

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 5月 1日現在

機関番号：14401

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2012

課題番号：23656086

 研究課題名（和文） フルフィールド温度場非接触計測と数理解析援用逆解析による領域内
異常部位検出手法

 研究課題名（英文） Detection of Abnormal Regions by Full-Field Non-Contact Temperature
Measurement and Inverse Analysis with the Aid of the Mathematical
Analysis

研究代表者

久保 司郎 (KUBO SHIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20107139

研究成果の概要（和文）： 異常部の検出は重要である。もし、全面（フルフィールド）計測結果が得られれば、材料特性分布を推定する、信頼性の高い手法が構築できる可能性がある。そこで本研究では、まず流束が一定であると仮定し、2次元温度分布から熱伝導率分布を推定する手法を提案した。数値シミュレーションの結果、推定結果は正解とよく一致したが、熱伝導率が急変する点の近傍では、推定精度が低下した。そこで、流線の幅を用いて推定結果を補正する方法を提案した。その結果、この補正により、推定結果が改善されることがわかった。

研究成果の概要（英文）： For the assessment of structural integrity, the detection and evaluation of deteriorated or anomalous material properties are very important. If full field measurement of some physical quantity related to the material property is available, it is possible to construct a robust and accurate method for estimating the distribution of material properties.

In this investigation, we propose a method for estimating thermal conductivity distribution from two-dimensional full field temperature distribution under certain thermal conditions. Assuming that heat flux is nearly constant in the region of interest, thermal conductivity is estimated from the temperature gradient. Numerical simulations were made of the estimation of thermal conductivity in a square region. The estimated distribution of thermal conductivity agreed reasonably with the actual one, while the estimation deteriorated around a point where thermal conductivity showed abrupt change. The estimation deteriorated due to the fact that the flux was not constant in the region. Streamlines were obtained from the temperature gradient. The width between streamlines was used for modifying the estimated value of thermal conductivity. It was found that a better estimation of the thermal conductivity distribution was made by using the width of streamlines.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 機械材料／材料力学

キーワード： 非破壊評価, 構造健全性, 逆解析, フルフィールド計測, 異常部位検出, 温度

場計測

1. 研究開始当初の背景

人体や機器・構造物およびその要素の状態を把握し、その健全性を把握することは、我々の健康維持、寿命延伸、危機構造物の寿命延伸の上で非常に重要である。健全性の確保および状態把握において、人体や構造物の異常部は、材料特性の変化部として検出できることが多い。しかし、境界上の観測結果から材料特性の分布を推定する問題には、逆問題特有の強い不適切性が内在しており、その解析は容易ではない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、2次元領域内に熱負荷を与えた時の非定常温度場を赤外線サーモグラフィにより非接触で全面（フルフィールド）計測し、数理構造解析結果を利用して新たに構築した逆問題解析手法を適用し、熱容量と熱伝導率等の材料定数分布を推定することにより、領域内異常部位を検出する手法を確立することにある。

3. 研究の方法

本研究では、熱的負荷に対する応答から生体内部の計測を行う手法に関する基礎的な検討を行う。熱伝導率の分布が未知である領域に対して、温度分布から熱伝導率の分布を推定する手法を提案し、その結果について検討を行った。

2次元空間 xy 内の領域において、熱伝導率 λ が座標 x および y の関数で与えられるとき、温度 T に関する定常熱伝導方程式は次式で表わされる。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0 \quad (1)$$

ただし、領域の内部に、熱発生が無いものし、近似的に熱伝導率の推定を行う。

領域の熱流束を一定と仮定すると、次式により近似的に熱伝導率の推定を行うことができる。

$$\lambda = C\Delta T \quad (2)$$

ここにおいて、 C は定数であり、 λ は次式で定義される要素内部の温度勾配である。

$$\Delta T = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2} \quad (3)$$

図1に示すような正方形領域 $OABC$ を解析対象とする。

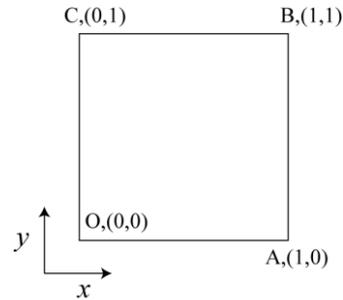


図1 解析の対象とした領域

図1に示した計算領域について、辺 OA 、 OC 、 AB および BC 上の境界条件について述べる。2次元問題で熱伝導率分布の推定を行う場合、2.1節で述べたように、温度が一様に変化するような辺上の境界条件を設定する必要がある。このため、図2のように右上方向に熱の流れが生じる場合を想定し、点 O の温度を $40[^\circ\text{C}]$ とし、点 B の温度を $37[^\circ\text{C}]$ とし、辺 OA 、 OC 、 AB および BC 上の温度は点 O と B の温度を線形補間したものを、境界条件として与えた。

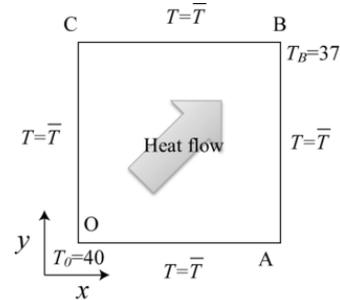


図2 解析領域と境界条件

4. 研究成果

温度分布を求める有限要素解析では、領域 $OABC$ を 10×10 の 100 要素に分割した。図3に示す熱伝導率分布に対して解析を行った。実線で区切られた領域ごとに熱伝導率を設定している。図中に、設定した熱伝導率 λ の値を示す。

