

平成 30 年 6 月 6 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04209

研究課題名(和文) 光ファイバセンサを用いた風車ブレードの分布荷重同定手法に関する研究

研究課題名(英文) Study on identification of load distributions on wind turbine blade by using fiber-optic sensors

研究代表者

村山 英晶 (Murayama, Hideaki)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：10361502

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、1 mm以下の空間分解能で光ファイバに沿って連続的にひずみを高速に計測できるシステムの開発に成功し、その評価方法を構築した。このシステムで計測されたひずみ情報をもとに逆解析手法を用いて、風車ブレードを模擬した翼または平板構造に作用する荷重と変形を精度よく同定することに成功した。この成果は、大型化風車の過大荷重・有害変形を抑制する制御機構に組み込むことが期待され、より安全かつ信頼性の高い運用に寄与する。

研究成果の概要(英文)：In this study, we successfully developed the distributed fiber-optic sensing system which can measure strain distributions with high spatial resolution and high speed along an optical fiber. In addition, we developed a method to evaluate such a unique sensor. Then we applied this system to identifications of load distribution and deformation in a wind turbine blade model and a plate by using inverse analysis based on measured strain information. This result is expected to be incorporated into a control system which is able to suppress overloading and harmful deformation of large-sized wind turbines and contributes to a safer and more reliable operation.

研究分野：複合材料工学

キーワード：荷重同定 変形同定 光ファイバセンサ 分布計測 FBG 逆解析 構造ヘルスマニタリング ひずみ

1. 研究開始当初の背景

風力発電は次世代再生可能エネルギーの候補の一つとして注目されている。洋上のサイトでは、一機あたりの発電量を増大するため風車の大型化に技術開発の焦点が当てられ、近年 7MW クラス以上の大型風車の開発が進められている。大型風車の場合、翼長は 80m にも達する。このとき課題となるのは翼に負荷される荷重である。平均的な荷重の増大に加え、特に荷重の変動成分の増大が問題となる。大型化に伴い 1 回転中の変動および風況の変動による突発的な変動が大きくなり、負荷荷重の予測と過大荷重の抑制が困難になる。回転中の各翼の変形の計測情報から荷重を推定し、フィードバック制御によって各翼のピッチをそれぞれ操作することで翼の負荷荷重を低減できる。

有力かつ多くの実績をもって知られている機構では光ファイバセンサ方式のひずみゲージ (FBG: Fiber Bragg Grating) を翼根に配置し、計測されたひずみから荷重を推定している。FBG は電磁気ノイズに強く、精度・安定性、強度・耐久性に優れたセンサであり、信頼性の高い計測が可能である。大型化にともない、光ファイバに沿って任意位置でひずみ計測が可能な分布型光ファイバセンサへの期待は高い。図 1 は光ファイバセンサを利用した代表的なひずみ計測技術を、横軸を計測形態、縦軸を動的応答性としておおまかに分類したグラフである。当該研究代表者らによって開発された Optical Fiber Domain Reflectometry (OFDR) に基づく分布型光ファイバセンサ (OFDR システム) は高い空間分解能を持つ一方で、1 Hz 程度のサンプリングレートであり、動的計測への適用性を高めることが課題となっていることが分かる。

大型化に伴い翼の荷重分布や変形モードは複雑化するため、翼根のひずみ情報だけではなく、全体のひずみ情報から荷重・変形を推定する必要があり、分布型光ファイバセンサを活用したひずみ情報の取得とその情報からの荷重・変形の同定手法の開発が期待される。

2. 研究の目的

風力発電用風車の大型化が進んでいる現在において、高精度で翼の荷重分布変動および変形状態を監視することは、安全で信頼性の高い運用を実現するための有効な手段であるといえる。本研究ではひずみ情報に基づいて荷重分布と変形を逆推定する新たな手法を開発する。逆推定手法を用いた荷重推定では荷重分布関数を仮定しないため、複雑な分布を高精度で同定できる可能性を示している。また十分なひずみ情報を得るために分布型光ファイバひずみセンシングシステムを応用する。特に運用中の荷重変動に追従するため、新たな信号処理技術の開発によりセンシングシス

