

廃棄光ファイバを用いた短繊維 エココンポジットの創成

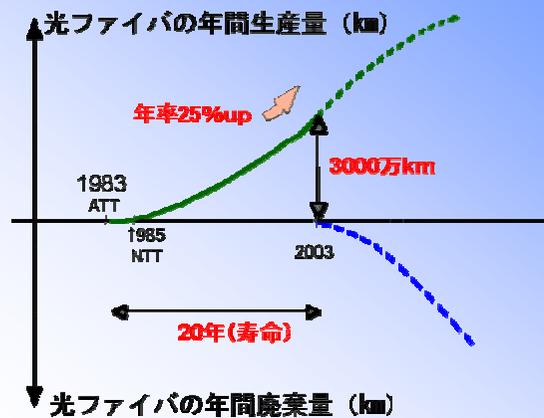
指導教官

高橋 淳 助教授

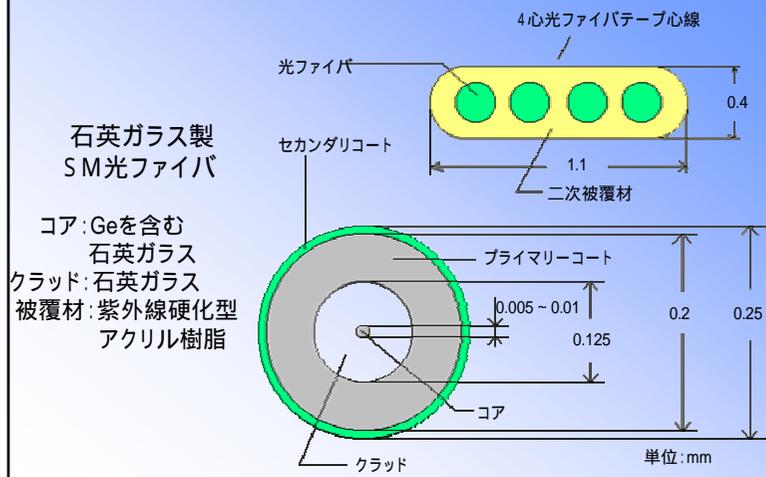
吉成 仁志助教授

00385 森本 晋介

研究の背景



光ファイバの構造



他の強化繊維との比較

	光ファイバ	ガラス繊維	汎用の カーボン繊維	最高の カーボン繊維
比重(g/cm ³)	2.2	2.5	1.5	1.5
強度(MPa)	4800	2500	1500	5500
比強度(×10 ⁵)	2.2	1.0	1.0	3.7
破断歪(%)	5.8	4.9	2	1.9

現在はゴミとして処理に困っている光ファイバ



優れた複合材料となる可能性が大きい

本研究の内容

光ファイバを複合材料の強化繊維として利用するための基礎的研究
(OFRP: Optical Fiber Reinforced Plastics)

強化繊維としての性能改善

リサイクル方法を考慮に入れると長繊維の利用は難しい。



本研究では短繊維の利用を考える。



最適設計のための限界繊維長さの推定



本研究の内容

光ファイバを複合材料の強化繊維として利用するための基礎的研究
(OFRP: Optical Fiber Reinforced Plastics)

強化繊維としての性能改善

リサイクル方法を考慮に入れると長繊維の利用は難しい。



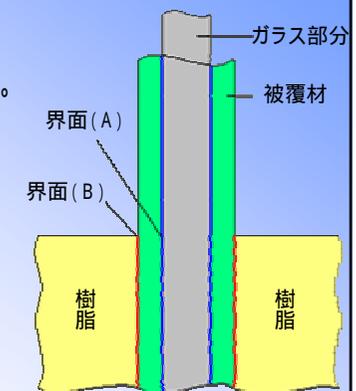
本研究では短繊維の利用を考える。



最適設計のための限界繊維長さの推定

強化繊維として用いる時の問題点

- 荷重をほとんど受け持たない被覆材の比率が高い。
- ガラス部分と被覆材の界面接着力が弱い。
- 被覆材とマトリックスの界面接着力が弱い。



問題解決方法として熱処理

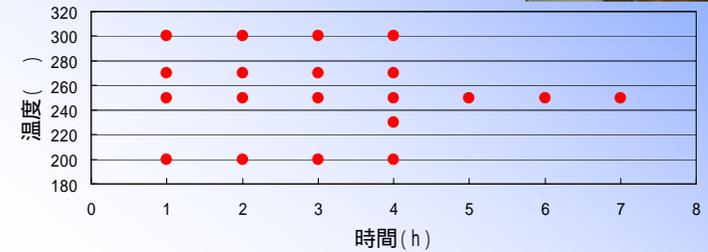
- 被覆材の収縮による直径の縮小。
- ガラス部分と被覆材の界面接着力の向上。
- 被覆材とマトリックスの界面接着力の向上。
- 光ファイバの特徴である高強度は不変。

