

	ふくい たつろう
氏 名	福 井 辰 郎
学位(専攻分野)	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 3 1 8 号
学 位 授 与 の 日 付	平成 15 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規程第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 先端ファイブロ科学専攻
学 位 论 文 題 目	よこ編物強化複合材料の力学的特性及び初期破壊挙動
審 査 委 員	主 査 濱田 泰以 委 員 北野 武 委 員 岩本 正治

### 論文内容の要旨

本論文は、編物複合材料の力学的特性把握のため、微視破壊の開始点である初期破壊の検討を行っている。本論文は全 8 章で構成されており、以下に各章の概要を示す。

第 1 章では緒言として、本研究の背景とその必要性を述べ、本研究を行うに至った経緯を述べた。

第 2 章では、よこ編物を用いたガラス/エポキシ複合材料の巨視的な力学的特性および Knee point を定量化し初期破壊の観察を行った。編物複合材料は、ループ構造の形成により繊維部分、樹脂リッチ部が存在する不均質構造となっている。そのため、初期破壊を検討する際にはこの不均質性を考慮し、様々な部分のひずみを測定した。引張試験方向は Wale 方向、Course 方向、Wale 又は Course 方向に対し 45 度方向である。Knee point 応力は測定部分により異なり、Wale 試験片では Loop head, Course および 45 度試験片では Cross part で最も低い値であり、初期破壊が生じていると推測できた。さらに、透過型光学顕微鏡および CCD カメラによる観察を行った結果、編物複合材料の初期破壊は Wale 方向では Loop head のトランスバースクラック、Course 方向では Cross part のはく離、45 度方向では Cross part のせん断破壊であることが判り、Knee point により得られた結果と一致した。

第 3 章では、よこ編物を用いたガラス/エポキシ編物複合材料の編構造が初期破壊に及ぼす影響について検討した。第 2 章での初期破壊検討方法を用い、編密度変化及びすべり目編物複合材料において編形態により変化する編構造パラメータと初期破壊の関係を明らかにした。編密度が変化しても、初期破壊箇所は各編密度の試験片で同様であるが、Wale 試験片では Loop head の繊維束断面形状が扁平するにつれ、Knee point 応力は高くなり、初期破壊は抑制されることが明らかとなった。また、すべり目編物 Wale 試験片では、Welt loop が長くなるにつれその繊維束断面形状は扁平し、Knee point 応力は高くなり、初期破壊は抑制されることが明らかとなった。このことは、編物複合材料の構造設計に有用な指標となり得る。

第 4 章では、アラミド/エポキシ編物複合材料の成形を行い、初期破壊挙動について検討した。ガラス/エポキシ編物複合材料よりもアラミド/エポキシ編物複合材料の Knee point 応力は低かったことから、繊維/マトリックス界面特性が変化すると初期破壊挙動は異なるということが判った。

第5章では第4章までの知見を元に熱可塑性樹脂をマトリックスとする長纖維系熱可塑性複合材料、すなわち同種異形態アラミド/ナイロン編物複合材料の力学的特性及び初期破壊挙動について検討した。アラミド/ナイロン複合材料の引張特性及び初期破壊応力は第4章のアラミド/エポキシ複合材料より高い値を示した。また、アラミド/ナイロン編物複合材料の初期破壊は、成形時間による各部分への樹脂含浸率が高くなるにつれ抑制されることが明らかとなった。

第6章では、第5章の同種異形態複合材料の考えに基づく、ポリエチレン/ポリエチレン編物複合材料の力学的特性について検討した。強化材およびマトリックスが同種材料であるがそれぞれ異形態である複合材料、すなわち、同種異形態複合材料の開発を行った。成形温度により纖維/マトリックス界面の溶融状態が変化し、複合材料の力学的特性に影響をおよぼすことが明らかとなった。ポリエチレン/ポリエチレン編物複合材料は、比較として成形を行ったポリエチレン/エポキシ編物強化複合材料よりも、マトリックス単体を基準とした強度の向上率は高かった。その原因として、ポリエチレン/ポリエチレン編物複合材料は纖維/マトリックス界面の接着性が高いことが挙げられる。したがって、ポリエチレン纖維を複合化する際、同種の材料を用いることは界面強化という点から有効であることが明らかとなった。

第7章では、編物複合材料をより実用的なものにするため、汎用の成形加工技術である射出成形に適用し、ポリエチレン/ポリエチレン編物射出複合材料を作製した。本章では、第6章で検討したポリエチレン/ポリエチレン編物シートを、射出成形の際に金型に予めインサートし、ポリエチレンを射出マトリックスとして、射出成形品とした。射出成形により成形したポリエチレン/ポリエチレン編物複合材料の力学的特性に影響を及ぼす因子としては、射出マトリックス樹脂の分子構造、インサートシートの分子構造、シリンドー温度が考えられ、これらの条件を変化させ引張特性を中心に検討を行った。その結果、編物をインサートする場合、最適な成形条件が存在しポリエチレン/ポリエチレン編物シート、射出マトリックスの組み合わせで衝撃特性が飛躍的に向上したポリエチレン/ポリエチレン編物複合材料を得ることが可能となった。

