

補助事業番号 2023M-333

補助事業名 2023年度 ポリアミドメッシュ挿入による内部複雑構造を有する炭素繊維強化複合材料の損傷抑制に関する研究 補助事業

補助事業者名 FikryMohammad

## 1 研究の概要

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)積層板は、一般に強い面内特性を持つが、層間の靱性などの面外特性は一般的に低いと見なされる。CFRPの実際の構造では、厚さを変えるためのテーパ一部やボルト穴配置による繊維不連続領域などの複雑な構造要素が、層内損傷の主要な発生箇所となり、続いて層間の破壊を引き起こす。材料におけるき裂の進行は、エネルギーを吸収し、き裂の発生と成長を防ぐ機能を取り入れることで抑制できる。本研究では、CFRP積層板の層間破壊靱性を向上させる一つの方法として、高靱性材料を層間に配置する方法を検討する。

## 2 研究の目的と背景

本研究では、炭素繊維強化プラスチックの層間破壊靱性を向上させ、層間損傷の発生を抑制する方法として、ポリアミド(PA)メッシュ材料の利用を検討した。具体的には、層間破壊靱性を向上させ、層間損傷の発生を抑制するために、層不連続領域を有する積層板構造にPAメッシュを局所的に配置し、其の効果を検証した。本研究では、PAメッシュ材料を組み込むことで層間破壊靱性を向上させるメカニズムを、Double Cantilever Beam (DCB) および End Notch Flexure (ENF) 試験を通じて検討した。さらに、引張荷重条件下で層不連続領域を持つ積層板の実験を通じて、CFRP積層板内でのPAメッシュの効果的な配置を確認した。この目的のために、完全に挿入されたPAメッシュ材料を連続層と不連続層の間に配置する方法と、樹脂ポケット(繊維不連続領域)の周辺に20 mmのPAメッシュ材料を局所的に挿入する方法の2つの異なる配置方法を使用した。

## 3 研究内容

ポリアミドメッシュ挿入による内部複雑構造を有する炭素繊維強化複合材料の損傷抑制に関する研究 ([https://www.rs.tus.ac.jp/~ogihara\\_lab/](https://www.rs.tus.ac.jp/~ogihara_lab/))

まずは、PAメッシュ挿入によるCFRPの層間破壊靱性を評価するために、DCBおよびENF試験を行った。試験片作製するには、PAメッシュを挿入し、オートクレーブ成形で硬化後、試験片に切断した。図1は、5つの試験片に対して行われたENF試験の荷重-たわみ曲線を示し、図2はモードII破壊靱性GIIC値の比較を示す。PAメッシュを挿入したCFRP積層板は、CFRP単体の約3倍のモードII破壊靱性を示している。この向上は、PAメッシュがCFRP層内に統合され、エネルギーを吸収し、き裂の軌跡を変えるためであると考えられる。

単軸引張試験に使用した試験片において、PAメッシュを挿入することで、層間はく離の抑制が確

認められた。図3は20 mmのPAメッシュを挿入した試験片の結果を示し、図4は完全にPAメッシュが挿入された試験片の結果を示す。20 mmのPAメッシュ試験片では、PAメッシュが局部的に挿入されているにもかかわらず、はく離が効果的に抑制され、積層板構造の安定性が確認された。一方、完全にPAメッシュが挿入された試験片では、応力-ひずみ曲線の非線形性が遅くなり、はく離の進行が非常に遅くなっている。これにより、CFRP積層板の破壊靱性が大幅に向上し、き裂進行が効果的に抑制されることがわかった。

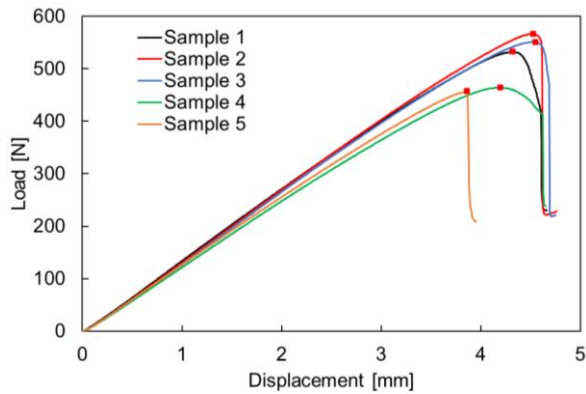


図1. ENF試験の荷重 - たわみ曲線.

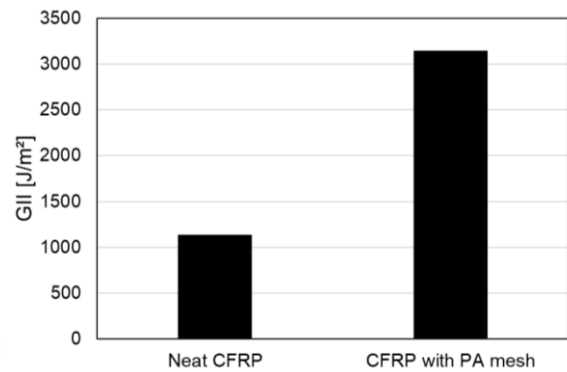


図2. CFRP単体積層板とPAメッシュを挿入したCFRP積層板のモードII層間破壊靱性の比較.

