

報 文

鋼板超音波自動探傷システムの開発

岐阜職業訓練短期大学校

池田 徹・加藤哲夫・原 吾朗・梅田良範・伊藤達也

Development of Automatic Ultrasonic Testing System for Steel Plates

Toru Ikeda, Tetuo Kato, Goro Hara, Yosinori Umeda, Tatsuya Ito

要 約 本報では、汎用の超音波探傷器とパソコンを用いて、垂直探傷の自動走査、記録の自動処理を行なう探傷システムを開発し、厚鋼板について検査を実施した。この検査結果と、手探傷結果との比較を行うことにより、その有用性について検討した。その結果、本システムにより鋼板内部の欠陥の位置、範囲、形状、分類が手探傷による場合に比較して遜色のない結果として得られ、画像表示によるより解りやすいCスキャン画像が効率よく得られた。この事から、従来からの手探傷による場合に問題となる技能依存性や記録性、再現性につき改善が図られたばかりでなく作業の効率化、検査結果の見やすさが向上した。

I 緒 言

製品の内部欠陥を検出する有力な検査法の1つに超音波探傷検査がある。しかし従来この検査法は、検査員が直接探触子进行操作しながら検査を行なう手探傷が主流を占めており、検査の評価が検査員の経験や技量に依存する面が多く、検査の記録や再現性の問題が指摘されている。そこで、構造物の溶接継手、素材等の検査では、能率の向上とエコーの評価の正確さ再現性を高める測定の自動化、画像処理に関する研究や実用化が求められている。日本非破壊検査協会規格⁽³⁾における超音波自動探傷の定義によると、探触子の走査はすべて、電気、油圧、空圧などのエネルギーで機械的に行われること、探傷の結果は自動的に記録できることと明記されている。

そこで本報では、汎用の超音波探傷器、パソコン、スキャナーを用いて厚鋼板について超音波探傷検査を実施し、本システムを用いた自動探傷と手探傷との比較を行った。

II 探傷システムの構成

本装置のシステム構成を図1に、機器仕様を表1に示す。この装置は、走査テーブル、超音波探傷器、CPU、パルス制御装置より構成されている。走査テーブルに取り付けられた探触子から超音波エコーを検出し、探傷装置にて欠陥信号の大きさ、表面からの距離を計測すると同時に、欠陥のエコー高さをアナログ電圧として出力する。これをA/D変換ボードを介してCPU内に取り込む。欠陥データの処理後、パルス制御装置に移動命令を送りパルスによる加減速制御信号でX-Y各方向のステッピングモータを駆動し、走査テーブルの移動を行う。探傷法は、厚鋼板超音波探傷を対象としているため垂直探傷法を採用し、探触子と探傷面が密着した状態で探傷を行なう直接接触法とした。

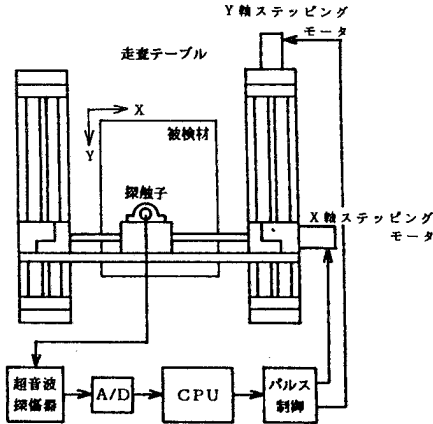


図1 試作超音波探傷システムの構成

表1 試作自動超音波探傷システムの機器仕様

CPU	16bit パーソナルコンピュータ クロック周波数: 10 MHz
A/Dコンバータ	分解能 : 12 bit (4.88mV) 変換速度 : 20 μsec
超音波探傷器	FD-610 GAIN型 (三菱電機) Gate-Analog 出力内蔵
探触子	試験周波数: 5 MHz 有効直径 : φ20 mm 垂直型
走査テーブル	走査範囲 : 300×350 mm 最小ピッチ : 0.025 mm 走査速度 : 5~16 mm/sec
パルス制御装置	出力パルス : 50 μsec 出力周波数 : 81~1040 pps 制御方式 : 2軸同時台形加減速制御

