

# 異方性鋼材に対する超音波斜角探傷試験のシミュレーション解析

東京工業大学 学生員 藤原 千織  
新日本製鐵 永田 泰昭  
東京工業大学 正会員 廣瀬 壮一

## 1. はじめに

非破壊評価法の一つである超音波探傷試験は、材料あるいは構造物中の欠陥による反射波および散乱波から欠陥を検出し、欠陥に関するさまざまな情報を得ようとするものである。しかし、音響異方性を有する鋼材に対する探傷では超音波の波速に方向依存性があるため、探傷角度に応じて屈折角やエコー高さが変化し、欠陥の位置推定などが困難になるという問題がある。現状では、キャリブレーション実験によって異方性の影響を補正しようという試みはあるが、そのメカニズムは十分に解明されていない。探触子から入射される超音波や欠陥によって散乱される超音波を数理モデル化し、計算機上で超音波の伝播、散乱過程をシミュレートすることができれば、現在行われているキャリブレーションを数値シミュレーションで代用することができ、異方性鋼材に対する超音波検査法の効率化と高精度化につながると考えられる。そこで本研究では解析手法として境界要素法を用い、探触子による送受信の全過程をモデル化して、異方性を有する厚鋼材に対する超音波斜角探傷試験のシミュレーションを行った。

## 2. 斜角探傷試験

実験は二種類行った。はじめに、60度用斜角探触子（中心周波数 5MHz、振動子寸法 10mm×10mm）を STB-A1 標準試験片に接触、固定して横波の放射パターンを非接触の電磁超音波受信装置で検出した。測定はバースト波を入力し、EMAT 探触子を円弧に沿って移動しながら角度に対応した波形振幅値（mV）を測定した。次に、異方性鋼材に対する一探触子法実験を行った。実験図を図 1 に示す。実験は L 方向、C 方向に平行な直径 3.2mm の円柱状空洞を加工された異方性を有する試験片に探触子を円柱の軸と直角方向に前後走査させ、CZ 面内および LZ 面内の各点での空洞によって直接反射されたエコーのデシベル値を測定した。送受信探触子は STB-A1 標準試験片に対する実験で使用したのと同じ探触子を使用した。

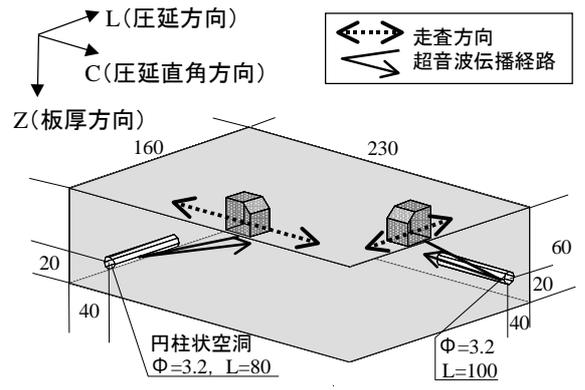


図1 一探触子法の実験図

Unit [mm]

## 3. 数値解析例

**放射パターンのシミュレーション** STB-A1 標準試験片を用いた斜角探触子からの放射パターンの数値シミュレーションを行った。ここでは無限弾性体中の放射問題として解析した。解析モデルを図 2 に示す。送信探触子の波面は入射角 60 度方向にできるとして探触子の接触面とは別に波源を設け、この波源に沿う方向の力を一様分布させた。ここで、探触子の接触面は  $W=10\text{mm}$  であるから力を分布させる波源幅は  $W\cos 60^\circ$  とした。また、力の時間変化は周波数 5MHz の  $\sin$  波が 5 波連続するものと仮定した。等方性鋼材の弾性定数は一般的な鋼材の値として縦波速度  $c_L = 5900\text{m/s}$ 、横波速度  $c_T = 3200\text{m/s}$ 、 $\rho = 7800\text{kg/m}^3$  とした。観測点は探触子接触面の中心位置を中心とした半径  $r = 100\text{mm}$  の円弧上に  $\theta = 40^\circ$  から  $\theta = 80^\circ$  まで等間隔に 41 点おき、境界要素法で入射場の各観測点における S 波の変位振幅を求めた。解析には Wang and Achenbach[1] によって求められた 2 次元異方弾性体の基本解を用いた。結果を図 3 に示す。ただし、最大振幅  $A_{\max}$  で正

キーワード：異方性鋼材，超音波斜角探傷試験，境界要素法，数値シミュレーション  
連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 03-5734-2692

