

第I部門

鋼・GFRP 複合はりの力学的挙動に関する解析的研究

神戸大学工学部
株式会社ヒビ学生員 石原悠気
正会員 日比英輝

神戸大学大学院工学研究科 正会員 ○橋本国太郎

1. 研究背景および目的 FRP とは繊維強化プラスチック (Fiber Reinforced Polymer)の略称であり、熱硬化性樹脂を繊維で補強・強化し、樹脂単独に比べ強度や剛性を向上させた複合材料である。FRP は軽量かつ強いため施工性に優れ、錆びないため耐食性にも優れている¹⁾。しかし、ガラス繊維を強化材とした GFRP は、FRP 材料の中でも安価であるが鋼材に比べると剛性が小さくたわみが大きくなるため、多くの課題が残されている²⁾。本研究ではこの GFRP に着目する。先行研究³⁾を含めて GFRP 製の I 桁はりの曲げ強度の測定と実用化に向けた改善を目的としている。前研究⁴⁾では、実験的検討を行ったが、桁が載荷板の縁でせん断破壊したため、実験結果に疑問が残った。そこで本研究では、FEM 解析によってモデル化し、力学的挙動を検討する。さらに、合成桁の剛性改善案鋼・GFRP 混合桁を提案し、その力学的挙動を検討した。

2. GFRP 桁の解析 まず、解析では異方性シェル要素の材料特性の特定と、応力性状を調べ、破壊応力と前研究の破壊形状の妥当性を調べる。

解析モデルを図-1、および図-2 に示す。メッシュ分割は 1 メッシュ 15mm とする。解析手法として汎用有限要素解析コード ABAQUS を用いた弾性有限変位解析を行い、桁中央部に強制変位 70mm を与え変位増分法で検討する。解析結果で得られた異方性 GFRP の材料特性を表-1 に示す。前研究でせん断破壊が生じた桁荷重 206kN 時の応力をミーゼス応力コンター図で確認したところ、最大 283.2N/mm^2 であり、載荷板の縁で最大応力が現れた。一方、下フランジ側の引張破壊を想定し、最大引張応力 378N/mm^2 が主応力コンター図に現れた時の桁荷重と変位を確認したところ、下フランジ中央で最大となり、荷重が 332.4kN、変位が 55.3mm となり、下フランジ中央で最大応力が現れた。この結果を合成桁との比較に使用する。

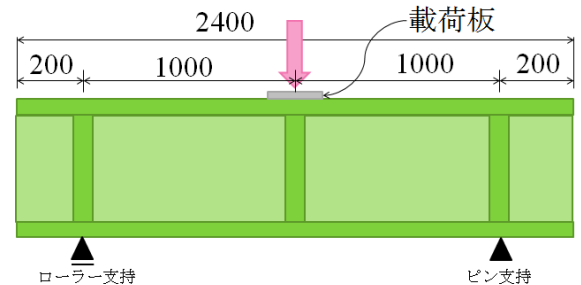


図-1 桁の側面図 (単位: mm)

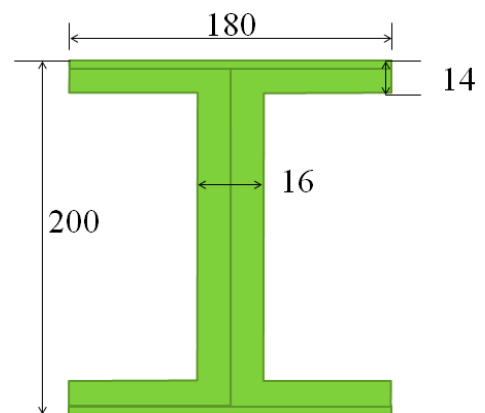


図-2 GFRP 桁の断面図 (単位: mm)

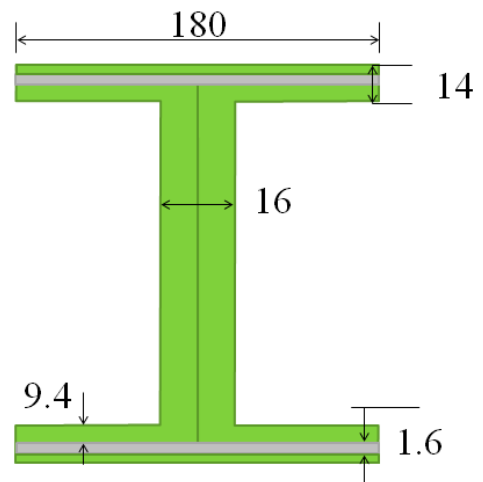


図-3 合成桁の断面図 (単位: mm)

