

博士論文審査の結果の要旨

氏名	LIU YAJUN
学位名	博士（工学）
学位番号	甲 第 773 号
論文題目	Study on development of three-dimensional woven composites and their mechanical behavior (三次元織物複合材料の開発とその力学挙動に関する研究)
論文審査委員	主査 倪 慶清 夏木 俊明 中山 昇 FU SHAOYUN (重慶大学, 中国)

(博士論文審査の結果の要旨)

本学位申請論文は、立体織物を製織し、3次元(3D)テキスタイル複合材料を開発し、その力学特性と損傷過程を系統的に検討したものである。本論文は6章から構成されている。主な研究結果は以下に示す。

1) 自作の3D織機をさらに改良し、ヘッドル位置を自由に調整できるように設計した。新しい織り技術を用いて4つ3D織物構造(層間直交織, 板厚直交織, 層間アングルインターロック織, および板厚アングルインターロック織)を開発した。開発された3Dガラス/アラミド繊維ハイブリッド織物複合材料について、3点曲げ試験及び低速度落下衝撃試験における力学的特性および損傷過程を織物の構造変化との関連から系統的に調査した。また、伝統織機を改良して創製した3D炭素繊維複合材料について、3Dと2.5Dの4つ補強構造(3D-a, 3D-b, 3D-c, 2.5D)を開発し、その準静的曲げ変形及び衝撃特性を調査した。

2) 開発された3Dガラス/アラミド繊維ハイブリッド織物複合材料について、3点曲げ試験より横繊維束方向はより大きな曲げ弾性率を示すが、破壊歪みは小さくなっている。開発された3D織物複合材料の中で、アングルインターロック織構造は直交織構造よりも大きな曲げ強度(50%増加), 曲げ弾性率(40%増加)および破壊抵抗が発現した。全体として、板厚アングルインターロック織構造は、4つ3D織構造の中で最も優れた準静的曲げ破壊抵抗を示し、改良された3D織機はより良い織構造を得ることができた。

3) 3D織物複合材料の低速度落下衝撃試験において、耐荷能力、たわみ変形特性およびエネルギー吸収挙動を評価し、3D複合材料の耐衝撃性を明らかにした。開発された3D織物複合材料の中で板厚アングルインターロック織構造は準貫通エネルギー30Jを有する最適構造であったのに対し、他の構造は準貫通エネルギー20J程度であった。また、織構造が破壊モードに明らかな影響を与えることが確認できた。アングルインターロック織構造ははく離破壊が限定的であり、衝撃後構造的損傷が少ないことに対して直交織構造はより多くの繊維破壊が観察された。

4) 伝統織機を改良して創製した3D炭素繊維複合材料について、3Dと2.5Dの4つ補強構造(3D-a, 3D-b, 3D-c, 2.5D)の準静的曲げ変形及び衝撃特性を調査した。異なる横繊維束/バインダー糸比及び糸の屈曲状態の織構造は、準静的曲げの力学的挙動に明確な影響を与えていることがわかった。4つ開発された織構造において、3D-aは最も高い曲げ強度を示し、続いて2.5D, 3D-bと3D-cの順となっている。低速度落下衝撃試験において、3D-cは最もよい衝撃特性を示し、続いて

て 3D-b, 3D-a, および 2.5D の順となっている。4 つの織構造の間には明確な損傷プロセスの差異は観察されなかった。

以上を総合して、本学位論文の学術的価値及び工学応用に対する有用性が認められ、審査委員全委員一致して博士学位論文に値すると判断した。また、本論文は多様な 3D 織物構造を設計開発し、それらを強化構造として 3D 複合材料を開発することに成功した。3D 複合材料の力学的挙動と破壊過程を系統的に検討したことは、これらの構造材料の工学実応用に大きな意味があると認められ、工学分野における応用展開が期待される。その研究内容は博士（工学）の学位論文としての審査に値するものと判断する。

（公表主要論文名）

[1] **Yajun Liu**, Canyi Huang, Hong Xia, Qing-Qing Ni. Research on development of 3D woven textile-reinforced composites and their flexural behavior. *Materials & Design*. Vol. 212, No. 15, 110267 (Available online 22 November 2021)

[2] **Yajun Liu**, Hong Xia, Qing-Qing Ni. Experimental investigation on low-velocity impact performance of 3D woven textile composites. *Applied composite materials*. (Available online 19 January 2022)