GFRP極短柱部材の圧縮性能

三ツ木 幸子1・舟山 耕平2・日比 英輝3・北村 直哉4・北根 安雄5

¹正会員 株式会社 平設計 技術部 (〒110-0005 東京都台東区三丁目17-11) E-mail:b.mitsugi@taira-eng.co.jp

²学生会員 大阪市立大学大学院 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本三丁目3-138) E-mail:funayama@brdg.civil.eng.osaka-cu.co.jp

³正会員 株式会社 ヒビ (〒503-1337 岐阜県養老郡養老町直江613-1) E-mail:hidekey@hibi-frp.ac.jp

⁴正会員 株式会社 平設計 技術部 (〒110-0005 東京都台東区三丁目17-11) E-mail:kitamura@taira-eng.co.jp

⁵正会員 名古屋大学准教授 大学院工学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町C1-3) E-mail:ykitane@civil.nagoya-u.ac.jp

GFRP溝形成形部材の圧縮耐力は、材料試験で材料特性値を求めて決定するよりも部材試験で部材圧縮耐 力を求める方が、より効率的な設計ができると考え、極短柱試験による簡易評価方法を提案してきた. こ の試験方法の適用性を検討するために行ってきた一連の試験の結果を用いて、各試験体の破壊タイプを座 屈、コバ面の剥離、角部稜線分離、つぶれの視点から観察し、耐荷力との関係を検討した. 座屈、コバ面の剥離、角部稜線分離、つぶれの4つの視点から分析した結果、剥離、稜線分離、つぶれ と関連してせん断破壊のような現象も観察された. 剥離や稜線分離の場合に耐力が低下するばかりでなく ばらつきも大きいことを示し、提案した試験方法で付着力の影響なども総合して評価できることを示した.

Key Words : GFRP, compression, fracture type, ultimate load

1. はじめに

軽量で耐食性のある FRP は、土木構造材料としての 適用が広がり、より効率的な設計への要求が高まってい る.FRP 構造物を効率的に設計するための課題として、 合理的な FRP の設計用物性値の決定方法の確立、材料 係数の基となるデータを増やすことなどが挙げられる. この状況下で、GFRP 溝形成形部材の圧縮耐力は、材料 試験で材料特性値を求めて決定するよりも部材試験で部 材圧縮耐力を求める方が、より効率的な設計ができると 考え、極短柱試験による簡易評価方法を提案してきた.



図-1 試験体断面図

本研究では、この試験方法の適用性を検討するために 行ってきた一連の試験の結果を用いて、各試験体の破壊 タイプを観察し、耐荷力との関係を検討したので、これ について報告する.

2. 研究方法

本研究では、H23年度、H25年度に行われたGFRP溝 形成形部材の試験体の圧縮試験結果を用いて、各試験体 の破壊タイプを観察し、その結果と圧縮耐力との関係を 検討する.

試験終了後の試験体を,剥離,座屈,稜線の分離およ び端面のつぶれの視点から,再度観察し直す.試験結果 を分析してタイプごとの傾向を把握し,終局耐力との関 係で検討を加える.

(1) 分析の対象とした試験体

これまでに行われた圧縮試験の試験体は、2種類の引 抜成形部材(C100S,C200)および1種類のハンドレイアッ プ成形部材(FCH180)である.これらの試験体断面形状を, 図-1と表-1で示す.図-1において,A,Cをフランジ,B をウェブと呼ぶ.表-1に示す板厚は、ウェブ部での板 厚の寸法であり、フランジ部は、端部側になるとやや板 厚が薄くなっている.

FCH180は使用した部材の製作の違いおよび試験体精 度の違いから8種類のタイプを採用した.このタイプ の詳細を表-2に示す.表-2の8ケースのうち,ENTで 示される2つは、コバ面(フランジ端部)の繊維の巻 き込み処理を行っていない.また、表-2の番号1~4の タイプと5~8タイプの試験体の製作において型を変更

表-1 試験体の寸法

| | 板厚 | A(フランジ) | B(ウェブ) | C(フランジ) |
|--------|----|---------|--------|---------|
| C100S | 5 | 36 | 100 | 36 |
| C200 | 8 | 70 | 200 | 70 |
| FCH180 | 9 | 75 | 180 | 75 |

