

解 説

UDC 620.179.1 : 65.001.56

非破壊検査技術の進歩と問題点*

森

裕**

Recent Development of Non-Destructive Inspection and Its Problems

Hiroshi MORI

1. 緒 言

すべての工業生産において品質の保証を要求されるのは当然であり、極度の経済性を追求される近代工業においては、品質保証の証左である検査がユーザー側から規定されるばかりでなく、メーカー側でも品質を作り込む工程において、効果的な中間確認検査を必要とすることはいうまでもない。そしてその格好の手段としての非破壊検査が、今日のような急速な進歩をとげたことは必然的な趨勢といえよう。

日本鉄鋼協会第46・47回西山記念技術講座は「非破壊検査技術の進歩」をテーマとして開催され、最近の非破壊検査技術について詳細に説明されているので、個々の検査方法についてはそのテキスト¹⁾を参照されればよいが、本解説ではその後発表された論文による補足や、鉄鋼共同研究会の部会活動として行われた非破壊検査技術に関するアンケート結果による鉄鋼業界における非破壊検査の自動化の現状、今後の研究課題などの紹介を行いたいと考える。ただし、ここでは超音波探傷、磁気探傷、放射線試験、渦流探傷などのいわゆる狭義の非破壊検査を主体としたい。

2. 鉄鋼生産における非破壊検査自動化の現状

2.1 素材(半製品)の非破壊検査

表1は昭和52年11月に行われた日本鉄鋼協会共同研究会第37回品質管理部会で討議された「検査機器の自動化・機械化の現状と問題点」に関するアンケート結果集約資料の中から、非破壊検査を自動化していると回答のあつた事業所の数を拾つたものである。この時点では、厚板、熱延鋼帯、冷延鋼帯工場での超音波探傷自動化がほとんどの事業所で採用されているのに、素材であるスラブの自動探傷を行つているとの回答が1事業所しかないことが注目されるが、実際には各社、各事業所ともスラブ段階での非破壊検査には非常に力を入れており、

0.5~1 MHzの表面波を用い、局部水浸カップリングによる連铸スラブ表面疵検査²⁾や、300°C以下のものであれば探傷可能なように、強制水冷循環機構を有し、ビーム走査形タイヤ探触子を用いたスラブ表面の自動検査法³⁾や、さらには、電磁式メカニカルシャッターを応用したスラブの熱間探傷用テレビシステムも発表されている⁴⁾。また高温での内部欠陥探傷については、電磁超音波探触子の利用⁵⁾が、今後急速に確立されるであろう。

表1 鉄鋼業における非破壊検査自動化状況*

対象品種	自動化実施の事業所数 (カッコ内は探傷法別の内訳)
スラブ	1 (UT...1)
ピレット	8 (UT...1, MT...2, ET...1 UT+MT...3, MT+ET...1)
棒鋼	7 (UT...1, MT...4, ET...1 MT+ET...1)
線材	6 (MT...1, ET...5)
厚板	10 (UT...10)
熱延鋼帯	13 (UT...13)
冷延鋼帯	11 (UT...11)
継目無管	5 (UT+MT...2, UT+ET...1 UT+MT+ET...2)
電縫鋼管	6 (UT...1, UT+ET...3 UT+MT+ET...2)
鍛接鋼管	5 (ET...5)
スパイラル溶接鋼管	4 (UT+RT...4)
UOE鋼管	6 (UT+MT+RT...5, MT...1)

* 鉄共研品質管理部会アンケート資料による。

UT: 超音波探傷法

MT: 磁気探傷法

ET: 渦流探傷法

RT: 放射線探傷法

* 昭和54年2月1日受付 (Received Feb. 1, 1979) (依頼解説)

