

## I-26

## 疑似欠陥を有する鋼材中を伝播する超音波の波形解析

北見工大 正員 三上修一  
 (株)鴻池組 正員 杉浦伸哉  
 北見工大 正員 大島俊之  
 北見工大 正員 菅原 登

## 1. はじめに

供用中の鋼構造部材の健全度診断を行い余寿命評価を行う場合、部材内部の欠陥を精度良く評価する手法の開発が必要である。特に重要構造物に対する溶接部の高度な品質管理は製作段階から施工後の維持管理に至るまで高い精度を必要とされておりこれに対する要請から欠陥の検出精度の向上は必須の問題となっている。著者らはこれまで超音波探傷画像装置を用いて鋼材中に人為的に配置した疑似欠陥を超音波パルスエコー法により探傷画像として検出し、画像処理結果に影響する種々の因子に着目しこれらの影響の程度を実験的に解析した。<sup>1), 2)</sup> 本研究では超音波探傷画像処理に用いた鋼材中を伝播する超音波(弾性波)を解析し、鋼材中に配置した疑似欠陥からのエコーの波形解析を行い、欠陥端部から得られるエコーと欠陥形状、欠陥深さとの関係について検討を行った。

## 2. 実験概要

## (1) 実験装置概要

実験に用いた計測システムは図1に示すような超音波探傷画像装置(AT5000、日立建機(株)、1989年)と超音波波形解析装置である。この超音波探傷画像装置は、超音波探傷器、自動走査装置、データ処理装置、画像処理装置から構成される。超音波探傷画像装置の超音波探傷器には探触子として水浸式焦点型垂直探触子(周波数10MHz、焦点距離40mm)を用い、自動走査装置には最小走査ピッチ0.05mmの直交座標型3軸スキャナーを用い、画像処理装置はCスコープによる強度データと路程データの表示が可能である。超音波波形解析装置は、デジタル・ストレージ・オシロスコープ(DSO)と波形記録用のパソコンから構成される。DSOはサンプルレート500MSample/sec、垂直軸の分解能10ビット、垂直軸の周波数帯域300MHz、FFT(高速フーリエ変換)計算機能を有する高速波形処理が可能な装置である。

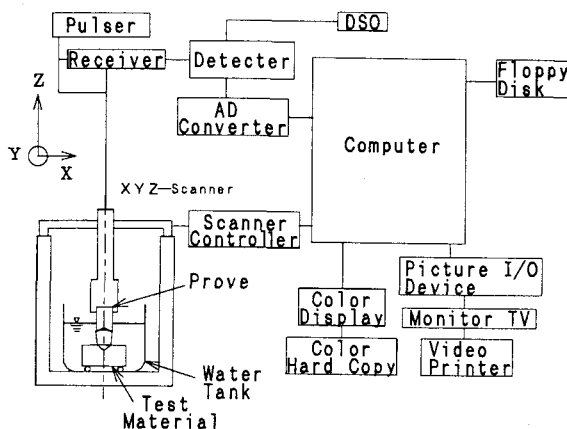


図1 測定装置ブロック図

## (2) 疑似欠陥供試体

疑似欠陥としての溝形欠陥は超音波の入射方向に垂直な面と平行な面によって構成される簡略化した欠陥モデルとして欠陥境界周辺での反射エコー波形の実験的解析を行うことができる。ここでは欠陥端部周辺でのエコー波形の特徴について検討を行うことにする。溝形切欠き欠陥供試体は、図2に示すように100mm×50mm×9mmの鋼板の中央に幅10mm、長さ50mmの溝形の欠陥を深さ2mmと5mmに変えた二つの供試体

Wave Form Analysis of Ultrasonic Wave Propagation in Steel Member with a Artificial Defect

by Shuichi Mikami, Shinya Sugiura, Toshiyuki Oshima and Noboru Sugawara

である。ここでは、深さ2mm (H<sub>2</sub>) の供試体をSample 2、深さ5mm (H<sub>3</sub>) をSample 3と呼ぶことにする。この様な供試体の欠陥端部における超音波のエコー波形には、欠陥端部と供試体底面からの反射波が同時に測定されていることになる。

(3) 実験方法概要

超音波探傷装置による疑似欠陥の測定は、図3に示すような反射波形をオシロスコープ上で確認しながらゲート位置を表面波直後から底面波までに設定し、ゲート設定範囲内にある反射波形について画像処理と波形解析を行う。ここで精度良い探傷画像を得るためには、ゲインやゲートの設定を適切に行う必要がある。また、探触子の焦点をどの位置に合わせるかによっても得られる画像の精度は異なる。本研究では、欠陥中央に焦点を合わせて測定を行っている。波形解析はゲート範囲内の波形を分離してDSOで取り込む。この波形はすぐにFFT演算処理されて測定波形とフーリエスペクトルがDSOのスクリーン上に表示される。この結果はパソコンによってフロッピーディスクに記録される。反射波形の測定は欠陥を中心とした左右14mmの範囲に対して行った。