表-2 FCH180試験体のタイプ

| | 試験体 | 試験体タイプの特徴 |
|---|---------|----------------------------|
| | 名称 | |
| 1 | ENT-TR | 試験方法を開発する際に用いられた予備試験体で, |
| | | 製品として出荷しない部材端部の通常は廃棄する部 |
| | | 分を使って製作した試験体 |
| 2 | ENT-B | 予備試験体とフランジのコバ面の処理が同じ部材 |
| | | で、出荷用部材 |
| 3 | ET-OLD | 圧縮部材用としてフランジ自由端(コバ面)の軸直 |
| | | 角方向の繊維処理をした部材.基本タイプET-Bとは |
| | | 繊維構成は同じであるが、雌型が異なるためフラン |
| | | ジのテーパが大きい. 圧縮用部材として開発時に作 |
| | | った部材で一部熟練者が試行錯誤して製作. |
| 4 | ET-OLDB | ET-OLDと同じ雌型を用いて同じ製法で行ったが、生 |
| | | 産レベルの製造工程で一般の工員が製作. |
| 5 | ET-DK | ET-Bと同じ雌型で製作しているが、圧力をかけて板 |
| | | 厚管理を行っていないため、板厚が若干大きい. |
| 6 | ET-NT | ET-Bに対して、仕上げの処理工程を一工程省略し |
| | | て、3mm程度の空洞ができている. |
| 7 | ET-DF | ET-Bに比べ端面の仕上げ制度が悪い. 一部材の中で |
| | | 最大で2.7mmの高低差がある部材があった. |
| 8 | ET-B | FCH180の基本タイプ.板厚管理を行って製作した部 |
| | | 材. 圧縮部材用に開発したもの. |

表-3 試験体数

| | | 25 mm | 50mm | 100mm | 200mm | 180mm |
|--------|---------|-------|------|-------|-------|-------|
| (| C100S | 5 | 3 | 3 | _ | - |
| | C200 | 5 | 3 | _ | 3 | _ |
| | ENT-TR | _ | 6 | _ | _ | _ |
| F | ENT-B | _ | 3 | - | _ | _ |
| г 0 | ET-OLD | 3 | 5 | _ | _ | _ |
| U U | ET-OLDB | _ | 3 | _ | _ | _ |
| 1 | ET-DK | 3 | 3 | Ι | - | Ι |
| | ET-NT | 3 | 3 | - | - | - |
| 0 | ET-DF | 3 | 3 | _ | _ | _ |
| 0 | ET-B | 3 | 3 | - | - | 3 |

したため、フランジの厚みの変化が若干異なる. 各試験体タイプの試験体数を表-3に示す.

(2) 観察方法

図-2に示す簡易圧縮試験を行って得られた、それぞれの試験体の破壊形態を目視で観察して表にまとめる.



図-2 簡易圧縮試験









(b) コバ面の剥離









(d) つぶれ

図-3 破壊形態

ウェブ部とフランジ部では、剥離と座屈、コバ面(フ ランジ端部)では剥離、角部では稜線分離、試験体の上 下面でつぶれに着目して形態を観察する.コバ面の剥離 の場合、フランジ部へ剥離が広がっている場合があり、 この場合は、フランジの剥離と端部の剥離のどちらにも 破壊形態が「有り」とした. (a)座屈、(b)剥離、 (c)稜線分離、(d)つぶれのそれぞれの破壊形態を 代表的なものの写真を用いて図-3に示す.

なお、C200の高さ200mmの試験体では、角部稜線に沿って、ウエブ側にせん断破壊と考えられる破面も観察された.この角部稜線に沿ったせん断の視点から試験体を 見直すと、引き抜き成形部材では、せん断とも考えられ る破壊形態があるようにも見受けられた.この破壊形態 を含めて、破壊形態の概要を示すために、引き抜き成形 部材の(a)C100Sと(b)C200および(c)FCH180に ついては基本タイプET-Bの全試験体の破壊状態を図-4 に示す.図-3および図-4から分かるように、試験体タイ プ、特に製造方法でつぶれ状態には差がある.また、 C100Sの稜線分離では、FCH180のように口が開かずに、 稜線部がヒンジになって、ウエブ面とフランジ面が90° よりも大きく開く形で破壊している状態も見られた.





