

GFRP 引抜き成形材の材料力学特性および I 形断面はりの曲げ挙動

九州大学 学生会員 小林 憲治
九州大学 正会員 日野 伸一
九州大学 学生会員 太刀掛正俊

三菱重工工事(株) 正会員 河合 一嘉
旭ガラスマテックス(株) 正会員 林 耕四郎
九州大学 正会員 山口 浩平

1. はじめに

FRP(繊維強化プラスチック)は、その軽量性や耐食性等から、自重の軽減、施工性の向上やメンテナンスコストの軽減等の利点があり、新たな土木構造材料として期待されている。GFRP 引抜き成形法(図-1)は、大型断面形状での大量生産が可能であり、製造コストが抑えられる大きな利点がある。しかし、強化材である繊維が樹脂により積層されて成形されている FRP は異方性材料であり、設計上の取扱いが極めて煩雑である。本研究では、設計面での簡便な取扱いのため、解析上、鋼材やコンクリート材料と同様の厚さ方向に均一な異方性材料としての取扱いの可能性について検討することを目的とし、GFRP 引抜き成形材の材料強度試験と、I 形断面はりの曲げ試験および材料試験で得られた力学データをを用いた FEM 解析ソフトによる数値解析を行った。

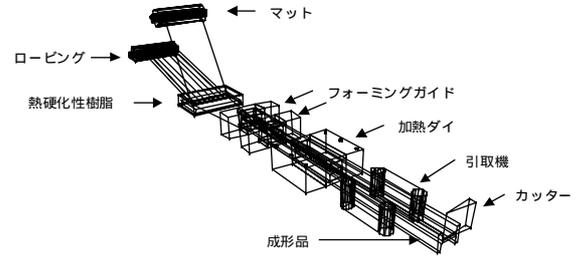


図-1 引抜き成形法の工程



図-2 積層構成図

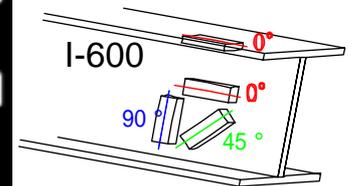


図-3 試験片の切出し模式図

2. 材料試験

2.1 材料試験概要

異方性である GFRP 引抜き成形材の材料特性を詳細に把握するため、GFRP はり部材から、ウェブ部繊維 0°(強軸方向)、45°、90°各方向、フランジ部繊維 0°方向について試験片を切出し、引張および圧縮試験を実施した。GFRP はり部材の積層構成を図-2 に、試験片の切出し模式図を図-3 に示す。試験体数は各タイプにつき 3 体である。

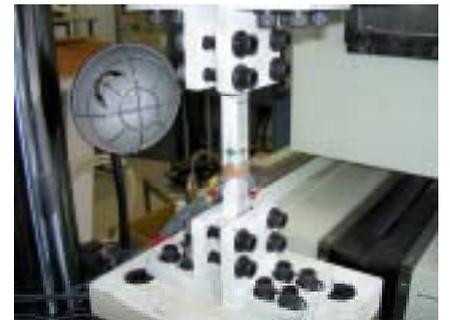


写真-1 材料試験状況

写真-1 に材料試験状況を示す。

2.2 材料試験結果

破壊形式はいずれも繊維の破断ではなく、繊維と樹脂マトリックス間の界面剥離や層間剥離といった破壊形式となった。引張および圧縮強度それぞれについて、繊維 0°方向に対する 45°方向と 90°方向の比はいずれも 30%~50%程度であり、積層された繊維の配向角や含有率にその強度特性を依存することが確認できた。また引張、圧縮各方向の弾性率はほぼ等しいことが確認できた。写真-2 に圧縮破壊状況を、表-1 に得られた結果を示す。

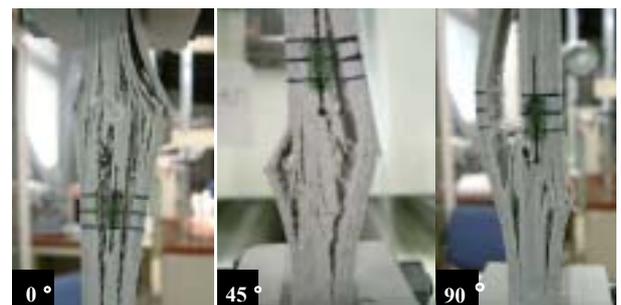


写真-2 圧縮破壊状況

表-1 材料試験結果

	引張強度 ft(MPa)	引張弾性率 Et(GPa)	圧縮強度 ft(MPa)	圧縮弾性率 Ec(GPa)	せん断強度 τ(MPa)	せん断弾性率 G(GPa)	ポアソン比 ν
FLG0°	360 注)	38.8	393	37.8	-	-	0.27
WEB0°	335	23.5	283	25.0	57	5.1	0.24
WEB45°	114	13.4	125	15.7			0.35
WEB90°	143	15.9	140	16.4			0.14

注)CSM・ヤーンクロス層とローピング層間の層間剥離破壊による。

キーワード GFRP, 異方性材料, 引抜き成形, 曲げ挙動

連絡先 〒812-8581 福岡県福岡市東区箱崎 6-10-1 九州大学大学院 (TEL&FAX:092-642-3309)

