# GFRP溝形成形部材の圧縮耐力について

谷内 湧1・北根 安雄2・中村 一史3・西崎 到4・松本 高志5・三ツ木 幸子6

<sup>1</sup>学生会員 北海道大学 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目) c091439@gm.ishikawa-nct.ac.jp

 <sup>2</sup>正会員 名古屋大学大学院 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-3) ykitane@civil.nagoya-u.ac.jp
<sup>3</sup>正会員 首都大学東京大学院 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1) hnaka@tmu.ac.jp

 <sup>4</sup>正会員 土木研究所 (〒305-8516 つくば市南原1番地6) nisizaki@pwri.go.jp
<sup>5</sup>正会員 北海道大学大学院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目) takashim@eng.hokudai.ac.jp

<sup>6</sup>正会員 石川工業高等専門学校 (〒929-0392 石川県津幡町北中条) mitsugi@ishikawa-nct.ac.jp

異方性の複合材料で構成されるFRP構造物の圧縮耐力を求めるための材料特性値の評価において、等方性の部材である鋼材の降伏応力度に対応する値が求まれば、鋼構造と同様に座屈パラメータとこの材料特性値を用いて、耐力評価が可能となることが考えられる. 本研究室ではGFRP成形部材を対象に、材料圧縮耐力を評価するため、簡易圧縮試験方法を提案してきた.提案では部材端面の仕上げ精度は、これまでの耐荷力データと事前の部材計測データから、高さの差が1mm以内に収まれば問題ないとしている.本報告では、この高さの精度が試験に及ぼす影響について、ひずみ計測を行って検討したのでこれについて報告する.

Key Words : GFRP, compression, experimental test, test method

### 1. はじめに

鋼構造物の圧縮耐力は、材料強度としての降伏応力度 と形状に依存する座屈パラメータを用いて評価されてい る.これに対して、異方性の複合材料で構成されるFRP 構造物の圧縮耐力を求めるための材料特性値の評価にお いて、等方性の部材である鋼材の降伏応力度に対応する 値が求まれば、鋼構造と同様に座屈パラメータとこの材 料特性値を用いて、耐力評価が可能となることが考えら れる.

これまでFRPの材料強度はクーポン試験<sup>100</sup>で評価され てきている.クーポン試験では,試験片が切り出される ので,この切り出しで繊維が切断され,圧縮耐力に影響 を及ぼす板厚方向の拘束度が低下する.そして,角部や コバ面の繊維処理など部材の製造方法に依存する耐力の 評価はクーポン試験では難しい.特に,圧縮耐力では, 圧縮荷重が載荷されると荷重直角方向に分離力(割裂 力)が発生する.また,角部やコバ面の繊維処理方法は, 局部座屈に影響を与えるが、クーポン試験ではこれを評価できない.軸直角方向の拘束性は、繊維の配置の他、 樹脂と繊維の付着性に依存することが考えられる.その ため、全断面部材で圧縮耐力の試験を行って確認するこ との意味はあるものと考えられる.

試験による耐力の確認を義務付けると、その試験コストによって材料コストが上がる可能性がある。一般に高いといわれるFRP部材のコストをさらに上げることになる。そこで、試験コストを低く抑えた簡易圧縮試験方法を提案し、この方法で耐力を確認して、FRPを圧縮に対しても合理的に採用する道を拓くことは、意味あることと考えられる。

そこで本研究室ではGFRP成形部材を対象に簡易圧縮 試験方法を提案してきた<sup>3,4)</sup>.提案では部材端面の仕上げ 精度は、これまでの耐荷力データと事前の部材計測デー タから、高さ(長さ)の差が1mm以内に収まれば問題な いとしている.本報告では、この高さの精度が試験に及 ぼす影響について、ひずみ計測値を用いて検討する. 本研究では、次の2種類のひずみ計測試験を行った.