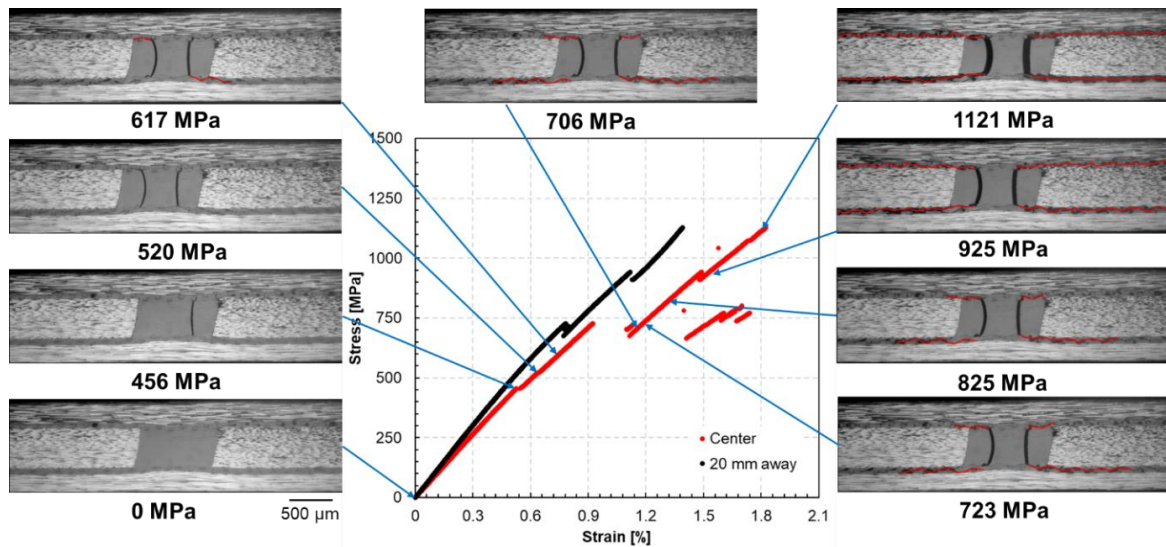


図3. 20 mmのPAメッシュを挿入した試験片の特定の応力レベルでの応力-ひずみ曲線および樹脂ポケット周辺の端面観察結果.

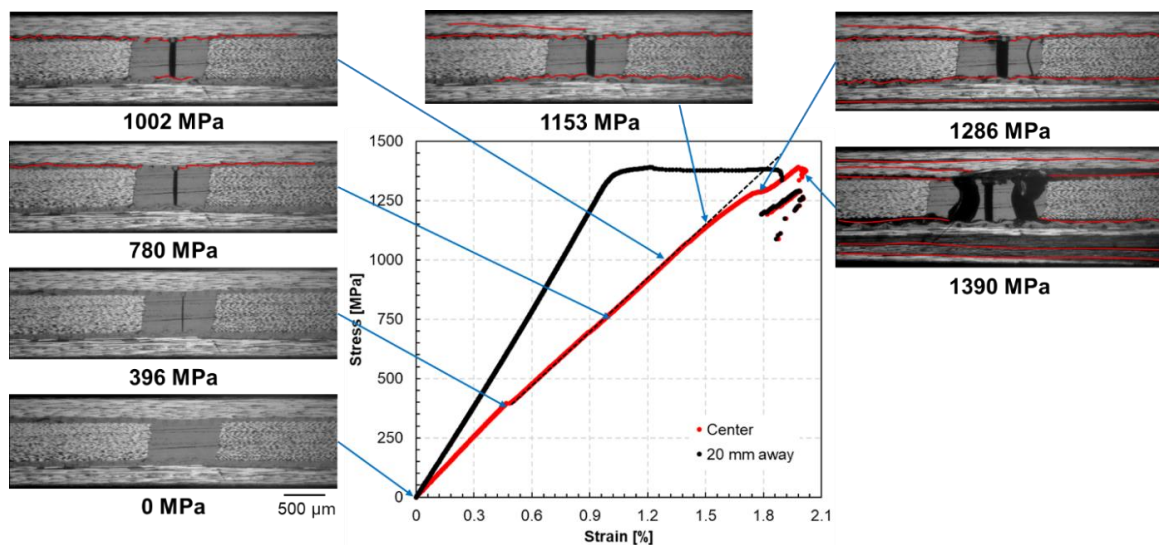


図4. 完全に挿入した試験片PAメッシュを有する試験片の特定の応力レベルでの応力-ひずみ曲線および端面観察結果.