第8章では、得られた知見を総括し、本研究の結論とした。

## 論文審査の結果の要旨

本論文はよこ編物複合材料の初期破壊について述べたものである。ループ構造である編物複合材料を樹脂部分、纖維部分が存在する不均質構造が存在するという認識をもち、さらに、纖維束内、纖維束交差部には界面が存在するという認識のもとで初期破壊を検討している点が特徴である。それにより、編物複合材料の初期破壊はWale方向ではLoop headのトランスバースクラック、Course方向ではCross partのはく離といずれも界面破壊であると見出している。さらに、編密度変化及びすべり目編物複合材料において編形態により変化する編構造パラメータと初期破壊の関係について検討を行っている。編密度、編形態を変化させることにより、纖維配向が変化し、纖維束断面形状も異なり、纖維束断面のアスペクト比が低下すると初期破壊応力は高くなるという知見を得ている。

ここまで結果より、編物複合材料の初期破壊は纖維束内、纖維束交差部の界面破壊であることが明らかとなった。このことより、界面特性に着目し同種異形態複合材料の成形を行っている。これは従来の熱硬化性樹脂をマトリックスとして用いた複合材料の界面特性とは大きく異なり、

強化纖維およびマトリックスに同種類の熱可塑性材料を用いた複合材料である。アラミド/ナイロン編物同種異形態複合材料においては、その初期破壊を樹脂含浸特性および界面特性の観点から検討を行っている。アラミド/ナイロン編物複合材料は成形時間が増加すると纖維束への樹脂含浸率が向上し、初期破壊応力は高くなった。また、アラミド/ナイロン編物複合材料は界面特性の異なるアラミド/エポキシ編物複合材料より高い初期破壊応力となった。これらのことより、纖維束への樹脂含浸特性、界面特性が初期破壊に影響を及ぼすことを明らかにしている。

さらに同種異形態複合材料の考えに基づく、ポリエチレン/ポリエチレン編物複合材料の力学的特性について検討を行っている。成形温度により纖維/マトリックス界面の溶融状態が変化し、複合材料の力学的特性に影響をおよぼすことを明らかとしている。ポリエチレン/ポリエチレン編物複合材料は、比較として成形を行ったポリエチレン/エポキシ編物複合材料よりも、マトリックス単体を基準とした強度の向上率は高かった。その原因として、ポリエチレン/ポリエチレン編物複合材料は纖維/マトリックス界面の接着性が高いことが挙げられる。したがって、ポリエチレン纖維を複合化する際、同種の材料を用いることは界面強化という点から有効であることを明らかにしている。

これらの得られた知見は今後の編物複合材料の材料設計指針の確立に大いに有益であり高く評価できうるものである。

本研究をまとめるにあたり基礎となったレフリー制のある 10 報の論文を下記に示す。

1. Tatsuro Fukui, Asami Nakai, Miyako Inoda, Hiroyuki Hamada, Initial Fracture Behavior of Plain Knitted Composites, Advanced Composite Materials, in submitting.
2. Toshiko Osada, Kazuaki Nishiyabu, Tatsuro Fukui, Asami Nakai, Miyako Inoda , Hiroyuki Hamada, Initial Fracture of Knitted Composites, Proc. of The 3rd Asian-Australasian Conference on Composite Materials, pp.715-721 (2002).
3. Asami Nakai, Tatsuro Fukui, Kenich Sugimoto, Hiroyuki Hamada, Failure Initiation Analysis of Knitted Fabric Composites, Advanced Composites Letter, in submitting.
4. Tatsuro Fukui, Miyako Inoda, Asami Nakai, Hiroyuki Hamada, Fabrication and Mechanical Properties of Aramid/Nylon Knitted Composites, Composites Part A, in submitting.
5. 福井辰郎, 猪田宮子, 濱田泰以, PE/PE編物複合材料の成形と物性, プラスチック成形加工学会誌, 13(9) pp.641-648(2001)
6. 福井辰郎, 辻井哲也, 仲井朝美, 濱田泰以, 一方向強化PE/PE同種異形態複合材料の成形と物性, 日本材料学会誌, 51(12) pp.1323-1328(2002)
7. Tatsuro Fukui, Kazuaki Nishiyabu, Toshiko Osada, Asami Nakai, Miyako Inoda, Hiroyuki Hamada, Fabrication and Mechanical Properties of PE/PE Knitted Sheet Composites, Proc. of The 3rd Asian-Australasian Conference on Composite Materials, pp.731-736 (2002)
8. 福井辰郎, 猪田宮子, 仲井朝美, 濱田泰以, ポリエチレン/ポリエチレン編物シート複合材料の成形と物性, プラスチック成形加工学会誌, 投稿中.
9. 福井辰郎, 猪田宮子, 仲井朝美, 濱田泰以, ポリエチレン/ポリエチレン編物射出複合材料の成形と物性, プラスチック成形加工学会誌, 投稿中.

10. Tatsuro Fukui, Hiroshi Ishida, Kazuaki Nishiyabu, Asami Nakai and Hiroyuki Hamada, Mechanical Properties of Knitted PE Fiber Reinforced PE Injection Molding Composites, Society of Plastics Engineers Proc. of Annual Technical Conference, pp.1976-1980 (2001)

上記の 10 編のうち 8 編は申請者が筆頭著者である。以上の結果より、本論文は学位論文としての価値が認められる。