** 川崎製鉄(株) (Kawasaki Steel Corp., 1-12-1 Yuraku-cho Chiyoda-ku 100)

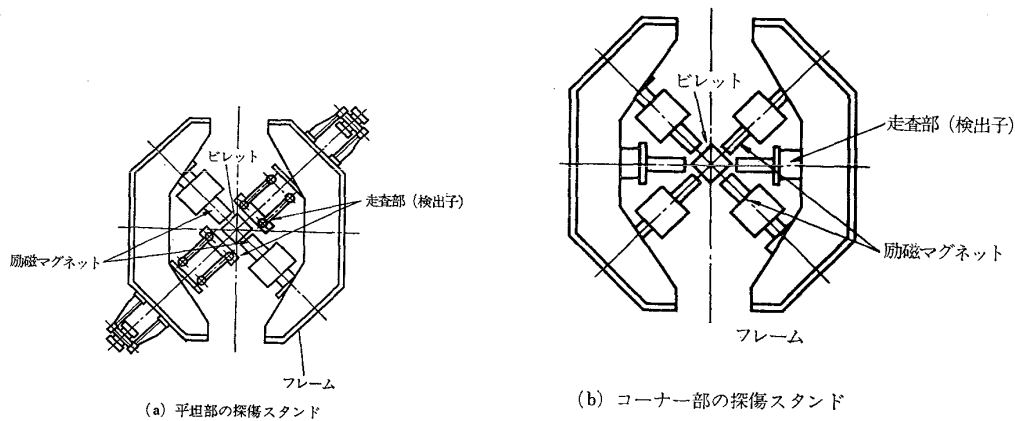


図 1 SAM. 角ビレット探傷装置

一方、同じ素材でも、形鋼、線材、棒鋼や鋼管の素材であるビレットについては、表 1 でも 8 事業所が自動化していると回答しているように、かなり自動化が先行しており、とくに磁気探傷法による検査が盛んである。磁気法のうち、従来の磁粉探傷によるものも依然多く使われているが、近年は漏洩磁束検出法によるものが急速に普及しつつあり、なかでも SAM (Sumitomo Automatic Magnetic) 探傷システムは、後にも述べるように製品検査に非常な普及を見せているが、ビレット検査でも大いに活用されている。

SAM 探傷法⁶⁾は欠陥漏洩磁束を感磁性ダイオード SMD で検出するものであるが、丸断面のビレットには、被検材を走行、回転させて被検材表面走査を行うプローブ固定型 SAM 探傷を用いるが⁷⁾、角ビレットには、平坦部探傷スタンドとコーナー部探傷スタンドの両方からなる走査型プローブによる SAM 探傷法が適用されている⁸⁾。

図 1 (a) は平坦部の探傷スタンドを示し、被検材の 4 面を相対する 2 面ずつにわけ、励磁マグネットと走査型プローブを含む検出部を独立配置している。図を 90° 回転させた形の平坦部用スタンドと 1 対になっている。

(b) はコーナー部探傷スタンドである。

また従来の磁粉探傷法についても、磁化と磁粉適用とを機械化しただけの大型磁粉探傷装置のほかに、磁粉模様の読取りを機械化した装置が出はじめた。ITV 法⁹⁾はその例である。

渦流探傷も表面疵検査に適しておりビレットでは冷間で帰還増幅式プローブ型渦流探傷法¹⁰⁾などが発表されている。

2.2 製品の非破壊検査

(1) 厚板 ホジェット方式透過法と分割型探触子による水膜接触方式反射法のいずれかによる厚板の自動超音波探傷装置は、前者が比較的高温まで適用可、板厚方向の不感帯がないなどの特徴を持つのにたいし、後者は板厚方向の不感帯はあるものの、前者よりも微小な介在物を検出できる高感度を特色としている。チャンネル数も新設備ごとに増え、ついには 5 個の分割型探触子を 1 ブロックとし、56 ブロックで 280 チャンネルの探触子による 1 回通板で全面 100% 探傷の装置が実用化されたが、この装置の特色はこれら多数の探触子ブロックの液体浮上式倣い機構による極度の高速化¹¹⁾と、これまでキャリブレーションに手間どるといこの種装置の悩み

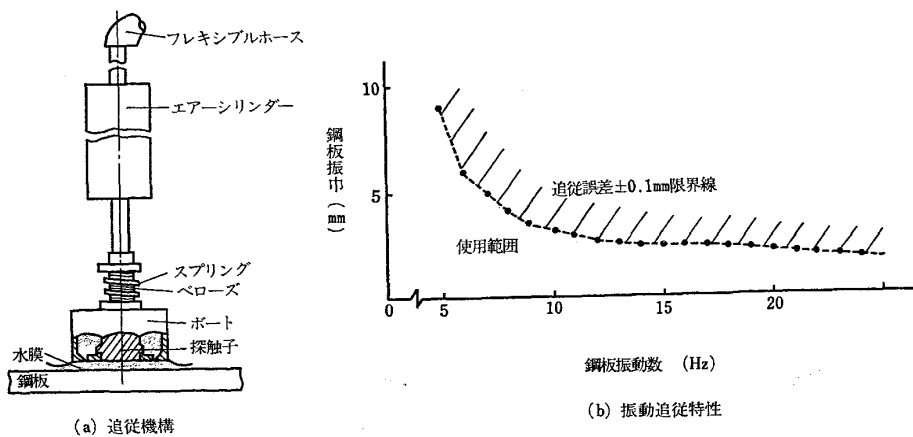


図 2 厚板探傷探触子追従システム

を、自動感度校正および自動点検システムを取入れて解消した¹²⁾ことである。図2(a)に追従機構と(b)にその追従特性を示す。探傷データの演算については、リアルタイムでカラーグラフィックディスプレイとラインプリンタ印字様式で判定、評価、平均成績が表示されるもの¹³⁾や、さらに進んでデータ処理および判定の完全自動化をはかり、手探傷を基準としたJIS. G. 0801にしたがった自動判定を行うもの¹⁴⁾まで実用化された。写真1はカラーグラフィックディスプレイの探傷表示モードの例であり、図3はデータ処理システムの構成例である。

