

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 16 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2014

課題番号：22560421

研究課題名(和文) 動的せん断ひずみ時空間勾配解析によるエバネッセント場の検出に関する研究

研究課題名(英文) Detection of an evanescent scattered wave field by the dynamic shear strain and spatio-temporal gradient analysis

研究代表者

寺本 顕武 (Teramoto, Kemu)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：70207489

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、新たに、波長より小さな欠損の近接場に着眼し、「動的せん断ひずみ解析」と時空間勾配解析による欠損部の撮像法を提案している。提案する解析手法は、検査対象表面の法線方向(z軸方向)と検査対象表面に沿う方向に関する、互いに直交する一対の面外せん断歪みからなる信号列の共分散行列の行列式を利用し、分散性の波動場において、入射波の周波数や位相速度とは独立に点状欠陥のエバネッセント場領域を撮像するものである。エバネッセント場は、放射源(この場合は欠損)近傍に停留する場であるため、エバネッセント場の検出は、欠損領域の境界の検出につながるものである。

研究成果の概要(英文)：A Quantitative acoustical imaging technology is used or developed to classify the region of defect. The proposed evanescent field imaging method can be summarized as follows. 1) The distributions of the normal displacement of the object surface is governed by the 2-dimensional wave equation in the Lamb-wave field. 2) When the single propagating wave front exists on the surface of the object with no defect, the orthogonal pair of the out-of-plane shear strains are linearly dependent each other. Therefore the determinant of a covariance matrix which is composed of the orthogonal pair of the shear strains becomes zero. 3) When a region of interest having somewhat inhomogeneity exists, scattered wave arises in the Lamb-wave field. Consequently, the determinant becomes larger than zero because of the independency between the orthogonal pair over the region of the scattered and incident wave field.

研究分野：計測工学

キーワード：非破壊検査 超音波計測 動的せん断歪み解析 超音波撮像 波動応用計測 ガイド波

### 1. 研究開始当初の背景

現在、薄板複合材料が、航空機をはじめとする様々な用途に用いられている。薄板複合材料の非破壊検査では、超音波探傷法が一般的であるが、検査対象の厚さが薄くなるにつれて、より高い周波数の超音波が使用されるため、減衰が大きくなり一度に広い面積の非破壊検査が難しいという問題が生じている。そこで近年、検査領域を拡大するために、ガイド波を用いた非破壊検査が注目を浴びている。ガイド波は、薄板内を導波路として進行するため、小さなエネルギー減衰で伝搬する特長がある。ところが、ガイド波の多くは音速が周波数と板の厚さによって変化する分散性の波であり、波面の進行とともに、入力パルスの形状が崩れ、亀裂や剥離、欠損箇所からの散乱波を検出することが困難になるという問題点がある。さらに、航空機等で使用されているCFRPなど繊維強化樹脂は、繊維の方向とそれに直交する方向で弾性率が異なる直交異方性材料である。そのため、等速度面が楕円形状をなすため、波面の進行方向と波面が直交せず、一層、散乱波から欠損箇所の特定が困難となる。

板にそって進む波を非破壊検査に利用する研究は、1990年代より、Cawley や Rose によって始められた。その後、日本でも川嶋、林らによって研究が進められてきた。しかし、多くの研究は、波の伝搬遅延時間と音速を計測し、その結果より、亀裂や欠損の位置や大きさ、形状を推定するタイプの非破壊検査手法であった。

