

第 11 回

千葉県非破壊検査研究会
研究発表会

日 時 平成 9 年 2 月 7 日(金)

13 : 00 ~ 17 : 05

会 場 川崎製鉄研修所

目次

I 研究発表

1. 超音波探傷における波形管理の必要性 1
(FD-650Nのオシロスコープ機能)
湘菱電子(株) ○大沼栄二、佐藤春治
2. 共振型磁気センサーによる各種非破壊検査実例について 10
借成エンジニア(株) 小濱博明
(神奈川県非破壊試験技術交流会)
3. ギャップ探傷用垂直探触子 17
(株)検査技術研究所 林 栄男
4. 超音波のコンピュータ・アニメーション 21
東京理科大学基礎工学部 羽田野 甫
5. 水浸法における弾性表面波を用いた画像観察 25
日立建機(株) ○小倉幸夫、石川 潔、佐藤温子
日立 片倉景義
6. SH波による裏当て金付T継手溶接部の探傷 33
千葉県機械金属試験場 立川克美

II 特別講演

- 非破壊検査技術者認証の国際統合化 37
(財)発電設備技術検査協会
鶴見試験研究センター 研究参事 岸上守孝

超音波探傷における波形管理の必要性

(FD-650Nのオシロスコープ機能)

湘菱電子㈱ ○大沼栄二 佐藤春治

概 要

パルス反射法を用いた超音波探傷の試験結果の信頼性を高めるために、超音波探傷装置の周波数特性の管理の必要性は、種々の研究で説かれており、この目的で非破壊検査の先進国では、探傷の規格で、超音波探傷装置の周波数特性を規定している。

一方、我が国では、試験周波数と帯域特性をエコーの波形から測定する方法が、JIS Z 2350で規定されているが、試験周波数を規定している個別規格はあっても、装置の帯域特性を規定した規格は存在していない。

そこで、超音波探傷においてエコーの波形管理の必要性を具体的な事例で示し、この考察に基づいて開発したオシロスコープ機能を搭載したポータブル超音波探傷器FD-650Nを紹介する。また、この探傷器と最近特に普及したデジタルカメラを用いたエコーの波形の記録の例を示した。

エコーの波形の記録は、探傷試験の信頼性の向上・管理に有益であるだけでなく、DC表示の探傷図形からは得られなかった探傷情報も得られ試験結果の判断に役立つものと思われる。

1. はじめに

パルス反射法を用いた超音波探傷が開発され、工業分野の非破壊検査の手法として用いられてから半世紀が経過した。この間の超音波探傷は、その技術の研究開発と共に、電子技術の進歩、振動子材料の進歩などに支えられて広く普及し、今日の我々の快適な生活を維持する工業製品の安全性の確保に貢献している。

また、昨今の技術の進歩、経済性の追及などによる構造物の大型化と長寿命化又は環境保全の見地からスクラップアンドビルドの抑制などにより延命化が図られ、非破壊検査の用途として保守検査の比重が高まり、非破壊検査としての信頼性、特に再現性とトレーサビリティが重視されるようになってきた。

探傷結果の再現性（超音波探傷器や探触子を取替えると、前回採取した探傷結果と今回採取した探傷結果の間に有意差が生じることで気が付く。）に関しては、かなり昔から議論されて来たが、その結果は、ごく一部しか規格や標準に反映されていないために、相変わらずこの問題は解決されたとは言いがたい。

最近の超音波探傷器の受信増幅器に広帯域特性を持つものが多いことから、結果的に超音波探傷装置の周波数特性は探触子の周波数特性に支配されていると言える。しかし、今のところ探触子の周波数特性を外部から調整できないために、所定の性能の探触子を得るためには『選択』以外に方法がない。超音波探傷に関する半世紀の技術開発の中で、この

部分だけが取り残されている。

したがって、探触子の周波数特性、即ち周波数と帯域特性を選択するためには、少なくとも、標準となる反射源からのエコーの波形を観測する必要があるが、今まで、高所・狭い場所で実際に探傷時のエコーの波形を観測できる小型・軽量のポータブル超音波探傷器やエコーの波形を容易に記録できる手段が得られなかったために、その必要性は理解されていたとしても、この観測・記録を実行できなかった。

このような考察に基づいてオシロスコープ機能を搭載し、 $2\mu\text{s}$ のマーカを波形と共に表示し、JIS Z 2350で規定されるエコーの波形から試験周波数と帯域特性を測定できるポータブル超音波探傷器FD-650Nを開発した。

ここでは、超音波探傷におけるエコーの波形の観測と記録の必要性と、この超音波探傷器を用いたエコー波形の観測・記録の例を紹介する。

2. エコーの波形管理の必要性

2.1 現状

超音波探傷において試験結果（ここでは、きずエコーの高さ）が超音波探傷装置の周波数特性と共に探触子と探傷面との音響結合状態や試験体の周波数特性などによって支配されていることは、多くの研究によって報告されている。^{1) 2) 3)} 一方、IC技術の進歩に伴って、比較的容易に、高感度・広帯域特性の増幅器が得られることと、探傷器を小型化するために、最近の探傷器には、受信増幅器が広帯域のものが多く、したがって、探傷装置の帯域特性は探触子の帯域特性に支配されていると言えよう。探触子の性能測定に関しては、多くの国で規格化^{4) 5) 6)} しており、探触子の性能評価のために、標準反射源による時間領域応答特性の測定を規定しているが、この特性は組み合わせる探傷器によっても影響を受けるので、超音波探傷の先進国では、規格⁷⁾ によって、超音波探傷器と探触子とを組合せた場合の標準反射源からのエコーの波形の管理を規定している。我国では、試験周波数は規格^{8) 9)} で規定されているが、その実測値の記録は規定されていないし、探傷時の波形管理を規定している規格は存在していない。探傷装置の帯域特性は、パルス波形のあるレベル以上の幅（即ち時間間隔）と関係があり、直接パルス幅で表す方法と、遠距離分解能で表す方法が広く用いられているが、我が国の規格では、後者が用いられている。

パルス反射法を用いる限りは、必ず多くの周波数成分を含む超音波パルスを使用していることになる。我々が、探傷装置を用いて得た探傷結果は、パルスに含まれる各周波数成分ごとのエコーの和である。各周波数成分ごとのエコーは、探触子の特性だけではなく、試験体の周波数特性、きずの形状・状態（探触子の超音波ビームときずの交差状態など）に支配されるから、探傷装置が広帯域であるほど試験体やきずの影響を受けた波形になり、エコーの高さだけを比較する探傷方法では再現性が乏しくなる。このことはかなり以前の研究¹⁰⁾ でも報告されており、狭帯域探傷装置の根強い需要の理由となっているし、外国の規格（前出資料6）では、探傷装置の周波数帯域幅を制限している。

一方、我が国の規格の距離分解能の項目では、すべて『---mm以下』と規定されており、狭帯域の方向には制限を与えているが、広帯域の方向には何等の制限も規定していない。

2.2 波形管理の必要性

このような我が国の規格の現状では、探傷器と組み合わせて使用する探触子の特性にももっと関心が払われなければならない。現在我々が使用している個々の探触子に関しては余りにもデータ不足であり、その特性を外部から調整できないことと、使用時間や使用頻度、使用中の環境条件などによって劣化する恐れが否定できないために、探傷結果の再現性が得られない主な原因が探触子の特性の不均一性と考えられてしまう。この考え方はずいぶん古くからあり、1980年代初頭にこの問題に関し集中的に検討されたことがある。現場で使用中の垂直探触子を厳密に調査した結果、良品は約20%であった。10年経過した後、より精密な測定手法で市販されている（メーカーが良品として出荷しているもの）垂直探触子を調査した結果、これらの探触子のすべてに何等かの瑕疵があり、探触子の品質が10年前と殆ど同じであり、しかもJIS Z 2350の性能評価項目だけでは不十分であることが報告された。¹¹⁾

また、探傷器と探触子の組み合わせを変えると、探傷結果も変わってしまう事実も国際的な探傷装置のパラメータ研究で報告されている。¹²⁾

このような調査の結果から、探触子には品質の不均一性があり、さらに探傷器との組み合わせによって探傷装置の特性が変化することが探傷装置に起因する再現性不良と考えなければならないと思われる。

次に、今行っている探傷試験の目的を考えてみなければならない。要するに『きずの検出』を目的としているのか、又は『試験体の健全性の保証』を目的としているのかと言うことである。

勿論、非破壊検査は、きずを検出することで成り立っているから、『きずの検出』と『試験体の健全性の保証』との間に密接な関係が存在することは言うまでもないが、実際には両行為の間には大きな違いがある。

前者はあるレベル以上のきずを検出することで目的を達成するが、後者の『試験体の健全性の保証』のためには、『試験結果』の品位（品質）が保証されなければならない。今日、多くの現場で実施されている超音波探傷試験の行為（試験結果）には、適当な代価が支払われているから後者と理解できる。したがって、これらの探傷試験では『試験結果』の信頼性が保証されなければならないと言える。

非破壊検査の結果に関する信頼性に関しても、品質保証プログラムの指針（JIS Z 9901/2）の中で記述されている内容に沿って考えれば、特に試験結果の再現性(Reproducibility)と履歴追跡性(Traceability)が、現在の探傷データに欠けているように思われる。

即ち、我が国の超音波探傷試験の現状を見ると、『きず検出能力』への関心は高いと思

われるが、『再現性』及び『履歴追跡性』への関心は、前者と比較して同等とは思われ
ない。その現象は、今日まで多くの研究（前出資料11）を含む。）によって、探触子の特
性（主に試験周波数と帯域特性）の管理が提唱されて来たが、再現性が特に重要視される
研究資料・論文でさえ使用した探触子の型式の記述に止まり、標準反射源からのエコーの
波形から求められる実際の試験周波数や帯域特性を表示したものが、例外¹³⁾を除き殆
ど存在していないことで理解できよう。

このような現状は、例えば我が国の規格に基づいて忠実に探傷試験を実施し、その結果を
得たとしても、試験の信頼性の確保と言う点で一抔の不安が残る。この不安を軽減できる
手段がエコーの波形の記録・管理である。

2.3 試験周波数の測定の必要性

試験周波数の実測と記録の必要性に関しては、検査技術者によく知られているが¹⁴⁾
その主な理由として、試験周波数と探傷結果の関係が説明されている。

①きず検出能は、超音波の周波数の2乗に比例するから、試験周波数が異なれば、検出
したきずの評価が異なる。

②試験周波数は、試験体の周波数特性（超音波減衰特性）にも影響を受けるので、実際
に測定して見ないと分からない。きずの定量的評価方法の一つであるDGS線図では、
試験周波数を知ることは必須条件である。

さらに、試験周波数ときず検出能との関係として、超音波ビームの指向角ときずの指向
性がある。

超音波ビームの指向角は探触子の振動子の有効寸法が同じであれば、周波数が低いほど
広くなり、きずと探触子の超音波ビーム軸との交差の条件（以下、探触子オリエンテーシ
ョンと言う。）の悪い自然きずでも検出の可能性が高まる。

きずの指向性に関しては、きずの寸法に対して同等以上の波長の超音波を用いれば、き
ずの指向性を入射波の方向（探触子のビーム軸の方向）に近付けられる。¹⁵⁾したがっ
て、検出能が許容されれば、より低い試験周波数を用いた方が自然きずの検出に有利であ
り、溶接部の斜角探傷における自然きずを対象とした場合の試験周波数は5 MHz より2MHz
の方が有利であるとの記述がある。^{16) 17)}

しかし、自然きずの検出能に関するこれらの効果は、標準試験片や対比試験片を用いた
探触子オリエンテーションが理想的の場合には校正できないために検査技術者には気付か
れない。その結果、自然きずの探傷結果の再現性に影響を与える。

したがって、試験周波数を厳密に測定し、記録する必要が生じる。

2.4 帯域特性の測定の必要性

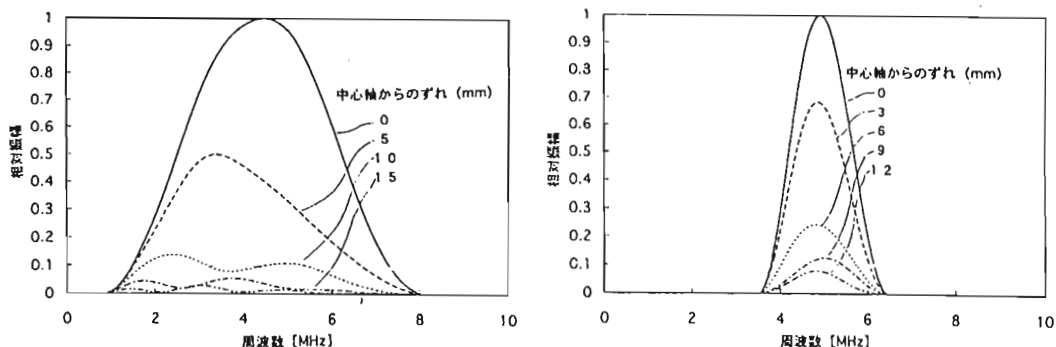
我が国の規格では、探傷装置の帯域特性に関して、広帯域の方には制限がないことを述
べた。このために、できるだけ距離分解能が高い探傷装置（主に探触子）が賞用されてい
るのが現状である。

しかし、探傷装置の帯域特性が広帯域の場合には、試験周波数は探触子の特性だけでなく、試験体の超音波減衰特性にも影響されることは前出資料1)で説明されており、検査技術者であれば既知の事実である。

したがって、DGS線図を用いてきずの等価直径できずを評価する検査方法においては、後刻、再現性に疑問(計算値との差異が大きい場合も含む)が持たれた際の原因追及(即ちトレーサビリティ)のためにも探傷装置の帯域特性の測定と記録は必要である。

また、探傷装置の帯域特性は、自然きずの検出能にも影響を与えている。探触子のパルス波形による指向角は、パルスが含む周波数成分ごとに求められた指向角の重畳で求められるから、広帯域探触子のビームパターンの外縁ほど周波数が低いことは容易に想像できる。

一例として、比帯域幅(BW/f_c;ここでBWは-6dBの帯域幅、f_cは中心周波数)0.74の広帯域垂直探触子と比帯域幅0.3の狭帯域垂直探触子を用いてφ3の横穴を反射源としてこの傾向を計算した。その結果を図1に示す。



