

# (43) 接着接合により構成された GFRP床材の曲げ強度

栗田 真輝<sup>1</sup>・高橋 浩介<sup>2</sup>・大西 弘志<sup>3</sup>

<sup>1</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 博士課程前期  
(〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)

E-mail: t2516006@iwate-u.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 岩手大学大学院 総合科学研究科 地域創生専攻 修士課程  
(〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)

E-mail: g0117032@iwate-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 岩手大学准教授 理工学部 システム創成工学科  
(〒020-8551 岩手県盛岡市上田4-3-5)

E-mail: onishi@iwate-u.ac.jp

近年、橋梁の老朽化が問題となっている。供用開始後50年を経過した橋梁ではその状況に応じた補修・補強が行われている。橋梁の老朽化に関する諸問題の解決策の一つとして、劣化した構造物や部材を、より耐久性に優れた材料で製作された構造物や部材に交換することが挙げられる。このような手法に適した素材の一つとしてFRPが注目されている。

通常、FRPの中でもガラス繊維を用いたGFRPで構造物を製作する場合にはハンドレイアップ成形法や引抜成形法によることが多いが、本研究ではあらかじめ成形された単純な形状を有する複数の部品を接着で接合することにより部材を構築することを考えた。本論文では円筒と平板による版材を製作し、曲げ試験によりその性能を確認した。

**Key Words :** *GFRP deck, flexural strength, adhesive joining*

## 1.はじめに

近年土木構造物に適用できる新材料として、FRPが着目されている<sup>1)3)</sup>。FRPは、耐食性に優れていることから、沿岸などの腐食性の強い環境で活用できる可能性がある。また、従来の土木材料と比較して軽量であることから、架設にかかる時間や費用を削減することができると考えられる。主なFRPの種類として補強材にガラス繊維、アラミド繊維、炭素繊維を用いたGFRP (Glass Fiber Reinforced Plastic) , AFRP (Aramid Fiber Reinforced Plastic) , CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) などがある。新設の土木構造物には、比較的安価なGFRPが用いられるのが一般的である。GFRPの主な成形方法として、引抜成形法、ハンドレイアップ成形法等が挙げられる。引抜成形材の断面形状は自由度が非常に大きく、様々な形状が成形可能であるが、引抜成形で新たな大断面部材を成形するにはその製作法の特徴から経済的な問題が生じる可能性があるため、一定の需要を見込めなければ製作は難しいとされている。ハンドレイアップ成形法は、小型のものから大型のものまで自由に成形することが可能である

という特徴がある。しかしながら、ハンドレイアップ成形ではその作業工程を考えると、複雑な立体構造を持つ部材を成形することが難しい場合がある。

そこで本研究では、立体構造の床版材を製作する方法として、接着接合を活用して部材を構築する方法を考えた。今回、フィラメントワインディング成形材の円筒パイプと、ハンドレイアップ成形材の平板を接着接合することにより立体構造を構築した。作成した床版材の性能を静的載荷試験によって確認した。

## 2.床版材に用いたGFRPの材料特性

### (1) 材料試験概要

FRP部材の材料特性値の確認は、実際に載荷試験を行い、試験結果より求めることが望ましいとされている。本研究では、平板の引張試験、円筒パイプの曲げ試験を行った。引張試験、曲げ試験共に3体の試験体を作成し試験を実施した。図-1に引張試験の試験片の寸法、ひずみゲージを貼付した位置を示す。試験片は全長460mm、幅100mm、板厚4.7mmとし、タブは材質をFRPとし、長

さ80mmとした。試験片の中央には2軸のひずみゲージを貼付した。材料試験機は容量2000kNの万能試験機を用いて行った。図-2に曲げ試験に用いたパイプ試験体の寸法、ひずみゲージ位置、変位計位置、荷重位置を示す。試験体は全長1200mm、板厚11mm、内径49mmである。ひずみゲージは、パイプ全長の1/4, 1/2, 3/4にあたる断面に1軸のひずみゲージを圧縮側縁、引張側縁に部材軸に平行に各1枚貼付した。変位は支点と中央で計測した。曲げ試験は荷重中にパイプが移動しないようにするために、写真-1に示すような支点を設け、3点曲げ試験により行った。

