

位相反転による欠陥種類の識別法について

東北大学 学生員 ○小田島淳
東北大学 学生員 中畑和之
東北大学 正 員 北原道弘

1. はじめに

構造部材内に存在する欠陥が、空洞なのか介在物なのかを非破壊的に、しかも簡便に識別する方法があると便利である。その一手法として本研究では、物質の音響インピーダンスの違いに起因して生じる後方散乱波の位相の反転現象に着目した識別法について考え、その特徴と適用限界を明らかにすることを試みる。この識別法は、反射波のうちで最も大きい1波に注目し、入射波に対して反転したら空洞、しなかったら硬い介在物と識別するものである。

2. 反射波の位相

物質の音響インピーダンス Z は次式で定義される。

$$Z = \rho c \quad (1)$$

ここで、 ρ は物質の密度、 c は物質固有の音速である。このとき、直線境界面に垂直に音波(縦波) p^i を入射させたときの反射音波が p^r である時、音圧反射率 R_p は次のように表すことができる¹⁾。

$$R_p = \frac{p^r}{p^i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (2)$$

式(2)より、 $Z_1 > Z_2$ のときに R_p の符号がマイナスになる。これは、反射波の位相(正/負)が反転することを意味する。音圧反射率を表す式(2)は、簡単で利用しやすい表現であるが、直線境界面による反射率に対して成立し、固体内に存在する任意形状の散乱体に対して適用する場合には注意が必要と思われる。以下、この点について検討する。

3. 入射波と時間域波形の計算法

まず、固体内に存在する任意形状の散乱体による散乱波動場の計算法^{2),3)}を要約する。

(1) 変位場の定義

周波数域において、全変位場を $\hat{u}(\mathbf{x}, \omega)$ 、散乱波を $\hat{u}^S(\mathbf{x}, \omega)$ 、入射波を $\hat{u}^I(\mathbf{x}, \omega)$ とし、全変位場を次のように定義する。

$$\hat{u}(\mathbf{x}, \omega) = \hat{u}^S(\mathbf{x}, \omega) + \hat{u}^I(\mathbf{x}, \omega) \quad (3)$$

(2) 入射波

入射波として p 方向に伝播する平面縦波を考えると入射波は次のように表される。

$$u^I(\mathbf{x}, t) = u^0 f\left(t - \frac{\mathbf{p} \cdot \mathbf{x}}{c_L}\right) \quad (4)$$

ここで、 $u^0 (= pu^0)$ は平面波の振幅を表すベクトルである。式(4)を Fourier 変換すると次のようになる。

$$\hat{u}^I(\mathbf{x}, \omega) = u^0 e^{ik_L \mathbf{p} \cdot \mathbf{x}} \hat{f}(\omega) \quad (5)$$

ここで、 $k_L = \omega/c_L$ は縦波の波数である。式(5)は $\mathbf{x}$ に依存する $u^0 \exp(ik_L \mathbf{p} \cdot \mathbf{x})$ と時間履歴 $f(t)$ の Fourier 変換 $\hat{f}(\omega)$ との積であり、周波数域の解析を行う過程では $u^0 \exp(ik_L \mathbf{p} \cdot \mathbf{x})$ を入射波とみなすことができる。

(3) 時間域波動場の計算法

Fourier 変換域の解から非定常解を求める手順を要約すると図-1のようになる。

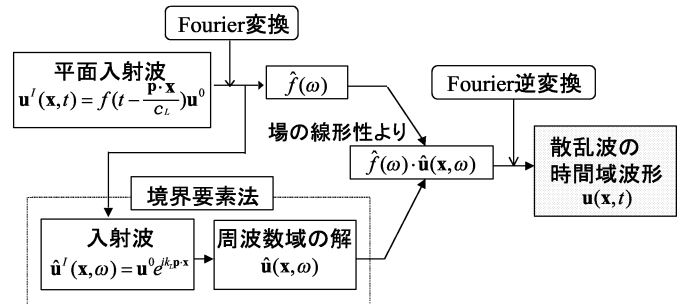


図-1 非定常解の計算手順

4. 数値解析による後方散乱波の波形比較

数値解析に利用する時間域の入射波形を図-2に示す。この入射波形は2つのセンサーを水中で50mm離して対向させて計測した時間波形である。まず、鋼材内に直径1mmの円形介在物と空洞を想定して解析を行った。図-3は円形介在物 ($Z_2/Z_1 > 1$ に対応) からの、図-4は

Key Words: 音圧反射率, 遠方波動場, 境界要素法

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉06

TEL 022-217-7126 FAX 022-217-7127

円形空洞 ($Z_2 = 0$ に対応) からの後方散乱波形の解析値である。円形空洞からの後方散乱波形 (図-4) は入射波形 (図-2) と位相の反転現象が生じていることがわかる。

図-5は長さ2mmの2つのクラックが図のように存在する場合について後方散乱波形を解析した結果である。ここで与えたクラック面上の境界条件は空洞と同じ応力零条件であるが、この場合の最大振幅を有する後方散乱波の位相は入射波に対して反転していない。その原因としては図-6と図-7の要因が考えられる。図-6ではクラックの終端②からの反射波の位相が反転していない。さらに図-7では②の経路で二度反転して帰ってきた波形には位相の反転が生じていない。

