

界面評価を必要とせずに短繊維強化プラスチックの強度を予測する手法の提案

(岐阜大・工) ○内藤圭史, 屋代如月

【緒論】繊維強化プラスチック (FRP) の強度予測には、フラグメンテーション試験やマイクロドロップレット試験、単繊維引抜試験等による界面評価が必須であるが、これらの試験にはノウハウやコストが多いうえ、各々で結果に差が現れる等の問題点がある。そこで、本報告ではシアラグ理論を基とし、界面評価を必要とせずに、短繊維系 FRP に用いる繊維の臨界アスペクト比、ひいては複合材料の強度 (期待値上限) を予測する手法を提案する。

【実験】修正シアラグ理論[1]により繊維アスペクト比 s と繊維応力 (繊維軸方向に生じる引張応力) σ_f の関係を調べ、 σ_f が飽和に達した際の s (つまり、臨界アスペクト比 s_c) から強度を計算した。シアラグ理論では界面が完全接着であることを前提としているため、計算結果は強度の期待値上限となる。本報告では、提案モデルによる予測値を文献値 (実測値) と比較・検討した。

【結果と考察】Fig.1 は s と $E_{f \text{ center}}^*$ の関係を示したものである。なお、 $E_{f \text{ center}}^*$ は E_f^* (式(1)) の繊維中心 ($x=0$) における値である。

$$E_f^* = E_f \left\{ 1 + \left(\sqrt{\frac{E_m}{E_f}} - 1 \right) \frac{\cosh(nx/r)}{\cosh(ns)} \right\} \quad \dots (1)$$

ここで、 E_f は繊維の弾性率、 E_m は母材の弾性率、 n は無次元定数 (詳細割愛)、 r は繊維半径である。 $\sigma_f = E_f^* / \varepsilon_c$ (ε_c : 複合材料のひずみ) の関係より、 $E_{f \text{ center}}^*$ が限りなく E_f に近づいた時の s が s_c となる。但し、この s_c は一意には決められないため、 s_c 判定基準を式(2)の様に定めた。(なお、この基準の妥当性に関しては発表当日に議論する。)

$$\frac{E_{f \text{ center}}^* - E_{f \text{ end}}^*}{E_f - E_{f \text{ end}}^*} > 98\% \quad \text{AND} \quad \Delta \left(\frac{E_{f \text{ center}}^* - E_{f \text{ end}}^*}{E_f - E_{f \text{ end}}^*} \right) < 0.5\% \quad \dots (2)$$

参考とした文献[2]では、酸変性ポリプロピレンに炭素繊維を複合しており、臨界繊維長 l_c は $1034 \mu\text{m}$ ($s_c=147.7$)、強度実測値は 99.7 MPa である。なお、文献では言及されていないが、Fukuda-Chou 式 (詳細割愛) により繊維の一軸配向を仮定したうえで強度を予測すると、その値は 92 MPa となる。これより、文献では l_c を大きく見積もり過ぎていることが示唆される。一方、本提案により求めた l_c は $532 \mu\text{m}$ ($s_c=76$)、そこから予測される強度は 131 MPa である。値が実測値と大きく異なる理由は、本提案による計算結果が強度の期待値上限となるためであり、これより、文献の結果は界面接着がまだ不十分であると言える。

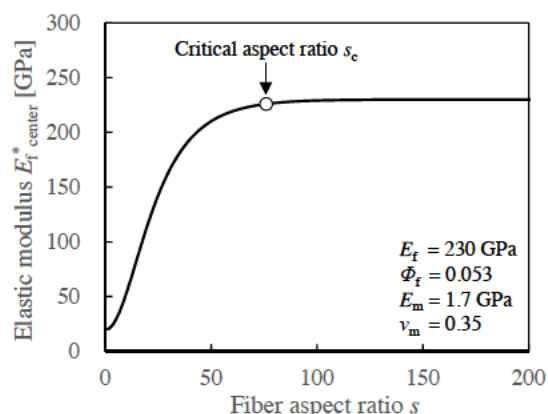


Fig.1 Relation between elastic modulus ($E_{f \text{ center}}^*$) and fiber aspect ratio.

1) H. G. Kim, *J. Mech. Sci. Technol.*, **22**, 411-419 (2008)

2) 平野他, *日本複合材料学会誌*, **39**(3), 113-119 (2013)