### 2. 研究の目的

これに対し、寺本らによって提案された「動的せん断ひずみ解析法」による欠損近傍のエバネッセント場の撮像法を直交異方性材料に適用することを考えた。この手法は、波長より小さな欠損の近傍の波動場の強度の空間分布に着目したものである。エバネッセント場は、放射源の近傍に停留する場であるため、エバネッセント場の抽出は、波源の特定を意味する。本手法は、波面の位相速度や波長に左右されない分解能を有していることが確認されており、薄板の非破壊検査において有効である。そこで、本研究は『時空間解析を動的せん断ひずみの秩序性の解析に導入し、亀裂近傍のエバネッセント場を検出することにより、波長の数分の1の大きさの亀裂を抽出する非破壊検査法を確立すること』を目的として実施された。本研究が提案する手法は、亀裂や剥離境界から滲み出すエバネッセント波に着目しているため、音速に対する先見情報無しに、亀裂や剥離の領域を抽出できる点で、従来にない非破壊検査手法である。さらに、亀裂などの再放射源の位置を媒質に対する先験的知識無しに取得できるという点で時間反転法に類似しているが、本手法は、互いに直交する向きの面外せん断ひずみからなる共分散行列の行列式

を計算するだけで算出できるという点で、実時間計測に適した非破壊検査手法である。

### 3. 研究の方法

本研究は、次の項目に従って実施された。

- (1) 薄板を伝搬する A0 モードラム波による波動場をモデル化し、波動方程式にもとづく解析を実施し、中空円筒状の欠損が薄板材料中に生じた場合の、A0 モードラム波の波動場の厳密解を導出する。
- (2) 厳密解にもとづき、互いに直交する動的面外せん断歪みの共分散行列の行列式が、欠損近傍のエバネッセント場を抽出することを理論的に明らかにし、欠損撮像手法を確立する。
- (3) 人工的に、薄板に円筒欠損を作成し、ラム波を発生させ、その波動を観測し、上記の計算モデルを適用させ、欠損部の映像化の実験を行い、分解能の評価を実施する。
- (4) また、同手法を、塗装鋼板に適用させ、塗膜下で発生した初期腐食領域の撮像実験を行い、検出能力を評価する。

### 4. 研究成果

#### 4.1. 欠損近傍の散乱波の厳密解の導出

均質な板材表面の原点に波源を設定し、自由境界条件の下で存在する反対称ゼロ次モードラム波(A0 モードラム波)に着目する。等方性媒質の板材に発生するラム波のモードのうち、A0 モードのみが横波より遅い位相速度を有する。A0 モードラム波は、板厚の減少に応じて位相速度が遅くなるという興味深い性質を持っているため、板が薄くなるにつれて波長が短くなり、薄板に発生した小さな欠陥を検出するのに有利となる。

A0 モードラム波は2次元の波動場を形成する。そこで薄板に発生した欠損を半径  $a$  の空洞円柱で模擬し、散乱波動場の厳密解を2次元の波動方程式に基づき解析する。図1に示されるように、空洞円柱の中心を原点  $O$  とする。なお、空洞円柱の周長は、波長  $\lambda$  と比較して十分小さい ( $2\pi a \gg \lambda$ ) と仮定する。観測点  $P$  および、空洞円柱の縁、 $S_1$  上の散乱点  $Q$  の位置ベクトルを、それぞれ次のように定義する。

$$\vec{OP} = \mathbf{r} = \begin{pmatrix} r \cos \phi \\ r \sin \phi \end{pmatrix} \quad \vec{OQ} = \mathbf{a} = \begin{pmatrix} a \cos \psi \\ a \sin \psi \end{pmatrix} \quad (1)$$

また、散乱点における単位法線ベクトル、および  $\phi = 0$  の向きに伝搬する平面波の波数ベクトルはそれぞれ、次式で与えられる。

$$\mathbf{n} = \begin{pmatrix} \cos \psi \\ \sin \psi \end{pmatrix} \quad \mathbf{k} = \begin{pmatrix} k \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{2\pi}{\lambda} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

なお、 $\omega$ 、 $\lambda$  および  $k$  は、それぞれ、入射する A0 モードラム波の角周波数、波長 および

波数 ( $2\pi/\lambda$ ) を与える. その結果, 入射平面波によって励起される動的面外変位は, 観測点において

$$f_i(\mathbf{r}, t) = \exp(i\mathbf{k}^T \mathbf{r}) \exp(-i\omega t) \quad (3)$$

