

I - 5 部材側面からの超音波計測による3次元欠陥の断面再構成

○東北大学大学院 学生員 村上賢治
東北大学大学院 正 員 北原道弘

1. はじめに

超音波を部材内に存在する欠陥に向けて送信すると、入射超音波は欠陥により散乱される。この散乱波を受信し、散乱波が有する波形情報から逆に部材内部に存在する3次元欠陥の形状を再構成するために3次元逆散乱解析法に関する研究¹⁾が行われている。しかし、この手法は図-1の左に示すように欠陥を取り囲む全方向から超音波を入射し、散乱波を計測する必要がある。現実的な応用の場において、そのような3次元的な計測面を確保することは困難な場合が多い。そこで、本研究では円柱状の支柱構造物内部に存在する欠陥の形状を再構成することを意図して、円柱側面に沿う方向からの散乱波が計測可能である場合を想定し、この方向から得られる散乱波形データから欠陥を再構成する方法について検討する。

2. 側面計測による欠陥断面の逆散乱解析

図-1の右に示すように欠陥を取り囲む計測面を $\theta = \frac{\pi}{2}$ とした平面内に固定し、その面から得られる散乱波データから欠陥断面を再構成することを3次元逆散乱解析法¹⁾を基に考える。

2.1 ボルン断面逆解析

計測面が $\theta = \frac{\pi}{2}$ と限定された場合、欠陥の領域を表す特性関数 $\bar{\Gamma}(\mathbf{x})$ は、その限定された計測面上で得られる縦波散乱振幅データ $A_m^L(k_L, \frac{\pi}{2}, \phi)\hat{y}_m$ を用いて次のように書き表せる。

$$\bar{\Gamma}(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{A_m^L(k_L, \frac{\pi}{2}, \phi)\hat{y}_m}{2u^0 k_L^2} \times e^{2ik_L(x_1 \cos \phi + x_2 \sin \phi)} 8k_L^2 dk_L d\phi \quad (1)$$

2.2 キルヒホフ断面逆解析

欠陥の境界を表す特異関数 $\bar{\gamma}(\mathbf{x})$ も $\theta = \frac{\pi}{2}$ と限定された計測面上で得られる $A_m^L(k_L, \frac{\pi}{2}, \phi)\hat{y}_m$ を用いて次

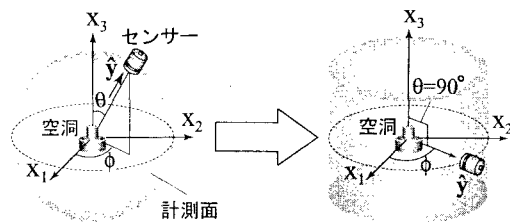


図-1 超音波の計測面

のように書き表せる。

$$\bar{\gamma}(\mathbf{x}) = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{-iA_m^L(k_L, \frac{\pi}{2}, \phi)\hat{y}_m}{2u^0 k_L} \times e^{2ik_L(x_1 \cos \phi + x_2 \sin \phi)} 8k_L^2 dk_L d\phi \quad (2)$$

以下、式(1)と(2)を用いて、欠陥の X_1 - X_2 断面像の再構成を試みる。

3. 数値解析による欠陥断面再構成

超音波計測実験に使用する探触子から発せられる超音波は進行方向に垂直な断面内で強度分布を持つことが知られている。側面からの散乱振幅データを用いて欠陥の断面像を再構成する場合には入射ビームの到達範囲が再構成結果に大きく影響してくると思われる。そこで、入射ビームに強度分布を考慮したガウシアンビーム²⁾を用いて、欠陥断面の再構成を行った。欠陥モデルと超音波の送信中心を図-2に示す。ここでは、入射超音波のビーム幅は図-3のように欠陥に比べて大きい場合($d=2.0a$)と小さい場合($d=0.4a$)の2種類設定し、解析を行った。それぞれの断面再構成結果を図-4と5に示す。 $\bar{\Gamma}(\mathbf{x})$ と $\bar{\gamma}(\mathbf{x})$ の値はそれぞれの最大値で正規化してある。欠陥断面の再構成結果をみ

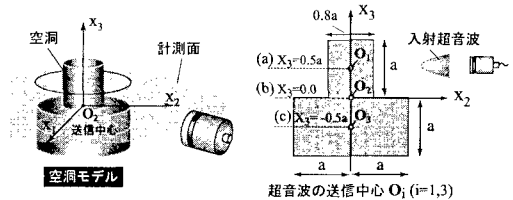


図-2 欠陥モデルと超音波の送信中心

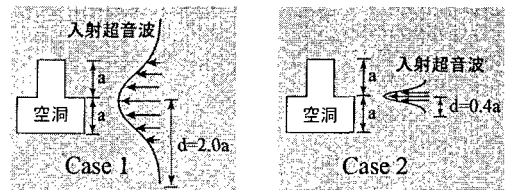


図-3 ビーム幅の設定

ると、Case1の場合にはビーム幅が大きいことにより大小2つの円柱状空洞からの反射の影響を受けてい

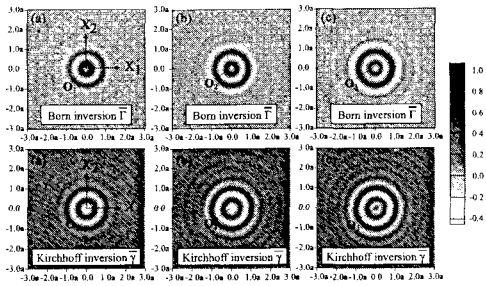


図-4 数値解析による断面再構成結果 (Case1)