3. 曲げ試験および解析

3.1 曲げ試験および解析概要

試験は、スパン 4000mm，高さ 600mm の GFRP はり部材に対し対称 2 点漸増荷重を行った(写真-3，図-4)．荷重点には幅 100(mm)厚さ 25(mm) の鋼製プレートを敷き，荷重が均一に分布するようにし，CaseA は垂直補剛材(GFRP 製，箱形断面 100×100×564mm，厚さ 5mm)を支点部のみに片面につき 2 本ずつ，CaseB は座屈耐力を向上させるため，支点部に加え荷重点位置に片面につき 1 本ずつ，それぞれエポキシ樹脂により接着した．

一方，FEM 解析では，1/2 対象モデルとして GFRP はり部材と GFRP 垂直補剛材は直交異方性 4 節点シェル要素を用い，剛結させてモデル化した．解析には，汎用解析ソフト Lusas version13.7 を使用し，フランジ・ウェブともに，厚さ方向には均一なものとしてモデル化した．



写真-3 曲げ試験 供試体設置図

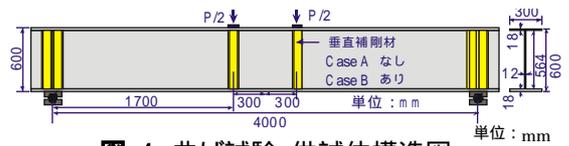


図-4 曲げ試験 供試体構造図

3.2 曲げ試験および解析結果

CaseA は写真-4 に示すように荷重点位置において局部座屈が先行し $P_{max}=352\text{kN}$ で上フランジとウェブの間に引抜き方向に割れを生じて破壊した．上フランジとウェブの結合部に，局部座屈に伴う面外曲げによりひび割れが発生しており，内部のローピング，ヤークロス層についても，破壊していると考えられる．一方，CaseB は垂直補剛材によって荷重点位置の局部座屈は抑制されたが，写真-5 に示すように $P_{max}=534\text{kN}$ で支点部の垂直補剛材が剥落し，急激に GFRP 桁端部上下フランジとウェブの接合部が層間剥離して破壊した．

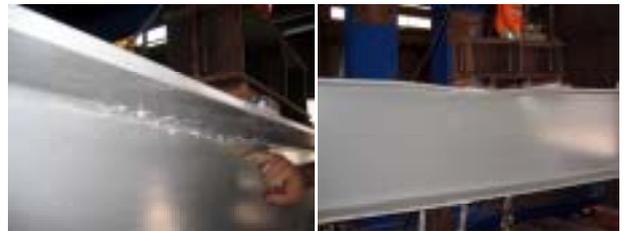


写真-4 Case A 破壊状況



写真-5 Case B 破壊状況

材料試験および参考文献等から得た材料定数を用いて，非線形 FEM 解析を行った結果，図-5 に示すように，スパン中央部の荷重 - たわみ関係において，CaseA，B ともに FEM による解析結果は試験結果と概ね一致することが確認できた．また，図-6 に示すように，試験で発生した座屈現象を再現できたが，終局時の破壊現象を再現するには至らなかった．

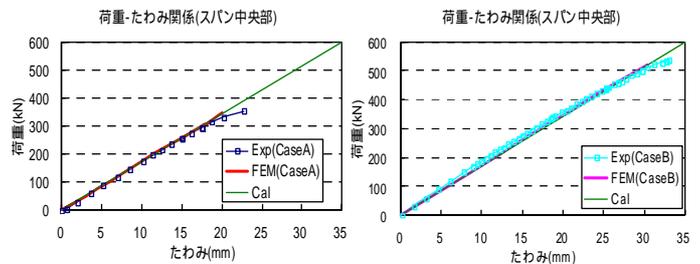


図-5 荷重-たわみ関係

4. まとめ

本研究の結果を以下に示す．

材料試験において，引張・圧縮試験とも界面剥離や層間剥離により破壊に至ることがわかった．また，繊維 0° 方向に比して 45° ， 90° 方向は，30～50%の強度となることが確認できた．

垂直補剛材の設置により，I 桁断面の局部座屈を抑制し，耐力向上に効果があることがわかった．

厚さ方向に均一な材料とし直交異方性と仮定した非線形 FEM 解析により，終局耐力直前までの挙動を概ね把握できることが確認できた．

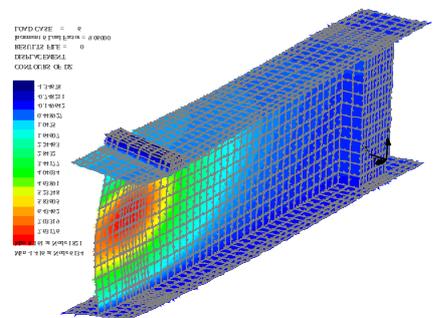


図-6 CaseA 座屈コンター図

参考文献:Hino,S.,AbduI lah,B.:Behavior of GFRP Pultruded I-600 Beam Under Static and Fatigue Loadings, Jurnal of Structural Engineering, JSCE, Vol. 51A, pp.1267-1274, 2005