で与えられる. また円柱座標系上で, 入射場の空間に関する項は, つぎに示すように Neumann 級数展開される.

$$\exp(i\mathbf{k}^T \mathbf{r}) = J_0(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} i^n J_n(kr) \cos(n\phi) \quad (4)$$

ここで,  $J_n(\cdot)$  は, 次のベッセル関数である. 一方, 空洞円柱によって散乱される波面による動的面外変位,  $f_s(\mathbf{r}, t)$  は,  $r > a$  において, 外向きに伝搬する波面の重ね合わせで, 次のように与えられる.

$$f_s(\mathbf{r}, t) = \left( A_0 H_0^{(1)}(kr) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} A_n H_n^{(1)}(kr) \cos(n\phi) \right) \exp(-i\omega t) \quad (5)$$

ここで,  $H_n^{(1)}(\cdot)$  は, 第1種  $n$  次ハンケル関数である. また空洞円柱であるので,  $S_1$  は, 応力開放境界となり, つぎの Neumann 条件を満足する.

$$\nabla(f_i(\mathbf{a}, t) + f_s(\mathbf{a}, t))^T \mathbf{n} = 0 \quad (6)$$

その結果, (4) 式および(5) 式の空間に関する項の対応する次数の多重極展開係数同士を比較することにより,

$$A_0 = -\frac{\frac{d}{da} J_0(ka)}{\frac{d}{da} H_0(ka)} \\ A_n = -\frac{i^n \frac{d}{da} J_n(ka)}{\frac{d}{da} H_n(ka)} \quad n = 1, 2, \dots \quad (7)$$

以上の考察により, 空洞円柱による散乱波動場の厳密解は,

$$f_s(\mathbf{r}, t) = \left( -\frac{d}{da} J_0(ka) \frac{H_0^{(1)}(kr)}{\frac{d}{da} H_0^{(1)}(ka)} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} i^n \frac{d}{da} J_n(ka) \frac{H_n^{(1)}(kr)}{\frac{d}{da} H_n^{(1)}(ka)} \cos(n\phi) \right) \cdot \exp(-i\omega t) \quad (8)$$

となる.

#### 4.2. 動的せん断歪み解析法

本研究では 雑音や観測条件の変動を考慮し, 観測点近傍における互いに直交する面外せん断歪みの線形従属性を評価するため, 時間相関に基づく手法を採用した. 簡単のため, ただ一つの微小空洞円柱が存在する場合を考える. 空洞円柱外側 ( $r > a$ ) の動的面外変位は, (3) と (8) の和より次式で近似される.

$$\tilde{f}(\mathbf{r}, t) = \left( \exp(i\mathbf{k}^T \mathbf{r}) - i\pi \left(\frac{ka}{2}\right)^2 H_0^{(1)}(kr) - 2\pi \left(\frac{ka}{2}\right)^2 H_1^{(1)}(kr) \cos \phi \right) \exp(-i\omega t) \quad (9)$$

動的せん断歪みベクトルは,

$$\nabla \tilde{f}(\mathbf{r}, t) = \left( \frac{\partial \tilde{f}(\mathbf{r}, t)}{\partial r}, \frac{1}{r} \frac{\partial \tilde{f}(\mathbf{r}, t)}{\partial \phi} \right) \quad (10)$$

で与えられる. ここで放射方向と円周方向の偏微分は, それぞれ

$$\frac{\partial \tilde{f}(\mathbf{r}, t)}{\partial r} = \left( ik \cos \phi \exp(i\mathbf{k}^T \mathbf{r}) + ik\pi \left(\frac{ka}{2}\right)^2 H_1^{(1)}(kr) + 2\pi \left(\frac{ka}{2}\right)^2 (-kH_2^{(1)}(kr) + \frac{1}{r} H_1^{(1)}(kr)) \cos \phi \right) \cdot \exp(-i\omega t) \quad (11)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial \tilde{f}(\mathbf{r}, t)}{\partial \phi} = \sin \phi \left( -ik \exp(i\mathbf{k}^T \mathbf{r}) + 2\pi \left(\frac{ka}{2}\right)^2 \frac{1}{r} H_1^{(1)}(kr) \right) \exp(-i\omega t) \quad (12)$$