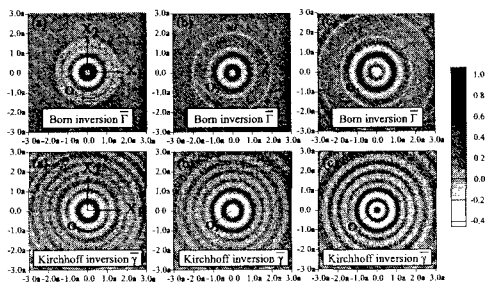


図-5 数値解析による断面再構成結果 (Case2)

るため各断面とも2つの円柱状空洞が再構成されており、各断面の正確な形状は再構成できていない。しかし、欠陥の代表寸法(ここでは、大きい円柱状空洞の半径)は推定可能であると言える。また、Case2のようにビーム幅が小さい場合、断面(a)と断面(c)ではそれぞれ小さい円柱状の空洞部分と大きい円柱状の空洞部分の断面が再構成できているのがわかる。

4. 超音波計測実験

数値解析の結果を踏まえて図-6に示すような実験装置を用いて計測波形から欠陥断面を再構成するための水浸超音波パルスエコー実験を行った。

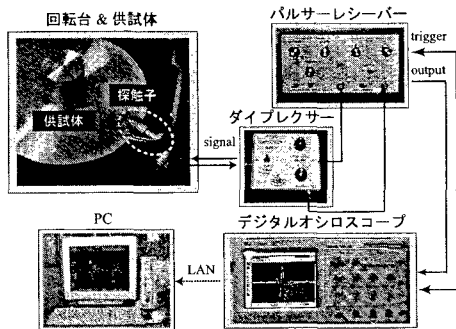


図-6 水浸超音波パルスエコー実験

4.1 計測に使用する供試体および探触子

供試体と超音波の送信中心を図-7に示す。供試体は円柱のアルミニウムに円柱状空洞を空けたものを使用した。また、計測は送信中心 $O_i (i = 1 \sim 3)$ を含む各面内で 10° 度おきに 360° 度まで行った。計測に使用した探触子は Panamatrix 社製の公称中心周波数 1MHz(直径 25.4mm) のものを使用した。

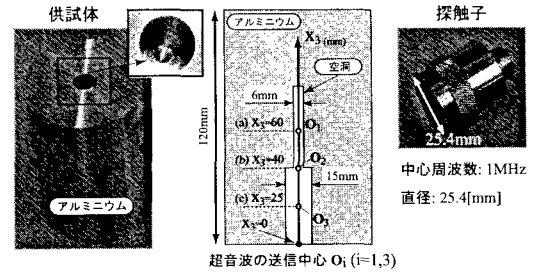


図-7 供試体と探触子

4.2 計測波形による欠陥断面再構成結果

計測により得られた散乱波形に波形処理を行い縦波散乱振幅成分を抽出した。そして、式(1)と(2)の $A_m^L(k_L, \frac{\pi}{2}, \phi) \hat{y}_m$ に代入し、得られた $\bar{\Gamma}(x)$ と $\bar{\gamma}(x)$ を図-8に示す。 $\bar{\Gamma}(x)$ と $\bar{\gamma}(x)$ の値はそれぞれの最大値で正規化してある。断面(a)では小さい円柱状の空洞部分が、断面(c)では大きい円柱状の空洞部分がそれぞれ再構成されているのがわかる。また断面(b)では、2つの円柱の境界が再現されている。

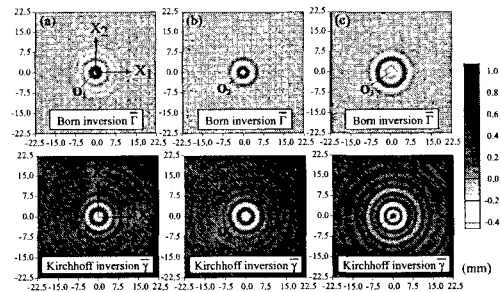


図-8 計測波形による欠陥の断面再構成結果

参考文献

- 1) 村上賢治, 山田真幸, 北原道弘: 3次元逆散乱法の計測への適用, 土木学会東北支部技術研究会発表会, pp.70-71, 2001年3月.
- 2) M. R. Karim and T. Kundu: Scattering of acoustic beams by cracked composites, Journal of Engineering Mechanics, Vol.116, pp.1812-1827, 1990.