(ь) С200





(a) C100S





(c) FCH180 (ET-B)

図-4 試験体の破壊状態

3. 分析結果および考察

(1) 各試験体の破壊形態と最大荷重

各試験体の破壊形態と最大荷重を表-4から表-6にまと めた.各試験体の部材タイプごとに、C100Sは表-4に、 C200は表-5に、FCH180は表-6に示す.破壊形態はウェ ブとフランジの各面と角部稜線部、フランジコバ面につ いて観察した結果をまとめてある.ウェブの座屈とつぶ れで、破壊形態が見られたものは○、見られなかったも のは×で示した.また、フランジ部、コバ面、角部の場 合は、片側で破壊形態が見られたものは△、両側で破壊 形態が見られたものは◎、破壊形態が見られないものは ×で示した.

表-4 C100Sの試験体毎の破壊形態

| 01000 | | ウェブ | | 75 | ンジ | コバ面 | 角部 | 0.24 |
|-------|-------|-----|----|----|----|-----|------|------|
| 01005 | 最大荷重 | 剝離 | 座屈 | 剥離 | 座屈 | 剥靛 | 稜線分離 | 2221 |
| | 366.5 | 0 | × | x | × | × | 0 | 0 |
| | 393.5 | 0 | x | Δ | × | × | Δ | 0 |
| 25mm | 333 | 0 | 0 | | × | Δ | Δ | 0 |
| | 401 | 0 | × | Δ | × | Δ | Δ | 0 |
| | 355 | 0 | x | Δ | x | Δ | 0 | 0 |
| | 341 | 0 | 0 | 0 | × | 0 | 0 | 0 |
| 50mm | 322 | х | x | | × | Δ | Δ | 0 |
| | 342 | 0 | x | Δ | × | 0 | 0 | 0 |
| | 213 | 0 | x | 0 | × | x | 0 | 0 |
| 100mm | 199.5 | 0 | x | 0 | x | × | 0 | 0 |
| | 208.5 | 0 | x | 0 | × | × | 0 | 0 |

表-5 0200の試験体毎の破壊形態

| 0000 | | ウェブ | | フラ | ンジ | コパ面 | 角部 | 054 |
|-------|-------|-----|----|----|----|-----|------|-------|
| 6200 | 最大荷重 | 剥離 | 座屈 | 剥離 | 座屈 | 剥離 | 稜線分離 | 20140 |
| | 1054 | 0 | x | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |
| | 1105 | 0 | 0 | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |
| 25mm | 1104 | 0 | 0 | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |
| | 919 | 0 | x | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |
| | 865 | 0 | 0 | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |
| | 820.5 | 0 | 0 | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |
| 50mm | 962.5 | 0 | 0 | Δ | 0 | Δ | Δ | 0 |
| | 950 | 0 | 0 | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |
| 200mm | 406 | 0 | x | × | x | × | Δ | 0 |
| | 400 | × | × | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |
| | 408.5 | х | x | Δ | Δ | Δ | Δ | 0 |

表-4,表-5および表-6の各試験体データを,試験体タ イプ毎に破壊が見られる割合を表にまとめたものが表-7 と表-8である.表-7と表-8には最大荷重のタイプ別平均 値とばらつきも示した.表-7は、ClOOS、C200および FCH180の基本タイプであるET-Bの比較が、表-8は、 FCH180について,試験体の製作条件あるいは試験体の 製作精度の異なる試験体タイプの比較ができるようにま とめた.

| 衣-0 「い1000)試験14世(り)(20) (10) | 表-6 | FCH180の試験体毎の破壊形態 |
|------------------------------|-----|------------------|
|------------------------------|-----|------------------|