テムの高速化を行う。ひずみ情報取得から荷重および変形の逆推定までの一連の技術を統合的に確立し、曳航水槽を利用した実験によりその適用性を実証する。

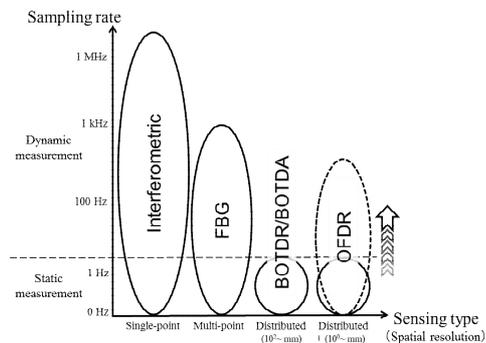


図 1 計測技術の性能による分類

3. 研究の方法

本研究の要素技術として、まずは「高速ひずみ分布計測技術の開発」と「荷重逆推定手法の確立」がある。前者は新たな信号処理技術を既存のハードウェアに適用する。後者は数値解析により手法の開発、有効性検証を行う。これら要素技術を統合した翼荷重分布変動逆推定システムは「曳航水槽を用いた実験」により実証する。「ひずみ情報から構造変形を算出する手法開発」と「本研究成果の有効活用に関する検討」を合わせて本研究の内容を 5 つの課題に細分化した。

4. 研究成果

ここでは 3 章で述べた 5 つの課題についてそれぞれ成果を示す。

(1) 高速ひずみ分布計測技術の開発

OFDR システムの概念図を図 2 に示す。本システムは波長可変光源、PC、A/D コンバータと二つの干渉計 (干渉計 1, 2) から構成されており、ひずみセンサとして FBG を用いている。FBG は光ファイバのコア内部に施された周期的な回折格子であり、この回折格子は以下の式で示す Bragg 波長 λ_B の光のみを反射する特性を持つ。

$$\lambda_B = 2n \cdot \Lambda \quad (1)$$

ここで λ_B は Bragg 波長、 n は光ファイバコアの有効屈折率、 Λ は FBG の周期を表す。Bragg 波長と比例関係にある FBG の周期はファイバの伸縮、ひずみに比例して変化するため、Bragg 波長の変化量からひずみを定量的に計測することができる。また、受光器 2 で受け取る信号 D_2 は次の式で表される。

$$D_2 = \sum_i R \cos(k2nL_i) \quad (2)$$

ただし、 R は FBG の波長スペクトル、 k は波数を表す。式(2)からわかるように、 D_2 はミラー 3 と長ゲージ FBG との距離 L_i に応じて異なる複数の周波数が重ね合わされた波形となる。

よって、受光器 2 で受け取る信号 D_2 は FBG の位置に対応した異なる周波数の波形の重ね合わせとなるため、短時間フーリエ変換 (STFT) を適用することにより各位置における反射スペクトルを参照することができる。

システム構成自体は変更せずに、光源を掃引周波数の高いものへと変更し、各構成機器・パーツを高速掃引に対応させることによって OFDR のサンプリングレートの高速化を実現した。高速化に伴う主な変更点を以下にまとめる。

- ・ 波長可変光源：波長の掃引周波数を 0.5 Hz から 1.2 kHz へと高速化。(アンリツ製：GQ5510PLZ)
- ・ AD 変換器：外部ダイレクトサンプリングクロック対応品で、従来の最大 100 MHz のものから最大 500 MHz へ変更
- ・ 書き込み媒体：書き込み速度の高速化のため HDD から SSD へ変更

この結果、空間分解能を低下させることなく、サンプリングレートが 2 S/s から 800 S/s へと向上した。以降、動的計測が可能となった OFDR システムを、従来のシステムと区別するために“高速 OFDR システム”と呼ぶことにする。

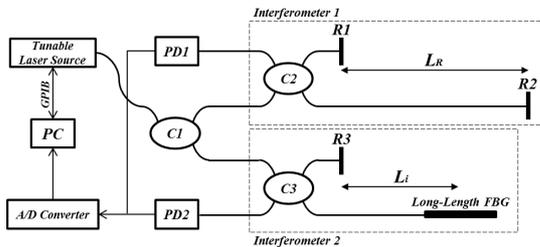


図 2 OFDR システム

高速 OFDR システムのような分布的かつ動的な高空間分解能ひずみ計測は過去に例がなく、その性能評価手法も確立されていないのが現状である。本研究では標準化可能な動的ひずみ計測の性能評価手法の確立を目指した。

