

ハイブリッド FRP 材料の力学的特性に関する研究

埼玉大学大学院	学生会員	○白木	健亮
埼玉大学大学院	フェロー	睦好	宏史
埼玉大学大学院	正会員	浅本	晋吾
東レ(株)	正会員	松井	孝洋

1. はじめに

FRP (Fiber Reinforced Plastics) は軽量、高強度、高耐久性などの特徴を有し、航空・宇宙分野での実用化が進んでいる。また、異なる繊維を組み合わせたハイブリッド FRP は上記の特徴に加え、経済性にも優れている。近年、大きな社会問題となっている橋梁などの老朽化に伴う補修や新設に対して、ハイブリッド FRP を適用することによって工期短縮や環境負荷低減などが可能になると期待されている。

本研究は、昨年度開発した CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) と GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics) を組み合わせたハイブリッド FRP の I 型構造部材の基本的力学特性を明らかにするため、構造材料 FRP の圧縮および引張試験を行った。

2. 材料試験

(1) 実験概要

フランジに CFRP と GFRP のハイブリッド FRP, ウェブに GFRP を配置した I 桁で、フランジからは長手方向に対して 0° , 90° の 2 種類、ウェブからは 1 種類の計 3 種類のクーポン供試体を図-1 のように切り取り、それぞれについて引張および圧縮試験を行った。

引張試験用供試体は、図-2 に示すように、供試体両端を鋼管に挿入して、エポキシ樹脂で固めた。引張試験は、万能試験機により、鋼管部を引っ張ることによって行った。また、圧縮試験では、供試体が横倒れ座屈を起こすことを防ぐために、写真-1 右に示すような治具を製作してこの中に供試体を固定して載荷を行った。

(2) 実験結果と考察

本実験から得られた応力-ひずみ関係を図-3, 4 に示す。引張試験では、すべての供試体は線形の挙動を示した。一方、圧縮試験では、フランジ 90° 、ウェブ供試体では線形挙動を示したが、フランジ 0° 供試体では 5000μ 付近で供試体に取り付けた二つのひずみゲージの値に差が生じた。これは写真-2 から分かるように、CFRP と GFRP 層間に剥離が発生したためだと考えられる。これは昨年度行った I 桁ハイブリッド FRP の曲げ試験で破壊をもたらした圧縮フランジの界面剥離¹⁾を裏付ける結果であるといえる。また、CFRP の 0° 方向の弾性係数と GFRP の弾性係数には大きな違いがあるが、CFRP の 90° 方向と GFRP の弾性係数がほぼ等しく、繊維直行方向には繊維の違いによる弾性係数の相違は小さいと考えられる。

実験から求められた FRP の材料定数を表-1, 2 に、FRP の作製会社が提供した繊維の弾性係数の特性値に基づいたハイブリッド FRP 部材の等価剛性を表-3 に示す。等価剛性とは古典積層理論から求められる理論値である。実験から求められ

