

I - 2 ハイブリッド複合材料板の弾性挙動の簡易な予測

東北大学工学部

○学生員 グエン デュイ シン

東北大学大学院工学研究科

正員 岩熊 哲夫

1. まえがき

CFRP や GFRP プリプレグを交差させ形成された積層材はハイブリッド積層材と呼ばれる。ハイブリッド積層材は従来の土木材料よりも材料設計において、フレキシブルなことから近年用いられつつある。特に上下フランジや床版などの補強に使われる。一方、複合積層材は異方性を持ち、層間剥離などの問題もある。そこで、介在物の体積比率や向きを考慮できる森・田中理論を組み込んだ複合材料有限要素法を用いて、ハイブリッド積層材の弾性挙動を予測し、実験結果と比較して、材料開発ツールとしての可能性を検討する。

2. 解析手法

近年提案された森・田中理論¹⁾では、複合材料の平均弾性係数は次式で計算される。

$$\bar{C} = C_M \{ C_M - (1-f)(C_M - C_I) S \}^{-1} [C_M - (C_M - C_I)] \{ S - f(S - I) \} \dots\dots\dots (1)$$

ここに f は介在物の体積比率で、 C_I 、 C_M はそれぞれ介在物、母材の弾性係数である。 S は母材のポアソン比と介在物の半径比とその向きで決まる Eshelby のテンソル²⁾である。本研究では、森・田中理論で得られた複合材料の平均弾性係数を取り組んだ複合材料の3次元有限要素法³⁾を用いて解析する。

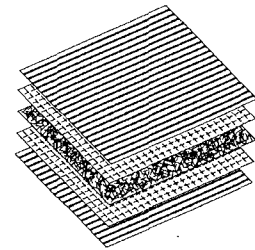


図-1 H1 材: $(G1/G3/\overline{G2})_S$

3. 検討対象

検討対象となる積層材は B1 ~ B5, F1 ~ F5, H1 ~ H5 である。これらの積層材について詳しくは文献⁴⁾を参照されたい。図-1 は表されているハイブリッド積層材の H1 材である。

4. 解析結果

(1) 弾性係数の検討

積層材の弾性係数を解析的に求めるために引張り試験モデルを用いた。図-2 にそれぞれの積層材の第1主軸方向の弾性係数の混合理論値、実験値、本解析値がプロットされている。この図から本解析値は混合理論値よりも実験値に近い。その差は約5%以内に収まった。

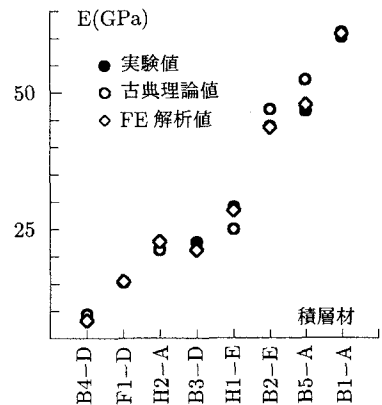


図-2 積層材の弾性係数

(2) 異方性の検討

ハイブリッド積層材は直交異方性材料である。図-3 にロービングクロス4層 $((G2)_4)$ の異方性の程度を表した。ここでも実験値と解析値はほぼ一致している。ただし、実験条件のデータが無かったため 0° 方向の剛性が合うように繊維量を推測して、残りの方向の計算をしていた。

(3) 曲げ剛性の検討

積層材の曲げ剛性を求めるために片持ちばり試験モデルを用いた。図-4 にそれぞれの積層材の第2主軸方向あたりの曲げ剛性の積層理論値、実験値、本解析値が表されている。本解析値は実験値との差が10%以内に収まった。なお、ピークにおいて実験では曲げ破壊が生じている。本解析によるとそのときの応力値で他の同様の積層材の強度を予測できるが、実験値が今のところ見出せていない。

(4) セン断試験

ハイブリッド複合積層材では、もっとも問題となるのは層間に剥離が生じることである。層間剥離の原因は層間方向とその垂直方向に働く力と層間方向に働くせん断力によるものだと考えられている。本研究では、層間のせん