図 3 に示す試験片は、塑性変形しにくく弾性率が比較的低いリン青銅(株式会社ニラコ)を用いた。リン青銅の試験片の表面に FBG センサと 3 つひずみゲージを接着した。

製作した試験片の繰り返し荷重試験を行った。繰り返し周波数は 1~5 Hz の 5 段階、と 10~100 Hz の 10 段階の計 15 段階とした。また試験は変位制御によって行い、試験片を固定し、荷重が 0 N の状態を変位 0.00 mm とする。変位 0.10 mm を振動の中心とした、振幅 0.05 mm の振動を加えた。疲労試験機としては MTS Acumen 3 (エムティエスジャパン株式会社) を使用した。繰り返し引張荷重試験における試験片のひずみを高速 OFDR システムとひずみゲージで計測し、確度 (accuracy) と精度 (precision) という二つの尺度を用い

て性能評価を行った。変位 0.10 mm の状態、つまり試験片に引張荷重が加わりある程度歪曲の影響が小さくなっている状態を初期値として分析した結果を図 4 に示す。試験片長手方向にほぼ様なひずみ分布が計測されていることが分かる。

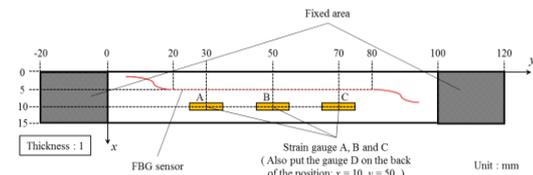


図 3 動的ひずみ計測性能評価用の試験片

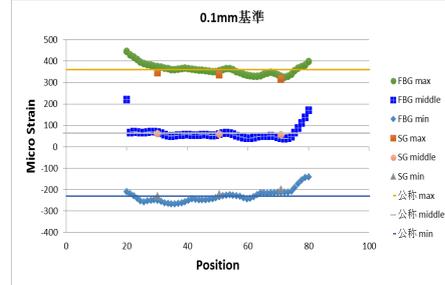


図 4 変位 0.1 mm を基準としたひずみ

真値と平均値との差の絶対値を確度とした。各周波数で 10 波長分のデータを取り出し、その平均値を計測値の平均とした。また真値としては試験機の荷重データから算出される公称ひずみを用い、10 波長分のデータの平均をとった。A 点、B 点、C 点の確度の平均はそれぞれ $8.04 \mu\epsilon$ 、 $5.57 \mu\epsilon$ 、 $15.0 \mu\epsilon$ であったため、ひずみゲージと異なり位置によって確度にはばらつきがあった。FBG センサとひずみゲージそれぞれについて $9.53 \mu\epsilon$ 、 $2.83 \mu\epsilon$ という結果になった。また 10 波長分のデータを取り出し、1 波長ごとの平均値を算出し、その平均値の標準偏差で精度を表した。ひずみゲージは周波数によらず精度が $5 \mu\epsilon$ 以下という精度を示したが、FBG センサは周波数が 5 Hz 以下では 3 Hz の場合を除いて $5 \mu\epsilon$ 以下の精度を示している一方、10 Hz 以上周波数では平均すると $14.9 \mu\epsilon$ となり、精度の減少が見られた。全ての周波数における精度の平均は、FBG センサとひずみゲージそれぞれについて $12.1 \mu\epsilon$ 、 $1.91 \mu\epsilon$ という結果になった。

(2) ひずみ情報から構造変形を算出する方法の開発

風車翼全体の変形を推定するため、広範囲のひずみデータを光ファイバセンサで取得し、そのひずみデータから変形を推定することを平板構造で検討した。これは逆問題であり、Rapp らは離散的なひずみモードと変形モードの関係をシミュレーションで求め、離散的なひずみデータから変形を算出している¹。Derkovian らは平板の表と裏のひずみデータを取得することで正確な曲げ変形の同定を実現している²。しかし、平板のあらゆる変形