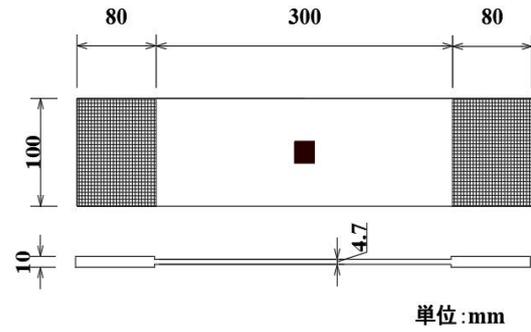


図-1 試験片寸法

(2) 試験結果

引張試験で得られた、FRP平板材の応力-ひずみ関係を図-3に示す。JISK7164に基づき弾性係数の算出には応力-ひずみ曲線のうち比較的直線的傾向を示した範囲(500-2500 $\mu\epsilon$ )を用いた。弾性係数やポアソン比の算出結果を表-1に示す。今回の引張試験では、破壊は試験片中央での破断ではなくタブの滑り破壊による破壊であった。そのため、一般的なGFRPの弾性係数より低い結果となっている。また、引張試験の試験結果より以下の(1)式を用いてFRPのガラス繊維含有率を算出した<sup>5)</sup>。

$$V_f = \frac{E - E_m}{E_f - E_m} \quad (1)$$

ここで、E:FRPの弾性係数、 $E_f$ :強化繊維の弾性係数、

$E_m$ :母材の弾性係数、 $V_f$ :強化繊維の体積含有率

本試験の結果に基づいて繊維含有率を求めると11%となった。ただし、今回の試験では破壊形状の関係から最低限の体積含有率が与えられているものと考えべきである。

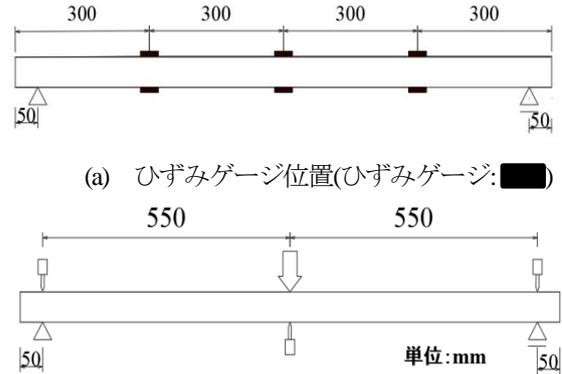
曲げ試験における荷重-変位関係を図-4に示す。また、曲げ試験結果を表-2に示す。破壊の位置に着目すると、

表-1 引張試験結果

試験片No	最大引張荷重(kN)	引張強度(Mpa)	弾性係数(Gpa)	ポアソン比
1	44.87	95.47	8.84	0.18
2	50.18	106.76	8.55	0.23
3	40.47	86.08	8.7	0.31

表-2 曲げ試験結果

試験体No	最大荷重(kN)	破壊位置 (北支点からの 距離mm)	最大 曲げ応力 (MPa)	曲げ 弾性係数 (GPa)
1	7.26	540	150.7	0.551
2	5.36	610	106	0.483
3	6.27	440	106.1	0.45



(b) 変位計位置及び荷重位置

図-2 曲げ試験概要



写真-1 曲げ試験支点

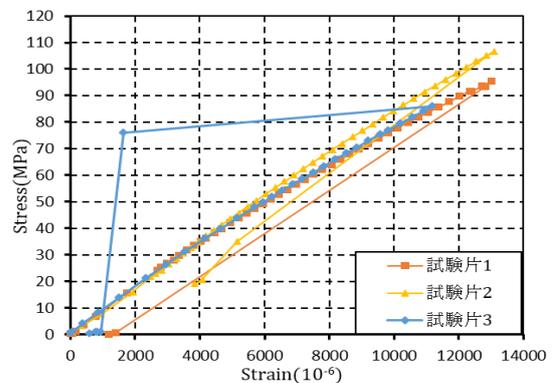


図-3 応力-ひずみ関係(引張試験)