断力による剥離について検討するために、図-5 に示されたショートビーム 3 点曲げ試験モデルを用いた。各層の間に薄い境界層を挿入して、破壊するときの層間応力を求めてみた。図-6 には、F1 材の中央面の最大せん断応力と下縁の最大曲げ引っ張り応力との関係が表されている。図から理論曲線と解析曲線は非常に一致していることが分かる。このとき層間の境界層に生じた最大せん断応力は 35.2(MPa) で、これは実験で得られている層間強度 37.2(MPa) をよく予測している。

(5) 曲げ試験

最後に積層材の曲げ強度を調べるために、図-7 に示された 4 点曲げ試験を用いた。図-8 に F2 材の最大曲げ応力とスパン中央のたわみとの関係が表されている。これも全体挙動は解析値と実験値がほぼ一致している。

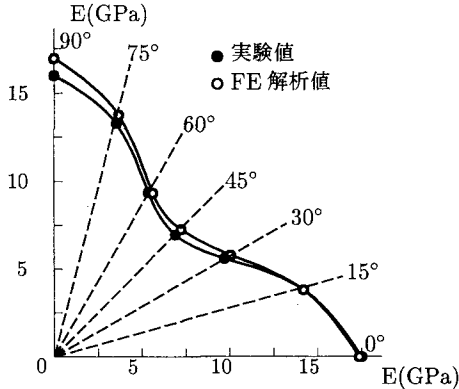


図-3 ロービングクロス 4 層の方向の弾性係数

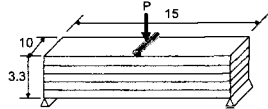


図-5 3 点せん断モデル (10⁻³m)

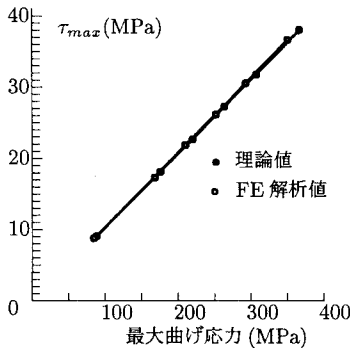


図-6 F1 材のせん断

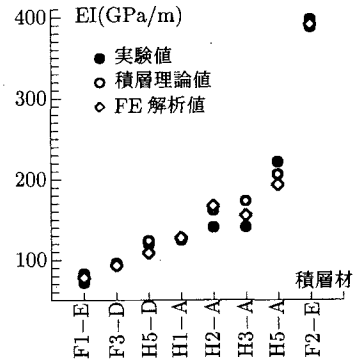


図-4 積層材の主軸方向あたりの曲げ剛性

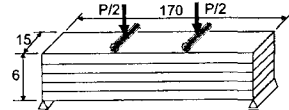


図-7 4 点曲げモデル (10⁻³m)

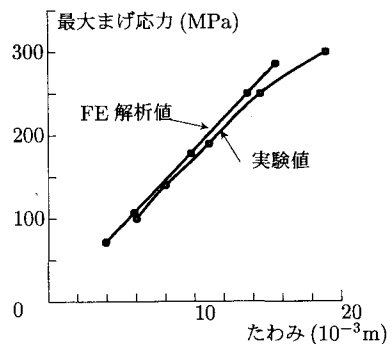


図-8 F2 材の曲げ

5. 終わりに

森・田中理論を組み込んだ複合材料有限要素法を用いてハイブリッド複合材料板の弾性係数や曲げ剛性および層間剥離応力をおよそそれぞれ 5 ~ 10% 程度の誤差で予測できることが分かった。また、本解析プログラムを用いれば複合材料内部の応力を計算できるので、複合材料から成る構造部材の設計に大きく期待されると考えらる。

参考文献

- 1) Mori, T. and Tanaka, K.: Average stress in matrix and average energy of materials with misfitting inclusions,
- 2) Eshelby, J.D.: The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems,
- 3) 王峰, 岩熊哲夫, 岸野佑次, 鈴木基行, 寺田賢二郎: 解析的手法を用いた複合材料・複合構造の 3 次元有限要素,
- 4) ハイブリッド FRP 調査研究専門委員会: ハイブリッド (GF/CF)FRP 積層板の力学的に関する研究報告書, 強化プラスチック協会, 1984.