

氏 名	よう ぎょくきゅう YANG Yuqiu
学位(専攻分野)	博 士 ( 学 術 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 5 3 2 号
学位授与の日付	平成 21 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 3 条第 3 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 先端ファイibro科学専攻
学 位 論 文 題 目	The Study on Application of Fiber-Reinforced Plastic(FRP) Tubes as Energy Absorption Element in Vehicles ( 繊維強化複合材料(FRP)の自動車のエネルギー吸収部材への 応用に関する研究 )
審 査 委 員	(主査)教授 濱田泰以 教授 藤井善通 教授 高倉章雄 准教授 仲井朝美

## 論文内容の要旨

自動車業界を取り巻く社会問題として、CO<sub>2</sub> 削減などの環境低減と衝突安全性の向上が挙げられる。これら 2 つの課題を解決するために、自動車業界では金属よりも軽量かつ比強度、比剛性の高い繊維強化プラスチック（以下 FRP）の適用が注目されている。筒状の FRP は軸方向に圧縮すると、一定の荷重を保ちながら安定的に破壊するという極めて特有な破壊現象を示し、金属材料よりもエネルギー吸収特性が高いことが知られている。しかしながら、破壊の複雑性、生産性、コスト高等様々な課題が実用化に対して足止めをしていた。

そこで本研究では、FRP のエネルギー吸収部材としての実用化を目標とし、高いエネルギー吸収性能、高生産性、低コストを達成する最適な設計指針を確立することを目的とした。

第 1 章においては、国内外における FRP のエネルギー吸収特性に関する研究動向を文献等の資料に基づいて述べ、これまで行われた様々な FRP のエネルギー吸収特性値や FRP のエネルギー吸収メカニズムについて述べた。

第 2 章においては、複合材料の強化形態がエネルギー吸収特性に及ぼす影響を検討し、その結果、組物複合材料の優位性を明らかにした。

第 3 章では部材の形状がエネルギー吸収特性に及ぼす影響を調べた。角筒は円筒よりも低いエネルギー吸収特性を示すことが明らかにされた。その詳細なメカニズム解明のため、一旦圧縮荷重を負荷して安定破壊に至った角筒を分割し、分割された角筒の一部の再圧縮試験を行うことにより平坦部と角部に作用する応力を検討する手法を用いた。その結果、角部に発生する応力は平坦部よりも高いことが明らかとなり、また平坦部では多数の繊維破壊が発生していないことから、角筒は円筒よりもエネルギー吸収特性が低くなることが示された。また、角筒における角部の半径を様々に変更することで、曲げ変形に伴うエネルギーと断面二次モーメントの関係を見出した。それにより、エネルギー吸収部材の設計においては、部材の断面二次モーメントが大きく、かつ圧縮時における圧縮応力が高くなれば、高いエネルギー吸収特性を達成できるという設計指針が確立できた。さらには第 2 章に述べた組物を適用し、円筒部と角筒部の両方から成る特殊な部材を作製し

た。この作製した部材は実用化を考慮した設計であり、角筒の部分は他の部材との接合を容易にさせるためである。以上により、組物を用いて実用レベルのエネルギー吸収部材の作製に成功した。別紙 0 2 (申請者: YANG Yuqiu)

第 4 章では、多数の繊維破壊を誘発させ、高いエネルギー吸収特性が常に達成できるような特殊なデバイスを設計した。それらは、破壊部全てを筒の内側に押し込む“内開き”、破壊部全てを筒の外側に展開させる“外開き”の 2 種類である。内開きデバイスが多数の繊維破断を誘発させることができ、高いエネルギー吸収特性を示すことが明らかとなった。また、高エネルギー吸収性能を達成させるための設計指針として、特殊デバイスにおける破壊導入部の最適な曲率半径や部材の最適な肉厚を算出した。

第 5 章では、これまで検討した部材の速度依存性を確認するために、内開きデバイスを用いた際の衝撃特性を検討した。その結果、衝撃による吸収エネルギーは静的による吸収エネルギーよりも低くなることが示された。第 6 章では、この研究の実証成果をまとめ、さらにそれらの結論の意味するところを吟味している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文では、FRP のエネルギー吸収部材としての実用化を目標とし、高いエネルギー吸収性能、高生産性、低コストを達成する最適な設計指針を提案している。高いエネルギー吸収特性を示す設計指針について、1. 断面二次モーメントが高い断面形状を有すること、2. 高い圧縮応力を実現させるための特殊デバイスを用いること、の 2 点を見いだしたことは、工業的に意義深い。また実用化を考慮した部材製作においては、強化形態に組物を用いることが有効であることを示しており、その具体例を製作していることは工業上有益である。

これらの研究成果により、今回設計した FRP エネルギー吸収部材は実用化できるものであり、今後自動車産業界への FRP 参入がますます加速するという観点からも評価できる。

本研究をまとめるに当たり基礎となったレフェリー制のある 6 報の論文を下記に記す。

- 1) Yuqiu Yang, Tadashi Uozumi, Asami Nakai, Hiroyuki Hamada, “A study of applicability of Fiber Reinforced Plastics as energy absorption member”, Review of Automotive Engineering, Vol.27, No.3, pp.477-481, 2006
- 2) 陽玉球, 魚住 忠司, 仲井 朝美, 濱田 泰以, “FRP のエネルギー吸収部材への応用に関する研究”, 自動車技術会論文集, Vol.37, No.4, pp.203-208, 2006
- 3) Yuqiu Yang, Asami Nakai, Tadashi Uozumi, Hiroyuki Hamada, “Energy Absorption Capability of 3D Braided-Textile Composite Tubes with Rectangular Cross Section”, Key Engineering Materials, Vol.334-335, pp.581-584, 2007
- 4) Y. Yang, Y. Nishikawa, A. Nakai, U. S. Ishiaku, H. Hamada, “Effect of cross-sectional geometry on the energy absorption capability of unidirectional carbon fiber reinforced composite tubes”, Science and Engineering of Composite Materials, Vol.15, pp.249-263, 2008
- 5) Y Yang, A Nakai, S Sugihara and H Hamada, “Energy absorption capability of Multi-axial warp knitted FRP tubes”, International Journal of Crashworthiness, (IJCR.344), accepted for publication

- 6) Y Yang, A Nakai and H Hamada, “A method to improve the energy absorption capability of fiber reinforced composite tubes”, International Journal of Crashworthiness, (IJCR.345), accepted for publication

上記 6 編すべて申請者が筆頭著者である。以上の結果より、本論文の内容には十分な新規性と独創性ならびに高い学術的な価値があることを全審査員が認めた。