熱処理条件

アクリル樹脂の射出成型温度は210～260



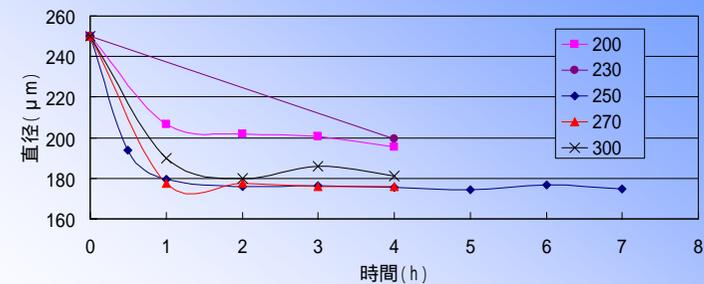
200、230、250、270、300
の各温度において1時間刻みで熱処理



実験内容

被覆材の収縮による光ファイバ直径の縮小の視点から最適熱処理温度及び時間を求める。

熱処理と光ファイバの直径



繊維含有率の向上と投入するエネルギー量を考慮
250 で1時間の熱処理が最適

実験内容

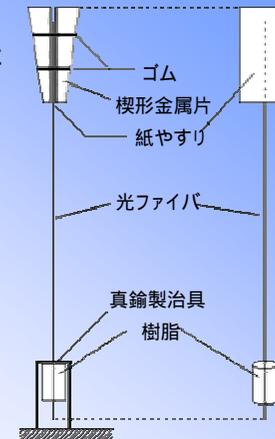
被覆材の収縮による光ファイバ直径の縮小の視点から熱処理温度及び時間を求める。

引抜試験をすることで界面接着力の視点から最適熱処理温度及び時間を求める。

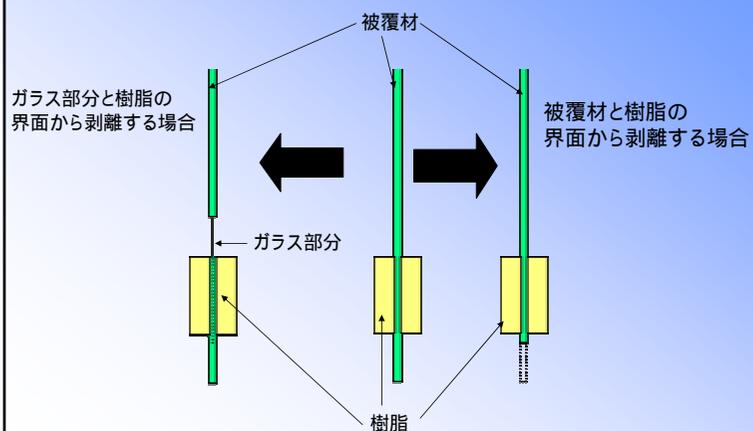
光ファイバの引抜試験

目的： 被覆材とガラス部分及び樹脂と被覆材の両界面接着力の向上を調べること。
界面特性の視線から最適熱処理温度及び時間を求めること。

- 不飽和ポリエステル樹脂を使用。
- 40 16時間の後硬化。
- 埋め込み長さは7mm。



破壊様式の違い



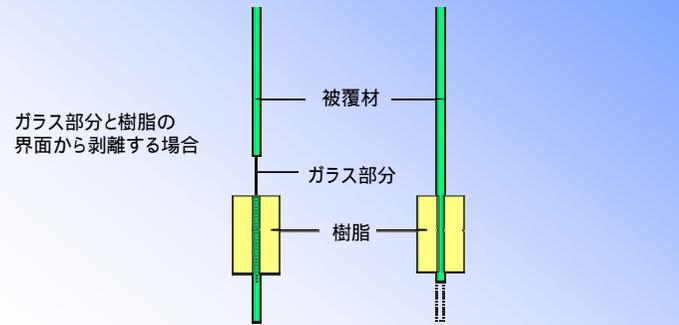
破壊様式の遷移

		時 間 (h)							
		0	1	2	3	4	5	6	7
温 度 (° C)	230		-	-	-	■	-	-	-
	250		■	■	■	■	■	■	■
	270			■	■	■	-	-	-
	300			-	-	-	-	-	-

