

炭素繊維強化ポリプロピレン の界面接着性と力学特性の 評価

システム創成学専攻
安全評価工学研究室
修士課程2年
086383 山内 美穂
指導教員 高橋 淳 教授

発表構成

- 研究背景
- 実験a 界面せん断応力測定
 - 実験 I マイクロドロプレット法
 - 実験 II フラグメンテーション法
- 実験b CFRTPの力学特性の評価
 - 実験III静的三点曲げ試験
 - 実験IVアイゾッド衝撃試験
- 結論と今後の課題

研究背景 CFRPの特徴

CFRTS 熱硬化性樹脂(Thermo-setting resin :TS)

利点

- 耐熱性
- 耐薬品性
- 比強度
- 疲労特性

課題

- 高コスト
- 大規模な成形設備
- 長い成形時間
- リサイクルが難しい

CFRPを量産車に適用するには

熱可塑性樹脂(Thermoplastics resin :TP)の利用

コスト低減、迅速成形、リサイクルの実現

研究背景 CFRPの特徴

CFRTP 熱可塑性樹脂(Thermoplastics :TP)

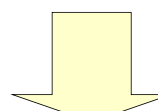
利点

- 加工性
- 補修性
- リサイクル性

課題

強化繊維とマトリックス樹脂の界面接着性が不十分

樹脂	界面せん断強度[MPa]	
	未処理繊維	表面処理繊維
エポキシ	13	37
ポリプロピレン	3	6

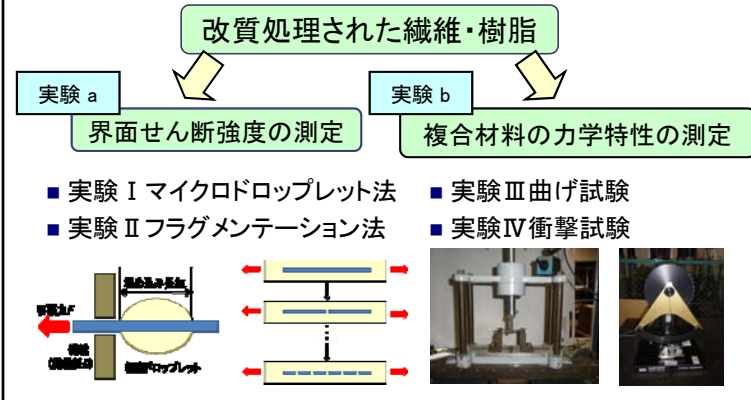


CFRTP材料技術・生産技術開発・確立による用途拡大のための主要課題

炭素繊維/熱可塑性樹脂の接着性向上技術の開発

本研究の目的

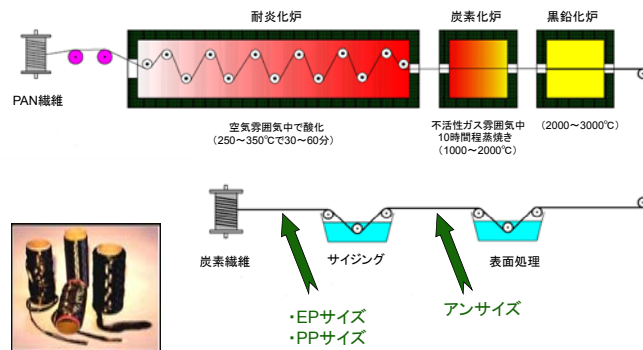
目的: 界面せん断強度の測定による繊維/樹脂改質処理効果の評価
 繊維強化材の力学特性と界面接着性の関係の評価



発表構成

- 研究背景
- 実験a 界面せん断応力測定
 - 実験 I マイクロドロップレット法
 - 実験 II フラグメンテーション法
- 実験b CFRTPの力学特性の評価
 - 実験 III 静的三点曲げ試験
 - 実験 IV アイゾッド衝撃試験
- 結論と今後の課題

