

(118) 透過法による厚鋼板の超音波探傷について

八幡製鉄所

工博 長島 晋一・関野 昌蔵

○佐々木幸人・松岡 良明

On the Ultrasonic Testing of Heavy Plate by Transmission Method.

Dr. Shinichi NAGASHIMA, Shozo SEKINO
Yukito SASAKI and Yoshiaki MATSUOKA.

1. 緒 言

最近数年間において、超音波探傷を要求される厚鋼板の量は著しく急増の傾向を示しており、この状態では近い将来に現在採用しているような手動探傷法では処理できなくなることが予想され、かつ鋼板の品質管理面から全数検査の方向に進むべきものでもある。この場合さらに能率のよい自動探傷への切り換え、特に走間ライン上で連続自動超音波探傷を行なうことについての著者らの関心は非常に深い。すでに欧州においては、透過法を用いる走間連続自動超音波探傷の実用化¹⁾が、かなり進行中のように見うけられる。一般に透過法に用いる装置は構造が簡単で、かつ保守および取扱操作の容易なため、自動化に非常に適しており、また反射法の適用が困難であった板厚 10mm 未満の薄い板の探傷が容易であるなどの利点を備えている。一方、この方法が探傷感度の点で反射法に劣るため、従来あまり重視されなかつたことも無視できない事実である。しかし最近開発された共振透過法²⁾の場合の探傷感度は、反射法とほとんど変わらないことが報告されている。著者らは以上の理由から、種々な方式の透過法の特長、特に探傷感度についての検討を行ない、またその一つの方式について現在の苛酷な作業条件のもとに、この方法が実用できるかどうかの研究を行ないつつある。

2. 実験結果と考察

2.1 各種透過法の特長について

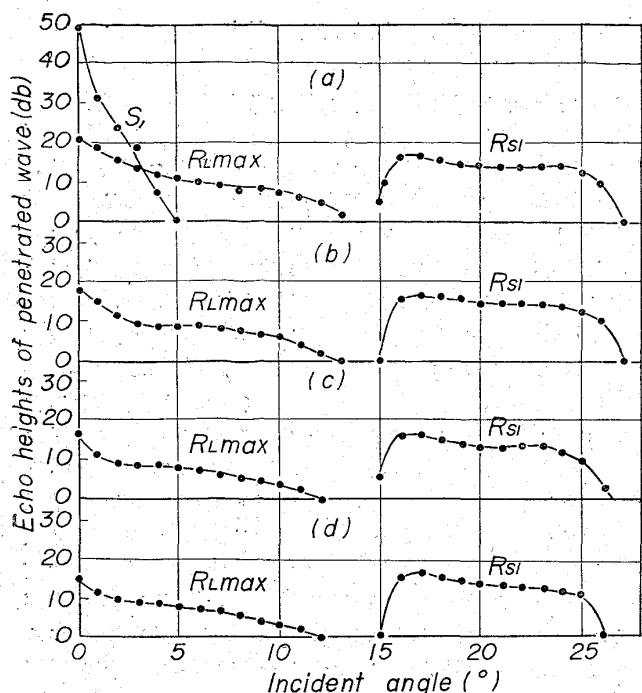
ここで著者らがとりあげようとする透過法の種類は、パルスを用いる単純透過法、単純斜角透過法、反射板透過法、反射板斜角透過法ならび共振透過法などである。これらを実用する場合に重要であると考えられる諸特性の比較が、Table 1 に示される。表から明らかなように、各方式にはそれぞれ長短があり、これを適用しようとする作業条件に合わせた選択が必要であろう。

Fig. 1 は反射板法を用い、各種板厚の鋼板試料に超音波を種々の角度で入射させた場合の、境界エコー S_1 と反射板エコー R_{Lamx} および R_{S1} の実測結果を示したものである。図から明らかなように反射板法は、試料の板厚にかかわらずエコーの受信特性が変化しないというすぐれた特性を備えている。また単純透過法による結果 (S_1 がなくかつ R_{Lamx} が R_{L1} となる) も大体これと似た傾向を示すが、この場合には板厚により透過波の受信特性の変化、特に横波変換部分の受信巾に著しい変化が認められる。これは鋼板に斜に超音波が入射し屈折するとき、その板厚に比例した大ききでビームのずれが起こることに起因する現象である。さらにいずれにも共通な現象として、斜角入射の鞍部を利用すると、垂直入射の場合より角度の変化による影響が少ないことが注目される。