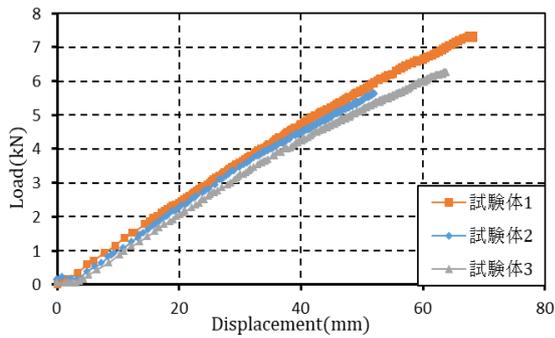


図4 荷重-変位関係 (曲げ試験)

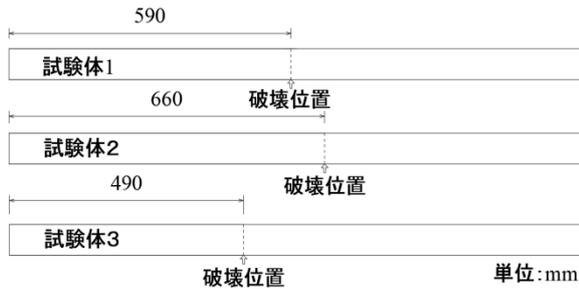


図5 試験体破壊位置

それぞれ破壊の場所にばらつきがみられる。特に試験体2と3は載荷点から大きくずれている。破壊の位置を図5に示す。これは試験体製作時の繊維量や樹脂含有量ばらつきの影響によるものと考えられる。

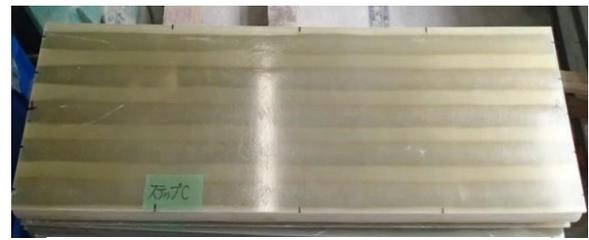
### 3.GFRP床版材の曲げ試験

#### (1) 試験体概要

曲げ試験に用いた試験体の外観を写真-2に示す。また、試験体寸法を図-6示す。本試験で用いた試験体は別々に製作した板材と円筒パイプを接着接合により組み立てて製作した。試験体内の板材とパイプの接着・配置を変化させて3種の試験体を準備した。パイプ同士を接触させて接着接合したものをtype-A、パイプ同士を接触させているが接着させていないものをtype-B、パイプとパイプの間に5mmほどの間隙を設けたものをtype-Cとした。尚、各試験体はいずれも平板とパイプは接着接合させた。type-Aとtype-Bは部材軸方向長さ1200mm、部材軸直角方向幅300mm、板厚4.7mmの平板2枚と外径60mm、内径49mm、全長1200mmのパイプを5本使用している。type-Cはパイプの間に5mmの間隙を設けたので、平板の部材軸直角方向幅が320mmとなっている。

#### (2) 試験内容

本研究では、試験体に対して4点曲げによる荷重試験を実施した。試験時の支間長は1100mm、荷重点は両支点から400mmの位置とし、等曲げ区間長を300mmとした。図-7に荷重位置を示す。また、図-8に変位計設置位置を

