

12. 引抜き成形によるガラス繊維強化材 I-600 の材料力学特性に関する実験的研究

太刀掛 正俊

1. 目的

近年，FRP(Fiber Reinforced Plastic)を構造用部材として適用することを目的とした多くの研究が行われている．その理由として，FRP の優れた機械的特性に加えて，鋼材に比較し高い軽量性・耐食性を有することによる初期施工費・維持管理費の軽減など，ライフサイクルコストを考慮した場合の有効性があげられる．著者はこれら FRP の中でもとりわけ，材料単価が比較的安価で成形も容易なガラス繊維強化プラスチック(GFRP)に着目し，その中でも大量生産性に優れた引抜き成形法による I-600GFRP はり部材を用いた既設道路橋 RC 床版の補強工法(図-1)を提案し，その実現に向けて I-600 の曲げやせん断などに対する基本的力学特性把握のための各試験を実施してきた．GFRP 部材は複合材料特有の異方性を有しているため，等方性の鋼部材と比較しその基本的力学特性は複雑である．そこで，GFRP 部材の基本的力学特性の把握と，GFRP を構造用部材として用いる際の実用的な設計方法の構築に向けて，今回，材料特性値把握のために I-600 の任意角度における引張試験および圧縮試験と，ウェブに対する面内せん断試験を実施した．

2. 内容

2.1 材料特性

引抜き成形法により製造された I-600 は，大量生産性に優れ，大断面の成形が比較的容易で，積層構造は断面中心から長手方向に揃えられたローピング，ヤーンクロス，コンティニューアストランドマット(CSM)の三層で構成されている．図-2 に I-600 の積層構造，図-3 に引抜き成形法概略図を示す．

2.2 適用事例

図-1 に示した GFRP による補強工法は，既存の RC 床版補強法における死荷重の増加，補強後の維持管理，材料費などの問題点を克服した合理的な補強工法として，架設竣工後 40 年以上を経過した一般国道道路橋 A 橋(3 径間，橋長 67m，幅員 12.5m)の既設 RC 床版補強に試験的に適用されている．写真-1 に A 橋の全景を示す．

2.3 材料試験概要

I-600 におけるウェブ 0° (強軸方向)， 45° ， 90° 各方向，フランジ 0° 方向に切出した試験片(JIS に準拠)を用意し，引張および圧縮試験を実施し，ウェブについてはせん断試験も実施した．試験片の切出し位置を図-4 に示す．試験体数は各タイプにつき 5 体である．

2.4 試験結果

(1) 引張試験

表-1 に試験結果を，写真-2 にウェブ各方向における破壊状況を示す．また図-5 に載荷軸方向の応力-ひずみ曲線を示す．ウェブ 0° 試験片は 325MPa で表面の CSM・クロス層が破断，それと同時にローピング層が互い違いに破断した．ウェブ 45° と 90° 試験片はそれぞれ 113MPa，146MPa で CSM・クロス層が破断，同時にローピング層における繊維間の樹脂がそれぞれの角度に沿った面でせん断破壊を生じた．またフランジ 0° 試験片の引張強度は 416MPa であった． 0° 方向におけるウェブとフランジの強度を比較すると，フランジがウェブに対して約 1.3 倍程度の強度を示した．この理由として，試験片断面の中央

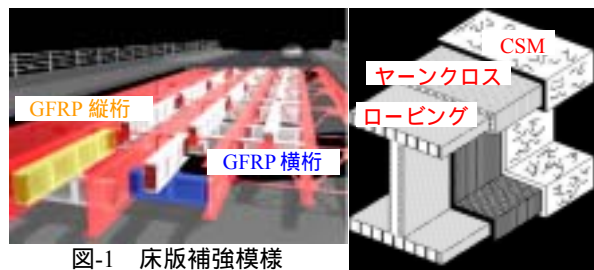


図-1 床版補強模様

図-2 I-600 積層構造

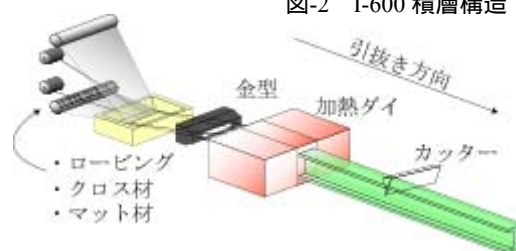


図-3 引抜き成形法概略図



写真-1 A 橋全景

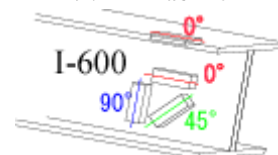


図-4 切出し位置

ローピング層の厚さが、フランジにおいては約 14mm であるのに対しウェブにおいては 4mm であるため、そのローピング層厚の違いによりフランジの強度がウェブのよりも大きくなったと考えられる。さらに、ウェブにおける 0° 方向と 45°、90° 各方向の強度を比較すると、45°、90° 各方向の強度は 0° 方向の 35%、45% である。また弾性率についても同様の傾向が見られた。

