

■キーワード

構造ヘルスマニタリング 欠陥検出 非破壊評価 コンクリート構造

熱画像の逆解析によって隠れた欠陥を定量化
赤外線サーモグラフィによる構造物欠陥検出

■研究の概要

赤外線カメラで撮影した構造物表面の温度画像から、剥離など表層内部の空洞欠陥の存在位置および3次元形状を再構成する実用的な定量的診断技術を開発しました。

温度画像を無限平板モデルに周期的に埋め込むことによって熱伝導モデルを大幅に単純化し、安定で高速な逆解析を可能にしています。

さらに、定常熱伝導モデルから非定常熱伝導モデルへの拡張を行うとともに、画像の境界付近に出現する虚像の除去を行う方法を開発し、実問題への適用性を高めています。

■研究・技術のプロセス／研究事例

■提案する逆解析法の特長

本手法では、撮影した熱画像を無限平板熱伝導モデルに拡張的に周期展開し、2次元フーリエ変換を用いることによって、安定かつ高速に逆解析を行います。

順解析に依らず、表面の温度場を直接的に逆伝播することにより内部温度場および熱流束場を再構成できるため、解析に必要な事前知識は観測視野内の表層部熱パラメータのみであり、構造物の背面や側面の形状、熱負荷条件や熱伝達条件に関する情報を必要としません。

さらに、これまでは画像境界法線方向に温度勾配が存在する場合に、境界付近に偽の欠陥像が生じるという問題がありましたが、これを解決する手段を開発しました。

また、非定常熱画像からの欠陥像再構成手法を開発し、数値シミュレーションおよび実験により、短時間で高精度に欠陥検出を行うためのアクティブ加熱法への発展可能性を示しています。

$$-\kappa \left(\frac{\partial^2 t(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x,y)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t(x,y)}{\partial z^2} \right) = 0$$

$$q_z(x,y,0) = -\alpha_n (t(x,y,0) - t_a)$$

x, y : 平板面内
 z : 深さ方向

$\hat{\mathbf{u}}_n = \mathbf{H}_n \hat{\mathbf{u}}_{n-1}$

$\hat{\mathbf{u}}_n = \begin{bmatrix} \hat{t}_n(k_x, k_y) \\ \hat{q}_n(k_x, k_y) \end{bmatrix}$ 温度と熱流束の2次元フーリエ変換ベクトル

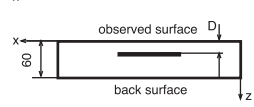
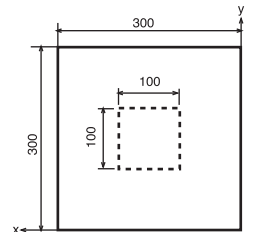
$\mathbf{H}_n = \begin{bmatrix} \cosh(kd_n) & -\frac{1}{k} \sinh(kd_n) \\ -k \sinh(kd_n) & \cosh(kd_n) \end{bmatrix}$

平板を層状に分割

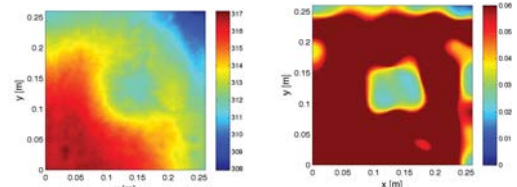
$\hat{\mathbf{u}}_n = (\mathbf{H}_n^{-1T} \mathbf{H}_n^{-1} + \lambda \mathbf{I})^{-1} \mathbf{H}_n^{-1T} \hat{\mathbf{u}}_{n-1}$



赤外線サーモグラフィ装置

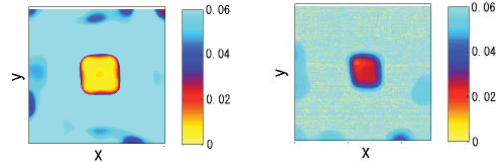


モルタル試験片



表面温度画像

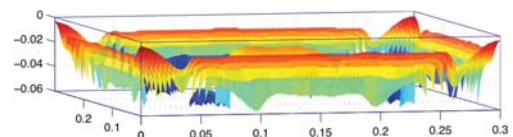
欠陥深さ画像



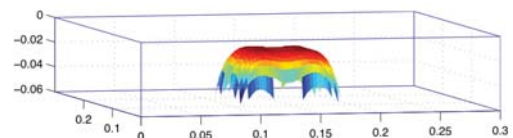
定常解析による欠陥深さ画像

非定常解析による欠陥深さ画像

モルタル供試体による実験結果



従来法による欠陥再構成像



提案法による欠陥再構成像

■セールスポイント

種々の状況に適應できる汎用性を持たせつつも、現場でのセットアップが容易な軽量・高速な欠陥検出システムの開発を目指します。コンクリート構造物のほか複合材料構造物の剥離欠陥の非破壊評価などに展開します。