である. これらを, 動的せん断ひずみの共分散行列の定義

$$\mathbb{C} = \begin{pmatrix} C_{rr} & C_{r\phi} \\ C_{r\phi}^* & C_{\phi\phi} \end{pmatrix} \\ = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \nabla \tilde{f}(\mathbf{r}, t) (\nabla \tilde{f}(\mathbf{r}, t))^T dt \quad (13)$$

に代入すると

$$C_{rr} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial f_i(\mathbf{r}, t)}{\partial r} \frac{\partial f_i^*(\mathbf{r}, t)}{\partial r} dt \\ + \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial \tilde{f}_s(\mathbf{r}, t)}{\partial r} \frac{\partial \tilde{f}_s^*(\mathbf{r}, t)}{\partial r} dt \\ = k^2 \cos^2 \phi \\ + \left(\frac{2\pi}{r}\right)^2 \left(\frac{ka}{2}\right)^4 (\cos^2 \phi + \left(\frac{kr}{2}\right)^2) |H_1^{(1)}(kr)|^2 \\ + (2\pi k)^2 \left(\frac{ka}{2}\right)^4 \cos^2 \phi |H_2^{(1)}(kr)|^2. \quad (14)$$

$$C_{\phi\phi} = \frac{1}{r^2} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial f_i(\mathbf{r}, t)}{\partial \phi} \frac{\partial f_i^*(\mathbf{r}, t)}{\partial \phi} dt \\ + \frac{1}{r^2} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial \tilde{f}_s(\mathbf{r}, t)}{\partial \phi} \frac{\partial \tilde{f}_s^*(\mathbf{r}, t)}{\partial \phi} dt \\ = k^2 \sin^2 \phi \\ + \left(\frac{2\pi}{r}\right)^2 \left(\frac{ka}{2}\right)^4 \sin^2 \phi |H_1^{(1)}(kr)|^2 \quad (15)$$

$$C_{r\phi} = \frac{1}{r} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial f_i(\mathbf{r}, t)}{\partial r} \frac{\partial f_i^*(\mathbf{r}, t)}{\partial \phi} dt \\ + \frac{1}{r} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial \tilde{f}_s(\mathbf{r}, t)}{\partial r} \frac{\partial \tilde{f}_s^*(\mathbf{r}, t)}{\partial \phi} dt \\ = -k^2 \cos \phi \sin \phi \\ + \left(i\frac{kr}{2} + \cos \phi\right) \left(\frac{2\pi}{r}\right)^2 \left(\frac{ka}{2}\right)^4 \sin \phi |H_1^{(1)}(kr)|^2 \quad (16)$$

が得られる。その結果、空洞円柱まわりの共分散行列の行列式の値は、

$$\begin{aligned}
 |C| &= C_{rr}C_{\phi\phi} - |C_{r\phi}|^2 \\
 &= \frac{1}{4}\left(\frac{2\pi}{r}\right)^2\left(\frac{ka}{2}\right)^4 \sin^2 \phi \left(16k^2 \cos^2 \phi |H_1^{(1)}(kr)|^2 \right. \\
 &\quad \left. + k^4 r^2 |H_1^{(1)}(kr)|^2 + 4k^2 r^2 \cos^2 \phi |H_2^{(1)}(kr)|^2 \right. \\
 &\quad \left. + 4\left(\frac{2\pi}{r}\right)^2\left(\frac{ka}{2}\right)^4 r^2 \cos^2 \phi |H_1^{(1)}(kr)|^2 |H_2^{(1)}(kr)|^2 \right) \quad (17)
 \end{aligned}$$