ただ、高速化、自動感度校正、自動点検およびデータ

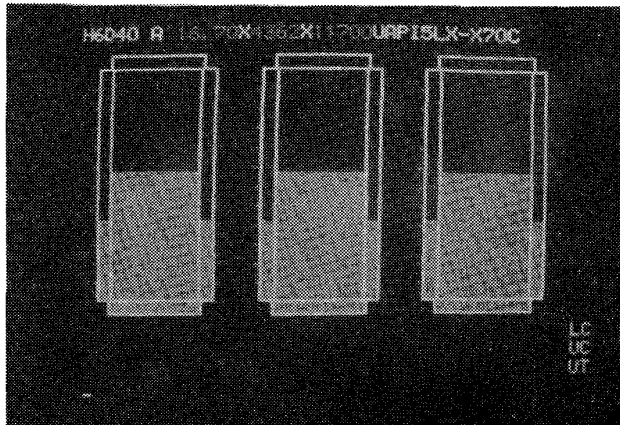


写真1 厚板UT結果グラフィックディスプレイ

処理と判定の自動化については、技術の発展の正しい方向としてその成果は賞賛されるべきであるが、280チャンネルの膨大な数の探触子による1回通板で全面100%探傷というのは、それまでの、板幅中央部は100mm間隔程度であつた装置とくらべて、数倍の規模の装置であり、設備費およびメンテナンス負担の増大から考えて、今後の新しい厚板自動探傷装置が、すべて同じことを、すべきか否かについては、各種の論議があると考えられる。

(2)熱延および冷延鋼帯 厚板の超音波自動探傷装置の普及度はめざましく、現在我国で20台前後が稼動しているが、板厚6mm以下の中・薄板検査用の板波による自動超音波探傷装置の普及は更にめざましく、板波の研究が始められてから10数年しかたたないのに、すでに50台を超える装置が稼動しているといわれている¹⁵⁾。しかしこれほどの普及率にもかかわらず、エッジ部の不感帯の問題、欠陥波とノイズ区分の難しさ、表面欠陥と内部欠陥の区別の困難さおよび欠陥波の評価の難しさは残されたままである¹⁶⁾。

(3)線材 線材の自動探傷は熱間渦流探傷によるものがほとんどであり、その欠陥信号のデータ処理、圧延運転室へのフィードバックシステムなどにいろいろな工夫がこらされていて、900~1200°Cの被検材の欠陥信号をそのパターンから、折込み、剥疵、搔疵および焼疵と

