki DETO,Masayuki NISHIDA

Recently, many researchers try to develop the road bridge with FRP. When we use GFRP as a main girder, the component is often made by pultrusion molding method. But the method need dedicated equipments. In contract, by hand lay-up method we can make any shape of sections, but it is difficult to make various shape of sections (example,I-section or box section). Then we try to put to practical use a FRP beam consists of useful section made by hand lay-up mehod.