

I - A53

波線理論と境界要素法を用いた SH 波の反射・散乱解析

東京工業大学大学院 学生員 木本 和志
東京工業大学 正会員 廣瀬 壮一

1. はじめに

超音波探傷試験を対象とした弾性波の数値シミュレーションを境界要素法によって行う場合、超音波の波長(数 mm)に比べて送信、受信探触子から欠陥までの距離が大きく解析領域が広いと、多くの場合大規模な計算が必要とされる。欠陥を有する厚板(板厚 40mm)における超音波探傷試験もそのような問題の一つである。本研究では厚板の問題を効率よく行う一手法として、欠陥による超音波の散乱プロセスには境界要素法を、伝播プロセスには波線理論を適用する両者の結合解法を提案し、同手法では境界要素法の計算において必要とされる要素数の低減が可能となることを示す。ここでの解析は 2 次元の定常 SH 波を対象として行い、結果は必要に応じて時間域へ逆変換したものを示した。

2. 解析手法

弾性体 V が欠陥部分の境界 S およびそれ以外の境界 B から成るものとする、境界要素法において解くべき境界積分方程式は式(1)のようになる。

$$\frac{1}{2}u(y) = \int_{S+B} \{U(x, y)t(x) - T(x, y)u(x)\}dS \quad (1)$$

ここに、 U, T は変位および表面力の無限体に対する基本解を表す。通常の境界要素法では式中の未知数 u および t として入射波以外の $u^{tot}-u^{in}, t^{tot}-t^{in}$ が選ばれる(添え字 in, tot は入射および全波動場を表す)。しかし、ここでは入射波(u^{in}, t^{in})に加え欠陥以外の境界 B からの反射波(u^r, t^r)を波線理論によって求めておき、未知数を S からの散乱波 $u^sc \equiv u^{tot}-u^{in}-u^r, t^sc \equiv t^{tot}-t^{in}-t^r$ で構成した境界積分方程式を用いる。これを前者と区別して境界要素法と波線理論の結合解法と呼ぶことにする。本手法で B からの反射波に対して適用する波線理論とは、幾何光学的な近似によって弾性波の解析を行う手法で、領域を離散化する必要がなく、簡単な形状をした問題であればわずかな計算量で近似解を求めることができる。

3. 解析例

半無限領域問題および板の問題に対して以上の手法を適用して行った解析結果を示す。以下では長さの次元を持つ量については欠陥の半径 r で、応力の次元を持つ量については弾性体 V のせん断剛性 μ で無次元化してあるものとする。

半無限領域 解析モデルを図 1 に示す。自由表面近傍に存在する円筒状の空洞欠陥 S に対して、弾性体内部の点波源から波数 π の定常な SH 波が入射する場合を考える。自由

