

超音波エコー波形解析を応用した 欠陥境界検出精度向上に関する研究

北見工大	正員	三上 修一
(株)サクラダ		黒田 隆博
(株)東設土木C.	正員	安田 基治
北見工大	正員	大島 俊之

1. まえがき

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。特に最近の高度な溶接部の品質管理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。著者らは鋼構造部材中に人為的に配置した微小欠陥を超音波パルスエコー法により検出し、画像処理する際に、画像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。

1), 2), 3) 本研究では1mm~2mm程度の種々の人工欠陥を鋼板中に配置し、これらの欠陥の画像を求める際に、鋼板内部の欠陥の深さ、傾き、さらに2個の微小欠陥の検出画像への干渉の影響などについて解析した。また微小欠陥からの反射波形解析を行い、検出画像の高精度化に関する検討を行った。

2. 計測システム概要

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映像装置(AT5000、日立建機㈱、1989年)と超音波波形解析装置である。この超音波探傷映像装置は、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。

超音波探傷映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（走査範囲500×600×250mm、走査速度10～150mm/s）を用い、画像処理装置にはCスコープ（白黒256階調表示、カラー16階調表示）による強度データと路程データの表示が可能である。画像処理は、被検体の肉厚による

測定深さに応じた時間軸のゲートを設定し、このゲートを通過した反射波形の最大振幅を、欠陥エコー高さに比例した信号として取り出す。また、この電圧と可変基準電圧を比較電圧回路に通すことにより、欠陥エコーのAD変換信号を画像処理のデータとして、欠陥図形を二次元表示する。

超音波波形解析装置は、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）計算機能を有するデジタル・ストレージ・オシロスコープ（DSO）を用いた。波形解析では、設定ゲート内の反射波形をDSOに取り込み、高速フーリエ変換によるスペクトル解析を行い反射波形とスペクトル波形を同時に表示出来る。

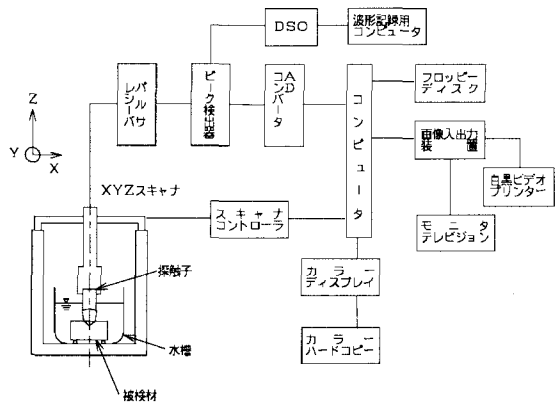


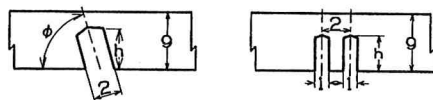
図1 測定システム

Study on the Accuracy Improvement of Defect Boundary Detection for Steel Structure
by Using a Wave Analysis of Ultrasonic Inspection
By Shuichi MIKAMI, Takahiro KURODA, Motoharu YASUDA and Toshiyuki OSHIMA

3. 探傷画像による微小欠陥の検出

(1) 実験概要

実験に用いた供試体は、9 mm の鋼板に穿孔角度 ϕ (90° 、 75° 、 60°)、穿孔深さ h (5mm、3mm、2mm)、ドリル孔の間隔 (1mm のドリル孔、中心間隔約 2mm) を変えた図 2 のような 12 種類の欠陥モデルである。以後の説明には図 2 の表中の供試体名を用いる。探傷画像は、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を行う。強度データは測定された反射波の最大振幅から基準電圧と相対的に表した 256 階調のデータである。路程データはトリガ開始点 (この場合は表面波の受信位置) からゲートの立ち下がりまでの時間を基準として、反射波がどの位置に存在するかを相対的に表した 256 階調のデータである。探触子で測定される反射波としては被検体表面からの表面波、底面からの底面波、被検体中に存在する欠陥からの界面波が測定される。これらの波形から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。



供試体	$\phi(^{\circ})$	$h(\text{mm})$	供試体	$\phi(^{\circ})$	$h(\text{mm})$
A	90	5	G	60	5
B	90	3	H	60	3
C	90	2	I	60	2
D	75	5	J	-	5
E	75	3	K	-	3
F	75	2	L	-	2