- (1) 耐力を検討するための代表的なひずみ計測位 置の決定用試験
- (2) 高さ(長さ)の違いがひずみ(応力)に与える影響を検討する試験

試験(1)では、耐力を弾性範囲内の使用状況で発生 する応力から検討するためには、どの位置の応力で検討 するのが妥当か検討することを目的に行った.この試験 に用いた試験体は高さ50mmの試験体1体で、この試験 で端部(端面)において塑性変形が生じていることを確 認する.

試験(2)では、高さの違いがひずみ(応力)に与え る影響を検討する.この試験では、3つのタイプの試験 体に対して長さ(高さ)25mmと50mmの試験体を用い て、合計の6種類のタイプの試験体に対して試験を行っ た.各試験体タイプ、3体ずつ試験を行った.

本試験で用いた試験体は、フランジ幅75mm、ウエブ 幅180mmのハンドレイアップ成形材FCH180で、試験体 の概観を写真-1に示す.全ての試験体の繊維構成およ び配置は同じである.これらの試験体に対して、簡易圧 縮試験で提案している方法と同じ方法で、写真-2に示 すように軸方向に圧縮載荷を行って試験を行った.

載荷試験の前に、図-1に示す断面の7箇所で高さを ノギスによって計測した.

## 3. 試験方法

#### (1) 計測位置決定用試験

計測位置決定用試験では、耐荷力検討試験で、どの位 置の応力を観察していくことが妥当か検討するために行 った. 事前に行った高さ中央部での計測結果および各面 の局部座屈の状態を追跡していくことを考え、図-2に 示す,各断面(水平面)位置で3箇所,3箇所の各位置 に対して図に示すゲージ番号2の高さ方向中央およびゲ ージ番号1と3の上下の端面付近での計測を行った.し たがって,外側の面で合計9箇所,これに対応する内側 でも計測を行い、1体で18箇所の軸方向(荷重方向)の ひずみ計測を行った. 応力が高くなる部分として角部の 応力もあり、この部分の計測も考えられたが、今後、比 較データを蓄積することを考え,極力,計測点数を抑え ることを考え、1水平断面、外側の面に対して3点に絞 った. 本試験方法では、事前に、端面の塑性変形による 応力の均等化が予想されたので、この端面近くの応力状 熊の検討を行った. ひずみ番号は上から下へ付番した.

載荷試験は、圧縮載荷で300kNまで2回載荷を行い



写真-1 試験体の概観



写真-2 載荷試験



図-1 高さ計測位置





図-2 ひずみ計測位置図(計測位置決定用)

なお,この試験で用いた試験体は,高さ50mmの試験 体1体である.この試験体は,製造で用いる型として古 いタイプ(OLD)を用いているため,フランジのテーパ が若干異なる.また,このタイプの試験体の製作では板 厚管理を行っていない.

#### (2) 高さの影響検討用試験

高さの影響を検討する試験では、(1)の計測位置決 定用試験で決定した図-2に示す外側の面の3点でひず み計測を行って耐荷力試験を行った.3点の決定にあた って、外側の面のひずみを優先した理由は、計測点数を 抑えることを基本に、内側は端部が局面になること、貼 り易さ、試験時のハンドリングを考え、事前の計測結果 で特に問題が生じないと考え外側とした.

本試験で用いた試験体タイプは、新しい型で製造した タイプで、その基本タイプをB(Base)とした.タイプB では、これまで、FCH180に対して用いてきた繊維構成に 対して、製造過程で、板厚管理を行って製作したもので ある.この部材の開発では、フランジ端部の繊維処理お よび板厚管理などの変更を行ってきている.そのため、 この開発時の試験値を用いて検討を行う時には、これを 確認して使用する必要がある.

高さの影響試験では、タイプBの他に、板厚管理を行 わなかった板厚の若干厚い試験体タイプDKおよび板厚管 理を行って製造しているが、端面の仕上げ精度が悪いタ イプDFの2つのタイプ、合計3タイプの試験体を用いて 検討を行った.各試験体タイプ3体ずつ試験を行った.