□	全てガラス部分から抜ける場合
■	1本だけ被覆材ごと抜ける場合
■	3本は被覆材ごと抜ける場合
■	1本だけガラス部分から抜ける場合
■	全て被覆材ごと抜ける場合

ガラス部分と被覆材の界面破壊

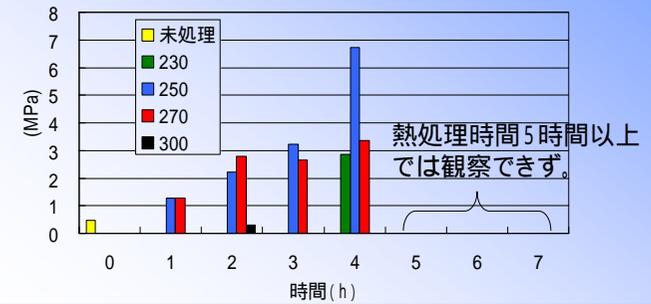
熱処理時間0～4時間で発生



引張強度 > 被覆材と樹脂の界面強度 > ガラス部分と被覆材の界面強度

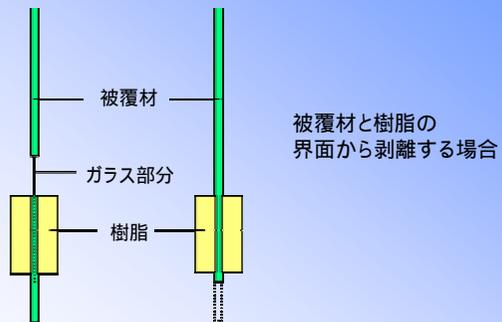
ガラス部分と被覆材の界面強度

$$= \frac{\text{引抜荷重}}{\pi \times (\text{クラッド直径}(0.125)) \times (\text{光ファイバ長})}$$



被覆材と樹脂の界面破壊

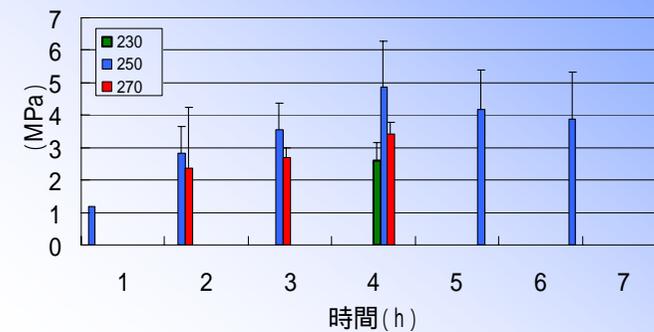
熱処理時間2時間以上で発生



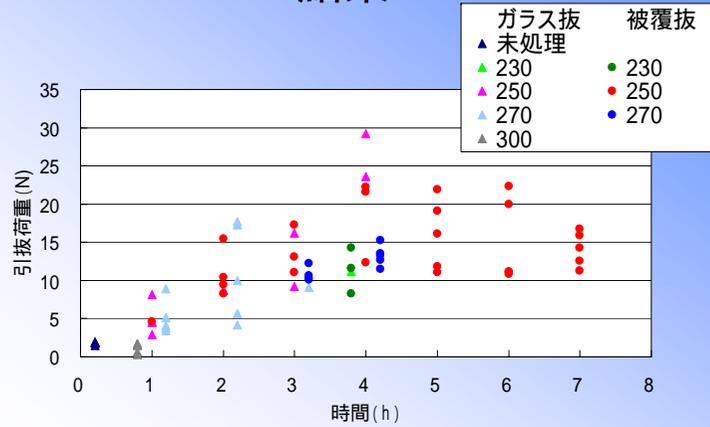
引張強度 > ガラス部分と被覆材の界面強度 > 被覆材と樹脂の界面強度

被覆材と樹脂の界面破壊強度

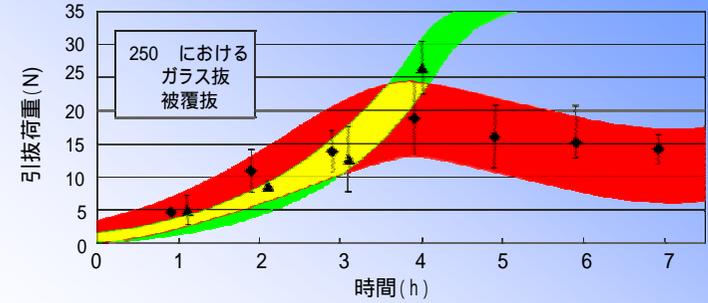
$$= \frac{\text{引抜荷重}}{\pi \times (\text{被覆材も含む光ファイバ直径}) \times (\text{埋込長})}$$