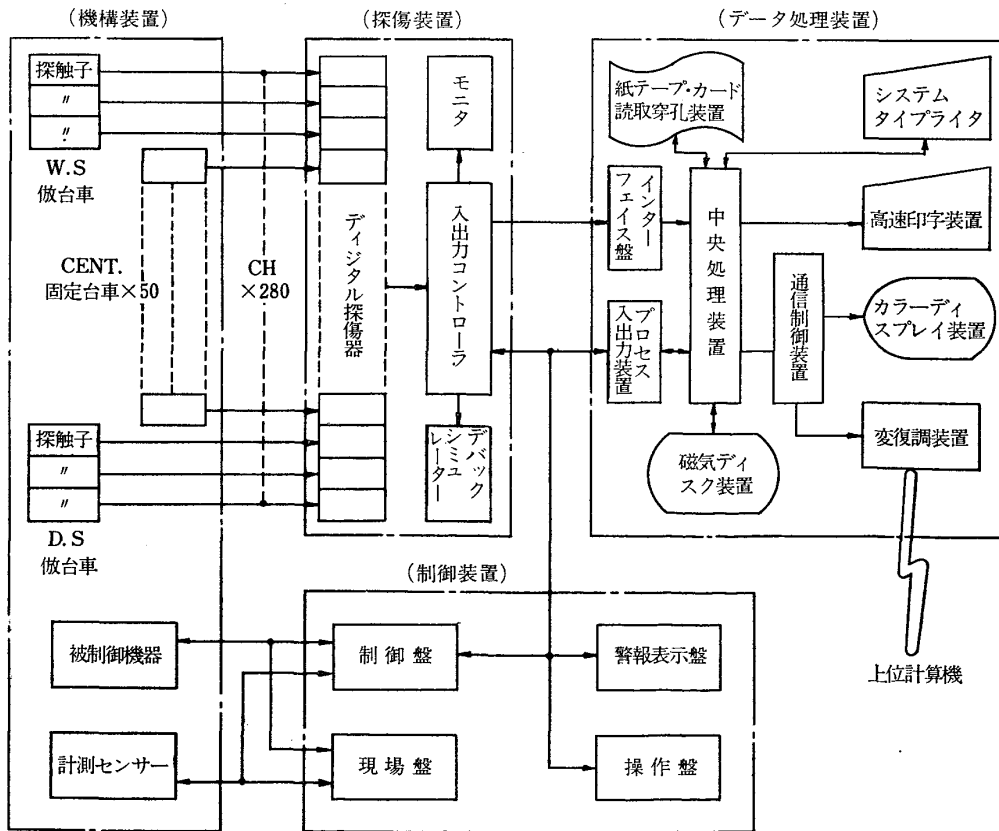


図3 厚板探傷のデータ処理システム例

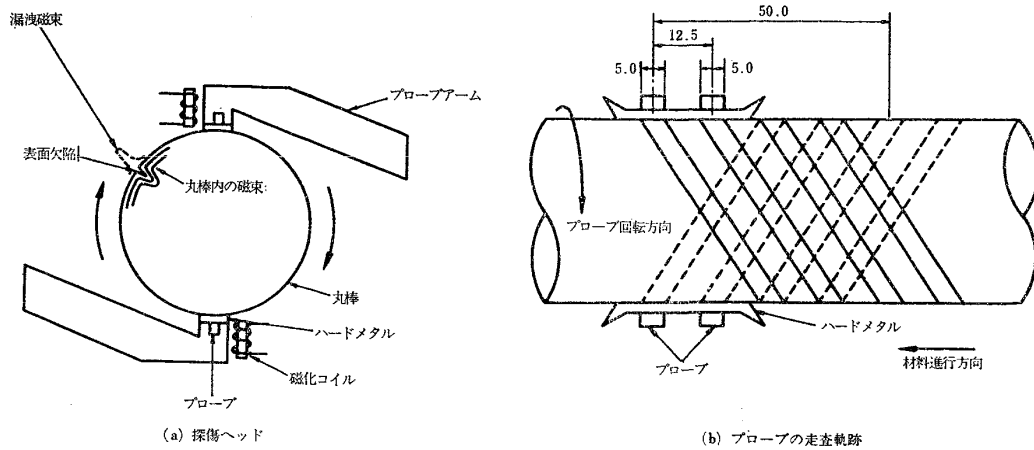


図4 棒鋼自動電磁探傷装置

表2 鋼管の非破壊検査実施状況* (検査方法ごとの実施事業所数)

管種	対象事業所数 (会社数)	素材およびパイプ						溶接部							
		UT		MT		ET		UT		MT		ET		RT	
		手動	自動	手動	自動	手動	自動	手動	自動	手動	自動	手動	自動	透過	透視
SML	9 w (6社)	2 w (2社)	9 w (6社) 15台	2 w (2社)	7 w (5社) 19台	1 w (1社)	8 w (6社) 15台	—	—	—	—	—	—	—	—
ERW	10w (6社)	5 w (4社)	7 w (4社) 20台	4 w (3社)	1 m (1社) 2台	0 w	9 w (6社) 24台	5 w (4社)	5 w (4社) 23台	5 w (3社)	2 w (2社) 2台	0 w	9 w (6社) 31台	0 w	0 w
CW	6 w (4社)	0 w	0 w	0 w	0 w	0 w	6 w (4社) 11台	0 w	0 w	0 w	0 w	0 w	3 w (3社) 7台	0 w	0 w
SAW- SP	8 w (7社)	5 w (4社)	5 w (4社) 10台	4 w (3社)	0 w	0 w	0 w	5 w (5社)	6 w (5社) 9台	2 w (2社)	0 w	0 w	0 w	8 w (7社)	7 w (6社)
SAW- ST	6 w (4社)	5 w (4社)	5 w (4社) 8台	3 w (3社)	3 w (3社) 5台	0 w	0 w	6 w (4社)	6 w (4社) 8台	3 w (3社)	3 w (3社) 4台	0 w	0 w	6 w (4社)	5 w (4社)