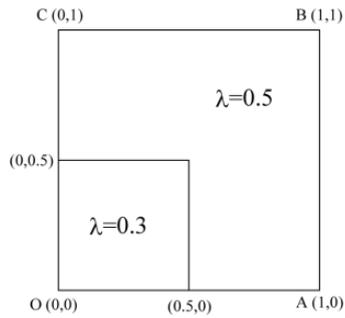


図3 数値シミュレーションに使用した熱伝導率分布の一例

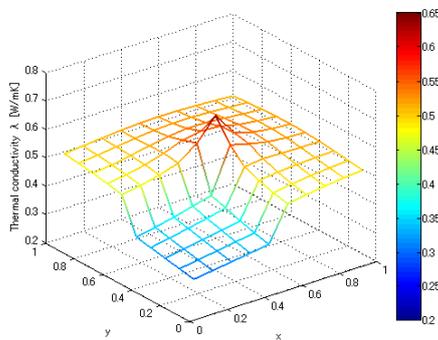


図4 推定された熱伝導率分布

図4に、推定した熱伝導率分布を示す。

図4から、熱伝導率の推定分布の概形は、実際の分布に近いことがわかる。しかしながら、(0.5, 0.5)における熱伝導率の推定値が実際の値よりも大きくなっていることがわかる。

熱伝導率分布推定において、領域の一部分で推定精度の悪化が生じた。この結果は、熱伝導率の近似的推定で用いた領域内全域で熱流束が一定であるという仮定が成立していなかったためであると考えられる。

そこで、流線間の熱の流量は一定であるという事実に基づいて、流線間の幅を熱伝導率の推定値を補正するために用いる。

領域の温度情報から温度勾配を取得し、領域の流線図を得る。次式のように熱伝導率の推定値に流線幅の比を乗じることにより補正を行う。

$$\lambda' = r\lambda \quad (4)$$

ここにλは、上述のように勾配から求めた熱伝導率の推定値、rは流線幅の比、λ'は補正後の熱伝導率を示している。

図5に領域の温度勾配から取得した流線図

の例を示す。さらに図6に、補正後の熱伝導率分布を示す。図7には補正前と補正後の熱伝導率分布の実際の熱伝導率分布との誤差率を示す。

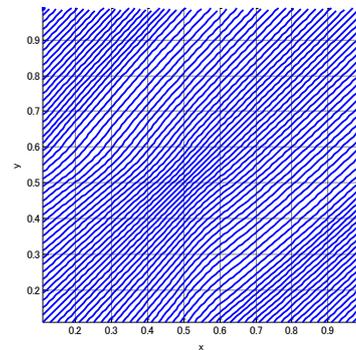


図5 温度分布により求められた流線の一例

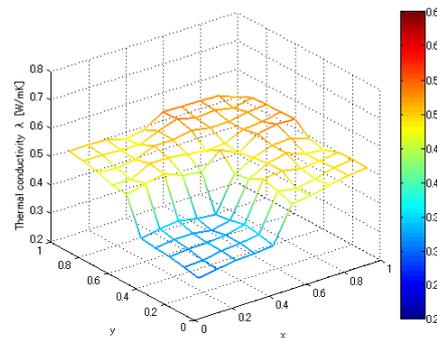


図6 流線幅を用いて補正された熱伝導率分布の推定結果

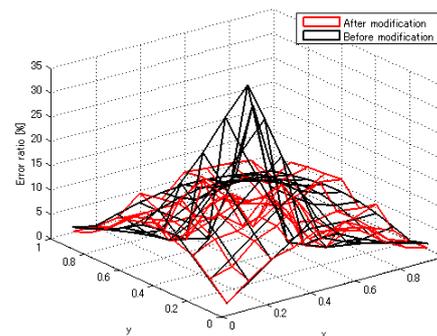


図7 流線幅を用いて補正された熱伝導率分布の推定における推定誤差分布

図6および図7から熱伝導率分布が補正前に比べ、領域全体で精度が上がっていることが分かる。さらに、補正前の(0.5, 0.5)における熱伝導率の推定値が実際の値よりも大きくなっている点についても大幅な改善が見られる。

誤差の最大値を、補正前の33.4%から16.3%と小さくすることができた。

以上のように、定常状態の温度分布から温度の空間勾配を用い、領域に存在する熱伝導率分布を推定する手法を提案した。熱伝導率分布の近い形を推定することができたが、熱伝導率分布の形によって、推定結果の精度の差であることがわかった。また、温度分布から得られた流線を使用して、流線間の幅の比によって熱伝導率分布の推定値に補正を行った。流線幅を用いた補正により、推定値の精度を向上させることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

Mitsumasa MAEKAWA, Shiro KUBO and Seiji IOKA, “Inverse Analysis for Estimating Thermal Property from Full Field Measurement”, Proc. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2012), (2012), Paper No. 3496, pp.1-11. (査読あり)

[学会発表] (計 1 件)

Mitsumasa MAEKAWA, Shiro KUBO and Seiji IOKA, “Inverse Analysis for Estimating Thermal Property from Full Field Measurement”, European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2012), Vienna, Austria, (会議開催期間：2012年9月9日・14日，発表日：2012年9月12日).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久保 司郎 (KUBO SHIRO)

大阪大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20107139

(2) 研究分担者

阪上 隆英 (SAKAGAMI TAKAHIDE)

神戸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：50192589

井岡 誠司 (IOKA SEIJI)

大阪電気通信大学・工学部・准教授

研究者番号：50283726