(a) 広帯域垂直探触子の場合 (b) 狭帯域垂直探触子の場合

図1 反射源をビーム軸と直角に移動した場合の、広帯域探触子と狭帯域探触子の各エコーのレベルと周波数の関係

この図は、自然きずを検出した際の探触子オリエンテーションによって、試験周波数が異なることを示しており、探触子オリエンテーションの悪い自然きずの検出能の向上に寄与するものと考えられる。このような特性は、標準試験片や対比試験片による探傷感度の校正では管理できないために、探傷装置の帯域特性を管理しないまま探傷試験を行えば、探傷結果の再現性に疑問が生じた場合の原因追及が不可能となる。ここにも、事前に探傷装置の帯域特性を測定・記録しておく必要があることが分かる。

3. 超音波探傷器FD-650N のオシロスコープ機能

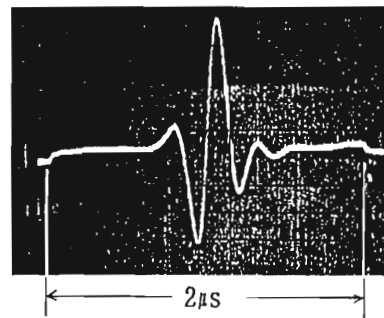
前章において、探傷装置の試験周波数と帯域特性の記録と管理の必要性を述べたが、これらの必要性の多くは古くから論じられており、オシロスコープによって波形を観測し周

波数分析器によって周波数特性を測定したデータも多く発表されている。

この目的のために、従来からエコーのAC波形の出力端子を持つポータブル超音波探傷器¹⁸⁾が市販されている。しかし、探傷装置の試験周波数と帯域特性の測定のために2種類の測定器を試験の現場へ持参することは事実上困難なので、JIS Z 2350を以て、比較的安価で普及しているオシロスコープだけを用いて試験周波数と帯域特性を測定する方法が規定されている。試験周波数に関しては、2波法及び3波法と呼ばれる波形のサイクルの間隔から求める方法を、帯域特性に関しては、あるレベル以上の波形のピーク数で表す方法が規定され、国際規格¹⁹⁾でも、これらの方法が採用されている。

現実の問題としては、試験周波数と帯域特性の測定のためにオシロスコープを現場に持参することだけでも困難であり、しかも、観測した結果を記録することは容易ではない。(恐らく写真撮影で記録することになる。)このために、エコーの波形観測と管理の必要性は理解されてはいたものの、実際に行われている例が殆ど見られない。

しかし、今まで述べてきたように、エコーの波形を記録することは、超音波探傷の信頼性を維持する上で不可欠である。これを容易に実現するために、オシロスコープの機能を搭載し、エコーの波形から試験周波数の測定を容易にするために、2 μ s のマーカーを用意したポータブル超音波探傷器FD-650Nを開発した。波形の記録に関しては、最近著しく普及しているデジタルカメラを用いることで解決できる。図2には、FD-650Nで表示され、デジタルカメラで記録したエコーの波形の一例を示す。



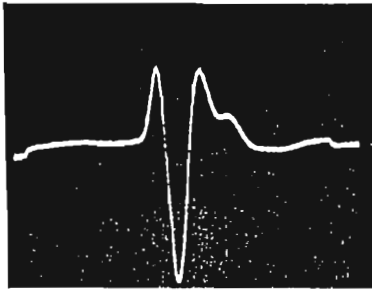
垂直感度;V15-5.6からのエコーの波形

図2 FD-650Nで表示されデジタルカメラで記録したエコーの波形の一例

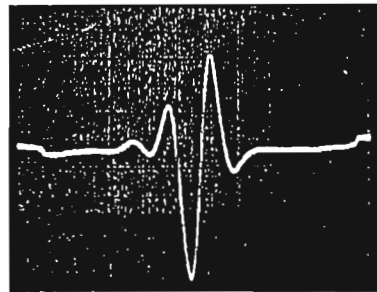
4. エコーの波形観測のもう一つの利用法

情報は、帯域幅と時間の積で表されるから、パルス反射法のように、多くの周波数成分を含む(即ち帯域が広い)パルスを使えば、それだけ多くの情報が入手できる筈である。現在の超音波探傷では、エコーの高さと位置だけを有効な探傷情報としているために、エコーの高さと共に入手できる情報を、エコーの高さにばらつきを与える要因としてわざわざ狭帯域化によって削除している。しかし、広帯域の探傷装置を用いれば、反射源の形状によるエコーの波形の相違が観測できる。その様子を比帯域幅0.74の垂直探触子を用いて採ったエコーの波形で図3に示す。なお参考までに比帯域0.3の探触子を用いて同じ反射源を用いたエコーの波形を図4に示した。これらの図から、探傷装置が狭帯域の場合には、エコーの形状に関する情報が殆ど含まれていないことが分かる。

今日、特定の反射源からのエコーの波形を用いた探触子の距離振幅特性の推定や(前出資料11)や反射源とエコーの波形の関係に関する研究⁽²⁰⁾が行われており、今後エコーの波形に対する関心は一層高まるものと思われる。

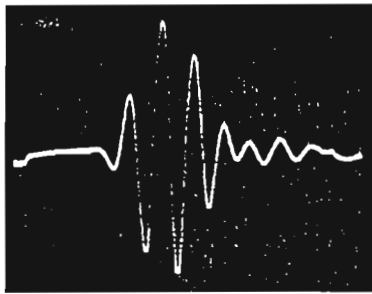


(a) $\phi 3$ 横穴-88mm

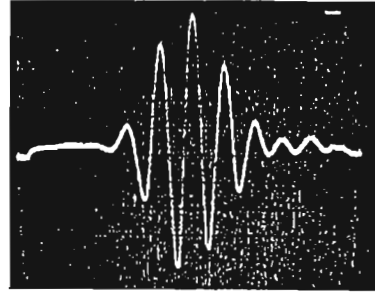


(b) 平底 V15-5.6

図3 広帯域探傷装置の場合の反射源の種類とエコーの波形



(a) $\phi 3$ 横穴-88mm



(b) 平底 V15-5.6

図4 狭帯域探傷装置の場合の反射源の種類とエコーの波形

探触子オリエンテーションと周波数の間の関係は図1に示したが、実際に比帯域幅1.0の広帯域斜角探触子を用いて標準試験片STB-A2の $\phi 4 \times 4$ 、1.5スキップの条件でも測定した。その結果を図5に示す。この図のような広帯域探傷装置を用いれば、探触子オリエンテーションと波形の関係が顕著に現れるから、きずの形状に支配されるが探触子オリエンテーションの状況を推定できる可能性もある。

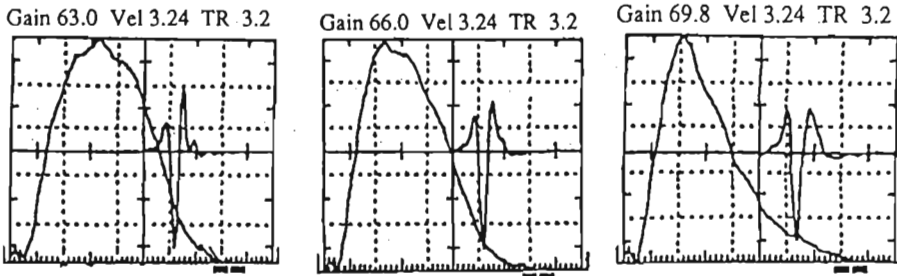
5. まとめ

パルス反射法を用いた超音波探傷において探傷試験の信頼性を確保するためには、少なくとも、エコーの波形の管理が必要であることを説明すると共に、我が国の超音波探傷関連規格の遠距離分解能に関する規定の問題点を指摘した。

このような現状認識に基づいて開発した現場で容易にエコーの波形を観測できる超音波探傷器FD-650Nのオシロスコープ機能と、その波形の記録にデジタルカメラを用いた例を

紹介した。

この結果、従来のように、別にオシロスコープや周波数分析器を用意することなく、しかも波形記録の煩わしさも解決されたので、今後は、エコーの波形に関心が集まることを期待したい。



(1) 0dB のエコーの波形とスペクトル (2) -3dB のエコーの波形とスペクトル (3) -6dB のエコーの波形とスペクトル

図5 広帯域斜角探触子をビーム軸と直角に移動した場合の各エコーのレベルとその波形とスペクトル (UI-21 使用)

参考文献 (もっと多数あるが紙面の都合で割愛した。)

- 1) 非破壊検査技術シリーズ 超音波探傷試験 III ND I 刊
- 2) 志波光晴他; 超音波探触子の電気/音響インピーダンスの特性評価 平成7年 秋季大会講演概要集 pp.9--16 ND I 刊
- 3) 太田耕二他; 探触子の特性に及ぼす因子-中国での広帯域探触子の開発- ND I 機関誌第41巻1号 pp.3--10 ND I 刊
- 4) アメリカ、ASTM E 1065 Guidance on Evaluating the Performance Characteristics of Ultrasonic Search Units
- 5) イギリス、BS 4331 Part 3 Method for Assessing the Performance Characteristics of Flaw Detection Equipment Part 3 Guidance on the in-service monitoring probes (excluding immersion probes)
- 6) ドイツ、DIN 25450 Ultraschall prüfsysteme für die manuelle prüfung
- 7) ESI STD 98-2 Ultrasonic Probe - Medium frequency miniature shear wave angle probe
- 8) JIS Z 3060 鋼溶接部の超音波探傷試験方法
- 9) JIS Z 3080 アルミニウムの突合わせ溶接部の超音波斜角探傷試験方法及び試験結果の等級分類方法
- 10) E. Yamamoto; Apparatus used pulse type ultrasonic flaw detection

Jour. Acous. Soc. Amer. Vol. 49 pp. 1709--1716 1971-6

- 11) 通産省工業技術院；『非破壊検査技術の標準化に関する調査研究』昭和63年—平成3年度報告書
- 12) PISC II (Programme for inspection of steel components) Parametric studies - round robin test on the measurement of UT instrument and transducers
Commission of European Communities
- 13) 高橋雅和他；表面SH波探触子のエコーの指向性に関する実験的検討
第10回 千葉県非破壊検査研究会予稿 平成8年1月
- 14) 進藤誠；デジタル超音波探傷器へのユーザーからの期待 NDI 機関誌第45巻9号
NDI刊
- 15) 南登敏他；可視化法による超音波探傷器の指向性解析 NDI 機関誌第42巻1号
NDI刊
- 16) 非破壊検査技術シリーズ 超音波探傷試験 II NDI刊
- 17) NDI 標準試験片STB-A31 取扱説明書
- 18) 三菱電機 超音波探傷器FD-670カタログ
- 19) ISO DIS 10375 Ultrasonic Inspection Characterization of search unit and sound field
- 20) Ijundewo Lawu 他；The analysis of waveform scattered by flat ended cylindrical hole in metal block 平成6年音響学会全国大会予稿集

共振型磁気センサによる 各種非破壊検査実例について

倍成エンジニア（株）

小濱 博明

1. はじめに

共振型磁気センサを利用して、各種の非破壊検査を行った。
理論や原理は別の機会としまして、今回は実験結果や実例について報告いたします。
また、このセンサは、昨年7月に米国特許を取得しております。

2. 実験例

2-1 ダイヤモンドカッターのクラック検出

写真-1は、カッターを回転台に乗せて回転させます。センサは固定でクラックの生じる刃の部分に向けておきます。その時の波形が図-1です。クラックの部分が振幅が大きくなります。次に検体とセンサ間に1.0tのアルミ板を入れました。

写真-2は、アルミ板と検体の間隔は、約1.0mm。センサはアルミ板に接触固定です。同じように検体を回転させますと図-2の波形が出力されます。

この波形は図-1と同じようにクラック部分が大きく変化しております。

写真-1



図-1

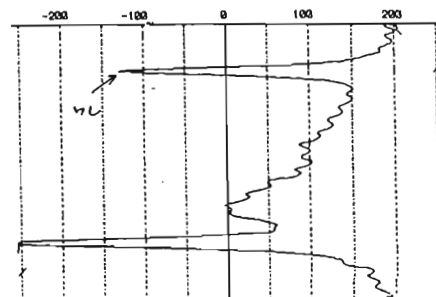
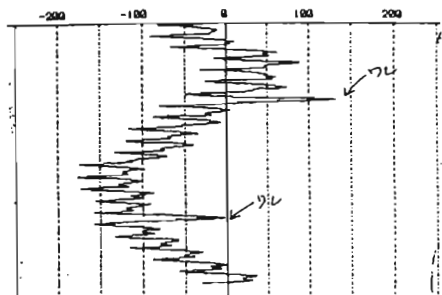


写真-2



図-2



2-2 鋳造品「巣」の検査

写真-3は、鋳物の巣を検査した実験です。二つのセンサより構成されており、片方は基準センサで、一方は検査用センサです。基準センサに良品を入れて置き、検査用センサに検体を入れます。

図-3は、その時の棒グラフでNGがレベルが大きく、GOはレベルが小さく出力します。このレベル差で「巣」の大きさが確定できます。

写真-3

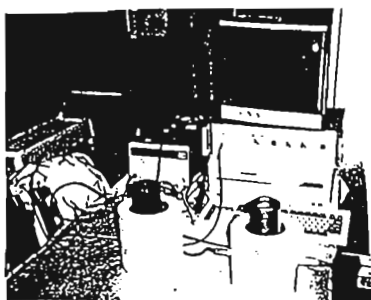
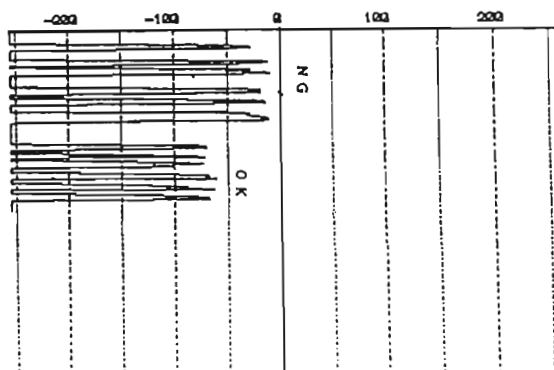


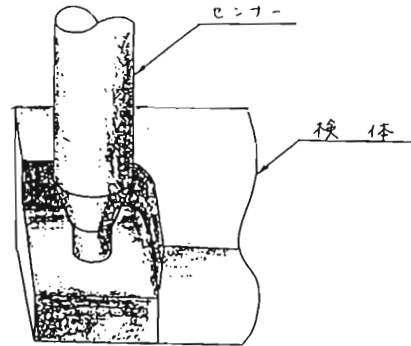
図-3



2-3 鋳物内部の空洞判定

図-4は、ある大きな鋳造品の内部欠陥検査の実例です。定まった場所に「巣」が生じるので、その巣の大きさと測定値の関係を表したものです。レントゲン写真は、巣の面積を表します。当該磁気センサは「体積」を測定します。従ってX線写真とは多少異なった数値になります。