今まで述べてきたパルス波を用いる透過法のかわりに、周波数変調を行なつた連続波による透過法を用いると、鋼板を透過して受信される超音波の強さは、周波数に対して鐘状の分布をする。この分布の極大値は、 $f = n \cdot v / 2t$ (f : 周波数, v : 鋼板中の音速, t : 板厚, n : 共振の次数) の周波数であられる。もしこのとき板内で超音波の減衰がないものと仮定すると板に入射した超音波は 100% 透過し、反射波は 0 になるはずであるが、一般には減衰があるためこのような完全条件は成立しな

Table 1. Comparison of the characteristics on the five transmission methods. (T. M.)

Method	T. M. by straight beam with reflecting plate	T. M. by angle beam with reflecting plate	Ordinary T. M. by straight beam	Ordinary T. M. by angle beam	T. M. Using resonance of multi-reflected beams
Number of probes for each point	1	1	2	2	2
Application of non-contact method with small water jet	Impossible	Impossible	Possible	Possible	(Possible)
Wave form	Pulse	Pulse	Pulse	Pulse	Continuous
Number of gate circuits for n points	n	n	0	0	0
Number of amplifiers for n points	n	n/m	n	n/m	n
Dependence on the inclination of plate	Fairly unstable	Stable	Fairly unstable	Stable	Fairly unstable
Thickness range	Up to 10 mm	No limitation	No limitation	No limitation	(Up to 100 mm)
Operation	Uneasy	Uneasy	Easy	Uneasy	Easy
Sensitivity of flaw detection	Fairly high	Fairly high	Low	Fairly high	High
Cost of instrument	High	High	Low	Fairly high	Fairly high



S₁: 1st surface echo
 R_L max: Maximum echo height of penetrated longitudinal wave
 R_{S1}: 1st echo of penetrated shear wave
 (a): 10mm thickness of steel plate
 (b): 20mm "
 (c): 30mm "
 (d): 34mm "

Fig. 1. Relation between beam angle and echo heights by transmission method with reflecting plate.

い。共振透過法はこの共振伝送の強さを測定する新しい方法であり、受信される音の強さは板内を幾回も往復した波の総合されたものなので、ほかの方式の透過法に比べると探傷感度が非常に高くなっている。

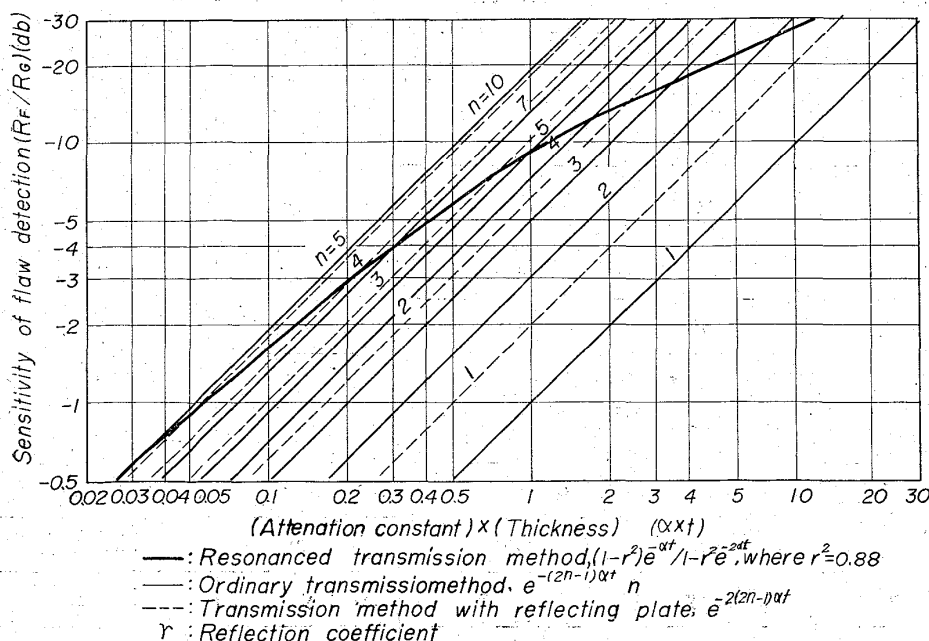


Fig. 2. Relation between $\alpha \cdot t$ and R_f/R_0 .