結果



最適熱処理温度及び時間



最適熱処理温度及び時間 → 250 4時間

実験内容

被覆材の収縮による光ファイバ直径の縮小の視点から最適熱処理温度及び時間を求める。

引抜試験をすることで界面接着力の視点から最適熱処理温度及び時間を求める。

強化繊維として繊維の強度を生かせる限界長さの推定。

限界長さの推定

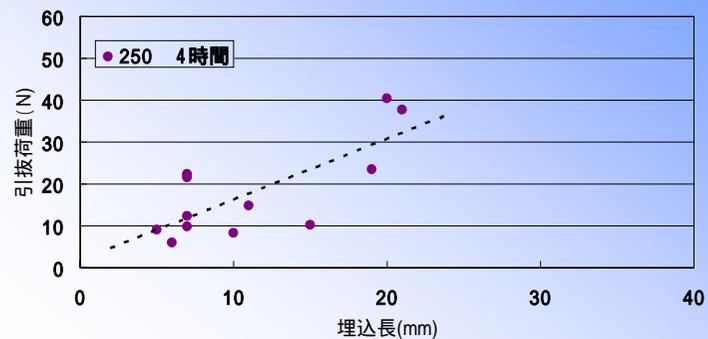
埋め込み長さを長くしていくと引抜荷重が増す。
引抜荷重が光ファイバの破断荷重 (58.4N) に達すると引き抜けるより先に光ファイバ自体が破断する。
逆にこの長さ以下では強化繊維として繊維の強度を十分に活用していないことになる。
リサイクル材はこの長さ以上とすべきである。