表-1 平面応力場での直交異方性の材料特性 (弾性係数の単位: N/mm^2)

引張弾性係数		ポアソン比	せん断弾性係数		
E_1	E_2	ν_{12}	G_{12}	G_{13}	G_{23}
25900	25900	0.11	3730	1982	1982

3. 合成桁の解析 鋼板に孔を空けたパンチングメタル(以下 PM)を積層した合成桁の解析モデルを図-3 に示す。本研究では PM のモデル化が困難なため、等価な剛性である幅・厚さ・弾性率を縮小させた鋼板を合成する。表-2 に示すようにそれぞれの解析で得られた剛性と実験値を比較すると、弾性率を縮小させた鋼板が実験値に最も近かったため、合成桁のモデルは弾性率縮小鋼板でモデル化することとした。発生応力を確認すると、せん断破壊荷重時では最大応力が GFRP 桁よりミーゼス応力が小さい 211N/mm^2 となった。鋼板の上に積層した薄い GFRP 板が GFRP 桁より小さい応力でせん断破壊時の応力に達したためであると考えられる。次に、合成桁の剛性改善策として、PM をウェブにも積層する案とフランジに積層する PM の厚さを拡大する案を提案した。表-3 に剛性と剛性の上昇率を示したように、ウェブにも積層した案の方が剛性改善の効果が大きく、変位は改善前より小さくなっていた。

表-2 合成桁モデルと実験桁の剛性 (単位: kN/mm)

	幅縮小	厚さ縮小	弾性率縮小	実験桁
解析剛性・実験剛性	7.62	7.57	7.42	7.35

表-3 合成桁のせん断破壊応力(211N/mm^2)発生時の桁荷重・変位

	弾性係数縮小 PM の合成桁モデル		
	剛性改善前	フランジ・ウェブに積層	フランジの PM 厚さ拡大
桁荷重(kN)	211.0	245.2	237.4
変位(mm)	28.7	26.6	29.4

4. 混合桁の解析 本研究では、一般的に腐食しやすい桁の端部を GFRP 桁、剛性の高い鋼桁を中央に接着した鋼・GFRP 混合桁を提案しその力学的挙動を解析的に検討した。解析的に算出した鋼桁の剛性 57.4 と、混合桁の剛性および剛性を重量比・体積比で割った R/V , R/W の 3 つのパラメータで比較し、同値となる混合桁の割合を検証する。解析結果を表-4 に示す。最適な GFRP 桁の長さは 740mm となったが、GFRP と鋼の価格比や、GFRP のたわみやすさ等を考慮に入れた比較が必要であり、本研究の指標だけでは判断できないという結論に至った。

表-4.2.3 鋼桁と混合桁の剛性, R/V および R/W (単位: kN/mm)

		GFRP 桁の長さ (単位 : mm, 全長 2400mm)									
	鋼桁	2040	2037	750	740	730	470	462	450	400	200
剛性	57.4	8.65	8.68	39.3	39.7	40.2	53.8	54.2	54.8	57.4	57.4
R/V	57.4	57.6	57.4	57.1	57.4	57.8	66.9	67.1	67.4	68.8	62.7
R/W	57.4	20.7	20.7	43.7	44.1	44.5	57	57.4	57.9	60.2	58.8

5. 結論および今後の課題 本研究結果によって、前研究の破壊位置の妥当性は示すことができたが、せん断特性をより詳細に検討した上で材料特性を設定した解析が必要である。合成桁では PM を別の鋼板に置き換え解析を行ったが、破壊応力と破壊形状を確認するには充分であった。合成桁の剛性改善策としてフランジとウェブに PM を積層する方が改善の効果は得られたが、PM と GFRP の重量比を調べた上で最適な PM の積層量を検討する必要があると考えられる。混合桁に関しては、さらに発展した研究が求められる。

参考文献: 1) 強化プラスチック協会: 基礎からわかる FRP : 繊維強化プラスチックの基礎から実用まで / 強化プラスチック協会編, pp.1, 2016.4 2) 土木研究所: FRP を用いた橋梁の設計技術に関する 共同研究報告書(I) : pp4 : 共同研究報告書整理番号第 324 号 3) 橋本 国太郎他: 鋼・GFRP 合成桁の曲げ挙動に関する研究, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学) Vol. 70 (2014) No. 5, p. II_31-II_39, 2014 4) 橋本 国太郎他: 鋼・GFRP 合成桁の終局強度に関する実験的研究, 第 12 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム講演集, pp.50-1-8, 2017.11