

# VaRTM 成形における板厚変化が樹脂流動挙動に及ぼす影響

日大生産工(院) ○大関 輝 日大生産工 坂田 憲泰 日大生産工 邊 吾一

## 1. 緒 言

近年, VaRTM(Vacuum-assisted Resin Transfer Molding)成形は低コスト, 高品質なものを成形可能な点から複雑形状を有した複合材料の成形に幅広く適応されている。また, 近年はエネルギー問題を背景に, 大型構造部材へのFRP適用が急速に進みつつある。VaRTM成形は大気圧と真空圧の圧力差を利用して繊維に樹脂を含浸させる成型法であるが, 成形の際にボイドが含んでしまうことがあり, このボイドが原因で機械的特性が低下したという報告がされている<sup>1)</sup>。このような欠陥を防ぐためには, 成形条件を最適化する必要があるが, 試行錯誤で合理的な注入法を見つけるでは多大な時間と労力を要する。そこで成形時の樹脂充填による成形不良を解決する手段として, 数値シミュレーションにより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<sup>2)</sup>。本研究では, 面内と厚さ方向の浸透係数を測定し, 板厚変化が樹脂の流れに及ぼす影響を調査した結果について報告する。

## 2. 実験

### 2. 1 Darcy 則

多孔質の繊維を流れる樹脂の流れはダルシー則に従うことが知られている。浸透層中の単位時間あたりに透過する流量を  $Q$ , 浸透層の断面積を  $A$ , 浸透係数を  $K$ ,  $\phi$  は空隙率, 単位長さあたりの圧力勾配を  $\Delta P/\Delta L$ , 樹脂の粘度を  $\mu$  とすると式(1)のようになる。

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

$Q$  を  $A$  で割ると平均流速  $V(=Q/A)$  は式(2)のようになり, 試験片の形状によらず  $V$  は一定となる。

$$V = \frac{K}{\mu\phi} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L} \quad (2)$$

### 2. 2 浸透係数の測定実験

#### 2. 2. 1 面内の測定方法

Fig.1 に浸透係数の測定実験で用いた装置を示す。繊維にはガラスロービングクロス (0.42mm/ply) とマット (0.53mm/ply), 樹脂には不飽和ポリエステル樹脂 ( $\mu = 0.147 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ) を用いた。積層したガラス繊維を離型シートと共にバッキングフィルムとシーラントテープで密封し, 真空ポンプで減圧した。樹脂流れの方向は面内一方向とし, 樹脂注入ポートと減圧吸入ポートは供試体の両端付近に設置した。フローフロントの径時変化は目視により測定し, 計測結果から樹脂流速  $V$  を算出した。樹脂流動における圧力変化は大気圧～吸入圧力とし,  $\Delta P = 90 \text{ kPa}$  とした。

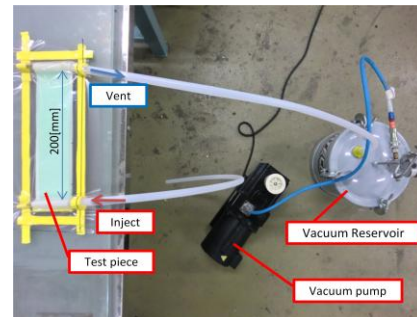


Fig.1 Schematic view of experiment

#### 2. 2. 2 厚さ方向の測定方法

Fig.2 に浸透係数の測定実験で用いた装置の模式図を示す。測定条件は, 面内の測定条件と同一とし, 浸透係数( $K$ )は式 (3) より算出した。

$$\frac{K_t}{\mu\phi} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta L_t} = \frac{\Delta L_t}{h_{bottom} - h_{top}} \quad (3)$$

---

Resin flow behavior of thickness change part in VaRTM process

Hikaru OZEKI, Kazuhiro SAKATA and Goichi BEN

$\Delta L_t$ は厚さ,  $h_{top}$ はフローフロントが表面層に到達した時間,  $h_{bottom}$ は底面に到達した時間を示している。

### 2. 3 実験結果

式(2)に  $P/\Delta L = 90\text{kPa}/200 \times 10^{-3}\text{m}$ ,  $\mu = 0.147\text{Pa} \cdot \text{s}$ ,  $\phi = 0.45$  を代入し, 面内方向の浸透係数を求めた結果を Table 1 に示すが, 面内の浸透係数は積層数の変化の影響を受けないことがわかる。また, MR 構成の浸透係数では, 流速が早いガラスロービングクロスの影響を大きく受ける結果となった。