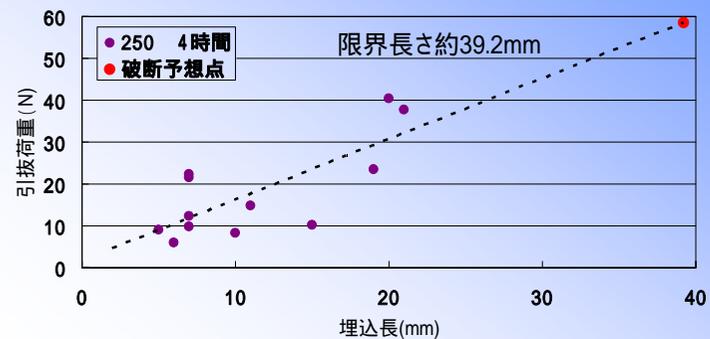
その埋め込み長さ (= 強化繊維としての限界繊維長さ) を推定

250 4時間の繊維
埋め込み長さを 5、10、15、20mm 変更

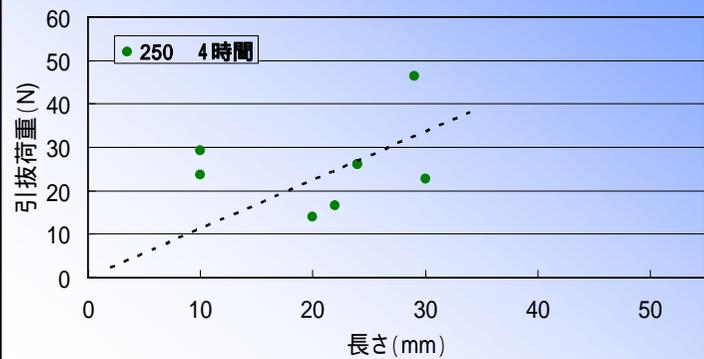
被覆材と樹脂の界面破壊 から求めた限界長さ



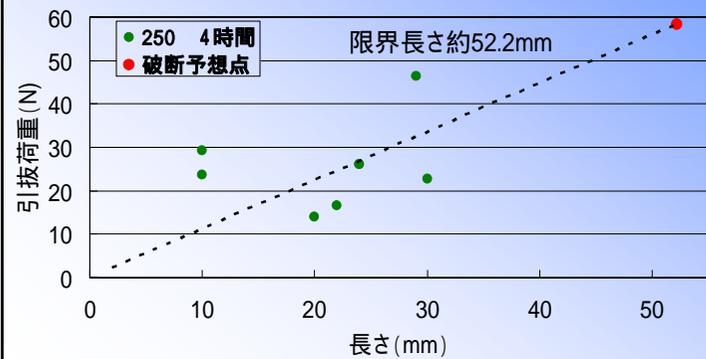
被覆材と樹脂の界面破壊 から求めた限界長さ



ガラス部分と被覆材の界面破壊 から求めた限界長さ



ガラス部分と被覆材の界面破壊 から求めた限界長さ



限界長さ

被覆材と樹脂(不飽和ポリエステル)の界面:約4cm
ガラス部分と被覆材の界面:約5cm



今回の樹脂(不飽和ポリエステル)を使用:約4cm
より接着の良い樹脂を使用:約5cm



リサイクルするときは5cm以上の長さで

実験内容

被覆材の収縮による光ファイバ直径の縮小の視点から最適熱処理温度及び時間を求める。

引抜試験をすることで界面接着力の視点から最適熱処理温度及び時間を求める。

強化繊維として繊維の強度を生かせる限界長さの推定。

引張試験により引張強度に与える熱処理の影響を調べる。

光ファイバの引張試験

目的:熱処理による引張強度への影響調査

未処理の光ファイバ
熱処理をした光ファイバ
被覆を剥いだ光ファイバ



結果

破断荷重

未処理 58.7N

熱処理 58.4N

被覆剥 5.1N

伸び

未処理 5.75%

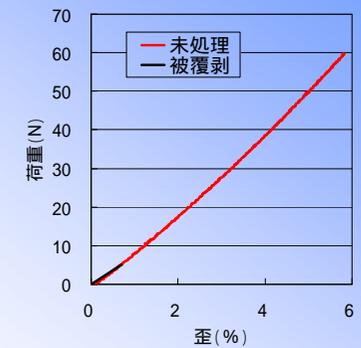
熱処理 5.76%

被覆剥 0.75%(推定)

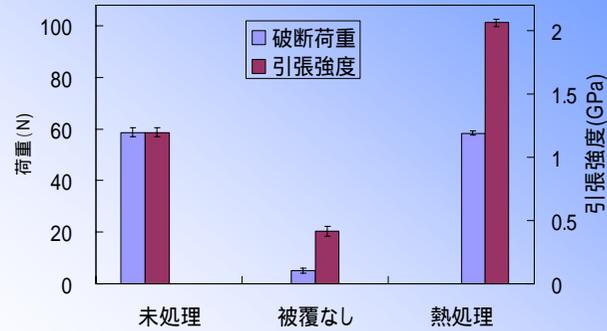
ヤング率

未処理 74.2GPa

熱処理 76.0GPa



強度の比較



熱処理を施した光ファイバが最優秀

実験内容

被覆材の収縮による光ファイバ直径の縮小の視点から最適熱処理温度及び時間を求める。

引抜試験をすることで界面接着力の視点から最適熱処理温度及び時間を求める。

強化繊維として繊維の強度を生かせる限界長さの推定。

引張試験により引張強度に与える熱処理の影響を調べる。

実際に短繊維光ファイバによる複合材料を作製。

短繊維によるOFRPの作製

250 4時間熱処理した光ファイバを使用

樹脂は不飽和ポリエステル樹脂を使用

5 cmの短繊維を使用

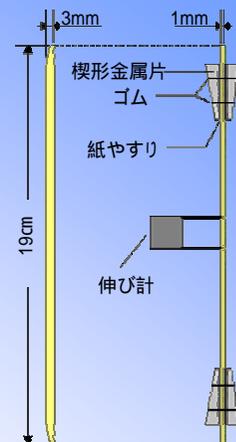
繊維の総長さは1.8m (5 cm × 36本)

繊維含有率(Vf)

4.1% (ガラス部分のみ)

8.0% (熱処理)

16.4% (未処理)



