材料破壊規準に基づいた箱形断面 CFRP 梁の耐荷力算定

北海道大学 学生会員 〇櫻庭浩樹 正会員 松本高志 倉敷紡績 正会員 堀本歴 北海道大学 F 会員 林川俊郎

1. はじめに

近年,高強度および耐腐食性に優れる材料である炭 素繊維強化ポリマー(CFRP)の梁部材としての適用が 着目されている¹⁾.しかしながら,CFRPは異方性・脆 性であることなどから,梁部材としての破壊機構に対 する知見が十分でなく,CFRP梁部材の設計手法はよく 確立されていない.そのような設計手法を確立するた めには,梁部材としての破壊機構をさらに検討するこ とが必要とされている.

そこで本研究では、積層構成が異なる 2 種類の箱形 断面 CFRP 梁を作製し、曲げ載荷実験を行った.2 種類 の梁の耐荷力を比較し、かつ材料試験から得られた材 料特性を用いて耐荷力を算定して実験値と比較するこ とで、CFRP 梁の破壊機構を検討することを本研究の目 的とした.

2. 箱形断面 CFRP 梁の曲げ載荷実験

図-1 に載荷条件と補剛の位置を示す.載荷条件は4 点曲げとし,荷重制御により載荷を行った.スパン, せん断スパン,および曲げスパンはそれぞれ,850mm, 375mm,および100mmである.本実験では,補剛材と して幅60mm,高さ90mm,奥行き30mmの杉材を載荷 点と支点の位置に設置した.

供試体は,長さ 1000mm,幅および高さ約 100mm, 厚さ約 5mm の中空箱形断面であり,VaRTM 成形を用 いて2種類の供試体を3体ずつ作製した.表-1は供試 体の積層構成を示しており,2 種類の供試体を CP

(Cross-Ply) と QI (Quasi-Isotropic) と呼ぶ. CP は直交 積層となるように,梁軸方向と梁周方向の繊維比率を 1:1にした. QI は擬似等方性となるように,梁軸方向, 梁周方向,対角方向の繊維比率を 1:1:2 としている. 3 体の供試体は,「CP-1, QI-2」のように供試体名の後 にハイフンと番号を付けて区別される.また,表-2に 材料試験結果²⁾から得られた梁軸方向引張強度(f_1^T), 梁軸方向圧縮強度 (f_1^C),および面内せん断強度を示 す (τ_{12}^U). ただし,QI の材料強度に関しては,材料 試験体の幅が小さいために対角方向繊維の積層板の剛 性への寄与が減少し,材料強度が低く計測されたと考 えられる結果が既往の研究²⁾で得られている.そこで, QI の材料試験体を半無限体とみなし,積層理論に基づ





供試体名	積層構成	積層数
СР	[0/90]5/[90/0]5	20
QI	[0/45/-45/90] ₅ /[90/-45/45/0] ₅	40



いて算定された材料強度 (QI*) も合わせて示している. QI と QI*の材料強度を比較すると, QI*の方が高い材料 強度を示していることがわかる.

図-2は変位とひずみの計測位置を示しており,変位計9点,一軸ひすみゲージ9点,および三軸ひずみゲージ8点を用いた.

3. 耐荷力算定方法

耐荷力の算定は、応力の相互作用を考慮できる材料 破壊規準である Tsai-Wu の破壊規準に基づいて行う.梁

キーワード CFRP, 箱形断面, 積層構成, 耐荷力, 材料破壊 連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 TEL: 011-706-6172 FAX: 011-706-6172 軸方向直応力と面内せん断応力の 2 応力を考慮した Tsai-Wuの破壊規準は次式で与えられる.

$$\left(\frac{1}{f_{1}^{T}} - \frac{1}{f_{1}^{C}}\right)\sigma_{1} + \frac{1}{f_{1}^{T}f_{1}^{C}}\sigma_{1}^{2} + \frac{1}{\left(\tau_{12}^{U}\right)^{2}}\tau_{12}^{2} = 1$$
(1)

ここに、 σ_1 は梁軸方向直応力、 τ_{12} は面内せん断応力で ある.式 (1)の左辺が1となった時に梁が破壊すると定 義する.材料強度は表-2に示す値を用い、 $\sigma_1 \ge \tau_{12}$ は 梁理論に基づいて算定する.それらの応力を算定する 着目点は、図-3に示す5点とする.

4. 結果と考察

図-4と図-5にそれぞれ, CPとQIの載荷点位置に おける荷重-変位関係を示す.図-4の結果において, CP-1, CP-2,およびCP-3の耐荷力はそれぞれ,74.4kN, 78.5kN,および82.4kNであり,平均の耐荷力は78.4kN であった.図-5の結果において,QI-1,QI-2,および QI-3の耐荷力はそれぞれ,97.0kN,98.2kN,および 92.9kNであり,平均の耐荷力は96.0kNであった.した がって,対角方向に繊維を有するQIの方が耐荷力は大 きい結果を示している.またCPとQIは,耐荷力に達 した後に脆性的に破壊し,その破壊位置は図-6に示す ように左右どちらかの載荷板端部せん断スパン側であ った.

表-3に式(1)による耐荷力の算定結果をまとめる. なお算定値は,供試体名の後にハイフンとtを付けるこ とで実験値と区別される.耐荷力の算定結果では,着 目点1)載荷点上フランジ隅角部がいずれの場合でも最 小の耐荷力となり,実験の梁の破壊位置と一致する結 果となった.CP-tの着目点1)の耐荷力は83.3kNであり, 実験の平均値78.4kN に近い値を示している.QI-t と QI*-tの着目点1)の耐荷力はそれぞれ,81.8kN と92.2kN であり,QI*-tの方が実験の平均値96.0kN に近い値を示 している.QI-tの耐荷力が実験の平均値に比べて低いの は,2章で上述したように材料強度が低く計測されたた めと考えられる.したがって,CP と QI は,梁軸方向 直応力と面内せん断応力の組み合せがTsai-Wu の破壊 規準を満たすことによって材料破壊し,終局に至った と考えられる.

5. まとめ

本研究では、積層構成が異なる 2 種類の箱形断面 CFRP 梁において曲げ載荷実験を行い、それらの破壊機 構について検討した.実験結果において、CP と QI の 耐荷力を比較すると、対角方向に繊維を有する QI の方 が耐荷力は大きい結果であった.梁軸方向直応力と面 内せん断応力の組み合せを考慮した材料破壊規準に基 づいて耐荷力を算定した結果、実験で計測された耐荷





図-6 CP-2 と QI-3 の破壊位置

衣一) 谷自日尽にぬける順何刀の	「��戦	の比	\mathcal{I}	「町何」	0	bl)	١Ľ	尽	H	· 有	合	-3	衣
--------------------	------	----	---------------	------	---	-----	----	---	---	-----	---	----	---

	耐荷力 (kN)							
種別	着目点							
	1)	2)	3)	4)	5)			
CP-t	83.3	108	104	168	307			
QI-t	81.8	83.0	385	191	197			
QI*-t	92.2	93.2	495	203	208			

カに近い値が得られ, CP と QI は材料破壊によって終 局に至ったと考えられる結果を示した.

参考文献

- 1) 土木学会: FRP 橋梁, 土木学会, 2004.
- 2) 櫻庭浩樹,松本高志,堀本歴,林川俊郎: VaRTM 成 形による箱形断面 CFRP の曲げ挙動に及ぼす積層構 成の影響,構造工学論文集,土木学会,Vol.58A, pp.946-958,2012.