III カップリングの基礎的検討

被検物各点の欠陥エコー高さを自動的に迅速かつバラキ少く測定するためには、探触子と探傷面の加圧力、探触子の移動走査法、すべり速度、探傷ピッチといったカップリングの問題がある。手探傷ではこのカップリングを検査員の技量に依存しているが、自動化を行う上ではこれを定量化しておく必要がある。本装置では、75%グリセリンペースト接触媒質を使用し、室温にて直接接触法で探傷走査を行なうことを前提とし、加圧力、探触子の移動走査法、すべり速度、探傷

ピッチについて検討した。

1 探触子の加圧力

まず、従来検査員の感覚に頼っていた探触子の加圧力について検討した。図2は、静止した探触子を十分な量の接触媒質中に置き、加圧力を変化させた場合の経過時間と手探傷でB1エコーが100%に到達する感度でのエコー高さの比率を示したものである。これによると、探触子に作用する加圧力が大きくなるほどエコーの高さは上昇し、手探傷によるエコー高さ程度に達するまでには15N以上の加圧力を必要とし、50秒程度でエコーが安定することがわかる。また、それ以上加圧力を増大しても、到達する最大エコー高さが比較的高くならず、また安定するのに要す時間もあまり短縮されないことがわかる。これは接触媒質が加圧力により探触子周囲に排出され、探傷面と探触子面が密着する事により、エコーが安定するためと考えられる。しかし、過大な加圧力を作用させると、アクリル樹脂製の探触子表面の摩耗、損傷を招くことが考えられ、必要最小限の負荷であることが望ましい。

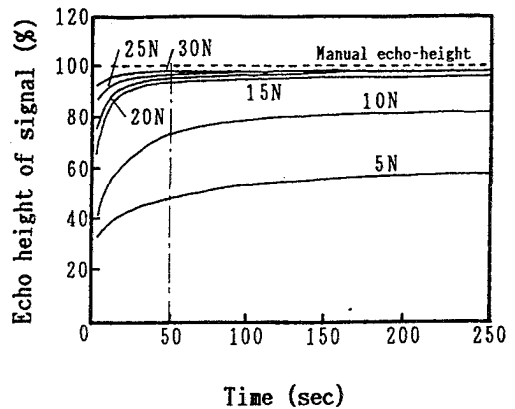


図2 加圧力によるエコー高さの時間的变化

2 探触子の移動走査法

自動走査を前提に、探触子の移動走査法を図3(a)に示す「上下移動走査法」とした場合、図2の加圧力のデータから、1探傷点ごとにエコーが安定する50秒程度の時間待ちが必要である。しかし、これでは検査に多大な時間が必要となる。手探傷では、エコー立ち上がりの速応性を得るために探触子を前後に擦る「す

べり」操作を行っている。そこでこの点に着目し、20 Nの加圧力を作用させた状態で、探触子にすべりを与えた図3(b)に示す「すべり移動走査法」のエコーの立ち上がり特性について比較、検討を行った。図4は上下移動走査法とすべり移動走査法により探傷点にて停止した後のエコー高さの時間的経過を示したものである。この結果、すべり移動走査法の方が、明かにエコーの立ち上がりは速くなり、早期に安定したエコー高さが得られている。これは、すべり操作により探触子下面の接触媒質の押し出し排出が促進され、エコーの立ち上がり性が改善されるためと考えられる。