* 鉄共研鋼管部会アンケート資料による。
SML: 縦目無鋼管 ERW: 電縫鋼管 CW: 鍛接鋼管 SAW-SP: スパイラル溶接鋼管 SAW-ST: UOE 鋼管 w: 事業所 work の略。

分類, 警報できるという報告¹⁷⁾もあるが, 前述の第 37 回品質管理部会資料のアンケート結果でも, 精度および安定性の不良, 深さ変化の少ない線状疵や連続長手方向の疵の検出困難などの問題点が指摘されている。

(4) 棒鋼 棒鋼については渦流探傷のほかにも前述の SAM 探傷法が使われている¹⁸⁾¹⁹⁾が, SAM では被検材をスパイラル状に回転送りするのに対し, 探査コイル法で被検材直進, プロブ回転の自動磁気探傷装置と, 水浸水膜, 分割型探触子方式による自動超音波探傷装置とを組み合わせ, 付帯設備として曲り検出機, 面取装置, 脱磁装置および自動結束装置を持った, ワンマン運転による完全自動化装置が報告されている²⁰⁾。図4に自動磁気探傷装置のプロブアームとプロブの走査軌跡を示す。プロブはヘッド部中央を通過する丸棒表面にハー

ドメタルシュエを介して接触し, 高速回転して表面の走査を行う。

(5) 鋼管 表2は鉄共研鋼管部会のアンケート資料²¹⁾から拾った各種鋼管ごとの非破壊検査の実施状況であるが, 自動化率および自動化設備台数はめざましいものがある。この資料で特に興味深いのは表2の SML についての自動磁気探傷設備 19 台のうち, SAM が 8 台を占め, アマログソノスコープが 4 台を占めていることである。確かに SAM の普及率は著しく, このアンケート (1978 年 3 月) より 1 年半も前で既に棒鋼, 鋼管, 丸ビレット用全部を合わせると日本国内で 27 台が稼働していると報告されており²²⁾, 外表面探傷用タイプ S, 内表面探傷用タイプ I, 回転ヘッドを有し軸方向欠陥検出用のタイプ R, 多検出子により周方向欠陥を検出するタイ

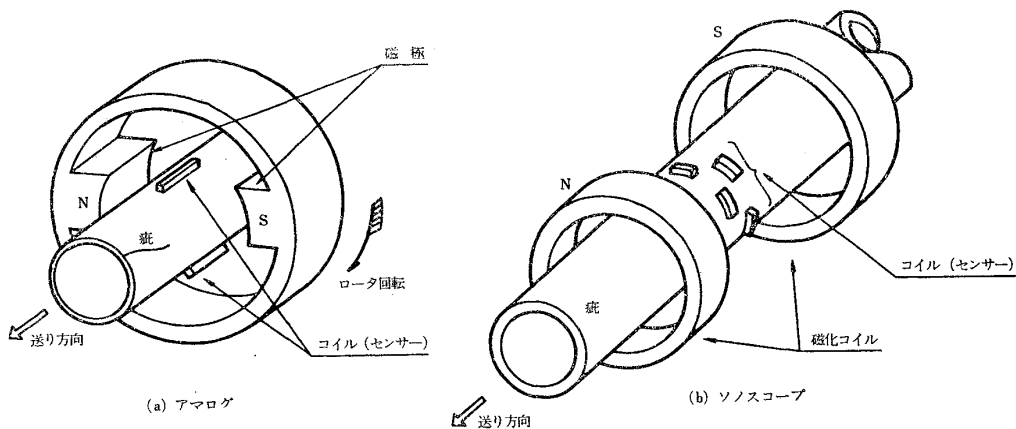


図5 アマログ・ソノスコープの探傷機構

ブCが開発され、タイプRおよびタイプCは直流磁化によつて内外面欠陥を外面から検出できるようになっている。一方、アマログソノスコープはこのタイプRとタイプCの組合せと同じで、管軸方向の疵を検出するためのロータ回転ヘッド式磁極とセンサーを持つアマログと、円周方向成分の疵を検出するための貫通型磁化コイル方式で、円周方向に分割配置されたセンサーを持つソノスコープが組合わされたシステムである²³⁾。図5(a)はアマログ(b)はソノスコープの概念図で、前者が管軸方向の疵を、後者が円周方向の疵を、それぞれ検出できることを示している。

超音波探傷関係についても自動化が極めて盛んであることは表からも明らかである。管体の探傷で問題になるのは管体回転方式とプローブ回転方式のいずれを選ぶかであるが、管径が大きくなるに従い、プローブ回転方式の利点が優先し、そのノイズ極少化に開発のエネルギーが注がれている。最近では管径20インチ超の大径管まで開発されている。