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の結果に基づき、PAメッシュをCFRP積層板に挿入することで、モードIIの層間破壊靱性がCFRP単体の約3倍に向上するため、構造部材の耐久性が大幅に向上し、破壊の発生頻度が減少することが期待される。これにより、航空宇宙や自動車産業における安全性や信頼性の向上、さらには燃費の向上やCO<sub>2</sub>排出量の削減が期待される。また、PAメッシュの適切な配置により設計自由度が向上し、複雑な形状を持つ構造部材に対しても効率的に靱性を向上させることが可能となり、製造コストの削減も見込まれる。結果として、CFRP積層板の応用範囲が拡大し、風力発電用ブレードやスポーツ用品、高性能建築材料など、多岐にわたる分野での活用が期待される。

#### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまでに、CFRP積層板におけるマトリックスクラックの発生および進展過程の実験観察とモデル化、および層不連続部を有する積層板の微視的損傷発生および進展過程の実験および解析評価を行った。これらの研究により、CFRP積層板の微視的損傷観察および機械的解析技術の重要性が明らかになった。本研究では、PAメッシュを挿入したCFRP積層板の層間はく離抑制を目指し、層間破壊靱性の向上による複合材料の耐久性と信頼性の向上を目指す。特に、PAメッシュの使用により、航空宇宙や自動車産業における層間はく離の抑制に大きな改善が期待される。この研究は、これまでの微視的損傷観察および機械的解析技術を活用し、複合材料の性能向上を実現する新しいアプローチである。

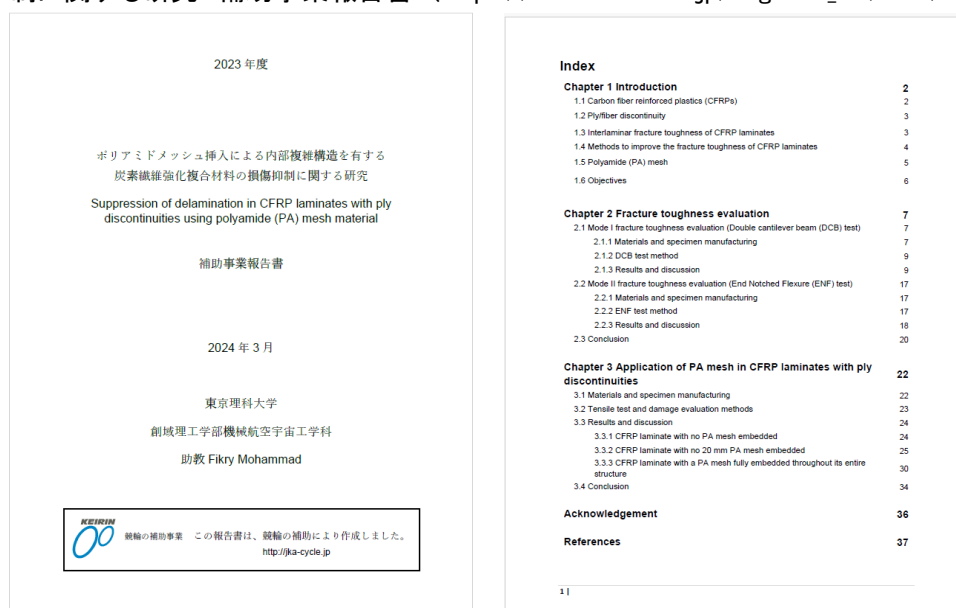
## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

M. J. Mohammad Fikry, Keisuke Iizuka, Hayato Nakatani, Satoru Yoneyama, Vladimir Vinogradov, Shinji Ogihara, Suppression of Delamination in CFRP Laminates with Ply Discontinuities using Polyamide Mesh Material, The 21st European Conference on Composite Materials, July 2024, Nantes, France (2024年7月発表予定)

## 7 補助事業に係る成果物

### (1) 補助事業により作成したもの

2023年度 ポリアミドメッシュ挿入による内部複雑構造を有する炭素繊維強化複合材料の損傷抑制に関する研究 補助事業報告書 ([https://www.rs.tus.ac.jp/~ogihara\\_lab/files/HP.pdf](https://www.rs.tus.ac.jp/~ogihara_lab/files/HP.pdf))



### (2) (1)以外で当事業において作成したもの

該当なし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東京理科大学 創域理工学部 (トウキョウリカダイガクソウイキリコウガクブ)

住所: 〒278-8510

千葉県野田市山崎2641

担当者: 助教 Fikry Mohammad (フィクリモハマド)

担当部署: 機械航空宇宙工学科荻原研究室

(キカイコウクウウチュウコウガツカオギハラケンキュウシツ)

E-mail: [fikry@rs.tus.ac.jp](mailto:fikry@rs.tus.ac.jp)

URL: [https://www.rs.tus.ac.jp/~ogihara\\_lab/](https://www.rs.tus.ac.jp/~ogihara_lab/)