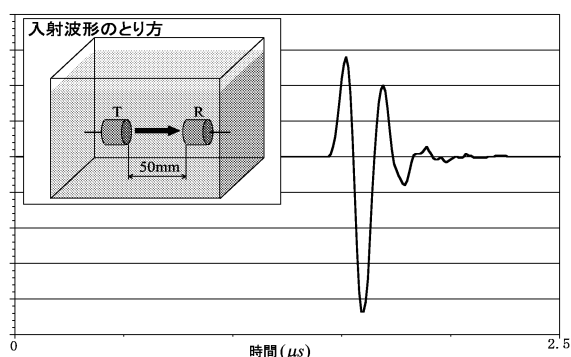


図-2 入射波形

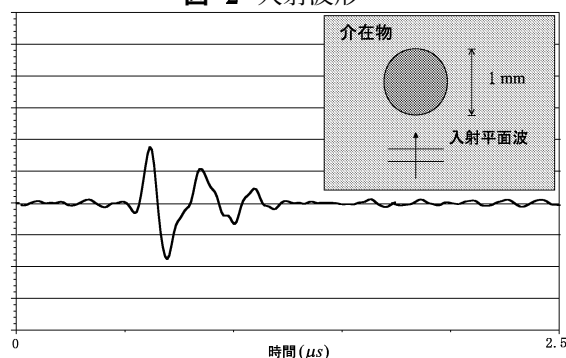


図-3 介在物 ($Z_2/Z_1 > 1$) による後方散乱波形

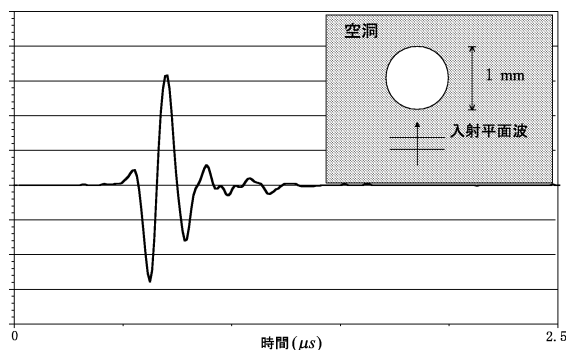


図-4 空洞 ($Z_2 = 0$) による後方散乱波形

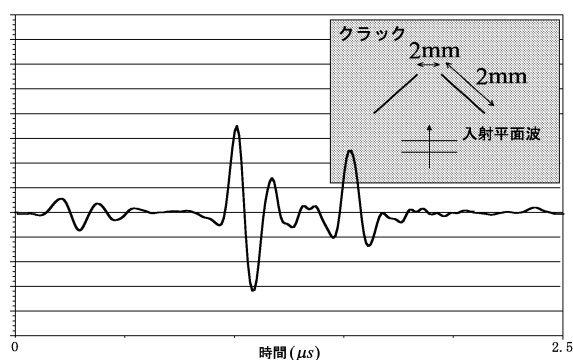


図-5 2つのクラックによる後方散乱波形

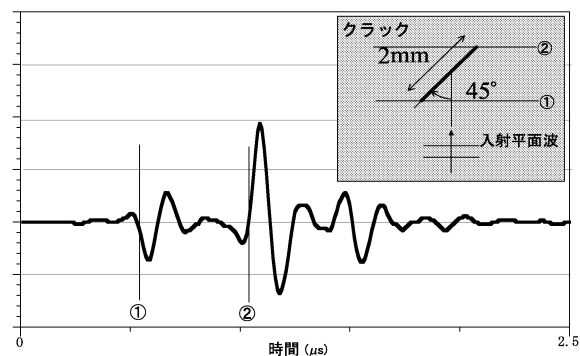


図-6 クラック (入射角 45 度) による後方散乱波形

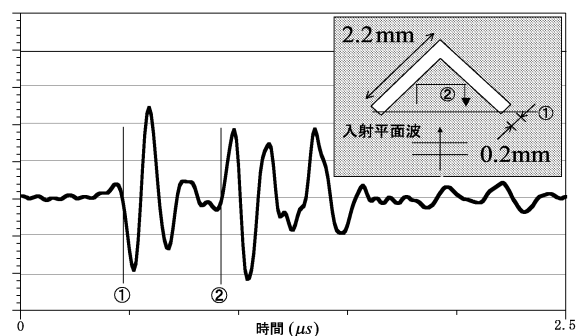


図-7 く形空洞による後方散乱波形

5. 結論

欠陥形状が単純であるとき、反射波の位相反転による欠陥種類の識別法は有効であるが、複雑な形状の場合には注意が必要である。

参考文献

- 1) L. W. Schmerr, Jr. : Fundamentals of Ultrasonic Non-destructive Evaluation, (1998), Plenum Press.
- 2) Y. Niwa, M. Kitahara, and H. Ikeda : The BIE approach to transient wave propagation problems around elastic inclusions, Theoretical and Applied Mechanics, 32 (1984), 183-198.
- 3) P. K. Banerjee and R. Butterfield : Boundary Element Methods in Engineering Science, (1981), McGraw-Hill.