

I-22

超音波探傷画像における欠陥検出精度の検討

北見工業大学	正員	菅原 登
北見工業大学	正員	山崎 智之
函館どつく(株)		寺田 寿
北見工業大学	正員	大島 俊之

1. まえがき

構造物が健全性を保持して供用に耐えうる期間、または補修をしなければならない時期などを評価する上で、重要な要因として、欠陥検出の精度を向上させることがあげられている。すなわち、構造物の健全性評価は、大型化そして複雑化してきた土木構造物に対して避けることのできない課題とされている。

さきに、著者らは超音波パルスエコー法により、欠陥検出や破壊プロセスゾーンの追跡などに関する研究を行ってきた¹⁾。本研究では、欠陥検出の精度向上を図ることに着目した。まず、部材表面の凹凸や砂塵などが欠陥画像に及ぼす影響について、部材表面の凹凸と受信超音波の増幅率であるゲインとの関係をスペクトル解析により求めた。また、板厚の変化による欠陥画像とゲインとの関係について検討した。さらに、超音波探傷装置の現場への適用性についても検討した。

2. 超音波パルスエコー法に用いた実験装置

超音波探傷装置の主要部分は、探触子、探傷装置、走査装置、データ処理装置などから構成され、自動走査によって測定される。その仕様は次の通りである。

○探触子（焦点型垂直探触子 水浸用）		○走査装置（直交座標型3軸スキャナー）	
周波数	10MHz	走査範囲	500×600×250mm
焦点距離（水中）	約40mm	走査ピッチ	0.05～9.95mm（0.05mm可変）
		走査速度	10～150mm/s（走査ピッチによる自動設定）

○データ処理装置

濃度表示	エコー強度を白黒256階調でCスコープ表示
カラー表示	エコー強度をカラー16色でCスコープ表示

3. 部材表面凹凸のスペクトル解析と画像処理

これまで、著者らは部材表面の凹凸や砂塵などが部材内部の欠陥画像に及ぼす影響について、供試体に人工的に砂を付着させた場合、表面にヤスリやグラインダーで傷を付けた場合などの表面凹凸を測定し、それらの平均値を粗さとして欠陥画像との関係を検討してきた。

ここでは、部材表面の凹凸が定常ランダム過程であるとみなして、表面凹凸をパワースペクトルで表す方法を試みた。この解析結果を用いて、砂を付着させた場合について、欠陥画像を得る適正なゲインを選定する目安を得た。

Study on the Accuracy of Defect Detection for the Images by Ultrasonic Testing

by Noboru SUGAWARA, Tomoyuki YAMAZAKI, Hisashi TERADA, Toshiyuki OSHIMA

(1) 表面凹凸のスペクトル解析

供試体はSS41鋼材(40×6×280mm)の中央にドリルホール(φ= 4mm)を厚さの半分まであけ、内部欠陥としたものを製作した。この欠陥の上面1cm四方を1mm間隔で11ラインに分け、1ラインを0.1mm間隔で101点の凹凸をゲージセンサーで測定してスペクトル解析に用いるデータとした。

この1ライン分に対して、高速フーリエ変換(FFT)によりパワースペクトルを計算し、1供試体のデータとして11ラインの平均値を求めた。

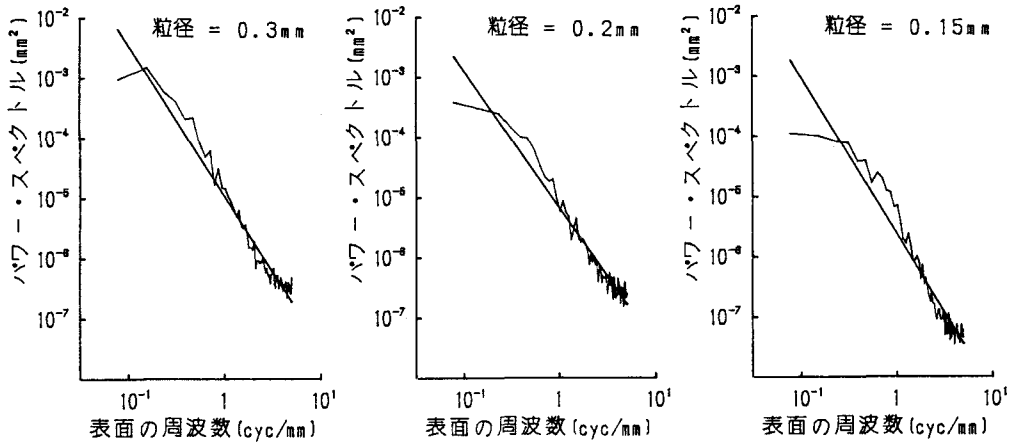


図-1 供試体表面パワースペクトルの一例

図-1はパワースペクトルの一例である。横軸は表面の周波数を、縦軸はパワースペクトルを表している。この図は両対数グラフで表示しているため直線的に見えるが、このパワースペクトル曲線は、次式のような指数関数に近似することができる。

$$S = a \Omega^{-n} \quad \dots (1)$$

ここに、S：表面凹凸のパワースペクトル、
a：表面の平坦性を表すパラメーター、 Ω ：表面周波数、n：周波数によるパワーの分布を示している。なお、図-1の直線は最小二乗法により、式(1)の係数a及び指数nを求めて得られたものである。