図-4



検体内部の空洞判定

検体番号	1	2	3	4	5	6	7	8
判定値	20	0	6	-30	-50	-37	70	87
レントゲン写真	$\phi 3.0 \times 2$	無	$\phi 3.0$	$\phi 2.5$	$\phi 1.5 \times 2$	$\phi 2.0$	$\phi 4 \times 3$	$\phi 6.0$

2-4 鋳物のチル検出

写真-4は、チル検査の実験風景です。写真-5は、チル検査用サンプルです。センサを検体に接触させて測定しました。ラインで使用の場合は、非接触でも可能です。

図-5・図-6は、実験データの顕微鏡写真です。チルがないものは、棒グラフの高さが高くなり、チルが多く発生した場合は、信号が小さくなります。

写真-4

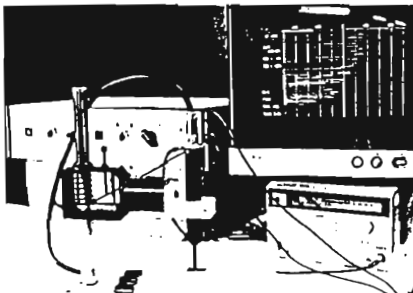


写真-5

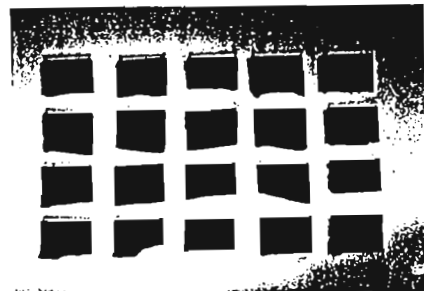


図-5

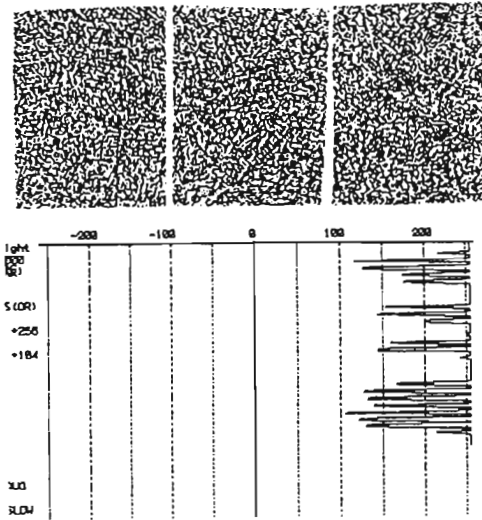
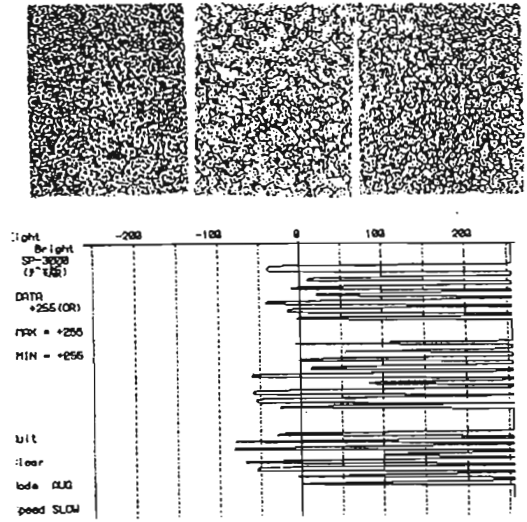


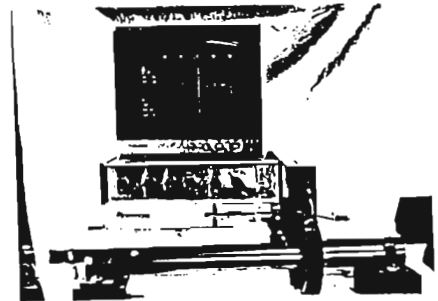
図-6



2-5 鍛造品のクラック検出

写真-6は、鍛造品のクラック検出実験です。センサを左右に移動します。クラック部分にきますとCRTに表示されている「山」が出力されます。

写真-6



2-6 鋳鍛造品検査の結果について

共振型磁気センサを使用して、巣、欠け、割れ、クラック、ピンホールなどの検査およびチル検出、パーライト検査などについては、実験を完了しており充分実用に利用できます。

実際に納入もしております。この検査方法ば、検体になんら手を加える必要が全くなく、鋳物なら鋳肌のまま、鍛造品は熱処理後、そのまま検査が出来ます。

また、材質は、真鍮、アルミ合金、鋳鉄、導電体なら何でも検査が出来ます。

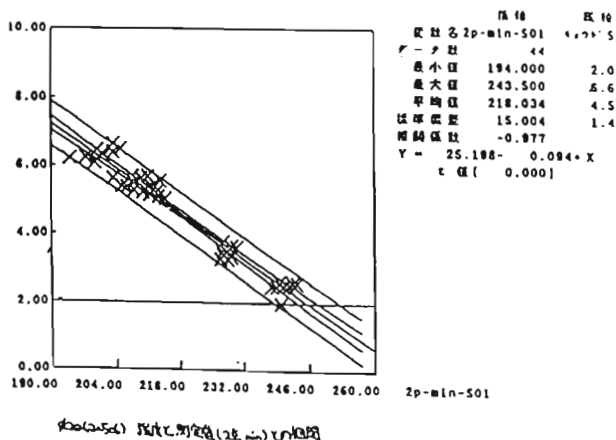
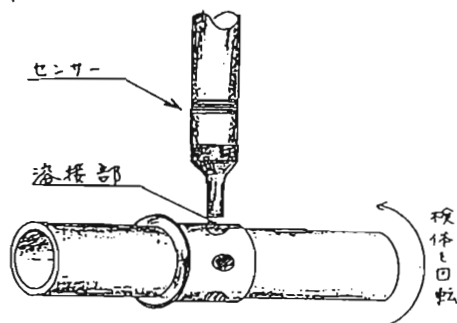
3. 溶接に関する実験・実例

スポット、スタッド、プロジェクション、シーム、アーク、レーザー、ビーム、圧接、ロー付など各種溶接部の検査をおこなってきました。

3-1 プロジェクション溶接検査

図-7は、4点プロジェクション溶接部を自動で検査をおこなっているようすです。検体を回転させるだけで、検査完了です。強度と測定値との相関は0.9以上です。

図-7



3-2 スポット溶接検査

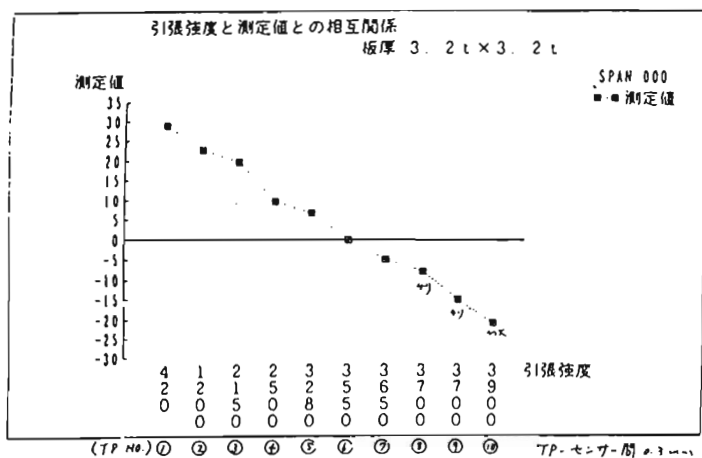
写真-7は、スポット溶接検査用サンプルです。検査方法はリフトオフを0.3

mmにして、測定しました。その結果が図-8です。

写真-7



図-8



3-3 チタンビーム溶接検査

写真-8は、チタンゴルフヘッドの溶接部検査装置です。この検査方法は「比較方法」を取っています。センサの中に検体を入れますとGO/NGの信号が出ます。

3-4 溶接検査についての考察

共振型磁気センサを利用した検査は、治具との調和が必要です。治具が検体の検出目的にあったものであれば、検査精度が上がると考えております。治具を作れないので、センサの中に検体を入れての検査に気がついたのです。アーク溶接をしたものでも写真-9のように検査が可能です。このセンサの特徴の一つとしては、量産品の検査に最適と考えております。

写真-8

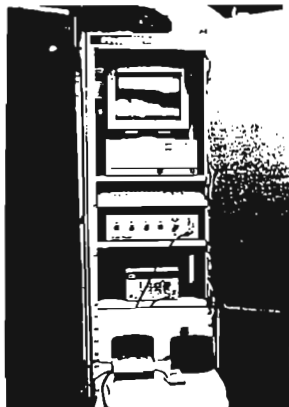
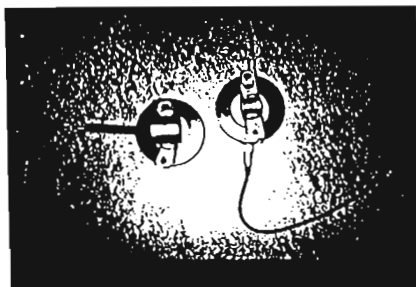


写真-9



4. 異材判別検査

写真図-10は、7種の非鉄金属です。これをセンサの上下どちらでも検体が通過するだけで全ての金属を種別できます。

この場合、磁気センサ特有のエッジ効果や検体の大小に依る誤動作が生じますが、共振周波数を使うと全くそのような問題は生じません。

アルミはアルミ、スズはスズとして判別します。

いま、実験中なのは「記憶形状合金」 $5\phi \times 100\text{mm}$ と、ミシン針先端 3mm を混在させて、ミシン針のみを検出させております。

どちらも鉄系の素材ですが、組織の違いで特定の信号だけを取り出すことが可能です。

写真-10



5. これからの課題

各種の実験をおこなっていると、このセンサを上手に使いますとまだまだ未知の部分でも、少しずつ判ってきます。たとへば、金属残留応力判定、load, unload測定、金属疲労、金属脆性測定など・・・ect。

この辺をもっと追求していきたいと考えております。

ギャップ探傷用垂直探触子

協検査技術研究所 林 栄男

1. はじめに

最近、超音波探傷も自動探傷がかなり増えつつありますが、そのとき問題となるのが、探触子と試験体との接触状態です。直接接触ですと探傷面の粗さの影響を受けてしまうのと、探触子がすぐ磨耗してしまうと言った問題があるため安定した性能で探傷ができないので、通常、自動探傷の場合、水浸法が使えない時は、ギャップ法で探傷している。しかし、ギャップ法の場合、ギャップの距離によって性能が大きく変化してしまうという問題があった。そこで今回、ギャップの距離の影響をほとんど受けない垂直探触子を開発したので紹介いたします。なおギャップ探傷の時の接触媒質は水である。

2. 探触子の構造

今回比較実験した探触子の構造を示します。直接接触用垂直探触子の場合、図1に示すように振動子を保護する為にアルミナ板を張り付けています。この保護板は、被検材及び振動子の音響インピーダンスの関係、そして磨耗性などから決定されています。図2は水浸形探触子の場合で、保護板はエポキシ樹脂で作られています。図3は局部水浸探触子で、水浸探触子をホルダーで囲い、前面に薄い膜をとりつけホルダー内に水を入れたものです。図4は探傷面の粗さの影響を受けにくいと言うことで使われている遅延材付探触子で被検材と振動子の間は樹脂で作られています。図5は今回開発した探触子で遅延材として寒天を使用したものです。なお表1には各部分の音響インピーダンスを示してあります。

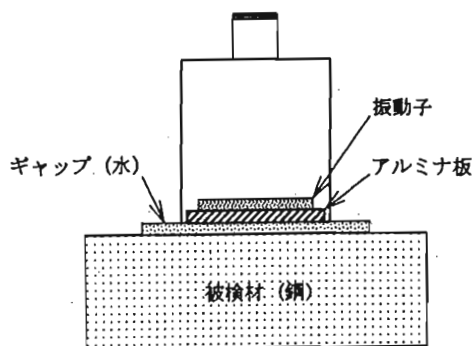


図1 垂直探触子

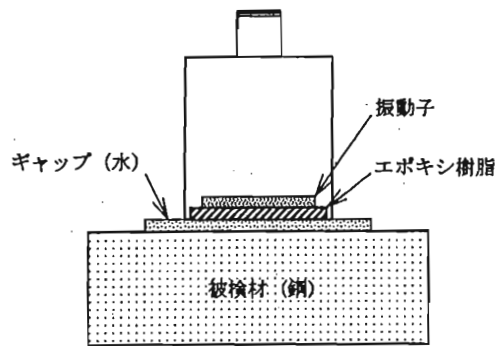


図2 水浸探触子

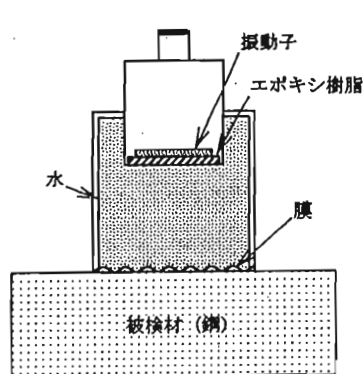


図3 局部水浸探触子

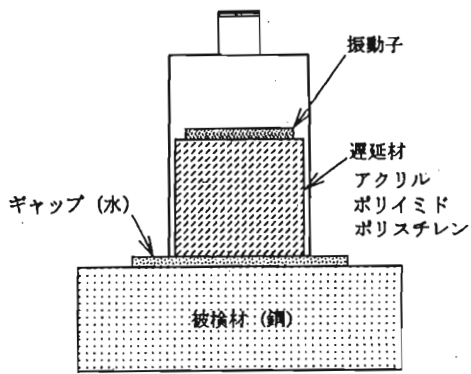


図4 遅延材付探触子

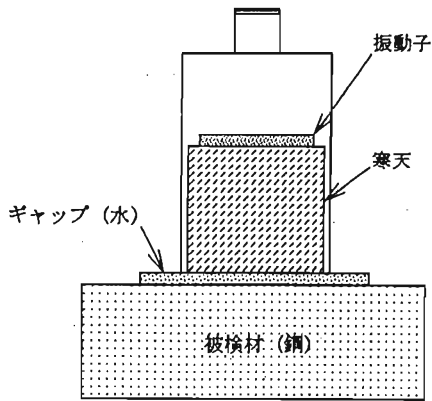


図5 寒天付探触子

表1 音響インピーダンス

	$\times 10^6 \text{ Kg/m}^2\text{s}$
振動子	30
アルミナ板	40
エポキシ樹脂	3.2
アクリル樹脂	3.2
ポリイミド樹脂	2.7
ポリスチレン樹脂	2.4
寒天	1.5
水	1.48
鋼	45.3