| 604 | 105 | | 927 | | 25 | 24 | コノ運 | コパ度 角長 | |
|---------|--------------|-------|-----|----------|----------|----------|----------|------------|-----|
| rya. | 192 | 養大児童 | 利潤 | 成臣 | 利潤 | 夏信 | 利潤 | 機構分離 | 244 |
| | | 216 | Q | Q | <u></u> | 4 | 4 | Δ. | х |
| | | 242 | 0 | 0 | Δ. | 4 | <u>۵</u> | Δ. | х |
| 017-70 | \$7.mm | 302 | Ó | 0 | 0 | 0 | 0 | ¢. | х |
| Del-IN | 201000 | 200 | Ô. | 0 | 4 | 4 | 4 | Δ. | ж |
| | | 171 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | 201 | Ô. | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | х |
| | | 341 | 0 | 0 | x | x | х | x | х |
| ENT-6 | \$0mm | 251 | 0 | 0 | Δ. | 4 | 4 | Δ. | х |
| | | 151 | 0 | 0 | x | x | x | x | х |
| | | 451 | 0 | 0 | 4 | 4 | Δ. | Δ. | 0 |
| | 25mm | 607 | 0 | 0 | <u>4</u> | 4 | <u>۵</u> | Δ. | 0 |
| | | 493 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 |
| FT-010 | | 540 | 0 | 0 | 4 | 4 | Δ. | 4 | х |
| 1 100 | | 653 | 0 | 0 | Δ. | Δ | 4 | 4 | х |
| | \$0mm | 660 | - | - | - | - | - | - | - |
| | | £18 | 0 | 0 | 4 | 4 | 5 | Δ. | х |
| | | 7975 | 0 | 0 | <u>.</u> | 4 | Δ. | Δ. | х |
| | ET-OLDB Some | 454 | 0 | 0 | Δ. | 4 | Δ. | 4 | 0 |
| E1-0708 | | 520 | 0 | 0 | Δ. | 4 | 4 | Δ. | х |
| | | 480 | 0 | 0 | Δ. | Δ. | 4 | 4 | х |
| | | 452 | 0 | 0 | х | х | 4 | Δ. | 0 |
| | 25mm | 5511 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 |
| FT-OK | | 528 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 |
| e | | | 0 | 0 | x | x | X. | x | 0 |
| | Stren | 490 | 0 | 0 | x | X. | х | x | 0 |
| | | - 574 | 0 | 0 | <u>A</u> | 4 | 4 | 4 | Q |
| | | 544 | 0 | 0 | A | 4 | <u> </u> | <u>A</u> | 0 |
| | 25mm | | 0 | 0 | Δ. | 4 | 4 | 4. | 0 |
| ET-ST | | 389 | 0 | 0 | <u> </u> | 4 | 4 | 4 | 0 |
| | | 400 | х | X | 4 | 4 | 0 | x | 0 |
| | 50mm | 450 | 0 | 0 | <u>A</u> | 4 | <u>A</u> | 4 | 0 |
| - | | 491 | 0 | 0 | 4 | <u> </u> | 4 | 4 | 0 |
| | - | \$77 | 0 | 0 | X | x | x | x | 0 |
| | 25mm | 312 | 0 | 0 | X | x | 4 | X | 0 |
| ET-OF | | 499 | 0 | 0 | <u>x</u> | x | x | x | 0 |
| | | 490 | 0 | <u>Q</u> | X | x | <u>A</u> | <u>A</u> . | 0 |
| | SOmm | 600 | 0 | 0 | A. | 4 | <u>A</u> | A . | 0 |
| | | 547 | 0 | 0 | 4 | <u>A</u> | 4 | <u>A</u> | 0 |
| | | 715 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 25mm | 632 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | <u>A</u> | 0 |
| | | 662 | 0 | 0 | 0 | 0 | e | 4 | 0 |
| | | 507 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | x |
| E1~B | SOmm | \$71 | 0 | 0 | 4 | 4 | <u>à</u> | Δ. | X |
| | | 494 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 0 |
| | | | 0 | 0 | Δ. | <u>A</u> | <u>A</u> | 4 | X |
| | 180mm | 403 | 9 | 0 | 5 | 4 | 4 | 4 | 0 |
| | | 222 | 0 | 0 | Δ | Δ. | <u>Δ</u> | Δ | 0 |

表-7 C100S, C200 および FCH180 (ET-B) の試験体タイプ別の破壊形態

| | | <u>ל</u> | ェブ | フラ | ンジ | コバ面 | 角部 | りごち | 旦十姓弟 | ぼこうき |
|--------|-------|----------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|--------|
| | | 剥離 | 座屈 | 剥離 | 座屈 | 剥離 | 稜線分離 | しかれ | 取入何里 | 12 20 |
| | 25mm | 100 | 20 | 80 | 0 | 60 | 100 | 100 | 370 | 0.184 |
| C100S | 50mm | 67 | 33 | 100 | 0 | 100 | 100 | 100 | 335 | 0.0597 |
| | 100mm | 100 | 0 | 100 | 0 | 0 | 100 | 100 | 207 | 0.0652 |
| | 25mm | 100 | 60 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 1009 | 0.238 |
| C200 | 50mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 911 | 0.156 |
| | 200mm | 33 | 0 | 67 | 67 | 67 | 100 | 100 | 405 | 0.021 |
| | 25mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 670 | 0.123 |
| FCH180 | 50mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 33 | 524 | 0.147 |
| | 180mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 67 | 352 | 0.233 |