で表される。その結果、微小空洞円柱の近傍では、動的せん断歪みの共分散行列は、次に掲げる性質を有している。

(1) 入射波面と散乱波面の向きが一致または、反対となる場合  $|C| = 0$  となる。

(2) 入射波面と散乱波面の向きが直交する場合  $|C| \neq 0$  となる。

(3) また、ハンケル関数のパワーは、放射源近傍に集中しているため、空洞円柱の大きさが小さくなればなるほど、空洞円柱の近傍のより狭い領域に  $|C|$  の強度が集中する。

以上の議論より、動的せん断歪みの共分散行列の行列式の値は、微小空洞円柱のエバネッセント場の領域で高い値を示し、再放射源の特定に利用できる。

#### 4.3. 薄板中の微小空洞円柱の検出

動的せん断歪み解析に基づく撮像手法を概念実証モデルに適用し、微小空洞円柱による散乱エバネッセント場の像再構成を行った。

##### 4.3.1. 概念実証モデル

図 2(1)に概念実証モデル全景、(2)にブロックダイアグラムと供試体を示す。振動検出用プローブ(a)は、キャノン社製の DS-80 であり、マイケルソン干渉計で変位を検出する。応答周波数の上限は 500kHz、高さ方向の変位の分解能の公称値は 0.08nm あり、レーザの波長は 650nm であり、ビームのフットプリントの直径は、約 1.5mm である。送波子(b)には、ランジュバン振動子を用い、中心周波数 29kHz のモノパルスを印加する。供試体(c)は、一辺 140mm 厚さ 2.3mm の S45C 板である。S ( $x = 50.0\text{mm}, y = 0.0\text{mm}$ ) の位置に、直径 4mm 程度のドリル孔があげられている。またレーザ光の反射率を高めるため、観測領域全体は、厚さ 12 $\mu\text{m}$  のアルミニウム箔に覆われている。その結果、観測される法線方向の変位とは、検査対象を伝搬する入射ラム波動場と空洞円柱のエバネッセント場によって励振されたアルミニウム箔の変位のことである。サンプルステージに固定され、中心から送波子により振動が加えられる。検査領域は、斜線で示された、幅 6mm、奥行き 6mm の正方形である。xy ステージ(d)により、領域内を縦横 0.125mm 間隔で走査し、各観測点における法線方向の変位を観測する。なお、発振器、記録装置および xy ステージは、GPIB を介して計算機により制御されている。

実験では、外部の振動の影響を低減させるため、各観測点につき 256 回の加算平均の後、各点における法線方向の変位信号として記録されている。

##### 4.3.2. 微小中空円筒の撮像

本節では、動的せん断歪み解析による近接場の撮像の有効性を検証している。ここで領域の左下端を  $(x_0, y_0)$  とおき、 $x = i\Delta x + x_0$ ,  $y = j\Delta y + y_0$ ,  $t = n\Delta t$  で観測される信号を、 $f(x, y, t)$  とすると、面外せん断ひずみ信号は、隣接 5x5 点に対するソーベルフィルタ演算によって得られる。さらに共分散行列の因子は、以下の式に基づいて算出される。

$$\begin{aligned}
 \phi_{xx} &= \frac{1}{N\Delta t} \sum_{n=0}^N \alpha^n \cdot f_x(x, y, (N-n)\Delta t) \\
 &\quad \cdot f_x(x, y, (N-n)\Delta t)\Delta t \quad (18)
 \end{aligned}$$

ここで忘却係数は、 $\alpha = e^{-\Delta t/\tau}$  で定義され、時定数は、 $\tau = 200.0\mu\text{s}$  である。なお他の因子も同様に算出される。

