

## 博士論文要旨

# 論文題名：短繊維強化樹脂複合材の寸法効果を考慮した強度信頼性評価に関する研究

立命館大学大学院理工学研究科  
機械システム専攻博士課程後期課程

サワダ タカヒコ  
澤田 貴彦

SFRP は、母材樹脂の高性能化によって高強度特性、軽量性、設計自由度、および生産効率性などの点で金属材料よりも優れることから、自動車、電機製品、および生活家電製品などの産業機械構造への適用が進んでいる。一方、SFRP は繊維の破断や抜け、あるいは樹脂割れが絡んだ複雑な破壊挙動を示す。また、強度の変動が大きいため、製品の安全性を保証するためには個別の要素試験や試作機の強度評価を繰り返して確認する必要がある。SFRP を構造材料として用途拡大するためには、強度特性に及ぼす各種因子の影響を明らかにし、設計者が扱いやすい汎用的な SFRP の強度設計技術を確立し、試験や試作を低減することが急務である。そこで本研究では、SFRP の強度特性に及ぼす寸法効果の影響を、材料試験、FEM 解析、および数値計算によって明確化し、簡便かつ実用的な強度評価法について検討した。

第 2 章では、射出成形およびコンプレッション成形された SFRP 試験片を 4 点曲げ強度試験と繊維分布の顕微鏡観察に供試し、修正された複合則により機械特性線図を求めた。第 3 章では、軸引張荷重とねじり荷重を組み合わせた多軸応力場における静的および疲労強度特性を取得し、異方性材料の静的破損基準に基づく無次元化応力の疲労寿命予測への有効性について検討した。第 4 章では、有限要素解析とワイブル統計に基づく有効体積理論を適用した強度予測法を構築し、有孔試験体の引張試験により予測法の妥当性を検証した。第 5 章では、破断強度に及ぼす  $v_f$  ならびに荷重荷重様式の影響を評価した。さらに、有効体積理論を積層材の破損則に組み入れることにより、コンプレッション成形された

SGP の多軸応力場における寸法効果を明らかにした。第 6 章では、コンプレッション成形された SGP の準静的強度を予測するための簡易的かつ効果的な強度予測法を提案した。第 7 章では、SGP の丸棒試験片に引張ねじり組合せ応力を負荷した場合の破断強度を取得し、ワイブル理論に基づく有効体積理論を適用して強度の寸法効果を検討した。最後に第 8 章では、第 2 章から第 7 章までで得られた結果を総括し、本研究の結論についてまとめた。

## Abstract of Doctoral Thesis

# Title: Study for Strength Reliability Evaluations Considering Size Effects in Short- glass-fiber-reinforced Plastics

Doctoral Program in Advanced Mechanical Engineering and Robotics  
Graduate School of Science and Engineering  
Ritsumeikan University

サワダ タカヒコ  
SAWADA Takahiko

SFRP (Short glass-fiber-reinforced plastics) has been often used in industrial products owing to its superior mechanical properties and low weight. However, SFRP generally exhibits complex fracture behavior, and occasionally break at a lower force than expected. Therefore, to assure the safety of SFRP products, testing must be performed continuously throughout production. Thus, the reliable strength evaluation methods are desired to satisfy the increased demand for SFRP products in the future.

SFRP specimens molded by injection and compression with various fiber volume fraction,  $v_f$ , were subjected to four-point flexural tests and micro-observations. The mechanical property diagram was obtained by applying the modified rule of mixture (**Chapter 2**). Static and fatigue strengths in multiaxial stress states were obtained by combining the tensile load and torsional torque. Fatigue life were estimated by applying the normalized stress defined by the failure criterion for orthotropic materials (**Chapter 3**). The strength estimation procedure was constructed by applying the EVT (Effective Volume Theory) based on the Weibull model and FEM analysis. The method was validated by material test using Open Hole specimens (**Chapter 4**). The static test of three- and four point flexural, and tensile and torsional combined were carried out for evaluating the effect of  $v_f$  and loading mode. Size effects on multiaxial stress states were clarified by substituting the EVT to the Tsai-Hill failure criterion (**Chapter 5**). A method of prediction that took into consideration the size effect based on the Weibull theory was proposed, and the measured values were compared with the predictions (**Chapter 6**). Tensile-torsional combined tests were carried out using round-bar specimens. The fracture strength was decreased with increasing the effective volume of the specimen regardless of  $v_f$  and loading mode (**Chapter 7**). Finally, the results of the thesis through **Chapter 2 to 7** are concluded and summarized in the **Chapter 8**.