

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 24 日現在

機関番号：17102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760684

研究課題名（和文） 強度特性に着目した廃 FRP の再利用に関する研究

研究課題名（英文） Study on reuse of waste FRP that directs attention to its strength characteristics

研究代表者

青野 雄太（AONO YUUTA）

九州大学・工学研究院・准助教

研究者番号：70264075

研究成果の概要（和文）：廃 GFRP の再利用方法として、廃 GFRP の破砕片を一方向強化 GFRP 積層板の層間材料として利用する方法について検討した。成形方法として真空含浸法による製作方法を開発した。試験片を製作し静的強度試験を行った結果、破砕片層によるせん断応力保持とき裂進展阻止効果が認められた。そして、実際の使用時に問題となる mode II 層間疲労き裂進展については、破砕片層によってき裂停留現象が生じることがわかった。

研究成果の概要（英文）：I investigated a reuse method of waste GFRP as an interleaf material of unidirectional GFRP laminates. Waste GFRP milled chips were used for the interleaf of composite laminates with vacuum assisted resin transfer molding. The interleaf causes the shear support and fiber bridging effect in static tests. Fatigue crack arrest by the interleaf was found in the mode II delamination fatigue test.

交付決定額

（金額単位：円）

|         | 直接経費      | 間接経費    | 合計        |
|---------|-----------|---------|-----------|
| 2009 年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 2010 年度 | 500,000   | 150,000 | 650,000   |
| 2011 年度 | 800,000   | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度      |           |         |           |
| 年度      |           |         |           |
| 総計      | 2,700,000 | 810,000 | 3,510,000 |

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・リサイクル工学

キーワード：再生利用、層間強化

## 1. 研究開始当初の背景

FRP 積層板の弱点である層間強度を改善するために様々な材料を層間材料として使用することが試みられている。これらの材料は一般的に高価である。そこで、本研究では廃 FRP の層間材料としての利用可能性について検討した。

## 2. 研究の目的

廃 FRP を層間材料とした FRP 積層板の開発とその強度特性、特に mode II 層間疲労き裂

進展特性を明らかにすることを研究目的とした。

## 3. 研究の方法

- (1) 廃 GFRP 破砕片挿入型 hybrid 複合材料の開発
- (2) 廃 GFRP 破砕片挿入型 hybrid 複合材料の静的強度特性の検討
- (3) 廃 GFRP 破砕片挿入型 hybrid 複合材料の mode II 層間疲労き裂進展特性の検討

#### 4. 研究成果

(1) 真空含浸法を用いた廃 GFRP 破砕片挿入型 GFRP 積層板の製作方法を開発した。



図1 廃 GFRP 破砕片

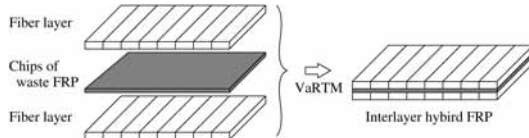


図2 破砕片挿入型 hybrid 複合材料

廃棄されたバスタブを、ラサ工業製破砕機およびアトマイザーによって破砕し、廃 GFRP 破砕片とした。図1に示す破砕片を水中で攪拌したものを薄くシート状に伸ばして乾燥し、破砕片層を作製した。基材には SARTEX 製一方向強化ガラス繊維織物を、樹脂には石川インキ製ビニルエステルを用い、図2に示すように真空含浸法を用いて破砕片挿入型 hybrid 複合材料を成形した。基材が10層を超えるような厚い場合には破砕片層の有無に関わらず未含浸領域が生じることが疲労試験で確認された。この点について改善が必要である。

(2) 廃 GFRP 破砕片挿入型 GFRP 積層板の静的強度を調べた結果、せん断応力による保持効果と繊維架橋によるき裂進展阻止効果が認められた。

樹脂および破砕片コンポジット(破砕片に樹脂を含浸させたもの)の静的引張および圧縮試験を行った。その結果、引張に関して破砕片コンポジットは強度も延性も大きく低下することがわかった。一方、圧縮に関しては試験方法の限界のため最終強度は測定できなかったが、樹脂と遜色ない結果が得られた。圧縮応力場は静水圧と純せん断応力場の和に等価であるため、主にせん断応力が作用する層間の強度の向上が期待されることがわかった。

次に hybrid 材および normal 材の引張試験結果について述べる。図3に hybrid 積層板0度材(繊維方向)の応力ひずみ曲線を示す。破砕片層の強度が極端に低いため、hybrid 材の引張強度は normal 材の強度より多少低下するものの複合則で予測されるほどは低くない。図4および5に hybrid 材および

normal 材の破断写真を示す。Hybrid 材は破砕片層に多重き裂がみられ全体として形を保っている。一方、normal 材は破断箇所から一方向繊維がばらばらに破断していることがわかる。このように hybrid 材ではせん断応力による荷重保持効果があり、normal 材に比べ破壊が安定的に生じると言える。