表-8 FCH180の部材製作条件または試験体精度別の破壊形態

| | | ウ: | ェブ | フラ | ンジ | コバ面 | 角部 | 024 | 旦+ 左手 | けいっち |
|---------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|--------------|--------|
| | | 剥離 | 座屈 | 剥離 | 座屈 | 剥離 | 稜線分離 | しかれ | 取入何里 | 179,75 |
| ENT-TR | 50mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 300 | 0.43 |
| ENT-B | 50mm | 100 | 100 | 33 | 33 | 33 | 33 | 0 | 314 | 0.32 |
| | 25mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 517 | 0.30 |
| | 50mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 0 | 694 | 0.40 |
| ET-OLDB | 50mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 33 | 485 | 0.14 |
| | 25mm | 100 | 100 | 67 | 67 | 100 | 33 | 100 | 524 | 0.11 |
| EI-DK | 50mm | 100 | 100 | 33 | 33 | 33 | 33 | 100 | 522 | 0.16 |
| CT_NT | 25mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 484 | 0.27 |
| | 50mm | 67 | 67 | 100 | 100 | 100 | 67 | 100 | 450 | 0.20 |
| | 25mm | 100 | 100 | 0 | 0 | 33 | 0 | 100 | 423 | 0.29 |
| EI-DF | 50mm | 100 | 100 | 67 | 67 | 100 | 100 | 100 | 546 | 0.20 |
| | 25mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 670 | 0.12 |
| ET-B | 50mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 33 | 524 | 0.15 |
| | 180mm | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 67 | 352 | 0.23 |



(a) C100S



(b) C200







図-6 FCH180の各試験体の最大荷重(高さ50mm)







(2) C100S, C200, FCH180(ET-B)での比較

a)つぶれ

表-7から分かるように、引き抜き成形部材である C100SとC200は、全ての試験体でつぶれが起きている.

これに対して、ハンドレイアップ成形部材のFCH180は、 高さが25mmの試験体では全ての試験体でつぶれが起きて いるが、50mmと180mmの試験体では、つぶれが起きずに、 座屈が生じている試験体があった.

このことから,引き抜き成形部材では,つぶれが卓越 し,特にClOOSではほとんどのケースで座屈も発生する ことなく最大耐力に達している.

つぶれは、繊維の座屈でもある. 試験体の端面から微小な長さの繊維が折れる現象から、図-3(d) 右図のように1cm程度のところから繊維が折れるケースもあった. 角部のつぶれでは、角部(稜線部)が端面から少しずつ割ける現象も観察された.

b) 剥離と角部稜線分離

2.(2)にも述べたように、本研究では、座屈、剥離、稜線分離、つぶれの4つの視点から表をまとめたが、引き抜き成形部材C200高さ200mmの試験体では、稜線部に沿ってウエブ側にせん断のような破壊形態が見られた. C200高さ50mmでは、剥離に分類しているものに剥離を伴うせん断とも考えられる破壊形態も観察された.しかしながら、せん断の判断は難しいため、基本タイプの試験体について全ての写真を示すことにとどめ、本検討では、上述の4つの視点で整理した.

角部稜線分離についても、ハンドレイアップ成形部材 でよく見られた口を開く破壊形態(図-3(c)参照)に 対して、引き抜き成形部材は、口が開くというより、角 部に沿ってヒンジ状態が形成され、フランジ面とウエブ 面でなす角度が90°よりも開いている.これはフランジ とウエブの稜線部での相互の拘束が低下していることを 示している.実際、フランジ部、あるいはウエブ部が剥 離を起こし、つぶれが促進されたとも考えられる状態を 示している.このようにGFRP溝形成形部材の破壊形態 は、今回採用した4つの破壊形態で単純に捉えられるも のではないが、本研究では、この4つの視点で観察し、 可能な範囲で分類を行って検討を行った.