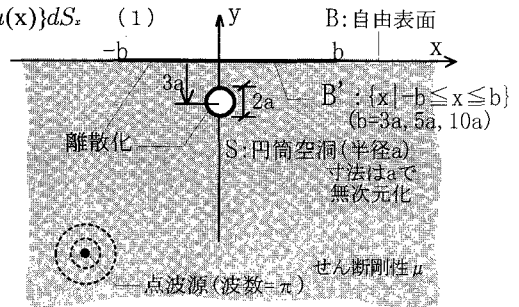


図 1 解析モデル（半無限領域）

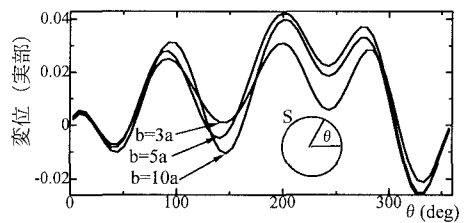


図 2 欠陥 S 上の変位（境界要素法）

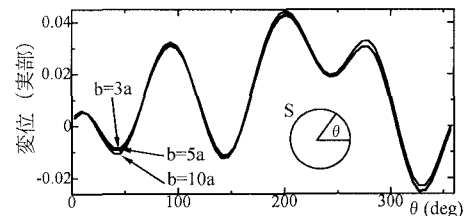


図 3 欠陥 S 上の変位（境界要素法+波線理論）

キーワード： 波線理論、境界要素法、厚板試験体
〒152-8522 目黒区大岡山 2-12-1 03-5734-2692

表面Bは無遠方まで続く境界であるが、境界要素法ではある適当な位置($x=|b|$)で境界Bを打ち切って解析を行う。ここでは、打ち切り位置 b をいくつか変え、通常の境界要素法、波線理論との結合解法のそれぞれで行った計算の結果を欠陥S上の変位分布として図2,3に示した。両者の結果を比較すると、通常の境界要素法では打ち切り位置の変化にたいして結果にずれがみられるのに対し、結合解法であればそのようなずれはほとんど見られず、 b を小さくとっても比較的精度のよい解析が可能であるということを示している。これは、結合解法での未知数である散乱波は、領域全体に分布する入射波や周辺境界からの反射波と違い、欠陥周辺に分布する比較的弱い波であるということに起因している。

厚板 解析モデルを図4に示す。ここでは欠陥は B_1 近傍にあるものとしたため、 B_1 と欠陥の間の複雑な多重散乱の影響は境界要素法で、その他の伝播プロセスには波線理論を適用することを考える。この場合境界要素法では半無限領域問題を解けばよく、さらに上に示した半無限問題の解析結果から自由表面の打ち切り位置を通常の境界要素法より小さくして解析を行うことができる。波線理論による解析では板上下面での多重反射する入射波を評価する必要がある。実際の超音波探傷試験で興味の対象となるのが初めの数回の反射波までであることを考え、ここでもそれらの内2回の反射波までを考慮することとした。入射波は図5のように時間的に変化する B_2 面に働く表面力によるものとし、結果は B_2 面上の観測点(37a, -40a)における変位の時刻歴として図6に示した。欠陥が B_1 面近傍にあるため欠陥からのエコーと周辺境界からの反射エコーが混在して現れているのが分かる。

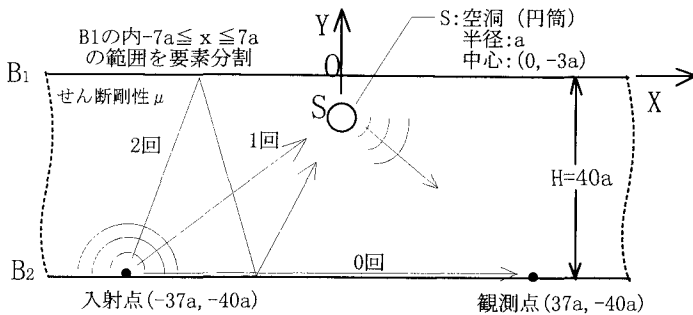


図4 解析モデル（厚板）および入射波の反射回数

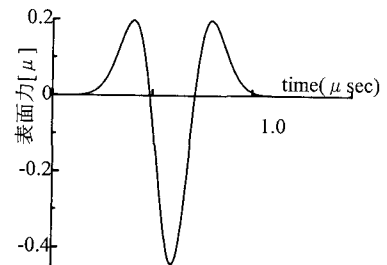


図5 解析に用いた入射波

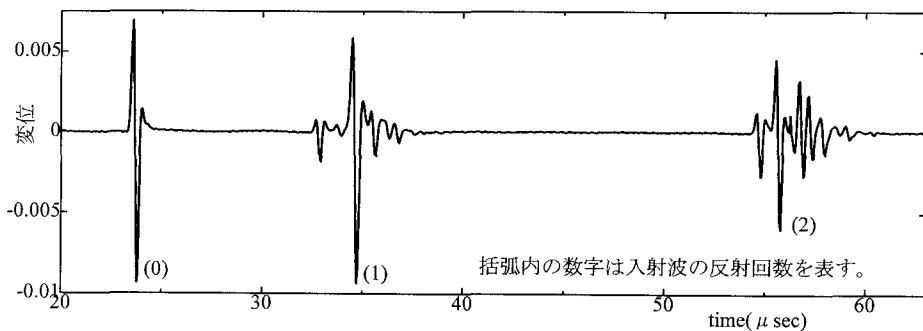


図6 観測点(37a,-40a)における変位の時刻歴

4. まとめ

半無限領域問題や板の問題では境界要素法と波線理論を併用することにより、離散化する境界を従来の境界要素法よりも小さくすることができ、計算規模を抑えることができる。同じ手法をより一般的な形状をした問題へ適用していくためには、波線理論の適用範囲をを拡張していく必要がある。