

複合材料梁の層間剥離までのシミュレーション

東北大学工学部

○学生員 山崎 悠平

東北大学大学院工学研究科

正 員 岩熊 哲夫

1. まえがき

繊維強化プラスチック複合材料の代表的なものとして炭素繊維を用いた CFRP や、ガラス繊維を用いた GFRP があり、その軽量性や比強度の高さが注目され、近年土木分野でも広く用いられている。これらの CFRP や GFRP からなる複合積層材料は、積層パターン以外にも介在物である繊維の量や形、向きなどを自由に変化させられる利点がある一方で、それに伴い、終局強度や破壊挙動も様々変化する。このため、この複雑な複合積層材料の設計に当たって、精度良く巨視的な挙動と微視的なメカニズムを予測できる手法の開発が求められている。

その一端として本研究では、埼玉大学で行われた複合積層材料梁の曲げ試験を対象に、介在物の量や形、向きを陽に考慮できる森・田中理論に基づく平均化手法を取り込んだ有限要素解析を行い、曲げに対する梁の抵抗挙動を数値的に追跡し、その終局挙動を明らかにする。

2. 解析モデル

図-1 に示すような I 形断面梁の 4 点曲げ試験を解析対象とする。3 種類の供試体のフランジ、ウェブそれぞれの CFRP, GFRP 積層比率は図-2 のとおりである。フランジ部の CFRP 割合が大きい順にモデル A, B, C となっている。CFRP, GFRP それぞれの要素の材料定数には、母材 (ポリエステル) と介在物 (繊維) それぞれの弾性係数とポアソン比、および介在物の量、形、向きを微視的に与え、それらを森・田中理論に基づき平均化したものが埼玉大学の実験で用いられた巨視的な材料定数と出来る限り一致するようにした。介在物比率を f_r とし、CFRP については $E_m=3300(\text{MPa})$, $\nu_m=0.18$, $E_i=250000(\text{MPa})$, $\nu_i=0.3$, $f_r=0.446$, GFRP については $E_m=7520(\text{MPa})$, $\nu_m=0.4$, $E_i=206400(\text{MPa})$, $\nu_i=0.45$, $f_r=0.15$ とした。表 1 に実験での材料定数および、解析に用いた材料定数 (陽に与えた微視的な材料定数を巨視的な材料定数に平均化したもの) をそれぞれを示す。

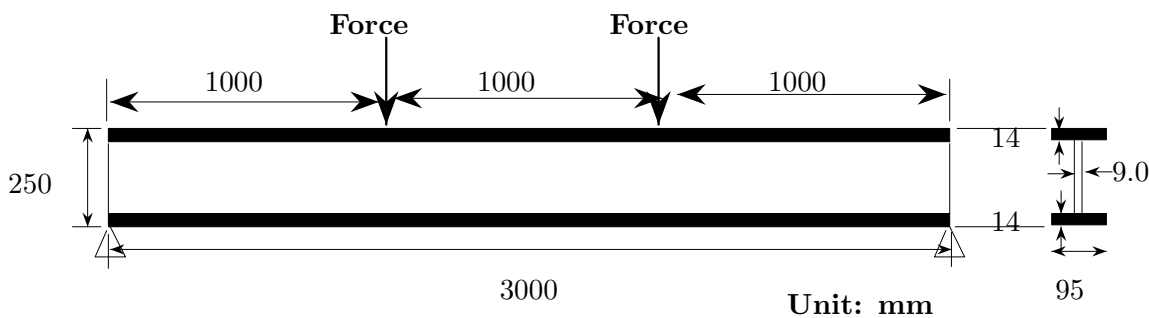


図-1 曲げ試験供試体

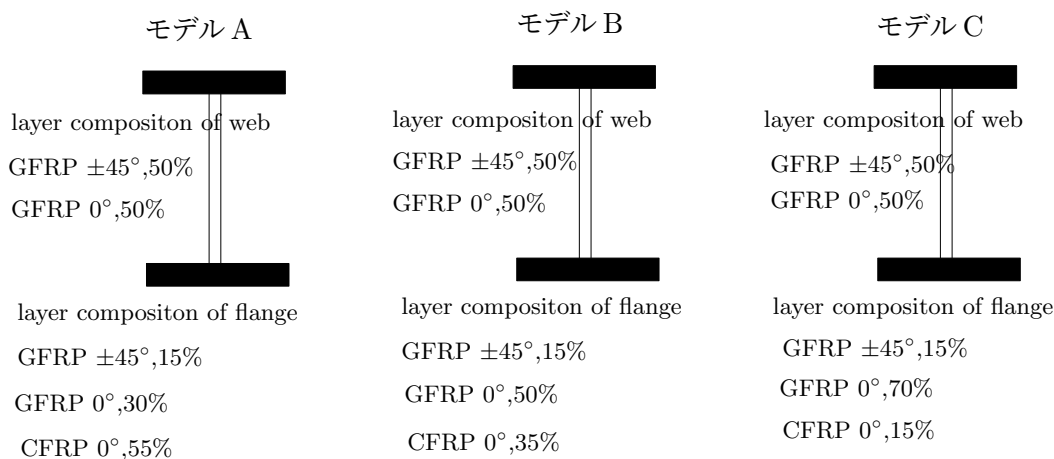


図-2 断面積層構成

表-1 巨視的材料定数—実験の材料定数との比較 (単位 MPa)

	E_{11}	E_{22}	ν_{12}	ν_{21}	G_{23}	G_{31}	G_{12}
CFRP-FEM	113100	7400	0.248	0.016	2958	3536	3536
- 実験	113000	7400	0.328	0.021	3200	3500	3500
GFRP-FEM	24000	24000	0.186	0.186	3496	3496	3554
- 実験	24000	24000	0.28	0.28	3500	3500	3500

3. 実験結果

3種類の供試体それぞれの曲げ試験で終局状態において、載荷点付近および載荷スパン内で観察された破壊形式を以下に示す。

モデル A $\Rightarrow$ 載荷点での応力集中, 上フランジの層間剥離

モデル B $\Rightarrow$ 上フランジの層間剥離

モデル C $\Rightarrow$ 上フランジの層間剥離

モデル A では2つの破壊モードが確認されているが、破壊は極めて脆性的に起こり、どちらがメインの破壊モードかを視覚的に判断するのは困難であった。

4. 解析結果

5. まとめ

参考文献

- 1) 小山茂, 岩熊哲夫, 岩崎智昭, 小倉崇生, 三井康司: 複合材料と多結晶体の平均的性質, 土木学会論文集, No. 661/I-53, pp.265-272, 2000.
- 2) Mura, T.: *Micromechanics of Defects in Solids*, Martinus Nijhoff Publ, 1982.
- 3) Tandon, G.P and Weng, G.J: Theory of particle-reinforced plasticity, *Journal of Applied Mechanics*, Vol.55, pp.126-135, 1988.
- 4) Doghri, I and Ouaar, A: Homogenization of two-phase elasto-plastic composite materials and structures Study of tangent operators, cyclic plasticity and numerical algorithm, *International Journal of Solids and Structures*, Vol.40, pp.1681-1712, 2003.
- 5) Ju, J.W and Zhang, X.D: Effective elastoplastic behavior of ductile matrix composites containing randomly located aligned circular fibers, *International Journal of Solids and Structures*, Vol.38, pp.4045-4069, 2003.