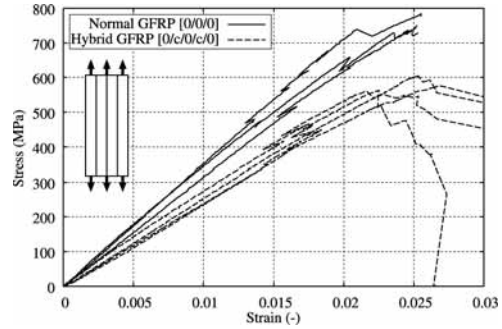


図3 0度材の応力ひずみ曲線



図4 0度 hybrid 材破断後の側面



図5 0度 normal 材破断後の側面

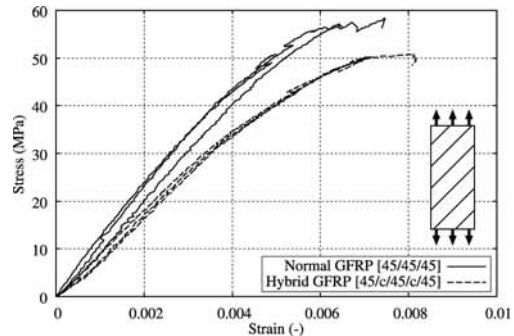


図6 45度材の応力ひずみ曲線

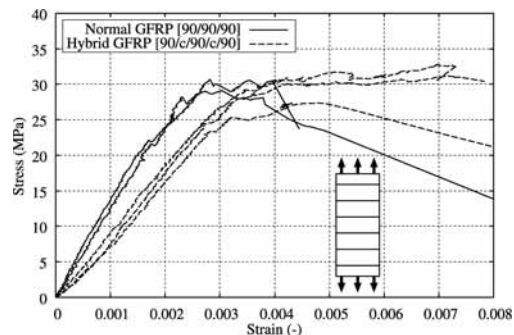


図7 90度材の応力ひずみ曲線

図6および7に、45度材および90度材の応力ひずみ線図を示す。これらの図から破砕片層による強度低下はそれほど大きくなく、破断ひずみはむしろ向上することがわかる。このような現象はせん断応力による保持効果や繊維架橋効果によって生じることが破面観察から確認できた。

(3) 廃GFRP破砕片挿入型GFRP積層板のmode II層間疲労き裂進展特性を調べた結果、破砕片層による疲労き裂停留現象が観察された。応力比0.1のENF疲労試験を行い、mode II層間疲労き裂進展特性を調査した。

図8にエネルギー解放率 $\Delta G_{II}$ とき裂進展速度 $da/dN$ の関係を示す。 $\Delta G_{II}$ が $600\text{J/m}^2$ 以上ではhybrid材とnormal材のき裂進展特性は変わらない。この場合、疲労き裂がhybrid材では基材層と破砕片層の層間を、normal材では基材と基材の層間を進むが、両者の強度がほぼ等しいためであると考えられる。一方、 $\Delta G_{II}$ が $600\text{J/m}^2$ より低い領域ではばらつきがみられ、hybrid材もしくはnormal材特有の現象に分類できない。hybrid材の場合、破砕片層の摩擦によって疲労き裂進展速度の低下がみられたものがある一方で、樹脂の未含浸領域を疲労き裂が進展したものもあった。成形が不十分な箇所はnormal材にも存在し、そのような箇所がある場合、き裂進展速度は速くなった。したがってこの負荷レベルでは成形状態によってき裂進展速度にばらつきが生じると考えられる。

さらに負荷レベルを下げると、hybrid材では疲労き裂停留現象が見られた。図9にき裂進展曲線を示す。最大荷重0.44kNの場合、hybrid材では繰返し数 $2 \times 10^6$ 程度から停留現象が見られた。そこで、一旦最大荷重を0.49kNに上げて $3 \times 10^6$ 程度まで強制的にき裂を進展させた。その後、最大荷重を0.44kNに戻したが、き裂は再び停留した。損傷観察の結果、破砕片層に生じるmode Iき裂やき裂面の摩擦により停留が生じていると考えられる。

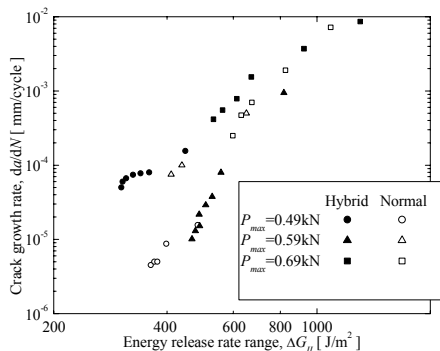


図8  $\Delta G_{II}$ と $da/dN$ の関係

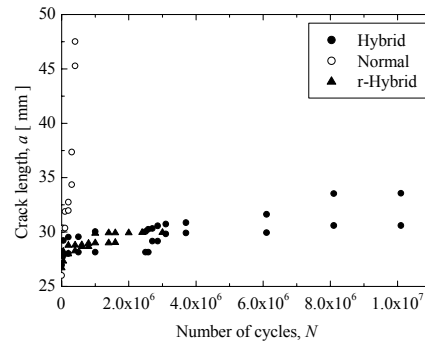


図9 き裂進展曲線、  
最大荷重0.44kNの場合

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計4件)

① 村江祥太、青野雄太、野口博司、廃GFRPを層間強化材に用いたFRPの開発と強度特性の評価、日本機械学会九州学生会第41回卒業研究発表講演会、2010年3月9日、宮崎県

② 久保俊彦、青野雄太、野口博司、廃GFRP破砕片を層間に挿入したGFRPのモードIIはく離疲労き裂進展特性、日本機械学会九州学生会第42回卒業研究発表講演会、2010年3月11日、大分県

③ Yuuta Aono, Shota Murae, Toshihiko Kubo, Statistical Mechanical Properties of GFRP Laminates with Waste GFRP Laminates, 11<sup>th</sup> International Conference on the Mechanical Behavior of Materials, 2011-6-8, Italy

④ 横川秀斗、青野雄太、野口博司、GFRP積層板の層間に挿入した廃GFRPがモードII疲労き裂進展に及ぼす影響、日本機械学会九州学生会第43回卒業研究発表講演会、2010年3月12日、長崎県

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

青野 雄太 (AONO YUUTA)  
九州大学・大学院工学研究院・准助教  
研究者番号：70264075

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：