S45C 板に直径 1mm、深さ 0.5mm の孔を、1 つあるいは、近接した 2 つの孔をあけ、近接場の撮像実験を行った。その結果、図 3(1)に示すように、動的せん断歪み解析により、直径 1mm の空洞円柱の周囲にそった近接場領域が高い輝度で撮像されていることが確認される。また、同(2)では、隣り合う孔の間隔が 1mm の 2 つの空洞円柱が分離されていることが確認された。

#### 4.4. 塗膜下腐食と塗膜剥離の撮像

本実験で用いた共試体は一辺 140mm 厚さ 2.3 mm の炭素鋼 (S45C) 板である。その表面にはアレスコのクリアラッカープレーで透明な塗装が施されている。さらに、表面に針で微小な穴をあけ、その上に約 5% の濃度の食塩水を滴下し、室内に放置してさびを発生させた。幅 24mm、奥行き 24mm の正方形の領域内を縦横 0.5mm 間隔で走査し、各観測点における法線方向の変位を観測する。図 4(1)に健全な状態の S45C 鋼板を示す。図 4(2)は、パルス照射後 390 $\mu\text{s}$  の動的面外変位の分布を示している。なお観測最大値の絶対値のうち最大値で正規化された値を画像化したものである。(3)、(4)はそれぞれ、動的せん断歪み解析法によって再構成された腐食領域および動的面外変位の分散の分布を画像化したものである。

次に図 5(1)に人工的に赤さびを発生させた S45C 鋼板を示す。図 7(2)はパルス照射後 390 $\mu\text{s}$  の動的面外変位の分布を示しており、図 4(2)と同様に画像化されている。(3)、(4)はそれぞれ動的せん断歪み解析法によって再構成された赤さびの領域および動的面外変位の分散の分布を画像化したものである。その結果、図 4(3)、図 5(3)を比較することにより、健全な場合では面外せん断歪みの分散共分散行列式が領域全体にわたって低い

値を示しているのに対し、腐食が進行すると赤さびの発生した領域の近傍で高い値を示すことが確認された。また、図4(4)、図5(4)を比較することにより、腐食が進行すると、健全な場合には観測されなかった塗膜剥離が発生していることが確認された。

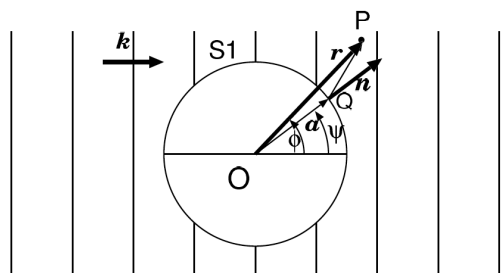


図1 Geometrical schematic of a hollow cylinder in the incident plane wave field with the wave number vector  $k$ ,  $S_1$ : the rim of the hollow cylinder,  $r$ : the vector of an observation point,  $P$ ,  $a$ : the vector of a scattering point,  $Q$ ,  $n$ : the normal vector of at the scattering point,  $\phi$ : the direction of  $r$ ,  $\psi$ : the direction of  $a$ .

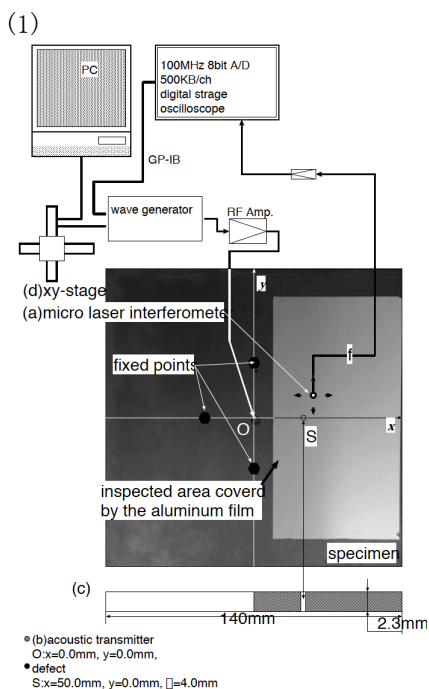
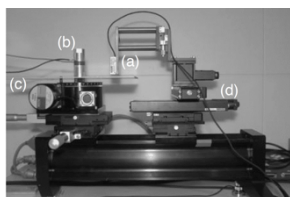


図2 (1) A view of the measurement setup and (2) a block diagram of the proof of concept model and its geometrical relationship with a specimen for inspection.