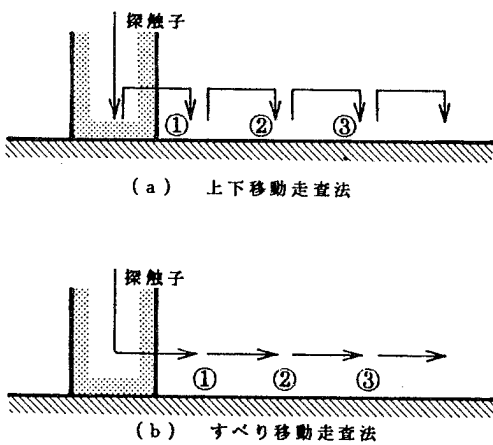


図3 探触子の移動走査方法

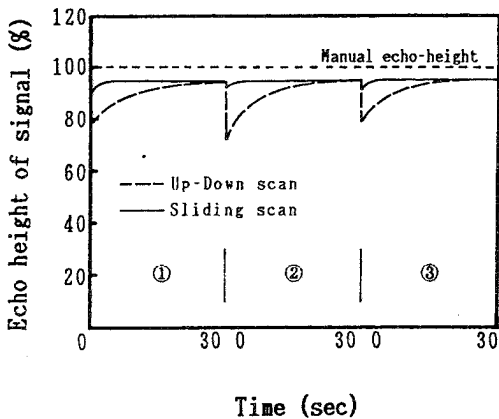


図4 移動走査法によるエコー高さの時間的変化 (測定加圧条件20N)

3 すべり速度

探傷走査の能率には、探触子の移動速度が大きく依存する。そこで、エコーを安定的に測定するすべり速度について検討を行った。図5は探触子に与えるすべり速度を変化させ、探触子を停止させた後の経過時間とエコー高さの関係を示したものである。これによると、すべり速度が15mm/secを越えると、最大エコー高さに到達するに要する時間が比較的長くなる。これは、接触面の媒質層が、すべり速度が速いと探触子を浮き上がらせるためと考えられる。

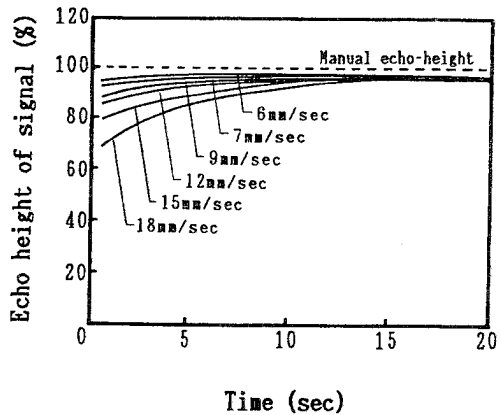


図5 すべり速度によるエコー高さの時間的変化

4 探傷ピッチ

図6は1~20mmの各ピッチで連続的に起動、停止を繰り返してすべりを与え、ある探傷点で停止後の各ピッチでのエコー高さの時間経過を示したものである。これによると、探傷ピッチが2mm以下の範囲であれば、エコー高さが比較的早期に最大エコー高さに到達することがわかる。

以上の結果より、自動探傷を行なうにあたりエコー高さの安定性、立ち上がり性を考慮すると、探触子の自重を含めて20N程度の加圧力を加え、すべり移動走査法により、手探傷とはほぼ同程度の最大エコー高さが能率良く、少ないバラツキで測定でき、この際のすべり速度は12mm/sec以下、探傷ピッチは2mm以下が望ましい事がわかった。

