

氏 名	ちょう しえん 張 志远
学位(専攻分野)	博 士 ( 学 術 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 7 1 1 号
学位授与の日付	平成 26 年 3 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 先端ファイバ科学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>Mechanical Characterization and Fracture Behavior of Mat Reinforced Composite Materials</b> (マツト強化複合材料の機械的特性評価と破壊挙動に関する研究)
審 査 委 員	(主査)教授 濱田泰以 教授 西村寛之 准教授 横山敦士 東華大学紡績学院准教授 *陽 玉球 京都工芸繊維大学長もちの科学研究センター特任教授 *藤井善通

## 論文内容の要旨

繊維強化複合材料は軽量化と優れた力学的特性を有することから、多くの分野で注目を集めている。繊維材料はガラス繊維、炭素繊維から天然繊維への広がりを見せ、母材の樹脂も熱硬化性樹脂から熱可塑性樹脂、生分解性樹脂へと広がっている。その中で最も歴史が長く、基本となる複合材料はガラスチョップドマツト熱硬化性複合材料であろう。一方、複合材料を構造物として用いる場合には、他の部材との継手は必須であり、そのために円孔を設けることが多い。円孔を有するために複合材料の力学的特性が低下することを把握することは重要である。

本論文においては、ガラスチョップドマツト熱硬化性複合材料の物性を把握し、さらに円孔を設けたことによる力学的特性の低下、破壊挙動の把握を目的とした。用いた材料は、ガラスチョップドファイバマツトと不飽和ポリエステルであり、ハンドレイアップ法を用いて異なる積層数の複合材料(GMC)プレートを作製した。GMC プレートは 15、20、30、50 mm 幅の異なる試験片に切断した。試験片中央部に直径 6 mm と 10 mm の穴を開けた。引張試験により円孔による機械的特性の影響について検討した。ガラス繊維含有率と試験片の厚さと円孔の直径比(W / D)の幅が機械的性質に及ぼす影響について検討した。

次にガラスマツト複合材料の破壊挙動について検討した。切り欠き試験片の破壊挙動は、並列領域と扇形領域と定義された 2 つの異なる破壊領域が見られた。切り欠き試験片の材料特性を評価するために並列領域の長さを測定した。また応力分布解析と強度を用いて特性長さを算出した。その結果、特性長さは並列領域長さとも一致することが明らかになった。

さらに切り欠きガラスマツト複合材料の機械的特性を向上させるために、複合材料の厚さ方向に繊維補強することができるニードルパンチング処理を使用した。通常のガラスマツト(GM)およびニードルパンチガラスマツト(NGM)を使用して、異なる繊維含有率の複合材料を作製し、試験片に円形の穴を開けた。ニードルパンチの効果は、切り欠きを有することにより生じる強度低下が小さいということに表れていた。それはニードルパンチによって繊維切断による強度低下をもたらしものの、積層界面での層間剥離を抑制していることが、様々な観察より明らかとなった。

また特性長さを求め、それより切り欠き強度を推定する方法についても言及した。

以上のように本論文においては、ガラスチョップドマット熱硬化性複合材料の力学的特性、円孔を有することによる強度低下、破壊挙動、さらにその向上方法について述べた。本材料は、天然繊維複合材料や今後出現するであろう炭素繊維マット複合材料の類似で基本材料となるものであり、この成果は広く用いられるものと確信する。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は、複合材料の基本材料であるガラスチョップド熱硬化性複合材料を取り上げている。この材料に関わる研究は古くに行われていたが、その成果は多くないと考えられるために、もう一度研究対象にすることが必要であるという認識と、近年注目を浴びている天然素材複合材料の多くがマットの形式で提供されることを見据えて、本材料を研究の対象にしていることは、本論文の特徴であると言えよう。円孔を有する複合材料の破壊挙動においては、極めて詳細に観察し、2つの破壊モードを断定した。さらにその一つである並列領域の長さと、応力分布より算出することのできる特性長さとの比較、一致を見出したことは工学的に意義深い。さらにニードルパンチというマット作製装置が厚さ方向の繊維配向を促し、切り欠き強度向上に有効であることを示したことは、工業上において有意義である。

本論文の内容は次の8報に報告されている。

- 1. Mechanical Property of Glass Mat Composite with Open Hole**  
Zhiyuan ZHANG, Yuqiu YANG, Hiroyuki HAMADA  
*Proceedings of IMECE2012 the ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Vol.8, pp 105-110 (2012)*
- 2. Fracture Behavior of Glass Chopped Mat Composite with Open Hole**  
Zhiyuan ZHANG, Ryuichi Nisida, Yuqiu YANG, Guijun XIAN, Hiroyuki HAMADA  
*Polymers and Polymer Composites (Submitted)*
- 3. Effect of open hole on the fracture behavior and mechanical property of fiber glass mat composite**  
Zhiyuan ZHANG, Yuqiu YANG, Hiroyuki HAMADA  
*Science and Engineering of Composite Materials (Submitted)*
- 4. FRACTURE ANALYSIS OF NEEDLE PUNCHED NONWOVEN COMPOSITE WITH OPEN HOLES**  
Z. Zhang, M. Hazemoto, Y. Yang, H. Hamada  
*Proceedings of THE 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS (ICCM), pp 8458-8466 (2013)*
- 5. Effects of Needle Punching on Mechanical Properties of Glass Mat Composites with Open Hole**  
Bing XIAO, Ryuiti NISHIDA, Zhiyuan ZHANG, Hiroyuki HAMADA, Yuqiu YANG  
*FIBER COMPOSITES, Vol. 18(4), pp 18-22 (2013)*
- 6. Notched strength prediction of glass fiber reinforced composite based on fracture toughness analysis**  
Zhiyuan Zhang, Yuqiu Yang and Hiroyuki Hamada  
*Study in Science and Technology (Accepted, Vol.3, No.1, June in 2014)*
- 7. Fracture behavior of glass mat composite with open hole**  
Zhiyuan Zhang, Yuqiu Yang, Hiroyuki Hamada  
*JEC COMPOSITES MAGAZINE (SPECIAL JEC EVENTS ISSUES), JEC asia COMPOSITES SHOW & CONFERENCES, NO. 81, pp 46-48 (2013)*
- 8. MECHANICAL PROPERTY OF PAPER-THERMOSETTING RESIN COMPOSITE**  
T. Kitamura, K. Ito, S. Teramura, R. Marui, Z. Zhang, Y. Yang, H. Hamada  
*Proceedings of THE 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS (ICCM), pp 2608-2615 (2013)*

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。