

審査の結果の要旨

氏名 林 崇寛

本論文は量産車の軽量化を目的とした炭素繊維強化熱可塑性プラスチック (CFRTP) の力学特性に及ぼすボイド率の影響度を明らかにし、それを製造ライン上で非破壊評価する手法を提案するとともに、力学特性に影響を及ぼさないボイド率を達成する新たな低コスト成形手法を提案するものである。

第 1 章では研究の背景を説明している。具体的には、現在、地球温暖化や気候変動の原因と考えられる二酸化炭素の排出量削減のために自動車の燃費目標が世界中で取り決められ、自動車メーカーは燃費向上のための技術開発を行い、その目標を達成しようと努力している。その燃費目標を達成するためには自動車の車体軽量化が一つの方法であり、ハイテン鋼やアルミニウム等の金属材料の他に炭素繊維強化プラスチック (CFRP) が注目されている。CFRP は従来までは高い力学特性を得るためにマトリックス樹脂に成形時間の長い熱硬化性樹脂を用いた熱硬化性 CFRP (CFRTS) が主であった。しかし長い成形時間のため生産性が低くコストも高くなるため、数分で硬化する樹脂や RTM (Resin transfer molding) や LCM (Liquid compression molding) 等の低コスト成形方法が開発されている。一方で量産車に適用されるためには成形時間の短い熱可塑性樹脂を用いた CFRTP が注目されているが、含浸時の樹脂粘度が高いため中間基材の製造コストが高くなり、結果としてトータルでのコストは CFRTS と比較してメリットが小さく、熱可塑性樹脂の含浸プロセスについての技術革新が切望されている。

第 2 章では CFRTP の成形品中に含まれる未含浸部分も含めた空隙・ボイドが複合材料の性能に与える影響を明らかにしている。繊維形態は連続繊維系の代表的な積層構成である直交積層体とプリプレグを所定の大きさにカットしたものをランダムに等方分散させた不連続繊維系の複合材料について測定をしている。連続繊維系ではボイド率が 1% を超えると圧縮強度の低下に起因して極端に曲げ強度が低下し、不連続繊維系ではボイド率と共に静的な曲げ強度だけでなく衝撃強度も徐々に低下する傾向を明らかにしている。また繰り返し荷重後に圧子直下の観察を行うことで、複合材料中に含まれるボイドが起点となり曲げ強度が低下する現象を確認している。

第 3 章では第 2 章で明らかとなった CFRTP 中で有害となるボイドを非破壊で検出する新規手法として、エネルギーの低い X 線の透過率を用いることで、オープンエリアすなわち製造ラインの途中でも測定可能な非破壊検査手法を考案

している。まず、この新手法と従来のボイド率測定方法を比較することで、約1%以内の誤差範囲となること、すなわちこの手法が実用可能な方法であることを確認している。またこの手法は材料を切り出して測定する必要がないため、材料中のボイド率分布も測定することが可能であり、本手法でのボイド率分布と超音波探傷機による測定結果を比較し良好な一致を確認している。

第4章では以上で明らかとなった有害なボイド率以下での低コスト成形手法の検討を行っている。CFRTPについても成形コストを低減するためにRTMやLCM等の現場含浸型の成形方法が求められ、LFT-D (Long fiber thermoplastics direct molding) はその一例であるが、炭素繊維含有率を上げるには限界がある。そこで比較的安価に製造ができるセミプレグを用い、真空プレスにより含浸、コンソリデーション、予備加熱を一度に行う新規プロセスの検討を行って、材料を真空中で加熱含浸することで樹脂劣化を抑制した力学特性の高い複合材料を短時間で得ることに成功している。

第5章では各章の結言をまとめ本論文全体として得られた知見をまとめている。

以上、量産車の軽量化という目標を達成するために具体的な目標を設定して、これまで定性的にしか取り扱われていなかったボイドの力学特性への影響度を定量化し、それを現場で検出する非破壊評価手法、ならびに有害なボイドを発生させない成形手法という二つの大きな新規技術を理論的に提案して実用化させたものであり、工学的寄与の高い結果が得られていると言える。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。