実 用 講 座

超音波探傷における自動化のポイント*

Essential points of Automatic Ultrasonic Testing System*

山 口 久 雄**

by Hisao Yamaguchi**

キーワード：超音波探傷，溶接部，溶接構造物，鉄鋼製品，管，板，条，自動化

1. は じ め に

超音波探傷技術の中には，材質，組織及び硬度などの測定と欠陥検査とがあるが，ここでは後者を対象にする。約30年前では超音波探傷はほとんど手動探傷によって行われてきた。しかし非破壊検査の技術，特に超音波の分野における技術の進歩は著しく，それとともに製品に対する検査の要求も高度になっており，特に鉄鋼製品の探傷で人力を排した自動探傷が行われている。溶接構造物における溶接部の検査も，工場内の定形的な溶接部に対しては超音波による自動探傷が行われ，最近では，現地溶接部に対しても放射線透過検査に代わって超音波自動探傷検査が，本州四国連絡橋公団，阪神高速道路公団等で試みられている。

本稿では，溶接構造物及び鉄鋼製品の超音波自動探傷の考え方，留意点，適用事例，今後の課題等について述べる。

2. 超音波探傷の自動化の考え方

超音波探傷の自動化は，人間を労力や悪環境下の労働から解放することにつながり，人間の手の働きを機械化するほかに人間の頭の働きをも対象とする。手動探傷では手で操作し，その結果を手の感覚

や目の視覚を通して頭で判断する。手の感覚や目の視覚は変動しやすく，その結果にはバラツキが生ずる。このため，結果を一定に保つには熟練を必要とする。これを自動化することによって省脳化，高精度化となり，人間を単純作業，熟練作業から解放することにつながる。

さらに，頭の中の判断機能をエキスパートシステム，ニューラルネットワーク等を使い自動化することにより，的確な判定を短時間に下し，人間の能力を超える検査を遂行することも可能となる。

3. 超音波探傷の自動化の留意点

自動化の留意点には，次のようなものがある。

- ・対象物の状態
- ・対象物または探傷装置の移送
- ・対象物への探傷装置の設定
- ・探傷装置の感度設定，校正及び欠陥の判定
- ・探傷装置のサイズ替え
- ・探傷結果の記録及び報告

以下，それぞれについて概説する。

3.1 対象物の状態（表面状況，形状，寸法，温度他）

(1) 対象物の表面状況が圧延状態のままであれば，そのままの状態で検査が行えるが，表面に突起物やスケール等の付着物がある場合には，取り除く必要がある。

(2) 形状，寸法については，特に鉄鋼製品の場合，

*原稿受付 平成6年6月16日

**非 会 員 住友金属工業(株) Non-member,
Sumitomo Metal Industries, Ltd.

曲がり等が数 mm/m を超えると探触子等の追従性が悪くなる。そのような場合には、曲がり取り等の矯正をする必要がある。

また製造寸法の全範囲にわたって検査する場合には寸法範囲にもよるが、探触子追従部を複数準備し、対応する必要がある。

(3) 対象物の温度については、製造工程中の検査、溶接直後の検査等で、探触子回りを水冷するとか対象物を局部的に水冷するか、耐熱接触媒質を使用する必要がある。

また温度による対象物の音速等の変化を測定しておく必要がある。

(4) 複雑な形状のものや検査環境の悪い場合には、探傷装置等種々工夫する必要がある。

3.2 対象物または探傷装置の移送

3.2.1 ハンドリング

溶接構造物の検査では、探傷装置を検査場所まで運搬することが多く、使用する装置は小形、軽量で持ち運び易かつ対象物へ探触子走査機の脱着性が優れたものにする必要がある。

鉄鋼製品の検査では、対象物をコンベヤラインに流して探傷装置の所へ搬送する。製造工程中に探傷装置を設置し、特にバイパスラインを設けずに探傷条件や探傷能力を満たす必要がある。

この検査ラインは単に対象物を探傷装置の所へ搬送する機能だけでなく、次に述べる走査の機能をも兼ねる。したがってその動作は探傷条件に合せた精度が要求される。検査設備を計画するときには検査ラインの芯合せ、レベル出し(上下、左右)等は 1 mm 以下の精度にする必要がある。

3.2.2 探触子の走査

線状または面状で探触子を走査して探傷を行う。このためには探傷装置(探触子)と対象物との双方またはどちらかを相対的に移動させる必要がある。対象物の形状等によっていろいろな走査方式がある。