図-3 ひずみ計測位置(高さの影響検討用)

## 4. 試験結果と考察

#### (1) 計測位置決定用試験

計測位置の検討を荷重200kN載荷時のひずみを用いて 検討を行う.各計測点でのひずみが計測回数とともに変 化するか検討を行うため,横軸に載荷回数をとって各計 測点の200kN載荷時のひずみの値をプロットし,線で結 んだ.図-4はフランジA面の自由端,図-5はウエブ B面の中央,図-6はフランジC面の自由端のひずみ変 化を示す.各図で,高さ方向中央,上端付近,下端付近 に対して,内面と外面の合計6計測点の結果を示した. ゲージ番号2の高さ方向中央のひずみの変化を実線で示 し,端部に近い計測点のひずみの変化を破線で示した.











図-7 ひずみ分布(基本タイプ, B高さ25mm)





















どの面の応力も,実線で示す高さ方向中央のひずみは, 載荷回数に関係なくほぼ一定であった.

これに対してどの計測断面でも必ず,1回目と2回目 の間でひずみが減少したものが,破線で示した端面付近 の計測点にあった.この結果から,1回目の載荷で,高 さが大きい部分では端面で塑性変形が生じて,断面内の 応力の均等化が行われることが推測される.

以上より,高さの影響を検討する耐力試験では,載荷 回数によって変化しない,局部的な特異値を含みにくい, 高さ方向中央の位置でひずみ計測を行うことにした.

#### (2) 高さの影響検討用試験

各位置の高さの違いがひずみ分布に及ぼす影響を検討 するため、図-7から図-10に各試験体のひずみ分布 を、図-11から図-14に試験開始前に計測した各試 験体の各位置の高さを示す.

図-7は基本タイプBの25mmの試験体に対するひず み分布図で、これに対応した各位置の高さを示した図を 図-11に示す.同様にして、基本タイプBの50mmの 試験体に対しては図-8と図-12に示す.各図には3 体分の結果が示されている.

試験タイプDKとDFの結果を一つの図に示す. すな わち,一つの図に6体分の結果が示されている.タイプ を区別するため,破線で結んだものが試験体タイプDK に対するもので,実線で結んだものが試験体タイプDF に対するものである.25mmの試験体の結果を図-9と 図-13に,50mm試験体の結果を図-10と図-14 に示す.

左右の図の同じ色で示した線が同じ試験体の結果を示 す. 左右の図を比較すると必ずしも高いところでひずみ が大きくなっているわけでない. DKタイプの高さの差 が2.7mm (DK-25-4) で,かろうじて高さの違いがひずみ の違いとして現れているようにみえる.すなわち,B面 のウエブのひずみは6000μあり,他の場合では大きい場 合でも4000μより小さいので,意味のある差を示してい るものと考えられる.

各試験体の最大荷重を表-1に示す.このうちタイプ DFに対する最大荷重と7点に対するの高さの差の関係 を示すため、各試験体の最大荷重を棒グラフで示し、高 さの違いを棒の上に数値で示した図を図-15と図-1 6に示す.図中に示した棒グラフの上に書き入れた数値 は試験体の各位置の高さの最大と最小の差である.横軸 に試験体番号を示した.図-15から、高さの差が 2.7mmと大きいタイプでは、最大荷重は比較的低い値に なってはいるものの、高さの差が0.45mmと大きくない 試験体の最大荷重とほぼ同じ値を示した.この高さの差 が0.45mmの試験体では、フランジ部のひずみは、10000 μと大きく出ており、c面のつぶれで最大荷重が達せら れた. そのため、高さの差ではない理由で、ひずみが大 きく発生し、耐力が低下したことが考えられる.

そのため、高さの差によって耐力が敏感に変わるもの ではないが、2mm程度になると、耐力低下が現れてくる ことが考えらる.