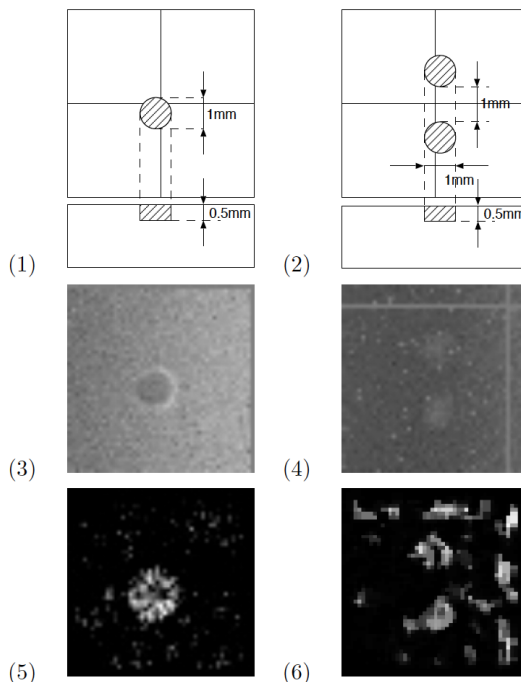


図3 (1) and (2) show the geometrical sketch of specimens. (3) and (4) show the distributions of the normalized vertical particle displacement with the existence of cylindrical flaw. (5) and (6) show the normalized determinant of the dynamic shear strains covariance matrix which are normalized by the maximum value, in the measured values.

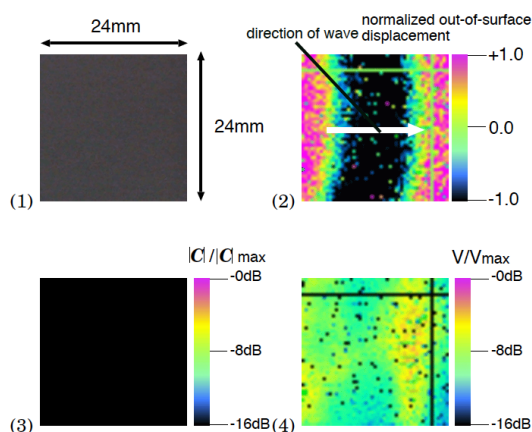


図4 (1) A photograph of the S45C plate without corrosion coated with clear paintings, (2) a snapshot of out-of-displacement  $200\mu s$  after the irradiation, (3) a reconstructed image obtained by the dynamic shear strain analysis, and (4) a reconstructed image of obtained by the variance of displacements.

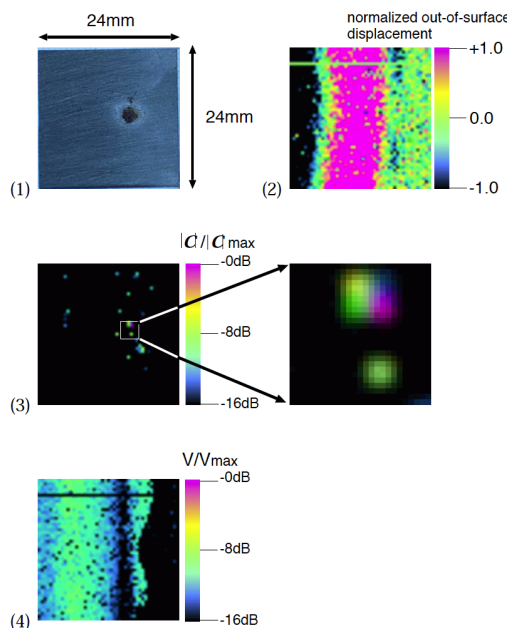


図 5(1)A photograph of the S45C plate with corrosion coated with clear paintings, (2) a snapshot of out-of-displacement 200 $\mu$ s after the irradiation, (3) a reconstructed image obtained by the dynamic shear strain analysis, and (4) a reconstructed image of obtained by the variance of displacements.

