

CS-10

空洞形状推定に関する超音波実験

岡山大学大学院 学生員 ○山本幸司

五洋建設株式会社

正員 鍋野博章

岡山大学環境理工学部 正員 廣瀬壮一

1. はじめに

現在、非破壊検査による定量的な欠陥検出に関する研究が盛んに行われている。本研究では非破壊評価法の一手法である超音波法を用いて弾性体中の空洞形状の推定法に関する考察を行った。本稿では、空洞形状の推定理論として線形逆解析理論を用い、超音波を用いたモデル実験を行って手法の妥当性を検証した。

2. 空洞形状の推定方法

2次元無限弾性体内に空洞 D が存在すると仮定する。空洞の境界では応力が0である。ここでの問題は、入射波を空洞に当てて、散乱した波を遠方場で検出した時に、得られた遠方散乱波のフーリエ振幅から、空洞の形状を推定する逆散乱問題である。ただし、入射波は平面波で、弾性体は等方均質な線形弾性であるとする。空洞の形状 D を表わすために、以下に示す様な特性関数 Γ と特異関数 γ_H を導入する。

$$\Gamma(\mathbf{y}) = \begin{cases} 1 & \text{for } \mathbf{y} \in D \\ 0 & \text{for } \mathbf{y} \notin D \end{cases}, \quad \int_{R^2} \gamma_H(\mathbf{y}) f(\mathbf{y}) dV_y = \int_{\partial D} H(\hat{\mathbf{x}} \cdot \mathbf{n}) f(\mathbf{y}) ds_y \quad \dots\dots\dots (1)$$

線形逆解析手法の逆ボルン近似(Inverse Born Approximation, IBA) と逆キルヒホフ近似(Inverse Kirchhoff Approximation, IKA) を用いれば、特性関数 Γ ならびに特異関数 γ は、後方遠方散乱P波のフーリエ振幅 A_L を用いて次のように表わすことができる。¹⁾

$$\Gamma(\mathbf{y}) = -\frac{2i}{\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{1}{u^0 k_L^2} A_L(k_L, \hat{\mathbf{x}}) e^{2ik_L \hat{\mathbf{x}} \cdot \mathbf{y}} k_L dk_L d\hat{\mathbf{x}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\gamma_H(\mathbf{y}) = -\frac{2}{\pi^2} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{1}{u^0 k_L} A_L(k_L, \hat{\mathbf{x}}) e^{2ik_L \hat{\mathbf{x}} \cdot \mathbf{y}} k_L dk_L d\hat{\mathbf{x}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 u^0 は入射波の振幅、 k_L はP波の波数である。

3. 実験概要

本研究では、図1に示すような実験装置を用いて超音波パルス-エコーの実験を行った。実験に用いた供試体は、図2に示す様なアルミニウムでできた円筒で、円筒の中心部に直径4mmの円筒空洞を開けた供試体A、及び、2mmの間隔で4mmと3mmの2個の円筒空洞を開けた供試体Bを用意した。なお4mmと3mmの2個の空洞を開けたモデルでは、4mmの空洞を中央に空け、3mmの空洞は4mmの空洞から2mmの距離置いて穴を開けている。超音波の入力、検出は、円筒側面の中心部に垂直に向けた水浸探触子によって行った。用いた水浸探触子はその中心周波数が2MHzと5MHzの2種類の広帯域探触子である。逆解析においては、2MHzの探触子の場合は0.3MHz～3.3MHzの周波数成分を用い、5MHzの探触子の場合は1MHz～8MHzの周波数成分を用いて解析した。ただし5MHzの結果は、紙面の関係上省略した。また、得られた波形は、探触子や測定機器の周波数特性を含んでいるので、適当な参照波を用いて補正したものを解析に使用している。なお、空洞形状推定の逆解析においては、空洞を取り囲むすべての方向から波動を入射する必要があるため、供試体を回転台に乗せ、10度づつ回転させて波形を検出した。

4. 実験結果

以下に、逆解析によって得られた特性関数 Γ 、並びに特異関数 γ_H の分布を示す。図3、図4はそれぞれ供試体Aのデータに対して、逆ボルン近似ならびに逆キルヒホフ近似を用いて空洞の形状を再現したものであり、図5は供試体Bに対して逆キルヒホフ近似を用いた場合である。図3,4においてはボルン、キルヒホフいずれの逆解析法においても空洞の形状が良く再現されていることが分かる。図5においては、再現された2つの空洞の形状が完全には再現されていない。これは、空洞の向かい合う面で波動が相互干渉を起して線形逆解