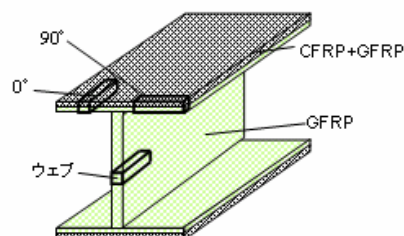


図-1 供試体切り取りパターン

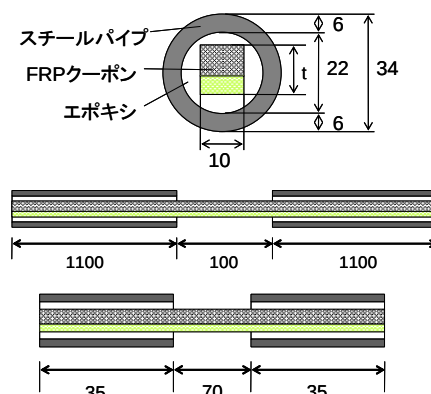


図-2 供試体の形状寸法



写真-1 セットアップ状況

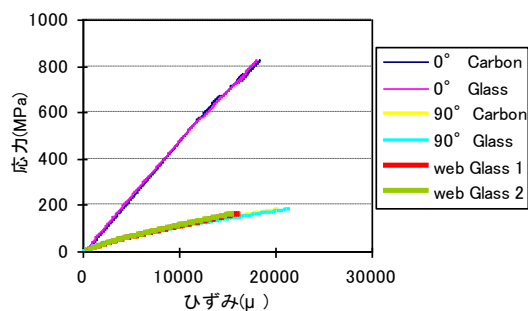


図-3 引張応力-ひずみ関係

表-1 引張試験結果による材料特性

		フランジ	ウェブ
ヤング率(N/mm ²)	E_{11}	50670	15300
	E_{22}	13400	15300
ポアソン比	ν_{12}	0.235	0.27
	ν_{21}	0.182	0.27
引張強度(N/mm ²)	σ_x^t	884	185
	σ_y^t	171	185

表-3 等価剛性

		フランジ	ウェブ
ヤング率(N/mm ²)	E_{11}	48800	15700
	E_{22}	14100	15600
ポアソン比	ν_{12}	0.25	0.33
	ν_{21}	0.07	0.33

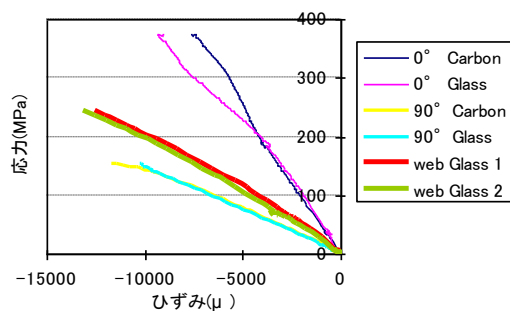
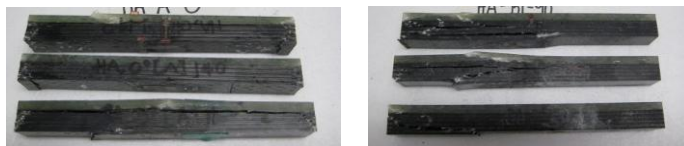


図-4 圧縮応力-ひずみ関係

表-2 圧縮試験結果による材料特性

		フランジ	ウェブ
ヤング率(N/mm ²)	E_{11}	48350	19780
	E_{22}	16280	19780
ポアソン比	ν_{12}	0.269	0.297
	ν_{21}	0.046	0.297
圧縮強度(N/mm ²)	σ_x^c	347	203
	σ_y^c	177	203

写真-2 圧縮試験体破壊状況



たヤング率と理論値はフランジ、ウェブともに概ね合致しており、古典積層理論で任意の積層構成のヤング率を求められることが確認された。

昨年度行ったハイブリッド FRP 桁の曲げ試験ではフランジ幅が小さい場合、圧縮フランジの界面剥離、もしくはウェブの座屈破壊が確認された¹⁾が、どちらの破壊形式かについては不明であった。本実験結果によれば、フランジ 0° の終局圧縮ひずみは約 5000 μ で他の終局ひずみに比べ極端に小さく、曲げ載荷実験の結果でもフランジ幅が小さい場合には圧縮側フランジのひずみが約 5000 μ に達すると破壊が生じたことから、ウェブの座屈破壊に先行して圧縮側フランジが破壊していたことが推測される。一方で、フランジ幅が大きい場合にはフランジの座屈破壊が生じており、ハイブリッド FRP 部材の座屈破壊に関する検討は未だ十分ではなく、詳細な検討を行うことが今後の課題である。

4. 結論

本実験から得られたヤング率と理論値が概ね合致していることが明らかとなった。また、本実験から得られた結果と昨年度行ったハイブリッド FRP 桁の曲げ実験結果を比較することで、圧縮フランジの界面剥離が先行して生じていたと推測され、破壊メカニズムの解明に一定の成果が挙げられた。フランジ、ウェブの座屈破壊に関する詳細な検討が必要であることが課題とされた。

本研究は建設技術研究開発助成によって行われたものである。本研究プロジェクトの共同研究者各位から貴重なご助言を頂いた。ここに記して謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) 山本他：ハイブリッド FRP を用いた構造部材の開発，第 62 回土木学会年次学術講演会，2007. 9
- 2) Wegner, P M; Adams, D F : Verification of the Combined Load Compression (CLC) Test Method, 2000