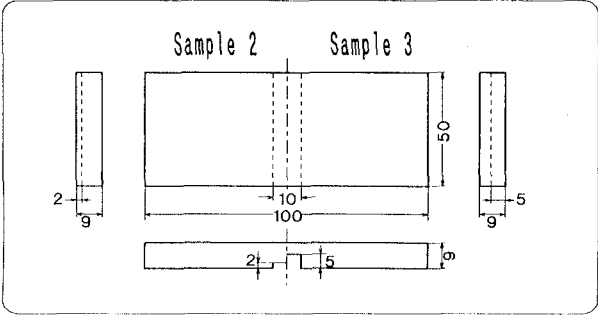


図2 供試体

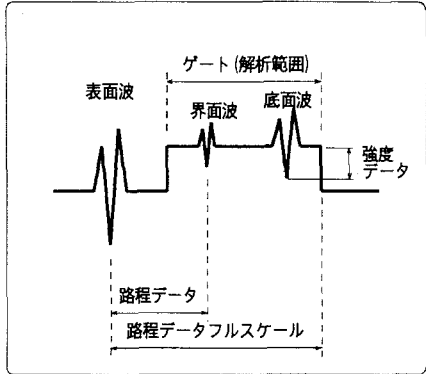
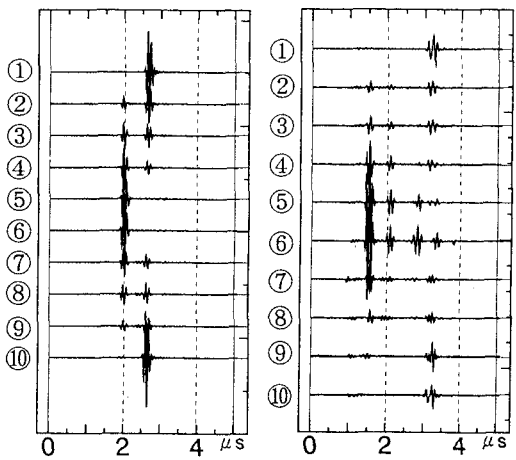


図3 Aスコープ波形の説明

3. 波形解析

図4に各供試体毎の測定波形を示す。測定波形は、上から順に欠陥の左側から欠陥に近づいたときの界面波と底面波の振幅の変化を示した図である。縦軸は振幅を表している。横軸は時間(μs)を示し、測定データ数4096点、サンプリング間隔1.25nsecである。また丸の中の数字は、波形を測定した位置を示し、Sample 2は図5、Sample 3は図6の図中の数字にそれぞれ対応する。図5、6は、測定波形から界面波と底面波のそれぞれの最大値を求め、界面波の最大エコー高さ(B<sub>0</sub>)と底面波の最大エコー高さ(B<sub>a</sub>)を基準底面波(B<sub>a0</sub>:測定底面波形の最大値)で規準化した。また、横軸は探触子の移動距離を示す。図中の③、⑧は実線と破線の交わる位置で、界面波と底面波のエコー高さが等しい点を示す。この交点間の距離(表1で「著者測定値」と表示)とノギスを用いた欠陥深さの測定平均値(実測値)による溝形欠陥のサイズを比較したのが表1である。この比較より最大0.1mmの誤差以内で欠陥寸法の測定が可能であることがわかる。また、従来の超音波探傷試験における



(a) Sample 2 (b) Sample 3

図4 測定波形

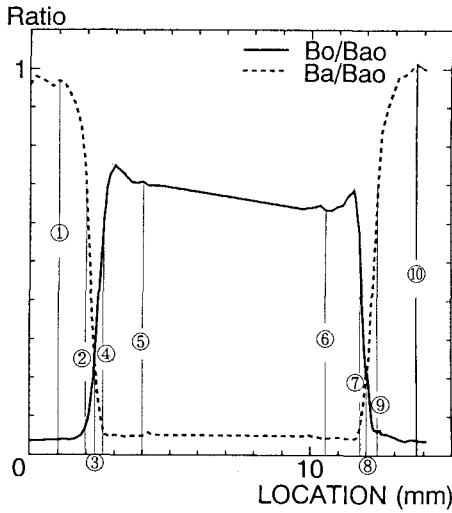


図5 エコー高さ包絡線 (Sample 2)

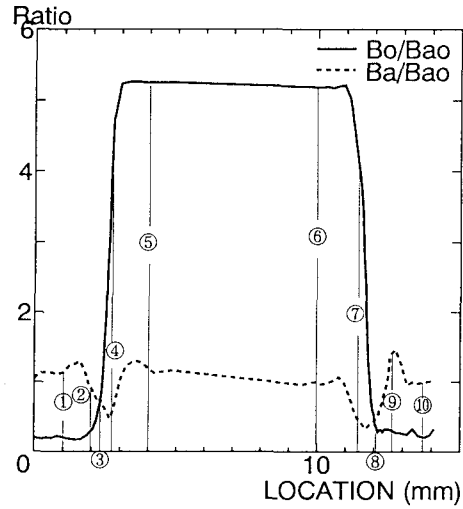


図6 エコー高さ包絡線 (Sample 3)

