

数値シミュレーションを併用した GFRP の浸透係数の計測

日大生産工(院) ○長見 茂 日大生産工 邊 吾一
日大生産工 坂田憲泰

1. 緒言

VaRTM 成形法 (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) は、オートクレーブ成形と比べて大型設備と取り扱いの難しいプリプレグを使用しないため低コストで、ハンドレイアップ成形と比べて人の手で樹脂含浸を行わないので安定した品質の成型品を得ることができる。しかし、含浸時間を短時間にして成形するには樹脂注入口 (Injection) や吸引口 (Vent) の配置などの成形条件を最適化する必要がある。実験を繰り返すことで合理的な注入法を見つけることも可能だが、コストと時間が多くかかる。そこで成形時の樹脂充填による成形条件を、数値シミュレーションで樹脂の流れを予測し、成形条件を最適化する方法が有効となる。

本研究では、樹脂流動挙動の解析に必要なパラメータである浸透係数を樹脂の供給状況と数値流動解析から求め、さらに傾斜角度を変化させた場合の樹脂の流動実験と数値流動解析の結果を比較し、成形板の傾斜角度が樹脂の浸透時間に与える影響を実験した結果を述べる。

2. 浸透係数

2.1 樹脂の流動実験

基材に含浸する樹脂の挙動は Darcy 則に従うことが知られている。浸透係数を K 、空隙率を ϕ 、断面積を A 、単位長さあたりの圧力勾配を $\Delta P/\Delta L$ 、樹脂の粘度を μ とすると単位時間当たりの流量 Q は式 (1) のように定義される。

$$Q = \frac{KA \Delta P}{\mu \phi \Delta L} \quad (1)$$

浸透係数の測定実験に用いた装置を Fig.1 に

示す。繊維には 800×150mm のガラスクロス (日東紡製, 型番 WEA 22F) を用い、ガラス平板の上に 4ply 積層した。樹脂の注入口には直径 10mm, 吸引口には直径 6mm のスパイラルチューブを設けた。また、吸引側には樹脂が繊維に完全に含浸するようにフローブレークを設け、バギングフィルムとシーラントテープを用いて減圧封入した。樹脂にはサンドーマ (DH マテリアル, 型番 XPC-109) を使用し、硬化剤にはパーメック N (日油株式会社, 型番 F00011) を重量比 1% で使用し、樹脂流れの方向は面内一方向とした。樹脂含浸量の変化はデジタル質量計を用いて、サンプリングタイム 2 秒間隔で計測した。

2.2 繊維太さの違いによる流動の挙動

使用したガラスクロスは太い繊維 (Warp 方向) と細い繊維 (Weft 方向) で編み込まれており、樹脂を流す方向と平行となる繊維の太さの違いにより流動時間が変化する。細い繊維方向に樹脂を流すと樹脂の流動時間は著しく短くなる。Fig.2 に両者の流動時間を比較した結果を示す。

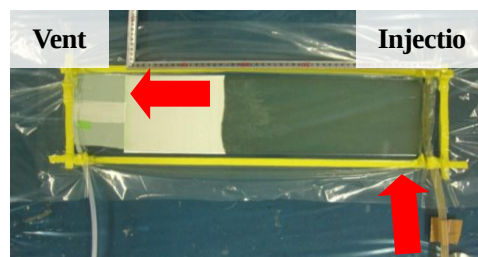


Fig.1 Equipment for in-plane permeability measurement

Measurement of permeability of GFRP using numerical analysis simulation

Shigeru NAGAMI, Goichi BEN and Kazunori SAKATA

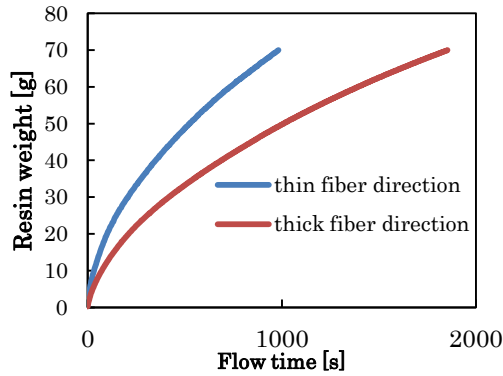


Fig.2 Relationship between resin weight and flow time

2.3 樹脂の流動解析

樹脂の流動解析には PAM-RTM2010 を用いた。粘度 μ は音叉型振動式粘度計で測定した $143[\text{mPa} \cdot \text{s}]$ を用いた。空隙率 ϕ は、成形品の単位面積当たりの質量を M ($1.47 \times 10^{-3} [\text{g}/\text{mm}^2]$), 繊維の単位面積当たりの質量を M_g ($8.53 \times 10^{-4} [\text{g}/\text{mm}^2]$), 成形品の厚さを t ($0.83 [\text{mm}]$), 樹脂の硬化後の密度を ρ_r ($1.17 \times 10^{-3} [\text{g}/\text{mm}^3]$) とすると、式(2)から計算でき、0.635 となった。