3. 比較実験

今回比較実験に使用した機材は次のようである。

探触子 : 5C20N
 5C20I
 探傷器 : UI-21
 ケーブル : 1.5D 2m
 接触媒質 : 水
 試験片 : STB-N1

探触子はアルミナ板付の5C20N以外は水浸探触子の5C20Iを使用し遅延材を取り替え比較した。

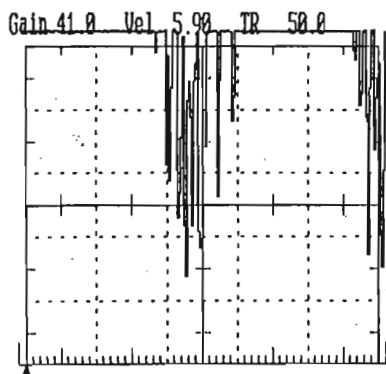
遅延材の距離は表2に示すように各音速によりほぼ同じ位置にS1エコーが現れるように設定した。

ギャップは0.5mmで行った。

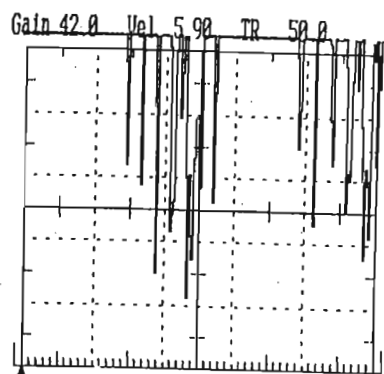
表2 遅延材の音速及び距離

遅延材	音速 (m/s)	距離 (mm)
寒天	1500	20
水	1480	20
アクリル	2750	37
ポリイミド	2460	33
ポリスチレン	2300	31

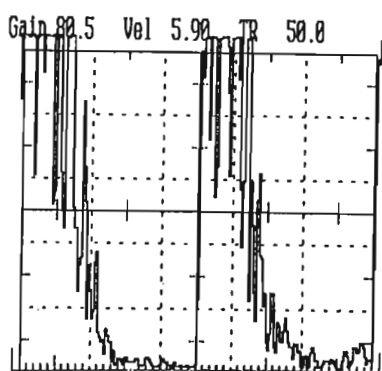
各探触子の探傷波形を波形1～波形7に示します。この波形は、STB-N1の底面(B1)エコーを100%にした後、+20dBしたものです。測定範囲は鋼材の音速で50mです。波形8は寒天のSエコーの周波数特性である。



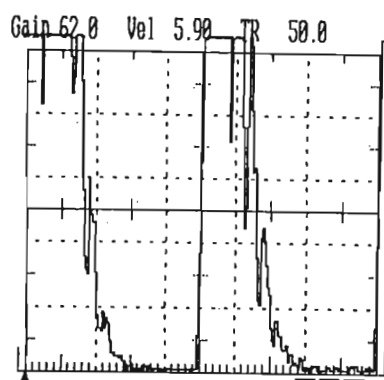
波形1 直接接触用探触子 (アルミナ付)



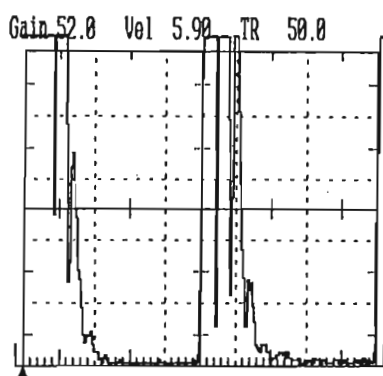
波形2 水浸探触子 (エポキシ)



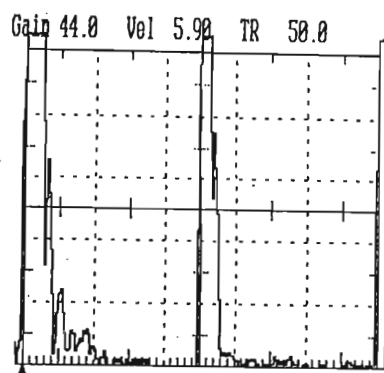
波形3 遅延材 (アクリル)



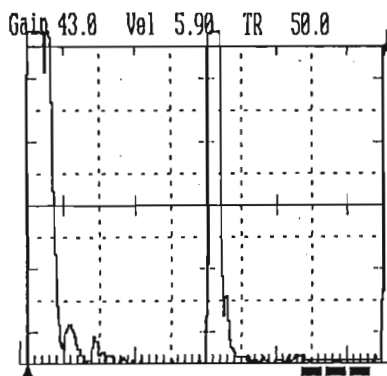
波形4 遅延材 (ポリイミド)



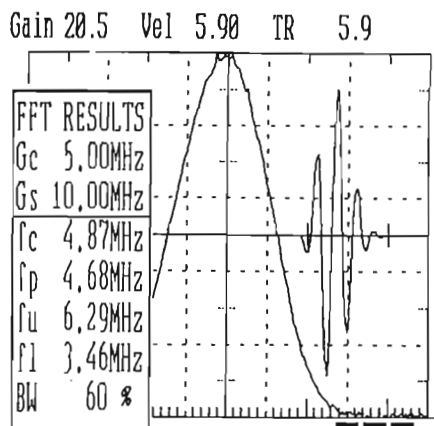
波形5 遅延材 (ポリスチレン)



波形6 局部水浸探触子



波形7 寒天付探触子



波形8 周波数特性

4. 比較結果

波形1と波形2は直接接触用探触子と水浸探触子であるが、ギャップの多重エコーがすごいので探傷できるものでない。ここでもしギャップを0.15mm(5MHzの水中の波長の1/2)に精度良く保持できればある程度の探傷は可能であるが、1/100mmの精度でギャップを管理することは、探傷面の状況によるが非常に難しい。

波形3から波形5は各遅延材付探触子の波形であるが、直接接触用の探触子に比べればかなり良くなっている。その中でもポリスチレンが一番不感帯が少ない。これは音響インピーダンスが水が一番近いためである。

波形6は局部水浸探触子の波形であるが、樹脂の遅延材に比べればかなり不感帯も少なくなった上感度も上昇している。しかしこの探触子は、水が漏れないようにするため前面に膜を付けているが、探傷面が汚いとすぐ破れてしまう。また破れにくいように膜を厚くするとその膜のエコーが出てきてしまう。

波形7は寒天付探触子であるが、局部水浸探触子とほとんど同じ波形、感度が得られた。これは寒天と水の音響インピーダンスがほとんど同じためである。そのためギャップが多少変化しても波形、感度とも変わらない。

波形8は寒天付探触子のギャップ探傷時の周波数特性で、反射源はSTB-N1の底面である。

5. 寒天付探触子の問題点及び今後

寒天は乾燥すると水分が無くなり縮まってしまう。そのため探傷しないときも探傷面を水に漬けておかなければならない。しかしもし縮まっても寒天を入れ替えるのは難しくない。

今回は垂直探触子だけであったが、今後、斜角探触子、二振動子探触子などでも試作していきたいと思う。また、局部水浸探触子は前面に膜をとり付けるため小型化は難しかったが、寒天なら小型化も可能であるのでこの点でも試作していきたいと思う。

6. 追記

この寒天探触子は、今年開かれる(1997年5月15,16,17日 会場:東京国際フォーラム展示ホール)非破壊検査総合展に出展する予定でありますので是非見に来て下さい。

超音波のコンピュータ・アニメーション

Computer Animation of Ultrasonics

東京理科大学基礎工学部 羽田野 甫

1. はじめに

最近のコンピュータ技術の進歩によって、スーパーコンピュータの利用が困難な場合でも、UNIXワークステーション程度のコンピュータを用いて、かなり実際に即したシミュレーションを実行できるようになった。超音波を対象とするシミュレーションでは、その結果の空間的な分布と時間的な変化を併せて表示しなければならないことが多いので、ポスト・プロセッシングとしてのコンピュータ・グラフィックスには、工夫を凝らす余地が大きい。本報では、筆者らの研究室で最近行っている超音波のシミュレーションについて、結果を一駒ずつ時間を追ってビデオテープに収め、動画としてテレビ画面に再生できるようにしたコンピュータ・アニメーションの例をいくつか紹介する。

2. クリーピング波の差分法シミュレーション

固体の表面に沿って伝わる縦波、つまりクリーピング波は、材料表面及びその近傍の傷の検出に利用することが考えられているが、その特性については不明な点が多い。図1に示す2次

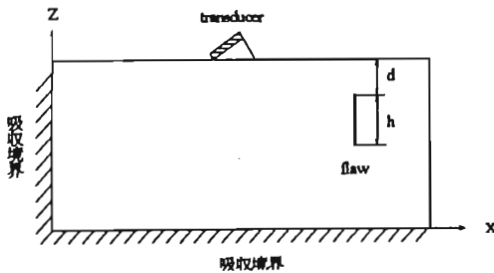


図1 2次元モデル

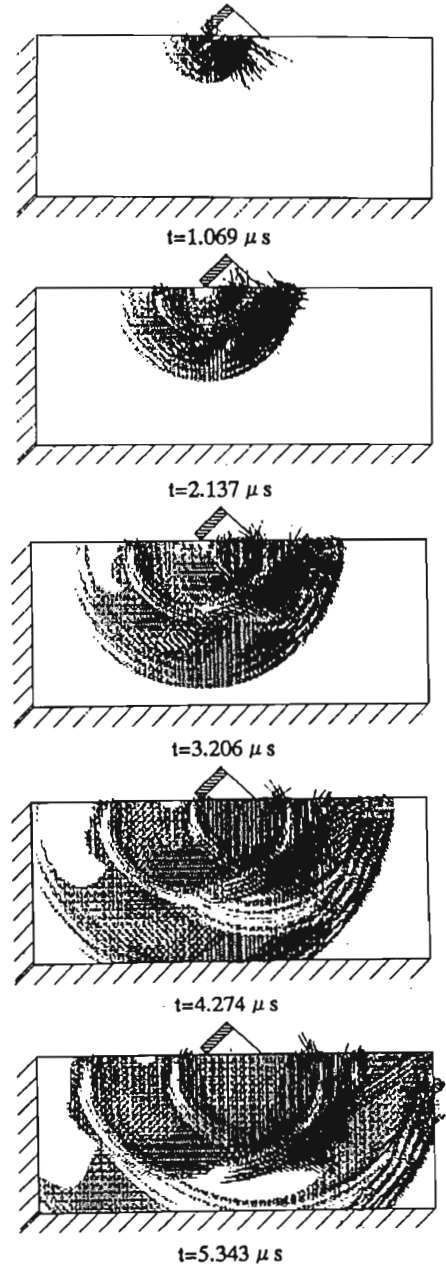


図2 クリーピング波の変位ベクトル図

元モデルによる差分法シミュレーションを行い、クリーピング波の伝搬と反射の特性を調べた。図2は、振動子の高さが6.48mm、入射角 27.16° の斜角探触子を用いて、5MHz4波のトーンバーストで軟鋼製媒体の上面を駆動したときの変位ベクトル図である。クリーピング波の伝搬に伴って媒体表面で横波が励振され、その波面が直線状に時間の経過とともに右下方に移動しているのが注目される。図3は、媒体上面の近傍に垂直な平面傷がある場合のシミュレーション結果である。入射した縦波が、傷の端部で回折して回り込んでいく様子がわかる。アニメーションでは、変位ベクトルの縦波成分と横波成分を色分けして表示したことも相まって、クリーピング波の挙動をより具体的に把握できるようになっている。

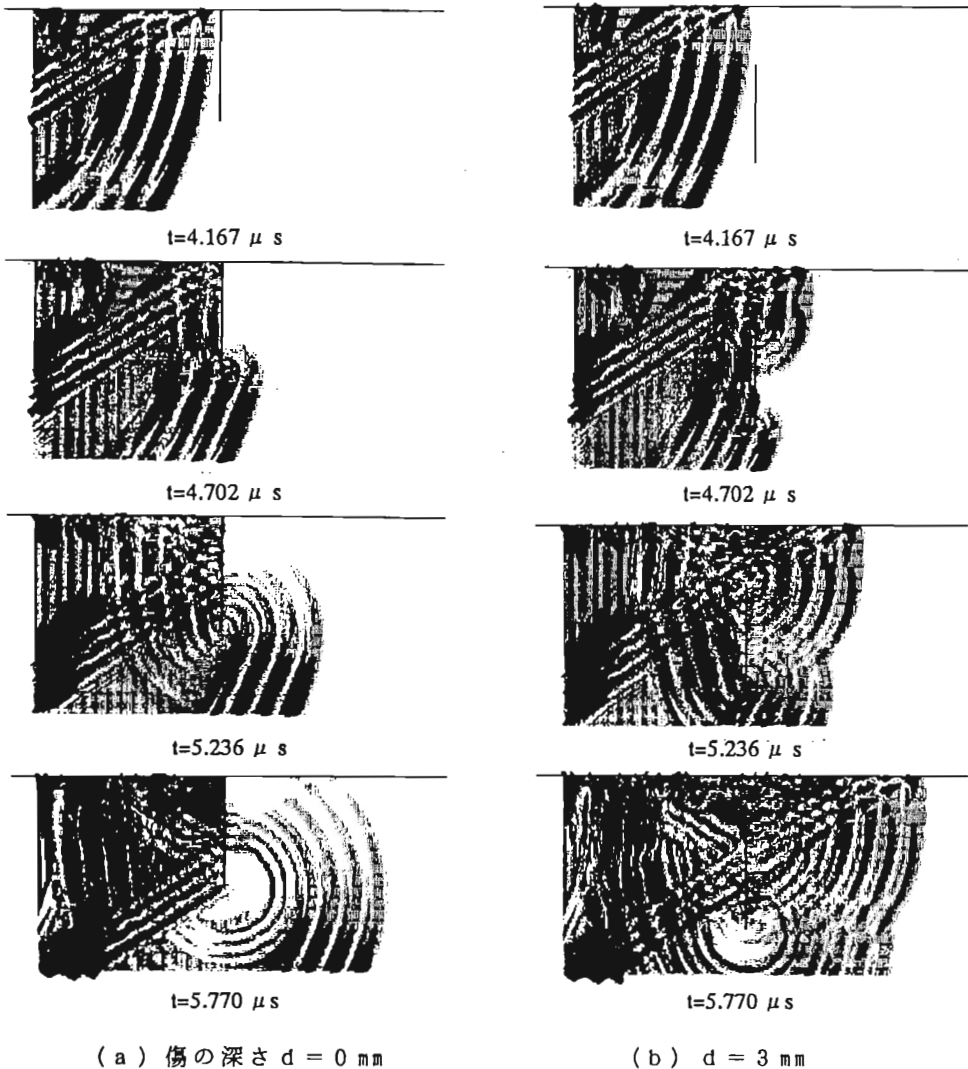


図3 平面傷による弾性波の回折

3. 設備診断用パラボラ集音器の差分法解析

石油精製などのプラントでは、より高い信頼性、安全性が要求されており、各種の診断技術を用いて、効率よく設備を維持管理する事が重要な課題になっている。石油精製設備で多用される回転機械については、その発する音波によって異常を検出するための早期異常診断システムの開発が進められている。その概要を図4に示す。最近ではこの音響設備診断の技術を、配管系のリーク検出に適用することも考えられている。音響設備診断のマイクロフォンとして用いられるパラボラ集音器を対象に、2次元軸対称モデルによる差分法シミュレーション

