

I-26 フェイズドアレイ探触子を用いたSH波探傷試験のシミュレーション

愛媛大学工学部 正 員 ○中畑和之
愛媛大学工学部 非会員 富川潔子

1. はじめに

超音波を用いて材料裏面のき裂を評価する場合、材料面から垂直に伸展したき裂に対しては端部エコー法¹⁾等の探傷法が実用的に使用されているが、傾斜したき裂に対しては評価手段がないのが現状である。そこで、本研究ではアレイ探触子の特性を利用して、傾いたき裂の評価法について検討する。ここでは、厚板裏面の傾いたき裂に対してアレイ探傷する場合を想定し、BEMを用いた数値シミュレーションによって欠陥エコー解析を行う。

2. アレイ探触子のモデル化と数値解析

アレイ探触子はエレメントと呼ばれる複数の小さな振動子から構成され、各エレメントにパルスディレイ（振動遅延時間）を設定することにより超音波ビームの進行方向や焦点が設定できる。ここでリニアアレイ探触子の遅延時間計算方法について述べる。

図-1に示すように、エレメントが x_1 軸上に N 個配置されているとする。アレイ探触子の中心 $(z_0, 0)$ に位置するエレメントを基準とし、0番目のエレメント Z_0 とする。いま、送信波の材料内部のフォーカスポイントを $F(f_1, f_2)$ とする。このとき、 m 番目のエレメント Z_m と0番目のエレメント Z_0 までのビーム路程 r_m と r_0 は、それぞれ次式で表される。

$$r_m = \sqrt{(f_1 - z_m)^2 + (f_2)^2}, \quad r_0 = \sqrt{(f_1 - z_0)^2 + (f_2)^2} \quad (1)$$

このとき、 F でフォーカスするためには Z_m に路程差 $\Delta r_m (= r_1 - r_m)$ に相当するディレイ Δt_m を設定すればよい。

$$\Delta t_m = \frac{\Delta r_m}{c_T} \quad (2)$$

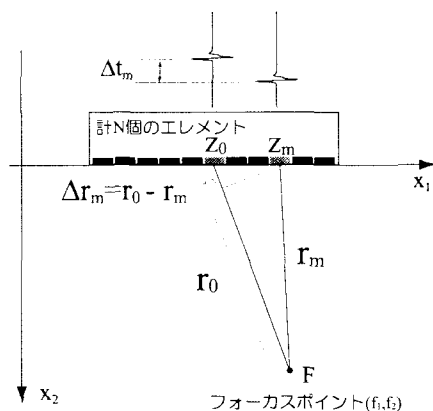


図-1 アレイ探触子とパルスディレイ

個々のエレメントをディレイをつけて振動させることで、アレイ設置面には表面力 $\bar{t}$ が発生する。この表面力をエレメント総面積 S_t で積分することによって、固体内の入射波 $u^{in}(x)$ が計算できる。

$$u^{in}(x) = \frac{i}{2\mu} \int_{S_t} \bar{t}(z) H_0^{(1)}(k_T r) dS_z \quad (3)$$

ここで $H_0^{(1)}$ は第1種0次のハンケル関数である。いま、材料裏面とき裂部の境界を ∂D とすると、境界上の変位場 $u(x)$ は式(3)で得られた u^{in} を用いて次の積分方程式を解くことによって求められる。

$$\frac{1}{2}u(x) = \int_{\partial D} U(x, y)t(y)dS_y - \int_{\partial D} (x, y)u(y)dS_y + u^{in}(x), \quad x \in \partial D \quad (4)$$

ここで U と T は基本解、 t は被検体の表面力である。上式の定常解が求められれば、時刻歴応答（非定常解）は式(4)をフーリエ変換することによって得られる²⁾。