$$\phi = \frac{(M - M_g)}{t\rho_r} \quad (2)$$

また、チューブ長さを l_0 ($1200 [\text{mm}]$), 平均流速を v ($0.44 [\text{mm}/\text{s}]$), チューブ直径を d ($10 [\text{mm}]$), 樹脂の比重量を γ ($10,592 [\text{kg}/\text{m}^2\text{s}^2]$), 液面から平板までの高さを z ($610 [\text{mm}]$) とすると、注入側チューブ中での圧力損失 P_l は式(3)を用いて計算でき、 $6.5 [\text{kPa}]$ となる。したがって、圧力差 ΔP には $94.5 [\text{kPa}]$ を用いた。

$$P_l = \frac{32\mu l_0 v}{d^2} + \gamma z \quad (3)$$

以上の値を PAM-RTM2010 に入力し、Fig.2 の樹脂量と浸透時間の曲線と一致する浸透係数 K を求めた結果、太い繊維の場合が $1.62 \times 10^{-10} [\text{m}^2]$, 細い繊維の場合が $3.40 \times 10^{-9} [\text{m}^2]$ となった。

3. 傾斜版の実験結果と解析結果の比較

傾斜角が樹脂の浸透時間に及ぼす影響を調査するために、傾斜角度を $0^\circ \sim 90^\circ$ まで 15° 間隔で変化させて、流動実験を行った結果を Fig.3 に示す¹⁾。使用した材料、副資材は 2.1 節と同

じで、 0° の結果が Fig.2 の値である。

傾斜角度と繊維全体に樹脂が浸透するのに要した時間の関係の実験結果と解析結果の比較を Fig.3 に示す。樹脂の流動解析の浸透係数には 2 節で求めた傾斜角度が 0° の場合の値 ($1.62 \times 10^{-10} [\text{m}^2]$) を用いた。また、繊維全体に樹脂が浸透するのに要する時間は樹脂の粘度の影響を受けるが、樹脂の粘度は温度で異なるため、Fig.3 では 0° の結果を基準として、補正を行った結果、実験値と解析値は良好な一致を示した。実験結果、解析結果ともに傾斜坂の角度が高くなるに伴い繊維全体に樹脂が浸透するのに要する時間は長くなったが、 0° の場合の浸透時間が $1,814 [\text{s}]$ に対し、 90° の場合は $1,891 [\text{s}]$ となり両者は約 4% の差となったことから、傾斜角度が樹脂の浸透時間に与える影響は小さいと考えられる。

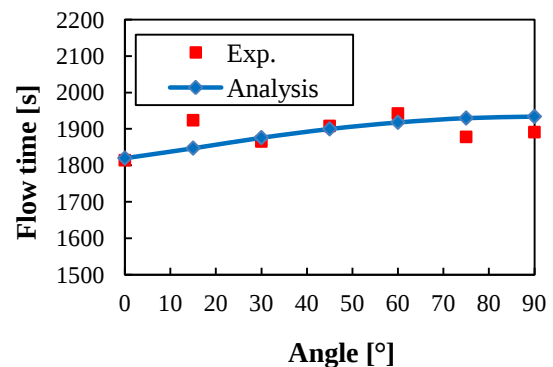


Fig.3 Comparison between experimental and analysis results

4. 結言

- (1) 実験での樹脂の供給状況と数値流動解析から浸透係数を求めることが出来た。この浸透係数を用いた流動解析の結果は実験結果と良好な一致を示した。
- (2) 傾斜角度が樹脂の浸透時間に与える影響は最大で 4% と小さな値であった。

参考文献

- 1) 長見茂, 金子祐己, 邊吾一, 坂田憲泰: ガラス織物の VaRTM 成形と数値シミュレーションの評価, 58th FRP CON-EX 2012 講演会講演要旨集, pp.39-41.