を正確に同定できる手法は確立していなかった。Tesslerらは四角形要素を用いた有限要素法に基づく最小二乗法 (iFEM: inverse Finite Element Method) を適用することで、境界条件を考慮した変形同定手法を提案した³。本研究ではOFDRシステムによるひずみ計測技術とiFEMの逆解析技術を組みあわせることで、特定の変形を前提とせず、平板のあらゆる変形をひずみデータから同定する手法を提案・開発した。

iFEMは平板もしくはシェル構造体に適用できるため、風車翼構造に適用可能である。本研究では平板を対象とし、ミンドリン板要素に基づいた四角形要素によって離散表現する。各節点は並進変位 u, v, w と回転変位 $\theta_x, \theta_y, \theta_z$ の6自由度を持つ。iFEMでは要素の変形は面内変形と面外変形の足し合わせで表現される。面内ひずみ $\mathbf{e}(\mathbf{u}^e)$ と面外変形に寄与する曲率 $\mathbf{k}(\mathbf{u}^e)$ 、面外せん断ひずみ $\mathbf{g}(\mathbf{u}^e)$ によって以下の式で表される。 (\mathbf{u}^e) は節点変位ベクトル、 $\mathbf{B}^m, \mathbf{B}^b, \mathbf{B}^s$ は形状関数のマトリクス

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{pmatrix} = \mathbf{e}(\mathbf{u}^e) + z\mathbf{k}(\mathbf{u}^e) = \mathbf{B}^m\mathbf{u}^e + z\mathbf{B}^b\mathbf{u}^e \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix} = \mathbf{g}(\mathbf{u}^e) = \mathbf{B}^s\mathbf{u}^e \quad (4)$$

一方実計測においては各要素内において、板の上面と下面のひずみ場 $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_z$ が計測できると仮定すると面内ひずみと曲率は以下の式で求められる。(+ 符号が上面のひずみ、- 符号が下面のひずみを表す)

$$\mathbf{e}_i^e = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx}^+ + \varepsilon_{xx}^- \\ \varepsilon_{yy}^+ + \varepsilon_{yy}^- \\ \gamma_{xy}^+ + \gamma_{xy}^- \end{pmatrix} \quad (i=1, \dots, n) \quad (5)$$

$$\mathbf{k}_i^e = \frac{1}{2h} \begin{pmatrix} \varepsilon_{xx}^+ - \varepsilon_{xx}^- \\ \varepsilon_{yy}^+ - \varepsilon_{yy}^- \\ \gamma_{xy}^+ - \gamma_{xy}^- \end{pmatrix} \quad (i=1, \dots, n) \quad (6)$$

仮定された変位から導出されたひずみと実測されたひずみデータの間で以下の式のように最小二乗法を適用すると次のようになる。

$$\begin{aligned} \Psi_e(\mathbf{u}^e) &= w_e \|\mathbf{e}(\mathbf{u}^e) - \mathbf{e}^e\|^2 \\ &+ w_k \|\mathbf{k}(\mathbf{u}^e) - \mathbf{k}^e\|^2 \\ &+ w_g \|\mathbf{g}(\mathbf{u}^e) - \mathbf{g}^e\|^2 \end{aligned} \quad (7)$$

式(7)を \mathbf{u}^e について微分し、0とした式が一つの要素の最小二乗方程式である。この後は、一般的な有限要素法と同様に、全体における最小二乗方程式のマトリクスを組み上げ、境界条件を設定し、行列計算を解くことで全節

点における変位 \mathbf{U} が推定される。

シミュレーションによる適用性の検証のうち、実験検証を行った。図5のように $t3 \text{ mm} \times 360 \text{ mm} \times 660 \text{ mm}$ の平板に独自に開発したTriangle型配置法で光ファイバを接着し、境界条件・荷重条件を変化させながら、変形を加えた。図6はねじり曲げ状態におけるひずみ分布の結果である。FEMと計測結果がよく一致することが分かる。このひずみ分布を用いてiFEMによって変形を推定した結果を図7に示す。変位計やカメラ計測との比較によっても、ねじり曲げの状態を精度よく推定できていることが確認できた。