欠陥寸法測定法の一つである触子の移動距離に対する最大エコー高さからのエコー高さの低下割合を用いた欠陥寸法測定法であるD.ドロップ法(6dB)<sup>3)</sup>による結果を表1で比較している。また、図5、図6における界面波のエコー高さ包絡線の形状から欠陥面が平坦な反射面であることがわかる。すなわち界面波のエコー高さ包絡線の形状は欠陥面の形状を表す。

表1 欠陥寸法測定値の比較 (mm)

|           | Sample2 | Sample3 |
|-----------|---------|---------|
| 実 測 値     | 9.85    | 9.75    |
| 著 者 測 定 値 | 9.75    | 9.75    |
| 6dBドロップ法  | 9.85    | 9.40    |

#### 4. 欠陥深さと周波数特性

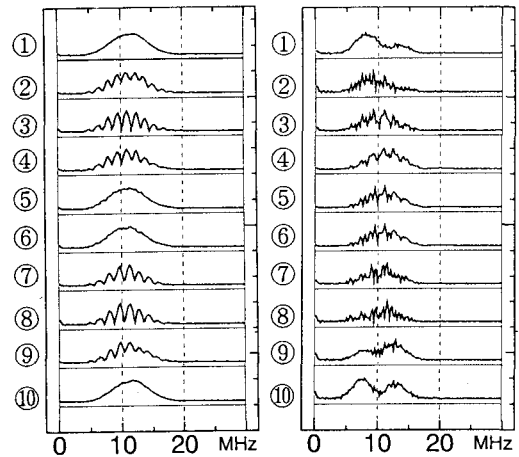
欠陥深さと周波数特性についてはすでに斜角入射による超音波探傷の欠陥寸法測定法の一つとして周波数分析による方法が知られている。<sup>4)</sup> これは欠陥深さHは卓越スペクトルの周波数間隔 $\Delta f$ に比例することを用いたものである。図7には測定波形のFFTによるフーリエスペクトル波形を示す。スペクトル図の縦軸は各々の最大値で基準化し、横軸は周波数(MHz)で30MHzまでを表示している。また解析周波数間隔は0.195MHzである。図7の(a)、(b)の欠陥端部周辺のスペクトル図(図中の②、③、④、⑦、⑧、⑨のスペクトル図)において卓越スペクトル間隔 $\Delta f$ を比較すると欠陥深さが大きくなると $\Delta f$ は小さくなっていることがわかる。各供試体の卓越スペクトル間隔は次のようになる。

Sample 2  $\Delta f_2 = 1.465 \text{ MHz}$

Sample 3  $\Delta f_3 = 0.586 \text{ MHz}$

卓越スペクトル間隔の比 $\Delta f$ と欠陥深さの比hを次のようにおくと

$$\Delta f = \Delta f_2 / \Delta f_3, \quad h = H_2 / H_3$$



(a) Sample 2 (b) Sample 3

図7 フーリエスペクトル波形

卓越スペクトル間隔と欠陥深さには次のような関係がある。

$$\Delta f \propto 1/h$$

即ち、垂直入射による超音波探傷において卓越スペクトル間隔と欠陥深さの逆数の間に比例関係があることがこの実験からも証明できた。

## 5. 結 論

超音波探傷装置を用いて探傷画像を得る場合に鋼材中を伝播する超音波を解析する事によって欠陥形状や寸法などの情報をより高精度に得ることができる。本論文では疑似欠陥として超音波探触子のビーム幅より大きな溝形欠陥モデルについて波形解析を行い次のようなことが得られた。

- 1) 界面波、底面波それぞれのエコー高さ曲線を用いて欠陥寸法を測定することができる。
- 2) 疑似欠陥を用いた周波数解析の結果より卓越スペクトル間隔を解析することによって欠陥深さを定量的に測定することが可能である。

## 参考文献

- 1) 三上、山崎、菅原、大島：超音波パルスエコー法による鋼構造の微小欠陥検出精度向上に関する研究、土木工学における非破壊評価シンポジウム講演論文集、平成3年10月、p35～41.
- 2) 菅原、三上、山崎、大島：波形解析を応用した超音波探傷法の微小欠陥検出精度向上に関する研究、構造工学論文集Vol.38A、1992.3、p405-412.
- 3) 大島榮次監修：設備診断予知保全実用事典、第1巻、1988.
- 4) 日本機械学会編：非破壊計測技術、朝倉書店、1990.2