この実験結果をもとにスプリングにより一定の加圧力が加えられ、媒質層をスカートにより均一化する探

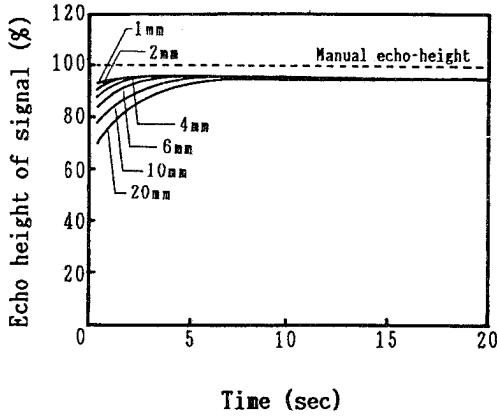


図6 探傷ピッチによるエコー高さの時間的变化

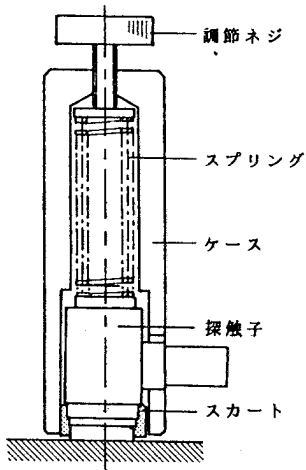


図7 探触子保持ジグ

触子保持ジグを製作した。本治具を図7に示す。

IV 探傷システムのアルゴリズム

自動探傷プログラムのフローチャートを図8に示す。まず、探触子を原点位置に移動し、探傷条件（測定範囲、探傷ピッチ、探傷感度）を入力する。その後、走査を開始し、所定の測定位置に探触子を移動してエコー高さの電圧を測定する。ここで、電圧のサンプリングは2度行い、データの値が同一であれば真の値とし、合致しなければ同値が得られるまで繰り返し行う。これは、測定データの信頼性を増す目的と、ノイズによ

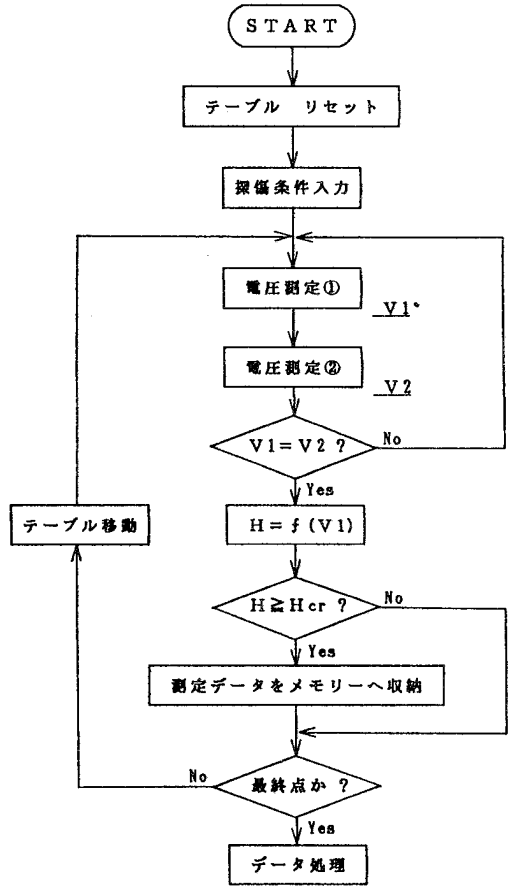


図8 超音波自動探傷プログラムフローチャート

る影響を避けるためである。測定されたデータはエコー高さに変換され、一定のしきい値以上であれば位置座標データとともにメモリー上に転送される。そして次点へ移動し、これらの操作を繰り返す。測定範囲内を縦方形に走査の後、最終点に探触子が達すると走査作業を終了する。

得られたデータはフロッピディスクに探傷条件、欠陥データを保存するとともに、図9に示すようなCスコープ画像としてコンピュータ画面に各欠陥データのレベルごとにカラー表示される。

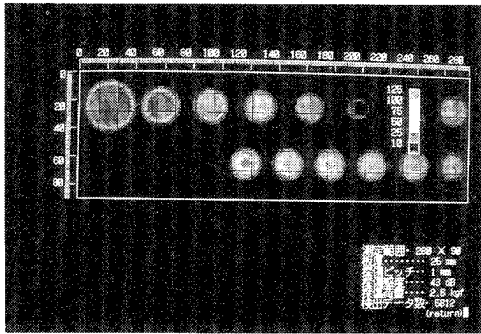


図9 探傷結果のCスコープ表示

V 模擬試験体による評価

本システムの評価を行うために、模擬試験体を製作し、欠陥検出能について試験を行った。模擬試験体寸法を図10に示す。材質はS35C鋼、探傷面は研削仕上げとした。人工欠陥は平底穴欠陥群とし、同一深さで径の段階的に異なる欠陥（A群）と、同一径で深さが段階的に異なる欠陥（B群）とした。これら欠陥の違いによって、エコー高さがどのように変化するかを確認した。