以上のように、今回の破壊形態で用いた視点の剥離お よび稜線分離は、ハンドレイアップ部材FCH180 と引き 抜き成形部材では異なる部分もある.しかしながら、剥 離によって板部材が薄くなることと角部に沿った破壊に よってフランジおよびウエブそれぞれの板部材の周辺拘 束条件および繊維の拘束状態が変わることから、この剥 離および角部の稜線分離の視点からの分析は、引き抜き 成形部材およびハンドレイアップ部材に共通して意味が あると考えた.

c) 試験体高さと最大荷重

座屈が発生する段階でつぶれが発生していない FCH180の高さ180mmの試験体では、材料強度を使いき る前に座屈が発生し、最大荷重が低下したと考えられる. 座屈している試験体は、必ず、剥離と稜線分離を起こし ており、ウエブおよびフランジの各部材の周辺の拘束が 分離によって弱くなっていること、および、剥離によっ て板厚が薄くなることで座屈が起こりやすくなって、耐 力低下を起こしているものと考えられる.

一方,引き抜き成形部材C200の高さ200mmについても, 材料強度を使い切る前に角部稜線分離が発生して耐力低 下が起きている.この低下の理由を角部の稜線に沿った ウエブのせん断破壊とするかの判断は現段階では行って いないが,いずれにしても,角部での破壊が耐力低下の 原因と考えられる.なお,この場合,3体の耐力のばら つきが0.021と小さい.

図-5は、試験体タイプ別に各試験体の高さと最大荷重 の関係を示したものである. (a)はC100S, (b)は C200, (c)はFCH180(ET-B)に対する図で、どのタイプ に対する図でも、高さ25mmの最大荷重が最も高く、高 さ50mm、そして、高さをウェブの長さ(幅)としたタ イプと続いている. この傾向は、表-9のに示す各タイプ の最大荷重の平均値でも把握できる. しかしながら、50 mmの試験体の最大荷重は、高さ25mmの試験体に対して、 8割から9割と、比較的近い値となっている.

(3) 部材製作条件または試験体精度の影響

FCH180の結果を用いて、部材製作条件および試験体 製作制度の違いが最大荷重へ及ぼす影響を検討する.

まず,表-6の試験体高さ50mmのすべての試験結果に ついて図-6に、25mmについては図-7に、各試験体の最 大荷重を示す.本研究では、試験体高さ50mmについは、 簡易圧縮試験法の検討で予備試験体として用いられた試 験体NT-TRの6体、圧縮用部材開発時に用いた試験体 ET-OLDの5体についても収録した.本研究では、部材 製作条件の違いを検討するため、これらの試験体につい てもそれぞれの製作条件を分かっている範囲で記録して

表-9 各試験体タイプの試験体高さと最大荷重の平均値

| | 試験体タイプ | | | | | | | |
|-------------------------|--------|--------|----------------|--|--|--|--|--|
| 試験体高さ | C100S | C200 | FCH180 ET—B | | | | | |
| ① 25 mm | 370kN | 1009kN | 670kN | | | | | |
| ② 50 mm | 335kN | 911kN | 524kN | | | | | |
| Bの幅 | 207kN | 405kN | 352kN | | | | | |
| 2/1 | 0.91 | 0.90 | 0.78 | | | | | |
| 3/1 | 0.56 | 0.40 | 0.52 | | | | | |

表-10 各試験体タイプの高さ 50 mmの平均最大荷重

| ET-OLDB | ET-DK | ET-NT | ET-DF | ET-B |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| 485kN | 522kN | 450kN | 546kN | 524kN |
| 0.14 | 0.16 | 0.20 | 0.20 | 0.15 |

データとして収録することにした. この2種類の試験体 タイプ以外は, FCH180についてはすべて3体ずつ試験 を行っている. プロットした記号に対応する試験体タイ プを図中の凡例で示す.

図-6からわかるように、部材製作条件および試験体 製作条件の違いによって、試験体高さ50mmでは500kN 以上の違いがある.