3. 入射波の指向性

鋼材（横波波速 $c_T = 3200\text{m/s}$ 、密度 $\rho = 7690\text{kg/m}^3$ ）の表面に設置されたアレイ探触子から

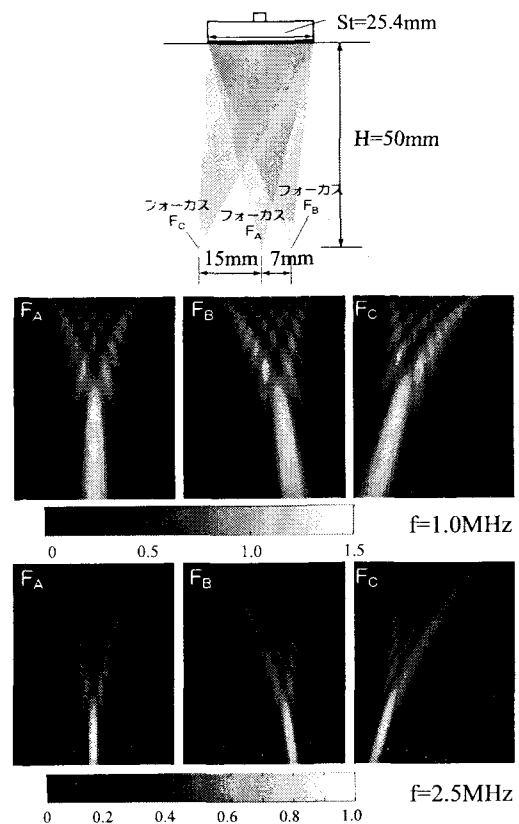


図-2 アレイ探触子のビーム指向性

SH波を入射したときの固体内波動場について述べる。図-2に示すように、アレイ探触子の直径を25.4mmとし、表面から深さ $H=50\text{mm}$ の位置に3つのフォーカス点 F_A, F_B, F_C を定める。図-2は周波数1.0MHzと2.5MHzにおける固体内波動場を示しており、想定した位置にビームフォーカスがあることがわかる。また、高周波になるにつれてビーム幅が狭くなり空間分解能が大きくなることがわかる。

4. アレイ探傷試験のシミュレーション

ここでは、厚さ $d=30\text{mm}$ の鋼材の表面に設置されたアレイ探触子による超音波の伝播挙動についてシミュレーションする。先ず、鋼材裏面から内部に向かって垂直に伸展しているき裂(高さ $h=3\text{mm}$, 開口 0.3mm)に対して、き裂先端にビームフォーカスを設定し超音波を送信した場合の可視化結果を図-3に示す。ここでは材料裏面に向かって進行する直接波が見られ(図-3(a)), 探触子端部からエッジ波が放射されているのがわかる(図-3(b))。この送信された波動はき裂先端で収束し、き裂先端で回折波が発生する(図-3(c))。回折波は底面反射波と共にアレイ探触子に向かって伝播していき(図-3(d)), アレイ探触子で再び受信される。このときの受信エコーは図-3の右上に示している。

次に、材料裏面から斜め方向に伸展しているき裂に対して、アレイ探触子を用いて超音波探傷を行った場合の数値シミュレーションを示す。ここでは、図-4中に示すような異なる4箇所超音波ビームを収束させ、き裂からの散乱波形をそれぞれ計算した。いずれの図も、き裂部からは2つの波形が計測されるのがわ

かる。1つはクラック先端回折波(Tip Diffraction)であり、もう1つは底面反射波(Bottom Reflection)である。図-4(b)と(d)では、同図(a)と(c)に比べてB.R.の振幅が大きいことがわかる。一方、図-4(a)と(c)のT.D.の振幅は(b)と(d)に比べて大きい。T.D.が大きく計測されるということは、フォーカス点付近にクラック先端があるということが推定できる。従って、フォーカス位置をいろいろと変化させ、T.D.の大きさを観測することでクラックの傾き・長さの評価が可能となると思われる。