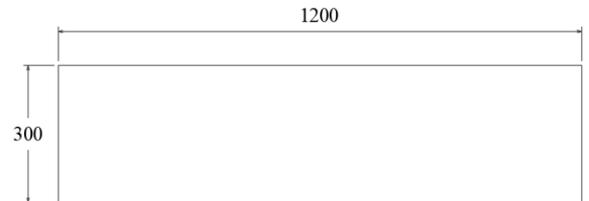


(a) 試験体上面

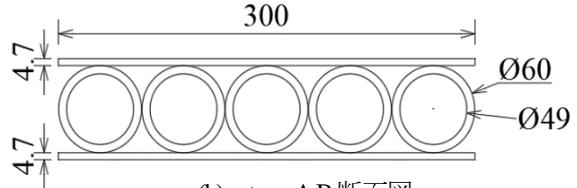


(b) 試験体断面

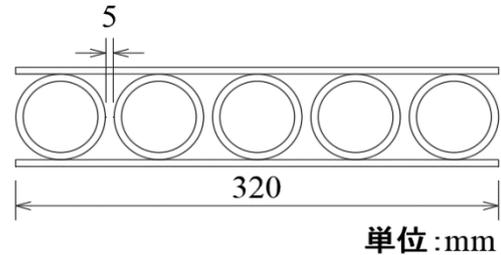
写真-2 試験体写真



(a) 試験体上面図



(b) type-A,B 断面図



(c) type-C 断面図

図-6 試験体寸法

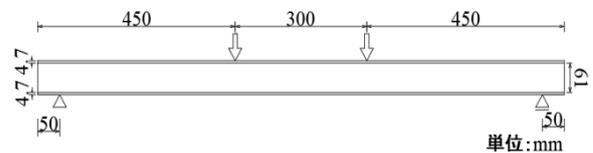


図-7 荷重位置

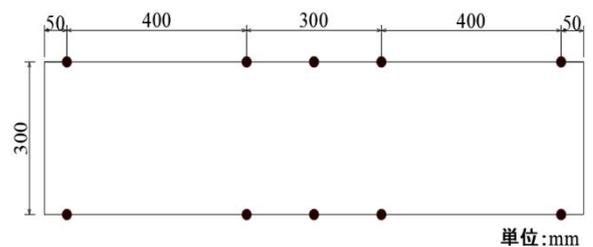


図-8 変位計位置(変位計: ●)

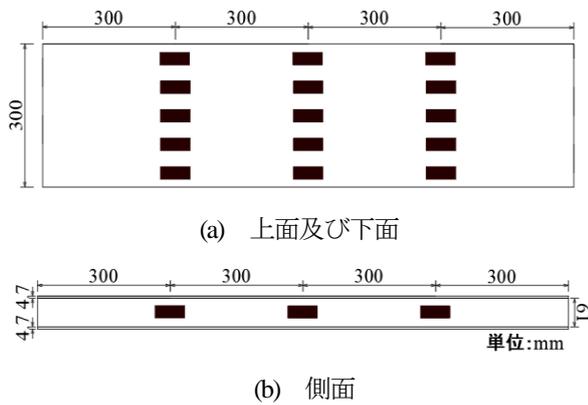


図-9 ひずみゲージ位置

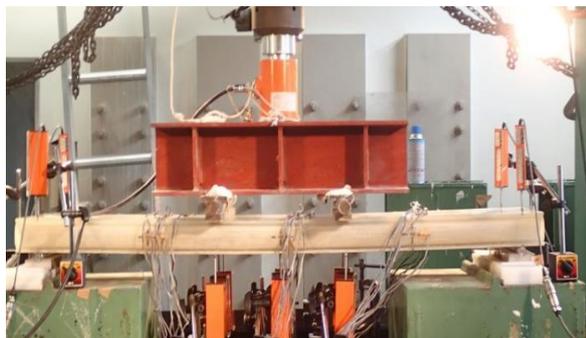


写真-3 試験体設置様子

表-3 最大荷重、最大変位、曲げ剛性

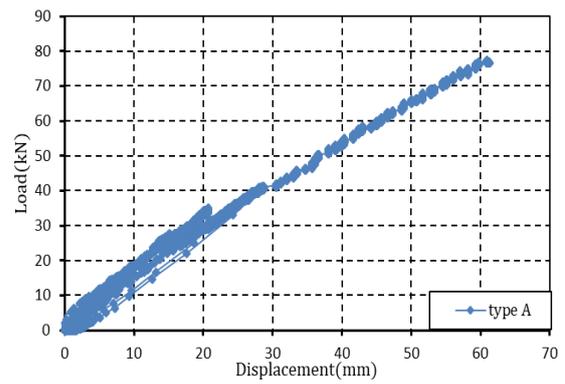
試験体No	最大荷重(kN)	最大変位(mm)	曲げ剛性(kN・mm <sup>2</sup> )
type-A	76.6	61.3	1.28
type-B	83.3	68.4	1.26
type-C	82.3	55.7	1.48