以下,個々の条件の違いについて検討を行う.

a) ENT-TR および ENT-B

表-8から、コバ面の横糸(部材軸直角方向の繊維) の処理を行っていない ENT-TR および ENT-B では、全て の試験体でつぶれが起こらなかった、すなわち、つぶれ が起こる前に、座屈が起きている. しかしながら、必ず しも、コバ面の処理を行っていないという理由でコバ面 の剥離が起こっているわけではない.特に, ENT-B では, 3体のうち2体で、コバ面の処理を行っていないが、コ バ面では剥離は起こらずに、ウエブの剥離と座屈が生じ ている.この時の最大荷重は350kN程度であるが、一方、 コバ面の剥離を伴った時の最大荷重は250kN程度あった. このように、コバ面の処理を行っていない試験体がコバ 面で剥離を起こす場合の最大荷重は、コバ面で破壊して いない試験体より 100kN 程度小さくなっていた. すなわ ち、コバ面の処理を行わない場合、コバ面の剥離に対す る耐力がばらつくため、耐力が小さくなる場合があると ともに、部材耐力としてのばらつきも大きくなっている. この傾向を表-8の50mm試験体のタイプ毎の平均値で比 較すると、このフランジのコバ面の処理を行なわないタ イプ (ENT) は ENT-TR 最大荷重 300kN ばらつき 0.43, ENT-B 最大荷重 314kN ばらつき 0.32 と,表-10 に示すフ ランジのコバ面の処理を行ったタイプ (ET) に対して, 最大荷重は約130kN以上小さく、ばらつきも大きい.こ こで、部材製作工程を一工程省いて空洞のある ET-NT を除くと最大荷重の違いは約160kNになる.

b) 高さ25 mm試験体

高さ25mmの試験結果について,試験体タイプ毎に平均最大荷重を表-11にまとめて示す. ET-DFは文献2)でも書かれているように,高さ25mm試験体では,試験体の製作誤差として生じる1試験体内での高さの違いによって最大荷重が低下するばかりでなく,ばらつきも大きい.このことは,この表からも分かる.

表-11 各試験体タイプの高さ 25 mmの平均最大荷重

| ET-OLD | ET-DK | ET-NT | ET-DF | ET-B |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 517kN | 524kN | 484kN | 423kN | 670kN |
| 0.30 | 0.11 | 0.27 | 0.29 | 0.12 |

表-11の値から, ETNTの最大荷重が小さくなってい るが,この試験体では,部材製作工程を一工程省いおり, 断面には空洞の存在していたため,この影響を考えられ る.逆に言えば,ここで用いている試験方法で,この一 工程を除くことの問題が,最大荷重の低下とばらつきで 把握できると考えられる.

DT-DK は,ばらつき 0.11 で,ばらつくことなく ET-B670kN より最大荷重が 524kN と小さい.この理由につ いては,次節の成形圧力で述べる.

図-8は、FCH180の25mmの試験を行った各タイプの 25mmと50mmの最大荷重の平均値を比較したグラフで ある. ET-OLDも25mmと50mmそれぞれで実験を行っ ていたが、50mmの実験時期および製作者が、試験体に よって違うため、図-8には入れていない.基本的には、 試験体製作精度の影響を受け試験結果がばらつくET-DF 試験体を除いて、50mm試験体よりも25mm試験体の最大 荷重が大きくなった.なお、ET-DK および ET-NT では、 個々の値を見ると、同じタイプの50mmの試験体の結果 が、25mmの試験体より大きいを示しているものもある. したがって同レベルと把握することが妥当と考えられる.

(4) 成形圧力

DT-DK は、高さ 25 mmの試験体で、ばらつくことなく、 ET-B より最大荷重が小さいという結果を得た.このこ とから、試験結果を見直し、成形時の圧力の加え方に着 目して検討を行った結果、比較的大きい圧力で成形を行 っている ET-B の最大荷重が高い傾向にあった.

この傾向は、引き抜き成形部材がハンドレイアップ成 形部材に対して最大荷重が大きくなったことおよび ET-OLD のばらつきからも確認できる.

(5) 破壊形態と最大荷重

4つの破壊形態の視点から最大荷重を検討してきたが, 必ずしも,破壊形態をこの4視点では捉えることができ ないことにも言及してきた.

しかしながら,コバ面の処理が最大荷重に大きく影響 すること,また,板厚管理時に行う圧力による成形が, 部材圧縮耐力に影響することを示してきた.

