

# 分布型光センサを用いた局所ひずみ計測手法に関する研究

卒業論文要旨

機能性材料工学研究室 1170101 照沼 恭平

## 1. 緒言

航空機のマルチサイトクラック等, 多数の損傷が分布する場合の非破壊検査技術は, 構造物の安全・信頼性を高める上で非常に意義がある. しかしながら, 多数のクラックの大きさ・位置の検知技術は未だに実用化には至っていない. 本研究室では, レイリー散乱型光ファイバひずみ分布センサを用いて, ひずみ分布を直接測定することによって, マルチクラックの正確な同定システムの開発を目指している.

クラックに起因するひずみ集中分布から損傷を特定する場合, センサが検出できるひずみ集中分布の強度やサイズが, 同定精度に大きな影響を与える. そこで本研究では, ひずみ集中分布の強度やサイズがセンサの測定精度に与える影響を明らかにすることを目的として, 実験および解析を行った.

## 2. 光ファイバセンサおよび実験方法

### 2.1 分布型光ファイバセンサ

図1に, 本研究で用いたレイリー散乱型光ファイバひずみ分布センサの仕組みを示す. 光ファイバに光を入射すると, コアとクラッドの形状の不整合から極めて微小なレイリー散乱光が戻る. これを, 高感度の光センサにより測定している. 得られた散乱光分布の空間分解能は最小で約  $1\mu\text{m}$  である. これにゲージ長の幅のウィンドウをかけて部分データを取り出し, FFTをかけて空間スペクトルを得る. そして, 無負荷状態のスペクトルとの周波数のずれを, 各ウィンドウデータについて調べると, 周波数シフトの空間分布を得る. 周波数シフトは光ファイバの長さ方向のひずみと比例関係にあるので, 変換を行うことでひずみの空間分布を得ることが出来る. 本研究で使用する光ファイバひずみ分布センサは, 米国 Luna Technologies の ODiSi A-50 である. 測定範囲は  $1\text{m}\sim 50\text{m}$ , ひずみ分解能  $10\mu$ , ひずみ測定範囲  $\pm 10000\mu$ , 最小測定ピッチ  $1\text{mm}$  である.

### 2.2 試験片および実験方法

本実験でアルミニウム合金 A2014 の円孔板のひずみ集中分布測定を試みる. 図2に, 用いた試験片の寸法を示す. 長さ  $180\text{mm}$ , 幅  $30\text{mm}$ , 厚さ  $1.65\text{mm}$  の板の中央部に, 精密ボール盤によって穴をあけ, 光ファイバを円孔縁に接するようにアロンアルファで板表面に接着した. 光ファイバが掴み部で破損しないように, 接着端の位置は, 試験片の長手方向エッジから  $60\text{mm}$  離れた.

狭い領域に複数のひずみ集中が存在する場合のセンサの測定精度を調べるため, 図3に示す形状の複数の円孔を持つ試験片(マルチホール試験片)を用意した. この試験片では, 上下それぞれつかみ部から  $2\text{cm}$  離れたところを始点に, 円の中心間距離  $2\text{mm}$  間隔,  $3\text{mm}$  間隔で直径  $1\text{mm}$  の穴が5個ずつ空けられている. 光ファイバの設置は円孔試験片と同様に, 円孔縁に沿って接着をした.

光ファイバセンサによる分布測定を行いながら引張試験を行った. 負荷条件は, 引張速度  $5\text{mm}/\text{min}$ . 準静的引張であり, 荷重が  $2\text{kN}$ ,  $3\text{kN}$ ,  $4\text{kN}$  に達した後,  $20$  秒間荷重を保持した. ひずみ分布の測定は,  $2$  秒ごとに行った.