炭素繊維の生成過程、繊維表面処理



実験に使用した繊維・樹脂の種類

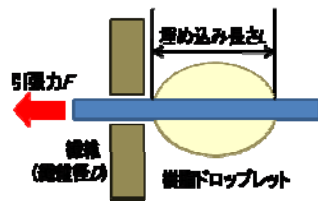
- 繊維a
 - アンサイズCF
- 繊維b
 - ポリプロピレン(PP)用のサイジング剤を塗布したCF
- 繊維c
 - 汎用CF(エポキシ樹脂(EP)用のサイジング剤を塗布)
- 繊維d
 - 繊維cのサイジング剤を改良したサイジング剤を塗布したCF
- PPIは無水マレイン酸添加量を変更

繊維	PPへの無水マレイン酸添加量					
	0%	0.5%	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%
繊維a	a/0%	a/0.5%	a/1.0%	a/1.5%	a/2.0%	a/2.5%
繊維b	b/0%	b/0.5%	b/1.0%	b/1.5%	b/2.0%	b/2.5%
繊維c	c/0%	c/0.5%	c/1.0%	c/1.5%	c/2.0%	c/2.5%
繊維d	d/0%	d/0.5%	d/1.0%	d/1.5%	d/2.0%	d/2.5%



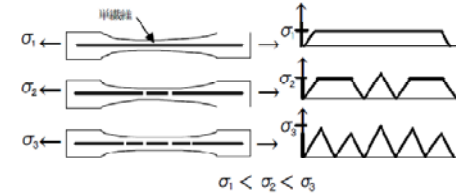
実験Ⅰ：マイクロドロプレット法による界面せん断強度測定

マイクロドロプレット法の原理



複合材界面特性評価装置
MODEL HM410

実験Ⅱ：フラグメンテーション法による界面せん断強度測定



- 樹脂製の引張り試験片に単繊維を埋め込む
- 負荷することにより繊維が破断して臨界繊維長 L_c の断片になるまで引張り荷重を加える
- この時の臨界繊維長と繊維直径 D に対する繊維引張り強度がわかれば界面せん断強度が求められる

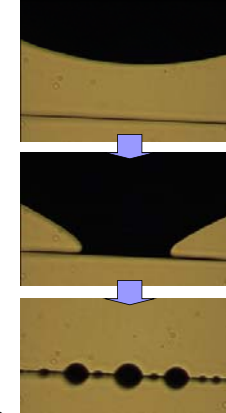
発表構成

- 研究背景
- 実験a 界面せん断応力測定
 - 実験Ⅰ マイクロドロプレット法
 - 実験Ⅱ フラグメンテーション法
- 実験b CFRTPの力学特性の評価
 - 実験Ⅲ 静的三点曲げ試験
 - 実験Ⅳ アイゾッド衝撃試験
- 結論と今後の課題