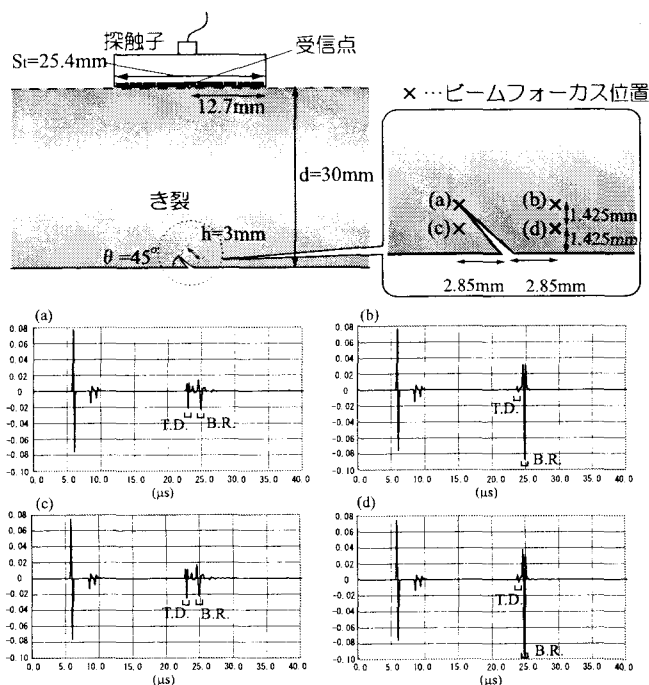


図-4 フォーカス位置を変化させたときの散乱波形

5. 結論

従来のSH探傷法では困難である傾斜した裏面き裂を評価するために、フェイズドアレイ探触子の適用を試みた。アレイ探傷試験は、探触子を移動させることなく電子走査によってフォーカスポイントを設定できる。数値シミュレーション結果から、裏面き裂の先端に対してフォーカスポイントを設定した場合に、振幅の大きな回折波が計測できることがわかった。フォーカスを変化させて回折波の大きさを観測することによって、き裂の傾き・長さの推定が可能となると思われる。今後は超音波計測実験を行い、本シミュレーションの検証を行いたい。

参考文献

- 1) 三原 毅: 連載講座 内部きずの新検査技術, 非破壊評価, 53(4), pp.216-222, 2004.
- 2) Niwa, Y., Kitahara, M. and Ikeda, H.: The BIE approach to transient wave propagation problems around elastic inclusions. Theor. appl. Mech., Vol.32, pp183-198, 1984.

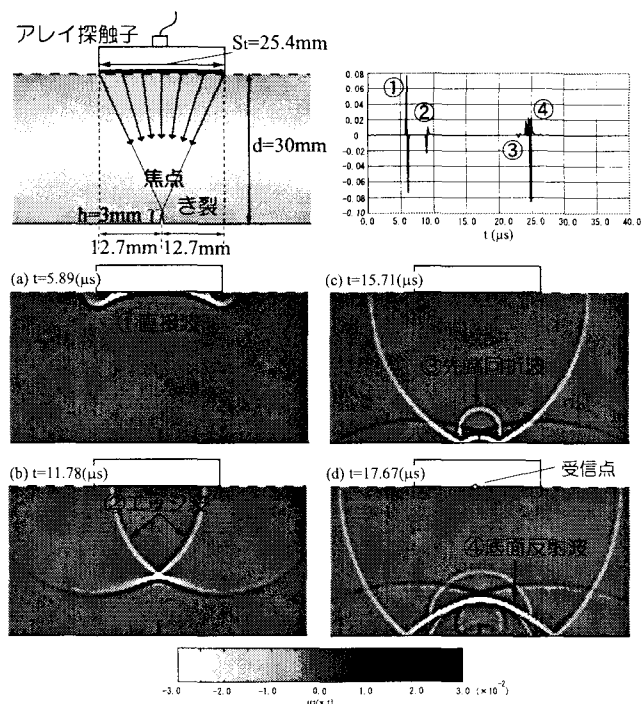


図-3 アレイ探触子から発せられた超音波の可視化