図2 供試体

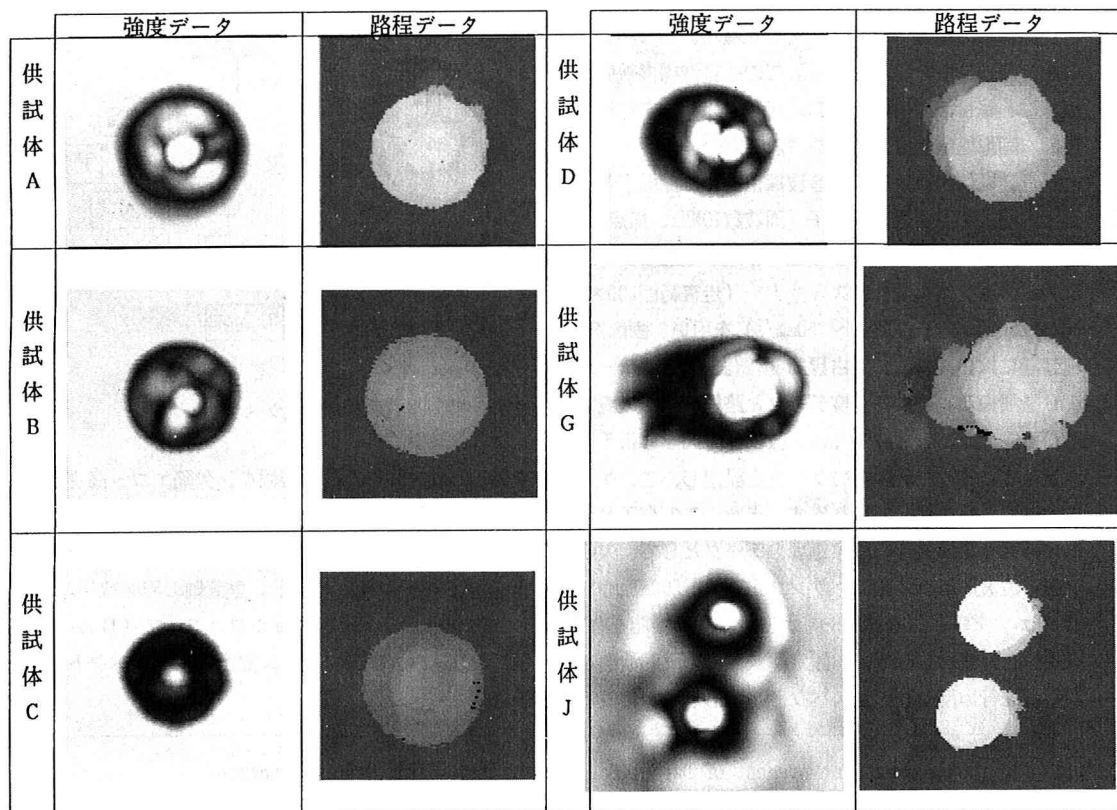


図3 超音波探傷画像 (Pitch 0.05mm、Scale $\longleftarrow$ 0.8mm)

(2) 実験結果

図3に供試体A、B、C、D、G、Jの超音波探傷によるCスコープ画像を示す。各供試体毎に強度データと路程データによる画像出力を並べて表示した。強度データによる画像出力で明るい部分ほど反射波の振幅が大きく、暗いほど小さいことを示す。また、路程データは、明るいほど界面波が表面に近い位置から反射していることがわかる。欠陥の深さの異なる供試体A、B、Cについて画像の比較を行うと、強度データからはドリルホール先端の欠陥の形状が良く表示されており、路程データより欠陥位置の違いがわかる。これらを併せて検討することにより欠陥の形状、位置に関する資料となる。また、欠陥の傾きの異なる供試体A、D、Gについて比較を行うと、傾斜面からのエコー強度が小さくなって暗い部分として画像表示された。2個の欠陥が近接する場合に欠陥位置による影響の画像例として供試体Jを示した。その結果近接する欠陥が十分判別できた。

4. エコー波形解析による欠陥の高精度処理

超音波探傷映像装置から得られる探傷画像はエコー強度をもとに解析された画像である。このエコー強度は供試体からの反射波の最大振幅から決定される。超音波探傷で供試体に入射された超音波が内部欠陥に近づくと、供試体を伝播する超音波は底面での反射波（底面波）の他に欠陥からの反射波（界面波）が測定される。このときの反射波は欠陥の大きさや形状により散乱の影響が異なり、エコー強度による探傷画像だけでは、十分な測定精度が得られない。そこで反射波形に関する詳細な検討が必要となる。

本章では、探傷画像解析に用いた設定ゲート内の反射波形について解析を行い、高精度画像処理について検討する。反射波形の測定は欠陥を中心とした約4mmの範囲の探傷画像（図3）の中心から左右に0.05mm間隔で測定を行った。反射波形はDSO（Digital Storage Oscilloscope）を用いてAD変換し、FDに記録した。サンプリング間隔は0.5ns、サンプリング数は4096点である。同時にFFT解析を行ってディスプレイ上に表示同様に記録した。これによって得られた測定波形とFFTによるスペクトル波形の例を図4（供試体A）に示す。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。振幅は、それぞれの波形の最大値で基準化している。横軸は時間（ μs ）を示す。また、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）を表している。また丸の中の数字は、波形を測定した位置を示し、図5の図中の数字に対応する。