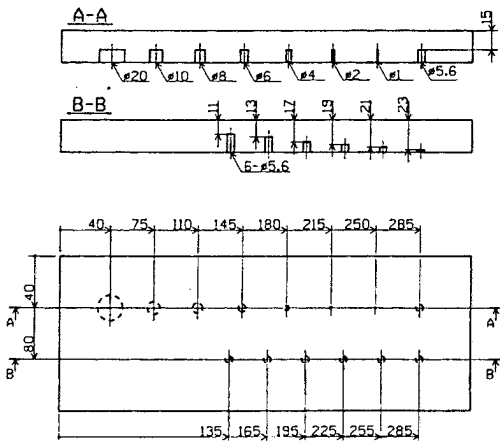


図10 S35C鋼模擬試験体寸法

本システムにて自動探傷を行った結果を図11(a)(b)に示す。探傷はJIS G 0801（圧力容器用鋼板の超音波探傷検査規格）⁽⁴⁾にもとづき行った。探傷感度設定はSTB-N1の50%とし、探傷ピッチは1mmとした。探傷は90分程で終了し、検出データ数は5,800点程計

測された。

探傷は3回実施したが探傷結果にほとんど差異は見られず、自動探傷の再現性の良さが確認された。

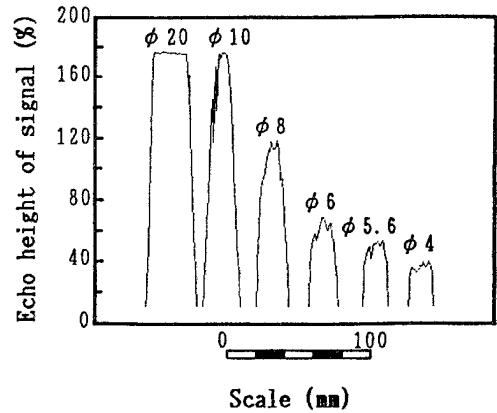


図11(a) A群欠陥（等深異径）探傷結果
Bスコープ表示

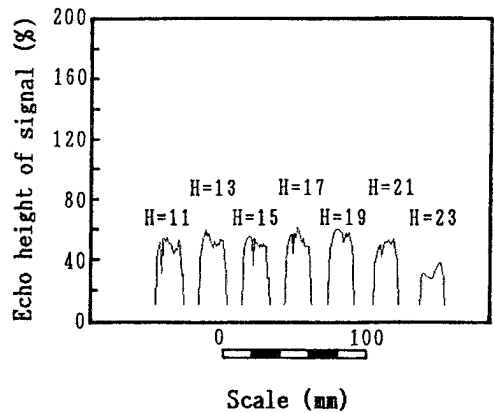


図11(b) B群欠陥（等径異深）探傷結果
Bスコープ表示

1 欠陥検出能

欠陥検出能については、A群においてφ4mm以上の欠陥は検出されている。φ2mm以下の欠陥については、ノイズとの識別のためゲートのエコー高さをある程度高く設定する必要から、検査員の肉眼によるAスコープ画面観察ならば微欠陥と疑われるエコーが検出できていない。しかし、これらの微小なエコーはJIS G 0801に規定された記録を要さない分類の欠陥と評価されるレベルのものである。