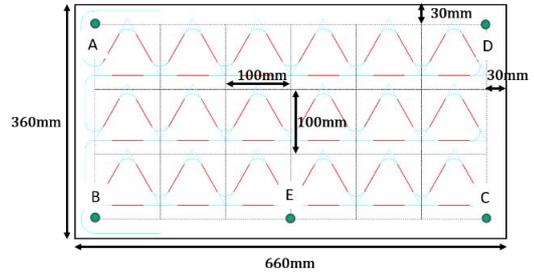


図5 平板試験片

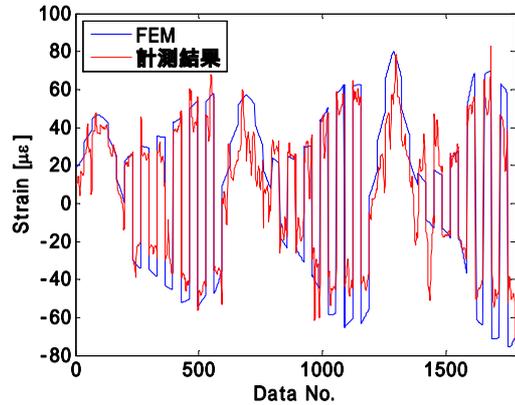


図6 ひずみ分布計測の結果

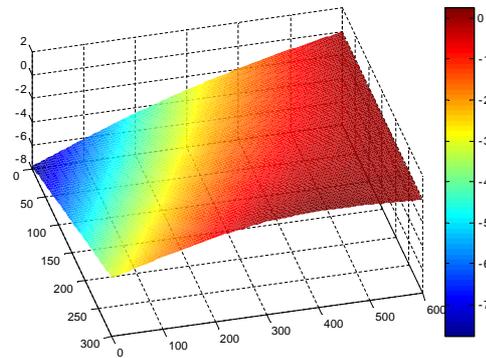


図7 変形同定の結果

(3) 荷重逆推定手法の確立

ここでは、次の曳航水槽を用いた実験で用いた、荷重の逆推定手法について述べる。

連続分布荷重 (圧力) p は xy 平面内に分布するものとし、 $p = p(x, y)$ とする。有限要素法同様に、圧力のある要素 e の圧力は節点での圧力値 p_e^i により離散近似することができる。三角形要素では形状関数 $n_i^e(x, y)$ を用いて、

$$p^e(x, y) = \sum_{i=1}^3 n_i^e(x, y) p_i^e \quad (8)$$

と表現できる。圧力が作用する領域全体では、式(8)を重ね合わせることで、

$$p(x, y) = \sum_{i=1}^n N_i(x, y) p_i = \sum_{i=1}^n \hat{p}_i(x, y) \quad (9)$$

となる。ここで、 n は総節点数であり、 $p_i (i = 1, 2, \dots, n)$ は各節点における圧力値である。また $N_i(x, y) (i = 1, 2, \dots, n)$ は式(8)の形状関数 $n_i^e(x, y)$ の重ね合わせにより構成される。線形弾性を仮定すると、任意の位置のひずみは、式(9)により、圧力 $\hat{p}_i(x, y)$ により生じるひずみ $\hat{\varepsilon}_{*i}(x, y)$ の線形和として近似できる。そして、 $\hat{\varepsilon}_{*i}(x, y)$ は圧力 $\hat{p}_i(x, y)$ に比例し、

$$\varepsilon_* = \sum_{i=1}^n \hat{\varepsilon}_{*i} = \sum_{i=1}^n \hat{s}'_i \hat{p}_i = \sum_{i=1}^n \hat{s}'_i N_i p_i = \sum_{i=1}^n s'_i p_i \quad (10)$$

となる。ただし、 ε_* は対象とするひずみ成分である ($* = x, y, z, xy, yz, zx$)。測定されるひずみ (m 個) を $\varepsilon_{*j}^{\text{meas}} (j = 1, 2, \dots, m)$ とすると、式(10)より、

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_{*1}^{\text{meas}} \\ \varepsilon_{*2}^{\text{meas}} \\ \vdots \\ \varepsilon_{*m}^{\text{meas}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix} \quad (11)$$

