

## GFRP 引抜成形溝形材の圧縮材料特性のばらつきに関する実験的検討

名古屋大学大学院 学生会員 ○鞍馬 敦士  
 名古屋大学大学院 正会員 北根 安雄  
 名古屋大学大学院 フェロー会員 伊藤 義人

### 1. 目的

FRP (Fiber Reinforced Polymer: 繊維強化プラスチック) とは、母材となる樹脂に繊維を入れて強化させた複合材料のことで、高強度、高弾性率の他に、軽量性、耐食性という優れた特性をもつ。FRP は構成材料や積層構成により材料特性が異なる複合材料であるため、材料試験によって特性値を決定し、そのばらつきを考慮した材料係数で特性値を除することにより設計値としている。しかし、土木構造用 FRP 引抜成形材の材料特性のばらつきに関するデータが不足しているのが現状で、FRP の土木構造物への適用があまり進んでいない原因の一つとなっている。

本研究では、GFRP (ガラス繊維を用いた FRP) 引抜成形溝形材から短冊状試験片を切り出して圧縮試験を行い、材料特性のばらつきを調べるとともに、圧縮強度に関する材料係数の検討を行った。

### 2. GFRP の圧縮材料試験

#### 2.1. 概要

図 1 に示す高さ 70mm、幅 200mm、板厚 8mm の GFRP 引抜成形溝形材から、繊維の引抜方向と引抜直角方向に材料試験片を切り出し、圧縮試験を行う。なお、溝形材の繊維はガラス繊維であり、樹脂はビニルエステルからなる。得られた試験結果から部位による材料特性の相違やばらつきを評価し、材料係数に関する検討を行う。

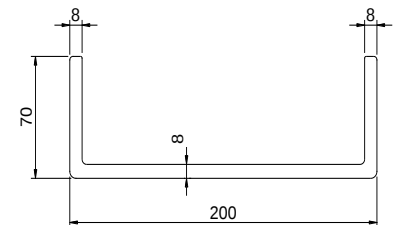


図1 溝形材の断面図(単位:mm)

#### 2.2. 試験方法

JAXA によって提案されている NAL-II 法<sup>1)</sup>に従って試験を行う。NAL-II 法はタブを接着しない短冊状試験片に対して端部負荷方式による圧縮試験を行うことを特徴としている。円柱形状の試験片固定治具に試験片を取り付けた後、円筒にセットして端部負荷によって圧縮する。2.3 に示す試験片を使用し、表側と裏側の中央部分にひずみゲージを添付し軸方向ひずみを計測する。載荷には MTS 材料試験機(最大荷重 500kN)を使用し、載荷速度は 0.5mm/min とする。

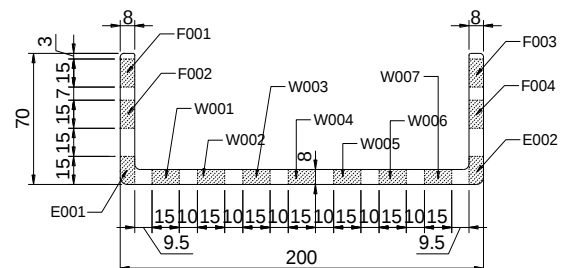


図2 引抜方向の試験体採取位置(単位:mm)

#### 2.3. 試験体

引抜方向の試験体は、図 2 に示す位置から長さ 82mm の短冊を採取し、断面内の採取位置は、ウェブが 7 箇所、各フランジは 2 箇所ずつ、角部が 2 箇所である。試験片採取位置の名称は、図 2 に示すように溝形材のウェブの部分は W、フランジの部分は F、角の部分は E を頭文字として試験体の番号を振った。また、引抜直角方向の試験体は図 3 に示す位置から溝形材長さ方向に 15mm の短冊を切り出した。試験体の代表的な形状を図 4 に示す。なお、試験体は 1 採取位置につき部材長さ方向から 6 本ずつ採取し、原則そのうちの 5 本の試験を行う。しかし、ばらつきの大きいものについては 6 本目の試験も行った。

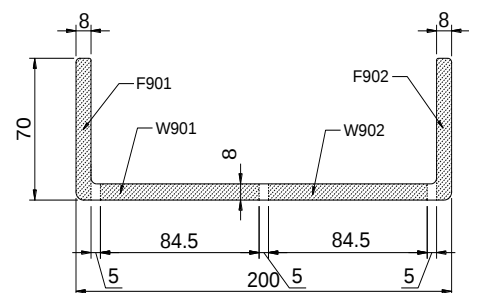


図3 引抜直角方向の試験体採取位置(単位:mm)

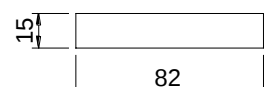


図4 試験体詳細(単位:mm)

キーワード FRP, 材料係数, 圧縮試験

連絡先 〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-3(651) 名古屋大学大学院 社会基盤工学専攻 Tel: 052-789-2736