(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] (すべて査読有り) (計 6 件)

①寺本, 井上, ``A0 モードラム波を用いた動的せん断歪み解析に基づく欠損部の近接場の撮像, `` 計測自動制御学会論文集, 47 巻 10 号, 2011, 422-429

② T.I.Khan, K.Teramoto, ``Thermal Characteristic Identification of an Alcohol Flame by Measuring its Density Gradient in Shack-Hartmann Optical System, " Journal of Thermal Science, 20 巻, 1 号, 2011, 93-96

③ M.M. Hasan, K. Teramoto, et.al., ``Windowed Fourier assisted two-dimensional Hilbert transform for fringes phase extraction, `` Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 124 巻 19 号, 2013, 3996-4000

[学会発表] (すべて査読有り) (計 22 件)

①K.Teramoto, M. Hasan, ``Camera-Based Angular Motion Sensing: A Typical Approach," Proc. of International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering, in CD-ROM, 2010 クルナ (バン格拉デシュ)

② K.Teramoto, N.Tamachi, ``Near-field

Acoustical Imaging of Cracks over the A0-mode Lamb-wave Field," Proc.of SICE2010, in DVDROM, 2010 台北 (中華民国)

③ K.Teramoto, R.Inoue, ``Acoustical Near-field Imaging of Defects based on the Dynamic Strains Analysis," Proc.of SICE2011, 2011, 2716-2720 東京

④ K.Teramoto, Mahabub Hasan, Temma Miyanari, ``Dynamic shear-strain analysis of A0 mode Lamb wave field in composite materials with through hole," Proc. of SICE2012, 2012, 2024-2027 秋田

⑤ K. Teramoto, H.Ishibashi and M.M. Hasan, ``Subsurface Defect Localization by Dynamic Shear Strain Analysis," Proc. of SICE2013, 2013, 1088-1093 名古屋

⑥ K. Teramoto, H.Ishibashi, ``Detection and Localization of Subsurface Defects in CFRP plate by Dynamic Shear Strain Analysis Over the A0-Mode Lamb Wave Field," Proc. of The Fifth US -Japan NDT SYMPOSIUM, in CD-ROM, 2014 マウイ (アメリカ合衆国)

⑦ K. Teramoto, H.Ishibashi, ``Detection of Sub-Surface Delamination Based on the Dynamic Shear Strain Analysis," Proc.of SICE2014, 2014, 119-124 札幌

[解説, 資料等] (計 9 件)

① 寺本 顕武, ``ガイド波を用いた超音波計測," 計測自動制御学会誌, 49 巻 1 号, 31-37, 2010

② 寺本 顕武, ``A0 モードラム波を用いたクラック近傍の撮像手法," 第 27 回センシングフォーラム資料, 27, 2010, 261-266

③ 寺本, 宮成, 石橋, ``動的せん断ひずみ解析法にもとづく直交異方性材料の非破壊検査," 第 28 回センシングフォーラム資料, 28, 2011, 303-308,

④ 寺本, 宮成, ``動的せん断ひずみ解析法による鋼板検査システムの提案," 第 29 回センシングフォーラム資料, 29, 2012, 209-214,

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等:

<http://www.fusion.saga-u.ac.jp/research/teramoto.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

寺本 顕武 (TERAMOTO, Kenbu)

佐賀大学・工学系研究科・教授

研究者番号: 70207489

(2) 研究分担者 無し

(3) 連携研究者 無し