

氏名	いちかわ だいき 市川 大稀
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第900号
学位授与の日付	平成30年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイブプロ科学専攻
学位論文題目	ニードルパンチ加工を施した積層型複合材料の力学的特性に関する研究
審査委員	(主査)教授 西村寛之 教授 鋤柄佐千子 教授 森田辰郎 准教授 大谷章夫

論文内容の要旨

近年、比強度、比剛性に優れた繊維強化樹脂複合材料が幅広い分野の工業製品に適用されているが、同種または異種材料との接合が必要であり、接合強度が高く、信頼性の高い接合方法が求められている。繊維強化樹脂複合材料も金属材料と同様に、機械的継手が主に使用されているが、複合材料、特に積層型複合材料の機械的継手では、積層型複合材料の層間で剥離が生じ、構造物全体の耐荷重が低下することが知られている。本論文では、層間特性を向上させる手法として、ニードルパンチ加工に着目し、本加工方法を積層型複合材料に適用し、厚さ方向に繊維を配向させて、積層型複合材料の力学的特性や破壊挙動に及ぼす影響を明らかにした。

第1章では、本論文における研究背景、目的および構成について記述した。

第2章では、ニードルパンチ加工がチョップドストランドマット複合材料の力学的特性に及ぼす影響について検討した。ニードルパンチ加工により、引張特性、曲げ特性、層間破壊じん性値、平板曲げ衝撃特性などの力学的特性が向上することが明らかになった。また、各力学的特性において最適なニードルパンチ密度が存在し、その値を超えると低下することが分かった。

第3章では、ニードルパンチ加工が円孔を有するチョップドストランドマット複合材料の継手特性および力学的特性に及ぼす影響について検討した。ニードルパンチ加工条件を変化させた場合、円孔を有する試験片の破壊形態を検討するために“特性長さ”と呼ばれる力学パラメーターを用いて評価した。その結果、試験片の幅が狭い場合、円孔横で引張破壊が生じ、試験片の幅が広くなるにつれて円孔上部から試験片端部の間にて破壊することが分かった。また、この破壊は、円孔中心から試験片端部までの距離に依存し、その距離が短いと引き裂き破壊、距離が長いと圧かい破壊に移行していくことが明らかになった。ニードルパンチ加工を施した場合、継手寸法が同じ条件下では、生じる破壊形態に変化はなかった。しかし、引張破壊が発生する場合、ニードルパンチ加工により微視的な破壊形態が変化し、継手特性が向上することが明らかになった。また、ニードルパンチ加工により引張破壊や圧かい破壊の荷重値が向上することが明らかになった。これはニードルパンチ加工により円孔近傍の繊維の分散度合が増加し、応力分布がより均一になったためと考えられる。また、ニードルパンチ加工により“特性長さ”が増加し、引張強度と破壊のしにくさの両方において最適となるニードルパンチ密度が存在することが分かった。圧かい

試験ではニードルパンチ加工により厚さ方向に繊維束が配向し、層間剥離が抑制された。ニードルパンチ加工により繊維の分散度合の増加および厚さ方向に配向する繊維束の増加により継手特性が向上することが明らかになった。

第4章では、ニードルパンチ加工が円孔を有するチョップドストランドマット複合材料の疲労特性および残存強度特性に及ぼす影響について検討した。ニードルパンチ加工により面内方向に配向している繊維量の減少や繊維長の減少により、破断までの回数は低下することが分かった。しかし、一定の繰返し回数疲労試験を実施後の残存強度特性が向上することが明らかになった。ただし、最大荷重の50%疲労荷重で、繰返し回数 10^5 回までは、残存強度特性が向上したが、最大荷重の50%以上の疲労荷重では、トランスバースクラック密度や長さが増加するために、残存強度特性は低下することが分かった。

第5章では、ニードルパンチ加工が織物強化複合材料の力学的特性に及ぼす影響について検討した。その結果、織物強化複合材料では、第2章のニードルパンチ加工によりチョップドストランドマット複合材料で明らかになった繊維の分散性向上による力学的特性改善の効果がなかったことが明らかになった。ニードルパンチ加工により繊維長の減少および面内に配向した繊維束の減少等の力学特性を低下させる要因が支配的になり、引張特性および曲げ特性が低下することが明らかになった。しかし、ニードルパンチ加工により厚さ方向に繊維束が配向するため、チョップドストランドマット複合材料と同様に層間破壊じん性値および圧かい特性が向上することが明らかになった。

第6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記述した。

論文審査の結果の要旨

本論文では積層型繊維強化複合材料の機械的継手特性を向上させるためにニードルパンチ加工の有用性の検討に取り組んだ。繊維強化複合材料は一般に機械的な継手で接合されて製品化されているが、接合部の強度向上が喫緊の課題である。ニードルパンチ加工は、不織布を製造する際に用いられる繊維加工技術の1つで、この技術を積層型繊維強化複合材料に適用して厚さ方向に繊維を配向させることにより、機械的継手周辺の層間剥離が抑制されて、継手特性および信頼性の向上が期待されている。本研究では円孔を有するチョップドストランドマット複合材料を用いて、機械的継手周辺の力学的特性を調べており、大変新規性があると言える。その結果、ニードルパンチ加工により微視的な破壊形態が変化し、継手特性が向上することが明らかになった。また、ニードルパンチ加工により引張破壊や圧かい破壊の荷重値が向上することが明らかになった。これはニードルパンチ加工を施すことで繊維の分散度合が増加し、応力分布がより均一になるためと考えられる。また、引張強度が高く、円孔近傍の特性長さが増加する最適なニードルパンチ密度が存在することが明らかになった。更に一定の繰返し回数疲労試験を実施後の残存強度特性が向上することも明らかになった。ニードルパンチ加工部の疲労試験による耐久性評価は、今までに文献も少なく、非常に貴重なデータである。また、ニードルパンチ加工が織物強化複合材料の力学的特性に及ぼす影響についても検討した。織物の場合、繊維長の減少や面内に配向した繊維束の減少により、引張特性や曲げ特性は低下するが、層間破壊じん性値や圧かい特性は向上することが明らかになった。これらの知見は各種の積層型繊維強化複合材料の継手設計や接合技術

を確立していく上で、幅広い応用が期待できて、工業的に大変意義があり、学術的な観点からも評価できる。

本論文の内容は査読システムが確立した次の学术论文 3 報に掲載されており、3 報すべてが申請者を筆頭著者とするものである。また、すべての論文について二重投稿等の研究者倫理に反することがないことを確認した。

(学术论文)

1. Daiki ICHIKAWA, Tohru MORII, Hiroyuki HAMADA and Akio OHTANI, “Effect on residual strength properties of needle punched chopped strand mat composites”, *Mechanical Engineering Journal*, Vol.5, No.2, p.17-00445(2018)
2. Daiki Ichikawa, Hiroyuki Hamada, Akio Ohtani, “Effect of needle punching process on a chopped strand mat composite with an open hole”, *Open Journal of Composite Materials*, Vol.8, No.3, pp110-123 (2018)
3. 市川大稀、圓井良、森井亨、大谷章夫、” 円孔を有するチョップドストランドマット複合材料の力学的特性”
Journal of Textile Engineering, Vol.63, No.6, pp.201-203(2017)

以上の結果より、本論文の内容は十分な新規性と独創性、さらに工業的な意義があり、博士論文として優秀であると審査員全員が認めた。