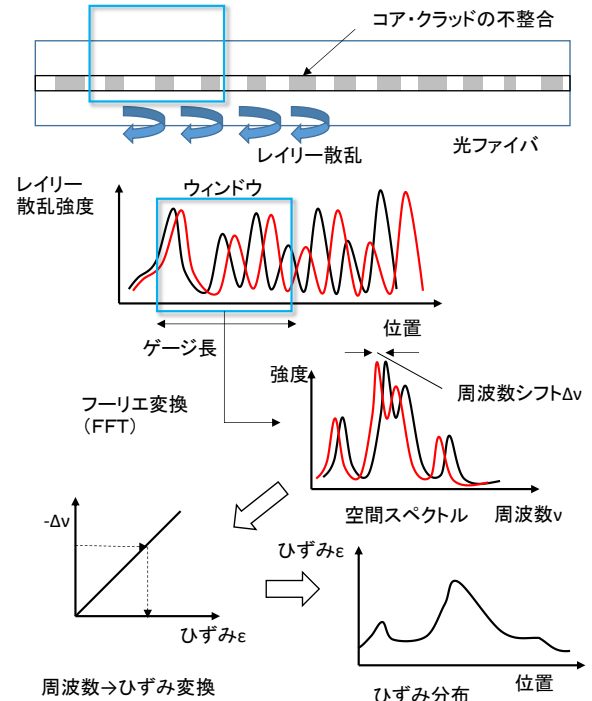


Fig.1 Schematic view of strain distribution measurement from measured Rayleigh scatterings in optical fiber sensors

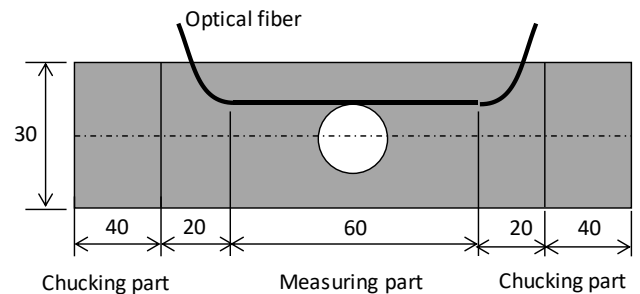


Fig.2 Open-hole specimen for measuring strain distribution

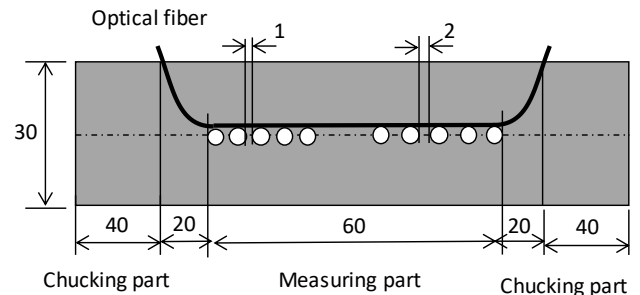


Fig.3 Multiple open-hole specimen for measuring strain distribution

## 3. 結果および考察

### 3.1 円孔板の集中ひずみ分布

図4(a)~(d)に, ベースひずみ量が  $500\mu$  の時の分布型セン

サで測定したひずみ分布を、FEM によるひずみ解析結果とともに示す。図 4(a)から、円孔直径が 10, 5, 2, 1mm のものである。図 4(a)より、円孔直径が 10mm の場合は測定した集中ひずみ分布は、最大値付近を除いて FEM 解析結果とよく一致していることが分かった。図 4(b)より、この傾向は円孔直径が 5mm の場合もほぼ同じであったが、FEM 解析値との最大ひずみの差は、円孔直径 10mm の場合よりも大きくなる。図 4(c), (d)より、円孔直径 2mm と 1mm の場合はどちらも、応力集中部を除くと解析値と測定値はよく似ているものの、応力集中部については測定値が解析値から大きく下がる結果が得られた。応力集中分布ピークが鋭くなる、すなわち集中範囲が 1mm に近づくと従って解析値と実験値の差が大きくなる理由は、1mm のゲージ長の範囲でひずみ量が平均化されるためであると思われる。これを確認するために、ゲージ長 1cm で円孔直径 5mm のデータを解析した。その結果を図 5 に示す。図より、ひずみ集中が、その幅より大きなゲージ長区間で平均化されて、小さくなっていることが分かる。

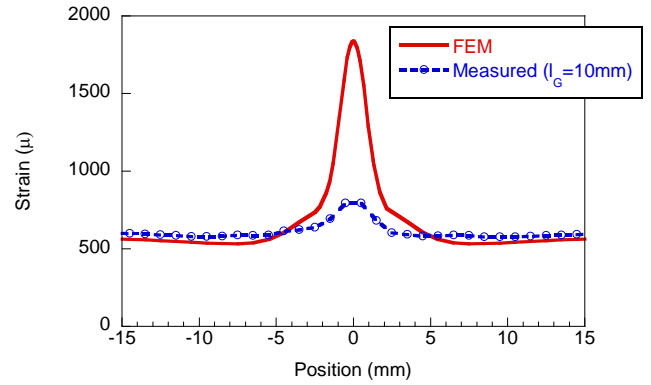


Fig.5 Strain distribution around a hole (Gage length 5mm)

