

第 I 部門

GFRP 部材の曲げ強度評価に関する解析的検討

神戸大学工学部

学生員 ○杉浦 あみり

神戸大学院工学研究科

正会員 橋本 国太郎

1.研究背景及び目的 FRP とは繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Plastics)のことを指し、配置する繊維の方向によって材料特性が変化するという異方性を有する複合材料である。近年、土木構造物への適用へ向けて、FRP 部材の強度に関する多くの研究がなされており、本研究ではガラス繊維を用いた GFRP 部材の曲げ強度に着目する。実際の GFRP 部材の曲げ強度について、設計式は提案されているものの、既往の実験的研究¹⁾では、実験で得られた曲げ強度と設計曲げ強度とに乖離が見られた。そこで本研究では、既往の研究で実施された GFRP 部材の曲げ載荷実験を有限要素解析によってモデル化し、設計式の妥当性を検討することを目的とする。

2.解析モデル概要及び解析ケース FEM 解析には汎用有限要素解析コード ABAQUS を用いてシェル要素で解析を行う。解析モデルは部材高さが 600mm の I 型断面、スパンが 2000mm と 4000mm の 2 タイプであり、それぞれ、両支点上のみに箱形断面(100×100mm, 厚さ 5mm)の垂直補剛材を設置した供試体を 2000A, 4000A とし、両支点上に加えて載荷点にも垂直補剛材を設置した供試体を 2000B, 4000B とする。解析モデルを図 1 に示す。材料特性は、異方性のためにウェブとフランジで値が異なるため、それぞれの値を表 1、表 2 に示す。また、Hashin 損傷モデルでは粘性係数を入力することにより収束安定化を行うため、全てのケースにおいて粘性係数 0.004 を入力している。しかし、スパン 4000mm においてはメッシュサイズが非常に大きくなってしまったため、メッシュサイズが小さくても妥当な結果が得られる 0.01 という値でも解析を行う。それぞれを case1, case2 としている。なお、メッシュサイズは 2000A が 25mm, 2000B が 10mm, 4000A-case1 が 45mm, 4000B-case1 が 55mm, 4000A-case2 が 20mm, 4000B-case2 が 20mm である。

解析手法は、スパン 2000mm においては 3 点曲げ載荷試験、スパン 4000mm においては 4 点曲げ載荷試験を行う。上フランジの載荷用の板部材に、鉛直下向きに強制変位 100mm を設定し、原点側の支点用の板部材には境界条件 $X, Y, Z=0$ と、 $R_x, R_y=0$ 、他方の支点には境界条件 $Y, Z=0$ と、 $R_y, R_z=0$ を設定する。初期不正として、鋼部材で用いられる初期たわみ形状を考慮している。

以上の解析モデル全てにおいて、ウェブまたはフランジのどちらか一方のみの厚さを 2mm 刻みで減少させてパラメトリック解析を行う。初期状態の厚さはウェブが 12mm, フランジが 18mm である。

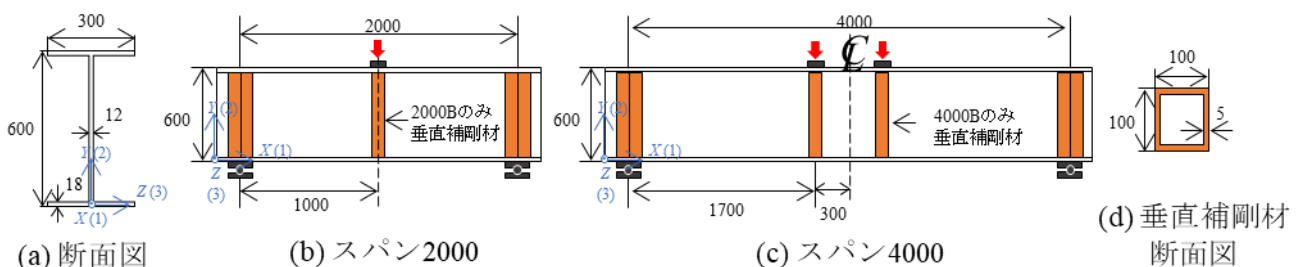


図 1 解析モデル概要 (単位 : mm)

表1 ウェブの材料特性 (単位: N/mm²)