(6) その他の非破壊的自動検査 (1)から(5)まではいわゆる在来の超音波、磁気、渦流による表面欠陥、内部欠陥の非破壊検査法について論じてきたが、最近では検査の自動化、機械化はこれら在来の手法以外の非破壊検査についても積極的な開発をもたらしている。

(a) 表面欠陥の光学的検出法 表面欠陥を検出するのに測定条件が厳しい熱間ではまだ試作、現場実験の段階にすぎないが、2.1で述べた電磁メカニカルシャッター付きITV方式のほか、飛像走査方式の赤外線カメラなどもある。これに対して冷間ではかなり実用化が進んでおり²⁴⁾²⁵⁾、表面状況の清浄な冷延鋼帯などで、表面を可視光で照射しその反射光の強度変化によつて欠陥の検出が行われているが、光源と検出素子の視野を固定する方式と、そのいずれかを走査する方法がある。光学的な手法では表面欠陥検出法のほかに、ブリキ原板や珪素鋼板その他の極薄鋼板で表裏貫通したピンホールを通しての漏洩光を光電子増倍管で検出するものもある。

(b) 硬さ測定²⁴⁾硬さと初透磁率がほぼ直線関係にあり、初透磁率は渦流法の2次コイル電圧変化分と直線関係にあることから、結局、渦流法により硬度をほぼ直線的に測定できることを応用して、連続焼なましラインでぶりき用鋼板の硬度を渦電流による非接触型連続硬度計で測定しているが、このような硬さと相関の大きい物理量による連続硬度測定は各国で盛んに試みられている。

(c) 鋼材組成のオンライン分析²⁵⁾蛍光X線分析法を応用し、Si(Li)半導体を検出素子とした圧延材のオンライン分析による高感度の鋼種判別器が実現している。

3. 鋼溶接部の非破壊検査自動化の現状

前項までに述べてきた鉄鋼製品は単一形状、寸法の量産品であるから、各種の非破壊検査法の自動化が非常に容易であるが、これらの製品を用いて構造物に加工した場合の非破壊検査は、それが一品料理的な試験体で、しかも固定した状態で行わなければならないため、非常に困難がともなう。その中で、比較的自動化が進んでいるのは鋼溶接部の超音波探傷であろう。その理由は溶接部の健全性確認の極めて重要なことから来る検査量の膨大化が第一義ではあるが、記録性、客観性で放射線試験に劣る超音波探傷の信頼性を向上させる必要性もあざかつて大きな要因であろう。

一番早く自動化に着手したのは造船部門で²⁶⁾、自走式探傷車が開発された²⁷⁾。

建築の分野ではH形鋼の溶接部専用の自動化装置が実用化されていて、高所での手探傷の不便、危険を解消した²⁸⁾²⁹⁾。

パイプの縦シームおよびスパイラル溶接部は製鉄所で自動検査されているのは前述のとおりであるが、パイプラインの円周継手についても、裏波溶接部からのビードエコーと欠陥エコーの判別の困難さを克服しつつ自走式装置が実験、実用されている³⁰⁾³¹⁾。

パイプライン以外のパイプ構造では、海洋構造物が注

目され、特にその格点溶接部では、パイプとパイプの相貫曲線に対する探触子の向きによつて t/D が刻々と変化し、従つてビーム路程、探触子距離が変化するので、欠陥信号の評価、判定が非常に難しいが、最近この溶接部の探傷について研究が盛んになり³²⁾³³⁾³⁴⁾、いずれ自動化に向けて開発が進められるであろう。

原子力分野ではその安全性が最も重要視されるが、特に原子炉圧力容器およびその一次冷却系配管などについては、加工中のみならず、保守検査においても一般の保守検査と一線を画し、原子炉冷却材圧力バウンダリーの供用期間中検査 (In Service Inspection, ISI) と呼ばれて、厳しい規定が課せられているが、放射能被曝をさけるため操作をすべてリモートコントロールで行えるよう駆動装置にいろいろな工夫が払われている³⁵⁾。

その他の構造物として安全性を重要視される圧力容器については、加工時の中間検査や完成検査もさることながら、溶接部だけでなく装置全体としての保守検査に開発の主力が注がれると考えられ、それに適した AE の研究が非常に活発で、稼動中の安全監視 (On Line Monitoring) の新しい手段として発展させるためには、AE の材料特性を定量的に把握することが目下の重要課題であろう³⁶⁾。

4. 非破壊検査の今後の問題点

確かに非破壊検査技術の進歩は驚異的とも思えるほどのスピードであり、やつぎばやの勢いで技術が開発され、装置化されて行くが、それは正確に欠陥を発見するという方向がほとんどすべてで、欠陥有害度の評価に関する研究が極めて少ないことは、由々しき問題ではなからうか。