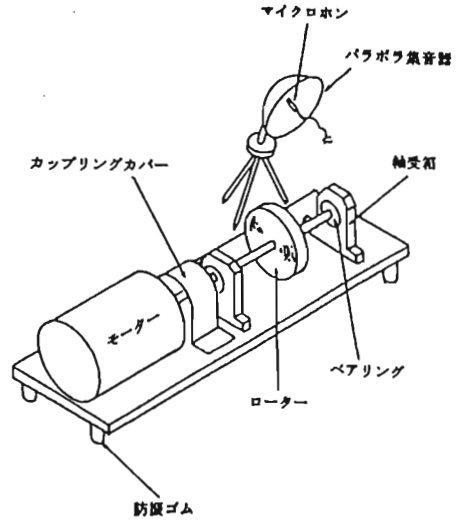


図4 音波による設備診断の概念図

を行い、パラボラの形状や構造などによる音波伝搬の変化の様子を調べた。軸対称モデルは、音源とパラボラが同軸上にある場合に限られるものの、2次元モデルと同程度の格子点数を用いて、3次元媒体中の広がり損を加味したシミュレーションを行える特徴がある。図5は、継続時間が0.2msのコサイン持ち上げ波1波が、直径と深さが何れも20cmのパラボラ集音器を伝搬する様子を示している。パラボラに入射した音波がその壁面で反射し、時間の経過とともに焦点の位置のマイクロフォン受音面に集束していく様子がわかる。

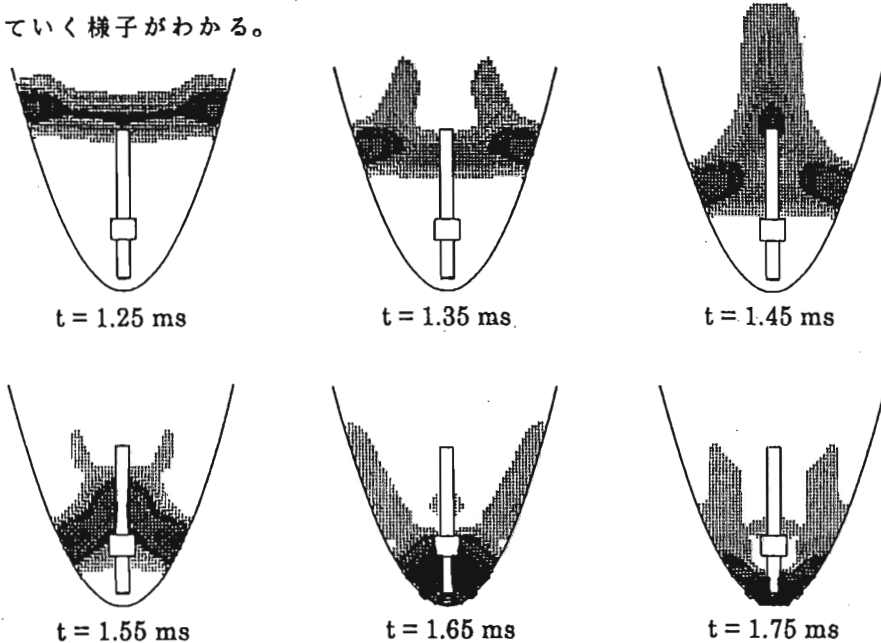


図5 パラボラ集音器における音波伝搬

4. 超音波パワー用固体ホーンの有限要素法解析

超音波パワーは、半導体や精密部品の超音波洗浄、あるいはプラスチックの超音波溶接を始めとして、産業の様々な分野で広範に利用されている。超音波パワーを対象物に印加するため、固体ホーンなどの振動体が用いられる。その設計に際して振動特性を解析する場合、超音波振動子によって印加される駆動力と、音響負荷の影響を無視できない場合も少なくない。これらの影響を考慮した有限要素法のプログラムを開発して、駆動力と音響負荷による振動モードの変化の様子を調べた。

図7は、解析の対象とした超音波半田付けに用いられるステンレス鋼製の段付き平型ホーンのモデルである。超音波半田付けはフラックスを要しないで種々の材料を接合できるため、環境対策の面からもエレクトロニクス産業などで注目されている。シミュレーションの境界条件として与える駆動力には正弦波の連続波を、音響負荷には放射抵抗成分を考えた。図8は、駆動力と音響負荷（放射抵抗密度 $1.5 \text{ MPa}\cdot\text{s/m}$ ）を与えた振動体の、主共振 18.9 kHz における振動変位の時間変化を、周期 T の $\frac{1}{8}$ 毎に示した例である。図9

は、振動体の放射面の4点における垂直変位波形である。Point1は放射面の端、Point4は中央、Point2、3はその間の点である。無負荷の場合には互いに同相で振動する各点の変位が、音響負荷の影響で位相にずれが生じている。

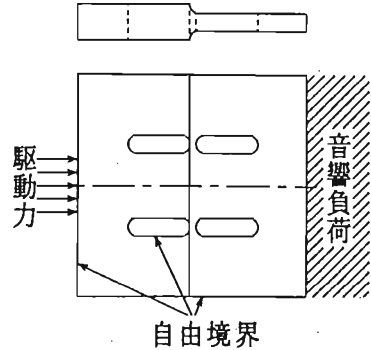


図7 駆動力と音響負荷を考慮した平型固体ホーンのモデル

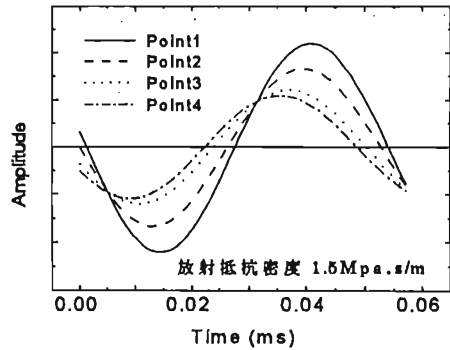


図9 音響負荷があるときの放射面の振動変位

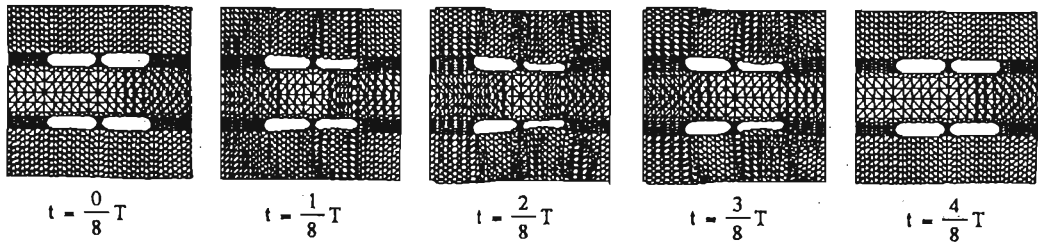


図8 平型固体ホーンの振動変位の周期 T における時間変化

水浸法における弾性表面波を用いた画像観察

日立建機 石川 潔、小倉 幸夫、
佐藤 温子
日立 片倉 景義

要 旨

試料から反射した超音波が各経路を伝搬して、再び音響レンズに到達する信号を弁別して表示すると表面反射像、表面反射波と弾性表面波の干渉像、弾性表面波像など、それぞれ分離して表示できるようになり像解釈が容易になった。

この観察法を用いて、各種材料の観察を試みた結果、従来観察法では得られなかった材料内部の構造の観察が可能になった。また、超音波の減衰・散乱を反映した情報が描画されて、新しい知見が得られた。

1. 緒 言

超音波画像法で各種材料を観察すると、さまざまなコントラストを持った画像が得られる。これは超音波装置の信号波形に波数の多いバースト波信号を用いているので、試料表面からの反射波と弾性表面波との干渉や試料の内部で多重反射した波の干渉などにより振動子の出力が変化するためである。

筆者らは、音響レンズから放出された超音波が各々の経路を伝搬して、再び音響レンズに到達する信号を弁別して表示すると、画像のコントラストを形成している要因が明らかになり、画像の解釈が容易になるのではないかと考えた。

この考えを実現するのに、ゲート幅を一定にしておき信号の取込み時間を変化させて、各々の経路を伝搬してきた超音波信号を時間的に弁別して画像表示することを試みた。

2. 弾性表面波の検出

音響レンズの焦点を試料の内部に-Zだけ移動した状態を図1に示す。音響レンズから広い角度分布をもって放射された超音波が試料に入射すると、試料の表面では入射角度によって透過・弾性表面波の励起・反射などの現象が生じる。

このような振る舞いを示す超音波の中には、試料表面で反射して再び音響レンズに戻るE-O-Eの経路を辿る波と、弾性表面波にモード変換されてA-B-O-C-Dの経路を辿る波とがある。この二つの波が振動子に到達するときの時間差 Δt_r は、それぞれの波の経路差から、次式により求められる。

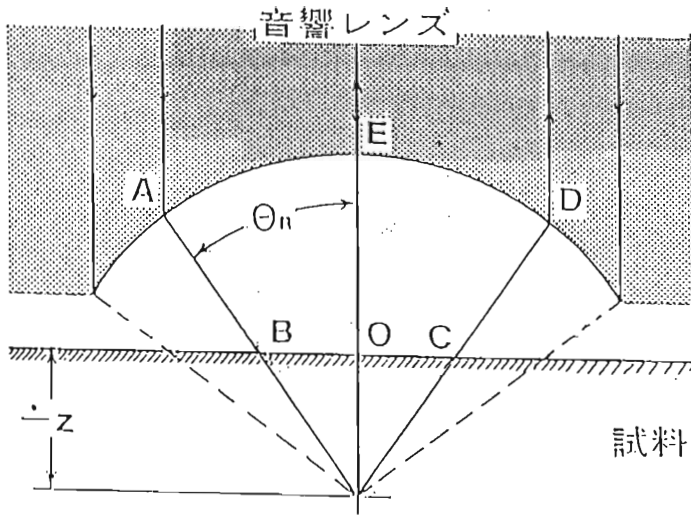


図1 弾性表面波の伝搬経路

A-B-O-C-D経路を通過する波の時間 t_{ABOCD} は、

$$\begin{aligned}
 t_{ABOCD} &= t_{AB} + t_{BC} + t_{CD} \\
 &= 2 \frac{l}{V} \left(F - \frac{z}{\cos \theta_R} \right) + 2 \frac{z \tan \theta_R}{V_R} \quad (1)
 \end{aligned}$$

E-O-E経路を通過する波の時間 t_{EOE} は、

$$t_{EOE} = 2 t_{EO} = 2 \frac{F - z}{V} \quad (2)$$

となる。したがって、二つの波の時間差 Δt_R は、

$$\begin{aligned}
 \Delta t_R &= t_{ABOCD} - t_{EOE} \\
 &= 2z \left(\frac{\tan \theta_R}{V_R} - \frac{l}{V \cos \theta_R} + \frac{l}{V} \right) \\
 &= \frac{2z(1 - \cos \theta_R)}{V} \quad (3)
 \end{aligned}$$

ここで、Fは焦点距離、zはレンズの焦点と試料表面との距離、Vは媒質の音速、 V_R

は試料の弾性表面波の音速、 θ_R はレーリーの臨界角 ($\sin\theta_R = V/V_R$)とする。

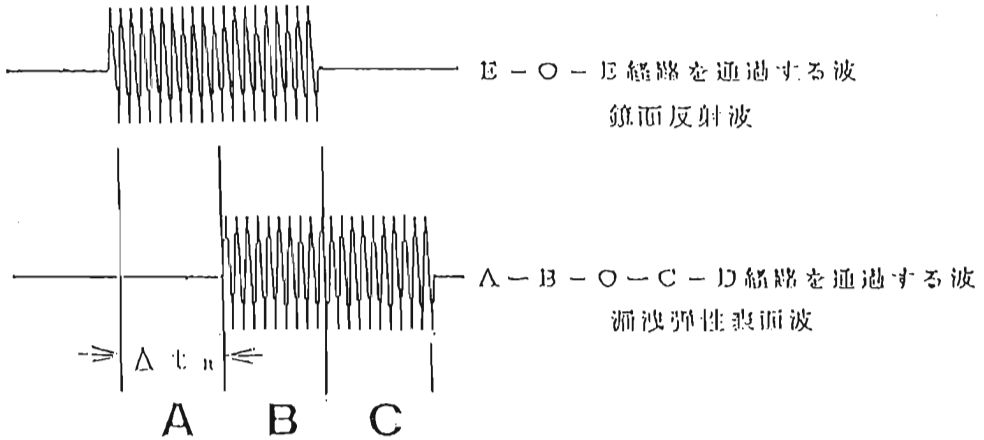


図2 鏡面反射波と漏洩弾性表面波の二つの波が、トランスデューサに到達する時間差を模式図

図2に鏡面反射波と漏洩弾性表面波の二つの波が、トランスデューサに到達する時間差を模式的に示した。しかし、二つの波の振幅については考慮していない図である。ここで、信号取り込み時間 G_t (ゲート幅)を時間差 Δt_R よりも短く設定して、ゲートを移動してA、B、Cの各領域の信号を検出して画像表示すると、A領域では表面反射波像、B領域では表面反射波と弾性表面波との干渉像、さらに、C領域では弾性表面波の各像がそれぞれ得られる。