平面応力場の 直行異方性	E1	E2	Nu12	G12	G13	G23
	22600	14400	0.14	4600	4600	1330
Hashin 損傷 モデル	縦引張強度	縦圧縮強度	横引張強度	横圧縮強度	縦せん断強度	横せん断強度
	325	274	146	146	57	57
	縦引張り破壊エネルギー		縦圧縮破壊エネルギー		横引張り破壊エネルギー	
	2.844		1.644		1.088	
					0.730	

表2 フランジの材料特性 (単位: N/mm²)

平面応力場の 直行異方性	E1	E2	Nu12	G12	G13	G23
	37600	14400	0.14	4600	4600	1330
Hashin 損傷 モデル	縦引張強度	縦圧縮強度	横引張強度	横圧縮強度	縦せん断強度	横せん断強度
	416	384	146	146	57	57
	縦引張り破壊エネルギー		縦圧縮破壊エネルギー		横引張り破壊エネルギー	
	2.059		2.112		1.088	
					0.730	

3.解析結果 図2に、解析の結果から得られた耐荷力を設計値で除した結果を示す。設計式の妥当性に関しては、2000A 以外のほとんどの場合において、解析値よりも設計値の方が小さい値となっているため、安全面では問題ないと言える。しかし、フランジの厚さを変化させた時に算出される設計値はかなり小さい値となっており、解析ケースによっては解析値が設計値の100倍以上になるほど過剰に安全側となっている。

また、設計式に関しては、ウェブの厚さを8mmより減少させた場合は、ウェブの局部座屈により算出される設計値が採用され、その他のケースではフランジの局部座屈により算出される設計値が採用される。ここで、図3に示すコンター図を見ると2000Bと4000Bはウェブの厚さが8mmとなると座屈が見られた。よってウェブの局部座屈が発生するかどうかを知る手段として、設計式は有効であるのではないかと考えられる。

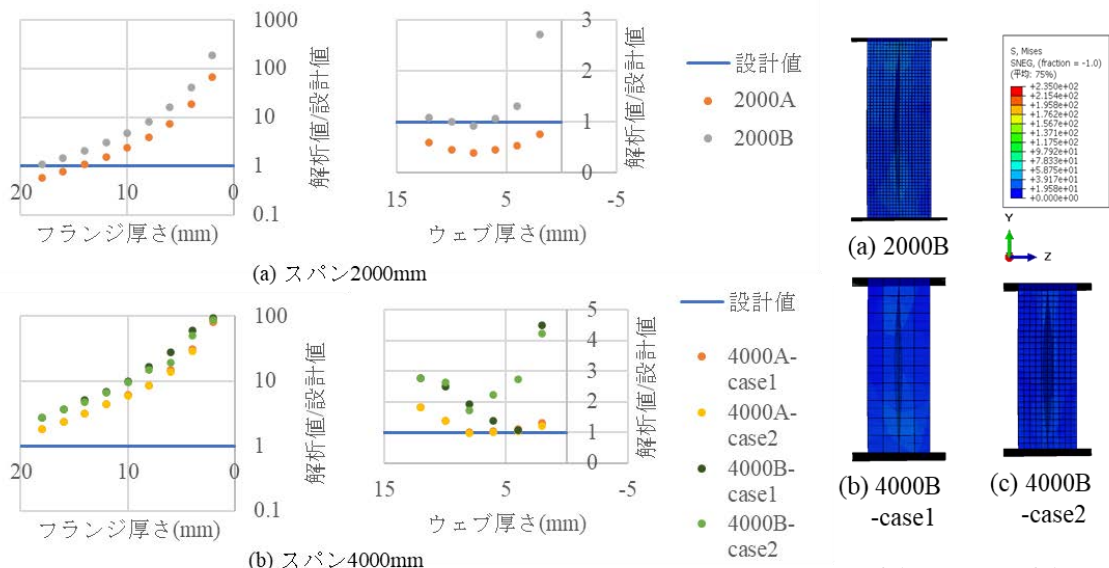


図2 厚さを変化させた時の設計値および解析の結果

図3 コンター図
(ウェブ厚さ8mm, 最大荷重時)

4.結論 ウェブの局部座屈が発生するかどうかを知る手段としては、設計式は有効であると考えられる。しかし、フランジの局部座屈が先行する場合に算出される設計値は過剰に安全側になっていると言える。

参考文献 1) 小林憲治, 日野伸一, 青野雄太, 山口浩平, 岡俊蔵, 林耕四郎: GFRP 引抜き成形 I 形断面はりの材料力学特性および曲げせん断挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集, Vol.54A, pp.850-859, 2008.3