

# VaRTM 成形法における母材樹脂の流動解析の基礎検討

## Basic study on flow analysis of base resin material by VaRTM molding method.

須崎 亮太<sup>1)</sup>

指導教員 小山 昌志<sup>2)</sup>

1) 明星大学 理工学研究科 機械工学専攻 小山研究室 2) 明星大学

キーワード：CFRP, VaRTM 成形法, ハニカムコア, 樹脂流動解析

### 1. 研究背景

航空宇宙分野において宇宙望遠鏡の観測精度向上が求められる。観測精度向上には一般的に主鏡部の大型化が有効とされており、開発においては大型化による重量増加の抑制のために軽量構造体の適用が求められる。そこで現在、主鏡部構造材料として軽量、高剛性、優れた熱特性を持つ炭素繊維強化複合材料(以下 CFRP)製のハニカムコアが注目されている。この CFRP ハニカムコアは海外においてプリプレグを使用して作製するオートクレーブ成形法により製造及び実用化されているが、国内においては設備導入を含めた製造コストが課題となり実用化が実現されていない。そこで我々は大気圧と真空の差圧を利用して炭素繊維織物に樹脂を含浸、硬化させる成形法である VaRTM 成形法に着目し研究を進めてきた。本成形法は大規模成形設備が不要であり、かつ形状自由度が高いことから製造コストの低減、適用範囲の拡大が期待できる。過去の研究において Fig. 1 に示すように VaRTM 成形法による CFRP ハニカムコアの試作及び機械特性評価を行い、オートクレーブ成形品と同等の機械特性を有することを確認した。

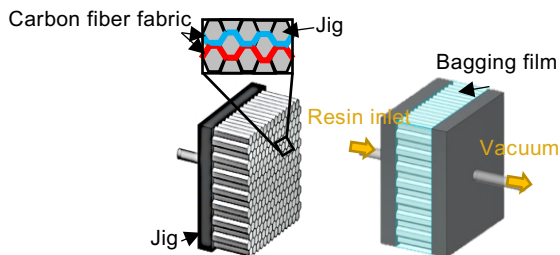


Fig. 1 Schematic of the CFRP honeycomb core making method by VaRTM molding method.

しかしながら一般的に VaRTM 成形法は炭素繊維束間への真空圧による注入含浸が主であることから、樹脂の流動の状況により、含浸不良個所の発生を完全に抑制することが困難である。そのため、成形体にボイドが生じる可能性が懸念されている。このボイドは、そのサイズ、形状によっては機械特性への影響が懸念される。加えて、成形品の大型化や複雑形状の成形においてはボイド発生の可能性は上がると考えられる。そのため VaRTM 成形法では含浸不良抑制のために樹脂流動制御が課題となる。本研究では VaRTM 成形時の樹脂流動制御に向けて、樹脂流動解析において解析パラメータが解析結果に及ぼす影響を明確化するために、実験および解析を用いた基礎検討を行った。その解析パラメータの一つである繊維束間への樹脂の含浸性を決定する浸透率に着目し、本稿ではこの浸透率を実験的に算出し、算出した浸透率を適用した流動解析を行い、実験と解析の比較を行った。

### 2. 実験および解析方法

#### 2.1 樹脂流動観察

VaRTM 成形法による樹脂流動観察の概略図を Fig. 2 に示す。供資材としてエポキシ樹脂 801N(三菱ケミカル)、平織炭素繊維織物 T300(東レ)を使用した。炭素繊維織物は樹脂流動方向に対し繊維角度が $\pm 45^\circ$ になるよう設置した。観察において含浸開始位置から含浸領域の先端部までの距離(含浸距離)と時間の関係を取得した。

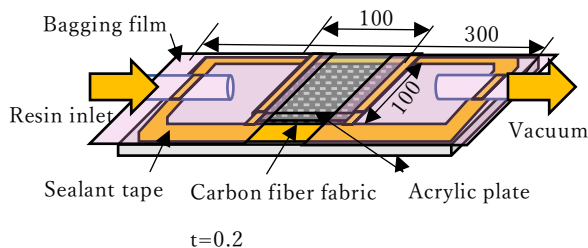


Fig. 2 Schematics of resin flow behavior observation.