非破壊検査が中間検査として品質管理的手段で使われている場合の欠陥評価基準は、嫌応なく最終製品の歩止りや出荷後の製品評価になつて反映されるので、常に是正される機会を持つているが、製品の品質保証を目的とした出荷検査や完成検査として行われる場合は、現状の欠陥評価基準には問題のあるものが多いようである。

表面欠陥の場合は、以後の加工で有害、無害の最終結着が現実につけられる場合が多いし、補修しやすいということもあつて、それ程大きな問題とはならないが、内部欠陥は厄介である。

最も単純な形と見られ、探傷の頻度も多い厚板を例にとつてみると、超音波探傷はその内部欠陥検出に非常に適した試験であり、今や極めて正確に内部欠陥を検出、実態を推定できるが、鋼板での出荷、受入れに関する欠陥評価基準として確立されたものは少なく、我国では JIS として G0801「圧力容器用鋼板の超音波探傷検査」という規格があるに過ぎない。本来、構造部材の内部欠陥は、その部位の使用条件ごとに許容度に変化するものであり、一品ごとに判断基準が異なるのが理想ではある

が、現今のような量産時代に対処するため、ある程度の統計的基準はやむをえないとしても、現状はこの唯一のオーソライズされた JIS 規格があるため、それが圧力容器用鋼板のためのものと銘打たれているにもかかわらず、鋼種を問わず、どんな用途であれ、超音波探傷試験が規定されるものについては、この検査基準が準用されているのが事実で、これは誤つた風潮であろう。このような母材部探傷の問題以上に、溶接部の非破壊検査も更に大きな問題をはらんでいる。

従来の放射線検査に替つて、溶接部の検査に超音波探傷法が急速に多用されるようになり、それなりに研究も盛んで、欠陥の傾きによつてはいろいろな種類の反射波が影響して相当大きな誤差を生むという報告もある³⁷⁾ものの、かなり精度は向上しており³⁸⁾、自動化も含めて測定誤差は早晩十分な精度をあげることができよう。しかし、その判定基準となると、A SME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III の Mandatory Appendix G, Protection Against Nonductile Failure (1972) など、破壊力学を採用して十分に検討されたものもあるが、少なくとも我国の鋼構造物溶接部の基準では、まだそこまでの検討が不十分であり、従来の放射線試験用の基準と等価の欠陥評価基準に置換えるという方針で検討されたものが多いといつても過言ではなからう。

いささか多言を費しすぎたが、要するに非破壊検査の現状の進歩が欠陥検出技術の進歩に偏りすぎていないかということであり、例えば日本非破壊検査協会の「003 特別委員会 (欠陥材評価に関する特別研究委員会)」のような研究活動が、全産業部門、全学協会を糾合した国家的規模で急速な進展をすべきであるということである。

最近の「非破壊検査」誌に、この「003 特別委員会」で講演された、欠陥の強度的評価に関する問題点をまとめ、設計部門や材料部門などに対する要望を述べ、更に安全性、信頼性解析についての問題点、研究動向を紹介した論文³⁹⁾が発表されているが、このような研究活動の活発化が切に望まれる。

5. 結 言

以上、最近の非破壊検査技術の進歩について、鉄鋼業における自動化の現状を中心に紹介するとともに、今後は欠陥検出技術の開発とともに、欠陥の正当な評価基準究明の急速な進展が必要である点についても言及した。

おわりに、本解説に関して有益なご助言をいただいた鉄鋼共同研究会品質管理部会、(部会長、住友金属、西沢取締役)、同部会非破壊検査小委員会関係各位に対し深甚なる感謝の意を表する。