規化している。実験値，解析値ともに同様の傾向がみられ，実際の探触子から放射される超音波が再現されていることがわかる。次に同様のモデルで，異方性鋼板に対して放射パターンを解析し，異方性が放射パターンに及ぼす影響を考察する。用いた鋼板の弾性定数  $c_{pq}$  は別に行った音速計測より得られた  $c_{11}=275.1$ ， $c_{22}=280.0$ ， $c_{33}=274.3$ ， $c_{12}=103.2$ ， $c_{23}=105.3$ ， $c_{31}=110.7$ ， $c_{44}=78.2$ ， $c_{55}=83.9$ ， $c_{66}=77.8$  ( $10^9\text{N/m}^2$ ) である。なお、座標  $(x_1, x_2, x_3)$  をそれぞれ L 軸，C 軸，Z 軸に一致するようにしている。異方性鋼板の CZ 面ならびに LZ 面内における入射波の放射パターンを等方性の結果と比較して示したものが図 4 である。振幅が最大となる入射方向が等方性鋼材は入射角 60 度であるのに対し，異方性鋼材 CZ 面内は -4 度ずれて入射角 56 度，LZ 面内は +2 度ずれて入射角 62 度となっていることがわかる。

**一探触子法のシミュレーション** 異方性鋼材に対する直接法による一探触子法をモデルとした数値シミュレーションを行った。ここでは無限弾性体中の散乱問題として解析した。解析モデルを図 5 に示す。入射波は上述の放射パターンのシミュレーションと同様のモデルで発生させた。散乱体である円は 48 等分に離散化し，観測点は接触面の中心座標とし，Y を変化させて  $x_2$  方向の遠方散乱場における散乱変位を計算した。図 6(a)(b) に計測結果との比較を表す。CZ 面，LZ 面ともに実験値と同様の傾向が見られる。特に異方性が強いのは実験値，解析値ともに CZ 面であった。等方性ならば図中矢印で示した水平距離  $Y=69.3$  (mm) において最大エコーが得られるはずであるが，CZ 面内については実験値では  $Y=62$  (mm)，解析値では  $Y=59$  (mm) となっていて共に 10mm 近いずれがある。

#### 4. まとめ

異方性鋼材に対する送受信を含めた超音波探傷試験の解析は，全伝播距離が波長の 300 倍に及ぶ大規模なシミュレーションとなったが，計測結果をよく再現できているといえる。しかしながら，境界ならびに探触子モデルが十分とはいえず，更に解析精度をあげるためより適した入射条件，受信条件のモデル化，ならびに半無限体の基本解を適用した境界要素法解析を行うことは今後の課題である。

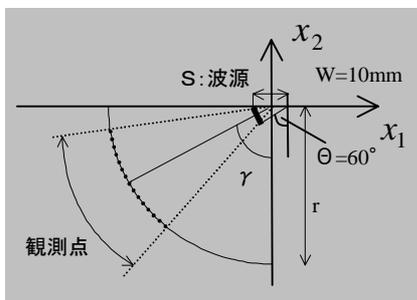


図2 放射パターンの解析モデル

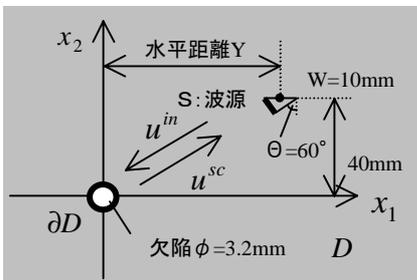


図5 厚板の解析モデル図

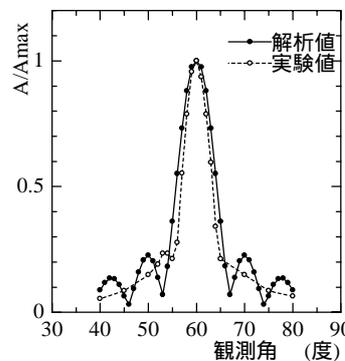


図3 STB-A1試験片による実験値との比較

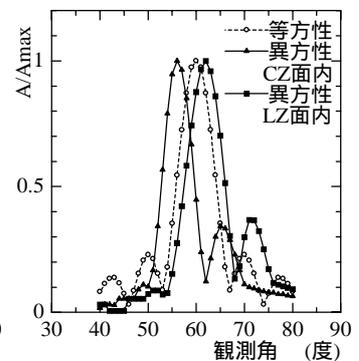


図4 入射波指向性に及ぼす異方性の影響

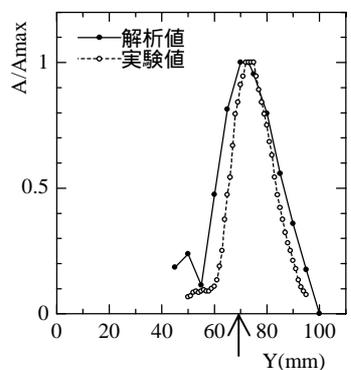


図6(a) CZ面内振幅変化

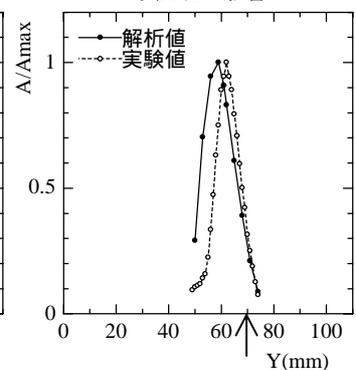


図6(b) LZ面内振幅変化

#### 参考文献

- [1] C.-Y. Wang and J. D. Achenbach : Elastodynamic fundamental solutions for anisotropic solids, Geophysical J.Int.118 (1994),pp.384-392