式(3)を用いて厚さ方向の浸透係数を求めた結果を Table 2 示す。面内方向の浸透係数と同様に, 厚さ方向の浸透係数も積層数の変化の影響を受けない結果となった。

### 3. 樹脂の流動解析

樹脂の流動解析には PAM-RTM を用い, Table 2 に記載していない MR 構成の厚さ方向の浸透係数をガラスロービングクロスとマットの浸透係数を使って計算した。解析条件は,  $\Delta P/\Delta L = 90\text{kPa}/1.9 \times 10^{-3}\text{m}$ ,  $\mu = 0.147\text{Pa} \cdot \text{s}$ ,  $\phi = 0.45$  とした。Fig.3 に解析結果を示すが, フローフロントが解析モデル上面から底面に到達するまでの時間は  $8\text{sec}(h_{bottom} - h_{top})$  となり, MR 構成の厚さ方向の浸透係数は式(3)より  $K_f = 3.88 \times 10^{-13}$  となったが, この値は Table 2 で示したガラスロービングクロスとマットの値の間を示したことから, 本解析手法は妥当と考えられる。

次に, 段階的に板厚が変化した際の樹脂の流動挙動について解析を行った。解析モデルは上面から R/M/M/R に積層した MR 構成とし, 樹脂の注入ポートと吸引ポートは Fig.4 のように定義したが, 厚さが変化する部位で樹脂が停滞し, ボイドの発生が予測される結果となった。そのため, Fig.4 の樹脂の注入ポートと吸引ポートを入れ替えて, 樹脂が流れる方向を逆にして解析したところ, 厚さが変化する部位での樹脂の停滞は見られず, ボイドの発生はなくなった。

### 4. 結 言

- (1) 面内, 厚さ方向の浸透係数は積層数の変化によらず一定の値を示すことがわかった。
- (2) MR 構成の厚さ方向の浸透係数を解析を用いて計

算し, その妥当性も示した。

- (3) 厚さの変わり目では, ボイドが発生しやすいことを解析で確認したが, 流れの方向を制御することにより改善可能であることがわかった。

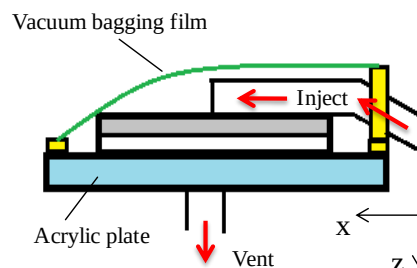


Fig.2 Schematic of  $K_f$  measurement

Table 1 In-plane permeability

| Layers | In-plane permeability [ $\text{m}^2$ ] |                        |                        |
|--------|----------------------------------------|------------------------|------------------------|
|        | Woven roving                           | Mat                    | MR lamination          |
| 2 ply  | $6.52 \times 10^{-11}$                 | $5.45 \times 10^{-11}$ | $6.27 \times 10^{-11}$ |
| 4 ply  | $6.21 \times 10^{-11}$                 | $5.62 \times 10^{-11}$ | $6.20 \times 10^{-11}$ |
| 6 ply  | $6.53 \times 10^{-11}$                 | $5.49 \times 10^{-11}$ | $6.53 \times 10^{-11}$ |

Table 2 Thickness permeability

| Layers | Thickness permeability [ $\text{m}^2$ ] |                        |
|--------|-----------------------------------------|------------------------|
|        | Woven roving                            | Mat                    |
| 2 ply  | —                                       | —                      |
| 4 ply  | $4.55 \times 10^{-13}$                  | $3.72 \times 10^{-13}$ |
| 6 ply  | $4.10 \times 10^{-13}$                  | $3.63 \times 10^{-13}$ |

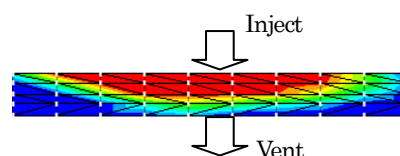


Fig.3 Result of the thickness permeability

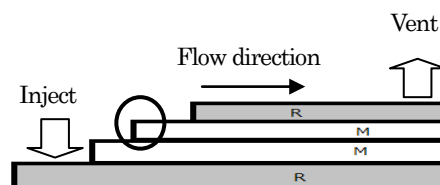


Fig.4 Simulation model

### 「参考文献」

- 1) 吉田行宏, VaRTM 成形プロセスの CFRP 強度特性及び成形品質に与える影響, JCCM-1, II-33B
- 2) Parnas RS. Liquid composite molding. Munchen: Carl Hanser Verlag; 2000.