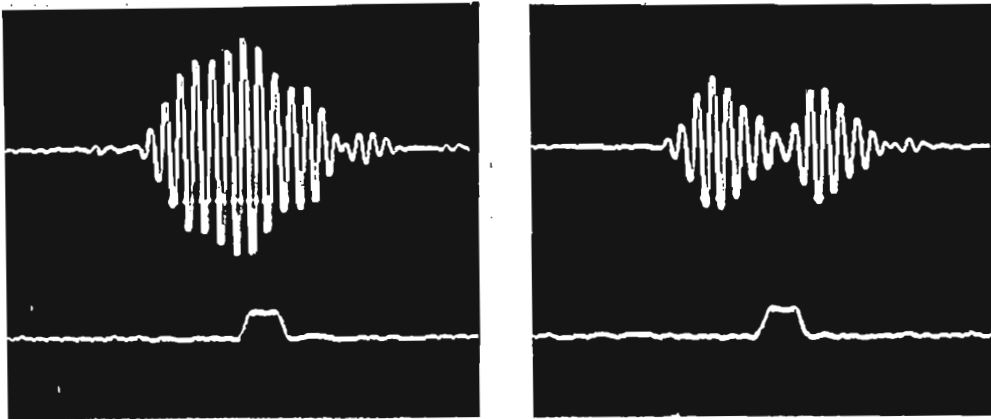
この観察法をバースト波による弾性表面波像観察法(Surface Wave Imaging Method by Burst Waves)¹⁾、略してSWIM法と呼んでいる。

3. 時間分解能の確認

実験に用いた装置は日立超音波顕微鏡(HSAM210型)である。本装置で実現可能な最小ゲート幅は20 nsであるから、信号を弁別するのに必要な時間差 $\Delta t_R \geq 20$ nsになるデフォーカス量を各物質について求めてみると、ソーダガラス: 110 μ m、シリコン: 260 μ m、サファイヤ: 450 μ mが得られた。試料の音速の速い物質ほどデフォーカス量を大きくしなければならない。

音響レンズのデフォーカス量の変化と受信信号波形の変化を測定した結果を図3に示す。試料はソーダガラスである。周波数100 MHz、バースト波の波数7山、ゲート幅30

nsである。

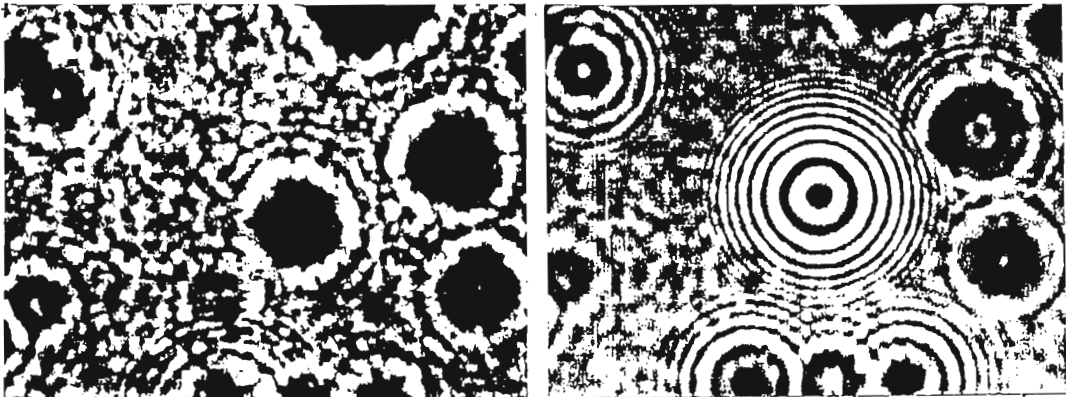


(a) $Z = -112 \mu\text{m}$

(b) $Z = -142 \mu\text{m}$

図3 受信信号波形

(a)は音響レンズの焦点が試料表面より $Z = -112 \mu\text{m}$ 移動したときに得られた信号波形である。A領域とC領域の信号波形の振幅に対して、B領域の信号波形の振幅は増大しているため、両者の波の位相がほぼ同位相である。(b)は $Z = -142 \mu\text{m}$ 移動した信号である。二つの波の位相は逆位相になり、信号波形の振幅は減少している。



(a) 表面反射波像

(b) 弾性表面波像

図4 ボイドの観察

図4はガラス表面のボイドを観察した結果である。試料はガラスの内部に多数のボイドが存在する材料の一部を研磨して作製した。研磨によってボイドが表面に露出した部分もある。 $Z = -0.200 \mu\text{m}$ において観察した(a)表面反射波像(b)弾性表面波像である。ボイドの周囲には同心円状の干渉縞が観察されている。表面反射波像にみられる干渉縞は、入射波が縦波にモード変換されて表面に沿って伝搬する波(Leaky Surface Skimming Compressional Wave:LSSCW)で、弾性表面波像にみられる干渉縞は弾性表面波

によって生じたものである。これは表面反射波像の縞間隔に対して、弾性表面波像の縞間隔が約半分になっていることから明らかになった。

4. 材料の評価

4.1 表面処理鋼板の観察

表面処理鋼板の観察結果を図5に示す。試料は鋼板(0.2mm)であり、防錆下地処理として表面にリン酸塩皮膜化成処理を行っており、その厚さは数 μm である。

(a)はA領域から得られた像である、画面に一樣に分散している粒状のコントラストはリン酸塩皮膜化成処理によって生成された皮膜結晶の形状と分布の様子を表している。また、局所的に島状のコントラストも観察されるが、これはリン酸塩皮膜化成処理の表面が平坦でなく凹凸であることを反映している。

(b)はB領域の像である。描画されている画像情報はA領域の像とC領域の像とを重ね合わせた像となる。これは、従来の超音波顕微鏡の観察法から得られている像と同一のものである。

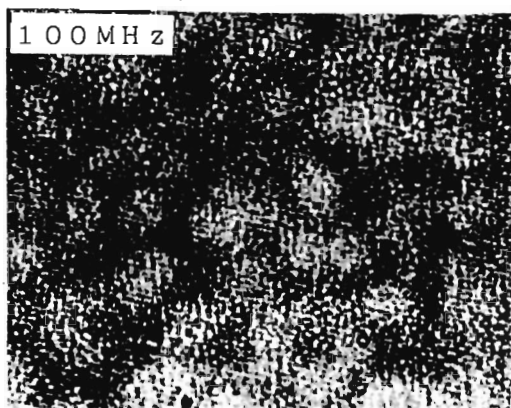
(c)はC領域から得られた像である。この像は弾性表面波によって描画されたもので、A領域やB領域で観察された粒状のコントラストは消滅している。さらに島状に観察された部分では母材表面に存在する介在物と推察されるコントラストが観察される。このコントラストが何を表しているのか、その同定は行っていない。

4.2 耐熱樹脂のき裂の観察

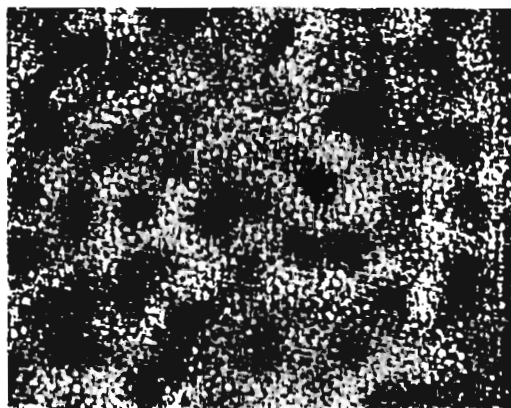
試料は高温シール材であり、金属板の表面に耐熱樹脂を厚さ約0.2mm程度塗布している。このシール材は高温で使用すると樹脂にき裂が発生するので、その原因を調べた時に得られた画像である。

耐熱樹脂は黒色不透明であり、き裂の形状は光学的には観察できない。図6にシール材を観察した結果を示す。使用した超音波の周波数は100MHzである。

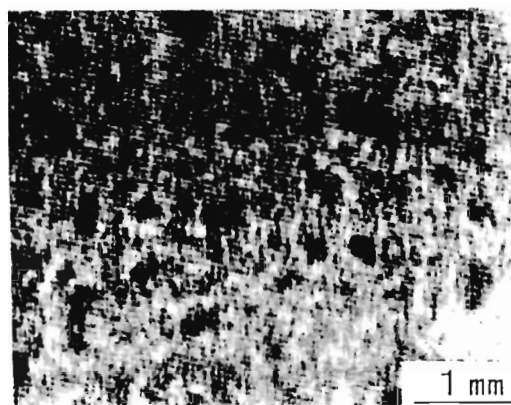
(a)はB領域から得られた像であり、き裂は観察されているが鮮明ではない。(b)はC領



(a) A領域から得られた画像
(表面反射波画像)



(b) B領域の画像
(表面反射波と弾性表面波の干渉画像)



(c) C領域から得られた画像
(弾性表面波画像)

図5 表面処理鋼板の観察結果

域から得られた像である。き裂は (a) に比べて明瞭に観察できる。また、矢印で示す個所に超音波の減衰や散乱の大きい個所の存在すると推察される、コントラストの異なっている領域が描画されている。

4.3 加工変質層の観察

試料はシリコンウエハーの上面に #400 の砥石で粗研削した後、その表面を $1\mu\text{m}$ のダイヤモンド砥粒で研磨した。したがって、表面は鏡面に仕上げられているが、その内部には粗研削時に導入された欠陥が存在している試料を作製した。

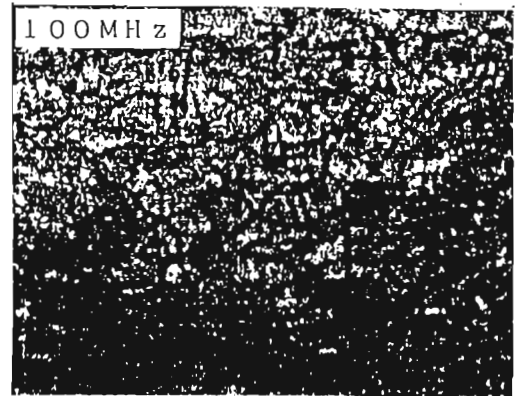
図7は研削加工したシリコンウエハーを観察した結果である。A領域、B領域、C領域の像を比較すると、C領域では内部に存在している欠陥が観察される。

弾性表面波が材料表面を伝搬するときの深さは、ほぼ1波長程度を考慮すればよいから、弾性表面波が励起される条件に音響レンズを固定しておき、周波数を変えて画像を観察すると、それぞれの周波数に応じた深さ方向の情報が描画できる。

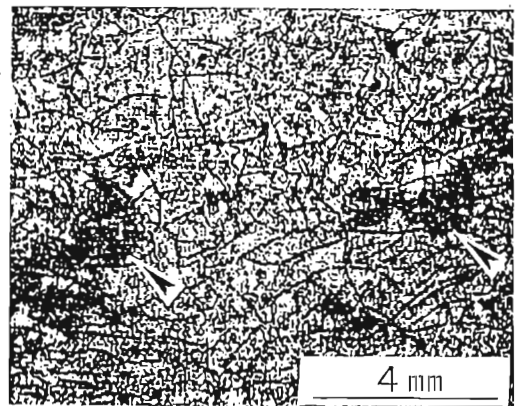
図8は周波数を 150MHz ~ 80MHz まで変化させて観察した中から、その代表的な像を示した。周波数 150MHz の画像ではコントラストは同様であり、表面の研磨状態は良好である。しかし、周波数 120MHz の像になるとコントラストの異なる部分が観察される。さらに周波数 100MHz の像では、その形状はより明瞭になる。

研磨面の弾性表面波の音速 V_R を測定した結果、 $V_R = 5120\text{m/s}$ が得られた。この音速を用いて、それぞれの周波数における波長 λ_R を算出すると、 $34\mu\text{m}$ 、 $42\mu\text{m}$ 、 $51\mu\text{m}$ が得られた。内部欠陥が周波数 100MHz において明瞭に観察されているので、弾性表面波は欠陥まで到達していると考えられる。

この波長から内部に存在する欠陥の深さを見



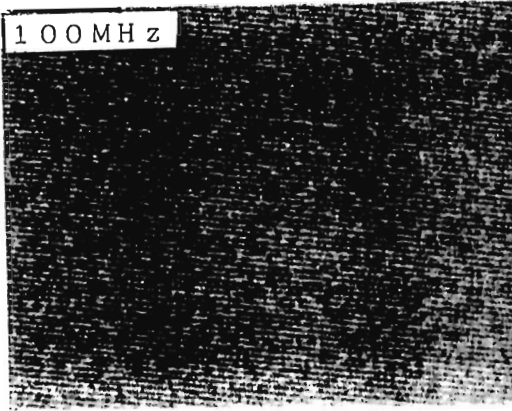
(a) B領域の画像
(表面反射波と弾性表面波の干渉画像)



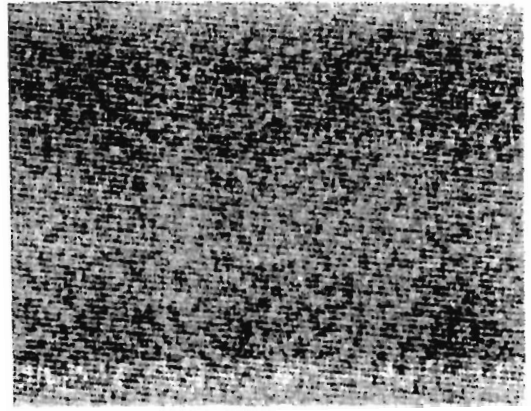
(b) C領域の画像
(弾性表面波画像)

図6 耐熱樹脂のき裂観察

積ると約 $50\mu\text{m}$ が得られた。



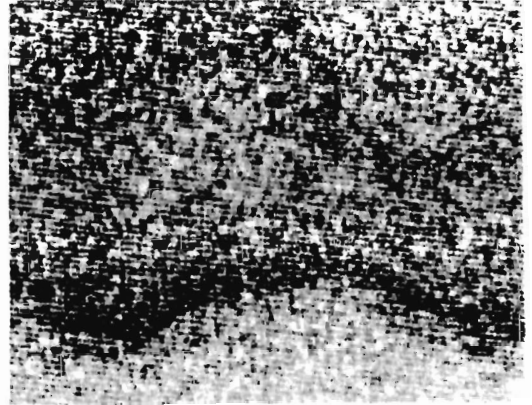
(a) A領域から得られた画像
(表面反射波画像)