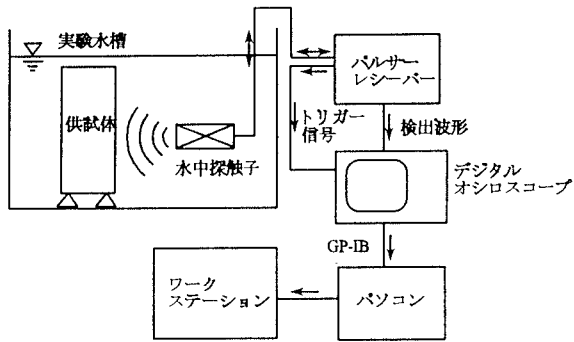


図1 実験装置

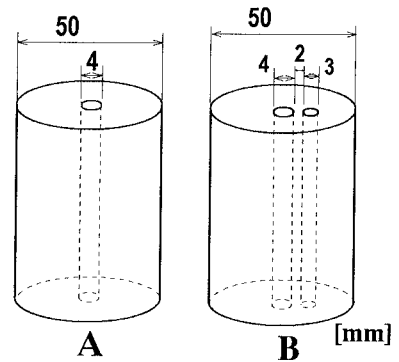


図2 実験供試体

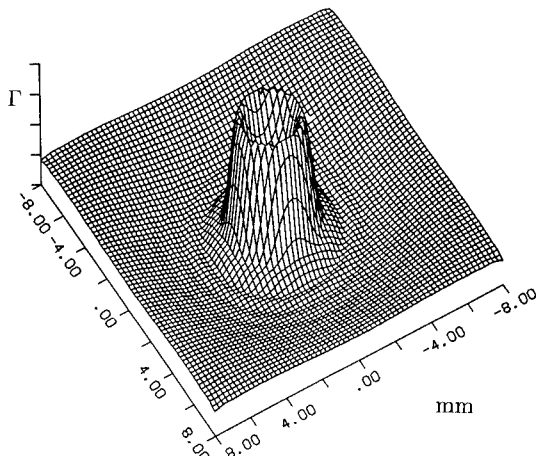


図3 供試体A-ボルン(2MHz)

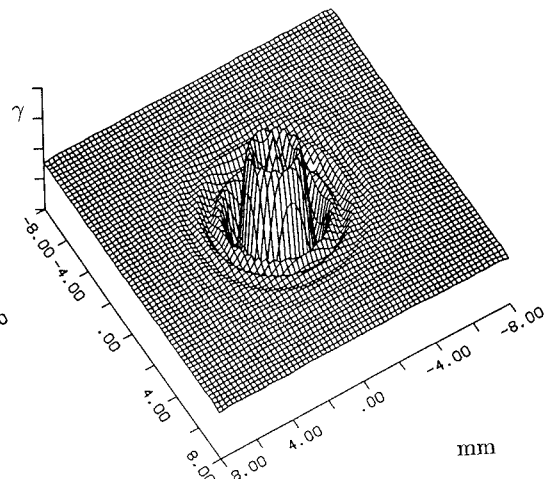


図4 供試体A-キルヒホフ(2MHz)

析における導入した近似の精度が悪くなっているためであろう。

5. おわりに

本手法では、データを収集するパラメータとして空間以外に周波数を用いている。式(2), (3)に示すように、理論上はすべての周波数成分を検出できれば、欠陥形状を完全に再現することができる。しかし、実験において広帯域の波形成分を検出することは難しい。したがって、逆解析に用いる周波数は欠陥のサイズ、波速などを考慮して最適な周波数域を選定すべきである。そのためには数値シミュレーションなどを用いて予め最適な周波数帯を予測しておくことが必要であろう。

参考文献

- 1) S. Hirose, in: S. Kubo (ed.) Inverse Problem, Atlanta Tech. Pub., 99-108, 1993.

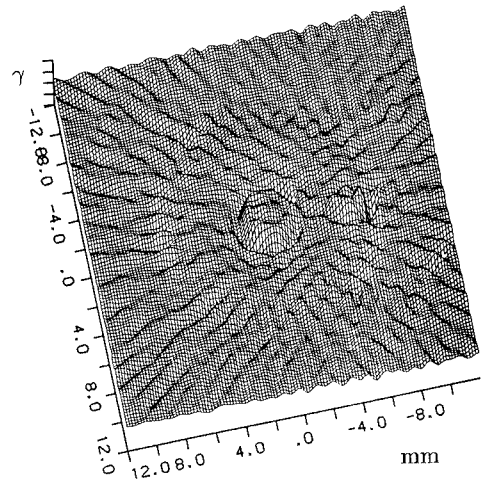


図5 供試体B-キルヒホフ(2MHz)