計算結果より得られた表面の凹凸(平坦性)を表すパラメーターaと画像処理により得られたゲインとの関係は、図-2のように表される。ここでの画像処理で得られたゲインとは、供試体を探傷して得られたすべての欠陥画像が、適正な画像になるように選定したゲインのことである。

(2) 計算結果

図-2から明らかなように、砂の粒径が0.15mmの場合は係数aは $1 \sim 4 \times 10^{-6}$ の範囲に、粒径が0.2mmの場合は係数aは $5 \sim 10 \times 10^{-6}$ の範囲に、粒径が0.3mmの場合は係数aは $7 \sim 13 \times 10^{-6}$ の範囲にそれぞれ分布している。

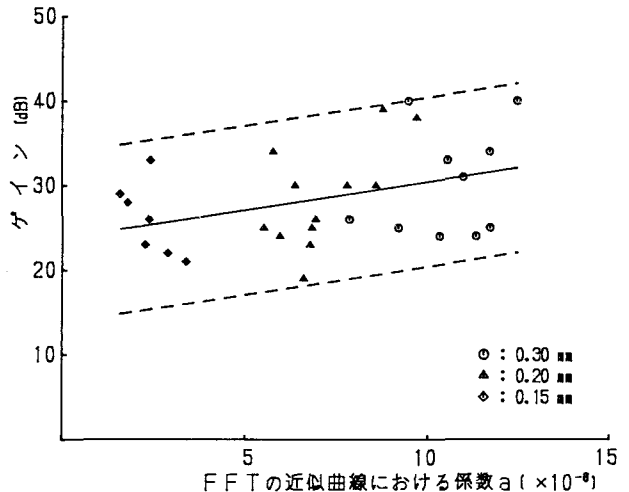


図-2 ゲインとパラメーターaの関係

また、ゲインについてはそれぞれ±10dB程度の幅をもちながら、係数aの増加に対して増加する傾向がある。これらより、表面凹凸を表すパラメーターを引数として、表面の粗さを参考にすれば、部材内部欠陥検出の際にゲイン選定の目安となる。

4. 検出欠陥サイズと適正ゲインとの関係

超音波探傷装置による部材内部の欠陥検出において重要なことは、欠陥検出の精度を向上させることである。その際、微細な部材内部欠陥を画像処理するにあたって、部材の板厚がゲインに影響を及ぼす。

ここでは、探傷画像を求めるにあたって、板厚と実物大の欠陥画像が得られるゲインとの関係及び板厚を一定にした時の適正ゲインと出力画像の欠陥の大きさとの関係について検討した。

これらの基礎資料は、部材内部の欠陥を高精度に検出することを可能にし、構造物の健全性を評価する上で利用することができる。

(1) 実験の概要

供試体として、SS41鋼材(50×50mm)の板厚 $t=3.2, 4.5, 6.0, 9.0, 12.0\text{mm}$ (実測厚さ $t=3.05, 4.35, 5.75, 8.80, 11.55\text{mm}$)の中央に、ドリルホール($\phi=4\text{mm}$)を板厚の半分まであけたものを製作した。

図-3は板厚と実物大の欠陥($\phi=4\text{mm}$)画像を底面波により得るためのゲインとの関係を表している。また、図-4は板厚 $t=6.0\text{mm}$ (実測厚さ $t=5.75\text{mm}$)を一定にした場合の界面波による実物大に最も近い欠陥画像を得たゲインとの関係を表している。

(2) 実験結果

図-3から、実物大の欠陥画像を得るゲインは、板厚とほぼ比例関係になり、板厚が大きくなればゲインも大きくしなければならない。これは、超音波探傷装置はエコー強度をもとに解析されたものであり、その際板厚が大きくなれば超音波の減衰が大きくなり、エコー強度も弱くなるためゲインを大きくしなければならないことになる。ただし、ゲインを極端に大きくすれば欠陥の識別が困難になることもある。すなわち、適度なゲインの選定が要求される。

図-4の欠陥画像は実物大より大きめにでている。これは、超音波が束になっており、その束の中心でエコー強度を表し、束の端よりの微小な反射波も受信するためである。また、ゲインの増加に伴い欠陥の直径も増加しているのは、微小な反射波も受信音波の増幅により、欠陥のようにみなされるからである。

