

ハンドレイアップ複合材料成形における熟練技術の定量化に関する研究

菊地 哲雄

要 旨

国内における FRP 用途別出荷動向調査および集計結果から、住宅機材向けが全体の約 3 割を占め安定的に推移していることが示されている。そして、その住宅機材向けの中でも大半がバスタブである。そのバスタブは主に SMC (Sheet Molding Compound) と呼ばれるガラス繊維を含んだ高温硬化型の熱硬化性樹脂シートを用いて高温プレス機で製造される。SMC は製造に関する設備費や運用費が大きくなるためコストアップが避けられず、大量少品種生産に限られている。また、製品の色は SMC そのものを着色する必要があり、顔料使用量が多くなるなどコスト抑制が難しい。

一方、消費者の多様なニーズに答えるため、全バスタブ生産量の約 1 割程度は少量生産を余儀なくされており、この少量多品種には SMC のプレス成形では費用対効果の観点で適合しない。少量多品種向けに対してはハンドレイアップ (Hand Lay UP: HLU) 成形法が古くから利用されている。これは型と技能と原材料さえ揃えば成形可能で、極めて原始的な成形方法であるが、成形型が安価で設備費も低いいため、生産数量や大きさそして形状の変化に広く対応できる長所を有するためである。

しかしながら、HLU 成形法の基本は「匠の技」であり、それは先達 (せんだつ) から受け継いだ「勘」や「コツ」、手応え感や目くばり、そして熟練した動作というような暗黙知であり、技術の伝承に多くの時間を必要し、現在では効率的な技能伝承がなされていない。

そこで、本研究では、HLU 成形法に加え、同様に匠の技を基本とするスプレーアップ成形法そしてゲルコート塗装における卓越した熟練技能の形式知化、定量化を目的とする。

本論文は、以下の 7 章で構成される。

第 1 章、緒論においては、研究の背景と必要性を述べた。

第 2 章では HLU 成形熟練者の卓越した技能を解明するため、作業工程分析を行い、熟練者以外は仕上工程に多くの時間を費やしていることを明らかにした。さらに、仕上工程における特に脱泡作業において、熟練者と非熟練者の作業時間および動作の差異が大きいかも明らかにした。そこで、脱泡作業に着目し、工程分析、動作解析および力の伝達解析を実施した。その結果、豚毛脱泡ローラー使用時における、注視点、肘の動き、重心の位置、ローラーの持ち方そして力の伝達方法の観点で熟練技能者の暗黙知を形式知化した。また、厚みの変動係数が経験年数に強く依存することも明らかにし、熟練者が成形した複合材料の寸法安定性の信頼性が高いことも確認できた。

第 3 章では HLU 成形法を用いたガラス繊維強化複合材料の物性評価について、経験年数に伴う複合材料の界面特性を微視的観点から述べた。熟練者が成形した複合材料の力学特性の信頼性が高いことが確認できた。

第 4 章ではスプレーアップ成形熟練者の卓越した技能を観察することにより、吹き付け量やガン速度が一定であること、目的とする厚みに対して吹き付け量や塗装時間が計算値どおりに実施されていること、塗装時の厚みを繊維の高さや樹脂量などの目視観察により適宜吹き付け量の調整を型とガンとの距離を変えることで調整していること、そして塗装折り返し点での厚み増加を防ぐために折り返し点にて実施している速度調整技術などの熟練技能者の暗黙知を形式知化した。

第 5 章ではゲルコート塗装における暗黙知を形式知化した。塗装時の水平方向および垂直方向のストローク速度が一定であること、水平方向および垂直方向のストローク回数が同じであることや身体全体を大きく伸展・屈曲させることで、上下の塗装を行うこと。ゲルコート塗装用ガンと型の距離が常に一定であることなどが明らかになった。

第 6 章では世界で初めて、炭素繊維とジュート繊維のスプレーアップによる成形に成功したことを述べた。特に、カット長が通常の 25mm では繊維の裁断性や開繊性に問題があったが、鋭意研究末、カット長を 5mm にすることにより上記課題を解決しスプレーアップ成形が可能となった。さらに、スプレーアップ法による炭素繊維 FRP はガラス繊維 FRP に対して曲げ弾性率が 44%、曲げ強度が 53% 高いことを示した。一方、スプレーアップ法によるジュート FRP では、ジュート繊維の開繊性および分散性の向上により、高い力学的特性の FRP が創成される可能性を見出した。

第 7 章では本研究で得られた知見をまとめ、今後の展望について述べた。

本論文に示された成果は、HLU 成形法の学習、熟練技能を有する成形ロボットの開発、そして新たな使用用途を探索する一助となり、HLU 複合材料の普及促進につながるものと考えられる。