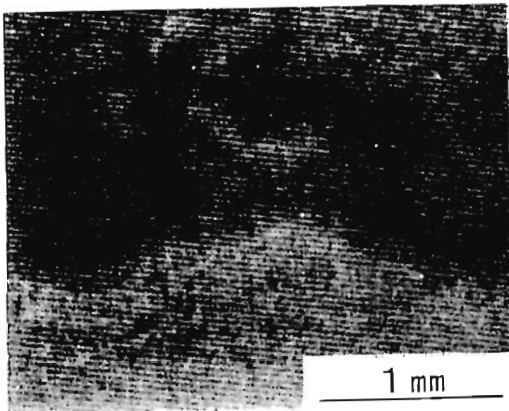
(a) 150MHz



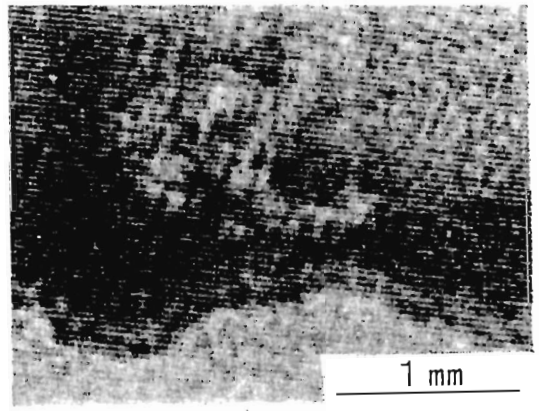
(b) B領域の画像
(表面反射波と弾性表面波の干渉画像)



(b) 120MHz



(c) C領域から得られた画像
(弾性表面波画像)



(c) 100MHz

図8 加工変質層の観察

図7 加工変質層の観察

5. 考 察

SWIM法によって得られた弾性表面波像の分解能は、表面波像や表面反射波と弾性表面波との干渉像に比較して向上していることが見出された。ここでは、弾性表面波により形成される像の分解能について考察する。

焦点を物体内部に配置する位置関係により照射すると、図1のOを中心としてBCを含む同心円状の振動源が物体表面に発生する。この振動源により励起した弾性表面波はすべて中心方向に向かって進行するので、中心部O点において形成される音場はベッセル関数で表わされる形に収斂する。このように点O近傍に発生した音場がプローブとなって試料面上を走査するので、理論的には波長 λ の0.4倍の分解能を達成できる。

また、この分解能は照射振動源の直径には関係ないことから、焦点合わせの状況に依存せず一定である。

6. 結 言

超音波顕微鏡において各経路を伝搬して音響レンズで受信される信号を時間的に弁別して表示する方法を見出した。

その結果、

1. 表面反射波像、表面反射波と弾性表面波の干渉像、弾性表面波像など、それぞれ分離した画像が得られ、画像の解釈が容易となった。
2. 弾性表面波画像観察法を用いて各種材料の観察を試みた結果、従来観察法では得られなかった材料内部の構造の観察が可能になった。また、超音波の減衰・散乱を反映した情報が描画されて、新しい知見が得られた。
3. 同心収束弾性表面波で形成される画像の理論分解能は波長 λ の0.4倍になり、音響レンズのデフォーカス量には依存しない。

参考文献

- 1) 石川 他：日本非破壊検査、平成8年秋季大会講演概要集、239(1996)

S H波による裏当て金付T継手溶接部の探傷

Ultrasonic Testing by SH Wave for Single Bevel Groove
Welded T-Joints with Backing Strip

千葉県機械金属試験場 立川克美

概 要

裏当て金付T継手溶接部の溶込み不良ときずの判別に関するNDI指針では、溶接部裏面からの探傷に表面SH波探触子が採用された。

本研究では、SH波斜角探触子及び表面SH波探触子を用いて溶接表面側から直射法による探傷の可能性を試みたところ、板厚6mmから16mmの範囲では5MHzが、19mmから25mmの範囲では2MHzの探触子が有効である結果が得られた。

キーワード 非破壊試験、SH波、斜角探傷、溶接欠陥、

1. まえがき

建築鉄骨構造物に用いられている裏当て金付T継手溶接部の斜角探傷では、ルート部付近のきずエコーと形状エコーとの判別に困難さが伴うことは周知のことである。この判別手法に関して、NDI溶接部の超音波探傷研究委員会では昨年、「裏当て金付完全溶込みT継手のルート部からのエコー判別方法に関する指針（1995改正版）」¹⁾を提出した。

指針では、SV波による斜角判別法とSH判別法の2つの手法が規定された。指針のSH判別法は、裏当て金を取り付けた側の母材から表面SH波探触子により行うものであり、角型鋼管柱のような閉断面構造の検査には適用できない。そこで、本研究では一般の斜角探傷と同様に溶接部表面側からSH波探触子による溶込み不良検出の可能性を検討した。

2. 実験方法

実験では、SH波斜角探触子と表面SH波探触子（A90-SH）を用いて裏当て金付レ形開先T継手溶接部の溶込み不良を直射法で探傷し、エコー高さとの関係を検討した。

2.1 試験体

実験にはSM400A材 6mm、9mm、12mm、14mm、16mm、19mm、25mmの板厚を使用した。スリット試験片を図1に、斜めスリット試験片を図2に探触子の配置と共に示す。

溶込み不良試験体は図3に示す形状で、初層溶接電流とアークの狙い位置を調整する手法により自然欠陥を板厚毎に3体作成した。

2.2 測定方法

使用したSH波探触子を表1に示す。表中の

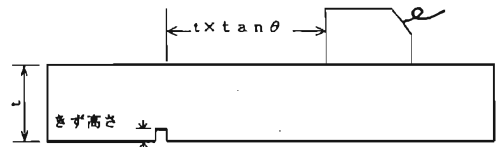


図1 スリット試験片

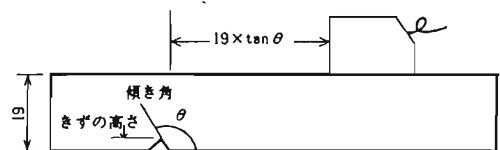


図2 斜めスリット試験片

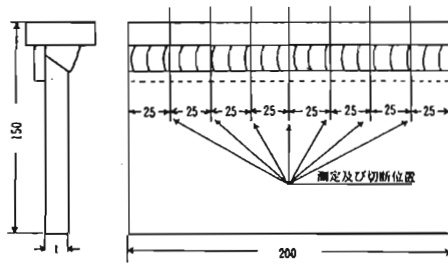


図3 裏当て金付溶接継手試験片

表1 使用探触子

周波数	振動子サイズ	公称屈折角	実測屈折角
2	5×5	70	70
	10×10	90 (表面SH)	76
5	5×5	90 (表面SH)	78
	10×10	70	70

実測屈折角は STB-A2φ4×4を直射法で、最大エコー高さを示す位置のビーム路程から算出した。

SH波探触子のきず高さとの関係をスリット試験片により求めた。また、傾きを有するきずについても探傷面に90°プラス15°、30°、45°、60°の斜めスリット加工した試験体にて行った。探触子の配置はスリット試験体及び溶接試験体ともに、きず探触子距離を探触子の実測屈折角と材厚から得られる0.5スキップ距離とした。なお、接触媒質は日合アセチレン製のSHN-13を使用した。

3. 実験結果

3.1 スリットきずの探傷結果

スリットきずとエコー高さの測定結果を図4～図7に示す。図中の探触子の Δ 内の数値は実測屈折角を表す。

板厚6mmでは、2MHzの探触子は板厚効果の影響を受け、複数の妨害エコーとの区別が困難となり、きずエコーは検出できなかった。9mm～16mmの範囲では全探触子で深さ0.2mmのきずまで検出可能である。

板厚19mmと25mmでは5MHzの探触子で、きず高さ0.5mm以下の場合にSN比が小さくなる。

板厚の増加で、距離特性による減衰を受ける。試験片と同種の鋼材で作成したRB-4 Na.2試験体の減衰係数は2MHzの探触子で0.11dB/mm、5MHzで0.14dB/mmであった。この値を基に補正すると、これらの直線はほぼ一致する。

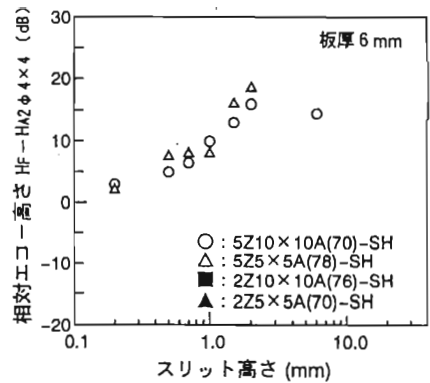


図4 スリット試験体(6mm)

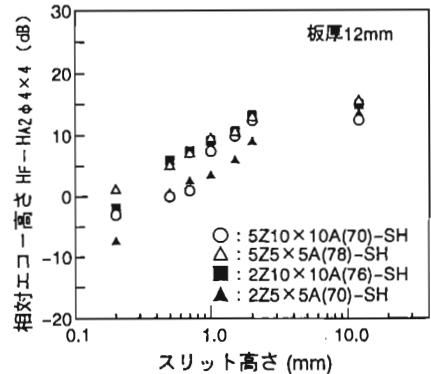


図5 スリット試験体(12mm)

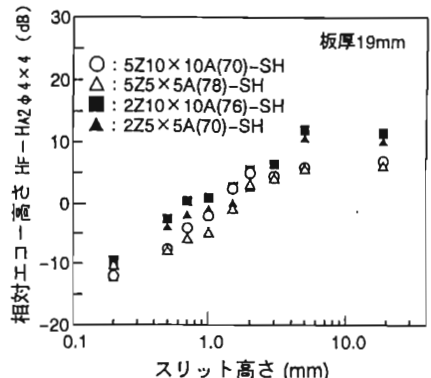


図6 スリット試験体(19mm)

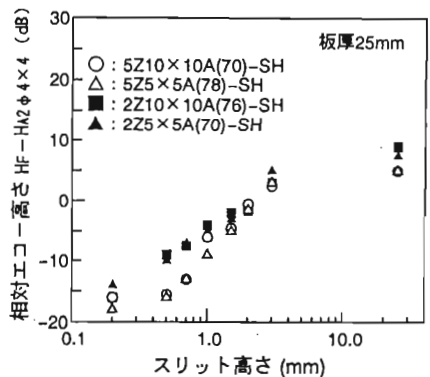


図7 スリット試験体(25mm)

なお、使用した探触子のSTB-A2φ4×4の0.5スキップ50%にゲイン調整したときのS N比は、5MHzの探触子で15dB、2MHzでは20dBであった。

3. 2 斜めスリットきずの探傷

2Z5×5A70-SH及び5Z5×5A90-SHによる斜めスリットきずの探傷結果を図8、図9に示す。5Z5×5A90-SHではスリット角120°で20dB低下し、135°以上の傾きでエコーはほとんど得られなくなる。

2Z5×5A70-SHでは150°の傾きで約20dB低下が認められ、2MHz探触子の方がきずの傾きに対する影響の少ない結果がSH波の探傷においても得られた。

3. 4 溶接試験体の探傷

溶接試験体の溶込み深さとSH波エコー高さの測定結果を図10～図13に示す。薄板では、きずの長さの変化に対してエコー高さはほとんど変化しないが、溶込み良好なところではエコー高さは急激に低下する。2MHzの探触子ではエコー高さのばらつきが大きい。25mm及び19mm板では2MHz探触子で表面SH波と屈

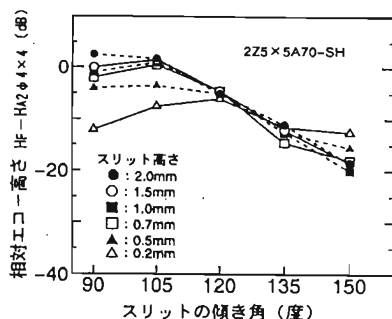


図8 傾斜スリットの探傷 (2MHz)

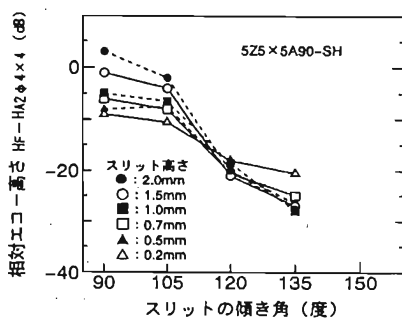


図9 傾斜スリットの探傷 (5MHz)

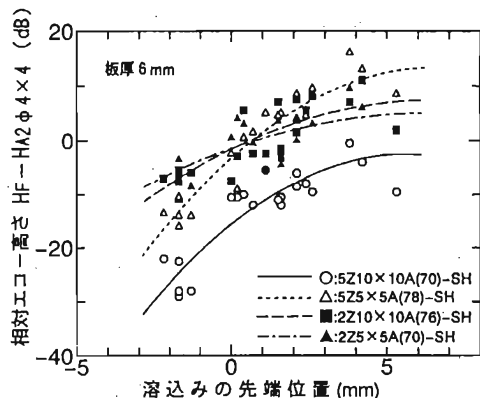


図10 溶接試験体 (6t)

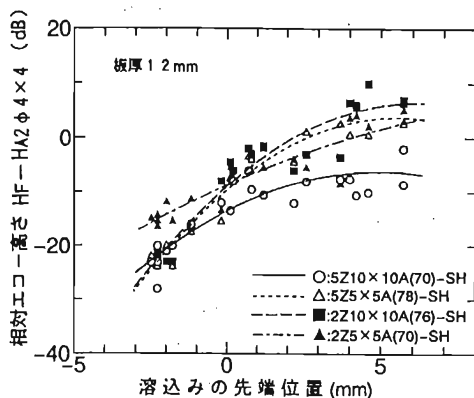


図11 溶接試験体 (12t)

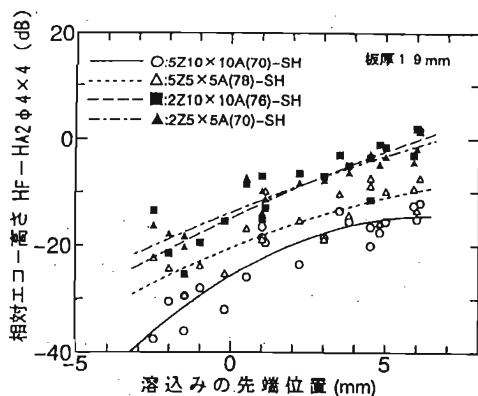


図12 溶接試験体 (19t)

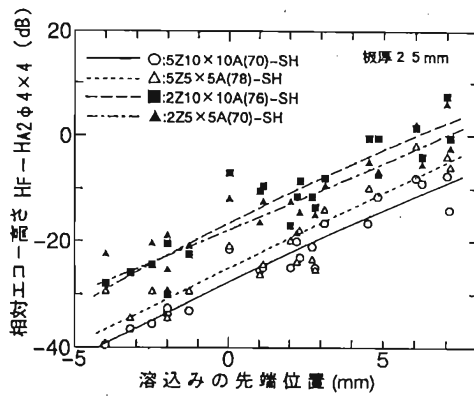


図13 溶接試験体 (25t)