結果

樹脂のみの試験片に比べて

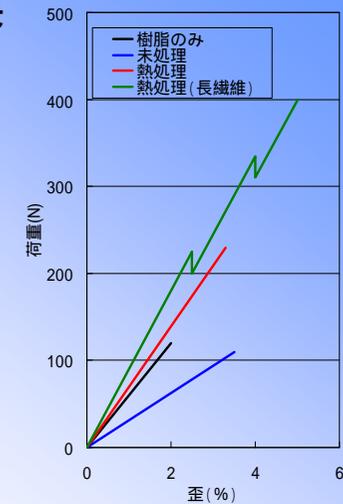
荷重

未処理の光ファイバ 0.96倍
熱処理をした光ファイバ 1.81倍

剛性

未処理の光ファイバ Down
熱処理をした光ファイバ Up

熱処理をした場合のみ
補強効果は確認できた



結論

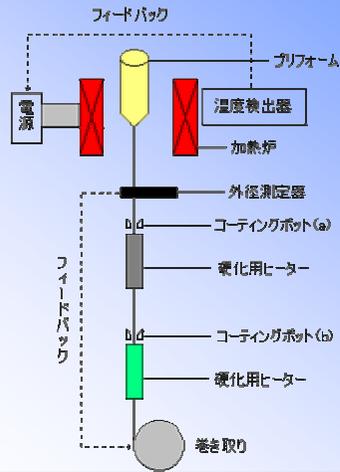
- 光ファイバを複合材料の強化繊維として用いる場合、最も有力な処理方法は熱処理である。
- ガラス部分と被覆材及び被覆材と樹脂の両界面の接着力の比較より、250 で4時間の熱処理を施すのが良いことが判明。
- OFRPとしてある程度の補強効果は確認できた。
- 250 4時間熱処理の場合 強化繊維として補強効果を発揮する限界長さ L_c 5cmと推定
リサイクルの指針となる。

課題

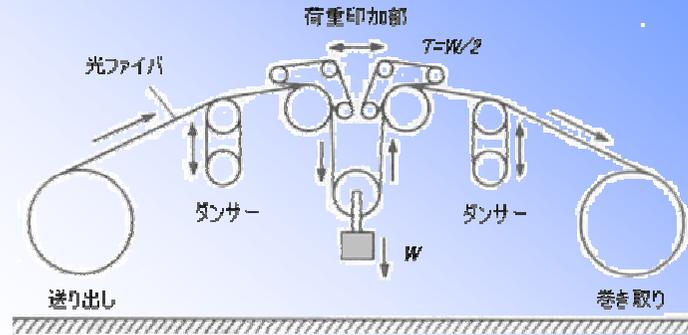
- 二次被覆材を効率的に剥ぐ方法の開発。
- マトリックスを変えて実験し、最もOFRP作製に適したマトリックスを選出すること。
- 短繊維OFRPの完成。



線引き法

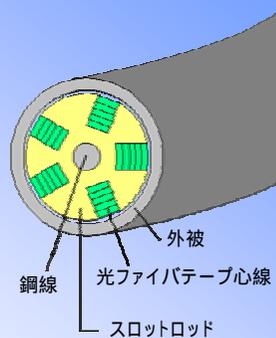


スクリーニング試験

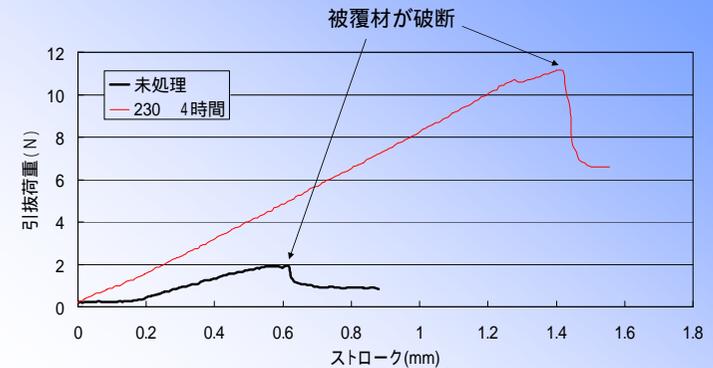


光ファイバケーブルの構造

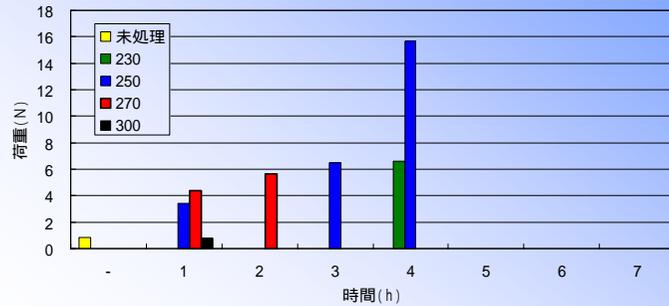
- 外界の様々な環境から光ファイバを守る構造
- 最大1000心
- 20年で廃棄・交換
通信上の事情による
- リサイクルの形態として短く切断することが想定されている
- 廃棄光ファイバのみリサイクル方法がまったく確立されていない