測定波形には界面波と底面波が欠陥付近で同時に存

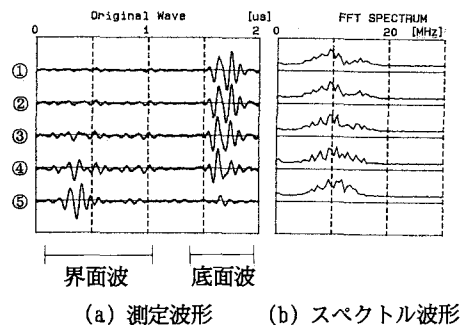


図4 測定波形とスペクトル波形

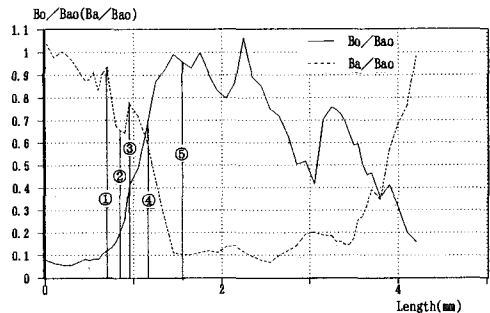


図5 B_o/B_{ao} (B_a/B_{ao}) の比較 (供試体A)

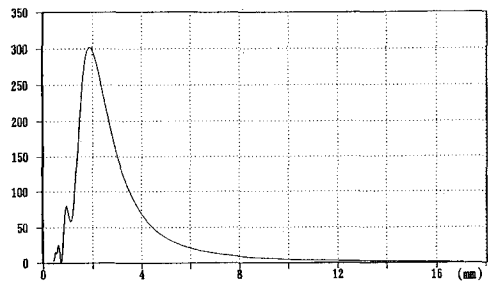


図6 B_o/B_{ao} のスペクトル図 (供試体A)

在している。欠陥に近づくほど界面波の振幅が大きくなり、底面波の振幅は小さくなる。この間に真の欠陥との境界が存在している。エコー強度による画像解析では反射波形の最大値を用いて評価するため底面波より界面波の振幅が大きい波形を測定したとき欠陥からの反射波による画像が現れることになる。図5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、界面波の最大振幅 (B_0) を基準底面波 (B_{ao} : 欠陥から離れた位置の測定波形の最大値) で規準化した B_0/B_{ao} を、測定位置ごとにプロットして実線で結んだ図である。また、破線は底面波の最大値 (B_a) を B_{ao} で規準化した B_a/B_{ao} の図である。横軸は、測定位置を m m 単位で示した。ここで、破線に注目すると、値が小さい部分が約 2 mm の幅で続いている。これは欠陥の大きさ 2 mm に対応している。また、実線部分は界面波の最大振幅の変化を示していることから、界面の凹凸形状を示しているものと考えられる。

次に、図5の実線 B_0/B_{ao} をFFT解析すると図6のようになる。ここで欠陥の形状が凸型で、解析範囲で欠陥は一つしかないと仮定する。横軸は欠陥の直径を表す。これによると約 2 mm の位置にピークがありほぼ欠陥のサイズと一致している。この手法も欠陥のサイズ決定手法として有効である。

5. 結論

鋼構造部材中の微小欠陥検出精度に影響を与えるエコー波形等に注目して探傷画像の検討を行った。その結果をまとめると次のようになる。

- (1) 本測定システムにおいて、 $\phi 2\text{ mm}$ の欠陥を深さ、傾き、 $\phi 1\text{ mm}$ の欠陥を中心間隔約 2 mm に近接させた探傷画像について検討を行った。強度データ、路程データによるCスコープ画像解析から欠陥の形状、位置に関する精度良い判読が可能である。また、近接する欠陥相互の干渉が探傷画像に与える影響はほとんどなかった。
- (2) 探傷画像の高精度処理として、 $\phi 2\text{ mm}$ の疑似欠陥の反射波形を解析した。その結果、底面波と界面波のそれぞれの最大値の変化は、欠陥の大きさ、欠陥先端の形状、穿孔深さを示すことがわかった。

本研究の実施に当たり平成3年度文部省科学研究費奨励研究A（研究者三上修一）の補助を受けました。また、本研究の実験・解析に際して北見工業大学の杉浦伸哉君の援助を受けましたここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 山崎智之、菅原登、大島俊之、三上修一：画像処理による破壊プロセスゾーンの追跡、適用性、土木学会第45回 年次学術講演会第1部、平成2年9月、p230-231。
- 2) 山崎智之、菅原登、大島俊之、三上修一：構造部材の状態変化による欠陥画像の研究、対する非破壊土木学会北海道支部論文集第47号、平成3年2月、p101-104。7.10、p427-434。
- 3) 三上修一、山崎智之、菅原 登、大島俊之：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、1991.10。