示す。変位計は床版材の部材軸直角方向の両端に設置し、これらの点の変位の平均を中央の変位とした。図-9にひずみゲージ貼付位置を示す。ひずみゲージは圧縮側平板表面、引張側平板表面と、パイプ側面に添付した。試験体設置の様子を写真-3に示す。

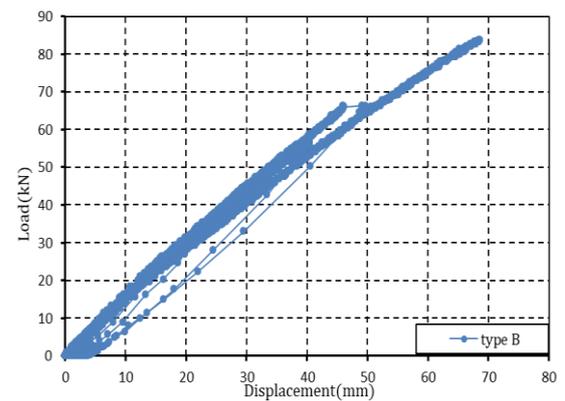
#### 4.試験結果と考察

##### (1) 荷重-変位関係

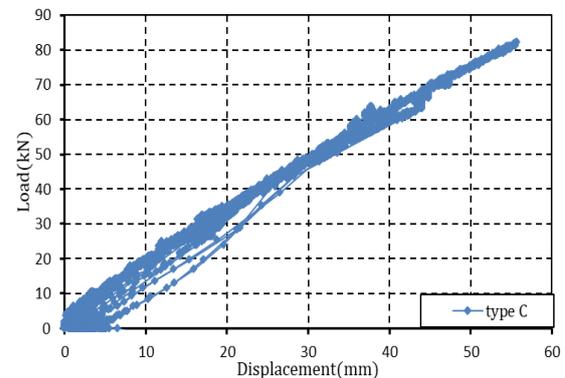
本試験における、各試験体の荷重-変位関係を図-10に示す。また、各試験体の最大荷重と最大変位、荷重-変位関係から得られる曲げ剛性を表-3に示す。type-Aとtype-Bの結果より、パイプ同士を接着させることによる曲げ耐力の向上は確認できなかった。type-Cは最大荷重がtype-Aより大きく、type-Bとほぼ同等の値を示しているが、最大変位は最も小さい値を示した。これは、パイプ同士に間隙を設けることによって、荷重を受ける面積



(a) type-A



(b) type-B



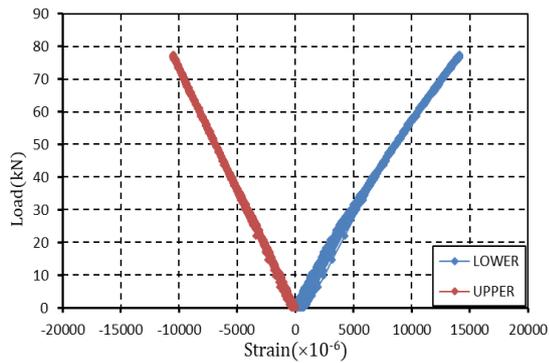
(c) type-C

図-10 荷重-変位関係

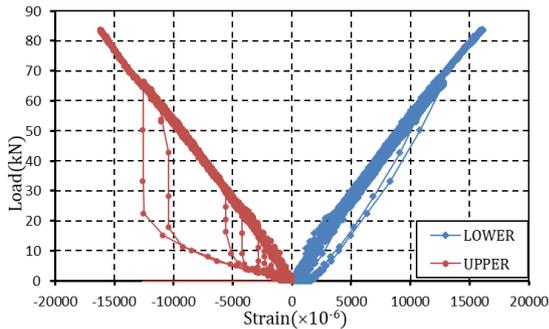
が大きくなったためだと考えられる。また曲げ剛性の値から、接着剤による剛性の向上は確認できなかったが、間隙を設けることによって若干の剛性の向上が確認できた。