圧力による成形は、直接、つぶれを中心に剥離やせん 断などから決まる材料強度に影響するとともに、層間の 付着抵抗を増加させるため座屈耐力にも大きく影響する ものと考えられる. コバ面の繊維の処理によって、最大荷重が大きくなる とともに、部材耐力のばらつきが小さくなるという傾向 も示した.

端面のつぶれだけで最大耐力に達する場合よりも,つ ぶれによって応力状態が平均化され,最大荷重は他の破 壊タイプで決まることが多く見られた.しかしながら, 端面のつぶれが生じた試験の最大荷重は,材料強度の依 存度が高くなる傾向にあった.

(6) 簡易試験で用いる試験体高さ

25mm試験体では、端面での繊維の切断で、繊維による 拘束性が失われて材料強度が低くなることが考えられた が、全ての試験体でつぶれを起こしており、部材耐力を 把握する場合の部材の基本値として十分有効と考えられ る.これに対して、50mmの試験体の最大荷重は、基本3 タイプ(C100S, C200, FCH180(ET-B))の試験では、 25mm試験体で得られた最大荷重の8から9割程度となった.

コスト面から試験に用いる材料としては25mmが有利で ある.しかしながら、25mm試験体では製作精度によって ばらつきが大きく、強度が小さくなる場合があるので、 試験体製作精度を確保することが難しい場合は、50mm試 験体による試験結果を基本値として採用することも考え られる.

4. まとめ

本研究では、極短柱試験による簡易圧縮耐力評価方法 を提案するにあたって行った試験の結果を用いて、各試 験体の破壊形態を座屈、剥離、角部稜線分離およびつぶ れの視点から整理した.さらに、部材製作条件ならびに 試験体製作精度の違いが、部材としての圧縮耐力へ及ぼ す影響を検討した.結論を以下にまとめる.

(1)角部稜線分離と分類した破壊形態について,引き 抜き成形部材では稜線を軸とした回転が起こる一方,ハ ンドレイアップ部材では、稜線部が割れて口が開く現象 が多く見られた.

(2)引き抜き成形部材では、ここで取り上げた破壊形 態の他に、せん断破壊と考えられる破壊形態も見られた.

(3) つぶれが起こる前に,,剥離に従った座屈が起こ ると,材料強度にはあまり影響されずに,小さい荷重で 最大荷重に達するケースがあった.

(4) 25mmの試験体では、すべての試験体でつぶれが発生し、部材耐力を評価する基本値として使用可能と考えられる.

(5) 部材耐力は、フランジのコバ面の処理および角部 稜線にそった耐力の影響を受けるとともに、溝形成形部 材を形成する各面の層間付着抵抗の影響も大きいことが 考えられる.提案した簡易圧縮試験方法では、これらの すべての耐力を考慮した耐力を評価することができると 考えられる.

謝辞:試験体の破壊形態の分析は、石川工業高等専門学校在学時に中村瑠那さんにご協力いただいた.ここに記して謝意を表したい.

参考文献

- 1) 土木学会: 複合構造レポート 11 土木構造用 FRP 部 材の設計基礎データ, pp.165-181, 2014.
- 2) 谷内湧,北根安雄,中村一史,西崎到,松本高志, 三ツ木幸子:GFRP 溝形成形部材の圧縮耐力について, 第5回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム講 演論文集,2014.
- 堀 彩夏,三ツ木幸子:GFRP 溝形成型部材の試験法 に関する研究,第 68 回土木学会年次講演会 CS3-035, 2013.
- 杉浦邦征,西崎到,北根安雄,中村一史,三ツ木幸子,山岸敏夫,冨山偵仁: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.

PERFORMANCE OF GFRP PROFILE MEMBER UNDER COMPRESSION

Yukiko MITSUGI, Kouhei FUNAYAMA, Hideki HIBI, Naoya KITAMURA and Yasuo KITANE

This paper is studied about ultimate load under compression for GFRP. Ultimate load under compression for GFRP is influenced various factor of manufacturing, so we try at first to make sure its fracture type using result of experimental test using member of whole section. Then we analyzed the relasionship between the ultimate load and its fracture type. This test method is already proposed and in the method, low column is used and the heights of the column 25mm and 50mm.

Through this study we make sure the advantage of the simplified test method for compression test using member of whole section.