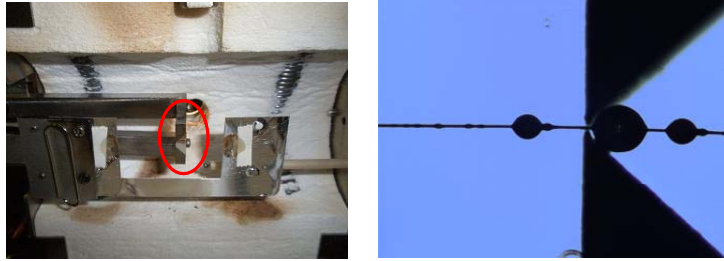
実験Ⅰ：マイクロドロプレット法 試験体作製



樹脂付けの様子



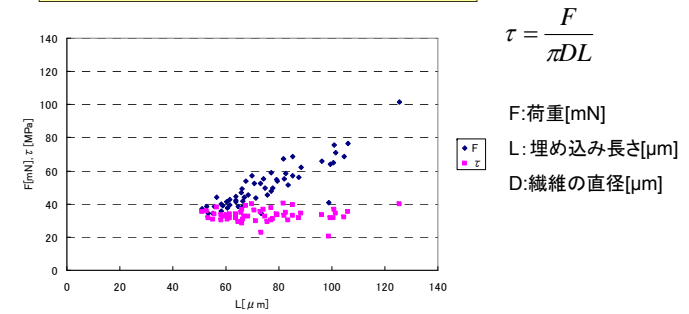
実験 I : マイクロドロプレット法 引き抜き試験



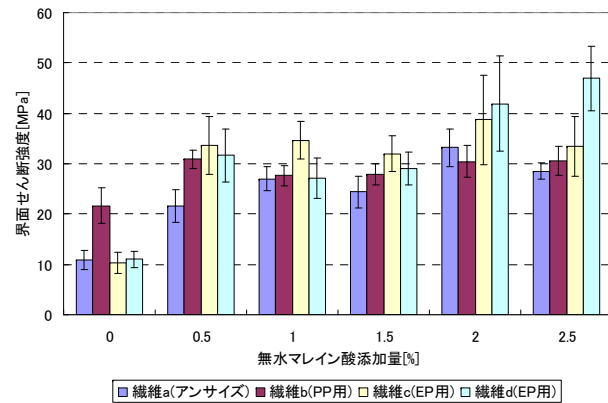
速度0.12mm/min、ロードセル最大荷重200mN

実験 I : マイクロドロプレット法 測定結果

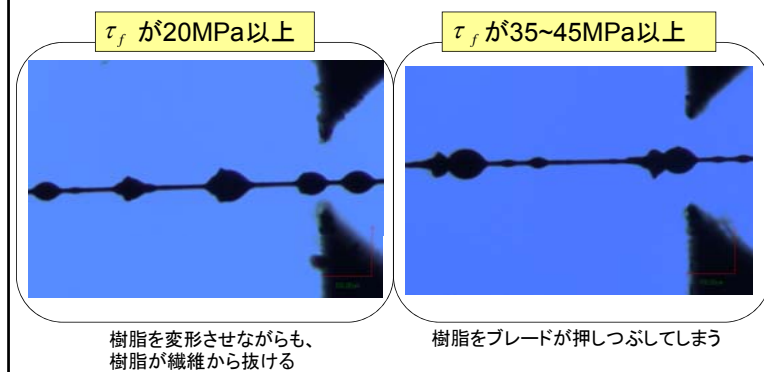
例 繊維a(アンサイズ)/2.0%無水マレイン酸添加PP



実験 I : マイクロドロプレット法 測定結果 界面せん断強度



実験 I : マイクロドロプレット法 測定範囲の上限



実験Ⅰ：マイクロドロプレット法 実験のまとめ

■ 繊維の改質

- 無水マレイン酸を添加していないPP
 - PP用サイジング剤を施した繊維が他の繊維と比較して約2倍のせん断強度となった
- 無水マレイン酸を添加したPP
 - EP用サイジング剤を塗布したCFの方がより高い界面せん断強度を示した

