計算数理工学論文集 Vol. 13 (2013 年 11 月), 論文 No. JASCOME

フィルタ理論を適用した動弾性逆解析による未知量同定

IDENTIFICATION OF UNKNOWNS BY ELASTODYNAMIC INVERSE ANALYSIS USING FILTERING THEORY

新宿 太郎 [1)], 東京 次郎 [2)], 境界 要子 [3)]

Taro SHINJUKU, Jiro TOKYO and Yoko KYOKAI

1) 生産大学工学部システム工学科 (〒 543-4567 若里市中央町 4-5-6, E-mail: taro@homer.seisan-u.ac.jp)
2) 構造重工 (株) (〒 380-8553 新宿市西新宿 2-1, E-mail: jiro@hero.kozo-ju.co.jp)
3) 生産大学大学院工学系研究科 (〒 543-4567 若里市中央町 4-5-6, E-mail: yoko@homer.seisan-u.ac.jp)

This paper presents an inverse analysis method for identification of unknown parameters corresponding to defect and/or unknown boundary conditions of an elastic body in a steady elastodynamic state. An extended Kalman filter and the boundary element method are applied to the elastodynamic inverse analysis. The extended Kalman filter algorithm can estimate state variables of a stochastic system. It is expected that the algorithm is also applicable to analysis of other identification problems for which only the noisy data are available at some measuring points. The effectiveness of the proposed inverse analysis method is demonstrated through numerical simulation for several example problems.

Key Words: Inverse Analysis, Identification, Boundary Element Method

1. はじめにの前に

tex 版では , source file の上部に , 巻数 (\volume) と開催月 (\sympmonth) , 及び論文 No.(\Anumber) を書き込むようになっています . 巻数は西暦年度数から 2000 を引いたもの , 開催月はご投稿になる event の開催年 (西暦) 月に合わせて下さい . 論文 No. は論文受理時にお伝えしますので , 投稿時は空欄で結構です . page 数は 4 or 6 の偶数で , 最後の page の column の大きさはできるだけ揃えて下さい . その際原始的に \newpage を使います .

tex を使わない方は ps, pdf 版の format に従って下さい . なお、受理された場合には , 1 ページ目の脚注にお知らせする受付日 , 受理日を書き込んで下さい .

2. はじめに

計測可能な系の応答から未知な入力や系の物性値または構造などを推定する問題や , 要求された応答を実現するような系の構造を求める問題は逆問題と呼ばれ , 非破壊検査 , システム同定 , 材料定数同定 , 設計問題といった工学上重要な課題を含んでいる . これらの逆問題に対して多くの逆解析手法が提案され , 様々な分野へ適用されている .

本研究では , 動的弾性応答に基づき未知欠陥や境界値の分布を同定する動弾性逆問題に対して , 拡張カルマンフィルタと境界要素法を適用して未知パラメータを求める逆解析手法を提案する . ここでは , 拡張カルマンフィルタ理論の概要と , 動弾性問題の境界要素解析を組み込んでいくつかの例題に対する数値シミュレーションを行い , 本手法の有効性を示す .

3. 動的弾性応答に基づく未知量同定逆問題

本研究では , Fig.1 に示すように , 調和加振力を受けて定常振動している弾性体構造要素において位置形状が未知な欠陥が内在し , さらに , 拘束部分における境界の変位分布が未知であると仮定する . これらの未知な欠陥の位置形状と変位分布とを , 境界上のいくつかの点で測定された変位あるいは歪みの動的応答をもとに同定する逆問題を考える . 構造要素の外側の形状と材料定数および拘束部分以外のすべての境界条件は既知であるとする . また , 本研究では取り扱わないが , このほかにも加振力分布や構造要素の材料定数が未知である場合や , さらにこれらのいくつかを組み合わせた逆問題が考えられる .

2013 年 9 月 30 日受付 , 2013 年 10 月 31 日受理

4. 理論

この問題における観測式は，観測変位ベクトル $\mathbf{u}_t$ が未知パラメータ $\mathbf{x}_t$ の非線形関数になっていると仮定すると

$$\mathbf{u}_t = \mathbf{h}_t(\mathbf{x}_t) + \mathbf{v}_t \tag{1}$$

と表せる．観測変位は定常動弾性問題の境界要素解析により求める．このため正則化した境界積分方程式に基づいて開発されたプログラムを利用する．

未知パラメータは次式に示すフィルタ方程式を用いて反復計算式により決定される．

5. 逆解析の数値シミュレーション

動弾性逆問題に対する本逆解析手法の適用性を検討するために，2 次元問題におけるいくつかの例題について数値シミュレーションを行う．

5.1. 未知空洞欠陥の同定

まずはじめに，構造要素に含まれる未知空洞欠陥を同定する数値シミュレーションを行う．辺 AB 上の変位分布は既知でその値は一様に 0 と仮定し，空洞欠陥の位置形状のみが未知であるものとする．また，未知欠陥をだ円形で近似できるものと仮定する．このとき欠陥を表すパラメータ $|\mathbf{p}|$ は次のようになる．

$$\left|P\right| = \left| \begin{array}{ccccc} X_1 & X_2 & a & b & \theta \end{array} \right| \tag{2}$$

ただし，X_1 と X_2 はだ円形の中心座標，a と b はそれぞれ短軸と長軸の長さ，θ は短軸の x_1 軸からの傾き角を表す．欠陥を円形とする場合はパラメータ a, b, q は半径を表す 1 つのパラメータ R でおきかえられる．

1 つの円孔がある 4 つの場合を，初期仮定 $X_1 = 0.0$ [mm]，$X2 = 0.0$ [mm]，$R = 30$ [mm] のもとで解析した．円孔の半径が 10 [mm] と 5 [mm] の場合について得られた結果を示す．

Table 1 Converged values of parameters in case of simultaneous identification of defect and displacement distribution

Parameter	Exact	Estimated
X_1	-70.000	-69.854
X_2	-20.000	-20.495
R	5.000	5.009
C_{11}	-3.32×10^{-2}	-3.32069×10^{-2}
C_{21}	-3.23×10^{-2}	-3.22789×10^{-2}
C_{31}	-4.22×10^{-2}	-4.22095×10^{-2}
C_{12}	-1.24875×10^{-2}	-1.24844×10^{-2}
C_{22}	-0.28125×10^{-2}	-0.28150×10^{-2}
C_{32}	1.45125×10^{-2}	1.45124×10^{-2}

6. 結言

本研究では，未知欠陥および未知境界値分布を同定するための動弾性逆問題の解析手法として，拡張カルマンフィルタと境界要素法を用いた逆解析手法を提案した．構造要素に内在する未知の空洞欠陥や変位分布を同定するいくつかの例題について数値シミュレーションを行い，本手法の有効性を確認した．

参考文献

(1) 田中正隆：逆問題解析における最近の研究動向 (1)，機械の研究，**43**(1991)，pp. 648–656.

(2) 日本機械学会 (編)：逆問題のコンピュータアナリシス，(1991)，コロナ社．

(3) 久保司郎：逆問題，(1992)，培風館．

(4) 中村正行，田中正隆，落合良：動弾性問題の未知境界値同定のための境界要素法逆解析，構造工学における数値解析法シンポジウム論文集，**16**(1992) pp. 125–130．