2 欠陥形状

欠陥形状は図9から各欠陥がほぼ円形と推定できる。従って、欠陥の平面形状の推定ができるものと思われる。

3 欠陥エコー高さ

図11(a)に示す同一深さで径の異なるA群欠陥の自動探傷では、エコー高さは大直径の欠陥ほど高く検出されている。φ20mm欠陥では探傷器の仕様上175%以上の高さは記録できないため中央部が平になっているが、これを考慮に入ると、ほぼ欠陥径に比例して高く検出されている。図11(b)の同一径で深さの異なるB群欠陥の自動探傷ではエコー高さの変化があまり現われていない。これは、模擬試験体の材厚が25mmで近距離音場内に当たるため、音圧の分布が距離により差が無いためと考えられる。

4 欠陥検出長さ

表2に示す検出長さに注目すると実際の欠陥直径よ

表2 検出欠陥の長さおよび位置

		単位 (mm)									
欠陥直径		φ20	φ10	φ8	φ6	φ4	φ2	φ1	φ5.6		
検出長さ		37.	27.	25.	23.	21.	-	-	22.		
検出長さ-探触子直径		17.	7.	5.	3.	1.	-	-	2.		
欠陥位置	(X)	40.	75.	110.	145.	180.	215.	250.	285.		
	(Y)	40.	40.	40.	40.	40.	40.	40.	40.		
検出欠陥位置	(X)	40.5	75.5	110.	145.5	180.	-	-	285.		
	(Y)	42.	42.	42.5	42.5	42.5	-	-	42.5		

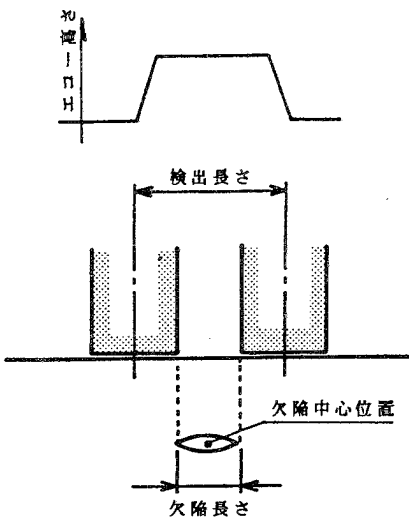


図12 欠陥検出モデル

りも過大に検出されており、例えば欠陥直径φ20mmでは37mmの欠陥像が現れている。これは、図12に示すように、探触子の一端が欠陥端の直上に達するとエコー高さが上昇を開始し、探触子が欠陥の上を完全に通過するまで続くものと考えられ、検出開始から検出終了までの検出寸法は、探触子直径に欠陥長さを加算した距離だけ検出されると予想できる。よって、欠陥検出長さから探触子直径を引くことにより、欠陥の大きさを推定することが可能と考えられる。この仮定にもとずき各欠陥の大きさを算出した結果、表2に示すように、実長に対して3mm小さくなる。これは、ゲート内の一定レベル以下の欠陥エコーは記録されず検出開始、終了時のデータが切り捨てられるためであり、この事を考慮したデータ補正の必要がある。この補正を行うと、欠陥の直径とはほぼ一致した値が得られ、本システムにより欠陥の大きさの概算推定ができるものと思われる。

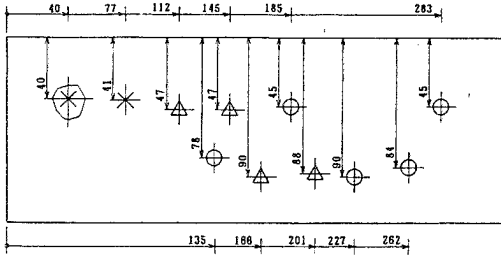
5 欠陥位置

欠陥位置については、表2に示す実欠陥位置と検出欠陥位置との対応をみると、2.5mm以内での一致が得られている。ここでの検出欠陥位置とは図12に示すように、探触子が欠陥上を通過すると欠陥エコーを検出するため、検出長さの1/2の位置が欠陥の中心位置と予想し、欠陥位置の算定を行った値である。