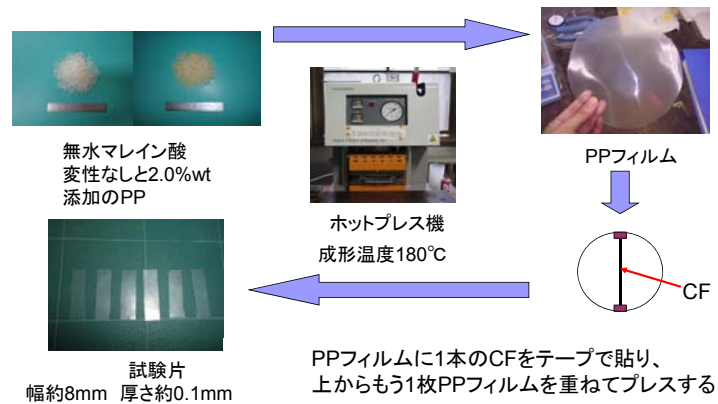
■ 樹脂の改質

- 無水マレイン酸添加により接着性向上の効果は大きかった

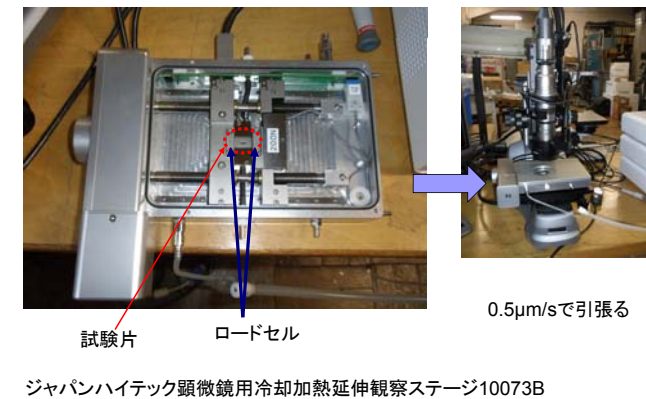
発表構成

- 研究背景
- 実験a 界面せん断応力測定
 - 実験Ⅰ マイクロドロプレット法
 - 実験Ⅱ フラグメンテーション法
- 実験b CFRTPの力学特性の評価
 - 実験Ⅲ 静的三点曲げ試験
 - 実験Ⅳ アイゾッド衝撃試験
- 結論と今後の課題

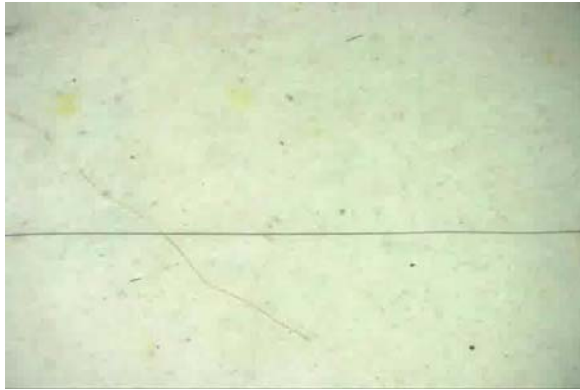
実験Ⅱ：フラグメンテーション法 試験片作製



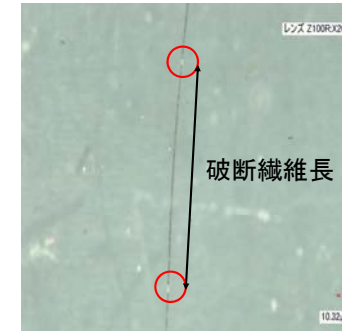
実験Ⅱ：フラグメンテーション法 引張試験



実験Ⅱ：フラグメンテーション法 顕微鏡での観察



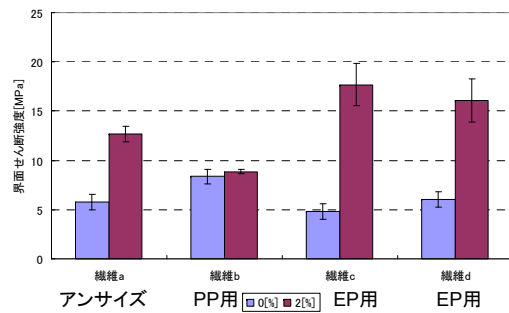
実験Ⅱ：フラグメンテーション法 顕微鏡での観察



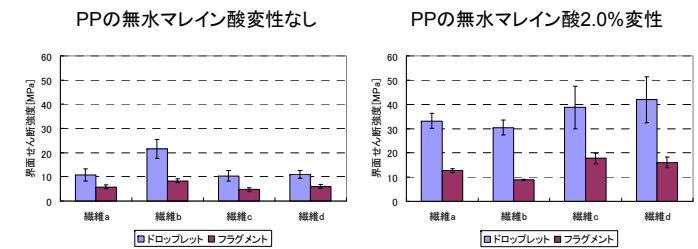
$$\tau_i = \frac{D\sigma_f}{2L_c}$$

σf: 繊維強度
D: 繊維の直径[μm]
Lc: 臨界繊維長

実験Ⅱ：フラグメンテーション法 測定結果 界面せん断強度



実験ⅠとⅡ 界面せん断強度測定結果の比較

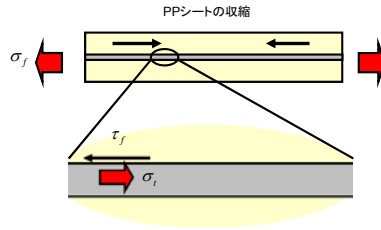


2つの手法による結果は相対的な関係は極めて良く一致しているが、絶対値には2倍以上の差が見られる

実験 I と II

ドロップレットとフラグメンテーションによる結果の差

- フラグメンテーション法の試験片の作成時にCFとPPの熱膨張係数の差に起因して発生する残留熱応力の影響が考えられる
- 線膨張率
 - PP $110 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$
 - CF $-1.1 \times 10^{-6} \text{K}^{-1} \sim 0$
- 温度変化 ΔT は145K(PPの融点の約165°Cから約20°Cに冷却)
- 残留応力は最大で約3.8GPa(ひずみ換算で約1.6%)が作用する