表-1 最大荷重

|         | 最大耐力  | 平均    |      |
|---------|-------|-------|------|
| 試験体     | (kN)  | (kN)  | ばらつき |
| DK-25-1 | 492.0 |       |      |
| DK-25-2 | 550.5 | 523.5 | 0.11 |
| DK-25-3 | 528.0 |       |      |
| DK-50-1 | 500.5 |       |      |
| DK-50-2 | 489.5 | 521.3 | 0.16 |
| DK-50-3 | 574.0 |       |      |
| DF-25-4 | 377.0 |       |      |
| DF-25-5 | 392.0 | 422.5 | 0.29 |
| DF-25-6 | 498.5 |       |      |
| DF-50-4 | 489.5 |       |      |
| DF-50-5 | 599.5 | 545.3 | 0.20 |
| DF-50-6 | 547.0 |       |      |
| B-25-7  | 714.5 |       |      |
| B-25-8  | 632.0 | 669.5 | 0.12 |
| B-25-9  | 662.0 |       |      |
| B-50-7  | 506.5 |       |      |
| B-50-8  | 570.5 | 523.5 | 0.15 |
| B-50-9  | 493.5 |       |      |



#### 図-15 最大荷重と高さの差 (DF25mm)



図-16 最大荷重と高さの差 (DF50mm)

## 5. まとめ

GFRPの簡易圧縮試験方法を検討するため、ハンドレ イアップ成形部材FCH180を用いて、高さに対する要求 精度について発生ひずみの視点から検討を行った.得ら れた結果を以下にまとめる.

- (1) 高さに差があっても、端面で塑性変形を起こすこ とをひずみ計測を行って確認した.これによって 断面の応力の均等化が行われるものと考えられる.
- (2) ひずみ計測から、高さの高いところで、ひずみが 大きくなるとは限らないことが分かった。高さの 差が2mmを超えると、ひずみ特に、ウエブのひず みが意味のある増加を示した。
- (3) 高さの差が2mmを超えると耐荷力の低下の傾向が 見られた.この試験体のひずみは他の試験体に対 して、ウエブのひずみが大きくなった.しかしな がら、これと同程度の耐力の試験体でも、高さの 差は0.45mmであり、高さの差の以外の要因の耐力 への影響が大きいことが考えられる.

謝辞:本試験を行うに当たって土木学会 複合構造委員 会 H208委員会の皆様に助言を頂いた.また,委員の日 比氏から試験体の提供をして頂いた.ここに記して感謝 申し上げます.

#### 参考文献

- ASTM D6641/D6641M = 0.9 : Standard Test Method for Compressiv Properties of Polymer Matrix Composite Material Using a Combined Loading Compression (CLC) Text Fixture ,2001
- 2) JIS K 7018:繊維強化プラスチックー積層面内圧縮特 性の求め方, 1999
- 杉浦邦征,西崎到,北根安雄,中村一史,三ツ木幸子,山岸敏夫,冨山禎仁:土木構造用 FRP 部材の部分安全係数の策定に向けて,第4回 FRP 複合構造・ 橋梁に関するシンポジウム講演論文集, PP.1-18,2012
- 4) 堀 彩夏,三ツ木幸子:GFRP 溝形成型部材の試験方法に関する研究,第 68 回土木学会年次講演会 CS3-035

## EVALUATION OF ULTIMATE LOAD UNDER COMPRESSION FOR GFRP- MEMBER

## Yu YACHI, Yasuo KITANE, Hitoshi NAKAMURA, Itaru NISHIZAKI, Takashi MATSUMOTO and Yukiko MITSUGI

This paper is studied about evaluation of ultimate load under compression for GFRP. Ultimate load under compression for GFRP is influenced various factor of manufacturing, so we need to make sure its ultimate load by experimental test. So we propose simplified test method for compression test using member of whole section. Low column is used in the test. The heights of column 25mm and 50mm.

We measured strain in the experimental test under compression and we studied this method from the point of strain. We studied the influence by the difference of the height at each position on ultimate load.

In this paper, we showed that the influence of difference of height on the ultimate load is small in the case where the difference is smaller than 1mm.