(1) 溶接構造物の溶接部検査の場合

探触子を走査機に装着し溶接線に倣わせて走査する。探触子と探傷装置とはケーブルで接続される。

走査の方式は、溶接線に沿う左右走査だけでなく、前後走査と組合せた縦方形、横方形走査や二探触子を使うタンデム走査、首振り走査や振り走査を必要により行う。

(2) 板材の検査の場合

オンライン検査では一般に探触子固定で板を走行

させる方式とオフライン検査では板固定で探触子を X 軸、Y 軸に自動走査させる方式がある。

板の全面探傷を要求されるときは、板を部分走行させ、探触子を板巾方向に縦方形走査を行うと設備費用が低減される。

(3) 円形材及び角材の検査の場合

丸棒、管及び角材の場合には、対象物の走行と同時に、探触子か対象物のどちらかを回転させるか対象物を走行させる必要がある。

探触子固定、対象物回転方式は、設備費用が安価であり、探触子回転方式は、高価であるが、探傷処理能力は高い。

溶接鋼管の溶接部の検査では、探触子固定で溶接線に沿って管を走行させる。管径が小さくなると(50 mm 以下)、溶接線に倣うことが難しく、探触子回転方式で行われる。

継目無鋼管の検査では、管径が小さい管は探触子回転方式、管径が大きくなると探触子固定、対象物回転方式(スパイラル走行)で行われる。

(4) 敷設物の検査の場合

鉄道レール特に継目部の保守検査では、探傷装置を装備した探傷車を走行させ、探触子をレールに倣わせる必要がある。その方法については次項で述べる。

また供用中のパイプライン(ガス、石油等)の減肉及び腐食部の検査には、探傷装置を組み込んだピグを流体と共に圧送し、パイプの内、外面検査を行う。ピグの形状、寸法等工夫する必要がある。

3.3 対象物への探傷装置の設定

探触子と探傷面との距離が変動すると探傷結果に影響を及ぼすので、この距離を一定に保つ工夫が必要である。

手動探傷では接触媒質に機械油やグリセリンを用いて探触子を手で押付ける。これを自動化するには、探触子をスプリングやシリンドーで探傷面に押付け、図 1 に示すような、局部水浸、噴流水浸等が用いられる。

またタイヤの内部に探触子を装着し、高速で(～200 m/min)移動する対象物には、タイヤ探触子が有効である。

接触媒質を介して超音波を対象物に伝搬させるとき、超音波が安定して伝搬されているかどうか確認する必要がある。これをカップリングチェックと言う。垂直探傷の場合は、底面エコーで確認し、斜角探傷では探触子の中に別の振動子を入れて底面エ

図1 各種探傷方法

図2 カップリングチェック方法

コーを確認したり、もう一つの斜角探触子で受信して確認したりする方法が用いられる。図2にカップリングチェック方法を示す。

溶接部の検査は斜角探傷で行われ、探傷面への倣いの他に溶接部に倣わせる必要がある。

溶接構造物の場合は走査線を溶接線に合わせて設定する。溶接鋼管の場合は、溶接部をタッチロール等による機械式、光を利用した光学式、溶接線より

図3 光を利用した光学方式(溶接鋼管)

離れた位置にペイントマーキングし倣う方式や渦流による母材部と溶接部の組織の違いを検出する渦流方式等で検出し、自動追従を行う。対象物により最適な方式を選択する必要がある(倣い精度は $\pm 1 \sim 2$ mm)。図3に光学方式を用いた溶接鋼管の溶接部の検出方法の例を示す。

3.4 探傷装置の感度設定、校正及び欠陥の判定

(1) 探傷装置の感度設定には、標準試験片や対比試験片を用いる。特に鉄鋼製品の場合には、材質、寸法、形状毎に対比試験片を準備し、探傷装置特に探触子回転方式では人工欠陥を 90° あるいは 120° 毎に数回通し、エコー高さをあるレベルに調整する。探傷感度の変化や探触子と欠陥との距離による減衰を補正するのに自動感度補償及び距離振巾補償を行う必要がある。

(2) 探傷装置の校正には、前項に述べた操作をある時間経過後(例えば8時間または探傷の中断時)に行う。

(3) 欠陥の判定は、表示器上に現れたきずエコー高さがあるレベル以上のときのエコー高さとその範囲(指示長さ)で行う。このきずエコー高さと範囲を電氣的に処理して記録する。