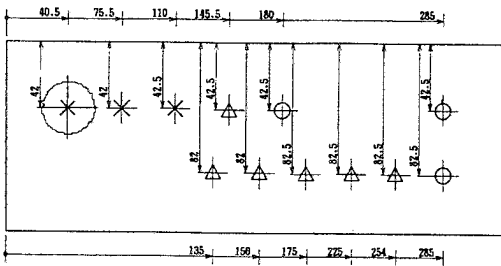
以上により、本自動探傷システムにおいて欠陥の存在、形状、大きさ、位置の推定ができることが示された。

VI 手探傷検査との比較

つぎに、実際に手探傷による検査評価と本システムによる検査評価の比較を行った。検査結果を図13(a)(b)に示す。尚、手探傷検査はNDI-UT-2種資格取得者がJIS G 0801にもとづいて作成したものである。



(a) 手探傷による検査結果



(b) 本システム自動探傷による検査結果

図13 JIS G 0801 による探傷検査結果

1 欠陥分類

JIS G 0801に規定された欠陥分類については、両者に若干の差異が見られた。両者の欠陥分類の評価の違いは探傷感度の違いによるものと思われる。また、手探傷のB群欠陥の最も深い欠陥が、より浅い欠陥より軽微な○欠陥と評価されている。

2 検査時間

検査作業の時間は検査作業の範囲をどこまでと定義するかにより変化し、比較は難しい。今回の自動探傷では欠陥のレベル分けまでの自動化にとどまり、欠陥の分類や報告書の作成は人手に頼っている。これらの時間や検査までの段取り作業等を考慮しても総合的な検査時間では、走査、記録の自動化によりかなりの短縮が図られた。

3 欠陥位置精度

自動探傷においては、 $\pm 2.5\text{mm}$ 以内の誤差精度で、実欠陥位置との一致を見ている。この誤差の主因としては、探傷開始時の探触子の基準位置のずれが考えられ、この誤差が全ての探傷点に共通して現われた。

一方、手探傷の誤差精度は最大で7mm程であり、基準点からの寸法が実欠陥位置に対して大きめに計測されている。

4 欠陥指示長さ

JIS G 0801に規定された指示長さを記録する必要のある欠陥は、両者とも1つしか検出されなかった。実径 $\phi 20\text{mm}$ の欠陥における指示長さは自動探傷の場合、過大な評価となった。これは自動探傷の場合の指示長さの測定限界を低く設定したことと、両者の探傷感度設定度違いによるものと思われる。

5 欠陥形状

JIS G 0801では、欠陥のX-Y各軸の欠陥の広がりや指示長さとしては記録するよう規定されているが、形状に関する記録は規定されていないため、手探傷結果には記録されておらず、形状が判断できない。一方、自動探傷においては探傷結果を画像表示するため、視覚による大まかな形状推定はできたものの、形状のCPUによる認識は困難であり今後の課題としたい。

VII 結言

本報では、汎用の機器を組み合わせた自動探傷システムにより厚鋼板平面内の欠陥の検出が、手探傷の場合に比較して遜色のない結果として得られた。本システムを用いることにより欠陥位置、大きさ、形状、分類の大まかな検出ができる。このことから、緒言に述べた手探傷における技能依存性や記録性、再現性につき一定の改善が図られたばかりでなく作業の効率化、欠陥形状の推定が可能となった。

終わりに、本研究に助言を頂きました川崎重工(株)糸賀興右氏、岐阜職業訓練短期大学前校長 故 益本功氏、御協力頂いた川重検査サービス(株)に謝意を表すとともに、本研究は平成元年度指定研究により行われたことを表記する。

参考文献

- (1) 番匠谷ほか：レール継目用自動探傷システムの開発、近鉄技研技報、1988、P461-465
- (2) 調質高張力鋼かど継手の自動超音波探傷システム：日本鋼管技術資料、1986
- (3) 日本非破壊検査協会規格(NDIS2407-76)：鋼溶接部の超音波自動探傷法
- (4) 日本工業規格(JIS G 0801)：圧力容器用鋼板の超音波探傷検査
- (5) 日本非破壊検査協会編：超音波探傷試験規格要覧、日本非破壊検査協会、1988