Fig. 2 には、以上の各透過法の欠陥検出能 (R_f/R_0) の計算結果、減衰度 (α) × 板厚 (t) のデシベル値に対応して示されている。Fig. 2 中、 R_f は欠陥部の透過波の振巾 R_0 は良好部の透過波の振巾、 t は板厚、 α は見掛けの減衰度で、材料固有の減衰度 + (表面不整による散乱損失 + 欠陥による損失) / t 、 r は音圧反射率、 n は透過波の次数である。Fig. 2 から各透過法の欠陥検出能は、共振透過法がもつともよく、反射板透過法 (斜角, 垂直)、純透過法 (斜角, 垂角) の順序である。もし単純透過法および反射板法で次数の高い波を用いると、欠陥検出能も共振透過法と同程度まで高めることが可能である。ただしこの方法の実用性については、さらに検討されるべき点が多い。また Fig. 2 には垂直透過と斜角透過の場合が同じ線であらわされているが、両者の α 値につき前者は縦波の減衰度、または後者は横波の減衰度であることから、その内容は全く異なってくる。すなわち同じ周波数の横波の減衰度は縦波の減衰度より大きいから、斜角透過法が垂直透過法より欠陥検出能の点ですぐれていることになる。

2.2 人工欠陥の検出感度

連続超音波探傷の場合、静的状態での欠陥検出感度はあまり意味がないから、ここでは動的状態での欠陥検出感度について述べる。移動している鋼板の欠陥検出感度は、主として超音波ビームが欠陥を横ぎるに要する時間と記録計の応答時間のかね合いによつてきまる。横断時間が応答時間より短かければ、欠陥指示が全く得られないか、もしくは実際よりもはるかに小さい指示しか得られない。噴射水単純垂直透過法について、同一欠陥の記録計振巾と探傷速度との関係をしらべた結果は次の通りである。直径 7~20mm の人工欠陥について調べた範囲では、ほとんど振巾に差が認められないが、欠陥が小さい程探傷速度の増加に対し振巾の低下する割合は大きい。探傷速度がある値以上になると、振巾は欠陥の大きさに見合ったそれぞれの値に落着く。この結果から、

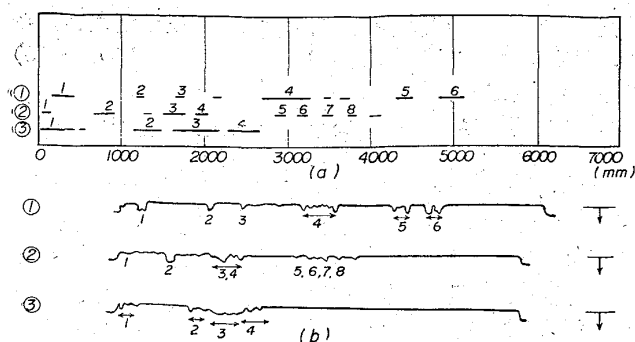
1000mm/sec の探傷速度で少なくとも直径 7mm 以上の完全欠陥は検出可能ながわがかる。

2.3 実在欠陥の検出感度

2.3.1 噴射水単純斜角透過法による実験

実在欠陥の検出感度を推定するため、板厚 16~34mm の実際の製品板を透過法ならびに反射法を用いて探傷し経験的に実在欠陥との対応性が明らかにされている反射法と透過法の結果を比較することにした。実験は厚板工場のローラーテーブルをそのまま利用して行なつた。

Fig. 3 は、入射角 17°、周波数 2.25 MC の噴射水斜角透過法 (水柱径 8mm) と現在薄手罐板に適用されている超音波探傷方法 (反射法) による、



(a): Echo method with localized immersion technique (frequency: 5MC, crystal: 20mmφ, water depth: 50mm)
(b): Transmission method using water jet of 8mmφ oblique to surface (frequency: 2.25MC, scanning speed: 500mm/sec)
Clear mark: heavy defect, faint mark: light defect.

Fig. 3. Results of UST on steel plate.