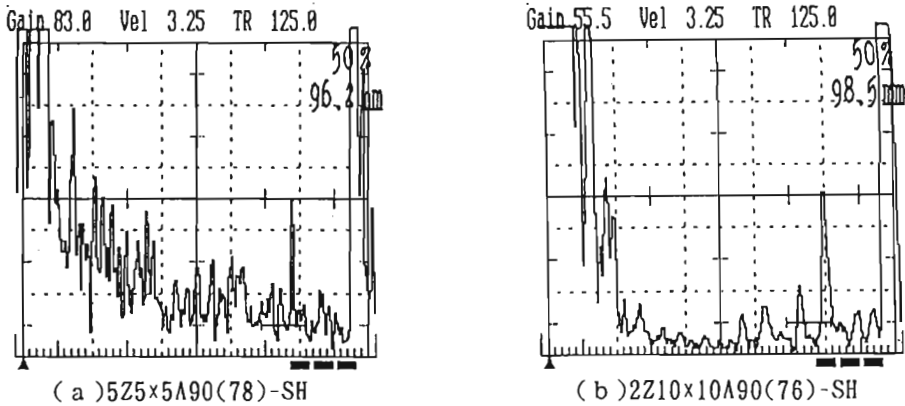


図14 板厚25mm、きず高さ2.2mmの探傷図

折角70°ともにきず高さとはエコー高さに良好な結果が得られた。5MHz探触子でも一応の結果が得られているが、図14に示すようにきず高さの小さいところでS/N比が低下している。

板厚12mmから16mmの範囲では、2MHzと5MHzのA90-SH波探触子及びA70-SH探触子ともにきずの検出は可能であるが、5MHzの表面SH波探触子が最も良好な結果を示した。

同一探触子でスリットきずと溶接部のきずを探傷したときの相対エコー高さを比較すると、きず高さ0.5mm付近では両者に差はないが、きず高さが高くなると両者の差は15dB前後まで拡大する。この現象は、スリットと溶接きずとの端面形状の違いが要因と考えられる。

4. まとめ

裏当て金付T継手溶接部の溶込み不良の検出に、溶接表面側からSH波探触子適用の可能性を検討したところ、次のような結果が得られた。

1. 溶接試験体の板厚6mm～16mmでは5MHz表面SH波探触子が有効であり、19mm～25mmでは2MHzの表面SH波探触子とSHA70探触子で探傷可能である。
2. 板厚12mm以下ではきずの高さとエコー高さに相関性が認められず、きず高さも変化してもエコー高さはほぼ一定となる。19mm～25mmの板厚では2MHzの探触子で、きず高さともエコー高さに相関が認められた。
3. エコー高さによるきず高さの推定は、5MHzの探触子では3mmまで、2MHzでは5mm程度までが限界であり、溶接部はスリットきずに比べてエコー高さの差が小さい。
4. 2MHzの探触子は5MHzに比べて傾きのあるきずに対しては2MHzの方が影響が小さい。

5. 参考文献

- 1)溶接部の超音波探傷研究委員会：裏当て金付完全溶込みT継手のルート部からのエコー判別方法に関する指針（1995 改正版）、非破壊検査、44(12)、P946(1995)
- 2)木村勝美：SH波によるエコー高さと指向性の計算、NDI資料No.21521(1995)
- 3)横野泰和、南康雄、加藤光昭、西尾一政：表面SH波探傷における試験条件の選定方法に関する検討、日本非破壊検査協会平成7年度春季大会講演概要集、P69(1995)

特 別 講 演

演 題 非破壊検査技術者認証の国際統合化

(財) 発電設備技術検査協会鶴見試験研究センター

岸 上 守 孝

非破壊検査技術者認証の国際統合化

平成7年度、JSNDIは非破壊検査技術者認証（従来の検査技術者の認定のこと）の国際統合化に向けて、ISO 9721-1992（NDT技術者の技量認定および認証）に整合させた技量認定制度のJIS原案を作成し（財）日本規格協会に提出した。しかし、平成8年にISO 9712の改定案が提案されたため、その改正の動きを見て、JIS原案の内容をISO 9712に整合させることが必要になった。このため、JIS原案の規格化の審議は中断している。

ISO 9712の規定によると、非破壊検査技術者の技量認証を実施する機関は、ISO加盟団体によって承認されていなければならない。この背景は世界貿易機関（WTO）の貿易の技術的障害に関する協定（TBT）が推奨する「国際適合性評価制度」によるものである。

TBTの協定に参加している日本では、産業界にとって国際貿易をより一層発展させる上でこの制度が必要不可欠であるとして「（財）日本適合性認定協会」（JAB）を発足させている。すでに、企業・工場の品質システムがISO 9000シリーズに適合していることの審査・登録（認証）を行う審査登録機関（認証機関）の認定をこの協会が行っている。

JSNDIがISO 9712または新JISに基づいて非破壊検査技術者の技量認証を実施する場合、JABによって規格（ISO 9712）通りに要員の認証を実施してることの審査を受け、要員の認証機関としての認定を受けなくてはならない。JSNDIが要員の認証機関として認定され、そのJSNDIから認証され、適格性証明書の発行を受けた検査技術者は国際的に相互承認されることが容易になる。

前号（第29号）で、ヨーロッパにおける非破壊検査技術者の認証についての海外調査結果を報告（JSNDI技量認定委員会：高木委員長）したように、ヨーロッパではISO 9712とほぼ等価なEN473に従って要員の認証を行っている。

一方、アメリカでは、ASNTが古くから雇用者認証を実施し、アメリカに限らず世界中に資格所有者がいる。しかし、ISO 9712-1992の制定、ヨーロッパにおけるEN473に基づく認証の実施による国際統合化の動きに合わせて、平成8年ACCP（アメリカ非破壊検査協会中央認証計画）を発表した。これによると平成8年11月には磁粉探傷試験、平成9年1月には浸透探傷試験、2月には放射線透過試験、3月には超音波探傷試験、渦電流探傷試験には実施する計画になっている。

日本では、JSNDIの規格NDIS 0601-91「非破壊検査技術者技量認定規程」によって試験を実施しているが、JSNDIではヨーロッパやアメリカに遅れないように、JISの制定の時期に合わせて新しい制度に基づく要員の認証制度を実施できるように準備を進めている。また、ISO 9712の改正及びそのJIS化が残されているが、JSNDIでは認証機関設立準備委員会を発足させ、ISO 9712の規定に合わせた認証試験を実施するために、試験内容、試験方法、試験問題等の検討・準備、また、要員の認証機関としての認定を受ける準備等を

開始した。

具体的には多項選択問題が中心になる筆記試験問題の蓄積、実技試験内容の再検討、受験申請資格の確認方法など盛り沢山の検討事項がある。特に、現制度とあまりかけ離れないような認証制度の実現を目指して検討を進めている。また、受験資格に必要な訓練時間に合わせた講習会カリキュラムの作成と普及等も計画されている。

ISO 9712 の改正案がまだ可決されず、要員の認証に関する JIS の審議・制定が遅れているので、日本における新しい制度による試験実施時期の予測は難しいが、JIS 化は早くて平成 9 年度中である。仮に平成 10 年春期合同試験から試行するとして、その前に行う講習会も新しいカリキュラムによって実施することになる。

また、新制度の内容も未確定であるが、大筋は次のようになる (ISO 9712 改正案による)。

1. 受験申請資格

訓練時間 (時間) , 経験年数 (月) , 視力検査を満足していること (時間, 月はレベル及び部門によって異なる) 。

2. 認証試験の内容

レベル 1, 2 : 一般試験, 特定の試験, 実技試験 (レベル 1 に対する指示書を含む)
レベル 3 : 基礎試験, 主要な手法の試験 (NDT 手順書の素案作成を含む) , 同じ部門のレベル 2 の実技試験

3. 有効期間 : 5 年 継続 : 5 年 (1 回限り)

更新 (再交付) 試験 : レベル 1, 2 : 限定した実技試験,
レベル 3 : 最低 20 問の筆記試験

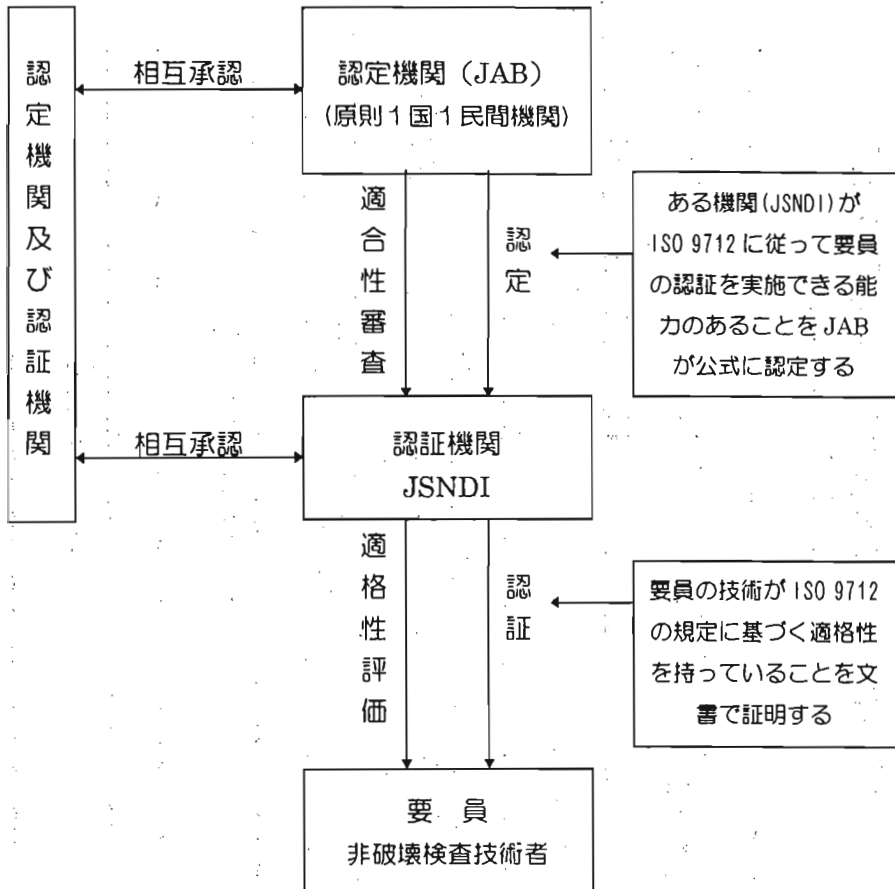
受験を予定している方々は今後の JSNDI 機関誌及び認定広報誌「インスパート」による認証制度に関する情報に注目していただきたい。

参考 : 「技量認定制度の国際整合化に向けて」 インスパート No.25(1995/11/1)

「オランダとイギリスにおける非破壊検査技術者認証報告」 インスパート
No.29(1996/11/1)

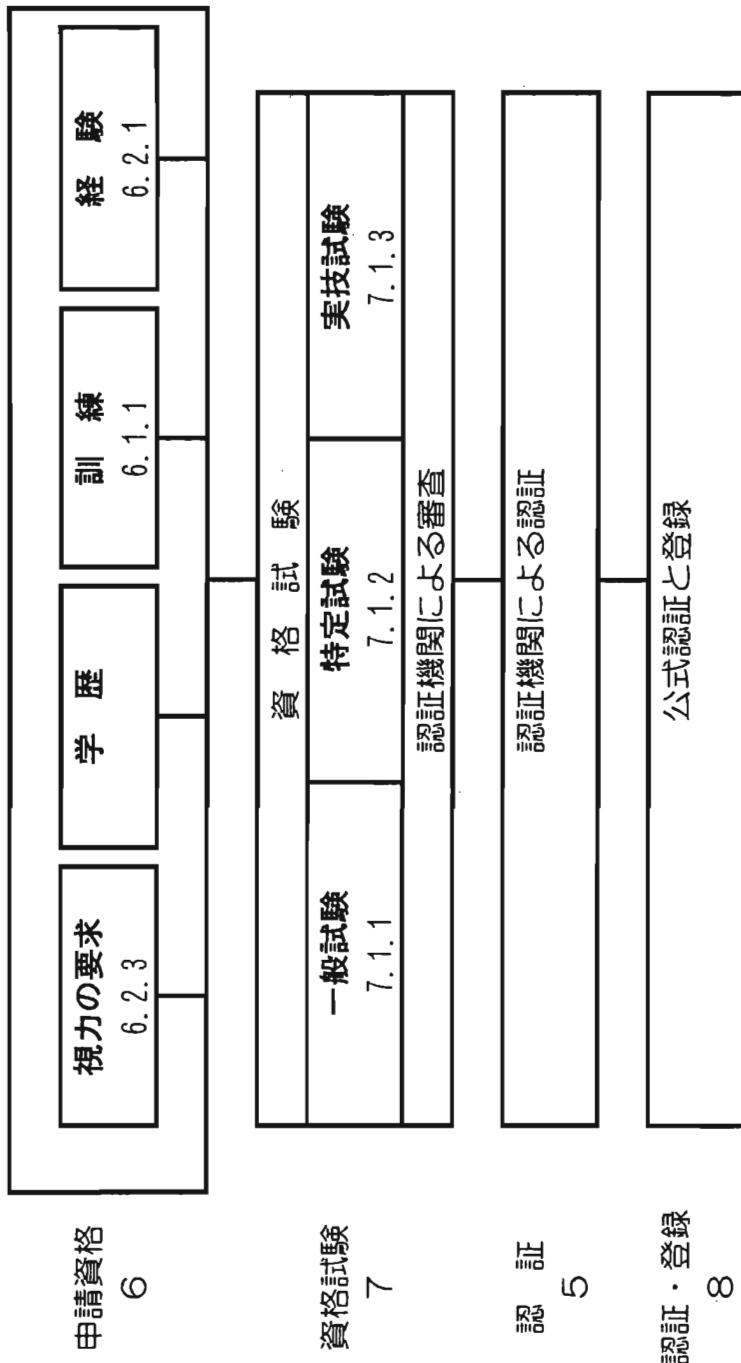
海外

日本



国際規格 ISO 9712

非破壊試験一技術者の資格審査及び認証 レベル1及びレベル2



非破壊試験一技術者の資格審査及び認証
レベル3

