

審査の結果の要旨

氏名 何羽健

CFRP は比強度の高さを生かして、自動車用を含めた構造体への適用が進んでいる。CFRP を構造体として利用するためには、高い生産性での成形と、金属材料とのマルチマテリアル化が必須である。CFRP からなる構造体の製造は、今後の我が国の産業競争力の根幹の一つを形作ると考えられているが、必ずしも十分な水準に到達しているとは言えないのが現況であり、幅と広がりを持った工学研究が期待され、事実、産官学を挙げての研究が、活発に行われている。

本研究では、連続繊維からなる熱硬化性 CFRP および CFRP/金属ハイブリッド複合材料の力学特性や成形性を、引張試験、3点曲げ試験、絞り成形、せん断加工で評価している。連続繊維 CFRP 薄板の層構造は [0-90-0] を基本とした対称積層構造 [0-90-0]_s とし、プリプレグ厚さを標準的な 0.1mm と薄い 0.04mm の二通りに変えることで、プリプレグ厚さが力学特性や成形性に及ぼす影響を調査した。さらに CFRP/金属ハイブリッド複合材料については、上記のプリプレグ厚さに加え CFRP/金属の接合方法や金属材料の種類を変えた薄板について試験を行い、また、CFRP 薄板の厚さ方向にプリプレグ厚さを変えた対称積層構造を提案し、力学特性や成形性を評価した。

第1章は序論であり、CFRP の力学特性や成形性に関する研究を総括するとともに、プリプレグ厚さ変化の影響について未解明なことが多いことを論じている。第2章では、プリプレグ厚さを変えた連続繊維 CFRP 薄板の引張試験、曲げ試験、成形性試験（絞り試験）を行い、引張り時の応力ひずみ関係、界面せん断強度 ILSS (Interlaminar Shear Strength)、絞り成形後の高さや薄板内部界面の剥離状態、を系統的な実験により明らかにしている。小型オートクレーブにより自作した試験片を CT により評価することでボイド率を測定し、対称積層構造 [0-90-0]_s で 0.04mm プリプレグと 0.1mm プリプレグからなる CFRP 素材のボイド率は最大でも 0.6% を下回り（薄プリプレグでは 0.2% 以下）、健全な状態であることを確認した。この素材について引張試験、曲げ試験、成形性試験（絞り試験）を行った結果によれば、プリプレグの厚さが 0.04mm と薄い場合と標準的な 0.1mm の場合では、成形性や成形中の荷重特性に違いがあるこ

とが示されている。引張試験時に現れる疑似延性ひずみ (Pseudo-ductile strain) は薄プリプレグの場合が若干高く、この時の強度は薄プリプレグからなる CFRP の方が 2 倍以上の値となる。同じく、界面せん断強度 ILSS は薄プリプレグからなる CFRP の方が高いが、絞り成形荷重は低くなる。

第 3 章では、CFRP ならびに CFRP/金属ハイブリッド複合材料のせん断加工を取り上げ、プリプレグ厚さの影響を評価した。対称積層構造[0-90-0]_s である CFRP 薄板のプリプレグ厚さ 0.1mm を 0.04mm と変化させ、110 トン リンク式デジタルサーボプレスにより、クリアランス 0.1mm で速度を三水準に変化させたせん断加工を行い、荷重や打ち抜き後の試験片の内部組織の変化を検討した。薄プリプレグの方が打ち抜き荷重が 20~30%程度低く優れているが、せん断加工後のせん断面の剥離長さはプリプレグ厚さが薄くなると大きくなる。CFRP/金属ハイブリッド複合材料では、総じて剥離が少なく健全な打ち抜きができるが、薄プリプレグの方が打ち抜き後の断面の健全性が高い。

第 4 章では、薄プリプレグと標準厚さのプリプレグを組み合わせた新たな積層構造を提案し、引張試験および曲げ試験で強度を評価するとともに、U 断面を薄板プレス成形により作製して曲げ試験を行い、吸収エネルギー量を評価している。対称積層構造[0-90-0]_s の上下層 (90) を標準厚さ (0.1mm)、中間層 (0) を薄プリプレグ (0.04mm) とした新たな構造は、同一プリプレグ厚さからなる構造と比較して顕著な力学特性の改善効果を示す。例えば、引張り時の疑似延性ひずみは 2 倍程度に、ILSS も 2 倍程度になる。このことは、厚さの異なるプリプレグかならなる構造では、薄プリプレグからなる中間層でのき裂伝播の様式が異なる (き裂が中間層内を貫通しにくい) ことを示唆している。U 断面材の吸収エネルギー量は軟鋼板 SPCE より小さい。このことを、CFRP 複合材料を構造として利用する際の課題の一つとして指摘している。第 5 章は結論であり、本研究の工業的・工学的意義や、今後の展望について述べている。

本研究は、CFRP の対称積層構造[0-90-0]_s で、プリプレグ厚さを標準的な 0.1mm と薄い 0.04mm の二通りに限定されてはいるが、プリプレグの層厚さの力学特性や成形性、せん断加工特性への影響を系統的に検討しており、工業的に有意義な結果を得ている。さらに、異なるプリプレグからなる構造を持つ CFRP 薄板の力学特性や成形性、また、CFRP 薄板と金属薄板のハイブリッド構造の力学特性や成形性について新しい知見を得ており、工学的な意義も高い。

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。