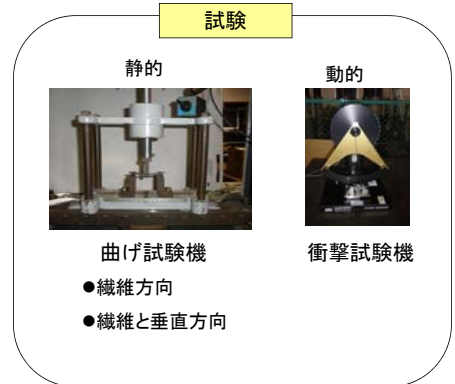
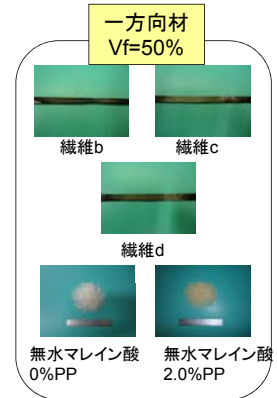
実験 II : フラグメンテーション法 実験のまとめ

- 繊維と樹脂の改質による接着性向上の効果はマイクロドロップレット法で得られた結果と同じであり、相対的な関係も極めてよく一致していた
- 熱収縮による残留応力の影響のため界面せん断強度はマイクロドロップレット法に比べ小さくなった

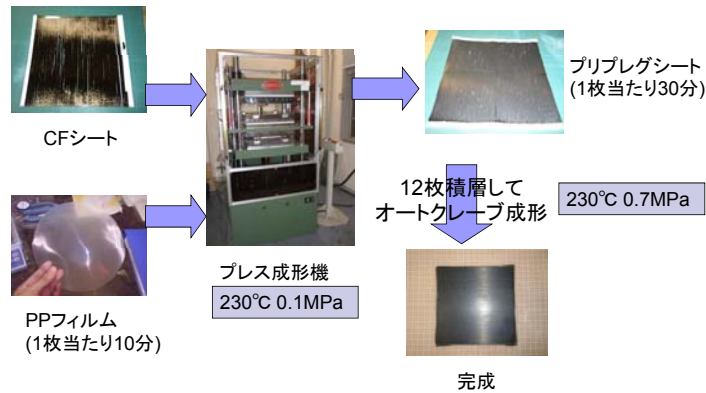
発表構成

- 研究背景
- 実験a 界面せん断応力測定
 - 実験 I マイクロドロップレット法
 - 実験 II フラグメンテーション法
- 実験b CFRTFの力学特性の評価
 - 実験Ⅲ静的三点曲げ試験
 - 実験Ⅳアイゾッド衝撃試験
- 結論と今後の課題