### 3. 実験結果

引抜方向の圧縮試験により得られた圧縮弾性率と圧縮強度を図5と図6に示す。なお、圧縮弾性率はひずみが $500\mu$ と $2500\mu$ のときの応力の差を、そのときのひずみの差で除した値とし、圧縮強度は試験中の最大荷重を初期断面積で除した値とする。圧縮弾性率の平均値はウェブが $32.5\text{GPa}$ 、フランジが $38.0\text{GPa}$ 、角部が $33.6\text{GPa}$ となり変動係数はウェブが $0.054$ 、フランジが $0.045$ 、角部が $0.022$ となった。平均値はフランジがウェブより $17\%$ 大きく、また角部はウェブより $3.5\%$ 大きかった。圧縮強度の平均値はウェブが $475\text{MPa}$ 、フランジが $495\text{MPa}$ 、角部が $405\text{MPa}$ となり、変動係数はウェブが $0.095$ 、フランジが $0.083$ 、角部が $0.058$ となった。平均値はフランジがウェブより $4.2\%$ 大きく、また角部はウェブより $15\%$ 小さかった。

引抜直角方向の圧縮弾性率の平均値はウェブが $12.4\text{GPa}$ 、フランジが $11.4\text{GPa}$ となり、変動係数はウェブが $0.046$ 、フランジが $0.18$ となった。平均値はフランジがウェブより $7.9\%$ 小さかった。圧縮強度の平均値はウェブが $141\text{MPa}$ 、フランジが $122\text{MPa}$ となり、変動係数はウェブが $0.15$ 、フランジが $0.065$ となった。平均値はフランジがウェブより $14\%$ 小さかった。

### 4. 材料係数の検討

今回の材料試験により得られた引抜方向の圧縮強度を用いて溝形材の材料係数を算出する。図7に本研究で得られたウェブとフランジの圧縮強度の分布図を示す。なお、試験中に生じた曲げひずみが大きい試験体（ウェブ3体、フランジ1体）は試験結果から除いた。本研究では、材料強度の特性値を、強度の平均値から標準偏差の3倍を引いた値と定義し、この特性値を材料係数で除した値を材料強度の設計値とする。また、この設計値以下の強度が発生する確率を不良品発生率と定義する。不良品発生率が百万分の1以下となるように材料係数を算出すると、ウェブ、フランジの各部分での材料係数はそれぞれ $1.31$ 、 $1.25$ となった。また、ウェブとフランジの試験結果を合わせて材料係数を算出すると $1.29$ となった。一方、複合構造委員会発行のFRP歩道橋設計・施工指針（案）<sup>2)</sup>では、FRP歩道橋の安全性の照査における材料強度の標準的な材料係数を $1.15\sim 1.30$ と定めている。このことより、今回得られた材料係数は、FRP歩道橋設計・施工指針（案）が定める材料係数の範囲内ではあるが、やや高い値となっている。

### 5. 結言

今回の材料試験により得られた主たる知見を以下に示す。

- 1) 同じ断面内であっても、ウェブとフランジ、角部では材料特性に有意な差が見られた。
- 2) 不良品発生率が百万分の1以下となる場合を信頼できる範囲とすると、今回の試験結果から得られる材料係数は $1.29$ となった。

### 参考文献

- 1) 小笠原俊夫・石川隆司：炭素繊維複合材料に対する無孔圧縮試験方法の相互比較と簡便な試験法（NAL-II法）の提案，宇宙航空研究開発機構研究開発資料，JAXA-RM-08-010，2009。
- 2) 土木学会：FRP歩道橋設計・施工指針（案），複合構造シリーズ04，2011。

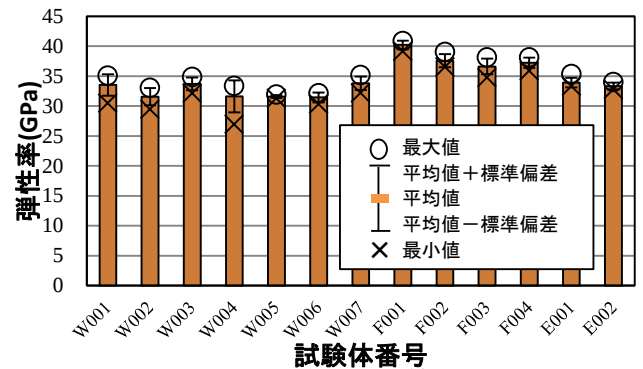


図5 引抜方向の圧縮弾性率

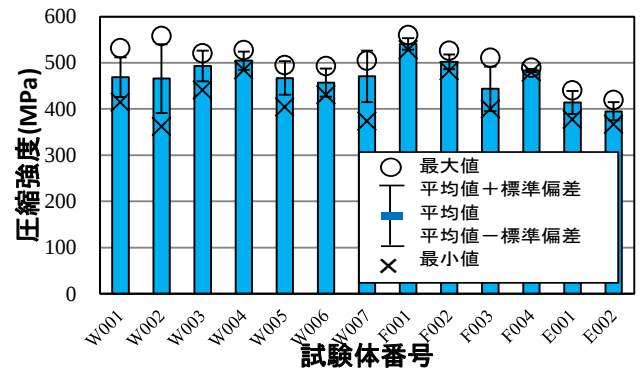


図6 引抜方向の圧縮強度

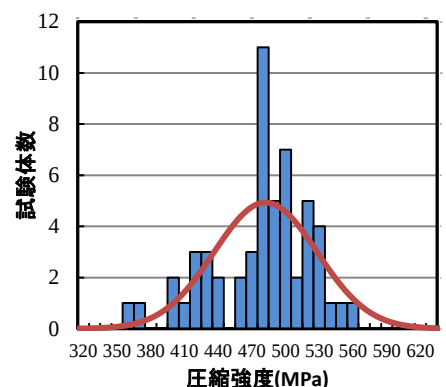


図7 圧縮強度の分布図