となる。式(11)で、 s_{ji} は節点 i のみに単位圧力 $p_i = 1$ を設定したときの測定点 j におけるひずみである。したがって、行列 $[s]$ は通常の有限要素法等により、あらかじめ求めることができる。すると式(11)より圧力は

$$\begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \vdots \\ p_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{m1} & s_{m2} & \cdots & s_{mn} \end{pmatrix}^+ \begin{pmatrix} \varepsilon_{*1}^{\text{meas}} \\ \varepsilon_{*2}^{\text{meas}} \\ \vdots \\ \varepsilon_{*m}^{\text{meas}} \end{pmatrix} \quad (12)$$

のように実測ひずみから求めることができる。ここで一般に $m \neq n$ であるので、逆行列 $[s]^+$ は一般化逆行列である。この $[s]^+$ は測定ひずみに関係ないので、あらかじめ求めておけばひずみの測定時にほぼリアルタイムに圧力分布 $p_i (i = 1, 2, \dots, n)$ を得ることができる。一般化逆行列から求められる推定解は条件数によってその安定性をはかることができる。条件数が大きくなると観測値の誤差に対して過度に敏感になり、解の安定性が悪くなる。このように不適切な問題となるとき、極端に小さい特異値を 0 とおき、ランクを落とし解の平滑化を行えば推定精度を高めることができる。

(4) 曳航水槽を用いた実験

曳航水槽において図 8 に示した翼模型を曳航し、長手方向に配置された光ファイバセンサでひずみ分布を計測した。それをもとに上

述した方法により分布荷重を推定した。OFDR システムを曳航台車の外に置き、長さ 100 m の長距離ケーブルを使って曳航中の試験片のひずみを計測した。揚力は 3 分力計、変位はカメラを使って観測した。迎角や曳航速度を変え複数回の試験を行った。図 9 は CFD と FEM による流体 - 構造連成解析で求めた圧力分布 (上) と FEM で得られるひずみから推定した理想的な荷重の同定結果である。また図 10 は、FEM で得られるひずみに計測システムの性能を考慮した誤差を与えて同定した結果 (予想) と実際に計測されたひずみ分布から同定した実験結果である。得られるひずみ分布の精度によって圧力分布の同定精度が影響されるが、せん断力、モーメントの分布はよく一致することが確認された。また、変形も同定したが、これもカメラの計測とよく一致した。

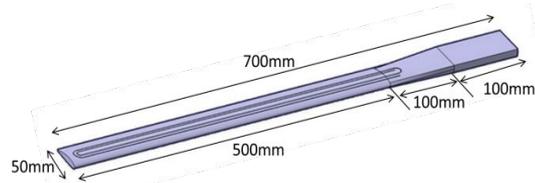


図 8 アルミ製翼型試験片

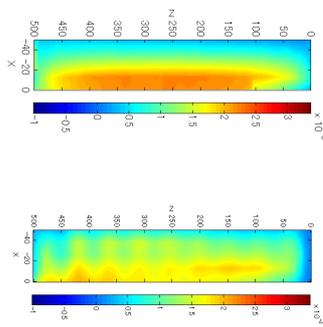


図 9 計算結果 (上) と理想的同定結果 (下)

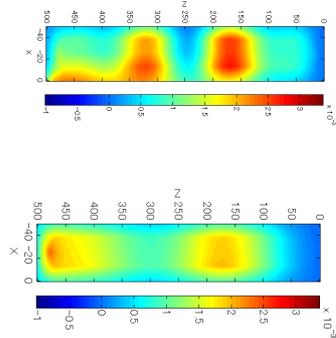


図 10 予想 (上) と実験結果 (下)

(5) 本研究成果の有効活用に関する検討

複合材料製の板を接着したはりを作製し、接着層に埋め込まれた光ファイバセンサにより、荷重試験におけるひずみ分布をリアルタイム計測し、逆解析等を利用して、荷重変位線図 (図 11) き裂を同定する手法を構築し、その結果からエネルギー解放率を算出して破

