

# 屈折率測定法に樹脂中のボイドが与える影響

知能材料学研究室

村上 大樹

## 1. 緒言

FRP の最適な成形条件を求めるための手法として、FRP の成形中の状態を測定可能なリアルタイム成形モニタリングが注目されている。中でも、光ファイバ屈折率センサは FRP 内部の局所的な硬化値を測定することが可能であり、実成形品への応用が期待されている。これまでの研究から、ボイドによって屈折率測定値に大きな変動が現れる事が分かった。しかし、ボイドのサイズや位置がどのように影響を与えるかは不明である。そこで本研究では、その影響を調べるために、ボイドの入った樹脂の硬化モニタリングを行い、また、成形後に試験片の断面観察を行った。

## 2. 実験装置および方法

樹脂には主剤にエポキシ樹脂 jRE-801N を、硬化剤に jRECURE-LV11 を使い、それぞれを 100 : 29 の割合で混合した。成形中にボイドを存在させるため、樹脂の脱泡は行わなかった。図 1 に測定装置を示す。型に熱電対と二本の光ファイバを設置して樹脂を流し込み、オープンに入れて加熱硬化させた。硬化温度は 40°C で 3 時間、その後 80°C で 3 時間とした。本研究では、一つの光源を 2 つに分けることにより、二カ所の同時測定を行った。また、コア径が 10 $\mu\text{m}$  と 50 $\mu\text{m}$  の二種類の光ファイバを用いた。

成形後にエメリ紙を使用して樹脂を削り、光ファイバの先端部まで露出させた。その後バフ研磨を行い、光ファイバ先端付近を顕微鏡で観察した。

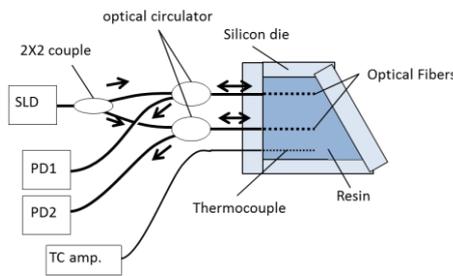


図 1, 測定装置

## 3. 実験結果および考察

本研究では、測定した光強度を屈折率に変換した。さらに、ボイドによる周期的変動の振幅を調べるために、ハイパスフィルターを使用して取り出した変動信号の RMS を計算して変動振幅を評価する。ボイドの大きさと位置については、光学顕微鏡写真から計測した。表 1 に、実験で得られた RMS 値、ボイドの位置と大きさを示す。図 2 には、試験片のうち No.1, 7, 9, 11 について 250 分から 450 分の屈折率変化を、断面写真とともに示す。

まず、コア径 10 $\mu\text{m}$  の光ファイバに関して議論する。No.1 については、非常に大きな変動が見られたが、この時ボイドと先端部は接していた。No.2, 4, 5, 6, 7, 8 については、RMS は小さく、図にも示すように振幅は小さいが明確な周期をもつ変動が見られた。これらの試験片では、0.07 ~ 0.37mm のサイズのボイドが先端からいくらか離れた位置に存在していた。

次にコア径 50 $\mu\text{m}$  の光ファイバの結果について議論する。No.9 は、屈折率の変動量、変化周期ともに大きく、RMS の計算はできなかった。これは、多くのボイドからの反射光が、光ファイバに入射したためである。すなわち、コア径 50 $\mu\text{m}$  の光ファイバでは、10 $\mu\text{m}$  のファイバよりも測定領域が大きく広がっていることが分かる。No.11 は 0.29mm のサイズのボイドが先端から離れた位置に存在して光ファイバ先端部に

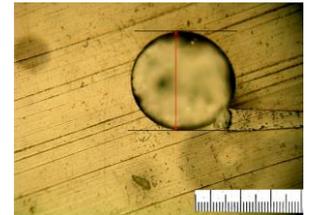
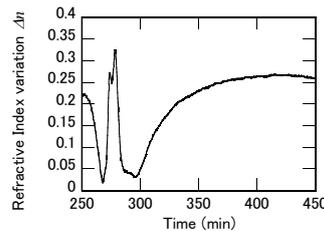
影響を与えているため、No.2 などと同様に明確な影響が存在している。

以上より、直径 20 $\mu\text{m}$  のボイドが先端から離れて存在していても屈折率測定に影響を与えることが分かった。また、より広い領域の測定にはコア径の大きなファイバを用いればよいことも分かった。

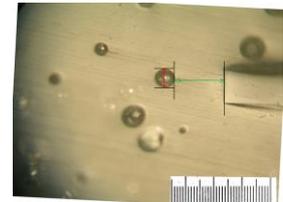
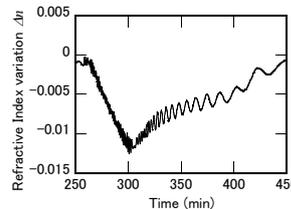
No.	屈折率変化量	振幅のRMS	ボイドの位置	光ファイバに影響を与えるボイドの大きさ	コア径10 $\mu\text{m}$ 光ファイバ	コア径50 $\mu\text{m}$ 光ファイバ
1	大	※測定不能	接する	0.3322mm	○	
2	小	4.62E-04	無し	無し	○	
3	無し	8.37E-05	接する	0.3786mm	○	
4	無し	4.73E-05	接する	0.2864mm	○	
5	小	7.50E-05	右0.02, 左0.091653mm	右0.03436, 左0.16mm	○	
6	小	1.93E-04	0.5791mm	0.1019mm	○	
7	小	4.15E-04	0.01781mm	0.072176mm	○	
8	小	4.16E-04	0.6072mm	0.07446mm	○	
9	大	※測定不能	上0.02463下0.04983mm	上0.2291下0.08019mm		○
10	大	8.94E-04	右0.1002左0.1747mm	右0.06816左0.126mm		○
11	小	5.24E-04	0.2978mm	0.07446mm		○

表 1 光ファイバの比較表

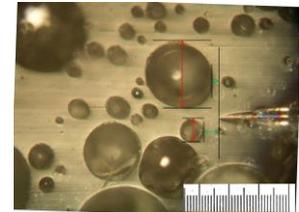
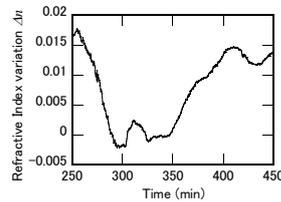
※測定不可は、変動周期が長すぎて RMS の計算が不可能なデータを意味する



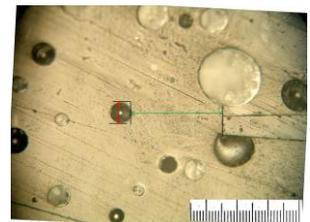
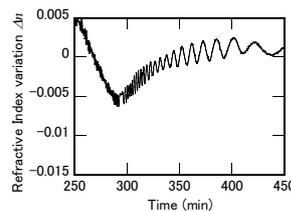
Specimen No.1



Specimen No.7



Specimen No.9



Specimen No.11

図 2, 成形中の屈折率曲線および光ファイバ先端部のボイド写真 (左: 屈折率曲線, 右: 断面写真)