実用鋼板の探傷結果の中から、一例として板厚 28mm 鋼板の探傷結果を示したものである。Fig. 3 の結果から、透過法と反射法の結果が比較的良好であることがわかる。しかし全般的結果からは、板厚が薄い場合透過法の欠陥検出感度が反射法に比べそれ程劣らないが、板厚が厚くなるとかなり低下する傾向が認められた。

2.3.2 袋付探触子を用いた単純垂直透過法による実験

板厚 10~40mm の円板試料を単純垂直透過法で探傷し、後で探傷線上位置をガス切断し、探傷結果とガス切断面の断面ワレの対応性をしらべた。超音波探傷には周波数 2.25 MC の 10mm φ 振動子を内蔵する袋付探触子を用い、記録には周波数特性 200 サイクルのペン書オシロを用いた。板厚 25mm 鋼板の実験結果は、超音波探傷結果と断面ワレ位置が非常によく一致していた。また全般的実験結果から、断面ワレが透過法で検出される割合を、ワレの長さで探傷速度についてまとめた結果が Table 2 に示される。Table 2 から、探傷速度が高くなると断面ワレが検出し難くなり、特に断面ワレの長さが短い場合程この傾向が強い。

2.4 単純垂直透過法による実用化実験

厚板の走間超音波探傷には、その苛酷な作業環境のため、非常に単純な探傷方法の採用が望ましい。著者らはこのような考慮から、まず噴射水単純垂直透過法を用いる実験に着手し研究を進めてきたが、現在までのところ十分満足できる結果をうるまでにはいたっていない。著者

Table 2. Rate of detected defect marks by transmission method.

Scanning speed (mm/sec)	Rate of detected defect marks beyond 50mm (%)	Rate of detected defect marks beyond 30mm (%)	Rate of detected defect marks beyond 10mm (%)
	200	90	84
800	90	78	72
1000	90	78	70

らの遭遇している種々の問題点およびその対策については、次のように考えられる。現在実験を行なっている探傷位置では、探傷速度 1500mm/sec、板の表面温度約 300°C、非接触方式が要求されており、温度の解決に最も苦心している。ただし現在でも表面温度が 200°C 程度までなら、一応探傷可能であるという結論は得られている。温度に対する技術的対策としては、強力な噴水柱の作成による接触状態の改善および強力な送信パルスの作成による S/N 比の向上などが考えられ、板の振動に対しては現在の設置場所の条件があまり苛酷すぎることも考えられるので、もう少し条件のよい状態での使用、事情が許せば押えロールの設置などが考えられる。著者らは以上の方針に沿って、今後もさらに研究を続行する考えである。この場合、共振透過法を利用し、さらに欠陥検出感度を向上させることも考慮中である。

3. 結 言

著者らは厚鋼板の走間ライン上での連続自動超音波探傷のために、各種透過法の特性と欠陥検出能について比較し、単純垂直透過法と単純斜角透過法の場合については、人工キズと実在欠陥の検出能を実験し、また現在進行中の噴射水単純透過法を用いた実用化試験の問題点、および今後の研究方針などについて述べた。

文 献

- 1) J. und H. KRAUTKRÄMER: Werkstoffprüfung mit Ultraschall; (1961)
- 2) 日本学術振興会編: 超音波探傷法, (1964), p. 221, 日刊工業新聞社

(119) 低炭素リムド鋼管用ビレットの超音波探傷欠陥と管の内面キズの関係について

(管用ビレットの鋼質と製管キズに関する研究—I)

八幡鋼管

工博 向江脇公雄・江藤幹男・○松隈 茂
Relation between Ultrasonic Flaw Echoes of the Billets of Low Carbon Rimmed Steels and the Inside Defects of Seamless Tubes.

(Studies on the qualities of steel tube billets and the defects of finished tubes—I)

Dr. Kimio MUKAEWAKI, Mikio ETO and Shigeru MATSUKUMA.

1. 結 言

マンネスマン方式による継目無鋼管の製造では管材の穿孔中に受ける応力状態は複雑で、最大歪み速度、変形量がともにきわめて大きいため、管材の材質的欠陥が管のキズ発生の原因となる可能性はきわめて大きく、欠陥のない鋼管を製造するうえでの管材の具備すべき材質的諸条件は非常にきびしい。

一般にリムド鋼鋼塊は良好な表面性状を有する反面、鋼塊内質特に頭部側はスカムの巻込み、濃厚偏析などのため、製管時に内面キズを発生しやすい要因を多く含ん