##### (2) ひずみ分布

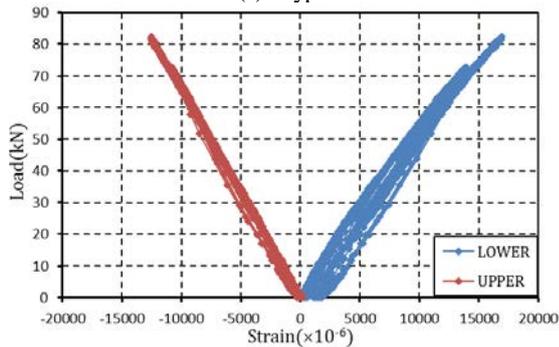
type-A~type-Cの試験体中央の圧縮側、引張側における荷重とひずみの関係を図-10に示す。Type-Bは圧縮側、引張側のひずみがほぼ対象に生じている。一方で、type-A、type-Cでは引張側の方が大きなひずみを示していることがわかる。この原因として、荷重をかけていくにつれて、引張側の平板とパイプの接着が弱まってしまった



(a) type-A



(b) type-B



(c) type-C

図-11 荷重-ひずみ関係

ためだと考えられる。type-Bの最大ひずみは圧縮側，引張側共に約 $16000 \times 10^6$ となっているが，type-Aは圧縮側の最大ひずみが約 $10000 \times 10^6$ ，引張側が約 $14000 \times 10^6$ ，type-Cでは，最大ひずみが約 $12000 \times 10^6$ ， $17000 \times 10^6$ となっている。type-Aとtype-Cを比較すると，たわみはtype-Aの方が大きい，ひずみはtype-Cの方が大きい値を示している。

## (2) 破壊状況

試験中，荷重を大きくするにつれて，接着剤が剥がれる音がしていき，最大荷重の時に大きな音と共に破壊した。接着剤が剥がれる音はしていたが，最大荷重に至る



写真4 破壊状況

までに目視観察によりで破壊は確認できなかった。type-Bとtype-Cは平板の破壊位置とパイプの破壊位置が10cmほどずれていた。Type-Bの破壊状況を写真-4に示す。

## 5.まとめ

本研究では異なる成形法で成形された2つの部材を接着接合することによって，小サイズの床版材を作成し，静的荷重試験を実施することによって床版材の力学的挙動を検討した。得られた結果を以下に示す。

- (1) 床版材の荷重試験において，繰り返し荷重を行ったが，最大荷重を加え破壊に至るまでの間に塑性変形はみられない。
- (2) 床版材の荷重試験において，パイプ同士の接着接合による耐力の向上はみられなかった。また，パイプ同士に隙間を与えても耐力の向上，低下はみられなかった。

## 参考文献

- 1)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講演概要集
- 2)大西弘志, 山本竜一, 岩崎正二, 出戸秀明, 西田雅之：ハンドレイアップ型材で構成したGFRP梁の曲げ強度, 第11回・合成構造の活用に関するシンポジウム講演概要集
- 3)小林憲治, 日野伸一, 青野雄太, 山口浩平, 岡俊蔵, 林耕四郎：GFRP引抜き成形I形断面はりの材料力学特性および曲げせん断挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集 Vol54A
- 4)土木学会：土木構造用FRP部材の設計基礎データ, 複合構造レポート11
- 5)土木学会：FRP橋梁技術とその展望, 構造工学シリーズ14

## The flexural strength of GFRP slab built with adhesive joining

Masaki KURITA, Hiroshi ONISHI and Kosuke TAKAHASHI

In recent years, the aging of bridges is a problem. Repair and reinforcement are carried out on aging bridges used over 50 years. As a resolution about aging bridges, deteriorated structures and members are changed to structures and members manufactured in more durable materials. FRP is focused on as a new material in this method.

Usually, in the case of manufacturing structures with GFRP (FRP with glass fiber), hand layup molding or pultrusion molding is often adopted. In this research, however, I used new construction of a member by adhesive joining of some parts which have an existing simple style. In this study, performance was confirmed by flexure test of plate materials using cylindrical pipes and flat plates.