(2) 圧縮試験

写真-3 にウェブ各繊維方向における破壊状況を、図-6 に载荷軸方向の応力-ひずみ曲線を示す。ウェブ 0° 試験片は 274MPa でローピング層の層間剥離と座屈を伴った破壊と CSM・マット層の破壊が同時に発生した。45° と 90° 試験片はいずれも表層の破壊・剥離と同時にローピング層の樹脂がせん断破壊した。破壊強度はそれぞれ 133MPa および 146MPa であった。フランジ 0° 試験片については先に表層が破壊、その後ローピング層におけるせん断とその面にそった座屈を生じて破壊した。0° 方向におけるウェブとフランジの圧縮強度を比較すると、これも引張試験結果と同様に、フランジとウェブにおける積層構造の違いにより、フランジの強度がウェブの強度に対して 1.40 倍という結果を示した。また、ウェブにおける 0° 方向と 45°、90° 各方向の圧縮強度を比較すると、45°、90° 各方向の強度は 0° 方向の強度の 48%、53% であった。弾性率についても同様の傾向が見られる。

(3)ウェブせん断試験

破壊挙動については(1)にて言及した通りであるので省略する。ウェブのせん断強度は 57MPa であり、せん断弾性率は 4.6GPa という値を示した。

3. 結論

0° 方向のフランジとウェブの引張強度はそれぞれ 416MPa、325MPa、また圧縮強度はそれぞれ 384MPa、274MPa であった。また、それらの強度比はウェブを基準にすると、それぞれ 1.28、1.40 である。

0° における圧縮強度は、引張強度の 8 割～9 割である。

ウェブにおいて、45°、90° 各方向の引張強度と圧縮強度は、0° 方向の 30%～50%程度であった。

引張、圧縮の弾性率は各試験部ともほぼ等しい。

繊維の配向角や積層構造の違いにより特性値が大きく異なるため、それらを設計の段階で変化させることにより、GFRP 材料の力学特性値を自在に設計することが可能である。

今後、得られた特性値を利用して有限要素解析により異方性としての GFRP 部材の基本的力学挙動について検討する。

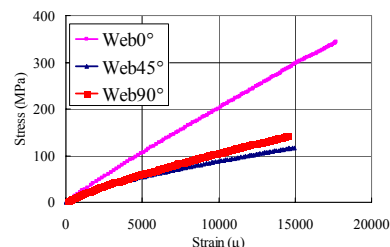


図-5 - 関係(引張)

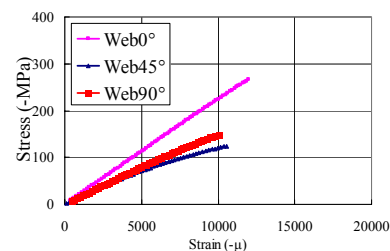


図-6 - 関係(圧縮)



写真-2 引張破壊状況

写真-3 圧縮破壊状況

表-1 材料特性値 試験結果

| | 引張強度 | 圧縮強度 | 引張弾性率 | 圧縮弾性率 | ポアソン比 | せん断強度 | せん断弾性率 | 圧縮強度 | 圧縮弾性率 | WEB0° に対する | |
|---------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|------------|-------|
| | σt(MPa) | σc(MPa) | Et(GPa) | Ec(GPa) | | (MPa) | G(GPa) | / 引張強度 | / 引張弾性 | 引張強度比 | 圧縮強度比 |
| FLG 0° | 416 | 384 | 37.6 | 39.1 | 0.24 | - | - | 0.92 | 1.04 | 1.28 | 1.40 |
| WEB 0° | 325 | 274 | 22.6 | 24.1 | 0.28 | 57 | 4.6 | 0.84 | 1.06 | - | - |
| WEB 45° | 113 | 133 | 12.8 | 15.0 | 0.38 | | | 1.17 | 1.18 | 0.35 | 0.48 |
| WEB 90° | 146 | 146 | 14.4 | 15.7 | 0.14 | | | 1.00 | 1.09 | 0.45 | 0.53 |