文 献

- 1) 日本鉄鋼協会第 46, 47 回西山記念技術講座 (1977) テキスト
- 2) 宮川一男, 天野 割, 大久保高武, 太田光広, 松

- 山 宏, 河野勝美: 非破壊検査, 26 (1977) 9, p. 618
- 3) 白岩俊男, 山口久雄, 松本重明, 中西章人, 高橋昭夫, 番 博道: 非破壊検査, 27 (1978) 2, p. 140
 - 4) 広島龍夫, 松井健一, 榎 隆義: 非破壊検査, 27 (1978) 2, p. 152
 - 5) 川島捷宏: 鉄と鋼, 63 (1977) 11, S 703
 - 6) 白岩俊男, 広島龍夫, 広田哲也: 住友金属, 27 (1975) 3, p. 117
 - 7) 白岩俊男, 広島龍夫, 広田哲也, 光成重博, 藤井良久, 高橋昭夫: 住友金属, 26 (1974) 1, p. 39
 - 8) 広島龍夫, 広田哲也, 守屋惇郎, 山嶋一剛, 山根万寿雄: 住友金属, 30 (1978) 2, p. 19
 - 9) 日並通輝, 石山幹夫, 吉村 理, 松原紀之, 城戸安典, 田中義人: 住友金属, 28 (1976) 2, p. 134
 - 10) 島田勝彦, 小峰 勇, 角崎周市, 山田正義, 田辺英也: 鉄と鋼, 64 (1978) 4, S 248
 - 11) 土門 斉, 松岡良明, 宮脇広機, 丸元清一: 非破壊検査, 27 (1978) 9, p. 626
 - 12) 土門 斉, 松岡良明, 村島誠一郎, 小島良朗, 松山宏: 非破壊検査, 27 (1978) 9, p. 628
 - 13) 宇野義雄, 森田博之, 松村和良: 非破壊検査, 25 (1976) 11, p. 750
 - 14) 松村成彦, 小池 允, 中倉正雄, 松山 宏: 非破壊検査, 27 (1978) 9, p. 630
 - 15) 松村 裕: 厚板, 薄板の非破壊検査, 日本鉄鋼協会第 46, 47 回西山記念技術講座(1977), p. 41
 - 16) 鉄共研, 品質管理部会NDI懇談会, 幹事会資料
 - 17) 波木周知, 浜村久義, 渡辺昭三, 松原紀之: 住友金属, 25 (1973) 3, p. 79
 - 18) 白岩俊男, 広島龍夫: 鉄と鋼, 57 (1971) 3, p. 139
 - 19) 浜松久義, 松原紀之, 石本宣夫, 広田哲也: 住友金属, 25 (1973) 3, p. 71
 - 20) 片桐義通, 宇野義雄, 片山 進, 森田博之, 下戸研一: 鉄と鋼, 63 (1977) 4, S 199
 - 21) 第 30 回鋼管部会 (1978. 3) 共通議題アンケート資料
 - 22) 白岩俊男, 広島龍夫, 広田哲也, 坂本隆秀: 住友金属, 28 (1976) 4, p. 54
 - 23) 第 64 回計測部会, 継目無鋼管工場における自動磁気探傷機について (1976. 11), 日本鋼管, 京浜
 - 24) 川島捷宏, 関野昌蔵, 土門 斉, 戸田 竜, 佐々木幸人, 藤原 進: 非破壊検査, 21 (1972) 7, p. 401
 - 25) 白岩俊男, 藤野允克: 鉄と鋼, 64 (1978) 2, A 73
 - 26) 金田正衛, 三村 治, 中屋敷憲司, 滝沢宏美, 岸上守孝, 関口宏治, 斎藤広夫: 非破壊検査, 22 (1973) 3, p. 154
 - 27) 吉谷 豊, 上野 立, 横田典之, 宮川一男, 磯野英二, 上村新一郎: 製鉄研究, 280(1974), p. 126
 - 28) 太田耕二, 山本英爾, 藤盛紀明, 倉持 貢: 非破壊検査, 24 (1975) 11, p. 641
 - 29) 白岩俊男, 山口久雄, 松本重明, 田中藤八郎, 小倉 豊: 非破壊検査, 25 (1976) 11, p. 734
 - 30) 中山昌久, 加藤祐一, 宇田川健志, 磯野英二: 非破壊検査, 25 (1976) 11, p. 720
 - 31) 白岩俊男, 山口久雄, 松本重明, 苫米地正敏, 中嶋紀美雄: 非破壊検査, 25 (1976) 11, p. 728
 - 32) 公原良文, 小原賢一, 石井保雄, 石田嗣良: 非破壊検査, 27 (1978) 9, p. 606
 - 33) 公原良文, 有田誠治, 井上朝雄, 石田嗣良: 非破壊検査, 27 (1978) 9, p. 608
 - 34) 白岩俊男, 山口久雄, 松本重明, 田中藤八郎: 非破壊検査, 27 (1978) 9, p. 610
 - 35) 桜井善茂, 山田 博, 金子純一, 内田邦治: 非破壊検査, 25 (1976) 11, p. 712
 - 36) 岸 輝雄, AEの計測と材料評価, 日本鉄鋼協会第 46, 47 回西山記念技術講座(1977), p. 191
 - 37) 小倉幸夫: 非破壊検査, 27 (1978) 11, p. 731
 - 38) 「溶接部の欠陥高さ測定」特集号, 非破壊検査, 26 (1977) 5
 - 39) 内野和雄: 非破壊検査, 28 (1979) 1, p. 30