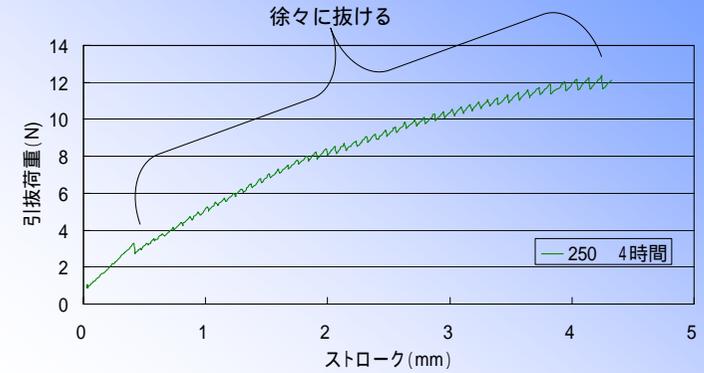
ガラス部分と被覆材の界面強度



ガラス部分と被覆材の引抜抵抗



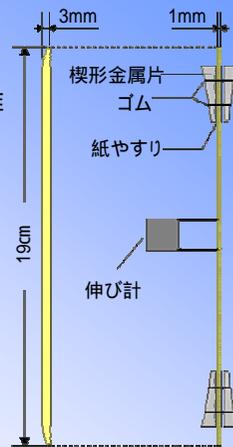
被覆材と樹脂の界面破壊強度



長繊維によるOFRPの作製

樹脂は不飽和ポリエステル樹脂を使用
 チャック部からチャック部までの連続繊維
 18cmの光ファイバを10本使用
 繊維含有率(Vf)

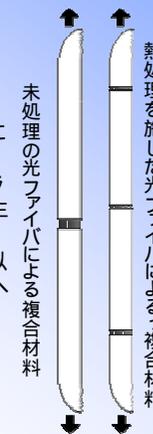
- 4.1% (ガラス部分のみ)
- 8.0% (熱処理)
- 16.4% (未処理)



破壊様式の違い

未処理

樹脂に割れが入ると同時に被覆材も破断してしまう。被覆材は樹脂側に残りガラス部分との界面に剥離が生じる。一度樹脂に割れが入ると以降荷重は回復せず、破壊へと向かう。

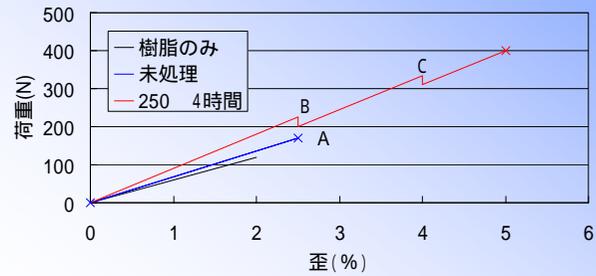


熱処理

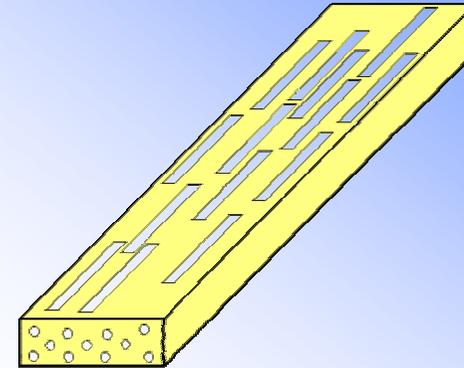
樹脂に割れが入っても被覆材は破断せず。被覆材と樹脂の界面に剥離が生じる。一度樹脂に割れが入っても一気に破壊せず、荷重が回復する。数度、樹脂に割れが入った後、最終破壊へと向かう。

結果

樹脂のみの試験片に比べて
何も手を加えていない光ファイバ 1.40倍
熱処理を施した光ファイバ 3.24倍



短繊維OFRP未処理の場合



荷重 - 歪線図