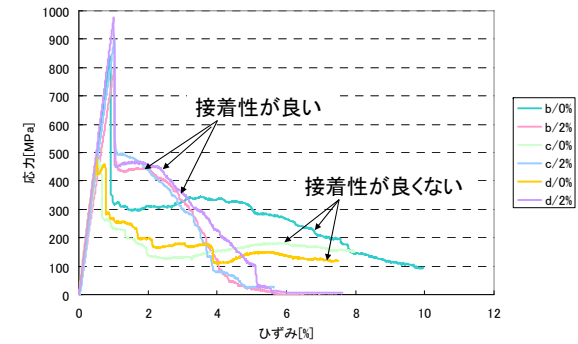
実験方法



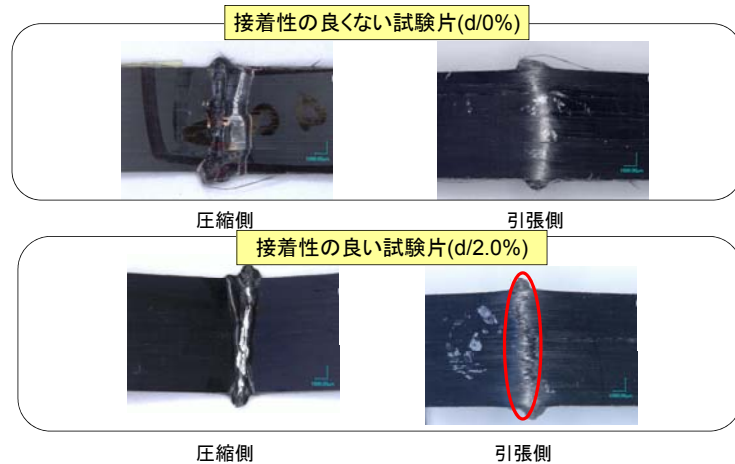
試験片作製



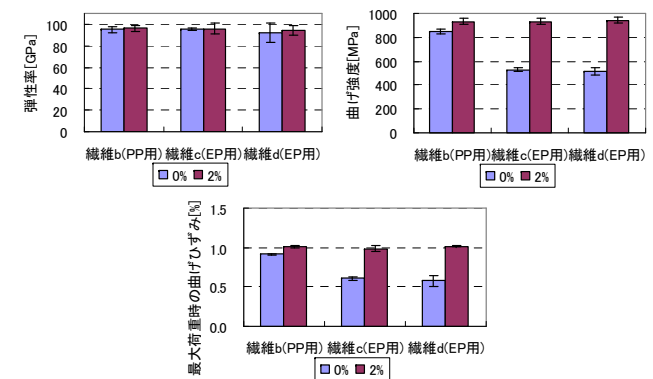
実験Ⅲ静的三点曲げ試験 繊維方向 応力ひずみ線図



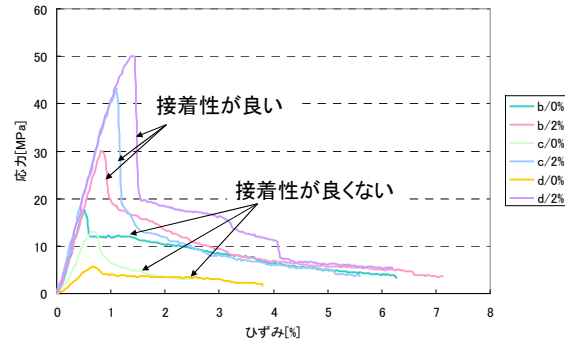
実験Ⅲ静的三点曲げ試験 繊維方向 試験片の観察



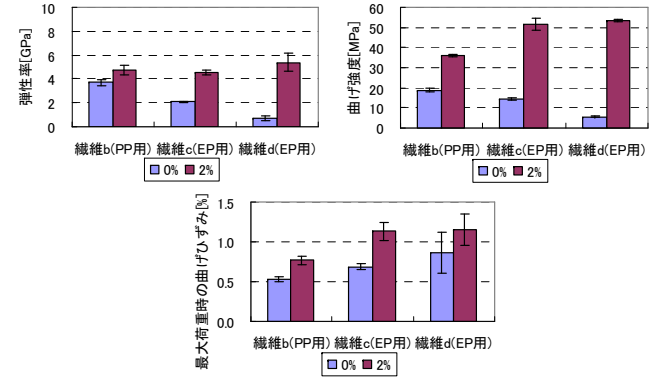
実験Ⅲ静的三点曲げ試験 繊維方向 試験結果



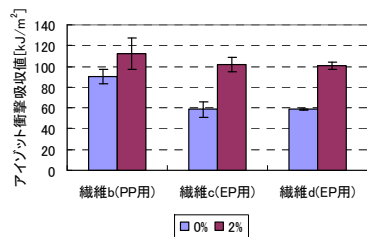
実験Ⅲ静的三点曲げ試験 繊維と垂直方向 応力ひずみ線図



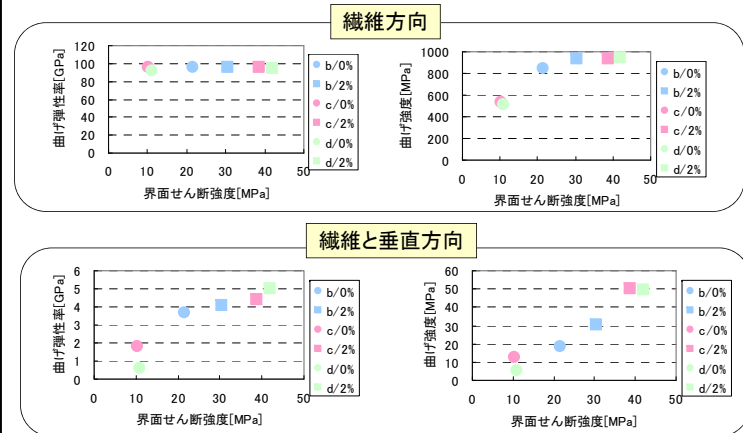
実験Ⅲ静的三点曲げ 繊維と垂直方向 試験結果



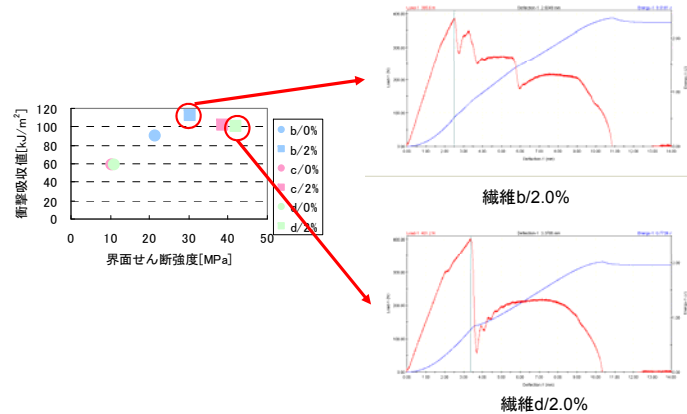
実験Ⅳアイゾット衝撃試験 試験結果



実験Ⅲ静的三点曲げ試験 界面せん断強度と力学特性の関係



実験Ⅳアイゾッド衝撃試験 界面せん断強度と力学特性の関係



実験Ⅲ &Ⅳ まとめ

- 界面せん断強度の向上により力学特性が向上した
 - 繊維方向
 - 界面せん断強度がある程度高くなると性能は変わらない
 - 繊維と垂直方向
 - 接着性が高くなればなるほど性能は良くなる
 - 積層材の場合、繊維方向と、繊維と垂直方向の両方の力学特性が必要となるため、界面せん断強度の測定によって積層材の力学特性を評価できる