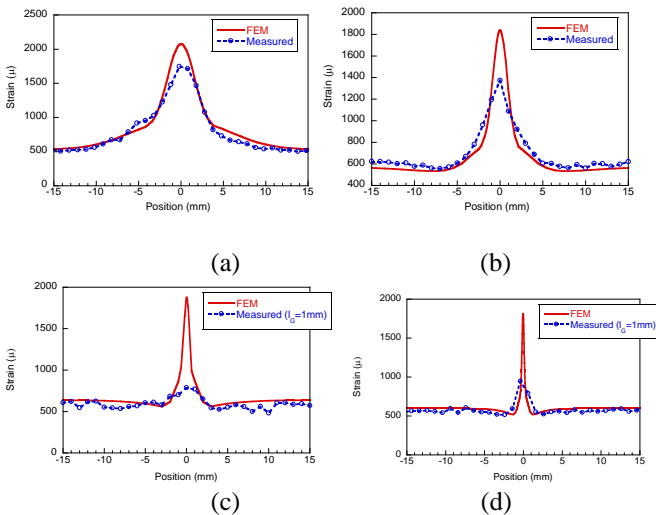


Fig.4 Strain distribution around a hole

より詳細に調べるために、最大値と、集中ピーク形状の FWHM (全幅半値) を調べた。その結果を図 6 に示す。図より、計測結果に関しては円孔直径が小さくなればなるほど、最大値は小さくなるが、解析値ではあまり変わらないことが分かる。両者の値には強い相関がみられ、サイズの同定には FWHM が役立つと思われる。

図 7 に、マルチホール試験片のひずみ分布測定結果を示す。図より、2mm 間隔で配置した円孔によるひずみ集中の分布については、捉えることが可能であることが明らかに分かる。一方で、1mm 感覚で配置した円孔によるひずみ集中の分布については、ひずみ集中が発生していることは分かるものの、5つのひずみ集中が存在していることを判別するのは難しい。よって、本システムでゲージ長 1mm の場合は、2mm 以上の間隔で隣接するひずみ集中の判別が可能であることが分かった。

#### 4 結言

本研究では、円孔直径の異なる試験片に対し、光ファイバを接着しひずみ分布測定を行った。その結果、

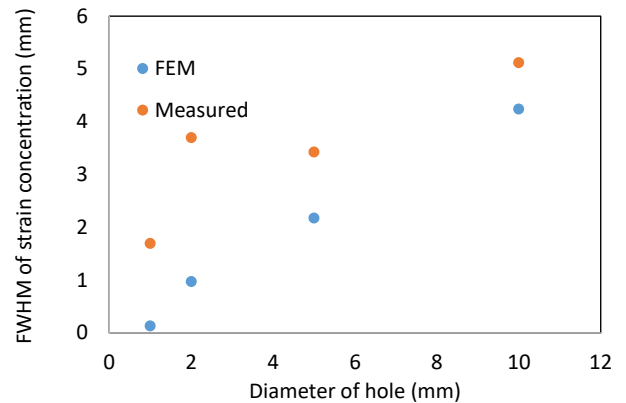


Fig.6 FWHM of strain concentration around a hole

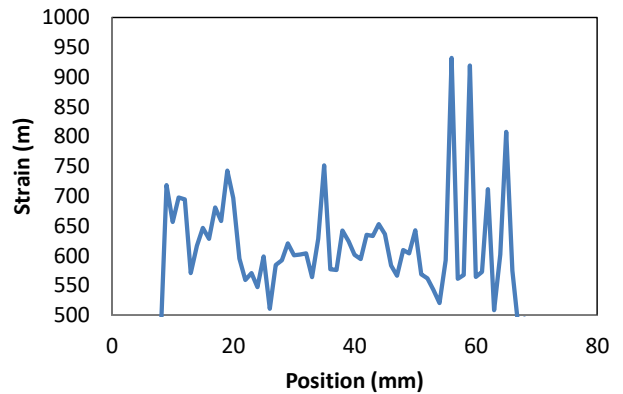


Fig.7 Strain distribution around multiple holes

ひずみ集中の幅がゲージ長より長い場合は、ひずみ分布を正確に測定することができることが分かった。また、幅 1mm 以下の局所的なひずみ集中分布であっても、ひずみ量が平均化されるが、捉えることが可能であることが示された。有限要素法によるひずみ分布解析結果との比較から、ひずみ集中分布のサイズ同定には FWHM が役に立つことが示唆された。さらに、複数のひずみ集中の隣接間隔が 2mm 以上ならば、その分布を捉えることが可能であることが分かった。