## 2.2 樹脂流動解析

解析ソフトとして Moldex3D を使用し、Fig. 3 に示す平板モデルの樹脂流動解析を実施した。解析条件は導入樹脂粘度  $1.1\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、導入圧力  $0.1\text{MPa}$ 、空隙率  $0.6$  とした。モデル中央の黄色で示す範囲においてオレンジ色の矢印で示す  $R_1$  および  $R_2$  の方向に 2.1 の結果から算出された浸透率を適用し、樹脂含浸距離と時間の関係を算出した。

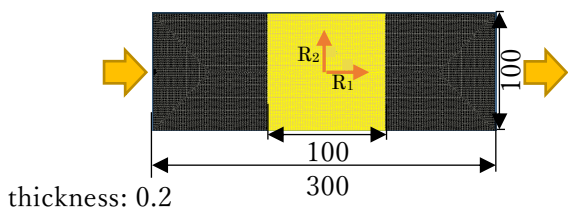


Fig. 3 Flow analysis model.

## 3. 結果

含浸距離と時間の関係を Fig. 4 に、含浸速度と含浸距離の関係を Fig. 5 に示す。

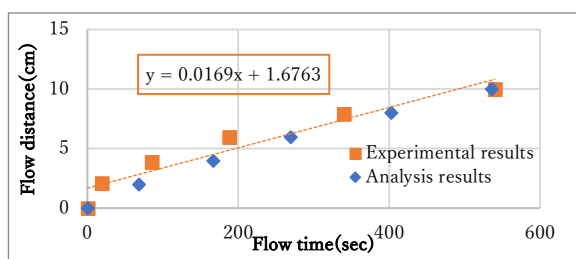


Fig. 4 Relationship between flow distance and flow time.

実験結果より炭素繊維織物への樹脂含浸速度  $0.0169\text{cm/s}$  を取得した。この含浸速度を式(1)に示す Darcy 則に代入し浸透率  $K=1.859\text{E-}07\text{cm}^2$  を得た。

$$K = \frac{v\mu x}{\Delta P} \quad (1)$$

ここで、 $v, \mu, x, \Delta P$  はそれぞれ樹脂流速、樹脂粘度、測定距離、圧力変化である。ここで得た浸透率を用いて解析を行なった結果、Fig. 4 に示したように、実験と解析の繊維織物部の含浸完了の時間の一致が確認された。一方で、Fig. 5 に示すように、実験と解析における含浸速度は一致しないことが確認された。一般的に流体は流動時の圧力勾配等により、その移動距離に従い流速の変化が生じる。本解析では、その圧力勾配等を考慮していないことから実験と解析の流速変化が乖離したと考えられる。

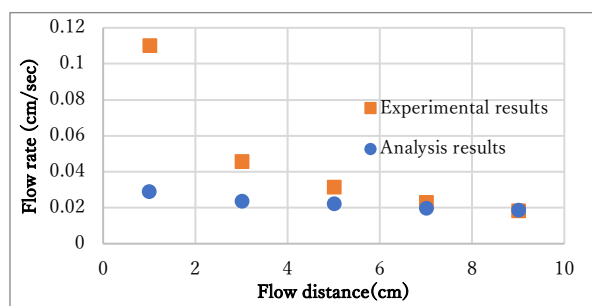


Fig. 5 Relationship between flow rate and flow distance.

## 4. 結言

実験より求めた浸透率を適用した樹脂流動解析の結果、繊維織物部の含浸完了時間の一致が確認された。これにより樹脂流動解析の一応の妥当性が確認された。しかしながら本解析では含浸速度の変化は再現できなかった。今後 VaRTM 成形法による大型、複雑形状構造物の成形における樹脂流動解析の適用に向けて、含浸速度の変化を考慮に入れた含浸パラメータの明確化、およびそれを用いた解析の妥当性を示す必要がある。

## 5. 参考文献省略