

論文審査の結果の要旨

氏名：長見 茂

博士の専攻分野の名称：博士（工学）

論文題名：インフュージョン成形法によるGFRP構造の特性評価と
数値計算によるシミュレーションに関する研究

審査委員：(主査) 教授 邊 吾 一

(副査) 教授 高橋 進 教授 松島 均
東京工業大学教授 轟 章

世界的に見ても日本の化学繊維を基材とする複合材料の技術開発は国際競争力を発揮し、金属材料を凌ぐ勢いで進展してきた。特にガラス繊維や炭素繊維、さらには植物繊維の開発とそれらの量産能力は世界の市場を大きく伸ばしてきた。化学繊維を用いた複合材料は機能性やデザイン性に自由度が高く柔軟性に優れており、金属材料に比較して軽くて強い材料として比強度、比剛性、耐食性、耐久性などに優れているのが大きな特徴である。

その化学繊維を強化材、プラスチックを母材に使用した複合材料の成形方法には様々な方法があるが、設備投資が少なく作業環境に良いクローズドモールド成形法であるRTM (Resin Transfer Molding) 法が注目されている。RTM法の中でも簡易型を下型に使用し、真空ポンプを使って基材をシールして成形する、インフュージョン成形法は費用対効果の大きい成形法として注目されており、実用化されている。一方で急速に高度化され多機能化された数値解析ソフトウェアを活用することによって、成形条件決定のために試行錯誤を繰り返すこと無くインフュージョン成形における最適条件を数値シミュレーションから求める試みが要求されている。

本研究では、インフュージョン法で最も重要なパラメータである浸透係数を従来の手法とは全く異なる観点から簡便に求める方法を提案し、実験によってその妥当性を明らかにする。また、その浸透係数を用いて、楕円ドーム形状の型を使用して実験を行い、楕円ドーム構造体におけるインフュージョン成形の可能性を明らかにしている。

さらに、インフュージョン成形法で実用構造体を成形するときにフローメディアとピールプライを使用することによって樹脂注入時間を短縮する効果を明らかにした上で これらの結果から、数値シミュレーションソフトウェアを活用してインフュージョン成形における最適条件を提案することを研究の目的とした。本論文は全5章から構成されている。

第1章の序論では工業製品の軽薄短小化の流れにおいてRTM成形法によって複合材料が金属材料に置換できる経緯を明らかにし、インフュージョン成形法の経験的な取り組みによって製品化されてきた背景から、より簡便で省エネルギー化や作業環境の改善に効果が発揮されるインフュージョン成形法による効果について述べるとともに、本研究の目的、独創性や本論文の構成について述べている。

第2章インフュージョン成形法の原理とインフュージョン成形法で使用する材料について概説する。平板で成形するための型とその平板に傾斜角度を変化させる方法と楕円ドーム形状型を作成する方法について記述している。

第3章では平板によるインフュージョン成形で傾斜角度を 0° から 90° まで7段階に変化させた時の樹脂注入時間と成形品の引張り強度について調査している。更にフローメディアとピールプライを使用して成形した場合とそうでない場合の浸透係数を求め、数値シミュレーションへのパラメータ入力設定によって最適成形条件を求めた内容について検討している。

第4章では3Dプリンターを使って自由曲面を有する楕円ドーム型を作成し、その型を使用して異なる樹

脂注入口からインフュージョン成形を行った場合とフローメディアを使用した場合とそうでない場合の実験結果についても比較検討している。また、各種成形パターンについて実験で求めた最適成形条件について検討している。

第5章では数値シミュレーションについて、使用したソフトウェアの機能や前提条件となるパラメータの設定を行い、インフュージョン成形実験結果と比較検証を行った結果について述べている。

第6章では本研究で得られた成果を以下のようにまとめている。

- ① インフュージョン成形法によって平板による樹脂の供給量を電子天秤とコンピュータを連動させ連続的に樹脂重量を計測することによって簡便な方法で浸透係数を求めることが出来た。この方法によって求めた浸透係数を用いた流動解析の結果は成形実験結果と良好な一致を示した。
- ② 平板によるインフュージョン成形で型の傾斜角度を変化させたことによる樹脂流動時間の変化は数値シミュレーションでは最大 5.9%で少なく、実験結果では傾斜角度の変化と傾向は概ね良好な一致が得られた。
- ③ 傾斜角度別に成形した平板の引張強度を測定した結果、角度変化による強度の変化の傾向はほとんどないことが明らかになった。成形品の部位によって目視でボイドの発生が見られたが引張強度に影響するほどの変化は見られなかった。
- ④ カラス織物の方向性によって樹脂流動時間は繊維の縦糸方向に対して横糸方向の流動時間は 2.1 倍に変化することが明らかとなった。このことはそれぞれの浸透係数の値と一致していることから裏付けられている。
- ⑤ フローメディアを使用すると樹脂流動時間は同一条件でフローメディアを使用しない場合に比べて 1/15 以上に短縮されることが明らかとなった。また、フローメディアの方向によって長い方向に対して短い方向では 2 倍の樹脂流動時間を要することも明らかとなった。
- ⑥ 今回の実験結果ではフローメディアとピールプライを使用した場合、樹脂の注入量は 2 倍になったが製品の厚さを必要とする場合は樹脂の注入量の増加より成形時間への短縮効果が大きいことが明らかである。
- ⑦ 楕円ドーム形状のインフュージョン成形では型の内面、特にブレンド R 部の R が小さい部位ではプリフォーム材が型に密着し難いことが予想されるのでこうした形状物に対しては機械的に補助対策を取る必要があると思われる。
- ⑧ 楕円ドーム形状の成形で 8 パターンの成形条件について数値シミュレーションを行った結果、樹脂に注入口と吸引口の配置によって成形時間において 4.7 倍以上の差があることが予測された。フローメディアを使用した場合も使用しない場合もほぼ同一の GFRP 成形品を得ることができた。
- ⑨ 楕円ドーム形状の成形で同時に 2 カ所から樹脂を注入する場合の数値シミュレーションでは両側からのフローフロントが合流する部位でドライスポットが予想されたが、実験の結果ではそうした現象は見られなかった。
- ⑩ 楕円ドーム形状の成形においては全ての場合、樹脂注入口と吸引口に T 字形パイプコネクタを使用したところ、それぞれの部位の密封度を維持するための機械的な対策が重要であると思われる。
- ⑪ 楕円ドーム形状の成形では平板の成形と異なり、ガラス織物とピールプライ及びフローメディアが型にプリフォームされる時に形状に沿って伸びや皺が発生し易くなるため樹脂の浸透時間はばらつきが大きくなることが判明した。
- ⑫ 楕円ドーム形状に類する成形ではガラス繊維、フローメディアの基本的な構造形態が型の形状に沿って変形が伴う関係から平板の条件で求めた浸透係数の値を直接適用するのは困難と思われる。

さらに、ガラス織物の繊維の方向の組合せとフローメディアの方向の組合せによって成形品への機械的特性がどのように変化するか、また本論文では影響が少なかったが、ボイド発生メカニズムが製品設計上重要な要素と考えられるので今後の課題とした。

以上、本研究の成果はインフュージョン法を用いて各種の形態を有する FRP 構造を成形する上で貴重な

指針を与え、最適な成形法を確立する上で大きな貢献する点が多い。
これらの成果は、生産工学、特に複合材工学に寄与するものと評価できる。
よって本論文は、博士（工学）の学位を授与されるに値するものと認められる。

以 上

平 成 2 7 年 3 月 1 2 日