壊れ性値と比較することで、構造健全性、すなわち残存強度の評価を可能とする方法を提案した。

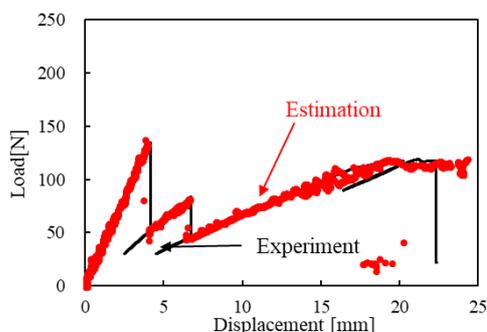


図 11 同定された荷重変位線図

参考文献

- 1) S. Rapp, et al., *Proc. of SPIE*, 6529, 2007.
- 2) A. Derkovian, et al., *AIAA Journal*, 51(9), 2013.
- 3) A. Tessler, et al., *Engineering Science and Technology*, 19, 2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Mengshi Zhu, Hideaki Murayama, Daichi Wada, Self-evaluation of PANDA-FBG Based Sensing System for Dynamic Distributed Strain and Temperature Measurement, *Sensors*, 17(10), 2319, 2017/10. (査読有り)

Mengshi Zhu, Hideaki Murayama, Daichi Wada, and Kazuro Kageyama, Dependence of measurement accuracy on the birefringence of PANDA fiber Bragg gratings in distributed simultaneous strain and temperature sensing, *Optics Express*, 25(4), 4000-4017, 2017/02. (査読有り)

〔学会発表〕(計 12 件)

西岡陽、村山英晶、他、第 42 回複合材料シンポジウム、2017/09.

Hideaki Murayama, Ryutarō Matsumoto, Kazuro Kageyama, Daichi Wada, Hiroataka Igawa, Structural Health Monitoring 2017, 1469-1476, 2017/09.

Hideharu Ogino, Hideaki Murayama, Fumiya Fujimori, Kazuro Kageyama, Daichi Wada, Hiroataka Igawa, Structural Health Monitoring 2017, 1527-1533, 2017/09.

袁超林、村山英晶、朱夢実、荻野豪治、影山和郎、日本機械学会 2017 年度年次大会、2017/09.

荻野豪治、村山英晶、藤森文也、影山和郎、和田大地、井川寛隆、平成 29 年度日本船舶海洋工学会春季講演会、2017/05.

Mengshi Zhu, Hideaki Murayama, *Proc. of SPIE*, 10323, 2017/04.

Hideaki Murayama, Kazuro Kageyama, Tsuyoshi Matsuo, Tetsuo Tamaoki, Fumiya Fujimori, Katsuya Shiotsubo, Daichi Wada, Hiroataka Igawa, EWSHM 2016, 2016/07.

藤森文也、玉置哲大、村山英晶、影山和郎、松尾剛、和田大地、井川寛隆、第 57 回 光波センシング技術研究会 講演論文集、pp 87-93, 2016/06.

松本龍太郎、村山英晶、和田大地、井川寛隆、影山和郎、JCOSSAR 2015 論文集、267-271, 2015/10.

玉置哲大、村山英晶、和田大地、井川寛隆、影山和郎、JCOSSAR 2015 論文集、184-189, 2015/10.

Daichi Wada, Hideaki Murayama, Tetsuro Tamaoki, Daichi Ogawa and Kazuro Kageyama, 20th International Conference on Composite Materials, 2015/07.

Hideaki Murayama [Invited], OECC2015, 2015/07.

〔その他〕

ホームページ等

https://researchmap.jp/hideaki_murayama/

6. 研究組織

(1)研究代表者

村山 英晶 (MURAYAMA, Hideaki)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：10361502

(2)研究分担者

井川 寛隆 (IGAWA, Hiroataka)
宇宙航空研究開発機構・航空技術部門・主任研究開発員

研究者番号：10358690

(3)連携研究者

影山 和郎 (KAGEYAMA, Kazuro)
東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：50214276

(4)研究協力者

和田 大地 (WADA, Daichi)

朱 夢実 (ZHU, Mengshi)

玉置 哲大 (TAMAOKI, Tetsuhiro)

松本 龍太郎 (MATSUMOTO, Ryutarō)

藤森 文也 (FUJIMORI, Fumiya)

西岡 陽 (NISHIOKA, YO)

荻野 豪治 (OGINO, Hideharu)