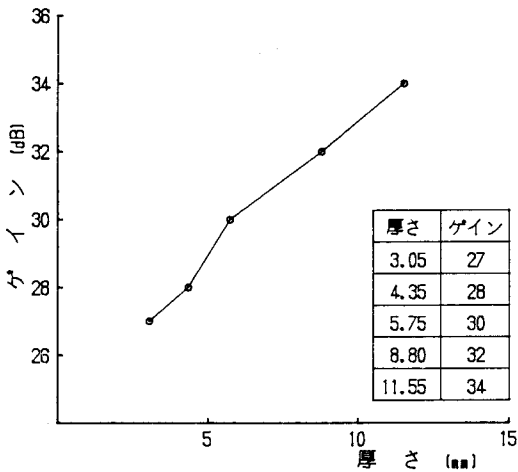


図-3 板厚とゲイン(底面波)の関係

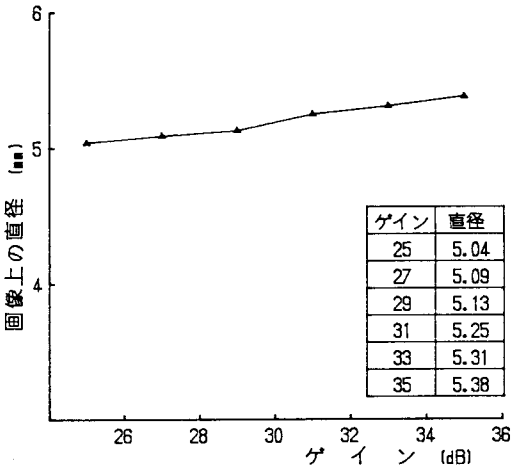


図-4 ゲインと直径の関係(t =一定,界面波)

5. 超音波探傷装置の現場への適用

超音波探傷試験において、入射波及び反射波を安定させるためには水浸法がよいとされている。実験的には水槽中に供試体をセットして画像解析をすることが可能であるが、現場においてはこのような方法は不可能である。そこで、水槽に代わるものとして、数種類の簡便な方法を考えて画像処理を行った。特にビニール袋を利用した方法では、水槽中における画像と同じ画像が得られた。したがって、このような方法を応用すれば水浸法の超音波探傷装置を現場に適用することができ、欠陥検出の精度を向上させることが可能である。

(1) 実験の概要

供試体は前項3の場合と同じものを使用した。次に、水を入れた小さなビニール袋（低密度ポリエチレン）を探触子にかぶせて固定し、供試体とビニール袋の間に空気層ができるのを防ぐために少量の水を付着させた。また、この空気層を防ぐためにグリス、ワセリン、水を含ませたスポンジについても実験を行った。

図-5は、一例として水槽中の場合、水を付着させた場合（この2つの場合には実物大の欠陥画像を得るゲインを32dBに選定）、及び使い捨てコップ（耐衝撃性スチロール樹脂）を使用しグリスを付着させた場合（この場合には実物大の欠陥画像を得ることは不可能で、ゲインを42dBに選定）の画像である。

(2) 実験結果

図-5から明らかなように、供試体とビニール袋の間に水を付着させた場合の画像は、水槽中の画像と全く変化がない。しかし、グリスの場合には画像は鮮明でなく、また実物大よりかなり大きい画像が得られた。これはコップの底面が一樣な平面でないことによる散乱と、グリスという媒質が水とかなり違うことによるエコー強度の変化によるものと考えられる。

6. あとがき

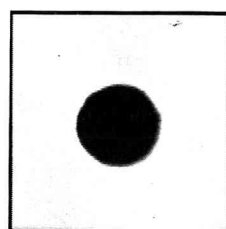
本研究では、超音波パルスエコー法による探傷画像における欠陥検出の精度向上を図ることに着目した。一般に構造部材の表面は平坦ではなく凹凸があり、また砂塵などが付着している。このような場合、精度の良い探傷画像を得るためには、適正なゲインの選定が必要である。また、部材厚さが探傷画像に及ぼす影響も見落とすことはできない。この研究から得られた結果は次の通りである。

- (1) 部材表面の凹凸をスペクトル解析し、鮮明な欠陥画像を得る適正なゲイン選定の資料が求められる。
- (2) 板厚とゲインとの関係において、種々の板厚に対する実物大の欠陥画像を得るゲインの変化はほぼ比例関係にある。
- (3) 水浸法による超音波探傷装置は、ビニール袋を利用する簡便な方法で現場に適用することができ、精度の良い画像を得ることができる。

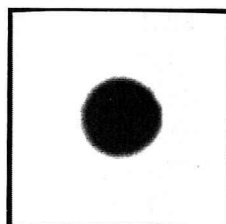
終わりに、実験及びデータ解析に協力してくれた北見工業大学土木工学科4年目学生加瀬知幸、小林修治、柴田修、高橋隆敏、高畑智考、松原忠幸の諸君に感謝の意を表する。

参考文献

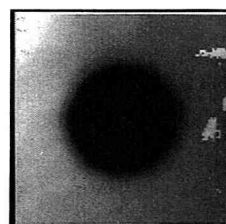
- 1) 三上、山崎、菅原、大島：超音波パルスエコー法による鋼構造の微小欠陥検出精度向上に関する研究、土木工学における非破壊評価シンポジウム講演論文集，1991



(a) 水槽中



(b) 水を付着



(c) グリスを付着

図-5 現場への
適応性の実験

10×10mm

pitch 0.05mm

scale 1.6mm