3.5 探傷装置のサイズ替え

対象物の寸法が替る毎に、探傷装置の芯合せ、レベル合せをする必要があり、それには対比試験片等で行う。この作業は、省力だけでなく探傷精度上重要な技術である。

3.6 探傷結果の記録及び報告

3.4 (3)の記録された信号より、きずの位置、大きさ、分布等を記録紙に記録するだけでなく、欠陥がある場合には報告書に添付しうのようにする必要がある。

また記録は膨大となり、ペーパーレスの観点より光ディスク及びフロッピーに収録することも考えられ

表 1 自動超音波探傷装置の仕様例

1) 探傷材	厚板	溶接鋼管
2) 探傷部位	内部	溶接部
3) 探傷方式	局部水浸法 厚板移動、探触子固定型	局部水浸法 管直進、探触子固定型
4) 対象材 (材質) (外径) (肉厚) (長さ) (t/D)	炭素鋼、合金鋼 板幅 1 ~ 4.5m 厚さ 6 ~ 60mm 3 ~ 25m -	炭素鋼、合金鋼 φ 88.9mm ~ φ 298.4mm 2.1mm ~ 15.9mm 0.012 ~ 0.120
5) 探傷器 (チャナ)	248 ch	6 ch
6) 探触子 (X 走査) (Y 走査)	- 5 Z 3 × 2.5 N D	5 Z 1 0 I -
7) 周波数 (探傷) (検波)	5 MHz Max 1.2 kHz	5 MHz Max 3 kHz
8) 搬送速度	Max 70m/min	Max 70m/min
9) 標準欠陥 (d × w × l)	1/2d × 5w × 全 l	φ 3.2 トリプル
10) 信号出力 (警報) (記録) (マニピュレータ)	- ライブラリソフト、C スコープ -	ランプ & ブザー プリンター 欠陥部自動マーキング
11) 付帯機能	1) 自動感度校正機能 2) 距離誤差補正機能 3) 自動マニピュレータ監視機能 4) エッチング及び幅設定機能 5) フォトンによる品質情報のトラッキング 6) 自己診断機能 7) 上位計算機データリンク	1) 同左 2) 同左 3) 同左 4) 自己診断機能 5) 同左 6) シーム追従装置 7) 2 ヘッドリトラクト方式 8) 上位計算機データリンク

図 4 厚板自動超音波探傷装置コンピューターシステム構成図

図 5 溶接部の検い方式

4.1 厚板自動超音波探傷装置

表 1 に厚板自動超音波探傷装置の仕様例を示す。探触子走査は、X 走査か Y 走査か、あるいは両者が併用されている。また図 4 に探傷装置のコンピューターシステム構成例を示す。探触子数の増大に対応して、探傷感度の自動設定や各種チェック機能を有している。

4.2 溶接鋼管自動超音波探傷装置

表 1 に溶接鋼管自動超音波探傷装置の仕様例の一部を示した。この装置では中径溶接鋼管の素材コイルから溶接後の鋼管の探傷迄行っている。溶接部に倣いながら探触子ホルダーが追従する状態を図 5 に示す。

4. 適用事例

二、三の適用事例を次に示す。

4.3 現地溶接部自動超音波探傷装置

現地溶接部としては、水圧鉄管（内径 3200×肉厚 22 mm）直管部の円周溶接部、道路橋の鋼床版、橋桁等の溶接部に自動超音波探傷装置が適用されている。

5. 今後の課題

自動探傷、特に鉄鋼製品について、高速処理、高精度化が図られているが、次のような課題を解決する必要がある。

5.1 きずの傾きと検出特性

きずには傾き、きず面に凹凸のあるもの等あり、きずの傾き角度が 5° 以内ではエコー高さは変わらないが、5° 以上では急激に低下する。きずの傾き角度により、探触子の傾きをある角度に調整する必要がある。またきずの傾き角度範囲を満足させるには探触子の個数（チャンネル数）を増やす必要がある。

5.2 全長、全断面探傷

重要部材として使用される製品については全長、全断面探傷を要求される場合があり、特に自動探傷で未探傷部（～100 mm）となる端部探傷については専用の端部探傷装置か手動探傷で行われており、完

全自動化を図る必要がある。

5.3 非接触探傷

温間、熱間材料の探傷に接触媒質を必要としない電磁氣的またはレーザで超音波を送受信させる方法が検討されているが、環境条件（雰囲気、振動等）、きず検出能力の点で解決すべき事項がある。

6. おわりに

各種対象物の超音波自動探傷について述べた。今後これらの規格化、周辺技術の開発等が期待される。

参 考 文 献

- 1) 品質管理部会非破壊検査小委員会編：条鋼の超音波探傷法，日本鉄鋼協会（1993）32, 80
- 2) 品質管理部会非破壊検査小委員会編：継目無鋼管の超音波探傷法，日本鉄鋼協会（1988）44
- 3) 品質管理部会非破壊検査小委員会編：溶接鋼管の超音波探傷法（1988）41, 90
- 4) 村田全弘：厚板，薄板の非破壊検査，日本鉄鋼協会西山記念技術講座（1991）55, 58
- 5) 中野哲男，堀籠秀和：鋼管の非破壊検査，日本鉄鋼協会西山記念技術講座（1991）122
- 6) 山口久雄：非破壊検査技術の現状と課題，日本鉄鋼協会西山記念技術講座（1991）7～11

国際会議のご案内（JOM）—論文募集—

会議名：7th International Conference on the Joining Materials (JOM7)

会 期：1995 年 5 月 31 日（水）～6 月 2 日（金）

（6 月 1 日は AWS セッション）

会 場：LO-skolen Conference Center Helsingor（デンマーク国ヘルシンガー）

テーマ：Modern Materials, Modern Processes, Monitoring & Control

アブストラクト締切り：'94. 11 月 15 日

全論文締切り：'95. 2 月 15 日

連絡先：JOM Institute Secretariat

Mrs. Anni Christensen
Ingeniørhøjskolen Helsingør
Rasmus Knudsensvej 50
DK-3000 Helsingør
Denmark