

熱弾性効果を利用した残留応力同定に関する逆問題解析

INVERSE ANALYSIS FOR IDENTIFICATION OF RESIDUAL STRESSES
USING THERMOELASTIC EFFECT廣川 幹浩¹⁾, 井上 裕嗣²⁾, 岸本 喜久雄³⁾

Yoshihiro HIROKAWA, Hirotsugu INOUE and Kikuo KISHIMOTO

- 1) 独立行政法人 消防研究所 (〒 181-8633 三鷹市中原 3-14-1, E-mail: hirokawa@fri.go.jp)
 2) 東京工業大学 機械制御システム専攻 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1, E-mail: inoueh@mep.titech.ac.jp)
 3) 東京工業大学 機械制御システム専攻 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1, E-mail: kkishimo@mep.titech.ac.jp)

This paper proposes a technique for identifying residual stress from temperature change induced by the thermoelastic effect of elastic solid. It has been shown by Wong et al. that the amplitude of temperature change of elastic solid due to periodic external loading is dependent not only on the amplitude but also on the mean value of each principal stress. By utilizing this fact, it is shown that the residual stress can be identified from temperature amplitude data obtained for more than three different loading conditions. Numerical simulations are conducted in order to assess the applicability of the proposed technique.

Key Words: Residual Stress, Thermoelastic Effect, Inverse Problem, Finite Element Method

1. 緒言

残留応力の定量的評価は構造物の信頼性確保のために重要な課題であり, 従来から種々の残留応力測定法が研究されてきた^{(1)~(3)}. 中でも, 測定対象物の穿孔, 切削, あるいは切断などにより残留応力を部分的に解放させ, その際に誘起されるひずみや変位などを測定して残留応力を求める方法はよく知られている⁽⁴⁾. また, 非破壊的な残留応力の測定法としては, X線応力測定法⁽⁵⁾, 磁気ひずみ法⁽⁶⁾, バルクハウゼンノイズ法⁽⁷⁾, および音弾性法⁽⁸⁾などが知られている. これらの測定法は基本的に点単位の測定法であるため, 特定の点における残留応力の評価には有効であるが, 残留応力の分布を評価するためには相当の手間を要する.

これに対して, 近年, 有限個の離散点で測定した各種のデータに基づいて, 有限要素法や境界要素法などの数値解析手法を利用した逆問題解析を行うことにより, 残留応力の分布を同定する方法が広く研究されている^{(9)~(13)}. しかし, これらの方法の多くは, 測定データを取得するために測定対象物の切削や切断を要したり, 同定精度を向上させるために測定点の個数や配置の工夫を要したりするため, 今後の更なる発展が求められている.

さて近年, 弾性体の熱弾性効果を利用した応力測定法として熱弾性法が注目されている⁽¹⁴⁾. この方法の利点は, 赤

外線サーモグラフィを使用することにより, 主応力和分布が非接触的に画像形式で得られる点にある. 通常の熱弾性法は, 断熱状態において周期的外力の負荷によって生じる主応力和の変化と熱弾性効果によって生じる温度変化とが比例すること⁽¹⁴⁾に基づいている. これに対して Wong ら⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾は, 弾性係数の温度依存性を考慮することにより, 次式を導出した.

$$\rho C_v \frac{\dot{T}}{T} = - \left[\alpha + \left(\frac{\nu}{E^2} \frac{\partial E}{\partial T} - \frac{1}{E} \frac{\partial \nu}{\partial T} \right) s \right] \dot{s} + \left(\frac{1 + \nu}{E^2} \frac{\partial E}{\partial T} - \frac{1}{E} \frac{\partial \nu}{\partial T} \right) \sum_{i=1}^3 \sigma_i \dot{\sigma}_i \quad (1)$$

ここで, s は主応力和, σ_i ($i = 1, 2, 3$) は主応力, T は絶対温度, ρ は質量密度, E は縦弾性係数, ν は Poisson 比, C_v は定積比熱, α は線膨張係数を表し, 上付きドットは物質導関数を表す. 式 (1) によれば, 熱弾性効果によって生じる温度変化は, 応力変化だけでなく, 残留応力を含む静的応力にも依存することがわかる. このことから, Wong ら⁽¹⁶⁾は式 (1) に基づく残留応力測定の可能性を指摘している. 赤外線サーモグラフィを使用すれば温度変化の分布が画像データの形式で比較的容易に得られるため, このデータに基づく逆問題解析を行えば, 従来に比べてより簡便に残留応力分布が同定できることが期待される.