- 衝撃吸収値は接着性が良いほど大きくなるわけではなかった

発表構成

- 研究背景
- 実験a 界面せん断応力測定
 - 実験Ⅰ マイクロドロプレット法
 - 実験Ⅱ フラグメンテーション法
- 実験b CFRTPの力学特性の評価
 - 実験Ⅲ 静的三点曲げ試験
 - 実験Ⅳ アイゾッド衝撃試験
- 結論と今後の課題

結論

- | 実験 a | 実験 b |
|---|---|
| 界面せん断強度の測定 | 複合材料の力学特性の測定 |
| <ul style="list-style-type: none"> ■ EP用サイズ剤を塗布したCFと無水マレイン酸変性のPPの組み合わせが最も接着性が良かった ■ マイクロドロプレット法 <ul style="list-style-type: none"> □ 測定できる界面せん断強度に上限がある ■ フラグメンテーション法 <ul style="list-style-type: none"> □ 残留熱応力の影響を受ける ■ 両者の方法から得られた界面せん断強度の相対関係は非常に良く一致した | <ul style="list-style-type: none"> ■ 界面接着性と力学特性には相関関係があった ■ 積層材の場合、界面せん断強度の測定によって積層材の力学特性を評価できる ■ 衝撃吸収値は接着性がよくなるほど、大きくなるわけではない |

今後の課題

- 以下のような検討が期待される
 - 成形性(樹脂含浸性、賦形性、二次加工性等)も合わせた総合的性能への最適な無水マレイン酸変性量
 - アニール等による結晶化度の影響

ご清聴ありがとうございました